

Szélessávú hírközlési kísérletek az optikai tartományban

ETO 621.375.826.038.823:621.391.63.018.424

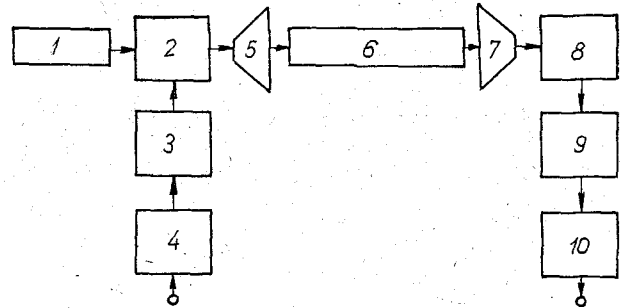
Közel 20 éve már, hogy az első lézerek elkészítése nyomán a fejlett ipari országokban megkezdődtek és egyre fokozódó intenzitással folynak jelenleg is a hírközlési felhasználásukat célzó kutató-fejlesztő munkák [1–15]. Bár kozmikus és rövid távú atmoszférikus összeköttetéseket elég gyorsan sikerült létesíteni, az átütő sikerek sokáig vártak magukra. Ennek okát főként a megfelelő választékú és minőségű optikai, illetve elektronikai alkatrészek hiányában kell keresnünk, de az atmoszférikus turbulencia is váratlanul nagy akadállyal bizonyult a szabadteri terjedés útjában.

A 70-es évek elején a figyelmet új irányba terelték a kis csillapítású (<20 dB/km) optikai szálak, illetve a belőlük készített optikai kábelek. A gyors ütemben javuló minőségű szálak a megfelelő fényforrásokkal (LED, lézer dióda) és fotodetektorokkal együtt egy, a hagyományos vezetékes (kábeles) hírközlő rendszerrel analóg optikai megoldás lehetőségét hozták magukkal [11–15]. Ettől kezdve az atmoszférikus összeköttetések iránt az érdeklődés rohamosan csökkent, bár ezek bizonyos (elsősorban rövid távú, mobilis) feladatok ellátására előnyösebbek, s még várhatóan hosszú ideig jóval olcsóbbak is. Ezért az ilyen irányú vizsgálatok teljes megszüntetése műszaki és gazdaságossági szempontból is indokolatlan.

Fentiek alapján, számot vetve a koherens optikai eszközök (egyelőre) szűkös beszerzési lehetőségeivel és általában magas árukkal is, olyan széles sávú (~3 MHz) hírközlő vonal tervezését, építését és gyakorlati kipróbálását tűztük ki célként, amely a rendelkezésünkre álló, illetve könnyen beszerezhető eszközökkel megvalósítható, s ugyanakkor alkalmas az optikai frekvenciatartomány átviteli tulajdonságainak demonstrálására, építési és üzemeltetési tapasztalatok gyűjtésére. Az alábbiakban röviden leírt kísérleteket — diplomatervező hallgatók részvételével [16–19] — az elmúlt években végeztük. Ennek során a BME két épülete között, kb. 200 m távolság áthidalására alkalmas egyirányú lézeres összeköttetést létesítettünk. A megépített vonalon fekete-fehér TV-képet, majd egy 24 csatornás PCM berendezés jeleit továbbítottuk, igen jó minőséggel. Eddigi kedvező tapasztalataink a kísérletek folytatására és kiterjesztésére ösztönöznek.

1. Az optikai hírközlő rendszer elvi felépítése

Az imént említett átviteli kísérletek időben egymást követték. A kétféle feladat, számos közös vagy igen



1—Lézer; 2—Optikai modulátor; 3—Modulátor meghajtó egység; 4—Kódoló berendezés; 5—Optikai adóantenna; 6—Optikai csatorna; 7—Optikai vevőantenna; 8—Optikai vevő; 9—Jelfeldolgozó egység; 10—Dekóder

H 690-TS 1

1. ábra. Az egyirányú optikai összeköttetés tömbvázlata

hasznos vonása mellett, főként az adó- és vevőoldali áramkörök tekintetében jelentősen különbözik is egymástól. Ennek megfelelően, mindkét optikai összeköttetésre megadható azonos tömbvázlat (1. ábra), az egyes tömbök funkciója és felépítése azonban esetenként eltérő, s ezért külön ismertetést igényel. Elsőként azokat az optikai rendszer elemeket tekintjük át röviden, amelyeket mindkét kísérletnél azonos módon használtunk fel.

1.1. Koherens optikai generátor

Az optikai vivőhullámot egy MOM gyártmányú, GL—8 típusú, 5 mW teljesítményű He—Ne lézerral állítottuk elő. A kibocsátott nyaláb hullámhossza $\lambda = 632,8$ nm, gyakorlatilag egymódusú, átmérője a kilépő apertúrán $d \approx 1$ mm, divergenciája $\theta \approx 1...2$ mrad. E lézertípus jellegzetessége az emittált sugárzás nagyfokú monokromatikusság (a spektrális vonalszélesség $\sim 0,01$ nm), s az ezzel összefüggő igen nagy ($\sim 10^8$ m) koherenciahosszúsága, illetve 0,3 s nagyságrendű koherenciaidő. Ezen alapvető fizikai tulajdonságok eredményezik a lézersugárzás nagy spektrális intenzitását, s együttesen teszik alkalmassá a lézertípus hírviteli feladatok ellátására [4–6, 9].

