

Přenosové systémy v přístupové síti

xDSL

přehled systémů

Ing. Jiří Vodrážka, Ph.D.
Katedra telekomunikační techniky
ČVUT-FEL
vodrazka@feld.cvut.cz
<http://access.comtel.cz>

xDSL

Přehled xDSL

- DSL – Digital Subscriber Line
- IDSL – ISDN DSL
- HDSL – High-bit-rate DSL
- SDSL – Symmetric DSL
- SHDSL - Single-pair HDSL
- ADSL – Asymmetric DSL
- VDSL – Very-high-speed DSL

Digitální účastnické přípojky

3

xDSL

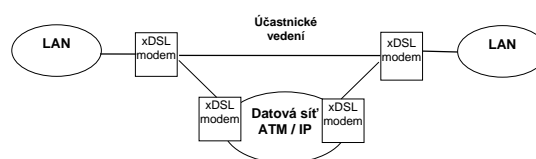
Přehled xDSL

označení	standard ITU-T	rychlost sestupně [Mbit/s]	rychlost vstoupně [Mbit/s]	linkový kód / modulace	překlenutelná vzdálenost [km]	použití
DSL (IDSL)	-	0,128	0,128	2B1Q	6	videokonference, přístup na Internet
HDSL	G.991.1	2	2	CAP 2B1Q	2-3 ... 1 pár 4 ... 2 páry 5,5 ... 3 páry	přenos E1, propojení LAN, Frame Relay
SDSL	-	do 2,3	do 2,3	2B1Q	2 až 5	
SHDSL	G.991.2	do 2,3	do 2,3	16-PAM	3 až 6	
ADSL Lite	G.992.2	do 1,5	do 0,5	DMT	4 až 7	přístup na Internet
ADSL R-ADSL	G.992.1	1,5 až 8	do 1	DMT	3 až 6	přístup na Internet, video na přání
VDSL	G.993.1	13 až 52 nebo 26	1,5 až 6,4 nebo 26	QAM DMT	0,3 až 1,5	multimediální přístup na Internet, HDTV

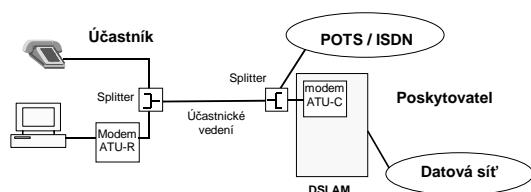
Digitální účastnické přípojky

4

Propojení sítí LAN

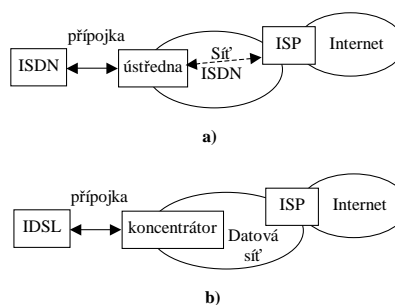


Řešení přístupu k Internetu



xDSL

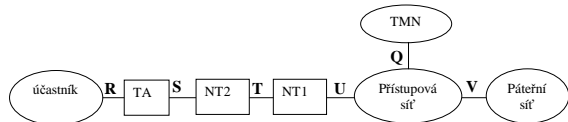
Porovnání ISDN - DSL



Digitální účastnické přípojky

14

Referenční model xDSL



- ITU-T G.995.1 Vychází z ISDN (I.411)
 - R,S,T,U,V – referenční body
 - Q – rozhraní pro připojení managementu sítě (TMN)
 - TA – terminálový adaptér
 - NT – síťové zakončení

ISDL (též jen DSL)

- 0. verze xDSL vychází z ISDN-BRA
- není zakončena na spojovacím poli ústředny, napojena do datové sítě = pevný okruh
- 2x64+16 kbit/s (+16 kbit/s služební) 160 kbit/s
- kód 2B1Q - modulační rychlost80 kBd
- duplexní přenos po 2-dr. s použitím vidlice a potlačení ozvěn (EC)
- překlenutelný útlum 37 až 50 dB na 80 kHz
- dosah s 0,4 mm ... 7 km; s 0,6 mm ... 10 km

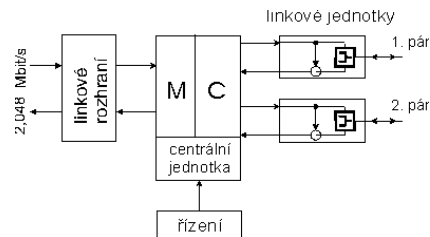
HDSL

(High-bit-rate Digital Subscriber Line)

