

Jarosław JAJCZYK*, Wojciech LORKIEWICZ

STANOWISKO TESTOWE SYSTEMU MULTIPLESOWEGO AUTOBUSÓW MIEJSKICH

W artykule omówiono różne rozwiązania i budowę magistrali danych w pojazdach. W szczególności zawarto charakterystyki magistral CAN, LIN i MOST. Omówiono ogólne założenia architektury systemu multipleksowego. Scharakteryzowano koncepcje architektury systemu multipleksowego opisując systemy Continental VDO i Thoreb. W ramach pracy wykonano projekt oraz zbudowano stanowisko testowe systemu multipleksowego stosowanego w autobusach miejskich, na którym wykonano szereg badań. W końcowej części artykułu omówiono przykładowy program testujący.

SŁOWA KLUCZOWE: CAN, LIN, MOST, system multipleksowy, transmisja danych, multiplekser.

1. WSTĘP

Komunikacji miejskiej nie można sobie wyobrazić bez autobusów przewożących każdego dnia tysiące pasażerów. W większości metropolii właśnie w ten sposób przemieszczają się ich mieszkańcy. Współczesne autobusy są szybkie, wygodne i bezpieczne. Wyposażone są w wiele nowoczesnych układów bezpieczeństwa i komfortu (zarówno dla pasażerów jak i dla kierowcy) oraz systemów poprawiających parametry jezdne pojazdu. Wśród nich wymienić można m.in.: ogrzewanie i klimatyzację, informacje dla pasażerów, gniazda USB umożliwiające ładowanie urządzeń mobilnych, oświetlenie oraz punkty dostępu do Internetu. Każdy z tych układów powinien być zintegrowany w jeden system podglądu, zarządzania i diagnozy. W tym celu w autobusach wykorzystuje się systemy multipleksowe. Opierają się one na użyciu komputera (jednostki centralnej), którego możliwości sterowania i diagnozy rozszerzone są o urządzenia zwane multiplekserami. Multiplekser pozwala zwiększyć liczbę wejść i wyjść komputera. Komunikacja pomiędzy komputerem a multiplekserem oparta jest na jednym z mediów transmisyjnych (najczęściej przewodowym).

Wśród najbardziej popularnych producentów systemów multipleksowych wyróżnić można takie firmy jak: Continental VDO, Thoreb czy Actia. Każdy z producentów ma własny sposób podejścia do ogólnej koncepcji systemów

* Politechnika Poznańska

multipleksowych, np. Continental VDO posiada jeden komputer, Thoreb wiele komputerów, a w rozwiązaniu firmy Actia komputer zintegrowany jest z podium kierowcy. W systemach tych możliwe jest zastosowanie różnych rodzajów mediów transmisyjnych oraz magistrali transmisji danych. Wśród mediów wymienia się przewodowe (pojedyncze żyły, skrętki, światłowody) i bezprzewodowe (Bluetooth, Wi-Fi). Najbardziej popularne magistrale danych to: CAN, LIN, MOST.

2. MAGISTRALNE DANYCH W POJAZDACH

2.1. Magistrala CAN

Magistrala CAN (Controller Area Network) została opracowana przez firmę Bosch. Głównym celem jaki przyświecał przy jej tworzeniu było zapewnienie szybkiej i niezawodnej transmisji danych w trudnych warunkach pracy (brud, wilgoć, zakłócenia elektromagnetyczne). Obecnie magistrala CAN wykorzystywana jest w pojazdach oraz w przemyśle. Umożliwia wymianę danych pomiędzy odrębnymi systemami, np. sterownikiem ABS, komputerem silnika czy sterownikiem systemu komfortu. Takie rozwiązanie pozwala to na dokładniejsze i szybsze reakcje urządzeń oraz umożliwia współdzielenie czujników zainstalowanych w pojeździe pomiędzy wszystkie systemy. Ponadto, wspólna sieć ułatwia diagnozę instalacji i wykrycie ewentualnego defektu lub usterki [1-4].

