

Fénytvázközlés*

DR. BERCELI TIBOR, Távközlési Kutató Intézet,
DR. GORDOS GÉZA, Budapesti Műszaki Egyetem,
DR. LAJTHA GYÖRGY, Posta Kísérleti Intézet,
DR. SZÉP IVÁN, Műszaki Fizikai Kutató Intézet,
DR. TÓFALVI GYULA, Távközlési Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a fénytvázközlés jelenlegi helyzetét mutatja be a nemzetközi adatok alapján. Külön hangsúlyt kap annak érzékeltetése, hogy ez a technika már túl van a kísérleti szinten. A fénytvázközlés a következő évek hálózatépítésének jól meghatározott, gazdaságos eleme lesz. (H)

Bevezetés

A cikk a fénytvázközlés jelenlegi helyzetét kívánja bemutatni a nemzetközi adatok alapján. Külön hangsúlyt kap annak érzékeltetése, hogy ez a technika már túl van a kísérleti szinten. A fénytvázközlés a következő évek hálózatépítésének jól meghatározott, gazdaságos eleme lesz.

1. Rendszertechnikai áttekintés

1.1 Az optikai sáv birtokba vétele

A hírek, információk nagy távolságra történő „azonnali” eljuttatásának feladatában az elektromágnesség jelenségén alapuló megoldásoknak ma nincs versenyképes alternatívájuk. Ezt az elektromágneses jelenségek előállítására, vezérlésére, kezelésére és detektálására rendelkezésre álló eszközökön és a szabadtéri, valamint vezetett terjedés nagy hatótávolságán túlmenően főként az indokolja, hogy a hírközlésben részt vevő elemek elektromágneses tehetetlenségét egyre kisebb értékűre sikerül szorítani.

Az elektromágneses tehetetlenség leküzdésének folyamatát jól mutatja a biztonságosan uralt frekvenciatartományoknak az idő múlásával bekövetkező szélesedése.

Különösen szépen példázza ezt egyfelől a vezetékes átviteltechnika felső és a rádióműsor-szórás alsó sávhatárának viszonylag korai összeérése, másfelől az eleinte elkülönülten fejlődő radar- és mikrohullámú technika összeolvadása a rádióműsor-szórással egységes rádióhírközléssé.

A 70-es évekre a híradástechnika rések nélkül — sőt szakaszonként különféle eszközökkel többszörösen is lefedetten — használta a nullától néhány száz 10 GHz-ig (10^{10} Hz-ig) terjedő frekvenciasávot.

Ilyen körülmények között a fénytvázközlés néhány száz 10^{14} Hz-cel bekövetkezett felbukkanása

DR. BERCELI TIBOR

A Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet. Ezután a Távközlési Kutató Intézetben előbb aspiránsként, majd tudományos kutatóként dolgozott. Jelenleg ugyanott főosztályvezető. A Budapesti Műszaki Egyetemen félállású adjunktus volt, jelen-

leg címzetes egyetemi tanár. Kutatásait elsősorban a mikrohullámú technika területén végzi. E területen előbb kandidátusi, majd akadémiai doktori tudományos fokozatot szerzett. Munkájának eredményeiről 45 idegen nyelvű és 33 magyar nyelvű cikket írt. Tevékenységét Állami Díjjal ismerték el.

nagy ugrásnak számít. Ez az ugrás azonban tökéletesen illeszkedik az általános tendenciába, melynek szellemében a 70-es években éppen a fénytvázközlés megújításának kellett elkezdenie.

A fénytvázközlés mintegy évtizedes fejlődése során a kihasznált tartomány elsősorban a kisebb frekvenciák irányában bővült: a $0,85 \mu\text{m}$ körüli látható sávról az $1,5 \mu\text{m}$ körüli infravörös tartományra. Ennek alapján valószínűnek látszik, hogy néhány évtizeden belül a mai mikrohullámok és infravörös hullámok között sem lesz olyan nagyobb tartomány, amelyet a hírközlés ne használna.

1.2 Az optikai sáv híradástechnikai alkalmazásának szükségesszerűsége

A műszaki gyakorlat a természettudományos lehetőségek és a társadalmi igények együtthatásában fejlődik. Ebben a szakaszban néhány olyan igényre mutatunk rá, amely — a fizika ma ismert tárházából csak a fénytvázközléssel oldható meg.

A vezetékes átviteltechnika egyre nagyobb beszédnyalábok átvitelére kényszerül. Az analóg vivőáramú technika 10 000 csatorna fölött az átviteli út — beleértve az ismétlődő erősítők — torzításaival és zajai- val szemben alig teljesíthető követelményeket támaszt. E követelmények — a frekvenciásvány lényeges kiterjesztésű árán — jelentősen enyhíthetők a digitális — PCM bázisú — átvitel esetén. Ez az enyhülés elsősorban a digitális átvitel regenerálhatóságán és az eljárás azon tulajdonságán alapul, hogy a vonali jel-zaj viszony egy bizonyos tartományában e viszonyt lényegesen megnövelve transzformálja kimeneti jel-zaj viszonyra.

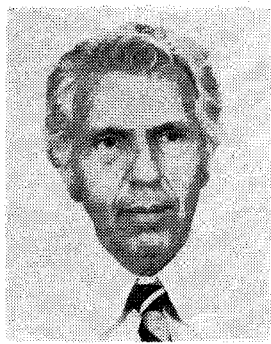
Ha az előbbi előnyhöz hozzávesszük azt, hogy a digitális áramkörök előállítási technológiája fejlett és rohamosan továbbfejlődik; valamint azt, hogy a legkülönbözőbb analóg források digitalizált jelei egymással és a számítás- és mérés-technikai adatokkal

* A Magyar Tudományos Akadémia Távközlési Rendszerek Bizottsága által készített helyzetfelmérő tanulmány rövidített változata.
Beérkezett: 1983. XI. 19.