- Doporučení ITU-T G.991.1
- Obvykle kód 2B1Q (varianta s CAP)
- Potlačení ozvěn EC (Echo Cancellation)
- Přenosové rychlosti $n \times 64$ kbit/s až do 2048 kbit/s (E1, pobočkové ústř.)
- Dva nebo tři páry duplexně
- Spojení bod-bod, LTU (Line Termination Unit) a NTU (Network Termination Unit)

Blokové schéma HDSL

- M – mapovací obvody
- C – společné obvody



Mapování a rámcová struktura

- Tok E1 - mapován do kontejneru C-12 (SDH) → virtuální kontejner VC-12 → příspěvková jednotka TU-12 (Tributary Unit) - 2304 kbit/s (tvoří blok 4 x 9 = 36 bajtů s délkou 125 μ s)
- Demultiplexování po bajtech na 2 nebo 3 dílčí datové toky (podle počtu párů)
- Rámec HDSL pro každý pár zvlášť (blok C - společné obvody)

Rámcová struktura a varianty

Rámcová struktura pro 2-párový systém

délka rámce 6 ms									
sync	H	blok 1 až 12	H	blok 13 až 24	H	blok 25 až 36	H	blok 37 až 48	stuffing
14 bitů	2	12 x 289 bitů	10	12 x 289 bitů	10	12 x 289 bitů	10	12 x 289 bitů	4

Vlastnosti pro 2 a 3-párový systém

počet párů	přenosová rychlost	dílčí datový tok na jeden pár	přenos. rychlost služebního kanálu	přenos. rychlost na jednom páru	modulační rychlost na jednom páru	překlenutelný útlum (při 150 kHz)
2	2304 kbit/s	1152 kbit/s	16 kbit/s	1168 kbit/s	584 kBd	27 dB
3	2304 kbit/s	768 kbit/s	16 kbit/s	784 kbit/s	392 kBd	31 dB

Komunikace a inicializace

- Řídicí stanice - LTU (master), vysílá řídicí příkazy do podřízené NTU (slave)
- Služební komunikace - kanál EOC po všech použitých párech
- Před zahájením provozu – inicializace
 - Testují se přípojná vedení
 - Vytváří se jejich obraz pro potlačovače ozvěn
 - Zahajuje LTU - vysílá pevně definovanou posloupnost signálů
 - NTU nastaví parametry přijímače
 - Poté probíhá obdoba procedura pro opačný směr

Další vývoj HDSL

- Zlepšování odolnosti proti rušení a překlenutelné vzdálenosti
- HDSL2 – jeden pár, PAM-8, větší překlenutelná vzdálenost
- SDSL (Single pair DSL) – přechodné označení pro systémy na jeden pár, 2B1Q
- SHDSL (Single pair HDSL) – jeden pár
 - PAM-8; 16 ... podpora ve standardu
 - Definitivní verze ITU-T G.991.2

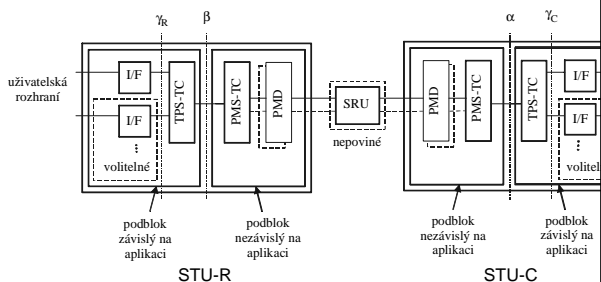
SHDSL

- Chybová korekce - mřížkový trellis kód (TC)
- Přenosové rychlosti jsou až 2320 kbit/s
- Nastavitelné – adaptivní režim
- Souhrnný výkon přenášeného signálu je maximálně 14,5 dBm
- Omezování vysílacího výkonu pro redukci přeslechového rušení do ostatních párů PBO (Power-back-off)

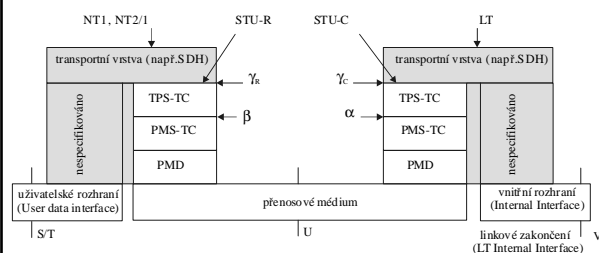
Funkční bloky

- Koncové jednotky **STU** (SHDSL Termination Unit) - **STU-R** (Remote), **STU-C** (Central)
- Linková jednotka **PMD** (Physical Media Dependent)
- Sestavení rámce - **PMS-TC** (Physical Media-Specific TC Layer)
- Aplikačně specifický blok **TPS-TC** (Transmission Protocol-Specific TC Layer)
- SRU (SHDSL Regenerator Unit)
- Referenční body podle ITU-T G.995.1

