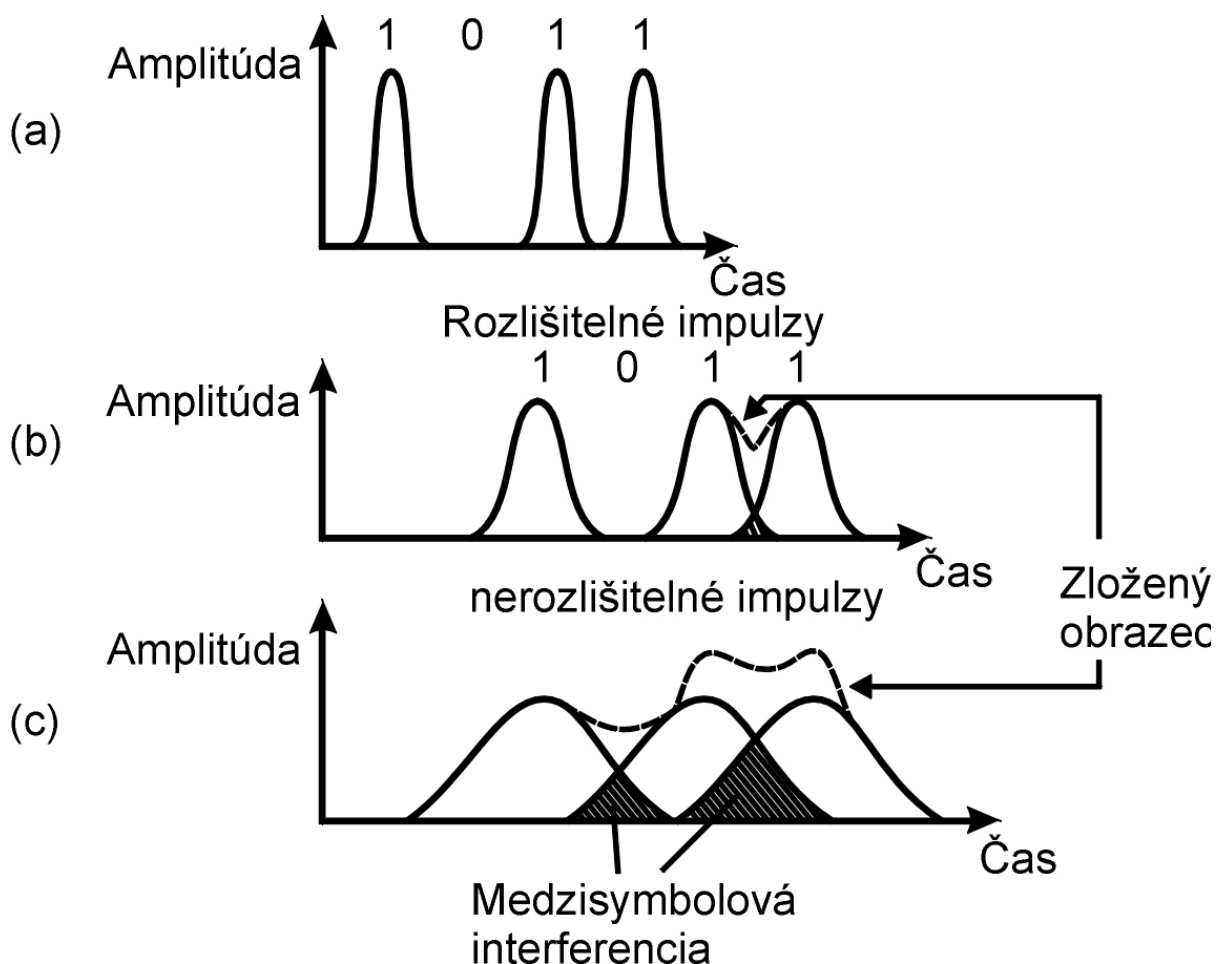


VLASTNOSTI OPTICKÝCH VLÁKIEN

2. DISPERSIA

- spôsobuje poruchu číslicového aj analógového prenosu.
- pri číslicovom prenose spôsobuje disperzia rozšírenie impulzov (obr. 1), ktoré vedú k **medzisymbolovej interferencii**, čím sa zvyšuje **chybovosť prenosu**



