

Žilinská univerzita v Žiline
Elektrotechnická fakulta
Katedra telekomunikácií

**Analýza prenosových vlastností telekomunikačných
káblov
pre digitálne účastnícke prípojky xDSL.**

Jozef Kabáč

2007

**Analýza prenosových vlastností telekomunikačných káblov
pre digitálne účastnícke prípojky xDSL.**

DIPLOMOVÁ PRÁCA

JOZEF KABÁČ

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
Elektrotechnická fakulta
Katedra telekomunikácií

Študijný odbor: TELEKOMUNIKÁCIE

Vedúci diplomovej práce: Ing. František Gilian

Stupeň kvalifikácie: inžinier (Ing.)
Dátum odovzdania diplomovej práce: 18.05.2007

ŽILINA 2007

Abstrakt

KABÁČ, Jozef: Analýza prenosových vlastností telekomunikačných káblov pre digitálne účastnícke prípojky xDSL [Diplomová práca]. Žilinská univerzita v Žiline. Elektrotechnická fakulta; Katedra telekomunikácií. Vedúci diplomovej práce: Ing. František Gilian, ELKOND HHK a. s. Stupeň odbornej kvalifikácie: inžinier (Ing.). Žilina: EF ŽU, 2007. 65 s.

Diplomová práca posudzuje možnosti využitia telekomunikačných káblov vyrábaných spoločnosťou ELKOND HHK a. s. s ohľadom na ich použitie pre digitálne účastnícke prípojky xDSL. Obsahuje popis jednotlivých systémov xDSL, vplyvy ktoré limitujú prenos po metalických kábloch, meranie primárnych a sekundárnych parametrov vedenia, merania presluchoových pomerov a meranie vyžarovania. Na základe teoretickej analýzy a nameraných výsledkov sú stanovené podmienky maximálnej využiteľnosti telekomunikačných káblov.

ANOTAČNÝ ZÁZNAM - DIPLOMOVÁ PRÁCA

Priezvisko, meno: Jozef Kabáč

školský rok: 2006/2007

Názov práce: Analýza prenosových vlastností telekomunikačných káblov pre digitálne účastnícke prípojky xDSL

Počet strán: 65

Počet obrázkov: 52

Počet tabuliek: 1

Počet grafov: 19

Počet príloh: 2

Použitá lit.: 19

Anotácia (slov. resp. český jazyk): Táto diplomová práca posudzuje možnosti využitia telekomunikačných káblov vyrábaných spoločnosťou ELKOND HHK a. s. s ohľadom na ich použitie pre digitálne účastnícke prípojky xDSL. Obsahuje popis jednotlivých systémov xDSL, vplyvy ktoré limitujú prenos po metalických kábloch, meranie primárnych a sekundárnych parametrov vedenia, merania presluchového pomeru a meranie vyžarovania. V poslednej časti navrhuje metodiku pre nasadzovanie xDSL systémov do profilu kábla pre čo najefektívnejšie využitie týchto telekomunikačných káblov

Anotácia v cudzom jazyku (anglický resp. nemecký): This diploma work is judging the possibilities of using of the telecommunication cables produced by the company named ELKOND HHK Inc. in reference to their using for digital subscriber's lines xDSL. It contains description of the individual systems xDSL, influences of which limit the transfer along the metallic cables, metering of primary and secondary parameters of the line, metering of reacoustic terms and metering of the effluence. In the last part suggests the procedure for setting of xDSL systems in the profile of the cable for the most effective using of these telecommunication cables.

Kľúčové slová: xDSL, ADSL, VDSL, útlm vedenia, presluch, NEXT, FEXT, prenosová rýchlosť

Vedúci práce: Ing. František Gilian

Recenzent práce : doc. Ing. Milan Trunkvalter, Phd.

Dátum odovzdania práce: 18.5.2007

Obsah:

1 Úvod.....	1
2 Úvod do technológií xDSL.....	2
2.1 ADSL.....	4
2.1.1 Oddelenie prenosových kanálov.....	4
2.1.2 ADSL prípojky.....	6
2.1.2.1 G.lite ADSL (UDSL).....	7
2.1.2.2 ADSL 2.....	8
2.1.2.3 ADSL 2+.....	9
2.2 HDSL.....	10
2.2.1 HDSL 2.....	11
2.3 SHDSL.....	11
2.4 BDSL.....	12
2.5 VDSL.....	12
2.5.1 VDSL 2.....	14
2.6 Zhodnotenie a porovnanie jednotlivých xDSL technológií.....	15
3 Vlastnosti symetrických párov.....	18
3.1 Druhy a konštrukčné usporiadanie metalických vedení.....	18
3.2 Teória homogénnych vedení.....	20
3.2.1 Primárne parametre vedenia.....	20
3.2.2 Sekundárne parametre vedenia.....	21
3.2.3 Charakteristická impedancia.....	22
3.3 Fyzikálne javy ovplyvňujúce útlm vedenia.....	25
3.3.1 Povrchový jav.....	25
3.3.2 Jav blízkosti.....	26
3.3.3 Vplyv teploty vedenia.....	27
3.4 Presluchy a nesymetrie.....	27
3.4.1 Aditívny biely šum.....	28
3.4.2 Presluchy typu NEXT a FEXT.....	29
3.4.3 Vysokofrekvenčné rušenie RFI.....	32

3.4.4 Impulzné rušenie.....	32
4 Merania.....	33
4.1 Meranie symetrických párov.....	33
4.2 Meranie útlmu.....	35
4.3 Meranie presluchov.....	36
4.3.1 Útlm presluchu na blízkom konci NEXT.....	36
4.3.2 Útlm presluchu na vzdialenom konci FEXT.....	38
4.3.3 Odstup od presluchu ACR.....	40
4.4 Meranie charakteristickej impedancie.....	41
4.5 Meranie útlmu nesymetrie.....	43
4.6 Výpočet primárnych parametrov.....	46
4.7 Meranie vyžarovania.....	50
5 Podmienky maximálnej využiteľnosti telekomunikačných káblov.....	51
5.1 Výkonová spektrálna hustota.....	51
5.2 Prevod PSD na L_m na vysielacej strane.....	51
5.3 Úroveň signálu L_m na prijímacej strane.....	52
5.4 Prevod úrovne L_m na výkon P	52
5.5 Prenosová rýchlosť.....	53
6 Zásady pre nasadzovanie xDSL systémov.....	55
6.1 Nasadzovanie na základe presluchu typu NEXT.....	55
6.2 Maximálna využiteľnosť kábla.....	59
7 Záver.....	61
Zoznam použitej literatúry.....	63
ČESTNÉ VYHLÁSENIE.....	64
POĎAKOVANIE.....	65

Zoznam obrázkov a tabuliek

- Obrázok 2.1 Štruktúra DSL pripojenia
- Obrázok 2.2 FDM delenie prenosového kanálu
- Obrázok 2.3 EC delenie prenosového kanálu
- Obrázok 2.4 Obsadenie spektra jednotlivými variantmi ADSL
- Obrázok 2.5 Spôsob pripojenia ADSL a UDSL
- Obrázok 2.6 Efekt predĺženia dosahu prípojky RE-ADSL2/POTS
- Obrázok 2.7 Obsadenie spektra jednotlivými variantmi ADSL
- Obrázok 2.8 Porovnanie variantov FDD ADSL/POTS
- Obrázok 2.9 Znázornenie vybraných variantov VDSL vo frekvenčnom spektre
- Obrázok 2.10 Porovnanie rýchlostí v smere downstream pre ADSL2, ADSL2+, VDSL
- Obrázok 2.11 Porovnanie rýchlostí v smere upstream pre ADSL2, VDSL
- Obrázok 2.12 Porovnanie prípojky FDD ADSL2+/ISDN a ADSL2++/ISDN
- Obrázok 3.1 Typy symetrických prvkov
- Obrázok 3.2 Skupinová konštrukcia miestnych káblov (18-štvoriek)
- Obrázok 3.3 Infinitesimalný úsek vedenia dĺžky dz
- Obrázok 3.4 Priebiehy charakteristickej impedancie TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 3.5 Povrchový jav
- Obrázok 3.6 Jav blízkosti
- Obrázok 3.7 Modelovanie merného útlmu v závislosti na teplote vedenia
- Obrázok 3.8 Preluch typu NEXT
- Obrázok 3.9 Presluch typu FEXT
- Obrázok 4.1 Blokované usporiadanie meracej aparatúry pre meranie
- Obrázok 4.2 Schéma zapojenia pre kalibráciu prístroja
- Obrázok 4.3 Namerané hodnoty útlmu vedenia
- Obrázok 4.4 Schéma zapojenia pre meranie NEXT
- Obrázok 4.5 Namerané hodnoty útlmu presluchu na blízkom konci
- Obrázok 4.6 Schéma zapojenia pre meranie FEXT
- Obrázok 4.7 Namerané hodnoty útlmu presluchu na vzdialenom konci
- Obrázok 4.8 Odstup od presluchu (ACR) TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.9 Schéma zapojenia pre kalibráciu
- Obrázok 4.10 Schéma zapojenia pre meranie charakteristickej impedancie

- Obrázok 4.11 Nameraný priebeh charakteristickej impedancie
- Obrázok 4.12 Principiálna schéma pre zisťovanie útlmu nesymetrie
- Obrázok 4.13 Zapojenie symetrizačného transformátora pre meranie útlmu nesymetrie
- Obrázok 4.14 priebeh útlmu nesymetrie TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.15 Frekvenčná závislosť merného odporu TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.16 Frekvenčná závislosť mernej indukčnosti TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.17 Frekvenčná závislosť mernej kapacity TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.18 Frekvenčná závislosť merného zvodu TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.19 Frekvenčná závislosť merného útlmu TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.20 Frekvenčná závislosť merného fázového posunu TCEPKSwFLE 25x4x0,4
- Obrázok 4.21 Blokové schémy pre meranie vyžarovania z kábla a do kábla
- Obrázok 5.1 Porovnanie teoretickej prenosovej rýchlosti pre rušenie od susedného páru
- Obrázok 5.2 Porovnanie teoretickej prenosových rýchlostí pre vzorky káblov
- Obrázok 6.1 Graf útlmu jednotlivých párov kábla
- Obrázok 6.2 Najväčší a najmenší útlm presluchu na blízkom konci
- Obrázok 6.3 Vzájomná poloha párov pre najväčší útlm presluchu na blízkom konci
- Obrázok 6.4 Vybrané útlmy presluchu na blízkom konci
- Obrázok 6.5 Vzájomná poloha párov pre útlm presluchu na blízkom konci
- Obrázok 6.6 Vybrané útlmy presluchu na blízkom konci
- Obrázok 6.7 Vzájomná poloha párov pre útlm presluchu na blízkom konci
- Obrázok 6.8 Závislosť prenosovej rýchlosti ADSL prípojky na dĺžke
- Tabuľka 4.1 Merané vzorky káblov

Zoznam skratiek a symbolov

1D, 2D,3D	Downstream Signál v smere od ústredne k účastníkovi
1U, 2U,3U	Upstream Signál v smere od účastníka k ústredni
ACR	Attenuation Cross-talk Ratio Odstup od presluchuv
ADM	All Digital Mode Plný digitálny režim
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line Asymetrická digitálna účastnícka linka
AWGN	Additive White Gaussian Noise Aditívny biely Gaussov šum
BDSL	Broadband DSL Distribučná účastnícka linka
BSS	Base-band Spectral Shaping
CAP	2 Binary, 1 Quaternary Druh linkového kódu so 4 stavmi
CAP	Carrierless amplitude phase modulation Amplitúdovo-fázová modulácia bez nosnej
DM	Dieselhorst-Martin DM štvorka
DMT	Discrete multitone Diskrétna viactónová modulácia
DSL	Digital Subscriber Line Digitálna účastnícka linka
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer Digitálny účastnícky linkový prístupový multiplexor
DSM	Dynamic Spectrum Management Dynamické riadenie spektra
E1	Európsky štandard
EC	Echo Cancellation Metóda digitálneho potlačenia ozveny
EFM	Ethernet in the First Mile
EMC	Electro-Magnetic Compatibility Elektromagnetická kompatibilita
EN	Európska norma
FDD	Frequency Division Duplex Frekvenčné delenie
FDM	Frequency Division Multiplexing Frekvenčné delenie

FEXT	Far End crossTalk Presluch na vzdialenom konci
FTTP	Fibre To The Premises Vlákno až do budovy
G-lite	
HDSL	Základná verzia ADSL High-bitrate Digital Subscriber Line Vysokorýchlostné DSL
HDTV	
IDSL	Televízia s vysokým rozlíšením ISDN Digital Subscriber Line Digitálna linka ISDN
ISDN	Integrated Services Digital Network Digitálna sieť s integrovanými službami
ISP	Interent Service Provider Poskytovateľ internetovských služieb Telecommunication Standardisation Sector of
ITU-T	International Telekomunikačný medzinárodný štandardizačný sektor
LAN	Local Area Network Lokálna dátová sieť
LB	Longitudinal Balance Útlm nesymetrie
LCL	Longitudinal Conversion Loss Útlm nesymetrie
MCM	Multi-Carrier Modulation Modulácia s viac nosnými
MPEG	Motion Pictures Expert Group Systém kompresie videosignálu
NEXT	Near End crossTalk Presluch na blízkom konci
PAM	Pulse Amplitude Modulation Impulzne amplitúdová modulácia
PE	
PEKFY EFK-5	Polyetylén Označenie kábla
PEKFY-Call	Označenie kábla
PEPKFH EFK	Označenie kábla
PEPKFH-Call	Označenie kábla
POTS	Plain Old Telephone Service Analogová služba telefonovania
PSD	
PSS	Spektrálna hustota výkonu Pass-band Spectral Shaping

QAM	Quadrature amplitude modulation Kvadratúrna amplitúdová modulácia
RE-ADSL2	Reach Extended ADSL2 ADSL2 s predĺženým dosahom
RFI	Radio Frequency Interference Vysokofrekvenčné rušenie
SCM	Single-Carrier Modulation Modulácia s jednou nosnou
SDSL	Symmetrical Bitrate Digital Subscriber Line Symetrická digitálna účastnícka linka
SHDSL	Single pair High speed Digital Subscriber Line Vysokorýchlostné DSL na jednom páre
T1	Americký štandard
TC	Trellis Code Trelisov kód – mriežkový
TCEPKSwFLE	Označenie kábla
TDD	Time Division Duplex Časové delenie
UDSL	Universal Bitrate Digital Subscriber Line ADSL lite
VDSL	Very high-bitrate Digital Subscriber Line Vysokorýchlostné DSL
VoD	Video on Demand Video na požiadanie
xDSL	x-Digital Subscriber Line Všeobecný názov pre prenosové technológie

Slovník termínov

Downstream	Signál v smere od ústredne k účastníkovi
Splitter	Rozdeľovač, frekvenčná výhybka
Uplink	Vzostupný
Upstream	Signál v smere od účastníka k ústredni

1. Úvod

V poslednom období badať výrazné zmeny pri dorozumievaní účastníkov cez telekomunikačnú sieť. Začína ústup od prenosu klasického analógového hovorového signálu cez pevnú telefónnu sieť. Pevná telefónna linka sa čím ďalej, tým viac využíva na prenos dátových signálov, napríklad pri prístupe na internet. Vlastné dorozumievanie medzi účastníkmi a prenos hovorového signálu sú vytláčané z pevnej do mobilnej siete do oblasti osobnej bezdrôtovej komunikácie. Na prenos analógového signálu sa účastnícke linky pevnej siete využívajú čím ďalej, tým menej. Nie je ďaleko doba, keď budú účastnícke pripojené vedenia využívané na klasické telefonovanie len veľmi málo. Podstatnú časť bude predstavovať prenos dát, ktorý pomôže pretvoriť jestvujúcu telefónnu sieť na výkonný, široko dostupný systém, schopný dodávať multimediálne služby, na každé pracovisko alebo do každej domácnosti.

Telekomunikačná sieť je tvorená sieťou prenosovou (transportnou), ktorá prepája medzi sebou uzly obsluhy a ústredne, a sieťou prístupovou (účastníckou), ktorá umožňuje pripojenie jednotlivých účastníkov k uzlom obsluhy. Obe tieto siete boli pôvodne vybudované skoro výhradne na metalických prenosových prostriedkoch (predovšetkým na metalických vedeniach) a využívali sa na prenos hovorových kanálov so šírkou pásma len 3100 Hz.

Táto sieť, ktorá tvorí posledný úsek medzi účastníkom a obslužným uzlom, niekedy nazývaná aj „posledná míľa“, bola budovaná výhradne so zreteľom na svoj pôvodný účel, totiž na prenos nízkofrekvenčného signálu medzi účastníkom a jeho prípojnou ústredňou, čo dnes nazývame hlasovou službou. Táto sieť je ešte stále z veľkej časti tvorená metalickými káblovými vedeniami, ktorých základným prenosovým prvkom je symetrický pár.

Odhaduje sa, že až 97% bytových zákazníkov a podnikateľských staníc je pripojených na pevnú sieť týmito vedeniami.. Aj keď boli vyvinuté a nasadené do praxe niektoré nové moderné princípy riešenia prístupových sietí na podklade systémov s optickými vláknami alebo systémov pevného rádiového prístupu, zostávajú stále z dôvodov využitia obrovského množstva informácii s veľkou zostatkovou hodnotou uložených v zemi. Základom týchto prístupových sietí sú miestne káble s medenými žilami a ešte nejakú dobu potrvá, pokiaľ v nich prevládnu káble s optickými vláknami.

2. Úvod do technológií xDSL

Technológie, ktoré pracujú v režime prepájania paketov, umožňujú efektívnejšie využitie prenosového prostredia a poskytujú vysokorýchlostné pripojenie pre zákazníkov. Takéto technológie sú vo všeobecnosti známe ako xDSL.

DSL – **Digital** – digitálna (používaná technológia pre prenos dát je digitálna),
Subscriber – účastnícka (služba je poskytovaná na linke, ktorú si zákazník predplatil (objednal) a platí ju mesačným paušálom),
Line – linka (služba je poskytovaná prostredníctvom telefónnej linky).

xDSL technológia ponúka širokopásmový prenos cez štandardnú telefónnu linku. Je možný trvalý časovo neobmedzený prenos dát spolu s telefónnou hlasovou službou t.j. analógovou linkou alebo ISDN prístupom. DSL technológie zvyšujú prenosovú rýchlosť existujúceho káblového metalického rozvodu rádovo na megabity za sekundu. Veľkou výhodou je implementácia DSL zariadení za rozumnú cenu, bez potreby výmeny existujúcej infraštruktúry, čím sa umožňuje rýchlejšie a cenovo výhodnejšie nasadenie multimediálnych služieb. DSL je výhodná pre aplikácie, ktoré požadujú vysokú rýchlosť prenosu dát ako sú vysokorýchlostný prístup do internetu, rýchle dátové prenosy zo servera, vzdialený prístup k sieti LAN, videoaplikácie a videokonferencie.

K Internetu sa môžeme pripojiť analógovým modemom cez telefónnu sieť, pomocou pevného dátového okruhu realizovaného na metalických, alebo bezdrôtových prípojkách, s využitím prípojky káblovej televízie alebo prostredníctvom DSL prípojky na bežnej telefónnej linke.

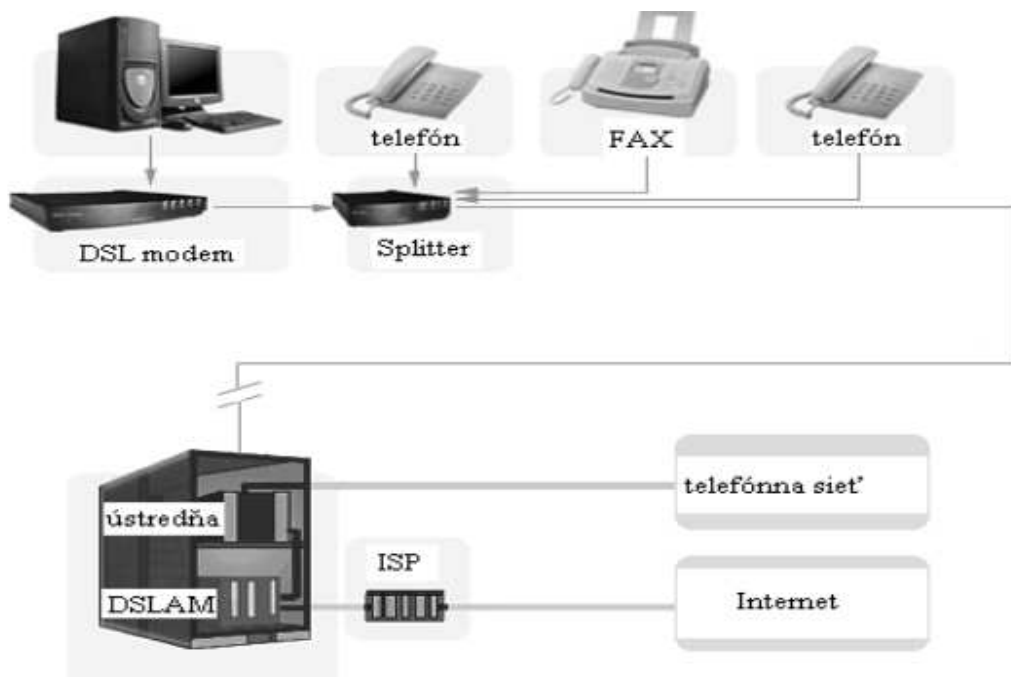
Pripojenie DSL sa pre väčšinu užívateľov javí ako najzaujímavejší z týchto dôvodov:

- je používaná prípojka bežnej telefónnej siete, nie je potreba zložitej inštalácie
- možnosť surfovať po Internete a zároveň telefonovať
- užívateľ je pripojený stále, nemusí voliť žiadne telefónne číslo
- rýchlosti pripojenia sú mnohonásobne vyššie ako u väčšiny iných (starších) spôsobov

Nie všetky telefónne linky vysokorychlostný prenos dát umožňujú. Dosah limituje tlmenie káblového vedenia a tiež úroveň presluchov. Limit je daný vzdialenosťou zhruba 5.5 kilometra medzi užívateľskou telefónnou prípojkou a zariadením DSLAM na strane poskytovateľa s vedením. Pri použití metalických žíl s priemerom 0,4 mm. Na vedeniach s väčším priemerom žíl je dosah spravidla väčší.

Existuje niekoľko kritérií na kategorizáciu technológie xDSL:

- **asymetrické alebo symetrické**
 - asymetrické DSL technológie: ADSL, ADSL lite.
 - symetrické DSL : HDSL, SDSL, VDSL A IDSL
- **jedno párové, viac párové vedenie**
 - SDSL využíva jeden pár medeného vedenia
 - HDSL dva alebo tri páry medeného vedenia
- **fixná alebo variabilná prenosová rýchlosť**
 - HDSL a SDSL poskytujú fixnú dátovú rýchlosť na špecifické vzdialenosti
 - ADSL, ADSL.lite a VDSL rýchlosť závislá na vzdialenosti a kvalite linky



Obrázok 2.1 Štruktúra DSL pripojenia

2.1 ADSL

ADSL - Asymetrická digitálna účastnícka prípojka (ADSL, odporúčanie ITU-T G.992.1- Asymmetric Digital Subscriber Line) je metóda digitálneho dátového prenosu väčšími prenosovými rýchlosťami po už existujúcich medených symetrických pároch inštalovaných v prístupovej sieti. ADSL rozširuje použitie prenosového kanála vo smere k účastníkovi (downstream – „spätný kanál“) na 6 až 9 Mbit/s. Pomalý (upstream – „dopredný“) kanál smerom od účastníka prenáša dáta s rýchlosťou až 1 Mbit/s. Toto sa dosahuje bez narušenia telefónnej prevádzky na už inštalovanom účastníckom vedení. Koncové zariadenie ADSL (transceiver, tj. vysielateľ a prijímač) je nutné inštalovať na oboch stranách účastníckeho medeného vedenia cez rozdeľovače (splitters), ktoré rozdelia v oboch smeroch prenosu prenášané pásmo na pásmo telefónneho (alebo ISDN) kanála a pásma s vyššou prenosovou rýchlosťou. ADSL podporuje prenos násobky rýchlostí 2,048 Mbit/s E1 pre Európu respektíve 1,544 Mbit/s T1 pre USA. [1]

ADSL transcievery môžu používať jednu z nasledujúcich modulácií:

- **QAM** kvadrátúrna amplitúdová modulácia (Quadrature amplitude modulation)
- **CAP** amplitúdovo-fázová modulácia bez nosnej (Carrieless amplitude phase modulation)
- **DMT** diskretná viactónová modulácia (Discrete multitone)

Druh použitej modulácie závisí na výrobcovi ADSL koncového zariadenia. CAP a QAM modulácie sa používajú v USA. DMT a CAP/QAM systémy nie sú navzájom kompatibilné. Využívané frekvenčné pásmo je do 1,1 MHz.

