

Optické spojovanie

Ing. Martin Medvecký, PhD.

Kategorizácia

- **Podľa transfér módu**
 - optické spínače s prepájaním okruhov
 - optické spínače s prepájaním paketov
- **Podľa technológie**
 - optické spínače na báze vlnovodov
 - free-space optické spínače
- **Podľa multiplexnej techniky**
 - optické spínače s priestorovým multiplexom
 - optické spínače s časovým multiplexom
 - optické spínače s vlnovým (frekvenčným) multiplexom
 - hybridné optické spínače

Dôvody

- **Limitované kapacity súčasných spojovacích uzlov:**
 - 100 000 účastníkov x 64 kbit/s => 6,4 Gbit/s
 - 16 portov STM-64 => 159,2525 Gbit/s
- **Elektronické komponenty:**
 - elektromagnetické pole
 - RC konštanty
 - vysoká energetická spotreba
 - problémy s chladením

- **Riešenie**



Optické spojovanie

Charakteristika

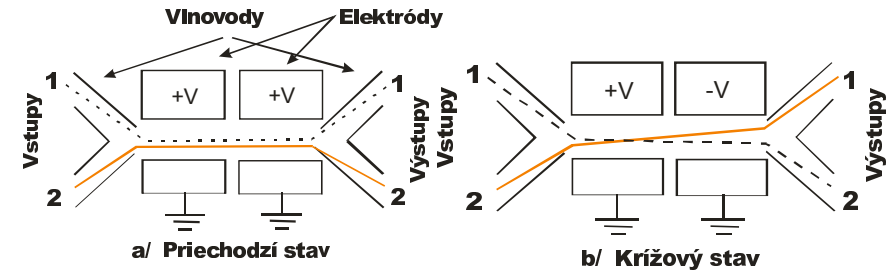
- Optický signál je vedený vo vlnovode
- Optické vlákno = transparentný analógový kanál schopný prenášať veľké množstvo digitálnej informácie.
(dnešné SMF vlákno - cca. 25Tbit/s)
- Optické spojovacie polia sú tvorené kaskádou vlnovodných spínačov prepojených vlnovodmi (t.j. optickými vláknami)

Výhody

- Prirodzená evolúcia z dnešnej elektronickej technológie použitej v komunikačných systémoch
- Budovanie na už existujúcej optike, ktorá je na podobnom princípe prítomná v komunikačných sieťach (prenosové linky)
- Veľké skúsenosti s optickou vlnodnou technológiou
- Pokročilejšia technológia v porovnaní s dnešnou free-space technológiou

Optické elementy s priestorovým delením

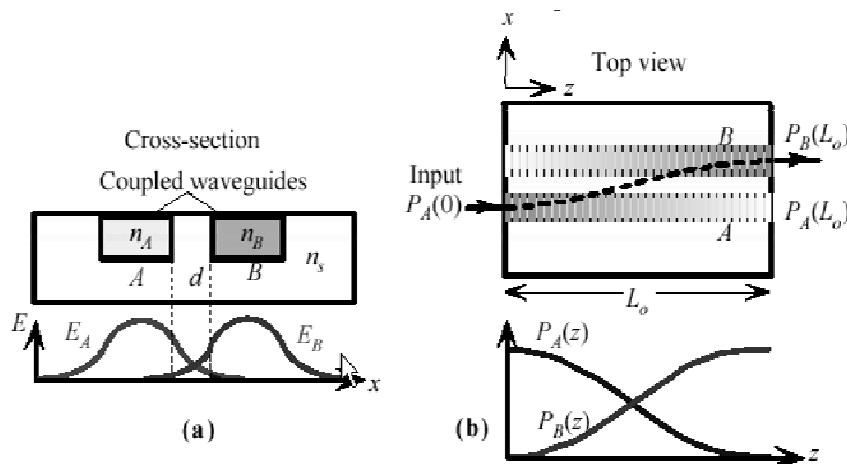
Základný prvok - smerovací väzobný člen (*Directional coupler*)



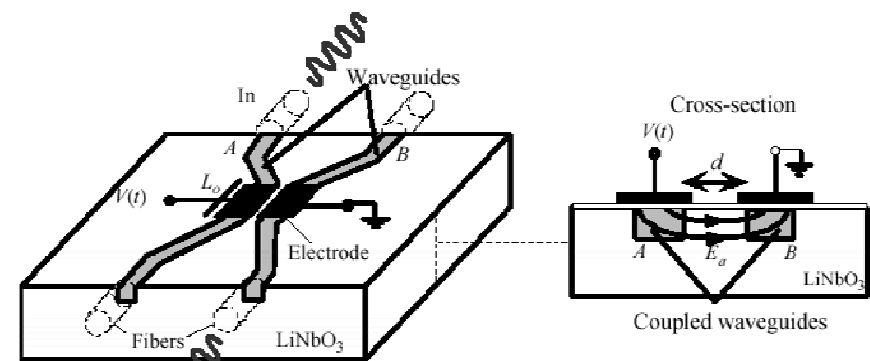
LiNbO₃ - lítium niobát
GaAs - gálium arzenid

Ti:LiNbO₃ - titanom difundovaný lítium niobát

Smerovací väzobný člen



Smerovací väzobný člen



$L_o = 10$ mm; $d \sim 10$ μ m; $n = 2,2$;
 $\lambda \sim 1,3$ μ m; $r \sim 10^{-11}$ m/V; $V \sim 10$ V

