

Základní principy přenosu dat

Petr Grygárek

Klasifikace přenosů dat

Podle směru využívání média

- Simplex – pouze v jednom směru
 - Příklad: TV vysílání
- Half duplex – v obou směrech, ale střídavě
 - Příklad: vysílačky, Ethernet s rozbočovači (hub)
- Full duplex – v obou směrech současně
 - Příklad: přepínaný Ethernet

Podle způsobu přenosu bitů znaků

- Paralelní
- Sériový
 - Asynchronní
 - Synchronní

V počítačových sítích téměř výhradně sériový přenos (menší náklady na přenosové médium)

Sériový přenos asynchronní (arytmický)

- přenos po znacích (znaky 8, nebo také 7,6 či 5 bitů)
- přijímač a vysílač si udržují vlastní hodiny, hodiny přijímače se synchronizují jen fázově a pouze před začátkem vysílání znaku (start bit)
 - z důvodu rozdílů v jinak nezávisle běžících hodinách vysílače a přijímače lze bez nebezpečí rozsynchronizování přenést jen několik bitů (znak)
- na konci znaku paritní bit (zabezpečení)
- mezi znaky pauza
 - stop bit s hodnotou 1, tedy opačnou, než má start bit (0)
- vlivem potřeby neustálé synchronizace mezi znaky a meziznakové mezery nižší efektivita než u synchronního přenosu
- použití: nízkorychlostní znakově orientované přenosy
 - terminály, průmyslové automaty, komunikační porty PC (COM)

Sériový přenos synchronní

- synchronizace vysílače a přijímače udržována neustále
- přenos po rámcích, rámec obsahuje vždy hlavičku a data proměnné délky, typicky stovky bajtů až jednotky kB, na konci rámce kontrolní součet
- začátky a konce rámců v bitovém toku vyznačeny speciální značkou (křídlová značka)
- při neaktivitě na lince klidový bitový vzor (opakující si křídlové značky)
- použití u vysokorychlostních komunikací nebo na isochronních linkách
 - směrovače a synchronní modemy pro pronajaté linky, ...
 - ISDN kanály

Fyzikální omezení při přenosu dat

Reprezentace dat signálem

Přenášená data reprezentujeme pomocí změn vhodné fyzikální veličiny v čase – signálu

Na signál můžeme pohlížet jako na funkci času

- $g(t)$

Obvykle používané veličiny nesoucí informaci

- Napětí, proud
- Intenzita světelného záření
- Akustický tlak
- ...

