

Magistrala CAN, część 2

Zdecentralizowana wymiana danych

W pierwszej części artykułu opisano historię, ustalenia normalizacyjne i podstawową strukturę systemu komunikacyjnego CAN opracowanego przez niemiecką firmę Roberta Boscha. W drugiej części skupimy się na protokole transmisji danych, który określa możliwości i niezawodność tego samochodowego systemu przesyłania danych cyfrowych.



Wstęp

Jak już opisano w pierwszej części artykułu, CAN jest szeregowym, asynchronicznym systemem komunikacyjnym łączącym czujniki i elementy wykonawcze elektronicznych stacji sterujących w samochodach. Wśród wielu jego funkcji główną jest przesyłanie danych cyfrowych. Jest to system asynchroniczny, ponieważ każda stacja (nazywana także „węzłem”) jest synchronizowana przez wiadomość z innej stacji, z boczem wiodącym pierwszego bitu wiadomości (komunikatu), a także następnych wiodących zboczy pozostałej części wiadomości. Zdolność każdej stacji do synchronizowania innej stacji jest określona przez maksymalną różnicę częstotliwości ich oscylatorów. Innymi czynnikami są, na przykład, czas trwania bitu, czas trwania i struktura wiadomości oraz potwierdzenie odbioru (ang. handshaking). Najważniejsze elementy sieci tworzą jej warstwę fizyczną zawierającą topologię sieci i podłączenia do magistrali oraz warstwę przesyłania danych, która określa, ja-

kie medium transmisji danych jest dostępne, jaka jest struktura wiadomości (adres, dane, kontrola i zabezpieczenia przed błędami) i jaki jest protokół transmisji danych.

Zastosowanie

Wymiana informacji między dwoma stacjami sieci może odbywać się dwoma sposobami: przez odwołanie się do określonej stacji (zorientowanie na stację) lub przez podanie określonej wiadomości (zorientowanie na wiadomość).

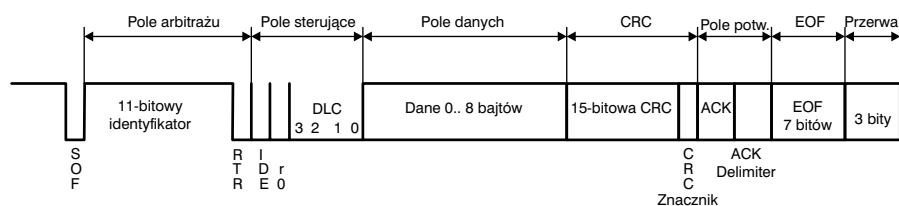
Adresowanie stacji

W tym trybie nadawca adresuje odbiornik podając po prostu adres odbiornika, na przykład: „Stacja 25 przesyła wiadomość do stacji 37”. W ten sposób ustalone jest rzeczywiste połączenie między nadajnikiem (wysyłającym) i odbiornikiem (odbierającym).

Dlatego transmitowany pakiet danych zawiera adres stacji odbiorczej, a także stacji nadającej. Pozostałe stacje dołączone do magistrali ignorują ten pakiet ponie-

Artykuł publikujemy na podstawie umowy z wydawcą miesięcznika „Elektor Electronics”.

Editorial items appearing on pages 21..24 are the copyright property of (C) Segment B.V., the Netherlands, 1998 which reserves all rights.



Rys. 6. Struktura ramki danych (format ramki standardowej – CAN 20A).

waż nie jest on do nich adresowany.

Stacja odbierająca ocenia wiadomość i zazwyczaj potwierdza jej odbiór. W przypadku wystąpienia błędu podczas transmisji danych (brak potwierdzenia z odbiornika), stacja wysyłająca powtarza wiadomość.

Wymiana określona wiadomością

W tym trybie stacja nadająca dodaje do wiadomości niepowtarzalny identyfikator i wysyła wiadomość wraz z tym identyfikatorem przez magistralę, na przykład: „Stacja A przesyła wyniki pomiaru napięcia z identyfikatorem 978“. W tym trybie adresy stacji nadawczej i odbiorczej nie są dołączane do wiadomości.

Taka wiadomość jest oczywiście przeznaczona do kilku stacji odbiorczych dołączonych do magistrali, które korzystają z niej zgodnie z dewizą: „Pobieraj z magistrali to co jest ci potrzebne“. Wówczas kilka stacji musi określić za pomocą swojego oprogramowania, czy wiadomość jest odpowiednia dla nich czy nie.

