1. predavanje

**Jezgrena mreža - problemi:** Duljina voda i degradacija signala → rješenje: regeneracija signala Broj vodova → rješenje: multipleksiranje

Vrijeme propagacije → jedno rješenje: optički kabel umjesto satelitske veze

**Usporedba komutacijskih postupaka**: Komutacija kanala (circuit switching); komutacija paketa (packet switching) (O)PS; komutacija snopova (burst switching) (O)BS

**3R regeneracija:** 1R: Re-amplification (pojačanje signala)

2R: 1R + Re-shaping (1R + uobličavanje signala )

3R: 2R + Re-timing (2R + vremensko obnavljanje signala)

3R regeneracija u električkoj domeni, 2R regeneracija u optičkoj domeni

**Digitalni prijenos - električki:** PREDNOSTI: potpuna regeneracija signala (neograničen domet), kvaliteta prijenosa po volji; NEDOSTACI: veliko prigušenje, ograničena brzina prijenosa i elektronike

**Digitalni prijenos - optički:** PREDNOSTI: širok frekvencijski spektar, velik kapacitet, malo prigušenje i cijena po kanalu; NEDOSTACI: zasada samo 2R regeneracija signala - ograničen domet.

**Optički u odnosu na električke vodove**: - Nema preslušavanja. - Nema radijacije. - Imunost na statičku i radio interferenciju, EMP, ekstreme uvjete - Mala težina - Lakši za transport, instalaciju i održavanje. - Sigurnost i tajnost

**Pulsno kodna modulacija - PCM** - Pretvorba analognih signala u digitalne radi prijenosa, obrade ili pohranjivanja. - Uzorkovanje, kvantizacija po amplitudi (PAM - pulse amplitude modulation), digitalno kodiranje (PCM - pulse code modulation), (prijenos), dekodiranje (PAM) i rekonstrukcija signala. - Kvaliteta signala ne ovisi o prijenosu, već o krajnjim uređajima, ako je učestalost pogrešaka (BER) manja od granične vrijednosti

Postupak: signal-uzorkovanje-PAM-PCM-prijenos-regeneracija-dekodiranje(PAM)-rekonstrukcija-signal

**Ograničenja PDH**: Pritoci nisu direktno dostupni, asinkrono multipleksiranje

**Prednosti SDH**: Efikasno i fleksibilno umrežavanje, direktno sinkrono multipleksiranje, kompatibilnost s PDH

**Jednomodna nit**: jezgra 8 um, ovojnica 125 um

**Višemodna nit**: jezgra 50um, ovojnica 125 um

Indeks loma veći u jezgri nego u ovojnici – omogućuje vođenje svjetla na principu totalne refleksije

**Prigušenje:** 850 nm:prigušenje 2 dB/km 1310 nm: prigušenje 0,5 dB/km, 1550 nm: minimalno prigušenje 0,2 dB/km, maksimum prigušenja: oko 1400 nm (2 dB/km): apsorpcija molekula vode (water peak), Zero Water Peak (ZWP) niti nemaju vodeni vrh

**Višemodna disperzija**: Svaki se mod širi različitim putem u niti ovisno o upadnom kutu na ovojnicu niti. Ukoliko je indeks loma konstantan u jezgri, brzina širenja svih impulsa je ista, ali na odredište dolaze u različitim vremenima jer prevaljuju različite duljine putova.

**Kromatska disperzija** nastaje zbog ovisnosti indeksa loma o valnoj duljini - time i brzina širenja ovisi o valnoj duljini. Razlikuju se dva efekta raspršenja: materijalna i valovodna disperzija. Kromatska disperzija dolazi do izražaja kod jednomodnih niti.

**Disperzija polarizacijskih modova** može nastati u jednomodnoj niti. Ako je nit idealno okrugla oba polarizirana moda šire se istom brzinom.