Smerovací väzobný člen

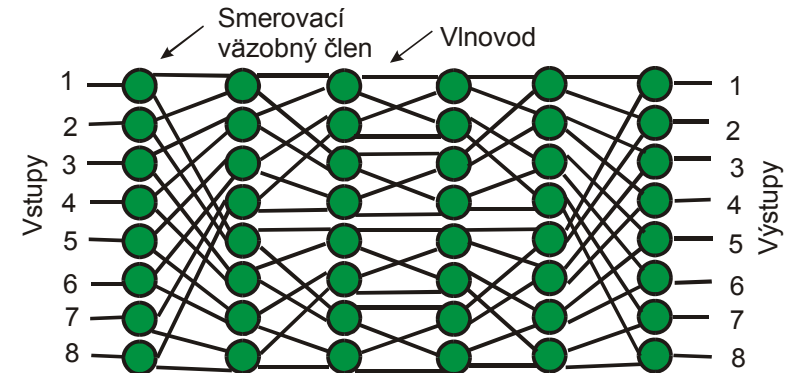
• Výhody

- optická transparentnosť => dokáže prepínať kanály s extrémne širokým frekvenčným pásmom

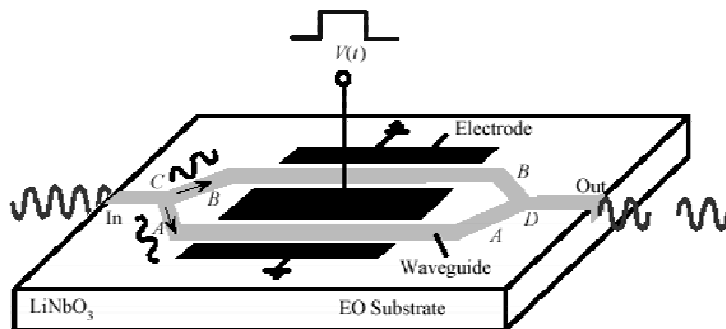
• Nevýhody

- elektrické riadenie limituje rýchlosť prepínania
- veľké rozmery - nie je možná vysoká integrácia
- presluchy

Benešova sieť 8x8

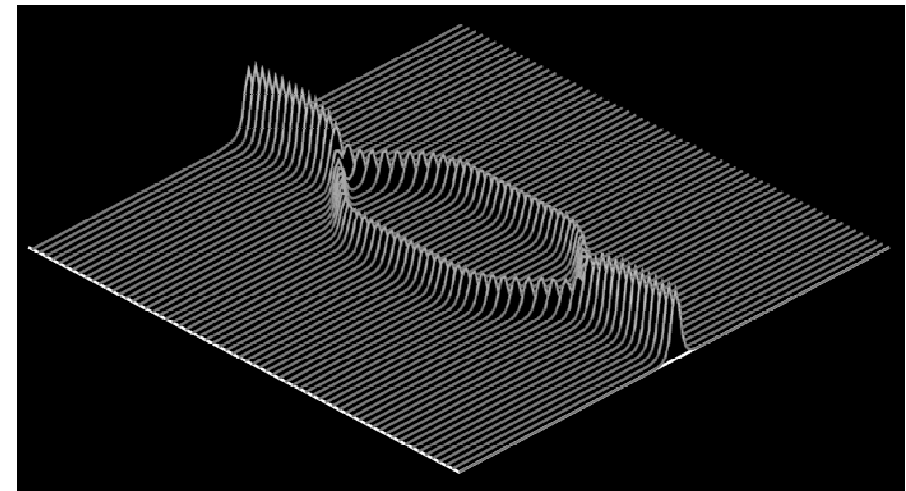


Mach - Zehnder interferometer

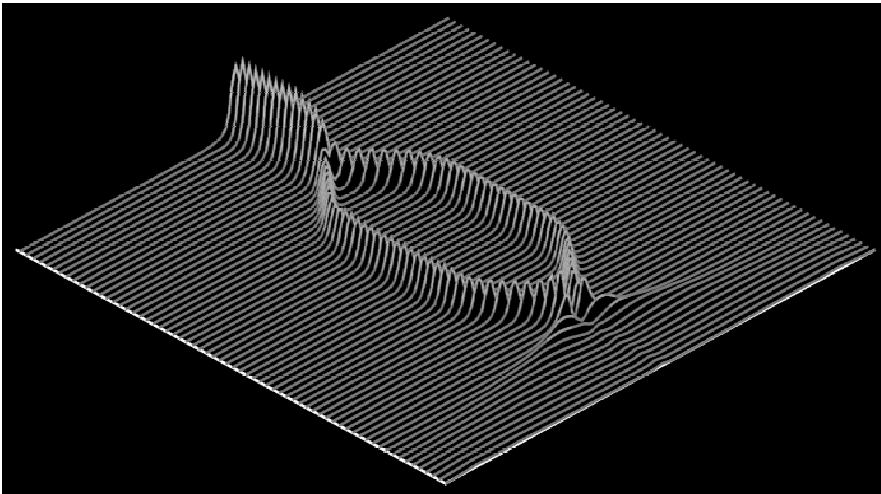


Vstupný svetelný lúč je rozdelený na dve koherentné vlny A a B ktoré sú pôsobením elektrického poľa fázovo posunuté a na výstupe interferometra sčítané

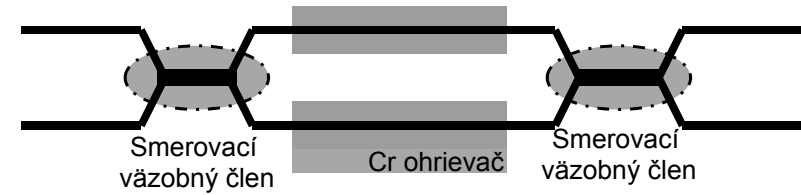
Mach - Zehnderov interferometer



Mach - Zehnderov interferometer

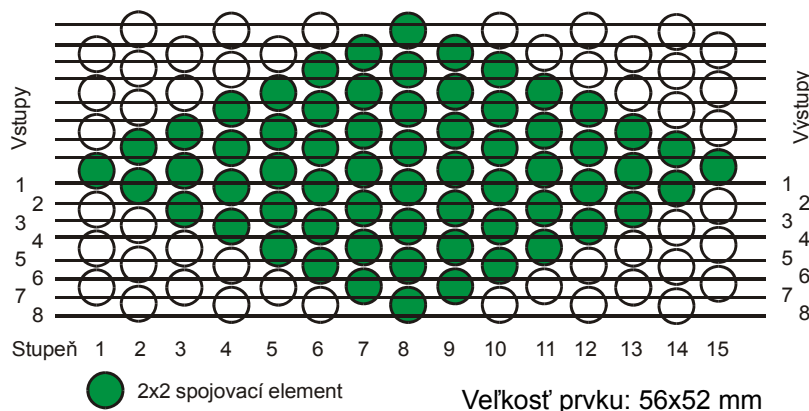


Spojovací element 2x2 (NTT)

