

# KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE (BPC-KOM)

Ústav telekomunikací

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

VUT v Brně

doc. Ing. Jan Jeřábek, Ph.D.

[jerabekj@feec.vutbr.cz](mailto:jerabekj@feec.vutbr.cz)

# FYZICKÁ VRSTVA PŘENOSOVÝCH SYSTÉMŮ



# Plán přednášky

3

- Úvod do problematiky
- Základní charakteristiky přenosových médií
- Přenos digitálního signálu
- Analogové modulace
- Přenos digitálního signálu v základním pásmu
- Přenos digitálního signálu v přeneseném pásmu
- Digitalizace řečového signálu
- Typy telekomunikačních vedení a jejich charakteristika
- Přístup koncových zařízení k fyzické vrstvě
- Síťové prvky na fyzické vrstvě

# Základní charakteristika fyzické vrstvy

4

- fyzická vrstva především přenáší proud bitů přenosovým médiem
- úkolem je uzpůsobení dat získaných od spojové vrstvy do podoby bitového toku (přizpůsobení)
- fyzická vrstva pracuje s
  - ▣ kódování dat
  - ▣ modulace signálu
  - ▣ různé vlastnosti přenosových médií
- na fyzické vrstvě signály > reprezentace bitů zprávy
- z pohledu fyzické vrstvy důležité
  - ▣ časový průběh signálu
  - ▣ význam těchto signálů
  - ▣ jejich formát

# Základní charakteristika fyzické vrstvy

5

- vysílač
  - ▣ vytvoření signálu pro přenosové médium na základě bitové sekvence
- přijímač
  - ▣ ze signálu na médiu rozpoznat původní bitovou sekvenci
- musí být definována vzájemná návaznost řídicích a stavových signálů (spojová vrstva)
- řešení problematiky přenosových tras a konektorů

# Úvod do problematiky fyzické vrstvy

6

- přenosové médium = fyzické médium, přenášen signál od zdroje k cíli
- mezi nejběžnější přenosová média patří:
  - ▣ elektrické vodiče (obvykle měděné)
    - symetrický kabel (slangově kroucená dvojlinka)
    - koaxiální kabel
  - ▣ optická vlákna
  - ▣ volný prostor (vzduch nebo vakuum)
- vlastní přenos realizován pomocí elektromagnetických vln, různá kmitočtová pásma

# Spektrum

7

$10^0$   $10^2$   $10^4$   $10^6$   $10^8$   $10^{10}$   $10^{12}$   $10^{14}$   $10^{16}$   $10^{18}$   $10^{20}$   $10^{22}$   $10^{24}$   $f$  [Hz]

Radiové vlny

Mikro-  
vlny

Infra-  
červené  
záření

viditelné  
světlo

Ultra-  
fialové  
záření

Rentgenové  
záření

Gama  
záření

$10^4$   $10^5$   $10^6$   $10^7$   $10^8$   $10^9$   $10^{10}$   $10^{11}$   $10^{12}$   $10^{13}$   $10^{14}$   $10^{15}$   $10^{16}$   $f$  [Hz]

