

Andrzej SUMOREK¹

ZRÓŻNICOWANIE PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH SYGNAŁÓW PROTOKOŁU CAN W POJAZDACH

W artykule przedstawiono ideę funkcjonowania magistrali bazującej na protokole Controller Area Network z uwzględnieniem sposobu sterowania dostępem do magistrali. Szczególny nacisk położono na parametry warstwy fizycznej (poziomy napięcie, szybkość magistrali). Zaprezentowane w artykule, rzeczywiste przebiegi sygnałów komunikacyjnych pochodzące z magistral CAN pojazdów wraz z obliczonymi parametrami przebiegów czasowych pozwolą zrozumieć, dlaczego tak trudne jest komunikowanie się z kontrolerami pojazdów za pomocą jednego testera diagnostycznego.

THE VARIABILITY OF ELECTRICAL PARAMETERS OF CAN PROTOCOL SIGNALS IN VEHICLES

The article presents the idea of the functioning of Controller Area Network (CAN) bus. The method of controlling of bus access is presented. Particular emphasis is placed on the physical layer parameters (voltage levels, bus speed). The article contains the real waveforms of communication signals derived from the CAN bus of vehicles. The calculated parameters of the waveforms let understand why it is difficult to communicate with different bus controllers using one vehicle diagnostic tester.

1. WSTĘP

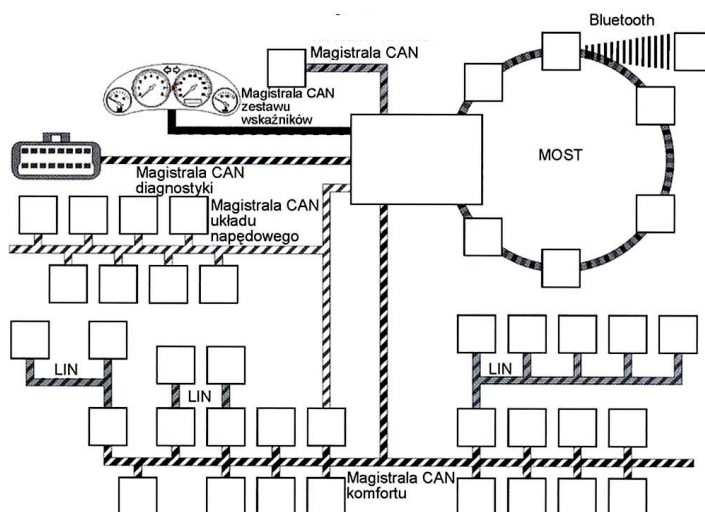
Działaniom inżynierów mechaników prowadzącym do podniesienia funkcjonalności, niezawodności oraz komfortu użytkowania środków transportu towarzyszą prace z zakresu szeroko pojętej elektrotechniki, elektroniki i informatyki. Dodatkowy wpływ na ostateczny kształt produktu mają użytkownicy środków transportu, a nawet organizacje, które na pierwszy rzut oka nie są bezpośrednio związane z transportem np. EPA (Environmental Protection Agency).

Wymienione „źródła nacisku” doprowadziły do zastosowania w pojazdach sieci wymiany danych. Nie opierając się na żadnej kategoryzacji można powiedzieć, że w pojazdach można spotkać sieci odpowiedzialne za emisję spalin, diagnostykę, systemy

¹ Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki; 20-817 Lublin; ul. Nadbystrzycka 38A, tel: + 48 81 538-4301, + 48 81 538-4299, Fax: + 48 81 538-4299, e-mail: a.sumorek@pollub.pl

multimedialne, komunikację bezprzewodową i sterowanie (X-by-wire) [8]. Ludzka potrzeba porządkowania wprowadziła 3 podstawowe klasy sieci komunikacyjnych wymienione w SAE J1850 [8, 9]. Różnią się one dedykowaną grupą zastosowań. Najbardziej widocznym czynnikiem różnicującym klasy jest szybkość magistrali.