2.1.1 Oddelenie prenosových kanálov

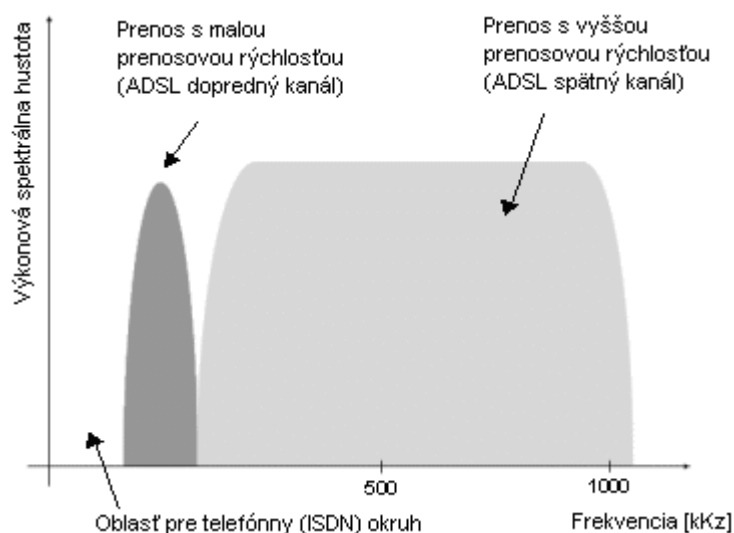
Pri prenosu ADSL sa uskutočňujú oba smery prenosu po jednom dvojdrôtovom symetrickom vedení. Po vytvorení nezávislých informačných kanálov sa v modemoch ADSL používa jeden z dvoch spôsobov :

- **FDM** frekvenčné delenie (Frequency Division Multiplexing)
- **EC** metóda digitálneho potlačenia ozveny (Echo Cancellation).

- **Frekvenčné delenie FDM**

FDM sa využívalo hlavne u predošlých systémov ADSL. Princíp je naznačený na obrázku 2.2. Riadiaci kanál s malou prenosovou rýchlosťou zaberá obyčajne frekvenčný rozsah priamo nad hovorovým pásmom, zatiaľ čo prenos s veľkou prenosovou rýchlosťou sa nachádza v pásmach vyšších frekvencií. Celkový pracovný rozsah frekvencií pre ADSL je obyčajne limitovaný okolo 1MHz. Kanály sa pritom vyznačujú plochým spektrálnym rozdelením.

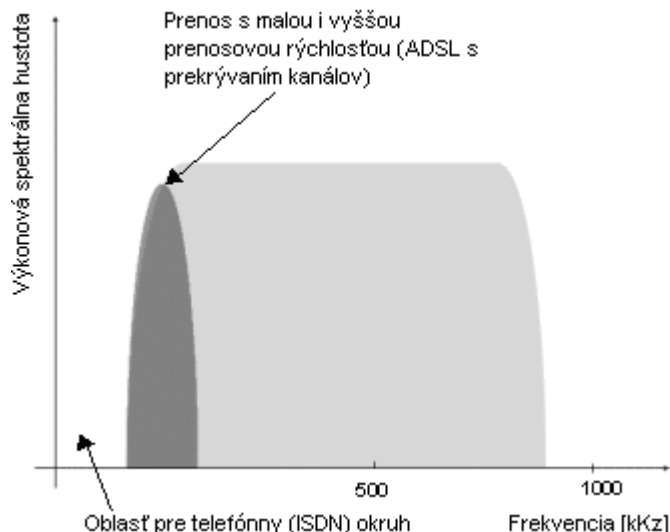
Výhoda FDM spočíva v jeho jednoduchšej implementácii do systému. K oddeleniu dopredného a spätného kanála stačia iba filtre. FDM eliminuje vlastný NEXT (presluch na blízkom konci). V porovnaní s EC má systém s FDM menšie náklady. Nevýhoda FDM je menej dokonalé využívanie frekvenčných pásiem.



Obrázok 2.2 FDM delenie prenosového kanálu

- **Digitálne potlačenie ozveny EC**

Pre ADSL je výhodné umožniť prekrývanie kanálov s vyššou prenosovou rýchlosťou s pomalším dopredným kanálom (obrázok 2.3), aby sa využilo výhod nižšieho útlmu káblu na nižších frekvenciách. To môžeme dosiahnuť použitím princípu asymetrického potlačenia ozveny, ktorý obmedzuje rušenie medzi oboma kanálmi.



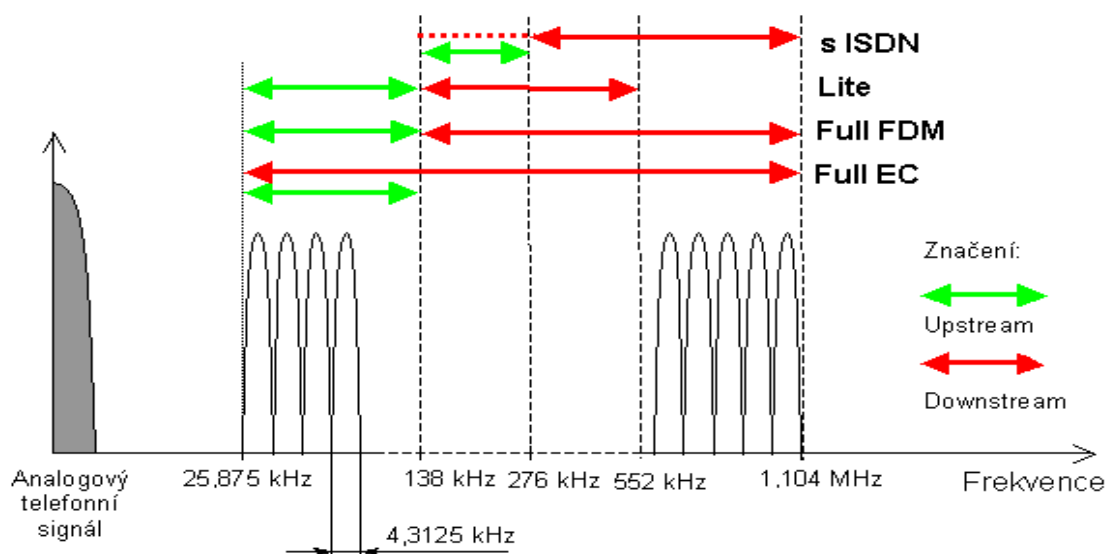
Obrázok 2.3 EC delenie prenosového kanálu

Potlačenie ozveny prenáša časť problémov filtrovania z analógovej do digitálnej oblasti, čo je výhodnejšie pri integrácii v technológii VLSI. Výhody potlačenia ozveny sa prejavujú ak sa rozšíri šírka pásma dopredného kanálu, napríklad na 384 kbit/s. V takýchto prípadoch by pri použití frekvenčného delenia FDM bolo nutné, aby sa pre prenos s vyššou prenosovou rýchlosťou použili vyššie frekvencie, čo by viedlo k zvýšeniu útlmu, a tým ku zníženiu dosahu. Je však potrebné zdôrazniť, že presahovanie oboch kanálov ADSL pri použití oddelenia na princípe EC môže spôsobiť vznik vlastného presluchu NEXT, ktorý sa nevyskytuje pri FDM. To môže byť kritickejšie pri masovom nasadzovaní zariadení ADSL na jednom kábli, kde sa zvyšuje možnosť presluchu od ostatných zariadení ADSL.

2.1.2 ADSL prípojky

Dátový signál sa prenáša modulovaný v preloženom pásme pomocou metódy DMT (Discrete Multi-Tone), čo je typ modulácie s viacerými nosnými frekvenciami (Multi-carrier Modulation). Celý prenosový kanál je vo frekvenčnej oblasti rozdelený do rady sub-kanálov. V každom kanáli prebieha kvadrátúrna amplitudová modulácia QAM. U ADSL je frekvenčné pásmo 0 až 1,104 MHz rozdelené do 256 sub-kanálov. Nosné frekvencie jednotlivých sub-kanálov sú od seba vzdialené 4,3125 kHz. Spodná časť

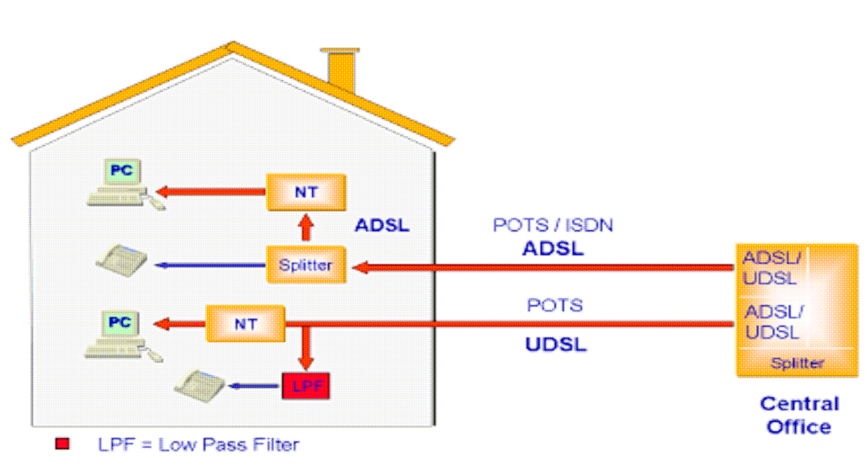
spektra je však využitá pre telefónny kanál alebo ISDN. Základné delenie frekvenčného spektra ADSL je na obrázku 2.4, kde sú tiež vyznačené jednotlivé . [2]



Obrázok 2.4 Obsadenie spektra jednotlivými variantmi ADSL

2.1.2.1 G.lite ADSL (UDSL)

Zásadný rozdiel medzi variantom Full a Lite (podľa odporúčaní ITU-T G.992.2) je v celkovej šírke využívaného frekvenčného pásma. Zatiaľ čo plný variant ADSL pracuje až do 1104 kHz, odľahčený variant vystačí s polovičnou šírkou 552 kHz. Tomu odpovedajú i nižšie prenosové rýchlosti Downstream a zároveň sa nepočíta s inštaláciou splitterov, ale iba jednoduchých filtrov (mikrofiltro) pred telefónnym prístrojom.



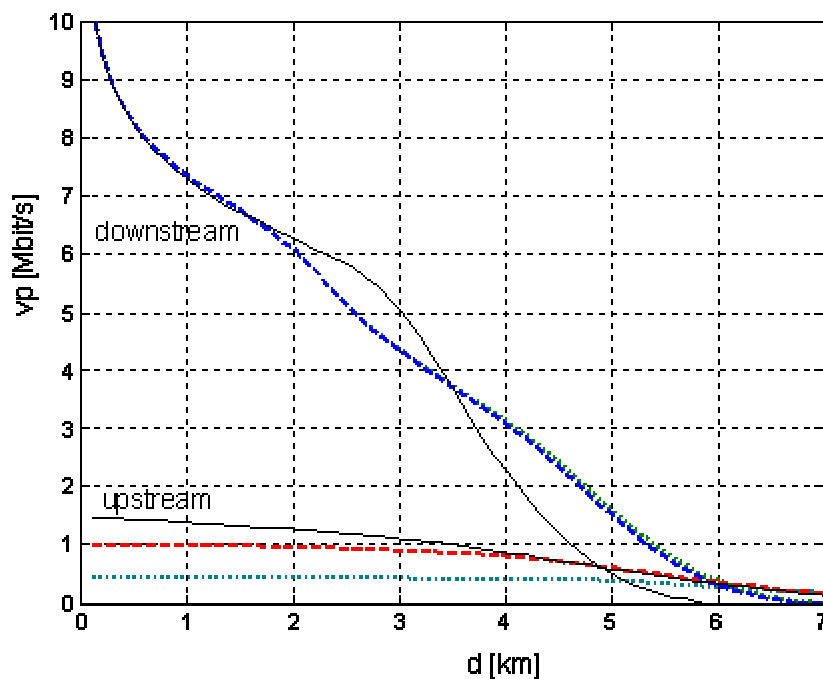
Obrázok 2.5 Spôsob pripojenia ADSL a UDSL

2.1.2.2 ADSL 2

Podľa uvedených pôvodných štandardov ADSL bol schválený aj štandard pre ADSL2 druhej generácie (ITU-T G.992.3, G.992.4). Prínosom ADSL2 je hlavne zavedenie flexibilnej štruktúry rámca bez pevnej dĺžky, ktorá dovolí podstatne znížiť réžiu prenosu a redukovať rýchlosť zodpovedajúcu záhlaviu až pod 1 kbit/s. Prenosová rýchlosť v smere downstream už nie je obmedzená hodnotou 8 Mbit/s. Behom prenosu je možno adaptívne prispôbovať prenosovú rýchlosť podľa šumových pomerov a meniť aj vysielací výkon. Vysielací výkon v smere downstream sa redukuje behom prevádzky, pokiaľ nie je treba prenášať dáta plnou prenosovou rýchlosťou bez nutnosti re-inicializácie. Z redukovanej úrovne vysielacieho výkonu sa dá automaticky prejsť pri absencii prenášaných dát do kľudového režimu (sleep mode), kedy sa vysielala iba s potrebnou nízkou úrovňou signálu pre udržanie spojenia a operatívne sa dá prejsť opäť na plný výkon pri obnovení potreby prenášať dáta.

ADSL2 zachováva existujúce prípojky a prichádza naviac s plno digitálnym režimom (ADM – All Digital Mode), kedy sa obsadzuje celé pásmo digitálnym prenosom už od 1. subkanálu, takže sa zvýši priepustnosť pre smer upstream až cez 2 Mbit/s (G.992.3 ANNEX J).

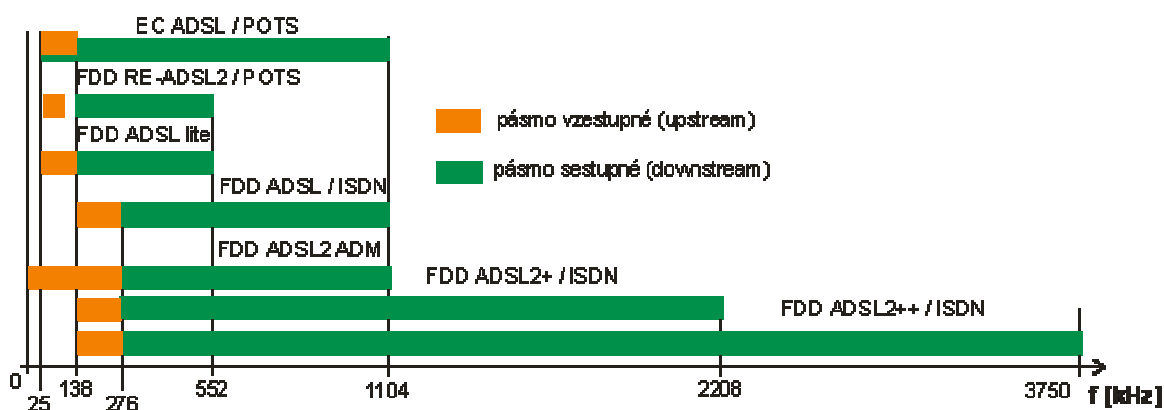
K tomu pristupuje ešte variant určený pre dlhé vzdialenosti RE-ADSL2 (Reach Extended), kde je pásmo upstream naopak zúžené, aby sa eliminoval presluch typu NEXT na frekvenčnom presahu na rozhraní pásiem (G.992.3 ANNEX L), čo demonštruje obrázok 2.6. Zároveň je zúžené i pásmo downstream, pretože na veľké vzdialenosti sa nevyužívajú frekvencie blízke 1 MHz, ale pre porovnanie s konvenčnou prípojkou je na obrázku 2.6 uvažovaný aj variant RE-ADSL2 do 1,104 MHz (v praxi je účelné, aby aj kratšie prípojky mali redukovaný smer upstream a nerušili dlhé prípojky). Zúženie pásma upstream na kanály 6 až 23 predĺži pri 20% obsadení káblu dosah prípojky približne z 4,5 na 5,5 km, pretože downstream nie je rušený presluchom typu NEXT od smeru upstream. Ten pri bežnej prípojke FDD ADSL/POTS presahuje čiastočne do pásma downstream, pretože ho nemôžeme presne s deliacou frekvenciou 138 kHz striktno odfiltrovať. Ešte sa pripúšťa ďalšie zúženie pásma upstream na rozsah 6 až 13 subkanálov, čo sa však už nijako neprejaví na náraste rýchlosti downstream, naopak rýchlosť v smere upstream je výrazne nižšia. [3]



Obrázok 2.6 Efekt predĺženia dosahu prípojky RE-ADSL2/POTS (hrubá čiarkovaná čiara pre upstream so subkanálmi 6 až 23, bodkovaná čiara pre upstream so subkanálmi 6 až 13) v porovnaní so štandardnou prípojkou (tenká čiara)

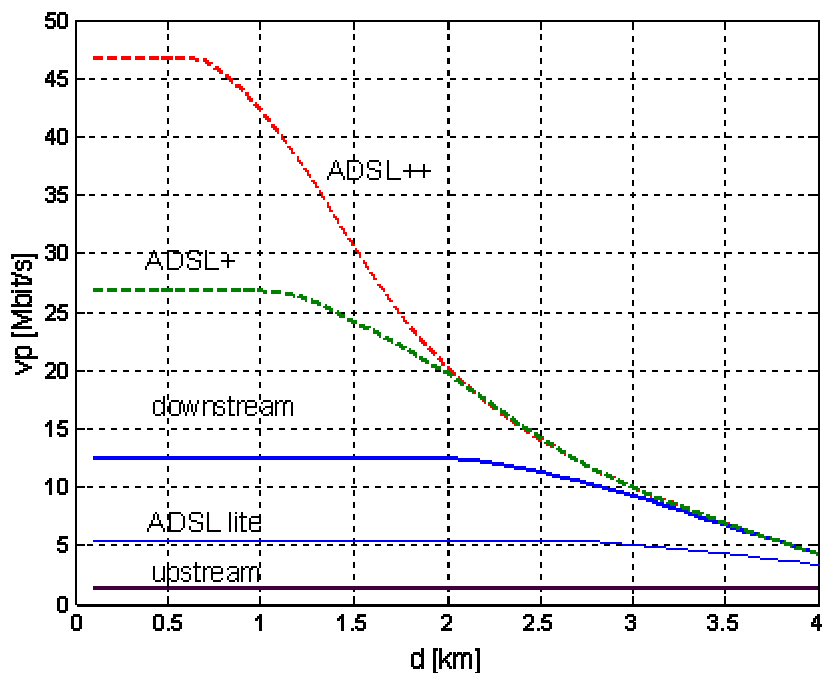
2.1.2.3 ADSL 2+

Najjednoduchšia možnosť, ako zvýšiť maximálnu dostupnú prenosovú rýchlosť ADSL prípojky je rozšíriť frekvenčné pásmo. Touto cestou ide variant ADSL2+ (doporučení ITU-T G.992.5) s hornou frekvenciou pásma 2,208 MHz a ADSL2++ (doteraz nie je štandardizované) s hornou frekvenciou pásma 3,75 MHz, ktorá vyššou prenosovou rýchlosťou už dokáže konkurovať prípojkám VDSL pre asymetrické aplikácie (obrázok 2.7).



Obrázok 2.7 Obsadenie spektra jednotlivými variantmi ADSL

Dosiahnuteľné prenosové rýchlosti ukazuje obrázok 2.9.



Obrázok 2.8 Porovnanie variantov FDD ADSL/POTS s rôznou šírkou pásma pri jedinej prípojke v kábli

2.2 HDSL

HDSL (High Data Rate Digital Subscriber Line, odporúčanie ITU-T G.991.1) sa používa na realizáciu primárnych digitálnych prípojok na metalickom vedení. Je to vôbec najstaršia technológia z technológií xDSL. Na prenos sa používajú dva alebo tri páry

vedení. Všetky páry majú duplexný prenos metódou potlačených ozvien. Maximálna prenosová rýchlosť je 2,048 Mbit/s. Bez použitia opakovačov je dosah do 4 km pre dva páry a 5,5 km pre tri páry. Nevýhodou je použitie linkového kódu 2B1Q, ktorý nie je spektrálne ohľaduplný voči ADSL, a tak spôsobuje rušenie služieb v susedných pároch. Pri kódovaní sa uvažuje polarita predchádzajúceho symbolu z dôvodu potlačenia jednosmernej zložky. Modulačná rýchlosť je 584 kBd pre dva páry a 392 kBd pre tri páry. Veľkou výhodou HDSL je, že nevyžaduje testovať už položené káble, kvalita a rýchlosť prenosu je dosiahnutá úpravou modulačnej rýchlosti a použitého kódu, taktiež potlačením ozvien a odrazov. [4]

2.2.1 HDSL 2

Potreba vyhnúť sa použitiu 2 alebo 3 metalických párov viedla k vzniku vylepšenej verzie HDSL2. Prvý krát bola použitá v USA, používa sa jeden symetrický pár pre prenos signálu a modulácia TC – PAM. Prenosové rýchlosti sú zhodné ako v prípade HDSL.

2.3 SHDSL

Prenosový systém označovaný skratkou SHDSL (Single pair High speed Digital Subscriber Line) je určený pre prenos po metalickom symetrickom vedení obidvomi smermi s rovnakými prenosovými rýchlosťami. Podľa odporúčaní ITU-T G.991.2, SHDSL využíva iba jeden pár metalického vedenia a na účastníckom rozhraní umožňuje nastaviť prenosovú rýchlosť od 192 kbit/s do 2312 kbit/s. V prípade požiadavky na vyššiu, až dvojnásobnú prenosovú rýchlosť, alebo v prípade požiadavky na dosiahnutie väčšej vzdialenosti, je štandardizovaná aj dvoj párový variant SHDSL. K prenosu digitálneho signálu sa využíva šestnásťstavová pulzne amplitúdová modulácia s Trellis kódovaním (16-TCPAM). Veľkou prednosťou systému SHDSL je koncepcia rešpektujúca požiadavky na spektrálnu kompatibilitu s ďalšími prenosovými systémami, ktoré sa môžu vyskytnúť v prístupovej metalickej sieti.

Pojem spektrálna kompatibilita označuje:

1. polohu využívaného frekvenčného pásma,
2. schopnosť systému meniť svoje vysielacie parametre (celkový vysielací výkon, šírka využívaného frekvenčného pásma, rozloženie vysielacieho výkonu vo frekvenčnom pásme) podľa aktuálnej situácie v prístupovej sieti a tým byť menším zdrojom rušenia pre ostatné prípojky.

Dosah sa pohybuje v rozsahu 3 – 6 km. [5]

2.4 BDSL

Táto technológia je určená na distribúciu väčšieho počtu TV kanálov, ktoré zdieľajú prenosové médium spolu s analógovou telefónnou linkou. Analógové videosignály sú digitalizované a spolu s digitálnymi TV sú podrobené kompresii, napr. MPEG. Pri použití troch subnosných frekvencií (400 kHz, 800 kHz, 1,2 MHz) a dĺžke prípojného vedenia okolo 400m je možné prenášať 40 TV kanálov štandardnej kvality.

2.5 VDSL

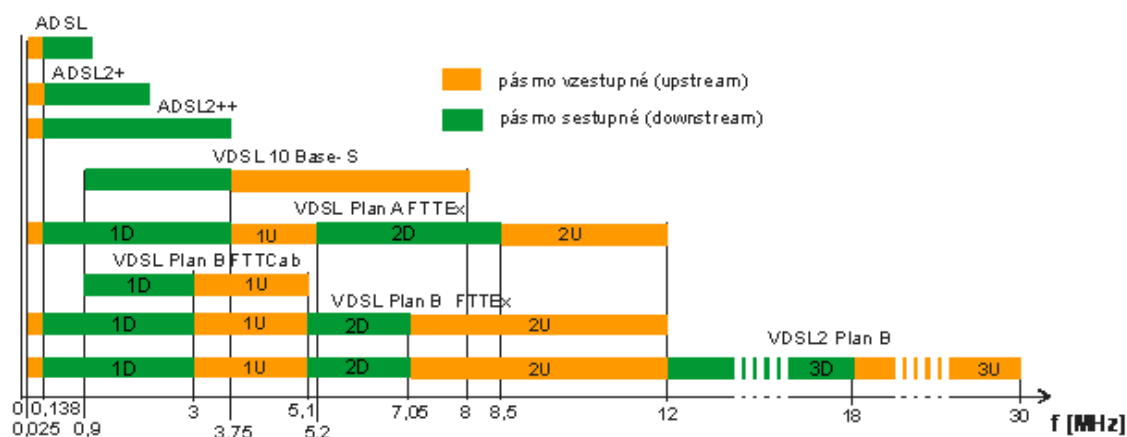
Ďalšou alternatívou pre vyššie prenosové rýchlosti dát po metalických účastníckych vedeniach je prípojka VDSL (Very high speed Digital Subscriber Line). Základná koncepcia a usporiadanie je zhodné s ADSL. Od ADSL sa však líši v tom, že môže pracovať v symetrickom aj asymetrickom režime. V symetrickom režime je maximálna teoretická prenosová rýchlosť až 26 Mbit/s v oboch smeroch, v nesymetrickom režime potom až 52 Mbit/s v doprednom smere a 6,4 Mbit/s v spätnom smere. Prenosová rýchlosť nie je pevná, ale rovnako ako u ADSL závisí od množstva faktorov (napr. od útlmu vedenia, úroveň rušenia). Hlavným obmedzením je tu však vzdialenosť a tlmenie, ktorá býva na rozdiel od ADSL maximálne len 1,5 km, pričom maximálna možná prenosová rýchlosť VDSL prípojky (52 Mbit/s) v spätnom smere môže byť dosiahnutá len na vedení dĺžky niekoľko sto metrov. Vyššie prenosové rýchlosti sa dosahujú podstatným rozšírením frekvenčného pásma až k 30 MHz, ale za cenu nižšieho dosahu. Pre oddelenie smerov prenosu nemôžeme v daných vyšších frekvenčných pásmach pripustiť prekrývanie pásiem a oddelenie pomocou potlačenia ozveny EC, pretože by presluch typu NEXT znemožnil prenos výrazným znížením odstupu signálu od

šumu. U VDSL sa preto používa metóda frekvenčného delenia FDD (Frequency Division Duplex), diskutovalo sa aj o aplikácii metódy časového delenia TDD (Time Division Duplex).

