

4 PRIEMYSELNÉ KOMUNIKAČNÉ ZBERNICE

Ciele

- Naučiť sa čo je to „priemyselná komunikačná zbernica“,
- naučiť sa základné vlastnosti priemyselných komunikačných zberníc,
- pochopiť postavenie priemyselných komunikačných zberníc v modeli ISO/OSI,
- oboznámiť sa s metódami prenosu údajov medzi zariadeniami v systémoch s priemyselnými komunikačnými zbernicami,
- oboznámiť sa s vybranými štandardmi priemyselných komunikačných zberníc.

4.1 Úvod

Priemyselné komunikačné zbernice sa v anglosaskej literatúre označujú pojmom „fieldbus“, ktorý bol odvodený z nemeckého „feldbus“ („prevádzková zbernica“). Používajú sa na spodných úrovniach automatizovaného výrobného systému. Sú to úrovne zariadení a dielne na Obr.1.1, kapitola 1: *Komunikácia v priemyselnej automatizácii*.

Priemyselné komunikačné zbernice boli pôvodne vyvinuté s cieľom nahradiť prúdovú slučku číslicovým rozhraním za účelom prenosu informácií medzi inteligentnými prevádzkovými prístrojmi a zariadeniami a vyššou úrovňou riadenia. Prenášajú sa nimi krátke bloky dát na úrovni snímačov, akčných členov a regulátorov.

Systémy s priemyselnými komunikačnými zbernicami sa vyznačujú nasledovnými vlastnosťami:

- *Flexibilita a modularita* – systém s priemyselnou komunikačnou zbernicou je jednoduchšie rozširiteľný ako centralizovaný systém.
- *Konfigurovateľnosť* – komunikačná sieť umožňuje parametrizáciu a konfiguráciu prevádzkových prístrojov, čo uľahčuje inštaláciu systému a jeho uvedenie do prevádzky. Konfigurovateľnosť prostredníctvom komunikačnej siete je základným predpokladom pre použitie inteligentných prevádzkových prístrojov.
- *Udržiavateľnosť* – použitie priemyselnej komunikačnej zbernice umožňuje monitorovanie prístrojov a zariadení, zavádzanie mikroprogramového vybavenia.

- *Distribuovanosť* – komunikačná sieť je základným predpokladom pre implementáciu distribuovaných systémov. Spracovanie údajov nemusí byť realizované v centrálnej riadiacej jednotke, ale sa môže vykonávať v prevádzkových prístrojoch.

Vznik a vývoj priemyselných komunikačných zberníc

Za prvú priemyselnú komunikačnú zbernicu je možné považovať zbernicu MIL-STD-1553, ktorá vznikla v roku 1970 a neskôr bola štandardizovaná ministerstvom obrany USA. Postupne začali vznikať ďalšie priemyselné komunikačné zbernice určené pre automobilový priemysel a automatizáciu v priemysle. V týchto komunikačných zberniciach boli implementované spodné dve vrstvy modelu OSI – fyzická a linková vrstva. Protokoly aplikačnej vrstvy boli pridávané postupne tak, aby spĺňali požiadavky určitej oblasti aplikácií. Typickým príkladom je komunikačná zbernica CAN, ktorá vznikla začiatkom 80-tych rokov minulého storočia na pôde firmy Bosch GmbH a bola určená pre použitie v riadiacich systémoch automobilov. Mala implementovanú len fyzickú a linkovú vrstvu, čo postačovalo pre použitie v automobiloch. Pre aplikácie v priemyselnej automatizácii sú však potrebné aj funkcie aplikačnej vrstvy a tak bola táto komunikačná zbernica neskôr doplnená aj o protokoly aplikačnej vrstvy (tak vznikli napríklad CANopen, SDS a DeviceNet).

V 80-tych rokoch minulého storočia nastal boom zavádzania priemyselných komunikačných zberníc. Vzniklo množstvo špeciálnych zberníc a následkom bola nízka zameniteľnosť zariadení rôznych výrobcov. V dôsledku toho nastal proces prirodzenej selekcie najživotaschopnejších typov priemyselných komunikačných zberníc, vznik štandardov a snahy o vytvorenie jediného štandardu priemyselnej komunikačnej zbernice, ktoré však neboli úspešné.

4.2 Základné vlastnosti priemyselných komunikačných zberníc

Základné vlastnosti priemyselných zberníc je možné zhrnúť nasledovne:

- prenášajú veľké množstvo krátkych blokov údajov,
- prenosová rýchlosť je v porovnaní s lokálnymi sieťami nízka (do 12 Mbit/s, v systémoch s priemyselným Ethernetom do 100 Mbit/s), ale pomerne veľký rozsah vzdialeností (desiatky metrov až niekoľko kilometrov),
- časová synchronizácia činnosti zariadení pripojených na komunikačnú zbernicu (na úrovni mikrosekúnd),
- jednoduchá inštalácia, ktorú vykonávajú školení pracovníci,
- vysoká integrita (vysoký stupeň ošetrovania porúch prenosu údajov).

4.3 Postavenie priemyselných komunikačných zberníc v referenčnom modeli ISO/OSI

Pre činnosť priemyselných komunikačných zberníc nie sú potrebné (ani žiaduce) všetky vrstvy modelu OSI. Používajú sa nasledovné vrstvy modelu OSI:

Fyzická vrstva realizuje prenos jednotlivých bitov na úrovni signálov. Na úrovni fyzickej vrstvy má každá komunikačná zbernica definované fyzické charakteristiky komunikačných obvodov: typ prenosového média (médií), napäťové úrovne, veľkosť zaťažovacích prúdov, prenosovú rýchlosť, topológiu, vlastnosti prijímačov zbernice (prijímače optických signálov), maximálny počet pripojiteľných zariadení (uzlov) a pod.

Linková vrstva realizuje komunikáciu medzi zariadeniami, medzi ktorými je signálové spojenie (prenos rámcov). Riadi prístup na prenosové médium.

Aplikačná vrstva zabezpečuje preklad požiadaviek užívateľskej vrstvy do linkovej vrstvy. Umožňuje prístup do množiny komunikačných služieb podporujúcich činnosť distribuovaných systémov. Realizuje prenos veličín a ich správu. Môžu v nej byť implementované príkazy na prácu so zariadením (parametrizácia zariadenia, diagnostika a pod.).



Obr. 4.1 Vrstvový model priemyselnej komunikačnej zbernice s vyznačením pozície vrstiev vo vrstvomom modeli OSI (užívateľská vrstva nie je súčasťou modelu OSI)

V **užívateľskej vrstve** je definovaná štruktúra zberu údajov a riadiace funkcie zariadenia pripojeného na priemyselnú zbernicu. Môžu v nej byť definované funkčné bloky zariadení, opis zariadení vo formálnom jazyku a spôsoby komunikácie s rôznymi typmi zariadení (napr. snímačmi, pohonmi a pod.). Umožňuje interoperabilitu zariadení.

Systémový a sieťový management poskytuje metódy pre konfiguráciu zbernice a zotavenie sa z porúch. Monitoruje a riadi činnosť jednotlivých častí zbernice.

4.4 Metódy prenosu údajov

Master/slave

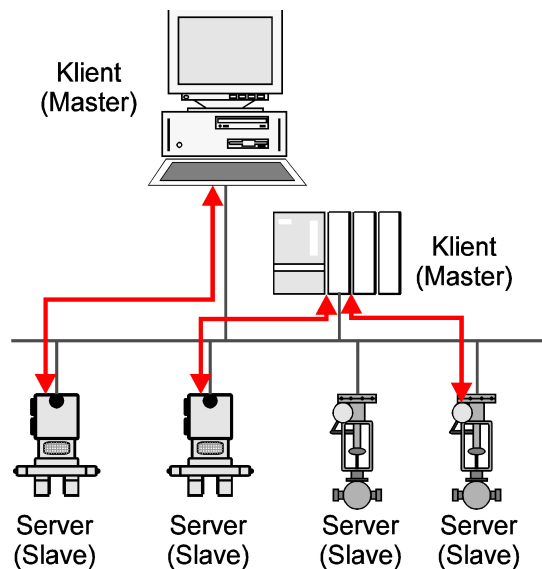
Zariadenie master (napr. PLC) vysiela požiadavku na prenos údajov zariadeniu slave (napr. snímač, akčný člen). Adresovaný (oslovený) slave následne odpovedá na požiadavku. Príklady metódy prenosu master/slave: 1) acyklický prenos údajov na

zbernici Profibus DP pri prenose konfiguračných údajov z PLC do frekvenčného meniča, 2) cyklické čítanie údajov zo snímača polohy do riadiaceho PLC a následné vyslanie akčného zásahu (hodnoty žiadanej frekvencie) do frekvenčného meniča.

Klient/server

V zberniciach, v ktorých nie sú jednoznačne definované zariadenia master a slave (napr. Foundation Fieldbus), sa táto metóda prenosu nazýva „*klient/server*“. Zariadenie vystupujúce vo funkcii klient žiada o prenos údajov a zariadenie server odpovedá.

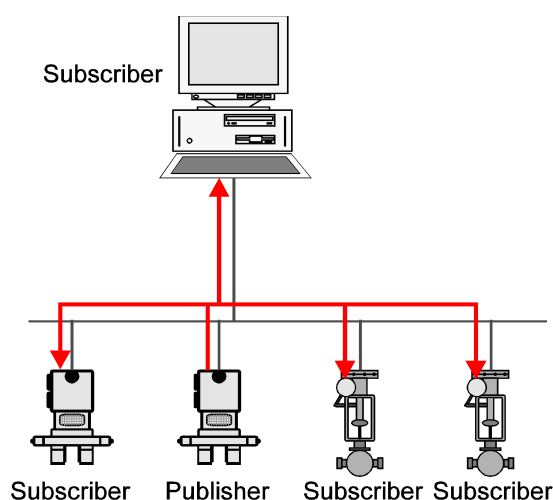
Možné použitie metódy klient/server: acyklický prenos údajov medzi prístrojom (zariadením na zbernici - server) a pracoviskom operátora (klient) – prenos konfiguračných údajov, monitorovanie a vizualizácia.



Obr. 4.2 Prenos údajov na základe metódy „klient/server“ („master/slave“)

Publisher/ subscriber

Zariadenie, ktoré vystupuje vo funkcii „publisher“ vysiela hodnotu, ktorú má možnosť prijať niekoľko zariadení súčasne a ktoré vystupujú vo funkcii „subscribers“. Výhodou je, že prenášaná hodnota je prenesená do viacerých zariadení súčasne. Táto metóda prenosu údajov sa používa vo Foundation Fieldbus pri spätnoväzobnom riadení (closed-loop control).



Publisher si pamätá zariadenia, ktoré vystupujú ako príjemcovia jeho správ (subscriber): ak chce určité zariadenie získať tieto správy, vyšle požiadavku do zariadenia publisher, ktoré ho zaradí do zoznamu príjemcov.

Pri prenose správ sa používa skupinová adresácia.

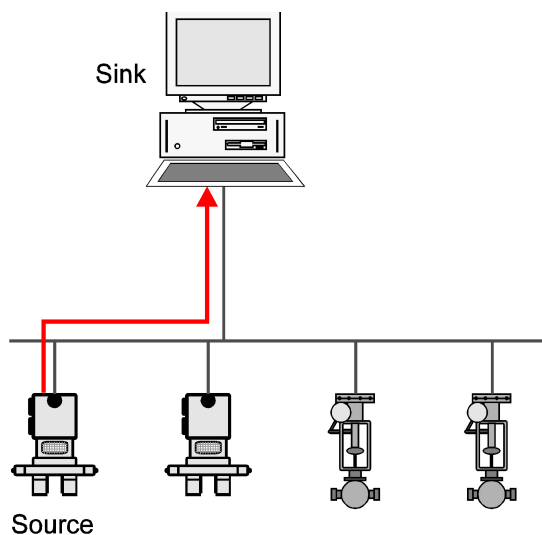
Obr.4.3 Prenos údajov metódou „publisher/subscriber“

Ak sú údaje prenášané medzi zariadeniami priamo, bez nutnosti ich prenosu cez zariadenie master, takýto prenos sa označuje „*peer-to-peer*“.

Možné použitie metódy publisher/subscriber: cyklický prenos procesnej veličiny zo snímača.

Prenos údajov bez vyžiadania (source/sink)

Zariadenie, ktoré vystupuje vo funkcii „source“ vysiela správu zariadeniu „sink“, bez vyžiadania tejto správy zariadením „sink“. Prenos údajov je realizovaný acyklicky, napríklad pri výskyte alarmu. Použitie: prenos alarmov a údajov o poruchách zo zariadení na panel operátora, pri výskyte porúch.



