

19.

Napjainkban a távközlés és a számítástechnika elképzelhetetlen lenne az optikai szálak nélkül. Adattovábbítás szempontjából nemcsak nagy adatátviteli sebessége (a jelenlegi – 2007 április – rekord 25,6 Terrabit/s egyetlen szálon keresztül) teszi jóval előnyösebbé az optikai szálakat a rézvezetékekkel szemben, hanem az is, hogy mechanikailag ellenállóbbak, nem zavar érzékenyek, nem sugároznak, védettebbek a lehallgatással szemben, valamint segítségükkel nagyobb távolságok hidalhatók át (akár több száz kilométer).

Már 1966-ban felvetődött a rézvezetékek, illetve az elektromos áram helyettesítésének problémája a telefonos kommunikáció terén. Kezdetben azonban akadályt jelentett az üveg és a belőle készített üvegszál nagy csillapítása (több száz decibel kilométerenként). Az üvegnek több olyan kedvező tulajdonsága van, ami alkalmassá teszi optikai szálak készítésére:

- a megszilárdulása kristályosodás nélkül megy végbe, egy széles hőmérsékleti tartományban, változó viszkozitással, ami lehetővé teszi, hogy szálát húzzanak belőle;
- a tiszta üveg, főleg a szilikátüveg, optikai szempontból rendkívül átlátszó, köszönhetően a szennyeződések csökkentésének;
- az üvegszál mechanikai ellenállósága megegyezik az ugyanolyan átmérőjű acéléval.

Az üvegszál csillapítását sikerült 20dB/km-re lecsökkenteni 1970-ben (ez már alkalmassá tette az üvegszálakat a távközlésben történő felhasználásra), míg 1974-ben 4dB/km-re. A módosított kémiai gőzlecsapásnak köszönhetően rendkívül tiszta üvegek állíthatók elő, melyek csillapítása 0,2dB/km alatt van.

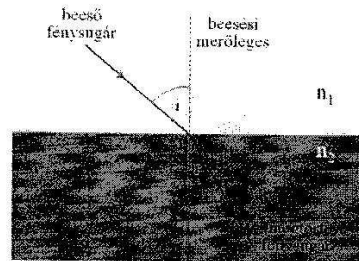
A szilícium-dioxid-on kívül más anyagok (üvegek) is alkalmasak optikai szál készítésére. Természetesen újabb anyagokat keresnek, melyek alkalmasak erősítőként használható szálak készítésére.

Az optikai szálak a fényt a bennük végbemenő teljes visszaverődések sorozatának eredményeként továbbítják.

Az új közeg (a közeg olyan anyag, amelyben valamilyen hatás terjed – jelen esetben a fény, vagyis elektromágneses hullám) határához érkező fény egy része behatol az új közegbe, és eközben általában megváltozik a terjedésének iránya (1. ábra:  $n_1 < n_2$ ). Ezt a jelenséget nevezük fénytörésnek. Az irányváltozásnak az az oka, hogy a két közegben különböző a fény terjedési sebessége.

A terjedési sebesség megváltozását az okozza, hogy a fény kölcsönhatásba lép a közeg anyagával. Két anyag közül azt, amelyikben a fény terjedési sebessége kisebb, optikailag sűrűbbnek, a másikat optikailag ritkábbnak nevezzük. A legritkább közeg nyilvánvalóan a vákuum. A közegeket egy törésmutatónak nevezett mennyiséggel

jellemezhetjük (jele:  $n$ , mértékegysége nincs). A közeg abszolút törésmutatója a fény



1. ábra

vákuumbeli és adott közegben mért sebességének hányadosa, vagyis 1-nél mindig nagyobb szám. (A vákuum törésmutatója 1, a levegőé 1,000292.)