**Staklo-GOF**: Višemodne ili jednomodne niti, 125µm promjer, malo prigušenje

**Plastika-POF**: Višemodne niti, 1mm promjer-> jednostavno povezivanje, veliko prigušenje, jeftin, kućne mreže, vozila, veliki promjer niti, moguće je ostvariti veliku razliku između indexa lomova omotača i jezgre

1. predavanje

Prednosti primjene **optičkih komunikacija u slobodnom prostoru (FSO**) u odnosu na sustave s radijskim prijenosom: širok frekvencijski pojas, uzak snop rasprostiranja (fokusiranje), elektromagnetska kompatibilnost, minimiziranje negativnih elektromagnetskih učinaka, zaštita od preslušavanja (interferencije)

Nedostatak primjene **optičkih komunikacija u slobodnom prostoru** u odnosu na optički prijenos svjetlovodnom niti: pouzdanost prijenosa ovisi prvenstveno o vremenskim prilikama, loše vremenske prilike ograničavaju domet

Kako se može **prevladati smanjena raspoloživost** optičkih prijenosnih sustava u slobodnom prostoru odnosno kako se **FSO linkovi mogu uključiti** u telekomunikacijsku mrežu?

Pomoću hibridnih sustava

Koja su **osnovna 3 tipa sustava optičkih komunikacija** u slobodnom prostoru?

**TIP1:** ograničen na udaljenosti do 1 km, odstupanja 8-60 mrad (nedostatak), niska cijena, standardne komponente, jednostavna instalacija, ne treba tracking

**TIP2:** udaljenosti od 2 do 4 km, odstupanja 2-6 mrad, za instalaciju potrebni precizni mehanizmi, odvojeno optičko/elektroničko-lakši upgrade brzine

**TIP3:** prijenos podataka preko 10km i više, vrlo precizni sustavi, koriste se u svemiru, osiguravaju dostupnost i pouzdanost-odstupanja <0.3 mrad, autotracking obavezan

Autotracking služi za pronalaženje prijemnika (valjda) ali i za održavanje veze tijekom prijenosa, dakle puše recimo vjetar i pomiče naš odašiljač, autotracking reagira i održava uređaje poravnatima.

Što sve uzrokuje **prigušenje optičkog signala u atmosferi**? 1) molekularna apsorpcija, 2) raspršenje na čestice, 3) atmosferne turbulencije

Koje se **modulacijske tehnike** najčešće koriste u optičkom prijenosu slobodnim prostorom?

PPM (ističu se L-PPm tehnike), prigodna modulacijska tehnika, OOK ,L-PAM i QAM-učinkovitost u višim pojasevima na račun snage.

Koje se **valne duljine i brzine prijenosa** koriste za optičke komunikacije u slobodnom prostoru? Valne duljine 850 i 1300 nm, a brzina je 2.5 Gbit/s, u budućnosti se predviđa do 10Gbps uz pomoć WDMA

Koji se **zaštitni kodovi koriste u optičkim** komunikacijama uslobodnom prostoru? - kodovi su Reed Solomon i Turbo Codes

**Osnovne značajke FSO**- optička tehnologija za komunikaciju koja koristi propagaciju svjetlosti za prijenos podataka

**Pouzdanost FSO** sustava- **POUZDANOST**(COST 270,SatNEx) (vjerojatnost da sustav radi ispravno tijekom perioda vremena pod definiranim vremenskim uvjetima) i **DOSTUPNOST** (vjerojatnost da sustav radi točno u vremenu t)

-ostvarivi pojas <300GHz

**prednosti**: širok pojas, fokusirajuća/uska zraka, elektromagnetska kompatibilnost, smanjenje ‘elektromagnetskog zagađenja’, zaštita od ‘wiretappinga’ (preslušavanja)

**nedostatci**: pouzdanost ovisi o lokalnom vremenu (a ne samo o električkim i optičkim komponentama mrežne infrastructure), loše vrijeme- slabljenje(attenuation)- ograničen domet

**Modulacijske tehnike**: **PPM** je prigodna modulacijska tehnika za FSO. **2-PPM** ima iste zahtjeve za snagu kao i OOK. **L-PPM** (multilevel)- dobra energetska učinkovitost. **L-level PPM**- viša učinkovitost snage na račun pojasa. **4-PPM-** zahtjeva 3.8dB manje optičke snage nego OOK, a **16-PPM** 7.5 dB manje od OOK(ali zahtjev za pojasom se udvostručava)