Obr.4.4 Prenos údajov bez vyžiadania

4.5 Štandardy priemyselných komunikačných zberníc

Medzinárodná elektrotechnická komisia v normách IEC 61158 a IEC 61784-1 štandardizovala nasledovné komunikačné siete a komunikačné profily pre použitie v priemyselných riadiacich systémoch: Foundation Fieldbus, ControlNet, Profibus, P-net, Swiftnet, WorldFip, Interbus, Ethernet/IP, PROFINet. Samozrejme v praxi sa používajú aj iné priemyselné komunikačné zbernice, ktoré sú štandardizované v národných normách, alebo európskej norme CENELEC (napríklad CANOpen), prípadne sú štandardami „de facto“ (napríklad HART) – to znamená, že nie sú štandardizované normou, ale napriek tomu sú používané a podporované rôznymi výrobcami prístrojov a zariadení.

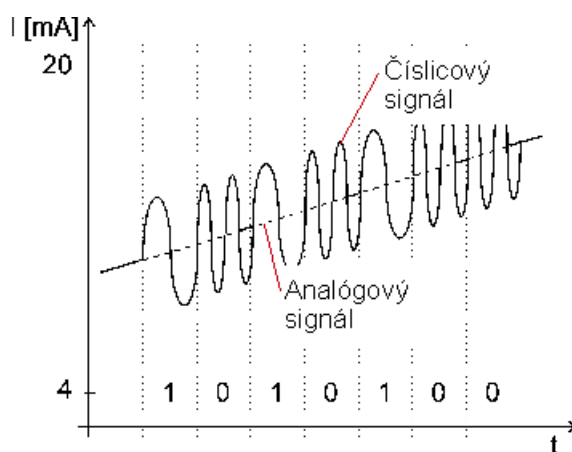
4.5.1 Protokol HART

Protokol HART¹ bol vyvinutý koncom osemdesiatych rokov dvadsiateho storočia firmou Rosemount Inc. K jeho širšiemu nasadeniu došlo začiatkom deväťdesiatych rokov dvadsiateho storočia.

Na rozdiel od ostatných priemyselných komunikačných zberníc (napríklad nižšie uvedená zbernica AS-i, alebo CAN a PROFIBUS), ktoré sú plne číslicové, HART predstavuje kombináciu analógovej a číslicovej technológie. Umožňuje totiž prenos jednej analógovej veličiny, zvyčajne hlavnej veličiny prevádzkového prístroja spolu s číslicovou informáciou, ktorá sa môže využívať pri diagnostike, alebo kalibrácii prístroja, alebo môže ísť o hlavnú procesnú veličinu v číslicovom tvare.

Fyzická vrstva HART

Na úrovni fyzickej vrstvy HART využíva prúdovú slučku 4 - 20 mA. Komunikačný protokol HART vychádza z normy Bell 202. Na reprezentáciu číslicových signálov na prenosovom médiu sa používa kľúčovanie s frekvenčným posunom (skratka FSK – Frequency Shift Keying). Princíp je na Obr.4.5.

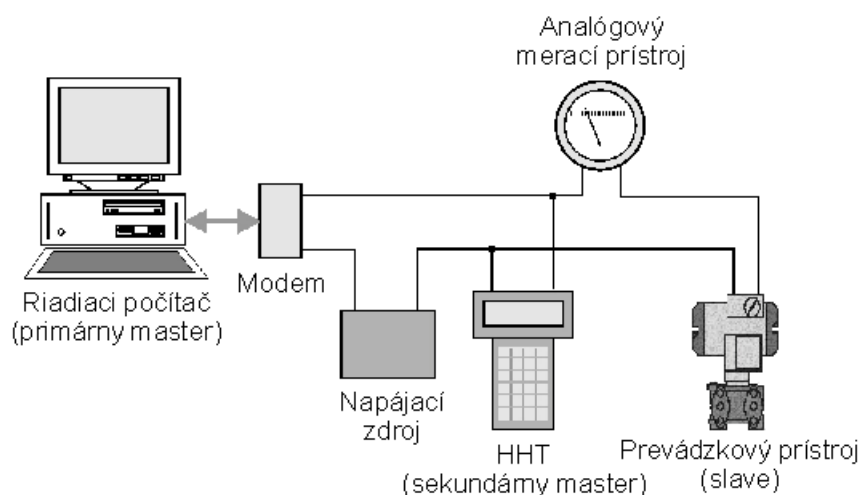


Obr.4.5 Prenos analógovej aj číslicovej informácie pomocou FSK

Prenášané logické úrovne majú pridelené frekvencie 1200 Hz (log. 1) a 2200 Hz (log. 0). Harmonický signál s týmito frekvenciami je nasuperponovaný na analógový

¹ Skratka HART znamená **H**ighway **A**ddressable **R**emote **T**ransducer.

signál 4 – 20 mA (amplitúda harmonického signálu je 0,5 mA). Pretože stredná hodnota sínusového signálu je nulová, tak analógový signál 4 – 20 mA nie je prenosom číslicového signálu ovplyvnený. Prenosová rýchlosť je 1,2 Kbps a prenos jednej procesnej veličiny trvá 0,3 až 0,5 sekundy. Na Obr.4.6 je aplikácia s jedným prevádzkovým prístrojom, ktorý je prepojený s riadiacim počítačom.



Obr.4.6 Typická konfigurácia HART s inteligentným prevádzkovým prístrojom, ktorý komunikuje s riadiacim počítačom a môže byť konfigurovaný aj lokálne ručným terminálom (HHT)

Linková vrstva HART

Na prenos údajov medzi prevádzkovými prístrojmi a riadiacou jednotkou (alebo nadradeným systémom) sa používa metóda master/slave. Komunikáciu riadi zariadenie master a zariadenie slave mu odpovedá. V sieti zariadení sa môžu vyskytovať dve zariadenia typu master. Tzv. primárny master, ktorým môže byť napríklad nadradený riadiaci systém. Ďalej sa môže v sieti nachádzať tzv. sekundárny master, ktorým je ručný terminál (viď zariadenie HHT na Obr.4.6). Zariadeniami slave sú prevádzkové prístroje (snímače, akčné členy), ktorých môže byť v sieti maximálne 15 (ide o tzv. režim Multidrop, kedy nie je možný prenos analógového signálu).

Aplikačná vrstva HART

V aplikačnej vrstve HART je definovaná množina príkazov, ktoré umožňujú jednotný spôsob komunikácie s rôznymi prevádzkovými prístrojmi. Príkazy aplikačnej vrstvy HART sú rozdelené do troch skupín:

- Univerzálne príkazy, ktoré sú implementované v každom prístroji, napríklad načítanie meranej veličiny aj jej jednotiek a pod.
- Všeobecne používané príkazy, ktoré sú implementované vo väčšine, ale nie vo všetkých prístrojoch. Napríklad zápis hodnôt rozsahov prístroja, kalibrácia a iné.
- Špecifické príkazy, ktoré sú určené len pre daný prístroj. Tieto príkazy sprístupňujú informácie o kalibrácii a nastavení, ale tiež informácie o konštrukcii prístroja.

DDL – Jazyk na opis prevádzkového prístroja

DDL je formálny jazyk, ktorým výrobca vytvorí opis svojho prístroja z hľadiska komunikačného protokolu HART. Takýto opis sa použije v univerzálnom konfiguračnom zariadení, ktoré na jeho základe umožní konfiguráciu prístroja. To znamená, že pre každý prístroj musí jeho výrobca vytvoriť opis v jazyku DDL. Z pohľadu modelu OSI, DDL vytvára nadradenú, užívateľskú vrstvu nad aplikačnou vrstvou.

Zhrnutie

Komunikačný protokol HART predstavuje medzistupeň od analógových systémov s prúdovou slučkou k plne číslicovej automatizácii. Uplatní sa hlavne tam, kde sa nevyžadujú vysoké prenosové rýchlosti, pričom sa môžu využiť existujúce vedenia.

Protokolom HART dokážu komunikovať rôzne typy prístrojov od jednoduchých na meranie teploty, tlaku, alebo hladiny, cez zložitejšie (prietok), až po komplexné analytické prístroje na meranie pH a vodivosti a akčné členy.

4.5.2 AS-Interface

Komunikačná zbernica AS-Interface (Actuator Sensor Interface) vznikla v prvej polovici 90. rokov a na jej vytváraní sa podieľalo 11 výrobcov automatizačných zariadení. Je štandardizovaná medzinárodnou normou IEC 62026 a európskou normou EN 50295.

Jej hlavným účelom je zjednodušiť pripojenie veľkého množstva binárnych jednotiek (binárne snímače a akčné členy, ale aj ovládacie prvky – tlačidlá, indikačné prvky a pod.), ktorých zapojenie by si inak vyžadovalo veľké množstvo paralelných vodičov.

Zbernica AS-i bola navrhnutá tak, aby spĺňala nasledovné kritériá:

- pripojiteľnosť prevádzkových prístrojov rôznych výrobcov,
- použitie lacného dvojvodičového kábla ako prenosového média,
- možnosť zostavenia ľubovoľnej topológie (zbernica, strom, kruh, hviezda),
- prenos údajov aj napájania jedným párom vodičov,
- vysoká spoľahlivosť v priemyselnom prostredí,
- doba odozvy približne 5 ms,
- počet adresovateľných bitov v každom uzle: 3 až 4,
- jednoduchá realizácia elektronických obvodov na pripojenie zariadenia na zbernicu,
- nízke náklady na jeden uzol siete,
- jednoduchá inštalácia zariadenia, jednoduchá lokalizácia a odstraňovanie porúch.

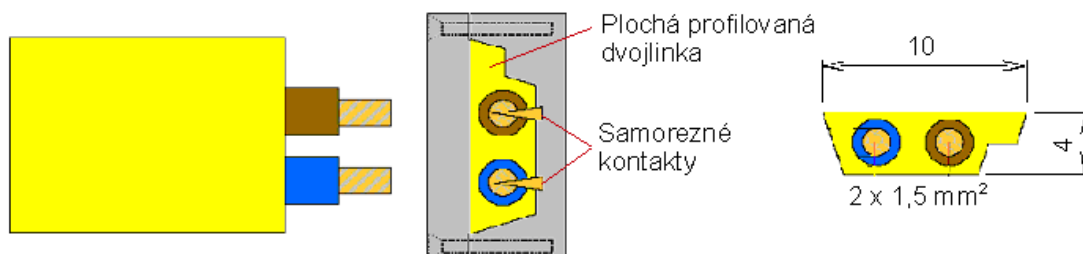
Keďže zbernica je určená najmä pre binárne prvky, v jednom cykle sa prenášajú iba 4 bity, ale existujú aj analógové moduly s 12-bitovým rozlíšením, pričom prenos sa realizuje v niekoľkých cykloch.

Na zbernici musí byť jedno zariadenie typu master, ktoré riadi komunikáciu a niekoľko zariadení typu slave, ktoré vysielajú údaje na zbernicu len na žiadosť zariadenia master. Existujú tri verzie AS-Interface:

- pôvodná verzia 2.0, ktorá umožňuje prepojiť jedno zariadenie master a 32 zariadení slave,
- novšia verzia 2.1 (vznikla v r. 2001), ktorá umožňuje prepojiť zariadenie master a 62 zariadení slave.
- najnovšia verzia 3.0 umožňuje prenos 1000 digitálnych hodnôt a zrýchlenie prenosu analógových hodnôt.

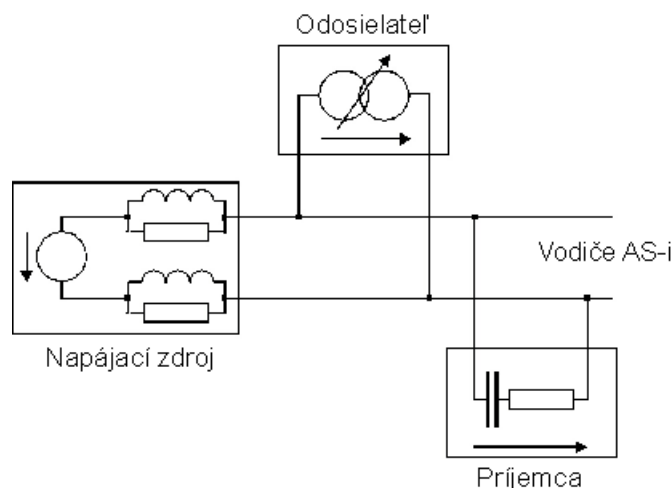
Fyzická vrstva AS-Interface

Charakteristickým znakom AS-Interface je netienená žltá profilovaná dvojlínka (viď Obr.4.7), ktorá znemožňuje prepólovanie pri montáži. Moduly sa na zbernicu pripájajú samoreznými kontaktmi, pričom izolácia dvojlínky má regeneračnú schopnosť.



Obr.4.7 Profilovaná plochá dvojlínka pre AS-Interface a pripojenie zariadenia pomocou samorezných kontaktov

Profilovaná dvojlínka slúži nielen na prenos údajov, ale zároveň aj na napájanie pripojených zariadení zo špeciálneho napájacieho zdroja s výstupným napätím 30 V.