Przepływ wiadomości

Przepływ wiadomości między indywidualnymi stacjami dołączonymi do magistrali CAN jest realizowany przez nadawanie w warunkach kontrolowanej rywalizacji opatrzonej odpowiednim priorytetem wiadomości lub ramek.

Dominujące i recesywne stany magistrali lub bitów

Rzeczywista transmisja danych przez medium transmisyjne danych nie odbywa się jak zwykle w postaci jedynek i zer, ale przez bity dominujące i recesywne (ustępujące, dominowane). Stan recesywny jest rodzajem stanu magistrali, który może być „przykrywany“ (nadpisywany) przez stan dominujący magistrali. W ten sposób, gdy stacja dołączona do

magistrali wysyła recesywny (ustępujący, dominowany) bit, a inna stacja w tym samym czasie wysyła bit dominujący, to bit dominujący pierwszeństwo przed bitem recesywnym, co oznacza, że stan dominujący jest akceptowany przez całą magistralę. Przyporządkowanie stanów logicznych na magistrali jest generalnie takie, że wartość logiczna zero reprezentuje stan dominujący, a wartość logiczna 1 stan recesywny.

To ustalenie tworzy podstawy specyfikacji CAN i będzie dokładniej opisane dalej.

Pakiety danych

Do wymiany danych przez magistralę, w sieci używane są cztery rodzaje pakietów danych nazywanych zazwyczaj ramkami: ramka danych, ramka zdalnego wywołania, ramka sygnalizacji błędu i ramka przepełnienia.

Ramka danych

Ramka danych jest stosowana przez stacje aby zgodnie z ich oprogramowaniem przesłać dane w linię. Format typowej ramki, która składa się z pojedynczych pól pokazano na **rys. 6**. Jest to format ramki standardowej, zgodny ze specyfikacją systemu CAN2.0A. Znaczenie poszczególnych elementów składowych ramki podanych na rysunku jest następujące:

SOF. Jest to bit startowy ramki, który jest zawsze bitem dominującym (0). Wszystkie stacje dołączone do magistrali synchronizują swoje wewnętrzne stopnie odbiorcze z narastającym zboczem tego bitu (impulsu).

Pole arbitrażu (decyzyjne). To pole, o długości 12 bitów, zawiera dane określające dostęp do magistrali.

Identyfikator 11-bitowy. To pole zawiera identyfikator (ID) transmitowanych ramek. Słowo 11-bitowe umożliwia utworzenie aż do $2^{11} = 2048$ różnych iden-

fikatorów, z których dostępnych jest tylko 2032: pozostałych 16 jest zarezerwowanych dla specjalnych funkcji. To oznacza, że pojedynczy sterownik sieci może przetworzyć 2032 różnych wiadomości (wartości zmierzone, pozycja przełączników, funkcje sygnalizacyjne itp.). Chociaż wydaje się, że jest to duża liczba, to w wielu zastosowaniach nie jest wystarczająca. Dlatego też został opracowany format ramki rozszerzonej EFF (ang. Extended Frame Format) z identyfikatorem 29-bitowym (CAN 20B). W tym standardzie może być przetworzonych $2^{29} = 536\,870\,912$ ramek.

Bit zdalnego żądania transmisji RTR (ang. Remote Transmission Request). Ten bit, który jest zwykle dominującym (0), umożliwia stacji zaadresowanie i wysłanie wiadomości do innej określonej stacji. Jest to bardzo ważne, gdy jakieś dane są pilnie potrzebne do przetworzenia (więcej na ten temat dalej).

Pole kontrolne Jest to 6-bitowe pole zawierające informację jak zbudowana jest ramka danych.

Bit rozszerzenia identyfikatora IDE (ang. Identifier Extension). Wartość tego bitu wskazuje czy jest transmitowana ramka w standardowym formacie z identyfikatorem 11-bitowym (bit IDE ń dominujący = 0), czy ramka w formacie rozszerzonym z identyfikatorem 29-bitowym (bit IDE ń recesywny = 1).

Bit r0 (bit rezerwowany 0). Ten dominujący bit został przewidziany jako zapasowy dla ewentualnego rozszerzenia specyfikacji systemu.

