

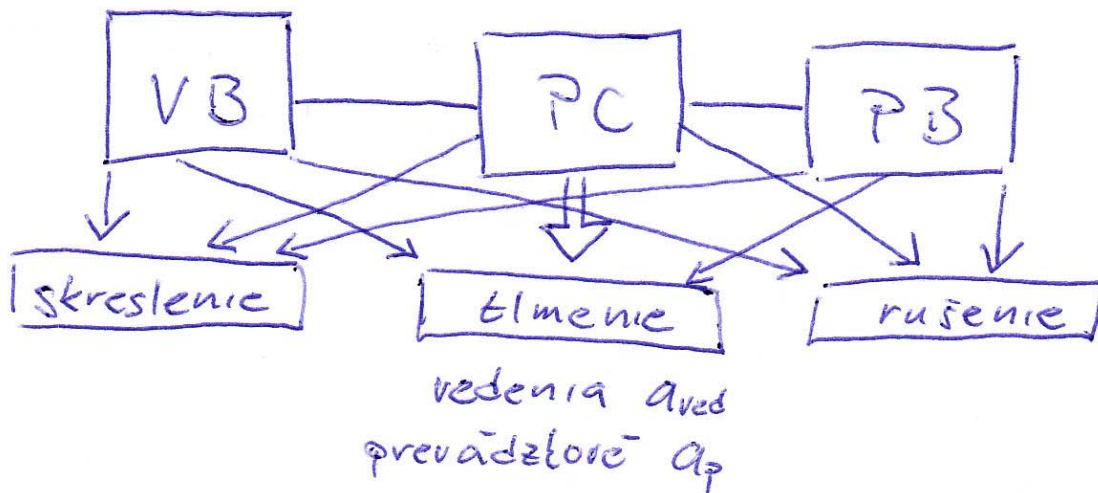
PRS

VB- súbor zariadení, ktoré premenia správu zo zdroja informácií na vhodný tvar elektrického alebo optického signálu vysielaného do prenosovej cesty

PC – súbor prostriedkov potrebný na prenos ele. alebo opt. signálu k príjmaciemu bloku

- Prenosové médium
- Reštaurátori signálu

PB – súbor zariadení, ktoré premenia el alebo opt signál na správu pre adresáta



Podmienky pre neskreslený prenos: $b(\omega) = \omega t_0$, $H(\omega) = \text{konštanta}$

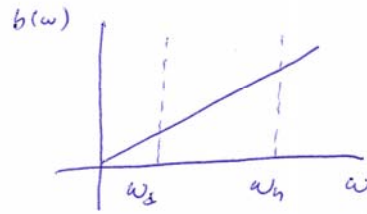
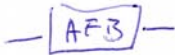
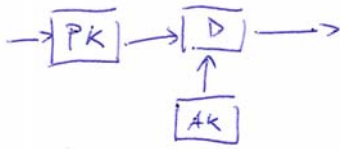
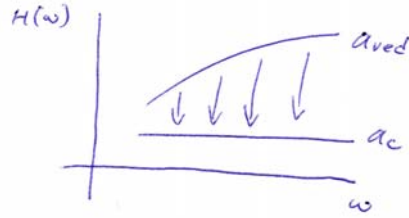
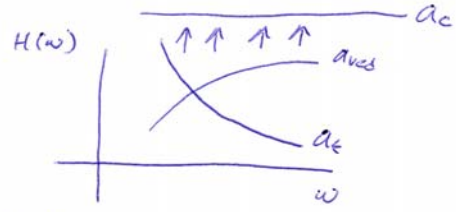
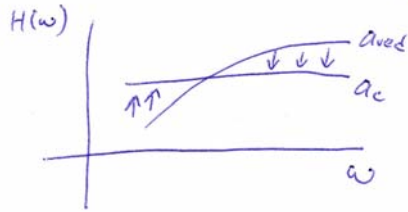
Požiadavky na prenos informácií: bez skreslenia, veľká kapacita, efektívnosť prenosu

Viacnásobné použitie PC: TDM, SDM, FDM, WDM, CDM

Pre dosiahnutie neskresleného prenosu:

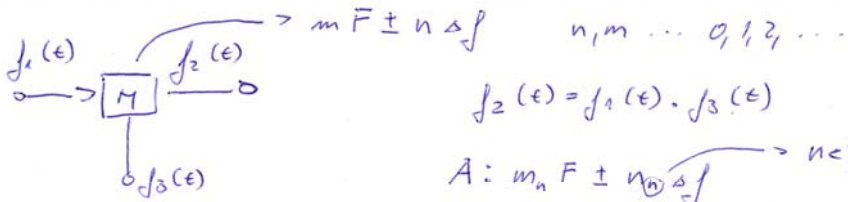
Prenosové systémy s frekvenčným delením kanálov

korektor - pasivny
 - aktivny
 - kombinovany



$$v_f = \frac{\omega}{\sqrt{3}}$$

$$b(\omega) = \omega t_0 = \sqrt{3}l$$



$$f_2(t) = f_1(t) \cdot f_3(t)$$

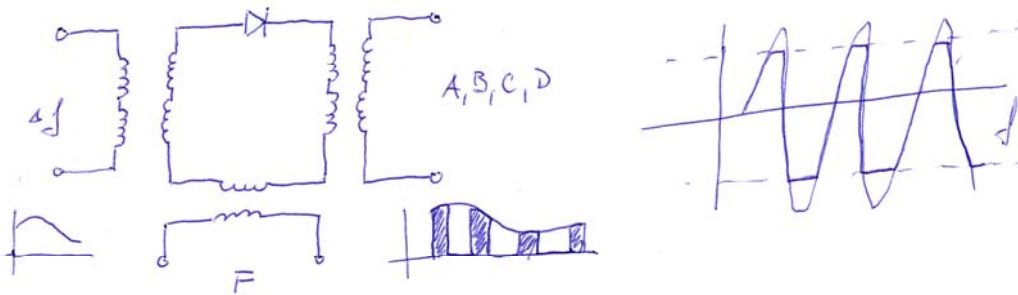
$$A: m_n F \pm n_n \Delta f \rightarrow \text{nepárne}$$

$$B: m_p F \pm n_p \Delta f \rightarrow \text{párne}$$

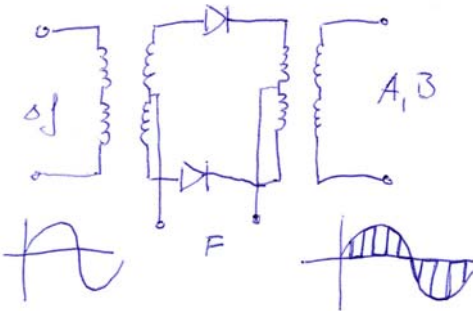
$$C: m_n F \pm n_p \Delta f$$

$$D: m_p F \pm n_n \Delta f$$

Nesymetrický jednocestný modulačor



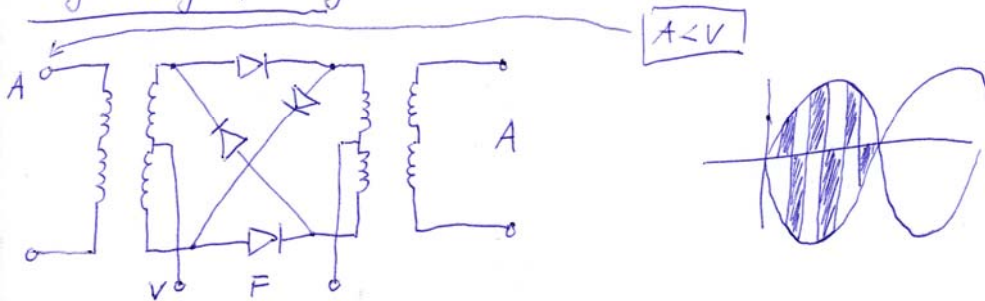
Vyvážený zvládom na nosnu



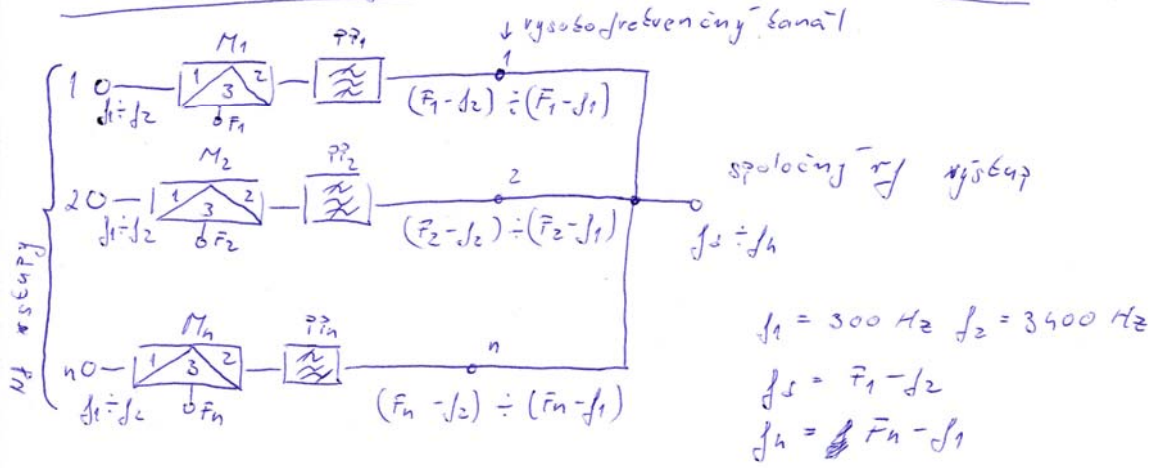
$$A_M = 10 \log \frac{P_{\Delta f}}{P_{\pm \Delta f}} \text{ [dB]}$$