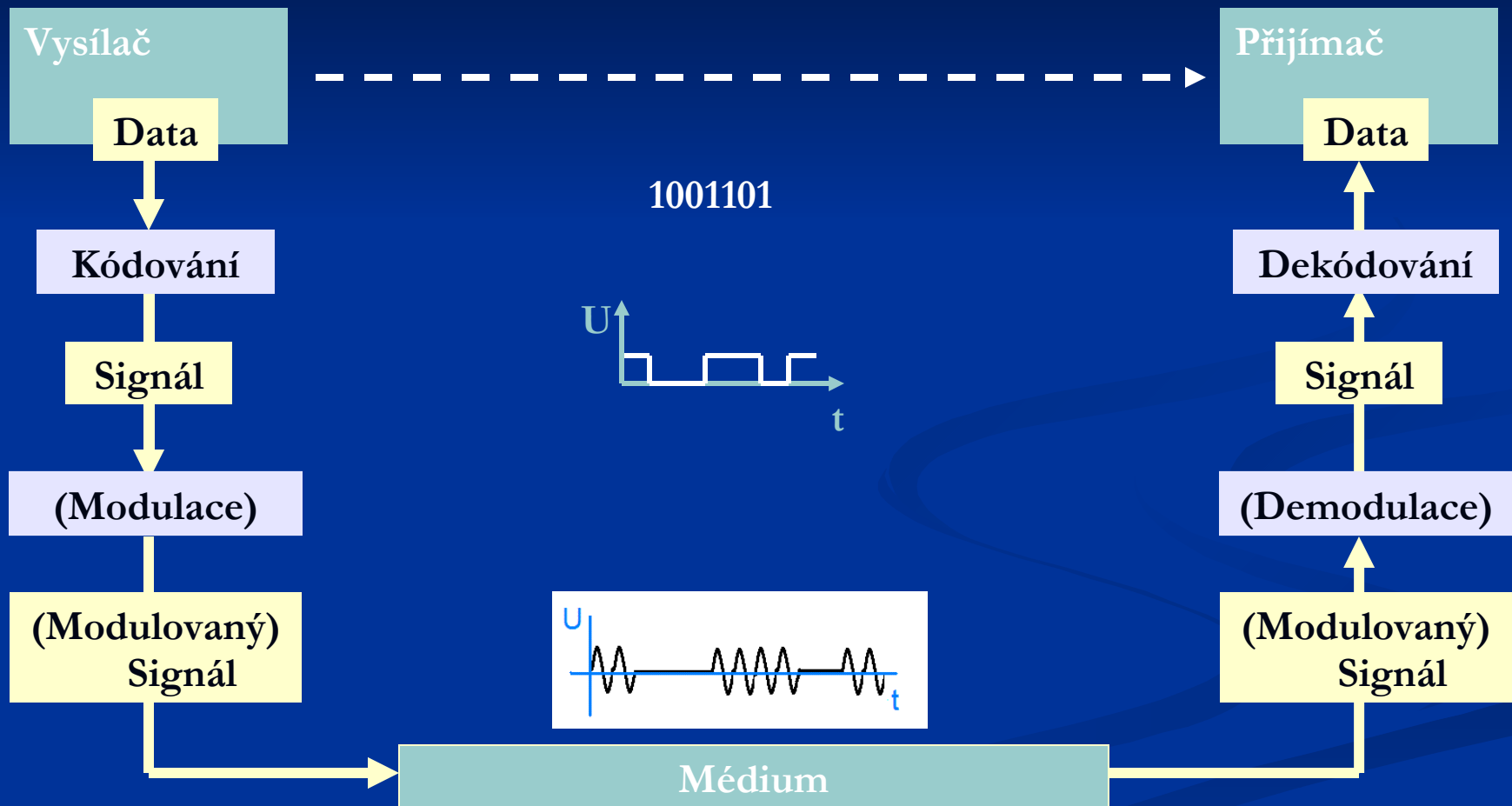
Médium



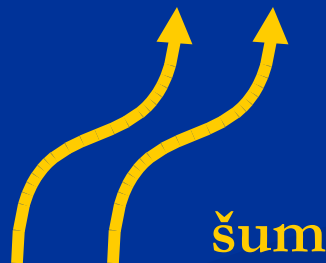
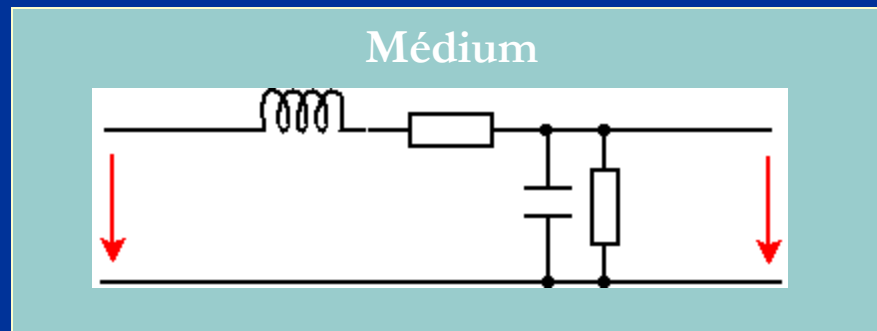
Signál se šíří médiem (prostředím)

- Metalické vedení
 - (koaxiál, kroucená dvojlinka, ...)
- Optické vlákno
- Vzduch, vakuum, ...
- ...

Přenos dat médiem pomocí signálu

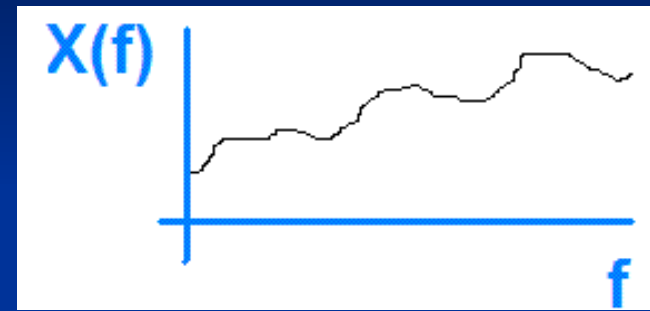


Působení média na signál



Parametry média

- Útlum
- Rychlost šíření signálu
- Přeslechy
- Útlum odrazu
- ...



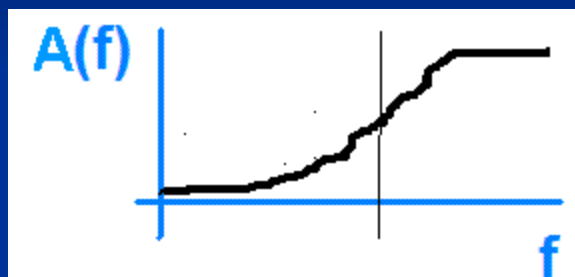
Obecně závislé na přenášené frekvenci

⇒ snaha využívat co nejvyšší pásmo frekvencí

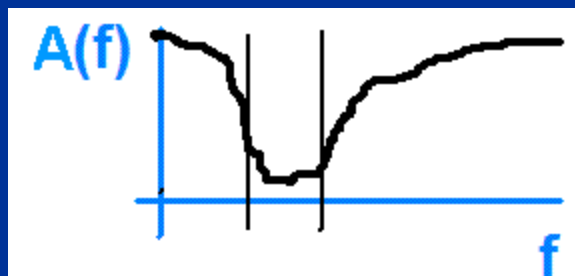
- (rozdíly v hodnotách frekvenčně závislých parametrů na spodním a horním okraji pásma nebudou velké)

Použitelný frekvenční rozsah média

Médium používáme v rozsahu frekvencí, kde má výhodné parametry



Médium se chová jako
dolní propust

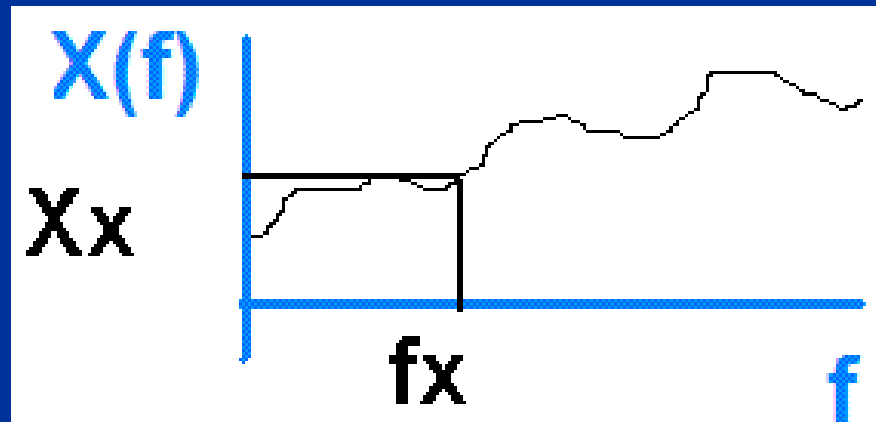


Médium se chová jako
pásmová propust

Ve frekvenční charakteristice může být i více využitelných „oken“

Jak médium ovlivní signál ?

