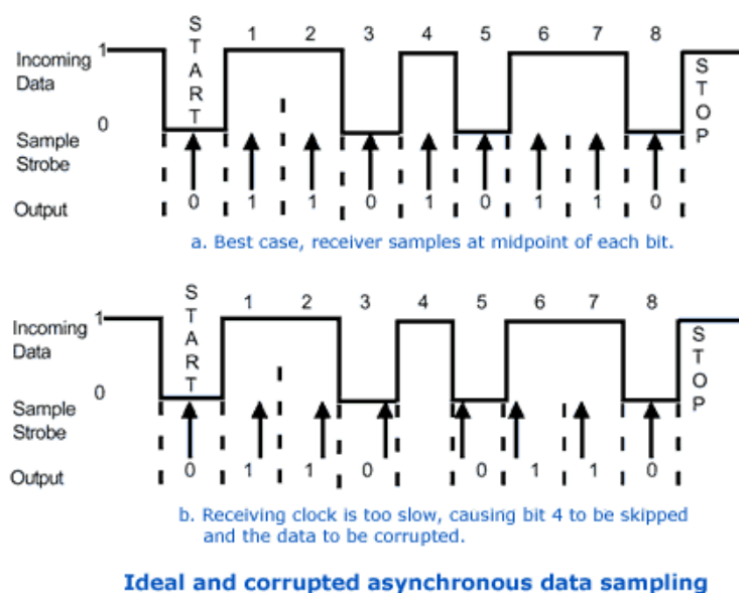


Fyzická vrstva - kódování a modulace

Službou fyzické vrstvy je bezpečný přenos jednotky informace. **Přenos dat** v počítačové síti v základním pásmu (linková technologie Ethernet) je

- Sériový
- Asynchronní
- Arytmický

Data jsou přenášena v blocích bez synchronizace počátku vysílání - **arytmicky** (když je to potřeba a je to možné). Dále **uvnitř bloku dat nejsou jednotlivé bity informace synchronizovány vnějším signálem** – **asynchronní přenos**. Data jsou vysílána v šířce toku jednoho bitu za sebou – **sériově**.



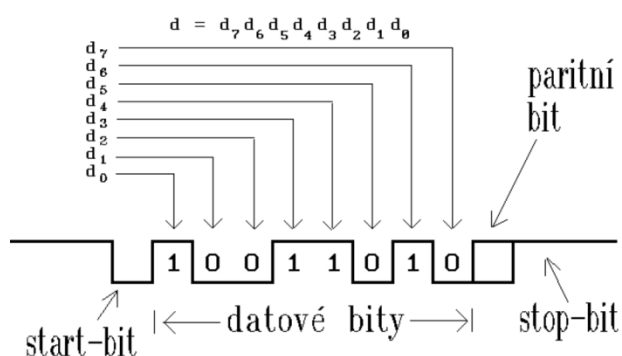
Zabezpečení bezchybného přenosu dat

Ošetření sériového přenosu dat

Sériově přenášený blok dat má většinou zajištěnu **kontrolu správné interpretace stavu signálu**. Kontrola je umístěna **na konci bloku**. Používá se kontrola **paritním bitem** nebo **kontrolním součtem**. Kontrola paritou je klasické řešení. **Dopočítává se paritní bit (devátý bit) ke každému přenášenému bytu**. Dle celkového počtu jedniček je **parita sudá nebo lichá**. Kontrola paritou se používá v jiných oblastech výpočetní techniky. V počítačových sítích se používá jen **výjimečně jako doplnění kódování** (např. NRZI). Kontrola celého bloku dat se provádí **pomocí kontrolního součtu – CRC**. Kontrolní součet je **vícebytový**.

Příklad použití paritního bitu

7bitová data	1 byte s paritním bitem	
	sudá parita	lichá parita
0000000	00000000	10000000
1010001	11010001	01010001
1101001	01101001	11101001
1111111	11111111	01111111