Blokové schéma SHDSL



Vrstvový referenční model

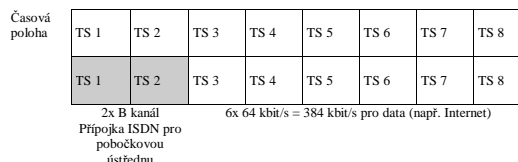


Vyšší vrstvy

- Navazují na referenční body γ_C a γ
- Kanály B ... 64 kbit/s
- SDH – přenos virtuálního kontejneru VC-12
- ATM – univerzální platforma pro poskytování služeb
 - Voice over ATM
 - IP (PPP protokol)
 - Ethernet
 - FR (Frame Relay)

Sdílení přenosové kapacity

- 8 kanálů B
- Přenosová rychlost 528 kbit/s



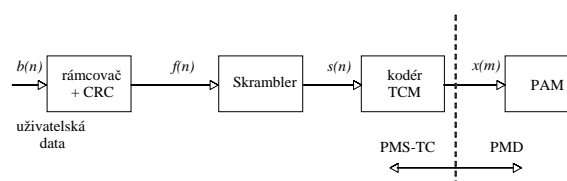
Přenosové rychlosti

$$v_p = n \cdot 64 + i \cdot 8 \text{ kbit/s}$$

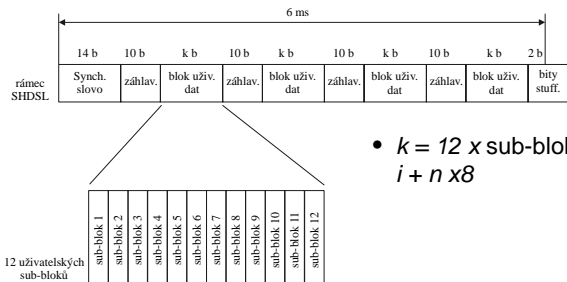
$$3 \leq n \leq 36 \quad a \quad 0 \leq i \leq 7$$

- pro $n = 36$ je i pouze 0 nebo 1
- + 8 kbit/s - záhlaví rámce SHDSL
- Možná i dvoupárová varianta - dvojnásobek v_p (max. 4640 kbit/s)

Vysílací obvody



Složení rámce SHDSL



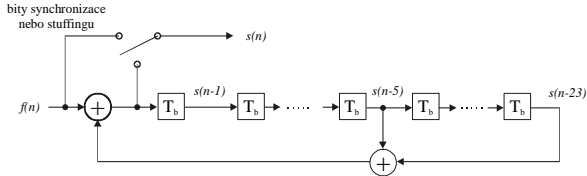
Obsah rámce

typ informace	počet bitů	poznámka
FAS	14	synchronizace
EOC	20	kanály údržby a managementu
CRC	6	zabezpečení
ostatní bity záhlaví	8	stuffing, identifikátory
celkem záhlaví	48	
uživat. data	$48 \times (i + n \times 8)$	4 x 12 sub-bloků
celkem rámec SHDSL	$48 \times (1 + i + n \times 8)$	

- Blokovaná kontrola chybovosti **CRC-6** ...
generující polynom $G(x) = x^6 + x + 1$

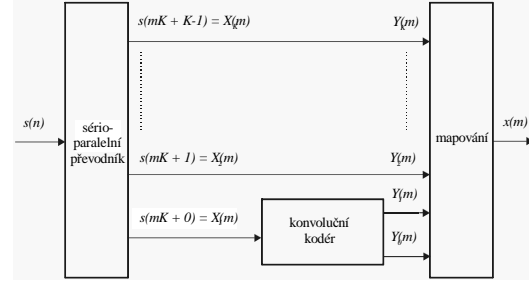
Skrambler v STU-C

- 23-stupňový posuvný registr se zpětnými vazbami za 5. a 23. Stupněm
- Bity rámcové synchronizace a stuffingu se neskrablují



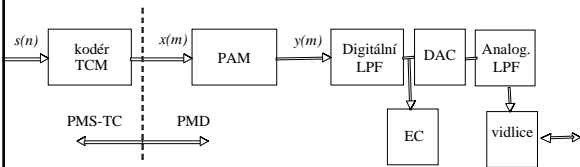
Digitální účastnické přípojky

Mřížkový kodér TC



Digitální účastnické přípojky

Vysílací obvody



Digitální účastnické přípojky

Mapování do úrovní PAM

$Y_1(m)$	$Y_2(m)$	$Y_3(m)$	$Y_4(m)$	$x(m)$
0	0	0	0	-15/16
0	0	0	1	-13/16
0	0	1	0	-11/16
0	0	1	1	-9/16
0	1	0	0	-7/16
0	1	0	1	-5/16
0	1	1	0	-3/16
0	1	1	1	-1/16
1	1	0	0	1/16
1	1	0	1	3/16
1	1	1	0	5/16
1	1	1	1	7/16
1	0	0	0	9/16
1	0	0	1	11/16
1	0	1	0	13/16
1	0	1	1	15/16