- Sinusový signál – jediná frekvence.
Hodnotu parametru média pro danou frekvenci můžeme odečíst z příslušné charakteristiky (např. útlum)

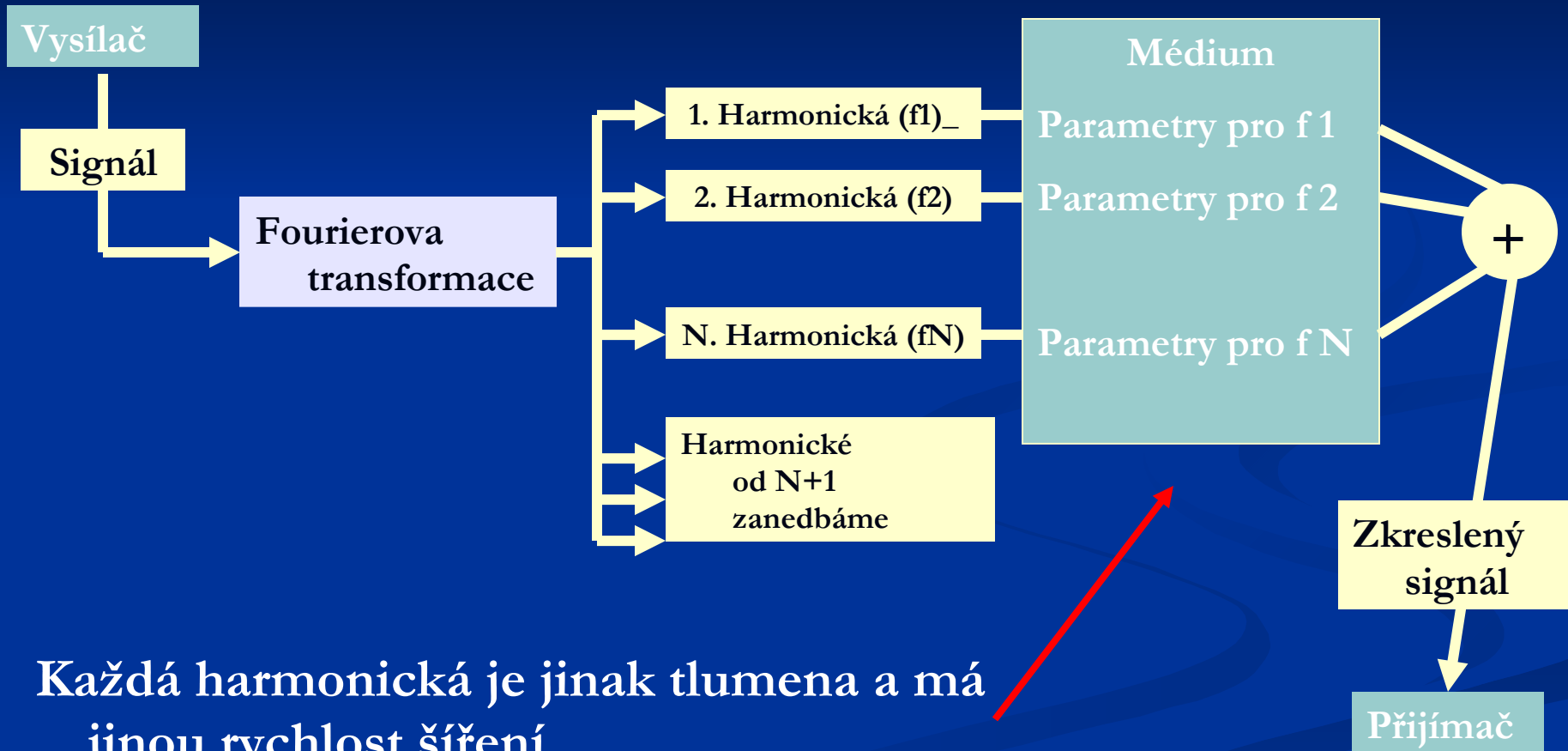


- Obecný signál - ???

Rozklad signálu na harmonické složky

- Signál můžeme rozložit na součet (nekonečného počtu) sinusových signálů (harmonických) o postupně se zvětšujících frekvencích – násobcích základní frekvence
- Jednotlivé harmonické mají různou amplitudu a fázové posunutí oproti základní frekvenci (první harmonické)
- Posoudíme vliv parametrů média na každou harmonickou zvlášť, výsledky sečteme

Vyšetření působení média na signál



Každá harmonická je jinak tlumena a má jinou rychlost šíření

Jak signál rozložit na harmonické složky ?

- Použití Fourierovy řady
- Je-li $g(t)$ rozkládaný (periodický) signál a T jeho perioda:

$$g(t) = \sum_{n:1}^{\infty} A_n \cdot \sin(n\omega t) + \sum_{n:1}^{\infty} B_n \cdot \cos(n\omega t) + \frac{1}{2}c$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

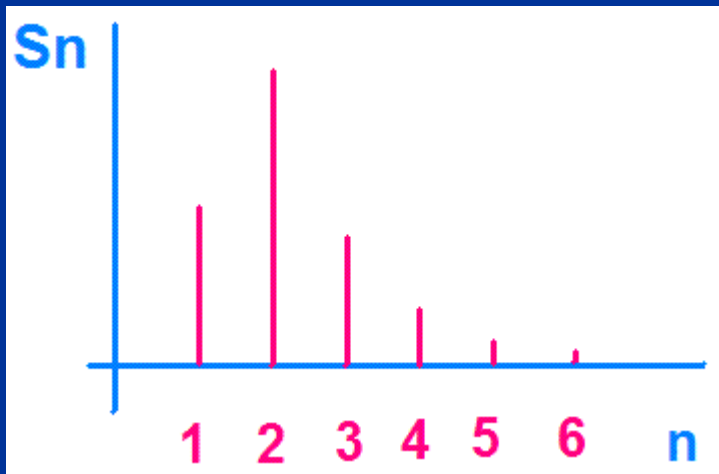
$$A_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cdot \sin(n\omega t) dt$$

$$B_n = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) \cdot \cos(n\omega t) dt$$

$$c = \frac{2}{T} \int_0^T g(t) dt$$

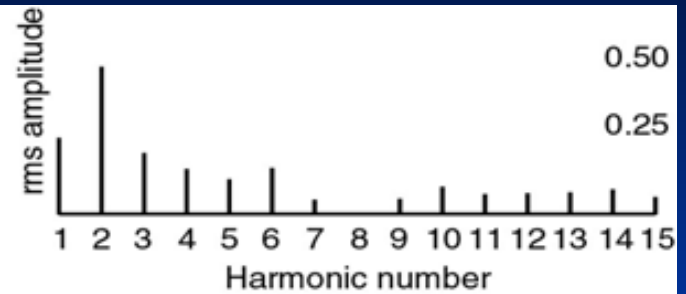
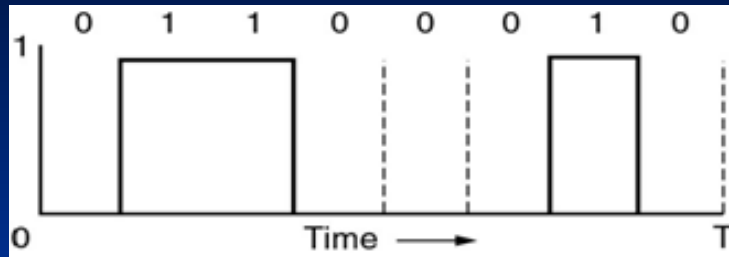
Spektrum signálu

