

# Princípy bezdrôtových prenosov

Miloš Orgoň

# Princípy bezdrôtových prenosov

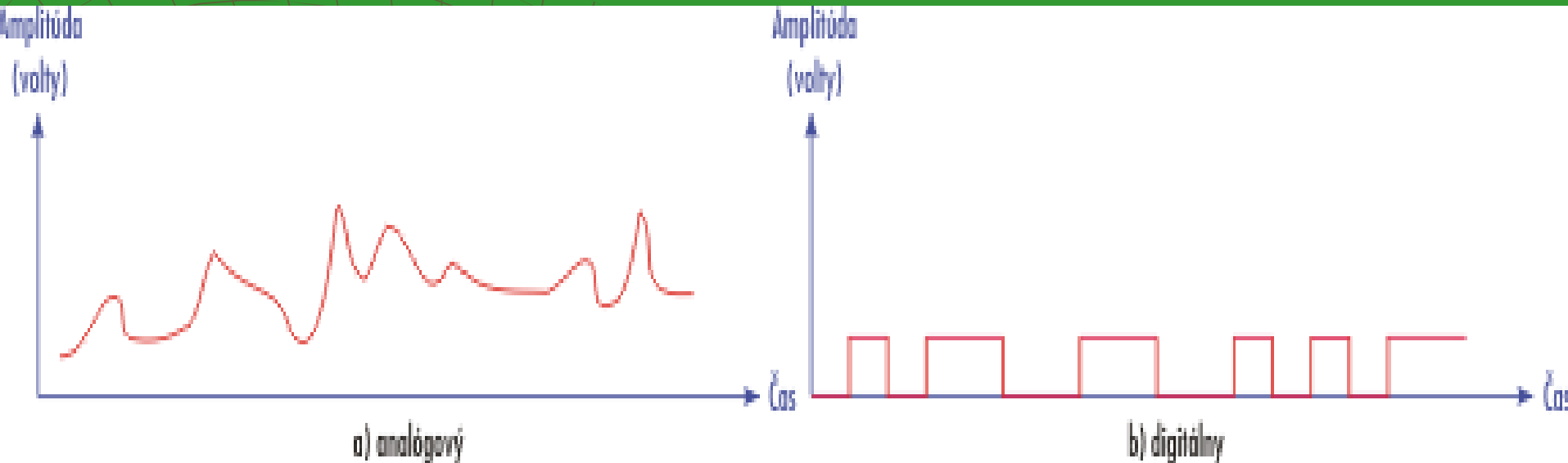
## Šírenie informácií elektromagnetickým signálom

Elektromagnetický signál slúži ako prostriedok na prenos informácie. Je možné naň nazerať z dvoch hľadísk. Prvým je vyjadrenie elektromagnetického signálu funkciou času a druhým hľadiskom je ponímanie signálu ako funkcie frekvencie.

## Elektromagnetický signál ako funkcia času

Elektromagnetický signál zobrazený ako funkcia času môže byť buď analógový alebo digitálny. **Analógový signál** je taký, ktorého intenzita sa plynulo mení v čase. Inak povedané, jeho priebeh je hladký bez zlomov a nespojitostí. **Digitálny signál** je ten, ktorého intenzita sa udržiava na konštantnej úrovni po dobu určitej časovej periódy, potom sa skokovo mení na ďalšiu konštantnú úroveň. Dokonalejšia definícia by bola, že prechod z jednej konštantnej úrovne na druhú nie je okamžitý, ale sa uskutočňuje v krátkom časovom intervale, v tzv. prechodovej perióde. Napriek tomu sa využívaný digitálny signál takmer blíži k ideálnemu modelu s konštantnou úrovňou napätia a skokovými prechodmi.

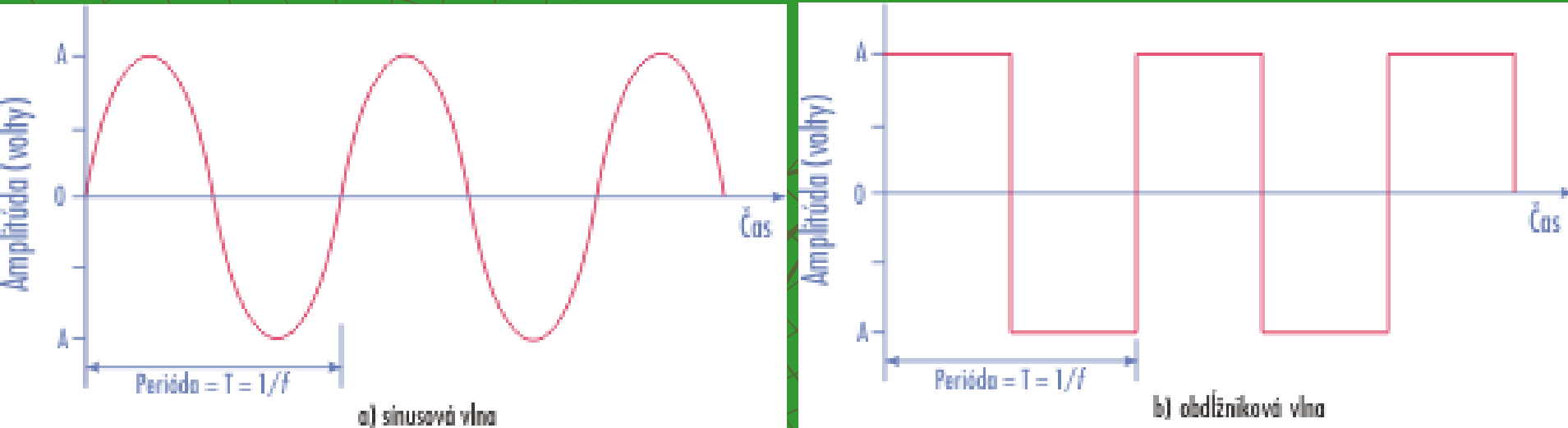
# Princípy bezdrôtových prenosov



Obr.1 Analógový a digitálny signál

Obrázok znázorňuje príklad oboch typov signálu. Analógový signál by mohol reprezentovať rozhovor a digitálny signál reprezentuje sled binárnych jednotiek a núl. Najjednoduchším typom signálu je **periodický signál** (harmonický signál). V periodickom signále sa v čase opakuje tá istá vzorka signálu.

