



Optoelektronické systémy

Optoelektronické komunikačné systémy

Prof. RNDr. Ing. Ján Turán, DrSc., KEMT FEI TU Košice

Optróny

- · Jednoduché systémy
- · Využívajú najmä elektrickú izoláciu medzi vstupom a výstupom

Typy




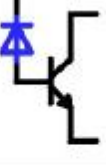

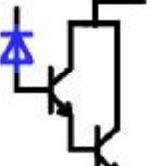



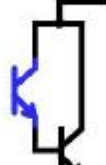
- · **Analógové optróny** - galvanické oddelenie jednosmerných aj striedavých obvodov
 - n Fotoodporový režim
 - n Fotovoltaický režim
- · **Digitálne optróny** - spínací režim
 - √ S fotorezistrom
 - √ S fotodiódou
 - √ S viacprechodovými prvkami

Vlastnosti

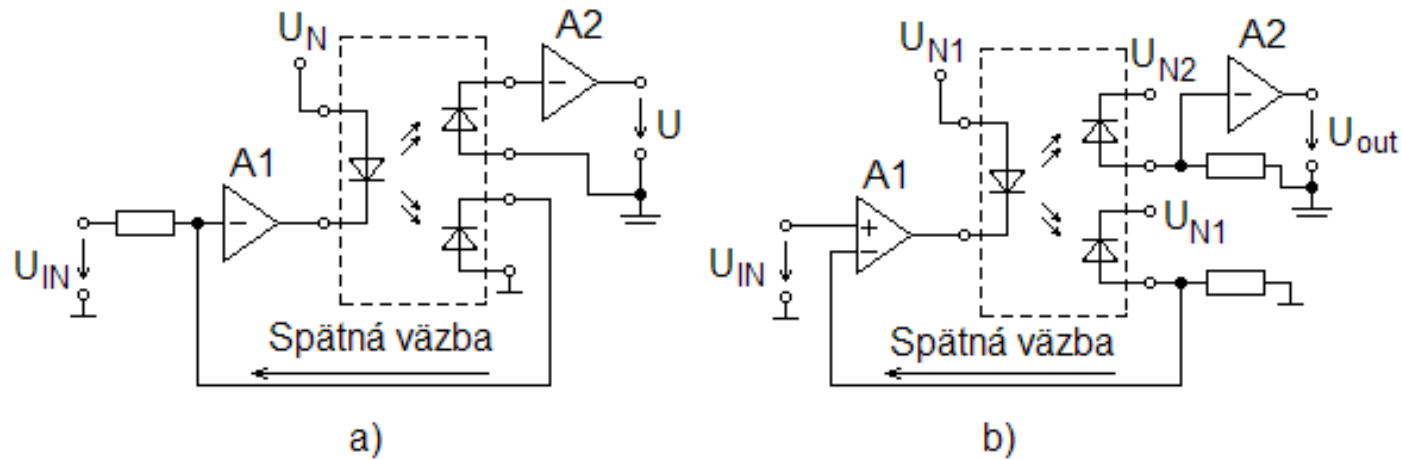
- .. Prúdový prenos
- .. Izolačné napätie vstup/výstup [~ 2 - $2,5$ kV]
- .. Izolačný odpor [10^8 - 10^{10} Ω]
- .. Kapacita vstup/výstup [0,5 – 1,5 pF]
- .. Čas zopnutia, resp. vypnutia
- .. KKO – Kategória Klimatizačnej Odolnosti [40/70/04]
- .. Rozsah prevádzkových teplôt
- .. Hmotnosť [0,9 – 1,5 g]
- .. Prúdový prenos CTR (Current Transfer Ratio)

$$CTR = \frac{I_C}{I_F}$$

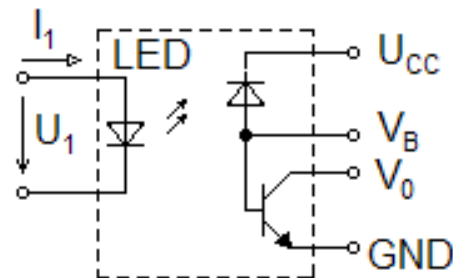
Zapojenia jednoduchých oprónov

Vysielač	Prijímač	
		Fotodióda
		Fotodióda a tranzistor
		Fotodióda a Darlingtonove zapojenie
		Fototranzistor
		Fotodarlingtonove zapojenie

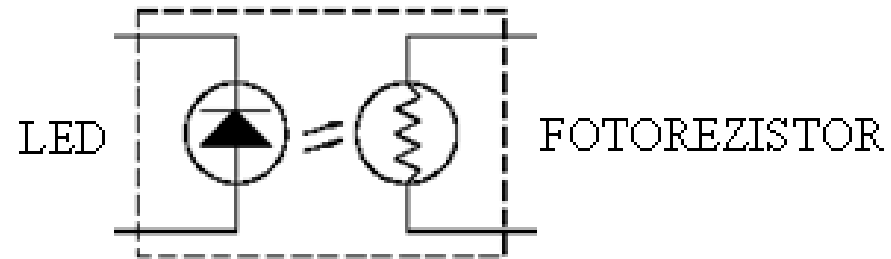
Zapojenie analógového optrónu vo fotoodporovom (a) a fotovoltaiickom (b) režime