Gyakorlati szempontból feltétlenül megemlítendő, hogy az emittált nyaláb intenzitásában jelentős nagyságú (3...5%) ingadozást tapasztaltunk. Ezt a lézertápegység nem elég gondos szűrésének tulajdonítjuk, megszüntetésére azonban nem vállalkoztunk. Ugyanakkor tudomásul kellett vennünk, hogy — adott modulátortípus mellett — az AM alapsávi átvitel (pl. fekete-fehér TV-kép esetén) eleve lehetetlen ekkora teljesítményingadozás esetén.

1.2. Optikai modulátor

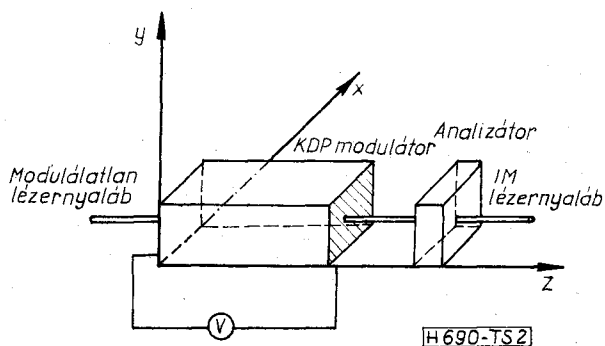
Az optikai vivőhullám modulálását a KDP (KH_2PO_4) egykristályban külső térerősség hatására fellépő lineáris elektrooptikai (Pockels) effektus alapján végeztük [4, 5, 6, 9, 16]. Ezek a kristályok a tetragonális osztályba tartoznak (jelölésük: $\overline{4}2m$), oldatból növesztik őket gondos, de nem túlságosan bonyolult eljárással. Hazánkban több helyen is előállítanak ilyen kristályokat (MTA Kristályfizikai Kutató Laboratóriuma, BME Fizikai Intézete). Ha a megfelelő kristálytani tengely mentén kivágott és optikailag megmunkált KDP hasábon fényt vezetünk keresztül, amely például a fenti lézerből lineáris polarizációval lép ki, akkor az egymásra merőleges villamos térerősség-komponensek között az eltérő fázissebességek következtében a rákapcsolt feszültségtől függő fázistolás jön létre (indukált kettős-törés). Ennek eredményeként a kristályon áthaladó fényhullám polarizációs síkja elfordul, s ha a kilépő nyaláb útjába analizátort helyezünk, annak kimenetén már a Γ fázistolástól, vagyis végső soron a moduláló feszültségtől függő fényintenzitás jelenik meg (2. ábra) [20].

A kiviteltől függően ún. longitudinális vagy transzverzális KDP modulátorról beszélünk. A két típus működési módja és tulajdonságai is különbözők. Az előbbi esetben a fényhullám a z-tengellyel párhuzamosan terjed, és ilyen irányú (longitudinális) a kristályra kapcsolt külső tér is. A fényhullám villamos térerősségének két ortogonális komponense között fellépő fáziskülönbség a modulátor kimenetén:

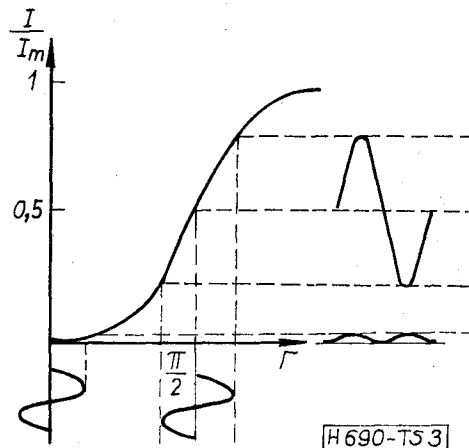
$$\Gamma = F(U/U_{\lambda/2}), \quad (i)$$

ahol U – a moduláló feszültség és $U_{\lambda/2}$ – a $\Gamma = \pi$ nagyságú fázistoláshoz tartozó ún. félhullámfeszültség, amely a kristály optikai paramétereinek és a fény hullámhosszának a függvénye. Az ilyen modulátor fázistolása független a kristály geometriai adataitól, félhullámfeszültsége viszont kényelmetlenül nagy (~ 8 kV), így széles sávú moduláció megvalósítására nem alkalmas. Ennek ellenére első kísérleteinknél ilyen modulátort használtunk, és néhány százalékos modulációs mélység mellett is kielégítő minőségű fekete-fehér TV-képtávítelt értünk el [16–17].

A transzverzális modulátorban a fényhullám továbbra is a z-tengely mentén halad, a kristályra kapcsolt külső tér azonban merőleges a fény terjedési irányára, s a longitudinális megoldástól eltérő



2. ábra. Az optikai modulátor vázlatos felépítése



3. ábra. Az optikai modulátor kvalitatív karakterisztikája

a kristálytani tengelyek orientációja is [4, 9]. Ez esetben a fényhullám villamos térerősségének két ortogonális komponense között fellépő fáziskülönbség a kristály geometriai adataitól is függ, és az l/d hányadossal arányos (l – a kristály hosszúsága, d – a keresztmetszeti mérete). Nagy előnye ennek az elrendezésnek, hogy félhullámfeszültsége a fenti értékénél kb. egy nagyságrenddel kisebb. Ezért széles sávú modulátor gyanánt jól felhasználható, s a digitális hírközlő rendszerekben nagy jövő előtt áll.

