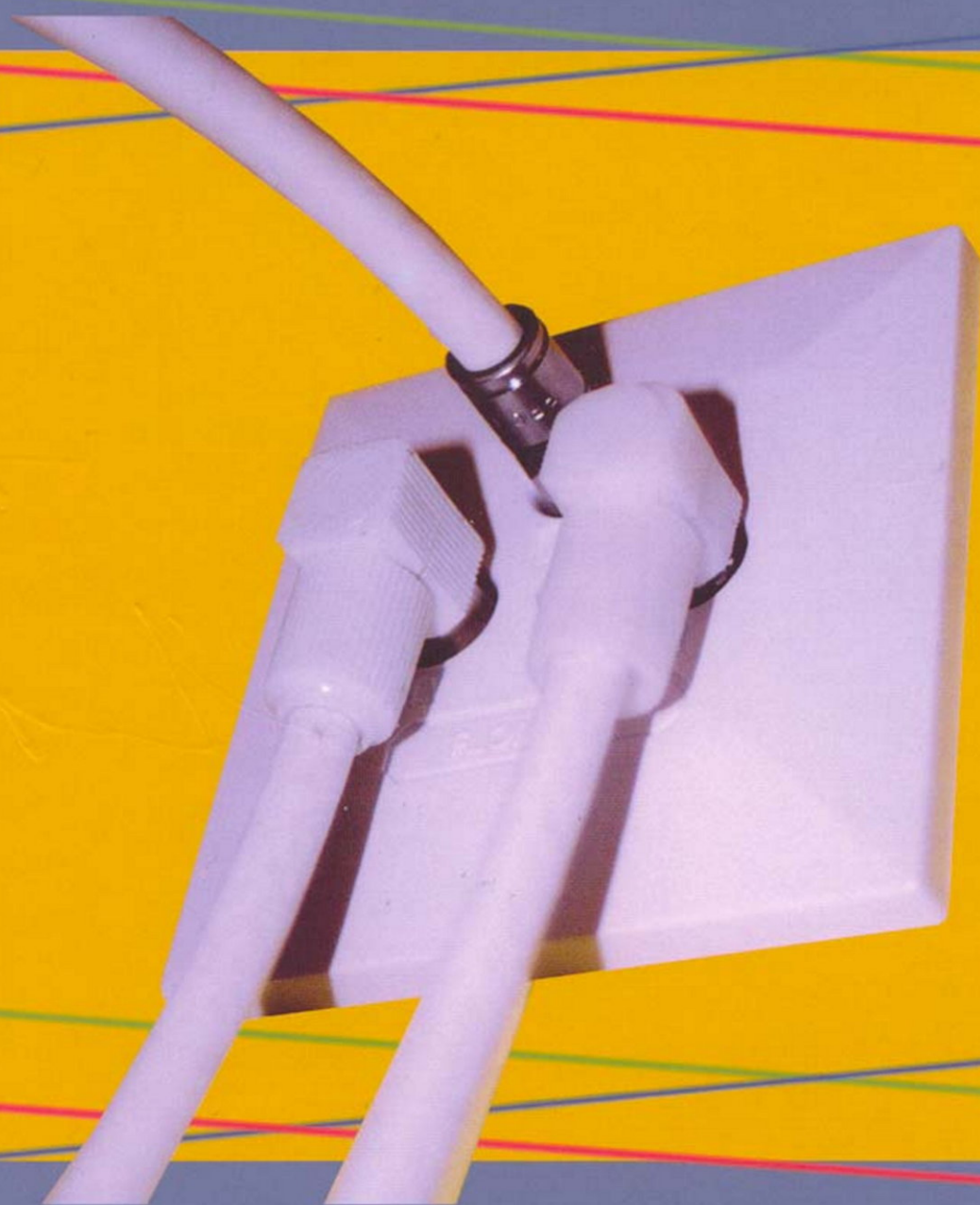


Kábeltelevíziós hálózatok



Babosa Antal, Danyi Vilmos, Gróf Róbert,
Költő Gábor, Sinka Sándor, Turányi Gábor,
Zigó József

Kábeltelevíziós hálózatok

FiberNet Kommunikációs Rt.,

Budapest

Lektor: Hidasi László, Stefler Sándor, Turányi Gábor
Műszaki szerkesztés: Hidasi László, Turányi Gábor

© Babosa Antal, Danyi Vilmos, Gróf Róbert, Költő Gábor, Sinka Sándor,
Turányi Gábor, Zigó József, 2004
© Tankönyvmester Kiadó, 2004

Felelős szerkesztő: Molnár Ervin
Borítóterv: Szlovenszák Ádám

Felelős kiadó: a FiberNet Kommunikációs Rt. vezérigazgatója

ISBN 963 2165 63 2

A könyv megrendelhető:
FiberNet Kommunikációs Rt.
1013 Budapest,
Krisztina tér 2.
Tel.: 487-4755
Fax: 487-4701
e-mail: hidasi.laszlo@fibernet.hu

A könyv formátuma: B/5
Terjedelme: 32,17 (A/5) ív
Azonossági szám: FN-001
Kézirat lezárva: 2004. augusztus
Készült az MSZ 5601:1983 és 5602:1983 szerint
Szedés, nyomdai előkészítés: Tankönyvmester Kiadó
1141 Budapest,
Fogarasi út 111.
Tel.: 220-22-37
Nyomta és kötötte MULTISZOLG BT., Vác
Telefon: (27)502-765
Felelős vezető: Kajtor Istvánné

TARTALOMJEGYZÉK

Előszó	9
1. Elektronikai alapismeretek (BABOSA ANTAL – DANYI VILMOS)	11
1.1. Szűrők	11
1.1.1. A szűrők feladata	11
1.1.2. A szűrők típusai	12
1.2. Erősítők	15
1.3. Tápegységek	20
1.3.1. Analóg tápegységek	20
1.3.2. Kapcsolóüzemű tápegységek	22
1.4. Antennák	24
1.4.1. Az elektromágneses hullámok	24
1.4.2. A dipólusantenna	26
1.4.3. A rádiófrekvenciás hullámtartományok	27
1.4.4. A rádiófrekvenciás hullámok terjedése	28
1.4.5. Antennák jellemzői	29
1.4.6. Antennatípusok	30
1.4.7. A balun-transzformátor	33
1.4.8. Mikrohullámú antennák	35
1.4.9. Antenna tartozékok	36
1.5. Moduláció és demoduláció	37
1.5.1. Amplitúdómoduláció	38
1.5.2. Frekvenciamoduláció	41
1.5.3. Fázismoduláció (PM)	44
1.5.4. Billentyűzés	44
1.5.5. Demodulátorok	45
1.5.6. Zajok hatása a modulációra	46
1.5.7. Impulzusmodulációk	47
1.6. Televízió- és rádió-vevőkészülékek általános felépítése	48
1.6.1. Rádió-vevőkészülék	48
1.6.2. Tv-vevőkészülékek	51
1.7. Átviteltechnikai alapfogalmak	57
1.7.1. Az átviteltechnikai út fogalma	57
1.7.2. A négypólus	57
1.7.3. Hullámimpedancia	57
1.7.4. Csillapítás	58
1.7.5. Reflexió és állóhullámarány	59
1.7.6. A jelszint fogalma, számítása	60
1.7.7. Erősítés	61
1.7.8. Sávszélesség	61

2. Kábeltelevíziós alapismeretek (TURÁNYI GÁBOR)	63
2.1. A KTV rendszerek alapvető feladatai	63
2.2. A multiplex rendszerek lényege	70
2.2.1. A térmultiplexelés	70
2.2.2. Az időmultiplexelés	71
2.2.3. A frekvenciamultiplexelés	72
2.3. A jeltovábbításra felhasználható frekvenciasávok	73
3. Kábeltelevíziós építőelemek (KÖLTŐ GÁBOR)	77
3.1. Koaxiális kábelek felépítése, működése	77
3.1.1. A koaxiális kábelek frekvenciaátvittele	77
3.1.2. A koaxiális kábelek szerkezete, anyagai	78
3.1.3. Légekábelek	80
3.1.4. Speciális kábelek	81
3.1.5. A koaxiális kábelek jellemzői	81
3.1.6. Csatlakozók	84
3.2. Erősítők	87
3.2.1. KTV erősítő alapkapcsolások	87
3.2.2. KTV erősítők helye a hálózatban	89
3.2.3. Az erősítők általános felépítése	90
3.2.4. Az erősítők jellemzői	94
3.2.5. Erősítőkapcsolás példák	103
3.3. Elosztók, leágazók, szűrők	106
3.3.1. A passzív építőelemek általános jellemzői	106
3.3.2. Elosztók, leágazók, iránycsatolók	107
3.3.3. Szűrők	109
3.3.4. Egyéb passzív eszközök	113
3.3.5. Előfizetői csatlakozóaljzatok	114
3.4. Távtáplálás KTV hálózaton	116
3.4.1. Lineáris és ferreozonáns üzemű transzformátorok	116
3.4.2. Szünetmentes tápegységek	117
3.5. Az optikai kábel	119
3.5.1. Az optikai jelátvitel alapjai	119
3.5.2. Az optikai szál szerkezete	120
3.5.3. Az optikai szál csillapítása	122
3.5.4. Az optikai kábel szerkezete	124
3.5.5. Az optikai kötések	125
3.5.6. Az optikai kábelek jellemzői	127
3.6. Optikai adók	128
3.6.1. A félvezető lézerek működésének alapjai	128
3.6.2. A lézerek	129
3.6.3. Fénykibocsátó félvezető eszközök	130

3.6.4. A lézerfény modulációja	133
3.6.5. A lézeradók jellemzői és felépítésük	135
3.7. Optikai vevők	140
3.7.1. Optikai-elektromos átalakítók	140
3.7.2. A kábeltelevíziós technikában használt fotodiódák és főbb jellemzőik	141
3.7.3. Az optikai vevő felépítése	142
3.8. Optikai erősítők	144
3.8.1. Ismétlőerősítő (jelregenerátor)	144
3.8.2. EDFA erősítők	145
3.8.3. Félvezetős optikai erősítő	147
3.8.4. Optikai erősítők szerepe a kábeltelevíziós hálózatban	148
3.9. Passzív optikai eszközök	149
3.9.1. A passzív optikai eszközök jellemzői	149
3.9.2. Optikai csatlakozók	150
3.9.3. Optikai kábelek végződésének és toldása	151
3.9.4. Egyéb passzív optikai eszközök	152
3.10. Optikai csomópontok (ONU-k)	153
4. Kábeltelevíziós rendszerek fejlődésének (ZIGÓ JÓZSEF)	157
4.1. Az analóg kábeltelevízió fejlődésének felépítése	157
4.2. A sztereohang átvitele	164
4.2.1. A német két hangvivős rendszer	164
4.2.2. A Nicam rendszer	167
4.2.3. A sztereo átvitel megvalósításának problémái	170
4.3. A kábeltelevíziós fejlődés minőségi kérdései	173
4.3.1. A kábeltelevíziós fejlődés fontosabb műszaki jellemzői	174
4.3.2. A fejlődés kimeneti jelének szintézise	175
4.3.3. A vivő-zaj viszony mérése	180
4.3.4. A spektrum tisztasága	188
4.3.5. Az MSZ EN50083-1 és MSZ EN50083-5 szabványok előírásai	188
4.4. A kábeltelevíziós fejlődés tervezésének szempontjai	190
4.5. A kábeltelevíziós fejlődés telepítése	192
4.6. A fejlődés kialakításával kapcsolatos kérdések	196
5. Kábeltelevíziós hálózatok tervezése (SINKA SÁNDOR)	207
5.1. Topológia, hálózati síkok	207
5.1.1. Alapvető hálózati struktúrák	207
5.1.2. Kábeltelevíziós topológiák	208
5.1.3. A hálózati struktúrák gyakorlati megvalósításai	210
5.2. A tervezési alapadatok, szabványok	217
5.3. Optikai hálózatok tervezése	219
5.3.1. Az optikai hálózatok csillapításának meghatározása	219
5.3.2. Az optikai rendszer struktúrája	219

5.4. Koaxiális hálózatok tervezése	224
5.4.1. Koaxiális kábelek	224
5.4.2. Erősítők alkalmazása a hálózatban	226
5.4.3. Torzítások a hálózatban	234
5.4.4. Az eredmények gyakorlati alkalmazása, az ollódiagram	238
5.4.5. Erősítők szintezése	239
5.4.6. A kábelek hőmérsékletfüggő csillapításának korrigálása	240
5.4.7. Erősítők tápellátása	241
5.5. Visszirányú szintezés	245
5.5.1. Koaxiális hálózatok visszirányú tervezése	245
5.5.2. Optikai hálózatok visszirányú tervezése	248
5.6. Csillagponti elosztás	248
5.7. Tervezési példa	250
5.7.1. A nyomvonal meghatározása	251
5.7.2. A rendszerparaméterek meghatározása	252
5.7.3. A rendszerparaméterek kiszámítása	257
5.7.4. A kiviteli tervrajzok elkészítése, engedélyeztetés	259
6. Mérések a kábeltelevíziós hálózatokon (KÖLTŐ GÁBOR)	261
6.1. Bevezetés	261
6.1.1. Kábeltelevíziós szabványok	261
6.1.2. A mérések körülményei	262
6.2. Matematikai alapok	263
6.2.1. Mértékegységek	263
6.2.2. A kábeltelevíziós technikában alkalmazott matematikai eljárások	265
6.3. A kábeltelevíziós műszerek felépítése és működése	267
6.3.1. A spektrumanalizátorok és mérővevők általános felépítése	267
6.3.2. Szintmérések	270
6.3.3. Spektumanalizátorok zero-span üzemmódja	274
6.4. Sweep-mérések	276
6.4.1. A sweep-mérés elve és célja	276
6.4.2. Az előre- és visszirány mérése	276
6.4.3. Referencia	277
6.4.4. A hálózati sweep-mérés alkalmazása	279
6.4.5. Hálózati előfizetői irányú szintbeállítás	279
6.4.6. Az előreirányú átvitel során kialakuló leggyakoribb hibajelenségek ..	280
6.4.7. Mérőrendszerek	283
6.5. A vivő-zaj viszony mérése	284
6.5.1. A mérés alapelvei és módszerei	284
6.5.2. A zajszint korrekciója	286
6.5.3. A vivő-zaj viszony mérési folyamata	290

6.6. A nemlineáris torzítások mérése	292
6.6.1. A nemlineáris torzítások kialakulása	292
6.6.2. Harmonikus torzítások	293
6.6.3. Intermodulációs torzítások	294
6.6.4. Búgásmoduláció	300
6.6.5. Közös utas torzítások	302
6.6.6. A mérések pontosságát befolyásoló tényezők	303
6.7. Reflektométerek	304
6.7.1. Idő alapú reflektométerek	304
6.7.2. Frekvencia alapú reflektométerek	305
6.7.3. A TDR és az FDR műszerek közötti különbségek	306
6.7.4. Jelterjedési sebesség	307
6.8. A jelszivárgás mérése	308
6.8.1. A jelszivárgás mérés jelentősége	308
6.8.2. A jelszivárgás okai	309
6.8.3. A szabvány által előírt határérték	309
6.8.4. A jelszivárgás mérés gyakorlati megvalósítása	310
6.8.5. Jelszivárgás mérése GPS rendszerrel	313
6.9. Optikai mérések	314
6.9.1. Az optikai jellemzők mérése	314
6.9.2. Optikai reflektométerek	316
7. Digitális szolgáltatások (GRÓF RÓBERT)	321
7.1. Alapok	321
7.1.1. Digitális modulációk	321
7.1.2. Digitális jelek mérése	324
7.1.3. Szabványok	327
7.1.4. Informatikai alapismeretek	328
7.1.5. Alkalmazások	329
7.2. A kábelmodem rendszer	331
7.2.1. A kábelmodem rendszer felépítése	332
7.2.2. Kábeltelevíziós hálózati követelmények	336
7.2.3. Kábelmodemek működése	344
7.3. VoIP kábeltelefon	347
Függelék	
1. CCIR és OIRT tv-csatornakiosztás	351
2. OIRT és CCIR VHF tv-csatornák összehasonlítása	353
3. Kábeltelevíziós műszaki követelmények szabványajánlásai	355
4. (Euro)DOCSIS RF előre- és vissz irányú csatorna adatai	357
5. A kábeltelevíziós szolgáltatásokban előforduló gyakoribb rövidítések feloldása és magyar megfelelője	359
6. Az IP védettségi fokozatok	361
Irodalomjegyzék	363

Előszó

2002-ben ünnepeltük a televízió feltalálásának 75. évfordulóját (a televíziózás kezdetét 1927-ben jelölik meg). Ez a 75 év az analóg technika jegyében telt el, és ma már tudjuk, hogy túl vagyunk ezen technika fejlődésének a csúcspontján.

Tekintsük át röviden a kábeltelevíziózás történetét! Valamikor, az 1940-as évek végén egy amerikai úr, aki egy völgyben lakott, mérges lett, hogy nem tudja rendesen nézni az ottani tv-műsort, mert a közeli domb leárnyékolta az adást. Ezért gondolt egyet, vett vagy 200 m koaxiális kábelt és a domb tetejére felszerelt egy antennát, amelynek a jelét levezette a házához. Később néhány szomszédja is rácsatlakozott a kábelre. Sokak szerint ez volt a kábeltelevíziózás kezdete. Magyarországon még érdekesebb volt a helyzet. A Magyar Televízió két műsora nem nagyon elégítette ki a televíziót nézők egyre gyarapodó táborát. Egyre többen próbálkoztak a szomszédos országok adásainak vételével (ezt az akkori kormányzat nem tiltotta), ami a háztetőkön „antennaerdőket” eredményezett. Ennek elkerülésére a lakótelepi házak építésekor lépcsőházanként központi antennákat építettek ki. Azután elkezdődött, főleg a Dunántúlon majd a fővárosban is, több lakás, ház (lépcsőház) összekábelezése. Időközben elindultak az első műholdas tv-adások, amelyeknek vételét (politikai okokból) tiltották.

Változott a helyzet 1987 őszén, amikor az addig tiltott műholdas adások közül háromnak (Sky Ch., Super Ch. és TV-5) engedélyezték a vételét. Mivel a műholdas transzponderek adóteljesítménye kicsi (eleinte mindössze 20 W) volt, az akkori 5...7 dB zajú fejkonverterekhez akár 3 m-es parabolaantennákat is fel kellett szerelni. Ez igen költséges vevőket eredményezett. A robbanásszerű igényeket viszont ki kellett elégíteni, ezért az egyes „központi antennákat” (kis- és nagyközösségi vevőantenna-rendszereket) elkezdték összekötni és azokat egy „fejállomásra” látták el a műsorokkal. Valójában ez volt a hazai kábeltelevíziózás kezdete, függetlenül attól, hogy addigra már volt néhány, nagy lakásszámot (akár 25 000 előfizetőt) is ellátó hálózat. Sőt 1986/87-ben megjelent a az MSZ 11458/1 és /2 szabvány 1983-as változatának módosítása a (*Kábeles műsor- és jeltovábbító rendszerek*), amelyben már szó van a műholdas vételről és a kétirányú átvitelről is.

Az európai politikai megosztottság hozta létre a CCIR és az OIRT rendszert, ami további bonyodalmakat okozott. A két rendszer csatornakiosztása eltér egymástól, és még ma is számos 300 MHz-es kábelhálózatban vegyesen használják a nagyobb csatornaszám átvitele érdekében.

A következő néhány évtizedben az analóg televíziótechnika eltűnik és helyét a XXI. század információtechnológiájának részét alkotó digitális televízió veszi át.

A digitális televíziótechnikára való átállás ma már elsősorban gazdasági (pénzügyi) és politikai kérdés. Az EU-ban 2012-re tervezik az analóg műsorsugárzás befejezését, hazánkban ez 8–10 év múlva várható.

A hazai magyar nyelvű kábeltelevíziózással foglalkozó szakirodalom meglehetősen szűkös. Kb. 8–10 évente jelent meg magyar íróktól származó szakkönyv (korábban több fordítást is kiadtak), ezért néhány lelkes szakember úgy gondolta, hogy ideje egy újabb könyvet írni. Céljuk az volt, hogy megismertessék az olvasókkal a jelenlegi modern technikát. A könyv az alapfokú ismeretektől kezdve közel a felsőfokú szintig sok mindent tartalmaz, nem hagyva figyelmen kívül a gyakorlati ismereteket sem, de a korlátozott terjedelem miatt a téma feldolgozása nem teljes körű.

1. Elektronikai alapismeretek

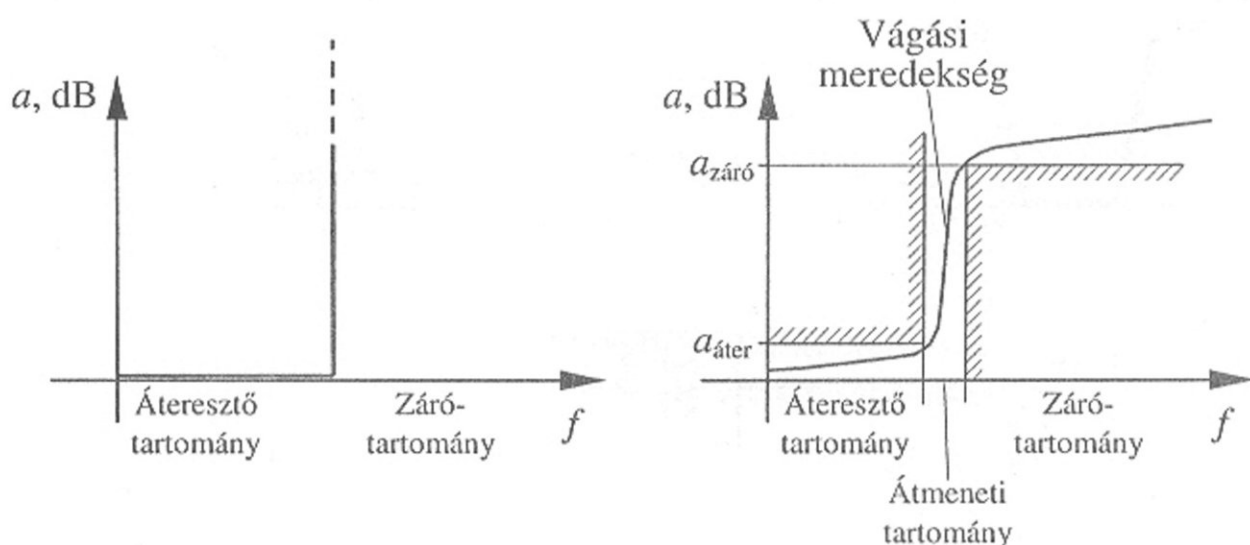
1.1. Szűrők

1.1.1. A szűrők feladata

A szűrők feladata, hogy egy összetett, több frekvenciakomponenst tartalmazó jelből kiválasszák a szükséges összetevőket. A szűrőket a frekvencia függvényében ábrázolt csillapítás jelleggörbéjükkel jellemezzük.

Az ideális szűrők olyan négypólusok, amelyek egy frekvenciasávban, az áteresztő tartományban nulla, míg a zárótartományban végtelen nagy csillapítással rendelkeznek, azaz az áteresztő tartományba eső rezgéseket kis csillapítással átengedik, míg a zárótartományba esőket elnyomják a kimeneten.

Ezeket az elvárásokat a gyakorlatban csak közelíteni tudjuk: így pl. előírjuk, hogy a szűrő csillapítása az áteresztő tartományban kisebb legyen egy adott értéknél ($a_{\text{áter}}$), míg a zárótartományban nagyobb legyen $a_{\text{záró}}$ értékénél és így ezeket a jeleket elnyomja. Az áteresztő és zárótartomány közötti frekvenciasávot átmeneti tartománynak nevezzük, és cél hogy ez minél kisebb, azaz a szűrő meredek vágású legyen.



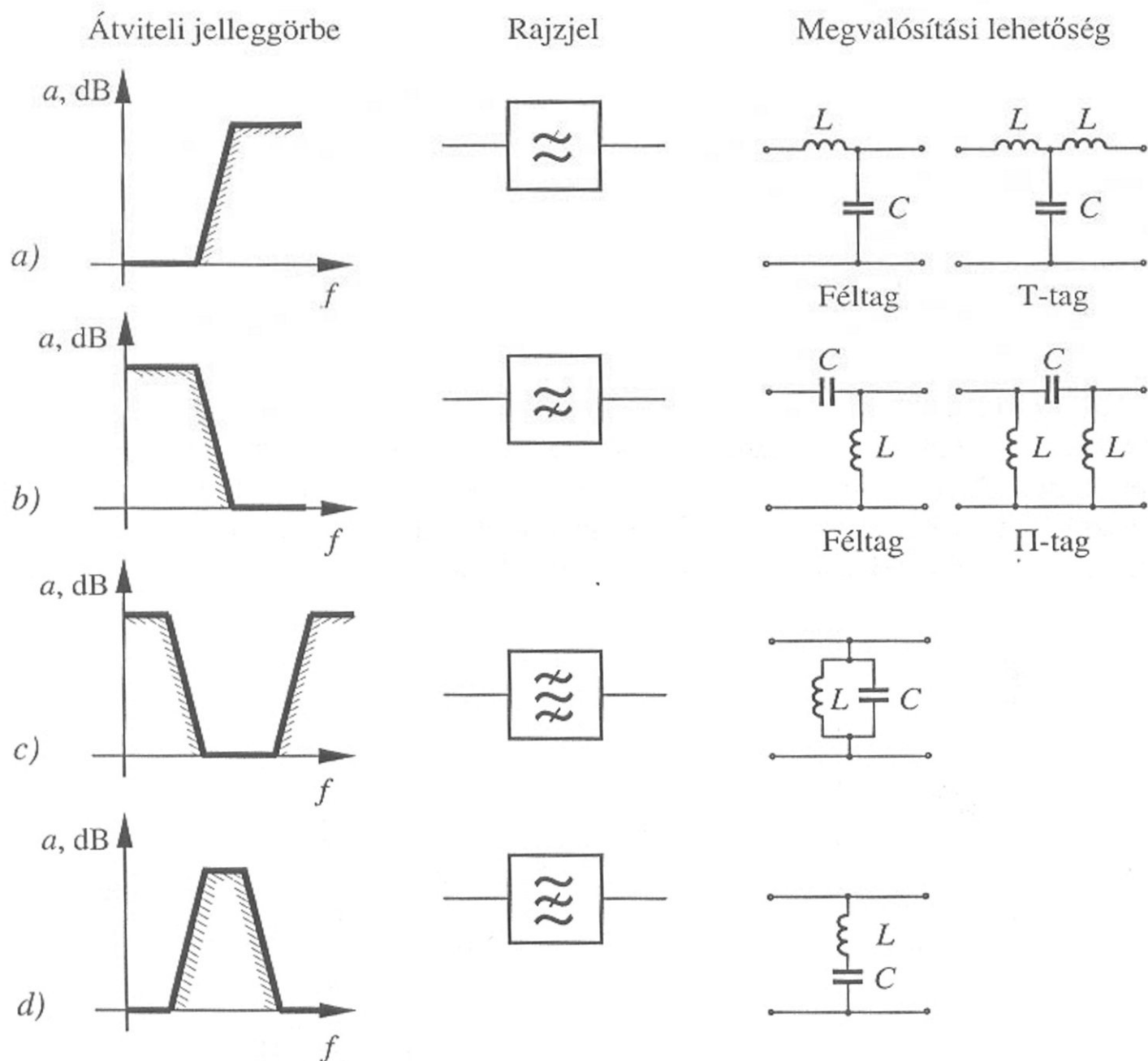
1.1.1. ábra. Ideális és valós szűrő átviteli görbéje

A 1.1.1. ábrán egy ideális szűrő átviteli görbéjét, valamint egy valós áramkör tűrés sávjait mutatjuk be. Ez utóbbi azt is kifejezi, hogy az előírásokat csak közelíteni lehet, hiszen a megépített áramkörök kisebb-nagyobb mértékben eltérhetnek a tervezettől.

1.1.2. A szűrők típusai

A szűrőket az átviteli görbéjük alakja szerint osztályozhatjuk. Így megkülönböztetünk alul-, felüláteresztő, valamint sáváteresztő és sávzáró típusokat (1.1.2. ábra).

Az ábra a rajzjelek mellett néhány LC -elemekből felépített egyszerű szűrőkapcsolást is bemutat. Ezek az alul-, ill. felüláteresztő féltagok, ill. T- és P-tagok építőkökként láncba is kapcsolhatók a kívánt meredekség elérése érdekében.



1.1.2. ábra. A szűrők alaptípusai.

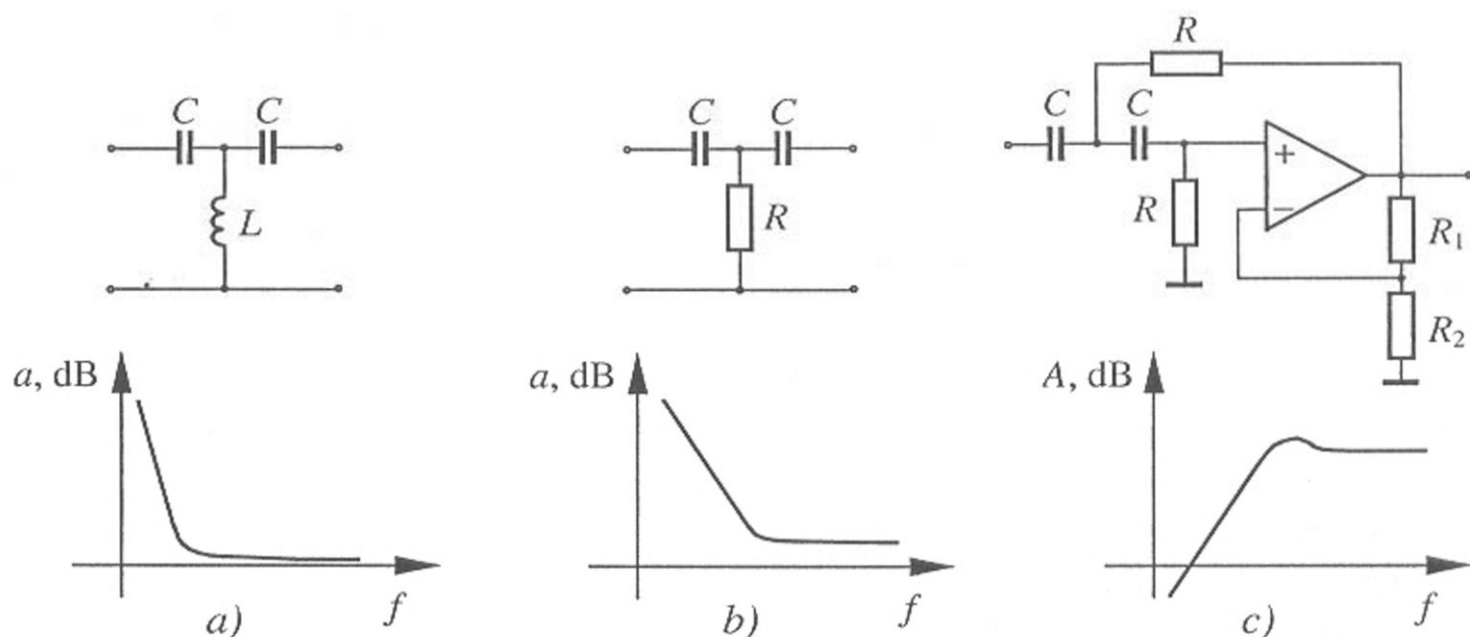
a) aluláteresztő; b) felüláteresztő; c) sáváteresztő; d) sávzáró

A szűrők további csoportosítására a megvalósítási módjuk kínál lehetőséget. Ez alapján az alábbi típusok használatosak:

- LC -szűrők,
- RC -szűrők,
- aktív szűrők,
- felületi hullám szűrők,
- kristálysűrők,
- digitális szűrők.

Az LC -szűrők nagy előnye, hogy a meglévő, kidolgozott tervezési algoritmusokkal gyorsan nagy pontossággal legyárthatók, jól terhelhetők, stabilak (azaz hőmérsékletfüggésük kicsi). Hátrányuk az induktivitások hely és költség igénye.

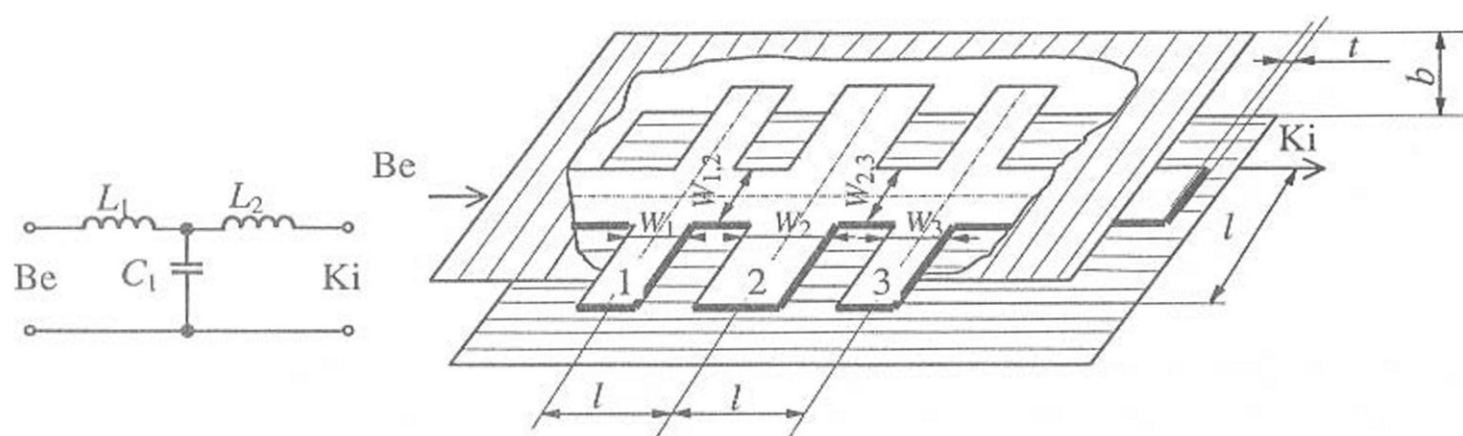
Az RC -szűrők olcsóbbak, de meredekségük kisebb és áteresztő tartományban is jelentős a csillapításuk. Ez utóbbi gyengeséget erősítő elemek beiktatásával javítani lehet, ezek az aktív RC -szűrők. Mind három kapcsolásra mutat egy példát az 1.1.3. ábra.



1.1.3. ábra. Különböző kialakítású felületáteresztő szűrők
 a) LC -szűrő; b) RC -szűrő; c) aktív RC -szűrő

Nagyobb frekvenciák felé haladva a koncentrált paraméterű diszkrét induktivitások és kapacitások a velük járó parazita hatások miatt egyre kevésbé alkalmasak jó tulajdonságú szűrők megvalósítására. Ebben a frekvenciatartományban ún. strip-line technológiával kialakított, extrém lezárású szalagtápvonal darabokkal valósíthatjuk meg a kapacitásokat és induktivitásokat (1.1.4. ábra).

Az áramkör közepén könnyű felismerni a végén szakadással lezárt párhuzamos tápvonalcsomók formájában megvalósított kapacitást. A rövidzáras lezárású soros induktivitásokat viszont nem lehetne az adott keresztmetszetű szalagrendszerben kialakítani, ezért ezeket is párhuzamos csomókra transzformálják. Nyomatott áramköri szalagtápvonalakkal valamennyi passzív áramköri elem megvalósítható, és rövid kivezetésekkel, felület szerelt technológiával köthetők hozzá a mikrohullámú aktív elemek.

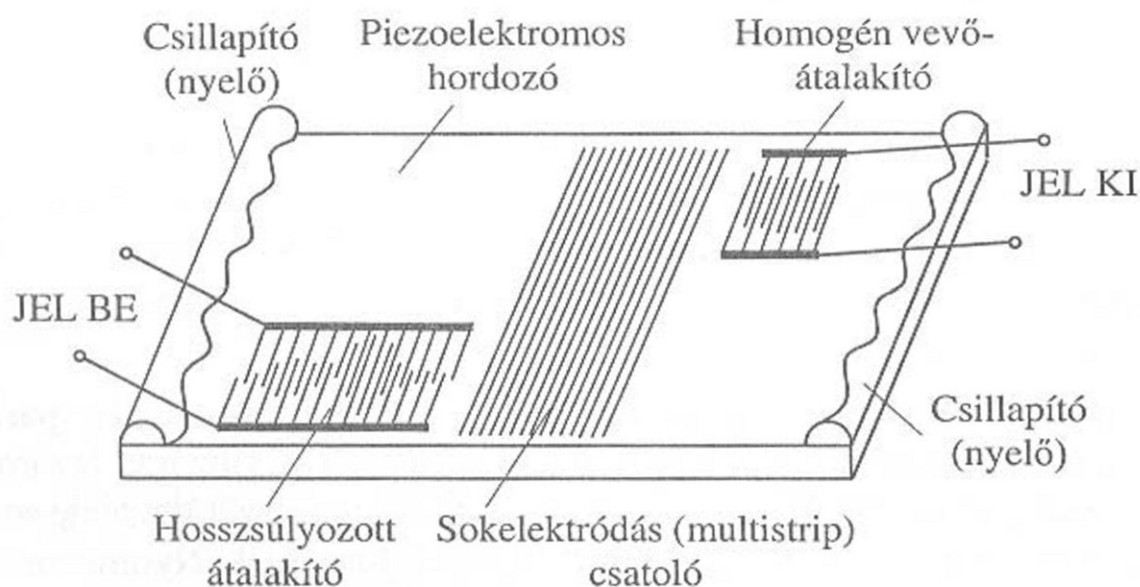


1.1.4. ábra. Szalagtápvonalas aluláteresztő szűrő

A felületi hullámú akusztikus szűrők (AFH, surface acoustic wave, SAW) a piezoelektromos hatás elvén működnek. Egyes kristályok villamos feszültség hatására deformálódnak, ill. deformáció hatására villamos feszültséget hoznak létre. A nagyfrekvenciás villamos rezgések hatására azonos frekvenciájú mechanikai rezgések jönnek létre a piezokristály felületén, ezek közül csak azok jutnak át a kristálylapkán, melyek hullámhossza illeszkedik a $\lambda/4$ -es és $\lambda/2$ -es gerjesztő csíkrendszerhez. Az így kiszűrt és a rendszeren átjutott mechanikai rezgések a kimeneten visszaalakulnak elektromos jellé. A mechanikus szűrők leggyakrabban alkalmazott fajtái a felületi hullámú akusztikus szűrők.

Jellemzőik:

- nagy körjóság,
- nagy oldalmeredekség,
- egyenletes átvitel,
- kis fázis torzítás,
- érzékeny az illesztetlenségre,
- anyaga LiNbO_3 (litiumniobát).



1.1.5. ábra. Felületi hullám akusztikus (SAW-) szűrő felépítése

A kristályban a mechanikai rezgés a fénysebességnél jóval lassabban terjed, így a rezgés hullámhossza néhány száz μm -re adódik.

A SAW-szűrő érzékeny a kerülőutas terjedésre, a többszörös visszaverődésre, a kristályban kialakuló tömbhullámokra. Az átviteli sávot (f_0 -t) a vezetősíkok távolsága, az átviteli jelleggörbe alakját a vezetősíkok elhelyezése határozza meg.

Előnyei:

- kis méret,
- nem kell hangolni,
- tömeggyártással állítható elő, ezért olcsó,
- környezeti hatásokra érzéketlen,
- könnyen cserélhető,
- kis amplitúdó- és fázistorzítású.

A felsorolt tulajdonságok miatt gyakran alkalmazzák fejállomási tv-modulátorokban, tv-vevőkészülékek KF-átvitelének kialakításához, analóg tv-programok „kódolását” végző zavaró jelek (HBO) kiszűrésére (dekódolásra) stb.

1.2. Erősítők

Az erősítő olyan négyfólyus, amellyel egy villamos jelből (áram, feszültség, teljesítmény) tetszőlegesen nagyobb feszültségű, áramú vagy teljesítményű jelet nyerhetünk. Az erősítővel szemben alapvető követelmény, hogy a ki- és bemeneti jelek időbeni lefolyása ugyanolyan legyen. (A két jel csak egy szorzószámban térhet el.)

Az erősítés az erősítő négyfólyus kimentén és bemenetén mérhető jel amplitúdóinak vagy effektív értékeinek hányadosa. Az erősítés fajtái:

Feszültségerősítés: $A_U = \frac{U_{KI}}{U_{BE}}$; dB-ben kifejezve: $A_{UdB} = 20 \cdot \lg A_U$.

Áramerősítés: $A_I = \frac{I_{KI}}{I_{BE}}$; dB-ben kifejezve: $A_{IdB} = 20 \cdot \lg A_I$.

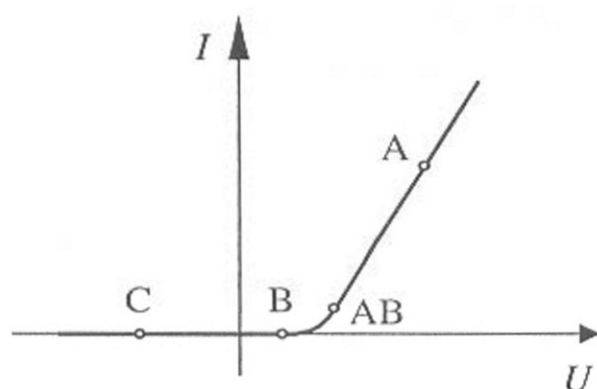
Teljesítményerősítés: $A_P = \frac{P_{KI}}{P_{BE}}$; dB-ben kifejezve: $A_{PdB} = 10 \cdot \lg A_P$.

Az erősítés egyértelmű megadásához szükséges a be- és kimeneti jel fázisszögének megadása is (pl. $A_U = 100$; $\varphi = 180^\circ$). További erősítésjellemzők:

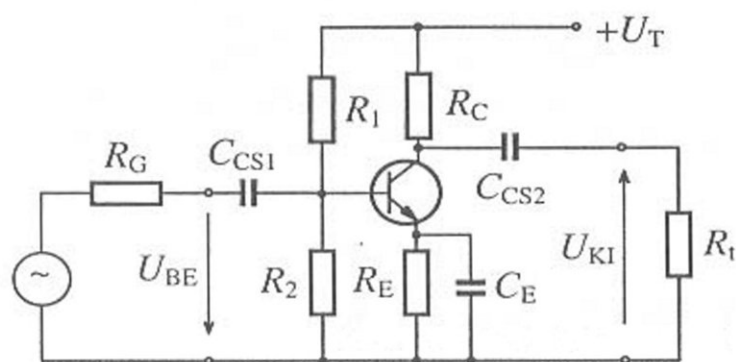
- be-és kimeneti váltakozóáramú ellenállás,
- frekvenciatartomány,
- sáv szélesség (alsó és felső határfrekvencia, sávközépi frekvencia),
- torzítási tényező,
- zajfeszültség.

Az erősítők aktív és passzív elemekből állnak. A passzív elemek ellenállások, kondenzátorok vagy tekercsek lehetnek.

Az aktív elemeket vezérelve jöhet létre az erősítés. Aktív elem a bipoláris vagy térvezérlésű tranzisztor (FET) lehet. Ezeknek az eszközöknek a megfelelő működés érdekében be kell állítani a munkapontját. (Munkapont olyan összetartozó egyenfeszültség-egyenáram értékpárt jelent, amelynél az eszköz huzamosabb ideig üzemel.) A beállított munkapont A-, B-, C- vagy AB-osztályú lehet, és a beállítást a **folyási szöggel** jellemezhetjük. A θ folyási szög annak az időnek a fele, amíg az eszközön áram folyik. Megadása fokban történik, mert így frekvenciafüggetlen. A munkapont A-osztályú beállításánál a jelleggörbe lineáris szakaszán ($\theta = 180^\circ$), B-osztályúnál a lezárási pontban ($\theta = 90^\circ$), AB-osztályúnál a könyökszakaszon ($90^\circ < \theta < 180^\circ$), C-osztályúnál a jelleggörbe záró szakaszán ($\theta < 90^\circ$) van (1.2.1. ábra).



1.2.1. ábra. Munkapontok kijelölése



1.2.2. ábra. Közös emitteres kapcsolású erősítő

A bipoláris tranzisztorral és FET-tel megvalósított erősítőkapcsolásoknál az egyik elektród a bemenet és a kimenet szempontjából közös. Bipoláris tranzisztorral így közös (földelt) emitteres (KE), közös bázisú (KB) és közös kollektoros (KC) erősítőt, FET-tel közös source (KS), közös drain (KD) és közös gate (KG) elektródájú erősítőt alakíthatunk ki. Ezek fontosabb jellemzőit a 1.2.1. táblázatban foglaltuk össze.

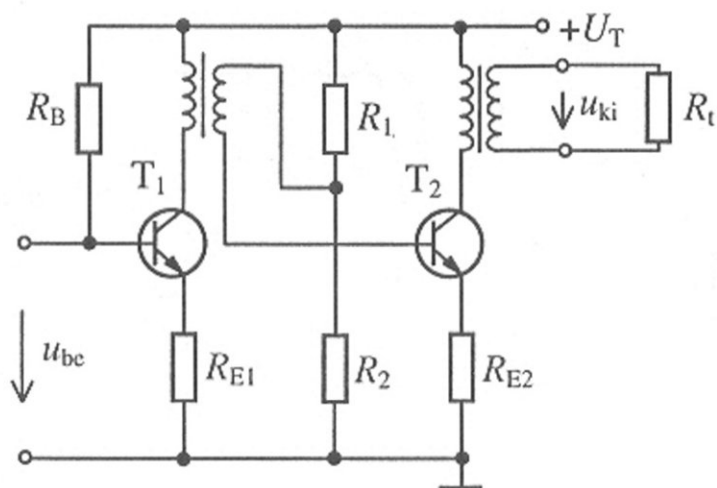
Az erősítés mehanizmusát egy közös emitteres kapcsolás alapján követhetjük (1.2.2. ábra). A munkapont beállítása bázisosztóval történik (A-osztály). Az erősítést a tranzisztor nagy záróirányú előfeszítése (a tápfeszültség) és az R_C munkaellenállás teszi lehetővé. A bemeneti feszültséget növelve (mV-os nagyságrend) a bázis-emitter feszültség is nő. Ennek következtében a tranzisztor jobban nyit, ami nagyobb kollektoráramot jelent. A kollektoráram változása a munkaellenálláson a kimeneti feszültség változását ($\Delta U_{KI} = \Delta I_C \cdot R_C$) eredményezi. Ez a változás (R_C k Ω nagyságrendű) már néhány voltos (tized voltos) lesz, tehát a jel felerősítve jelenik meg. De általában nem a munkaellenállás két végéről „veszik le” a jelet, hanem a munkaellenállás egyik végéről és a közös pontról (E). Így jelen esetben ellentétes fázisú jelet kapunk, mert a munkaellenállás növekvő feszültsége (azonos fázis) a kimeneten kisebb feszültséget (ellentétes fázis) eredményez. A vezérlés másik fázisát hasonlóképpen lehet végig követni.

Erősítőkapcsolások jellemzői. 1.2.1. táblázat

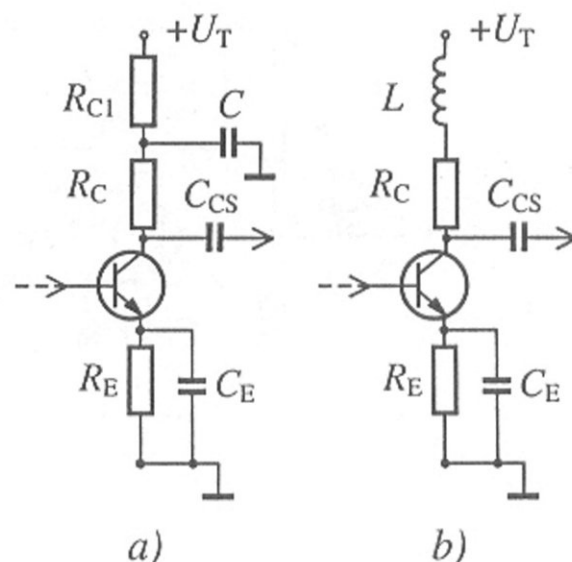
Kapcsolás	A_U	A_I	R_{be}	R_{ki}	Fázistolás
KE	Nagy, $n \times (10 \dots 100)$	Nagy, $n \times (10 \dots 100)$	Közepes, $n \times 1 \text{ k}\Omega$	Közepes, $n \times 1 \text{ k}\Omega$	$\varphi = 180^\circ$
KB	Nagy, $n \times (10 \dots 100)$	Nincs, < 1	Kicsi, $n \times (1 \dots 10 \text{ }\Omega)$	Közepes, $n \times 1 \text{ k}\Omega$	$\varphi = 0^\circ$
KC	Nincs, < 1	Nagy, $n \times (10 \dots 100)$	Közepes, $n \times 1 \text{ k}\Omega$	Kicsi, $n \times (1 \dots 10 \text{ }\Omega)$	$\varphi = 0^\circ$
KS	Nagy, $n \times (1 \dots 10)$	–	Nagyon nagy, $n \times (0,1 \dots 1 \text{ M}\Omega)$	Közepes, $n \times (1 \dots 10 \text{ k}\Omega)$	$\varphi = 180^\circ$
KG	Nagy, $n \times (1 \dots 10)$	–	Kicsi, $n \times 100 \text{ }\Omega$	Közepes, $n \times 1 \text{ k}\Omega$	$\varphi = 0^\circ$
KD	Nincs, < 1	–	Nagyon nagy, $n \times (0,1 \dots 1 \text{ M}\Omega)$	Közepes, $n \times 1 \text{ k}\Omega$	$\varphi = 0^\circ$

Megjegyzés: Általában A_I értékét a FET-eknél nem számolják

Egy erősítővel nem biztos, hogy minden célnak (nagy erősítés, impedanciaillesztés, valamint max. kimeneti teljesítmény) megfelelő eszközt tudunk készíteni, ezért a cél érdekében több erősítőt összekapcsolunk, amivel **többfokozatú erősítőt** kapunk. Bizonyítható, hogy a többfokozatú erősítő eredő erősítése az egyes fokozatok erősítésének szorzata (dB-ben számolva az egyes fokozatok erősítésének összege). A fokozatok csatolása: galvanikus, LC, RC, transzformátoros, optoelektronikai, esetleg akusztikus lehet. Az 1.2.3. ábrán a két fokozat között transzformátoros csatolás van.



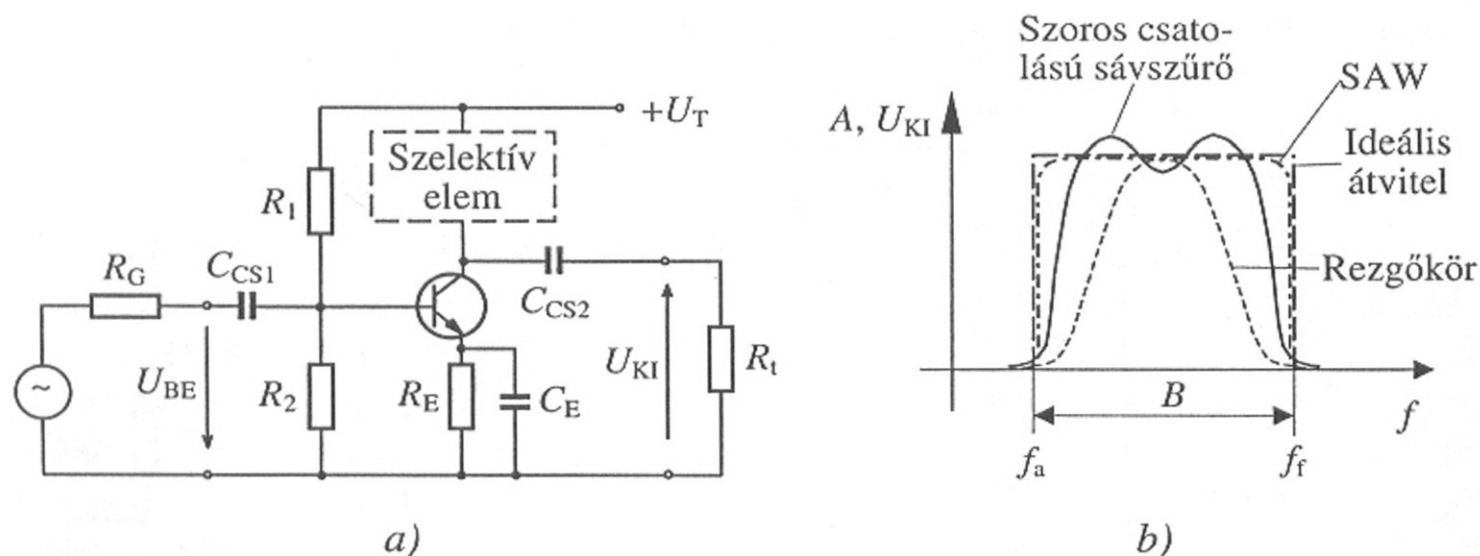
1.2.3. ábra. Transzformátoros csatolás



1.2.4. ábra. Frekvenciakompenzálás
a) kisfrekvenciás; b) nagyfrekvenciás

Az erősítő tulajdonságait **visszacsatolásokkal** is lehet változtatni. Ilyenkor a kimeneti jel egy részét, egy visszacsatoló hálózaton keresztül visszavezetjük az erősítő bemenetére, ami a bemeneti jelhez hozzáadódik. A visszacsatolás lehet pozitív vagy negatív (az erősítés nő vagy csökken), a bemenet szempontjából lehet soros vagy párhuzamos, a kimenet szempontjából pedig feszültség- vagy áram-visszacsatolás. Erősítőknél negatív visszacsatolást alkalmazunk, amivel az erősítés csökkenése árán jobb paraméterekkel (nagyobb sávszélesség, kisebb torzítás és zajfeszültség) rendelkező erősítőt kapunk. Negatív, soros, áram-visszacsatolást kapunk, ha az 1.2.2. ábrán látható KE erősítőtől elhagyjuk a C_E emitterkondenzátort. Az erősítők speciális változata a **szeleltív erősítő**. A szeleltív erősítők feladata egy nagy (pl. néhány Hz-től néhány MHz-ig terjedő) frekvenciatartományon belüli egyenletes erősítés. A sávszélesség kisfrekvenciás kompenzálással (az alsó határfrekvencia csökkentésével) vagy nagyfrekvenciás kompenzálással (a felső határfrekvencia növelésével) növelhető. A kompenzálás alapja, hogy frekvenciafüggő elemeket helyezünk a munkaellenállás körébe (1.2.4. ábra, $R_{C1}C$ -, ill. LR_C -tag), amelyek egy bizonyos frekvencia alatt, ill. felett a munkaellenállás növelésével kompenzálják az erősítéscsökkenést.

A nagyfrekvenciás hangolt (szeleltív) erősítőkkel szemben követelmény a tetszőleges frekvenciasávon belüli egyenletes átvitel és az átviteli sávon kívüli nulla erősítés. A hangolt erősítők fontos jellemzői a sávközépi frekvencia ($f_k = \sqrt{f_f \cdot f_a}$) és a sávszélesség ($B = f_B = f_f - f_a$), ahol f_f és f_a felső és alsó határfrekvencia. Megvalósításának alapelve, hogy a szeleltív elemet munkaellenállásként használjuk (1.2.5. ábra). A szeleltív elem lehet rezgőkör, csatolt rezgőkör (sávszűrő) vagy akusztikus felületi hullámszűrő (SAW), amelyek átvitele az 1.2.5.b) ábrán látható.

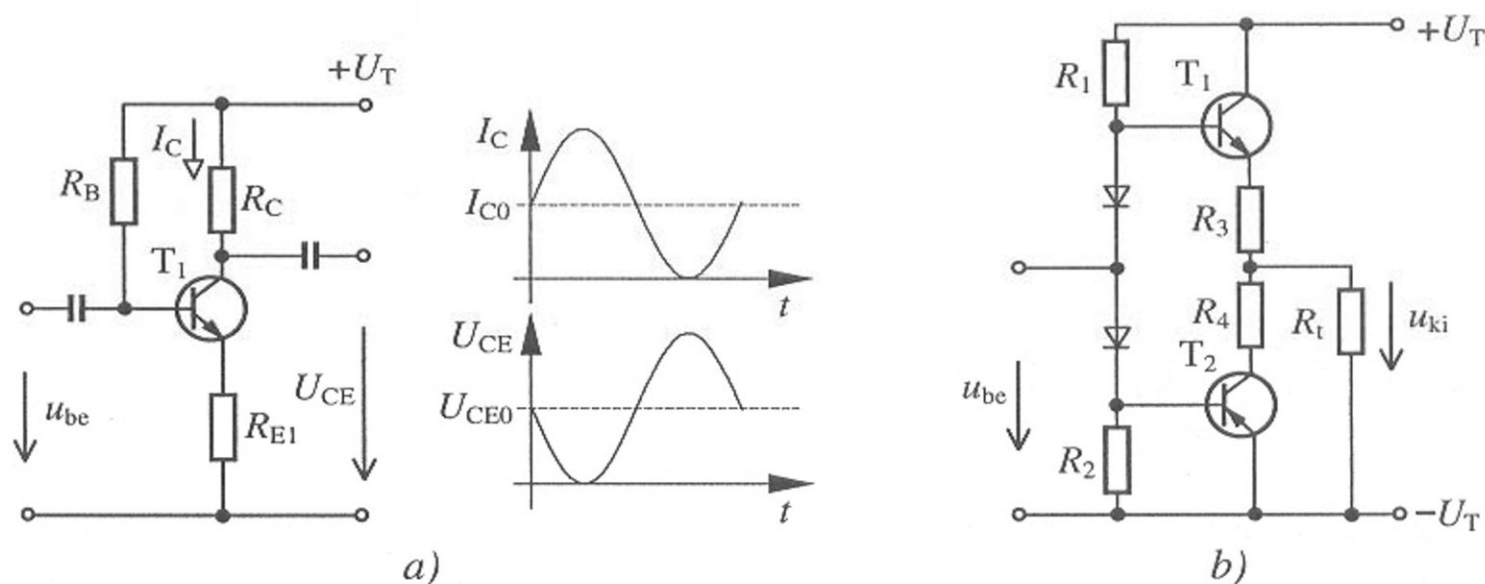


1.2.5. ábra. Szeleltív erősítő

a) az erősítő kialakítása; b) különböző szeleltív elemek átvitele

Az eddigi kapcsolások A-osztályban működtek. Ilyenkor a vezérlőjelek nagyságrenddel kisebbek, mint a munkaponti értékek. Ezt a működést kisjelű üzemmódnak is nevezik. Amikor a vezérlőjel és a munkaponti adatok összemérhetőek, nagyjelű üzemmódról

beszélünk, az ilyen üzemben működő erősítőket pedig **nagyjelű** vagy **teljesítményerősítőnek** hívjuk. A teljesítményerősítő működhet A-osztályban, amikor is az erősítő a vezérlőfeszültség mindkét félperiódusát erősíti és megvalósításához egy tranzisztor elegendő, vagy B-osztályban, amikor a jel mindkét félperiódusához egy-egy tranzisztor tartozik. Leginkább komplementer tranzisztorpárt (pnp és npn tranzisztorok) alkalmaznak. Ha a tranzisztorpárt olyan jellel vezéreljük, amely mind a két félperiódust tartalmazza, akkor ellenütemű vezérlésről beszélünk. Ebben az esetben a pnp tranzisztor negatív, míg a npn tranzisztor a pozitív félperiódusban vezet. Ennél az üzemmódnál azonban a félperiódusok átmeneténél, az átviteli jelleggörbe átmeneti részének görbültsége miatt átváltási torzítás jelentkezik (a kimeneti jel időbeli lefolyása is megváltozik). A probléma a két tranzisztor munkapontjának megfelelő (AB-osztályú) beállításával oldható meg. Az 1.2.6.a) ábrán egy A-, az 1.2.6.b) ábrán egy AB-osztályú teljesítményerősítőt láthatunk.



1.2.6. ábra. Teljesítményerősítők kialakítása
a) A-osztályú beállítással; b) AB-osztályú beállítással

Az erősítők újabb típusa az integrált műveleti erősítő, amely differenciálerősítőből és áramgenerátorból, valamint fázisösszegző, elválasztó erősítő, szinteltoló és végfokozat áramkörökből áll. Tipikus kapcsolásai az invertáló (fázist fordító) és nem invertáló (fázist nem fordító) alapkapsolás. A műveleti erősítő egyenáramú és váltakozó áramú üzemben egyaránt használható.

A műveleti erősítő alapkapsolások főbb jellemzői (az 1.2.7. ábra jelöléseivel):

Invertáló kapsolás

$$\text{Feszültségerősítés: } A_{Uv} = -\frac{R_v}{R_1};$$

$$\text{Kimeneti ellenállás: } R_{kiv} = R_{kiü} \cdot \frac{|A_{Uv}|}{A_0};$$

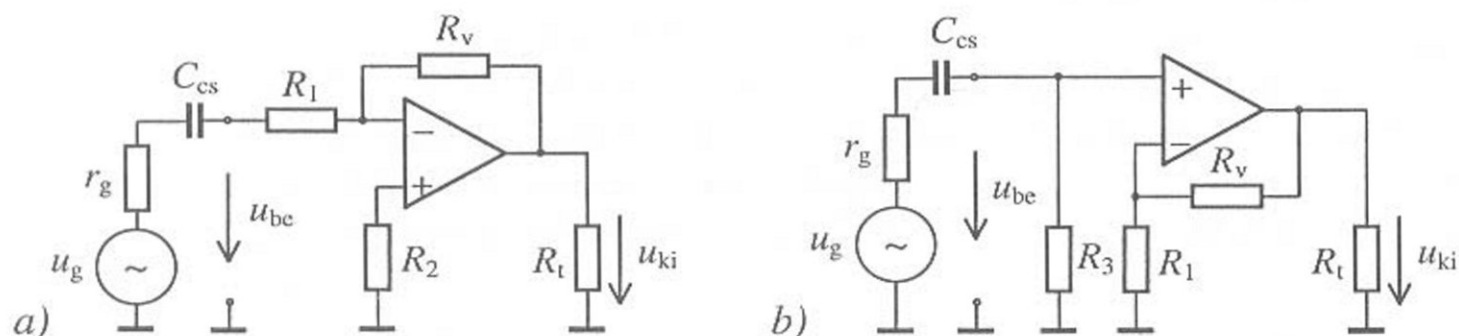
$$\text{Bemeneti ellenállás: } R_{bev} = R_1.$$

Nem invertáló kapcsolás

$$\text{Feszültségerősítés: } A_{Uv} = 1 + \frac{R_v}{R_1};$$

$$\text{Kimeneti ellenállás: } R_{kiv} = R_{kiü} \cdot \frac{A_{Uv}}{A_0};$$

$$\text{Bemeneti ellenállás: } R_{bev} = R_3.$$



1.2.7. ábra. Műveleti erősítő alapkapscsolások

a) invertáló; b) nem invertáló

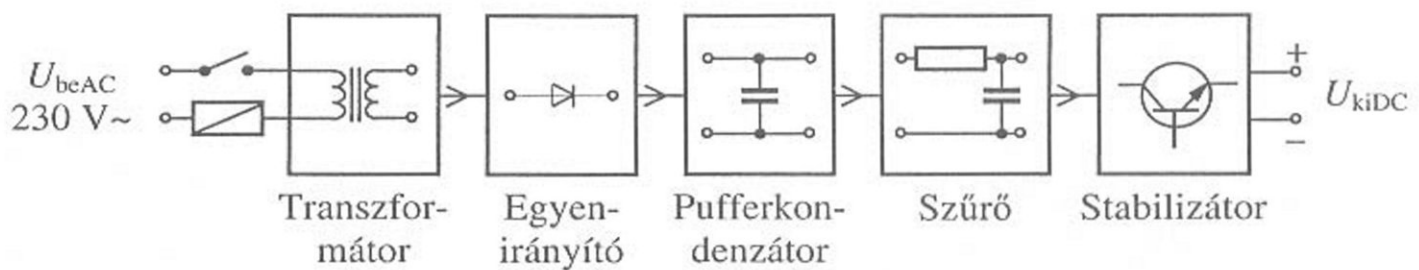
1.3. Tápegységek

A híradástechnikában alkalmazott jelfeldolgozó, jeltovábbító áramkörök egyenáramú tápellátást igényelnek. Ennek forrása döntően a váltakozó áramú energiaellátó hálózat, ritkábban szárazelemek, akkumulátorok, esetleg napelemek. A tápegységek feladata a váltakozó áramú hálózat feszültségéből (230 V) különböző feszültségű és terhelhetőségű egyenáramú energiaellátás biztosítása. A tápegységek analóg-disszipatív vagy kapcsolóüzemű tápegységek lehetnek.

