

Cvičenie 08:
**Pasívne prvky – spájanie a
rozvetvovanie optických vlákien
(2.časť)**

doc. Ing. Ľuboš Ovseník, PhD.
(lubos.ovsenik@tuke.sk)

[https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/
Cvicenia/Cv08](https://data.kemt.fei.tuke.sk/OE_Optoelektronika/_materialy/Cvicenia/Cv08)

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:
 - zvárané spojky
 - mechanické spojky

Zvárané spojky

- sú to 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.

■ **Mechanické spojky**

- sú to nerozoberateľné spojenia dvoch (alebo viacerých) OV vytvorené rôznymi metódami:
 - vložením 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 $\sim 0,1$ dB;
 - vložením 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 $\sim 0,073$ dB;

- použitie **teplom zmrštenej objímky z Pyrexového skla** - zahriatím objímky na teplotu tesne pod bod topenia vzniká zmrštenie; vložením OV a ďalším zahriatím vzniká mechanické upevnenie OV do objímky; vložením 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;
- vložením 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;
- vložením 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 prepojovacích 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;
 - odolnosť voči klimatickým vplyvom.

■ optické konektory možno klasifikovať z rôznych hľadísk (napr.):

- podľa počtu konektorovaných OV
- podľa metódy prispôsobenia indexu lomu
- 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).

Tab.1: Delenie optických konektorov podľa počtu konektorovaných optických vlákien

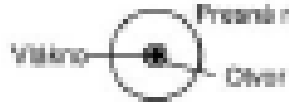




Typ	Kategória	Rozmer	Popis	Počet OV
Jednovláknový konektor	Jednovláknový konektor	0D	Vhodný pre jedno OV	1
Mnohovláknový konektor	Združená montáž OV konektorov	0D	Vhodné pre káble s malou hustotou OV	2-12
	Pole OV konektorov	1D	Vhodné pre ploché OV káble	4-12
	Viacvrstvové pole OV konektorov	1D	Vhodné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

Tab.2: Delenie optických konektorov 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			