Az analizátorral ellátott transzverzális KDP modulátor kimenetén a fényhullám intenzitása:

$$I = I_m \sin^2(\Gamma/2), \quad (2)$$

ahol I_m – a beeső hullám intenzitását jelöli és Γ – a modulátorban létrejövő fázistolás. Egy ilyen modulátor kvalitatív karakterisztikája (a relatív intenzitás a modulációs feszültség függvényében) a 3. ábrán látható. Mivel a Γ fáziseltolás arányos a moduláló feszültséggel, analóg moduláció esetén jelentős torzítások keletkezhetnek. Ennek csökkentése céljából, megfelelő előfeszültség alkalmazásával a kristály munkapontját a $\Gamma = \pi/2$ -nek megfelelő pontba toltuk el. A kellő linearitás érdekében még a moduláló feszültség amplitúdóját is korlátozni kell ($U_{\max} \approx 0,25U_{\lambda/2}$). Széles sávú modulációnál szerepet játszik még a modulátor kapacitása, ezt mérésrel 30–40 pF-nak találtuk, és az optikai csillapítása is, amelyet azonban nem tudtunk megmérni (néhány dB-re becsültük).

Az általunk használt KDP modulátorok a BME Fizikai Intézetben készültek, a kristályokat is ott növesztették, a modulátorok pontos specifikációja azonban nem állt rendelkezésünkre.

1.3. Optikai detektor

A modulált optikai vivőhullám detektálására egy HIKI gyártmányú (típusjel nélküli) szilícium lavina fotodiódát használtunk, amelynek jellemző adatait az irodalomból [31] vettük át:

érzékeny felület	0,3 mm ²
érzékeny tartomány	0,5...1,1 μm
lavina üzemi előfeszültség	80 V
érzékenység	100 nA/lx
záróréteg kapacitása	kb. 20 pF

sokszorozási tényező 100
határfrekvencia >10 MHz

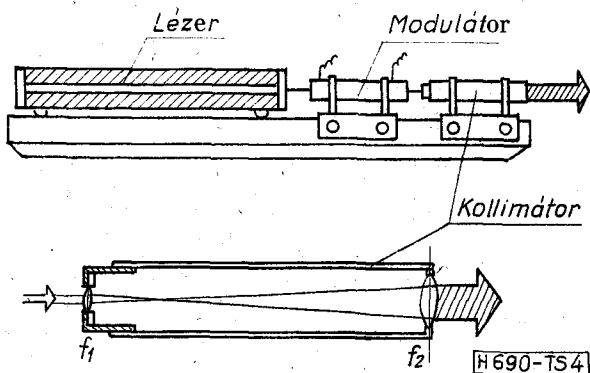
A lavina-fotodióda a fotoelektron-sokszorozóval analóg működésű félvezető eszköz, amelynek azonban nagyobb sötétáram s ennél fogva kisebb érzékenység a jellemzője. Ezenkívül a belső sokszorozási folyamat járulékos zajt termel. Ugyanakkor a lavina-fotodiódának igen jó a kvantumhatásfoka. Mindezen fizikai tulajdonságai következtében a lavina-fotodióda használatával jelentősen növelhető a széles sávú optikai vevőkészülékek érzékenysége, s igen el is terjedtek a gyakorlatban [3, 5, 6, 9, 11].

Azt tapasztaltuk, hogy ha a lavina-fotodiódát nem éri megfelelő nagyságú fényáram, akkor jelentősen megnő a zaja. Ez azzal magyarázható, hogy ilyen esetben hiányzik az a szükséges energia, amely az egyébként spontán lezajló lavinafolyamatokat koordinálja. Így a megnövekedett zajfeszültség, amely közelítőleg normális eloszlású, akár teljesen el is nyomhatja a gyengén vehető jelet. Ha azonban megfelelő intenzitású [22] fényhullám éri a detektor felületét, az abban feszültséggé átalakított jel majdnem zajmentessé válik. A diódán átkényszerített, a jel/zaj viszony szempontjából kedvező egyenáramot 100...150 μ A-nek találtuk.

1.4. Adó- és vevőoptikák

A 2.1. szakaszban már említettük, hogy a koherens optikai oszcillátorként használt lézerből elég nagy divergenciájú nyaláb lép ki. A viszonyokat az optikai modulátor tovább rontja. Ezért nagyobb távolságokon (már 100 m-en is!) jó minőségű hírátvitel csak megfelelő adó- és vevőoptikák (lencsék, tükrök) alkalmazásával lehetséges. Erre a célra az adó oldalon kollimátor gyanánt fordított távcsövet építettünk be (4. ábra), $f_1=17$ mm és $f_2=146$ mm fókusz távolságokkal. Ezzel elértük, hogy a modulátorból kilépő nyaláb átmérője a belépő nyalábénak $146/17=8,6$ -szerese, divergenciája viszont 8,6-szer kisebb legyen. Ha tehát a lézernyaláb eredeti divergenciája 2 marad, akkor 200 m távolságban a kb. 400 mm átmérőjű fényfolt helyett csak kb. 50 mm átmérőjű fényfolt jelenik meg.

