

Základný a primárny prístup ISDN

Technológie xDSL (HDSL, SHDSL, ADSL, ADSL2+, VDSL, ...)

Obsah

1	Technológie používané v metallickej prístupovej sieti	3
2	Integrated Services Digital Network (ISDN)	4
2.1	Fyzická vrstva	4
2.1.1	Rozhranie S	4
2.1.2	Rozhranie U	5
2.2	Linková vrstva DSS1	6
2.3	Sieťová vrstva DSS1	9
3	Technológie xDSL	12
3.1	Digitálna účastnícka prípojka základného prístupu (IDSL)	12
3.2	Digitálna účastnícka prípojka HDSL	12
3.3	Digitálna účastnícka prípojka ADSL	14
3.3.1	Model odhadu prenosových rýchlostí pre ADSL2+	17
3.3.2	Výsledky a ukážky meraní	21
3.3.3	Enkapsulácia v ADSL	23
3.4	Digitálna účastnícka prípojka VDSL (Very High Speed DSL)	24
4	Literatúra	26

1 Technológie používané v metalickej prístupovej sieti

Vývoj technológie digitálnej účastníckej prípojky (DSL, Digital Subscriber Line) smeruje od "obyčajnej" DSL na základný prístup ISDN až po vysokorýchlostné typy prístupov na multimediálne aplikácie. Okrem poskytovanej šírky prenášaného pásma je možné prístupové technológie rozčleniť podľa charakteru prenášaných na prípojky symetrické, ktoré poskytujú v oboch smeroch prenosu rovnakú kapacitu, a nesymetrické s prenosovou kapacitou rozdelenou tak, že v smere siet'=> účastník poskytujú rádovo väčšiu kapacitu než v smere opačnom. V súčasnej dobe sa v prístupovej sieti na metalických pároch používajú tieto prenosové technológie:

- digitálna účastnícka prípojka základného prístupu ISDN-BRA, označovaná aj IDSL (ISDN DSL)
- prenosový systém HDSL (High-bitrate DSL) a jeho modifikácia SDSL (Single-line DSL)
- asymetrická účastnícka prípojka ADSL (Asymmetrical DSL)
- vysokorýchlostné účastnícke prípojky VDSL (Very high-bitrate DSL)

Označením xDSL sa označuje skupina technológií umožňujúcich poskytovanie širokopásmových služieb po metalickej účastníckej prípojke. Odlišujú sa v nasledujúcich hlavných parametroch:

- Fixná alebo variabilná prenosová rýchlosť
- Symetrická / asymetrická prevádzka
- Jednopárové / viacpárové vedenie
- Zdieľanie prenosového média s POTS alebo ISDN

Technológia	Prenosová rýchlosť	prevádzka	Počet metalických párov	paralelná prevádzka s POTS alebo ISDN
IDSL	fixná	symetrická	1	nie
HDSL	fixná	symetrická	1, 2, 3	nie
SHDSL	fixná	symetrická	1	nie
ADSL	variabilná	asymetrická	1	áno
VDSL	variabilná	asymetrická/symetrická	1	áno

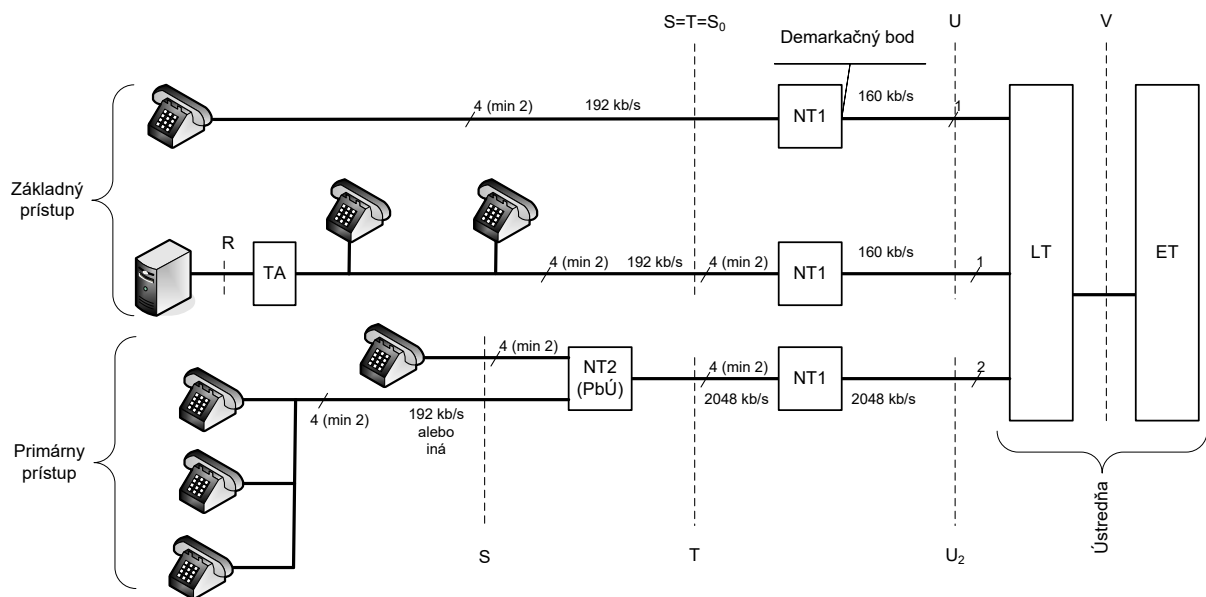
2 Integrated Services Digital Network (ISDN)

ISDN je technológia plne digitálnej siete pre prenos reči, videa a dát. Jedná sa o prvú technológiu, ktorá sa snažila o konvergenciu služieb do jednej siete.

V rámci ISDN existujú dva typy prístupov:

- Základný prístup – Basic Rate Access (BRA) - určený pre rezidentských zákazníkov
- Primárny prístup – Primary Rate Access (PRA) – určený pre pripojenie pobočkových ústrední. Keď kapacitne nestačí základný prístup.

V ISDN existujú dva typy kanálov B (Bearer), ktorý prenáša užitočné dáta alebo reč a D (Data), ktorý prenáša signalizáciu, alebo v špecifickom prípade môže prenášať aj dáta.



Principiálna schéma základného a primárneho prístupu ISDN

V rámci základného prístupu sa zvyčajne prenášajú kanály 2B+D, čiže (2x64+16) kb/s.

V primárnom prístupe sa zvyčajne prenášajú kanály 30B+D, čiže (30x64+64) kb/s.

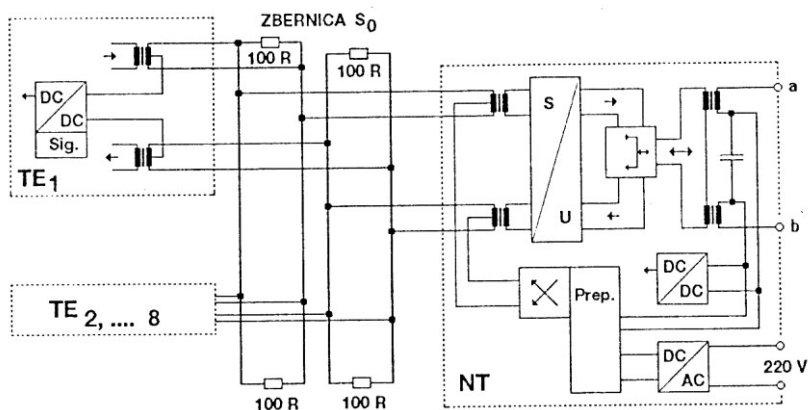
Účastnícka signalizácia použitá medzi terminálmi a ústredňou je DSS1 (Digital Subscriber Signalling System no. 1).

2.1 Fyzická vrstva

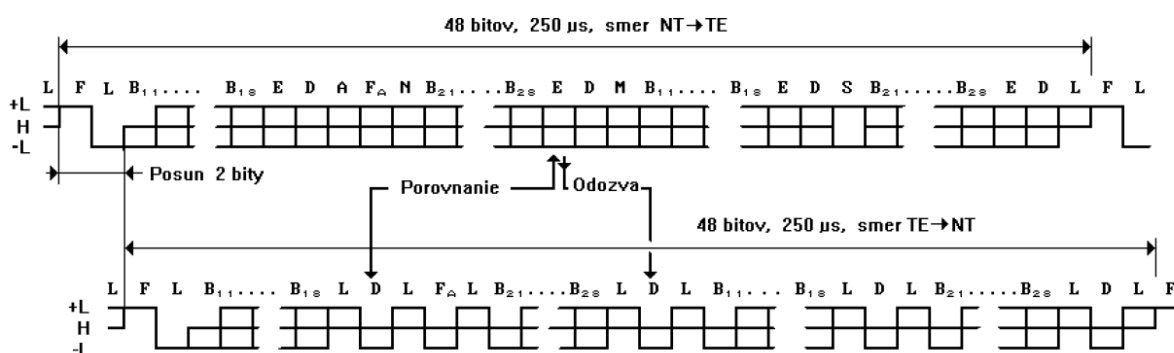
2.1.1 Rozhranie S

Funkcie rozhrania S:

- Prenos duplexných kanálov B 64kb/s
- Bitová synchronizácia vynútená zo strany siete LT→NT→TE 192 kb/s
- Rámcová synchronizácia 4kHz, LT→NT→TE→NT→LT
- Prenos kanálu D 16kb/s
- Riadenie prístupu na D kanál
- Napájanie terminálov
- Aktivačná a deaktivčná procedúra
- Konfigurácia bod-bod a bod-viac bodov