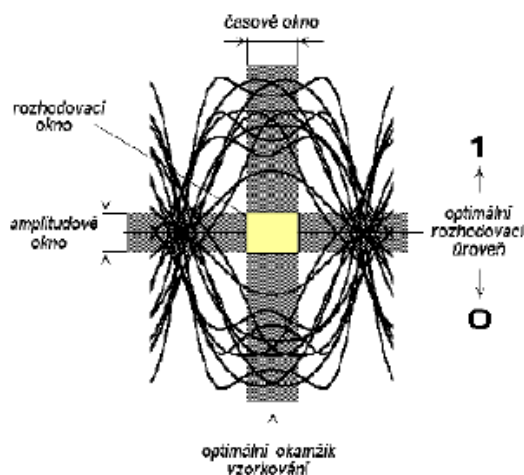


Ošetření „arytmického“ přenosu dat

Start přenosu bloku dat musí být ošetřen, tak aby se HW adaptoval na přenos. U sériových přenosu je používána **preamble**. Preamble je **úvodní sekvence bloku dat**. Start je také například avizován tzv. **start bitem** a konec zase **stop bitem**. U počítačových sítí se používá **úvodní sekvence znaků**, které se jinak nevyskytují a to v délce několika bytů.

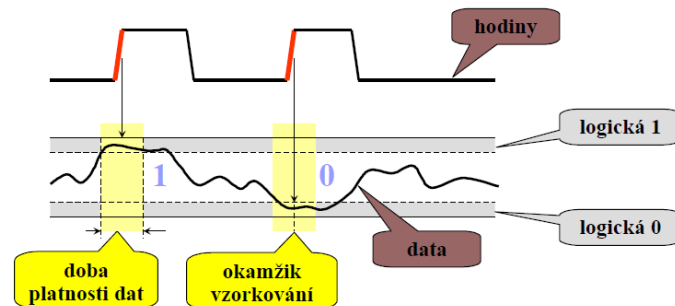
Ošetření problému synchronizace

V rámci přenosu dat je nutné **správně vyhodnotit logické stavy signálu**. Bez nějakého způsobu synchronizace se stává přenos dat nespolehlivý. Při zpracování signálu **záleží na okamžiku vyhodnocení – časové okno a rozhodovací úroveň – amplitudové okno**. Signál je nutné vyhodnotit ve vhodném **okamžiku**, kdy již došlo k ustálení po změně, ale ještě se **neprojevuje následující změna**. Rozhodovací úroveň je nutné umístit tak, aby rušení mělo na vyhodnocení co nejmenší vliv.



Pozn:

Níže je uveden **synchronní přenos s použitím hodinového signálu SYN**, kde **vzestupná hrana označuje dobu validity dat**.

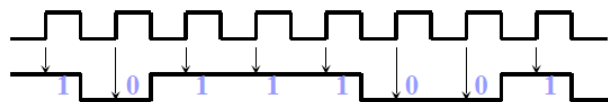


Protože v počítačových sítích není k dispozici zvláštní hodinový signál, je potřeba **zajistit vložení synchronizace pomocí kódování signálu**. Příjímač musí být informován o tom, že došlo k modulační změně.

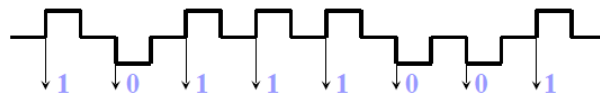
Kódování signálu pak umožní přijímači signálu s vlastním generátorem **synchronizačního signálu se synchronizovat s přijímaným signálem**. Je to většinou doprovázeno dostatečným počtem změn kódovaného signálu. **Nejhorším případem** pro synchronizaci jsou **dlouhé série stejných logických úrovní** (0 nebo 1).

Možnosti přenosu hodinového signálu

- **hodinový signál se přenáší po samostatném vodiči**



- **hodinový signál se přenáší současně s daty**



- **hodinový signál lze také nějak zakódovat do přenášených dat**



Kódování dat

Způsobů kódování je celá řada. **Základními metodami jsou**

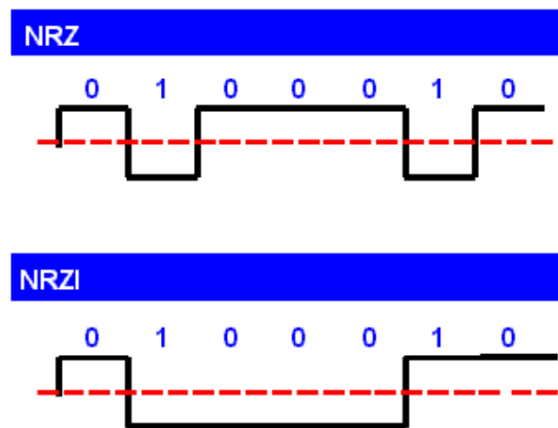
- **NRZI + parita** (Non Return To Zero – NRZ, Non Return To Zero Invert – NRZI)
NRZI používá USB v kombinaci se synchronizací.
- **PSK** (Phase Shift Keying) a **DPSK** (Differential Phase Shift Keying) Jedná se spíše o modulaci signálu pomocí synchronizace.