Uz prigodnu modulaciju, nude se 2 kanalna koda Reed Solomon i Turbo kod

**Principi i značajke** širenja FSO kroz atmosferu:

**Molekularna apsorpcija**- infracrveno područje, slabljenje

**Raspršene čestice**- molekule, aerosoli,magla, kiša, itd.

**Rayleigh raspršenje** 350km vidljivosti

**Mie raspršenje**- u vidljivom i UV području - slabljenje

**Atmosferske turbulencije**- scintillations, promjena indeksa loma (temperatura, tlak, vlaga), tople i hladne zračne mase, beam wander (random skretanje zrake), slabljenje,fading, beam spreading(povećana divergencija zrake), fading,-distorzija-fading,scinilacija (svjetlucanje?)

**Princip rada FSO**: podaci se pretvaraju u optičke pulseve (1,0), predajnik pažljivo poravnat (aligned) sa prijamnikom i signal se odašilje u zrak, optički signal se prima na prijamniku pomoću leća i ogledala, signal se konvertira natrag u vlakno ili bakar spojen na mrežu

**Tipovi magle** i karakteristike pojedinih tipova:

**Kontinentalna/gradska magla** (radiation fog)-promjer čestica ~4mikro m,-sadržaj tekuće vode (LWC) 0.01-0.1g/m3

**primorska magla** (advection (horizontalno kretanje zraka) fog) -LWC 0.2g/m^3, slabljenje je različito na različitim lokacijama,magla ima velik utjecaj (DSD,LWC)

**Primjeri primjene FSO** (Silex,OGS..satelitska komunikacija…)

1. i 5. predavanje

**WDM je tehnologija** koja se koristi u optici a odnosi se na prijenos više valnih duljina u jednoj niti. Glavna prednost je dramatično povećanje kapaciteta bez goleme investicije potrebne za postavljanje novih vlakana. Optička vlakna imaju potencijalno ogroman kapacitet (100 THz). Brzina jednog kanala ograničena je zbog elektronike na krajevima.

Do slajda 31 nije ništa objašnjeno, pogledati slajdove

**Optički filtri**: Uloga: odvojiti željeni kanal (valnu duljinu) - Raspon filtra mora biti dovoljno velik da prođe željeni kanal, a dovoljno malen da blokira susjedne kanale i izbjegne preklapanje (crosstalk)

Temeljni mehanizmi odabira valnih duljina: 1. optička interferencija ( superpozicija valova koji se susretnu u jednoj točki prostora ) 2. optička difrakcija( raspršenje svjetlosnog vala na prepreci ili prorezu )

Karakteristike:

Nominalna valna duljina: specificirana od strane proizvođača

Središnja valna duljina: ona u središtu između rubova propusnog pojasa

Vršna valna duljina: ona na kojoj je gubitak (prigušenje) najmanji

Širina pojasa: udaljenost između rubova; izražena za određenu razliku od vršne valne duljine

Poželjna svojstva: Široki raspon podešavanja, malo preklapanje, visoka brzina podešavanja, mali gubitak zbog umetanja, mala osjetljivost na polarizaciju, stabilnost prilikom promjena u okolini, niska cijena

**Podesivi filtri:** Fabry-Perot etalon; Mach-Zehnder chain (electro-optic effect, ...); Liquid-crystal (LC) Fabry-Perot

Karakteristike: 1. Raspon podešavanja (tuning range) Širi raspon -> više kanala

2. Brzina podešavanja (tuning time) - Vrijeme potrebno da filtar podesi na drugu valnu duljinu

**Etalon:** Sastoji se od šupljine formirane pomoću dva zrcala. Mijenjanjem razmaka među zrcalima može se podesiti da se jedna valna duljina propagira kroz šupljinu dok ostali destruktivno interferiraju - mehanički (Fabry-Perot filtar - duljinom šupljine upravlja se pomoću piezoelektričnog pretvornika, brzina podešavanja je mala). Postoje razna unapređenja: Mutipass filter – svjetlost propagira kroz šupljinu više puta; Multicavity filter – više filtara u kaskadi