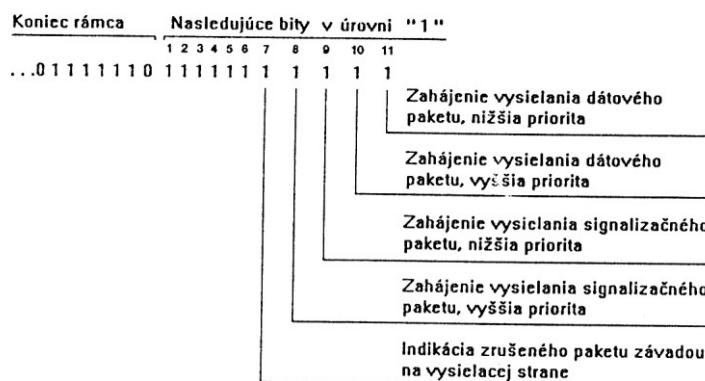
Koncepcia S rozhrania ohľadom napájania



L - vyrovnanie napät'ovej nesymetrie
F - bit rámcovej synchronizácie
Fa - pomocný bit rámcovej synchronizácie
B, D - bity kanálov B a D

A - Potvrdenie aktivácie
M - Multirámcová synchronizácia
E - Echo bit kanála D
S - rezerva

Štruktúra rámca na rozhraní S a T



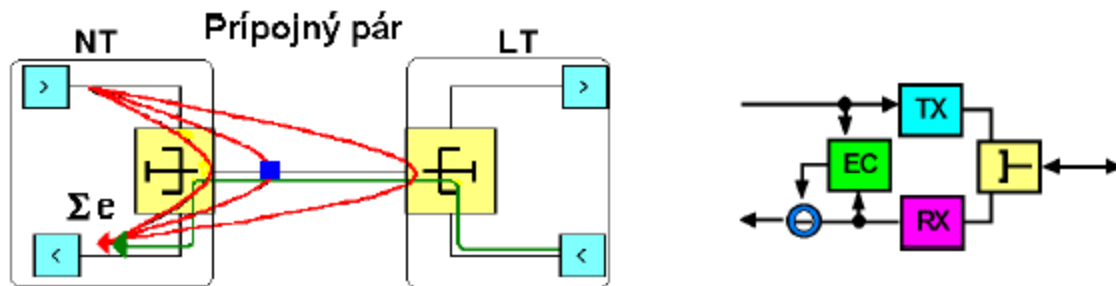
Riadenie prístupu na D kanál

2.1.2 Rozhranie U

Základné vlastnosti:

- Duplexná prevádzka po jednom páre s prenosovou rýchlosťou 160kb/s
- Digitálna kompenzácia echa

- Vyrovnanie amplitúdového a fázového skreslenia kanála ekvalizérmí
- Minimalizácia šírky prenášaného pásma vďaka štvorstavovému kódu 2B1Q
- Zabezpečenie prenosu pomocou CRC



Princíp vzniku a metodika kompenzácie echa

2.2 Linková vrstva DSS1

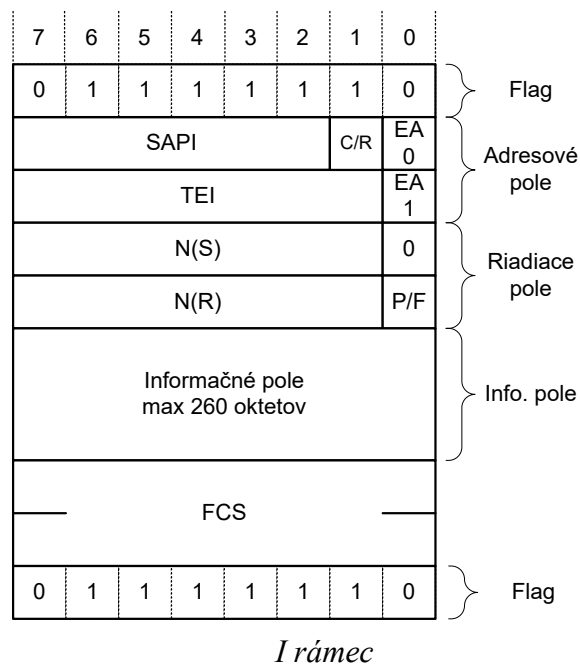
Na linkovej vrstve sa prenos signalizačných správ realizujú pomocou prenosu rámcov. Samotná komunikácia vyšla z protokolu HDLC, ktorej modifikáciou vznikol protokol „Link Access Procedure on D Channel“ (LAPD). Jedná sa o bitovo orientovaný protokol.

Hlavné vlastnosti LAPD sú:

- Prenos informácií v rámci vrstvy 2 nepotvrdzovaným spôsobom
- Zostavenie a uvoľnenie aspoň jedného logického kanála medzi vrstvami 2
- Multiplexný prenos správ z vrstvy 3 potvrdzovaným spôsobom
- Detekcia a korekcia chýb pri prenose
- Riadenie toku
- Rámcová synchronizácia – detekcia Flagu

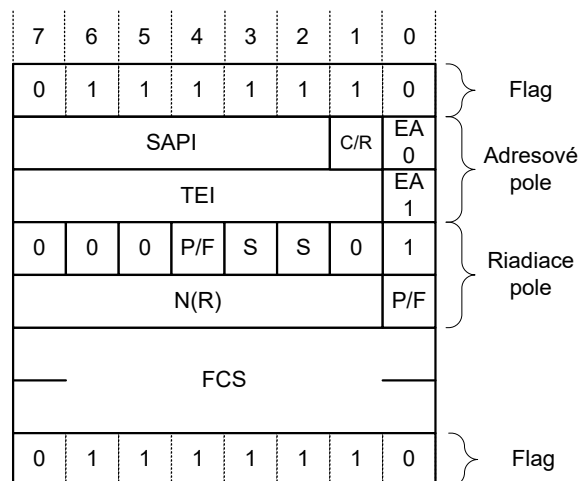
Pre prenos informácií a iné vyššie menované funkcie sa používajú 4 typy rámcov:

- U – Unnumbered rámce, ktoré slúžia na aktiváciu (SABME, UA), deaktiváciu (DISC, UA) linky na úrovni druhej vrstvy, definíciu parametrov prenosu (SABME) a iné riadiace procedúry (FRMR, ...).
- S – Supervisory rámce, ktoré slúžia na potvrdzovanie prenosu I rámcov a riadenie toku. Pomocou týchto rámcov sa potvrdzuje prijatie I rámcov a nepriamo aj prípadná strata rámca. (RR, RNR, REJ)
- I – Information rámce, ktoré slúžia na potvrdzovaný prenos správ z 3. vrstvy (SETUP, ALERTING, CONNECT, ...).
- UI – Unnumbered Information rámce, ktorých úlohou je prenášať nepotvrdzované informácie z 3. vrstvy (prichádzajúca správa SETUP), prípadne pre potreby pridelovania alebo iného spravovania adresy TEI.



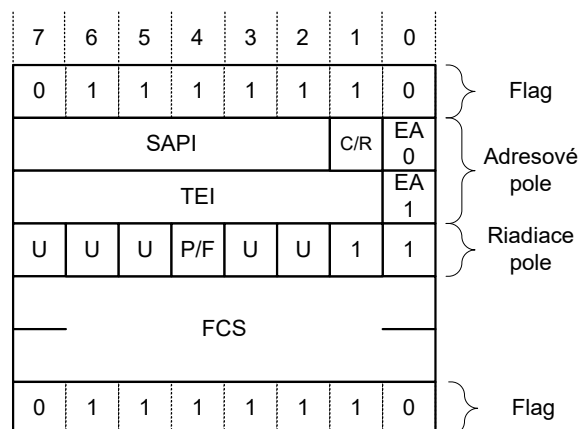
, kde:

- SAPI – Service Access Point Identifier – Identifikátor prístupového bodu k službe:
 - SAPI=0 - Call Control Procedures – signalizácia DSS1
 - SAPI=1 - Paketový režim podľa Q.931
 - SAPI=16 - Paketový režim podľa X.25 vrstvy 3
 - SAPI=63 – Procedúry riadenia vrstvy 2 = manažmentové procedúry (Pridelenie TEI, verifikácia TEI, odobratie TEI, ...)
- TEI – Terminal Identifier – hardvérová adresa terminálu:
 - TEI=0 Adresa terminálu pri konfigurácii bod-bod
 - TEI=1..63 Adresa terminálu priradená fixne
 - TEI= 64..126 Adresa terminálu pridelená zo strany ústredne
 - TEI=127 Broadcastová adresa pre celú zbernicu
- N(S) - číslo aktuálne číslovaného rámca (I-rámeč)
- N(R) - číslo očakávaného rámca, teda rámca ktorý ešte neprišiel, alebo nebol spracovaný.
- C/R – Command/Response určuje či sa jedná o príkaz alebo odpoveď
- P/F – určuje, či na prijatie danej správy treba potvrdiť okamžite pomocou S rámca, alebo postačuje prípadná neskoršie potvrdenie pomocou I alebo S rámca.



