

Téma č.3: Prenosové systémy

Obsah:

1	Model prenosovej cesty	3
2	Kódovanie.....	3
2.1	Kódovanie zdroja.....	3
2.2	Kódovanie kanála	3
2.2.1	Lineárne kódy	4
3	Modulácie.....	5
3.1	Prenos v základnom pásme - baseband transmissions.....	5
3.2	Prenos v preloženom pásme - broadband transmission.....	5
3.3	Druhy modulácií	6
3.4	Analógový a číslicový signál.....	6
3.5	Modulácia	6
3.6	Modulačná rýchlosť - modulation speed	7
3.7	Prenosová rýchlosť - transmission speed	7
4	Šírka pásma a jej delenie	7
5	Multiplexing.....	8
5.1	Frekvenčný multiplex - frequency division multiplexing (FDM).....	8
5.2	Časový multiplex - time division multiplexing (TDM).....	9
6	Kabeláž.....	10
6.1	Parametre káblov	10
6.2	Metalické káble.....	10
6.2.1	Koaxiálny kábel.....	10
6.2.2	Krútená dvojlinka	11
6.3	Optické káble.....	11
6.3.1	Princípy prenosu signálu po optických kábloch.....	12
6.3.2	Mnohovidové a jednovidové vlákna.....	13
7	Prenosové siete v rámci areálu	14
7.1	Štruktúrovaná kabeláž	14
8	Prístupové siete - technológia DSL	15
8.1	Porovnanie s analógovými modemami.....	16
8.2	Rodina xDSL	16
8.2.1	ADSL.....	16
8.2.2	HDSL.....	17
8.2.3	RADSL.....	17
8.2.4	SDSL	17
8.2.5	VDSL.....	17
8.3	Prepojenie v ústredni	17
8.4	Výhody ADSL.....	18
8.5	Širokopásmové služby umožnené ADSL.....	18
9	Diaľkové prenosové siete	18
9.1	PCM spoje T a E.....	18
9.1.1	T1 spoj	19
9.1.2	E1 spoj.....	20
9.2	SONET/SDH	21
9.2.1	Technológia fyzickej vrstvy	21
9.2.2	Prenosové rýchlosti.....	21
9.3	Wave Division Multiplex – WDM.....	22
9.3.1	Podstata WDM	23
9.3.2	Spôsob fungovania	23

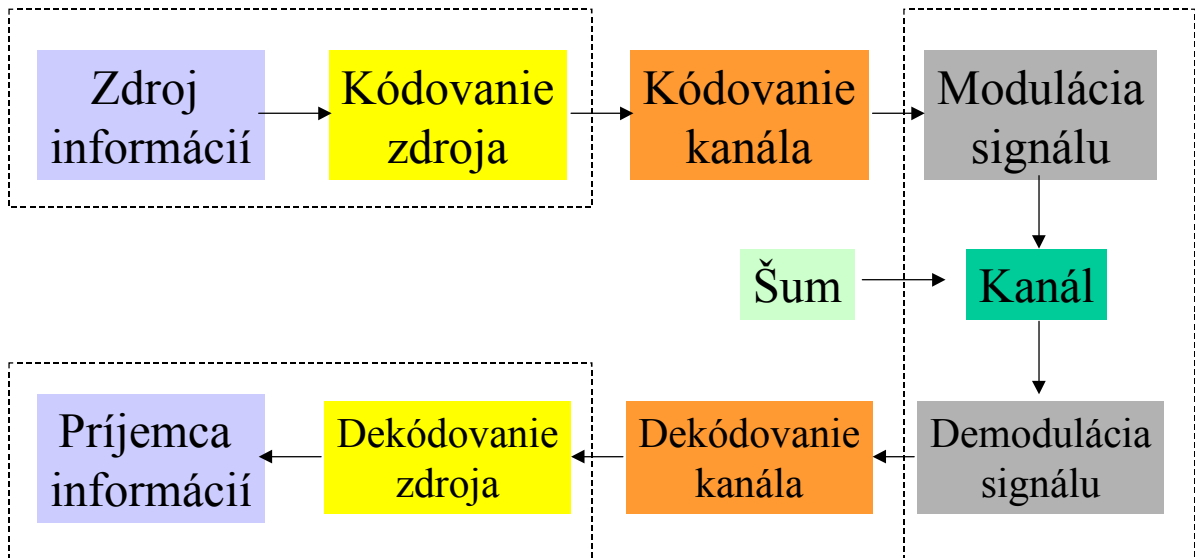
9.3.3	Pripojenie systému DWDM do existujúcich sietí.....	23
9.3.4	DWDM zariadenia.....	24
10	Mikrovlnné a družicové spoje	24
10.1	Mikrovlnné spoje.....	24
10.2	Troposferické spoje	25
10.3	Družicové spoje	26
10.3.1	Družicová dátová sieť VSAT	27
11	Dodatok A – Číslicové modulácie.....	29
11.1	Úvod	29
11.2	Diskrétné modulácie v základnom pásme	30
11.3	Dvojstavové diskkrétne modulácie.....	31
11.4	Viacstavové diskkrétne modulácie	32
11.5	Modulácie MSK a GMSK	33
11.6	Modulácia OK-QPSK a delta/4-DQPSK.....	34
11.7	Záver.....	35

Otázky ku skúške:

(Otázka ku skúške: „Nakreslite a popíšte model prenosovej cesty.“)	3
(Otázka ku skúške: „Čo je cieľom kódovania kanála?“).....	3
(Otázka ku skúške: „Charakterizujte prenos v základnom a v preloženom pásme.“).....	5
(Otázka ku skúške: „Aké druhy modulácií poznáte?“)	6
(Otázka ku skúške: „Čo je to modulácia a nosný signál?“).....	6
(Otázka ku skúške: „Aký je rozdiel medzi modulačnou a prenosovou rýchlosťou?“).....	7
(Otázka ku skúške: „Čo je to šírka pásma?“)	7
(Otázka ku skúške: „Čo je to proces nazvaný multiplexing?“)	8
(Otázka ku skúške: „Popíšte frekvenčný multiplex – FDM.“).....	8
(Otázka ku skúške: „Popíšte časový multiplex – TDM.“).....	9
(Otázka ku skúške: „O čom hovoria parametre kabeláže: prenosová rýchlosť, útlm a odolnosť proti rušeniu?“).....	10
(Otázka ku skúške: „Charakterizujte koaxiálny kábel, krútenú dvojlinku a optické vlákno.“) .	10
(Otázka ku skúške: „Čo je to numerická apertúra? “)	12
(Otázka ku skúške: „Porovnajte mnohovidové, jednovidové a gradientné optické vlákna.“) .	13
(Otázka ku skúške: „Porovnajte ADSL modem a obyčajným analógovým modemom.“)	16
(Otázka ku skúške: „Opíšte E1 spoj.“)	20
(Otázka ku skúške: „Opíšte SDH technológiu – použité prenosové médium, rýchlosti...“)	21
(Otázka ku skúške: „Čo je WDM technológia, aká je jej podstata a spôsob fungovania.“).....	22
(Otázka ku skúške: „Popíšte mikrovlnné spojenie.“)	24
(Otázka ku skúške: „Aký je rozdiel medzi mikrovlnné a troposferické spoje.“)	25
(Otázka ku skúške: „Aké sú geostacionárne družice?“).....	26
(Otázka ku skúške: „Aké pásma sa používajú pri družicových spojoch?“)	27

1 Model prenosovej cesty

(Otázka ku skúške: „Nakreslite a popíšte model prenosovej cesty.“)



2 Kódovanie

2.1 Kódovanie zdroja

Zdroj prezentuje informáciu v obrazovej, hlasovej forme alebo inej forme, ktorú je človek schopný vnímať

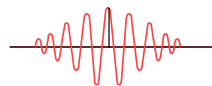
Zakódovaná informácia sa nachádza v transformovanej najčastejšie binárnej forme.

Príkladom kódovania zdroja je PCM kódovanie hlasu alebo ASCII kódovanie textu.

Kódovanie

Zdroj informácií

- Hlas



PCM

Zakódovanie zdroja

- Hlas

00110010

- Text

„A“

ASCII

- Text

01000001

Zdroj prezentuje informáciu v obrazovej, hlasovej forme alebo inej forme, ktorú je človek schopný vnímať

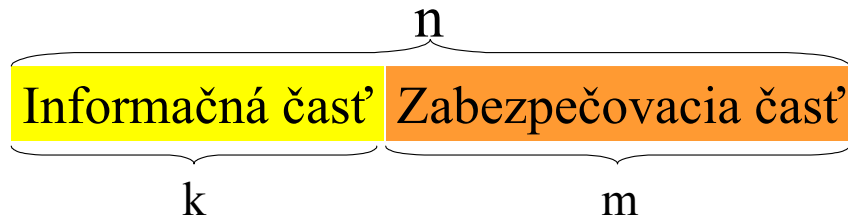
Zakódovaná informácia sa nachádza v transformovanej najčastejšie binárnej forme

2.2 Kódovanie kanála

(Otázka ku skúške: „Čo je cieľom kódovania kanála?“)

Cieľom kódovania kanála je dosiahnuť možnosť rozoznať po prenose informácie cez kanál chybu alebo ju opraviť.

Podstatou kódovania kanála je pomocou nejakých matematických operácií pridať k postupnosti pôvodných binárnych symbolov ďalšie bity tak aby sa splnila nejaká podmienka.



Hammingova Vzďialenosť

Vzďialenosť dvoch kódových slov je počet odlišujúcich sa binárnych symbolov na rovnôahľých miestach.

Pre slová 1011011 a 1000111 je to vzďialenosť = 3

- Kód dokáže detekovať X chýb ak je minimálna vzďialenosť všetkých kódových slov $X+1$
- Kód dokáže opraviť Y chýb ak je minimálna vzďialenosť všetkých kódových slov $Y \cdot 2 + 1$

2.2.1 Lineárne kódy

Lineárne kódy používajú na kódovanie lineárnu algebru

- Na kódovanie/dekódovanie sa používa matica G [$k \times n$] napr. 4×7

```

1 1 0 1 0 0 0
0 1 1 0 1 0 0
1 1 1 0 0 1 0
1 0 1 0 0 0 1

```

- Na detekciu a korekciu chyby sa používa matica H [$m \times n$] napr. 3×7

```

1 0 0 1 0 1 1
0 1 0 1 1 1 0
0 0 1 0 1 1 1

```

Príklad prenosu zakódovaného znaku „A“ (ASCII=65=01000001)

Zakódovanie zdroja

0100 0001

Matica G

```

1 1 0 1 0 0 0
0 1 1 0 1 0 0
1 1 1 0 0 1 0
1 0 1 0 0 0 1

```

Zakódovanie linky

0110100 (1)

1010001 (2)

Prenos cez zašumený kanál

0100 0001

Detekčná matica H

```

1 0 0 1 0 1 1
0 1 0 1 1 1 0
0 0 1 0 1 1 1

```

0110110 (1)

1110001 (2)

Po vynásobení slova (1) a (2) maticou dostanem

(1) 111 - výsledok zhodný so 6. stĺpcom - chyba na 6. mieste

(2) 010 - výsledok zhodný s 2. stĺpcom - chyba na 2. mieste

Chybu opravíme a maticou G prevedieme linkové kódové slovo na kód zdroja

3 Modulácie

(Otázka ku skúške: „Charakterizujte prenos v základnom a v preloženom pásme.“)

3.1 Prenos v základnom pásme - baseband transmissions

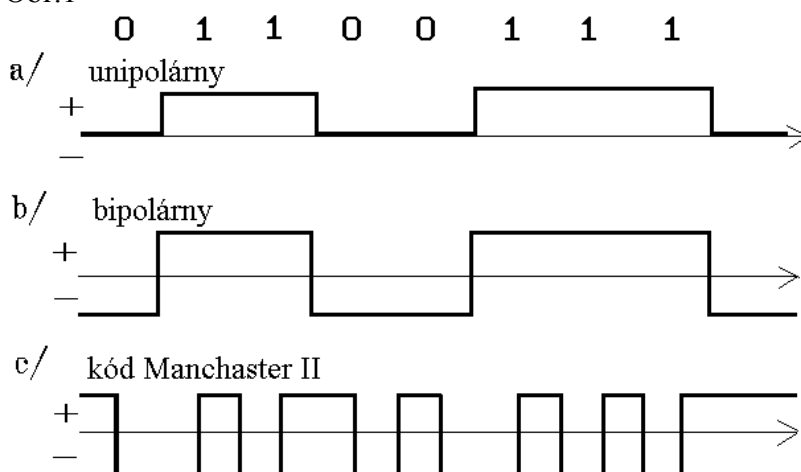
Ak potrebujeme prenášať dvojkové dáta po signálových vodičoch, môžeme obe možné hodnoty - 0 a 1 - reprezentovať pomocou úrovni napätia na vodiči.

Napr. podľa obr.1 a) jednou nulovou a jednou nenulovou úrovňou, alebo podľa obr. 1 b) jednou zápornou a jednou nezápornou úrovňou.

Avšak používajú sa aj zložitejšie spôsoby vyjadrenia logických hodnôt pomocou úrovni napätia - príkladom môže byť tzv. kód Manchester II (vid' obr. 1 c.), ktorý sa používa v lokálnych sieťach Ethernet a zabezpečuje určitý minimálny počet zmien prenášaného signálu aj v prípade, že má byť prenášaná dlhšia postupnosť bitov rovnakej hodnoty (napr. dlhý rad núl).

Všetky tieto spôsoby prenosu sú súhrnne označované ako **prenosy v základnom pásme - baseband transmissions**.

Obr.1



3.2 Prenos v preloženom pásme - broadband transmission

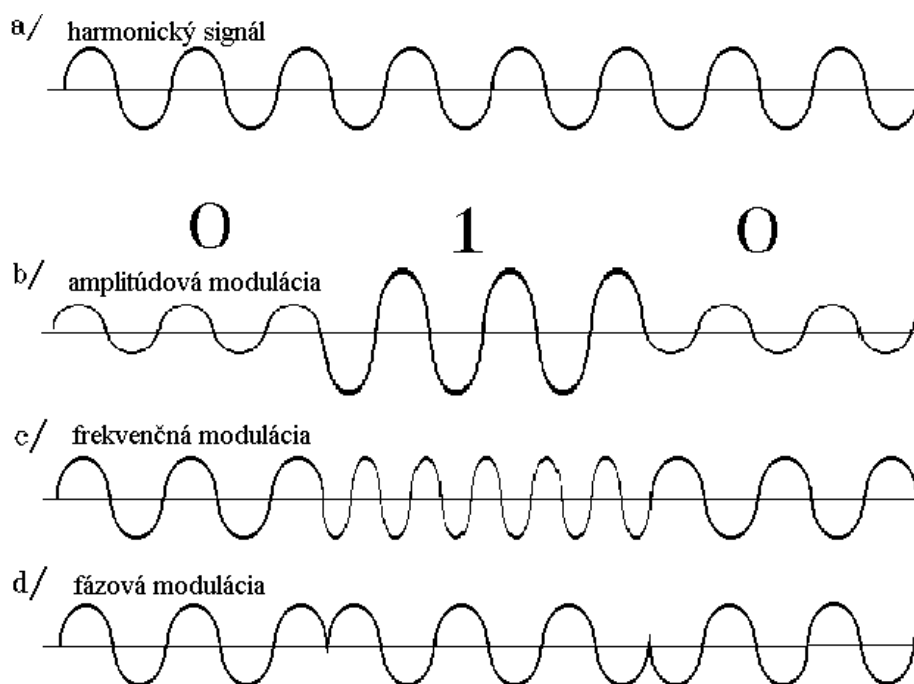
Mnohé prenosové cesty (napr. bežné telefónne okruhy apod.) sú vzhľadom k svojim fyzikálnym vlastnostiam pre prenos v základnom pásme prakticky nepoužiteľné, zatiaľ čo iné médiá (napr. koaxiálne káble) síce pre prenos v základnom pásme môžeme využiť, ale nie s maximálnou možnou efektívnosťou.

Alternatívou k prenosu v základnom pásme je **prenos v preloženom pásme - broadband transmission**. Pri ktorom je prenášaný taký signál, ktorý sa daným prenosovým médium šíri najlepšie (s najmenšími stratami).

Typicky ide o pravidelne sa meniaci signál sínusového priebehu (tzv. harmonický signál), ktorý ukazuje obrázok 2 a). Užitočná informácia sa potom prenáša prostredníctvom zmien v priebehu tohto signálu.

Môžeme si predstaviť, že harmonický signál je akýmsi nosičom (preto sa mu tiež hovorí **nosný signál** resp. **nosná**, anglicky **carrier**), a užitočná informácia sa naň "nanáša" postupom označovaným ako **modulácia - modulation**.

Obr.2



3.3 Druhy modulácií

(Otázka ku skúške: „Aké druhy modulácií poznáte?“)

Existujú rôzne možnosti modulácie nosného signálu:

- amplitúdová modulácia - amplitude modulation (AM), pri ktorej sú jednotlivé logické hodnoty vyjadrené rôznymi hodnotami amplitúdy (rozkmitu) harmonického signálu - vid' obr. 2. b),
- frekvenčná modulácia - frequency modulation (FM), pri ktorej sú jednotlivé logické hodnoty vyjadrené rôznymi frekvenciami harmonického signálu - vid' obr. 2 c),
- fázová modulácia - phase modulation (PM), pri ktorej sú jednotlivé logické hodnoty vyjadrené rôznou fázou (posunutím) harmonického signálu - vid' obr. 2 d/.