W klasie A jest zakładana, że klasyczna wiązka elektryczna pojazdu zostanie zastąpiona pojedynczym przewodem magistralnym łączącym grupę urządzeń. Komunikacja magistrali w klasie A przeznaczona jest do wymiany prostych sygnałów dwustanowych i ciągłych (sygnalizacja stanu urządzenia kierowcy, sterowanie przez kierowcę urządzeniami za pomocą przełączników np. lusterka). Od magistrali oczekuje się, że zapewni komunikację z maksymalną prędkością 10 Kb/s i będzie ona sterowana zdarzeniowo [8, 9]. Ponieważ sieć klasy A jest siecią niskonakładową, to koszt obsługi jednego węzła mechatronicznego, który waha się w granicach 0,5÷1,0 USD, przyjęto za jednostkowy koszt używany do porównywania ceny obsługi węzła w innych typach sieci. Przykładowe protokoły obsługi sieci klasy A, to protokół UART, Sinebus, E&C, CCD, ACP czy zyskujący ostatnio na popularności protokół LIN (Local Interconnect Network) (rys. 1).



Rys.1. Przykładowe zastosowanie zróżnicowanych typów sieci/protokołów w pojeździe [3]

Celem wprowadzenia komunikacji klasy B jest umożliwienie wymiany danych cyfrowych pomiędzy sterownikami (węzłami) w sposób umożliwiający eliminację nadmiarowych czujników i innych elementów. Sieć komunikacyjna klasy B powinna także spełniać funkcje sieci klasy A [8]. Klasa B znajduje zastosowania inne niż diagnostyka oraz komunikacja o znaczeniu krytycznym. Zakres prędkości waha się pomiędzy 10 a 125 Kb/s. Protokół musi pracować obsługując komunikację zdarzeniową i synchroniczną. Koszt obsługi węzła jest dwukrotnością kosztu klasy A. Przykładowe protokoły obsługi sieci klasy B to single-wire CAN, CAN 2.0, ISO 11898-1, ISO 11898-2, ISO 11898-3, J1850,

SAE J1939 [9]. Specyfikacje ISO 11898 oznaczają konkretne wersje protokołu CAN. Widać więc, że klasa B jest zdominowana przez protokół Controller Area Network.

Magistrale i protokoły klasy C umożliwiają przesyłanie przez wspólną magistralę danych cyfrowych reprezentujących sygnały generowane w układach pracujących w czasie rzeczywistym. Dotyczy to np. systemów sterowania silnikiem. Komunikacja klasy C powinna także spełniać funkcje klas A i B [8]. Prędkość magistrali powinna być utrzymana w zakresie 125 Kb/s÷1 Mb/s. Takie prędkości powinny być utrzymywane w przypadku zastosowania okablowania za pomocą nieekranowane skrętki. Zakłada się, że koszt obsługi węzła klasy C będzie 3, 4 razy większy niż koszt jednostkowy [9]. Przykładowe protokoły klasy C: GMLAN (high), HSCAN, ISO 11898, J1939. Dwa ostatnie symbole, również symbolizują występowanie odmiany protokołu CAN.

Fakt, że protokół CAN, zdominował praktycznie komunikację w klasie B, jest stosowany w klasie C oraz, przy zaniedbaniu kosztów, może być stosowany w klasie A, wskazuje, że w pojeździe występuje duża liczba urządzeń pracujących w oparciu o ten protokół. O ich współpracę zadbał producent pojazdu. Z drugiej strony interfejs diagnostyczny pochodzący zazwyczaj od innego producenta niż pojazd, musi skomunikować się siecią opartą o CAN, często o nieznanymi parametrach. Problem rozpoznawania komunikatów sieci CAN nie dotyczy autoryzowanych stacji serwisowych, w których producent pojazdu dostarcza informacji o magistrali komunikacyjnej oraz udostępnia sprawdzony sprzęt diagnostyczny. Może zaś dotknąć niezależne warsztaty. Kolejny rozdział dotyczy zróżnicowania protokołu CAN w warstwie sprzętowej i warstwie aplikacji.