CAN działa w strukturze szeregowej (magistralnej). Wszystkie sterowniki podłączone są do wspólnej linii a ich adresowanie zorientowane jest na komunikat. Komunikat oprócz danych zawiera informacje o nadawcy i odbiorcy. W sieci CAN każdy węzeł posiada takie same uprawnienia do nadawania i odbioru. Możliwość jednoczesnego nadawania komunikatów jest zabezpieczona programowo przez odpowiednie mechanizmy arbitrażu. Aby uniemożliwić jednoczesne nadawanie informacji od dwóch sterowników, określa się priorytet komunikatu. O priorytecie decyduje identyfikator komunikatu. W przypadku, gdy urządzenia nadają jednocześnie następuje moment, kiedy urządzenie o niższym priorytecie zauważy, że stan na magistrali jest inny niż ten, który nadało. Zaprzestaje wtedy nadawania i przełącza się w tryb odbiornika. W sytuacji, kiedy transmisja już trwa, a sterownik o wyższym priorytecie ma przygotowany komunikat do wysłania, to musi on poczekać, aż nadawanie zakończy się i magistrala będzie dostępna [1-4].

Niewątpliwą zaletą systemu CAN jest jego niezawodność – mimo uszkodzenia jednego z węzłów, reszta działa poprawnie.

W sieci CAN urządzenia podłączone są dwoma miedzianymi przewodami w postaci skrętki. W podstawowej wersji sieci CAN można podłączyć maksymalnie 128 sterowników. Punkty podłączenia magistrali noszą nazwę węzłów.

Rozróżnia się węzeł CAN-H (CAN-High) oraz CAN-L (CAN-Low). W standardzie transmisji CAN możemy wyróżnić trzy rodzaje sieci CAN [1-4]:

- CAN A o szybkości do 10 kbit/s (czasem nazywane K-Line i L-Line) – służąca głównie do diagnozowania,
- CAN B o szybkości do 125 kbit/s – stosowana w układach komfortu i wyposażenia nadwozia (nazywana inaczej Low-Speed CAN, jej standard został sprecyzowany w normie ISO 11 519-2),
- CAN C o szybkości do 1 Mbit/s, używana przez sterowniki układu napędowego i hamowania (określona w normie ISO 11 898).

W zależności od specyfiki pracy magistrali CAN sterowniki używają protokołu podstawowego lub rozszerzonego. Ten drugi jest wykorzystywany w samochodach, w których w jednej sieci transmituje się dużo komunikatów, np. w pojazdach specjalnych (pogotowia ratunkowego, straży pożarnej itp.).

2.2. Magistrala LIN

Magistrala LIN (Local Interconnect Network) została opracowana jako prosty i otwarty standard będący tańszą alternatywą (wykorzystanie jednego przewodu) dla magistrali CAN.

LIN jest magistralą typu master-slave, co oznacza, że występuje jeden sterownik (master) kontrolujący pracą magistrali i pozostałych (maksymalnie 16) sterowników (slave). Master steruje także komunikacją w magistrali oraz zajmuje się wysyłaniem zapytań do poszczególnych sterowników slave. Często zdarza się, że magistrala LIN jest podłączona także do innych magistral (np. CAN). W takim przypadku główny sterownik ma także za zadanie zarządzanie wymianą informacji pomiędzy magistralami (pełni funkcję bramy). Obecnie, bardzo często zarówno urządzenia wykonawcze, jak i czujniki instalowane są w pojazdach jako sterowniki (tzw. inteligentne czujniki). Dużą zaletą takiego schematu jest fakt, że do kontroli czujnika czy elementu wykonawczego sterownik master potrzebuje tylko jednego zacisku [1-4].