3.4 Analógový a číslicový signál

Nosný signál, používaný pri prenosoch v preloženom pásme, je vždy **analógovým signálom - analog signal**, teda signálom, ktorý môže nadobúdať spojité množiny rôznych hodnôt, tj. mení sa spojito. Príkladom môže byť práve harmonický signál. Naproti tomu **číslcový, diskretný signál - digital signal** - môže nadobúdať len konečný počet rôznych hodnôt (napr. iba dve, ako na obrázku 1.) a mení sa skokom.

3.5 Modulácia

(Otázka ku skúške: „Čo je to modulácia a nosný signál?“)

Modulation (modulácia) - Modulácia, je proces, kedy je **nosný signál** modulovaný **modulačným signálom**, tzn. že je do nosného signálu "vnesená" informácia o prenášanom (modulačnom) signáli (napr. reč). Informáciu je možné do nosného signálu vnieť buď zmenou jeho amplitúdy, frekvencie alebo fázovým posuvom.

Modulácia je proces zmeny informačného signálu do tvaru vhodného na prenos. Moduláciou vzniká z analógového nosného signálu opäť analógový signál. Musí však byť uňho možné rozlíšiť potrebný počet navzájom rôznych stavov, ktoré môžu reprezentovať diskretné logické hodnoty.

Pokiaľ moduláciou vznikajú len dva navzájom rozlíšiteľné stavy nosného signálu (ako napr. pri fázovej modulácii posunutím signálu o 0 stupňov a o 180 stupňov), ide o moduláciu tzv. dvojstavovú, ktorá nesie iba jednobitovú informáciu, lebo dva rozlíšiteľné stavy nosného signálu môžu reprezentovať zase iba dve diskrétné logické hodnoty.

Používa sa však aj modulácia s väčším počtom navzájom rozlíšiteľných stavov nosného signálu. Napr. pri štvorstavovej fázovej modulácii s posunutím fázy nosného signálu o 0, 90, 180 a 270 stupňov môže jeden stav nosného signálu reprezentovať jednu zo štyroch možných logických hodnôt, a teda niesť dvojbíťovú informáciu.

V praxi sa jednotlivé spôsoby modulácie navzájom kombinujú - napr. v telefónnych modemoch pre vyššie prenosové rýchlosti sa kombinuje fázová modulácia s moduláciou amplitúdovou. Cieľom je totiž zväčšiť počet rozlíšiteľných stavov nosného signálu, ktorý tak môže niesť viacbitovú informáciu.

3.6 Modulačná rýchlosť - modulation speed

(Otázka ku skúške: „Aký je rozdiel medzi modulačnou a prenosovou rýchlosťou?“)

Modulačná rýchlosť vyjadruje počet zmien nosného signálu za jednotku času (sekundu), a meria sa v Baudoch (skratkou Bd). Modulačná rýchlosť ešte nič nehovorí o tom, aké množstvo informácie nosný signál prenáša.

3.7 Prenosová rýchlosť - transmission speed

Prenosová rýchlosť naopak udáva objem informácie, prenesený za časovú jednotku. Vyjadruje sa v bitoch za sekundu (bits per second, skratkou bps). Prenosová rýchlosť naopak nehovorí nič o tom, ako rýchlo sa mení nosný signál.

Modulačná rýchlosť môže byť rovná prenosovej rýchlosti, a to práve v prípade dvojstavovej modulácie. Pokiaľ ale používame napr. moduláciu štvorstavovú, vyjadruje jeden stav nosného signálu dvojbíťovú informáciu a prenosová rýchlosť je potom číselne dvojnásobná oproti rýchlosti modulačnej.

4 Šírka pásma a jej delenie

(Otázka ku skúške: „Čo je to šírka pásma?“)

Pri prenose informácií je jedným z rozhodujúcich aspektov objem dát, ktorý je prenosový kanál schopný preniesť za určitý čas. Obvykle sa v tejto súvislosti hovorí (skôr neformálne) o prenosovej kapacite či priepustnosti prenosovej cesty. Správnym meradlom je však iba prenosová rýchlosť (v bitoch za sekundu).

Dosiahnuteľná prenosová rýchlosť je ale vždy daná súhrnom fyzikálnych vlastností prenosového média (vodičov, káblov apod.) a vlastnosťami ďalších technických prostriedkov, ktoré prenosový kanál spoluvytvárajú (napr. modemov, multiplexorov apod.).

Každý prenosový kanál je vždy schopný prenášať len signály s frekvenciou z určitého obmedzeného intervalu. Presnejšie: signály s inou frekvenciou prenáša tak neefektívne (s tak veľkým útlmom, skreslením apod.), že ho nie je únosné pre prenos týchto signálov vôbec použiť. Napríklad bežné telefónne okruhy sú schopné prenášať signály s frekvenciou približne od 300 do 3400 Hz.

Šírka intervalu frekvencií, ktoré je prenosový kanál schopný preniesť, predstavuje tzv. šírku pásma - bandwidth.

Jednotka šírky pásma je rovnaká ako jednotka frekvencie, tj. 1 Hz. V prípade bežných telefónnych okruhov, schopných prenášať frekvencie od 300 Hz do 3400 Hz, je teda šírka pásma 3100 Hz, tj. 3,1 kHz.

Všeobecne platí, že čím väčšia je šírka pásma prenosového kanála, tým väčšia je prenosová rýchlosť, ktorú na ňom možno dosiahnuť.

Presnú závislosť medzi dosiahnuteľnou prenosovou rýchlosťou a dostupnou šírkou pásma sa nedá jednoducho stanoviť - veľmi totiž záleží na konkrétnej realizácii. Existujú však teoretické výsledky, ktoré poskytujú horný odhad tejto závislosti. Konkrétne stanovujú maximálnu teoreticky dosiahnuteľnú modulačnú aj prenosovú rýchlosť pri danej šírke pásma prenosového kanála.

V prípade modulačnej rýchlosti (teda počte zmien nosného signálu za jednotku času) je vzájomná závislosť veľmi jednoduchá - **maximálna modulačná rýchlosť je číselne dvojnásobkom šírky pásma.**

Maximálna dosiahnuteľná prenosová rýchlosť je číselne priamo úmerná šírke pásma - konštanta úmernosti je však závislá na "kvalite" prenášaného signálu (presnejšie na odstupe užitočného signálu od šumu). Napríklad pre odstup signál/šum 30 dB (čo znamená, že užitočný signál je 1000-krát silnejší ako šum) má konštanta úmernosti hodnotu približne 9,96. Pri šírke pásma telefónneho okruhu 3,1 kHz by to znamenalo maximálnu prenosovú rýchlosť cez 30000 bitov za sekundu.

5 Multiplexing

(Otázka ku skúške: „Čo je to proces nazvaný multiplexing?“)

Vedľa telefónnych okruhov existujú aj iné druhy prenosových kanálov, ktorých šírka pásma je výrazne vyššia, a vyššia je aj prenosová rýchlosť, ktorá je na nich reálne dosiahnuteľná. Otázkou môže byť, ako celkovú prenosovú kapacitu skutočne využiť, ak potrebujeme napríklad iba určitú (rádovo menšiu) prenosovú rýchlosť, ale pre väčší počet na sebe nezávislých užívateľov.

Existuje technika, ktorej sa v angličtine hovorí **multiplexing**, a ktorá umožňuje rozdeliť jeden prenosový kanál s veľkou šírkou pásma na niekoľko (užších) logických subkanálov, ktoré sa javia ako samostatné, na sebe nezávislé prenosové kanály. Technické zariadenie, ktoré takéto logické rozdelenie na niekoľko subkanálov zabezpečuje, sa nazýva **multiplexor - multiplexer**.

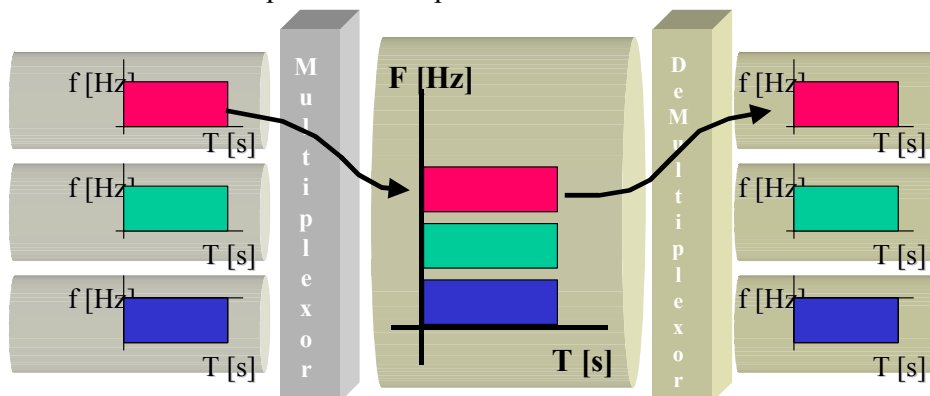
Existujú dva základné spôsoby delenia jedného prenosového kanála na viacero subkanálov. Prvým z nich je tzv.

5.1 Frekvenčný multiplex - frequency division multiplexing (FDM).

(Otázka ku skúške: „Popíšte frekvenčný multiplex – FDM.“)

Tu si možno predstaviť, že jednotlivé subkanály sú "navíšené na seba" v prenosovom pásme skutočne existujúceho prenosového kanála, a každému z nich je pridelená taká časť celkovej šírky pásma, akú potrebuje (tj. aká je jeho šírka pásma) - vid' obr. Signál, prenášaný v rámci určitého subkanála, musí multiplexor najprv frekvenčne "posunúť" do časti pásma, ktoré je pridelené danému subkanála, a na druhej strane spoja ho zasa "vrátiť späť" do pôvodnej frekvenčnej polohy. Celý mechanizmus je pritom plne transparentný, tj. užívatelia jednotlivých kanálov si môžu myslieť, že majú k dispozícii samostatné, na sebe nezávislé prenosové kanály.

Signály jednotlivých kanálov sú posunuté do vyšších frekvenčných polôh a poskladané do jedného širšieho prenosového pásma



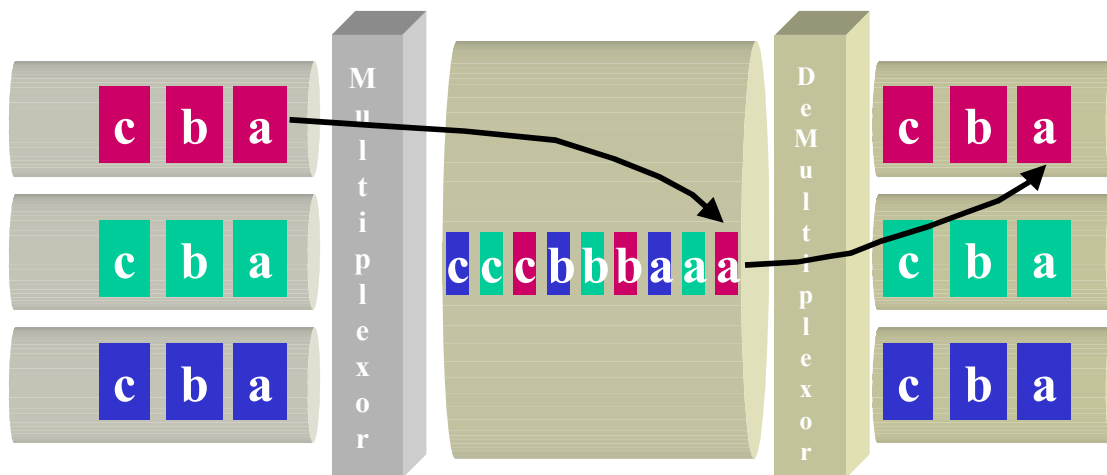
Jednotlivé signály sú vyextrahované a vrátené do pôvodných frekvenčných polôh

Druhou základnou možnosťou pre delenie jedného prenosového kanála na viacero subkanálov je tzv.

5.2 Časový multiplex - time division multiplexing (TDM).

(Otázka ku skúške: „Popíšte časový multiplex – TDM.“)

Tu je vlastný prenosový kanál pravidelne pridelovaný s celou svojou šírkou pásma na krátke časové intervaly jednotlivým subkanálom. Najľahšie sa táto predstava ilustruje na príklade kanála, ktorý prenáša priamo číslicové dáta. Multiplexor najprv "vyberie" napríklad po jednom bity od každého subkanála, a zo všetkých týchto bitov zostaví viacbitový znak, ktorý prenesie kanálom. Na opačnej strane kanála potom druhý multiplexor (niekedy označovaný ako demultiplexor) rozoberie prijatý znak na jednotlivé bity a tie predá príslušným subkanálom - vid' obr.



Pri časovom aj frekvenčnom multiplexe samozrejme musí platiť, že súčet širok pásma jednotlivých subkanálov musí byť menší ako celková šírka pásma existujúceho prenosového kanála. Časový multiplex je účinnejší, v tom zmysle, že súčet širok pásma subkanálov môže byť "bližšie" teoretickej hornej hranici, teda celkovej šírke pásma existujúceho kanála.

6 Kabeláž

6.1 Parametre káblov

(Otázka ku skúške: „O čom hovoria parametre kabeláže: prenosová rýchlosť, útlm a odolnosť proti rušeniu?“)

Možnosti využitia jednotlivých druhov káblov sú určené predovšetkým ich kvantitatívnymi parametrami. K najdôležitejším patrí:

- **prenosová rýchlosť**, ktorú možno na danom kábli dosiahnuť:

u drôtových prenosových ciest sa pohybuje v ráde jednotiek až desiatok Mb/s, u optických káblov je ešte vyššia.

- **útlm (attenuation)**: predstavuje zoslabenie prenášaného signálu. Je spôsobený odporom, ktorý kábel kladie prenášanému signálu - býva väčší pre vyššie frekvencie prenášaného signálu (a teda pre vyššie prenosové rýchlosti), a rastie tiež so znižovaním priemeru kábla. Celková hodnota útlmu je priamo úmerná dĺžke kábla a je jedným z rozhodujúcich faktorov, ktoré určujú maximálnu použiteľnú dĺžku súvislého úseku (segmentu) kábla.

- **odolnosť voči rušeniu (interferencie)**: v okolí kábla môže dochádzať k rôznym javom, ktoré majú nepriaznivý vplyv na prenášaný signál - ide napr. o prevádzku rôznych elektrických spotrebičov apod. Každý druh kábla vykazuje inú odolnosť voči rušeniu.

Jednou zo špecifických foriem rušenia je tzv. **presluch (cross-talk)**, kedy signál prenášaný jedným káblom, ovplyvňuje priebeh signálu v inom kábli - najčastejšie sa prejavuje u súbežne vedených vodičov.

V dôsledku útlmu a rušenia potom dochádza k **skresleniu (distortion)** prenášaného signálu, ktoré sa u dátových prenosov v konečnej podobe prejavuje príjmom iných dát, než aké boli skutočne vyslané.

6.2 Metalické káble

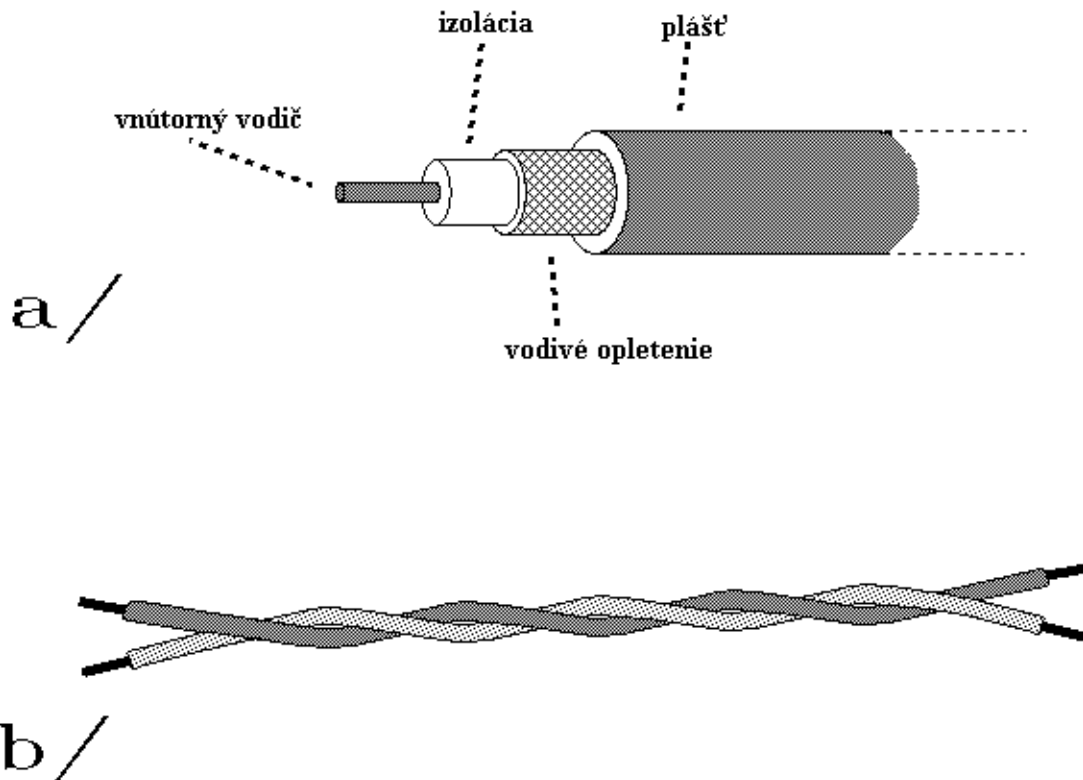
(Otázka ku skúške: „Charakterizujte koaxiálny kábel, krútenú dvojlínku a optické vlákno.“)

6.2.1 Koaxiálny kábel

Koaxiálny kábel (coaxial cable) tvorí vnútorný vodič (medený alebo postriebrený), okolo ktorého je nanosená izolujúca vrstva dielektrika - vid' obr. Na tejto vrstve je potom nanosené vodivé opletenie, ktoré je prekryté ďalšou izolujúcou vrstvou - vonkajším plášťom.