1.3.1. Analóg tápegységek

Az analóg tápegységek korábban széles körben elterjedtek és működési elvük igen egyszerűen követhető a 1.3.1. ábra alapján. A hálózati váltakozó feszültséget a kimeneti egyenfeszültségnek megfelelő értékekre transzformálják. Ennek megfelelően szekunder oldalon a különböző kimenetek mindegyike egy-egy különböző egyenáramú kimeneti feszültség kiindulási forrása lehet.

A transzformálás után egyutas vagy hídkapcsolású egyenirányítás következik. Ez utóbbi egyenletesebb terhelést jelent a transzformátor számára és a későbbiekben könnyebb szűrni a 100 Hz-es bűgőfeszültséget.



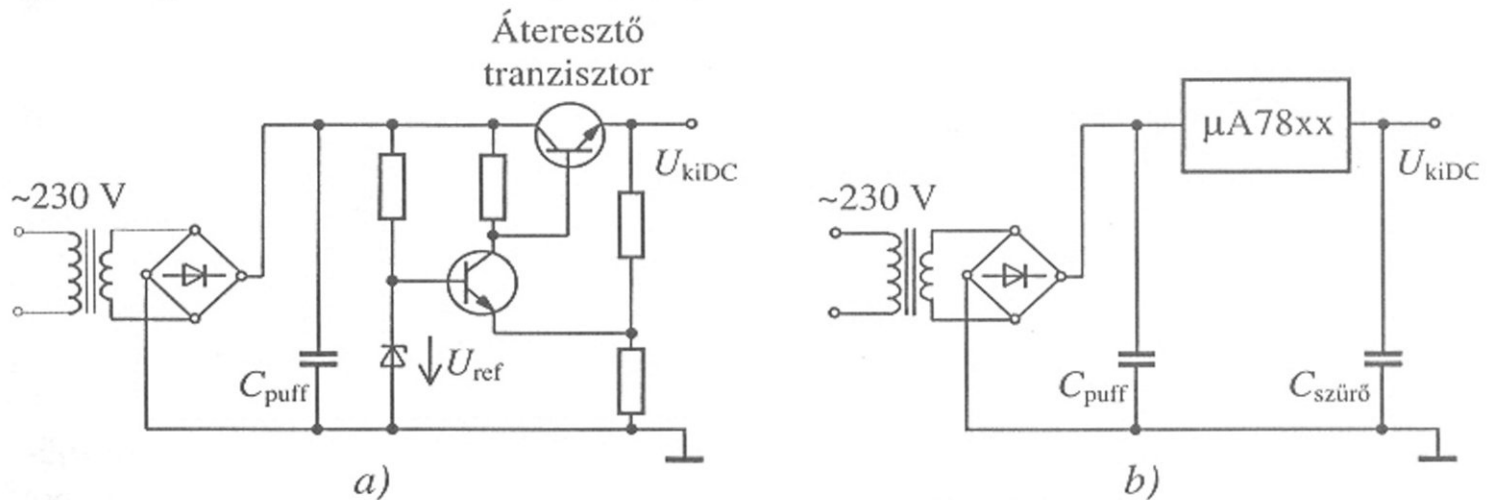
1.3.1. ábra. Analóg tápegységek tömbvázlata

Az egyenirányítás után a 100 (vagy 50) Hz-cel lüktető egyenfeszültséggel egy pufferkondenzátort töltenek, ami energiatárolóként működik. Ennek kimenetén megjelenő egyenfeszültség még jelentős váltakozó feszültségű összetevőt (brumm- vagy bűgőfeszültséget) tartalmaz, ami RC - vagy LC -szűrővel csökkenthető.

Az igényesebb áramkörök érzékenyebbek az U_{kiDC} ingadozásaira. Az ingadozások kiváltó oka a terhelőáram vagy esetleg a bemeneti hálózati feszültség változása lehet.

Az U_{kiDC} állandó értéken tartása stabilizátor kapcsolást igényel. Ezek egy félvezető eszköz, leggyakrabban áteresztő tranzisztor nyitásának mértékével szabályozzák – egy referencia értékhez képest – a kimeneti feszültséget. Egy ilyen, egyszerű áteresztő tranzisztoros tápegység rajza látható a 1.3.2.a) ábrán.

Az igényesebb kivitelű tápegységek a kimenet rövidzár elleni védelme érdekében áramfigyelő és -korlátozó áramkört is tartalmaznak. A bonyolultabb tápegységekhez szükséges diszkrét félvezető alkatrészek egyetlen feszültségstabilizáló IC-be integrálhatók. Egy ilyen megoldás látható a 1.3.2.b) ábrán.



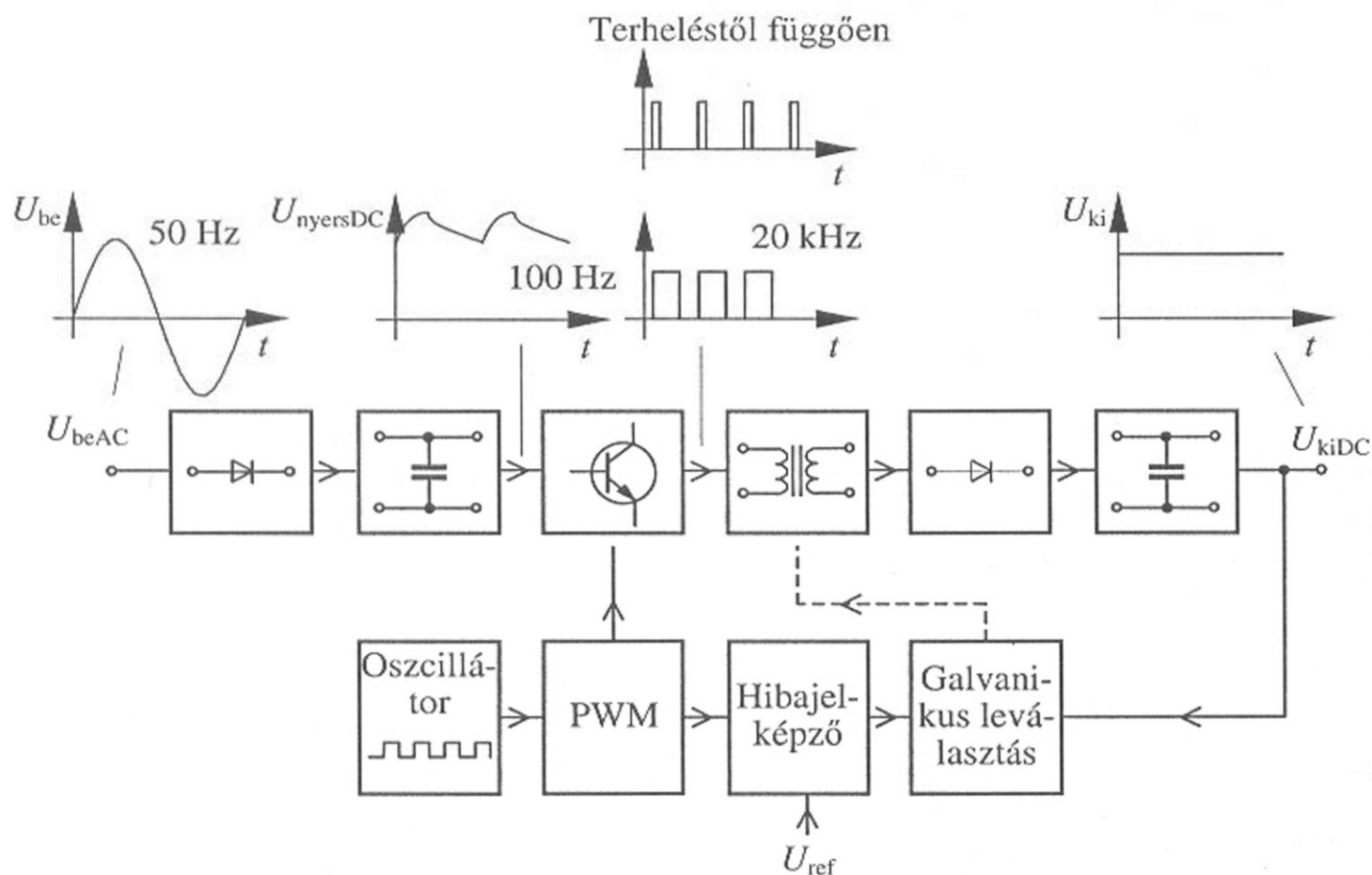
1.3.2. ábra. Stabilizált tápegység kialakítása
a) áteresztő tranzisztorral; b) feszültség stabilizátor IC-vel

A hagyományos analóg tápegységek legfőbb problémája, hogy a hálózati transzformátor miatt nagy a helyigényük és kicsi hatásfokuk. Ez utóbbit főleg az okozza, hogy a kimeneten fölösleges egyenáramú energia az áteresztő tranzisztoron hővé alakul, így az $\eta = P_{kiDC}/P_{beAC}$ hatásfokuk jellegzetesen 50%...60% körül van. A disszipált energia elvezetéséről, a hűtésről is gondoskodni kell, ami tovább növeli az analóg tápegységek helyigényét és súlyát.

1.3.2. Kapcsolóüzemű tápegységek

Az elektronikai készülékek tápellátása a korszerű nagy sebességű teljesítménykapcsolóknak köszönhetően az utóbb időben alapvetően megváltozott. Az áteresztő tranzisztoros megoldásokat a kapcsolóüzemű tápegységek váltották fel. Bár ezek általában sokkal bonyolultabb és drágább áramkörök, mégis gazdaságosabb megoldást jelentenek.

A kapcsolóüzemű tápegységek elve a 1.3.3. ábrán követhető. A kiindulás most is a 230 V-os hálózati váltakozó feszültség. Ezt egy egyszerű egyenirányítás után puffereljük, így megkapjuk a közel 310 V-os nyers DC feszültséget.



1.3.3. ábra. Tipikus kapcsolóüzemű tápegység tömbvázlata

Ezt követi a kapcsolóüzemben dolgozó DC/DC átalakító, amelynek fő része a gyors működésű, nagy feszültségű kapcsolótranszisztor vagy FET. Az átalakító feladata a nyers DC feszültség szaggatása. A kapcsoló kis disszipációjának feltétele a gyors működésen kívül a kis maradékfeszültség és szivárgási áram.

Ez a megszaggatott jel kerül a nagyfrekvenciás transzformátorra. A 20 kHz fölötti működési frekvencia lehetővé teszi, hogy egy kis térfogatú ferrit magon nagy teljesítményt juttassunk át a szekunder oldalra. Itt a különböző U_{kiDC} igényeknek megfelelően különböző menetszámú szekunder tekercsek helyezhetők el. Ezek mindegyikére egy-egy egyenirányító kapcsolódhat. Az egyenirányító diódák nagy sebességű, kis disszipációjú Schottky-

diódák, melyek egyutas vagy híd kapcsolásban működnek. Az egyenirányított feszültség szűrése a magas működési frekvencia miatt kis értékű kondenzátorral (esetleg tekerccsel kiegészítve LC -szűrővel) könnyen megoldható.

Az ábrán a felső, energiaátalakító lánc alatt helyezkedik el a szabályzó áramköri lánc. Feladata a kimeneti feszültség figyelése, és annak összehasonlítása egy adott referencia értékkel. Eltérés esetén szabályzó hurokként beavatkozik az impulzussorozattal vezérelt kapcsolótranszisztor nyitására. Ha kicsi az energiafelvétel a DC kimeneten, akkor a vezérlés hosszabb időre zárja a kapcsolóelemet. A vezérlést leggyakrabban impulzusszélesség-modulált (PWM) jellel oldják meg.

U_{kiDC} nagyobb terhelő áram okozta csökkenése esetén a PWM jel hosszabb ideig nyitja a tranzisztort, így több energia jut a transzformátorba, ill. a kimeneti pufferkondenzátorba.

A vezérlés alapjelét a HF sáv feletti tartományban rezgő négyszögjel oszcillátor adja. Az impulzusszélesség-moduláció révén a kimeneti terhelőáram és a bementi hálózati feszültség változása széles tartományban jól kompenzálható.

Az oszcillátor működési frekvenciáját a zavaró hatások alacsony szinten tartása és a teljesítménykapcsolók gyorsasága határozza meg, és általában 20...100 kHz között van. A zavaró hatások csökkentését árnyékolással és gondos szűréssel oldják meg.

A tápegységekkel szembeni fontos követelmény a hálózattól való galvanikus leválasztás. Az energiaátalakító láncban ezt a feladatot a transzformátor oldja meg, a visszacsatoló láncban előfordulhat kisebb méretű optocsatoló áramkör. A galvanikus elválasztás minőségét a be- és kimenet közötti átütési szilárdság nagysága jellemzi, amit minden tápegységre megadnak.

A kapcsolóüzemű tápegységek számos kiegészítő- és védőáramkört tartalmaznak. A teljesség igénye nélkül ezek közül a legfontosabbak:

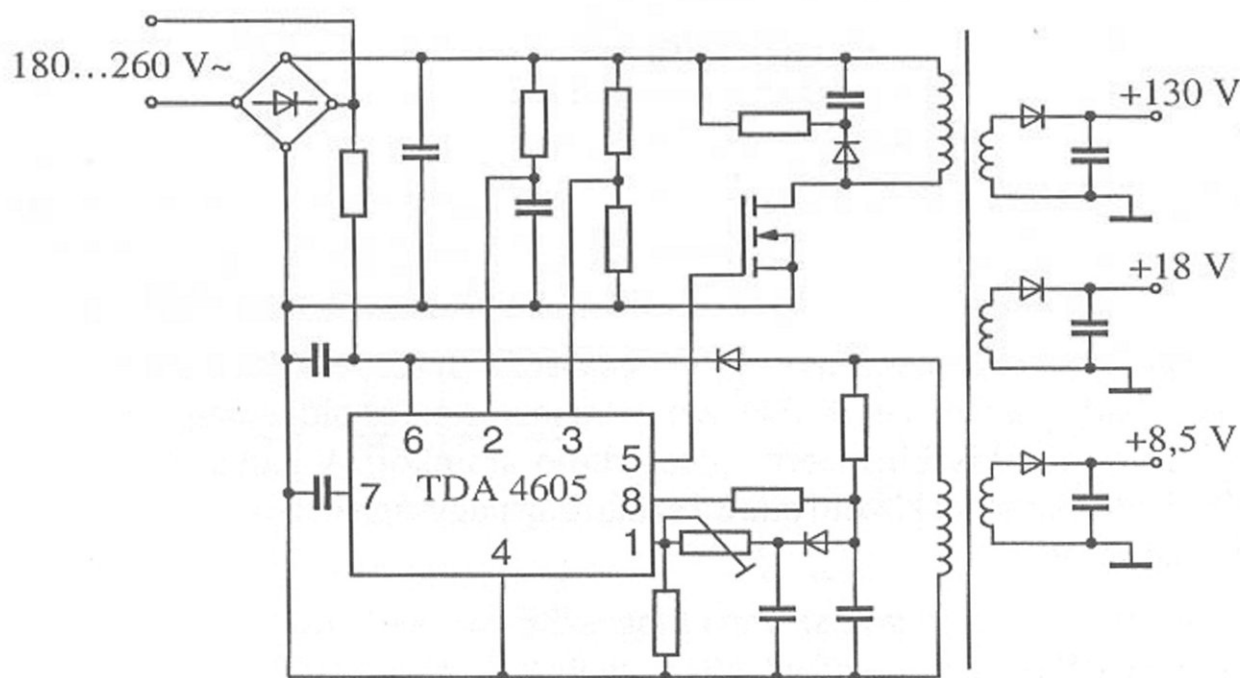
- változtatható U_{kiDC} ,
- kimeneti rövidzár, ill. túláram védelem (fold back current limit),
- kimeneti feszültség-megfutási védelem (over voltage protection),
- lágy indító áramkör (soft-start circuit),
- bemeneti $\cos \varphi$ szabályozás (active power factor correction),
- hővédelem (a készüléken belül max. 90...95 °C),
- távvezérelhetőség.

Mindezek az összetett áramköri feladatok a teljesítménykapcsolás kivételével egyetlen vezérlő IC-be integrálhatók. Néhány ismertebb típus ezek közül TDA 2640, TDA4605, UC3842 stb.

Az 1.3.4. ábrán egy tv-vevőkben is gyakran alkalmazott tipikus kapcsolóüzemű tápegységet láthatunk. A vezérlő IC gondoskodik a saját tápellátásáról az 4. és a 6. kivezetés között. A helyes működéshez a 6. lábón min. 7 V-nak kell lennie. Az IC a 3. és 2. kivezetéseken figyeli a primer oldali nyers DC feszültség értékét és a kapcsolások során itt folyó áramcsúcsokat, valamint az 5. kivezetéséről vezérlő, nyitó impulzusokat

küld a szabadon rezgő primer körü teljesítménykapcsoló MOSFET-nek. Az IC az alsó primer oldali tekercsen figyeli a transzformátor mágneses állapotát, ill. a szekunder oldali terhelést. A 8. kivezetésen az áramkör a nullátmeneteket detektálja, míg az 1. kivezetésen a szekunder oldali feszültség értékét tudjuk beállítani. Az IC vezérlő logikája feldolgozza az érzékelő bemenetek (2, 3, 8, 1) állapotjelzéseit és ez alapján vezérli a MOSFET-et. A bekapcsolás után a hirtelen feltöltődő szekunder oldali kondenzátorok jelentős áramcsúcsokat okoznak, ami az ún. lágy indítással kerülhető el, és a kimeneti feszültség felfutási idejét a 7. kivezetésre kötött kondenzátorral állíthatjuk be.

A bonyolult felépítés és a számos kényelmi szolgáltatás ellenére a kapcsolóüzemű tápegységek hatásfoka 82...87% között van, így már 10...20 W kimeneti teljesítményigény esetén is érdemes kapcsolóüzemű tápegységet használni.



1.3.4. ábra. TDA 4605-tel működő kapcsolóüzemű tápegység vázlatja

1.4. Antennák

1.4.1. Az elektromágneses hullámok

Mint ismert, egy feltöltött kondenzátor a vele párhuzamosan kapcsolt tekercsel rezgő rendszert alkot, melyben a kondenzátorban tárolt villamos energia a kisülése során a tekercsben mágneses energiává alakul. A folyamat során a tekercsben létrejött indukált feszültség újra (de ellentétes polaritással) feltölti a kondenzátort, és ez periodikusan ismétlődik. Azt mondjuk, a villamos erőter energiája és a mágneses erőter energiája folyamatosan átalakul, leng, rezeg a körben. A rezgés szinuszos lefolyású:

$i = I_0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$, és frekvenciája: $f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$.

Bár a villamos tér a kapacitásban, míg a mágneses tér az induktivitásban koncentrálódik, nagyobb frekvenciákon figyelembe kell venni az őket összekötő vezetékeket is. A rezgés a vezetékben, ill. a vezeték mentén, majd később a szabad térben c fénysebességgel terjed, ahol $c = 3 \cdot 10^8$ m/s.

Bármilyen közeg esetén hullám terjedési sebessége lecsökken: $v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}}$,

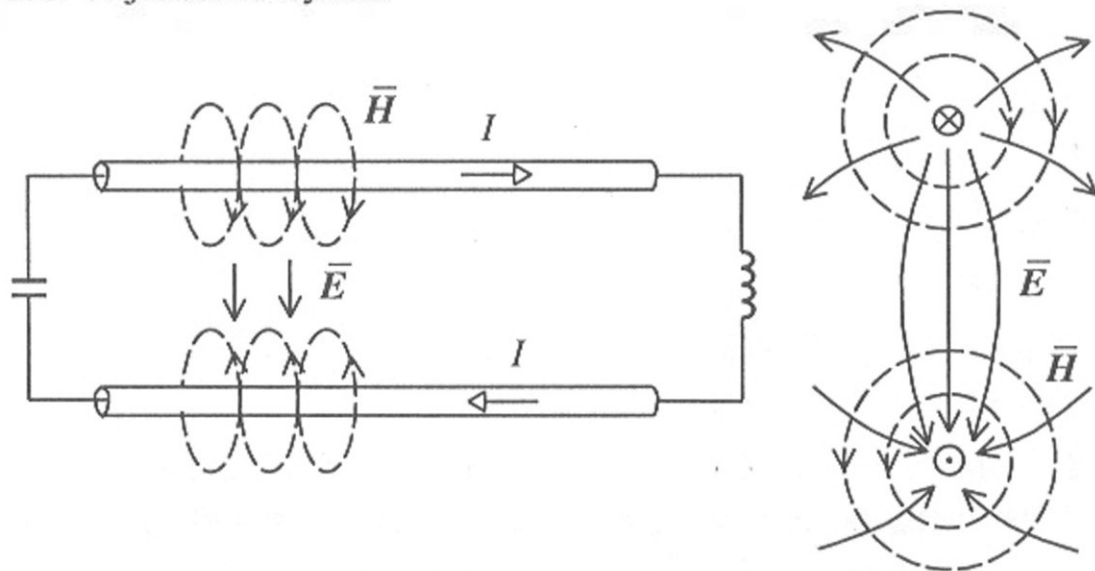
ahol μ_r és ϵ_r a közeg relatív permeabilitása és dielektromos állandója.

A hullámhossz az az úthossz, melyet a szinuszos hullám egy periódus alatt megtesz. Vákuumban vagy szabad térben a hullámhossz a

$$\lambda = c \cdot T = c/f,$$

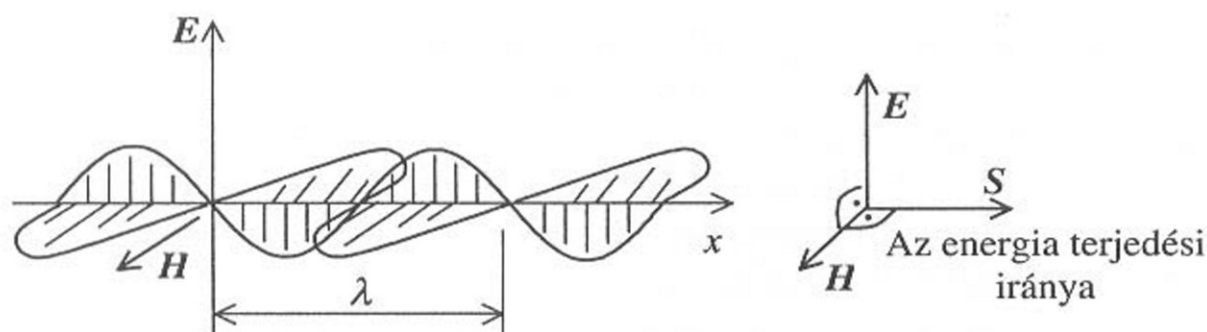
összefüggéssel számolható, ahol T a periódusidő.

A vezetékben elmozduló töltések hatására annak mentén H mágneses térerősség jön létre, a vezetékek közötti potenciálkülönbség miatt pedig E villamos erőter alakul ki. Ezt szemlélteti az 1.4.1. ábra, ahol látható, hogy az E és H vektorok merőlegesek egymásra és a terjedés irányára.



1.4.1. ábra. Az elektromágneses erőter képe a vezeték mentén

Az elektromos erőter és vele a mágneses tér is különböző szöghelyzetet zárhat be a vízszintessel. Az elektromágneses tér helyzetét, a polarizációt az E vektor végpontja által végzett mozgás szerint csoportosíthatjuk. Ez alapvetően lineáris (azaz egy síkban mozgó) vagy körkörös (azaz forgó) mozgást végző lehet. A lineáris hullám rendszerint függőleges vagy vízszintes síkban terjed. Ez alapján megkülönböztetünk függőleges vagy vízszintes polarizációjú elektromágneses hullámot. Az 1.4.2. ábrán egy függőleges polarizációjú hullámot láthatunk.



1.4.2. ábra. Szinuszosan változó elektromos és mágneses tér

Az elektromágneses hullám energiát hordoz, melynek nagysága E és H térerők nagyságától függ. Az energiaáram sűrűségét a villamos és mágneses erőter értékének vektori szorzata adja:

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H}.$$

Az energiaáram \vec{S} sűrűségét Poynting-vektornak nevezzük, mértékegysége W/m^2 és iránya az energiaáram irányába mutat, a jobbcsvavar-szabály szerint.

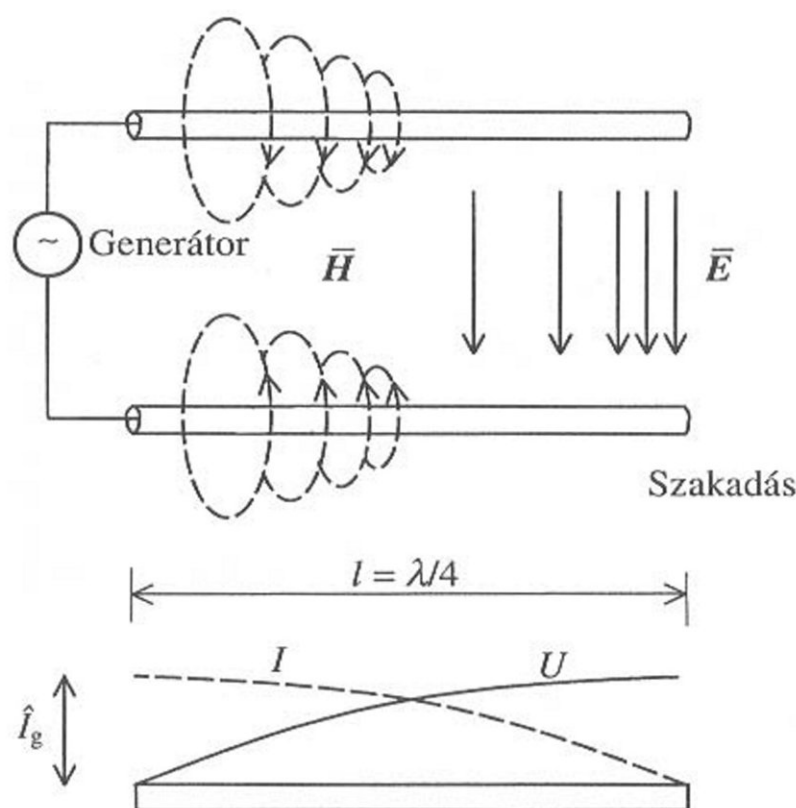
Láthatjuk, hogy az energiaáramlás nem kötődik a vezeték belsejéhez, hanem a körülötte lévő térben történik. Ha folyamatos energiaáramlást akarunk, akkor a veszteségek miatt lecsengő párhuzamos rezgőkörünk helyett a vezetékpárt szinuszosan változó jelű generátorral hajtjuk meg.

1.4.2. A dipólusantenna

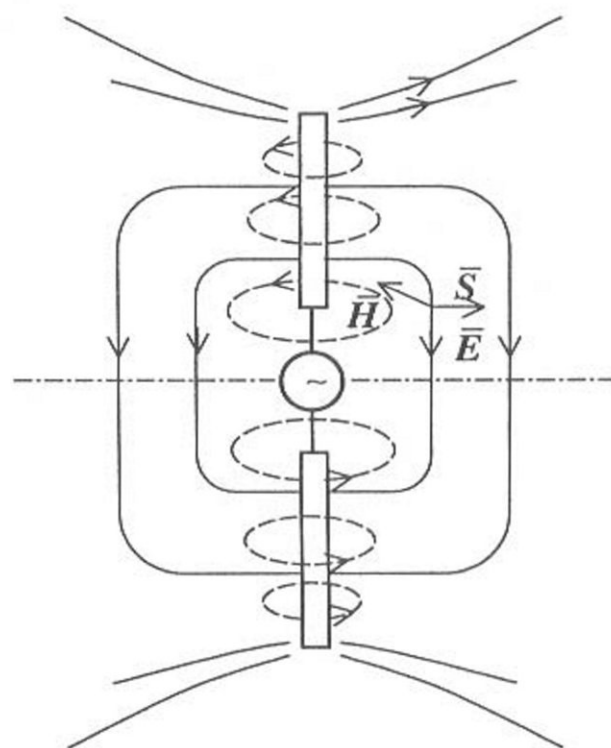
Vizsgáljuk meg, hogyan viselkedik a végén szabadon hagyott, $\lambda/4$ hosszúságú vezetékpár, amelyet szinuszos generátorral hajtunk meg!

Az 1.4.3. ábrán látható, hogy a generátortól induló hullám végigfutva a vezetéken a szakadás helyén visszaverődik, és $\lambda/4$ -es darabon állóhullám alakul ki. Ez azt jelenti, hogy E mindig a szakasz végén lesz maximális, míg H a generátor közelében, és nagyságuk a vezérlés ütemében szinuszosan változik.

Ha a vezeték két végét eltávolítjuk egymástól, széthajtjuk őket, a korábban zömében a vezetékek közötti térrészbe koncentrált E és H térerősségek egyre nagyobb mértékben kilépnek a szabad térbe, így a két vezetékdarab sugárzó $\lambda/2$ -es dipólust alkot. A dipólust antennának nevezzük. Ez minden antenna, antennarendszer alapeleme! Az antenna képes a rávezetett villamos jelet elektromágneses hullámként kisugározni. Ennek fordítottja is igaz, ha váltakozó elektromágneses térben elhelyezünk egy vezetékdarabot, abban feszültség indukálódik, azaz az antenna egy reciproka áramköri elem. Elvileg az adó és a vevő antenna, mivel ugyanarra a hullámhosszra készültek és azonos méretűek, akár fel is cserélhetők. A későbbiekben látni fogjuk, hogy az eltérő sugárzási és vételi szempontok miatt a megvalósításban nagy mértékben eltérhetnek egymástól.



1.4.3. ábra. $\lambda/4$ -es vezetékpáron kialakult erővonalkép, ill. áram- és feszültségeloszlás



1.4.4. ábra. A $\lambda/2$ -es dipólus erővonalképe és a Poynting vektor

A függőleges helyzetű dipólus villamos és mágneses erőterének képét és a kialakult Poynting-vektort szemléltetjük az 1.4.4. ábrán. Az elektromos erőter az ábrán a függőleges síkban változik, így ez függőleges polarizációjú sugárzás.

Összefoglalva, az antennánkat körülvevő teret megtölti a periodikusan változó E és H tér, mely szabad térben fénysebességgel S irányában halad. Az elektromágneses hullámok energiasűrűsége az antennától távolodva csökken.

1.4.3. A rádiófrekvenciás hullámtartományok

A hírközlésben használt elektromágneses hullámok a 30 kHz...3000 GHz frekvenciatartományt ölelik át, de a technológiai fejlődés eredményeképpen egyre magasabb frekvenciatartományokat tudunk a gyakorlatban használni.

A földi rádió és tv-műsorszórásban az 1.4.1. táblázatban megadott, hullámhosszokkal vagy frekvenciájukkal jellemezett tartományokat használjuk. A táblázat a tartományok angol nyelvű rövidítését is tartalmazza, valamint tipikus felhasználásukra is utal.

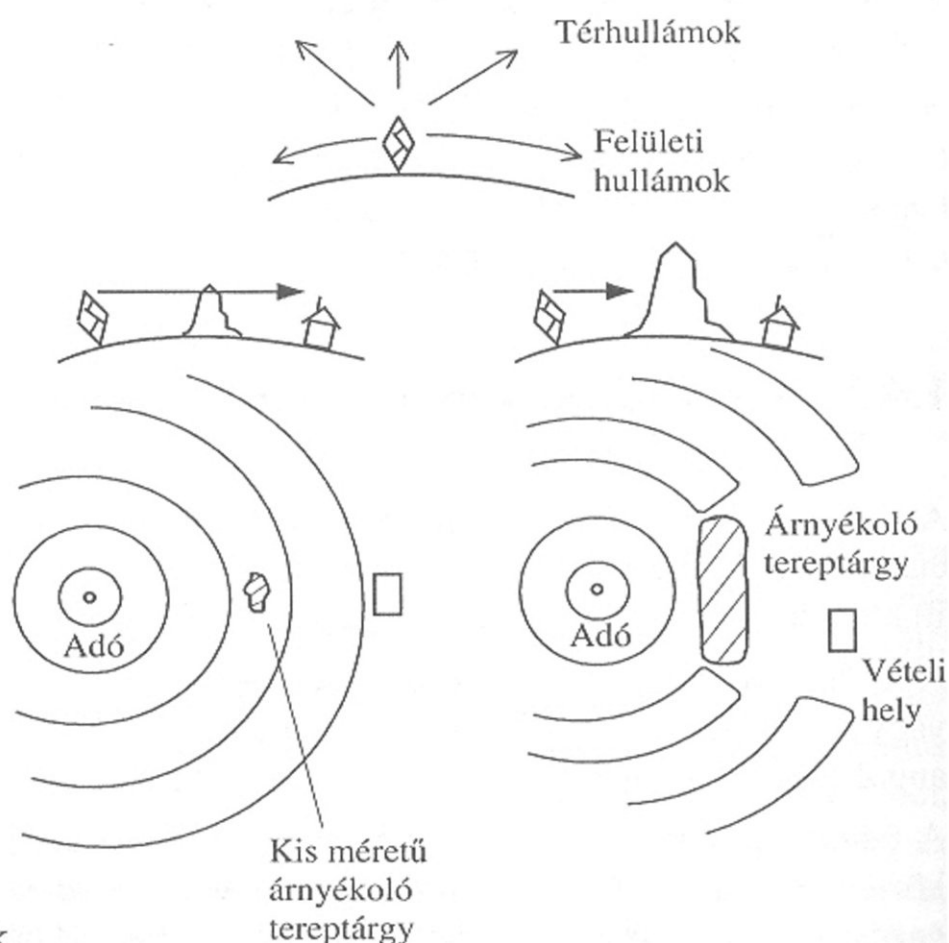
A felosztás nem teljes, a közbeeső sávokat más hírközlési célra is felhasználják, pl. közlekedési, katonai, ill. amatőr sávok is előfordulnak közöttük. A frekvenciatartomány gazdaságos felosztása és kihasználása közös érdek, ezt nemzetközi szakmai konferenciák rögzítették, ill. rögzítik.

A rádióhullámok főbb tartományai. 1.4.1. táblázat

Hullámtartomány	Rövidítés	Frekvenciahatárok	Alkalmazási terület
Hosszúhullám	LF	150...285 kHz	AM-rádió
Középhullám	MF	520...1600 kHz	AM-rádió
Rövidhullám	HF	3,9...26 MHz	AM-rádió
Ultrarövidhullám	URH	60...110 MHz	FM-rádió
	VHF	50...460 MHz	tv-műsor
	UHF	470...1000 MHz	tv-műsor
Mikrohullám		1 GHz...	földi és műholdas távközlés

1.4.4. A rádiófrekvenciás hullámok terjedése

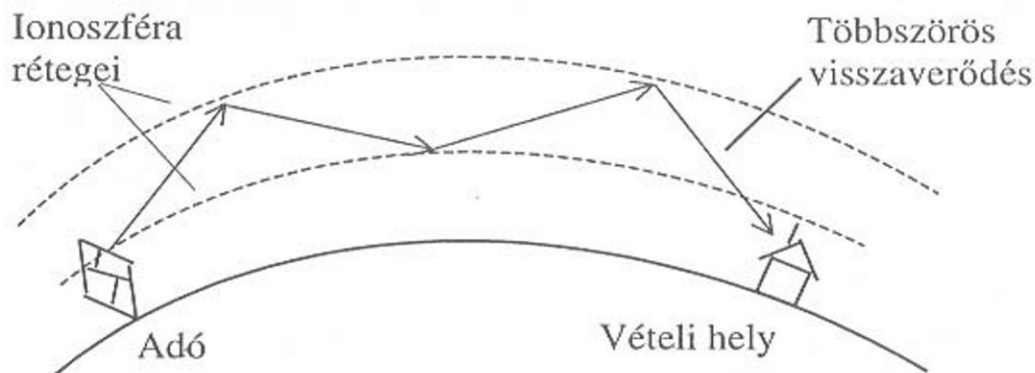
A föld felszínén vagy kis magasságokban elhelyezett antennával kisugárzott hullámok nem tudnak a tér minden irányában egyenletesen terjedni. Haladásuk jellege függ az antenna méretétől, ill. az adott közegtől. Az elektromágneses hullámok különböző anyagokon áthaladva csillapodnak, a határfelületeken megtörnek, visszaverődnek.



1.4.5. ábra. A felületi hullámok terjedése

Az antennák szerkezeti kialakításuktól függően felületi és térhullámokat bocsáthatnak ki. A felületi hullámok kis mértékben követik a föld görbületét, a tereptárgyakat kis csillapítással megkerülik, míg a nagyobb akadályok (hegyek) esetén árnyékoló hatásra számíthatunk. Minél kisebb a hullámhossz, annál élesebb a térerő csökkenést okozó árnyékhatás. A felületi hullámok függőlegesen polarizáltak, az adótól távolodva térerejük csökken.

A térhullámok az antennától felfelé vagy ferdén felfelé terjednek. Elérve a légkör felső rétegeit a hullámhosszuktól függő mértékben csillapodnak, visszaverődnek, ill. áthaladnak rajtuk. Ezt az összetett, több rétegből álló közeget ionoszférának nevezzük. Szerkezete a nap sugárzásának köszönhetően napszakonként is változik. A kis beesési szöggel az ionoszférába érkező térhullámok annak különböző rétegeiről visszaverődhetnek. A rövidhullámú sávban többszörös visszaverődés is kialakulhat, így több ezer km-s távolságban is fogható az adó jele.



1.4.6. ábra. Térhullámok terjedése

A többféle lehetséges terjedés és visszaverődés kellemetlen hatással is járhat. A különböző úthosszt megtett hullámok a vételi pontban összeadódnak és eltérő fázisuk miatt erősíthetik vagy gyengíthetik egymást. Ezt a térerő változást a vevőben elhalkulásként vagy erősödésként érezhetjük, ez a jelenség a fading.

1.4.5. Antennák jellemzői

Az antennák a működési tartományuktól és céljuktól függően különböző méretűek és szerkezetűek. A sugárzásra adóantennát, míg a vételi ponton vevőantennákat használunk. Elvileg azonos méretű antennát lehetne adásra és vételre is alkalmaznunk, de megvalósíthatósági és gazdaságossági okok miatt a fenti eszközök jelentősen különböznek egymástól. A különböző antennákat néhány közös műszaki paraméterrel jellemezhetjük.

Hullámimpedancia (\bar{Z}_0). A komplex feszültség és áram hányadosa. A hullámimpedancia szintén komplex mennyiség, és előnyös, ha a teljes működési sávban ohmos jellegű. Értéke néhányszor 10Ω -tól $k\Omega$ -ig terjedhet. Fontos, hogy az antenna és a csatlakozó tápvonal hullámimpedanciája megegyezzen, mivel ez az illesztés feltétele. Ugyanígy a

vevő bemeneti fokozatát vagy az adó végfokozatát is illeszteni kell, hiszen csak így érünk el jó hatásfokot, és kerülhetjük el a számos gondot okozó reflexiót.

Irányjelleggörbe vagy iránykarakterisztika. Az antenna vízszintes vagy függőleges síkjában mért azonos térerejű pontokat összekötő görbe. A rajzokon általában a térerőt a fő sugárzási irányban mért értékhez viszonyítva adjuk meg. Így értelmezhető pl. az előre-hátra sugárzás viszonya is. A főirányba mért térerősséghez képest 3 dB-lel kisebb sugárzási irányok által bezárt szög az antenna nyílásszöge, melyet vízszintes és függőleges síkban is értelmezzük.

Az *izotrop antenna* egy elméletileg minden irányban azonos térerősséggel dolgozó gömbsugárzó lenne. Az ilyen képzeletbeli antennától r távolságban mindenütt

$$S_0 = P_a / (4 \cdot \pi \cdot r^2)$$

teljesítménysűrűséget mérhetünk. A valóságban a gömbfelület különböző részein nagyobb vagy kisebb teljesítménysűrűség alakul ki.

Antennanyereség (G_a). Az irányított antenna fő irányában mért S teljesítménysűrűség és a körsugárzó (izotrop) antenna által keltett teljesítménysűrűség hányadosa, amit általában dB-ben adnak meg:

$$G_a = S/S_0, \text{ ill. } G_a^{\text{dB}} = 10 \cdot \lg S/S_0.$$

Az elemi dipólus nyeresége csak 1,5 dB, míg az ún. Yagi antennáké 10...20 dB, a parabola antennáké pedig a 30...60 dB-t is elérheti.

Effektív kisugárzott teljesítmény (P_{EIRP}). Az irányított antennák esetén az adó teljesítménye önmagában nem elég kifejező, ezért helyette a $P_a \cdot G_a$ szorzatot adják meg. Ez kifejezi, hogy az összeköttetés irányában mekkora teljesítménysűrűséget tudunk létrehozni. Az új jellemző neve effektív kisugárzott teljesítmény.

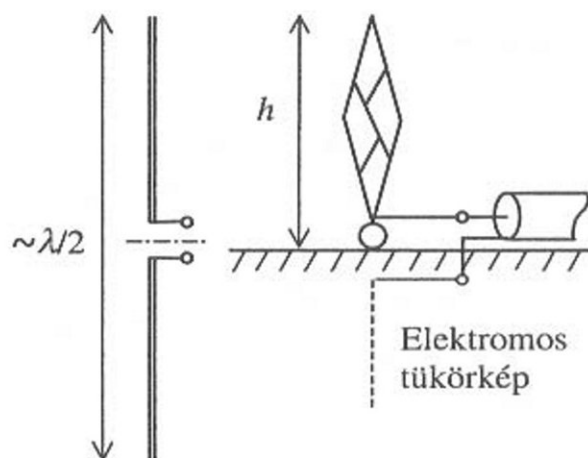
Az EIRP rövidítés az angol Effectiv Isotropic Radiated Power kifejezésből ered és az I betű a körsugárzóhoz való viszonyra utal.

1.4.6. Antennatípusok

A hosszúhullámú (HH) antennák építéskor nem alkalmazhatunk a $\lambda/2$ -es hullámhosszból adódó km-es méreteket (pl. 200 kHz esetén $\lambda = 1,5$ km). Ezen a frekvencián a felületi hullámok viszonylag nagy távolságra kis csillapítással tejednek, ezért nem olyan fontos szempont a hatásfok és a tökéletes illesztés. Az adóantennák talpszigetelésen álló körsugárzó acéltornyok vagy ilyen tornyok között kifeszített huzalok. A vevőantennák az egyszerűbb megvalósításból adódóan kifeszített huzalantennák vagy ferritrúdra készült tekercsantennák.

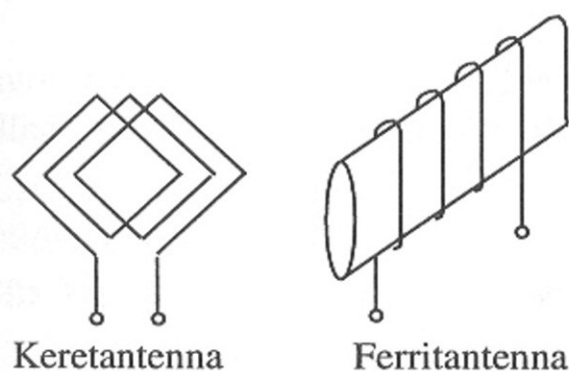
A középhullámú adóantennák az előbbiekhöz hasonlóan jellegzetesen vastorony szerkezetűek, de ebben a frekvencia tartományban a félhullámú dipól már megvalósítható.

1.4.7. ábra. Földelt antenna
(monopólus) vázlatja



A 1.4.7. ábrán a földelt antenna kialakítása látható. A nagyfrekvenciás áramot részben az antennába, részben a földelésbe vezetjük. Ez jó vezetőképességű talajszerkezetet igényel, hiszen ez lesz a dipólus másik fele, az ún. ellensúly. A talaj vezetőképességének javítására földbe süllyesztett fémszerkezetet alkalmaznak. Ezek az antennák a vízszintes síkban körsugárzók. Méretük megválasztásánál szempont, hogy milyen sugárzási jelleg-görbét akarnak, mekkora területet szándékoznak besugározni.

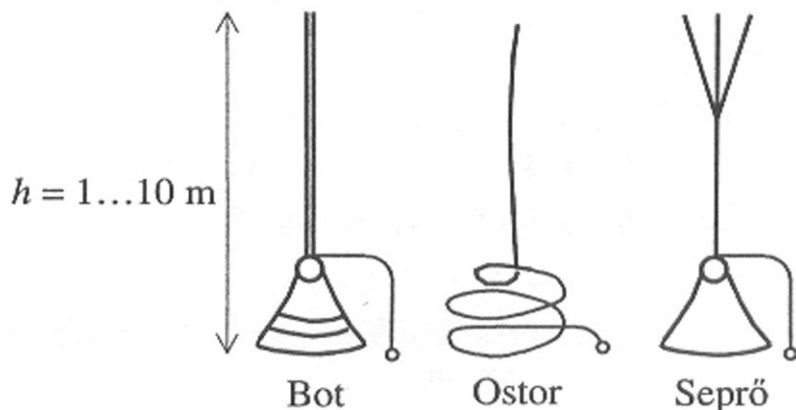
A középhullámú vevőantennák esetén nem indokolt vastorony építése, ezen a sávon a nagy érzékenységű vevőkészülékek miatt elég egy néhány méteres vezeték kifeszítése. A hosszú-, ill. középhullámú vételre épített készülékek esetén a nagy relatív sáv szélesség miatt sem lehetne pontosan a hullámhosszból számított antennát méretezni, ezért ezeken a frekvenciákon keret-, ill. ferritantennát alkalmazunk. A ferritantenna egy nyitott vasmagú tekercs, ami kis méretben elkészíthető, és nagy permeabilitású vasmagja révén nagy indukált feszültséget ad. Rövidhullám felett azonban nem használhatók.



Keretantenna

Ferritantenna

1.4.8. ábra. Keret és ferritantenna



Bot

Ostor

Seprő

1.4.9. ábra. Rövidhullámú körsugárzók

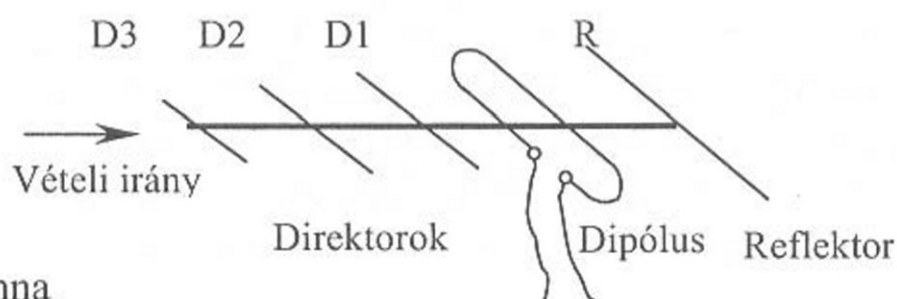
A rövidhullámú antennák már kisebbek, könnyebben megvalósíthatók. Méretük és megvalósításuk függ az adó teljesítményétől és a sugárzási körzettől. Kisebb hatósugar esetén adókhöz és vevőkhöz egyaránt használnak ostor, bot, esetleg seprő antennákat. Ezek az antennák körsugárzók, jól alkalmazhatók autókban és hordozható készülékekhez is.

A nagyobb távolságú összeköttetésekhez irányított sugárzórendszereket alakítanak ki rom-busz vagy logaritmikusan periodikus (logper vagy logperiodikus) Yagi elrendezéssel.

Ezek $\lambda/2$ -es dipólus rendszerek lehetnek, sáv szélességük is kedvező, több egymáshoz közeli rövidhullámú frekvencián is működhetnek.

URH antennákat 50 MHz felett alkalmazunk. Itt nagyobb irányítottságú, nagyobb nyereségű antennákra van szükségünk, hiszen még ezekkel is csak μV -os jeleket tudunk felfogni közepes távolságú, néhány száz kilométerre lévő adók esetén.

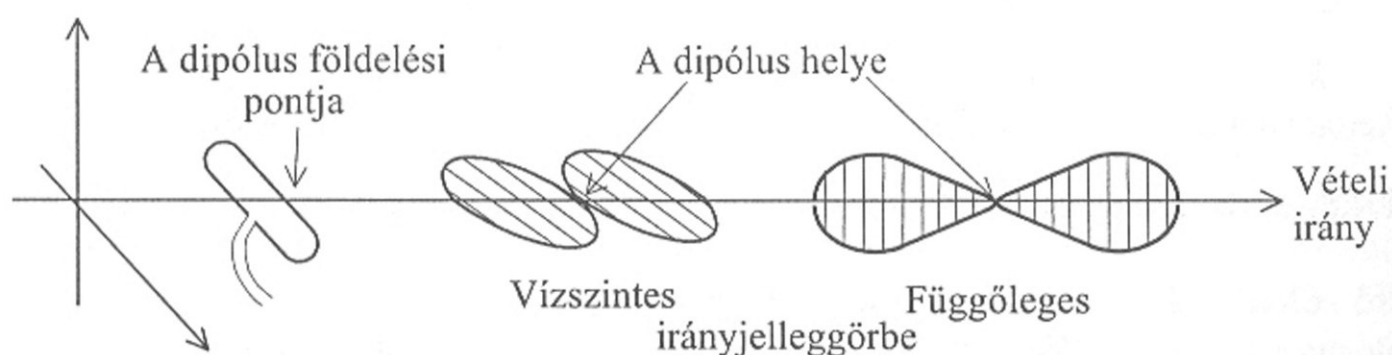
Míg a közeli rádióadók vételére megfelel egy 20...50 cm-s teleszkópos botantenna, kis takarás vagy nagyobb távolság, zajos környezet esetén mindenképpen irányított antennára van szükségünk. Ez még fokozottabban igaz a tv-vétel esetére, ahol kizárólag Yagi antennát használunk a földi műsorszórók vételére (1.4.10. ábra). Ezek általában keskeny vagy közepes sávú antennák, egy vagy néhány tv-csatorna vagy rádiósáv vételére alkalmasak, de vannak szélessávú típusaik is.



1.4.10. ábra. Öt elemű Yagi antenna

A Yagi antenna fő eleme a hajlított dipólus, mely két egyenes, $\lambda/2$ -es dipólus sorba kötéséből származtatható, talpponti impedanciája 240Ω , és szimmetrikus meghajtást vagy levezetést igényel. A gyakorlatban figyelembe kell venni $\lambda/2$ -es dipólus méretezésénél a cső vagy rúd d vastagságát is. Ez nem csak a mechanikai szilárdság miatt fontos, hanem a λ/d arány befolyásolja a sugárzási ellenállást, a sáv szélességet és a dipólusnál is fellépő rövidülési tényezőt. Ez utóbbi eredményeképp a vastagabb anyag esetén rövidebb antenna adódik.

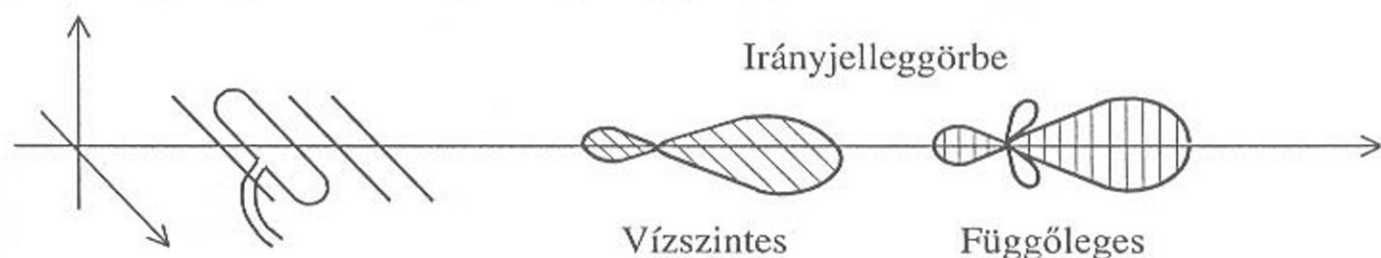
Az URH tartományban működő tv- ill. rádióadók többsége vízszintes polarizációval sugároz. Az 1.4.11. ábrán látható irányjelleggörbe jól mutatja, hogy már az önálló dipólusnak is jelentős nyeresége van.



1.4.11. ábra. Hajlított dipólus irányjelleggörbéje

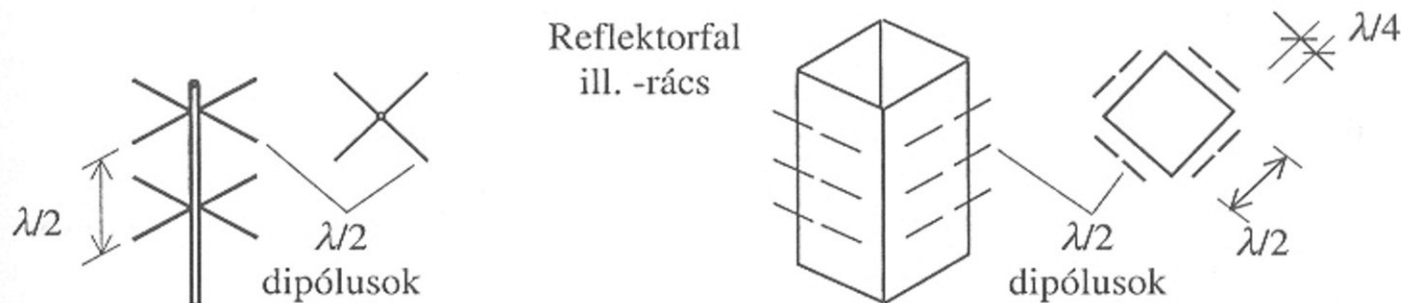
Az aktív dipólus mellett passzív reflektor, ill. direktorok helyezkednek el. A reflektor feladata a dipólus mellett elhaladt hullámok visszaverése, ezért gyakran nem egy, hanem három, egymás fölött elhelyezett pálcát vagy reflektorfalat szerelnek a dipólus mögé.

A direktorok mintegy rávezetik a rezgést az aktív elemre, a dipólustól távolodva egyre rövidebbek és átmérőjük is csökkenhet. A direktorok száma és elhelyezése az antenna nyílásszögét határozza meg, számukat növelve egyre élesebb, nagyobb irányítottságú az antenna. Egy négy elemű Yagi irányjelleggörbéje az 1.4.12. ábrán látható.



1.4.12. ábra. Négy elemű Yagi iránykarakterisztikája

A műsorszóró adók esetén komoly feladat a dipólus körsugárzóvá alakítása. Ezt több sugárzó különböző irányú elhelyezésével érik el. Az 1.4.13. ábrán árbocra szerelt dipóluskereszteket, ill. reflektorfalak elé rögzített dipólusrendszert láthatunk.

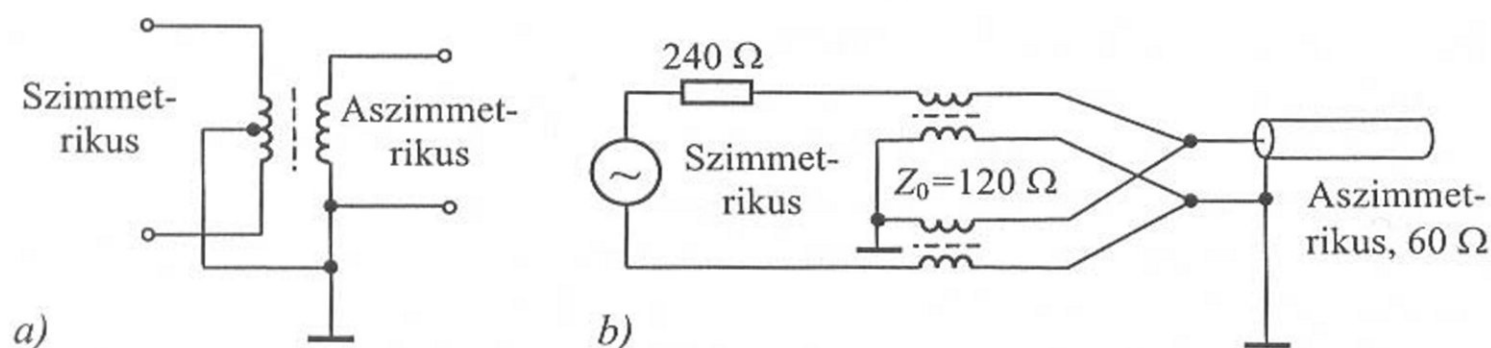


1.4.13. ábra. URH körsugárzók

Csoport, ill. széles sávú antennák esetén kisebb antennanyereséggel és rosszabb irányjelleggörbével is megelégszünk. Cserébe nagyobb sáv szélességet kapunk, és így egy Yagi antennával több egymás melletti vagy közeli tv-program vételét is megoldhatjuk.

1.4.7. A balun-transzformátor

A tápvonalak és antennák csatlakoztatása gyakran igényel szimmetria- ill. impedanciaillesztést. A tv-technikában alkalmazott hajított dipólus 240 Ω-os szimmetrikus impedanciáját kell a levezetésre használt 60 Ω körüli aszimmetrikus koaxiális kábelhez illeszteni. Az illesztést az ún. balun (balanced-unbalanced) transzformátorral oldhatjuk meg. A tekercselrendezés egyszerűbb és igényesebb megoldását mutatja az 1.4.14. ábra.

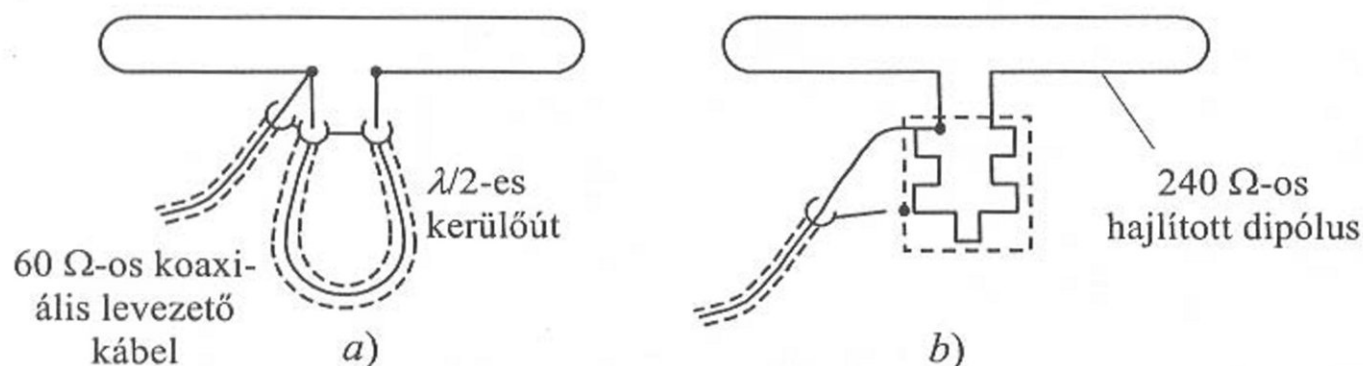


1.4.14. ábra. Szimmetriaillesztő kapcsolások

a) egyszerű kivitel; b) precíziós kivitel

A *b)* változat kétlyukú ferrit magon egy-egy menettel megoldható. A két transzformátor a $240\ \Omega$ -os oldalról sorosan látszik, így ott kétszer $120\ \Omega$ -ot láthatunk, míg a koaxiális kábel felől a párhuzamosan kapcsolt $120\ \Omega$ -os impedanciák eredője $60\ \Omega$ -ot ad. Ezt a megoldást elsősorban a VHF sávban alkalmazzuk.

Az UHF-sávban próbálkozhatunk a méretek csökkentésével és jobb minőségű porvasmaggal, vagy kerülőutas impedanciaváltót alkalmazunk. A $\lambda/2$ -es kerülőutat közvetlenül az aszimmetrikus koaxiális kábel egy darabjából is megvalósíthatjuk. Ez látható az **1.4.15.a)** ábrán.



1.4.15. ábra. Kerülőutas szimmetriaillesztő kialakítási lehetőségei

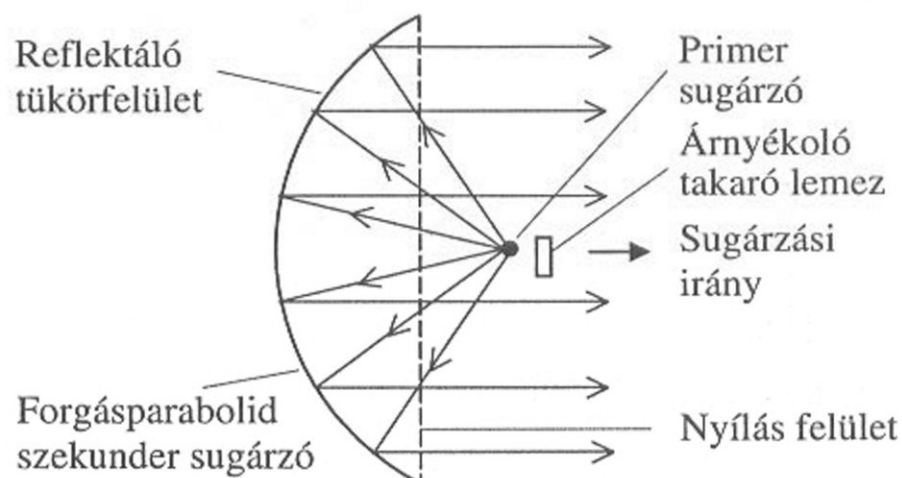
A $\lambda/2$ -es tápvonal-hurkot kisebb méretben is elkészíthetjük a mikrohullámú technikában alkalmazott szalagtápvonallal. A nyomtatott áramköri eljárással kialakított, meander mintázatú, elosztott paraméterű tápvonallal $1\text{--}2\ \text{cm}^2$ -es felületen $\lambda/2$ -es elektromos hosszúságú szakaszt tudunk létrehozni. A **1.4.15.b)** ábrán látható megoldás a teljes UHF sávban megfelelő átvitelt eredményez.

1.4.8. Mikrohullámú antennák

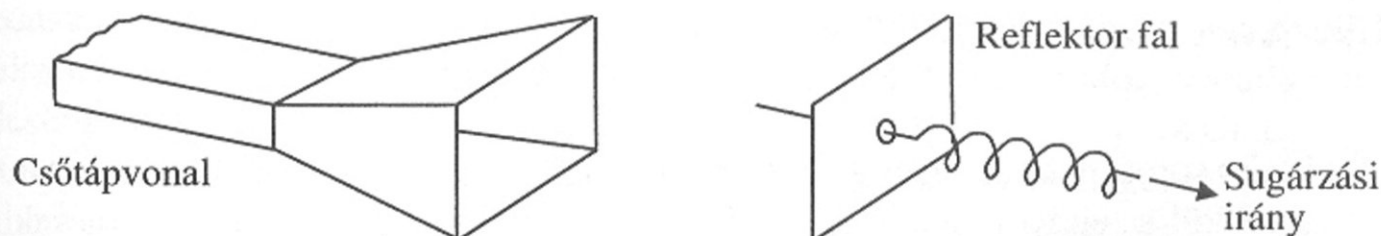
A mikrohullámú frekvenciasáv kb. 1 GHz-től 3000 GHz-ig terjed. A rezgések hullámhossza 30 cm és 0,1 mm közötti érték, ami összemérhető az alkatrészek méreteivel. Itt már nem alkalmazható az áramköri elemek koncentrált paraméterű helyettesítő képe, mivel minden kivezető lábnak már jelentős induktivitása és minden felületnek kapacitása van. Ezeket a parazita hatásokat kisfrekvencián nem vettük figyelembe.

A mikrohullámú antennának általában felületsugárzókat alkalmazunk, amelyek a fény-szóróknál is ismert reflektorhatást alkalmazzák. A reflektorfelület garantálja egyrészt a sugárzás irányított jellegét, másrészt azt, hogy az elektromágneses hullámok azonos fázisban induljanak a vételi pont felé. Ezt forgásparaboloid felületű reflektorral érhetjük el, melynek fókuszában helyezük el a primer sugárzót az 1.4.16. ábra szerint.

