

4.3 Sériové sběrnice

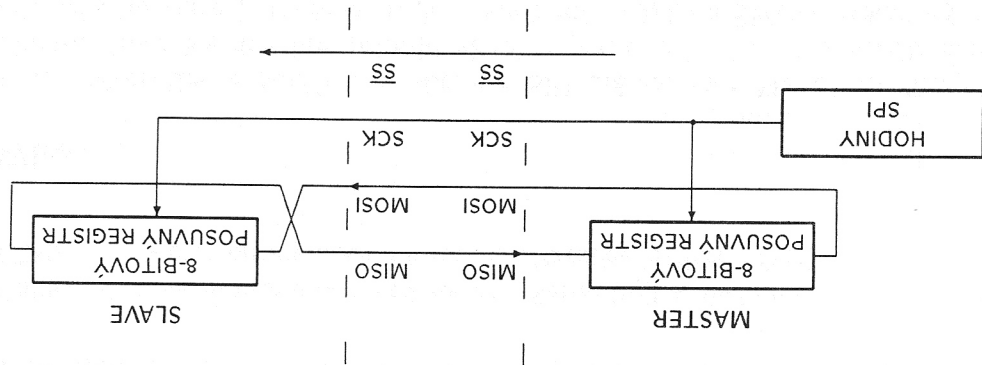
Jako sériové sběrnice obvykle označujeme propojovací systémy, které spojují mikropočítač s pomocnými obvody v rámci jednoho zařízení. Sériová sběrnice šetří počet vývodů procesoru a periferních obvodů, zjednodušuje konstrukci. Je typicky tvořena dvojicí signálových vodičů. Jeden přenáší hodinový signál, hrany hodinového signálu definují časové okamžiky, ve kterých jsou na druhém vodiči prezentovány jednotlivé bity přenášených dat.

Se sériovými sběrnicemi se setkáváme u procesorů, které (třeba s ohledem na počet vývodů, např. Philips 83C752) nemají vyvedenu sběrnici paralelní, nebo u aplikací, ve kterých by použití paralelní sběrnice vedlo na nepřijatelně zvýšení ceny obvodů a složitosti, a tím i ceny spoje. Pro některé obvody, jako jsou malé paměti EEPROM (např. NM93C46) je použití sériové sběrnice typické. Sériová sběrnice je pochopitelně pomalejší než sběrnice paralelní.

Synchronní přenos po sériové sběrnicí je z obvodového hlediska jednodušší než přenos asynchronní. Navíc lze vhodným ovládáním hodinového signálu zajistit vzájemnou synchronizaci vysílače a přijímače (pozdržení vysílače na dobu potřebnou pro převzetí nebo zpracování přijatého znaku) nebo arbitráž v konfiguracích s více řadiči.