# Princípy bezdrôtových prenosov



Obr.2 ukazuje príklad analógového periodického signálu - sínusovú vlnu (sínusoidu) a digitálny periodický signál - obdĺžnikovú vlnu. Matematicky je signál  $s(t)$  definovaný ako periodický, iba ak platí:

.....  
kde konštanta  $T$  je periódna signálu. V inom prípade, ak sa vzorka signálu v čase neopakuje, je signál **aperiodický**. Sínusoida je základom analógového signálu.

**Zvyčajne je sínusoida vyjadrená tromi parametrami:**

- ◆ ..... ,
- ◆ ..... ,
- ◆ ..... .

# Princípy bezdrôtových prenosov

**Vrchol amplitúdy** (Peak Amplitude) je maximálna hodnota, resp. sila signálu v čase. Typicky je táto hodnota meraná vo voltoch (V).

**Frekvencia** je rýchlosť [v cykloch za sekundu alebo Hertzoch (Hz)], akou sa vzorka signálu opakuje. Ekvivalentným parametrom k frekvencii je **perióda signálu** ( $T$ ), čo je časový interval, po ktorom sa vzorka signálu opakuje;  $T = 1/f$ . **Fáza** je miera relatívnej časovej pozície v rámci jednej periódy (ilustrované na nasledovnom obr. - časť d).

Sínusoida môže byť zapísaná nasledovne:

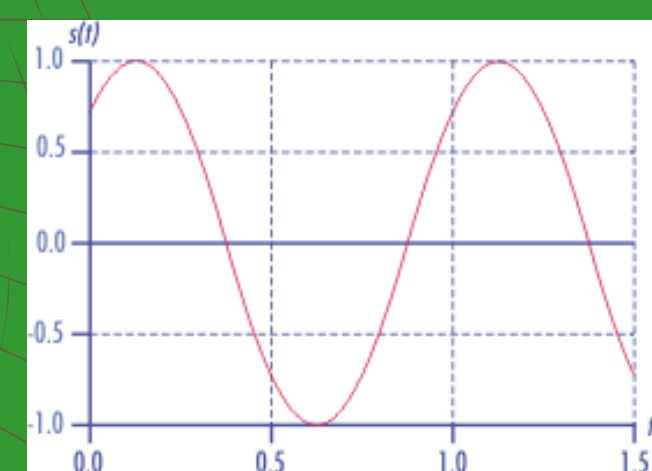
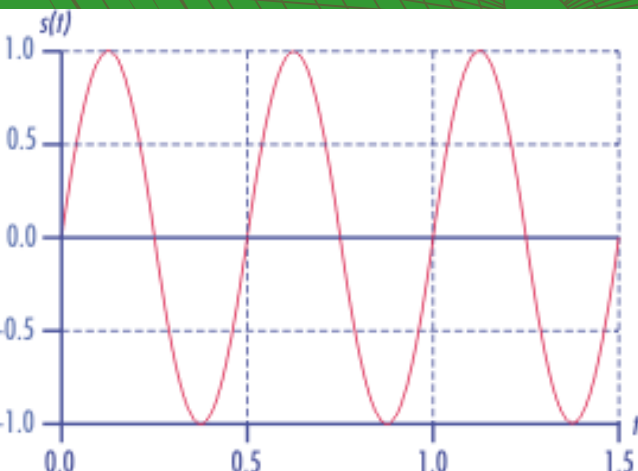
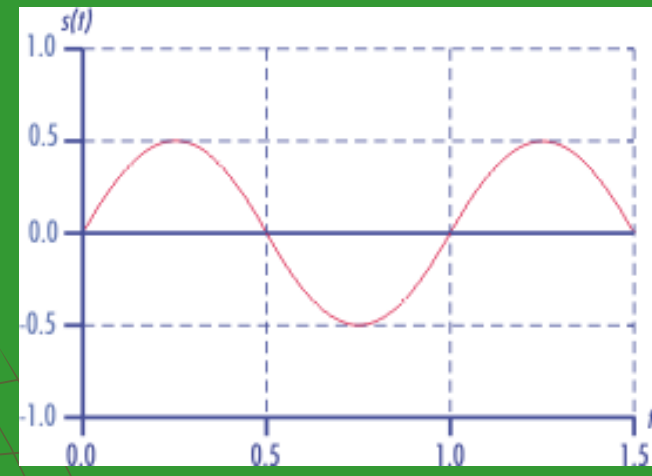
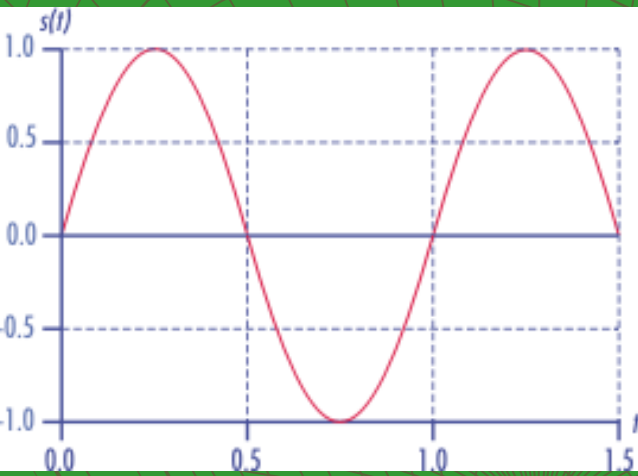
.....

Nasledovný obr. 3 ukazuje účinok zmeny každého z týchto parametrov. V časti (a) obrázok zobrazuje amplitúdu sínusového signálu s frekvenciou 1Hz, teda periódou  $T = 1$  sekunda. Časť (b) má tú istú frekvenciu a fázu, ale vrchol amplitúdy je .... . V časti (c) je ....., čo je ekvivalentom ku ..... . A nakoniec časť (d) ukazuje účinok fázového posunu o  $\pi/4$  radiánu, čo je 45 stupňov

.....