DR. GORDOS GÉZA

1937-ben született, 1960-ban villamosmérnöki, 1966-ban egyetemi doktori, 1977-ben kandidátusi oklevelet szerzett. Fő munkahelye 1960-tól a BME Híradástechnikai Elektronika Intézete, ill. annak jogelődje, ahol jelenleg az átvitel- és rendszertechnika osztályt vezeti. 1964 és 1972 között a Posta Kísérleti Intézetben, 1972-ben UNESCO-szakértőként Görögországban, 1974/75-ben vendégprofesszorként Angliában dolgozott. Fő érdeklődési területe a fém- és fényvezetős digitális átvitel, adatátvitel, valamint a gépi beszédészintézis és beszéd felismerés.

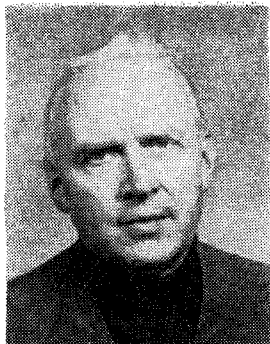


DR. LAJTHA GYÖRGY

A Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán szerzett oklevelet 1952. évben. Ezután a Posta Kísérleti Intézetben kezdett dolgozni, először átviteltechnikai, majd hálózattervezési témakörben. 1974. év óta az Intézet tudományos igazgatóhelyettese. Címzetes egyetemi tanár, a Virág-Pollák-, a Puszkás-, a Jáky- és az Eötvös-díj tulajdonosa.

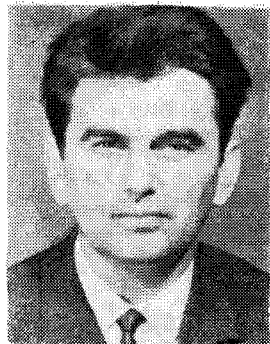
DR. SZÉP IVÁN

(1922) kémia, fizika, matematika szakon végzett a Budapesti Tudományegyetemen. 1949-ben bölcsészdoktori oklevelet szerzett. 1952-ben indította el a hazai germánium-eszközök kutatásait, a Híradástechnikai Ipari Kutató Inté-



DR. TÓFALVI GYULA

A Budapesti Közgazdaságtudományi Egyetemen, majd a Budapesti Műszaki Egyetemen tanult. 1954-ben szerezte meg a villamosmérnöki diplomát. 1954–1975



között az Elektromechanikai Vállalatnál dolgozott, ahol kutató, fejlesztő, laborvezető, fejlesztési főosztályvezető, majd a vállalat főmérnöke volt. Ebben az időben tématerülete a közép-, rövid- és URH adóberendezések és antennarendszerek, valamint fekete-fehér és színes tv-adók és sztereokvadrofonadók voltak. 1975–1980 között a Magyar Híradástechnikai Egyesülés műszaki elnökhelyettese. Ebben az időszakban a magyar elektronikai ipar fejlesztésével, azon belül a híradástechnikai ipar és az alkatrészipar kiemelt fejlesztésével foglalkozott. 1980 óta a Távközlési Kutató Intézet tudományos igazgatója. 1959-ben Kossuth-díjjal tüntették ki. 1979-ben a műszaki tudományok doktora lett. 1981-ben c. egyetemi tanári fokozatot kapott.

egységesen kezelhetők; továbbá azt, hogy a digitális mérés-technika hatékonyan automatizálható; s különösképpen azt, hogy az ilyen jelek kapcsolását tisztán elektronikusan meg lehet oldani, akkor rögtön érthetővé válik a digitális távközlési eljárások előretörése. Ám ahhoz, hogy a 10 000-es csatornaszámot a digitális technika megközelítse vagy túlhaladja, az átviteli sebességben meg kell közelíteni, illetve túl kell haladni a 0,8 Gbit/s körüli értéket. S mindezt olyan közegen, amely mechanikailag ellenálló és hajlítható, könnyen és olcsón gyártható és szerelhető, s a külső elektromágneses térrel szemben magas fokon érzéketlen. Sem a koaxiális vezeték, sem a cső- vagy szalagtápvonal nem tudja e követelmények mindegyikét teljesíteni. Csak a fényvezető szálak alkalmasak valamennyi feltétel teljesítésére.

A fenti gondolatmenet átültethető a vezeték nélküli összeköttetésekre is azzal a kitételrel, hogy a levegő nagy fényzárvány csillapítása gyengíti, míg az irányíthatóság erősíti a tendenciát.

A technológiai távközlés egyes területei is szükségszerűen vetették fel a fényzárvány átvitel bevezetését. Az erősáramú teljesítménykábel tranziensei gyakor-

latilag lehetetlenné teszik a kísérő fényvezetéken történő kis hibavalószínűségű adatátvitelt. Ugyanez a feladat a teljesítményvezetékekkel egy kábelbe fűzött üvegszálon jól megoldható. Hasonló a helyzet a szikramentességet igénylő környezetben megvalósított optikai átvittel is.

1.3 Az optikai sáv híradástechnikai alkalmazásának rendszertechnikája

Rendszerelemek

Az optikai sáv mai híradástechnikai alkalmazásának jellegzetessége, hogy átviteli — és nem kapcsolási — funkciót lát el. Továbbá bármilyen is az átvendő eredeti információ, azt előbb elektromos formára kell hozni, csak azután terelhető az optikai átviteli útra, s onnan csak elektromos formában vehető ismét le.

Ily módon az optikai átviteli út alapvetően az alábbi rendszerelemekből épül fel:

- fényadó, melynél a kilépő fény valamilyen jellemzőjét — intenzitását, polarizációját stb.

- az átvendő elektromos jel változtatja,
- átvívő közeg, amely a rábocsátott fényt átviszi, természetesen a hullámhossztól függő csillapítás és késleltetés árán,
- fényvevő, amely a ráeső fény valamely jellemzőjének — intenzitásának, polarizációjának stb. — változásait elektromos jel változásaiba ülteti át.

Az átvívő közeg vezeték nélküli átvitelnél a légtér, míg vezetékes átvitelnél a nagy tisztaságú üvegből, illetve újabbban műanyagból (PMMA: polymethyl methacrylate) készült szál.