Vevőoptika gyanánt egy 3,5/80-as lencserendszert használtunk, amelynek $d_p=8/3,5=2,3$ cm az átmérője és $A_p=4,15$ cm² a hatásos vevőfelülete. Maguknak a lencséknek az optikai csillapítását néhány dB-re becsültük.



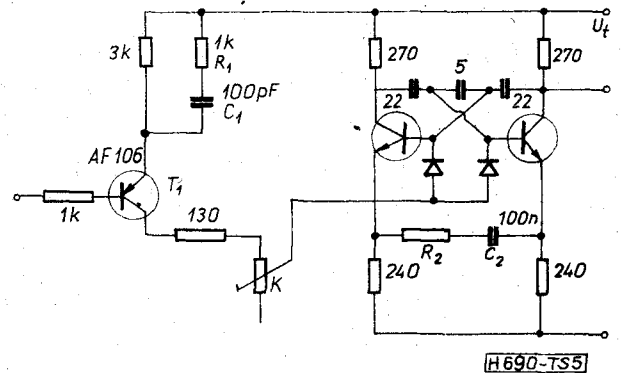
4. ábra. Az adókollimátor felépítése és elhelyezése

2. Fekete—fehér TV-képvitel [16, 17]

A kísérlet célja egy kisméretű SONY kamerából származó, kb. 3 MHz sáv szélességű video-jel kis távolságú átvitele volt. Az összeköttetést az 1. ábra szerint építettük fel. A részletes tervezés előtt az adottságainknak leginkább megfelelő modulációs módot kellett kiválasztanunk. A lézeroszcillátor 2.1. szakaszban említett intenzitás ingadozásai és az atmoszférikus csatorna járulékos (sztochasztikus) amplitúdómodulációja miatt is, a vett TV-kép zavaró villogásainak csökkentése érdekében FM—AM modulációs-rendszert alkalmaztunk. A segédvívó frekvenciáját — az áramköri nehézségek elkerülése céljából — viszonylag alacsony értékűnek választottuk, s így módon lehetővé vált az adó- és vevőoldali áramkörök jelentős egyszerűsítése.

2.1. Az adó oldal felépítése

A bemeneti fokozat erősítőtől és szűrő áramkörből áll. A video-jel a 75 Ω impedanciájú bemenetről szintszabályzó potencióméteren át földelt emitteres tranzisztor bázisára jut. A kimeneti tranzisztor földelt kollektoros kapcsolásban működik, a következő fokozathoz szükséges kis csatlakozási impedancia biztosítása céljából. A két tranzisztor között helyezkedik el a 3 MHz határfrekvenciájú, maximálisan lapos karakterisztikájú aluláteresztő szűrő.



5. ábra. Az FM segédvívó előállítását és modulálását végző egység

A következő fokozat egyszerű, diódás feketeszint-rögítő áramkörből és híd kapcsolású kivezérlésjelző indikátorból áll. Ezt követi egy oszcillátor- és modulátorfokozat (5. ábra), amelynek feladata az FM segédvívó előállítása és modulálása. A kívánt frekvenciát elérése végett relaxációs oszcillátort építettünk. A moduláció feszültségvezérelt áramgenerátor segítségével történik (T 1). Az áramgenerátor diódás kapcsolón keresztül szolgáltatja a töltő-kondenzátorok áramát, és így hozza létre az FM-modulációt. A T 1 tranzisztor emitter-körében elhelyezett R_1-C_1 elemekkel az eredő frekvenciamenetet javítottuk. A multivibrátor tranzisztorainak emitter-körében levő R_2-C_2 híd pedig az egyenletes amplitúdómenetet biztosítja.

Az optikai modulátor meghajtásához szükséges feszültséget első alkalommal egy széles sávú EMG oszcilloszkóp függőleges erősítő és eltérítő egysége

szolgáltatta, két $R-C$ tagon keresztül. Ez utóbbiak feladata volt a kristály munkapontjának beállítása. Ez a meghajtó rendszer max. 400 V_{p-p} feszültség előállítására volt alkalmas, ami — különösen longitudinális modulátor használata esetén — csak csekély modulációs mélységet biztosított.

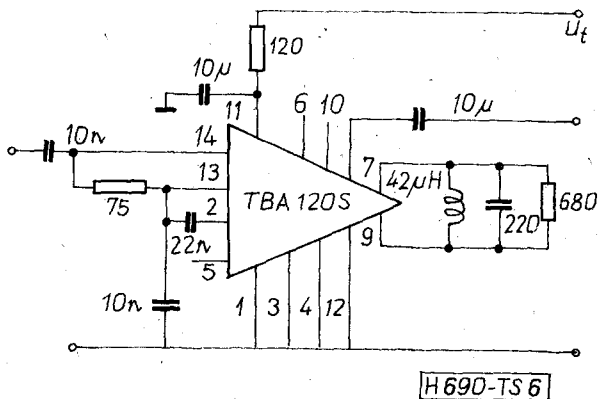
2.2. A vevő oldal felépítése [23]

A vevő oldal fényérzékelő eleme a 1.3. szakaszban leírt Si lavina-fotodióda. Munkapontját a lavinaletérés tartományába kell helyezni, s az ehhez szükséges előfeszültséget 10 kHz-en működő transzverterrel állítottuk elő. Munkaponti áramának a nagyságát az optimális, zajszegény beállítás követelménye szabja meg. Katódját egy 100 nF kondenzátoron át leföldeltük, s a hasznos jelet az anódról választottuk le. A dióda kb. 20 pF-os kapacitása miatt a szükséges nagy sáv szélesség megvalósítása csak kis bemeneti impedanciájú bemenő fokozattal volt lehetséges.

