

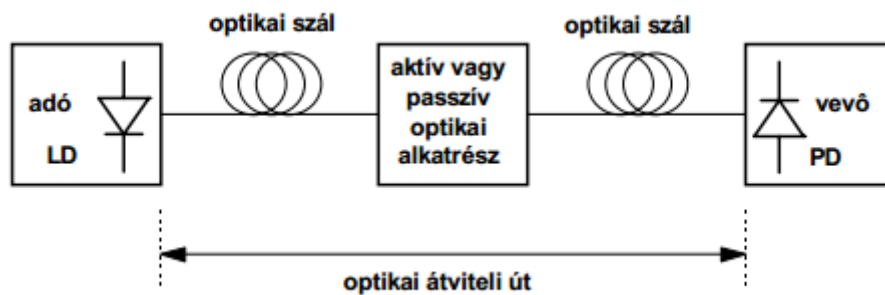
Lézeres optikai adatátvitel

Bevezető

Az optikai távközlésben az elektromos jelet LED-ek és lézerek alakítják át fényimpulzusokká. A LED-ek és lézerek nagy családján belül ezek az eszközök sok speciális követelményt kell, hogy kielégítsenek ahhoz, hogy az üvegszálhoz a legmegfelelőbb módon csatlakoztassák a fényimpulzusokat. Az eszközökkel szembeni elvárásokat fokozta a WDM (Wavelength Division Multiplexing), hullámhossz multiplex rendszerek megjelenése amelynek eredményeként egy optikai szálon akár több száz 40Gbit/s-os rendszer üzemelhet. A különböző hullámhosszú jelforrásokkal szembe egyre szigorúbb követelményeket támasztottak. A fényforrások jeleinek spektruma egyre keskenyebbé vált, és az üvegszál nemlineáris tulajdonságaira is tekintettel kellett lenni. Az is igényként merült fel, hogy a fényforrások jelét szoftveresen át lehessen hangolni egyik hullámhosszról a másikra. Jelen tanulmányban összefoglalom, hogy milyen különleges tulajdonságokkal kell rendelkezni az optikai szál meghajtására alkalmas LED-eknek és lézereknek, ahhoz, hogy a távközlés követelményeinek megfeleljenek. Az elmélet rövid tisztázása után a jel előállítás problémakörére szorítkoztam és nem vizsgáltam az ezzel kapcsolatos követelmények (hő és időbeli stabilitás, torzítás, linearitás, diszperzió, reflexió stb) teljesíthetőségét.

1. Távközlési összeköttetés

Egy optikai összeköttetés optikai adóból, fényvezető szálból és optikai vevőből áll.



1. 1. ábra optikai összeköttetés vázlata

Az optikai adó az elektromos jelet alakítja át fénné. Az optikai szál az átviteli közeg. A vevő a torzult optikai jelet alakítja vissza elektromos jellé. Jelen tanulmányban a vevővel és az optikai szál tulajdonságaival nem foglalkozom csak az adóval szembeni követelménnyel foglalkozom.

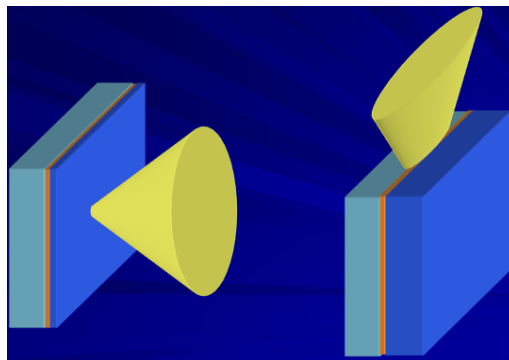
A távközlésben a fényt az optikai szál vezeti az egyik végponttól a másikig. Az optikai szálnak a csillapítása hullámhossz függő. Van egy minimuma, 800nanométertől 1600 nanométerig kedvező az átviteli tulajdonsága. Az optikai jeladókat és detektorokat erre a hullámhossz tartományra készítik. Az optikai szál csillapítás menetét figyelembe véve a 850 nanométeres,

az 1300 nanométeres és az 1550 nanométeres hullámhosszak körül kevésbé változik a csillapítás görbe meredeksége ezért ezt a fenti három „ablakot” szokták használni a távközlési berendezések számára. Ezen ablakok között az üvegben lévő OH gyökök csillapítás növekedést idéznek elő. Az új típusú optikai szálaknál ahol az OH gyökök csillapítás növelő hatását sikerült kiküszöbölni ott lehetőség van a teljes (800-1600nm) tartomány felhasználására távközlési célra.

A távközlésben a LED-el vagy lézerrel állítják elő a szál meghajtásához szükséges optikai jelet.

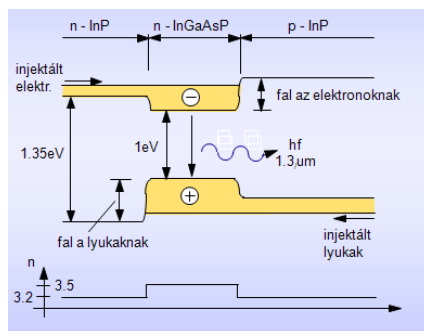
2.LED adók

Optikai szál meghajtására a LED-nek két típuság használják. Egyik a felületsugárzó LED a másik az élsugárzó LED. A felületsugárzó LED-ek chipjének a struktúrája hasonlít a kereskedelemben kapható LED-ekéhez. Az élsugárzó LED-ek nagyobb teljesítményt tudnak leadni, és a fény nyaláb koncentráltabban jelentkezik, könnyebb fókuszálása. A kibocsájtott fény jelet egy lencse fókuszálja és csatolja az optikai szálhoz. Gyakran az optikai szál egy darabját is ráhegesztik a LED-re. Ezáltal precíz körülmények között pozícionálják a szálvéget a fényforráshoz.



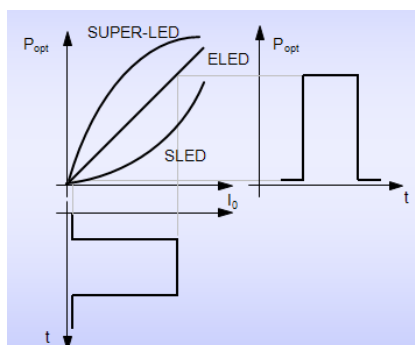
2.2. Felületsugárzó és élsugárzó LED sematikus ábrája

Pozitív nyitóirányú előfeszítés hatására szabad elektronok és lyukak (elektron hiány) keletkeznek. A lyukat és az elektronok ellentétes irányba haladnak a félvezetőben. A potenciál gátnak ütközve az elektronok elvesztik energiájukat és fényt bocsátanak ki. A távközlési célokra leginkább a heteroátmenetes LED-eket használják. A heteroátmenetes LED felépítését láthatjuk az 1.2. ábrán.



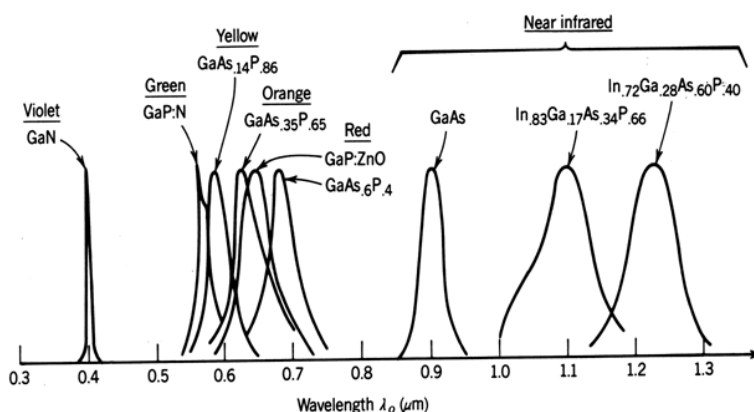
2. 3. ábra Heteroátmenetes LED működése

Az optikai távközlésben a LED-et elektromos impulzusokkal vezéreljük és fényimpulzusokat bocsátanak ki. Ahhoz, hogy az átalakítás torzítás mentes módon menjen végbe, az kell, hogy a transzfer karakterisztika egyenes legyen. Az analóg jelátalakításnál a torzítás számottevő. Digitális jeleknél a torzítás kézben tartható. A különböző technológiájú LED-ek transzfer karakterisztikáját mutatja az alábbi 1.3. ábra. Az SLED a felületsugárzó LED, az ELED az élsugárzó LED és a SUPER LED a heteroátmenetű LED ahol nagy az emisszió sűrűség.



2. 4. LED -ek transzfer karakterisztikája

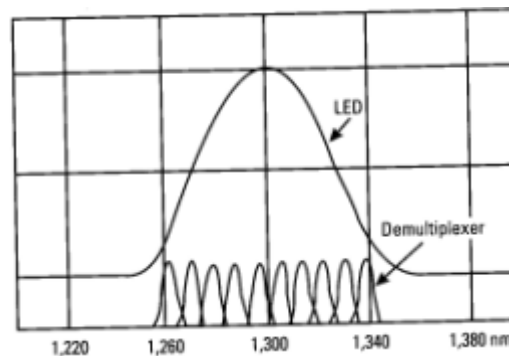
A LED-ek által kibocsátott fény hullámhossza függ az anyagtól, átfogja a látható és a láthatatlan fénytartományt. A távközlési LED-ek a nem látható tartományba működnek, a hullámhosszuk a 850nm-es és az 1350nm-es tartományba esik.



2. 5. ábra Különböző anyagú LED-ek sugárzási karakterisztikái

A távközlésben távolsági összeköttetések céljára monomódusú optikai szálakat használnak. A fenti ábrából látható, hogy vannak olyan anyagok amelyeknek a sugárzási tartománya egyezik az üvegszál távközlésre használt ablakaival. (850nm, 1300nm,) Az 1550nm –es üvegszál ablakban ritkán alkalmaznak LED meghajtást. A LED olcsó és megbízható jelforrás. Nem kell hőstabilizálni mert a paraméterei csak kismértékben hőfüggőek és kevésbé öregsznek. A félvezetőben nem olyan nagy az energia sűrűség mint a lézer esetében, szobahőmérsékleten üzemelnek. A LED-ek fénye nem monokromatikus, széttartó amit lencserendszerrel lehet fókuszálni de a fotonok párhuzamosságát nagyon nehéz biztosítani. A távközlésben a LED-eknek meg van a felhasználási területe, kis távolságú összeköttetésekben a multimódusú szálak meghajtására használják.

A 2.5. ábrán egy 1600 nm –en sugárzó LED spektruma látható. A kibocsájtott optikai jel viszonylag széles hullámhossz tartományt foglal magába. E miatt a LED hullámhossz multiplex rendszerek fényforrásaként közvetlenül nem használható. Hullámhossz multiplex rendszerek fényforrásaként csak úgy használható ha a kibocsájtott jel spektrumból szűrőkkel kiválasztjuk az a hullámhosszúságú jelet amit az adott esetben fel kívánunk használni. Ugyanebből a forrásból egy másik szűrővel egy másik hullámhosszúságú jelet is kiválaszthatunk. A jelet erősíteni kell, és az egyes jelek nagysága is változik a hullámhossz függvényében amit korrigálni kell.



2.6. ábra LED jel felbontása hullámhossz multiplex rendszerekhez

Összegzés

Az optikai jel előállítására egyszerű és olcsó eszköz a LED. Szoba hőmérsékleten stabil jelforrás, nem kell sem hűteni sem különösebben stabilizálni. Az 1550nm-es tartományba nem használatosak. A LED-ek szélesebb spektrumú nem monokromatikus optikai jelet állítanak elő. Ezen tulajdonságuk következtében alkalmasak adatátvitelre, rövidebb (nx10km) szakaszok meghajtására. Kiválóan felhasználhatók multimódusú üvegszál vagy műanyag szálhoz. Gépiparban informatikában igen nagy a felhasználási területe, a nagytávolságú összeköttetésekben kevésbé használják. Itt a lézer optikai adó az elterjedt.

3. A lézer működés alapjai

A LASER betűszó az angol „Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” kifejezés első betűiből állt össze.

A monomódusú szálak meghajtására a lézer fényforrás jobb optikai tulajdonságokkal rendelkezik mint a LED. A lézer kromatikus fényt bocsát ki, kicsi a sávzélessége és a fotonok között nincs fázisugrás.¹ A monomódusú optikai szálak átviteli paramétereit figyelembe véve távközlési célra a 850nm-es 1300nm-es és 1550nm-es hullámhosszúságú optikai jelet állítanak elő félvezető lézerekkel. Az optikai távközlésben félvezető lézereket használnak a technológiához való illeszkedés miatt.

A gyakorlatban használatos félvezető lézerek két csoportba sorolhatók. Az egyik csoportba tartoznak az élsugárzó lézerek, a másik csoportba a felület sugárzó lézerek.

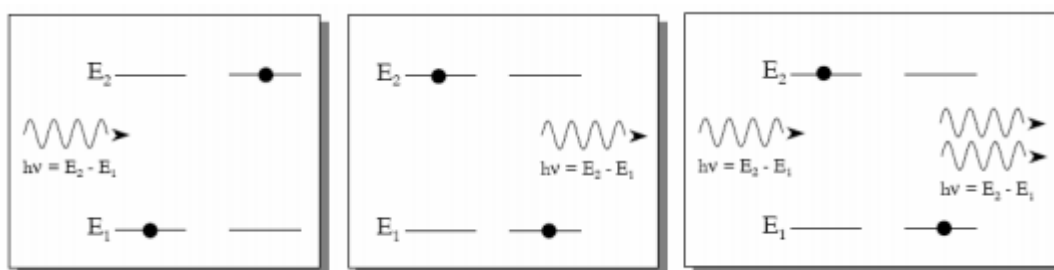
A lézer működésének egyszerűsített modellje az alábbiakban foglalható össze:

– Bármilyen atomi rendszer csak diszkrét, meghatározott energiaértékekkel rendelkezhet.

A környezettel való kölcsönhatás során csak adott, diszkrét energiát tud a környezetéből gerjesztés hatására felvenni (abszorpció), illetve leadni (emisszió). Az elektromágneses energia becsatolása az atomi rendszerbe, illetve kivétele ezért az elektronállapotok közötti átmenetekkel kapcsolatos.

– Minden gerjesztett atomi rendszer valamely átmeneti idő (néhány nanosec, illetve microsec) után visszatér eredeti állapotába, s az energiakülönbséget foton (fény) formájában kisugározza. Ez az átmenet megtörténhet magától (spontán) módon, vagy külső foton hatására (kényszerített sugárzás formájában). Ez utóbbi esetben az emittált foton minden jellemzője (energia, polarizáció, frekvencia, stb...) megegyezik a kényszerítő foton ugyanilyen paraméterével. Így közel koherens fény állítódik elő. Ezt a jelenséget stimulált emisszióknak nevezzük.

Az abszorpció, emisszió és kényszerített emisszió folyamatait az 1.1 ábrán mutatjuk be.



3.1 ábra gerjesztés, emisszió, indukált emisszió

¹ BME Udvary: Optikai hálózatok alapjai

A lézerek, mint elektromágneses sugárzás forrásai, a diszkrét atomi nívók közötti átmenetek sajátosságait hasznosítják.

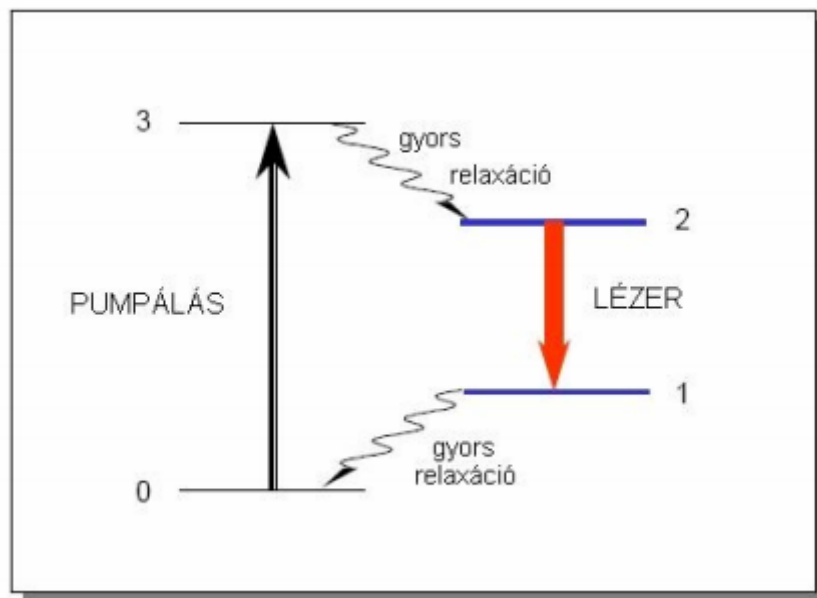
A különböző alap- és gerjesztett állapotok közötti eloszlást a feketetest sugárzás törései adják meg, s a legegyszerűbb, ún. kétnívós rendszer esetén a betöltöttség (N)

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-\frac{h\nu}{kT}} \quad \nu = \frac{E_2 - E_1}{h} \quad (1)$$

ν – a frekvencia, h – a Planck állandó, k – a Boltzmann állandó, T – az abszolút hőmérséklet

A lézer működéséhez spontán teljesülni kell az ún. populáció inverzió feltételének ($N_2 > N_1$), ami kétnívós esetben nem, de 3 vagy többnívós esetben megvalósítható.

A 3.2. ábrán a 4 nívós populációs esetet szemléltetjük



3. 2. ábra A lézer működés elve

A működés egyik feltétele az, hogy 3-as gerjesztett állapot élettartama (ns) sokkal kisebb legyen, mint az ún. metastabil 2-es állapoté ($\sim \mu s$). Ez két anyag keverékénél könnyen megvalósítható (pl. He–Ne, Nd:YAG). Az 1–3 átmenetek során történik meg a gerjesztés (pumpálás). A gerjesztés történhet hővel, nagyfrekvenciás pumpálással és egyenáramú előfeszítéssel. A távközlési lézereknél ezen utóbbi pumpálási mód a leggyakoribb.

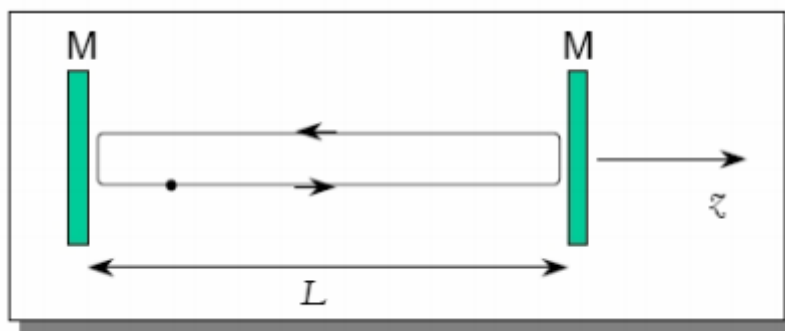
Az elektronok a 3. állapotból viszonylag gyorsan a 2-es metastabil állapotba kerülnek, s kis részük az 1-es alapállapotba jut. A metastabil állapot magas élettartama miatt

bekövetkezhet a populáció inverzió (azaz $N_2 > N_1$), s spontán foton hatására ($h\nu = E_2 - E_1$) megtörténik a lézer átmenet.

– Normál esetekben egy fizikai rendszerben a gerjesztett állapotok fajlagos sűrűsége mindig kisebb, mint az alapállapotoké, azonban bizonyos eljárásokkal ez megfordítható, s létrehozható a lézerműködéshez okvetlenül szükséges ún. populáció-inverzió állapot, amely az erősítés alapfeltétele.

– A lézeraktív közeget rezonátorba helyezve, szelektáljuk a lehetséges módusokat, s biztosítjuk a többszöri átfutás lehetőségét a fotonok számára.

A folyamatot úgy valósíthatjuk meg ha a lézeraktív közeget gerjesztett állapotba hozzuk és tükrök közé (rezonátor) helyezzük (3.3. ábra) A tükrök távolsága a hullámhossz egész számú többszöröse.



3.3. ábra A lézer rezonátor működése

$$\Delta\nu = \frac{c}{2L}$$

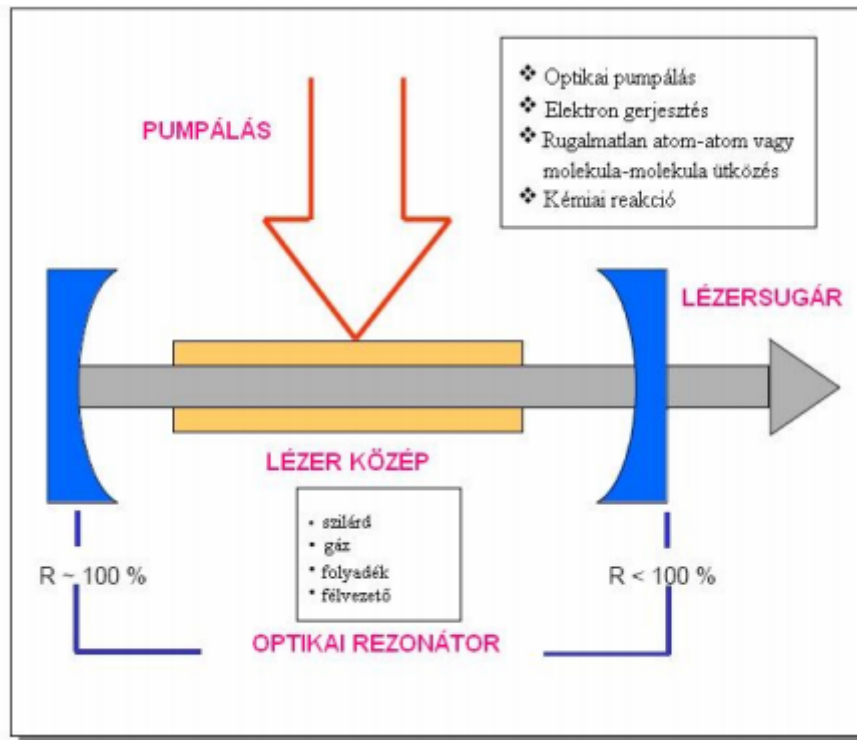
L – a tükrök távolsága, c – fénysebesség

(2)

A baloldali tükör 100%-ban visszaveri a fénysugarakat, a jobb oldali tükör szintén visszaveri, de egy kis mértékben át is engedi a fényt. Itt történik a lézer jel kicsatolása. Külső energia bevitellel gerjesztett atomokat hozunk létre. A gerjesztés hatására bizonyos atomok fotonokat bocsátanak ki. A fotonok ütköznek a gerjesztett atomokhoz és ennek következtében megtörténik a lézer átmenet. Az indukáló fotonnal azonos tulajdonságú, azonos hullámhosszú, irányú, és azonos fázisú, foton bocsájt ki. Ezt a foton azonban akisebb energia állapotban lévő atomok el is nyelhetik. A lézer beindulásához arra van szükség, hogy a nagyobb energia állapotú atomok száma nagyobb legyen mint a kisebb energia állapotúaké. Azt a hullámhossz tartományt ahol a fény kibocsátás mértéke nagyobb mint a fény elnyelése a lézer erősítés sávjának nevezzük. A gerjesztés hatására a fotonok minden irányba haladnak. Azok amelyek a tükrökre merőlegesen haladnak többször is áthaladnak a rezonátoron. Nagyobb a valószínűsége annak, hogy újabb gerjesztett

atomokkal ütköznek és újabb fotonokat bocsátanak ki. A rezonátorba egy lavina effektus alakulhat ki. Ha a rezonátorban a lézer fény előállítás legalább akkora, mint amennyit a jobb oldali tükrök kicsatol a rezonátorból, akkor tartós lézer jel jön létre. A módusok frekvenciája a tükrök távolságának a függvénye.

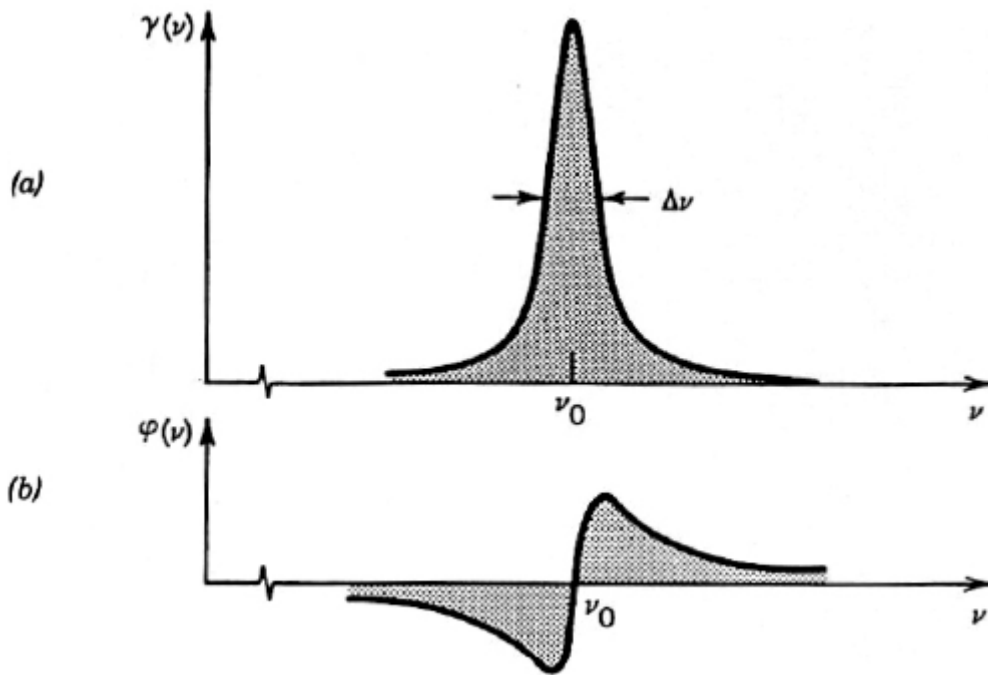
A lézer általános működése az alábbi 3.4. ábrán foglalható össze



3.4.ábra A lézer működés modellje

Az energia bevitel a rendszerbe optikai a pumpálással,elektromos energia bevitellel történik. Ennek hatására az atomok gerjesztett állapotba kerülnek. Egy részük emisszióval fényt bocsát ki a másik részük a becsapódó foton hatására indukált emisszióval lézer jelet állít elő. A gerjesztett atomok lehetnek szilárd halmazállapotúak, folyadékok, gázok, és félvezetők. A távközlésben fényjel előállítására a félvezető lézereket alkalmaznak és elektromos gerjesztéssel hozzák létre a lézer effektust..

A stimulált emisszióra képes anyag erősítőként viselkedik és az erősítési tényezője hullámhossz függő. Az erősítési tényezőnek egy adott hullámhosszon maximuma van. A hullámhossz abszolút értéke és az erősítés nagysága a lézer működésre képes anyagtól függ. Az erősítés nagysága fázisfüggő és a maximum értéknél a fázis nulla. Ha a lézer szabályzáshoz fáziszárt hurkot hozunk létre akkor ezzel a maximális lézer jel előállítást stabilizálhatjuk. Az üregrezonátornak a hossza a hullámhossz egész számú többszöröse kell, hogy legyen mert ha nem akkor nem teljesül az oszcilláció feltétele. A lézer jel erősítés és fázis menetét szemlélteti a 3.5. ábra



3. 5. ábra a lézer erősítési tényezője (a) és fázistolása (b)

A lézerek működésének osztályozása

A lézerek működését nagyon sok szempont szerint lehet csoportosítani.

Működési mód szerint lehetnek:

CW – continuous wave, azaz állandóan sugárzó lézerek. A lézer fényt folyamatosan állítják elő.

IPM – impulzus lézer, azaz a fényt rövidebb-hosszabb csomagokban (impulzusokban) bocsátja ki. Az egyes impulzusok hossza (időbeli) az 1 ms-tól a néhány attosec. (10^{-18} sec) –ig terjed.

Hullámhossz

Az ismert lézerek hullámhossza a $\lambda = 10 \text{ nm} - 500 \text{ }\mu\text{m}$ (azaz 0,01 eV – 100 eV) tartományba esik.

Írányítottság

A jó rezonátorok eredményeként a lézerfény párhuzamos nyalábbbban távozik a rendszerből. A gyakorlatban használt lézereknél a szögeltérés $\approx 1 \text{ milirad} - 1 \text{ }\mu\text{rad}$

Koherencia fok (a fázistartó képességére utal).