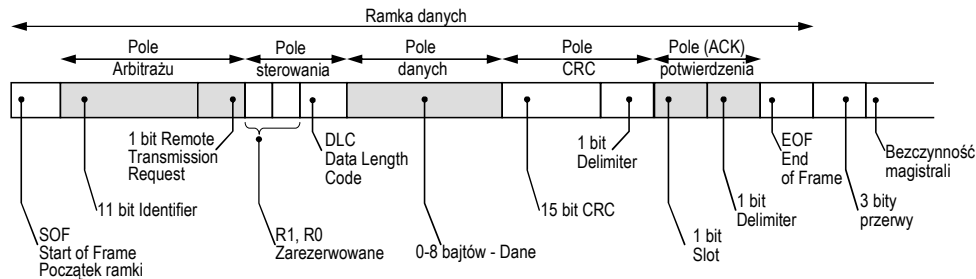
2. ODMIANY PROTOKOŁU CAN

2.1. Idea funkcjonowania protokołu

Protokół Controller Area Network wprowadzono praktycznie do pojazdów w roku 1991. Popularność protokołu wynika z prostej budowy ramki komunikacyjnej, co przekłada się na łatwą rozbudowę i modyfikację sieci, proste i skuteczne sterowanie dostępem węzłów do magistrali, stosunkowo wysokim transferem danych, kilkoma mechanizmami zapewniania poprawności transmisji i wykrywania błędów.

Węzły magistrali CAN pracują w trybie multimaster tj. węzeł wysyła ramki, które nie zawierają konkretnego adresu nadawcy i odbiorcy. Informacje z magistrali pobiera węzeł, którego oprogramowanie uzna informacje za istotne. Węzeł zaczyna nadawanie, jeżeli magistrala pozostaje wolna przez okres potrzebny na przesłanie trzech bitów. Jeśli minimum dwa węzły podejmą równocześnie nadawanie, arbitraż wykonywany jest w trakcie przesyłania bitów pola arbitrażu ramki komunikacyjnej (rys. 2). Na magistrali pozostaje urządzenie, w którego polu arbitrażu występuje „więcej bitów dominujących” (większy priorytet komunikatu) [3, 11, 14]. W wersji protokołu 2.0A pole arbitrażu ma długość 11 bitów. Wraz z wersją 2.0B protokołu, pole arbitrażu zostało poszerzone do 29 bitów. Mechanizm arbitrażu zapewnia gwarancję wystąpienia na magistrali komunikatu o najwyższym w priorytecie w konkretnym momencie. Bazując na 11 bitach pola arbitrażu (protokół w wersji 2.0A) można teoretycznie połączyć do 2023 urządzeń (zakładając jeden węzeł z jednym identyfikatorem) w pojedynczej sieci.

Należy wspomnieć, że protokół w wersji 2.0B zawiera pięć sposobów wykrywania błędów. Są to funkcjonujący w warstwie fizycznej protokołu bit monitoring i bit stuffing oraz działające w oparciu o zawartość i strukturę ramki: cyclic redundancy check, acknowledgement check i frame check.



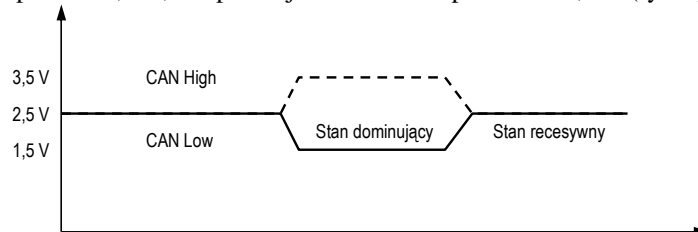
Rys.2. Struktura ramki protokołu CAN w standardzie A

2.2. Specyfikacje warstwy fizycznej

Najczęściej stosowane układy pracy magistrali CAN bazują na połączeniu dwuprzewodowym (np. skrętce). Przewody magistralne oznaczane są CAN-High i CAN-Low. Magistrala dla zmniejszenia zakłóceń interferencyjnych pracuje w trybie różnicowym tj. w oparciu o różnicę potencjałów przewodów CAN-High i CAN-Low.