Elemente modulačora

Vyvážený priečny

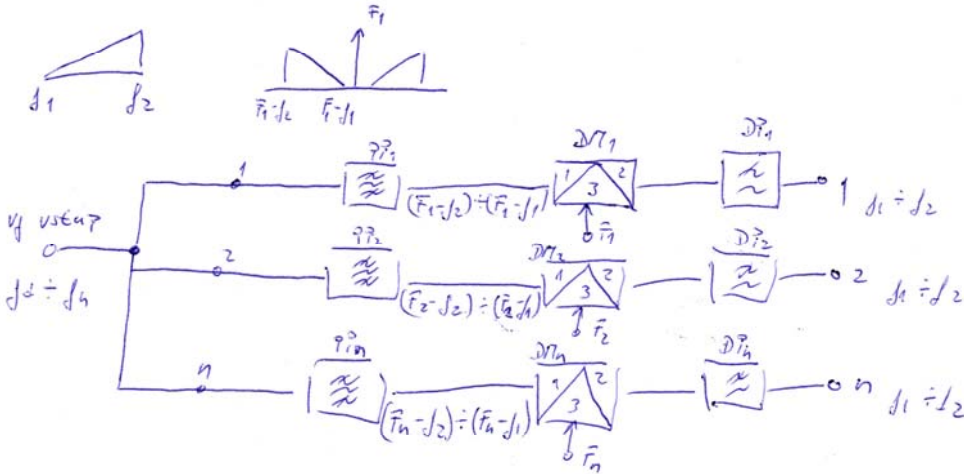


n-kanálový systém FDM s priamou moduláciou

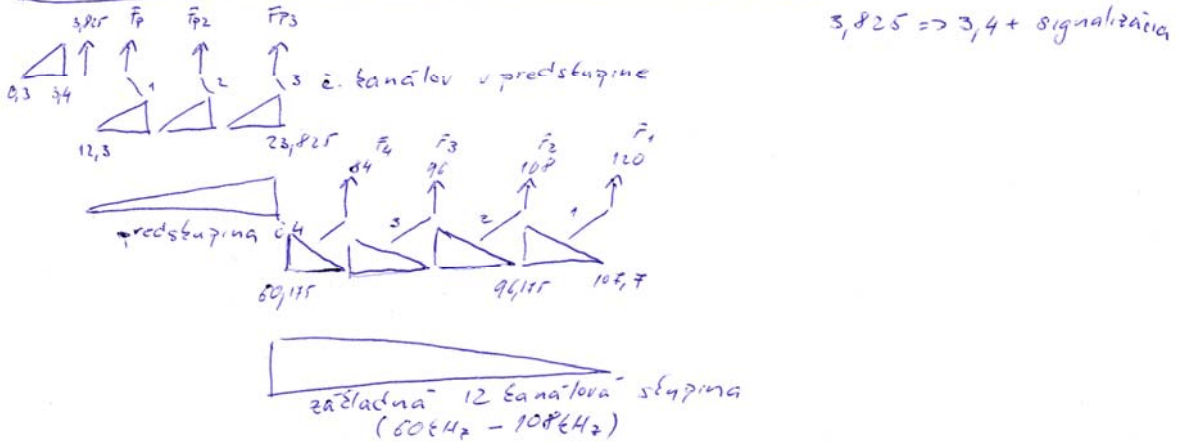


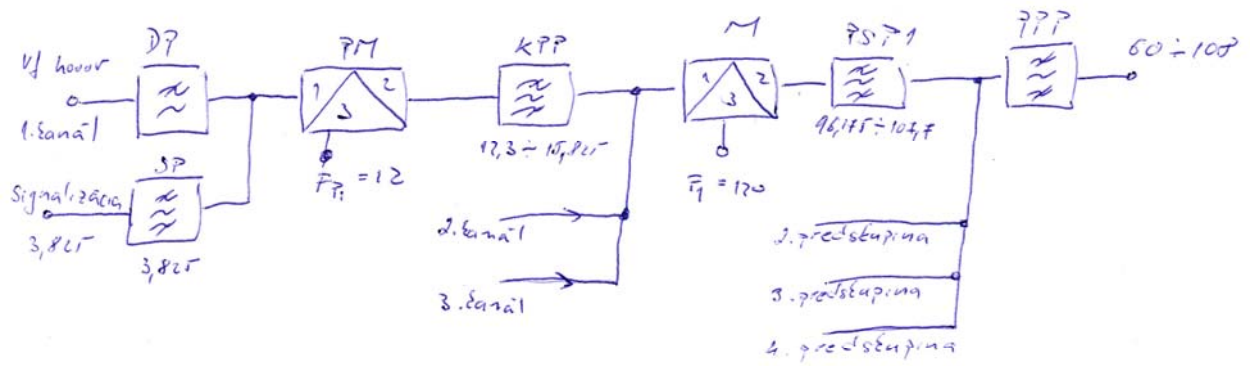
odstup nosých $\rightarrow 4 \text{ kHz}$

12 stupín $\rightarrow 60 \ 64 \ 68 \ \dots \ 108 \text{ kHz}$



Syn tézy s viacnásobnou moduláciou





Digitálne prenosové systémy

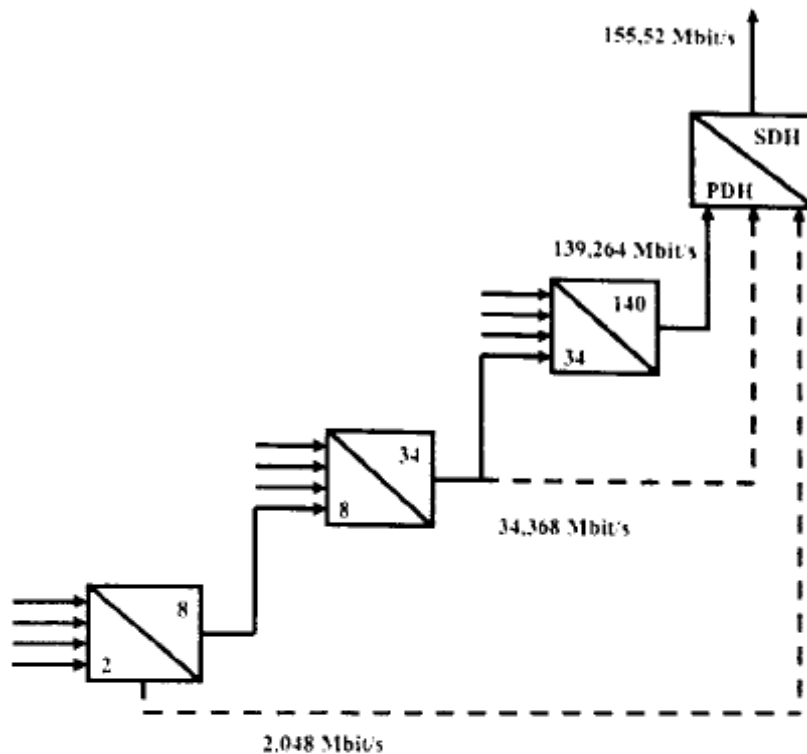
7.1 Evolúcia digitálnych prenosových systémov

Pre lepšie pochopenie faktorov, ktoré tvoria základ evolúcie a standardizácie digitálnych prenosových systémov, je potrebné porozumieť spôsobu multiplexovania vo verejnej telekomunikačnej sieti. Pred rozvinutím synchrónnych systémov SDH a SONET bola existujúca telekomunikačná infraštruktúra založená na plezochrónnom systéme PDH, ktorý sa začal rozvíjať už v polovici 60-tych rokov 20. storočia. Na vstupe systému PDH je analógový hlasový signál so šírkou pásma 4 kHz, vzorkovaný frekvenciou 8 kHz a kvantovaný 8 bitmi na jednu vzorku, čo viedlo k vzniku bitovej rýchlosti 64 kbit/s pre číslicový hlasový signál. Práve toto usporiadanie procesov A/Č prevodu sa stalo široko akceptovaným štandardom. Dátové toky s vyššími prenosovými rýchlosťami sú potom definované ako celočíselný násobok tohto základného dátového toku s prenosovou rýchlosťou 64 kbit/s.

Pred rokom 1990 boli nainštalované digitálne prenosové systémy založené na hierarchii PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy). V digitálnych sieťach PDH je bitová rýchlosť každého prítokového signálu stanovená v rámci špecifického limitu a nie je vopred synchronizovaná s prijímacím multiplexovacím zariadením. Tento typ prenosu sa nazýva *plezochrónny*, t. j. takmer synchrónny. Jednotlivé prítoky sú synchronizované s príslušným prijímacím multiplexovacím zariadením pri každom multiplexovacom kroku použitím techniky vkladania a vyberania bitov, tzv. bitového stuffingu, ktorá slúži na vyrovnávanie prenosových rýchlostí prítokov a multiplexovacieho zariadenia. Asynchrónna povaha takejto multiplexovacej schémy má za následok vznik viacerých ťažkostí. Okrem iného je potrebné na prístup k nízkorýchlostným signálom nižších rádov združeným vo vysokorýchlostnom signále vyššieho rádu, napr. z dôvodu ich presmerovania alebo testovania, demultiplexovať pôvodný združený signál v celej jeho štruktúre po jednotlivých krokoch až na základnú úroveň digitálnej hierarchie PDH. Toto si vyžaduje významné spracovanie riadiacích informácií a zapríčiňuje neefektívnosť pri operáciách, údržbe a manažmente sietí PDH.

Napriek viacerým svojim nevýhodám má systém PDH jednu významnú vlastnosť, ktorá sa v značnej miere využíva aj v synchrónnom systéme SDH, a tou je štruktúra základného rámca PCM 1. rádu. Tento rámec má tú podstatnú charakteristickú črtu, že v jeho štruktúre má digitálny kanál reprezentovaný 8 bitmi pevne stanovenú pozíciu. Táto výhoda rýchlej lokalizácie 8 bitov prislúchajúcich k jednému digitálnemu kanálu sa však neskôr pri multiplexovaní signálov do vyšších rádov hierarchie PDH stráca. Multiplexovanie

v hierarchii PDH je veľmi komplikované, nakoľko sa mení štruktúra rámcov signálov vyšších rádov, v ktorej sa môžu uplatniť rôzne techniky bitového prekladania signálov a vyrovnávania prenosových rýchlostí prítokov a multiplexovacieho zariadenia (obr. 7.1).



Obr. 7.1 Multiplexovanie v hierarchii PDH

Obmedzenia hierarchie PDH sú:

- nemožnosť jednoznačne identifikovať a špecifikovať jednotlivé nízkorýchlostné prítoky v združenom vysokorýchlostnom signále.
- nevyhnutnosť uskutočňovať asynchrónne multiplexovanie a demultiplexovanie po jednotlivých krokoch.
- využitie spôsobu prekladania signálov v multiplexovacích zariadeniach po bitoch.
- rozdielne štruktúry rámcov definované pre rozdielne bitové rýchlosti prítokových signálov.
- obmedzené schopnosti sieťového manažmentu a údržby vďaka relatívne malému množstvu riadiacich informácií.
- neexistencia jednotného celosvetového štandardu pre štruktúru základného rámcu PCM 1. rádu a z toho vyplývajúca nemožnosť spolupráce medzi zariadeniami od rôznych výrobcov. V rôznych častiach sveta vznikli rozdielne sústavy štandardov pre varianty hierarchie PDH (tab. 7.1).

Tab. 7.1 Prenosové rýchlosti signálov v hierarchii PDH

Rád	USA	Európa	Japonsko
0	64 kbit/s	64 kbit/s	64 kbit/s
1	1,544 Mbit/s	2,048 Mbit/s	1,544 Mbit/s
2	6,312 Mbit/s	8,448 Mbit/s	6,312 Mbit/s
3	44,736 Mbit/s	34,368 Mbit/s	32,064 Mbit/s
4	139,264 Mbit/s	139,264 Mbit/s	97,728 Mbit/s

Ak je digitálna sieť SDH *plne synchronizovaná*, priame multiplexovanie a demultiplexovanie prenášaných signálov sa môže ľahko uskutočniť prostredníctvom akéhokoľvek vhodného sieťového zariadenia s príslušnými funkciami. Taktiež akékoľvek nízkorýchlostné signály multiplexované do vysokorýchlostného signálu môžu byť ľahko prístupné a aj funkcie spojovania a monitorovania prítokových signálov sú jednoduchšie implementovateľné. Telekomunikačná prenosová sieť môže byť potom riadená ako samostatná digitálna skupina, v ktorej môžu byť jednoducho zrealizované rozšírené sieťové funkcie.

Prednosti hierarchie SDH sú:

- celosvetový štandard umožňuje vytvoriť jednotnú telekomunikačnú sieťovú infraštruktúru s využitím sieťových zariadení od rôznych výrobcov,
- priame synchronne multiplexovanie a demultiplexovanie je možné, t. j. individuálne prítokové signály môžu byť priamo multiplexované/demultiplexované do/zo signálov vyššieho rádu, čím sa sieť SDH stáva efektívnejšia a flexibilnejšia,
- dostatočne rozsiahle riadiace informácie umožňujú využívať rozšírené sieťové funkcie operácie, administratívy a údržby OA&M (Operation, Administrative and Maintenance),
- signál SDH umožňuje prispôsobiť rozličné existujúce typy prítokových signálov hierarchie PDH prostredníctvom virtuálnych kontajnerov, preto sieť SDH umožňuje prekryť existujúce telekomunikačné prenosové siete a zároveň flexibilne podporovať rozvinutie nových služieb,
- vrstvový koncept transportnej siete môže byť efektívne realizovaný.