- Určuje, jakou část výkonu signálu nese která harmonická
 - Posuzování vlivu zanedbání (odfiltrování) jednotlivých harmonických

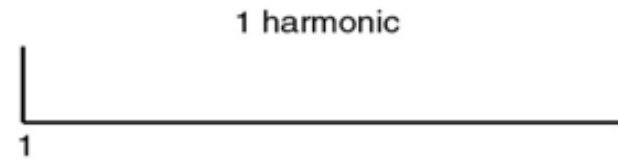
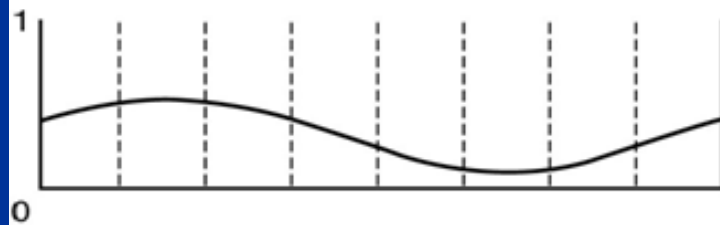


$$S_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

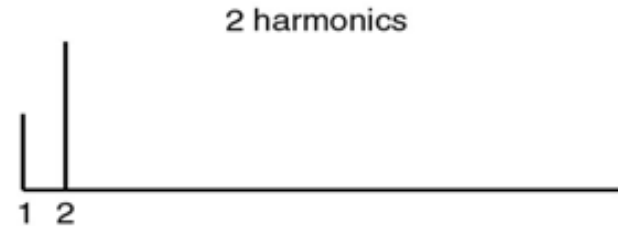
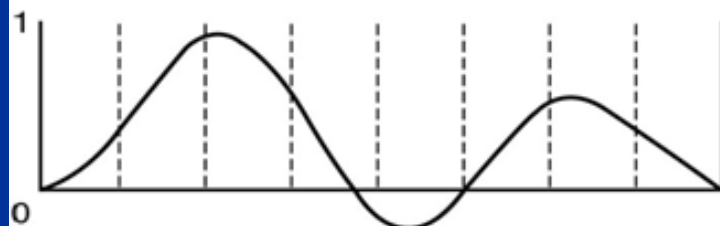
Příklad (1)



(a)

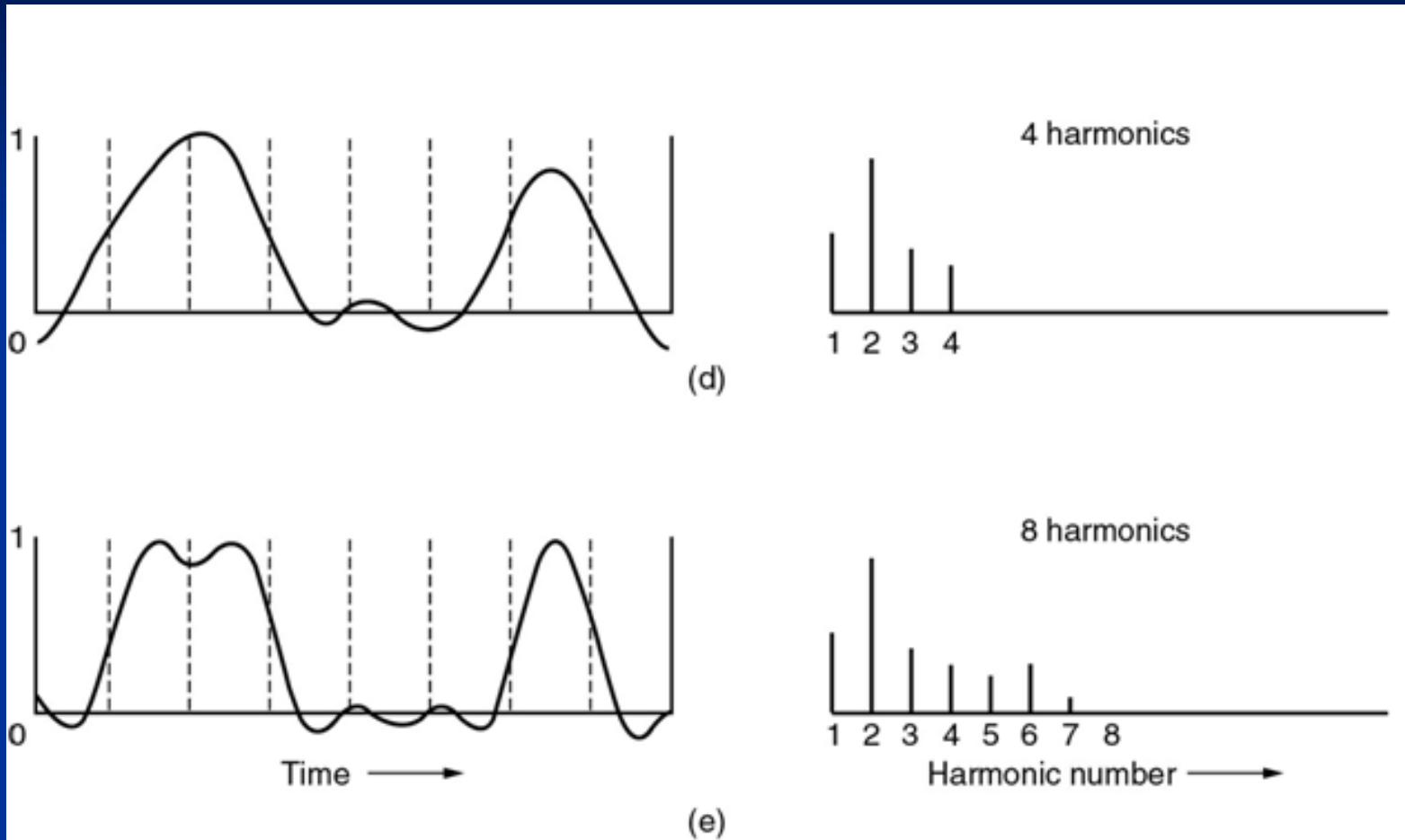


(b)