Digitální účastnické přípojky

Funkce linkové jednotky PMD

- Generování a obnova taktu
- Kódování a dekódování PAM
- Tvarování spektra vysílaného signálu
- Funkce potlačení ozvěn (echo cancellation)
- Kompenzace parametrů vedení TEQ v časové oblasti (line equalization)
- Inicializace spojení (link startup)
 - Navázání spojení
 - Nastavení EC, TEQ
 - Analýza SNR – nastavení přenosové rychlosti
 - Nastavení vysílacího výkonu a zisku přijímače

Digitální účastnické přípojky

Další vývoj SHDSL

- Perspektivní pro podnikovou síť (LAN-to-LAN)
- Zvyšování přenosové rychlosti (10 Mbit/s)
 - Více párů
 - SHDSL – 2 páry – 4,3 Mbit/s
 - Ethernet - EFM až 32 párů
 - Rozšíření pásma (nižší dosah)
 - ESHDSL – 16-PAM - 3,8 Mbit/s
 - Zvýšení počtu stavů (nižší dosah)
 - ESHDSL – 32-PAM - 5,7 Mbit/s

Digitální účastnické přípojky

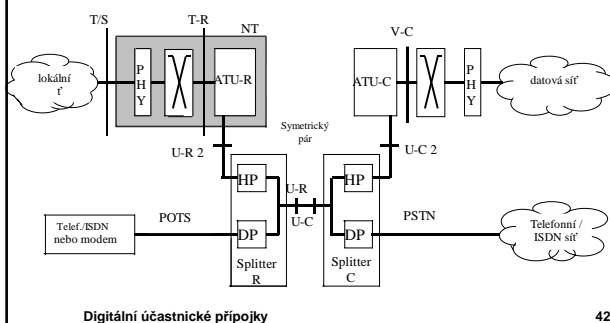
Systémy pracující v přeloženém pásmu ADSL, VDSL

ADSL

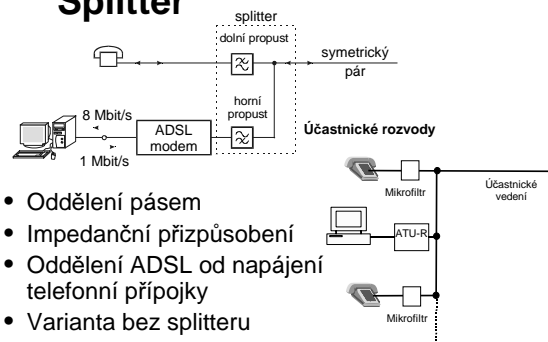
(Asymmetric Digital Subscriber Line)

- Doporučení ITU-T **G.992**
 - Plná verze (Full) G.992.1 (g.dmt)
 - Odlehčená verze (Lite) G.992.2 (g.lite)
- Aplikace:
 - připojení na Internet
 - distribuce dig. televizního signálu (video na přání)
 - vzdálený přístup k LAN
 - souběžný telefonní (ISDN) provoz

Referenční model ADSL



Splitter

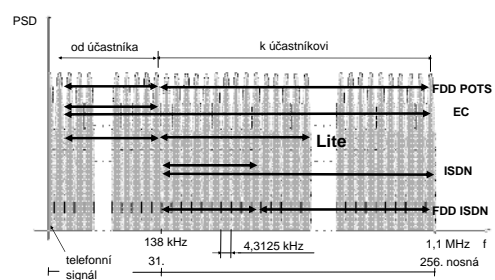


- Oddělení pásem
- Impedanční přizpůsobení
- Oddělení ADSL od napájení telefonní přípojky
- Varianta bez splitteru

ADSL – způsob přenosu

- Rozdílné přenosové rychlosti downstream a upstream
- V přeloženém pásmu od 25 kHz do 1,1 MHz subpásma 4,3125 kHz (max. 256 subkanálů)
- Modulace DMT (Discrete Multi-Tone) v každém subpásmu QAM
- Adaptivní nastavování počtu stavů (alokace bitů max. 15/symbol) podle odstupů SNR
- Oddělení směrů přenosu buď kmitočtově nebo pomocí potlačení ozvěn