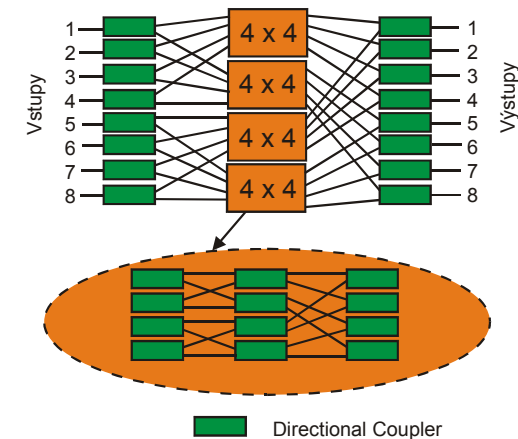


- Využíva v radiacej časti termo-optický efekt pre kremíkové sklo
- Veľkosť spojovacieho prvku: 15 mm

Sieť 8x8 (NTT)



Sieť 8x8 (NEC)

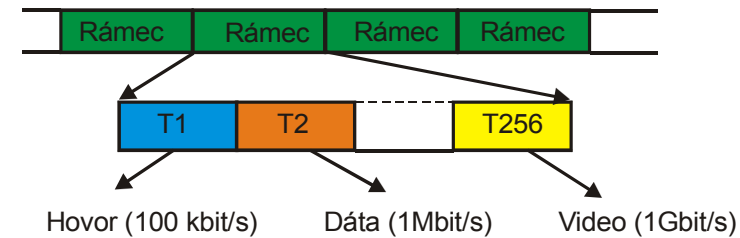


Optické elementy s časovým delením

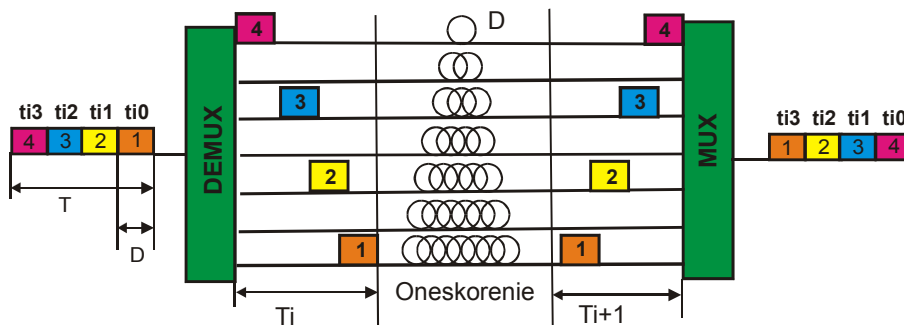
- **Dôvod**
 - frekvenčné spektrum signálu neseného v jednom vlnovodnom kanáli je oveľa širšie ako môže využiť jeden účastník => viac signálov môže zdieľať jeden vlnovodný kanál pomocou časového multiplexu
- **Dva spôsoby realizácie časového multiplexu**
 - prostredníctvom meniča časovej polohy (TSI - Time Slot Interchanger)
 - využitím viacnásobného prístupu pomocou hviezdicovitého väzobného člena (Star coupler)

Menič časovej polohy

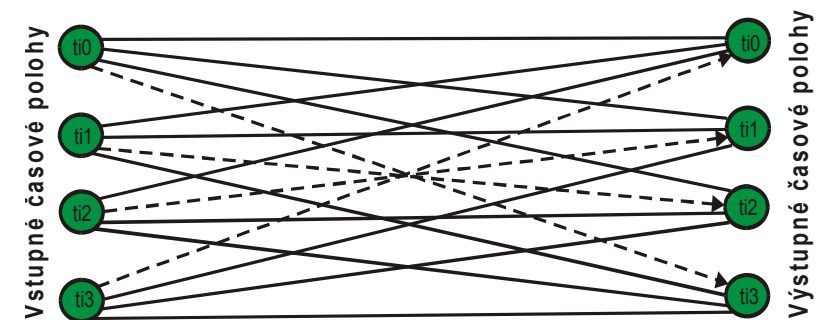
- Dokáže meniť časové polohy jednotlivých kanálov v rámci
- Optické vlnovodné väzobné členy potrebujú pomerne dlhý čas na svoju vnútornú rekonfiguráciu => vhodné prepájať časové polohy o väčšej dĺžke
- Výhodné pre - univerzálne časové polohy o definovanej dĺžke