Systém VDSL je štandardizovaný v odporučení ITU-T G.993.1 (pracovné označenie g.vdsl). Štandard pripúšťa dve vzájomne nekompatibilné metódy popísané pre európsku oblasť v dokumente ETSI TS 101 270-2:

- MCM (Multi-Carrier Modulation) - modulácia s viac nosnými, tj. modulácia DMT štandardizovaná a overená u ADSL.
- SCM (Single-Carrier Modulation) - modulácia s jednou nosnou (myslené v rámci jedného pásma 1D,1U atď.), a to modulácia QAM tu označovaná ako PSS (Pass-band Spectral Shaping) či CAP označovaná BSS (Base-band Spectral Shaping).

Používa sa pravidelné striedanie pásiem upstream (1U, 2U) a downstream (1D, 2D) podľa dvoch schém: plán A tiež označovaný „998“, plán B tiež označovaný „997“, podľa obrázku 2.9 do maximálnej frekvencie 12 MHz, pričom sa nemusia využiť všetky pásma, ale iba tie, ktoré sú potrebné pre daný užívateľský profil a potrebnú prenosovú rýchlosť. Pod frekvenciu 138 kHz môžeme ešte pridať pásmo upstream (U) od 25 kHz presne ako pri ADSL

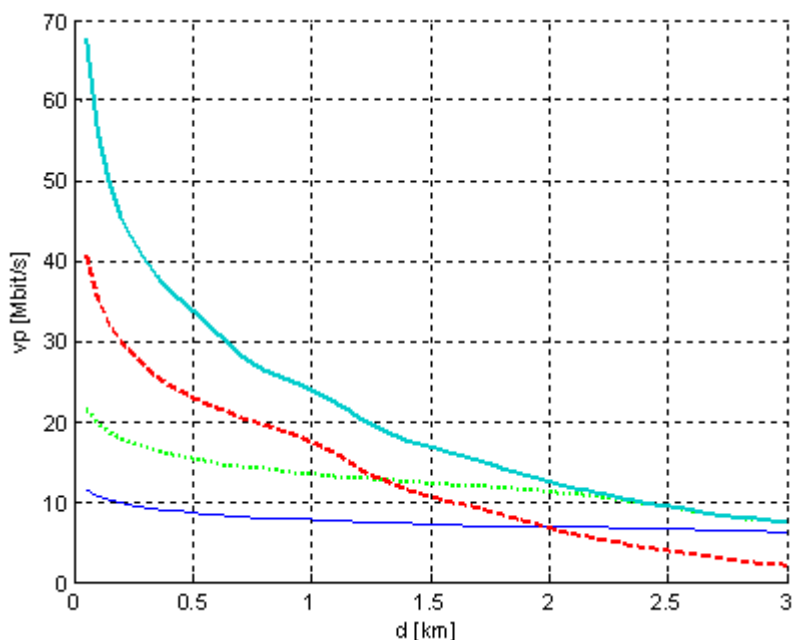


Obrázok 2.9 Znáznornenie vybraných variantov VDSL vo frekvenčnom spektre

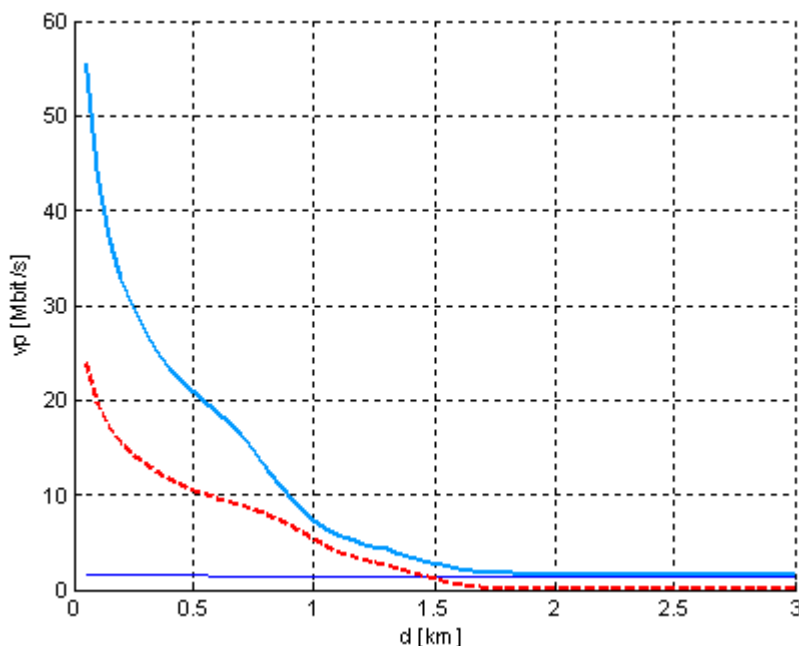
K uvedeným pásmam môžeme pridať ďalšie dve (3D a 3U) a využiť tak frekvencie až do 30 MHz, pričom deliaca frekvencia medzi nimi je predmetom diskusií. Uvedená hodnota 18 MHz je jeden z možných príkladov. Záleží na tom, či sa preferuje symetria prenosových rýchlostí či naopak nesymetria. [6]

2.5.1 VDSL 2

V súčasnosti sa už využíva štandard VDSL2 (odporúčanie ITU-T G.993.2). Nové štandardizované VDSL2 ponúka poskytovateľom služieb k rozsiahlejšiemu zavádzaniu tohto zatiaľ najrýchlejšieho variantu xDSL. V prvom rade ide o prenosovú rýchlosť, ktorá môže byť nastavená na rôzne symetrické či asymetrické hodnoty v závislosti na potrebách a dĺžke vedení. Najčastejšie je uvádzaná rýchlosť 100 Mbit/s v oboch smeroch na vzdialenosť rádovo niekoľko desiatok metrov. Pri nižších rýchlostiach VDSL2 dosahuje aj väčšie vzdialenosti. Táto technológia počíta aj s kombináciou s optickými prípojkami FTTP, kde by sa pre posledných pár sto metrov malo využiť práve VDSL2 pripojenie cez už vybudované telefónne vedenie. [7]



Obrázok 2.10 Porovnanie rýchlostí v smere downstream pre ADSL2, ADSL2+, VDSL (0,9 až 12 MHz) a VDSL2 (do 30 MHz) pre 20 % obsadenie kábla.



Obrázok 2.11 Porovnanie rýchlostí v smere upstream pre ADSL2, VDSL (0,9 až 12 MHz) a VDSL2 (do 30 MHz) pre 20 % obsadenie kábla.

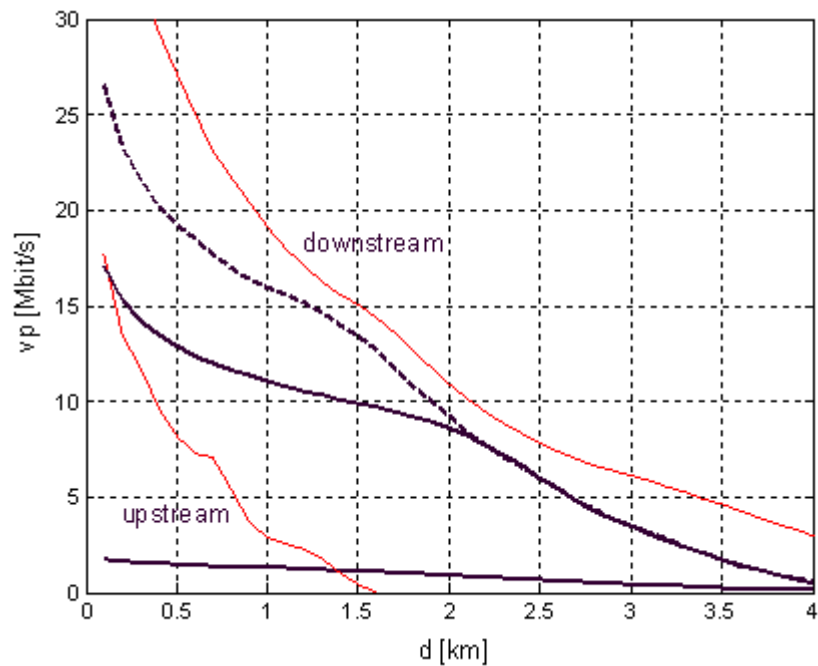
2.6 Zhodnotenie a porovnanie jednotlivých xDSL technológií

Je zrejmé, že teoreticky môžeme dosiahnuť pri ADSL2 prenosovú rýchlosť až cez 10 Mbit/s v smere downstream, pri variante ADSL2+ až 25 Mbit/s a ADSL2++ až 40 Mbit/s. Opačný smer poskytne až 1,5 Mbit/s. V praxi však býva na jednom kábli inštalované väčšie množstvo digitálnych systémov, pričom počty párov v kábli sa bežne pohybujú v desiatkach až stovkách. U variantu FDD ADSL/ISDN môžeme potom dosiahnuť sotva prenosovú rýchlosť 5 Mbit/s v smere downstream pri vzdialenosti 2 km od ústredne, u ADSL2+ iba prenosovú rýchlosť okolo 12 Mbit/s pri vzdialenosti 1 km od ústredne, prípadne 16 Mbit/s u ADSL2++. S poklesom prenosových rýchlostí pri zvyšujúcej sa penetrácii digitálnymi prípojkami je potrebné vopred počítať. Optimálne využitie prenosového prostredia je možné vďaka premyslenej správe spektra v miestnych kábloch. Maximum z metalických káblov môžeme dostať pri tzv. dynamickej správe spektra DSM (Dynamic Spectrum Management), pri ktorej sa vzájomne všetky nasadené systémy prispôbujú, aby sa maximalizovala celková výkonnosť prenosu.

Pri VDSL technológii môžeme teoreticky dosiahnuť prenosovú rýchlosť až cez 100 Mbit/s na krátke vzdialenosti. V praxi pri 20% obsadení kábla viacerými systémami môžeme dosiahnuť na približne 500 m rýchlosti okolo 25 Mbit/s symetricky. Priblíženiu hranici 100 Mbit/s bude možné pomocou modulácie DMT s vektorizáciou signálov pre kompenzáciu presluchoch na vzdialenom konci.

S rozvojom nových variantov prípojok xDSL sa diskutujú stratégie pre ich použitie v sieti pre dosiahnutie vyšších prenosových rýchlostí, napríklad pre prenos videozáznamov pre televíziu s vysokým rozlíšením (HDTV), kde sa požadujú rýchlosti rádovo v desiatkach Mbit/s. Momentálny stav s výrazným rozšírením prípojok ADSL hovorí viac o uprade na variant ADSL2+ a ADSL2++, ktoré rozširujú frekvenčné pásmo. Oproti ADSL je VDSL výhodným riešením pre symetrické prenosi s požiadavkami aj na nárast prenosovej rýchlosti v spätnom smere (upstream), ktorý u ADSL nie je možný a uplatní sa hlavne v koncepcii Ethernet over DSL (EFM – Ethernet in the First Mile, aj keď iba pre obmedzenú dĺžku prípojok približne do 1 km.

Naznačený vývoj ADSL spočívajúci v zdvojnásobení hornej medznej frekvencie a počtu subpásiem, prípadne ešte vyššie, je perspektívnym riešením pre kratšie prípojky s vyššou prenosovou rýchlosťou. Diskutuje sa o výhodnosti zavedenia ADSL2+, prípadne ADSL2++, alebo naopak využitie prípojky VDSL, ktorá môže využiť frekvenčné pásmo 138 kHz až 12 MHz, perspektívne až do 30 MHz. Výhodou VDSL môžu byť vyššie maximálne dosiahnuteľné rýchlosti a možnosť prenášať dáta i symetricky rovnakými rýchlosťami v oboch smeroch. Porovnanie prípojky FDD ADSL2+/ISDN a ADSL2++/ISDN s VDSL pri variante s umiestnením modemu poskytovateľa v mieste rozvádzača (FTTCab) a frekvenčným plánom A výhodným pre asymetrické aplikácie od 0,9 do 12 MHz ukazuje obrázok 2.12 pre 20% obsadenie kábla. Pre smer downstream vychádza VDSL výhodnejšie ako ADSL2++, aj keď pre dĺžky medzi 1,5 až 2 km nie príliš výrazne. Upstream VDSL veľmi rýchlo klesá a obmedzuje použitie tejto prípojky v danej konfigurácii iba na spomínanú dĺžku niečo cez 1 km. [3]



Obrázok 2.12 Porovnanie prípojky FDD ADSL2+/ISDN (hrubá čiara) a ADSL2++/ISDN (čiarkovaná) s VDSL vo variante FTTCab, frekvenčný plán A do 12 MHz (tenká čiara) pri 20% obsadení kábla.

3 Vlastnosti symetrických párov

Metalicke prenosové cesty sú realizované telekomunikačnými vedeniami, čo sú vhodne usporiadané sústavy vodičov. Telekomunikačné vedenia môžeme zjednodušene považovať za homogénne vedenia s rovnomerne rozloženými elektrickými parametrami. Homogénne vedenie má vo všetkých svojich častiach rovnaké elektrické vlastnosti.

3.1 Druhy a konštrukčné usporiadanie metalických vedení

Telekomunikačné vedenie je tvorené dvojicou rovnobežných metalických vodičov (medených, bronzových, hliníkových alebo oceľových) vo dvoch základných usporiadaniach:

- Dvojica paralelných vodičov – symetrické vedenie
- Dvojica súosových vodičov – koaxiálne vedenie

Podľa konštrukčného prevedenia môže telekomunikačné vedenia rozdeliť na:

- Nadzemné vedenia
- Káblové vedenia – so symetrickými párami, alebo koaxiálnymi párami

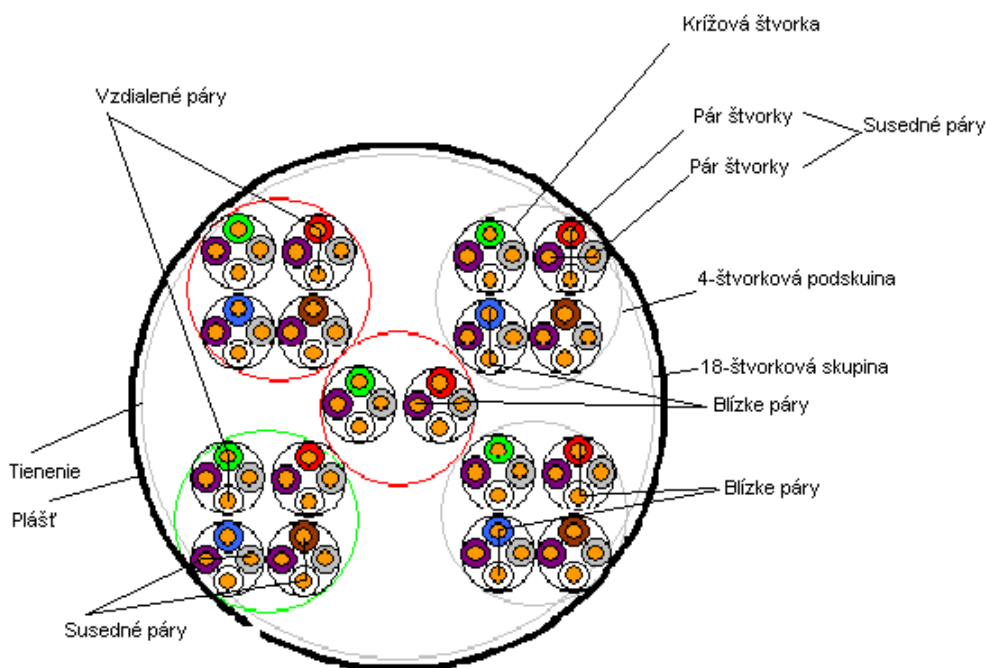
Podľa spôsobu inštalácie môžu byť káble závlačné, závesné, samonosné, riečne a podmorské. Nevýhodou nadzemných vedení je závislosť ich prenosových vlastností na klimatických podmienkach a tiež značný rušivý vplyv cudzích elektromagnetických polí (silnoprúdové vedenia, rozhlasové vysielacie, elektrospotrebiče a pod.) Káblové úložné vedenia sú umiestnené v zemi v hĺbke asi 80 cm. , kde sú chránené proti mechanickému poškodeniu a proti vplyvu náhlych klimatických zmien. Svojou konštrukciou sú aj čiastočne chránené proti pôsobeniu rušivých elektromagnetických polí. Vodiče symetrického káblového prvku majú voči zemi takmer zhodné impedancie čo znamená, že sú voči zemi symetrické. Medený vodič tvorí jadro, ktoré je izolované plastovou izoláciou. Pri starších káblach sa používala aj papierová izolácia alebo izolácia papier-vzduch či styroflex-vzduch. Takto izolovaný vodič tvorí žilu. Stočením niekoľkých žíl sa vytvorí káblový prvok symetrického kábla. Pár tvoria dve žily stočené s určitou dĺžkou skrutu (obrázok 3.1a). Krížová štvorka označovaná X je tvorená štyrmi žilami stočenými s rovnakou dĺžkou skrutu (obrázok 3.1b), pričom k prenosu elektromagnetickej vlny sa vždy využíva dvojica protiľahlých žíl, ktorých spojnice tvorí rameno pomyselného kríža.

DM štvorka (Dieselhorst-Martin) podľa obrázku 3.1c vzniká stáčaním dvoch párov s inou dĺžkou skrutu a obidva sú potom s inou dĺžkou skrutu stáčané dohromady.



Obrázok 3.1 Typy symetrických prvkov

Miestne telefónne káble používané v prístupových sieťach sú pôvodne určené pre prenos hovorových signálov analógových telefónnych prípojok. Sú tvorené párami, alebo častejšie štvorkami stočenými do vrstiev. Páry, respektíve štvorky sú stočené do vrstiev alebo skupín. Priemer medených jadier v našej sieti je 0,4; 0,6; alebo 0,8 mm. Káblové prvky usporiadané do vrstiev či skupín tvoria ako ukazuje obrázok 3.2 dušu kábla. Táto duša je chránená oloveným, hliníkovým alebo plastovým plášťom proti vnikaniu vlhkosti a oceľovým pancierom proti mechanickému poškodeniu. Pancier a kovový plášť pôsobia tiež ako elektromagnetické tienenie. Plastový plášť býva dopĺňovaný o hliníkovú tieniacu fóliu. Ako ďalší stupeň proti vnikaniu vlhkosti sa môže použiť plnenie medzier medzi žilami v duši kábla gelom. [8]



Obrázok 3.2 Skupinová konštrukcia miestnych káblov (18-štvoriek)

3.2 Teória homogénnych vedení

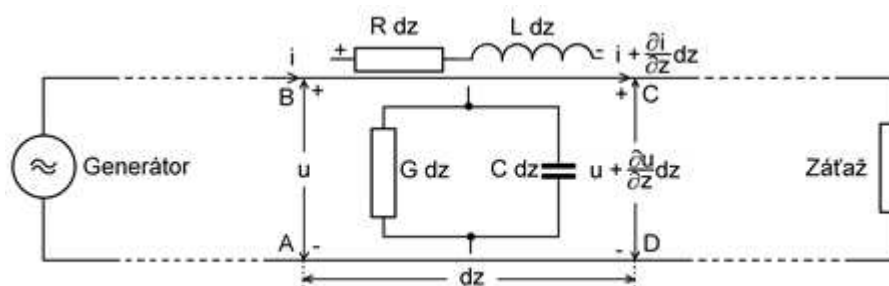
Dlhé vedenia sa niekedy nazývajú aj vedenia s rozloženými parametrami. Pri prenose signálov sa totiž okrem ich pozdĺžneho odporu a priečnej vodivosti uplatňujú aj pozdĺžna reaktancia a priečna susceptancia, ktoré možno chápať ako spojito rozložené pozdĺž vedenia, na rozdiel od sústredených parametrov, akými sú odpory rezistorov, indukčnosti cievok a kapacity kondenzátorov. Rozložené parametre vedenia sa uplatňujú pri veľkej dĺžke vedenia alebo pri vysokej frekvencii prenášaného signálu. [9]

3.2.1 Primárne parametre vedenia

Každé dvojvodičové vedenie charakterizujú štyri primárne parametre:

- pozdĺžny odpor vedenia na jednotku dĺžky R [Ω/km] spôsobený nenulovou vodivosťou vodiča a skin efektom;
- pozdĺžna indukčnosť vedenia na jednotku jeho dĺžky L [H/km] spôsobená indukčnými vlastnosťami vodiča;
- priečna vodivosť vedenia na jednotku dĺžky G [S/km] spôsobená neideálnym dielektrikom, ktoré tvorí izoláciu medzi vodičmi;
- priečna kapacita vedenia na jednotku dĺžky C [F/km] predstavujúca kapacitné vlastnosti dvojice vodičov.

Nekonečne krátky úsek vedenia dz má potom pozdĺžny odpor jedného vodiča Rdz , priečnu vodivosť Gdz , pri frekvencii ω pozdĺžnu indukčnú reaktanciu ωLdz a priečnu kapacitnú susceptanciu ωCdz . Treba mať na pamäti, že v dôsledku skin efektu sú aj pozdĺžny odpor aj priečna vodivosť závislé od frekvencie. Vedenie, ktorého parametre pozdĺž jeho dĺžky zostávajú konštantné, sa nazýva homogénne alebo regulárne.



Obrázok 3.3 Infinitézimálny úsek vedenia dĺžky dz

3.2.2 Sekundárne parametre vedenia

Pre sledovanie prenosových vlastností homogénneho vedenia sa zavádzajú sekundárne parametre vedenia. Relatívna zmena napätia a prúdu v každom elemente vedenia vzťahnutá na jednotkovú dĺžku vedenia je konštantná a nazýva sa koeficient šírenia napäťových a prúdových vln γ . Závisí od primárnych parametrov vedenia a je to vo všeobecnosti komplexné číslo ktoré môžeme napísať v tvare:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (3.1)$$

Kde

α je koeficient útlmu [Np/km] – v praxi je udávaný v dB/km, 1 Np=8,686 dB;

β je fázový koeficient [rad/km].

Zo vzťahu

$$\sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (3.2)$$

môžeme vypočítať α a β . Umocníme rovnicu na druhú a oddelíme reálne a imaginárne časti. Získame systém dvoch rovníc, ktorých riešením dostaneme zložité výrazy pre koeficient útlmu a fázový koeficient:

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} + (RG - \omega^2 LC) \right]} \quad (3.3)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\sqrt{(R^2 + \omega^2 L^2)(G^2 + \omega^2 C^2)} - (RG - \omega^2 LC) \right]} \quad (3.4)$$

Ak frekvencia klesá k nule, to znamená ak

$$\omega = 0 \quad (3.5)$$

potom limitná hodnota koeficientu útlmu a fázového koeficientu je rovná:

$$\alpha = \sqrt{RG} \quad \beta = 0 \quad (3.6), (3.7)$$

Je to prípad vedenia pracujúceho s konštantným napätím. Ak naopak frekvencia rastie a platí že>

$$\omega L \gg R \quad \text{a} \quad \omega C \gg G$$

Dostaneme výrazy pre vysokofrekvenčné hodnoty koeficientu útlmu a fázového koeficientu v tvaroch:

$$\alpha \approx \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$\beta \approx \omega \sqrt{LC}$$

3.2.3 Charakteristická impedancia

Pomer napätia U a prúdu I v každom bode homogénneho vedenia je stály a nazýva sa charakteristická (vlnová) impedancia vedenia Z_C , ktorá ako vidíme závisí iba od primárnych parametrov a od frekvencie ω .

$$Z_C = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = X + jY = |Z_C| e^{j\varphi} \quad (3.8)$$

$|Z_C|$ je modul vlnovej impedancie (absolútna hodnota), ktorý udáva pomer amplitúdy napät'ovej a prúdovej vlny v každom mieste homogénneho vedenia a φ je argument vlnovej impedancie, ktorý udáva rozdiel medzi fázou napät'ovej a prúdovej vlny v každom mieste homogénneho vedenia. [8]

Amplitúda napätia a prúdu sa v každom mieste vedenia skladá z dvoch zložiek. Prvá zložka predstavuje hlavnú či postupnú vlnu šíriacu sa vedením smerom od začiatku, druhá zložka predstavuje spätnú či odrazenú vlnu šíriacu sa smerom od konca vedenia. Amplitúdy týchto vln závisia na vlnovej impedancii vedenia Z_C a na impedančnom zakončení vedenia impedanciou Z_2 .

Pri korektne zakončenom vedení je vstupná impedancia vedenia Z_1 rovná vlnovej impedancii Z_C . Vstupná impedancia vedenia $Z_1 = Z_C$ by bola teoreticky i pri nekorektne zakončenom vedení pokiaľ jeho dĺžka $l \rightarrow \infty$ to znamená pri nekonečne dlhom vedení.

