

BPC-PRM

Prenosové média

Vypracované otázky k SZZ

Telekomunikačné a informačné systémy, FEKT VUT

Obsah

1	Metallické vedení, kabely, symetrické kabely	1
2	Koaxiální kabely	3
3	Strukturované kabelážní systémy	5
4	Optické vlákna (druhy), kabely	7
5	Základní vztahy homogenního vedení	12
6	Fázová a skupinová rychlost šíření, oneskorenie signálu	14
7	Nedokonalosti a nehomogenity telekomunikačných káblov	16
8	Optický prenos, straty, disperzia	19
9	Optické vlákna pre vysokorychlostné prenosy, vlnový multiplex	21
10	Základné meranie u káblov metalických - optických	24

1 Metalické vedení, kabely, symetrické kabely

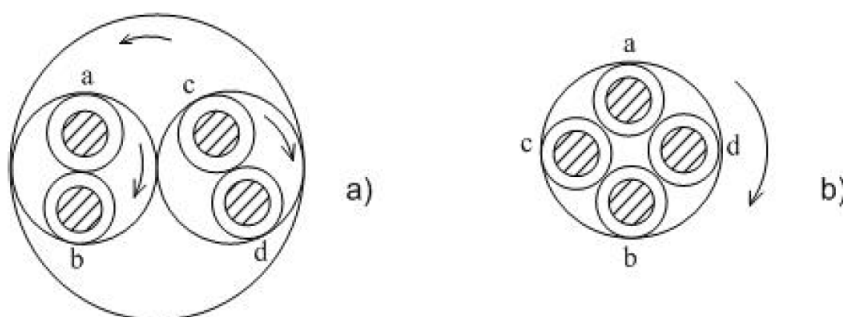
1.1 Metalické vedení

1.1.1 Venkovní vedení

Venkovní drátové vedení využívající stožáry, konzoly a izolátory, byla v minulém století využívána, a to především z pohledu jejich výborných přenosových vlastností. Vytvářela páteř meziměstských spojů. Nevýhoda vedení byla obtížná montáž (město), závislost na povětrnostních podmínkách.

1.1.2 Kabelová vedení

Kabely vedení se dělila na "Sdělovací kabely místní"s průměrem 0,8 mm a "Sdělovací kabely dálkové"s průměrem 0,9 mm. Také se dělí podle frekvence (nf a vf kabely). Dnes jsou nahrazovány optikou. V dnešní době se spíše využívají jako poslední míle k zákazníkovi. Kabely jsou tvořeny z: kabelovou duší a ochrannými obaly. Druhy kabelů:

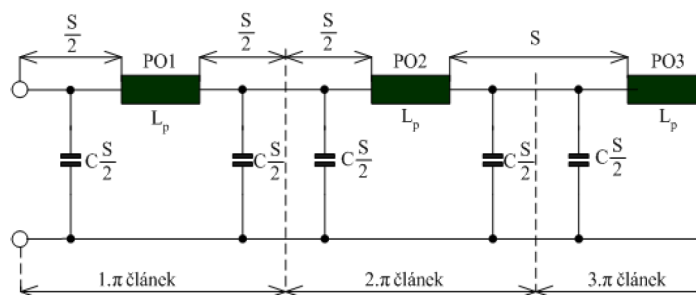


Obrázek 1: a.) DM, b.) křížová

1.1.3 Pupinové kabely

Kabely založené na umělém zvyšování indukčnosti kabelových vedení. Umožní se tak v omezeném kmitočtovém pásmu snížení útlumu vedení a zmenšení zkreslení útlumové charakteristiky. V náběhové sekci, tj. úsek od zesilovací stanice k první pupinační skříni vždy:

$$a_s = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (1)$$



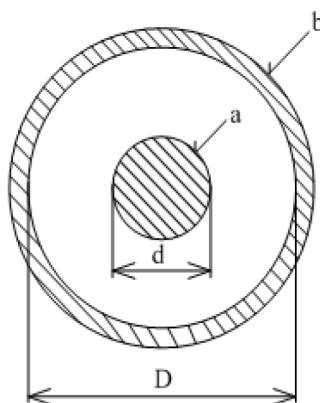
Obrázek 2: Princip pupinace vedení

1.1.4 Symetrické kabely

Používané pro nosné telefonní systémy a využívaly příznivých vlastností α , β , Z_c . v oblasti vyšších kmitočtů (od 10 KHz). Používaly se pouze křížové čtyřky s izolací vzduch – papír (12 až 252 kHz – 60 kanálů) a čtyřek s izolací vzduch – styroflex (12 až 552 kHz – 120 kanálů). Pro každý směr přenosu se používal samostatný kabel.

2 Koaxiální kabely

Využití u přenosu širších frekvenčních pásem. Nedochází u nich k ovlivňování souběžných párů. Dříve využívané v telefonii. Dnes se používají spíše u kabelové televize a u kabelového internetu. Vodiče jednoho páru jsou uspořádány soustředně, tvoří koaxiální trubku s vodičem uprostřed. Vzniklé el. magnetické pole zůstává jen uvnitř trubky a při vysokých kmitočtech prochází proud jen povrchem vnitřního vodiče a vnitřním povrchem trubky. Při nižších kmitočtech (řádově n.104 Hz) je potřeba speciálního stínění. Stínění je tvořeno ze dvou poměděných ocelových pásků vinutými na vnější trubku. Vnější vodič bývá ze svinutého Cu plechu (kolem 0,20 mm), který obepíná PE izolační kotoučky. Kotoučky jsou nasazeny na vnitřním vodiči.



Obr. 4.8: Koaxiální pár

Obrázek 3: Koaxiální pár

2.1 Střední koaxiální pár

Má vnitřní vodič Cu o průměru 2,6 mm, opatřen balónkovou izolací. Vnější vodič je z měděné pásky se zvlněnými okraji, stočený s podélným švem do tvaru o jmenovité světlosti 9,4 mm. Označován jako 2,6/9,4. Využíván v pásmu 300 kHz – 60 MHz. Hodnota impedance je 75 ohmů a měrný útlum 3,6 dB/km při frekvenci 1 MHz a teplotě 10°C.

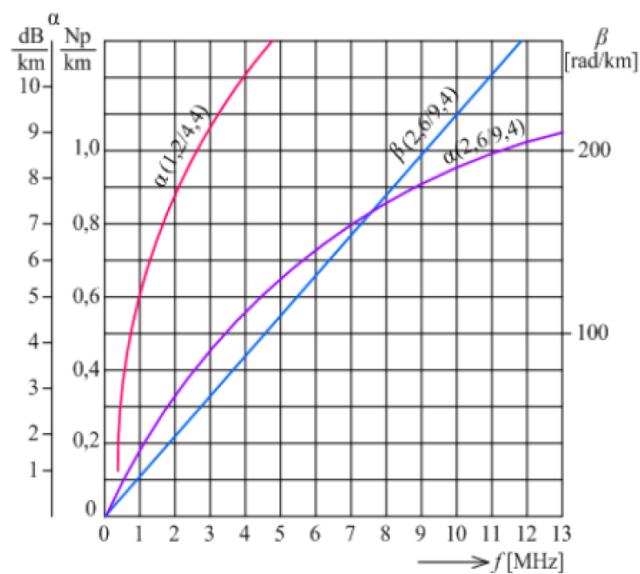
2.2 Malý koaxiální pár

Vzinkl jako doplněk pro výplň frekvenční mezery mezi VF symetrickými čtyřkami a středními koaxiálními páry, které byly určeny pro magistralní přenosy na velké vzdálenosti s velkými počty kanálů (1920 kanálů). Průměr vodiče Cu je 1,2/4,4 mm opatřen balónkovou izolací. Impedance 75 ohmů při frekvenci 1 MHz, měrný útlum 5,22 dB/km při 10°C. Využíván pro přenos do 12 MHz jako přenos pro telefonní a televizní signál.