Siete založené čisto na technológii PDH nedokážu splniť požiadavky kladené na komunikačné siete budúcnosti. Poskytovatelia služieb musia na požiadavky zákazníkov reagovať rýchlo, navyše v dnešnom globalizovanom multimedialnom prostredí už nie je doba na odstránenie porúch v sieťovej prevádzke trvajúca dni či hodiny akceptovateľná. Pre siete

PDH je charakteristické, že každá väčšia zmena v sieťovej topológii sa musí vykonať za prítomnosti technického personálu. Siete založené na technológii SDH využívajú nové sieťové prvky, ktoré preberajú značnú časť sieťovej inteligencie a umožňujú tak vznik skutočne dynamickej telekomunikačnej prenosovej siete.

7.2 Porovnanie základných vlastností systémov PDH a SDH

Systém PDH obsahuje viacero častí, ktoré spôsobujú pri jeho prevádzke veľké problémy, a táto skutočnosť v konečnom dôsledku viedla koncom 80-tych rokov 20. storočia k snahe vytvoriť nový prenosový a multiplexovací štandard, ktorý by tieto problémy eliminoval – systém SDH.

Multiplexovanie

Pri hierarchii PDH je veľmi ťažké vybrať nízkorýchlostný dátový tok z vysokorýchlostného dátového toku, ktorý daným sieťovým uzlom prechádza, bez značného spracovania vysokorýchlostného signálu a časového zdržania. Toto je zapríčinené spôsobom multiplexovania nízkorýchlostných signálov. Okrem toho, bitové rýchlosti signálov hierarchie PDH nie sú presným celočíselným násobkom základnej bitovej rýchlosti 64 kbit/s, obsahujú malé odchýlky od menovitých hodnôt. Je to zapríčinené skutočnosťou, že jednotlivé zariadenia v sieti PDH nie sú plne synchronizované a z dôvodu prispôbovania sa oneskoreni medzi rozdielnymi taktovacími signálmi sú vkladané (prípadne vyberané) stuffingové bity do (z) dátového toku. Pri hierarchii SDH sú taktovacie hodiny všetkých zariadení v sieti plne zosynchronizované s referenčným zdrojom taktovacieho signálu a ako dôsledok tejto synchronizácie sú bitové rýchlosti signálov SDH presným celočíselným násobkom základnej rýchlosti 64 kbit/s. Z tohto dôvodu sa multiplexory a demultiplexory využívajú v sieťach SDH značne jednoduchšie ako ich ekvivalenty v sieťach PDH.

Manažment

Štandardy pre synchrónne digitálne siete SDH a SONET zahŕňajú rozsiahle riadiace informácie pre sieťový manažment a pre monitorovanie výkonnosti prevádzky na rozdiel od pleziochrónnych digitálnych sietí PDH.

Interoperabilita (súčinnosť)

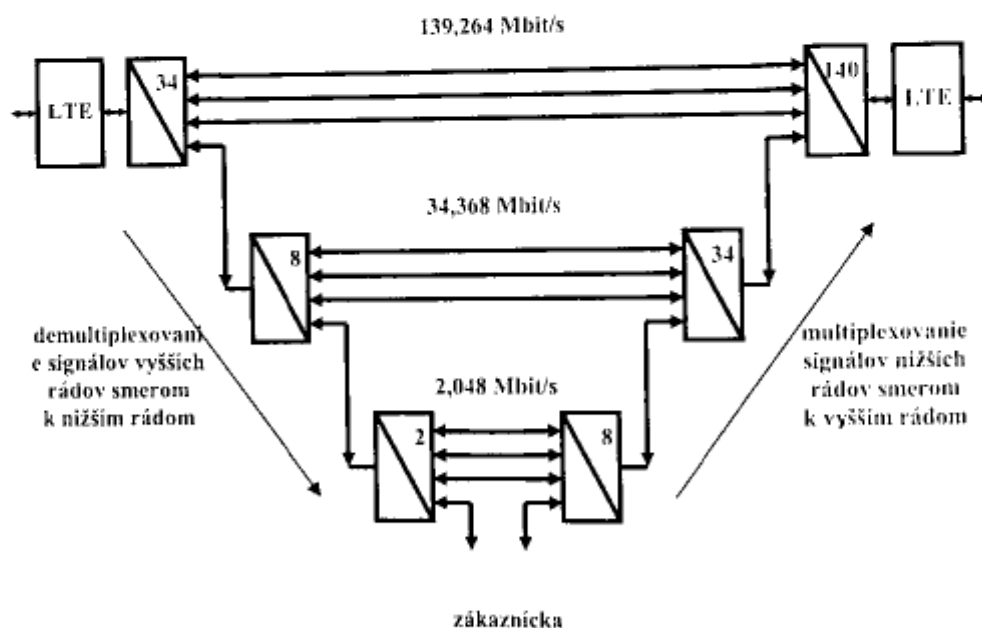
Systém PDH nemá definovaný jednotný celosvetový štandardný formát pre prenosovú linku. Systémy SDH a SONET sa vyhýbajú podobným problémom definovaním štandardných optických rozhraní, ktoré umožňujú súčinnosť medzi sieťovými zariadeniami na prenosovej linke od rozdielnych výrobcov.

Budovanie siete (networking)

Štandardy SDH/SONET sa rozvinuli aj so začlenením špecifických sieťových topológií a špecifických ochranných schém na prenos signálov v prostredí optických vlákien z dôvodu zabezpečenia vysokej spoľahlivosti služieb. Ako dôsledok tejto skutočnosti je čas obnovy služby pri poruche vlákna alebo uzla v rámci siete SDH oveľa menší (menej ako 60 ms) ako v rámci siete PDH (zvyčajne niekoľko sekúnd až minút).

V nasledujúcich bodoch sú zhrnuté základné rozdiely medzi technológiami SDH a PDH:

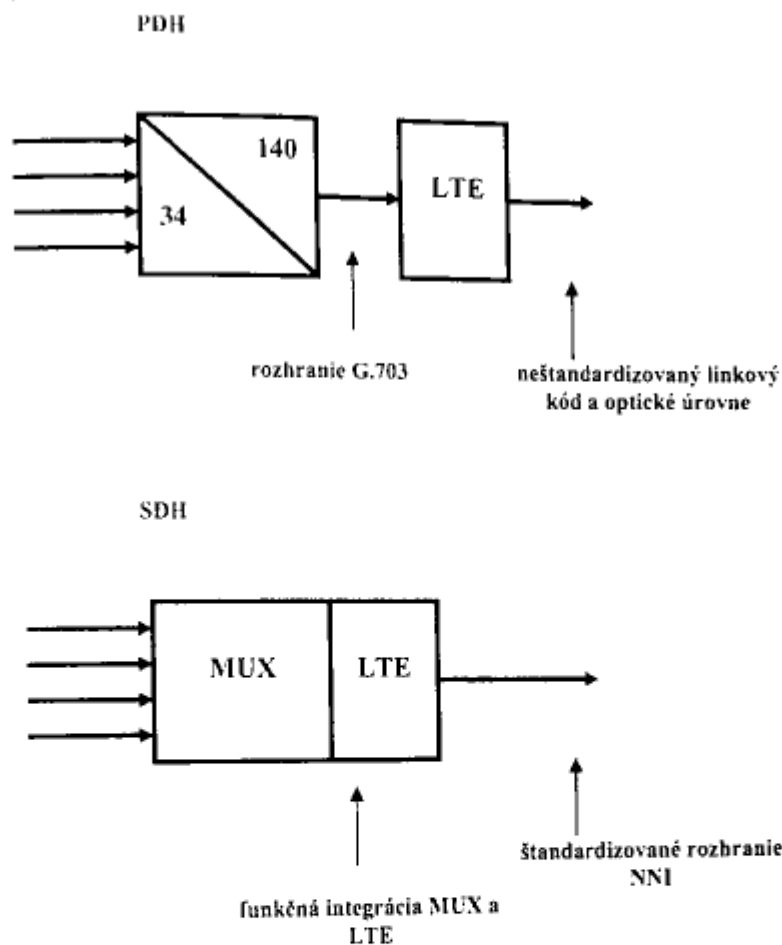
1. V SDH je rovnaká štruktúra rámcov pre všetky rády multiplexovania, kým v PDH sú štruktúry rámcov špecifické pre každý rád.
2. V PDH je multiplexovanie asynchrónne, v SDH synchrónne (využitie smerníkov).
3. V PDH je multiplexovanie bit po bite, zatiaľ čo v SDH byt po byte (oktet po oktete).
4. V PDH je nemožné identifikovať kanál alebo rámec nižšieho rádu vo vnútri rámca vyššieho rádu. Táto informácia sa musí vždy hardvérovo extrahovať za použitia niekoľkých demultiplexorov (obr. 7.2). V SDH sa k takejto informácii vďaka synchrónnemu multiplexovaniu dostaneme softvérovo len v jednom stupni softvérovým vyhodnotením niekoľkých smerníkov.



Obr. 7.2 Demultiplexovanie v hierarchii PDH

5. V SDH sú štandardizované všetky rády hierarchie, v PDH len bitové rýchlosti do 4. rádu (140 Mbit/s) vrátane.
6. V PDH neexistuje žiadny štandard pre monitorovanie výkonnosti kanála a ani nijaký špecializovaný kanál pre manažment siete.

7. V PDH nie je na rozdiel od SDH špecifikované rozhranie na strane linky v linkovom prenose (obr. 7.3).

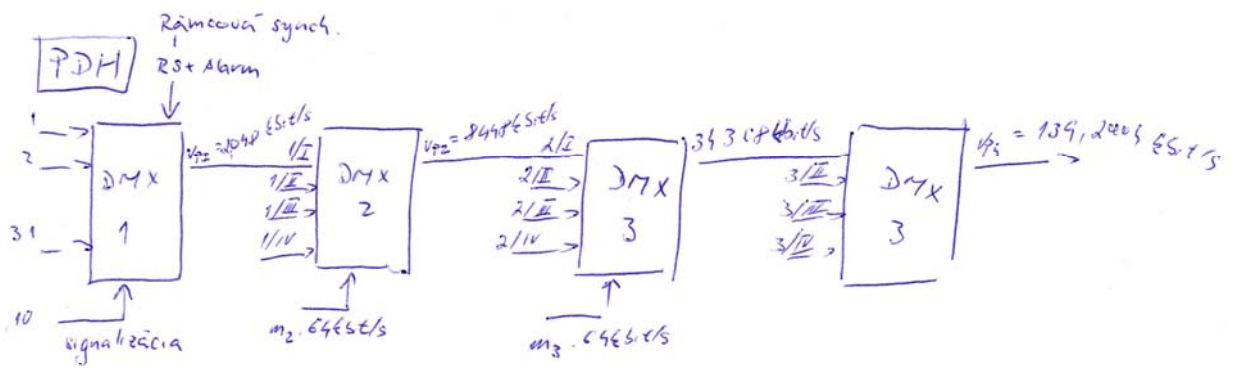


Obr. 7.3 Rozhrania na strane linky v hierarchii PDH a SDH

8. Regenerátory v sieťach SDH potrebujú vstupný signál štruktúrovaný v rámcoch. Ak vzniknú rozdiely vo fáze individuálnych signálov STM-N, je potrebné využiť príslušnú pracovnú funkciu smeríkov. Smeríky sú schopné zabezpečiť korektný prenos signálov aj pri veľkých fázových rozdieloch, takže siete SDH môžu pokračovať v prevádzke pri oveľa väčších fázových posunoch vstupných signálov ako siete PDH.
9. Siete SDH majú na rozdiel od sietí PDH primárny referenčný zdroj taktovacieho signálu PRS pre synchronizáciu všetkých zariadení.