Podobne sa bude chovať aj nekorektné zakončené vedenie konečnej dĺžky, ale s útlmom $A = \alpha \cdot l \geq 26 \text{ dB}$. Takéto vedenie nazývame prakticky nekonečne dlhé. Stupeň korektnosti impedančného zakončenia vyjadruje koeficient odrazu (Reflection)

$$r = \left| \frac{Z_2 - Z_C}{Z_2 + Z_C} \right| \quad (3.9)$$

Alebo útlm neprispôsobenia či tiež útlm odrazu (Return Loss)

$$A_R = RL = 20 \cdot \log \frac{1}{r} = 20 \cdot \log \left| \frac{Z_2 + Z_C}{Z_2 - Z_C} \right| \quad [\text{dB}] \quad (3.10)$$

Pre prípad impedančného prispôsobenia bude koeficient odrazu nulový a útlm odrazu bude limitovať k nekonečnu. Pre totálny odraz bude koeficient odrazu rovný jednotke a útlm odrazu bude nula.

Sekundárne parametre dané vedenie charakterizujú z hľadiska prenosu informačných signálov a môžeme ich určiť meraním. Mieru prenosu môžeme merať ako prenosové parametre dvojbrány zo vstupných (začiatok vedenia) na výstupné svorky (koniec vedenia). Charakteristickú impedanciu Z_C môžeme zmerať tak, že zmeráme vstupnú impedanciu vedenia pri výstupe naprázdno a nakrátko:

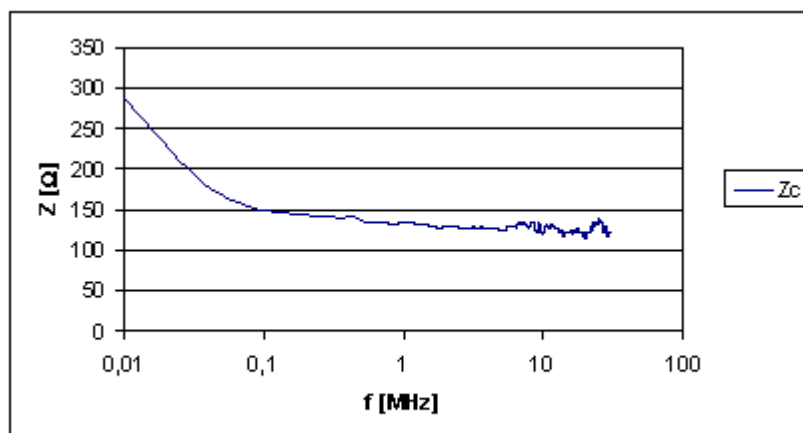
$$Z_C = \sqrt{Z_{1p} \cdot Z_{1k}} \quad (3.11)$$

Charakteristická impedancia symetrického páru s plastovou izoláciou na báze polyetylénu (PE) typicky klesá v závislosti na frekvencii k asymptotickej hodnote platnej pre najvyššiu oblasť frekvencií rádovo od jednotiek MHz, kde sa už nemení a blíži sa k hodnote

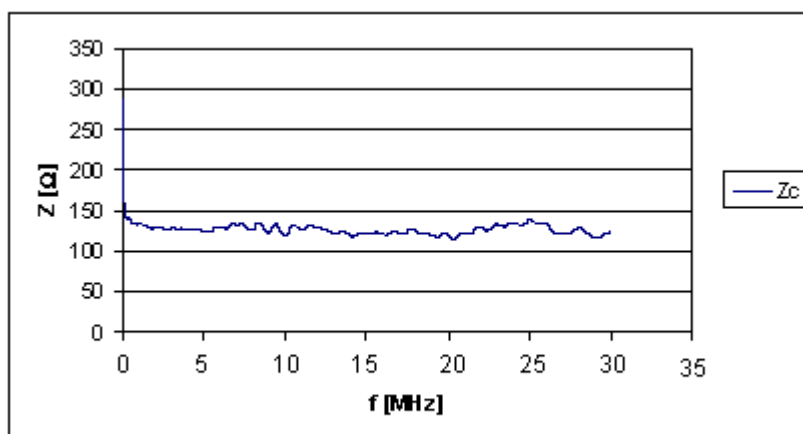
$$Z_C = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (3.12)$$

Pre vysoké frekvencie je možné Z_C považovať za konštantnú a reálnu veličinu. Najdôležitejším parametrom ovplyvňujúcim prenos informačných signálov je útlm vedenia $A = \alpha \cdot l$, ktorý obmedzuje dosah prenosových systémov.

Obrázok 3.4a ukazuje v logaritmickom merítke pokles hodnoty charakteristickej impedancie pri nižších frekvenciách a obrázok 3.4b ukazuje priebeh Z_C pri vyšších frekvenciách.



a.



b.

Obrázok 3.4 Priebehy charakteristickej impedancie TCEPKSwFLE 25x4x0,4

Útlm vedenia môžeme v zásade znížiť zmenou troch primárnych parametrov a to:

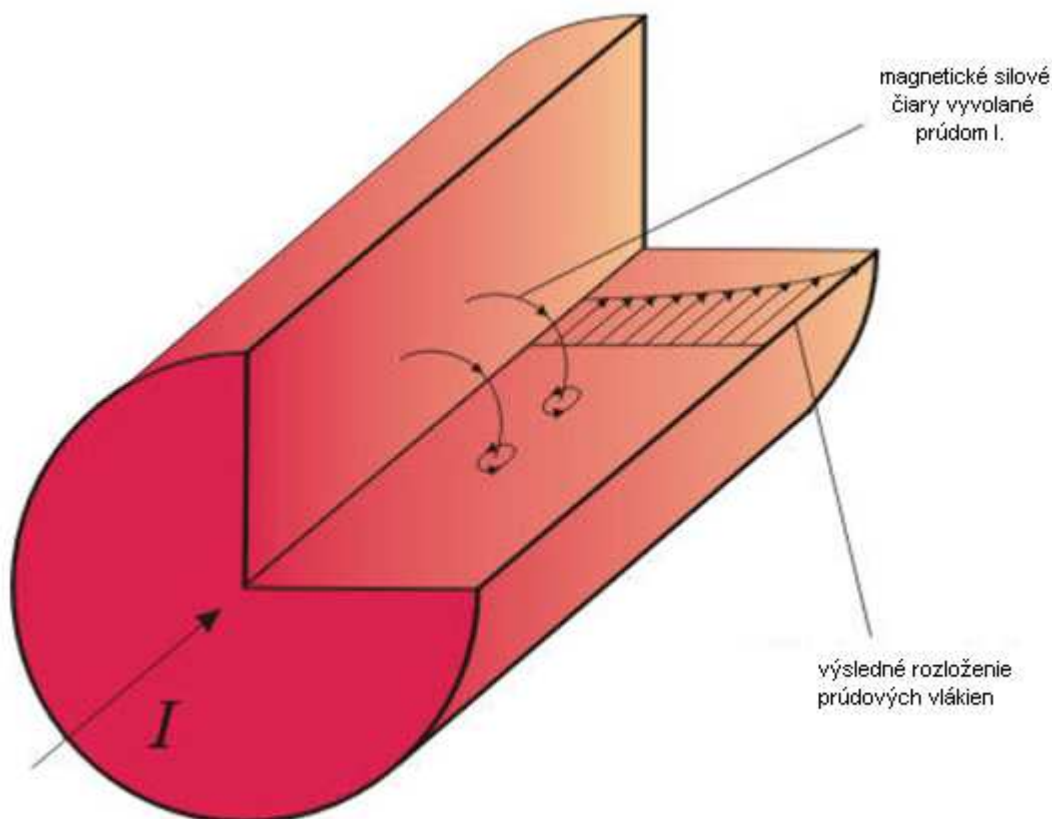
- znížením merného odporu R , to znamená, že je potrebné zväčšiť priemer vodičov
- zmenšením mernej kapacity C . To sa dá zvýšením vzdialenosti vodičov, čo je v kábli možné iba v obmedzenej miere. Ďalšia možnosť jak znížiť C je použiť izolačné hmoty s nízkou hodnotou efektívnej permitivity.
- Zvýšením L . Napríklad ovitím vodiča železným drôtikom.

3.3 Fyzikálne javy ovplyvňujúce útlm vedenia

Telekomunikačné aj silové vedenia (ktoré môžeme tiež použiť pre prenos telekomunikačných signálov), ovplyvňuje niekoľko nepriaznivých javov. Ide hlavne o povrchový jav a jav blízkosti. Tieto javy spôsobujú zvyšovanie merného odporu a tým i útlmu a uplatňujú sa hlavne pri vysokých frekvenciách.

3.3.1 Povrchový jav

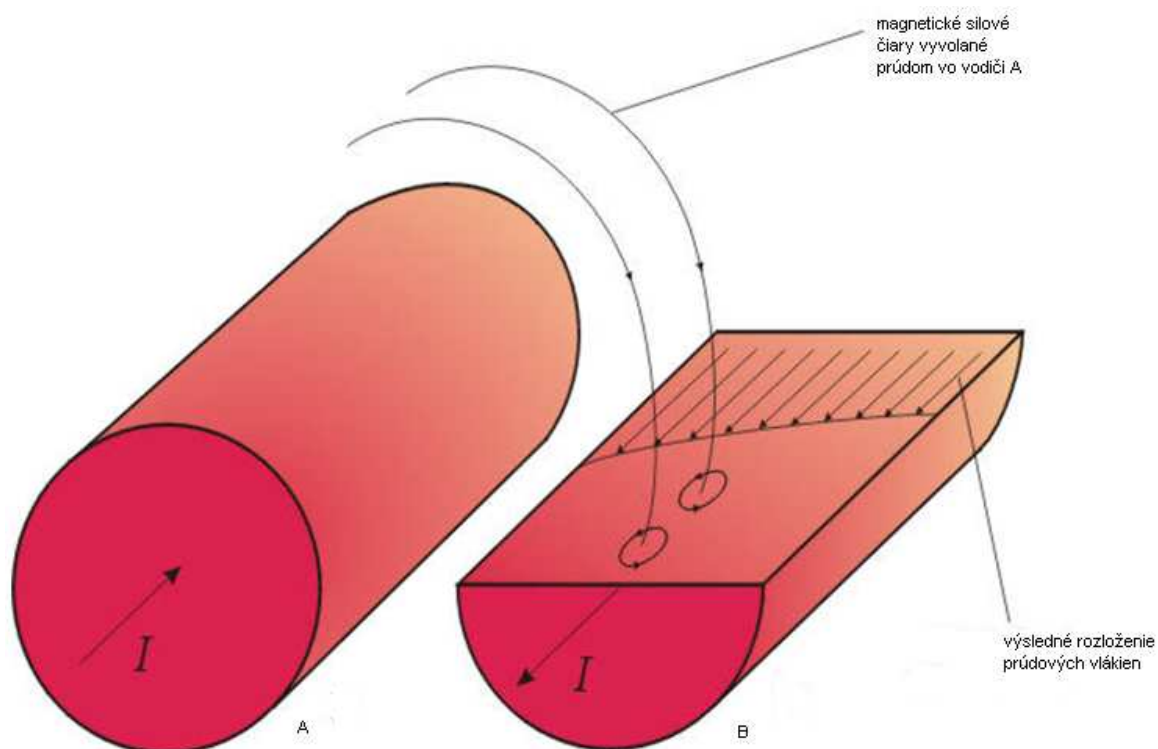
Keď striedavý prúd preteká vodičom, jeho magnetické pole indukuje vírivé prúdy vo vodiči, čím bránia toku primárneho prúdu. To núti celkový prúd so stúpajúcou frekvenciou ku stále väčšej koncentrácii na povrchu vodiča. Preto vzrastá efektívny odpor a objavuje sa reaktívna zložka zvaná vnútorná reaktancia (následkom zmeny fázy v celkovom prúde). Pri veľmi vysokých frekvenciách (nad 10 MHz) je skoro všetok prúd vedený v tenkej vrstve blízko povrchu vodiča (s prudkým poklesom smerom k stredu). Tento efekt sa nazýva povrchový jav (skin efekt).[10]



Obrázok 3.5 Povrchový jav

3.3.2 Jav blízkosti

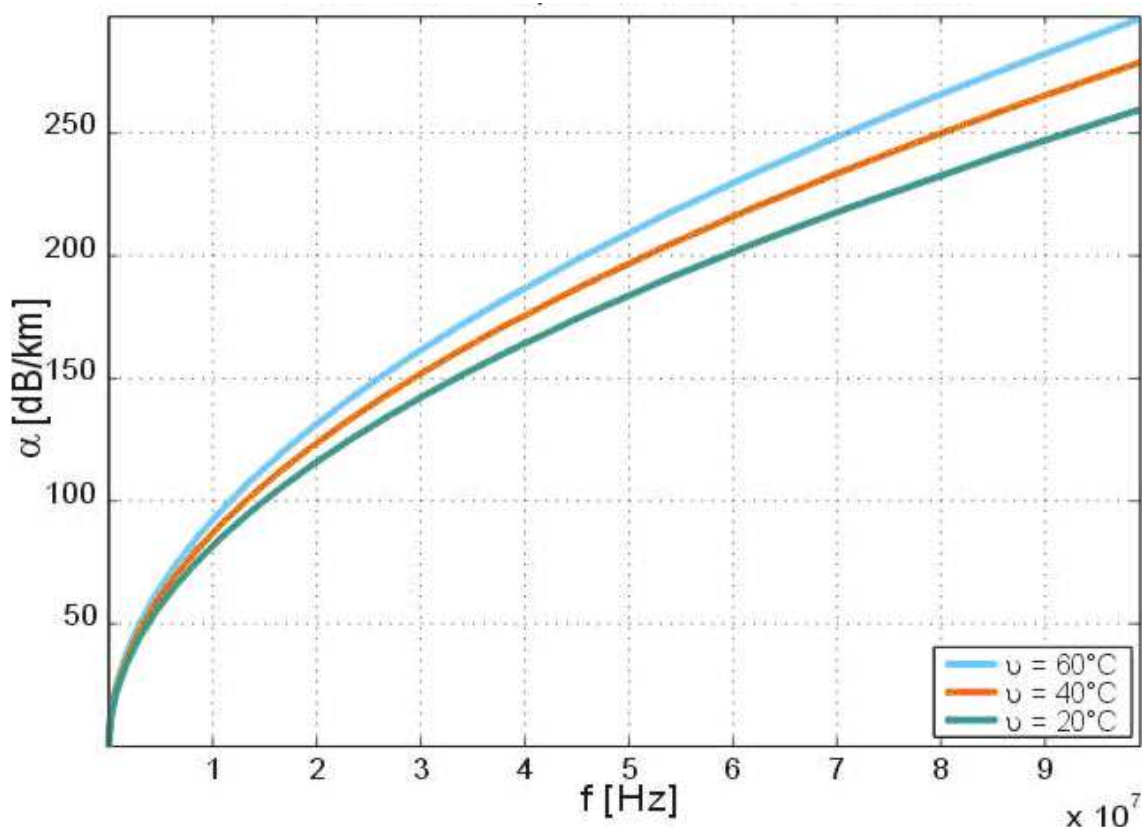
Rovnako ako povrchový jav aj jav blízkosti má vplyv na výsledné rozloženie prúdovej hustoty a v konečnom dôsledku spôsobuje zväčšenie merného odporu na vysokých frekvenciách. Jav blízkosti nastáva v dvoch vodičoch toho istého vedenia, ktorými preteká prúd v rôznych smeroch. Vonkajšie silové čiary vyvolané prúdom vo vodiči A spôsobia vznik čiastkových prúdov vo vodiči B, ktoré na blízkej strane k vodiču A prechádzajúci prúd zväčší, na opačnej strane zmenší. Podobne pôsobí aj vplyv blízkosti vodičov susedných párov, kovového plášťa alebo tienenia. Na rozdiel od povrchového javu, ktorý sa zväčšuje so vzrastajúcou frekvenciou, jav blízkosti dosiahne pri určitej frekvencii rovnovážnu hodnotu a viac sa nemení.



Obrázok 3.6 Jav blízkosti

3.3.3 Vplyv teploty vedenia

Ďalším javom, ktorý má priamy vplyv na útlm vedenia (aj keď v porovnaní s predchádzajúcimi javmi podstatne menší) je teplota vedenia. Prvotným parametrom, ktorý teplota ovplyvňuje je jednosmerný odpor R_0 , súčasť celkového merného odporu. Príklad modelovania teplotnej závislosti merného útlmu je uvedený na obrázku 3.7. Jedná sa o simuláciu pre netienený Cu pár s priemermi jadra a žily 0,4 resp. 0,6 mm s izoláciou z pevného PE.



Obrázok 3.7 Modelovanie merného útlmu v závislosti na teplote vedenia

3.4 Presluchy a nesymetrie

Existuje celá rada rôznych zdrojov, ktoré znižujú informačnú priepustnosť symetrického páru. Pri vhodne nastavených prenosových systémoch pre prístupové účastnícke siete bude vplyv vnútorných systémových rušení (väčšinou Biely šum pri pasívnych aj aktívnych elektrických súčiastkach) relatívne malý, vyjadrovaný empiricky

stanovenou spektrálnou hustotou výkonu -140dBm/Hz AWGN. [11] V takom prípade je potom skutočná informačná priepustnosť určená predovšetkým externým rušením, obzvlášť:

- Presluchom na blízkom konci (NEXT),
- Presluchom na vzdialenom konci (FEXT),
- Vysokofrekvenčným rušením (RFI),
- Impulzným rušením.

3.4.1 Aditívny biely šum

Aditívny biely Gaussov šum AWGN (Additive White Gaussian Noise) je špeciálnym druhom šumu. Má nulovú strednú hodnotu, ploché spektrum a jeho amplitúdy sú rozložené podľa Gaussovej krivky pravdepodobnosti. Je charakterizovaný výkonovou spektrálnou hustotou v prenosovom pásme. AWGN sa pri prenose pripočítava k užitočnému signálu a tvorí ho niekoľko zložiek:

- Tepelný šum
- Výstrelový šum
- Kvantizačný šum
- Zbytkový odrazový šum

- **Tepelný šum:**

Zdrojom tepelného šumu je chaotický pohyb elektrónu vo vodiči. Intenzita pohybu elektrónu závisí na mernom odpore (resp. teplote) a je priamo úmerná tomuto šumu.

- **Výstrelový šum:**

Výstrelový šum vzniká pohybom elektrických nábojov v polovodiči, elektrónov v polovodiči typu „N“ a dier v polovodiči typu „P“.

- **Kvantizačný šum:**

Kvantizačný šum je daný princípom digitálnych modulácií a je teda charakteristický pre A/D prevodníky. Je spôsobený nedokonalosťou digitálnych systémov. Analógový signál môže mať nekonečný počet hodnôt, naproti tomu digitálny signál je obmedzený počtom kvantizačných hladín. Rozdiel medzi vstupným analógovým signálom a zakódovanými

vzorkami výstupného signálu, sa nazýva kvantizačný šum. Úroveň kvantizačného šumu je pod veľkosťou rozhodovacieho kroku, aby zaisťovala odpovedajúcu presnosť digitálneho signálu oproti signálu analógovému. Zložitosť návrhu A/D prevodníku je úmerná ich presnosti a požadovanej hodnote kvantizačného skreslenia.

- **Zbytkový odrazový šum:**

Zbytkový odrazový šum je časťou odrazových interferencií a zostáva v signáli po echo kompenzácii. Echo kompenzácia musí byť prevedená pred kvantizáciou signálu, pretože amplitúdy odrazu môžu byť niekoľkokrát vyššie ako prijímaný signál a mohli by tak spôsobiť skreslenie. [12]

Z uvedených zdrojov šumu zahrnutých do AWGN vyplýva, že aditívny šum môže byť ovplyvnený samotným návrhom prijímača. Tepelný a výstrelový šum môžu byť obmedzené špeciálnymi štruktúrami prijímača s použitím nízkošumových polovodičov. Kvantizačný šum a zbytkový odrazový šum môžu byť obmedzené dostatočne presnými A/D prevodníkmi a použitím obvodu pre potlačenie odrazov.

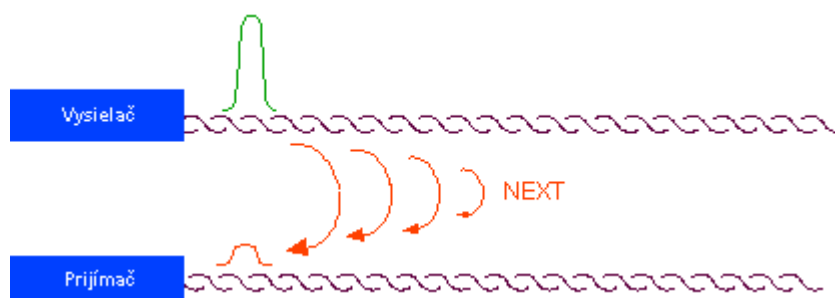
3.4.2 Presluchy typu NEXT a FEXT

Presluch medzi dvojicou vodičov, ktoré tvoria páry v kábli, je spôsobený vzájomnými kapacitnými a indukčnými väzbami, resp. je spôsobený nerovnováhami kapacitného a indukčného charakteru medzi vodičmi. Najväznejším zdrojom rušenia sú iné prenosové systémy prevádzkované v tom istom kábli. Každý pár je rušený rôznou mierou všetkými ostatnými párami v kábli, s ktorými je v súbahu. Záleží na vzájomnej polohe v kábli, na vzájomných pomeroch skrutu, presnosti výroby atď.

- **NEXT (Near End Crosstalk) - presluch na blízkom konci.**

Táto veličina definuje veľkosť nežiadúceho signálu, ktorý je vysielaný z jedného páru kábla na vedľajší. Hodnota NEXT udáva rozdiel výkonu signálu vstupujúceho do jedného páru a výkonu signálu, ktorý je presluhom na susednom páre, vyjadrená v dB. Táto hodnota je meraná na strane vysielateľa (na blízkom konci). Je to z toho dôvodu, že

všetky vysielané signály sú ovplyvňované útlmom vedenia a tým pádom je hodnota presluchu na začiatku vedenia vyššia než na konci vedenia.[13]



Obrázok 3.8 Preluch typu NEXT

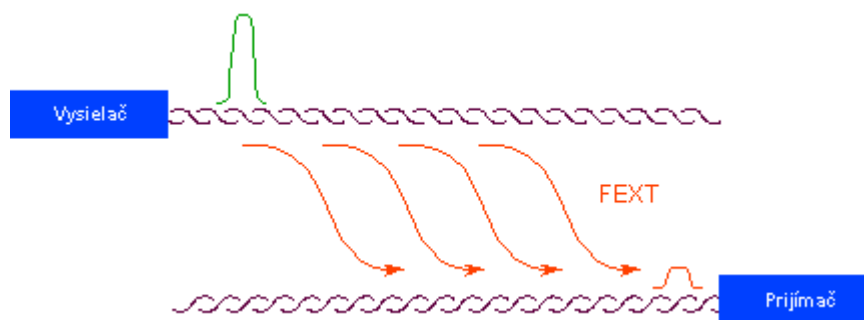
NEXT je obvykle hlavným obmedzujúcim faktorom, ktorý limituje dosah digitálnych prenosových systémov pracujúcich v základnom pásme s vyššími prenosovými rýchlosťami. Presluch na blízkom konci rastie s frekvenciou so sklonom približne 15 dB na dekádu. Prenosová funkcia výkonu NEXT sa dá napísať ako:

$$\left|H_{NEXT}(f)\right|^2 = \frac{P_{2NEXT}(f)}{P_1(f)} = K_{NEXT} f^{3/2} \quad (3.13)$$

Kde $P_{2NEXT}(f)$ je výkon presluchu NEXT, $P_1(f)$ vysielací výkon, K_{NEXT} je konštanta závislá na type použitého kábla.

- **FEXT (Far End Crosstalk) - presluch na vzdialenom konci.**

Podobne ako parameter NEXT, aj FEXT definuje veľkosť nežiadúceho signálu, ktorý je vysielaný z jedného páru kábla na vedľajší. Hodnota FEXT udáva rozdiel výkonu signálu vstupujúceho do jedného páru a výkonu signálu, ktorý je presluchom na susednom páre, vyjadrená v dB. Rozdiel oproti parametru NEXT je v tom, že táto hodnota nie je meraná na strane vysielateľa (na blízkom konci), ale na strane prijímateľa (na vzdialenom konci).



Obrázok 3.9 Presluch typu FEXT

FEXT sa väčšinou zanedbáva u systémov s dominantným presluchom na blízkom konci. Je však závažný pre systémy s frekvenčným oddelením smeru prenosu ako je ADSL. Veľkosť FEXT závisí na frekvencii a dĺžke vedenia. Prenosová funkcia výkonu FEXT sa napísať ako:

$$\left| H_{FEXT}(f) \right|^2 = \frac{P_{2FEXT}(f)}{P_1(f)} = K_{FEXT} f^2 1.10^{0.1\alpha(f)l} \quad (3.14)$$

Kde $P_{2FEXT}(f)$ je výkon presluchu FEXT, $P_1(f)$ vysielač výkon, K_{FEXT} je konštanta závislá na type použitého kábla.