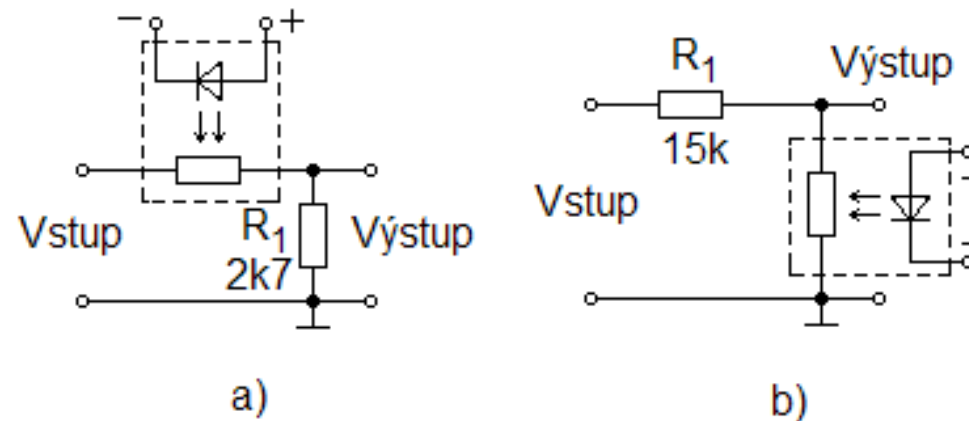
Širokopásmový analógový optrón



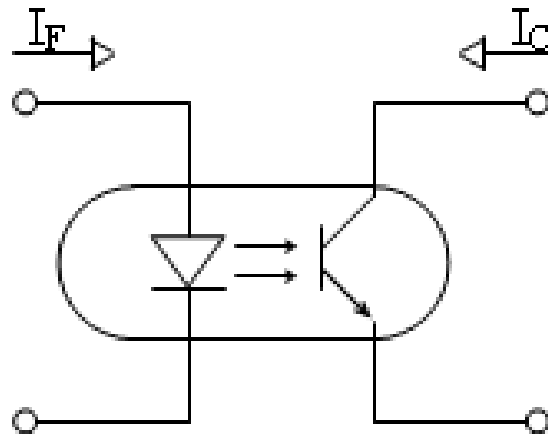
Optrón s fotorezistorom



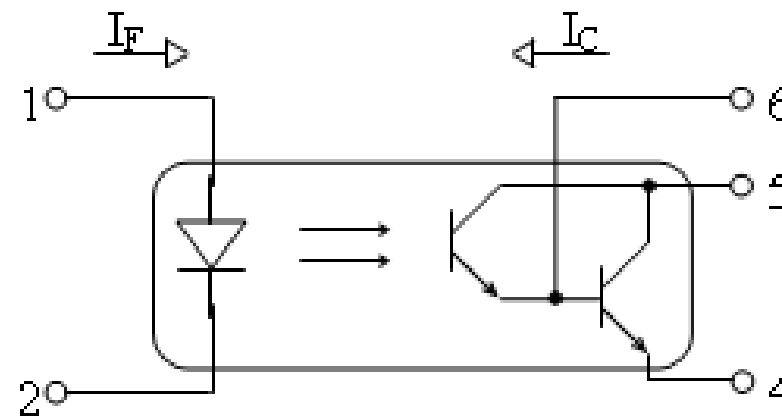
Paralelné (a), sériové (b) zapojenie optrónu s fotorezistorom



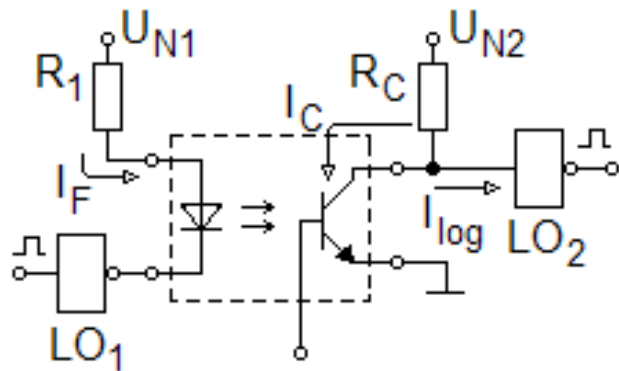
Zapojenie oprónu s fototranzistorom



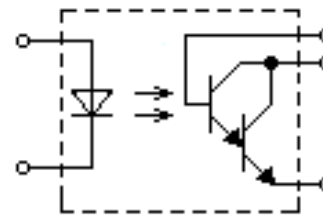
Oprón s Darlingtonovým zapojením



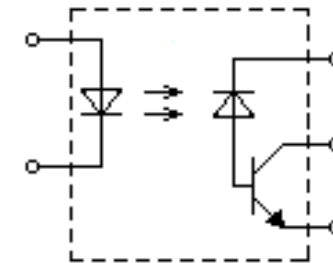
Digitálny oprón s fototranzistorom (a), s Darlingtonovým zapojením (b), s fotodiódou (c), s logickým obvodom (d), s tranzistorom **MOSFET** (e)



