

# Srovnání přenosových sběrnic v měřicí technice

Daniel Bártek

---

Bakalářská práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav aplikované informatiky  
akademický rok: 2005/2006

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel BÁRTEK**  
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Informační technologie**  
  
Téma práce: **Srovnání přenosových sběrnic v měřicí technice**

Zásady pro vypracování:

1. Vyhledání a popis přenosových sběrnic standardně používaných v měřicí technice, např. RS232, GPIB, LAN, USB.
2. Popis modulových systémů VXI, PXI.
3. Srovnání vlastností přenosových sběrnic, např. rychlost, dosah, rušení, finanční náročnost.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Derenzo S. E.: **Practical Interfacing in the Laboratory, Using a PC for instrumentation, data analysis, and control**, Cambridge University Press, California 2002.

2. Kainka B., Berndt H.-J.: **Využití rozhraní PC pod Windows, Měření, řízení a regulace pomocí standardních portů PC**, HEL, Ostrava, 2000.

3. Kainka B.: **Měření, řízení a regulace pomocí sběrnice USB**, BEN, Praha, 2002.

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Martin Procházka**

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

**14. února 2006**

Termín odevzdání bakalářské práce:

**16. června 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*pověřený děkan*



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Předmětem této práce je popis základních vlastností a porovnání nejnámějších sběrnic užívaných v průmyslové praxi pro přenos měřených veličin. Zejména jejich dosah, použité medium, typ přenosu, počet možných připojených zařízení jejich adresace a metody přístupu k médiu. Tato práce dále obsahuje základní přehled nepoužívanějších průmyslových komunikačních systémů.

Klíčová slova:

IEEE 1284 LPT, RS 232, RS 422, RS 485, USB, IrDA, BlueTooth, ZigBee, GPIB, CAN, Foundation Fieldbus, ProfiBus, M-Bus, Measurement Bus, ASI, HART, VXI, PXI.

## **ABSTRACT**

The main objective of this bachelor's thesis is to describe the basic properties of the most common communication buses used in industry for transfer of data measured and to provide a comparison of these buses. The parameters for comparison are scope, medium used, transfer type, number of devices that can be connected and media-access methods.

This bachelor's thesis provides further a basic overview of the most common industrial communication systems.

Keywords:

IEEE 1284 LPT, RS 232, RS 422, RS 485, USB, IrDA, BlueTooth, ZigBee, GPIB, CAN, Foundation Fieldbus, ProfiBus, M-Bus, Measurement Bus, ASI, HART, VXI, PXI.

Největší zásluhu na vzniku této práce má pan **Ing. Martin Procházka**, který toto téma vypsál a byl ochoten mi vždy pomoci odbornou radou nebo konstruktivní připomínkou za což bych mu chtěl touto cestou poděkovat.

Dále bych chtěl poděkovat mé přítelkyni Janě bez jejíž snahy mi pomoci bych tuto práci dokončil daleko dříve.

Hlavním cílem této práce bylo vyhledání a srovnání sběrnic, které lze v přeneseném slova smyslu nazvat komunikační cestou a domnívám se, že nejen pro tuto práci platí slova písně od kapely Mňága a Žďorb :

**„ ...i cesta může být cíl...“**

# OBSAH

<b>OBSAH</b> .....	<b>6</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I. TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ZÁKLADNÍ POJMY V PŘENOSU INFORMACE</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 ZÁKLADNÍ POJMY</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 PARAMETRY DATOVÉHO PŘENOSU</b> .....	<b>13</b>
1.2.1 PARITA .....	13
1.2.2 7BITOVÝ / 8BITOVÝ FORMÁT .....	13
1.2.3 STOP BITY .....	13
1.2.4 RÁMEC PŘENOSOVÝ RÁMEC .....	13
1.2.5 ŘÍZENÍ TOKU DAT (HANDSHAKING) .....	14
1.2.6 SYNCHRONNÍ A ASYNCHRONNÍ PŘENOS DAT .....	14
1.2.7 DATOVÉ PŘENOSY PODLE SMĚRU .....	15
<b>2 PARALELNÍ PŘENOS DAT</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 IEEE 1284 LPT</b> .....	<b>16</b>
2.1.1 ZAPOJENÍ KONEKTORŮ PRO LPT .....	17
2.1.2 POPIS SIGNÁLŮ IEEE 1284.....	18
2.1.3 KOMUNIKAČNÍ MÓDY IEEE 1284.....	19
<b>3 SÉRIOVÝ PŘENOS DAT</b> .....	<b>24</b>
<b>3.1 RS 232</b> .....	<b>24</b>
3.1.1 ASYNCHRONNÍ SÉRIOVÝ DATOVÝ RÁMEC (8E1) .....	24
3.1.2 DÉLKA VEDENÍ RS 232 .....	25
3.1.3 POPIS SIGNÁLŮ RS 232.....	25
3.1.4 ZAPOJENÍ KONEKTORŮ PRO RS 232.....	27
3.1.5 PROUDOVÁ SMYČKA.....	28
<b>3.2 RS 422 A RS 485</b> .....	<b>28</b>
3.2.1 RS 422 .....	29
3.2.2 RS 485 .....	30

<b>3.3</b>	<b>USB – UNIVERSAL SERIAL BUS</b> .....	<b>32</b>
3.3.1	PŘENOS DAT USB .....	32
3.3.2	STANDARDY USB .....	32
3.3.3	KONEKTORY USB .....	33
3.3.4	PARAMETRY USB .....	33
<b>4</b>	<b>BEZDRÁTOVÝ PŘENOS DAT</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>IRDA</b> .....	<b>34</b>
4.1.1	SPECIFIKACE IRDA .....	34
4.1.2	DOSAĚ IRDA .....	34
4.1.3	RYCHLOST IRDA.....	34
<b>4.2</b>	<b>BLUETOOTH</b> .....	<b>35</b>
4.2.1	SPECIFIKACE BLUETOOTH.....	35
4.2.2	DEFINICE KANÁLU.....	36
4.2.3	KOMUNIKAČNÍ KANÁLY BLUETOOTH .....	36
4.2.4	TOPOLOGIE SÍTĚ BLUETOOTH .....	37
<b>4.3</b>	<b>ZIGBEE</b> .....	<b>38</b>
4.3.1	SPECIFIKACE ZIGBEE .....	38
4.3.2	PROTOKOLY ZIGBEE .....	38
4.3.3	TOPOLOGIE SÍTĚ ZIGBEE .....	39
<b>5</b>	<b>PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY</b> .....	<b>41</b>
<b>5.1</b>	<b>GPIB</b> .....	<b>41</b>
5.1.1	PARAMETRY GPIB .....	41
5.1.2	PŘENOS DAT GPIB .....	42
5.1.3	PRINCIP SBĚRNICE GPIB .....	44
5.1.4	MÓDY SBĚRNICE GPIB .....	44
5.1.5	LAN-GPIB .....	45
<b>5.2</b>	<b>CAN</b> .....	<b>45</b>
5.2.1	DEFINICE CAN.....	45
5.2.2	DEFINICE PŘENOSU.....	46
5.2.3	PARAMETRY CAN.....	47
5.2.4	LINKOVÁ VRSTVA PROTOKOLU CAN .....	47
5.2.5	ZABEZPEČENÍ PŘENÁŠENÝCH DAT A DETEKCE CHYB .....	48
5.2.6	DATOVÉ RÁMCE CAN .....	49

<b>5.3 FOUNDATION FIELDBUS.....</b>	<b>52</b>
5.3.1 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI FOUNDATION FIELDBUS: .....	52
5.3.2 ARCHITEKTURA STANDARDU FOUNDATION FIELDBUS .....	52
5.3.3 FYZICKÁ VRSTVA .....	53
5.3.4 H1 - PŘENOS RYCHLOSTÍ 31,25 KBPS .....	54
5.3.5 H2 - PŘENOS RYCHLOSTÍ 1 MBPS A 2,5MBPS.....	55
5.3.6 KOMUNIKAČNÍ ZÁSOBNÍK.....	57
5.3.7 LINKOVÁ VRSTVA.....	57
<b>5.4 PROFIBUS.....</b>	<b>60</b>
5.4.1 PŘÍSTUPOVÉ METODY PROFIBUS .....	61
5.4.2 KOMUNIKAČNÍ PROTOKOLY PROFIBUS .....	61
5.4.3 PROFIBUS RS 485 .....	62
5.4.4 PROFIBUS FISCO.....	63
5.4.5 PROFIBUS MBP.....	63
5.4.6 PROFIBUS POMOCÍ OPTICKÝCH KABELŮ .....	64
<b>5.5 M-BUS .....</b>	<b>65</b>
5.5.1 PARAMETRY M-BUS.....	65
5.5.2 LOGICKÉ ÚROVNĚ M-BUS .....	66
5.5.3 LINKOVÁ VRSTVA M-BUS .....	66
5.5.4 DETEKCE CHYB M-BUS .....	68
<b>5.6 MEASUREMENT BUS .....</b>	<b>69</b>
5.6.1 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI M-BUS .....	69
5.6.2 PARAMETRY MEASUREMENT BUS .....	70
5.6.3 LINKOVÁ VRSTVA MEASUREMENT BUS .....	71
5.6.4 ŘÍZENÍ PŘENOSU DAT .....	71
5.6.5 PŘENOSOVÉ RYCHLOSTI A HLÍDACÍ ČASY .....	72
5.6.6 APLIKAČNÍ PROTOKOLY MEASUREMENT BUS .....	72
<b>5.7 ASI .....</b>	<b>73</b>
5.7.1 CHARAKTERISTIKA ASI .....	73
5.7.2 FYZICKÁ VRSTVA STANDARDU ASI.....	74
5.7.3 STRUKTURA SBĚRNICE ASI .....	74
5.7.4 STANDARDNÍ KABEL ASI .....	75
5.7.5 LINKOVÁ VRSTVA STANDARDU ASI .....	76
5.7.6 ZABEZPEČENÍ PŘENOSU .....	78



<b>5.8 HART .....</b>	<b>78</b>
5.8.1 PŘENOS DAT HART .....	79
5.8.2 PARAMETRY VEDENÍ HART.....	81
5.8.3 LINKOVÁ VRSTVA.....	81
5.8.4 PŘÍKAZY HCS .....	83
<b>6 MODULARNÍ SYSTÉMY .....</b>	<b>84</b>
<b>6.1 VXI.....</b>	<b>84</b>
6.1.1 VLASTNOSTI VXI.....	85
6.1.2 ADRESACE VXI.....	85
6.1.3 STRUKTURA VXI.....	85
<b>6.2 PXI.....</b>	<b>86</b>
6.2.1 PXI CHASSIS.....	87
6.2.2 PXI SYSTEM CONTROLLERS.....	87
6.2.3 PXI PERIFERNÍ MODULY .....	88
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>89</b>
<b>SROVNÁNÍ SBĚRNIC .....</b>	<b>90</b>
<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>94</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>95</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>96</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>97</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>99</b>

## ÚVOD

Jako jiné technologie tak i sběrnice užívané pro měření mají svůj původ v perifériích určených pro výpočetní techniku. U převážné většiny běžných datových sběrnic je však kladen větší důraz na rychlost než na přizpůsobivost a spolehlivost spojení, což je pro získávání měřených dat a řízení dějů v průmyslu nevhodné. V průmyslových úlohách jsou požadavky na průchodnost přenosového kanálu všeobecně mnohem menší, ale zato jsou zde tvrdší provozní podmínky. Informace přenášená v průmyslových podmínkách má typicky stavovou povahu a jako taková má za běžného chodu průmyslového zařízení nebo procesu tvar toku opakujících se nevelkých paketů dat. Tyto pakety jsou spjaty s nepříznivými pracovními podmínkami (např. extrémní teploty, vysoká vlhkost, intenzivní vibrace, výbušné prostředí, agresivní chemikálie, nadměrné elektromagnetické rušení apod.), o kterých jednak nesou informace a jednak jim musejí odolávat, a současně je v kritických úlohách požadováno jejich striktní časování.

Jako počátek průmyslových sběrnic lze považovat připojení paralelně vedenými vodiči k modulu řídicího nebo monitorovacího systému. Takovýto způsob (tzv. spojení z bodu do bodu - *point-to-point*) zastaral s příchodem techniky průmyslových komunikačních sběrnic, které umožňují nejen získávání měřených dat, ale také umožňují přístroje napájet, konfigurovat a používat je k řízení při použití jediného metalického, optického nebo bezdrátového vedení. Komunikační sběrnice umožňují připojit k témuž vedení větší počet přístrojů a současně poskytují vhodný adresovací mechanismus umožňující přístrojům komunikovat a přenášet data náročné na časový determinismus. Zavedené mezinárodní otevřené standardy těchto sběrnic napomáhají dosáhnout interoperability mezi systémy a přístroji od různých dodavatelů.

Současným trendem v oblasti vývoje průmyslových sběrnic je na jedné straně specializace na určité uživatelské prostředí (např. sběrnice pro automobilový průmysl, výbušné prostředí, laboratoře apod.) na druhé straně implementace na již prověřené technologie užívané v běžné praxi (např. Ethernet, Wi-Fi apod.). Velkou budoucnost v tomto segmentu má bezesporu aplikace bezdrátových technologií a zejména pak vývoj standardu ZigBee.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 ZÁKLADNÍ POJMY V PŘENOSU INFORMACE

## 1.1 Základní pojmy

**Rozhraní** – soubor technických prostředků zabezpečujících přenos dat mezi vnějším prostředím a vnitřními obvody počítače.

**Přenos dat** – fyzikální realizace přemístování informací prostorem.

**Sběrnice** (sdělovací nebo přenosový kanál) – množina technických prostředků k přenosu dat mezi dvěma místy. Dělí se podle účasti na přenosu dat na část datovou a řídicí.

**Signál** – je fyzikální realizací informační jednotky. Jeho pomocí se realizuje přenos dat.

**Šířka přenosového kanálu** – číslo udávající počet informačních jednotek datové části přenosového kanálu přenášených současně (tj. počet bitů) nejčastěji 8 bitů tj. 1 Byte.

**Přenosová rychlost** – počet bitů přenesených za jednotku času, jednotka je 1 bit/s (1 b/s, bps). Rychlost přenosu dat, při níž za 1 sekundu je přenesen právě jeden bit.

**Modulační rychlost** - při dvoustavovém přenosu dat jednotka 1Bd (Baud) Baud rate udává počet změn signálu za sekundu. Do jedné signálové změny lze zakódovat i více než jeden bit. A proto nelze slučovat pojem bps (bits per second = 1 bit/s) s pojmem baud.

**Přenosový výkon** – veličina udávající kolik bitů zprávy je přeneseno za jednotku času. Jednotka je 1 bit/s (1 b/s). Je to přenosová rychlost bez řídicích a chybných bitů. (Součet „užitečných“ bitů přenosové rychlosti).

## 1.2 Parametry datového přenosu

### 1.2.1 Parita

Nejjednodušší způsob jak bez nároků na výpočetní výkon zabezpečit přenos dat. Ve vysílacím zařízení se sečte počet jedničkových bitů a doplní se paritním bitem tak, aby byla zachována předem dohodnutá podmínka sudého nebo lichého počtu jedničkových bitů.

**SUDÁ PARITA** – počet jedničkových bitů + paritní bit = SUDÉ ČÍSLO.

**LICHÁ PARITA** – počet jedničkových bitů + paritní bit = LICHÉ ČÍSLO.

**SPACE PARITY** – tzv. nulová parita – paritní bit je vždy v log. 0, používá se například při komunikaci s 7bitového zařízení s 8bitovým, kdy paritní bit nahrazuje tvrdou log. 0 poslední bit v byte, tím je zachována kompatibilita s 8bitovým přenosem.

**MARK PARITY** - Paritní bit je pevně nastaven na log. 1, při kompenzaci 7bitového provozu je třeba jej na přijímací straně nulovat, jinak není kompatibilní s ASCII.

### 1.2.2 7bitový / 8bitový formát

Na starých terminálech IBM, které se používaly pouze jako textové konzole, ušetřili návrháři jeden bit přenosu a používali pouze 7bitový přenos, který umožňoval 128 kombinací. Dnes se v praxi prakticky nepoužívá, ale stal se standardem.

### 1.2.3 Stop bity

**STOP BIT** – Definuje ukončení rámce. Zároveň zajišťuje určitou prodlevu pro přijímač. Právě v době příjmu STOP bitu většina zařízení zpracovává přijatý BYTE.

**ZDVOJENÝ STOP BIT** – Používá se u pomalejších zařízení pro dobůh zpracování přijatého znaku. Jedná se o standard na 110 Bd.

### 1.2.4 Rámec přenosový rámec

Kompletní přenosová skupina = přenášená DATA (7/8 bitová) doplněná o START BIT, STOP BIT a PARITU. Přenosový rámec je tedy minimální přenášená skupina dat.

### 1.2.5 Řízení toku dat (HANDSHAKING)

Představuje potvrzení příjmu dat či připravenost k přenosu a jeho zahájení na úrovni hardwarového nebo softwarového rozhraní.

#### Hardwarový HANDSHAKING

Přenos od vysílače k přijímači, vysílač má připravena platná data k odeslání.

Přenos od přijímače k vysílači, přijímač je schopen data zpracovávat.

#### Softwarový HANDSHAKING

Probíhá na úrovni komunikačních protokolů (ZMODEM, KERMIT...), pomocí běžného datového kanálu přijímač vysílači sdělí, zda je schopen data přijímat a zpracovávat. BIOS v počítačích PC používá pro SW handshaking znaky v Ascii tabulce XON/XOF. Je-li však potřeba v toku dat znaky XON/XOF vyslat, je nutné vyslat speciální sekvenci znaků, což samozřejmě přenos dat obsahujících převážně tyto znaky značně zpomalí.

### 1.2.6 Synchronní a Asynchronní přenos dat

#### *Synchronní přenos dat*

Synchronní přenos informací znamená, že na nějakém vodiči nebo vodičích se nastaví určitá úroveň, která přenáší informaci a validita informace se potvrdí impulsem, nebo změnou úrovně synchronizačního signálu. Synchronizačním signálem se tedy informace kvantují.

Základní vlastnosti synchronní přenosu:

- výhodné pro velké objemy dat, přenášené po více vodičích,
- nutno jednoznačně určit, kdo vysílá synchronizační impulsy,
- možno použít spojitě proměnnou rychlost přenosu, například podle poměru chybovosti,
- nutnost synchronizačního vodiče „navíc“ – v podstatě „nepřenáší žádnou informaci“,
- na straně zařízení nepotřebuje nijak složitou elektroniku.

#### *Asynchronní přenos dat*

Asynchronní přenos dat přenáší data v určitých sekvencích. Data jsou přenášena přesně danou rychlostí a uvozena startovací sekvencí, na kterou se synchronizují všechna přijímací zařízení.

Všechny strany obsahují vlastní přesný oscilátor, díky kterému odečítají data v přesně definovaných intervalech. Po ukončení sekvence je další příjem opět synchronizován startovní sekvencí.

Základní vlastnosti asynchronní přenosu:

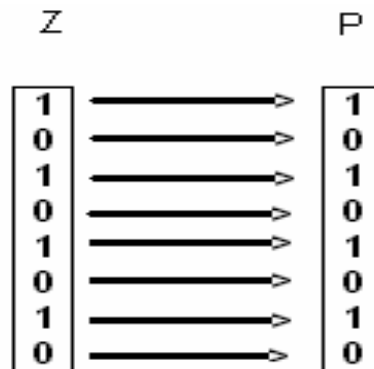
- nevýhodné pro velké objemy dat, ale vhodné pro dlouhá vedení, na nichž by synchronizační vodič činil nezanedbatelné finanční náklady,
- lze použít pro komunikaci mezi mnoha zařízeními,
- nutno definovat jednoznačně přenosové rychlosti, změnu rychlosti je třeba ošetřit softwarovou sekvencí, která přiměje počítač změnit hardwarově přenosovou rychlost,
- složitá a drahá elektronika, je nutné použít krystalové oscilátory,
- až o 20% menší přenosová rychlost užitečných dat při stejné rychlosti komunikace, vzhledem k nutnosti startovacích a paritních bitů.

### 1.2.7 Datové přenosy podle směru

- **Simplexní** - (jednosměrný) komunikační kanál přenáší data pouze jedním směrem od vysílače k příjemci. (proudová smyčka, televizní a rádiové vysílání).
- **Duplexní** - (obousměrný) komunikační kanál umožňuje přenos dat oběma směry, pro přenos dat oběma směry současně je používán výraz plně duplexní přenos (full-duplex). V těchto případech se obvykle jedná o dva víceméně nezávislé simplexní kanály se společnými mechanismy řízení toku dat.(RS 232).
- **Poloduplexní** - (half – duplex) komunikační kanál umožňuje přenos dat v libovolném časovém okamžiku pouze jedním z obou možných směrů. (Ethernet 10Base-2, Fieldbus).

## 2 PARALELNÍ PŘENOS DAT

Paralelní přenos lze definovat jako přenos dat při němž jsou data jednoho zdroje přenášena více kanály současně. Tyto kanály mohou být zcela nezávislé nebo většinou sdílí mechanismy řízení přenosu.



Obrázek. 1. Paralelní přenos.

### 2.1 IEEE 1284 LPT

**CENTRONICS** - Zajišťuje paralelní komunikaci s periferiemi pomocí 17 digitálních linek, které lze rozdělit na 8 datových signálů a 9 signálů pro řízení komunikace (handshaking). Periferie lze spolehlivě propojit na vzdálenost 2m, v praxi lze komunikovat i na vzdálenost max. 5m, při správném stínění datových vodičů komunikačního kabelu.

Původně byl paralelní port pro PC účelově vytvořen pro komunikaci s tiskárnou, tedy jednosměrný přenos dat od PC do tiskárny. Později však byl dalšími módy uzpůsoben i pro obousměrný přenos dat rychlostí až jednotek Mbps. Paralelní port byl v roce 1994 standardizován pod IEEE 1284. Tento standard definuje 5 módů činnosti:

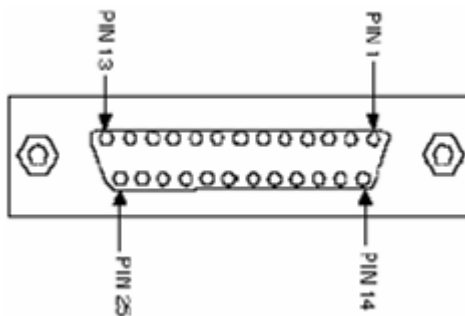
1. SPP mode - Compatibility Mode (Centronics mode).
2. Nibble Mode.
3. Byte Mode.
4. EPP Mode (Enhanced Parallel Port).
5. ECP Mode (Extended Capabilities Mode).



### 2.1.1 Zapojení konektorů pro LPT

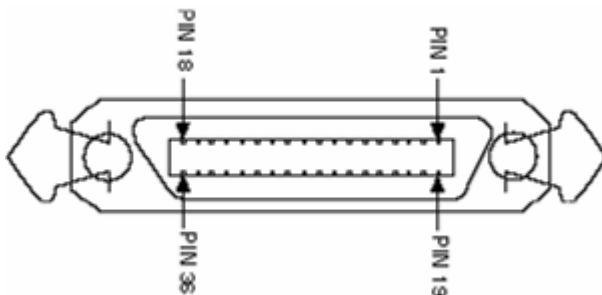
Pro paralelní port se nejčastěji používají 3 typy konektorů:

**1284-A** 25 pin D-sub female konektor který je dnes obvykle součástí základní desky PC



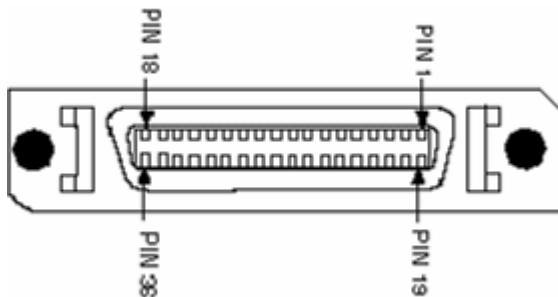
Obrázek. 2. 25 D-sub.

**1284-B** 36-pin Champ36 konektor, který se obvykle vyskytuje na tiskárnách a jiných periferních zařízeních.



Obrázek. 3. 36-pin Champ36.

**1284-C** 36-pin high density který se obvykle vyskytuje na tiskárnách a jiných periferních zařízeních.



Obrázek. 4. 36-pin high density.

Tabulka. 1. Přiřazení pinů D-Type 25 pin konektoru.

