**CWDM**

**- 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

**- 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

**-razmak između kanala kod CWDM-a** (20nm)

**raspoloživost/pouzdanost**

**-Metode zastite** se koriste za povecanje otpornosti mreze. Bazira se na izracunu rezervnog puta za svaki primarni put u mrezi prije nego se pojavi kvar u mrezi. Potrebni kapacitet dodaje se na kabele koji se koriste kao rezervni put. Kada se pojavi kvar promet se jednostavno preusmjeri na rezervni put bez dodatnog obradjivanja.

**- Što je pouzdanost sustava?** Pouzdanost sustava (reliability) R(t) je vjerojatnost da sustav radi ispravno u periodu vremena t pod definiranim uvjetima okoline.

**- Što je raspoloživost sustava?** Raspoloživost sustava (availability) A(t) je vjerojatnost da sustav radi ispravno u trenutku vremena t .

**- Što je sigurnost sustava?** Sigurnost sustava (security) S(t) je vjerojatnost da sustav radi ispravno ili uopće ne radi u periodu vremena t pod definiranim uvjetima okoline.

**- Što je s,t-raspoloživost komunikacijske mreže?** (source, termination – s,t-availability)

s,t-raspoloživost komunikacijske mreže je najmanja od svih raspoloživosti između svih parova čvorova u mreži. **Prosječna raspoloživost** komunikacijske mreže (av) je prosječna od svih raspoloživosti između svih parova čvorova.

**- Što karakterizira 1+1 zaštitu komunikacijskog puta?** 1+1 zaštita je oblik P&R tehnike za zaštitu koja ima predodređen rezervni kanal, istovremeno prenosi i po radnom i po zastitnom putu. Odrediste izabire bolji signal

**-Zašto raspoloživost?** - Gubitak usluge = gubitak prihoda; izravni i neizravni gubici, - Ispad sustava - nije katastrofalan događaj, - Mala raspoloživost → veliki gubici prometa , - Velika raspoloživost → mali gubici prometa, ali veliki troškovi razvoja, proizvodnje i redundantnih dijelova, - Optimalna raspoloživost → kompromis kvalitete i cijene

**-Raspoloživost je funkcija**: Intenziteta pogrešaka komponenata; srednje vrijeme popravka MTTR; Redundantne struktura; Scenarija zaštite/obnavljanja; Usmjeravanja puta > najkraći put ili optimalno usmjeravanje; Pridjeljivanja niti unutar kabela; Pridjeljivanja valnih duljina u niti; Zavisnosti kvarova; pridjeljivanje putova unutar čvora

**- Pretpostavke: stacionarna (asimptotska) raspoloživost**; Za svaku razinu mreže definira se model raspoloživosti; Računa se s,t-raspoloživost ili prosječna raspoloživost; Uvjetne vjerojatnosti procjenjuju se na temelju podataka iz stvarne mreže; Geografski razdvojeni putovi → potpuno nezavisni; Kvarovi na optičkim pojačalima na različitim nitima su nezavisni; Kvar fotoničke komponente u čvoru pogađa samo svjetlosni put koji prolazi tom komponentom.

**-Događaji (kvarovi**) **su nezavisni** ako između njih nema uvjetne vjerojatnosti.

**- Primjer totalne zavisnosti**: Ako je nit u kabelu pogođena kvarom može se pretpostaviti da su sve niti u kvaru.

**-Događaji a i b, su DISJUNKTNI** ako se ne mogu dogoditi istovremeno ili, drugačije rečeno, ako jedan događaj isključuje pojavu drugog.

**- Složeni događaji** koji predstavlja realizaciju dvaju putova u mreži á priori ne mogu biti međusobno disjunktni jer u opisu uspješnog puta nema komplementarnih varijabli.

**- Raspoloživost komunikacijske mreže,** - As,t - s,t–raspoloživost najčešća mjera: “raspoloživost komunikacijske mreže” (nelinearna mjera) , - Ai,j - i,j–raspoloživost raspoloživost para čvorova (i, j), - Aav- av–raspoloživost prosječna raspoloživost (linearna mjera), - Ak - k–raspoloživost vjerojatnost da je k čvorova u mreži povezano (ako je k=2 → s,t-raspoloživost), - Ag - g–raspoloživost vjerojatnost da je svih n čvorova povezano (k=n)

**- Metoda elementarnog puta**: Elementarni put je bilo koji skup mrežnih elemenata, koji povezuje zadane čvorove sa svojstvom da nijedan njegov pravi podskup nema isto svojstvo. Ako se pobroje svi elementarni putovi između čvora s i čvora t, onda je raspoloživost komunikacije između čvorova s i t jednaka vjerojatnosti da postoji barem jedan elementarni put koji povezuje s i t .