Értelmezhetjük a két közeg relatív törésmutatóját is, ami a második közegnek az elsőre vonatkoztatott törésmutatója, mely a terjedési sebességekkel illetve az abszolút törésmutatókkal az alábbi képlettel fejezhető ki:

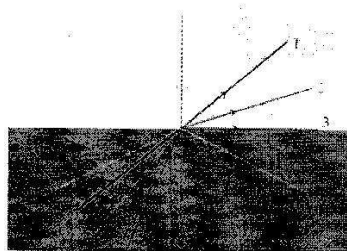
$$n_{2,1} = \frac{c_2}{c_1} = \frac{n_2}{n_1}$$

A fénytörés két törvénnyel írható le:

I. A beeső fénysugár, a beesési merőleges és a megtört fénysugár egy síkban van.

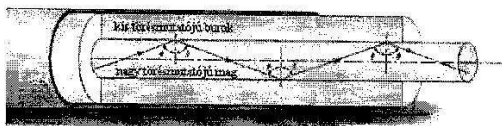
II.  $n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$ , ahol az  $i$  és az  $r$  a beesési, illetve a törési szögek.

Ha a fény nagyobb törésmutatójú anyagból lép át kisebb törésmutatójúba, a törési szög a beesési szögnél nagyobb. Ezért ha a beesési szöget növeljük, elérhetünk egy olyan beesési szög értéket (amit határszögnek nevezünk –  $\ell$ ), amelyhez  $90^\circ$ -os törési szög tartozik, azaz a fény már nem lép be az új közegbe, hanem a határfelületen halad tovább. Ha ennél is nagyobb a beesési szög, akkor fény a határfelületről a visszaverődés törvényének megfelelően visszaverődik (2. ábra). Mivel ilyenkor a fény nem lép át az új közegbe, 100%-a visszaverődik, a jelenséget teljes visszaverődésnek nevezzük.



2. ábra

Az optikai szálak egy központi magból és az azt körülvevő, a mag törésmutatójánál kisebb törésmutatójú burokból (héjból) állnak (3. ábra). A fény a magban teljes visszaverődések



3. ábra

sorozatának eredményeként terjed. Bár a szál belsejében a fény egyenes vonal mentén terjed, ha a szál elhajlik, a beesési szög még mindig nagyobb marad mint a határszög, így a teljes visszaverődések létrejötté miatt a fény a szál másik végén lép ki.

Az optikai szálakat több szempont szerint osztályozhatjuk (pl.):

- törésmutató profil (index) alapján:
  - lépcsős indexű (step index): a határ a mag és a héj között hirtelen átmenetű;
  - folytonosan változó indexű, gradiens indexű (gradid index): a mag törésmutatója folyamatosan csökken a tengelytől a héj felé haladva.

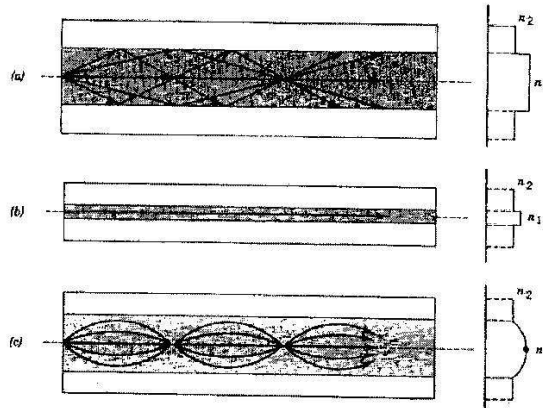
• terjedés alapján:

- egymódusú (monomódusú): a szálban egyszerre csak egy fénysugár terjed;
- többszámú (multimódusú): a szálban egyszerre több fénysugár terjed.

✗ Az egymódusú, lépcsős indexű szálak magjának átmérője  $8 \div 10 \mu\text{m}$  (4/b. ábra).

A többszámú lépcsős indexű optikai szálak esetében a magátmérő nagyobb, mint az egymódusú szálak esetében. Ezen szálakban a fénysugarak a különböző értékű beesési illetve visszaverődési szögek miatt különböző hosszúságú utakat tesznek meg (4/a. ábra), ami miatt különböző időben érik el a szál végét, ezért az impulzusok szélessége megnő. Ezt a jelenséget módus diszperzióknak nevezük, mely korlátozza az ilyen típusú optikai szál teljesítményét.