A koherencia idő (amíg a lézer fény fázisa kevesebbet fordul, mint 180°). $\Delta\tau = 1/\Delta\nu$ ahol $\sim \Delta\nu \sim 1 \text{ MHz}$ és $\Delta\nu \sim 1 \mu\text{s}$ értékű.

Koherencia hossz (ekkora távolságon belül hologram képes a lézer) $\Delta Z = c\Delta\tau$ gyakorlatban ez az érték $\approx 300 \text{ m}$

Spektrális fényesség (egységnyi szteradiánban egységnyi frekvenciaintervallumban kisugárzott fényteljesítmény) (β) tipikusan Nd:üveg lézer, $\beta = 10 \text{ 8W/cm}^2 \text{ sr Hz}$.

A Nap esetében ez az érték $\beta = 10\text{--}12 \text{ W/cm}^2 \text{ sr Hz}$.

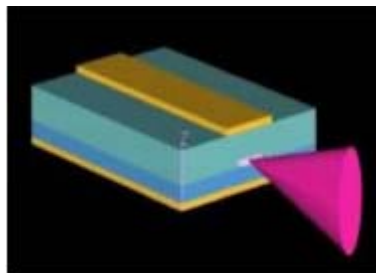
Monokromatikusság: (egyszínűség) $\Delta\nu \approx 1 \text{ MHz} - 1 \text{ GHz}$,²

Összegzés

Vannak olyan anyagok amelyek gerjesztett állapotukban indukált emisszióra képesek. Vagyis a beérkező fotonnal azonos tulajdonságú két másik fotont bocsátanak ki. A lézeraktív anyagot üregrezonátorba helyezve fény ide-oda verődése következtében egyre több azonos paraméterű foton keletkezik. A rendszerbe energiát kell bevinni, hogy az atomok folyamatosan gerjesztett állapotba kerüljenek. Ha a rezonátorból annyi lézersugarat csatolunk ki mint amennyi a rezonátorba keletkezik akkor egy állandósult állapot jön létre. A lézersugárnak a paraméterei sok felhasználást tesznek lehetővé.

4. Élsugárzó lézerek

Az élsugárzó lézer sematikus ábrája a 4.1 ábrán látható:



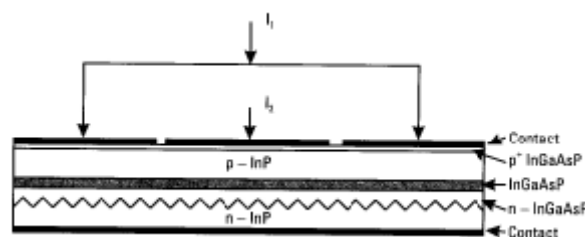
4.1. ábra Él sugárzó lézer

A fény a félvezetőben vízszintesen halad. Az indukált emisszió a középső vízszintes félvezető rétegben alakul ki. A félvezető lapka két végén vannak a tükrök amelyek az emissziós fényt visszaverik. A bal oldali tükrön teljes a fényvisszaverődés, a jobb oldalin 99%-os a reflexió, itt történik a fény kicsatolása. Vízszintes irányba sok atom vesz részt az indukált emisszió létrehozásában. Kellően nagy teljesítményű lézert lehet előállítani. A teljesítményt többek között a lapka méreteivel is lehet szabályozni.

² Nánai László
LÉZEREK ÉS (KATONAI) ALKALMAZÁSAIK

A gyakorlatban a GaAlAs-GaAs kettős heteroszerkezetű félvezető lézer a legelterjedtebb. Egy nagyon vékony GaAs aktív réteget mindkét oldalról GaAlAs határol. Az egyik típusa „n”, a másiké „p”. A lézersugárzáshoz a vékony GaAs rétegbe töltéseket kell injektálni. Ezt úgy érik el, hogy a vékony réteg két oldalán elhelyezkedő átmenetekre nyitóirányú feszültséget kapcsolnak. Ekkor létrejön az inverz populáció. A rétegnek azért kell vékonynak lennie, hogy alacsony áramsűrűség mellett is létrejöjjön az inverz populáció. Mivel két különböző anyagot használnak, ezért természetesen mindkettőnek más és más a törésmutatója. A GaAs törésmutatója majdnem hat százalékkal nagyobb, mint a GaAlAs-é. Ezáltal a fény a vékony GaAs rétegben koncentrálódik, és egyfajta dobozban tartja a keletkezett energia egy részét. De ennek a doboznak még csak teteje és alja van, megfelelő konstrukcióval oldalak is létrehozhatók. Ekkor a működési áram is csökken, emiatt az aktív réteg hőmérséklete is csökken és így, vagy a kimenő optikai teljesítményt lehet növelni, vagy az élettartamot. Ugyanis az élettartam a hőmérséklet növelésével rohamosan csökken, egyben a nagyobb élettartam nagyobb megbízhatóságot is eredményez. A túl kis méretek hőelvezetési problémát okoz, ezért az aktív réteg, vagyis a rezonátorhossz korlátozott.

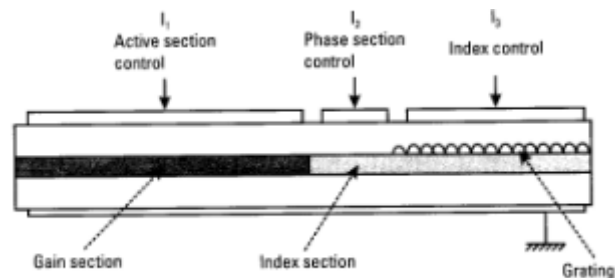
Heteroszerkezet megvalósításakor az aktív réteget négy oldalról félvezető anyaggal vesszük körül, a további falak (eleje és hátulja) az anyag véges hosszúsága miatt lesznek határolva. A GaAlAs határoló oldalakat úgy kell kialakítani, hogy azok a fényt befelé, az aktív tartományba törjék. Ezzel egy kb. 2mm széles és kb. 20mm hosszú rezonátor alakul ki. Így válik lehetővé, hogy egymódusú lézerdiódát is lehet készíteni. Sajnos az erősítéssprofil hőmérsékletfüggő, így a hullámhossz változhat. Jó minőségű (spektrálisan vizsgálva a melléknyalábok szintje kicsi) egymódusú lézerhez úgy jutunk, hogy a rezonátort egy ráccsal helyettesítjük. Ha ennek a rácsnak a periódusa a keletkező fény periódusának egész számú többszöröse, akkor csak egy módus jön létre (a rácsnak egyfajta optikai szűrő szerepe van). Ennek neve DFB lézer (distributed feedback laser), vagyis elosztott visszacsatolású lézer. A 4.2. ábra közepén van lézeraktív réteg. A hangolhatóság véget két oldalt kiterjesztették a fényvezetőt. A külső részen olyan anyag van amely külső feszültség hatására változtatja a törésmutatóját.



4.2 ábra DFB lézer struktúrája

A fenti lézer struktúrájának a hátránya az, hogy nagyon szigorú technológiai előírásokat kell betartani. Ennek következtében gyártásnál sok a selejt. Magától értetődik az az ötlet, hogy a rácsot ne lézerforrás alatt hanem a lézerforrás mellett helyezték el. Ezeket a lézereket DBR (Distributed Bragg Reflector) lézereknek hívják. A berendezésekben előszeretettel alkalmazzák ezeket a típusokat. A 4.3. ábra bal oldalán van az aktív réteg amely a lézer jelet

előállítja és a jobb oldalán van a rács amellyel a hullámhosszat lehet szabályozni. A középső részen egy fázis szabályzó részt is beillesztettek. A DBR lézereknél jól elkülönül a két funkció és ezek precízen gyárthatók.



4.3. ábra DBR lézer felépítése

A hullámhossz multiplex rendszerekben való alkalmazásnál elengedhetetlen követelmény a lézer hangolhatósága. A hangolásra több módszer ismeretes.

Mechanikus hangolás:

A félvezető lézer rezonátorában egy Farly-Perot üreget hoznak létre amelynek az a tulajdonsága, hogy feszültség hatására a mechanikai méretei változnak. Az üreg méreteinek a változása következtében külső feszültséggel változtatható a lézer hullámhossza

Elektro-optikai hangolás:

A lézer aktív zónájához egy külső üreget csatolnak. Ebbe az üregbe olyan anyag van amely elektromos tér hatására megváltoztatja a törésmutatóját. A törésmutató változás következtében változtatható a lézer hullámhossza.

Akusztikus-optikai hangolás:

Az üreget olyan anyagból képezik ki amely mágneses tér hatására megváltoztatja a méreteit. Ezáltal árammal hangolhatóvá válik a lézer.

Elektrosztatikus hangolás:

Olyan injektáló anyagot hozunk létre amely külső feszültség hatására képes megváltoztatni a törésmutatóját. A törésmutató változás hullámhossz változást eredményez.

Hőmérséklettel történő hangolás:

A lézer hullámhossza függ az injektáló anyag hőmérsékletétől. Ezen kellemetlen jelenséggel szemben hőstabilizátort alkalmaznak. Ha a hőmérsékletet változtatjuk de ügyelünk arra, hogy az adott értéket stabilan tartsuk akkor tulajdonképpen a lézer hullámhosszát tudjuk változtatni.

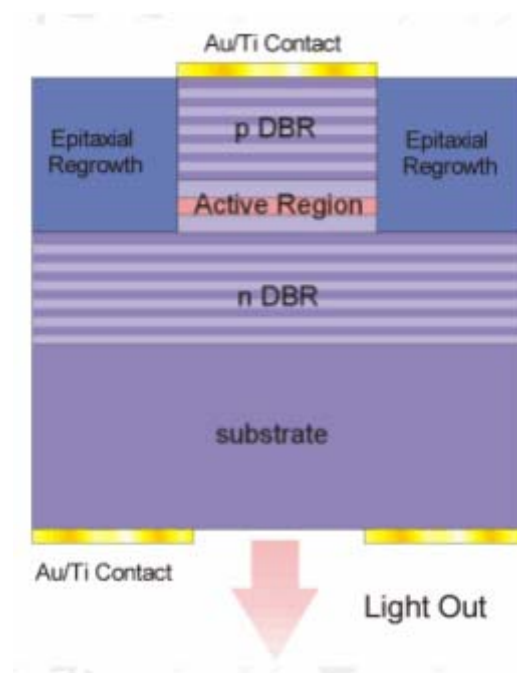
Összegzés

Az élsugárzó lézereket a távközlésben igen sok helyen alkalmazzák azért mert kellően keskeny felharmonikusoktól mentes stabil lézer jelet állítanak elő. Kiforrott gyártástechnológia eredményeként jöttek létre. Megoldották a hangolhatóságukat a hullámhossz multiplex rendszerek számára. A DFB (Distributed Feedback Laser) elosztott visszacsatolású lézereket azokban a digitális rendszerekben alkalmazzák előszeretettel ahol a stabil működés a cél de időnként szabályzó hangolásra szükség van. A DBR (Distributed Bragg Reflector) lézereket inkább a hullámhossz multiplex rendszerekben használják a könnyebb hangolhatóság és stabilabb hullámhossz tartás miatt. A lézerek hangolhatósága egyre inkább elengedhetetlen követelmény a lézer gyártók számára. Erre sok módszert kidolgoztak.

5. Felületsugárzó lézerek

Ezeket az angol szavak kezdőbetűiből Vertical Cavity Surface Emitting Laser (függőleges üregű felületsugárzó lézer) a szakirodalomban röviden VCSEL-nek nevezik.

A felületsugárzó lézerek metszete az alábbi 5.1. áran látható.



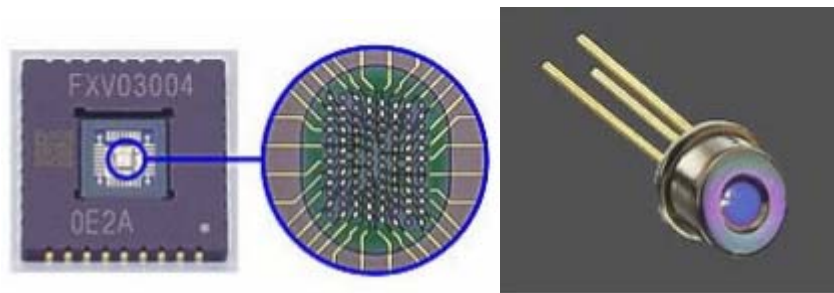
5.1.Felületsugárzó lézerek kialakítása

A felületsugárzó lézerben a fény a középső aktív félvezető lézerben függőlegesen halad. Csak annyi atom vehet részt a lézer effektusban amennyi ezen a távolságon belül elfér. Ezért a lézer emisszió mértékét a távolság erősen korlátozza.

Az aktív réteget epitaxiális növesztéssel hozzák létre. A réteg vastagsága meghatározza a hullámhosszat. A gyakorlatban ez a távolság tipikusan 1-3 mikron nagyságrendbe esik. Ilyen kis távolságon viszont csak kis indukált emisszió az-az kis lézer erősítés jöhet létre. Nagyon

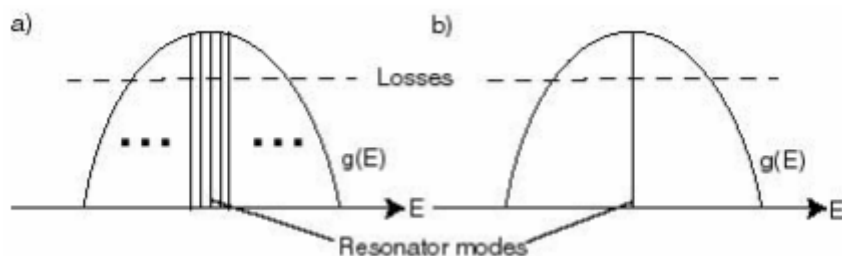
jó reflexióra van szükség. (99,9%) Ezt a hagyományos lézereknél megszokott fém tükrökkel nem lehet elérni. A szükséges reflexiót csak többrétegű tükrörendszerrel lehet biztosítani. A félvezető technológiából jól ismert epitaxiális növesztéssel 20-30 tükröt növesztenek. Ezeknek a rétegeknek különböző a törésmutatója, azonos a rácsállandója, a vastagsága a negyed hullámhosszal egyenlő. A tükrörendszer a különböző törésmutatójú, azonos rácsállandójú, negyed hullámhosszúságú rétegek egymásra növesztéséből áll. Minél nagyobb a rétegek törésmutatója annál kevesebb rétegre van szükség. A jó reflexió eléréséhez a gyakorlatban 20-30 réteg elegendő.

A technológiának az az előnye, hogy kis méretű lézereket lehet előállítani, a tápáram igény a lézerműködéshez kellően alacsony (1mA) ebből adódik, hogy az egy szeleten előállított lézer teljesítmény is kicsi. Ezek a parányi lézerek azonban egy lapkán egyformára gyárthatók, fényük megegyezik és egy lencserendszerrel összegezhetők. Kézenfekvőnek tűnik az a megoldás, hogy egy lapkán készítsenek sok kis lézert és ezeknek a jelét optikailag összegezzék. A mérettel a kívánt fényerősség meghatározható. ezen belül a lézeráram az ami fényerősséget szabályozza. A megoldásnak az a hátránya, hogy a hullámhossz pontosan megegyezik de a fázisuk különböző.



5.2. ábra felületsugárzó lézer lapkája és tokozva

A technológiának előnye, hogy a lézernek a sáv szélessége keskeny. Ez a tulajdonsága alkalmassá teszi a hullámhossz multiplexált rendszerek fényforrásává.

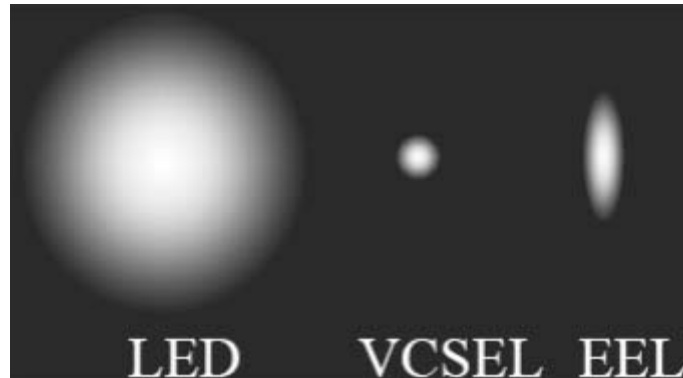


5.3. ábra vonalsugárzó lézer és a felületsugárzó lézer spektrumának összehasonlítása

Az 5.3 ábrán a kontúr görbe egy LED spektrumát mutatja. az (a) ábrán egy felületsugárzó lézer spektrumvonalai láthatók. A nemkívánatos spektrumvonalak az optikai szál nemlinearitása miatt a hullámhossz multiplex rendszerekben felharmonikusokat hoznak létre és ezek olyan helyre is kerülhetnek ahol hasznos jel van. Ebbe az esetben a felharmonikusok torzítást okoznak. A (b) ábrán

egy felületsugárzó lézer jele látható. Egyetlen spektrumvonal van csak. Szinte eltűntek a felharmonikusok.

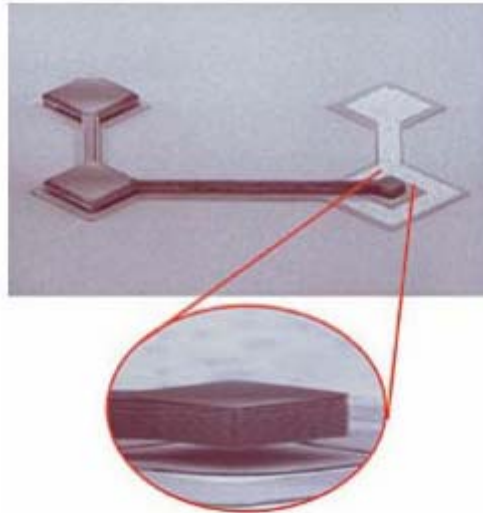
Az 5.4 ábrán egy képet láthatunk ahol a LED a fényét, a felületsugárzó lézert és az élsugárzó lézer fényének a széttartását hasonlították össze.



5.4. ábra a LED, a felületsugárzó lézer és az élsugárzó lézer fényének az összehasonlítása

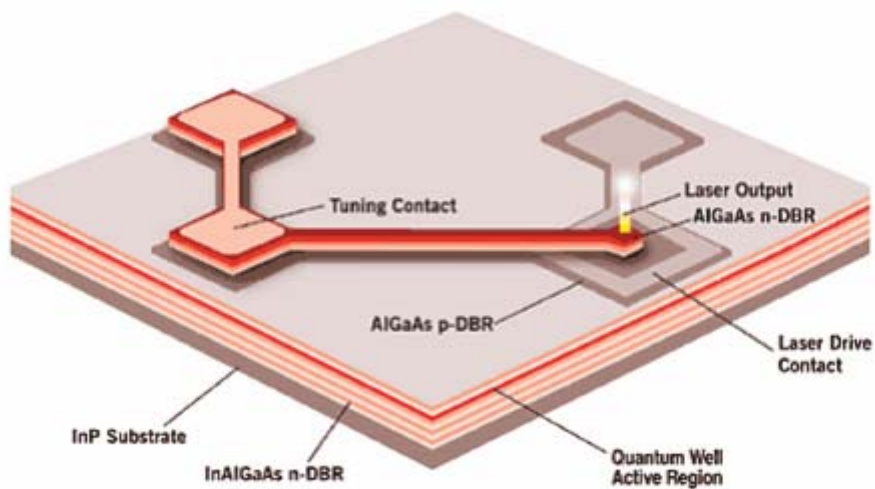
Az ábrából az is látható, hogy az élsugárzó lézernek nagyobb az apertúrája mint a felületsugárzó lézert. A távközléstechnikába az a fejlődési tendencia, hogy a jelet lehetőleg ne alakítsuk vissza elektromos jellé hanem kapukat és minden fontos digitális áramköri elemet hozzunk létre optikai tartományban. A felületsugárzó lézerek kiváló tulajdonsága lehetővé teszi a jövőben az optikai számítógépek adóinak a megalkotását.

A lézerek hangolhatósága a hullámhossz multiplexált (WDM Wavelength Division Multiplex) rendszereknél fontos követelmény. A felületsugárzó lézereknél a hangolhatóságot a MEMS (Microelectromechanical Systems) technológia segítségével valósítják meg. Az MEMS technológiával kombinálják a fenti 5.5. ábra szerinti felületsugárzó lézer struktúrát úgy, hogy az aktív tartományba (nDBR és pDBR közé) egy rést hoznak létre. A rés méretét MEMS technológia alkalmazásával külső feszültséggel változtatják. Ha folyamatosan változtatják a rés nagyságát akkor a lézer hullámhossza is folyamatosan változtatható. Ezáltal folyamatosan hangolható lézert hoznak létre.



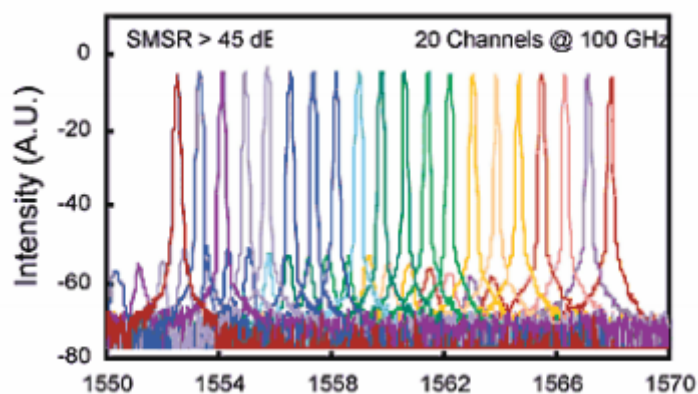
5.5. ábra rés kialakítása a félvezető lapkán

Az ábrán a rés kialakítása látható lézer félvezető lapkán. A bal oldali rész a külső feszültség csatlakoztatásához szükséges kontaktus. A jobb oldali részben jön létre a lézer fény.



5.6. ábra hangolható felületsugárzó lézer struktúrája

Az 5.6 ábrán a hangolható felületsugárzó lézer metszete látható. ApDBR és az nDBR között van a rés kialakítva.



5.7. ábra hangolható felületsugárzó lézer spektruma

Az 5.7. ábrán egy felületsugárzó lézer spektrum analízátorral felvett képe látható. A különböző színű görbék egy-egy WDM csatorna jelét mutatják. A hangolási tartománya a fénykábel 1550 nm-es tartományba esik ahol a szál csillapítás a legkisebb. Minden egyes jel kellően szelektív, felharmonikus tartalma általában 60dB vagy az alatti érték. Teljesítményben azt jelenti, hogy a jelnek kb. egy milliomod része a felharmonikus. A fentiekből az látható, hogy ezzel a technológiával kiváló lézer jelet tudnak létrehozni.

Összegzés

A felületsugárzó lézerek stabilitása jobb mint az élsugárzó lézereké mert a lapkán az energia sűrűség kisebb mint az élsugárzó lézer esetében. A fényhullám szelektív egyetlen főnyalábja van. Gyakorlatilag nem tartalmaz harmonikusokat. Jól hangolható abban a sávban amelyben a hullámhossz multiplex rendszerek üzemelnek. Fénye pontszerű, nem széttartó. Nagyon sok helyen használják a távközlési berendezésekben.

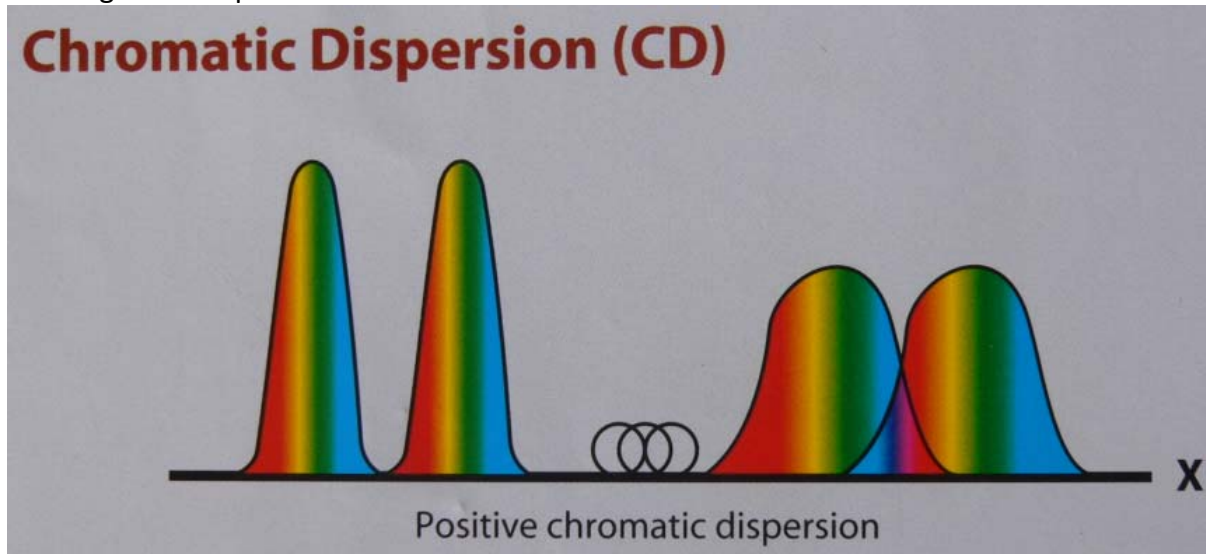
6. Szoliton jel az optikai távközlésben

A szoliton mint fizikai jelenség

A szoliton érdekes fizikai jelenség, már régóta foglalkoztatja a fizikusokat. Olyan nagy amplitúdójú nemlineáris hullám amely haladás közben megtartja koherens alakját. (A kis amplitúdójú lineáris hullámok alakja a tovaterjedés következtében csökken.) A szolitonok hullámcsomag és részecske tulajdonságokkal is rendelkeznek. A különböző sebességgel haladó szolitáris hullámok találkozáskor erős kölcsönhatásba lépnek egymással, ez a kölcsönhatás csak időleges. A hullámok gyorsan visszanyerik eredeti alakjukat és sebességüket. Ez a folyamat az elemi részecskék rugalmas ütközésére hasonlít.[3]

Szolitonok az optikában.

Az optikai távközléssel egy időben felvetődött az a gondolat, hogy az üvegszálon is meg kellene vizsgálni lehet-e az üvegen keresztül szolitáris hullámokat továbbítani. Az optikai szálon fényimpulzusok formájában adjuk rá a digitális jelet. A ráadott impulzus felfogható úgy mintha sok különböző frekvenciájú sinusos jel összege lenne. Az üveg törésmutatója (n) függ a jel hullámhosszától és a jel intenzitásától. Ennek következtében a különböző frekvenciájú jelek más-más sebességgel terjednek az üvegben. Az üvegszálon adott fényimpulzus diszperziója áll elő. A diszperzió következtében a fényimpulzus alakja bizonyos távolság után ellaposodik.



6. 1. ábra kromatikus diszperzió az optikai szálon

A lineáris működés tartományában a diszperzió kompenzálható a következő képen.: Az optikai jel önfázismodulációját a (SPL Self Phase Modulation) fel lehet használni a diszperzió kompenzálására. Előállítható olyan szál amelynek negatív a diszperziója. A vonalszakasz végén megmérve a pozitív diszperziót, majd ezzel sorba kötve a negatív diszperziójú szálát, bizonyos frekvencia tartományban a diszperzió kompenzálható. A fényimpulzus intenzitását növelve eljutunk az üveg szál nemlineáris tartományába ahol a törésmutató is változik.

Ha sikerül olyan nagy energiájú és kellően meredek felfutású fényimpulzust előállítani amely képes ellensúlyozni a diszperzió hatását akkor az üvegszálon szoliton jelenség jön létre és a jel megőrzi eredeti alakját. Nagy távolságokra továbbítható anélkül, hogy torzulna, ellaposodna! Az interkontinentális optikai távközlésben ennek nagy jelentősége van. Több ezer km áthidalható jel regenerálása nélkül.

Az 5.2-as ábrán egy optikai szoliton jelet láthatunk amely csillapodás mentesen terjed az üvegszálon.



Az optikai szolitonok lokalizált elektromágneses hullámok, amelyek az üvegszál nemlineáris tartományában a diszperzió vagy a diffrakció okozta lineáris kiszélesedés, illetve a nem lineáris *Kerr effektus* okozta kompresszió közötti masszív egyensúly eredményeként jöhet létre.