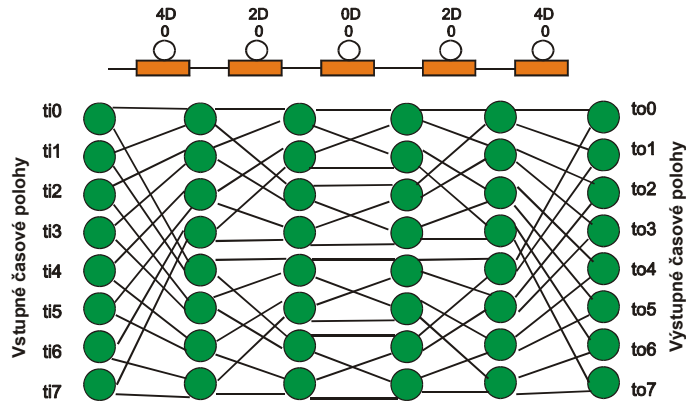
Menič časovej polohy



Menič časovej polohy Spojovací diagram



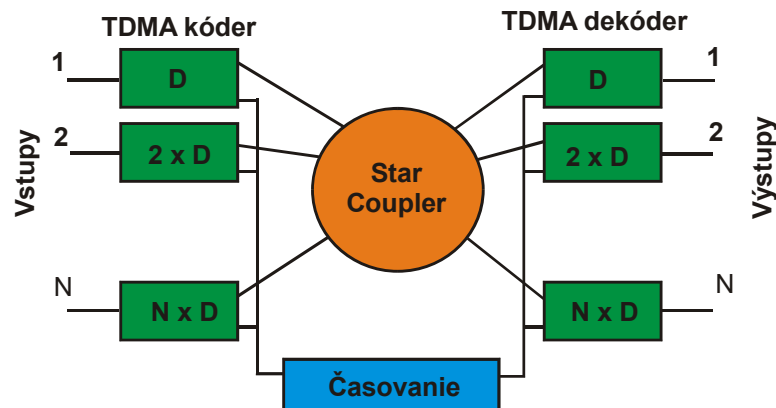
Menič časovej polohy Viacstupňová architektúra



Časové pole s viacnásobným prístupom

- Zabezpečuje fyzické spojenie medzi účastníkmi pomocou kruhového, alebo hviezdicového väzobného člena
- Fyzické spojenie sa časovo zdieľa medzi účastníkmi

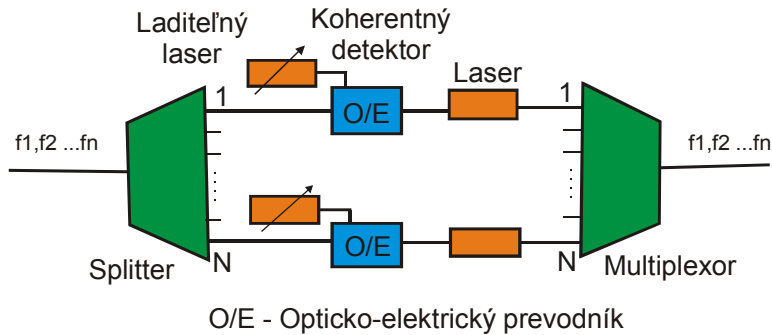
Hviezdicový väzobný člen



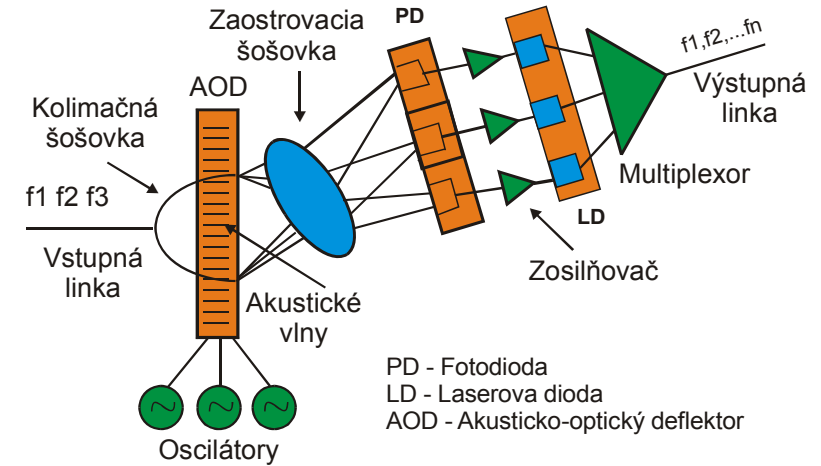
Optické elementy s vlnovým delením

- **Výhody**
 - nezávislosť na šírke pásma spojovaného signálu
 - menšie nároky na rýchlosť spínania v elemente
 - vlnový multiplex je ľahko aplikovateľný v prenosovej časti komunikačnej siete
- **Spôsoby realizácie**
 - použitím meniča vlnovej dĺžky (*WI - Wavelength Interchanger*)
 - využitím viacnásobného prístupu

