

TOMASZ JAROSZ*

PROBLEMATYKA ANALIZY DANYCH W MAGISTRALI
CAN W POJAZDACH SAMOCHODOWYCHTHE ISSUE OF DATA ANALYSIS
ON THE CAN AUTOMOTIVE VEHICLES

Streszczenie

Artykuł zawiera opis magistrali danych CAN stosowanej w pojazdach, podstawowe informacje o protokole, a także opis zrealizowanego analizatora CAN i przykład jego zastosowania. Badania i analizy zostały wykonane w warunkach drogowych i laboratoryjnych w pojeździe Skoda Fabia z silnikiem o zapłonie samoczynnym.

Słowa kluczowe: protokół CAN, analiza danych, analizator CAN

Abstract

The paper contains a description of the CAN bus technology used in vehicles, basic information about the protocol and a description of the realized CAN analyzer and an example of its use. Research and analysis were performed in the laboratory and road conditions in the vehicle with the Skoda Fabia diesel engine.

Keywords: CAN bus protocol, data analysis, CAN analyzer

* Mgr inż. Tomasz Jarosz, Instytut Teleinformatyki, Wydział Fizyki, Matematyki i Informatyki, Politechnika Krakowska.

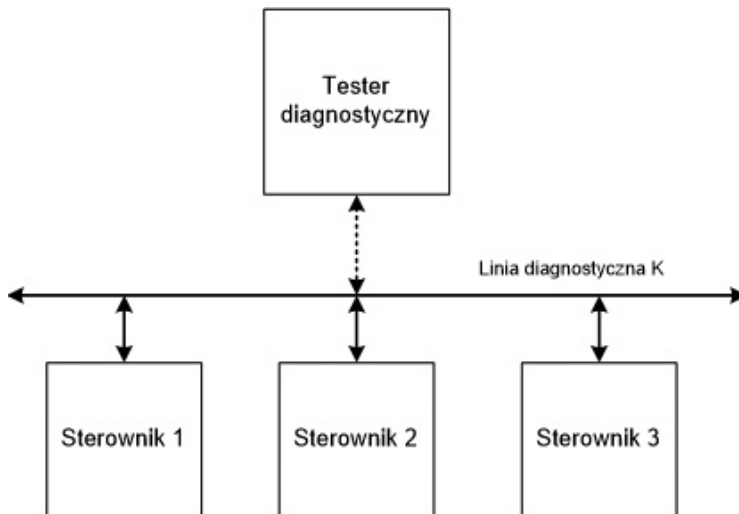
1. Wstęp

Lata 80. i 90. to przełom dla pojazdów motoryzacyjnych. Wiodące firmy motoryzacyjne zaczęły implementować w swoich pojazdach innowacyjne rozwiązania mechatroniczne mające na celu poprawę osiągnięć, bezpieczeństwa, komfortu oraz standardów ekologicznych.

Do wspomagania pracy systemów mechanicznych zaczęto wprowadzać coraz bardziej rozbudowane układy elektroniczne, które odpowiedzialne są za pracę poszczególnych układów i podzespołów pojazdu. Przykładem takiego układu może być elektroniczny program stabilizacji ESP (Electronic Stability Program) tj. układ elektroniczny stabilizujący tor jazdy samochodu podczas pokonywania zakrętu, przejmujący kontrolę nad połączonymi układami ABS i ASR. Zaistniała zatem potrzeba sprawnej komunikacji pomiędzy rozbudowanymi modułami sterującymi poszczególnymi podzespołami pojazdu, a także wprowadzenie centralnej jednostki sterującej i nadzorującej pracę wszystkich układów.