Využití spektra



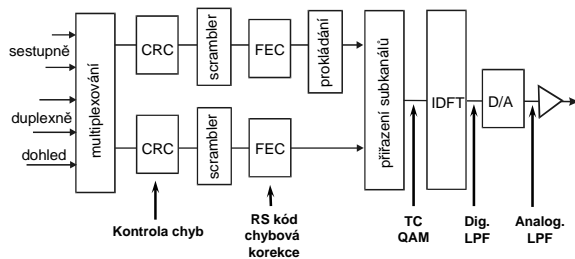
Datový přenos

- Vrstva IP
- Vrstva ATM (AAL)
- Vrstva ADSL
- 2 typy kanálů
 - AS 0 až AS 3 (jen downstream)
 - LS 0 až LS 2 (v obou směrech)
- 2 varianty přenosu
 - Bez přídavného zpoždění („rychlý“ kanál)
 - S prokládáním (vyšší odolnost proti rušení)

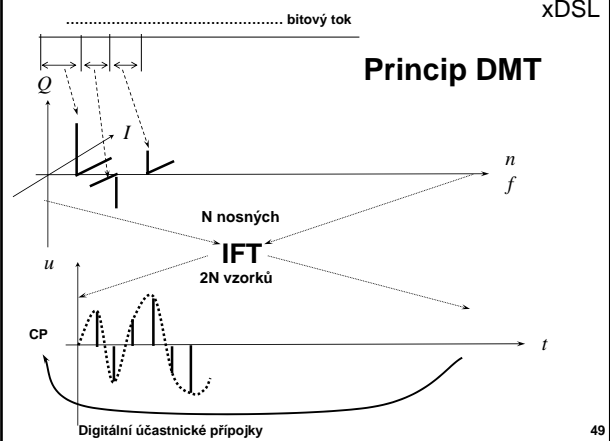
Zpracování datových signálů

- Multiplexování (rámce a multirámce včetně synchronizace a služební informace – EOC)
- Kontrola chybovosti CRC (8 bitové zabezpečovací slovo)
- Skramblování (délka registru 23 bitů)
- Chybová korekce FEC (Forward error correction) založena na Reed-Solomon (RS) kódu (až 16 paritních bajtů)
- Prokládání (Interleaving) omezuje vliv shluků chyb v kombinaci s FEC (impulsní rušení)

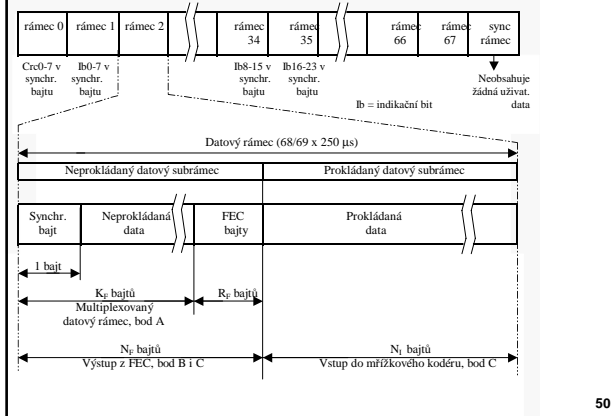
Vysílací část ADSL



Princip DMT

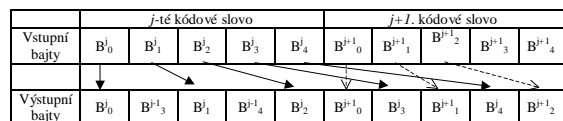


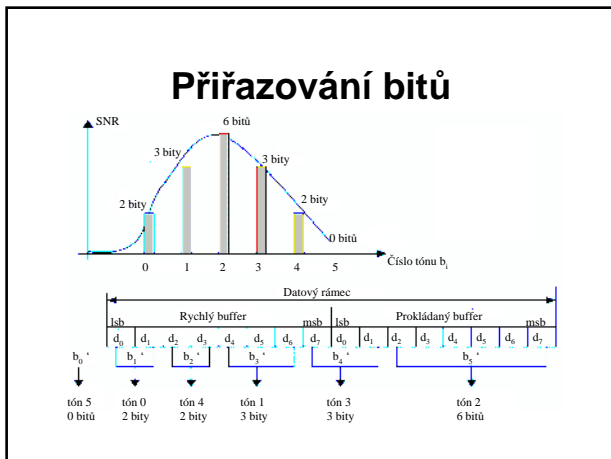
Multirámec (17ms)

