

Digitális optikai átviteli rendszerek

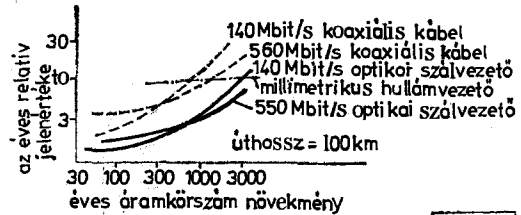
LÓRINCZ ENDRE
BHG

A cikk a Telecommunication Journal 1981/11. és 1982 „optical fibres” különszámaiban megjelentek alapján készült.

A szobahőmérsékleten folyamatosan működő félvezető lézer 1970-ben történt előállítására óta a *digitális optikai átviteli rendszerek* több generációja jött létre, amelyek megalapozott alternatívát kínálnak a koaxiális átviteli rendszerekkel szemben. Az 1. ábrán szemléltetett gazdasági előny a szálvezető alacsonyabb anyagköltségéből és — a nagyobb ismétlő távolságból eredő — alacsonyabb berendezés-költségéből adódik.

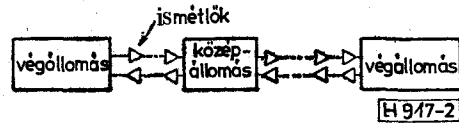
A szárazföldi rendszerek általános felépítését a 2. ábra szemlélteti. A vég- és középállomási berendezéseket épületekben helyezik el, az ismétlőket pedig kábelaknákban, tartályokban vagy tartóoszlopokon. A tenger alatti kábeleknél a középállomási berendezések helyét is a végberendezések által távtáplált és távfelügyelt ismétlők foglalják el. Az átviteli rendszer sebességét a tervezés fázisában gazdasági szempontok szerint választják ki a CCITT digitális hierarchiáiból. Ezt követi az ismétlő távolság és egyben a szálvezető típus meghatározása: 30 km-ig *multimódusú szálvezetőt* alkalmaznak a 0,8–0,9 μm vagy az 1,3 μm hullámhossz tartományban, 30 km felett pedig *egymódusú szálvezetőt* az 1,3–1,55 μm -es tartományban (3. ábra).

A 0,8–0,9 μm -es tartományban fényforrásként GaAlAs lézer diódát (LD), valamint felületsugárzó vagy élsugárzó fényemittáló diódát (LED vagy ELED) használnak. Fotodetektáló eszközként Si lavalina fotodiódát (APD) vagy Si p-i-n diódát alkalmaznak térvezérlésű műveleti erősítővel (PIN—



