

Sběrnice typu CAN a její použití v automobilové technice

CAN Bus and its application in automotive technology

Aleš Vingárek

Bakalářská práce
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Aleš VINGÁREK**
Osobní číslo: **A07299**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**

Téma práce: **Sběrnice typu CAN a její použití v automobilové technice**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma.
2. Popište obecný distribuovaný systém řízení.
3. Popište sběrnici CAN v moderních automobilech.
4. Uvedte hardwarové a softwarové prostředky, diagnostiku a topologii řídicích jednotek v autobusech Iveco.
5. Simulujte závady na jednom zvoleném uzlu jeho diagnostika za použití osciloskopu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. HEINZ HÄBERLE a kolektiv. Průmyslová elektronika a Informační technologie. 8. vyd., Nakladatelství Europa Sobotáles 2003, ISBN 80-86706-04-4
2. ŠŤASTNÝ, J., REMEK, B. Autoelektrika a Autoelektronika. 5. vyd. Praha: Nakladatelství T. Malina 2000 ISBN 80-86293-01-7
3. NAKLÁDAL, J. Využití moderních elektronických prvků v současném osobním automobilu. Zlín, 2006. 53 s. Bakalářská práce na Fakultě aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
4. IVECO Product Academy. Postupy a zařízení k provádění diagnostiky na elektrických soustavách a elektronických systémech. Učební materiály Iveco Czech Republic a.s. Vysoké Mýto, 2009.
5. KOCOUREK, P. Can bus a jeho aplikace ve vozidlech. Fakulta elektrotechnická katedra měření ČVUT v Praze. Formát Microsoft PowerPoint. 4.8.2008
6. POLÁK, K. Sbírka CAN. Ústav Telekomunikací VUT FEKT Brno. <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html> 16.6.2003
7. CAN Controller Area Network. <http://fieldbus.feld.cvut.cz/can/> 10.11.2002

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Úředníček, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce:

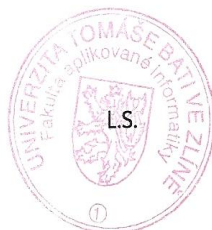
25. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

7. června 2011

Ve Zlíně dne 25. února 2011

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá obecným popisem průmyslových sběrnic, převážně pak sběrnici CAN, která je nejčastěji využívána ke komunikaci mezi řídicími jednotkami moderních vozidel. V další části jsou popsány hardwarové prostředky řídicích jednotek těchto vozidel. Závěr teoretické části je věnován metodologii a problematice moderní automobilové diagnostiky elektronických systémů. Praktická část blíže uvádí použité diagnostické prostředky, simulaci závad na sběrnici CAN a jejich vyhodnocení pomocí osciloskopu.

Klíčová slova: distribuované řízení, průmyslová sběrnice, CAN, řídicí jednotka, automobilová diagnostika, osciloskop

ABSTRACT

This bachelor's thesis is concerned with general description of industrial fieldbuses, mostly with fieldbus CAN which is most often used for communication between control units of modern vehicles. Hardware means of the control units of these vehicles are described in the next part. The end of the theoretical part is devoted to methodology and problems of modern automobile diagnosis of electronic systems. The practical part features used diagnostic means, simulation of defects on the fieldbus CAN and their assessment with the aid of oscilloscope.

Keywords: distributed control, fieldbus, CAN, control unit, automotive diagnosis, oscilloscope

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Zdeňku Úředníčkovi, CSc. za rady, náměty a věcné připomínky při zpracování této práce. A dále všem, kteří mne jakýmkoliv způsobem podpořili.

Motto

„Čas a pokrok nezastavíš.“

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 DISTRIBUOVANÝ SYSTÉM	11
1.1 HISTORIE DISTRIBUOVANÝCH SYSTÉMŮ.....	11
1.2 STRUKTURA POČÍTAČOVÉHO ŘÍDÍČÍHO SYSTÉMU.....	12
1.2.1 Distribuované řízení	12
1.2.2 Distribuované hierarchické řízení	13
1.2.3 Centralizované řízení	14
1.3 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOL.....	14
1.3.1 OSI / ISO.....	14
1.4 SBĚRNICE	17
1.5 NEJROZŠÍŘENĚJŠÍ PRŮMYSLOVÉ SBĚRNICE V ŘÍDÍČÍCH SYSTÉMECH.....	18
2 OBECNÁ SBĚRNICE CAN	19
2.1 APLIKACE DO AUTOMOBILU.....	20
2.2 VLASTNOSTI SBĚRNICE	20
2.2.1 Základní vlastnosti protokolu CAN	21
2.2.2 Rámec zprávy.....	22
2.2.3 Základní typy zpráv	24
2.3 PŘÍSTUP KE SBĚRNICI.....	26
2.3.1 Fyzická vrstva.....	26
2.3.2 Linková (spojovací) vrstva.....	28
2.3.3 Aplikační vrstva	31
2.4 HARDWARE	32
2.4.1 Činnost řídicí jednotky	33
2.4.2 Příklad funkce řídicí jednotky	35
2.5 CAN BUS POUŽITÝ VE VOZIDLECH IVECO	35
2.5.1 Topologie řídicích jednotek	36
2.6 METODOLOGIE DIAGNOSTIKY	38
2.6.1 Sériová diagnostika	38
2.6.2 Paralelní diagnostika	40
2.6.3 Komunikace s diagnostickým testerem.....	41
2.6.4 Identifikace řídicí jednotky.....	42
II PRAKTICKÁ ČÁST	44
3 SIMULACE ZÁVAD NA SBĚRNICI CAN	45
3.1 POUŽITÉ DIAGNOSTICKÉ PROSTŘEDKY IVECO	45
3.1.1 E.A.SY	46
3.1.2 Rozhraní E.C.I.....	46
3.1.3 Obsluha diagnostického systému E.A.SY.....	47
3.1.4 Postup diagnostiky	48

3.1.5	EltracScope.....	49
3.2	SIMULACE ZÁVADY NA VOZE CROSSWAY.....	50
3.2.1	Projevení závady při provozu.....	51
3.2.2	Rozbor anomálií na sběrnici CAN pomocí Osciloskopu	51
ZÁVĚR		55
CONCLUSION		56
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		60
SEZNAM OBRÁZKŮ		61
SEZNAM TABULEK.....		62

ÚVOD

Od vzniku prvního automobilu poháněného spalovacím motorem uplynulo již více než sto let a za tu dobu prošel automobil několika zásadními etapami svého vývoje a to i z hlediska elektrotechniky. Z počátku se automobil a jeho motor obešel bez elektrických zařízení. Motor se roztáčel klikou, zapalování bylo řešeno žhavicí trubicí a k osvětlení se využívalo acetylenových svítilen. Později bylo možné získat za příplatek elektrické osvětlení, elektrický spouštěč, nebo i elektronkové autorádio a zdálo se, že na elektrické soustavě vozidla není co zlepšovat. Technický pokrok se však nezastavil a vynález tranzistoru otevřel zcela nový svět elektroniky a mikroelektroniky. [2] V současnosti jsou neustále kladeny nároky na bezpečnost jízdy, jízdní komfort, nízký obsah škodlivin ve výfukových plynech a malou spotřebu paliva v automobilech. Tuto problematiku znám z praktické části, rád bych jí porozuměl i z teoretické části, a proto jsem si vybral pro svou bakalářskou práci právě toto téma.

Cílem této bakalářské práce je popis sběrnice typu CAN a její použití v autobusech značky IVECO. V teoretické části popisují obecné sběrnice a sběrnici CAN a její uplatnění v automobilovém průmyslu. Praktickou část věnuji diagnostickému systému a simulaci závady na zvoleném uzlu.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 DISTRIBUOVANÝ SYSTÉM

Distribuovaný systém se skládá z více autonomních uzlů (počítačů), vzájemně propojených, komunikujících a jevících se (zvnějšku) jako jednotný integrovaný systém. Počítače, na kterých daná aplikace běží, musí být samozřejmě nějak hardwarově propojeny. V minulosti bylo právě propojení těchto počítačů slabým místem pro vývoj daných aplikací, protože neexistovalo univerzální spojení více míst. [4]

V době kdy již Internet existuje ve většině vyspělých zemí a neustále se rozrůstá, se distribuované aplikace množí jako houby po dešti, a právě růst sítí sítí vyřešil problém s komunikací jednotlivých počítačů. [4]

Při automatizaci výroby, v systémech řízení budov, správě dopravních cest, sběru ekologických dat a dalších podobných aplikacích, se projektanti setkávají se stále většími nároky na množství informací, které je potřebné ze systému získat a tím docílit co největší přesnosti při jejich řízení a správě. Na množství a kvalitě informací je závislá i celková efektivita systému, protože je možné minimalizovat spotřebu energií a zvýšit uživatelský komfort. Protože je správa tak velkého množství informací pro člověka náročná, nebo dokonce úplně nemožná, používají se pro řešení dílčích úloh v rozsáhlých aplikacích distribuované řídicí systémy. Do vyšších úrovní řízení jsou pak přenášeny informace o stavu těchto úloh a pouze hodnoty vybraných důležitých vstupů. Kromě schopnosti řídit přidělený subsystém je důležitým parametrem distribuovaných řídicích systému možnost jejich vzdálené správy a modifikace s co nejlepším využitím současné komunikační infrastruktury. [4]

1.1 Historie distribuovaných systémů

Historie řídicích systémů sahá až do roku 1969, kdy se začaly objevovat první TTL (transistor-transistor-logic) obvody. TTL je standardem používaným pro implementaci digitálních (také logických) integrovaných obvodů, vycházejícím z použití technologie bipolárních křemíkových tranzistorů. Objevila se první zařízení, která měla 60-500 integrovaných obvodů. Byla to v první řadě zařízení jako automatické váhy s výpočtem ceny, svařovací automaty se 4 stupni volnosti, nebo se používala pro řízení dvou os obráběcího stroje. [4]

V roce 1976 převzal řízení systémů procesor vyrobený firmou Intel. Jednalo se o 8bitový procesor technologie NMOS s adresovatelným paměťovým prostorem 64 kB. Taktovací frekvence procesoru byla cca 1-2 MHz. Byl to jeden z nejrozšířenějších procesorů své doby, který měl široké využití od průmyslových aplikací po první domácí počítače. V řídicích systémech byl využit především pro řízení průmyslových strojů. [4]

Ke konci sedmdesátých let se začaly objevovat 32bitové obvody. Tyto obvody našly uplatnění v různých manipulátorech, které se daly ovládat ve dvou osách, nebo v řízení lopatek turbíny leteckého motoru ve třech osách. [4]

V polovině let osmdesátých se objevují první procesorové systémy, které nesly označení M6800, I80386. Používaly se především pro řízení železniční dopravy nebo pro 3 až 5-ti osé řízení s přesností 1 μm . [4]

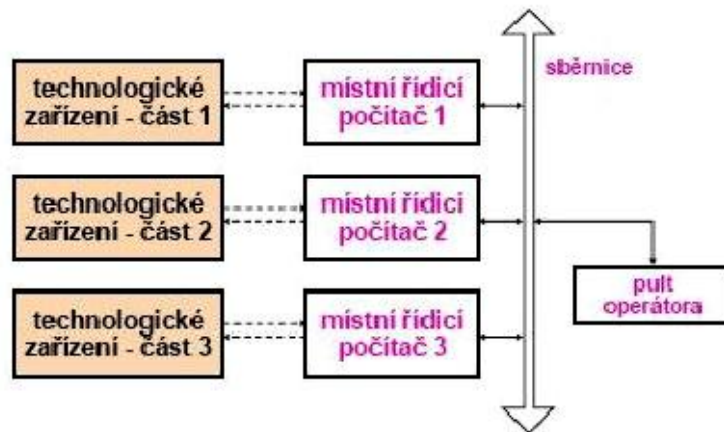
Od roku 1988-2001 se začínají uplatňovat nové technologie a postupy. V roce 1988 plošná montáž a hradlové pole, 1990 signálové procesory, 1992 transputerová technika, 1995 paralelní algoritmy řízení, 1996 PLC – programovatelné logické automaty v síti, 1997 SCADA – dohledové řízení a sběr dat, 1999 web aplikace, 2000 programování řídicích systémů přes internet, 2002 průmyslový ethernet – procesní síť, 2003 komplexní návrhové systémy (HW+SW), Embedded systém (vestavěný systém - jednoúčelový systém, ve kterém je řídicí počítač zcela zabudován do zařízení, které ovládá. Na rozdíl od univerzálních počítačů jako jsou osobní počítače, embedded počítače jsou většinou jednoúčelové, určené pro předem definované činnosti), 2004 bezpečné řídicí systémy, 2006 Embedded systémy s agenty. [4]

1.2 Struktura počítačového řídicího systému

Z hlediska struktury rozeznáváme distribuované řízení, distribuované hierarchické řízení nebo centralizované řízení.

1.2.1 Distribuované řízení

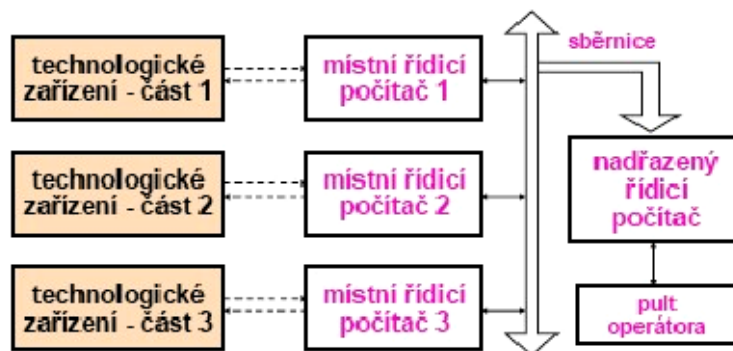
U distribuovaného řízení je řídicích počítačů více. Jsou rozmístěny u jednotlivých technologických bloků a sběrnicí jsou napojeny na pult operátora. (Obr. 1) [4]



Obr. 1 Distribuované řízení [4]

1.2.2 Distribuované hierarchické řízení

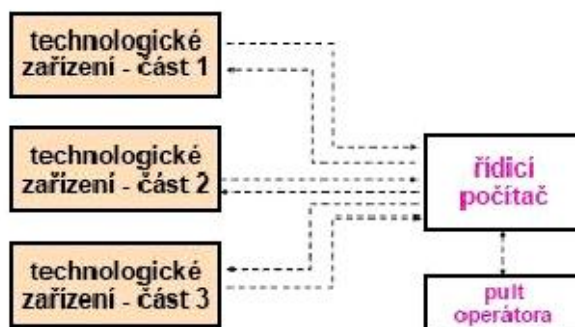
V distribuovaném hierarchickém řízení nad jednotlivými počítači není jen pult operátora, ale nadřazený řídicí počítač. V současné době je to nejčastěji používaná struktura. Nadřazených počítačů může být v hierarchické struktuře několik. Takto vzniká komplexní řídicí a informační síť. (Obr. 2) [4]



Obr. 2 Distribuované hierarchické řízení [4]

1.2.3 Centralizované řízení

U centralizovaného řízení se používá jediného řídicího počítače pro řízení celého procesu. Dnes se používá jen při malých aplikacích. (Obr. 3) [4]



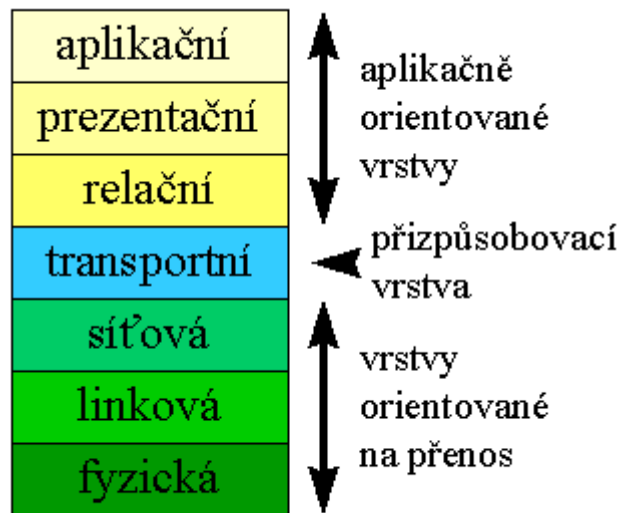
Obr. 3 Centralizované řízení [4]

1.3 Komunikační protokol

Protokol je soubor pravidel a parametrů, které je nutno při komunikaci na určité úrovni dodržet, aby komunikace byla navázána a byla bezchybná.