Metody jsou doplňovány použitím **kódovacích tabulek**

- **4b5b**
- **8b10b**

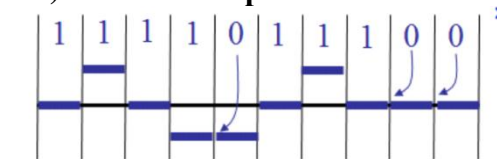
Další typy tabulek se používají dle konkrétních potřeb (uvedené jsou používány Ethernetem).

NRZI používá 100BaseFX - optika



Pozn.: 1 – změna , 0 – beze změny

MLT3 (Multi-Level Transmit) – 3 úrovně – používá 100BaseTX

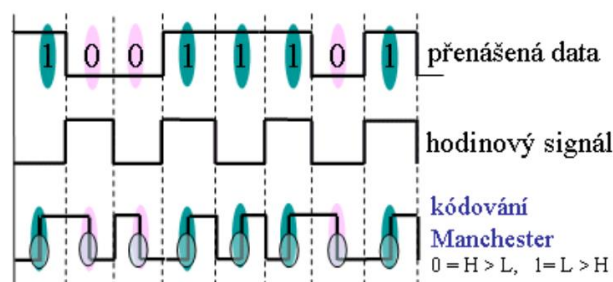


– kódování MLT-3 (Multi-Level Transition)

- 0 nechává signál beze změny
- 1 znamená změnu signálu
 - změna není mezi 0 a 1, ale na další prvek v posloupnosti 0, -, 0, + atd.

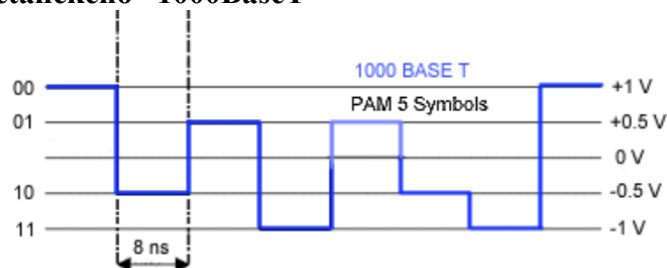
Pozn.: časový interval – time slot je 8nsec

PSK / DPSK – kódování Manchester původní kódování Ethernetu 10Base



Pozn.: 1 – je vpravo a 0 – je vlevo v rámci vzorkování hodinovým signálem

PAM 5 – řešení „metalického“ 1000BaseT



Pozn.: během jednoho time slotu se přenáší 2 bity.

Kódovací tabulky - 4b5b (nebo 4B5B)

Každé čtveřici bitů je přiřazena pětice bitů, ve které se pokud možno pravidelně střídají hodnoty 1 a 0 (**16 kombinací je vybráno z 32 kombinací**). **Snižuje to přenosový výkon** (pro 100Mbps je potřeba 125Mbps). **Používá 100Mbps(Fastethernet) spolu s kódováním** (viz výše).

Name	4b	5b	Description
0	0000	11110	hex data 0
1	0001	01001	hex data 1
2	0010	10100	hex data 2
3	0011	10101	hex data 3
4	0100	01010	hex data 4
5	0101	01011	hex data 5
6	0110	01110	hex data 6
7	0111	01111	hex data 7
8	1000	10010	hex data 8
9	1001	10011	hex data 9
A	1010	10110	hex data A
B	1011	10111	hex data B
C	1100	11010	hex data C
D	1101	11011	hex data D
E	1110	11100	hex data E
F	1111	11101	hex data F
Q	-NONE-	00000	Quiet (signal lost)
I	-NONE-	11111	Idle
J	-NONE-	11000	Start #1
K	-NONE-	10001	Start #2
T	-NONE-	01101	End
R	-NONE-	00111	Reset
S	-NONE-	11001	Set
H	-NONE-	00100	Halt

Kódovací tabulky 8B10B používá podobně 1Gbps Ethernet ke kódování PAM 5.

WiFi modulace DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) používá zakódování 1bitu do tzv. řezu (chipu - chipping code) sekvence **11bitů**. Zajistí se tím **bezpečné rozpoznání logické úrovně** i přes „zarušení“ signálu.