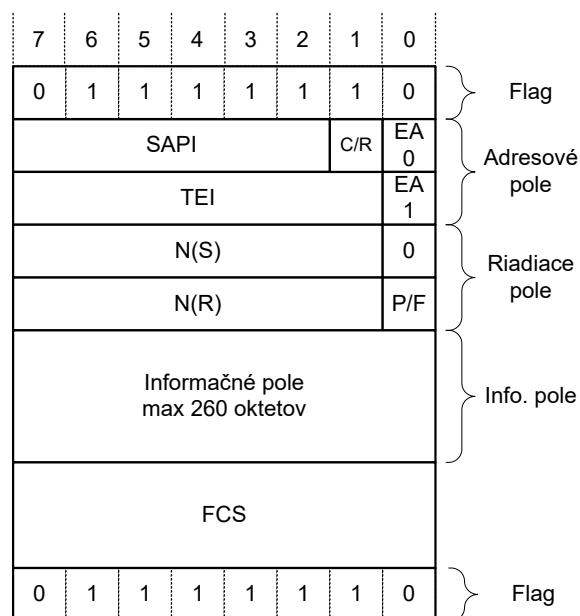
SS = 00 → Receiver Ready (RR)
SS = 01 → Receiver Not Ready (RNR)
SS = 10 → Reject (REJ)

S rámeček



UUUUU = 00011 → DM
UUUUU = 01111 → SABME
UUUUU = 01100 → UA

U rámeček



UI rámeček

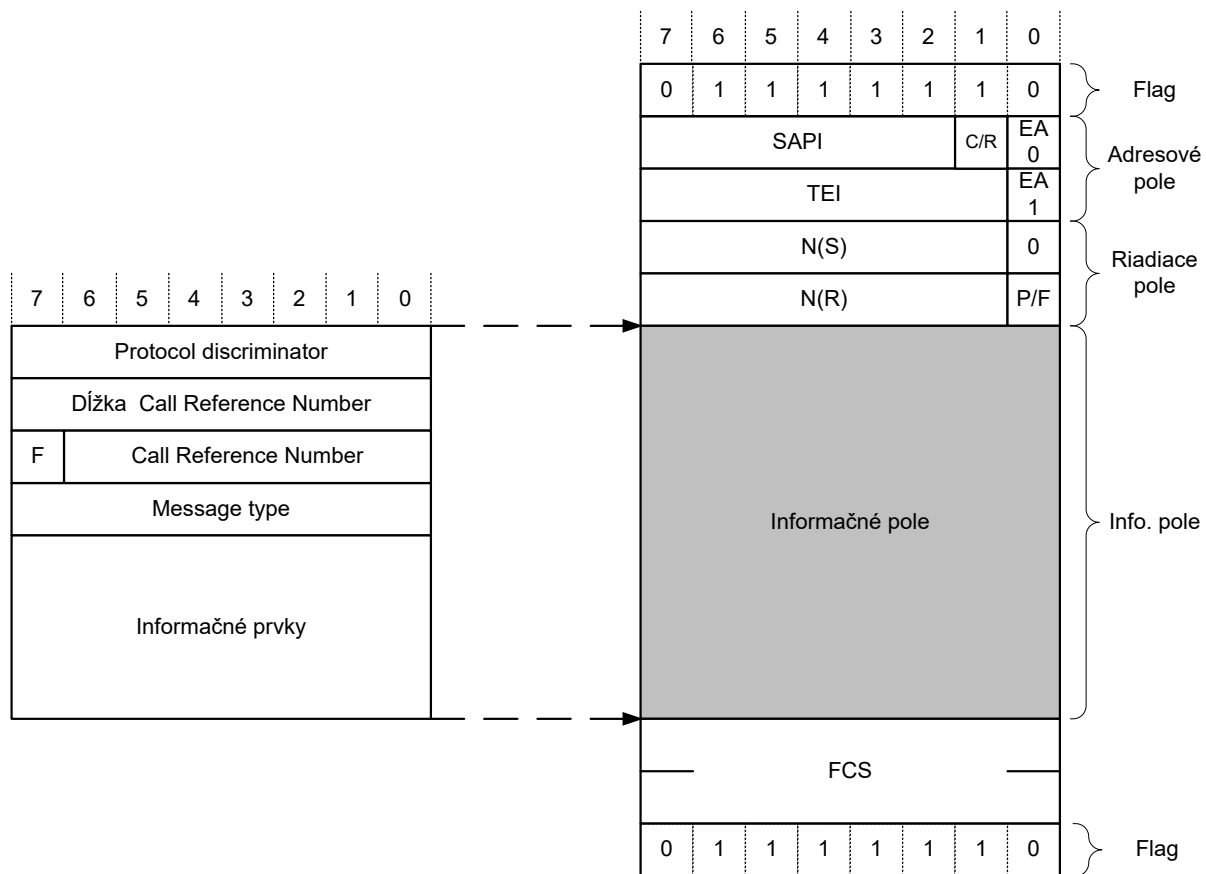
2.3 Sieťová vrstva DSS1

Signalizačné správy 3. vrstvy DSS1 pre riadenie spojenia s prepojovaním kanálov sú dané odporúčaním ITU-T Q.931.

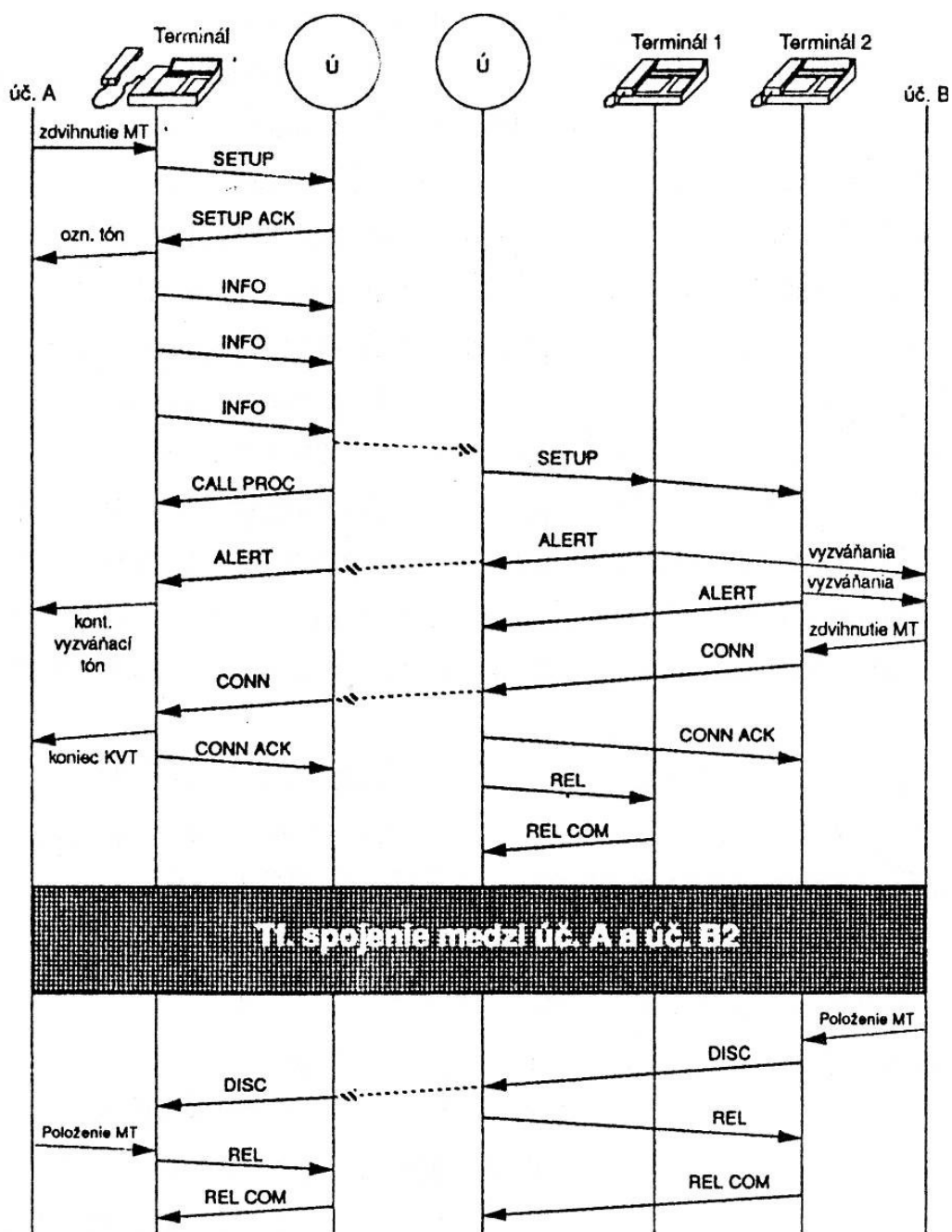
Formát správ je zobrazený na nasledujúcom obrázku.

Význam jednotlivých polí je tento:

- Protocol Discriminator – určuje, ktorý zo signalizačných protokolov je použitý (8=DSS1,
- Call Reference – jednoznačne identifikuje jednotlivé rozdielne signalizačné dialógy, napr. ak prichádza jedno volanie a jedno odchádza
- Message Type – kód signalizačnej správy
- Informačné prvky – detailné informácie prenášané v rámci signalizačnej správy (číslo volajúceho, volaného, typ služby, použitý kanál, dôvod ukončenia volania, ...). Informačné prvky sú zapísané vo formáte TLV (Type, Length, Value).