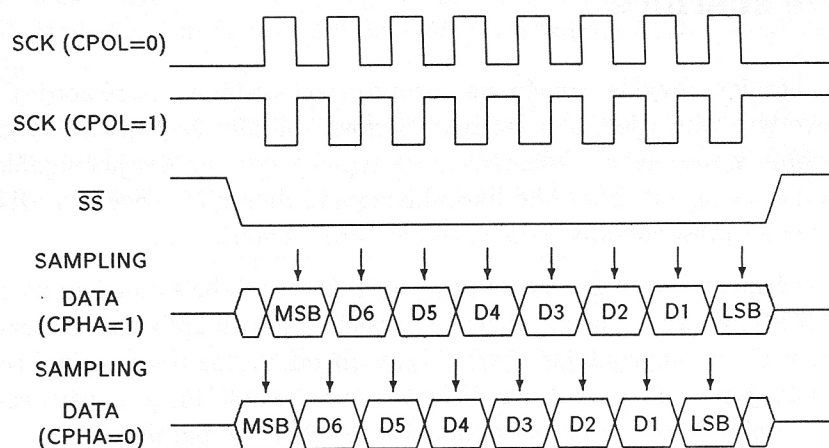
Motorola SPI

Jednoduchou sériovou sběrnici, označovanou jako SPI (Serial Peripheral Interface) najdeme u mikropočítačů firmy Motorola (řady MC68HC05, MC68HC11, MC68HC16). Sběrnice je typicky používána pro připojení periferních obvodů (nebo podřízených mikropočítačů) k jednoduššímu mikropočítači na desce spoje. Je tvořena trojicí signálů. Hodinový signál SCK (Serial Clock) je generován řadičem (mikropočítačem), signály MOSI (Master Out/Slave In) a MISO (Master In/Slave Out) propojují posuvné registry řadiče a podřízeného obvodu do kruhu (obr.4.12). Podřízený obvod musí být aktivován signálem \overline{SS} (Slave Select); vývod \overline{SS} dovoluje připojit k jednomu řadiči více podřízených obvodů (za cenu více adresacích signálů a případně i vnější adresacní logiky).



Obr. 4.12: Sériová sběrnice SPI

Vlastní předání dat je velmi jednoduché, operace nad SPI zaměření údaje v datových registrech řadiče a podřízeného obvodu. Přesun je řízen hodinami mikropočítače a je velmi rychlý, např. mikropočítač MC68HC11 jako řadič dovoluje výběr z frekvencí 62,5, 125 a 500 kHz, nebo 1 MHz. Aby bylo možné připojit i obvody, které neodpovídají jednoznačně volbě polaritý hodinového a datového signálu, lze polaritu signálu SCK a polaritu datových signálů MOSI a MISO na straně řadiče nastavit (obr.4.13).



Obr. 4.13: Signály sériové sběrnice SPI

Sběrnice SPI zůstala omezena na produkty vyvinuté firmou Motorola. Pro informaci uvedeme několik periferních obvodů ovládaných po sběrnici SPI:

- | | |
|------------|--|
| MC14489 | - budič segmentového zobrazovače LED, |
| MC14499 | - dekódér/budič sedmisegmentového zobrazovače LED, |
| MC145453 | - budič nemultiplexovaného zobrazovače LCD, |
| MC145000/1 | - budič multiplexovaného zobrazovače LCD, |
| MC68HC68T1 | - hodiny reálného času a paměť RAM, |
| MCM2814 | - paměť EEPROM 256*8, |
| MC145040/1 | - jedenáctivstupový osmibitový A/D převodník, |
| MC145050/1 | - jedenáctivstupový desetibitový A/D převodník, |
| MC144110/1 | - šesti/čtyřnásobný šestibitový D/A převodník, |
| MC14515x | - obvody pro kmitočtovou syntézu PLL, |

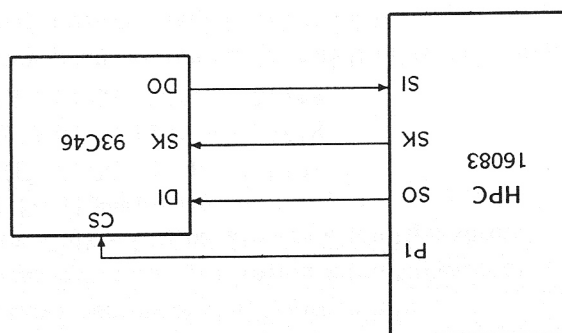
Kromě uvedených obvodů lze na sběrnici SPI připojit i univerzální obvody jako:

- | | |
|---------|--|
| 74HC595 | - osmibitový posuvný registr (Serial-In/Parallel-Out), |
| 74HC589 | - osmibitový posuvný registr (Parallel-In/Serial-Out) |