1.4.16. ábra. Parabolaantenna



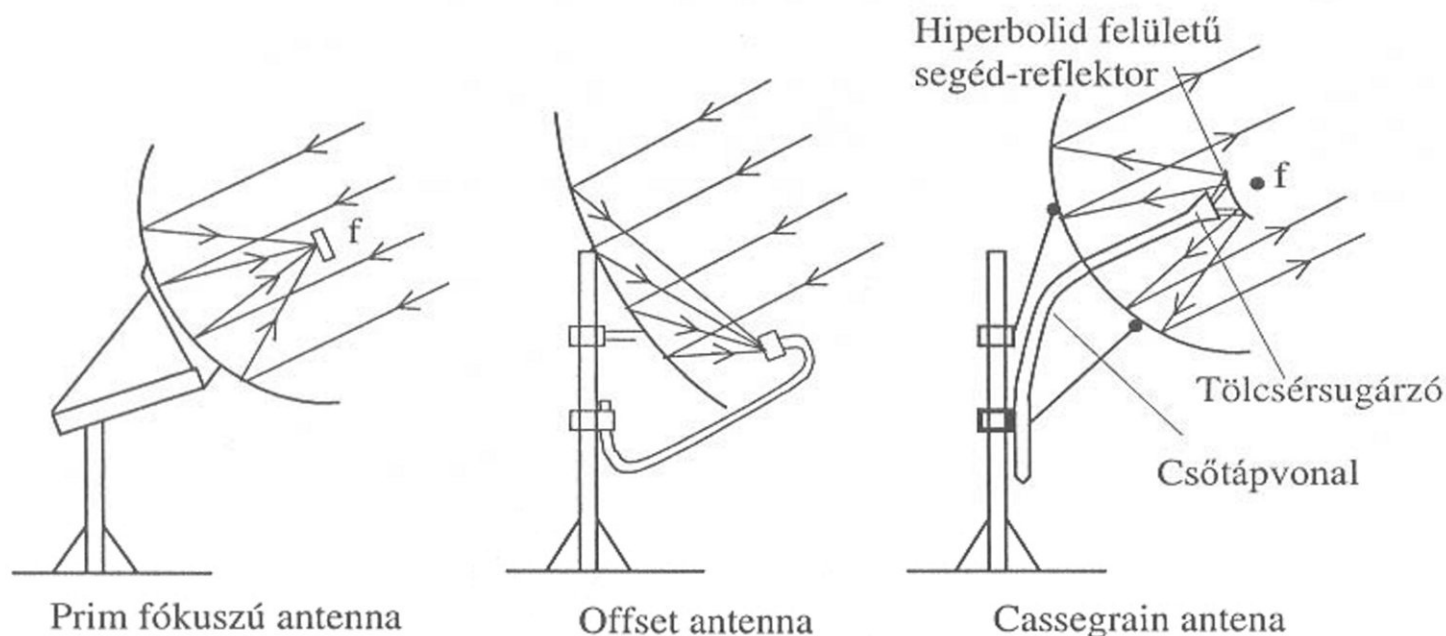
A primer sugárzóból induló hullámok azonos utat tesznek meg, mire elhagyják az antenna nyílásfelületét, így azonos fázisúak és párhuzamos nyalábot alkotnak. Fontos, hogy a primer sugárzó az egész tükröt jól megvilágítsa, hiszen csak a tükör felületéről visszavert jel hasznosítható. A primer sugárzó közvetlenül nem dolgozhat a sugárzási főirányba, ezt egy árnyékoló lemez takarja el. A tükröt pontosan megmunkált lemez- vagy hálófelület alkothatja és átmérője néhányszor tíz cm-től száz méterig terjedhet.



1.4.17. ábra. Tölcsér és helix sugárzó

A primer sugárzók tölcsér, helix (1.4.17. ábra) vagy dipólus szerkezetűek lehetnek. A tölcsér tulajdonképpen egy kiszélesedő nyitott csőtápvonal, míg a helix egy csavarmenet alakban hajlított sugárzó vezeték, amely körkörös polarizált hullámot sugároz.

A mikrohullámú összeköttetések jelentős része pont-pont közötti, ilyenkor az adó és vevő antenna közel egyforma. A műsorszórásban alkalmazott szektorsugárzók esetében azonban már lényeges a különbség. Az adóantenna nyílásszögét a besugározni kívánt területhez igazítják (pl. 20°), míg a vevő továbbra is kis nyílásszögű ($1...2^\circ$). A gyakorlatban többféle sugárzórendszert alkalmaznak, ezekre láthatunk példákat az 1.4.18. ábrán.



1.4.18. ábra. Mikrohullámú antennák

Az offset antenna előnye, hogy a primer sugárzó nem takarja a tükör felületét, és a tükör a meredekebb helyzete miatt kevésbé szennyeződik. A Cassegrain antenna kialakításánál a segédreflektor feladata, hogy egyenletesen világítsa meg a szekunder sugárzó teljes felületét. A mikrohullámú antennák beállítása kis nyílásszögük miatt nagy pontosságot igényel. Ugyanakkor a műholdas műsorszórás kapcsán igényként jelentkezik több különböző pozíciójú műhold befogása. Ehhez egyenáramú antennaforgató motort alkalmaznak.

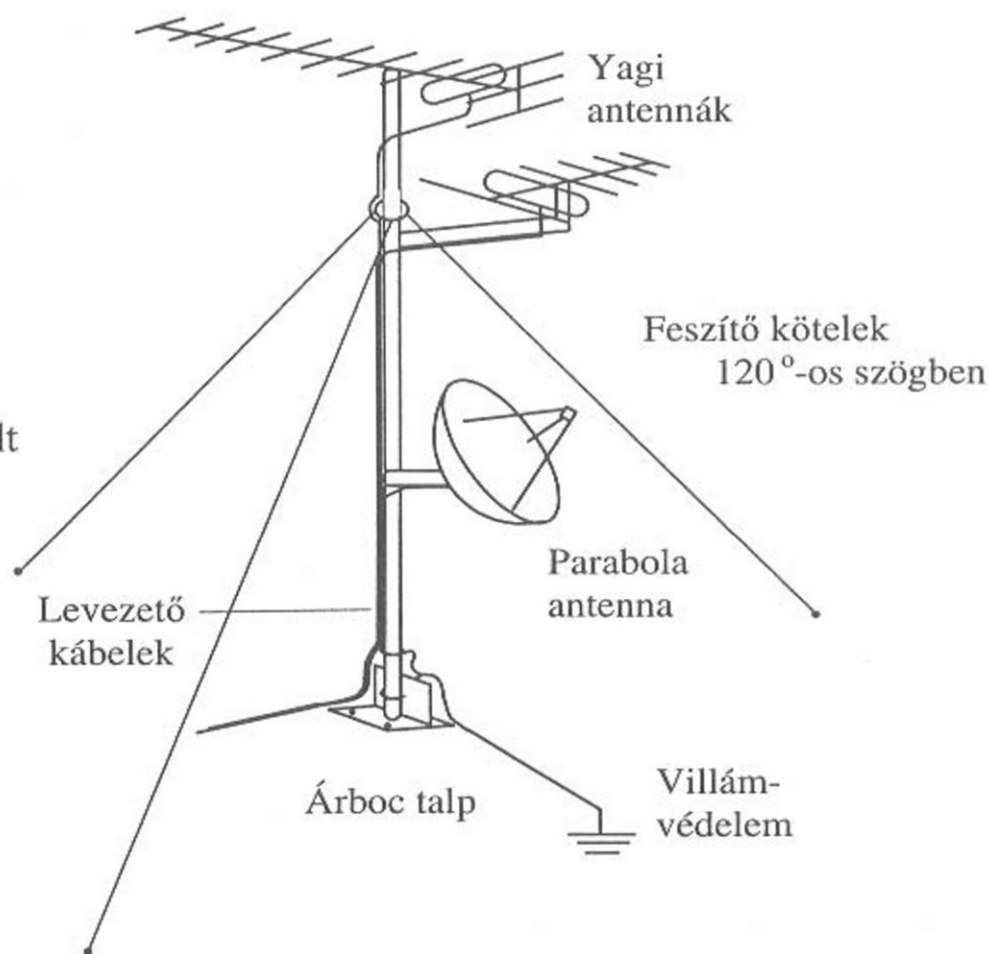
1.4.9. Antenna tartozékok

Ebbe a körbe soroljuk a szereléshez, rögzítéshez szükséges mechanikai kellékeket is. A teljesség nélkül a leggyakrabban használt elemek az árboc, antennatalp, bilincsek és feszítő drótkötelek stb. Mivel az antennák elhelyezésénél fontos a magassági lehetőségek jó kihasználása, ügyelni kell a sugárzók biztonságos és időjárásálló rögzítésére.

A magas antennák fokozott villámveszélynek vannak kitéve, ezért védelmükről gondoskodni kell. Az árbocokat le kell földelni, összekötve őket a villámhárító levezető rend-

szerével. Az elektronikus áramköröket, az erősítő bementeket szikraközzel, esetleg gázkisülésű elemekkel lehet védeni.

1.4.19. ábra. Árbocra szerelt antennák

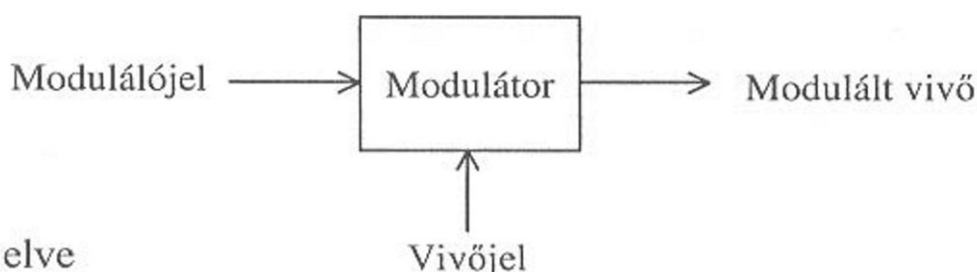


1.5. Moduláció és demoduláció

A **moduláció** egy olyan eljárás, amellyel az információt hordozó modulálandó (villamos) jelet átalakítjuk egy más időfüggvénnyel és frekvenciaspektrummal rendelkező jellé, az ún. modulált jellé. A visszaalakítási folyamatot, amikor a modulált jelből visszkapjuk a modulációs tartalmat hordozó villamos jelet, **demodulációnak** nevezzük. A modulációhoz szükséges egy vivőjel. A modulált jel a vivő és az információt hordozó (moduláló) jel kölcsönhatásából jön létre, úgy, hogy a vivő egy jellemzőjét változtatjuk a modulációs tartalommal arányosan. A vivőjel lehet szinuszos vagy impulzus jellegű, a moduláló jel, pedig lehet analóg vagy digitális. Az 1.5.1. ábra a moduláció elvét mutatja.

A szinuszos vivőjel analóg modulációja három féle lehet:

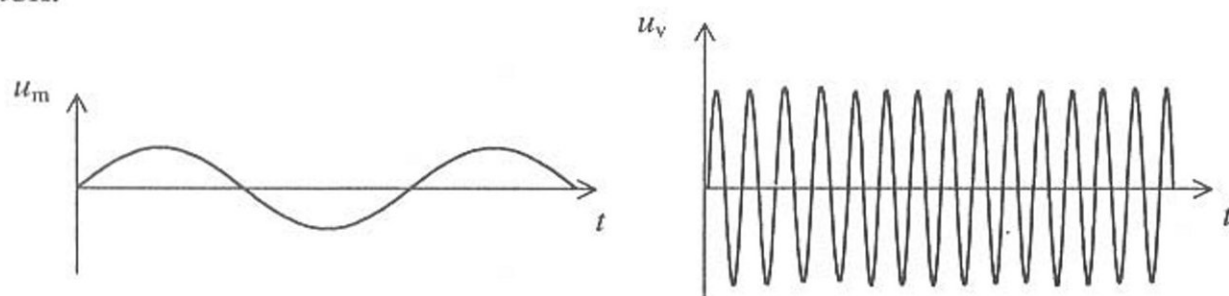
- Ha a moduláló jel a vivőjel amplitúdóját változtatja, akkor amplitúdómodulációról (AM),
- ha a moduláló jel a vivőjel frekvenciáját változtatja, akkor frekvenciamodulációról (FM),
- ha a moduláló jel a vivőjel fázisát változtatja, akkor fázismodulációról (PM) beszélünk.



1.5.1. ábra. A moduláció elve

1.5.1. Amplitúdómoduláció

Az AM kiinduló jelei a vivőjel és a modulálójel, amelyek időfüggvényei az 1.5.2. ábrán láthatók.



1.5.2. ábra. A vivő és moduláló jel időfüggvénye

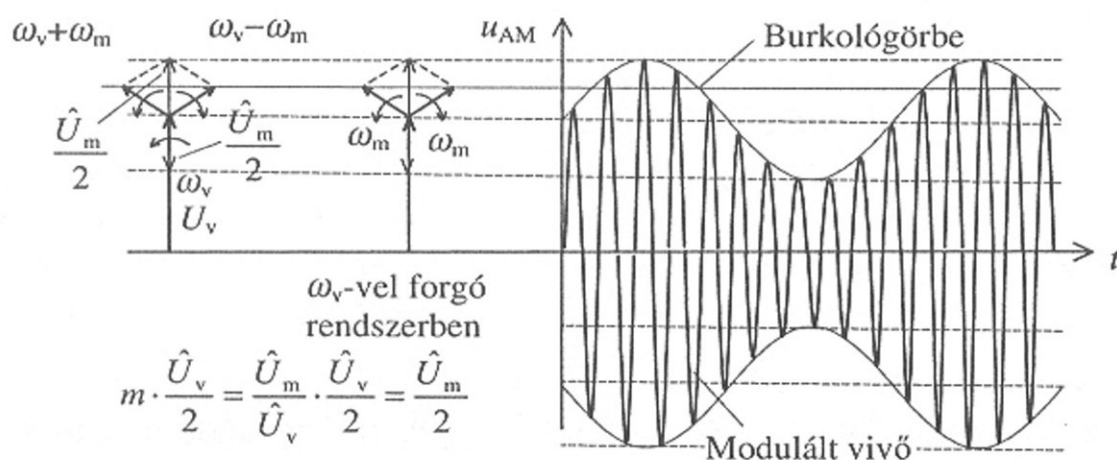
A vivő és moduláló jel időfüggvénye:

$$u_v = \hat{U}_v \cdot \cos(\omega_v \cdot t), \text{ ha } \varphi_v = 0^\circ, \text{ ill. } u_m = \hat{U}_m \cdot \cos(\omega_m \cdot t), \text{ ha } \varphi_m = 0^\circ$$

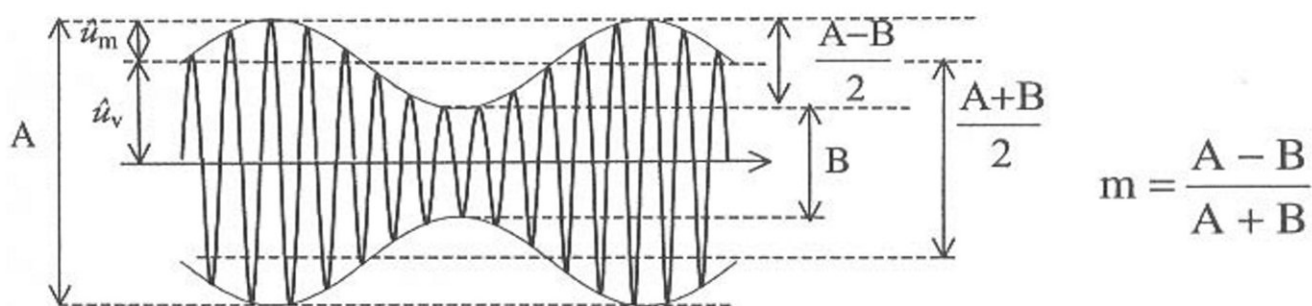
Ezt átalakítva az $\hat{U}_{\text{vivő vált}}(t) = \hat{U}_v \cdot [1 + m \cdot \cos(\omega_m \cdot t)]$ alakot kapjuk, ahol

$$m \text{ a modulációs mélység: } m = \frac{\hat{U}_m}{\hat{U}_v}, \text{ vagy százalékban } m [\%] = \frac{\hat{U}_m}{\hat{U}_v} \cdot 100.$$

A modulációs mélységet oszcilloszkóppal az 1.5.4. ábra szerint határozhatjuk meg.



1.5.3. ábra. Az AM jel és a modulációs mélység



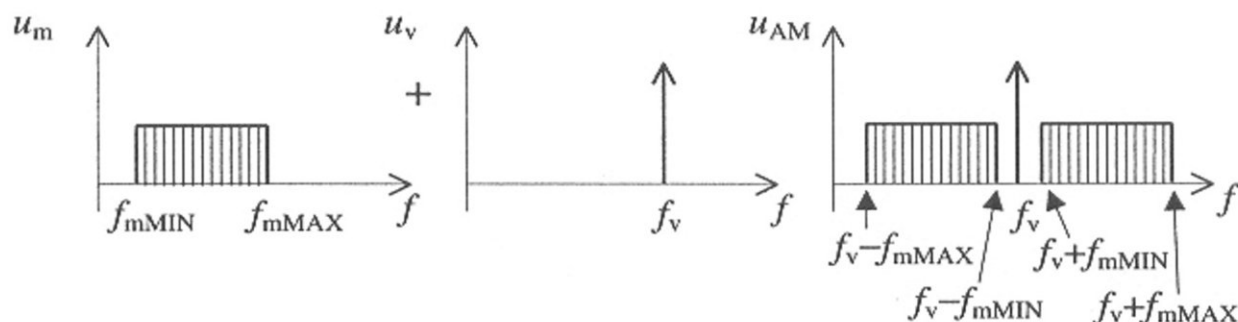
1.5.4. ábra. A modulációs mélység meghatározása

A két oldalsávós AM (AM-DSB) jel spektruma

Bizonyítható, hogy az AM-jel egyetlen szinuszos modulálójel esetén három frekvenciaösszetevőből áll. Ezek:

- maga a vivőjel (ω_v , ill. f_v frekvenciájú komponens),
- egy $\omega_v + \omega_m$ (ill. $f_v + f_m$) körfrekvenciájú szinuszos (koszinuszos) jel,
- egy $\omega_v - \omega_m$ (ill. $f_v - f_m$) körfrekvenciájú szinuszos (koszinuszos) jel.

Ha szélessávú jellel moduláljuk a vivőt akkor belátható, hogy a spektrumban a vivő frekvenciája alatt és felett két frekvenciasáv jelenik meg. Ezeket oldalsávoknak, a modulációt pedig két oldalsávós (angolul AM-Double Side Band, AM-DSB) amplitúdómodulációnak nevezünk.

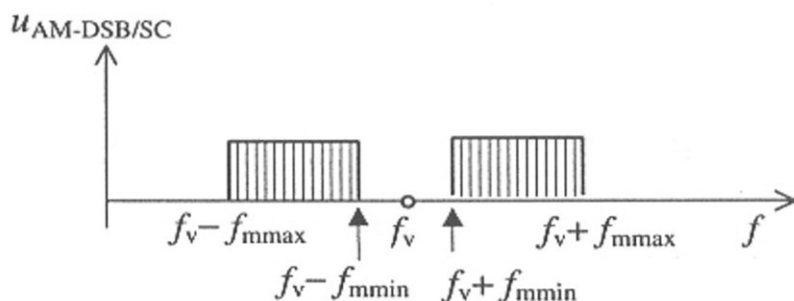


1.5.5. ábra. AM-DSB jel spektruma

Az AM-DSB hátránya hogy az összteljesítmény közelítőleg kétharmadát a nagyfrekvenciás vivő emészti fel. Ezért más modulációkat is alkalmaznak. További AM modulációk:

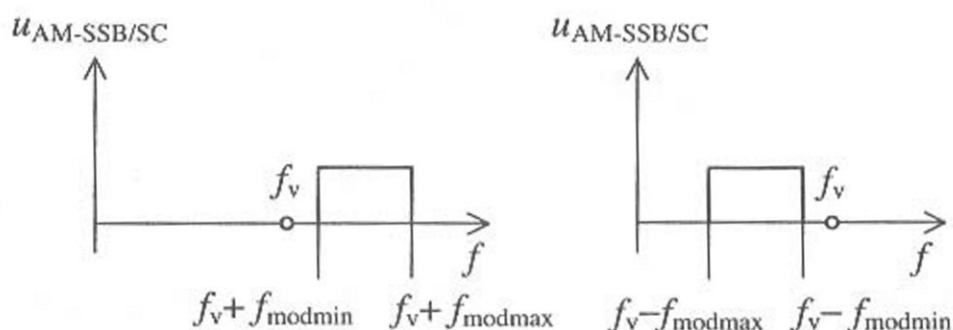
- Két oldalsávós, elnyomott vivőjű AM (AM-DSB/Supressed Carrier, AM-DSB/SC). Ez a modulációs eljárás nem „burkoló” jellegű, mint az AM-DSB. A moduláció jellemzője a *fázisugrás*. Mivel a vivőt nem továbbítjuk, a teljesítményigény kisebb, mint az AM-DSB-nél.

1.5.6. AM-DSB/SC jel spektruma



- Egy oldalsávós, elnyomott vivőjű AM (AM-Single Side Band, AM-SSB/SC). Mivel a modulációs tartalmat bármelyik oldalsáv hordozhatja, elegendő csak az egyik sáv átvitele. Az eljárás sávszélesség igénye fele az AM-DSB-nek.

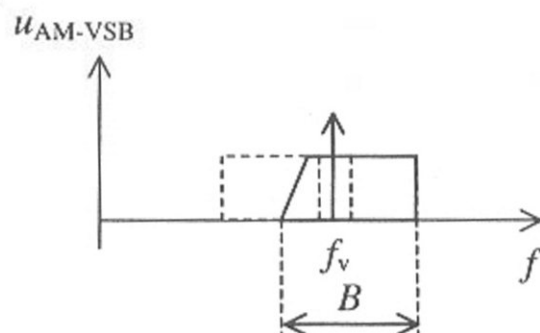
1.5.7. ábra. AM-SSB/SC jel spektruma



- Csonkaoldalsávós AM (AM-Vestigial SB, AM-VSB)

Lényege, hogy a vivő környezetében lévő összetevőket két oldalsávósan, míg a többi összetevőt egy oldalsávósan viszik át. Ennek a modulációs eljárásnak is előnye, hogy a sávszélessége kisebb, mint az AM-DSB rendszeré, viszont a jel demodulálása az AM-SSB/SC demodulációs eljárásánál egyszerűbb. Az eljárást főleg a tv-technikában, a világosságjel átvitelére használják.

1.5.8. ábra. AM-VSB jel spektruma

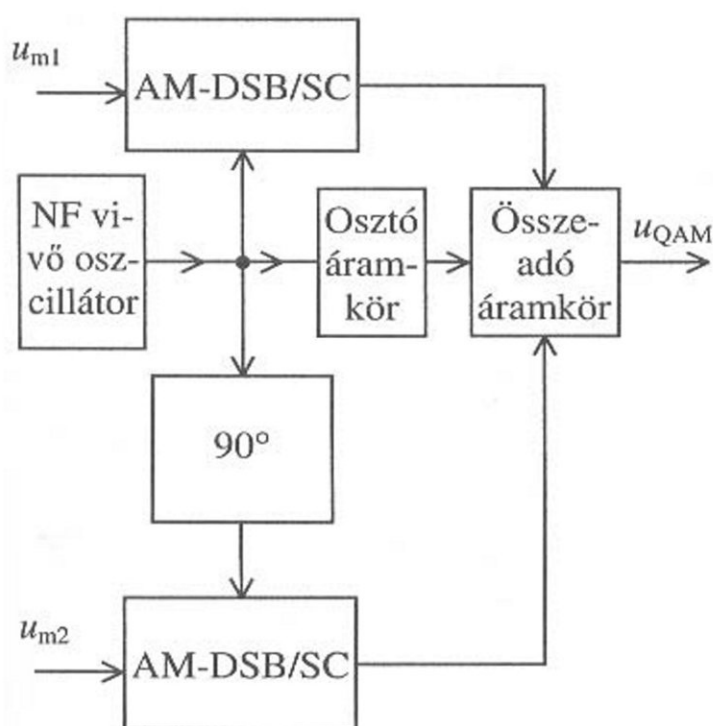


A moduláció gyakorlati megvalósítására alkalmas áramköri megoldás (a részletektől eltekintve) a gyűrűs modulátor és a szorzómodulátor.

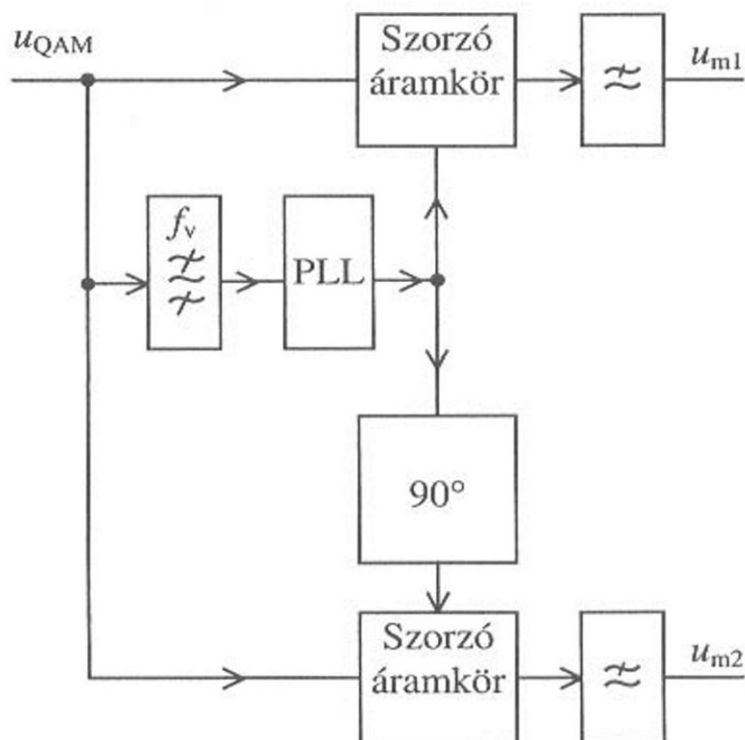
Speciális amplitúdómodulációs eljárások

Az amplitúdómodulációs eljárások speciális változata a független oldalsávós AM, a polármoduláció és a kvadratúra amplitúdómoduláció (QAM). Midegyik eljárás lényege, hogy alkalmazásukkal két független információ vihető át.

A QAM alapelve, hogy a két átvinni kívánt jel egyikével az eredeti vivőjelet, míg a másikkal az eredetihez képest 90° -kal eltolt fázisú vivőjelet modulálják. Ha két vivő között 90° a fáziskülönbség, akkor egyiknek a másik irányába eső vetülete 0, tehát problémamentesen, áthallás nélkül átvihető a két információ. A QAM eljárást alkalmazzák az NTSC és PAL rendszerek a színinformáció átvitelére. A QAM jel létrehozásának és demodulálásának elve az 1.5.9. és 1.5.10. ábrákon látható.



1.5.9. ábra. QAM jel létrehozása



1.5.10. ábra. QAM jel demodulálása

1.5.2. Frekvenciamoduláció

Frekvenciamodulációnál a nagyfrekvenciás vivő pillanatnyi frekvenciája változik a modulálójellel arányosan. Ha analóg modulálójelet alkalmazunk és a modulálófeszültség is változik, akkor az FM-jel időbeli lefolyása során nem tud kialakulni egy adott frekvencia teljes periódusa, azaz a frekvencia minden pillanatban más és más lehet. Ebből következően a pillanatnyi frekvenciát nem lehet az $f = 1/T$ összefüggéssel számolni. Az FM-jel pillanatnyi frekvenciájára leginkább a nullátmenetek környezetében kialakuló jelmeredekségből lehet következtetni.

Frekvenciamoduláció jellemzői

Frekvencialöklet, Δf : A maximális amplitúdó hatására létrejövő maximális frekvenciaváltozás (a legnagyobb eltérés a vivőfrekvenciától), $\Delta f = K_{FM} \cdot u_m(t)$.

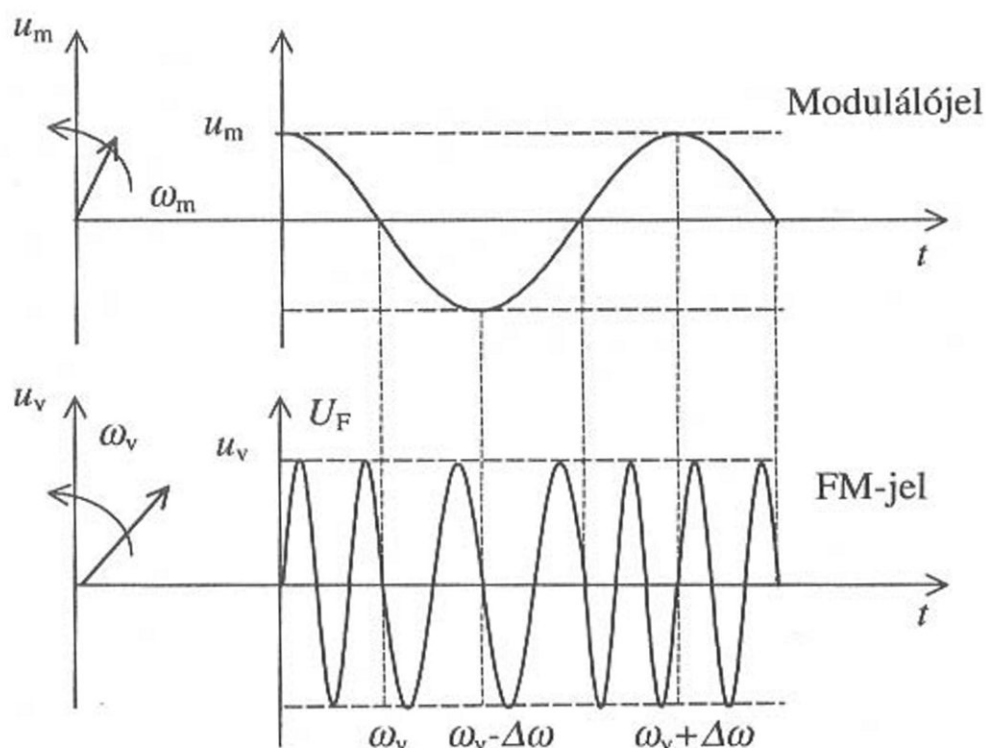
FM-arányossági tényező, K_{FM} : a frekvenciaváltozás modulálójelettől függő sebessége.

Modulációs index, m_f : megmutatja hogy a max. frekvencialöklet hányszorosa a moduláló

frekvenciának: $m_f = \frac{\Delta f}{f_{\text{modmax}}}$.

Fázislöklet, $\Delta\phi$: a modulált jel fázisszögének max. értéke: $\Delta\phi = \frac{\Delta f}{f_{\text{modmax}}}$

Látható, hogy a fázislöklet és a modulációs index azonos értékű fogalmak.



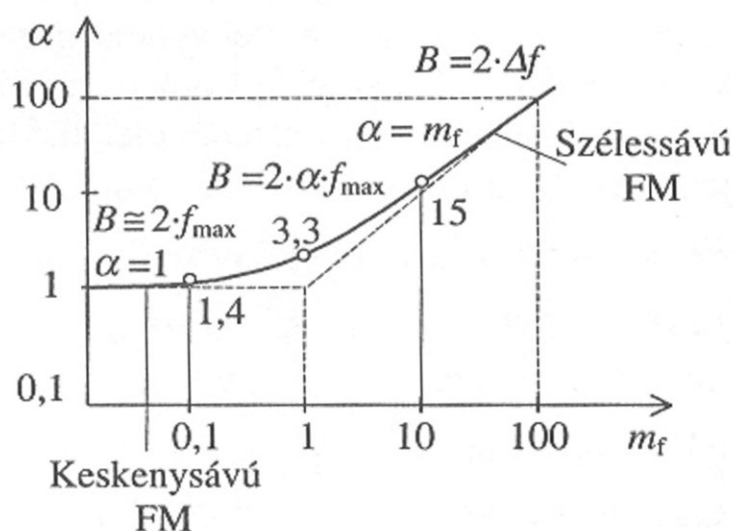
1.5.11. ábra. Az FM-jel időfüggvénye

Frekvenciamodulált jel spektruma

Az FM-jel spektruma különböző modulációs indexek esetén az 1.5.13. ábrán látható.

Egyetlen szinuszos moduláló jel esetén elvileg végtelen sávszélességű a spektrum, továbbá az ábrából látható hogy a spektrumvonalak szimmetrikusan elhelyezkedő, egymástól f_m távolságra lévő, csökkenő amplitúdójú összetevők. A sávszélesség 1.5.12. ábrán látható módon függ az m modulációs indextől.

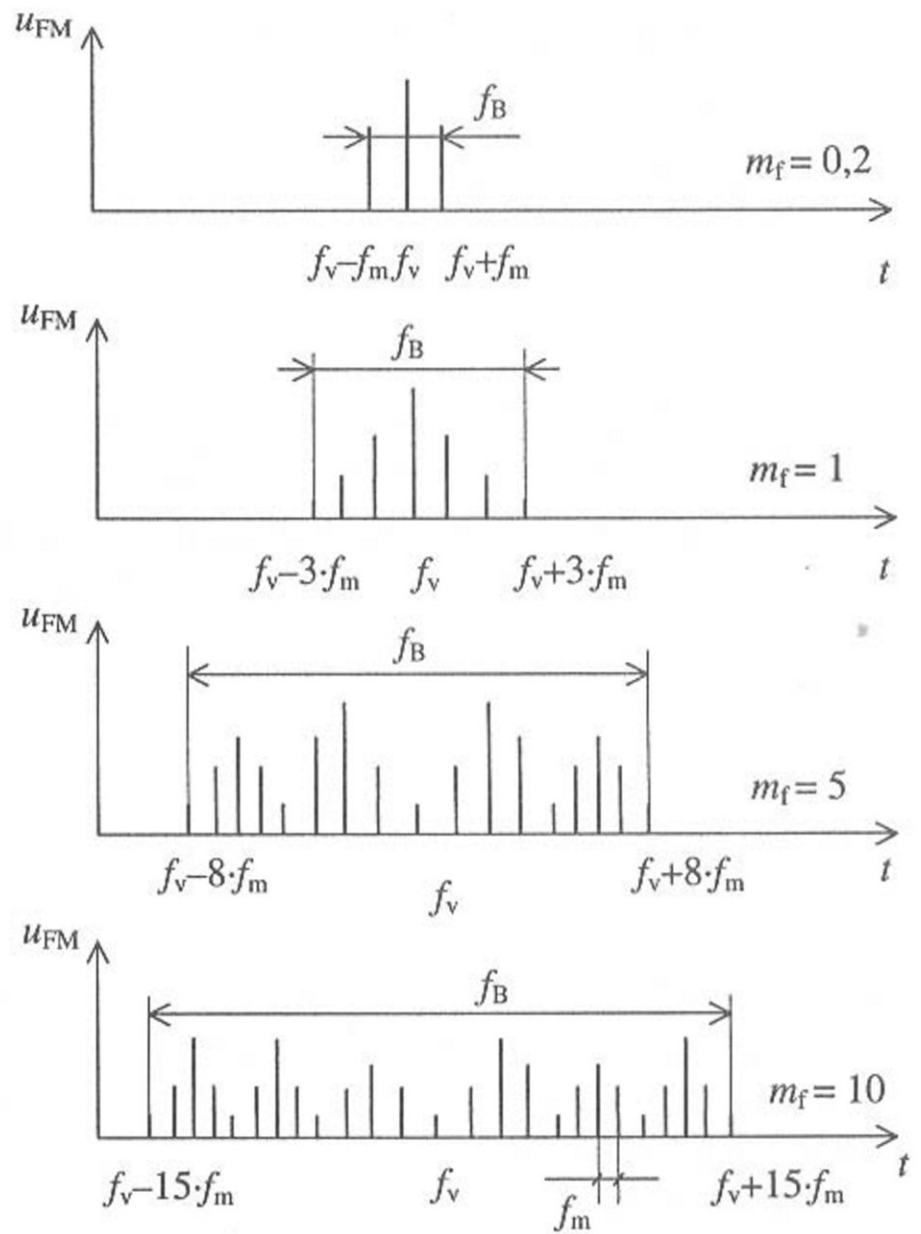
1.5.12. ábra. FM-jel sávszélessége



A grafikonból kapott α érték alapján a sávszélesség a

$$B_{FM} = 2 \cdot \alpha \cdot f_{\text{mod max}}$$

összefüggéssel határozható meg.



1.5.13. ábra. FM-jel spektruma

A frekvenciamoduláció típusai

Szélessávú FM (Wide Band FM, WBFM)

Tipikusan $m_f > 10$, akkor $m_f \approx \alpha$, és ekkor: $B_{WBFM} = \frac{2 \cdot \Delta f \cdot f_{modmax}}{f_{modmax}} = 2 \cdot \Delta f$.

Keskenysávú FM (Narrow Band FM, NBFM)

Tipikusan $m_f < 0,1$, akkor $\alpha \approx 1$, és ekkor: $B_{NBFM} = 2 \cdot f_{modmax} = B_{AM-DSB}$

Normál FM, műsorszórás esetén

Tipikusan $0,1 < m_f < 10$. Ha pl. $f_{modmax} = 15$ kHz, $f_d = 75$ kHz, $\alpha = 8$, $m_f = 5$, akkor

$$B = 2 \cdot 8 \cdot 15 \text{ kHz} = 240 \text{ kHz}.$$

1.5.3. Fázismoduláció (PM)

Fázismodulációnál a vivőjel pillanatnyi fázisa változik a moduláló jellel arányosan. Mivel

$$\Delta\phi = \frac{\Delta f}{f_{\text{modmax}}},$$

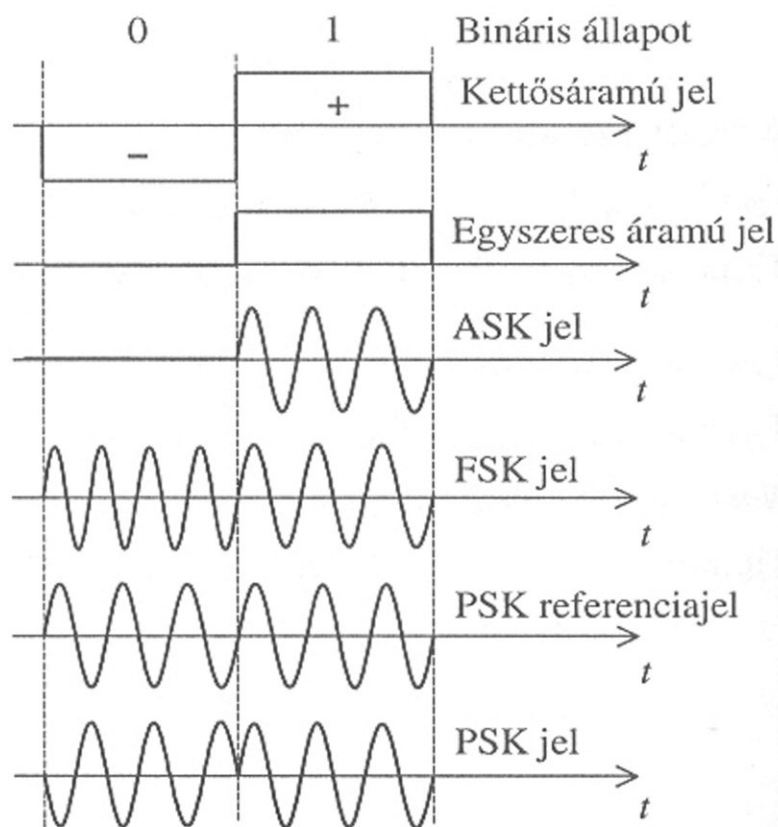
ezért állandó moduláló frekvencia esetén a frekvencia- és fázismoduláció között nincs különbség. Az PM és FM között csak f_{modmax} miatt lehet eltérés.

Néhány fontosabb módszer a fázismoduláció előállítására:

- 90°-kal eltolt AM-jelek összegzése (QAM).
- Utánkapcsolt fázistolós eljárás.
- A vivőhöz képest 90 fokkal eltolt oldalhullámok szuperpozíciója.

1.5.4. Billentyűzés

Billentyűzésnek nevezzük a szinuszos vivő digitális jellel történő modulációját. A digitális jelsorozat többnyire kétféle elemi jel kombinációjából áll. A kétféle jel előállítása történhet kettősáramú üzemmóddal (pozitív és negatív impulzusokkal), vagy egyszeres áramú üzemmóddal (jel és szünet impulzusokkal). A digitális jellel a szinuszos vivő amplitúdója, frekvenciája vagy fázisa módosítható. Ennek megfelelően a billentyűzésnek különböző változatait alkalmazzák (1.5.14. ábra).



1.5.14. ábra. Kétállapotú billentyűzés

Amplitúdóbillentyűzés (Amplitude Shift Keying, ASK)

A bináris kódolás szimbólumai (1; 0) reprezentálhatók egy szinuszjel-csomag kiadásával (1) és megszakításával (0).

Frekvenciabillentyűzés (Frequency Shift Keying, FSK)

A bináris kódolás szimbólumai (1; 0) reprezentálhatók kétféle frekvenciájú ($f_1 \rightarrow 1$, ill. $f_2 \rightarrow 0$, ahol $f_2 > f_1$) jel megjelenítésével.

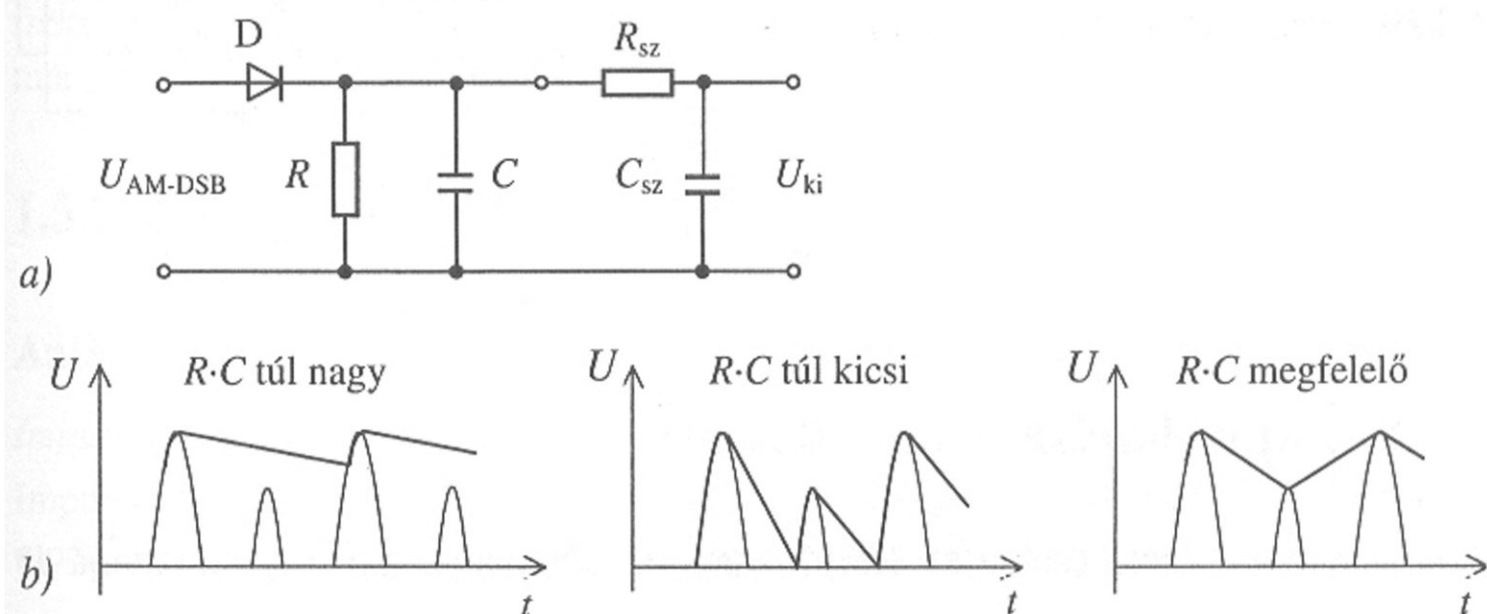
Fázisbillentyűzés (Phase SK; PSK)

A bináris kódolás szimbólumai itt is kétállapotúak (1; 0); reprezentálhatók egy referencia jelhez képesti azonos fázisú (1), valamint egy megváltozott (0) fázisú jel kiadásával. A fázisbillentyűzéssel a 7.1.1. pontban részletesebben foglalkozunk.

1.5.5. Demodulátorok**AM demodulátorok**

Soros diódás demodulátor (1.5.15. ábra):

Csak vivővel rendelkező (AM-DSB) modulált jelnél használható. A modulálójel visszanyerése egyenirányításból és az egyenirányított jel szűréséből áll.



1.5.15. ábra. Soros diódás demodulátor

a) a demodulátor; b) az RC -időállandó megválasztása

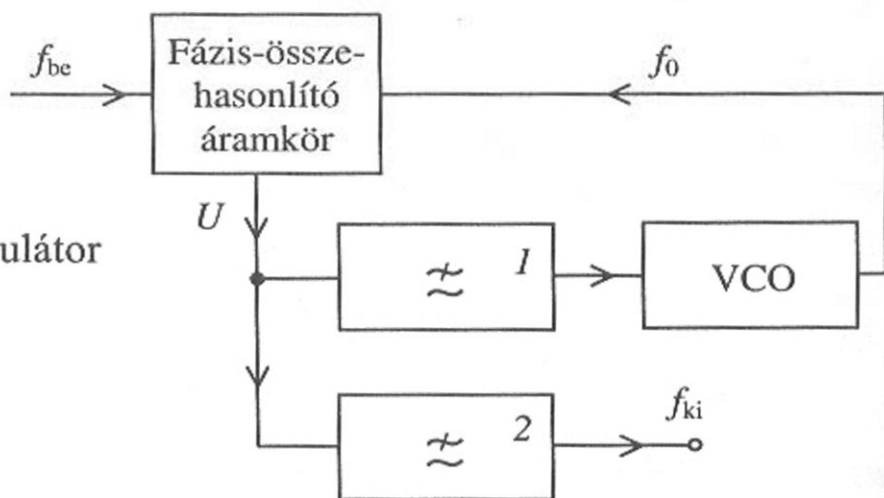
A gyakorlatban még párhuzamos diódás és szorzó áramkörös AM-demodulátort is alkalmaznak.

FM demodulátorok

Az FM-demodulálás előtt fontos a határolás, mivel az FM érzékeny a járulékos AM-re, így a zajra is (káros AM-jel kiküszöbölése).

Az FM-demodulátorok fontosabb típusai a következők: félrehangolt rezgőkörös, fázisösszehasonlításos, számláló típusú, szorzó áramkörös, koincidencia áramkörös és fáziszárt hurkos (PLL-es) demodulátor.

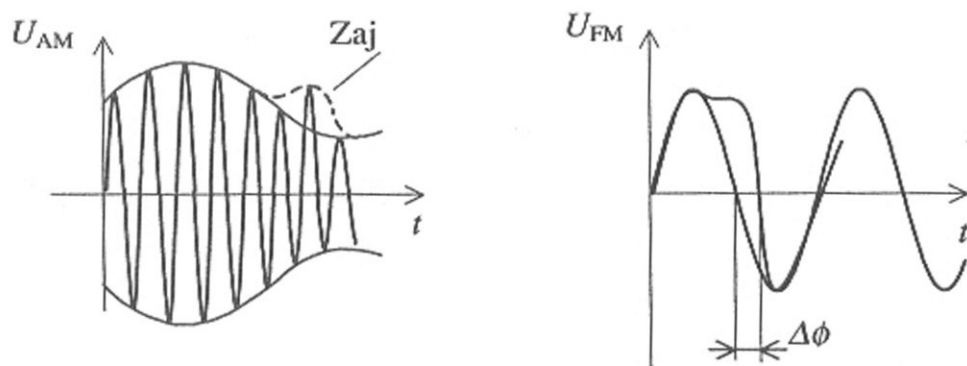
A PLL-es FM-demodulátorban két aluláteresztő szűrőt alkalmaznak. Az egyik csak a min. moduláló frekvencia alatt, míg a másik a max. moduláló frekvencia alatt enged át (1.5.16. ábra). Az f_0 és a moduláció miatt változó f_v közötti eltérés olyan hibajelet ad, amelynek egyenszintje az $f_v - f_0$ különbségtől, változó komponense pedig a modulált vivőfrekvencia változásaitól függ. Mivel az 1 szűrő csak az egyenszintet engedi át, a VCO a vivőre áll be. A fázis-összehasonlítóra ezután a vivő és moduláció miatt változó bejövő vivő kerül. A fázis-összehasonlító kimenetén megjelenő jel a moduláció miatti frekvenciaváltozástól függ és ezt a 2 szűrővel szűrve a moduláló jelet kapjuk vissza.



1.5.16. ábra. PLL-es FM-demodulátor

1.5.6. Zajok hatása a modulációra

Amplitúdómoduláció esetén az 1.5.17. ábrából láthatóan a zaj megváltoztatja az információt.



1.5.17. ábra. Zajok hatása a modulációra

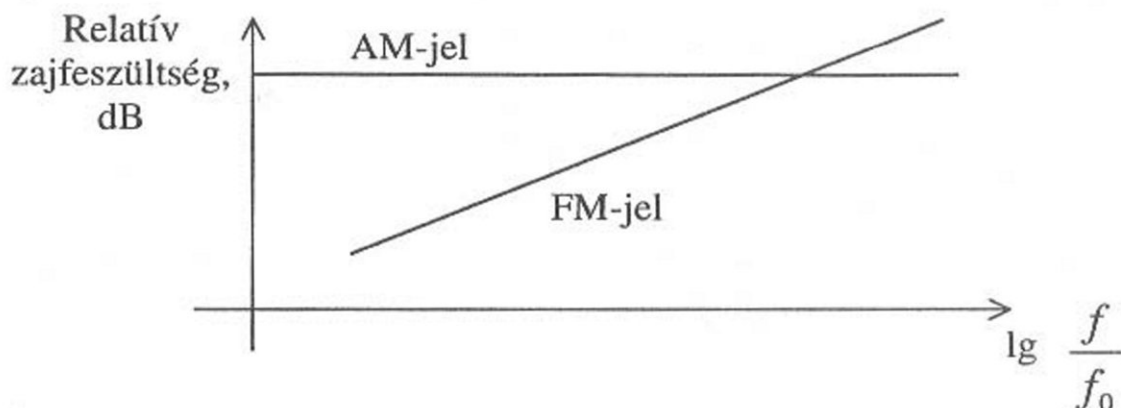
A jel-zaj viszony AM esetén az

$$S/N_{AM} = U_{jel}/U_{zaj}$$

összefüggéssel, míg FM esetén az

$$S/N_{FM} = (U_{jel}/U_{zaj}) \cdot (\Delta f/f_{zaj})$$

képlettel számítható. A zajfeszültség frekvenciafüggését AM és FM esetén az 1.5.18. ábrán láthatjuk.



1.5.18. ábra. A zaj alakulása AM- és FM-jel esetén a frekvencia függvényében

Frekvenciamodulált jelek zajának csökkentése előkiemeléssel (preemfázis) és utóelnyomással (deemfázis) valósul meg. Az adóoldali előkiemelést egy RL -tag frekvenciafüggését felhasználva, a vevőoldali utóelnyomást pedig egy RC -tag frekvenciafüggését felhasználva alakítják ki (f_T helyett a τ időállandó értékét adják meg, $\tau = R \cdot C$, ill. $\tau = L/R$).

1.5.7. Impulzusmodulációk

Analóg impulzusmodulációk

Impulzusamplitúdó-moduláció (PAM)

Impulzusamplitúdó-moduláció esetén egy négyszögimpulzus-sorozat amplitúdóját moduláljuk. A gyakorlatban az unipoláris és a bipoláris PAM eljárást alkalmazzák.

Impulzusidő-modulációs (PTM) eljárások

Az impulzusidő-modulációnak a gyakorlatban háromféle változatát különböztetjük meg.

- Impulzusszélesség-moduláció (PWM, PDM) esetén a négyszögimpulzus-sorozat impulzusainak az időtartamát (szélességét, hosszúságát) moduláljuk.
- Impulzushelyzet-moduláció (PPM) esetén a négyszögimpulzus-sorozat impulzusainak helyzetét (fázisát) moduláljuk.
- Impulzusfrekvencia-moduláció (PFM) esetén a négyszögimpulzus-sorozat impulzusainak a pillanatnyi frekvenciáját moduláljuk.

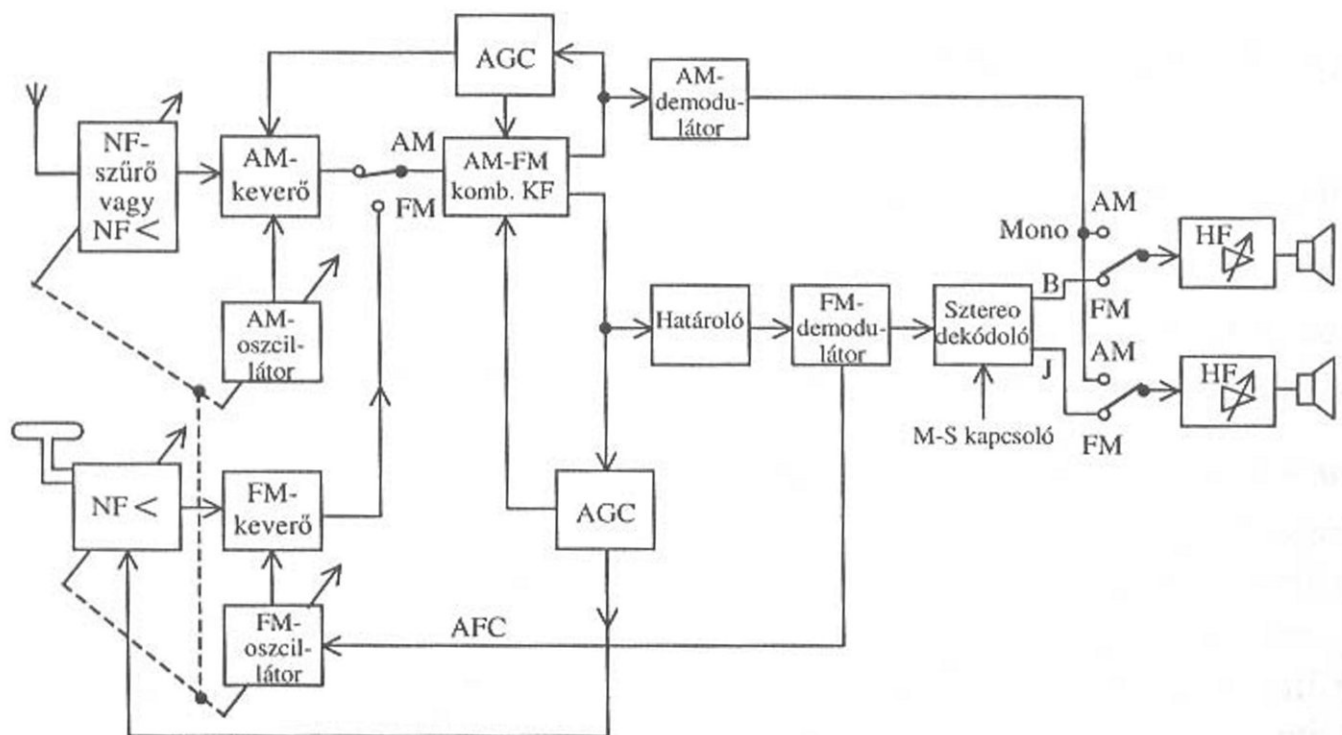
Digitális impulzusmodulációk

Az eddigi impulzusmodulációs eljárások vivőjelként impulzussorozatot, modulálójelként analóg jelet használtak. A digitális impulzus moduláció modulálójelként is digitális jelet (impulzusokat) alkalmaz. Az impulzus-kódmoduláció (PCM) esetén a moduláló jellel nem a négyszögimpulzus-sorozat alakú vivő valamilyen jellemzőjét változtatjuk, hanem a modulálójel mintavételezéssel kapott pillanatnyi amplitúdó értékéhez egy meghatározott impulzussorozatot (kódot) rendelünk. Az így előállított négyszögimpulzus-sorozat csak közvetett módon, kódolva tartalmazza a továbbítandó jelet, mivel a modulátor a mintavételezett jel értékéhez egy kódszót rendel. A PCM-jel létrejöttéhez az analóg jelet digitálissá kell alakítani, vagyis a jelet mintavételezni, kvantálni és kódolni kell.

A PCM egy változata az *impulzus-deltamoduláció (PDM)*, amely a két egymást követő minta különbségéhez rendel egy kódszót.

1.6. Televízió- és rádió-vevőkészülék általános felépítése

1.6.1. Rádió-vevőkészülék

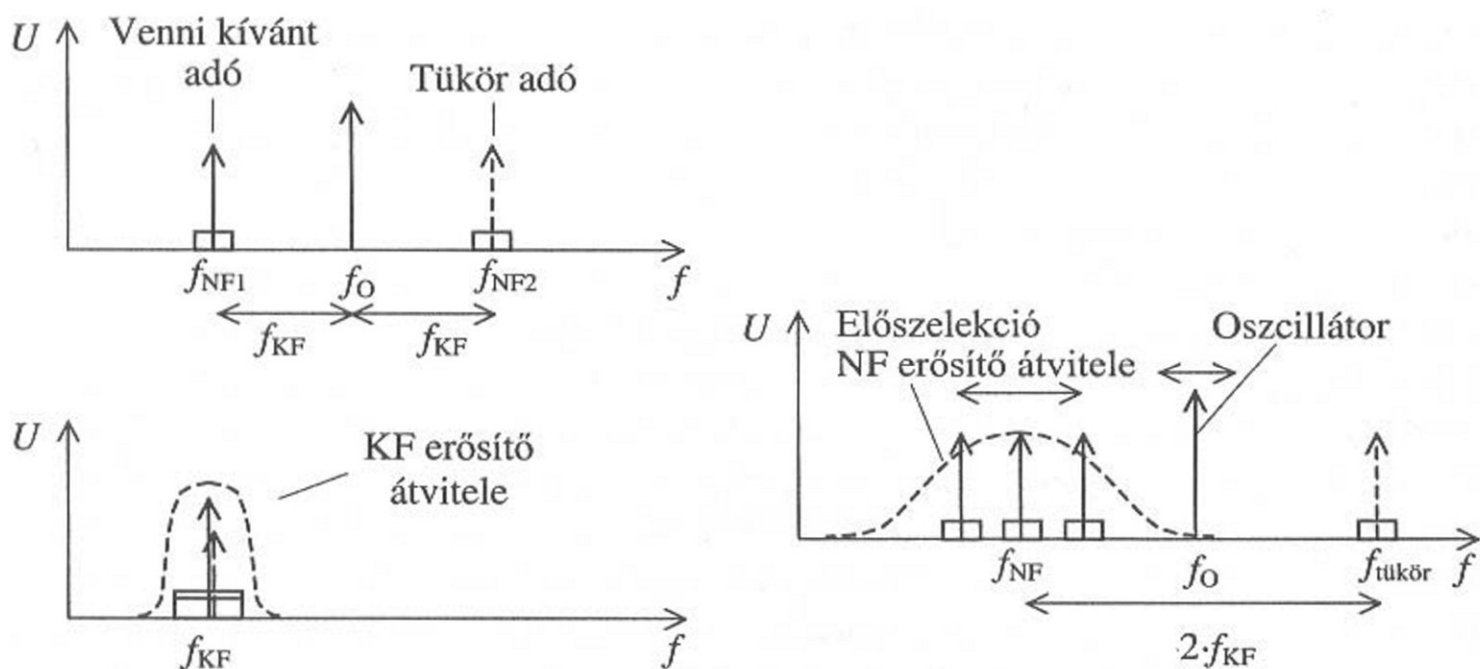


1.6.1. ábra. AM-FM kombinált rádió-vevőkészülék tömbvázlata

Napjainkban többnyire az AM-FM kombinált rádió-vevőkészüléket készítene, ezért ennek a felépítését és működését követjük végig. Az AM- vagy FM-vételt üzemmód kapcsolóval állíthatjuk. Az információ kiindulási pontja a stúdió, innen a hangfrekvenciás jelek rádióadóknál egy nagy szintű, nagyfrekvenciás (NF) vivőt modulálnak. Az adóberendezés antennája a modulált NF vivőt elektromágneses hullámok formájában sugározza ki. Ez a jel érkezik a vevő antennájára. A rádióműsor-szórásra használt sávok közül a HH, KH és RH tartományokban amplitúdómodulációt (AM), az URH tartományokban pedig frekvenciamodulációt (FM) alkalmaznak. A vevőkészülék szuperheterodin (szuper) elven működik, aminek a lényege, hogy a venni kívánt NF- (f_{NF}) jelet lekeverjük egy ún. középfrekvencián (KF; állandó frekvencián) működő erősítő frekvenciasávjába. Így a nagyfrekvenciás erősítés nagyobbik része állandó frekvencián történik. Az ábrán látható, hogy az antennáról érkező kis szintű jel a hangolható nagyfrekvenciás erősítőre jut. Itt valósul meg az antennaillesztés, előerősítés és a következő fokozatok számára az előkiválasztás. Innen a keverőre jut a jel. A keverés régebben nemlineáris jelleggörbéjű eszközzel, jelenleg két vezérlő bemenetű szorzó áramkörrel (pl. dual gate MOSFET) történhet. A keverő másik bemenetére az oszcillátor jele jut. Ennek frekvenciáját attól függően választják meg, hogy milyen (alsó: $f_0 < f_{NF}$ vagy felső $f_0 > f_{NF}$) keverést alkalmaznak. A vevőkészülék NF-erősítőjét, a keverőt és az oszcillátor fokozatot együtt hangoló egységnek (tunernek) is nevezik. A hangolás nagyon régen ferritmagos tekercsekkel, később forgókondenzátorral történt. Napjainkban pedig a jobb paraméterekkel rendelkező elektronikus hangolású, varicap diódás rezgőköröket alkalmazzák, így a NF-fokozat és oszcillátor kör feszültséggel hangolható. Előre beállított hangolófeszültségekkel (varicap diódás alkalmazás) a programozhatóság is lehetővé válik.

A felépítésből látható, hogy az NF- és KF-fokozatok erősítése szabályozott (AGC, Automatic Gain Control). Erre azért van szükség, mert különben a különböző térerősségű adók jelét nem hallanánk azonos hangerősséggel. A szabályozó jel előállítását a vivőfrekvencia amplitúdójának figyelésével történik, még a demodulátor előtt. Az AGC áramkörök egyik fontos típusa a szintbeli késleltetéssel működő AGC. A keverő kimenetéről a jel a KF-erősítőre jut. A keverés alkalmával azonban egyaránt lejátszódik az alsó és felső keverés is, ami azt jelenti, hogy a KF-sávba keveredhet egy idegen adó jele is, ami f_{KF} -re van az f_0 oszcillátor frekvenciától. Ez a tükrőfrekvencia, az úgynevezett tüköradó (f_t) frekvenciája. Így a venni kívánt és nem kívánatos adó jelét a későbbiekben nem lehet szétválasztani. A problémát úgy küszöbölik ki, hogy a NF-erősítőt is hangolják, ami így az erősítés mellett előkiválasztást is végez és a tükrőfrekvenciás jel már nem jut el a keverőre. A vevőnek azt a tulajdonságát, hogy milyen mértékben képes megkülönböztetni a két jelet (f_t és f_{NF}), tükrőszелеktivitásnak nevezzük.

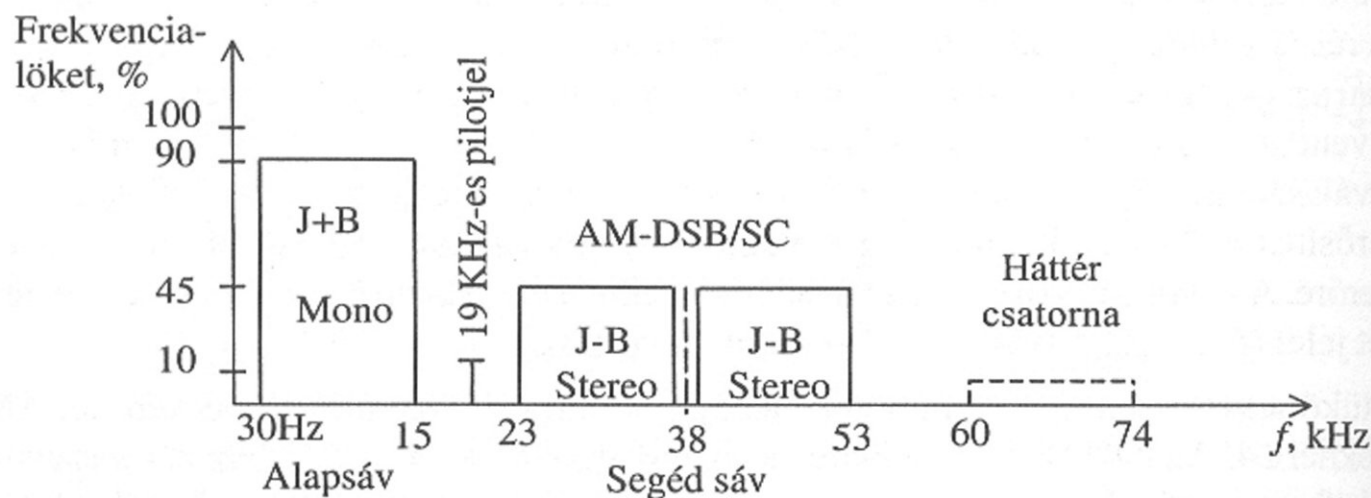
A „tüköradó” és egyéb szempontok alapján kompromisszumos döntésként az AM-vevőknél a 450...480 kHz közötti frekvenciát, FM-vevők esetén a 10,7 MHz-et választották középfrekvenciának. Azért, hogy az f_{KF} értéke ne változzon az adók kiválasztása folyamán, az oszcillátort és az NF-erősítőt együtt kell hangolni. A hangolás során garantálni kell, hogy az f_{NF} és f_0 távolsága mindig f_{KF} -et adjon. Ezt együttfutásnak nevezzük.