Obr.4.8 Pripojenie napájacieho zdroja a AS-i modulov na prenosové médium

Na Obr.4.8 je pripojenie napájacieho zdroja a komunikujúcich zariadení na prenosové médium. Údaje sa vysielajú na zbernicu prostredníctvom zmien odberu prúdu na strane odosielača, ktoré vďaka výstupnej indukčnosti napájacieho zdroja vytvárajú na zbernici napäťové impulzy a tie potom ostatné zariadenia prijímajú. Generovaný

signál nemá strmé hrany, čo má za následok zníženie vyžarovania EMC a zvýšenie odolnosti voči rušeniu. Zbernica si dokonca nevyžaduje ani ukončenie ukončovacími odpormi.

Dosahovaná prenosová rýchlosť je 167 Kbps.

Linková vrstva AS-Interface

Ako je uvedené vyššie, prenos údajov medzi zariadeniami je realizovaný metódou master/slave. Jedno zariadenie na zbernici AS-i je master, ostatné zariadenia sú zariadenia typu slave. Master cyklicky vyzýva zariadenia slave o prenos údajov. Každé zariadenie v rámci jedného cyklu umožňuje sprístupniť 3 až 4 bity informácie.

Každému zariadeniu je pridelená adresa, ktorú používa master pri komunikácii so zariadeniami slave. Na nastavenie adresy v zariadení slave slúži špeciálne zariadenie – adresovací prístroj, avšak pridelenie adresy je možné realizovať aj pomocou niektorých zariadení master.

Metódy detekcie chýb zbernice AS-i umožňujú detekovať všetky jednoduché chyby a všetky zhluky chýb s dĺžkou 2, alebo 3 bity. Zhluky chýb s dĺžkou 4 a 5 bitov sú detekované s pravdepodobnosťou 99,9999 % [5].

AS-i moduly

Zariadenia na zbernici AS-i je možné rozdeliť do nasledovných kategórií:

- Master – môže ním byť napríklad programovateľný logický automat, alebo brána slúžiaca na prepojenie zbernice AS-i s inou priemyselnou komunikačnou zbernicou.
- Slave – napríklad vstupno/výstupné analógové a binárne moduly, tlačidlá, signalizačné prvky, snímače a pod.
- Opakovač (angl. Repeater) – prepája segmenty zbernice AS-i.
- Posilňovač (angl. Extender) - umožňuje pripojiť zariadenie master do vzdialenosti väčšej ako 100 m (pretože segment AS-i môže mať dĺžku max 100 m).

Zhrnutie

Komunikačná zbernica AS-Interface je určená predovšetkým na prenos údajov z/do binárnych jednotiek. Medzi výhody tejto zbernice patrí skutočnosť, že prepojovacie dvojvodičové vedenie slúži na prenos číslícovej informácie aj napájania. Ďalej, pripojenie nových zariadení je zjednodušené použitím samorezných konektorov, pričom nové moduly je možné pridávať na zbernicu počas prevádzky.

Zbernica AS-interfce nie je vhodná do prostredia s nebezpečenstvom výbuchu a takisto je problematické jej použitie v aplikáciách, ktoré si vyžadujú dĺžku trvania komunikačného cyklu pod 1 ms, pri požiadavke veľkého počtu vstupov a výstupov.

4.5.3 CAN

Zbernica CAN (skratka Controller Area Network) vznikla v osemdesiatych rokoch dvadsiateho storočia na základe spolupráce pracovníkov firiem Robert Bosch GmbH a Mercedes Benz. V roku 1994 bol protokol linkovej vrstvy CAN štandardizovaný normou ISO 11898-1. Priemyselná komunikačná zbernica CAN bola navrhnutá pre

použitie v automobilovom priemysle, avšak postupne sa začala nasadzovať aj v iných oblastiach automatizácie, s rôznymi protokolmi aplikačnej vrstvy.

Fyzická vrstva CAN

Fyzická vrstva zbernice CAN je opísaná v normách ISO 11898-2, ISO 11898-3, SAE J2411 a ISO 1192. Uvedené normy definujú spôsob realizácie a vlastnosti fyzickej vrstvy pre metalické prenosové médiá (tíenená, alebo netíenená krútená dvojlinka). Údaje sú kódované kódom NRZ, kedy je hodnota jedného bitu reprezentovaná vysokou, alebo nízkou úrovňou signálu. Topológia je zbernica alebo hviezda. Maximálna dĺžka zbernice je závislá na prenosovej rýchlosti (maximálna dĺžka zbernice je 6 000 m, pri prenosovej rýchlosti 10 Kbps).

V tabuľke 1 sú uvedené prenosové rýchlosti zbernice CAN podľa noriem ISO a SAE.

Tabuľka 1

Normy pre fyzickú vrstvu zbernice CAN

Norma	Max. prenosová rýchlosť	Oblasť použitia
ISO 11898-2	1 Mbit/s	Automobilový a iný priemysel
ISO 11898-3 (CAN odolný voči poruchám)	125 Kbit/s	Palubná elektronika automobilu
SAE J2411	33,3 Kbit/s	Komfortná elektronika automobilu
ISO 1192 (dvojbodové spojenie)	125 Kbit/s	Napríklad prepojenie ťahača s návesom

Okrem metalických médií sa na prepojenie zariadení môžu použiť aj optické káble, napájacie vodiče a bezdrôtový prenos.

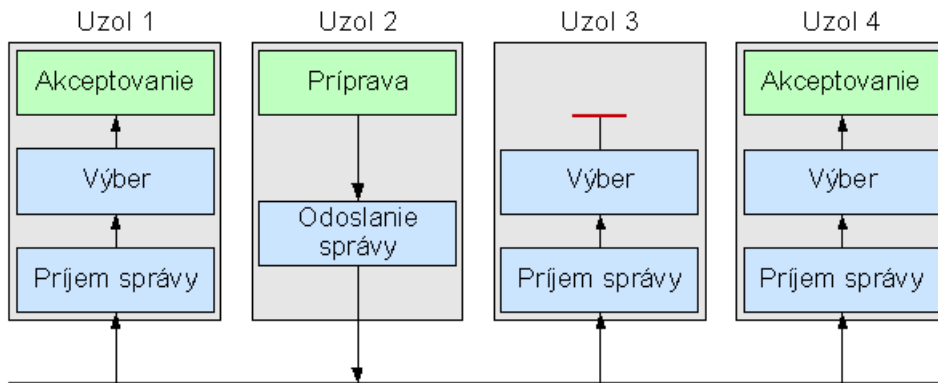
Linková vrstva CAN

Ako je uvedené vyššie, protokol linkovej vrstvy je definovaný normou ISO 11898-1, ktorá definuje spôsob prenosu údajov na zbernici CAN. Prenášané správy sú identifikované na základe identifikátora, ktorý zároveň určuje prioritu. Každá premenná (napríklad teplota motora), ktorá sa zbernicou prenáša má pridelený identifikátor a tým aj prioritu. Jednotlivé zariadenia prijaté správy prijímajú, alebo odmietajú na základe identifikátora správy. Identifikátor správy môže mať dĺžku 11 bitov (základný formát rámcov), alebo 29 bitov (rozšírený formát rámcov), pričom na jednej sieti je možné prenášať správy s 11, aj 29 bitovými identifikátormi.

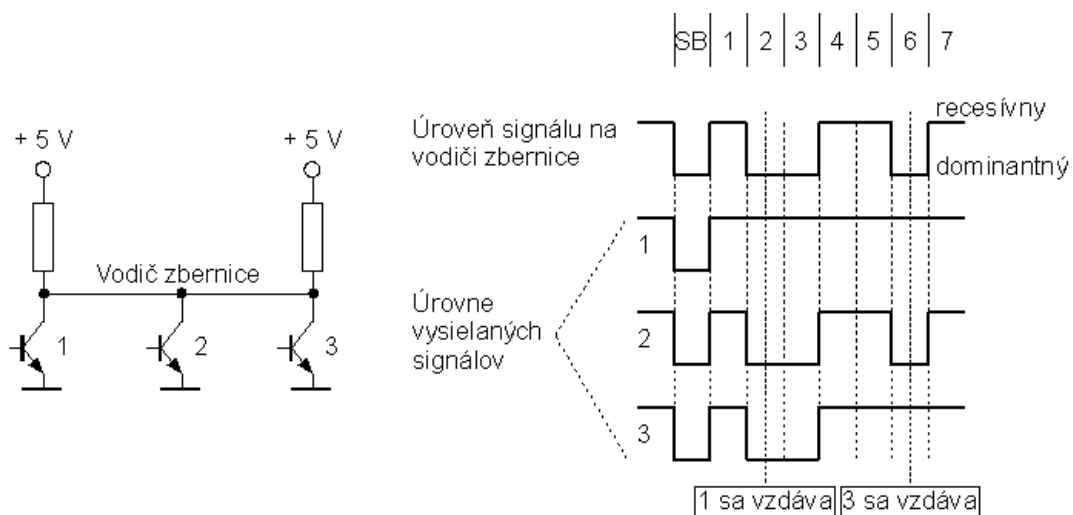
Prístup na zbernicu zabezpečuje prístupová metóda CSMA/CD+AMP s nedeštruktívnym, bitovo orientovaným pridelovaním. Každé zariadenie, ktoré má pripravené údaje na odoslanie začína vysielanie údajov v okamihu kľudu na zbernici (keď nevysiela žiadne iné zariadenie). V prípade kolízie (ak súčasne začne vysielat niekoľko zariadení), súboj o prístup na prenosové médium vyhrá zariadenie, ktorého identifikátor má najvyššiu prioritu. Princíp prístupovej metódy CSMA/CD+AMP je vysvetlený na Obr.4.10.

V príklade na Obr.4.10 sú na vodič zbernice pripojené výstupné tranzistory budičov zbernice troch uzlov s označením 1, 2, 3. To znamená, že tranzistor „1“ je výstupným tranzistorom budiča zbernice uzla 1, tranzistor „2“ je výstupným tranzistorom budiča zbernice uzla 2 a tranzistor „3“ je výstupným tranzistorom budiča zbernice uzla 3.

Priebehy v pravej časti obrázku ilustrujú situáciu keď chcú všetky uzly odoslať správu súčasne.



Obr.4.9 Vyslanie a príjem správy uzlami CAN



Obr.4.10 Princíp nedeštruktívneho bitovo orientovaného pridelovania zbernice CAN

Začiatok každej správy tvorí štart bit a identifikátor s pevným počtom bitov. Na Obr.4.10 je štart bit označený SB a bity identifikátora sú označené číslicami 1 až 7 nad priebehmi signálov. Najvyšší bit identifikátora je vysielaný na zbernicu ako prvý. Čím je hodnota identifikátora nižšia, tým vyššia je priorita správy. Prístup na zbernicu by teda mal získať uzol, ktorý vysielá správu s najnižším identifikátorom. Na obrázku 10 začínajú všetky 3 správy úrovňou nula (štart bit). Úroveň signálu na zbernici je „0“ („dominantná“ úroveň). Všetky vysielajúce uzly zároveň sledujú úroveň signálu na zbernici. Keďže na zbernici je tá istá úroveň ktorú vysielali, začnú všetky tri uzly vysielat' 1. bit identifikátora. U všetkých uzlov je tento bit jednotkový, na zbernici sa objaví úroveň „1“ („recesívna“ úroveň) a tak uzly začnú vysielat' aj druhý bit. Ten je v prípade uzla 1 jednotkový, u ostatných uzlov je nulový. Na zbernici bude „0“. Uzol 1 zistí nezhodu medzi úrovňou na zbernici a hodnotu bitu, ktorý vyslal, prestane ďalej vysielat' na zbernicu a prejde do stavu príjmu. Nasledujú tri zhodné bity identifikátorov vysielaných uzlami 2 a 3. Po týchto troch zhodných bitoch vysielá uzol 2 úroveň „0“ a uzol 3 úroveň „1“. Dominantná je úroveň „0“, ktorú vysielá uzol 2 a preto uzol 3 prestane vysielat' a vo vysielaní pokračuje len uzol 2.

V porovnaní s prístupovou metódou CSMA/CD používanou v sieťach Ethernet, uvedená prístupová metóda zaručuje uzlu so správou s maximálnou prioritou

okamžitý prístup na zbernicu, bez zbytočných prestojov vznikajúcich pri vzniku kolízie v metóde CSMA/CD.

Požiadavky na vysielanie sú spracovávané v závislosti na dôležitosti prenášaných správ, čo je veľmi dôležité pri zvýšenej prevádzke na zbernici. Z toho dôvodu je možné zaručiť nízke čakacie doby v systémoch pracujúcich v reálnom čase.

