

SPOJENIE A ROZVETVENIE OPTICKÝCH VLÁKIEN

OPTICKÉ VLÁKNOVÉ SPOJKY

- vytvorenie nerozoberateľného trvalého spojenia dvoch individuálnych OV (u výrobcu, resp. užívateľa);
- vytvorenie dlhších trás z kratších optických káblov (tieto majú obvykle dĺžku niekoľko km, typicky 7-10 km), kde realizované spojenia OV zostávajú trvalo počas života OVKS a nepožaduje sa ich opätovné rozpojenie;
- spojky podľa technológie zhotovenia možno rozdeliť do dvoch skupín:

1. **Zvárané spojky** sú spojenia dvoch OV, sú realizované ohriatím (plameňom, elektrickým oblúkom, CO₂ laserom, žeravým vláknom a pod.) vhodne opracovaných koncov OV; dosahované vložené tlmenia na zváraný spoj sú pre mnohovidové OV od 0,09 do 0,3 dB a pre jednovidové OV od 0,10 do 0,18 dB; nevýhodou zváraných spojok môže byť zmenšenie mechanickej ťažnej sily OV (až o 30%):

- zváranie OV plameňom - používajú sa mikroplazmové horáky (argón, vodík), alebo kyslíko-vodíkové mikrohoráky (kyslík, vodík a pary alkoholu); spájané OV sú obyčajne polohované použitím tzv. V drážok; časy ohrievania sú typicky 20 až 30s a dlhšie;
- zváranie laserom - najmä CO₂ laser; typický požadovaný tepelný výkon na zvar je 810 W/cm² pri ohrievacom čase 1 až 5 s, čo je možné dosiahnuť už s laserom s výkonom okolo 0,15 W, no v praxi sa však používajú výkonnejšie lasery s výkonom 0,5 až 3W; používa sa polohovanie zváraných OV pomocou V drážok;
- zváranie elektrickým oblúkom - výhodou použitia elektrického oblúku je jednoduchá možnosť riadenia procesu zvárania a adaptácia pre prácu v poľných podmienkach;

2. **Mechanické spojky** sú nerozoberateľné spojenia dvoch (alebo viacerých) OV vytvorené rôznymi metódami:

- vložení opracovaných koncov OV do tesnej sklenenej, resp. keramickej kapiláry a zaliatím epoxidovým lepidlom; modifikáciou tejto spojky je aj spojka tvorená slučkou pásky z vhodného plastu; pre SI MM a SI SM OV je vložené tlmenie na spojku ~ 0,1 dB;
- vložení OV do kovovej kapiláry štvorcového prierezu, stlačením OV tak, aby sa ich konce stretli v jednom rohu prierezu a zaliatím epoxidovým lepidlom; pre GI MM OV je vložené tlmenie na spojku ~ 0,073 dB;
- použitie teplom zmrštenej objímky z Pyrexového skla - zahriatím objímky na teplotu tesne pod bod topenia vzniká zmrštenie; vložení OV a ďalším zahriatím vzniká

mechanické upevnenie OV do objímky; vloženie druhého konca a zaliatím lepidlom je spojka hotová; celú spojku je možné mechanicky chrániť zalepením do kovovej rúrky; pre GI MM OV je vložené tlmenie na spojku od 0,2 do 0,5 dB;

- vloženie OV do V drážky vo vhodnej podložke (silikón, kov, plasty, sklo a keramika - je však dôležité aby koeficient tepelnej rozťažnosti použitého materiálu bol blízky ku koeficientu tepelnej rozťažnosti materiálu OV, aby vložené straty vplyvom teplotných zmien boli čo najmenšie); zaliatím epoxidovým lepidlom a prikrytím platničkou vzniká, tzv. sendvičová spojka; pre tieto spojky je dosahované vložené tlmenie ~ 0,1 dB pre mnohovidové OV a presne vyrobenú V drážku možno zmenšiť vložené tlmenie až na 0,01 dB;
- vloženie OV alebo jeho nosiča, medzi tri valce; zaliatím epoxidovým lepidlom a mechanicky stlačením teplom zmrštenou trubicou z vhodného plastu; dosahované vložené tlmenie je ~ 0,1 až 0,2 dB na spojku;

OPTICKÉ VLÁKNOVÉ KONEKTORY

- vytvorenie ľahko ručne rozoberateľného dočasného spojenia OV;
- používajú sa vo vnútri budov, ale aj v prepojujúcich šachtách, resp. skrinách umiestených vo vonkajšom prostredí;
- konektory sú väčšinou jednovláknové, často aj mnohovláknové;
- na konektory sú kladené tieto hlavné požiadavky: jednoduchá manipulácia; rozoberateľnosť; opakovateľnosť spojenia bez zníženia väzobnej účinnosti a odolnosť voči klimatickým vplyvom;
- optické konektory možno klasifikovať z rôznych hľadísk(napr.):
 - podľa počtu konektorovaných OV;