Ezek lehetnek időbeli vagy térbeli szolitonok, attól függően, hogy a terjedés során a fény lokalizációja időben vagy térben valósul meg. Mindkét típus annak következtében jön létre, hogy a fény intenzitása az üvegszál törésmutatójának nemlineáris megváltozását idézi elő. Egy térbeli szoliton akkor alakul ki, amikor egy optikai nyaláb önfókuszálása kiegyenlíti a természetes diffrakciós kiszélesedését. Ha viszont az önfázismoduláció (SPM) tart egyensúlyt egy optikai impulzus diszperziós kiszélesedésével, akkor időbeli szoliton képződik. Az optikai impulzusok alakváltozás nélkül képesek terjedni az anomális diszperzió tartományában. A jel nagysága csökkenhet a csillapítás miatt de az alakja nem torzul el. Ha időbeli és térbeli szoliton egyszerre létre tudunk hozni akkor a jel csillapodása az üvegszál mentén elenyésző

Ha megvizsgáljuk az üvegszál viselkedését nagy jelek esetére akkor azt látjuk, hogy nagy jelek esetén nemlineáris tulajdonságokat mutat. Ebben az esetben az üveg törésmutatója bizonyos frekvencián függ a fény intenzitásától vagyis az amplitúdójától. (Kerr effektus) A fényimpulzus terjedése az egymódusú üvegszálban matematikailag leírható. Multimódusú üvegszál a többutas terjedés miatt nem alkalmas szoliton jel átvitelére. Az egymódusú szálban terjedő fényimpulzus burkolója időfüggő és általános alakja:

$$E(\mathbf{r},t) = A(Z,t) F(X,Y) \exp(j\beta_0 z) \quad (4)$$

$A(Z,t)$ a jel amplitúdó, $F(X,Y)$ az egymódusú szál transzverzális téreloszlása, β pedig $\beta_0 = 2\pi n_0 / \lambda$ a veszteségmentes szál terjedési tényezője. Az „A” az idő függő, az impulzus valamennyi spektrális összetevője a *kromatikus diszperzió* miatt nem terjedhet ugyanazzal a sebességgel.

A törésmutató az alábbi egyenlettel írható le:

$$\bar{n} = n(\omega) + n_2 |E|^2, \quad (5)$$

ahol $n(\omega)$ az üveg törésmutatója ami frekvencia függő, az n_2 az üveg nemlineáris törésmutatója.

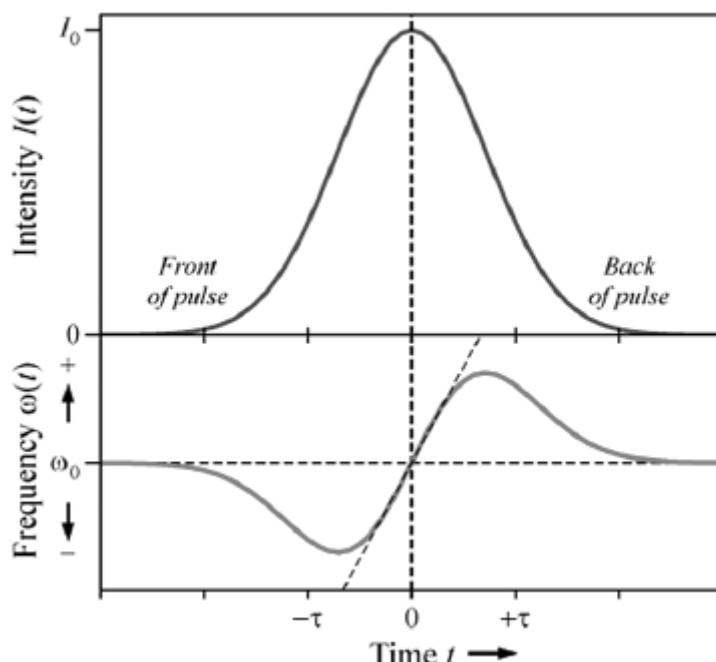
Si esetén $n_2 = 2,2...3,4 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{W}$ közötti érték.[18] Az $n(\omega)$ frekvencia- függése fontos szerepet játszik az időbeli szolitonok képződésénél. A nemlineáris effektusok hiánya esetén az impulzusok kiszélesedéséhez vezet. Ha azonban az impulzus amplitúdója nagy, akkor a fel- és lefutó élei időfüggő intenzitást képvisel, amely gyorsan nő zérustól a csúcserőig, s onnan gyorsan tér vissza zérusig.

Nemlineáris közegben, amelynek intenzitás-függő a törésmutatója, a jel időfüggő intenzitása időfüggő törésmutatót produkál. Ezért az impulzus csúcán más lesz a törésmutató, mint az oldalain. Ha megnézzük a jel differenciál hányadosát a felfutó éle mentén dn/dt pozitív, a lefutó éle mentén pedig negatív lesz.

Ez az időben változó törésmutató időben változó $d\phi/dt$ fázisváltozást idéz elő (1.15. ábra), amely hozzáadódik a lineáris fázistoláshoz és $\delta\omega = -d\phi/dt$ frekvenciaváltozást, vagyis spektrális kiszélesedést hoz létre. **Ez az önfázismoduláció jelensége, amely az anomális**

diszperzió tartományában az impulzus időbeli kompresszióját eredményezi és lehetővé teszi a csoportsebesség diszperzió kompenzálásával a szoliton kialakulását.

Lineáris tartományban az önfázis moduláció hatásait igyekszünk minimalizálni, ami végeredményben a bemenő impulzus teljesítményének korlátozását jelenti ($P_{in} \ll 0.1W$). Ezen a tartományon a jel a nagy felfutó él miatt gyorsan áthalad. Ennek a pillanatnyi hatása elhanyagolható.



6. 3. ábra Az impulzus önfázis modulációjának a spektrális kiszélesedése

A burkoló szoliton terjedését optikai szálban leíró egyenlet azonban egy nemlineáris Schrödinger-egyenlet

$$j \frac{\partial u}{\partial z} - \text{sgn}(\beta_2) \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} \pm |u|^2 u = 0 \quad (6)$$

Ebben az egyenletben z jelenti a terjedési irányban mért távolságot és τ a normalizált időt. A második tag a csoportsebesség diszperziójából származik, a harmadik pedig a nonlinearitás hatást fejezi ki.

A (6) egyenletben szereplő mennyiségek:

$$\tau = (t - \beta_1 z) / T_0, \quad z = Z / L_D, \quad u = \sqrt{|\gamma| L_D A},$$

$$\beta_2 = \frac{\partial^2 \beta}{\partial \omega^2}, \quad \gamma = n_2 \omega_0 / (c A_{eff}).$$

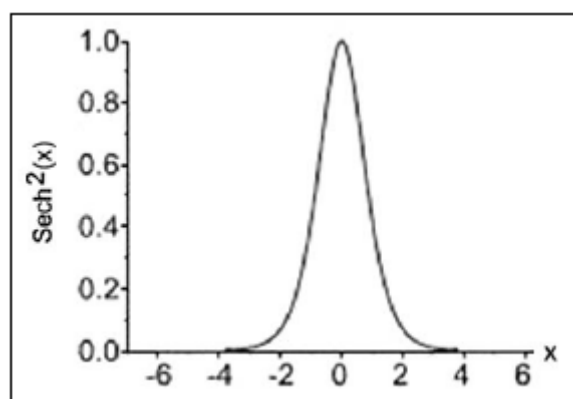
A kifejezésekben szereplő paraméterek: T_0 a bemenő impulzus szélessége, L_D a diszperziós távolság, melyen az impulzus szélessége $\sqrt{2}$ -szeresére növekszik, $\beta_1 = 1/v_g$, ahol v_g az impulzushoz tartozó csoportsebesség és β_2 a csoportsebesség diszperziós paramétere, amelynek az előjele lehet pozitív (normális diszperzió esetén) és negatív is (anomális diszperzió) a hullámhossztól függően. A (6) egyenletből láthatóan annak a szükséges és elégséges feltétele, hogy szoliton megoldása legyen, a csoportsebesség diszperzió és a

nonlineáris tag ellenkező előjele. Anomális diszperzió esetén a nonlinearis Schrödinger egyenlet úgynevezett világos (bright) szolitonokat leíró alakja:

(7)

$$j \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} + |u|^2 u = 0 \quad (7)$$

A (7) egyenlet a teljesen integrálható rendszerek egyik osztályához tartozik, zárt alakban megoldható az inverz szórási módszerrel [7] és megoldásai szolitonok (1.16. ábra).



6.4. ábra Az N=1 szoliton jelalakja

Különleges szerepet játszanak azok a szolitonok, amelyeknek a kezdeti amplitúdója

$$u(z=0, \tau) = N \operatorname{sech}(\tau) \quad (8)$$

Ha analizáljuk az (8) kezdeti amplitúdójú megoldásokat, azt találjuk, hogy $N=1$ esetén változatlan marad az alakjuk az optikai szálban való terjedés során (*fundamentális szolitonok*), viszont periódikusan ismétlődő képeket mutatnak az $N>1$ egész értékekre (*magasabb rendű szolitonok*).

Az N paraméter a bemenő impulzus paramétereivel fejezhető ki:

$$N^2 = \gamma P_0 L_D = \gamma P_0 T^2 \omega / |\beta_2|, \quad (9)$$

ahol P_0 az impulzus csúcsteljesítménye.

Csak a fundamentális szoliton őrzi meg az alakját és marad chirp-mentes az optikai szálban történő terjedése folyamán. S éppen ez a tulajdonsága teszi ideális szereplővé az optikai távközlés számára. A kísérletek során azt is megfigyelték, hogy a szolitonok perturbációkkal szemben igen stabilak, fundamentális szolitonok akkor is létrejönnek, ha az impulzus alakja és csúcsteljesítménye kissé eltér az ideális feltételektől.

Eddig a terjedést veszteségmentes optikai szálban vizsgáltuk. Mivel minden valóságos szál többé-kevésbé veszteséges, a nemlineáris Schrödinger egyenletet a megfelelő taggal ki kell egészíteni [4,7,8]

$$j \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial \tau^2} + |u|^2 u - j \frac{\alpha}{2} u = 0 \quad (10)$$

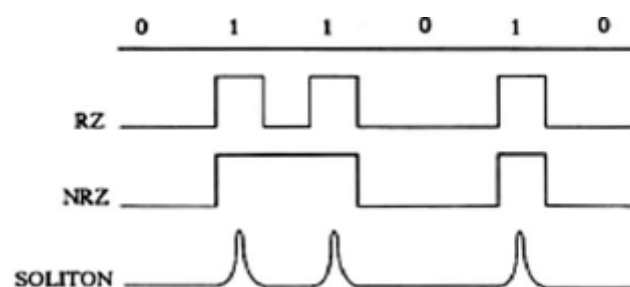
Itt $\alpha > 0$ (1/m) az erősítés, illetve $\alpha < 0$ esetén a csillapítás. Helyette a (10) egyenletben – a többi mennyiséghez hasonlóan – a $\Gamma = \alpha L_D$ normált csillapítást használják, aminek a fizikai értelme az L_D -vel egyező hosszúságú szál csillapítása. Ez az egyenlet csak közelítő módszerekkel integrálható. $N=1$ és $\Gamma \ll 1$ esetén a fundamentális szoliton perturbációs közelítésben a 11-es egyenlettel fejezhető ki:

$$u(z, \tau) \approx e^{-\Gamma z} \text{sech}(\tau e^{-\Gamma z}) \exp[j(1 - e^{-2\Gamma z})/4\Gamma] \quad (11)$$

Az egyenletből az látszik, hogy a jel csillapodik. Ennek következtében a szolitonos vonalakba is erősítőket kell beiktatni, ráadásul ezek távolsága most még kisebb is (kb. 50 km), mint lineáris átvitel esetében (kb. 100 km). A csillapítás más szempontból is gondot okoz. Ha ugyanis csökken az impulzusok amplitúdója, akkor folyamatosan változik az önfázis moduláció is, ezzel pedig a diszperziót kompenzáló hatása. Egy bizonyos érték után a szoliton jelenség csökken. Ezért kell az erősítőket úgy beiktatni, hogy gazdaságos legyen a jel továbbítás de még ne kerüljön veszélybe a szoliton jel alakja.

Digitális jel továbbítása szolitonon

A szolitonokat az optikai távközlésben úgy tudjuk felhasználni ha minden „1-es” jelhez egy-egy szolitont rendelünk hozzá.



6.5. ábra Soliton jelátvitel

A szoliton adók olyan koherens optikai fényforrások, amelyek alkalmasak a 6.4 ábra szerinti impulzusok előállítására nagy ismétlési frekvenciával a ps-os tartományban

Az ilyen fényforrásnak az 1550 nm-es tartományban kell működnie mert ezt a tartományt használják fel leginkább optikai átvitelre ugyanis itt a legkisebb a szál csillapítása. A korai kísérletekben erre a célra olyan lézereket használtak, amelyeknek az erősítését a küszöbérték alól periódikusan jóval a küszöb fölé pumpálták, s így módon 20-30 ps-os

szélességű impulzusokat állítottak elő. A módus-zárt félvezető lézereket előnyben részesítik, mert az emittált impulzussorozatuk erősen megközelíti a 6.4. ábrán látható ideális szoliton alakját. Ugyanakkor a rács hangolási lehetőséget is kínál, amellyel a lézer széles frekvenciasávban modulálható. Ezzel a forrással már 12-18 ps-os szoliton impulzusok állíthatók elő 40 Gb/s ismétlési frekvenciával [9]. Igen korszerű és kompakt soliton forrás a több lézer diódával egyidejűleg pumpált optikai szál Raman-erősítő, mellyel eltolt diszperziójú szálban ps-os szélességű impulzusok állíthatók elő [10,11]. Egyszerű elektronikával hangolható az 1620-1660 nm sávban és 400 fs-os impulzusokat is sikerült keltetni. A fs-os impulzusok felhasználása nagymértékben kiterjeszti a szolitonos átviteli rendszerek kapacitását. Ugyanakkor, a fs-os tartomány újabb nehézségeket is okoz: Megjelennek az SRS (Simulated Raman Scattering) magasabb rendű nemlineáris termékei és az impulzus spektrumának gyors eltolódásai a nagyobb hullámhosszak felé. Problémát okoz a közvetlen moduláció esetén fellépő chirp (csipogás). Ugyanis az intenzitás moduláció során az áram változásának hatására nem csak a kibocsátott optikai teljesítmény változik, hanem a lézer frekvenciája is, azaz frekvenciamoduláció is fellép. Ez a hatás szélesíti a spektrumot, amely az optikai átviteli közegen fellépő diszperzió következtében csökkenti az alkalmazható modulációs sáv szélességet. Ez a hatások a gyakorlatban az impulzusok kiszélesedésére vezetnek. Adaptív visszacsatolással azonban az eredeti szélességük és amplitúdójuk is megőrizhető [12]

Összegzés

Az optikai szolitonok létezését sikeresen demonstrálták.[13] A nyolcvanas évek végén a rendelkezésre álló technikai lehetőségek a Raman erősítők felhasználását tették lehetővé. A soliton jel alakja megmaradt de a csillapítást kompenzálni kellett 80km-enként. 1988-ban kísérleti jelleggel 55ps-os soliton jelet vittek át 4000km-re. [14] Ezen kísérletre alapozva tervezték az első transzocéáni soliton csatorna megépítését. A sok megoldatlan egyéb gyakorlati problémák miatt erre nem került sor. További kutatások eredményeként 1991-ben 2.5Gbit-es soliton jelet tudtak átvinni 12.000km-en. Egy évvel később 40Gbit-es soliton jelet vittek át 10.000km-en [15] Megjelentek a hullámhossz multiplex rendszerek ahol a csatornák egymás mellett helyezkednek el. Ez még keskenyebb sáv szélességű soliton lézerek alkalmazását kívánta meg. A lineáris tartományban megalkották a programozható lézereket. Olcsó és egyre nagyobb csatornaszámú hullámhossz rendszereket hoztak létre az üvegszálak lineáris tartományban. Ebben a versenyben a soliton jel átvitele kapcsán felmerülő problémák megoldása háttérbe szorult .

Meg kellett vizsgálni a különböző hullámhosszúságú soliton jelek egymás mellett haladásának és ütközésének a kérdését ahhoz, hogy a solitont hullámhossz multiplex rendszerekben alkalmazzák. A gyakorlatban azt tapasztalták, hogy a soliton jel szétesik ha a két jel közötti távolság kicsi. Ez az optikai tartományban a soliton jelek egymás melletti haladásának a problémáját veti fel.

A polarizációs módus diszperzió következtében a soliton jel kiszélesedik. Ezen jelenség miatt a hullámhossz multiplex rendszerek soliton jeleinek csatornáit távolabbra kellett választani mint azt az üvegszál lineáris tartományában lehetséges volt megvalósítani. Ez a szoliton jelek továbbításának a szárazföldi alkalmazhatóságát gazdaságtalanabbá tette. Az erősítők elhelyezése ebben az esetben nem jelentett különösebb gondot. A kutatás a transzocéáni soliton jelátvittele irányában haladt tovább mivel ott az erősítők energia ellátása gondot okozott volna. A rendelkezésre álló szakirodalmak szerint hullámhossz multiplex

rendszerekben szoliton jel átvitelt még csak kísérleti jelleggel valósítottak meg, de nagy lehetőséget tulajdonítanak a soliton jel távközlésben való felhasználásának. A jelenleg létező problémák kutatása folyik.

Az optikai szoliton felfedezése és kísérleti realizálása igen jelentős lehetőség a távközlés gyökeresen új módszerének bevezetésére. Az megjelent tanulmányok szerint a két-három évente a világ sávszélesség igénye megduplázódik. Ez a távközlő hálózatok növekedését vonja maga után. A DWDM (sűrű osztású hullámhossz multiplex rendszere) hullámhossz multiplex rendszerekkel ki lehet elégíteni a jelenlegi igényeket, de új irány kutatására is szükség van. Az optikai szálak és erősítők folyamatos tökéletesítésével a lineáris optikai átvitel minősége és teljesítő képessége is nagymértékben javult. Ennek ellenére nem kétséges, hogy a szolitonos technológia a legalább két nagyságrenddel nagyobb sávszélességével előbb-utóbb utat tör magának, elsőként az interkontinentális távolságokon.

Következtetés

Próbáltam összefoglalni a távközlésben használatos fényforrások jellemzőit a felhasználhatóság szempontjából. A LED-eknek mint optikai fényforrásoknak az egyszerűsége és az olcsósága miatt a multimódusú szálak meghajtásában, az adatátvitelben, a szabályozástechnikában az automatizálásban és a gépiparban van jelentősége. A távközlésben csak rövidtávolságú összeköttetésekben alkalmazzák. Hullámhossz multiplex berendezésekben fényforrásként csak nehézkesen használhatók.

Az élsugárzó lézereknek igen sok változata került kifejlesztésre. Ezek használják az optikai távközlési eszközök jelentős részében jeladóként. Sok típust hangolhatóvá tettek azért, hogy a hullámhossz multiplex rendszerekben használhatókká váljanak. A nagy energia sűrűség miatt az eszközöket stabilizálni kell, hogy megfelelő optikai jelet állítsanak elő.

A felület sugárzó lézereket előnyös tulajdonságaik miatt előszeretettel alkalmazzák a számítástechnikában, (CD, DWD írók, olvasók, szkennerek, nyomtatók) és az adatátvitelben sőt szórakoztató iparban is. A távközlésben sűrűb osztású (DWDM) hullámhossz multiplex rendszerekben a keskeny (egy hullámhosszú) és harmonikus szegény jele miatt sok helyen alkalmazzák.

A soliton lézerek kutatása egyidős az optikai távközléssel. Sok elméleti kérdést tisztáztak már és sok még tisztázatlan. A rendelkezésre álló szakirodalom szerint több kísérleti összeköttetést létesítettek. Üzemszerűen működő összeköttetés viszonylag kevés van a lineáris szálterületen üzemelő rendszerekhez képest. Egyrészt a transzocéáni hálózatokban látnak nagy szerepet a solitonok terén másrészt az elméleti számítások szerint két nagyságrenddel gyorsabb összeköttetések létesíthetők a jelenleg üzemelő 40Gbit/s-os rendszerekhez képest. A jövő távközlési rendszerének jósolják.

Angol szavak és rövidítések jegyzéke

WDM Wavelength Division Multiplexing

LED Light Emitting Diode.

LASER Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

DFB (distributed feedback laser),

DBR Distributed Bragg Reflectors

WDM Wavelength Division Multiplex hullámhossz multiplexálás

MEMS Microelectrohechanical Systems

SPM Self Phase Modulation önfázis moduláció

DBR Disztributed Bragg Reflector

SRS Simulated Ramman Scattering

Irodalomjegyzék

- [1.] Nánai László
LÉZEREK ÉS (KATONAI) ALKALMAZÁSAIK
- [2.] BME Udvary:
Optikai hálózatok alapjai
- [3.] Takács Sándor
Híradástechnika LXIII 2008/6 Solitonok az optikai távközlésben

- [4] Keiser, G.
Optical fiber communications.
(3rd Ed.) McGraw-Hill, New York, 2000.

- [5] Bass, M.–van Stryland, E.W.
Fiber optics handbook. McGraw-Hill, New York, 2002.
- [6] Keiser, G.
Optical communications essentials.
McGraw-Hill, New York, 2003.
- [7] Agrawal, P.G.
Fiber optic communication systems.
Wiley, New York, 2002.

- [8] Agrawal, P.G.
Nonlinear fiber optics. Academic Press, London, 2001.

- [9] Mollenauer, L.F.
Solitons in optical fibers:
Fundamentals and applications. AP, 2006

- [10] Islam, M.N.
Raman amplifiers for telecommunications, Vol.1.
Lavoisier, 2004.
- [11] Tsigaridas, G. et al.
Compensation of nonlinear absorption
in a soliton communication sytem.
Chaos, Solitons and Fractals 35 (2008), pp.151–160.

- [12] Keiser, G.
Optical fiber communications.
(3rd Ed.) McGraw-Hill, New York, 2000

- [13] Mollenauer, L.F.
Solitons in optical fibers:
Fundamentals and applications. AP, 2006.

- [14] Islam, M.N.
Raman amplifiers for telecommunications, Vol.1.

Lavoisier, 2004

- [15] Hasegawa, A.
Soliton-based ultra-high speed optical communications
PRAMANA – Journal of physics.
Spec. Issue 57 (2001), pp.1097–1127.
- [16] Jean –Pierre Laude
WDM fundamentals, components, and applications

Optikai kábelek

Történelmi áttekintés

- 1966: Standard Telecommunications Laboratories (Harlow, England), Charles Kuen Kao és George Hockham: kvarc alapú fényvezetőszál, csillapítás: <20 dB/km
- 1968: 4 dB/km;
- 1970: Corning, SM szál, 633 nm, 17 dB/km
- 1978: 0,2 dB/km, 1550 nm, Fujikura
- 1982: Első optikai gerinchálózat, MCI, SM szál, 400 Mbit/s
- 1988: TAT-8, első transzatlanti összeköttetés
- 1984-86: 34 Mbit/s optikai átkérők a BAH-ban
- 1991: Matáv, 140 Mbit/s optikai gerinchálózat

- A hatvanas években az analóg távközlés csúcspontját érte. A kis koaxiális kábeleken (1,6/5,6 mm Magyarországon ezt választották) 2700 csatornás analóg rendszereket helyeztek üzembe, nagy koaxon 10.000 analóg csatornát lehetett átvinni. Ezekkel a rendszerekkel földrészeket jó minőségben át lehetett hidalni. Ugyanakkor teljes mértékben kielégítette a távközlés igényeit amely főleg távbeszélő szolgáltatásból állt. A sáv szélesség növelésének a gazdaságosság szabott határt mert a 2700 csatornás rendszereknél az erősítő távolság 2 km-re adódott. Ezek számát korlátozta a stabilitás biztosítása.
- A kutatás elkezdődött a jövőbeli távközlés igényeit kielégítő alaphálózat iránt. A kutatók sok lehetőséget kipróbáltak, ezek közül egyik volt a Standard Telecommunications Laboratories cikke, mely az üveget jelölte meg a jövő távközlés átviteli közegeként.
- A cikket a szakma kételkedve fogadta mert az ablaküveg tisztaságú üvegen 1-2 m-re lehetett átvinni a jelet. 1968-ban sikerült laboratóriumi körülmények között néhány méter 4 dB/km-es szálcsillapítású multi módusú optikai szálát előállítani. Sokak figyelme ekkor fordult az üvegszálás átvitel felé. A digitális áramkörök fejlődése lehetővé tette a magasabb szintű PCM rendszerek létrehozását. Ezekhez szélessávú digitális átviteli közegre volt szükség.

- Jelentős eredménynek számított amikor 1550nm-en sikerült laboratóriumi körülmények között 0,2dB/km-es szálcsillapítást elérni.
- 1982-ban elkészült egy 400Mbit-es PCM összeköttetés optikai szálon.
- 1988-ban lefektették az atlanti óceánon át az első optikai kábelt.
- 1984-86 között megjelent a kísérleti optikai kábel a budapesti átkérő hálózatban.
- 1991-ben a Matáv monomódusú szálon elkezdte kiépíteni az országos optikai gerinchálózatot 140 Mbit/s-os sebességgel..

Optikai szál .

- **Optikai szál előállítása**
 - Üveg tisztítása (oxidoktól, fémionoktól)
 - Egykristály gyártás (kristályrács hibák megszünt.)
 - Szálhúzás(mag szennyezés, geometria)
 - primer szálvédelem a szennyezések diffúziója ell.
- **Optikai szálak jellemzői**
 - Fizikai paraméterek
 - 150-200mikron külső átmérő
 - Zselés szekunder védelem
 - Hajlítási sugár 3-6 cm
- **Többmódusú szál jellemzői(ITU-T 651-es aján.)**
 - magátmérő 50 mikron, sáv szélesség 1-2Ghz

•

- Az optikai szál gyártáshoz nagyon tiszta (mindenféle szennyezősétől mentes) üvegre van szükség. A megolvadt üvegből vegyileg eltávolítanak mindenféle szennyeződést.
A vegytiszta üvegből 5-10 cm átmérőjű üveg hengereket öntenek.
- A további tisztítás a félvezető gyártásnál használt egykristály tisztítási módszerrel érik el. Az üveg rudat nagyfrekvenciás olvasztó kemencébe helyezik. Gyűrű alakban megolvad az üveg és a szennyezés a megolvadt rész tetejére kerül. Ezt a műveletet lassan alulról felfelé haladva elvégzik akkor egy olyan üveg hengert kapnak amelynek az alján tiszta üveg lesz a teteje felé egyre szennyezettebb. Ezt a műveletet addig ismétlik amíg elég nagy darabon kellő tisztaságú üveg hengert nem érnek el. A kellő tisztaság alatt azt is kell érteni, hogy a rácsszerkezete is hibátlan kell, hogy legyen.
Egyrészt ne legyenek benne szennyező atomok, másrészt ne legyenek benne rács hibák. A kellően tiszta részt levágják a szennyezett részről . A tiszta részből optikai szálakat állítanak elő, a szennyezett részt pedig szálvédelemre használják fel.(primer védelem)

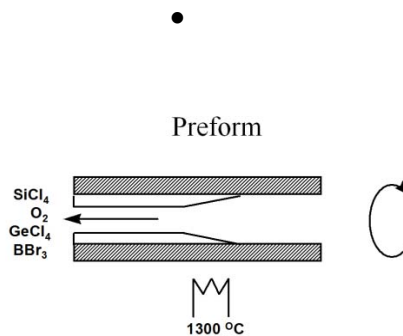
- A kellően tiszta üvegből optikai szálakat húznak. A szál külső átmérője primer védelemmel együtt 150-200 mikron. A primer védelemre azért van szükség, hogy a mikro repedéseken keresztül a szennyező ionok ne jussanak a szál fényt továbbító részébe még hosszú éveken keresztül sem. A primer védelemben van a szál színezve azért, hogy az egyes szálakat meg lehessen különböztetni.
- A szekunder védelem a szálakra húzott zselés anyag (pl. vazelin). Ez a nedvesség bejutását gátolja meg, ugyanakkor lehetővé teszi az egyes szálak elcsúszását egymáson akkor amikor a kábel fektetés során a kábelt a dobrol kifektetik, vagy behúzzák az alépítménybe.
- Az üveg szál hátránya, hogy ha jobban meghajítjuk mint a megengedett érték akkor a felületén mikro repedések keletkeznek, melyeken a szennyező anyagok bejutnak a fényvezető rétegbe. Az üvegszál egy bizonyos határon túli hajlítás esetén elpattan.
- A fény terjedési formájától függően megkülönböztetünk egy és több módusú szálakat. Az egy módusú szálban a mag átmérője olyan kicsi, hogy a fény csak egy útvonalon terjedhet. A többmódusú szálban a mag átmérője 50 mikron körüli és ebben a fény ide oda verődve több útvonalon terjedhet. Csillapítása nagyobb mint az egy módusú szálé, sávszélessége 1-2GHz. Előnye, hogy olcsó. A rövidtávolságú adatátvitelben és a járműiparban használják.