# Princípy bezdrôtových prenosov

Na obr. je vodorovnou osou čas. V takomto prípade graf zobrazuje, ako sa mení hodnota signálu v jednom bode v priestore ako funkcia času. Ak vytvoríme graf, v ktorom vodorovná os modeluje priestor, tento obrázok bude zobrazovať, ako sa mení hodnota funkcie v jednom okamihu ako funkcia vzdialenosti. Inak povedané, v danom okamihu sa intenzita signálu mení ako funkcia vzdialenosti miesta od zdroja signálu.



# Princípy bezdrôtových prenosov

Po objasnení modelu grafu, v ktorom vodorovná os reprezentuje priestor, je možné zdefinovať ďalší parameter - vlnovú dĺžku. **Vlnová dĺžka** signálu ( $\lambda$ ) je vzdialenosť pokrytá jedným cyklom signálu, alebo inak povedané, vzdialenosť medzi dvoma bodmi dvoch nasledujúcich cyklov, ktoré sa nachádzajú v rovnakej fáze. Existuje jednoduchý vzťah medzi vlnovou dĺžkou a periódou. Ak predpokladáme, že sa signál šíri rýchlosťou  $v$ , potom vlnová dĺžka súvisí s periódou nasledovne:  $\lambda = vT$  a obdobne  $\lambda f = v$ . Ak hovoríme o rýchlosti šírenia elektromagnetického signálu, uvažujeme vlastne o rýchlosti šírenia svetla, keďže svetlo je tiež elektromagnetickým vlnením. Teda  $v = c$ , kde  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  (rýchlosť svetla vo vákuu).

## Elektromagnetický signál ako funkcia frekvencie

Elektromagnetický signál môže byť vytvorený zo zložiek o viacerých frekvenciách.

Napríklad signál:

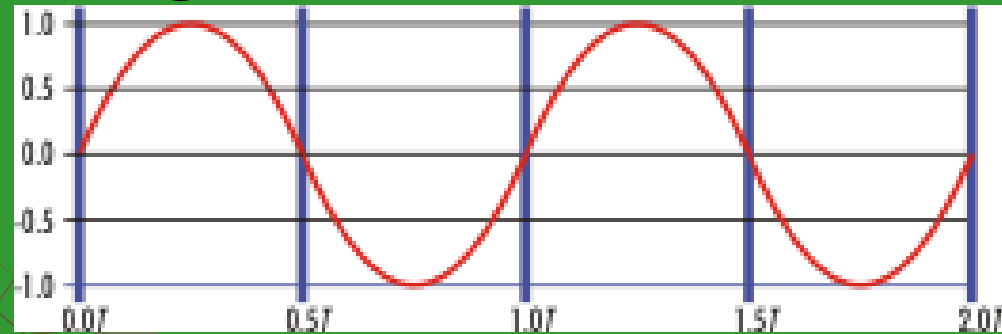
.....  
zobrazený na obr. **c**, je poskladaný zo zložiek o frekvenciách  $f$  a  $3f$  - obr. **a**) a **b**). Na obrázku je možné vidieť dva zaujímavé fakty:

- ◆ Druhá frekvencia (**b**) je celočíselným násobkom prvej frekvencie (**a**). Ak všetky frekvenčné zložky sú celočíselným násobkom jednej frekvencie, táto je uvádzaná ako **základná frekvencia**  $f_0$ .
- ◆ Perióda celého signálu sa rovná periódě základnej frekvencie. Perióda zložky  $\sin(2\pi ft)$  je  $T = 1/f$  a perióda  $s(t)$  je tiež  $T$ .

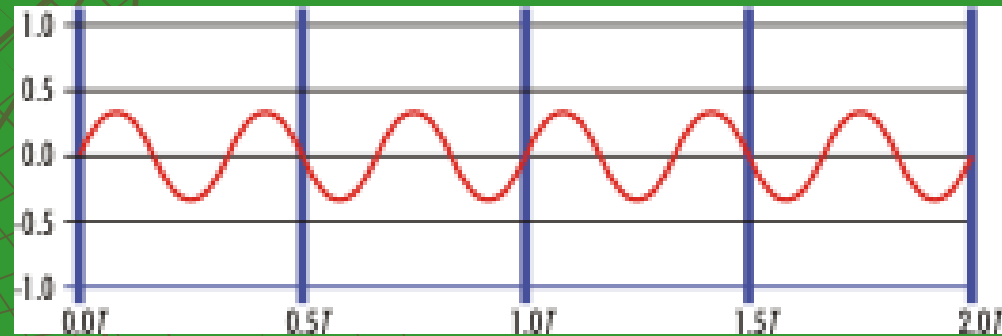
# Princípy bezdrôtových prenosov

Matematická disciplína známa ako Fourierova analýza umožňuje rekonštrukciu resp. skladanie signálu. Takýto signál bude vytvorený zo zložiek signálu o rôznych frekvenciách, v ktorých každá zložka bude sínusoida. Spojením dostatočného množstva periodických analógových signálov - sínusoid do jedného celku (každý s vhodnou amplitúdou, frekvenciou a fázou) môže byť skonštruovaný akýkoľvek elektromagnetický signál.

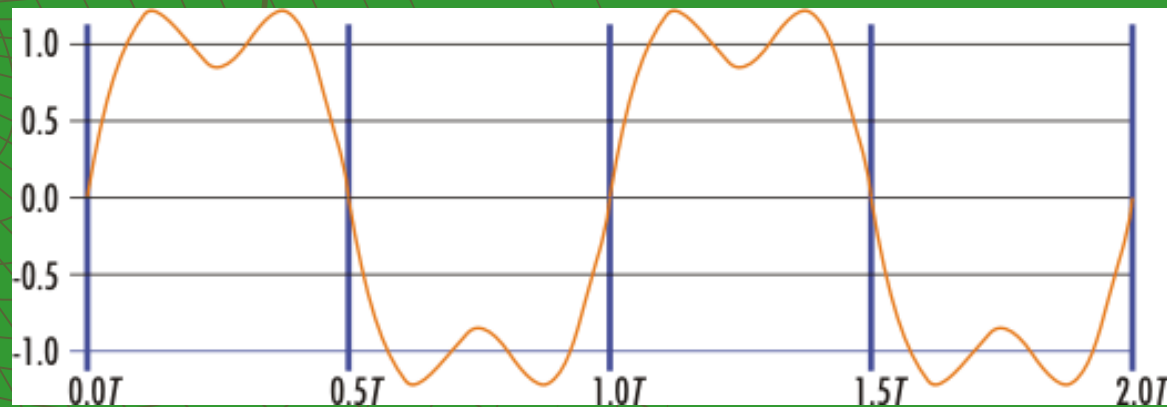
Obr. 4 Spájanie frekvenčných komponentov  $T = 1/f$