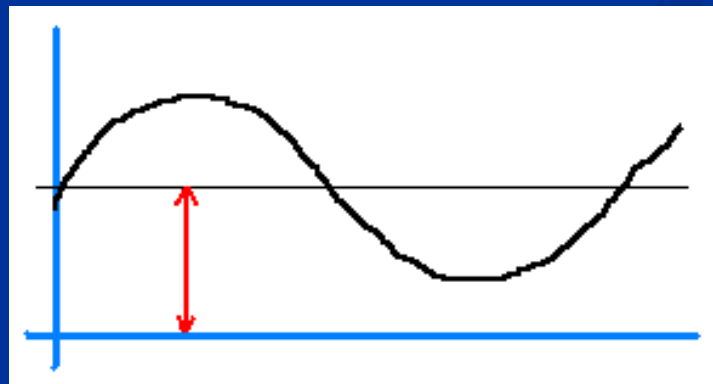
(c)

Příklad (2)



Stejnosemřná složka

- Posunutí signálu v „ose y“
- Obvody navazující přijímač a vysílač na médium stejnosmřnou složku zpravidla nepřenášíjí
 - telefonní síť, Ethernet – galvanické oddělení (transformátor - přenáší pouze změny)



Kontrolní otázka

Kolik čar ve spektru a kde bude mít sinusový signál ?

Přenos v základním a přeloženém pásmu

Základní a přeložené pásmo

- V základním pásmu (baseband)
 - Přenáší se přímo frekvenční spektrum vzniklé zakódováním sekvence jedniček a nul
- V přeloženém pásmu (broadband)
 - frekvenční spektrum zakódované sekvence jedniček a nul se překládá do frekvenčního pásma, kde má médium vhodné charakteristiky
 - nebo mimo oblast, kde již nějaký signál přenášen je
 - umožňuje využití média pro více nezávislých přenosů

Přenos v přeloženém pásmu

Přenos v přeloženém pásmu

Princip a výhody

- Přeložení signálu do frekvenční oblasti vhodné pro přenos médiem - modulace



- Řeší problém s kanály, které nepřenáší stejnosměrnou složku
- Možnost vícenásobného využití média

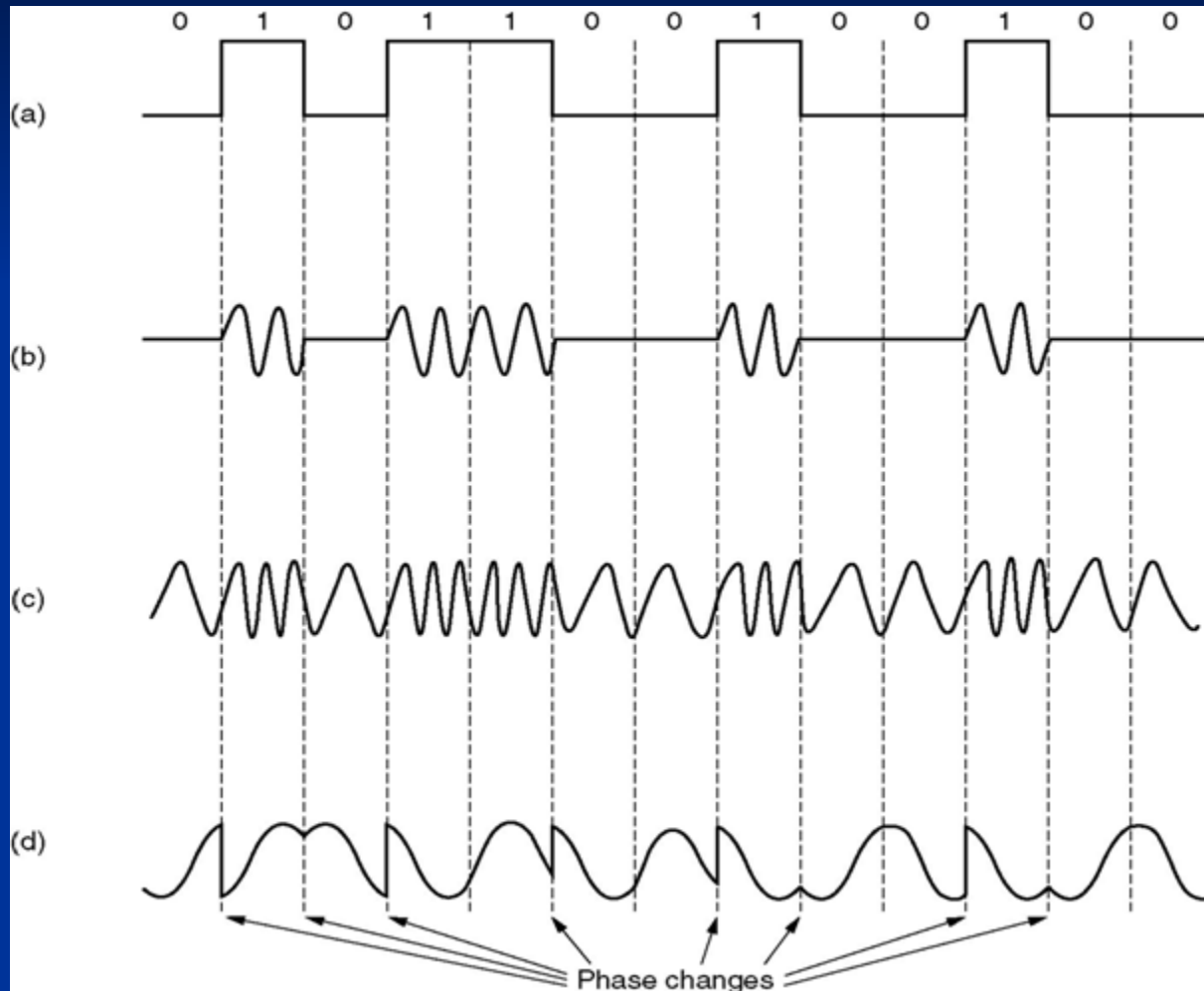
Modulace - princip

- Zvolíme sinusový signál o frekvenci vhodné pro přenos médiem – modulovaný signál (nosná)