Rámce CAN

Ako bolo uvedené vyššie jednotlivé uzly (zariadenia) pripojené na zbernicu CAN si vymieňajú správy. Obsah tejto správy môže pozostávať z identifikátora, hodnoty veličiny ktorú reprezentuje identifikátor a ďalších informácií určených na správne dekódovanie správy jej príjemcom a na detekciu chýb vzniknutých pri prenose správy. Formát týchto správ je definovaný na úrovni linkovej vrstvy a samotné správy sa nazývajú rámce.

Protokol CAN definuje štyri typy rámcov:

- *údajový rámec*
- *chybový rámec* – ak nejaké zariadenie pri príjme údajov zistí, že sú poškodené, tak vyšle chybový rámec (vyšlú ho všetky zariadenia, ktoré zaregistrujú chybu). Odosielateľ správy vyšle údaj znova.
- *vzdialený rámec* – žiadosť o vyslanie údajov typu uvedeného v identifikátore rámcu. Má podobný formát ako údajový rámec, chyba mu však údajové pole a bit RTR je recesívny.
- *preťaženie* (zahltenie) – vysielala ho preťažené zariadenie, ktoré nestíha čítať údaje zo zbernice (s väčšinou CAN radičov k takejto situácii nedochádza).

Formát údajových rámcov

Existujú 2 formáty údajových rámcov, ktoré sa odlišujú dĺžkou identifikátora:

- *štandardný formát* (11-bitový identifikátor) CAN 2.0A
- *rozšírený (extended) formát* (29-bitový identifikátor) CAN 2.0B.

Zariadenie v CAN 2.0B môže byť:

- *aktívne* – rámce prijíma aj vysielala
- *pasívne* – rámce len prijíma (a neakceptuje ich) – „CAN 2.0B passive“.

Rámce v štandardnom formáte majú vyššiu prioritu ako rámce v rozšírenom formáte.

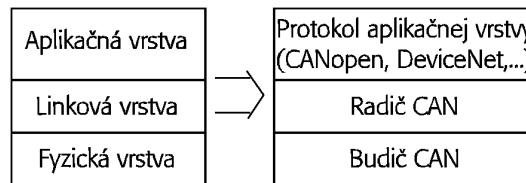
Detekcia a signalizácia chýb

Zbernica CAN bola pôvodne určená pre použitie v prostredí s vysokou úrovňou rušenia a preto pri vývoji protokolu CAN bol kladený dôraz na ošetrovanie chýb prenosu. Používa sa päť metód na detekciu chýb prenosu. Tieto metódy detekcie chýb umožňujú detekovať všetky globálne chyby (to znamená tie, ktoré sa objavia na všetkých uzloch siete). Pravdepodobnosť, že nebude odhalená lokálna chyba, to jest chyba, ktorá sa vyskytne len na niektorých uzloch siete, je 10^{-11} .

Implementácia CAN

K dispozícii sú radiče zbernice CAN s implementovanými protokolmi linkovej vrstvy CAN, ktoré sú realizované ako samostatné integrované obvody, napríklad Intel 82527, Philips 80C200, Siemens 81C90, prípadne sú súčasťou jednočipových

mikropočítačov, mikroprocesorov a DSP, ako napríklad Atmel AT89C51CC03, alebo Texas Instruments TMS320F281x. Na Obr.4.11 je princíp implementácie vrstvomého modelu CAN.



Obr.4.11 Implementácia CAN z pohľadu vrstvomého modelu

Aplikačná vrstva CAN

Pretože špecifikácia CAN definuje len spodné dve vrstvy modelu OSI, pre rôzne typy aplikácií boli vyvinuté a štandardizované nasledovné protokoly aplikačnej vrstvy:

CANopen – protokol určený pre použitie v strojoch s riadením pohybu a štandardizovaný normou EN 50325-4. Špecifikácie CANopen spravuje organizácia CiA (CAN in Automation, <http://www.can-cia.org>).

DeviceNet – protokol určený pre oblasť automatizácie výroby a štandardizovaný normou EN 50325-2. Špecifikácie DeviceNet spravuje organizácia ODVA (Open DeviceNet Vendor Association, <http://www.odva.org>). Protokoly DeviceNet môžu na úrovni nižších vrstiev využívať okrem zbernice CAN aj ControlNet a Ethernet/IP.

SDS – protokol určený pre oblasť automatizácie výroby od firmy Honeywell a štandardizovaný normou EN 50325-3.

SAE J1939 - ISO 11992/ISO 11783 – rodina protokolov fyzickej až aplikačnej vrstvy pre použitie v cestných automobiloch (ISO 11992) a poľnohospodárskych a lesných strojoch (ISO 11783).

Okrem týchto protokolov sa v praxi sa používajú aj iné protokoly aplikačnej vrstvy, napríklad CANKingdom, CAL a iné.

Zhrnutie

Jednotlivé zariadenia pripojené na zbernicu CAN (regulátory, snímače, akčné členy) sú prepojené sériovou zbernicou tvorenou tlenenou, alebo netienenou dvojlinkou. Elektrické parametre fyzickej prenosovej cesty sú špecifikované v normách ISO a SAE. V súčasnosti sú k dispozícii integrované budiče zbernice CAN od rôznych výrobcov.

Protokol CAN, ktorý zodpovedá protokolu linkovej vrstvy referenčného modelu ISO/OSI, spĺňa požiadavky pre aplikácie reálneho času v automatizácii. Dokáže detekovať a opravovať chyby vzniknuté pri prenose údajov vplyvom elektromagnetického rušenia.

Hoci bola zbernica CAN pôvodne navrhnutá pre aplikácie v automobilovom priemysle, uplatnila sa aj v iných aplikáciách, napr. v textilnom priemysle, robotike, v oblasti automatizácie budov, atď.

Zbernica CAN má nasledovné výhody: vysoká spoľahlivosť, vysoká prenosová rýchlosť s krátkou dobou odozvy (najkratšia doba medzi dvomi správami je 47 μs), nízka cena zariadení pripojiteľných na CAN, značná podpora výrobcov hardvéru s

úplnou implementáciou komunikačného protokolu CAN na čipe a jednoduchá rozširiteľnosť.

4.5.4 WorldFIP

Skupina francúzskych, nemeckých a talianskych spoločností pracovala na návrhu zbernice typu Field pod názvom FIP, pričom tento akronym v angličtine znamená Factory Instrumentation Protocol alebo vo francúzštine Flux Information Processus. Neskôr sa začal tento štandard používať pod názvom *WorldFIP*.

Fyzická vrstva WorldFIP

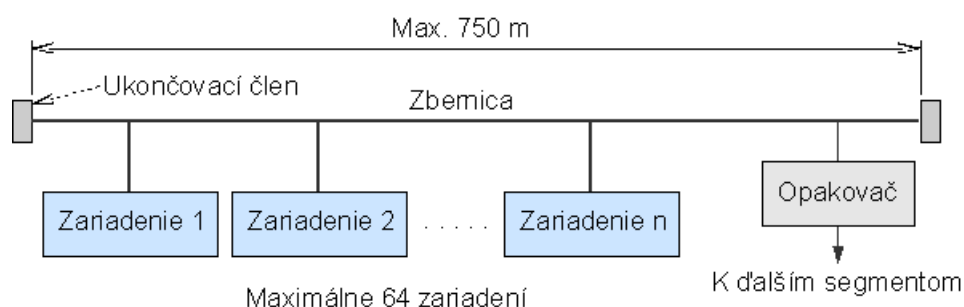
Ako fyzické médium WorldFIP používa:

- *krútenú dvojlinku* podľa špecifikácie IEC 1158-2. Kódovanie Manchester. Prenosová rýchlosť je 31,25 Kbps (dĺžka segmentu max. 1900 m) až 2.5 Mbps (dĺžka segmentu max. 500 m).

Niekoľko segmentov možno prepojiť navzájom pomocou opakovačov, pričom maximálny počet uzlov pripojených na segment je 64 a v celom systéme 256 (4 segmenty).

- *optický kábel*, pričom prenosová rýchlosť je 5 Mbps.

Používané topológie sú zbernica a strom. Prepojenie zariadení pomocou zbernice WorldFIP je uvedené na Obr.4.12. Všetky funkcie rozhrania sú obsiahnuté v špeciálnom integrovanom obvode.



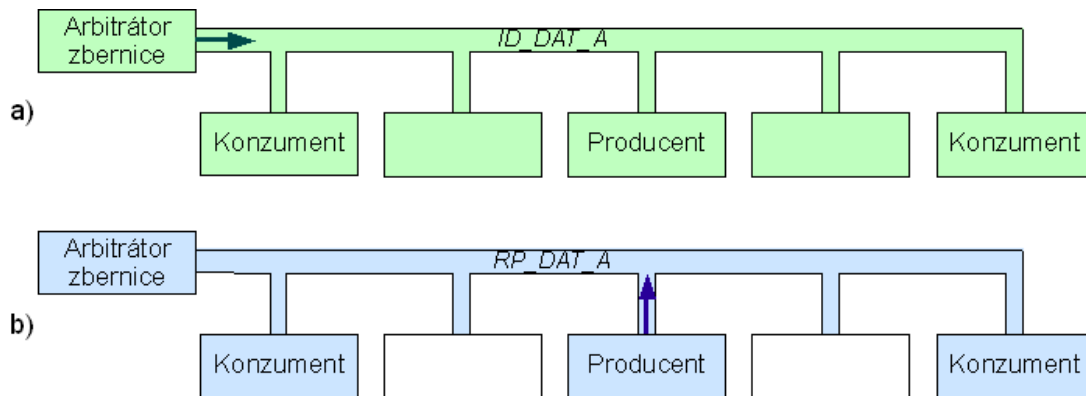
Obr.4.12 Prepojenie zariadení pomocou WorldFIP s prenosovou rýchlosťou 1 Mbit/s

Linková vrstva

WorldFIP používa tzv. metódu vyzývania adresovaním zdrojov. Za riadenie prístupu na zbernicu je zodpovedné zariadenie arbitrátor zbernice („bus arbitrator“), ktoré cyklicky vyzýva všetky zariadenia, ktoré môžu údaje buď produkovať, prijímať alebo kombinovane oboje. Arbitračný obvod obsahuje zoznam všetkých premenných použitých vo všetkých pripojených staniách a každá premenná je definovaná jednoznačnou 16-bitovou adresou (65536 rôznych identifikátorov). Princíp zasielania správ vo WorldFIP je vysvetlený nižšie na Obr.4.13. „Producent“ je zariadenie, ktoré vysiela na zbernicu hodnotu určitej premennej. „Konzument“ je zariadenie, ktoré prijíma hodnotu vysielaanej premennej a spracuje ju.

Keď arbitračný obvod vyšle na zbernicu adresu „A“ (v rámci ID_DAT_A), potom zariadenie, ktoré túto adresu dekóduje, odpovie vyslaním obsahu príslušnej premennej „A“ (rámcem RP_DAT_A). V tom istom okamihu si spotrebiteľská jednotka, ktorá

túto adresu tiež dekódovala, hodnotu premennej zo zbernice prečíta². V danom okamihu môžu ako konzumenti vystupovať viaceré jednotky, ktoré prijímajú tú istú správu. Arbitračný obvod spojitou vyzýva všetky premenné pripojených zariadení. Výsledkom je distribuovaná databáza, v ktorej možno buď ku každej premennej pristupovať prostredníctvom jej identifikátora, alebo sa hodnoty databázy periodicky objavujú na zbernici.



Obr. 4.13 Princíp zasielania správ vo WorldFIP. a) Prenos adresy; b) Odpoveď aktuálnymi údajmi.³

V prípade, že zariadenie, ktoré vysielá premennú (A), potrebuje odoslať správu inému zariadeniu, potom do rámca v ktorom je vysielaná premenná (A), vyznačí požiadavku o prenos správy. Arbitračný obvod zaregistruje požiadavku o odoslanie správy (zaradí ju do radu) a odosielateľovi správy (A) dá povolenie vyselať. Žiadateľ o prenos odosiela správu v rámcoch, v ktorých je zaznamenaná adresa príjemcu aj odosielateľa. Odosielateľ správy po ukončení prenosu oznámi arbitračnému obvodu, že prenos skončil.

Pri konfigurácii systému sa do arbitračného obvodu zapíše tabuľka premenných, ktoré majú byť cyklicky vyzývané spolu s periodicitou ich vyzývania. V prípade správnej činnosti systému, arbitračný obvod cyklicky opakuje vyššie uvedený mechanizmus. Čítanie hodnôt premenných je deterministické. WorldFip dokáže zabezpečiť, že premenná s danou periodicitou bude čítaná v správnom čase. Nasledujúci príklad naznačuje konfiguráciu arbitračného obvodu na zaistenie deterministického čítania premenných.