Vodivé opletenie predstavuje "rozprestretý" vodič, ktorého pozdĺžna os je zhodná s osou vnútorného vodiča - preto označenie "ko-axiálny" (tj. súosý) kábel.

Hlavný efekt vodivého opletenia spočíva predovšetkým v odtienení vnútorného vodiča od vplyvu vonkajšieho rušenia - koaxiálne káble sú preto voči rušeniu dosť odolné. Vyrábajú sa v rôznych prevedeniach, ktoré sa líšia rozmermi, mechanickým prevedením aj hodnotou tzv. **impedancie**, ktorá vyjadruje odpor, kladený striedavému signálu.



Obr. a/ koaxiálny kábel, b/ krútená dvojlinka

6.2.2 Krútená dvojlinka

Popri koaxiálnych káblach prichádzajú do úvahy pre prepojovanie uzlových počítačov tiež páry bežných jednožilových vodičov. Aby sa čo možno najviac minimalizoval vplyv rušenia, používa sa pre tieto vodiče tzv. diferenciálne budenie - čo znamená, že prenášanú informáciu vyjadruje rozdiel signálov na oboch vodičoch. Ak príde potom vplyvom vonkajšieho rušenia k rovnakej zmene signálu na oboch vodičoch, na rozdiel oboch signálov sa to neprejaví.

Dva paralelne vedúce vodiče vždy fungujú ako jednoduchá anténa. Pri súbežnom vedení viacerých takýchto dvojíc potom medzi nimi môže dochádzať k nežiaducim presluchom, teda k vzájomnému ovplyvňovaniu prenášaných signálov. Presluch možno výrazne obmedziť skrútením jednotlivých dvojíc vodičov, čo minimalizuje ich chovanie ako antény - tak vzniká tzv. **krútená dvojlinka (Twisted Pair)** - vid' obr.

Ešte väčšiu odolnosť proti rušeniu možno dosiahnuť tienením dvojice vodičov - potom ide o tzv. **tienenú krútenú dvojlinku (Shielded Twisted Pair)**, ktorá je však drahšia ako pôvodná **netienená krútená dvojlinka (Unshielded Twisted Pair)**.

6.3 Optické káble

Dosiahnuteľná prenosová rýchlosť je závislá predovšetkým na šírke pásma prenosového kanála, teda na rozsahu frekvencií, ktoré je tento kanál schopný preniesť.

Ak chceme dosahovať veľmi vysokých prenosových rýchlostí, musíme voliť také spôsoby prenosu, ktoré majú šírku prenášaného pásma čo možno najväčšiu. Je pritom zrejmé, že veľké šírky prenášaného pásma možno dosiahnuť najľahšie tam, kde sú frekvencie prenášaných signálov veľmi vysoké.

Z tohto pohľadu je veľmi lákavé používať pre prenos dát svetlo, ktoré má frekvenciu približne 10^8 MHz (bežne sa používa frekvencia nosnej vlny 100THz).

Šírka pásma gradientného vlákna býva 400-800MHz, pri jednovidovom vlákne je to 10GHz.

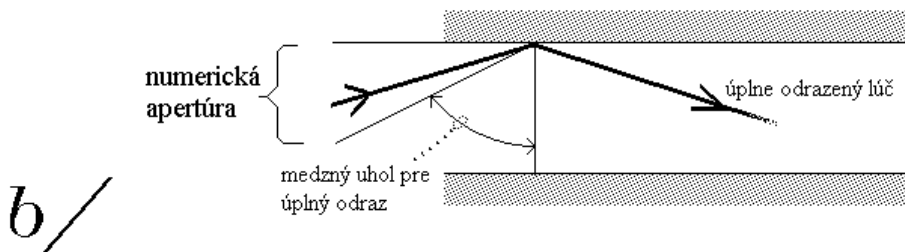
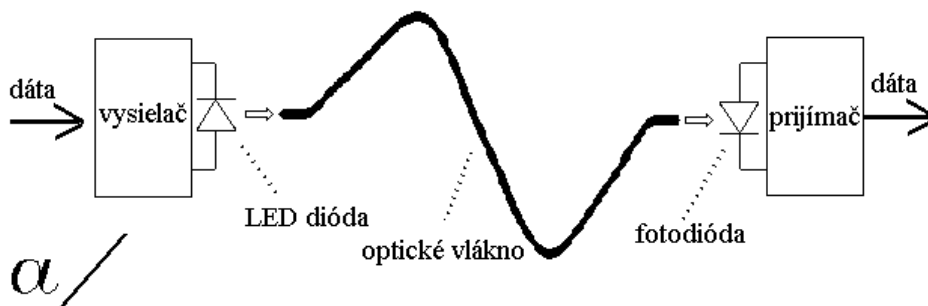
Útlm na 1km pri vlnových dĺžkach 0,85; 1,3 až 1,55 μ m sú rádovo 0,1dB/km, čo umožňuje preklenúť bez opakovačov aj vyše 100km.

6.3.1 Princípy prenosu signálu po optických kábloch

(Otázka ku skúške: „Čo je to numerická apertúra?“)

Prenášané číslicové dáta môžeme reprezentovať pomocou svetelných impulzov - prítomnosť impulzu môže predstavovať napr. logickú 1, jeho neprítomnosť logickú 0. Pre praktickú realizáciu však potrebujeme celý optický prenosový systém, zložený zo zdroja, prenosového média a prijímača - vid' obr. Vlastným zdrojom svetla môže byť obyčajná elektroluminiscenčná dióda (**dióda LED, Light Emitting Diode**) alebo nákladnejšia **laserová dióda (laser diode)**, ktoré emitujú svetelné pulzy na základe privádzaného prúdu. Detektorom na strane prijímača potom býva **fotodióda (photodiode)**, ktorá naopak prevádza dopadajúce svetelné impulzy na elektrické signály.

Úlohou prenosového média je dopraviť svetelný lúč od jeho zdroja k detektoru - s čo možno najmenšími stratami. K tomuto účelu sa používa tenké **optické vlákno (optical fiber)**, tvorené **jadrom (core)** a **plášťom (cladding)**. Jadro má najčastejšie priemer rádovo jednotky až desiatky mikrometrov, a je vyrobené najčastejšie z rôznych druhov skla, eventuálne aj z plastu.



Obr. a/ Optický prenosový systém, b/ Numerická apertúra

Pre pochopenie spôsobu, akým je svetelný lúč optickým vláknom vedený, je nutné si najprv uvedomiť jeden základný poznatok z oblasti fyziky:

ak dopadá svetelný lúč na rozhranie dvoch prostredí s rôznymi optickými vlastnosťami (napr. na rozhraní medzi jadrom a plášťom), vo všeobecnom prípade sa časť tohto lúča odráža späť do pôvodného prostredia, a časť prestupuje do druhého prostredia. Záleží na uhle, pod

akým lúč dopadá na rozhranie (meranom od kolmice na miesto dopadu). Ak je tento uhol väčší než určitý medzný uhol (meraný od kolmice na miesto dopadu a daný optickými vlastnosťami oboch prostredí), dochádza k úplnému odrazu lúča späť do pôvodného prostredia - vid' obr.

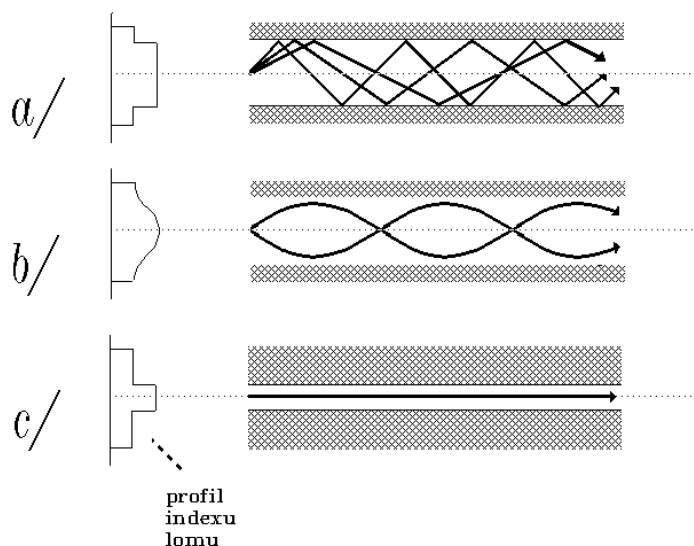
V dôsledku opakovaných úplných odrazov, ktoré prebiehajú bez akýchkoľvek strát, potom svetelný lúč sleduje dráhu jadra optického vlákna - je týmto jadrom vedený.

Rozmedzie uhlov, pod ktorými môže svetelný lúč dopadať na optické vlákno tak, aby bol vedený, definuje tzv. **numerická apertúra**.

6.3.2 Mnohovidové a jednovidové vlákna

(Otázka ku skúške: „Porovnajte mnohovidové, jednovidové a gradientné optické vlákna.“)

Spôsob, akým optické vlákno lúč vedie, závisí tiež na tom, ako sa menia optické vlastnosti (konkrétne tzv. **index lomu - refraction index**) na prechode medzi jadrom vlákna a jeho plášťom. Ak sa mení skokom a priemer jadra je dostatočne veľký (50-100 mikrometrov), ide o vlákno, schopné viesť rôzne vlny svetelných lúčov - tzv. **vidy (modes)**. Ide teda o **mnohovidové vlákno (multimode fiber)**, v tomto prípade so stupňovitým indexom lomu (step index fiber) - vid' obr.



Obr. 20.2.: a/ Mnohovidové vlákno so stupňovitým indexom lomu

b/ Mnohovidové vlákno s gradientným indexom lomu

c/ Jednovidové vlákno

Pokiaľ sa index lomu na prechode medzi jadrom vlákna a jeho plášťom nemení skokom, ale plynulo, ide o mnohovidové vlákno s tzv. gradientným indexom lomu (graded index fiber), ktoré prenášané vidy ohýba.

Výhodou mnohovidových vlákien je relatívne nízka cena, jednoduchšie spojovanie, veľká numerická apertúra a možnosť budenia luminiscenčnou diódou.

Najvyšších prenosových rýchlostí (až Gigabity/sekundu na vzdialenosti do 1 km) možno dosiahnuť na tzv. **jednovidových vláknoch (single mode fiber)**, ktoré prenáša len jediný vid. Schopnosti viesť jediný vid bez odrazov aj ohybov sa dosahuje buď veľmi malým priemerom jadra (rádovo jednotky mikrometrov), alebo veľmi malým pomerným rozdielom indexov lomu jadra a jeho plášťa. V každom prípade sú jednovidové vlákna drahšie ako mnohovidové, možno ich však použiť pre prenosy na dlhšie vzdialenosti (až 100 km bez opakovača), ako mnohovidové vlákna. Pre svoje budenie však vyžadujú laserové diódy.

Optické vlákna sú veľmi citlivé na mechanické namáhanie a ohyby. Ich ochranu preto musí zabezpečovať svojim konštrukčným riešením **optický kábel**, ktorý okrem jedného alebo viacerých optických vlákien obvykle obsahuje aj vhodnú výplň, zabezpečujúcu potrebnú mechanickú odolnosť.

Okrem veľkej prenosovej rýchlosti je ďalšou veľkou výhodou optických vlákien ich necitlivosť voči elektromagnetickému rušeniu (čo je veľmi dôležité napr. v priemyslových aplikáciách). Výhodou je tiež veľká bezpečnosť proti odpočúvaniu, malý priemer a malá hmotnosť optických káblov. Problematickejšie je spojovanie jednotlivých vlákien, technológia ich lepenia či zvarovania je však v praxi už dostatočne zvládnutá.

7 Prenosové siete v rámci areálu

Prepájanie komunikačných zariadení do sietí sa realizuje rôznymi spôsobmi v závislosti od charakteru prenášaných údajov a vzdialenosti prepájaných prvkov. V princípe možno rozdeliť komunikačné siete na:

- siete v rámci areálu,
- prístupové siete, ktoré prepájajú koncových účastníkov do verejných sietí,
- diaľkové prenosové siete.

7.1 Štruktúrovaná kabeláž

Základom infraštruktúry v areály podniku je kabelážny systém. Najrozšírenejším a najperspektívnejším systémom je v súčasnosti **systém štruktúrovanej kabeláže**.

Za počiatok štruktúrovanej kabeláže môžeme považovať 70. roky, kedy sa vo väčšej miere začali rozširovať počítačové siete.

V budove existuje veľké množstvo inžinierskych sietí:

- zabezpečovacia technika,
- protipožiarne snímače,
- telefónne rozvody,
- počítačové rozvody, a iné.

Spoločnosť AT&T prišla v 80. rokoch s myšlienkou použiť pre všetky služby rovnaké médium s presne definovanými parametrami. Základom kabelážneho systému zvolili krútenú dvojlinku.

V roku 1985 iniciovali americké rezortné komory CCIA (Computer Communication Industry Association) a EIA (Electric Industry Association) jednania o unifikácii kabeláží.

Združenie EIA spolu s TIA (Telephone Industry Association) ustanovili komisie so zástupcami výrobcov pre vyriešenie problémov.

Výsledkom bol štandard EIA/TIA 568, ktorý dodnes špecifikuje vlastnosti a prenosové charakteristiky pre kategórie 3,4,5.

Kategória	Frekvencia	Vhodné pre rýchlosti do	Využitie
CAT 3	0 – 16 MHz	10 Mb/s	10BaseT, Token Ring 4Mb/s
CAT 4	0 – 20 MHz	16 Mb/s	Token Ring 16Mb/s
CAT 5	0 – 100 MHz	155 Mb/s	100Base-TX
CAT 6	0 – 200 MHz		
CAT 7	0 – 600 MHz		

Štandard bol rozšírený štandardom ANSI/TIA/EIA – 568A, ktorý stanovil, že základnými prenosovými médiami sú:

- štvor párový UTP (Unshielded Twisted Pair) netienený kábel s impedanciou 100 Ohmov,
- dvoj párový STP (Shielded Twisted Pair) tienený kábel s impedanciou 150 Ohmov,
- dvojlávkový optický kábel 62,5/100 mikro metra.

Menej známy je kábel FTP, ktorý má proti UTP tienenie okolo všetkých vodičov.

Norma definuje päť skupín aplikácií:

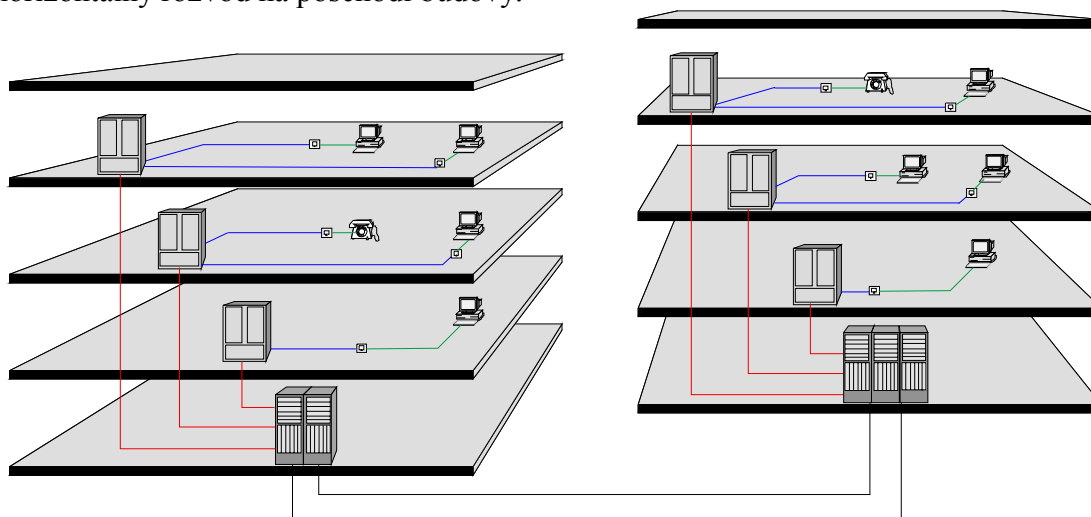
- Trieda A: aplikácie kabeláže do 100 kHz,
- Trieda B: aplikácie kabeláže do 1 MHz,
- Trieda C: aplikácie kabeláže do 16 MHz,
- Trieda D: aplikácie kabeláže do 100 MHz,
- Optika.