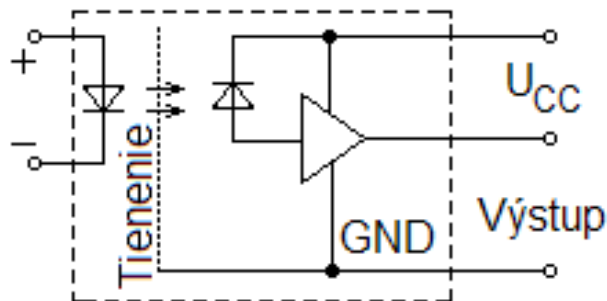
a)



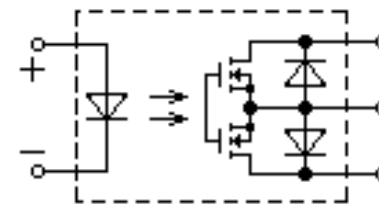
b)



c)



d)



e)

Infračervené diaľkové ovládače IDO

Použitie

- Ovládanie **TV** prijímačov, **VCR**, **SAT** prijímačov, zvukových súprav, klimatizačných jednotiek, priemyselných strojov

n **Protokol RC (Rivest Cipher)**

- **RC4**

- n Kľúč maximálne 256 bytov (2048 bitov)

- **RC5**

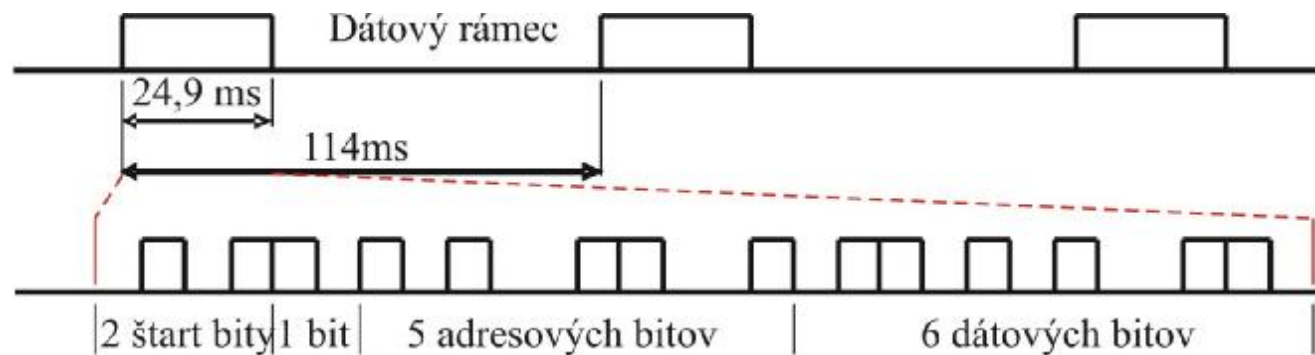
- n Rotácia závislých od šifrovaných údajov
- n Hašovanie
- n Bitový rámec o dĺžke 114 ms
- n Informácia je však prenášaná v rámci **RC5** len 24,9 ms
- n Vysielaný kód je dátové slovo s dĺžkou 14 bitov

Štruktúra dátového slova

- .. 2 štart bity
- .. 1 kontrolný bit (toggle bit)
- .. 5 bitov adresy
- .. 6 bitov kódu povelu (dátových bitov)

n Kód je prenášaný v biphase formáte

Štruktúra dátového slova kódu RC5

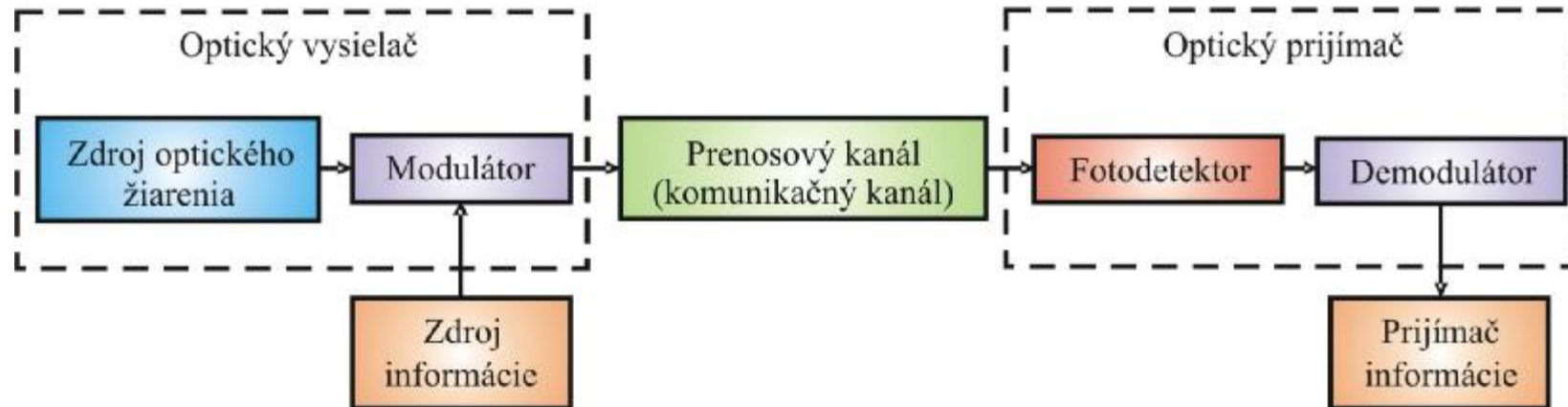


Optické vláknové komunikačné systémy

Optický komunikačný systém

- .. Optický vysielateľ
 - .. Prenosový kanál
 - .. Optický prijímač
 - 1. **S voľným prostredím**
 - 2. **S prenosom svetlovodom - optickým vláknom**
- n Rozvoj optických vláknových komunikačných systémov
- .. Technológia výroby optických vlákien
 - .. Zvýšenie účinnosti a životnosti polovodičových zdrojov svetla