Arbitračný obvod zabezpečuje čítanie šiestich periodických premenných. Pri každej premennej arbitrátor pozná jej periodicitu v milisekundách a jej typ (napr. integer, reťazec 32 znakov a pod.). S využitím rýchlosti prenosu (v tomto prípade 1 Mbit/s) a doby obrátky, môže arbitračný obvod vypočítať čas potrebný na prenos rámca s adresou premennej (t.j. rámca ID_DAT) a rámca obsahujúceho hodnotu premennej, ktorý odvysielá príslušný producent (rámec RP_DAT), ktorý je v poslednom stĺpci tabuľky. Príklad tabuľky premenných v systéme so zbernicou WorldFip je v tabuľke 2:

² Všetky spotrebiteľské jednotky sledujú čas od prijatia adresy premennej (rámec ID_DAT) až kým sa na zbernici neobjaví hodnota premennej (rámec RP_DAT). V prípade, že neprijmú hodnotu premennej do určitého času, jednotky čakajú na nový rámec s adresou premennej a ostatné rámce ignorujú.

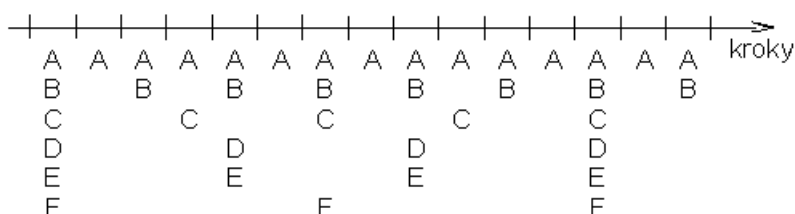
³ Arbitrátor zbernice vysielá identifikátor (16-bitovú logickú adresu) a adresovaná jednotka (producent) odpovedá aktuálnymi údajmi. Konzumenti údaje prijímajú. Informácia o tom, aké údaje ktoré zariadenia používajú, je obsiahnutá v lokálnych tabuľkách, ktoré sú pripravené a do daných zariadení zavedené prostredníctvom arbitrátor zbernice.

Tabuľka 2

Príklad tabuľky premenných v systéme so zbernicou WorldFip

Premenná	Periodicita	Typ	Čas [μ s]
A	5	INT_8	170
B	10	INT_16	178
C	15	OSTR_32	418
D	20	SFPOINT	194
E	20	UNS_32	194
F	30	VSTR_16	290

Obr.4.14 ukazuje možné rozloženie identifikátorov A až F na časovej osi ako funkciu periodicity každej premennej. Každá perióda predstavuje elementárny (základný cyklus). Základné cykly majú v tomto príklade dĺžku 5 ms.



Obr.4.14 Príklad vyzývania premenných arbitračným obvodom

V prvom základnom cykle číta arbitračný obvod všetky premenné. V druhom len premennú A. S využitím predchádzajúcich informácií je možné zaťaženie siete vyjadriť obrázkom Obr.4.15.



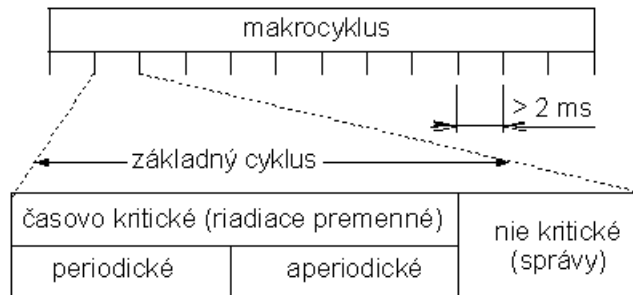
Obr.4.15 Zaťaženie siete WorldFip

V závislosti na periodicite vysielania premenných na zbernicu hovoríme o (viď Obr.4.16):

- *periodických premenných*, ktoré sú vysielané periodicky v stanovených časových intervaloch. Majú vždy maximálnu prioritu a používajú sa na prenos údajov v rýchlych riadiacich slučkách
- *aperiodických premenných*, ktoré sú vysielané na žiadosť – napr. ako odozva na zmenu stavu, alebo ako požiadavka zobrazenia pre operátora.

Časovo nie kritické premenné sa môžu využívať pri inštalácii a inicializácii zariadení na zbernici, pri správe a diagnostike siete a prepojení so systémom vyššej úrovne riadenia.

Dĺžka makrocyklu je zvyčajne odvodená z periódy vzorkovania najpomalšej periodickej premennej systému.



Obr. 4.16 Časovanie prenosu údajov na zbernici

V základnom režime činnosti sa správy nepotvrdzujú, pretože pri činnosti v reálnom čase sa údaje aj tak, periodicky aktualizujú vo veľmi krátkych časových intervaloch. WorldFIP má funkcie pre sieťové operácie, napr. štart a stop vzdialených úloh.

Aplikačná vrstva

Služby aplikačnej vrstvy zbernice WorldFip sa delia na tri skupiny:

- aplikačné služby arbitračného obvodu – ABAS (**B**us **A**rbitrator **A**pplication **S**ervices)
- priemyselné periodické a aperiodické služby – MPS (**M**anufacturing **P**eriodical/**A**periodical **S**ervices)
- podmnožina služieb MMS – subMMS (**s**ubset of **M**essaging **S**ervices).

Ďalej sú uvedené základné priemyselné periodické a aperiodické služby (MPS). Množina aplikačných služieb MPS sa skladá zo:

- *služieb pre lokálne čítanie a zápis*, ktoré zabezpečujú zápis, resp. čítanie z vyrovnávacieho registra linkovej vrstvy⁴. Pri ich vykonávaní nedochádza k prístupu na zbernicu.
- *služieb pre vzdialené čítanie a zápis*, ktoré zabezpečujú čítanie zo zbernice, resp. vyslanie premennej na zbernicu. Žiadané údaje sú zaradované do prenosového cyklu ako aperiodické premenné (pri realizácii vzdialeného čítania aj zápisu).
- *služieb pre indikáciu prijatia alebo vyslania*. Ak používateľ (entita užívateľskej vrstvy) chce, môže byť informovaný(á) o vysielaní, alebo prijatí určitej premennej. Ak aplikačná vrstva prijme indikáciu vyslania, alebo prijatia pre produkovanú, resp. využívanú (t.j. prijatú) premennú, aplikačná vrstva vyšle túto indikáciu do užívateľskej vrstvy. To či sa pri vysielaní, alebo prijatí príslušnej premennej generuje niektorá z uvedených dvoch indikácií, je nutné definovať pri konfigurácii uzla.
- *informácia o aktuálnosti prijatej informácie*. Keď používateľ (entita užívateľskej vrstvy) manipuluje s určitou premennou svojej (lokálnej)

⁴ Na úrovni linkovej vrstvy sú implementované vyrovnávacie registre pre zápis údajov na zbernicu a čítanie údajov zo zbernice, ktoré využíva aplikačná vrstva pri prenose údajov medzi aplikačnou a linkovou vrstvou.

komunikačnej entity, môže zároveň získať logickú informáciu o aktuálnosti danej premennej. Informácia o aktuálnosti premennej je generovaná na úrovni aplikačnej vrstvy producenta premennej. V prípade, že nedôjde k vyslaniu premennej na zbernicu v rámci danej periódy, producent premennej to indikuje logickou nulou, ktorá je odosielaná konzumentom premennej spolu s hodnotou premennej (ak je premenná vysielaná v rámci danej periódy, premenná indikujúca aktuálnosť premennej má hodnotu logická jednotka). Každá vysielaná premenná by mala mať zadané či je, alebo nie je k dispozícii informácia o aktuálnosti. V prípade, že má byť táto informácia k dispozícii, musí byť uvedená aj perióda vysielania premennej.

- *informácia o priestorovej a časovej konzistencii údajov.* Aplikačná vrstva WorldFip poskytuje službu pre čítanie zoznamu. Zoznam je zostavený z množiny prijímaných premenných. Táto služba na úrovni aplikačnej vrstvy číta všetky hodnoty zoznamu. Tieto potom poskytuje užívateľovi (určitej entite aplikačnej vrstvy) spolu so informáciou či sú všetky hodnoty zoznamu aktuálne (časová konzistencia údajov)⁵. Okrem toho môže poskytovať stavovú informáciu o priestorovej konzistencii zoznamu, ktorá indikuje či sú všetky kópie zoznamu identické vo všetkých komunikačných entitách, ktoré zoznam využívajú.

Prenášané premenné môžu byť jednoduchého typu (boolean, integer, reťazec bitov, reťazec bajtov, reťazec alfanumerických znakov, časová informácia, reálne číslo s plávajúcou rádovou čiarkou), *alebo štruktúrovaného typu* (štruktúra jednoduchých typov, štruktúra štruktúr, tabuľka, tabuľka tabuliek, tabuľka štruktúr, zoznamy, atď.)

Zhrnutie

Zbernica WorldFIP je určená na prepojenie akčných členov, snímačov a ovládacích zariadení s riadiacimi a monitorovacími zariadeniami (PLC a pod.).

Na zbernicu je možné pripojiť celkovo 256 zariadení. Maximálna celková dĺžka zbernice je 2000 až 7600 m, pričom od nej závisí prenosová rýchlosť, ktorá môže byť z rozsahu 31.25 kbit/s až 2.5 Mbit/s - v prípade krútenej dvojlinky ako prenosového média. S optickým káblom je možné dosiahnuť prenosovú rýchlosť až 5 Mbit/s.

Údaje na zbernici sú adresované pomocou identifikátorov jednotlivých premenných, ktorých môže byť celkovo 64000. Dĺžka premennej môže byť 2 až 127 bajtov. Prenášané údaje môžu mať charakter jednoduchých, alebo štruktúrovaných údajových typov.

Prístupová metóda je centralizovaná - právo vysielat' na zbernicu poskytuje arbitrátor zbernice.

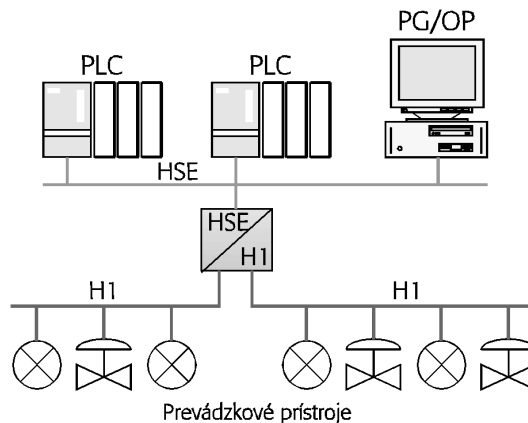
Väčšia časť protokolu WorldFIP je implementovaná v sériovo vyrábaných komunikačných integrovaných obvodoch určených na pripájanie zariadení na zbernicu.

4.5.5 Foundation Fieldbus

Foundation Fieldbus je priemyselná komunikačná zbernica so špecifikáciou dvoch odlišných konfigurácií. Jednou z nich je Foundation Fieldbus H1, ktorá mala pôvodne za úlohu nahradiť analógovú prúdovú slučku 4-20 mA a je určená pre použitie v

⁵ Logická premenná časovej konzistencie údajov nadobúda hodnotu 1 len v prípade, ak logická hodnota informácie o aktuálnosti prijatej informácie všetkých premenných je 1.

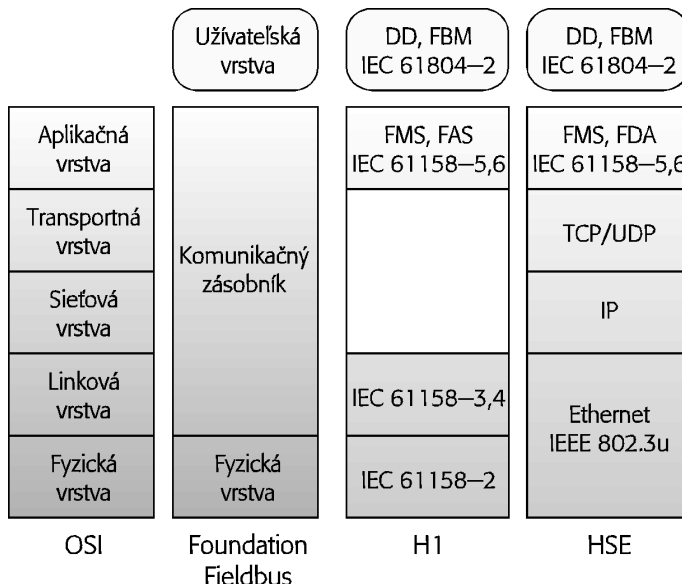
automatizácii spojitých procesov na úrovni zariadení. Druhou konfiguráciou je Foundation Fieldbus HSE, určený pre riadiacu úroveň. Na Obr.4.17 je príklad prepojenia zariadení v systéme s Foundation Fieldbus H1/HSE. Riadiace jednotky technologického procesu môžu navzájom komunikovať pomocou Foundation Fieldbus HSE a takisto je možný prenos údajov pomocou komunikačnej brány so segmentmi H1, na ktoré sú pripojené prevádzkové prístroje.