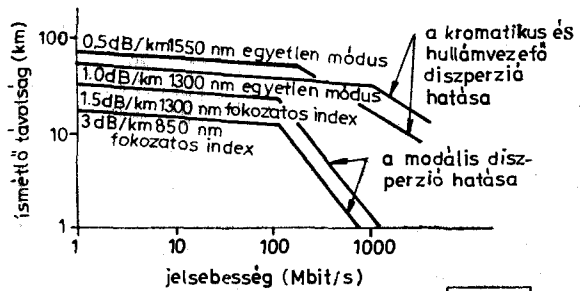
H 917-1

1. ábra. A különböző átviteli közegek gazdasági összehasonlítása



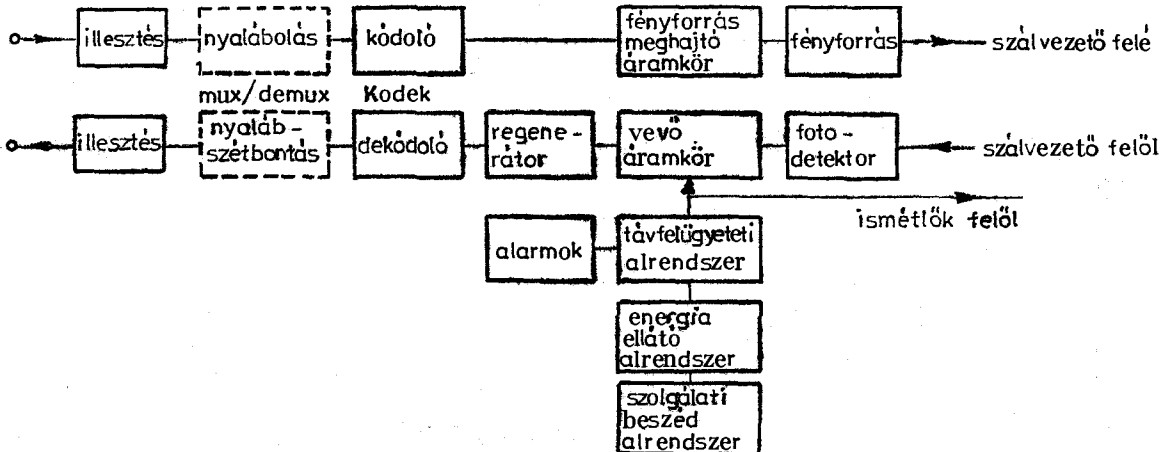
H 917-2

2. ábra. Az optikai átviteli rendszer blokkvázlata



H 917-3

3. ábra. Az ismétlők távolságának jelsebességfüggése



H 917-4

4. ábra. A végállomási berendezés blokkvázlata

FET). Az 1,3–1,55 μm -es tartományban fényforrásként InGaAsP lézer dióda vagy fényemittáló dióda szolgál, fotodetektorként pedig Ge lavina fotodióda vagy InGaAs p-i-n dióda (I–II. táblázat).

A 4. ábrán látható végállomási berendezés illesztés után multiplexeli a különböző sebességű csatornákat, majd kialakítja a vonali kódot (III. táblázat). A 8 és 34 Mbit/s sebességű rendszerekben korábban a HDB3 kódot alkalmazták, a 140 Mbit/s-os rendszerekben pedig a számjegy invertáló CMI kódot. Újabban a kiegyensúlyozott nB/n+1/B bináris blokkkódot használják: a 34 és 140 Mbit/s-os rendszerekben alkalmazott 5B6B kód biztosítja a legkedvezőbb arányt a kódolás bonyolultsága és a járulékos redundancia között, a 7B8B kód pedig nagyon egyszerű hibaarány detektálást tesz lehetővé az ismétlődésben. Igen nagy sebesség esetén (560 Mbit/s felett) a részleges átvitel technikájával alakítják ki a vonali kódot.

A kódolt digitális jelsorozat a meghajtó áramkörön át vezérli a fényforrást. A két fényforrástípus közül a lézerhez viszonyítva a fényemittáló diódának kisebb a modulációs sebessége, nagyobb a spektrumvonal szélessége és kisebb az emittált fényenergiája, viszont nagyobb az élettartama és egyszerűbb meghajtó áramkört igényel. A LED bináris meghajtó áramkörét a lézer esetében egy szabályozó áramkörrel egészítik ki, amely a moduláló áram vezérlésével csúszhatározza az emittált fényenergiát, és megszünteti a rezonancia áramküszöbének hőmérséklet-függését.

A fotodetektorok közül a Si lavina fotodiódát a 0,8–0,9 μm hullámhossz tartományban előnyben részesítik a Si PIN–FET-tel szemben nagyobb vételi érzékenysége miatt – annak ellenére, hogy magas tápfeszültséget (200–400 V) igényel, és nagy a hőérzékenysége. Az 1,3–1,55 μm -es tartományban alkalmazható Ge lavina fotodiódának már jóval kedvezőtlenebbek a paraméterei, ezért ebben a tartományban inkább az InGaAs PIN–FET-et használják. A kis sebességű rendszerekben a PIN diódát egy kis bemenő impedanciájú visszacsatolt erősítő terheli, a nagy sebességű rendszerekben viszont egy nagy bemenő impedanciájú nyílthurkú erősítő. A dióda kapacitásának és az erősítő bemenő kapacitásának együttes integráló hatása elhanyagolhatóvá teszi a termikus zajt. A hasznos jelek nem kívánatos integrálódását a regenerátor egy differenciáló hatású digitális szűrővel egyenlíti ki, majd a bitsebességre hangolt erősítő jitter-simítást végez a visszanyert hullámformán. A dekódoló áramkör a vonali kódot adatkóddá alakítja át, amely demultiplexelés után az illesztő áramkörön át hagyja el a végállomási berendezést.