Pin číslo	Signál	Směr In/out	Registr	
1284 - A	1284 - B 1284 - C			
1	1	nStrobe	In/Out	Control
2	2	Data 0	Out	Data
3	3	Data 1	Out	Data
4	4	Data 2	Out	Data
5	5	Data 3	Out	Data
6	6	Data 4	Out	Data
7	7	Data 5	Out	Data
8	8	Data 6	Out	Data
9	9	Data 7	Out	Data
10	10	nAck	In	Status
11	11	Busy	In	Status
12	12	Paper-Out / Paper-End	In	Status
13	13	Select	In	Status
14	14	nAuto-Linefeed	In/Out	Control
15	32	nError / nFault	In	Status
16	31	nInitialize	In/Out	Control
17	36	nSelect-Printer / nSelect-In	In/Out	Control
18 - 25	19-30	Ground	Gnd	

### 2.1.2 Popis signálů IEEE 1284

Výstupní signály paralelního portu jsou definovány klasickou TTL logickou úrovní signálů, tzn. log. 1. odpovídá hladině +3,5 V až +5 V a log. 0 hladině 0 V až +0,4 V.

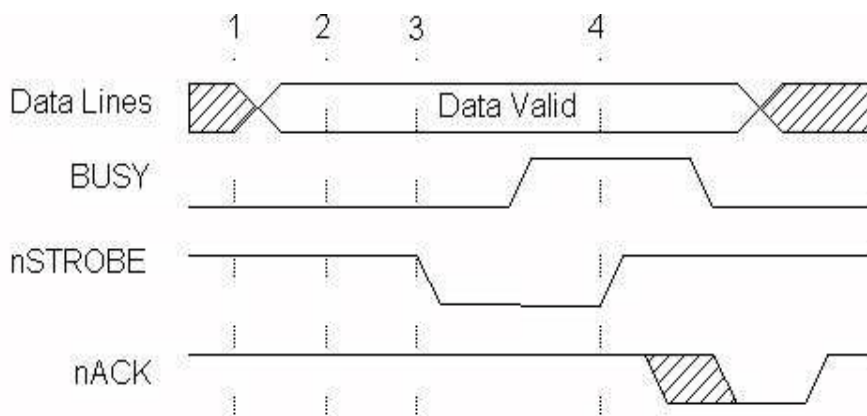
Rozdílné hodnoty maximálních zátěžových proudů paralelního portu, které se liší v závislosti na fyzické realizaci paralelního portu. Maximální hodnoty odebíraného proudu se mohou pohybovat od 4 mA až po 20 mA. Proto je vždy nejvýhodnější na paralelním rozhraní s PC komunikujícího zařízení využít oddělovací buffer.

### 2.1.3 Komunikační módy IEEE 1284

#### SPP mode - Compatibility Mode

Tento mód je taky často označován jako *Centronics mode* a je to základní mód pro standardní paralelní port původně určen pouze pro komunikaci PC s tiskárnou. Definován je jen přenos typu forward, tedy od PC k periférii, a rychlost přenosu se pohybuje jen do 150 kbps.

*Fast Centronics* (Parallel Port FIFO Mode) využívá FIFO bufferů pro přenos. Pak data zapsaná do FIFO portu budou přenesena k tiskárně s využitím hardwarově generovaných handshake signálů a tím se zvýší přenosová rychlost až na 500 kbps. Tento mód ale není definován standardem IEEE 1284.



Obrázek 5. Časový průběh komunikace v klasickém SPP módu.

#### Popis fází přenosu :

1. Zápis dat do datového registru.
2. Program přečte stavový registr, aby zkontroloval zda tiskárna není zaneprázdněna (signálBUSY).
3. Když není zaneprázdněna, pak zápis do Control registru způsobí stav low na lince nSTROBE
4. Tiskárna přijme data a potvrdí příjem signálem nACK (stav low).

### **Nibble Mode**

Nibble mode je cesta, jak získat zpětný kanál, resp. obousměrnou komunikaci mezi periferií a PC, přímo z klasického SPP Compatible módu bez hardwarových úprav. Nutná je tedy jen podpora softwarová. Proto je limit v rychlosti přenosu na 100 kbps. Výhodou je schopnost používat tuto obousměrnou komunikaci na všech PC s LPT.

K přenosu se využívá 5 vstupních linek portu do PC primárně určené pro handshake 4 z nich se však využívají pro přenos dat do PC. Využitím těchto linek může periferie vyslat byte jako posloupnost 2 tzv. nibblů (4 bity) ve dvou po sobě následujících datových cyklech.

### **Byte Mode**

Po implementaci rozhraní paralelního portu, někteří výrobci v čele s IBM zvýšili kapacitu přenosu vypuštěním budiče datových linek a umožnili tak obousměrnou 8-bitovou komunikaci přes datové linky. Přenosová rychlost je 100 kbps až 200 kbps.

### **EPP Mode (Enhanced Parallel Port)**

EPP - Enhanced Parallel Port protocol byl původně vyvinut firmou Intel, Xircom a Zenith Data Systems, aby poskytl výkonné propojení přes paralelní port a přitom byl kompatibilní se standardním paralelním portem. Poté byl přijat jako do standardu IEEE 1284 jako pokročilý (advanced) mód. Efekt tohoto módu je rychlost přenosu mezi 500 kbps až 2 Mbps. Přenos se však vždy uskuteční s přenosovou rychlostí toho nejpomalejšího komunikujícího zařízení. To si obě komunikující zařízení zjistí z výměn a odezev na handshake signály.

Protokol poskytuje 4 přenosové cykly:

- Data Write Cycle,
- Data Read Cycle,
- Address Write Cycle,
- Address Read Cycle.

Data cykly jsou určeny pro přenos (transfer) dat mezi PC a periferií. Adresové cykly jsou určeny k přenosu adresy kanálu, nebo příkazu a řídicí informace.

### **ECP Mode (Extended Capabilities Mode)**

Extended Capability Port protocol byl stvořen firmami Hewlett Packard a Microsoft jako pokročilý mód pro obousměrnou komunikaci PC s dalšími periferiemi (např. scanner). Přenosová rychlost v tomto módu je až 800 kBps bez využití DMA (Direct Memory Access) a až 2 Mbps s pomocí DMA. To platí při implementaci na ISA sběrnici. Dnes však při implementaci na PCI sběrnici PC lze dosáhnout 3 Mbps až 5 Mbps. Někdy se udává až 8 Mbps.

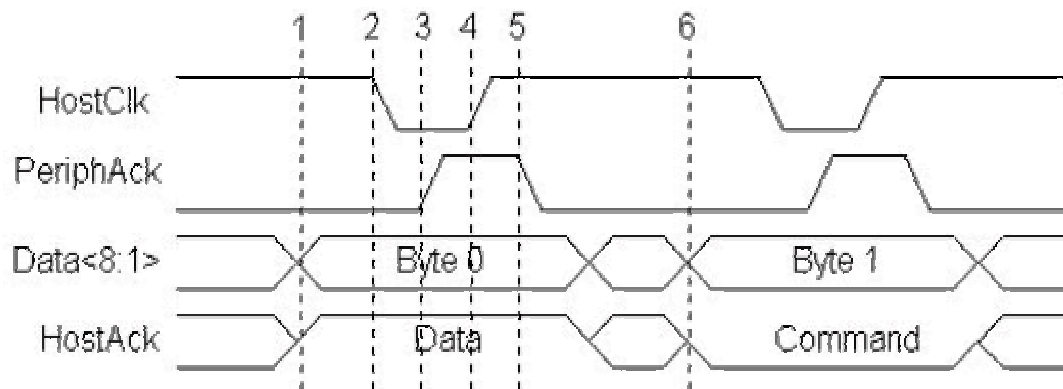
ECP protokol poskytuje dva komunikační cykly:

- Datové cykly (Data cycles),
- Příkazové cykly (Command cycles).

RLE umožňuje real-time datovou kompresi s poměrem až 64:1, ale musí být povolena na obou komunikujících zařízeních. To je výhodné například při přenosu velkého množství dat obrázku ze scanneru. Adresování kanálů je také odlišné od EPP módu. ECP adresování (Channel addressing) je zde určeno k adresování mnoha logických zařízení jedním fyzickým zařízením. Užitím ECP channel addressing lze přistoupit ke každému zařízení. Lze například přijímat data z modemu během doby, kdy datový kanál je busy vlivem tisku tiskárny.

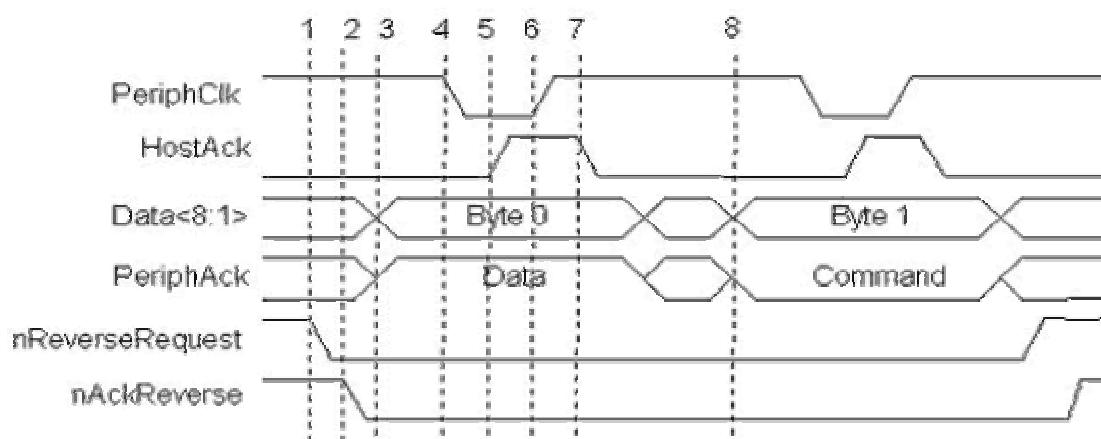
V základním komunikačním módu nelze během signálu busy od tiskárny provádět jinou komunikaci. V ECP módu stačí jen adresovat jiný logický kanál a komunikace může probíhat. Stejně jako jiné 1284 rozšiřující módy, ECP protokol předdefinovává klasické SSP signály a přidává další pro ECP handshake.

Průběh dvou dopředných cyklů přenosu (forward transfer cycles). V prvním cyklu se přenáší data (forward channel data cycle), ve druhém příkazy (forward channel command cycle). To řídí signál HostAck. Když se nastavený stav high, indikuje začátek datového cyklu, když nastavený stav do low, indikuje počátek command cyklu. 8.bit datového bajtu je využit k indikování RLE vs. Channel addressing. Když je tento bit v log.0, pak předchozích 7 bitů reprezentuje tzv. Run\_Length Count (0-127), když v log.1, reprezentují adresu kanálu (Channel address) 0-127.



Obrázek. 6. Časový průběh komunikace v ECP módu pro dopředný přenos dat (forward data transfer).

Zpětný přenosový cyklus (reverse transfer cycles), kde první je datový cyklus (reverse channel data cycle) následovaný příkazovým cyklem (reverse channel command cycle). Větší bloky dat jsou přesouvány pomocí DMA (Direct Memory Access) a díky zrušené vazbě V EPP módu software může libovolně mixovat režim čtení a zápis na linku. Naopak v módu ECP musí zařízení žádat o zpětný (reverse) přenos pomocí signálů `nReverseRequest` a `nAckReverse`. Navíc se případně musí čekat na ukončení přenosu DMA nebo přerušení od DMA.



Obrázek. 7. Časový průběh komunikace v ECP módu pro zpětný přenos dat (reverse data transfer).

Tabulka. 2. Přiřazení a popis signálů v ECP módu.

SPP Signál	ECP Mód	In/Out	Popis -- Využití signálů v ECP Mode přenosu dat
nSTROBE	HostClk	Out	Používán spolu s PeriphAck k přenosu dat a informace o adrese v přímém směru přenosu.
nAUTOFEED	HostAck	Out	Poskytuje Command/Data status (Příkaz / Data stav) v přímém směru přenosu. Používán spolu s PeriphClk k přenosu dat ve zpětném směru přenosu .
nSELECTIN	1284Active	Out	Nastavený do log.1, když zařízení je v 1284 transfer módu.
nINIT	nReverse-Request	Out	Nastaven do log.0, když je kanál v zpětném směru přenosu.
nACK	PeriphClk	In	Používán společně s HostAck k přenosu dat ve zpětném směru přenosu.
BUSY	PeriphAck	In	HostClk k přenosu dat nebo adresové informaci v přímém směru přenosu dat. Poskytuje Command/Data stav ve zpětném směru.
PE	nAckReverse	In	Nastaven do log.0 k potvrzení nReverseRequest signálu.
SELECT	Xflag	In	Extensibility flag.
nERROR	nPeriphRequest	In	Nastavený do log.0 periferií k indikaci, že zpětná data jsou dostupná.
Data[8:1]	Data[8:1]	Bi-Di	Používaná k přenosu dat mezi periferií a PC.

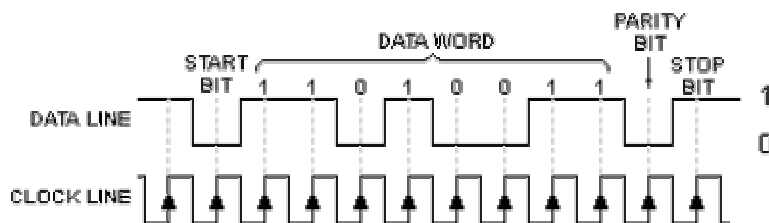
### 3 SÉRIOVÝ PŘENOS DAT

#### 3.1 RS 232

RS 232 je rozhraní pro přenos informací vytvořené původně pro komunikaci dvou zařízení do vzdálenosti 20 m. Pro větší odolnost proti rušení je informace po propojovacích vodičích přenášena větším napětím, než je standardních 5 V. Přenos informací probíhá asynchronně, pomocí pevně nastavené přenosové rychlosti a synchronizace sestupnou hranou startovacího impulsu.

##### 3.1.1 Asynchronní sériový datový rámeček (8E1)

RS 232 Používá asynchronní přenos informací. Každý přenesený byte konstantní rychlostí je proto třeba synchronizovat. K synchronizaci se používá sestupná hrana tzv. Start bit. Za ní již následují posílaná data.



Obrázek. 8. Bitový proud RS 232.

Pokud je třeba upozornit zařízení na dočasné zastavení vysílání, vygeneruje vysílač nepřetržitý impuls v log. 0 po dobu 100 – 600 ms (maximální doba linky v nepřerušené log. 0 je na nejnižší rychlosti, kdy se vysílá 8 x log. 0 je 66,6 ms).



### 3.1.2 Délka vedení RS 232

Standard RS 232 uvádí jako maximální možnou délku vodičů 15 metrů, nebo délku vodiče o kapacitě 2500 pF. To znamená, že při použití kvalitních vodičů lze dodržet standard a při zachování jmenovité kapacity prodloužit vzdálenost až na cca 50 metrů.

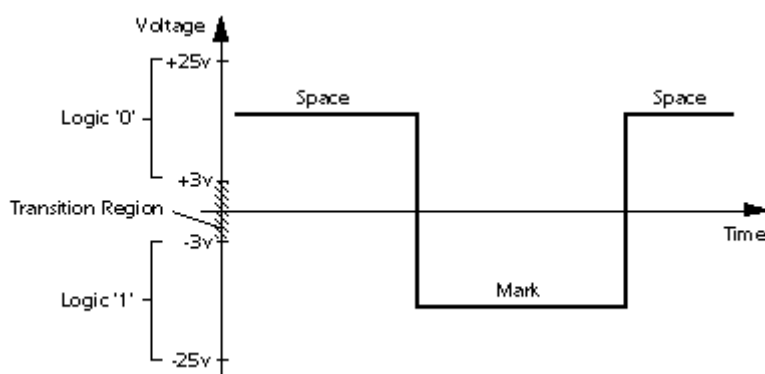
Kabel lze také prodlužovat při snížení přenosové rychlosti, protože potom bude přenos odolnější vůči velké kapacitě vedení. Uvedené parametry počítají s přenosovou rychlostí 19200 Bd.

Tabulka. 3. Délka vedení RS 232.

Modulační rychlost [Bd]	Maximální délka [ft]	Maximální délka [m]
19 200	50	15
9 600	500	150
4 800	1 000	300
2 400	3 000	900

### 3.1.3 Popis signálů RS 232

RS 232 používá dvě napěťové úrovně. Logickou 1 a 0. Log. 1 je někdy označována jako marking state nebo také klidový stav, Log. 0 se přezdívá space state. Log. 1 je indikována zápornou úrovní, zatímco logická 0 je přenášena kladnou úrovní výstupních vodičů. Nejběžněji se pro generování napětí používá napěťový zdvojovač z 5 V a invertor. Logické úrovně jsou potom přenášeny napětím +10 V pro log. 0 a -10 V pro log. 1.



Obrázek. 9. Maximální napěťové úrovně RS 232.

Tabulka. 4. Napěťové úrovně RS 232.

Datový signál		
Úroveň	Vysílač	Přijímač
Log. L	+5 V to +15 V	+3 V to +25 V
Log. H	-5 V to -15 V	-3 V to -25 V
Nedefinovaný	-3 V to +3 V	
Řídící signál		
Signál	Driver	Terminátor
"Off"	-5 V to -15 V	-3 V to -25 V
"On"	5 V to 15 V	3 V to 25 V

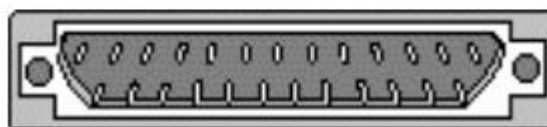
Tabulka. 5. Popis signálů RS 232.

signál	popis
DCD - Data Carrier Detect	Detekce nosné (někdy jen "CD). Modem oznamuje terminálu, že na telefonní lince detekoval nosný kmitočet.
RXD - Receive Data	Tok dat z modemu (DCE) do terminálu (DTE).
TXD - Transmit Data	Tok dat z terminálu (DTE) do modemu (DCE).
DTR - Data Terminal Ready	Terminál tímto signálem oznamuje modemu, že je připraven ko-munikovat .
SGND - Signal Ground	Signálová zem
DSR - Data Set Ready	Modem tímto signálem oznamuje terminálu, že je připraven ko-munikovat .
RTS - Request to Send	Terminál tímto signálem oznamuje modemu, že komunikační ces-ta je volná .
CTS - Clear to Send	Modem tímto signálem oznamuje terminálu, že komunikační cesta je volná .
RI - Ring Indicator	Indikátor zvonění. Modem oznamuje terminálu, že na telefonní lince detekoval signál zvonění.

### 3.1.4 Zapojení konektorů pro RS 232

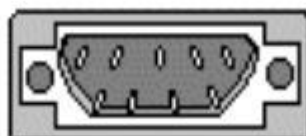
Tabulka. 6. Přiřazení pinů Cannon 25 a Cannon 9.

Cannon 25				Cannon 9			
PIN	NÁZEV	SMĚR	POPIS	PIN	NÁZEV	SMĚR	POPIS
1	SHIELD	---	Shield Ground	1	CD	<--	Carrier De-tect
2	TXD	-->	Transmit data	2	RXD	<--	Receive Da-ta
3	RXD	<--	Receive Data	3	TXD	-->	Transmit data
4	RTS	-->		4	DTR	-->	Data Termi-nal Ready
5	CTS	<--	Clear To Send	5	GND	---	System Ground
6	DSR	<--	Dat Set Ready	6	DSR	<--	Dat Set Rea-dy
7	GND	---	System Ground	7	RTS	-->	Request To Send
8	CD	<--	Carrier Detect	8	CTS	<--	Clear To Send
19	N/C	-	-	9	RI	<--	Ring Indica-tor
20	DTR	-->	Carrier Detect				
21	N/C	-	-				
22	RI	<--	Ring Indi-cator				
23-25	N/C	-	-				



1 14 13 25

Obrázek. 10. Konektor Cannon 25.

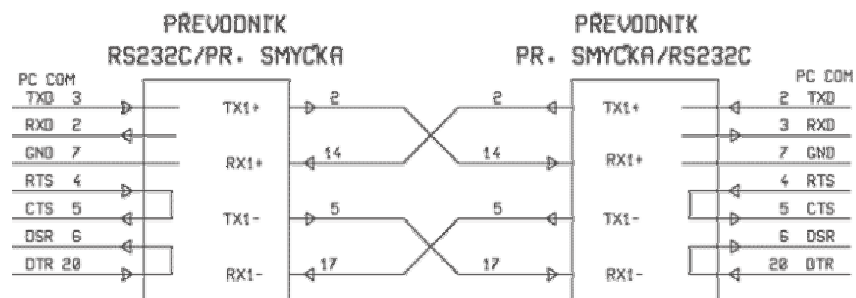


1 5 6 9

Obrázek. 11. Konektor Cannon 9.

### 3.1.5 Proudová smyčka

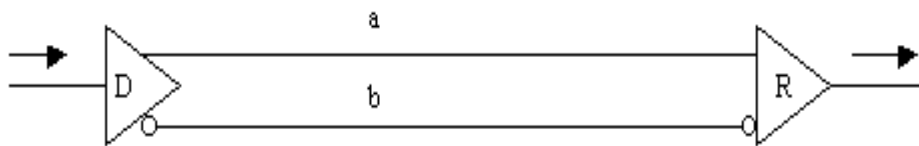
Pro komunikaci pomocí RS 232 na větší vzdálenosti se občas používá také proudová smyčka 0/20 mA. Proudová smyčka je vysoce odolná proti rušení, neboť smyčkou buď teče, nebo neteče proud 20 mA. Převod je relativně jednoduchý a dosah se řádově zvýší na stovky metrů, zatímco komunikační rychlost zůstane zachována. Z ekonomických důvodů se na proudovou smyčku převádějí pouze signály RxD a TxD z plného rozhraní RS 232. Délka vedení je omezena kapacitou a ohmickým odporem vedení. V praxi je rozhodujícím faktorem jen odpor. U běžně užívaných proudových smyček bývá povolený odpor vedení do 200  $\Omega$ . Proudové smyčky se od sebe liší provedením vysílačů a přijímačů. Mohou být aktivní nebo pasivní, přímé nebo galvanicky oddělené. Propojuje se vzájemně vždy jeden vysílač s jedním přijímačem, a to v kombinaci aktivní vysílač - pasivní přijímač nebo pasivní vysílač - aktivní přijímač.



Obrázek. 12. Zapojení proudové smyčky a RS 232.

## 3.2 RS 422 a RS 485

Použití v průmyslovém prostředí a v systémech pro řízení a přenos dat linky mohou být vedeny až na vzdálenost 1600 metrů (vodiče s kapacitou do 65 pF/m) a lze je větvit. Každý ze signálů linky je přenášén po dvojici vodičů, nejlépe v provedení twisted pair. Vodiče označované a a b jsou vysílačem buzeny v protifázi a přijímač vyhodnocuje jejich napěťový rozdíl. Z elektrického hlediska mluvíme tzv. Balanced data transmission, nebo také Differential voltage transmission. Tímto principem se odstraní součtové rušení. Proti RS 232 tyto linky neobsahují vodiče pro řízení toku a jsou nahrazeny komunikačním protokolem.

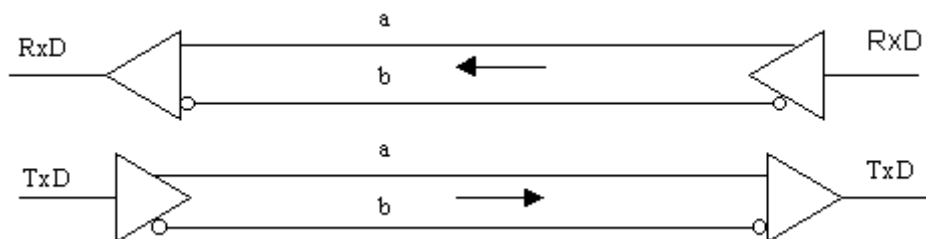


Obrázek. 13. Přenos jednoho signálu po lince RS485 nebo RS422.

*D je vysílač, R je přijímač.*

### 3.2.1 RS 422

Je určena jako RS 232 pro point-to-point komunikaci. RS 422 používá dva oddělené TP vodiče a data mohou být přenášena v obou směrech současně. RS 422 se často používá na prodloužení vedení RS 232. Linka RS 422 používá jeden pár vodičů pro signál RxD a druhý pro signál TxD. Při použití linky RS 422 k prodloužení přenosové vzdálenosti místo “třídrátové” RS 232 (RxD, TxD, GND), nic se nemusí na způsobu komunikace měnit a není tedy třeba ani zásah do software.



Obrázek. 14. Provedení nevětvené linky RS422.

#### Délka vedení RS 422

Maximální délka vedení u této sériové linky je udávána 1200 metrů, při použití velmi kvalitních vodičů lze dosáhnout až 1600 metrů (vodiče s kapacitou do 65pF/m).