koaxiální kabel

satelitní spoje

optická  
vlákna

kroucený drát

TV

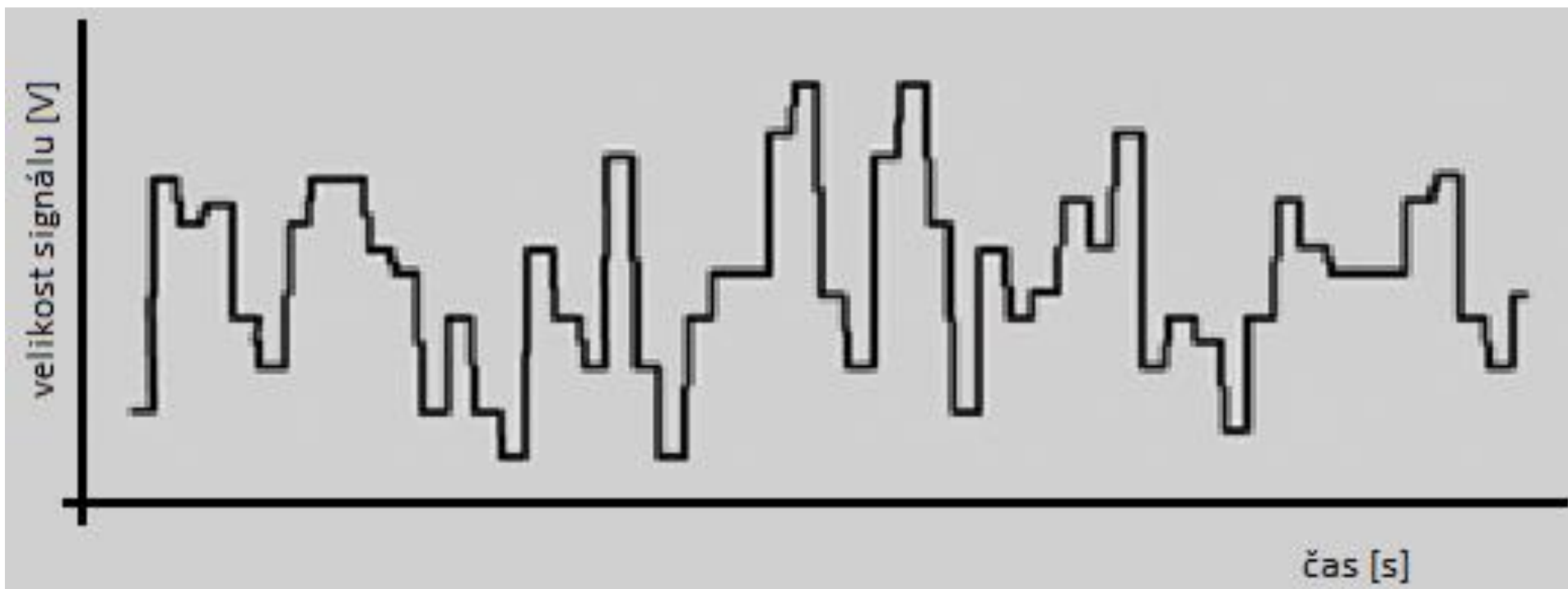
AM

FM

pozemní mikrovlnné spoje

# Signál v elektrickém vodiči

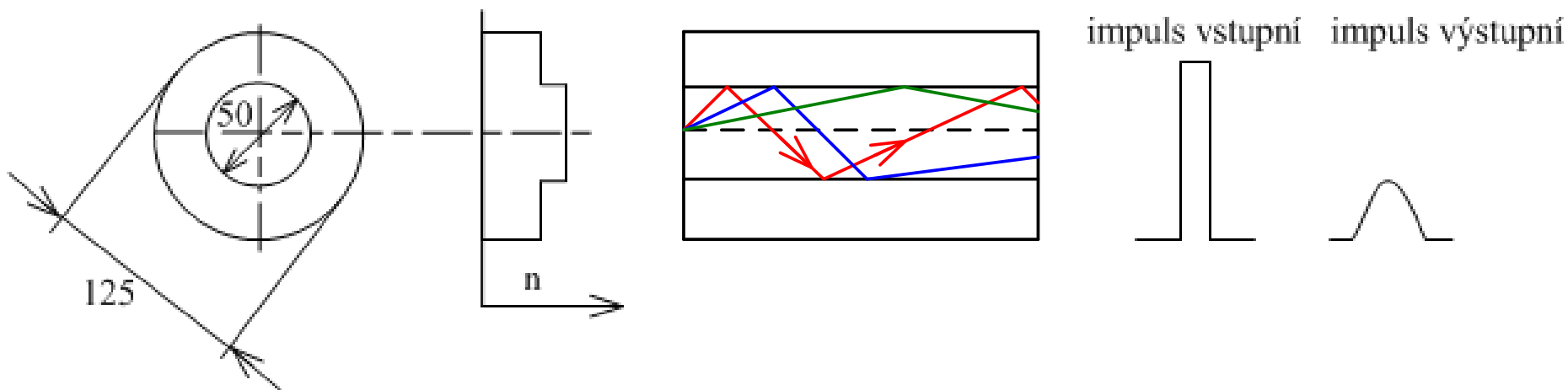
8





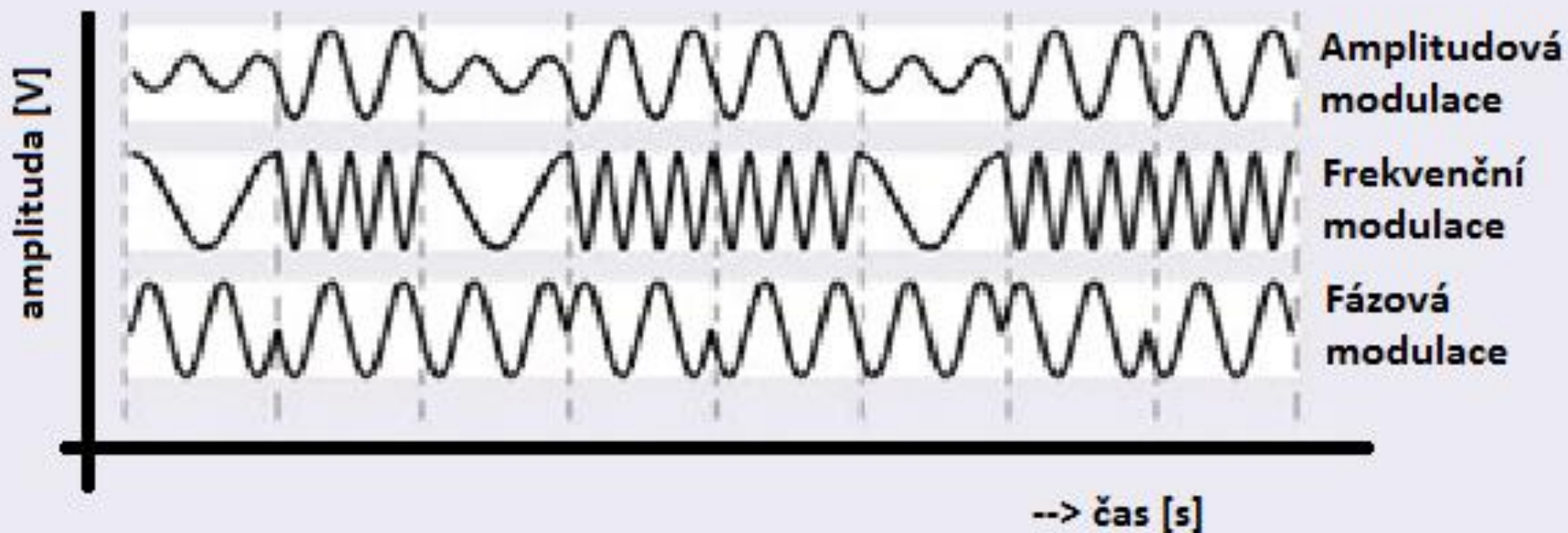
# Signál v optickém vlákně

9



# Signál v bezdrátovém prostředí

10



# Základní sledované charakteristiky (zejména u vedení metalických a optických)

11

- šířka pásma
- útlum
- odolnost vůči elektromagnetickému rušení
- impedance
- přeslech mezi více vodiči
- cena

# Šířka pásma

12

- závisí na fyzikálních vlastnostech daného přenosového média
- limituje množství dat, které je možné přenést médiem
- přenos
  - ▣ analogového signálu [Hz]
  - ▣ digitálního signálu [bit/s]
- každý signál lze vyjádřit pomocí různých frekvenčních složek - omezeno přenosovým médiem
- jestliže je k dispozici velká šířka pásma, možnost využít vícenásobně (rozdělení)

# Útlum

13

- reprezentuje postupnou ztrátu amplitudy (velikosti) signálu na přenosovém médiu
- vždy závisí na přenosové vzdálenosti
- základní jednotkou decibel (dB) nebo decibel na kilometr (dB/km) -> měrný útlum
- tři druhy
  - ▣ útlum napětí
  - ▣ útlum proudu
  - ▣ útlum výkonu
- př. pro útlum výkonu
  - ▣  $A = 10 \log (\text{výstupní výkon} / \text{vstupní výkon})$
  - ▣ útlum 3 dB znamená snížení výkonu na 50 %

# Odolnost proti vnějšímu elektromagnetickému rušení

14

- EMI (*ElectroMagnetic Interference*) = energie zejména z vnějších zdrojů
- interference se signály na přenosovém médiu
- může dojít ke zkreslení či poškození přenášeného signálu
- zdrojem rušení
  - ▣ motory
  - ▣ lékařské přístroje
  - ▣ mobilní telefony
  - ▣ ...

# Impedance

15

- velikost odporu vůči střídavému elektrickému proudu
- existuje Impedance
  - ▣ vstupní
  - ▣ výstupní
  - ▣ charakteristická (vlnová)
    - vliv na útlum média
    - jednotky Ohm [ $\Omega$ ]
    - velikost dána indukční a kapacitní složkou daného vedení

# Další parametry

16

## □ Přeslech mezi vodiči

- ▣ rušení signálem sousedního kanálu či okruhu, sousedních vodičů
- ▣ více druhů, nad rámec
- ▣ důležité u paralelních vedení (kabelů)
- ▣ jednotky dB

## □ Cena

- ▣ ekonomické hledisko, v čase proměnná
- ▣ vedení s kvalitnějšími parametry dražší
- ▣ př. vliv přídatných vrstev stínění
  - odolnost vůči rušení
  - snížení přeslechů
  - zvýšení maximální přenosové rychlosti



# PŘENOS SIGNÁLU



# Úvod do přenosu digitálního signálu

18

- analogový signál
  - ▣ spojitý signál, neomezený počet hodnot fyzikální veličiny (amplituda, frekvence)
  - ▣ běžně v přírodě
- digitální (číslicový) signál
  - ▣ výtvořem člověka
  - ▣ nespojitý v čase i amplitudě
  - ▣ omezený počet hodnot fyzikální veličiny (např. pouze dvě)
- oba typy signálů běžně v komunikačních technologiích

## □ **kódování** (linkové kódy)

- na médiu se přenášejí pravoúhlé impulzy v původní frekvenční poloze
- rozdíly mezi kódy v tom, jak je reprezentován který signálový prvek, či určitá sekvence signálových prvků

# Přenos digitálního signálu v přeneseném pásmu

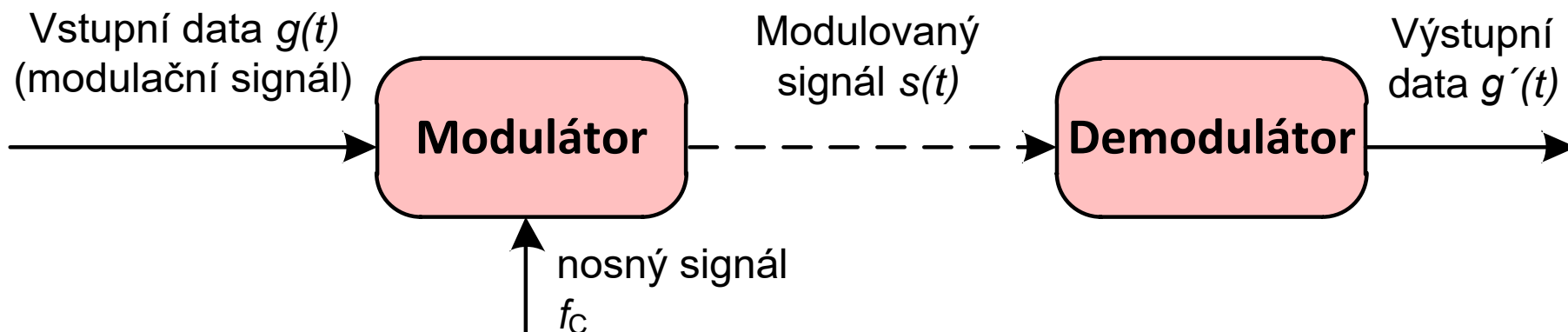
20

## □ **modulace (klíčování)**

- přenesení signálu na určitý nosný kmitočet ( $f_C$ )
- přenos v konkrétním pásmu (kanálu)
- v závislosti na okamžité hodnotě modulačního signálu dochází k řízení
  - amplitudy
  - kmitočtu
  - fáze signálu
  - kombinace předcházejících
- dva základní bloky
  - modulátor – úprava signálu před vysláním na médium, přizpůsobení signálu přenosovému médiu a přeložení do přenosového pásma
  - demodulátor – úpravu přijatého signálu po jeho přijetí, navrácení signálu do základního pásma

# Přenos digitálního signálu v přeneseném pásmu

21



# Analogové modulace

22

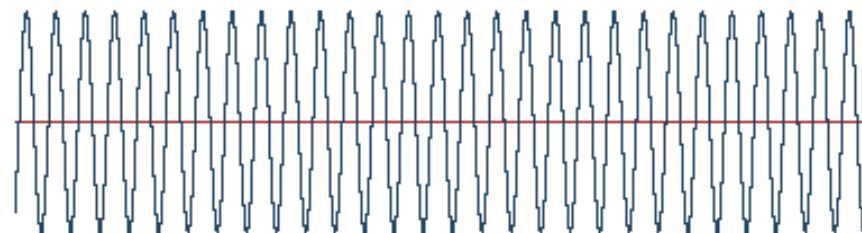
- základy modulací položeny u analogových signálů
- základní principy platí i pro pokročilejší digitální modulace
- princip
  - ▣ dochází spojitě v čase ke skládání
    - vstupní analogový signál
    - signál nosné frekvence
  - ▣ výsledný modulovaný signál
    - stále analogovým signálem
    - jiný kmitočet
    - určité vlastnosti
    - šířka pásma poté centrována kolem nosného kmitočtu
- tři základní typy

# Amplitudová modulace (AM)

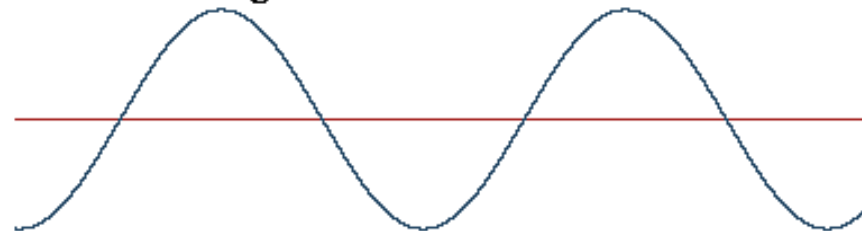
23

- v závislosti na změně modulačního signálu se mění amplituda nosného signálu
- nosný signál má řádově vyšší kmitočet než modulační signál
- př.: rozhlas na dlouhých vlnách (AM)