Bloková schéma optického komunikačného systému

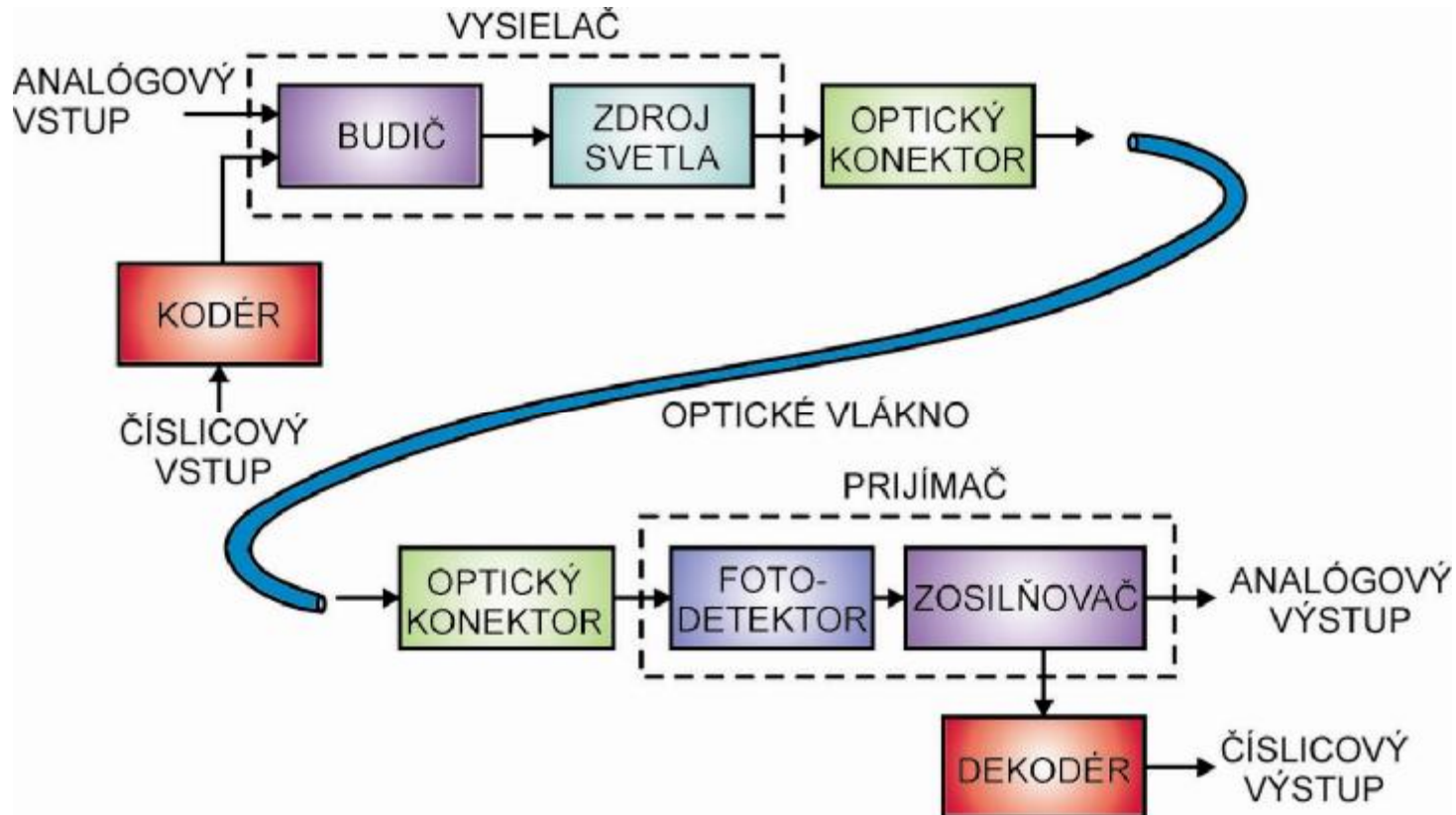


Optické vláknové komunikačné systémy (OVKS)

- .. **Číslicová** – digitálna telekomunikácia
- .. **Analógovej širokopásmová** telekomunikácia (prenos video signálu)
- .. **Prenos údajov**

- n **Optický spoj**
 - Optický vysielateľ
 - Prenosový kanál
 - Optický prijímač
- n **Zdroj svetla – LD, LED**
- n **Optické prostredie** – voľné prostredie, svetlovody – **optické vlákna – OV (Fibre Optic - FO)**
- n **Fotodetektor**
 - PIN (Positive-Intrinsic-Negative) fotodióda
 - Lavínová fotodióda (**APD** -Avalanche Photodiode)
- n **Optický signál** – amplitúda, frekvencia, fáza, polarizácia, vlnová dĺžka, trvanie alebo kombinácia
- n Vznik šumu
- n **Opakovače** so zosilnením signálu – **optické zosilňovače**
- n **Regeneračné opakovače**