Ez a diszperzió csökkenthető lépcsős indexű szálak használatával, melyek esetében a fénysugarak nem teljes visszaverődést szenvednek el, hanem elhajlanak a magban (4/c. ábra). A lépcsős indexű optikai szálakban a kisebb beesési szöggel érkező, nagyobb utat megtevő fénysugarak nagyobb sebességgel haladnak, ugyanis főleg a kisebb törésmutatójú részében haladnak a szálban, így késésük lecsökken a rövidebb utat megtevő fénysugarakhoz képest (így az impulzusok szélessége csökkenthető). A 4. ábra jobboldalán a törésmutatók értéke van ábrázolva, a szál átmérőjének függvényében.



4. ábra

Napjainkban a lépcsős indexű szálakat szabványos méretekben gyártják:  $8/125$ ,  $50/125$ ,  $62,5/125$ ,  $85/125$ ,  $100/140$  (mag/héj átmérő). Ezen típusú optikai szálak nagy tisztaságú  $\text{SiO}_2$ -ből készülnek, melynek a törésmutatóját például Titán vagy Germánium hozzákeverésével érik el. A mag törésmutatója  $1,44 \div 1,46$ , míg a héj törésmutatója ennél  $0,5 \div 2\%$ -kal kisebb.

A felhasznált fény, amellyel az adatokat továbbítják az optikai szálakban az infravörös tartományba esik ( $0,8 \div 2 \mu\text{m}$ ), mert a nagyobb hullámhosszakon kisebb a csillapítás és az anyagfüggő diszperzió, tehát így nagyobb átviteli távolság és sávszélesség érhető el, mint más hullámhosszúságú fény felhasználásával.

A hullámhossz-osztásos multiplexálást alkalmazva (Wavelength Division Multiplexing - WDM), az egy szál által elbirt sávszélességet Tbit/s-os tartományba lehet feltornászni. Ezt úgy érik el, hogy egy szálban több, különböző hullámhosszú fényt továbbítanak. A WDM multiplexereket és demultiplexereket arra használják, hogy a kapcsolat minden végénél a különböző hullámhosszakat keverjék és szétválasszák. A közönséges WDM (coarse WDM, CWDM) technikánál csak néhány hullámhosszt használnak. A CWDM egyik alkalmazása az egy szálon való kétirányú kommunikáció. A DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), azaz a sűrű hullámhossz osztásos multiplexálás esetén általában több mint 8 fényablakot alkalmaznak adó és vevő oldalon. A 16, 40 és 80 ablakos rendszerek az általánosan elterjedtek. Matematikailag 111 ablak lehetséges egyetlen optikaiszál-páron a ma használt hullámhosszakkal.

## Optikai kábel alapfogalmak

19

Ahogy nő az igény az info-kommunikációs szolgáltatások iránt, úgy kell mind gyorsabban bővíteni a kizárólag hálózatok sávszélességét, hogy továbbra is fel tudják ajánlani azt a kapacitást, amire a felhasználóknak szükségük van.

A folyton növekvő sávszélesség igényeknek maradéktalanul kizárólag a fényvezető alapú hálózatok felelnek meg. A mai hálózati infrastruktúra már a nagy kapacitású optikai kábeleken alapul.

Az optikai szál információtovábbító képessége azon alapul, hogy a nagy tisztaságú optikai szálban a szállított fény igen jó minőségben terjed. Az optikai szál a megvilágított, a magot körülvevő optikai ásvetelő közegből és a mechanikai védelmet szolgáló burkolatból áll. A fényvezető kábelnek a technikai fejlődés során folyamatosan eszünkbe, s így a lehetséges alkalmazások köre is egyre bővül.