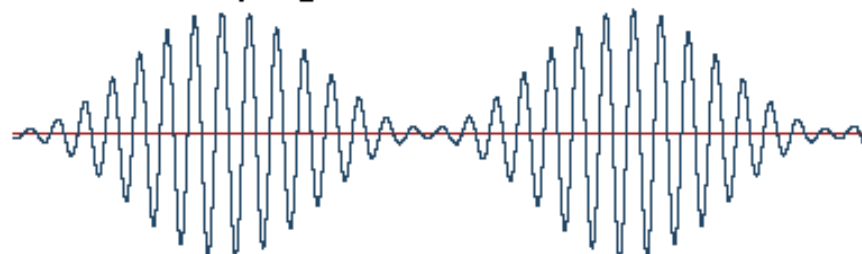
Nosný signál



Modulační signál



Modulovaný signál

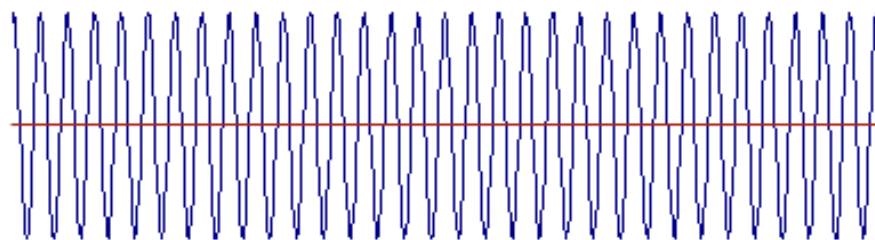


# Kmitočtová modulace (FM)

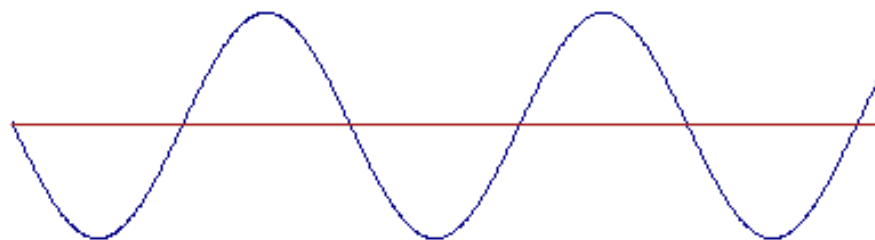
24

- v závislosti na změně modulačního signálu se mění kmitočet nosného signálu
- nosný signál má řádově vyšší kmitočet než modulační signál
- př.: rozhlas na velmi krátkých vlnách (FM)

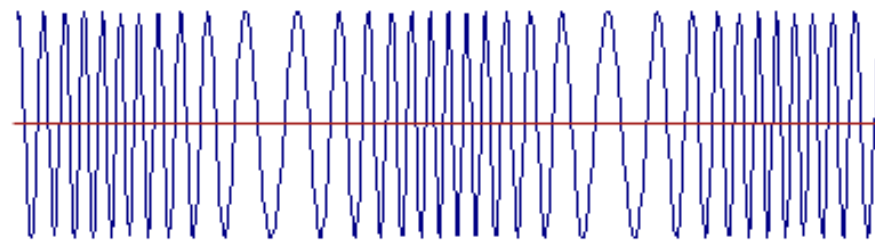
Nosný signál



Modulační signál



Modulovaný signál



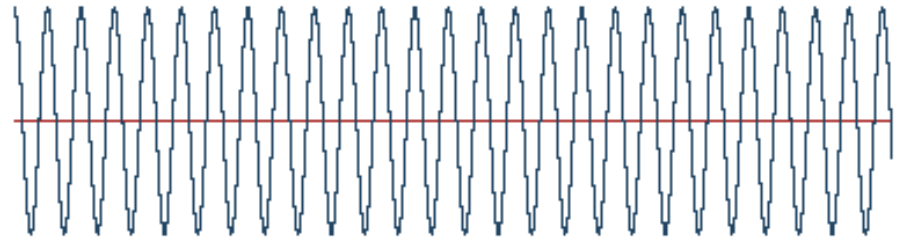


# Fázová modulace (PM)

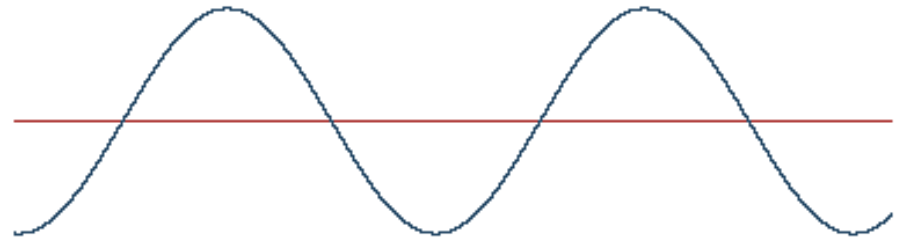
25

- v závislosti na změně modulačního signálu se mění okamžitá fáze nosného signálu
- nosný signál má řádově vyšší kmitočet než modulační signál
- složitá demodulace
- příbuzná s FM

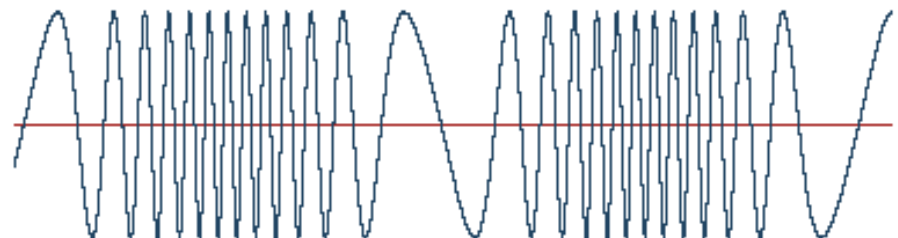
Nosný signál



Modulační signál



Modulovaný signál



# Přenos digitálního signálu v základním pásmu

26

- původní frekvenční poloha
  - ▣ pásmo začínající u frekvencí blízkých nule
  - ▣ nebo obsahující i stejnosměrnou složku
  - ▣ na médiu se přenáší pravoúhlé impulzy různého formátu
- z pohledu stejnosměrné složky rozlišujeme
  - ▣ **přenos se stejnosměrnou složkou**
    - kanál ji musí umět přenést
    - vyžaduje galvanické spojení koncových zařízení
  - ▣ **přenos bez stejnosměrné složky**
    - stejnosměrná složka potlačena vhodným kódováním
    - příslušný kanál ji nemusí přenášet
    - častější

# Klasifikace linkových kódů

27

- podle počtu úrovní definujeme signály
  - ▣ **dvoustavové** (unipolární)
    - existují dvě úrovně
    - jedna z nich je nulová a druhá nenulová
  - ▣ **třístavové** (bipolární, pseudotrojkové)
    - tři úrovně
    - nulová úroveň a dvě nenulové s navzájem opačnou polaritou
  - ▣ **vícestavové**
    - větší množství úrovní, zpravidla rozložených do obou polarit

# Klasifikace linkových kódů

28

- podle použité polarity signálových prvků
  - ▣ **unipolární** (jedné polarity)
    - signálové prvky nabývají pouze jedné polaritu
    - + nebo –
  - ▣ **bipolární** (dvojí polarity)
    - signálové prvky mohou nabývat obě polarity
    - jak + tak –
- zda se průběh vrací průběžně k nulové úrovni
  - ▣ **signály s návratem k nulové úrovni** – *Return to Zero* (RZ)
  - ▣ **signály bez návratu k nulové úrovni** – *Non-Return to Zero* (NRZ)