Bloková schéma optického vláknového spoja



Optický vláknový spoj

- n Celosklenené vlákno na báze **SiO₂**
- n Vlákno typu **PCS** (Plastic Clad Silica)
- n Plastové optické vlákno (**POF**)
 - .. **Dĺžka vlákna bez spojenia – 1 m až 7 km**
 - .. **Elektrický signál sa konvertuje na optický signál**
 - .. **Analógová aj digitálna modulácia**
 - .. **Kábelovanie**
 - .. **Opakovač (retranslátor), optický zosilňovač**

Výhody

- .. Extrémne veľká šírka frekvenčného pásma
- .. Malý priemer a malá hmotnosť
 - n Redukcia rozmerov (10:1)
 - n Výrazná redukcia hmotnosti (25:1)
- .. Odolnosť voči prepočutiam
- .. Odolnosť voči elektromagnetickému rušeniu
 - n Rádiofrekvenčné rušenie
(**RFI** – Radio-Frequency Interference)
 - n Elektromagnetické rušenie
(**EMI** – ElectroMagnetic Interference)
 - n Elektromagnetické impulzy
(**EMP** – z angl. ElectroMagnetic Pulses)
- .. Neustále klesajúca cena

Sekundárne výhodné vlastnosti

- .. Utajenosť prenášaných správ
- OTDR- Optical Time-Domain Reflectometry**
- .. Väčšia bezpečnosť
- .. Elektrická izolácia
- .. Väčšia životnosť
- .. Odolné voči vyšším teplotám a pôsobeniu korozívnych kvapalín a plynov
- .. Väčšia spoľahlivosť a jednoduchšia údržba
- .. Nevyžarujú signály
- .. Možnosť jednoduchého rozšírenia prenosovej kapacity
- .. Šetrenie vzácnych materiálov

Nevýhody

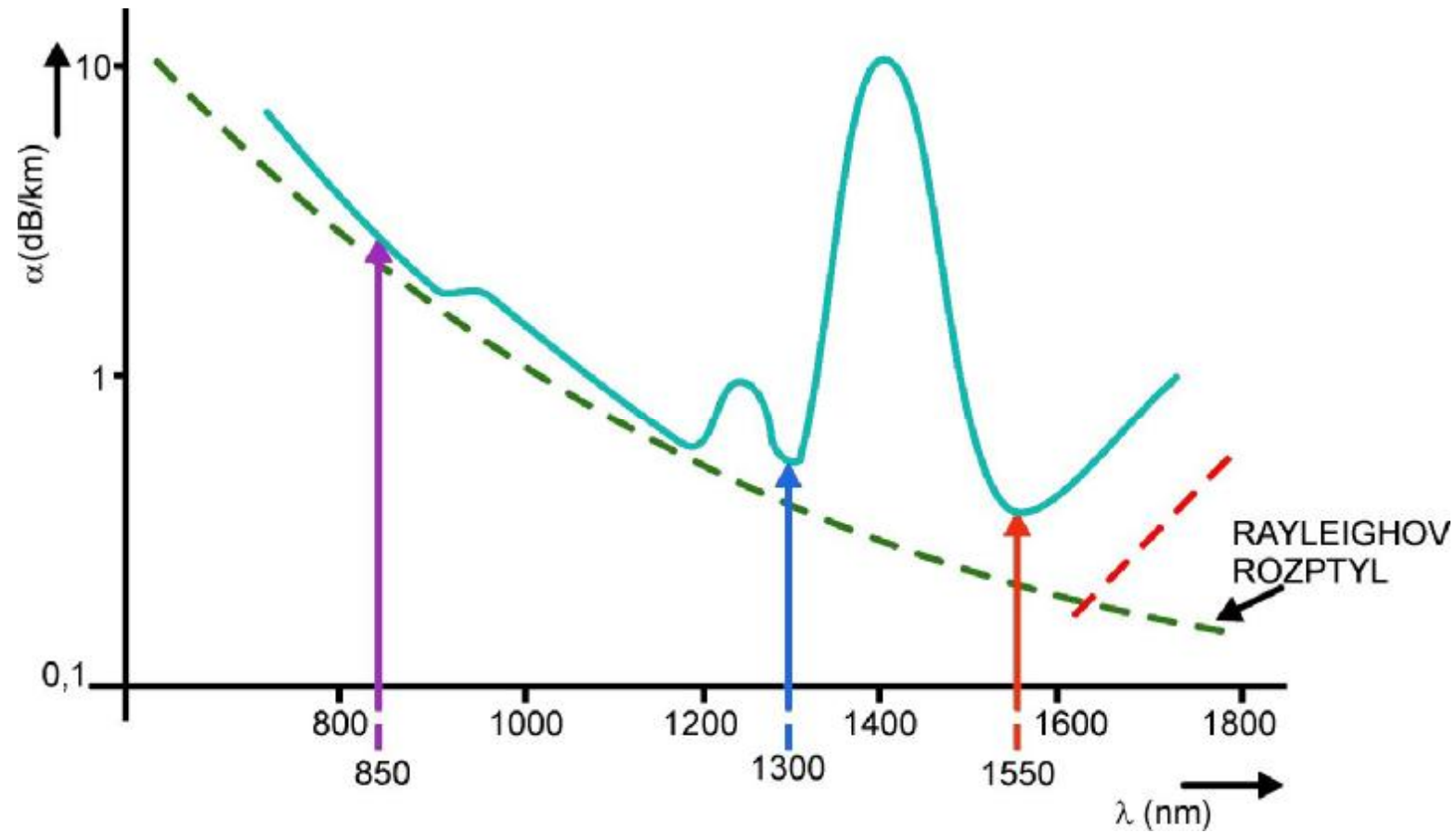
- .. Krehké
- .. Nie sú údaje o dlhodobej mechanickej stabilite
- .. Optické konektory, prepínače – náročné na prácnosť a pomerne veľmi drahé
- .. Optické straty