Typ	Kategória	Rozmer	Popis	Počet OV
Jednovláknový konektor	Jednovláknový konektor	0D	Vhodný pre jedno OV	1
Mnohovláknový konektor	Združená montáž OV konektorov	0D	Vhodné pre káble s malou hustotou OV	2-12
	Pole OV konektorov	1D	Vhodné pre ploché OV káble	4-12
	Viacvrstvové pole OV konektorov	1D	Vhodné pre ploché OV káble s veľkou hustotou OV	12 × 12
	2D OV konektor	2D	Vhodné pre OV káble s veľmi veľkou hustotou OV	50 ~ 200

- podľa metódy prispôsobenia indexu lomu;



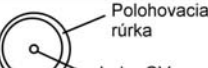
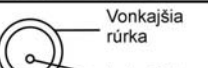
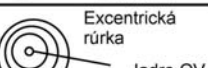
Typ	Charakteristika		Poznámka
	Tlmenie	Odraz	
Suchý			
Vzduchová medzera	O	Δ	Bežný konektor
Fyzický kontakt	•	•	Nutné opatrné leštenie
Šikmé leštenie	Δ	•	Obtiažna výroba
Film			
Imerzný	•	O	
Mokrý			
Imerzný gel	•	•	
Imerzný olej			
Šošovka	Δ	Δ	Možné väčšie vzduchové medzery

• veľmi dobrý; O dobrý; Δ nie veľmi dobrý

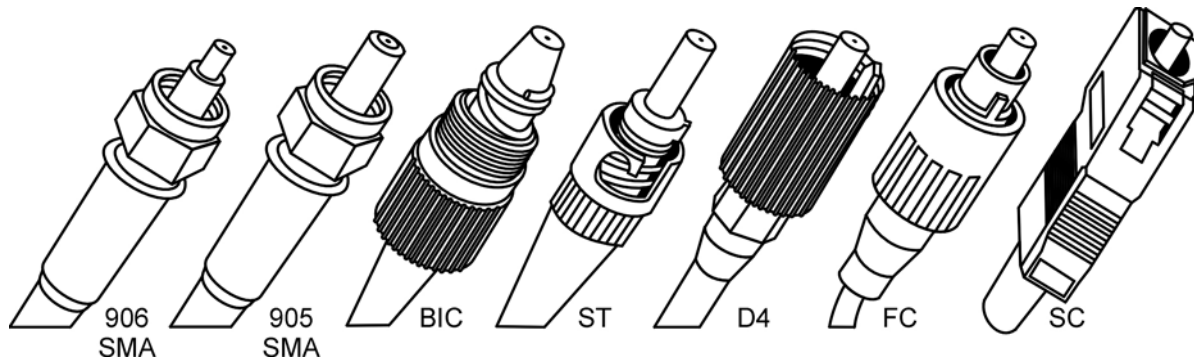
- podľa polohovania - metódy pre valcové a kužeľové zástrčky; je možné použiť polohovacie valce, tyčinky alebo kužele; zástrčky konektorov môžu byť vyrobené z rôznych materiálov: kovu, keramiky, plastu, kremeňa a skla alebo ich kompozitov; v súčasnosti je veľmi obľúbená praktická metóda precízneho odlievania zástrčiek optických konektorov z plastu (metóda je dostatočne presná, ekonomická a vhodná na hromadnú výrobu, presná zástrčka sa vyrobí pomocou formy a presnej polohovacej tyčinky);

Tabuľka 8.7

METÓDY CENTROVANIA PRE JEDNOVLÁKNOVÉ KONEKTORY

Typ	Označenie	Štruktúra	Vlastnosti
Nenastaviteľné	Presná rúrka	 Presná rúrka Vlákno — Otvor	OV je vložené do presnej rúrky.
	Presná tyčinka	 Vonkajšia rúrka — Tyčinka Vlákno	Polohovanie sa dosahuje použitím presných tyčínok.
Nastaviteľné	Polohovacia rúrka	 Polohovacia rúrka Jadro OV	Polohovanie sa realizuje excentrickou rúrkou.
	Centrovanie OV	 Vonkajšia rúrka Jadro OV	Polohovanie OV centrováním.
	Dvojité excentrické polohovanie OV	 Excentrická rúrka Jadro OV	Polohovanie OV otáčaním excentrickej presnej rúrky.

