

Controller area network (CAN bus)

Úvod

- Rozhranie používané najmä v automobilovej technike ale využívané aj v priemyselných aplikáciách
- Umožňuje komunikáciu medzi zariadeniami bez prítomnosti mastera
- Vzniklo v 1993 a postupne bolo rozširované a dopĺňané, naposledy v 2012.
- Štandardizované ako ISO 11898-1 až 4, súčasne publikované firmou BOSCH

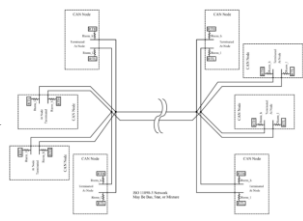
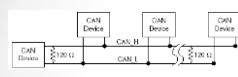
Základné charakteristiky

- Komunikácia nepoužíva adresovanie ale prioritný systém správ:
 - Vysielateľ posielajú správu vybranému tzv. identifikátorom všetkým zariadeniam na zbernici.
 - Prijímajúce zariadenia sa podľa identifikátora rozhodnú, či je pre nich správa užitočná alebo ju ignorujú.
 - Identifikátor posielaný na začiatku rámca slúži súčasne ako arbitrážny systém pre prístup k zbernici.



- Z hľadiska rýchlosti prenosu a fyzickej vrstvy existujú dve verzie CAN
 - Pomalá (1.0) do 12kbit/s (ISO 11898-3)
 - Rýchla (2.0) do 1Mbit/s (ISO 11898-2)

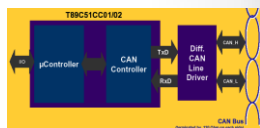
HS a LS fyzická vrstva



- HS - impedančne prispôbený skrúcaný dvojdrôt
- LS - ľubovoľná konfigurácia, postačuje aj samostatný vodič a zem, celkový zakončovací odpor má byť okolo 100ohmov.
- NRZ modulácia

Komunikačný uzol

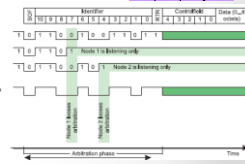
- Mikroprocesor - spracúva alebo vytvára správu pre CAN (data z senzora, pre výkonný člen, transformácia na iné rozhranie (USB, ...))
- Can radič (controller) - uchováva prijímané a vysielané správy a formátuje/detekuje rámce na zbernici.
- Budič prispôbuje elektrické parametre signálov na CAN a v uzle vnútorne.



Prideľovanie zbernice

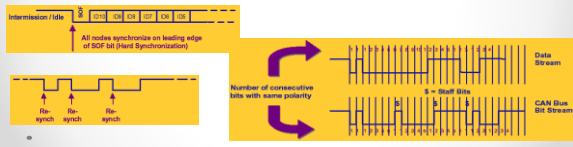
- Využíva obdobu „wired AND“- „1“ je na vodiči iba ak všetci vysielajú „1“ = recesívnu (pasívnu) hodnotu (recessive - R), „0“ dominantná (aktívna) hodnota (D)
- Rámce začínajú vždy jedným štart bitom s dominantnou hodnotou (Start Of Frame - SOF)
- Nasleduje pole identifikátora o dĺžke 11, resp. 11+18 bitov (ver. A, resp. B) vysielané v poradí od najvyššieho bitu. Najvyšších 7 bitov nesmie byť súčasne recesívnych. Každý vysielajúci súčasne sleduje skutočný stav na zbernici a porovnáva s vysielanou postupnosťou. Ak nájde rozdiel, ukončuje vysielanie = uvoľňuje zbernicu.

Node A	Node B	Node C	Node D	BUS
D	D	D	D	D
D	D	R	D	D
D	R	R	D	D
R	D	D	D	D
R	R	D	D	D
R	R	R	D	D



Synchronizácia prenosu

- Základná (hard) synchronizácia pomocou úvodnej hrany SOF bitu
- Obnovovanie synchronizácie pri každom prechode z recesívneho do dominantného bitu
- Stuffing - vkladanie doplnkových bitov pri dlhých sekvenciách (5 bitov) s rovnakou log. hodnotou pre obnovu synchronizácie