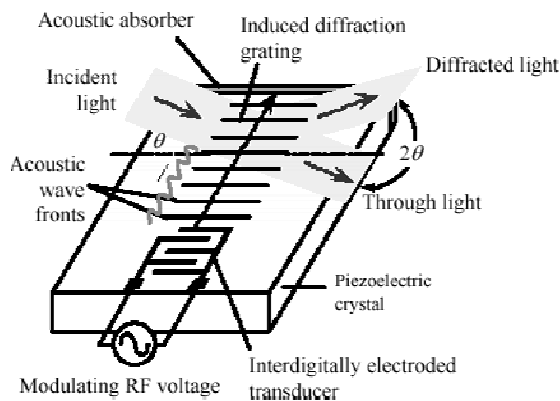
Menič vlnovej dĺžky



Menič vlnovej dĺžky s akusticko-optickým deflektorom

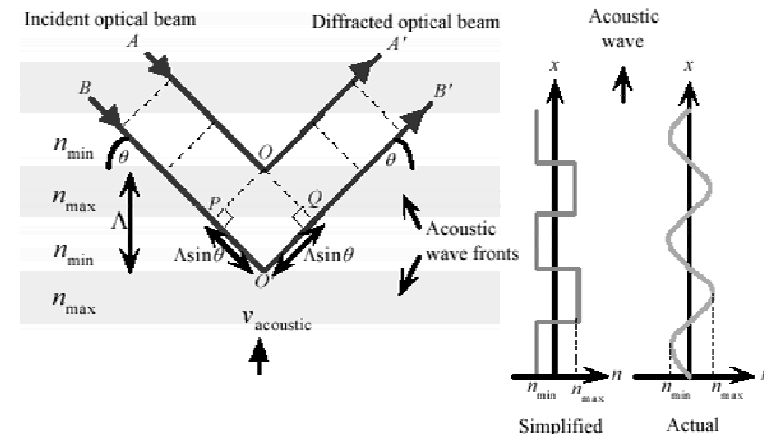


Akusticko-optický deflektor

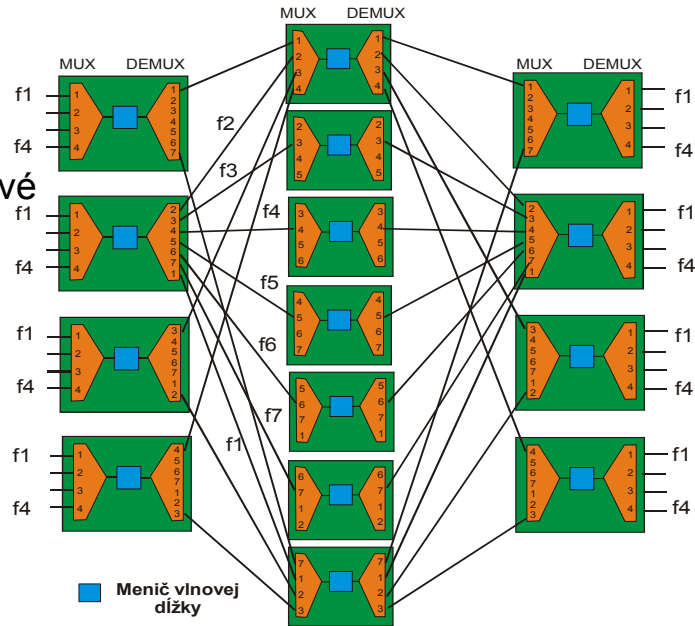


Akustické vlny spôsobujú harmonické zmeny v refrakčnom indexe a vytvárajú difrakčné stupne, ktoré spôsobujú vychýlenie lúča o uhol 2θ

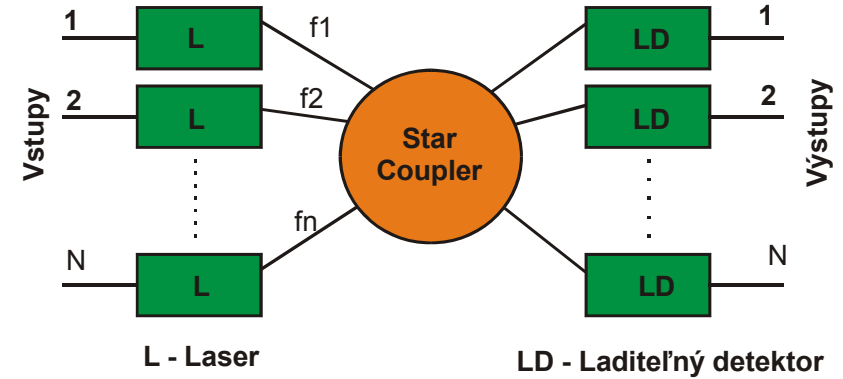
Akusticko-optický efekt



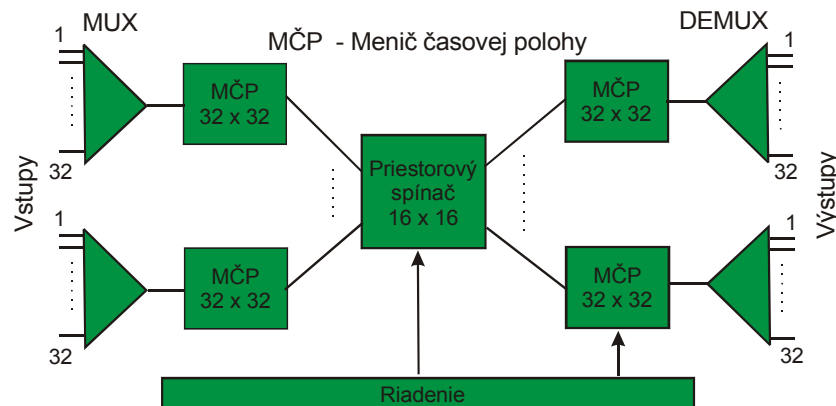
Viacstupňové
pole s
meničom
vlnovej
dĺžky



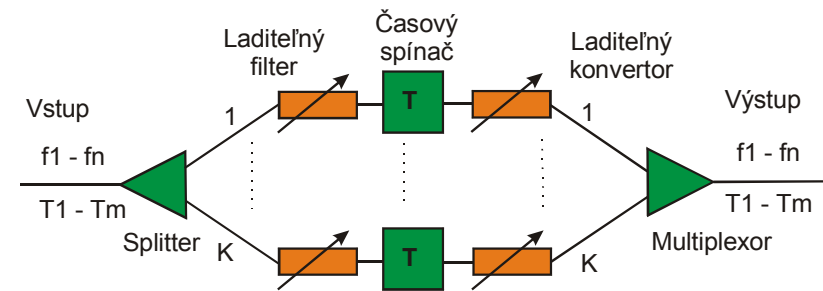
Vlnové pole s viacnásobným prístupom



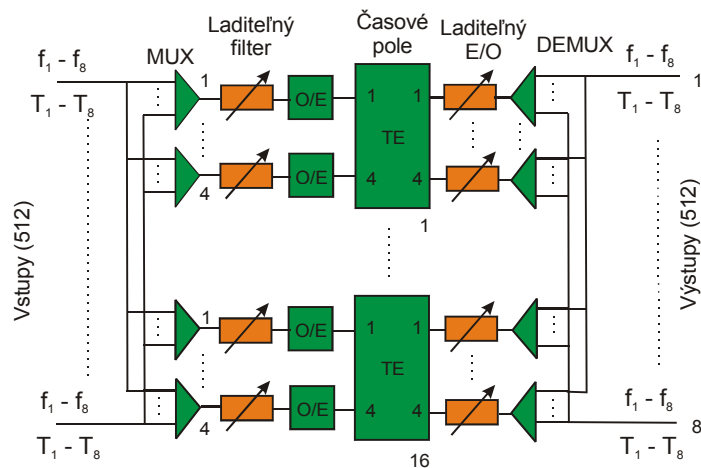
Hybridné optické spojovacie siete
Časovo-priestorové siete