•

Szál gyártása preformból

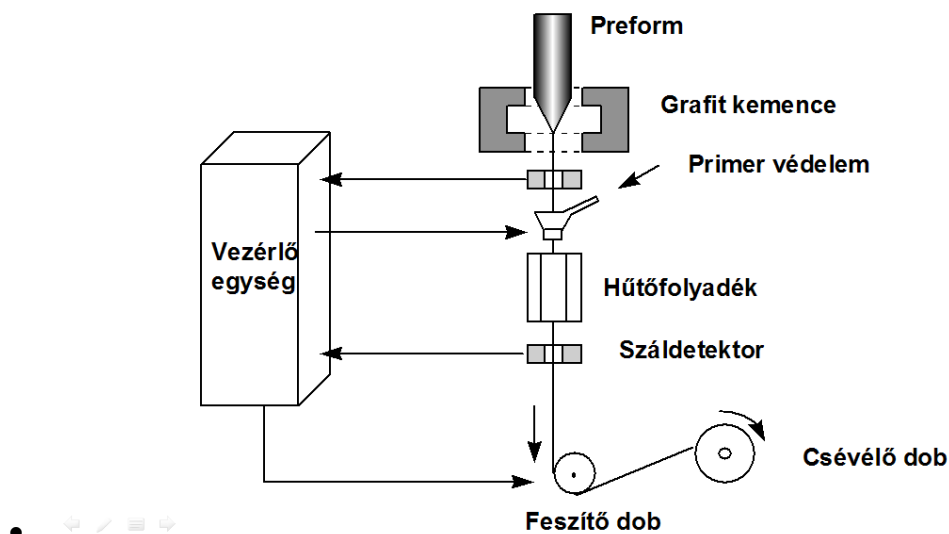
- Fázisai:
 - előforma (preform) készítése,
 - szálhúzás
 - a kábel szerkezetének kialakítása.
 - Preform előállítása
 - Az első generációs szálaknál a héj alkotóelemeit a magra lecsapatják (külső kémiai gőzlecsapatás).
 - A monomódusú szálaknál a nagyon kis magátmérő miatt belső kémiai gőzlecsapatást alkalmaznak
-
- Két különböző szálgyártási technológia terjed el. Az egyik technológiánál preformot (előformát) állítanak elő, ebből szálakat húznak, ellátják primer és szekunder védelemmel, és a szálakból kábelt készítenek. Ez a technológia terjedt el az optikai szál gyártásának az első időszakában.

- A másik technológia a tégelyes szálhúzás. Ezen technológiát a második generációs szálak készítésénél használják.
- Aulti módusú szálnál a preform egy üveg szál amire gőz fázisból kicsapják a héj anyagát. Amikor a héj anyaga kellő méretet elérte akkor a szál felhevítik és a kívánt méretűre húzzák.
- A mono módusú szálnál fordított a technológia mivel a mag mérete igen vékony. Egy üveg csövet állítanak elő. A cső belsejébe csapják ki szintén gőz fázisból a mag sűrűbb törésmutatójú anyagát



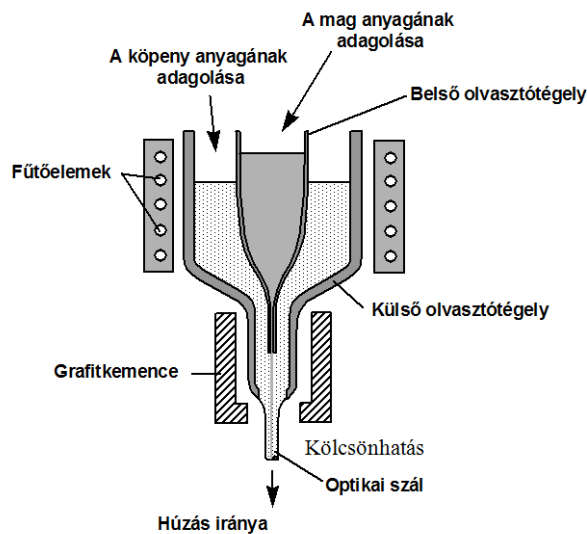
- Ezen szálgyártási technológia azon alapszik, hogy a vegyileg tiszta üvegből vékony üveg csövet készítenek.
- A nagytisztaságú kvarcüvegből készült hordozó cső belső falára csapják le a nagyobb törésmutatójú kvarcüveget állandó forgatás és megfelelő hőmérséklet tartása mellett.
- A kvarcüveg alapanyagát, fémvegyületeket, katalizátor anyagokat valamint oxigént áramoltatnak át
- hő hatására a cső belső felületén kiválik az üveg.
- ha a fémionok koncentrációja nő akkor a kivált anyag törésmutatója is nő. (Így különböző különböző törésmutató eloszlású preform előállítható).
- Amikor a hordozócsőre lecsapott réteg vastagsága megfelelő, akkor 2000°C -on összezsugorítják, (tömör szálhoz hasonló szerkezetű preform adódik)
- Ezt a preformot szálhúzó géppel a megfelelő méretűre nyújtják.

Szálhúzás



- A preform végét egy grafitkemencével hevítve elkezdi az üveg folyós állapotúvá válni.
- A levegőn megdermedve a súlyánál fogva elkezdi nyúlni,
- a végét megfogva elkezdi húzni egy adott erővel a szál (feszítődob segítségével).
Ügyelve arra, hogy a szál ne szakadjon el. Ezt a hőmérséklet gradiens beállításával érik el.
- Egy detektorral vizsgálják az átmérőt. A feszítődob húzóerejével szabályozható a szál átmérője.
- Az átmérő beállítása nagyon pontosan kell, hogy történjék (átviteli paraméterek ill. az illesztések miatt)
- Ezután a primer védelmet növesztik rá a szálra. Egy átmérő detektor segítségével, a központi vezérlő egység a kiömlő nyílás szabályozásával állítja be a kívánt értéket ($d = 250$ mikró méter).
- Szerepe: vegyi és mechanikai védelem
- A primer védelemmel ellátott kész szálakat kis dobokra tekercselik fel.
- A szálakat színezik, hogy az azonos pásmában lévőket meg lehessen különböztetni.

Kéttégelyes szálhúzás



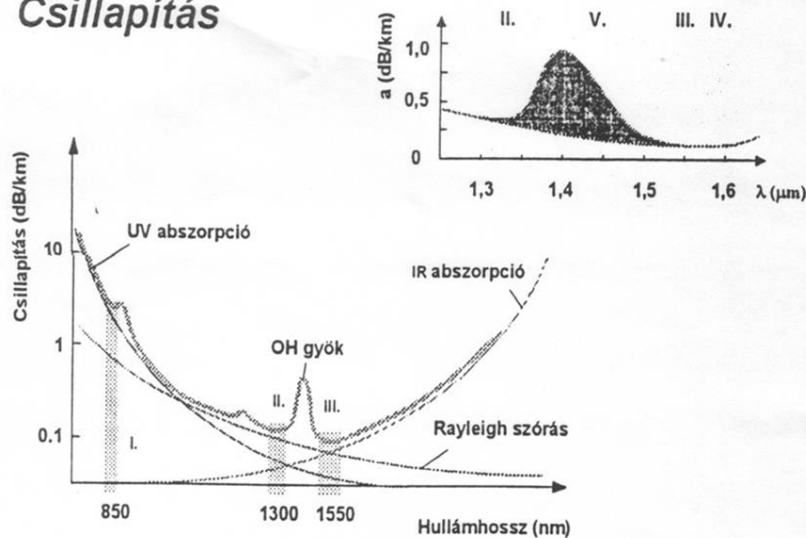
- Hosszabb szálak előállítása kéttős olvasztótégelyű szálhúzó készülékkel lehetséges. (elvileg tetszőleges hossz előállítható)
- Két koncentrikusan elhelyezett platina olvasztótégely biztosítja a szálak mag/héj szerkezetét.
- A kifolyónyílásoknál valósul meg a mag és a köpeny üveganyaga közötti diffúzió
- Miközben a kiömlőnyílásnál a szálhúzási eljárás folyik, közben a köpeny és a mag anyaga fokozatosan adagolható.
- A fenti ábra egy szálhúzó eljárást mutat. A magba van a sűrűbb törésmutatójú üveg, a héjban van a ritkább törésmutatójú üveg. Nagyfrekvenciás kemencében felmelegítik mindkét üveget és a belső magot (monomódusú szálnál 3- 5mikronos, multimódusú szálnál 50mikronos) kaliberen keresztül engedik. A külső héjat 120-150 mikronos kaliberen keresztül engedik ügyelve a mag és a héj központosságára. Az így összeolvadt szálakat lassan hűtik le, hogy feszültség ne keletkezzen az üvegben. A két különböző törésmutatójú rész szilárdan összeolvad. Fontos, hogy az összeolvadás szabályos kör keresztmetszetű és kristályrács szempontjából is hibamentes legyen. A külső üveghez színező anyagot adnak, ezzel lehet megkülönböztetni a különböző szálakat a kábelben.

Optikai jelátvitel 2.

- **Egymódusú szál jellemzői (ITU-T 652-es ajánás.)**
 - 3-5 mikron magátmérő,
 - diszperzió kicsi
 - csillapítás minimum 850, 1300, 1550 nm-en
 - sáv szélesség 50 GHz
 - Csillapítás: 1300 nm-en 0,4 dB/km,
1550 nm-en 0,2 dB/km
 - Csillapítás oka: abszorpció, szóródás, hullámvezetési veszteségek
 - Törésmutató eloszlás: monomódusú szálnál lépcsős,
multimódusúnál gradiens

-
- Az optikai jelátvitel alapja a teljes visszaverődés. A mag törésmutatója optikailag sűrűbb mint a héjé. A fény a két különböző törésmutató határán teljes visszaverődést szenved és a magban marad. Ha egy utas a terjedés akkor monomódusú szálról beszélünk. Ha mag átmérője nagyobb akkor a fény több útvonalon terjed a magban és ekkor multimódusú szálról beszélünk.
- A távközlő hálózatokban a monomódusú optikai szálakat használjuk átviteli közegként. A magátmérő olyan kicsi (3-5 mikron), hogy nem alakulhat ki több utas terjedés.
- A rácsszerkezetnek a magban hibátlanul kell lenni, hogy diszperzió ne alakuljon ki. A diszperzió a több hullámhosszúságú átvitel esetén okoz problémát.
- A szál csillapítás menetét a hullámhossz függvényében szoktuk ábrázolni. Három átvitelre alkalmas szakaszt szoktunk megkülönböztetni. A 850, 1300, és 1550 nanométeres tartomány környezetét. Mindhárom tartományra az a jellemző, hogy a görbe meredeksége minimális.
- Az optikai szál sáv szélessége a minimális hullámhosszától eltekintve kb 50 GHz. Ezt a hatalmas nagy sáv szélességet ma még nem használjuk ki. De megállapítható, hogy a kutatóknak sikerült olyan eszközt létrehozni a koax kábel után ami a digitalizálásból eredő megnövekedett sáv szélesség igényt hosszú távon ki tudja elégíteni.

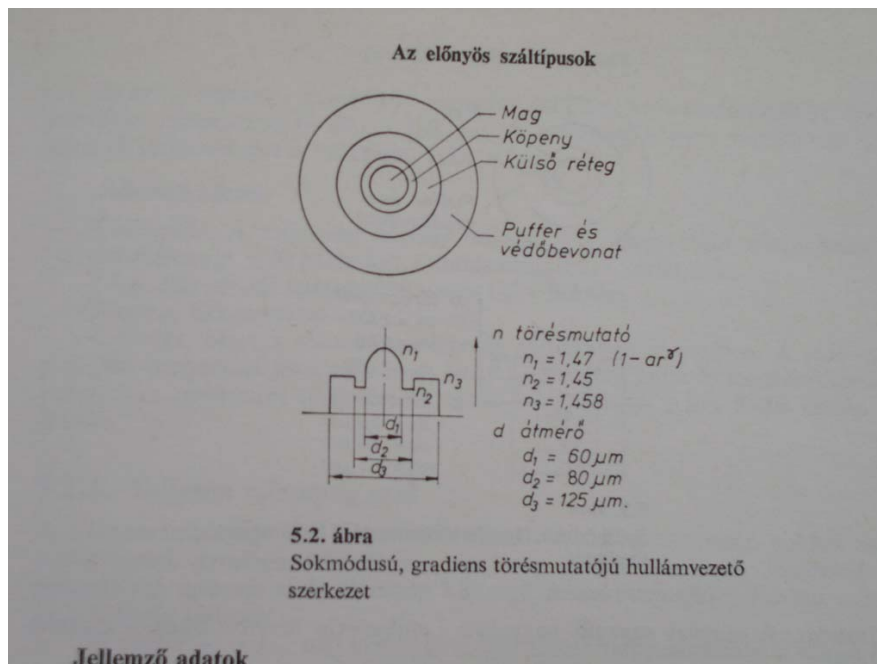
Csillapítás



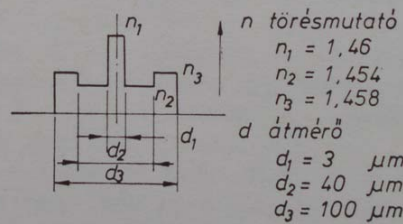
13

WDM

- A 850 nanométeres tartományban a csillapítást döntően az ultra viola abszorpció és Rayleigh szórás határozza meg. Rayleigh felfedezte, hogy a szál csillapítása nagyobb mint az elméletileg várható érték és ráadásul hullámhossz függő. Ha a hullámhossz csökken akkor az abszorpció növekszik. Ennek oka a rácsszerkezet egyenetlensége. A gyártás finomításával kisebb abszorpciójú szálakat sikerül előállítani. A Rayleigh szórás a felfedezőjéről kapta a nevét. Jelenség mindhárom átviteli sávban jelen van alacsonyabb hullámhosszon hatása jelentősebb.
- Magasabb hullámhosszon a csillapítás növekedést az infravörös abszorpció okozza.
- 1300 és 1550 nanométer között van egy kellemetlen csillapítás növekedés amelyet a rácsszerkezetben bennmaradó hidroxil gyökök okoznak. Ezeket a gyököket csak nagyon költséges eljárással lehet eltávolítani az üveg olvadékból. A korszerű szálgyártási eljárásokkal már jelentősen csökkenthető a hidroxil gyökök által okozott csillapítás növekedés.



- A multimódusú szál felépítése az ábrán látható. A fény a magban terjed. Mivel a magátmérő elég nagy a fény hullámhosszához képest ezért többutas terjedés kialakulhat. Változó törésmutatóval a több utas terjedés csökkenthető. A törésmutató eloszlás és a hozzá tartozó átmérő az ábra alsó felében látható. A változó törésmutatót preform technológiával lehet előállítani. A multimódusú szál előállítása olcsóbb mint a monomódusú szálé a nagyobb magátmérőből adódóan. Előszeretettel a rövid szakaszokból álló (0-5 km) adatátvitelre és a járműiparban használják. Van olyan multimódusú szál ahol a törésmutató a mag és a héj között lépcsőzetesen változik de van olyan is ahol a törésmutató változás radiális. Ezen utóbbival a módus diszperziót csökkentik. A törésmutató lépcső azért van, hogy minél kevesebb fény lépjen ki a magból.



5.1. ábra

Egymódusú hullámvezető szerkezet

Jellemző adatok

- A távközlésben a monomódusú szálakat használják. Méretei az ábrán láthatók. A gyártástechnológia felé az egyik nagy kihívás, hogy a méreteket (magátmérő, koncentrikusság) pontosan be kell tartani, a másik nagy kihívás gyártás tisztaságát molekuláris méretekben kell biztosítani.
- A törésmutató a mag és a héj között lépcsőzetesen változik. A szálban a kis magméret miatt a fény egyenesen terjed. Minimális az oda-vissza-terjedés. Az egymódusú szálban a módusdiszperzió kisebb és kevésbé zavaró optikai jelátvitelnél, mint a multimódusú szálnál. Azonban a módusdiszperzió csökkentési igény itt is jelentkezik, ugyanis a hullámhossz multiplexált átviteli rendszereknél fontos követelmény, hogy a módus diszperzió az átviteli sávban minimális legyen. A magátmérő 3 mikron, a köpeny 40 mikron körüli érték. A szál átmérője primer védelemmel együtt 100 mikron körüli.

Száljellemzők

- **Csatolási veszteségek:**
 - Csatlakozási veszteségek:(reflexió,illesztési hiba)
 - Egyenes csiszolás, ferde csiszolás
 - Hajlítási veszteségek (makro hajlat, mikro hajlat)
 - Hegesztési veszteség
- **Fizikai jellemzők:**
 - Szakító szilárdság. $1,6 \times 10^4 \text{ Nm}$
 - hőmérséklettartomány -60-tól +80C fok
 - öregedés:
 - OH,H, S és fémionok diffúziója
 - 0,06dB/25 év csillapítás növekedés

-
- A csatlakozókat precízen megmunkálják a mechanikai méretek szigorú tartása végett. A szálvégeket csiszolják, hogy minél jobban illeszkedjenek a magok egymáshoz. Ennek ellenére mégis van veszteség a csatlakozókon. 0,5-1,5 dB. A mechanikai illesztetlenség, és a szálvégek nem merőlegessége miatt reflexió lép fel a csatlakozó felületen . A fénynek egy kis része visszaverődik. Ha véletlenül porszem kerül a szálvégek közé akkor a csatlakozási veszteség a fenti érték többszöröse is lehet. Ezért a szálvégeket minden dugaszolás előtt portalanítani és tisztítani kell.
- A reflexió csökkentésére a szálvégeket nem merőlegesre hanem 87 fokban csiszolják. A két ferde csiszolású szál jobban illeszkedik és a szennyezés is jobban eltávolítódik a szálvégek illesztésekor.
- A fény egyenes vonalban terjed még az üvegben is .Ha az üvegszálat meghajlítjuk a fény még monomódusú szál esetén is ide –oda verődik a magban. Ennek következtében a fény egy kis része kilép a magból. Ha kicsi a hajlítási sugár ez a veszteség jelentős lehet.
- A szálakat a kötéseknel ívvel összehegesztik. A szálakat mechanikus pozicionálás után számítógép pozicionálja. A hegesztés során megolvad az üveg. Ennek hatására a törésmutatója kismértékben változik ami veszteséget okoz. A jó minőségű kötés 0,05dB csillapítás körül van
-

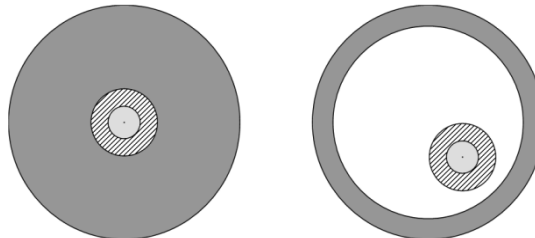
Optikai kábelek felépítése

- **Mag :** üvegszállal erősített műanyag rúd
- **Pázmák:**
 - laza szerkezetű tömör szerkezetű
 - szálak zselébe szabadon műanyag habban
- **Erőfeltevő:**
 - kevlar (acél)
- **Köpeny :**
 - Behúzó kábelnél 1-2 réteg műanyag
 - Földkábelnél behúzó kábelre kevlar (páncél)
üvegszálak rudak és műanyag köpeny
 - Kábel fektetés KPE csőbe (tartalék cső)

- Az optikai szálak törékenyek. A szálakból úgy kell kábelt készíteni, hogy a szálak ne sérüljenek meg sem a fektetésnél sem a szerelésnél.
- A nagymértékű hajlítás elkerülésére, -ami a szálak töréséhez vezetne- a kábel közepére egy üvegszállakból álló műanyag rudat helyeznek el. Ez a műanyag mag a húzásnak is ellenáll de elsődlegesen a nagymértékű hajlítás megakadályozása a feladata.
- A szálak védelmére két módszert használnak.
- Egyik a laza szerkezetű pászma. Ennek az a lényege, hogy egy 3-4mm átmérőjű műanyag csőbe lazán helyezkednek el a szálak . Köztük zselés kiöntőanyag többnyire vazelin van . Hajlításkor a szálak könnyedén elmozdulnak egymás mellett.
- A tömör szerkezetű kábelnél a szálak szintén pászmákban vannak elhelyezve de pászmákban belül szivacs szerű műanyaggal vannak körülvéve. Ez a kitöltési mód jobban pozicionálja a szálakat, de a hajlítási sugár nagyobbra adódik.
- A húzóerő felvételre a kevlar szolgál. Ennek az a tulajdonsága, hogy a húzó szilárdsága azonos az acéléval, sárga műanyag szálakból áll, és nem tartalmaz fémet.
- A kábel köpenye legtöbbször polietilén, vagy lágy PVC.
- Az optikai kábeleket csőbe húzzák be. Erre két módszer terjedt el. Az egyik sűrített levegőt fúj a csőbe és a levegő áramlat segíti a kábel haladását a csőbe. A másik módszer a beúsztatásos módszer. Ekkor vizet nyomnak a kábellel a csőbe és a víz áramlása viszi a kábelt előre. A kábel úszik a vízben.

- Folyamkábelnél és tenger alatti kábelnél a kábel köpenyre különböző szekunder védelmet , megerősítést raknak, hogy a nagy klímatis és húzási igénybevételnek ellenálljanak.

Szoros és laza szál



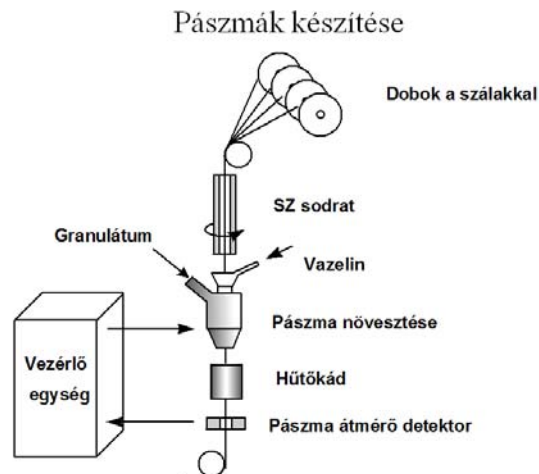
- A szálakat tehermentesíteni kell erősítő elemekkel a behúzásnál, hajlításoknál szál károsodásának illetve csillapítás növekedésének elkerülése céljából.
- Erre szolgál a másodlagos védelem, amely lehet szoros, vagy laza illeszkedésű.
- A szoros illesztésű esetben meggátolja az optikai szálnak az előírt mértéknél nagyobb nyúlását, deformációját.
- A laza szerkezetű kábelek esetében a szálnak több mozgástere van, (a szál hossza valamelyest nagyobb a védőcső hosszánál).

Szálak sodrása



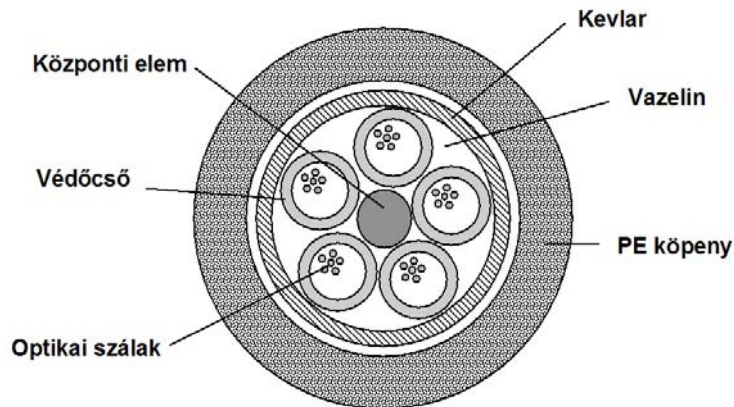
- A laza szerkezet kialakítása során a szálakat sodorják. A sodratot úgy készítik el, hogy kb 70-90 cm-enként ellentétesre változtatják a sodrás irányát. Ha a szálakat meghúzzák a hajlítás vagy az egyenes húzás miatt akkor a szálak úgy viselkednek mint a rugók, kicsavarodnak és nem nyúlnak meg nem rongálódnak. Az ellentétes sodrás miatt a csavarodás kiegyenlítődik. A szálak nehezebben szakadnak el. A szálak hossza a kábelben nagyobb a kábelhossznál, ez kb. 2-5% (méréseknél probléma).

- Az összesodrott szálakra egy kemény műanyag védőcsövet húznak -extrudálnak (Ezt nevezzük pászmának)
- A pászmákat szintén színezik, hogy kábelszerelésnél könnyebben megkülönböztethetők legyenek.



- Több (különböző színű optikai szálakat tartalmazó) dobót elhelyezve, a szálakat az előző dián bemutatott sodrással sodorják. A szálakra védőcsövet extrudálnak úgy, hogy a belsejét víztaszító anyaggal leggyakrabban vazelinnel töltik ki. A különböző védőcsövet más-más színűre színezik.
- Egy-egy ilyen védőcső több szálakat is tartalmazhat (pászma). A jelenlegi gyártástechnológiáknál maximum 12 optikai szálakat helyeznek el egy pászmába.
- A kábelyártásnál az első lépés ennek a pászmának a kialakítása.
- A pászma átmérőjének szabályozása a kiömlő nyílás átmérőjével történhet.

Optikai kábel szerkezete



- A központi elem egy üvegszál erősítésű rúd (vastag szál)
- Körülötte helyezkednek el a pászmák a szálakkal. (több száz szál) is kialakítható
- A kábelek kialakításánál a szálak száma mindig osztható 2-vel. Ennek oka, hogy az átvitelek többsége duplex jellegű, és hogy az egyes irányokat egy-egy szálon valósítják meg.
- A pászmákat kevlár veszi körbe. A kevlár az acél szilárdságával vetekszik de műanyag szál. Ez veszi fel a húzóerőt ami a kábelre hat.
- Erre kerül egy külső polietilén köpeny ami a védi a kábel magot (szálakat) a küldő hatásoktól. (mechanikai hatások, ráágcsálók)

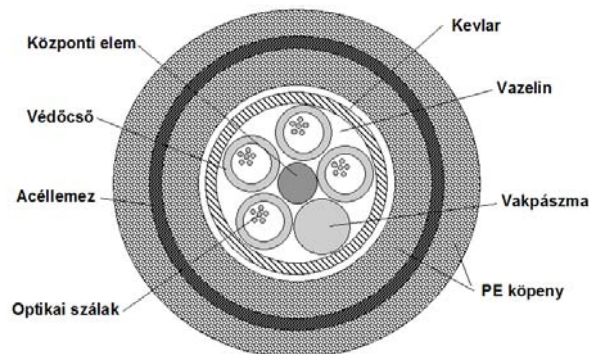
Kábeltípusok

- **Légkábel:**
 - Tartó kötélre (sodronyra) van felerősítve
- **Behúzó kábel: KPE (csőbe)**
- **Földkábel**
- **Közműkábel**
- **Víz alatti kábel**
- **Tengeralatti kábel**
- **Erősáramú kábellel kombinált**

- Az optikai kábelek lehetnek:

- *kültéri kábelek:*
- földalatti-, (behúzó-és közvetlenül földbe helyezhető) kábelek
- földfeletti kábelek: (önhordó- és nem önhordó kábelek)
- vízbe fektethető (folyami és tenger alatti) kábelek
- *beltéri kábelek*
- switch kábelek (szalag-és védőcsöves)
- patch kábelek
- **A kültéri kábelek** szerkezeti felépítését meghatározza:
 - a környezeti hatásoktól való védelem,
 - a kábel elhelyezkedése és nyomvonal vezetése,
 - optikai szálak száma.
- *A földalatti kábeleket*
- aléptímben, illetve csőbe be kell-e húzni, vagy
- már eleve tartalmaz külső védőköpenyt, (például a páncélos kábel)
- *A víz alatti kábeleknél* a vízbetörések elleni védelem, nagy mélységben a nyomásállóság és nagy húzószilárdság szükséges (vízsodrás).
- **A beltéri kábeleknél**
- csekélyebb védelem
- kisebb hajlítási sugár (a jó vezethetőség érdekében).
- Kisebb d, kevesebb szál (10-12 szál)
- *A switch kábelek* másik csoportja a szalagkábelek, melynek elterjedését jelenleg csak a speciális szerelő eszközök beszerzése gátolja.
- a mérésre használt *"patch" kábelek* (berendezések összekötésére használt kábelek) és "pigtail"-ek (berendezések belsejében nyomtatott áramkörökben használják) egy szálat tartalmazó szekunder védelemmel ellátott pár méter hosszú kábelek, (legalább egy csatlakozó).