Obr. 1 Ilustrácia vplyvu disperzie na rozšírenie impulzov a vznik medzisymbolovej interferencie: (a) vstupný signál, (b) signál na výstupe OV dĺžky L_1 a (c) signál na výstupe OV dĺžky $L_2 > L_1$.

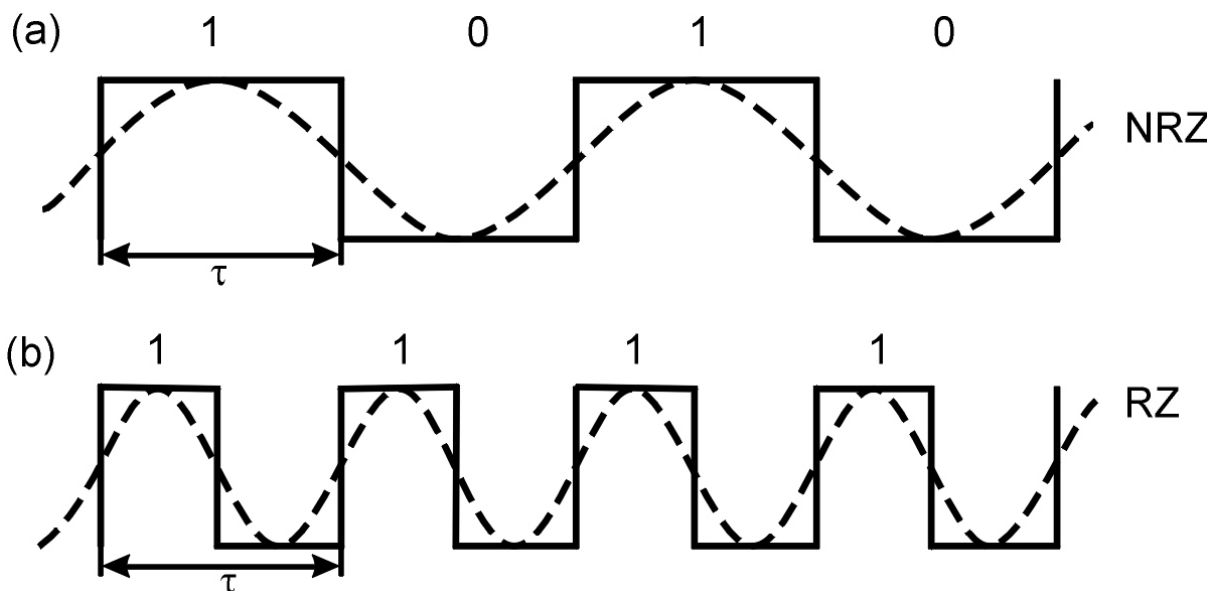
- aby sme mohli spoľahlivo rozlíšiť jednotlivé rozšírené optické impulzy (**obr. 1**), možno číslcový signál cez OV prenášať len do istej **maximálnej prenosovej rýchlosti** B_T ($\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}$)

$$B_T \leq \frac{1}{2\tau}$$

- **maximálnu prenosovú rýchlosť** možno určiť aj presnejšie, ak predpokladáme, že optické impulzy majú **Gaussov tvar** so strednou kvadratickou odchýlkou σ

$$B_{T(\text{max})} \cong \frac{0,2}{\sigma} \quad (\text{bit s}^{-1})$$

- prevod prenosovej rýchlosti $\text{bit}\cdot\text{s}^{-1}$ na šírku pásma v Hz závisí od použitého číslcového kódu (**obr.2**)