DLC (ang. Data Length Code). To 4-bitowe pole wskazuje ile bajtów danych jest kolejno transmitowanych w polu danych. Specyfikacja systemu CAN określa długość pola danych na 0..8 bajtów, to oznacza, że w pojedynczej ramce danych może być transmitowanych nie więcej niż 8 bajtów danych.

Pole danych. To 8-bajtowe pole zawiera bajty transmitowanych danych (0..8).

Pole CRC. Pole CRC o długości 15 bitów zawiera dodatkowe informacje wprowadzone w celu zabezpieczenia transmitowanych danych przed błędami. W tym celu

stacja nadająca tworzy, zgodnie z określonymi zasadami, 15-bitową sumę kontrolną CRC na podstawie wysyłanych danych i wysyła ją razem z ramką danych. Stacja odbierająca oblicza, zgodnie z tymi samymi zasadami, na podstawie odebranych danych podobną sumę kontrolną i porównuje ją z odebraną. Jeżeli wartości tych dwóch sum są identyczne (zwykły przypadek), to transmisję danych można kontynuować. Jeżeli sumy nie są identyczne, to uruchamiana jest procedura korekcji błędów. Pole CRC jest kończone bitem ogranicznika, który jest zwykle transmitowany w postaci recesywnej.

Pole potwierdzenia. To 2-bitowe pole potwierdzenia służy do wysłania potwierdzenia poprawności odebrania ramek danych.

Przerwa ACK. To 1-bitowe pole jest transmitowane w postaci recesywnej i dlatego może być „przykryte” (nadpisane) bitem dominującym transmitowanym przez inną stację dołączoną do magistrali. Umożliwia to stacjom odbierającym wysłanie potwierdzenia odebrania poprawnej ramki danych. Bit potwierdzenia jest bitem dominującym i jest transmitowany przez stację, zawsze po odebraniu wiadomości wolnych od błędów. Ponieważ jest to bit dominujący, to „przykrywa” bit recesywny wysyłany przez stację nadającą. A zatem, jeżeli stacja nadająca odbiera bit dominujący podczas okienka przerwy ACK, zamiast swojego własnego, wysłanego wcześniej bitu recesywnego, to jest informowana, że przynajmniej jedna stacja odebrała wiadomość.

Okienko przerwy ACK jest zakończone transmitowanym również recesywnie bitem ogranicznika ACK (ang. ACK Delimiter).

Pole zakończenia ramki EOF (ang. End of Frame). To pole składa się z siedmiu recesywnych bitów i kończy ramkę danych.

Przed następną ramką danych, która może być transmitowana, stacje odbierające potrzebują krótkiej przerwy, która umożliwia im przetworzenie lub przynajmniej zapamiętanie odebranych danych. Przerwa ta (ang. Intermission) jest określona przez trzy recesywne bity pola przerwy kończącego ramkę danych.

Z powodu braku miejsca, format ramki rozszerzonej (EFF) nie będzie tu omawiany; zasady jej tworzenia są takie same jak dla formatu ramki standardowej (SFF).

Unikanie konfliktów

Ponieważ wszystkie stacje są dołączone do jednej magistrali CAN, to pojawiają się dwa problemy, które należy rozwiązać:

- Co stanie się, gdy kilka stacji zechce wysłać wiadomość w tym samym czasie?
- Jak jest podejmowana decyzja, która stacja może rozpocząć nadawanie, a która stacja musi poczekać ze swoją transmisją?

Oczywiście, nie rozwiązanie tych kwestii może prowadzić do konfliktów i w celu ich uniknięcia stosowana jest specjalna procedura dostępu do magistrali, która musi być przestrzegana przez wszystkie stacje, gdy chcą wysłać wiadomości. W tej procedurze ważną rolę odgrywają właśnie bity dominujące i recesywne w polu arbitrażowym (ang. Arbitration Field).