- typické jednovláknové optické konektory, ktoré boli a sú široko používané v optických vláknových komunikačných systémoch:



- zlepšenie vlastností konektora možno dosiahnuť v usporiadaní, kde polohovacie tyčinky konektora sú polohované tiež v drážkami v pôvodnej kremennej podložke ako OV; vložené tlmenie takéhoto konektora je 0,1 a 0,2 dB, pri konektorovaní mnohovládových vlákien;
- ďalšia vylepšená konštrukcia mnohovládového konektora využíva technológiu presného odlievania z plastu, kde sú takéto miniatúrne konektory potom jednoducho mechanicky spojené použitím pružiny; po vyleštení alebo použitím metódy fyzikálneho kontaktu je možné dosiahnuť vložené tlmenie 0,16 dB;
- v ostatnom čase vzrastá záujem o konštrukciu 2D mnohovládových optických konektorov, ktoré umožňujú polohovať konektorované OV v oboch priečných smeroch; tiež sa využíva technológia presného odlievania z plastu a leštenie OV; pre 50 GI vládňový optický konektor sa dosiahla priemerná hodnota vloženého tlmenia pre jednotlivé OV 0,23 dB; pre 200 vládňový jednovládový optický konektor sa dosiahla priemerná hodnota vloženého tlmenia pre $\lambda=1,3\mu\text{m} \sim 1,4$ dB.

ROZVETVENIE OPTICKÝCH VLÁKIEN

- v niektorých OVKS ako aj pre špeciálne aplikácie OV (senzorové aplikácie, spracovanie signálov apod.) je potrebné realizovať rozvetvenie prenosovej trasy, t.j. rozvetvenie OV;
- rozvetvenie je možné uskutočniť týmito základnými spôsobmi:

1. **Optické vládňové odbočnice** možno podľa funkcie rozdeliť na:

- s povrchovou väzbou (s využitím vytekajúcich vidov) - zvareníím dvoch vládňien, zvlnenie v mieste zvaru dvoch vládňien, tesne vedľa seba uloženými ohnutými vládňiami, odbočnica v tvare T, tvorená V – drážkami v dvoch navzájom posunovateľných kremenných blokoch (vložené tlmenie < 0,5 dB, priemerne 0,25dB);
- s väzbou koncovými plochami - zvareníím koncových plôch štyroch OV, križová smerová optická vládňňová odbočnica, odbočnice s gradientnou valcovou šošovkou.

2. **Väzobné prvky**, najčastejšie v tvare hviezdnicového spoja, ktorý môže byť prechodný alebo odrazný (reflexný); hviezdnicové spoje je možné realizovať rôznymi metódami:

- laterálnym presahom OV;
- s čiastočným odrazom od koncových plôch;
- s využitím gradientných šošoviek;
- s vetvenými planárnymi svetlovodmi;

3. **Optické vláknové prepínače** sa v optických vláknových systémoch používajú na rôzne aplikácie a možno ich z hľadiska konštrukcie rozdeliť na:

- **Mechanické** - za mechanický prepínač považujeme prístroj, ktorého činnosť je ovládaná ručne, prípadne pomocou elektromagnetu; výhodou mechanických prepínačov je veľký odstup signálu v zopnutom a rozopnutom stave (60 až 70 dB), ich nevýhodou je malá rýchlosť; mechanické prepínače sa zhotovujú rôznymi metódami (posúvanie optického hranola, odrážača, deformácia trubičky so štvorcovým prierezom - analógia jazýčkového relé, kruhové prepínače a pod.); vložené tlmenie optických vláknových mechanických prepínačov je 2 až 3 dB; na základe funkcie možno optické prepínače (podobne ako ostatné prepínače) klasifikovať) ako typu: a) zapnutý/vypnutý; b) prepínač typu $1 \times N$; c) prepínač typu $N \times M$;
- **Optické** - s využitím elektrooptického, akusticko-optického, resp. magneticko-optického javu a pod; majú vo všeobecnosti menší odstup prepínaných signálov (20-30dB), väčšiu rýchlosť a spoľahlivosť; nevýhodou je, že vyžadujú veľké riadiace napätia (napr. elektricko-optický jav na LiTaO₃); výhodou je možnosť rýchleho prepnutia, bez použitia mechanických prvkov, čo prispieva aj k zvýšeniu spoľahlivosti a životnosti prístroja; súčasné moderné optické prepínače využívajú prvky integrovanej optiky; na základe planárnych optických vlnovodov a posúvača fázy možno vytvoriť štruktúru Machovho - Zehnderovho interferometra, ktorý môže pôsobiť ako veľmi rýchly prepínač zapnutý/vypnutý; rýchle prepínače typu $1 \times N$ možno v integrovanej podobe realizovať použitím integrovanej odbočnice v tvare Y a prepínačov zapnutý/vypnutý; ako prepínač zapnutý/vypnutý možno v týchto štruktúrach použiť polovodičový laserový prepínač.