Formát signalizačnej správy DSS1 a jej vloženie do I rámca



Priebeh výmeny správ pri výstavbe a rozpade spojenia

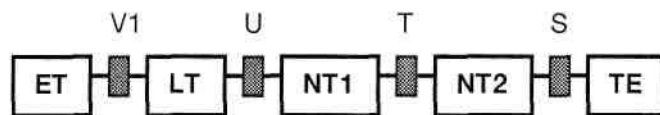
3 Technológie xDSL

Pod označením xDSL sa rozumejú všetky digitálne technológie, ktoré sú nasadené na metalickej účastníckej prípojke. Medzi tieto technológie patria aj tieto:

- IDSL – ISDN Digital Subscriber Line = základný prístup ISDN
- HDSL – High-speed Digital Subscriber Line
- SHDSL – Symetric High-speed Digital Subscriber Line
- ADSL – Asymetric Digital Subscriber Line
- VDSL – Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line

3.1 Digitálna účastnícka prípojka základného prístupu (IDSL)

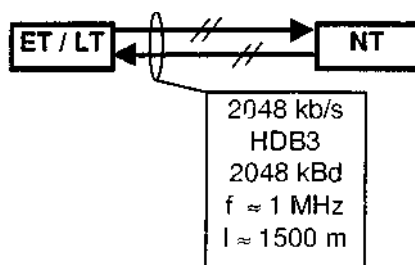
Digitálna účastnícka prípojka základného prístupu ISDN-BRA, ktorej zjednodušený referenčný model ukazuje obrázok predstavuje prenosové prostredie medzi prípojným miestom účastníckeho terminálu, čo je rozhranie S a spojovacou sieťou, reprezentovanou jej linkovým zakončením LT. Prístupová sekcia digitálnej prípojky je definovaná medzi referenčnými bodmi V1 a T, prenosové prostredie prebieha medzi LT a NT1 na rozhraní U.



Obr. 9.1 Zjednodušený referenčný model prípojky BRA

3.2 Digitálna účastnícka prípojka HDSL

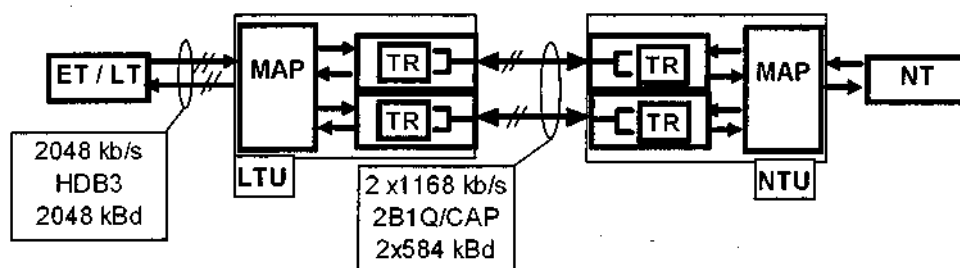
Digitálna účastnícka prípojka typu HDSL principiálne sleduje filozofiu nastúpenú v prípojke IDSL, použitím obvodov s rádovo vyšším výkonom signálových procesorov sa však posunula hranica prenosového výkonu do oblasti Mb/s. Klasický spôsob prenosu digitálneho multiplexu 1. rádu (podľa medzinárodnej klasifikácie označovaného E1) v zmysle odporúčaní ITU-T G.703, G.704 spočíva v použití samostatných metalických párov pre dopredný a spätný smer prenosu pri použití linkového kódu HDB3. Použitý linkový kód má symbolovú rýchlosť číselne rovnú prenosovej rýchlosti, t.j. v prípade toku E1 je to 2048 kBd, čo vyžaduje prenosovú šírku pásma okolo 1 MHz. Prenosové vlastnosti metalického páru v prístupovej sieti obmedzujú za týchto podmienok dosah prípojky do vzdialenosti 1 až 1,5 km, pri väčších vzdialenostiach treba používať na prenosovej trase priebežne regenerátory.



Prenos multiplexu E1 bez pomoci HDSL

Filozofia prenosového systému HDSL spočíva v duplexnom prenose po každom metalickom páre s použitím vidlice a zmenou linkového kódu na kód s väčším počtom stavov. Dátový tok s prenosovou rýchlosťou 2048 kb/s podľa odporúčaní ITU - T G.703 a G.704 prichádza na vstup multiplexného obvodu MAP jednotky LTU (Line Termination Unit), ktorý

rozdelí tok pre oba smery prenosu na čiastkové toky. Tie sa po spracovaní v prijímačoch a vysielačoch TR (Transmitter - Receiver) sa zlučujú vidlicou do dvoch alebo troch duplexných tokov prenášaných metalickými párami. Na strane zakončenia siete v jednotke NTU prebieha proces spracovania inverzným spôsobom.



Princíp prenosového systému HDSL

Tabuľka 9.1

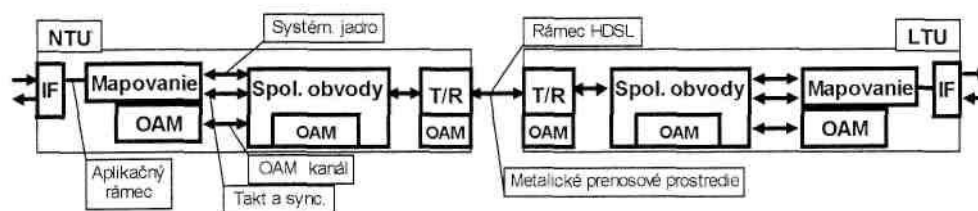
Základné funkcie prenosového systému HDSL

Funkcia	LTU - NTU
Transparentný prenos systémového jadra	⇔
Vytváranie rámcov HDSL	⇔
Vyrovňovanie prítokovej rýchlosti	⇔
Kontrola chybovosti prenosu	⇔
Detekcia chýb a ich hlásenie	⇔
Bitová a rámcová synchronizácia	⇔
Počiatočná iniciácia systému	⇒
Vytváranie testovacích slučiek	⇒
Prenos informácií OAM	⇔
Synchronizácia rozhraní HDSL	⇒
Identifikácia prenosových párov	⇔
Diaľkové napájanie	⇒

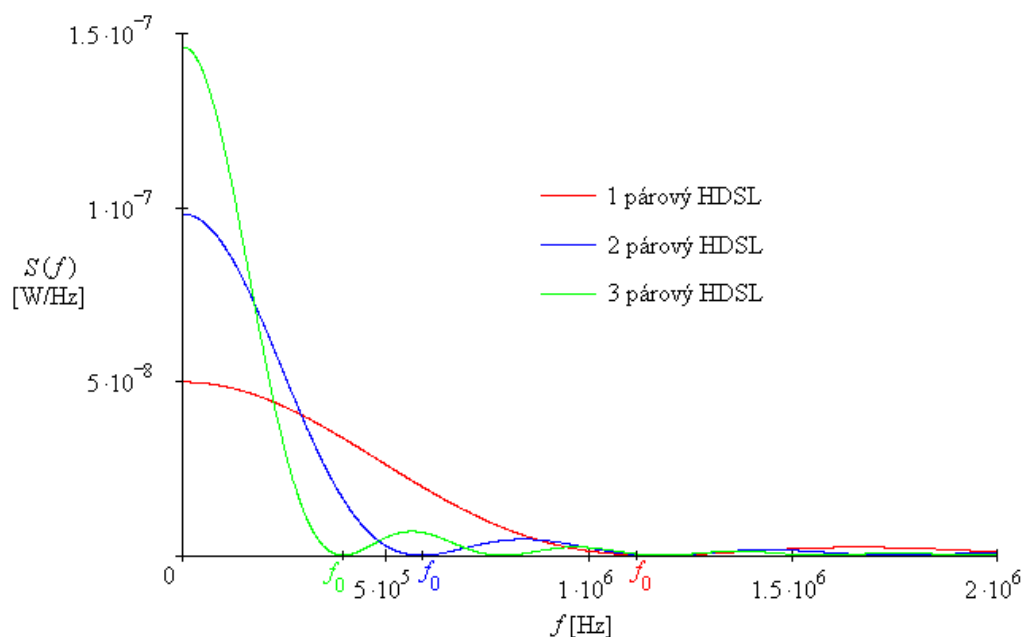
Okrajové časti systému tvoria obvody rozhraní IF, zabezpečujúcich fyzické prispôbenie prenosového prostredia na vnútorné prostredie HDSL. Na vnútorných portoch obvodov IF je dátový tok 2048 kb/s, ktorého štruktúra závisí od konkrétnej aplikácie, a to:

- Dátový tok E1 podľa odporúčaní ITU-T G.703, G.704
- Primárny prístup ISDN 30B + D
- Pevné okruhy 2 Mb/s

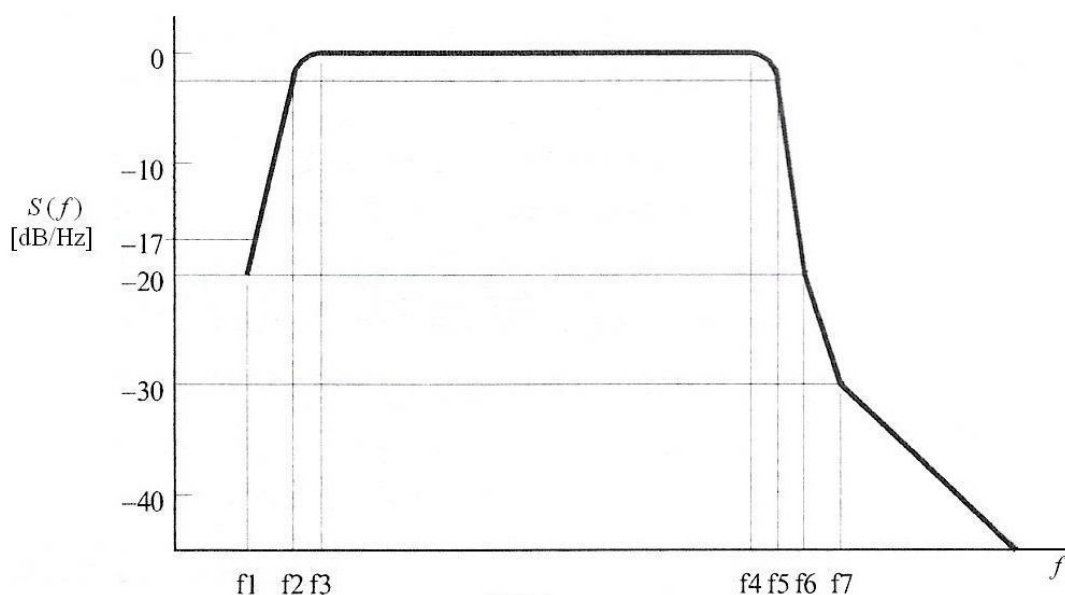
Prístup k systémom SDH na úrovni prítokových jednotiek TU12 čiastkové inštalácie a prevádzkovanie obmedzenej skupiny n kanálov 64 kb/s ($n < 32$) v toku 2 Mb/s.