**- Monte Carlo simulacija,** - Vremena do kvara TTF (Times to failure) i vremena popravka TTR (times to repair) generiraju se za svaku komponentu mreže u skladu sa njihovim funkcijama gustoće vjerojatnosti., - Posljedice generiranog kvara ili popravka šire se na cijelu mrežu u skladu s modelom raspoloživosti (logički izrazi) i scenarijem zaštite/obnavljanja., - Ako je bilo koja instanca mreže pogođena zbog kvara/popravka, stanje instance se mijenja.

**- Podaci o kvarovima**: Pristup "odozdo prema gore"; Izvori podataka - S terena i iz testa preživljavanja, te Priručnici o pouzdanosti

**-Markovljev model raspoloživosti:,**Učestalost obnavljanja μ=1/ MTTR,Intenzitet kvarova

**-Učestalost kvarova FIT** (Failures in time) – 1 kvar na sati

**- P & R klasifikacija scenarija**:, - Prema vremenu uspostave rezervnog entiteta u odnosu na životni vijek usluge: Zaštita (protection); Obnavljanje (restoration), - Prema vremenu uspostave rezervnog entiteta u odnosu na trenutak kvara: Proaktivni scenarij; Reaktivni scenarij, - Predodređenost rezervnog transportnog entiteta u odnosu na radni entitet: Predodređeni rezervni entitet (dedicated); Dijeljeni rezervni entitet (shared), - Razina komutacijaske akcije: Put (s kraja na kraj); Link (span), - Usmjerenost: Dvosmjerno; Jednosmjerno, - Akcija nakon razrješenja kvara: “Povratak na primarni entitet”; “Novi entitet je primarni”

**-Zastita 1+1** - signal se istovremeno prenosi i po radnom i po zastitnom putu. Odrediste izabire bolji signal (npr. na osnovi odnosa signal/šum).

**-Zaštita 1:1** - zastitni kapacitet se moze koristiti za prijenos prometa nizeg prioriteta sve dok primarni put radi ispravno. Pri pojavi kvara izvorisni i odredisni cvor preusmjeravaju se na zastitni put te ga preuzimaju od prometa nižeg prioriteta. (znaci sad se tu prenosi put veceg prioriteta)

**-Zastita 1:N ili M:N** - omogucuje da zastitni put ili vise njih (M) zajednicki koriste visestruke radne puteve (N). Kriterij za zajednickim korištenjem rezervnih kapaciteta je najcese nezavisnost radnih puteva kako bi se izbjegle situacije da radni putevi koji koriste zajednicki zastitni put budu istovremeno u kvaru pri pojavi istog kvara.

**- p-ciklusi**: radni putovi mogu koristiti najkraće (valne) putove; rezervni kapaciteti se koriste za kreiranje predodređenih zaštitnih ciklusa >> p-ciklusi

**optičke prospojne tehnologije**

**- Pod kojim se uvjetima može koristiti E pojas optičkog prijenosa?**Ukoliko se koriste ZWP (zero water peak) niti, jer E pojas radi u "water peak" području

**- Zbog čega se ne koristi optički prijenos na valnim duljinama iznad 1610 nm?**Zbog velikog porasta prigušenja i zato jer odziv fotodetektora naglo opada

**- Kolika je uspješnost kompenzacije niti za kompenzaciju disperzije ako je njena disperzija DDCF= 80 ps/km×nm i prigušenje  a= 0,25 dB/km?**320 ps/(nm x dB),FOM = DDCF / a

**-MEMS** je spori optički komutator. Komutiraju signal u vremenu od nekoliko ms.,- Postoje dva osnovna principa implementacije MEMSkomutatora: 2D MEMS i 3D MEMS komutatori.,- Navedene tehnologije razlikuju se po načinu kako usmjeravaju svjetlost.,- 3D MEMS komutatori se preferiraju u slučaju velikog broja ulaznih i izlaznih vlakana, jer koriste manji broj zrcala nego 2D MEMS komutatori za identičan broj ulaza i izlaza., +Širok raspon valnih duljina (1290 – 1620 nm) ,-+Mali gubitak (insertion loss),-+Malo preslušavanje (crosstalk),+ Skalabilni

**-Blokirajuće arhitekture**:– Komutacijsko polje ne može prospojiti krajnje uređaje zato jer su svi spojni putevi zauzeti.,– Blokirajuća arhitektura dozvoljava ovakvu mogućnost.,– Pojava kod koje se događa sudar informacijskih elemenata unutar komutacijskog polja.,– U slučaju sudara dolazi do gubitka informacije (paketa, ćelije).