#### Parametry RS 422

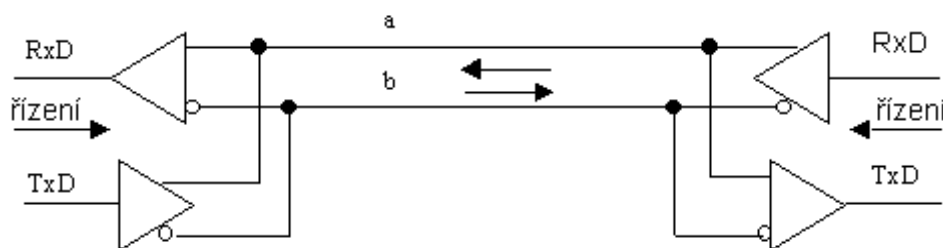
Přenosová rychlost je udávána 10 Mbps. Na jednu sběrnici lze připojit až 10 zařízení.

Maximální napětí  $\pm 6V$ . Impedance vedení 54  $\Omega$ .

### 3.2.2 RS 485

RS 485 se používá pro multi-point komunikaci, více zařízení může být připojeno na jedno signálové vedení. Většina RS 485 systémů používá Master/Slave architekturu, kde má každá slave jednotka svoji unikátní adresu a odpovídá pouze na jí určené pakety. Tyto pakety generuje Master a periodicky oběhlá všechny připojené slave jednotky.

Master/Slave architekturu používá 95% zařízení. Ve speciálních případech (např. zabezpečovací systém) se však používá vylepšená obdoba tzv. multiprocessorové komunikace. Tento systém používá pouze jedno vedení na obousměrnou komunikaci, ale není určen žádný Master. Všechna zařízení ohlašují odeslání paketu o určité délce a zároveň poslouchají, zda byla data v pořádku odeslána. Pokud se tak nestalo, zastaví komunikaci a čekají, co se stalo. V té době je možno po lince přenést urgentní pakety. Tento systém se výborně hodí např. pro zařízení, která potřebují ihned přenést zařízení velmi důležitá a aktuální data, aniž by čekaly, až na něj přijde řada a Master mu dá příležitost. V praxi je však přenos užitečných dat výrazně menší, než v prvním případě (cca o 30% méně efektivní).



Obrázek. 15. Provedení nevětvené linky RS 485.

#### Varianty RS 485

**Single Twisted Pair RS 485** - v této verzi jsou všechny zařízení připojena na jeden TwistedPair. Všechny tudíž musí mít třístavové budiče (včetně Master). Komunikace probíhá po tomtéž vedení v obou směrech. Je tedy důležité, aby nezačalo vysílat více zařízení najednou, což je softwarová záležitost.

**Double Twisted Pair RS 485** - v tomto zapojení Master nemusí mít třístavový výstup, protože Slave zařízení vysílají do druhého twisted Pairu, určeného pro komunikaci od slave zařízení k masteru. Toto řešení často umožňuje implementovat multi-point řešení

v systémech, které byly původně (jak HW, tak i SW) určeny pro RS 232. Samozřejmě je ovšem nutnost úpravy Master software, tak, aby obesílal všechny Slave zařízení dotazovacími pakety. Zřejmé je také zvýšení datové propustnosti při větších objemech dat.

### **Délka vedení RS 485**

Maximální délka vedení je shodná ze standardem RS 422 je udávána 1200 metrů, při použití velmi kvalitních vodičů lze dosáhnout až 1600 metrů (vodiče s kapacitou do 65pF/m).

### **Parametry RS 485**

Přenosová rychlost je udávána 10 Mbps. Na jednu sběrnici lze připojit až 32 zařízení. Maximální napětí  $\pm 12V$ . Impedance vedení  $54 \Omega$ .

### 3.3 USB – Universal Serial Bus

Nejnovější standard pro sériový přenos dat, který nahrazuje sériové porty počítače založené na RS 232 a v řadě případů nahrazuje také paralelní port. Proti RS 232 se liší vyšší rychlostí (1,5 Mbits do 480 Mbits dle specifikace), možností připojení až 127 zařízení na jediný kořenový rozbočovač a možností napájení po sběrnici (5 V). Po připojení zařízení umožňuje odběr až 0,5 A. USB rovněž zajišťuje správné přidělení prostředků (IRQ, DMA).

#### 3.3.1 Přenos dat USB

Pro komunikaci mezi počítačem a funkční jednotkou jsou k dispozici tři typy paketů. Každá výměna dat začíná tím, že počítač vyšle tzv. token packet obsahující popis typu a směru výměny dat, adresu USB zařízení a číslo koncové jednotky (endpoint number). Pak zařízení, které má vysílat data, vyšle datový paket nebo indikuje, že žádná data nejsou k dispozici. Příjemci strana nakonec vyšle tzv. handshake packet, kterým informuje, zda přenos proběhl úspěšně.

Existují zde dva typy přenosového modelu :

**Tok dat (stream)** využívající izochronní přenos dat v reálném čase. Nemá přesně definovanou strukturu.

**Zpráva (message)** využívající asynchronní přenos.

Zpráva má přesně definovanou strukturu:

- Řídící zpráva určená pro konfigurování poprvé aktivovaného zařízení.
- Zpráva obsahující větší objem dat jež jsou většinou segmentována do více částí.
- Zpráva s přerušením (obvykle několik bajtů), kterou spontánně vysílá zařízení, aby předalo zprávu o svém stavu (např. změna polohy myši).
- Pro kódování je ve všech případech použit kód NRZI (not-return-to-zero recording).
- Zabezpečení přenosu zajišťuje CRC (Cyclic Redundancy Check).

#### 3.3.2 Standardy USB

V současné době se používají dvě verze USB rozhraní lišící se maximální přenosovou rychlostí:

**USB1.0**, resp. 1.1 - 12 Mbps(Full Speed) a 1,5 Mbps(Low Speed)

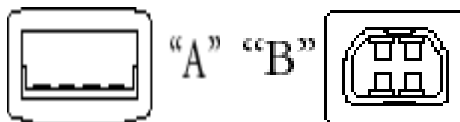


### USB2.0 - 480 Mbps(High Speed)

Jednotlivé standardy jsou vzájemně kompatibilní, tzn. lze bez problémů připojovat zařízení s rozhraním USB1.1 k USB2.0 a naopak. Přenosová rychlost pochopitelně odpovídá pomalejšímu řadiči. Uvedené verze se od sebe liší jak provedením kabelu, tak elektrickými parametry rozhraní připojeného zařízení.

#### 3.3.3 Konektory USB

USB rozhraní používá tři typy konektorů. Plochý konektor typ A, konektor typ B pro periferní zařízení a zmenšený konektor typ B pro menší periferní zařízení (např. fotoaparáty).



Obrázek. 16. Konektory USB.

#### 3.3.4 Parametry USB

Rozhraní USB využívá čtyřvodičového připojení, přičemž dva vodiče slouží pro napájení spotřebiče a dva tvoří datový pár. Napěťové úrovně jsou přibližně TTL - logická nula je 0,3 V se zatížením do 1,5 kW proti napájení, logická jednička 2,8 V se zatížením do 15 kW proti zemi. Pro využití maximální přenosové rychlosti (12 Mbps) může být kabel dlouhý max. 5 metrů, přičemž musí být stíněný a kroucený, pro nízkorychlostní přenosy (do 1,5 Mbps) může být použit nestíněný a nekroucený kabel s max. délkou 3 metry. Terminátory s impedancí 90 W jsou součástí hubů.

Při rychlostech "Full Speed" a "High Speed" je log. 1 přenášena diferencially uvedením D+ přes 2,8 V s připojeným 15 KW odporem na GND a D- je pod 0,3 V s 1,5 KW odporem připojeným na 3,6 V. Log. 0 je řešena opačně = D- přes 2,8 V a D+ pod 0,3 V se stejnými hodnotami odporů.

USB zařízení mohou být napájena přímo z sběrnice, pokud jejich odběr nepřekročí 100 mA, příp. 500 mA (max. jedno zařízení na celé USB sběrnici. Napájecí napětí je 5 V.

Pokud mají USB zařízení vlastní zdroj (např. počítač má vlastní systém pro distribuci napájení nezávislý na USB), je řízen USB sběrnici. Každý segment USB umožňuje omezený přenos výkonu pro napájení USB zařízení, přičemž zařízení může být současně napájeno z vlastního zdroje.

## 4 BEZDRÁTOVÝ PŘENOS DAT

### 4.1 IrDA

IrDA je standard vytvořený Infrared Data Association. Definuje jak bezdrátově přenášet digitální data pomocí infračerveného záření. IrDA ve svých specifikacích definuje standardy jak fyzických koncových zařízení, tak protokolů, jimiž komunikují IrDA zařízení. IrDA standard vznikl z potřeby mobilně propojit různá zařízení mezi sebou (hlavní využití IrDA je pro spojení notebooku či různých personálních komunikátorů, v poslední době pak hlavně mobilních telefonů).

#### 4.1.1 Specifikace IrDA

IrDA zařízení komunikují pomocí infračervených LED diod s vlnovými délkami vyzařovaného světla  $875 \text{ nm} \pm$  tolerance výroby (asi 30 nm). Přijímačem jsou PIN fotodiody, které pracují v generačním režimu (při dopadu světla na přijímač "vyrazí" světlo elektrony, které se odvádějí do filtru (elektrického), který propustí jen ty frekvence, které jsou povolené pro daný typ IrDA modulace.

#### 4.1.2 Dosah IrDA

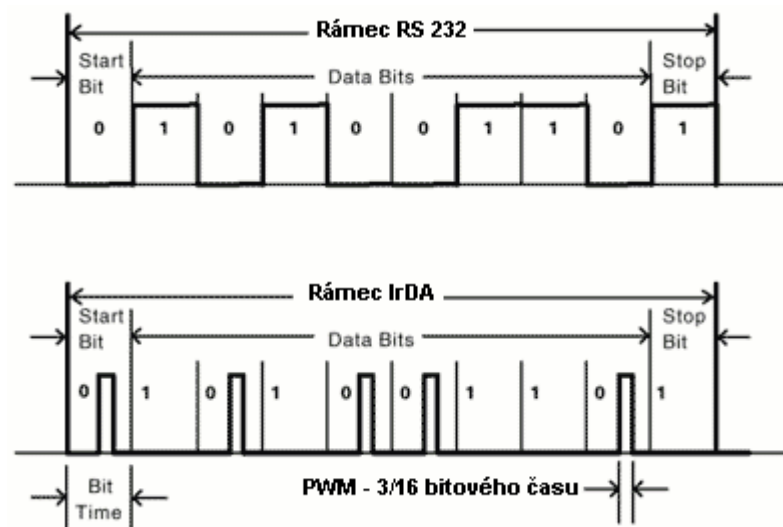
Zařízení dle normy IrDA 1.0 a 1.1 pracují do vzdálenosti 1 m při bitové chybovosti BER (Bit Error Ratio, poměr chybně přenesených bitů ku správně přeneseným)  $10^{-9}$  a maximální úrovni okolního osvětlení 10 klux (denní svit slunce). Tyto hodnoty jsou definovány pro nesouosost vysílače a přijímače 15 stupňů, pro jednotlivé optické prvky se měří výkon do 30 stupňů. Jsou směrové vysílače (IR LEDky) pro větší vzdálenosti, které nedodrží předepsaný úhel 30 stupňů od osy, pro který má vysílač útlum 3 dB.

#### 4.1.3 Rychlost IrDA

Rychlosti jsou pro IrDA v. 1.0 od 2400 kbps, do 115200 kbps, používá se pulzní modulace 3/16 délky původní doby trvání bitu. Formát dat je stejný jako na sériovém portu, tedy asynchronně vysílané slovo uvozené start bitem.

Vysílací strana může používat buď 3/16 délky trvání bitu, nebo používat fixní délku optického impulsu 1,63  $\mu$ s, což by odpovídalo rychlosti 115 kbps - při fixní délce a rychlosti 38400 bps by vyšly na 1 vysílaný bit 3 světelné impulsy (bliknutí).

IrDA v. 1.1 definuje navíc rychlosti 0,576 Mbps a 1,152 Mbps s pulsním kódováním 1/4 délky doby trvání původního bitu (střída 1/4). Při těchto rychlostech je již základní jednotka (paket) vysílána synchronně a uvozena startovní sekvencí. Signál NRZ v obrázku je původní datový tok bez modulace.



Obrázek. 17. Datový tok IrDA a RS 232.

## 4.2 BlueTooth

802.15.1 otevřený standard pro bezdrátové připojení zařízení na krátké vzdálenosti. Standard byl koncipován pro jednoduché a stálé propojení mezi širokou škálou komunikačních zařízení. Vzhledem k parametrům, zejména odolnost proti rušení, pronikl i do průmyslového prostředí. Zde je využíván pro propojení senzorů, akčních členů, pro telemetrii a přenos informací v měřicích systémech.

### 4.2.1 Specifikace BlueTooth

BlueTooth využívá komunikační frekvenční pásmo ISM (Industrial, Scientific, Medical), jež je volně k použití za předpokladu dodržení závazných podmínek pro vyzářený výkon a technické řešení vysílače a přijímače (tzv. nelicencované pásmo). To je pro většinu zemí světa (včetně ČR) 2400 až 2483,5 MHz. Provoz v tomto pásmu není vázán povolením

nebo registrací ze strany ČTÚ. V tomto pásmu definuje standard 79 frekvenčních pozic se šířkou pásma 1 MHz. Standard je koncipován tak, aby podporoval typy přenosů point-to-point i point-to-multipoint. Dosah standardního komunikačního uzlu je od 10 m do 100 m.

#### 4.2.2 Definice kanálu

Kanál je reprezentován pseudonáhodnou sekvencí změn vysílací frekvence (přeskakující radiová frekvence – frequency hopping) mezi frekvenčními pozicemi 0 až 78. Všechny buňky piconet sdílejí stejné 80 MHz frekvenční pásmo, avšak každá buňka piconet užívá odlišné sekvence změn pro rozmítání vysílací frekvence do 1 MHz frekvenčních pozic.

Každý kanál je rozdělen do stejně dlouhých časových rámců (doba trvání časového rámce činí 625  $\mu$ s).

Existují dva druhy časování kanálů:

- multi-slot- řídicí a řízená jednotka postupně střídají ve vysílání,
- multi-slot odpovídá využití přeskokové sekvence pro přenos tak, že paket může obsadit více než jeden rámeček.

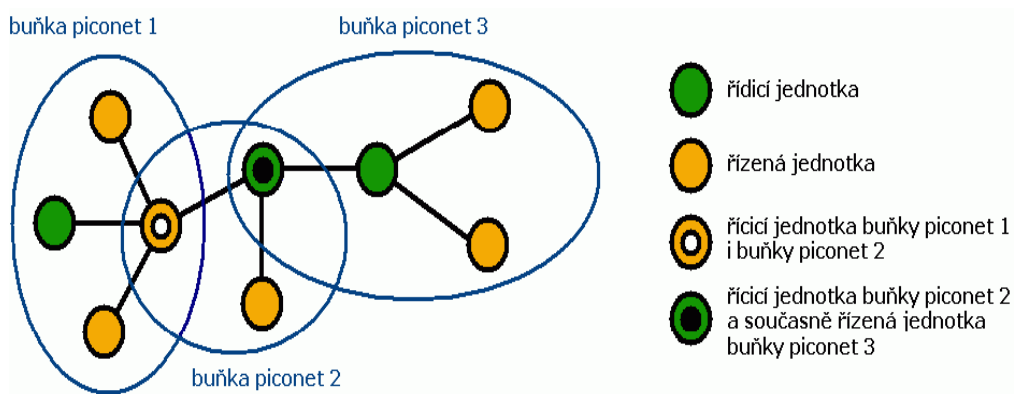
#### 4.2.3 Komunikační kanály Bluetooth

Standard Bluetooth umožňuje využívat dva typy komunikačních kanálů, které lze pro zajištění komplikovanějších procesů kombinovat nebo v průběhu měnit.

- **Asynchronní** (ACL, Asynchronous Connectionless) - využívá časování multi-slot, přičemž je možné dosáhnout přenosové rychlosti 721 kbps v jednom směru a 57,6 kbps v opačném směru (asymetrický kanál), popř. 433 kbps v obou směrech (symetrický kanál). Uvedené přenosové rychlosti platí za předpokladu, že se nevyužívá možnost opravy chyb při přenosu. Je vhodný k přenosu běžných dat a jeho výhodou je větší přenosová rychlost. Využívá se také pro přenos dat zajišťujících a řídicích komunikaci v rámci buňky.
- **Synchronní** (SCO, Synchronous Connection Oriented) - dovoluje realizovat přenos dat rychlostí 64 kbps v synchronním režimu. Tento typ kanálu se využívá pro přenos dat, u kterých jsou zvýšené nároky na časový determinismus datového toku.

#### 4.2.4 Topologie sítě BlueTooth

Struktura sítě je založena na buňkách **piconet** což je základní komunikační buňka tvořená maximálně osmi jednotkami, kde se jediná jednotka chová jako řídicí jednotka (master) a ostatní jako podřízené jednotky (slave). Řídicí jednotkou se stává jednotka, která buňku piconet jako první vytváří. Tato jednotka je v každé takovéto buňce pouze jedna, ale může tuto funkci na základě specifických požadavků předat jiné jednotce. Organizační strukturou vyšší úrovně je buňka **scatternet**, která umožňuje koexistenci více buněk piconet ve stejné oblasti, a to tak, že nejsou omezeny schopnosti jednotlivých buněk.



Obrázek. 18. Topologie BlueTooth.

### 4.3 ZigBee

Je bezdrátová komunikační technologie zaměřená především na oblasti automatizace a řídicí techniky (např. řízení budov, dálkové ovládání, monitorování a diagnostika zařízení vzdálené čtení měřených hodnot, počítačové periferie a spotřební elektronika). Standard ZigBee, byl vyvinut a sestaven institucí IEEE (802.15.4) a dále je rozvíjen a podporován ZigBee Alliance. ZBA sdružuje přední výrobce elektronických součástek a snaží se dosáhnout návrhu co nejjednodušší jednotky s nízkou spotřebou a vysokou spolehlivostí. V současné době má ZBA padesát členů, mezi nejznámější patří společnosti Philips, Motorola a Honeywell. V ZBA nejsou firmy Nokia a Ericsson jež jsou tvůrci konkurenčního standardu Bluetooth.

#### 4.3.1 Specifikace ZigBee

Zařízení pracující podle standardu ZigBee mohou pracovat nejen v pásmu ISM 2,4 GHz, ale i v pásmu 915 MHz (Amerika) nebo 868 MHz (Evropa). Pro přenos informací v kmitočtovém pásmu 2,4 až 2,4835 GHz je pro zařízení pracující podle standardu ZigBee k dispozici 16 přenosových subkanálů s odstupem 5 MHz o celkové přenosové kapacitě 250 kbps. V pásmu 868.3 MHz je k dispozici jeden přenosový subkanál s celkovou přenosovou kapacitou 20 kbps a v pásmu 902 až 928 MHz je k dispozici přenosových subkanálů deset s odstupem 2 MHz a celkovou přenosovou kapacitou 40 kbps. Dosah vysílače pracujícího podle standardu ZigBee je stanoven až na 75 metrů.

#### 4.3.2 Protokoly ZigBee

Referenční model standardu ZigBee vychází ze standardního referenčního modelu OSI s tím rozdílem, že spojová vrstva je rozdělena na dvě podvrstvy MAC a LLC. Standard ZigBee používá metodu přístupu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), tedy mnohonásobný přístup s nasloucháním nosné a s vyloučením kolizí.

Vlastní standard IEEE 802.15.4 definuje komplexní komunikační protokol, který je založen na přenosu datových rámců.

Jsou definovány čtyři typy komunikačních rámců využívané buď pro přenos užitečných datových informací, nebo k režijním účelům souvisejícím se sestavením, správou a řízením sítě:

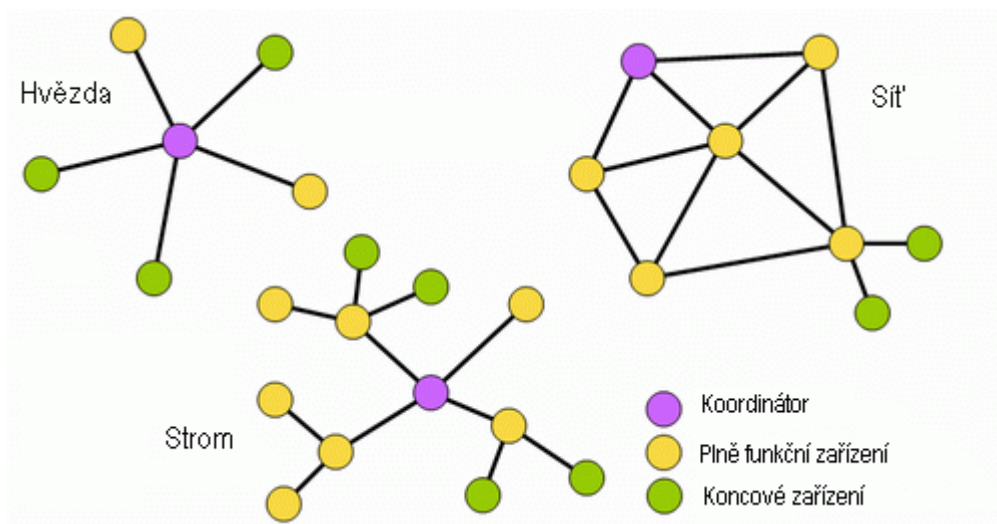
- **Data Frame** – rámeček s délkou užitečných dat 104 bytu slouží pro přenos užitečné informace pro všechny datové přenosy v kontextu standardu,
- **Acknowledgement Frame** – rámeček sloužící pro přenos potvrzovací informace; je využitelný pouze na úrovni MAC pro potvrzovanou komunikaci a je vysílán v takzvaném „mrtvém čase“ ihned po přenosu paketu,
- **MAC Command Frame** – rámeček slouží k centralizovanému konfigurování, nastavení a řízení klientských zařízení v síti ZigBee,
- **Beacon Frame** – rámeček slouží k synchronizaci zařízení v síti a je využíván hlavně při konfiguraci sítě v módu beacon enable, v němž umožňuje uvádění klientských zařízení do spánkových režimů s extrémně sníženou spotřebou. Na základě časové synchronizace mezi centrální stanicí a koncovou stanicí dochází u koncové stanice v neaktivním módu k probouzení ve vymezeném časovém intervalu, a poté jsou přeneseny užitečné informace.

### 4.3.3 Topologie sítě ZigBee

Standard IEEE 802.15.4 využívá pro adresaci jednotlivých zařízení binární adresovací kódy, které mohou být buď dlouhé (64 bitů), či zkrácené (16 bitů). Lokální adresa zkráceného adresovacího kódu umožňuje v jedné síti adresovat maximálně 65 535 zařízení. Každá sestavená síť je dále identifikována 16 bitovým identifikátorem PAN ID, který slouží pro rozlišení překrývajících se sítí v případě, že v jednom prostoru dochází k vytvoření a sestavení více sítí standardu IEEE 802.15.4. Každou síť s unikátním PAN ID zakládá a spravuje koordinátor (centrální stanice), přičemž ostatní stanice pracují v módu koncové stanice. Každá koncová stanice může být konfigurována pro funkci směrovače nebo koncového zařízení. Podle funkčnosti se zařízení dělí na plně funkční zařízení (FFD), která mohou zastávat funkci koordinátora nebo směrovače, a na redukovaná zařízení RFD, která mohou fungovat pouze jako koncová zařízení.

Standard ZigBee založený na fyzické a linkové vrstvě IEEE 802.15.4 definuje tři typy síťové topologie. Základní je topologie typu **hvězda** (star topology), v níž je vždy

definováno jedno zařízení, které přebírá funkci koordinátora sítě, a ostatní zařízení působí ve funkci koncových zařízení. V topologii typu **strom** (tree topology) slouží jedno zařízení jako koordinátor a ostatní jako koncová zařízení. Na rozdíl od topologie hvězda však nemusí všechna zařízení komunikovat přímo s koordinátorem, ale mohou využít jiné koncové zařízení v konfiguraci FFD ve funkci směrovače jako prostředníka. Díky tomu umožňuje uvedená konfigurace zvětšit vzdálenosti mezi koncovým zařízením a koordinátorem. Poslední definovanou topologií je topologie typu **sít'** (mesh topology), která kombinuje vlastnosti topologií strom a hvězda (tzv. hybridní topologii strom a hvězda). Sít'ová topologie přináší největší funkčnost, protože umožňuje sestavit síť libovolným způsobem. Standard umožňuje mód beacon. V tomto módu dochází k rezervaci kanálu pro přenos dat, u kterých jsou zvýšené nároky na časový determinismus datového toku.



Obrázek. 19. Topologie sítí ZigBee.