Referenčná konfigurácia systému HDSL



Spektrálna výkonová hustota systému HDSL s linkovým kódom 2B1Q



Spektrálna výkonová hustota systému HDSL s moduláciou CAP (Carrierless Amplitude/Phase modulation – amplitúdovo-fázová modulácia bez nosnej)

Frekvencia	f1 [kHz]	f2 [kHz]	f3 [kHz]	f4 [kHz]	f5 [kHz]	f6 [kHz]	f7 [kHz]
Dvoj párový systém	3,98	21,5	39,02	237,58	255,1	272,62	297
Jedno párový systém	4	33	62	390,67	419,67	448,67	489,02

3.3 Digitálna účastnícka prípojka ADSL

Asymetrická prípojka ADSL je určená na prístup k službám s výrazne nerovnomerne rozdelenou prenosovou kapacitou, ako je prístup k sieti Internet, prístupy k dátovým serverom alebo prenos videa na požiadanie (VoD). Vo všetkých týchto prípadoch sa prenosová kapacita

v smere účastník => sieť pohybuje v jednotkách až desiatkach kb/s, zatiaľ čo v opačnom smere si účastník nárokuje prenosovú kapacitu rádovo Mb/s.

Po technickej stránke asymetričnosť prípojky vylučuje vznik vnútro systémových presluchov NEXT, presluchy z iných systémov využívajúcich pásmo do 1 MHz však zostávajú. Znížená úroveň rušivých napätí umožňuje využiť väčší rozsah tlmenia metalického páru a využívať jeho prenosové pásmo do medznej frekvencie približne 1 MHz.

Od počiatkov pilotných projektov systémov ADSL (približne rok 1991) súperia medzi sebou dve modulačné metódy:

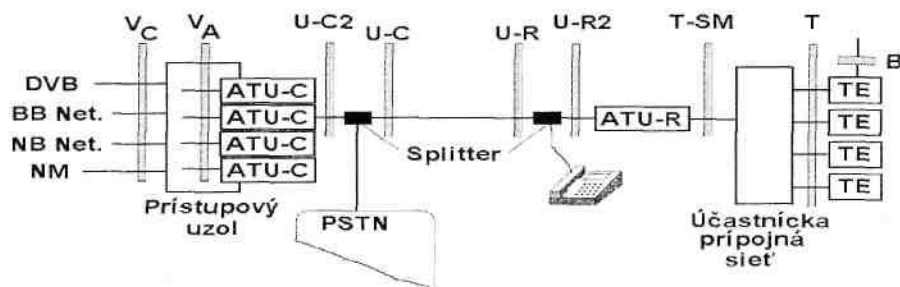
- modulácia CAP s počtom stavov do 1024
- modulácia DMT.

Moduláciu CAP presadzovala hlavne americká spoločnosť AT&T Paradyne, ktorá mala pripravenú technológiu pre CAP do rýchlosti 1,5 Mb/s, čo pre mnohé aplikácie postačuje. Preto sa táto technológia rozšírila, hlavne na trhoch ovládaných AT&T, napriek tomu že nebola štandardizovaná. Modulácia CAP, ako všetky mnohostavové modulácie, majú viac nevýhod spomínaných v predchádzajúcej kapitole. Preto ADSL Fórum (združenie výrobcov, dodávateľov a používateľov technológie ADSL, založené v r. 1994) i národné a medzinárodné normalizačné inštitúcie (ANSI, ITL), ETSI prijali ako štandard pre ADSL moduláciu DMT.

Od počiatku je ADSL koncipovaná tak, aby:

- okrem širokopásmových služieb zabezpečila súčasný prenos hlasovej služby na úrovni analógovej účastníckej prípojky alebo ISDN-BRA
- umožňovala bezproblémový prechod od synchronného k asynchrónnemu prenosovému módu
- zabezpečila širokopásmový prístup po vedeniach s dĺžkou niekoľko km.

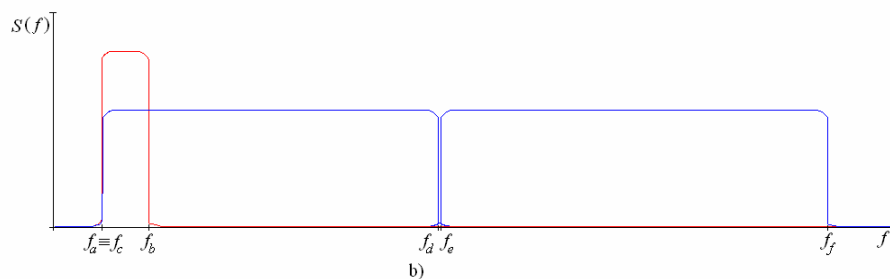
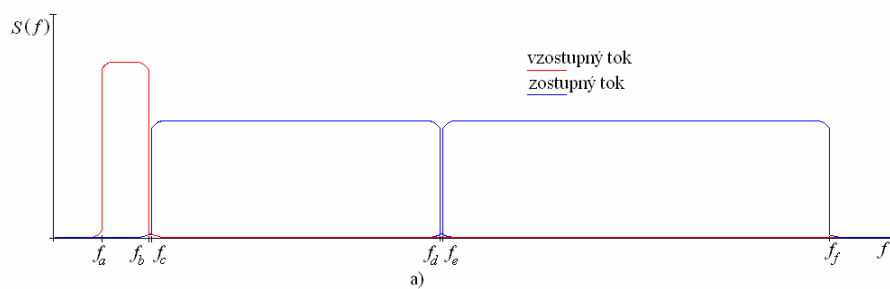
Referenčný model ADSL je definovaný odporúčaním ADSL fóra TR 001 a zobrazený na obrázku. Hlavné časti prípojky predstavujú bloky ATU (ADSL Transmission Unit) zakončujúce účastnícku prípojku na strane siete (ATU - Central) a na strane účastníckeho rozvodu (ATU - Remote). Metalické prenosové médium prebieha medzi rozhraniami U-R a U-C. Pásmo na poskytovanie základnej hlasovej služby je oddelené FDM, čo zabezpečujú obvody frekvenčných výhybiek (splitter). Rozhrania U-C2 a U-R2 sú v podstate interné systémové rozhrania, pretože obvody výhybiek bývajú súčasťou ATU a v pôvodnom odporúčaní [ANSI T1.413] sa ani samostatne nevyskytujú. Prístup k spojovacej sieti zabezpečuje rozhranie VC, segmentované podľa požadovaných služieb. Jednotlivé služby sa multiplexujú do spoločného toku v prístupovom uzle.



Referenčný model ADSL

Typ ADSL systému		Frekvenčne oddelené toky $v_{p\ max} \text{ [bit/s]}$	Prekrývajúce sa toky $v_{p\ max} \text{ [bit/s]}$
UADSL	vzostupný tok	1 560 000	1 560 000
	zostupný tok	5 700 000	7 320 000
ADSL nad POTS	vzostupný tok	1 560 000	1 560 000
	zostupný tok	13 320 000	14 940 000
ADSL nad ISDN	vzostupný tok	1 860 000	1 860 000
	zostupný tok	11 400 000	13 320 000
UADSL2	vzostupný tok	-	1 860 000
	zostupný tok	-	7 680 000
ADSL2	vzostupný tok	1 860 000	1 860 000
	zostupný tok	11 400 000	15 240 000
ADSL2+	vzostupný tok	3 780 000	-
	zostupný tok	15 240 000 + 15 360 000	-

Teoretické maximálne hodnoty prenosových rýchlostí pre jednotlivé varianty ADSL



Výkonová spektrálna hustota signálu ADSL s neprekrývajúcimi a aj prekrývajúcimi sa pásmami

Frekvencia		UADSL	ADSL+POTS	ADSL+ISDN	UADSL2	ADSL2	ADSL2+
f_a	Číslo	6	6	33	1	1	1
	[Hz]	25 875	26 875	142 312,5	4 312,5	4 312,5	4 312,5
f_b	Číslo	31	31	63	31	31	63
	[Hz]	133 687,5	133 687,5	271 687,5	133 687,5	133 687,5	271 687,5
f_c	Číslo	33	33	65	1	65	65
	[Hz]	142 312,5	142 312,5	280 312,5	4 312,5	280 312,5	280 312,5
f_d	Číslo	128	255	255	128	255	255
	[Hz]	552 000	1 099 687,5	1 099 687,5	552 000	1 099 687,5	1 099 687,5
f_e	Číslo	-	-	-	-	-	257
	[Hz]	-	-	-	-	-	1 108 312,5
f_f	Číslo	-	-	-	-	-	512
	[Hz]	-	-	-	-	-	2 208 000

Tabuľka ku grafom výkonovej spektrálnej hustoty signálu ADSL s neprekrývajúcimi a aj prekrývajúcimi sa pásmami



Príklady DSLAM-ov

3.3.1 Model odhadu prenosových rýchlostí pre ADSL2+

V tejto kapitole je uvedená metodika použitá pre určenie prenosovej rýchlosti v zostupnom a vo vzostupnom smere pre technológiu ADSL2+.