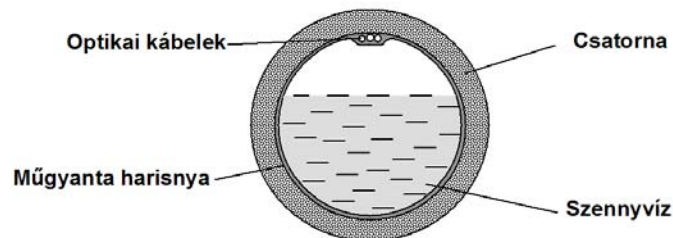
Föld kábelek



- Plusz védelem a behúzó kábelekhez képest (a földmozgásokból származó nyírófeszültség, valamint a rágcsálók és egyéb kártevők ellen).
- Az ábrán egy 4x10-es páncélos kábelnél két további réteg található:
 - az első réteg polietilén köpenyt egy acél szalag veszi körül, (keresztirányú terhelést veszi fel),
 - ezt követi a külső polietilén köpeny, mely a korrózió ellen védi az acélt.
- Mivel ezekben a kábelekben fém is található, ezeket a kábeleket fektetés során földelni kell!
- Építése előre kiásott munkaárrokba történik kézzel vagy vagy vakond-ekés módszerrel egy lánc talpas gép végzi. (Egy eke a kívánt mélységig (1-1.2 m) felszántja a talajt és a kábelleeresztő szerkezet behelyezi a kábelt).
- Előnye: nem kell alépitmény, a gép 10 km/nap teljesítményű.
- Hátránya: köves és sziklás talajban nem alkalmazható, tartalmaz fémet, és nehezebben javítható (nem lehet tartalékból után húzni)
- A páncélos kábelek hátránya, hogy tartalmaz fémet. Bár fémdetektorral könnyen követhető a nyomvonal, a földelés miatt a szerelése körülményesebb.
- Acélszalag helyett polietilén köpennyel ellátott földkábeleket is fektetnek, de a rágcsálók ellen speciális anyaggal vonják be őket. Emiatt a nyomvonal nehezen követhető, fémdetektorral a kábelt nem lehet megtalálni, Ennek elkerülésére bizonyos szakaszokon, és a töréspontokon rezgőköröket helyeznek el el a jobb nyomvonal pontos meghatározása érdekében.

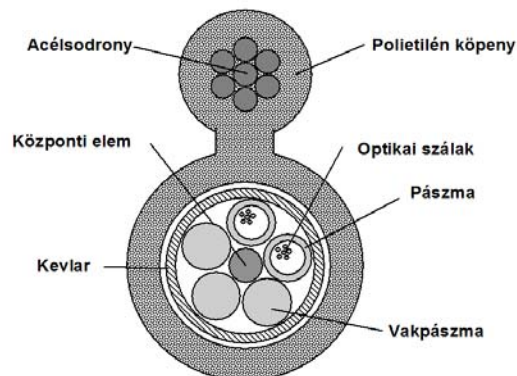
- Városokban, ahol alépítmény van kiépítve, nem használják a földkábelt, mivel a hajlítási sugara jóval nagyobb a behúzó kábelénél.
- Kábelvezetés céljára más természetes vagy mesterséges alépítmény is felhasználható (pl. közműalagút, metró járatai, vagy egyéb alagút).
- Kábelvezetés céljára más természetes vagy mesterséges alépítmény is felhasználható. Ilyen lehet például a közműalagút, metró alagút, vagy járható, hajózható szennyvíz csatorna.
- Felépítésük és a vele szemben támasztott fő követelmények, néhány biztonságtechnikai előírás kivételével, általában a földkábelekével megegyező. (zárt térben terjedő tűz különösen veszélyes). A kábel köpenyét magasabb gyulladáshőmérsékletű anyagból készítik.
- egy mikro kábel építés-szerelési technológiát. Itt az optikai kábeleket az aszfaltban helyezik el. (Az úttestbe vagy a járda aszfaltjába egy pár cm széles kb. 8-10 cm mély hornyot vágnak és ebbe fektetik le a kábelt, majd újraaszfaltozzák).

Szennyvíz csatornába elhelyezett optikai kábel



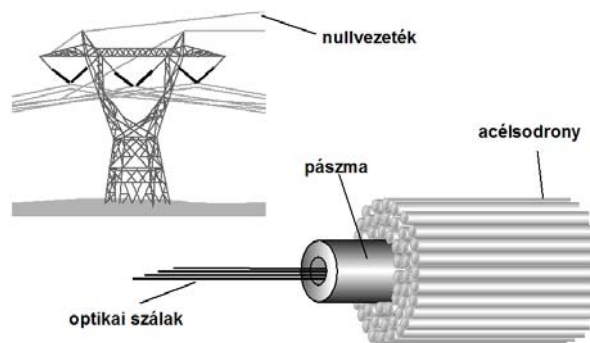
- Már kiépített csatornahálózatban is telepíthető optikai kábel. Ezzel a módszerrel megspórolható a drága járdabontás, aszfaltbontás, földmunka .
- A csatornák felújításakor a belső felületére egy műgyanta alapú harisnyát vonnak, mely a repedésekbe belekötve vízzáró réteget képez. Ebbe a műgyantába ragasztják bele az optikai kábeleket a csatornák felső részére. Ezek a kábelek lehetnek behúzó, vagy maxi-csőves kábelekhez hasonlóak, de mindenképpen fémmentesek.

Önhordó légkábel



- A légkábelek esetében nagy keresztirányú erők is fellépnek amikor a szél rezonanciába hozza a kábelt. Viszont nagyon nagy feszítőerő is fellép, hiszen 50 m kábel és a télen ráakadó zúzmara súlyát kell elbírnia két oszlop között.
- Az első nagy csoport esetében már meglévő kábelre, vagy kifeszített acélsodronyra építik ki az optikai kábeleket.
- Ezeket vagy valamilyen függesztő elemmel megadott távolságonként hozzá rögzítik a feszítőszálhoz, vagy rátekerik a már meglévőre. Mivel ezeknek plusz erőhatásokat nem kell elviselni, ezért felépítésében nagyon hasonlóak a behúzó-kábelekéhez.
- A másik nagy csoport az önhordó légkábelek. Itt a nagy teherbírást biztosító elem be van építve a kábelbe (ezért elbírná saját magát). Ezen kívül a központi tartó elemet megerősítik (kevlárral, üvegszálak anyagokkal stb.).
- Másik fajtája, mikor a külső PE köpeny nem csak a kábellélek körül helyezkedik el, hanem magában foglalja a feszítő acélsodronyt is.
- A további felépítésében nincs változás, az ábrán egy 2x10-es önhordó légkábel látható. Természetesen a vakpázmák helyett lehetnek optikai szálakat tartalmazó pázmák is.
- A légkábelek élettartama 15 év, (a földalatti 25-50 év) mivel külső környezeti hatásoknak van kitéve.
- Előnye: gyorsabban kiépíthető és független a talajviszonyoktól.
- Telepítése előnyös sziklás hegyeknél, szakadékok felett.
- Hátránya: Időjárás hatásainak, rongálásnak nagyon ki van téve.

Optikai kábel erősáramú vezetéken



- Kifejlesztettek önhordó optikai légkábeleket is, amelyek nagyfeszültségű erősáramú oszlopsorra függeszthetők. Mivel egy rézvezetőben az áram a vezető szélén halad, ezért nem befolyásolja az átvitelt, ha a vezeték közepére egy pászmát helyezünk el, és ebben 10-20 szál fényvezető szál van. Az erősáramú vezérlés és szabályozástechnikának is szüksége van távközlő hálózatra. Ebben az esetben a távközlés egy nyomvonalon halad az energiával. A gond akkor jelentkezik ha a nyomvonalnak a közepén akarunk optikai szálát kivezetni. A távvezeték belsejében lévő optikai szálát nehéz kivezetni. Jobb megoldás az amikor a távvezetékek földelő vezetékébe helyezik el az optikai szálakat. Ezekben a szálakban nincs energia továbbítás, nincs nagy feszültség.

Corning szálkötő gép

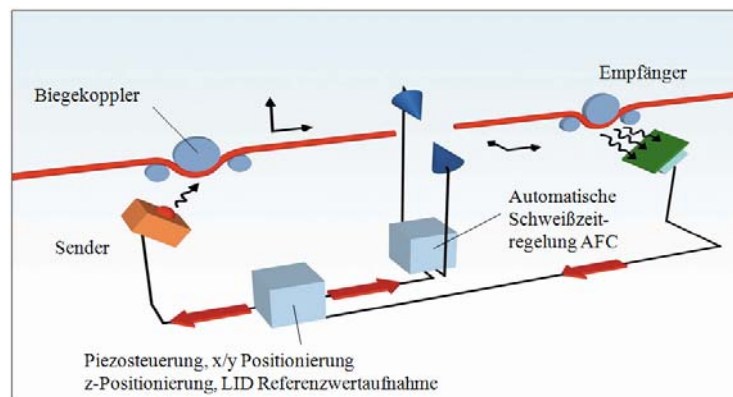


- Az optikai kábeleket gyártástechnológia adottságok miatt általában 2km-es darabokban gyártják. A kábel végeket megtisztítják az erő felvevő részt elhelyezik és

rögzítik, a pászmákat sorba rendezik úgy hogy a szálak hozzáférhetőek legyenek. Ezek elkészítéséhez speciális szerszámok állnak rendelkezésre. A szálakat színsorrend szerint a helyszínen hegesztik össze.

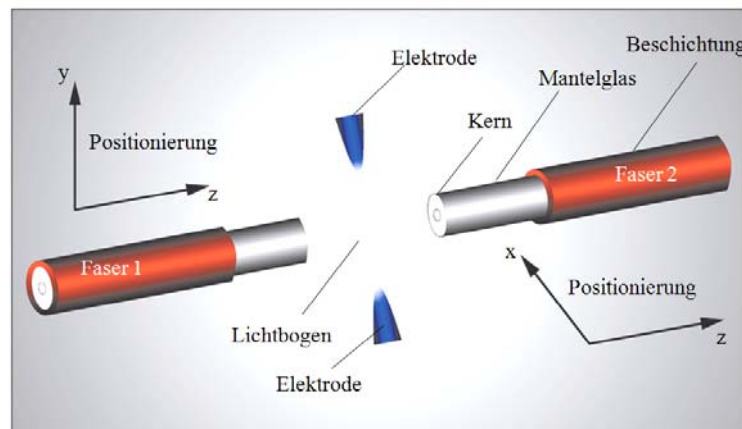
- A hegesztés első művelete, hogy a szálakat megtisztítják a vazelintől és merőlegesen eltörik. Egy ilyen száltörő látható az ábrának a felső részén. Utána a két kábel azonos színű szálát behelyezik a szálkötő gépbe és pozicionálják. Ez a szerkezet a szálkötő gép középső részén látható. Ezután elindítják a mikroprocesszoros pozicionálást.

Szálhegesztő gép működési elve



- Ezen az ábrán a mikroprocesszoros pozicionálás elve látható. Amikor a szálakat befűzik a szálkötő gépbe akkor szélein kissé meghajlítják. A hajlításnál a bal oldalon érintő irányban egy ledből fényt bocsátanak a szálba. Az ábra jobb oldalán a szintén meghajlított szálból kicsatolják a fényt. Azután a számítógép elindítja az automatikus pozicionálást. Vízszintesen addig mozgatja a két szálvéget mígnem a jelátvitel a legnagyobb nem lesz. Utána ezt elvégzi függőleges irányba is. Ezáltal a szálvégek pontosan illeszkednek. Meg lehet mérni a csatlakozási csillapítást. Ha ez kellően nem kicsi (0,1-0,2 dB) akkor újra eltörik a szálvégeket és kezdődik a pozicionálás előlről.

Optikai szál hegesztése



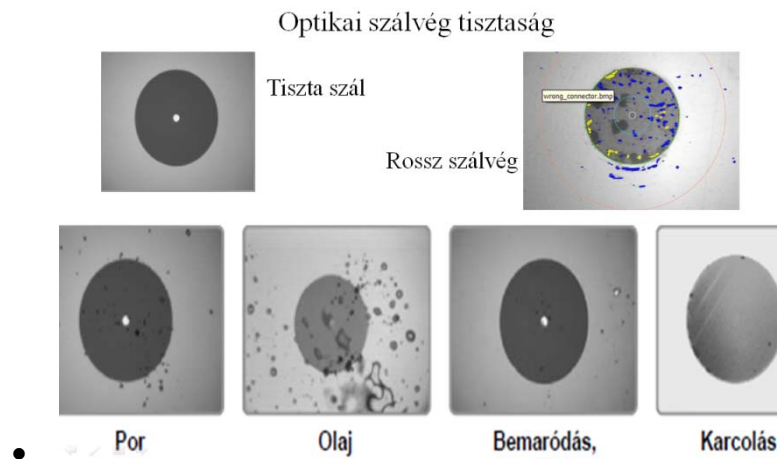
- A megfelelően pozícionált szálvégeket sűrített levegővel kifújják, hogy por szennyeződés ne legyen a szálvégek között. Az elektródákra nagy feszültséget kapcsolnak, azok ívet húznak, az üveg megolvad. A szálvégeket a gép egy kissé megnyomja egymás felé azért, hogy ha mégis lenne bennük szennyeződés akkor az a magból eltávolodjék. Ezáltal a kötés is egy kisség erősebb lesz. A szál összehegesztése után ráhúzzák a védelmet és szálát kötőtálcára teszik és ott rögzítik

Kábelmérések

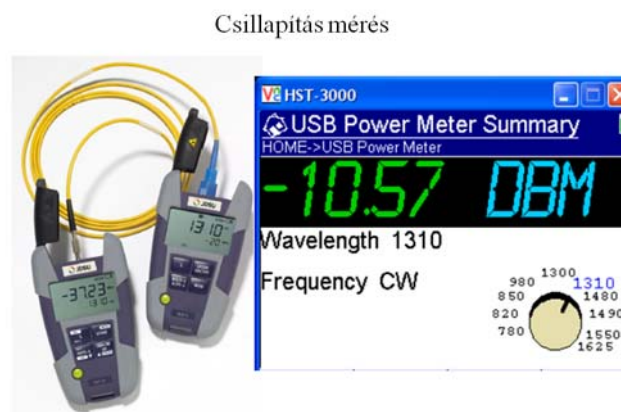
- **Üzemi mérések:**
 - Szálvég tisztaság vizsgálata mikroszkóppal
 - Csillapítás mérés 850,1300,1550 nm-en
 - Kötések ellenőrzése optikai reflektométerrel
 - Levágási hullámhossz meghatározása
 - Reflexiós csillapítás mérés a csatlakozókon, kötések
- **Laboratóriumi mérések**
 - Csillapítás karakterisztika mérése, dinamika tartom.
 - Diszperzió, törésmutató eloszlás, geometria vizsgálat, klímavizsgálat, szakító szilárdság, ütésállóság, vízzáróság

- Az optikai kábelek mérését két csoportra oszthatjuk.
- Egyik csoportba tartoznak azok a mérések amelyeket üzembehelyezéskor, vagy az üzemeltetés során szoktak mérni. Ezek rutinszerű mérések. A műszerek olcsók.

- A másik csoportba tartoznak azok a mérések amelyeket új kábelek vizsgálatokor, új átviteli rendszerek telepítésekor végeznek el. Ezek bonyolultabb, drágább műszereket igényelnek. Sokszor laboratóriumi körülmények között végzik el ezeket a méréseket. Ha a mérést a hullámhossz függvényében elvégezzük akkor a szál csillapítás karakterisztikáját vesszük fel. A karakterisztika kezdeti és vég értékénél meghatározhatjuk a levágási hullámhosszat.



- A szál a csatlakozóban sok külső behatás éri. A leggyakoribb a porszennyeződés amikor a szálvégekre a porszemcsék rátapadnak.
- Ha az üzemeltető nem kellő gondossággal jár el akkor a szál vége elszírosodik, elkoszolódik az emberi érintések következtében.
- Ha finom homokszemcsék kerülnek a levegőből a szál végére akkor a szálon karcolódás, bemaródás keletkezik.
- Ezek mind rontják a csatlakozást, reflexiót okoznak.



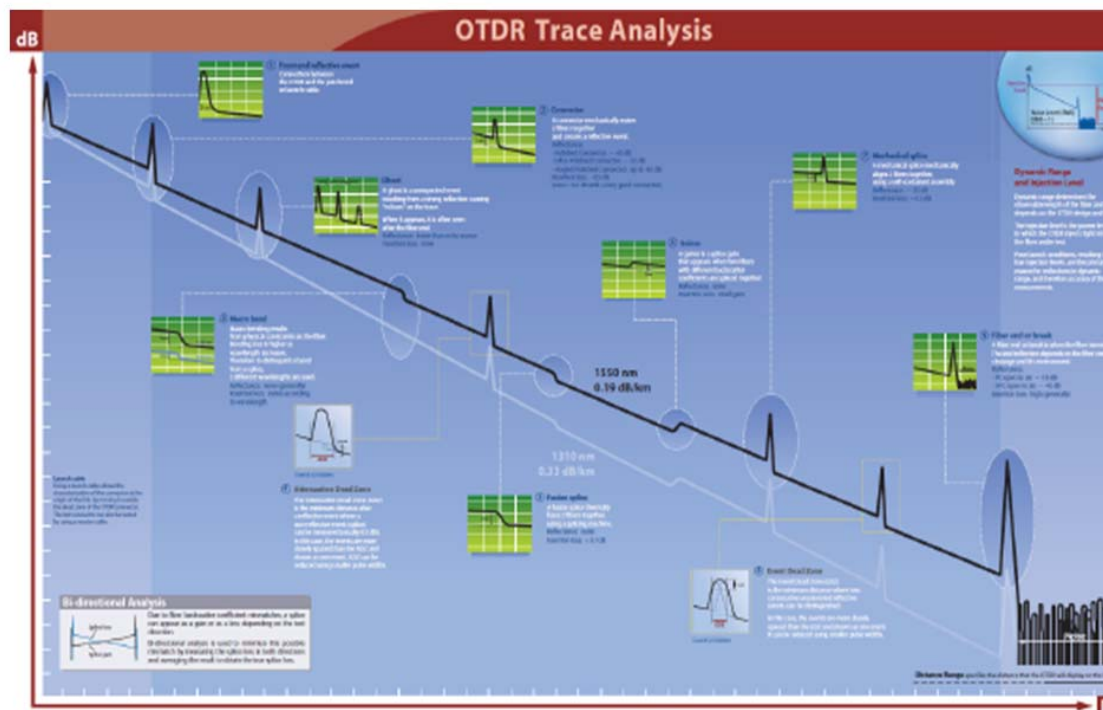
- A csillapítás méréshez kell egy optikai adó és egy vevő melyet mérés megkezdése előtt hitelesítenek. Az intelligensebb teljesítmény mérők a mérendő optikai szálon információt közölnek egymással. A mérés során akár többször is hitelesítik egymást. Az adó által adott fényt teljesítményből kivonva a vevő által mért fényt teljesítményt megkapjuk a szál csillapítását. Ezt a mérést különböző hullámhosszakon el lehet végezni és meg lehet állapítani, hogy a szál jó e, vagy a csatlakozók hibái nem okoztak csillapítás növekedést, reflexiót.

OTDR változatok



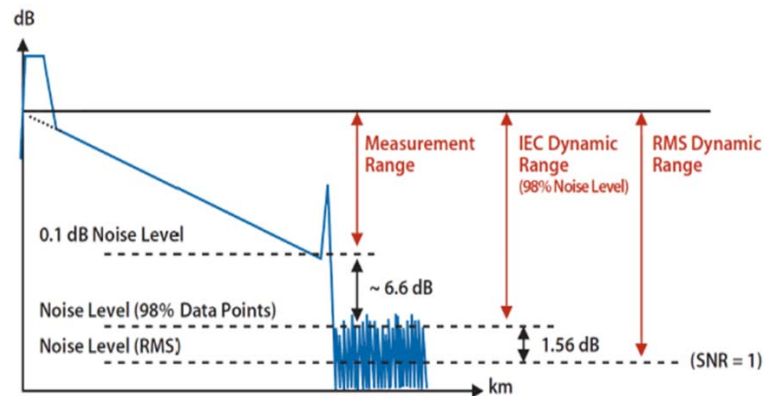
- Az ábrán néhány OTDR műszer előlapja látható. A műszerek ütészálló hordozható kivitelben készülnek. A csatlakozó modulok cserélhetők hullámhossztól és teljesítménytől függően. A méréseket a műszerben processzor tárolja és a mérési adatok elmenthetők és visszatölthetők laptopról.

Optikai kábel mérése OTDR-el



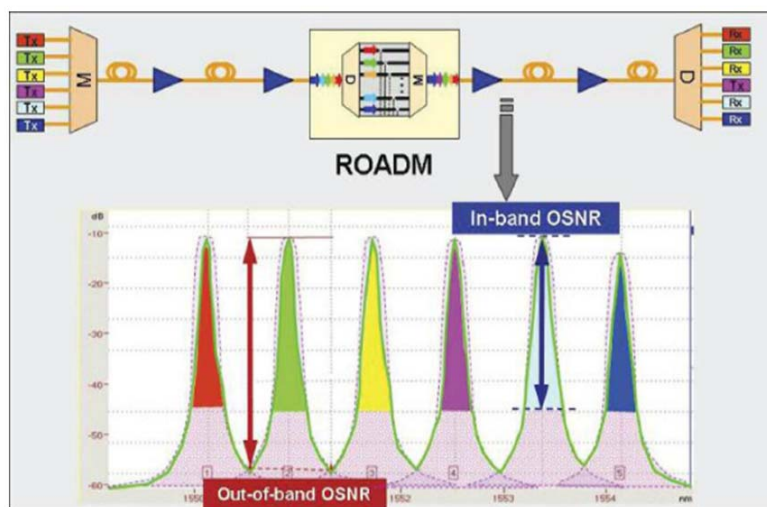
- Az optikai kábeleket üzembe helyezéskor és későbbiekben az üzemeltetés során is optikai reflektométerrel mérik. Az optikai reflektométer mérés elve az, hogy a egy fény impulzust kapcsol műszer az optikai szálra és az impulzus a kötéseknél, és a csatlakozóknál ahol reflexió van ott egy része visszaverődik. A visszavert jel nagyságából a hiba mértékére lehet következtetni. A fény által megtett útból pedig a távolságot meg lehet határozni.
- Az ábra egy ilyen OTDR képernyőt mutat. A vízszintes tengelyen a távolság a függőleges tengelyen a csillapítás van feltüntetve. A vízszintes tengelyen marker vonal mozgatható. Ennek segítségével a görbén a távolság és a csillapítás érték numerikusan is leolvasható. A görbe bármely pontja kinagyítható ha pontosabb mérést és leolvasást kívánunk elvégezni. Az üzembe helyezéskor az adatok elmenthetők. A hossz adatok alapján a nyomvonal ismeretében pontosan bemérhető ha a szál valahol meghibásodik. Az ábra jobb szélén látható a szál vége. Ilyen ábra látható akkor is a csillapítás görbe bármely szakaszán, ha a szál elszakadt.

Dinamika tartomány meghatározása



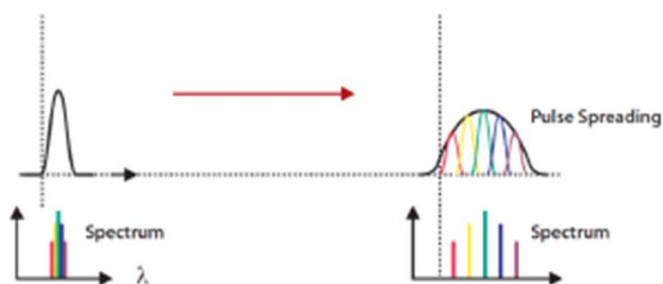
- Az optikai kábelen általában digitális jelet viszünk át. A hibamentes jel átvitel szempontjából fontos az, hogy a jel a lehető legtávolabb legyen a zajtól. Az optikai szálnak a dinamika tartománya az analóg technikában a jel-zaj távolsághoz hasonlítható. A jel szint alatt a vételi oldalon lévő jel szintje értendő.
- A zaj stochasztikus jel, amplitúdója és frekvenciája bármilyen értéket felvehet és véletlenszerűen változik. A szabványok három féle dinamika tartományt definiálnak.
- Egyik a jelszint és a 0,1zajszint közötti távolság
- A másik a jelszint és 98%-os zajszint közötti távolság
- A harmadik ugyancsak a jelszint és a zaj hosszú idejű átlagteljesítménye közötti távolság.

Spektrumanalizátoros mérés



- A spektrumanalizátoros mérést akkor szokták az optikai szálon elvégezni amikor arra hullámhossz multiplexált berendezést kívánnak telepíteni. Megmérhető, hogy az adott hullámhossz tartományban a különböző hullámhosszúságú jelek mennyiben térnek el egymástól. Ugyanis egy-egy hullámhosszon külön-külön digitális berendezés üzemel. Az egyes berendezések jelszintje nem térhet el egymástól. Az szál nemlinearitására ad mérhető eredményt. Ha a spektrum nem egyenes, vagy az egyik hullámhossz a másikba belelóg akkor az arra a hullámhosszra eső csatorna jelét torzítja.

Kromatikus Diszperzió (CD)

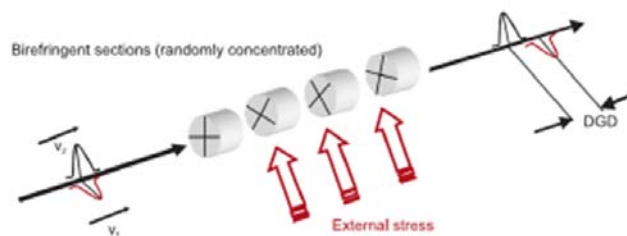


- Amikor az optikai szálon egyetlen digitális rendszer üzemel akkor az optikai adó jele nem egyetlen hullámhosszból áll. Ha az üvegszál nem kellően tiszta, illetve benne sérülések, idegen atomok találhatók akkor a különböző hullámhosszúságú jelek más-

más sebességgel terjednek. A vételi oldalon ez jel ellaposodást eredményez. Ha a digitális jel sebessége összemérhető a hullámok terjedésével akkor az egyes jelek egymásba átlapolódhatnak.

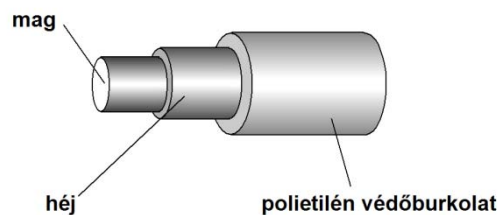
- A jel kiszélesedést, illetve a hullámhosszak terjedését meg lehet mérni és ez adja százalékosan a diszperzió mértékét. A kromatikus diszperzió kompenzálható negatív diszperziójú szálak beiktatásával. A terjedési sebesség kis mértékben növekszik de a diszperzió helyreáll.

Polarizációs Módus Diszperzió (PMD)

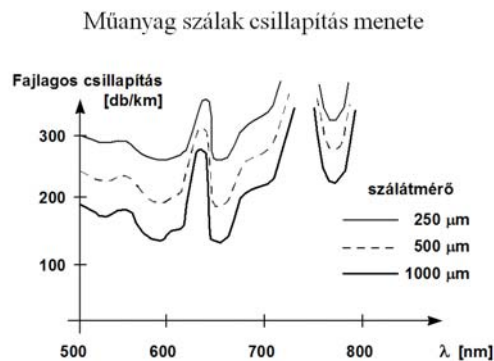


- A fény elektromágneses hullám és az „E és a H” vektorok egymásra merőlegesek. A fényt az optikai szálba bejuttatva a külső mechanikai hibák és egyéb külső hatások következtében a vektorok polarizációs síkja elfordul. Ez azt eredményezi, hogy a szálban a „E és H” vektorok különböző utakat tesznek meg vagyis nem egy időbe érkeznek a vételi helyre. Ezért a jel torzul, belapódás lép fel. Ezt az értéket meg lehet mérni de mivel erősen függ a külső hatásoktól ezért változó érték. Kompenzálni nagyon nehéz. Léggábelben nagyok a külső hatások ezért arra nagyobb távolságú hullámhossz multiplexált rendszereket telepíteni nem tanácsos.