## 5 PRŮMYSLOVÉ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY

### 5.1 GPIB

Původní název GPIB (*Hewlett-Packard Interface Bus*), později byl tento sběrnice systém pojmenován sdružením IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) jako GPIB (*General-Purpose Interface Bus*) a bylo publikováno doporučení IEEE.488, které konkrétně definuje fyzikálně elektrické, operační a funkční vlastnosti spojení přístrojů různých výrobců s kontrolním výpočetním prostředkem. Doporučení SCPI (*Standard Commands for Programmable Instrumentation*) podává bližší popis příkazů komunikace přes sběrnici. GPIB standard je nejrozšířenější soustavou používanou v celém světě pro automatizaci měřicích a testovacích procesů. Jde o soustavu, která byla určena pro sestavování flexibilních měřicích systémů v rozsahu jedné nebo několika laboratoří či zkušeben. Systém je sestavitelný z měřicích i jiných přístrojů, které mohou být kromě autonomního provozu vzájemně propojeny sběrnici liniového typu s počítačem. Na rozdíl od jiných systémů mají měřicí přístroje definovanou přesnost a jsou vybaveny vstupními obvody pro potlačení rušení. Uživatel nemusí tyto záležitosti řešit, kalibrují se jen jednotlivé přístroje a nikoliv sestavené měřicí řetězce či systém.

#### 5.1.1 Parametry GPIB

Signály jsou v soustavě realizovány v inverzní TTL logice. V klidovém stavu, kdy jsou na všech vodičích signály 0, mají všechny vodiče vůči zemi napětí +5 V. Je možné připojení 15 zařízení k jedné obousměrné sběrnici. Délka sběrnice obvykle nepřevyšuje 20 m, resp. 2 m pro spojení jediného přístroje s řídicím prostředkem (spojení *end-to-end*), sběrnici lze prodloužit zapojením opakovačů (*bus extension technique*). Pomocí tohoto standardu lze zařízení uspořádat hvězdicově nebo standardně sběrnice. Sběrnice umožňuje dva stavy koncových zařízení *local* (ruční řízení z předního panelu) a *remote* (vzdálené řízení přes sběrnici GPIB). Maximální přenosová rychlost je udávána 1 MBps, v praxi určována připojenými zařízeními a obvykle dosahuje 250 až 500 kBps.

### 5.1.2 Přenos dat GPIB

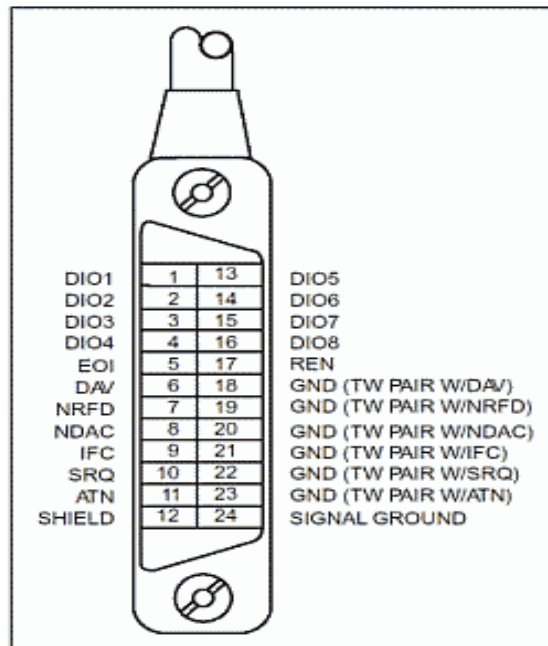
Sběrnice využívá asynchronního způsobu přenosu dat: po bytech sériově, po bitech paralelně. Standard využívá klasický konektor 25-pin D-SUB kompatibilní s RS 232. Přenos je zajištěn pomocí 16 aktivních signálových vodičů, 8 datových (označovaných DIO1, DIO2, ...DIO8), 8 pro řízení přenosu.

Potvrzování zpráv (*handshake*) je realizováno pomocí 3 vodičů:

- DAV (*Data Valid*) - signál zdroje dat potvrzující jejich platnost pro převzetí,
- NRFD (*Not Ready For Data*) - signál příjemce dat indikující nepřipravenost pro převzetí dat,
- NDAC (*Not Data Accepted*) - signál příjemce dat o jejich neukončeném převzetí, aktivní úroveň je nízká.

Obecná správa sběrnice pomocí 5 vodičů:

- ATN (*Attention*) - signál aktivního kontroleru vysílajícího příkazové a adresové byty všem zařízením na sběrnici,
- IFC (*Interface Clear*) - signál systémového kontroleru k resetu sběrnice,
- REN (*Remote Enable*) - signál systémového kontroleru ke vzdálenému ovládání přístrojů,
- SRQ (*Service Request*) - hlášení zařízení na sběrnici přerušujícího činnost aktivního kontroleru, který podá dotaz na adresu a požadovanou službu koncového zařízení,
- EOI (*End Or Identify*) - při negativním ATN označuje konec toku dat od vysílače, při pozitivním ATN je užito k dotazu aktivního kontroleru na adresu a požadovanou službu koncového zařízení.



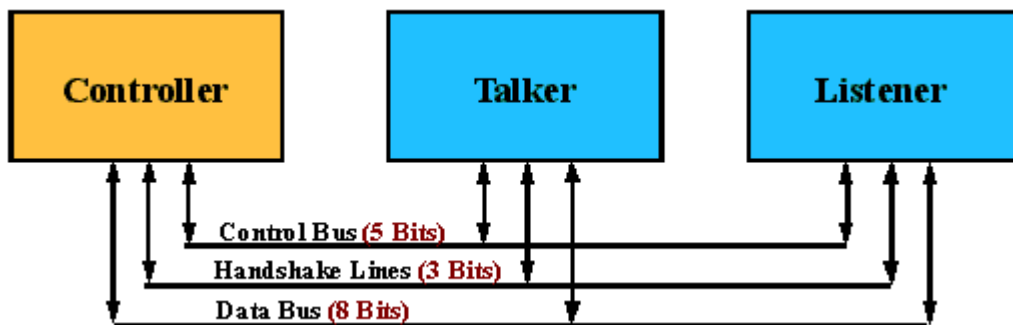
Obrázek. 20. GPIB konektor 25-pin D-SUB.

Tabulka. 7. Rozložení pinů GPIB.

Pin	Signal	Signal Description	Pin	Signal	Signal Description
1	DIO1	Data Input/Output Bit 1	13	DIO5	Data Input/Output Bit 5
2	DIO2	Data Input/Output Bit 2	14	DIO6	Data Input/Output Bit 6
3	DIO3	Data Input/Output Bit 3	15	DIO7	Data Input/Output Bit 7
4	DIO4	Data Input/Output Bit 4	16	DIO8	Data Input/Output Bit 8
5	EIO	End-Or-Identify	17	REN	Remote Enable
6	DAV	Data Valid	18	Shield	Ground (DAV)
7	NRFD	Not Ready For Data	19	Shield	Ground (NRFD)
8	NDAC	Not Data Accepted	20	Shield	Ground (NDAC)
9	IFC	Interface Clear	21	Shield	Ground (IFC)
10	SRQ	Service Request	22	Shield	Ground (SRQ)
11	ATN	Attention	23	Shield	Ground (ATN)
12	Shield	Chassis Ground	24	Single GND	Single Ground

### 5.1.3 Princip sběrnice GPIB

Každé zařízení má v celém systému jednoznačně určenou funkci a adresu. Zařízení mohou být ve stavu *listen* nebo *talk*, nazvány jsou *Listener* a *Talker*. Standardně je zapojen jediný řídicí prvek řidič (*Controller, master*), je možné rozšíření na větší počet zařízení. V daném okamžiku může být jen jedna jednotka v roli mluvčího, posluchačů může být i několik. Také v daném okamžiku může být jen jeden řidič, který má možnost vysílat jednovodičové zprávy typu IFC, ATN, REN a tím určovat mluvčího a posluchače na sběrnici. Funkce řidiče může být také předávána, ale pak musí existovat systémový řidič, který má prioritní právo vysílat signály IFC a ATN a tudíž kdykoliv převzít funkci řidiče sběrnice.



Obrázek. 21. Typy zařízení GPIB.

### 5.1.4 Módy sběrnice GPIB

**Command Mode**- příkazový mód signál ATN je pozitivní, aktivní řidič konfiguruje sběrnici či rozděljuje úlohy. Tomto módu vysílá řidič adresy budoucího vysílače a přijímačů dat, obecné příkazy pro konfiguraci koncových zařízení, nespecifikovaná data po 8 datových vodičích, příkazy a jejich parametry při ovládní adresovaných přístrojů. Absolutní adresy koncových zařízení jako přijímačů nebo vysílačů na GPIB sběrnici lze nastavit DIP přepínači na přístrojích (5 bitů s váhami  $2^n$ ) a jsou při zapnutí přístrojů zobrazovány na displejích. Při přijímací funkci je k původní adrese přičteno číslo 32, při pouze vysílací funkci číslo 64.

**Data Mode** - datový mód negativním ATN, probíhá tok dat mezi adresovaným vysílačem a přijímačem (přenosová rychlost dána nejpomalejším přijímačem). V datovém módu jsou přenášeny data typická pro připojená zařízení (programovací dávky, naměřené hodnoty veličin, stavová slova).

### 5.1.5 LAN-GPIB

LAN-GPIB mosty umožňujícím komunikaci přes lokální počítačovou síť. Nejnovější rozšíření sběrnice GPIB dovoluje přenos dat na velké vzdálenosti sítěmi s koaxiálními či optickými kabelem s doplňkem specifikujícím nové požadavky na časování procesů. Nová specifikace TNT od National Instruments dovoluje využití velmi vysokých přenosových rychlostí za předpokladu, že vzdálené zařízení pracuje se stejnou specifikací.

## 5.2 CAN

Controller Area Network (CAN) je sériový komunikační protokol, který byl původně vyvinut firmou Bosch pro nasazení v automobilech. Vzhledem k tomu, že přední výrobci integrovaných obvodů implementovali podporu protokolu CAN do svých produktů, dochází k 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.

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, ...).

### 5.2.1 Definice CAN

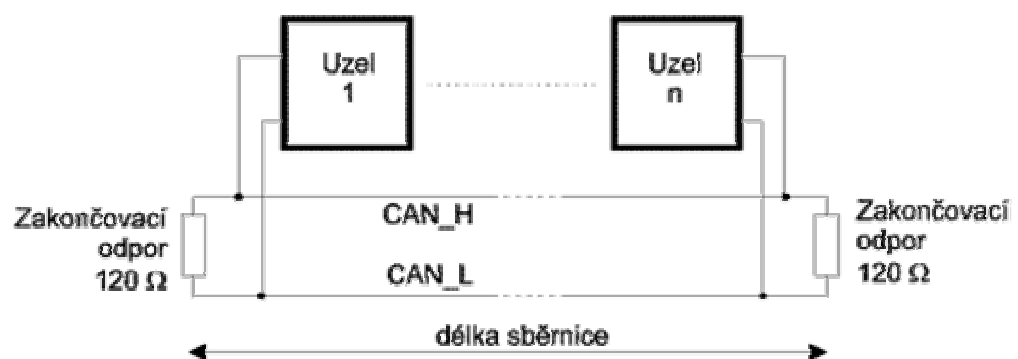
CAN byl navržen tak, aby umožnil provádět distribuované řízení systémů v reálném čase s přenosovou rychlostí do 1 Mbps a vysokým stupněm zabezpečení přenosu proti chybám. Jedná se o protokol typu multi-master, kde každý uzel sběrnice může být master a řídit tak chování jiných uzlů. Není tedy nutné řídit 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 médiu 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), a management sítě (signalizace

chyb, pozastavení komunikace) je zajištěn pomocí dvou speciálních zpráv (chybové zprávy a zprávy o přetížení).

Zprávy vysílané po sběrnici protokolem CAN neobsahují žádnou informaci o cílovém uzlu, kterému jsou určeny, a jsou přijímány všemi ostatními uzly připojenými ke sběrnici. Každá zpráva je uvozena identifikátorem, který udává význam přenášené zprávy a její prioritu, nejvyšší prioritu má zpráva s identifikátorem 0. Protokol CAN zajišťuje, aby zpráva s vyšší prioritou byla v případě kolize dvou zpráv doručena přednostně a dále je možné na základě identifikátoru zajistit, aby uzel přijímal pouze ty zprávy, které se ho týkají (Acceptance Filtering).

### 5.2.2 Definice přenosu

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. Pro realizaci fyzického přenosového média se nejčastěji používá diferenciální sběrnice. 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  $V_{diff} = 0V$  a pro úroveň dominant  $V_{diff} = 2V$ . Pro eliminaci odrazů na vedení je sběrnice na obou koncích přizpůsobena zakončovacími odpory o velikosti 120 Ohmů. Jednotlivá zařízení jsou na sběrnici připojena pomocí konektorů, nejčastěji jsou používány konektory D-SUB.



Obrázek. 22. Schéma sběrnice CAN.

### 5.2.3 Parametry CAN

Na sběrnici může být čistě teoreticky připojeno neomezené množství uzlů, avšak s ohledem na zatížení sběrnice a zajištění správných statických i dynamických parametrů sběrnice norma uvádí jako maximum 30 uzlů připojených na sběrnici. Maximální délka sběrnice je pro přenosovou rychlost 1 Mbps udána na 40m. Pro jiné přenosové rychlosti délku sběrnice norma neudává lze však pro nižší přenosové frekvence zvýšit délku sběrnice.

Tabulka. 8. Parametry CAN.

Přenosová rychlost	125 kbps až 1 Mbps
Počet uzlů v síti	max 30
Maximální délka sběrnice - 1 Mbps	40 m
500 kbps	112 m
300 kbps	200 m
100 kbps	640 m
50 kbps	1340 m
20 kbps	2600 m
10 kbps	5200 m
Typická impedance vedení	120 Ohmů

### 5.2.4 Linková vrstva protokolu CAN

Je tvořena dvěma podvrstvami - MAC a LLC. První z nich má na starosti přístup k médiu MAC (Medium Access Control) a jejím 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. Druhou podvrstvou linkové vrstvy je LLC (Logical Link Control), která má za úkol provádět filtrování přijatých zpráv (Acceptance Filtering) a hlášení o přetížení (Overload Notification).

### 5.2.5 Zabezpečení přenášených dat a detekce chyb

Zprávy přenášené pomocí protokolu CAN jsou zabezpečeny několika mechanismy, které jsou v činnosti současně.

- **Monitoring** - metoda kdy vysílač porovnává hodnotu právě vysílaného bitu s úrovní detekovanou na sběrnici. Jsou-li obě hodnoty stejné, vysílač pokračuje ve vysílání. Pokud je na sběrnici detekována jiná úroveň než odpovídá vysílanému bitu, a probíhá-li právě řízení přístupu na sběrnici (vysílá se Arbitration Field), přeruší se vysílání a přístup k médiu získá uzel vysílající zprávu s vyšší prioritou. Pokud je rozdílnost vysílané a detekované úrovně zjištěna jinde než v Arbitration Field a v potvrzení přijetí zprávy (ACK Slot), je vygenerována chyba bitu.
- **CRC kód (Cyclic Redundancy Check)** - na konci každé zprávy je uveden 15-ti bitový CRC kód, který je generován ze všech předcházejících bitů příslušné zprávy podle polynomu:  $x^{15} + x^{14} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + 1$ . Je-li detekována chyba CRC libovolným uzlem na sběrnici, je vygenerována chyba CRC.
- **Vkládání bitů (Bit stuffing)** - vysílá-li se na sběrnici pět po sobě jdoucích bitů jedné úrovně, je do zprávy navíc vložen bit opačné úrovně. Toto opatření slouží jednak k detekci chyb ale také ke správnému časovému sesynchronizování přijímačů jednotlivých uzlů. Je-li detekována chyba vládání bitů, je vygenerována chyba vkládání bitů.
- **Kontrola zprávy (Message Frame Check)** - zpráva se kontroluje podle formátu udaného ve specifikaci a pokud je na nějaké pozici bitu zprávy detekována nepovolená hodnota, je vygenerována chyba rámce (formátu zprávy).
- **Potvrzení přijetí zprávy (Acknowledge)** - je-li zpráva v pořádku přijata libovolným uzlem, je toto potvrzeno změnou hodnoty jednoho bitu zprávy (ACK). Vysílač vždy na tomto bitu vysílá úroveň recessive a detekuje-li úroveň dominant, pak je vše v pořádku. Potvrzování přijetí zprávy je prováděno všemi uzly připojenými ke sběrnici bez ohledu na zapnuté či vypnuté filtrování zpráv (Acceptance Filtering).



### 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:

- **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).
- **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.
- **Odpojené (Bus-off)** - tyto uzly nemají žádný vliv na sběrnici, jejich výstupní budiče jsou vypnuty.

### 5.2.6 Datové rámce CAN

Specifikace protokolu CAN definuje čtyři typy zpráv. První dvě se týkají datové komunikace po sběrnici. Je to jednak **datová zpráva**, která představuje základní prvek komunikace uzlů po sběrnici, a dále pak zpráva na vyžádání dat, kdy uzel žádá ostatní účastníky na sběrnici o zaslání požadovaných dat. **Zpráva na vyžádání dat** je vyslána uzlem, který požaduje zaslání určitých dat. Odpovědí na tento požadavek je odeslání požadovaných dat uzlem, který tato data má k dispozici.

Poslední dvě zprávy (**chybová zpráva a zpráva o přetížení**) slouží k managementu komunikace po sběrnici, konkrétně k signalizaci detekovaných chyb, eliminaci chybných zpráv a vyžádání prodlevy v komunikaci.

#### Datová zpráva (Data Frame)

Protokol CAN používá dva typy datových zpráv. První typ je definován specifikací 2.0A a je označován jako standardní formát zprávy (Standard Frame), zatímco specifikace 2.0B

definuje navíc tzv. rozšířený formát zprávy (Extended Frame). Jediný podstatný rozdíl mezi oběma formáty je v délce identifikátoru zprávy, která je 11 bitů pro standardní formát a 29 bitů pro rozšířený formát. Oba dva typy zpráv mohou být používány na jedné sběrnici, pokud je použitým řadičem podporován protokol 2.0B.



Obrázek. 23. Datový rámec CAN 2.0A.

Význam jednotlivých částí datové zprávy podle specifikace 2.0A je následující:

- **Začátek zprávy** (*SOF = Start Of Frame*)- začátek zprávy, 1 bit *dominant*.
- **Řízení přístupu na sběrnici** (*Arbitration Field*) - určení priority zprávy.
- **Identifikátor zprávy** - 11 bitů, udává význam přenášené zprávy.
- **RTR bit** (*Remote Request*) - 1 bit, příznak udává, zda se jedná o datovou zprávu nebo o žádost o vyslání dat. V datové zprávě musí být tento bit *dominant*, v žádosti data *recessive*.

**Řídící informace** (*Control Field*):

- **-R0, R1** - rezervované bity.
- **Délka dat** - 4 bity, počet přenášených datových bajtů ve zprávě. Povolené hodnoty 0 až 8.
- **Datová oblast** (*Data Field*) - datové bajty zprávy. Maximálně 8 bajtů je vysláno od MSB.

**CRC** (*CRC Field*) - 16 bitů, zabezpečovací CRC kód:

- **CRC kód** - 15 bitů.
- **ERC** (*CRC oddělovač*) - 1 bit *recessive*.

**Potvrzení** (*ACK Field*) - 2 bity:

- **ACK** (bit potvrzení) - 1 bit.
- **ACD** (oddělovač potvrzení) - 1 bit *recessive*.

**Konec zprávy** (*End Of Frame*) - 7 bitů *recessive*.

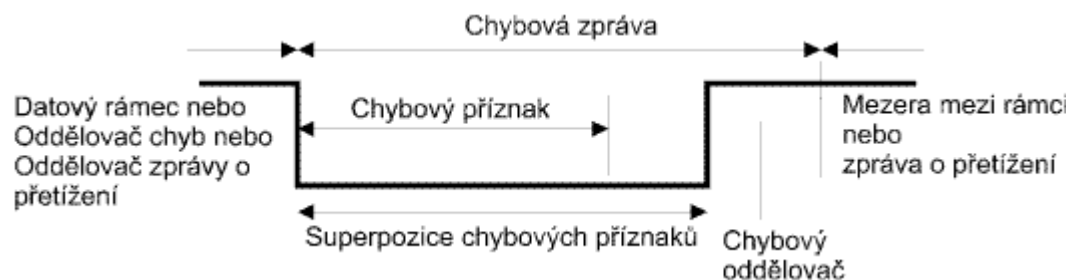
**Mezera mezi zprávami** (*Interframe Space*) - 3 bity *recessive*, odděluje dvě zprávy.

### Žádost o data (Remote Frame)

Formát žádosti o data je podobný jako formát datové zprávy. Pouze je zde RTR bit (pole řízení přístupu na sběrnici) nastaven do úrovně recessive a chybí datová oblast. Pokud nějaký uzel žádá o zaslání dat, 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 dominant a tudíž má tato zpráva vyšší prioritu.

### Chybová zpráva (Error Frame)

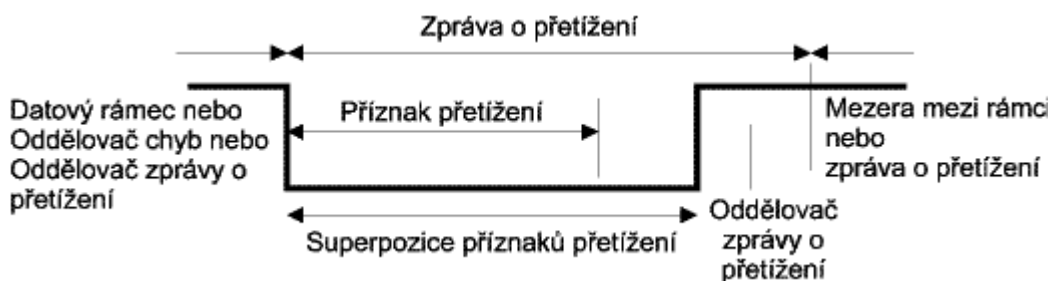
Chybová zpráva slouží k signalizaci chyb na sběrnici CAN. Jakmile libovolný uzel na sběrnici detekuje v přenášené zprávě chybu (chyba bitu, chyba CRC, chyba vkládání bitů, chyba rámce), vygeneruje ihned na sběrnici chybový rámec.



Obrázek. 24. Chybový rámec CAN.

### Zpráva o přetížení (Overload Frame)

Zpráva o přetížení slouží k oddálení vyslání další datové zprávy nebo žádosti o data. Zpravidla tento způsob využívají zařízení, která nejsou schopna kvůli svému vytížení přijímat a zpracovávat další zprávy.



Obrázek. 25. Zpráva o přetížení CAN.

### 5.3 Foundation Fieldbus

Standard průmyslové sběrnice označovaný Foundation Fieldbus (dále FF) vznikl ve snaze vnést stabilizaci do nepřehledné oblasti systémů pro průmyslovou komunikaci. Vývojem standardu se zabývá nezisková organizace Fieldbus Foundation.

Foundation Fieldbus je číslicová sběrnice s poloduplexním sériovým přenosem, která je určena ke komunikaci mezi prvky regulačních obvodů (senzory veličin, akční členy a řídicí automaty). Architektura FF je navržena tak, aby byly zachovány základní výhody dosavadních analogových systémů s proudovou smyčkou 4-20 mA a při instalaci mohla být využita původní kabeláž.

#### 5.3.1 Charakteristické vlastnosti Foundation Fieldbus:

- standardizované fyzické rozhraní,
- napájení přístrojů po komunikačním vedení,
- použitelnost v prostředí s nebezpečím výbuchu,
- obousměrný přenos více parametrů po páru vodičů (proudová smyčka přenáší jednu veličinu),
- úspora rozvodů, na jeden pár vodičů může být připojeno více jednotek,
- schopnost funkční diagnostiky jednotek a jejich propojení,
- rychlá informace o výjimečných stavech,
- implementace principů distribuovaného řízení snižuje nároky na výkonnost a počet řídicích terminálů.

#### 5.3.2 Architektura standardu Foundation Fieldbus

Rozvržení architektury vychází ze všeobecného komunikačního modelu ISO/OSI. Komunikační struktura FF je dělena do tří částí:

- Fyzická vrstva (physical layer).
- Komunikační zásobník (communication stack) - souhrnné označení linkové a aplikační vrstvy.
- Aplikační vrstva (user application) - ve standartu FF nahrazena vrstvou specifikací zprávy (FMS- Fieldbus Message Specification), a přístupovou vrstvou (FAS- Fieldbus Access Sublayer), která vytváří rozhraní mezi linkovou vrstvou a FMS.

Standard FF definuje i uživatelskou vrstvu, kterou OSI již nezahrnuje, čímž je maximálně podporována záměnnost a kompatibilita produktů různých výrobců (přístrojů i nadstavbového software).