Skutočné závislosti presluchových väzieb na frekvencii majú značné zvlnenie pre nerovnomernosti kapacitných a induktívnych nerovnováh pozdĺž vedenia. Konštanty závisia na procese výroby kábla, dodržaní tolerancií, ohyboch a pod.

Experimentálne sa dá stanoviť stredná miera väzieb a tá aplikovať na všetky páry kábla. Pri analýze presluchov sa postupuje tak, že s postupným pridávaním rušivých systémov do kábla sa obsadzujú najprv kombinácie s najsilnejším rušením. To znamená, že s pribúdajúcimi zdrojmi rušenia sa predpokladá zaplnenie profilu smerom k vzdialenejším párom s nižšími presluchovými väzbami – nárast odpovedá práve mocnine 0,6. Vzťah platí rovnako pre konštanty typu NEXT aj FEXT.

$$K_n = K_1 \cdot n^{(0,6)} \quad (3.15)$$

K_n je konštanta pre n zdrojov presluchového rušenia. K_1 je konštanta pre 1 zdroj rušenia pre najhorší prípad rušenia od susedného páru, n je počet zdrojov rušenia. [14]

3.4.3 Vysokofrekvenčné rušenie RFI

Zdrojom vysokofrekvenčného rušenia RFI (Radio Frequency Interference) sú rádiové vysielacie, ktoré vysielajú na dlhých (LW) a stredných vlnách (MW), ako sú rozhlasové stanice, rádioamatérske stanice atď. Tento zdroj rušenia ovplyvňuje prakticky všetky páry v kábloch, zvlášť v starších nadzemných (vzdušných) káblových rozvodoch, ktoré nie sú tienené a páry sú chránené iba svojou symetriou a krútením. Rušenie sa prejavuje v širokom spektre frekvencií a má nestály časový priebeh. Jeho intenzita pôsobenia na jednotlivé páry môže byť rôzna a je úmerná blízkosti zdroja vysokofrekvenčného vysielania. Rušenie v spektre, ktoré je využívané na prenos dát, sa označuje ako rušenie „in – band“ a nie je možné ho odfiltrovať. Samotné digitálne prenosové systémy nesmú byť zdrojom RFI a musia vyhovovať normám pre elektromagnetickú kompatibilitu EMC (Electro-Magnetic Compatibility), čo vedie tiež k obmedzeniu spektrálnej hustoty vysielacieho výkonu. RFI hrá významnú úlohu predovšetkým u digitálnych prenosových systémov s vyššou prenosovou rýchlosťou, ktoré využívajú široké frekvenčné spektrum, ako napríklad VDSL systémy, pracujúce v pásme do 30 MHz. Pri návrhu nasadenia týchto prenosových systémov na konkrétne trasy, sa už dopredu počíta s možným RFI, ktoré sa na trase prejavuje a preto sa prispôsobuje alokačná schéma pre jednotlivé subkanály.

3.4.4 Impulzné rušenie

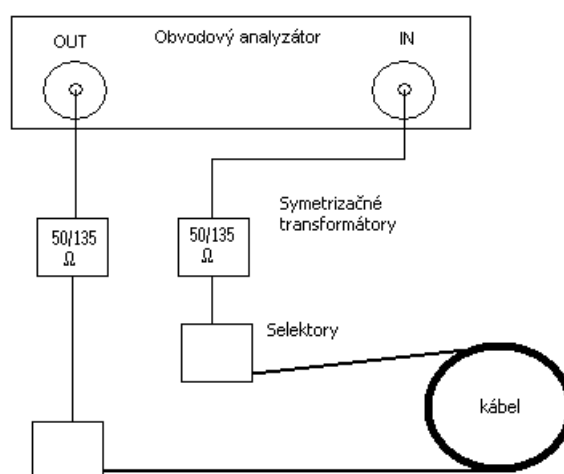
Impulzné rušenie (impulsive noise) má nepravidelný charakter a nie je možné ho predpovedať. Je charakterizované intenzitou impulzu (úrovňou), spektrálnym rozložením, dobou trvania a početnosťou. Rušenie je spôsobené rôznymi zdrojmi, ktoré vytvárajú krátke prechodové javy. Ide napríklad o trakčné systémy rozvodu energie (osvetlenia, domácnosti), kde vplyvom elektrických prepínačov a spotrebičov v sieti vznikajú krátke prechodové javy. Ďalším silným zdrojom impulzného rušenia je telefónna sieť, v ktorej sa stále vyskytujú klasické analógové telefónne prístroje a relé v spojovacích zariadeniach. Relé produkujú krátke prerušenie a analógové telefónne prístroje produkujú napätové špičky, ktoré sú spôsobené prerušovaním účastníckej slučky pri impulznej voľbe, pri zdvihnutí a položení mikrotelefónu a pri vyzváňaní.

4 Merania

4.1 Meranie symetrických párov

Európske normy rady EN 20288 pre oznamovacie káble prijaté aj v Slovenskej republike platia pre nasadzovanie analogových aj digitálnych systémov a špecifikujú parametre napríklad do frekvencie 100 MHz. Merajú sa jednak jednosmerné a nízkofrekvenčné parametre: odpor slučky, kapacitné nerovnováhy, kapacitné nesymetrie, ale predovšetkým vysokofrekvenčné parametre: útlm vedenia, presluchy (NEXT, FEXT), útlm nesymetrie (LCL), útlm odrazu, charakteristická impedancia, rýchlosť šírenia. [11]

Pre objektívne laboratórne meranie, overovanie vzoriek vyrobených káblov, výstupnú výrobnú kontrolu a podobne je treba použiť náročnejšie vybavenie. K dispozícii sú obvody analyzátor, ktoré sú schopné zmerať prenosové parametre. Problémom je vyriešenie symetrizačného transformátora pre široké pásmo frekvencií a bezodrazové pripojenie párov k meracej aparátúre. Obrázok 4.1 ukazuje typickú zostavu meracieho pracoviska. Jadrom je obvody analyzátor. Ja som mal k dispozícii obvody analyzátor Rohde-Schwarz ZVRE so symetrizačnými transformátormi, ktorý zároveň slúži ako osobný počítač k záznamu a spracovaniu výsledkov a generovaniu protokolov o meraní. Koaxiálne rozhranie $50\ \Omega$ sa prispôsobuje cez symetrizačné transformátory charakteristickej impedancii vedenia v našom prípade $135\ \Omega$.



Obrázok 4.1 Blokové usporiadanie meracej aparátúry pre meranie

Ďalej nasledujú selektory, pomocou ktorých sa pripoja vybrané páry k meraniu. Pri meraní je treba venovať pozornosť popri hlavnému meraniu aj kalibrácii meracej aparatury, príprave meranej vzorky (presná dĺžka), a meraniu teploty pre korekciu hodnôt. Meranie by sa malo uskutočňovať pri teplote 15 °C až 35 °C a behom merania by nemala teplota kolísať o viac ako ± 2 °C. Frekvenčná stabilita pre merací prístroj na čas 1 hodinu musí byť lepšia ako 10^{-5} . Merací rozsah môže mať logaritmické, alebo lineárne delenie stupnice. Frekvenčný krok je vyjadrený pomocou počtu bodov n:

$$f_{step} = \frac{(F_{stop} - F_{start})}{(n-1)} \quad \text{pre lineárny rozsah} \quad (4.1)$$

$$K = \left(\frac{F_{stop}}{F_{start}} \right)^{\left(\frac{1}{(n-1)} \right)} \quad \text{pre logaritmický rozsah} \quad (4.2)$$

F_{start} je minimálna hodnota frekvencia,

F_{stop} je maximálna hodnota frekvencie,

f_{step} je lineárny frekvenčný krok, ktorý je v celom frekvenčnom rozsahu rovnaký

n je počet bodov vo frekvenčnom rozsahu

K je logaritmický frekvenčný krok.

Ja som používal lineárny rozsah s počtom bodov 1600.

Meranie sme uskutočnili na vybraných telekomunikačných kábloch vyrábaných firmou ELKOND HHK a. s.

Typ kábla	Dĺžka [m]
TCEPKSwFLE 25x4x0,4	105
TCEPKSwFLE 25x4x0,6	105
TCEPKSwFLE 5x4x0,4	105
TCEPKSwFLE 5x4x0,6	128
TCEPKSwFLE 5x4x0,8	105
PEPKFH-Call 18x4x0,4	110
PEKFY-Call 1x4x0,5	105
PEPKFH EFK 36x2x0,4	105
PEKFY EFK-5 32x2x0,5	75

Tabuľka 4.1 Merané vzorky káblov

4.2 Meranie útlmu

Útlm je základným parametrom symetrického vedenia a vyjadruje schopnosť prenosového média preniesť signál predstavovaný elektrickým výkonom zo vstupu na výstup.

$$A = 10 \cdot \log\left(\frac{P_1}{P_2}\right) \quad [dB] \quad (4.3)$$

P_1 je výkon na začiatku vedenia

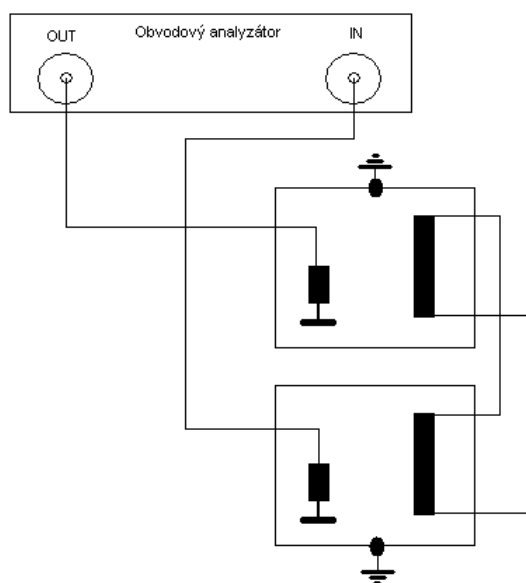
P_2 je výkon na konci vedenia

Často sa tiež vyjadruje merný útlm vedenia, čo vlastne je útlmom vedenia dĺžky 1 km.

$$\alpha = \frac{A}{l} \quad [dB / km] \quad (4.4)$$

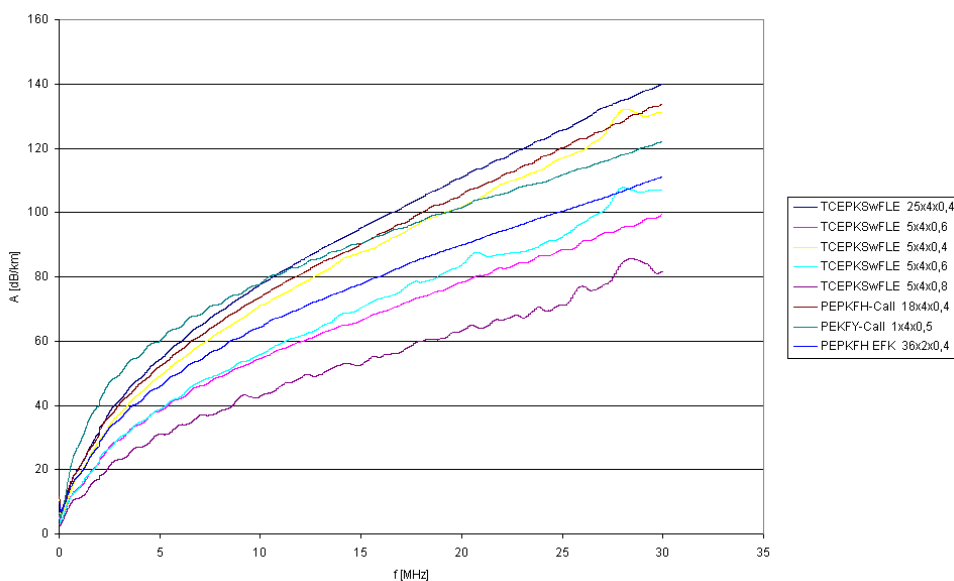
l je dĺžka v km.

Pred meraním útlmu podľa schémy na obrázku 4.1 je potrebné previesť kalibráciu podľa obrázku 4.2, pri ktorej sa zmeria celkový útlm prispôbovacích zariadení pri pripojení svoriek krátkymi prípojkami v celom frekvenčnom pásme a zaznamená sa pre účely korekcie nameraných hodnôt. Analyzátory majú obvykle funkciu kalibrácie a následnej korekcie nameraných hodnôt priamo implementovanú.



Obrázok 4.2 Schéma zapojenia pre kalibráciu prístroja

Obrázok 4.3 nám ukazuje namerané hodnoty útlmu vedenia k predpísanej referenčnej dĺžke 1 km. Hodnoty sú spriemerované zo všetkých nameraných párov. Meranie dokazuje, že útlm vedenia klesá s rastúcim priemerom vodiča. Najlepšie to vidieť na príklade kábla TCEPKSwFLE 5x4x0,4; 0,6; 0,8, kde vidíme že v porovnaní hrúbky vodiča 0,4 a 0,8 mm je rozdiel útlmu pri 30 MHz až 50 dB/km. Taktiež konštrukcia kábla má veľký vplyv na zníženie útlmu vedenia.



Obrázok 4.3 Namerané hodnoty útlmu vedenia

4.3 Meranie presluchov

Presluchy sú hlavným zdrojom rušenia pri prenose na vysokých frekvenciách. Podľa typu merania a mieste v prenosovom reťazci kde sa presluchy prejavujú rozpoznávame presluch na blízkom a vzdialenom konci. Miera presluchového rušenia sa vyjadruje buď útlmom presluchu, alebo odstupom od presluchu. Dôležité je impedančné prispôsobenie na oboch koncoch meraných párov. V našom prípade sme používali zakončovaciu impedanciu 135Ω .

4.3.1 Útlm presluchu na blízkom konci NEXT

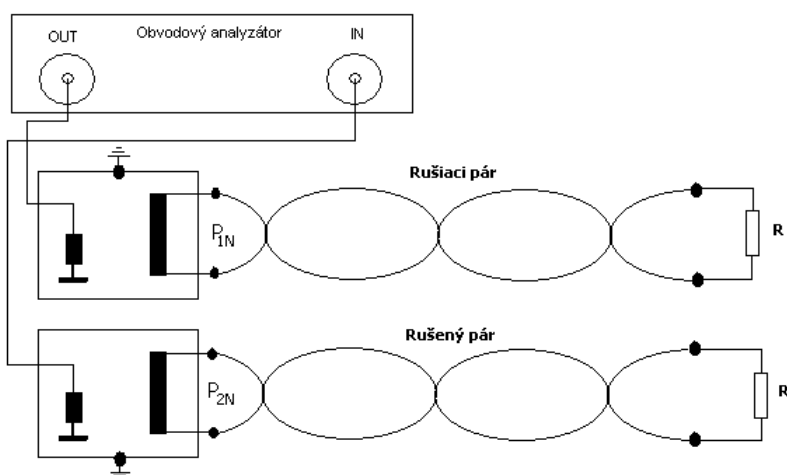
NEXT (Near End Cross-Talk) sa získa z pomeru výkonov vyjadrených v dB podľa zapojenia na obrázku 4.4.

$$A_{NEXT} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{1N}}{P_{2N}} \right) \quad [dB] \quad (4.5)$$

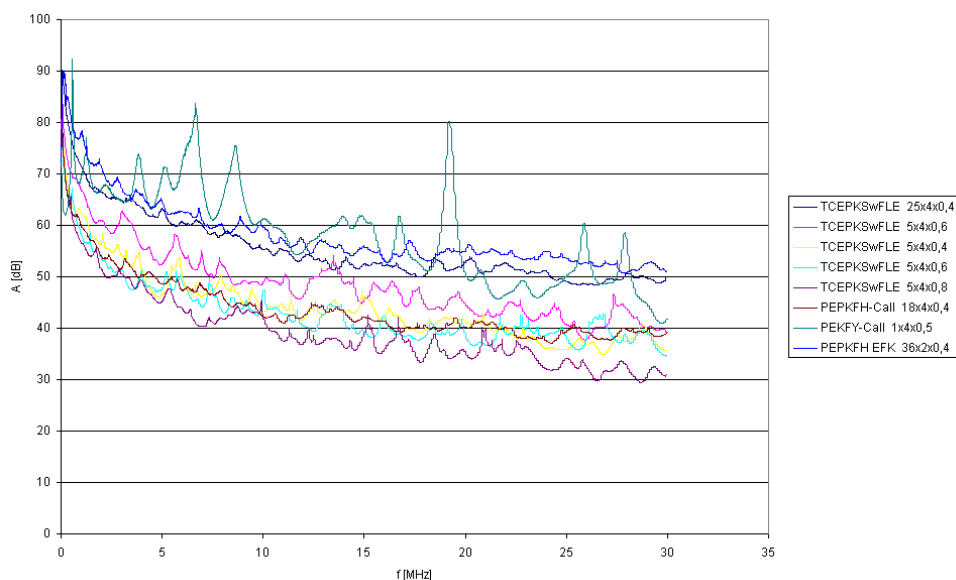
P_{1N} je vstupný výkon na rušiacom páre

P_{2N} je výstupný výkon na rušenom páre

Pre meranie presluchu na blízkom konci sú generátor aj prijímač (v našom prípade vstup a výstup z obvodového analyzátora) pripojené na rovnakom konci meraného kábla.



Obrázok 4.4 Schéma zapojenia pre meranie NEXT



Obrázok 4.5 Namerané hodnoty útlmu presluchu na blízkom konci

Na obrázku 4.5 vidíme namerané a priemerované hodnoty útlmu presluchu na blízkom konci.

4.3.2 Útlm presluchu na vzdialenom konci FEXT

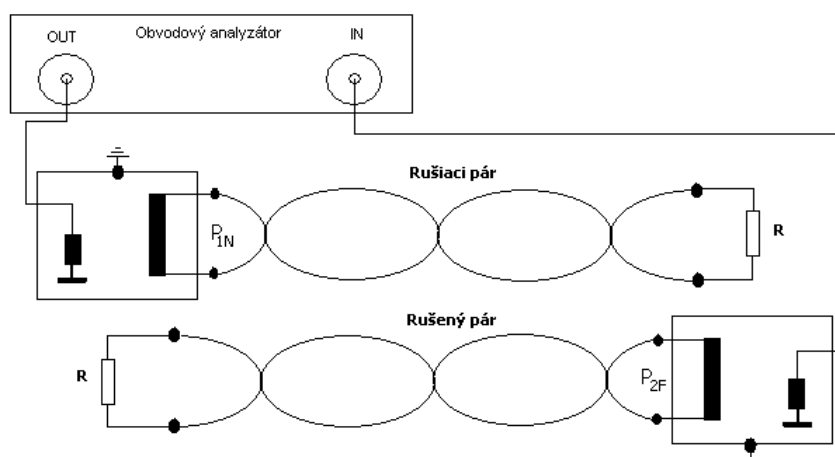
FEXT (Fear End Cross-Talk) sa získa z pomeru výkonov vyjadrených v dB podľa zapojenia na obrázku 4.6.

$$A_{FEXT} = 10 \cdot \log \left(\frac{P_{1N}}{P_{2N}} \right) \quad [dB] \quad (4.6)$$

P_{1N} je vstupný výkon na rušiacom páre,

P_{2F} je výstupný výkon na rušenom páre na vzdialenom konci.

Pre meranie presluchu na vzdialenom konci sú generátor a prijímač (vstup a výstup obvodového analyzátor) na opačných stranách meraného kábla.



Obrázok 4.6 Schéma zapojenia pre meranie FEXT

Principiálne je meranie presluchov rovnaké ako meranie útlmu a rovnaká je aj kalibrácia prístroja pre meranie. Konce vedení ktoré nie sú pripojené k meračom musia byť zakončené odporom R, ktorý sa blíži k hodnote charakteristickej impedancie (135Ω). Ostatné nepoužité páry, na ktorých neprebíha meranie môžu byť bez zakončenia (naprázdno), alebo môžu byť prispôsobené nominálnou impedanciou. Postupne sa merajú kombinácie všetkých párov a to z oboch strán kábla. Rozdiely meraní z opačných strán kábla bývajú však minimálne.

Meraný kábel musí mať minimálnu dĺžku 100 metrov. Obvykle sa namerané výsledky prepočítavajú k referenčnej dĺžke 100 metrov. Pre útlm presluchu na blízkom konci:

$$A_{NEXT}(f)_C = A_{NEXT}(f)_I - \frac{10 \cdot \log(1 - e^{(0,46 \cdot \alpha \cdot 100)})}{(1 - e^{(-0,46 \cdot \alpha \cdot l)})} \quad [dB] \quad (4.7)$$

$A_{NEXT}(f)_C$ je presluch na blízkom konci prepočítaný na referenčnú dĺžku 100 m.,

$A_{NEXT}(f)_I$ je presluch na blízkom konci nameraný na vedení dĺžky l

α je merný útlm vedenia v dB/m

l je dĺžka kábla v metroch.

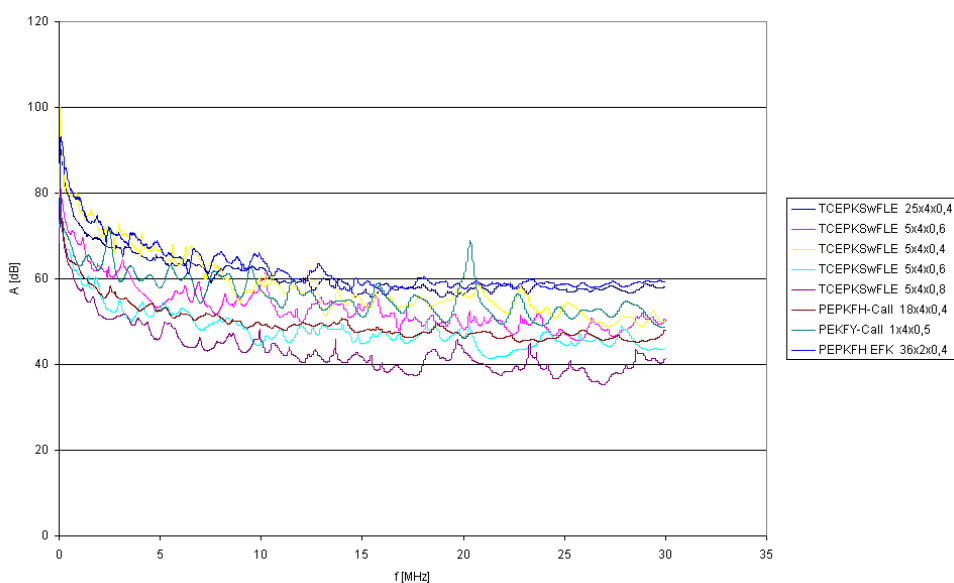
Pre útlm presluchu na vzdialenom konci platí pre prepočet na referenčnú dĺžku 100 metrov vzťah:

$$A_{FEXT}(f)_C = A_{FEXT}(f)_I + 10 \cdot \log\left(\frac{l}{100}\right) \quad [dB] \quad (4.8)$$

$A_{FEXT}(f)_C$ je presluch na vzdialenom konci prepočítaný na referenčnú dĺžku 100 m.,

$A_{FEXT}(f)_I$ je presluch na vzdialenom konci nameraný na vedení dĺžky l

l je dĺžka kábla v metroch.



Obrázok 4.7 Namerané hodnoty útlmu presluchu na vzdialenom konci

Obrázok 4.7 nám ukazuje namerané hodnoty útlmu presluchu na blízkom konci, ktoré niesú prepočítané na referenčnú dĺžku 100 m.

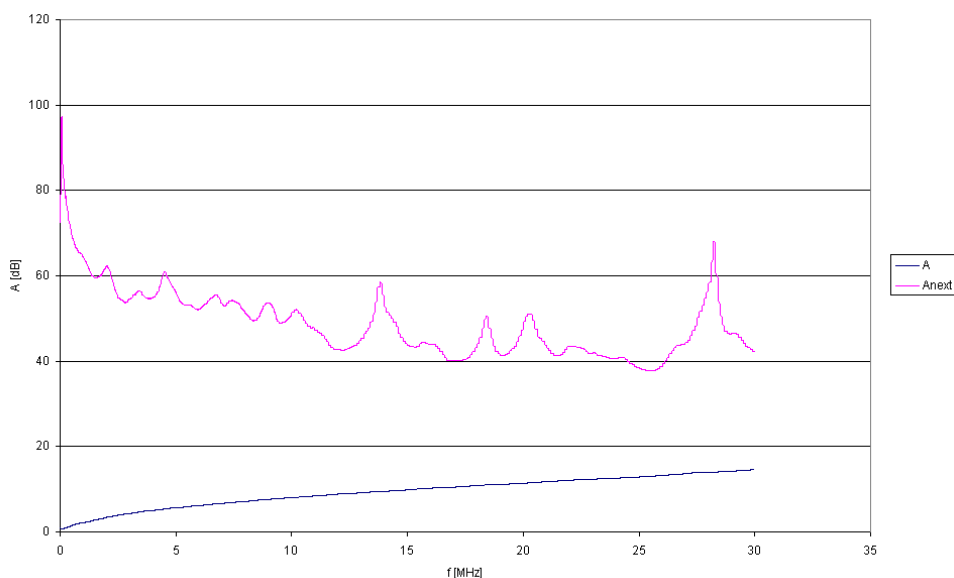
4.3.3 Odstup od presluchu ACR

ACR (Attenuation Cross-talk Ratio) sa získa ako rozdiel útlmu presluchu a útlmu vedenia v celom danom frekvenčnom pásme podľa vzťahu:

$$ACR(f) = A_{NEXT}(f)_l - A(f)_l \quad [dB] \quad (4.9)$$

$A_{NEXT}(f)_l$ je presluch na blízkom konci prepočítaný medzi dvomi párami dĺžky l ,
 $A(f)_l$ je útlm rušeného páru dĺžky l .