Az optikai átvívő rendszerek létesítésének nélkülözhetetlen kellékei azok a finommechanikai szerelvények, melyekkel az adó és a szál, az egyik és a másik szál, illetve a szál és a vevő jó optikai csatolása, továbbá a szálak elágazása biztosítható. Emellett a szálak nem oldható kötése és mechanikai védelme is fontos kérdés.

Az optikai átvitel sajátosságai

A fénytávközléssel kapcsolatos fogalmak közül sok teljes analógiát mutat a hagyományos hírközlés fogalmaival. Ilyen fogalom egyrészt a hatótávolság, másrészt az időegység alatt átvihető információ-mennyiség, melyekre a klasszikus híradástechnikában megszokott módon hat az adóteljesítmény, a vevőérzékenység, az átviteli csillapítás és a diszperzió.

Van azonban a fénysávú átvitelnek néhány, a hagyományostól eltérő sajátossága. Ilyen például az, hogy az adóból kilépő fény egyrészt nem abszolút koherens síkhullám, másrészt az adó és a szál optikai tengelyei általában nem esnek egy egyenesre, s végül a szál vezető magjának a terjedési irányra merőleges metszete nem pontszerű, hanem „jelentős” kiterjedése van: 2...100 μm , szemben a „fény” 0,8...1,6 μm -es hullámhosszával. Mindebből az következik, hogy a szálban többfajta fénysugár különböző utakon — különböző idők alatt — terjed, ami diszperziót okoz.

Ez a jelenség szoros rokonságban áll a mikrohullámú technikában tapasztalt többmódusú terjedéssel, leküzdésének eszközei azonban az optikai sávban ma lényegesen szegényesebbek, mint a mikrohullámú sávban. A vezető szál magátmérőjének csökkentése mindenestre hatékony fegyver a többmódusú terjedés — és ezzel a diszperzió elleni küzdelemben.

Digitális fénytávközlés — a fejlődés fő iránya

A közvetlen intenzitásmodulációs adók rossz linearitása miatt az optikai összeköttetések elsősorban digitális jelek átvitelére alkalmasak. Mivel ez a tény összetetalákozott a híradástechnikában egyéb — korábban már említett — okokból tért hódító digitalizálással, kijelenthető, hogy most és a közeljövőben a digitális optikai hírközlés jelentősége lesz a legnagyobb.

A digitális átvitel teljesítményképességét kissé pongyolán, de nagyon érzékletesen jellemzi azon szorzat, amelynek tényezője egyrészt a kis ($\sim 10^{-8}$) hibavalószínűséggel, ismétlő nélkül megvalósított

összeköttetés hossza, másrészt az átvitel forrássebessége. Például egy félvezető adóval és vevővel szimmetrikus érpáron át 2 Mbit/s sebességű bitfolyamot kb. 2 km-re lehet biztonságosan továbbítani, így a rendszernek a 4 Mbit km/s szám jellemző.

Műanyag szálon, fényemittáló diódaadóval és PIN diódás vevővel intenzitásmoduláció alkalmazásával 10 Mbit km/s, míg az egymódusú üvegszálon, lézeradóval és lavina fotodióda vevővel kb. 50 Gbit km/s érhető ma el.

A nagy értékek a gerinchálózati nyalábok, a közepes értékek a helyi adathálózatok (Ethernet), és a kábeles TV (digitális: Bell, 1982), míg a kis értékek az extrém kis nyalábok (azaz az egyes előfizetők) kiszolgálására adnak lehetőséget [1].

Analóg fénytávközlés

A digitális optikai rendszerek nagy vonzereje ellenére, az analóg optikai rendszerek területén is határozott fejlődés mutatkozik. Így például a képjel és a kis csatornaszámú beszédnyaláb viszonylag nagy nemlineáris torzítást is eltűr, ezért az optikai átvitel analóg úton is történhet.

Feltehető, hogy az optoelektronikai eszközök linearitásának javulásával előbb a kettőnél több „szintű”, majd a tisztán analóg rendszerek is polgárjogot fognak nyerni speciális alkalmazásokban. A most belátható jövő fő tendenciája azonban az optikai eszközök digitális kihasználása.

1.4 Fejlődés az integrált optikai rendszerek irányába

Már most jól érzékelhető a mindkét irányú elektrooptikai átalakítások számának csökkentését célzó törekvés. E törekvés első eredménye az ismétlők olyan megoldása, amely nem igényel a bemenetén optoelektromos, a kimenetén elektrooptikai átalakítást és a kettő között elektronikus regenerátort vagy erősítőt. E helyett a regeneráció, illetve az erősítés a fénysávú tartományban történik.

Érdekes az az eljárás [2] is, melynél a teljes hangátvitelből kikapcsolják az elektronikát, mint az információ hordozóját. Egy ilyen rendszerben a mikrofon membránja diafragmát mozgat, amely szabályozza egy fényforrásnak a szálba jutó fényét, míg a vevőben levő gáz-cella a fényintenzitással vezérelhetően tágul vagy húzódik össze.

További érdekes lehetőség, hogy fényvel igyekeznek a helyszínre szállítani azt az elektromos teljesítményt, amely az elektronikai és optoelektronikai eszközök táplálásához szükséges. Ennek az eljárásnak a kiszélesítése vezethet el a „központi telep” (CB)-konceptiót átöröklő, optikai szálalás előfizetői hálózathoz.

Az optikai hírközlés jövőbeni fejlődése valószínűleg felveti az optikai jelfeldolgozást, és a közeg frekvencia-multiplex (hullámhossz-multiplex) kihasználását oly módon, hogy a különböző „színű” csatornák maguk is akár nagy nyalábok hordozói lehetnek.

A fényelhajlítás finom vezérelhetőségére vonatkozó kísérletek arra mutatnak, hogy a jövőben esetleg a központtechnika funkcióinak megvalósítása is lehetővé válik.

2. Eszközök és összeköttetések

Ebben a fejezetben kibővítjük és rendszerezük az optikai hírközlésben felhasznált rendszerelemekről a korábbiakban mondottakat.

2.1 Átviteli közeg

A fény átvitelére alapvetően kétféle módszer használható: a szabadtéri terjedés vagy a vezetett terjedés. Nagy jelentősége a vezetett átvitelnek van, a szabadtéri terjedés földfelszíni hírközlésre csak korlátozottan használható.