Dĺžka linky pre aplikácie triedy A až D:

Typ kábla	Trieda A	Trieda B	Trieda C	Trieda D	OPTIKA
CAT 3	2km	200m	100m	-	-
CAT 4	3km	260m	150m		-
CAT 5	3km	260m	150m	100m	-
Multimódový					2km
Monomódový					3km

Štruktúrovaná kabeláž je rozdelená do troch hierarchických úrovní:

- areálová chrbticová sieť,
- chrbticová sieť v budove,
- horizontálny rozvod na poschodí budovy.



- Kabeláž na pracovisku
- Vertikálna kabeláž
- Horizontálna kabeláž
- Kabeláž na pozemku

Základná fyzická topológia je hviezda. Horizontálny rozvod je ukončený v prepojujúcich paneloch. Každému pracovnému miestu (počítač, telefón) v budove odpovedá jeden port na rozvádzači. Horizontálna kabeláž je vedená štvor párovým káblom ukončeným na oboch koncoch v zásuvkách RJ 45, ktorý prepája dátový rozvádzač na poschodí so zásuvkou v kancelárii.

Jednotlivé rozvádzače môžu byť vzájomne prepojené pomocou metalického alebo optického kábla.

8 Prístupové siete - technológia DSL

DSL znamená Digital Subscriber Line, v preklade digitálna účastnícka prípojka. V podstate ide o novú technológiu, ktoré digitalizujú dátové prenosy na súčasných metalických telefónnych linkách (krútená dvojlinka). Jedná sa o radu rôznych technológií, ktoré sa líšia prenosovou technológiou a rýchlosťou.

8.1 Porovnanie s analógovými modemami

(Otázka ku skúške: „Porovnaj ADSL modem a obyčajným analógovým modemom.“)

Analógové modemy prenášajú digitálne dáta po analógových telefónnych linkách. K ich použitiu sa nevyžadujú žiadne špeciálne vlastnosti telefónnej siete. Dáta sa prenášajú v rovnakom pásme ako normálne hovory, teda v pásme do 4 kHz. Dnes je najväčšia dosahovaná rýchlosť 56 kb/s.

Technológia DSL prenáša dáta mimo hovorového pásma – nad 4 khz – v širokom prenosovom pásme až 6MHz s vysokou prenosovou rýchlosťou až 10 Mb/s. To znamená, že telefónna linka je počas dátového prenosu voľná a funguje aj v prípade výpadku xDSL modemu.

V ústrediach sú na vstupe analógových liniek nainštalované filtre, ktoré prepustia len signál s frekvenciou do 4 kHz. Kvôli tomu, že DSL fungujú mimo hlasového pásma je nutné inštalovať pred vstupom do ústredne špeciálne filtre, ktoré oddelia dáta a vytvoria spojenie do siete WAN.

Dĺžka linky DSL je obmedzená na niekoľko kilometrov.

8.2 Rodina xDSL

xDSL je celá rada technológií. Každá má iné uplatnenie na trhu.

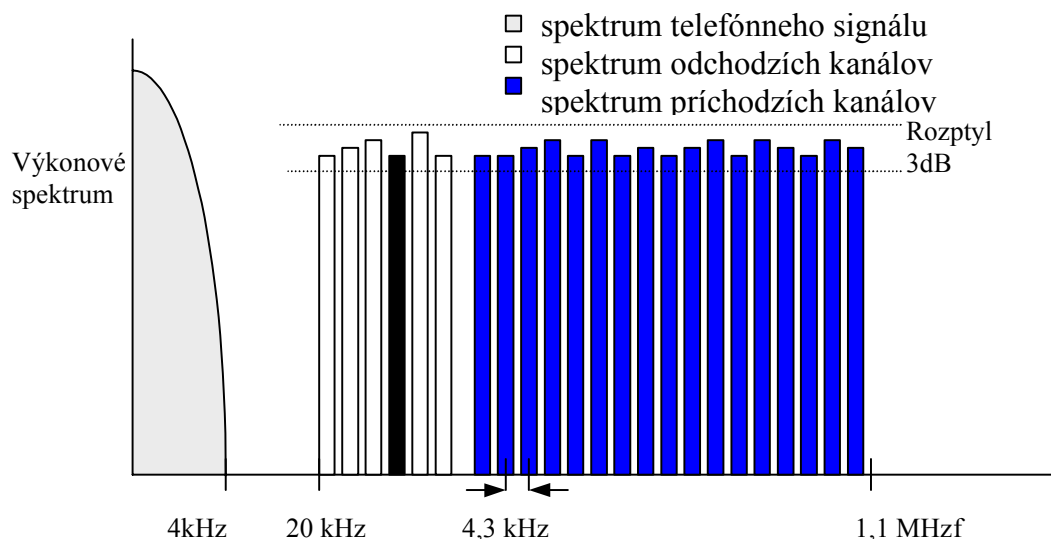
Technológia	Prenosová Rýchlosť	Typ Prevádzky	Príklady Použitia
DSL	160 kb/s	Duplexný symetrický	ISDN služba - ISDN BRA (2B+D)
HDSL	1,544 alebo 2,048Mb/s	Duplexný symetrický	prípojné vedenia T1/E1; WAN, LAN, ISDN BRA (30B+D)
ADSL	1,5 - 9 Mb/s, 16 -640 kb/s	Asymetrický	prístupové siete, internet, VOD
VDSL	13 - 52,8 Mb/s 1,5 -2,3 Mb/s	Asymetrický	prístupové siete, internet, VOD, ATM prístupová sieť
VDSL	36,8 Mb/s	Duplexný	prístupové siete, internet, VOD, ATM prístupová sieť

8.2.1 ADSL

Asymetrical Digital Subscriber Line je najznámejšia technológia.

Má odlišnú rýchlosť v príchodzem a odchodzem smere – je asymetrická. V príchodzem s rýchlosťami od 1,5 Mb/s do 9 Mb/s. V odchodzem smere od 16 kb/s do 640 kb/s. Maximálna vzdialenosť je 3 až 5 km

ADSL používa moduláciu DMT – metóda kódovania digitálneho signálu. Diskrétna multitonová modulácia DMT rozdelí frekvenčné spektrum do 256 oddelených kanálov (každý 4,3125 kHz s rýchlosťou po 60 kb/s). Dáta sú rozdelené na malé časti, sú pridelené do jednotlivých kanálov a je na ne aplikovaný algoritmus rýchlej fourierovej transformácie. Kanály 6 až 31 sa používajú pre smer od užívateľa a 32 až 250 pre smer k užívateľovi.



obr: ADSL prenosové spektrum

8.2.2 HDSL

E1 linka s 30 prenosovými 64 kb/s telefónnymi digitálnym kanálmi má maximálnu prenosovú rýchlosť 2Mb/s. Tieto linky si prenajímajú poskytovatelia Internetu, ktorý na ňu prepojujú svojich zákazníkov. E1 je obmedzená na vzdialenosť 1 km.

HDSL funguje na fyzicky rovnakom médiu (štvrdrôt), má ale lepšie vlastnosti prenosu. Dopraví dáta na vzdialenosť 3,6 km a na kvalitnejších linkách až na 7 km.

Je predchodca ADSL.

Používa moduláciu PAM (Pulse Amplitude modulation). Skladá sa zo 4 hladín (symetrických okolo 0 V). Tieto 4 hladiny kódujú práve dve binárne čísla. Táto modulácia nepoužíva nosnú vlnu. Niektoré verzie HDSL používa miesto 4 až 16 hladín a prenosová rýchlosť sa zvýši na dvojnásobok.

8.2.3 RADSL

Rate Adaptive DSL je z celej rodiny najprogressívnejšia. Najprv si zistí kvalitu spojenia a potom vytvorí spojenie s najväčšou možnou rýchlosťou.

8.2.4 SDSL

Symmetric DSL funguje aj na dvojlinke (HDSL štvrdrôt) do 3,6 km.

8.2.5 VDSL

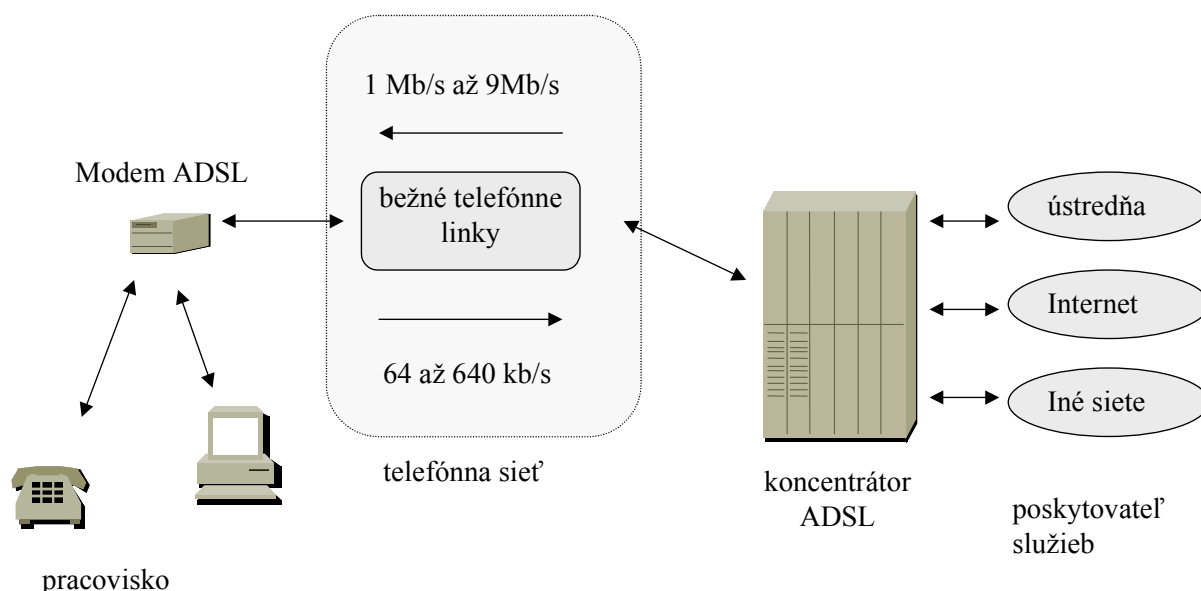
Very high bit rate DSL s rýchlosťami nad 10 Mb/s na krátke vzdialenosti.

8.3 Prepojenie v ústredni

ADSL modem na strane účastníka je spojený s telefónom a počítačom. Na strane ústredne sú ADSL modemy pripojené na port digitálneho prístupového multiplexora účastníckych prípojok (DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexor). Multiplexor môže obsahovať

:

- Ethernetové pripojenie do routera,
- pripojenie do siete ATM.



8.4 Výhody ADSL

- najlepšie využitie existujúcich metalických sietí,
- trvalé pripojenie,
- asymetrické využitie vyhovuje potrebám interaktívnych multimédií,
- telefón a osobný počítač v prevádzke súčasne,

8.5 Širokopásmové služby umožnené ADSL

- vysoko rýchlostný prístup do Internetu,
- video na vyžiadanie VOD (Video on Demend),
- prenos komutovaného video signálu,
- telemedicína, napr. prenos röntgenových snímokou,
- vysoko rýchlostný prenos dátových súborov,
- interaktívna výmena informácií.

9 Dial'kové prenosové siete

9.1 PCM spoje T a E

V dobe, keď sa digitálny prenos analógových signálov začal stávať reálne použiteľnou technológiou, bol najvyšší čas vypracovať preň jednotný štandard. Členovia medzinárodnej organizácie ITU-T (CCITT), ktorá je k tomu príslušná, sa však neboli schopný včas dohodnúť, a tak vzniklo niekoľko navzájom nekompatibilných štandardov.

V USA sa digitálne prenosové cesty používali už od šesťdesiatich rokov. Spoločnosť AT&T, ktorá v tej dobe vďaka svojmu monopolnému postaveniu prevádzkovala cez 90% všetkých telefónnych sietí v USA, ich používala k prepojovaniu svojich telefónnych ústrední. Tieto spoje sa označovali ako **spoje T (T Circuits)**

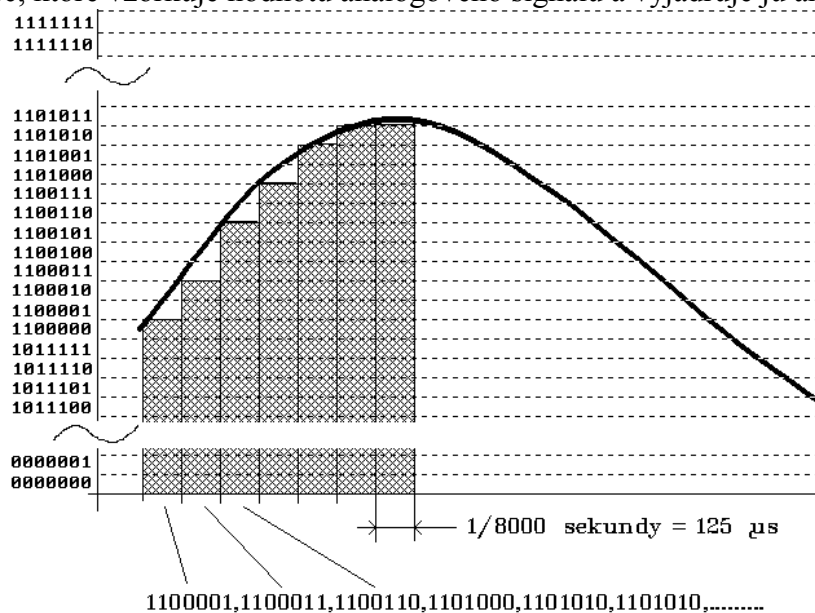
V súčasnosti existuje celá hierarchia týchto spojov, odstupňovaných podľa prenosových rýchlostí - vid' tabuľka. Jedná sa o dvojbodové digitálne prenosové cesty, ktoré možno používať buď ako jediný digitálny kanál, alebo ho rozdeliť na niekoľko subkanálov. Typicky sa používajú na prenos telefónnych hovorov v digitálnej forme. V takomto prípade sú rozdelené na subkanály s prenosovou rýchlosťou 64 kbit/sekundu, a analógový telefónny signál je pre potreby prenosu kódovaný pomocou impulzovej kódovej modulácie. Počet telefónnych hovorov, ktoré možno po jednotlivých variantoch T spojov prenášať, uvádza tabuľka.

T spoj	Počet hlasových kanálov	Prenosová rýchlosť bit/s
T1	24	1.544.000
T1C	48	3.152.000
T2	96	6.312.000
T3	672	44.736.000
T4	4032	274.176.000

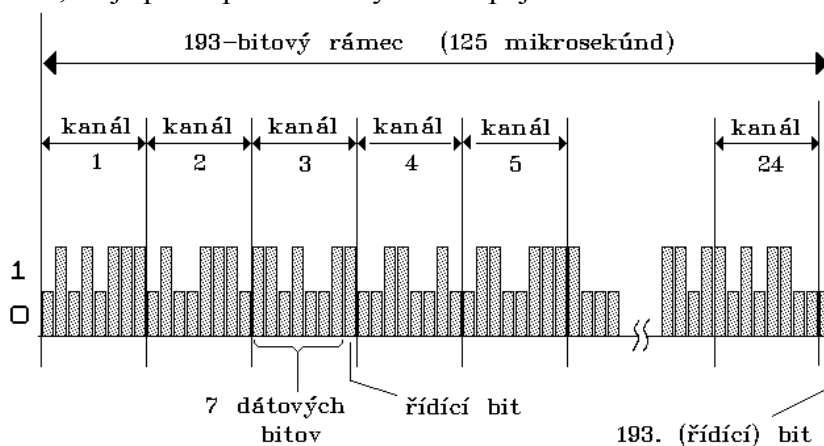
Tabuľka : Spoje T

9.1.1 T1 spoj

Formát prenášaných dát definuje pre tento typ spojov T štandard **DS-1**. Predpokladá, že 24 hlasových kanálov je striedavo prepínaných (multiplexovaných) na vstup jediného zariadenia codec, ktoré vzorkuje hodnotu analógového signálu a vyjadruje ju ako 7-bitové číslo.



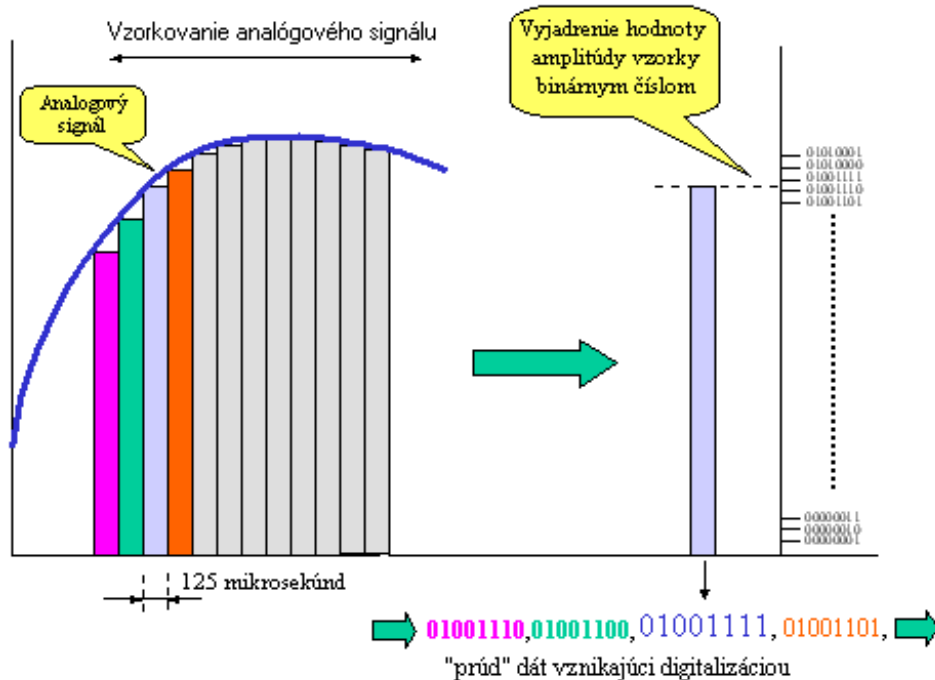
K týmto siedmim dátovým bitom sa potom pridáva ešte jeden riadiaci bit, takže každý hlasový kanál prispieva pri každom svojom vzorkovaní do prenášaných dát celkom ôsmimi bitmi. Vzhľadom k pravidelnému prepínaniu medzi jednotlivými hlasovými kanálmi sú tieto 8-bitové položky od jednotlivých kanálov radené za sebou - 24 osembitových položiek od jednotlivých hlasových kanálov, doplnených ešte jedným riadiacim bitom, potom tvorí tzv. **rámec (frame)**. Ten má celkom $(24 * 8) + 1 = 193$ bitov. Jednotlivé hlasové kanály sa vzorkujú 8000-krát za sekundu, čo odpovedá 8000 rámcami za sekundu. Ak má každý rámec 193 bitov, je potrebná prenosová rýchlosť $8000 * 193 = 1544000$ resp. 1,544 Mbitov za sekundu, čo je práve prenosová rýchlosť spoja T1.