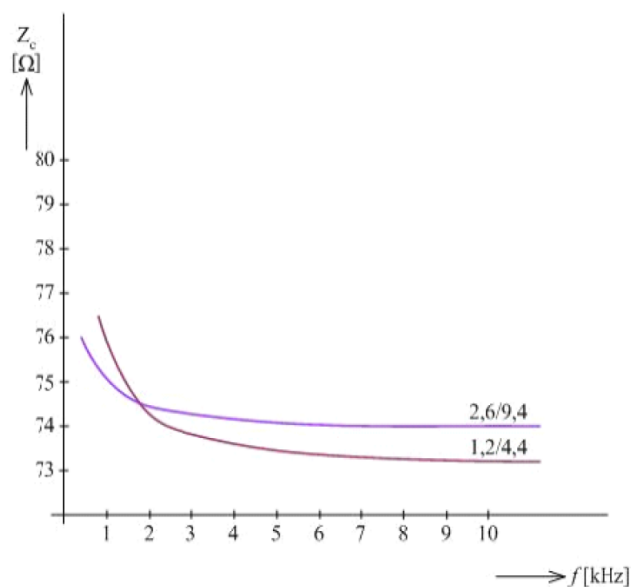
2.3 Mikrokoaxiální pár

Využíván pro provoz digitálních systémů 2 a 3 řádu a četné datové přenosy. Průměr vnitřní trubky je kolem 0,6 – 0,8 mm, vnější 2,2 – 2,8 mm. Izolace je nejčastěji pěnový polyetylén nebo balónková izolace. Impedance mezi 65 – 75 ohmů.

2.4 Doplněk závislosti koaxiálního kabelu



Obrázek 4: Frekvenční průběhy α , β u různých druhů koaxiálního kabelu



Obrázek 5: Průběhy $Z_c = \varphi(f)$ u malého a středního koaxiálního kabelu

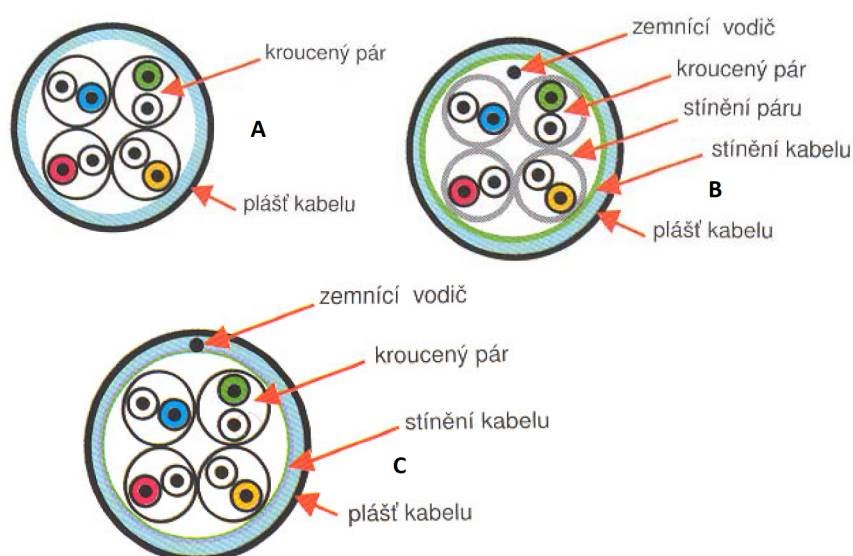
3 Strukturované kabelážní systémy

Jedná se o systémy, které umožňují snadnou montáž v budovách, sítích LAN pro vytváření datových sítí a hlasových sítí. Neustálým nátlakem na přenosovou rychlost dochází ke zlepšení výroby těchto kabelů. Výrobní proces zaručuje stejnou vzdálenost vodičů, stejná tažná síla během výroby. Také se dbá na zkrut vodičů a izolaci. Zlepšeným výrobním procesem dochází ke minimalizaci kapacitní nerovnováhy, minimálním rozdílům v útlumu, minimalizace NEXT a FEXT, také minimalizace rozdílné impedance v zpětném rozptylu. Základní dělní do kategorií:

- 1,2 pro telefonní provoz
- 3 pro data, 10 MHz (ISDN)
- 4 pro data, 16 MHz (Token Ring, Ethernet)
- 5 pro data, 100 – 300 MHz (ATM, Ethernet)
- 6 pro data, 500 MHz (1000 Base TX)
- 6A pro data, 500 MHz (10 G Base T)
- 7 pro data, 1200 MHz (10 G Base T, multimédia)

3.1 Druhy kabelů

Základní zapojení kabelů je prováděno pomocí síťového konektoru RJ – 45 nebo telefonního RJ – 11. Používáme 3 druhy kabelu (UTP, ISTP, FTP):



Obrázek 6: A.) UTP, B.) ISTP, C.) FTP

3.2 Dělení kabelážního systému

Dělení sekcí strukturované kabeláže:

- Sekce CAMPUS – propojení budov
- Sekce RISER – páteřní rozvody
- Horizontální sekce, která je tvořena pevnými rozvody na jednotlivá pracoviště
- Pracovní sekce, která propojuje horizontální sekci na koncové zařízení

CAMPUS sekce ve většině případů je realizována pomocí optického spojení, kvůli vzdálenosti a jejich galvanického dělení.

RISER sekce Realizace opět pomocí optického spoje, díky jeho dobré průchodnosti. Výjimečně realizována pomocí metalického vedení.

Horizontální sekce tvořena hvězdicovým rozvodem 4 – párových metalických kabelů. Střed hvězdy je představován bodem napojení na páteřní rozvod. Optické kabely se v této sekci používají minimálně.

Pracovní sekce obsahuje připojovací kabely. Jedná se o 4 – párové metalické kabely s konektory RJ – 45 (PatchCord) nebo o optické propojovací spoje (převážně pomocí ST a SC konektorů). Propojení probíhá v rozvaděči na patch panelu.

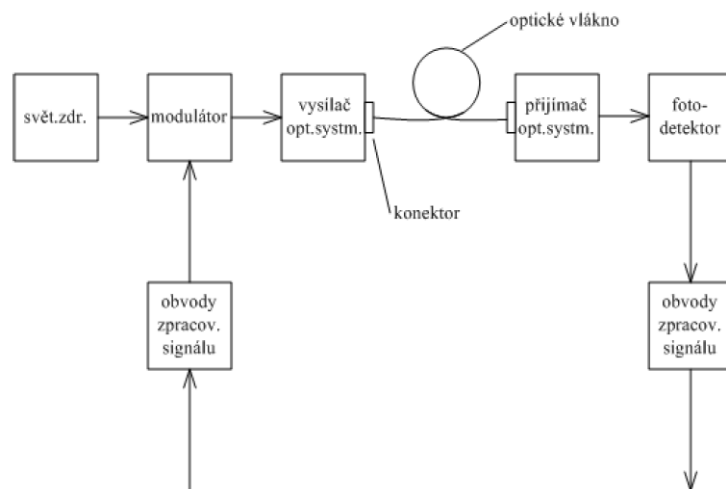
3.3 Parametry ovlivňující strukturovanou kabeláž

Parametry, které mají značný vliv na přenos:

- **Wire Map** – Kontroluje správnost zapojení párů.
- **NEXT** – přeslech na blízkém konci. Kontrola rušivého signálu z jednoho páru na druhý.
- **FEXT** – Přeslech z jednoho páru do jiného na vzdáleném konci.
- **PS NEXT a PS FEXT** – sumární přeslech na blízkém a vzdáleném konci.
- **DELAY SKEW** – Rozdílové zpoždění mezi nejrychlejším a nejpomalejším párem.
- **IMPEDANCE** – Zdánlivý odpor vedení.
- **ATTENUATION** – Útlum.
- **ACR** – Odstup signálu od šumu.
- **PROPAGATION DELAY** – Celkové zpoždění signálu.

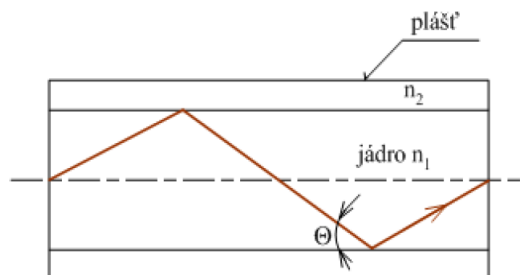
4 Optické vlákna (druhy), kabely

Tento druh přenosu je spolehlivý rychlý a oproti metalickému vedení nákladnější. Přenášení informace optickým vláknem pomocí světelného paprsku. Při přenosu optickým vláknem nevznikají elektrická a magnetická pole. Další výhodou je odolnost proti rušení vnějším signálem a obtížná odposlechnutelnost.