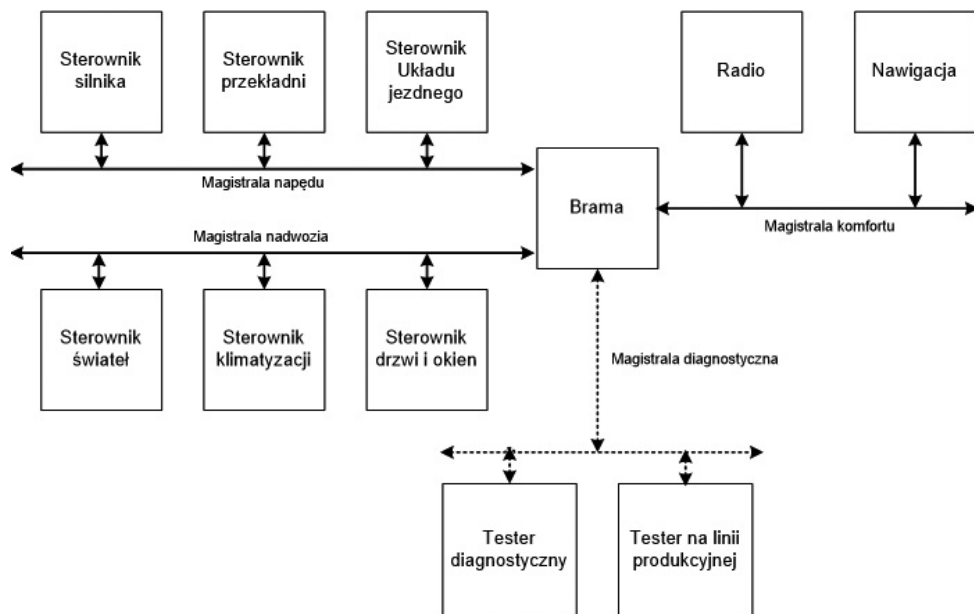
Pierwsze systemy pokładowe w pojazdach wymieniały dane analogowo w konfiguracji punkt-punkt. Dane cyfrowe z systemów mikroprocesorowych były konwertowane na postać analogową i przesyłane dużą ilością połączeń. Skutkowało to nadmiernym wzrostem liczby przewodów i złączy elektrycznych. Sygnały analogowe były następnie konwertowane ponownie na postać cyfrową, zrozumiałą dla systemu mikroprocesorowego. Zatem zachodziła podwójna konwersja sygnału (a/c i c/a), która po wprowadzeniu cyfrowej transmisji danych okazała się zbędna i została wyeliminowana.

Pierwsze transmisje danych cyfrowych służyły jedynie do odczytu zarejestrowanych w elektronicznych modułach usterek (skanowanie diagnostyczne). Skanery (testery) diagnostyczne komunikowały się z systemami wyposażonymi w wewnętrzną pamięć usterek. Transmisja danych była w trybie *off-board*, tj. na zewnątrz, nie stosowano jej do wymiany danych pomiędzy poszczególnymi systemami elektronicznymi pojazdu. Na rys. 1 przedsta-



Rys. 1. Topologia magistrali diagnostycznej K

Fig. 1. Diagnostic K bus topology



Rys. 2. System transmisji danych we współczesnym pojeździe

Fig. 2. Data transmission system in modern vehicle

wiono topologię działania magistrali diagnostycznej. Zewnętrzny tester diagnostyczny za pośrednictwem wspólnej linii diagnostycznej K komunikuje się ze sterownikami poszczególnych układów elektronicznych.

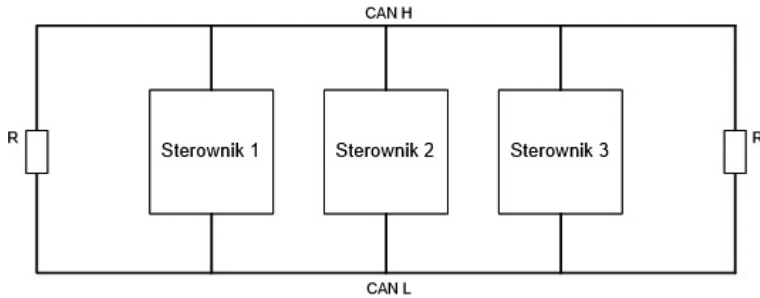
Konieczność szybkiej wymiany danych w zakresie skomplikowanej infrastruktury przyczyniła się do tego, że firmy motoryzacyjne skupiły się na wprowadzeniu szybkich magistrali cyfrowych, obejmujących swym zasięgiem kilkadziesiąt, a nawet kilkaset sterowników połączonych ze sobą za pomocą magistral, będących pod kontrolą specjalistycznego oprogramowania pokładowego (rys 2).