Węzły sieci mogą być skojarzone w strukturę linearną, w której wszystkie sterowniki podłączone do tej samej magistrali. Innym rozwiązaniem jest struktura gwiazdista, która zawiera jednostkę centralną łączącą się kilka sterowników. Możliwa jest także praca w konfiguracji struktury pierścieniowej, w której sterowniki połączone szeregowo w okrąg. Struktura dobierana jest w zależności od pożądanego stopnia niezawodności magistrali.

Zdefiniowano 2 stany magistrali „kablowej”: recesywny (gdy napięcie pomiędzy przewodami jest niskie, np. $<0,5$ V), dominujący (gdy napięcie jest wysokie, np. $>0,9$ V). Stanom tym odpowiadają logiczne stany „1” i „0”, na bazie których konstruowana jest informacja zawarta w ramach komunikacyjnych protokołu. ISO **11898** zakłada, że stan recesywny magistrali wystąpi w przypadku równych potencjałów przewodów magistralnych, które w stosunku do masy sygnałowej będą miały potencjał 2,5 V z tolerancją 0-0,5 V. Normatywnie stan dominujący wystąpi, kiedy potencjał CAN-High powędruje na poziom 3,5 V, zaś potencjał CAN-Low spadnie do 1,5 V (rys. 3).



Rys.3. Poziomy napięcie magistrali CAN w standardzie 11898

Praktycznie stan dominujący powinien być rozpoznawany, kiedy napięcie pomiędzy CAN-High i CAN-Low waha się pomiędzy 0,9 a 2,0 V. Jeżeli transceivery węzłów będą pracowały z wymienionymi wyżej wartościami, rezystancja we/wy węzła będzie miała wartość 124 Ω , przewody magistralne będą miały przekrój poprzeczny z zakresu 0,25÷0,34 mm², to norma gwarantuje transmisję na poziomie 1Mb/s przy nieprzekraczaniu długości 40 m magistrali [11].

Standard **ISO 11898-2** (high speed) charakteryzuje dużą szybkość transmisji na poziomie warstwy fizycznej, taka jak maksymalna dla ISO 11898 tj. 1 Mbit/s przy magistrali o długości 40 m. Połączenia między węzłami sieci stanowi dwuprzewodowa linia magistrali zaterminowana na każdym z końców (120 Ω (110-130)). Normatywny zakres zmian napięcia różnicowego wynosi od -2 V na CAN-Low do +7 V na CAN-High. Dla linii magistralnej o topologii magistrali liniowej, przy prędkości przesyłania danych 1 Mb/s odgałęzienia nie powinny być dłuższe niż 0,3 m przy całkowitej długości magistrali równej 40 m. Przewody powinny być ułożone równolegle, zwinięte parami (skrętka). Wszystkie urządzenia powinny posiadać wspólne uziemienie [6, 13].

ISO11898-3 (fault-tolerant) wprowadza polepszone mechanizmy wykrywania błędów warstwy fizycznej, obsługę niskiego poboru mocy oraz tryb pracy systemu CAN pozwalającego na jego szybkie włączenie i wyłączenie. Możliwe jest funkcjonowanie magistrali w przypadku uszkodzenia jednego z przewodów. W stanie recesywnym linia CAN-Low jest ustawiona na wyższy potencjał niż linia CAN-High (ujemne napięcie w stosunku do poprzednio opisywanych magistral). Stan dominujący jest reprezentowany przez napięcie dodatnie. Zakres napięć różnicowych waha się pomiędzy -2 V i +7 V. Maksymalna liczba węzłów nie może być większa niż 32 przy transferze 125 kb/s przy długości sieci równej 40 m. Sieci standardu ISO11898-3 spotyka się w pojazdach europejskich w zakresie integracji układów elektronicznych nadwozia [6, 13].