1.3.1 OSI / ISO

Snaha o mezinárodní standardizaci komunikačních sítí vyústila v roce 1983 ve vytvoření Referenčního sedmivrstvého modelu OSI (Reference Seven-Layer Model OSI) za přispění mezinárodní standardizační organizace ISO. Tento model se používá jako názorný příklad řešení komunikace v počítačových sítích, kde jsou jednotlivé vrstvy nezávislé a lehce nahraditelné. (Obr. 4) Model ISO/OSI je vybudován na principech architektury otevřených systémů tj. systémů splňujících pouze pravidla daná protokolem. Pravidla modelu jsou rozdělena do sedmi komunikačních vrstev. [1]



Obr. 4 Referenční model OSI / ISO [15]

1) Fyzická vrstva

Z hlediska komunikačního modelu ISO/OSI fyzický přenos dat zajišťují fyzické vrstvy komunikujících účastníků sítě. Fyzická vrstva uskutečňuje vlastní přenos zprávy formou elektrického (optického, radiového) signálu. Fyzická vrstva rovněž představuje rozhraní mezi fyzickým spojem a linkovou vrstvou a mj. zajišťuje kódování zprávy do formy změn napěťových (nebo proudových) impulsů, dekódování, případně modulování a demodulování a synchronizace takto binárně kódované zprávy. Nedílnou součástí fyzické vrstvy je definice mechanických parametrů fyzického propojení jako např. definice rozměrů konektorů, průřezy vodičů, atd. [3]

2) Linková vrstva

Součástí specifikace linkové vrstvy bývá definice minimálních a maximálních prodlev mezi rámci a další časové parametry definující komunikaci. Jednou z hlavních funkcí linkové vrstvy je stanovení tzv. přístupové metody. Je-li na síti více účastníků, je nutné nějakým způsobem stanovit, kdo má kdy vysílat. Dojde-li k situaci, že se několik stanic pokouší vysílat současně, tak se obvykle žádné stanici nepodaří zprávu vyslat, protože současné vysílání několika stanic způsobí neplatnost údajů na sběrnici. Přístupová metoda je tedy definice pravidel vedoucích k získání oprávnění vysílat zprávu. [3]

3) Síťová vrstva

Síťová vrstva zajišťuje adresování, specifikuje tedy formát adres a způsob adresování. V některých sítích lze jedné stanici adresovat několika způsoby. Je možné definovat skupiny adres (zprávy typu multicast) nebo společnou adresu pro všechny účastníky sítě (zprávy typu broadcast). V průmyslových sítích, kde topologie jsou poměrně jednoduché, bývá tato vrstva vynechána a její služby poskytuje aplikační vrstva. [3]

4) Transportní vrstva

Transportní vrstva zajišťuje spolehlivý a bezchybný přenos dat (transport), fragmentaci a defragmentaci dlouhých zpráv, detekci chyb a znovu vyžádání poškozených rámců. Vyšším vrstvám hlásí pouze neopravitelné chyby. V průmyslových sítích, kde jsou protokoly a přenášené zprávy poměrně jednoduché, bývá tato vrstva vynechána a její služby poskytuje aplikační vrstva. [3]

5) Relační vrstva

Relační vrstva navazuje, vyjednává, udržuje a ukončuje spojení mezi stanicemi. Využívá transportní vrstvu pro bezpečný přenos dat, která jsou jí předávána Prezentací vrstvou. V průmyslových sítích, kde jsou přenášené zprávy poměrně jednoduché a pro přenos každého rámce je navázáno samostatné spojení, bývá tato vrstva vynechána a její služby poskytuje aplikační vrstva. [3]

6) Prezentací vrstva

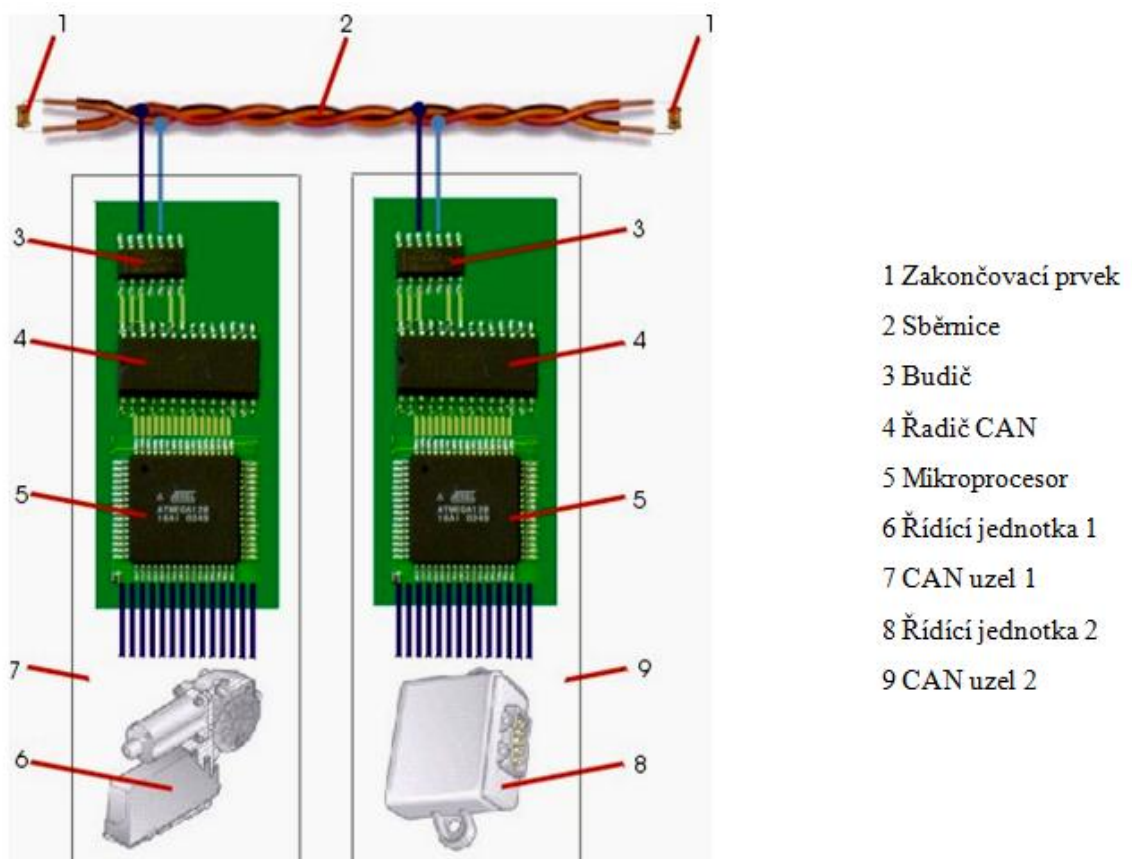
Prezentací vrstva převádí přenášená data do tvaru vhodného pro zpracování Aplikační vrstvou. Převádí data do vhodného formátu (např. převod mezi big-endian/little-endian), rovněž může zajišťovat kryptografické služby (šifrování a dešifrování) při zabezpečené komunikaci. V průmyslových sítích bývá tato vrstva vynechána a její služby poskytuje aplikační vrstva. [3]

7) Aplikační vrstva

Aplikační vrstva zajišťuje poskytování komunikačního rozhraní aplikací. Pro aplikaci tedy zajišťuje přenos dat mezi stanicemi, definuje význam přenášených zpráv a přenášených dat, definuje datové typy a specifikuje reprezentaci reálných fyzikálních veličin definovanými datovými typy. Aplikační vrstva rovněž zajišťuje služby těch nižších vrstev, které nebyly protokolem implementovány. [3]

1.4 Sběrnice

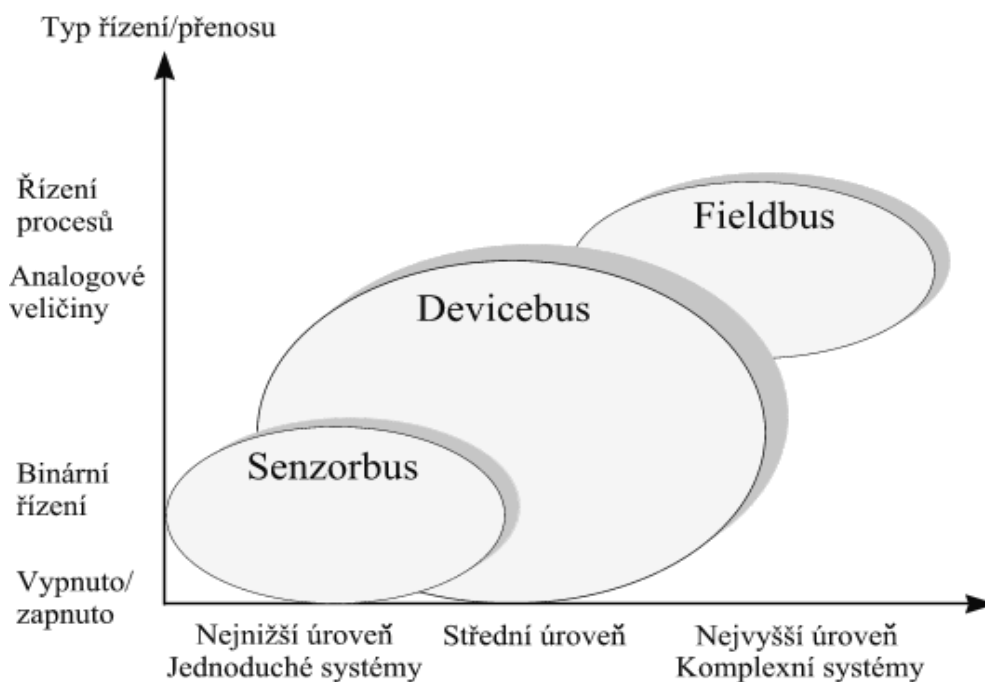
Datové sítě jsou zařízení určená pro přenos dat mezi vysílači a přijímači v širším rozsahu, než jaký umožňují datové spoje mezi jedním vysílačem a jedním přijímačem. Datové sítě mají tři topologie geometrického uspořádání. Jedním z nich je **sběrnice**, která má široké uplatnění v průmyslové automatizaci např. propojení řídicích jednotek, oblasti PC a multimediální technice. Páteří sítě je spojovací vedení, nejčastěji koaxiální kabel nebo dva vodiče vinuté společně jako kroucený pár, k němuž jsou připojeny jednotlivé uzly sítě bez centrální nebo řídicí stanice. (Obr. 5) Datové zprávy se šíří vedením všemi směry a všechny stanice k nim mají přístup. [1]



Obr. 5 Složení sběrnice CAN [11]

1.5 Nejrozšířenější průmyslové sběrnice v řídicích systémech

V dnešní době existuje velké množství standardů pro průmyslovou komunikaci, proto jsem se rozhodl uvést přehled a stručnou charakteristiku používaných průmyslových sběrnic. Průmyslové sítě můžeme rozdělit podle typu řízení a typu systému. (Obr. 6)



Obr. 6 Přehled nejrozšířenějších sběrnic [3]

V první řadě se jedná o průmyslové sítě typu Sensorbus. Tyto sítě tvoří nejnižší úroveň řízení. Jsou vhodné pro komunikaci v reálném čase se senzory a jednoduchými akčními členy. Obvykle definují pouze 1. a 2. vrstvu modelu ISO/OSI. Používají krátké rámce a jsou velmi rychlé. Mezi tyto sítě se řadí např. AS-Interface, Profibus DP. Dalším typem sítí je Devicebus. Jedná se o sítě s vyšší úrovní řízení. Používají se pro komunikaci na úrovni programovatelných automatů. Definují 1., 2. a 7. vrstvu modelu ISO/OSI. Používají delší rámce umožňující konfiguraci akčních členů a senzorů. Umožňují účinně řídit komplexní procesy při zachování relativně nízké ceny. Mezi tyto sítě patří např. Controller Area Network – dále jen CAN, LonWorks, Modbus. Posledním typem sítí je Fieldbus, který stojí nejvýše v hierarchii průmyslových sítí. Tyto sítě definují všech 7 vrstev ISO/OSI modelu a navíc ještě definují 8. vrstvu (User Level). Umožňují událostmi řízené služby, objektově orientované přenosy dat a proměnných, funkce pro zprávu sítě atd. Do této skupiny patří např. Profibus FMS, FIP, P-Net. [3]

2 OBECNÁ SBĚRNICE CAN

Sběrnice CAN byly vyvinuty německou společností Bosch pro potřeby automobilového průmyslu.

Tab. 1 Historie vývoje CAN [12]

1983	Firma Bosch zahájila projekt vývoje komunikační sítě pro motorová vozidla.
1986	Vydáno oficiální informace k CAN protokolu.
1987	Firmy Philips Semiconductors a Intel uvedly první obvody pro CAN.
1991	Firma Bosch vydala CAN specifikaci 2.0.
1991	High-level protokol CAN Kingdom od firmy Kvaser.
1992	Ustanoveno sdružení výrobců a uživatelů CANu CiA (CAN in Automation).
1992	CiA zveřejňuje specifikaci protokolu CAL (CAN Application Layer).
1992	Firma Mercedes-Benz uvádí první automobil se sběrnicí CAN.
1994	První mezinárodní CAN konference (iCC) organizovaná sdružením CiA.
1994	Firma Allen-Bradley uvádí high-level protokol DeviceNet.
1995	Vydán dodatek ISO 11898: Extended Frame Format.
1995	Sdružení CiA publikuje specifikaci protokolu CANopen.
2000	Vývoj time-triggered (časově-spouštěného) komunikačního protokolu pro CAN (TTCAN).

Vzhledem k tomu, že přední výrobci integrovaných obvodů implementovali podporu protokolu CAN do svých produktů, dochází ke stále častějšímu využívání tohoto protokolu i v různých průmyslových aplikacích. Důvodem je především nízká cena, snadné nasazení,

spolehlivost, vysoká přenosová rychlost, snadná rozšiřitelnost a dostupnost potřebné součástkové základny. [13]

V současné době má protokol CAN své pevné místo mezi ostatními fieldbusy a je definován normou ISO 11898. Ta popisuje fyzickou vrstvu protokolu a specifikaci CAN 2.0A. Později byla ještě vytvořena specifikace CAN 2.0B, která zavádí dva pojmy - standardní a rozšířený formát zprávy (lišící se v délce identifikátoru zprávy). Tyto dokumenty definují pouze fyzickou a linkovou vrstvu protokolu podle referenčního modelu ISO/OSI. Aplikační vrstva protokolu CAN je definována několika vzájemně nekompatibilními standardy (CAL, CANopen, DeviceNet). [14]

2.1 Aplikace do automobilu

Většina vozidel je vybavena celou řadou elektronických řídicích systémů. Růst elektroniky v automobilovém průmyslu je podmíněn jednak vzrůstajícími nároky uživatelů, tak také tlakem jednotlivých vlád na neustálé snižování spotřeby zdrojů a požadavky vyplývající ze snahy snížit vypouštěné emise do ovzduší. [13]

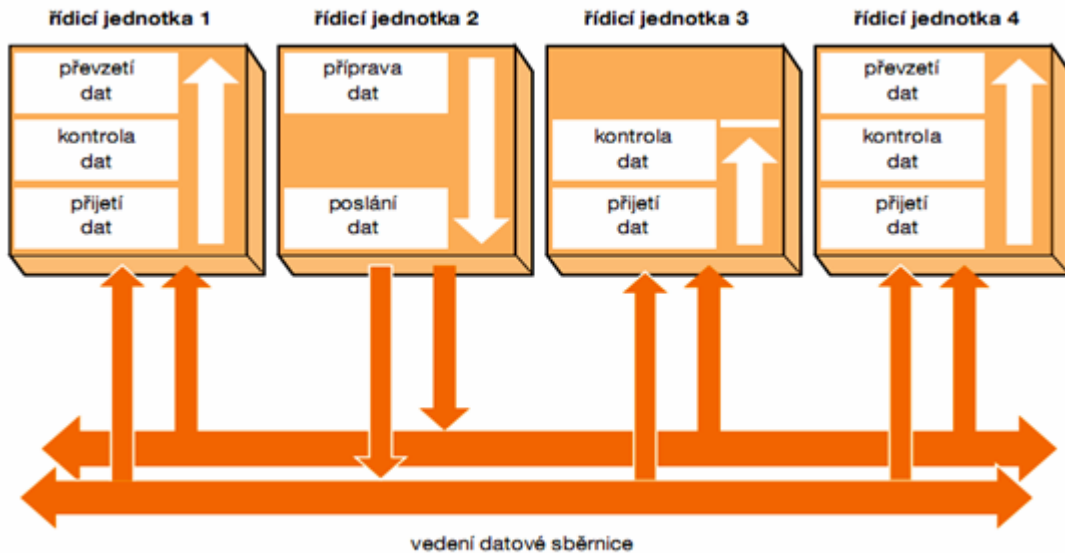
Komplexnost využívaných funkcí implementovaných v těchto nejrůznějších systémech si vynutila potřebu vzájemné komunikace mezi těmito systémy. V konvenčních systémech je pro každý přenášený signál vyhrazena jedinečná přenosová linka, což se ale pro velký počet přenášených signálů stává z finančního hlediska neúnosné. Navíc to přináší mnohé komplikace vyplývající z takto vysokého počtu vodičů určených pro přenos dat. [13]

Veškeré jednotky, které mají potřebu komunikovat ať už mezi sebou, či s jednotlivými senzory zajišťujícími sběr informací, jsou propojeny navzájem právě pomocí sběrnice CAN. Účelem použití této sběrnice v automobilovém průmyslu je zajištění komunikace mezi jednotlivými jednotkami tak, aby nedocházelo k velkému zatížení centrálního procesoru. [3]