Zaowocowało to zmniejszeniem liczby przewodów pomiędzy modułami, a stosując cyfrową wymianę danych odporniejszą na zakłócenia, zmniejszono problem występujący w trakcie przesyłania danych drogą analogową. Wyeliminowało to zbędne przetworniki AD i DA służące jedynie do transmisji analogowej danych.

2. Magistrala CAN

Światowym liderem obecnie instalowanych magistral cyfrowych jest standard CAN (Controller Area Network) opracowany przez firmę Robert Bosch GmbH w 1986 r. [1]. Standard CAN to określenie magistrali i protokołu transmisji danych. Magistrala CAN to magistrala rozgłoszeniowa, nie ma wyodrębnionej jednostki nadrzędnej.

Razem ze standardem ISO 11898 i standardem SAE J2284 protokół CAN stał się normą międzynarodową do zastosowań w samochodach osobowych.



Rys. 3. Topologia magistrali CAN

Fig. 3. CAN Bus topology

W magistrali CAN nie ma wyodrębnionej jednostki nadrzędnej, dlatego należy ona do grupy magistral typu *multi-master*. Komunikaty CAN może nadawać dowolny moduł podłączony do magistrali i każdy system jest równorzędny przy inicjowaniu transmisji. W danej chwili tylko jedna stacja może pełnić rolę nadajnika. Komunikacja w standardzie CAN ma charakter rozgłoszeniowy, tzn. komunikaty nadawane na magistralę obierane są przez wszystkie podłączone do niej moduły (sterowniki). Również moduł wysyłający odbiera swoją wiadomość. Wiadomość CAN jest akceptowana lub ignorowana w zależności od tego czy odbiorca jest jej adresatem.

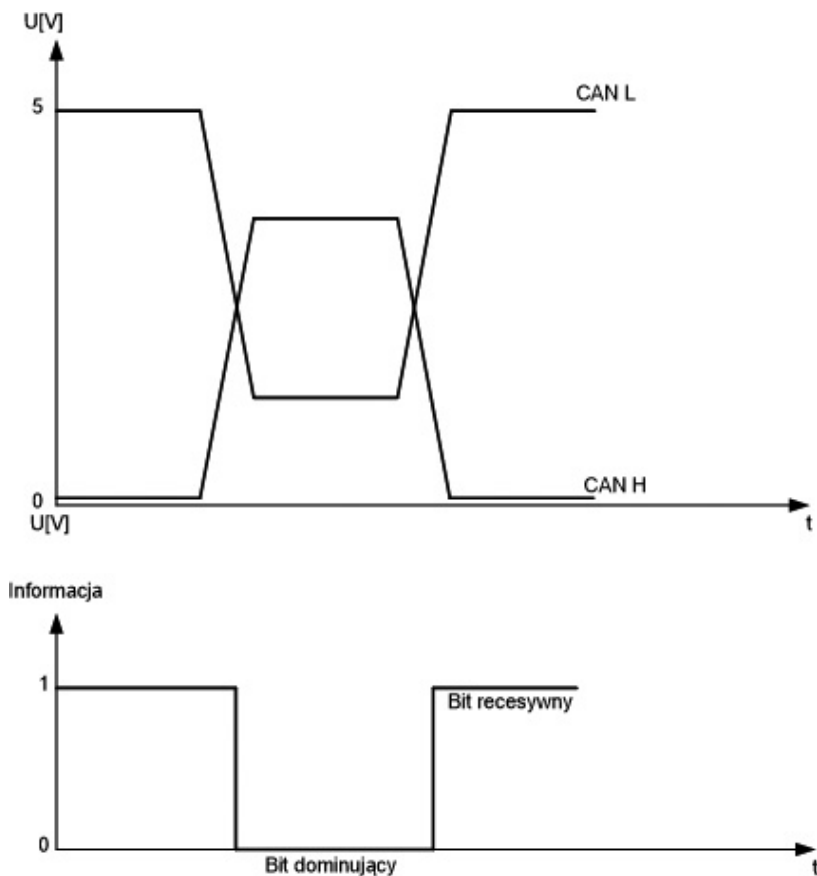
Ze względu na rozgłoszeniowy charakter transmisji oraz dużą ilość danych pojawiających się na magistrali, każdy moduł ma wbudowany sprzętowy filtr. Dzięki niemu moduł odbiera tylko interesujące go wiadomości.