Modulace signálu

Dosud byl řešen **pouze přenos v základním pásmu** (běžný Ethernet). Bezdrátová přenosová média se základním pásmem nevystačí a musí **přenášena data modulovat na nosnou frekvenci zvoleného frekvenčního kanálu ve frekvenčním pásmu** (například ISM). Jedná se o přenos v přeloženém pásmu.

Modulace je nelineární proces, kterým se **mění charakter vhodného nosného signálu pomocí modulujícího signálu** (přenášena data - viz. Wikipedie). Na straně vysílání provádíme modulaci (modulátor) a na straně příjmu demodulaci signálu (demodulátor). Základní pojmy:

- **modulační signál** - signál, který chceme modulovat na nosný signál
- **nosný signál** - signál, který modulujeme modulačním signálem
- **modulovaný signál** - výsledný signál po procesu modulace

Typy modulací:

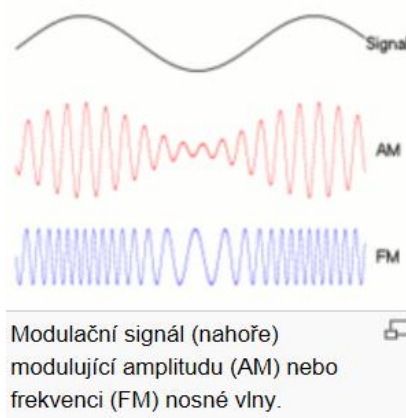
- **spojité analogové modulace** - nosným signálem je signál s harmonickým průběhem v čase (sinusoida nebo cosinusoida) a modulačním signálem je analogový signál
- **spojité digitální modulace** - nosným signálem je signál s harmonickým průběhem v čase (sinusoida nebo cosinusoida) a modulačním signálem je digitální signál
- **diskrétní modulace** - nosným signálem těchto modulací je signál s nespojitým průběhem často také nazývaný taktovací signál

Spojitá modulace

$$y = A \cdot \sin(\Omega t + \phi)$$

y je harmonický nosný signál. Modulováním můžeme měnit

- A -amplitudu - amplitudová modulace (AM)
- Ω -úhlová frekvence – frekvenční modulace (FM)
- Φ - fázový posun – fázová modulace – phase (PM)

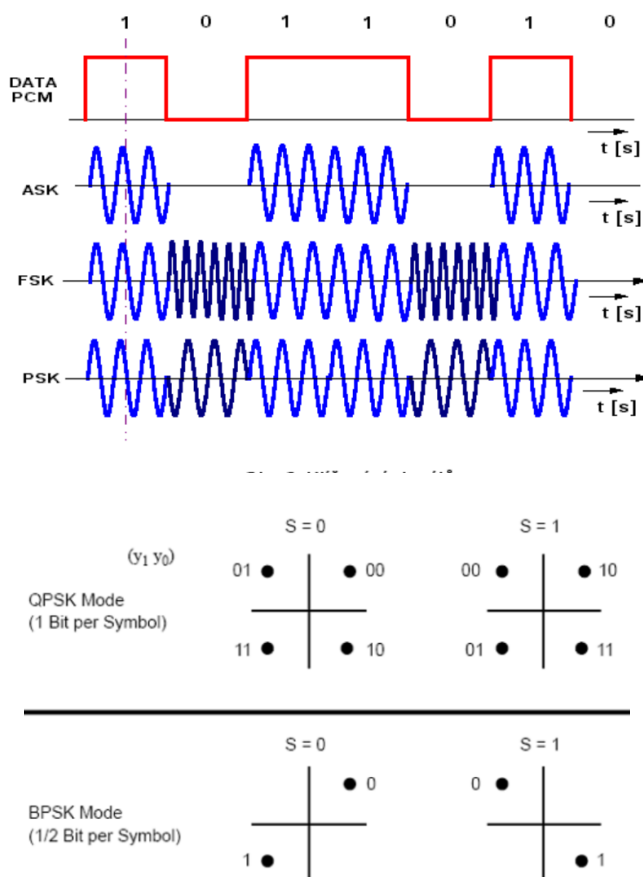


V počítačových sítích se nepoužívá.