Technológia ADSL2+ využíva pre prenos dát frekvenčné pásmo do cca 2,2 MHz s využitím DMT modulácie. Celé frekvenčné pásmo je rozdelené na maximálne 512 subpásiem, pričom šírka každého z nich je 8,625 kHz a ich frekvenčný odstup je 4,3125 kHz. V každom z uvedených subpásiem sa prenáša signál modulovaný pomocou QAM modulácie, pričom modulačná rýchlosť je konštantná pre všetky pásma a rovná sa 4 kBd. Počet stavov

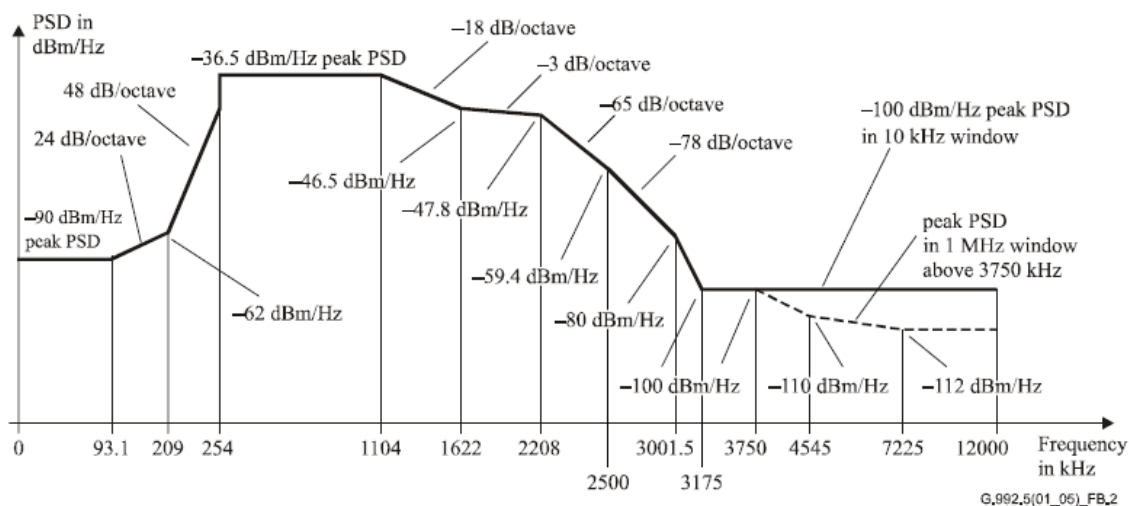
QAM modulácie v jednotlivých subpásmach je rozdielny, ale maximálna hodnota počtu stavov QAM vyplývajúca z odporúčania G.922.5 ITU-T je 2^{15} . V súčasnosti vyrábané modemy sú schopné pracovať najviac s 2^{14} stavmi, t.j. preniesť v jednom symbole na jednej subnosnej najviac 14 bitov.

Prenosová rýchlosť na jednej subnosnej je daná odstupom užitočného signálu od šumu a rušivých signálov a taktiež požadovanou bitovou chybovosťou. Celková prenosová rýchlosť ADSL2+ spoja je preto daná počtom modulačných stavov na jednotlivých subnosných.

3.3.1.1 Maska spektrálnej výkonovej hustoty signálu vysielača

V odporúčaní G.992.5 sú pre prevádzku ADSL2+ spolu s ISDN v Annex B definované spektrálne výkonové hustoty pre vysielače ADSL modemu (ATU-R) a DSLAMu (ATU-C), pre zabezpečenie frekvenčného oddelenia základného prístupu ISDN (v konfigurácii 2B+D), vzostupného a zostupného smeru ADSL2+. Vzhľadom na to, že ISDN vyžaduje na rozhraní U prenosovú rýchlosť 160 kb/s, je pri použití linkového kódu 2B1Q potrebná minimálna šírka pásma do 80 kHz.

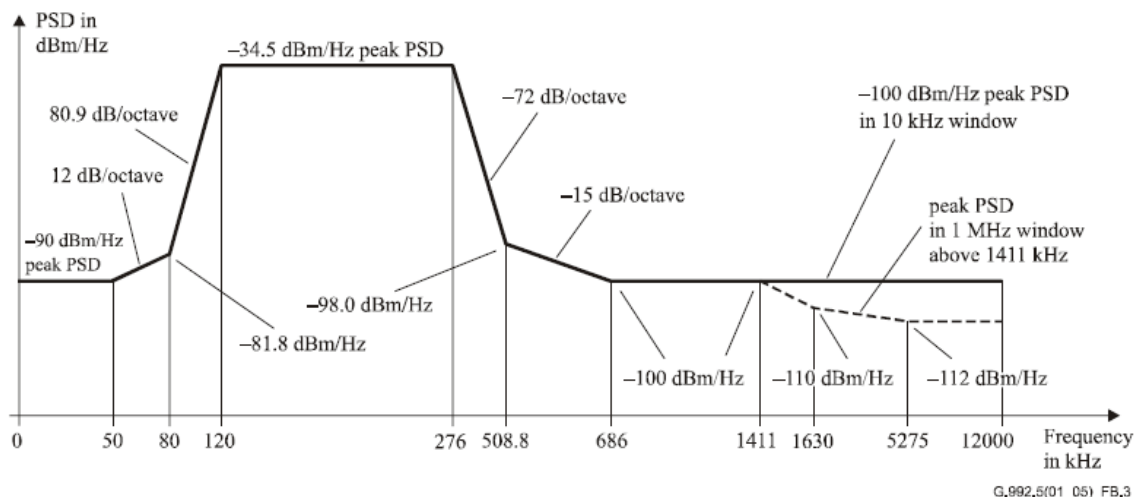
Za predpokladu, že ADSL2+ využíva frekvenčne oddelené pásma pre prenos v opačných smeroch, t.j. tzv. frekvenčný duplex, sú špičkové hodnoty spektrálnej výkonovej hustoty (PSD) dané nasledujúcimi diagramami Obr. 3.1 a Obr. 3.2.



Obr. 3.1 Maska spektrálnej výkonovej hustoty pre ATU-C

V skutočnosti udáva tolerančný diagram iba maximálnu prípustnú špičkovú hodnotu spektrálnej výkonovej hustoty. Celkový výkon v pásme od 254 do 2208 kHz nemôže presiahnuť 19,8 dBm. Funkcie manažmentu vysielača majú za úlohu nastaviť nominálnu hodnotu celkového vysielačieho výkonu vo vyššie spomenutom pásme na maximálne

19,3 dBm. Z tohto dôvodu existuje určitá ochranná medzera medzi spektrálnou výkonovou hustotou vysielanou ATU-C do vedenia a maskou spektrálnej výkonovej hustoty. Šírka tejto medzery je závislá na počte použitých subpásiem.



Obr. 3.2 Maska spektrálnej výkonovej hustoty pre ATU-R

Podobne, ako pri predošlom diagrame, aj tu existujú limity z hľadiska celkového vysielaného výkonu, ktoré nesmú presiahnuť 13.8 dBm, pričom úlohou manažmentu je zabezpečiť úroveň maximálne 13.3 dBm.

Preto, aby nebola presiahnutá spektrálna výkonová hustota na okrajoch jednotlivých pásiem, dochádza k zúženiu hore uvedených frekvenčných pásiem a taktiež môže dôjsť k zníženiu spektrálnej výkonovej hustoty pre subnosné nachádzajúce sa v blízkosti hraníc zvoleného pásma. V praxi to znamená, že napr. pre vzostupný smer nebude využité celé pásmo od 120 do 276 kHz, ale toto pásmo bude zúžené. Dôvodom pre tieto opatrenia je strmá charakteristika útlmu na hraniciach využívaného pásma a taktiež fakt, že pri QAM modulácii sa spektrálne splodiny nachádzajú nielen v centrálnom laloku, ale aj v postranných lalokoch.

3.3.1.2 Výpočet maximálneho počtu modulačných stavov pre subpásmo

Maximálny počet modulačných stavov pre jedno subpásmo je daný odstupom signálu od šumu a rušivých napätí. V odporúčaní G.992.3 je uvedený vzťah pre výpočet počtu bitov, ktorými sa moduluje signál na zvolenej subnosnej:

$$b = \log_2 \left(1 + 10^{\frac{SNR - snrgap - SNRM}{10}} \right)$$

Kde:

- b - je počet bitov na danej subnosnej
- SNR - je odstup signálu od šumu v danom subpásme v dB
- $snrgap = 9,75 \text{ dB}$ - je konštanta pre bitovú chybovosť 10^{-7}

SNRM je hodnota, o ktorú sa môže znížiť odstup signálu od šumu, pričom bude stále dodržaná maximálna požadovaná hodnota bitovej chybovosti. Samotné nastavenie hodnoty SNRM môže vykonať manažment, pričom počiatočná prednastavená hodnota je $SNRM = 6 \text{ dB}$. Počet modulačných stavov QAM na danej subnosnej je daný vzťahom:

$$M = 2^b$$

3.3.1.3 Výpočet maximálnej prenosovej rýchlosti

Celková maximálna možná prenosová rýchlosť v zostupnom, alebo vzostupnom smere lineárne závisí od počtu bitov, ktorými sú modulované jednotlivé subnosné. Vzhľadom na to, že modulačná rýchlosť je $v_m = 4 \text{ k Bd}$, možno maximálnu prenosovú rýchlosť určiť nasledovne:

$$v_{\max} = v_m \sum_{i=1}^N b_i = v_m \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + 10^{\frac{SNR(i) - snrgap - SNRM}{10}} \right)$$