Obrázek 7: Základní zapojení optického spoje

Přenos optickým vláknem je založen na totálním odrazu na rozhraní dvou optických prostředí s rozdílným indexem lomu. První prostředí je tvořeno válcovým dielektrickým jádrem s indexem lomu n_1 , to je obklopeno dielektrickým pláštěm s indexem lomu n_2 . Platí $n_1 > n_2$. Potom pro paprsky, které vstupují do jádra pod úhlem menším než Φ , kde $\cos \Phi = n_2/n_1$ dochází na rozhraní jádro – plášť k totálnímu odrazu.



Obrázek 8: Přenos světlovodem

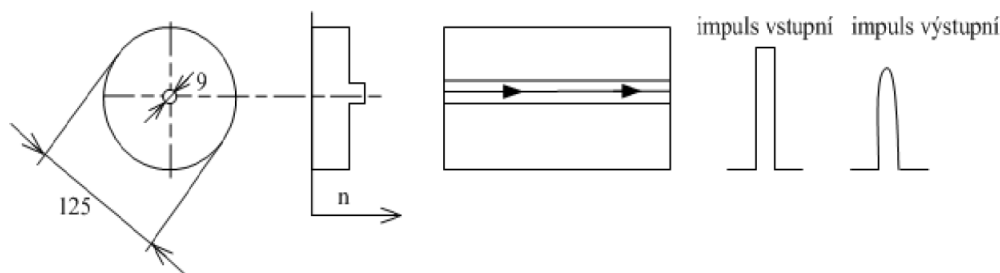
Jako zdroj záření slouží lasery a luminiscenční diody (LED). LED pouze při použití s nižšími nároky na šířku pásma a dosah. Z laserů jako zdroje koherentního světla je nejvýhodnější použití polovodičové lasery. Nejvýhodnější fotodetektory jsou polovodičové diody typu PIN nebo lavinové (LFD).

4.1 Druhy optických vláken

Základní dělení je na jednovidová vlákna a mnohovidové. Dále také na mnohovidové s konstantním indexem lomu jádra a pláště a na gradientní s proměnným indexem lomu.

4.1.1 Jednovidové světlovody

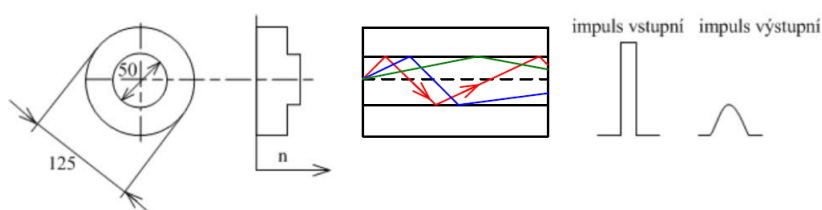
Mají malý průměr jádra a při dané číselné apertuře a vlnové délce světla umožňují přenos pouze jednoho, tj. základního vidu elektromag. vlny ($V < 2,405 + HE_{11}$). Výhoda je nižší hodnoty útlumu, ale zároveň těžší navázání světla do vlákna, díky průměru. Vykazují menší disperzi, tj. mají větší přenosovou šířku pásma. Pro jejich buzení je potřeba zdroje světla s nízkou spektrální čarou (laser). Využívají se v dálkových přenosových aplikacích.



Obrázek 9: Jednovidový světlovod

4.1.2 Mnohovidové světlovody

Zvětšováním průměru jádra (platí podmínka $V > 2,405$) počet vidů, které se mohou šířit vláknem roste. U používaných světlovodů s průměry jader 50 až 100 μm , se na vlnové délce 0,85 šíří řádově tisíc vidů. Vznikající vidová disperze omezuje šířku pásma asi na 50 MHz. Používají se na krátké vzdálenosti.



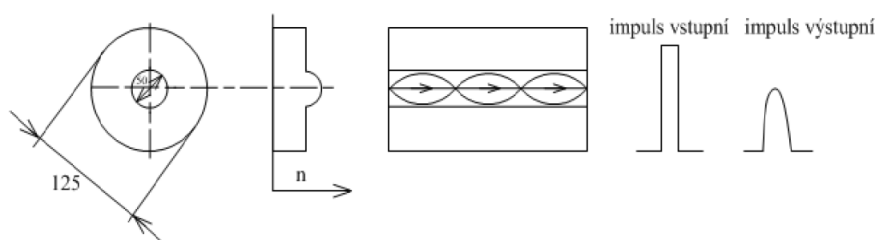
Obrázek 10: Mnohovidový světlovod se skokovou změnou indexu lomu

4.1.3 Gradientní světlovody

Využívají změny indexu lomu $n = n(x)$ průřezu jádra v příčném směru, větinou s průběhem kvadratické paraboly, dle závislosti:

$$a_s = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (2)$$

Maximální hodnota indexu lomu je v ose vlákna a směrem od osy se dle výše popsaného zákona zmenšuje. Při stejném průměru jádra a stejném rozdílu δ_n indexů lomu přenáší gradientní vlákno poloviční počet vidů. To se odráží na kvalitě přenášeného signálu, kdy dnes tyto světlovody dosahují šířku pásma přes $1 \text{ GHz} \cdot \text{km}$, průměr jádra se pohybuje kolem 50 až 100 μm s NA kolem 0,2. Využívají se na středně velké vzdálenosti, s výhodou multiplexního přenosu.



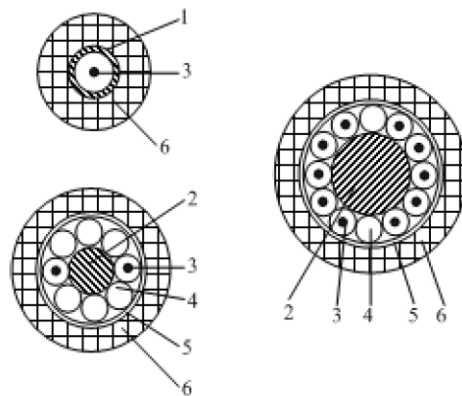
Obrázek 11: Gradientní mnohavidový světlovod

4.2 Optické kabely

Vlastní jádro a plášť je nezbytné chránit proti mechanickému namáhání několikamilimetrovou ochrannou vrstvou, tzv. primární ochrana a poté několik desetin silnou vrstvou plastické hmoty, sekundární ochrana. Také se používá volná sekundární ochrana. Ta je tvořena plastovou trubičkou, ve které je uloženo buď jedno nebo více vláken. Vnitřek trubičky může být vyplněn gelem. Při konstrukci kabelů je nutno zvážit tyto hlavní faktory:

- **Optické:** počet vláken v kabelu, útlum při určité volné délce, disperze přenášených impulsů, numerická apertura vlákna.
- **Mechanická:** pevnost v tahu, odolnost proti stlačení v příčném směru, ohybové vlastnosti, odolnost proti oděru, odolnost proti chvění, ochrana proti okolním vlivům.
- **Konstrukční:** materiál a rozměry jádra, povlaků a ochranných vrstev, posilovací materiály a jejich rozměry.

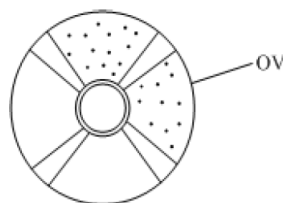
Klasické konstrukce, kde jsou vlákna stáčena kolem tažného prvku, také může být tahový prvek po straně a vlákno ve středu:



Obrázek 12: Různá provedení kabelů se skleněnými vlákny a, b, c

4.2.1 Drážková konstrukce

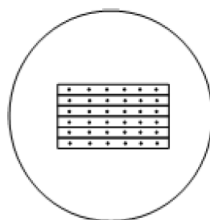
Kabely jsou samostatně nebo v sekundární ochraně uloženy v drážkách.



Obrázek 13: Drážková konstrukce

4.2.2 Pásková konstrukce (Ribbon)

Jednotlivé pásy o počtech 4, 6 nebo 12 vláken se skládají na sebe a následně jsou kabelovány. Případně pro vyšší počty vláken je možné vytvářet i skupiny. Použití především v přístupových sítích. V současné době jsou na trhu svářečky umožňující provádět sváry 12 vláknových ribbonů.