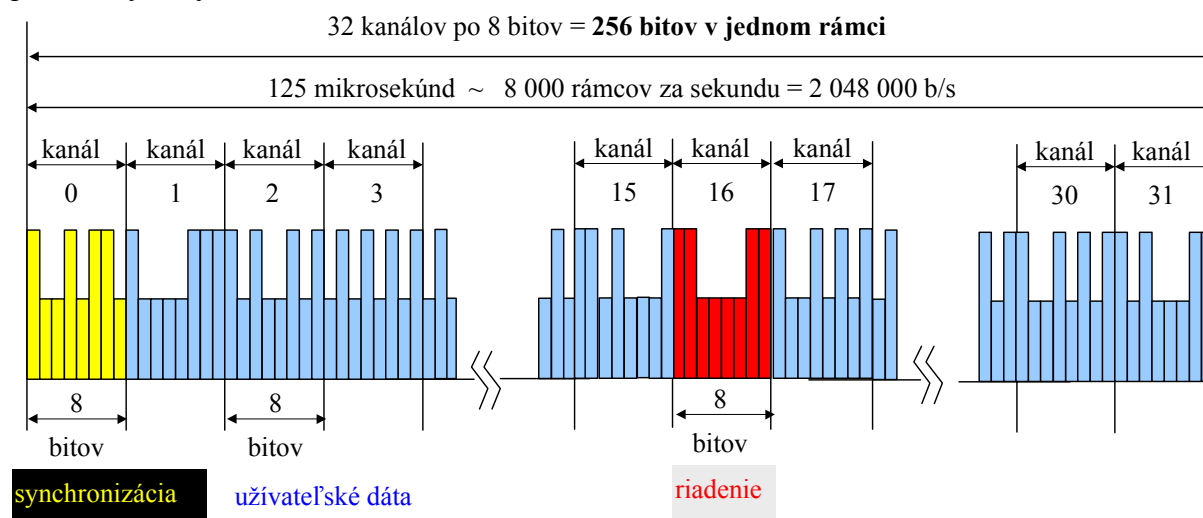
9.1.2 E1 spoj

(Otázka ku skúške: „Opíšte E1 spoj.“)

Keď organizácia CCITT konečne dospela k jednotnému štandardu pre prenos hlasových kanálov po digitálnych prenosových cestách, zdalo sa jej, že jeden riadiaci bit na každých sedem dátových bitov - ako je tomu u spojov T1 - je príliš veľkou réziou. Štandard CCITT preto predpokladá kódovanie okamžitej hodnoty analógového signálu do 8 bitov, miesto do 7 bitov ako v prípade štandardu T1. Miesto 24 kanálov ich predpokladá celkom 32, z toho 30 hlasových, a dva pomocné riadiace. Vzorkovanie sa vykonáva 8000-krát za sekundu, potrebná prenosová rýchlosť je: $8000 \times 32 \times 8 = 2048000$, tj. 2,048 Mbitov za sekundu.



Príslušný štandard CCITT sa nazýva G703/732, ale často sa označuje aj ako **európsky T1 spoj** alebo tiež ako **spoj E1**. Existujú aj analogické odporúčania CCITT pre spoje s prenosovými rýchlosťami 8,848, 34,304, 139,264 a 565,148 Mbitov/sekundu.



E spoj	Počet hlasových kanálov	Prenosová rýchlosť bit/s
E1	32	2.048.000
E2	128	8.848.000
E3	96	34.304.000

E4	672	139.264.000
E5	4032	565.148.000

Tabuľka : Spoje E

9.2 SONET/SDH

(Otázka ku skúške: „Opíšte SDH technológiu – použité prenosové médium, rýchlosti...“)

SONET – Synchronous Optical NETwork – je americký štandard pre vysoko kapacitné telekomunikačné spoje. Ekvivalentný medzinárodný štandard aplikovaný v Európe je SDH sa až na drobné detaily nelíšia a teoreticky sú vzájomne zameniteľné.

SONET vznikol v Spojených štátoch v roku 1985. V roku 1994 bol po prvý krát komerčne predstavený sa v telekomunikáciách spolu s SDH rýchle zavádza. SONET/SDH sú vhodné pre všetky úrovne telekomunikačnej infraštruktúry – od chrbticových sietí až po lokálne okruhy.

Hierarchia SONET/SDH je založená na prevode synchronného multiplexovaného signálu na sled optických pulzov transportovaných do miesta určenia mono módovými optickými vláknami.

9.2.1 Technológia fyzickej vrstvy

Hierarchia SONET/SDH predstavuje fyzickú vrstvu a špecifikuje prenosovú rýchlosť, multiplex, kódovanie a prenosové médium. SONET/SDH si možno predstaviť ako rozhranie medzi prepínačom a optickým vláknom.

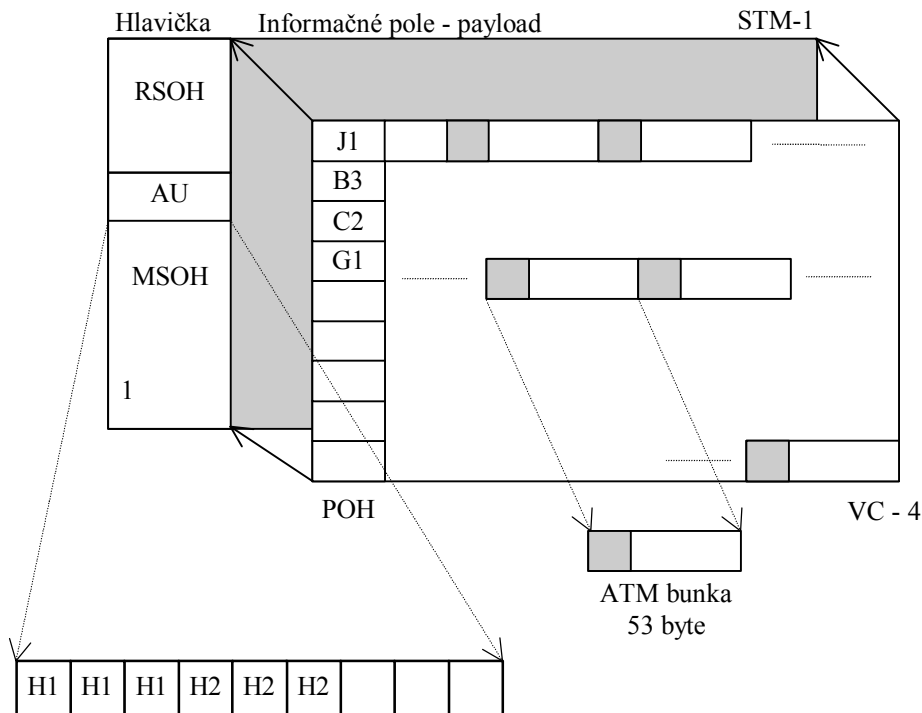
9.2.2 Prenosové rýchlosti

Najnižšia prenosová rýchlosť, v prípade SONETU označovaná ako STS-1 (Synchronous Transport Signal) je 51,84 Mb/s. Označenie STS-1 platí pre elektronickú podobu signálu. Ten je konvertovaný na optický s rovnakou prenosovou rýchlosťou, ktorá sa označuje OC-1 (Optical Carrier). Vyššie prenosové rýchlosti OC-n sú celistvými násobkami základnej prenosovej rýchlosti.

OC	STS	STM	rýchlosť [Mb/s]
OC - 1	STS - 1		51,84
OC - 3	STS - 3	STM - 1	155,52
OC - 12	STS - 12	STM - 4	622,08
OC - 48	STS - 48	STM - 16	2 488,32
OC - 192	STS - 192	STM - 64	9 953,28

V prípade SDH je základným stavebným blokom signál STM-1 (Synchronous Transport Module) s prenosovou rýchlosťou 155,52 Mb/s.

Vstupné dáta sú organizované do STS-1 rámcov s veľkosťou 6480 bitov. Doba trvania rámca je 125 milisekúnd a za jednu sekundu vyšle 8000 rámcov. V rámci sa nachádza hlavička (Transport Overhead) a informačné pole (Payload).



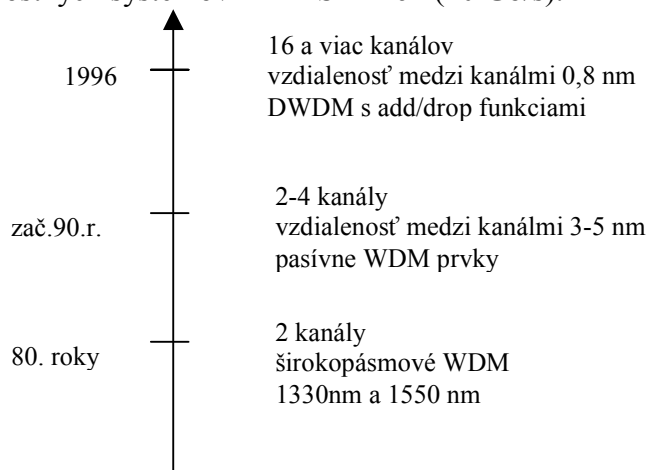
Paralelné STS-1 rámce môžu byť združované a transportované ako signál s vyššou prenosovou rýchlosťou. Deje sa to v synchronnom multiplexe, kedy sa berie postupne po jednom bite z každého STS-1 signálu. Združované rámce musia mať rovnakú štruktúru, bitovú rýchlosť a musia byť navzájom zosynchronizované. Napr. Združením troch STS-1 signálov dostaneme jeden signál STS-3.

9.3 Wave Division Multiplex – WDM

(Otázka ku skúške: „Čo je WDM technológia, aká je jej podstata a spôsob fungovania.“)

Odhaduje sa, že jedno optické vlákno je schopné preniesť desiatky Tera bitov informácií za sekundu. Súčasná technológia prenáša po optickom vlákne rádovo desiatky Gb/s. Krokom k dosiahnutiu zmienovaných prenosových rýchlostí je WDM (Wave Division Multiplex), ktoré pre transport informácií využívajú súčasne viacero vlnových dĺžok. Prenosová kapacita tak podľa počtu vlnových dĺžok vystačí až na 80 Gb/s.

Niektorí operátori čelia požiadavkám na zvyšovanie šírky pásma inštaláciou vysoko rýchlostných systémov TDM STM-64 (10 Gb/s).



9.3.1 Podstata WDM

Podstatou WDM je prenos informácií súčasne na viacerých vlnových dĺžkach pri relatívne malých prenosových rýchlostiach 2,5 Gb/s na jeden kanál. Namiesto jedného kanála s jednou vlnovou dĺžkou, tak súčasné systémy DWDM dávajú k dispozícii až 16 virtuálnych kanálov s celkovou prenosovou rýchlosťou 40 Gb/s. Pri 8 resp 16 vlnových dĺžkach s 10 Gb/s sa dostaneme na 80 resp 160 Gb/s.

WDM zariadenia akceptujú súčasné optické vlákna a dosiahli takého stupňa dokonalosti, že sú od roku 1994 úspešne nasadzované.

DWDM systém redukuje počet aktívnych prvkov na trase.

Ak potrebujeme preniesť 40 Gb/s na vzdialenosť 600 km môžeme použiť :

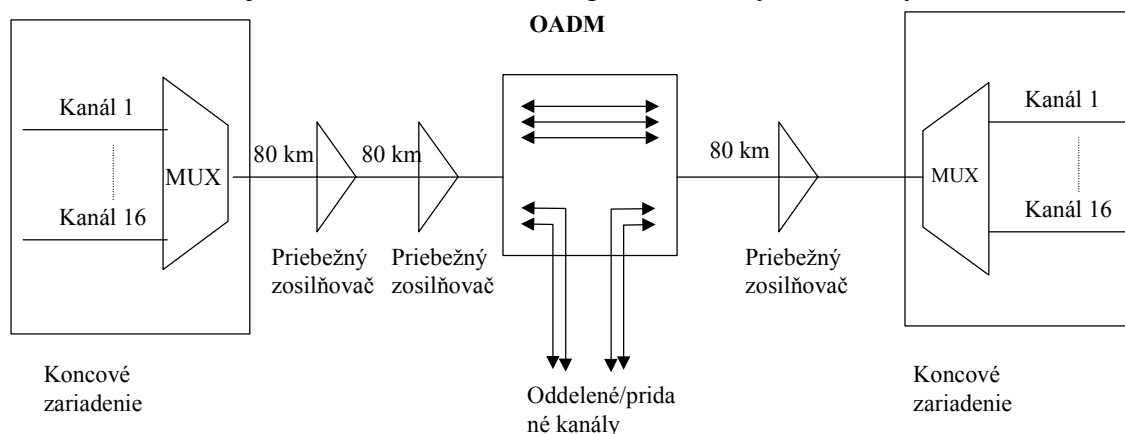
- 16 nezávislých systémov STM-16, ktoré spolu obsahujú 272 regenerátorov vzdialených od seba 35 km.
- DWDM systém so 16 vlnovými dĺžkami potrebuje len jedno vlákno a 4 optické zosilňovače umiestnených každých 120 km.

9.3.2 Spôsob fungovania

DWDM systémy pracujú s viacerými nepatrne odlišnými vlnovými dĺžkami. Základnou požiadavkou pre stabilné fungovanie systému sú polovodičové monomódové DBR alebo DBF lasery, ktoré emitujú žiarenie iba na jednej vlnovej dĺžke s úzkou šírkou spektra. Lasermi generované žiarenie sa multiplexore naviaže na jedno optické vlákno, v ktorom sa začne šíriť a samozrejme utlmovať.

signál je potrebné periodicky obnovovať optickým zosilovačom EDFA. Zosilovač EDFA je schopný opticky zosilíť signál na všetkých vlnových dĺžkach súčasne a bez konverzie na elektrický signál. Zosilovač je založený na báze optického vlákna, ktorého jadro je dopované iónmi erbia. Súčasťou EDFA je čerpací laser, ktorý excituje atómy erbia. Excitované atómy erbia potom procesom nazvaným stimulovaná emisia koherentne zosilnia prechádzajúce žiarenie.

Zariadenie OADM (Optical Add/Drop Multiplexor) posúva systém WDM na vyšší stupeň dokonalosti. Prvky OSDM umožňujú z vlákna vydeliť či do vlákna naviazať určité vlnové dĺžky bez kompletného demultiplexovania signálu a konverzie do elektrickej formy. Informáciu tak možno jednoducho smerovať bez použitia drahých koncových zariadení.



9.3.3 Pripojenie systému DWDM do existujúcich sietí

V zásade sú možné dva spôsoby:

- Prvý využíva tzv. transpondéry (adaptéry), ktoré konvertujú vstupnú vlnovú dĺžku optického signálu na vlnovú dĺžku prislúchajúcu danému kanálu DWDM. Transpondéry sú užitočné v prípade ak operátor buduje sieť z komponentov rôznych výrobcov.
- Druhý prístup vyžaduje, aby vlnová dĺžka vstupného signálu bola zhodná s určitou vlnovou dĺžkou systému DWDM. Toto riešenie je lacnejšie a spoľahlivejšie.

9.3.4 DWDM zariadenia

Spoločnosť CIENA, zariadenie MultiWave 1600 Terminal

Vlastnosti:

- 16 kanálov, s rýchlosťou od 50 Mb/s do 2,5 Gb/s
- celková rýchlosť 40 Gb/s,
- na vzdialenosť 600 km,
- pracuje s existujúcimi optickými vláknami, akceptuje komunikačné protokoly SDH a PDH.

Spoločnosť Lucent Technologies, zariadenie M80-G

- 16 kanálov, s rýchlosťou 2,5 Gb/s
- celková rýchlosť 40 Gb/s,
- na vzdialenosť 640 km so 7 zosilňovačmi,
- na vzdialenosť 360 km s 2 zosilňovačmi,
- pracuje s existujúcimi optickými vláknami, akceptuje komunikačné protokoly SDH a PDH.