Obr.4.17 Príklad prepojenia zariadení v systéme s Foundation Fieldbus

Vrstvový model Foundation Fieldbus

Vrstvový model Foundation Fieldbus je zložený z troch vrstiev: fyzickej vrstvy, komunikačného zásobníka a užívateľskej vrstvy. Implementácia a funkcie jednotlivých vrstiev sú prispôbené danej konfigurácii zbernice (to znamená Foundation Fieldbus H1, alebo HSE). Konfigurácie H1 a HSE sa odlišujú na úrovni spodných vrstiev vrstvomodelu. Tieto vrstvy pre konfiguráciu H1 a HSE sú opísané nižšie.



Obr.4.18 Vrstvový model zbernice Foundation Fieldbus

Fyzická vrstva Foundation Fieldbus

Foundation Fieldbus H1

Fyzická vrstva Foundation Fieldbus H1 je implementovaná elektrickým rozhraním typu prúdová slučka a je opísaná v normách IEC 61158-2 a ISA S50-02. Údaje sú prenášané pevnou prenosovou rýchlosťou 31,25 Kbps a kódované kódom Manchester. Zariadenia pripojené na zbernicu môžu byť napájané cez vodiče zbernice. Maximálny počet zariadení pripojených na jeden segment zbernice je 32, ale spravidla je menší a je závislý od toho či sú zariadenia napájané vodičmi zbernice, od prúdovej spotreby jednotlivých zariadení, použitého kábla a od typu prostredia (Ex, alebo nie Ex).

V prípade, že zariadenia nie sú napájané vodičmi zbernice, tak na jednom segmente zbernice môže byť pripojených maximálne 32 zariadení. Ak sú zariadenia napájané z vodičov zbernice, potom na jeden segment sa odporúča maximálne 12 zariadení a v prípade prostredia Ex maximálne 6 zariadení.

Topológia je typu zbernica, prípadne strom. Na prepojenie zariadení sa používa tienená, alebo netienená krútená dvojlinka typov A, B, C, alebo mnohožilový kábel typu D so spoločným tienením podľa noriem IEC a ISA. Maximálna dĺžka jedného segmentu je 1900 m (pre krútenú dvojlinku typu A), pričom je možné zbernicu predĺžiť maximálne štyrmi opakovačmi.

Foundation Fieldbus HSE

Foundation Fieldbus HSE využíva na úrovni fyzickej a linkovej vrstvy modelu OSI (pričom linková vrstva je súčasťou komunikačného zásobníka Foundation Fieldbus, vid' Obr.4.18) štandard IEEE 802.3 – Ethernet, s prenosovou rýchlosťou 10/100/1000 Mbps. Ako prenosové médium sa používa krútená dvojlinka, alebo optické káble.

Komunikačný zásobník Foundation Fieldbus

Ako vidno na Obr.4.18, komunikačný zásobník plní funkciu linkovej až aplikačnej vrstvy modelu OSI. V komunikačnom zásobníku sú implementované služby zabezpečujúce prenos správ medzi zariadeniami. Štruktúra komunikačného zásobníka je pre Foundation Fieldbus H1 a HSE rôzna.

Komunikačný zásobník Foundation Fieldbus H1

Na úrovni linkovej vrstvy OSI je definovaná metóda riadenia prístupu zariadení na prenosové médium. V sieti zariadení Foundation Fieldbus H1 je prístup na prenosové médium riadený tzv. plánovačom zbernice (LAS – Link Active Scheduler), ktorý ostatným zariadeniam umožňuje vysielat' údaje, ktoré môžu byť prenášané cyklicky (s určitou periódou), alebo acyklicky. Aplikačná vrstva zabezpečuje komunikačné služby na základe protokolu FMS (Fieldbus message Specification). Na ich zabezpečenie sa využíva podvrstva FAS (Fieldbus Access Sublayer), ktorá implementuje tri metódy prenosu údajov medzi zariadeniami (klient/server, publisher/subscriber, report distribution).

Komunikačný zásobník Foundation Fieldbus HSE

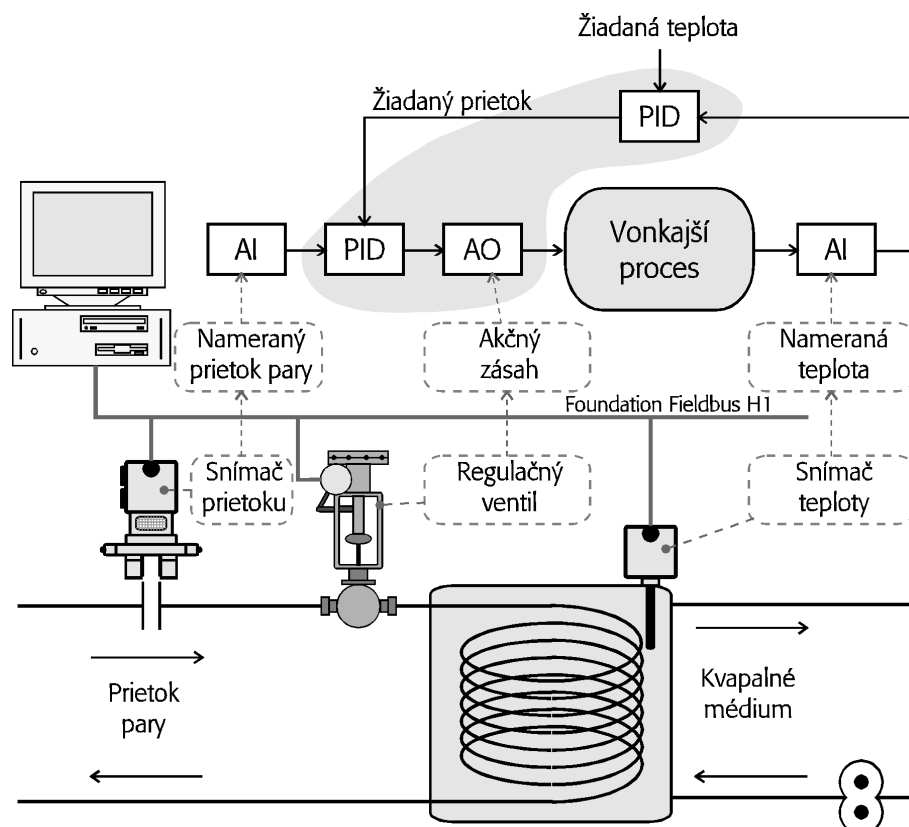
Na spodnej úrovni komunikačného zásobníka používa Foundation Fieldbus HSE prístupovú metódu CSMA/CD pre lokálne siete typu Ethernet, ktorá je špecifikovaná štandardom IEEE 802.3. Nad linkovou vrstvou sú implementované internetové protokoly IP, TCP/UDP, ktoré sú využívané aplikačnou vrstvou s implementovaným dynamickým pridel'ovaním IP adresy a parametrov siete protokolom DHCP, synchronizáciou hodín komunikujúcich zariadení protokolom SNTP a monitorovaním a správou sieťových zariadení protokolom SNMP. Na realizáciu komunikačných

služieb protokolu FMS slúži agent na prístup k prevádzkovému prístroju (FDA na Obr.4.18) a umožňuje tak prenos údajov medzi segmentmi Foundation Fieldbus H1 a HSE.

Užívateľská vrstva Foundation Fieldbus

Praktické použitie zariadení pripojených na zbernicu umožňuje implementáciu užívateľskej vrstvy, ktorá má tri okruhy funkcií:

- 1.) *Riadenie siete* – podporuje konfigurovanie aktívneho plánovača zbernice (LAS), sledovanie činnosti, vyhľadávanie porúch a konfiguráciu komunikačného zásobníka.
- 2.) *Správa systému* – riadi vykonávanie funkčných blokov, odovzdáva aktuálny čas ostatným zariadeniam a iné.
- 3.) *Užívateľská aplikácia* – je zostavená z funkčných blokov (FB). Funkčné bloky zabezpečujú zameniteľnosť prístrojov. Funkčné bloky sú definované vstupmi a výstupmi, parametrami, reakciou na udalosti a voľbou režimu riadenia. Každý funkčný blok je vykonávaný v presne stanovenom čase, pričom jedna užívateľská aplikácia môže obsahovať niekoľko funkčných blokov. Detailnejší opis funkcie rôznych typov funkčných blokov je uvedený v [8]. Na ilustráciu je nižšie uvedený príklad konfigurácie systému na riadenie spojeného technologického procesu pomocou Foundation Fieldbus.



AI – Funkčný blok „Analogový vstup“, AO – Funkčný blok „Analogový výstup“, PID – Funkčný blok „PID regulátor“

Obr.4.19 Príklad konfigurácie regulačnej slučky z funkčných blokov Foundation Fieldbus

Na Obr.4.19 je príklad konfigurácie regulačnej slučky z funkčných blokov Foundation Fieldbus. Ide o reguláciu teploty vykurovacieho média vo výmenníku tepla. V hornej časti obrázka je štruktúra regulačného obvodu teploty a v spodnej časti je samotná regulovaná sústava s prepojením prevádzkových prístrojov pomocou Foundation Fieldbus H1. Funkčné bloky AI sú implementované v snímačoch prietoku a teploty. Vykonávajú A/Č prevod, úpravu mierky a filtráciu meranej veličiny. Funkčný blok AO je implementovaný v regulačnom ventile. Vykonáva Č/A prevod, úpravu mierky, rozsahu a obmedzenie výstupnej hodnoty. Bloky PID regulátorov môžu byť implementované v ľubovoľnom prevádzkovom prístroji na zbernici. Na zbernici sa nemusí nachádzať regulátor ako samostatné zariadenie ale je súčasťou existujúceho snímača, alebo akčného člena, napríklad regulačného ventilu. Regulačný obvod na Obr.4.19 má kaskádnú štruktúru a pozostáva z regulačného obvodu prietoku a nadradeného regulačného obvodu teploty. Tieto dva regulačné obvody môžu používať rôznu periódu vzorkovania – teda aj rôznu periódu prenosu meraných veličín zo snímačov a zbiehania PID regulátorov.

Opis zariadenia (DD – device description)

Na dosiahnutie interoperability prevádzkových prístrojov je v užívateľskej vrstve implementovaný tzv. opis zariadenia, ktorý poskytuje podrobný opis každého objektu vo virtuálnom prevádzkovom prístroji na základe štandardu IEC 61804-2. DD umožňuje používateľovi integrovať, konfigurovať, nastavovať, prevádzkovať a diagnostikovať prevádzkové prístroje z aplikácií bežiacich na počítači, alebo v riadiacom systéme.

Zhrnutie

Foundation Fieldbus predstavuje priemyselnú komunikačnú zbernicu určenú na použitie pri riadení spojitých technologických procesov, pričom je možné použiť ju aj v prostredí s nebezpečenstvom výbuchu (Ex). Zariadenia pripojené na zbernicu môžu byť napájané z vodičov zbernice. Vďaka implementácii funkčných blokov a elektronickému opisu zariadenia, je možné zjednodušiť proces konfigurácie prevádzkových prístrojov a realizovať vzdialenú diagnostiku prístrojov a zariadení pripojených na zbernicu. Výrobcovia a používatelia zariadení komunikačnej zbernice Foundation Fieldbus sú združení v medzinárodnej organizácii Fieldbus Foundation (<http://www.fieldbus.org/>).

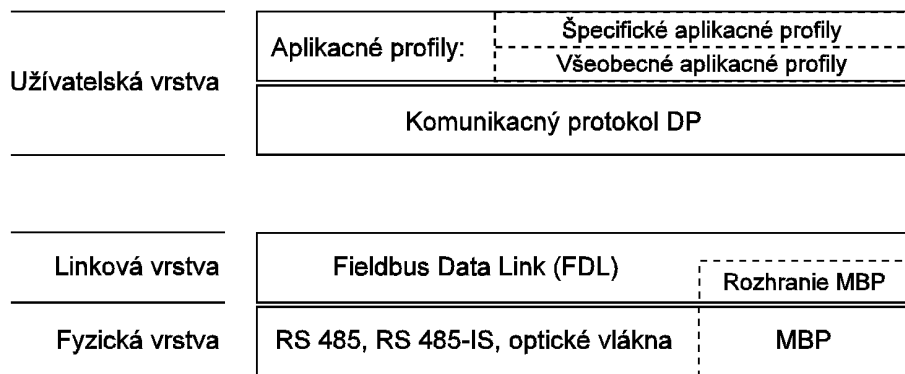
4.5.6 PROFIBUS

Vznik zbernice PROFIBUS začal v roku 1987 v Nemecku, kedy 21 spoločností spojilo sily pri vývoji komunikačnej zbernice a vytvorení štandardu pre rozhranie prevádzkových prístrojov a zariadení. Najskôr vznikla špecifikácia PROFIBUS FMS⁶ a v roku 1993 PROFIBUS DP. V súčasnosti je zbernica PROFIBUS štandardizovaná normami IEC 61158 a IEC 61784. Komunikačná zbernica PROFIBUS je určená pre všetky oblasti automatizácie.