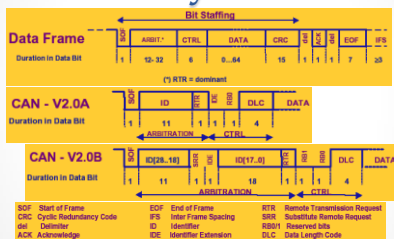


Správy v CAN

- Správy sú prenášané vo forme rámcov (frame):
 - **Dátový rámeč** (data frame) – obsahuje užívateľské dáta od vysielača k prijímaču.
 - **Riadiaci rámeč** (remote frame) – požiadavka na vyslanie dátového rámeča s rovnakým identifikátorom
 - **Chybový rámeč** (error frame) – indikácia chyby ktoroukoľvek jednotkou
 - **Prefaženie** (overload frame) – rámeč umožňujúci pozastavenie komunikácie (dátové alebo riadiace rámeče)



Dátový rámeč



Polia dátového rámeča

- **Začiatok rámeča (Start Of Frame = SOF)** – označuje začiatok rámeča a môže sa vyskytnúť aj ako zbierka v kludovom stave (recesívna hodnota)
- **Arbitrážne pole (Arbitration field)**
 - V štandardnej forme (pri použití identifikátora a RTR)
 - V štandardnej forme (pri použití identifikátora a RTR)
- **Žiadosť o diaľkový prenos (Remote Transmission Request BIT – RTR)** – dátový rámeč má vždy dominantnú hodnotu
- **Náhledný bit diaľkovej žiadosti (Substitute Remote Request bit – SRR bit)** – iba v rozšírenom formáte, má recesívnu hodnotu a je v pozícii RTR bitu v štandardnom rámeči – riešenie kolízií medzi verziami diaľkových rámečov
- **Rozšírenie identifikátora (Identifier Extension BIT – IDE)** má v štandardnom rámeči dominantnú hodnotu a patrí už do kontrolného poľa. V rozšírenom rámeči má recesívnu hodnotu a patrí do arbitrážneho poľa
- **Riadiace pole (CONTROL FIELD)** sa skladá zo 6 bitov: [IDE + RSD, resp. RRD + RST] + 4bly DLC
- **RSD a RST** sú rezervované bity bez praktického významu a vysielajú sa v dominantnej hodnote. Prijímač ale akceptuje aj recesívnu hodnotu.
- **Kód dĺžky dát (Data Code Length DCL)** indikuje dĺžku dátového poľa v bajtoch
- **Dátové pole (Data field)** obsahuje 0 až 8 bajtov užívateľských dát
- **Pole cyklického redundančného kódu** – ochrana dát proti chybám pri prenose (**CRC FIELD**) sa skladá z
- **CRC postupnosť** – vypočítaná po postupnosti zložení z SOF, arbitrážneho poľa, riadiaceho poľa a dátového poľa doplnjenej 15 nulami na konci dekadimálnym polygómiom
- $X^2 + X + 1$ (prvýkrát delenie = 15 bitov).
- **CRC delimitér (oddávovač)** – jeden recesívny bit
- **Potvrďovacie pole (ACK FIELD)** slúži na oznámenie konca rámeča a skladá sa z 2 bitov:
- **ACK slot** – vysielací posielajúci recesívnu hodnotu a prijímač vysielá dominantnú hodnotu = potvrdenie správneho prijatia
- **ACK delimitér** = recesívna hodnota.
- **Po odvysielaní dátového aj riadiaceho rámeča vysielač vysiela minimálne 7 recesívnych bitov pre oddelenie rámečov**

Riadiaci (diaľkový) rámeč (remote frame)

- slúži na vyžiadanie vysielania prijímajúcou jednotkou (uzlom)
- Existuje v oboch verziách, neobsahuje dátové pole, DLC môže nadobudnúť ľubovoľnú hodnotu, **RTR bit** je vždy recesívny



Chybový rámeč (Error frame)

- Ak ktoroukoľvek jednotka zistí chybu v prenášaných rámečoch alebo chybu vo výplňových synchronizačných bitoch (stuff) vyšle chybový rámeč. Skladá sa z:
 - **príznaku chyby (error flag)** – kombinácia hodnôt vysielaných súčasne všetkými uzmi. Sú dve formy:
 - **aktívny príznak** – vysielaný kedykoľvek tzv. „chybovo aktívnymi uzmi“ = 6 za sebou idúcich dominantných bitov. Porušuje sa pravidlo stuffingu – detekujú chybu aj ostatné jednotky a taktise vysielajú aktívny príznak = aktívny príznak trvá minimálne 6 a maximálne 12 charakteristických intervalov
 - **pasívny príznak** – nie je prakticky vysielaný – je to len detekcia 6 za sebou idúcich bitov rovnakej hodnoty tzv. „chybovo pasívny uzmi“ = 6 za sebou idúcich recesívnych bitov, bez toho aby boli prepísané iným uzom vyslaním dominantnej hodnoty
 - **chybový delimitér (error delimitér)** – 8 recesívnych bitov – uzol čaká po príznaku chyby na prvý recesívny byt a následne vysiela ešte 7 takýchto bitov.