Spoločnosť Alcatel, zariadenie Alcatel 1686 WM.

- 16 kanálov, s rýchlosťou 2,5 Gb/s (celková rýchlosť 40 Gb/s),
- 8 kanálov, s rýchlosťou 10 Gb/s (celková rýchlosť 80 Gb/s),
- na vzdialenosť 640 km so 7 zosilňovačmi,
- na vzdialenosť 120 km bez zosilňovačov,
- pracuje s existujúcimi optickými vláknami, akceptuje komunikačné protokoly SDH a PDH.

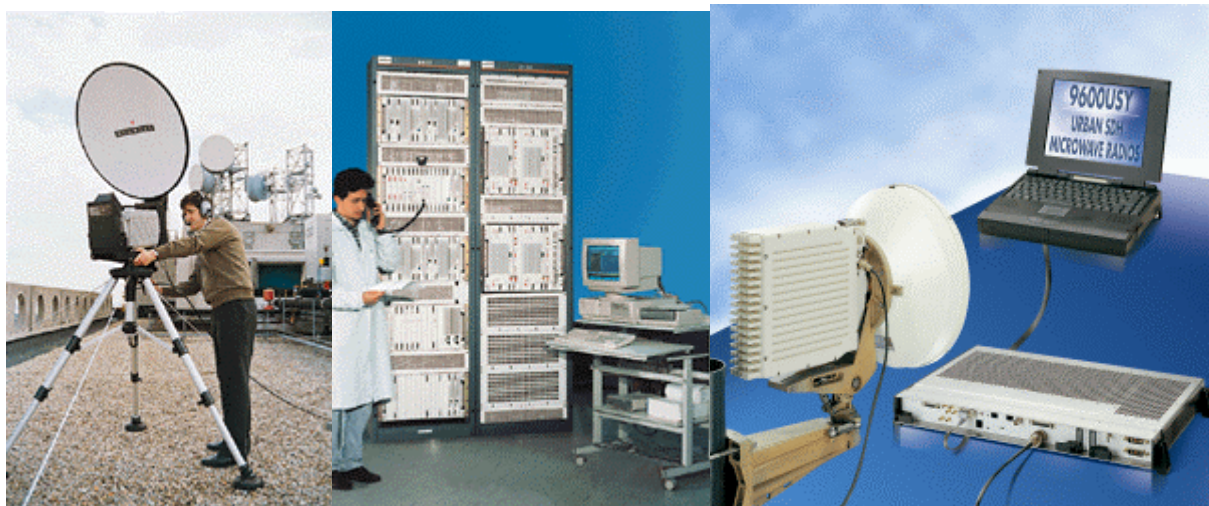
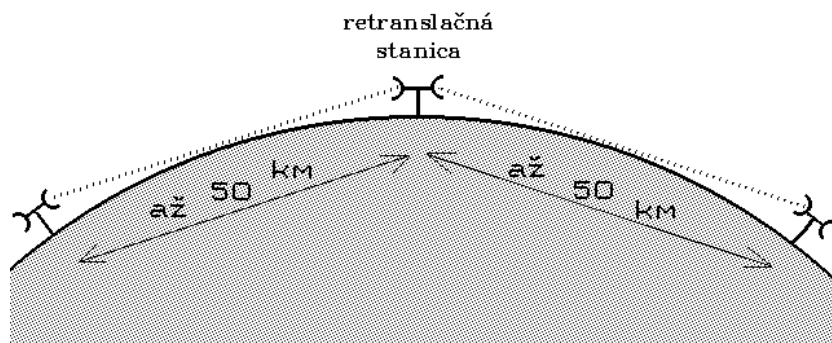
10 Mikrovlnné a družicové spoje

Rozľahlé počítačové siete využívajú k prepojeniu svojich uzlových počítačov najčastejšie pevné okruhy, prenajaté od spojovacích organizácií. Tieto okruhy sú obvykle vytvárané pomocou drôtových prenosových ciest (rôznych diaľkových káblov apod.). Existujú však aj iné možnosti (okrem verejných dátových sietí) - napríklad mikrovlnné a satelitné spoje.

10.1 Mikrovlnné spoje

(Otázka ku skúške: „Popíšte mikrovlnné spojenie.“)

Prívlastkom **mikrovlnné (microwave)** sa označujú elektromagnetické vlny s extrémne krátkou vlnovou dĺžkou resp. veľkou frekvenciou, ktorá je vlnovej dĺžke nepriamo úmerná. V praxi sa používa **frekvencia od 1 do 12 GHz** (tj. s vlnovou dĺžkou približne 30 až 2,5 cm). Vlny s takouto vysokou frekvenciou už možno, pomocou vhodných parabolických vysielačích antén, sústrediť do úzkeho lúča, a ten nasmerovať na prijímajúcu anténu. Úzko sústredený lúč vykazuje minimálny rozptyl, dovoľuje používať relatívne malý výkon vysielača a je veľmi odolný voči rušeniu. Na nižších frekvenciách nie je možné dosiahnuť potrebné sústredenie lúča, a na vyšších frekvenciách sa už začína znateľne prejavovať nepriaznivý vplyv atmosférických javov, ako napr. hmly a daždi.



Obr. Mikrovlnné spoje

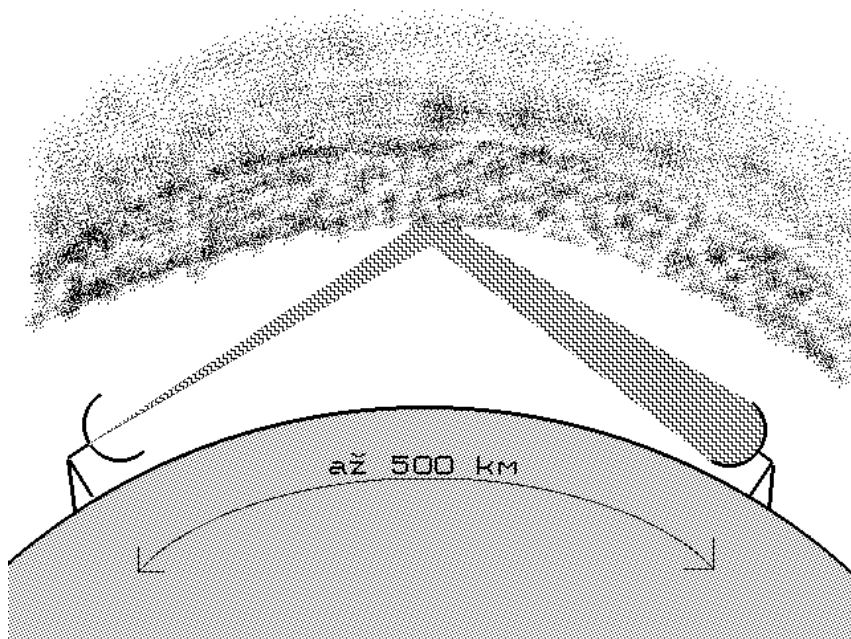
Vzhľadom k priamočiaremu šíreniu sústredeného lúča elektromagnetických vln je dosah mikrovlnných spojov obmedzený na priamu viditeľnosť vysielača a prijímača. Tá je určená konkrétnymi geografickými podmienkami a samozrejme tiež zakrivením Zeme. Možno ju umelo predĺžovať umiest'ovaním vysielačích a prijímacích antén na čo najvyššie veže. V rovine, kde sa uplatňuje iba vplyv zakrivenia zemského povrchu, je obvyklý dosah okolo 50 km. Pre prekročenie väčších vzdialeností je nutné budovať sieť retranslačných staníc - vid' obr. Dosiagnuteľná prenosová rýchlosť na mikrovlnných spojoch je závislá na použitom frekvenčnom pásme a možnostiach prijímača a vysielača. Môže dosahovať hodnôt až 10 Mbit/sekundu.

Pre počítačové siete môžu byť mikrovlnné spoje výhodné napríklad v mestských aglomeráciách v tých miestach, kde neexistujú vhodné drôtové prenosové cesty a inštalácia nových neprichádza do úvahy (napr. v historických jadrách miest).

10.2 Troposferické spoje

(Otázka ku skúške: „Aký je rozdiel medzi mikrovlnné a troposferické spoje.“)

Priama viditeľnosť medzi prijímačom a vysielačom je samozrejme značne obmedzujúcim faktorom. Jednou z možností, ako sa mu vyhnúť, je nechať odraziť úzko smerovaný lúč od horných vrstiev troposféry (vo výške cca 16 km) - vid' obr. 18.2. Nevýhodou týchto tzv. **troposférických spojov** je nutnosť používať veľký výkon vysielača (desiatky kW), pričom prijímaný signál býva veľmi slabý - len asi 1 nW.



Obr. Troposferický spoj

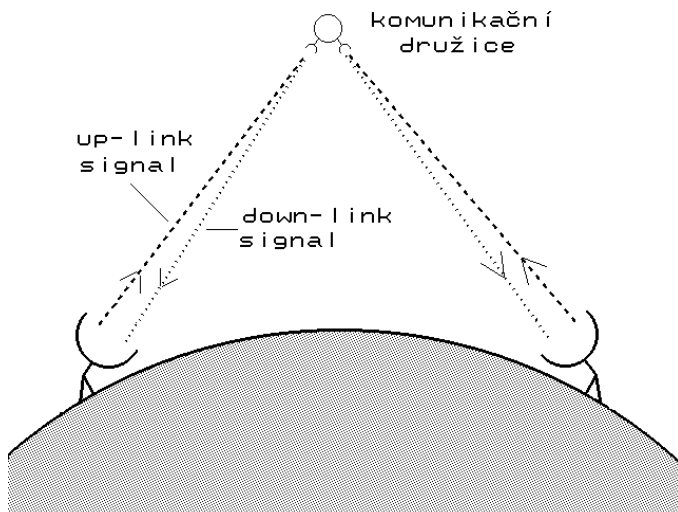
10.3 Družicové spoje

S ďalšou možnosťou - využitím družice - prvýkrát prišiel známy spisovateľ sci-fi, Arthur C. Clark, a to už v roku 1945, teda 12 rokov pred vypustením prvého sputniku.

(Otázka ku skúške: „Aké sú geostacionárne družice?“)

Dnes sa pre **družicové spoje (satellite links)** používajú predovšetkým tzv. **geostacionárne** družice, niekedy označované tiež ako tzv. **synchronne** družice, ktoré sa pohybujú vo výške približne 36 000 km nad zemí. V tejto výške je doba ich obehu okolo Zeme rovná dobe otočenia zemegule okolo jej osy, čo znamená, že sa nachádzajú vždy nad rovnakým bodom zemského povrchu - väčšinou sa takto umiestňujú nad rovník.

Družica môže fungovať len ako odražač signálu - potom ide o tzv. **pasívnu družicu**. Výhodnejšie sú však tzv. **aktívne družice**. Tie obsahujú vždy niekoľko tzv. **transpondérov (transponders)**, ktoré fungujú ako na sebe nezávislé retranslačné stanice. Prijímajú signál vysielaný zo Zeme (tzv. **up-link signal**), prevádzajú ho do iného frekvenčného pásma, zosilňujú ho a vysielajú späť smerom k Zemi (ako tzv. **down-link signal**) - viď obr.



Obr. Družicový spoj

(Otázka ku skúške: „Aké pásma sa používajú pri družicových spojoch?“)

Pre družicové spoje sa používajú rôzne frekvenčné pásma.

- C-pásmo (C-band) sa zo Zeme k družici vysiela v pásme 6 GHz, a v opačnom smere v pásme 4 GHz. Sú k tomu potrebné relatívne veľké parabolické antény.
- KU-pásmo (KU-band) pracuje s vyššími frekvenciami (12-14 GHz), čo umožňuje používať rozmerovo menšie antény (o priemere cca 60-100 cm).

Pomocou družicových spojov možno vytvoriť prenosové kanály a okruhy širokého spektra prenosových rýchlostí (až desiatok a stoviek Mb za sekundu), ktoré sa svojimi vlastnosťami plne vyrovnávajú pozemným káblovým spojom, a v mnohom ich aj predčí.

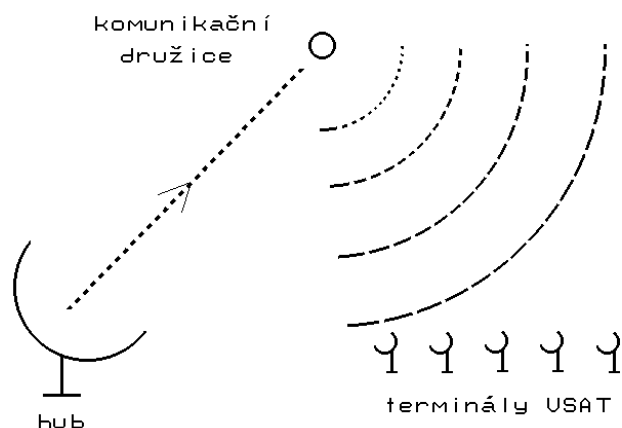
Družicové spoje však majú aj svojej nevýhody. Tou najvýraznejšou je oneskorenie, ktoré pri prenose vzniká. Zo Zeme na geostacionárnu družicu a späť dorazí signál približne za 250 až 300 ms (podľa miesta na Zemi, odkiaľ bol vyslaný, a v ktorom bol prijatý). Ak budeme čakať ešte na potvrdzujúcu odpoveď, táto nemôže prísť skôr ako za cca 500-600 milisekúnd. A to je veľmi dlhá doba. Neani tak pre človeka, ako pre prenosové protokoly, ktoré čakajú na potvrdenie príjmu od protíľahlej strany. Tie musia byť vhodne prispôbené, aby veľké omeškanie potvrdzujúcej odpovedi neinterpretovali chybné, a nesnažili sa príliš skoro o opätovné vysielanie už skôr prenesených blokov dát.

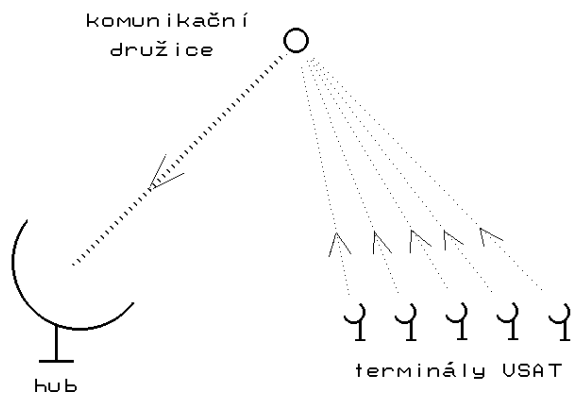
10.3.1 Družicová dátová sieť VSAT

Družicové spoje možno využiť pre realizáciu dvojbodových spojení. Vzhľadom k svojej povahe však umožňujú aj prenosi od jedného zdroja k viacerým príjemcom (tzv. **broadcasting**, ktorý využívajú napr. rôzne satelitné televízie), a od viacerých zdrojov k jedinému príjemcovi (tzv. **viacnásobný prístup, multiple access**).

Tieto dve vlastnosti sa s úspechom využívajú v dátových sieťach, vytváraných pomocou družicových spojov. Používajú tak vysoké frekvencie, že vystačia len s relatívne malými pozemnými anténami resp. s veľmi malým uhlom vyžarovania. Jednotlivé uzlové body tejto siete sú označované ako **terminály VSAT (Very Small Aperture Terminal)**.

Dátová sieť VSAT (VSAT Dáta Network) predpokladá existenciu jedného centrálného bodu (tzv. **hub**) a väčšieho počtu terminálov VSAT, pričom komunikácia je možná len medzi terminálom a centrálnym bodom, nie priamo medzi dvoma terminálmi - viď obr. 4. Dôvody sú predovšetkým technické a vyplývajú zo samotnej podstaty družicových spojov. Mnohým aplikáciám, ktoré siete VSAT využívajú, však takáto "centralizovaná" koncepcia plne vyhovuje, lebo ide o aplikácie, ktoré umožňujú veľkému počtu užívateľov prístup k jednému centralizovanému informačnému zdroju - napr. veľkej databázy, rezervačnému systému apod.





Obr. Dátová sieť VSAT;

a/ broadcasting

b/ viacnásobný prístup

Výhodou všetkých družicových spojov je ich nezávislosť na pozemnej komunikačnej infraštruktúre, možná mobilita pozemných staníc, možnosť realizovať spojenia aj do akokoľvek neprístupných miest, a v neposlednej miere tiež vysoké prenosové rýchlosti, ktorých možno pomocou družicových spojov dosiahnuť.