2.2 Vlastnosti sběrnice

Datová sběrnice CAN umožňuje velmi rychlý přenos dat mezi řídicími jednotkami. Snižuje hmotnost a prostor díky menšímu počtu snímačů, akčních členů a kabeláže, protože všechny jednotky mají přístup ke všem informacím. Značnou výhodou je zjednodušení propojení celého systému znevýhodněné složitějším odhalováním závad. CAN sestává ze dvou vedení datové sběrnice, dvou ukončení datové sběrnice a z jednotek připojených ke

sběrnici, které musí obsahovat řadič a budič CAN sběrnice. (Obr. 7) [3] Kromě vedení se všechny komponenty nachází v řídicích jednotkách. Viz kap. 2.4



Obr. 7 Průběh datového přenosu [6]

Přenosová rychlost je programovatelná a pohybuje se mezi 125 Kbit/s až 1 Mbit/s při délce sběrnice 40 m až 5200 m při maximálně 30-ti uzlech v síti. Jako přenosové médium se využívá optický kabel nebo kroucená dvojlinka opatřená dvěma ukončovacími odpory 120 Ohmů, které zabraňují, aby se jednou poslaná data vracela z konců sběrnice zpět a zkreslovala data nová. [1]

2.2.1 Základní vlastnosti protokolu CAN

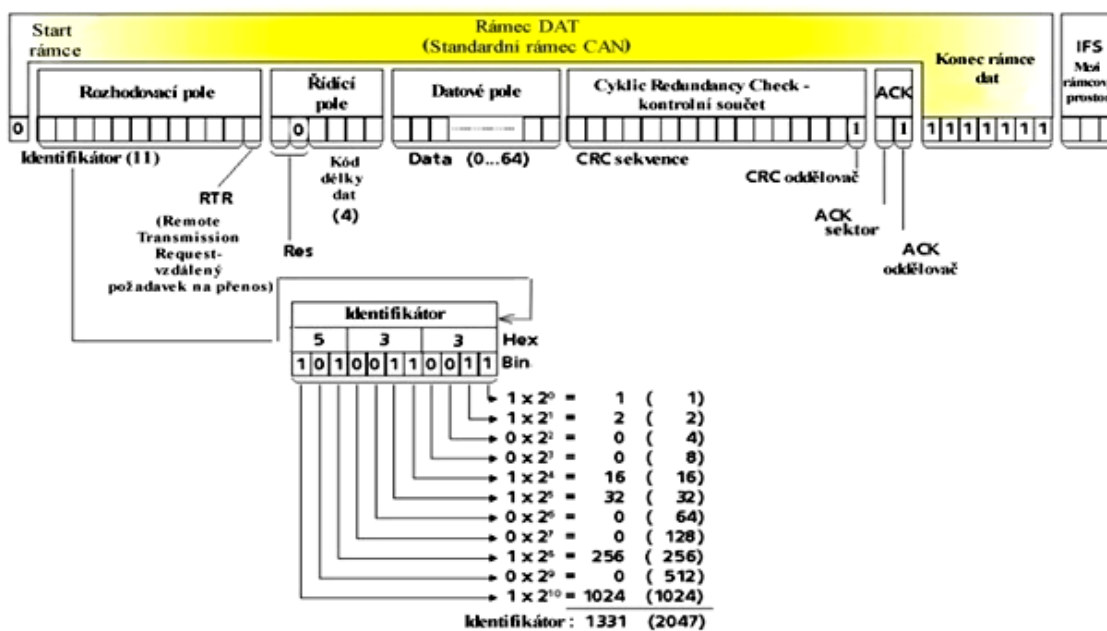
CAN je sériový komunikační protokol umožňující distribuované řízení systémů v reálném čase s vysokou mírou zabezpečení proti chybám. Jedná se o protokol typu multi-master, kde každý uzel sběrnice může být master a řídit tak chování jiných uzlů. Není tedy nutné řídit celou síť z jednoho nadřazeného uzlu, což přináší zjednodušení řízení a zvyšuje spolehlivost (při poruše jednoho uzlu může zbytek sítě pracovat dál). Pro řízení přístupu k médium je použita sběrnice s náhodným přístupem, která řeší kolize na základě prioritního rozhodování. Po sběrnici probíhá komunikace mezi dvěma uzly pomocí zpráv (datová

zpráva a žádost o data). Management sítě (signalizace chyb, pozastavení komunikace) je zajištěn pomocí dvou speciálních zpráv (chybové zprávy a zprávy o přetížení). [13]

Zprávy vysílané po sběrnici protokolem CAN neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu, kterému jsou určeny, a jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými ke sběrnici. Řadič v řídicí jednotce přijaté zprávy vyhodnocuje, zda jsou pro její činnost potřebná, pokud ano, pošle je k dalšímu zpracování do mikroprocesoru. Nejsou-li přijatá data pro činnost jednotky potřebná, tak na ně řídicí jednotka nereaguje. Každá zpráva je uvozena identifikátorem ve stavovém poli, který udává význam přenášené zprávy a její prioritu. Dále protokol CAN zajišťuje, aby zpráva s vyšší prioritou byla v případě kolize dvou zpráv doručena přednostně. [1]

2.2.2 Rámec zprávy

Jednotlivé části zprávy se nazývají pole. Jeden rámec zprávy tvoří sedm polí, která jsou tvořena z mnoha po sobě jdoucích bitů. Počet bitů v rámci zprávy je závislý na velikosti datového pole. Struktura rámce zprávy je na obou vedeních datové sběrnice stejná. Pro zjednodušení schematického znázornění je vyobrazeno vedení jen jedno. (Obr. 8) [6]



Obr. 8 Rámec zprávy [11]

Význam jednotlivých částí rámce zprávy: [14]

1. Počáteční pole (SOF = Start Of Frame) - označuje začátek zprávy, 1 bit dominant.
2. Rozhodovací pole (Arbitration Field) - přenáší identifikátor, který určuje prioritu a význam zprávy.
 - RTR bit (Remote Transmission Request) - 1 bitový příznak udává, zda se jedná o datovou zprávu dominant nebo o žádost o vyslání dat recessive.
3. Řídící pole (Control Field) - obsahuje jako kód počet informací, které jsou obsažené v datovém poli.
4. Datové pole (Data Field) - přenáší informace, které jsou důležité pro ostatní řídicí jednotky. Je největším polem (0-64 bitů).
5. Kontrolní pole (CRC Field) - slouží ke zjišťování chyb v přenosu. Metoda je založena na cyklickém výpočtu kontrolního kódu před a po přenosu.
6. Potvrzovací pole (ACK Field) - signalizuje správné přijetí zprávy. Je-li zjištěna chyba, je to vysílací jednotce ihned sděleno a dochází k opětovnému poslání zprávy.
7. Ukončovací pole (End of Frame) - signalizuje správné odeslání zprávy. Je-li zjištěna chyba, dochází k přerušení a opakovanému zasílání zprávy. Tím je přenos ukončen.

2.2.3 Základní typy zpráv

Specifikace protokolu CAN definuje čtyři typy zpráv:

- A) Datová zpráva
- B) Žádost o data
- C) Zpráva o chybě
- D) Zpráva o přetížení

Datová zpráva a žádost o data se týkají přenosu dat. Datová zpráva tvoří základ komunikace a umožňuje zařízení vyslat zprávu dlouhou až 8 Byte. Naopak při jednoduchých typech datových zpráv jako jsou povely zapni/vypni a podobně, není třeba posílat žádná data. Tyto binární příkazy mohou být obsaženy v identifikátoru zprávy. Tím se zvyšuje rychlost přenosu v protokolu CAN. Zařízení, které tato data vlastní, je vyšle na sběrnici. [3]

Další dva typy zpráv slouží k řízení sběrnice a to k signalizaci chyby a eliminaci chybných zpráv a k signalizaci o přetížení, tedy vyžádání prodlevy v komunikaci. [3]

A) Datová zpráva (Data Frame)

U datových zpráv se rozlišují dva typy zpráv podle délky identifikátorů zpráv. Standardní formát zprávy (Standard Frame) podle specifikace CAN 2.0A obsahuje 11 bitů dlouhý identifikátor. Rozšířený formát zprávy (Extended Frame) podle specifikace CAN 2.0B obsahuje 29 bitů dlouhý identifikátor. Oba typy zpráv mohou být vysílány na stejné sběrnici, pokud jsou použity v uzlech řadiče podle specifikace 2.0B. [12]

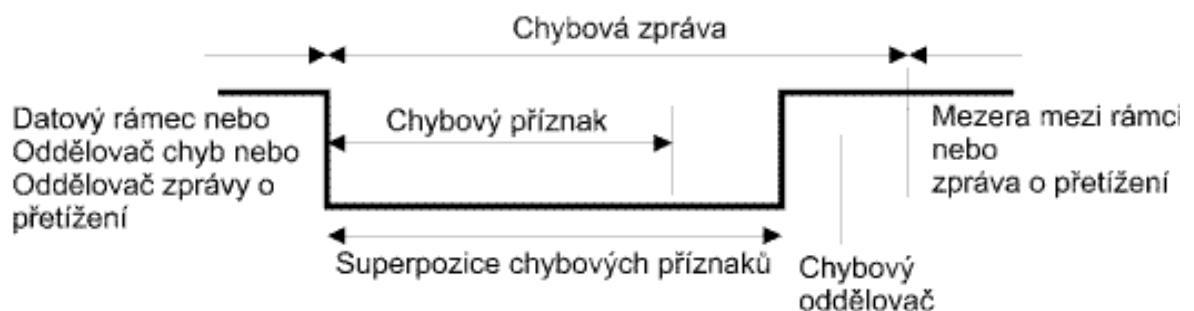
B) Žádost o data (Remote Frame)

Formát žádosti o data je podobný jako formát datové zprávy. Pouze je zde RTR bit nastaven do recesivní úrovně a chybí zde datová oblast. Žádost o data používá jak standardní tak rozšířený formát zprávy (11 nebo 29 bitový identifikátor). Pokud nějaký uzel

žádá o zaslání dat, pak nastaví takový identifikátor zprávy jako má datová zpráva, jejíž zaslání požaduje. Tím je zajištěno, že pokud ve stejném okamžiku jeden uzel žádá o zaslání dat a jiný data se stejným identifikátorem vysílá, přednost v přístupu na sběrnici získá uzel vysílající datovou zprávu, neboť úroveň RTR bitu datové zprávy je dominantní a tudíž má tato zpráva vyšší prioritu. [12]

C) Zpráva o chybě (Error Frame)

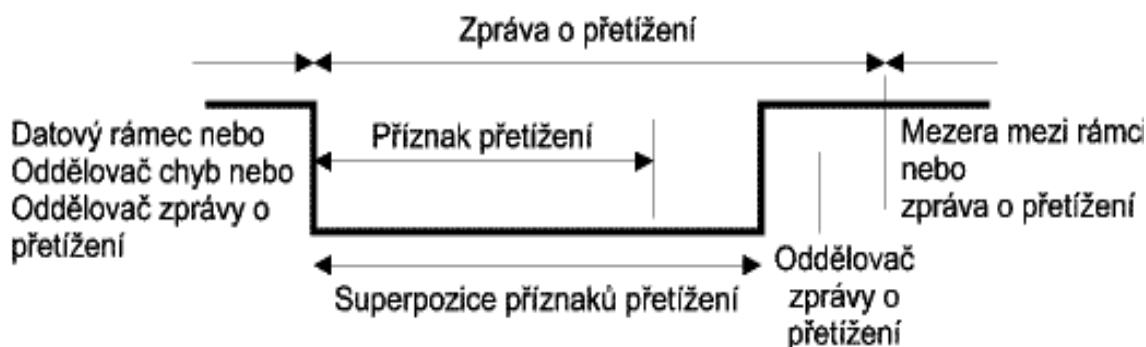
Chybová zpráva slouží k signalizaci chyb na sběrnici CAN. Jakmile libovolný uzel na sběrnici detekuje v přenášené zprávě chybu (chyba bitu, chyba CRC, chyba vkládání bitů, chyba rámce), vygeneruje ihned na sběrnici chybový rámec. (Obr. 9) Podle toho, v jakém stavu pro hlášení chyb se uzel, který zjistil chybu právě nachází, generuje na sběrnici buď aktivní (šest dominantních bitů) nebo pasivní (šest recesivních bitů) příznak chyby. Při generování aktivního příznaku chyby je přenášená zpráva poškozena (vzhledem k porušení pravidla na vkládání bitů), a tedy i ostatní uzly začnou vysílat chybové zprávy. Hlášení chyb je pak indikováno superpozicí všech chybových příznaků, které vysílají jednotlivé uzly. Délka tohoto úseku může být minimálně 6 a maximálně 12 bitů. Po vyslání chybového příznaku vysílá každý uzel na sběrnici recesivní bity. Zároveň detekuje stav sběrnice a jakmile najde na sběrnici první recesivní bit, vysílá se dalších sedm recesivních bitů, které plní funkci oddělovače chyb (ukončení chybové zprávy). [14]



Obr. 9 Chybová zpráva protokolu CAN [14]

D) Zpráva o přetížení (Overload Frame)

Zpráva o přetížení slouží k oddálení vyslání další datové zprávy nebo žádosti o data. Tento způsob zpravidla využívají zařízení, která nejsou schopna kvůli svému vytížení přijímat a zpracovávat další zprávy. Struktura zprávy je podobná zprávě o chybě, ale její vysílání může být zahájeno po konci zprávy (End of Frame), oddělovače chyb nebo předcházejícího oddělovače zpráv přetížení. (Obr. 10) [14]



Obr. 10 Zpráva o přetížení [14]

Zpráva o přetížení je složena z příznaku přetížení (šest dominantních bitů) a případné superpozice všech příznaků přetížení, pokud jsou generovány více uzly současně. Za příznaky přetížení následuje dalších sedm recesivních bitů, které tvoří oddělovač zprávy o přetížení. [14]

2.3 Přístup ke sběrnici

Pro zajištění transparentnosti návrhu a flexibility implementace je přístup ke sběrnici CAN rozdělen do tří rozdílných vrstev podle specifikace ISO/OSI.

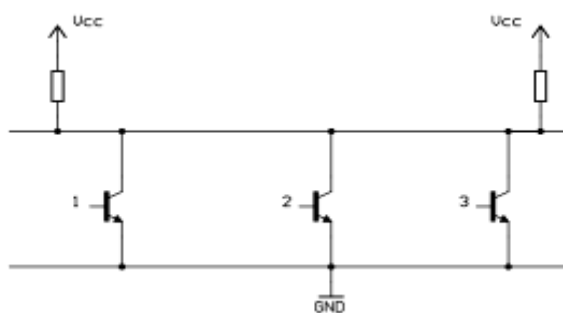
2.3.1 Fyzická vrstva

Úkolem fyzické vrstvy je vlastní přenos jednotlivých bitů mezi jednotlivými uzly s respektováním všech elektrických vlastností. Uvnitř jedné sítě má fyzická vrstva stejné

parametry pro všechny uzly, nicméně je možné zvolit si její parametry tak, aby co nejlépe vyhovovaly dané aplikaci. [13]

Protokol CAN definuje vlastní rozhraní k fyzickému přenosovému médiumu a v tomto směru se odlišuje od modelu ISO/OSI. Na druhé straně jsou vlastnosti fyzické vrstvy velkou předností protokolu CAN. Základním požadavkem na fyzické přenosové médium protokolu CAN je, aby realizovalo funkci logického součinu. Za účelem zvýšení rychlosti a odolnosti proti rušení je účelné, aby spoj byl symetrický. Standard protokolu CAN definuje dvě vzájemně komplementární hodnoty bitů na sběrnici – dominant a recessive. Jedná se v podstatě o jakýsi zobecněný ekvivalent logických úrovní, jejichž hodnoty nejsou určeny a skutečná reprezentace záleží na konkrétní realizaci fyzické vrstvy. [13]

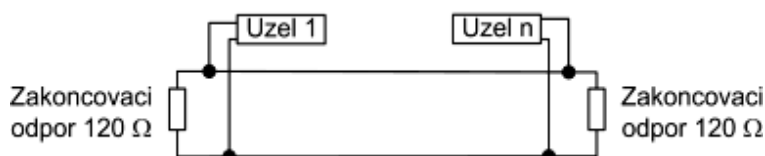
Pravidla pro stav na sběrnici jsou jednoduchá a jednoznačná. Vysílají-li všechny uzly sběrnice recessive bit, pak na sběrnici je úroveň recessive. Vysílá-li alespoň jeden uzel dominant bit, je na sběrnici úroveň dominant. Příkladem může být optické vlákno, kde stavu dominant bude odpovídat stav-svítlí a recessive stav-nesvítlí. Dalším příkladem může být sběrnice buzená hradly s otevřeným kolektorem (Obr. 11), kde stavu dominant bude odpovídat logická nula na sběrnici a stavu recessive logická jednička. Pak, je-li jeden tranzistor sepnut, je na sběrnici úroveň logické nuly dominant a nezáleží již na tom, zda je či není sepnutý i nějaký jiný tranzistor. Pokud není sepnut žádný tranzistor, je na sběrnici úroveň logické jedničky recessive. [14]



Obr. 11 Příklad realizace fyzické vrstvy protokolu CAN [14]

Pro realizaci fyzického přenosového média se nejčastěji používá diferenciální sběrnice definovaná podle normy ISO 11898. Tato norma definuje jednak elektrické vlastnosti vysílacího budiče a přijímače, tak zároveň principy časování, synchronizaci a kódování

jednotlivých bitů. Sběrnici tvoří dva vodiče (označované CAN_H a CAN_L), kde dominant či recessive úroveň na sběrnici je definována rozdílovým napětím těchto dvou vodičů. Dle nominálních úrovní uvedených v normě je pro úroveň recessive velikost rozdílového napětí $V_{diff} = 0 \text{ V}$ a pro úroveň dominant $V_{diff} = 2 \text{ V}$. Pro eliminaci odrazů na vedení je sběrnice na obou koncích přizpůsobena ukončovacími odpory o velikosti 120Ω . (Obr. 12) Jednotlivá zařízení jsou na sběrnici připojena pomocí konektorů, nejčastěji jsou používány konektory D-SUB. [13]



Obr. 12 Fyzické uspořádání sítě CAN podle ISO 11898 [13]

Ke sběrnici může být teoreticky připojen libovolný počet uzlů, ale prakticky s ohledem na zatížení sběrnice, je počet připojených uzlů podstatně nižší. Uvádí se kolem 64 na segment. Rovněž přenosová rychlost 1 Mbit/s je dosažitelná pouze na krátké vzdálenosti do 40 m a se vzdáleností prudce klesá, takže na $1,2 \text{ km}$ činí asi 70 Kbit/s . Plyne to z původního poslání sběrnice CAN, která byla určena pro malé vzdálenosti v instalaci automobilů. [13]

2.3.2 Linková (spojovací) vrstva

Tak jako v modelu ISO/OSI i v protokolu CAN je linková vrstva rozdělena na podvrstvu MAC a LLC.