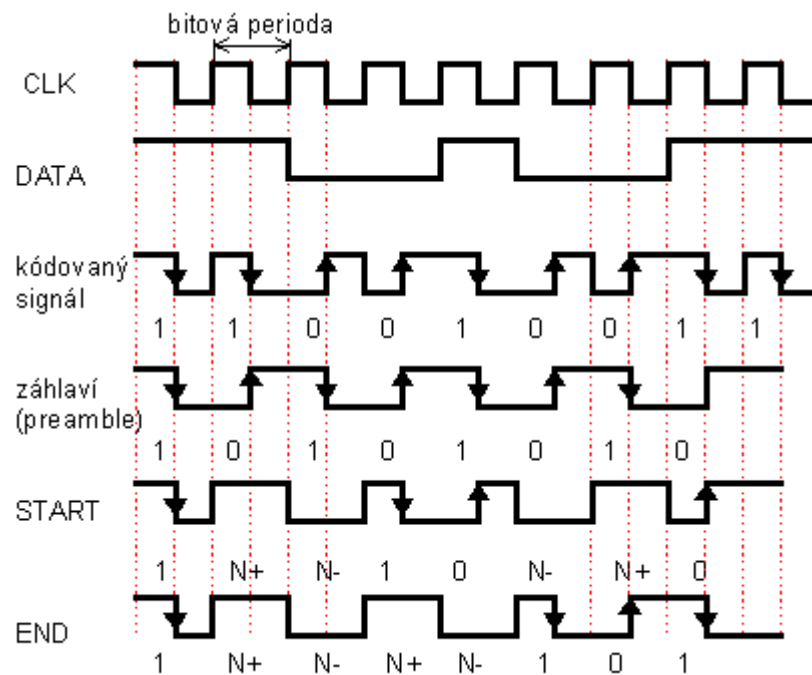


Obrázek. 26. Definice vrstev standardu FF a vztah vůči modelu OSI.

### 5.3.3 Fyzická vrstva

Jejím úkolem je přebírání zpráv z komunikačního zásobníku, převod na elektrické signály a jejich vysílání do přenosového média. Během příjmu zprávy probíhá opačné kódování. Současně fyzická vrstva komunikace zajišťuje i doplnění znaků záhlaví (preamble), začátku a konce dat (start/end delimiter) do vysílané zprávy a odstranění těchto znaků v přijímané zprávě. Tyto značky jsou definovány zvláštními sekvencemi bitů. Znak záhlaví slouží pro synchronizaci generátoru hodinového kmitočtu v přijímači zprávy. Znaky začátek a konec zprávy vymezují vlastní data zprávy.

Přenos po vedení využívá metodu kódování Manchester Biphase -L, označovanou jako synchronní. Kódovaný signál v bitovém toku obsahuje datový signál kombinovaný s hodinovým. Výsledný kódovaný signál interpretuje stav log. 1 jako záporný přechod uprostřed bitové periody, stav log. 0 jako kladný přechod. Kódování znaků záhlaví, začátku a konce zprávy je řešeno pomocí speciálních bitových sekvencí, jejichž součástí jsou stavy  $N+$  a  $N-$  (bez přechodu uprostřed bitové periody).



Obrázek. 27. Kódování dat zprávy a znaků záhlaví, start/konec.

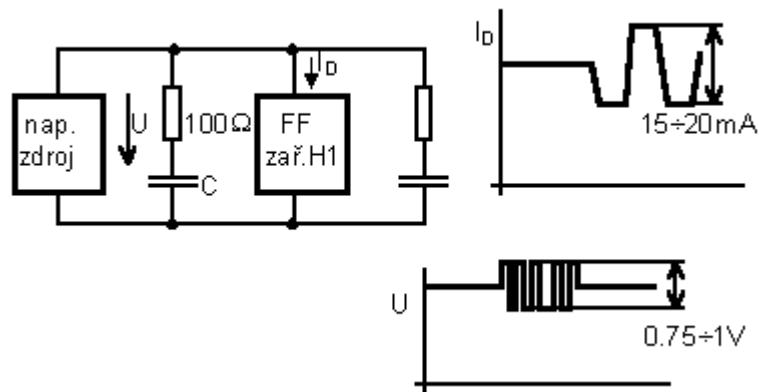
Standard FF definuje dvě varianty sběrnice dle přenosové rychlosti:

- H1 - přenos rychlostí 31,25 kbps,
- H2 - přenos rychlostí 1 Mbps a 2,5Mbps.

### 5.3.4 H1 - přenos rychlostí 31,25 kbps

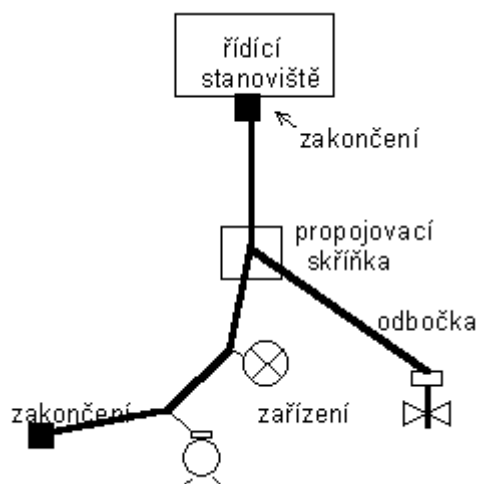
Varianta sběrnice H1 se využívá k řízení procesu v nejnižší úrovni (např. řízení teploty, tlaku, apod.). Zařízení mohou být napájena přímo ze sběrnice, která může být tvořena kabeláží pro standard 4-20mA. FF podporuje i sběrnice do prostředí s nebezpečím výbuchu. Sběrnice potom využívá přímo napájená zařízení a od bezpečného prostředí je oddělena tzv. ochrannou bariérou.

Vysílající zařízení kóduje signál pomocí vysílání proudu  $\pm 10$  mA do zátěže 50 W. Na stejnosměrném napájecím napětí tak vznikne modulační napětí 1Vp-p. Napájecí napětí U může být v rozsahu 9-32 V, s případným omezením v důsledku vlastností ochranných bariér.



Obrázek. 28. Varianta H1 - zapojení a kódování signálů.

Pro vedení kabeláže varianta H1 předepisuje sběrnicovou topologii. Sběrnice musí být na obou koncích ukončena terminátory. Jsou povoleny i odbočky, avšak přesáhne-li délka odbočky 1m, je nutné vzít v úvahu počet zařízení na sběrnici, četnost zpráv, ochranné bariéry a další činitele.

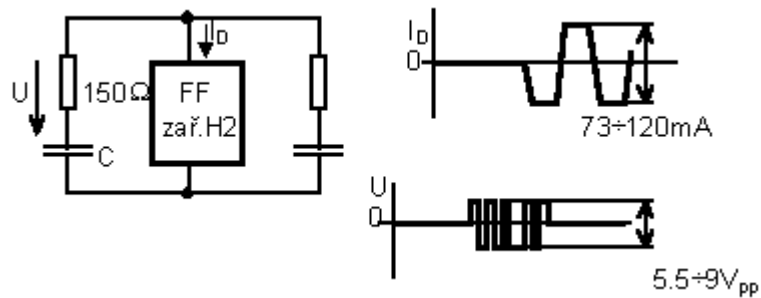


Obrázek. 29. Topologie sítě FF varianty H1 .

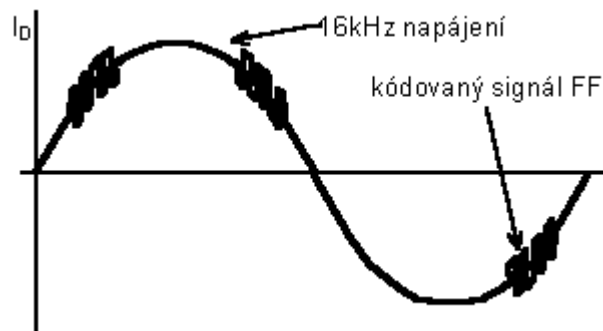
### 5.3.5 H2 - přenos rychlostí 1 Mbps a 2,5Mbps

Varianta sběrnice H2 je určena pro složitější případy řízení, dálkové ovládání a procesy s požadavkem rychlého řízení. Standard H2 sice dovoluje napájet zařízení přímo ze sběrnice, ale doporučuje se použít napájení z lokálního zdroje, nebo samostatného napájecího vedení souběžně se signálovým vedením ( tj. čtyřvodičový kabel). Kódování dat probíhá vysíláním proudu  $\pm 60$  mA do zátěže 75 W, čímž vznikne modulační napětí 9Vp-p. Topologie varianty H2 musí být striktně sběrnicového typu, odbočky nejsou vzhledem k vysokým rychlostem povoleny. Pro zařízení pracující v prostředí s nebezpečím

výbuchu je určen speciální proudový režim. Kódovaný signál sběrnice je superponován na střídavý napájecí proud s frekvencí 16 kHz. Přenos napájecího výkonu společně se signálem mezi sběrnicí a zařízením je zajištěn pomocí bezkontaktního konektoru s induktivní vazbou.



Obrázek. 30. Varianta H2 - zapojení a kódování signálů.



Obrázek. 31. Varianta H2 pro nebezpečné prostředí.

Tabulka. 9. a) Základní parametry Variant H1 a H2

	H1 (32.5 kbps)	H2 (1Mbps)	H2 (2.5Mbps)
počet lokálně napájených zařízení	2-32	2-32	2-32
počet zařízení napájených ze sběrnice	2-13	0	0
počet jiskrově bezpečných zařízení napájených ze sběrnice	2-6	0	0
rychlost odezvy	0,032-2,2ms	1-70 s	bude specifik.



Tabulka. 10.b) Základní parametry Variant H1 a H2

Maximální délka sběrnice pro přenosové médium v metrech			
stíněný kroucený pár	1900	750	500
vícepramenný stíněný kroucený pár	1200	x	x
vícepramenný nestíněný kroucený pár	400	x	x

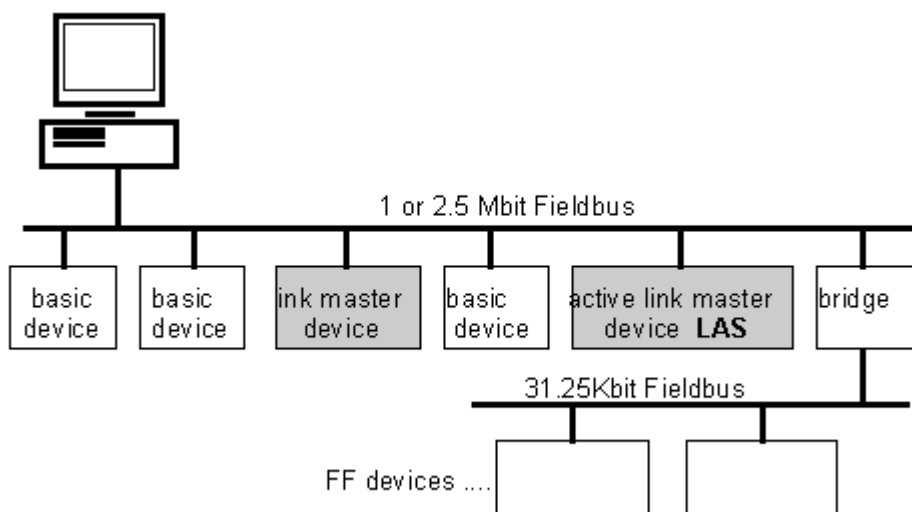
### 5.3.6 Komunikační zásobník

Termín komunikační zásobník zahrnuje linkovou a aplikační vrstvu. Aplikační vrstva je ve standardu FF dělena na dvě části - přístupovou podvrstvu (FAS - fieldbus access sublayer) a vrstvu specifikace zprávy (FMS - fieldbus message specification).

### 5.3.7 Linková vrstva

Linková vrstva řídí vysílání zpráv na sběrnici. K tomu je ve standardu FF definována funkce centralizovaného řadiče (LAS - Link Active Scheduler). Jsou rozeznávány tři typy zařízení:

- základní zařízení (basic device) - nemají schopnost vykonávat funkci řadiče (LAS),
- řídicí zařízení (link master) - mají implementovanou funkci řadiče, mohou řídit komunikaci na sběrnici,
- přemostění (bridge) - slouží k propojování sběrnic FF do rozsáhlejších sítí, současně umožňují H1 a H2.



Obrázek. 32. Typy zařízení na sběrnici FF.

Komunikace na sběrnici probíhá pomocí tzv. "plánovaných a neplánovaných" přenosů zpráv. Plánované přenosy jsou pravidelné cyklické přenosy údajů požadované v řídicích smyčkách. Řadič obsahuje seznam vysílacích časů pro údaje umístěné v oddělovacích pamětech jednotlivých zařízení. Ve chvíli, kdy má dané zařízení vyslat data, zašle mu řadič zprávu se žádostí o data (CD - compel data). Dotázané zařízení vyšle požadovaná data na sběrnici - data si mohou přečíst všechna zařízení, jejichž konfigurace příjem těchto dat umožňuje. Plánované přenosy mají v komunikaci na sběrnici nejvyšší prioritu.

Čas mezi plánovanými přenosy je vyhrazen pro ostatní neplánované zprávy - přenos sekundárních dat, výstražná hlášení, nastavení času apod. Oprávnění vysílat uděluje řadič jednotlivým zařízením zprávou předání pověření (PT - pass token). Po přijetí může pověřené zařízení vysílat připravená data dokud nevyprší určený čas, aby nedošlo ke kolizi s plánovanými přenosy.

Předávání pověření současně slouží řadiči pro aktualizaci tzv. seznamu živých adres, kde jsou uchovávány uzlové adresy zařízení, jež správně reagují na předávání pověření. Nereaguje-li zařízení na předání pověření či vrátí-li pověření řadiči následně 3x za sebou, je toto zařízení ze seznamu vyjmutu.

Neživé adresy řadič periodicky testuje zprávou zkouška uzlu (PN - probe node). Je-li na tázanou adresu připojeno nové zařízení (zařízení je možno připojovat za provozu), musí odpovědět zprávou odpověď na zkoušku (PR - probe response). Poté řadič zařadí zařízení do seznamu živých adres. Řadič provede vždy dotaz (PN) alespoň jednoho neživého uzlu po dokončení cyklu předávání pověření. O každém zařazení či vyjmutí zařízení ze seznamu živých adres informuje řadič všechna zařízení na sběrnici. Ty si proto mohou uchovávat lokální kopii seznamu.

Synchronizaci časové základny jednotlivých zařízení vykonává řadič zprávou nastavení času (TD - time distribution). Synchronizovaná časová základna je potřebná nejen pro plánované přenosy, ale i pro časované spouštění bloků uživatelské aplikace.

Sběrnice FF dovoluje připojení více řadičů. V případě selhání aktivního řadiče převezme jeho funkci jiné řídicí zařízení, které zajistí pokračování provozu na sběrnici. Sběrnice je navržena jako provozuschopná při poruše (fail operational).

### **Přístupová podvrstva (FAS)**

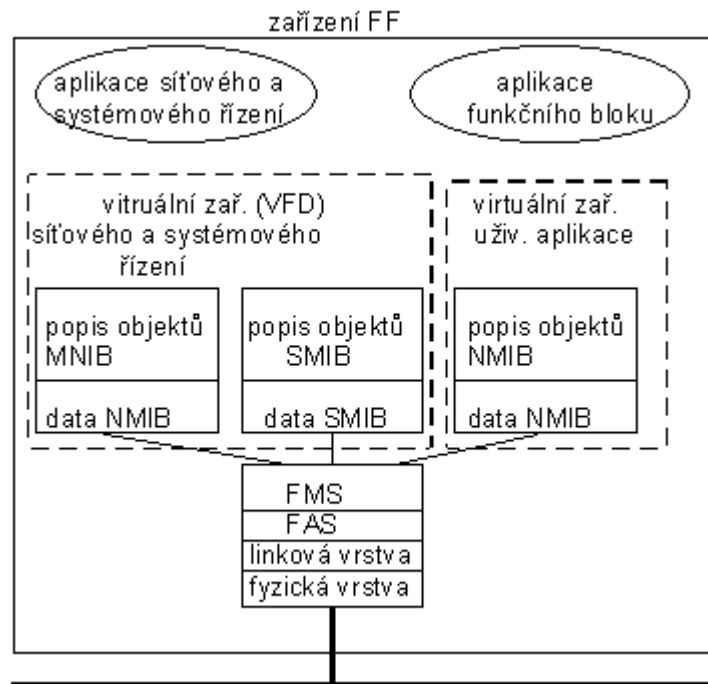
Přístupová podvrstva zajišťuje přenos dat z linkové vrstvy do vrstvy specifikace zprávy (aplikační vrstva). K poskytování služeb nadřazené vrstvě využívá plánovaných i neplánovaných přenosů v linkové vrstvě. Jednotlivé služby jsou popsány virtuálními komunikačními vztahy (VCR). Ty se dělí na tři typy:

- klient/server: pořadová, neplánovaná komunikace iniciovaná uživatelem mezi dvěma zařízeními na sběrnici (změna nastavení zařízení, vkládání programů do zařízení apod.),
- zasílání hlášení: používaného pro pořadovou, neplánovanou uživatelem iniciovanou komunikaci jednoho zařízení s několika zařízeními současně (např. zasílání výstrahy),
- poskytovatel/odběratel: přenos právě aktuálních údajů z jednoho do několika zařízení současně - plánovaný a cyklický přenos v/v údajů v síti.

### **Vrstva specifikace zprávy (FMS)**

Vrstva specifikace zprávy umožňuje uživatelským aplikacím vzájemnou výměnu zpráv v definovaném formátu. FMS popisuje komunikační služby, formáty zpráv a chování protokolu nezbytné k sestavování zpráv pro uživatelskou aplikaci.

Vzdálený přístup k místním údajům v zařízení je realizován pomocí "virtuálního zařízení" (VFD -virtual field device). Typické zařízení obsahuje nejméně dvě virtuální zařízení - pro síťové a systémové služby a pro uživatelskou aplikaci.



Obrázek. 33. Struktura aplikační vrstvy v zařízení FF.

Virtuální zařízení pro síťové a systémové služby zajišťuje konfiguraci komunikačního zásobníku, ke své činnosti využívá databázi správy sítě (NMIB - network management information base) a databázi správy systému (SMIB - system management information base).

## 5.4 ProfiBus

PROcess Field BUS sériová sběrnice pro automatizační techniku v blízkosti technologických procesů. Je určena pro přenos dat ve střední výkonové třídě (např. regulátory, inteligentní čidla, programovatelné automaty). Systém ProfiBus byl vyvinut s cílem integrovat dříve nekompatibilní přenosové technologie. Technologie ProfiBus využívá vrstvy 1, 2 a 7 referenčního modelu ISO/OSI – fyzickou (PHY), linkovou (Field Data Link Layer – FDL) a aplikační (FieldBus Message Specification - FMS). Vrstvy 3 až 6 (Network, Session, Presentation) jsou v rámci normy ProfiBus průchozí. K zajištění minimálního toku dat je k vlastní zprávě v paketu přidána část záhlaví a zápatí definující stavy zařízení, adresy vysílajících a přijímajících stanic, čísla přijímaných a vysílaných paketů a další režijní informace.

Úkoly funkčních vrstev:

**fyzikální vrstva** (PHY) - definice přenosového média, proces kódování a vysílání/příjmu dat,

**linková vrstva** (Field Data Link Layer – FDL) - protokol přístupu ke sběrníkovému systému MAC (*Medium Access Control*),

**aplikační vrstva** (FieldBus Message Specification - FMS) - spojení sběrnice s procesem, aplikační programování podporovaných funkcí.

#### 5.4.1 Přístupové metody ProfiBus

ProfiBus-užívá přístupy k mediu (MAC) pomocí modelů:

- *master - slave*, pasivní stanice vysílá/přijímá data pouze se svolením aktivní stanice,
- CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) metoda náhodného přístupu z odposlechem nosné užívaná v sítích Ethernet.

Dále je využito absolutního adresování (*hard addresses*) nebo relativního adresování podle aktuálního přiřazení správce sběrníkového systému (*soft addresses*). *Cyklický* či *acyklický* *přenos dat* charakterizujeme podle periody aktivace konkrétního pasivního zařízení na sběrnici (periodický sběr dat či urgentní hlášení stavu nouze). Komunikace může být orientována *spojově*, provedeno je zabezpečení toku dat mezi dvěma účastníky či při *nespojované komunikaci* dochází k volnému toku paketů určité skupině či všem uživatelům sběrnice. Důraz je kladen na nezávislost HW a SW zařízení konkrétního výrobce na přenosových vlastnostech z hlediska sběrníkové komunikace.

#### 5.4.2 Komunikační protokoly ProfiBus

Pro komunikaci přes sběrníkový systém ProfiBus byly vyvinuty 2 komunikační protokoly, přičemž některé spolupracují s moderními protokoly inteligentních senzorů (*Smart Sensors*):

- ProfiBus FMS (*FieldBus Message Specification*), komunikace na buňkové úrovni, komunikace aktivních výpočetních prostředků (programovatelné průmyslové kontrolery, profesionální průmyslové pracovní stanice) mezi sebou,
- ProfiBus DP (*Decentralized Periphery*) v současnosti je používán přenosový protokol dostupný ve verzích označených jako DP-V0, DP-V1 a DP-V2; DP-V0: rychlá, kruhová a plánovaná komunikace mezi aktivními stanicemi *masters* a

pasivními zařízeními "slaves", DP-V1: možnost stochastické komunikace mezi "masters" a "slaves" dle aktuální potřeby, DP-V2: přímý přenos dat mezi podřízenými stanicemi ve stálém sběrnicovém cyklu, izochronní mód (počátek přenosu dat asynchronní, vlastní přenos již synchronní), moderní komunikace s protokolem ProfiBus DP-V2 a podporou protokolu HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) umožnění oboustranné digitální komunikaci využitím analogové proudové smyčky 4-20 mA a zavedením dvoustavového kmitočtového klíčování FSK (*Frequency Shift Keying*), (1 200 Hz, 2 200 Hz) v kmitočtovém spektru 300 Hz až 3 000 Hz, s použitím oddělovačů až 10 000 připojených zařízení.

Systém ProfiBus byl vyvinut s cílem integrovat dříve nekompatibilní přenosové technologie:

- symetrická linka RS 485, stíněný kroucený pár s přenosovými rychlostmi do 12 Mbps,
- FISCO model (*FieldBus Intrinsically Safe Concept*) - čtyřvodičové médium speciálně upravené pro potenciálně výbušná prostředí,
- MBP (*Manchester Coded, Bus Powered*) - uplatnění ve výrobní automatizaci při zajištěné vysoké kvalitě přenášených dat na dlouhé vzdálenosti, speciální požadavek na bezpečnost přístrojů,
- přenos trasami s optickými vlákny - vysoká odolnost vůči elektromagnetickému rušení, přenos dat na velké vzdálenosti s malými útlumy přenosových cest.

### 5.4.3 ProfiBus RS 485

Tato technologie je realizován pomocí symetrické sériové linky RS 485 zakončené terminátory. Vyznačuje se jednoduchou instalací. Na jeden segment linky lze zapojit až 32 zařízení při použití opakovačů (repeater) až 126. Maximální počet opakovačů je 9. Opakovače jsou napájeny ze sítě a zajišťují bezchybný přenos dat. Je použit přenosový kód NRZ (*Non Return to Zero*) a zabezpečovací Hammingova vzdálenost (*Hamming Distance*)  $HD = 4$  (paritní bit, start bit, stop bit, 11 bitové přenosové slovo). Maximální délky segmentu bez použití opakovače viz. Tabulka.

Tabulka. 11. Maximální délky segmentu bez použití opakovače.

Přenosová rychlost v [kbps]	9,6	19,2	93,75	187,5	500	1500	12000
Délka v [m]	1200	1200	1200	1000	400	200	100

#### 5.4.4 ProfiBus FISCO

*FieldBus Intrinsically Safe Concept* vyvinut pro potřeby zapojení komunikačních sběrnic v nebezpečných (výbušných) prostředích.

Vlastnosti modelu FISCO:

- omezení napěťových, proudových a imitačních podmínek pro připojená zařízení, kabely, opakovače a ukončovací rezistory, možnost odpojení zařízení od linky za provozu,
- větší maximální počet připojených zařízení než u předchozích konceptů, snadná konfigurace topologie - lineární, stromová či hvězdicová,
- segment sběrnice s jediným napájecím zdrojem,
- délka segmentu až 1900 m,
- maximální rezistance kabelu 15 - 150  $\Omega$ /km,
- indukčnost 0,4 - 1 mH/km,
- kapacita 80 - 200 nF/km.

#### 5.4.5 ProfiBus MBP

Užití v automatizaci výroby, splňuje požadavky chemického a petrochemického průmyslu z hlediska bezpečnosti přenosu dat a prostředí. Mezi vlastnosti této technologie patří:

- kódování Manchester,
- posílené buzení linky (*Bus Powered*),

- synchronní přenosový mód rychlostí 31,25 kbps, časté dvou vodičové přenosové médium - stíněný kroucený pár,
- lineární a stromová topologie sítě,
- volitelné vzdálené napájení po signálových vodičích,
- 32 připojení v jediném segmentu,
- celkem 4 segmenty,
- 126 stanic, maximální
- délka odbočky z hlavní větve sítě 30 m,
- zakončení paralelní kombinací rezistoru 100  $\Omega$  a kondenzátoru 2 mF,
- omezení maximálního napájecího proudu a napětí připojených stanic,
- ochrana před zkratem linky a zapojením napájení s opačnou polarizací.