**Fabry-Perot Filtar** - Oblik prijenosne funkcije filtra se ponavlja periodički s periodom FSR (Free Spectral Range), tj. frekvencije koje se pojavljuju na udaljenosti nFSR od odabrane frekvencije prolaze-FSR=∆vL =c/2ngL ; ng=grupni indeks materijala u šupljini; L=duljina šupljine

**Finesse** (F): mjera širine prijenosne funkcije definirana kao omjer FSR i brzine filtra F=∆vL/∆vFP=π(√R)/(1-R) R=reflektivnost zrcala .Ako je finesse visok, šiljci prijenosne funkcije su uži i više kanala stane u jedan FSR. Ako je finesse nizak, kanali moraju biti više razmaknuti kako bi smanjili preklapanje (crosstalk)

**FP filtri s tekućim kristalom** Kod LC FP filtra, šupljina FP filtra je puna tekućeg kristala. Indeks refrakcije LC-a modulira se pomoću električne struje kako bi se isfiltrirale nepoželjne valne duljine. FP filtri mogu se složiti u kaskadu kako bi poboljšali performanse

**Mach-Zehnder filtar** Prvi rasprežnik podijeli ulazni signal i šalje ih kroz dva valovoda a drugi rasprežnik ih ponovno spaja na izlazu. Podesivi element za kašnjenje kontrolira duljinu jednog valovoda kako bi se postigao pomak u fazi kad se signali ponovno spajaju -> valne duljine pomaknute u fazi za 180 se poništavanju

Prednosti: niska cijena jer je napravljeno od poluvodičkog materijala; nema PDLa (polarization dependent loss); minimalno preklapanje (crosstalk)

Nedostaci: Vrijeme podešavanja ~msec zbog termalnih elementa u elementu za kašnjenje

Nema Braggove rešetke

**Akusto-optički filtar** koriste interakciju akustičnih i optičkih valova. Veliki raspon podešavanja: 1.3 do 1.6 μm. Jaka i jedinstvena sposobnost odabira više kanala simultano puštanjem više RF valova kroz rešetku: 5 kanala s razmakom 2.2 nm. Nedostatak: visoko preklapanje (crosstalk)

**Elektro-optički filtar** Slično kao akusto-optički filtar ali koristi električnu struju kako bi mijenjali indeks refrakcije kristala. Vrijeme podešavanja ~ns, ali raspon podešavanja je mali ~16 nm (10 kanala

**Multipleksori i demultipleksori** Temeljni mehanizmi:

Interferencija–ogibna rešetka koja prostorno rasprši svjetlost u pojedine komponente Difrakcija–korištenjem optičkih filtara i rasprežnika

**(De)mux s Mach - Zehnderovim interferometrom** koristi fenomen optičke interferencije. Jedna grana MZI-a je duža od druge kako bi se unio pomak u fazi ovisan o valnoj duljini

(**De)mux pomoću Arrayed Waveguide Gratings (AWGs**) Ulazni WDM signal dijeli se rasprežnikom i više signala ulazi u skup valovoda različitih duljina. Signal u svakom valovodu ima drugačiji pomak u fazi zbog različitih duljina valovoda.

**Optički predajnici** Podjela: LED– dominantan mehanizam spontane emisije

LD (Laser Diode) – dominantan mehanizam stimulirane emisije

**Optički predajnici – laseri:** Karakteristike:

Laser linewidth - spektralna širina generiranog svjetla utječe na razmak kanala i nivo disperzije koji ograničavaju maksimalnu prijenosnu brzinu

Stabilnost frekvencije – nestabilnosti, tj. varijacije laserske frekvencije; npr. preskakanje modova, pomaci moda, cvrkutanje lasera

Broj longitudalnih modova – broj nepoželjnih longitudalnih modova koji stvaraju disperziju (nλ = 2L); cilj: samo jedan mod

**Podesivi laseri** Karakteristike: raspon podešavanja, vrijeme podešavanja, mogućnost podešavanja: kontinuiran ili diskretan

Tipovi lasera: Mehaničko podesivi, Akusto-optički ili elektro-optički, Laseri podešeni injekcijom struje

**Mehaničko podesivi laseri** koriste Fabry-Perotovu šupljinu spojena na laserski medij. Veliki raspon podešavanja, dobra frekvencijska stabilnost, vrijeme podešavanja je sporo, duljina šupljine može ograničiti prijenosnu brzinu