Podobne sa dá vyjadriť aj odstup od presluchu na vzdialenom konci, ale ukazujem iba odstup od presluchu na blízkom konci, ktorý je viac žiadaný. Na obrázku 4.8 ukazujem pre prehľadnosť iba jeden graf ACR pre zvolený pár kábla TCEPKSwFLE 25x4x0,4.

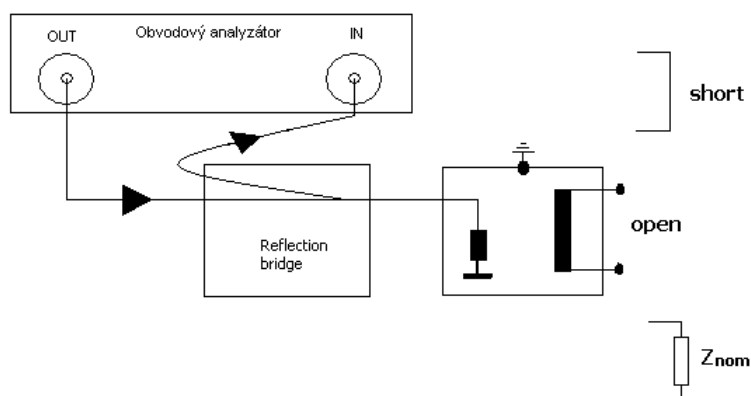


Obrázok 4.8 Odstup od presluchu (ACR) TCEPKSwFLE 25x4x0,4

4.4 Meranie charakteristickej impedancie

Charakteristická impedancia vedenia Z_C je definovaná ako pomer napät'ovej a prúdovej vlny, ktoré sa šíria v rovnakom smere. Je v komplexnom tvare a udáva sa buď ako reálna a imaginárna časť, alebo ako absolútna hodnota a fáza. Pre homogénne vedenia je konštantná. V praxi však reálne vedenie nieje vplyvom rôznych štruktúrnych zmien pozdĺž vedenia homogénne. Preto sa zisťuje vstupná impedancia na začiatku vedenia keď koniec meraného vedenia je impedančne prispôsobený (zakončený vlastnou impedanciou). Prakticky sa spočíta z merania na vedení naprázdno a nakrátko. Priebeh výslednej charakteristiky dáva informácie o nehomogenitách na vedení.

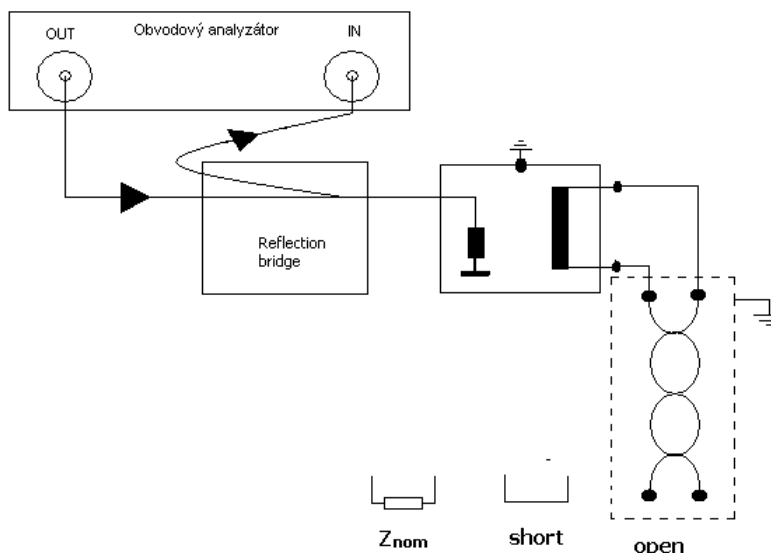
Pre meranie ju nutné použiť obvodový analyzátor, ktorý umožní merať rozptylové S-parametre v komplexnom tvare. Ďalej musíme použiť mostík pre meranie odrazu signálu (Reflection bridge) s nominálnou hodnotou impedancie rovnakou akú má merací prístroj.



Obrázok 4.9 Schéma zapojenia pre kalibráciu

Kalibrácia prebieha pri zakončení výstupnej symmetrickej strany transformátora naprázdno, nakrátko a nominálnou impedanciou. Namerané hodnoty kalibrácie sa uchovávajú, čo už obvodový analyzátor robí automaticky.

Merané vedenie sa pripojí k meracím prístrojom podľa schémy na obrázku 4.10.



Obrázok 4.10 Schéma zapojenia pre meranie charakteristickej impedancie

Všetky namerané hodnoty sú v komplexnom tvare s modulom a fázou a preto budú všetky hodnoty vyjadrené v komplexnom tvare.

$$Z_{open} = Z_{nom} \frac{(1 + \Gamma_{open})}{(1 - \Gamma_{open})} \quad (4.10)$$

$$Z_{short} = Z_{short} \frac{(1 + \Gamma_{short})}{(1 - \Gamma_{short})} \quad (4.11)$$

Γ_{open} je korigovaný koeficient odrazu pri zakončení naprázdno

Γ_{short} je korigovaný koeficient odrazu pri zakončení nakrátko

Absolútna hodnota vstupnej impedancie Z_{in} sa vypočíta podľa vzťahu:

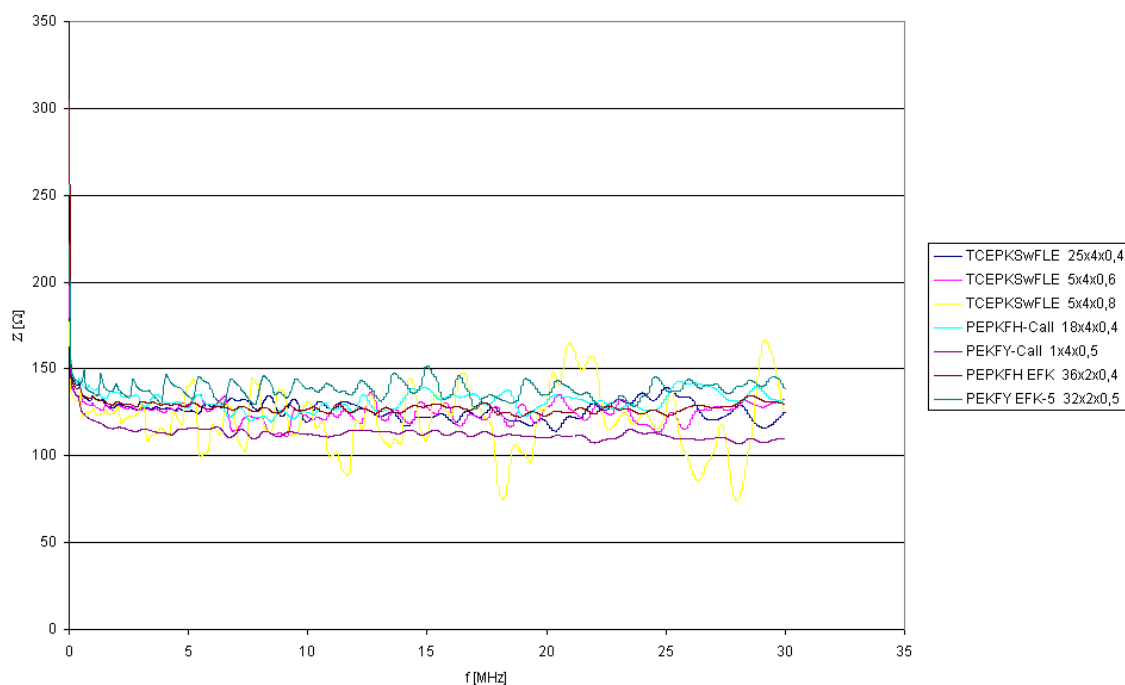
$$Z_{in} = \sqrt{|Z_{open} \cdot Z_{short}|} \quad (4.12)$$

Z_{in} je absolútna hodnota vstupnej impedancie vedenia,

Z_{open} je impedancia vedenia zakončeného naprázdno,

Z_{short} je impedancia vedenia zakončeného nakrátko.

Obrázok 4.11 nám potvrdzuje teoretický predpoklad uvedený v odseku 3.2.3 že charakteristická impedancia môžeme pri vyšších frekvenciách považovať za konštantnú veličinu.



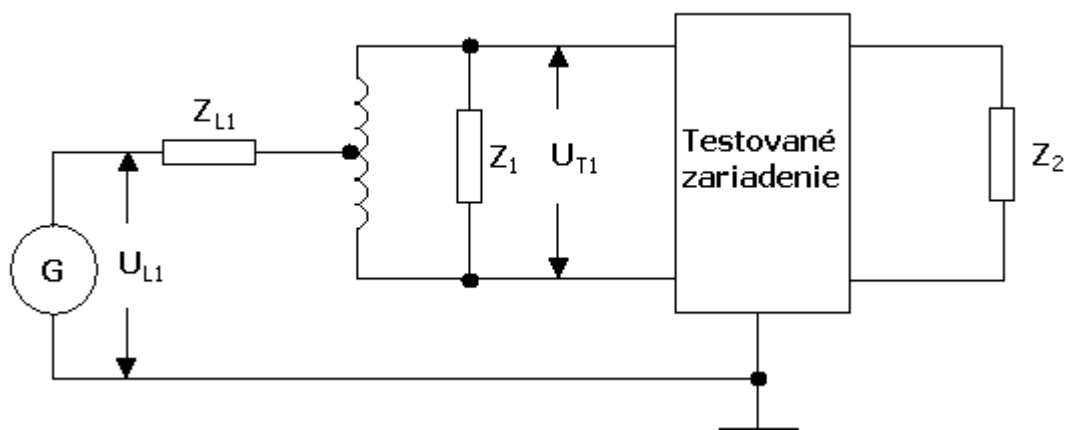
Obrázok 4.11 Nameraný priebeh charakteristickej impedancie

4.5 Meranie útlmu nesymetrie

Ideálne symetrické vedenie má dva elektricky úplne zhodné vodiče, pričom obidva sú elektricky symetrické vzhľadom ku spoločnému referenčnému bodu, ktorým obvykle býva zem. Napätia v prislúchajúcich miestach na týchto dvoch vodičoch meraná vzhľadom k zemi sú zhodné vo veľkosti, ale fázu majú opačnú. Tento rozdiel potenciálov medzi individuálnym vodičom a zemou sa nazýva pozdĺžne napätie (longitudinal voltage). Potenciálny rozdiel medzi dvomi vodičmi sa nazýva priečne napätie. (transverse mode voltage), alebo rozdielové napätie (differential voltage) a predstavuje skutočný signál použitý k prenosu po vedení. Ideálne symetrické vedenie nieje citlivé na elektromagnetické rušenie z iných zdrojov. Pri reálnom vedení vodiče niesú úplne elektricky symetrické voči zemi, takže sa prejavuje elektromagnetické rušenie, ktoré je závislé na frekvencii. Mieru nesymetrie vodičov páru oproti zemi vyjadrujeme

parametrom útlm nesymetrie. V anglickej terminológii sa stretávame s termínom Longitudinal Balance (LB), alebo Longitudinal Conversion Loss (LCL). [15]

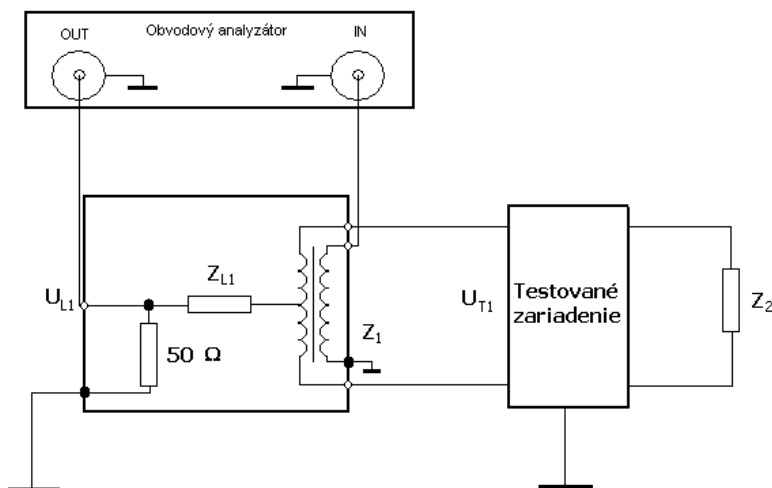
$$LCL = 20 \cdot \log \left| \frac{U_{L1}}{U_{T1}} \right| \quad [dB] \quad (4.13)$$



Obrázok 4.12 Principiálna schéma pre zisťovanie útlmu nesymetrie

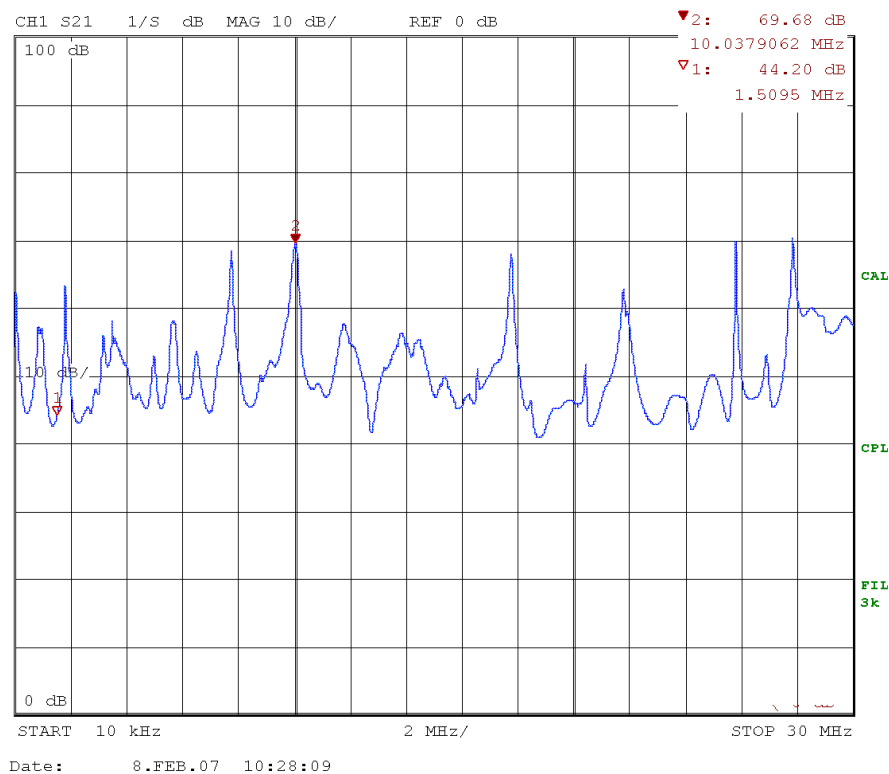
Napätia U_{L1} a U_{T1} musia byť merané voltmetrami s vysokou vstupnou impedanciou, aby nemohlo dojsť k nežiaducemu ovplyvneniu testovaného obvodu. Impedancie Z_1 a Z_2 musia byť prispôbené charakteristickej impedancii vedenia a je doporučené, aby sa Z_{L1} rovnalo $Z_1/4$.

Pre praktické merania sa obvykle používa špeciálne upravený symetrizačný transformátor, ktorý zaisťuje pripojenie nesymetrických portov obvodového analyzátora a za úlohu aj impedančné prispôbenie.



Obrázok 4.13 Zapojenie symetrizačného transformátora pre meranie útlmu nesymetrie

Tieniacu fóliu a plášť kábla je nutné spojiť so spoločnou zemou a meraný pár je zakončený nominálnou impedanciou. Uzemnenie sa robí iba na strane transformátora. Aby sme získali skutočné hodnoty útlmu nesymetrie meraného zariadenia, alebo symetrického páru je potrebné vziať do úvahy korekčný faktor predstavujúci prevod a výkonové straty symetrizačného transformátora.



Obrázok 4.14 priebeh útlmu nesymetrie TCEPKSwFLE 25x4x0,4

Na Obrázku 4.14 je znázornený screenshot z obvodového analyzátoru Rohde-Schwarz ZVRE pre meranie útlmu nesymetrie. Útlm predstavuje 10dB na dielik.

4.6 Výpočet primárnych parametrov

[8] Pre výpočet primárnych parametrov zo sekundárnych môžeme vychádzať z rovníc:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (4.14)$$

$$Z_C = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = X + jY = |Z_C|e^{j\varphi} \quad (4.15)$$

z ktorých dostaneme:

$$(\alpha + j\beta)Z_C = R + j\omega L \quad (4.16)$$

odtiaľ po vyjadrení reálnej a imaginárnej časti Z_C dostaneme:

$$R = \alpha \operatorname{Re} Z_C - \beta \operatorname{Im} Z_C \quad \omega L = \beta \operatorname{Re} Z_C + \alpha \operatorname{Im} Z_C \quad (4.17), (4.18)$$

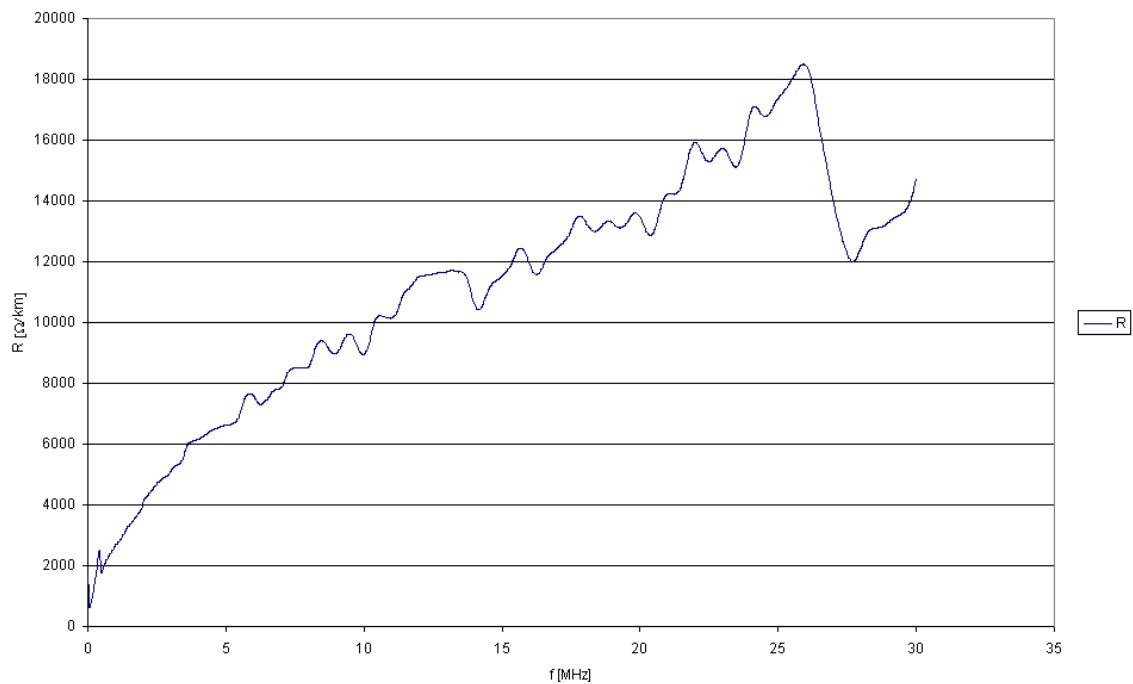
Získame merný odpor v Ω/km a mernú indukčnosť v H/km .

Ďalej platí:

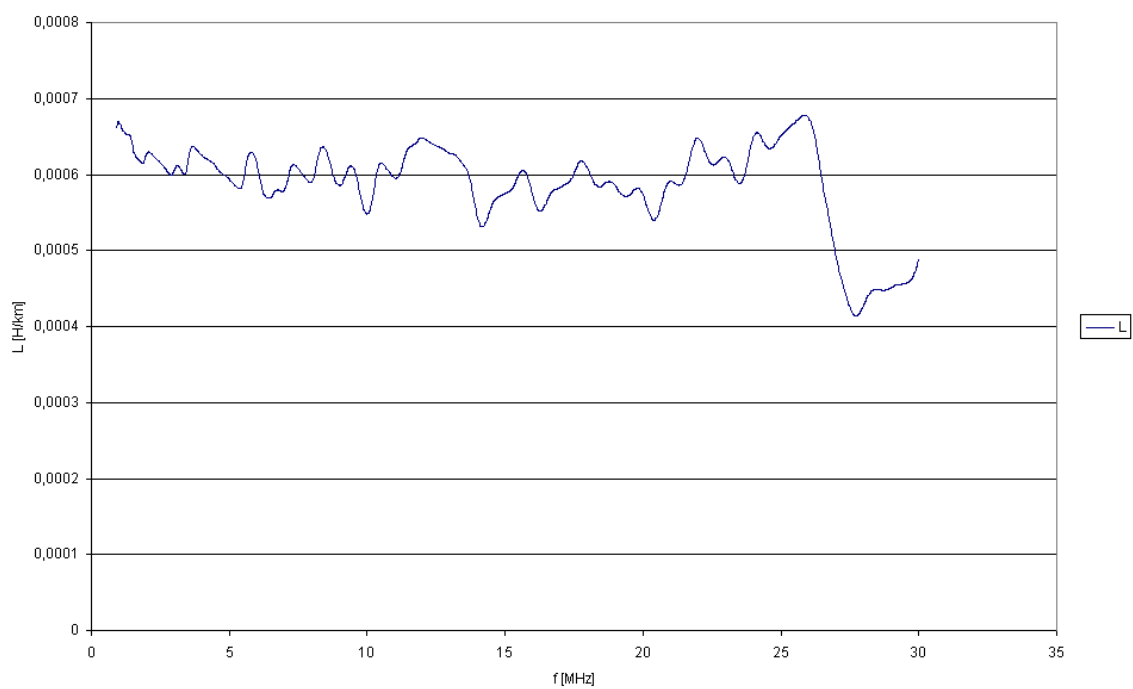
$$\alpha + j\beta = Z_C(G + j\omega C) \quad (4.19)$$

Odtiaľ vyjadríme reálne a imaginárne časti Z_C a získame merný zvod v S/km a mernú kapacitu vo F/km .