W sieci LIN tylko sterownik master może inicjować komunikat. Rozróżnia się wiele różnych formatów komunikatów, ale najważniejsze są cztery. Komunikat standardowy zawiera zapytanie lub polecenie do urządzenia slave. Ten typ komunikatu wysyłany jest okresowo w stałych interwałach czasowych. Innym rodzajem komunikatu jest sterowany zdarzeniami. W takiej sytuacji urządzenia slave odpowiadają tylko na zmiany (np. czujnik deszczu wysyła komunikat w momencie wykrycia deszczu). Komunikat nieregularny zostaje wysłany przez sterownik master poza wyznaczonym okresem komunikatów regularnych. Ostatnim rodzajem jest komunikat diagnostyczny. Jego wyjątkowość wynika z faktu, że jako jedyny wymaga odpowiedniego potwierdzenia przez dany odbiornik magistrali LIN [1-4].

2.3. Magistrala MOST

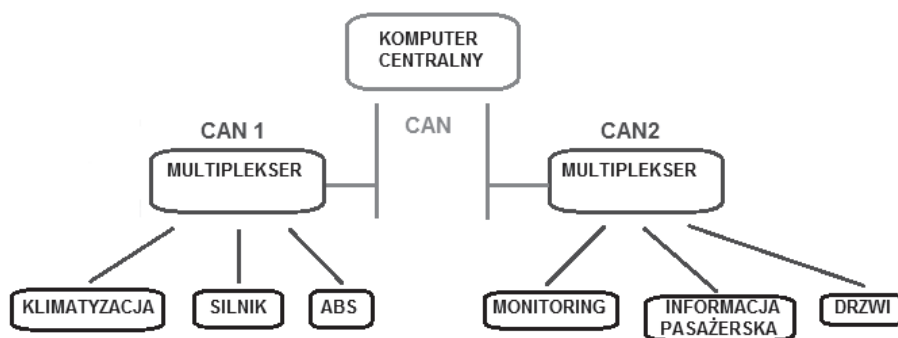
Magistrala MOST (Media Oriented System Transport) znajduje zastosowanie w komunikacji systemów informatycznych i multimedialnych w pojazdach. Jej główną zaletą jest bardzo duża szybkość danych. Dla MOST-25 dochodzi ona do 25 Mbit/s, a dla MOST-50 nawet do 50 Mbit/s. Szybki rozwój magistrali MOST pozwala domniemywać, że w niedługim czasie osiągnie się szybkość nawet do 150 Mbit/s. Pierwotne pomysły na magistralę pojawiły się przy tworzeniu magistrali D2B przez firmę Mercedes. Za rozwinięcie i przekształcenie w magistralę MOST odpowiedzialne jest konsorcjum MOST Cooperation, w skład którego wchodzi m.in. Audi, BMW, Mercedes, Volkswagen, Bosch, Porsche [3, 4].

Magistralę MOST buduje się w topologii pierścieniowej. Oznacza to, że dane przesyłane są od jednego sterownika do drugiego, aż dotrą do celu. Maksymalna liczba sterowników zainstalowanych w obrębie jednej sieci wynosi 64. W przeciwieństwie do innych systemów medium transmisji danych jest światłowód. W pojazdach stosuje się światłowody polimerowe. Ich wadą jest stosunkowo duże tłumienie, jednakże posiadają one mniejszy promień zgięcia (nie mniejszy niż 25 mm), co przydaje się w przypadku rozprowadzania światłowodu w pojeździe [1-4].

3. PRZEGLĄD SYSTEMÓW MULTIPLEKSOWYCH W POJAZDACH

3.1. Struktura systemu multipleksowego w autobusie

W autobusach miejskich oraz w dużych specjalistycznych pojazdach oprócz standardowych układów pozwalających na bezpieczne i komfortowe prowadzenie występują systemy związane z przestrzenią pasażerską. Dla autobusów są to m.in. monitoring, system kasowników, informacja pasażerska, sterowniki drzwi czy system liczenia pasażerów (rys. 1). W celu ich integracji korzysta się z systemu nadrzędnego nadzorującego oraz zarządzającego układami. System ten nosi nazwę systemu multipleksowego. Nazwa wywodzi się z topologii działania. Centralny komputer komunikuje się za pomocą magistrali CAN z modułami (multipleksami), które bezpośrednio sterują podłączonymi urządzeniami. Istnieje wielu producentów posiadających autorskie rozwiązania tej koncepcji. Wśród największych można wymienić Continental VDO, Actia czy Thoreb [5, 7].

