

## Magistrala CAN, część 1

### Zdecentralizowana wymiana danych

*Rozprzestrzenienie się sieci komunikacji lokalnej w systemach przemysłowych wydaje się nieodwołalne. Coraz powszechniej stosowane są magistrale CAN, Profibus, LON, ASI, Interbus-S, FIP, EIB, eBus i wiele innych. Czas pokaże, kiedy te ustabilizowane już technologie z protokołami zaimplementowanymi w małych chipach, niskimi cenami i łatwą eksploatacją staną się dostępne dla mniejszych firm inżynierskich. W trzech częściach artykułu przedstawimy technologię przesyłania informacji, wykorzystującą system magistrali CAN. Interfejs będzie opisany w sposób prosty i praktyczny. Całość zakończy opis konstrukcji i oprogramowania sieci z magistralą CAN.*

*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.*

W pierwszej części artykułu omówimy pokrótce historię i standaryzację magistrali CAN (Controller Area Network). Znajdzie się tu również charakterystyka warstwy fizycznej.

W drugiej części zostanie objaśniona warstwa łącza. Część ta pomieści również, w formie tabelarycznej, elementy składowe budowy CAN różnych producentów. Dalej wstępny opis uniwersalnego interfejsu magistrali CAN, który może być wykorzystany do wykonania systemu z mikrokontrolerem lub mikroprocesorem, odpowiedniego dla zastosowania w sieci magistrali CAN.

W części trzeciej opiszemy konstrukcję, oprogramowanie i użytkowanie małej sieci magistrali CAN w połączeniu z komputerem PC i z kartą mikrokontrolera.

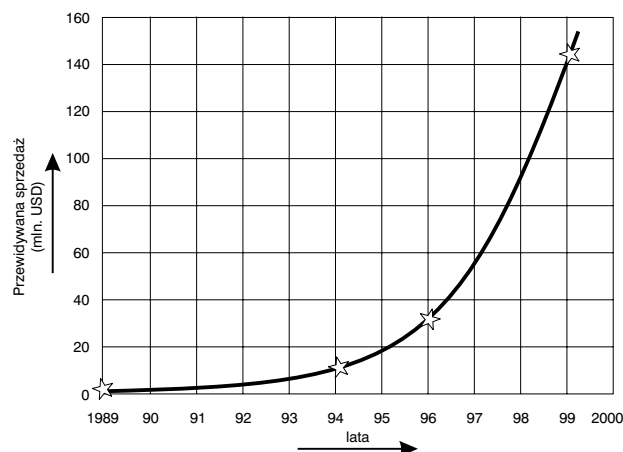
#### Opracowanie magistrali CAN

W początku lat dziewięćdziesiątych, międzynarodowy przemysł samochodowy stanął przed dwoma problemami dotyczącymi rozwoju samochodów prywatnych i pojazdów dostawczych.

Pierwszy odnosił się do postulatów poprawienia komfortu pojazdów: elektrycznie podnoszonych szyb, regulacji siedzeń i lusterek, podgrzewanych siedzeń, elektronicznego sterowania klimatyzacją, jak również wyposażenia audiowizualnego i satelitarnie sterowanych systemów nawigacyjnych (GPS - Global Positioning System).

Drugim i ważniejszym był problem bezpieczeństwa pojazdów, nie tylko z indywidualnego punktu widzenia, ale również dla spełnienia coraz surowszych międzynarodowych przepisów odnośnie bezpieczeństwa: centralnego zamka drzwi, systemów antykradzieżowych, ABS (systemów przeciwdziałających poślizgowi kół), jak również ekonomicznego i przyjaznego dla środowiska sterowania pracą silnika.

Obu problemom stawiono czoła poprzez intensywną elektronizację komunikacji wewnątrz pojazdu zawierającego wiele urządzeń. Oszacowano, że pojazdy wyprodukowane około roku 2005 będą zawierać do 100 mikrokontrolerów i wszystkie powinny mieć możliwość komunikowania się ze sobą. Jest oczywiste, że rezultatem wszystkich tych ścieżek komunikacji będzie jeszcze większa i bardziej rozgałęziona płatanina kabli. Na przykład, w nowoczesnym, dobrej jakości samochodzie silnik waży blisko 100kg (220 funtów) i jest do 2000 metrów kabli. Co więcej, u typowego wielkiego producenta samochodów może być stoso-



Rys. 1. Oszacowanie światowej sprzedaży układów scalonych CAN.