Műanyag szál



- Újabban a réz vezetékekkel szemben -az optikai szál előnyös tulajdonságai miatt- a jármű és repülőgép iparban automatizálásban egyre intenzívebben használják az optikai szálakat. Az üveg viszont sérülékeny, könnyen törik. Ezért műanyag alapú optikai szálakat fejlesztettek ki. A távközlésben belső hálózatokban (adat, kép, műsor) használják a műanyag alapú szálakat. Gondoljunk csak arra, hogy a korszerű TV, videó eszközök már optikai kimenettel rendelkeznek.



- A műanyag szál csillapítás menete lényegesen nagyobb mint az üvegszálé. Ezért rövid távolságokra (max néhány km) használják. A csillapítás menet egyenetlensége miatt hullámhossz multiplexált berendezések alapáramköreként nem használatos

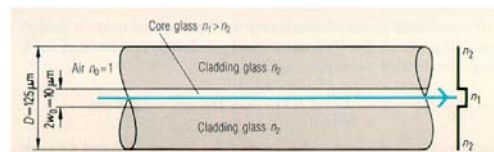
Műanyag optikai kábelek



- Rövid távú (100 m) alkalmazásokra műanyag alapú szálak.
- Előnyük: olcsók, $a=140\text{dB/km}$, a nagyobb magátmérő megkönnyíti az illesztést, olcsóbbá válik a szerelés.
- nagyobb magátmérővel rendelkezik, a héj (köpeny) vastagsága a magátmérő 10%-a. A szál átmérője tipikusan 1 mm, amit egy polietilén védőburkolattal látnak el.

- Hátránya: nagy csillapításon, nagy diszperzió, és korlátos a sávszélesség.
- Az $\alpha_{\min} = 140 \text{ dB/km}$, 650 nm-en érhető el (szemmel is látható fénytartomány), hullámhossz-konverzióra van szükség, az üvegszálon érkező hullámhosszt át kell alakítani 850 nm-esre.
- A diszperzió rövid szakaszokon nem jelentős, az áthidalható sávszélesség LED-el 50 Mbit/s, míg lézerek alkalmazásával 155 Mbit/s. Ez megfelelő érték a mai elosztóhálózatokban (a kábeltévé optikai jele nem vihető át rajta).

SM szál



Elvárások:

Minél alacsonyabb csillapítás;

A lehető legnagyobb módus méző átmérő a nemlineáris hatások elkerülésére;

Egyenletes, kis értékű, pozitív kromatikus diszperzió az nm-es tartományban;

ps/ $\sqrt{\text{km}}$ -nél kisebb PMD érték;

hajlítási sugár csökkentés;

Eredmények:

0,17 dB/km, OH csúcs eltűnt;

NZ-DSF: DWDM átvitelre optimalizált szálak, megnövelt , alacsony diszperzió;

0,022 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ PMD együttható

- **15 mm hajlítási sugár, max. 0,2 dB csillapítás növekedés**

- Az optikai szálak tulajdonságait tovább javították és létrehozták az SM szálakat. Kisebbs csillapítású kábelek hozhatók például létre fluorid alapú üvegszálakkal (0,15-0,18 dB/km-es érték érhető el 1550 nm-en) A hagyományos optikai szálaknál a szakaszcsillapítás 0,2dB/km körüli érték. Ugyanakkor a módus diszperzió jelentős mértékben csökkenthető. A kromatikus diszperzió egyenletes a kábel mentén, és állandó érték.
- A hajlítási sugár a szál átmérő kb. 15 -szörösére csökkenjen le.
- A kutatás és a fejlesztés eredményeként eltüntethetővé vált a csillapítás menetben a 850-1300 nm közötti OH gyökök okozta csillapítás növekedés.
- A hullámhossz multiplexálás (WDM,DWDM) elvén működő berendezések számára csökkent a módus diszperzió. Elérték azt, hogy mechanikailag is ellenállóbbá vált a szál. A hajlításra kevésbé érzékeny ugyanakkor a hajlítási sugár lecsökkent 15mm-re.

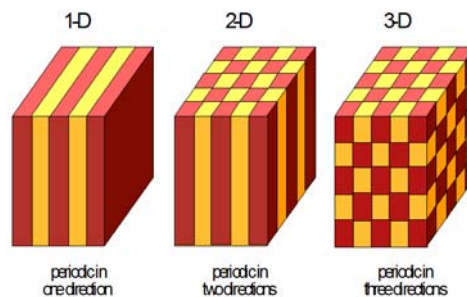
Új technológia - fotonikus kristályok

- Fotonikus kristály: dielektromos anyagból készített periodikus szerkezet, amelynek méretei és periodicitása összevethető a fény hullámhosszával.
 - Bizonyos hullámhosszúságú fénnel szemben hasonlóan viselkednek, mint a félvezetők a tiltott sávjukba eső energiájú elektronokkal szemben: A fotonikus kristály tiltott sávjába eső energiájú foton nem képes terjedni a szerkezetben. Míg a vezetési sávba eső foton továbbhalad.

•

- A fotonikus kristály felfedezése új távlatokat nyitott az optikai távközlés számára. Elérhetővé válik fény tartományba realizálni a logikai áramköröket. Ekkor nem lesz szükség optikai elektromos átalakítókra és az eszközök sebessége is jelentősen megnövekedhet

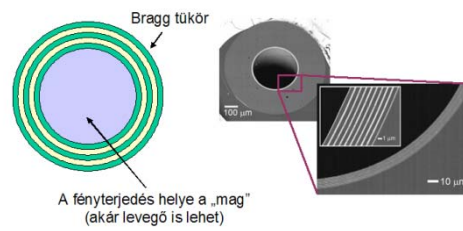
Fotonikus kristály felépítése



•

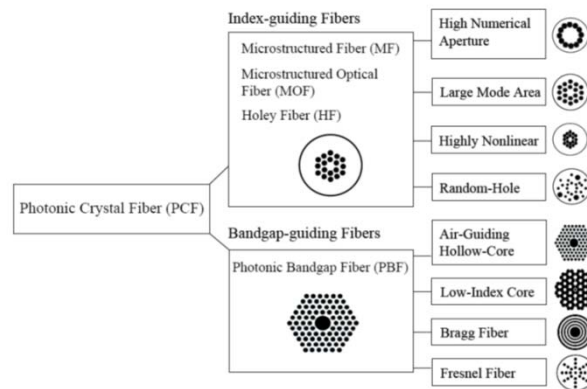
- Az ábrán egy, két és háromdimenziós szemléltetés látható a fotonikus kristály adta lehetőségek kihasználására

Fotonikus optikai szál



- A fény a magba terjed. A héjban különböző hullámhosszúságú fotonikus kristályok gyűrű szerűen helyezkednek el. Ezek a gyűrűk az adott hullámhosszra tükröként viselkednek. A fényt visszaverik, és bent tartják a magban.

Fotonikus szálak felosztása



- A különböző elrendezésű fotonikus szálakkal más-más tulajdonságú átviteli utat lehet készíteni .

Fotonikus szálak paraméterei

- **Tömör magú szálak**
 - Egymódusú fényterjedés széles hullámhossz tartományban (300...2000 nm)
 - Alacsony csillapítás (0,5 dB/km)
 - Viszonylag nagy módusmező átmérő: kedvező nemlineáris viselkedés
 - Jól befolyásolható diszperziós karakterisztika
- **Üreges magú szálak**
 - Nagyon nagy teljesítmények továbbíthatók
 - 1,2...2 dB/km csillapítás
 - Nincs Fresnel reflexió
 - Kevésbé érzékeny a hajlításokra
- **Problémák:** gyártástechnológia, csatlakoztatás, tisztázandó elméleti kérdések, szabványok



A frekvencia tartomány felosztása



- A fénytávközlésre a 800-1700 nm-es hullámhossztartományt használjuk. A látható fény a
- 400-780nm tartományba esik, tehát az optikai távközlésben használt fényt a szemünk nem
- képes érzékelni. A ténylegesen használt jel frekvenciáját/hullámhosszát az átviteli közeg
- csillapítási és diszperziós tulajdonságai határozzák meg. A legelterjedtebben használt G.652 –
- USF (Dispersion Unshifted Fibre) optikai szál három helyi csillapítási minimummal
- rendelkezik, ami megszabja a három optikai ablak hullámhosszát.
- • 850 nm
- Az optikai távközlő rendszerek első generációja ebben a sávban indult a 70-es évek végén.
- 2-3 dB/km-es szálcsillapítás jellemzi, az elérhető modulációs sebesség pedig 100Mbit/s
- nagyságrendű
- • 1310 nm

- A technológia fejlődésével a 80-as évek közepére megindulhatott a második generációs
- összeköttetések használata. Ezen a hullámhosszon 0.5 dB/km szálcsillapítást lehet elérni,
- az átviteli sebesség pedig Gbit/s-os nagyságrendbe nőtt. Az optikai szálnak ebben a
- hullámhossztartományban diszperziós minimuma van, így ebből a szempontból optimális
- választás.
- • 1550 nm
- A 90-es évekre újabb ablakban nyílt lehetőség optikai összeköttetés megvalósítására. Itt
- 0.2 dB/km a szálcsillapítás és néhányszor 10 Gbit/s-os nagyságrendű (pl 40 Gbit/s) sebesség érhető el SDH rendszerekkel.
- A használt optikai ablakok nagy sávszélessége lehetővé teszi, hogy több optikai jelet
- továbbítsunk a szálon egyszerre. Ez vezetett a hullámhosszosztásos (WDM – Wavelength
- Division Multiplex) rendszerek kialakulásához. Például az 1550 nm-es ablak esetén a
- rendelkezésre álló sávszélesség 120 nm, ami 15 THz frekvenciasávnak felel meg.

- **SDH rendszerek**

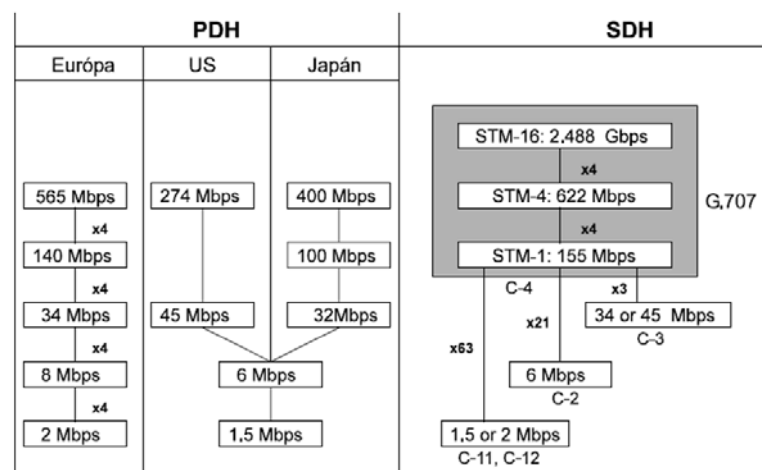
SDH átviteltechnikai berendezések

- **PDH (Pleziokron Digitális hierarchia)**
 - Minden berendezés saját óráról jár
 - Leágazáshoz multiplexer kell
 - Gyűrűs struktúra kialakítása nehéz
 - Különböző szabványok USA, Japán, Európa
 - Új interfészek megvalósítása veszteséggel
 - Nem menedzselhető
- **SDH (Szinkron Digitális Hierarchia (ITU-T G707))**
 - Rugalmas, megbízható hálózati struktúra
 - Leágazó add-drop multiplexerek
 - Közös szabvány Eu. és Amerika illetve Japán
 - Új interfészek csatlakozthatók (Ethernet, GEtern)
 - Menedzselhetőség

•

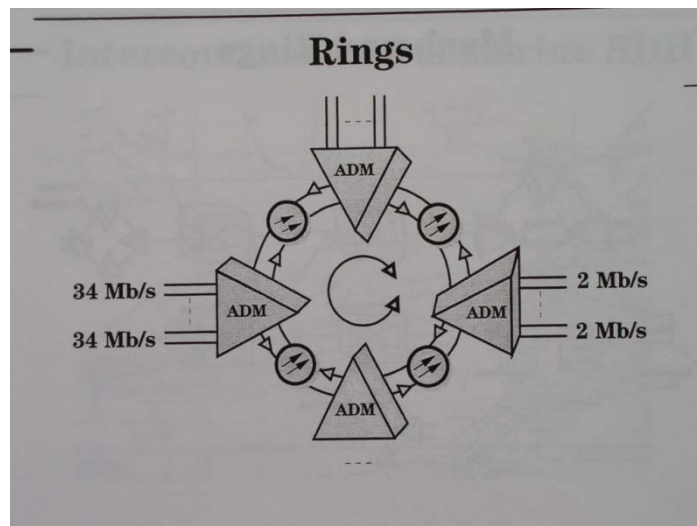
- PDH rendszereknél az adási órajelet le kell utánozni a vételi helyen, azért, hogy a teljes információ tartalmát hibátlanul átvigyük. Ezért az adási órajelhez szinkronizálni kell a vételi órajelet. A magasabb hierarchiájú PDH rendszereket úgy kell megalkotni, hogy a primer rendszerek teljes órajel ingadozását képes legyen átvinni.
- A magasabb szintű PDH rendszerekből úgy lehet egy csatornát leágaztatni ha multiplexerekkel lebontjuk és leágaztatás után újra felépítjük a rendszert.
- Digitális cross-connect a primer PCM –ből le tud ágaztatni 64 kbit-es csatornákat de nagy az egy csatornára jutó költsége.
- A megbízhatóság növelése érdekében a kiemelt előfizetőket két különböző irányból kell elérni. Ha az egyik irány megszakad akkor automatikusan átkapcsol a másik irányra. Ez PDH rendszerekkel két önálló rendszer telepítését jelenti.
- Az európai, amerikai, és a japán rendszerek csatlakoztatása nehézségekbe ütközik.
- A különböző interfészek (LAN, ATM) megvalósítása csak a legkisebb közös többszörös elvén valósítható meg.
- Az SDH rendszerek gyűrűs struktúrát alkotnak.
- A add-drop multiplexerrel a leágazás könnyen megvalósítható.
- Egységes világszabvány szerint készül.

- Könnyen becsatlakoztathatók a különböző adatátviteli interfészek.
- Az SDH rendszerek az információ átviteli rendszerek hordozóhálózatává váltak. A gyűrűs struktúra folytán lehetővé válik az előfizetők kétirányú elérése. Kidolgozásra kerültek az add-drop multiplexerek és általuk egyszerűvé vált a leágaztatás. Első olyan világszabvány amely alkalmas az európai, az amerikai és a japán PCM rendszerek hordozására. Kidolgozásra kerültek az adatátviteli interfészekhez való csatlakozások (ethernet, ATM. IP) Az SDH rendszer egy hordozó hálózat ami a különböző PDH rendszerek (primer, szekunder, tercier, kvarter) becsatlakozását teszi lehetővé.
- Az STM (Synchronous Transport Module)0 –szint az amerikai és japán primer rendszerek felcsatlakoztatását teszi lehetővé.
- Az STM -1 es szint az európai rendszerek csatlakoztatását végzi.
- A magasabb szintű SDH rendszer az alacsonyabb szintűnek négyszerezését tartalmazza. A sebességük is négyszerese az alacsonyabb szintűnek.



- Az ábra alapján összehasonlíthatók az európai, az USA és a japán PDH rendszerek sebességei. Az SDH szabvány ezekből hozott létre egy egységes átviteli rendszert.
- Az európai PDH rendszer alapegysége a primer 2Mbit-es sebességű jelsorozat. (ITU-T G 709-es ajánlás tartalmazza) Ezen a szinten csatlakoznak a központok egymáshoz. Az európai PDH rendszerek 140Mbit-es kvarter szinten csatlakoznak az SDH-hoz mégpedig annak az STM-1-es szintjébe. Mivel 2Mbit-es a legkisebb alapegység ezért az STM-1-es szintet úgy alakították ki, hogy közvetlenül is csatlakoztatható legyen a hozzá a 2Mbit-es PDH jel. A szabvány szerint 63db 2Mbit-es jel csatlakoztatható az STM-1-be.

- Az amerikai és japán szabványú PDH rendszerek (45Mbit, illetve 32Mbit) az STM-0 szinthez (51.84Mbit) csatlakoznak. Itt is kialakítottak egy alacsonyabb sebességű csatlakozást is ez a 6Mbit-es sebességű.
- Az SDH szabványt az ITU-T G-707-es ajánlása tartalmazza. Az STM 1-től felfelé minden rendszer sebessége az előzőnek a négyszerese. Ezeket STM-4, STM 16, STM 64 -es rendszereknek hívjuk. A szakirodalomban létezik még az STM-256-os is de európai viszonylatba kevésbé használatos.

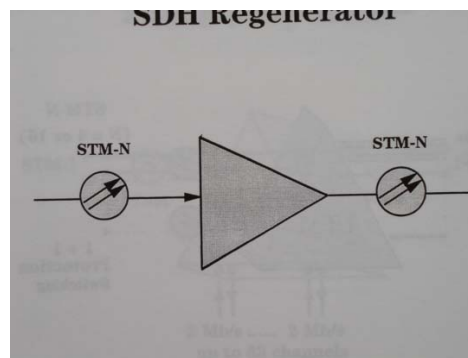


-
- Az SDH rendszerekből gyűrűs struktúrákat hozunk létre. Ezekben az adás és vétel irány külön- külön optikai szálon megy. A gyűrűket regenerátorok és add-drop (leágazó) multiplexerek alkotják. Az add-drop multiplexereken keresztül lehet becsatlakoztatni vagy leágasztatni a különböző szintű PDH rendszereket.

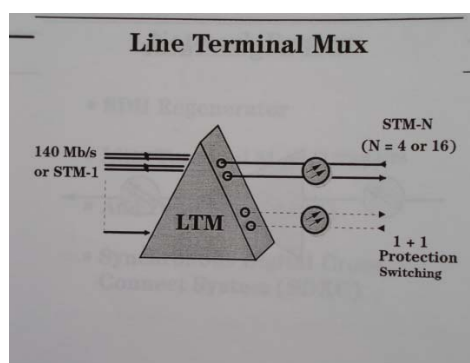
Szinkron hálózat jellemzői

- Minden eszköz szinkronozva van a másikhoz
- A legfőbb vezérlő jelet a szinkron óra adja
- A szinkron jel szétosztás történhet az átviteli út kijelölt csatornáján, vagy szinkronhálózaton
- Ha a szinkronjel megszűnik saját óráról jár
- Gyűrűs struktúra tartalék alapáramkörrel
- SDH alapelemek
 - Regenerátor
 - Multiplexer
 - Leágazó multiplexer
 - Cross Connect

- Az SDH hálózat valamennyi eleme szinkronba van egymással, és valamennyi egyetlen vezéróráról jár. A vezéróra pontossága jobb mint 10^{-18} 10 Gbit-es átviteli rendszerénél 0,3 hibás bit /év. A szinkron jelet el kell juttatni minden berendezéshez. Ez az alapjellel együtt történik. A gyűrűs struktúra kétirányú szinkronjel elérést tesz lehetővé ami a megbízhatóság növelést eredményezi. A nemzetközi hálózatban a cézium órák szinkronozva vannak egymáshoz. Ezáltal az SDH rendszerek pontossága növelhető. Nemzetközi áramkörökben sincs szlip a rendszerek között.
- A szinkronjel szempontjából van elsődleges és másodlagos szinkronjel. Ezek egymásnak a tartalékai és a gyűrű két irányából érkeznek. Ha mindkettő megszűnik akkor (hasznos jel sincs) a berendezés saját óráról jár.

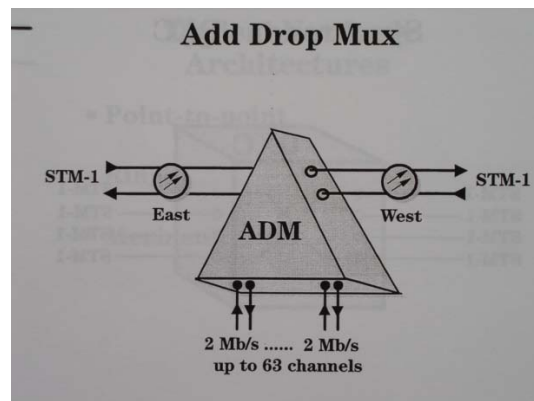


- A regenerátor szerepe, hogy a bemenetére érkező STM1, STM 4...STMn rendszerek jelét felerősítse, a kinyert órajel segítségével a jelformát szabályos négyszögjellé alakítsa és megfelelő szinten a vonalra kapcsolja. A szomszédos regenerátorok egymással információt cserélnek. A regenerátor beadja a saját információját a vonalra a következő regenerátor ezt értékeli és az útvonallal kapcsolatos információkat feldolgozza. Van ami saját magára vonatkozik és van amit tovább küld.

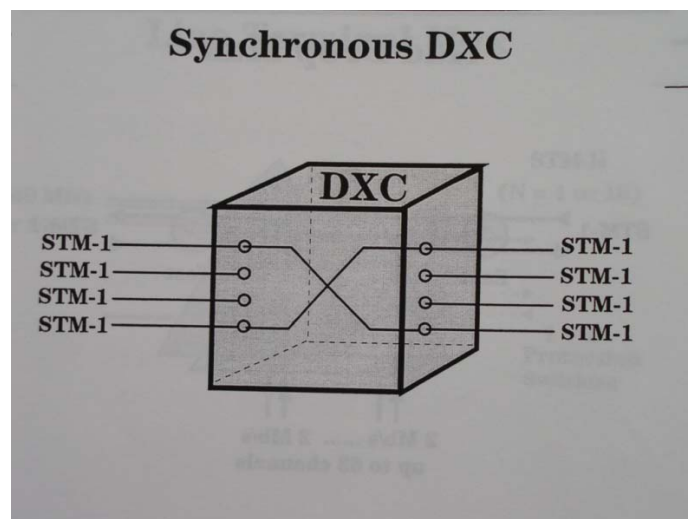


- A vonali multiplexernek az a szerepe, hogy a bemenetére érkező 140 Mbit-es PDH jeleket, vagy az STM-1-es jeleket STM -4-, és rendszerré, vagy közvetlenül STM-16-os rendszerré multiplexálja. A vonali multiplexereket magasabb szintű rendszerek összeállítására, szétosztására illetve a gyűrűk találkozási pontjában a különböző irányok kialakítására használjuk.

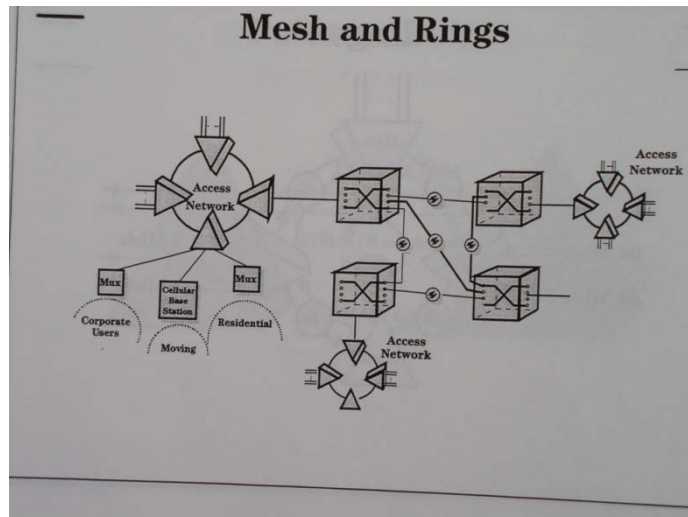
- A vonali multiplexerekkel azonos szintű rendszerek vonali tartalékolását is elvégezhetjük. A tartalékolás lehet 1+1 vagy n+1 a nyáláb irányától és fontosságától függően.



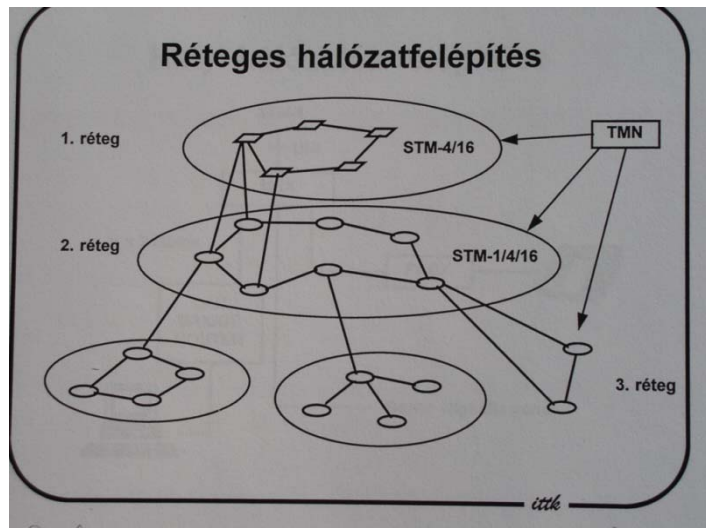
- A leágazó multiplexer elvégzi a vonali multiplexer feladatát is.
- Ezen túlmenően a leágazó multiplexerrel az STM-1-es rendszerbe be lehet csatolni, illetve le lehet ágaztatni a PDH nyálábokat. (2Mbit-ből max. 63-at, vagy 34Mbit-ből 3db-ot vagy 140 Mbit-ből 1db-ot). A leágazó multiplexerek is agyűrűben helyezkednek el. Ha leágaztatunk valamilyen PDH nyálábba akkor a helyére a továbbmenő irányba újabb rendszereket csatlakoztathatunk be. Ezáltal a leágazás veszteség mentes.



- A kross-connect vagy magyarul digitális rendező segítségével az SDH rendszereket távolról vezérelve a menedzselő rendszer segítségével egyik irányból át tudjuk kapcsolni a másik irányba. Ezáltal rugalmas rendszer kialakítás lehetséges. Meghibásodás esetén akár automatikusan is tartalék nyomvonalra lehet átkapcsolni. Az útvonalakat előre meg lehet tervezni, az átkapcsoló utasításokat meg lehet írni és hiba esetén az adott konfiguráció megszakadás mentesen kialakul.



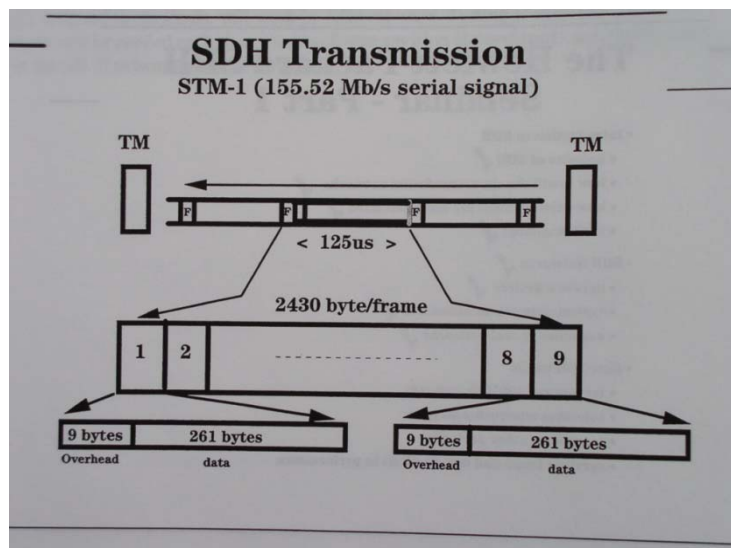
- Az SDH rendszerrel a teljes hálózat kiépíthető. Azok a potenciális ügyfelek akik viszonylag nagy belső adatátviteli és telefon hálózattal rendelkeznek és a megbízható távközlés elengedhetetlen számukra, kétirányú elérést (tartalékolt) igényelnek azokat célszerű SDH gyűrűbe összegyűjteni. Ilyenek pl. az egyetemek, bankok, államigazgatási intézmények, több telephellyel rendelkező nagyvállalatok stb
- SDH gyűrűkbe célszerű szervezni a mobil szolgáltatás részét képező bázisállomásokat.
- Ugyancsak SDH-val célszerű összefogni a központok kihelyezett fokozatait az anyaközponttal összekapcsoló 2 Mbit-es primer nyálábokat. Az IP alapú ADSL szolgáltatás nódjaihoz is szélessávú elérés szükséges.
- A fenti helyi hálózatban lévő SDH gyűrűk általában STM -1-es rendszerekből állnak, nincsenek teljesen kihasználva. Célszerű ezeket multiplexerekkel a hozzáférési hálózat magasabb szintű STM-n rendszereihez csatlakoztatni.
- A hozzáférési hálózat gyűrűit cross-connectekkel összekapcsolva az egyik gyűrűben lévő előfizető bármikor átkapcsolható a másik gyűrűbe lévő előfizetőhöz. Ezáltal rugalmas hálózati struktúra alakítható ki.