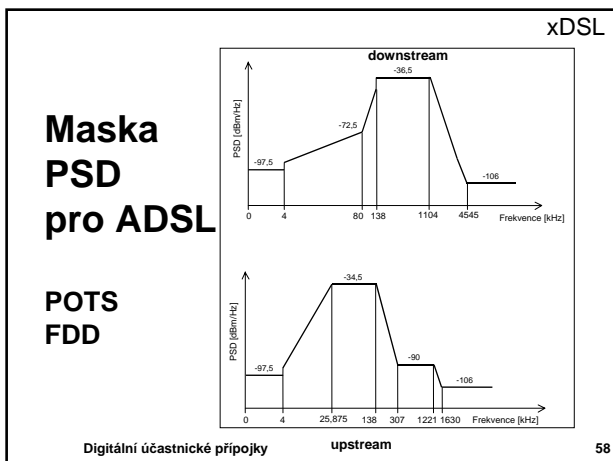


Konvoluční prokládání

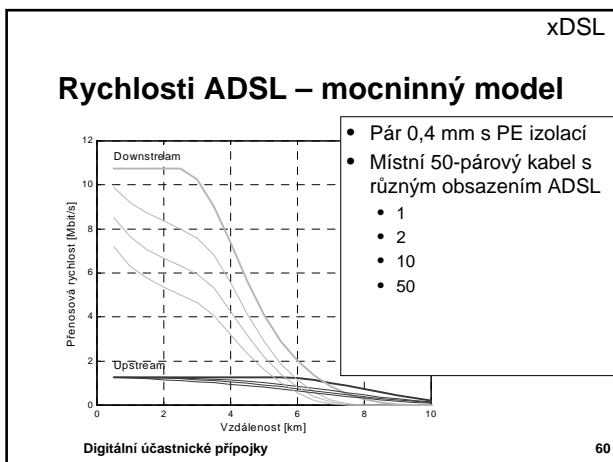
- Obrana proti shlukům chyb (impulsní rušení)
- Příklad:
 - Kódové slovo – 5 bajtů
 - Hloubka prokládání 2





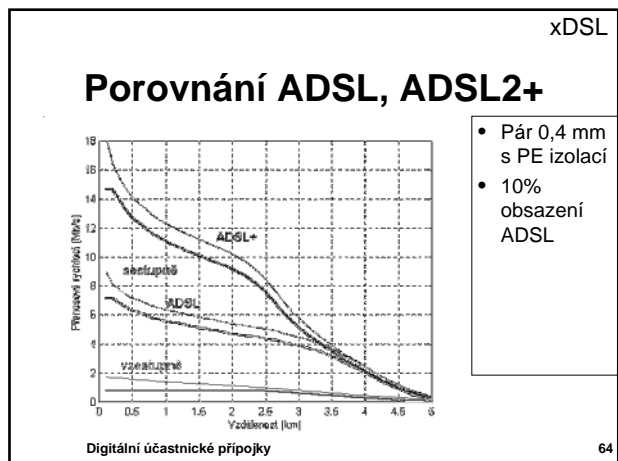


- xDSL
- ## Přenosové rychlosti ADSL
- Omezení provozovatelem (uživatelský profil)
 - Fyzikální omezení dané přenosovým prostředím
 - Útlum vedení (délka přípojky)
 - Přeslechové rušení
 - NEXT / FEXT
 - Míra přeslechu (vzájemná poloha párů v kabelu)
 - Typ rušícího systému (spektrální vlastnosti)
 - Počet rušících systémů
 - Délka souběhu
- Digitální účastnické přípojky
- 59



- xDSL
- ## Další vývoj ADSL
- **ADSL2** (druhá generace) ITU-T G.992.3 (Splitterless G.992.4)
 - Zvyšování rychlosti (kratší záhlaví) a dosahu
 - Využití pásma od 4,3 kHz (255 subkanálů) – ADM - All Digital Mode
 - Využití plného počtu 15 bitů/nosnou – až teoreticky 15 Mbit/s downstream a 1,8 Mbit/s upstream
 - Rozšíření pásma upstream do 276 kHz (až 3,6 Mbit/s – pseudosymetrické aplikace)
- Digitální účastnické přípojky
- 61

- xDSL
- ## Další vývoj ADSL
- **ADSL2+** ITU-T G.992.5
 - Rozšíření pásma do 2,208 MHz
 - Rychlost až cca 20 Mbit/s na krátké vzdálenosti
 - Využití FDD (downstream 1,104 až 2,208 MHz)
 - ADSL2+ nebo VDSL?
- Digitální účastnické přípojky
- 62



VDSL

- Very-high-speed Digital Subscriber Line
- ITU-T **G.993.1**, ETSI TS 101 270 -1(-2)
- Aplikace:
 - multimediální přístup na Internet
 - distribuci digitálního televizního signálu s vysokým rozlišením (HDTV)
 - vzdálený přístup k ATM přepínači (12, 25, 52 Mbit/s)
 - přenos multiplexních jednotek SDH (až VC-3 ... 48,960 Mbit/s)
 - souběžný telefonní (ISDN) provoz