Generácie OVKS

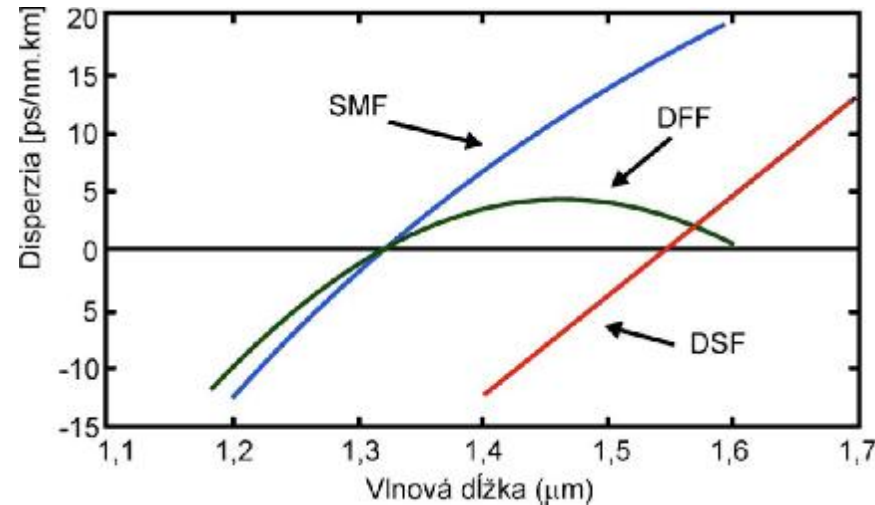
1. **Okno I @ 0,85 mm** - Komerčne dostupné
 - .. 1978 – 50 až 100 Mbit/s na 10km
2. **Okno I @ 1,3 mm** - Nulová materiálová disperzia (pre čisté **SiO₂** pri $\lambda \approx 1,27 \mu\text{m}$)
 - .. 1980 – 200 Mbit/s
 - .. 1981 – jednovidové **OV**, 1,7 Gbit/s na km

Generácie OVKS

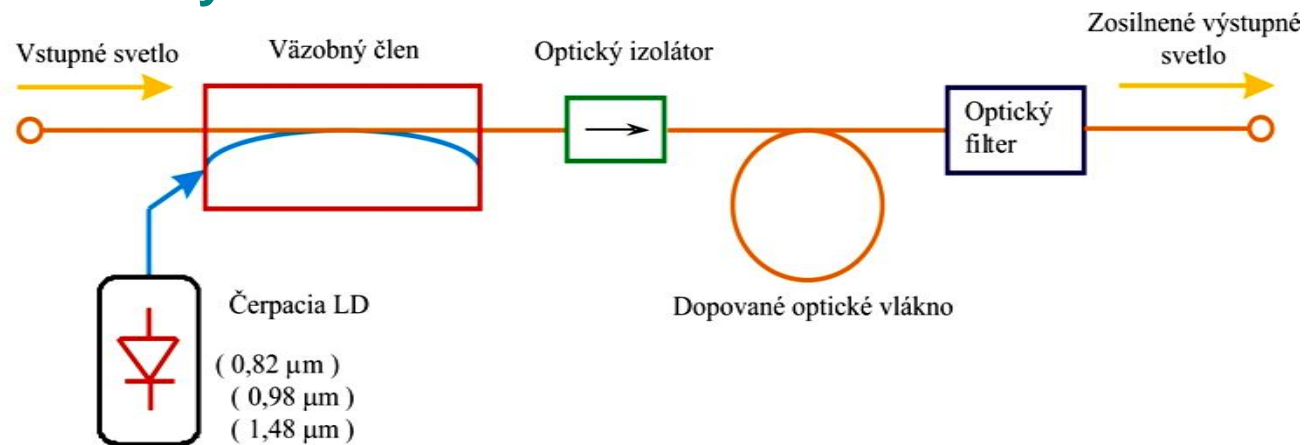
3. **Okno I @1,5 mm** - Najmenšie tlmenie (0,2 dB/km pri $\lambda=1,55 \mu\text{m}$)
 - .. 10 Gbit/s, na 100 km
 - .. **OV** s posunutou disperziou
DSF (Dispersion Shifted Fibers)
 - .. **OV** s plochou disperziou
DFF (Dispersion Flattened Fibers)
4. **Využitie veľkej prenosovej kapacity OV**
 - .. **WDM – Wavelength Division Multiplex**
 - .. **DWDM – Dense Wavelength Division Multiplex**
 - .. **OFDM – Optical Frequency Division Multiplex**
 - .. $\lambda \approx 1,5 \mu\text{m}$, **DSF**, **DFF**, **NZ-DSF** vlákna – 1 Tbit/s
 - .. **Hyper-WDM**, 640 Gbit/s, 640 km, 64 prenosových kanálov s kapacitou 10 Gbit/s
5. **Solitóny**
 - .. 20Gbit/s, 1000 km
 - .. **Optické vláknové zosilňovače EDFA (Erbium Dropped Fiber Amplifier)**