11 Dodatok A – Číslkové modulácie

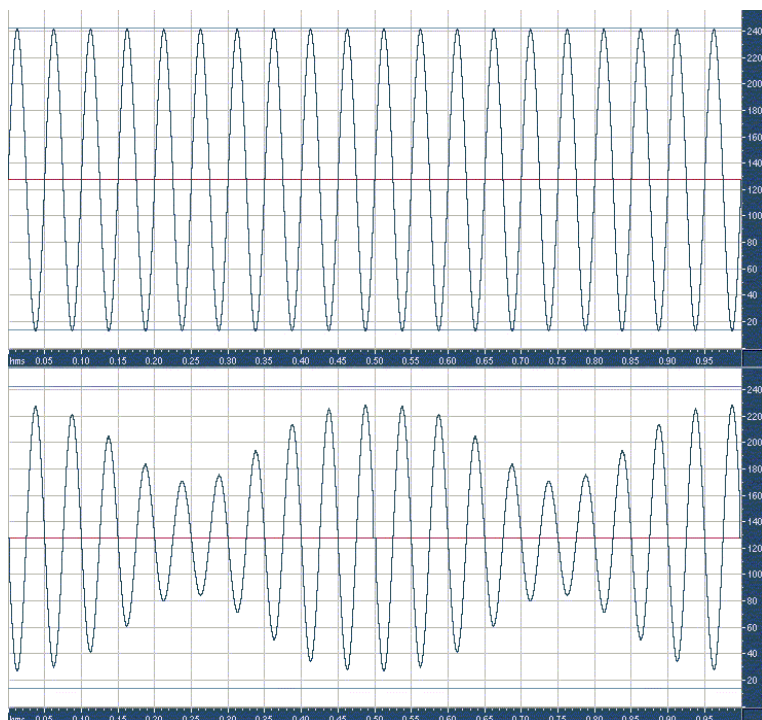
11.1 Úvod

Vývojovo najstarším typom modulácií sú analógové modulácie. Pri analógových moduláciách sa používa sínusová nosná vlna a modulačný nesínusový signál. Oba tieto signály sú spojené čase, okamžitých hodnotách, kmitočte aj fáze.

Pri rádiovom prenose správ musia vyžarované elektromagnetické vlny niesť informačné prvky prenášanej správy – musia byť modulované na vysielačnej strane a demodulované na prijímačnej strane. Elektrické signály získané v zdroji signálu zaberajú spravidla kmitočtové pásmo 0,3 až 3,4 kHz (hovorové spektrum) alebo 16 Hz až 16 kHz (akustické pásmo). Tieto signály sa nazývajú modulačné signály a svojimi vlastnosťami ovplyvňujú vlastnosti sínusovej nosnej vlny – ktorej kmitočet je väčšinou nad 272 kHz. Keďže je vysokofrekvenčný signál (nosná) určený amplitúdou, kmitočtom a fázou, sú 3 základné analógové modulačné techniky:

- amplitúdová modulácia (AM), ktorá sa používa v rozhlasovom vysielaní na dlhých (LW), stredných (MW) a krátkych vlnách (SW), odvodené varianty AM sa uplatňujú pri prenose obrazových televíznych signálov v systémoch pozemnej televízie a v profesionálnych komunikačných systémoch;
- frekvenčná modulácia (FM) sa aplikuje v rozhlasovom vysielaní na veľmi krátkych vlnách (VHF), pri spracovaní signálu zvukového sprievodu v systémoch pozemnej televízie, v družicovej televízii a v profesionálnych komunikačných systémoch;
- fázová modulácia (PM) je realizovaná v obmedzenej miere v profesionálnych komunikačných systémoch.

Ako príklad možno uviesť časové priebehy vývojovo najstaršieho typu modulácií, analógovej amplitúdovej modulácie označovanej skratkou AM (alebo aj A3M). Na obr. 1 je zobrazená vysokofrekvenčná sínusová nosná vlna $n(t)$ modulovaná sínusovým modulačným napätím (predstavuje časť kmitočtového spektra nášho hlasu), a modulovaná nosná vlna $s(t)$. Jej okamžitá hodnota napätia sa mení v rytme modulačného napätia a teda aj v závislosti na zmenách nášho hlasu.



11.2 Diskrétné modulácie v základnom pásme

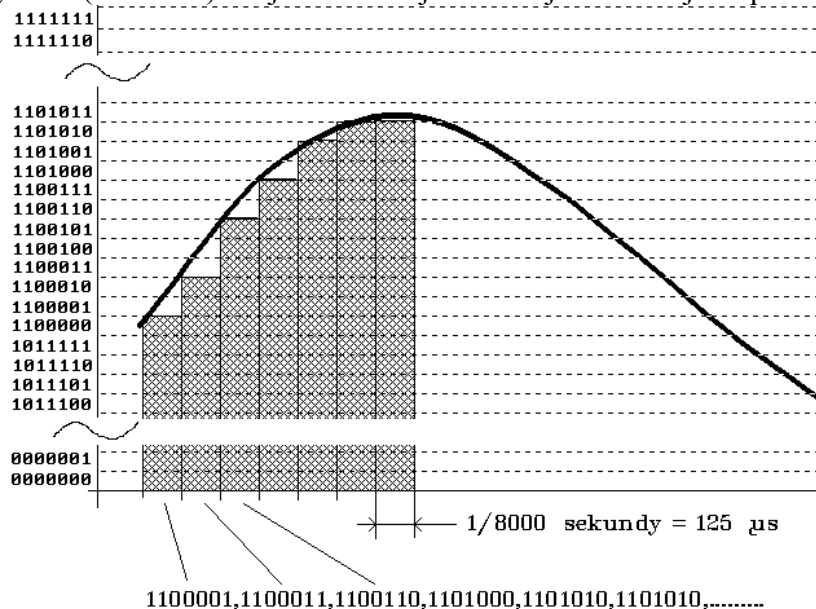
V rádiových komunikáciách, ale aj v komunikácii uskutočňovanej inými prenosovými prostriedkami (metalickými káblami, optickými vlnovodmi atď.), sa používajú k prenosu informácie aj diskrétné (impulzové) modulácie. Výsledkom procesu sú signály nespojité buď v čase, alebo v amplitúde, v kmitočte alebo fáze. Môžu byť nespojité súčasne v dvoch alebo aj viacerých z uvedených parametrov. Jedným z mnohých dôvodov prechodu od analógových modulácií k diskretným je možnosť aplikácie efektívnych princípov časového multiplexovania rôznych modulačných signálov, ktoré je kľúčom k zavádzaniu rady perspektívnych digitálnych sietí. Tieto modulácie môžu byť prevedené v základnom kmitočtovom pásme (baseband) alebo s využitím vysokofrekvenčnej nosnej vlny (carrier frequency).

Pri diskretných moduláciách v základnom pásme sa prevádza analógový modulačný signál (situovaný v základnom pásme) na diskretný (impulzový) signál, ktorý tiež leží v základnom kmitočtovom pásme. Tieto modulácie môžu byť nekódované alebo kódované.

Pri nekódovaných diskretných moduláciách vznikne rad impulzov, pri ktorých sa môže meniť v závislosti na analógovom modulačnom signáli ich výška, poloha, šírka alebo ich kmitočty. Charakteristickým rysom tohto spôsobu modulácie je to, že informácia je prenášaná iba v určitých diskretných časových okamžikoch, teda z hľadiska času nespojito. Na rozdiel od toho je modulovaný parameter impulzov prenášaný spojitou. K realizácii takéhoto druhu modulácie je nutný vzorkovač, čo je spínač spínaný pravidelným periodickým sledom vzorkovacích pravouhlých impulzov. K dosiahnutiu neskresleného prenosu musí byť frekvencia vzorkovacích impulzov dvojnásobkom hornej modulačnej frekvencie (tzv. Shannon – Kotelnikov vzorkovací teorém).

Pri hovorovom spektre, kde je $f_{\max} = 3,4$ kHz, musí byť frekvencia vzorkovacích impulzov nad 6,8kHz. V praxi sa používa 8 kHz.

Druhou skupinou diskretných modulácií sú kódované modulácie, ktoré sa tiež nazývajú digitálne (číslícové). Najstaršia a najrozšírenejšia z nich je impulzová kódová modulácia PCM.



Princíp vzniku signálu PCM vidíme z obr. 2. Analógový modulačný signál v tvare sínusového priebehu je najskôr vzorkovaný v diskretnom čase, potom kvantovaný (jeho dynamický rozsah sa rozdelí na konečný počet diskretných úrovní a každej skutočnej úrovni sa priradí určitá diskretná úroveň. v tomto prípade osem, označených 0 až 7). Takto kvantovaný signál sa kóduje tým spôsobom, že každej úrovni priradíme veľkosť najčastejšie v binárnej sústave. V uvedenom príklade postačuje trojmiestna kódová skupina. Rozdiel medzi skutočnou hodnotou analógového modulačného signálu a diskretnou (kvantizačnou) úrovňou (hladinou) spôsobuje tzv. kvantizačný šum (zkreslenie). Jeho zmenšenie možno dosiahnuť použitím viacerých kvantizačných úrovní, ale za cenu zväčšenia kódovej skupiny. V praxi sa používa

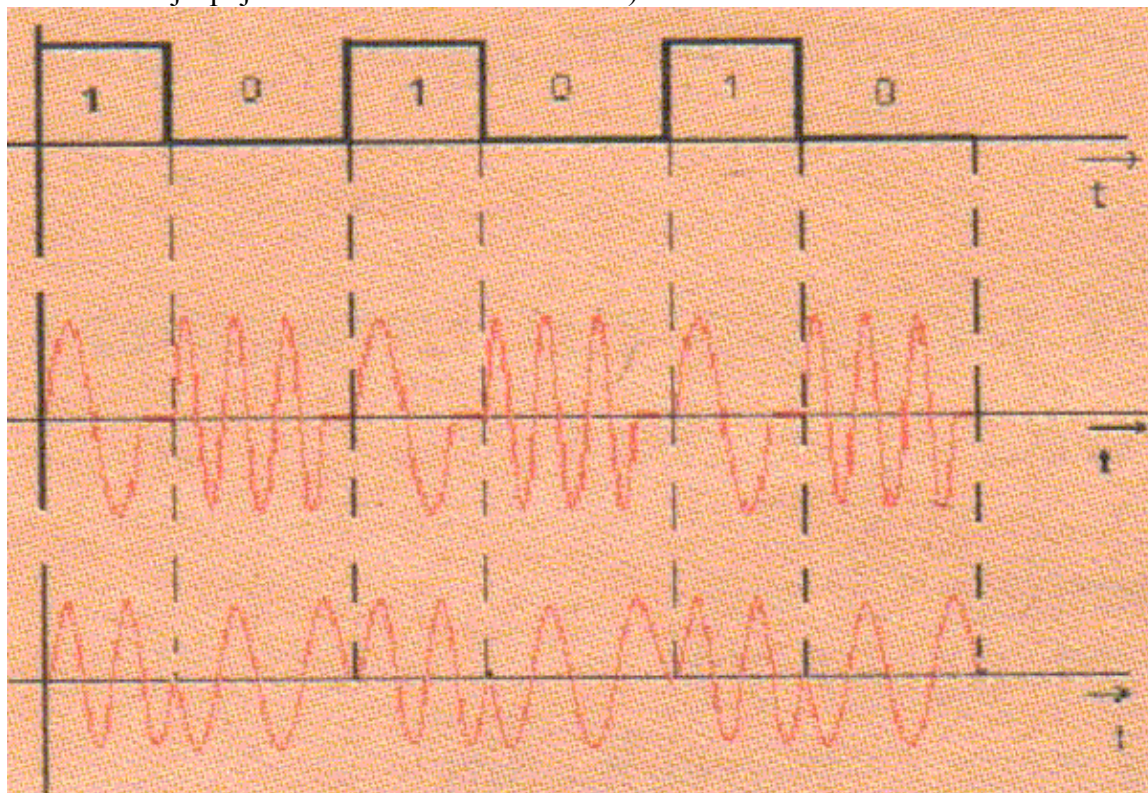
256 diskretných úrovní, čo predstavuje 8 miestnu kódovú skupinu. Pokiaľ použijeme vzorkovaciu frekvenciu 8 kHz, tak to znamená šírku pásma $B_m = 8 \times 8 = 64$ kHz. Pri rovnakej situácii je pri analógovej AM potrebná šírka pásma iba 3,4 kHz.

Signál PCM má niekoľko variant tvarovaných priebehov. V rádiokomunikačných systémoch sa často používa PCM s diferenciálnym kódovaním DE PCM. Podstata spočíva v tom, že pri logickej úrovni „0” nastáva zmena logickej úrovne v porovnaní s predchádzajúcim stavom a pri logickej úrovni „1” nedochádza k žiadnej zmene. Informácia je teda obsiahnutá v rozdieloch dvoch po sebe idúcich impulzov. Vývojovými stupňami kódovaných modulácií sú Delta modulácia (DM), Adaptívna delta modulácia (ADM) a Diferenčná impulzová kódová modulácia (DPCM). Pri modulácii DPCM sa kóduje kvantovaný rozdiel medzi skutočnou hodnotou a hodnotou predpovedanou z niekoľkých predchádzajúcich vzoriek.

11.3 Dvojstavové diskretné modulácie

K optimálnemu využitiu veľkých prenosových kapacít metalických vedení či optických vlákien je výhodné namodulovať signály typu PCM na vysokofrekvenčné nosné vlny. To umožní prenos viacerých informačných signálov po jedinom vedení. Pri rádiovom prenose je uvedený proces nevyhnutný, pretože sa v základnom pásme nedá uskutočniť.

Na obr. 3 je znázornený modulačný signál PCM a jemu zodpovedajúce dve najčastejšie používané varianty diskretných modulácií. Otvplyňovanie nosnej vlny v medziach dvoch diskretných stavov sa tiež nazýva kľúčovanie (diskretných stavov môže byť viac preto sa možno stretnúť aj s pojmom viacstavové kľúčovanie).

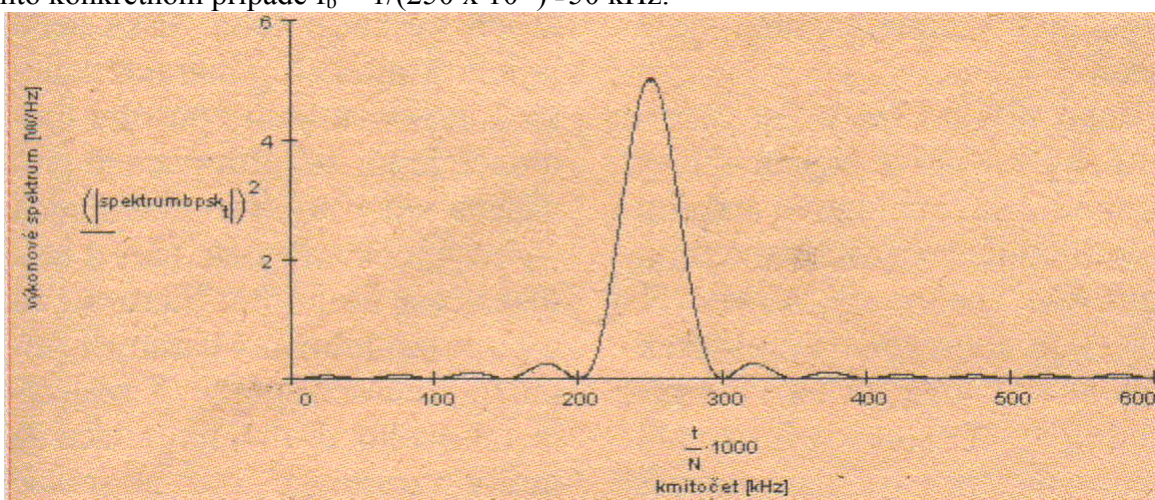


Vzhľadom k tomu, že sa vlny menia iba medzi dvoma diskretnými stavmi, nazývajú sa tieto modulácie tiež dvojstavové alebo binárne. Diskretné modulácie vznikajú tak, že sa diskretným modulačným signálom moduluje niektorý parameter vysokofrekvenčnej nosnej vlny (amplitúda, kmitočet alebo fáza).

Pri modulácii jej amplitúdy vzniká modulácia ASK (Amplitude Shift Keying), tzv. kľúčovanie amplitúdovým zdvihom. Vo svojej základnej podobe nemá táto modulácia výhodné vlastnosti. Omnoho výhodnejšia je modulácia FSK (Frequency Shift Keying), tzv. kľúčovanie frekvencným zdvihom, kde sa v rytme modulačného signálu ovplyvňuje frekvencia nosnej.

Praktické využitie má aj PSK (Phase Shift Keying), tzv. kľúčovanie fázovým posuvom, pri ktorej modulačný signál ovplyvňuje fázu nosnej vlny. K zdôrazneniu skutočnosti, že je uvažovaná modulácia dvojstavová, sa pre ňu používa tiež označenie 2PSK (BPSK) a 2FSK.

Diskrétny modulovaný signál k svojmu neskeslenému prenosu vyžaduje nekonečnú šírku kmitočtového pásma. Prenos všetkých zložiek tohto frekvenčného spektra komunikačným kanálom však nie je realizovateľný a bol by aj zbytočný, lebo podstatná časť jeho energetického obsahu je sústredená do tzv. hlavného laloku a výrazne menšia časť v postranných lalokoch - frekvenčného spektra. Príklad výkonového kmitočtového spektra pre signál BPSK (získaného pomocou modulačného signálu PCM pri dobe trvania impulzu $T_b = 20 \mu$ sekúnd a nosného sínusového signálu s kmitočtom $f = 250$ kHz je vidieť na obr. 4. Teraz možno definovať bitovú rýchlosť signálu PCM, ktorá je matematicky daná výrazom $f_b = 1/T_b$. V tomto konkrétnom prípade $f_b = 1/(250 \times 10^{-6}) = 50$ kHz.