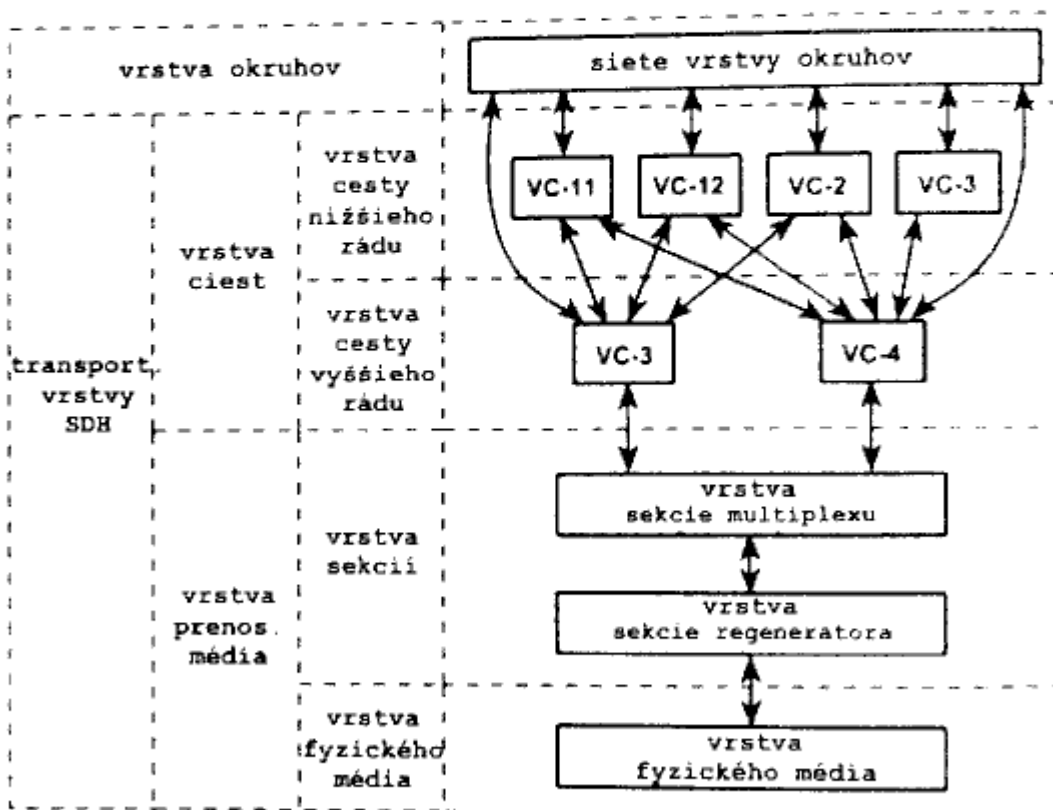
Tab. 7.2 Porovnanie základných vlastností hierarchii PDH a SDH

Vlastnosť	PDH	SDH
Štandard	min. 2 verzie s problémami pri spolupráci	celosvetový štandard
Základný rámec	PCM 1. rádu 30/32 (Európa)	STM-1
Typy informácií	užitočné + riadiace (synchronizácia + signalizácia)	užitočné + riadiace (synchronizácia + signalizácia) + smerník (nový typ)
Základná prenosová rýchlosť	2,048 Mbit/s	155,52 Mbit/s
Prenosová rýchlosť vyšších rádo	viac ako 4x rýchlosť nižšieho rádu	presne 4x rýchlosť nižšieho rádu
Spôsob multiplexovania	po bítach, vždy 4 vstupné signály na 1 výstupný	po bytoch, vždy 4 vstupné signály na 1 výstupný
Spôsob demultiplexovania	zložitý po jednotlivých krokoch	jednoduchý vďaka smerníku
Prenosové médium	rôzne (metalické vedenia, vzduch, optické vlákno)	optické vlákno, vzduch len pri 1. ráde
Typ prenosu z hľadiska synchronizácie	takmer synchronný (plezio)	plne synchronný
Spôsob synchronizácie zariadení	vyrovnávanie prenosových rýchlostí (stuffing)	hierarchický (zdroj PRS pre taktovací signál)
Typ signalizácie	signalizácia priradená ku kanálu CAS	spoločná kanálová signalizácia CCS
Vytváranie sietí	nie	áno, základ súčasných telekomunikačných sietí
Manažment sietí	minimálny	plne rozvinutý zabezpečujúci kompletnú činnosť sietí TMN
Sieťové zariadenia	lacnejšie, predovšetkým HW, SW len minimálne	nákladnejšie, okrem HW potreba aj rozsiahleho SW

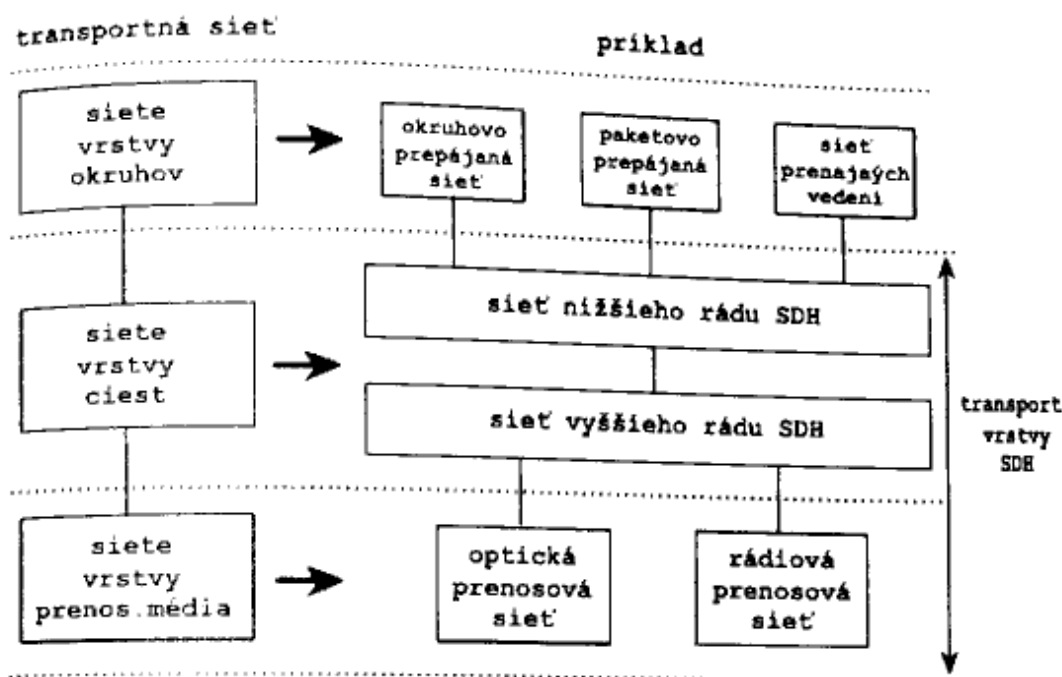


8.1 Vrstvy transportnej siete založenej na SDH

Obr. 8.1 znázorňuje vrstvý model transportnej siete a príklad takejto siete založenej na SDH. Transportnou vrstvou SDH sú podporované rozdielne siete služieb. Obr. 8.2 znázorňuje vzájomný vzťah vrstiev transportnej siete založenej na SDH.



Obr. 8.1 Vrstvý model transportnej siete

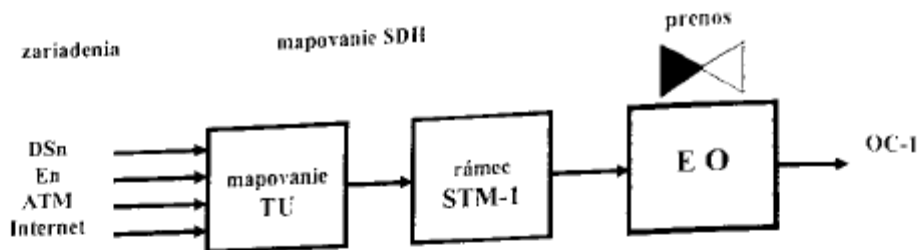


Obr. 8.2 Vzájomný vzťah vrstiev transportnej siete založenej na SDH

Siete vrstvy prenosového média sú závislé od prenosového média, ako je napr. optické vlákno alebo rádiový prenos. Siete vrstvy prenosového média sú rozdelené do siete vrstvy fyzického média a siete vrstvy sekcií. Siete vrstvy sekcií sú rozdelené do dvoch typov – sieť vrstvy sekcie regenerátora RS (Regenerator Section) a sieť vrstvy sekcie multiplexu MS (Multiplex Section). Vrstva sekcie regenerátora sa zaoberá prenosom informácií medzi regenerátormi a lokáciami, ktoré smerujú a zakončujú cesty, alebo medzi regenerátormi navzájom. Vrstva sekcie multiplexu sa týka prenosu informácií typu koniec-koniec medzi lokáciami, ktoré smerujú alebo zakončujú cesty. Siete vrstvy ciest sú rozdelené do siete vrstvy cesty vyššieho rádu a siete vrstvy cesty nižšieho rádu.

8.2 Hierarchický proces, multiplexné princípy a konštrukčné bloky

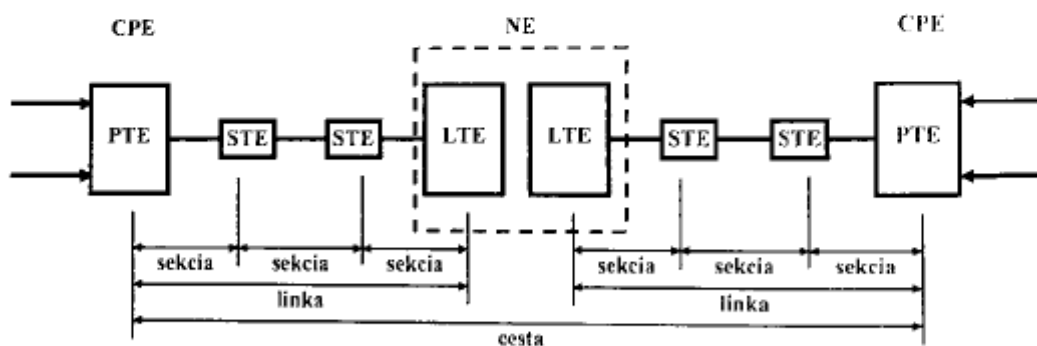
Akýkoľvek typ ne-SDH signálu môže byť transformovaný do siete SDH hierarchickým procesom. Tento proces (obr. 8.3) začína segmentáciou signálu a mapovaním segmentov do malých kontajnerov. Ak je malý kontajner naplnený segmentovanou užitočnou informáciou, potom je spolu s viacerými podobnými kontajnermi združený do veľkého kontajnera, ktorý je následne mapovaný do rámca STM-1. Výsledný rámec STM-1 je vysielaný cez elektrooptický menič a optický vysielateľ do optického vlákna.