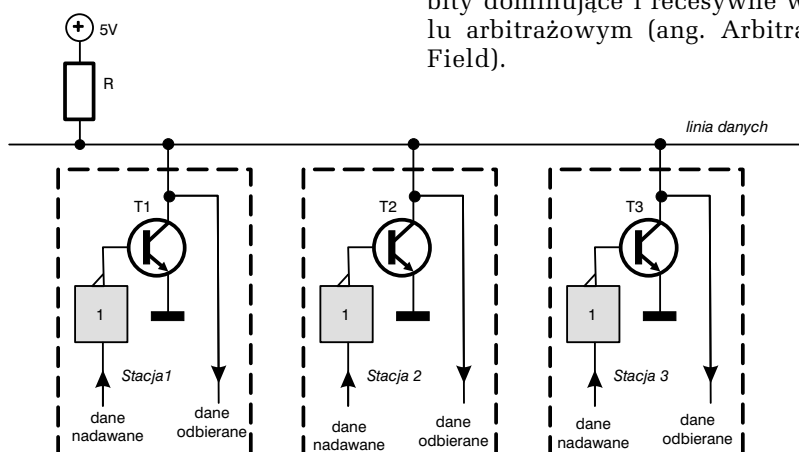
Tab. 3. Porównanie parametrów systemów CAN 20A (format ramki standardowej) i CAN 20B (format ramki rozszerzonej)

Parametr	CAN2.0A	CAN2.0B
Maksymalna liczba identyfikatorów	211	229
Liczba stacji (węzłów)	32	32
Szybkość transmisji [kbit/s]	5..125	5..1000
Liczba bajtów w ramce	0 - 8	0 - 8
Maksymalna długość ramki	117 bitów	13 bitów
Maksymalny zasięg sieci	patrz tekst	patrz tekst

Zasadniczo każda stacja nadająca „słyszy” swoje własne przesłanie na magistralę: wysyła jakiś bit, odbiera go z powrotem i porównuje z wysłanym. Jeżeli te dwa bity są identyczne, to transmisja wiadomości jest dozwolona. Jeżeli jednak te dwa bity nie są jednakowe, to jest problem. Wspomniany wcześniej bit recesywny (o wartości 1) może być „przykryty” przez bit dominujący (0).

Na rys. 7 pokazano, w dużym uproszczeniu, konfigurację obwodów dołączających stacje do magistrali (stopnie dołączające stacje do magistrali). W zasadzie są to stopnie wyjściowe w konfiguracji z otwartym kolektorem, które tworzą połączenie iloczynu galwanicznego (Wired - AND, zwarte AND). W odniesieniu do stacji 1 transmitowany recesywnie bit 1 zapewnia (gwarantuje), że tranzystor T1 pozostaje odcięty (nie przewodzi). To oznacza, że poziom recesywny jest wstępnie ustawiony na magistrali. Po wysłaniu tego bitu stacja 1 odczytuje stan magistrali i określa bit jaki został wysłany. Jeżeli później transmitowany jest dominujący bit (0), to tranzystor T1 zostaje włączony i zzwiera linię magistrali do masy. Linia magistrali jest zatem w stanie dominującym (0). Ponownie stacja 1 odczytuje zwrotnie bit, który wysłała. Dla tych trzech stacji, jeżeli jedna z nich wysłała bit dominujący, to stan linii magistrali staje się dominujący (0) i inne stacje odczytują ten poziom.

Jak jest realizowana procedura dostępu do magistrali pokażemy na przykładzie. Przyjmijmy, że wszystkie stacje z rys. 7 są gotowe do transmitowania swoich ramek danych z trzema różnymi identyfikatorami:



Rys. 7. Bardzo uproszczony schemat obwodów wejściowo/wyjściowych stacji, ilustrujący sposób ich dołączenia do magistrali CAN.

Stacja 1: identyfikator 367;
 Stacja 2: identyfikator 232;
 Stacja 3: identyfikator 239.

Wszystkie trzy rozpoczynają uzgadnianie dostępu do magistrali fazą arbitrażową wysyłając bit SOF (patrz rys. 8). Jest to bit dominujący i każda stacja odczytuje zwrotnie swój własny (okazuje się, że poprawny) bit z magistrali. Następnie wysyłane są identyfikatory. W czasie b wszystkie stacje wysyłają bit dominujący i wszystko jest w porządku. W czasie c w dalszym ciągu nie ma problemów. W czasie d stacja 1 wysyła recesywny bit (1), podczas gdy stacje 2 i 3 kontynuują transmisję z bitami dominującymi (0). Po odczycie zwrotnym wysłanego bitu, stacja 1 „zauważa“, że wysłany przez nią bit został nadpisany bitem dominującym, co oznacza, że utraciła ona dostęp do magistrali na rzecz przynajmniej jednej z pozostałych stacji. W tej sytuacji stacja 1 wchodzi w tryb odbioru (choć próbuje znowu wysłać wiadomość później). Natomiast stacje 2 i 3 kontynuują rozpoczętą transmisję jak poprzednio.