a)  $\sin(2\pi ft)$



b)  $1/3 \sin(2\pi(3f)t)$



c)  $(4/\pi) [\sin(2\pi ft) + 1/3 \sin(2\pi(3f)t)]$



# Princípy bezdrôtových prenosov

**Spektrum signálu** je rozsah frekvencií, ktoré obsahuje. Pre signál z obr. 4c je spektrum rozložené od  $f$  do  $3f$ . **Absolútna** šírka pásma signálu je šírka spektra. V prípade obr. 4c je absolútna šírka pásma  $3f - f = 2f$ . Mnohé signály majú neohraničenú šírku pásma, ale najväčšie množstvo energie majú sústredené v relatívne úzkom páse frekvencií. Toto pásmo sa uvádza ako **efektívna šírka pásma** alebo iba **šírka pásma** (bandwidth).

## Vzťah medzi šírkou pásma a rýchlosťou prenosu dát

Existuje priamy vzťah medzi kapacitou prenosu dát a šírkou pásma. Čím väčšia je šírka pásma signálu, tým vyššia je kapacita prenosu dát. Jednoduchý príklad: Na obr. 2b) je zobrazená obdĺžniková vlna. Predpokladajme, že **kladný impulz** reprezentuje **binárnu 0** a **záporný impulz binárnu 1**. Potom tvar krivky reprezentuje binárny tok 0101... . Doba trvania každého impulzu je  $1/(2f)$ , teda rýchlosť prenosu dát je  $2f$  bitov za sekundu (bit/s). Takýto signál môže byť tiež zostavený pomocou zložiek frekvencií. Spätný pohľad na **obr. 4C)** dokazuje, že zložením sínusoid na frekvenciách  $f$  a  $3f$  sme dostali tvar krivky podobný obdĺžnikovej vlne. Ak budeme pokračovať v tomto procese a pridáme ďalšiu sínusoidu o frekvencií  $5f$ , výsledný signál sa ešte viac priblíži k obdĺžnikovej vlne.

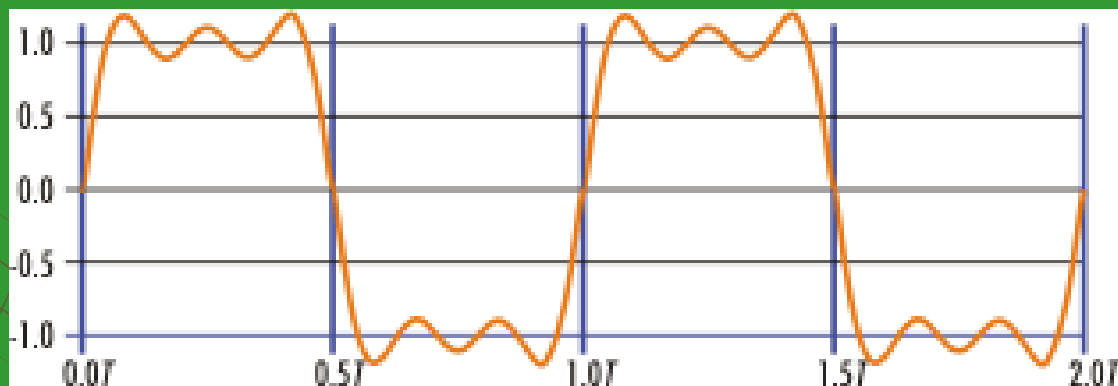
## Princípy bezdrôtových prenosov

Ak by sme chceli analógový signál ďalej zdokonaľovať a priblížiť ho k digitálnemu, je nutné pridať ďalšie nepárne násobky frekvencie  $f$ . Všeobecne môžu byť frekvenčné zložky obdĺžnikovej vlny s amplitúdami  $A$  a  $-A$  vyjadrené nasledovne:

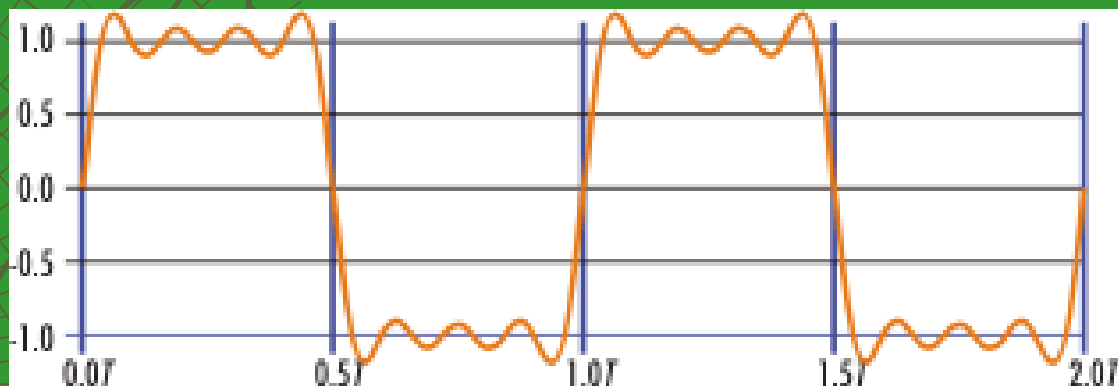
**rovnica 1** - Obdĺžniková vlna

*obr. 5* Frekvenčné komponenty obdĺžnikovej vlny  $T = (1/f)$

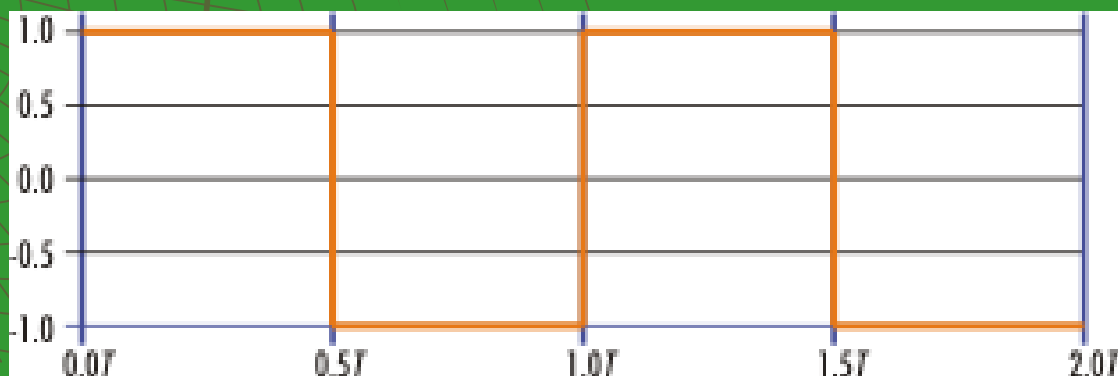
a)  $(4/\pi) [\sin(2\pi ft) + 1/3 \sin(2\pi(3f)t) + 1/5 \sin(2\pi(5f)t)]$



b)  $(4/\pi) [z1 + z2 + z3 + z4]$



c) **rovnica 1**



# Princípy bezdrôtových prenosov

Na vyjadrenie vzťahu medzi rýchlosťou prenosu a šírkou pásma môžu byť použité obrázky **4c** a **5a**. Budeme predpokladať, že používame systém digitálneho prenosu dát v spektre od 1MHz do 5MHz, teda so šírkou pásma **4MHz**. Systém bude prenášať sekvenciu striedavých **0** a **1** ako obdĺžnikovú vlnu z **obr. 5c**. Aká rýchlosť prenosu dát môže byť dosiahnutá? Pozrieme sa na nasledujúce prípady:

**Prípad 1:** Obdĺžnikovú vlnu bude modelovať tvar krivky z **obr. 5a**. Hoci je táto krivka "skreslenou" obdĺžnikovou vlnou, je dostatočne podobná na to, aby bol prijímač schopný z jej tvaru rozlíšiť binárnu 0 a 1. Ak necháme základnú zložku  $f_0 = 10^6$  cyklov za sekundu = 1MHz, potom šírka pásma tohto 3 zložkového signálu je rozdiel zložky s najvyššou frekvenciou a základnej zložky:

.....  
Kde pre frekvenciu  $f = 1\text{MHz}$  je perióda základnej frekvencie

.....  
Ak spracujeme túto krivku na bitový reťazec, jeden bit sa vyskytne každých  $0.5 \mu\text{s}$ , na rýchlosť prenosu dát na  $2 \times 10^6 = 2\text{Mbit/s}$ . Teda pre šírku pásma 4MHz dosiahneme rýchlosť 2Mbit/s.

.....

# Princípy bezdrôtových prenosov

**Prípád 2:** Ak zmeníme frekvenciu základnej zložky na 2MHz a ostatné parametre zostanú zachované, bude šírka pásma

.....

Keďže frekvencia bola oproti 1. prípadu zmenená, zmení sa aj  $T$  na  $0.5 \mu\text{s}$ , takže jeden bit bude zaberáť  $0.25 \mu\text{s}$ . Prenosová rýchlosť potom bude 4Mbit/s.

**Prípád 3:** Pre tento prípad bude dáta prenášať signál, ktorého amplitúda má tvar **obr.4c**. Predpokladajme, že takýto signál bude dostatočne odlišný na reprezentáciu sekvencií 0 a 1. Rovnako ako v prípade 2 bude frekvencia základnej zložky 2MHz a 1bit bude zaberáť  $0.25 \mu\text{s}$ , so zhodnou rýchlosťou prenosu dát 4Mbit/s. Šírka pásma podľa 2-zložkového signálu je

.....

# Princípy bezdrôtových prenosov

## Zistenie:

**Prípado 2** v porovnaní s prípadom 1, má väčšiu šírku pásma a dosahuje vyššiu prenosovú rýchlosť. Ak ďalej porovnáme **prípado 2** s **prípado 3**, zistíme, že rovnakú rýchlosť prenosu možno dosiahnuť na rôznej šírke pásma.

1.príp. : .....

2.príp. : .....

3.príp. : .....

Z týchto porovnaní je možné urobiť nasledujúci záver: Šírka pásma môže podporovať rôzne rýchlosti prenosu dát, závislé na schopnosti prijímača z daného signálu rozpoznať rozdiely medzi 0 a 1, a to aj za prítomnosti šumu a iných poškodení signálu. Vyššie frekvencie podporujú väčšiu šírku pásma, na ktorej možno dosahovať väčšie prenosové rýchlosti.

# Princípy bezdrôtových prenosov

## Z prenosovky:

**Dáta** - definované ako entity, ktoré prenášajú význam informácie.

**Signál** - elektrická alebo elektromagnetická reprezentácia dát. Pod reprezentáciou možno rozumieť zobrazenie, resp. zakódovanie dát do signálových prvkov.

**Prenos** - sprostredkovanie dát šírením a spracovaním signálu. Termíny *analógový* a *digitálny* zhruba korešpondujú s výrazmi *súvislý (kontinuálny)* a *prerušovaný (nespojité)*. Tieto dva termíny sú často používané v kontexte s predošlými tromi pojmami (dáta, signál, prenos).

**Analógové a digitálne dáta** - analógové dáta v nejakom intervale na seba pribierajú súvislé (spojité) hodnoty. Takéto dáta sa zväčša získavajú senzormi merajúcimi hodnoty ako tlak alebo teplota (zvuk a video - súvislé variujúce vzorky intenzity). **Digitálne dáta nesú v sebe nespojité hodnoty napr. text alebo čísla.**

**Analógové a digitálne signály** - v komunikačných systémoch sú dáta šírené z jedného bodu do iného bodu resp. iných bodov pomocou elektromagnetických signálov. **Analógový signál** je spojitá kolísajúca elektromagnetická vlna, ktorá môže byť šírená rôznymi médiami v závislosti na frekvencii. Patria tu: medené médiá ako krútená dvojlinka a koaxiálny kábel; káble z optických vlákien; atmosféra alebo kozmický priestor. **Digitálny signál** je postupnosť napätových impulzov, ktoré je možné prenášať médium.