Obrázek 14: Pásková konstrukce (Ribbon)

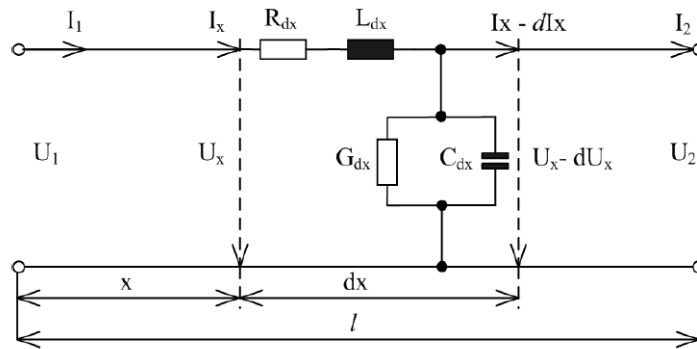
Příklady druhů kabelů jsou: OPTION1 (plně dielektrický, suchý optický kabel, venkovní a vnitřní užití), POWERGUIDE (plně dielektrický samonosný optický kabel, závěsné optické trasy), optický kabel Mini – LXE (Vysoký počet vláken, kabelová televize, účastnické sítě).

5 Základní vztahy homogenního vedení

Základní veličiny charakterizující homogenní vedení:

- Odpor: R [Ω/km]
- Indukčnost: L [H/km]
- Kapacita: C [F/km]
- Svod: G [S/km]

Tyto hodnoty nezávisí od napětí a přenášeného proudu, ale závisí od konstrukce vedení použitého materiálu a frekvence přenášeného signálu. Znázornění dvouvodičového homogenního vedení:



Obrázek 15: Model homogenního vedení

Sekundární parametry: **Charakteristická impedance** Z_c je udávána primárními parametry R , L , C a G pro určité vedení, při určité frekvenci platí:

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \quad (3)$$

Její převrácená hodnota je admitance:

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)} = \alpha + j\beta \quad (4)$$

Veličina γ představuje měrnou míru přenosu. Vztažena k délce $\gamma \cdot l = g$ nazývá se míra přenosu, dále platí:

$$g = \gamma \cdot l = a + jb. \quad (5)$$

Parametr α se nazývá měrný útlum, udává se v dB/km. Hodnota $\alpha \cdot l = a$ je útlum v dB (vztažený k délce l). Obdobně β je měrný fázový posuv a udává se v radiánech/km (b = resp. v radiánech). Vstupní impedanci homogenního vedení různě zakončených můžeme

obecně popsat pomocí charakteristické Z_c , zakončovací impedance Z_2 a délky l .

$$Z_1 = Z_c \cdot \frac{Z_2 \cosh \gamma l + Z_c \sinh \gamma l}{z_2 \sinh \gamma l + z_c \cosh \gamma l} \quad (6)$$

6 Fázová a skupinová rychlost šíření, oneskorenie signálu

Pre vysvetlenie týchto pojmov výjdeme zo vzájomných súvislostí medzi fázovou konštantou β , dĺžkou vlny a rýchlosťou šírenia v .

Pre fázovú konštantu β vyplýva:

$$\beta \cdot \gamma = 2\phi \quad (7)$$

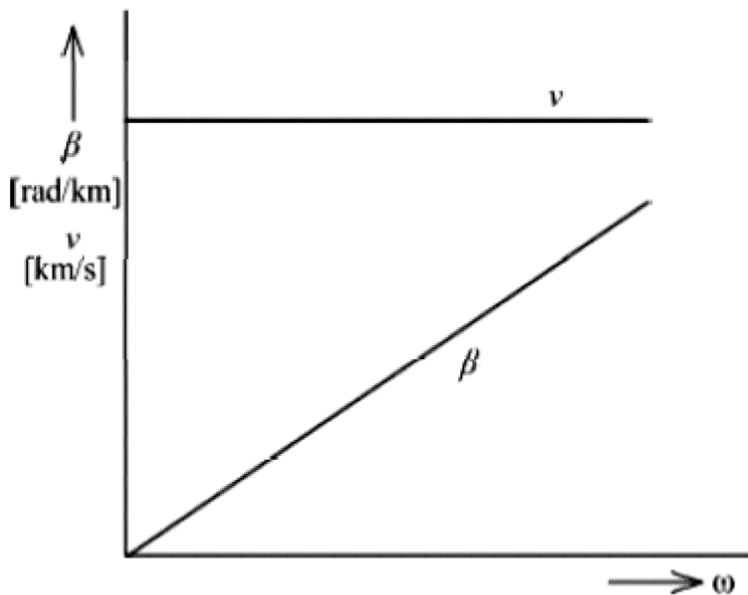
a v súvislosti s rýchlosťami platí:

$$v_f = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f = \frac{2\phi}{\beta} \cdot \frac{\omega}{2\phi} = \frac{\omega}{\beta} \quad (8)$$

čím dostaneme výraz pre **fázovú rýchlosť šírenia**.

V prípade že je fázová rýchlosť konštantná v celom pásme šírenia, dostávame najideálnejší stav, ktorý z hľadiska prenosu potrebujeme. Platí (viď.obrázok):

$$\beta = \omega \quad (9)$$



Rychlost šíření u lineárního průběhu $\beta = \omega$

Túto krivku vyjadrujeme pomocou diferenciálov

$$v_s = \frac{d\omega}{d\beta} \quad (10)$$

Výraz vyjadruje tzv. **skupinovú rýchlosť šírenia**, teda rýchlosť, ktorou sa šíri skupina dvoch veľmi blízkych kmitočtov.

O hodnotenie rýchlosti šírenia sa v praxi používa tzv. **oneskorenie signálu**.

$$t_f = \frac{l}{v_f} = l \cdot \frac{\beta}{\omega} = \frac{b}{\omega} \quad (11)$$

kde b je fázový posun vzťahnutý na celé vedenie. Pre skupinové oneskorenie obrdžíme pomocou diferenciálov vzťah

$$t_a = \frac{db}{d\omega} \quad (12)$$

7 Nedokonalosti a nehomogenity telekomunikačných káblov

7.1 Nehomogenity káblov

Z ekonomického hľadiska nie je možné vyrobiť dokonalé telekomunikačné káble. Nie je možné vyrobiť kábel s nemenným priemerom, izoláciu s nemennou hrúbkou, nemožno dosiahnuť rovnakých skrutov pri stáčaní káblov a drôtov.

Nedokonalosti rozdeľujeme do dvoch skupín:

1. nehomogenity primárnych parametrov R , L , C , G
2. nesymetria dielčích kapacít, zvodov, odporov a induktívnych väzieb (len v prípade symetrických káblov)

7.2 Nehomogenity primárnych parametrov

Dôsledkom nedokonalosti výroby (drôt, izolanty a pod.) je, že štvorky jednotlivých výrobných dĺžok majú nepatrne odlišné hodnoty primárnych parametrov. Ich rôznosť v jednotlivých výrobných dĺžkach potom pri ich napájaní v spojkách má za následok vznik nepatrných odrazov, presluchov na vzdialenom konci, dielčích odrazov elektromagnetických vln, ktoré sa prenášajú jednak k začiatku vedenia, ďalej potom ako viacnásobné odrazy tiež ku koncu vedenia. Tieto nedokonalosti sa potom pri prenose televízneho signálu prejavujú rozostrením obrazu.

Opatrenia na zníženie nehomogenít vedenia:

- **Vo výrobe:** Je potrebné venovať pozornosť vstupnej kontrole používaných materiálov a dôsledne dodržiavať kontrolné operácie pri výrobe.
- **Po ukončení výroby:** Po ukončení výroby všetkých výrobných dĺžok pre jeden zosilňovací úsek a po vykonaní predpísaných elektrických meraní jednotlivých výrobných dĺžok sa navrhne tzv. alokácia výrobných dĺžok, tj. plán rozmiestnenia jednotlivých výrobných dĺžok v trati.

7.3 Nesymetrie dielčích kapacít a zvodov

Nesymetria **efektívnych dielčích kapacít** u jednej štvorky (v rozsahu elektricky krátkeho elementu) je príčinou presluchu medzi okruhmi dotýčnej štvorky. Príčinou presluchu je nevyrovnaný mostík čiastkových kapacít. Potlačenie presluchu sa v praxi vykonáva tak, že mostík vyrovnáme prídavnou kapacitou (na podklade merania). Prídavná kapacita nesie označenie kapacitnej nesymetrie a je to kapacita, ktorá vyrovnáva mostík efektívnych čiastkových kapacít. Nesymetrie **dielčích zvodov** sú spôsobené stratami v dielektriku.