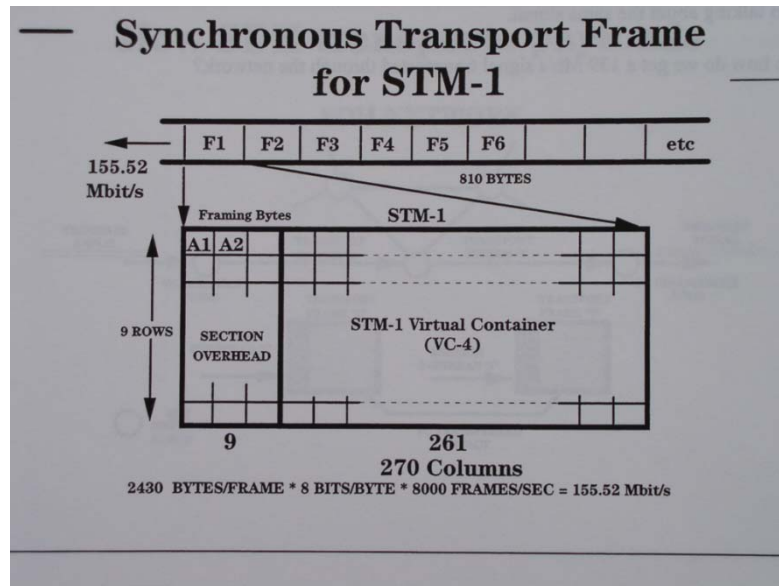
- Az országos távbeszélő hálózatot is SDH gyűrűk alkotják.
- Az 1.rétegbe sorolhatók a nemzetközi hálózatok amelyek az egyes országok nemzetközi központjait, adatközpontjait kötik össze. Ezek magasabb szintű SDH rendszerek STM-4, STM-16, STM-64
- A 2. rétegbe sorolhatók a szekunder központokat összekötő SDH gyűrűk. Mivel a központhoz 2Mbit-es trónkökkel kell csatlakozni azért STM-1 es szintig le kell bontani a gyűrűket akkor is ha a vonalszakaszon magasabb szinttel továbbítódnak. A szekunder sík szövevényes hálózata több egymásba ágyazott gyűrűből áll. A gyűrűk találkozási pontjában átkapcsolók teszik lehetővé az átjárást egyik gyűrűből a másikba.
- A 3. rétegbe sorolhatók a primer síkba lévő gyűrűk. Ezeken keresztül csatlakoznak a végközpontok 2Mbit-es trónkjei a primer központhoz. Ezek általában STM-1-es gyűrűkből állnak.
- Valamennyi berendezés egy adatátviteli hálózat segítségével központi felügyeleti rendszerhez csatlakozik és távolról menedzselhető. Ez azt jelenti, hogy nemcsak a hiba észlelése, hanem a beavatkozás is távolról történik.

SDH jel jellemzői

- Moduláris struktúra (STM-1-STM-64)
- Egyszerűen multiplexálható (Byt-Byt)
- Pontterek alkalmazása következtében egyszerűen hozzá lehet férni a jelekhez.
- Nagyobb a dzsitter tűrése.
- PDH (2,34,140 Mbit-es) jelek, ATM jel könnyen betehető
- Időkiegyenlítés pozitív-zéró-negatív kiigazítással.
- Max 20 szinkronozási szint



- Az SDH rendszer bájt szervezésű időmultiplexált rendszer. Ha az STM-1-es keretet primer PCM-ekből hoztuk létre akkor 1-1 bájt 1-1 csatorna PCM kódját tartalmazza.
- Az STM-1-es rendszer keretideje 125 mikroszekundum. Egy keret 9db alkeretből áll. Minden egyes alkeretnek 9bájt a fejrésze és 261bájt a hasznos információt szállító része. Egy keret 2430 t-bájtból áll. Egy-egy bájt 64kbit-es információt hordoz. Ebből adódik, hogy az STM-1-es jel sebessége 155,52Mbit



- Az STM-1-es rendszer keretének felépítését szemléletesebbé alakítsuk át úgy, hogy az alkereteket rakjuk egymás alá. A 9db alkeretet egymás alá rakva kapjuk a fejrészt. A fejrész 9 sorból és minden sora 9 Byteból áll. A hasznos információt szállító rész a rakomány. Ez szintén 9 sorból áll, és minden egyes sor 261 Byteot tartalmaz. Ezt VC4-es virtuális konténernek nevezték el.

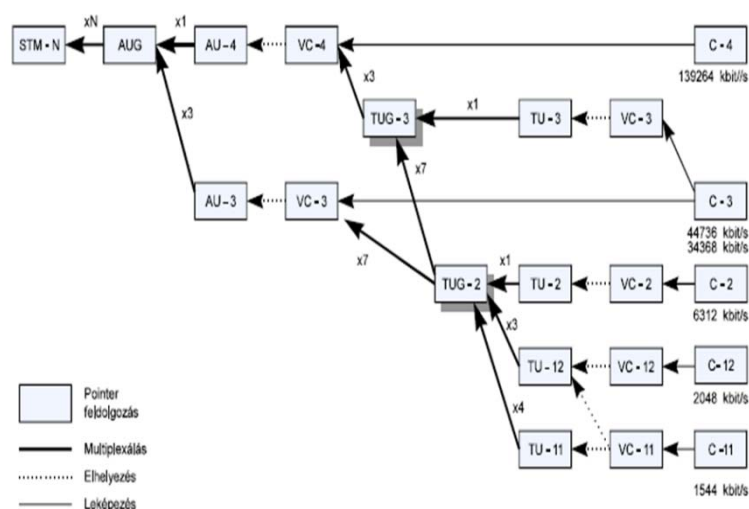
STM-1-es keret fejrészének a felépítése

- 3sor a regenerátor szakasz fejrésze (3x9 Byte)
 - Szinkronszavak, STMhierarchiajelzés, paritásellenőrző Byte, szolgálati telefoncsatorna, adatcsatorna, felhasználói csatorna
- 1sor pointer(1x9 Byte) A rakomány kezdő Bytejára mutat
- 5sor a multiplexer szakasz fejrésze
 - 3Byte paritás ellenőrzés, automatikus útvonalvédő kapcsolás, adatcsatorna, szolgálati telefoncsatorna, szabad csatorna

- A fejrész első három sora a regenerátor szakaszok működésével kapcsolatos információkat tartalmazza. Minden egyes regenerátort ezeket dolgozza fel és újra összeállítva továbbküldi a következő regenerátor felé. Tehát regenerátorok között szakasról szakaszra továbbítódik.
- Itt találhatóak a szinkronszavak amihez a rendszer szinkronozza magát. Az STM hierarchia jelző Byte-ok azt tartalmazzák, hogy milyen szintű (STM-1, STM-4, ...STM N) SDH jel megy a regenerátor szakaszon. A paritás ellenőrzés a vonali hibaelemzést kontrollálja. A szolgálati telefoncsatornán két regenerátor között az

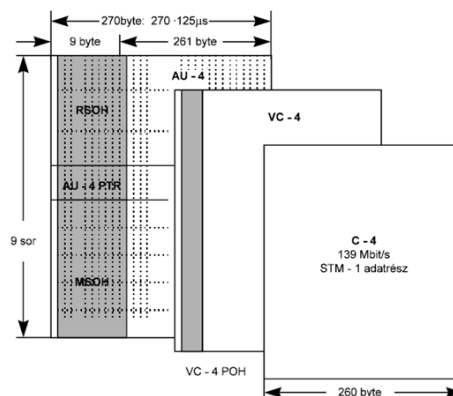
üzemeltetők egymással beszélhetnek. Az adatcsatornán a regenerátorok kommunikálnak egymással, illetve itt továbbítódnak a felügyeleti rendszerhez a regenerátorok állapotai és viszont. A felhasználói csatornát a berendezés tervezői tetszőleges célra használhatják fel.

- A fejrész 4.sora a pointer (mutató) sor.) 9Byt hosszúságú és a rakomány kezdő Bytjára mutat. Erre azért van szükség mert a rakományba lévő információknak meg kell adni a kezdetét ahhoz, hogy azt demultiplexálni lehessen.
- A fejrész 5.-8. sora multiplexerek működtetéséhez szükséges információkat tartalmazzák. 3Byt paritás ellenőrzést végez. Meg kell adni a multiplexálás szintjét, jel útvonalát, hogy milyen multiplexereken keresztül kell haladnia a célállomás felé és hol kell lebontani vagy leágaztatni.
- Az adatcsatornán a felügyeleti rendszer információi továbbítódnak. A szolgálati telefoncsatornán az üzemeltetők multiplexertől multiplexerig tudnak beszélgetést folytatni. A szabad csatornákat a berendezés gyártók használhatják fel pl az új interfészek kifejlesztésekor.
- Mind a regenerátor fejrészben mind pedig a multiplexer fejrészben üzemviteli állapotjelző, riasztási és felügyeleti információkat tartalmazó bájtok találhatók. Ezek segítségével lehet a kártya szintű riasztásokat eljuttatni a felügyeleti helyre. Visszirányú információk és utasítások kiadására van lehetőség. Méréseket, ismételt lekérdezéseket, parancsokat tud a felügyelő személyzet kiadni. Ezáltal az SDH rendszereknél magas szintű távmenedzselésre van lehetőség. Vannak olyan bájtok amelyek most még nincsenek definiálva. Ezeket a későbbiekben új távmenedzselési feladatokra lehet felhasználni.

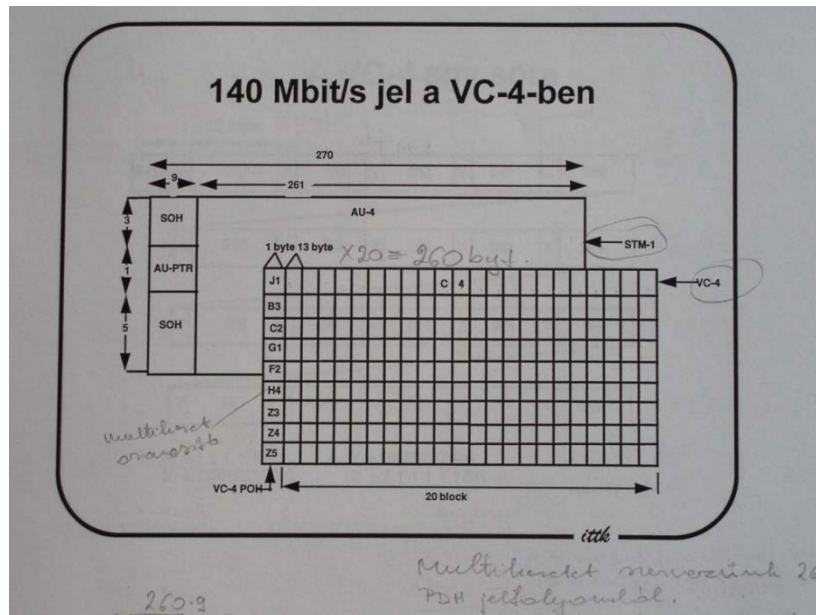


- A fenti ábra az STM-1-es rendszer összes lehetséges képzésének változatait mutatja, mind az európai mint az amerikai PDH rendszerek esetében.
- A 140 Mbit-es PDH rendszer jele bekerül a C4 majd a VC 4-es virtuális konténerbe. AU-4-es aritmetikai egységben kap egy oszlopos fejrészt és bekerül az SDH hasznos információt tartalmazó részébe (261x9 bájt)
- A 2Mbit-es PDH jel C'12-es konténerbe majd a VC12-es virtuális konténerbe kerül. Három darab tributary egységből tributari csoportot hoznak létre TUG-2 .Ebből 7db-ot összefogva újabb tributary csoportot képeznek TUG-3. Három darab TUG-3-at berakják a VC-4-es konténerbe. Ebből adódik, hogy $3 \times 7 \times 3 = 63$ db 2Mbit-es PDH-t visz az STM-1-es rendszer

Az SDH hasznos részének alábontása



- Az STM-1-es keret hasznos részébe rakhatók be a különböző átviteltechnikai rendszerek jelei. A 261x9 bájtot tartalmazó hasznos részt AU-4 (Arithmetic Unit)-nak hívják. Ebbe kerül be a VC-4 (Virtual Container) melynek 1bájtos oszlopa ismét a fejrész 260x9 bájt a hasznos információ. Ebbe kerül be közvetlenül a 139.364Mbit es kvarter PDH jel . Ezt C-4-es konténerrel jelölik.



- Az STM-1-es rendszer hasznos része 9sor és soronként 261 Bájt. A fejrész változatlan marad A 140 Mbit-es PDH jelet úgy rakjuk be a hasznos részbe, hogy soronként 20db 13 Bájtot tartalmazó multikeretet alkotunk belőle . Ezen blokk elé rakunk egy Bájtos fejrészt ami a tartalommal kapcsolatos információt tartalmazza. Hasonlóképpen képezzük mind a 9 sort. A fejrész tartalma soronként változik. A 9 soros hasznos részt C4-es konténernek hívjuk.
- Mivel PDH rendszer átvitelről van szó ezért a fejrészbe be kell rakni a kiigazítás előrejelző biteket. A rakományba pedig lesznek kiigazító bitek, kitöltő bitek, attól függően, hogy a PDH rendszer sebessége mekkora.
- Az így kialakított STM-1-es rakományt VC-4-es konténernek hívjuk.

STM-1-es rakomány felépítése 1.rész

- **Konténerek formájában berakható**
 - európai 140Mbit-es(C4) , 34Mbit-es(C3), 2Mbit-es(C12) PDH jel
 - amerikai 44,7Mbit-es(C3), 6,3Mbit-es(C2), 1,5Mbit-es(C11) jel
- **Konténerek tartalma**
 - PDH jel
 - Kitöltő bit
 - Kiigazító bit
 - Kiigazítás vezérlő bit

STM-1-es rakomány felépítése 2.rész

- **Virtuális konténerek**
 - Magasabb rendű virtuális konténerek (fejrész 1Byt)
 - Alacsonyabb rendű virtuális konténerek (fejrész 9B)
- **Útvonal fejrész szerepe (POH)**
- **virtuális címet tartalmaz**
 - kijelöl egy útirányt
 - megbízható átvitel, hiba analízis, hibajavítás
 - hibaüzenetek továbbítása
 - fenntartási üzenetek továbbítása

•

Adminisztratív funkciók

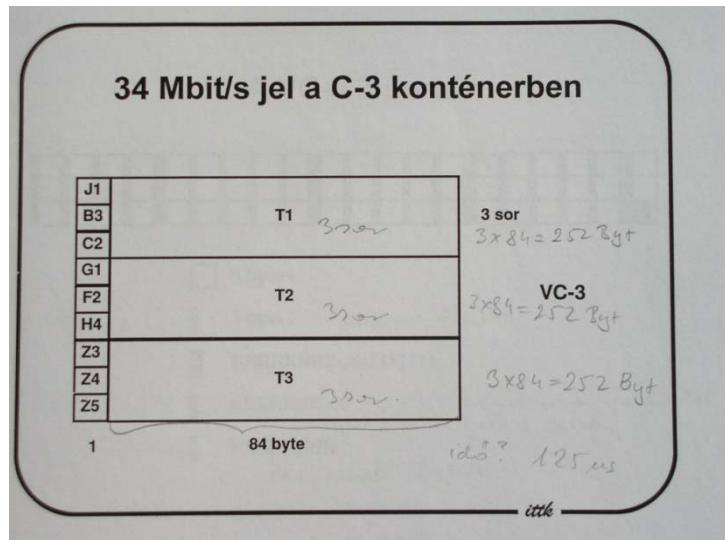
- **Adminisztratív egység (AU)**
 - Fázisösszegzés szinkronizálás
 - Magasabb rendű VC-k létrehozása
 - Közvetlen illesztés az STM-1be
 - AU-4 Európában
 - AU-3 USA-ban
- **Adminisztratív egység csoport (AUG)**
 - 3xAU-3 alkot egy csoportot

•

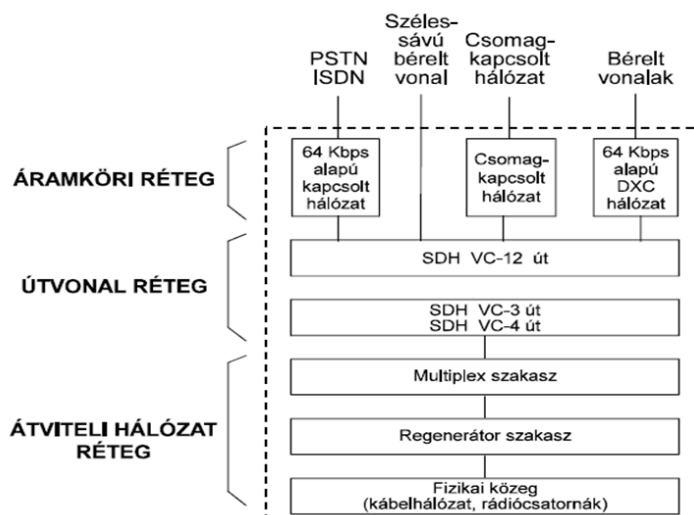
Tributary funkciók

- **Tributary egység (TU)**
 - Fázisösszefüggés megteremtése (szinkronozás)
 - Alacsonyabb rendű VC-k csatlakoztatása
 - Illesztés a magasabb rendű VC-be
 - Típusai TU-11, TU-12, TU-2, TU-3
- **Tributary egység csoport (TUG)**
 - multiplikálás

•

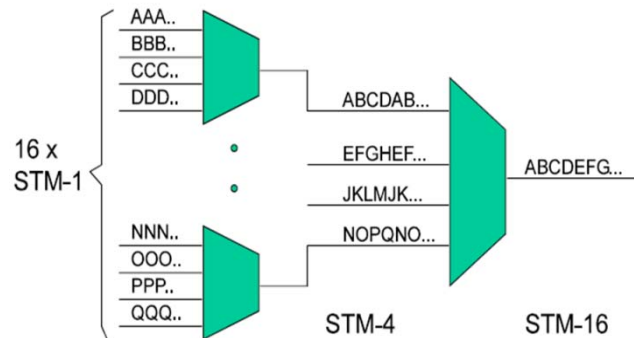


Az SDH rétegszerkezete



- Az SDH rendszer felépítése az OSI modellt követi. Legelső réteg a fizikai réteg melybe a vonalszakaszi berendezések és szoftvereik tartoznak bele. A következő réteg a különböző rendszerek beintegrálását végzi. Az áramköri réteg a szolgáltatásokat foglalja magába.

Magasabb hierarchiájú SDH-k létrehozása

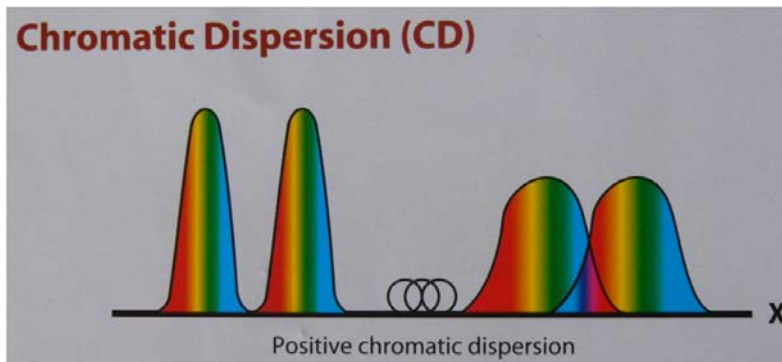


- Négy darab STM-1-ből bájt multiplexeléssel egy darab STM-4 hozható létre. Vesszük az első STM-1-es rendszer első (A) bájtját majd a második STM-1-es rendszer első (B) bájtját, majd a harmadikét (C) és a negyedikét (D). Ez után kezdődik a folyamat előlről. Ezt a folyamatot hívjuk bájt multiplexelésnek.
- Négy darab STM-4-ből egy darab STM-16-ot hozhatunk létre szintén bájt multiplexeléssel az előző elv felhasználásával. Vesszük az első STM-4-es első négy bájtját majd a második STM-4-es rendszer négy bájtját és így tovább. A multiplexelés következtében az STM-16-os rendszerben egymást követik az első, a második, harmadik és végül a tizenhatodik STM-1-es rendszer első bájtjai majd az egyes STM-1-es rendszerek második bájtjai és így tovább.

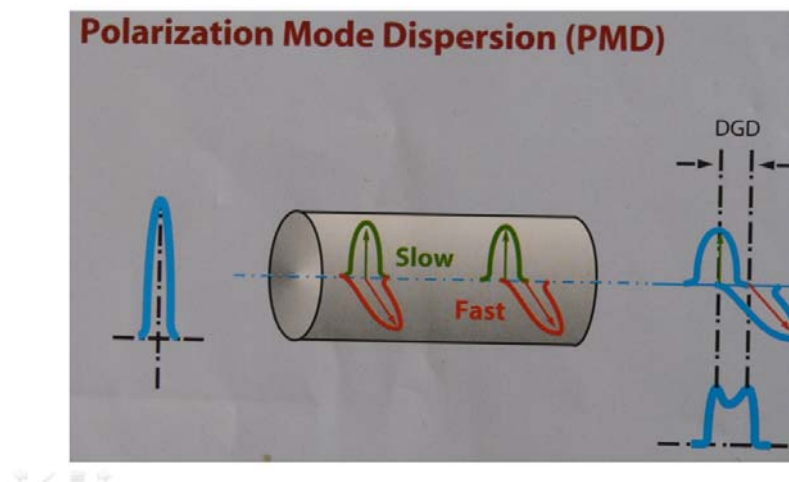
• **A hullámhossz multiplexálás adta lehetőségek**

- A fényvezető szál sáv szélessége 50-60 Terra Hz. Ez a sáv szélesség lehetővé teszi azt, hogy kb. 1 milliárd beszélőcsatorna vihető át egyetlen szálon. A 10 Gbit –es átviteli rendszereinkkel 120960 beszélőcsatornát viszünk át. Az optikai szál kapacitása messze nincs kihasználva.
- A „sztdern” monomódusú fényvezető szál az amelyik még egyetlen digitális jel átvitelére készült. ITU-T G-652-es ajánlása szerinti. A diszperzió (szóródás) egy kellemetlen jelenség amely a négyszögjel ellaposodásához vezet. Ennek csökkentésére olyan adalékolt szálakat készítenek amelyben a diszperzió negatív értékű. Ezt sorba kötve a hagyományos kábellel a diszperzió kompenzálható. Ilyen szál az ITU-T G 653-as ajánlása szerint készítenek.
- Javított szál amely kimondottan WDM átvitelre készül az az ITU-T-G-655-ös ajánlás szerinti.
- Az optikai szálnak lineáris és nem lineáris tulajdonságai vannak.
- Minden szálnak mindhárom átviteli tartományba van csillapítása.
- Diszperzió a fénynek az fényvezető szálban való terjedése következtében előálló szóródás.
- Két típusa van a kromatikus diszperzió és polarizációs módus diszperzió.
- Az optikai szálnak nemlineáris tulajdonságát az SDH technikában nem vettük figyelembe mert csak egyetlen szélessávú jelet alkalmaztunk. A WDM technológiában a fényvezető szálnak a nemlineáris tulajdonsága nem hagyható figyelmen kívül. Ezek a négyhullám keverés, a keresztfázis moduláció a Brillouin szórás és a Raman szórás. A négyhullám keverés és a keresztfázis moduláció hasonló jelenség mint az analóg technikában amikor a transzfer karakterisztika nem lineáris volta miatt torzítás keletkezik. A Brillouin szórás és a Raman szórás a fényvezető szálban lévő atomok kölcsönhatásából adódik.
- A stimulált Brillouin-szórás a stimulált Raman-szóráshoz hasonló, energiaátadással járó jelenség, azonban
- ez a továbbítandó jellel ellenétes irányba, az adó irányába hat. Hatása szintén kedvezőtlen, mivel az adó-
- lézerek jelét instabillá teszi, azonban megfelelő izolátorok alkalmazásával kompenzálható,

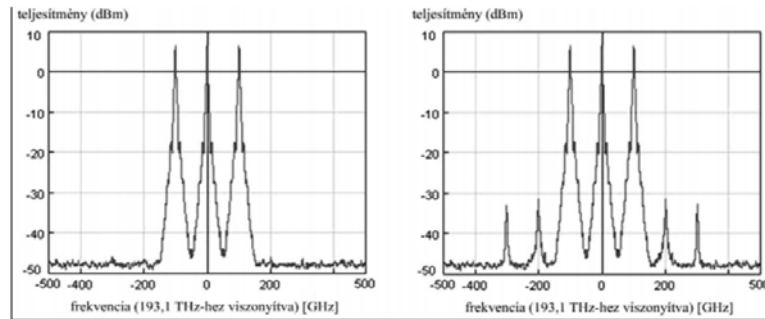
Kromatikus diszperzió



Polarizációs módus diszperzió



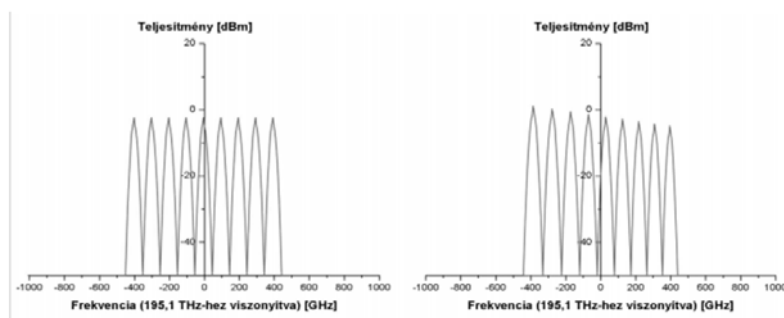
Négy hullám keverés



A négyhullám-keverés akkor lép fel, ha két vagy több WDM csatornán továbbítunk jelet. A négyhullám-keverés fellépésekor úgynevezett parazitajelek jönnek létre jól meghatározott frekvenciákon. Egyenletes csatornakiosztású WDM hálózatokban e parazitajelek nagy hányada az általunk is használt hullámhossz sávokba esik, ezáltal azokon szűrhetetlen zajt képeznek.

A négyhullám keverés jelensége miatt megnövekszik az adott csatornába a zaj. Az hozzáadódik az eredeti jelhez torzulást okoz. és attól nagyon nehezen választható le. Ha nagy az adott csatornába eső zaj akkor „0”-kat képes „1” re változtatni. Ez hiba arány romlást eredményezhet.

Raman szórás hatása

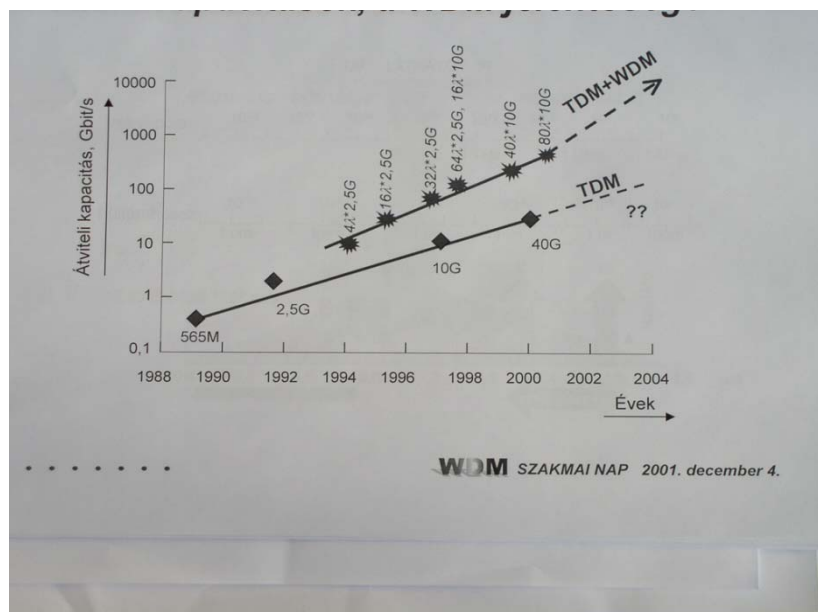


A stimulált Raman-szórás olyan nemlineáris hatás, melynek során a kisebb hullámhosszú csatornák felől sztochasztikus jelleggel energia adódik át a nagyobb hullámhosszú csatornáknak melynek következtében a csatornák jelszintjei megváltoznak, illetve zajossá

válnak. Ez a legkisebb hullámhosszúságú csatorna jelminőségét rontja a legnagyobb mértékben, mivel annak jelszintje csökken a legjelentősebben

Száltulajdonságok javítása

- **Kromatikus diszperzió (kiszélesedés, átlapolódás) adalékolással 0diszperzió 1550 nm**
- **Módusdiszperzió (geometriai hibák, szennyezések, fizikai hatások) precíz gyártás, szálbevonatok azonnal, hajlítási sugár betartás.**
- **Négyhullám keverés (kvarcüveg elektronjai közötti kölcsönhatás) két hullámból a modulációs termékek is kialakulnak.(áthallás)**
- **Szórások Brillouin(fény és hanghullámok makroszkópikus kölcsönhatása) : Raman(fény és a SiO₂ molekulák kölcsönhatása) csillapítást, áthallást okoz.**



Az SDH időosztásos átviteli rendszerek fejlődése a 2000-es évek elején megállt. Ennek rendszertechnikai és gyártástechnológiai akadályai voltak.