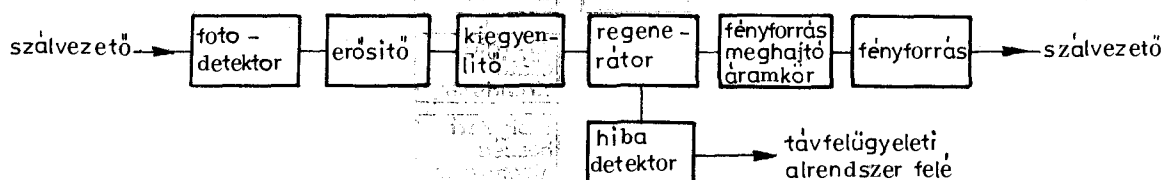
Fényforrástípus	Hullámhossz (nm)	Anyag	Tipikus kimenő teljesítmény az 50/125 μm átmérőjű fokozatos indexű szálvezető felé (nW)	Tipikus modulált spektrumvonal szélesség (nm)	Maximális moduláló frekvencia (MHz)
Lézer	850	GaAlAs	1–3	3	500
	1300	InGaAsP	0,1–2	8	500
	1550	InGaAsP	0,1–2	10	500
ELED	850	GaAlAs	1–1,5	40	100
	1300	InGaAsP	0,5–1,5	60	200
LED	900	GaAs	0,5–0,8	40	50–150
	1300	InGaAsP	0,1–0,5	110	50–150

II. táblázat

Fotodetektor típus	Anyag	Hullámhossz tartomány (nm)	Kvantumhatásfok %	A vett teljesítmény minimuma 140 Mbit/s-nál $P_e = 10^{-9}$ -re vonatkoztatva (dBm)
APD	Si	800–900	≈ 80	–50
	Ge	1300–1550	≈ 70	–40
PIN/PIN FET	Si	800–900	≈ 90 –95	–45
	InGaAs	1300–1550	≈ 40 –70	–44