1.6.2. ábra. Tüköradó és a NF-erősítő átvitele

A frekvenciaszintetizátoros hangolóegység digitális hangolású. A hangolóegységben PLL állítja elő a kvarc pontosságú, stabil oszcillátor frekvenciát és ez vezérli az elektronikus (varicap diódás) hangolású kört is. Az eljárás előnyei: kvarc pontosságú oszcillátor frekvencia (nem kell automatikus frekvenciaszabályozás, AFC), a digitális frekvenciakijelzés lehetősége, programozható és tárolható állomásválasztás, automatikus (elektronikus) állomáskereső.

A keverőfokozatról érkező jelet kb. 60 dB-re erősíti a KF-erősítő (ilyen erősítés szükséges a demodulátor megfelelő szintű meghajtásához). A KF-jelleggörbe kialakítása diszkrét elemekkel, sávszűrővel vagy piezoelektromos felületi hullámszűrővel történhet. (Utóbbi esetben a KF-szűrőt az erősítőfokozat elé helyezik, majd a nagy csillapítást nagy erősítéssel (integrált áramkörrel) kompenzálják. Az ilyen elrendezést blokkiszűrős KF-erősítőnek nevezik.



1.6.3. ábra. Sztereo multiplex jel spektruma

A demodulálás után AM-jel esetén a HF-fokozatra, majd a hangszóróra jut a jel. FM-jel esetén a demodulátor előtt határolni kell a jelet. A demodulátorban állítják elő az elhangoltságra utaló AFC (Automatic Frequency Control) jelet, amivel az oszcillátor frekvenciáját megfelelő irányba korrigálják, majd a demodulálás után a sztereo multiplex (MPX) jelet dekódolni kell. A sztereo MPX jel tartalmazza a monó (J+B) és sztereó (J-B) információt. Utóbbi kétoldalsávosan, elnyomott vivővel helyezkedik el a spektrumban. Itt helyezkedik el a pilotjel is, amiből a vevőoldalon elő tudják állítani a fázishelyes vivőt. A sztereó dekódolás után két úton (bal és jobb csatorna) haladnak a jelek.

A hangerősítő lehet többfokozatú, amely hangerőszabályzó (fontos a fiziológiai hangerő szabályozás) és hangszínszabályzó (a hangzás egyedi, kis mértékű átalakítása), valamint balansz szabályzó (a jobb és bal csatorna közötti aszimmetria kiegyenlítése) elemekkel, továbbá kijelző (pl. LCD panel) és kezelőszervekkel (pl. távvezérlő) egészül ki.

1.6.2. Tv-vevőkészülékek

A televízióképet képpontonként, képelemekre bontva viszik át. Egy kép 625 sorból áll, másodpercenként 25 képet (50 félképet) visznek át (sorfrekvencia $f_H = 15\,625$ Hz, a soridő $T_H = 1/(15\,625 \text{ Hz}) = 64$ ms). Az átvitelnél a váltott soros letapogatás alkalmazzák, amelynek lényege, hogy félképeket (312,5 sor) visznek át. Egyik félképnél fél sorral kezdenek, és egészzel fejezik be, míg a másikinál egész sorral kezdenek, és féllel fejezik be.

Fontos követelmény, hogy a képfelbontás és képvisztaadás azonos ütemű legyen. Az ezt megvalósító folyamatot szinkronizálásnak, a megvalósító jeleket szinkronjeleknek nevezik. A szinkronjeleket a sorok (sorszinkron) és a félképváltás (képszinkron) előtt helyezik el.

Az 1.6.4. ábrán egyetlen tv-sor szabványos videojelét, valamint az összetett sorszinkron és képszinkron jelek felépítését, jellemző adatait vizsgálhatjuk.

Megjegyzendő a videojel sávszélessége 5(6) MHz (szabványfüggő is). A kép és a hangvivő meghatározott távolságra van egymástól (pl. 5,5 MHz).

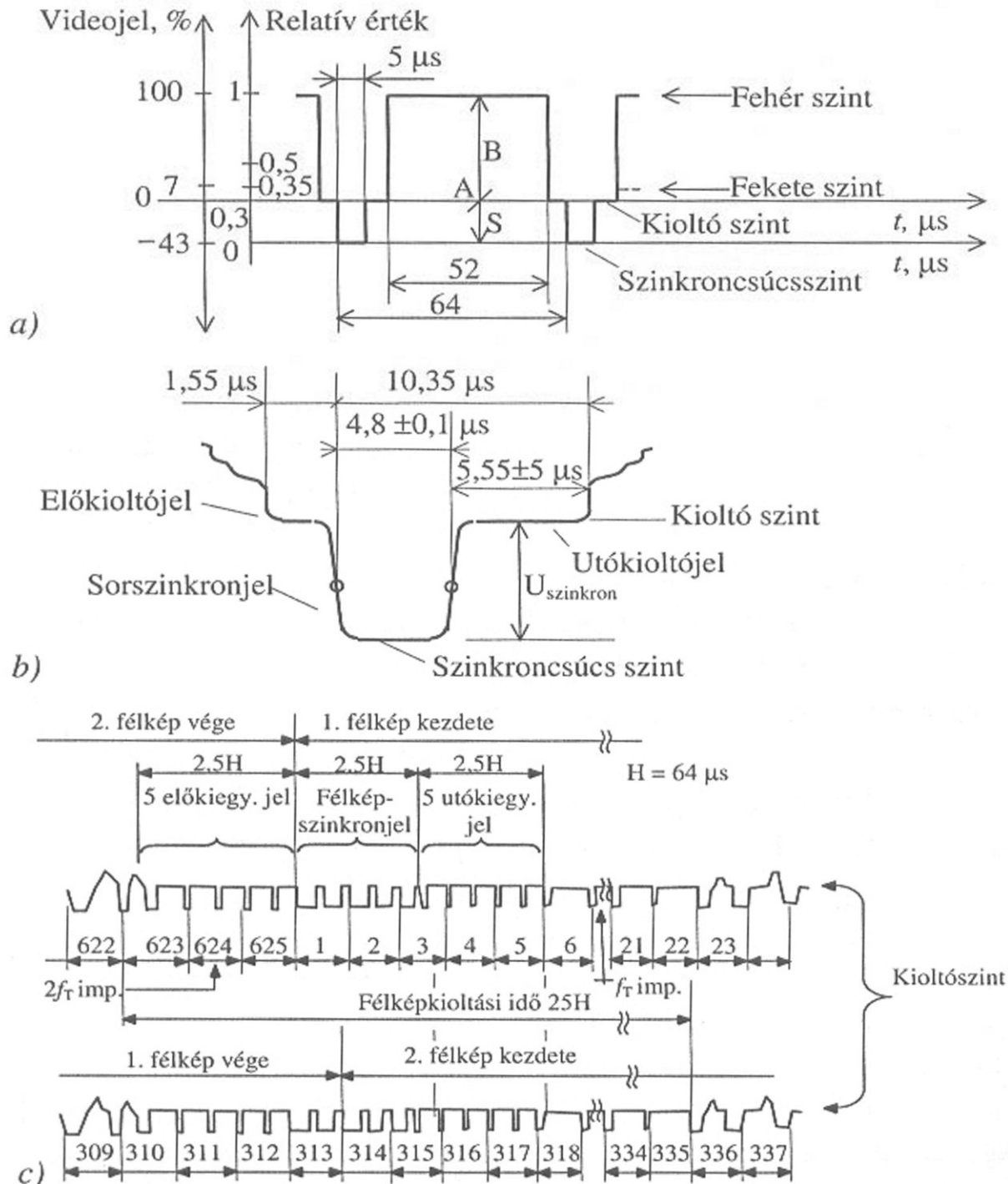
Földi műsorszórásnál a képet AM-VSB-modulációval, míg a hangot FM-modulációval viszik át. A képátvitelnél többnyire a kevésbé zavarérzékeny negatív modulációt alkalmazzák (a videojel növekedéséhez csökkenő vivő amplitúdó tartozik, 1.6.5. ábra).

A spektrumban látható a színinformáció elhelyezkedése. A színes tv-rendszereknél színekülönbségi jelekkel dolgoznak ($U_R - U_Y$: vörös színekülönbségi jel, $U_G - U_Y$: zöld színekülönbségi jel, $U_B - U_Y$: kék színekülönbségi jele). Mivel a fekete-fehér tv vezérlőjelét (Y, BAS, világosság jel) is át kell vinni a kompatibilitás (fekete-fehér és színes) miatt, elegendő csak két színekülönbségi jelet átvinni (bármelyik előállítható az Y világosságjelből és a másik kettőből). Mivel a zöld színekülönbségi jel a legérzékenyebb a zavarokra, ezt nem viszik át. A képcső számára mátrix áramkörökkel állítják elő a vezérlő (R, G, B) jeleket.

A világosság információt (Y) az

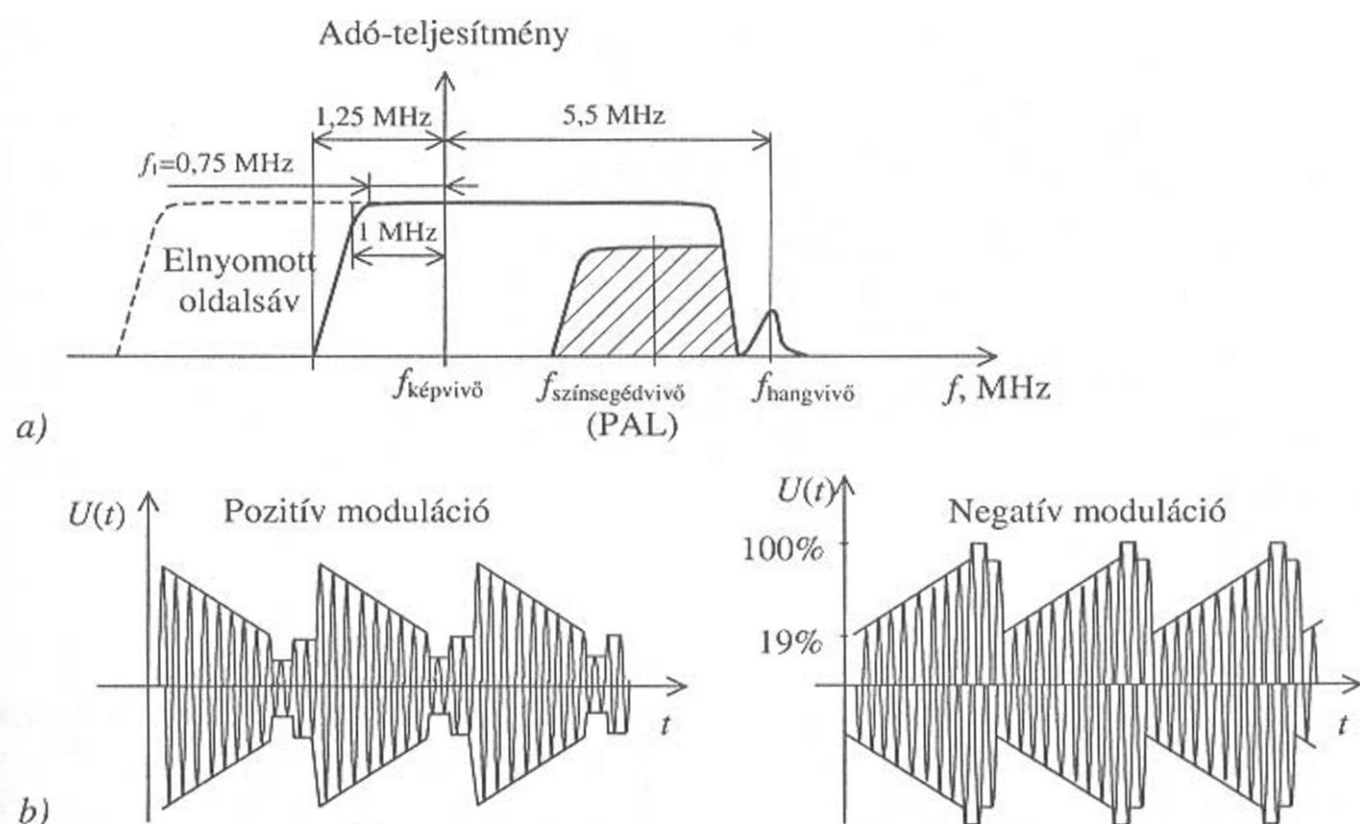
$$U_Y = 0,3 \cdot U_R + 0,59 \cdot U_G + 0,11 \cdot U_B$$

világosságjel egyenlet alapján, mátrix áramkörökkel állítják elő. Az alkalmazott színes tv-rendszerek az Secam, NTSC és PAL rendszer. Utóbbi kettőnél QAM eljárással viszik át a színinformációt, míg Secamnál FM-mel. A QAM-es rendszereknél a szín-segédvívót elnyomják, hogy a képen ne okozzon látható zavarokat. A vevőben viszont szükséges a szín-segédvívó a dekódoláshoz, ezért színszinkron (burst) jelet alkalmaznak, amit a szinkronjel utókioltó vállán helyeznek el.



1.6.4. ábra. Televíziós jelek

a) egy fekete-fehér tv-sor videojelének szerkezete; b) sorszinkron- és kioltójel; c) összetett félkép-szinkronjel



1.6.5. ábra. A tv-jel spektruma és a képjel modulációja

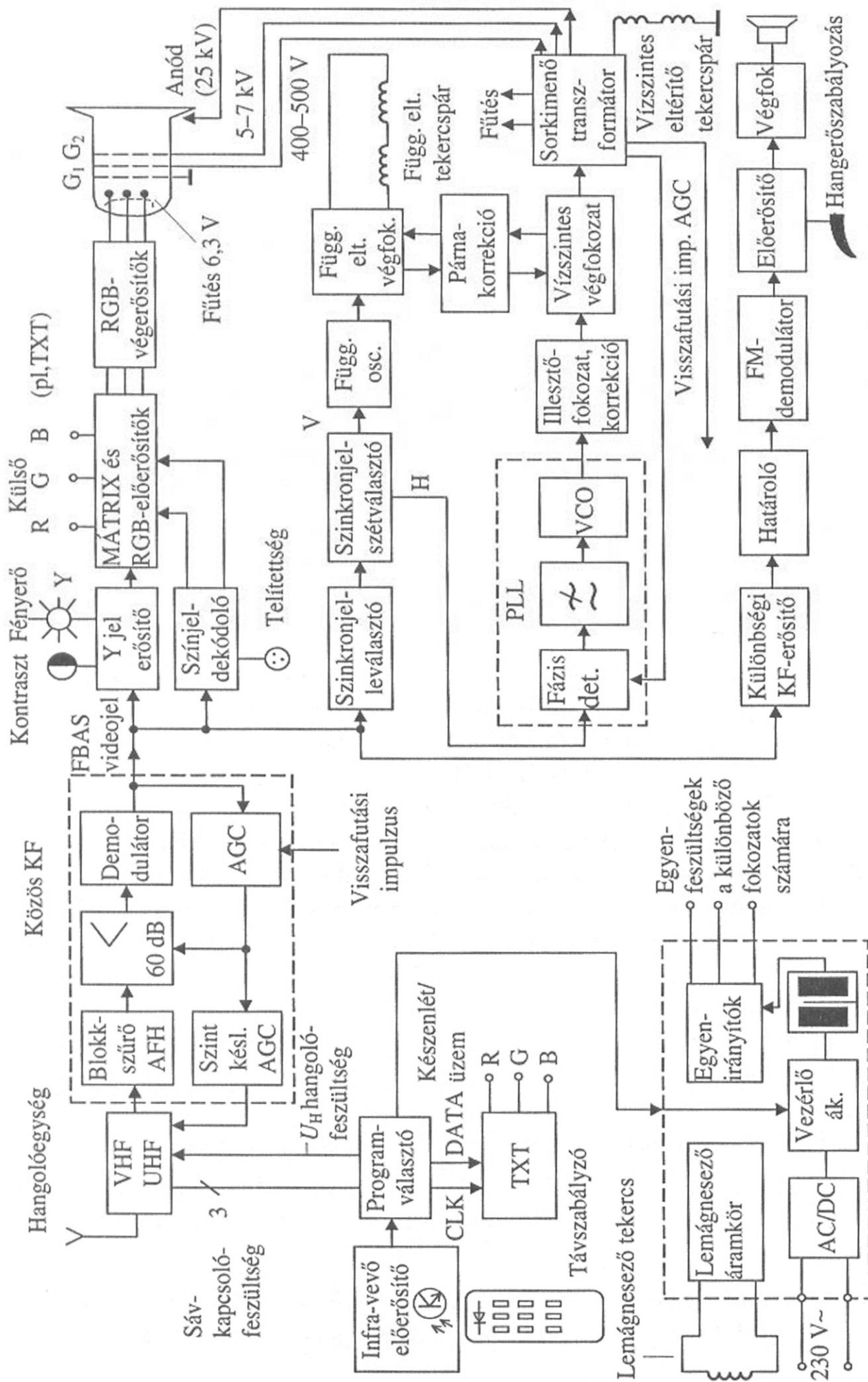
a) tv-adó összetett jelének frekvenciaspektruma; b) a pozitív és negatív moduláció

Az 1.6.6. ábrán egy szuper rendszerű, ún. intercarrier hangátvitelű tv-vevőkészülék elvi felépítése látható. Működése: az antennáról a jel a nagyfrekvenciás hangolóegységbe (tunerbe) kerül. A hangolóegység széles frekvenciatartományban működik (47...860 MHz), amit három sávra bontanak (VHF I, VHF III, UHF). A sávok átváltása sávvaltó feszültséggel (kapcsolódiódákkal), míg a sávokon belüli folyamatos hangolás varicap diódákkal történik. Mivel a kialakított csatornák száma kevésnek bizonyult, ezért a kábelhálózatok számára engedélyezték a sávok közti frekvenciák alkalmazását is. Ezek vételére is alkalmas tunerek a kábel, ill. hipersávós tunerek. A tunerrel szembeni követelmények a következők:

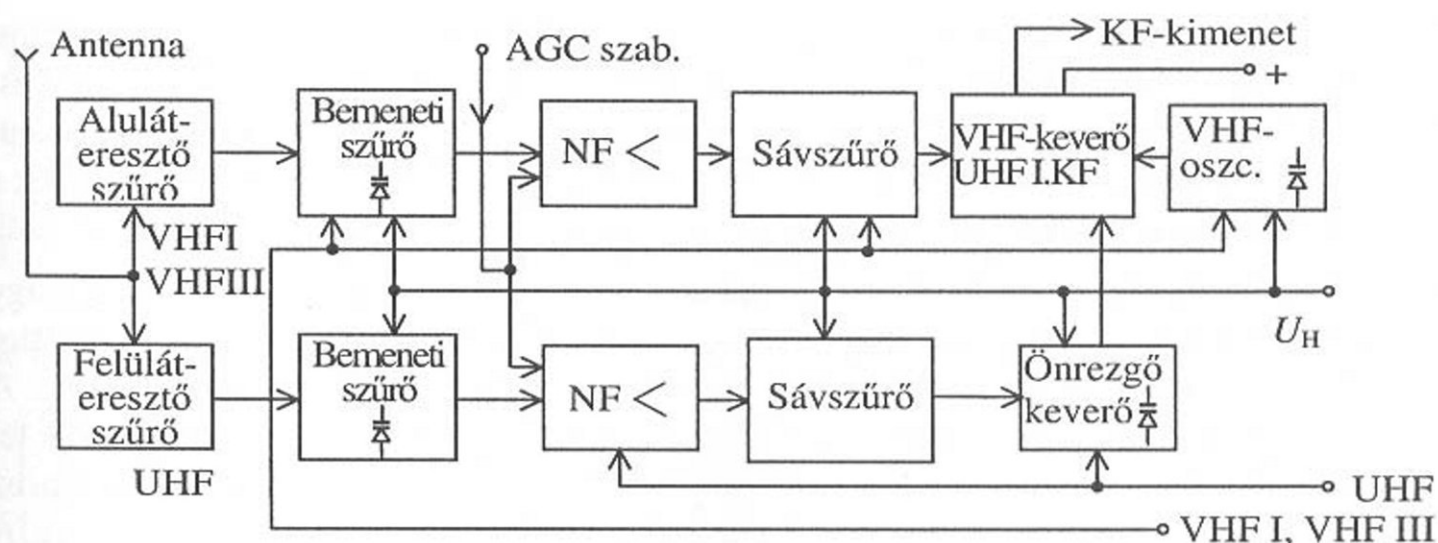
- az antenna illesztése a vevőkészülékhez (75Ω),
- a szabványnak megfelelő 7–8 MHz-es sáv szélesség,
- 20–40 dB-es erősítés (ha $U_{be} = 20\text{--}100 \text{ mV}$),
- jó jel/zaj viszony,
- kis gerjedékenységi tényező,
- kis kereszt- és intermodulációs torzítás,
- a bemeneti jelek középfrekvenciás (KF) sávba való transzponálása.

A jel útja és a tuner felépítése az 1.6.7. ábra alapján követhető. Megjegyzendő, hogy a NF-erősítők, valamint a VHF keverő és az első KF-erősítő is automatikus erősítésszabályozásúak.

A tunerből a KF-erősítőbe helyeződik át a vívó és vele együtt a modulációs tartalom is. A tunerben alkalmazott felső keverés miatt a lekevert KF-jel fordított fekvésű.



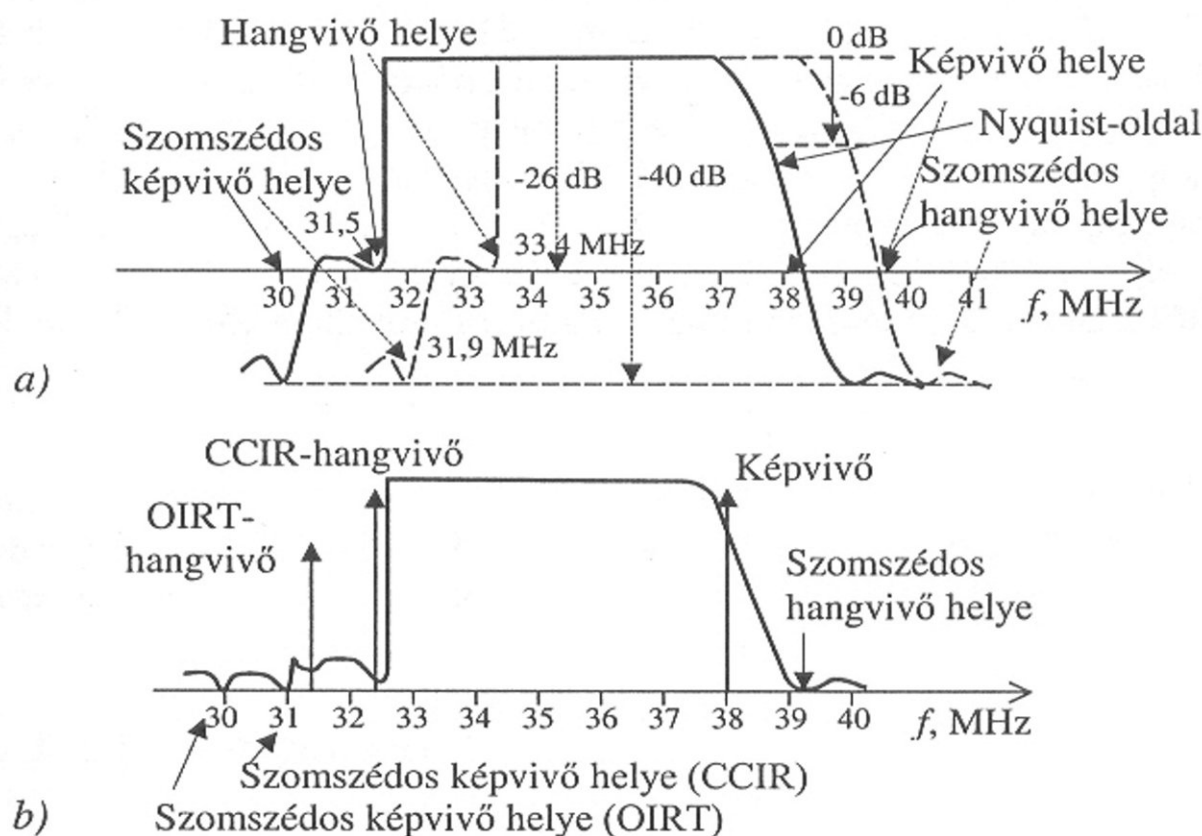
1.6.6. ábra. A tv-vevőkészülék általános felépítése



1.6.7. ábra. A tuner elvi felépítése

A KF-erősítő KF-tartományára kompromisszumos megoldásként a 30 – 40 MHz-es sávot választották. Így a kép-KF vivőfrekvenciája $f_{\text{KF kép}} = 38 \text{ MHz}$ (OIRT), ill. 38,9 MHz (CCIR) lett. Egyéb követelmények a KF-erősítővel szemben:

- megfelelő gerjedésmentes erősítés (100 dB),
- AGC-zett szabályozás, megfelelő átviteli jelleggörbét kialakítása,
- AM-VSB-nek megfelelő Nyquist-oldal, valamint a hangpad kialakítása (hogy a hang ne okozzon zavart a képben és a hang-, ill. képjel szétválasztása könnyű legyen),
- szomszédos csatornák csillapítása (kétnormás kialakítás).



1.6.8. ábra. A kép-KF átviteli jelleggörbéje
a) egynormás; b) kétnormás

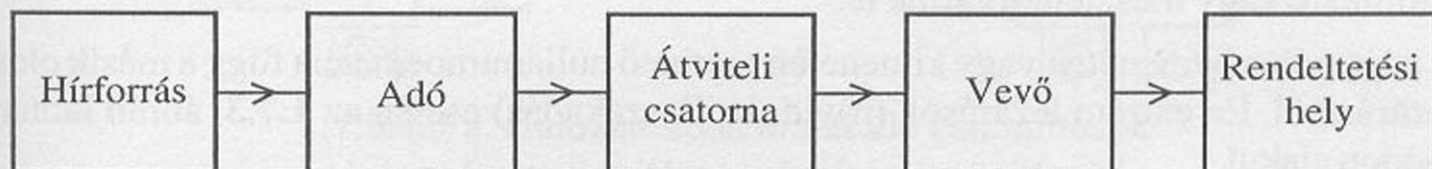
A KF-erősítő kialakítása blokkszűrős, a szűrő vagy *LC*-körökből áll, vagy felületi hullám-szűrővel (AFH, SAW) valósul meg. A KF-, valamint a NF-erősítők automatikus erősítés-szabályozottak (AGC). A tv-technikában kapuzott AGC-t használnak: a videojelnek a képtartalomtól független (szinkron- és a feketeszint) részét kell kapuzni. Kapuzó jelnek a sorvisszafutási impulzusokat használják. A KF-fokozat jele a video demodulátorra kerül.

A demodulátor intercarrier (közbenső hordozó) elven működik, amelynek alapja, hogy mint AM-demodulátor a kimenetén megjelenik a kép-KF modulálójele. De a demodulátor keverőként is működik, így létrejön a kép- és a hang-középfrekvencia különbsége is. A hang-középfrekvenciát tehát egy második hang KF-értékre helyezik át és dolgozzák fel a hangcsatornában. A demodulált videojeltől leválasztják az Y (világosság) jelet, ami az Y jel erősítőbe jut, vagy fekete-fehér készülékeknél erősítés után a képcső katódjára. A színjel dekódoló válassza le a színkülönbségi jeleket, amelyekből a mátrix áramkör az Y jel alapján állítja elő a megfelelő vezérlőjeleket (R, G, B) a színes tv-képcső katódja számára. Az összetett videojeltől a szinkronleválasztó fokozat választja le az összetett szinkronjelet, amit differenciáló és integráló áramkörök választanak szét sor- és képszinkronjelekre. Ezekkel a jelekkel szinkronizálják a vízszintes és függőleges eltérítő-generátorokat. Az eltérítőgenerátorok vezérlik az eltérítőtekercs-párokat, amelyek a képcső nyakán helyezkednek el. A vízszintes eltérítőgenerátortól kapja a vezérlést a nagyfeszültségű végfokozat, valamint a vízszintes eltérítés teljesítményfokozata is. A korrekciós áramkör a képcső felépítéséből eredő eltérítési hibákat kompenzálja. A készülékek nagy többségénél a kezelőszervek működtetése helyett távvezérlést alkalmaznak. A távvezérlő infravörös jeleit (utasításait) az infra-érzékelő dekódolja és a dekódolt jel erősítés után a programválasztó egységbe kerül, amely több programot tárolhat. Az utasításokat processzor dolgozza fel és vezérli a különböző egységeket. Pl. a következő feladatokat végzi: a fényerő, kontraszt, színtelítettség és hangerő beállítása, AV, a VCR, az AFC kapcsolása, létrehozza a hangoló feszültséget, vezérli a sáv váltást, a ki-be kapcsolást, a feliratozza a képernyőt (OSD), vagy az értékeket kijelzi a kezelőegységen. Nélkülözhetetlen a készülék működéséhez a tápegység, a kiegészítő áramkörök (pl. képcsőfűtés biztosítása), a lemágnesező áramkör (az árnyékmaszk miatt) megléte.

1.7. Átviteltechnikai alapfogalmak

1.7.1. Az átviteltechnikai út fogalma

A legegyszerűbb távközlési út vázlatát az 1.7.1. ábrán látható.

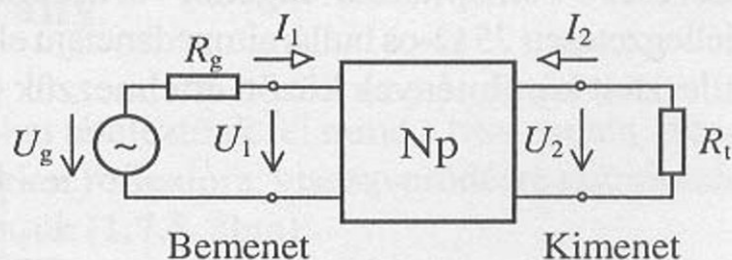


1.7.1. ábra. A távközlés tömbvázlatát

Az adó feladata, hogy a hírforrásból átvett üzenetet olyan (általában) villamos jelé alakítsa, mely a legelőnyösebben továbbítható az adott átviteli úton (csatormán). A vevő feladata, hogy a beérkező jelből az eredeti üzenetet visszaállítsa és a rendeltetési helyre továbbítsa.

1.7.2. A négy-pólus

Az átviteli út elemeit négy-pólusokkal (N_p) modellezhetjük, melyek villamos jelek átvitelére és továbbítására használhatók. A négy-pólusoknál az átviteli irány szempontjából megkülönböztetünk bemeneti és kimeneti oldalt (1.7.2. ábra).



1.7.2. ábra. Négy-pólus a szabványos mérőirányokkal feltüntetve

A négy-pólusok lehetnek aktívak vagy passzívok, attól függően, hogy a leadott energiájuk nagyobb vagy kisebb a felvett energiánál. A passzív négy-pólusokat csillapításukkal, míg az aktívakat inkább erősítésükkel jellemezzük.

1.7.3. Hullámimpedancia

A vezetékes átviteli út fontos jellemzője a hullámimpedancia, ami a rajta terjedő feszültség- és áramhullám hányadosa. A vezeték hullámimpedanciája függ annak anyagától és

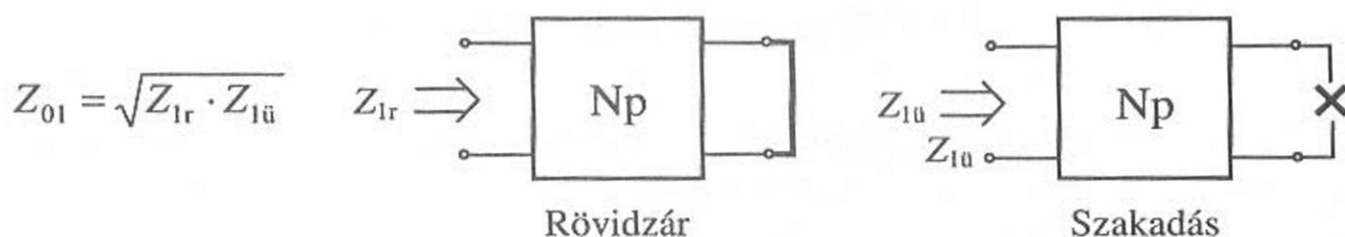
szerkezetétől, és az elsődleges vezetékjellemzőkből a következő összefüggéssel számítható:

$$\bar{Z}_0 = \sqrt{\frac{R + j \cdot \omega \cdot L}{G + j \cdot \omega \cdot C}},$$

ahol R , G , L , ill. C az elemi vezetékdarab ellenállása, átvezetése, induktivitása, ill. kapacitása és ω a körfrekvencia.

Ezt az impedanciát látjuk, mérhetjük a vezeték bemenetén, ha az végtelen hosszúnak tekinthető vagy illesztetten zártuk le.

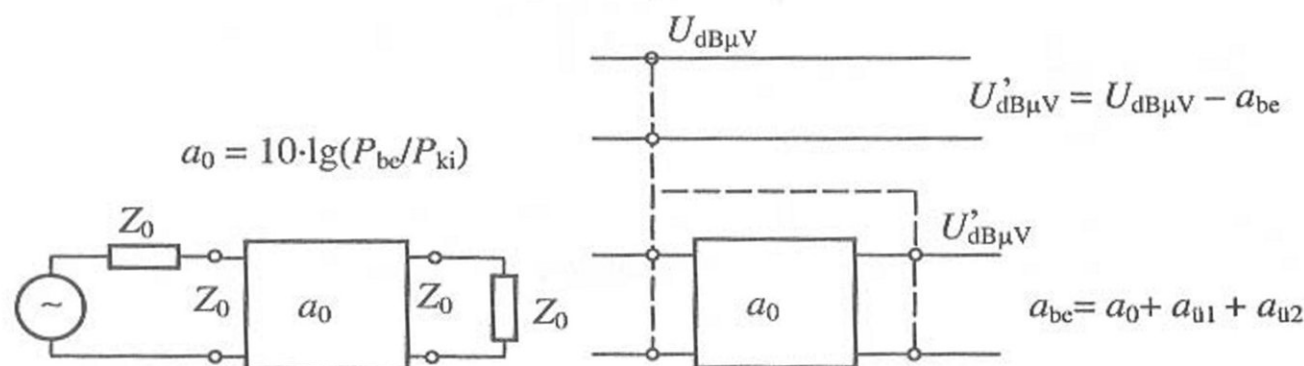
A négy-pólus bemenetén vagy kimenetén mérhető hullámimpedancia függ a másik oldal lezárásától. Ez extrém lezárások (rövidzár ill. szakadás) esetén az 1.7.3. ábrán látható módon alakul.



1.7.3. ábra. Négy-pólus hullámimpedanciája extrém lezárások esetén

1.7.4. Csillapítás

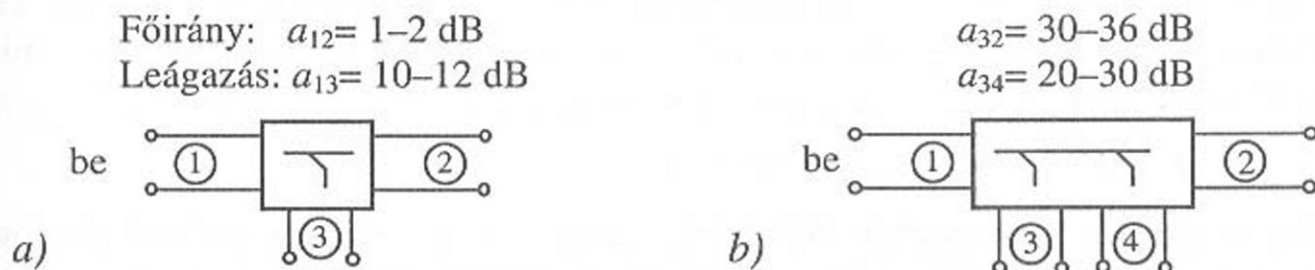
Valamennyi passzív elem (kábelek, elosztók, elágazások, szűrők, csatlakozók stb.) többkevesebb csillapítással engedik tovább a rajtuk átvezetett jelet. A KTV hálózatok jellegzetesen 75Ω -os hullámimpedanciájú elemeket tartalmaznak. Az a_0 hullámcsillapítást illesztett körülmények között értelmezzük (1.7.4. ábra).



1.7.4. ábra. Hullám- és beiktatási csillapítás

Az ábrán látható négy-pólus az átviteli útba való beiktatás során csökkenti a jelszintet, amelybe a hullámcsillapítás mellett az esetleges $a_{ü}$ ütközési csillapításokat is beleszámítják, és ezeket együtt az a_{bc} beiktatási csillapításnak nevezik.

A hálózatok nem csak 4, hanem 6 vagy 8 esetleg több pólusú elemeket, összegzőket, még gyakrabban elosztókat tartalmaznak. A főirányban ilyenkor beiktatási, a mellékirányban kicsatolási vagy leágazási csillapításról beszélünk. Ez utóbbi mindig lényegesen nagyobb értékű. A csillapítások jellegzetes értékei az 1.7.5. ábrán láthatók.



1.7.5. ábra. Hálózatokban kialakuló csillapítások
 a) leágazási csillapítás; b) elválasztási csillapítás

A több kicsatolási pontot tartalmazó elosztók esetén fontos fogalom az elválasztási csillapítás is. Ez megmutatja, hogy két leágazás mennyire „látja” egymást, és mennyire zavarja esetleg a főágot. Jellegzetes értékeik:

$$a_{32} = 30 \dots 36 \text{ dB,}$$

$$a_{34} = 20 \dots 30 \text{ dB.}$$

Ezek a jellemzők a frekvencia függvényében változnak, a felírt példák az üzemi frekvenciatartományban jellemző értékek.

A csillapítás jellemzőivel, kialakulásával és fajtáival a következő fejezetekben még részletesen foglalkozunk.

1.7.5. Reflexió és állóhullámarány

A mérések során mindig illesztett lezárásokat tételeztünk fel mind a bemeneten, mind pedig a kimeneteken. Ha ez nem teljesül, akkor reflexióra, visszaverődésre számítunk, ezt az $a_{\ddot{u}}$ ütközési csillapítással jellemezhetjük (1.7.6. ábra):

$$P_{be} = P_t + P_r, \quad a_{\ddot{u}} = 10 \cdot \lg \frac{P_{be}}{P_t} = 10 \cdot \lg \frac{Z_0 + Z_1}{2\sqrt{Z_0 \cdot Z_1}}$$

1.7.6. ábra. Ütközési és reflexiócsillapítás

A jelteljesítmény egy része ilyenkor visszaverődik. Az ütközés révén a továbbjutó teljesítmény az ütközési csillapítás értékével (néhány tized dB-től néhány dB-ig) kisebb lesz. Bár ez a elvesztés sem elhanyagolható, a nagyobb gondot a visszavert jel okozza. A visszaverődő U^- hullám terjedése hasonló a haladó U^+ hullámhoz, azaz amplitúdója csökken, fázisa λ -ként 2π -vel változik. Ennek eredményeként állóhullám alakul ki, ez jeltorzulást, esetleg szellemképet okoz. A terhelésen reflektált U^- és a haladó U^+ hullám amplitúdójának arányát reflexiós tényezőnek nevezzük.

$$\Gamma = U^-/U^+ = (Z_0 - Z_1)/(Z_0 + Z_1).$$

A reflexió mértékét Γ reciprokanak logaritmusával, az a_r reflexiós csillapítással jellemezzük. Fontos, hogy a tápvonalba, kábelbe iktatott valamennyi áramkörünk kis visszaverődést okozzon, azaz nagy (min. 30...32 dB) legyen a reflexiós csillapítás.

$$a_r = 10 \cdot \lg \frac{P_{bc}}{P_r} = 10 \cdot \lg \frac{Z_0 + Z_1}{Z_0 - Z_1}$$

A tápvonalon terjedő visszavert hullám számtalan gond forrása lehet. A haladó és reflektált hullám eredője a tápvonalon állóhullám képet mutat. A tápvonal hosszától és a lezárás jellegétől függően a hullámok mindig ugyanazon pontokban erősítik, ill. gyengítik egymást. Az előbbiben U_{\max} , míg az utóbbiban U_{\min} jön létre. A kettő hányadosa az r állóhullámarány.

$$r = \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = \frac{1 + \Gamma}{\Gamma - 1}.$$

Az állóhullámarány értéke 1 és ∞ között változhat. Illesztett esetben $r = 1$, a gyakorlatban még elfogadható az $r = 1,2$ és igen jó, ha $r < 1,05$.

1.7.6. A jelszint fogalma, számítása

Ha a teljesítmény, feszültség vagy áram nagyságát logaritmikus egységben fejezzük ki, akkor teljesítmény-, feszültség- vagy áramszintről beszélünk. A vizsgált vagy mért értéket egy általunk célszerűen felvett értékhez viszonyítjuk, ez lesz a logaritmikus skála 0 dB-es pontja. A szint jelölésére többféle betűt vagy indexet (pl. p , S , P_{dB} , A_p^{dB}) használnak.

$$P_{dB} = 10 \cdot \lg(P/P_0).$$

Bár mindig jeltesítményre gondolunk, a gyakorlatban feszültséget mérünk. Az antennánál és a KTV-hálózatokban végzett feszültség szint-mérésénél $1 \mu V$ a vonatkoztatási alap.

$$U^{dB\mu V} = 20 \cdot \lg U/(1 \mu V).$$

Néha át kell térnünk teljesítményszintre, amit esetleg dBmW-ban adtak meg. Az átszámítás 75Ω -os hálózat esetén a következő: 0 dBmW, azaz 1 mW teljesítmény 75Ω -os impedancián 273 mV-ot jelent. Ez feszültség szintre átszámolva:

$$U^{dB\mu V} = 20 \cdot \lg(273 \cdot 10^3 \mu V)/(1 \mu V) = 108,7 \text{ dB}\mu V.$$

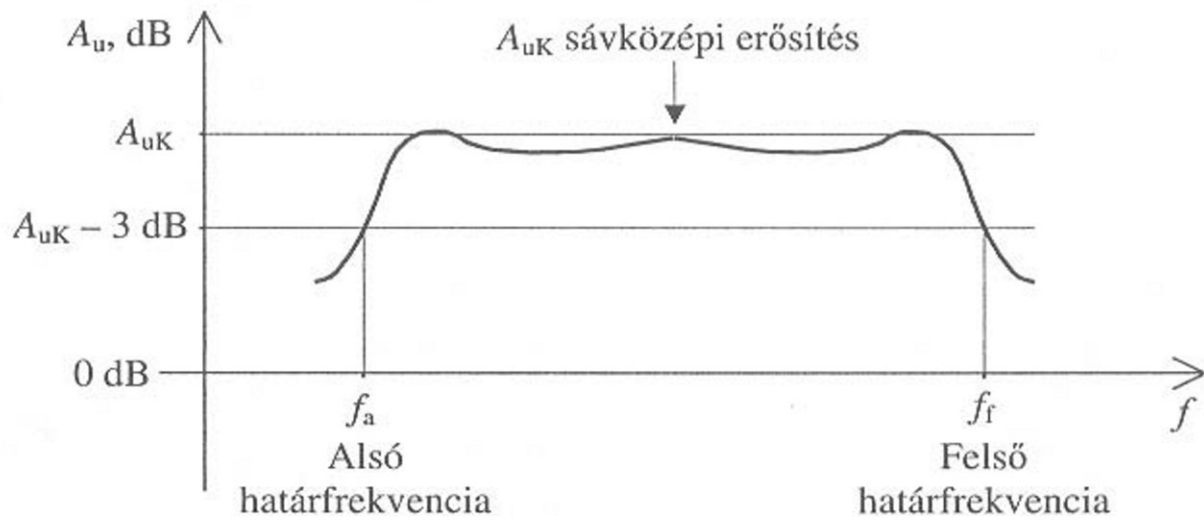
A szint értelmezésével a 6.2.1. pontban foglalkozunk részletesen.

1.7.7. Erősítés

A hálózati elemek csillapításának kiegyenlítésére erősítőket alkalmazunk, amelyek tulajdonságainak elemzésére a 3. fejezetben kerül sor

1.7.8. Sávszélesség

Az átviteli utak csillapítása az erősítéshez hasonlóan frekvenciafüggő. Ezt szemléletesen mutatja az adott négy-pólus átviteli jelleggörbéje. Sávszélek felé haladva a kimeneti teljesítmény (ill. feszültség) csökken.



1.7.7. ábra. Sávszélesség értelmezése

Sávszélesség alatt azt frekvencia tartományt értjük (1.7.7. ábra), ahol a teljesítmény csökkenése nem éri el a 0,5-ös arányt, azaz a sávközépi jel 50%-a még megvan. Ez feszültségarányok esetén 0,707. A fenti arányok mind a teljesítmény-, mind a feszültségerősítés logaritmikus számolása esetén a sávközépi értékhez képest -3 dB-es csökkenésnek felelnek meg.

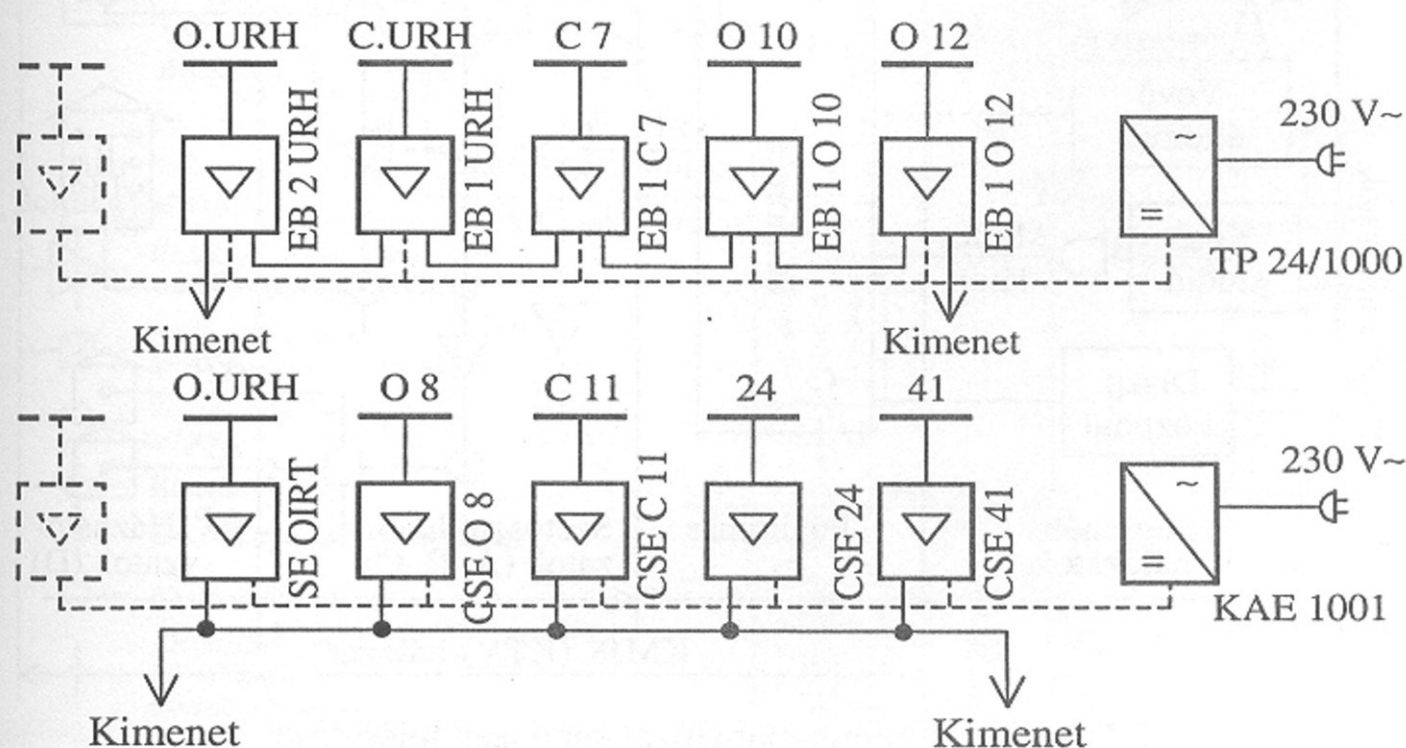
2. Kábeltelevíziós alapismeretek

2.1. A KTV rendszerek alapvető feladatai

A kábeltelevíziózás alapvető feladata a televízió- és rádióműsorok eljuttatása a vevőkészülékekhez anélkül, hogy a vevőoldalon antennákat kellene felszerelni.

Ez természetesen leegyszerűsített megfogalmazás, és a technikai fejlődés során a kábelhálózatok szerepe is megváltozott. Magyarországon a korai szakaszban, az 1960-as évek közepén, még csak földi sugárzású tv-adások voltak. „Központi antenna” néven az ország különböző helyein jól-rosszul vehető adásokat (magyar, cseh, osztrák, jugoszláv, román stb.) vettek, elsősorban soklakásos házigyári házakban, általában lépcsőházanként felszerelt antennákkal és osztották szét a lakások között soros kábelhálózattal. Ezek kialakulását a hullámterjedési sajátosságokból származó reflexiós, szellemképes vétel megszüntetése, az egyedi vevőantennák tömeges elterjedésének és a háztetőkön való elhelyezésének problémái, valamint a több műsor egyszerűbb és jobb minőségű vételének biztosítása segítette elő. A lakók mindegyike igen alacsony díjért nézhette a műsorokat.

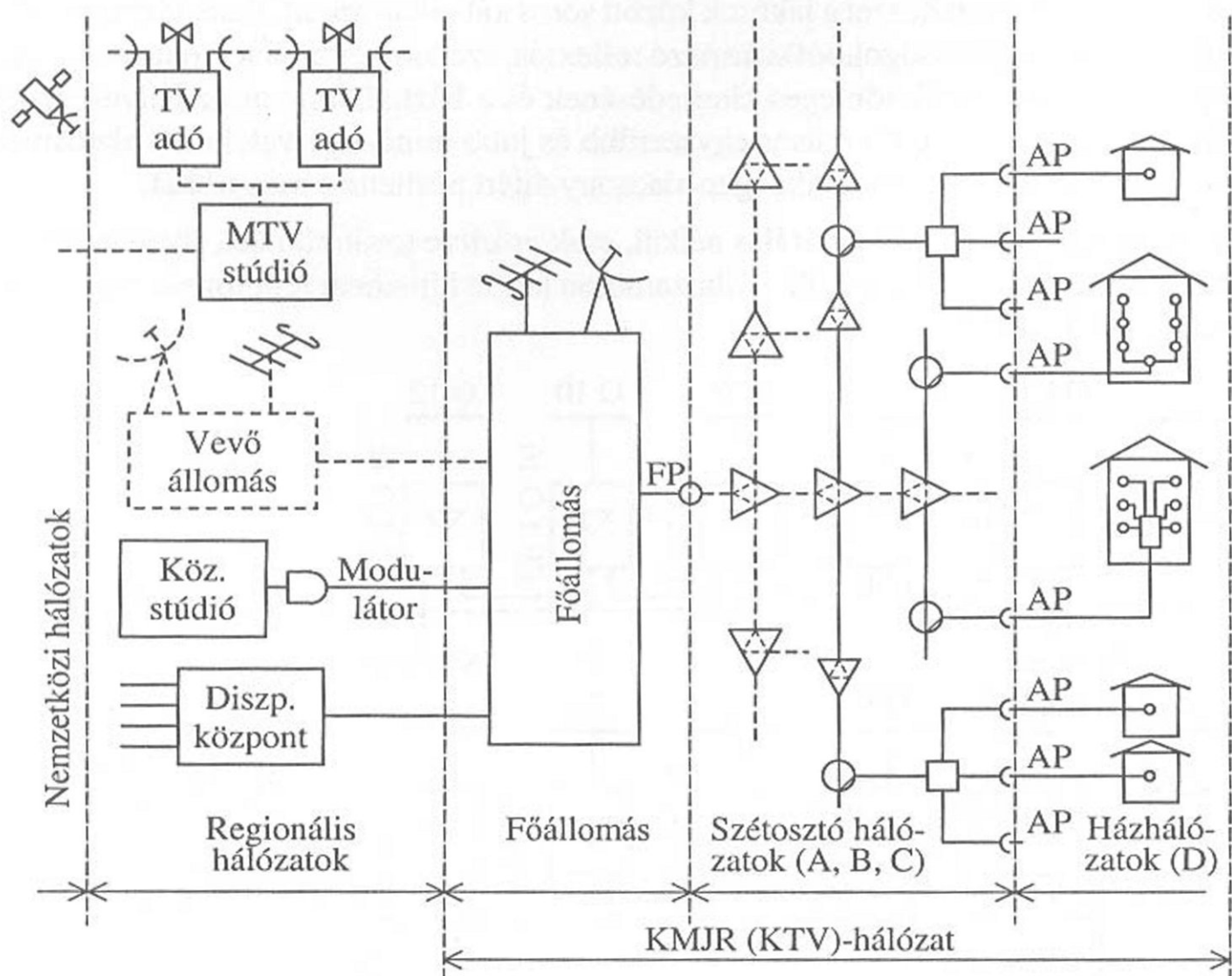
Sok esetben az adásokat konvertálás nélkül, csak erősítve továbbították. Ilyen csatornaerősítőkkel felépített felfűzött, ill. párhuzamosan kötött kimenetű fejállomás megoldása látható a 2.1.1. ábrán.



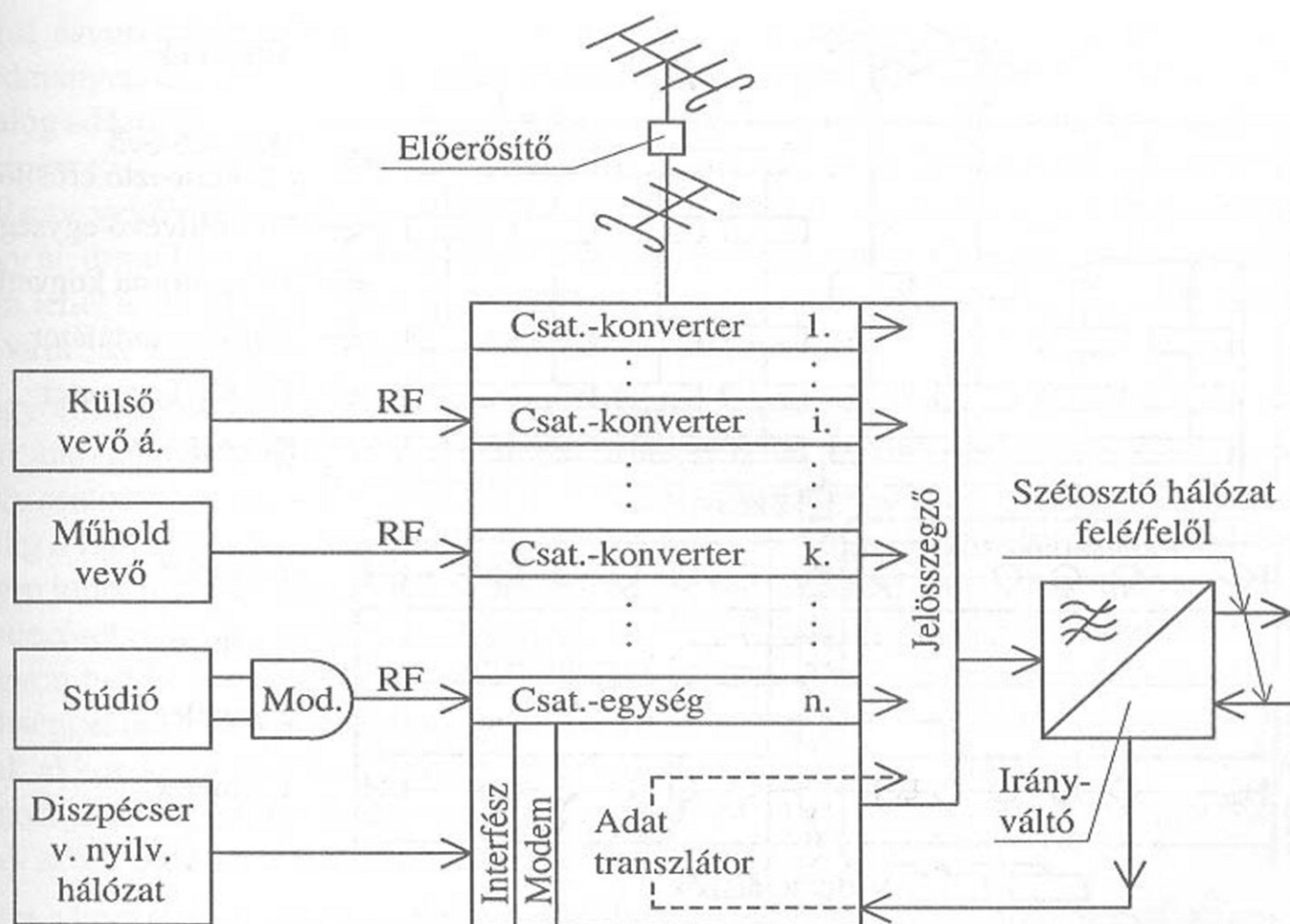
2.1.1. ábra. Hazai gyártású csatornaerősítő fejállomás

Ez a gyengén árnyékolt kábelrendszerrel gyakran okozott szellemképet, főleg a közeli erősebb adásoknál, mert a közvetlenül a hálózatba került és az erősített jel különböző időben érkezett a vevőkészülékbe. Ennél fejlettebb megoldás volt, amikor az adásokat a vett csatornáktól különböző frekvenciára átkonvertálva (és erősítve) juttatták a hálózatba. Tekintettel a kevés (max. 6-8) csatornára, ezt gond nélkül meg lehetett oldani a TV I-III sávban, 47...230 MHz között.

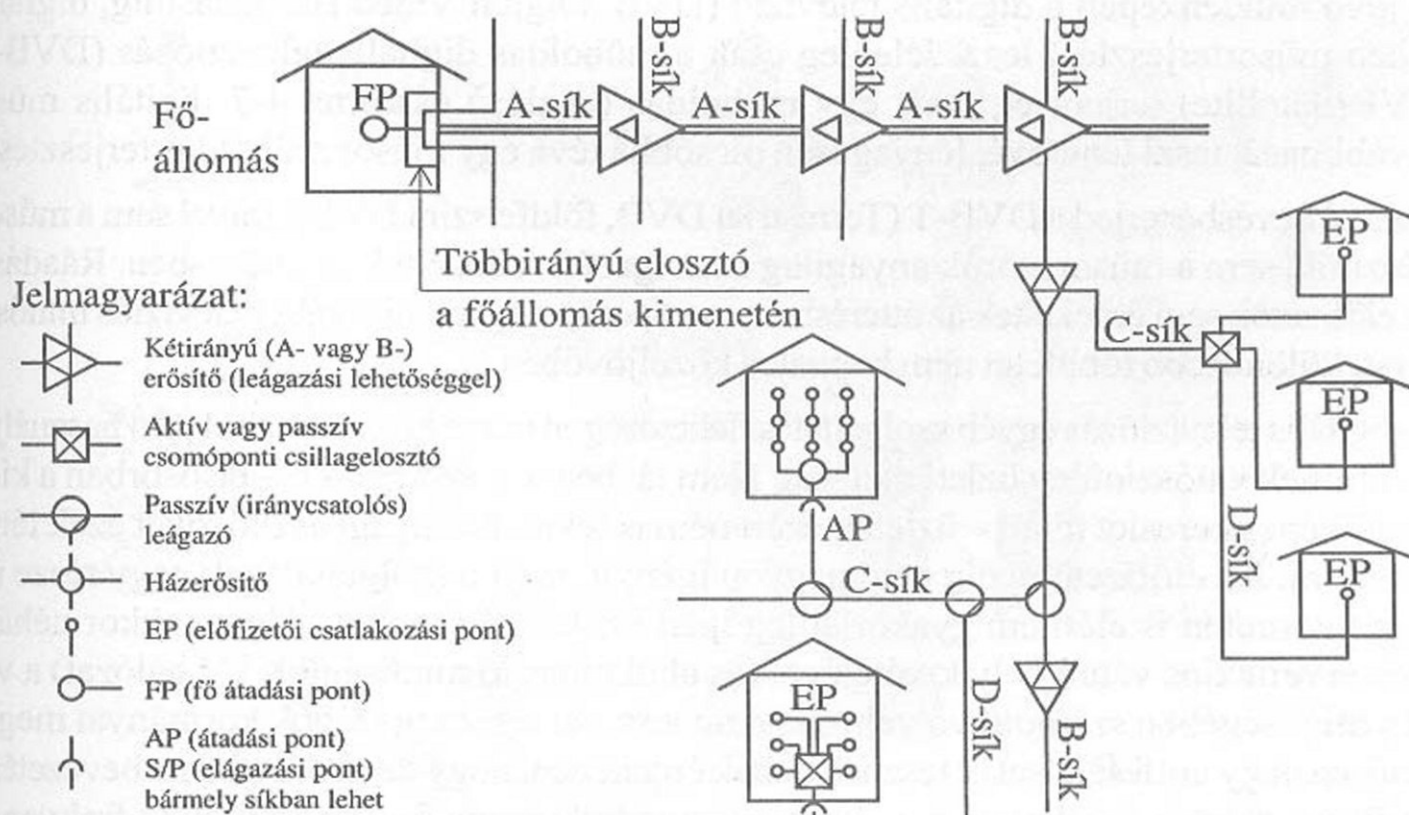
Egy akkori fejállomás elég vegyes felépítést mutatott. A hálózatok is bonyolult, négy (A, B, C és D) síkú előírást kaptak, habár már megjelent az előfizetői csatlakozón mérhető minőségi jellemzők elsődlegessége, hiszen ez a lényeg (az, hogy milyen jellemzők vannak a hálózaton belül, az az üzemeltető „belügye”). A szabványból idézzük egy teljes referenciahálózat-rendszer, (2.1.2. ábra), egy fejállomás, (2.1.3. ábra) és egy elosztó-hálózat (2.1.4. ábra) előírás szerinti felépítését. Ugyanakkor már egy 1991-ben kiadott szakkönyvben a csatorna konverterek mellett megjelennek a tv-KF-modulátorok is, de még mindig soros házhálózattal, holott a könyv tárgyalja a csillagponti elosztást is (2.1.5. ábra). Egy mai, modern fejállomást a 4. fejezet mutat be, amelynek elődje már az 1980-as évek végére elkészült!