#### 5.4.6 ProfiBus pomocí optických kabelů

- sběrnice (lineární), kruhová i hvězdicová topologie linky,
- mnohavidové skleněné vlákno: průměr jádra / pláště: 62,5 mm / 125 mm, vzdálenost mezi opakovači 2 km až 3 km,
- jednovidové skleněné vlákno: průměr jádra / pláště: 9 mm / 125 mm, velikost segmentu > 15 km,
- umělohmotné vlákno: průměr jádra / pláště: 0,98 mm / 1 mm, velikost segmentu < 80 m,
- vlákno HCS (*Hard Clad Silica*) - speciální vlákno na bázi Si, průměr jádra / pláště: 200 mm / 300 mm, velikost segmentu asi 500 m.



## 5.5 M-Bus

Standard M-Bus Meter-Bus je určen pro aplikace sběru dat z měřičů odběru nejrůznějších médií (například pitné a užitkové vody, plynu, tepla, elektrické energie. Popis vychází z verze 4.8 standardu M-Bus, která definuje všechny použité protokolové vrstvy včetně aplikačních protokolů. Při vývoji byl kladen důraz zejména na zajištění propojení velkého množství zařízení (řádově několika set) na vzdálenost až několika kilometrů a kvalitního zabezpečení proti chybám. Typickou vlastností aplikace je nepříliš časté odečítání naměřených hodnot s nízkými nároky na odezvy v reálném čase. To spolu s přenosovými rychlostmi do 9600 Bd a obvykle nízkými požadavky měřičů na výpočetní výkon procesoru umožňuje implementovat všechny protokolové vrstvy ISO-OSI modelu programově a to včetně programové emulace sériového řadiče (UARTu).

Charakteristické vlastnosti M-Bus:

- Speciální implementace fyzické vrstvy.
- Galvanicky oddělené rozhraní.
- Možnost napájení účastníků po sběrnici.
- Dvoudrátové vedení s délkou až několik kilometrů.
- Řízení komunikace na principu Master – Slave.
- Bez implementace síťové vrstvy maximálně 250 účastníků.
- Asynchronní přenos znaků, 8 bitů dat, sudá parita.
- Přenosová rychlost 300 až 9600 Bd.
- Zabezpečení datového bloku pomocí kontrolního součtu.

### 5.5.1 Parametry M-Bus

Standardní konfigurace M-Busu zahrnuje jedinou řídicí stanici (repeater) a maximálně 250 stanic účastnických. Délka kabelového segmentu v této konfiguraci nesmí překročit 1000 m (350 m pro 9600 Bd). Pro rozsáhlejší systémy je nezbytné přejít k složitějším konfiguracím, kdy je celý systém rozdělen na tzv. zóny. Jednotlivé zóny se skládají ze segmentů připojených prostřednictvím vzdálených repeaterů a jsou řízeny tzv. řadiči zóny.

### 5.5.2 Logické úrovně M-Bus

M-Bus používá zcela speciální implementaci fyzické vrstvy protokolu. Jde o dvoudrátovou sběrnici na bázi běžného telefonního kabelu s poloduplexním přenosem dat a řízením přístupu Master - Slave. Aby bylo možné napájení účastnických stanic po tomtéž vedení, používá M-Bus pro přenos od řídicí stanice ke stanicím účastnickým změny napětíových úrovní, ve směru opačném změny v odběru proudu. Ve směru od řídicí stanice ke stanicím účastnickým odpovídá logické jedničce napětí +36 V na výstupu budiče řídicí stanice, logické nule pak napětí o 12 V nižší, tj. +24 V. Ve směru od účastnické stanice ke stanici řídicí je logická jednička reprezentována proudovým odběrem 1,5 mA, logická nula odběrem o  $11 \div 20$  mA vyšším. Proud odebíraný ve stavu log. 1 může být využit k napájení galvanicky odděleného rozhraní a případně i vlastního měřiče. Vzhledem k poměrně velkým změnám jak napětí (12 V) tak proudu ( $11 \div 20$  mA) vykazuje fyzická vrstva standardu vysokou odolnost vůči vnějšímu rušení.

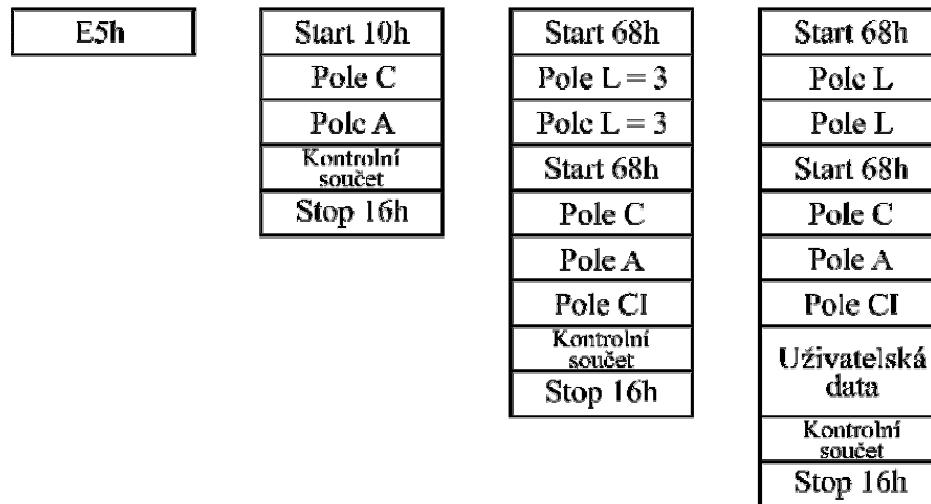
### 5.5.3 Linková vrstva M-Bus

Základem protokolu je asynchronní přenos. Zvláštním dodatečným požadavkem, který vyplývá z požadavků fyzické vrstvy, je aby mezi jednotlivými přenášenými znaky nebyly časové mezery. To znamená, že ihned po stopbitu musí následovat přenos dalšího znaku.

M-Bus využívá čtyř formátů rámce:

- **Jednotlivý znak** (Single Character) - se skládá z jediného znaku, jmenovitě 0xE5 hexadecimálně (dále již 0x.. znamená vždy vyjádření v šestnáctkové soustavě). Používá se k potvrzení o přijetí jiného vyslaného rámce.
- **Krátký rámec** (Short Frame) - má pevnou délku. Začíná úvodním znakem 0x10, následuje pole C, pole A, kontrolní součet a koncový znak 0x16. Kontrolní součet se počítá pouze z polí C a A.
- **Dlouhý rámec** (Long Frame)- začíná znakem 0x68, pokračuje dvakrát opakovaným polem L, obsahujícím délku rámce a opět úvodním znakem 0x68. Poté následuje pole C, pole A, pole CI, uživatelská data o délce  $0 \div 252$  bajtů, kontrolní součet a ukončovací znak 0x16. Pole L obsahuje počet bajtů uživatelských dat zvýšený o tři (tj. o délku polí C, A a CI). Kontrolní součet je počítán z polí C, A, CI a z uživatelských dat.

- **Řídicí rámec** (Control Frame) - Obsah řídicího rámce odpovídá dlouhému rámci, neobsahuje však položku “uživatelská data”. Kontrolní součet je počítán z polí C, A a CI.



Obrázek. 34. Formáty rámců.

**Pole rámce M-Bus** - všechna pole mají délku jednoho znaku, což odpovídá osmi bitům.

**Pole C (Control Field)** - toto pole obsahuje řídicí parametry rámce.

Tabulka. 12. Řídicí pole C.

Číslo bitu	7	6	5	4	3	2	1	0
Master Slave	0	1	FCB	FCV	F3	F2	F1	F0
Slave Master	0	0	ACD	DFC	F3	F2	F1	F0

Nejvýznamnější bit (bit 7) je rezervován a jeho hodnota je vždy log. 0. Bit 6 specifikuje směr komunikace, hodnotu log. 0 mají rámce od řídicí stanice ke stanici účastnické, hodnotu log. 1 rámce ve směru opačném.

V rámci vysílaném řídicí stanicí je bit **FCB (frame count bit)** při bezchybné komunikaci nastavován střídavě do log. 0 a log. 1. Pokud řídicí stanice nepřijala odezvu na předchozí rámec, vysílá ho znovu s identickým FCB a účastnická stanice odpovídá znovu stejným rámcem. Bit **FCV (frame count valid)** v log. 1 indikuje platnost bitu FCB. Pokud je FCV v log. 0, bit FCB musí být ignorován.

V rámci vysílaném účastnickou stanicí mají bity 5 a 4 odlišný význam. Bit **ACD (access demand)** v log. 1 signalizuje řídicí stanici, že účastnická stanice potřebuje předat data s vyšší prioritou (tzv. Class 1 data). Tato data na rozdíl od standardních (Class 2) dat mají být přenesena co nejdříve. Řídicí stanice proto v následujícím cyklu reaguje požadavkem na přenos těchto dat. Bit **DFC (data flow control)** slouží k řízení datového toku. Hodnota log. 1 indikuje řídicí stanici, že účastnická stanice není schopna akceptovat další data.

Bity **F0 ÷ F3** kódují vlastní účel zprávy.

### **Pole A (Address Field)**

Pole A slouží k adresaci účastnické stanice. Jeho velikost je osm bitů, rozsah je tedy 0 - 255. Adresy 0 - 250 mohou být přiřazeny jednotlivým účastnickým stanicím, adresy 254 resp. 255 jsou využity pro potvrzovaný resp. nepotvrzovaný broadcast. Je zřejmé, že při potvrzení broadcastu dojde na sběrnici ke kolizím vždy, je-li připojena více než jedna účastnická stanice. Jeho použití je pouze pro testovací účely. Adresa 253 indikuje adresaci v síťové vrstvě, nikoli v linkové. Adresy 251 a 252 jsou rezervovány pro budoucí využití.

### **Pole CI (Control Information Field)**

Pole CI nese informaci, která je již součástí aplikačního protokolu. Jeho úkolem je kromě jiného rozlišení formátu dlouhého a řídicího rámce. Podrobnější popis tohoto pole je součástí kapitoly o aplikačním protokolu M-Busu.

### **Kontrolní součet**

Pole kontrolního součtu slouží k odhalení chyb při přenosu. Vzniká aritmetickým součtem výše uvedených položek jednotlivých rámců bez uvažování přenosu (carry).

#### **5.5.4 Detekce chyb M-Bus**

Dojde-li při přenosu rámce linkové vrstvy k chybě, je tato detekována a příchozí rámec je ignorován. Po uplynutí časového limitu (timeoutu) o délce 330 bitových intervalů + 50 ms považuje řídicí stanice odeslaný rámec za nepotvrzený a vyšle ho znovu. To se opakuje maximálně dvakrát. Pokud tento pokus selže, pokračuje v komunikaci s další účastnickou stanicí.

K detekci chyb slouží následujícími mechanismy:

- Start bit / Parita / Stop bit v rámci každého znaku rámce

- Start / Stop znaky každého rámce
- Kontrolní součet rámce
- Dvakrát přenášená délka rámce a kontrola počtu přijatých znaků rámce

## 5.6 Measurement Bus

Jde o sběrnici s Master-Slave řízením, definice fyzické vrstvy odpovídá standardu RS 485. Na sběrnici je tedy možno připojit až 32 jednotek s typickou přenosovou rychlostí 9600 Bd. Norma však umožňuje použití přenosových rychlostí až do 1 MBd. Typickou aplikací je standard EPSI pro automatizaci čerpacích stanic.

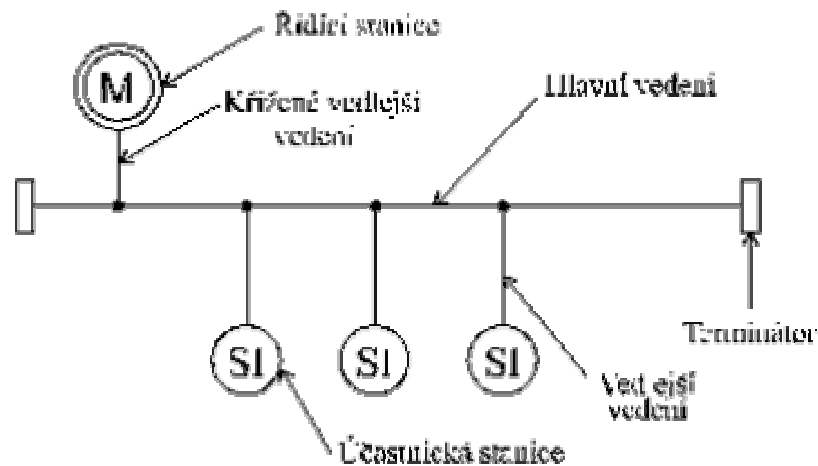
Tato norma byla vytvořena především pro datové přenosy v oblasti jednoduché automatizace a sběru dat. Značnou výhodou tohoto standardu je jeho snadná implementovatelnost v libovolném procesoru, vybaveném pouhým asynchronním sériovým rozhraním (UARTem), vše ostatní lze realizovat programově. Jelikož je toto rozhraní běžnou součástí prakticky všech mikrokontrolerů, další výhodou standardu je jeho levná implementace.

### 5.6.1 Charakteristické vlastnosti M-Bus

- Sběrnice dle EIA RS 485,
- galvanicky oddělené plně duplexní rozhraní,
- čtyřvodičová sběrnice se stíněným kabelem s kroucenými páry,
- délku vedení je doporučeno omezit asi na 500m, v praxi je závislá na přenosové rychlosti,
- maximálně 32 účastnických stanic včetně stanice řídící,
- řízení komunikace na principu Master – Slave,
- asynchronní přenos znaků, 7 bitů dat, sudá parita,
- přenosová rychlost do 1 Mbitps, typicky do 9600 Bd,
- zabezpečení datového bloku pomocí příčné parity,
- délka datového bloku maximálně 128 znaků.

Používá se sběrniceová struktura, je plně duplexní, tzn. že řídicí stanice (Master) vysílá na jedné dvojici kroucených vodičů označené např. "A" a přijímá na druhé označené např. "B". Účastnické stanice (Slave) pak přijímají na dvojici "A" a vysílají na dvojici "B". Na hlavní vedení, které je zakončeno na obou koncích terminátory, se pomocí vedlejších

vedení připojují jednotlivé stanice. Jejich počet může být až 32 včetně stanice řídicí. Délka vedlejších vedení by neměla přesáhnout 5 metrů. Pro účastnické stanice se používá jednoduché prodlužovací vedení, stanice řídicí však musí mít speciální propojovací vedení, které překříží vysílací a přijímací linku.



Obrázek. 35. Struktura sběrnice Measurement Bus.

### 5.6.2 Parametry Measurement Bus

Na hlavním i vedlejších vedeních a všech stanicích se užívají 15-ti kolíkové konektory typu Canon. Význam jednotlivých pinů je uveden v tabulce. Piny, které jsou označeny jako volitelné, je možno použít například pro napájení vnějších zařízení.

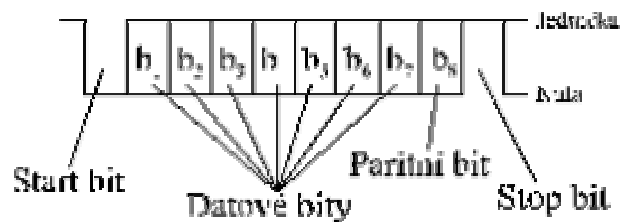
Tabulka. 13. Přiřazení pinů konektoru Canon 15.

PIN	Funkce
1	Stínění
2	Vysílaná data (A)
3	-
4	Přijímaná data (A)
5	-
6	-
7	Volitelné
8	Sběrníková zem
9	Vysílaná data (B)
10	-
11	Přijímaná data (B)
14	Volitelné
15	Napájení +5V (volitelné)

Délka hlavního vedení by neměla překročit 500 m. V praxi však tato hodnota výrazně závisí jednak na zvolené přenosové rychlosti, jednak na typu a výrobci budičů použitých v rozhraní jednotlivých stanic.

### 5.6.3 Linková vrstva Measurement Bus

Je založena na asynchronním přenosu znaků. Znaky jsou převáděny do standardního sériového formátu. Po start-bitu následuje nejméně významný bit dat. Celkem je přenášeno sedm datových bitů, následuje bit sudé parity a jeden stop-bit. Vzhledem k omezení počtu datových bitů na sedm lze přenášet pouze standardní ASCII znaky. Nevýhodou tohoto přístupu je poněkud náročnější přenos binárních dat.



Obrázek. 36. Struktura přenášeného znaku.

### 5.6.4 Řízení přenosu dat

Každá účastnická stanice má svoji přijímací adresu **EADR** a vysílací adresu **SADR** a speciální adresu jednotky 0 která je určena pro skupinový příjem (broadcast) a je označována **RADR**. Jednotlivé adresovací znaky mají následující strukturu. Adresa (bity 1 - 5) může nabývat hodnot 1 až 31, čímž je počet účastnických stanic v systému omezen na 31. Sběrnice je řízena centrálně řídicí stanicí, která periodicky vysílá vysílací a přijímací výzvy jednotlivým účastnickým stanicím.

Přenos dat používá sedmibitové znaky s jedním paritním bitem. Tento paritní bit je nastavován tak, aby součet modulo dvě sedmi bitů znaku včetně paritního bitu dával nulu, jde tedy o tzv. sudou paritu. Kromě toho je provedeno jištění přenosu datového bloku kontrolním znakem BCC. Kontrolní znak BCC je sedmibitová kombinace, která je rovněž doplněna jedním paritním bitem. Binární znaky každého místa kontrolního znaku představují paritní bit, vytvořený pro příslušná místa všech datových znaků. Součet modulo dvě musí dát nulu, jde tedy opět o sudou paritu.

Tabulka. 14. Struktura rámce.

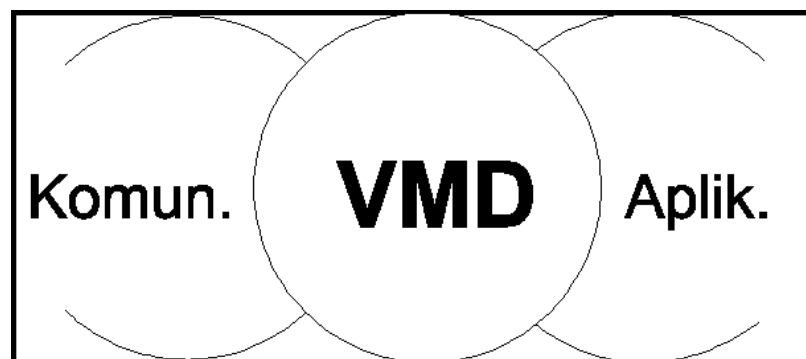
Datový bit	Význam
1 - 5	Adresa jednotky
6	V logické 1 - vysílací adresa
	V logické 0 - přijímací adresa
7	Stále v logické 1

### 5.6.5 Přenosové rychlosti a hlídací časy

Standard předpokládá přenosové rychlosti do 1 MBd, přenosová rychlost musí být povinně realizována ve všech zařízeních. Přerušení komunikace, která mohou vzniknou na základě rušení přenosu řídicích znaků, jsou ošetřena pomocí hlídacích časů (timeoutů).

### 5.6.6 Aplikační protokoly Measurement Bus

Aplikační protokoly vycházejí ze standardu MMS (Manufacturing Message Specification), jsou však upraveny pro použití s výše popsaným linkovým protokolem. Standard využívá koncepce virtuálního výrobního zařízení (Virtual Manufacturing Device -VMD). VMD je abstrakcí reálného objektu, vytvořenou v paměti. K proměnným tohoto abstraktního zařízení přistupuje jednak aplikační program, který aktualizuje jejich hodnoty dle stavu skutečného objektu a nebo na základě jejich hodnot stav objektu ovlivňuje, a jednak program komunikační, který umožňuje vzdálený přístup (zápisy nebo čtení) k těmto proměnným.



Obrázek. 37. Virtuální výrobní zařízení.

Konfigurace VMD objektů pro různé typy zařízení není součástí standardu a pro konkrétní aplikace musí být specifikována dalšími navazujícími standardy. Příkladem takového standardu je standard EPSI (European Petrol Station Interface), vyvinutý na bázi



Measurement Busu. Tento standard definuje VMD pro jednotlivá zařízení jako jsou čerpací stojany, cenové transparenty, měřiče hladin atd. Na základě těchto definic pak mohou různí výrobci produkovat zcela kompatibilní zařízení, takže zákazník má možnost sestavit konfiguraci čerpací stanice na základě svých požadavků a zejména ceny srovnatelných zařízení různých výrobců.

## 5.7 ASI

Standard ASI (Actuator Sensor Interface) vznikl počátkem devadesátých let. V současnosti standard udržován konsorciem výrobců, je však přihlášen ke standardizaci organizací IEC. Pro další rozvoj standardu je důležitá jeho podpora firmou Siemens, která má také nejširší nabídku produktů s tímto rozhraním.

### 5.7.1 Charakteristika ASI

Cílem standardu je podpora binárních akčních členů a senzorů na nejnižších úrovních procesní automatizace. Jde o sběrnici s Master-Slave řízením, současně lze připojit až 31 účastnických jednotek. Důležitým rysem standardu je možnost jejich napájení po sběrnici, která tak slouží pro napájení i pro přenos dat. Velkou výhodou je také prakticky libovolná topologie (liniová, hvězda, strom či jejich kombinace) a neexistence terminátorů na koncích vedení. Charakteristické vlastnosti ASI:

- Nestíněná dvoudrátová sběrnice s libovolnou topologií.
- Přenos dat a napájení po jediném vedení.
- Délku vedení maximálně 100 m, při použití opakovačů 300 m.
- Maximálně 31 účastnických stanic.
- Maximálně 124 senzorů a 124 akčních členů.
- Řízení komunikace na principu Master – Slave.
- Kódování dat kódem Manchester.
- Zabezpečení dat paritou.
- Vysoká rychlost komunikace (cykl sběrnice kratší než 5 ms).
- Velmi jednoduchá instalace.

### 5.7.2 Fyzická vrstva standardu ASI

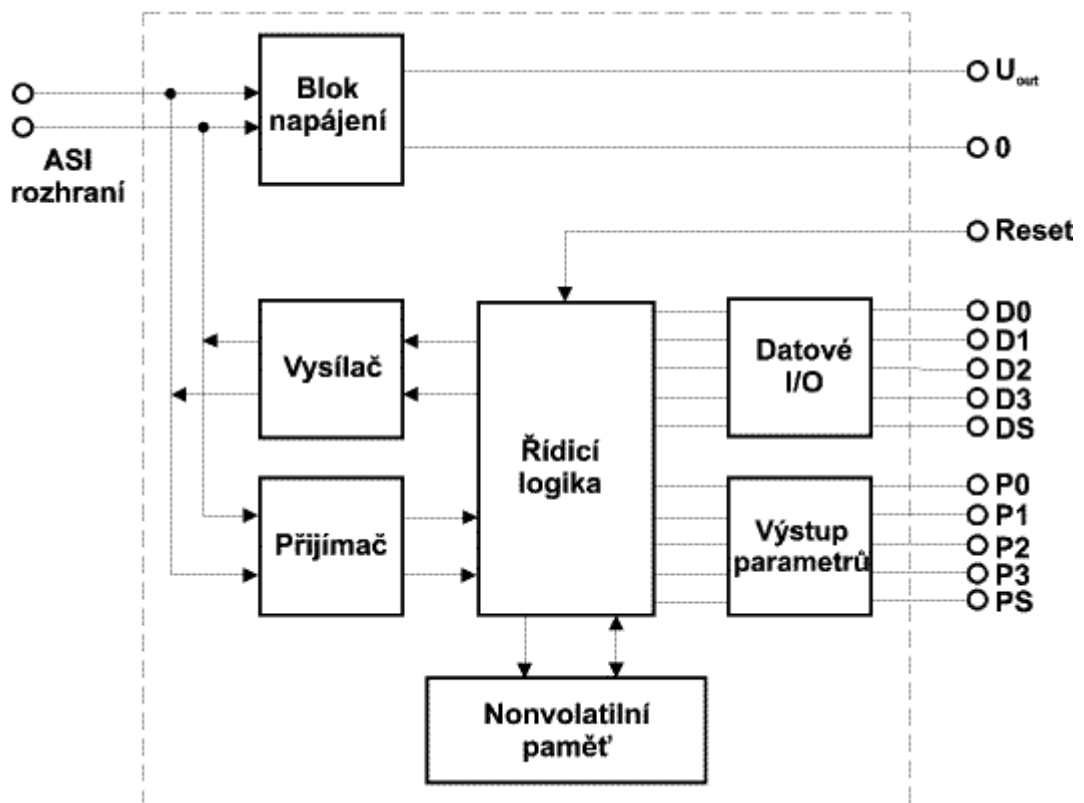
Standard využívá jediného vedení pro přenos datových signálů a napájení. Nominální hodnota napájecího napětí je 24 V. Součástí napájecího zdroje je i standardem definovaná indukčnost, která se podílí na přenosu dat. Při vysílání mění jednotlivé stanice odběr proudu, což vyvolá vznik napěťových impulsů (kladných a záporných) na vedení. Tyto napěťové impulsy jsou superponovány na napájecím napětí, jejich výskyt a polarita jsou sledovány a vyhodnocovány.