PRÍKLADY

Príklad 1 Stupňovité optické vlákno má index lomu jadra 1,47, relatívny rozdiel indexov lomu 2% a priemer jadra 80 μ m. Vypočítajte celkové vložené tlmenie ak spojované optické vlákna sú priečne posunuté o 2mm, osi spojovaných vlákien zvierajú uhol 3° a medzi spojovanými vláknami je malá vzduchová medzera.

($L_T=L_{LSI}+L_{ASI}=1,0345891\text{dB}$)

Príklad 2 Gradientné optické vlákno má charakteristickú konštantu profilu indexu lomu $\alpha = 1,85$ a priemer jadra 60 μ m. Vypočítajte vložené straty na spoj dvoch takýchto vlákien, ak predpokladáme, že pri spojení došlo k (a) 5 μ m a (b) 10 μ m priečnemu posunutiu osí spojovaných vlákien a uvažujete rovnaké vybudenie všetkých vedených vidov.

((a)0,6738855 dB (b)1,4671 dB, zväčšenie priečného posunutia = zväčšenie strát)

Príklad 3 Jednovidové optické vlákno má tieto parametre: normovanú frekvenciu $V= 2,405$, index lomu jadra $n_1= 1,46$, priemer jadra $2a = 8\mu\text{m}$ a numerickú apertúru $NA= 0,1$. Vypočítajte celkové straty pri spojení dvoch takýchto vlákien, ak uvažujete vzájomné posunutie osí vlákien 1 μ m a uhlovú odchýlku osí 1°.

($L_T=0,7169\text{dB}$)

Príklad 4 Jednovidové optické vlákno s priemerom jadra 10 μ m má normovanú frekvenciu 2,0. Meraním bolo zistené, že zvarovaný spoj s týmto vláknom má vložené tlmenie 0,15dB. Predpokladajte, že toto tlmenie je spôsobené len vzájomným priečnym posunutím osí spojovaných vlákien. Vypočítajte toto posunutie.

($y=1,1784376\mu\text{m}$)

PRÍKLADY na precvičenie doma

Príklad 1 Gradientné optické vlákno s priemerom jadra 50 μ m má charakteristickú konštantu profilu indexu lomu $\alpha = 2,25$. Meraním

bolo zistené, že spojenie dvoch takýchto optických vlákien vykazuje vložené tlmenie 0,62dB a je spôsobené vzájomným priečnym posunutím osí spojovaných vlákien. Vypočítajte, akú veľkosť má toto posunutie ak uvažujete, že pri meraní boli všetky vedené vidy vybudené rovnomerne.

($y=3,9951257\mu\text{m}$)

Príklad 2 Jednovidový optický vláknový konektor je použitý na spojenie jednovidového stupňovitého optického vlákna s kremenným jadrom (index lomu 1,46), s normovanou frekvenciou 2,2 a numerickou apertúrou 0,09. V konektore môže nastať maximálne priečne posunutie osí spojovaných optických vlákien $0,7\mu\text{m}$ a uhlová odchýlka $0,8^\circ$. Vypočítajte celkové vložené tlmenie tohoto konektora za predpokladu, že indexy lomu sú prispôbené (vhodnou imerznou kvapalinou) a nie je pozdĺžne posunutie koncov spojovaných vlákien.

($L_T=0,54204705\text{dB}$)

Príklad 3 Jednovidové optické vlákno s priemerom jadra $5\mu\text{m}$ má normovanú frekvenciu 1,7; index lomu jadra 1,48 a numerickú apertúru 0,14. Straty vo zváranom spoji vplyvom uhlovej odchýlky osí zváraných vlákien sú dvakrát väčšie, ako straty vplyvom priečného posunutia osí o $4\mu\text{m}$. Vypočítajte uhlovú odchýlku osí zváraných vlákien.

($\theta=0,11188986\text{ rad}=6,4108156^\circ$)

Príklad 4 Ak poznáte tieto parametre zváraného spoja jednovidového vlákna: Normovaná frekvencia vlákna 1,9; index lomu jadra 1,46; priečne posunutie osí zváraných vlákien $0,5\mu\text{m}$; straty vplyvom priečného posunutia osí vlákien 0,05dB; uhlová odchýlka osí zváraných vlákien $0,3^\circ$ a straty vplyvom uhlovej odchýlky osí 0,04dB; vypočítajte: (a) priemer jadra optického vlákna, (b) numerickú apertúru vlákna.

((a) $d=7,006156\mu\text{m}$ (b) $NA=0,10059352$)