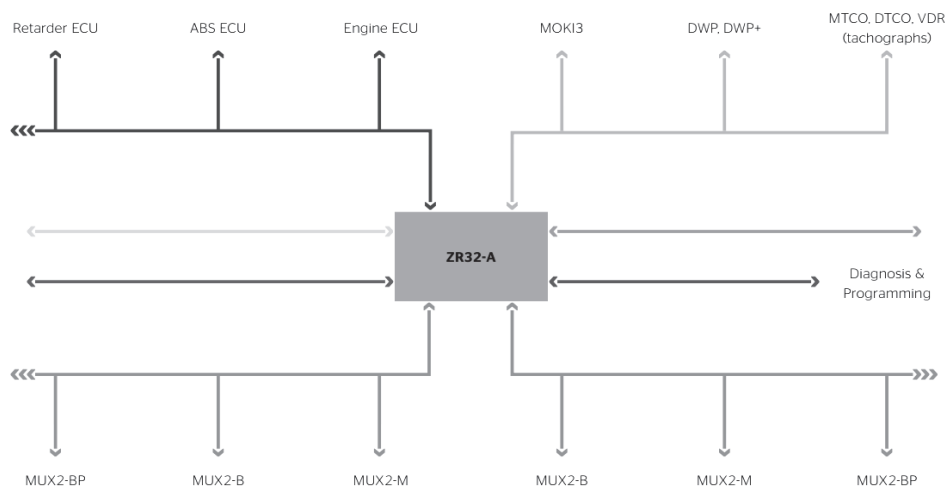


Rys. 1. Przykładowa struktura systemu multipleksowego w autobusie [5,7]

W magistrali CAN autobusu możemy rozróżnić podsystemy odpowiedzialne za funkcje pojazdu, np. PCAN (Powertrain CAN), ICAN (Instrumental CAN) czy BCAN (Body CAN). Magistrala zarządzana jest przez główny komputer, którego sercem jest mikroprocesor z wgranym indywidualnym programem pozwalającym na pracę systemu. W celu ograniczenia liczby przewodów rozprowadzonych w autobusie (sumaryczna długość przewodów liczona jest w kilometrach) oraz połączeń pomiędzy magistralą a urządzeniami stosuje się multipleksery. Multiplekser jest elementem sieci sterowanym za pomocą magistrali CAN przez komputer centralny pozwalający rozszerzyć liczbę wejść i wyjść komputera (całego systemu). Dzięki temu nie trzeba prowadzić każdego przewodu do komputera centralnego pojazdu, a sam komputer nie musi posiadać bardzo dużej liczby wejść, co ogranicza skomplikowanie instalacji oraz jej koszt [5].

3.2. System CONTINENTAL VDO – Kibes32

System Continental VDO jest to rozwiązanie oparte na multipleksach. Składa się z komputera centralnego ZR32-A oraz multipleksów MUX (rys. 2).



Rys. 2. Schemat ideowy systemu Continental VDO [6]

Komputer posiada 6 interfejsów CAN i umożliwia podłączenie do 16 multiplexerów. Jego moc obliczeniową definiują pracujące niezależnie dwa procesory 32-bitowe. Posiada on zgodność z protokołem SAE J1708/J1587 (standard komunikacyjny stosowany m.in. w pojazdach ciężarowych). Diagnostyka oraz programowanie odbywa się poprzez K-Line. W skład systemu VDO może także wchodzić pulpit kierowcy FAP+, który jest w pełni kompatybilny z komputerem ZR32-A. Pulpit umożliwi kierowcy zarządzanie pojazdem oraz podgląd pracy poszczególnych systemów (wstępna diagnostyka). Komputer posiada wbudowaną pamięć flash (2 x 512 KB) z możliwością rozszerzenia o kolejne 2 MB [5,6].