MAC (Medium Access Control) reprezentuje jádro protokolu CAN. Úkolem je provádět kódování dat, vkládat doplňkové bity do komunikace (Stuffing/Destuffing), řídit přístup všech uzlů k médiu s rozlišením priorit zpráv, detekce chyb a jejich hlášení a potvrzování správně přijatých zpráv.

LLC (Logical Link Control) je podvrstva řízení datového spoje, což zde znamená filtrování přijatých zpráv (Acceptance Filtering) a hlášení o přetíženích (Overload Notification). [3]

A) Řízení přístupu k médiu a řešení kolizí

Vzhledem k tomu, že se jedná o síť typu multimaster, každý z účastníků může zahájit vysílání, jakmile je připraven a síť je v klidovém stavu (bus free). Kdo přijde první, ten vysílá. Ostatní mohou vysílat až poté, co je zpráva odvysílána. Výjimku tvoří chybové rámce, které se dají vysílat okamžitě po identifikaci chyby kterýmkoli účastníkem. [3]

Zahájí-li vysílání současně několik uzlů, pak přístup na sběrnici získá ten, který přenáší zprávu s vyšší prioritou (nižším identifikátorem). Každý vysílač porovnává hodnotu právě vysílaného bitu s hodnotou na sběrnici a zjistí-li, že na sběrnici je jiná hodnota než vysílá (jedinou možností je, že vysílač vysílá recessive bit a na sběrnici je úroveň dominant), okamžitě přeruší další vysílání. Tím je zajištěno, že zpráva s vyšší prioritou bude odeslána přednostně a že nedojde k jejímu poškození, což by mělo za následek opakování zprávy a zbytečné prodloužení doby potřebné k přenosu zprávy. Uzel, který nezískal při kolizi přístup na sběrnici, musí vyčkat až bude sběrnice opět ve stavu Bus free, a pak zprávu vyslat znovu. [3]

B) Zabezpečení přenášených dat

Protokol CAN se vyznačuje silným mechanismem zabezpečení přenášených dat. Celkem současně působí pět mechanismů zabezpečení, a to na úrovni zpráv (CRC kód, monitoring a potvrzení zprávy) a na úrovni bitu (kontrola zprávy a vkládání bitu). [13]

- Monitoring je schopnost vysílače detekovat chyby a je základem pro pozorování sběrnice signálů. Každý uzel, který vysílá, také pozoruje sběrnice část, a tak detekuje rozdíly mezi bity poslanými a bity přijatými. Toto dovoluje spolehlivou detekci globálních a lokálních chyb na straně vysílače. [3]

- CRC kód (Cyclic Redundancy Check) o délce 15ti bitů tvoří poslední pole vysílané zprávy. Tento kód představuje polynom $(x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1)$, kterým je dělen polynom vygenerovaný ze všech do té doby odvysílaných bitů zprávy. Zbytek po dělení těchto dvou polynomů je obsažen v této zprávě. Uzly na sběrnici tento výsledek porovnávají a v případě neshody je vygenerována chyba CRC. [14]

- Potvrzení přijetí zprávy (acknowledge), kde každé zařízení připojené ke sběrnici musí správně přijatou zprávu potvrdit. Činí tak změnou bitu v poli ACK (1 bit) z recessive -

vysílané vysílačem na dominant. To platí i pro ta zařízení, která mají zapnuto filtrování a tedy zprávu nepřijímají. [3]

- Kontrola zprávy (message frame check) se provádí podle formátu udaného ve specifikaci a pokud je na nějaké pozici bitu zprávy detekována nepovolená hodnota, je vygenerována chyba rámce (formátu zprávy). [3]

- Vkládání bitu (bit stuffing) je testováno na bitové úrovni. Bitová reprezentace CAN je NRZ kód (non-return-to-zero), který garantuje maximální efektivitu v bitovém kódování. Synchronizaci tvoří vkládání pěti po sobě jdoucích stejných bitů. Odesílatel přidá do bitového toku vložený bit s doplňkovou hodnotou, která je odstraněna příjemcem. Kódová kontrola je omezena kontrolou správnosti vloženého pravidla. Jestliže je objevena jedna nebo více chyb na nejméně jedné nebo více stanicích používajících zařízení, přenos je zrušen a je odeslána indikace chyby "error flag". To zabrání jiné stanici přijmout zprávu a zajistit konzistenci dat v celé síti. Další chybný přenos zprávy je zrušen a odesílatel se automaticky znovu pokusí o přenos (automatické opakování žádosti). Bude muset znovu soutěžit o připojení na sběrnici. Nový přenos bude zpravidla zahájen během 23bitové periody po odhalení chyby; ve speciálních případech je doba regenerace systému 31bitová perioda. Avšak tato účinná a efektivní metoda může v některých případech u chybné stanice vést k zrušení všech zpráv (včetně správných). Jestliže žádná jiná stanice nepřevzme sledování vzniklé chyby, dojde k zablokování systému sběrnice. CAN protokol tedy poskytuje mechanismus pro rozlišení ojedinělé chyby od trvalých chyb a lokalizuje stanici, která selhala. Toto je prováděno statistickým odhadem chybné stanice s cílem poznat stanici s vlastními chybami a možný pracovní režim, v kterém ostatní stanice záporně neovlivňují CAN síť. Pokud stanice sama sebe odpojí, zabrání tak chybnému rozpoznání zprávy a také chybnému přerušení. Pravděpodobnost neidentifikované zprávy je 10^{13} , příklad: CAN běžící 2000 hodin/rok rychlostí 500 kbit/s s 25% vytížením sběrnice může mít neidentifikovanou chybu jednou za 1000 let. [12]

C) Signalizace chyb

Každý uzel má zabudována dvě interní počítadla chyb udávající počet chyb při příjmu a při vysílání. Podle obsahů počítadel může uzel přecházet, co se týká hlášení chyb a jeho aktivity na sběrnici, mezi třemi stavy (aktivní, pasivní, odpojený). Pokud uzel generuje

příliš velké množství chyb, je automaticky odpojen (přepnut do stavu Bus-off). Z hlediska hlášení chyb tedy rozdělujeme uzly do následujících tří skupin: [14]

- Aktivní (Error Active)

Tyto uzly se mohou aktivně podílet na komunikaci po sběrnici a v případě, že detekují libovolnou chybu v právě přenášené zprávě (chyba bitu, chyba CRC, chyba vkládání bitů, chyba rámce), vysílají na sběrnici aktivní příznak chyby (Active Error Flag). Aktivní příznak chyby je tvořen šesti po sobě jdoucími bity dominant, čímž dojde k poškození přenášené zprávy (poruší se pravidlo vkládání bitů). [14]

- Pasivní (Error Passive)

Tyto uzly se také podílejí na komunikaci po sběrnici, ale z hlediska hlášení chyb vysílají pouze pasivní příznak chyby (Passive Error Flag). Ten je tvořen šesti po sobě jdoucími bity recessive, čímž nedojde k destrukci právě vysílané zprávy. [14]

- Odpojené (Bus-off)

Tyto uzly nemají žádný vliv na sběrnici, jejich výstupní budiče jsou vypnuty. [14]

2.3.3 Aplikační vrstva

Aplikační vrstva je 7. vrstva modelu vrstevové síťové architektury OSI. V originále se nazývá *application layer*. Účelem vrstvy je poskytnout aplikacím přístup ke komunikačnímu systému a umožnit tak jejich spolupráci. Ve sběrnících CAN je definována několika vzájemně nekompatibilními standardy (CAL, CAN Open, DeviceNet).

- CAL

Protokol CAL (CAN application layer) byl původně vyvinut firmou Philips Medical Systems, v současné době je rozvíjen a podporován organizací CiA (CAN in Automation). Je flexibilní a vhodný pro uzavřené systémy. Obsahuje 272 předdefinovaných standardních identifikátorů a 8 tříd priorit. CAL je založen na 4 skupinách servisních služeb CMS, NMT, LMT a DBT. [12]

- CANopen

CANopen je podmnožinou CAL, je rozšířen o standardizační prvky, kterými jsou definice jednotlivých šablon komunikačních a aplikačních vlastností zařízení. Navrhuje komunikační profily pro IO a pohony. [12]

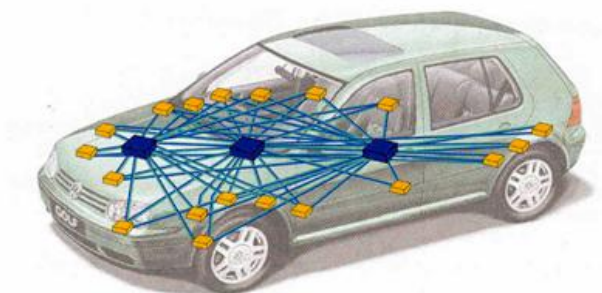
- DeviceNet

Protokol využívá standardních 11 bitových identifikátorů. DeviceNet popisuje všechna data a funkce zařízení, které jsou viditelné prostřednictvím sítě CAN sběrnice pomocí objektového modelu. Objekt je reprezentován abstraktním popisem komponent uvnitř zařízení, dále svými atributy, funkcemi, službami a chováním. Atributy reprezentují data, která jsou přístupná pomocí DeviceNetu. Může to být status objektu, sériové číslo a samozřejmě procesní data jako poloha, tlak, teplota atd. Služby slouží k volání funkcí a metod objektu. Například pro čtení/zápis jednotlivých atributů. Chování objektu popisuje jak zařízení reaguje na vnitřní či vnější události. Interní událostí může být uplynutí nějakého času, externí pak například změna procesních dat. [12]

2.4 Hardware

Široké uplatnění elektroniky jako průmyslového oboru vede ke stálému snižování výrobních nákladů a zvyšování provozní spolehlivosti součástí i systémů a umožňuje i řešení technických problémů v konstrukci motorových vozidel, které nebylo možno dřívějšími prostředky úspěšně zvládnout. Při nejvyšší technické úrovni jsou elektronická zařízení kompaktní, lehká a prostorově nenáročná. Jednodušší přenos řídicích a informačních signálů elektrickou cestou otevřel nové možnosti uplatnění elektroniky ve vozidlech. Elektronika je schopna řídit složité závislosti mezi vstupními a výstupními signály s velkou rychlostí a vysokou přesností. [2]

Od nejjednodušších polovodičových prvků, jakými jsou diody, tranzistory, tyristory apod., dospěl technický vývoj k širokému uplatnění běžných (univerzálních) i zákaznických (jednoučelových) integrovaných obvodů, mikroprocesorů a mikropočítačů. Při vysokém stupni integrace těchto logických řídicích prvků a využívání paměťových obvodů jsou schémata řídicích systémů hodně složitá a rozsáhlá. Další překážkou je patentová ochrana výrobního tajemství vedoucí k tomu, že u většiny používaných prvků není známé jejich vnitřní provedení, struktura, ale pouze jejich funkce a možnosti použití. Všechny vozidlové elektronické systémy řídicí, regulační nebo jen kontrolní, se skládají z elektronické řídicí jednotky (Obr. 13) zpracovávající vstupní informace od snímačů a ovládacích prvků a vysílající řídicí signály k akčním členům (elektromotory, elektromagnety apod.) a informační signály k zobrazovacím prvkům a zařízení (kontrolní svítilny, ukazovací přístroje, displeje apod.). [2]

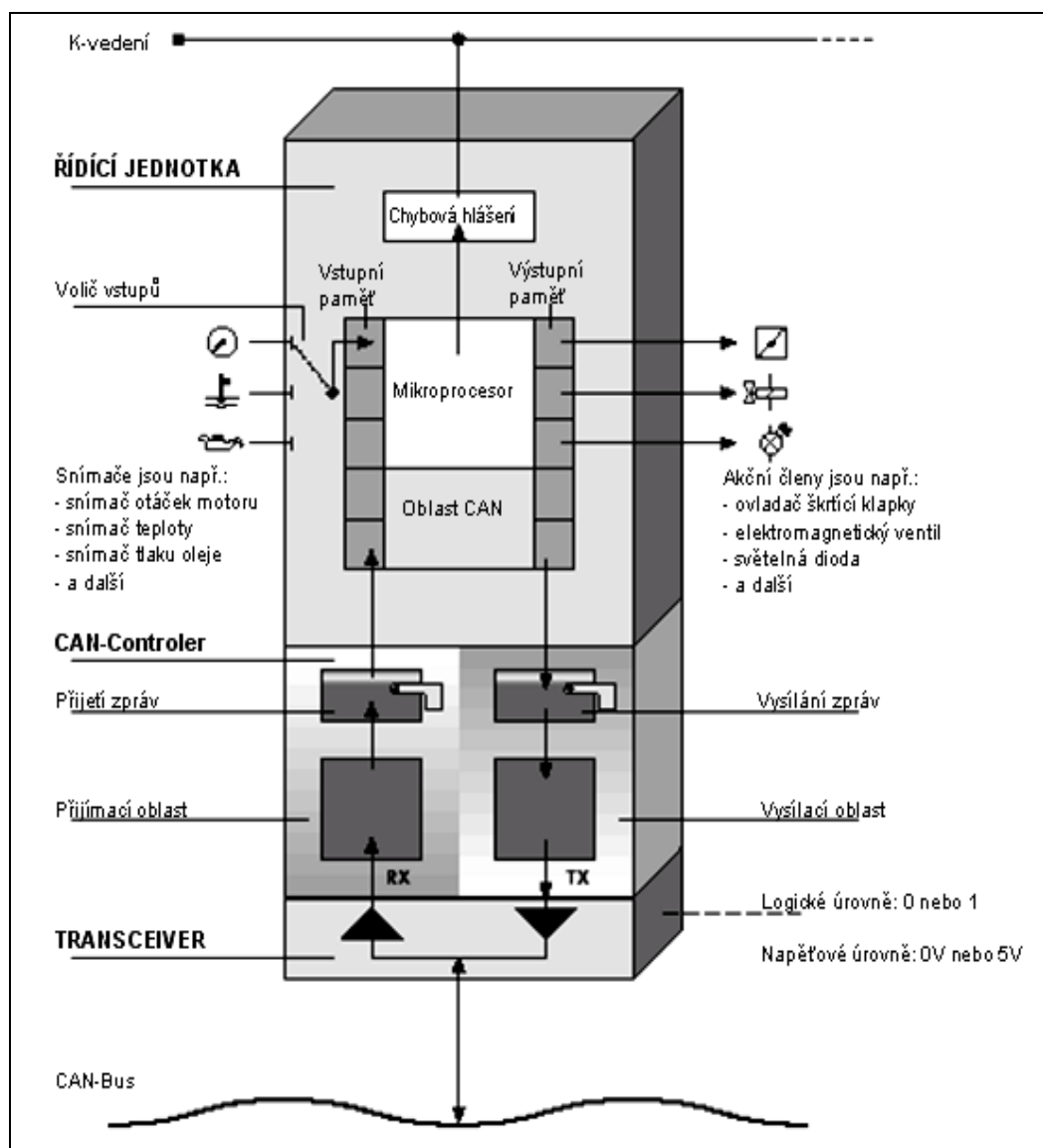


Obr. 13 Rozmístění řídicích jednotek ve voze

Volkswagen Golf 4 [10]

2.4.1 Činnost řídicí jednotky

Elektronická řídicí jednotka může být tvořena jen jedním zákaznickým obvodem, ale obvykle se skládá z vstupní, vyhodnocovací a výstupní části. (Obr. 14) Vstupní část se sběrnici slouží k příjmu a úpravě signálů od snímačů. Podle způsobu práce snímače je jeho výstupní signál analogový spojitý, analogový nespojitý nebo již přímo digitální. Pro analogový vstupní signál je používán na vstupní části mikroprocesoru analogově digitální převodník (A/D). Pro vyhodnocovací část je podstatné, že většina vstupních signálů se zpracovává v reálném čase, ve kterém musí probíhat i regulační zásah. Mikroprocesor provádí všechny matematické a logické operace s frekvencí 100 MHz. Digitální logické operace jsou prováděny logickými obvody, které v technologii TTL pracují se stabilizovaným provozním napětím +5V. Logická 0 (Low) je tak napětí 0 až 0,8 V a logická 1 (High) je napětí 2 až 5V. Logické operace jsou součin (A), součet (NEBO) a negace (NE). Pomocí těchto tří logických operací lze sestavit jakýkoliv digitální systém. Výstupní část upravuje podle potřeby řídicí povely mikroprocesoru. Často je doplněna o výkonový stupeň zaručující zesílení signálu procesoru s proudem jen několika mA při napětí do 5V na úroveň napětí elektrického rozvodu vozidla a to při proudu až několik ampér. Pokud má ovládaný akční člen větší příkon, ovládá řídicí jednotka pouze spínač silového obvodu akčního členu. [2]



Obr. 14 Skladba řídicí jednotky [10]

Popis hlavních částí řídicí jednotky:

- Transciever – je budič (kombinovaný vysílač a přijímač), který je přímo připojen ke sběrnici a odpovídá za celou komunikaci s ní. Zesiluje vstupní a výstupní signály a chrání připojené obvody před přepětím.
- CAN Controler – je řadič a zajišťuje, že jsou dodrženy požadavky komunikace sběrnice. Ovládá přístup na sběrnici, identifikuje chyby a filtruje příchozí signály.
- Mikroprocesor – ovládá zprávy přijaté z řadiče CAN. Řídí určenou aplikaci, například dotaz na hodnotu snímače a spouštění akčních členů.