Spektrálna charakteristika tlmenia optického vlákna na báze SiO_2 

Spektrálna závislosť disperzie pre komerčné SMF a DSF, resp. DFF optické vlákna



Optický vláknový zosilňovač



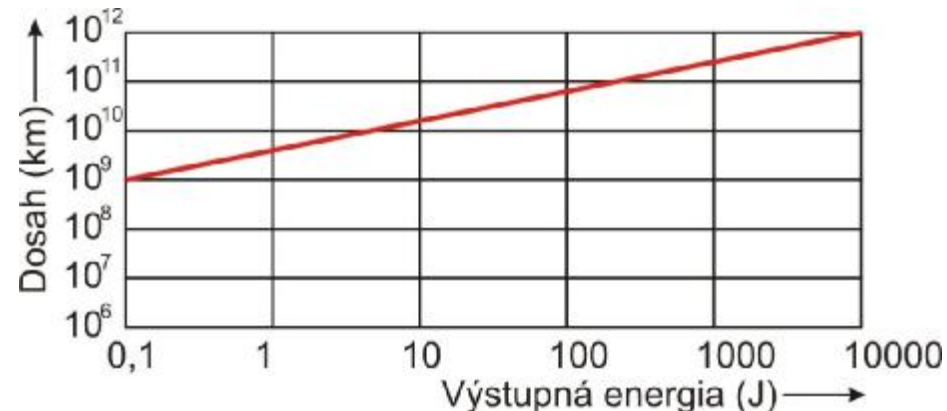
Optická komunikácia voľným prostredím

n FSO – Free Space Optics

n Spojenie medzi užívateľmi prostredníctvom voľného optického prostredia

- .. Zemská atmosféra
- .. Podmorské prostredie
- .. Prostredie medziplanetárne (kozmicke prostredie)

Dosah optického spoja vo vákuu



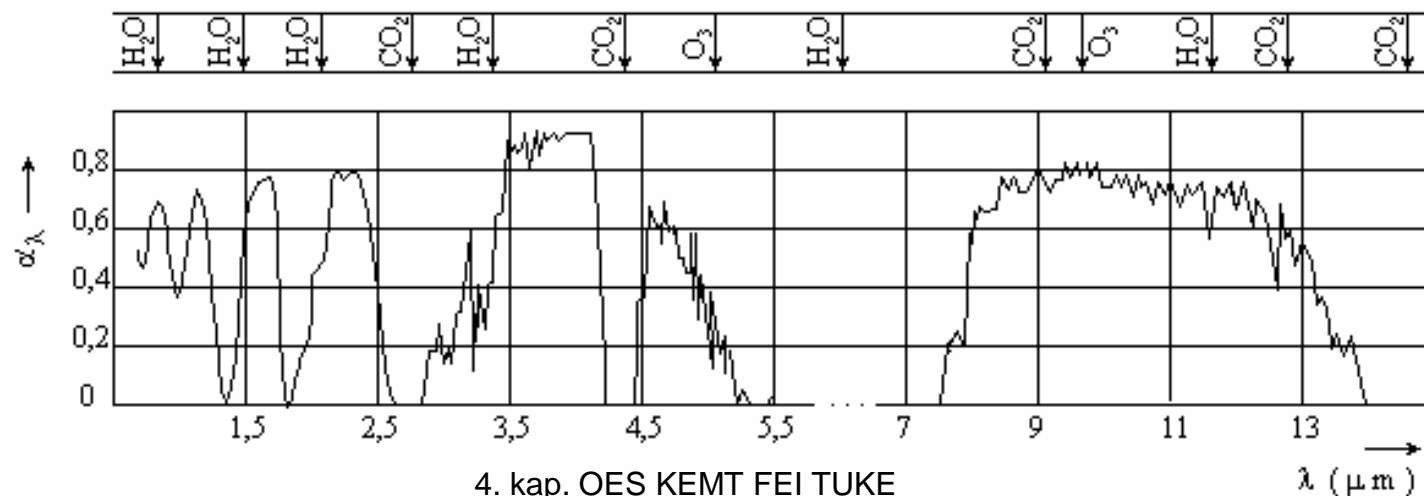
Tlmenie optického žiarenia

- Absorpcia molekulárna, nečistoty
- Rayleighov, Mieho rozptyl
- Optická turbulencia atmosféry

$$n \quad a_l = a_1 + a_2 + a_3$$

α_1 – molekulárna absorpcia, α_2 – rozptyl na časticiach
 α_3 – rozptyl v dôsledku turbulencie atmosféry