Sieć CAN wyróżnia trzy warstwy w modelu komunikacyjnym:

1. Warstwa fizyczna:
 - medium transmisyjne,
 - poziom napięć sygnałów,
 - prędkość przesyłu;
1. Warstwa transferowa:
 - format wiadomości,
 - detekcja i blokada błędów,
 - arbitraż,
 - potwierdzanie odbioru wiadomości;
1. Warstwa obiektowa:
 - status wiadomości,
 - filtrowanie wiadomości.

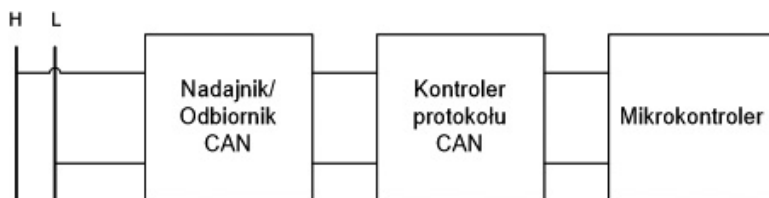
Warstwa fizyczna definiuje medium transmisyjne dla magistrali CAN, którą tworzą dwa przewody wykonane w formie skrętki zakończone impedancjami. Stan logiczny magistrali jest określany na podstawie różnicy napięć pomiędzy linią CAN H i CAN L (rys. 4). Fizyczny transfer danych to kodowanie informacji cyfrowej metodą NRZ (*non-return-to-zero*). Kodowanie to odporne jest na błędy, zakłócenia i niezawodne dzięki obsłudze sprzętowej i kontroli błędów. W celu wykrycia błędów transmisji wysyłany jest wielomian korekcyjny CRC zwany też sumą kontrolną.

Sieć CAN stosuje metodę SCMA/CA dostępu do magistrali z unikaniem kolizji oraz wykrywaniem błędów transmisji. Metoda CSMA/CA wymaga czasu reakcji wszystkich sterowników, nie dłuższego od czasu trwania 1 bitu. Każde urządzenie sterujące może nadawać, jeśli magistrala jest wolna przynajmniej przez czas trwania co najmniej trzech kolejnych bitów [5].



Rys. 4. Wartości napięcia i stan logiczny magistrali

Fig. 4. Voltage and bus logic state



Rys. 5. Struktura węzła magistrali CAN

Fig. 5. The structure of the CAN bus node

Bit oznaczający wartość logicznego zera jest dominujący, jedynka logiczna jest bitem recesywnym. Pojawienie się logicznego zera jest ważniejsze od obecnej tam logicznej jedynki i wykorzystywane jest to przy pierwszeństwie dostępu do magistrali. Jeśli dwa moduły w tym samym czasie chcą uzyskać dostęp do magistrali, to pierwszeństwo uzyskuje jednostka generująca więcej bitów dominujących, czyli logicznych zer.

Każdy sterownik (rys. 3) podłączony do magistrali CAN, nazywany również węzłem magistrali CAN, składa się z trancivera CAN (nadajnik/odbiornik), który realizuje funkcję galwanicznego połączenia sterownika do magistrali. Element ten odpowiada za konwersję sygnałów zerojedynkowych na postać różnicową oraz ochronę przed zwarciami i przepięciami występującymi na medium transmisyjnym. Kontroler protokołu CAN odpowiada za kontrolę przestrzegania reguł standardu CAN, obsługę błędów i dostępu do magistrali. Mikrokontroler steruje i kontroluje pracę całego węzła (rys. 5).

Warstwa transferowa sieci CAN definiuje format wiadomości, detekcję i blokadę błędów, arbitraż oraz potwierdzanie odbioru wiadomości

Identyfikator 11 lub 29 bit	Bity kontrolne 7 bit	Dane 0...8 bajt	CRC 15 bit
-----------------------------	----------------------	-----------------	------------