Způsob přenosu VDSL

- Základní funkční bloky shodné s ADSL
 - Vytvoření rámce
 - Skramblování
 - Zabezpečení FEC
 - Prokládání (Interleaving – slow/ fast)
 - Mapování na nosné
 - Modulace
 - Filtrace
 - Splitter pro koexistenci s POTS, ISDN-BRA

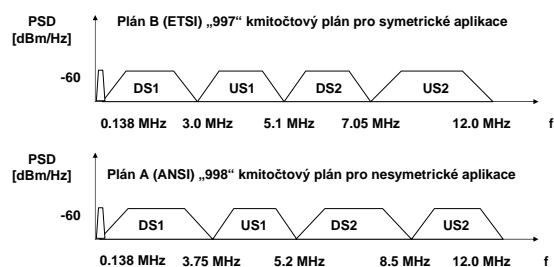
Způsob přenosu VDSL

- Odlišnosti v porovnání s ADSL
 - Vyšší přenosové rychlosti – širší pásmo
 - Nutné frekvenční dělení US/DS - **FDD!**
 - Nutnost použití redukce výkonu **UPBO** (Power-back-off) ve směru upstream
 - Kratší vzdálenosti (0,2 až 1,6 km) – překlenutí posledního úseku od optického rozvaděče ONU (FTTCab – Fiber to the Cabinet)
 - Připouští se různé modulace

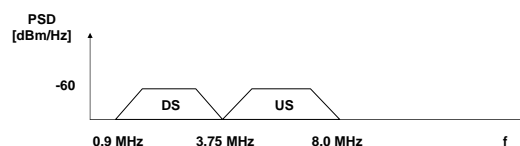
Způsob přenosu u VDSL

- Modulace:
 - MCM - DMT (Discrete Multitone) jako u ADSL
 - SCM - QAM/CAP (Quadrature Amplitude Modulation /Carrierless Amplitude Modulation)
- Stejně frekvenční schéma všech systémů v kabelu
- Při poskytování od ústředny FTTEx lze využít pásmo překrývající se s ADSL od 25kHz
- Kompatibilita s ADSL (od 900 kHz) zejména pro FTTCab
- Lze využít spektrum až do 30 MHz (prakticky max. 12MHz)
- Vysílací spektrální hustota výkonu PSD – základní omezení cca -60 dBm/Hz (lokální frekvenční omezení pro kompatibilitu s KV)

Standardizovaná pásma



Pásma pro 10 Base-S



- Downstream redukován - FTTCab
- Maximální rychlost symetricky 15 Mbit/s

Profily VDSL

- **Ax-abcde-f** nebo **Sx-abcde-f**
 - **a** - podčíslo profilu:
 - 0 - standardní profily
 - 1 - profily s omezenou přenosovou rychlostí US
 - 2 - profily s omezenou přenosovou rychlostí DS
 - 3 - profily s omezenou přenosovou rychlostí US i DS
 - **b** - použití kmitočtových pásem:
 - 0 - 1D, 1U, 2D, 2U
 - 1 - 1D, 1U, 2D
 - 2 - 1D, 1U
 - 3 - 1D, 1U, 2U
 - **c** - vypuštění amatérských pásem KV ... N – ano; O – ne; X - přípustné obě možnosti

Profily VDSL

- **Ax-abcde-f** nebo **Sx-abcde-f**
 - **d** – omezení pro kompatibilitu s ADSL ... N – ne; A – ano
 - **e** - (nepovinný parametr) architektura:
 - E - FTTE_x
 - C - FTTC_{ab}
 - G - obě dvě
 - **f** – typ kmitočtového plánu:
 - M – plán B
 - R1 – plán A
 - R2, R3 atd. – jiné (regionální) plány

Symetrické profily – plán B – SCM (QAM)

Označení profilu	Pásmo	V _m [kBd]	Počet stavů	V _p [kbit.s ⁻¹]	V _{p celková} [kbit.s ⁻¹]	V _{p účinná} [kbit.s ⁻¹]
S1-03OAG-M	1D	1620	32	8100	DS	8100
	1U	1620	16	6480		
	2U	810	4	1620	US	8100
S2-03OAG-M	1D	1620	64	9720	DS	9720
	1U	1620	16	6480		
	2U	1620	4	3240	US	9720
S3-00OAG-M	1D	1620	128	11340	DS	16200
	2D	1215	16	4860		
	1U	1620	32	8100	US	16200
	2U	2700	8	8100		

Asymetrické profily – plán B – SCM (QAM)