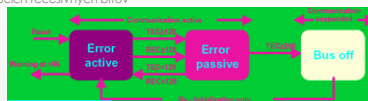


Typy chýb

- Bitová chyba: kto vysiela súčasne sleduje stav na zbernici – zistenie rozdielu je bitová chyba. Výnimky:
 - zachytenie dominantnej hodnoty pri vysiadaní recesívnej hodnoty stuff bitu v rámci arbitrážneho pola
 - zachytenie dominantnej hodnoty pri vysiadaní recesívnej hodnoty počas ACK
 - zachytenie dominantnej hodnoty pri vysiadaní pasívneho príznaku chyby
- Chyba synchronizačného stuff bitu – zachytenie 6 za sebou idúcich rovnakých bitov v tej časti rámca, kde sa používa stuffing
- Chyba CRC – ak sa nezhoduje hodnota vypočítaná prijímačom s prijatou hodnotou CRC
- Chyba formátu – ak niektorý z pevne stanovených bitov (RTR, SRR, IDE) má nesprávnu hodnotu
- Chyba potvrdenia – ak počas intervalu ACK sa neobjaví na zbernici dominantná hodnota.
- Ak sa objaví chyba, defekujúci uzol začína v ďalšom bite vysielať aktívneho chybového príznaku okrem CRC chyby – chybový príznak sa vysiela až po ACK

Chybové stavy uzlov

- Každý uzol môže byť v jednom z troch stavov z hľadiska poľtačenia chýb:
 - Chybovo aktívny stav = stav po zapnutí, uzol normálne komunikuje po zbernici včítane vysiadaním aktívneho chybového príznaku
 - Chybovo pasívny stav = stav po prekročení hodnoty 127 ktoréhokolvek chybového počítadla, uzol normálne komunikuje ale môže vysielať len pasívny chybový príznak. Do chybovo aktívneho stavu sa môže vrátiť len ak obe počítadlá nadobudnú hodnotu nižšiu ako 128.
 - Odpojený od zbernice (bus off) = stav po prekročení hodnoty 255 vysielačieho chybového počítadla, uzol sa odpojí od zbernice a nesmie komunikovať. Vrátiť sa môže iba zúspom obsluhy (vypnutie a zapnutie) alebo ak zachytil 128 x 11 za sebou idúcich recesívnych bitov.

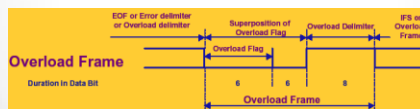


Chybové počítadlá

- vysielačie – inkrementuje sa o
 - 8 ak detekuje chybu vo vlastnom vysiadaní
 - 8 ak detekuje bitovú chybu počas vysiadaní aktívneho chybového príznaku alebo príznaku preťaženia
 - 8 ak detekuje 14. dominantný bit v nepretržitej postupnosti dominantných bitov pri vysiadaní aktívneho chybového príznaku alebo príznaku preťaženia alebo po 8. bite po pasívnom chybovom príznaku a po každej ďalšej osmiici dominantných bitov
 - -1 po každom úspešnom bezchybnom vysiadaní
- prijímačie – inkrementuje sa o
 - 1 ak detekuje chybu pri prijímaní okrem defekcie bitovej chyby počas vysiadaní aktívneho príznaku chyby a príznaku preťaženia s výnimkou:
 - Ak je vysielač v chybovom pasívnom stave a detekuje chybu potvrdenia = nedetekuje dominantnú hodnotu ACK a nedetekuje dominantný bit v čase, keď vysiela pasívny chybový príznak.
 - Ak vysielač pošle chybový príznak na základe chyby stuff bitu počas arbitráže, keď tento má byť recesívny, bol fakticky vysiadaný ale bola detekovaná dominantná hodnota
 - 8 ak detekuje dominantný bit ako prvý bit po vysiadaní chybového príznaku
 - 8 ak detekuje bitovú chybu počas vysiadaní aktívneho chybového príznaku alebo príznaku preťaženia
 - 8 ak detekuje 14. dominantný bit v nepretržitej postupnosti dominantných bitov pri vysiadaní aktívneho chybového príznaku alebo príznaku preťaženia alebo po 8. bite po pasívnom chybovom príznaku a po každej ďalšej osmiici dominantných bitov
 - -1 po každom úspešnom prijímaní: ak hodnota bola väčšia ako 127 nastáva sa ľubovoľná hodnota medzi 119 a 127