Rys. 6. Budowa ramki CAN

Fig. 6. Construction of CAN frames

Ramka CAN zaczyna się od bitu startu, który określa początek komunikatu i jest to bit dominujący [2]. Następnie pojawia się identyfikator. Pole to zajmuje 11 bitów dla standardu CAN 2.0A lub 29 bitów dla CAN2.0B. Na podstawie identyfikatora węzły prowadzą filtrację ramek. Filtracja akceptacyjna komunikatów odbywa się sprzętowo, dzięki temu obciążenie procesora jest mniejsze. Identyfikator informuje także o priorytecie komunikatu – im mniejsza liczba, tym większy priorytet. Jeśli jest kolizja przy dostępie do magistrali, wówczas wygrywa komunikat o wyższym priorytecie. Po wykryciu kolizji przesyłanie komunikatu z wyższym priorytetem jest kontynuowane a nadajnik komunikatu z niższym priorytetem przerywa transmisję i automatycznie powtarza ją zaraz po zwolnieniu magistrali. Pole trzecie to pole kontrolne, które określa, ile bajtów danych znajduje się w ramce oraz definiuje, czy jest to ramka zdalna. Ramka zdalna to specjalna ramka, w której jest zwykły identyfikator i nie zawiera danych. Za pomocą tej ramki jeden sterownik żąda danych od innego sterownika [3]. Ostatnie pole to CRC Cyclic Redundancy Check (15-bitowe pole sumy kontrolnej). Suma kontrolna liczona jest na podstawie wszystkich bitów poprzedzających pole sumy kontrolnej. Pole sumy kontrolnej kończy bit znajdujący się zawsze w stanie recesywnym. Czas trwania transmisji jednego komunikatu z ośmioma bajtami danych, z szybkością 500 kbit/s, to 225 μ s (identyfikator 11 bitowy) lub 260 μ s (identyfikator 29 bitowy).

Warstwa obiektowa opisuje metody filtrowania przesyłanych komunikatów CAN, określa także, czy jest to zwykły komunikat, czy też żądanie pobrania informacji.

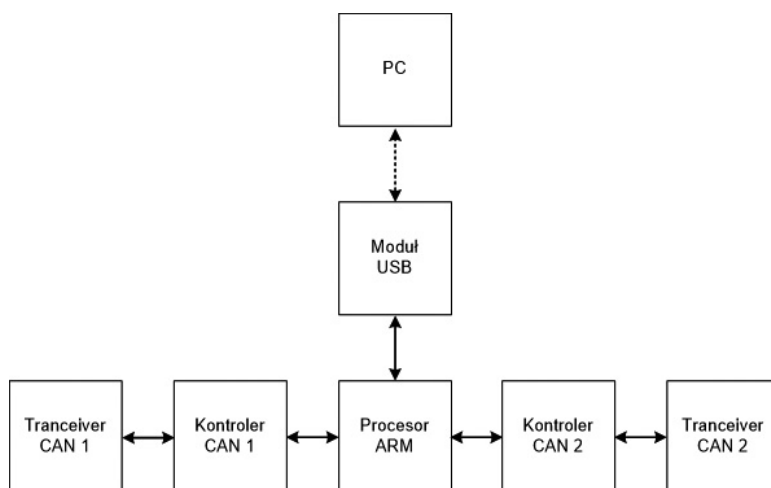
Magistrala CAN jest szybka i można ją wykorzystać wszędzie tam, gdzie jest wymagana niezawodna komunikacja. Dodawanie nowych modułów CAN nie wymaga rekonfiguracji całej sieci.

3. Analizator CAN

Analizator CAN powstał jako zaawansowane narzędzie do identyfikacji, diagnozy i analizy magistral CAN w technice samochodowej. Przy jego pomocy można wykryć defekty okablowania magistrali CAN, takie jak: nieprawidłowe przewody, zwarcia do masy lub plusa zasilania oraz problemy z impedancją.