7.4 Magnetické nesymetrie

Ide o tzv. pozdĺžne nesymetrie a majú ako reálne zložky (odporové nesymetrie), tak imaginárne zložky (nesymetria indukčných väzieb). Indukčné väzby vznikajú v elektricky krátkych úsekoch kábla medzi jednotlivými vodičmi štvorky (čiastkové vzájomné indukčnosti).

Pri odlišnosti týchto indukčných väzieb, dostaneme taktiež nevyrovnaný mostík a výsledkom sú presluchy. Na záver môžeme konštatovať, že u symetrických štvorkovaných káblov príčinou presluchov sú nesymetrie čiastkových kapacít, zvodov, indukčností a odporových väzieb.

7.5 Opatrenia proti nesymetriám

7.5.1 Opatrenia pri výrobe kábla

I. Technologické opatrenia

Ako už bolo uvedené, opatrením na obmedzenie nesymetrií je presná výroba. Pre zaručenie rovnakého odporu všetkých štyroch vodičov je nevyhnutné, aby príslušné dĺžky boli nastrihané z jedného kolesa drôtu. Tým sa docieli rovnaký priemer vodičov v celej dĺžke. Podobne je potrebné postupovať pri príprave izolačných materiálov.

II. Konštrukcia káblov

V oblasti **nižších kmitočtov** (do 15 kHz) sa uplatňujú podstatne viac kapacitné nesymetrie ako magnetické nesymetrie. V tejto oblasti potom štvorka DM (Dieselhorst - Martinova) dáva lepšie výsledky pokiaľ ide o kapacitné nesymetrie, než štvorka krížová. Štvorka DM má nižšiu prevádzkovú kapacitu C oproti krížovej štvorke (38,5 nF/km proti 41,0 nF/km) a dochádza tak k vzájomnému dokonalému vystriedaniu všetkých vodičov štvorky, takže sa dosiahne prakticky rovnaká priemerná vzdialenosť jednotlivých vodičov medzi sebou a tým aj približne rovnakých čiastkových kapacít medzi vodičmi.

V oblasti **vyšších kmitočtov** (nosné systémy) sa uplatňujú viac magnetické nesymetrie ako kapacitné a teda vyhovuje lepšie štvorka krížová. Tu záleží na induktívnych väzbách medzi jednotlivými žilami (tj. na ploche slučiek, tvorených dvoma susednými žilami) a približne rovnakej plochy slučiek sa dá oveľa ľahšie dosiahnuť pri krížovej štvorke ako pri štvorke DM.

7.5.2 Opatrenia pri montáži

I. Symetrizácia

Je to postup, pri ktorom sa znižujú kapacitné nesymetrie pri spájaní elektricky krátkych kusov káblov.

Symetrizácia sa vykonáva:

1. Výberom štvoriek a križovaním.
2. Prídavnými kondenzátormi.

Symetrizovať je možné len pri akustických kmitočtoch, pri ktorých aj niekoľko spojených výrobných dĺžok je elektricky krátkych. Pri vyšších nosných kmitočtoch sa už symetrizovať nedá.

II. Priame znižovanie presluchu

Ak sa pri spájaní väčšieho počtu výrobných diaľok dosiahli úseky, ktoré už nie sú elektricky krátke, alebo ak nie sú pri vyšších frekvenciách samotné výrobné diaľky elektricky krátke, nemožno už symetrizovať a prichádza na rad ďalšia etapa, tj. priame vyrovňovanie presluchu. Pri tejto operácii sa teda už neorientujeme na príčiny presluchu, tj. na nesymetrie, ale na následok nesymetrií, tj. priamo na presluch. Pritom sa mení buď priamo presluch, alebo účinné admitančné väzby v určitom mieste vedenia, najviac na konci. Presluch sa znižuje križovaním vo vhodných spojkách. Tomuto procesu znižovania presluchu pri spájaní dlhších úsekov trate sa hovorí poling.

III. Dovyrovnanie presluchu kompenzačnými zapojeniami

Obyčajne sa nepodari - najmä u nosných káblov - doterajšími opatreniami dosiahnuť potrebný útlm presluchu. Preto nastupuje ešte ďalšia, tretia etapa montáže, a to je dovyrovnanie tzv. kompenzačnými zapojeniami (balančnými zapojeniami) - buď vo vhodných miestach na trati, alebo najčastejšie na konci zosilňovacieho úseku. Ako je zrejmé, opatrenie na dosiahnutie čo najhomogenejších vedení a na dosiahnutie najmenšieho presluchu je u symetrických káblov záležitosť pomerne dosť zložitá.

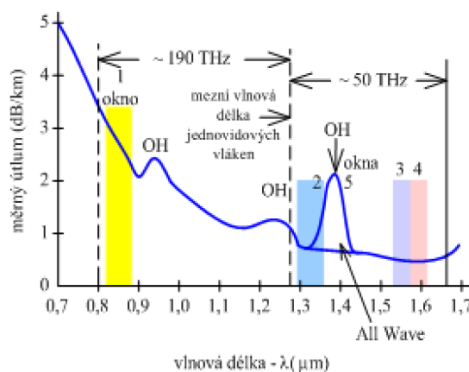
8 Optický prenos, straty, disperzia

Optické prenosy bezkáblové najčastejšie využívajú laserový spoj a prenosové médium atmosféru. Ide o spoje na priamu viditeľnosť, ktoré sa ľahko realizujú a nevyžadujú súhlas na prevádzku. Jedná sa o duplexné spoje, využívajúce optickú nosnú vlnu, ktorej výkon je sústredený do úzkeho zväzku a väčšinou využíva na prenos signálu digitálnu intenzitnú moduláciu. Na základe nových princípov (viackanálový prenos - vyššia cena) je dosahovaná teraz spoľahlivosť až 99,9. Uplatnenie v sieťach LAN a MAN. **Druhý spôsob optického bezkáblového prenosu**, je možný realizovať pomocou žiaríčov IR-LED a „vykryť“ priestor v miestnosti pre bezdrôtové pripojenie PC, slúchadiel, tlmočnických zariadení atď. Žiarenie v týchto prípadoch je šírené difúzne a odrazom.

Pri prenose po optickom vlákne v prípade **mnohovidového svetlovodu** je prenos spôsobený šírením vidov (riadovo stovky až tisíce). Na rozdiel od jednovidového svetlovodu, ktorý umožňuje šírenie iba jediného vidu elektromagnetickej vlny typu H E11, pre **jednovidový prenos** musí byť splnená podmienka, že priemer jadra v tomto prípade je rádovo porovnateľný s dĺžkou vlny použitého žiarenia. Priemer jadra v tomto prípade je podstatne menší ako pri svetlovode mnohovidovom.

Prenosové vlastnosti optických svetlovodov je možné vyšetrovať dvoma spôsobmi. V prípade, že polomer jadra je oveľa väčší ako je vlnová dĺžka prenášanej svetelnej energie, možno s výhodou využiť zákony geometrickej optiky. Táto podmienka nie je splnená pri jednovidových svetlovodoch. Druhý spôsob riešenia vychádza z vlnových rovníc, ktoré boli odvodené z Maxwellových rovníc.

Medzi **základné prenosové parametre** svetlovodu sa radí **merný útlm** a **disperzia**. Oba tieto parametre závisia predovšetkým od použitého materiálu, jeho čistoty a od geometrických a fyzikálnych parametrov svetlovodu. Svetlovod vyrobený z kremenného skla a dotovaný na dosiahnutie požadovaných vlastností indexu lomu jadra a plášťa, prepúšťa svetlo s vlnovou dĺžkou 0,5 až 1,6 mikrom (viď obr.16.).