Preťaženie (overload frame)

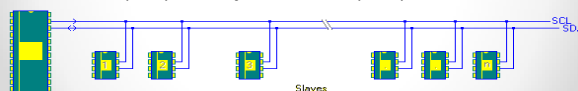
- Dôvody vysielačie:
 - A. Vnútrošné podmienky prijímača neumožňujú prijímať rámce v danom tempe – je potrebné prestávka (delay) – môže sa začať vysielať iba počas prvého bitu v pauze medzi vysiadaním rámcov (Intermission)
 - B. detekcia dominantnej hodnoty prvého a druhého bitu počas pauzy vo vysiadaní medzi dvoma rámcami (Intermission)
- C. ak uzol zistí dominantnú hodnotu v 8. bite delimitera chybového rámca alebo rámca preťaženia
- Vysielačie podľa bodu b) a c) začína o bit neskôr ako bolo zaregistrovaná príčina.
- Zloženie: **Príznak preťaženia** – rovnaké ako aktívny chybový príznak. Ak nastane a), ostatné jednotky začínajú vysielať podľa b) v treťom bite
- **Delimiter** – 8 recesívnych bitov – rovnaké ako v chybovom rámci.



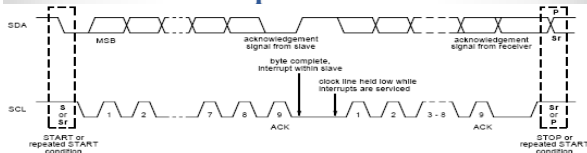
I²C

I²C – Inter Integrated Circuits

- Jednoduchá sériová zbernica využívaná najmä v elektronických systémoch pre komunikáciu medzi obvodmi a modulmi
- Multimaster – viac radičov
- Komunikácia využíva dva vodiče pre prenos hodín z radiča (SCL) a obojsmerne dát (SDA) + GND

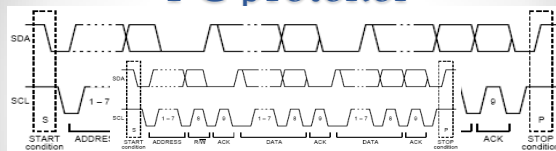


I²C protokol



- Prenos začína z ľudového stavu (SCL=SDA=H) štartom
- Prenos končí návratom do kludového stavu
- Posielajú sa bloky 8 bitov doplnené ACK bitom vysielaný tým, kto prijíma (vysieláč H, prijímač L)

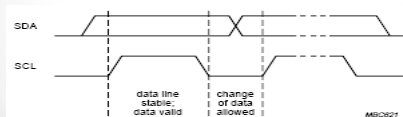
I²C protokol



- Každý obvod má svoju pevnú adresu danú výrobcom podľa typu obvodu doplnenú R/W bitom – smer prenosu dát
- Následne sa vysielajú/prijímajú 8-bitové dátové bloky – význam podľa obvodu

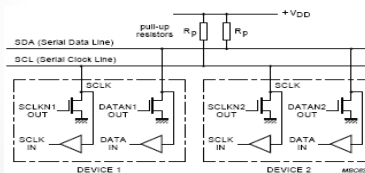
I²C časovanie

- Zmena dát iba v čase, keď SCL=L (ustálenie!!!)
- Hodiny od 0Hz po 100, resp. 400kHz, 1MHz, 3,4MHz (S, F, HS) – skutočný limit daný výrobcom



I²C elektrické parametre

- $V_L -0V$ až $0,3V_{DD}$, $V_H 0,7V_{DD}$ až V_{DD}
- Budiče s otvoreným kolektorom

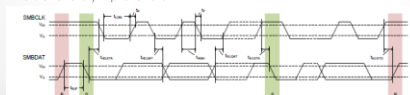


SMBus (System Management Bus)

...