A ma élvonalbelinek számító ún. "Fiber-to-the-Desk" rendszerekben például az üvegszálak közvetlenül a felhasználó számítógépéig futva biztosítják a magas szintű integrált hang adat és képátviteli szolgáltatást. Optikai szálakon - szabványos, precíz elkrítető végberendezésekkel - biztosítható a 10Gb/s átviteli sebesség.

Működésük szerint a fényvezető kábeleket a multimódusú (MM) illetve monomódusú (SM) kategóriákba sorolhatjuk. Az olcsóbb, multimódusú szálakra épülő rendszereket főként távolságok (max. 2 km) átjuttatására használják. Az igényesebb megoldást jelentő monomódusú rendszerek építése nagy távolságú, nagy sávszélességű adatátviteli csomópontok esetén indokolt.

Monomódusú vagy egymódusú optikai szál (single-mode fiber). Olyan optikai szál, mely csak egy adott frekvencián - és annak közvetlen környezetében - képes a fény átvitelére, más frekvenciákon a szál csillapítása igen erős.

Az egymódusú szálak valamivel nagyobb sávszélességre képesek jelátvitelre, mint a multimódusú szálak. Monomódusú optikai szálak esetén a sávszélesség korlátlannak tekinthető. Az átviteli sebességének egyetlen korlátozó tényezője az aktív eszközök jelenlegi fejlettségi szintje. Ezért a ma installált optikai kábel akár évtizedekre megoldhatja az információs átviteli igényeket, nincs szükség drága és időt rabló újrákabelezésre.

A kis csillapítás (SM: 0,25-0,4 dB/km; MM: 0,7-2,5 dB/km) nagy távolságok (monomódusú szálakon akár 70-100 km) átjuttatására teszi lehetővé erősítők beiktatása nélkül.

A nagyobb vezetékesség nagyobb stabilitást adnak a tervezőknek a hálózatok építésénél, valamint az üzemeltetőknek is, mivel az üvegszál protokoll- és sávszélesség-független adatátvitelt tesz lehetővé.

Főleg az elektromágneses zavarral szemben érzéketlen. Alkalmazható ipari környezetben, nagyfeszültségű kábelvezetők közelében, erőmű berendezéseknél vagy akár nagyfeszültségű adóberendezések környezetében is.

Az adatátviteli csatorna nem tartalmaz fémes elemeket, így nincs szükség földelésre, s a villámvédelem is garantált.

Adatvédelmi szempontból is tökéletes, hisz az üvegszál nem lehallgatható, s így irrtok, vagy nem publikus adatokkal dolgozó, azokat feldolgozó rendszerekben biztonságosan alkalmazható, pl. katonai célú felhasználásra vagy bankok, vállalatok adatkezelő rendszereiben.

A Bliotic csővezetés technológiát olyan rendszerek telepítésénél alkalmazzák, ahol a jelenlegi sávszélesség igényt a rézvezetők is kielégítik, és kis költség befektetéssel fel akarunk készíteni a jövőbeli optikai végpontok kiakciójára is. A megoldás legnagyobb gyakorlati előnye az, hogy az optikai összeköttetés igényének megjelenésekor csúra rövid időn belül, kábelcseré, nyomvonalépítés, fűrés fűrés NÉLKÜL kiakciálható a szükséges összeköttetés.

Multimódusú optikai szál (multimode optical fiber): A multimódusú szál több frekvencián is képes a fény nagyobb távolságra való eljuttatására is. A megoldás legnagyobb gyakorlati előnye az, hogy az optikai összeköttetés igényének megjelenésekor csúra rövid időn belül, kábelcseré, nyomvonalépítés, fűrés fűrés NÉLKÜL kiakciálható a szükséges összeköttetés.

WDM (Wavelength Division Multiplexing - hullámhossz multiplexálás): Az a multiplexálási technika, melynek segítségével több, egymástól független optikai jelölyanatot visznek át ugyanazon az optikai szálban különböző hullámhosszok segítségével. A WDM technológia segítségével meg lehet növelni a multimódusú optikai szálak forgalmi teressztő képességét.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing - nagysűrűségű hullámhossz multiplexálás): Olyan hullámhossz multiplexáláson alapuló átviteli technológia, mely lehetővé teszi, hogy 8-tól akár 40-ig terjedő különböző frekvencián továbbítsunk információt az optikai kábelben keresztül. A DWDM technológia alkalmas arra, hogy SONET/SDH rendszerek átvitelét is ellátja vagy azokat helyettesítse.