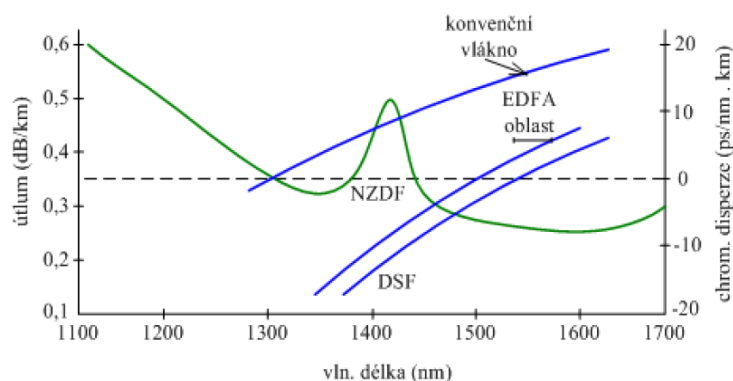


Obrázek 16: Útlmová charakteristika svetlovodu

Toto, tzv. okno priepustnosti, je zo strany kratších vlnových dĺžok ohraničené ultrafialovou absorpciou spojenou so zmenou energetických hladín elektrónov v materiáli, na strane väčších vlnových dĺžok je nárast zapríčinený absorpciou infračerveného žiarenia, ktorá je spôsobená mechanickými vibráciami molekúl skla. Ohraničenie okna zospodu je dané **Ra-yleighovým rozptylom**, ktorý klesá so štvrtou mocninou λ . Pri svetlovodoch je potom spodný okraj okna zvlnený vplyvom nečistôt, ktoré absorbujú svetlo na určitých vlnových dĺžkach. Na obrázku sú znázornené oblasti, ktoré sú výhodné pre prenos z pohľadu minimálneho merného útlmu. Jedná sa o vlnové dĺžky 0,8 až 0,9 mikrom, ďalej okolo 1,3 mikrom (oblasť nulovej disperzie) a pri dĺžke 1,55 mikrom.

Tieto všetky parametre ovplyvňujú prenos signálu po svetlovode. Vzhľadom na útlm dochádza k znižovaniu amplitúdy jednotlivých zložiek signálu a k jeho skresleniu. Najväčší vplyv na skreslenie má **disperzia**. Dá sa rozlíšiť na:

- Materiálovú disperziu – jedná sa o závislosť skupinového oneskorenia na vlnovej dĺžke
- Vidovú disperziu – je to prejav závislosti skupinového oneskorenia jadrových vĺn na vlnovej dĺžke
- Disperziu skupinového oneskorenia – jadrové vlny rôznych rádov majú skupinové oneskorenie



Obrázek 17: Priebehy chromatickej disperzie s najpoužívanjšími typmi vlákien

DSF (vlákno s posunutou chromatickou disperziou) - vhodné pre vysokorýchlostné systémy, ale nie pre prevádzku WDM.

NZDF (vlákno s nenulovou chromatickou disperziou) - nasadenie v DWDM a vysoko rýchlych prenosových systémoch. Pokiaľ trasa nevyhovuje z hľadiska útlmu je potrebné zapojiť opakovač alebo optický zosilňovač, ktorý nevyžaduje konverziu O-E-O využívanú pri opakovačoch.

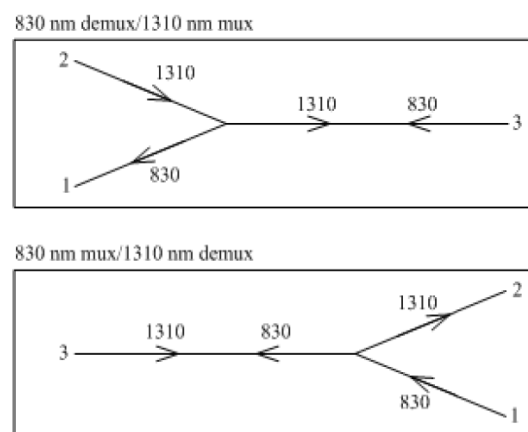
Vynález laserov s rozloženou spätnou väzbou - tzv. DFB laser alebo laser s Braggovou mriežkou bol prevratný. Vykazujú výborné dynamické vlastnosti a je možné presne nastavovať ich vlnovú dĺžku. Sú ideálnymi zdrojmi žiarenia pre WDM.

Zvyšovanie počtu vlnových dĺžok otvorilo cestu k praktickému uplatneniu tzv. **hustého vlnového multiplexu** (DWDM - Dense WDM). Tieto pokroky urýchlili aj normalizačné práce vrámci Medzinárodnej telekomunikačnej únie (ITU). Pripravené odporúčanie G692 stanovuje štandardy pre tieto prenosy, ako základný spektrálny kanál bola zvolená vlnová dĺžka kryptónovej čiary s frekvenciou 193,1 THz. Od tejto základnej dĺžky sú určené ďalšie spektrálne kanály s odstupom 100 GHz. Komerčne sú už dostupné systémy s odstupom 50 GHz a výhľadovo až 25 GHz.

Využitelné technológié - multiplexory a demultiplexory Ako je možné vidieť na obrázku 16, pre zlúčenie vlnových dĺžok je využívaný multiplexor, na výstupnej strane demultiplexor. Vlnový multiplexor, ktorý združuje viac vlnových dĺžok do jedného optického vlákna, môže byť realizovaný ako vláknová odbočnica s niekoľkými vstupmi a jedným spoločným výstupom. Realizácia demultiplexoru je zložitejšia a je nutné využiť disperzného elementu, napr. difrakčnú mriežku, hranol či optický filter. Pre menšie počty vlnových dĺžok sa využívajú optické filtre. Difrakčné metódy sú nutné pri väčších počtoch vlnových dĺžok.

Dvojvlnový multiplex

Pre účely plného multiplexu, prípadne pre zdvojnásobenie prenosovej kapacity. Znázornené na obrázku 17.



Obrázek 19: Vlnový multiplex

Štvorvlnový multiplex

Často využívaný multiplex pre rýchle zvýšenie kapacity siete za pomerne nízkych nákladov. Založený na princípe kaskádnych interferenčných filtrov s odstupom 8 nm.

Hustý vlnový multiplex (DWDM)

Využíva minimálne odstupy medzi jednotlivými kanálmi, takže umožní do jedného vlákna implementovať desiatky vlnových dĺžok. Využívajú sa jednovidové lasery a úzkopasmové interferenčné filtre.

Pre kvalitný prenos je nutné splniť príslušné limity, ktoré sa overujú meraním a medzi ne patria:

- Stredná vlnová dĺžka - musí splňovať príslušné normy
- Šírka pásma - musí splňovať kritéria spektrálnych charakteristík
- Vložný útlm - musí zaistiť najpriaznivejšie podmienky prenosu
- Presluchy - musia pri inštaláciach DWDM splňovať presluchové veličiny medzi susednými vlnovými dĺžkami
- Spätný odraz - hodnoty je treba udržiavať v toleranciách z dôvodu stability systému
- Špičkový výkon - musí splňovať príslušné tolerancie
- Typ použitého vlákna

10 Základné meranie u káblov metalických - optických

10.1 Káble metalické

10.1.1 Meranie slučkového prúdu a odporových nerovnováh

Skúškou kontinuity zisťujeme, či je zkúšaný vodič v celom priebehu trate neporušený a vodivo prepojený a či je sled jednotlivých žíl na zväveroch oboch koncov káblového úseku rovnaký.

Meraním slučkového prúdu a odporových nerovnováh overujeme jednosmerný odpor slučiek vytvorených jadrami dvoch káblových žíl ako podklad pre výpočet merného odporu vodiča a pre výpočet odporových nerovnováh v štvorke. Meranie sa robí káblovým mostíkom. U každej štvorky meriame celkom päť hodnôt odporov slučiek jednotlivých žíl, ktoré sú na konci úseku vzájomne spojené.