### 5.7.3 Struktura sběrnice ASI

Propojení všech stanic může mít prakticky libovolnou topologii (sběrnici, odbočná vedení, hvězdu, strom nebo jejich libovolnou kombinaci). Jediným požadavkem je, aby součet délek všech větví vedení nepřesáhl 100 m. Je-li požadována vyšší délka vedení, je nutno použít opakovač. Lze použít maximálně dva opakovače v jednom systému, celková délka vedení je tedy omezena na 300 m. Standard nevyžaduje použití terminátorů na koncích vedení, což zjednodušuje instalaci.

### Vysílač a přijímač

Pro realizaci ASI rozhraní jsou k dispozici speciální obvody, realizující veškeré jeho funkce. Struktura obvodu je následující:

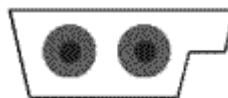


Obrázek. 38. Struktura obvodů ASI.

Jak je zřejmé z obrázku, obvod poskytuje napájecí napětí pro senzory a akční členy, avšak při vyšších požadavcích na odebíraný proud musí být k dispozici zvláštní napájení. To se týká především účastnických stanic s akčními členy. Dále jsou k dispozici čtyři vstupně výstupní datové linky pro připojení senzorů nebo akčních členů a čtyři výstupy tzv. parametrů. Obě tyto čtveřice jsou doplněny vývody s funkcí "Strobe".

#### 5.7.4 Standardní kabel ASI

Standard ASI používá vlastní kabel. Jde o plochý kabel se dvěma vodiči dle následujícího obrázku:

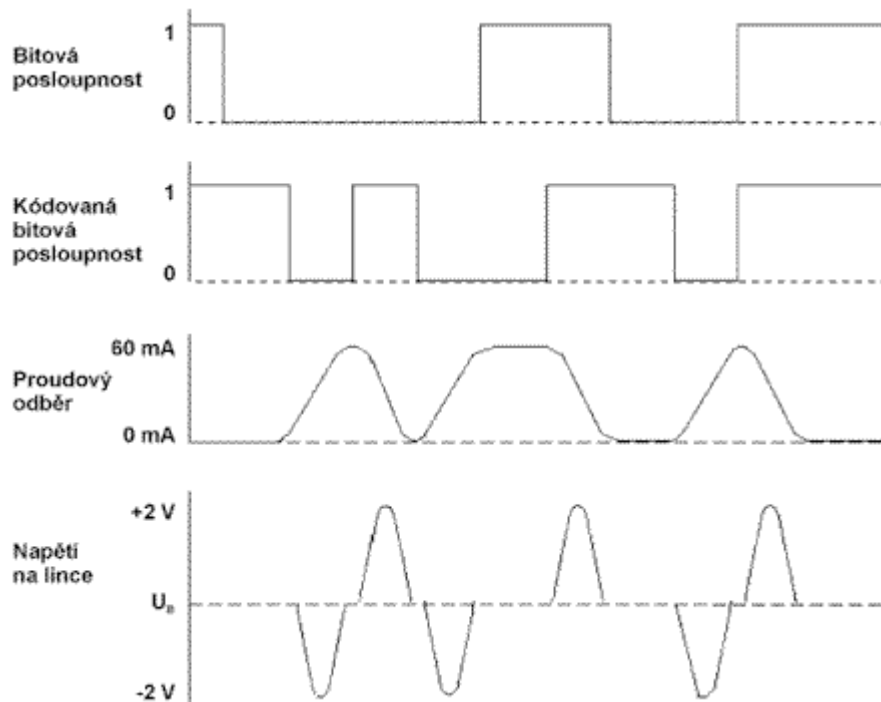


Obrázek. 39. Kabel ASI.

Připojení modulů k tomuto kabelu je realizováno krepováním (nejsou třeba žádné konektory ani odizolování spojů). Tato metoda současně zrychluje a zjednodušuje instalaci, neboť tvar kabelu brání připojení s opačnou polaritou.

## Kódování dat

Kódování dat definované standardem je zřejmé z následujícího obrázku.



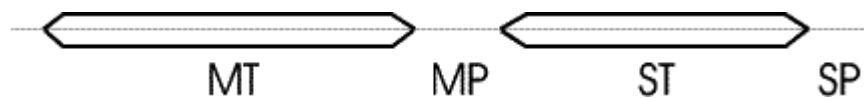
Obrázek. 40. Kódování dat ASI.

Binární posloupnost je nejprve zakódována kódem Manchester (ve středu bitového intervalu bitu s úrovní log. 0 je v zakódovaném signálu přechod log. 1  $\rightarrow$  log. 0, ve středu bitového intervalu bitu s úrovní log. 1 je v zakódovaném signálu přechod log. 0  $>$  log. 1). Kódovaná bitová posloupnost je vysílačem převedena na změny odběru proudu, které se pak na lince projeví výše zobrazenými napěťovými impulsy. Délka bitového intervalu je cca 6 ms, což odpovídá přenosové rychlosti 166 kbps. Skutečný přenosový výkon je vzhledem k prodlevám v komunikaci poněkud nižší.

### 5.7.5 Linková vrstva standardu ASI

Linková vrstva používá řízení přístupu Master-Slave a specifický formát zpráv. Jednotlivé účastnické stanice jsou cyklicky oslovovány stanicí řídicí, celý cyklus trvá podle počtu účastnických stanic maximálně 5 ms pro 31 účastnických stanic. Při menším počtu dotazovaných účastnických stanic se doba trvání cyklu úměrně zkracuje.

Komunikace mezi řídicí a jednou účastnickou stanicí je zřejmá z následujícího obrázku. Tato posloupnost se cyklicky opakuje pro všechny účastnické stanice v síti.



Obrázek. 41. Komunikace ASI.

Význam jednotlivých symbolů je následující:

- MT - zpráva řídicí stanice (Master telegram),
- MP - prodleva po zprávě řídicí stanice (Master prodleva),
- ST - zpráva účastnické stanice (Slave telegram),
- SP - prodleva po zprávě účastnické stanice (Slave prodleva).

Zpráva řídicí stanice představuje výzvu pro účastnickou stanici, zpráva účastnické stanice je pak reakcí na tuto výzvu. Obě časové prodlevy pak pomáhají synchronizaci komunikace.

### Zpráva řídicí stanice

Zpráva řídicí stanice obsahuje řídicí bit, adresu účastnické stanice, informační pole a paritní bit. Pro synchronizaci komunikace slouží start a stop bity.

Tabulka. 15. Zpráva řídicí stanice.

ST	SB	A4	A3	A2	A1	A0	I4	I3	I2	I1	I0	PB	EB
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Jednotlivé položky mají následující význam:

- ST - start bit. Hodnota log. 0 značí počátek zprávy, hodnota log. 1 značí klidový stav sběrnice.
- SB - řídicí bit. Hodnota log. 0 značí přenos dat nebo parametrů, hodnota log. 1 značí přenos příkazu.
- A4..A0 - adresa účastnické stanice. Pro provoz sítě jsou platné hodnoty adresy 1 až 31. Účastnické stanice jsou však expedovány s adresou 0 a konkrétní adresa z platného rozsahu jim musí být přiřazena během procesu instalace systému.
- I4..I0 - informační pole. Obsahuje data určená pro účastnickou stanici.
- PB - paritní bit. Je určen pro detekci chyb vzniklých při přenosu. Pro výpočet (sudá parita) jsou použity všechny bity zpráva kromě start a stop bitů.
- EB - stop bit. Platný stop bit musí mít hodnotu log. 1.

### Zpráva účastnické stanice

Zpráva účastnické stanice obsahuje pouze informační pole a paritní bit. Pro synchronizaci komunikace slouží opět start a stop bity.

*Tabulka. 16 . Zpráva účastnické stanice.*

ST	I3	I2	I1	I0	PB	EB
----	----	----	----	----	----	----

#### 5.7.6 Zabezpečení přenosu

Datové přenosy jsou zabezpečeny následujícími prvky:

- Start bit - Prvním impulsem, který se vyskytne na sběrnici při přenosu zprávy musí být negativní impuls.
- Alternace impulsů - Vzhledem ke zvolenému typu modulace musí mít dva následující impulsy opačnou polaritu.
- Mezera mezi impulsy - mezi dvěma impulsy uvnitř zprávy smí být mezera o délce maximálně délky jednoho impulsu.
- Informační obsah - ve druhé polovině bitového intervalu musí být vždy impuls
- Kontrola parity - v kódovém slově zprávy musí být sudý počet bitů hodnoty  $\log_2 1$ .
- Stop bit - Posledním impulsem, kterým končí přenos zprávy po sběrnici, musí být kladný impuls.
- Délka zprávy - po ukončení zprávy stop bitem již na sběrnici nesmí následovat žádné další impulsy.

## 5.8 HART

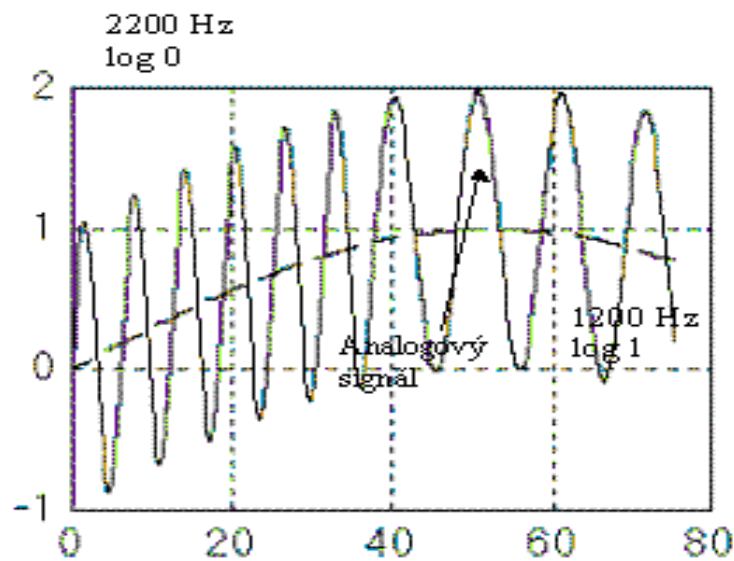
HART (Highway Addressable Remote Transducer) je vyvinutý pro komunikace inteligentních senzorů a akčních členů. Číslicová komunikaci dle tohoto protokolu je slučitelná s přenosem signálu v analogové formě realizovaným v praxi velmi rozšířenou proudovou smyčkou s úrovněmi 4 - 20 mA, nevyžaduje proto nákladné vybudování nové komunikační trasy. Jde o přechodový stupeň přenosu informací zachovávající značnou

míru kompatibility s perspektivní úplně číslicovou komunikací mezi inteligentními zařízeními dle protokolů Profibus případně Fieldbus.

V podstatě je možné k řídicímu centru současně přenášet jak analogový údaj o hodnotě měřené veličiny ve formě proudu v rozmezí 4 až 20 mA, tak i číslicovou informaci (např. o stávající konfiguraci zařízení, identifikační údaje o senzoru, kalibrační a diagnostické údaje). Dále je možný přenos naměřených údajů jak v analogové tak i číslicové formě a vyloučit tak chyby vzniklé analogovo - číslicovým a číslicově - analogovým převodem proudového signálu 4 až 20 mA. Navíc spojovacího vedení k jednomu zařízení (senzoru) lze využít pro přenos více měřených nebo odvozených veličin (např. při komunikaci protokolem HART se senzorem průtoku lze v jedné zprávě přenášet údaje o rychlosti proudění, teplotě a hustotě média, případně o celkovém průtočném množství k okamžiku vysílání zprávy). Fyzická vrstva HART

### 5.8.1 Přenos dat HART

Přenos číslicové informace po vedení proudové smyčky se realizuje superpozicí frekvenčně klíčovaných signálů (FSK - Frequency Shift Keying) na původní analogový proudový signál 4 až 20 mA. Parametry frekvenčního klíčování jsou dány standardem Bell 202 - logické 1 (H) odpovídá úsek signál o kmitočtu 1200 Hz, logické 0 (L) pak signál o kmitočtu 2200 Hz. Amplituda superponovaného proudu je volena dostatečně nízká - 0,5 mA. Proces FSK probíhá bez skoků fáze takže za každé situace je střední hodnota superponovaného proudu nulová. Střední hodnota analogového signálu je tedy nezávislá na přenosu digitální informace. Zařízení master vysílá signály ve formě napětěových úrovní, zatímco zprávy ze zařízení slave se vysílají proudovými signály. Proud smyčky se snadno převede na napětěovou úroveň takže přijímací obvody na straně master i slave pracují v napětěovém režimu.



Obrázek. 42. Kódování logických úrovní ( FSK Bell 202 ).

Poměrně velká tolerance napětových úrovní přijímačů (120 mV až 2,0 V) dovoluje správný příjem i při značném útlumu vedení. Současně úrovně signálů, které musí být přijímačem ignorovány (0 až 80 mV) jsou voleny tak, aby se zmenšila pravděpodobnost účinků rušivých signálů. K potlačení případných rušivých účinků je použito dolnofrekvenční propusti.

Přenos číslicových informací je organizován systémem Master-Slave (tj. zařízení slave komunikuje pouze je-li k tomu vyzváno masterem). Zařízení ve funkci master obdrží nejméně dvakrát za sekundu informaci o stavu zařízení typu slave, tj. typická doba odezvy je 500 ms. HART umožňuje existenci dvou masterů - primárního a sekundárního. Proto je možné v průběhu činnosti primárního mastera současně komunikovat se zařízeními také tzv. *ručním komunikátorem*, aniž by došlo k vzájemnému rušivému ovlivnění. Ruční terminál - komunikátor (Handheld Communicator) je vlastně pomocné řídicí centrum hojně užívané při seřizování a monitorování komunikace systému. Alternativně lze jako sekundární řídicí zařízení použít počítač typu PC, např. laptop.

Komunikace s masterem se děje v konfiguraci *hvězdicové* (master se všemi zařízeními po zvláštních trasách) nebo *sběrnice* (zařízení slave identifikována přiřazením adres jsou připojena paralelně v různých místech na společnou - sběrnici, tj. dva vodiče proudové smyčky ).

V hvězdicovém uspořádání lze zvýšit rychlost přenosu odezvy ze zařízení zavedením režimu "burst" kdy *shluk* dat je jako zpráva k masterovi je vysílána typicky 3 až 4 - krát za sekundu. Režim burst je používán pouze v případě spolupráce s jediným zařízením slave.



Po každém režimu burst je krátká pauza, aby mohl případně master zvláštním příkazem tento režim ukončit. Ve sběrnicovém uspořádání může probíhat pouze číslicová komunikace a smyčkový proud je udržován na minimální hodnotě 4 mA (napájení senzorů a měřicích obvodů). Každé zařízení slave je postupně cyklicky dotazováno masterem. Pomocí oddělovacího zařízení je možné připojit až 10.000 měřicích zařízení na jedinou číslicovou sběrnici. Analogové signály jsou sice vedeny odděleně, získáme však možnost řídit sběr dat a konfiguraci členů z jediného centra.

### 5.8.2 Parametry vedení HART

*Dovolená délka vedení* závisí na uspořádání vodičů. Vedení ve tvaru zkrouceného individuálního dvou vodiče může být pochopitelně delší (až 3000 m) než je tomu v případě, kdy páry zkroucených vodičů jsou umístěny ve společném stíněném plášti (max.1500 m). Pro malé vzdálenosti lze použít také nestíněných přívodů. Vedení může být opatřeno elektronickými ochranami a speciálními obvody rozhraní pro práci na jiskrově nebezpečných místech.

### 5.8.3 Linková vrstva

Přenos v protokolu HART je asynchronní a semiduplexní (po skončení každé zprávy je prodleva, uvolňující možnost komunikace jiné stanici), vysílání znaků může být přerušeno mrtvými časy v nichž je na vedení logická 1. Za operace se zprávou zodpovídá master. V případě, že slave nereaguje na příkaz v definovaném čase, master opakuje zprávu. Jestliže ani po několika pokusech slave neodpovídá, master přeruší přenos. Po úspěšném ukončení přenosu zprávy master čeká jistou dobu před vysláním dalšího příkazu, aby se umožnil případný zásah druhého mastera.

Zprávy jsou kódovány jako posloupnost 8-mi bitových bytů převedených do sériového tvaru. Obdobně jako při přenosu RS 232 a dalších asynchronních protokolů *start bit*, *parity bit* a *stop bit* jsou přidávány ke každému bytu. HART používá liché parity.

Protokol využívá dva typy rámců:

- **Krátký rámec** - v tomto formátu je adresa slave buď 0 pro hvězdicový styk s použitím proudového signál 4 - 20 mA, nebo 1 až 15 pro sběrníkový systém spojení slave-master.
- **Dlouhého rámce** - tomto formátu je adresa slave číslo o 38 bitech, odvozené z kódu výrobce, kódu pro typ zařízení a identifikačního kódu zařízení. Výhody dlouhého rámce jsou zřejmé: ochrana proti přeslechům příkazů určených pro jiná zařízení, minimalizace vlivu vnějších rušivých signálů a větší adresovací prostor.

Tabulka. 17. Struktura rámce protokolu HART.

preambule	START	adresa	příkaz	počet bytů	[STATUS]	[DATA]	kontr.součet
-----------	-------	--------	--------	------------	----------	--------	--------------

- **Preambule** - obsahuje 3 nebo více znaků FF a slouží pro synchronizaci frekvenčního diskriminátoru přijímacího modemu.
- **START** - první znak po příjmu nejméně dvou kombinací FF.
- **Adresa** - obsahuje jednobytovou nebo 5-ti bytovou adresu právě komunikujících zařízení master a slave. Bit MSB adresového pole odlišuje primárního (MSB=1) a sekundárního mastera (nejčastěji ruční komunikátor).
- **Příkaz** - obsahuje čísla od 0 do FF reprezentující příkazy HART. Kód 254 je určeno pro expanzi: je-li následován dalším bytem, může být počet příkazů rozšířen na více než 256. Ve zprávě zařízení slave je přijatý příkaz zopakován.
- **Počet bytů** -(ve zprávě) obsahuje také celé číslo, indikující počet bytů v částech STATUS a DATA, kontrolní součet není zahrnut. Slouží přijímajícímu zařízení ke kontrole úplnosti zprávy.
- **STATUS** - se vyskytuje pouze v odpovědi zařízení slave a je tvořen dvěma byty: první indikuje případnou chybu komunikace, druhý stav zařízení (např. zařízení obsazeno, příkaz nelze interpretovat).
- **Kontrolní součet** - obsahuje výsledek funkce EXCLUSIVE OR ze všech předcházejících bytů zprávy počínaje znakem START (tzv.“podélná parita”). Kromě této kontroly integrity zprávy se zjišťuje parita každých 8-mi bitů v každém bytu zprávy (tzv.“vertikální parita”). Tento postup zaručuje detekci i ojedinělého výskytu až 3 chybných bitů.

#### 5.8.4 Příkazy HCS

Příkazy HART (HART Command Set) řídí zápis a čtení přídavných informací z řídicího centra do ovládaných zařízení. Množina příkazů HCS je rozdělena do tří skupin:

**Univerzální příkazy** (Universal Commands), které musí být interpretovatelné všemi zařízeními kompatibilními s protokolem HART. Slouží k získání základních informací o zařízení (identifikační údaje) jako druh, typ, výrobce, výrobní číslo, rozsah a provedení zařízení, měřené veličiny, datum, stav zařízení.

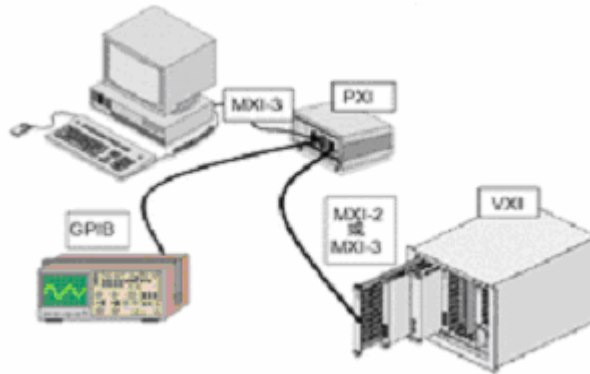
**Provozní příkazy** (Common Practice Commands), k výkonu základních funkcí jako: čtení proměnných, kalibrace (nula a maximum), inicializace autotestů, hodnoty časových konstant a další. Nepožaduje se, aby všechny provozní příkazy byly interpretovatelné všemi zařízeními kompatibilními s protokolem HART.

**Specifické příkazy** (Device Specific Commands) slouží k výkonu operací, které se mohou vyskytnout jako specifické pouze pro určitý druh nebo typ zařízení. Jde o příkazy jako začátek a konec čítání, vynulování obsahu čítače, výběr primární proměnné, vybavení řídicího algoritmu PID, ladění řídicí smyčky, speciální kalibrační algoritmy a pod.

V jedné zprávě protokolu HART mohou být zahrnuty hodnoty až 4 proměnných a každé zařízení může používat až 256 proměnných. Každá zpráva obsahuje informaci o stavu zařízení a součástí operace přenosu jsou procedury kontroly možného výskytu chyb ve zprávě.

## 6 MODULÁRNÍ SYSTÉMY

Tyto systémy umožňují sestavení specializovaných měřících a regulačních systémů podle potřeb uživatele, pomocí zásuvných modulů (karet). Mohou být implementovány na PC nebo na průmyslový počítač pomocí standardních rozhraní.



Obrázek. 43. Schéma spojení modulárních systémů.

### 6.1 VXI

VXI je průmyslový standard IEEE 1155 vycházející z standardizované sběrnice VME používané pro sestavování modulárních počítačů a sběrnice GPIB. Tento standard byl vyvinut pro aplikace, které vyžadují náročnější matematické zpracování dat již během měření. Standard VXI obě koncepce používá a doplňuje další části, čímž vznikla platforma pro vytváření nových, modulárních měřících systémů, které by měly vyhovět i nárokům očekávaným v budoucnosti. Systém VXI sestává ze skříně (mainframe), vybavené konektory, do níž se zasouvají zásuvné měřicí přístroje (moduly). Moduly se zasouvají do vodiček v rámu, nastavovací prvky, kontrolky i přívod signálů jsou umístěny na malém čelním panelu modulu. Norma VXI specifikuje způsob chlazení modulů, elektromagnetickou kompatibilitu mezi moduly, povolenou míru vyzařování jednotlivých modulů a odolnost jednotlivých modulů proti takovému vyzařování. Součástí normy jsou i požadavky na vlastnosti základní desky (motherboard), propojující jednotlivé moduly. Jedná se obvykle o dvanáctivrstvý tištěný spoj, zaručující definovaná zpoždění přenosu některých analogových kanálů mezi moduly v řádu pikosekund.

### 6.1.1 Vlastnosti VXI

Díky implementaci na PC nebo průmyslový počítač, v porovnání z ostatními sběrnicemi, je možné velice levně vytvořit komplexní měřicí systém. Počítač se může stát částí systému VXI, nebo může být samostatný a se systémem propojen GPIB. Ze systémového hlediska se desky pro VXI jeví jako samostatné měřicí přístroje, které obsahují mikroprocesor nebo poměrně rozsáhlou logiku. Můžeme se tedy na měřicí systém VXI dívat jako na miniaturizovaný měřicí systém se sběrnicí GPIB. Měřicí desky nahrazují samostatné měřicí přístroje, standardizované šasi nahrazuje stojan.

Sběrnice VXI, ve srovnání s GPIB, nabízí vyšší výkon, přesnější časování a synchronizaci, menší rozměry a nižší cenu přístrojů. Zároveň je možné do systému VXI integrovat měřicí přístroje, vybavené sběrnicí GPIB.

### 6.1.2 Adresace VXI

Logická adresa modulu je analogická adrese přístroje na sběrnicí GPIB. Tato adresa může být nastavována ručně nebo je nastavována automaticky, při startu systému. Protože každý modul je vybaven konfiguračními registry, systém je schopen automaticky identifikovat všechny moduly, jejich typ, provedení, výrobce i paměťové požadavky modulu.