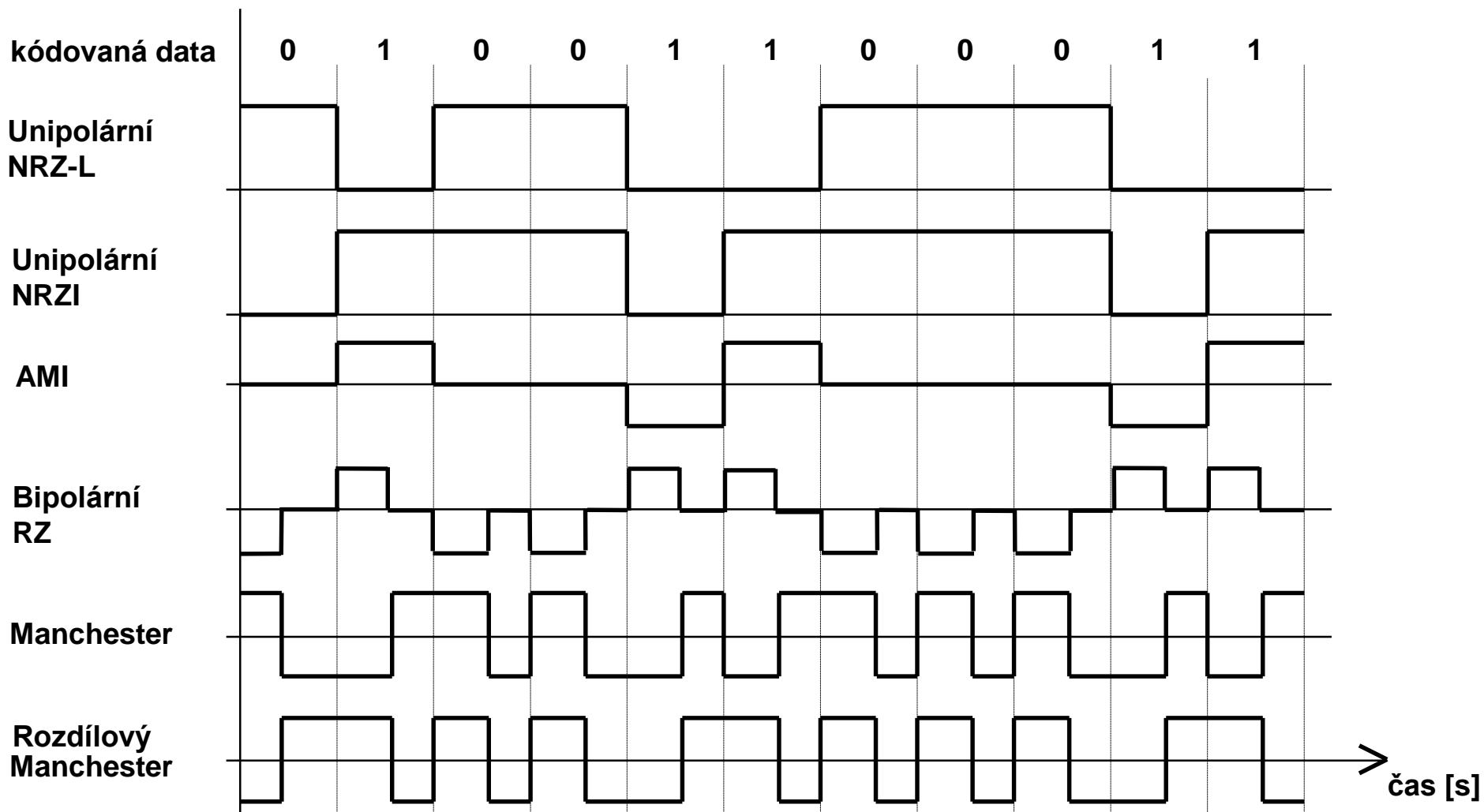
# Význam a odlišnosti linkových kódů

29

- **Stejnoseměrná složka**
  - ▣ její potlačení nebo snížení
- **Synchronizace v přijímači**
  - ▣ v přijímači je nutná obnova časování
- **Detekce chyb**
  - ▣ rozpoznání určité míry chyb
- **Šířka pásma**
  - ▣ snížení nároků na potřebnou šířku pásma
- **Odolnost vůči šumu**
  - ▣ různá chybovost při porovnatelném odstupu signálu od šumu

# Příklady linkových kódů

30



# Unipolární a bipolární NRZ-L (*Non-Return to Zero Level*)

31

- kód bez průběžného návratu k nule
- dvě úrovně
  - vysoká napěťová úroveň (H)  $1 \times 0$
  - nízká úroveň (L)  $0 \times 1$
- unipolární verze
  - jedna úroveň nenulová
  - druhá nulová
- bipolární verze
  - obě úrovně nenulové
- problémy obou verzí
  - stejnosměrná složka
  - dlouhá sekvence stejné úrovně (delší řada „0“ nebo „1“)
- př.:
  - rozhraní RS-232 (bipolární varianta NRZ-L)

## Unipolární a bipolární NRZ-I (*Non-Return to Zero Inverted*)

32

- odlišné od NRZ-L v logice kódování
- forma diferenčního kódování
- závislost kódované hodnoty i na přechozí
- možná varianta
  - ▣ hodnota „1“ znamená změnu úrovně oproti předchozímu
  - ▣ hodnota „0“ nezpůsobuje žádnou změnu
  - ▣ případně opačně
- př.:
  - ▣ sběrnice USB (bipolární a mírně vylepšená varianta)



# AMI kód (*Alternate Mark Inversion*)

33

- bipolární kód
- kódování hodnoty „1“
  - ▣ střídavě kladné a záporné impulzy
- kódování hodnoty „0“
  - ▣ nulová úroveň
  - ▣ problém synchronizace
- stejnosměrná složka nulová
- existují variace
- př.:
  - ▣ starší telefonní systémy

# RZ kód (*Return to Zero*)

34

- varianty
  - ▣ unipolární
  - ▣ bipolární (výhodnější)
- dvě úrovně
  - ▣ vysoká napěťová úroveň (H)  $1 \times 0$
  - ▣ nízká úroveň (L)  $0 \times 1$
- v polovině intervalu dojde k navrácení na nulovou úroveň napětí
  - ▣ snížení stejnosměrné složky výsledného signálu
  - ▣ řeší problém se synchronizací (hodnota napětí se pravidelně mění)
- př.:
  - ▣ infračervené optické přenosy na malou vzdálenost - unipolární RZ v mírně modifikované variantě

# Kód Manchester

35

- bity reprezentovány přechodem úrovně uprostřed intervalu
  - ▣ hodnota „0“ reprezentována přechodem z (H) na (L)
  - ▣ hodnota „1“ z „L“ na „H“
  - ▣ případně logika může být i opačná
- vlastnosti
  - ▣ kód je bipolární
  - ▣ nemá žádnou stejnosměrnou složku
  - ▣ samo-časovací vlastnost (pravidelně se vyskytují hrany)
- př.:
  - ▣ Ethernet (10 Mbit/s standard)

# Rozdílový Manchester

36

- vychází z kódu Manchester, diferenční kód
- dochází také k přechodu úrovně uprostřed intervalu
- sledována změna na začátku intervalu
  - ▣ hodnota „0“ -> změna úrovně oproti předchozí
  - ▣ hodnota „1“ -> úroveň se nemění
  - ▣ logika může být i opačná
- vlastnosti
  - ▣ kód je bipolární
  - ▣ nemá žádnou stejnosměrnou složku
  - ▣ samo-časovací vlastnost (opakuje se hrany)
- př.:
  - ▣ sítě typu Token ring

# Přenos digitálního signálu v přeneseném pásmu

37

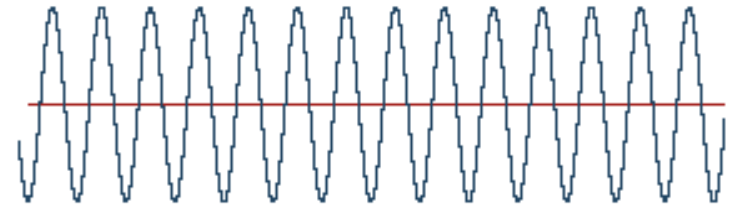
- digitální modulační techniky = **klíčování**
- principiálně podobné analogovým modulacím
- rozdíl -> modulační signál diskretní
- skokové změny nosného signálu
- stejné tři základní varianty
  - amplitudové klíčování
  - kmitočtové klíčování
  - fázové klíčování
  - (případně kombinace)
- oblasti využití
  - pevné přenosové systémy (např. ADSL)
  - bezdrátové přenosy
    - mobilní telefonní sítě
    - bezdrátové sítě Wi-Fi

# Amplitudové klíčování (ASK = *Amplitude Shift Keying*)

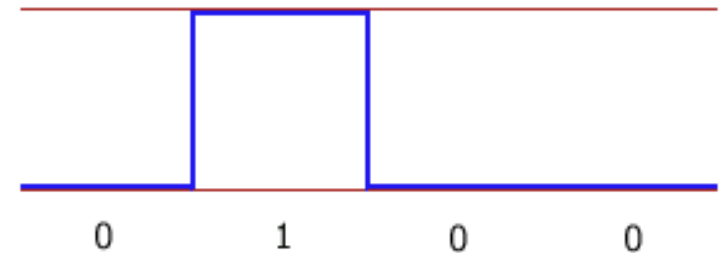
38

- jednoduchá technika
- modulační signál spíná a vypíná nosný signál
- v nejjednodušší podobě se příliš nepoužívá
- výhody
  - ▣ dobrá citlivost na náhlé změny signálu
- využití
  - ▣ v kombinaci se změnou fáze a při více než dvou definovaných úrovních
  - ▣ více než dvě úrovně -> více bitů v jednom signálovém prvku

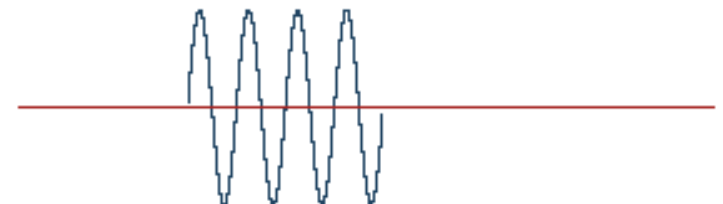
Nosný signál



Modulační signál (digitální)