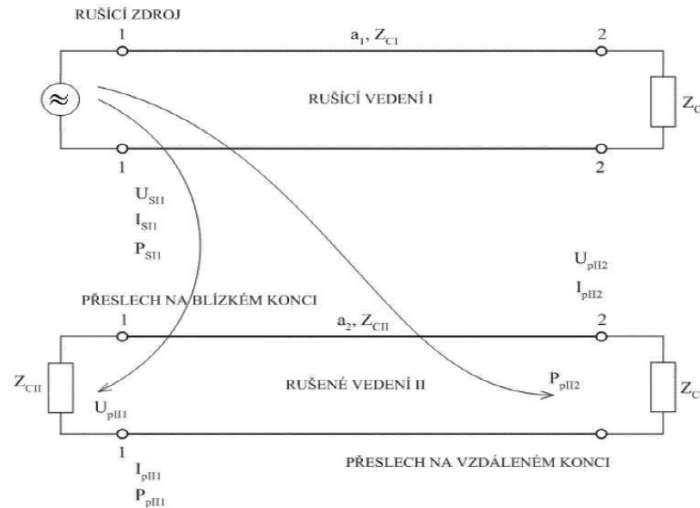
10.1.2 Meranie kapacitných nesymetrií

Pri vyrovnávaní nesymetrií sa v praxi zameriavame na:

1. Nesymetrie zemných kapacít u štvoriek, ktoré sa nachádzajú vo vonkajšej vrstve a spôsobujú hluky – jedná sa o dielčie kapacity žíl proti uzemnenému plášťu a majú vplyv na rušivé napätia, ktoré sa zvonka dostávajú do okruhov
2. Nesymetrie čiastkových kapacít medzi okruhmi jednej štvorky, ktoré spôsobujú presluchy medzi okruhmi jednej štvorky – tieto nesymetrie sú príčinou presluchov medzi príslušnými okruhmi
3. Nesymetrie čiastkových kapacít medzi okruhmi susedných štvoriek – zapríčiňujú presluch medzi okruhmi týchto štvoriek

10.1.3 Meranie presluchov

Presluchov označujeme nežiadúci prechod časti hovorových prúdov z vedenia rušiaceho do súbežného vedenia rušiveho. Presluch často vzniká pri závadách na prenosovom zariadení. Presluch sa prejavuje vzhľadom k rušiacemu zdroju na tzv. blízkom konci alebo vzdialenom. V prípade, kedy presluchové vlny prechádzajú od rušiaceho zdroja cez nesymetrie na vedeniach na jeden alebo druhý koniec rušiaceho vedenia, jedná sa o **priamy presluch**. V prípade **nepriameho presluchu** sa prenos presluchových vln uskutočňuje prostredníctvom obrazov. Presluch môžeme ďalej deliť na zrozumiteľný a nezrozumiteľný.



Obrázek 20: Presluch na blízkom a vzdialenom konci

10.1.4 Zameriavanie káblových závad

Poruchy sa najčastejšie prejavujú znížením izolačného odporu pri vniknutí vlhkosti do káblovej duše, vzájomným dotykom žíl, prípadne prerušením žíl. Tieto poruchy sú označované ako poruchy bežné, na rozdiel od porúch špeciálnych, medzi ktoré radíme najmä zvýšenú odporovú nerovnováhu káblových párov a štvoriek, prierez dielektrika vyrovnávacích kondenzátorov, skraty medzi závitmi.

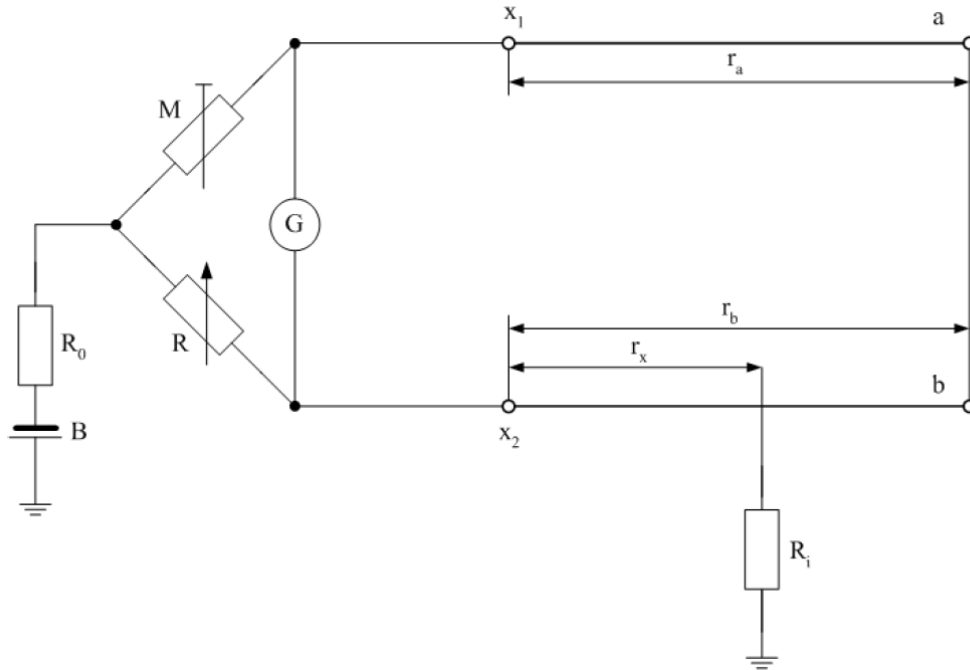
V rámci jednotlivých druhov porúch sa môžu vyskytnúť ešte rôzne ich varianty:

- Vysokoohmové – porucha začína a prevádzka nie je rušený (izolačný odpor nie menší než 10 MΩ)
- Stredoohmové – porucha sa začína uplatňovať, prevádzka je však stále možná (1 MΩ – 100 kΩ)
- Nízkoohmové – prejavujú sa presluchy a hluky, prevádzka je vyradená (10 kΩ – 1 kΩ)

Miesto chyby najčastejšie zisťujeme elektrickým meraním. Meraním izolácie žíl zistíme, o aký druh poruchy ide – napr. časť profilu má mierne zníženú izoláciu, celý profil má značný pokles, jeden príp. niekoľko drôtov má priamy skrat na plášť a pod. Podľa charakteru chyby zvolíme vhodnú meraciu metódu a prístroje.

Prerušenú žilu v kábli je možné zamerať v zásade dvoma spôsobmi, ktoré sú dané druhom kábla - pupinovaný, nepupinovaný. V prípade, že sa jedná o nepupinovaný kábel, prípadne o časť kábla medzi dvoma pupinovanými skriňami, potom sa ako merací prístroj používa normálny odporový mostík. Pre pupinovaný kábel je potrebné užiť metódy odlišné. **Miesta skratov žíl** sa zameriavajú rovnakými prístrojmi ako miesta zvodov.

Metóda Murrayova sa hodí na zameriavanie izolačných závad na vzdialenom konci kábla. Je zvláštnym prípadom metódy Kupfmullerovej, podmienkou je aby pomer izolačných odporov použitých žíl bol $> 1000 \Omega$. V podstate je obmenou Wheatstonovho mostíka. Rovnováha mostíka bude splnená, ak



Obrázek 21: Meranie metódou Murrayovou

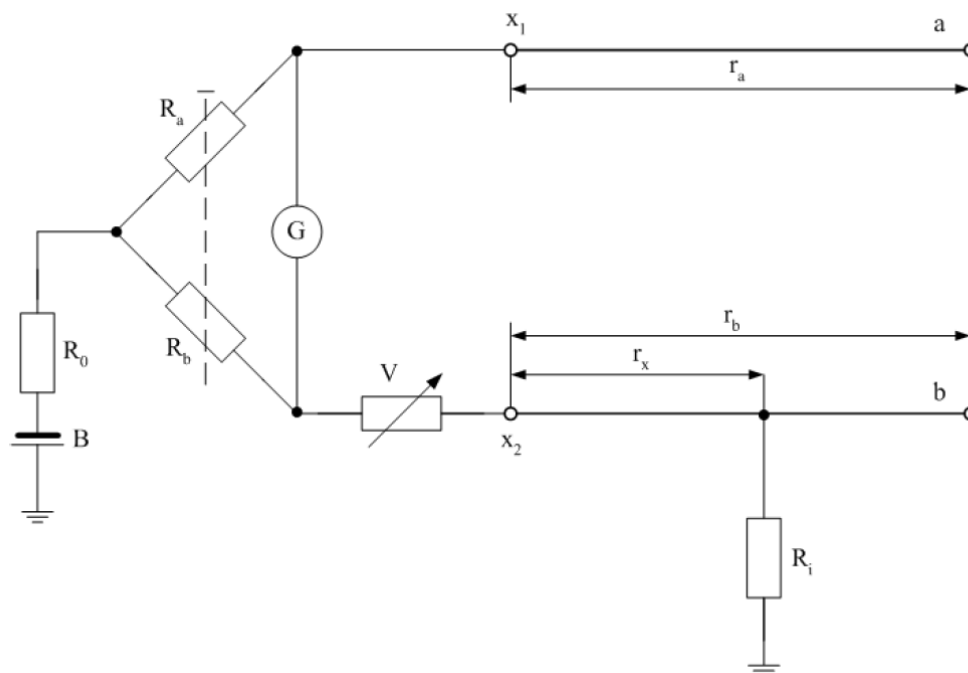
Keďže $r_x + r_y = r_b$ a súčet $r_a + r_b$ tvorí dokopy slučkový odpor, môžeme po dosadení písať:

$$\frac{M}{R} = \frac{r_a + r_b + r_x}{r_x} = \frac{r_{ab} - r_x}{r_x} \quad (13)$$

z čoho je možné vypočítať odpor k chybe:

$$r_x = \frac{Rr_{ab}}{M + R} \quad (14)$$

Metóda Varleyova sa hodí skôr na zameriavanie izolačnej závady na blízkom konci kábla.