Vrstvový model PROFIBUS

Na Obr.4.20 je vrstvový model PROFIBUS, ktorý vychádza z modelu OSI. Funkcie a implementácia jednotlivých vrstiev sú uvedené nižšie.

⁶ PROFIBUS FMS sa v súčasnosti už nenasadzuje a nahrádza sa sieťou PROFInet.



Obr.4.20 Vrstvový model PROFIBUS

Fyzická vrstva PROFIBUS

Na úrovni fyzickej vrstvy PROFIBUS sa používajú štyri typy rozhraní:

RS 485 – pre úlohy vyžadujúce vysokú prenosovú rýchlosť. Maximálna prenosová rýchlosť je 12 Mbps. Zariadenia sú prepojené zbernicovou topológiou, pomocou kábla typu A (tienená krútená dvojlinka), ktorého vlastnosti sú špecifikované normou IEC 61158 a 9 pinových D-sub konektorov s krytím IP 20. K dispozícii sú tiež konektory s krytím IP 65/67. Údaje sú kódované kódom NRZ. Na jeden segment zbernice môže byť pripojených maximálne 32 zariadení, avšak pomocou opakovačov je možné pripojiť 126 zariadení pomocou maximálne deviatich opakovačov.

RS 485-IS – je iskrovo bezpečná verzia rozhrania RS 485. Maximálna prenosová rýchlosť je 1,5 Mbps, pričom na jeden segment zbernice môže byť pripojených maximálne 32 zariadení. Na prepojenie zariadení sa používa kábel typu A, 9-pinové D-sub konektory s krytím IP 20 a kruhové konektory M12 s krytím IP65.

MBP – (Manchester Coding and Bus Powered) je iskrovo bezpečné rozhranie s prenosovou rýchlosťou 31,25 Kbps, s možnosťou napájania zariadení cez vodiče zbernice. Topológia môže byť typu zbernica, strom, alebo hviezda. Na jednom segmente môže byť v bežnom prostredí maximálne 32 zariadení, alebo 10 zariadení v prostredí s nebezpečenstvom výbuchu. Pomocou opakovačov je možné pripojiť 5 segmentov siete PROFIBUS s maximálne 126 zariadeniami. Na prepojenie zariadení sa používa tienená krútená dvojlinka s kruhovými 4-pinovými konektormi M12. Údaje sú kódované kódom Manchester.

Optické vlákna – umožňujú dosiahnuť vysokú prenosovú rýchlosť 12 Mbps na pomerne veľké vzdialenosti (aj niekoľko km). Topológia je líniová, hviezda, alebo kruh. V takejto sieti zariadení PROFIBUS sa môže nachádzať 126 zariadení.

Linková vrstva PROFIBUS

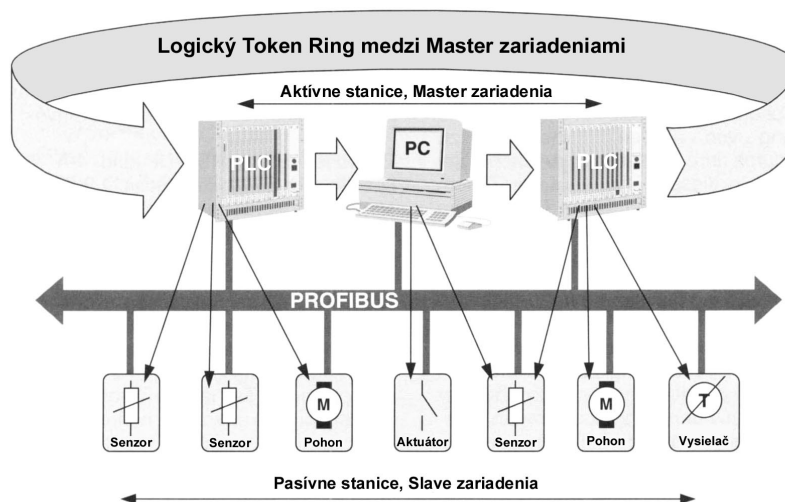
PROFIBUS používa hybridnú verziu prístupovej metódy IEEE 802.4 – Token Bus s metódou master/slave. Zariadenia na zbernici PROFIBUS sú rozdelené do troch kategórií.

Master triedy I – je riadiaca jednotka, ktorá si cyklicky vymieňa údaje so zariadeniami typu slave. Do tejto triedy zariadení môže patriť napríklad PLC, alebo priemyselný počítač.

Master triedy II – je programovacie, konfiguračné a diagnostické zariadenie. Nemusí byť trvalo pripojené na zbernicu.

Slave – je zariadenie, ktoré bezprostredne interaguje s technologickým procesom. Sú to snímače, akčné členy, moduly decentralizovaných vstupov a výstupov PLC a iné.

Prístup na zbernicu riadia zariadenia typu master, ktoré si medzi sebou vymieňajú poverenie a na jeho základe vysielajú údaje na zbernicu, alebo žiadajú iné zariadenie o prenos údajov. Zariadenia slave čakajú na výzvu zo strany niektorého zariadenia typu master, ktorá im umožňuje vyslať údaje. Na Obr.4.21 je príklad konfigurácie systému PROFIBUS s tromi zariadeniami master, ktoré si medzi sebou odovzdávajú poverenie. Pre každé zariadenie master je definovaná množina zariadení slave, s ktorými daný Master môže komunikovať.



Obr.4.21 Zbernica PROFIBUS s aktívnymi zariadeniami Master a pasívnymi zariadeniami slave

Užívateľská vrstva PROFIBUS

V užívateľskej vrstve PROFIBUS je implementovaný komunikačný protokol DP (Decentralized Periphery – Decentralizované periférie). Tento zabezpečuje rýchlu výmenu dát medzi riadiacou jednotkou (ktorá je zariadením typu master), napríklad PLC, alebo PC a prevádzkovými prístrojmi a zariadeniami (ktoré sú zariadeniami typu slave), napríklad frekvenčnými meničmi, ventilmi, snímačmi. Medzi zariadeniami master a slave môžu byť údaje prenášané cyklicky, alebo acyklicky. Kvôli zabezpečeniu komunikácie v rôznych typoch aplikácií, boli vyvinuté tri verzie protokolu DP: DP-V0, DP-V1 a DP-V2.

DP-V0 je základný protokol a umožňuje *cyklický prenos údajov* (master – slave) a základnú diagnostiku.

Protokol *DP-V1* je orientovaný na použitie v oblasti automatizácie procesov a dokáže prenášať dáta *acyklicky*.

DP-V2 je určený predovšetkým pre použitie v oblasti riadenia pohybu. Umožňuje *vzájomnú komunikáciu medzi zariadeniami slave a synchronizáciu hodín* komunikujúcich zariadení.

Aplikačné profily

Aplikačné profily sú špecifikácie výrobcov a používateľov zariadení zahŕňajúce špecifické vlastnosti a správanie zariadení a systémov. Špecifikácie určitého profilu

definujú parametre a správanie zariadení a systémov, ktoré patria do daného profilu, čo zaručuje interoperabilitu zariadení. Aplikačné profily PROFIBUS je možné rozdeliť do troch kategórií.

Všeobecné aplikačné profily sú určené pre rôzne typy aplikácií. Do tejto skupiny patria profily PROFIsafe, Redundancy a Time Stamp.

Špecifické aplikačné profily, ktoré sú určené pre špecifické aplikácie, napríklad profil PROFIdrive, PA devices, Encoders a iné.

Systémové profily a profil Master, ktoré sú určené pre riadiace jednotky rôznych typov technologických procesov. Na Obr.4.22 sú príklady hierarchie komunikačných protokolov a aplikačných profilov PROFIBUS pre najznámejšie verzie zbernice PROFIBUS.

PROFIBUS DP Automatizácia výroby	PROFIBUS PA Automatizácia procesov	Motion Control Pohony	PROFIsafe Univerzálne použitie
Špecifický aplikačný profil	Aplikačný profil PA Devices	Aplikačný profil PROFIdrive	Aplikačný profil PROFIsafe
DP-V0 až DP-V2	DP-V1	DP-V2	DP-V0 až DP-V2
RS 485	MBP	RS 485	RS 485 MBP

Obr.4.22 Príklady hierarchie komunikačných protokolov a aplikačných profilov PROFIBUS

PROFIBUS DP – Najjednoduchší a najrýchlejší variant PROFIBUS pre rýchlu komunikáciu typu master/slave. Je určený pre automatizáciu a aplikáciu na úrovni jednoduchých procesov, na komunikáciu s decentralizovanými vstupmi a výstupmi, s vysokými nárokmi na rýchlosť prenosu. Prenos je realizovaný prostredníctvom jednoduchého súboru blokov a inštrukcií.

PROFIBUS PA – Je navrhnutý na použitie pri riadení spojitých technologických procesov, hlavne vo výbušnom prostredí. Splňa požiadavky iskrovej bezpečnosti a umožňuje napájať prevádzkové prístroje a zariadenia z vodičov zbernice. Kvôli možnosti použitia vo výbušnom prostredí, používa na úrovni fyzickej vrstvy rozhranie typu prúdová slučka podľa normy IEC 1158-2, s označením MBP.

Motion Control – Ide o použitie PROFIBUS DP-V2 v aplikáciách riadenia pohybu. Používa aplikačný profil PROFIdrive.

PROFIsafe – Definuje spôsob ako môžu bezpečnostné zariadenia (núdzové spínače, systémy na ochranu pred pretečením a iné) prenášať informácie týkajúce sa takejto bezpečnosti cez komunikačnú sieť. Je realizovaný prostredníctvom aplikačného profilu PROFIsafe, ktorý tvorí nadstavbu nad ostatnými komunikačnými profilmi. Môže byť použitý v systémoch PROFIBUS DP aj PROFIBUS PA.

Implementácia PROFIBUS

Pri implementácii zbernice PROFIBUS je možné použiť širokú škálu zákaznických integrovaných obvodov (ASIC). Tieto obvody umožňujú implementovať zariadenia typu Slave ako aj zariadenia typu master. Úplný zoznam vyrábaných komunikačných obvodov PROFIBUS je k dispozícii na stránkach združenia PROFIBUS International (<http://www.profibus.com/meta/productguide/>).

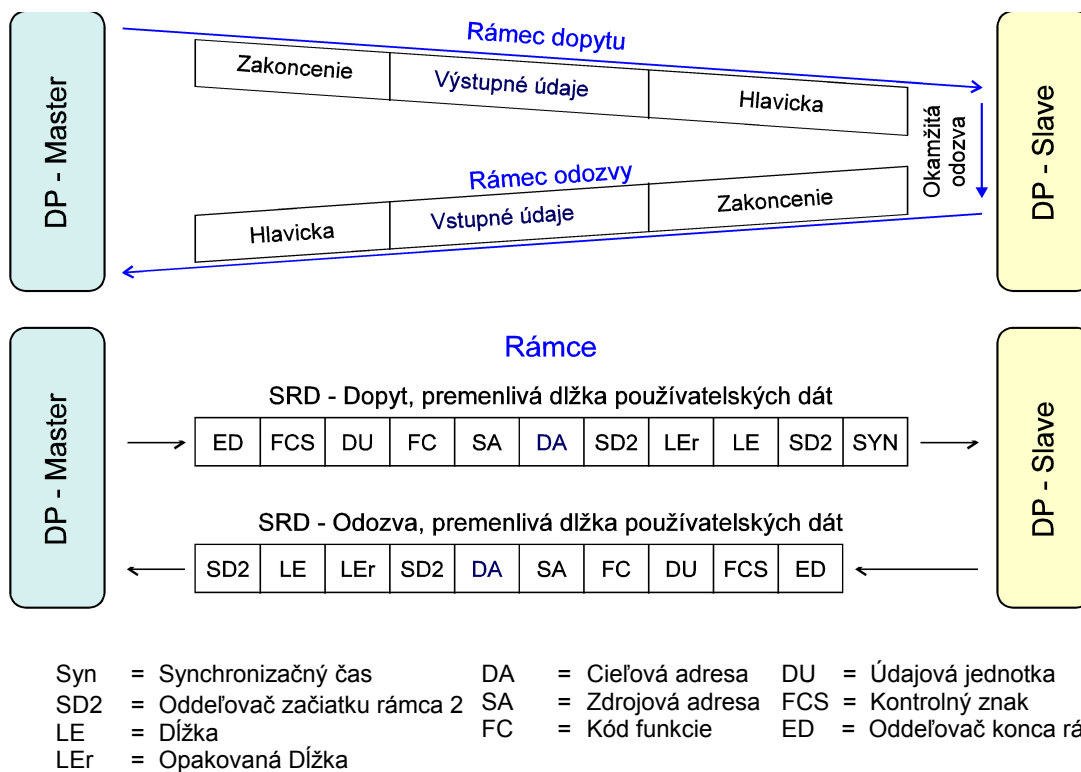
Cyklický prenos údajov na zbernici PROFIBUS DP

V rámci jedného komunikačného cyklu je realizovaná komunikácia všetkých zariadení master s im priradenými zariadeniami slave. Dĺžka komunikačného cyklu je daná súčtom dôb potrebných na komunikáciu jednotlivých zariadení master so svojimi zariadeniami slave a vyjadruje ju vzťah (4.1) a to za predpokladu, že na zbernici je m zariadení master, z ktorých každé komunikuje s n_i zariadeniami slave.

$$T_{MC} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (T_{ID1} + T_{Requestij} + T_{SDR} + T_{Responseij}) \quad ; [s] \quad (4.1)$$

Kde je:

- T_{MC} - dĺžka zbernicového cyklu,
- T_{ID1} - doba čakania zariadenia master ($75 \cdot T_{Bit}$),
- $T_{Requestij}$ - doba prenosu rámca zo zariadenia master_i do zariadenia slave_j,
- T_{SDR} - doba oneskorenia odozvy zariadenia Slave ($11 \cdot T_{Bit}$),
- $T_{Responseij}$ - doba prenosu rámca zo zariadenia slave_j do zariadenia master_i,
- T_{Bit} - doba prenosu jedného bitu (bitový takt).