Obr. 2 Vzťah medzi prenosovou rýchlosťou a vlnovou dĺžkou pre (a) kódy bez návratu k nule (NRZ) (b) kódy s návratom k nule (RZ)

kód bez návratu k nule (NRZ – No Return to Zero) (obr. 2a)

$$B_{T(\max)} = 2B$$

kód s návratom k nule (RZ – Return to Zero) (obr. 2b)

$$B_{T(\max)} = B$$

- **Elektrická šírka pásma** B – definovaná **elektrickými 3 dB**
- **Optická šírka pásma** B_{opt} – definovaná **optickými 3 dB bodmi**
- **Koeficient širokopásmovosti = súčin šírky pásma a dĺžky optického vlákna** – kvalita optického vlákna (typické hodnoty $B_T = B_{\text{opt}} \cdot L$ sú: 20 MHz km pre SI-MM, 1 GHz km pre GI-MM a 100 GHz km pre SI-SM optické vlákno)

2.1 VNÚTROVIDOVÁ DISPERZIA

Vnútrovidová alebo chromatická disperzia môže vzniknúť vo všetkých typoch OV a je dôsledkom konečnej šírky pásma zdrojov svetla:

- rôzne spektrálne zložky signálu sa šíria s rôznym oneskorením v OV, čo spôsobuje rovnaké rozšírenie každého vidu, t.j. **vnútrovidovú disperziu**
- rozdiely v oneskorení jednotlivých spektrálnych zložiek signálu môžu byť spôsobené disperznými vlastnosťami materiálu OV (**materiálová disperzia**) a tiež disperznými vlastnosťami štruktúry OV (**vlnová disperzia**)

Materiálová disperzia

- vzniká v dôsledku rôznych skupinových rýchlostí jednotlivých spektrálnych zložiek signálu

efektívne rozšírenie impulzu pôsobením materiálovej disperzie

$$\sigma_m \cong \frac{\sigma_\lambda L \lambda}{c} \left| \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right|$$

- kde n_1 je index lomu jadra OV, L je dĺžka OV, σ_λ je efektívna spektrálna šírka zdroja svetla

materiálová disperzia OV sa často vyjadruje tzv. **parametrom materiálovej disperzie**

$$M = \frac{1}{L} \frac{d\tau_m}{d\lambda} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2}$$

- určuje sa v jednotkách $\text{ps} \cdot \text{nm}^{-1} \cdot \text{km}^{-1}$
- pre SiO_2 v okolí $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ nulová

Vlnovodová disperzia

- vzniká v dôsledku rôznej skupinovej rýchlosti jednotlivých vidov
- pre **mnohovidové OV**, kde sa šíri mnoho vidov, vzdialených od kritickej frekvencie, možno vlnovú disperziu **zanedbat'** vzhľadom na materiálovú disperziu ($0,1$ až $0,2 \text{ nskm}^{-1}$).
- pre **jednovidové OV** ju však musíme **uvažovať**

2.2 MEDZIVIDOVÁ DISPERZIA

- nazývaná tiež vidová disperzia, vzniká v dôsledku rôzneho oneskorenia jednotlivých vidov v mnohovidovom OV, t.j. optický

impulz prenášaný v OV pomocou rôznych vidov môže byť rozšírený v dôsledku rôzneho oneskorenia jednotlivých vidov

- výpočet **efektívnej hodnoty rozšírenia impulzu pôsobením medzividovej disperzie** v stupňovitom mnohovidovom optickom vlákne (**SI MM**)

$$\delta_s \cong \frac{Ln_1\Delta}{2\sqrt{3}c} = \frac{L(NA)^2}{4\sqrt{3}n_1c}$$

- podstatným spôsobom však možno redukovať medzividovú disperziu použitím gradientných mnohovidových OV
- **efektívne rozšírenie impulzu** pre **GI MM**

$$\sigma_g = \frac{Ln_1\Delta^2}{20\sqrt{3}c}$$

- zmenšenie rozšírenia impulzu v optimálnom gradientnom mnohovidovom OV môže byť až 10^3 násobné oproti SI MM