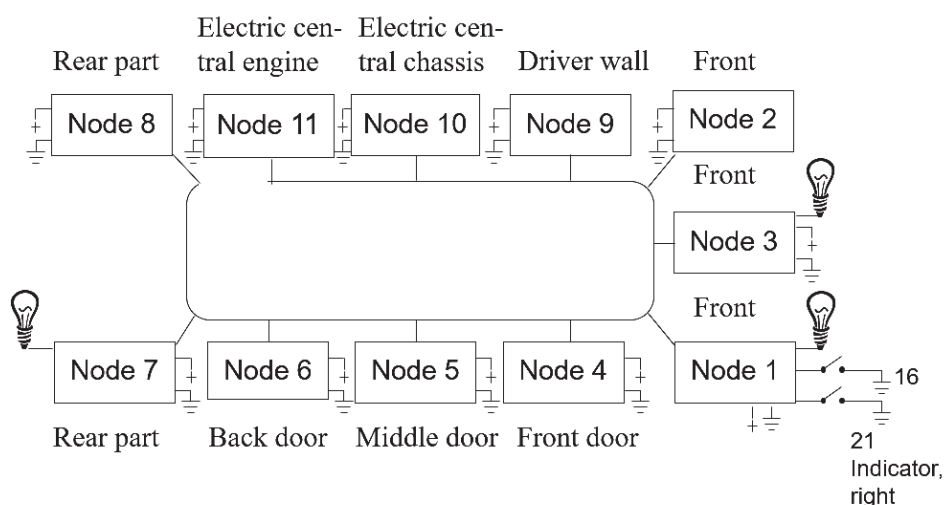
3.3. System Thoreb ELSY

System ELSY szwedzkiej firmy Thoreb, którego pierwsza wersja została opracowana już 1986 roku, jest alternatywą dla multipleksowego rozwiązania systemu VDO. Głównymi zaletami systemu Thoreb są [7]:

- wyższa niezawodność,
- sprawna obsługa,
- szybka diagnostyka,
- systemy utrzymania.

W przeciwieństwie do systemów multipleksowych, Thoreb wykorzystuje inne podejście sterowania wieloma układami. Zamiast multiplexerów i jednego komputera, system składa się z wielu równorzędnych komputerów połączonych wspólną magistralą CAN. Dzięki takiemu rozwiązaniu w bardzo dużym stopniu zostaje ograniczona liczba przewodów, gdyż można rozdzielić pracę każdego

komputera dla zarządzania różnymi podsystemami pojazdu, np. kontroli napędu, kontroli przestrzeni pasażerskiej czy kabiny kierowcy. Wykorzystanie wielu komputerów zwiększa niezawodność w przypadku usterki jednego z nich i pozwala na dalszą pracę systemu. Przykładowy rozkład komputerów w autobusie został przedstawiony na rysunku 3 [7,8].



Rys. 3. Przykładowy rozkład komputerów systemu Thoreb [7]

W ofercie firmy Thoreb znajdują się trzy komputery różniące się parametrami: K10, K17 oraz K30. Wszystkie wymienione jednostki posiadają taką samą moc obliczeniową: procesor ARM Cortex 32 bitowy, 256 KB pamięci flash, 64 KB pamięci RAM oraz opcjonalnie dodatkowe 128 KB pamięci EEPROM. Wszystkie modele posiadają interfejsy komunikacyjne CAN 2.0B oraz LIN/ISO 9141. Dodatkowo dwa wyższe modele wyposażone są w interfejs RS485 [7].