Obr. 8.3 Hierarchický proces v systéme SDH

8.2.1 Cesta, linka a sekcia

Rámeč STM-1 je vysielaný od zariadenia CPE (Customer Premises Equipment) jedného koncového používateľa cez jeden alebo viac sieťových elementov NE až k zariadeniu CPE druhého koncového používateľa. Pri pohybe informácie medzi uzlami sa musia vykonať určité operácie na zaistenie schopnosti prenášať neporušený signál. To znamená, že do bytov hlavičky musia byť k vysielanej užitočnej informácii pridané dodatočné riadiace informácie na naplnenie cieľov sieťovej administrácie. Tieto riadiace informácie sú pre koncového používateľa transparentné, t. j. nie sú doručované ako užitočné informácie. Okrem toho sú riadiace informácie v hlavičke organizované hierarchicky v nasledujúcom usporiadaní (obr. 8.4):



Obr. 8.4 Definície cesty/linky/sekcie

1. Pojem *cesta* je spojený s riadiacou informáciou pridanou do hlavičky vo vysielacom zariadení PTE (Path Terminating Equipment) a čítanou v prijímacom zariadení PTE. Informácia cesty nie je kontrolovaná alebo menená medziľahlými zariadeniami.

2. Pojem *linka* je spojený s riadiacou informáciou pridanou do hlavičky vo vysielacom zariadení LTE (Line Terminating Equipment) a čítanou v prijímacom zariadení LTE. Na koncoch siete, kde nie sú LTE umiestnené, plnia ich úlohu zariadenia PTE.
3. Pojem *sekcia* je spojený s riadiacou informáciou pridanou do hlavičky v zariadení STE (Section Terminating Equipment) zakončujúcom fyzický segment prenosového vybavenia, teda napr. segment medzi dvoma regenerátormi, alebo zariadením LTE a regenerátorom, alebo zariadením PTE a regenerátorom, alebo zariadeniami LTE bez regenerátorov.

8.2.2 Multiplexné princípy

Obr. 8.5 znázorňuje vzájomné vzťahy medzi rozdielnymi multiplexnými elementmi a štruktúrami pri vytváraní rámca STM-1. Pritokové signály sú prispôbivé do obmedzeného počtu štandardných kontajnerov, v ktorých sú definované príslušné adaptačné funkcie.

Pritokovým signálom je signál 1. rádu európskej verzie hierarchie PDH s prenosovou rýchlosťou 2,048 Mbit/s (označuje sa ako E1), teda základný rámec PCM 1. rádu s 32 kanálovými intervalmi. Tento signál sa mapuje po oktetoch zľava doprava po riadkoch a zhora nadol po stĺpcoch do kontajnera typu C12, ktorý je zobrazený na obr. 8.6 pri kroku ①. Jeho rýchlosť sa vyrovnáva stuffingovými bitmi, ktoré majú vyhradené miesto a sú pod dohľadom riadiacich bitov stuffingu. Ak sú riadiace bity stuffingu nastavené na logické nuly, potom miesta vyhradené pre stuffingové bity neprenášajú stuffingové bity, ale obsahujú užitočné údaje. Ak sú riadiace bity stuffingu nastavené na logické jednotky, potom na miestach vyhradených pre stuffingové bity sa nachádzajú konkrétne stuffingové bity, ktoré slúžia len na zarovnanie prenosových rýchlostí prítokového signálu a kontajnera. Teda každých 125 μs by sme mali mať na vstupe 256 bitov informácie z prítokového signálu E1, čo znamená prenosovú rýchlosť

(8.1)

$$32 \cdot 8 \cdot 8000 = 2,048 \text{ [Mbit / s]}$$

Ale v kontajneri C12 sa musia v rovnakom čase okrem užitočnej informácie zo signálu E1 vysielat' aj ďalšie bity pre pomocné riadiace informácie, teda celkovo sa vysielajú 272 bitov za 125 μs, čo predstavuje výslednú prenosovú rýchlosť kontajnera C12 (podľa tab. 8.1)

(8.2)

$$34 \cdot 8 \cdot 8000 = 2,176 \text{ [Mbit / s]}$$

Hlavička cesty POH (Path Overhead)

- doplnková riadiaca informácia, ktorej funkciou je monitorovanie bitovej chybovosti medzi krajnými bodmi cesty.

Vo virtuálnom kontajneri VC je vyhradený priestor pre riadiacu informáciu hlavičky cesty POH, ktorá je zakončená zariadeniami PTE (obr. 8.4) a má smerový význam (t.j. od východiskového zariadenia PTE k zakončujúcemu zariadeniu PTE).

(8.3)

$$C + POH \rightarrow VC$$

Virtuálny kontajner VC (Virtual Container)

- samostatná skupina, ktorá môže byť v tejto podobe prenášaná na potrebné miesto (multiplexovaná do vyšších skupín alebo prepínaná v sieti vo svojej úrovni); pojem virtuálny vyjadruje vlastnosť štruktúry, ktorá nemá pevnú polohu, resp. pozíciu v rámci (táto sa mení časom).

Spojenie užitočnej informácie z kontajnera C a riadiacej informácie z hlavičky cesty POH je nemenné počas celého prenosu bloku informácie medzi koncovými zariadeniami PTE.

Zarovňavanie (aligning)

- procedúra, ktorou sa informácia o posune virtuálneho kontajnera zahŕňa do prítokovej jednotky (alebo administratívnej jednotky), keď je upravovaný pre rámec danej vrstvy.

Smerník P (Pointer)

- ukazuje na miesto, kde začína nižšia skupina vo vyššej relatívne k jeho polohe, ktorá je vo vyššej skupine pevne daná.

Oktety smerníka definujú posun medzi smernikom a prvým oktetom príslušného virtuálneho kontajnera VC. Hodnota smerníka môže byť *normálna* – t. j. bez frekvenčného zarovňania, s pozitívnym alebo negatívnym frekvenčným zarovňaním (rozhodujúci je vzájomný vzťah medzi dátovou rýchlosťou prítokového signálu a taktovacím signálom multiplexovacieho zariadenia) alebo môže byť *nastavená* – t. j. ľubovoľná (a významná) zmena hodnoty smerníka vznikne v dôsledku zmeny dátovej pozície vo virtuálnom kontajneri.

Smerník má dve základné funkcie:

- elimináciu taktov jednotlivých prítokov,
- umožnenie jednoduchého skladania, resp. výberu nižších skupín z vyšších bez potreby demultiplexovania.

(8.4)

$$VC + P_{TU} \rightarrow TU$$

Prítoková jednotka TU (Tributary Unit)

- štruktúra, ktorá obsahuje všetky tri základné typy informácií používané v hierarchii SDH
- užitočnú informáciu z kontajnera C, riadiacu informáciu z hlavičky cesty POH a špecifickú informáciu zo smerníka prítokovej jednotky P_{TU} .

Multiplexovanie (multiplexing)

- procedúra, ktorou sa viaceré signály na úrovni cesty nižšieho rádu upravujú na signály cesty vyššieho rádu alebo sa viaceré signály na úrovni cesty vyššieho rádu upravujú do sekcie multiplexu.

(8.5)

$$n \times TU \rightarrow TUG$$

Skupina prítokových jednotiek TUG (Tributary Unit Group)

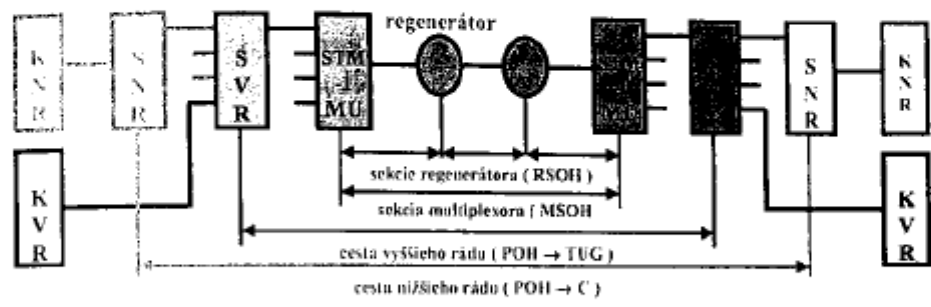
- štruktúra, ktorá vznikne multiplexovaním viacerých prítokových jednotiek.

V ceste vyššieho rádu (3. alebo 4.) sa jednotlivé procedúry opakujú v rovnakom poradí ako v ceste nižšieho rádu (1. alebo 2.), t. j. najprv mapovanie, potom zarovnávanie a nakoniec multiplexovanie.

(8.6)

TUG + POH → VC 3,4

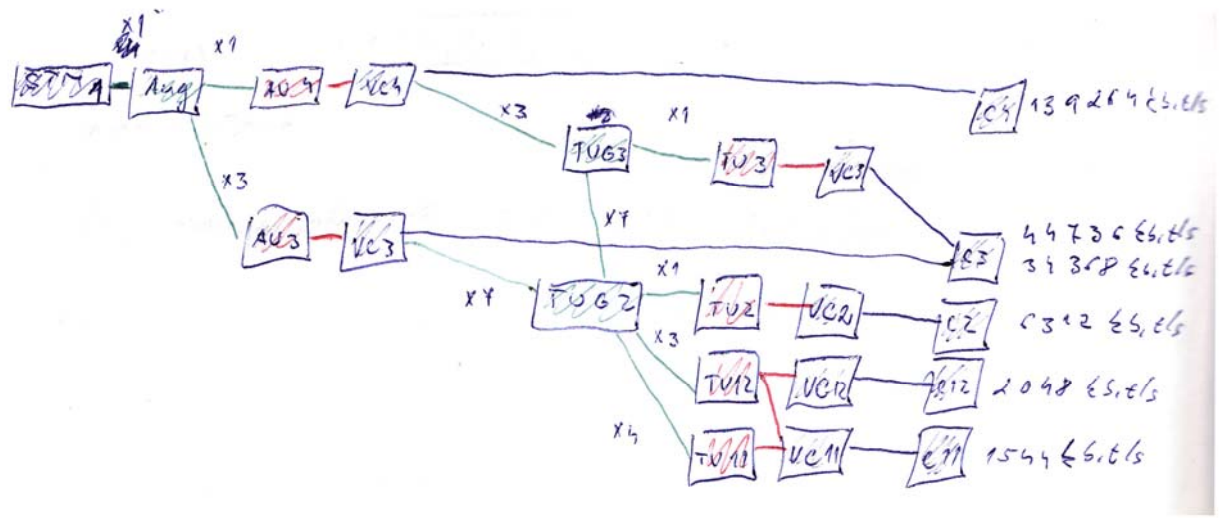
POZOR! Hlavička cesty pri C nie je totožná s hlavičkou cesty pri TUG!



Obr. 8.7 Hlavičky cesty nižšieho a vyššieho rádu POH, sekcie regenerátora RSOH a sekcie multiplexora MSOH

(8.7)

VC 3,4 + P_{AU} → AU



Administratívna jednotka AU (Administrative Unit)

- štruktúra podobná prítokovej jednotke, ktorá takisto obsahuje všetky tri základné typy informácií používané v hierarchii SDH - užitočnú informáciu z kontajnera C vyššieho rádu, riadiacu informáciu z hlavičky cesty POH vyššieho rádu a špecifickú informáciu zo smerníka administratívnej jednotky P_{AU}.

(8.8)

$$n \times AU \rightarrow AUG$$

Skupina administratívnych jednotiek AUG (Administrative Unit Group)

- štruktúra, ktorá vznikne multiplexovaním viacerých administratívnych jednotiek.

Hlavička sekcie SOH (Section Overhead)

- hlavná riadiaca informácia, ktorej funkciami sú zabezpečenie rámcovej synchronizácie, dohľad pre jednotlivé sekcie prenosovej cesty, identifikácia ciest a kanálov, vytvorenie prídavných dátových kanálov a poskytovanie riadiacich funkcií pre záložné zapojenia.

Hlavička sekcia SOH má 2 časti - hlavičku sekcie regenerátora a hlavičku sekcie multiplexora. Prvé 3 riadky priestoru hlavičky sekcie SOH (prvých 9 stĺpcov) v rámci STM-1 (obr. 8.9) sa nazývajú hlavička sekcie regenerátora RSOH (Regenerator Section Overhead), 4. riadok je vyhradený pre smerník administratívnej jednotky P_{AU} a posledných 5 riadkov sa označuje ako hlavička sekcie multiplexora MSOH (Multiplex Section Overhead).