Model warstwowy ISO/OSI	Warstwa magistrali CAN		
<b>Warstwa 8</b> Aplikacja: "Urządzenie na magistrali"	CANopen	DeviceNet	Smart Distributed System (SDS)
<b>Warstwa 7</b> "Warstwa aplikacji"	CAL: CAN Warstwa aplikacji dla aplikacji przemysłowych	Specyfikacje DeviceNet	Specyfikacje SDS
<b>Warstwy 3..6</b>	Puste!!!		
<b>Warstwa 2</b> "Warstwa łącza danych"	LLC: Logical Link Control MAC: Medium Access Control zgodnie z ISO 11898 Rezultat: Specyfikacje CAN 2.0A, CAN 2.0B		
<b>Warstwa 1</b> "Warstwa fizyczna"	"Low-Speed CAN" ISO 11519-2		"High-Speed CAN" ISO 11898

wanych do 600 różnych typów wiązek kabli.

Ponieważ jest to sytuacja dłużej nie do utrzymania, przemysł samochodowy zaczął się rozglądać za nowymi sposobami komunikacji i znalazł je w przemyśle komputerowym. Oczywiście, system magistrali stosowanych w tym przemyśle, wymagał adaptacji dla zastosowania w pojazdach, przede wszystkim z następujących powodów:

- przenoszenia danych z małą i dużą szybkością w zakresie od 5kb/s do 1Mb/s,
- bezbłędnego przenoszenia danych,
- optymalnego przenoszenia mikrostrumieni danych, takich jak uzyskiwane z czujników lub urządzeń wykonawczych, to jest złożonych z 0..8 bajtów na komunikat,

**Tab. 1. Poziomy bezwzględne linii magistrali w odniesieniu do (lokalnej) masy zgodnie z ISO11898.**

Napięcie na magistrali	Stan magistrali	
	recesywny {ustępujący}	dominujący {przeważający}
CANH	2,5V	3,5V
CANL	2,5V	1,5V
dopuszczalne napięcie różnicowe $U_0 = \text{CANH} - \text{CANL}$	0 - 0,5V	0,9 - 2,0V

- łatwości utrzymania,
- niskich kosztów w masowej produkcji,
- prostoty konstrukcji magistrali (media magistrali, topologia magistrali) dla łatwej integracji w pojeździe.

Niestety, wielu producentów samochodów opracowali już swoje własne magistrale, które nie są kompatybilne z odpowiednikami u innych producentów. Wszyscy próbowali doprowadzić do przyjęcia swoich systemów jako systemu międzynarodowego, to jest do zaakceptowania ich jako międzynarodowego standardu i uzyskania dla siebie wszystkich oczywistych korzyści ekonomicznych i komercyjnych.

Nie wszystkie systemy mogły być łatwo zestandaryzowane. Zasadniczo, przyjęły się cztery z nich: CAN (w wersjach o małej i dużej szybkości), VAN, J1850CP i J1850DLC. VAN (zestandaryzowany) i pozostałe (niestandaryzowane) zostały zarzucone w połowie lat 90. na korzyść systemu CAN. Dziś system CAN jest światowym liderem na polu magistrali dla pojazdów. Jako taki jest obecnie stosowany nie tylko w samochodach marek luksusowych, jak

Mercedes, Lexus, Jaguar i Chrysler, ale również w tych mniej prestiżowych, jak Fiat i Volkswagen.

Nie tylko przemysł samochodowy odkrył zalety magistrali, ale również przemysły automatyzacji i przetwórczy. Przemysły te wykorzystują pomysł CAN dla pomiarów, kontroli i sterowania w systemach SPS (Standard Positioning Service), robotach i silnikach. Pomysł ten jest również stosowany w budownictwie, w sterowaniu windami, systemami automatyzacji laboratoriów, systemami czujnikowo-wykonawczymi i innymi.

Protokół CAN jest dostępny w krzemowym chipie, tak że użytkownik nie musi już koncentrować się na drobniejszych szczegółach technologii komunikacyjnej. Układy CAN są po prostu zintegrowane jako inteligentne peryferyjne bloczki składowe w istniejących systemach mikrokontrolerowych lub tych, które dopiero zostaną zbudowane.