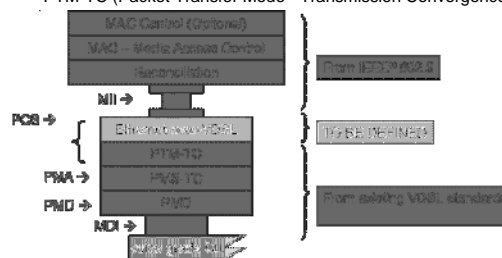
Označení profilu	Pásmo	V _m [kBd]	Počet stavů	V _p [kbit.s ⁻¹]	V _{p celková} [kbit.s ⁻¹]	V _{p účinná} [kbit.s ⁻¹]
A1-02OAG-M	1D	1620	32	8100	DS	8100
	1U	1215	4	2430		
A2-02OAG-M	1D	1620	64	9720	DS	9720
	1U	1215	4	2430		
A3-01OAG-M	1D	1620	128	11340	DS	16200
	2D	1215	16	4860		
	1U	1215	8	3645	US	3258
A4-01OAG-M	1D	2160	256	17280	DS	25920
	2D	1080	256	8640		
	1U	1215	16	4860	US	4096

Využití pro Ethernet

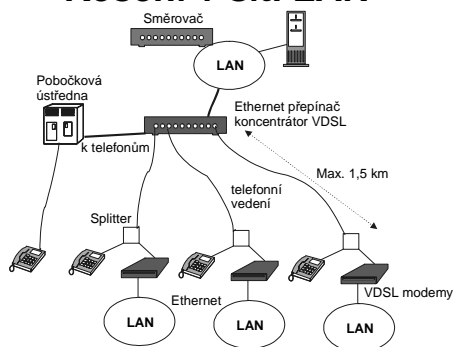
- Skupina IEEE 802.3ah - **EFM** (Ethernet in the First Mile) - **EFMC** (Copper)
- Fyzická vrstva Ethernet pro přenos po telefonních párech
 - Větší vzdálenosti LR (Long Range) – SHDSL
 - Kratší vzdálenosti SR (Short Range) – VDSL
- Pro vyšší rychlosti – inverzní multiplex – až 32 vedení pro jeden spoj
- Vrstva MAC + dynamické přidělování párů (fyzické podvrstvy) a změna rychlosti

Vrstvy EFMC SR

- PMD (Physical Medium Dependent)
- PMS-TC (Physical Media Specific – Transmission Convergence)
- PTM-TC (Packet Transfer Mode - Transmission Convergence)



Řešení v síti LAN



Digitální účastnické přípojky

77

Home PNA

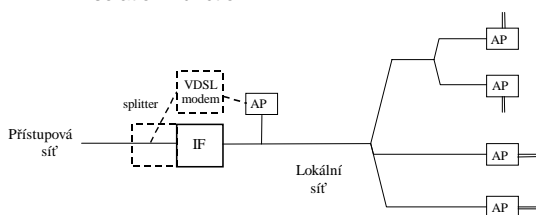
- Home Phoneline Networking Alliance
- Využití vnitřních telefonních rozvodů
 - Rozvětvené rozvody (paralelky) – sdílené médium (MAC) - mnohabodový spoj
 - Domácnosti - adaptéry Ethernet, USB
 - Firemní řešení pro LAN - spořádání bod-bod s centrální jednotkou (Ethernet switch) – podniky, hotely apod.

Digitální účastnické přípojky

78

Uspořádání sítě

- AP – Access Point
- IF - Isolation Function



Digitální účastnické přípojky

79

Home PNA

- Pásmo 4,5 až 9,5 MHz (nosná 7 MHz)
 - Modulace QAM
 - Poloduplexní provoz
 - Přenosové rychlosti:
 - Home PNA verze 1 ... 1 Mbit/s
 - Home PNA verze 2 ... 10 Mbit/s
 - Dosah až několik stovek m
 - Přístup k médiu – vrstva MAC z Ethernetu
 - ITU-T G.989.1 (PHY), G.989.2 (MAC), G.989.3 (IF)

Digitální účastnické přípojky

80

Typické aplikace xDSL

- Poskytovatelé služeb
 - ADSL – rychlý přístup na Internet (DSLAM v místě ústředny)
 - SHDSL – připojení pobočkových ústředěn a podnikových sítí (DSLAM v místě ústředny)
 - VDSL - připojení podnikových sítí v posledním úseku od optického zakončení sítě
- Podnikové sítě
 - Připojení uživatelů v rámci LAN a MAN po existujících telefonních párech
 - Podle vzdálenosti a rychlosti ADSL/SHDSL/VDSL

Digitální účastnické přípojky

81

Další vývoj

- Rozšířené ADSL x VDSL
- Symetrický x asymetrický přenos
- Zpřístupnění účastnického vedení LLU (Local Loop Unbundling)
- Správa spektra (Spectral Management)
- Ethernet over DSL – EFM
- xDSL x CATV x PON x radiový přístup

Digitální účastnické přípojky

82