(8.9)

$$AUG + SOH \rightarrow STM-1$$

Synchronný transportný modul 1. rádu STM-1 (Synchronous Transport Module - 1)

- základný rámec a najnižšia úroveň hierarchickej štruktúry SDH.

8.3 Rámce signálov v hierarchii SDH

8.3.1 Základný rámec STM-1

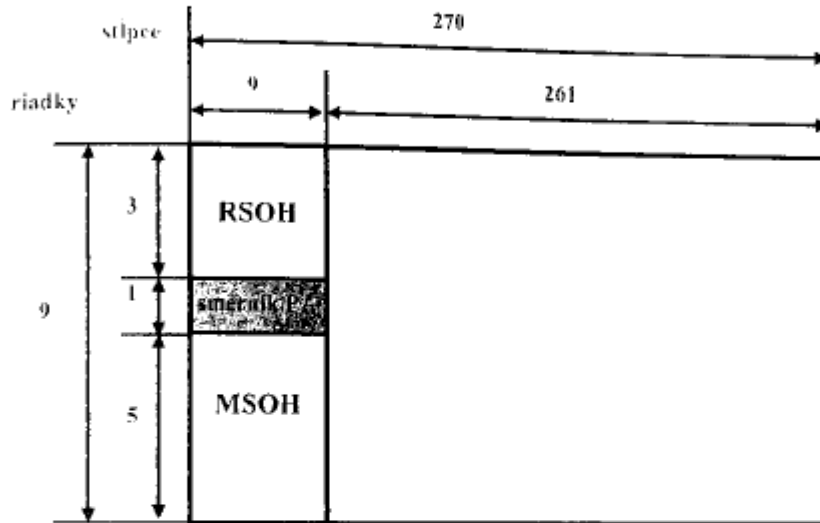
Štruktúra rámca STM-1

Synchronný transportný modul 1. rádu STM-1 (obr. 8.9) predstavuje základnú informačnú štruktúru hierarchie SDH a pozostáva z informačných polí hlavičky sekcie SOH, smerníka administratívnej jednotky P_{AU} a užitočnej informácie organizovaných v blokovej rámcovej štruktúre, ktorá sa opakuje každých 125 μs. Dvojmerná reprezentácia signálového rámca STM-1 pozostáva z 9 riadkov a 270 stĺpcov, pričom 1 stĺpec má šírku 8 bitov (1 oktet).

Deväťriadková štruktúra znižuje nároky na signálové spracovanie v prenosovom zariadení SDH a je vhodná na prispôsobenie prítokových signálov hierarchie PDH. Celková kapacita signálu STM-1 je 2430 oktetov každých 125 μ s, čo zodpovedá prenosovej rýchlosti

$$270 \cdot 9 \cdot 8 \cdot 1000 = 1944000 \text{ [Mbit / s]}$$

(8.10)



Obr. 8.9 Štruktúra rámca STM-1

Dôležitá vlastnosť základného rámca STM-1 je, že obsahuje 3 druhy informácie:

- užitočnú informáciu,
- riadiacu informáciu (hlavička) na údržbu, dohľad a riadenie zariadení v sieti SDH, ktorá tvorí základ na vytvorenie telekomunikačnej riadiacej siete TMN (Telecommunications Management Network),
- špecifickú riadiacu informáciu (smerník) na odstránenie rôznych kolísaní (fázové, príp. frekvenčné odchýlky), resp. nestability taktovacieho signálu pri všetkých spôsoboch realizácie synchronizácie digitálnej siete, ktorá úzko súvisí s topológiou siete SDH. Synchronizáciu všetkých zariadení v sieti si vyžaduje vyššia kvalita prenosu signálov pri širokopásmových službách.

Vysielanie rámca STM-1

Dá sa povedať, že do prenosovej cesty sa začína vysielat' ako prvý najvýznamnejší bit oktetu umiestneného v 1. riadku a 1. stĺpci rámca STM-1. Po sériovom vyslaní celého tohto oktetu sa pokračuje oktetami umiestnenými v 1. riadku a 2. stĺpci, v 1. riadku a 3. stĺpci atď. Na konci 1. riadka pokračuje proces vysielania príslušného rámca STM-1 celým 2. riadkom, po jeho vyslaní sa pokračuje 3. riadkom atď., až kým nie sú vyslané všetky riadky, t. j. kompletný rámec STM-1 zložený z 19440 bitov, resp. 2430 oktetov, za časový interval 125 μ s.

Pohyblivé rámce

Virtuálny kontajner VC je typ štruktúry v rámci STM-1, ktorá obsahuje riadiacu informáciu o ceste a používateľské údaje. Preto v prípade, ak je v určenom sieťovom uzle prijatý rámec STM-1, začiatok rámca prijatého VC nie je presne synchronný zo začiatkom rámca VC, ktorý generuje prijímací uzol. Navyše, tento prijímací uzol môže potrebovať určitý čas na spracovanie riadiacej informácie, pri ktorom sa s používateľskými informáciami nevykonáva žiadna činnosť. Ak by mal prijatý VC v každom prijímacom uzle čakať na zosynchronizovanie so sieťovým zariadením a takisto na spracovanie riadiacej informácie, vznikalo by príliš veľké časové oneskorenie pri prenose signálov. Pritom v prenosových sieťach predstavuje jednu z ich najdôležitejších vlastností minimalizácia a nie predĺžovanie časového oneskorenia. Preto sa vyžaduje vhodná metóda, ktorá zabezpečí mapovanie prijatého rámca VC do rámca STM-1 vygenerovaného prijímacím uzlom s minimálnym časovým oneskorením. Táto metóda sa nazýva *technika pohyblivých rámcov*.

Pri generovaní rámca VC v prijímacom uzle môže dôjsť k posunu jeho začiatku v porovnaní so začiatkom aktuálneho rámca STM-1, ktorý je generovaný príslušným sieťovým elementom NE. Tento mimofázový stav sa môže javiť ako posun v aktuálnom rámci STM-1 v zmysle riadkov a stĺpcov. Teda, prvý oktet prijatého rámca VC je mapovaný do aktuálneho rámca STM-1 v pozícii riadku R a stĺpca S. V takomto prípade môže následne dôjsť k eventúalnemu prekročeniu posledného oktetu v poslednom riadku príslušného rámca VC. To znamená, že priestor vyhradený pre rámec prijatého VC v aktuálnom rámci STM-1 bude vyplnený, avšak nie všetky oktety rámca prijatého VC budú môcť byť umiestnené do vyhradeného priestoru rámca VC v aktuálnom rámci STM-1. Proces mapovania sa nezastavuje, ale pokračuje v nasledujúcom rámci STM-1. Mapovanie prijímaného rámca VC do nasledujúceho rámca STM-1 nevytvára žiadny časový konflikt, pretože štruktúry rámcov VC aj STM-1 sú synchronizované do časového intervalu 125 μ s.

8.3.2 Rámce STM-N

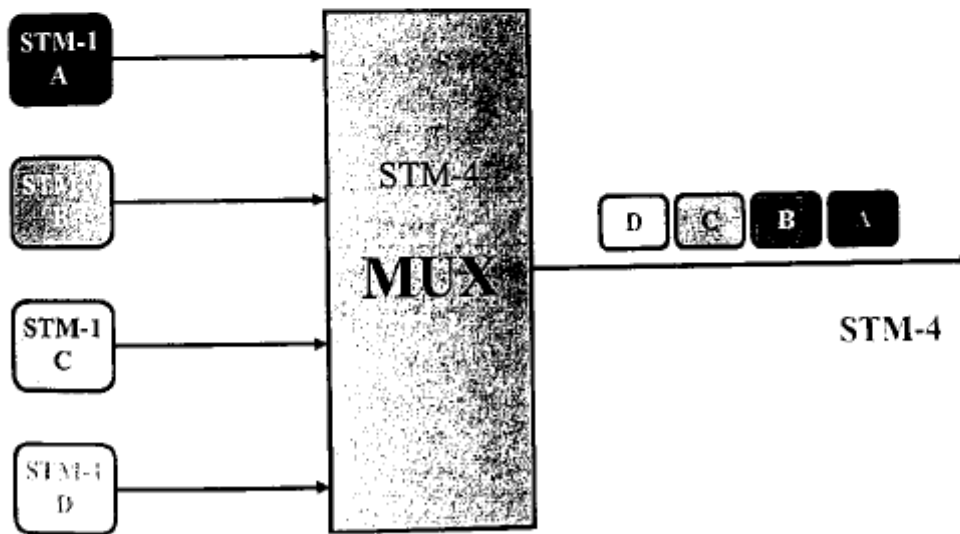
Rámce vyšších rádov hierarchie SDH dostaneme multiplexovaním N rámcov STM-1 na úrovni oktetov. Synchronne transportné moduly vyšších rádov, napr. STM-4, STM-16, sú

vytvorené zo synchronných transportných modulov nižších rádoch ich prekladaním po oktetoch. Na obr. 8.10 je znázornený jednostupňový multiplexor, ktorý zo štyroch vstupných signálov STM-1 vytvára jeden výstupný signál STM-4. Jdnostupňový multiplexor môže v rámci jedného časového okna prijať naraz 4 vstupné signály nižšej úrovne a v jednom kroku vytvoriť rámec pre výstupný signál vyššej úrovne. Základná frekvencia opakovania rámca sa nemení, t. j. je 8000 Hz, ale výsledná prenosová kapacita výstupného signálu STM-4 bude oproti pôvodnej kapacite vstupných signálov STM-1 štvornásobná, čo predstavuje výstupnú bitovú rýchlosť

(8.11)

$$4 \cdot 155,52 = 622,08 \text{ [Mbit / s]}$$

Štyri rámce STM-4 sa môžu multiplexovať ďalej a vytvoriť jeden rámec STM-16, prípadne ešte vyššej úrovne. Výsledné prenosové kapacity signálov v jednotlivých rádoch hierarchie SDH sú uvedené v tab. 8.2. Dvojstupňové multiplexory sú zložitejšie, pretože každý stupeň produkuje isté oneskorenie, čo je z pohľadu prenosu signálov samozrejme nežiaduci jav.

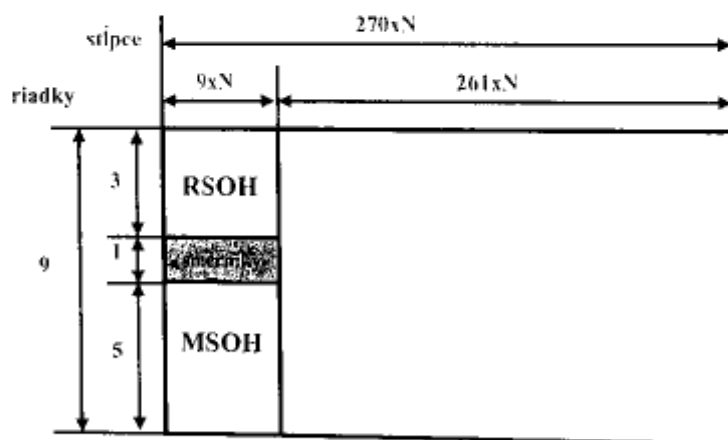


Obr. 8.10 Multiplexovanie rámcov STM-1 do rámca STM-4

Tab. 8.2 Prenosové rýchlosti signálov v jednotlivých rádoch hierarchie SDH

Rád	SDH
0	51,84 Mbit/s (len SONET)
1	155,52 Mbit/s
2	622,08 Mbit/s
3	2 488,32 Mbit/s
4	9 953,28 Mbit/s
5	39 813,12 Mbit/s

Výsledná štruktúra rámcov STM-N (obr. 8.11) je podobná štruktúre rámca STM-1, v porovnaní s ňou je však počet stĺpcov N-krát väčší, pričom počet riadkov ostáva nezmenený. Taktiež sa zachováva rozloženie a štruktúra hlavičiek, smerníkov a užitočnej informácie pre každý rámec nižšieho rádu. Samozrejme, rámce nižších rádoch môžu začínať v rôznych pozíciách, niektoré z nich môžu vyžadovať pozitívne alebo negatívne frekvenčné zarovnanie, resp. nemusia vyžadovať nijaké zarovnanie. O to sa aj naďalej starajú príslušné smerníky v rámcoch STM-N, ktoré sa nachádzajú v oktetoch pre ne vyhradených a sú určené pre každý rámec nižšieho rádu vnútri rámca N-tého rádu tak, aby ho bolo možné lokalizovať.