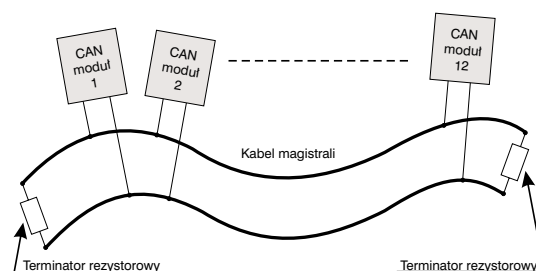
Wolne od kłopotów utrzymanie i stosowanie, jak również gwałtownie spadające ceny układów scalonych CAN czynią CAN magistralami cieszącymi się wielkim zainteresowaniem i wielce przydatnymi dla konstruktorów małych, zdecentralizowanych sieci komunikacyjnych.

Na rys. 1 przedstawiono oszacowanie wielkości światowej sprzedaży układów scalonych CAN. Koszty kompletnych sieci CAN, pochodzących od różnych producentów półprzewodników są podawane w USD.

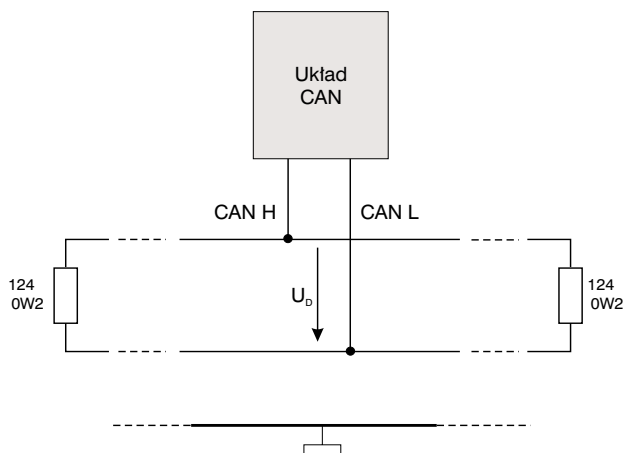
## Standaryzacja

Jeśli struktura systemu komunikacyjnego ma być powszechnie akceptowana, należy znaleźć odpowiedź na kilka pytań dotyczących standardu:

- Jak fizycznie (elektrycznie, logicznie) będą zorganizowane różne części sieci?



Rys. 2. Topologia magistrali CAN.



Rys. 3. Dotychczasanie elementu (stacji) do magistrali CAN.

- Jak będzie wyglądać wynikowa topologia sieci?
- Jak dane będą porządkowane i przesyłane poprzez odpowiednie medium (kabel czy światłowód lub powietrze za pomocą podczerwieni)?
- Jakie są reguły wymiany danych pomiędzy różnymi częściami?
- Jak zapobiegać, rozpoznawać, korygować błędy przesyłania danych?
- Jak jest sformowany protokół przesyłania danych?
- Jak jest zorganizowany dostęp do medium przesyłania danych dla wszystkich elementów (stacji) związanych z ich przesyłaniem?
- Jak są rozstrzygane konflikty, gdy kilka elementów zechce przesyłać dane w tym samym czasie? (dotyczy to dostępu do medium, czyli tak zwanego arbitrażu).

Dopóki dotyczy to odbioru danych, nie ma tu wielu problemów, ponieważ z reguły do medium może być dołączonych wiele odbiorników, z których wszystkie mogą w tym samym czasie bez żadnych trudności odbierać dane. Ogólnie, w dowolnym systemie komunikacyjnym w danym momencie aktywny powinien być tylko jeden nadajnik, podczas gdy odbiorników może być kilka.

Odpowiedzi na powyższe pytania muszą być jednoznaczne, jeśli system komunikacyjny ma być stosowany w sposób sensowny i akceptowalny w całym Świecie.

W początkach lat dziewięćdziesiątych International Standard Organisation (ISO) zaczęła układać

międzynarodową normę dla magistral pojazdów, kiedy to magistrala CAN znacząco ugruntowała swoją mocną pozycję.