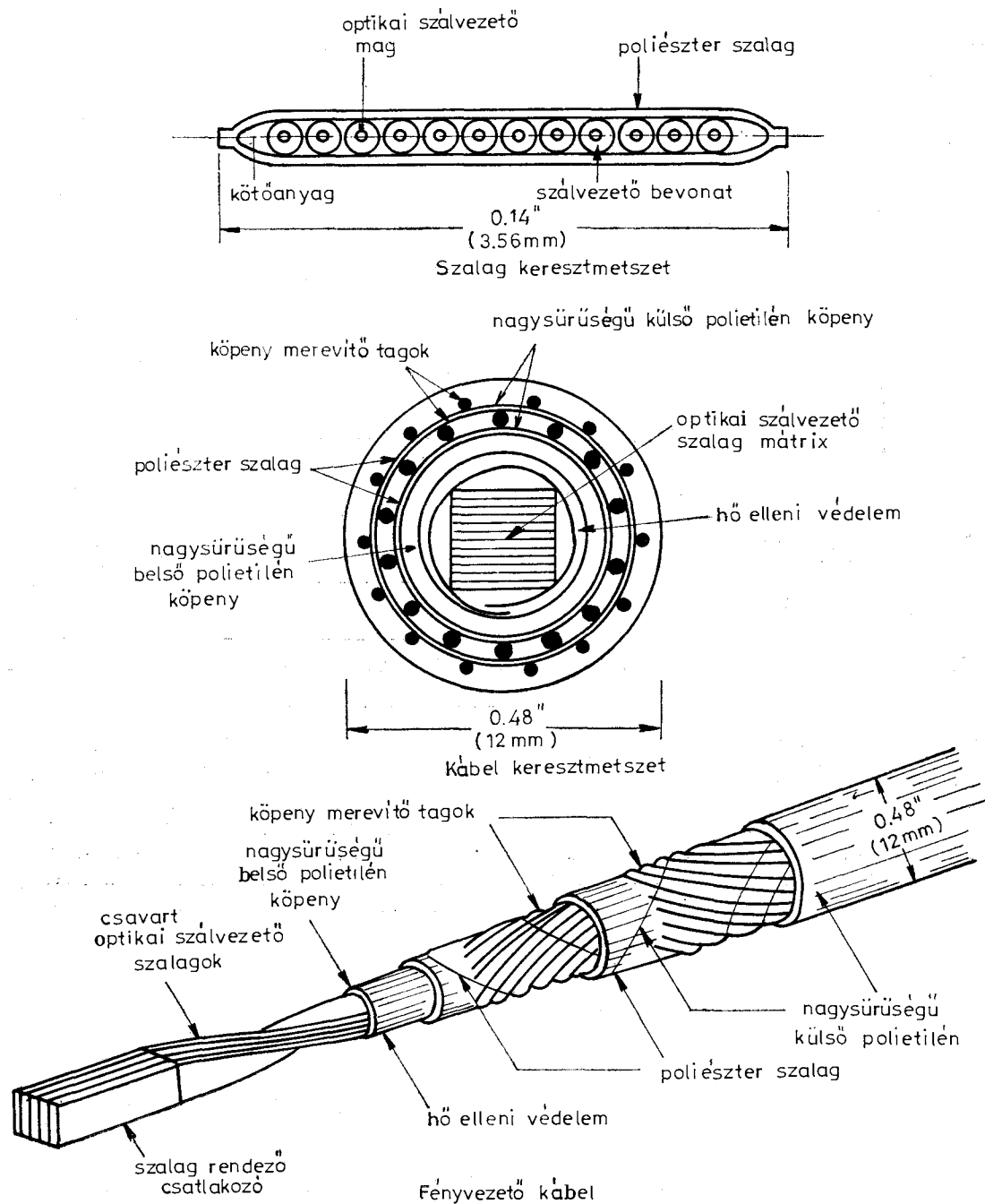
III. táblázat

Kategória	Diszparitás	Példa
Alfabetikus	Kiegyensúlyozott (kötött diszparitás)	nB(n+1)B
	Kiegyensúlyozatlan (kötetlen diszparitás),	Optikai rendszerekben nem használatos
Nomalfabetikus	Kiegyensúlyozott (kötött diszparitás)	
	Kiegyensúlyozatlan (kötetlen diszparitás)	Paritásvizsgálat komplexeiter bit hozzáadásával
Speciális	–	Részleges átvitel



H 917-5

5. ábra. Az ismétlők blokkvázlata



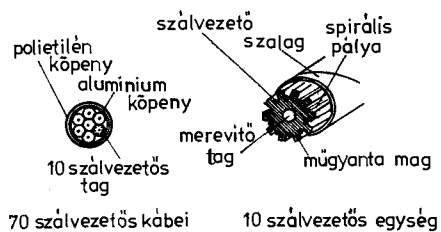
H 917-6

6. ábra. A Bell System FT3 rendszerének 144 szálvezető optikai kábele



H 917-7

7. ábra. Az NTT 24 szálvezetőt tartalmazó optikai kábele Kawasaki helyi hálózatában



H 917-8

8. ábra. A Francia PTT 70 szálvezetőt tartalmazó optikai kábele Párizs trónkhálózatában

IV. táblázat. Néhány kísérleti optikai átviteli rendszer eredményei Japánban

Szálvezető-típus		Fokozatos indexű multimódus		Egymódus		
Jelsebesség (Mbit/s)		100	400	100	400	800
Fényforrás	Lézertípus	InGaAsP/InP	GaAlAs	InGaAsP/InP		
	Hullámhossz (nm)	1295	850	1510		1310
	Spektrális szélesség (nm) Kibocsátott energia (dBm)	1 -5,3	1 -6,5	1 -7,8	3 -4,7	3 -4,0
Szálvezető	Átlagos csillapítás (dB/km)	0,6	2,6	0,5		0,6
	Diszperzió	1,3 GHz-km		16 ps/km/nm		2 ps/km/nm
Fotodetektor	Típus	Ge-APD	Si-APD	Ge-APD		
	Kvantumhatásfok Többlet zaj tényező	40-70% 0,8-1,0	65% 0,3	40-70% 0,8-1,0		
Megvalósított ismétlő távolság (km)		52,6	8	58	20	40
A vett teljesítmény átlaga $P_e = 10^{-11}$ -re vonatkoztatva (dBm)		-38,7	-38,5	-39,5		-29,0