Hybridné optické spojovacie siete
Časovo-vlnové siete

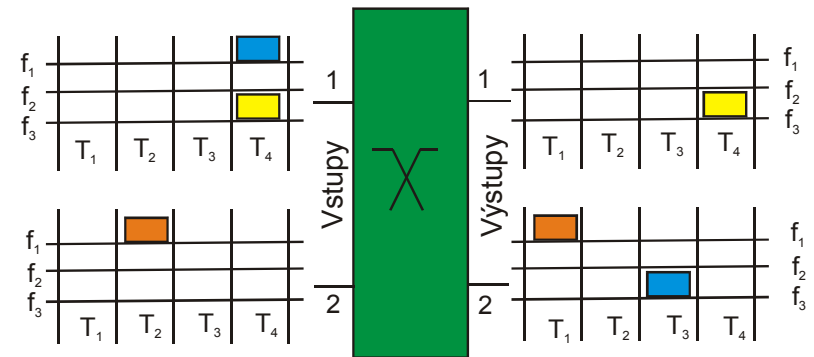


Časovo-vlnové siete



Hybridné optické spojovacie siete

Časovo-vlnovo-priestorové siete



Charakteristika

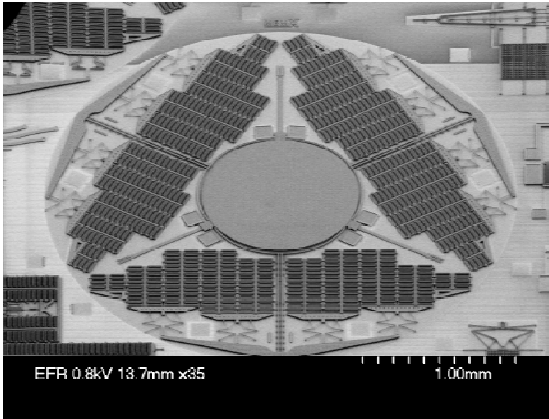
- Historicky prvé optické spínače
- Svetlo je transportované v spínači voľne v priestore
- **Výhody**
 - umožňujú využiť ďalšiu dimenziu pri smerovaní signálov,
 - umožňujú vyššiu integráciu elementov,
 - umožňujú vnútornú paralelizáciu prenosového pásma a tým vyššiu výkonnosť,
 - v dôsledku vysokej integrácie je vyššia pravdepodobnosť lacnejšej produkcie.

Klasifikácia

- Podľa architektúry:
 - **viacstupňové spojovacie štruktúry** (napr. S-SEED spínač)
 - **jednostupňové spínače** (napr. holografický spínač)
- Podľa typu signálu:
 - **analogové spínače** (transparentné vo formáte, bitovej rýchlosti a type modulácie; akumulujú energetické straty a presluchy)
 - **digitálne spínače** (digitálny signál => nevykazujú útlm a presluchy)

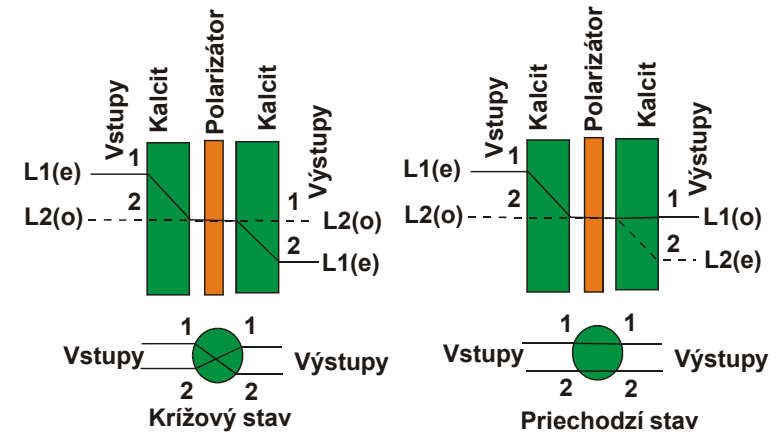
MEMS

Micro-Electro-Mechanical Systems

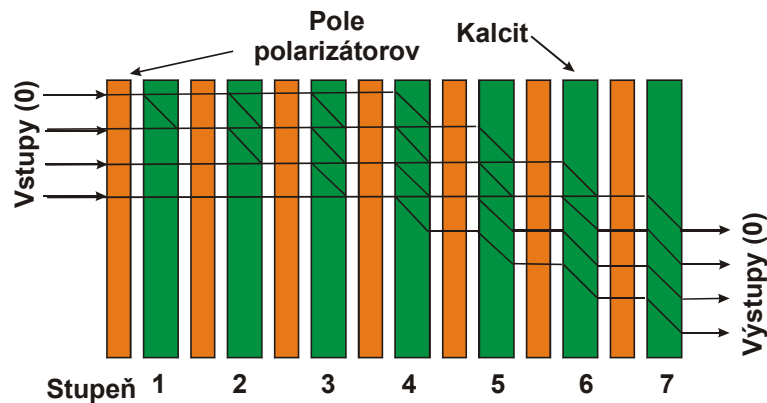


- 2D alebo 3D sústava zrkadiel
- 2D systémy max. 32x32
- Rýchlosť prepínania: cca. 10-20 ms
- Útlm: 3dB 4x4, 7dB 16x16