**Akusto-optičko (umjereno vrijeme i velik raspon) i elektro-optičko (brzo vrijeme, mali raspon) podesivi laseri** koriste vanjski podesivi filtar. Indeks refrakcije se mijenja pomoću akustičnih valova ili električne struje

**Laseri podešeni injekcijom struje** Distributed Feedback (DF) laser koristi ogibnu rešetku unutar laserskog medija. Distributed Bragg Reflector (DBR) koristi ogibnu rešetku izvan laserskog medija

U kojim slučajevima se umjesto **direktne primjenjuje vanjska modulacija** optičkog signala predajnika i zašto? Kod direktne modulacije mijenja se valna duljina pa se pojavljuje disperzija, a i prisutno je cvrkutanje. Kod vanjske modulacije pojavljuje se impuls bez cvrkutanja pa je pogodna za velike udaljenosti.

**Optički prijemnici - fotodetektori** Direktna detekcija (fotodetektor), koherentna detekcija (monokromatski laser kao lokalni oscilator)

**Optička pojačala** samo pojačavaju snagu signala (1R), totalna podatkovna transparentnost. Nedostatak toga je što pojačavaju šum zajedno sa signalom i unose ASE šum (Amplified Spontaneous Emission)- vrsta šuma koja nastaje kao posljedica spontane emisije fotona. Ograničenje optičkog pojačanja je nejednaki spektar pojačanja

**Poluvodička laserska pojačala** Postoje 2 temeljna tipa koja se razlikuju po reflektivnosti zrcala: 1. Fabry-Perot pojačalo - 30% refl.; visoka refleksivnost -> rezonanca -> uski passband (5Ghz) pa nije pogodan za WDM.

2. Traveling wave (TW) pojačalo – 0.01% refl., nema rezonance; bolji za WDM - Prednost: mogu se integrirati s drugim komponentama

**Erbijem dopirana optička pojačala** **EDFA** WDM podatkovni signal spaja se sa signalom iz laserske pumpe koji pobuđuje dopirane atome omogućujući podatkovnom signalu da stimulira pobuđene elektrone kako bi emitirali fotone -- Ograničenje optičkog pojačanja je nejednaki spektar pojačanja

Nema ovisnosti EDFA pojačanja o valnoj duljini i Ramanovih pojačala

**Optički prospojnici** 2 vrste prospojnika:

Relacijski uređaji – postavi relacije/odnose između ulaznih i izlaznih portova koji su funkcija upravljačkih signala neovisni o podatkovnom signalu. Podatkovni signal ne može mijenjati relacije. Transparentnost podataka – ne može razlučiti pojedine bitove -> gubitak fleksibilnosti Logički uređaji - Mora imati komponente koje mogu mijenjati stanje brže ili jednako brzo kao i prijenosna brzina signala; fleksibilnost ali ograničava maksimalnu brzinu prijenosa

**Zvjezdasti rasprežnik** - Spaja višestruke signale na ulazu i dijeli spojeni signal jednako na izlaze. Nema wavelength-selective elemente, tj. ne odvaja pojedine kanale. Broj ulaza ne mora biti jednak broju izlaza. Kompaktni monolitni rasprežnici - Radi dobro s višemodnim vlaknima; za jednomodna vlakna ograničeno na par vlakana

Nema optički Add/Drop Multipleksor

**Valni usmjeritelji** nepodesivi – nema usmjeravanja između demux i mux. Podesivi – finija usmjeravanja, može se upravljati elektronički

**Statički optički prospojnik ili valni usmjeritelj** - Sastoje se od stupnja demuxa koji dijele valne duljine na ulaznom vlaknu, te stupnja muxa koji spaja razne ulazne signale u jedan izlazni signal

**WGR ili AWG** - Statično (fiksno) usmjeravanje s ulaznog na izlazni port ovisno o valnoj duljini. Prednost: Integrirani i pasivan uređaj, jeftin. Nedostatak: Ima fiksnu matricu usmjeravanja koja se ne može rekonfigurirati