Az 5. ábrán látható ismétlő táplálását szárazföldi rendszereknél helyileg oldják meg (pl. napelemekkel), vagy pedig — a tenger alatti kábelekhez hasonlóan — a kábel e célra szolgáló vörösréz vezetékén keresztül. A kábel vagy az ismétlő hibájának behatárolását a *távfelügyeleti alrendszer* a hibaarány figyélésével végzi. A végállomási alrendszerhez az ismétlők riasztójelzései többféleképpen is visszacsatolhatók:

- vörösréz vezetőkkel,
- külön szálvezetőkkel,
- az átvitelre használt szálvezetőkön át hullámhossz multiplexeléssel (WDM), a vonali kód redundanciájával, a vonali kód órafrekvenciájának modulálásával, vagy egy járulékos modulált vivő beékelésével.

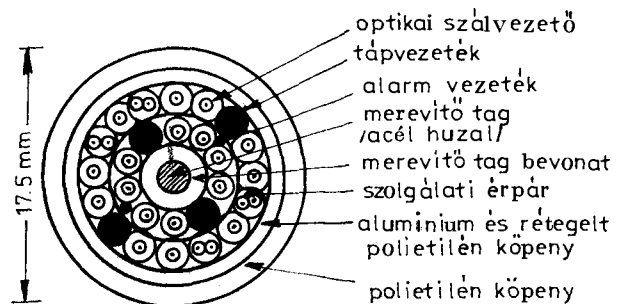
A hibaelhárításhoz szükséges *szolgálati beszédcsatorna* a következőképpen biztosítható:

- vörösréz vezetőkkel,
- az acél merevítőtagok vagy az alumínium védőréteg felhasználásával (csak kis távolságú rendszerekben)
- az átvitelre használt szálvezetőkön át a vonali kód redundanciájával (csak vég-vég között)
- rádiótelefonnal.

Az optikai szálvezetőköt elsőként a városi trónkhálózatban alkalmazták. Az USA-ban az első FT3 rendszert Atlanta városi trónkhálózatában helyezték üzembe 1980-ban: 45 km hosszúságú optikai kábellel kötötték össze a város 4 főközpontját, és 5 ismétlőt alkalmaztak 6,5 km-es maximális távolság mellett. A *Bell System* által üzemeltetett 20 darab 45 Mbit/s-os átviteli összeköttetést a 0,82 μm hullámhosszon GaAlAs kettős heteroszerkezetű lézerekkel, 50/125 μm -es multimódusú fokozatos indexű