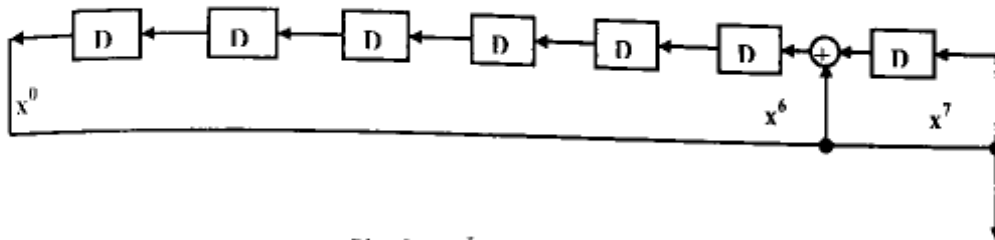


Obr. 8.11 Štruktúra rámca STM-N

Šifrovanie rámca STM-N

Po vytvorení kompletného rámca STM-N sa oktety v ňom šifrujú, t. j. prebieha proces rozptyľovania, tzv. scrambling. Robí sa to kvôli tomu, aby sa v prijímači zaistila dostatočná hustota logických jednotiek v dlhom slede dátových symbolov na zabezpečenie synchronizácie. Šifrovací kód sa generuje pomocou polynómu $1+x^6+x^7$. Šifrovacie zariadenie

(obr. 8.12) je rámcovo synchronne s prenosovou rýchlosťou linky a má sekvenciu dĺžky 127, to znamená, že jeho „náhodná“ štruktúra sa opakuje po každých 127 bitoch.



Obr. 8.12 Šifrovacie zariadenie

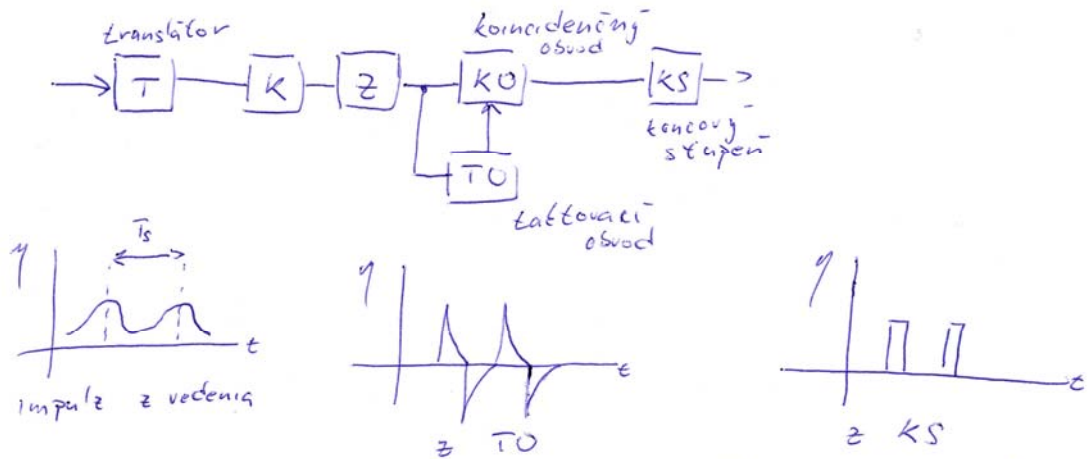
Regenerátory

- Ideálne vlastnosti
- Kompenzuje rušivé vplyvy
- Opravujú signál tvarovo aj časovo, tvarovo je jednoduchšie ako časovo
- Potrebujeme zo signálu získať takt pre regenerátor

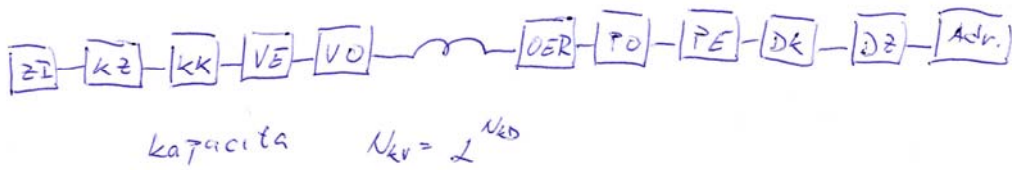
2 spôsoby :

1. Pomocou vysokokvalitných regeneračných obvodov
2. Pomocou fázových závesov

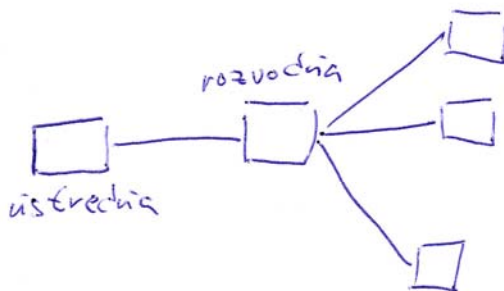
- Neodstraňuje chyby



Blocková schéma komunikačného systému z kládruča moderných telekomunikácií



xDSL (digital subscriber line)



Charakter informačných sietí sa mení pod tlakom neustáleho rastu objemu aplikácií, pretože prenos ich signálov si vyžaduje čoraz väčšiu priepustnosť prenosových liniek. V súčasnosti sa na rôznych miestach (pracoviská, obydliá, ...) objavuje požiadavka na vysokorýchlostnú komunikáciu. Na zabezpečenie takéhoto prístupu je potrebná vyhovujúca infraštruktúra predovšetkým v miestnej prípojke, t. j. v lokálnom pripojení účastníka k digitálnej ústredni. Historicky sú telefónne účastnícke prípojky realizované metalickými homogénnymi (symetrickými) káblami a bez použitia nových technológií nie sú schopné podporovať vysokorýchlostné prenosi signálov. Radikálne riešenie, ktoré predpokladá okamžitú výmenu metalických káblov za optické vlákna, sa nedá zvládnuť ani z technickej, ani z finančnej, ale ani z časovej stránky.

Na trh prichádza nová skupina technológií nazvaná **číslicová účastnícka linka xDSL** ("x" Digital Subscriber Line). Označenie xDSL zahŕňa niekoľko technológií, ktoré umožňujú predovšetkým zvýšiť priepustnosť existujúcich metalických káblových vedení rádo vo megabity za sekundu. Táto skupina technológií sa dá implementovať za rozumnú cenu a bez potreby výmeny obrovskej infraštruktúry. Nové riešenia xDSL zodpovedajú požiadavkám zákazníkov na získanie sieťového pripojenia rýchlo a lacno s využitím už existujúcej infraštruktúry (metalické homogénne vedenia s medeným jadrom vodiča).

Pojem xDSL označuje rodinu technológií číslicových účastníckych liniek, ktorá používa existujúce telefónne páry metalických vedení pre poskytovanie vysokorýchlostného číslicového dátového prenosu. Vo všeobecnosti sú tieto technológie schopné dosiahnuť veľmi vysoké prenosové rýchlosti signálov, pretože prevádzka prostredníctvom modemov xDSL neprechádza cez spojovací systém, ktorý obmedzuje frekvenčnú šírku dátových signálov na hlasové pásmo (0 – 4 kHz) pri prevádzke pomocou štandardných analógových modemov. Pri prenose signálov prostredníctvom technológií xDSL je spojenie zostavené cez miestnu slučku medzi modemom xDSL na strane účastníka a prístupovým multiplexorom DSLAM v miestnej ústredni. V miestnej ústredni môže byť číslicový dátový signál presmerovaný priamo do iných širokopásmových sietí bez konverzie na analógový a bez prechodu cez štandardný telefónny systém. Pretože pripojenie xDSL neprechádza cez sieť PSTN, nie je potrebné ani zostavovať pripojenie k sieti, pretože pripojenie xDSL je stále.

Princíp číslicových účastníckych liniek xDSL bol zavedený v rokoch 1989 až 1990 ako nový prostriedok na poskytovanie prenosu vysokorýchlostných signálov s veľkou šírkou pásma cez prístupové siete telefónnych operátorov a ako konkurenčné riešenie voči poskytovateľom služieb cez sieť káblových rozvodov. Odvtedy sa ponuka služieb xDSL, ktoré môžu byť implementované bez prerušenia normálneho používania telefónnej linky, rozvinula smerom k vysokorýchlostnému prístupu na Internet so stálym pripojením.

Fakt, že akákoľvek služba xDSL môže byť na zákaznickom konci implementovaná len pripojením lacného modemového zariadenia medzi počítač a telefónnu zásuvku v domácnosti alebo v kancelárii s okamžitou aktiváciou služby, je ďalší faktor jej vysokej príťažlivosti. Na opačnom konci siete môže implementácia služieb xDSL vyžadovať dve ekvivalentné telefónne linky a zložitejšie konceové terminály.

Technológia xDSL teda umožňuje obojsmerný prenos vysokorýchlostného číslicového dátového signálu cez bežné metalické homogénne (symetrické) vedenia s medeným jadrom vodiča. Bitové rýchlosti prenášaných informačných signálov v poprúrdovom a protiprúrdovom smere môžu byť vo všeobecnosti rozdielne alebo môžu byť totožné na zabezpečenie plne duplexnej kapacity prenosového kanála. Pretože takého telefónne linky majú vnútorné obmedzenia na frekvenčnú šírku pásma prenášaných signálov, platí zásada, že čím vyššia je maximálna prenosová rýchlosť signálov, tým kratšia je maximálna prístupová vzdialenosť pri určitej, vopred stanovenej bitovej chybovosti. Prístupová vzdialenosť definuje prístupová zónu medzi zákaznickým obydľím a sieťovým rozhraním. Toto rozhranie sa nachádza v zariadení nazývanom **prístupový multiplexor DSLAM** (DSL Access Multiplexer). Rozdielne triedy poprúrdových/protiprúrdových bitových rýchlostí a s nimi spojené prístupové vzdialenosti viedli k nárastu nových označení služieb, ktoré sú združené pod spoločný rodinný názov xDSL. Napriek významu skratky xDSL je modulačný formát pre vysokorýchlostné signály analógový, nie digitálny.

Všetky systémy xDSL sú citlivé na rôzne negatívne vplyvy spojené s prenosom signálov vo fyzikálnom prostredí metalických homogénnych vedení, preto sa dá tvrdiť, že kapacitu a výkonnosť systémov xDSL budú obmedzovať rozdielne typy šumových zdrojov.

prístupová sieť : metalická, optická, bezdrôtová

Charakteristika prostredia:

Ak sa odpojí účastník ale neodpojí sa v ústredni, tak vzniká problém s odrazom signálov, ktoré ovplyvňujú aj ostatných účastníkov.