$$s(t) = A \cdot \sin(\omega t + \phi)$$

- Měníme jeho parametry v závislosti na přenášených datech – modulačním signálu
 - Amplitudu
 - Frekvenci
 - Fázi
 - Kombinaci těchto parametrů

Amplitudová, frekvenční a fázová modulace

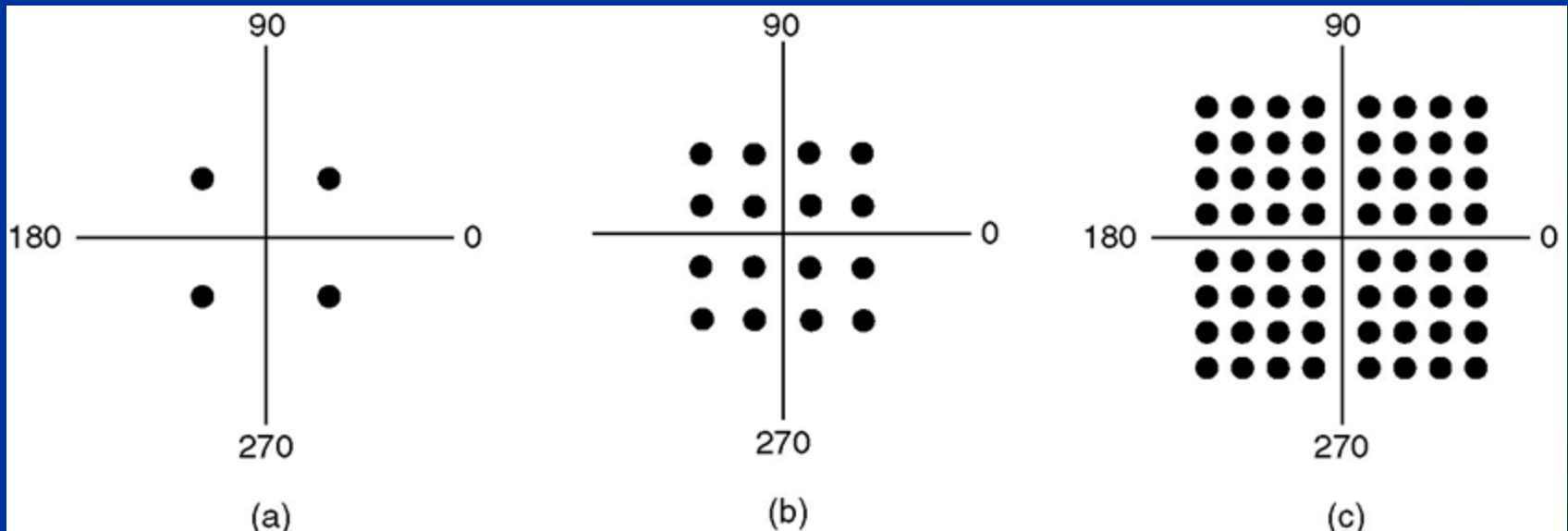


Fázová modulace

- 2^n možností změny fáze (úhlového posunutí) zakóduje jednou změnou současně n bitů
- Např. změna o 45, 135, 225 a 315 stupňů
- Omezeno schopnostmi přijímacích obvodů rozlišit počet stupňů změny fáze

Kvadrurně-amplitudová modulace (QAM)

Kombinace fázové a amplitudové modulace



Přenosová vs. modulační rychlost

- Modulační rychlost – počet změn v signálu za jednotku času
 - Baud [Bd]
- Přenosová rychlost – počet bitů přenesených za jednotku času
 - b/s, bps

Přenosová rychlost může být vyšší než modulační – jednou změnou v signálu můžeme vyjádřit najednou více bitů (máme-li dost možných „druhů“ změn)

Maximální dosažitelná přenosová rychlost

Existuje vztah mezi požadovanou bitovou rychlostí a minimální šířkou pásma k tomu potřebnou ?

- Nyquistova věta:
 - Signál, který neobsahuje frekvence vyšší než H může být plně zrekonstruován ze vzorků (samples) snímaných s frekvencí $2H$.
 - Před vzorkováním nutná filtrace dolní propustí o mezním kmitočtu H

Maximální dosažitelná přenosová rychlost (2)

- Pokud při vzorkování kvantizujeme na V diskrétních úrovní, potřebujeme pro přenos takto vzorkovaného signálu minimálně bitový tok $2.H.\log_2(V)$ [b/s]

Úvahu můžeme otočit:

- Máme-li kanál s maximální přenášenou frekvencí H a rozlišujeme-li V diskrétních úrovní signálu, můžeme přenést maximální bitový tok $2.H.\log_2(V)$ [b/s]

Maximální přenosová rychlost v prostředí se šumem

- Pro termický šum platí Shannonova věta

$$\text{max_bps} = H \cdot \log_2(1 + S/N)$$

- S/N je poměr výkonu užitečného signálu a šumu
 - tzv. „odstup signálu od šumu“,
 - často vyjadřovaný spíše v dB ($10 \cdot \log(S/N)$)

Shannonova věta - příklad

Mějme telefonní kanál přenášející frekvence
300-3400 Hz s odstupem signálu od šumu 30 dB
(1000/1):

$$\text{max_bps} = 3100 \cdot \log_2(1 + 1000/1) = 30,9 \text{ kbps}$$

Přenos v základním pásmu

Princip přenosu v základním pásmu

- Digitální signál se přenáší v původním pásmu
 - Nepoužívá se modulace
- Pro metalická vedení v LAN, pro optická vlákna (i ve WAN)
 - omezení dosahu (nevhodné vlastnosti média v určitých částech pásma)
- Bez použití nosné frekvence potřebujeme jiný mechanismus fázové synchronizace přijímače s vysílačem