W sieciach o niskich wymaganiach w zakresie przepustowości i długości magistrali stosowany jest standard **SAE J2411** (single wire). Wykorzystuje on jeden nieekranowany przewód, co pozwala na transfer z prędkością 33,3 kbit/s. Możliwe jest stosowanie w pojedynczej sieci do 32 węzłów. Dopuszcza się dowolną topologię sieciową (nie jest wymagana liniowa). Ze względu na swe ograniczone możliwości obsługuje sieci związane z komfortem z pojazdów [6, 13].

Standard **ISO 11992** (point-to-point) wprowadza się w sieciach o niskiej prędkości z wymaganą funkcją odporności na błędy. Możliwe jest osiągnięcie transferu 125 kbit/s przy maksymalnej długości magistrali 40 m. Standard definiuje metody zarządzania błędami magistrali i zakres napięć (12 V i 24 V). Medium transmisyjne stanowi nieekranowana skrętka. Jak wynika z nazwy, dedykowany do połączeń typu punkt-punkt np. ciągników i ich przyczep (truck and trailer) [12, 13].

2.3. Specyfikacje warstwy aplikacji

Mimo, że nie ma to bezpośredniego wpływu na parametry elektryczne sygnałów magistralnych, poniżej scharakteryzowano wybrane odmiany protokołu CAN, które różnią się parametrami w warstwie aplikacji protokołu lub gotowymi funkcjami, dzięki czemu możliwe jest ich łatwiejsze używanie w zastosowaniach o specyficznych właściwościach.

Specyfikacja **DeviceNet** odnosi się do komunikacji w sieci do przesyłania danych pomiędzy elementami systemu kontroli przemysłowej o prędkości transmisji od 125 Kb/s

(500 m) do 500 Kb/s (100 m). DeviceNet opisuje zarówno protokół komunikacyjny i jego użycie w ramach DeviceNet jak i same współpracujące urządzenia (w celu uzyskania ich prawidłowego działania oraz wymienialności). W sieci DeviceNet oczekuje się, że nie będzie występowało więcej niż 64 węzły (zapewnienie adresacji do 64 węzłów za pomocą MAC IDs - Media Access Control Identifiers). DeviceNet dedykowany jest do obsługi automatyki przemysłowej. Połączenia magistralne realizowane na bazie taniego przewodu telekomunikacyjnego [6].

CANopen przeznaczony jest do tworzenia ustandaryzowanych sieci obsługujących systemy wbudowane. Zapewnia kontrolę błędów, przesyłanie pilnych wiadomości oraz wykrywanie uszkodzeń w sieci. Wyszczególniono 2 mechanizmy wykrywania rozłączenia urządzeń systemu. Sieci CANopen mają zastosowanie w szczególności w pojazdach (kolej, statki, samoloty), urządzeniach medycznych, w systemach informacyjnych, systemach ogrzewania i chłodzenia (np. klimatyzacja) [6].

CAN Kingdom jest protokołem warstwy wyższej dającym możliwość korzystania z protokołu CAN bez bezpośredniego powiązania z samym protokołem. Dzięki niemu możliwe jest tworzenie systemów CAN za pomocą wirtualnej magistrali i topologii. Zamiast tradycyjnego programowania sieci CAN, stosowany jest model królestwa. Programista definiuje królestwo: miasta mają pełnić narzucone zadania oraz odbierać i wysyłać informacje za pomocą systemu poczty. CAN Kingdom wykorzystuje kluczowe funkcje CAN tj: sterowanie dostępem do magistrali za pomocą identyfikatorów (pole arbitrażu z rys. 2) oraz to, że struktura pola danych jest identyczna w wiadomościach nadawanych i odbieranych. CAN Kingdom wprowadza prosty system identyfikacji węzłów oparty o światowy identyfikacji EAN/UPC wykorzystywany do identyfikacji węzłów, które teraz mogą być adresowane za pomocą numerów seryjnych [6].