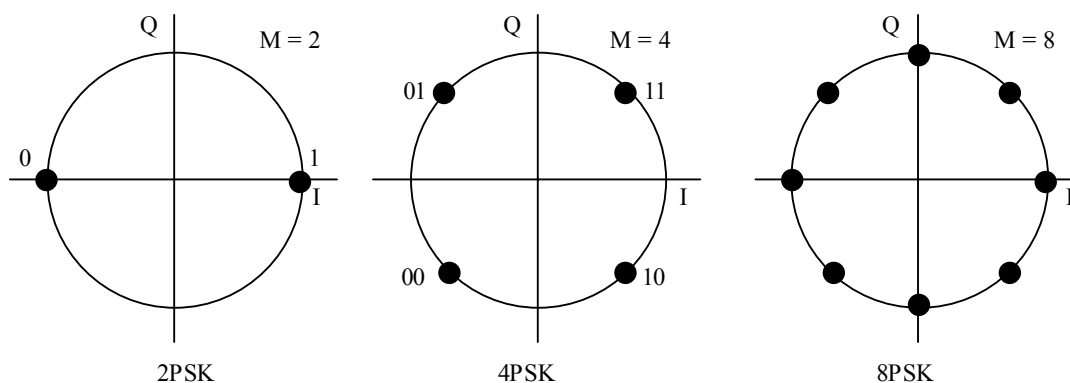


V oblasti prenosu dát sa používa jednotka bit za sekundu (bit/s). Jeden bit je najmenšou jednotkou informácie a v signáli PCM predstavuje jeden impulz.

Pri zobrazenom časovom priebehu podľa obr. 3 sa vyskytujú dva signály s frekvenciami f_1 a f_2 v závislosti od hodnoty modulačného PCM signálu. Tieto frekvencie sa nazývajú signalizačné frekvencie. Pri tomto časovom priebehu dochádza pri prechode od jednej signalizačnej frekvencie f_1 , na druhú frekvenciu f_2 , k nespojitostiam v tomto priebehu, lebo modulačný signál PCM tu nie je synchronizovaný so signalizačnými frekvenciami. K takýmto nespojitostiam dochádza pri signáli PSK, avšak zobrazený signál má už synchronizované zmeny fázového stavu nosnej vlny presne v okamžikoch jeho priechode nulou. Odstránením takýchto nespojitostí sa výrazne potlačia nežiaduce postranné laloky frekvenčného spektra modulovaného signálu. Tým sa zníži rušenie v susedných kanáloch (interferencia) a zlepši sa aj energetická bilancia danej modulácie.

11.4 Viacstavové diskkrétne modulácie

Pri dvojstavových moduláciách zodpovedá každý modulačný stav modulovanej nosnej vlny (hovorí sa mu aj signálny prvok alebo symbol) jedinému bitu modulačného signálu. Pri viacstavových diskrétnych moduláciách prenáša každý signálový prvok 2 a viac bitov. Časový priebeh nie je s rastúcim počtom stavov názorný. Tieto modulácie sa prezentujú pomocou svojich fázorov, z ktorých sa pre prehľadnosť zobrazujú iba ich koncové body. Na obr. 5 je zobrazená 2PSK (BPSK), 4stavová modulácia 4PSK (QPSK) a 8stavová modulácia 8PSK.



Dané zobrazenie, ktoré sa nazýva stavový diagram, je znázornené vo fázorovej rovine IQ. Na jej vodorovnej ose I (In- phase) ležia zložky modulovanej vlny stojacej vo fáze s pomyselnou referenčnou vlnou, na zvislej ose Q (Quadrature) sa nachádzajú zložky, ktoré majú voči referenčnej vlnne trvalý fázový posuv 90° . Pri modulácii 4PSK prenáša každý symbol 2 bity (1 dibit). Symbolová rýchlosť f_s je v tomto prípade rovná polovici bitovej rýchlosti f_b . Následkom toho je potrebná šírka pásma vysokofrekvenčného kanála polovičná v porovnaní s moduláciou 2PSK. Pri modulácii 8PSK nesie každý symbol informáciu o 3 bitoch (1 tribit), čo vedie k tretinovej šírke pásma vysokofrekvenčného kanála. Na druhej strane však rastie bitová chybovosť (BER), čo vedie vždy ku kompromisnému riešeniu.

Pri rastúcom počte stavov sa zvyšuje nebezpečenstvo ich chybného vyhodnotenia. Situáciu možno zlepšiť rovnomernejším využitím dovolenej pracovnej oblasti v rovine IQ. Lepšie využitie tejto pracovnej oblasti možno dosiahnuť tak, že sa modulačným signálom kľučuje nielen fáza, ale aj amplitúda nosnej vlny. Týmto spôsobom sa vytvárajú modulácie APSK (Amplitude-Phase Shift Keying), nazývané tiež kvadratúrne modulácie QAM (Quadrature Amplitude Modulation), ktoré sú výhodné predovšetkým pri väčšom počte stavov.

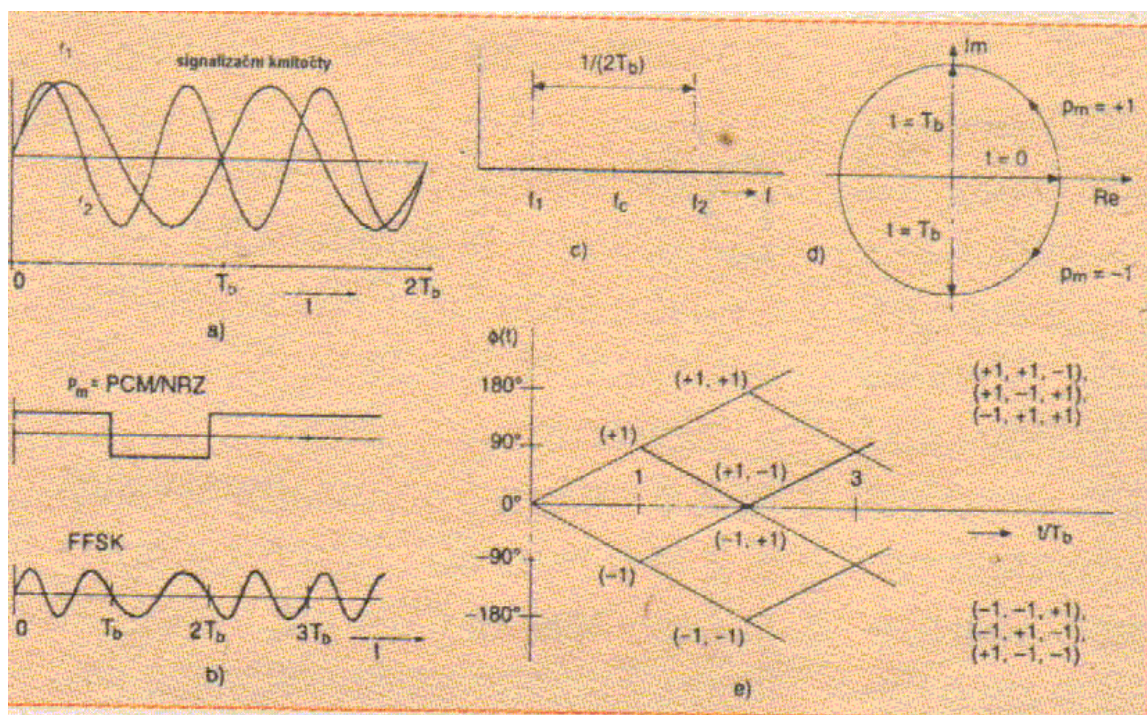
Pretože pri moduláciách QAM je symbolová rýchlosť f_s závislá od počtu stavov M rovnako ako pri modulácii MPSK, je aj šírka pásma vysokofrekvenčného kanála B_M pri modulácii MQAM daná matematickým výrazom $B_M = f_b(1 + \alpha)\log_2 M$, kde pomocný parameter α leží v intervale $0 \leq \alpha \leq 1$, jeho typická veľkosť je 0,3 až 0,5.

Pri modulácii FSK možno zároveň vytvárať mnohostavové verzie, v mobilných rádiokomunikáciách sa však nepoužívajú. Pri danej modulačnej metóde je voľba počtu stavov M modulovanej nosnej vlny vždy kompromisom. Pri zväčšovaní počtu stavov sa znižujú nároky na potrebnú šírku vysokofrekvenčného kanála pri zachovaní danej chybovosti BER sa musí zvyšovať pomer signál/šum C/N (Carrier/Noise).

11.5 Modulácie MSK a GMSK

Výrazné potlačenie silných parazitných bočných zložiek frekvenčného spektra signálu FSK možno zabezpečiť odstránením nespojitostí v jeho časovom priebehu. Pri modulácii MSK (Minimum Shift Keying) sa tohto dosiahne tak, že k prechodom medzi signalizačnými frekvenciami f_1 a f_2 (a teda aj k zmenám bitov) dochádza v okamžiku, kedy modulovaná nosná vlna prechádza nulou. Táto podmienka je splnená vtedy, keď je bitová perióda modulačného signálu $T_b = 1/f_b$ presne rovná celistvému násobku polovic periód T_1 a T_2 (periódy signalizačných frekvencií). Matematicky možno odvodiť, že podmienka je splnená pre $f_1 = f_b$ a $f_2 = (3/2)f_b$. Výpočtom možno získať charakteristické údaje o frekvenčnom zdvihu $\Delta f = f_b/4$, indexu modulácie $h = 0,5$ a rozdielu fázových posuvov oboch signálov za dobu $T_b \Delta \phi_b = \pi$.

Príklad signálov s frekvenciami f_1 a f_2 , ktoré spĺňajú predchádzajúce vzťahy je na obr. 6. Ako dátový signál je zvolený typ PCM/NRZ (Non Return to Zero), ktorý nadobúda dve napäťové úrovne. napr. +1 V a -1 V.



Najjednoduchšia z modulácií MSK je rýchla modulácia tzv. FF-SK (Fast Frequency Shift Keying) lebo bitu 1 je priamo priradený jedna zo signalizačných frekvencií, napr. vyššia signalizačná frekvencia f_2 a bitu 0 signalizačná frekvencia nižšia f_1 . Takémuto priamemu priradeniu sa v anglickej literatúre hovorí „one-to-one mapping”. Na obr. 6 je vidieť príklad dátového (modulačného) signálu PCM/NRZ a jemu zodpovedajúceho modulovaného signálu FFSK.

Pri moduláciách MSK-typ I⁺, MSK-typ I a MSK-typ II nezávisí signalizačná frekvencia iba na súčasnom bite, ale aj na bite predchádzajúcom. Ani pri týchto variantoch modulácie MSK sa nedosahuje potlačenia postranných lalokov, ktoré by vyhovovalo verejným celulárnym rádiatelefným systémom.

Ako možné riešenie potlačenia rušivých bočných zložiek spektra signálu MSK je predmodulačná filtrácia modulačného signálu. Tá pôvodný pravouhlý modulačný signál vhodne tvaruje. Pokiaľ sa použije priepusť Gaussovho typu, označujeme moduláciu MSK symbolom GMSK. Pred modulačná filtrácia je digitálna a voľba šírky gaussovskej priepuste je vždy kompromisom medzi BER a potlačením bočných zložiek spektra.

11.6 Modulácia OK-QPSK a delta/4-DQPSK

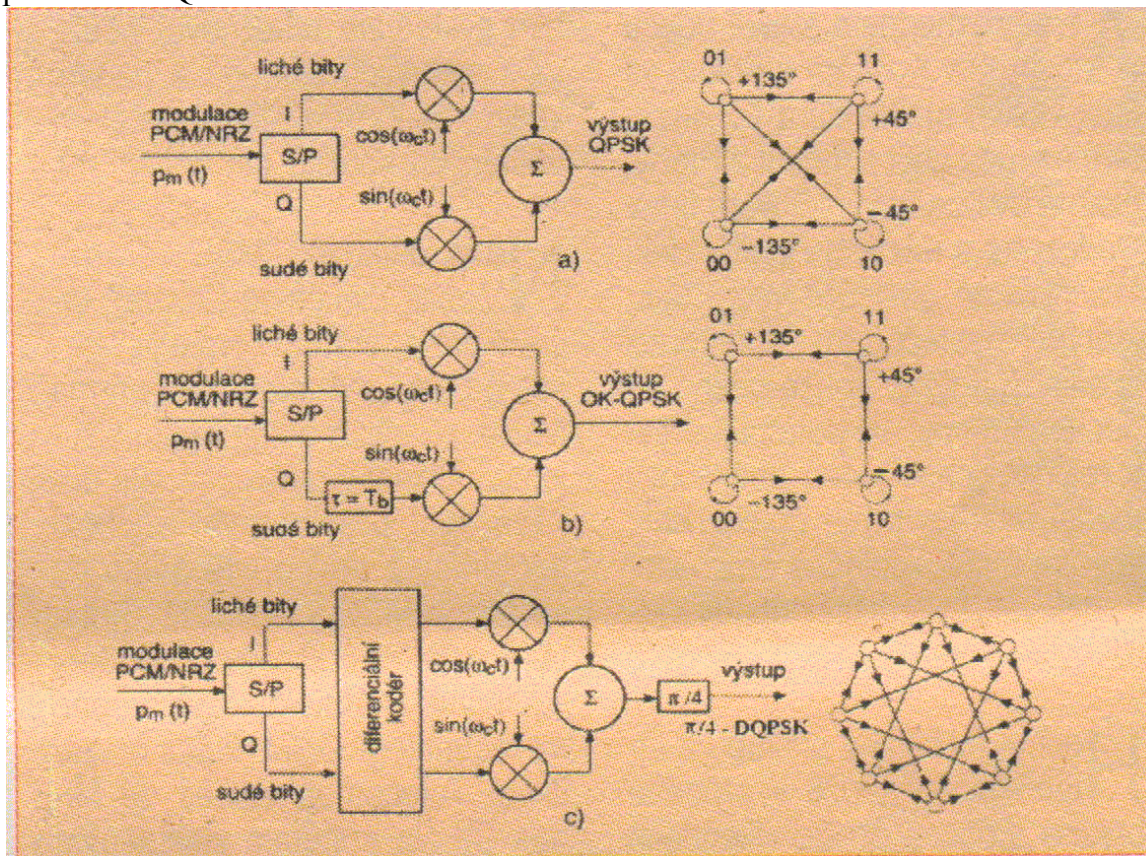
V pozemnej mobilnej a stálej rádiovkej komunikácii sa uplatňujú aj digitálne modulácie s fázovým kľúčovaním nosnej vlny PSK vo viacstavovej variante QPSK.

Na obr. 7 je uvedené kvadrátne zapojenie modulátoru QPSK a stavový diagram s vyznačenými prechodmi medzi jednotlivými stavmi. Pri tejto základnej verzii modulácie QPSK sú možné prechody medzi susednými di-bitmi, ale aj prechody diagonálne. Tento jav spôsobuje v nasledujúcom výkonovom vysokofrekvenčnom zosilňovači zväčšenie nežiaducich postranných lalokov spektra, zvýšenie chybovosti prenosu a intermoduláciu.

Významné zmenšenie uvedených skutočností prináša ofsetovo kľúčovaná modulácia QPSK, označená symbolmi OK-QPSK alebo tiež O-QPSK. Tá sa vytvára v modulátore zobrazenom na obr. 7.

Signál tohto typu možno generovať v paralelnom (kvadrátornom) modulátore. Modulačný signál PCM/NRZ postupuje do sériovo-paralelného konvertora, ktorý nepárne bity prepína do hornej (synfáznej) vetvy I a párne bity do kvadrátornej vetvy Q. Ďalej pri týchto bitoch konvertor predlžuje ich dĺžku na dvojnásobok ($2T_b$) a uvádza ich do časovej zhody. párne bity potom prechádzajú oneskorovacím článkom s dobou oneskorenia T_b . To spôsobí, že zmeny v

hodnotách bitov nastávajú v kanále Q presne v polovici trvania bitov v kanále I a naopak. V dibitovom kóde sa teda môže zmeniť vždy len 1 bit a v modulovanom signáli môžu nastávať zmeny fázy najviac $\pm 90^\circ$, tak ako to znázorňuje obr. 7. Nelinearity nasledujúceho vysokofrekvenčného (vf) výkonového zosilňovača vytvárajú menšie postranné laloky, ale zmeny fázových stavov prebiehajú s dvojnásobnou rýchlosťou, tak že je potrebná väčšia šírka vf pásma ako u QPSK.



Kompromisom medzi moduláciou QPSK a O-QPSK je modulácia $\pi/4$ -QPSK, lebo maximálny fázový posuv je $\pm 135^\circ$. Napriek tomu, že sú regenerované postranné pásma vplyvom nelinearity vf výkonového zosilňovača väčšie, ukazuje sa táto modulácia v reálnom rádiokomunikačnom kanále ako výhodnejšia.

Ďalším variantom je modulácia s diferenciálnym kódovaním $\pi/4$ - DQPSK. 8-mim možným fázovým stavom nie sú fixne priradené dibity. Informácia totiž nie je zakódovaná vo vlastnom fázovom stave, ale v zmene fázy v porovnaní s predchádzajúcim stavom. Tieto zmeny nadobúdajú iba štyri diskrétné hodnoty $\pm \pi/4$ a $\pm 3 \pi/4$, ako je vidieť na obr. 7.

11.7 Záver

Modulácia GMSK sa používa v paneurópskom digitálnom celulárnom rádiatelefonnom systéme GSM 900, DCS 1800 a v systéme digitálneho európskeho bezdrôtového telefónu DECT 1900.

Modulácia $\pi/4$ -DQPSK má aplikáciu v severoamerickom celulárnom digitálnom rádiatelefonnom systéme IS-95 a japonskom systéme PDC.