Podstawą procesu standaryzacji komunikacji danych, jest siedmiowarstwowy model odniesienia ISO/OSI. W przypadku niektórych systemów komunikacyjnych, włącznie z systemem magistrali dla pojazdów, warstwy ISO 3..6 są puste, tak że dla magistrali CAN tylko warstwy 1, 2 i 7 są wyspecyfikowane szczegółowo.

### Warstwa 1 - warstwa fizyczna

W tej warstwie znajdują się specyfikacje medium transmisji danych, złączy, poziomów przesyłania oraz elementów nadawczych i odbiorczych. Dwoma standardami związanymi z CAN są:

**ISO11529-2:** CAN o małej szybkości. Jej podstawą jest opracowanie zapoczątkowane przez firmę Bosch we wczesnych latach osiemdziesiątych i kontynuowane, przy silnym wsparciu Intelu, aż do zintegrowania protokołu w układzie scalonym. Mała szybkość odnosi się do szybkości przesyłania od 5kb/s do 125kb/s.

**ISO11898:** CAN o dużej szybkości. Ten standard dotyczy szybkości przesyłania danych do 1Mb/s.

### Warstwa 2 - warstwa łącza danych

Warstwa ta określa jak staje się dostępne medium przesyłania danych, gdy jakaś część systemu chce wysłać dane, jak jest tworzony komunikat (adres, sterowa-

nie, dane i zabezpieczenie przed błędami) i jaki jest protokół przesyłania danych. Normy te można również znaleźć w ISO11898.

Ponadto, specyfikacja CAN 1991 w Warstwie 2 była modyfikowana, tak że dziś są tam dwie jej wersje: CAN2.0A i CAN2.0B. Do podobieństw i różnic pomiędzy tymi dwiema wersjami powrócimy w drugiej części artykułu.

Całe lata trwał opracowywanie trzech obszernych gałęzi CAN dla różnych aplikacji: CANopen, DeviceNet i Smart Distributed System (SDS). Ponieważ specyfikacje te są naprawdę obszerne, nie będziemy ich śledzić w tym artykule. Powiemy tylko tyle, że są one kompatybilne z Warstwami 1 i 2.

Szczegółowe informacje o CANopen, DeviceNet i SDS można znaleźć w Internecie: <http://www.can-cia.de>.

## Charakterystyka

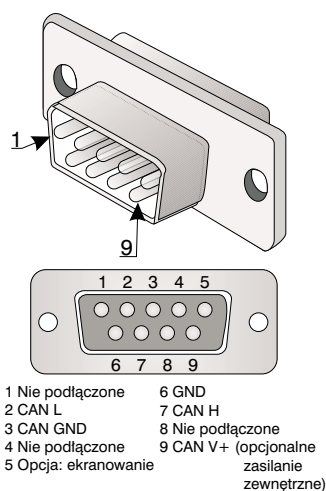
W warstwie fizycznej jest zawarta specyfikacja topologii sieciowej magistrali CAN i dołączania elementów (stacji) do medium magistrali.

Termin topologia sieci obejmuje fizyczną konstrukcję systemu komunikacyjnego i daje tym samym odpowiedź na pytanie: „jak elementy (stacje) są połączone z medium przesyłania danych?”

CAN wykorzystuje tak zwaną topologię magistrali, to oznacza, że wszystkie elementy są połączone z pojedynczą skrętką pary przewodów (ekranowaną lub nie), zakończoną na obydwu końcach odpowiednimi impedancjami zakończenia magistrali (patrz rys. 2). Taka organizacja zapewnia, że każda stacja może komunikować się z każdą w sieci bez żadnych ograniczeń.

**Tab. 2. Współzależność pomiędzy szybkością przesyłania danych, długością magistrali, medium magistrali i impedancją zamykającą magistrali.**

Długość magistrali	Kabel magistrali		Rezystancja zamykająca magistrali	Maksymalna szybkość przesyłania danych
	rezystancja	powierzchnia przekroju poprzecznego kabla		
0 - 40m	70mΩ/m	0,25 - 0,34mm <sup>2</sup> AWG23, AWG22	124Ω (1%)	1Mb/s przy 40m
40 - 300m	<60mΩ/m	0,34 - 0,5mm <sup>2</sup> AWG22, AWG20	127Ω (1%)	500kb/s przy 100m
300 - 600m	<40mΩ/m	0,5 - 0,6mm <sup>2</sup> AWG20	150Ω do 300Ω	100kb/s przy 500m
600m - 1km	<26mΩ/m	0,75 - 0,8mm <sup>2</sup> AWG18	150Ω do 300Ω	50kb/s przy 1km



Rys. 4. Rozkład wyprowadzeń złącza magistrali CAN.