A bemenő fokozattal szemben további igények is voltak: minimális zaj, kellően nagy sáv szélesség és kis (75 Ω) kimeneti impedancia. Ezeket egy egyszerű, BF 224-es tranzisztorokkal megépített két-fokozatú erősítő jól teljesítette. A kis be- és kimeneti impedanciákat negatív visszacsatolással értük el, ami egyben igen stabil munkapontot is eredményezett. Az erősítő frekvenciamenetében az első töréspont 20 MHz-re esett. A vett jel további feldolgozása során egy integrált áramkörös (TBA 120S) fokozattal kiszajú erősítést, határolást és FM demodulálást végeztünk (6. ábra). Az erősítő és a limiter dc csatolású differenciálerősítő lánc. A demodulálást egy 4/4-es szorzóval felépített szimmetrikus koincidencia demodulátor végezte. A fázistolást egy 6 MHz-es, a nagy löket miatt erősen lerontott jóságú rezgőkör biztosította.

Végül a vivőfrekvencia és a különböző eredetű zajok elnyomására 3 MHz hasznos sáv szélességű aktív szűrőt használtunk. A szűrő ötödfokú, maximálisan lapos karakterisztikájú aluláteresztő tag. Erre az egyenletes fázismenet biztosítása miatt volt szükség. Ellenkező esetben a TV-kép elmosódott volna. A fokozat be- és kimeneti impedanciája egyaránt 75 Ω .

Az adó és vevő oldal áramköreit is azonos felépítésű, stabilizált tápegységekről tápláltuk. Mivel



6. ábra. A vett jel kis zajú erősítését, limitálását és FM demodulálását végző egység

a megépített áramkörök nem nagyon kényesek a tápfeszültség ingadozásaira, egyszerű, kb. 0,5 Ω kimeneti ellenállású áteresztő stabilizátort alkalmaztunk.

2.3. Az összeköttetés működése

A fentiekben leírt adó és vevő berendezéseket laboratóriumi körülmények között próbáltuk ki. Az egyes fokozatokon elvégzett ellenőrző mérések rendeltetésszerű működést ígértek. Ezek felsorolása terjedelmi okokból nem lehetséges, a [16, 17]-ben azonban megtalálhatók. A vett TV-képet VIDEOTON gyártmányú monitoron szemléltük, és szubjektíve igen jó minőségűnek találtuk. Bár a továbbiakban egy sor áramkör módosított, lényegesen javított változatát is elkészítettük, kellő műszerezettség hiányában a fekete-fehér TV képek kvantitatív minősítésére eddig nem került sor.

3. PCM jelátvitel [25]

A kísérlet célja kb. 200 m távolság áthidalására alkalmas egyirányú optikai PCM összeköttetés létesítése volt. A felhasznált optikai rendszer elemek ugyanazok voltak, mint a fent részletezett TV-képvitel esetében. A vonal mindkét végén egy-egy szabványos 24 csatornás PCM végberendezéshez csatlakozott, amelyeket a TELEFONGYÁR állított elő.

Ezek a berendezések határozták meg a teljes átviteli rendszer minimálisan szükséges sáv szélességét. A PCM végberendezés 1,544 MHz alappfrekvenciával [(24 csatorna \times 8 bit + 1 keretszinkron) \times 8 kHz mintavételi frekvencia] szolgáltatja a „0” szimbólumoknak megfelelő azonosan nulla, illetve az „1” szimbólumoknak megfelelő 3 V-os RZ típusú jeleket. Annak érdekében, hogy vezetékes távközlésnél a kábel feltöltődését elkerüljék, minden második „1” szimbólumhoz tartozó jelet invertálják. Így jön létre a 3 állapotú, ún. AMI kód, az adott esetben $T=648$ ns időréssel és 50% kitöltési tényezővel.

A rendelkezésre álló optikai eszközökkel csak egyenes detektálású átviteli rendszer jöhetett szóba. Az alkalmazható optikai moduláció IM, illetve PM, ez utóbbi esetben azonban modulációkonverzió szükséges, lehetőleg a vevő oldalon. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a modulátor kimenetéről az analizátort a vevő detektora elé helyeztük. Ennek eredményeként a kisugárzott átlagteljesítmény több mint a kétszeresére nőtt.

Az információt alapsávban vittük át, mert nem sikerült a jobb átviteli megoldáshoz (FSK) szükséges áramköri elemeket beszerezni. Az alapsávi átvitel hátrányait a 3. fejezetben már felsoroltuk. Tapasztalataink szerint azonban a lavina-fotodiódával megépített vevő oldalon rövid távú átvitel esetén ezek a hátrányok nem jelentősek.

3.1. Az adó oldal felépítése

A háromállapotú AMI kódú jelek átvitele az adó oldalon körülményesen, de megoldható. A vevőben viszont a háromszintű jelfelismerés zajos háttérben igen nehéz. Ezért célszerűnek véltük az AMI kódú

jelek kétállapotú jelekké való átalakítását, majd a vevő oldalon az eredeti jelek visszaállítását.