Charakteristika

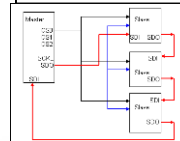
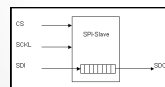
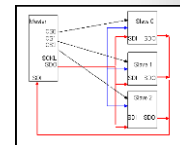
- Odvodená z I2C
- Rozdiely:
 - Napätie 3 - 5V (5V)
 - Väčšie prúdové zaťaženie
 - Hodiny 10 až 100kHz
 - Definované parametre časovania ako napr. doba čela a týla a pod. (chyba u I2C)
 - Ďalšie rozdiely v protokole



SPI (Serial Peripheral Interface)

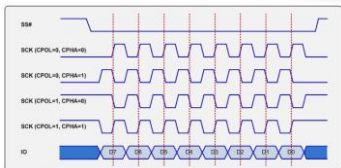
Úvod

- Vynutité v Motorola, známe tiež ako MicroWare (National Semiconductor), QSPI (Quadruplex), MicrowirePlus
- Synchronný sériový prenos na čelo (SDI) alebo tylo (SDO) hodinových impulzov (MHz)
- Primárne určený pre komunikáciu medzi hostiteľským procesorom a periférnymi obvodmi/modulmi
- Master (iba jeden)/slave (viac) konfigurácia
- Signály:
 - o Serial Clocks (SCLK) - master,
 - o Chip Select Lines (CS) - master,
 - o Serial Data In (SDI) - master
 - o Serial Data Out (SDO) - slave (3stavový vodič)



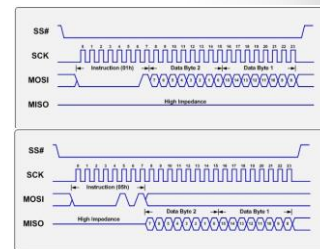
Časovanie

- Môže byť zvolené na rôznu hranu hodín (rôzni výrobcovia)

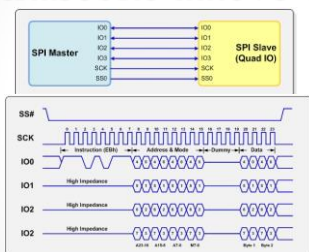


Protokol

- Začína CS z mastra, následne hodiny a môže byť vyslaná inštrukcia z mastra nasledovaná dátami z mastra v prípade prenosu z mastra do slavu alebo dátami zo slavu do mastra



Viacnásobné dátové vodiče



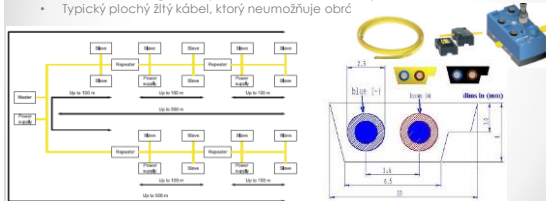
Aplikácie

- AD a DA prevodníky, pamäte, senzory, programovateľné zosilňovače, ...
- Môže sa líšiť u rôznych výrobcov
- Odvodené rozhrania, napr. Esbus vyvinutá Esensors Inc, (www.eesensors.com)

AS-Interface (AS-i) Bus

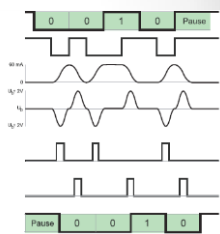
Základná charakteristika

- Actuator-sensor interface
- Princíp komunikácie master/slave
- Ľubovoľná konfigurácia (hviezda, bod-bod, linka, ...)
- Typický plochý žltý kábel, ktorý neumožňuje obrát



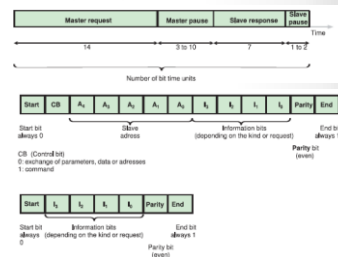
Fyzická vrstva AS-i

- Prenos využíva Manchester kód
- Budenie je prúdové
- Cievky v zdroji filtrujú impulzné budenie na približne sínusový priebeh



Protokol

- Single master protokol - jediný master posíla požiadavku na ktorú slave odpovedajú
- Prenosová rýchlosť 166,67kbit/s (dĺžka bitu 6ms), celý cyklus max. 5082µs



Konfigurácie siete