4. REALIZACJA STANOWISKA TESTOWEGO

4.1. Budowa stanowiska testowego

W ramach pracy zaprojektowano i zbudowano stanowisko testowe oparte na systemie firmy Thoreb. Opracowane rozwiązanie zapewnia analogiczną funkcjonalność jak systemy montowane w autobusach. Pozwala ono na testowanie oprogramowania przygotowanego dla autobusu przed jego wyprodukowaniem. Zbudowana makieta dzięki swym niewielkim gabarytom (rys. 4) umożliwia jej wykorzystanie w biurze projektowym. Urządzenie posiada możliwość połączenia się z komputerem PC, magistralą CAN oraz urządzeniami zewnętrznymi.



Rys. 4. Budowa stanowiska testowego systemu multipleksowego w autobusie

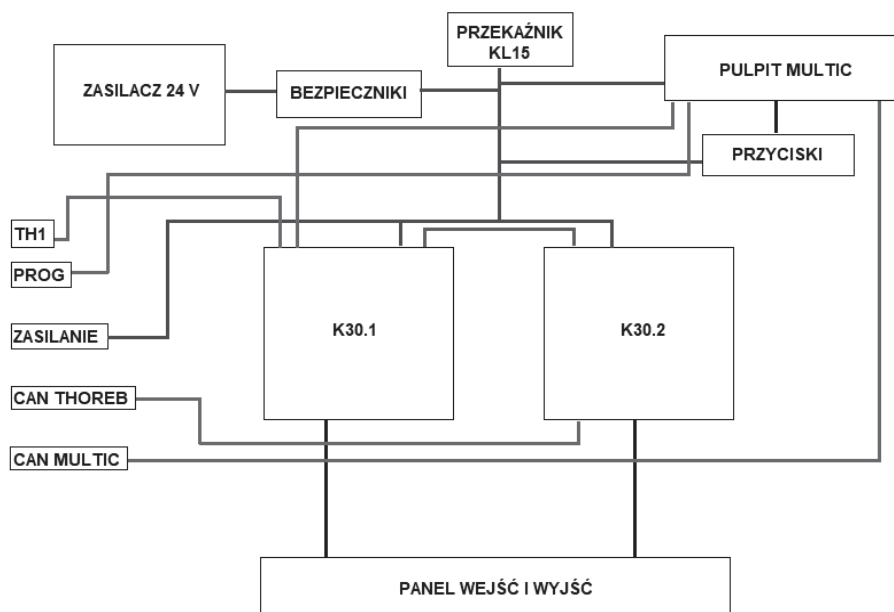
W skład stanowiska wchodzi dwa komputery K30 komunikujące się we wspólnej magistrali CAN. Wyprowadzone dodatkowo złącze TH1 służy do łączenia się komputera z odpowiednim interfejsem. Z każdej jednostki wyprowadzono 20 wejść oraz 30 wyjść wyposażonych w diody LED pozwalające na wizualizację stanu danego wyjścia. Do komunikacji z systemem i pulpitem wykorzystano złącza RJ45 oraz D-SUB (dziewięciopinowe).

Dołączony do stanowiska pulpit kierowcy pozwala na prowadzenie pełnej analizy programu. Pulpit komunikuje się za pomocą magistrali CAN z komputerami. Jego zadaniem jest wyświetlenie ważnych dla kierowcy informacji dotyczących aktualnego stanu autobusu a także zarządzanie ustawieniami. Zastosowano pulpit kierowcy firmy Actia, model Multic 2. Urządzenie to jest częścią kolumny kierowcy i pozwala na informowanie o aktualnym stanie i zarządzaniu autobusem przez kierowcę. Pulpit posiada duży ekran oraz szerokie menu pozwalające na wizualizację stanu najważniejszych systemów autobusu. Dwa przyciski dwupozycyjne umożliwią poprawną obsługę pulpitu, zmianę menu oraz nawigacji po ekranie Multic2.