2.4.2 Příklad funkce řídicí jednotky

Funkci si popíšeme na příkladu snímání teploty chladicí kapaliny. Spalovací motor má při různé teplotě chladicí kapaliny odlišnou potřebu množství vstřikovaného paliva. Díky procesorovému řízení snímá procesor napěťový signál ze snímače teploty, který je umístěn na motoru. Neustále kontroluje, zda hodnota tohoto signálu leží v předepsaném intervalu, který je uložen v paměti FLASH. Pokud hodnota leží v předepsaném intervalu, a je tedy pro procesor „důvěryhodná“, zahrne ji do výpočtu přípravy a zážehu směsi. V případě, že hodnota ze snímače teploty leží mimo předepsaný interval (například hodnota odpovídá teplotě +250 °C), označí tento snímač za vadný tak, že uloží číselný kód dané závady do paměti EEPROM. Tento kód může být později přečten diagnostickým testerem, který k němu většinou přiřadí slovní hlášení. Procesor nadále přestane tomuto snímači „důvěřovat“ a pro výpočet začne používat buď svou náhradní předem danou teplotu, nebo signál nahradí například signálem ze snímače teploty nasávaného vzduchu. Jakmile se testerem smaže chybový kód z paměti závad, začne procesor opět „důvěřovat“ signálu z tohoto snímače. V podobném duchu procesor neustále snímá, kontroluje a řídí celý chod motoru nebo jakéhokoliv jiného systému ve voze. Pomáhají mu v tom jeho externí paměti, v nichž jsou uložena data pro chod motoru (paměť FLASH) nebo konfigurační a identifikační data jako je objednávací číslo, VIN, konfigurační kód (paměť EEPROM). [12]

2.5 CAN BUS použitý ve vozidlech IVECO

Vozidla Iveco využívají protokol SEA J1939 a odpovídající normě ISO 11898. Tento protokol je určen pro nákladní automobily a autobusy. Přenosová rychlost je pevně stanovena na 250 000 bitů/s. Datová část zprávy má vždy délku 8 bytů. Protokol využívá rozšířených identifikátorů dle specifikace CAN 2.0 B [8] viz. (Tab. 2.)

Tab. 2 Struktura identifikátoru podle CAN 2.0 B [12]

Bitý ID	b28-b26	b25	b24	b23-b16	b15-b8	b7-b0
Význam	Priority	Reserved	Data page	Data Content	PDU specific	Source Address

Časový interval vysílání zprávy na CAN bus je určován s ohledem na důležitost obsažených informací a pohybuje se od 10 ms (*tj. vysílání 100-krát za sekundu*) do 1 sekundy. Pro některé zprávy není perioda opakování určena a takové zprávy jsou vysílány jen na vyžádání (obvykle obsahují diagnostiku daného zařízení) nebo ve specifických případech (např. po zastavení motoru). [12]

Datová část zprávy obsahuje aktuální hodnoty určených veličin. Zařízení, která zprávu vysílají, nemusí "vyplnit" všechny předpisem definované hodnoty, ale musí na jejich místě vysílat byte, jehož všechny bity mají hodnotu rovnou 1. To zajišťuje kompatibilitu stávajících i budoucích verzí jednotek připojených na CAN. Data o rozsahu větším než 8 bytů (např. informace o konfiguraci motoru) se vysílají v blocích po 8 bytech s tím, že před zahájením takového přenosu je vysílána speciální informační zpráva. [12]

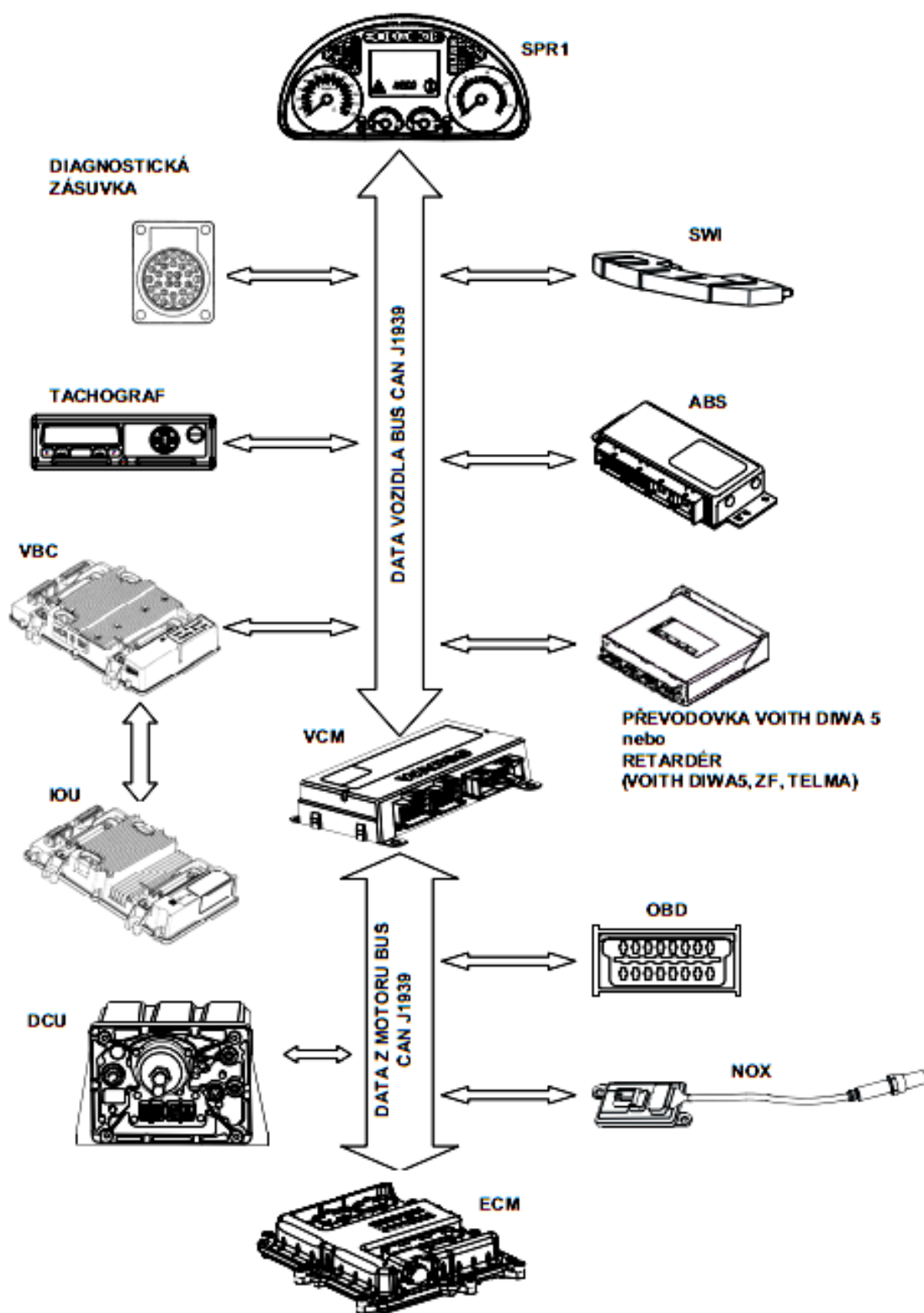
Celkem definuje protokol SAE J1939 (verze z roku 1999) 145 zpráv, které specifikují přenos i takových informací jako blokování imobilizéru, teplotu povrchu pneumatik a vozovky nebo laserové navádění tahače na přívěs. [8]

2.5.1 Topologie řídicích jednotek

Jako příklad uvádím topologii řídicích jednotek ve vozidle CROSSWAY, na kterém je dále prováděna praktická část této práce. Toto vozidlo je vybaveno dvěma hlavními uzly sběrnice CAN. (Obr. 15) Jedná se o CAN BUS vozidla (VDB) a motoru (EDB). Oba tyto uzly splňují normu SEA J1939 a jsou na ni napojeny následující řídicí jednotky a elektronické součástky.

-Sběrnice VDB obsahuje řídicí jednotky VBC, která je centrální jednotkou a její funkcí je řídit všechny periferní jednotky obsažené v systému (IOU). Následují tachograf, diagnostická zásuvka IVECO, přístrojová deska - SPR 1, multifunkční volant - SWI, protiblokovací systém - ABS, automatická převodovka - VOITH nebo ZF a dále zpomalovač - TELMA.

-Sběrnice EDB obsahuje řídicí jednotku VCM, která slouží jako rozhraní Gateway mezi VDB a EDB. Dále řídicí jednotka motoru – ECM, řídicí jednotka snižování emisních limitů - DCU, snímač výfukových plynů – NOX a diagnostická zásuvka OBD II.



Obr. 15 Topologie řídicích jednotek ve voze CROSSWAY [8]

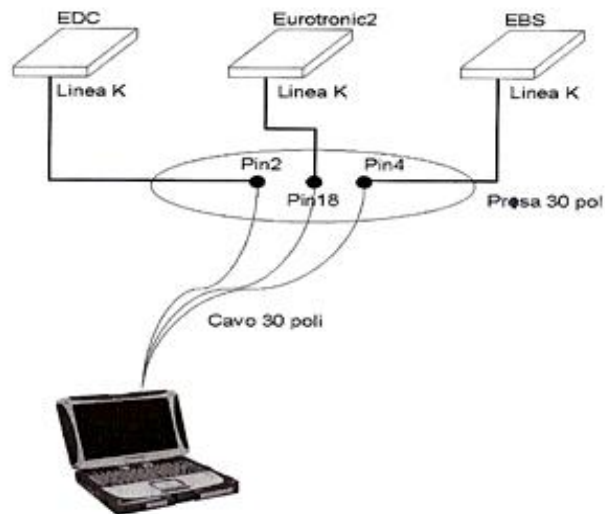
2.6 Metodologie diagnostiky

Diagnostika vozidla se začala rozvíjet nástupem motorů řízených řídicí jednotkou. Z počátku se jednalo o tzv. vyblinkání kódu závady pomocí LED diody připojené k zásuvce řídicí jednotky a tím určení závady. Později, kdy byly kladeny vyšší nároky na snižování emisních limitů (normy OBD II a EOBD), tyto normy zavedly povinně jednotnou diagnostiku vozidel pomocí sběrnice CAN. Diagnostika elektronicky řízených systémů zahrnuje provádění zkoušek na řídicí jednotce, která řídí činnost jakéhokoliv systému. Tato fáze komunikace s řídicí jednotkou je nezbytná z důvodu postupů odhalování příčin testované závady a ke stanovení výkonných a účinných způsobů elektrického prověření systému. Pro provedení této komunikace je nutné použít diagnostické počítačové zařízení, které překládá jazyk strojů do srozumitelné řeči lidí. [6] Diagnostické počítačové zařízení používané pro vozy IVECO nazývané E.A.SY. viz. kap. (3.1.1), je schopno komunikovat se všemi elektronicky řízenými systémy, kterými jsou v současnosti osazovány vozidla všech modelových řad. Diagnostika elektronických systémů se dělí na sériovou a paralelní.

2.6.1 Sériová diagnostika

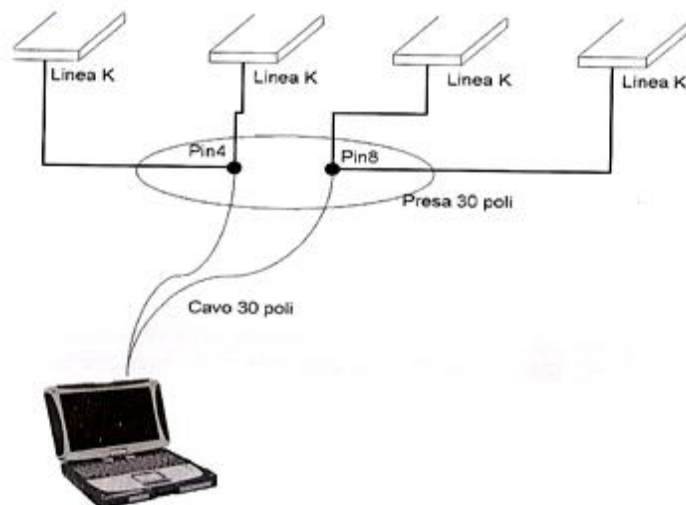
Sériová diagnostika je vlastní komunikace s řídicími jednotkami po sériové lince přes diagnostické rozhraní, “diagnostickou zásuvku“. K této komunikaci se využívá buďto běžný notebook nebo ve značkových servisech speciální tester. Přístroje umožňují číst i vymazat paměť závad, testovat akční členy, resetovat servisní intervaly, programovat řídicí jednotky, kalibrovat snímače a mnoho dalšího. Sériová diagnostika umožňuje tři způsoby komunikace s řídicí jednotkou a to přímou, přímou paralelní a nepřímou.