Digitální (spojitá) modulace

Je-li **modulačním signálem digitální signál** nabývající konečného počtu stavů, nabývá i **fázor modulovaného signálu** konečného počtu poloh. Patří sem:

- **ASK** - Amplitude-Shift Keying (odpovídá AM)
- **FSK** - Frequency-Shift Keying (odpovídá FM) a její speciální případ **MSK** - Minimum-Shift Keying
- **PSK** - Phase-Shift Keying (odpovídá PM), typičtí představitelé:
 - **BPSK** - Binary Phase Shift Keying (dvoustavová)
 - **QPSK** - Quadrature Phase Shift Keying (čtyřstavová), 8PSK, 16PSK (vícestavové)



Pozn.: Při QPSK se přenáší v rámci změny fáze jedním ze 4 stavů dva bity, BPSK pouze jeden bit

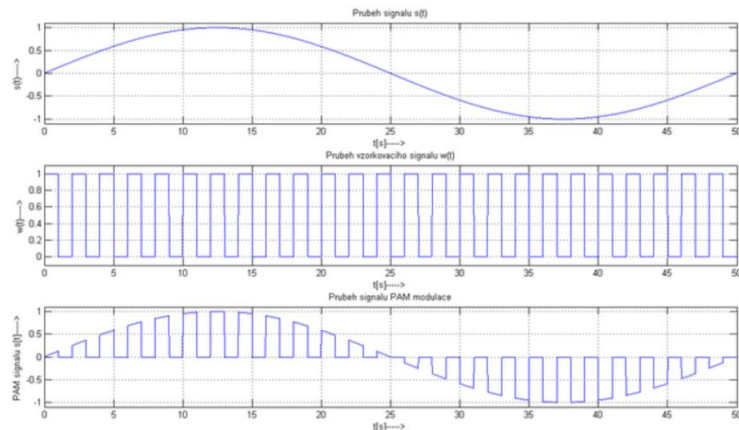
BPSK je kódování Manchester – Ethernet IEEE 802.3. **BPSK a QPSK modulaci mimo jiné používají také standardy WiFi 802.11 a/g/n v rámci OFDM.**

Diskrétní modulace

U **taktovacího signálu** diskrétních modulací lze měnit několik parametrů. Diskrétní modulace se rozdělují podle toho, jestli je modulační signál **spojitý (nekvantovaný)** nebo **diskrétní (kvantovaný)**.

- **nekvantované**

- pulzně amplitudová modulace - **PAM**
- pulzně šířková modulace - **PWM** (*W z anglického width*)
- pulzně polohová modulace - **PPM** (*P z anglického position*)

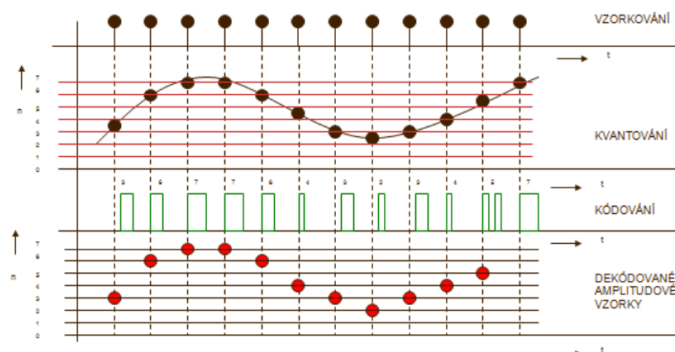


Pozn.: **Příklad PAM** - pulzně amplitudové modulace.

V počítačových sítích se běžně k přenosu dat nepoužívá

- **kvantované**

- pulzně kódová modulace - **PCM** (*C z anglického code*)
- delta modulace - **DM**
- adaptivní delta modulace - **ADM**
- diferenční pulzně kódovaná modulace - **DPCM**
- adaptivní diferenční pulzně kódová modulace – **ADPCM**



Pozn.: **Příklad PCM** – pulzně kódové modulace

V počítačových sítích se běžně k přenosu dat nepoužívá

Složené modulace

Nejpoužívanější složené modulace:

- kvadrurní amplitudová modulace - **QAM** (*Q z anglického **q**uadrature*)
- amplitudově fázová modulace - **APSK** - podobná jako QAM, jiný konstelační diagram

QAM modulaci mimo jiné používají standardy WiFi 802.11 a/g/n v rámci OFDM pro vyšší přenosové rychlosti.

Rychlost [Mb/s]	Kódování	Poměr kódování
6	BPSK	1/2
9	BPSK	3/4
12	4-QAM	1/2
18	4-QAM	3/4
24	16-QAM	1/2
36	16-QAM	3/4
48	64-QAM	2/3
54	64-QAM	3/4

Pozn.: zdroj Wikipedie