Tab.3: Delenie optických konektorov podľa polohovania optických vlákien

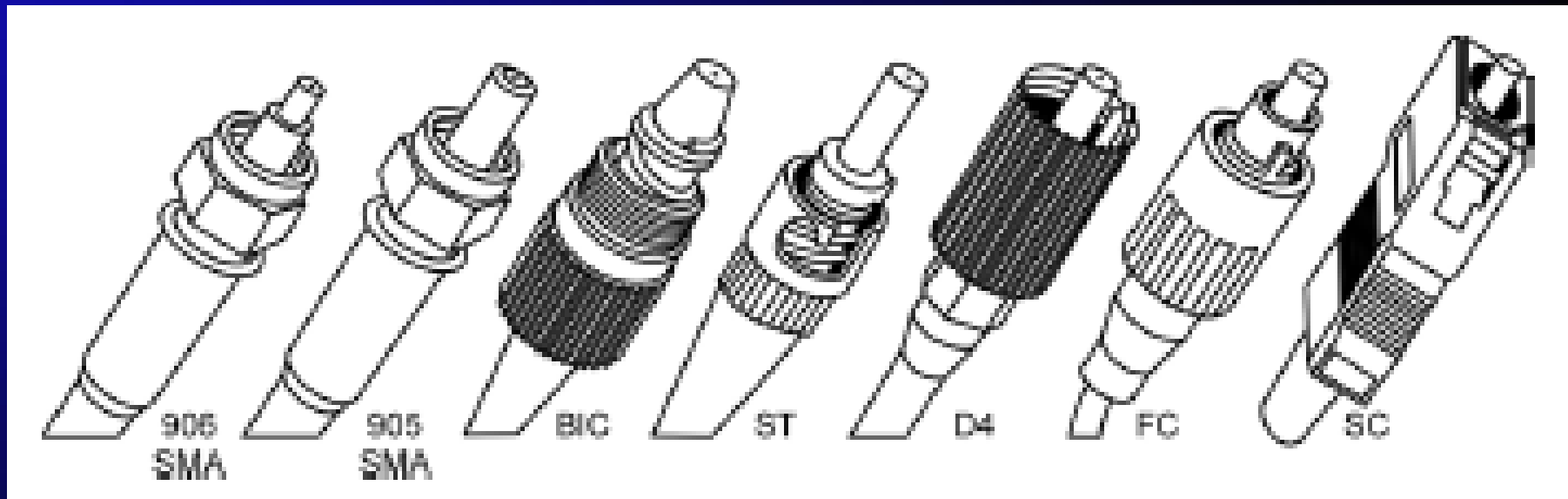
METÓDY CENTROVANIA PRE JEDNOVLÁKNOVÉ KONEKTORY

Typ	Opisovanie	Štruktúra	Vlastnosti
Merateľné	Preaná rúrka		OV (ja) vložené do preanej rúrky.
	Preaná tyčinka		Polohovanie sa dosahuje použitím preanjích tyčínok.
Mozateľné	Polohovacia rúrka		Polohovanie sa realizuje excentrickou rúrkou.
	Centrovanie OV		Polohovanie OV centrováním.
	Dej (s) excentrickú polohovanie OV		Polohovanie OV običan (m) excentrickú preanej rúrky.

Typické jednovláknové optické konektory

- 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 mnohovidových OV;
 - vylepšená konštrukcia mnohovláknového 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 mnohovláknových 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 vláknový optický konektor sa dosiahla priemerná hodnota vloženého tlmenia pre jednotlivé OV 0,23 dB; pre 200 vláknový jednovidový optický konektor sa dosiahla priemerná hodnota vloženého tlmenia pre $\lambda=1,3\mu\text{m} \sim 1,4$ dB.

Obr.1: Typické jednovláknové optické konektory



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:
 - optické vláknové odbočnice;
 - väzobné prvky;
 - optické vláknové prepínače.

Optické vláknové odbočnice

- možno podľa funkcie rozdeliť na:
 - s **povrchovou väzbou** (s využitím vytekajúcich vidov) - zvarením dvoch vlákien, zvlnenie v mieste zvaru dvoch vlákien, tesne vedľa seba uloženými ohnutými vláknami, 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** - zvarením koncových plôch štyroch OV, krížová smerová optická vláknová odbočnica, odbočnice s gradientnou valcovou šošovkou.

Väzobné prvky

- najčastejšie v tvare hviezdicového spoja, ktorý môže byť prechodný alebo odrazný (reflexný)
- hviezdicové spoje je možné realizovať rôznymi metódami:
 - laterálnym presahom OV;
 - s čiastočným odrazom od koncových plôch;
 - s využitím gradientných šošoviek;
 - s vetvenými planárnymi svetlovodmi.

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 LiTaO_3); 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.

Príklad č. 1

Zadanie:

- Gradientné optické vlákno s priemerom jadra $50\mu\text{m}$ (GI MM) má charakteristickú konštantu profilu indexu lomu $\alpha = 2,25$. Meraním vložené tlmenie $0,62\text{dB}$ 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.

Riešenie:

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

Príklad č. 2

Zadanie:

- Jednovidový optický vlákňový konektor je použitý na spojenie SI SM 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 tohto konektora za predpokladu, že indexy lomu sú prispôsobené (vhodnou imerznou kvapalinou) a nie je pozdĺžne posunutie koncov spojovaných vlákien. Polomer jadra OV je $3\mu\text{m}$.

Riešenie:

- $L_T = 0,54204705\text{dB}$

Príklad č. 3

Zadanie:

- 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 priečneho posunutia osí o $4\mu\text{m}$. Vypočítajte uhlovú odchýlku osí zváraných vlákien.

Riešenie:

- $\Theta = 0,11188986 \text{ rad} = 6,4108156^\circ$

Príklad č. 4

Zadanie:

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

Riešenie:

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

Veci potrebné na DT z OE

Deň: 20.04.2020

Miestnosť: PC5

Trvanie: 60 min.

Čas: 13:30

Nezabudnúť priniest:

1. vytlačенú tabuľku na vpisovanie výsledkov „OE_Cv09_Vysledky testu studenta.pdf“ zo servera
2. kalkulačku
3. pero
4. pomocný papier na výpočty príkladov
5. vedomosti
6. papier s povolenými vzorcami „Oznam_Vzorci“ zo servera

Ďakujem za pozornosť