Modulovaný signál

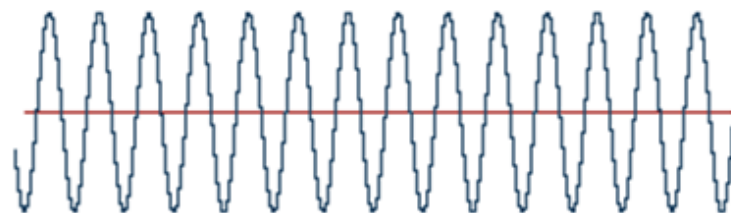


# Frekvenční klíčování (FSK = *Frequency Shift Keying*)

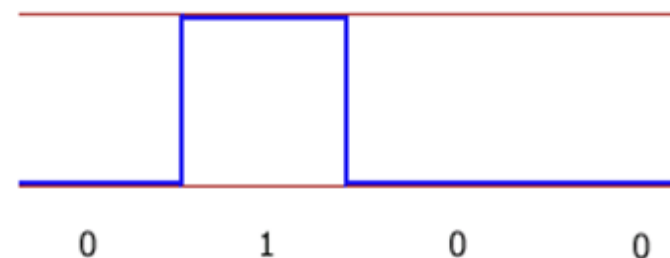
39

- modulační signál skokově mění frekvenci nosného signálu
- v nejjednodušším případě potřebujeme dvě frekvence, ty se přepínají
- obě frekvence umístěny blízko nosného kmitočtu
- odolnost vůči chybám vyšší než u ASK
- používá se hojně u radiových přenosů
- jestliže se u FSK využijí více než dva kmitočty, je možné přenášet více bitů naráz

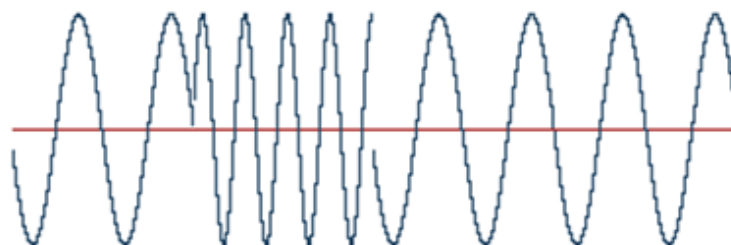
Nosný signál



Modulační signál



Modulovaný signál

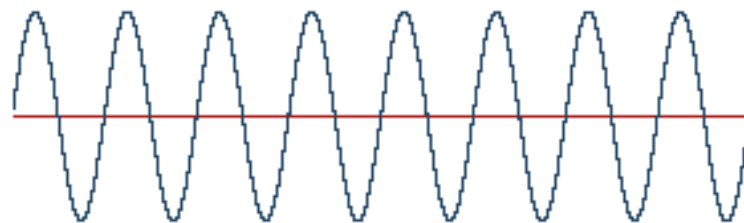


# Fázové klíčování (PSK = *Phase Shift Keying*)

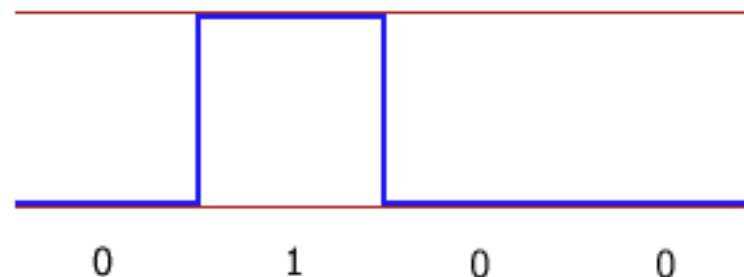
40

- ovlivňování počáteční fáze v daném intervalu
- hodnota „0“ je reprezentována jednou hodnotou počáteční fáze
- hodnota „1“ fází opačnou
- u pokročilejších technik bity vyjádřeny
  - ▣ větším množstvím fází
  - ▣ změnou fáze (diferenční klíčování)
- fázové klíčování používáno nejčastěji v kombinaci s amplitudovým

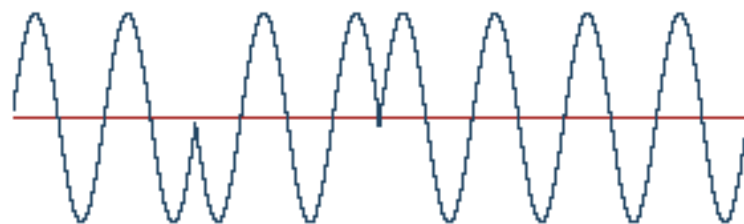
Nosný signál



Modulační signál (digitální)



Modulovaný signál





# Vícestavové klíčování

41

## □ Dvoustavové klíčování

- každému bitu je přiřazen jeden stav nosného signálu
- existují dvě různé amplitudy, dvě frekvence, dvě fáze
- neefektivní z hlediska využití šířky pásma

## □ Vícestavové klíčování

- jeden stav reprezentuje  $n$  bitů  $\rightarrow$  potřebujeme  $2^n$  stavů
- př.:
  - 4-stavové klíčování  $\rightarrow$  2 bity (dibit) v jednom stavu
  - 256-stavové klíčování  $\rightarrow$  8 bitů
- vyšší počet stavů
  - růst efektivity přenosu
  - zvýšení složitosti přenosového systému
  - snížení odolnosti přenosu vůči chybám, rušení
- název obvykle odráží počet stavů daného klíčování (př. 8-PSK)

# Kombinace fázového a amplitudového klíčování

42

- zvýšení efektivity – kombinace více druhů klíčování
- typicky kombinace fázového a amplitudového klíčování
- modulačním signálem ovlivňována jak fáze, tak amplituda nosného signálu
- nazýváno Kvadrurní amplitudová modulace QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*)
  - 8QAM
  - 6QAM
  - 32QAM
  - 64QAM
  - 128QAM
  - 256QAM
  - ...
  - 16384QAM (Docsis 3.1)
  - 32768QAM (xDSL)
  - ?

# DIGITALIZACE ŘEČOVÉHO SIGNÁLU



# Základní postup při digitalizace řeči

44

- základ moderních komunikačních (telco) technik
- tři kroky
  - ▣ **vzorkování**
    - ze spojitého signálu periodicky snímat aktuální hodnoty vhodnou rychlostí (vzorkovací kmitočet)
    - spojitý čas signálu → diskretní čas signálu
  - ▣ **kvantování**
    - spojitá hodnota vzorku → diskretní hodnota vzorku
    - z neomezeného množství hladin se při kvantování vytvoří omezený počet kvantovacích úrovní
    - zaokrouhlení navzorkované hodnoty na nejbližší existující kvantovací úroveň
    - digitální signál má omezený počet bitů na vzorek ( $n$ ), počet hladin je pak  $2^n$
    - nevratné zkreslení původního signálu (nemusí být pro člověka znatelné)

# Základní postup při digitalizace řeči

45

## ■ kódování

- hladině vzorku přiřazena určitá posloupnost, která danou hodnotu reprezentuje v použitém kódu
- použity kódy přenosu v základním pásmu
- či celá řada speciálních kódovacích technik k digitalizaci řeči
- odlišnosti především v
  - požadavcích na šířku pásma
  - dosahované kvalitě (věrnosti) reprezentace původního (analogového signálu)

# System PCM – příklad na digitalizace řeči

46

## □ Řečový signál

- umístěn v akustickém pásmu, od stovek Hz až po jednotky kHz
- v klasickém telco uvažujeme omezené pásmo 300 až 3400 Hz (vs. wideband voice 50 až 7000 Hz)
- pro vzorkování platí Shannon – Kotelnikov (Nyquist) teorém
  - vzorkovací kmitočet musí být více než dvakrát větší než maximální frekvence vzorkovaného signálu