2.3 CELKOVÁ DISPERZIA OPTICKÉHO VLÁKNA

- celkové efektívne rozšírenie impulzu MM vlákna

$$\sigma_T^{MM} = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_n^2}$$

- kde σ_c je vnútrovidové (chromatické) a σ_n medzividové rozšírenie impulzu (t.j. $\sigma_n = \sigma_s$ pre mnohovidové stupňovité a $\sigma_n = \sigma_g$ pre mnohovidové a gradientné OV). σ_c je vnútrovidová disperzia vplyvom materiálovej a vlnovodovej disperzie; vzhľadom na to, že vlnovodová disperzia je v praxi väčšinou zanedbateľná tak $\sigma_c \cong \sigma_m$

3. VIDOVÝ ŠUM

- medzividová disperzia v mnohovidových OV spôsobuje vznik fluktuácií v prenášanom signále, ktorých charakteristický čas (perióda) je dlhší ako rozlišovacia doba fotodetektora
- tieto fluktuácie nepriaznivo pôsobia na prenášaný signál a nazývame ich vidovým alebo spektrálnym šumom

Zvýšenie vidového šumu spôsobujú najmä tieto podmienky:

- použitie koherentného zdroja s úzkou spektrálnou šírkou a veľkou koherenčnou dĺžkou
- nehomogenity pozdĺž OV, ktoré spôsobujú rôzne oneskorenie vidov alebo vidovú, resp. priestorovú filtráciu
- fázová korelácia medzi vidmi

4. POLARIZÁCIA SVETLA

- valcové OV vo všeobecnosti nezachovávajú polarizačný stav vstupného svetla na dráhe dlhšej ako niekoľko metrov
- preto sa väčšinou v optických vláknových prenosových systémoch využíva niektorý druh modulácie intenzity svetla
- optický signál je teda detekovaný fotodetektorom, ktorý nie je citlivý na polarizačný stav, resp. fázu svetelnej vlny
- existujú však aj také aplikácie OV (najmä optické vláknové senzory), kde je žiadúce zachovávať polarizačný stav svetelnej vlny šíriacej sa v OV - takéto vlákna sú jednovidové

polarizáciu zachovávajúce jednovidové vlákna môžu byť navrhnuté jako OV:

- s veľkým dvojlomom, čo môže byť dosiahnuté redukciou dĺžky L_B na hodnotu okolo 1 mm (L_B je fázová (záznejová) dĺžka)
- s malým dvojlomom, zvýšením hodnoty Λ_c pri veľkej hodnote $L_B \sim 50$ m (Λ_c je medzná (kritická) perióda)

PRÍKLADY

Príklad 1 Optické vlákno so skleneným jadrom na báze K_2O-SiO_2 má pre vlnovú dĺžku $1\mu m$ tlmenie v dôsledku Rayleighovho rozptylu $0,46$ dB km^{-1} . Sklo jadra má koeficient izotermálnej stlačiteľnosti $\beta_c = 8,4 \cdot 10^{-11} m^2 N^{-1}$ pri fiktívnej teplote $T_F = 758K$ a strednú hodnotu fotoelastického koeficientu $p = 0,245$. Vypočítajte index lomu jadra tohto optického vlákna.

(Index lomu skla na báze K_2O-SiO_2 je $n = 1,49$)

Príklad 2 Dve stupňovité optické vlákna majú tieto charakteristiky: (a) Index lomu jadra $1,5$, relatívny rozdiel indexov lomu 3% a pracovnú vlnovú dĺžku $1,55\mu m$. (b) Index lomu jadra $1,5$, relatívny rozdiel indexov lomu 3% a pracovnú vlnovú dĺžku $0,82\mu m$. Určite kritický polomer ohybu obidvoch vlákien.