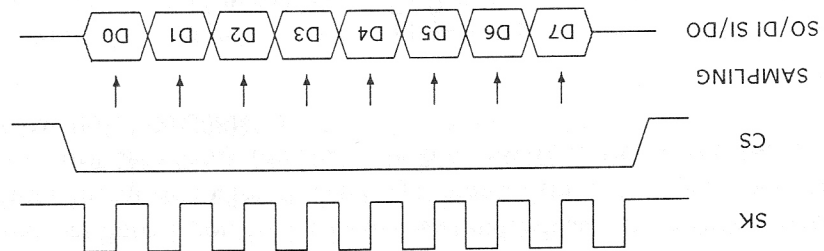
MicroWire

Poněkud univerzálnější použití než sběrnice SPI má sběrnice MicroWire firmy National Semiconductor. Sběrnice dovoluje připojit skupinu periferních obvodů k nadřazenému řadiči (mikropočítači). Sběrnice je tvořena trojicí vodičů SK, SO/DI a SI/DO. Hodinový signál SK řídí přenos po dvou datových vodičích. První propojuje výstup řadiče SO (Serial Out) se vstupy DI (Data In) periferních obvodů, druhý připojuje výstupy DO (Data Out) periferních obvodů na vstup SI (Serial In) řadiče. Typické připojení paměti EEPROM typu NM93C46 k šestnáctibitovému mikropočítači National Semiconductor HPC 16083 uvádí obr.4.14.

K jednomu řadiči lze připojit skupinu periferních obvodů. Výběr periferního obvodu, se kterým řadič komunikuje, vyžaduje použití dalších - výběrových vodičů CS (a případně i dekódérů adresy). Polarita hodinového signálu a časování datových signálů je na rozdíl od SPI pevně definováno, úroveň na datových vodičích SO/DI a SI/DO se mění se sestupnou hranou hodin SK, signály jsou čteny s náběžnou hranou hodin SK (obr.4.15).



Obr. 4.14: Připojení paměti EPROM sériovou sběrnicí Microware



Obr. 4.15: Signály sériové sběrnice Microware

Sběrnice MicroWire se podobá sběrnicí SPI, není však pevně definována délka předávaného slova (obvykle se jedná o celočíselný násobek délky posuvného registru, ten je např. u procesorů National Semiconductor COP800 dlouhý čtyři bity). Data jsou předávána jako pouze posloupnosti bitů pouze u nejjednodušších obvodů (např. řadič zobrazovače COP470), většina periferních obvodů předpokládá zprávu s určitou strukturou, je definován primitivní protokol. Po počáteční nule (nulách) následuje synchronizační jednička, identifikátor požadované funkce a/nebo adresa a konečně předávaná data. Každé pole má délku specifikou pro daný periferní obvod.

Jako příklad „protokolu“ si uvedeme ovládání paměti EPROM NM94C56. Tento protokol používá příkazy (bitové posloupnosti):

Start	Kód	Adresa	Data	čtení slova	zapis slova	zapis do všech slov	povolení zápisu	zákaz zápisu	smazání slova	smazání celé paměti
1	10	A5-A0	D15-D0	READ						
1	01	A5-A0	D15-D0	WRITE						
1	00	01xxxx	D15-D0	WRAL						
1	00	11xxxx		WEN						
1	00	00xxxx		WDS						
1	11	A5-A0		ERASE						
1	00	10xxxx		ERAL						

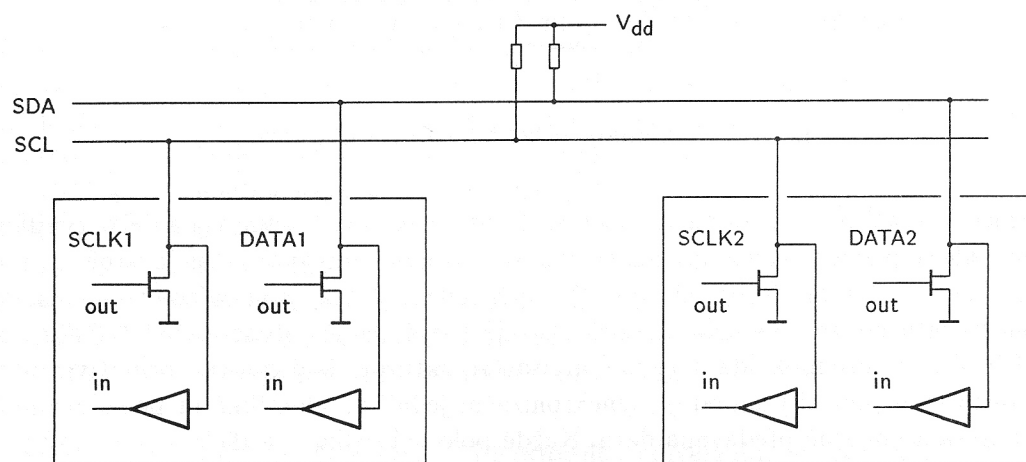
Pozn.: U operace čtení po zadání adresy řadičem vysílá data periferní obvod.