**-Ne-blokirajuće arhitekture,**– Dozvoljava svim stanicama vezu u istom trenutku (u parovima).,– Blokiranje se ne može dogoditi, a to je riješeno strukturom komutacijskog polje

**-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; 2. optička difrakcija - 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

**-Optički filtri**: **Osnovne karakteristike**:1. Raspon podešavanja (tuning range) Širi raspon -> više kanala - 2. Brzina podešavanja (tuning time) - Vrijeme potrebno da filtar podesi na drugu valnu duljinu

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

**-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- Finesse: - 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** - 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;

**-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 - Međutim raspon podešavanja je mali

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

**-Mehaničko podesivi laseri** - 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 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

**-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

**-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(podatkovni ulazni signal odreduje stanje uredaja tako da se neka Boolean funkcija izvrši nad ulazima) - 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

**-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

**RWA**

**-koji su inputi za rješavanje rwa problema** (fizička topologija i skup lightpathova)

**-Opceniti RWA problem:** Minimizirati broj valnih duljina,Minimizirati duljinu uspostavljenih putova/stabala uspjeravanja i dodjeljivanja valnih duljina,1.Usmjeravanje svjetlosnih putova nad fizickom topologijom, 2. Dodjeljivanje valne duljine putovima

**-Staticki zahtjevi (*Static Lightpath Demands*)** – skup zahtjeva poznat je *a priori,* a virtualna topologija (skup svjetlosnih putova) uspostavlja se ‘trajno’

**-Rasporedeni zahtjevi (*Scheduled Lightpath Demands*) –** unaprijed je poznat raspored uspostave i raskida svjetlosnih putova

**-Dinamicki zahtjevi (*Dynamic Lightpath Demands*) –** zahtjevi za svjetlosnim putovima pristižu dinamicki sa slucajnim vremenima trajanja konekcije

**-1. Koja su dva glavna ograničenja/zahtjeva u RWA problemu:**

1.Ogranicenje preklapanja valnih duljina: putovima koji koriste isti fizicki link ne smije se dodijeliti ista valna duljina, 2.Ogranicenje jedinstvenosti valnih duljina: ukoliko u mreži nema valnih pretvornika, cijelom putu mora biti dodijeljena ista valna duljina

**optičke komponente**

**- Kakva svojstva imaju ZWP optičke niti?** Općenito manje prigušenje, a i mogućnost korištenja u "water peak" području.

**- Koje laserske diode za CDM sustave imaju najpovoljniji odnos performanse i cijene?** tip - cijena - snaga - valna duljina - modulacija – primjena,Fabry Perot - mala - 3 - 850, 1310 - DM 2.5 Gbit/s – pristup,VCSEL - mala - 0 - 850, 1310, 1550 - DM do 10 Gbit/s – pristup,EA-EML - velika - 0 - 1310, 1550-1590 - EM 2.5-40 Gbit/s - regionalna metro

**-Uz kakav predznak disperzije se može u optičkoj niti kompenzirati cvrkutanje laserske diode na predajniku?,**Negativan predznak

**-elementi koji emitiraju svjetlost** - led dioda (široki spektar) i laserska dioda (LD, uski spektar)

**- Optički filtri**: Rešetkasta tehnologija (grating); Valovodna polja; Filtri s tankim filmom

**PITANJA/ODGOVORI**

**-brzina FSO:** 10 Mbit/s - 1.25 Gbit/s i 2.5 Gbit/s - 10 Gbit/s

**-valne duljine u FSO** - 850nm i 1550nm

**-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--> uzrokuje samofaznu modulaciju ,nastanak novih frekvencija što dovodi do gubitka snage.