Ezt az átalakítást változtatható impulzusidejű, TTL szintű monostabil multivibrátorral végeztük el, amely T/2 impulzusidő esetén nullára visszatérő (RZ), T impulzusidő mellett pedig nullára vissza nem térő (NRZ) jelsorozatot szolgáltatott. Az adó oldalon, kisebb sávzélessége miatt ez utóbbi használata a kedvezőbb, de a vevő oldalon szinkronizálási nehézségek lépnek fel.

Az RZ jelek mentesek ettől a hátránytól, közvetlen átvitelük mégis nehezebb, mert jelentős amplitúdójú kismeghajtású komponenseik vannak. E probléma áthidalása céljából az RZ jeleket ún. aktív szűnetű (ASZ) jelekké alakítottuk át. Ezeket egyszerűbben lehetett átvinni, a szinkronizáló órajel frekvenciáját nagy amplitúdóval tartalmazták, és megfelelő vevőben kisebb bithiba-valószínűséget eredményeztek, mint az RZ jelek.

Az ASZ jelek azonban csak nagy erősítés után alkalmasak a KDP modulátor meghajtására. Kellően nagy feszültségű és gyors működésű tranzisztorok hiányában a kb. 500 V_{p-p} direkt meghajtó feszültséget két ellenütemben működő PL 500-as elektroncsővel állítottuk elő. Ekkora moduláló feszültség szükséges a kb. 60%-os feszültségkivezéréshez, ami ~80% fényintenzitás-változást eredményez.

A két elektroncső kivezérése 40 V feszültséget igényelt. Ezt egy ellenütemű tranzisztoros meghajtó áramkörrel állítottuk elő, amelyben 2N3632 típusú adótranzisztorokat használtunk fel. A meghajtásukhoz szükséges 2.20 mA áramot egy TTL áramkör „H” szinten nem képes leadni. „L” szinten azonban 40 mA elnyeléséhez 3 db TTL kapu elegendő. Ezzel a megoldással az ellenütemű meghajtáshoz egyetlen SN74S04-es Schottky TTL integrált áramkör is elegendő volt.

3.2. A vevő oldal felépítése [24]

A vevőkészülék működése elvben megegyezik a 3.1. szakaszban ismertetett vevőével, de a részletekben már sok különbség van (7. ábra). A polarizációmódult lézergyűjtést vevőoptika segítségével a fotodetektor érzékeny felületére fókuszáltuk. Eközben a nyaláb áthaladt a modulációkonverziót (PM → IM) megvalósító analizátoron és egy keskeny sávú optikai szűrőn. A lavina-fotodiódáról a jel egy max. 100 dB erősítésű, két láncba kapcsolt

differenciálerősítőből álló széles sávú (30 MHz), kis zajú erősítőbe jutott, onnan pedig a küszöbdetektorra került. A küszöbszintet a szintrögzítő áramkör által szolgáltatott jel megfelelő leosztásával állítottuk be. A küszöbdetektálást végző komparátor kimenete TTL kompatibilis.

Mivel a rendszerbe került zajok miatt a vett jel jitteres, szükség volt egy jelregeneráló egységre is. Ennek segítségével a vett jelsorozathoz kinyertük az adó oldali mintavételezés frekvenciáját. Ezt az alappfrekvenciás jelet egy szabályozható késleltetésű áramkörbe vezettük. Ezzel állítottuk be azt a periódusidőn belüli relatív mintavételi időpontot, amikor a döntő áramkör „mintát vesz” a komparátor kimeneti jeléből. Az így keletkezett NRZ jelet RZ jellé alakítottuk át, majd az AMI kódolásra vezettük. Ennek a kimenetét transzformátoros elválasztó fokozaton keresztül a PCM végberendezéshez csatlakoztattuk.

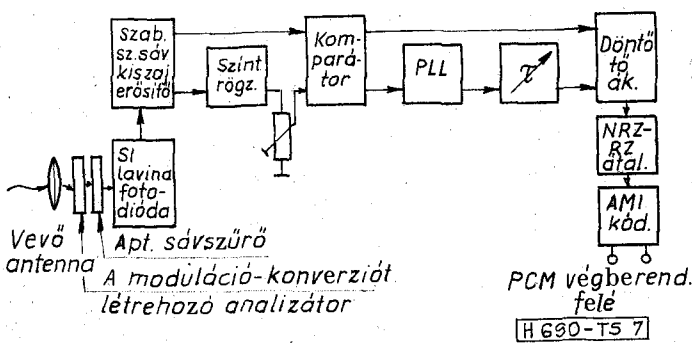
3.3. Az összeköttetés működése

A megépített optikai PCM hírközlő vonalat laboratóriumban és kb. 200 m távolságon tiszta időben szabad térben is kipróbáltuk. Tapasztalataink egyértelműen kedvezőek, s mivel a rendszer ezen a távolságon kollimátor nélkül is működött, feltehetően kollimátorral és tiszta időben minden nehézség nélkül áthidalható vele akár 1 km-es távolság is. Ez esetben azonban mindkét oldalon szükség van célzó távcsővekre és kellően stabil állványokra is. A 200 m-en mért jel/zaj viszony értéke 50 dB volt, s ez igen jó eredménynek tekinthető.