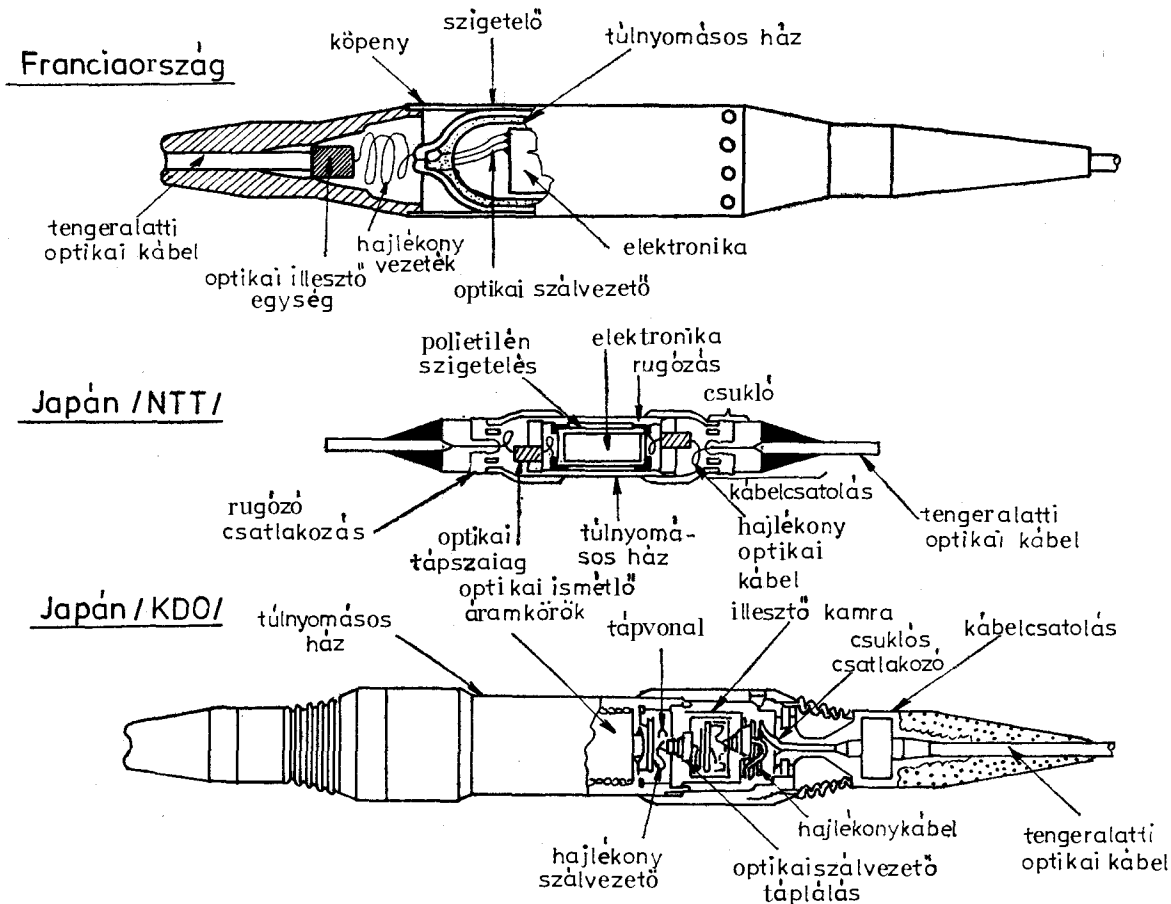
szálvezetővel, és Si lavina fotodiódával valósították meg. Az alkalmazott kábel csak optikai szálvezetőköt tartalmaz, tekintettel az ismétlők helyi táplálására, és a szomszédos kábelek segítségével megvalósított távfelügyeletre. A távfelügyeleti alrendszer 10^{-6} hibaarány esetén automatikusan kiiktatja a kérdéses összeköttetést, és csak 10^{-7} nél jobb hibaarány esetén helyezi újra üzembe. A 6. ábrán látható kábel szalag szerkezetű mátrixa 12×12 szálvezető befogadására alkalmas, azonban kisebb kapacitás esetén sem változik a kábelátmérő.

Az NTT 1980-ban Kawasaki város 3 főközpontját kötötte össze egy 11,5 km-es földkábellel és egy 6,3 km-es légkábellel. A rendszerben háromféle jelsebességet (6,3; 32 és 100 Mbit/s-ot) alkalmaznak, ezenkívül egy analóg video csatornát is továbbítanak. A kisebb sebességeket a 0,85 μm hullámhosszon valósítják meg GaAlAs lézerekkel, 50/125 μm -es multimódusú fokozatos indexű szálvezetővel és Si lavina fotodiódával; a 100 Mbit/s sebességet pedig az 1,3



H917-9

9. ábra. Az ASST 18 szálvezetőt tartalmazó optikai kábele Róma trónkhálózatában



I: 217-10

10. ábra. Tenger alatti optikai kábelek ismételőinek mechanikai felépítése

μm hullámhosszon működő InGaAsP lézerral és LED-del, 50/125 μm -es szálvezetővel és Ge lavina fotodiódával. A 7. ábrán látható 24 mm átmérőjű kábelben 24 szálvezető és 6 vörösréz érnégyes található, de létezik egy kettős hengeres szerkezetű változat is, amely 48 szálvezetőt tartalmaz. Japán néhány kísérleti optikai rendszerének eredményeit mutatja be a IV. táblázat.