Přímá komunikace – ilustruje (Obr. 16) řídicí jednotky umístěné ve vozidle komunikují s diagnostickým zařízením přes sériovou linku označovanou K a L. Všechny komunikační linky z různých řídicích jednotek jsou seskupeny do 30-ti kolíkové diagnostické zásuvky IVECO. Z diagnostické 30-ti kolíkové zásuvky je pouze prvních osmnáct kolíků použito pro komunikační linky různých řídicích jednotek. To tedy znamená, že můžeme mít pouze 9 linek oddělených a určených pro přímou komunikaci mezi řídicími jednotkami a diagnostickým zařízením. Tento typ propojení vylučuje, aby elektrický problém jedné ze sériových linek negativně ovlivňoval komunikace s dalšími jednotkami. [7]



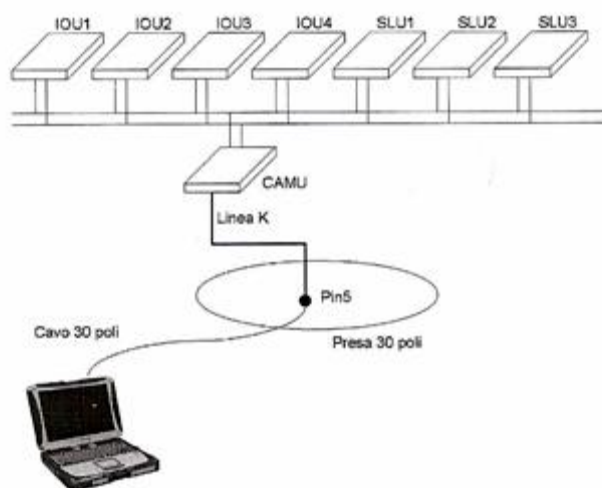
Obr. 16 Přímá komunikace [7]

Přímá paralelní komunikace – ilustruje (Obr. 17) poněvadž počet řídicích jednotek umístěných ve vozidle neustále narůstá, stává se prakticky nemožné udržet různé komunikační linky navzájem mezi sebou odděleny. Ve skutečnosti některé řídicí jednotky komunikují s počítačovým zařízením přes stejný kolík diagnostické zásuvky např. ECM a imobilizér. [7]



Obr. 17 Přímá paralelní komunikace [7]

Nepřímá komunikace – s vývojem elektronicky řízených systémů vzájemně propojených sítěmi je možné provádět také jiný typ komunikace. Jako příklad uvedu systém MULTIPLEX ACTIA městských autobusů. U tohoto typu systému je použita sada řídicích jednotek, které ovládají všechna zapojená osvětlení a vnitřní i vnější služby vozidla. Tyto jednotky jsou navzájem propojeny mezi sebou a také s hlavní řídicí jednotkou přes danou síť datové sběrnice CAN. Počítačové diagnostické zařízení u tohoto systému komunikuje přímo pouze s hlavní řídicí jednotkou označovanou jako CAMU, která umožňuje čtení údajů ze všech dalších řídicích jednotek. (Obr. 18) [7]



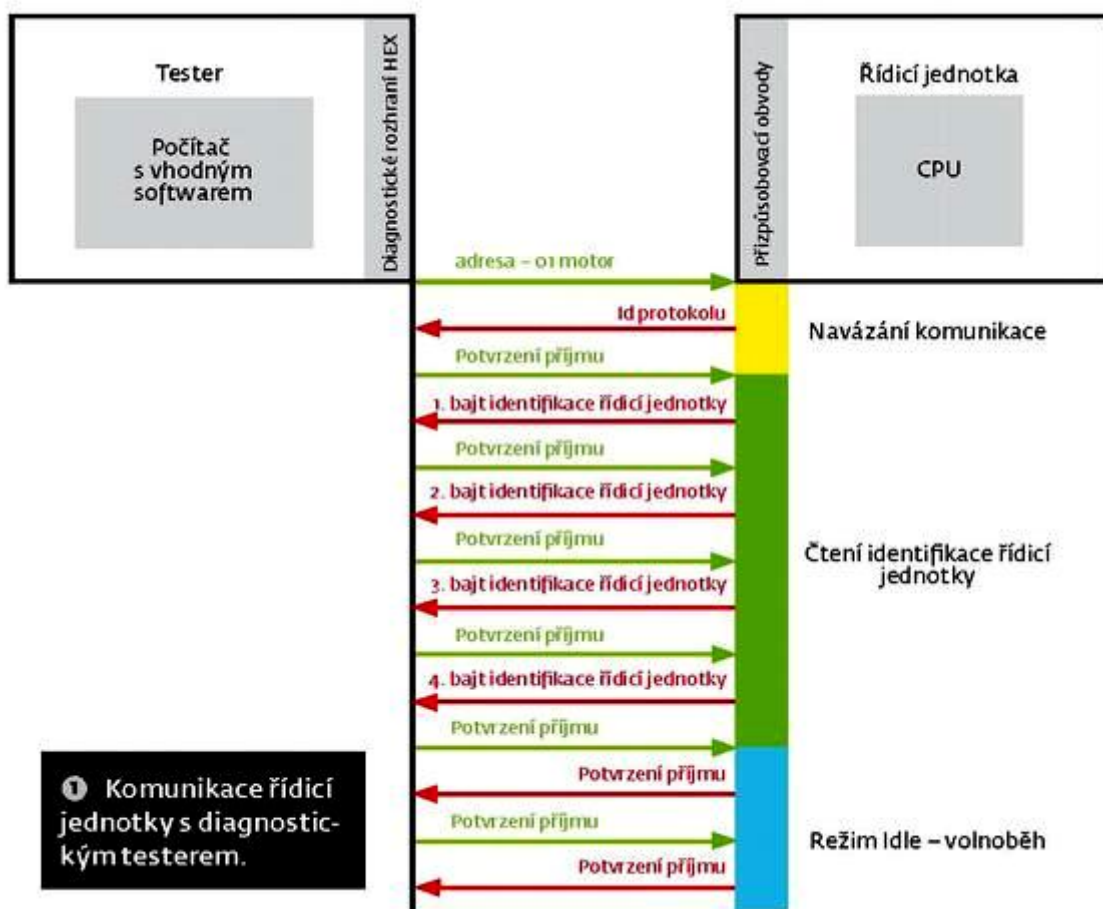
Obr. 18 Nepřímá komunikace [7]

2.6.2 Paralelní diagnostika

Pod pojmem **paralelní diagnostika** se rozumí způsob diagnostikování závad pomocí měřících přístrojů nejčastěji multimetru nebo osciloskopu, kdy měříme přímo fyzikální veličiny (napětí, proud, odpor apod.). Výhodou paralelní diagnostiky je její univerzálnost, protože jednotlivé komponenty pracují ve všech vozidlech stejně. [7]

2.6.3 Komunikace s diagnostickým testerem

Aby bylo možné jednoduchým způsobem zjišťovat stav přijímaných signálů, simulovat vysílané signály, číst chybové kódy a případně měnit hodnoty uložené v pamětech, jsou řídicí jednotky vybaveny diagnostickým rozhraním. K tomuto rozhraní je možné připojit diagnostický přístroj, který je schopen komunikovat s procesorem. Komunikace je realizována speciálním protokolem (komunikačním jazykem) založeným na vzájemném posílání klíčových slov. (Obr. 19) Klíčová slova jsou hexadecimální čísla tzv. byty. Tester vyšle do diagnostické zásuvky adresní byt procesoru/řídicí jednotky, se kterou se obsluha hodlá spojit. Na tuto výzvu testeru odpoví řídicí jednotka tak, že pošle zpět sekvenci bytů, které identifikují protokol, kterým se bude komunikovat. Jakmile tester přijme poslední byt této identifikační sekvence, pošle zpět potvrzující byt, kterým procesoru/řídicí jednotce sděluje „Rozuměl jsem“, a poté zpravidla řídicí jednotka pošle postupně celou svoji identifikaci, přičemž přijetí každého bytu musí být potvrzeno testerem. Jakmile řídicí jednotka vyšle celou svou identifikaci, přechází komunikace do takzvaného Idle režimu neboli volnoběžného režimu. V tomto režimu stále probíhá komunikace, ve které si řídicí jednotka a tester vzájemně potvrzují přijaté byty, ale jinak se nic neděje a čeká se na další příkaz obsluhy. V komunikačním protokolu je přesně vymezen význam klíčových slov a to, jakou rychlostí se budou vysílat byty, jak dlouho se bude čekat na byt a jak dlouho po přijetí bytu se začne vysílat další byt. Byť jen malá nepřesnost v těchto časech znamená, že se komunikace tzv. rozpadne, tedy skončí a je potřeba ji navázat znovu. Moderní diagnostické testery především pak diagnostické softwary instalované do PC využívají pro komunikaci tzv. HEX rozhraní. To znamená, že v testeru (propojovacím kabelu k PC) je taktéž procesor, který řídí celou komunikaci a eliminuje nepřesnosti počítače. Zajišťuje tak bezproblémové spojení s řídicí jednotkou a celou komunikaci. Komunikačních protokolů dnes existuje celá řada např. KW1281, KW1282, KWP2000, CAN nebo UDS. Aby se diagnostický tester spojil s procesorem v řídicí jednotce, je nutné, aby používal stejný diagnostický protokol jako procesor. [6]



Obr. 19 Komunikace řídicí jednotky s diagnostickým testerem [6]

2.6.4 Identifikace řídicí jednotky

Identifikace řídicí jednotky je jednou z prvních informací celé diagnostické relace, které řídicí jednotka posílá testeru. Jedná se o identifikační data – objednáčí číslo, název systému, jeho konfigurace, případně číslo předchozího nástroje, kterým bylo prováděno programování a další upřesňující informace (číslo softwaru řídicí jednotky, VIN, číslo imobilizéru a podobně). Tyto informace slouží nejen pro obsluhu diagnostického testeru, ale také si tester sám identifikuje a přizpůsobuje své chování konkrétní jednotce. Hodnoty identifikace jsou v řídicí jednotce uloženy v paměti EEPROM. Tato jednoduchá identifikace se do diagnostického testeru načítá automaticky po spojení s řídicí jednotkou. Dalším typem identifikace je tzv. rozšířená identifikace. Ta je přístupná až na žádost obsluhy, jedná se už tedy o klasickou diagnostickou funkci, která bývá zpravidla v jednotkách přístupná pouze v protokolu KWP2000, CAN nebo UDS. Po kliknutí na tlačítko „Rozšířená identifikace“ tester vyšle v Idle (volnoběžném) režimu komunikace

bajt, kterým oznámí řídicí jednotce požadavek na funkci rozšířené identifikace. Řídicí jednotka pak začne vysílat testeru veškerá identifikační data, která má v sobě naprogramována. Kromě dat klasické identifikace (objednací číslo, název systému apod.) je to například datum programování jednotky, počet pokusů o programování, počet úspěšných pokusů o programování, počet neúspěšných pokusů o programování atd. Detailní informace jsou u každé řídicí jednotky odlišné a do testeru se obvykle načítají jako textové pole. [6]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 SIMULACE ZÁVAD NA SBĚRNICI CAN

Pro praktickou část bakalářské práce jsem si zvolil simulaci závad na sběrnici CAN ve vozidle IVECO CROSSWAY za běžného provozu. Tento problém byl simulován na uzlu CAN vozidla a vyhodnocen diagnostickými prostředky IVECO. Realizace této části byla provedena ve společnosti Zliner s. r. o. Zlín-Louky.

3.1 Použité diagnostické prostředky IVECO

Pro diagnostiku a monitorování vozidel má každý výrobce své vlastní diagnostické prostředky. Značka IVECO používá pro sériovou diagnostiku prostředek E.A.SY a pro paralelní diagnostiku osciloskop ELTRACSCOPE, které jsem pro tuto práci využil (Obr. 20)



Obr. 20 Použité diagnostické prostředky [vlastní]

3.1.1 E.A.SY

E.A.SY je platforma diagnostického zařízení určená pro servis vozidel, tak i pro výrobu IVECO a IRISBUS. Spojuje standardní PC značky Panasonic CF-18 nebo CF-19 s vozem pomocí propojovacího rozhraní ECI a softwaru, který zpracovává informace od elektronických systémů vozidla. (Obr. 21) Vyhovuje všem evropským předpisům a základním požadavkům na moderní diagnostiku vozidel. Není jednoúčelové, díky použití standardního PC má mnohostranné využití. Je mobilní a dostatečně odolné k používání v servisní dílně i při opravách v terénu. Jeho váha i přepravní schránka ho k této činnosti přímo předurčují. Je nástupcem některých starších diagnostických zařízení, z tohoto důvodu jsou do softwaru zahrnuty i starší elektronické systémy. Programové vybavení je nadále rozvíjeno tak, aby plynule sledovalo vývoj a potřeby elektronických systémů na vozidle. [9]



Obr. 21 E.A.SY a ECI [vlastní]

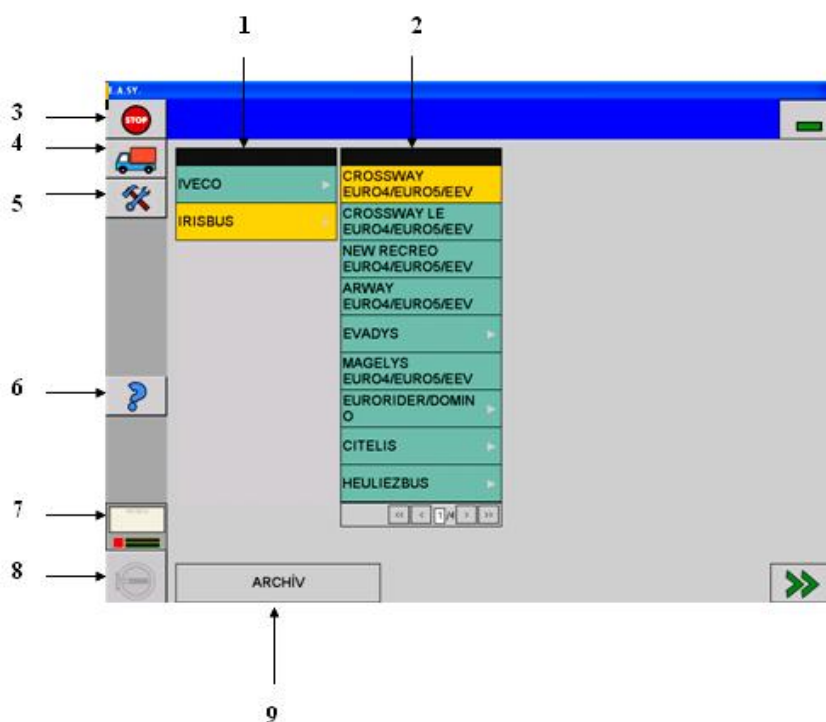
3.1.2 Rozhraní E.C.I.

ECI rozhraní obstarává veškeré komunikace s palubními elektronickými řídicími jednotkami. Obsahuje rozhraní ISO K/L a rozhraní datové sběrnice CAN. Pro spojení s vozem využívá 30-ti kolíkové zásuvky IVECO nebo OBD II konektor. K připojení ke

standardnímu osobnímu počítači využívá standardní USB nebo jako opce Bluetooth. Dále signalizuje stav komunikace linek K, L a sběrnice CAN.

3.1.3 Obsluha diagnostického systému E.A.SY

Kabel s diagnostickým konektorem zapojíme mezi vozidlo a ECI rozhraní, které spojíme s PC pomocí USB konektoru nebo Bluetooth. Zapneme klíček v zapalování a rozhraní ECI nám signalizuje zvukově připojení k vozidlu. Světelné LED diody nám signalizují aktuální průběh komunikace. Na ploše spustíme diagnostické prostředí E.A.SY (Obr. 22) a dále v menu se pohybujeme pomocí příslušných symbolů.

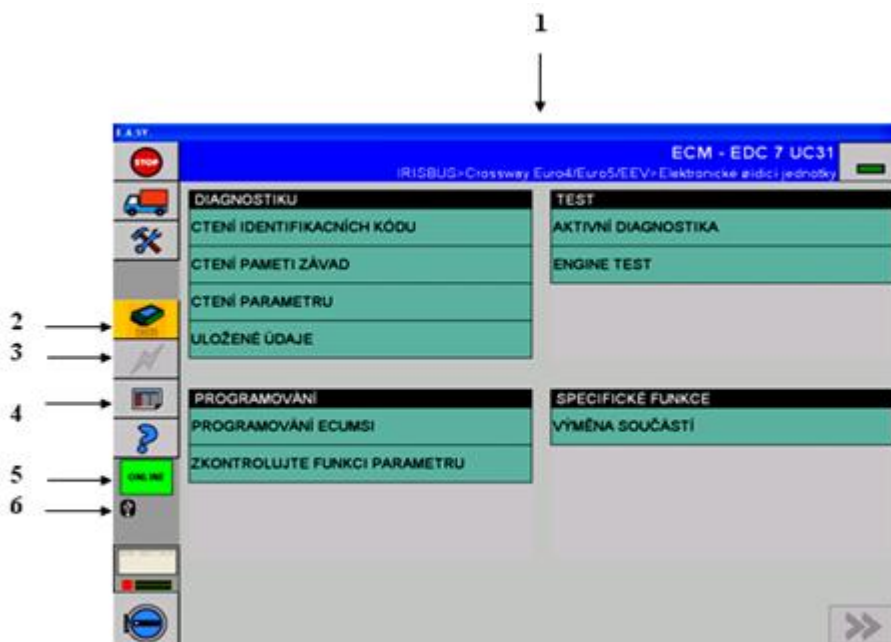


Obr. 22 Spuštění diagnostického prostředí E.A.SY [obrazovka E.A.SY]

1-Karta výběru výrobce vozidla. 2-Karta výběru typu vozidla. 3-Tlačítko ukončení programu E.A.SY. 4-Tlačítko výběru výrobce a typu vozidla. 5-Tlačítko umožňuje nastavit jazyk programu a vložit aktivační kód. 6-Tlačítko pro informace o aplikaci. 7-Signalizace komunikace s řídicí jednotkou. 8-Signalizace polohy klíčku. 9-Tlačítko databáze vozidel.

3.1.4 Postup diagnostiky

Před zahájením diagnostiky máme na výběr s dalších symbolů. (Obr. 23)



Obr. 23 Menu v diagnostickém prostředí [obrazovka E.A.SY]

1-Lišta signalizující aktuální úroveň v programu. 2-Tlačítko umožňuje uživateli přecházet mezi jednotlivými řídicími jednotkami bez nutnosti ukončení komunikačního protokolu. 3-Tlačítko pro zobrazení elektrických schémat. 4-Tlačítko vytvoření nových údajů a přístup k databázi vozidel. 5-Signalizace o stavu komunikace s řídicí jednotkou. 6-Signalizace o použitém připojení USB nebo BlueTooth.