4. Következtetések

A fentiekben leírt kísérletsorozat arról győzött meg bennünket, hogy viszonylag egyszerű optikai alkatrészek is alkalmasak koherens optikai hírközlés megvalósítására, ha az adó és vevő oldali áramkörök jól átgondolt rendszert alkotva, gondos kivitelben készülnek el. Az adó oldalon a fő nehézséget egy jó minőségű optikai modulátor hiánya okozta. Az optikai rendszerelemekkel egyéb problémáink lényegében nem voltak. A munka döntő részét az egyes áramkörök tervezése, megépítése és bemérése tette ki. Elkészítésük során jól érzékeltük, hogy az átviteli sáv szélesítését igénylő gyors optikai csatornák létesítése legalább olyan gyorsan fokozza a követelményeket az áramkörökkel szemben, mint az optikai elemekkel szemben. Eddigi kedvező tapasztalataink a kísérletek folytatására és kiterjesztésére ösztönöznek.

A fent ismertetett kísérletek elvégzésében igen jelentős érdemeket szereztek az elmúlt években végzett hallgatóink, Kovács József, Vörös József, Gulyás József és Honfi Géza oki. villamosmérnökök, akiknek igen hozzáértő és lelkes munkája nélkül ez az ismertetés sem készülhetett volna el.



7. ábra. A PCM összeköttetés vevőoldalának blokkvázlata

IRODALOM

- [1] Special Issue on Quantum Electronics, Proc. IEEE 51 (1), 1963.
- [2] CSERNŰSOV, V. N. et. al.: Lazerü v szisztymah szvjazi. Izd. „Szvjaz”, Moszkva, 1966.
- [3] ROSS, M.: Laser Receivers. Wiley, New York, 1966.
- [4] YARIV, A.: Quantum Electronics. Wiley, New York, 1967. (Második, bővített kiadás: 1975.)
- [5] PRATT, W. K.: Laser Communication Systems. Wiley, New York, 1969.
- [6] Special Issue on Optical Communications, Proc. IEEE 58 (10), 1970.
- [7] SEREMETJEV, A. G.: Sztatizsziyicszkaja tyeorija lazernoj szvjazi. Izd. „Szvjaz”, Moszkva, 1971.
- [8] HOVERSTEN, E. V.: Optical Communication Theory. Laser Handbook, Vol. 2. Ed. ARECCHI, F. T.—SCHULZ—DuBOIS, E. O. North-Holland Publ. Co., Amsterdam, 1972. Bőséges irodalmi hivatkozással.
- [9] SEREMETJEV, A. G.—TOLPAREV, R. G.: Lazerna-ja szvjaz. Izd. „Szvjaz”, Moszkva, 1974.
- [10] GAGLIARDI, R. M.—KARP, S.: Optical Communications. Wiley, New York, 1976.
- [11] Fundamentals of Optical Fiber Communications. Ed. BARNOSKI, M. K. Academic Press, New York, 1976.
- [12] UNGER, H. G.: Optische Nachrichtentechnik. Elitera, Berlin, 1976.
- [13] HARRY, J. E.: Ipari lézerek és alkalmazásai. Műszaki Kiadó, Budapest, 1979.
- [14] Special Issue on Fiber Optics. Trans. IEEE, COM—16 (7), 1978.
- [15] MIDWINTER, J. E.: Optical Fibers for Transmission. Wiley, New York, 1979.
- [16] KOVÁCS József: Nagysebességű optikai hírközlő rendszer adóoldalának tervezése. Diplomater. BME Elméleti Villamosságtan Tanszék, 1977.
- [17] VÖRÖS József: Nagysebességű optikai hírközlő rendszer vevőoldalának tervezése. Diplomater. BME Elméleti Villamosságtan Tanszék, 1977.
- [18] GULYÁS József: Szabadtéri lézeres PCM hírközlő rendszer adóoldalának tervezése. Diplomater. BME Elméleti Villamosságtan Tanszék, 1978.
- [19] HONFI Géza: Szabadtéri lézeres PCM hírközlő rendszer vevőoldalának tervezése. Diplomater. BME Elméleti Villamosságtan Tanszék, 1978.
- [20] MUSZTEL, E. R.: Metodü moduljacii i szkanyirovnyija szveta. Izd. „Nauka”, Moszkva, 1970.
- [21] PANTER, P. F.: Modulation, Noise and Spectral Analysis. McGraw—Hill, New York, 1965.
- [22] CLARK, M. A. G.: Avalanche Photo-Diodes for High Frequency Applications. Optics and Laser Technology 7 (1), 1975.
- [23] GOELL, J. E.: An Optical Repeater with High Impedance Input Amplifier. B. S. T. J. 53 (4), 1974.
- [24] PERSONICK, S. D.: Receiver Design for Digital Fiber Optic Communication System. I—II. B. S. T. J. 52 (6), 1973. 843—886 p.
- [25] LAJKÓ—LAJTA, Szerk., PCM a távközlésben. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1978.
- [26] MAGYARI Béla: Tranzisztor atlasz. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.
- [27] MAGYARI—GLOFÁK—THEISZ: Digitalis IC atlasz. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [28] Dr. GORDOS—Dr. VARGA: Adatátvitel és adatfeldolgozás. Tankönyvkiadó, Budapest, 1975.
- [29] Dr. SZITTYA Ottó: Logikai rendszerek és szekvenciális automaták. Tankönyvkiadó, Budapest, 1975.
- [30] Dr. SZITTYA—HUNWALD: Logikai elemek adatgyűjtéménye. Tankönyvkiadó, Budapest, 1976.
- [31] SZENTIDA Y Klára: Félvezető fotodetektorok. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.
- [32] FÜLÖP Tamás: Tervezési segédlet II. Tankönyvkiadó, Budapest, 1978.
- [33] The Optoelectronics Data Book Texas Instruments, Inc., 1975.
- [34] The TTL Data Book for Design Engineers. 2nd. Ed. Texas Instruments, Inc., 1977.