**Aktivni optički prospojnik** - Koristi fotoničke prospojnike. Više fleksibilnosti nego pasivni uređaj. Svi signali na istoj valnoj duljini usmjereni su u isti prospojnik nakon čega su usmjereni i multipleksirani na odgovarajući izlaz

**Valni pretvornici** Karakteristike: Brza uspostava izlazne valne duljine; Umjerena ulazna snaga; Mogućnost iste ulazne i izlazne valne duljine; Neosjetljivost na polarizaciju signala; Konverzija u dulje i kraće valne duljine; Nisko cvrkutanje izlaznog signala sa visokim extinction ratio i visokim SNR; Jednostavna implementacija

**Opto-elektronički valni pretvornici** - Kompleksno i troši puno snage. Sva informacija o fazi, frekvenciji i analognoj amplitudi se gubi u konverziji

**Sve-optički valni pretvornici temeljeni na koherentnim efektima** - Najčešće se temelje na nelinearnim efektima miješanja valova(4 vala). Sačuva informaciju o fazi i amplitudi -> potpuna transparentnost. Sve-optički valni pretvornici temeljeni na međufazne modulacije. Koriste aktivne poluvodičke optičke uređaje

**Valni pretvornik: Fazna modulacija u SLA na jednom kraku MZ interferometera** - Koriste se 2 SLA pojačala. Podatkovni signal propagiraju simultano kroz dva kraka MZ interferometra. Dodatni pomak u fazi se uvodi za svaki 1 bit u signalu

6. predavanje

**Broadcast & Select WDM mreže** - Sastoji se od pasivnog zvjezdastog rasprežnika na koje su dvosmjerno spojeni krajnji čvorovi

**Single-Hop B&S mreže** - Poruka dođe do odredišta bez OEO konverzije (u jednom skoku). Potrebno brzo podešavanje prijamnika u slučaju paketskog prometa . Glavni izazov: kako bi izbjegli kolizije ne treba brzo podešavanje prijamnika.

Prednosti: Jednostavnost, besplatno višeodredišno odašiljanje (multicast)

Ograničenja: Treba velik broj valnih duljina (onoliko koliko ima čvorova jer nema višestrukog korištenja istih valnih duljina ), ne može velike udaljenosti jer se transmisijska snaga dijeli na sve čvorove

Dalje treba slajdove pogledati

7. predavanje

**- Koja je kritična komponenta CWDM sustava u pogledu pouzdanosti i cijene?**

predajnici tj. laseri

**- Koliko valnih duljina ima standardni valni raster za CWDM?**

18 Valnih duljina

Standard: Metro CWDM; optički filtri i nehlađeni laseri; 20 nm razmak; 18 valnih duljina; 1270 -1610 nm

**- Koji brojevi kanala se standardno koriste u CWDM sustavima?**

4/8/12/16

**- Koliko se maksimalno dvosmjernih optičkih kanala po jednoj niti može realizirati u standardnom CWDM sustavu?**

8 kanala

**-U kojem se području valnih duljina realizira uzlazni  tok (upload) informacija u standardnom CWDM sustavu kao dijelu TDM PON sutava?** 1310 nm, uzlazno (upstream) 1310 nm; silazno (downstream) 1490 nm

**- Koja je prednost CDMA multipleksiranja u optičkoj domeni?** + svaki bit u nizu se kodira posebnim kodom za svaku vezu,+ prijemnik prepzonaje sve kodirane bitove i zanemaruje (filtrira) ostale signale

**- Koji su nedostaci CDMA multipleksiranja u optičkoj domeni?** - filtriranje nije idealno, ostatak snage neželjenih signala se dodaje korisnom signalu kaokomponenta šuma interferencije,- snaga šuma interferencije je proporcionalna broju korisnika koji su istovremeno aktivni,- ograničen broj kodnih riječi u optičkom ortogonalnom kodu zbog korelacijskih svojstava ,- složena kontrola stabilnosti koherencije kod koherentnih sustava koji dozvoljavaju veći broj kodnih riječi

**- Zašto je ograničen broj kodnih riječi u optičkom ortogonalnom kodu koji se primjenjuje kod CDMA sustava multipleksiranja?** Zbog korelacijskih svojstava

**-Koji prozori (valnih duljina) se koriste u standardnim CWDM -** 1270 **-**1610 nm, znači 2. i 3. prozor, ne znam jel se misli i na short, water peak i long?