# Princípy bezdrôtových prenosov



**obr. 6** Útlm digitálneho signálu

Spracovanie digitálneho signálu je vo všeobecnosti lacnejšie, ako spracovanie analógového signálu. Ďalšou výhodou digitálneho signálu je jeho väčšia odolnosť voči interferencii šumu. Nevýhodou v porovnaní s analógovým signálom je rýchlejšie oslabovanie digitálneho signálu. Na **obr. 6a** je zobrazená zdrojom generovaná postupnosť dvojúrovňových napätových impulzov.

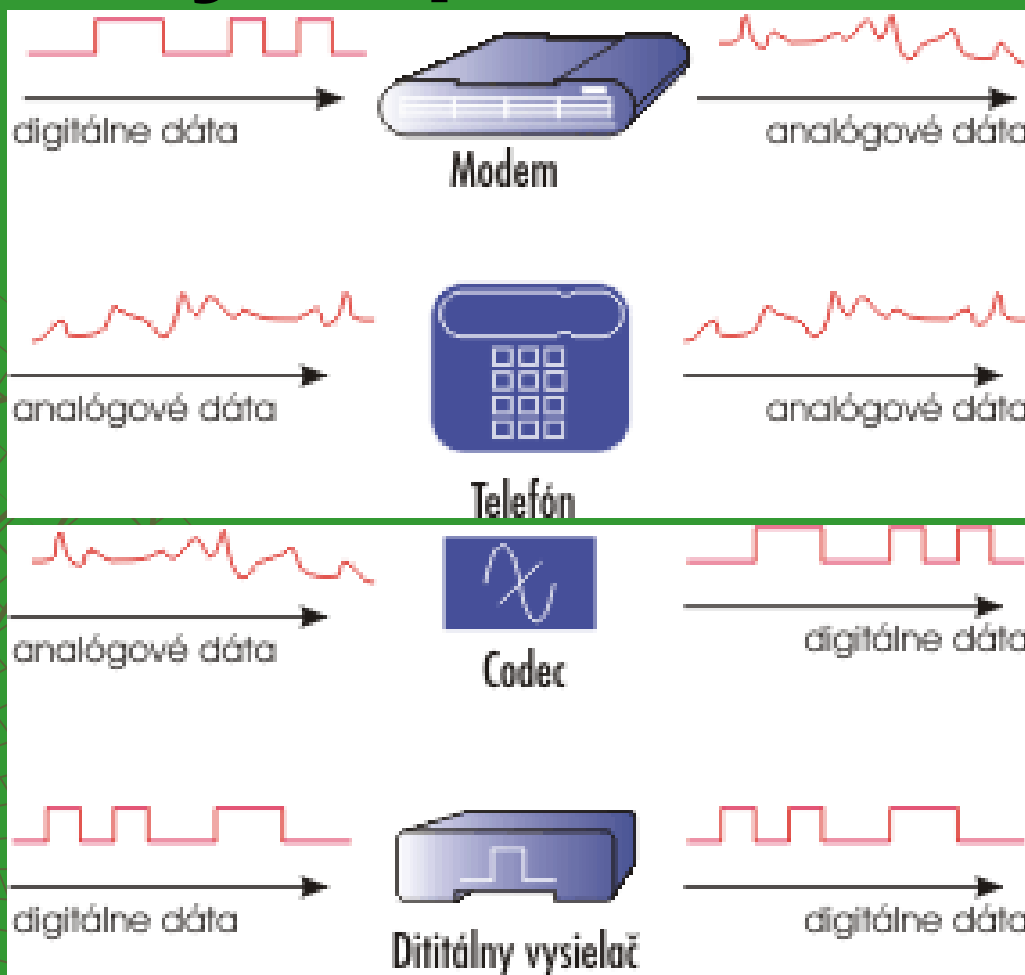
**Obr. 6b** zobrazuje tento signál po tom, ako bol prenesený médiom na nejakú vzdialenosť. Signál sa po prenose oslabil a "zaokrúhlil". Takéto oslabenie môže pomerne rýchlo viesť k strate informácie obsiahnutej v šírenom signále.

# Princípy bezdrôtových prenosov

## Reprezentácia analógových a digitálnych dát

Ako ilustruje obr. 7, obe - analógové aj digitálne dáta - môžu byť reprezentované a šírené analógovým alebo digitálnym signálom.

Analógové dáta, ktoré zaberajú limitované frekvenčné spektrum, môžu byť priamo reprezentované analógovým signálom zaberajúcim rovnaké frekvenčné spektrum. Najlepší príklad toho sú hlasové dáta. Zvukové vlny majú frekvenčné komponenty v rozsahu od 20Hz až po 20KHz. Avšak väčšina energie je sústredená v užšom frekvenčnom páse.



**obr. 7** Analógový a digitálny signál analógových a digitálnych dát

Pre zrozumiteľný a jasný prenos ľudskej reči je postačujúce frekvenčné pásmo od 300 do 3400Hz. Takto pracuje telefónny prístroj, ktorý pre všetky vstupujúce zvuky v rozsahu 300 až 3400Hz produkuje frekvenčné vzorky elektromagnetického signálu na rovnakej frekvencii. Tento elektromagnetický signál je na opačnom konci konvertovaný späť na zvuk.



# Princípy bezdrôtových prenosov

Digitálne dáta môžu byť tiež reprezentované analógovým signálom použitím **modemu** (modulátor - demodulátor). Modem prevádza série binárnych napäťových impulzov na analógový signál modulovaný do určitého spektra. Tento signál môže byť potom prenášaný vhodným médiom. Najbežnejšie modemy modulujú digitálne dáta do hlasového spektra a umožňujú tak prenášať digitálne dáta bežnou telefónnou linkou. Na druhom konci linky modem signál demoduluje na digitálne dáta.

Funkčne podobné prevádzke modemu, môžu byť analógové dáta zakódované do digitálneho signálu. Zariadenie, ktoré kóduje hlasové dáta na digitálny signál, sa volá **Codec** (kóder - dekáder). V podstate **Codec** vzorkuje signál hlasových dát a pretvára ich na bitový tok. Na opačnom konci sú digitálne dáta codecom dekódované na pôvodné analógové dáta. Nakoniec môžu byť digitálne dáta priamo reprezentované v binárnej forme dvojúrovňovými napäťovými signálmi.