$$f_{\text{vz}} > 2 f_{\text{max}}$$

- používán vzorkovací kmitočet 8 kHz

# System PCM – příklad na digitalizace řeči

47

## □ Konkrétní techniky

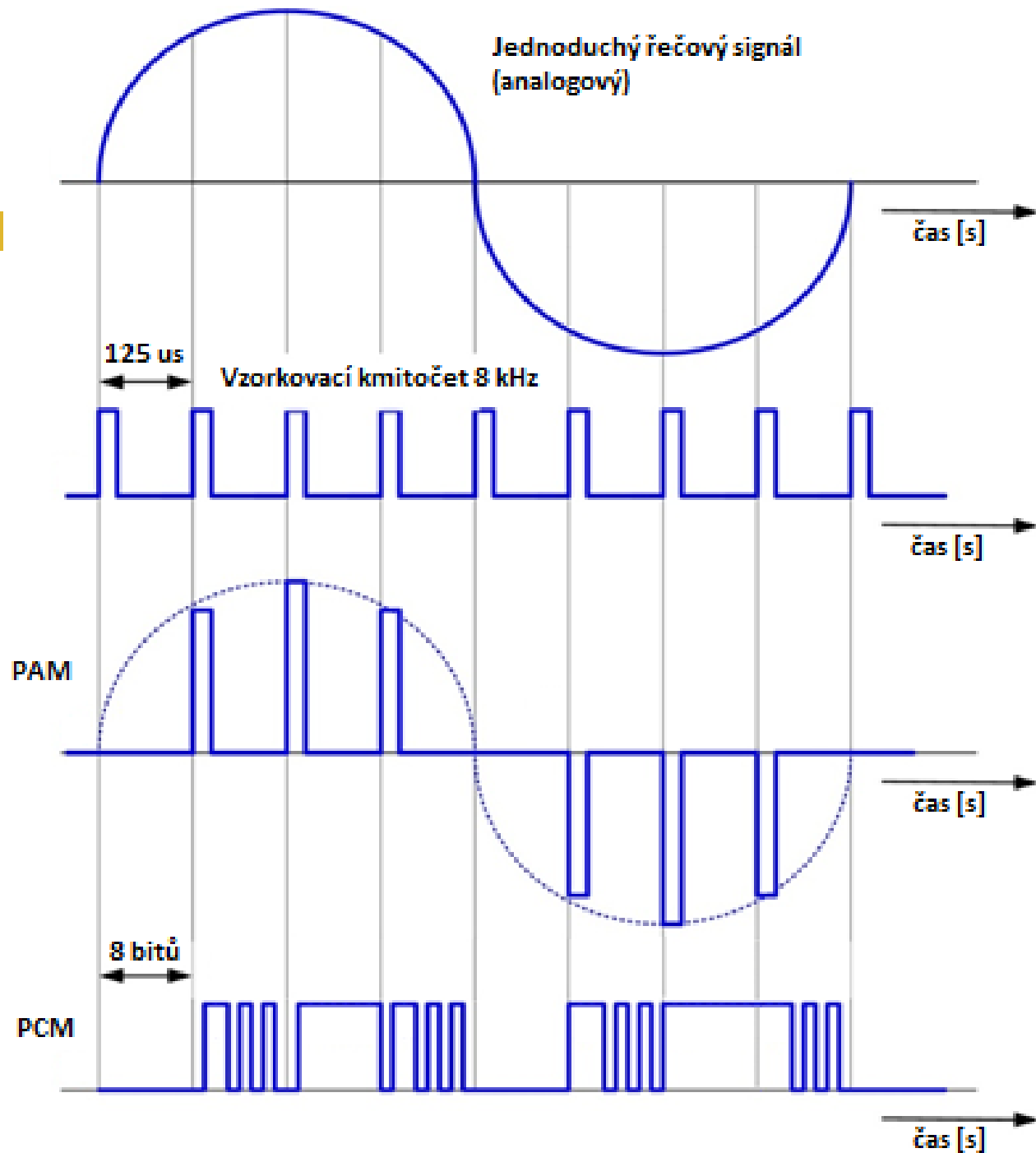
- ▣ Pulzně amplitudová modulace (PAM = *Pulse Amplitude Modulation*) – vzorkování
- ▣ Pulzní kódová modulace (PCM = *Pulse Code Modulation*) – kvantování a kódování

## □ základní PCM

- ▣ 256 kvantovacích hladin (8 bitů) na vzorek
- ▣ následně standardní binární vyjádření „1“ a „0“ (sekvenčně)
- ▣ přenosová rychlost
  - $8000 \text{ [vzorků / sekunda]} \times 8 \text{ [bitů / vzorek]} = 64\,000 \text{ [bitů / sekunda]} = \mathbf{64 \text{ kbit/s}}$

# System PCM

48





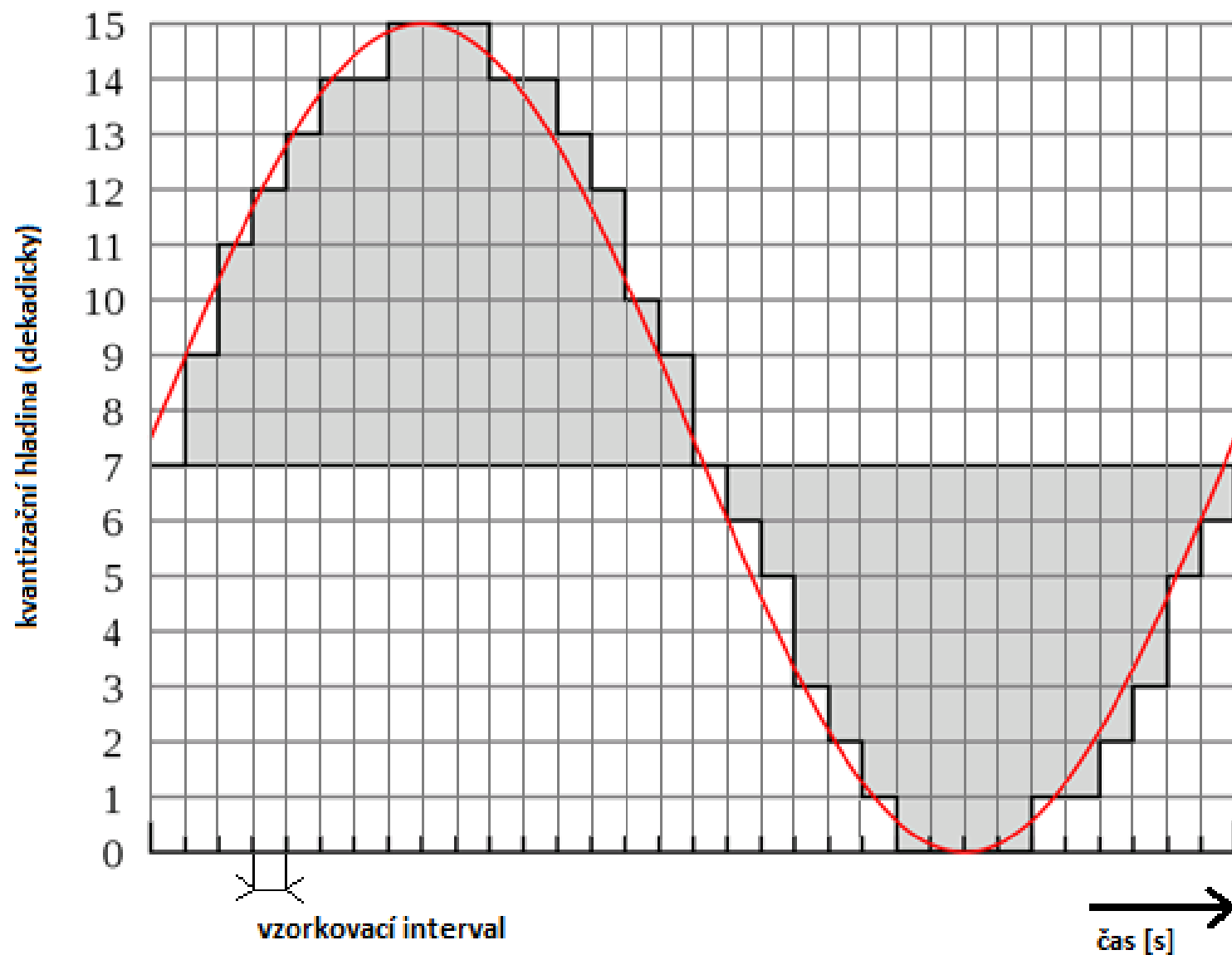
# Kvantizační šum

49

- nevratné zkreslení při kvantování
- omezený počet hladin = ztráta informace
- dán rozdílem mezi hodnotou původního signálu a vybranou úrovní
- maximálně  $\frac{1}{2}$  rozdílu mezi kvantizačními hladinami
- ve skutečných systémech hladiny rozděleny nerovnoměrně
  - lepší reprezentace původního řečového signálu vzhledem ke vlastnostem lidského ucha
  - pojmy A-law a  $\mu$ -law

# Kvantizační šum

50



# Digitální přenosové systémy na bázi PCM

51

- přenos více hovorových kanálů 64 kbit/s v telco sítích
- více standardů multiplexování
  - ▣ E systém (Evropa)
    - základ E1 kanál 2,048 Mbit/s ( $30 \times 64 \text{ kbit/s} = 1920 \text{ kbit/s}$ )
    - synchronizační a signalizační účely zabírají zbytek
  - ▣ T systém (Severní Amerika)
    - základ T1 kanál 1,544 Mbit/s ( $24 \times 64 \text{ kbit/s} = 1536 \text{ kbit/s}$ )
  - ▣ existují i další systémy (Japonsko)
  - ▣ dostupné i vícenásobné skládání

# Digitální přenosové systémy na bázi PCM

52

Oblast	Typ multiplexu	Bitový tok (Mbit/s)	Počet datových/telekomunikačních kanálů
Evropa	E1	2	30
	E2	8	120 (4x E1)
	E3	34	480 (4x E2)
	E4	139	1920 (4x E3)
	E5	565	7680 (4x E4)
Severní Amerika	T1	1,5	24
	T2	6	96 (4x T1)
	T3	45	672 (7x T2)
	T4	274	4032 (6x T3)
	T5	400	5760 (60x T2)

# Digitální přenosové systémy na bázi PCM

53

## □ **Plesiochronní digitální hierarchie (PDH)**

- systém násobného skládání nižších multiplexů
- systém je z dnešního pohledu málo pružný a příliš komplikovaný
- detaily nad rámec předmětu

## □ **Synchronní digitální hierarchie (SDH)**

- má oproti PDH četné výhody
- zpětná kompatibilita s PDH
- postupy vyřešení kompatibility EU  $\leftrightarrow$  USA a dalších
- multiplexy
  - STM-0 (51 Mbit/s)
  - STM-1 (155 Mbit/s)
  - STM-4 (622 Mbit/s)
  - STM-16 (2,4 Gbit/s)
  - STM-64 (10 Gbit/s)
  - STM-256 (40 Gbit/s)
  - v Americe nazýváno SONET a multiplexy značeny OC1, OC3 až OC768