Multiplexer: Olyan berendezés, mely alkalmas arra, hogy két vagy több jelölyanatot egy közös, nagyobb sávszélességű jelölyamba rendezzen, melyek egy adott technológiájával kerülnek továbbításra. A multiplexált jelölyam szerkezete olyan, hogy azt a fogadó oldalon demultiplexálni lehessen.

Add/drop multiplexer: Olyan multiplexer vagy demultiplexer, mely képes egy adott csatorna jelét multiplexálni egy magasabb szervezettségű, multiplexált jelölyamba vagy képes ilyen jelölyamból egy csatornát demultiplexálni. Az add/drop eszközök teszik lehetővé, hogy egy csatorna beáramló vagy kivételé miatt ne kelljen a teljes jelölyanatot lebontani alapelemekre, majd újra multiplexálni.

Demultiplexer: Olyan berendezés, mely alkalmas arra, hogy az egy adott technológiájával érkező multiplexált jelölyanatot szétbontsa eredeti összetevőire, azaz demultiplexálja.

MUX (multiplex): Elvi sémának a multiplexálás folyamatát végrehajtó logikai doboz. Típusai tekintve lehet például FDM, TDM, STDM vagy WDM multiplexálási elv.

FDM (Frequency Division Multiplexing - frekvencia multiplexálás): Az FDM rendszerek esetén minden jelölyamot egy meghatározott, egymástól eltérő frekvencián utazik.

TDM (Time Division Multiplexing - időosztásos multiplexálás): A TDM rendszerek esetén az egyes csatornákból vett minták egy szigorú sorrendben a csatornához rendelt időben utaznak.

20

Az átviteli csatorna jellemzői folyamatosan ellenőrizhetők, így a változások, illetéktelen hozzáférések ténye, vagy kábel sérülés esetén a hibahely pontosan megjelölhető.

A hibázal karbantartása, bonterése a folyamatos üzem megzavarása nélkül történik. Tartalék szálak telepítésével és hullámhossz multiplexerek alkalmazásával a későbbi kapacitás-bővítések újabb kapacitásokat nyújthatnak meg.

Az optikai vezeték szaktőljártsága igen nagy; ugyanarra a kereszmetre vetítve még az aktív is nagyobb. E tulajdonságok nagyértékben lerövidítik a kábelék beüzemelését a hosszabb szakaszokon.

Mekkora adatátviteli sebesség valósítható meg optikai kábelben?

Monomódusú szálak használata esetén gyakorlatilag végtelen csak a végberendezés fejlettsége szab határt. A hátrány az aktív eszközök magasabb ára. A kapacitás tovább növelhető nagy számszámú - 72-200 - kábelökkel, valamint hullámhossz multiplexálással (WDM).

Multimódusú szálak esetén kisebbek a lehetőségek, ma 1Gb/s az általánosan használt max sebesség, a Gigabit Ethernet protokoll segítségével. Speciális multimódusú üvegszálal 10Gb/s is megoldható, szintén szabványos eszközökkel (DMD: Differential Modal Delay szál). Fontos azonban tudni, hogy ezek a paraméterek csak erősen limitált távolságokra igazak, ami néhány száz méterrel jelent.

azonban tudni, hogy ezek a paraméterek csak erősen limitált távolságokra igazak, ami néhány száz méterrel jelent.



1. 100Base-FX multi-/monomódusú konverter

Mennyibe kerül az optikai kábel?

Több tényezőtől függ: pl. számszám, kültéri vagy beltéri szerkezet, mono vagy multimódusú szálak. Egy beltéri kivételű 4 szálas multimódusú kábel (MMA) 300Ft/m-ért beszerezhető, egy 24 szálas, kültérien is használható, monomódusú kábel 800Ft/m.