**-cut off frekvencija za cwdm** - <1260nm (povećanje prigušenja) i >1610nm (povećanje prigušenja i odziv fotodetektora se smanjuje)

- **CDMA optičko multipleksiranje-**ne vrijedi da je potrebna sinkronizacija

**Razvoj CWDM tehnologije**

Pojednostavljena DWDM tehnologija - manji kapaciteti i cijena (CWDM), jednostavnija proizvodnja i šire tolerancije lasera, manje precizna temperaturna kontrola lasera, jednostavnije projektiranje, jeftiniji optički filtri, rijetko raspoređene valne duljine (200 - 400 GHz), prijenos bez pojačala, do 18 valnih kanala u području s malim gušenjem

**Optički pojasevi**

**O**–*original*(1260 -1360) (**2. prozor**)

**E**–*extended*(1360 -1460) **“waterpeak”**

**S**–*short*(1460 -1530)

**C**–*conventional*(1530 -1565) (**3. prozor**)

**L**–*long*(*band*) (1565 -1625)

**Fotoničke komponente za CWDM**: G.671 (prijenosni parametri i metode testiranja): Atenuatori; Rasprežnici; Konektori; Filtri; Izolatori; Rezovi (splices); Preklopke (switches); Kompenzatori disperzije DC; Multiplelseri i demultiplkseri; Optički dodaj/izuzmi multiplekseri OADM

**Svjetlovodne niti za CWDM** -Definirani parametri: Prigušenje; Gubici makrosavijanja; Gubici mikrosavijanja; Kromatska disperzija; Polarizacijska diperzija; Prekidna valna duljina; Nelinearni efekti

Još neke stvari

**Karakteristike svjetlovoda** možemo podjeliti na nelinearne i linearne. \*linearne spadaju:prigušenje(atenuacija), kromatska disperzija(CD), polarizacijski mod disperzije (PMD), optički odnos signal - šum. \*Nelinearne pojave na svjetlovodu su sljedeće:<vlastita modulacija faze(SPM – self – phase modulation ), križna modulacija faze(XPM – cross – phase modulation), mješanje 4 vala(FWM –four – wave mixing), Ramanovo raspršenje (SRS – stimulated Raman scattering), Brillouinovo(SBS -stimulated Brillouin scattering) i Kerrov efekt.

**Koje je svojstvo svjetlovodne niti**(optičkog vlakna)? Transparentnost u vidljivom i bliskom IC području, malo prigušenje i širok frekv.pojas 2)dobar izolator3)potpuna otpornost na elektromag.inter

**Disperzija** je linearni efekt, a zajedno s cvrkutanjem može dovesti do širenja ili sužavanja signala ovisno o tome kakav je koeficijent grupne disperzije (valjda se tak da prevest group-velocity dispersion parameter) ,

**disperzija** , raspršenje može biti kromatsko ili polarizirano, linearna je karakteristika svjetlovoda, ali i optike u otvorenom prostoru...kod vlakana je npr. nesavršenost materijala uzrok disprezije dok kod optike u prostoru uzrok su razne čestice/molekule -> "zrak"

1550nm ti se koristi jer je najmanje gušenje, a i EDFA ima najveću iskoristovost u tom pojasu (C i L band).

Na koji način **mikrosavijanje utječe na parametre** prijenosa svjetlovodne niti? Stavljanjem niti na neravnu podlogu nastaju zavoji i time se mijenja kut upada zrake i veći dio signala "curi" van stoga nema uvjeta za totalnu refleksiju.

Zašto se više **ne koristi optički prijenos u 1. prozoru**? Prigušenje je najveće u prvom optičkom prozoru (2-2.5 dB/km) stoga se koriste drugi i treći optički prozor.

Za koliko se **proširi optički impuls na kraju** svjetlovodne niti od 150 km, ako je kromatska disperzija D=14 ps/km/nm i spektralna širina laserskog izvora 0,1 nm. ? Ukupna disperzija= 14x150x0.1=210ps.