Ugyancsak 1980-ban helyezte üzembe a francia PTT az első 34 Mbit/s-os optikai rendszerét Párizs két főközpontja között. A 0,85 μm hullámhosszon működő rendszer 8. ábrán látható kábele 7 darab olyan egységet tartalmaz, amelyek mindegyike 10 szálvezetőt foglal magában a spirálisan csavarodó műgyanta mag hornyáiban.

Az ASST és SIP 1981-ben helyezett üzembe Róma 7 főközpontja között egy 16 km összhosszúságú optikai rendszert. A 0,85 és 0,9 μm hullámhosszon üzemelő rendszerben a 34 és 140 Mbit/s sebességet GaAlAs lézerral és LED-del, 62/125 μm -es multimódusú fokozatos indexű szálvezetővel és Si lavina fotodiódával valósították meg. A 9. ábrán látható koncentrikus szerkezetű kábel 18 szálvezetőt tartalmaz, továbbá tápáramvezetőket, szolgálati érpárakat és vízbehatolást jelező alarmvezetőket.

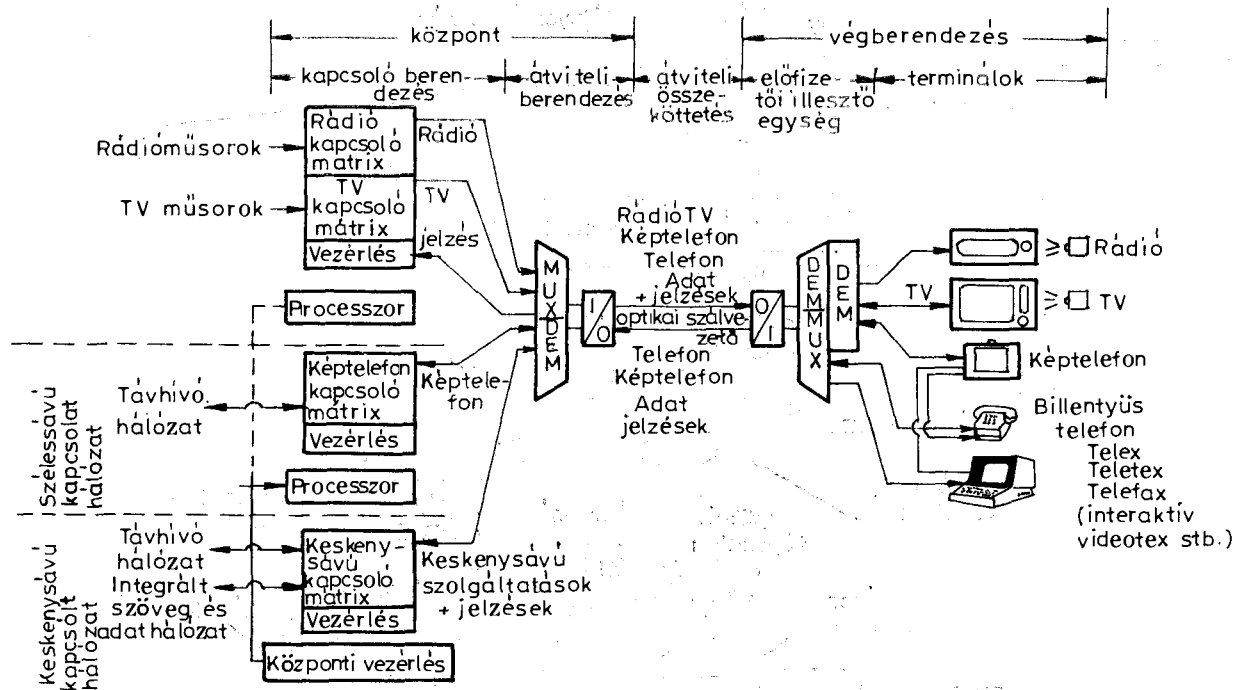
A Német Szövetségi Posta első optikai rendszerét Nyugat-Berlin két főközpontja között helyezte üzembe 1979-ben. A 4,5 km hosszúságú összeköttetés a 0,85 μm hullámhosszon üzemel 34 Mbit/s sebességgel.