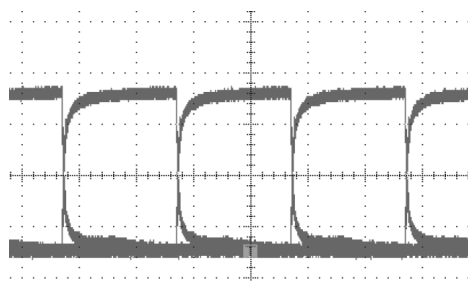
W protokole CAN wykorzystuje się reakcje węzłów na zdarzenia (event-triggered). Nie stosuje się mechanizmu wyzwalania aktywności węzłów w oparciu o czas zegarowy. Dopiero protokół **TTCAN** (Time Triggered CAN, standard ISO 11898-4) zapewnia konkretny czas, w którym wiadomości mają być przesyłane. Komunikacja w protokole TTCAN oparta jest na czasowym wysyłaniu wiadomości odniesienia (Reference Message) z czasem odniesienia (znacznik czasowy) generowanym przez zegar. Dzięki temu wiadomości mogą być transmitowane przez węzły odbierające „sygnał czasu” w określonym momencie. Istnieje dodatkowa możliwość transmitowania wiadomości powodowanej wystąpieniem zdarzenia w zadanym oknie

3. PRZEBIEGI MAGISTRALNE W PRAKTYCE

Treść rozdziału 2 jedynie sygnalizuje problemy wynikające z różnorodności praktycznej implementacji protokołu CAN, z którymi może się spotkać diagnosta pojazdu wyposażonego w taką magistralę. Sytuacja ta nie dotyczy specjalizowanego serwisu dysponującego testerem dedykowanym do konkretnych zastosowań. Można powiedzieć, że nie ma urządzeń uniwersalnych, które są w stanie skomunikować się i zinterpretować sygnały magistrali CAN w wszystkich możliwych mutacjach fizycznych czy programowych protokołu CAN (1 protokół CAN przy 5 specyfikacjach warstwy fizycznej, 4 specyfikacjach warstw wyższych, 2 (nieopisane tutaj) typach kontrolerów). Różnorodność układów elektronicznych składających się na węzły magistrali CAN powoduje, że układy te nawet pomimo stosowania pojedynczego standardu różnią się

szczegółami wykonania i nie muszą być w pełni kompatybilne [7]. Nie można wymagać, aby diagnosta pojazdu stosował specjalizowany oscyloskop, samodzielnie interpretował stany magistrali i tłumaczył je na komunikaty błędów, czy też korzystał z profesjonalnego, kosztownego analizatora magistrali [4, 7]. Kolejne akapity zawierają oscylogramy rzeczywistych przebiegów czasowych magistrali CAN. Mają one za zadanie pokazać, że mimo standaryzacji, trudno jest znaleźć identycznie pracujące kontrolery magistrali.

Na rysunku 4 zamieszczono przebieg czasowy napięcia na przewodach magistralnych magistrali utworzonej przez transceivery typu SN65HVD233 przyłączone do magistrali o długości zbliżonej do 200 m [5]. Celem autorów badań było określenie wpływu wzajemnego położenia kontrolerów na magistrali (odległości pomiędzy nimi) na takie zakłócenia jak wielokrotne bity dominujące, czy falę bitów odbitych. Przed zilustrowaniem przebiegów zakłóconych pokazano prawidłowy sposób funkcjonowania magistrali (rys. 4).