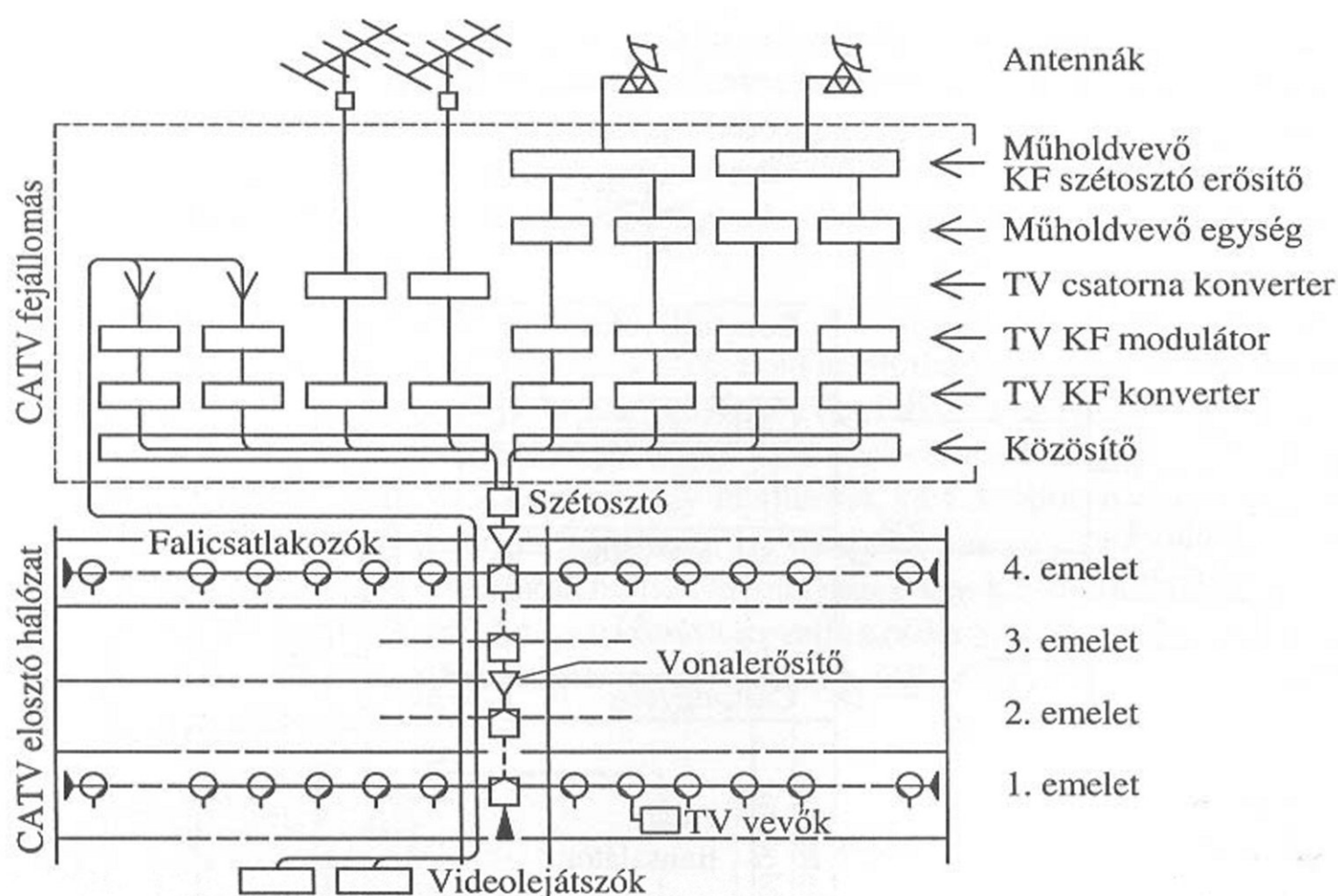
2.1.2. ábra. Referenciahálózat-rendszer felépítése



2.1.3. ábra. Fejállomás felépítése



2.1.4. ábra. Elosztóhálózat felépítése



2.1.5. ábra. Egy kisközösségi rendszer felépítése

A jövő mindenképpen a digitális televízió (DVB, Digital Video Broadcasting, digitális video-műsorterjesztés) lesz. Jelenleg csak a műholdas digitális televíziózás (DVB-S, DVB-Satellite) terjedt el, mert egy műholdas (analóg) csatorna 4-7 digitális műsor továbbítását teszi lehetővé, lényegesen olcsóbbá téve egy műsor műholdas terjesztését.

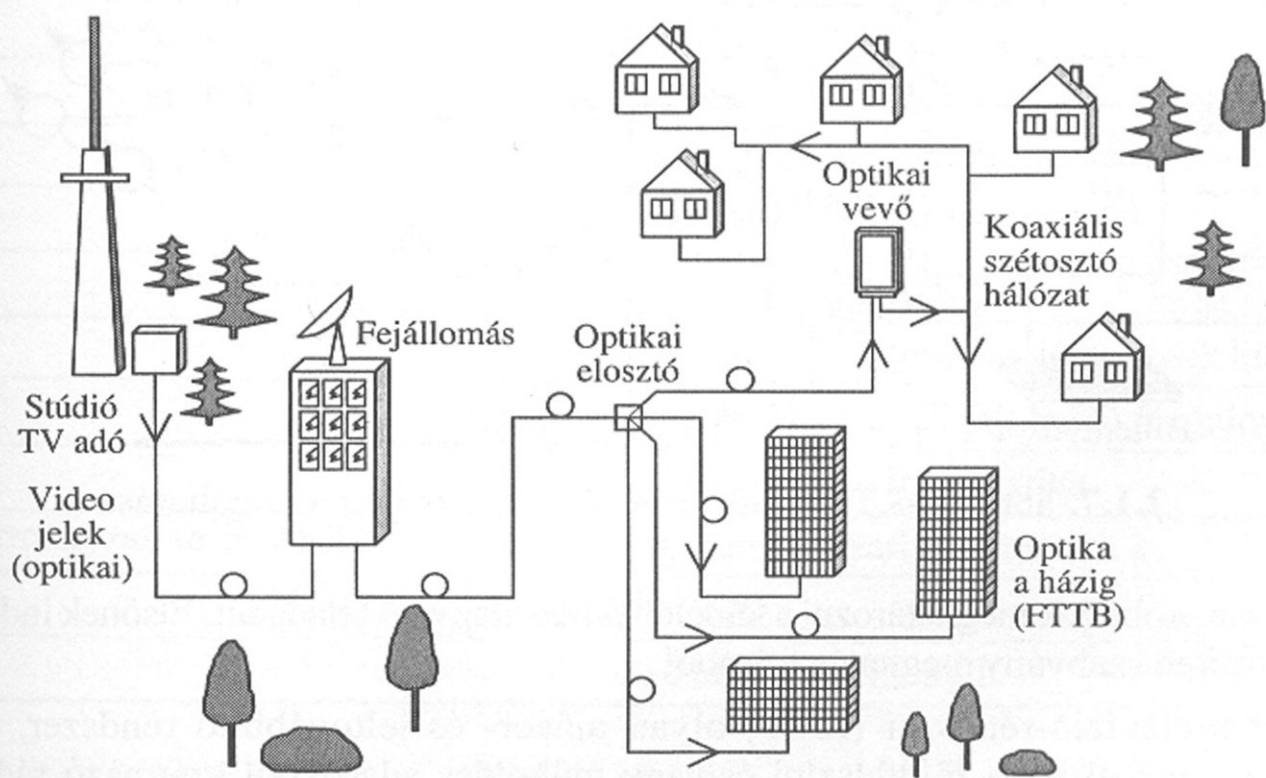
Sokkal kevésbé terjed a DVB-T (Terrestrial DVB, földfelszíni DVB), mivel sem a műsor-készítők, sem a műsorszórók anyagilag nem igazán érdekeltek az áttérésben. Ráadásul az előfizetők sem érdekeltek az áttérésben, mert pont az egyre jobb kábeltelevíziós minőség miatt különösebb többletet nem kapnak a közeljövőben.

A digitális televíziózás egyéb szolgáltatási lehetőségeit ma még szinte sehol sem használják ki, aminek valószínűleg üzleti oka van. Nem lát benne a szolgáltató – elsősorban a kicsi fizetőképes kereslet miatt – üzletet, ezért nem is fektet be anyagi eszközöket ezek létrehozására. Az előfizető pedig nem nagyon igényli, mert a szolgáltatások nagy része ma már Interneten is elérhető gyakorlatilag igen kis költség mellett. Ugyanakkor néhány erősen reflexiósus vételi hely kivételével (és ahol nincs jó minőségű KTV hálózat) a vett kép minőségében számottevő változás nem lesz. Az egyes országok kormányai meglehetősen nagy erőfeszítéseket tesznek annak érdekében, hogy ez az adásforma bevezetésre kerüljön, mert érdekeltek abban, hogy számos frekvencia felszabaduljon (a frekvencia szűkös erőforrás), amelyeket más szolgáltatásokra lehetne igénybe venni, és a használati

jogot árveréseken eladni a szolgáltatóknak (ami várhatóan nagy állami bevételt eredményezne). Ennek ellenére az optimista jóslatok szerint is a lassú elterjedés miatt az analóg adásokat a legtöbb európai országban 2012. előtt várhatóan nem lehet leállítani. Természetesen a lassú terjedésben benne van az is, hogy az előfizetői oldalon is változtatni kell a tv-vevőknél. Vagy egy digitális/analóg átalakítót (ezt is Set Top Boxnak hívják), vagy új, digitális vételre (is) alkalmas tv-készüléket kell venni. Erre viszont kényszeríteni nem lehet a lakosságot, csak adott intézkedésekkel (adókedvezmény, limitált alacsony ár, vásárlási támogatás stb.) lehet ösztönözni az áttérésre.

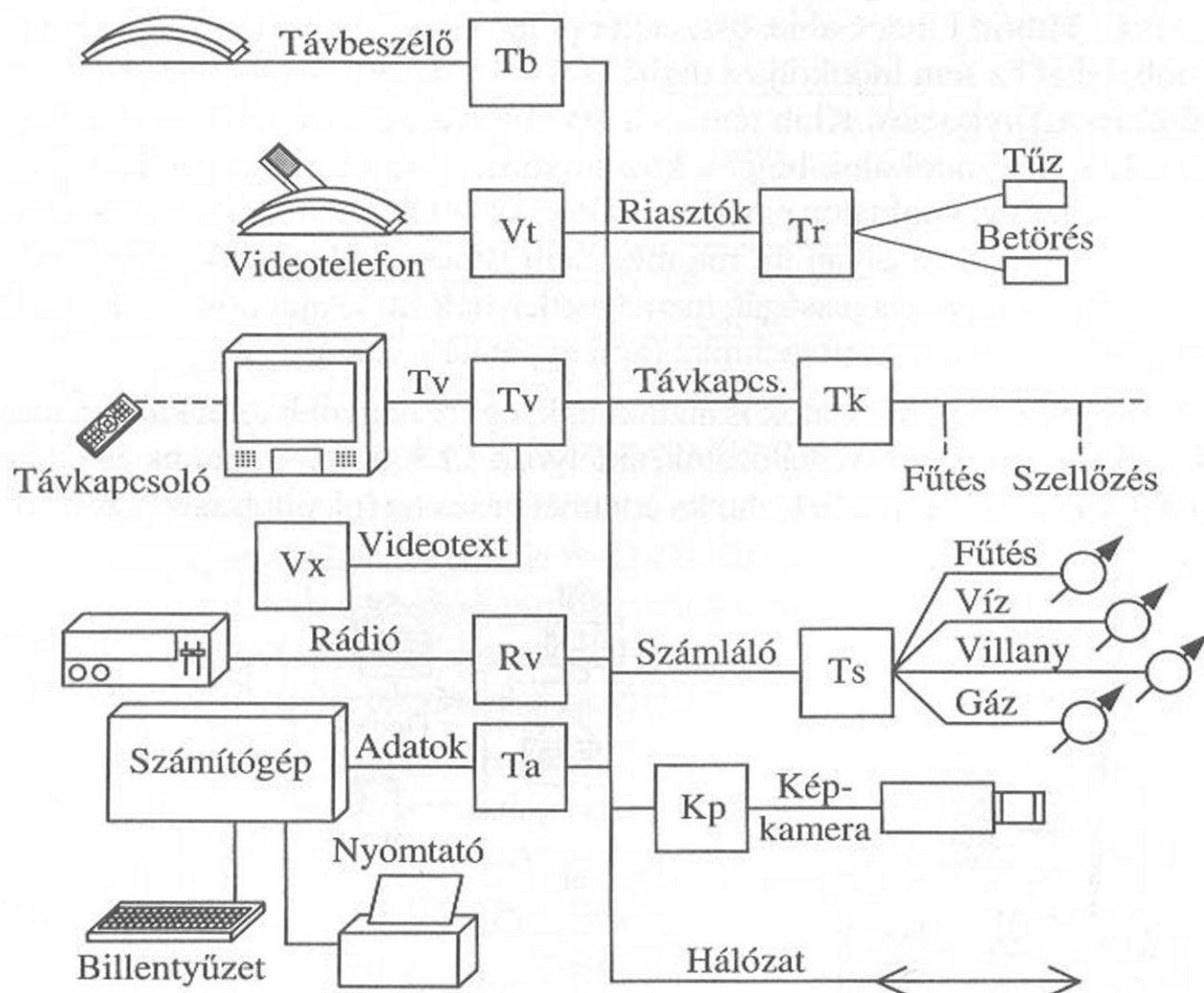
Nagyon hasonló a helyzet a DVB-C (kábeles DVB) esetében is. A különbség talán csak annyi, hogy még a frekvencia sem igazán szűkös, mert 862 MHz-ig bőven van hely nagy csatornaszámú analóg adásra, ami még sokáig elegendő lesz. Az adások minősége pedig a HFC (Hibrid Fiber Cable, összetett optikai és koaxiális) hálózatok terjedésével egyre jobb, tehát ez sem indokolja a digitálisra való áttérést. 2003. június 11-én a HTE rendezésében a Távközlési Klub témája a DVB-C volt. Az ott lévő szakemberek sem nagyon tudták megindokolni, hogy a közeljövőben miért kellene meglehetősen nagy költséggel (adó- és vevőoldalon egyaránt) átállni a digitális technikára. Valószínűleg erre csak akkor kerül sor, ha olyan új, ma még nem ismert szolgáltatás „keletkezik”, ami biztosítja az áttérés gazdaságosságát, mert egyetlen hálózat tulajdonos sem fog befektetni csak azért, mert ez a korszerű technika (ami egyébként igaz).

Mára a korszerű elosztóhálózatok is átalakultak, egyre nagyobb teret kapnak az optikai kábelek, és kialakultak a HFC hálózatok, amelyre a 2.1.6. ábrán láthatunk egy megoldási lehetőséget. Ezzel több korábbi technika értelmét veszítette (pl. pilotszabályzott erősítők).



2.1.6. ábra. HFC rendszerű hálózat felépítése

Elképzelhető, hogy majd valamikor eljutunk a végberendezésekig terjedő optikai hálózatokhoz, de ez jelenleg még túl drága megoldást jelent. Az interaktív, kétirányú hálózatok egyre jobban terjednek, amelyek építését pályázatok útján az állam is támogatja. Jelenleg elsősorban az interaktivitást csak szélessávú Internet szolgáltatás bevezetésére használják, mert a többi lehetséges szolgáltatás nem tűnik nyereséges üzletnek. A tipikusan KTV-re való szolgáltatások (pl. orvosi felügyelet, tűz- és betörésjelzés, közüzemi távleolvasás, gépészeti berendezések vezérlése, ellenőrzése stb.) pedig jelenleg még elég nagy beruházásokat kívánnak. A 2.1.1. táblázatban a teljesség igénye nélkül összefoglaltuk az egy- és kétirányú hálózatokon lehetséges szolgáltatásokat. A mai modern hálózatok megfelelő perifériákkal kiegészítve alkalmasak ezekre a szolgáltatásokra. Egy ilyen hálózat vázlatos felépítésére mutat példát a 2.1.7. ábra.



2.1.7. ábra. A KTV hálózat néhány lehetséges szolgáltatása

Ezek után próbáljuk meghatározni a kábeltelevízió alapvető feladatait. Elsőnek induljunk ki az említett szabvány meghatározásából.

„A kábeltelevízió-rendszer (KTV) olyan műsor- és jelátviteli rendszer, amely alapszolgáltatásként a földfelszíni és/vagy műholdas adásokból származó rádió- és televízióműsorok, helyi műsorok vagy távközlési összeköttetéseken érkező műsorok vételét és szétosztását végzi nagyszámú előfizető számára, valamint az előfizetők (vagy azok

egy csoportja) által hozzáférhető egy- vagy kétirányú, keskeny- és szélessávú átvitelt igénylő kiegészítő szolgáltatásokat is nyújthat, amelyeket általában kábeleken, szükség esetén vezeték nélküli összeköttetéseken bonyolít le.”

Tulajdonképpen ez a meghatározás az eddig elmondottak alapján ma is megállja a helyét! Kiegészítést talán csak annyit kell tenni, hogy mindezeket a feladatokat minimum a szabványokban előírt minőségben kell teljesíteni.

Az alapvető feladatokon kívül részben jogi szabályozási, részben jól felfogott üzleti okokból számos egyéb feladat is van, amelyek elsősorban ügyfélszolgálati, marketing és hasonló tevékenységeket jelentenek. Mivel ezek nem műszaki kérdések (hacsak a hozzájuk szükséges eszközöket nem tekintjük annak) velük nem foglalkozunk.

Egy- és kétirányú hálózat szolgáltatási lehetőségei. 2.1.1. táblázat

Egyirányú szolgáltatás	Kétirányú szolgáltatás
TV, rádió műsorszolgáltatás	TV, rádió műsorszolgáltatás
Digitális TV, rádió	Digitális TV, rádió
Előfizetéses TV, rádió	Előfizetéses TV, rádió
	Internet
Távoktatás 1	Távoktatás 2
	Home shopping
	Home banking
	Fogadás, játék stb.
	Diszpécser szolgálat
	Orvos hívás
	Lift jelzés
	Közüzemi távleolvasás
	Személyi kommunikáció egyének között
	Kis és közepes cégek belső forgalma
	Egészségügyi informatika
Önkormányzati informatika 1	Önkormányzati informatika 2
	NVOD
	Telefon, zárt, ill. nyílt

2.2. A multiplex rendszerek lényege

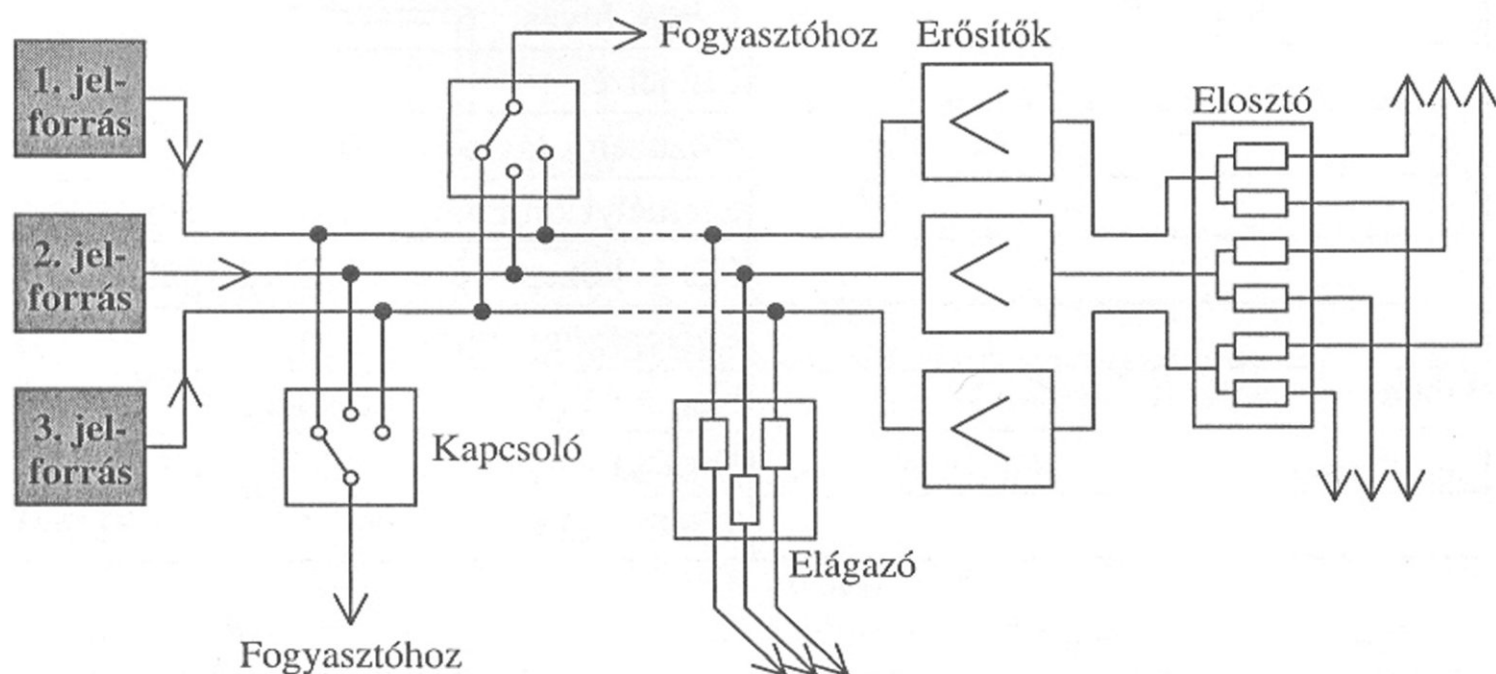
Több azonos jellegű, de különböző információtartalmú jelet különböző módon lehet nyalábolni annak érdekében, hogy egy átviteli csatornában az információk számát megsokszorozzuk, multiplikáljuk.

Három alapvető multiplexelési (nyalábolási) eljárás ismeretes:

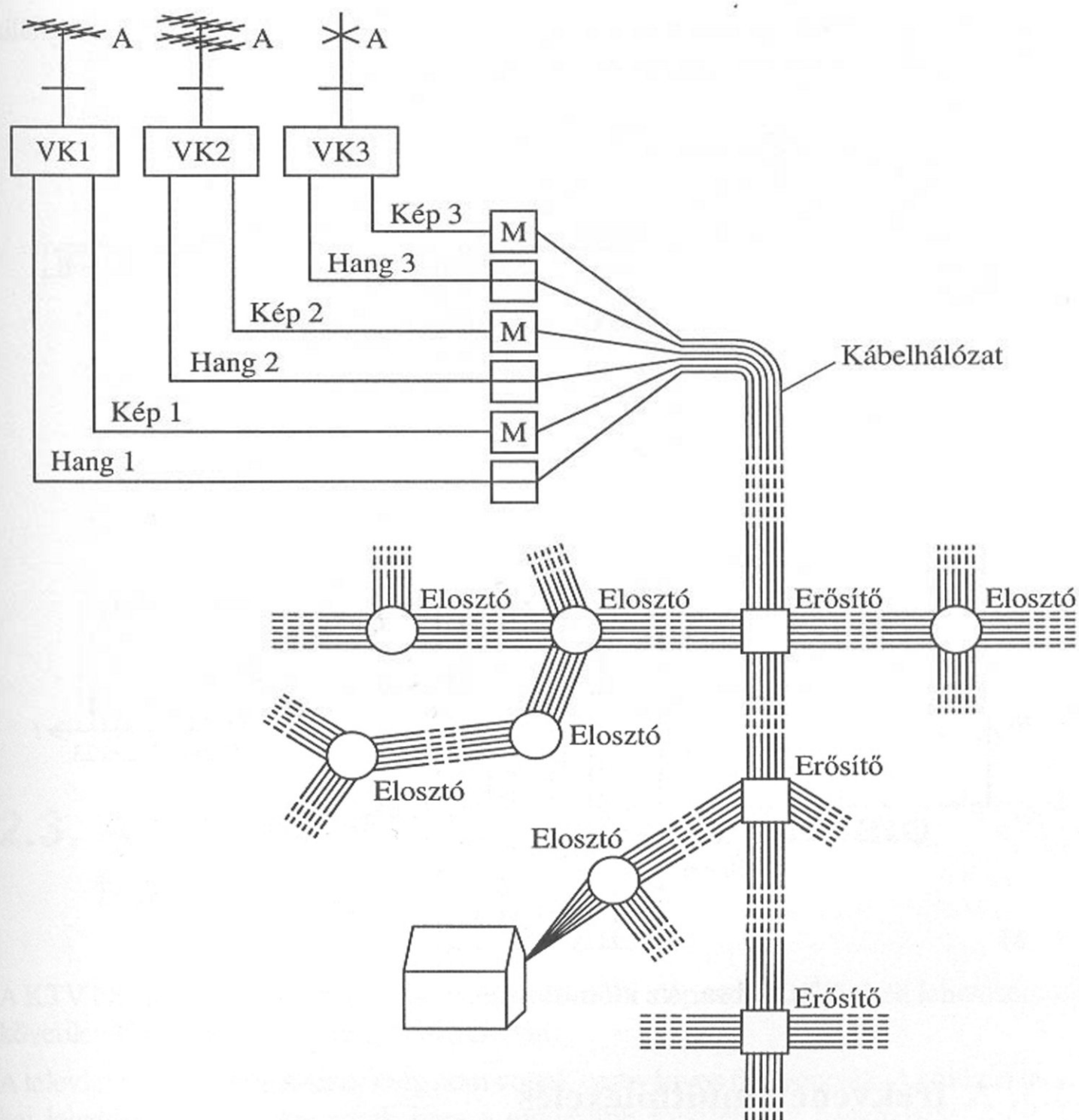
- térosztásos (térmultiplex),
- időosztásos (időmultiplex),
- frekvenciaosztásos (frekvenciamultiplex).

2.2.1. A térmultiplexelés

Az eljárás során a nyalábolást az egymástól független kábelek fizikai összefogása jelenti. Ilyenkor célszerű sokereű kábeleket használni. Tipikus alkalmazása a hagyományos telefonhálózat, ahol a központból az előfizetőig egy-egy érpár fut közös nyomvonalakon. Előnye a relatív egyszerűség és jól elkülöníthető vezetékek. Hátránya a nagy anyagszükséglet, valamint az egymás mellett futó vezetékek egymásra hatása. Abban az esetben, ha a jelforrások információit több előfizetőhöz kell eljuttatni az előfizetőknél külön kapcsoló szükséges a kívánt jel kiválasztásához. Bonyolítja a helyzetet, ha elágazók és erősítők is kellenek, mert ezek száma az átvitt műsorok számával nő. Ilyen hálózat elvi felépítése látható a 2.2.1. ábrán. Műsorátvitelhez ilyen hálózatot építettek ki az 1940-es években Magyarországon is „vezetékes rádió” néven. Ez három műsort vitt át, és a vezetékes rádióvevőben lévő kapcsolóval lehetett a kívánt műsort kiválasztani. Műsor átvitelére alkalmas hálózat látható a 2.2.2. ábrán.



2.2.1. ábra. Térmultiplex nyalábolású hálózat kialakítása

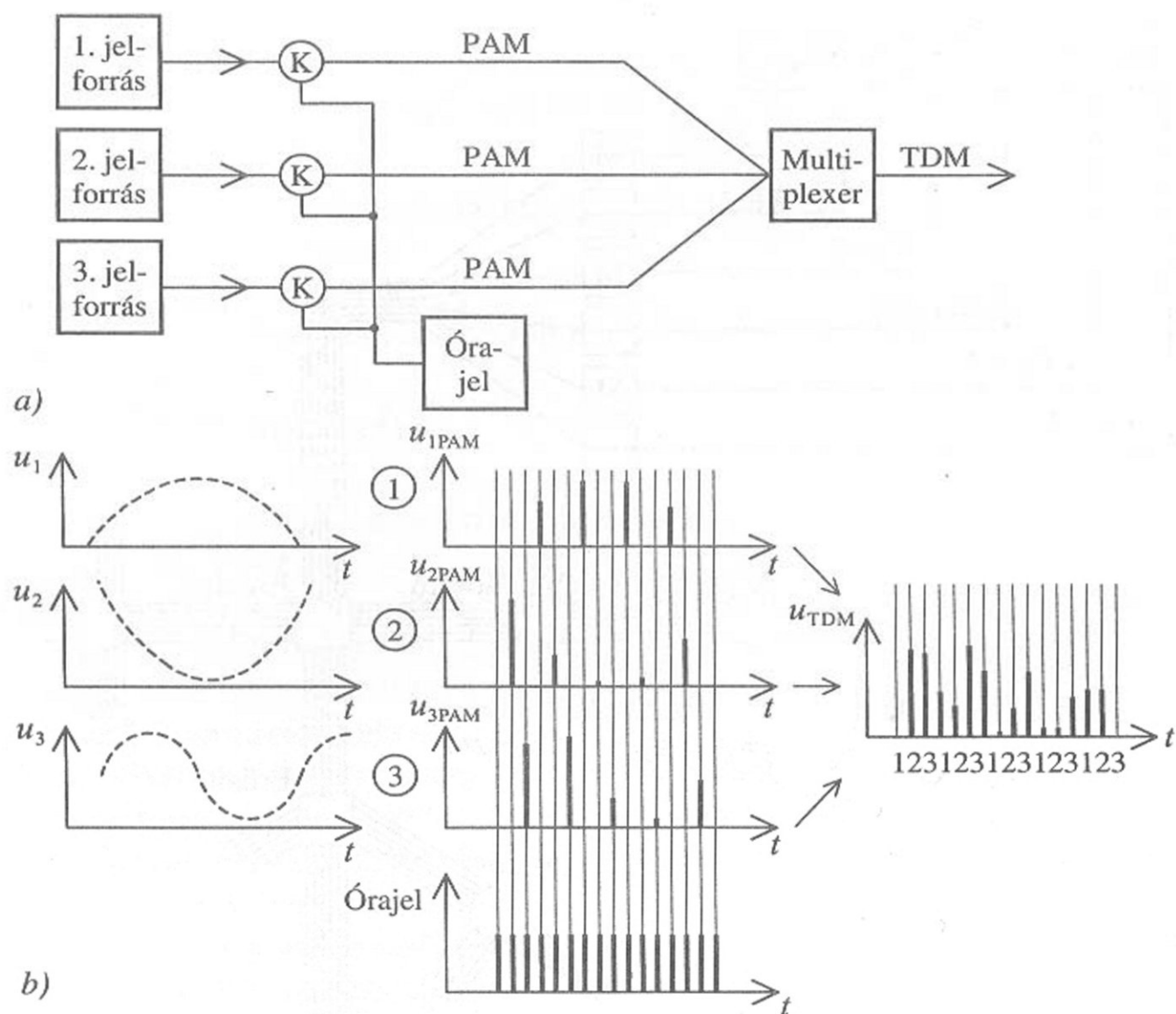


2.2.2. ábra. Kábelmultiplex közösségi vevőantenna-rendszer felépítése

2.2.2. Az időmultiplexelés

Az időmultiplexelési eljárás során a jeleket mintavételezéssel időben „összefésülik”, vagyis az egyik jel mintavételi szünetébe teszik be a másik (harmadik ... sokadik) jel mintáját, majd az így időben elosztott és összegzett jelet küldik el egy kábelén. A mintákhoz egy órajelet is hozzáadnak, ami lehetővé teszi a vevőoldalon az egyes jelek szétválasztását és a mintavételezett impulzusokból az eredeti jel aluláteresztő szűrővel állítható vissza. Az eljárás elve a 2.2.3. ábrán látható. Ezt az eljárást a mai modern digitális rendszerekben

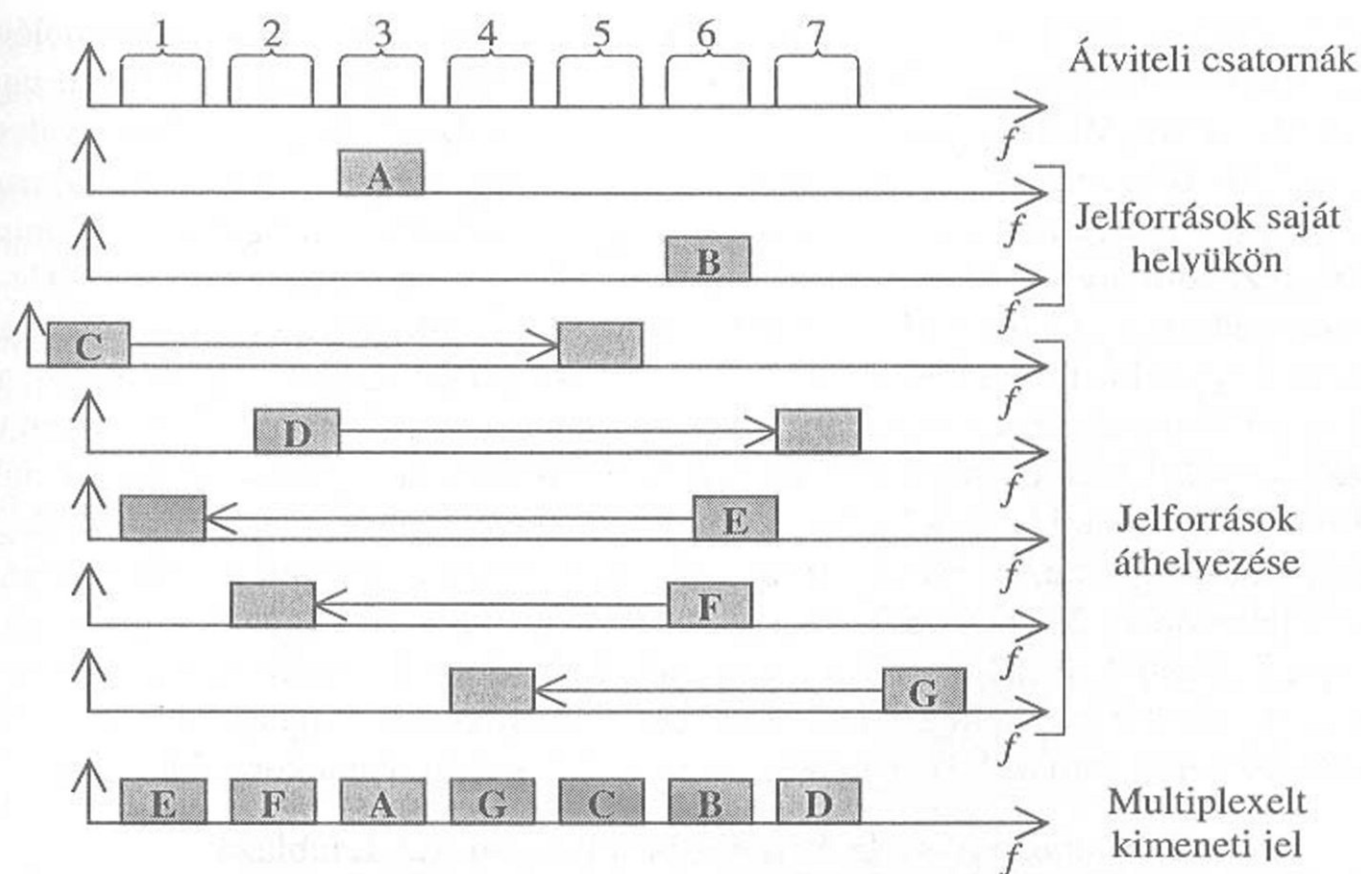
igen elterjedten használják, mivel ott eleve nem kell mintavételezni, csak az egyes digitális csomagokat kell időben megfelelő szervezéssel sorba rendezni.



2.2.3. ábra. Az időmultiplex nyalábolás elve

2.2.3. A frekvenciamultiplexelés

A frekvenciamultiplexelési eljárás esetében az egyes információkat különböző frekvenciájú vivőkre modulálják, ezeket összegzik és egy kábelben küldik el a vevőberendezés(ek)hez. A vevőkészülékben frekvencia-szelektív áramkörökkel választjuk szét az egyes információkat és azokat demodulálva kapjuk vissza az információ(ka)t. A frekvenciamultiplexálás elvét a 2.2.4. ábrán láthatjuk. Ezt az eljárást a rádiós hírközlés kezdetekor már alkalmazták. Az egyes adásokat más és más frekvencián működtették, hogy ne zavarják egymást és nem is tudták, hogy ezt így hívják. Szinte természetes volt hogy ezt az elvet követték a televíziózás bevezetésekor is, már csak azért is, mert a rádióvevőkben alkalmazott szuperheterodin elvet könnyen át tudták vinni a tv-vevőkbe is, csak a sokkal nagyobb átviendő sávszélesség miatt magasabb frekvenciákon.



2.2.4. ábra. A frekvenciamultiplexelés elve

2.3. A jeltovábbításra felhasználható frekvenciasávok

A KTV hálózatokban használható frekvenciasávok alapvetően kibővített lehetőségekkel követik a földfelszíni tv-adások frekvenciáit.

A televízió adások kezdetekor még nem voltak szabványos frekvenciák. Az akkori technikai lehetőségek nem engedték meg a magasabb frekvenciák használatát, mert nem voltak olyan eszközök (elsősorban adócsövek), amelyek üzemelni tudtak volna magasabb frekvencián. Ezért a kezdeti adások a rövidhullámú sáv felett, 30 MHz körül üzemeltek. Jellemző, hogy a Budapesten üzembe helyezett első nagy teljesítményű, 20 kW-os tv-adó a legalacsonyabb frekvenciájú 01-es csatornán működött. Ennek az volt az oka, hogy ilyen nagy teljesítményt akkor magasabb frekvencián, legalább is a keleti országokban nem tudtak előállítani. Ezt az adót az NDK-ban, egy rövidhullámú adó továbbfejlesztésével készítették el.

Időközben kialakultak a különböző tv-szabványok, amelyek lehetővé tették az adások frekvenciatervének kialakítását is. Mint ahogy lenni szokott, a legelső kidolgozó a leggyengébb minőséget "találja ki". Az USA-ban a ma is élő szabvány kép-hang távolsága

4,5 MHz, és a videosáv szélesség csak 4,2 MHz. Ez természetesen az átviteli technológia javulásával határt szabott az elérhető max. képminőségnek is. Európa fejlettebb országai ezen okulva már 5 MHz-es videosáv szélességet és 5,5 MHz kép-hang távolságot választottak (CCIR B/G szabvány). Ez jobb képminőséget tesz lehetővé, még nem túl nagy frekvenciasáv elfoglalása mellett. Magyarországon és a keleti országokban valamivel később kezdődött meg a TV adás és a szabványosítás is. Ezért nálunk már a 6 MHz-es videosáv szélesség és a 6,5 MHz-es kép-hang távolság került bevezetésre (OIRT szabvány, ami egyébként megfelel a CCIR D/K szabványnak). Ennek a jobb minőségre törekvésen kívül más okai is voltak, pl. az, hogy a keleti tv-vevőkkel ne lehessen venni a nyugati adásokat. Más országok is vannak Európában (Belgium, Franciaország, Anglia és Monakó) és máshol is, akik külön utakon járnak (vagy jártak), ezért az egész világra kiterjedő CCIR szabvány összesen 10 féle változatot tartalmaz. Ezeknek a változatoknak a főbb jellemzőit a 2.3.1. táblázatban foglaltuk össze. Ezekből a K1 és az N jelű szabványt már nem használják. Érdekes, hogy Angliában a VHF sávban nem szabad sugározni! Viszont a szigetország jelleg miatt nem kell a szomszéd országok adófrekvenciáit figyelembe venni, ami az UHF sáv felhasználását lényegesen hatékonyabbá teszi.

Különböző tv-szabványok főbb jellemzői. 2.3.1. táblázat

Jellemző	CCIR szabvány									
	B	D	G	H	I	K	K1	L	M	N
Sorok száma	625	625	625	625	625	625	625	625	525	625
Csatorna sáv szélesség, MHz	7	8	8	8	8	8	8	8	6	6
Videosáv szélesség, MHz	5	6	5	5	5,5	6	6	6	4,2	4,2
Kép-hang távolság, MHz	5,5*	6,5	5,5*	5,5	6	6,5	6,5	6,5	4,5	4,5
Elnyomott (alsó) oldalsáv, MHz	0,75	0,75	0,75	1,25	1,25	0,75	1,25	1,25	0,75	0,75
Képmóduláció	N	N	N	N	N	N	N	P	N	N
Hangmóduláció	FM	FM	FM	FM	FM	FM	FM	AM	FM	FM

* 5,742 MHz-es második hangvivő kéthangú vagy sztereó üzemmódban.

Képmóduláció: N: negatív, P: pozitív.

A legelterjedtebb B és G szabvány csak abban tér el egymástól, hogy a csatorna szélessége a VHF sávban 7 MHz (B), míg az UHF sávban 8 MHz (G). De pl. a nálunk használt D és K szabvány egyforma, csak az egyik VHF, míg a másik UHF sávra szól. Néhány országban nem tesznek különbséget a VHF és UHF sáv között. Pl. Franciaországban egyaránt az L, míg az USA-ban az M szabványt alkalmazzák. Nálunk is így volt (és még sok helyen van is) a D/K szabvány esetén, míg a B/G bevezetésével ez megváltozik, mint már említettük.

A VHF sávban a kisebb csatorna sávszélesség egy plusz csatornát jelent, viszont, ha figyelembe vesszük, hogy a D/K szabvány szerint ki kell hagyni az R IV és R V (O4, O5) csatornákat a CCIR URH sáv bevezetése miatt, akkor 3 plusz csatornáról beszélhetünk. Egyébként ma már a modern, jó szelektivitású tv-vevők mellett teljesen indokolatlan a felső sávokban a csatorna sávszélességének 1 MHz-es növelése. Viszont az átrendezés szinte elképzelhetetlen nagy költségekkel járna (tv-adók, fejállomások áthangolása, nemzetközi frekvenciaegyeztetések, a vevőkészülékek átalakítása a szintézeres hangolás miatt stb.).

A KTV hálózatokban viszont a zárt, elméletileg nem sugárzó műsorelosztás miatt lehetőség van olyan csatornákat is használni, amelyeken a földi sugárzás nem megengedett. Ezek a sonder vagy közbenső csatornák a VHF III. sáv alatt és felett helyezkednek el és további 17 (D/K szabvány esetén 15) csatornát jelent. Elméletileg van még további két csatorna: az S2 és S3, de ezek nem használhatók, részben, mert a műholdas digitális rádió-csomagnak (DSR, digital satellite radio) tartják fenn, részben repülésirányítás folyik ebben a sávban, amit fokozottan védenek az esetleges zavarásoktól. Ugyanez vonatkozik a hipersávra, ott is csak KTV adás lehetséges, földi műsorsugárzás nem.

Az újabb technikai fejlődés, a DAB (Digital Audio Broadcasting, digitális hang műsor-terjesztés) bevezetése miatt a 12-es csatornán valószínűleg megszüntetik a tv-adást egész Európában és ott lesz a DAB adás. Ez azt jelenti, hogy országosan nem lesz ajánlatos ennek a csatornának a használata a KTV rendszerekben sem.

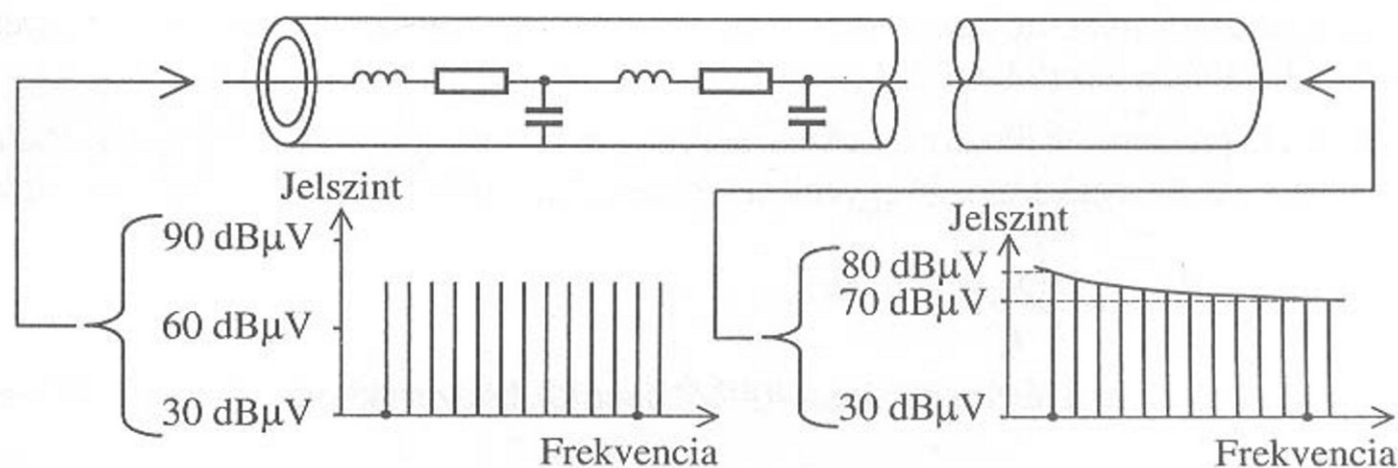
A fentiek szerinti B/G és D/K szabvány szerinti csatornakiosztást tartalmazza az **1. Függelék**. A **2. Függelékben** az OIRT és CCIR csatornakiosztások összehasonlítása látható.

3. Kábeltelevíziós építőelemek

3.1. Koaxiális kábelek felépítése, működése

3.1.1. A koaxiális kábelek frekvenciaátvitele

A kábeltelevíziós hálózatokon használatos koaxiális kábel két azonos tengelyű (co-axial) fémvezetőből és a köztük lévő szigetelőrétegből áll. Ez az elrendezés tulajdonképpen egy kondenzátort alkot. Ezen túl a vezetők elképzelhetők igen nagy sugarú tekercs meneteként, tehát induktivitásuk is van. Továbbá a fémes vezetők egyenáramú ellenállással, a szigetelőréteg pedig vezetőképességgel rendelkeznek. Ezek alapján megrajzolható egy koaxiális kábel helyettesítőképe (3.1.1. ábra).



3.1.1. ábra. Koaxiális kábel helyettesítőképe és frekvenciafüggése

Magasabb frekvenciák felé az induktivitások impedanciája növekszik, a kapacitásoké csökken. A helyettesítőképet elemezve látható, hogy a kábel aluláteresztő szűrőként viselkedik, a magasabb frekvenciákon nagyobb a csillapítása.

Egy másik hatás is befolyásolja a kábel frekvenciaátvitelét. Egy fémvezetőben folyó váltakozó áram olyan mágneses teret kelt, ami a vezetésben részt vevő töltéshordozókat kiszorítja a fém belsejéből a felszínre. Ez esetben az áramvezetés nem a vezető teljes keresztmetszetén, hanem csak a felszín közelében, bizonyos behatolási mélységben történik. A jelenség neve skin-hatás (skin: bőr). A skin-hatás a frekvencia növekedésével erősödik, réz vezető esetén a kábeltelevíziós frekvenciákon már jelentős. A skin-hatás nagyságát a δ behatolási mélység jellemzi, amely megadja, hogy adott vezetőben a felülettől mekkora mélységig történik az áramvezetés.

Értéke:
$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi \cdot f \cdot \mu \cdot \gamma}},$$

ahol f a frekvencia, Hz; μ a vezető permeabilitása, H/m; γ a fajlagos vezetőképesség, S.

Réz vezető esetén:
$$\delta_{\text{réz}} = \frac{66,2}{\sqrt{f}}.$$

(δ értékét mm-ben kapjuk, ha f értékét Hz-ben helyettesítjük.)

Látható, hogy a rádiófrekvenciás tartományban a behatolási mélység már meglehetősen kicsi, 175,25 MHz-en 5 μm . Ennek megfelelően a vezetésben résztvevő hasznos keresztmetszet is jelentősen lecsökken. Különösen gondolni kell erre a jelenségre a belső vezető esetében. A külső vezetőnek ugyanis sokkal nagyobb a felszíne, így a vezetésben résztvevő keresztmetszet is nagyobb. A skin-hatás miatt a belső vezetőt acélból vagy alumíniumból gyártják és a felszínére rezet párologtatnak. Így a vezető belseje – ami úgyszemint vesz részt a vezetésben – olcsóbb anyagból készül. A felszínen pedig drágább, de jobb vezetőképességű anyagot használnak.

A jelátvitelen túl a koaxiális kábelben történik a távtápláló feszültség továbbítása is. Ennek frekvenciája 50 Hz. Ezen a frekvencián a kábel ellenállása nem különbözik számottevően az egyenáramú ellenállástól, ezért a tápellátás tervezésekor ezzel lehet számolni. Az egyenáramú ellenállás a vezetők teljes keresztmetszetétől függ.

A kábelcsillapításra vonatkozó tapasztalati szabály, hogy két különböző frekvencián a kábel csillapításainak aránya körülbelül egyenlő a frekvenciák arányának négyzetgyökével, vagyis

$$\frac{a(f_2)}{a(f_1)} \approx \sqrt{\frac{f_2}{f_1}}.$$

Tehát pl. egy koaxiális kábel csillapítása 400 MHz-en kb. kétszer akkora, mint 100 MHz-en.

3.1.2. A koaxiális kábelek szerkezete, anyagai

Felépítésük és szerepük szerint a koaxiális kábelek törzs- (trönk, trunk, feeder) és elosztóhálózati (distribution) kábelek vagy bekötő- és leágazó (drop-) kábelek lehetnek.

A koaxiális kábelek belső vezetőből, dielektrikumából, külső vezetőből (árnyékolásból), valamint kábelköpenyből állnak. A vonatkozó szabvány (MSZ EN 50117-1:1999) a koaxiális kábelben alkalmazható anyagokra a következő előírásokat adja:

- Belső vezető: tömör réz, rézbevonatú acél, rézbevonatú alumínium.
- Dielektrikum: szabványelőírás nincs, a gyártó határozza meg.
- Külső vezető: szövött réz, réz vagy alumínium szalag, réz vagy alumínium cső, fém- vagy fémezett fólia szövött rétegekkel kiegészítve.
- Köpeny: műanyag.

A szabvány előírásai a gyakorlatban a következőképpen valósulnak meg.

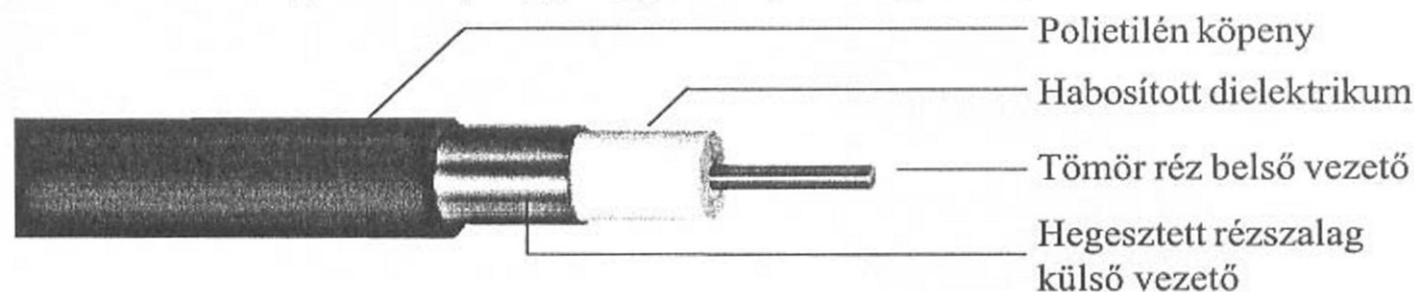
A belső vezető drop-kábelek esetén tömör réz vagy rézbevonatú acél, törzskábelek esetén a költségek csökkentése érdekében tömör alumíniumból vagy acélból készül, amit – a skin-hatás miatt – a jobb vezetőképesség érdekében rézzel vonnak be.

A kábelek dielektrikuma ma már többnyire habosított polietilén. A habosítás során az olvadáspontja fölé melegített polietilénbe vagy megfelelő kémiai anyagot kevernek, ami kölcsönhatásba lép a polietilénnel, miközben nitrogéngáz képződik és a képződő gáz buborékjai felhabosítják az anyagot, vagy cseppfolyós nitrogént fecskendeznek a forró polietilénbe, ami gyorsan visszaalakul gázzá és buborékokat hoz létre.

Az utóbbi (a CommScope cég által kifejlesztett) gyártási eljárás előnye, hogy a gyártási paraméterek szabályozásával a képződő hab jellemzői (pl. a buborékméret) jól kézben tarthatók.

A habosítással a dielektrikumban zárt gázcellák keletkeznek, ennek köszönhetően csökken a veszteség és nő a terjedési sebesség.

Törzskábelek esetén az árnyékolás anyaga tömör alumínium- vagy rézcső (3.1.2. ábra), ami varrat nélküli (seamless) vagy hegesztett (welded) lehet.



3.1.2. ábra. Törzskábel szerkezete (CommScope)

A varrat nélküli csövet sajtolással készítik. A gyártási folyamat egyszerű, de hátránya, hogy nem lehet tetszőlegesen hosszú (kb. 700 m-nél hosszabb) kábeleket gyártani. (Kábeltelevíziós technikában ekkora hosszúságú egybefüggő kábel nem fordul elő.)

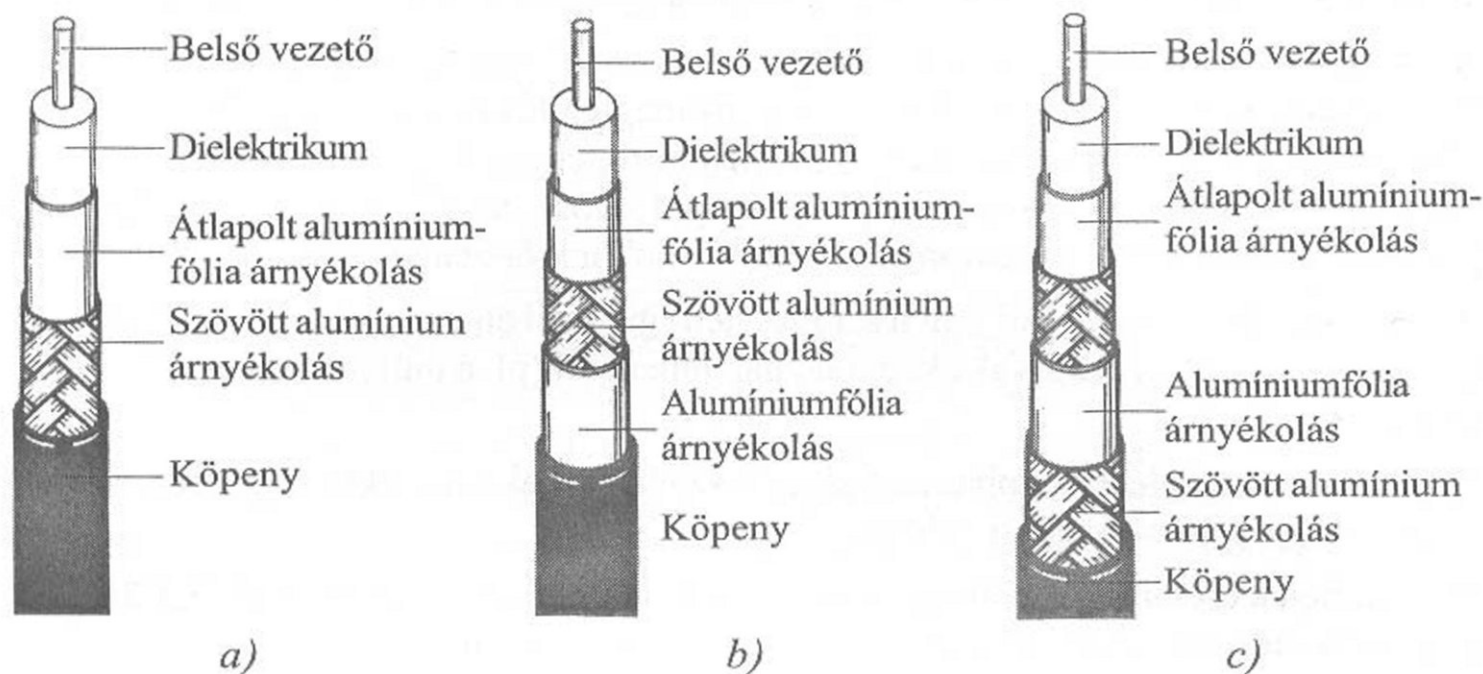
A hegesztett árnyékolás esetén két, folyamatosan a megfelelő alakra hajlított lemez készül, amelyeket a két határvonal mentén összehegesztenek. Az eljárással tetszőleges hosszúságú kábel készíthető.

A dropkábelek árnyékolása alumínium fólia és szövet, ami a nagyobb fedettség érdekében több (2-4) rétegből áll (3.1.3. ábra).

Újabban a vastagabb kábelek árnyékolását is rugalmas alumíniumötvözetből készítik. A habosított dielektrikumot túlnyomással préselik a kábelbe, a rugalmas fólia alá. Az így kialakított kábel előnye, hogy ha mechanikai hatás következtében deformálódik, utána képes önmagától visszaállni az eredeti alakjára.

Néhány kábeltípusnál a külső köpeny alatt olyan speciális folyékony vegyület található, amely levegővel érintkezve megszilárdul. Ez a vegyület a köpeny repedése esetén kitölti a sérülést, így megakadályozza, hogy a nedvesség bejusson a kábelbe.

A kábelköpeny időjárásálló (nap- vagy UV-sugárzásnak, nedvességnek, hőingadozásnak ellenálló) polietilén vagy PVC.

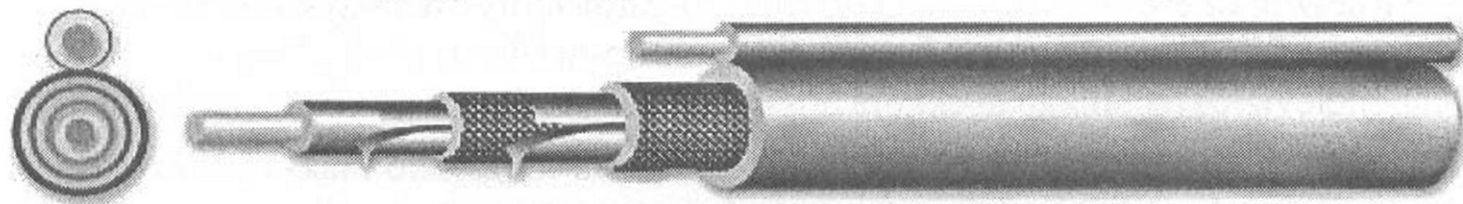


3.1.3. ábra. Dropkábel árnyékolása

a) kétrétegű (dual-shield); b) háromrétegű (tri-shield); c) négyrétegű (quadrashield)

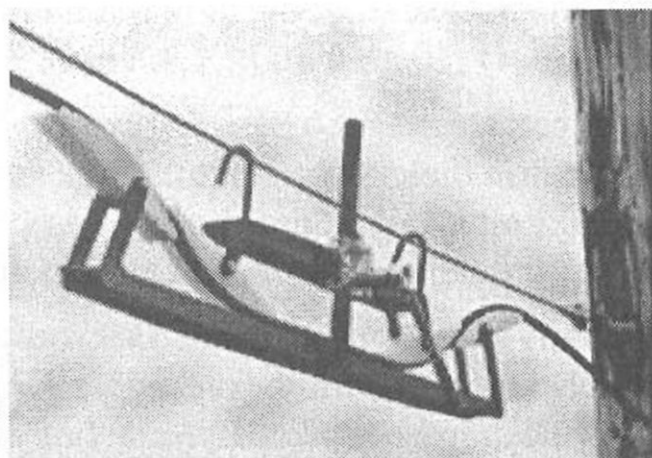
3.1.3. Légekábelek

A légekábeleket acél tartószállal (messenger) is ellátják, és a kábelköpeny a tartószálat is körülveszi (3.1.4. ábra), így a felfüggesztéseknél a köpenyt le kell fejni a tartószálról.



3.1.4. ábra. Tartószálas dropkábel szerkezete

3.1.5. ábra. Dilatációs hurok készítése hajlítógéppel

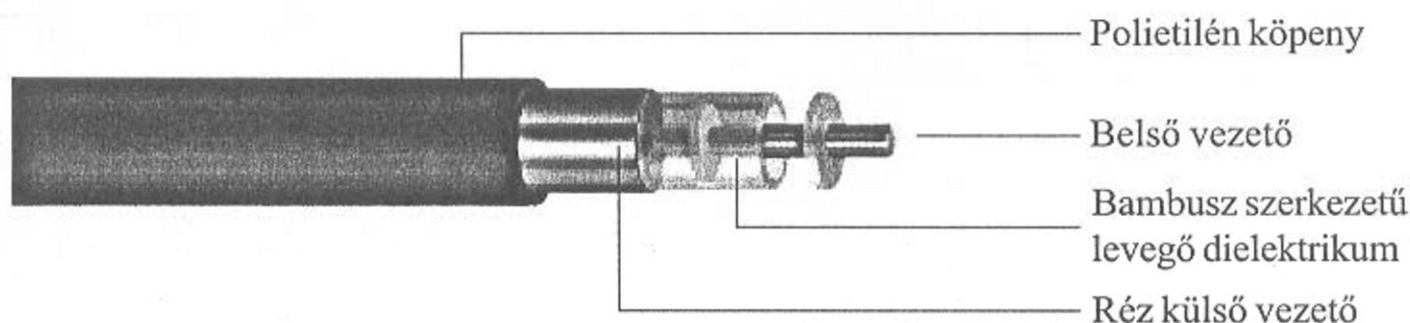


A koaxiális kábel hőtágulási együtthatója nagyobb, mint az acél tartószálé. Ezért légekábeles hálózatban minden rögzítésnél dilatációs hurkot kell hagyni, hogy a téli-nyári hőmérsékletváltozás hatására fellépő hosszváltozás miatt a koaxiális kábel ne szakadjon ki a csatlakozóból (3.1.5. ábra).

3.1.4. Speciális kábelek

Bambuszkábel

A jobb terjedési tulajdonságok érdekében az ún. bambuszkábel dielektrikuma levegő, a vezetők közötti távtartók azonos távolságokra elhelyezett műanyag tárcsák (3.1.6. ábra). Ma már KTV hálózatokon nem használatos, mert mechanikai igénybevételekkel (elsősorban hajlítással) szemben kevésbé ellenálló.



3.1.6. ábra. Bambuszkábel felépítése (CommScope)

Sziámi kábel

Vezetékes telefonszolgáltatás céljára a koaxiális kábelrel közös köpenybe szerelt egy vagy két csavart érpár.

3.1.5. A koaxiális kábelek jellemzői

Kábelméret és kábeljelölés

Törzskábelek

A külső vezető inch-ben mért átmérője szerint számozzák. A méretek 320-tól 1125-ig változnak, ami 0,320 inch-től (8,13 mm-től) 1,125 inch-ig (28,58 mm-ig) terjedő átmérőt jelöl. A számok előtti betűjelzések a gyártók által használt típusjelzések.

Kábeltelevíziós gyakorlatban elsősorban az 540-es kábelcsaládokat használják, amelynél a külső köpeny átmérője 0,540 inch (13,72 mm).

Dropkábelek

A dropkábelek jelölésére először a katonai rádiótechnikában a koaxiális kábelek azonosítására használt RG/U (Radio Guide Utility) jelölésrendszert alkalmazzák. A rendszert később a polgári alkalmazások is átvették. Az 3.1.1. táblázat mutatja a kábeltelevíziós technikában alkalmazott dropkábeleket és néhány jellemzőjüket az RG/U rendszerben.

Az RG/U rendszer kábeltelevíziós technikában alkalmazott kábelei. 3.1.1. táblázat

A kábel jelölése	Névleges hullámimpedancia, Ω	A belső vezető átmérője, mm	A dielektrikum átmérője, mm	A külső vezető átmérője, mm	Kábelát-mérő, mm
RG-59/U	75	0,57	3,71	4,45	6,15
RG-6/U	75	0,724	4,7	6,17	8,43
RG-11/U	75	1,21	7,24	8,08	10,29
TC-540	75	3,15	13,3	13,72	15,49

A kábelek jellemzői*Impedancia*

A koaxiális kábel impedanciája a

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \log \frac{r_2}{r_1}$$

összefüggéssel számítható, ahol μ_0 a vákuum permeabilitása, $\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$ H/m; ϵ_0 a vákuum permittivitása, $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m; ϵ_r a szigetelőanyag relatív permittivitása; r_1 a belső vezető sugara, m és r_2 az árnyékolás belső sugara, m.

A képletből látható, hogy az egységesen előírt 75 Ω -os hullámimpedanciát a dielektrikum anyaga (ϵ_r) és a vezetők sugarainak aránya (r_1/r_2) határozza meg.

Reflexiós tényező

Nemcsak a kábeleknek, hanem a többi kábeltelevíziós építőelemnek is fontos adata a reflexiós csillapítás (RL , Return Loss), ami az elemre kapcsolt és az arról visszaverődő jel teljesítményének aránya (l. 1.7.5. pont).

$$RL = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{haladó}}}{U_{\text{visszavert}}}$$

A logaritmus után álló arányt reflexiós együtthatónak nevezik és százalékban adják meg. A százalékban adott reflexiós együtthatók dB-ben számolt értékeit a 3.1.2. táblázat tartalmazza.

Reflexiós együttható átszámítása reflexiós tényezőre. 3.1.2. táblázat

Reflexiós együttható, %	Reflexiós tényező, dB	Reflexiós együttható, %	Reflexiós tényező, dB	Reflexiós együttható, %	Reflexiós tényező, dB
1	40,00	15	16,48	29	10,75
2	33,98	16	15,92	30	10,46
3	30,46	17	15,39	31	10,17
4	27,96	18	14,89	32	9,90
5	26,02	19	14,42	33	9,63
6	24,44	20	13,98	34	9,37
7	23,10	21	13,56	35	9,12
8	21,94	22	13,15	36	8,87
9	20,92	23	12,77	37	8,64
10	20,00	24	12,40	38	8,40
11	19,17	25	12,04	39	8,18
12	18,42	26	11,70	40	7,96
13	17,72	27	11,37		
14	17,08	28	11,06		

Tökéletesen illesztett esetben (pl. ha a generátor és a fogyasztó pontosan 75Ω -os) nincs visszaverődés, a teljes generált jel a fogyasztóra jut, a reflexiós csillapítás végtelen. Minden olyan esetben, amikor a két impedancia nem azonos, a jel egy része visszaverődik. Kábelek esetén a reflexiós csillapítás a kábel szerkezetétől függ, ezért speciálisan szerkezeti reflexiós csillapításnak hívják (*SRL*, Structural Return Loss). A kábel kapacitását jelentősen befolyásolják a külső behatások, míg az induktivitása nagyjából változatlan. Emiatt változik meg az impedancia és ennek következtében a reflexiós tényező is.