W czasie j stacja 3 wysyła recesywny bit, który jest natychmiast nadpisywany bitem dominującym wysyłanym przez stację 2. Jest to „zauważane“ przez stację 3, która wskutek tego przestawia się na odbiór (podobnie jak stacja 1, spróbuje wysłać wiadomość później). W tym uzgadnianiu dostępu stacja 2 zwyciężyła i może wysyłać swoje wiadomości na magistralę bez dalszych przeszkód.

Porównując identyfikatory stacji widzimy, że pierwsza uzyskała dostęp do magistrali stacja, która ma najmniejszy numer identyfikatora: ma ona najwyższy priorytet wysyłania wiadomości. Inaczej,

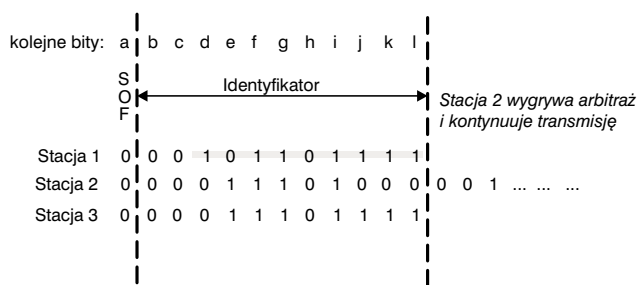
w liczbie identyfikatora zawarte jest także automatycznie pierwszeństwo w przesyłaniu wiadomości. Wiadomość z identyfikatorem 0 będzie zawsze wysyłana jako pierwsza przez stacje dołączone do magistrali, ponieważ ma ona najwyższy priorytet. Wiadomość z identyfikatorem 2032 musi natomiast długo oczekiwać, ponieważ ma najniższy priorytet.

Ramka zdalnego żądania transmisji

Ramka zdalnego żądania transmisji spełnia jedną z ważniejszych funkcji w sieci. Przyjmijmy, że stacja D dołączona do magistrali CAN wysyła co pięć minut dane trzech wartości zmierzonej temperatury z identyfikatorem 598. To oznacza, że pole danych zawiera trzy bajty. Te wiadomości są odbierane i przetwarzane przez inne stacje.

Jednakże stacja G pilnie potrzebuje wartości aktualnie zmierzonej temperatury i nie może w żadnym wypadku czekać na transmisję przez pięć minut. Dlatego może zażądać wyników pomiarów bezpośrednio ze stacji D, to jest może „obejść“ normalny cykl transmitowania danych. Aby to zrealizować stacja wysyła ramkę zdalnego żądania transmisji (RRF), która ma strukturę podobną jak ramka danych DF (rys. 6), jednak z kilkoma małymi różnicami:

- Identyfikator stacji, do której jest wysyłane żądanie (tutaj 598) jest podawany w polu identyfikatora.



Rys. 8. Diagram ilustrujący ustalanie przez stacje dostępu do magistrali (arbitraż).

- Liczba użytecznych bajtów zawartych w wywoływanej wiadomości (tutaj 3) jest podawana w polu DLC.
- Bit zdalnego żądania transmisji RTR (Remote Transmission Request), który jest bitem dominującym (0) w ramce danych jest tworzony i transmitowany recesywnie (1). Jest to typowy sposób identyfikacji stacji, która żąda danych bezpośrednio z innej określonej identyfikatorem stacji.
- Nie ma pola danych w ramce zdalnego żądania transmisji (RRF): pole DLC jest bezpośrednio przed polem CRC. Inaczej mówiąc, ramka zdalnego żądania transmisji (RRF) jest skomponowana podobnie do ramki danych, ale z liczbą 0 bajtów danych.

Realizacja funkcji zdalnego żądania transmisji przebiega następująco. Wszystkie stacje dołączone do magistrali odbierają ramkę i rozpoznają wskutek ustawienia bitów w RTR, że jakaś stacja zażądała określonych danych od innej stacji. Stacja D ustala, że identyfikator w ramce zdalnego żądania transmisji jest taki sam jak jej własny identyfikator i natychmiast przesyła swoją odpowiedź w postaci ramki z żadanymi danymi.

EE