A fény vezetésére általában dielektromos hullámvezetőt használnak. Ez nagy dielektromos állandójú hengeres szálból áll, melyet rendszerint kisebb dielektromos állandójú héj vesz körül. A dielektrikumnak kis veszteségűnek kell lennie, mivel a hullámterjedés csillapítását alapvetően a dielektrikum veszteségi tényezője határozza meg [3]. A hullámvezető tulajdonságait a dielektromos tényező sugár irányú változtatásával is befolyásolni lehet.

A fényvezetők alapvetően két fő típusra oszthatók: az egymódusú és a sokmódusú szálakra. Az egymódusú szálak főleg nagy kapacitású, nagy távolságú átvitelre, a sokmódusú szálak pedig kis kapacitású, rövid távú átvitelre használhatók.

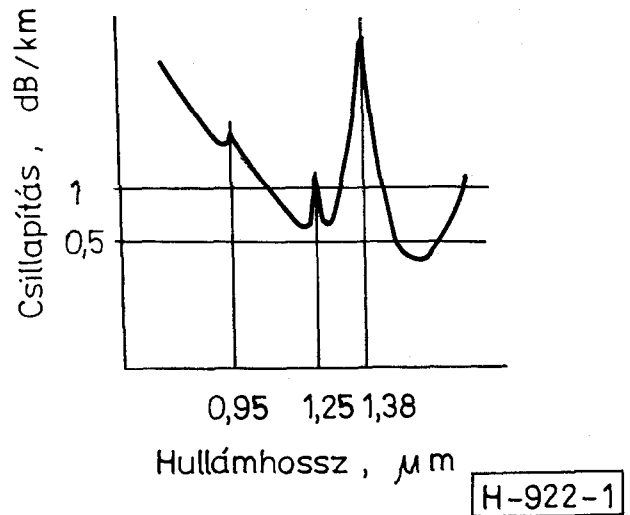
A dielektromos hullámvezetők sáv szélessége igen nagy, így ez az átviteli kapacitást rendszerint nem korlátozza. A sáv szélesség szempontjából viszont igen fontos a hullámvezető diszperziója. Minél kisebb a diszperzió, annál nagyobb sebességű digitális jelfolyam vihető át, vagyis annál nagyobb az átviteli kapacitás. Legkisebb diszperziója annak a hullámvezetőnek van, melyen csak egyetlen módus, az alaplómódus tud terjedni (single-mode=SM-szál).

A terjedő módusokat a szál dielektromos állandója és átmérője szabja meg. Üveg esetén az alaplómódus terjedéshez μm nagyságrendű szálátmérő tartozik. Ez igen kis méret. Azonban még a sokmódusú szálak is nagyon vékonyak, nem vastagabbak néhány tized mm-nél.

Sokmódusú szál (multi-mode=MM-szál) esetében elektromágneses tér gyakorlatilag csak a szálon belül van. Ezt azzal érik el, hogy a szál körülvéve héj dielektromos állandója lényegesen kisebb, mint a szálé, s így a határfelületen teljes visszaverődés jön létre. Ha a törésmutató a szál és a héj határán hirtelen megváltozik, akkor Step-Index (STEP) szálról, míg folyamatos változás esetén Graded-Index (GRAD) szálról beszélünk.

Az elektromágneses tér egymódusú szál esetében is döntően a szálon összpontosul, azonban a szál külső környezetében levő térerő sem hanyagolható el. A száltól távolodva a térerősség közel exponenciálisan csökken. Így az erőtér határát jellemezhetjük egy olyan r_0 sugárral, melyen kívül a teljesítmény már elhanyagolhatóan kicsi. Az r_0 sugáron belül a terjedést akadálymentessé kell tenni, amit célszerűen úgy biztosítunk, hogy a szálát kis veszteségű r_0 sugarú dielektromos héjjal vesszük körül. Ezenkívül még védőburkolatra is szükség van.

A fény vezetésére elsősorban üvegszálat használnak, de foglalkoznak különféle műanyag szálakkal is. Az üvegszálakkal elért csillapítást az 1. ábra adja



1. ábra. Csillapítás a hullámhossz függvényében

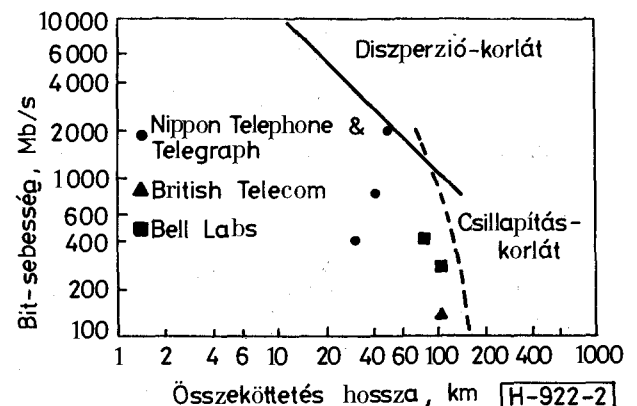
meg a hullámhossz függvényében [4]. E szerint a látható fénytartományban 1 dB/km alatti csillapítás két hullámhossztartományban 1,1–1,3 μm között és 1,5–1,7 μm között érhető el; 0,5 dB/km csillapítás minimum 1,55–1,6 μm körüli hullámhosszszaknál adódik. Az infravörös tartományban ennél sokkal kisebb csillapítás is elérhető, elsősorban a 10 μm körüli hullámhosszszaknál. Ez utóbbi sávban azonban még nincsenek megfelelő rezgékeltők és detektorok.

Az egymódusú üvegszállal és a hozzá legjobban illeszkedő adó- és vevőeszközökkel megvalósítható átviteli kapacitást az ismétlő nélkül áthidalható távolság függvényében a 2. ábra mutatja a legújabb eredmények alapján [5].

Eszerint ma már egymódusú üvegszállal nagy kapacitású átvitel valósítható meg 100 km-enkénti ismétléssel, ami igen gazdaságos megoldás.