Obrázek 22: Meranie metódou Varleyovou

Vzdialenosť k chybe $r_x[\Omega]$ sa vypočíta podľa vzťahu:

$$r_x = \frac{(r_a + r_b) - AV}{A + 1} \quad (15)$$

kde $r_a + r_b$ je odpor slučky, vzniknutý spojením žil a a b (b – žila s horšou izoláciou). $A = r_a/r_b$, V je odpor prečítaný na odporovej dekáde V .

10.1.5 Impulzová metóda merania

Impulzové metódy merania slúžia na rýchle nájdenie miesta poruchy predovšetkým pri vedení s veľkou rýchlosťou šírenia, tj: symetrických nepupinovaných vedení, koaxiálnych káblov. Sú založené na tom, že napäťový impulz, šíriaci sa po vedení sa čiastočne odráža v mieste, kde je na vedenie rýchly impedančný prechod. Pri skrate alebo prerušení nastáva úplný odraz a postupujúci impulz sa celý odráža späť k zdroju. To sa využíva na zameriavanie porúch. Ako zobrazovací systém sa využíva obrazovka, ktorá býva obvykle ciachovaná v mikrosekundách. Rozdiel počiatkov oboch impulzov udáva dobu, tj. rozdiel doby medzi vyslaným a odrazeným impulzom.

Impulzové metódy merania sú rýchle a pohodlné. Nie je však možné nimi zamerať zníženie izoláciu vedenia, pokiaľ by impedancia vedenia nebola natolko zmenená, aby spôsobila

dostatočný odraz na vedenie, a tým dostatočne rozoznatelný odrazený impulz. Skutočná vzdialenosť sa určí zo súčinu rýchlosti šírenia vyslaného impulzu po meranom vedení a z polovičnej doby, ktorá uplynula medzi vyslaním a príjmom tohto impulzu. Pre dosiahnutie maximálnej presnosti zamerania je potrebné zistiť čo najpresnejšie rýchlosť šírenia impulzu po vedení.

Rýchlosť šírenia vypočítame z dĺžky vedenia l_a k známej nehomogenite a z času t_a , ktorý uplynie medzi vyslaním impulzu a príjmom odrazeného impulzu podľa vzťahu:

$$\frac{v}{2} = \frac{l_a}{t_a} \quad (16)$$

Vzdialenosť k miestu závady môžeme stanoviť zo vzťahu:

$$l_x = \frac{1}{2}vt_x = \frac{t_x}{t_a} \cdot l_a \quad (17)$$

kde t_x je čas šírenia zodpovedajúcej vzdialenosti l_x .

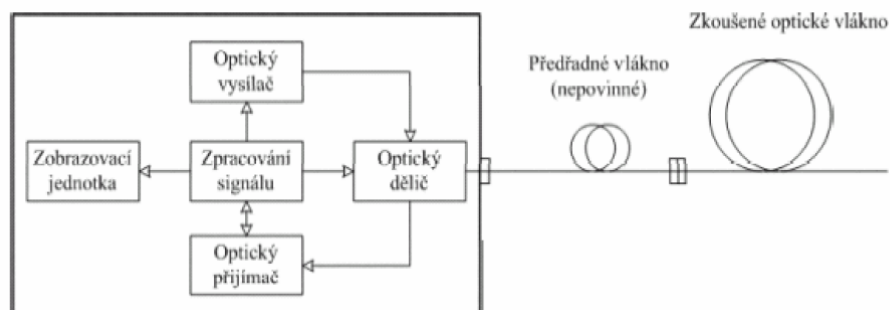
10.2 Káble optické

V súčasnej dobe svetoví výrobcovia optoelektroniky ponúkajú celú škálu meracích prístrojov, ktoré sa vyznačujú jednoduchosťou obsluhy a rýchlosťou merania. Prístroje sú väčšinou vybavované štandardizovanými konektormi pre vstup a výstup svetelného žiarenia. Pri montáži vlastnej optickej trasy vykonávame priebežné merania na jednotlivých úsekoch vybudovanej optickej trasy po jednotlivých etapách výstavby, predovšetkým kontrolu zvarovania - zvarov jednotlivých káblových dĺžok. Tu je potrebné mať kontrolu nad kvalitou jednotlivých zvarov – spojov a predovšetkým poznať ich hodnotu útlmu, ktorá sa obvykle vykonáva pomocou OTDR.

10.2.1 Meranie útlmu reflektometrom - OTDR

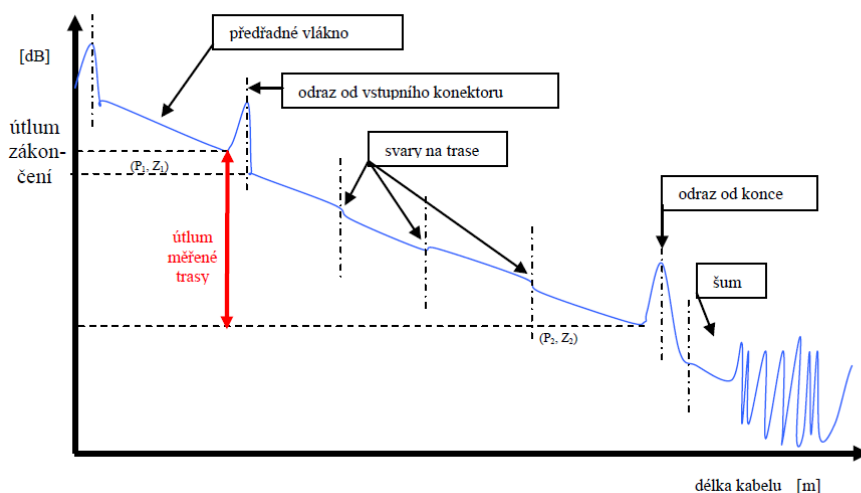
OTDR (Optikal Time Domain Reflectometre) - metóda spätného rozptylu je v súčasnej dobe najpoužívanejšou metódou na meranie útlmových charakteristík. V Českej republike sa vykonáva meranie pomocou OTDR výhradne za použitia predradného vlákna. Pre vlastné meranie je odporúčané používať ako predradné vlákno také vlákno, aké máme použité v meranej optickej trase. Jeden koniec takého vlákna pripojíme do prístroja OTDR a druhý koniec pripojíme do vstupného konektora meranej optickej trasy zakončenej v optickom rozvádzači. Dĺžka predradného vlákna nie je stanovená, je iba všeobecné odpor-

účanie, aby dĺžka predradného vlákna v metroch číselne presahovala 1/10 šírky použitého impulzu v ns. Najrozšírenejšie dĺžky predradných vlákien na meranie sa používajú 500 m a 1000 m.



Obrázek 23: Meranie metódou OTDR

Zdrojom žiarenia je obvykle polovodičový laser generujúci úzke optické impulzy s pološírkou radovo desiatky až tisíce nanosekúnd a s opakovacou frekvenciou niekoľko kHz. Optické impulzy sú pre prechode optickým deličom naviazané do meracieho vlákna. Spätne rozptýlené žiarenie opúšťajúce vlákno je pomocou optického deliča vedené k rýchlemu fotodetektoru. Po zosilnení, zlogaritmovaní a príslušnom spracovaní signálu z fotodetektora je dĺžková závislosť spätného rozptylu zvyčajne zobrazená na obrazovke.



Obrázek 24: Meranie metódou OTDR - priebeh krivky