**-Disperzija** je linearni efekt, a zajedno s cvrkutanjem može dovesti do širenja ili sužavanja signala**,** nesavršenost materijala uzrok disprezije dok kod optike u prostoru uzrok su razne čestice/molekule -> "zrak"

**-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. dolazi do izražaja kod jednomodnih niti.

**-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.

**-Polarizacijska disperzija-** niti nisu idealno okrugle te okomito polarizirani modovi prevaljuju različite putove odnosno efektivno jedan polarizacijski mod se širi brže od drugog. Na prijamnoj strani dolazi zbog toga do raspršenja impulsa.

**-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.

**-4. prednosti/mane vanjske/direktne modulacije:** a.Direktna modulacija –zbog same fizike diode nemožemo dobiti točno isti optički signal kao optički. Već se javi mali rog, chirp tj cvrkutanje lasera,izaziva promjenu valne duljine, disperzija, smanjenje brzine prijenosa,preklapanja impulsa. ,b.Vanjska modulacija – veća udaljenost, veće brzine prijenosa. Kod nje imamo kontinuirani val, nemamo chirpa,nema disperzijom, pa se koristi za veće udaljenosti i brzine prijenosa. imamo 2 komponente, pa je skuplje nego jedna komponenta.

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.

**-negativne strane EDFA pojačala** (akumulacija šuma, kromatska disperzija, smanjenje širine optičkog pojasa (nejednoliko pojačanje))-

-**koji su detektori svjetla od navedenih** (lavinska i pin)

**-objasniti wdm:** tehnologija u optici odnosi se na prijenos više valnih duljina u jednoj niti , Glavna prednost: dramaticno povecanje kapaciteta bez goleme investicije potrebne za postavljanje novih vlakana., Više podatkovnih signala (koji svaki odgovara brzini krajnjeg korisnika) moduliraju signal na razlicitim valnim duljinama (svaki laser emitira svjetlost na drugoj valnoj duljini) 2. Dobiveni signali se spajaju (multipleksiraju) i zajedno prenose optickim vlaknom 3. Na predajnoj strani se signali ponovno odvajaju, a svaki predajnik selektivno izvuce odgovarajuci signal korištenjem podesivih optickih filtera

**-Arhitekture WDM mreže (u LAN)**

**-B&S Broadcast & Select WDM mrež**e - 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 višetrukog korištenja istih valnih duljina )

- Ne može velike udaljenosti jer se transmisijska snaga dijeli na sve čvorove

**-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.

**-Niti:** SMF - Standardna jednomodna nit (sa skokovitim indeksom loma) nulta disperzija na 1310nm,DSF - Nit s pomaknutom disperzijom: nulta disperzija kod 1550 nm,NZDSF - Nit s rezidualnom pomaknutom disperzijom - Koristimo u WDM-u, jer se zbog nelineranog praga povecava gusenje kad imamo nultu disperziju, pa iako zelimo imati nultu disperziju zbog njezinih negativnih efekata ona nam ovdje pomaze

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

**-CDMA:** - Kodiranje u vremenskoj domeni: Svaki bit trajanja T transformira se u sekvencu od Q kraćih impulsa (chips), svaki trajanja T / Q; Kodirani signal modulira se intenzitetno (nekoherentni sustav) ili fazno (koherentni sustav); Procesiranje elektroničko ili sveoptičko. , - Kodiranje u frekvencijskoj domeni: Spektar svakog bita modificira se frekvencijskim skokom; Elektroničko procesiranje , - Kodiranje u domeni optičkog spektra: Optičko procesiranje

**-Switch Fabric karakteristike:,**veličina matrice, proširivost, brzina preklapanja, (<50ms SDH), uneseno prigušenje, osjetljivost polarizacije

**STARO GRADIVO:**

**-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

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

**-nedostatak primjene optičkih komunikacija u slobodnom prostoru u odnosu na optički prijenos svjetlovodnom nit**i? - osnovni nedostatak je u tome što pouzdanost prijenosa ovisi prvenstveno o vremenskim prilikama, loše vremenske prilike ograničvaju domet

**-kako se FSO linkovi mogu uključiti u telekomunikacijsku** mrežu?- pomoću hibridnih sustava

**-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

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

**-zaštitni kodovi koriste u optičkim** komunikacijama u slobodnom prostoru? - Reed Solomon i Turbo Codes

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

**prednosti**:-širok pojas, fokusirajuća/uska zraka, elektromagnetska kombatibilnost, 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)

**-principi** **širenja FSO kroz atmosferu**: **Molekularna apsorpcije** ,-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**:kontinentalna/gradska magla, -primorska magla

**-Svojstva svjetlovodne niti**: Transparentnost u vidljivom i bliskom IC području, malo prigušenje i širok frekv.pojas 2)dobar izolator3)potpuna otpornost na elektromag.inter - Imunost na EMI, RFI i - EMP - ne treba oklapanje

**-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.

**-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.

**-svojstvo jednomodnog prijenosa** ,**imaju niti s pomaknutom disperzijom** (DSF/NZDSF)? Preko promjera jezgre i manipulacijom disperzijom što se izvodi promjenom indeksa loma.