Tlmenie optického žiarenia vo vzduchu



Výhody FSO

- · Cenovo sú menej nákladné
- · Ťahanie káblov nie je potrebné
- · Nevyžaduje rozkopanie cesty, parkov
- · Rieky, železnice nie sú prekážkou
- · Vylúčenie rizika interferencie a odrazu signálov
- · Veľká šírka pásma
- · Prenosová rýchlosť do 2,5 Gbps a použitím WDM 1 – 40 Gbps
- · Možnosť spojenia izolovaných miest
- · Možnosť obojsmernej komunikácie

Nevýhody FSO

- · **Negatívny vplyv počasia** na prenos – hmla, dážď, sneh, opar
- · Dosah len niekoľko km, až 14 km
- · Účinnosť prenosu je závislá od **priamej viditeľnosti**
- · **Laserový lúč môže spôsobiť poškodenie ľudského zraku!**

Komunikačná jednotka

· Optický vysielateľ

- n Optický zdroj (laser, **LD**, matica **LD**, **VCSEL** alebo aj **LED**)
- n Optická vysielacia anténa

· Optický prijímač

- n Optická prijímacia anténa
- n Fotodetektor - **PIN** fotodióda, **APD**, fototranzistor, fotonásobič

n Prenosová rýchlosť v rozsahu

od 100 Mbps až do 2,5 Gbps

- **WDM** – až do 10 – 40 Gbps

FSO

- .. Dve stanice
- .. Duplexný prenos
- .. Tx – vysielací, Rx – prijímací systém
- .. Analógové, digitálne spoje
- .. Koherentná, nekoherentná metóda prenosu

FSO umiestnené v troposfére

- .. S intenzitnou moduláciou (**IM/On-Off keying - OOK**)
- .. S priamou detekciou (**DD – Direct Detection**)

Zapojenie FSO do komunikačnej siete



Rozdelenie FSO podľa dosahu

Dosah	Vzdialenosť staníc
Veľmi krátky	1 – 10 m
Krátky	10 – 100 m
Stredný	100 – 1000 m

Rozdelenie FSO podľa prenosovej rýchlosti

Typ	Prenosová rýchlosť
Malá	menšia ako 1 Mbit/s
Stredná	1 - 10 Mbit/s
Veľká	väčšia ako 10 Mbit/s

Vysielací systém FSO (Tx)

- Tvaruje vyžarovaný optický zväzok
- Zabezpečuje moduláciu

Hlavné časti

- n Modulátor
 - Optický priezor (Transmitter Optical Filter - TOF)
- n Budič optického zdroja
- n Laserová dióda (LD)
- n Zameriavací systém
- n Elektronický blok zameriavacieho systému
- n Vysielacia optická sústava
 - Transmitter Optical Antena - TOA
 - tzv. vysielacia optická anténa

Prijímací systém FSO (Rx)

- Prijíma optický zväzok
- Zabezpečuje demoduláciu

Hlavné časti

- n Prijímacia optická sústava
 - Receiver Optical Antena - ROA)
tzv. prijímacia optická anténa
- n Fotodióda
- n Predzosilňovač
- n Demodulátor
 - Optický priezor (Receiver Optical Filter - ROF)

Praktické aplikácie FSO

n Komunikácia v zemskej atmosfére

- .. **Okná**
 - n 0,5 – 1,1 μm
 - n 1,5 – 1,8 μm
 - n 2 – 2,5 μm
 - n 3 – 4 μm
 - n 8 – 14 μm
- .. **Rušivé vplyvy**
 - n Hmla, opar, nízke oblaky
 - n Znečistenie ovzdušia
 - n Vodné kvapky – dážď, sneh, krúpy
- .. **Vlastnosti ľudského zraku – bezpečný výkon optického žiarenia pre $\lambda = 1550 \text{ nm}$ až 50 krát väčší ako pre $\lambda = 800 \text{ nm}$**
- .. Kvalita optického prenosu – **BER = 10^{-9}** alebo menšia

Dosah FSO

Poveternostné podmienky	Ťlmenie [dB/km]	Dosah FSO
Hustá hmla	70 – 430	100 – 400 m
Stredná hmla	25 – 70	400 m – 1 km
Ľahká hmla	12 – 25	1 – 1,6 km
Opar	2 – 5,8	2,5 – 4,5 km
Jasno	0,2 – 0,8	7 – 14 km

Aplikácie FSO

- .. **Spoje medzi oddelenými budovami**
- .. **Prepojenie mobilných prenosových štúdií**
- .. **Satelitné spoje**
- .. **Prenosy v bezpečnostných CCTV okruhoch**
- .. **Komunikácia v prístupovej sieti**
- .. **Konfigurácia bod – multibod (MAN – metropolitná sieť)**

Výhody

- .. Nie je potrebné ťahanie káblov
- .. Rýchle nainštalovanie linky
- .. Priestorové rozmiestnenie je časovo menej nákladné oproti vláknovým, resp. medeným káblovým spojom
- .. Menšie náklady inštalácie systému
- .. Možnosť trvalého alebo prechodného používania linky
- .. Vysoká kvalita
- .. Vylúčenie rizika interferencie
- .. Vylúčená interferencia s rádiokomunikačnými systémami
- .. Prenosové rýchlosti až do 40 Gbps, dosah 2 až 4 km
- .. Cenovo efektívne riešenie