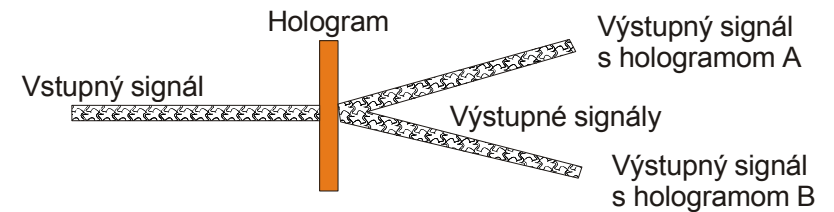
Spínač s kaskádnym posunom lúča



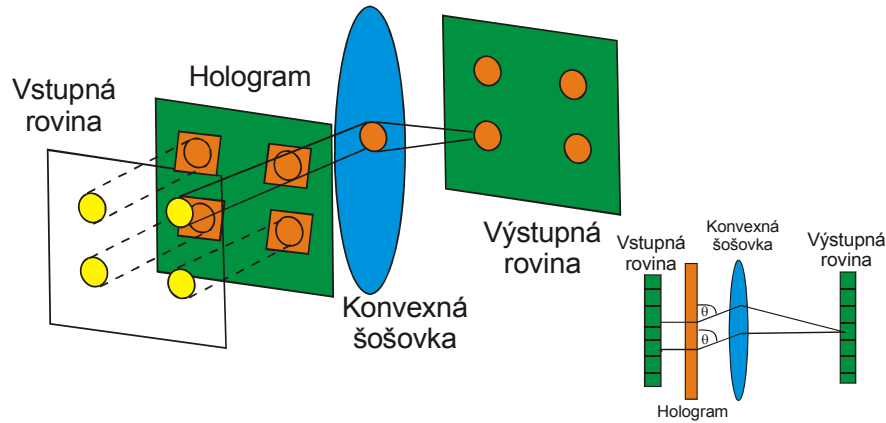
Spínač s kaskádnym posunom lúča



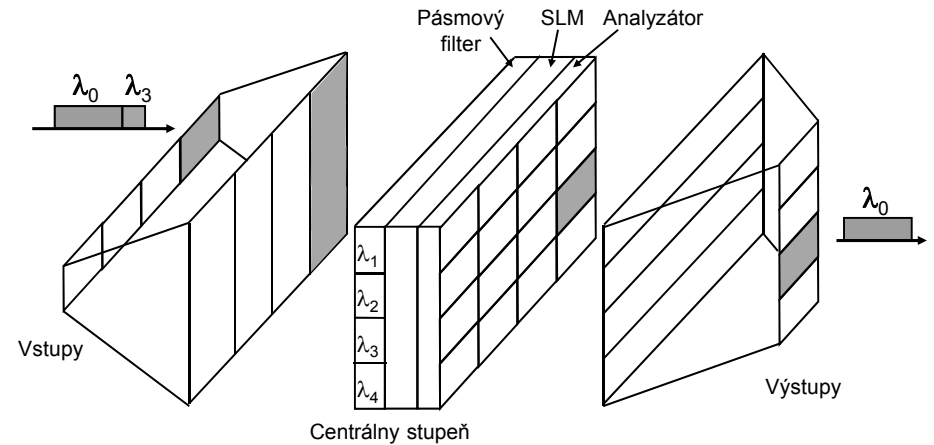
Holografický spínač



Holografický spínač



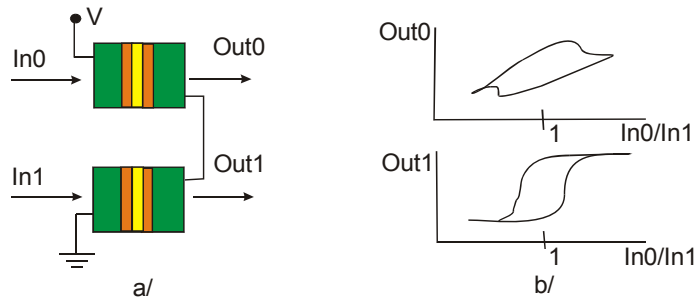
Samosmerovací krížový spínač



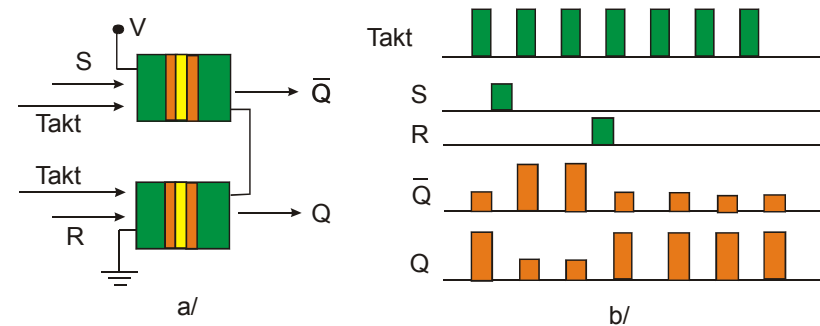
SLM = Spatial Light Modulator

S-SEED spínač

(Symmetric Self-Electro-Optic Effect Device)