Protokol pro přenos povelů a dat je nezávislý na výrobci modulu. Protože komunikace probíhá postupným zápisem šestnáctibitových slov do registrů modulu, je protokol nazýván Word Serial. Podobá se protokolu známému ze sběrnice GPIB. Standard VXI však definuje i další možnost velice rychlé komunikace mezi moduly prostřednictvím sdílené paměti.

### 6.1.3 Struktura VXI

Systémy VXI podporují vytváření hierarchických systémů a stromových řídicích struktur. Modul je označován jako Commander, má-li v hierarchické struktuře modulů přidělen alespoň jeden podřízený modul, označovaný Servant. Ve víceúrovňové hierarchické struktuře podřízenosti může jeden modul být zároveň Commander i Servant. Každý modul v systému VXI má právě jeden nadřízený modul Commander. Commander má výlučný přístup ke komunikačním registrům podřízeného modulu. Commander komunikuje s podřízeným modulem prostřednictvím jeho komunikačních registrů, a to buď protokolem

Word Serial, nebo, specifickou manipulací s obsahem jeho registrů. Podřízené moduly komunikují s nadřízeným modulem prostřednictvím svých vlastních registrů. Podřízené moduly mohou též komunikovat se svými nadřízeným moduly pomocí přerušovacích signálů, případně zápisem specifických zpráv (nazývaných signály) přímo do signálního registru nadřízeného modulu. Norma VXI definuje v protokolu Word Serial příkazy, které umožní nastavit podřízené moduly tak, aby generovaly přerušení nebo signály přesně daným způsobem. Popsaná podpora hierarchických řídicích struktur umožňuje vytvářet v rámci jednoho systému shluky měřicích modulů, pracujících autonomně a z vnějšího pohledu chápané jako jeden složitý měřicí modul. Ve vyhrazené pozici ve skříni VXI je vždy umístěn speciální modul. Tento modul je vybaven tak, aby mohl generovat systémové hodinové signály, konfigurační signály a další signály potřebné pro chod celého systému. Právě v tomto modulu bývá umístěn *Resource Manager* program, který při inicializaci systému identifikuje všechny moduly, přiřadí jim adresy, přidělí paměť a nastaví vztahy podřízenosti mezi moduly.

## 6.2 PXI

PXI (PCI eXtensions for Instrumentation) je platforma založená na PC pro měřicí a automatizační systémy. PXI totiž kombinuje parametry a vlastnosti klasické sběrnice PCI s modulárním Eurocard mechanickým provedením tzv. Compact PCI a přidávají specializované synchronizační sběrnice. Spolu se softwarem vytváří vysoce výkonnou a přitom finančně nenáročnou platformu pro měření a regulaci (MaR), v takových oblastech jakými jsou testovací linky, vojenský a letecký průmysl, systémy monitorování, automobilový průmysl a průmyslové řízení a testování. Standard PXI pro programovatelné automaty byl vyvinut v roce 1997 a od roku 1998 je možné se s ním setkat v reálných aplikacích. PXI průmyslový standard je zastřešován organizací PXISA (PXI Systems Alliance).

Hardwarová architektura PXI je složena z těchto tří hlavních komponent:

- šasi (chassis),
- systémový kontrolér (system controller),
- periferní moduly (peripheral modules).

Variabilní modulární uspořádání komponent v podobě zásuvných modulů tedy nabízí libovolné vytvoření a přizpůsobení měřicího a řídicího systému dané aplikaci v daný

moment. Se změnou měřeného objektu lze pružně změnit i měřící pracoviště pouhou výměnou některých modulů v šasi za jiné, bez jakékoliv změny ostatního vybavení. Jeden systém PXI může klidně nahradit skupinu přístrojů (např. osciloskop, multimetr, generátor, atd.)

### 6.2.1 PXI chassis

Základem systému je PXI/CompactPCI šasi, které tvoří pevnou strukturu pro vkládané moduly (karty) a zároveň zajišťuje jejich vzájemné propojení, komunikaci a napájení. Mechanická část šasi je tvořena rámovou strukturou různé velikosti dle určené velikosti systému (počtu modulu/karet). Velikost rámu je dimenzovaná dle standardu velikosti modulů PXI a CompactPCI stovek výrobců.

Elektrickou část šasi hlavně tvoří propojujícího podstavce, tzv. PXI backplane, který obsahuje sloty pro připojení modulů. Všechny sloty jsou vzájemně propojeny sběrnicemi. PXI backplane obsahuje současnou klasickou PCI sběrnici, jak ji známe z dnešních PC, s dalšími sběrnicemi pro přesné časování a synchronizaci (timing bus, triggering bus). Některá šasi již obsahují integrovaný DC zdroj s běžným napěťovým výstupem (+3.3V, +5.0V, +12V a -12V) a nucené chlazení vzduchem.

### 6.2.2 PXI System Controllers

Tento modul, často obsazen v šasi nejvíce vlevo, umožňuje vzdálené řízení systému PXI přes standardní PC, datové sítě nebo OS Windows 2000/XP nebo real-time operační systémy jako např. Real-Time LabVIEW od National Instruments.

Obecně lze tyto moduly rozdělit do dvou bloků:

- PXI Remote Control (Vzdálené řízení systému PXI) - nejčastější je řízení prostřednictvím přímo připojeného blízkého PC nebo prostřednictvím PC v síti Ethernet (spojení zprostředkovává k tomu určený PXI modul).
- PXI Embedded Control (řízení přímo vestavnými moduly v PXI systému) - vestavné moduly jsou obvykle složeny z komponent běžných v PC (CPU Pentium, RAM, pevný disk, USB, LPT, RS-232, RS-485 apod.).

**Ethernet Control of PXI** (řízení systému PXI přes Ethernet)

Zde moduly umožňují dálkově ovládat PXI a přenášet data přes LAN a Internet. PXI systém pak může jen data zpracovávat a například stránka vizualizace se přenechá nadřazené stanici. Nejedná se však o speciální skupinu modulů. Pro komunikaci přes síť Ethernet stačí použít některý z následující skupiny modulů Embedded Controllers, které mají implantované Ethernet rozhraní (obvykle 100BaseTX nebo 10BaseT).

**Embedded Controllers** (Vestavné kontroléry)

Tyto moduly umožňují přímo ovládat celý daný PXI systém bez připojení externího PC. Jedná se prakticky o celou PC jednotku integrovanou v malém modulu, která je tvořena komponenty objevující se v klasických stolních PC.

- Real-Time Embedded Controllers - Moduly v této kategorii jsou speciálně určeny pro náročné aplikace v oblasti zpracování v reálném čase. Hlavní zřetel je zde brán na maximální rychlost průchodu řídicí a zpracovávající smyčkou programu.

**6.2.3 PXI periferní moduly**

Tato oblast tvoří mnoho periferních modulů pro veškeré současné rozšířené komunikační standardy, rozhraní, vstupy a výstupy, diagnostiku atd.

PXI podporuje standardy pro komunikaci s PC a ostatními PLC (Gigabit Ethernet, Ultra2 SCSI, GPIB, VXI a VME (MXI-2 a MXI-3), CardBus, PCMCIA), se senzory, snímači a měřící další technikou (RS-232, RS-485/RS-422, CAN, DeviceNet).

Softwarová podpora systému PXI je založena na standardu softwaru pro PC firmy Microsoft, konkrétně Microsoft Windows operační systém a tím minimalizovat náklady na nákup speciálních softwarů. Kontroléry tedy využívají všechny standardy Windows včetně aplikačních programových rozhraní LabWindows/CVI, Measurement Studio, Visual Basic a Visual C/C++ nebo LabVIEW od National Instruments. Jako alternativa k OS založených na Windows je zde real-time software pro časově kritické aplikace vyžadující určitou rychlost vykonání programové smyčky a aplikace bez nutnosti použití klávesnice, myši, monitoru apod.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## SROVNÁNÍ SBĚRNIC

V této praktické části jsou stručně srovnány nejzákladnější informace a parametry sběrnic a průmyslových komunikačních systémů.

- Paralelní sběrnice.
- Sériové sběrnice.
- Bezdrátové sběrnice.
- Průmyslové komunikační systémy.

*Tabulka. 18. Paralelní sběrnice.*

Název	IEEE 1284 LPT
Typ komunikace	halfduplex 8 bitová
Počet zařízení	1
Topologie	point-to-point
Médium	(Cannon DB25)
Dosah v metrech	2-5
Rychlost	150-2000 kbps (vyjmečně 3-5Mbps)
Zajištění dat	x
Hlavní výhody	-rychlost

Tabulka. 19. Seriové sběrnice.

Název	RS 232	RS 485	RS 422	USB
Typ komunikace	full duplex asynchronní	full duplex Master/Slave	full duplex Master/Slave	full duplex Master/Slave
Počet zařízení	1	32	10	127
Topologie	point-to-point	point-to-multipoint sběrnice	point-to-multipoint sběrnice	point-to-multipoint strom
Médium	(Cannon DB25 Cannon DB9)	2x twisted pair	twisted pair	2x twisted pair
Dosah v metrech	15 (teor.15-900)	1200 -1600	1200 -1600	5
Rychlost	2400 - 19200 Bd	10 Mbps	10 Mbps	1,5 - 480 Mbits
Zajištění dat	paritní bit	paritní bit	paritní bit	CRC
Hlavní výhody	-snadná implementace	- odolnost proti rušení	- odolnost proti rušení	-napájení po sběrnici - univerzálnost -rozšířenost zařízení

Tabulka. 20. Bezdrátové sběrnice

Název	IrDA	BlueTooth	ZigBee
Typ komunikace	asynchronní	asynchronní synchronní	asynchronní
Počet zařízení	1	8	65 535
Topologie	point to point	point to point point to multipoint strom hvězda sít'	point to point point to multipoint strom hvězda sít'
Médium	infračervené záření	mikrovlny ( 2400 až 2483,5 MHz)	mikrovlny ( 2400 až 2483,5 915 868 MHz)
Dosah	1 m	10 m	75 m
Rychlost	2,5 - 115,2 Mbps	433 kbps	250 kbps
Metoda přístupu	x	Master/Slave	CSMA/CA
Hlavní výhody	-rychlost	- odolnost proti rušení -přístup k těžkodostupným zařízením -přednostný přenos urgentních dat	-cena -spolehlivost -odolnost proti rušení -nízká spotřeba energie -přístup k těžkodostupným zařízením -přednostný přenos urgentních dat

Tabulka. 21. Průmyslové komunikační systémy.

Název	GPIO	CAN	Foundation Fieldbus	ProfiBus
<b>Typ komunikace</b>	asynchronní paralelní	asynchronní sériová	asynchronní sériová	asynchronní sériová
<b>Počet zařízení</b>	32	30	neuvedeno	126
<b>Topologie</b>	sběrnice	sběrnice multi-master	sběrnice strom	sběrnice strom hvězda
<b>Médium</b>	16 vodičů	Cannon D-Sub	proudová smyčka	RS 485, optické vlákno,
<b>Dosah</b>	20 m	40 m (5200 m)	1900 m	1900 m
<b>Rychlost</b>	1 Mbps	1 Mbps (10kbps)	31,25 kbps 2,5 Mbps	RS 485 12Mbps MPB 31,2kbps
<b>Adresace zařízení</b>	statická	statická	dynamická	statická dynamická
<b>Metoda přístupu</b>	Master/Slave	CSMA/CA	Master/Slave	CSMA/CD
<b>Hlavní výhody</b>	rychlost	- nízká cena -snadná implementace -spolehlivost -rychlost -zabezpečení proti chybám	- napájení po sběrnici -použití ve výbušném prostředí -úspora vodičů -diagnostika zapojených zařízení -provozní schopná při poruše	- přenos na velké vzdálenosti -jednoduchá implementace možnost přenosu různými médii -použití ve výbušných prostředích
<b>Určení</b>	automatizace měřících a testovacích procesů	automobily průmyslové aplikace	komunikace mezi prvky regulačních obvodů	přenos dat mezi regulátory, inteligentními čidly, PLC

Tabulka. 22. Průmyslové komunikační systémy.

Název	M-Bus	Measurement Bus	ASI	HART
<b>Typ komunikace</b>	asynchronní sériová	asynchronní sériová	asynchronní sériová	asynchronní sériová
<b>Počet zařízení</b>	250	32	31	10000
<b>Topologie</b>	sběrnice	sběrnice	sběrnice strom hvězda	sběrnice hvězda
<b>Médium</b>	twisted pair	2x twisted pair	ASI kabel	twisted pair
<b>Dosah</b>	řádově km	500 m	300	3 km
<b>Rychlost</b>	9600 Bd	9600 Bd	166 kbps	9600 Bd
<b>Adresace zařízení</b>	statická	statická	statická	dynamická
<b>Metoda přístupu</b>	Master/Slave	Master/Slave	Master/Slave	Master/Slave
<b>Hlavní výhody</b>	- napájení po sběrnici - vzdálenost - nízké nároky odezvy v reálném čase	-cena -snadná implementace	-vysoká rychlost komunikace -napájení po sběrnici	-jednoduchá implementace -cena -kompatibilita s ProfiBus a FieldBus -spolehlivost -možné napojení na ruční komunikátor
<b>Určení</b>	sběr měřených dat	automatizace čerpacích stanic, sběr dat	podpora binárních akčních členů a senzorů na nejnižší úrovni	podpora binárních akčních členů a senzorů na nejnižší úrovni

## ZÁVĚR

Cílem práce bylo vyhledat a porovnat sběrnice standardně používané v měřicí technice. Pro účely měření a sběru dat se v počátcích používaly standardy určené spíše pro výpočetní techniku např. paralelní rozhraní LPT určené původně pro tiskárny, sériové rozhraní

RS 232 jež patří ke standardnímu vybavení každého počítače. Rychle se rozvíjející obor automatizace však začal vyžadovat více specializované sběrnice, které by obstály v konkrétních průmyslových aplikacích kde je kladen větší důraz na spolehlivost přenášených dat, proto byly vyvinuty standardy RS 485, RS 422. Pro svou nenáročnost a hlavně rozšířenost zařízení se v tomto segmentu okrajově prosadil i standard USB, který jak už nasvědčuje název (*Universal Serial Bus*), je hlavně univerzální což pro specifické aplikace není nejvhodnější. Velkým přínosem do tohoto odvětví je implementace bezdrátových technologií. Jako bezdrátový lze považovat i standard IrDA, který v mnohem podobá standardu RS 232, zejména v point-to-point komunikaci. V automatizační praxi se začal prosazovat i standard Bluetooth jež byl původně určen spíše pro spotřební elektroniku. Na všechny výhody bezdrátového standardu Bluetooth navázal standard ZigBee, jež se více specializoval na obor automatizace. Protože vývojový trend se nezaměřoval pouze na vedení, ať už metalické, optické nebo bezdrátové, ale hlavně na komplexní řešení průmyslových systémů vyvinuly se Průmyslové komunikační systémy, častěji nazývané anglickým slovem *Fieldbus*. Tyto systémy byly vyvíjeny jednotlivými společnostmi nebo sdruženími společností, jejichž snaha se soustředila na to, aby právě jejich systém byl prohlášen za standard. Přes tuto snahu bylo standardizováno hned několik průmyslových komunikačních systémů. Přehled, podle mého názoru, nejznámějších a nejpoužívanějších Fieldbusů je uveden v této práci. Úkolem byl i popis modulárních systémů VXI a PXI, vzhledem k rozsahu práce a rozsáhlosti této problematiky jsem tyto systémy popsal velice okrajově. Mým cílem nebylo podrobně seznámit s vlastnostmi a specifikacemi jednotlivých systémů, což by pravděpodobně vydalo na rozsáhlejší dílo, ale stručně zhodnotit a vyzvednout nejdůležitější vlastnosti jednotlivých sběrnic a průmyslových komunikačních systémů. Do jaké míry se mi to podařilo nechám na zhodnocení čtenáře této práce.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] VLACH, Jaroslav. *Řízení a vizualizace technologických procesů*. 1. vydání. Praha: BEN, 1999. 160 s. ISBN 80-86056-66-X.
- [2] KOCOUREK Petr, NOVÁK Jiří. *Přenos informace*. 1. vydání. Praha : ČVUT, 2004. 241 s. ISBN 80-01-02892-5.
- [3] SYSEL Martin. *Technické vybavení PC*. 1. vydání. Zlín:UTB, Fakulta technologická, 2003.138 s. ISBN 80-7318-108-8.
- [4] *HW server představuje - RS-232*. Dostupný z WWW:  
<[www.rs232.hw.cz](http://www.rs232.hw.cz)>
- [5] HW server představuje:  
*Paralelní port - LPT (IEEE 1284)*. Dostupný z WWW:  
<[www.lpt.hw.cz](http://www.lpt.hw.cz)>
- [6] *USB - Popis rozhraní*. Dostupný z WWW:  
<[www.hw.cz](http://www.hw.cz)>
- [7] *Bezdrátové komunikace v automatizační praxi II: standard Bluetooth* . Dostupný z WWW:  
<[www.automa.cz](http://www.automa.cz)>
- [8] *ZigBee v praxi*. Dostupný z WWW:  
<[www.automa.cz](http://www.automa.cz)>
- [9] *Vlastnosti a užití průmyslových sběrnic*. Dostupný z :  
<[www.elektrorevue.cz](http://www.elektrorevue.cz)>
- [10] *Sběrnic CAN*. Dostupný z WWW:  
<[www.elektrorevue.cz](http://www.elektrorevue.cz)>
- [11] *Fieldbus*. Dostupný z WWW:  
<[www.fieldbus.feld.cvut.cz](http://www.fieldbus.feld.cvut.cz)>
- [12] *Otevřené měřicí systémy*. Dostupný z WWW:  
<[www.ippmeasure.com/clanky/t19.pdf](http://www.ippmeasure.com/clanky/t19.pdf)>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>BER</b>	<i>(Bit Error Ratio)</i> - poměr chybně přenesených bitů ku správně přeneseným.
<b>CRC</b>	<i>(Cyclic Redundancy Check)</i> - kód sloužící ke kontrole přenesených dat.
<b>CSMA/CA</b>	<i>(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)</i> - metoda náhodného přístupu z odposlechem nosné a vyloučení chyb.
<b>CSMA/CD</b>	<i>(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)</i> - metoda náhodného přístupu z odposlechem nosné a detekci chyb.
<b>DMA</b>	<i>(Direct Memory Access)</i> - přímý vstup do paměti.
<b>FIFO</b>	<i>(First In First Out)</i> - metoda přístupu "Kdo dřív přijde ten dřív mele".
<b>IEC</b>	<i>(International Electrotechnical Commission)</i> - mezinárodní elektrotechnická komise.
<b>IEEE</b>	<i>(Institute of Electrical and Electronic Engineers)</i> - institut určující elektronické standardy.
<b>IRQ</b>	<i>(Interrupt Request level)</i> - řízení přerušení podle priority.
<b>ISM</b>	<i>(Industrial, Scientific, Medical)</i> - bezlicenční bezdrátové pásmo.
<b>ISO</b>	<i>(International Organization for Standardization)</i> - mezinárodní organizace pro standardizaci.
<b>LLC</b>	<i>(Logical Link Control)</i> - logické řízení příchozích zpráv.
<b>MAC</b>	<i>(Medium Access Control)</i> - řízení přístupu k mediu.
<b>Manchester</b>	Typ kódování přenosu.
<b>NRZI</b>	<i>(Not Return to Zero Invert)</i> - Typ kódování přenosu.
<b>NRZ</b>	<i>(Not Return to Zero)</i> - Typ kódování přenosu.
<b>OSI</b>	<i>(Open System Interconnection)</i> - standard pro propojení otevřených systémů.
<b>PC</b>	<i>(Personal computer)</i> - osobní počítač.
<b>point-to-point</b>	metoda připojení zařízení jedno k jednomu.
<b>poin-to-multipoint</b>	metoda připojení zařízení jedno k více .
<b>token packet</b>	metoda přidělování přístupu k mediu.
<b>TP</b>	<i>(Twisted Pair)</i> - medium kroucená dvoulinka.



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek. 1. Paralelní přenos.....	16
Obrázek. 2. 25 D-sub.....	17
Obrázek. 3. 36-pin Champ36.....	17
Obrázek. 4. 36-pin high density.....	17
Obrázek. 5. Časový průběh komunikace v klasickém SPP módu.....	19
Obrázek. 6. Časový průběh komunikace v ECP módu pro dopředný přenos dat (forward data transfer).....	22
Obrázek. 7. Časový průběh komunikace v ECP módu pro zpětný přenos dat (reverse data transfer).....	22
Obrázek. 8. Bitový proud RS 232.....	24
Obrázek. 9. Maximální napěťové úrovně RS 232.....	25
Obrázek. 10. Konektor Cannon 25.....	27
Obrázek. 11. Konektor Cannon 9.....	27
Obrázek. 12. Zapojení proudové smyčky a RS 232.....	28
Obrázek. 13. Přenos jednoho signálu po lince RS485 nebo RS422.....	29
Obrázek. 14. Provedení nevětvené linky RS422.....	29
Obrázek. 15. Provedení nevětvené linky RS 485.....	30
Obrázek. 16. Konektory USB.....	33
Obrázek. 17. Datový tok IrDA a RS 232.....	35
Obrázek. 18. Topologie BlueTooth.....	37
Obrázek. 19. Topologie sítě ZigBee.....	40
Obrázek. 20. GPIB konektor 25-pin D-SUB.....	43
Obrázek. 21. Typy zařízení GPIB.....	44
Obrázek. 22. Schéma sběrnice CAN.....	46
Obrázek. 23. Datový rámec CAN 2.0A.....	50
Obrázek. 24. Chybový rámec CAN.....	51
Obrázek. 25. Zpráva o přetížení CAN.....	51
Obrázek. 26. Definice vrstev standardu FF a vztah vůči modelu OSI.....	53
Obrázek. 27. Kódování dat zprávy a znaků záhlaví, start/konec.....	54
Obrázek. 28. Varianta H1 - zapojení a kódování signálů.....	55
Obrázek. 29. Topologie sítě FF varianty H1.....	55

<i>Obrázek. 30. Varianta H2 - zapojení a kódování signálů. ....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek. 31. Varianta H2 pro nebezpečné prostředí. ....</i>	<i>56</i>
<i>Obrázek. 32. Typy zařízení na sběrnici FF. ....</i>	<i>58</i>
<i>Obrázek. 33. Struktura aplikační vrstvy v zařízení FF. ....</i>	<i>60</i>
<i>Obrázek. 34. Formáty rámců. ....</i>	<i>67</i>
<i>Obrázek. 35. Struktura sběrnice Measurement Bus. ....</i>	<i>70</i>
<i>Obrázek. 36. Struktura přenášeného znaku. ....</i>	<i>71</i>
<i>Obrázek. 37. Virtuální výrobní zařízení. ....</i>	<i>72</i>
<i>Obrázek. 38. Struktura obvodů ASI. ....</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek. 39. Kabel ASI. ....</i>	<i>75</i>
<i>Obrázek. 40. Kódování dat ASI. ....</i>	<i>76</i>
<i>Obrázek. 41. Komunikace ASI. ....</i>	<i>77</i>
<i>Obrázek. 42. Kódování logických úrovní ( FSK Bell 202 ). ....</i>	<i>80</i>
<i>Obrázek. 43. Schéma spojení modulárních systémů. ....</i>	<i>84</i>

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka. 1. Přiřazení pinů D-Type 25 pin konektoru. ....</i>	18
<i>Tabulka. 2. Přiřazení a popis signálů v ECP módu. ....</i>	23
<i>Tabulka. 3. Délka vedení RS 232. ....</i>	25
<i>Tabulka. 4. Napěťové úrovně RS 232. ....</i>	26
<i>Tabulka. 5. Popis signálů RS 232. ....</i>	26
<i>Tabulka. 6. Přiřazení pinů Cannon 25 a Cannon 9. ....</i>	27
<i>Tabulka. 7. Rozložení pinů GPIB. ....</i>	43
<i>Tabulka. 8. Parametry CAN. ....</i>	47
<i>Tabulka. 9. Základní parametry Variant H1 a H2 ....</i>	56
<i>Tabulka. 10. Maximální délky segmentu bez použití opakovače. ....</i>	63
<i>Tabulka. 11. Řídící pole C. ....</i>	67
<i>Tabulka. 12. Přiřazení pinů konektoru Canon 15. ....</i>	70
<i>Tabulka. 13. Struktura rámce. ....</i>	72
<i>Tabulka. 14. Zpráva řídicí stanice. ....</i>	77
<i>Tabulka. 15. Zpráva účastnické stanice. ....</i>	78
<i>Tabulka. 16. Struktura rámce protokolu HART. ....</i>	82
<i>Tabulka. 17. Paralelní sběrnice. ....</i>	90
<i>Tabulka. 18. Seriové sběrnice. ....</i>	91
<i>Tabulka. 19. Bezdrátové sběrnice. ....</i>	91
<i>Tabulka. 20. Průmyslové komunikační systémy. ....</i>	92
<i>Tabulka. 21. Průmyslové komunikační systémy. ....</i>	93