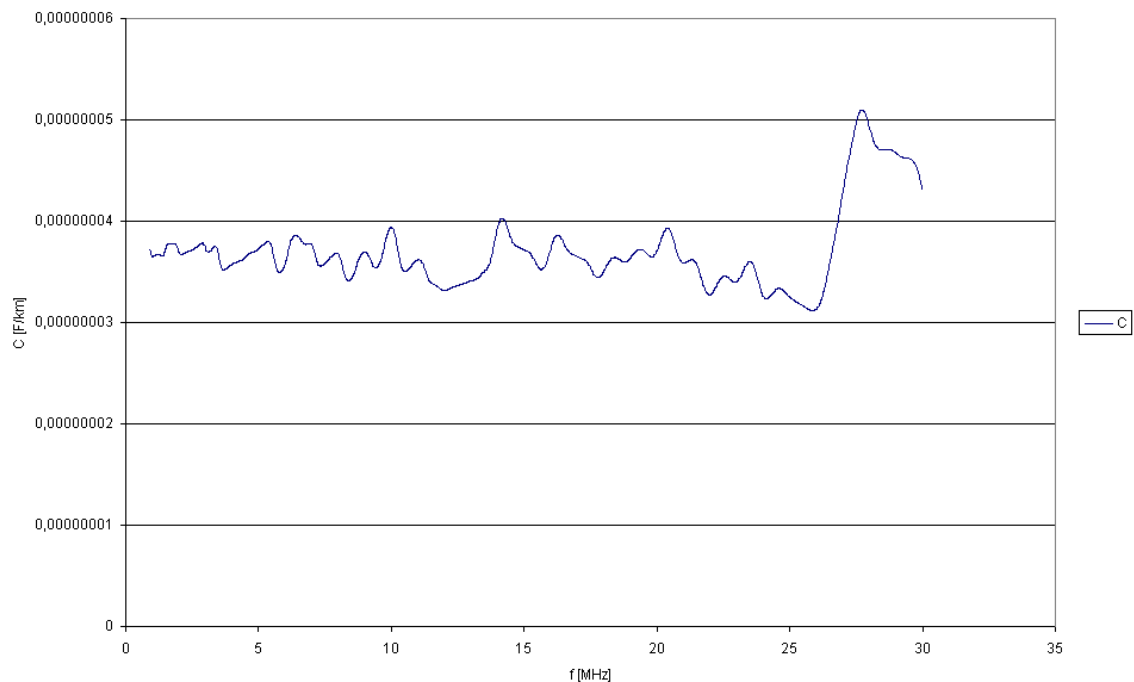
$$G = \frac{\alpha \operatorname{Re} Z_C + \beta \operatorname{Im} Z_C}{\operatorname{Re} Z_C^2 + \operatorname{Im} Z_C^2} \quad \omega C = \frac{\beta \operatorname{Re} Z_C - \alpha \operatorname{Im} Z_C}{\operatorname{Re} Z_C^2 + \operatorname{Im} Z_C^2} \quad (4.20), (4.21)$$



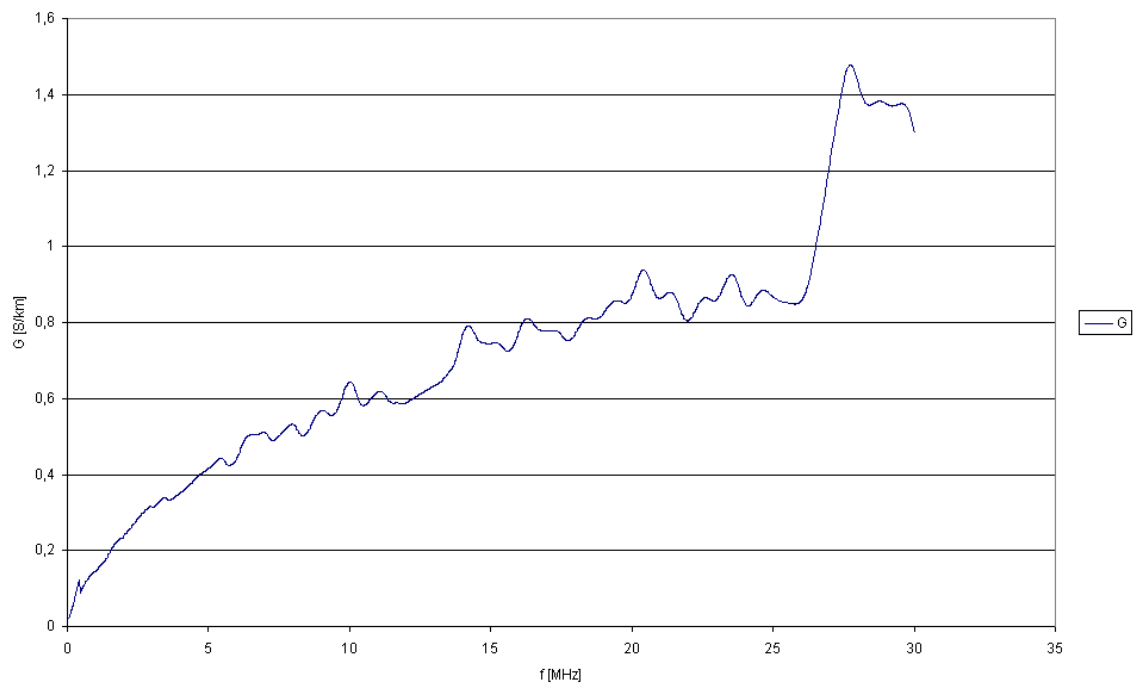
Obrázok 4.15 Frekvenčná závislosť merného odporu TCEPKSwFLE 25x4x0,4



Obrázok 4.16 Frekvenčná závislosť mernej indukčnosti TCEPKSwFLE 25x4x0,4

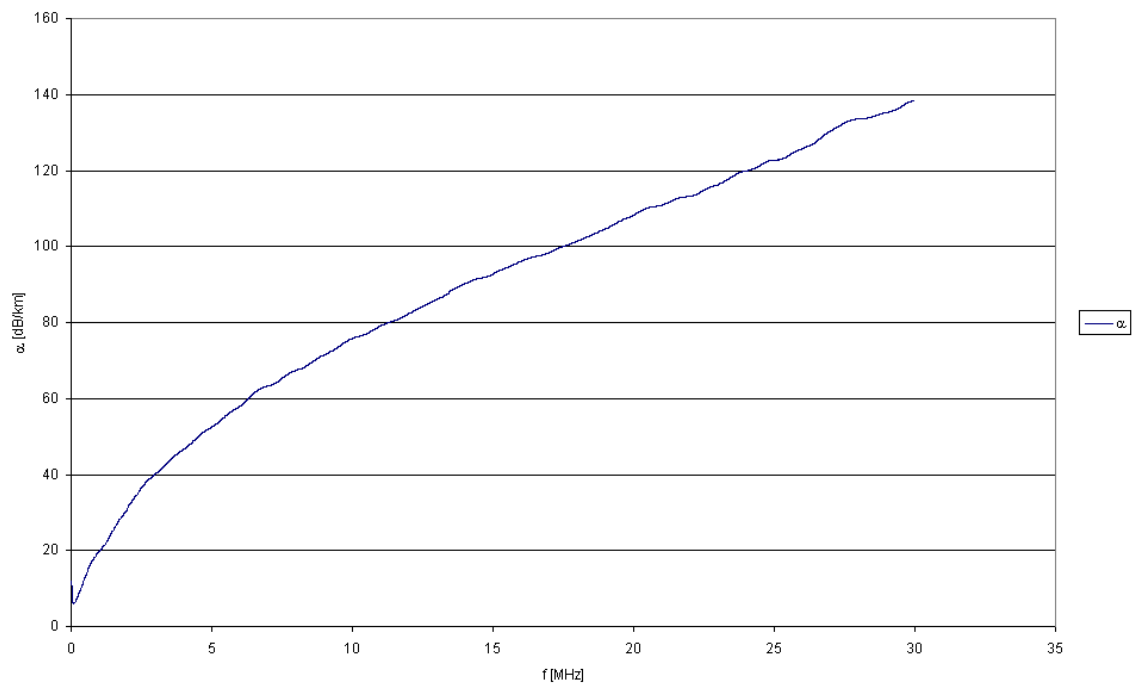


Obrázok 4.17 Frekvenčná závislosť mernej kapacity TCEPKSwFLE 25x4x0,4

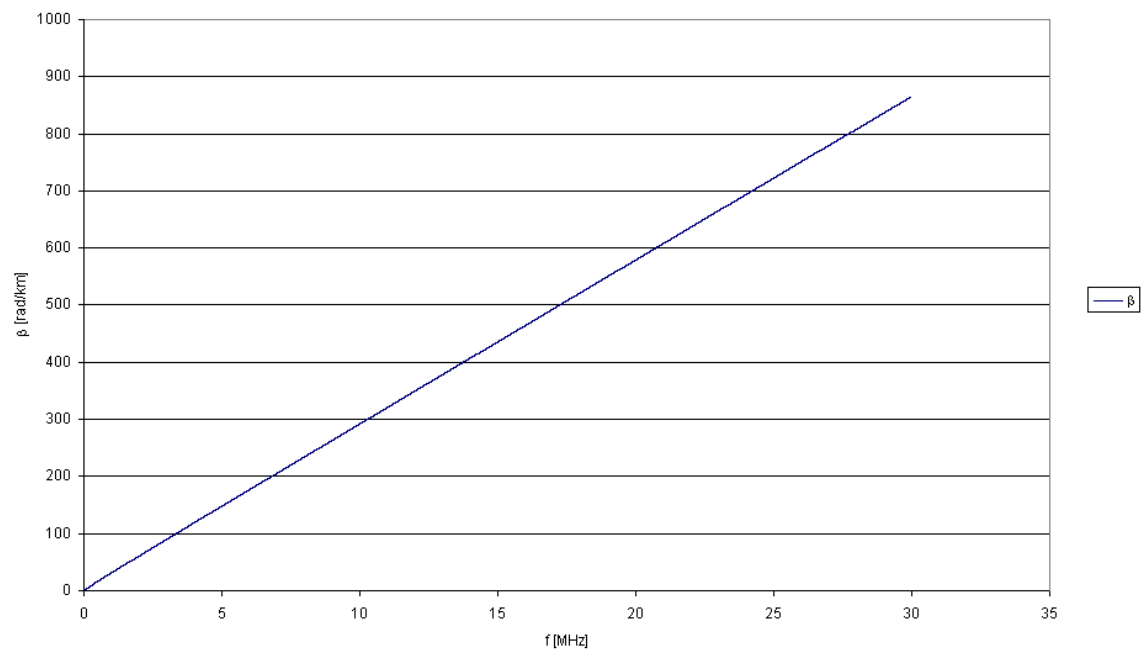


Obrázok 4.18 Frekvenčná závislosť merného zvodu TCEPKSwFLE 25x4x0,4

Sekundárne parametre:



Obrázok 4.19 Frekvenčná závislosť merného útlmu TCEPKSwFLE 25x4x0,4

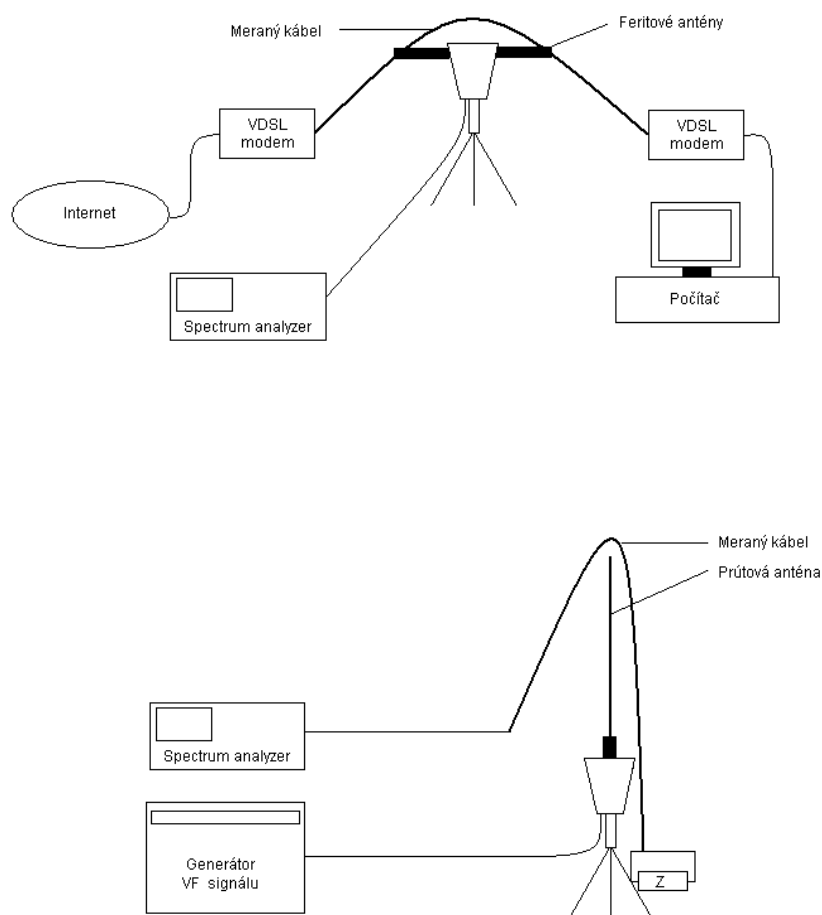


Obrázok 4.20 Frekvenčná závislosť merného fázového posunu TCEPKSwFLE 25x4x0,4

Výsledky výpočtu primárnych parametrov som porovnal so simuláciou symetrických vedení na matlab serveri ČVUT. Výsledky sa okrem výpočtu merného odporu a merného zvodu zhodovali. [16]

4.7 Meranie vyžarovania

Rušivé signály vyžiarené z kábla som meral pomocou Feritovej antény (RFT STA 101). Na meranom kábli prebiehal prenos dát z internetu technológiou VDSL. Dĺžku kábla som si zvolil 3 m. Hodnoty zaznamenané pomocou spektrálneho analyzéra (HM 5536) boli aj pri meraní vyžarovania z kábla aj vyžarovaní do kábla na úrovni šumu aj to pri úplnom priložení meraného kábla k príslušnej anténe. Pre meranie vyžarovania do kábla som použil Prúťovú anténu (RFT STA 101), generátor signálu (RFT 2039 aC) a zakončovaciu impedanciu $Z = 135 \Omega$.



Obrázok 4.21 Blokové schémy pre meranie vyžarovania z kábla a do kábla

5 Podmienky maximálnej využiteľnosti telekomunikačných káblov

5.1 Výkonová spektrálna hustota

Pre ďalší výklad je potrebné bližšie sa zoznámiť s praktickým použitím spektrálnej hustoty výkonu, pomocou ktorej sa popisuje spektrálne rozloženie signálu a šumu pri prenosových systémoch. Spektrálna hustota výkonu (PSD) udáva rozloženie výkonu pri prenose informačných signálov s náhodným charakterom so spojitým frekvenčným spektrom. Jednotkou PSD je W/Hz, alebo pri logaritmickej vyjadrení dBm/Hz. Celkový výkon prenášaný v danom frekvenčnom pásme je daný integrálom spektrálnej hustoty signálu. [11]

5.2 Prevod PSD na L_m na vysielacej strane

Pre zistenie absolútnej úrovne výkonu prenášaného v určitom frekvenčnom pásme šírky Δf (pre VDSL : $\Delta f = 4,3125$ kHz) s konštantnou hodnotou PSD môžeme použiť vzťah:

$$L_m = PSD + 10 \cdot \log_{10} \Delta f \quad [\text{dBm}; \text{dBm/Hz}; \text{Hz}] \quad (5.1)$$

Pre presluch NEXT platí [12]:

$$PSD_{NEXT}(f) = PSD_0(f) \quad \text{pre frekvencie do 276 kHz} \quad (5.2)$$

$$PSD_{NEXT}(f) = b + k \cdot \log(f) \quad \text{pre frekvencie od 276 kHz} \quad (5.3)$$

$$b = PSD_0 - k \cdot \log(276 \cdot 10^3)$$

k je konštanta, smernica v dB/dekádu; $k = -156$

PSD_0 je maximálna spektrálna hustota výkonu vysielateľa pre prípojky VDSL do 30 MHz.

$$PSD_0 = -100 \text{ dBm/Hz}$$

$$PSD_{AWGN} = -140 \text{ dBm/Hz} \quad (\text{biely šum})$$

5.3 Úroveň signálu L_m na prijímacej strane

$$L_{m \text{ NEXT } P}(f) = L_{m \text{ NEXT } V}(f) - A_{\text{NEXT}}(f) \quad [\text{dBm}] \quad (5.3)$$

$$L_{m \text{ FEXT } P}(f) = L_{m \text{ FEXT } V}(f) - A_{\text{FEXT}}(f) \quad [\text{dBm}] \quad (5.4)$$

$$L_{m \text{ SP } P}(f) = L_{m \text{ SP } V}(f) - A(f) \quad [\text{dBm}] \quad (5.5)$$

p je prijímacia strana

v je vysielacia strana

5.4 Prevod úrovne L_m na výkon P

$$P_{\text{NEXT}}(f) = 0,001 \cdot 10^{\frac{L_{m \text{ NEXT}}(f)}{10}} \quad (5.6)$$

$$P_{\text{FEXT}}(f) = 0,001 \cdot 10^{\frac{L_{m \text{ FEXT}}(f)}{10}} \quad (5.7)$$

$$P_{\text{AWGN}}(f) = 0,001 \cdot 10^{\frac{L_{m \text{ AWGN}}(f)}{10}} \quad (5.8)$$

$$P_S(f) = 0,001 \cdot 10^{\frac{L_{mS}(f)}{10}} \quad (5.9)$$

Potom pre celkový šum platí:

$$P_N = P_{\text{NEXT}} + P_{\text{FEXT}} + P_{\text{AWGN}} \quad (5.10)$$

5.5 Prenosová rýchlosť

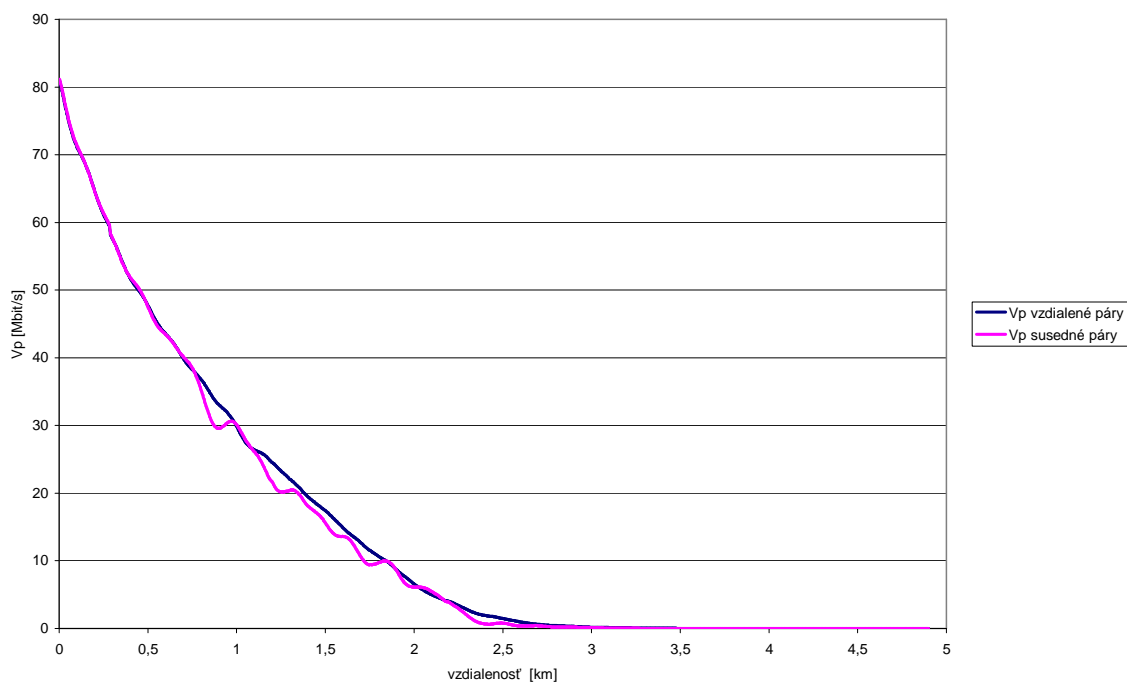
Teoretická prenosová rýchlosť odvodená z odstupu signál/šum:

$$V_{P_{\text{teorS/N}}} = \Delta f \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_S}{P_N} \right) \quad (5.11)$$

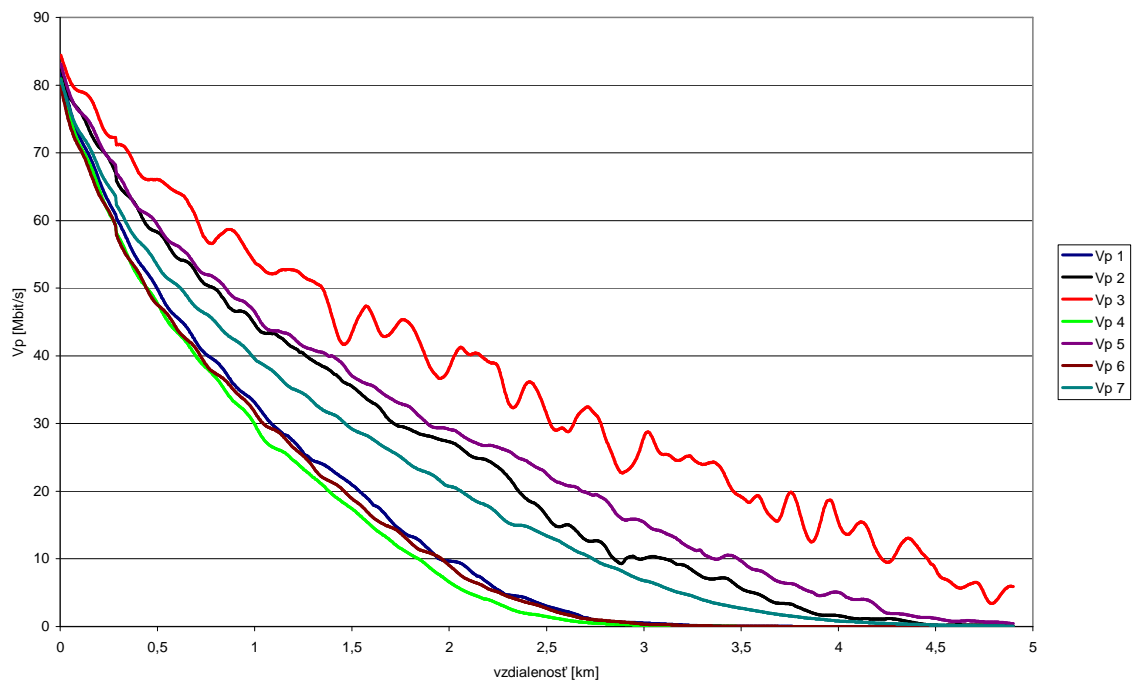
P_S je výkon signálu

P_N je šumový výkon

Prípojky VDSL majú vymedzené frekvenčné pásmo od 25 kHz až do 30 MHz. Vysielač nesmie v pásmach určených pre spätný smer prenosu generovať signál s vyššou spektrálnou hustotou výkonu ako je -100 dBm/Hz. [11] Pre moje výpočty som použil túto limitnú hodnotu.



Obrázok 5.1 Porovnanie teoretickej prenosovej rýchlosti pre rušenie od susedného páru a vzdialeného páru TCEPKSwFLE 25x4x0,4



Obrázok 5.2 Porovnanie teoretických prenosových rýchlostí pre vzorky káblov:

TCEPKSwFLE 5x4x0,4 (Vp 1)

TCEPKSwFLE 5x4x0,6 (Vp 2)

TCEPKSwFLE 5x4x0,8 (Vp 3)

TCEPKSwFLE 25x4x0,4 (Vp 4)

TCEPKSwFLE 25x4x0,6 (Vp 5)

PEKfH-Call 18x4x0,4 (Vp 6)

PEKfH EFK 36x2x0,4 (Vp 7)

6 Zásady pre nasadzovanie xDSL systémov

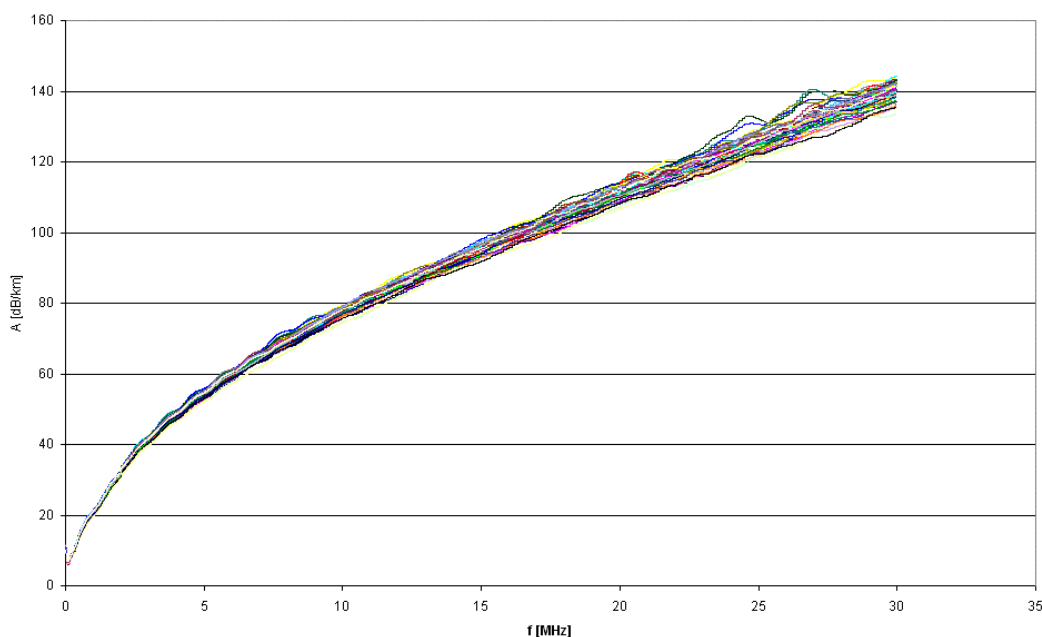
6.1 Nasadzovanie na základe presluchu typu NEXT

Pri návrhu prenosovej cesty sú obmedzujúce tieto faktory:

- vlastnosti prenosového prostredia,
- rušenie digitálneho systému z iných zdrojov,
- vlastnosti digitálneho traktu

Z vlastností prenosového prostredia, ktoré limitujú návrh prenosovej cesty a výber káblových párov je to predovšetkým útlm, homogenita, a útlm presluchu na blízkom konci medzi dvoma párami.