A British Telecom 8 és 34 Mbit/s sebességű optikai rendszereket alkalmaz a trónkhálózatában. A korábbi összeköttetésekhez a 0,85–0,9 μm hullámhossz tartományban üzemelő GaAlAs lézert és LED-et, valamint Si lavina fotodiódát használt fel, újabban az 1,3 μm hullámhosszon üzemelő InGaAsP LED-et és InGaAsP PIN-FET-et alkalmaz 16 km-es ismétlő távolsággal.

Az optikai szálvezetők felhasználási területének bővülését jelenti a szálvezetős tenger alatti kábelek. A tervcélok szerint a 8000–10 000 km hosszúságú kábeleknek – amelyek 6000–8000 m mélységben haladnak az óceán szintje alatt – 8–15 éves MTBF értékkel kell rendelkezniük, amelyet a 25–50 km-es ismétlő távolság mellett tartalékolással kívánnak biztosítani. A tervezett MTBF értékből kiindulva az ismétlők megbízhatóságának 15–150 fit*-nek kell lennie, ezért igen magas integráltsági szintet alkalmaznak az elektronikus egységekben (5 chip/egyirányú egység), továbbá a lézer diódákból 1–3 tartalékot képeznek.

A tenger alatti kábel szakítószilárdságának 75–100 kN-nak kell lennie, hogy kibírja a fektetéssel járó igénybevételt és a víz 80 MPa nagyságú hidrosztatikus nyomását. A 10. ábrán bemutatott túlnyomásos házakban helyezik el az ismételőket, amelyek mérete és szerkezete hasonló a hagyományos rendszerekéhez.

* 1 fit = 1 hiba/10⁹ óra \times az alkatrészek száma.



4947-11

11. ábra. A Német Szövetségi Posta BIGFON hálózatának egyik változata

Az első 10 km hosszúságú 140 Mbit/s-os tenger alatti kábelt Nagy-Britanniában helyezték üzembe 1980 februárjában, ezt Japán követte 1980 októberében egy szintén 10 km hosszúságú kábellel, amelyet több más optikai szálvezetős rendszer követett világszerte.

A széles sávú integrált szolgáltatás megvalósításához az optikai szálvezetőket az előfizetői hálózatban is alkalmazni kell. Az előfizető és a helyi központ közötti távolság valamint a szolgáltatás függvényében a különböző csillapítású és sáv szélességű szálvezetőket gazdasági szempontok szerint választják ki. Az előfizetői készülékek (rádió, tv, telefon, képtelefon, telex, fakszimile, teletex, interaktív videotex stb.) energiaellátását a kizárólag szálvezetőket tartalmazó kábelek esetében helyileg kell megoldani (hálózat + akkumulátor, napelem stb.).

A francia PTT Biarritzban helyezi üzembe kísérleti optikai szálvezetős előfizetői hálózatát 1983-ban, amely a telefon és képtelefon mellett két egyidejű tv-programot és egy hifi sztereó programot is továbbít. A kanadai Elie rurál hálózatban a 4 mellékállomásos party-line telefon mellett egy FM sztereó csatornát, egy analóg tv-csatornát és egy 56 kbit/s-os szinkron adatcsatornát is továbbítanak az előfizetői kábeleken.

A Német Szövetségi Posta BIGFON hálózata 1986-ra készül el 7 városban, amely egyidejűleg 2 vagy több integrált keskeny sávú csatornát, 2...4 választott tv-csatornát, 24 egyidejű vagy 4 választott FM sztereó csatornát és 1 képtelefon csatornát tartalmaz (11. ábra).