Ezek a külső hatások a következők:

- Nedvesség hatására megváltozik a két fémvezető közötti dielektrikum permittivitása, ennek következtében megváltozik a kábel kapacitása.
- A kis ívben meghajlított kábelben a belső vezető és az árnyékolás közötti távolság lecsökken, a kapacitás növekszik. Ezért minden koaxiális kábel esetében be kell tartani a gyártó által előírt legkisebb hajlítási sugarat.
- Mechanikai sérülések (taposás, összenyomódás, repedés) szintén megváltoztatják a kábel kapacitását.

A kábelkatalógusok a teljes átviteli sávban, a kábeldob mindkét végén mért legrosszabb *SRL* értéket adják meg.

Jelterjedési sebesség (VOP, Velocity of Propagation)

Az elektromágneses jelek vákuumban fénysebességgel ($v = 3 \cdot 10^8$ m/s) terjednek. Bármilyen anyagban ez a sebesség csökken. A terjedési sebességet százalékban adják meg, ami azt jelenti, hogy a kábelen továbbított jel terjedési sebessége a fénysebesség hány százaléka. Koaxiális kábel esetén a tipikus érték 80–85%. Ennek az adatnak kábelhibahely méréseknél van jelentősége, ahol a műszer a kábelbe egy elektromágneses impulzust lő be és méri a belövés és a hibahelyről való visszaverődés közötti időt (részletesen lásd 6.6. alfejezetben).

A szabványban előírt kábel-jellemzők

A koaxiális kábelek villamos jellemzőinek mérési utasításait az MSZ EN 50117-1 szabvány 11. fejezete írja elő. A villamos jellemzők értékei az MSZ EN 50117-2 – MSZ EN 50117-6 szabványokban találhatóak.

Az előírt villamos jellemzők:

- Szigetelési ellenállás: legalább 10^4 M Ω /km.
- Hullámimpedancia: $75 \pm 3 \Omega$.
- Reflexiócsillapítás: a kábel csillapításától és frekvenciasávtól függően törzskábelekre 20-26 dB, leágazó kábelekre 18-23 dB.
- Jelterjedési sebesség (VOP): nincs előírt érték.
- Csillapítás: nincs előírt érték, de a szabvány megadja, hogy a termékkatalógusban legalább az 5, 50, 100, 200, 400 és 800 MHz-en mért értéket meg kell adni.
- Az impedancia egyenletessége: jobb, mint 0,5%.
- Az árnyékolás csillapítása (magyarozatát lásd később): törzskábelekre 85 dB, leágazó kábelekre 75 dB.

3.1.6. Csatlakozók

A csatlakozókkal a kábelek, berendezések közötti

- illesztett,
- kis veszteségű,
- megfelelő fedettséget, védelmet nyújtó,
- mechanikailag stabil, időálló kötés hozható létre.

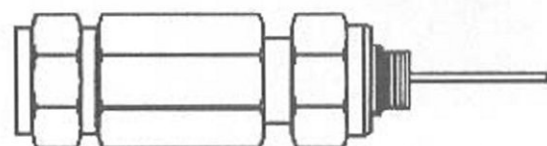
A törzs- és vonalhálózat csatlakozói

A mechanikai méretek az adott kábeltípusra jellemzők és az alkalmazott hullámhossz negyedével összemérhetők, az illesztést többlépcsős üregkialakítással érik el. A leggyakoribb vázmenet 5/8"-os.

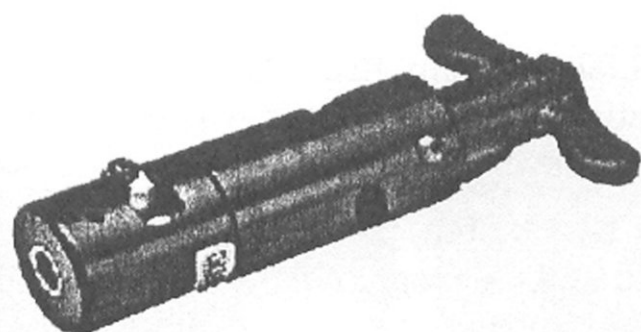
A koaxiális kábel belső erét készülékben fogják meg vagy a csatlakozók saját belső vezető megfogóval és bronz belső vezetővel rendelkeznek. Ez utóbbi megoldás az ún. tűs csatlakozó (3.1.7. ábra). A tű hosszát némelyik csatlakoztatott készülék gyártója megadja a készülék gépkönyvében. A csatlakozók különféle kivitelben készülnek: egyenes, 90°-os könyök, tűs-tűs toldó stb.

Minden típusnál szükség van a külső köpeny és a vezető tömített megfogására. A csatlakozók többsége IP 54 védelemmel rendelkezik, ennek növelése zsugorcsovezéssel lehetséges. (Az IP jelölések értelmezése a 6. Függelékben található.)

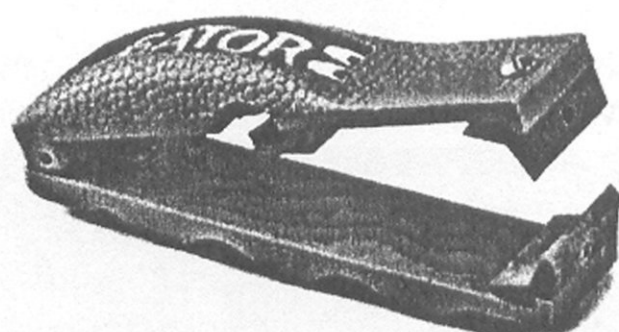
3.1.7. ábra. Tűs (PIN) csatlakozó



A csatlakozók szereléséhez speciális szerszámokra van szükség. A kábelűró egy többkéses eszköz, amellyel a dielektrikumot, az árnyékolást és a külső köpenyt lehet a megfelelő méretre vágni (3.1.8. ábra). A belső vezető és az árnyékolás – eltérő anyagaik miatt – hőmérsékletváltozás hatására különbözőképpen tágul. A csatlakozóban a belső vezető egy hüvelybe fekszik bele, ami hőtágulás esetén is megfelelő érintkezést biztosít. A vágás után a belső vezetőre tapadt dielektrikumot csupaszító szerszámmal el kell távolítani (3.1.9. ábra). Ehhez a művelethez csak speciális, fémmentes kés használható, mert különben a kábelér vezetőképességét meghatározó réz bevonat megsérül.



3.1.8. ábra. Törzskábel kábelűró szerszám



3.1.9. ábra. Törzskábel belső erét csupaszító szerszám

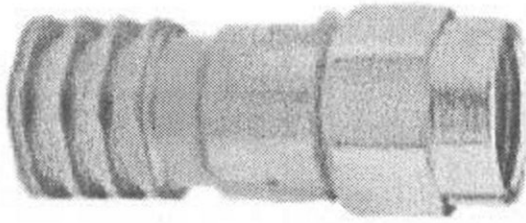
A szétosztó- és házhálózat csatlakozói

A bekötéseknél és a házhálózatoknál általában ún. F-csatlakozót használnak, amelyek mérete lényegesen kisebb mint az alkalmazott hullámhossz negyede. Az F-csatlakozó csavarmenetes kötéssel rögzíthető a kábeltelevíziós építőelemekhez (3.1.10. ábra). A csatlakozó a kábelhez többféle módon rögzíthető:

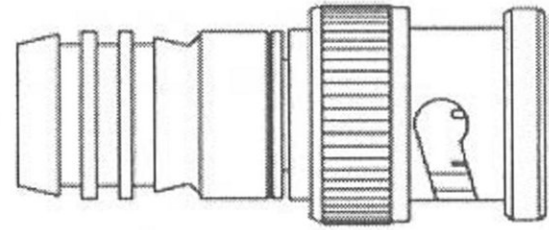
- Hexagonális rögzítés: a csatlakozót egy hatszögletű fogóval sajtolják rá a kábelre.
- Kúpos rögzítés: a csatlakozót hosszirányban fogóval sajtolják rá a kábelre és sajtolás közben a kábel árnyékolása egy kúpra fekszik rá.

- Gyűrűs rögzítés: a csatlakozót hosszirányban fogóval sajtolják rá a kábelre és sajtolás közben gyűrűk szorulnak az árnyékoláshoz. A gyűrűs rögzítés beépített gumigyűrűs változata vízálló.

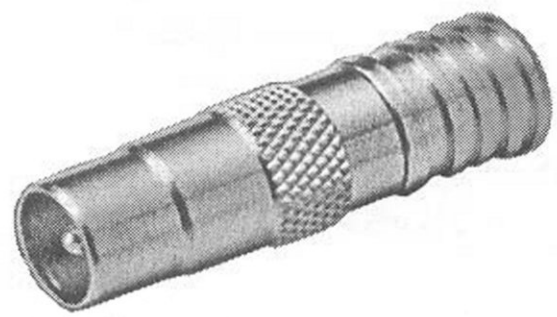
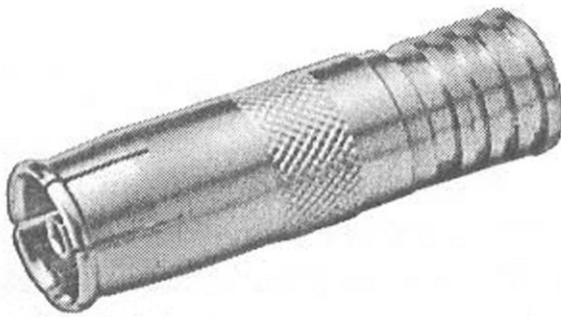
Műszerek és előfizetői készülékek csatlakoztatására használatosak a BNC (3.1.11. ábra) és az IEC csatlakozók (3.1.12. ábra) is.



3.1.10. ábra. F-csatlakozó



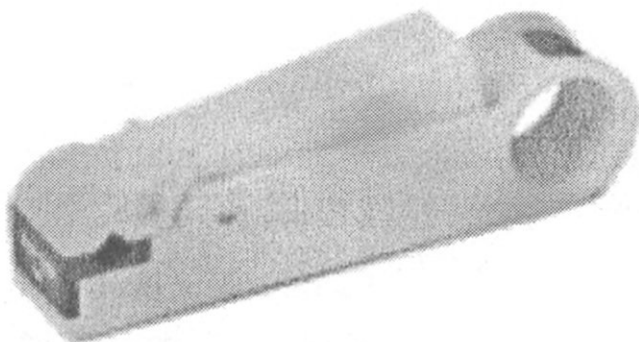
3.1.11. ábra. BNC csatlakozó



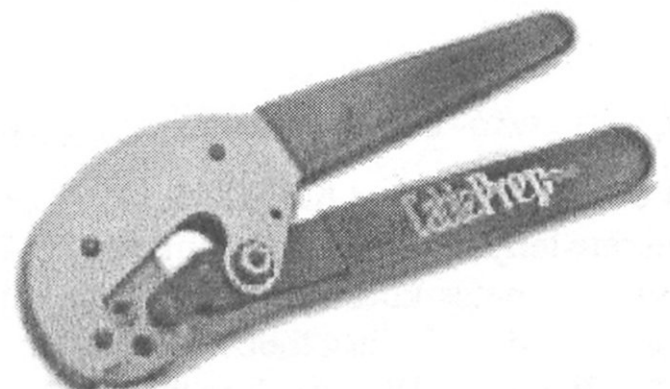
3.1.12. ábra. IEC female (anya) és male (apa) csatlakozó

A különböző típusú csatlakozók illesztéséhez sokféle átalakító (IEC-BNC, F-BNC, F-PIN stb.), valamint az előfizetői végberendezések csatlakoztatására a hagyományos műanyag-házaz, csavaros belső ér rögzítésű IEC 169-2 dugó és hüvely áll a felhasználó rendelkezésére.

A megfelelő csatlakozószereléshez kábelkés (3.1.13. ábra) és roppantó fogó (3.1.14. ábra) szükséges. A kábelkéssel körkörös mozdulatokkal megfelelő méretre lehet vágni a dielektrikumot, az árnyékolást és a külső védőréteget. A roppantó fogót az adott csatlakozótípus gyártójától kell beszerezni. Feladata a csatlakozó megfelelő mechanikai és elektromos rögzítése a kábelhez.



3.1.13. ábra. Kábelkés RG kábelekhöz



3.1.14. ábra. Roppantófogó RG kábelekhöz

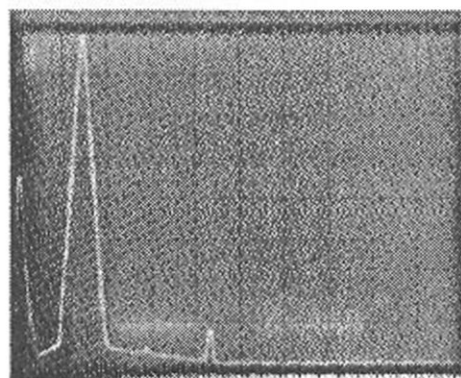
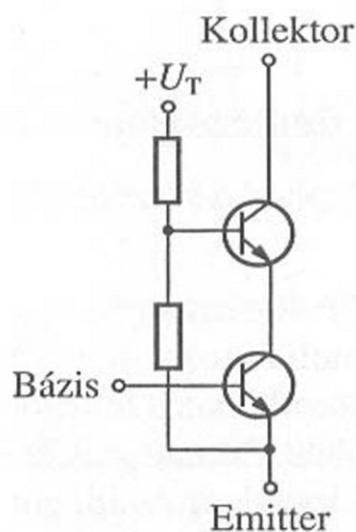
3.2. Erősítők

3.2.1. KTV erősítő alapkapsolások

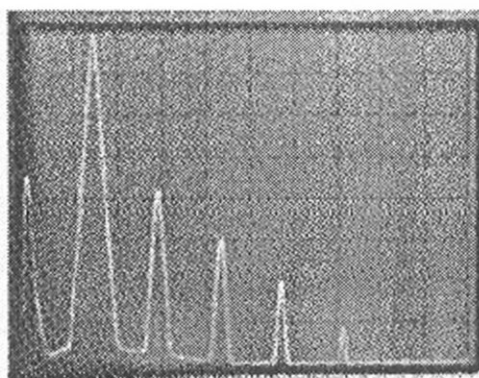
Kasz kód kapcsolás

A kapcsolás egy módosított A-osztályú erősítő. A kaszkód kapcsolásban a kollektor ellenállását egy nyitóirányban előfeszített tranzisztor helyettesíti. (3.2.1. ábra) A megoldásnak köszönhetően az erősítő átviteli jelleggörbéje lineárisabb lesz, a nemkívánatos felharmonikusok kevésbé jelennek meg. (3.2.2. ábra).

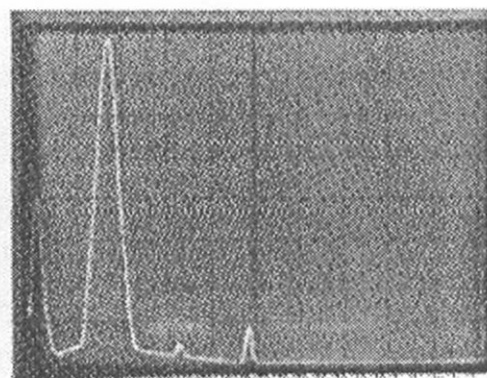
3.2.1. ábra. Kaszkód kapcsolás elve



a)



b)



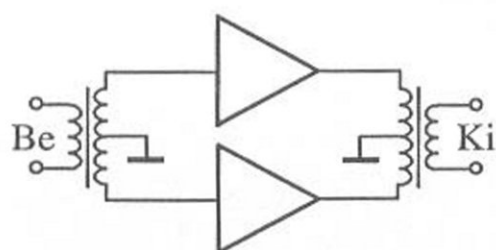
c)

3.2.2. ábra. Felharmonikus tartalom közös emitteres és kaszkád kapcsolás esetén
a) a generátor által kiadott mérőjel spektruma; b) a közös emitteres erősítő kimenetén mért jel spektruma; c) a kaszkód kapcsolású erősítő kimenetén mért jel spektruma

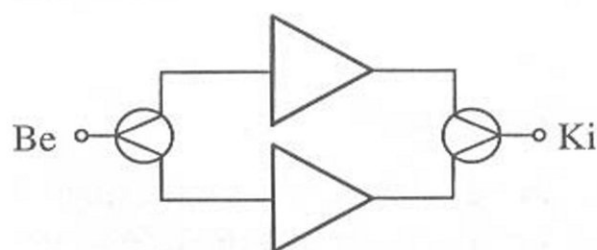
Ellenütemű kapcsolás

A kábeltelevíziós gyakorlatban az ellenütemű (push-pull) B-osztályú kaszkód kapcsolások terjedtek el. (3.2.3. ábra).

Az ellenütemű kapcsolásban a vezérlőjel pozitív és negatív félperiódusait egy közép-csapolásos transzformátorral kettéválasztják és külön fokozatokkal erősítik. A felerősített jeleket a kimeneti transzformátor polaritáshelyesen összegzi. A kapcsolás előnye a nagy kivezérelhetőség és a kis fogyasztás.



3.2.3. ábra. Ellenütemű kapcsolás



3.2.4. ábra. Teljesítményduplázó kapcsolás

Teljesítmény duplázó (power-doubled) kapcsolás

Teljesítmény duplázó két azonos felépítésű, párhuzamosan kapcsolt erősítőtől áll (3.2.4. ábra).

Általában a teljesítményduplázó erősítő minden erősítő egysége push-pull kapcsolású. Elvileg a kimeneti fokozat duplázásával az erősítés 3 dB-lel (azaz a kétszeresére) növekedne, de a gyakorlatban a fellépő veszteségek miatt ez kb. 2,5 dB. A megoldás előnye, hogy ha meghibásodik az egyik kimeneti egység, akkor a szolgáltatás nem szűnik meg, csak a szintje csökken majdnem a felére. Előreirányban az RF-erősítők kimeneti fokozatában ma már kizárólag ilyen kapcsolást alkalmaznak.

Torzításkiejtő (feedforward) kapcsolás

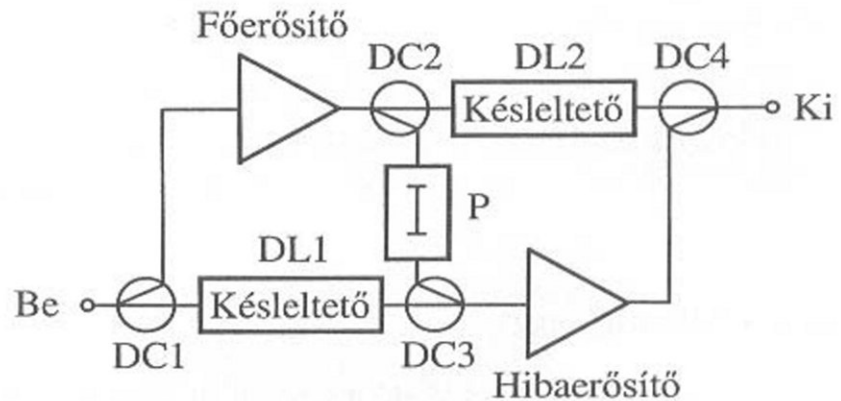
A kapcsolás feladata az erősítőben keletkező torzítási termékek kiszűrése (3.2.5. ábra).

A bemenetre jutó jel a DC1 iránycsatolón keresztül jut a főerősítőbe, ahol felerősödik és létrejönnek a nemkívánatos torzítási termékek. Ezzel egyidőben az alsó ágon az eredeti jel – amely természetesen nem tartalmazza a főerősítő torzítási termékeit – a DL1 késleltető művonalon keresztül a DC3 összegzőre jut. A főerősítő kimeneti jele a DC2 iránycsatolón és a P csillapítótagon keresztül a DC3 összegző másik bemenetére kerül. A P csillapító értéke úgy van megválasztva, hogy az összegzőre érkező jelek szintje azonos legyen. A DL1 késlelteti az alsó ág jelét, amíg a jel a felső ág elemein keresztül halad. DL1 késleltetési értéke akkora, hogy az alsó és a felső ág jele pontosan ellenfázisban érkezzen a DC3 összegzőre. Ezen feltételek miatt az összegzőben a hasznos jelek azonos jelszinten, ellentétes fázissal vannak jelen és így kiejtik egymást. Az összegző kimenetén csak a főerősítő torzítási termékei jelennek meg. Ezek kerülnek erősítés után a DC4 összegző egyik bemenetére. DC4 másik bemenetére a felső ágról megfelelő késleltetés után a felerősített és torzítási termékeket tartalmazó jel jut. A DL2 késleltető gondoskodik

arról, hogy a torzítási termékek ellenfázisban találkozzanak DC4-ben. A hibaerősítő ugyanakkora szintre erősíti fel a torzítási termékeket, mint amekkora szinten a felső ágon DC4 bemenetére érkeznek. Így DC4-ben a torzítási termékek kiejtik egymást, míg a hasznos jel felerősített szinttel megjelenik a kimeneten.

A torzításkiejtő kapcsolás jelentősen drágább a korábban említett típusoknál, ezért csak olyan erősítőkben alkalmazzák, ahol magasabbak a minőségi követelmények (törzs- és leágazó erősítők).

3.2.5. ábra. Torzításkiejtő kapcsolás



3.2.2. KTV erősítők helye a hálózatban

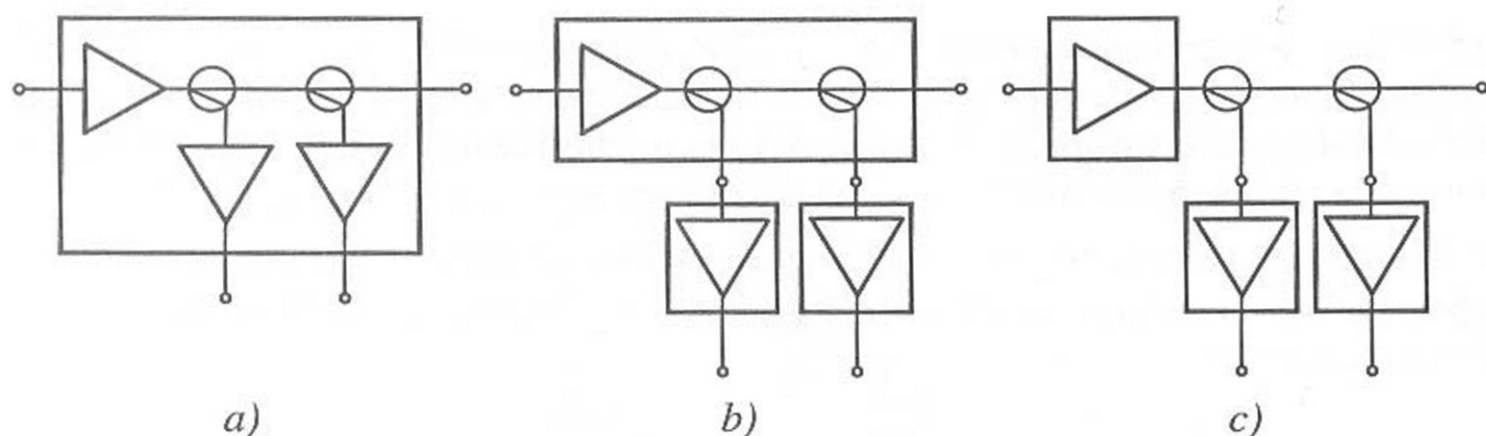
A kábeltelevíziós hálózat különböző szakaszain elhelyezett erősítők feladata a koaxiális kábel csillapításának kiegyenlítése. A kábeltelevíziós erősítők alapfelépítése ma már gyártótól függetlenül egységes. Eltérések csak a különböző hálózati síkokban előírt minőségi paraméterek miatt vannak.

Törzshálózat

A törzs- vagy trónkhálózat feladata a kábeltelevíziós jel nagy távolságra való eljuttatása. A törzskábelre nem csatlakoznak előfizetők, a törzskábelről való leágazás ún. leágazó (bridger) erősítőken keresztül történik. A törzshálózat a hálózat legfontosabb szakasza, ezért itt a legmagasabbak a minőségi követelmények.

A törzs- és a leágazó erősítők kivitelezése a következő lehet.

- Egybeépített törzs- és leágazó erősítő. A törzserősítőket gyakran üres modulhelyekkel készítik és ide építhetők be a szükséges leágazó erősítők. Ezen megoldás előnye, hogy a közös házban lévő erősítők könnyebben kezelhetőek, egyszerűbb a tápellátás, kevesebb a hibalehetőség (3.2.6.a) ábra)
- A törzserősítőben iránycsatolókkal kialakított kimenetek vannak és ezekhez csatlakoztathatók a külön készülékben szerelt bridger erősítők (3.2.6.b) ábra).
- A törzs- és a bridger erősítő különálló készülék. A bridger erősítő törzshöz való illesztése külső iránycsatolóval történik (3.2.6.c) ábra).



3.2.6. ábra. A leágazó erősítő kiviteli formái

a) közös házban a törzs erősítővel; b) törzs erősítőbe beépített leágazással; c) külső iránycsatolóval

Szétoosztóhálózat

A szétoosztóhálózat feladata a jelek eljuttatása az előfizetőkhez. A szétoosztóhálózat vonalainak jelét a vonalerősítők erősítik. A vonalakat a házakkal összekötő dropkábelek, ill. a házon belüli elosztóhálózat csillapítását a házerősítő kompenzálja.

3.2.3. Az erősítők általános felépítése

Mechanikai kivitel

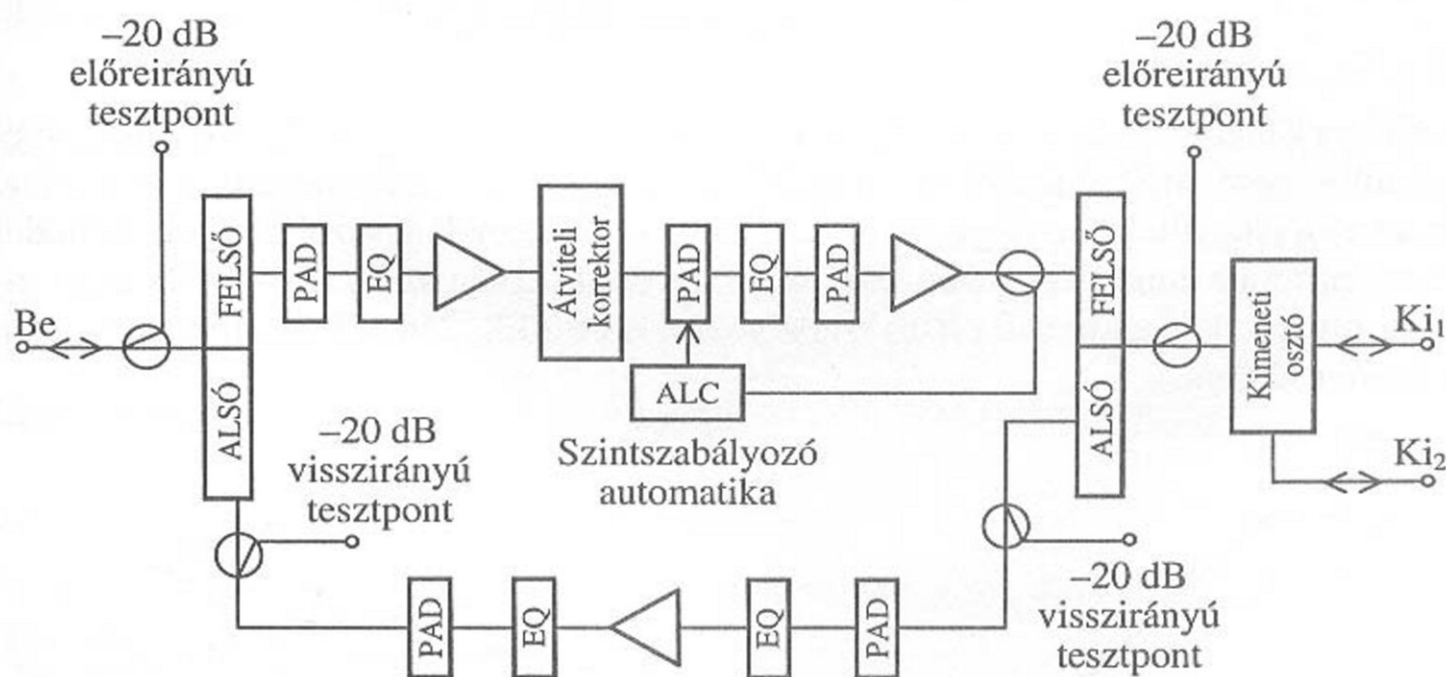
A készülékház öntött alumínium, ami két, csavarokkal összeszorítható részből áll. A csatlakozó felületeknél szövött alumínium harisnya gondoskodik a megfelelő elektromágneses árnyékolásról. A vízmentesség érdekében gumigyűrű fut végig az öntvények között. Összeszereléskor vigyázni kell, hogy ezek az elemek megfelelően feküdjenek az öntvény vájában. A ház két felét átlós sorrendben kell összezsavarozni. A megfelelően szerelt készülék teljesen vízmentes, akár víz alatt is képes tartósan működni.

Az erősítők hűtését a házon kialakított hűtőbordák segítik. A hűtőbordák többnyire a készülék hossz tengelyére merőlegesen, de léteznek 45° -os szögben álló hűtőbordákkal szerelt házak is, amelyeket vízszintesen és függőlegesen egyaránt fel lehet szerelni. A készülékek csatlakozásai $5/8$ inch menetemelkedésű tűs csatlakozóval valósíthatók meg.

Némelyik erősítő összes elektromos áramköre egy külön dobozban helyezkedik el. Ez a doboz a házból egyben kiemelhető, így meghibásodás esetén az erősítőt a házon lévő csatlakozások megbontása nélkül ki lehet cserélni.

Áramköri megvalósítás

A KTV rendszerekben használt RF-erősítő tömbvázlata a 3.2.7. ábrán látható. Az erősítő bemeneti csatlakozója után közvetlenül egy iránycsatolós tesztpont következik. A mért érték $-20 \dots -30$ dB és ezen keresztül ellenőrizhető a bejövő jel szintje. A szintnek magasabbnak kell lennie az erősítő előírt min. bemeneti szintjénél. Itt kell megmérni a beérkező jel dőlését is. (A koaxiális kábelek átvitele erősen frekvenciafüggő, az alsó frekvenciákat kevésbé, a felső frekvenciákat jobban csillapítja. Ahhoz, hogy ilyen paraméterű eszközöket használva az előfizetőnél megfelelő, egyenletes jelszintet tudjunk előállítani, az erősítők kimenetét úgy kell beállítani, hogy az alsó frekvenciákon kisebb, a nagyobb frekvenciákon nagyobb jelszintet kell kiadnunk. Ezt az eljárást nevezzük tiltezésnek, a jel frekvenciamenetének egyenestől való eltérését tiltnek vagy dőlésnek.)



3.2.7. ábra. Tipikus kétirányú KTV erősítő tömbvázlata

A tesztpont után következő diplex szűrő egy aluláteresztő-felüláteresztő szűrőpár, amelynek feladata az előre- és a visszirány szétválasztása. A felső, előreirányú ágon haladva két dugaszolható modul következik. A kiegyenlítő (equalizer, EQ) modullal a bejövő jel dőlését lehet kompenzálni. Arra kell törekedni, hogy az első erősítőfokozatra ún. „egyenest”, azaz nulla dőlésű jel kerüljön. A csillapító (PAD) modullal a jel szintje az előírt értékre csökkenthető.

A megfelelő jelszintű, nulla dőlésű jel az első, tipikusan 18 dB erősítésű hibrid erősítőmodulra kerül. A hibrid modulok a jobb hűtés érdekében a készülékházhoz vannak rögzítve és a csavaros kötések oldásával a modul könnyen cserélhető.

Ezután a fokozatközi (interstage) modulok következnek, amelyekkel be lehet beállítani az előírt rendszerjellemzőket (a dőlést a kiegyenlítő modullal, a kimeneti szintet a csillapító modullal).

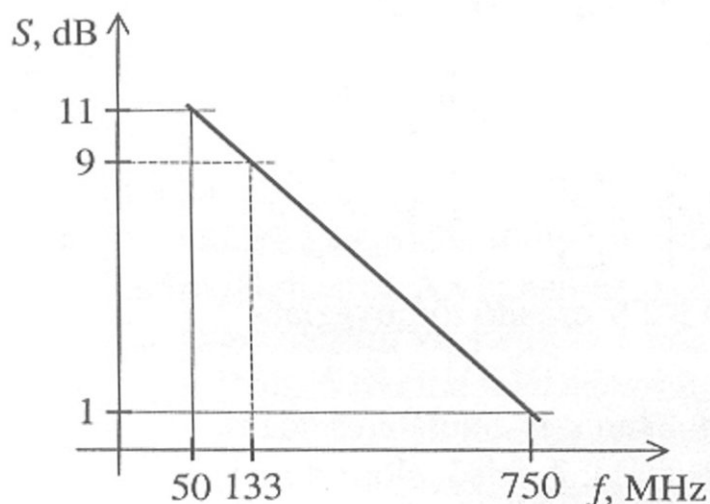
A második erősítőmodul szintén 18 dB-lel erősíti a jelet. A kimeneti duplex szűrő itt is az előre- és a visszirány összegzését-szétválasztását végzi. A kimeneti tesztponton a beállított kimeneti szintek ellenőrizhetők.

A visszirány erősítése az alsó ágon történik. A bemeneti csillapítótag után következik a hibrid erősítőmodul. Visszirányban az alacsonyabb frekvenciák miatt kisebb a kábel csillapítása, ezért általában elegendő egyfokozatú erősítő. Az előírt visszirányú rendszer-szint a kimeneti modulokkal állítható be.

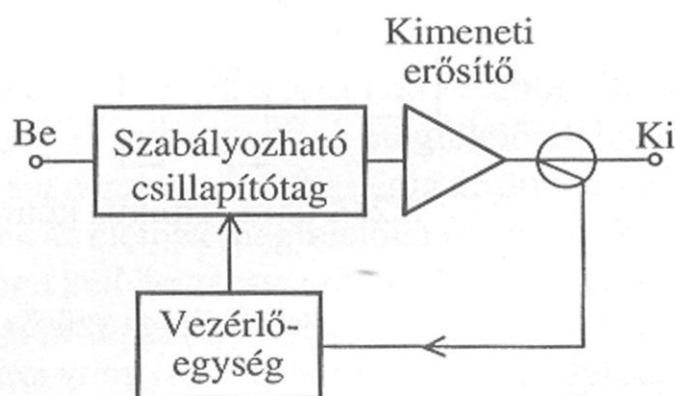
Visszirányban nem mindig van szükség erősítésre, ezért rendeléskor lehet kiválasztani a szükséges változatot. A visszirányú modul lehet nem szabályozható passzív (egyszerű rövidzár), szabályozható passzív (kiegyenlítő és csillapító taggal) és szabályozható egy- vagy kétfokozatú aktív. A következőkben áttekintjük az RF-erősítő fontosabb egységeit.

Kiegyenlítő modulok

Amikor a kábel frekvenciamenetének dőlését kompenzáljuk, figyelembe kell venni, hogy az adott kiegyenlítő modul beállítási sávja milyen frekvenciatartományra van megadva. Ez a tartomány általában nagyobb a kábelhálózaton használt sáv szélességnél, a modul kompenzációja emiatt arányosan csökken, pl. a 3.2.8. ábrán az 50...750 MHz frekvenciatartományra megadott 10 dB-es szabályozási sáv a 133...750 MHz tartományban kb. 8 dB-re csökken.



3.2.8. ábra. Kiegyenlítő modul hatása



3.2.9. ábra. Szintszabályozó automatika

Szintszabályozó automatika

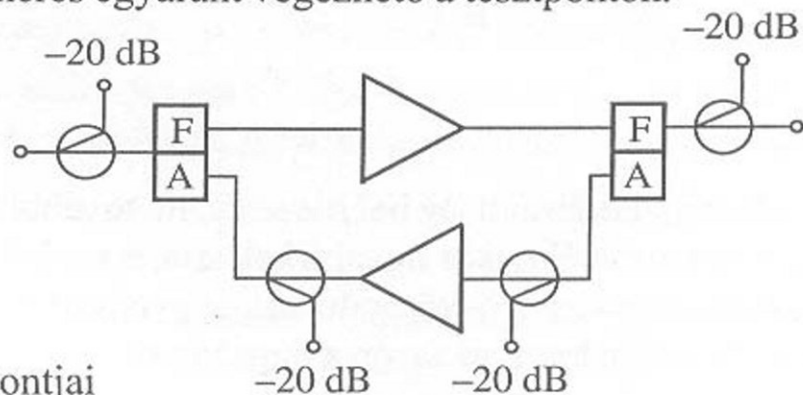
Az erősítő előtti kábelszakasz csillapítása függ a hőmérséklettől, emiatt a bemeneti jel szintje változik. Az állandó kimeneti szintet a második erősítőfokozatra kötött automatikus szintszabályozó egység (ALC, Automatic Level Control) biztosítja (3.2.9. ábra). A kimenetről iránycsatolóval kicsatolt jel egy detektorba jut, ami vezérli a szabályozható fokozatközi csillapítót. Az automatikus dőlésszabályozóval is ellátott kör neve ALSC (Automatic Level and Slope Control).

A detektor vezérlőfeszültségének hatására a kimeneti jel szintjének növekedésekor a beiktatott csillapítás értéke megnövekszik, csökkenésekor pedig csökken. Az ALC fokozat szabályozási tartománya általában ± 3 dB. Az ALC egy pilotjel szintjét figyeli, amelynek frekvenciája a rendszer rendelkezésekor megválasztható és általában az előreirányú sáv közepén van.

Iránycsatolós tesztpontok

Az erősítők közös ágon elhelyezett tesztpontjai nem alkalmasak visszirányú mérésekre, mivel a kicsatolást előreirányból végzik. (3.2.10. ábra). A visszirányú tesztpontok a visszirányú jeleket csatolják ki, így lehetőség van visszirányú zaj és visszirányú modem jelszint mérésre. Méréskor figyelembe kell venni az iránycsatoló állását.

Néhány gyártó a közös ágon elhelyezett irányfüggetlen vagy átkapcsolható tesztpontokat alkalmaz, így az előre- és visszirányú mérés egyaránt végezhető a tesztponton.



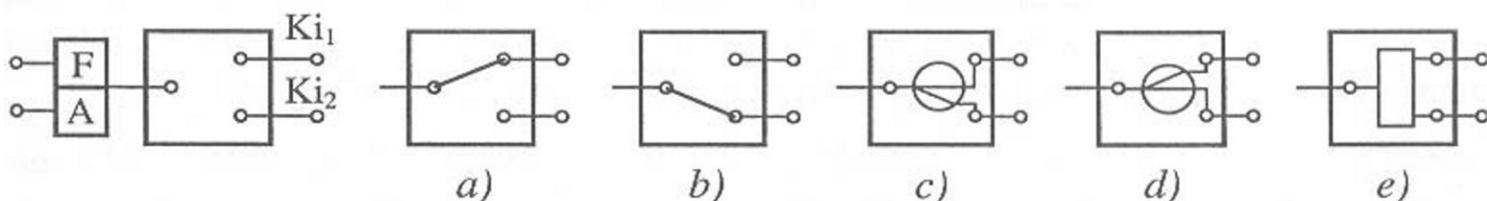
3.2.10. ábra. Visszirányú erősítő tesztpontjai

Átvitel korrektor

Fokozatközi modul, amellyel az erősítő tipikus frekvenciaátviteli egyenetlenségei korrigálhatók.

Kimeneti osztó modul

Mivel sok esetben az erősítőtől több irányba indulnak kábelek, több kimenetet szerelnek az erősítőre. Ezek között a kimeneti jelet a kimeneti osztó modullal lehet szétosztani. A modul lehet rövidzár az egyik vagy a másik kimenet felé (3.2.11.a) és b) ábra), iránycsatoló (3.2.11.c) és d) ábra) vagy kettes osztó (3.2.11.e) ábra). Ilyen elemek sokszor különálló eszközként csatlakoznak a kimenetre. A kimeneti osztó modullal a külső osztókat, iránycsatolókat lehet megtakarítani és csökkenteni lehet a hibaforrások számát.



3.2.11. ábra. Erősítő kimeneti osztó moduljai

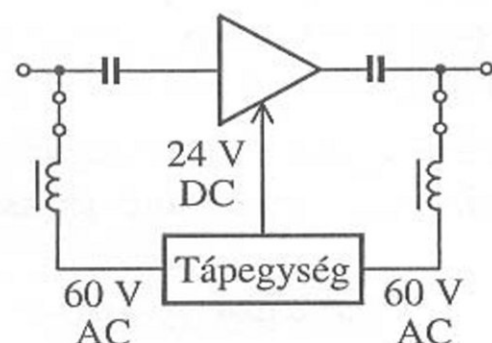
a) rövidzár az 1. kimenet felé; b) rövidzár a 2. kimenet felé;

c) iránycsatoló az 1. kimenet felé; d) iránycsatoló a 2. kimenet felé; e) kettes osztó

Tápellátás

Az erősítők lehetnek helyi vagy távtáplálásúak. Helyi táplálásnál a hálózati tápegységet az erősítő házába építik be. Távtáplált rendszereken a tápfeszültség a jeltovábbításra használt koaxiális kábelben érkezik és az erősítőn belül választják külön a kábeltelevíziós jeltől. A távtápláló feszültség 40...90 V váltakozófeszültség, ebből állítja elő a készülék tápegysége a szükséges (többnyire 24 V-os) egyenfeszültséget (3.2.12. ábra). A táplálás történhet bemeneten vagy a kimeneten keresztül. Az erősítőt olvadóbiztosító és túlfeszültség-levezető védi.

3.2.12. ábra. A tápfeszültség leválasztása távtáplált erősítőkben



A távtápláló feszültség beérkezését, ill. továbbhaladását söntökkel lehet beállítani. Egy hálózat installálásakor figyelni kell arra, hogy két tápegység feszültsége ne találkozhasson össze (azaz egy erősítőmodul csak egyetlen helyről kapjon tápfeszültséget), mert ilyen esetben az adott szakaszon a bűgásmóduláció megnövekszik.

3.2.4. Az erősítők jellemzői

A koaxiális hálózatok aktív szélessávú elemeit tárgyaló MSZ EN 80053-3:2000 szabvány rendelkezik a mérési módszerekről, ill. az előírt minőségi paramétereikről. A szabvány 5. fejezete legtöbbször a mért paraméterek közlésének szükségességét írja elő, de határértékeket csak bizonyos méréseknél ad meg. A következőkben áttekintjük a KTV-hálózatban alkalmazott RF-erősítők fontosabb jellemzőit.

Zavarok az erősítő kimenetén

Az erősítő feladata a bemenetére kapcsolt jelek erősítése. Az ideális erősítő kimenetén csak a vezérlőjeleknek az erősítő üzemi erősítésével növelt értéke jelenik meg. Az ideális erősítő a vezérlőjel jelalakját nem változtatja meg, erősítése az átviteli tartományon belül nem függ a frekvenciától és bizonyos határok között a bemeneti jelszinttől sem.

A valóságos erősítők kimenetén a vezérlőjeleken kívül nemkívánatos, az erősítő által előállított termékek is megjelennek. Ezeknek két csoportját különböztetjük meg:

- Zajok: vezérlés nélkül is jelen vannak az erősítő kimenetén.
- Torzítások: a vezérlőjelekből kikeveredő nemkívánatos frekvenciák.

Zaj

A zajokkal részletesebben az 5. fejezetben foglalkozunk, itt csak rövid áttekintést adunk. Kábeltelevíziós technikában a termikus zaj hatását kell figyelembe venni. Bármilyen építőelemet kapcsolunk egy erősítő bemenetére (kábelt, 75 Ω -os lezárást stb.), az elem vezetőiben lévő szabad töltéshordozók rendezetlen mozgásuk következtében véletlenszerűen az erősítő bemenetére kerülnek, ahol nemkívánatos áramot hoznak létre. Ez a zaj felerősítve megjelenik a kimeneten. A töltéshordozók átlagos mozgási sebessége a hőmérséklettől függ, ezért ezt a jelenséget termikus zajnak nevezik. Az R ellenálláson keletkező termikus zaj szintje:

$$U_T = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B},$$

ahol U_T a forrás által termelt zaj effektív feszültsége, V; k a Boltzmann-állandó, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K; T a hőmérséklet, K; R a zajforrás ellenállása, Ω és B a sáv szélesség, Hz.

Kábeltelevíziós hálózatok tervezésekor a zajfeszültséget 2 dB μ V értékkel közelítik. Ideális, A erősítésű erősítő kimenetén a bemeneti zajforrás által keltett termikus zaj erősített értéke jelenik meg:

$$P_{zki} = A \cdot P_{zbe}$$

Valódi erősítőben az áramköri elemek fém- és félvezető alkatrészeiben is keletkezik termikus zaj, ami a bemeneti zajhoz hozzáadódik. (3.2.13. ábra). Az F zajtényező azt mutatja meg, hogy az erősítő kimenetén hányszoros zaj keletkezik az ideálishoz képest (F a kimeneten mért zajteljesítmény és a bemeneti zaj erősített értékének hányadosa):

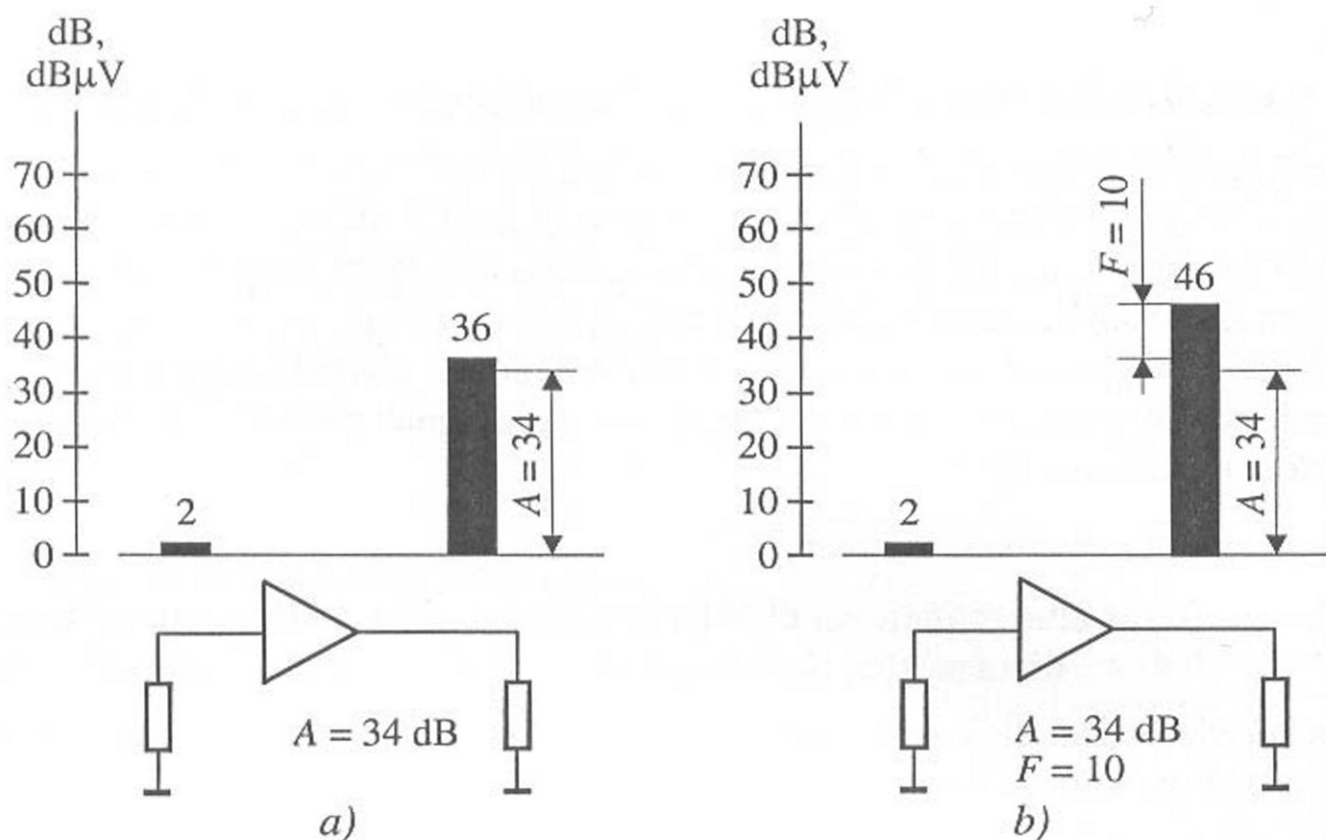
$$F = \frac{P_{zki}}{A \cdot P_{zbe}}$$

Az ideális erősítő kimenetén a termikus zaj üzemi erősítéssel növelt értéke jelenik meg, a valódi erősítő kimenetén viszont a termikus zaj üzemi erősítéssel és a zajtényezővel növelt értéke. Az ábrán a jelszinteket dB μ V-ban, az erősítést és a zajszámot dB-ben ábrázoltuk.

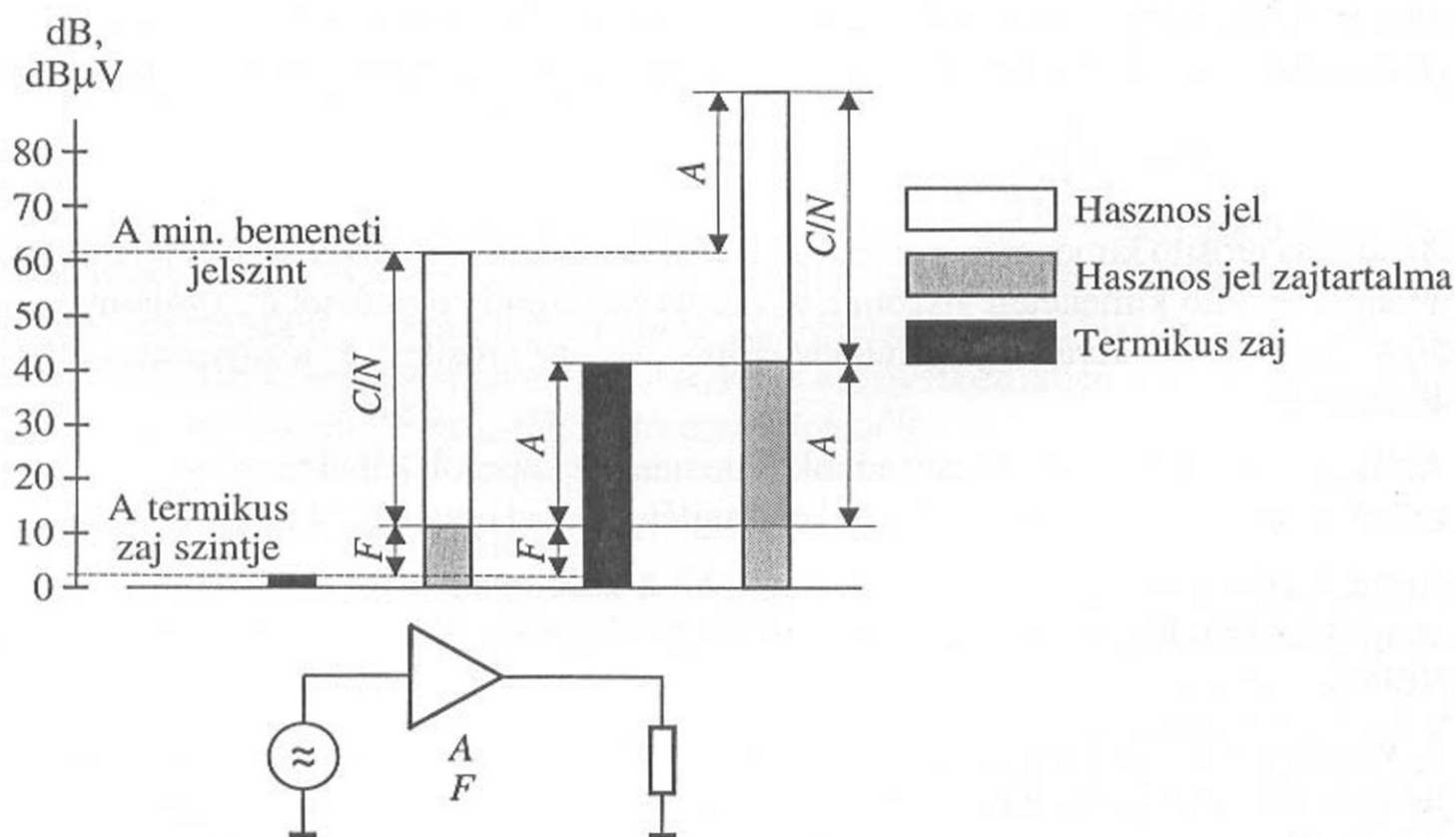
Amikor az erősítőre vezérlőjelet adunk, a bemenetre kapcsolt kábel termikus zajt termel. Ennek a zajnak a névleges erősítéssel és a zajtényezővel növelt értéke kerül a kimenetre.

Annál jobb minőségű a jel, minél nagyobb a különbség a jel max. szintje és a zaj átlagos szintje között. Ezt az adatot vivő-zaj viszonyának nevezzük (C/N , Carrier to Noise).

Egy tervezett C/N eléréséhez az erősítő bemeneti jelének min. szintjét – ideális bemeneti jel (amikor a hasznos jel csak termikus zaj összetevőt tartalmaz) esetén – úgy kell megválasztani, hogy az a termikus zaj szintjének, a zajtényezőnek és a jel-zaj viszony összegének feleljen meg (3.2.14. ábra).



3.2.13. ábra. A zajtényező hatása
a) ideális erősítő; b) valódi erősítő



3.2.14. ábra. Erősítő min. bemeneti szintjének meghatározása a termikus zajból és a zajtényezőtől

Torzítások

Lineáris torzítások: lineáris torzítás akkor keletkezik, ha egy eszköz frekvencia függvényében mért átviteli jelleggörbéje nem egyenletes, vagyis a jel különböző frekvenciájú szinuszos összetevői nem azonos mértékben „erősödnek” vagy csillapodnak (amplitúdótorzítás).

Szintén lineáris torzítás keletkezik, ha egy eszköz a jel különböző frekvenciájú szinuszos összetevőit nem azonos mértékben késlelteti (fázistorzítás).

Nemlineáris (intermodulációs) torzítások: mivel az erősítő átviteli jelleggörbéje nem lineáris, akkor is torzít, ha nem lépjük túl a kivezérelhetőségi korlátokat. A torzítás miatt a hasznos jelen kívül egyéb frekvenciájú összetevők is fellépnek, több hasznos jel esetén, pedig intermodulációs termékként (üttetési termékként) is keletkeznek ilyen összetevők.

A kivezérelhetőségi határ túllépése esetén az erősítő torzítása jelentősen megnövekszik, ami a hasznos jelen kívül egyéb frekvenciájú összetevők számának ugrásszerű növekedését eredményezi. Minél több hasznos jel erősítését szeretnénk megoldani az erősítővel annál kisebb lesz a max. kivezérelhetőség.

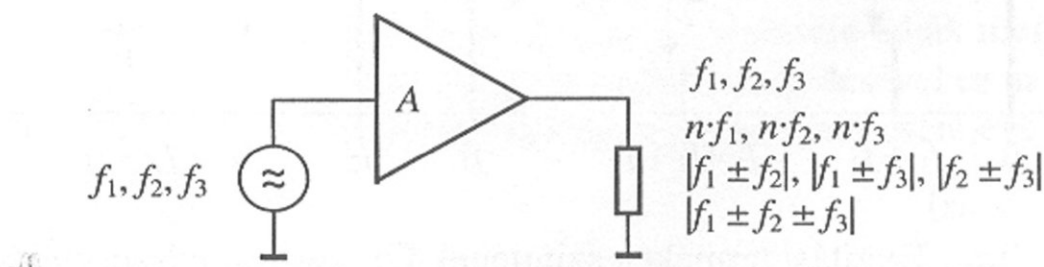
Mivel a jeltorzulás mértéke a hasznos jelen kívül arányos az egyéb frekvenciájú összetevők számával, ezért ezek jelenlétének mértékével jellemezhető a torzítás mértéke.

Ezek közül néhány intermodulációs torzítási termékcsoport (CTB, CSO, XM stb.) jól jellemzi a hálózat minőségét. A kábeltelevíziós hálózatokon a különböző vezérlőjelekből keletkezett torzítási termékek bizonyos frekvenciákon összegződnek, ezért ezeket összetett torzítási termékeknek is nevezzük. (Részletesen lásd a 6.5.3. pontban)

A kábeltelevíziós rendszereken előforduló tipikus torzítási termékek a 3.2.15. ábrán láthatók. Az egyes termékekre önálló elnevezést vezettek be. Ezek a következők:

CSO (Composite Second Order), másodrendű üttetés: két vezérlőjelből kikeveredő, $(f_1 \pm f_2)$ frekvenciájú torzítási termékek összege.

CTB (Composite Triple Beat), harmadrendű üttetés: három vezérlőjelből $(f_1 \pm f_2 \pm f_3)$, vagy egy első felharmonikusból és egy vezérlőjelből $(2f_1 \pm f_2)$ kikeveredő torzítási termékek.

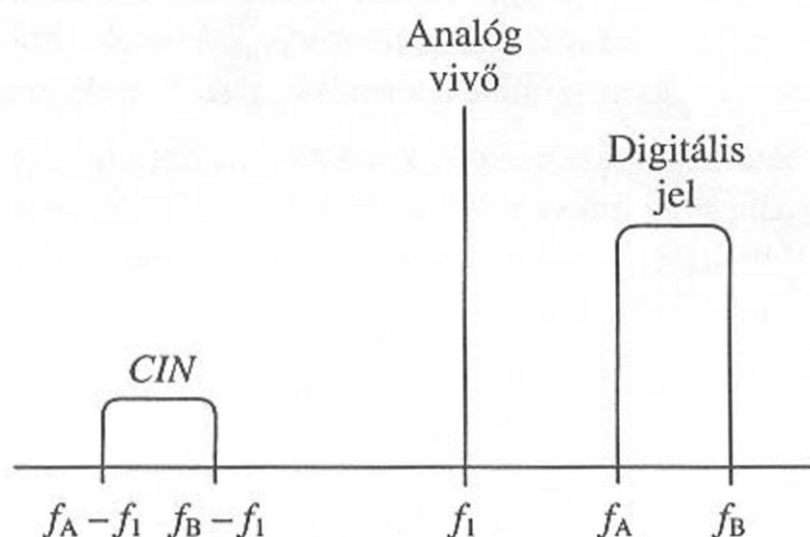


3.2.15. ábra. Valóságos erősítő kimenetén termelődő zavarok

Speciális intermodulációs torzítás a keresztmoduláció (Cross Modulation, XM), ami a hálózat többi csatornájának moduláló hatása a vizsgált csatornára (részletesen lásd szintén a 6.5.3. pontban).

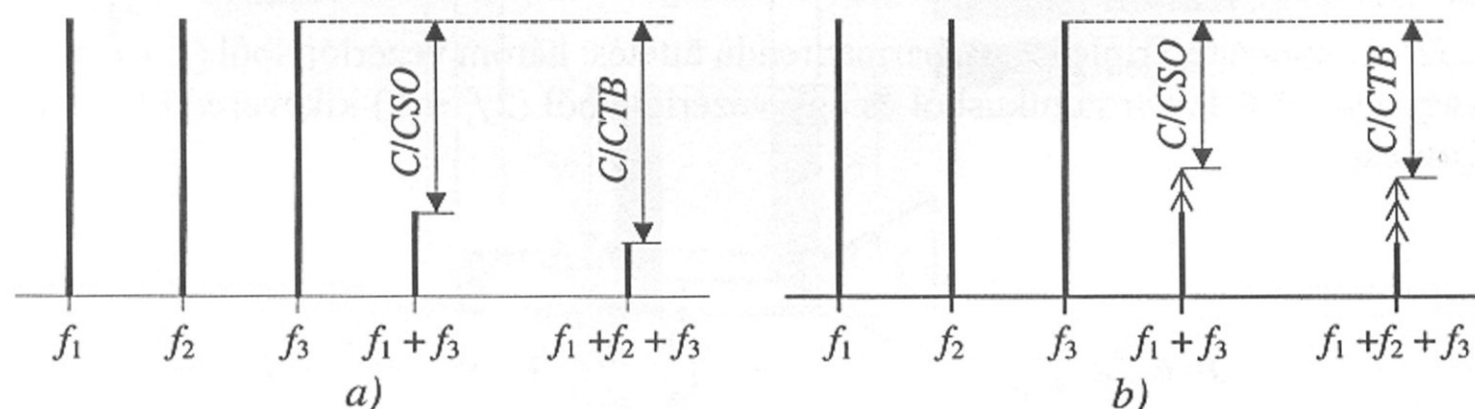
A keletkezett torzítási termékeket megfelelően alacsony szinten kell tartani. A hasznos jelek és a torzítási termékek szintkülönbsége a vivő-zavar arány, a fenti esetekre a C/CSO és a C/CTB . Mivel egyidőben több torzítási termék is keletkezik, ezek közül mindig a legnagyobbal számolunk, tehát a legkedvezőtlenebb vivő-zavar arányt vesszük figyelembe.

Az analóg jelek kombinációjaként keletkező torzítási termékeken túl ma már a hálózatokon lévő digitális szolgáltatások miatt megadják az analóg és digitális jelek keveredéséből előálló torzítást is (CIN , Composite Intermodulation Noise). A keletkező termék zaj jellegű, mivel az azt létrehozó digitális jelnek szétkent spektruma van (3.2.16. ábra).



3.2.16. ábra. Analóg és digitális jel közötti intermodulációs torzítás (CIN)

A kimeneten mérhető jel/zavar arány függ a vezérlőjelek szintjétől. Ugyanis ha a kimeneti jelek szintjét 1 dB-lel növeljük, a két jeltől kikeveredő másodrendű üttetések szintje 2 dB-lel nő és emiatt a C/CSO érték 1 dB-lel romlik. Ugyanebben az esetben a harmadrendű üttetések szintje 3 dB-lel nő, a C/CTB arány 2 dB-lel romlik (3.2.17.b) ábra).



3.2.17. ábra. Torzítási termékek szintjének függése a rendszerszinttől

a) másod- és harmadrendű üttetések; b) A rendszerszint 1 dB-es növelésekor előálló helyzet

A gyártók többféleképpen adhatják meg a jel-zavar arányt, amire a következőkben látunk példákat.

- Megadják annak a max. kimeneti szintnek az értékét, ami alatt az erősítő jel-zavar aránya egy előírt érték alatt marad. Pl.:
A CSO értékhez tartozó kimeneti szint: $<110 \text{ dB}\mu\text{V}$,
CSO: 58 dBc (a dBc a képvivő szintjéhez viszonyított értéket jelzi).
- Az adott kimeneti szinthez tartozó vivő-zavar arány értékét adják meg. Pl.:
CSO: $>58 \text{ dBc}$,
A CSO értékhez tartozó kimeneti szint: $110 \text{ dB}\mu\text{V}$.
- A vivő-zavar arány mérési eljárása a hivatkozott szabványban található. Pl.:
Kimeneti szint CSO (CENELEC): $110 \text{ dB}\mu\text{V}$.
- A gyártó által ajánlott kimeneti szintek esetén mért vivő-zavar arányokat is megadhatják. Pl.:
Kimeneti szint: $110 \text{ dB}\mu\text{V}$,
CSO: 58 dB.

Az egyes esetekben fel kell tüntetni, hogy milyen csatornaterhelés mellett, egyenes átvitelnél vagy a dőlés figyelembevételével történt-e a mérés.

- Különböző számú csatornához tartozó jel-zavar arányt adunk meg. (Ebben az esetben fel kell tüntetni, milyen kimeneti szint mellett, egyenes átvitelnél vagy milyen dőlés figyelembevételével történt a mérés.) Pl.:
Csatornaszám: 128, 112, 77 analóg,
CSO: 60, 65, 69 dB.

Amennyiben az erősítő kimeneti szintjét a megadott jelszintek alatt tartjuk, az erősítő a megadott vivő-zavar arányoknál jobb értékekkel működik. A koaxiális hálózatok aktív szélessávú elemeit tárgyaló MSZ EN 80053-3:2000 szabvány 5. fejezete szerint azt a kimeneti szintet kell megadni, ami 60 dB C/CSO és C/CTB arányt eredményez.