Do stanowiska dołączono cyfrowe i analogowe moduły sygnałów wejściowych. Odpowiednio pierwszy składa się z dwudziestu przełączników trójpozycyjnych typu ON-OFF-ON. Moduł wejść analogowych składa się z czterech potencjometrów 10 k Ω o charakterystyce liniowej.

4.2. Schemat elektryczny testowego systemu multipleksowego w autobusie

Na rysunku 5 przedstawiono uproszczony schemat elektryczny stanowiska testowego. Czerwonym kolorem zaznaczono obwody zasilania. Stałe napięcie 24 V dostarczane jest przez przetwornicę napięcia. Jako zabezpieczenie obwodu wykorzystano 7 bezpieczników topikowych 20 A (osobny dla każdego obwodu). Z tego źródła zasilane są wszystkie urządzenia wchodzące w skład stanowiska. Linie czarne przedstawiają sygnały napięciowe sterujące urządzeniami lub sterownikami. Na zielono zaznaczono połączenia magistrali CAN. Łączy ona komputery Thoreb K30 oraz pulpit Actia.



Rys. 5. Schemat elektryczny stanowiska testowego

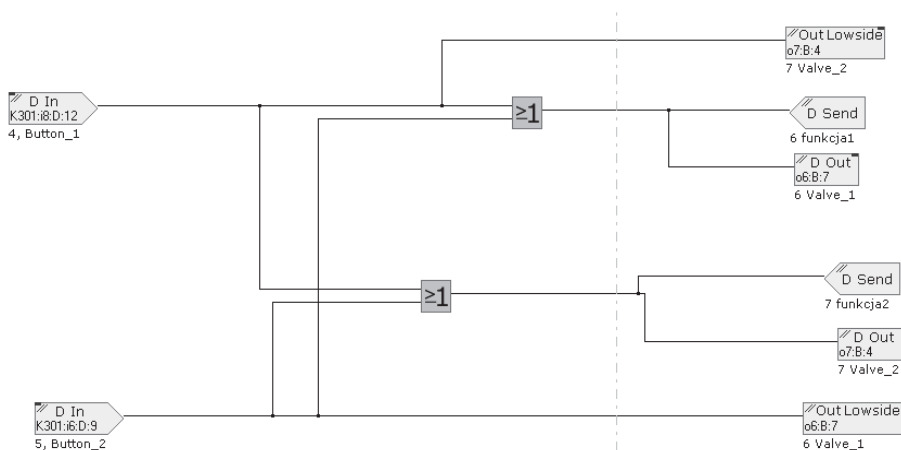
Zaciski magistrali zostały także wyprowadzone w postaci złącz: TH1 i PROG służących do programowania jednostek centralnych, pulpitu oraz CAN THOREB i CAN MULTIC (opcjonalna możliwość podłączenia innych sterowników do sieci CAN).

5. BADANIA PRZYKŁADOWEGO ALGORYTMU STEROWANIA

W ramach pracy opracowano i przetestowano algorytm sterowania zaworem trójdrożnym. Zawór posiada silnik wprawiający w ruch wewnętrzne mechanizmy pozwalające na otwieranie lub zamykanie zaworu. Kierunek pracy silnika określa się poprzez załączenie odpowiednio spolaryzowanego zasilania (zmiana polaryzacji powoduje zmianę kierunku pracy silnika).

Do testów, w celu ochrony wejść przed niebezpiecznymi stanami nieustalonymi podczas szybkiego przełączania stanów wyjść (zamiana stanu wyjścia z 24 V na 0 V), wykorzystano przełącznik typu 2-0-1.