Každá zo štyroch kombinácií má určité výhody, prečo je vhodná na konkrétny typ komunikačných úloh. Dôvody sú nasledovné:

- ◆ digitálny signál a digitálne dáta: zariadenia pre kódovanie dát do digitálneho signálu sú menej nákladné ako modemy;
- ◆ digitálny signál a analógové dáta: konverzia analógových dát do digitálnej formy umožňuje využitie moderného vybavenia pre digitálne prenosy a prepojovanie;
- ◆ analógový signál a digitálne dáta: prenosové média, ako optické vlákna a éter, šíria iba analógový signál;
- ◆ analógový signál a analógové dáta: analógové dáta sa jednoducho konvertujú na analógový signál.

# Princípy bezdrôtových prenosov

## *Analógový a digitálny prenos:*

**Analógové** aj **digitálne dáta** môžu byť prenášané vhodným prenosovým médiom, pričom komunikačný systém zabezpečuje funkciu spracovania dát.

**Analógový prenos** je spôsob prenosu analógovým signálom bez ohľadu na jeho obsah, teda signál môže reprezentovať analógové aj digitálne dáta. **Analógový prenos** môže byť bez ďalších zariadení šírený na väčšie vzdialenosti ako digitálny prenos, keďže analógový signál nie je natoľko oslabovaný útlmom ako signál digitálny. Na dosiahnutie väčších vzdialeností prenosu sa používajú zosilňovače. Tieto zosilňujú aj šumovú zložku signálu, a preto sa množstvom použitých zosilňovačov adekvátne zvyšuje skreslenie signálu. Pri analógových hlasových dátach môže byť malé skreslenie tolerované a dáta budú zrozumiteľné. Avšak pre digitálne dáta, ktoré prešli modemom, a sú prenášané analógovo, môže takéto skreslenie zanášať chyby.

**Digitálny prenos** je na rozdiel od analógového závislý na obsahu signálu. Aj keď je digitálny signál prenášaný na veľké vzdialenosti vo väčšej miere oslabovaný útlmom, je možné útlm prekonať pomocou **opakovačov** (repeaters). **Opakovač** prijíma signál, obnovuje vzorky núl i jednotiek a preposiela nový signál. S vhodne umiestneným opakovačmi je možné prenášať dáta na veľké vzdialenosti bez kumulovania chýb, ktoré by ohrozovali integritu prenášaných dát.

**Opakovače** je možné použiť aj pre analógový prenos, ktorý nesie digitálne dáta. Tieto sú rovnako obnovované a preposielané ďalej novým čistým analógovým signálom.

# Princípy bezdrôtových prenosov

## Vplyvy rušenia signálu a kapacita kanálu

Výkon komunikačných systémov je ovplyvňovaný niektorými limitujúcimi faktormi, ktoré nepriaznivo pôsobia na prenos signálu. Signál môže byť skreslený alebo poškodený rôznymi príčinami. Jednou z príčin je útlm (attenuation).

**Tlmenie** je pokles intenzity signálu, ktorá klesá so vzdialenosťou, cez ktorú bol signál prenesený médiom. Pri pevných médiách sa útlm vyjadruje konštantou, ktorá determinuje úbytok decibelov signálu na jednotku vzdialenosti, pričom decibel je logaritmická miera charakterizujúca pomer prijímanej a vysielanej energie. V éterových médiách je stanovenie útlmu komplexnejšou funkciou vzdialenosti a zloženia atmosféry. Navyše tlmenie je väčšie na vyšších frekvenciách. Tento faktor je známy ako **útlmové skreslenie**.

# Princípy bezdrôtových prenosov

Ďalším najbežnejším poškodením signálu je **šum**.

**Šum** (noise) je nežiadúci signál, ktorý modifikuje pôvodný vysielaný signál a ktorý je zanášaný niekde medzi vysielaním a jeho príjmom. Šum môže byť rozdelený do štyroch kategórií:

- .....
- .....
- .....
- .....

**Tepelný šum** (Thermal Noise) je prítomný vo všetkých elektronických zariadeniach a prenosových médiách. Je spôsobený dôsledkom tepelnej migrácie elektrónov a je teda funkciou teploty. Tepelný šum je lineárne rozložený naprieč celým frekvenčným spektrom a preto sa často uvádza ako **biely šum**. Pretože tepelný šum nemôže byť odstránený, stanovuje hornú hranicu výkonnosti komunikačného systému. Kvôli slabej intenzite prijímaného signálu je zvlášť podstatný v satelitnej komunikácii.

# Princípy bezdrôtových prenosov

**Intermodulačný šum** môže byť výsledkom zdieľania prenosového média a nelinearity v zariadeniach, ktoré sú súčasťou prenosového systému. Ak signály rôznych frekvencií zdieľajú to isté prenosové médium, je možné, že intermodulačný šum vytvorí rušivé signály na frekvenciách, ktoré sú sumou alebo rozdielom dvoch originálnych frekvencií, prípadne násobkami týchto frekvencií. Napríklad miešanie signálov na frekvenciách  $f_1$  a  $f_2$  by mohlo produkovať energiu na frekvencii  $f_1 + f_2$ . Tento odvodený signál by mohol rušiť prenos využívajúci frekvenciu  $f_1 + f_2$ . Intermodulačný šum sa tvorí v nelineárnych zariadeniach ako prijímač, vysielateľ a iné, ktoré zasahujú do prenosu. Nelinearita v týchto zariadeniach môže byť spôsobená nesprávnou funkčnosťou súčiastok, použitím neúmernej sily signálu alebo iba použitým typom zosilňovača.

**Presluch (crosstalk)** je nežiaduca väzba medzi tokmi signálov. Mohol ju zažiť každý, kto pri používaní telefónu počul inú konverzáciu. Takáto elektronická väzba sa môže vyskytnúť medzi dvoma vodičmi v krútených dvojlinkách, zriedka v koaxiálnych káblových spojoch, ktoré prenášajú násobný signál. Presluch môže tiež nastať, ak sú nežiaduce signály zachytené mikrovlnnými anténami. K takejto situácii môže dôjsť aj pri použití vysoko-smerových antén, pretože mikrovlnná energia sa počas prenosu rozširuje. Presluch stojí na rovnakom alebo menšom stupni závažnosti ako tepelný šum, avšak v miestach s vyššou penetráciou bezdrôtovej komunikácie, ktorá využíva nelicencované ISM pásma (Industrial, Scientific and Medical Radio Bands), presluch domínuje.