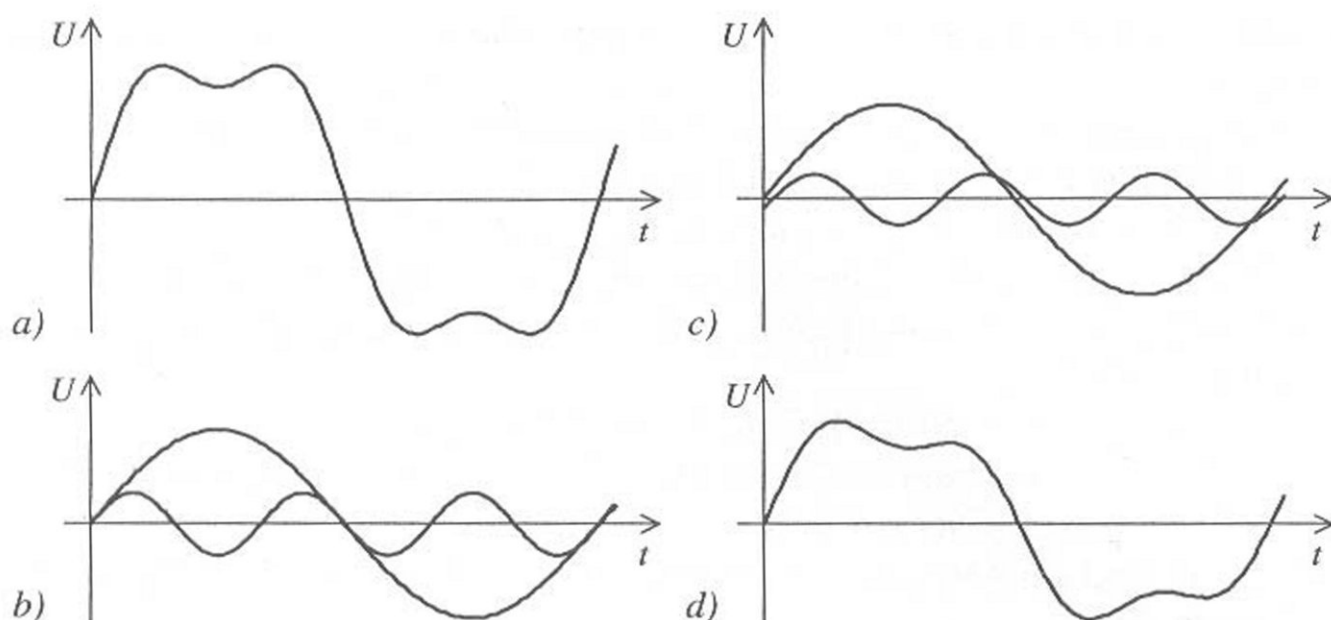
Búgásmoduláció

A búgásmoduláció az erősítőre kerülő hasznos jelek modulációja a tápfeszültség frekvenciájával. Ezt az értéket a max. átfolyó áram esetére adják meg. Tipikus értéke 50...60 dB. Érdeemes megjegyezni, hogy az erősítő öregedésével ez az érték jelentősen leromolhat. Ilyen esetben a tápegység pufferkondenzátorának cseréjével a hiba javítható.

Fázistorzítás

Fázistorzítás esetén, ha ugyanazon jel két összetevőjéről van szó, akkor ezek időbeli eltolódása miatt az eredeti jel alakja torzul (3.2.18. ábra). A két jel azonos fázisú pontjai között a kimeneten jelentkező különbség a csoportfutási idő.

A televíziós technikában, ha fázistorzítás lép fel a képvivő és a színsegédvivő között, akkor a tévéképernyőn a fekete-fehér világosságjel és a színjel vízszintes irányban eltolódik egymáshoz képest.



3.2.18. ábra. Fázistorzítás kialakulása

- a) az összetett bemeneti jel; b) a bemeneti jel összetevői;
 c) az összetevők a kimeneten; d) az összetett kimeneti jel

Nagy csoportfutási-ido esetén a digitális jelek torzulnak, az átvitelben információvesztés lép fel (teletext jelek és internet szolgáltatás).

A csoportfutási-ido értéke a katalógusokban a színsegédvívő késését jelenti a világosságjelhez képest (chroma delay, chrominance/luminance delay). Visszirányban két mérési frekvencia közötti csoportfutási-ido különbséget adják meg.

Sávszélesség

Általánosan egy erősítő alsó és felső határfrekvenciája az a két frekvencia, ahol az erősítés a névleges (sávközépen kialakuló) értékhez képest 3 dB-lal csökken. A felső és az alsó határfrekvencia különbsége a sávszélesség.

A kábeltelevíziós erősítőknek ennél szigorúbb feltételeket kell kielégíteni. A jelenleg gyártott erősítők kivétel nélkül a teljes kábeltelevíziós sávot erősítik (5...860 MHz). Erre a tartományra adják meg a névleges erősítéstől való max. eltérést és ez az érték az erősítő ún. hullámossága, amplitúdótorzítása (flatness). A hullámosság tipikus értéke 0,5...1 dB.

Az erősítőkben az előre- és a visszirány sávjai szűrőkkel állíthatók be. A szűrők határozzák meg, mi legyen a visszirány felső és az előreirány alsó határfrekvenciája. Az erősítők (és ezzel a kábeltelevíziós hálózat) sávjának ilyen módon való kettéosztását hasításnak (split) nevezzük. A szokásos hasításokat a 3.3.1. táblázat tartalmazza.

Tápellátás

A kábeltelevíziós hálózat erősítőinek tápfeszültség ellátását a 3.2.3. pontban már ismertettük. Az ott elmondottakon kívül az erősítők fontos adata a fogyasztás. Ezt általában az erősítő teljes kiépítettsége (aktív visszirányú modul) esetén adják meg (3.2.1. táblázat), esetleg külön adatként szerepel a helyi- és a távtáplálású változat fogyasztása.

KTV erősítők fogyasztása. 3.2.1. táblázat

Az erősítő típusa	Fogyasztás, W
Törzs- és leágazó erősítő	50 ... 60
Vonalerősítő	20 ... 30
Házerősítő	15 ... 20

Mivel az erősítő után további távtáplált elemek következhetnek a hálózaton, megadják azt a max. átfolyó áramot is, amit az erősítő üzemszerűen, károsodás nélkül elvisel (max. current). Ennek tipikus értéke 10...15 A.

Hőmérési tartomány

Kábeltelevíziós erősítők tipikus működési tartománya -40° és $+60^{\circ}$ C között van.

Reflexiós csillapítás

Hasonlóan a koaxiális kábelekhez és a passzív építőelemekhez, a reflexiós csillapítás az erősítőknél is az illesztettség minőségére utaló adat. Tipikus értéke 16–18 dB. Rosszul illesztett erősítők a hálózaton reflexiókat okozhatnak, amelyek elsősorban a digitális jelek átvitelét nehezítik meg. Két illesztetlen elem a jel oda- és visszaverődését okozza, ennek eredménye lehet a tv-képernyőn látható szellemkép.

A KTV-rendszerekben alkalmazott erősítők jellemzőinek tipikus értékeit a 3.2.2. táblázat tartalmazza.

KTV erősítők jellemző adatai. 3.2.2. táblázat

Jellemző	Angol elnevezés	Tipikus érték	Mértékegység
Sávszélesség	Frequency range, bandwidth	860	MHz
Hasítás	Split	30/47, 42/54, 50/70, 65/80, 65/85	MHz
Működési hőmérséklet	Temperature range	-40...+60	°C
Max. erősítés	Full gain	35	dB
Üzemi erősítés	Operational gain	30	dB
Egyenletesség	Flatness	$\pm 0,5 \dots \pm 1$	dB
Min. bemeneti szint	Minimum input level	75	dBmV
Max. kimenő szint	Maximum output level	120	dBmV
Zajtényező	Noise figure	6 – 10	dB
Reflexiós csillapítás	Return loss	16 – 18	dB
Összetett másodrendű üttetések	CSO	60 – 70	dB
Összetett harmadrendű üttetések	CTB	60 – 70	dB
Összetett intermodulációs zaj	CIN	60-70	dB
Keresztmoduláció	XM, cross modulation	60 – 70	dB
Búgásmoduláció	HUM	60 – 65	dB
Tápellátás módja	Powering	helyi, táv (local, remote)	-
Távtápláló feszültség	AC voltage, operating voltage	30 – 90	VAC
Tápfeszültség	DC voltage	$24 \pm 0,5$	VDC
Fogyasztás	Power consumption	15 – 60	W
Maximális átfolyó áram	Max. current passing	10 – 15	A
Csoportfutási idő, előreirány	Chroma delay	2 – 50	ns
Csoportfutási idő, visszirány	Return group delay	2 – 50	ns

3.2.5. Erősítőkapcsolás példák

Törzs-leágazó erősítő

A C-Cor FNT95DJT típusú törzs-bridger erősítő tömbvázlata a 3.2.19. ábrán látható. (Az ábrán a szaggatott vonallal határolt elemek dugaszolható modulok, a szürke tónussal alányomott részek opcionális egységek.) A törzs ág a Port1 bemenet és a Port4 kimenet között található. Felépítése a bemenettől a kimenetig:

- RF/AC: tápfeszültség-leválasztó szűrő,
- bemeneti tesztpont,
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszirány szétválasztására,
- dugaszolható bemeneti modulok,
- első erősítőfokozat,
- fokozatközi modulok,
- második erősítőfokozat,
- iránycsatoló a bridger ágak felé,
- ALC: automatikus szintszabályozó kör,
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszirány összegzésére,
- kimeneti tesztpont,
- RF/AC: tápfeszültség-leválasztó szűrő.

A visszirányú ág a kimenettől a bemenetig:

- A/F (H/L): a duplex szűrőnél válik el a visszirány,
- bemeneti csillapító modul,
- bemeneti tesztpont,
- visszirányú ágak összegzője,
- visszirányú erősítő,
- kimeneti szabályozó modulok,
- kimeneti tesztpont.

A leágazó előreirányú ágak: a törzs ág leágazója után:

- bridger erősítő bemeneti szabályozó modulok,
- kettes osztó a leágazó ágak szétválasztására,
- leágazó erősítő hibrid,
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszirány összegzésére,
- kimeneti tesztpont,
- Distribution: kimeneti osztó modul. A Port5 (másik ágon Port3) kimenet és a Port6 (másik ágon Port2) opcionális kimenet között osztja szét a kimenőjelet.

A leágazó visszirányú ágak:

- A duplex szűrő után szabályozó modul, visszirányú tesztpont, majd visszirányú összegző található, amik után kerül a jel a visszirányú erősítőre.

3.2.5. Erősítőkapcsolás példák

Törzs-leágazó erősítő

A C-Cor FNT95DJT típusú törzs-bridger erősítő tömbvázlata a 3.2.19. ábrán látható. (Az ábrán a szaggatott vonallal határolt elemek dugaszolható modulok, a szürke tónussal alányomott részek opcionális egységek.) A törzs ág a Port1 bemenet és a Port4 kimenet között található. Felépítése a bemenettől a kimenetig:

- RF/AC: tápfeszültség-leválasztó szűrő,
- bemeneti tesztpon
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszirány szétválasztására,
- dugaszolható bemeneti modulok,
- első erősítőfokozat,
- fokozatközi modulok,
- második erősítőfokozat,
- iránycsatoló a bridger ágak felé,
- ALC: automatikus szintszabályozó kör,
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszirány összegzésére,
- kimeneti tesztpon
- RF/AC: tápfeszültség-leválasztó szűrő.

A visszirányú ág a kimenettől a bemenetig:

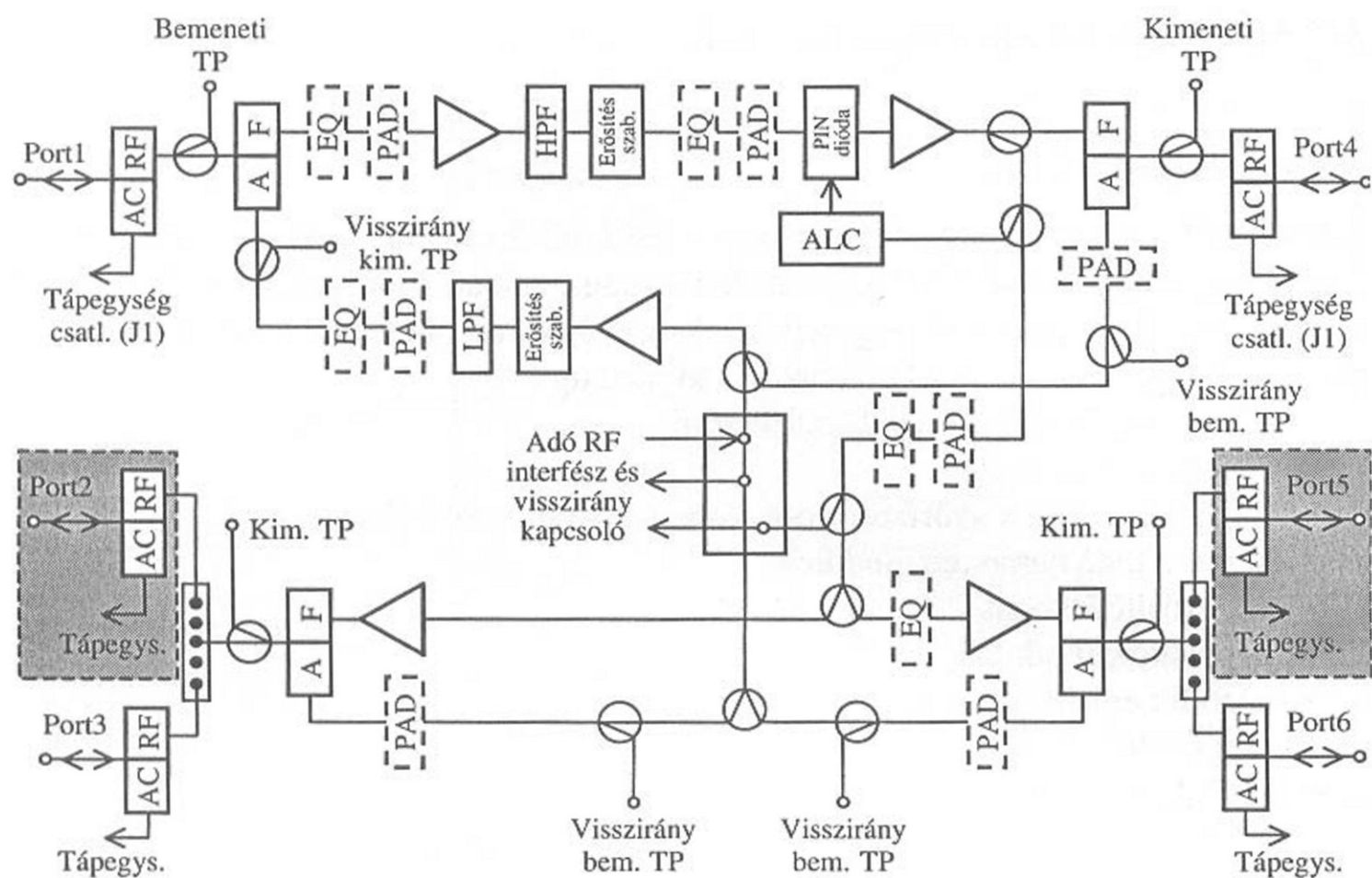
- A/F (H/L): a duplex szűrőnél válik el a visszirány,
- bemeneti csillapító modul,
- bemeneti tesztpon
- visszirányú ágak összegzője,
- visszirányú erősítő,
- kimeneti szabályozó modulok,
- kimeneti tesztpon

A leágazó előreirányú ágak: a törzs ág leágazója után:

- bridger erősítő bemeneti szabályozó modulok,
- kettes osztó a leágazó ágak szétválasztására,
- leágazó erősítő hibrid,
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszirány összegzésére,
- kimeneti tesztpon
- Distribution: kimeneti osztó modul. A Port5 (másik ágon Port3) kimenet és a Port6 (másik ágon Port2) opcionális kimenet között osztja szét a kimenőjelet.

A leágazó visszirányú ágak:

- A duplex szűrő után szabályozó modul, visszirányú tesztpon, majd visszirányú összegző található, amik után kerül a jel a visszirányú erősítőre.



3.2.19. ábra. C-Cor FNT95DJT törzs-bridger erősítő

Vonalerősítő

Az ANTEC 870 MHz-es vonalerősítő tömbvázlata megegyezik a 3.2.7. ábrán látható tömbvázlattal. Az erősítő főbb egységei a következők.

Az előreirány a bemenettől a kimenetig:

- bemeneti tesztpont,
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszírány szétválasztására,
- PAD: bemeneti csillapító modul,
- EQ: bemeneti dőlés kiegyenlítő modul,
- első erősítő fokozat,
- átviteli korrektor,
- EQ: fokozatközi dőlés kiegyenlítő modul,
- PAD: fokozatközi csillapító modul,
- második erősítő fokozat,
- automatikus erősítés szabályozó,
- A/F (H/L): duplex szűrő az előre- és a visszírány összegzésére,
- kimeneti tesztpont,
- kimeneti osztómodul (kimenőjel szétosztása a két kimenet között).

A visszirányú ág a kimenettől a bemenetig:

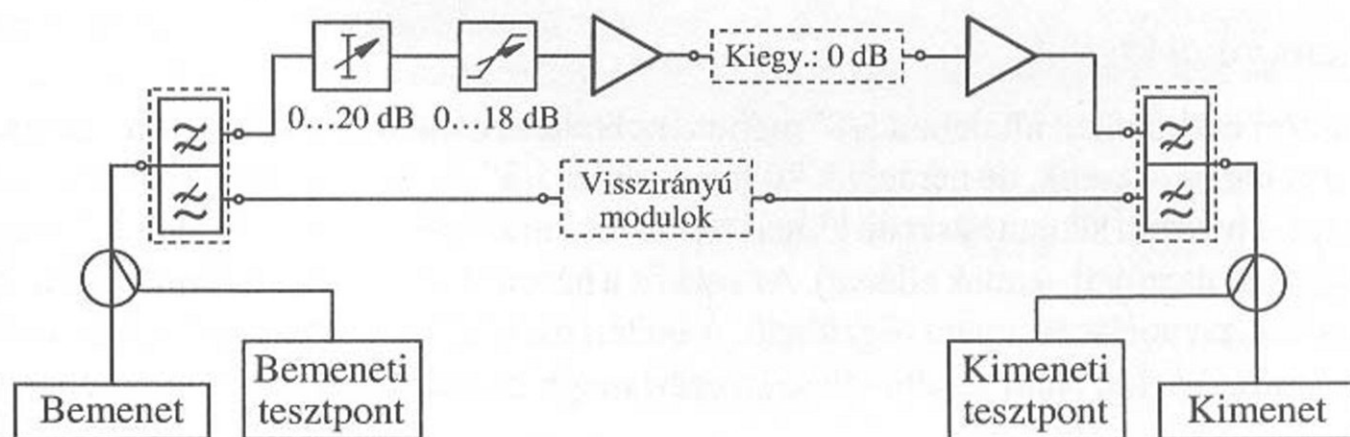
- A/F (H/L): a duplex szűrőnél válik el a visszirány,
- PAD: bemeneti csillapító modul,
- bemeneti tesztpont,
- visszirányú erősítő,
- EQ: kimeneti dőlés kiegyenlítő modul,
- PAD: kimeneti csillapító modul,
- kimeneti tesztpont.

Házerősítő

A Philips AMP0060 típusú házerősítő felépítése a 3.2.20. ábrán látható.

Az előreirány a bemenettől a kimenetig:

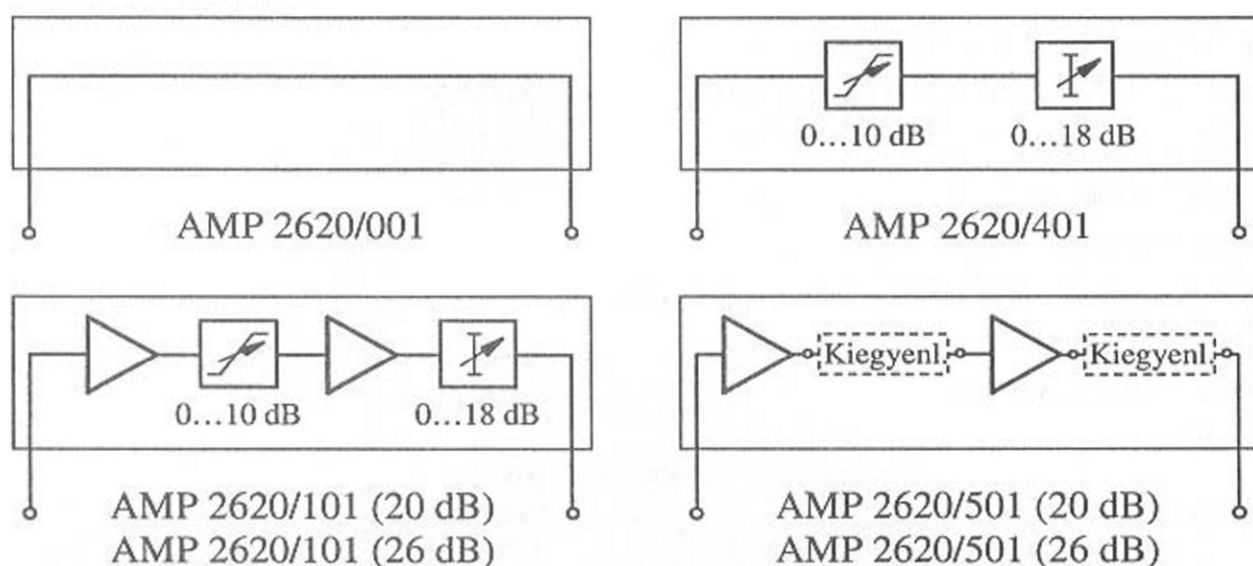
- bemeneti irányfüggetlen tesztpont,
- duplex szűrő az előre- és a visszirány szétválasztására,
- bemeneti csillapító tag (folyamatos szabályozás),
- bemeneti dőlés kiegyenlítő tag (folyamatos szabályozás),
- erősítő fokozat,
- kimeneti dőlés kiegyenlítő modul,
- duplex szűrő az előre- és a visszirány összegzésére,
- kimeneti iránycsatolt tesztpont.



3.2.20. ábra. Philips AMP0060 házerősítő felépítése

Visszirányú ág (3.2.21. ábra) a kimenettől a bemenetig:

- rövidzár,
- passzív szintszabályozásos modul,
- kétfokozatú aktív panel folyamatos szabályozású vagy dugaszolható modulokkal.



3.2.21. ábra. Philips AMP0060 házerősítő visszirányú moduljai

3.3. Elosztók, leágazók, szűrők

3.3.1. A passzív építőelemek általános jellemzői

Mechanikai kivitel

A kültéri eszközöket általában 5/8" menetemelkedésű csatlakozóval ellátott víz- és pormentes házba szerelik, de némelyik kültéri eszközt 5/8"-os és F-csatlakozásokkal is ellátják (pl. a hálózati síkban használt kültéri tap be- és kimenetei 5/8"-os kivitelűek, a leágazások F-csatlakozóval vannak ellátva). Az eszköz a házon található alumínium füllel a légkábeles hálózat acélsodronyára rögzíthető. A beltéri eszközök F-csatlakozókkal ellátott zárt alumínium házak. Nem szedhetők szét, ezért meghibásodás esetén cserélni kell azokat.

Elektromos paraméterek

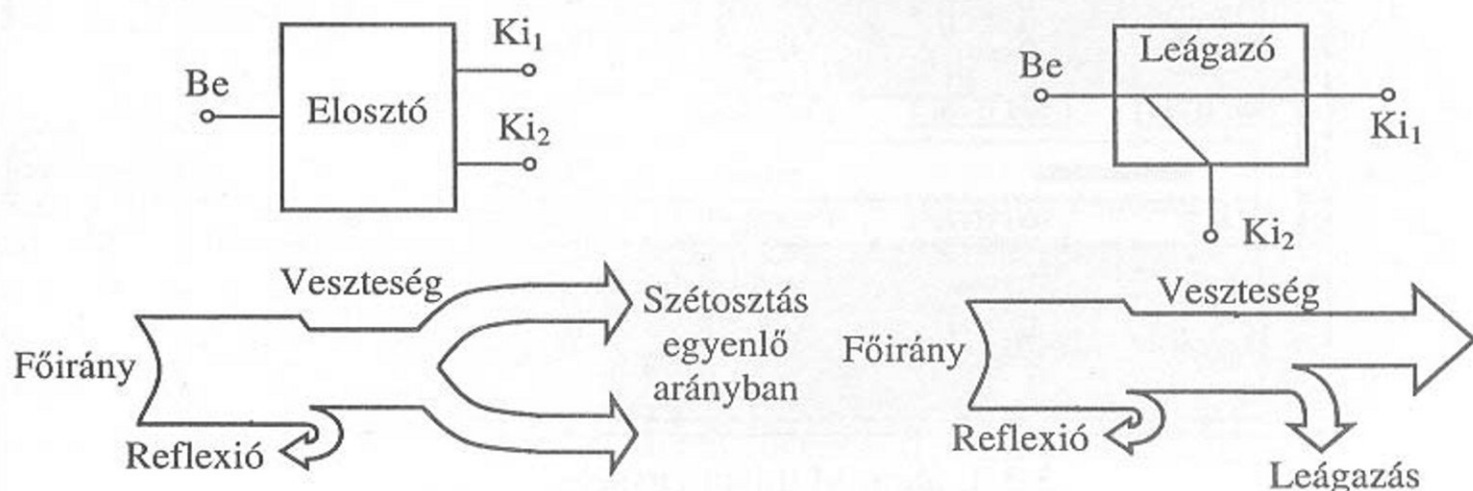
A passzív RF-eszközök minőségi követelményeiről az MSZ EN 50083-2: 2001 szabvány 5. fejezete rendelkezik. Figyelembe kell venni, hogy a szabvány előírásai az 5–3000 MHz sávra vonatkoznak, miközben a passzív RF-eszközök működési tartománya általában 5–1000 MHz. Az eszközök általános jellemzői a következők.

- Névleges impedancia: 75 Ω , tűrést nem ír elő a szabvány.
- Frekvenciaátvitel: osztóknál, leágazóknál egységesen 5...1000 MHz.
- Beiktatási csillapítás (insertion loss): az eszköz ki- és bemenete között mérhető csillapítás.

- Reflexió csillapítás (return loss): az eszköz illesztettségére jellemző adat (l. a koaxiális kábeleknél). Tipikus értéke minden csatlakozásra, minden frekvenciasávban 16 dB vagy annál jobb. A szabvány minőségi osztálytól és frekvenciasávtól függően 10...22 dB között írja elő az értékét.
- Elválasztási csillapítás (mutual isolation, tap-to-tap isolation): az eszköz kimenetei között mérhető csillapítás, tipikus értéke 20 dB.
- Irányelválasztás (directivity, tap-to-out isolation): leágazóknál a leágazás és a kimenet között mért csillapítás különbsége, tipikus értéke 20–40 dB.
- Árnyékolás csillapítása (screening effectiveness): Az MSZ EN 50083-2: 2001 szabvány 4. fejezetében leírt mérési eljárással kapott érték. A passzív eszközbe valamelyik bemenetén mérőjelet kell vezetni, miközben az összes többi be- és kimenetet illesztetten le kell zárni. Adott távolságban antennával mérendő a kisugárzott jel szintje. A mérést minden bementre a teljes frekvenciasávban el kell végezni. A betáplált és a mért jel szintkülönbsége az árnyékolás hatásossága. A kapott érték az eszköz külső zavarok elleni védettségét is jellemzi. A szabványban előírt értéke az eszköz minőségi osztályától és a mért frekvenciasávtól függően 65...85 dB.

3.3.2. Elosztók, leágazók, iránycsatolók

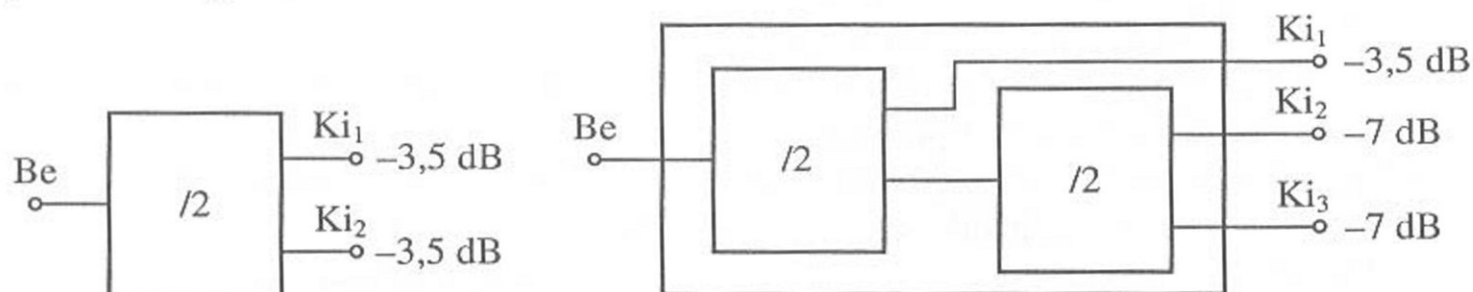
Az elosztók (splitter-ek), leágazók és iránycsatolók olyan passzív eszközök, amelyek a jel reflexiómentes kicsatolását teszik lehetővé. Gyakorlati kivitelük legtöbbször hibrid transzformátoros. Az alapvető eszköz a 3.3.1. ábrán látható elosztó és leágazó, és minden jel-szétosztási feladat ezek kombinálásával oldható meg.



3.3.1. ábra. Az elosztó és a leágazó működése

A kültéri elosztók minden kimeneten olvadóbiztosítót is tartalmaznak, amelyek feladata az adott ág rövidzár elleni védelme. Ezen túl az olvadóbiztosító eltávolításával megszakítható az adott ág távtáplálása. A beltéri eszközök általában nem alkalmasak a távtápláló áram átengedésére.

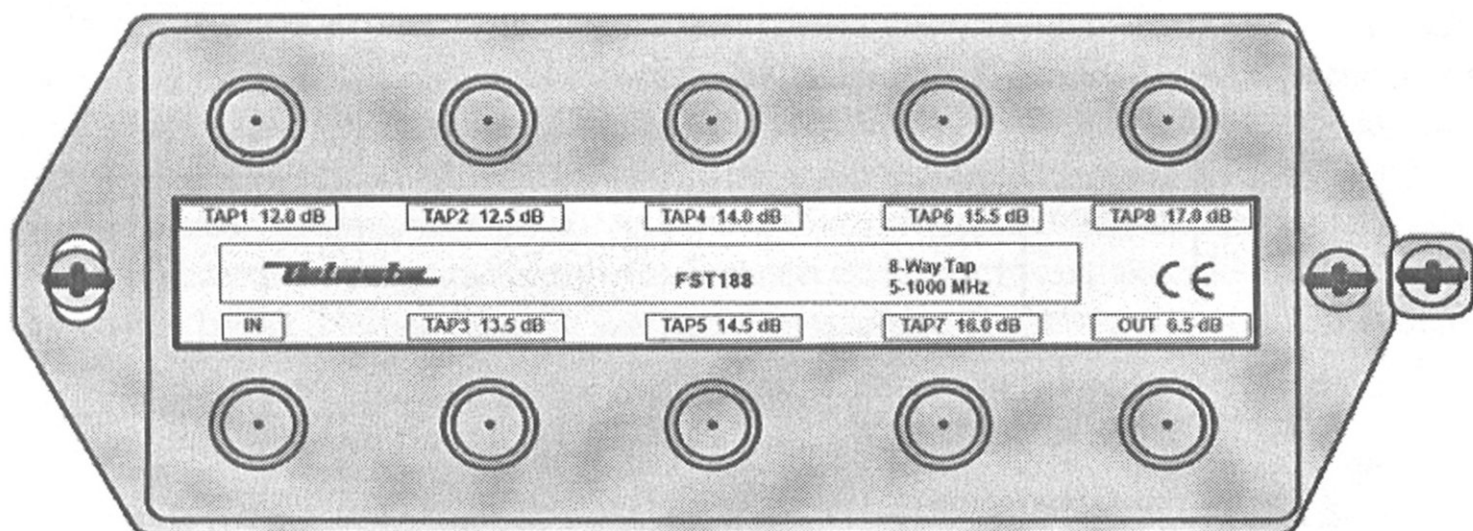
Az elosztók egy különleges változata a hármass osztó, amit általában két kettes osztó sorba kapcsolásával alakítanak ki, ezért a kimeneteken nem egyenlő az osztásviszony (3.3.2. ábra).



3.3.2. ábra. Kettes és hármass osztó

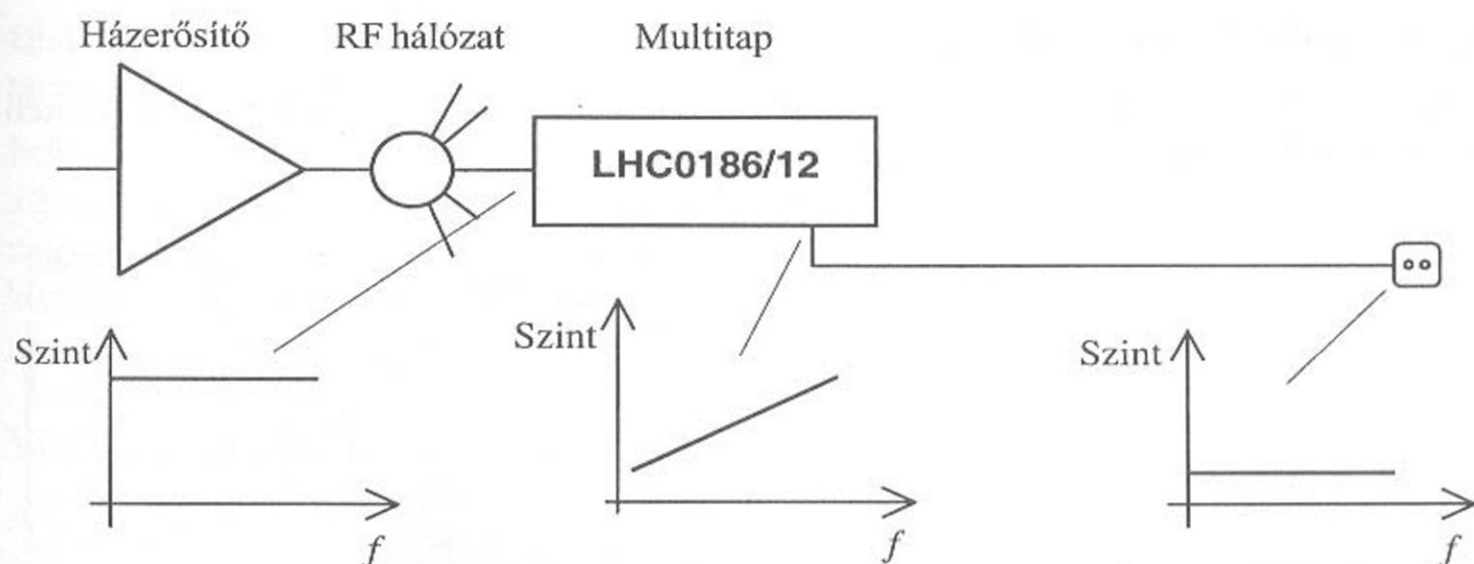
A leágazók (tap-ok) egy kis beiktatási csillapítású (átmenő ág) és néhány nagyobb csillapítású (leágazás) kimenettel rendelkező eszközök. Kültéri kivitel esetén az átmenő ág átengedi a távtápláló feszültséget, míg a leágazások leválasztják azt. A beltéri eszközök általában nem alkalmasak a távtápláló áram átengedésére. Felhasználási területük elsősorban előfizetők csatlakoztatása a hálózathoz.

Speciális leágazó a rendszerint beltéri kivitelben gyártott ún. multimap, amelyben a leágazások nem azonosak. Ennek az az előnye, hogy az eszköztől különböző távolságra lévő előfizetőket más csillapítású leágazásokra lehet kötni. Ha a nagyobb távolságra lévő előfizetők a kisebb csillapítású leágazásról kapják a jelet, akkor elérhető, hogy minden átadási ponton közel azonos jelszint legyen (3.3.3. ábra).



3.3.3. ábra. Multimap egység (Teleste)

A multimap egység továbbfejlesztett változata a dőlésszabályozott (tiltezett) multimap, amely a különböző csillapítású kimeneteken eltérő kábelkompenzálást állít be. (A nagyobb csillapítású kimenet rövidebb kábelszakaszhoz készül, ezért azon kisebb a dőlés.) Ezzel az eszközzel elérhető, hogy a hálózati elosztóponttól különböző távolságra lévő előfizetők közel azonos szintű és azonos (célszerűen közel 0 dB-es) dőlésű jelet kapjanak (3.3.4. ábra).



3.3.4. ábra. Dőlésszabályozott multitap

Az iránycsatolók (DC, directional coupler) egy kis beiktatási csillapítású átmenő kimenettel és egy (vagy két) nagyobb csillapítású leágazási kimenettel rendelkező eszközök. Az átmenő és a leágazási kimenet közötti csillapítás 10–20 dB-lel nagyobb a bemenet-leágazási kimenet közötti csillapításnál. A törzshálózatra készült iránycsatolókkal (TFC, Trunk/Feeder Coupler) elsősorban a törzság és a leágazó erősítők választhatók szét (lásd a 3.2.2. fejezetet). A távtápláló feszültséget minden irányban továbbengedik.

Ház- és lakáshálózatokon akkor használnak iránycsatolót, ha a jelek nem egyenlő arányú szétosztására van szükség. Az iránycsatolók tipikus leágazási csillapítása 8, 12, 16 dB.

3.3.3. Szűrők

Csomagszűrők

A csomagszűrők feladata a szolgáltató által biztosított programcsomagok beállítása az előfizetőnél. Csillagpontos hálózaton a beállítás az elosztószekrényben történik, aminek az egyik előnye, hogy a szűrők után osztókat alkalmazva a szűrők száma csökkenthető. További előny, hogy az előfizető elvileg nem fér hozzá a szűrőkhöz, a szolgáltatást csak a cég alkalmazottja tudja módosítani. Családi házas területeken ezek a szűrők a vonali leágazók kimenetén helyezkednek el. Itt házanként kell beállítani a szolgáltatást.

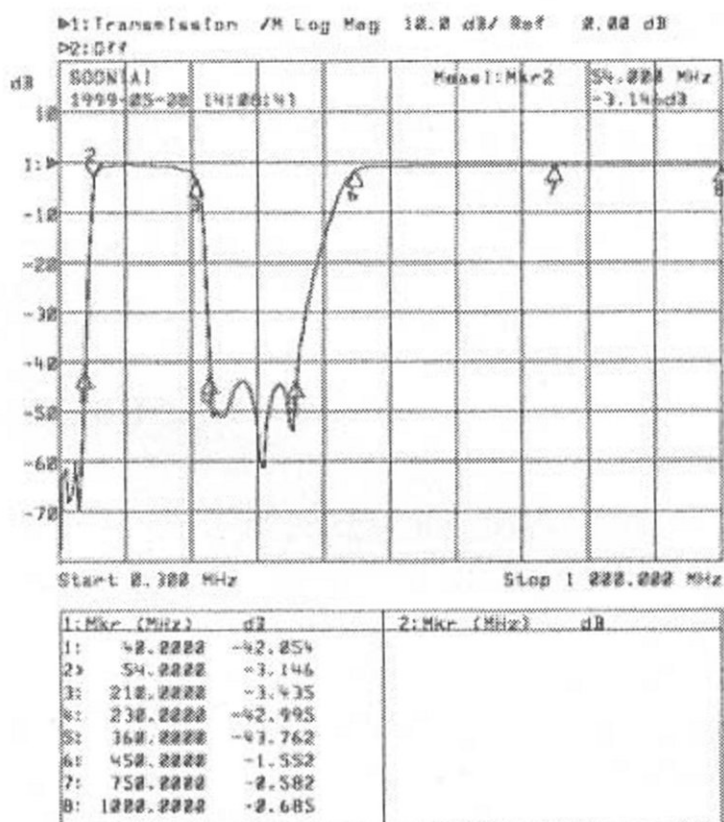
A szolgáltatók által kínált legkisebb csomag általában 4–6 csatornát tartalmaz (közszolgálati adók, városi vagy kerületi televízió, információs csatorna, mozaik csatorna). Ezeket a csatornákat lehetőleg a VHF III. sávban továbbítják. Ezért a legkisebb csomag szűrője VHF III (más néven C-sáv) szűrő (band pass filter, sávszűrő, BPS).

A nagyobb csomagok beállítása aluláteresztő szűrőkkel (low pass filter, LPS) történik. A szűrők határfrekvenciája a csomag felső csatornájához igazodik. A teljes kínálatot tartalmazó legnagyobb csomag szűrő nélkül kerül az előfizetőhöz.

Ablak szűrő (window filter)

Speciális, két áteresztő és két záró sávval rendelkező szűrő, amelynek az átviteli jelleggörbéje a 3.3.5. ábrán látható.

3.3.5. ábra. Ablak szűrő átviteli jelleggörbéje (Teletronik)



Az ablak szűrő pl. arra használható, hogy a legkisebb csomag előfizetői a C sáv mellett az FM-rádió sávon keresztül a rádiócsatornákat is megkapják.

További felhasználási lehetősége a visszirányú sáv kitisztítása. Ekkor a szűrő átereszt a teljes előreirányt, valamint a vissziránynak csak azt a sávját, ahol a visszirányú eszközök (modemek) működnek. Ezen a sávon kívül a rendszer ugyanis csak a külső zajokat/zavarokat erősíti, ami feleslegesen terheli az aktív elemeket.

Prémiumcsatorna szűrő

Soros hálózaton a csatornák előfizetőnkénti szűrésére nincs lehetőség, a szolgáltatott jelek minden lakásba bejutnak. Hagyományosan a soros hálózat prémiumcsatornájába a fejállomáson egy zavarójelet kevernek a kép- és a hangvívő közé. Ezt a zavaró jelet szűri ki a nagyon keskeny sávú pozitív szűrő. A megoldás hátránya, hogy hagyományos RC-elemekből áll, ezért házilag is minimális költséggel elkészíthető.

Csillagpontos hálózatokon a prémiumcsatornát nem kell zavarójellel ellátni, mivel az elosztószekrényben egy egycsatornás szűrővel kiiktatható (negatív szűrő). A megoldás előnye, hogy a jel be sem jut az előfizető lakásába, ezért nem lehet házilagos módszerekkel láthatóvá tenni a csatornát. Hátrány viszont, hogy nem készíthető megfelelő meredekségű szűrő, ezért a csatornatervben a prémiumcsatorna alatti és feletti csatornát üresen kell hagyni.

Újabban a kábeltelevíziós hálózatokon a prémiumcsatornák szűrésére az 1.1.2. pontban tárgyalt felületi hullámszűrőket (surface acoustic wave filter, SAW filter) használják.

Felületi hullámszűrő alkalmazásakor a szűrő nagy meredekségét használják ki. A zavarójel a képvivő közvetlen közelébe (néhány száz kHz-nyire) iktatható be, akár a képvivőnél nagyobb jelszinttel is. A felületi hullámszűrő a zavarjelet a jelminőség romlása nélkül kiszűri. A hagyományos technológiával készített szűrő a kisebb meredeksége miatt magát a képvivőt is csillapítja.

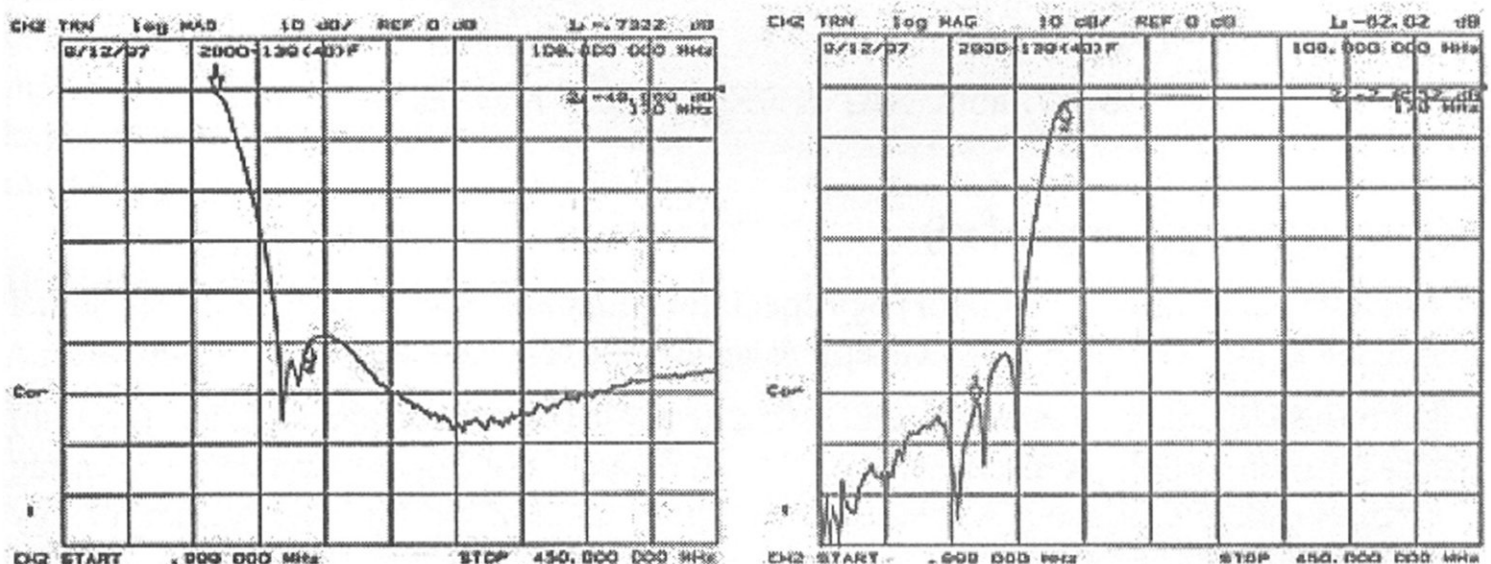
Visszirányú szűrők

A visszirányú szűrők egyszerű felülatéresztő szűrők (high pass filter, HPF), amelyeknél a nagy meredekség nem követelmény. Használatukra minden visszirányú szolgáltatással működő hálózatnál szükség van. Az előreirányban szétosztó jellegű hálózat visszirányban összegzőként működik. A visszirányú zaj csökkentése érdekében minden olyan készüléket – visszirányú szempontból – le kell választani a hálózatról, amelyek csak előreirányú jeleket dolgoz fel.

Visszirányú zaj- és zavarforrás lehet egy meghibásodott tv-hangolóegység, ill. régebbi típusú készülékek üzemszerűen is termelhetnek torzítási termékeket a visszirányú sávba. Szintén hibaforrás lehet a tv-k és videomagnók közötti gyenge minőségű antennakábel, vagy egy széttört, kontakthibás csatlakozó. Háztartási gépek, kapcsolók és egyéb elektromos eszközök szintén előállíthatnak zavarójeleket. Azoknál az előfizetőknél, akiknél nincs visszirányos szolgáltatás (pl. internet), a szűrés az elosztószekrényben történik. Visszirányos előfizetőknél a szűrőt a lakáson belül helyezik el.

Diplex szűrők

A diplex (azaz váltó-) szűrő az előre- és a visszirányt szétválasztó aluláteresztő-felülatéresztő szűrőpár (3.3.6. ábra).



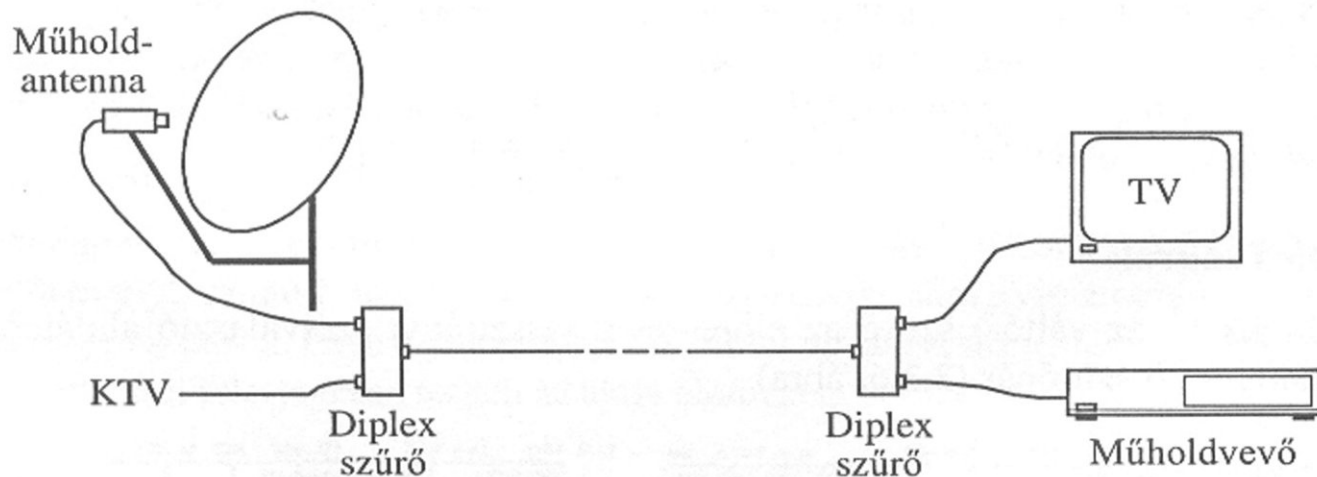
3.3.6. ábra. Diplex szűrő kimeneti jelleggörbéi (C&E Corp. 2800 Diplex Filter)

A diplex szűrőt elsősorban az erősítőkben használják, ezzel állítják be a kábeltelevíziós hálózat hasítását, azaz, hogy meddig tartson a visszirányú sáv és honnan kezdődjön az előreirányú sáv. A diplex szűrők átviteli sávjai a 3.3.1. táblázatban láthatók.

A diplex szűrők átviteli sávjai. 3.3.1. táblázat

Visszirányú sáv, MHz	Előreirányú sáv, MHz
5 – 30	47 – 860
5 – 42	54 – 860
5 – 50	70 – 860
5 – 65	80 – 860
5 – 65	85 – 860

Speciális diplex szűrő a SAT KF/KTV szűrő. Ezt akkor érdemes használni, amikor egy házban egyszerre akarnak kábeltelevíziós és műholdas szolgáltatást igénybe venni. A parabolaantenna és a kábeltelevízió jele ezen a szűrőn keresztül közösíthető, így csak egy kábeltől kell kiépíteni a házhálózatot. A vételi helyen egy újabb szűrővel a közösített jel szétválasztható és továbbítható a tévékészülék és a műholdvevő felé (3.3.7. ábra).



3.3.7. ábra. SAT KF/KTV szűrő használata

Földleválasztó (brummszűrő)

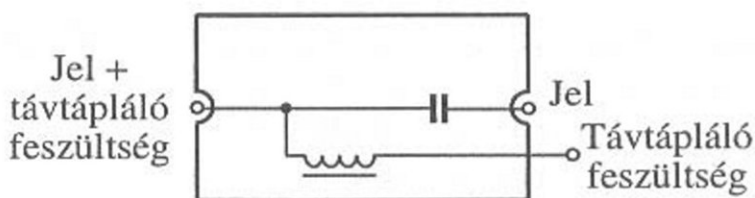
A földleválasztó (ground isolator) egy speciális felüláteresztő szűrő. A szűrő fő elemei kondenzátorok, melyek a belső vezetőt és az árnyékolást szakítják meg (3.3.8. ábra).

Alkalmazása földhurok esetén célszerű. A földhurok által okozott bűgásmoduláció (brumm) hatására a rádiócsatornákon kellemetlen zűgás hallható, a tévéképernyőn pedig egy vastag vízszintes csík jelenik meg. A földhurok oka, hogy a hálózat különböző pontjai (pl. egy aknában lévő erősítő és egy lakásban lévő számítógép) földeléseinél a földpotenciál értéke eltér. Emiatt a koaxiális kábel árnyékolásán kiegyenlítő áram folyik, amelyet a brumm-

szűrő kondenzátora szakít meg. Mivel a brummszűrő speciálisan az erősáramú táplálás frekvenciáját szűri, csak olyan helyen alkalmazható, ahol nem folyik távtápláló áram.



3.3.8. ábra. Földleválasztó (Teletronik)



3.3.9. ábra. Tápfeladó (Teletronik)

Tápfeladó (tápinserter)

A tápfeladó (tápinserter, power inserter) a távtápláló feszültség hálózatba való betáplálására szolgál. Alapvetően egy szűrőblokk, ami a kisfrekvenciás tápáramot és a nagyfrekvenciás RF-jelet összekeveri (3.3.9. ábra).

3.3.4. Egyéb passzív eszközök

Hálózati tesztpont

Nagypontosságú leágazó, ami a hálózat bármely pontjára beszerelhető, ahol mérésre van szükség.

Földelőblokk

A földelőblokk egy toldó, ami csavarokkal rögzíthető (vagy lengő kivitelű), és külön csavarral földelővezeték erősíthető hozzá. Használata a házhálózatok bekötőkábelénél ajánlott, az elosztóhálózattól való elválasztás céljából. Házhálózatokon balesetvédelmi szempontból érdemes az összes előfizetőt külön földelő blokkon keresztül ellátni. Javításkor, csomagmódosításkor így nem kell a szerelőnek megbontani az előfizetői kábel földelését. Ha a kábel másik végén egy zárlatos készülék van, az végig a munkavégzés során is földelve marad.

Illesztett lezárás

A hálózat szabadon hagyott csatlakozásai (erősítők, osztók, leágazók kimenetei, valamint kábelvégek) reflexiót okoznak, kisugároznak a levegőbe és zavarójeleket is összegyűjtenek. Ezért a nem használt csatlakozásokat illesztetten le kell zárni. Erre szolgálnak a 75 Ω-os lezárók (termination), amelyek tús- és F-csatlakozós kivitelben is kaphatók. A tolvajbiztos gyártmányok csak speciális, nem szabványos szerszámmal bonthatók, így ezek hatékony védelmet jelenthetnek a jellopások ellen.

3.3.5. Előfizetői csatlakozóaljzatok

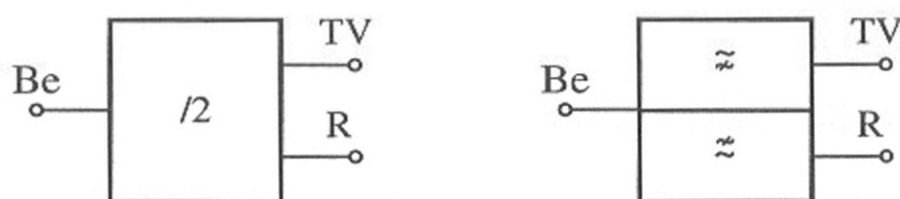
Az előfizetői fali csatlakozók többféle kivitelben készülnek. Bármely kivitel esetében az alkalmazott csatlakozók típusai a következők:

- tv-készülék: IEC dugó,
- rádiókészülék: IEC hüvely,
- modem: F-csatlakozó,
- SAT-KF kf: F-csatlakozó.

A fali csatlakozók süllyesztett és falon kívüli változatban is készülnek. Műszaki adataik az elosztóknál megismert jellemzők: beiktatási csillapítás, elválasztási csillapítás, reflexiós csillapítás, irányelválasztás.

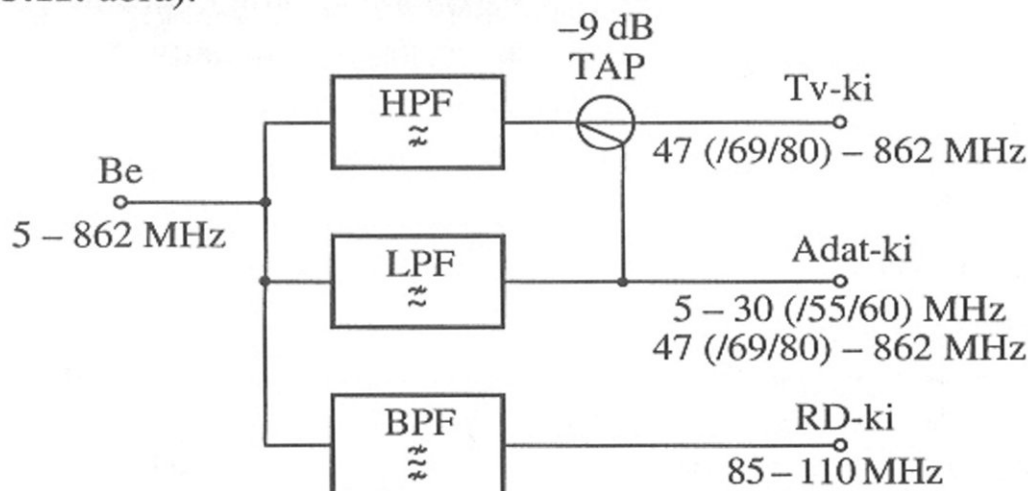
Tv-készülékekhez a legegyszerűbb KTV fali csatlakozó egy IEC dugóból áll. Tv- és rádiókészülék (Tv-R) csatlakoztatására kétféle csatlakozót használnak. Az egyszerűbb egy kettes osztót tartalmaz, és mindkét csatlakozón rendelkezésre állnak a tv- és a rádiójelek is. A másik esetben szűrőkön keresztül kerül a jel a csatlakozókra (3.3.10. ábra). A gyakorlatban használt előfizetői fali csatlakozók felépítése a 3.3.12. ábrán látható.

3.3.10. ábra. TV-R csatlakozók felépítése

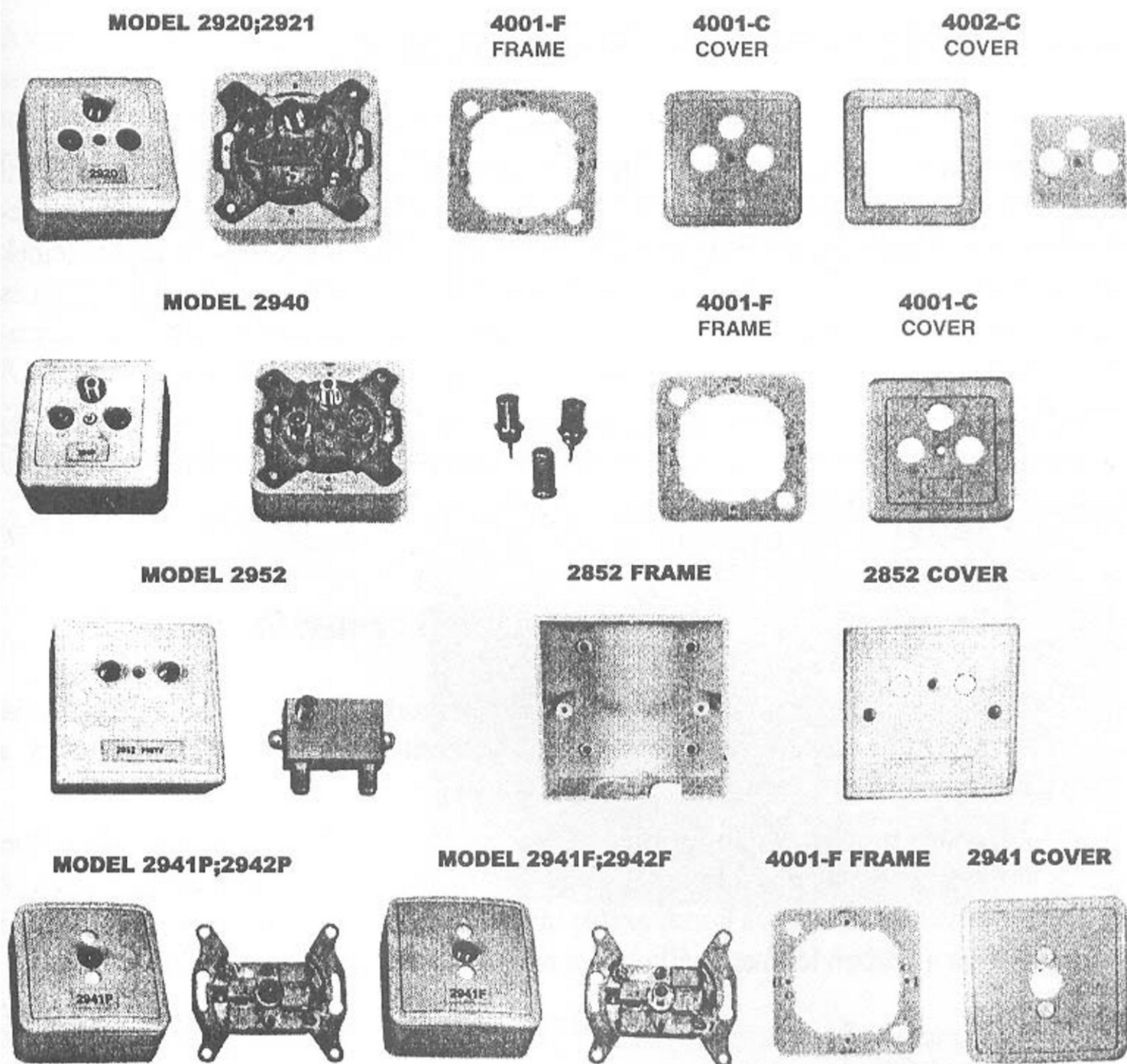


Multimédia csatlakozók

A multimédia csatlakozó tv-, rádió- és adatcsatlakozót tartalmaz. A tv-csatlakozó előtt ablakszűrő szűri ki a visszirányú sávot és az FM-rádió sávot. A rádió csatlakozón egy sávszűrőn keresztül csak az FM sáv jelenik meg. Mivel a kábelmodemek működési sávjai eltérőek, az adatcsatlakozáson nincs szűrő, azon a teljes kábeltévés sáv megjelenik. A multimédia csatlakozók továbbfejlesztett változata a kábelmodem jelszintjének illesztését is elvégzi (3.3.11. ábra).



3.3.11. ábra. Multimédiás fali csatlakozó (Teletronik)



3.3.12. ábra. Előfizetői fali csatlakozók (Teletronik)

KTV-SMATV csatlakozók

Műholdas és KTV szolgáltatást igénybevevő előfizetőknél használható aljzat. A tv- és a rádiócsatlakozón kívül egy F-csatlakozóról vehető le a parabolaantenna SAT-KF jele.

KTV-telefon

A KTV hálózat vezetékes telefon szolgáltatását igénybevevő előfizetőknél használható aljzat. A tv- és a rádiócsatlakozón kívül egy telefoncsatlakozóba csatlakoztatható a telefonkábel.

3.4. Távtáplálás KTV hálózaton

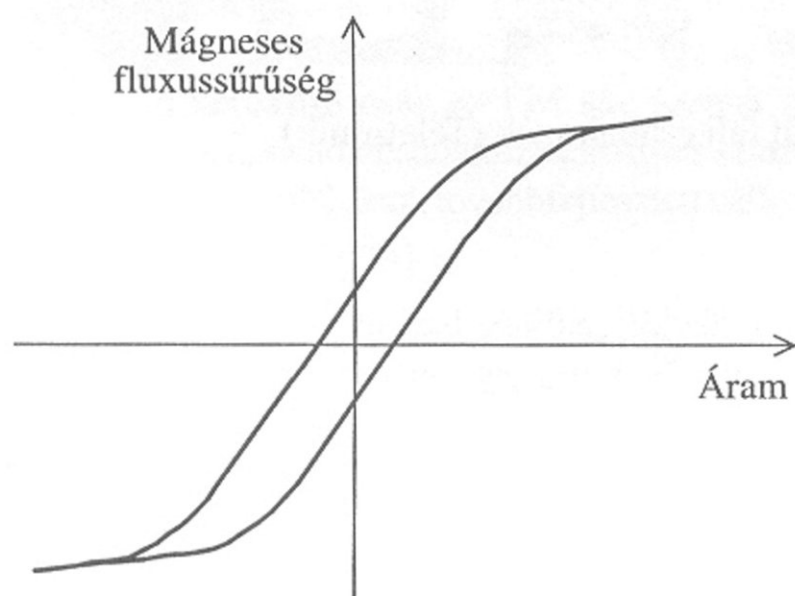
A kábeltelevíziós hálózatok távtáplált aktív elemei általában 40...90 VAC közötti tápfeszültséget igényelnek. Ezt a tápfeszültséget a hálózat mentén elhelyezett transzformátorok és tápegységek állítják elő és a koaxiális kábel továbbítja az aktív elemek felé. A koaxiális hálózat tápellátása alapvető probléma az aktív elemek nagy száma és jelentős fogyasztása miatt. A tápegységek hatásfokát és a feszültség stabilitását ferromrezonáns transzformátorokkal és kapcsolóüzemű tápegységekkel javítják.

Az MSZ EN 50083-1:1995 szabvány és annak A1 jelű kiegészítése rendelkezik az alkalmazható távtápláló feszültség nagyságáról, ami e szabvány szerint nem haladhatja meg a 65 V-os váltakozó feszültséget.