Další možností je použití jednotlivých karet. V záložce diagnostika můžeme pracovat s kartou čtení identifikačních kódů, kde jsou údaje o hardwarové a softwarové verzi, sériové číslo řídicí jednotky, výrobní číslo a typ motoru, VIN vozidla apod. Karta čtení paměti závad nám mimo jiné umožňuje získat informace týkající se vzniku závady jako jsou např. čas prvního a posledního výskytu závady, podmínky za jaké situace k závadě došlo apod. samozřejmostí je i postup pro odstranění závady. V kartách čtení parametru a uložené údaje máme přístup k aktuálním a uloženým informacím týkajících se provozu motoru např. spotřeba paliva, celkový provoz v hodinách, překročení otáček turbodmychadla apod. Záložka test obsahuje karty aktivní diagnostika a engine test, určené k testování snímačů a akčních členů. Záložky programování a specifické funkce slouží

k jednotlivé výměně řídicí jednotky nebo akčních členů, které vyžadují programování nebo kalibraci.

3.1.5 EltracScope

Další prostředek, který jsem využil ke své práci je dvoukanálový osciloskop EltracScope 4224 od firmy Pico Technology. (Obr. 24) Tento osciloskop disponuje šířkou pásma 20 MHz, vzorkovacím kmitočtem 80 MS/s, 12 Bit rozlišením, vstupním napětím 5 mV až 100 V. K připojení k PC je použito USB 2.0. a pro připojení dalšího příslušenství složí BNC konektory. Možnost dalšího využití jako spektrální analyzátor, záznamník dat nebo voltmetr.



Obr. 24 EltracScope [vlastní]

Po připojení s PC a spuštění programu EltracScope se nám zobrazí okno osciloskopu (Obr. 25) a jsou k dispozici následující možnosti:

- A - Výběr z hlavního panelu nástrojů.
- B - Nabídka záložek nastavení osciloskopu.
- C - Kontrolní panel probíhající aplikace.

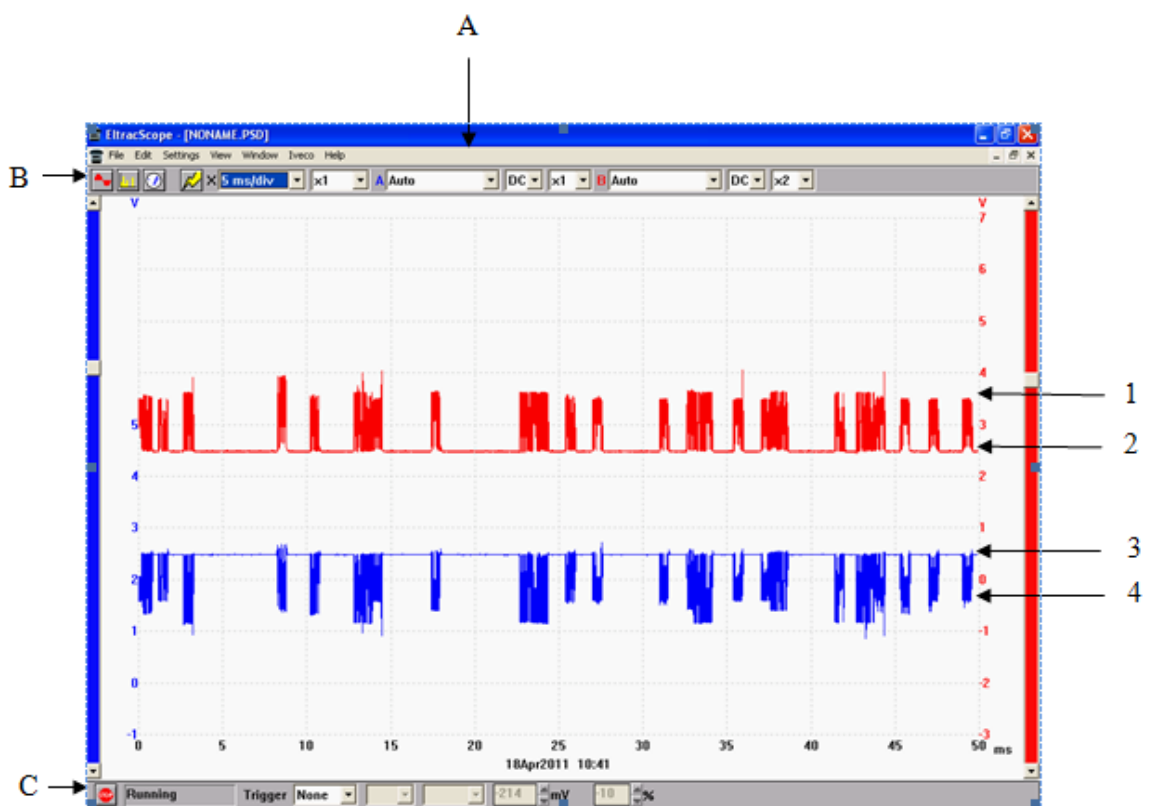
Dále (Obr. 25) zobrazuje správný průběh napěťových úrovní na sběrnici CAN. K přenosu informace se používají dva logické stavy 0 - dominant a 1 - recessive. Ke každému tomuto logickému stavu je přiřazena určitá napěťová úroveň, ze které řídicí jednotka vyhodnocuje výsledný signál.

1 – CAN High dominant napěťová úroveň asi 3,8 V.

2 – CAN High recessive napěťová úroveň asi 2,6 V.

3 – CAN Low dominant napěťová úroveň asi 1,4 V.

4 – CAN Low recessive napěťová úroveň asi 2,6 V.

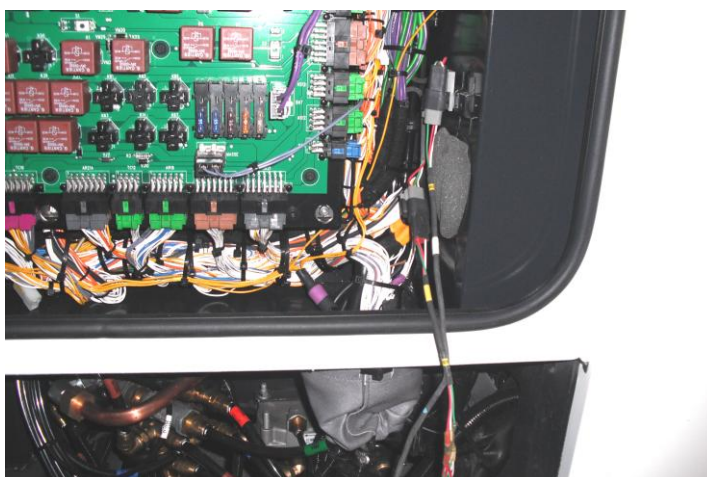


Obr. 25 Napěťové úrovně sběrnice CAN [obrazovka EltracScope]

3.2 Simulace závady na voze CROSSWAY

Pro uskutečnění tohoto úkolu jsem si zvolil CAN bus, a to uzel vozidlové části, který propojuje řídicí jednotky VCM, ABS, VBC, SPR 1 a Tachograf a je ilustrován na (Obr.15). Do tohoto uzlu jsem vřadil propojovací kabel (Obr. 26) s příslušnými svorkovnicemi k připojení ke sběrnici a vývody pro připojení osciloskopu a

k uskutečnění simulace závady, která může v praxi u jakéhokoliv vozidla nastat. Anomálie, které jsou běžné, např. chyba v bitu nebo opožděná komunikace, jsou lépe odhalitelné sériovou diagnostikou. Naopak u závady, při kterých dochází k fyzickému poškození sběrnice a tím i k omezeným schopnostem sériové diagnostiky, je lepší využít diagnostiku paralelní.



Obr. 26 Připojení pomocí propojovacího kabelu [vlastní]

3.2.1 Projevení závady při provozu

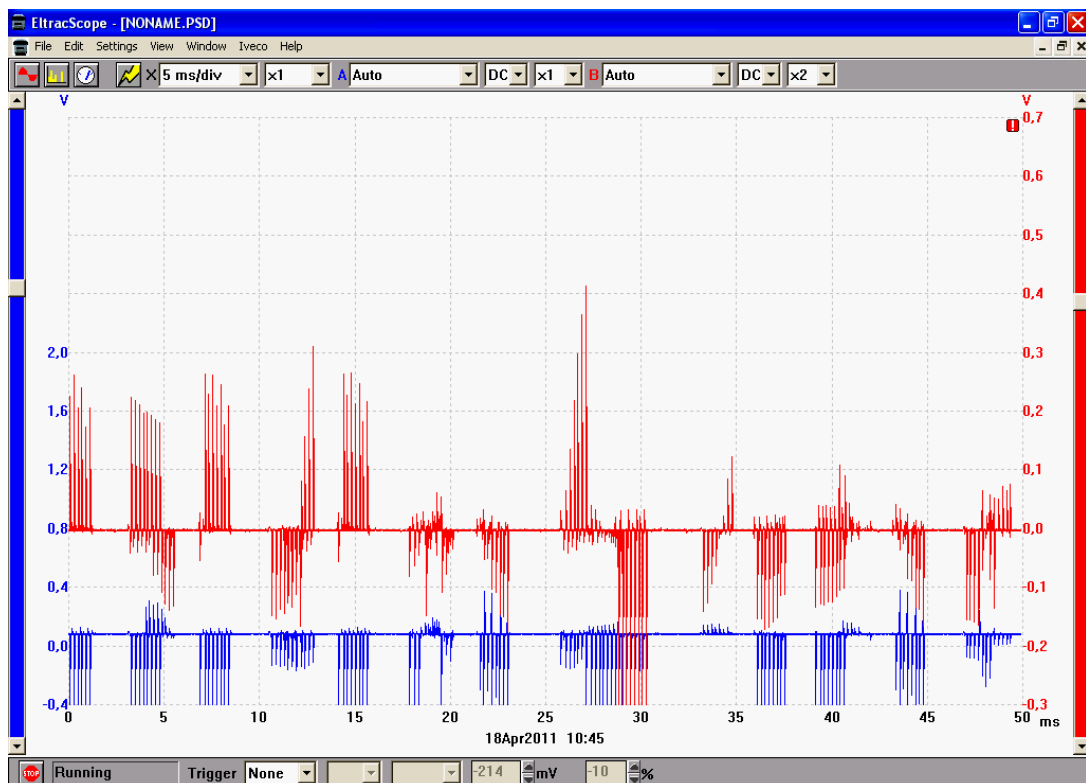
Závady, které v této práci popisují, způsobují výpadek celého uzlu vozidlové části sběrnice CAN. Tímto dochází k přerušení komunikace mezi vozidlovou a motorovou částí sběrnice a tím je i použití sériové diagnostiky vyloučeno. V praxi to znamená, že řídicí jednotka motoru sice komunikuje s řídicími jednotkami zapojenými v obvodu motorové části sběrnice CAN, ale při komunikaci s jednotkami zapojenými v uzlu vozidlové části již nikoliv. Tímto se stává vozidlo nepojízdným.

3.2.2 Rozbor anomálií na sběrnici CAN pomocí Osciloskopu

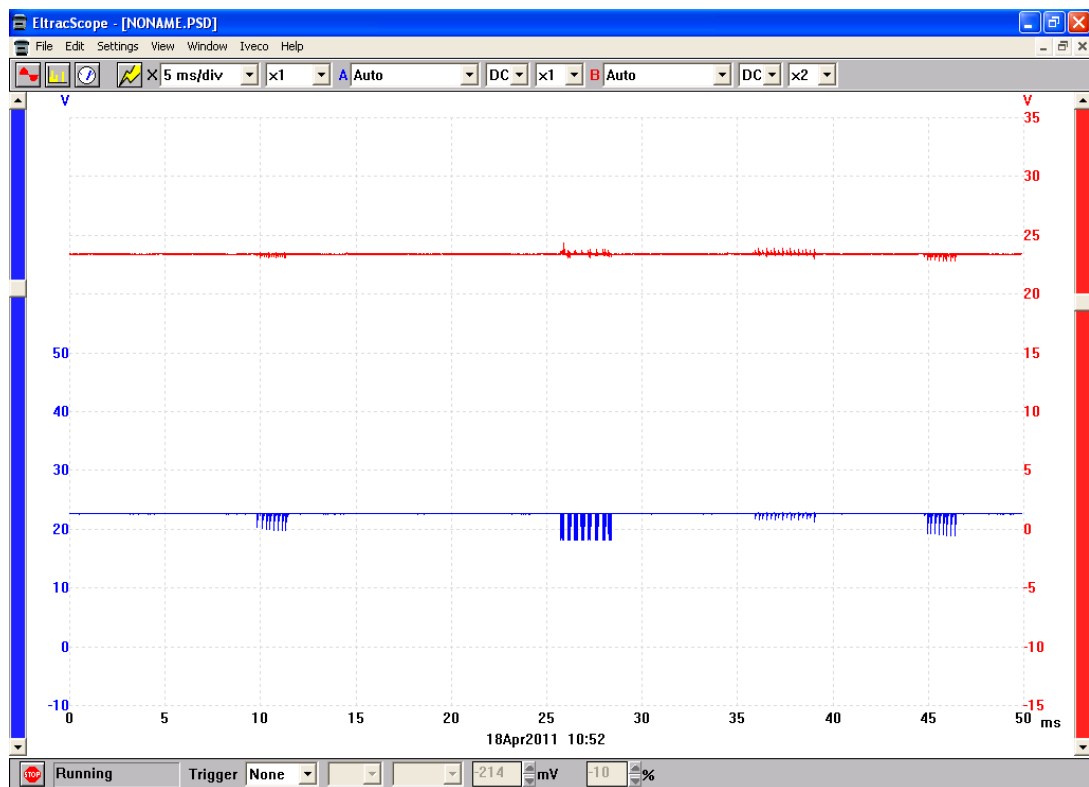
Simulaci závad jsem provedl pomocí výše popsaných prostředků a jejich výsledek jsem vyhodnotil osciloskopem. K porovnání odchylek (Obr. 27) ilustruje bezchybný průběh komunikace na sběrnici CAN.

Závady, které jsem simuloval:

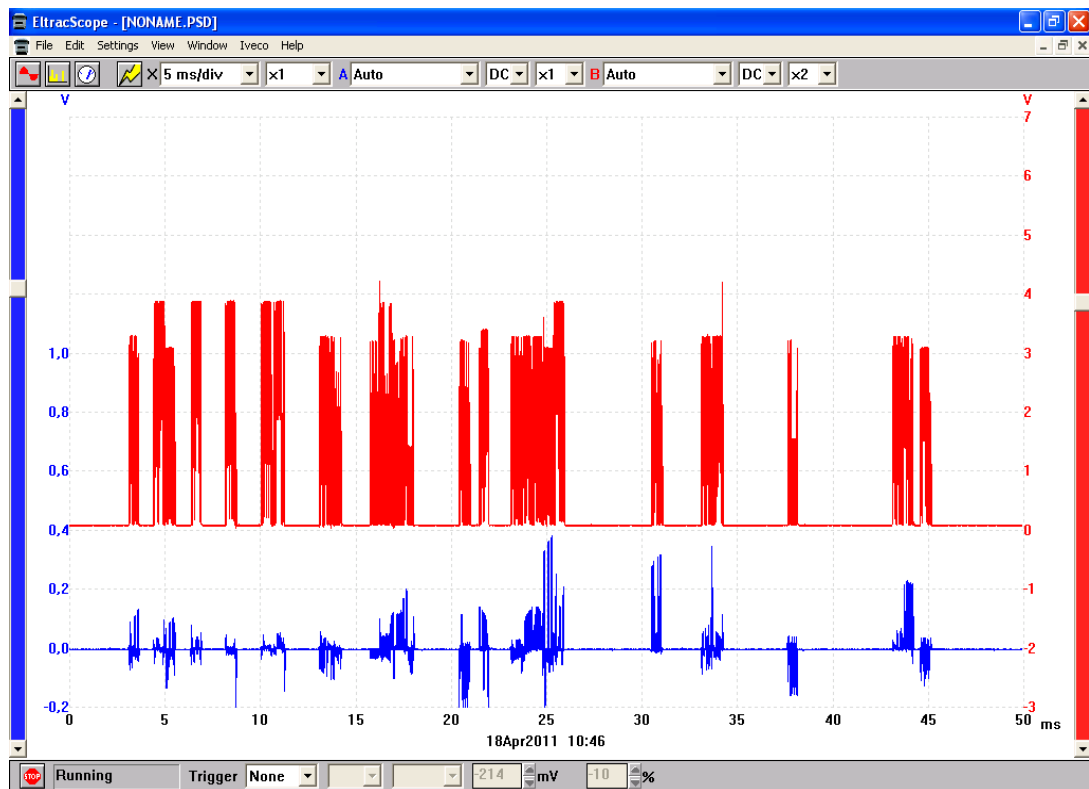
- CAN High spojený na zem vozidla. (Obr. 27) Napěťová úroveň vedení CAN High a CAN Low je stažena na 0 V. Na obou vedeních jsou vidět nepravidelné pulsy napětí (- 0,4 až 0,4 V).
- CAN High spojený na + 24 V vozidla. (Obr. 28) Úroveň napětí na vedení CAN High je rovna 24 V. Na vedení CAN Low je tato hodnota 22 V.
- CAN Low spojený na zem vozidla. (Obr. 29) Úroveň napětí na vedení CAN High se pohybuje mezi 0 až 4 V, ale na vedení CAN Low je to hodnota - 0,2 až 0,2 V.
- CAN Low spojený na + 24 V vozidla. (Obr. 30) Na vedení CAN High i CAN Low je úroveň 24 V.
- CAN High spojený s CAN Low. (Obr. 31) Napěťové úrovně na vedení CAN High a CAN Low se dostávají na recessive hodnotu 2,5V.