# Princípy bezdrôtových prenosov

Na všetky doteraz spomínané kategórie šumu je možné navrhnúť prenosový systém, ktorý sa s nimi dokáže vysporiadať. Je možné ich v rozumnej miere predpokladať a majú relatívne konštantnú úroveň. Tieto charakteristiky neplatia pre impulzný šum.

**Impulzný šum** je prerušovaný, zložený z nepravidelných impulzov a šumových špičiek s krátkou dobou trvania a relatívne vysokou amplitúdou. Je generovaný z rôznych príčin vrátane externých elektromagnetických porúch, ako napríklad blesk a defekty v komunikačnom systéme. Impulzným šumom sú väčšmi ohrozené digitálne dáta oproti analógovým.

**Vysoký a krátky impulz šumu** o dĺžke trvania **0.01** sekundy by pri rýchlosti prenosu **56kbit/s** zničil **560bitov** prenášaných dát. Pri prenose hlasu by ten istý impulz šumu vytvoril efekt krátkeho puknutia bez straty zrozumiteľnosti.

# Princípy bezdrôtových prenosov

**Miera šumu** je vyjadrovaná pomerom sily vysielaného signálu a sily signálu šumu (Signal to Noise Ratio) **SNR** alebo **S/N**. Typicky je **SNR** meraný prijímačom, ktorý sa nachádza v danom komunikačnom bode a je vyrobený na spracovanie a odstraňovanie nechceného šumu. Na uľahčenie je tento pomer často uvádzaný v decibeloch.

**Pre bezrozmerné veličiny** býva veličina uvádzaná ako SNR alebo S/N a veličina **v decibeloch** je uvádzaná ako **SNRdb** a **S/Ndb**. Vyjadrenie SNRdb je nasledovné:

.....

**SNRdb** vyjadruje hodnotu v decibeloch, ktorou určený signál prekračuje úroveň šumu. **Výška SNR** znamená výšku kvality signálu a určuje počet opakovačov nutných na prenos na väčšie vzdialenosti.

**Pomer signálu k šumu je dôležitý v prenose digitálnych dát, pretože nastavuje hornú hranicu dosiahnuteľnej rýchlosti dát.**

# Princípy bezdrôtových prenosov

## ◆ Kapacita kanálu

◆ Maximálna rýchlosť, ktorou môžu byť dáta prenesené cez danú komunikačnú cestu alebo kanál za daných podmienok, sa uvádza ako **kapacita kanálu** (Channel Capacity).

◆ Kapacitu kanálu ovplyvňuje **šírka pásma** (Bandwidth) prenášaného signálu, ktorá je obmedzená vysielačom a vlastnosťami prijímaného signálu. Je vyjadrená v cykloch za sekundu - Hertzoch (Hz). Spravidla platí pre cenu komunikačného zariadenia, že čím väčšia je šírka pásma, tým je vyššia je aj cena. Navyše všetky reálne použiteľné prenosové kanály majú limitovanú šírku pásma. Obmedzenia vyplývajú z fyzických vlastností prenosového média alebo zo zámerných obmedzení vysielačích pásiem na zabránenie rušenia z rôznych zdrojov.

◆ Ďalším faktorom ovplyvňujúcim kapacitu kanálu je chybovosť. **Chybovosť** (Error Rate) je miera, v ktorej sa chyby vyskytujú. Chybou sa myslí príjem 1, ak bola vyslaná 0 a naopak. Chybovosť je priamo ovplyvňovaná šumom, ktorý je hlavným obmedzením na dosiahnutie vysokej efektivity dátového prenosu.

◆ Nakoniec ešte pred výpočtom kapacity kanálu je nutné pripomenúť, že táto veličina je vyjadrená v bitoch za sekundu (bit/s), teda ako **rýchlosť prenosu dát** (Data Rate).

◆ Pre výpočet kapacity kanálu budeme najskôr predpokladať, že kanál je bez šumu. V takomto prostredí je obmedzením rýchlosti dát iba šírka pásma signálu.

**Nyquistova veta** určuje maximálnu rýchlosť prenosu dát  $C$  [bit/s] viacúrovňovým signálom bez šumu so šírkou pásma  $B$  [Hz].

$$C = \dots\dots\dots$$

◆ kde  $M$  je počet napätových úrovní v signále.



# Princípy bezdrôtových prenosov

**príklad 1:** Uvažujme, že prenášané signály sú binárne (sú použité dve napätové úrovne) a na prenos použijeme hlasový kanál využitý pomocou modemu na prenos digitálnych dát. Predpokladaná šírka pásma hlasového kanálu je 3100Hz, potom

$$C = \dots\dots\dots$$

**príklad 2:** Ak použijeme ten istý prenosový kanál ako v príklade 1, iba zmeníme počet napätových úrovní na 8, výsledná rýchlosť prenosu dát bude 18,6 kbit/s. Pretože

$$\dots\dots\dots$$

Takže pre danú šírku pásma rastie rýchlosť prenosu dát zvyšovaním počtu napätových elementov signálu. Vyšší počet elementov väčšmi zaťaží prevádzku prijímača, ktorý musí namiesto jedného z dvoch možných úrovní signálu rozlišovať jeden z  $M$  možných úrovní. Limitnom reálne použiteľnej hodnoty  $M$  budú šum a iné poškodenia.

# Princípy bezdrôtových prenosov

## Vplyv šumu na kapacitu kanálu

Ak sa chceme odkloniť od ideálneho prenosu bez rušenia šumom bližšie k realite, je nutné zobrať do úvahy vzťah medzi rýchlosťou prenosu dát, šumom a chybovosťou. Prítomnosť šumu môže poškodiť jeden alebo viac bitov v závislosti od rýchlosti prenosu dát.

Ak je rýchlosť prenosu zvyšovaná, potom sa bity stávajú "kratšími". Na rovnakej vzorke šumu je teda ovplyvňovaných viac bitov úmerne k rýchlosti prenosu.

**Čím je teda na danej šumovej úrovni vyššia prenosová rýchlosť, tým je vyššia chybovosť.**