Na koji se način u proizvodnji svjetlovodnih niti postiže **svojstvo jednomodnog prijenosa** odnosno svojstvo koje **imaju niti s pomaknutom disperzijom** (DSF/NZDSF)? Preko promjera jezgre i manipulacijom disperzijom što se izvodi promjenom indeksa loma.

U kojim je slučajevima optičkog prijenosa **potrebno eliminirati frekvencijsko cvrkutanje** na optičkom predajniku? Kada generira povećanu disperziju (na velikim udaljenostima).

Zašto je ograničen broj optičkih pojačala **s erbijem dopiranom niti koji se može staviti u kaskadu** (niz pojačala na optičkom linku)? Pojačalo pojačava i signal i šum--> Svako pojačalo doda još svoj šum te je na kraju odnos signal-šum lošiji nego na ulazu.

Na koji način **efekt miješanja 4 vala (FWM) utječe na** prijenos optičkog signala? Od početna dva vala zbog nelinearnosti nastaju još dva. Kao posljedica nelinearne propagacije nastaje nelinearno izobličenje--> nastanak novih frekvencija što dovodi do gubitka snage.

U kojim se primjenama **koriste svjetlovodne niti tipa NZDSF**? Kod valnog multipleksiranja--> nema nulte disperzije i prag nelinearne disperzije je viši nego kod DSF.

Koliko iznosi ukupna **polarizacijska disperzija na svjetlovodnoj niti** duljine 200 km ako je faktor polarizacijske disperzije 0,1 ps/km 1/2 ? 0.1ps/(km^1/2) \*sqrt(200)=1.414 ps.

**Svojstva svjetlovodne niti**: - Malo prigušenje - Transparenost u vidljivom i bliskom infracrvenom pojasu - Veliki frekvancijski pojas - Imunost na EMI, RFI i - EMP - ne treba oklapanje - Otporan na koroziju, visoke temperature i termičke skokove; Lagana i malih dimenzija – jednostavnija instalacija

**Materijali za optičke niti**:1. Mogućnost proizvodnje tankog, dugačkog i fleksibilnog valovoda.2. Materijal treba biti proziran za određeno spektralno područje da bi se signal mogao efikasno širiti.3. Moraju biti na raspolaganju fizički kompatibilni materijali s različitim indeksima loma za jezgru i ovojnicu

**Generacije**: 1. generacija – 850 2. generacija - 1300 nm - (0,5 - 1 dB/km- 3. generacija - 1550 nm - (0,2- 0,3 dB/km), 4. generacija OA + WDM 5. generacija – Solitonski prijenos

**Multimodna silicijska nit** - Jednostavnija instalacija od jednomodne niti zbog velike jezgre (50-60 μm) - Mulitmodna disperzija ograničava kapacitet niti ali to ograničenje nije izraženo za kratke udaljenosti - Široka uporaba u brzim malim podatkovnim mrežama, kao što je GbE (Gigabit Ethernet)

**Jednomodno vlakno** kroz jezgru propušta jedan mod, odnosno svijetlost se širi jednim putem, otprilike kroz centar vlakna.

Kod jednosmjetnih lightpathova mozes na istom linku imati drugi lightpath sa istom valnom duljinom ali u suprotnom smjeru. Kod dvosmjernih, na istom linku nuzno mora biti druga valna duljina za drugi lightpath.

**Višemodno vlakno** svijetlost se širi u više modova, odnosno optičkih puteva. To je svijetlost iste valne duljine, razlika je u putu kojim se širi svijetlost, prvi mod odnosno put može biti pravocrtan, drugi pod kutem 1 stupanj u odnosu na centar, drugi ima upadni kut 45 stupnjeva u odnosu na prijelaz jezgra plašt, treći pod 15 stupnjeva itd. valna duljina određena izvorom, a optički put upadnim kutem zrake.Razlika nastaje u izvoru svijetlosti, kod jednomodnih vlakana to je laserski izvor (jako precizan i vrlo skup), a kod višemodnih LED dioda (jeftinija, ali svjetlost ne upada pravocrtno kao kod lasera).- broj modova ili puteva je ograničen - 160 max.,modovi su zapravo optički putevi, a svjetlost se širi totalnom refleksijom