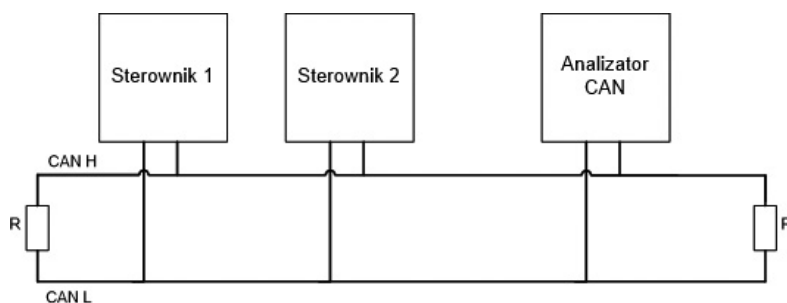
Analizator CAN został zaprojektowany w oparciu o wydajny 32bitowy procesor ARM. Do obsługi magistrali CAN zastosowano dwa układy z możliwością dopasowania impedancji do badanej magistrali CAN. Zastosowanie modułu transmisji USB znacząco zwiększyło prędkość transmisji pomiędzy analizatorem CAN a komputerem nadzorującym jego pracę, co w przypadku obecnie stosowanych magistrali CAN o prędkości 500 kb/s lub więcej ma duże znaczenie.

Tester CAN, pracując w trybie standardowym, ma możliwość identyfikacji magistrali i śledzenia wszystkich ramek pojawiających się na szynie CAN. Tester CAN po podłącze-



Rys. 7. Budowa analizatora CAN

Fig. 7. The construction of CAN analyzer



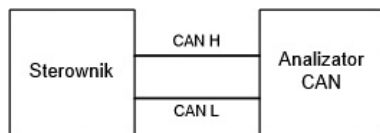
Rys. 8. Topologia w trybie standardowym

Fig. 8. Topology in standard mode

niu do magistrali CAN automatycznie skanuje wykrywając standardowe prędkości transmisji i dopasowuje się do nich. W nowoczesnych pojazdach ilość informacji przesyłanych na magistrali CAN jest ogromna, dlatego w analizatorze jest wykorzystywana filtracja akceptacyjna komunikatów. Funkcjonalność ta pozwala zdefiniować zakresy lub też pojedyncze identyfikatory ramek CAN, na których analizator ma operować. Poprawia to zdecydowanie ergonomię pracy filtrując wiele niepotrzebnych informacji. Przy pomocy tego skanera mamy możliwość wyodrębnić ramki CAN generowane przez dane urządzenie, a znając takie dane możemy diagnozować poprawność pracy czy nawet w przypadku jego usterki je emulować.

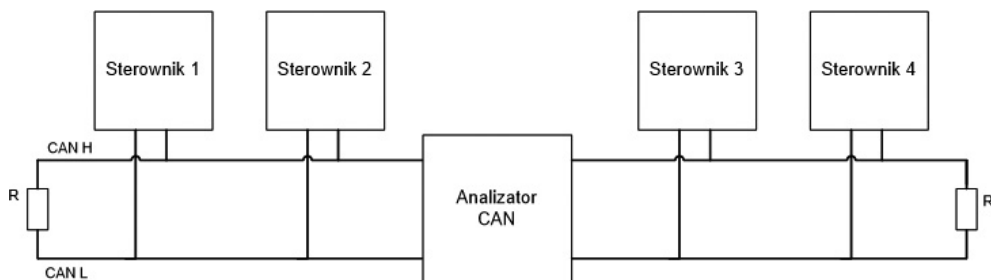
Analizator CAN może służyć także jako generator ramek CAN; taka funkcjonalność będzie bardzo pomocna w diagnozie modułów CAN. Jeśli w trybie skanera wyodrębnimy poprawne zapytania, to wykorzystując tryb generowania ramek możemy przeprowadzić procedurę diagnozy modułu. Procedura ta może być przeprowadzona wewnątrz pojazdu lub na stole diagnostycznym, a polegać będzie na wysyłaniu zapytań CAN i obserwowaniu odpowiedzi z badanego modułu CAN.

Analizator posiada dwa interfejsy CAN i możemy go uruchomić w trybie mostu. W tym trybie możemy połączyć dwie różne magistrale razem lub rozdzielić jedną na dwa segmenty. Pozwoli nam to na kontrolowanie komunikatów CAN przekazywanych pomiędzy segmentami magistrali, a za pomocą tablicy odwzorowań także modyfikację przekazywanej ramki. Ramka przechwycona w pierwszym segmencie jest modyfikowana według odwzorowania i przekazywana do drugiego segmentu. Wbudowana jest też funkcjonalność, która pozwala kontrować poprawność transmisji, sygnalizuje problemy z komunikacją w przypadku przecięcia przewodu, zwarcia, złego dopasowania impedancji lub też ciągu błędnych transmisji sugerujących problem z danym modułem CAN.