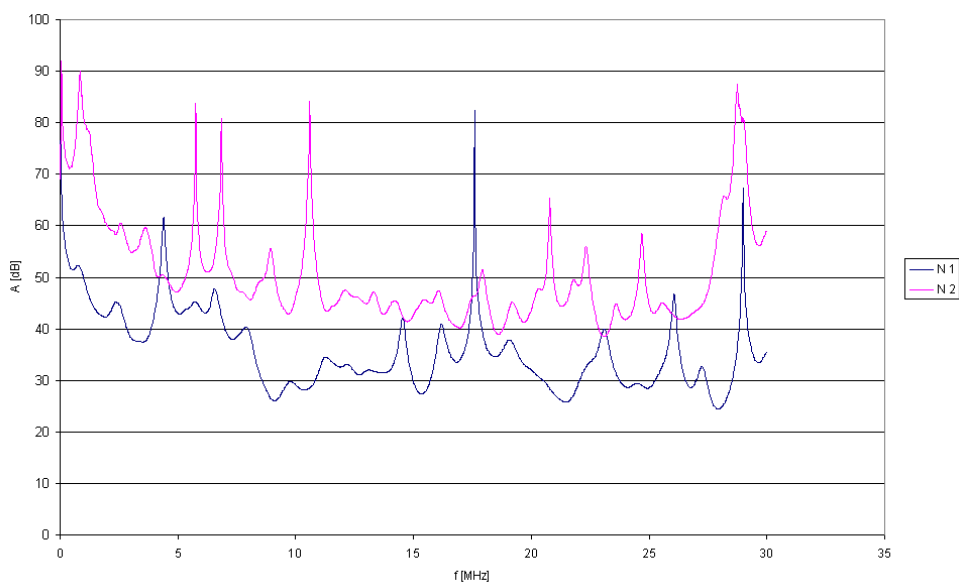
Keď uvažujeme o výbere páru z pohľadu jeho útlmu, nemá to podstatný vplyv pre nasadzovanie xDSL systémov, pretože rozptyl hodnôt pri jednotlivých pároch v profile kábla je tak malý, že to umožňuje vybrať prakticky ľubovoľný pár. Útlm páru je určený typom použitého kábla, to znamená, charakteristickými hodnotami, ktoré sú dané technológiou výroby konkrétneho kábla.[18]



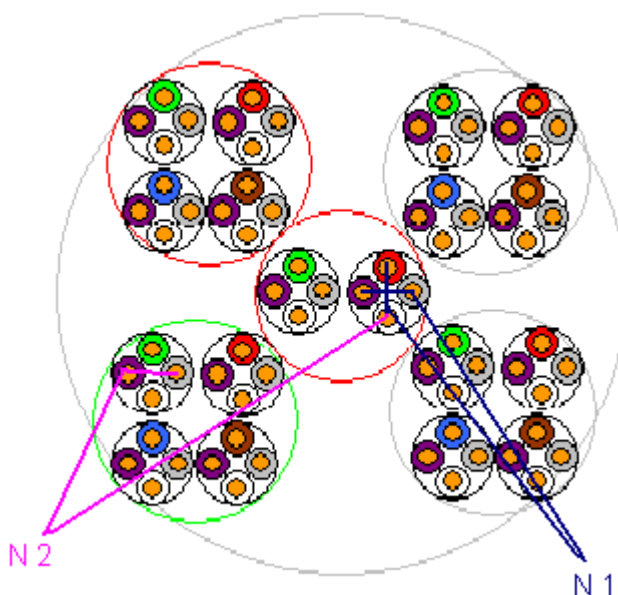
Obrázok 6.1 Graf útlmu jednotlivých párov kábla TCEPKSwFLE 25x4x0,4

Pokiaľ je káblové vedenie inštalované tak, že pri jeho montáži boli dodržané potrebné technologické postupy, je vznik nehomogenít na takonto vedení nepravdepodobný.

Takže najväčším faktorom, o ktorom je nutné uvažovať je útlm presluchu na blízkom konci, ktorý najvýraznejšie ovplyvňuje výber párov pre nasadzovanie digitálnych systémov. Príklady výberu párov sú na nasledujúcich obrázkoch

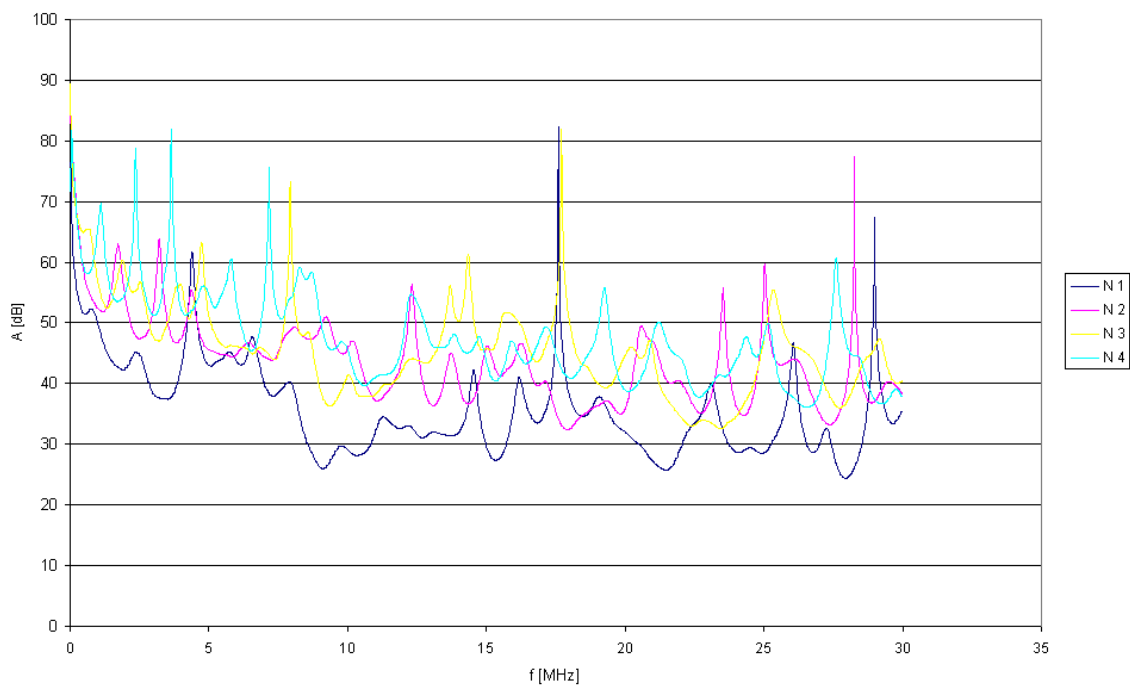


Obrázok 6.2 Najväčší a najmenší útlm presluchu na blízkom konci PEKFH-Call 18x4x0,4 110 m.

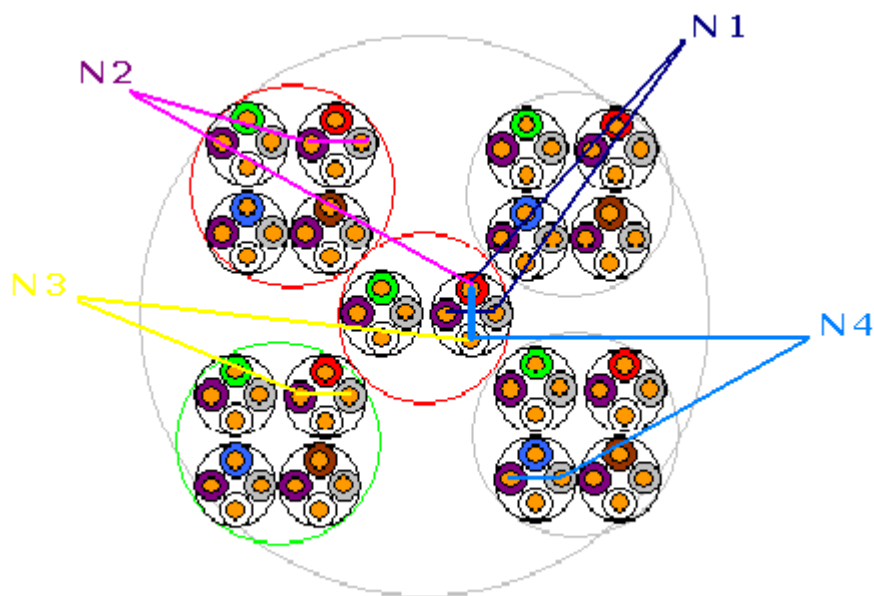


Obrázok 6.3 Vzájomná poloha párov pre najväčší útlm presluchu na blízkom konci PEKFH-Call 18x4x0,4

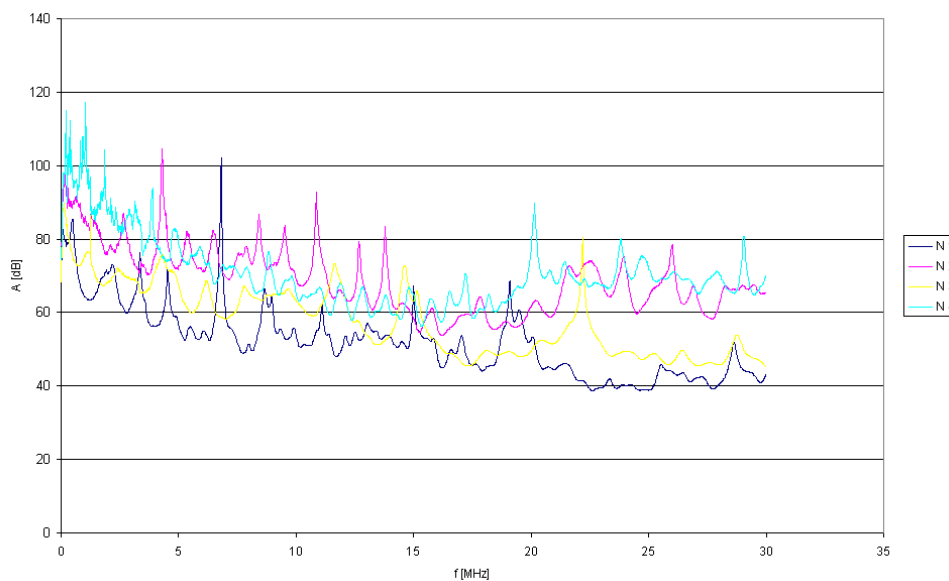
Ako ukazuje obrázok 6.2 útlm presluchu na blízkom konci je pri pároch v jednej skupine a navyše aj v jednej štvorke v priemere o 15,03 dB nižší ako je útlm presluchu párov v rozdielnych skupinách. Nasledujúce obrázky ukazujú útlmy presluchu pre rôzne vzdialenosti meraných párov voči jednému referenčnému páru.



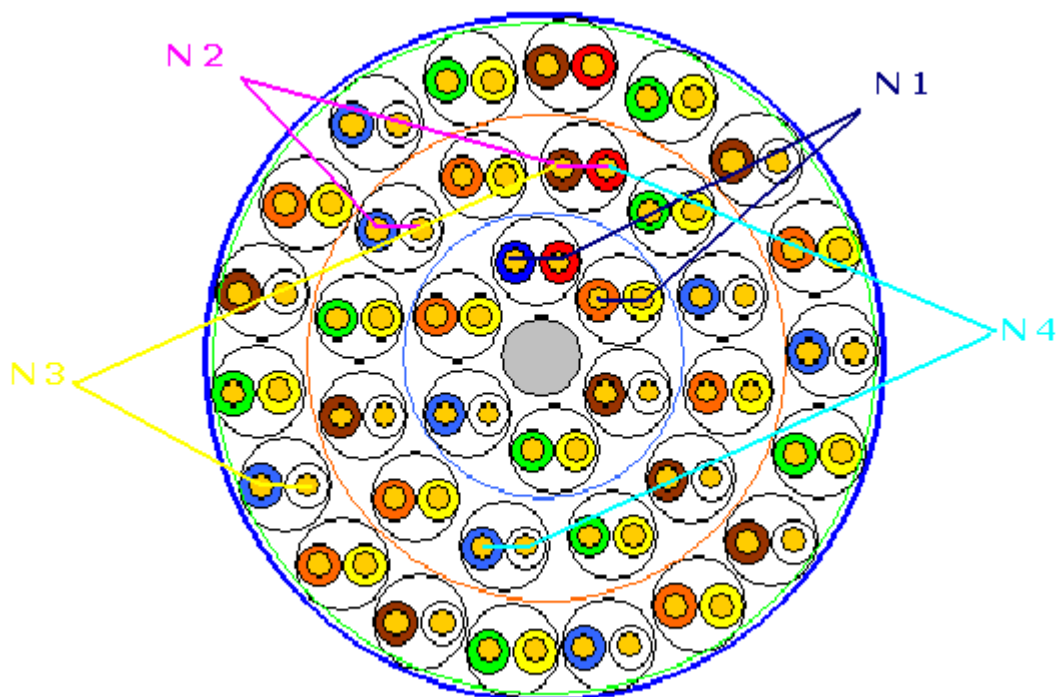
Obrázok 6.4 Vybrané útlmy presluchu na blízkom konci PEKFH-Call 18x4x0,4 110 m,



Obrázok 6.5 Vzájomná poloha párov pre útlm presluchu na blízkom konci PEKFH-Call 18x4x0,4



Obrázok 6.6 Vybrané útlmy presluchu na blízkom konci PEPKFH EFK 36x2x0,4 105 m.



Obrázok 6.7 Vzájomná poloha párov pre útlm presluchu na blízkom konci PEPKFH EFK 36x2x0,4

Z nameraných výsledkov vyplýva, že z hľadiska útlmu na blízkom konci je vhodné zapájať systémy z rôznych skupín ako nám ukazuje obrázok 6.4 a obrázok 6.5 a pri konštrukcii kábla s vrstvami zapájame páry oddelené medzi sebou jeden až dvomi pármami. Obrázok 6.6 a obrázok 6.7 nám ukazuje zobrazením N 1 nevhodnosť zapojenia blízkych párov pre prenos z hľadiska nízkeho tlmenia presluchu. Zapojenie N 2 ukazuje presluch medzi pármami v rovnakej vrstve a ako ukazuje obrázok 6.6 útlm presluchu je v priemere o 16,84 dB a pri zapojení N 4 dokonca až 18,64 dB vyšší ako pri zapojení susedných párov na obrázku 6.7 značené ako N 1.

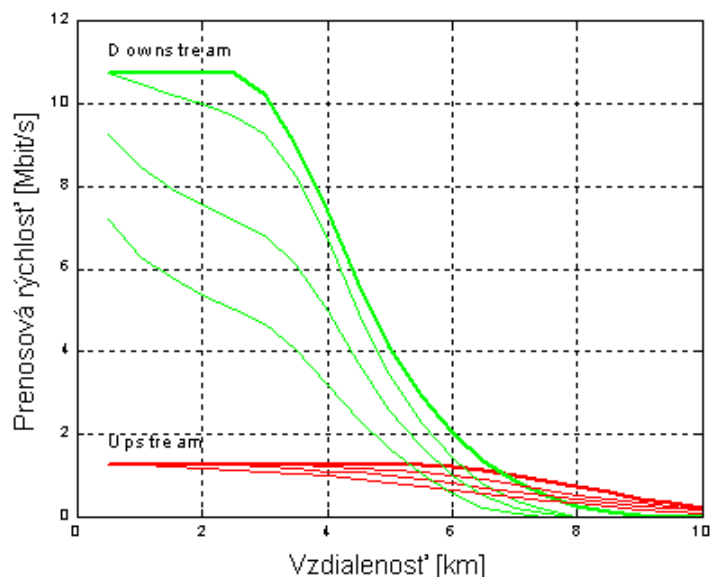
6.2 Maximálna využiteľnosť kábla

V súčasnosti sú úvahy o vylepšení prenosových vlastností metalických vedení, použitím kvalitnejších základných materiálov pre ich výrobu dosť obmedzené. Dosiahnutie zníženia útlmu vedenia ide na úkor zväčšovania priemeru vodiča, čo prináša zvyšovanie výrobných nákladov a nárast priemeru samotných káblov.. To isté sa dá konštatovať o použití iných izolačných materiálov, pre zlepšenie prenosových vlastností a tým ovplyvňovať priestorovú geometriu prenosového prvku v kábli. Najvhodnejšie je hľadať východisko v nasadzovaní systémov xDSL z hľadiska čo najmenšieho presluchu typu NEXT medzi použitými prenosovými pármami.

Systémy xDSL umožňujú na jednom účastníckom vedení koexistenciu analógovej telefónnej linky (alebo prípojky ISDN) s vysokorýchlostnými dátovými kanálmi. Pri ADSL s využitím frekvenčného spektra účastníckeho vedenia do 1,1 MHz môžeme smerom od účastníka dosiahnuť prenosovú rýchlosť až 1 Mbit/s, opačným smerom až 8 Mbit/s. Táto asymetria prenosových rýchlostí vychádza zo samotného charakteru širokopásmových služieb, ako je rýchly prístup do siete Internet alebo video na požiadanie VoD (Video-on-demand), kde je potrebné prenášať väčšie objemy dát smerom k účastníkovi. [19]

Pre analýzu presluchových pomerov v kábli existujú v zásade dva modely. Prvý vychádza z najhoršieho prípadu presluchu medzi susednými pármami. Pri analýze presluchov sa postupuje tak, že s postupným pridávaním systémov do kábla sa obsadzujú najskôr kombinácie s najsilnejším rušením. Druhý model vychádza z priemernej úrovne rušení a z lineárneho nárastu rušení s pribúdajúcimi systémami v kábli.

Pri nasadzovaní systémov xDSL sa dá predpokladať, že obsadenosť digitálnymi systémami sa bude priemerne pohybovať hlavne na nižších hodnotách do 20%, čo pri 50 párovom kábli znamená obsadenie asi desiatich párov.



Obrázok 6.8 Závislosť prenosovej rýchlosti ADSL prípojky na dĺžke – lineárny model

Dôsledky tejto skutočnosti ukazuje obrázok 6.8 pre ADSL nasadené na miestnom kábli typu TCEPKPFLE s priemerom žily 0,4 mm a izoláciou na báze polyetylénu. Je znázornená závislosť prenosovej rýchlosti v smere od poskytovateľa k účastníkovi (Downstream) aj od účastníka k poskytovateľovi (Upstream) na dĺžke prípojky pre plný variant ADSL s frekvenčným delením pásiem (FDM). Parametrom pri jednotlivých krivkách je počet systémov v kábli. Hrubým je vyznačené obsadenie jedným párom, tenkým potom obsadenie 2, 10 a 50 párami.

Je zrejme že je možné očakávať podstatne vyššie prenosové rýchlosti pri nižšej obsadenosti kábla. Podobná je aj situácia pre iné rušiacie systémy v kábli. Pre prevádzkovateľa to znamená, že ak bude plánovať a ponúkať ADSL prípojky musí pre určitý typ služieb znížiť obsadenosť káblov a teda podstatný počet potenciálnych prípojok vyhlásiť za nepoužiteľné pre daný typ služby. V opačnom prípade, ak bude okruh potenciálnych užívateľov daných služieb vyšší, môže sa prejaviť neprimeranosť odhadu a zníži sa prenosová rýchlosť oproti tej akú sme predpokladali.

7 Záver

V diplomovej práci sa na úvod venujem popísaniu jednotlivých systémov DSL. Najväčšiu pozornosť som venoval systémom ADSL a VDSL. Porovnaním týchto dvoch technológií som dospel k záveru, že pre smer downstream vychádza VDSL výhodnejšie ako ADSL 2++, aj keď pre vzdialenosti medzi 1,5 až 5 km nie príliš výrazne. Upstream VDSL veľmi rýchlo klesá a obmedzuje použitie týchto technológií iba na dĺžku 1 až 1,5 km.

Pri prenose informačných signálov systémami xDSL pôsobia, ako som poukázal v kapitole 3, popri vlastnostiach symetrického páru aj ďalšie vplyvy, hlavne vzájomné väzby medzi párami v profile kábla (obsahuje až tisíce párov) a ďalej rušivé vplyvy z okolia. Existuje celý rad rôznych zdrojov rušení, ktoré celkovo znižujú prenosovú kapacitu symetrického páru. U vhodne navrhnutých prenosových systémoch pre prístupové účastnícke siete bude vplyv vnútorných systémových rušení (väčšinou biely šum z pasívnych aj aktívnych elektrických súčiastok) relatívne malý, vyjadrovaný spektrálnou hustotou výkonu -140 dBm/Hz AWGN. V takomto prípade je skutočná informačná kapacita určená predovšetkým externými zdrojmi rušenia, hlavne presluchom na blízkom konci (NEXT), presluchom na vzdialenom konci (FEXT), vysokofrekvenčným rušením (RFI) a impulzným rušením.

Ďalšia časť sa venuje popisu meraní útlmu vedenia, meraniu presluchových pomerov, meraniu charakteristickej impedancie a meraniu útlmu nesymetrie, ktorý vyjadruje mieru symetrie vodičov oproti zemi. Meranie prebiehalo na ČVUT v Prahe. V prílohe 1 je snímka meracieho pracoviska. Meranie vplyvu impulzného rušenia som na pokyn vedúceho diplomovej práce nevykonal. Meranie vplyvu vyžarovania z kábla a do kábla som vykonal na Katedre telekomunikácií Elektrotechnickej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline. Namerané výsledky vyžarovania boli iba v hodnotách šumu. Snímky z merania sú v prílohe 2. Všetky namerané hodnoty a výpočty sú na priloženom CD.

V praxi sa ukazuje, že podstatným parametrom je dosiahnuteľná prenosová rýchlosť, od ktorej sa odvíja schopnosť poskytnúť účastníkovi príslušný okruh služieb. Ku stanoveniu prenosovej rýchlosti je možné použiť presné vzťahy a vykonať simulácie účastníckych prípojk. To však nie je vzhľadom k situácii v prístupovej sieti jednoduché, hlavne s ohľadom na komplikovanosť štruktúry káblovej siete. V kapitole 5 sa venujem výpočtu teoretickej prenosovej rýchlosti pre systémy VDSL vo frekvenčnom pásme do

30 MHz. Z výpočtov vyplýva, že najvýraznejšie sa na zvýšení prenosovej rýchlosti podieľa útlm vedenia, ktorý klesá so zvyšovaním priemeru vodiča čo je pre užívateľa ekonomicky náročnejšie. Taktiež konštrukcia kábla (dĺžka skrutu vodičov, konštrukcia a križovanie párov, štvoriek) má vplyv na zvýšenie prenosových rýchlostí.

V poslednej časti sa venujem návrhu obsadenosti káblov z pohľadu najväčšieho útlmu presluchu typu NEXT. Podľa vzájomnej polohy párov sa dosahuje rozdielne hodnoty presluchov. Charakter závislosti na frekvencii je však vždy rovnaký, založený na teoretických základoch a potvrdený praktickými meraniami. Presluch na blízkom konci je prakticky nezávislý na dĺžke vedenia, ale rastie s frekvenciou. Využitelnosť káblov pre xDSL technológie sa predpokladá na 20% čo pri 25 štvorkovej konštrukcii kábla predstavuje využitie iba piatich štvoriek.

Z výpočtov teoretickej prenosovej rýchlosti a nameraných hodnôt na vzorkách káblov je zrejmé, že telekomunikačné káble vyrábané spoločnosťou ELKOND HHK a. s. sú schopné plniť požiadavky na prenosovú rýchlosť pre systémy xDSL.

Zoznam použitej literatúry

- [1] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072903>
- [2] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072907>
- [3] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=&cisloclanku=2004120301>
- [4] http://sk.wikipedia.org/wiki/High_Data_Rate_Digital_Subscriber_Line
- [5] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005091201>
- [6] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=rozsirovani-pasma-u-pripojky-vdsl&cisloclanku=2004120302>
- [7] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005093001>
- [8] Vodrážka J. : Přenosové systémy v přístupové síti, ČVUT 2006
- [9] <http://www.drpf.fmph.uniba.sk/Mikrovlny/kap06.pdf>
- [10] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=jevy-ovlivnujici-utlumsymetrickych-kabelovych-vedeni&cisloclanku=2004120201>
- [11] Vodrážka J.; Havlan M.: Přístupové přenosové systémy, Cvičení, Měření na přípojkách xDSL, ČVUT 2003
- [12] Gregorica M.: Rušivé vlivy působící na vedení xDSL systému, Elektorevue 2005
- [13] <http://www.gamo.sk/gamo/web/home.nsf/pages/0a691e32d8d4899ec1256bb4002f1162>
- [14] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=modelovani-preslechu&cisloclanku=2004072911>
- [15] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=problematika-utlumu-nesymetrie&cisloclanku=2004072909>
- [16] <http://matlab.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004101801>
- [17] Bobek M.: Matematický model ADSL kanála, Diplomová práce ŽU 2006
- [18] Příprava kabelové sítě pro nasazování PCM systémů, Nakladatelství dopravy a spojů Praha 1985
- [19] <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=porovnani-modelu-preslechu-a-vliv-na-nasazovani-adsl&cisloclanku=2004072910>

ČESTNÉ VYHLÁSENIE

Vyhlasujem, že som zadanú diplomovú prácu vypracoval samostatne, pod odborným vedením vedúceho diplomovej práce Ing. Františka Giliana a používal som len literatúru uvedenú v práci.

Súhlasím so zapožičiavaním diplomovej práce.

V Žiline dňa 18.05.2007

POĎAKOVANIE

Touto cestou sa chcem poďakovať všetkým, ktorí sa akýmkoľvek spôsobom podieľali na realizácii tejto diplomovej práce. Špeciálne by som sa chcel poďakovať Ing. Františkovi Gilianovi a Ing. Jozefovi Pallovi za rady pri riešení diplomovej práce, Ing. Jiřímu Vodrážkovi, Ph.d., za cenné rady pri meraní, mojim rodičom, ktorí mi umožnili štúdium na Žilinskej univerzite a tiež mojej priateľke za podporu.

Žilinská univerzita v Žiline
Elektrotechnická fakulta
Katedra telekomunikácií

**Analýza prenosových vlastností telekomunikačných
káblov
pre digitálne účastnícke prípojky xDSL.**

Prílohová časť

Jozef Kabáč

2007

Zoznam príloh

Príloha 1. Snímka meracieho pracoviska na ČVUT v Prahe.....	II
Príloha 2. Snímky merania vyžarovania na EF Žilinskej univerzity v Žiline.....	III



Príloha 1. Snímka meracieho pracoviska na ČVUT v Prahe.



Príloha 2. Snímky merania vyžarovania z a do kábla na EF Žilinskej univerzity v Žiline