Rys.4. Nałożone przebiegi sygnału magistrali CAN z badań wpływu położenia węzłów na zakłócenia magistrali [5]

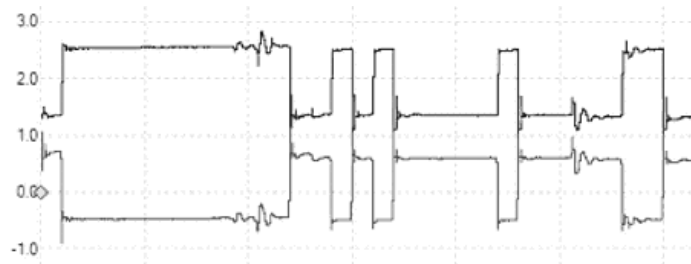
Przebieg z rys. 5 stanowi podstawę do rozważań nad odpornością magistrali na uszkodzenia przewodów w publikacji [11]. Jest on przebiegiem odniesienia dla przebiegów magistral CAN obsługujących systemy trakcji, komfortu i multimediów pojazdu, w których dokonano zwarć lub przerwania jednego z przewodów magistralnych.



Rys.5. Rzeczywiste, przykładowe przebiegi napięcia magistrali CAN [11]

Na rysunku 6 zamieszczono przebiegi z magistrali CAN samochodu Audi TT Quattro z roku 2001 [1]. Odkształcone przebiegi protokołu CAN posłużyły do lokalizacji uszkodzenia sygnalizowanego na desce rozdzielczej samochodu przez przypadkowe,

nieokresowe świecenie kontrolki ESP. Przebieg z rys. 6 przedstawia prawidłowe przebiegi, już po usunięciu uszkodzenia [1].

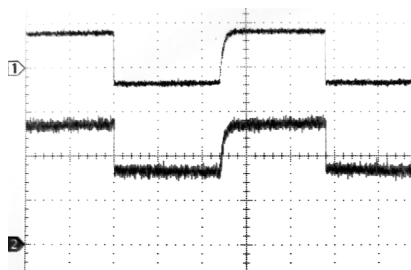


Rys.6. Rzeczywisty przykładowy przebieg magistrali CAN [1]

Tab. 1. Obliczone parametry przebiegów magistralnych

Obiekt, magistrala	Średni czas trwania bitu [μs]	Szacowana przepustowość magistrali [kb/s]	Zmiana napięcia linii przy zmianie stanu z recesywnego na dominujący [V]		Średni czas narastania sygnału do stanu ustalonego [μs]
			Linia CAN-High	Linia CAN-Low	
Magistrala kontrolerów SN65HVD233 (rys. 4) [5]	4,42	226	1,395	1,395	2,095
CAN w wer. wzorcowej (rys. 5) [11]	9,78	102	3,750	4,375	0,003
Audi TT Quattro (rys. 6) [1]	1,875	533	1,545	1,077	0,417
Volkswagen Passat 1.8 T (rys. 7)	95,70	10	0,660	0,560	6,156

Przebiegi zamieszczone na rys. 7 zarejestrowano w czasie testowania pojazdu Volkswagen Passat 1.8 T (rocznik 2002) za pomocą testera diagnostycznego Bosch KTS 540 (Wireless). Przebiegi rejestrowano w trakcie wykonywania procedury testowania systemu klimatyzacji pojazdu, za pomocą oscyloskopu Tektronix 3032B wpiętego bezpośrednio w złącze diagnostyczne ODB pojazdu.



Rys.7. Przebieg sygnałów magistrali CAN w komunikacji diagnostycznej pojazdu Volkswagen Passat

Na podstawie przebiegów zarejestrowanych i pozyskanych ze źródeł zewnętrznych wykonano zestawienie wybranych parametrów napięciowych i czasowych przebiegów magistrali CAN. Zestawienie tych parametrów zamieszczono w tab. 1.