SZEMLE

A világ első optikai tárolós, diódás-lézeres adattárolóját a Philips Data System nemrég mutatta be. Kiindulási alap a tv-képlemez LP változata volt. Maga a képlemez 30 cm átmérőjű, mindkét oldalán tellúr-tartalmú anyaggal bevont lemezt. Ebben a rétegbe éget a lézersugár 1 μ m átmérőjű lyukakat. Az így felírt adatbitek lézer-sugárral azonnal visszavolvashatók. A lemezre írt adatoknak természetesen címmel is kell rendelkezniük. Az objektív lencséje mintegy 2 mm távolságra van a lemeztől, így kizárták a karcolás veszélyét. Az optikai tároló felhasználójának minden egyes szektoron (összesen 45 000 \times 128 szektor van) 1 kbit-nyi információ áll rendelkezésre. A lemez másodpercenként 2,5 fordulatot tesz meg, ami átlagosan 250 ms-os elérési időt eredményez. A tároló kapacitása 5 Gbit (5 \times 10⁹ bit), ebből következik, hogy a rendszer írási és olvasási sebessége 300 kBaud. Nagyobb fordulatszámánál már 6 MBaud-ot is elértek. A lézer-dióda anyaga AlGaAs, élhosszúsága csupán 0,1 mm, elfér egy szokványos tranzisztorokban is. (*Elektronik, 1979. febr. [630]*).

*

A Los Angelesben 1978 októberében megtartott speciális ülészen — melynek témája az „Új tárolótechnológiák hatása a számítógépek tervezésére” — a szakemberek érdekesnek tartották a „Floppy Disks” és a „Magnetic Bubbles” kombinációjának lehetőségét.

A hibridtárolók irányába mutató fejlődés eredményeként kialakított új tároló a „Flubble”. Működésénél nagy a valószínűsége annak, hogy ha a központi egységnek a következő művelethez adatsorra van szüksége, amely a buborék-puffer-tárolóban van, egy mágneslemezből és egy másnesbuborékból álló hibridtároló rendszer sebességét jelentősen megemeli.

A fejlesztés más elképzelhető útját azok a hibridtárolók jelentik, amelyeknek az állandóra beépített mágneslemezek helyettesítésére van lehetőségük. A buboréktárolók bitenkénti árat 1985-re 20 millicentre becsüli, a hibridtárolóké pedig 0,1 millicentre. (*Elektrotechnische Zeitschrift, 1978. dec. 20. [631]*).

*

Az Optronics Fort, Cambridge cég új, kis veszteségű műanyag optikai szál forgalomba hozatalát jelentette be. A csillapítás mintegy 50 dB/km nagyságú. Olcsó termék és ideálisan használható igen rövid távolságú adatátvitelre, jelzésátvitelre, optoelektronikai szigetelésre és megjelenítőkre. A szál kapható borítás nélkül, vagy polietilén védőréteggel bevonva.

Az átmérő lehet 1 mm, 0,75 mm, 0,5 mm és 0,25 mm. A maximális folytonos hosszúság 500 m felcsévelt állapotban. (*Electronic Engineering, 50. kötet 616. [632]*).

*

Az eddigiek során csak Berlinben üzemelt négy teszt-rendszer, amelyek hosszúsága 4,3 km volt. Frankfurt—Finnhém és Oberursel között azonban egy 15,44 km hosszú kábelt helyeztek üzembe, amely a nyilvános telefonhálózat részeként 480 beszélgetést továbbít fényimpulzusok — 34 millió másodpercenként — formájában egy 0,1 mm szálátmérőjű üvefszálpár segítségével.

A 15,44 km-es szakaszon a fényimpulzusokat kétszer regenerálják; a szakasz végpontjain impulzus-kód-modulációs berendezések fogják össze a 480 egyedi jelet egyetlen idő multiplex digitális jellel.

A fényhullámvezetőknek a rézkábelekkel szemben előnyös műszaki tulajdonságai vannak: kisebb súly, alacsonyabb csillapításérték, villamos és mágneses zavarásokkal szembeni érzéketlenség, valamint a fémentes felépítés miatt a különböző potenciálú berendezések közötti egyszerű jelátvitel lehetősége.

Az üvegszálak költségei az elmúlt három év során a huszad-részükre csökkentek. Ez azt mutatja, hogy az üvegszálkábelek jelenlegi 15 DM/m-es ára már a közeljövőben lecsökken a rézvezetők 4 DM/m-es árára. Az üvegszálkábelek mellett szól az is, hogy csak 5...8 km-enként van szükség erősítőre, szemben a hagyományos kábelek 2...4 km-enkénti igényével.

(Folytatás a 362. oldalon)