**-potrebno eliminirati frekvencijsko cvrkutanje**? Kada generira povećanu disperziju (na velikim udaljenostima).

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

**-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- 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; brzine PDH: 2,8,34,140 Mbit/s, SDH: 155 Mbit/s, 620 Mbit/s, 2.5 Gbit/s, 10 Gbit/s

**-Prigušenje:** - 1310 nm: prigušenje 0,5 dB/km - 1550 nm: minimalno prigušenje 0,2 dB/km - Maksimum prigušenja: oko 1400 nm: apsorpcija molekula vode (water peak)

**-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

**ZADACI:**

**Sig.val.dulj.1550nm,izl.sng.1mW,prek.vl.dulj.5km,nak.to.pro.8x8.pass.st.coup.nak.još.15km.do.prij.pojač.n.dozv.kol.je.izl.sn.na.prij?,,,X(dB)=,P(L)-snag.nak.L.km,a.X.uku.priguš.koj.će.bit.negt.jer:P(L)<P(0km),,,Pr–osjet.prijem,,N–br.izl.port.pass.stara(8),P(L)=P(krajni.dio)=P(L1)\*P(zvijezda)**

**16x16.pass.st.coup.Svak.comb,coup.i.split.uzrk.prigš.3.dB.Svak.kor(pred,prij).je.10km.udljn.od. pass.st.coup,s.prigš.sig.od.0.2dB/km.svi.prij.detek.min.sng.0.01mW,kolko.je.min.sng.pred?uku.prigš=2\*10km\*0,2dB/km=4dB,sig.prlz.prek.6.komp(3.u.8x8).dod.prigš.6\*3=18.dB,uku=22dB,**

**Opt.pojč.ulz.u.zasić.pri.vel.raz.izl.sng.Izl.sng.zasić.EDFA.je.20mW,pojč.5dB/mW.sng.izl.pump.5mW.Ko.najv.izn.ulz.sng.koj.mož.bit.pojč.bez.pojč.u.zasić?G=Pojč\*P(izl.pump)=5dB/mW\*5mW=25dB,P(ulz)+GP(izl)**

**Ukl.žel.post.sus.s.16.val.dulj,sv.prij.brz.1Gbit/s,odr.odg.frekv.rasp,-šir.spek,BWT-frekv.poj.u.koj.se.mož.ostv.konek,modlc.efik.2Hz/bit/s,prens.B.Gbit/s,brz.svak.kanl.je.2B.Ghz,razm.međ.kanl.je.bar.6.put.već.od.prens.brz.kanala,prens.W.val.kanl.potrb.je.W-1.razm, B=2\*1Gbit/s=2GHz,W=16,**

**Pod.pretp.da.rasp.pred.1450–1600nm,rasp.prij.1500–1650nm,kol.kanl.brz.1Gbit/s.mož.prnti.unut.sustava?=1500-1600nm=100nm,B[GHz], [kanala],**

**Rasp.pred.1550-1560nm,rasp.prij.1555-1570nm.Želj.brz.po.kanl.1.Gbit/s,razm.međ.kanl.10.put.već.od.prens.brz.kanl.mini.preslš.Nađ.max.br.kanl.ko.je.mogć.uspst.u.sust,,zaokr.na.manji.br**

**Raspoloživost: Rp = MTBF/(MTBF + MTTR),MTBF – Mean time between failures, MTTR – Mean time to recover,SERIJA: Rs = R1 x R2 ,PARALELA: Rp = R1(1 - R2) + R2(1 - R1) + R1R2**

**1.CIKLUS**

**Razm.šir.frekv.spek.3val.proz.(1.200-1.400.,1.450-1.650,1.530–1.560nm).Izr.frekv.poj.za.sv.od.ov.podr..,šir.frekv.poj.i.šir.val.proz:..,a)**