A szálak készítésénél egyébként arra kell törekedni, hogy se méretben, se az anyag tulajdonságaiban hosszmenti változás ne legyen, mert az ilyen változások a hullámmellenállás megváltozásával járnak, ami viszont reflexiót okoz. Az egyöntetű szálgyártás tehát fontos követelmény.

A fényvezetős összeköttetések lényeges problémá-



2. ábra. Bitsebesség és az összeköttetés hosszának kapcsolata

ja a szálak egymáshoz csatlakoztatása. A gondot elsősorban a kis méret okozza. A csatlakozót a kábelre előre rá kell szerelni, biztosítva a szálvégek megfelelő találkozását. A méretből adódó problémák mellett komoly gondot okoz a hullámvezetők illesztése, vagyis a visszaverődés és a szóródás elkerülése. A csatlakozók jelentős veszteséget adnak, az elért legkisebb érték néhány tized dB.

Csatolási problémák vannak még az adóknál és a vevőknél is. Ezeket az eszközöket gyárilag látják el csatlakozókkal és így közvetlenül összeköthetők a fényvezető szálakkal.

Szabadtéri terjedés esetén az átviteli közeg az atmoszféra vagy a világűr. A világűrben való fényterjedés gyakorlatilag zavartalan, eltekintve néhány természeti zavaró forrástól. Éppen ezért fokozódó jelentősége lesz a jövőben a műholdak között az űrben történő fénytávközlésnek. Ezzel szemben a légköri fényterjedésnek sok problémája van. Az összeköttetés vonalában teljes akadálymentességre van szükség. A csillapítást a légnedvesség jelentősen megnöveli. Mindemellett a légköri fénytávközlésnek is van jelentősége, még a földfelszíni gyakorlatban is, főleg koherens fényforrás és rövid távú összeköttetés esetében.

2.2 Félvezető fényforrások (optikai adók)

A fénytávközlő rendszerekben fényadó elemként elsősorban félvezető alapú lézerdiodákat (LD), helyi rendszerekben rövidebb távolságokra esetleg világító diódákat (LED) használnak fel, mivel azok emissziós tartománya jól illeszthető az optikai szálak kis veszteségű tartományaihoz. A diódák kis méretűek, teljesítményigényük kicsiny, aránylag egyszerűen modulálhatók és szobahőmérsékleten állandó üzemben működtethetők. A kibocsátott fény hullámhossza az alkalmazott félvezető anyag tiltott energiasávjának szélességétől függ. A világító diódákban spon-tán, inkohérens fénykeltés játszódik le. A lézerdiodáknál a félvezető rétegekből kialakított optikai rezonátor hatására keskeny sávú, koherens sugárzás keletkezik.

A gyakorlatban használt diódáknál az egyes rétegek felépítéséhez kétkomponensű (GaAs, InAs, InP), háromkomponensű (AlGaAs, AlGaP, InGaAs, InGaP, GaAsSb) és négykomponensű (GaInAsP, GaInAsSb) keverékkristályokat használnak.

Az emisszió hullámhossza az összetétel megválasztásával széles határok között állítható. Ez tette lehetővé az optikai szálak kis veszteségű tartományában: az 1,0–1,1 μm és 1,3–1,6 μm -es hullámhossztartományban működő lézerek és világító diódák kifejlesztését.

A lézerdiodák egyik legfontosabb jellemzője a meghajtó áram és a relatív optikai teljesítmény kapcsolatát megadó karakterisztika. A karakterisztika lassan emelkedő kezdeti szakaszból és egy töréspont után meredeken emelkedő egyenes szakaszból áll. Az utóbbi szakasz adja az üzemeltetési tartományt. A lézerhatás küszöbáramából adódó töréspont a hőmérséklettel növekszik és az üzemeltetés során is változik kisebb mértékben. A lézerdioda aktív rétegében az anyagi minőségtől, geometriai viszonyoktól, struktúrájától és az átfolyó áramsűrűségtől füg-

gően különböző módusú sugárzások keletkeznek. Ezek hatása abban nyilvánul meg, hogy a spektrum egy meghatározott sáv szélességű vonalrendszerből áll. A módusok számát az aktív réteg méretének csökkentésével, illetőleg az áramerősség növelésével lehet csökkenteni olyan mértékig, hogy végül is a lézer közel egymódusú üzemben működjék. A lézerdiodák modulálása a 15–100 mA nagyságrendű küszöbáramnál nagyobb meghajtó árammal történik. A publikációk szerint lézerdiodáknál néhány GHz-es moduláció érhető el.

Világító diódáknál a spektrum sáv szélessége lényegesen nagyobb és a hőmérséklettel lényegesen kevésbé változik, mint a lézerek esetében.

A lézerek elhasználódásának legfontosabb megnyilvánulása a meghajtóáram és az optikai teljesítmény összefüggését kifejező karakterisztika eltolódása. Használat közben nemcsak a küszöbáram változik meg, hanem a karakterisztika meredeksége is lényegesen lecsökken, ami a külső hatások csökkenését eredményezi és így — egy bizonyos idő elteltével — a lézer állandó üzemben már nem működtethető. A degradálódási vizsgálatok azt mutatják, hogy használat közben az eszközökben térfogati és felületi elváltozások játszódnak le.

A kereskedelemben kapható lézerdiodák garantált üzemideje 5 mW teljesítmény mellett legalább 10 000 óra, az átlagos élettartam (50%-os kiesésnél) a legtöbb típusnál meghaladja a 10⁵ órát. A degradáció okainak feltárásával párhuzamosan az élettartamban további javulás várható.

2.3 Optikai vevők

A fénytávközlő rendszerekben detektálási célokra főként félvezető fotodiódákat használnak, mivel azok tömeggyártásban állíthatók elő, megbízhatók, kis méretűek, érzékenyek és igen gyorsan reagálnak a fényhatásokra.

A legegyszerűbb fotodióda a PIN dióda, amely alacsony adalékszintű (intrinsic) félvezetőből áll. A fényhatás nélkül mutatkozó sötétáram a töltéshordozók termikus generálódásából, illetőleg rekombinációjából és az eszköz felületén, illetőleg a határfelületeken átszivárgó áramból tevődik össze.