Układ nadawania/odbioru sieci CAN jest połączony z medium magistrali poprzez dwa doprowadzenia: CAN High (CANH) i CAN Low (CANL) (patrz rys. 3). Ze względu na wymagane zabezpieczenie przed błędami, do rzeczywistego przesyłania danych stosuje się różnicowe sygnały napięciowe. Oznacza to, że różnica napięcia pomiędzy obydwoma liniami magistrali jest skwantowana.

Standard ISO11898 specyfikuje dwa różne zakresy napięcia różnicowego dla reprezentacji danych: recesywny i dominujący. Istnieje ważna przyczyna, że zwykła logika poziomów 0 i 1 tu nie jest stosowana i do tego wrócimy. Na razie zauważmy, że:

- jeśli napięcie różnicowe pomiędzy CANH i CANL 0,5V, status linii jest recesywny,
- jeśli napięcie różnicowe 0,9V, status jest dominujący.

Poziom nominalny linii magistrali, to jest poziom poszczególnych linii w odniesieniu do masy lokalnej, przedstawiono w tab. 1.

W praktyce poziomy te mają oczywiście jakieś tolerancje, tak że napięcie różnicowe może osiągać poziom maksymalny dopuszczalny, podany w ostatnim wierszu tabeli 1.

Specyfikacja (CANL) w standardzie ISO11519-2 jest nieco odmienna, ale ponieważ standard ISO11898 może być stosowany zarówno dla dużych jak i dla małych szybkości, obecnie jest stosowana ta specyfikacja.

Użytkownicy nie muszą sami zajmować się konstrukcją łącza nadawania/odbioru, ponieważ u większości producentów są do tego celu dostępne gotowe układy scalone. Są one zoptymalizowane, szczególnie pod względem zakłóceń elektromagnetycznych (EMC), zajmowanej powierzchni płytki drukowanej i przeciążeń termicznych (w przypadku zwarcia CANH lub CANL) i wyjściowego standardu poziomów sygnałów CAN. Wszystkim, co jest niezbędne dla zestawienia łącza CAN, to dołączenie go do linii magistrali.

A wszystko, co należy zrobić, to upewnienie się, dla którego standardu CAN układ scalony został zbudowany: ISO11519-2 lub ISO11898. Preferowany powinien być ten drugi.

Należy zauważyć, że w praktyce wykorzystywane są również inne sposoby różnicowego przesyłania danych, które mogą posłużyć do przesyłania sygnałów CAN, na przykład RS485.

Ostatnie pytania, które należy postawić odnośnie systemu magistrali CAN, to:

- Jaka jest maksymalna długość magistrali dla danej szybkości przesyłania?
- Ile elementów (stacji) można dołączyć do magistrali?

Odpowiedź na te pytania zależy wyłącznie od zastosowanego medium magistrali. W tab. 2 przedstawiono korelację pomiędzy szybkością przesyłania danych, długością magistrali, medium magistrali i impedancją zakończenia magistrali.

Najlepsze medium przesyłania danych to skrętka pary przewodów o powierzchni przekroju poprzecznego 0,34..0,6mm<sup>2</sup>, podczas gdy impedancja zakończenia magistrali powinna wynosić około 127Ω. Rezystywność kabla nie powinna być większa niż 60mΩ/m, który to warunek jest spełniony, gdy powierzchnia przekroju poprzecznego jest większa niż 0,30mm<sup>2</sup>.

Gdy stacja nie jest dołączona bezpośrednio do magistrali CAN, to należy wziąć pod uwagę długość linii doprowadzeniowych. Linie te nie powinny być dłuższe niż 2 metry, jeśli szybkość przesyłania danych ma wynosić 250kb/s i nie dłuższe niż 30cm, jeśli szybkość przesyłania danych ma być większa. Całkowita długość wszystkich linii doprowadzeniowych nie powinna przekraczać 30 metrów.

Na koniec, uwaga dotycząca Warstwy 1. Wszystkie złącza i rozkład ich wyprowadzeń są zstandaryzowane.

EE