# ZÁKLADNÍ TYPY TELEKOMUNIKAČNÍCH VEDENÍ A JEJICH CHARAKTERISTIKY



# Koaxiální kabel

55

- struktura a použité materiály ovlivňují řadu parametrů
  - ▣ frekvenční vlastnosti a útlum
  - ▣ fyzické vlastnosti jako ohebnost a pevnost
  - ▣ cena
- využívána elektrická vodivost (měď)
- útlum daný ohmickými a induktivními vazbami
  - ▣ velmi závislý na kmitočtu
  - ▣  $\geq 3$  dB/km
- celá řada typů s různými vlastnostmi
- přenos v základním pásmu (digitální signál) na kratší vzdálenosti
  - ▣ rychlost do 500 Mbit/s
- přeložené pásmo (analogový přenos)
  - ▣ až několik Gbit/s

# Koaxiální kabel

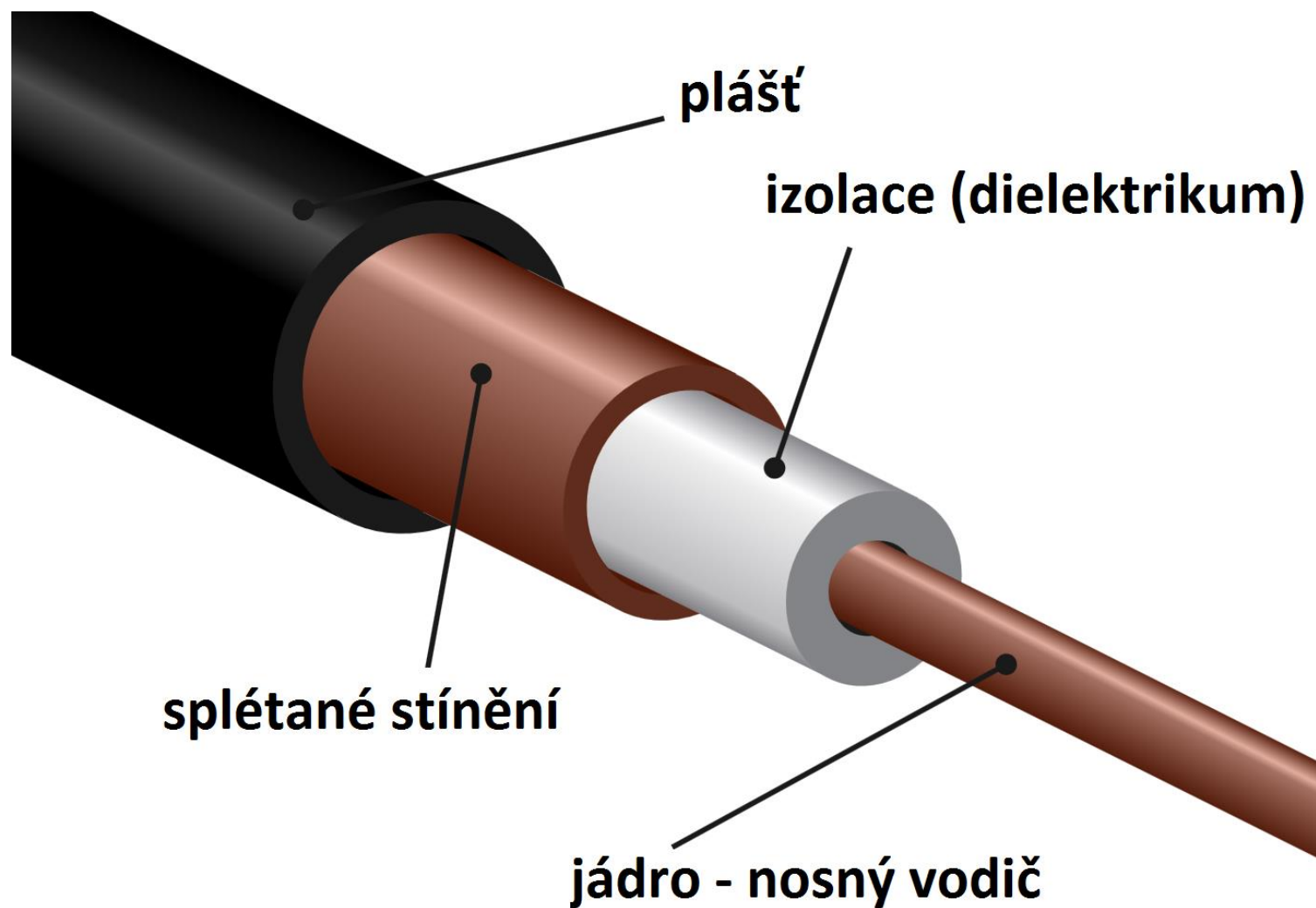
56

- charakteristická impedance dána především induktivními a kapacitními vlastnostmi použitých materiálů
  - ▣ přenos v základním pásmu – kabel  $50\ \Omega$
  - ▣ pro přeložené pásmo (typicky televizní technika) s charakteristickou impedancí  $75\ \Omega$
- využíván i ve starších specifikacích Ethernetu, kabelové operátory
- výhoda
  - ▣ dobrá ochrana přenášeného signálu před EMI



# Koaxiální kabel (obecně)

57



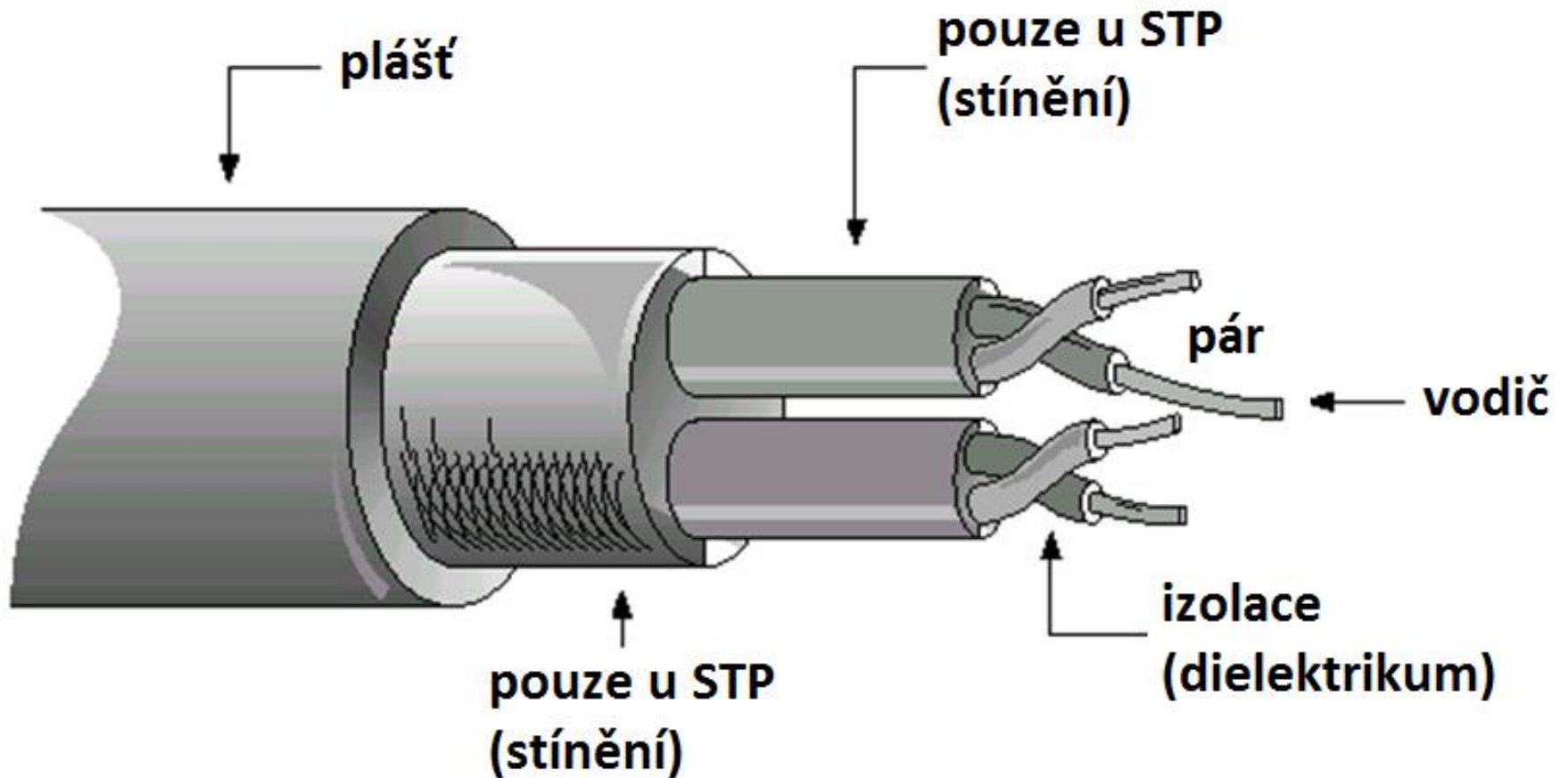
# Symetrický kabel

58

- jeden nebo více párů vodičů (samostatných obvodů)
- páry krouceny (potlačení vlivu EMI)
- různá provedení (typicky 4 páry)
  - ▣ nestíněná kroucená dvojlinka (UTP = *Unshielded Twisted Pair*)
  - ▣ stíněná kroucená dvojlinka (STP = *Shielded Twisted Pair*)
  - ▣ fóliově stíněná kroucená dvojlinka (FTP = *Foil-shielded Twisted Pair*)
- využívána elektrická vodivost (měď)
- měrný útlum daný ohmickými a induktivními vazbami
  - ▣ závislý na kmitočtu
  - ▣  $\geq 0,5$  dB/km
- charakteristická impedance  $100 \Omega$