Sběrnici MicroWire najdeme u mikropočítačů National Semiconductor (COP800/820/880 a u řady HPC). Řada periferních obvodů, jejichž ovládání odpovídá sběrnicí MicroWire, zahrnuje obvody, které jsou často využívány i v aplikacích mikropočítačů jiných firem, kde „komunikační protokol“ realizujeme programově:

ADC0831 - jednobitový osmibitový A/D převodník
 ADC0834 - čtyřkanálový osmibitový A/D převodník
 ADC0852 - D/A převodník s komparátorem a multiplexerem
 ADC0854 - D/A převodník s komparátorem a multiplexerem
 MM5483 - řadič LCD, 31 segmentů
 NM93C46 - paměť EEPROM 64*16 / 128*8
 NM93C56 - paměť EEPROM 128*16 / 256*8
 NM93C66 - paměť EEPROM 256*16 / 512*8
 74HC595 - osmibitový posuvný registr (Serial-In/Parallel-Out),
 74HC589 - osmibitový posuvný registr (Parallel-In/Serial-Out)

I²C

Z hlediska univerzality použití i z hlediska standardizace má největší praktický význam sběrnice I²C (Inter-Integrated-Circuit Bus) vytvořená firmou Philips. Podporu sběrnice I²C nalezneme u procesorů této firmy (80C528, 80C552, 83C752) ale i u procesorů jiných výrobců (Motorola MC68HC05E0, MC68HC05T7).

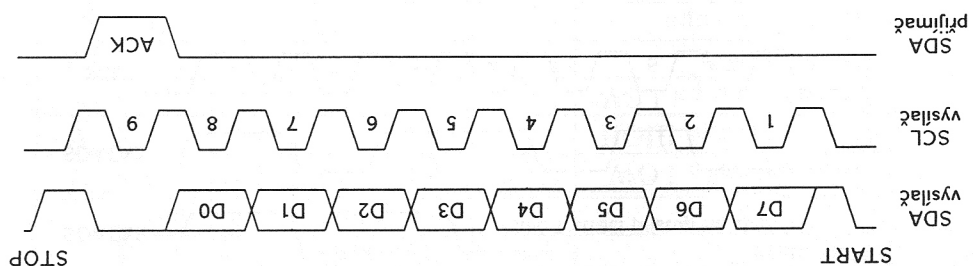


Obr. 4.16: Struktura sběrnice I²C

Sběrnice je tvořena dvojicí vodičů, na kterých je v klidovém stavu zvyšovacími odpory udržováno kladné napětí (obr.4.16). Jeden z vodičů, značený SCL, přenáší hodinový signál, druhý, značený SDA, slouží synchronnímu přenosu dat (obr.4.17). Budiče s otevřeným kolektorem umožňují, aby sběrnice byla využívána skupinou rovnoprávných řadičů (multi-master konfigurace); odpovídající arbitrážní protokol, který řeší přidělení sběrnice při současném požadavku více řadičů si popíšeme později.

Komunikaci zahajuje řadič prvkem START (sestupná hrana signálu SDA při úrovni HIGH signálu SCL). Osmibitový znak je vyslán po vodiči SDA počínajíc nejvýznamnějším bitem (na rozdíl od běžné sériové komunikace), úroveň na vodiči SDA musí zůstat stabilní po dobu trvání úrovně HIGH signálu SCL. Vyslaný znak je potvrzován přijímačem stažením signálu SDA na úroveň LOW v době, která odpovídá devátému bitu (prvek ACK).