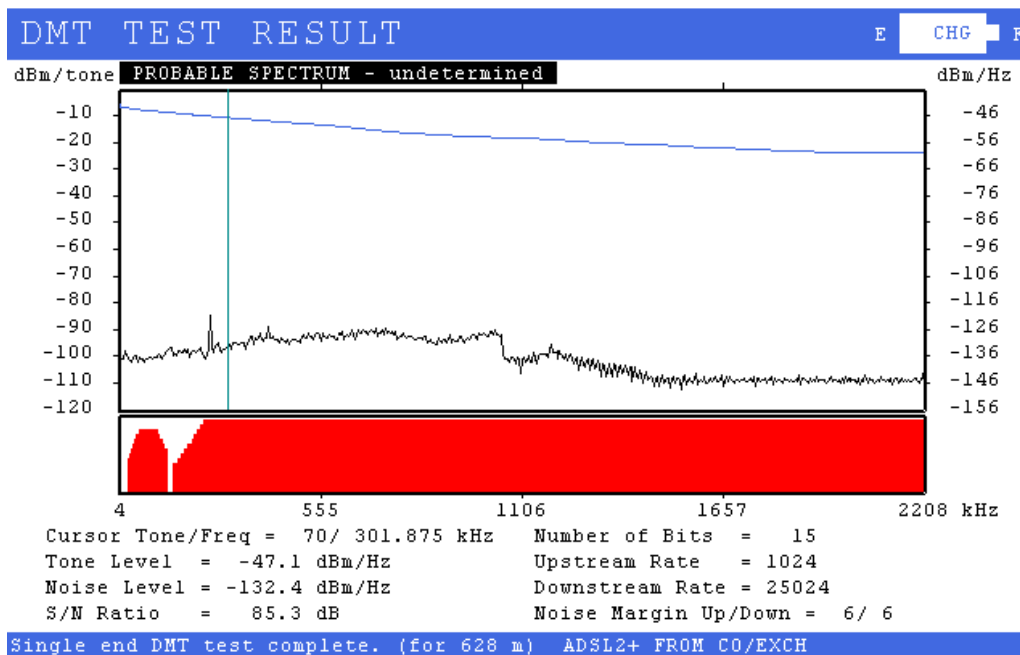
$$v_{\max} = 4 \cdot \sum_{i=1}^N \log_2 \left(1 + 10^{\frac{SNR(i) - snrgap - SNRM}{10}} \right); [kb/s]$$

Kde:

- N - je počet použitých subnosných v danom frekvenčnom pásme,
- $SNR(i)$ - je odstup signálu od šumu a rušiacich signálov v i -tom subpásme.

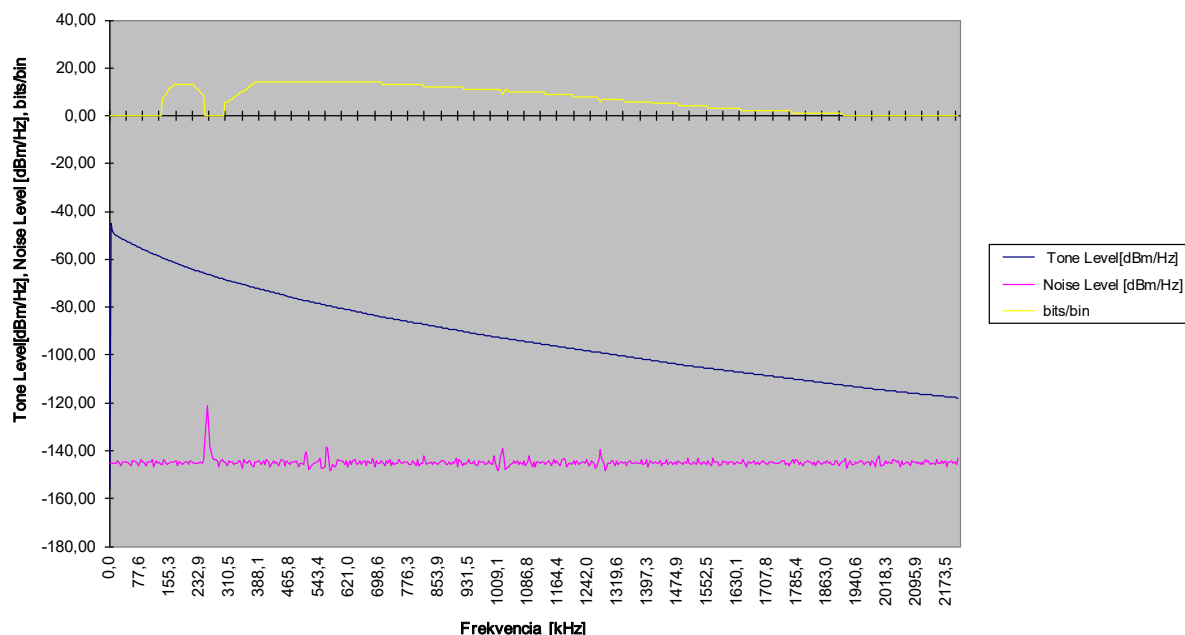
3.3.2 Výsledky a ukázky meraní

EXTRAPOLATED ITU-T Annex A / POTS RATES



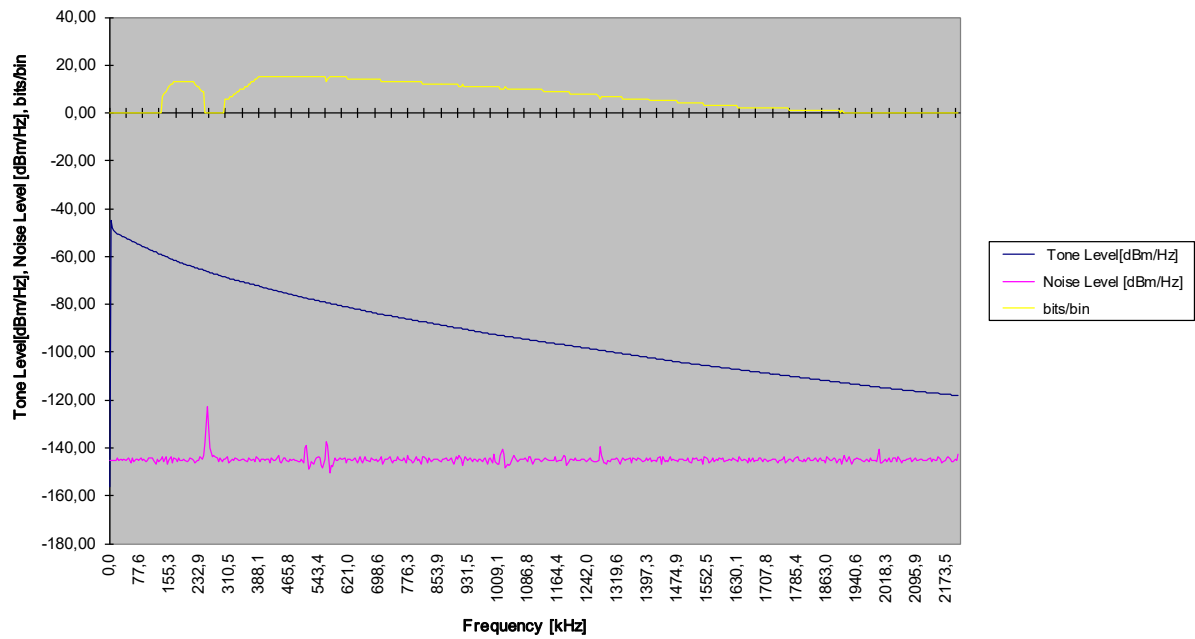
Spektrálna výkonová hustota šumu a priebeh útlmu vedenia pre ADSL2+