Ha a fotodiódánál növeljük az elektromos teret, akkor olyan tartományba jutunk, melyben az adalékszegény rétegben fotoelektromos hatás útján keletkező primer töltéshordozók ütközés útján újabb töltéshordozókat hoznak létre. Így lavinahatás és ezáltal belső erősítés lép fel.

A lavina-fotodiódák felső részének kiképzése gyűrű alakú, így a fény kör alakú ablakon lép be az eszközbe. A szóródások csökkentésére az ablakra reflexiócsökkentő rétegeket visznek fel.

2.4 Jellegetes összeköttetések

Ahhoz, hogy egy fényvezetős hálózat követelményrendszerét áttekintsük, célszerű az egyes összeköttetések követelményeiből kiindulni [6]. A fényvezető szálal összeköttetések többféle szempont alapján elemezhetők. Egy ilyen lehetséges elemzés a távolság és a jelsebesség szerinti értékelés.

Az összeköttetések távolság, illetve jelsebesség

Jellegzetes összeköttetések

Távolságok (1) \ Jelsebességek	Igen kis jelsebességű < 0,7 Mb/s	Kis jelsebességű 0,7–8 Mb/s	Közepes jelsebességű 34–2 × 34 Mb/s	Nagy jelsebességű 140 Mb/s	Igen nagy jelsebességű > 140 Mb/s
Kis távolságú L < 1 km	0,8–0,9 μm LED–PD–PIN STEP ATM	0,8–0,9 μm LED–PIN STEP–GRAD ATM	0,8–0,9 μm LD–APD GRAD ATM		
Közepes távolságú L = 1–30 km	0,8–0,9 μm LED–PD–PIN STEP–GRAD ATM	0,8–0,9 μm LED–PIN STEP–GRAD ATM	0,8–1,5 μm LD–APD GRAD–SM ATM	1,5 μm LD–APD GRAD–SM —	1,5 μm LD–APD SM —
Nagy távolságú L > 30 km			0,8–1,5 μm LD–APD GRAD SM —	1,5 μm LD–APD SM —	1,5 μm LD–APD SM —
Felhasználási terület	Távközléstechnika Adatátvitel Irányítástechn. Szám. gép. hál. Erősáramú hál. Ipari alkalmazás Mér. techn. ált. célú	Távközléstechnika Nullarendű PCM Primer PCM Szekunder PCM rúrál- rendszerek Lokál hálózatok Trónk hálózatok	Távközléstechnika Tercier PCM Párhuz. terc. PCM trónk- hálózatok Lokál hálózatok Helyközi kapcs.	Távközléstechnika Quarter PCM Trónk- Quarter PCM Trónk- hálózat Helyközi kapcs. táv. szolg.	Távközléstechnika Quarter PCM Ultra PCM Különl. célú hál.

Magyarázat: LED = világító dióda; PD = fotodetektor; PIN = PIN-dióda, APD = lavina fotodióda; STEP = Step-indexű szál; GRAD = Graded indexű szál; ATM = atmoszférikus összeköttetés; SM = egymódusú szál; single-mode.

szerint történő felosztását és az azokhoz tartozó főbb technikai jellemzőket az 1. táblázat foglalja össze. Ebből az összefoglalóból közvetlenül adódik, hogy az egyes összeköttetések milyen aktív elemek, milyen fényvezető szálak és — ebből adódóan — milyen passzív elemek alkalmazásával valósíthatók meg. Ezen elemek ismerete után fogalmazhatók meg az egyes eszközfejlesztési célok is.

A táblázatban levő összeköttetések megvalósítása LED–PD, továbbá LED–PIN vagy LD–APD adó-vevő típusú igényel, melyben

- a LED–PD esetén kb. 30 dB,
- a LED–PIN esetén kb. 30–40 dB,
- a LD–APD esetén kb. 50 dB

csillapításdinamikával számolhatunk. Ennek ismerete lehetőséget ad arra is, hogy az összeköttetést a fényadó kimenete és a fényvevő bemenete között az adott csillapításdinamikával megtervezzük.

Lényeges itt hangsúlyozni, hogy mostanra a fényvezető összeköttetések teljes eszközkészlete és rendszertechnikája már kialakult.

3. Hálózatfejlesztési koncepciók

3.1 A fejlődés kölcsönhatásai

A fényvezető technika gyors elterjedése szorosan kapcsolódik a széles sávú szolgáltatások és a digitális rendszerek bevezetéséhez. Itt azt kell hangsúlyozni, hogy a digitalizálás gazdaságosságát növeli a fényátvitel alkalmazása. A digitalizálásnál egyik

jelentős hátrány volt az ismétlődő állomások sűrű elhelyezése, ami városi környezetben sok esetben gondot jelentett. Más oldalról a fénytávközlés lehetőséget nyújt arra, hogy az előfizetőket szélessávú szolgáltatásokkal ellássuk. Több km távolság áthidalása, több száz Mbit/sec bitfolyamokkal más alapáramkörön csak igen sűrűn elhelyezett erősítővel lenne megvalósítható.

Ennek a szoros kölcsönhatásnak következménye, hogy ha valamelyik távközlési igazgatás úgy döntött, hogy meggyorsítja a digitalizálást, akkor ezt követően hamarosan elhatározza a fénytávközlési eszközök bevezetését is [7].

3.2 Távközlési döntések

Új átviteli utak létesítésénél a távközlési döntéseket az alábbi szempontok befolyásolják:

- a meglévő berendezések további üzeme minden esetben gazdaságos, ha az a követelményeket minőségileg és mennyiségileg kielégíti, ebben az esetben új eszközök beruházása csak kivételesen indokolható;
- az átviteli utak illeszkedjenek a kapcsolástechnikai berendezésekhez és az előfizetői állomásokhoz; a gazdaságosságot az illesztő rendszerekkel együtt kell értékelni;
- az átviteli út hatótávolsága növelendő, ugyanakkor az információegységre jutó költségnek csökkennie kell, vagyis a sáv szélesség és az áthidalható távolság növelése mellett a költségek csökkentése az egyik lényeges célkitűzés.