Přijímač může pozastavit vysílače podržením signálu SCL na úrovni LOW (prvek HOLD). To se týká každé periody signálu SCL a pozastavení může vyvolat libovolný prvek sběrnice. Sestupná hrana signálu SCL navíc synchronizuje generátory signálu SCL všech připojených prvků.

Obr. 4.17: Signály sběrnice I²C

Norma I²C definuje, na rozdíl od MicroWire, i formát přenašených dat, jejich potvrzování a předávání řízení mezi účastníky komunikace. Po vyslání prvního znaku, jehož významnějších sedm bitů adresuje podřízený obvod, může pokračovat ve vyslání dalších znaků jak řadič tak podřízený obvod. Směr přenosu dalších znaků je určen osmým bitem, úroveň LOW indikuje vyslání řadiče (funkce WRITE), úroveň HIGH indikuje vyslání podřízeného obvodu (funkce READ). Komunikaci ukončuje řadič prvkem STOP (náběžná hrana signálu SDA při úrovni HIGH signálu SCL).

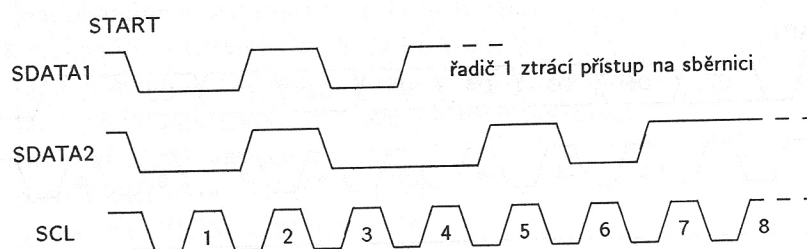
V předchozím odstavci jsme si uvedli, že první znak adresuje podřízený periferní obvod. Přiznání adres je přitom určeno jednotlivým typům periferních obvodů výrobcem, každý typ obvodu má část adresy pevně definovanou, zbylé bity lze nastavit zapojením adresacních vývodů obvodu. Podobně jako u sběrnice SPI a MicroWire si uvedeme několik obvodů užitečných pro univerzální aplikace spolu s jejich adresami (písmeno a v tabulce adres odpovídá hodnotě nastavené zapojením příslušného adresacního vývodu obvodu, bit A0 zadává směr přenosu):

	A7	A6	A5	A4	A3	A2	A1
PCF8574 - osmibitový vstup/výstup	0	1	0	0	a	a	a
PCF8577 - 64-segmentový řadič LCD	0	1	1	1	0	1	0
PCF8578 - řadič bodového LCD	0	1	1	1	1	0	a
PCF8582A - paměť EEPROM 256*8	1	0	1	0	a	a	a
PCF8583 - hodiny/kalendář a paměť RAM	1	0	1	0	0	0	a
PCF8591 - osmibitový A/D, D/A převodník	1	0	0	1	a	a	a
SAA3028 - přijímač kódu RC5 (infra)	0	1	0	0	1	1	0
TDA8444 - osminásobný D/A převodník	0	1	0	0	a	a	a

Pro aplikace z oblasti spotřební elektroniky (audio, video) a telekomunikací mají firmy Philips a Siemens v řadách obvodů PCF, SAA, TDA, TEA a TSA mnoho prvků řízených sběrnici I²C.