**Zad.je.višmod.svjetlvod.vlakn.ind.lom.jezg.od.1.429.te.relat.prom.ind.lom.od.0.92%..radi.se.o.vlak.sa.skok.ind.lom.te.kor.NRZ.kod.Ako.dulj.vlak.1500km.odr.max.brzi.pren.za.zad.vlak.,L[m],-Kapac.vlak.sa.skok.ind.lom.za.NRZ.kod.ogrnča.multmod.disp.,ind.lom.ovojnice.,relat.raz.u.indeksu.loma,.**

**Opt.kom.lin.80km.rad.2.opt.proz.(λ=1300nm).Kor.se.opt.kabl.dulj.5km.ukojima.se.nal.vlak.koef.guš.od.0.4dB/km.Pretp.da.su.gub.na.spoj.opt.vlak.0.05dB.predaj.i.prijam.su.spoj.na.opt.vlak.konekt.na.gubc.0.75dB.izl.snag.predaj.0.782.mW.odr.potrb.osjetlj.prijam.R=6dB*\*.,.(*PRX*–primlj.snag.na.prijam,*PTX*–izl.snag.na.pred,*LTX*–gub.na.pred.(konekt),*LRX*–gub.na.prijam.,*LP*–gub.na.put,*LTX*=*LRX.*=.0.75.dB;.*R.=.*6.dB*.*Gub.na.vlak.*LP:*.,*Lsplice*–uku.gub.na.fiks.spoj,*Lfiber*–gub.na.vlak.uzrok.guš.,Dulj.80.km,.kabl.5km=16.kabl.fiks=>.spoj=15,*Lsplice*=15x0.05dB=0.75dB,.=.0.4.\*.80,.α–koef.priguš.vlak,*l–*dulj*.vlak*.,izl.snag.pred.u.dB,,snag.na.ulaz.u.prijem.u.mW:.Osjetlji.prijam.treb.bit.manj.od.73.82\*10-3W.**

**Ako.zad.izl.snag.pred.PTX=3dBm,osjetlji.prijam.PRX=-43dBm,rez.sust.od.6dB,uku.gub.na.spoj.i.konekt.L=2dB,koef.prig.vlak.α=0.65dB/km,odr.najv.udalj.na.koj.zad.sust.mož.ispr.rad.,.**

**Vaš.zad.projekt./ispit.opt.link.dulj.100km.,kabl5km,2.opt.proz(1310nm),a2=0.38dB/km,gub.na.kon.Ltx2=Lrx2=0.6dB,gub.na.fiz.spoj.Lsplices2=0.1dB,.po.spoj,3.opt.proz.(1550nm),a2=0.22dB/km,gub.na.kon.Ltx3=Lrx3=0.35dB,gub.na.fiz.spoj.Lsplice30.05dB.po.spoj.Opt.proz.na.pol.linka(50km).kor.se.regen.koji.daj.sign.ident.onom.na.predaj.Izlaz.snag.predaj.je.3dBm,osjetljiv.prijem.je5W.R=3dB.jel.rad.za.oba.proz?=:2.opt.proz.:α2=0.38dB/km,LTX2=LRX2=0.6dB,Lsplice2=0.1dB,l2=50km(regen.na.pol.put),3.opt.proz:α3=0.22.dB/km,LTX3=LRX3=0.35.dB,Lsplice3=0.05dB,l3=100km,za.oba.opt.prozora:.,PTX=3dBm,PRX=5μW,R=3dB,,,.2.opt.proz:,,,,sust.rad.ispr(razi.snag.na.prijam.veća.od.njeg.osjetlj),3..opt.proz:,sust.ne.rad.ispr.**

**Razm.dva.mog.sluč.poveć.kapac.opt.link.:1.poveć.broj.opt.vlak.2..WDM.Kapac.poveć.s.2.5Gbit/s.na.10Gbit/s.dakl.4put.troš.opt.vlak.100$/m,pred.iprij.1000$,WDM-mux-demux.10000$(kapac.1.opt.vlak.je.2.5Gbit/s.Izr.dulj.opt.lin.za.koj.bi.upot.WDM.sust.post.isplat.neg.rješ.s.više.opt.vlak.,1)treb.nam.još.tri.sust=3vlak,3pred,3prijem,2)wdm-mux-demux,3pred.i.3prijam=>**