Mivel a fehér fény is alkotó elemeire bontató felvetődött az, hogy a fényvezető szálra ne csak egy hullámhosszúságú jelet hanem több egymástól jól elválasztható hullámhosszúságú fényt vezessünk és azokra tegyünk egy –egy SDH rendszert. Ezáltal a szál kapacitást sokkal jobban ki lehet használni. Így alakultak ki a négy, és majd az egyre több hullámhosszúságú rendszerek.

Átviteli kapacitás növelésének lehetőségei

- **Multiplexelési eljárások**
- **Frekvencia multiplex (FDM) rendszerek**
- **Időmultiplex (TDM) rendszerek**
- **Térmultiplex (SDM) rendszerek**
- **Hullámhossz multiplex (WDM) rendszerek**
 - Ritka osztású (CWDM)
 - Sűrű osztású (DWDM)



A különböző multiplexálási eljárásokkal az átviteli közeg jobb kihasználására törekszünk. Optikai kábelek esetében az alábbi multiplexálási eljárásokat használjuk.:

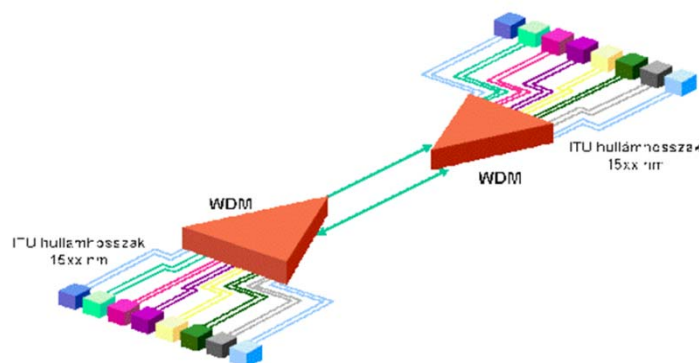
Frekvencia multiplexálásnál a csatornák frekvenciában eltolva egymás mellett helyezkednek el. (pl rádió adók az éterben)

Időmultiplexálási eljárásokkal az időben egymás után rakjuk az átviteli csatornákat.

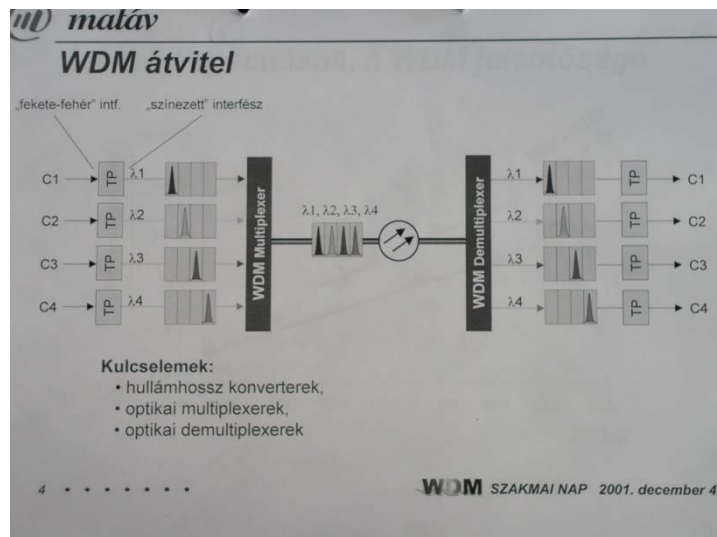
Térmultiplexálás esetében a térben (pl egy optikai kábel különböző szálain) egymás mellett helyezzük el a csatornákat.

Hullámhossz multiplexálási eljárások esetében különböző hullámhosszakon vesszük át az egyes csatornák jeleit.

Wave Division Multiplexing—Hullámhossz Osztású Nyalábolás



A fényvezető szál gazdaságosabb kihasználása érdekében a különböző hullámhosszúságú optikai jeleket egyetlen nyalábbá foghatjuk össze és azt fényvezető szálra csatlakoztathatjuk



Az ábrán négy digitális TDM rendszer hullámhossz multiplexálását láthatjuk. A C1-C4 jelek lehetnek SDH, Ethernet, Gbit ethernet, IP elektromos vagy optikai jelforrások. Korábbi tanulmányainkban ezeket külön-külön kapcsoltuk egy-egy fényvezető szálra. A hullámhossz multiplexálás segítségével most mind a négy rendszert egyetlen fényvezető szálra csatlakoztatjuk.

A Transzponderek -vagy más néven hullámhossz konverterek- a bejövő jelből diszkrét de egymástól eltérő keskeny hullámhosszúságú optikai jeleket állítanak elő. Vannak olyan transzponderek amelyek meghatározott interfészű bemenő jelből adott hullámhosszúságú optikai jelet állítanak elő, és vannak olyanok amelyekben programozható az optikai jel hullámhossza. A passzív transzponderek a szélesebb spektrumú jelből kivágják azt a hullámhosszt amire programozták. Az aktív transzponderek a bejövő optikai jelet detektálják és új keskeny hullámhosszú jelet állítanak elő.

A WDM multiplexer összefogja és a vonalra csatlakoztatja a különböző hullámhosszúságú optikai jeleket. Ezek általában passzív optikai elemek amelyek a bejövő jeleket optikai szűrők segítségével egyesítik.

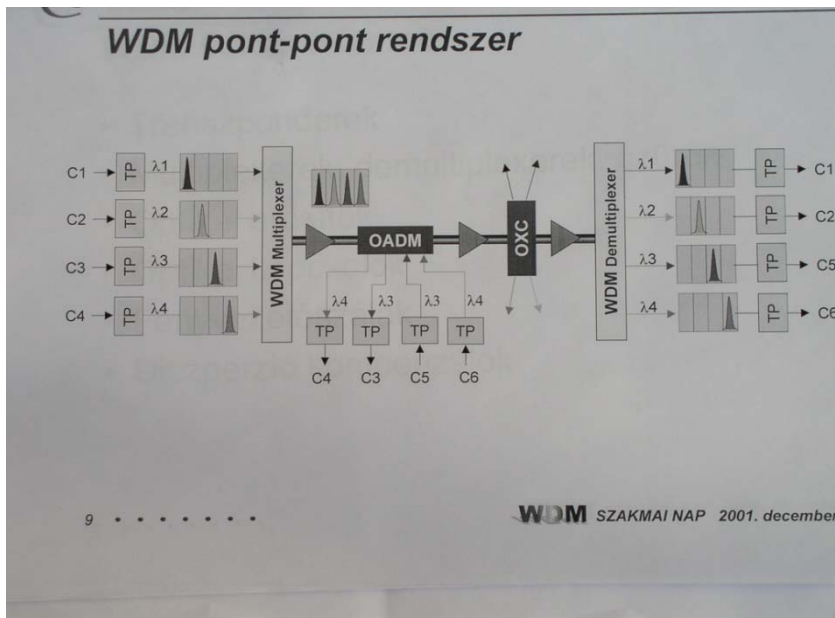
A WDM demultiplexerek szétválasztják a különböző hullámhosszúságú optikai jeleket. Ezek is passzív optikai elemek.

A vételi oldalon a transzponderek visszaalakítják a különböző hullámhosszúságú jeleket optikai vagy elektromos kimenetűvé.

A multiplexer és a transzponder összevonható egyetlen elemmé. Ezeket muxpondernek hívjuk.

Multiplexálási eljárás

- C1-C4 1-1db 10Gbit es SDH rendszer optikai interfész jele. (a lézer adó széles spektrumú)
- TP-k (hullámhossz konverterek) előállítják a különböző hullámhosszúságú kimenőjeleiket
- WDM multiplexer összegzi és egy optikai szálra csatlakoztatja a jeleket.
- A WDM demultiplexer szétválasztja a különböző hullámhosszúságú jeleket
- A hullámhossz konverter visszaalakítja azonos hullámhosszúvá az optikai jelet.



Optikai erősítők. Optikai erősítőket akkor alkalmazunk, ha az áthidalandó távolság illetve a közbeiktatott optikai komponensek csillapítása nagyobb mint amit mint a használt optikai interfész teljesítmény tartaléka (power budget).

A vonalszakaszba az SDH-hoz hasonlóan add-drop (leágazó) multiplexerek is berakhatók, csak ezek nem elektromos hanem hullámhossz tartományba működnek. Ezeket OADM-nek Optical Add-Drop Multiplexer hívjuk. Ezáltal jeleket tudunk a gyűrűkből ki és becsatolni elektromos jel visszaalakítás nélkül. **OADM** – Optical Add-Drop Multiplexer. Az OADM segítségével meghatározott hullámhosszak csatlakoztathatók ki illetve be a WDM adatfolyamba úgy, hogy a többi hullámhossz az eszközön beavatkozás nélkül áthalad..

ROADM – Reconfigurable Optical Add-Drop Multiplexer. Az OADM-mel megegyező feladatot lát el a hálózatban, azonban míg az OADM csak előre meghatározott hullámhosszak kiválasztására alkalmas a ROADM esetén szoftverből határozhatjuk meg, hogy melyik portján milyen hullámhosszt vegyen ki illetve adjon hozzá a WDM adatfolyamhoz.

OXC optikai cross-connect optikai átkapcsoló hasonlóképpen működik mint az SDH cross-connect csak elektromos jel visszaalakítás nélkül

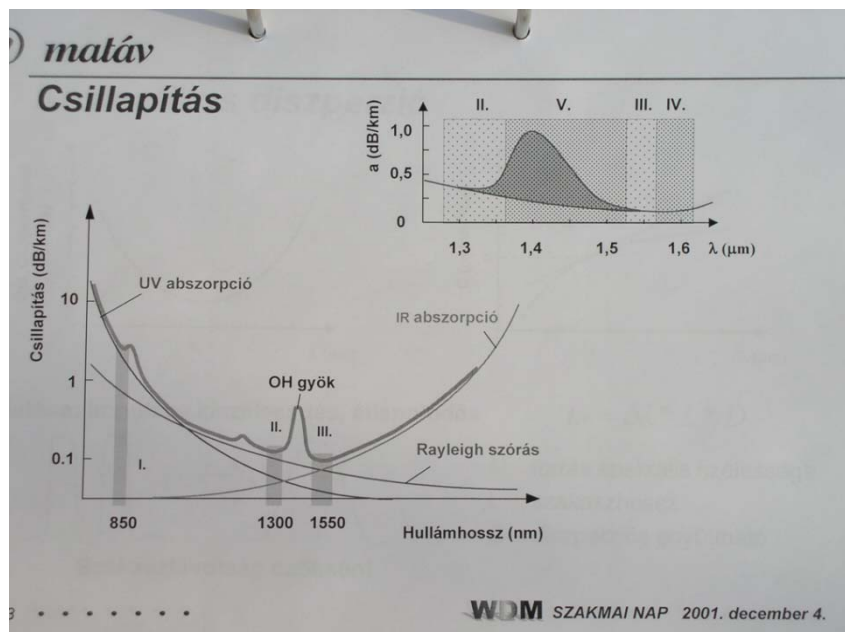
Diszperzió Kompenzációs Modul (DCM). A kromatikus diszperzió (különböző hullámhosszak különböző sebességgel terjednek az optikai szálban) a nagytávolságú WDM átvitelnél problémákat okoz, ezért annak meghatározott értékhatárokon belül tartása végett diszperzió kompenzációs modulokat kell alkalmaznunk.

Optikai Szolgálati Csatorna (OSC). Kiterjedt WDM rendszerek központi felügyeletét biztosító összeköttetés kialakítására optikai szolgálati csatornát szokás kialakítani. Az OSC lehet egy erre fenntartott hullámhossz amely végigmegy a rendszeren illetve bizonyos megkötésekkel hagyományos (általában 1310 nm) hullámhossz is alkalmazható. Az OSC „szürke” (nem WDM) hullámhosszának WDM adatfolyammal való egysítségét erre a célra kifejlesztett OSC modulok végzik.

Videlemi megoldások. A WDM összeköttetések általában az optikai hálózatok fő ütőerei és mint ilyenek nem képzelhetők el az egyes összeköttetések és magának a berendezésnek a meghibásodása elleni védelem nélkül. Ennek részei lehetnek az egymással tartalék üzemmódban együttműködő transzponderek, a külön erre a célra tervezett optikai switchek, az ezeket kezelő szoftver megoldások és a teljes hálózati redundancia kialakítására alkalmas rendszer.

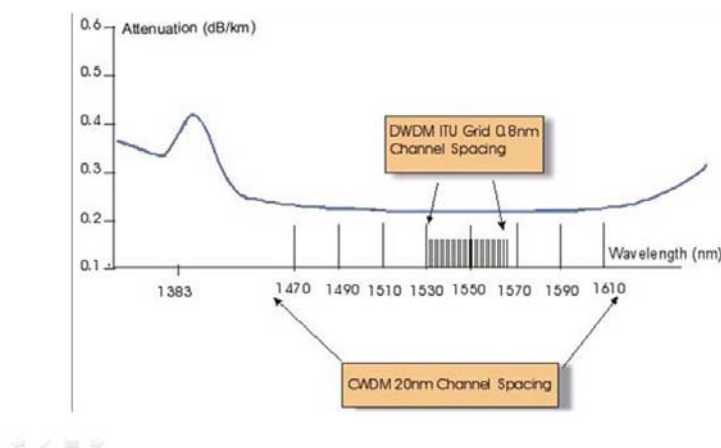
A WDM rendszer is a központi felügyeleti rendszerhez csatlakozik. Távolról felügyelhető és menedzselhető minden egyes modul. A hullámhossz átkapcsolás, erősítés beállítás, és az összes eszköz állapotkijelzése egy felügyeleti rendszerrel kezelhető.

A WDM-hez különböző szabványos elektromos és optikai interfészek csatlakoztathatók mellyel közvetlenül lehet csatlakozni a WDM hálózathoz. IP, SDH, PDH, Ethernet, Gigabit ethernet,



A korábbi tanulmányainkban láttuk, hogy három tartományt használunk ki az optikai kábelből digitális jelátvitelre. A 850 nm-es, az 1300 nm-es, és az 1550 nm-es tartományt. Ha egy ugyanazon szálra mindhárom sávba berendezést akarunk telepíteni akkor szűrővel szét kell választanunk a sávokat és egymástól függetlenül három rendszer üzemeltethet. Ezt a változatot „B” WDM-nek nevezzük

CWDM és a DWDM elhelyezkedése a kábelben



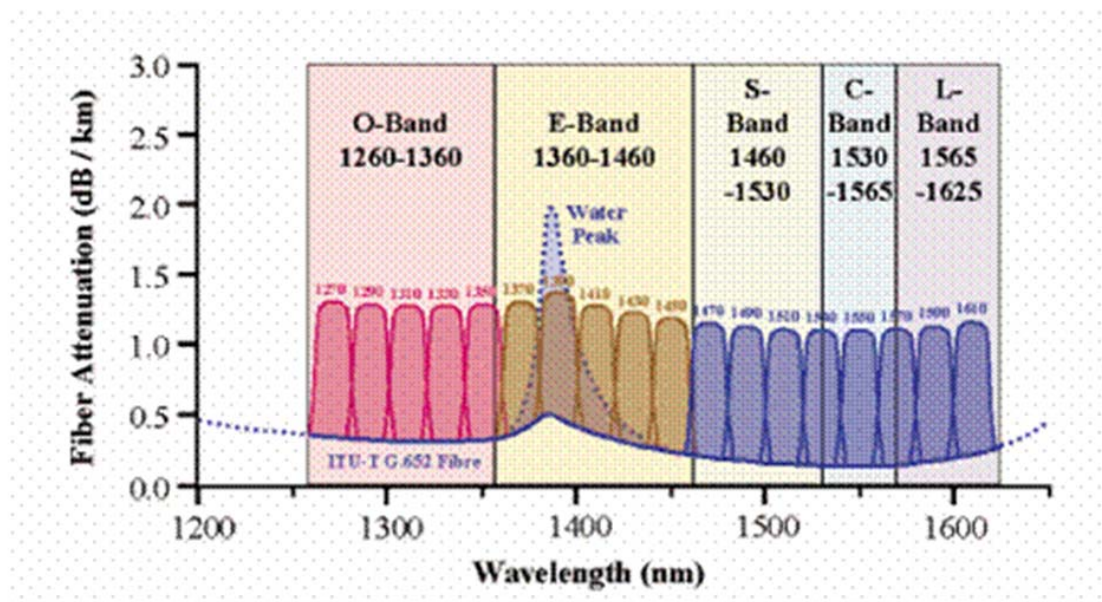
CWDM Coarse Wave Division Multiplexing

Az 1270 – 1610 nm tartományban egymástól az ITU G.694.2 ajánlása alapján 20 nm távolságot tartva 18 csatorna került kialakításra. A csatornák számozásához a hullámhossz érték középső két számjegyét kiemelik, így lesz pl. az 1550 nm hullámhossz az 55-ös csatorna. A csatornaszám tehát 27-től 61-ig terjed és a hullámhosszal növekszik

DWDM Dense Wave Division Multiplexing

Az ITU G.694.1 ajánlása az 1490 – 1610 nm hullámhossz tartományt jelöli ki DWDM átvitelre. A csatornák közti távolság itt olyan kicsi, hogy hullámhosszban csak tört számokkal fejezhető ki, ezért arra frekvencia értékben szoktak hivatkozni. Jelenleg legelterjedtebb a 100GHz (0.8 nm) kiosztás, de létezik 50 GHz-es (0.4 nm) vagy akár annál sűrűbb csatornatávolság is. Ezek a kiosztások egymásba illeszkednek, azaz pl. az 50 GHz-es kiosztás a 100 GHz-es csatornákat használja köztük újabb csatornákat létrehozva. Néhány régebbi eszköz 200 GHz-es kiosztáson működik, ezek egyszerűen a 100 GHz-es kiosztás páratlan csatornáit használják. Fentiekből látszik, hogy a csatornaszám az alkalmazott csatornakiosztás függvénye, akár több száz független adatfolyam is átvihető a kijelölt sávban.

WDM sávok



Az egyszerűbb kezelhetőség kedvéért a használható optikai spektrumot sávokra osztották. A szabványos sáv kiosztás a fenti ábrán látható:

A gyakorlatban a DWDM átvitelhez a C sáv leggyakrabban használt mert a komponensek ára – beleértve a sávot árfogó optikai erősítőket is – itt a legkedvezőbb. A C sávban a 100GHz-es technológiát használva 40, 50 GHz-es kiosztással pedig 80 csatorna vihető át.

Az E sávban feltüntetett „Water Peak” a hagyományos (ITU G.652.A ill. G.652.B) kábelek gyártási technológiájából adódó csillapítási csúcsérték, ami miatt az ide eső CWDM hullámhosszak az ilyen kábeleken nem használhatók. Ma már több olyan kábeltípus is létezik, amelynél ez a „Water Peak” kiküszöbölésre került (LWP – Low Water Peak valamint ZWP – Zero Water Peak) amelyek az ITU G.652.C vagy az újabb G.652.D előírásainak felelnek meg. Ezeken a kábeleken az összes CWDM hullámhossz használható. A DWDM átvitelre használt S, C és L sávokat a „Water Peak” nem érinti.

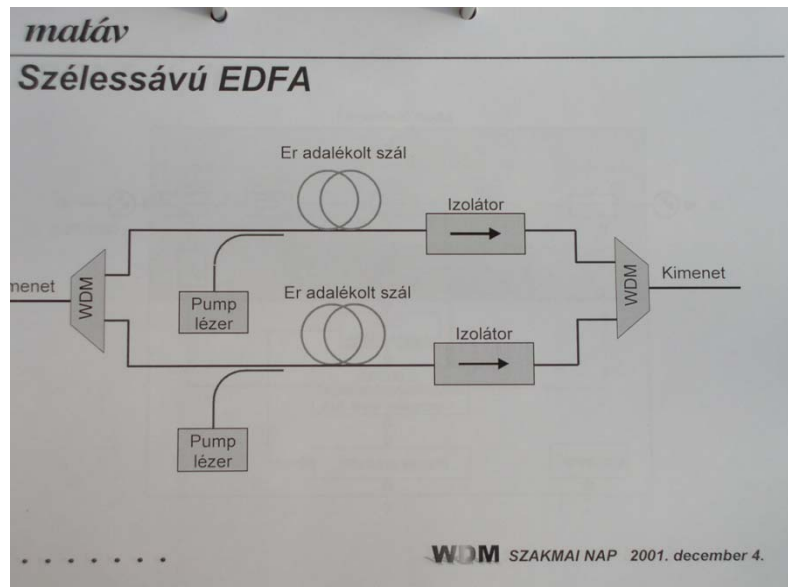
Optikai erősítők

- **Optikai jelet erősítik elektromos jelvisztaalakítás nélkül. (jel regenerálás nem történik)**
- **Félvezetőlézer erősítő**
 - különböző hullámhosszokon nagy sávszélesség (10THz), integrálható, nemlineáris viselkedés
- **Ritka földfém adalékolású fényvezetősál erősítő**
 - Hordozók: Si, Fluorid, Tellurit, Gallium-nátrium szulfid, cirkónium bázisú fluorid
 - Adalékok: Erbium, praseodimium, thulium

Optikai erősítők. Optikai erősítőket akkor alkalmazunk, ha az áthidalandó távolság illetve a közbeiktatott optikai komponensek csillapítása nagyobb mint amit mint a használt optikai interfész teljesítmény tartaléka (power budget). A leggyakrabban alkalmazott optikai erősítő típus az EDFA (Erbium Dopped Fiber Amplifier). Attól függően, hogy hova helyezzük el az erősítőt megkülönböztetünk Booster (közvetlenül az optikai adó után), In-Line (a két végpont, azaz az adó és a vevő között) valamint elő-erősítőt (közvetlenül a vevő előtt elhelyezve). A jel/zaj viszony szempontjából a Booster rendelkezik a legjobb karakterisztikával, azonban a szakasz elején az optikai jel általában nagy teljesítményű, így ezeknek az erősítőknek a legkisebb az erősítési tényezője. Az In-Line erősítők a leggyakrabban alkalmazott erősítő típusok mivel jó megoldást nyújtanak a viszonylag magas erősítési tényező és elfogadható zajtényező kombinációjával. Az elő-erősítők az vonal végén az alacsony szintű optikai jeleket látványosan erősítik, azonban jelentős zajt visznek a rendszerbe így használatuk csak a égszükségesebb esetekre korlátozódik

Az EDFA erősítőkön kívül találkozhatunk RAMAN erősítőkkel is. A RAMAN erősítő előnye az EDFA-hoz képest, hogy a rendszer zajtényezőjét egyáltalán nem növeli (sőt kis mértékben még csökkentheti is) és kis jeleket is nagyon jó minőségben tud erősíteni. Hátránya, hogy

drágább az EDFA erősítőnél és erősítési tényezője is általában alacsonyabb. A RAMAN erősítőket általában EDFA erősítőkkel együtt alkalmazzák oly módon, hogy a kis jeleket a jel/zaj viszony romlása nélkül előbb RAMAN erősítőkkel megnövelik majd az így kapott jelet EDFA erősítőkkel tovább erősítik.



A WDM erősítő alapelve az optikai jelet elektromos jel visszaalakítása nélkül erősítjük fel. Erre EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier = erbiummal adalékolt optikai erősítés)

Az optikai jel erősítését egy Erbiummal adalékolt üveg szál végzi. A pumpáló lézerrel az erbiom atomokat gerjesztett állapotba hozzuk.

Az erbiom atom először elnyel egy adott energiájú fotont, majd emittál egy kisebb energiájú, azaz nagyobb

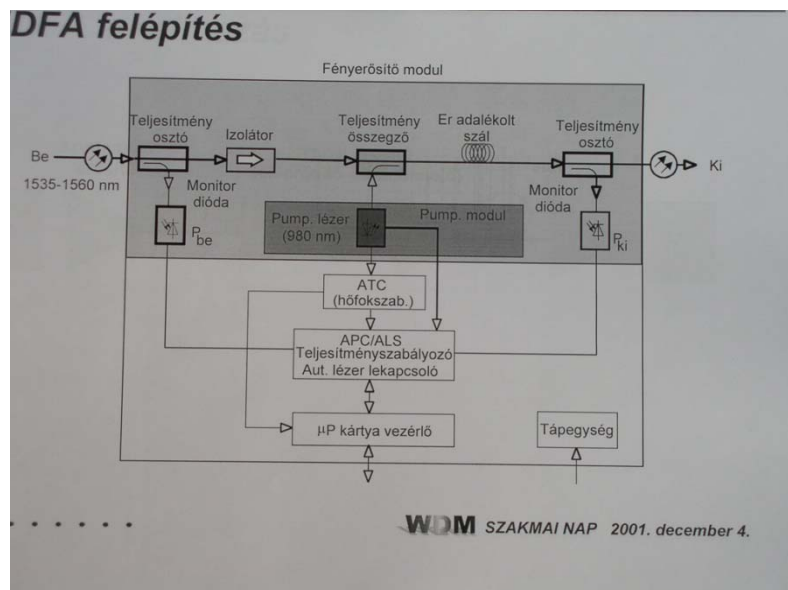
hullámhosszú másik fotont. Az elnyelt és az emittált fotonok energia különbsége egy foton alakjában a rács

energiáját növeli. A teljesítmény transzfer hullámhossza az anyagtól függ. Az erbiom 550-600 nm hullámhossz növekedést eredményez. Ezt a jelenséget úgynevezett Stokes-eltolódásnak hívjuk. Ez az 1530-1550 nm tartományon belül egy 30 nm-es (10 THz!) sávban biztosítja az erősítést

Izolátor a pumpáló lézer jelét nem engedi át csak a hasznos sávot (1500-1560nm) . Erre azért van szükség, mert különben a pumpáló lézer nagy jele bejutna a WDM demultiplexerbe és ott túlvezérlést okozna.

A gyakorlatban a nagyobb sáv szélesség elérésére egyidejűleg több különböző hullámhosszú (pl 8) pumpáló lézeres erősítőt kötnek párhuzamosan. Mindegyik egy adott

hullámhossz tartományt erősít. Ezáltal széles tartományban egyenletes erősítést érhetnek el.



EDFA erősítő szabályzását mutatja a fenti ábra. A szabályzó rendszerben előre szabályzás, negatív visszacsatolás, és digitális szabályzás együttesen van alkalmazva. A bejövő jel a teljesítmény osztóra kerül. A kisebbik résszel állítják be az erősítés mértékét. A nagyobbik rész az izolátorra kerül azért, hogy a pumpáló lézer jele ne jusson vissza a bemenetre. A teljesítmény összegző pumpáló lézer jelét csatolja a bemeneti jelhez. A két jel összege kerül az adalékolt szálra ahol az optikai jel felerősödik. A kimeneti teljesítmény osztó egy referencia jelet csatol ki amellyel a pumpáló lézer energiáját vagyis a jel erősítését lehet szabályozni. Ez egy negatív visszacsatolás. A pumpáló lézert hő stabilizálni kell a stabil működés érdekében. A teljesítmény szabályzó a bemeneti jelszinttől függően beállítja az erősítést, a kimeneti szintet stabilizálja a beállított erősítésnek megfelelően. Ha a kimenet megszakadt, szálszakadás, vagy csatlakozó lehúzás miatt akkor a kimeneten reflexió lép fel. Megugrik a kimenő jel szintje ekkor lekapcsol a pumpáló lézer, azért, hogy a berendezés védve legyen a tönkremeneteltől. A szabályzásokat mikroprocesszor vezérli.



TÁMOP 4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0005