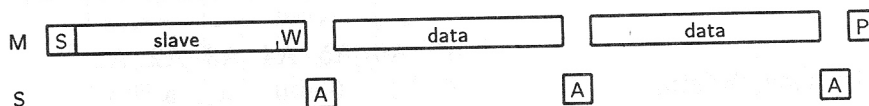
Samotná jednoduchá adresace prvkem neposkytuje dostatečnou pružnost. Adresacní možnosti sběrnice I²C jsou dále rozšířeny možností použít dvouznakové adresy. Adresa začínající známkem 00_H adresuje všechny obvody na sběrnici (General Call Address — broadcast adresa), její druhý znak definuje funkci, která je vyžadována na straně přijímače (reset, programování), nebo identifikuje vysílače. Prefix 01_H slouží jako prefix běžného provozu a dovoluje zefektivnit práci prvků, které realizují obsluhu I²C programové. Prefix 02_H dovoluje připojit přijímače odpovídající staršímu standardu CBus, prefixy 03_H - 0F_H dovolují další rozšiřování funkcí. Konečně, adresy s prvkem F8_H - FF_H podporují desetibitovou adresaci (poslední tři bity znaku jsou nejvyššími řády adresy, zbyvajících sedm bitů adresy je ve druhém znaku).

Důležitou součástí protokolu I²C je arbitráž v konfiguracích s více řadiči (obr.4.18). Přístup libovolného řadiče na sběrnici, která je v klidovém stavu (jednotková úroveň signálu SCL i

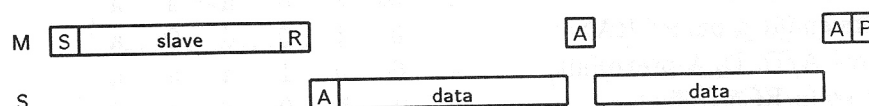
Obr. 4.18: Arbitráž na sběrnici I²C

SDA po dobu alespoň t_{HIGH} je zahájován sestupnou hranou signálu SDA. Pokud je prvek START generován současně více řadiči, je nutné vybrat jeden, který smí sběrnici použít. Nutnou podmínkou arbitrážní procedury je synchronizace hodinových signálů generovaných řadiči, které soupeří o sběrnici. Je zajištěna stejným způsobem jako synchronizace řadiče s podřízeným obvodem: řadič, který ukončil fázi LOW hodinového signálu SCL musí počkat na přechod signálu SCL do úrovně HIGH. Vlastní arbitráž se opírá (podobně jako synchronizace hodinového signálu) o funkci sběrnice s otevřenými kolektory. Řadič, který v době fáze HIGH hodinového signálu čte na datovém vodiči úroveň, kterou sám generuje, smí pokračovat v komunikaci. Řadič, který generuje úroveň HIGH ale čte úroveň LOW, musí přenos ukončit a pokusit se o přenos později. Jedná se tedy systém s prioritním přístupem, zprávy s nižší adresou (nebo identifikací funkce) jsou předávány přednostně.

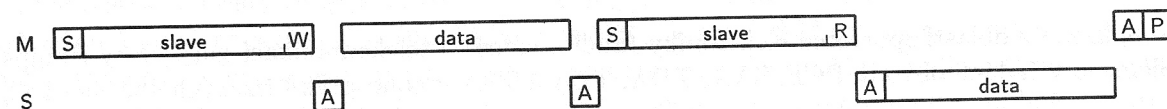
VYSÍLÁNÍ



PŘÍJEM



KOMBINACE (VYSÍLÁNÍ + PŘÍJEM)

Obr. 4.19: Předávání dat po sběrnici I²C

Vlastní přenos dat mezi řadičem, který získal přístup ke sběrnici, a podřízenou stanicí je definován jednoduchým protokolem (obr.4.19). Ten, vedle potvrzování devátým bitem, dovoluje předat sběrnici podřízené stanici pro přenos dat. Řadič, který jednou sběrnici získá, si ji může, po zopakování prvku START a pozitivním výsledku arbitráže, podržet i pro další přenos.

Přenosová rychlost je určena hodinovým signálem, může být u standardních obvodů až 100 kb/s (Standard Mode), novější obvody dovolují jít až na 400 kb/s (Fast Mode). Spodní hranice není omezena, obvody I²C lze ovládat i programem na paralelním I/O rozhraní (podobně jako obvody SPI nebo MicroWire).