Rys. 9. Topologia w trybie off-line

Fig. 9. Topology in off-line mode



Rys. 10. Topologia w trybie mostu

Fig. 10. Topology in bridge mode

4. Analiza magistrali CAN

Jako przykład praktycznego zastosowania analizatora poniżej przedstawiono badania wykonane w samochodzie Škoda Fabia. Podczas postoju i jazdy analizator CAN śledził wiadomości przesyłane na magistrali CAN. Obserwowano zmieniające się wartości, ich zależności od stanu zapłonu, stanu pracy silnika i prędkości pojazdu. Poniższa tabela przedstawia zarejestrowane ramki CAN w formacie szesnastkowym.

Tabela 1

Przykładowe dane zarejestrowanych ramek w pojeździe

ID	Długość	Dane
271	1	87
351	8	00 00 00 00 75 7B 10
380	8	10 ff 00 04 80 00 00 00
480	8	50 2a 00 00 00 00 10 6a
488	8	bd 00 00 7b a6 00 00 60
280	8	d2 00 00 00 00 ff ff 00
288	8	5e ff 37 ff 00 65 00 00

Ramka z ID 0x271 ma długość jednego bajta i informuje o statusie zapłonu. Po wykonanych testach ze stacyjką można było zaobserwować następujące stany:

- 0x11 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 0,
- 0x01 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 1,
- 0x05 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 2,
- 0x07 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 3,
- 0x07 – stacyjka odblokowana, klucz w pozycji 4 rozrusznik kręci.

Natomiast w trakcie poruszania się pojazdu zaobserwowano ramkę CAN z wartościami zmieniającymi się w zależności od kierunku i prędkości pojazdu. Ramka z ID 0x351 zawiera informacje o prędkości pojazdu; na pozycji 0 zapisany jest kierunek jazdy: 00 – do przodu, 02 – do tyłu; na pozycji 1 i 2 podawana jest aktualna prędkość pojazdu.

W ramce z ID 0x480 zaobserwowano wzrost wartości przesyłanych danych w zależności od położenia pedału przyspieszenia, prędkości pojazdu i obciążenia silnika. Natomiast wartość tych danych zmniejszała się przy hamowaniu silnikiem. Dokładniejsze pomiary i analiza, która polegała na przechwyceniu powyższej ramki CAN, a następnie wygenerowaniu testowych danych wykazały, że jest to ramka informująca o chwilowym zużyciu paliwa, ponieważ wskaźnik spalania chwilowego na wyświetlaczu wielofunkcyjnym reagował na generowane fikcyjne dane.

W powyższej analizie przedstawiono tylko część zarejestrowanych wyników, ilość zarejestrowanych wiadomości była znacznie dłuższa.

5. Wnioski

Postęp technologiczny wymusił potrzebę sprawnej komunikacji. Oferowane przez producentów systemy stają się coraz bardziej zaawansowane, pojawiła się zatem potrzeba sprawnej diagnozy magistrali danych. Specjalistyczne urządzenia nie zawsze spełniają wszystkie stawiane im wymagania, a jednocześnie ich funkcjonalność jest wprost proporcjonalnie powiązana z ceną. Prezentowany analizator umożliwia sprawne i efektywne analizowanie magistrali CAN, monitorowanie przesyłanych komunikatów oraz wykrywanie anomalii. Analizator CAN można elastycznie dostosować do bieżących potrzeb, co umożliwia sprawowanie pełnej kontroli nad siecią CAN, a jego funkcjonalność nie odbiega od znacznie droższych produktów komercyjnych.

Literatura

- [1] Bosch, *CAN Specification Version 2.0*, 1991 (www.can.bosch.com).
- [2] Schmidgall, Zimmermann, *Magistrale Danych w Pojazdach. Protokoły i Standardy*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, WKŁ, Warszawa 2008.
- [3] Fryśkowski, Grzejszczyk, *Systemy transmisji danych. Mechatronika samochodowa*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, WKŁ, Warszawa 2010.
- [4] Merkiś, Mazurek, *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, WKŁ, Warszawa 2006.
- [5] Schauffele, Zurawka, *Automotive Software Engineering*, Vieweg Verlag 2006.