1. Požiadavky DLL (digital local line)
2. Požiadavky CSA (courier service area)
 - Pri xDSL nesmie byť vedenie pupinované
 - Maximálna dĺžka mostíkových vetiev je 500m (vzdialenosť účastník – ústredňa je cca 5km)
 - Medzi účastníkom a ústredňou môžu byť použité vodiče s maximálne 2 odlišnými priermi jadier
 - Použité vedenie nesmie mať dodatočnú ochranu

Nepriaznivé vplyvy na prenos:

1) Lineárne nepriaznivé vplyvy

Straty šírenia (tlmenie signálov)

$$L_{dB}(l, t) = -20 \log_{10} \text{abs}(H_{liny}(l, f)) = a_{ved} \text{ (iba ak je bezodrazovo zakončené)}$$

Amplitúdové a fázové skreslenie (vzniká ak nie sú splnené požiadavky na neskreslený prenos), vzniká ISI (inter symbol interference)

Fázové a skupinové oneskorenia (najvýraznejšie je v pásme do 10kHz)

2) Presluchy

Príčinou sú kapacitné odporové nerovnováhy medzi susednými vodičmi a porušenie izolácie

NEXT near-end crosstalk FEXT far-end crosstalk

NEXT ~~ma~~ má výraznejší vplyv ako FEXT

prenosová čísla: $|H_{NEXT}(l, t)|^2 = \frac{K_{NEXT}}{l^2} \cdot d^2$ $|H_{FEXT}(l, t)|^2 = K_{FEXT} \cdot l \cdot \int |H_{liny}(y)|^2$

$K_{NEXT} \approx 10^{-12}$ $K_{FEXT} \approx 10^{-16}$

3) Šumy – najnepriaznivejší šum je impulzový, vyskytuje sa 1 až 5 krát za minútu

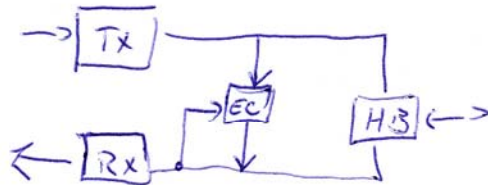
Ďalej je to šum: tepelný, indukčný, elektronický a šum pozadia

Princípy spracovania signálov

Adaptívny číslicový vyrovnávač – úprava koeficientov filtrov pomocou LMS (linear mean square) algoritmu. Je to adaptívny algoritmus pre optimalizovanie koeficientov vetiev filtrov založený na kritériu MSE (mean square error)

- Minimalizácia chybového signálu
- Optimalizácia konvergenzie prenosovej rýchlosti a zvyškovej chyby

Adaptívna číslicová zábrana ozvien zabraňuje šíreniu presluchov a vzniku ozvien EC (echo cancelation)



Linkové kódy AMI, 2B1Q, MMS43 (4B3T)

Modulačné techniky: (modulácia vs linkové kódy)

- Efektívnejšie využitie pásma
- Optimálnejšie využitie prenosovej rýchlosti a vzdialenosti
- Odolnosť voči šumom a iným negatívnym vplyvom

Modulácie:

Existujú dve triedy modulácií, ktoré používajú pre technológie xDSL – jednonositeľské a mnohonositeľské. Obe môžu meniť dátovú rýchlosť signálov v závislosti od podmienok vedenia. Dve dominantné jednonositeľské modulácie sa nazývajú QAM (Quadrature Amplitude Modulation) a CAP (Carrierless Amplitude and Phase modulation).

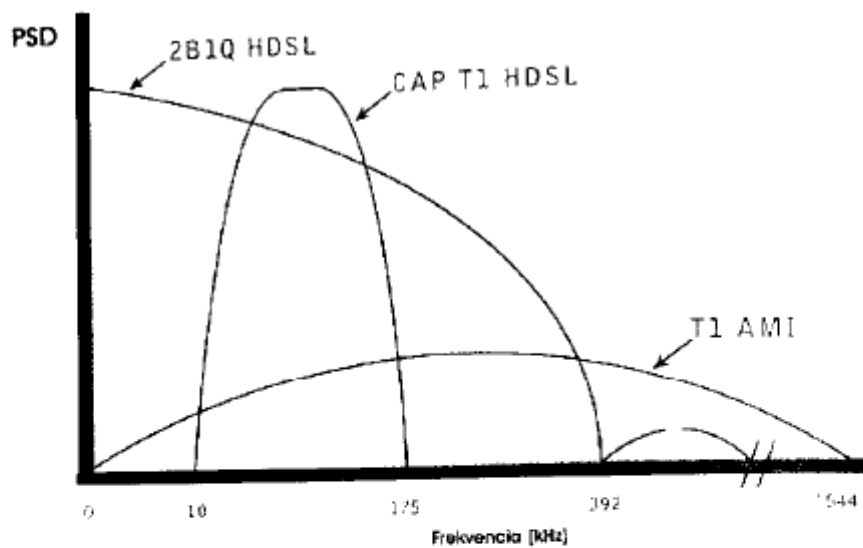
Modulácia QAM

Modulácia QAM je kombináciou 2 modulačných techník ASK (Amplitude Shift Keying) a PSK (Phase Shift Keying), čo je príčinou jej alternatívneho pomenovania APK (Amplitude Phase Keying). Výsledný signál QAM pozostáva z 2 nezávislých amplitúdovo modulovaných nosných frekvencií. Tento typ modulácie umožňuje v porovnaní s linkovými kódmi dosiahnuť zníženie nárokov na šírku frekvenčného pásma informačných signálov, čo sa dá využiť v dvoch základných smeroch:

- zvýšenie prenosovej rýchlosti signálov pri zachovaní ich frekvenčného pásma,
- zmenšenie šírky frekvenčného pásma signálov pri zachovaní ich prenosovej rýchlosti.

Modulácia CAP

Modulácia CAP je jednonositeľský variant modulácie QAM. Jej princípom je to, že prekonáva obtiažnosť vytvárania modulovanej vlny, ktorá prenáša amplitúdové a fázové zmeny stavov signálu, odkladaním časti modulovaného signálu správy do pamäte a ich znovu poskladaním v modulovanej vlně. Nosný signál je pred prenosom potlačený, pretože neobsahuje nijakú užitočnú informáciu, a je znovu zložený v prijímacom modeme. Modemy využívajúce moduláciu CAP počas štartovacej procedúry testujú kvalitu prístupového vedenia a implementujú najefektívnejšiu verziu modulácie QAM. Pri modulácii CAP je možná prezentácia viacerých vstupných bitov informácie v jednom výstupnom symbole, a tým sa dosahuje zníženie nárokov na frekvenčné pásmo (obr. 11.5).

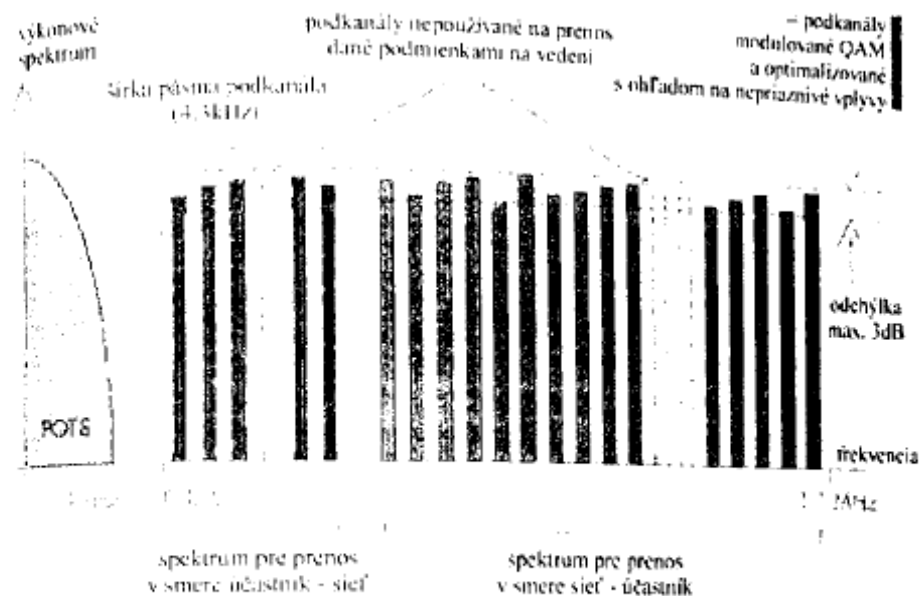


Obr. 11.5 Spektrum linkových kódov AMI, 2B1Q a modulácie CAP pre signál HDSL.

Dominantný mnohonositeľský modulačný formát pre technológie xDSL je známy ako DMT (Discrete Multi Tone), tiež sa niekedy nazýva OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

Modulácia DMT

Modulácia DMT je mnohonositeľský variant modulácie QAM. Táto modulačná technika rozdeľuje prístupné frekvenčné pásmo do N diskretných podkanálov (256, 512, ...) a podľa aktuálnych prenosových charakteristík každého podkanála sú prichádzajúce bitové postupnosti pridelované do jednotlivých podkanálov použitím „akoby modulácie QAM“. Modulačné a demodulačné spracovanie je implementované pomocou algoritmov rýchlej Fourierovej transformácie (IFFT a FFT) (obr. 11.6).



Obr. 11.6 Spektrum modulácie DMT pre signál ADSL

Kódovacia technika FEC

Kódovacia technika FEC (Forward Error Correction) výrazne znižuje počet chýb spôsobených impulzovým šumom, na medzisymbolovej báze tiež znižuje počet chýb spôsobených kontinuálnym šumom vnoreným do vedenia. Technika FEC používa formu kódovania $RS(n,k)$ a umožňuje prekladanie dátových symbolov (vytvorených zo s bitov) pre opravu zhlukov chýb. Výhodou tejto techniky je okrem iného to, že pravdepodobnosť chyby (BER < 10^{-9}) po dekódovaní dát je zvyčajne oveľa nižšia ako pravdepodobnosť chyby bez použitia kódov RS (Reed-Solomon).

xDSL:

parametre:

- Upstream data rate
- Downstream data rate
- Maximálna prístupová vzdialenosť
- Kombinácia s POTS
- Počet požadovaných párov homogenného symetrického vedenia

HDSL:

- High bit rate DSL
- Plne duplexný symetrický prenos
- Európa: 2,048 Mbit/s , USA: 1,544 Mbit/s
- 2 alebo 3 metalické páry vedenia
- Linkový kód 2B1Q
- Modulácia CAP

SDSL:

- Single pair DSL
- Patrí do HDSL
- Používa iba jeden pár

IDSL:

- ISDN DSL
- Patrí do HDSL
- Prispôsobenie HDSL technológii sa xDSL
- Iba modulačné techniky

MSDSL:

- Multirate symetric DSL
- Rozličné prenosové rýchlosti s krokom 64 kbit/s až do 2,048 Mbit/s
- Patrí k HDSL
- Spolu s SDSL je to HDSL v2

ADSL:

- Asymetric DSL
- Väčší download ako upload
- V_p k účastníkovi až do 6 Mbit/s
- Modulácie QAM, CAP, DMT
- Dosah 2,7 až 5,5 km

RADSL:

- Rate adaptive DSL
- Patrí do ADSL
- V_p bola adaptívna, bolo možné prispôsobiť vzhľadom na podmienky

VDSL:

- Very high bit rate DSL
- V_p 13Mbit/s – 2 Mbit/s – 1,3km
36 Mbit/s – 20 Mbit/s – 0,9km
55 Mbit/s - 55 Mbit/s – 0,305km
- Modulácia DWMT

PDSL – využitie DSL technológie po elektrických obvodoch

FDSL – DSL na optike