DMT TEST RESULT



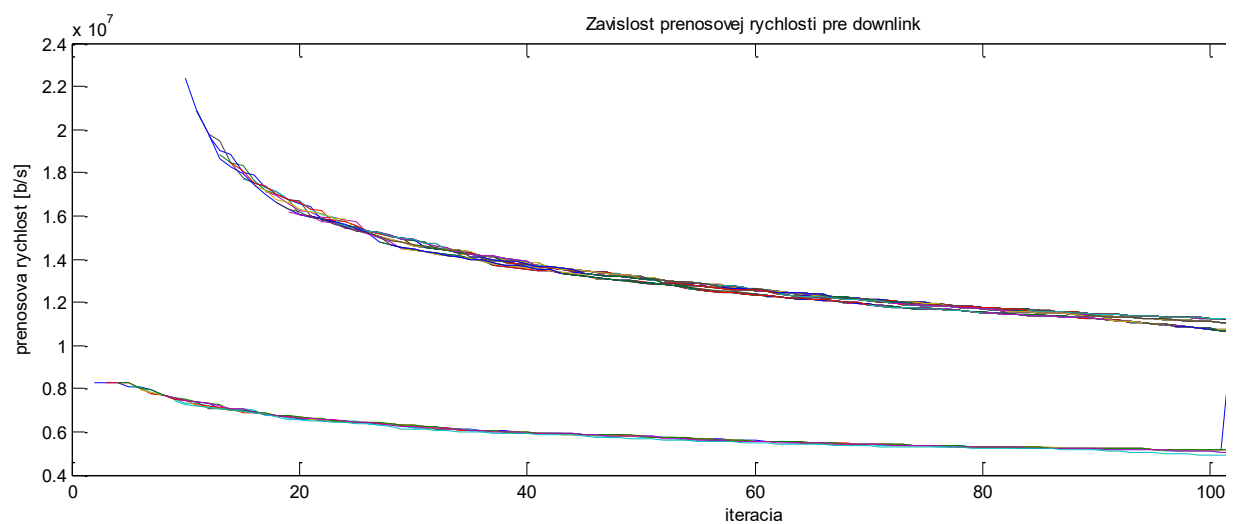
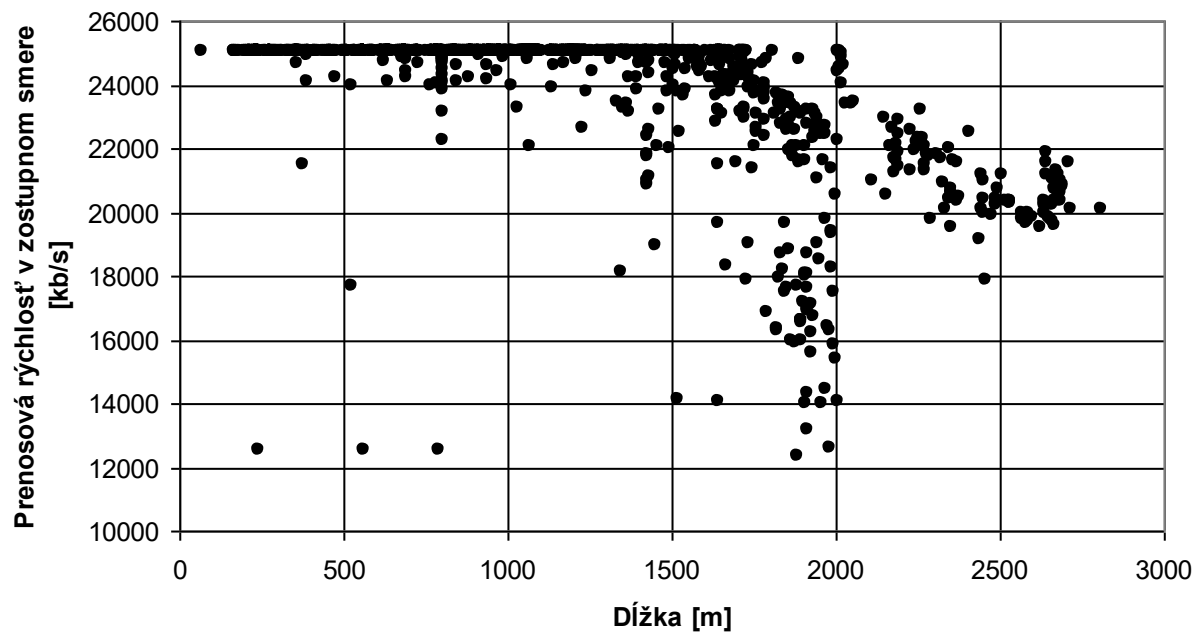
Adaptívne nastavenie počtu modulačných stupňov na základe odstupu signálu od šumu pre ADSL2+

DMT TEST RESULT



*Adaptívne nastavenie počtu modulačných stupňov na základe odstupu signálu od šumu
pre ADSL2+*

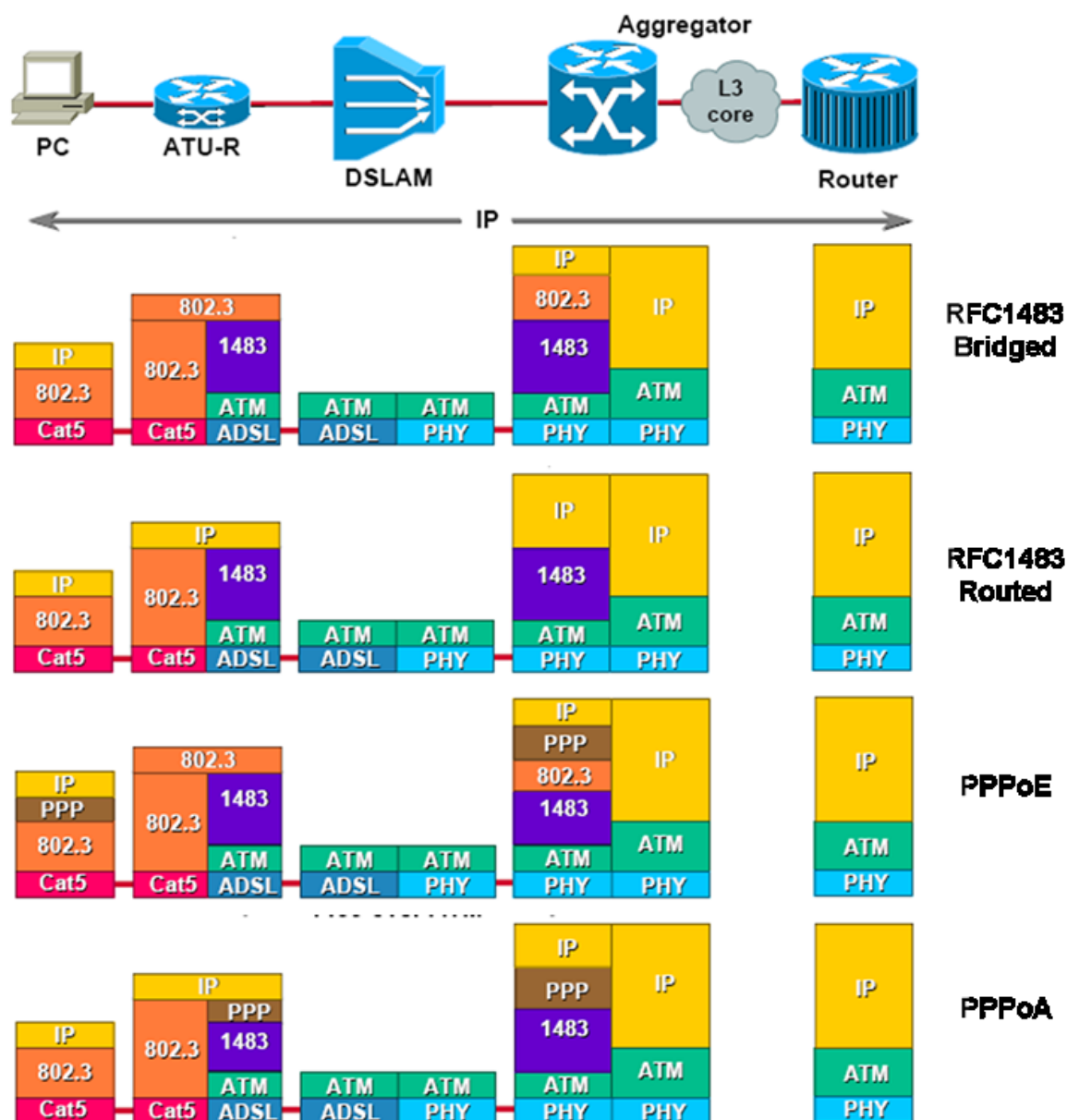
Závislosť prenosovej rýchlosti v zostupnom smere od dĺžky páru



Výsledky simulácie prenosových rýchlostí ADSL2+ v prostredí MATLAB

3.3.3 Enkapsulácia v ADSL

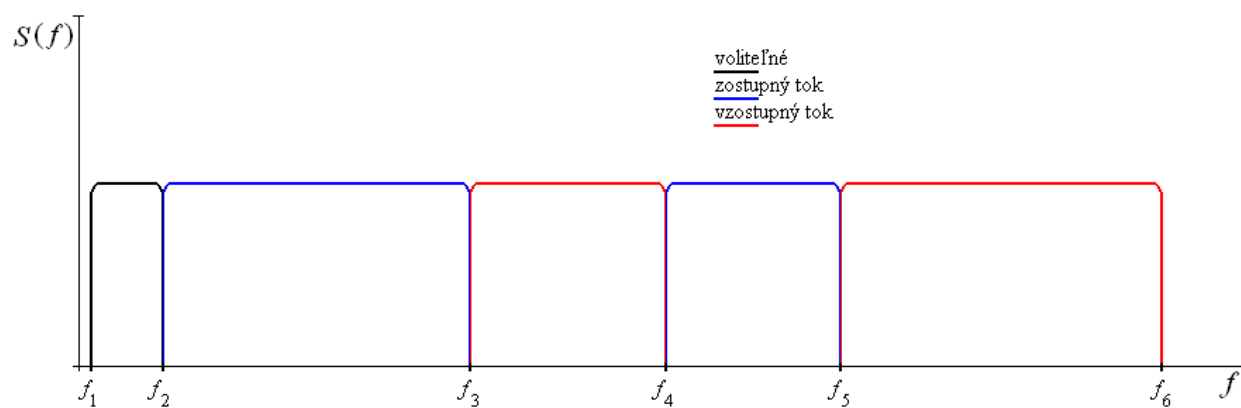
RFC 1483 - Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5



Možnosti enkapsulácie v ADSL

3.4 Digitálna účastnícka prípojka VDSL (Very High Speed DSL)

Vysokorychlostná prípojka VDSL predstavuje v súčasnosti najvýkonnejší prístupový systém po metalickom vedení. Princípiálne používa podobnú techniku ako ADSL.



Frekvenčný plán	f_1 [MHz]	f_2 [MHz]	f_3 [MHz]	f_4 [MHz]	f_5 [MHz]	f_6 [MHz]
A	0,025	0,138	3,75	5,2	8,5	12
B	0,025	0,138	3	5,1	7,05	12
C	0,025	0,138	2,5	3,75	voliteľná	12

Spektrum VDSL signálu

4 Literatúra

Referencie (nie podľa noriem):

Väčšina textu a obrázkov je prebraná až úplne ukradnutá z knihy [1].

- [1] Vaculík, M.: Prístupové siete, 2000, ISBN 80-7110-706-4
- [2] Čepčiansky, G.: Technológia ADSL, 2005, ISBN 80-8070-387-6
- [3] Iné verejne dostupné a neverejné zdroje