Mi az a Bliotic?

A Brand-Rox fejlesztésének a lényege, hogy az optikai szálakat nagy nyomással levegő segítségével fújják be a végpontok között előzetesen telepített műanyag csövekbe. Az üvegszál befűtését megelőzően, a strukturált hálózatoknál alkalmazott kábelcsatlakozással a központ és a felhasználói végpont között 5 mm külső átmérőjű, speciális kialakítású műanyag csöveket telepítenek. A cső nem igényel különleges nyomvonalat, a szerelés a szokásos módon és eszközökkel történik (fali csővezetés, parapet csatorna, fém kábelcsala stb.). Gyakorlati tapasztalatok alapján amennyiben a cső megengedett minimális hajlítási sugara biztosított (25 mm), tetszőleges bonyolultságú nyomvonalon befűjthető az üvegszál. Csővezetés max 8db multi- vagy monomódusú szálal lehet telepíteni.

STDM (Statistical Time Division Multiplexing - statisztikus időosztásos multiplexálás): Az időosztás a jobb sávszélesség-kihasználást végett dinamikusnak vannak az egyes csatornához hozzárendelve.

Jelátviteli (repeater): Egy továbbító és egy adóval álló berendezés, mely veszi az érkező jelet és újra küldi el. Azaz, hogy a jelátvitel újra kiadja a vett jelet, mintegy generálja a vett jelorozatot, ezzel növelve az optikai összeköttetésnél áthidalható távolságot.

Buffer (védőbetétek): Az optikai szálal körülvéve védőréteggel. Az optikai szál elsőleges védőbetéte általában 250 mikron átmérőjű, míg a másodikos védőbetétek 900 mikron az épületen belül használt szálak esetében.

Hajlítási sugár (Bend radius): Annak a körívnek a sugara, melynek mentén az optikai szál vagy kábel megér, s a nagyobb csillapítás veszélye nélkül hajlítható. Ha a szál ennél kisebb sugár ívben hajlítjuk, nem garantálható a szálra meghatározott átviteli paraméterek.

CCMQ (Certified Commercial Measurement Quality Jumper): Igen jó minőségű, gondosan elkészített és kimért referenciás kábel, mely a hálózat pontos méréséhez szükséges.

Átmérő-eltérési veszteség (Diameter-mismatch loss): Optikai elemek csatlakozásánál fellépő veszteség, mikor az adóoldali elem átmérője nagyobb, mint a vevőoldali elemé.

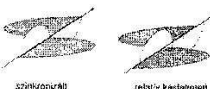
Átmérő-eltérési veszteség léphet fel a jeladó és az optikai kábel, két optikai kábel vagy az optikai kábel és a jellekter csatlakozásánál.

Diszperzió (dispersion): A tökéletes optikai szál kimenetén teljesen ugyansz a jelölyamot kapunk vissza, mint amit a bemeneten rákapsoltunk. A valóságban azonban az optikai kábel hosszától és egyéb paraméterektől függően a bemeneti jel kissé "elkésődik", sávszélessége megváltozik, hossza bizonytalanul válik.

Ez a jelenség a diszperzió, ami fogunkabb gátat szab az alkalmazható frekvencia magasságának és az áthidalható távolságnak. A diszperzió három fő forrásra vezethető vissza. Az egyik a módusdiszperzió, ami multimódusú szálakon lép fel és a különböző hosszúságú terjedési módusok miatt alakulhat ki.

Polarizációs módusdiszperzió (PMD)

• Polarizáció



A másik az optikai kábel anyaga által okozott diszperzió, mely az eltérő frekvenciákon jelentkező eltérő kislétezési paraméterekből adódik.

A harmadik a hullámvezetési diszperzió, ami abból adódik, hogy az optikai kábel magrészénél a magot körülvevő burkolat is vezeti a fényt az egymódusú szálak esetében.

20