Kódování dat při přenosu v základním pásmu

- Zajištění výskytu změn v signálu pro časovou synchronizaci přijímače s vysílačem
 - fázová synchronizace, neustálá korekce časové základny přijímače
 - větší množství změn v signálu za časovou jednotku vede k vyšším frekvencím v signálu a tudíž potřebě širšího frekvenčního pásma pro jeho přenos
- Odstranění stejnosměrné složky
 - vazební obvody by stejnosměrnou složku nepřenesly, nemožnost rozpoznání dlouhých sekvencí nul od sekvencí jedniček

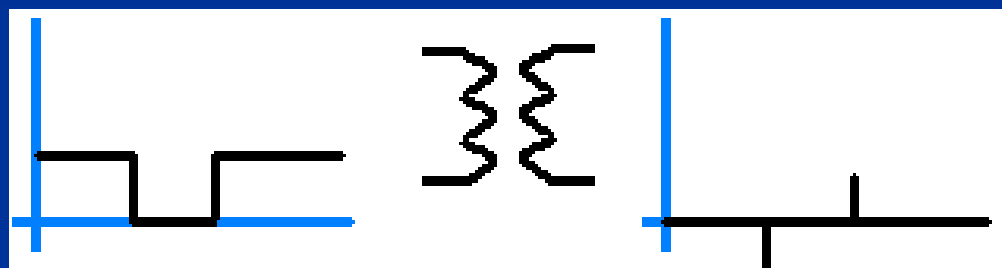
Nesměšovat s kódováním pro účely komprese nebo utajení

Kód Non Return to Zero (NRZ)

- přímé dvoustavové kódování
- binární 0: nízká úroveň, binární 1: vysoká úroveň

Problémy kódu NRZ

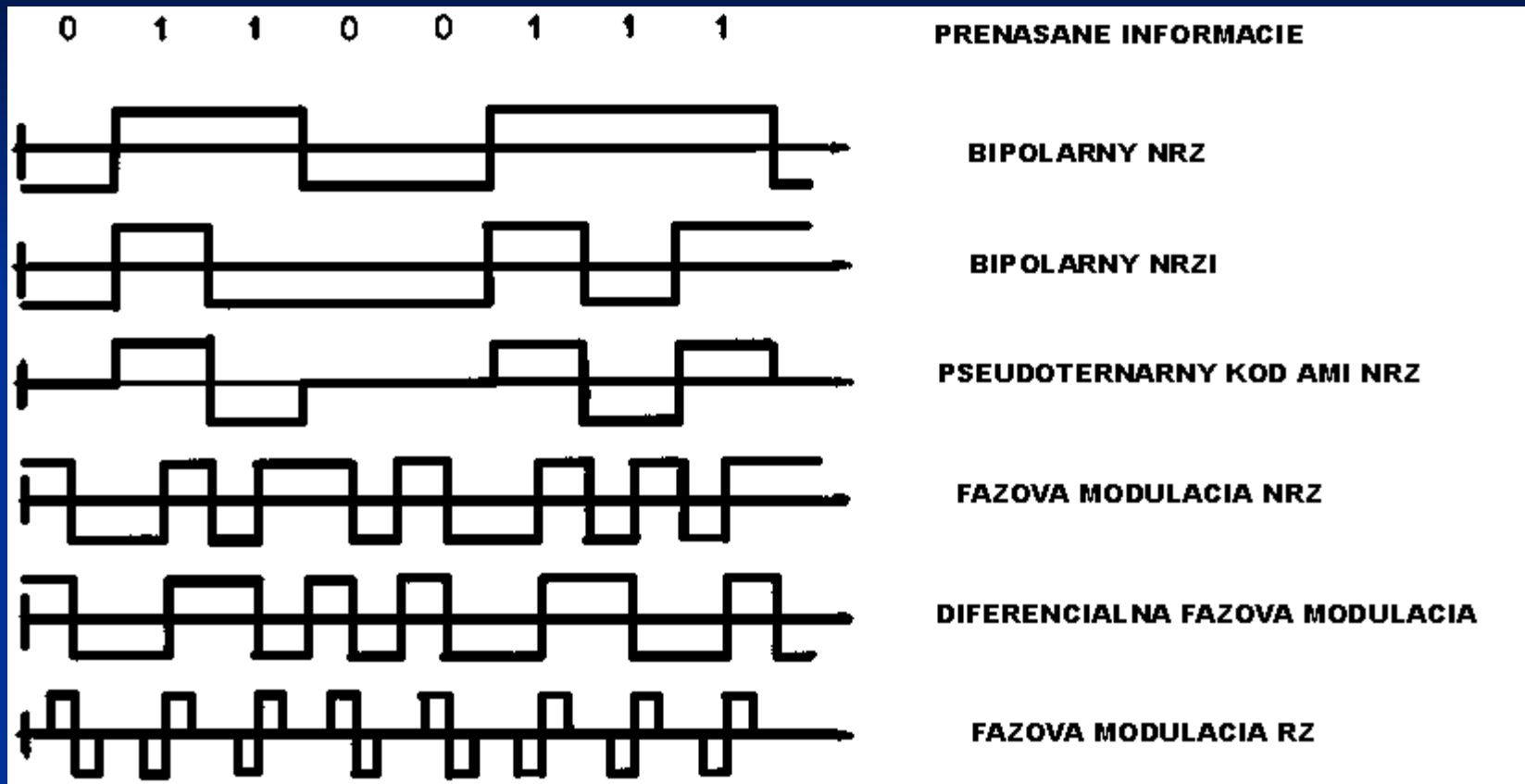
- Pokud se nepřenáší stejnosměrná složka, nerozlišíme sekvenci nul od sekvence jedniček



- Při dlouhých sekvencích nul/jedniček nelze ze signálu obnovit časovou synchronizaci pro přijímač
 - „Následovalo po sobě 1000 nebo 1001 jedniček ?”