S-SEED spínač



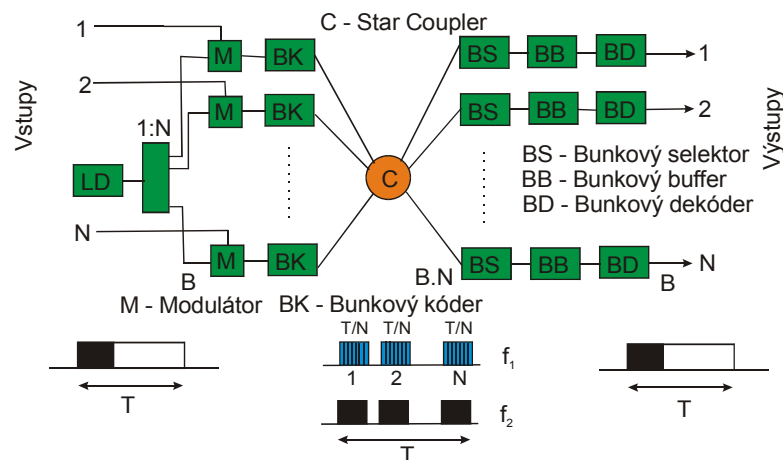
Charakteristika

- Paketová podstata ATM - komplikácia pre optické spojovanie
- Výhody ATM optického spojovania:
 - dĺžka bunky 53B => menšie nároky na rýchlosť prepájania ako pre bitové toky
 - asynchrónna prevádzka a dlhý blok dát => menšie problémy so synchronizáciou
 - menšie požiadavky na pamäť - stačia optické oneskorovacie linky

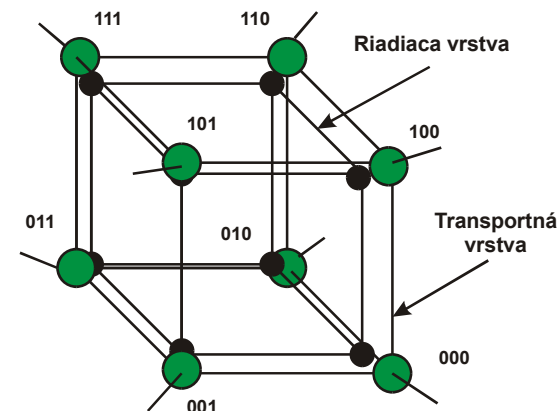
ATM spínače s dvojvrstvou štruktúrou

- **Princíp:** riadiaca a informačná časť prepájaného signálu sú separované
 - **informačná časť** - prenáša sa veľmi rýchlou optickou cestou
 - **riadiace signály** - spracovávajú sa elektronicky pomalšími rýchlosťami
- **Reprezentanti**
 - ULPHA (*Ultrafast Photonic ATM Switch*)
 - HiPower (*Hypercube-interconnected Photonic ATM Switch*)

ULPHA spínač

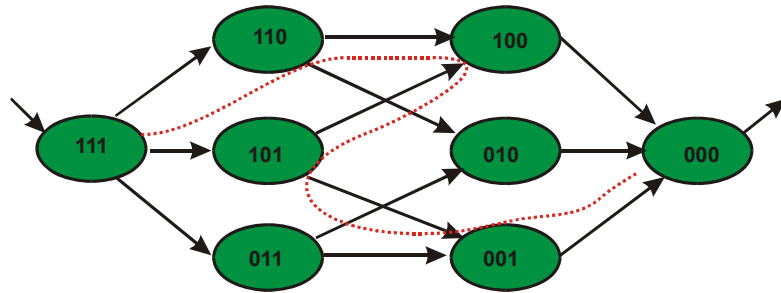


HiPower spínač



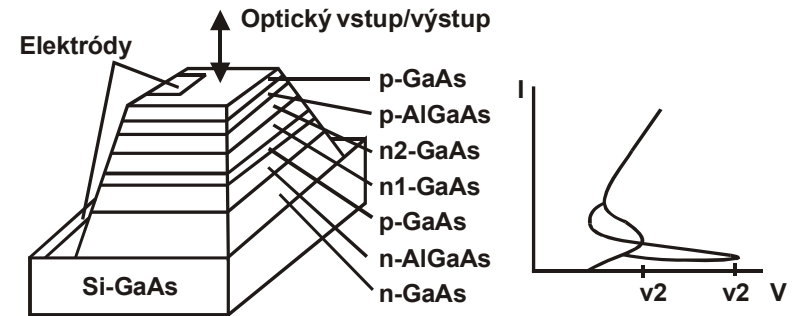
- V transportnej (optickej) vrstve sú použité optické spínače
- V riadiacej vrstve sú smerovacie funkcie riadené elektronickými obvody

HiPower spínač - smerovanie



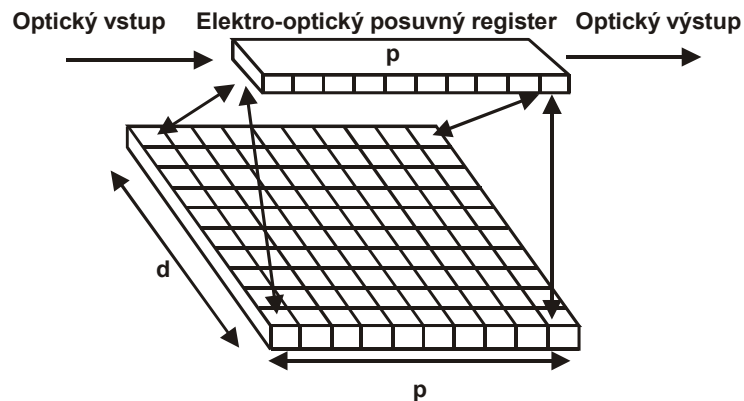
- Uzol určuje cestu aplikovaním funkcie EX-OR na svoju a cieľovú adresu

ATM spínače s jednovrstvovou štruktúrou VSTEP spínač



VSTEP - Vertical to Surface Transmission Electro-Photonic Device

VSTEP - optická vyrovnávacia pamäť



VSTEP - optoelektronický posuvný register