((a) $16,7851\mu m$ (b) $8,87988\mu m$, zmenšenie vlnovej dĺžky = zmenšenie kritického polomeru)

Príklad 3 Mnohovidové stupňovité optické vlákno má numerickú apertúru $0,3$ a index lomu jadra $1,45$. Parameter materiálovej disperzie tohoto vlákna je 250 ps.nm $^{-1}$.km $^{-1}$, čo spôsobuje, že materiálková disperzia je dominantným mechanizmom vnútrovidovej disperzie. Vypočítajte: (a) celkové efektívne rozšírenie impulzov, ak toto vlákno je použité s LED zdrojom s efektívnou spektrálnou šírkou 50 nm; (b) zodpovedajúci koeficient širokopásmovosti optického vlákna.

((a) $32,465$ ns/km (b) $6,16$ MHz.km)

Príklad 4 Porovnajete efektívne rozšírenie impulzov, spôsobené medzividovou disperziou, pre mnohovidové stupňovité optické vlákno s indexom lomu jadra $1,5$ a s relatívnym rozdielom indexov lomu 1% , so zodpovedajúcim efektívnym rozšírením impulzov pre gradientné

optické vlákno, ktoré má rovnaký index lomu jadra a relatívny rozdiel indexov lomu ako uvažované stupňovité vlákno.

(Pre GI MM dosiahneme teoreticky pri ideálnom stave 1000x zmenšenie rozšírenia impulzov oproti SI MM. V praxi sa však táto hodnota obyčajne nedosiahne vzhľadom na problémy s presnosťou dosiahnutia požadovaného profilu indexu lomu)

Príklad 5 Optický vláknový spoj s dĺžkou 11km je vyrobený z gradientného optického vlákna optimálnym (blízkym parabolickému) profilom indexu lomu. Nech toto vlákno má rozšírenie impulzu na celú svoju dĺžku 346ps a relatívny rozdiel indexov lomu 1,5%. Vypočítajte index lomu na osi jadra a numerickú apertúru optického vlákna.

($n_1=1,4518546$, $NA=0,2514686$)

PRÍKLADY na precvičenie doma

Príklad 1 Parameter materiálovej disperzie pre sklenené optické vlákno pri vlnovej dĺžke $1,5\mu\text{m}$ je $20 \text{ ps}\cdot\text{nm}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$. Vypočítajte rozšírenie impulzu vplyvom materiálovej disperzie v 30km dlhom optickom vlákne, ak je toto buď laserovým zdrojom optického žiarenia so strednou emisnou vlnovou dĺžkou $1,5\mu\text{m}$ a spektrálnou šírkou 2nm.

(1,2 ns)

Príklad 2 Mnohovidové gradientné optické vlákno má celkové rozšírenie impulzu $0,1\mu\text{s}$ na 15km dĺžky. Vypočítajte: (a) maximálnu šírku frekvenčného pásma optického spoja bez medzisymbolovej interferencie; (b) disperziu na jednotku dĺžky vlákna; (c) súčin šírky frekvenčného pásma a dĺžky optického kábla, tzv. koeficient širokopásmovosti.

((a) ak uvažujeme kód s návratom k nule tak 5 MHz (b) 6,6666 ns/km (c) 75 MHz.km)

Príklad 3 Mnohovidové stupňovité optické vlákno má relatívny rozdiel indexov lomu 1% a index lomu jadra 1,46. Použitím určitého zdroja optického žiarenia možno pre toto vlákno dosiahnuť na vzdialenosť 4,5km optickú šírku frekvenčného pásma 3,1MHz. (a) Vypočítajte efektívnu hodnotu rozšírenia impulzu na 1km vnútrovidovej disperzie. (b) za predpokladu, že vlnododová disperzia je zanedbateľná, vypočítajte spektrálnu šírku použitého zdroja, ak poznáte parameter materiálovej disperzie použitého vlákna $90 \text{ ps}\cdot\text{nm}^{-1}\cdot\text{km}^{-1}$. ((a) 13,95 MHz.km (b) 31,2666 nm)