Algorytm zrealizowano przy wykorzystaniu bramek logicznych OR. Na rysunku 6 przedstawiono schemat blokowy algorytmu, na którym zaznaczono bloki odpowiadające za sygnały wejściowe i wyjściowe. W momencie, kiedy zostanie naciśnięty jeden przycisk, pojawia się sygnał na obu bramkach OR. Przy każdym sygnale wejściowym pojawia się bloczek „Out Lowside”, który wysterowuje sygnał masowy. Aby ten bloczek zadziałał, dane wyjście musi być aktywne, dlatego oba przyciski są połączone do obu bramek OR sterujących działaniem danego wyjścia. Zgodnie z algorytmem, w momencie naciśnięcia jednego przycisku, na jednym wejściu pojawia się sygnał + 24 V a na drugim masa. Kiedy naciśniemy drugi przycisk, polaryzacja obu wyjść zostanie odwrócona. Zawór będzie raz się zamykał i innym razem otwierał.



Rys. 6. Program sterowania zaworem

Przedstawiony program nie jest skomplikowany. Przedstawia podstawowe zasady programowania komputerów Thoreb. W analogiczny sposób tworzona jest cała logika autobusu – należy zaprogramować każdy sygnał wejściowy od-

bierany przez każdy komputer oraz przydzielić do niego opracowaną funkcję zrealizowaną za pomocą bramek logicznych.

6. PODSUMOWANIE

Systemy multipleksowe to rozbudowane układy pozwalające na integrację wielu niezależnych od siebie sterowników. Dzięki jednej sieci komunikującej się za pomocą magistrali CAN kierowca uzyskuje kontrolę oraz podgląd na aktualny stan pojazdu. Inną zaletą takiej architektury jest możliwość diagnozy systemów bez ingerencji serwisu w instalację elektryczną oraz możliwość dowolnego zaprogramowania systemu. Najczęściej w skład systemu multipleksowego wchodzi multipleksery sterowane przez komputer centralny. Jednym z najbardziej popularnych zastosowań systemów multipleksowych są autobusy miejskie.

Zbudowane stanowisko pozwoliło na zapoznanie się i przetestowanie działania systemu multipleksowego na przykładzie rozwiązania firmy Thoreb. Stanowisko dzięki dużej ilości wejść i wyjść oraz wykorzystaniu dwóch komputerów pozwala na wypróbowanie napisanego programu przy jednoczesnej analizie działania fizycznego urządzenia. Takie stanowisko testowe pozwala na pracę w biurze konstrukcyjnym bez konieczności testowania programu w autobusie. Pozwala także na sprawne zasymulowanie i sprawdzenie działania programu dla pojazdu, który jeszcze nie został wyprodukowany. Pozwala to na zaoszczędzenie czasu i kosztów związanych z opracowaniem niezawodnego programu zarządzającego autobusem.

LITERATURA

- [1] Anton Herner, Hans-Jurgen Riehl, Elektrotechnika i elektronika w pojazdach samochodowych, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2013.
- [2] Martin Frei, Samochodowe magistrale danych w praktyce warsztatowej, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2016.
- [3] Praca zbiorowa, Sieci wymiany danych w pojazdach samochodowych. Informatory techniczne Bosch, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008.
- [4] Ralf Schwering, Fundamentals of LIN protocol, [dostęp 2.05.2017], dostępne na http://ece.eng.wayne.edu/~smahmud/ECECourses/ECE5620/Notes/LIN_Protocol.pdf.
- [5] Nota katalogowa firmy Continental VDO.
- [6] Kibes-32 Software Documentation ZR32-A.
- [7] Dokumentacja techniczna komputerów firmy Thoreb.
- [8] Materiały edukacyjne obsługi programu ElsyGraf.

TEST STATION OF CITY BUSES MULTIPLEX SYSTEM

The article discusses various solutions and construction of data bus in vehicles. In particular, the CAN bus, LIN and MOST bus characteristics are included. The general assumptions of the multiplex system architecture are discussed. The architecture concepts of the multiplex system were described, describing the Continental VDO and Thorob systems. As part of the work, the project was carried out and a test stand for the multiplex system used in city buses was constructed, on which a number of tests were carried out. The final part of the article discusses an exemplary testing program.

(Received: 19.02.2018, revised: 08.03.2018)