A különböző postaigazgatóságok vagy magán telefontársaságok fejlesztési célkitűzéseit a fenti szempontok alakítják. Az egyes országokban kialakult helyzetről az alábbiakban adunk áttekintést:

Anglia járt legelől a fénytechnika alkalmazásában. Mivel nem rendelkeznek a régi típusú áramkörökből tartalékokkal, a hálózat fejlesztése itt valóban sürgős. 1982-ben London és Birmingham között 200 km-es távon 2×2 szálát 34 Mbit/s rendszerrel, 1×2 szálát 140 Mbit/s rendszerrel telepítettek. A British Telecom ezenkívül rendelt 3470 km szálát a trónkhálózat részére. Ezt 22 nyomvonalon helyezik üzembe, itt 34 Mbit/s-os rendszereket telepítenek. Ez azt jelenti, hogy a fénytávközlő szálak 1984-ben már több, mint 100 000 Erlang forgalom lebonyolításával vesznek részt a városi hálózatok forgalmában.

A Német Szövetségi Posta [17] 1981 áprilisában eldöntötte a fényvezető hálózat kiépítését. 1984-re befejezik az előkészítő kutató-fejlesztő munkát. Eddig-re a gazdaságos üzemhez szükséges hullámhossz-multiplex és analóg átviteli vizsgálatokat is lezárják. A fényvezető átvitel az évtized végére valamennyi hálózati sík legfontosabb eleme lesz [9]. Új kábeles összeköttetéseket kizárólag fényvezetőkkal telepítenek.

Az Egyesült Államokban 1981 augusztusában történt meg az első helyközi vonal üzembe helyezése. Ezelőtt már működtek helyi vonalak kísérleti stádiumban. A gazdasági számítások realitását a kísérletek igazolták. A következő időszakban új tervezésnél a mikrohullámú összeköttetések mellett döntően fényvezetőket alkalmaznak [11]. 1985. évig a helyközi hálózatban 1000 km fényvezető kábelt építenek be, ami 100 000 szál km-nek felel meg. Kb. azonos mennyiségű szálát fognak alkalmazni a következő három évben a helyi hálózatokban is.

Olaszországban [10] 1981-ben 90 km fényvezető trónkkábelt fektettek, ebből 42 km-t tömbcsatornába, 48 km-t földbe. Ez a trónkhálózatban 1800 szál km-t jelent. Ugyanebben az évben még 30 km helyközi kábelt is üzembe helyeztek. 1982-ben következett az optikai légkabel bevezetése. Az igényeknek megfelelően a következő 3-4 évben már üzemzerűen kívánják a fénykábelt alkalmazni.

Erősáramú rendszerek távközlési céljaira szintén sok helyen alkalmazzák a fénytávközlést. Saud-Arábia pl. a BICC-től vett ilyen célra 92 km fénylégkábelt.

A felsorolt adatok mutatják, hogy a klasszikus hálózat fejlettségétől függően 1984 és 1990 között valamennyi ország előtérbe helyezi a fénytávközlő eszközök létesítését.

4. Hazai helyzet és célkitűzések

4.1 Fejlesztési törekvések

A fénytávközlés hazai alkalmazása érdekében több intézmény végzett az elmúlt években kutató-fejlesztő és szervezési munkát.

Több helyzetfelmérés pl. [18] mellett két OMFb tanulmány készült, melyek a jövőben a fejlesztés alapjául szolgálnak.

Az OKKFT keretében a kutatás-fejlesztés össze-

hangolására a Távközlési Kutató Intézet kapott megbízást. Az ipari fejlesztést, mint generálvállalkozó, a Telefongyár hangolja össze ugyanis a fénytávközlő összeköttetés legköltségesebb részét, a PCM végbe rendezést a Telefongyár gyártja.

Az optikai hírközlő rendszerek adóelemei ma már szinte kizárólag félvezető anyagokból készülnek. A „világító diódák” $0,7-1,3 \mu\text{m}$ hullámhosszú inkoherens, míg a korszerű lézerdiódák $0,7-1,7 \mu\text{m}$ tartományban koherens sugárzást emittálnak. A fényteljesítmény $0,1$ és 100 mW között változhat konstrukciótól és anyagtól függően. Ilyen típusú fényforrások, elsősorban $1 \mu\text{m}$ alatt emittáló lézerdiódák kutatása-fejlesztése idehaza az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében folyik. A VI. ötéves tervben $50-100$ darabos minta fog elkészülni. Ezek az eszközök rövid távú hírvitelre ($L < 1 \text{ km}$) használhatók.

A leggyakrabban használt detektorok az $1 \mu\text{m}$ alatti tartományban a szilícium PIN, illetve lavina-fotodiódák. Ezek fejlesztésére a Mikroelektronikai Vállalat képes, a HIKI-ben korábban kidolgozott technológiák alapján.

A Magyar Posta elhatározta kísérleti összeköttetés létesítését, és ennek tapasztalatai alapján a fénytávközlés széles körű elterjesztését. Ezekkel a munkákkal a Posta Kísérleti Intézetet bízták meg, ahol a telepítési tervek, átviteli utasítások elkészültek.

1983 októberében a Magyar Posta lefektette az első fénytávközlő kábelt, melyet rövidesen kísérleti jelleggel üzembe helyeznek.

1983 őszén pedig elindult a fénytávközlő összeköttetések összehangolt kutatása-fejlesztése a Telefongyár, a Távközlési Kutató Intézet, a Posta Kísérleti Intézet, a Műszaki Fizikai Kutató Intézet és a Mikroelektronikai Vállalat együttműködésével. A munka célkitűzése, hogy elsősorban hazai és szocialista országokból beszerzendő alkatrészek és szál felhasználásával mintaösszeköttetések készüljenek.

4.2 Alkalmazási területek

A különböző postaigazgatóságok döntéseiből és a prognózisokból levezethető tapasztalatokat hazai vonatkozásban a különböző hálózati síkokra eltérő módon lehet értékelni.