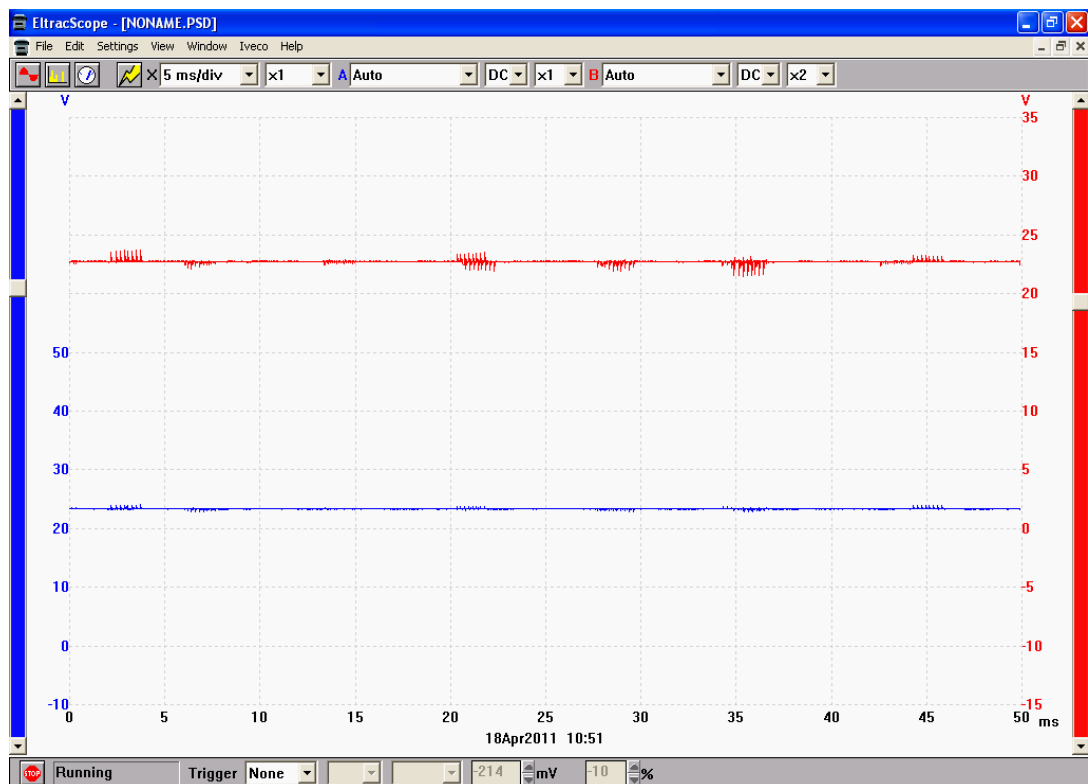
Obr. 27 CAN High spojený na zem vozidla [obrazovka EltracScope]



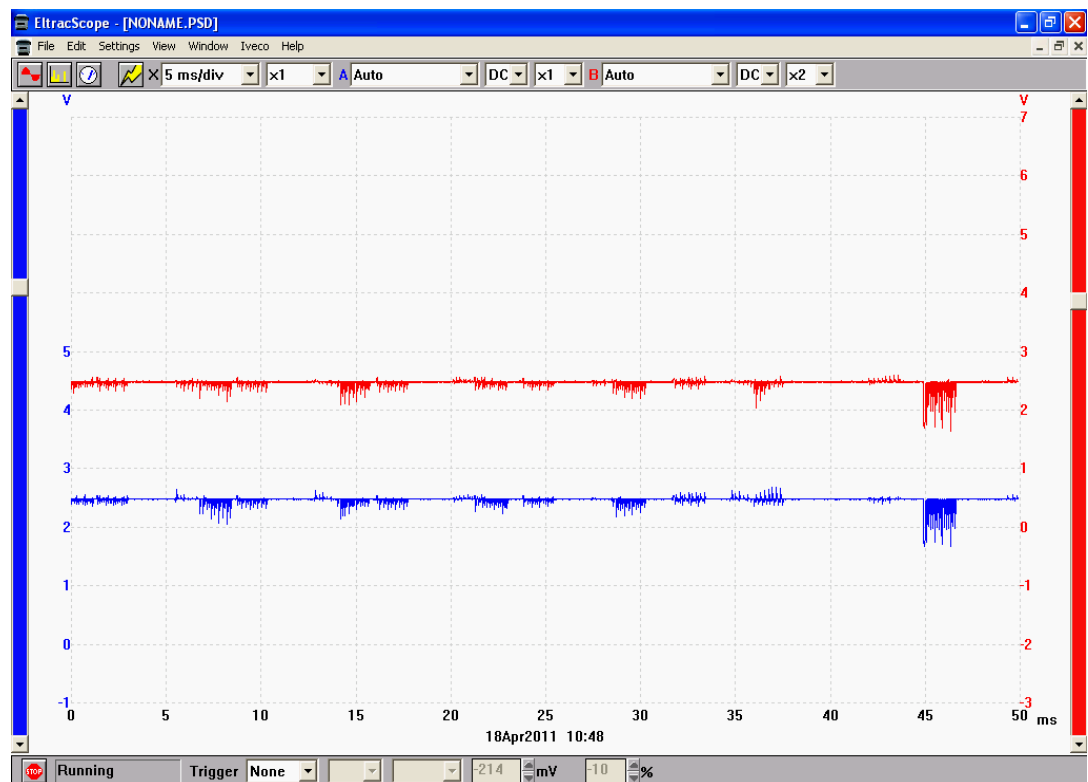
Obr. 28 CAN High spojený na +24 V vozidla [obrazovka EltracScope]



Obr. 29 CAN Low spojený na zem vozidla [obrazovka EltracScope]



Obr. 30 CAN Low spojený na +24 V vozidla [obrazovka EltracScope]



Obr. 31 CAN High spojený s CAN Low [obrazovka EltracScope]

ZÁVĚR

Dnešní automobil lze z hlediska jeho řízení a diagnostiky poruch vnímat jako velmi vyspělý a inteligentní stroj. Skládá se z mnoha převážně elektronických a informačních systémů, které musí vzájemně mezi sebou komunikovat. Tuto komunikaci obstarávají nejrůznější sběrnice, převážně CAN, která má parametry splňující požadavky moderních vozidel. CAN je sériový komunikační protokol typu multi – master, kde každý uzel může být master a řídit tak činnost jiných uzlů. Komunikace na sběrnici je řízena prioritou zprávy. Výhody použití sběrnice CAN jsou především v nízké ceně, spolehlivosti, snadném nasazení, rozšiřitelnosti, vysoké přenosové rychlosti a dostupnosti potřebné součástkové základny. Tyto výhody by ale mohly být, z důvodu složitosti a rozsahu komunikace, spojeny se složitějším odhalováním případných závad. Problematikou odhalování a identifikací závad se zabývá automobilová diagnostika. Její vznik v automobilové technice souvisí s nástupem motorů, které jsou řízeny řídicí jednotkou. Diagnostiku lze rozdělit na sériovou, kdy se pomocí testeru a konektoru spojíme přímo s vozidlem a paralelní, která usnadňuje čtení fyzikálních hodnot z jednotlivých komponent.

Praktická část práce popisuje konkrétní hardwarové a softwarové prostředky použité při distribuovaném řízení pohybových stavů vozidla typu autobus a využití sběrnice komunikace pro diagnostiku poruch v těchto podsystémech vozidla.

Cílem práce byla simulace závad na sběrnici CAN ve vozidle IVECO CROSSWAY a jejich identifikace a vyhodnocení pomocí osciloskopu.

Komunikace mezi elektronickými systémy připojenými ke sběrnici je charakterizována změnou napěťových úrovní definovaných příslušným protokolem, které jsou převáděny v přijímači na digitální signál. V případě zkratu, přerušení nebo nesprávného zatížení sběrnice dochází k výpadku v komunikaci v daném uzlu a tím k omezeným činnostem sériové diagnostiky. Proto je použit osciloskop, který svými funkcemi umožňuje podrobnější identifikaci těchto závad a má i široké uplatnění v oblasti měření a testování snímačů a akčních členů. Touto problematikou se zabývá hodně odborníků z praxe a tyto výsledky mohou posloužit jako východisko pro další případné rozpracování diagnostiky vozidel s distribuovaným řízením pomocí sběrnice typu CAN a její experimentální ověření.

CONCLUSION

In light of its operation and diagnostics of defects, today's automobile can be perceived as a very advanced and intelligent engine. It consists of many mainly electronic and information systems which must communicate between each other. This communication is provided by various fieldbuses, predominantly CAN which has parameters fulfilling requirements of modern vehicles. CAN is a serial communication protocol of multi-master type where every branching point can be master and thus can operate activity of other branching points. The communication on the fieldbus is controlled by priority of a message. The advantages of using the CAN fieldbus are above all the low price, reliability, easy setting, extensibility, high baud rate and accessibility of needed component base. But these advantages could be, for the reason of complexity and extent of communication, connected with more complicated detection of possible defects. Automobile diagnostics is concerned with problems of detection and identification of defects. Its origin in automobile technology coheres with coming of engines which are operated by a control unit. The diagnostics can be divided into serial where we connect straight with the vehicle with the aid of tester and connector, and parallel which facilitates reading of physical values from individual components.

The practical part describes concrete hardware and software means used in distributed conduct of physical conditions of the vehicle of bus type and usage of fieldbus communication for diagnostics of defects in these subsystems of vehicle.

The aim of the thesis was a simulation of defects on the fieldbus CAN in vehicle IVECO CROSSWAY and their identification and evaluation with aid of oscilloscope. The communication between electronic systems connected to the fieldbus is characterized by change of voltage levels, defined by relevant protocol, which are transferred in a receiver for digital signal. A failure in communication in given branching point and thus limited activities of serial diagnostics take place, in the case of cut off, interrupting or wrong load of the fieldbus. Therefore, an oscilloscope is used which by its functions enables more detailed identification of these defects and also has a wide use in the field of measurement and testing of sensors and actuating devices. Many experts from the profession are concerned with these problems and these results can serve as a base for another possible

elaboration of diagnostics of vehicles with distributed operation with aid of fieldbus CAN and its experimental examination.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HÄBERLE, HEINZ , et. al. Průmyslová elektrotechnika a informační technologie 8.vyd. Praha : Europa - Sobotáles, [2003]. 701 s. ISBN 80-86706-04-4.
- [2] ŠŤASTNÝ, Jiří; REMEK, Branko. Autoelektrika a Autoelektronika. 5.vyd. Praha : T.Malina, 2000. 311 s. ISBN 80-86293-01-7.
- [3] ZEZULKA, František. Prostředky průmyslové automatizace. Brno, 2002. 163 s.skripta.Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [4] OTČENÁŠEK, Martin. Distribuované řídicí systémy a jejich využití v praxi. Brno, 2008. 60 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [5] NAKLÁDAL, Josef. Využití moderních elektronických prvků v současném osobním automobilu. Zlín, 2006. 53 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta aplikované informatiky.
- [6] Autodiagnostika pod lupou. AutoExpert [online]. 3.2.2010, č.1, [cit. 2011-04-29]. Dostupný z WWW: <www.autopress.cz>.
- [7] Iveco Czech Republic a.s. Postupy a zařízení k provádění diagnostiky na elektrických soustavách a elektronických systémech. Učební materiály. Vysoké Mýto , 2009.s. 219.
- [8] Iveco Czech Republic a.s. Elektrická zařízení Crossway. Učební materiály. Vysoké Mýto , 2010. s. 262.
- [9] Iveco Czech Republic a.s. Diagnostická zařízení IVECO pracující v prostředí E.A.SY. Učební materiály. Vysoké Mýto , 2008. s. 83.
- [10] PODAŘIL, Petr. CAN BUS. Import VOLKSWAGEN Group s.r.o. Technické školení Kosmonosy, 2006. s. 96.
- [11] Lucas-Nülle. Výukový systém Unitr@in [online]. c 2010 [cit. 2011-05-16]. Dostupné z WWW: <http://www.lucas-nuelle.com/>.
- [12] CANLAB.s.r.o. CAN bus [online]. 2004 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <http://www.canlab.cz/old_index.htm>.

- [13] POLÁK, Karel. Elektrevue [online]. 2003 [cit. 2011-04-05]. Sběrnice CAN. Dostupné z WWW: <<http://www.elektrevue.cz/clanky/03021/index.html>>.
- [14] Fieldbus. CAN - Controller Area Network [online]. 2003 [cit. 2011-04-28]. Dostupné z WWW:<<http://fieldbus.feld.cvut.cz/can/>>.
- [15] PETERKA, Jiří. Sedm vrstev ISO/OSI. CHIPweek [online]. 1996, 25/96, [cit. 2011-3-27]. Dostupný z WWW: <<http://www.earchiv.cz/a96/a625k150.php3>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CAL	CAN Application Layer – specifikace protokolu
CAMU	Control Actia Multiplex Unit – hlavní řídicí jednotka systému multiplex
CAN	Controller area Network – datová sběrnice
CiA	CAN in Automation – mezinárodní společnost výrobců CAN
CRC	Cyclic Redundancy Check – cyklický redundantní součet
EDB	Engine Data Bus – datová sběrnice motoru
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – programovatelná paměť
ISO	International Organization for Standardization – mezinárodní organizace pro normalizaci
LLC	Logical Link Kontrol – vrstva řízení datového spoje
MAC	Medium Access Control – identifikátor síťového zařízení
NMOS	Negative Metal Oxid Semiconductor – technologie výroby procesoru
NRZ	Non Return To Zero – název kódování bez návratu k nule
PC	Personal Computer – osobní počítač
PLC	Programmable Logic Controller – programovatelný automat
ROM	Read Only Memory – nepřepisovatelná elektronická paměť
SCADA	Supervisory control and data acquisition - nadřazené ovládání a sběr dat
SEA	Society of Automotive Engineers – sdružení automobilových inženýrů
TTL	Transistor Transistor Logic – standart integrovaných obvodů
VDB	Vehicle Data Bus – datová sběrnice vozidla
VIN	Vehicle identification number – identifikační číslo vozidla

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Distribuované řízení [4].....	13
Obr. 2 Distribuované hierarchické řízení [4].....	13
Obr. 3 Centralizované řízení [4].....	14
Obr. 4 Referenční model OSI / ISO [15].....	15
Obr. 5 Složení sběrnice CAN [11].....	17
Obr. 6 Přehled nejrozšířenějších sběrnic [3].....	18
Obr. 7 Průběh datového přenosu [6].....	21
Obr. 8 Rámec zprávy [11].....	22
Obr. 9 Chybová zpráva protokolu CAN [14].....	25
Obr. 10 Zpráva o přetížení [14].....	26
Obr. 11 Příklad realizace fyzické vrstvy.....	27
Obr. 12 Fyzické uspořádání sítě CAN podle ISO 11898 [13].....	28
Obr. 13 Rozmístění řídicích jednotek ve voze.....	33
Obr. 14 Skladba řídicí jednotky [10].....	34
Obr. 15 Topologie řídicích jednotek ve voze CROSSWAY [8].....	37
Obr. 16 Přímá komunikace [7].....	39
Obr. 17 Přímá paralelní komunikace [7].....	39
Obr. 18 Nepřímá komunikace [7].....	40
Obr. 19 Komunikace řídicí jednotky s diagnostickým testerem [6].....	42
Obr. 20 Použité diagnostické prostředky [vlastní].....	45
Obr. 21 E.A.SY a ECI [vlastní].....	46
Obr. 22 Spuštění diagnostického prostředí E.A.SY [obrazovka E.A.SY].....	47
Obr. 23 Menu v diagnostickém prostředí [obrazovka E.A.SY].....	48
Obr. 24 EltracScope [vlastní].....	49
Obr. 25 Napět'ové úrovně sběrnice CAN [obrazovka EltracScope].....	50
Obr. 26 Připojení pomocí propojovacího kabelu [vlastní].....	51
Obr. 27 CAN High spojený na zem vozidla [obrazovka EltracScope].....	52
Obr. 28 CAN High spojený na +24 V vozidla [obrazovka EltracScope].....	53
Obr. 29 CAN Low spojený na zem vozidla [obrazovka EltracScope].....	53
Obr. 30 CAN Low spojený na +24 V vozidla [obrazovka EltracScope].....	54
Obr. 31 CAN High spojený s CAN Low [obrazovka EltracScope].....	54

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Historie vývoje CAN [12]	19
Tab. 2 Struktura identifikátoru podle CAN 2.0 B [12]	35