4. PODSUMOWANIE

Pomiary praktyczne wraz z danymi pochodzącymi ze źródeł zewnętrznych potwierdzają tezę, którą inżynierowie i technicy elektronicy wyczuwają podświadomie. Mianowicie liczba odmian protokołu CAN w zastosowaniach motoryzacyjnych i przemysłowych jest tak duża, że biegłą umiejętność obsługi magistrali CAN można osiągnąć tylko dla ograniczonej liczby typów magistrali. Przypadkowo dobrane przykłady magistral (rozdział 3), których wybrane parametry zamieszczono w tab. 1 wskazują, że można spodziewać się dużego rozrzutu parametrów. W czterech analizowanych przypadkach nie udało się napotkać nawet dwóch magistral o zbliżonych parametrach. Przekrój przepustowości waha się od 10 kb/s (tab. 1, wiersz 4) do 533 kb/s (tab. 1, wiersz 3). Zakres zmian napięć na liniach magistralnych w czasie ich funkcjonowania wynosi od 0,56 do 4,38 V. Podobnie szeroko zmienia się czas narastania impulsów.

Istnieją dwie drogi postępowania w przypadku konieczności pracy z sygnałem o tak zróżnicowanych parametrach:

- serwisanci pojazdów zmuszeni są do zakupu specjalizowanego testera do konkretnego modelu, czy rodziny modeli pojazdów, w którym z góry zakłada się obsługę konkretnej wersji protokołu;

- projektanci, badacze, twórcy systemów magistralnych muszą skorzystać z uniwersalnych oscyloskopów o szybkościach dużo większych niż szybkość sieci lub oscyloskopów z wbudowanym analizatorem, który potrafi nie tylko wyświetlić przebieg, ale również dla wybranej grupy protokołów rozpoznać i zinterpretować ramkę komunikacyjną (np. oprogramowanie protokołów CAN, LIN i FlexRay oscyloskopów serii Infiniium 90000 firmy Agilent).

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Banks M.: *2001 Audi TT Quattro CAN Bus Fault*. <http://www.picoauto.com/tutorials/audi-can-bus.html>, Pico Technology, United Kingdom, May 2010.

-
- [2] Bosch R. GmbH: *CAN Specification. Version 2.0*, Stuttgart, 1991.
- [3] Bosch R. GmbH: *Sieci wymiany danych w pojazdach samochodowych*, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2008.
- [4] Boys R.: *Practical testing of the CAN physical layer*. Dearborn Group. CAN Newsletter 2/2005, s. 32-35.
- [5] Corrigan S.: *Critical Spacing of CAN Bus Connections*, Application Report, Texas Instruments, Nov 2008 /Jan 2009.
- [6] Jakubicki D., Kalecki M.: *Controller Area Network - informacje*. <http://free.of.pl/c/can1/>, January 2007.
- [7] Jantos J., Mamala J.: *Identyfikacja protokołu transmisji magistrali CAN w pojazdach rolniczych*, Inżynieria Rolnicza, 6 (94)/2007, s. 57-63.
- [8] Lupini C.A.: *In-Vehicle Networking Technology for 2010 and Beyond*, SAE International, USA 2010.
- [9] Merkisz J., Mazurek S.: *Pokładowe systemy diagnostyczne pojazdów samochodowych*, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2007.
- [10] Widerski T., Kędzierski J.: *Samochodowe sieci informatyczne (CAN)*, Auto Moto Serwis, 4/2004, Warszawa, Wydawnictwo Instalator Polski, s. 38-42.
- [11] Widerski T.: *Samochodowe sieci informatyczne*. Poradnik serwisowy, 5/2005, Warszawa, Wydawnictwo Instalator Polski 2005.
- [12] Zeltwanger H.: *J1939-based application profiles*. CAN in Automation GmbH, 2005.
- [13] Zeltwanger H.: *The CAN physical layer*. CAN in Automation GmbH, Erlangen, 2004.
- [14] Zimmermann W., Schmidgall R.: *Magistrale danych w pojazdach. Protokoły i standardy*, Warszawa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 2008.