# Symetrický kabel

59



# Symetrický kabel

60

## □ nestíněná varianta

### ▣ telekomunikace

- do 3,4 kHz pro telefon
- do jednotek MHz pro xDSL technologie

### ▣ lokální síť

- nad 10 Mbit/s (maximum neustále roste)
- max. 100 m bez regenerace

### ▣ výhody

- cena
- jednoduchost instalace

### ▣ nevýhody

- citlivost na šum a rušení

# Symetrický kabel

61

## □ stíněná varianta

### ▣ použití

- venkovní prostředí
- průmyslové použití
- (10 Gbit/s Ethernet, Token ring)

### ▣ výhody

- odolnost vůči rušení
- robustnost

### ▣ nevýhody

- cena
- náročnější instalace

# Symetrický kabel

62

- kategorie
  - ▣ požadavky na vnitřní uspořádání párů
  - ▣ vliv na parametry
    - útlum
    - přeslechy
    - přenosová rychlost
  - ▣ Cat5E
    - nejběžnější
    - 100 MHz šířka pásma
  - ▣ Cat6
    - 250 MHz šířka pásma
    - vhodná pro vyšší standardy
  - ▣ Cat6a
    - 500 MHz šířka pásma
    - 10 Gb/s Ethernet na až 100 m

# Optický kabel

63

- přenosovým materiálem sklo nebo plast
- vedení světla ve vlákně, přenos založen na úplném odrazu
  - ▣ odolnost vůči EMI
  - ▣ neexistují přeslechy
  - ▣ šum minimální
  - ▣ útlum nízký
- přenosy i na stovky km bez opakovacích zařízení
  - ▣ využíváno v
    - klasické telekomunikace
    - čistě datové sítě (páteřní trasy)
- nevýhody
  - ▣ vyšší cena (× přenosová rychlost)
  - ▣ speciální zařízení
  - ▣ problematika spojování a rozpojování

# Optický kabel

64

- dělení na vlákna
- struktura
  - ▣ jádro – zde prochází světelný signál, tenké
  - ▣ plášť – odrazová vrstva (s nižším indexem lomu), tenké
  - ▣ další ochranné vrstvy
- vysílače
  - ▣ lasery
  - ▣ LED diody
- přijímače
  - ▣ fotodiody
- techniky multiplexování
  - ▣ přenosové rychlosti v řádu Gbit/s až Tbit/s na jednom vlákně
  - ▣ např. projekt FASTER: jedno vlákno  $100 \times 100$  Gb/s, co  $\sim 60$  km opakovač, celková délka  $\sim 9000$  km



# Optický kabel

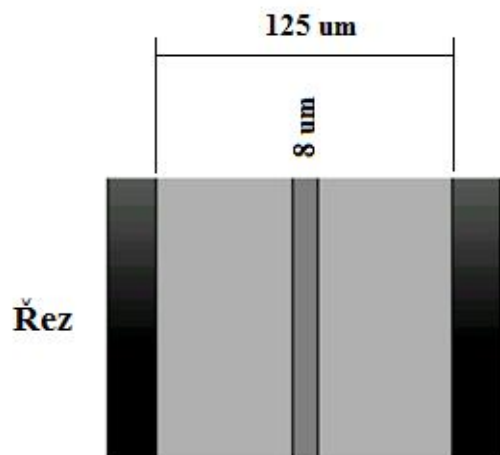
65

- **jednovidová vlákna** (*single-mode*)
  - jádro průměru 8-10  $\mu\text{m}$ , plášť  $\sim 100 \mu\text{m}$
  - útlum  $\geq 0,15 \text{ dB/km}$
  - disperse světla je menší než u vícevidového vlákna
  - vysílačem lasery
  - větší vzdálenosti ( $\sim 100 \text{ km}$ )
  - může být o něco vyšší cena
- **vícevidová** (*multi-mode*)
  - jádro průměru 50-60  $\mu\text{m}$ , plášť  $\sim 100 \mu\text{m}$
  - útlum 0,5 – 2 dB/km
  - větší disperze
  - vysílačem LED diody
  - dva typy
    - s konstantním indexem lomu
    - s proměnným indexem lomu
  - menší vzdálenosti ( $\sim 1 \text{ km}$ )
  - může být o něco nižší cena

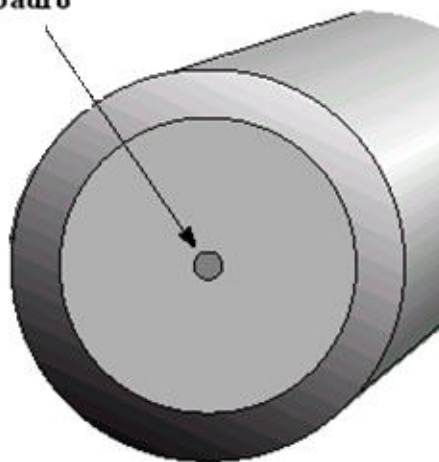
# Optický kabel

66

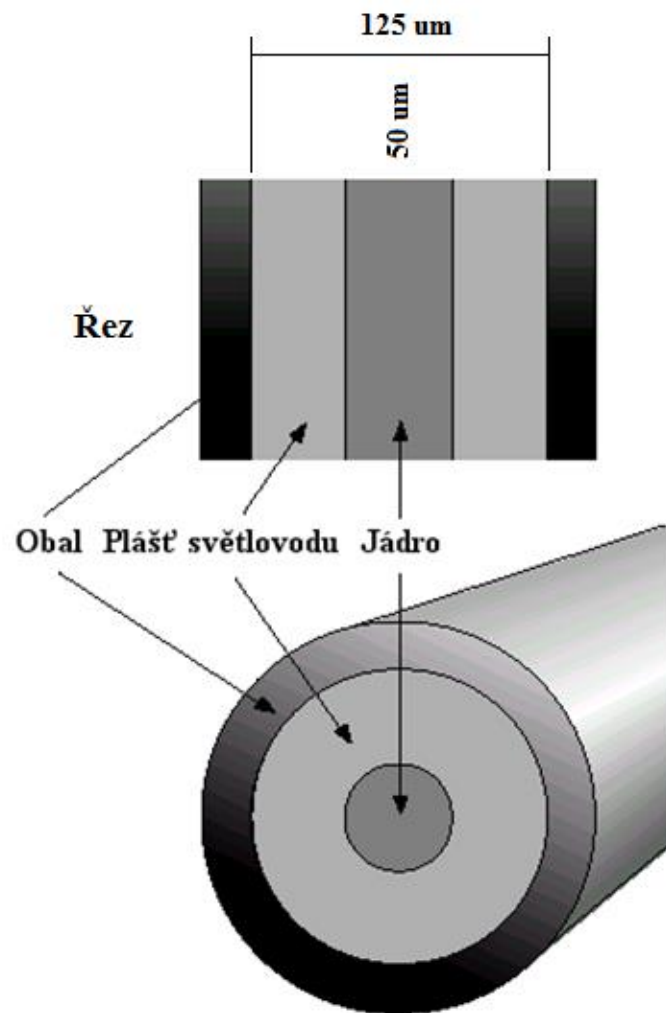
Jednovídné vlákno



Jádro



Vícevídné vlákno



# Volný prostor

67

- popis nad rámec předmětu
- hojně využívané médium
- parametry velmi závislé na aktuálních podmínkách
- ...

# Přístup koncových zařízení k fyzické vrstvě

68

- síťová karta (rozhraní) - **NIC** (*Network Interface Card*)
- pracuje na fyzické i spojové úrovni
- odlišnosti dle infrastruktury (technologie, média)
  - ▣ **koaxiální kabely** – dnes považovány za zastaralé
  - ▣ **symetrický kabel** (kroucené dvojlinky) – nejběžnější
  - ▣ **optická vlákna** – zejména u serverů, v přenosových systémech
  - ▣ **bezdrátové prostředí** – zejména u mobilních zařízení
- různé konektory
  - ▣ BNC konektor
  - ▣ RJ-45
  - ▣ LC (případně SC) konektor
  - ▣ anténa
- obdobně na síťových prvcích

# Sít'ové prvky na fyzické vrstvě

69

- problematiku fyzické vrstvy musí řešit všechny komponenty sítí
- prvky řadíme dle nejvyšší vrstvy na které pracují
- pouze na fyzické vrstvě pracují
  - ▣ **opakovač** (*repeater*) – pouze dva porty
  - ▣ **rozbočovač** (*hub*) – více než dva porty
- úloha prvků
  - ▣ regenerace signálů po přenosu
  - ▣ opětovné vyslání (1 a více kopií)
- vlastnosti obou prvků
  - ▣ nerozumí obsahu zpráv
  - ▣ malé zpoždění
  - ▣ žádná adresa
  - ▣ nelze přímo rozpoznat jejich přítomnost
- využití
  - ▣ **dlouhé optické trasy** (opakovače)
  - ▣ prvotní metalické sítě (rozbočovače)