Az előfizetői hálózat területén a fényvezető technika akkor kerül előtérbe, ha a vezetékes műsorelosztás és a szélessávú információátvitel gyakorlati igényné válik. A német és a francia posta gyakorlata azt mutatja, hogy az előfizetői fényhálózati kísérleteket más programokkal összekötve valósították meg. Ezeket a programokat széles körben azonban csak akkor lehet bevezetni, ha ezek minden igénylő részére biztosíthatók. A Magyar Posta hálózatában az előfizetői hálózatok szélessávú többlétszolgáltatásokkal való kiegészítése a közeljövőben általánosan nem várható. Így a fénytechnikából adódó lehetőségek az előfizetői hálózatban az 1984-90 közötti periódusban várhatóan csak kísérleti szinten valósulhatnak meg.

Trónkhálózatok területén a forgalmi igények kielégítése új tömbcsatornák létesítésével nem gazdaságos, és sok esetben az ehhez kapcsolódó útfelbontást nem is engedélyezik. Ehelyett az alábbi három lehetőség közül kell választani:

- a meglévő rézerű kábeleken primer PCM-rendszerek üzembe helyezése; ez lehetséges, ha az aknák nincsenek túlszűfolva és a kábelek minősége kielégítő;
- mikrohullámú digitális összeköttetések létesítése azon pontok között, ahol az átlátás biztosítva van; ez a megoldás sokszor előnyben részesíthető;
- fénykábel létesítése tercier PCM-rendszerekkel, különösen olyan esetekben kedvező, ha a tömbcsatornában van üres nyílás vagy a fénytávközlő kábel által biztosított kapacitás lehetővé teszi nyílások felhasználását.

A trónkhálózatban az utóbbi eset várhatóan sűrűn előfordul, ezért gazdaságosnak látszik, ha az 1984–90. periódusban készül trónkhálózati tervek, mint gyakorlati lehetőséget a fénytávközlést is figyelembe veszik.

Rurálhálózat esetében a forgalmi igények nem minden esetben indokolják a több száz csatorna létesítését lehetővé tevő fénykábelek építését. Erősáramú hálózattal közös oszlopsoron azonban gazdaságos lehet, és az életvédelmi szabályok teljesítése is nagymértékben egyszerűsödik. A rurálhálózatban a fénylégkábel alkalmazása akkor gazdaságos, ha ott egyidejűleg a digitális kapcsolástechnika is megjelenik [14].

A helyközi gerinchálózat kiépítése hazánkban nem túl régen korszerű elemekkel valósult meg. Ezek kiváltása a következő évtizedben nem lehet gazdaságos. Új irányok vagy kerülő nyomvonalak építésénél azonban a fénykábel számításba veendő.

A fentiek alapján úgy látszik, hogy a hazai hálózat építésénél a tömbcsatornába húzható kábel a legközelebbi jövőben gazdaságosan alkalmazható eleme a trónkhálózatoknak. A fényvezetős légkábel a digitalizálандó göckörzetekben kerülhet bevezetésre. Ezekben túlmenően esetleg egy-egy új gerincirányban jelenhetnek meg az évtized vége felé a nagy távolságokra alkalmazható fénytávközlő összeköttetések.

I R O D A L O M

- [1] *Horváth G. – Márkus E. – Dr. Sallai Gy.*: A fényvezető technika bevezetésének gazdaságossága, *Híradástechnika*, Vol. XXXI, No. 7. 1980. július, 241–253. old.
- [2] *Globecom '82*, Miami, 1982. XI. 29.–XII. 2.
- [3] *Berceli T.*: Kis veszteségű hullámvezetők (Hullámterjedés dielektromos szálakon), Kandidátusi értekezés, 1955.
- [4] 7th European Conference on Optical Communication, Koppenhága, Dánia, 1981. szept.
- [5] *Keck, D. B.*: Single-mode fibers outperform multi-mode cables, *IEEE Spectrum*, 1983. márc. 30–37. oldal.
- [6] *Fundamentals of optical fiber communications*, 2nd ed., Edited by M. K. Barnoski, 4. fejezet, Academic Press, New York–London, 1981.
- [7] *Telecommunications Journal*, 1982. febr. (Célszám) 84–132. oldal.
- [8] *Käser A. – Ganzmann P.*: Die erste optische 34 Mbit/sec Versuchsanlage in der Schweiz, *PTT Technische Mitteilungen*, 1981., No. 7. 304–314. oldal.
- [9] *Stanley L. W.*: Optische Übertragungstechnik ist betriebsreif, *Nachrichten Technische Zeitschrift*, 1982. május, 280–286. oldal.
- [10] *Bonaventura G. – Catania B. – Gagliardi D. – Paladin G. – Tosco F.*: COS 3/Foster 2 First optical system for operational service in Italy, *CSELT Rapport Technici*, 1981. aug. 337–343. oldal.
- [11] *Feddersen R. D. – Miglis F.*: Fiber optics economics pay off at Continental Tel of California, *Telephony*, 1981. nov. 2. 22–25. oldal.
- [12] *Meier E. – Engelen – Schulze M.*: Fault locating and backscatter measurement on glass fibres, *Philips Telecom. Review*, Vol. 40, No. 2. 1981. július, 125–140. oldal.
- [13] *Horsley A. W. – Usher F. S.*: Optical fiber communication systems in PTT networks, *Electrical Communication*, Vol. 55, No. 4, 1980. 268–275. oldal.
- [14] *Bresser O. R.*: Optical cables for aerial application, *Philips Telecom. Review*, Vol. 40, No. 1, 1982. július, 121–128. oldal.
- [15] *British Post Office: Fibre Communication*, BPO Telecom HA, London, jan. 5–21. oldal.
- [16] *Kao C.*: Fibre optics research and development in the 1980's, *Radio Science*, Vol. 16, No. 1978. július–augusztus, 431–434. oldal.
- [17] *Wichards F. H.*: Die Forschung bei der DBP zur gestaltung eines Glasfaser-Fernmeldenetzes, *Nachrichtentechnische Zeitschrift*, 1981. december, 846–847. oldal.
- [18] *Almássy Gy. – Déri S.*: Optikai hírközlés, Ismerető feljegyzés, MTA, Távközlési Rendszerek Bizottság, 1976. december.