Obr.4.23 Cyklický prenos údajov medzi zariadením master a slave na PROFIBUS DP

Na Obr.4.23 je princíp prenosu údajov medzi zariadením master a slave pri cyklickej komunikácii na PROFIBUS DP. Vzťahy (4.2) a (4.3) vyjadrujú doby prenosov medzi zariadeniami master a slave. Na Obr.4.24 je na ilustráciu uvedená závislosť dĺžky komunikačného cyklu na počte komunikujúcich zariadení a pre rôzne prenosové rýchlosti.

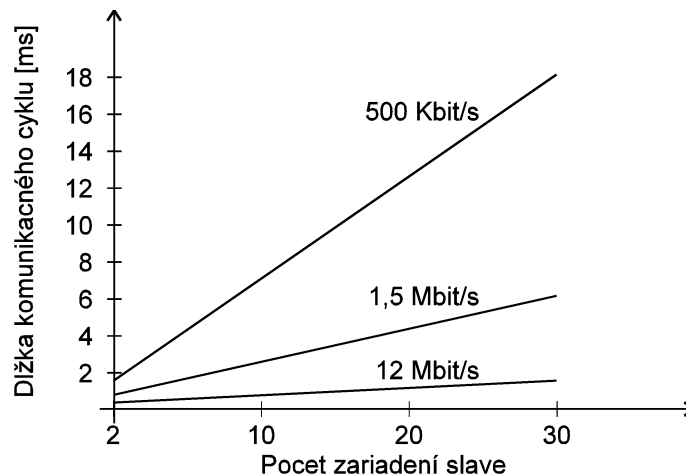
$$T_{Request} = T_{SYN} + T_{Header} + N_I \times 11 \cdot T_{Bit} + T_{Trailer} \quad ; [s] \quad (4.2)$$

$$T_{Response} = T_{Header} + N_O \times 11 \cdot T_{(Bit)} + T_{Trailer} \quad ; [s] \quad (4.3)$$

$$T_{Bit} = \frac{1}{R_{net}} ; [s, \text{bps}] \quad (4.4)$$

Kde je:

- T_{SYN} - čas synchronizácie zariadenia slave,
- T_{Header} - doba prenosu hlavičky rámca ($198 \cdot T_{Bit}$),
- $T_{Trailer}$ - doba prenosu ukončovacej časti rámca ($22 \cdot T_{Bit}$),
- N_I - počet bajtov údajovej časti vysielaných zo zariadenia master,
- N_O - počet bajtov údajovej časti vysielaných zo zariadenia slave,
- R_{net} - prenosová rýchlosť [bps].



Obr. 4.24 Závislosť dĺžky komunikačného cyklu od počtu zariadení slave pre rôzne prenosové rýchlosti v systéme s jedným zariadením master

Diagnostika zbernice PROFIBUS

chyby zbernice a ich prejavy, nástroje na diagnostiku PROFIBUS, diagnostika zbernice pomocou PB-T3 a bus-check.

Príčiny porúch pri komunikácii, alebo úplné zlyhanie komunikácie na zbernici PROFIBUS možno rozdeliť do dvoch kategórií. Patria sem poruchy na úrovni fyzickej vrstvy a poruchy spôsobené nesprávnou konfiguráciou zariadení na zbernici.

Poruchy fyzickej vrstvy PROFIBUS

Elektrické vlastnosti fyzickej vrstvy každej priemyselnej komunikačnej zbernice (nielen PROFIBUSu) podliehajú zmenám, ktoré sú zapríčinené pôsobením nasledovných vplyvov:

- prostredie* – ktoré môže spôsobovať napríklad koróziu kontaktov konektorov,
- stárnutie materiálu* – vďaka čomu sa zvyšuje lámavosť káblov, môže dôjsť k porušeniu tienenia káblov,
- mechanický tlak na káble a konektory, vibrácie, tlak, ohnutie káblov* – môže dôjsť k prerušeniu vodičov zbernice, alebo skratu.
- nevhodná modifikácia fyzickej vrstvy zbernice* – pri rozširovaní systému so zbernicou PROFIBUS môže dôjsť k nesprávnemu pripojeniu nového zariadenia, napríklad použitím nevhodného kábla, nevhodnou topológiou a pod.

Zmeny vlastností fyzickej vrstvy vyvolané vyššie uvedenými vplyvmi spôsobujú zmenu amplitúdy a tvaru signálov na zbernici. Ak kvalita signálu klesne pod kritickú

hodnotu, nastanú poruchy prenosu bitov, ktoré protokol PROFIBUS ošetrí opakovaním prenosu správ. Maximálny počet opakovaní prenosu poškodenej správy je 8⁷. Pri častom opakovaní prenosu správ sa predlžuje dĺžka komunikačného cyklu zbernice.

Poruchy spôsobené nesprávnou konfiguráciou zariadení na zbernici

Zhrnutie

Pomocou priemyselnej komunikačnej zbernice PROFIBUS je možné realizovať prenos údajov v rámci automatizácie výroby a v aplikáciách riadenia pohybu, kedy je možné dosiahnuť dĺžku komunikačného cyklu rádovo jednotiek milisekúnd. Komunikácia je v takom prípade realizovaná prostredníctvom rozhrania RS 485, alebo optického vlákna, protokolov DP-V0 až DP-V2 a špecifického aplikačného profilu (napríklad Robots/NC). Na Obr.4.22 sú to možnosti „PROFIBUS DP“ a „Motion Control“. Pre aplikácie riadenia spojitých technologických procesov je určený PROFIBUS PA využívajúci rozhranie MBP, protokol DP-V1 a aplikačný profil PA Devices. PROFIBUS PA umožňuje vzájomne prepojiť prevádzkové prístroje a spojiť ich s riadiacou jednotkou technologického procesu. Okrem toho komunikačný profil PROFIsafe dovoľuje pripájať na zbernicu PROFIBUS bezpečnostné zariadenia, napríklad núdzové tlačidlá, limitné spínače a iné.

PROFIBUS predstavuje silný nástroj pre priemyselnú automatizáciu. Premyslená koncepcia, hlavne otvorenosť – kompatibilita rôznych výrobcov, spolu s výhodami digitálnej technológie, spoľahlivosť, bezpečnosť a flexibilita znamenajú nesporné výhody pre používateľov od projektovania, nasadzovania až po spoľahlivé prevádzkovanie, správu zariadení a možnosti pružného rozširovania alebo obmeny systému.

Výrobcovia a používatelia zariadení komunikačnej zbernice PROFIBUS sú združení v medzinárodnej organizácii PROFIBUS International (skratka PNO), ktorá má 24 národných organizácií, pričom jednou z nich je združenie Profibus SK (<http://www.profibus.sk>).

4.6 Súhrn

Priemyselné komunikačné zbernice rôznych typov slúžia na prenos údajov na spodných úrovniach v oblasti riadenia technologických procesov a výroby. Ich použitím sa nahrádza „klasický“ – analógový prenos procesných veličín, v dôsledku čoho dochádza k výraznej redukcii kabeláže. Avšak samotné obmedzenie rozsahu kabeláže nie je hlavný prínos týchto komunikačných systémov. Ten spočíva hlavne v možnostiach správy a diagnostiky zariadení pripojených na zbernicu, cez ktorú je možné zariadenia parametrizovať a priebežne vyhodnocovať ich stav. Čiže okrem procesnej veličiny sa do/zo zariadenia prenášajú aj ďalšie veličiny. Ako je vidieť na príklade Foundation Fieldbus, mení sa aj štruktúra riadiaceho systému, pretože

⁷ Počet opakovaní prenosu správy je nastaviteľný v rozsahu 1 až 8.

pripojené snímače a akčné členy môžu vykonávať časť riadiaceho algoritmu, čo znižuje nároky na výkon riadiacich jednotiek.

4.7 Literatúra

- [1] Balogh, R., Bélai, I., Dorner, J., Drahoš, P.: Priemyselné komunikácie. Vydavateľstvo STU, Bratislava, 2001. ISBN 80-227-1600-6.
- [2] Bélai, I.: Komunikácia v priemyselnej automatizácii (1-7). Seriál článkov. AT&PJournal, ročník 14, 2007, čísla 4 – 10.
- [3] Berge, J.: Fieldbuses for Process Control. ISA. 2002. ISBN 1-55617-760-7.
- [4] Felser, M.: The Fieldbus Standards: History and Structures. Technology Leadership Day 2002, In: Microswiss Network, HTA Luzern, Švajčiarsko.
- [5] Fieldbus Inc.: The Foundation Fieldbus Primer. Jún 2001, <http://www.fieldbusinc.com>.
- [6] HART Communication Foundation: HART Application Guide. Austin, Texas, USA, 2005.
- [7] PNO: PROFIBUS technology and Application. PNO, 2002.
- [8] Rosemount Inc.: Foundation Fieldbus Blocks. 2000, http://www.automation.hut.fi/edu/as843169/function_blocks_for_foundation.pdf.
- [9] Siemens: Basics of fieldbus systems with SIMATIC S7-300. Training document for the company-wide automation solution Totally Integrated Automation (TIA). <http://www.siemens.com>.
- [10] Zurawski, R.: The Industrial Communication Technology Handbook. Taylor & Francis, 2005. ISBN 0-8493-3077-7.

4.8 Kontrolné otázky

1. Uved'te 4 základné vlastnosti systémov, v ktorých sú použité priemyselné komunikačné zbernice.
2. Vymenujte základné vlastnosti priemyselných komunikačných zberníc
3. Aké vrstvy obsahuje vrstvový model priemyselných komunikačných zberníc, ktoré nie sú súčasťou modelu OSI.
4. Ktoré metódy prenosu údajov sa používajú v priemyselných komunikačných zberniciach?
5. V akých normách sú štandardizované komunikačné zbernice a komunikačné profily pre použitie v priemyselných riadiacich systémoch?
6. V akom tvare umožňuje prenášať veličiny protokol HART?
7. Vysvetlite spôsob reprezentácie veličín v analógovej a číslicovej forme na úrovni fyzickej vrstvy HART.

8. Koľko a aké typy zariadení môže byť pripojených na jednu prúdovú slučku HART? (Z pohľadu linkovej vrstvy.)
9. Na čo slúži jazyk DDL?
10. Na komunikáciu s akými typmi zariadení je určená zbernica AS-Interface?
11. Koľko a aké typy zariadení je možné pripojiť na zbernicu AS-Interface na úrovni linkovej vrstvy?
12. Vymenujte a uveďte funkciu a AS-i modulov.
13. Aká je maximálna prenosová rýchlosť na zbernici CAN?
14. Vysvetlite princíp prístupovej metódy CSMA/CD+AMP použitej v zbernici CAN.
15. Aké typy rámcov definuje protokol CAN?
16. Vysvetlite princíp prenosu údajov na zbernici WorldFIP.
17. Uveďte základné priemyselné periodické a aperiodické služby (MPS) aplikačnej vrstvy zbernice WorldFIP.
18. Z akých vrstiev sa skladá vrstvomý model Foundation Fieldbus?
19. Uveďte rozdiely medzi Foundation Fieldbus H1 a HSE.
20. Ktoré vrstvy má implementované PROFIBUS?
21. Aké typy rozhraní fyzickej vrstvy využíva PROFIBUS?
22. Aký je rozdiel medzi zariadením Master triedy I a Master triedy II pre PROFIBUS?
23. Ktorý z protokolov PROFIBUS DP-V0 až DP-V2 umožňuje cyklický prenos údajov medzi zariadeniami master - slave a základnú diagnostiku?