Nejčastější kódování pro přenos v základním pásmu

Některá vybraná kódování

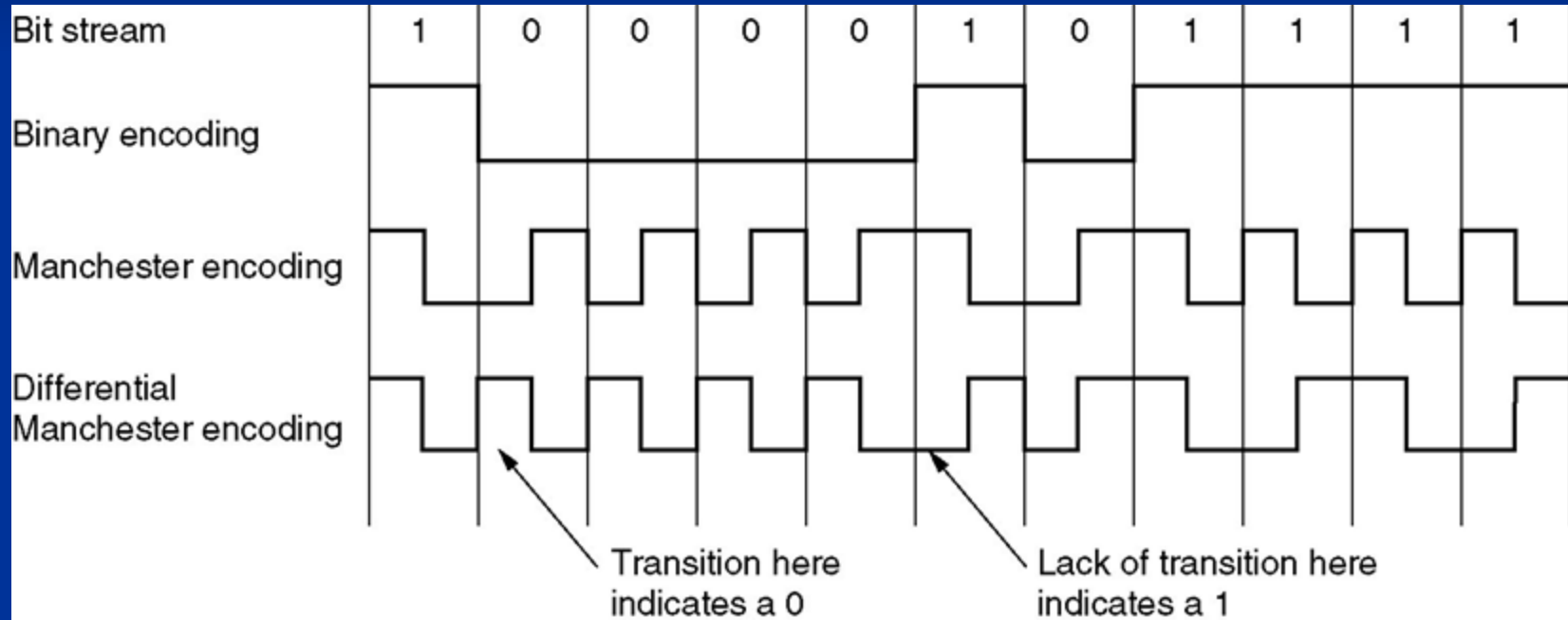


(převzato z <http://alf.fei.tuke.sk/pai/exam/04.html>)

Manchester, Diferenciální Manchester

- Manchester
 - Kódování směrem změny uprostřed bitového intervalu
 - binární 0-sestup signálu, binární 1-vzestup signálu.
 - Na začátku bitového intervalu změna jen je-li potřebná
 - Použití v Ethernetu (10Mbps) na metalickém vedení
- Diferenciální Manchester
 - Kódování změnou nebo absencí změny na začátku intervalu
 - binární 0-změna, binární 1-absence změny
 - Uprostřed intervalu změna vždy (směr podle potřeby)

Kódování Manchester a Diferenciální Manchester - příklad



Return Zero (RZ)

Non Return to Zero Inverted (NRZI)

- RZ

- Třístavový (úrovně napětí 0, -1, +1)
 - První polovina bitového intervalu kóduje hodnotu bitu
 - +1 při kódování binární 1
 - -1 při kódování binární 0
 - Ve druhé polovině vždy nulová úroveň

- NRZI

- Dvoustavový
- kódování binární 1: inverze signálu
- kódování binární 0: úroveň signálu zůstává

Alternate Mark Inversion (AMI)

- 3 úrovně amplitudy signálu (0, +1, -1)
 - Binární nula: nulová hodnota
 - Binární jednička: střídavě úroveň +1 a -1
- Porušení pravidel střídání možno použít pro označení významného bodu v datech
 - např začátku rámce: použití v ISDN (BRI S/T)
- Problém udržet synchronizaci přijímače při dlouhých posloupnostech nul

HDB3

- AMI neřeší problém dlouhých posloupností nul
- HDB3 = modifikace AMI
 - po třech nulách vkládá jedničku
 - vložená jednička se pozná porušením pravidla střídání polarity
- Standardizován pro telekomunikační rozhraní E1-E3
 - Digitální spoje mezi ústřednami (PCM)

Code Mark Inversion (CMI)

- Pro přenos AMI/HDB3 přes optická vedení
- U optických vedení nelze vyjádřit dvojí polaritu (3 úrovně, jen „svítí-nesvítí“)
- Jedna ze tří úrovní se vyjádří kombinací dvojice bitů (jedna kombinace zůstane nevyužita).

4B5B (5B6B, ...)

- Čtveřice bitů se mapují na vhodně vybrané bitové kombinace o šířce pěti bitů
 - (nebo pětice bitů na kombinace o šířce 6 bitů)
- Kombinace vybrány s ohledem na “přiměřený” výskyt změn a vyvážení výsledného signálu
- Některé kombinace označují zvláštní stavy
 - začátek a konec rámce, prázdná linka
- Použití: Fast Ethernet

2B1Q

- jedním ze 4 možných stavů (amplitud) se kódují vždy 2 bity současně
- Použití: BRI ISDN (rozhraní U)