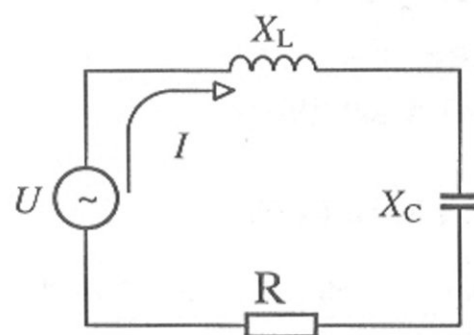
3.4.1. Lineáris és ferromrezonáns üzemű transzformátorok

Lineáris üzemben működő transzformátor a hiszterézisgörbe egyenes szakaszain dolgozik (3.4.1. ábra). Előnye az egyszerű felépítés, viszont rossz a hatásfoka és nagy a feszültség-ingadozása.

A ferromrezonáns transzformátor primer tekercsével sorba van kötve egy kondenzátor, amely impedanciájának abszolút értéke egyenlő a tekercsével (3.4.2. ábra). Ebben az esetben – mivel a tekercs és a kondenzátor impedanciája kivonódik – a soros kör eredő impedanciája a körben lévő ellenállások és ohmos veszteségek összege lesz.



3.4.1. ábra. Vasmagos tekercs áram-fluxussűrűség diagramja (hiszterézisgörbéje)

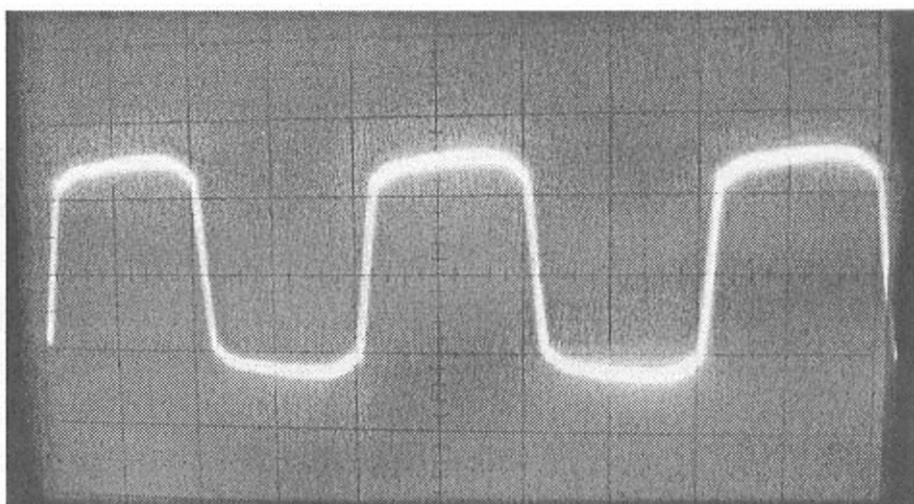


3.4.2. ábra. Ferromrezonáns transzformátor primer körének modellje

A soros kör a rezonanciafrekvencián üzemel, eredő impedanciája minimális, rajta a max. áram folyik keresztül. A transzformátor vas- vagy ferritmagja a nagy vezérlőáram hatására telítésbe kerül (a munkapont a hiszterézisgörbe nemlineáris szakaszán van). A ferrozonáns transzformátorok előnye a következő.

- A primer feszültség csökkenése vagy növekedése esetén a szekunder feszültség csak kis mértékben változik. Ezen feszültségstabilizáló tulajdonsága miatt állandó feszültségű transzformátornak (CVT-nek, Constant Voltage Transformer) is nevezik.
- Elnyomja a primer feszültségben előforduló tüskéket.

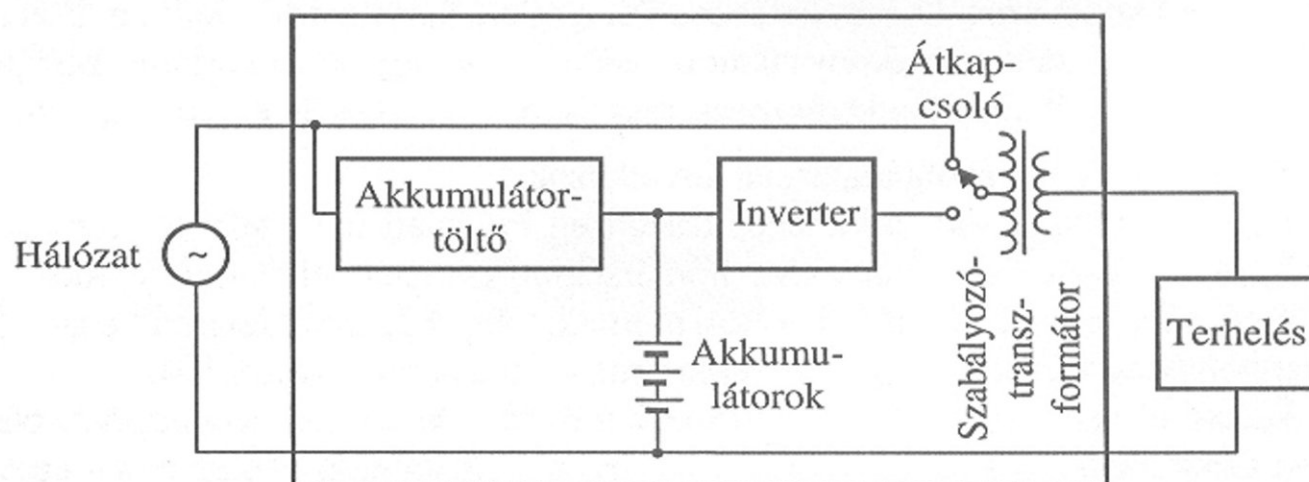
A ferrozonáns transzformátor szekunder feszültsége trapéz alakú (3.4.3. ábra). Emiatt ez a feszültség csak valódi effektív értéket (true RMS) mérő műszerrel mérhető meg pontosan. Egyszerű, szinuszra kalibrált multiméterrel mérve a mért érték hamis lesz.



3.4.3. ábra. Ferrozonáns transzformátor jelalakja

3.4.2. Szünetmentes tápegységek

A szünetmentes tápegységek (Uninterruptable Power Supply, UPS) transzformátort, inverter- és töltőmodult, akkumulátortelepet és vezérlőáramkört tartalmaznak (3.4.4. ábra). Opcióként a távfelügyeleti rendszerhez kapcsolódó illesztőegység is rendelhető.



3.4.4. ábra. Szünetmentes tápegység tömbvázlata

Amennyiben az erősáramú betáplálás működik, a transzformátor előállítja a távtápláló feszültséget, valamint az akkumulátorok töltéséhez szükséges feszültséget. Ezt a váltakozó feszültséget az inverter/töltő modul alakítja egyenfeszültséggé. A töltést a vezérlőmodul irányítja. A töltés típusai:

- Gyorstöltés: áramkimaradások után, amikor a telepek lemerültek, ezt a töltést alkalmazzák azért, hogy egy esetleges újabb áramkimaradás esetén a szünetmentes ellátás újra rendelkezésre álljon. A max. töltőáramú gyorstöltés addig tart, amíg az akkumulátor feszültsége egy adott értéket el nem ér.
- Normál töltés: a gyorstöltést követő fázis. Itt a töltés állandó feszültséggel történik, ami 10 – 15%-kal nagyobb a telep névleges feszültségénél. Ahogy az akkumulátor töltődik, a töltőáram csökken. Amikor a töltőáram egy beállított érték alá csökken, a töltés befejeződik.
- Csepptöltés: a feltöltött akkumulátor önkisülését kompenzálja rövid töltőimpulzusokkal.

A betáplálás hibája (megszűnése, a feszültség előírt érték alá csökkenése, vagy a feszültség felső határának túllépése) esetén a vezérlés lekapcsolja a bemenetet és a tápellátást az akkumulátorok veszik át. Az akkumulátor által szolgáltatott egyenfeszültséget az inverter/töltő modul szaggatja meg, és a transzformátor alakítja az előírt értékre. Amennyiben a betáplálás helyreáll, a vezérlőegység visszakapcsolja a bemenetet és az inverter/töltő modul visszaáll töltésre.

Az akkumulátorok adott terhelés mellett csak bizonyos ideig tudják ellátni az adott szakasz tápellátását. Ha a szolgáltató teljes körű szünetmentességet akar biztosítani a hálózaton (pl. a telefonszolgáltatás miatt), akkor gondoskodni kell arról, hogy a telepek lemerülése előtt helyettesítő áramforrás vegye át a betáplálás szerepét. Mivel minden tápegység mellé felesleges lenne generátort telepíteni, a problémát mobil generátorral lehet megoldani. Ekkor ki kell építeni egy távfelügyeleti rendszert, amely jelzést ad egy központi felügyeletnek az áramkimaradásról. Riasztáskor a szolgálatban lévő diszpécser értesíti az ügyeletes technikust, aki a generátorral kivonul az adott tápegységhez és csatlakoztatja a generátort.

Ez a megoldás igen komoly anyagi és szervezési terheket ró a szolgáltatóra. Az akkumulátorok telepítésénél ügyelni kell a megfelelő hűtésre, a szellőzésre, a vízmentességre és a lopások elleni védelemre. Üzemeltetéskor a megfelelő karbantartásokat rendszeresen el kell végezni. A generátor hatékony alkalmazásához távfelügyeleti rendszert és központi felügyeletet kell kiépíteni, állandó diszpécseri szolgálattal és ügyeletes technikussal.

A korszerű tápegységek szolgáltatásai a következők.

- Üzemi paraméterek (be- és kimeneti feszültség, kimeneti áram, telepfeszültség, töltőáram, bemeneti frekvencia, telep hőmérséklet, kimeneti teljesítmény) mérése.
- Töltési paraméterek beállítása: töltési áramok, telep-hőmérséklet kompenzálás (a telep hőmérsékletének emelkedésekor csökkenti a cellafeszültséget).
- Védelem: kimeneti áram határértéke (a határérték felett lekapcsolja a kimenetet), bemeneti frekvencia határértéke (ha a hálózati frekvencia jelentősen eltér a névlegestől, a tápegység akkumulátoros üzemre tér át).

- Automatikus visszkapcsolás: túláram miatti automatikus lekapcsolások után a tápegység visszkapcsol és ellenőrzi a kimeneti áramot. A pillanatnyi rövidzárak után így nem kell kimenni újraindítani a tápegységet. Programozható a visszkapcsolásig eltelt várakozási idő, a visszkapcsolások között eltelt idő és a visszkapcsolások száma.
- Önteszt: a készülék paramétereinek és részegységeinek rendszeres automatikus ellenőrzése, az eredmények tárolása, szükség esetén riasztás. A riasztás helyi üzemben a készülék előlapján, távvezérelt esetben a központban történik.
- Távfelügyelet: a készülék működési jellemzőit és a készülék által mért paramétereket egy kommunikációs csatornán átküldi a központi felügyeletre.

3.5. Az optikai kábelek

3.5.1. Az optikai jelátvitel alapjai

Az optikai jelátvitel a fénytörés és fényvisszaverődés törvényén alapul. Ha egy közegben terjedő fénysugár egy másik közeg határára érkezik, a sugár egy része behatol a közegbe, a másik része visszaverődik onnan. Egy közeg fényterjedési tulajdonságát a törésmutató jellemzi, ami a vákuumbeli fénysebesség és az adott közegben mért fénysebesség aránya:

$$n = \frac{c_{\text{vákuum}}}{v_{\text{közeg}}},$$

ahol n a törésmutató (viszonyszám); $c_{\text{vákuum}}$ a fény terjedési sebessége vákuumban ($\sim 300\,000$ km/s) és $v_{\text{közeg}}$ a fény terjedési sebessége a vizsgált közegben (km/s).

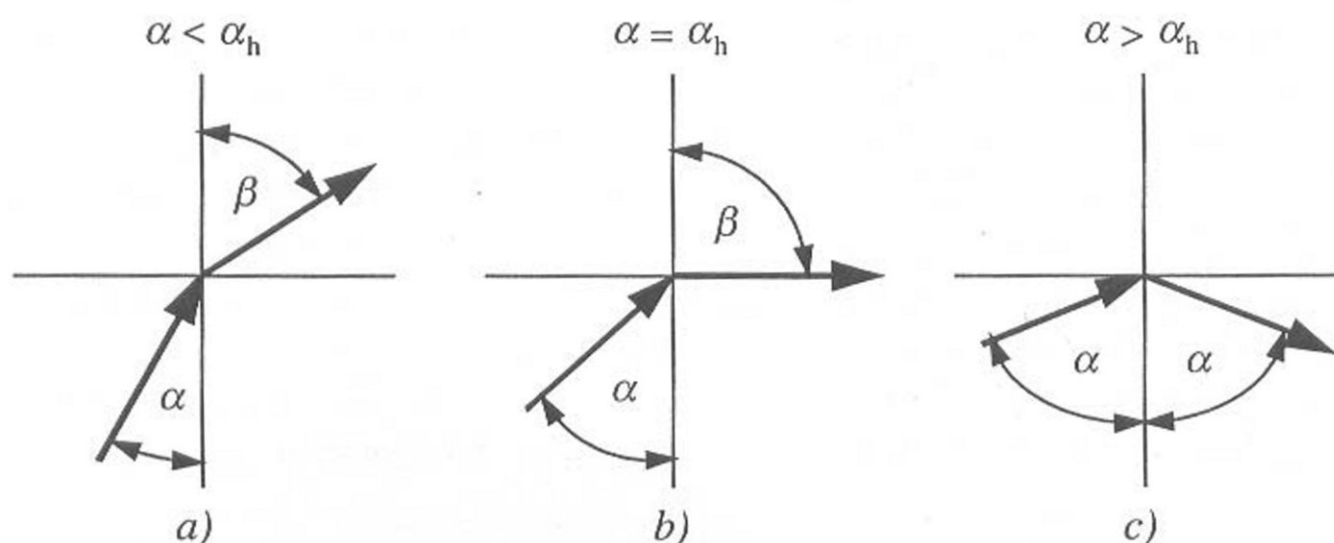
Az üveg törésmutatója $n_{\text{üveg}} = 1,5$; a vízé $n_{\text{víz}} = 1,33$.

Két közeg határán a törési szöget a törési törvény adja meg. A törvény szerint a beesési és a törési szög szinuszai úgy aránylanak egymáshoz, mint az adott közegben mért fénysebességek:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

Ha a fény optikailag sűrűbb közegből ritkább közegbe lép, a törési szög nagyobb lesz a beesési szögnél. A 90° -os törési szöghöz tartozó beesési szöget határszögnek nevezik.

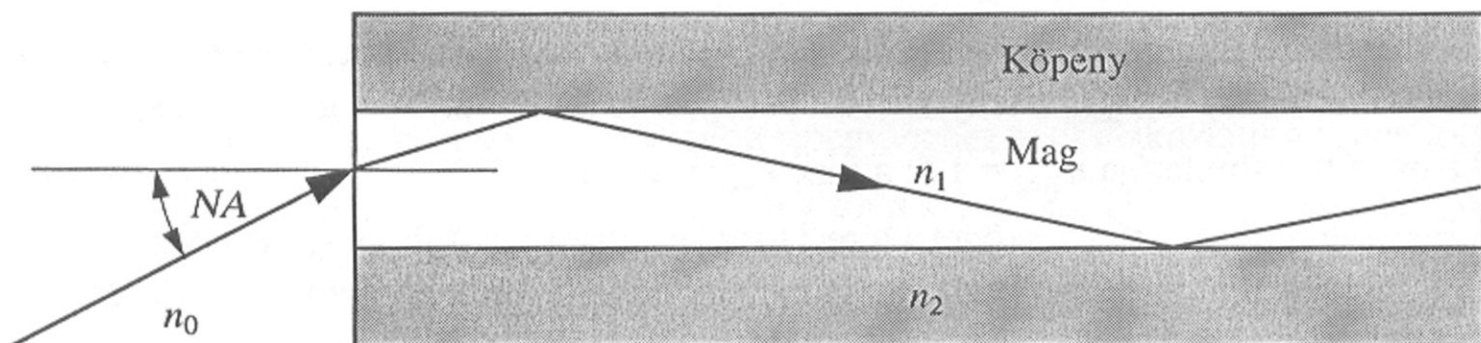
Ha a fény a határszögnél nagyobb szögben esik a két közeget elválasztó felületre, teljes egészében visszaverődik. Tükrökről való visszaverődéskor mindig fellép veszteség, ezzel ellentétben a közeget határról való teljes visszaverődés veszteségmentes (3.5.1. ábra). A fényvezető szálban történő visszaverődések miatt az optikai jel teljesítménye nem csökken.



3.5.1. ábra. Fény törése optikailag ritkább (kisebb törésmutatójú) közeg határán
a) a határszögnél kisebb beesési szög esetén a fény kilép a közegből; *b)* határszög esetén a fénysugár a határfelület mentén halad tovább; *c)* a határszögnél nagyobb beesési szög esetén a fény teljes mértékben visszaverődik

A határszög $\beta = 90^\circ$ helyettesítéssel kiszámítható: $\alpha = \arcsin \frac{n_2}{n_1}$.

A határszög ismeretében meg lehet határozni azt a max. szöget, amelyet a fényvezető szálba belépő fénysugár bezárhat a szál hossz tengelyével. Ez az ún. numerikus apertúra (NA), amely fontos jellemző a különböző optikai eszközök illesztésénél (3.5.2. ábra) és értéke levezethető a törési törvényből. Ha a levegő törésmutatóját $n_0 = 1$ értéknek vesszük (azaz jó közelítéssel feltételezzük, hogy levegőben a fénysebesség azonos a vákuumbeli fénysebességgel), akkor $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$.

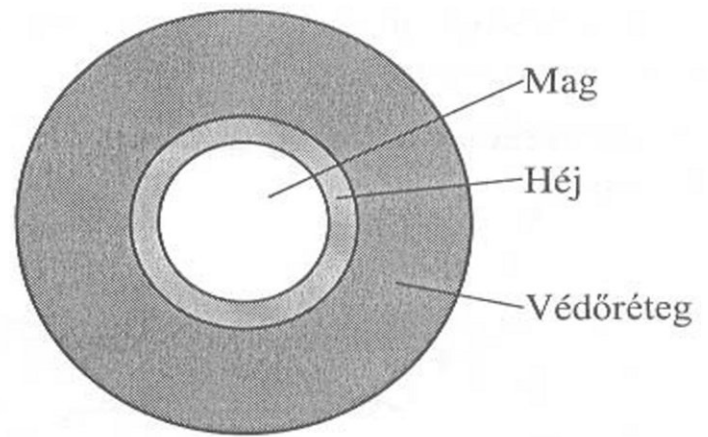


3.5.2. ábra. Numerikus apertúra

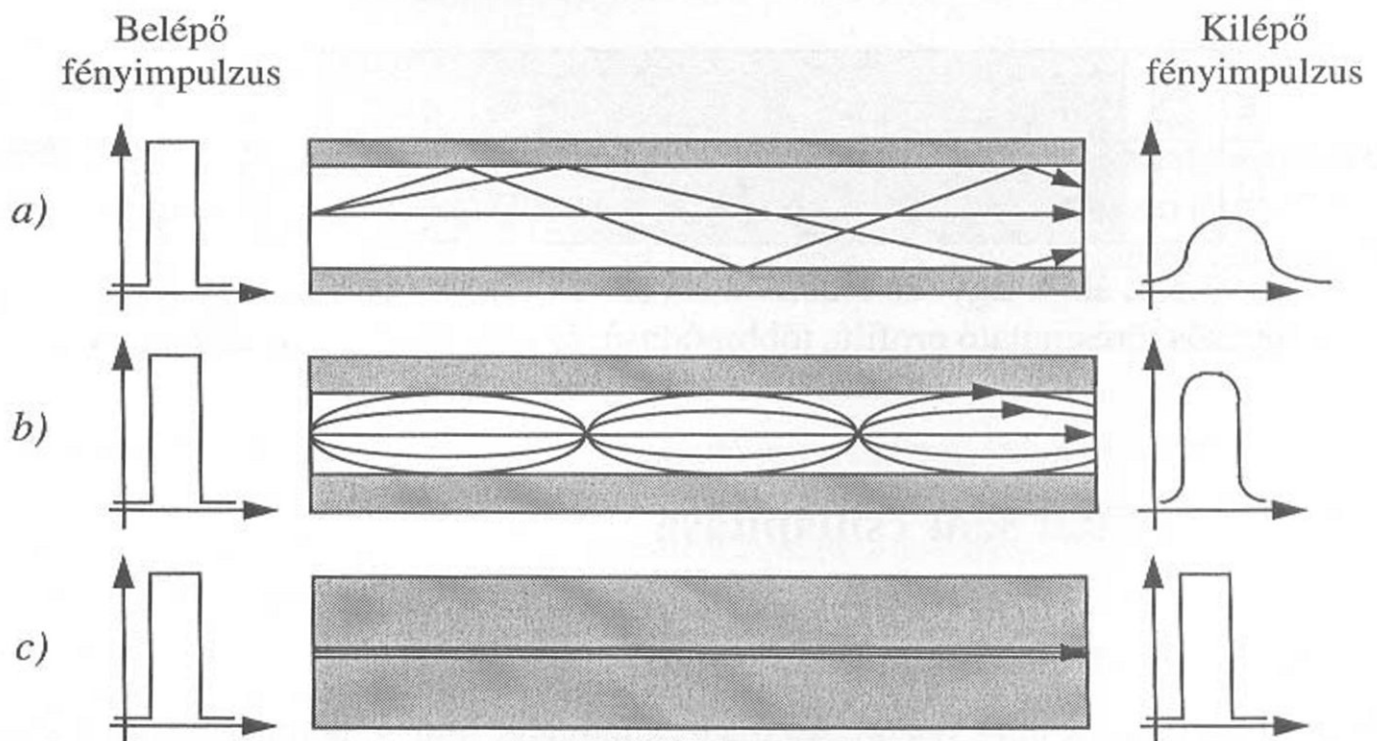
3.5.2. Az optikai szál szerkezete

Egy optikai jelátvitelt végző szál egy optikailag sűrűbb magból és az azt körülvevő optikailag ritkább köpenyből (héjból) áll (3.5.3. ábra).

3.5.3. ábra. Optikai szál felépítése



Egy fényvezető szálban több különböző hullámhosszú fénysugarat is továbbíthatunk. Ezeket módusoknak nevezzük. Több módus továbbítása esetén többmódusú szárról beszélünk. Több módus esetén az egyes fénysugarak által megtett út különbözik. Egy összetett spektrumú jel komponensei a szál végén fázisban eltolva jelennek meg (módusdiszperzió), a jel szétkenődik (3.5.4. ábra).



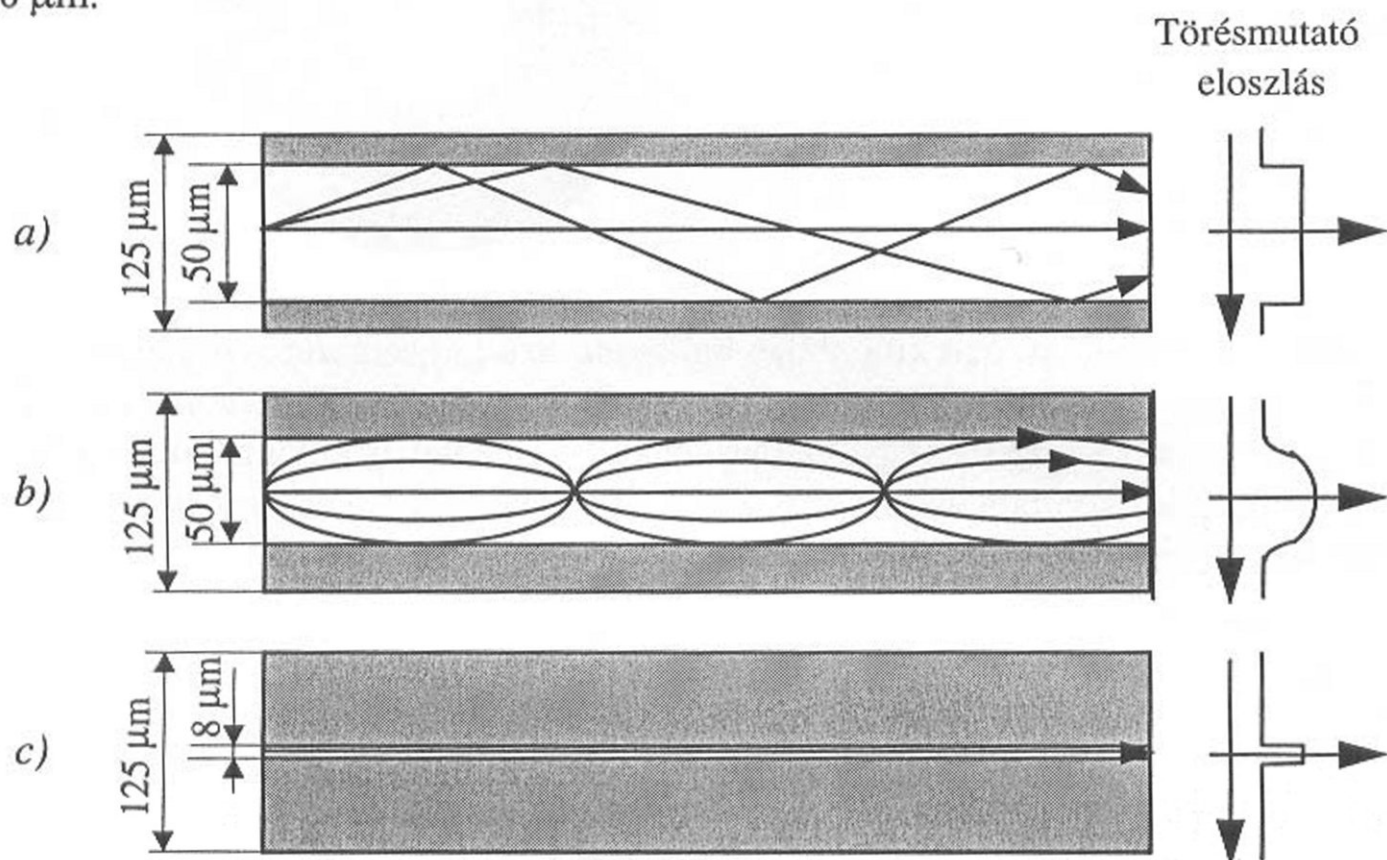
3.5.4. ábra. Diszperzió egy- és többmódusú szálakban

A diszperzió csökkenthető, ha a két közeg között a törésmutató nem ugrásszerűen, hanem folyamatosan változik (gradiens- vagy folyamatos indexű szál). Ilyenkor a hosszabb úton haladó fénysugarak a kisebb törésmutatójú közegben gyorsabban haladnak, az átvitt jelek kevésbé tolódnak el egymástól (3.5.5. ábra).

A többmódusú átvitel előnye, hogy egyszerűbb és olcsóbb eszközök kellenek hozzá (adók, csatlakozók), a módusdiszperzió miatt viszont csak kisebb távolságok hidalhatók át. A többmódusú szálak belső fényvezetőjének átmérője 50 vagy 62,5 μm . Hosszabb távolságokon, így a kábeltelevíziós technikában is egymódusú szálakat használnak. Ezek belső

fényvezetőjének átmérője $9\ \mu\text{m}$. A precízebb csatlakozók és az alkalmazott lézeradók miatt ez a technológia jóval drágább.

Mindkét esetben a köpeny átmérője $125\ \mu\text{m}$, a szálat körülvevő védőréteg átmérője $250\ \mu\text{m}$.



3.5.5. ábra. Egy- és többmódusú szálak törésmutató eloszlása

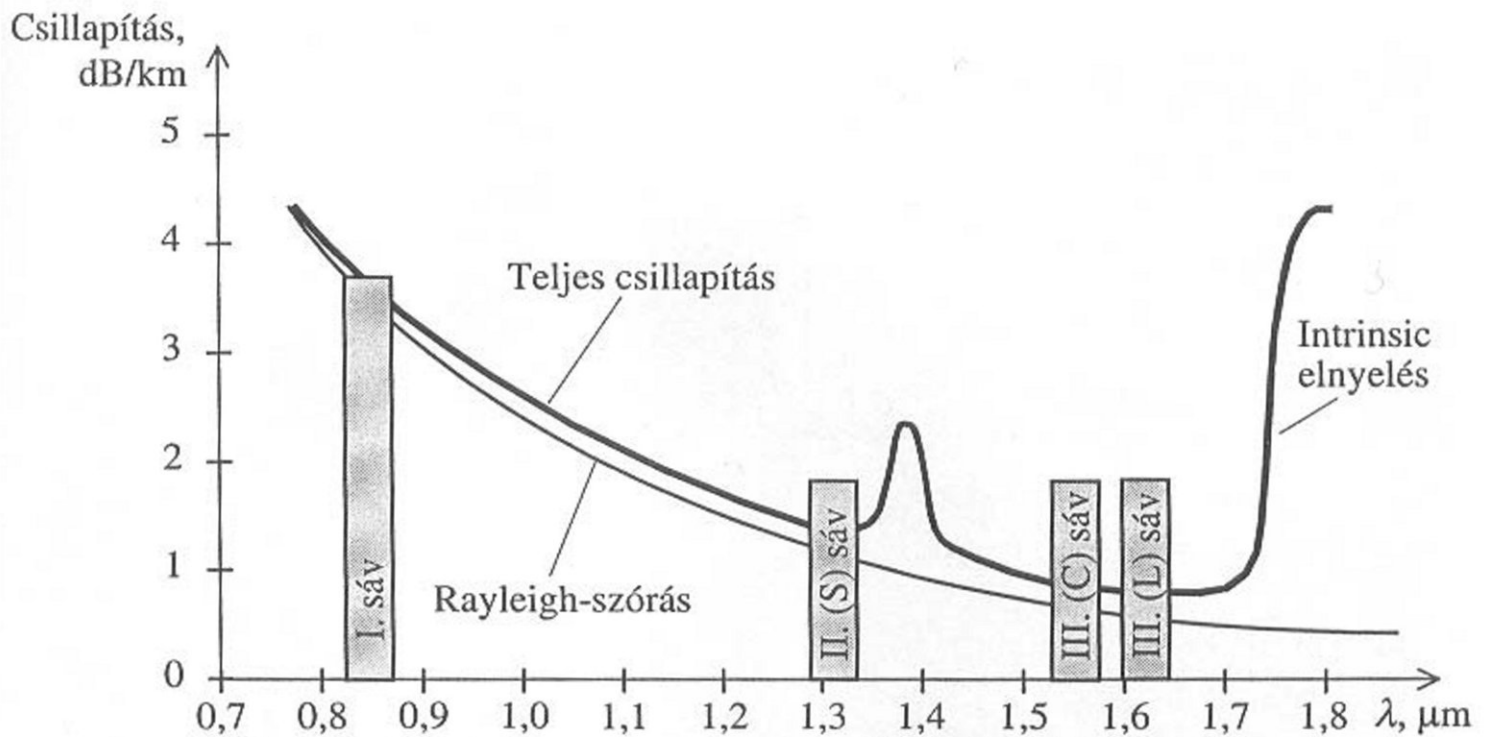
a) lépcsős törésmutató profilú, többmódusú; b) gradiens törésmutató profilú, többmódusú; c) egymódusú

3.5.3. Az optikai szál csillapítása

A csillapítás és a hullámhossz kapcsolata

A fényvezető szál üvegből készül. Az üveg csillapítása függ a bejuttatott fény hullámhosszától (3.5.6. ábra).

Az optikai átvitel azokon a hullámhosszakon zajlik, ahol a szál csillapítása a legkisebb: $850\ \text{nm}$, $1310\ \text{nm}$ (S sáv), $1550\ \text{nm}$ (C sáv) és $1625\ \text{nm}$ (L sáv). Ezek a hullámok már az emberi szem számára láthatatlanok. Ez veszélyt jelent az optikai hálózaton dolgozóknak, mivel az átvitel során néhány mW teljesítményű lézert fényt használnak, ami a szembe kerülve károsodást okoz. Ezért optikai hálózaton végzett munka során mindig úgy kell eljárni, mintha az összes szálon jel lenne. Szálvégbe tilos belenézni, minden csatlakozást bontás után azonnal kupakkal le kell zárni!



3.5.6. ábra. Optikai szál csillapítása a hullámhossz függvényében

A csillapítás okai

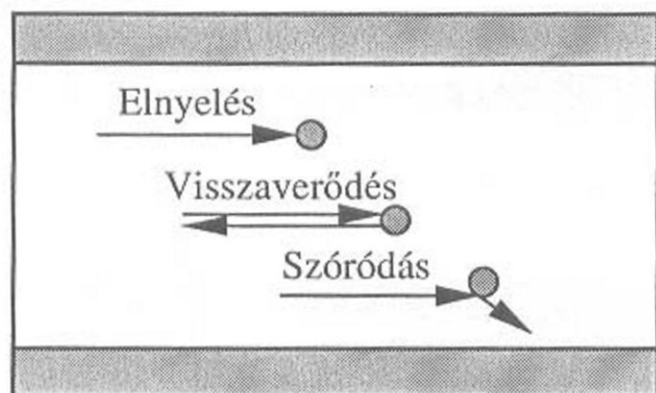
A csillapítás oka, hogy a szálban lévő szennyeződéseknel és gyártás közben keletkező inhomogenitásokban a törésmutató értéke megváltozik. Ezért az ide érkező fény szóródik, ill. egy része elnyelődhet, visszaverődhet (3.5.7. ábra). A következőkben áttekintjük a csillapítás fontosabb okait.

Anyagszerkezeti veszteségek

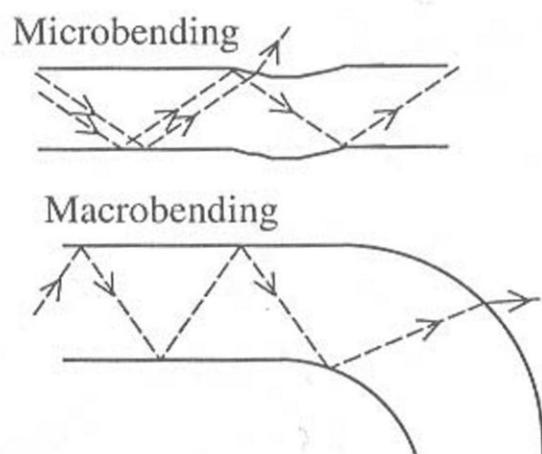
- Elnyelődés (abszorpció). A szálban haladó foton az üveg valamely szennyező atomjának vagy az adalékanyag valamely atomjának ütközik. Bizonyos hullámhosszakon a hidroxilionok (OH^-) okoznak nagyobb csillapítást (a csillapítási diagramon az 1400 nm körüli kiemelkedés). Ez esetekben az ütköző foton energiája az ütközésben résztvevő atom vagy ion energiáját növeli.
- Szóródás: Bármilyen anyagszerkezeti inhomogenitáson a fotonok egy része szóródik. Jelentős a rácsszerkezet inhomogenitása miatt fellépő Rayleigh-szóródás (A), amely a hullámhossz növekedésével az $A \sim \frac{1}{\lambda^4}$ összefüggés szerint gyorsan csökken.

Mechanikai veszteségek

- Microbending: A szálban lévő mikroszkopikus hajlatokról a fény egy része visszaverődik vagy kilép a magból.
- Macrobending: Optikai száznál fokozottan figyelembe kell venni a gyártó által előírt min. hajlítási sugarat. Ha a szál sugara ennél kisebb, a fénysugár a határszögnél kisebb szögben érkezik a két közeget elválasztó felületre és kilép a magból (3.5.8. ábra).



3.5.7. ábra. Optikai szál csillapítása: elnyelődés, szóródás, visszaverődés



3.5.8. ábra. Microbending és macro bending

• Illesztési pontatlanságok:

- Elliptikus mag.
- Nem koncentrikus magok.
- Eltérő numerikus apertúrák.
- Porszemek a szálvégek között.
- Légrés a szálvégek között.
- Rosszul levágott szálvégek.

3.5.4. Az optikai kábel szerkezete

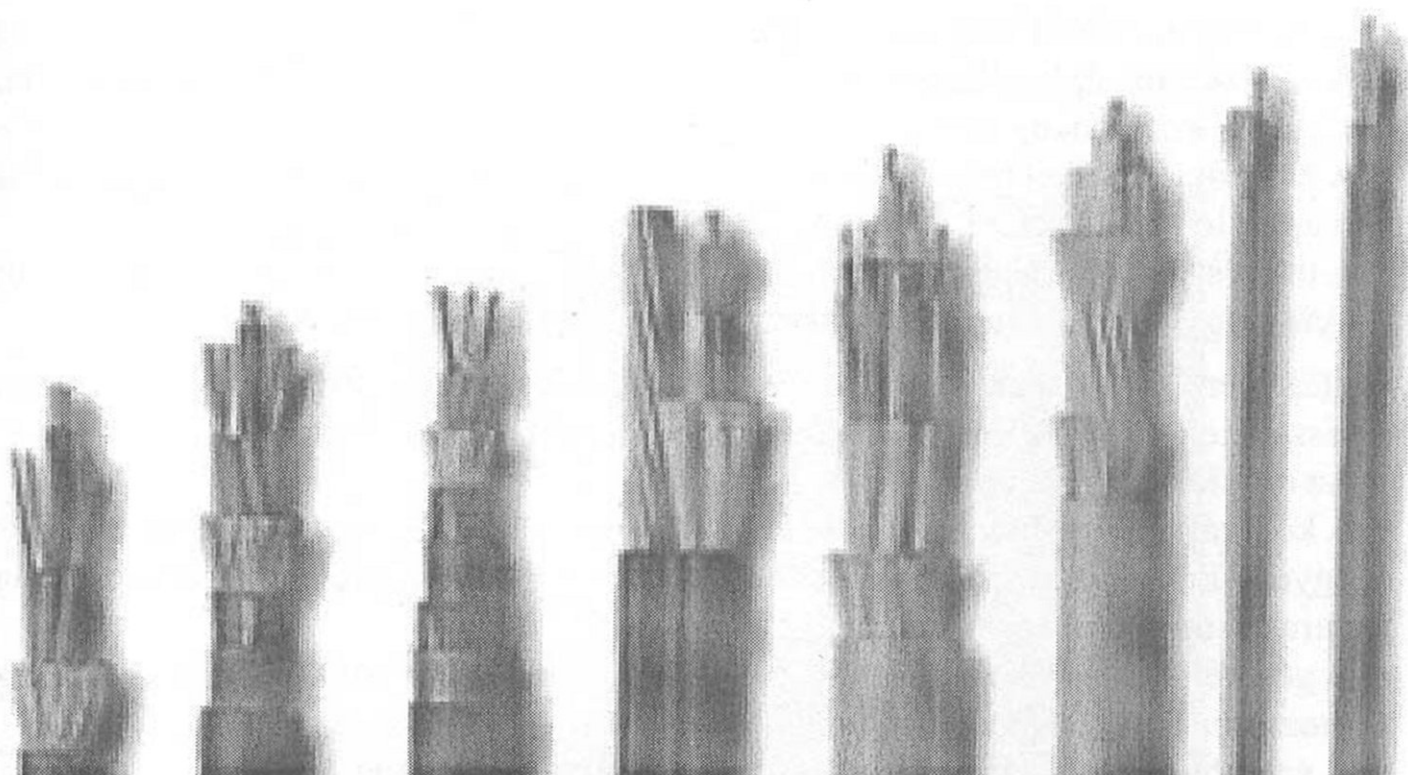
Az optikai szál a fényvezető magból, az azt körülvevő, nagyobb törésmutatójú köpenyből és a külső lakkrétegből áll. A készülékek összekötésére használt egyszálas optikai vezetékeknél az optikai szál egy műanyag védőcsőben fut.

Az optikai kábelek 1 – 192 szálból állnak (3.5.9. ábra). A szálak lehetnek szigetetlenek, ill. egyesével vagy csoportosan szigeteltek. A szálakat színekkel különböztetik meg. Amennyiben a kábelben több szálcsoport van, ezeket csőnek (pázmának) nevezzük és az egyes pázmák különböző színűek.

A behúzásnál fellépő húzó igénybevétel miatt a kábel közepén behúzószálat alkalmaznak (3.5.10. ábra) vagy két műanyag védőréteg között elhelyezett üvegszál fonattal tehermentesítik a fényvezető szálakat. Hagyományos, acél tartószálas kábelek is kaphatók.

Fokozott védelem esetére (közvetlen földre fektetés, rágcsáló elleni védelem) acél védőfóliával ellátott kábel használható. A légkábelek acélsodrony tartószállal vannak felszerelve.

Kaphatók teljesen fémmentes kábelek is. Ezeket nem kell földelni, és akár nagyfeszültségű oszlopsorra is felszerelhetők.



3.5.9. ábra. Különböző szerkezetű optikai kábelek



a)

b)

3.5.10. ábra. Sokszálas optikai kábelek szerkezete (Pirelli)

a) 8×12-es fémmentes, behúzószálas kábel; b) 6×8-as fémmentes légkábel

3.5.5. Az optikai kötések

Az optikai szálakat fúziós hegesztéssel kötik össze. A hegesztés előfeltétele, hogy a hegesztendő felületek merőlegesek, tiszták és törésmentesek legyenek (3.5.11. ábra). Ilyen felületet száltörő (szálvágó) szerszámmal lehet készíteni.

A száltörés lépései

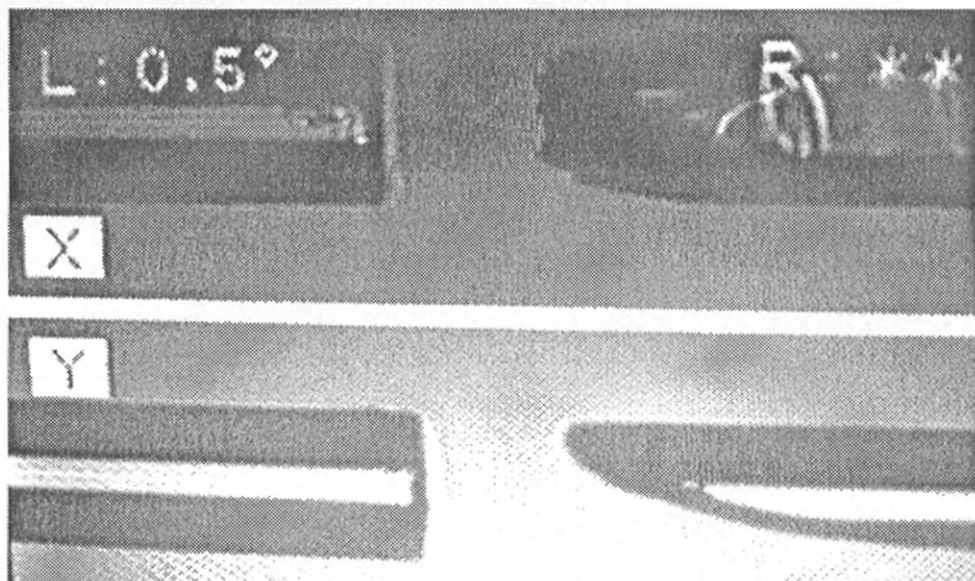
- Speciális fogóval el kell távolítani a fényvezető szálát védő lakkréteget. A fogó nyílásának átmérője azonos kell legyen a köpeny átmérőjével. A lakk eltávolítása után alkoholos tisztítókendővel le kell törölni a szennyeződéseket.

- A szálvéget be kell helyezni a száltörőbe és rögzíteni kell.
- A szerszámba épített kocsiszerkezetet át kell tolni a szálvég alatt. A szerkezetben egy éles kés néhány μm mélységű bemetszést ejt a szálon.
- A kalapácsot rá kell nyomni szálvégre és az a bemetszés mentén függőlegesen letörri a kiálló szálvéget.
- A letört szálvéget csipesszel azonnal egy tartóba kell helyezni, mert az annyira könnyű, hogy belelegezve a tüdőbe kerülhet!

A megfelelően levágott szálvégeket a fúziós hegesztőgép (fusion splicer) hegeszti össze. A hegesztés teljesen automatikus, a következő lépésekből áll.

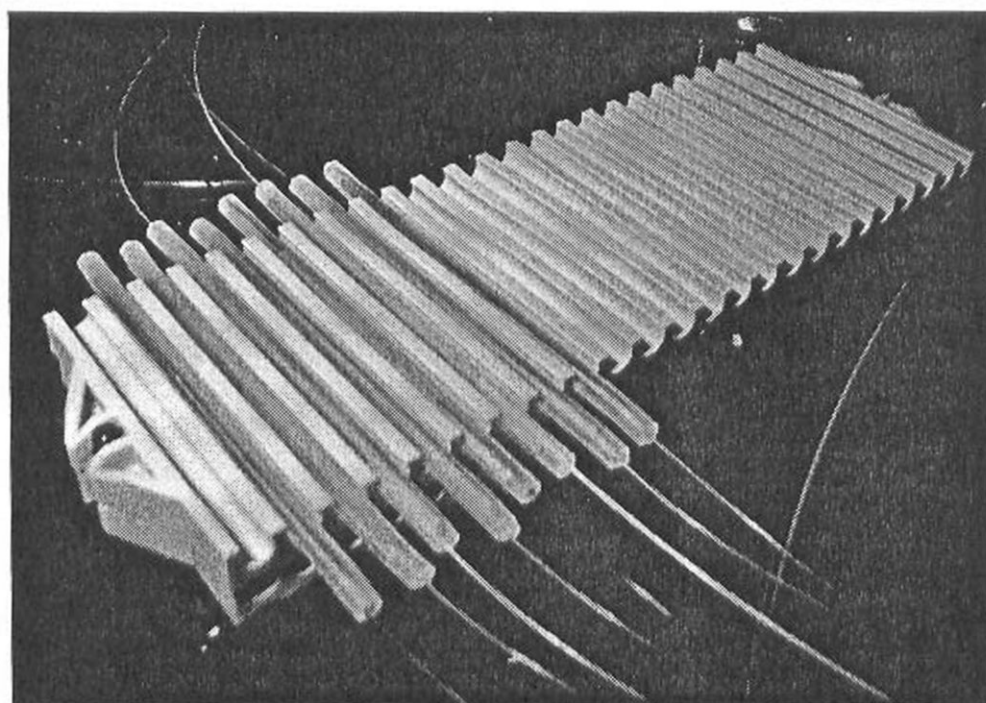
- Az egyik szálra zsugorcsovet kell húzni.
- A két szálvéget be kell helyezni a hegesztőgép megfelelő vájataiba. Behelyezéskor ügyelni kell, hogy a szálvégek ne hogy hozzáütödjenek valamihez, mert letörhet egy darab a merőlegesre vágott felületből.
- A gép két merőlegesen beépített kamera képét analizálva villamos motorokkal úgy mozgatja a szálakat, hogy a tengelyük egy egyenesbe essen.
- A szembeállított szálakat a gép közelebb tolja egymáshoz.
- A gép a két szembenálló tűs elektródára feszültséget kapcsol, a keletkező ív megolvasztja a szálak végén az üveget, eközben újabb tengelyirányú mozgatással a szálak összenyomódnak.
- A gép megméri (vagy megbecsüli) az elkészült kötés csillapítását és ha az egy határérték (általában 0,15 dB) felett van, hibaüzenet jelenik meg, a hegesztést újra el kell végezni.
- Az összehegesztett szálakat ki kell venni, a zsugorcsovet rá kell húzni a hegesztési varratra, majd be kell helyezni a gépen található kemencébe, ami ráolvasztja a csövet a szálra.

A 3.5.11. ábrán hegesztéshez előkészített optikai szálak láthatók. Az ábrán látható bal oldali szálvég száltörővel készült, a jobboldali egyszerű ollóval lett levágva. A fénykép a szálhegesztő gép kijelzőjét mutatja, a két, 90° -os szöget bezáró beépített kamera képét (a szerző felvétele).



3.5.11. ábra. Hegesztéshez előkészített optikai szálak

Az elkészített kötések a hálózatban optikai kötődobozba, az állomásokon optikai fogadószekrényekbe kerülnek. Ezekben minden cső külön tálcára vezethető ki. A tálcákon minden szálat külön vajatban lehet elhelyezni és mechanikailag rögzíteni (3.5.12. ábra).



3.5.12. ábra. Hegesztett optikai kötések optikai fogadószekrény tálcáján (a szerző felvétele)

3.5.6. Az optikai kábelek jellemzői

Az optikai kábelek tipikus adatai a következők.

- Csillapítás (egymódusú szál): 0,4 dB/km (1310 nm), 0,2 dB/km (1550 nm).
- Hegesztések csillapítása: kb. 0,08 dB.
- Csatlakozók csillapítása: kb. 0,5 dB.
- Csatlakozók reflexiós csillapítása: jobb, mint 60 dB.
- Hajlítási sugár: legalább a kábelátmérő hússzorosa.
- Húzószilárdság: szerkezettől függően 1000...6000 N.
- Tömeg: szerkezettől függően 70...220 kg/km,
- Üzemi hőmérséklet: -40...+60 °C.

3.6. Optikai adók

3.6.1. A félvezető lézerek működésének alapjai

A következőkben röviden áttekintjük az optikai jelátvitelben fontos szerepet játszó atomi folyamatokat.

Abszorpció: Egy atom vegyértékelektronjai alapállapotban a számukra legkisebb energiájú vegyértékhéjon helyezkednek el, de külső energiával magasabb energiájú héjra ugrathatók (gerjesztés). A gerjesztés feltétele, hogy a közölt energia legalább a két szint energiájának különbsége legyen (3.6.1.a) ábra):

$$\Delta E \geq E_2 - E_1.$$

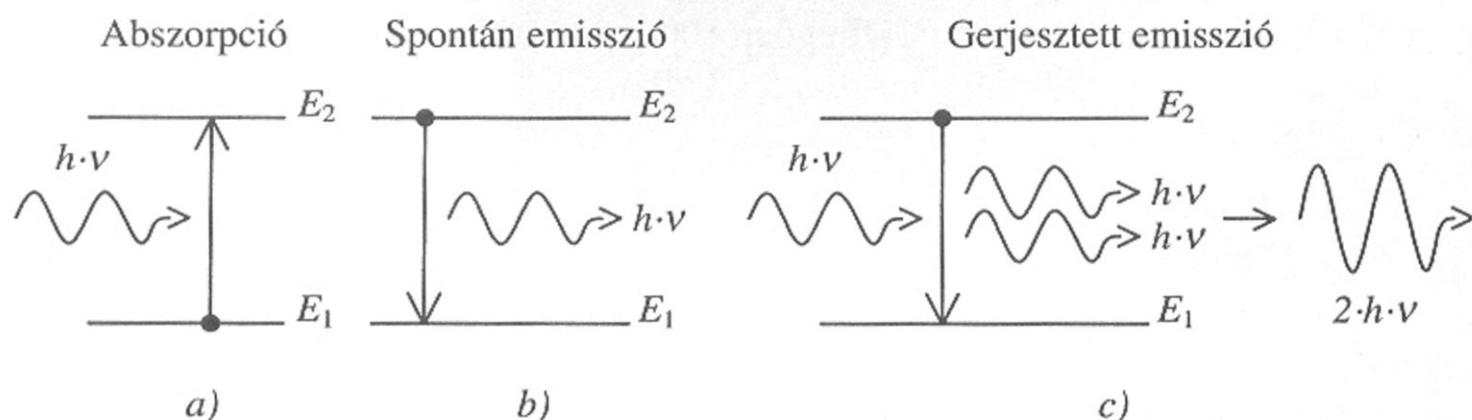
Az energia közölhető pl. egy külső fotonnal való ütközéssel. Ha a becsapódó foton energiája egyenlő a két szint energiakülönbségével, az atom elnyeli a fotont és az elektron a magasabb héjra ugrik.

Spontán emisszió: A gerjesztett elektron igen rövid idő alatt külső hatás nélkül visszaugrik alapállapotba, miközben az energiakülönbséget foton formájában kisugározza. A foton frekvenciája, azaz a kibocsátott fény hullámhossza ettől az energiakülönbségtől függ (3.6.1.b) ábra):

$$h \cdot \nu = E_2 - E_1,$$

ahol h a Planck-állandó, $h = 6,625 \cdot 10^{-31}$ J·s; ν a foton frekvenciája, Hz.

Indukált emisszió: Bizonyos feltételek esetén a külső héj metastabil. Ekkor a gerjesztés és a visszaugrás között több idő telhet el, de eközben külső hatással a visszaugrás előidézhető. A külső hatás lehet egy fotonnal való ütközés. Ekkor az emittált foton frekvenciája, fázisa, haladási iránya az indukáló fotonéval megegyező. Ezt az effektust fényerősítésre lehet használni (3.6.1.c) ábra).



3.6.1. ábra. Foton elnyelésével vagy kibocsátásával járó atomi folyamatok

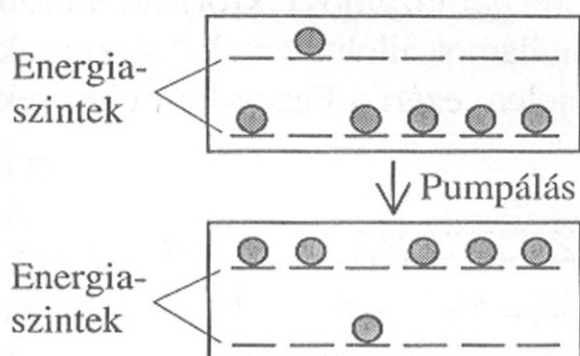
3.6.2. A lézerek

A lézerek alapeleme egy fényerősítő közeg, amelyben láncreakciószerűen indukált emisszió alakul ki. Ehhez az szükséges, hogy a gerjesztett elektronok száma nagyobb legyen, mint az alapállapotúaké. Mivel természetes állapotban alapállapotú atomból van több, külső behatással (pumpálás) kell biztosítani, hogy a gerjesztett elektronok száma (populációja) nagyobb legyen az alapállapotú elektronok számánál (populáció inverzió, 3.6.2. ábra).

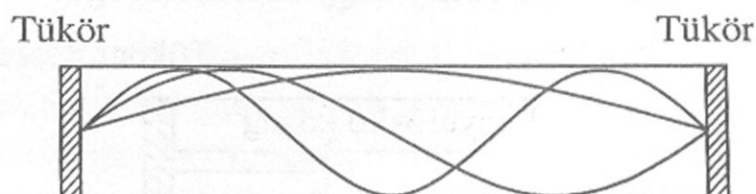
A pumpálás történhet villanófénnyel, elektromos kisüléssel, atomi ütközéssel. Félvezető eszközökben a pumpálást az elektromos áram végzi, a szabad elektronok és a lyukak folyamatos szállításával.

A gerjesztett emisszióval keletkezett fotonok a tér minden irányába terjednek. Megfelelő kialakítással egy erős, kis irányzögű nyalábot kell létrehozni, hogy azt a fényvezető szálba lehessen csatolni. Ezért a fényerősítő közeget rúd alakúra készítik és két végén fényvisszaverő réteget helyeznek el. Az egyik oldalon a közeg teljesen visszaveri a fényt, míg a másik oldalon a fény egy része visszaverődik, másik része kilép az anyagból. A fényvisszaverő rétegek közt ide-oda verődő fotonok további elektronokat ugratnak vissza alapállapotba, miáltal tovább növekszik a fotonok száma. A rúd hosszában állóhullámok alakulnak ki, amelyek hullámhossza a rúd geometriai méreteitől függ (3.6.3. ábra).

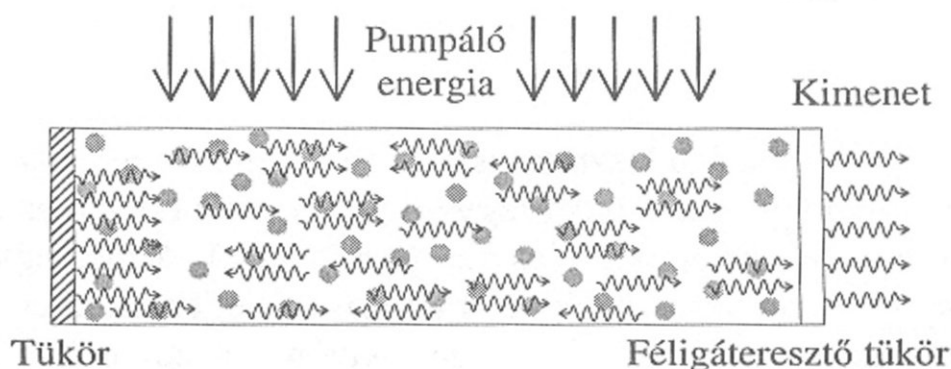
A féligáteresztő réteg falán a fotonok egy része kilép és koherens (azonos frekvenciájú és fázisú), párhuzamos nyalábot hoz létre (3.6.4. ábra).



3.6.2. ábra. Populáció inverzió



3.6.3. ábra. Lézerben kialakuló állóhullámok

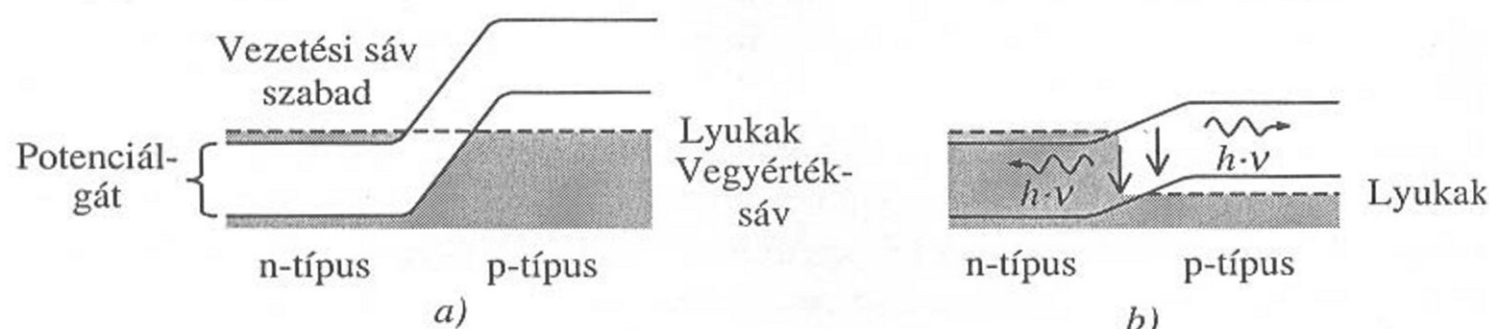


3.6.4. ábra. Koherens fény kilépése a fényerősítő közegből

3.6.3. Fénykibocsátó félvezető eszközök

LED-ek

A LED-ek (Light Emitting Diode, fényemittáló dióda) olyan félvezető eszközök, amelyekben az áramvezetésben résztvevő elektronok és lyukak a kiürített rétegben rekombinálnak, miközben az atom vegyértékhéjára leugró elektron egy fotont emittál (3.6.5. ábra). A LED-ek elektromos-optikai átalakítóként használhatók, de hátrányuk, hogy a kibocsátott fénynek széles a spektruma és a fénysugár nem irányított.

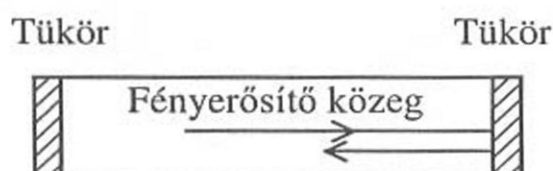


3.6.5. ábra. GaAs félvezető dióda energiaszintjei
a) előfeszítés nélkül; b) nyitóirányú előfeszítéssel

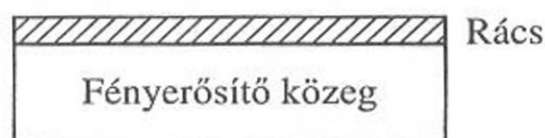
Félvezető lézerek

Fabry–Perot lézer

Fabry–Perot-interferométert (optikai rezonátort, azaz két párhuzamos tükröt) tartalmazó lézer (3.6.6. ábra). A tükrök között haladó és visszavert hullámok állóhullámokat alakítanak ki. Az állóhullámoknak egyidőben sok módusa van jelen, ezért a Fabry-Perot lézerek által kibocsátott fény nagy sáv szélességű.



3.6.6. ábra. Fabry–Perot lézeradó felépítése



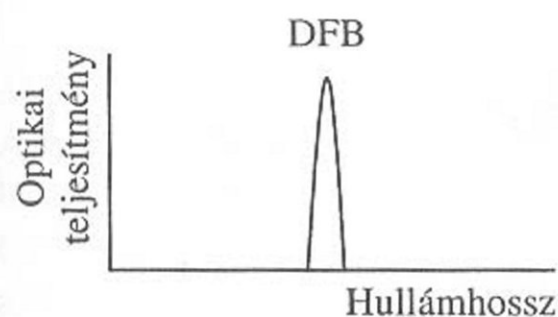
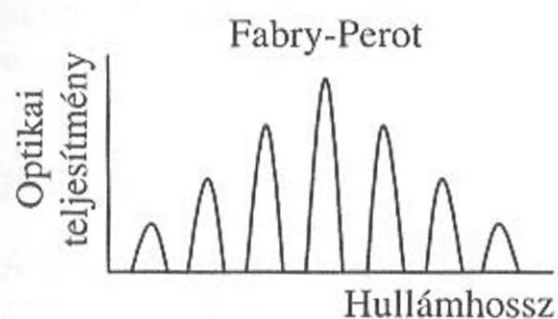
3.6.7. ábra. DFB lézeradó felépítése

DFB lézer

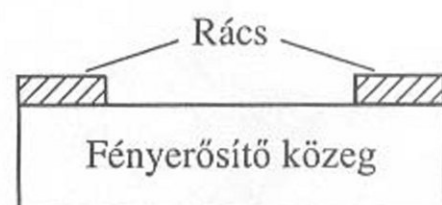
A DFB (Distributed Feedback, elosztott visszacsatolású) lézer annyiban különbözik a Fabry–Perot-lézertől, hogy itt az egyik (vagy mindkét) tükrő helyett az optikai erősítő-közeg hosszában elhelyezett optikai rács van (3.6.7. ábra). A rács egyes elemeiről a fénycsugár egy kis része visszaverődik. A visszavert hullámok interferálnak és csak egyetlen hullámhosszon erősítik egymást. A rács a különböző hullámhosszú módusokból csak egyet enged át, így a kilépő fény monokromatikus lesz (3.6.8. ábra). Ez azért

előnyös, mert az optikai szálban a különböző módusok terjedési sebessége eltérő (módusdiszperzió) és a vevőbe érkező jel ilyenkor torzul. Monokromatikus fény esetén ez a torzulás kiküszöbölhető.

Az elrendezés hátránya, hogy az aktív rétegben elhelyezett rács rácsállandója a hőmérséklet függvényében változik, ezért a kisugárzott fény frekvenciája eltolódik. Az aktív réteg hőmérséklete az átfolyó áram, azaz a vezérlő RF-jel függvényében változik. A jelenség neve chirping (csiripelés). A félvezető hűtésével (Peltier-cella) a frekvenciaingadozás csökkenthető.



3.6.8. ábra. A Fabry-Perot-lézer és a DFB lézer spektruma



3.6.9. ábra. DBR lézeradó felépítése

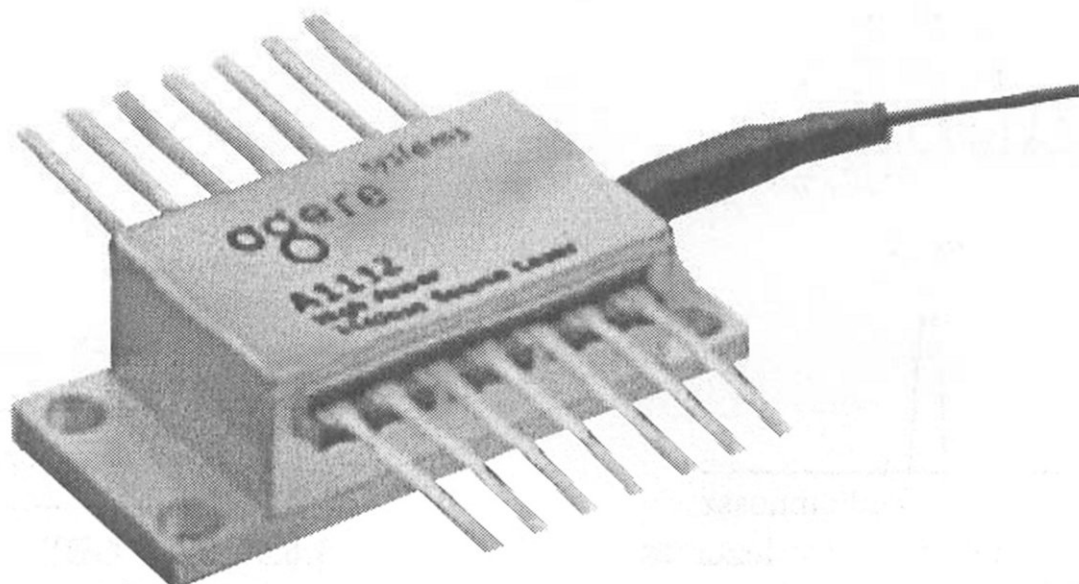
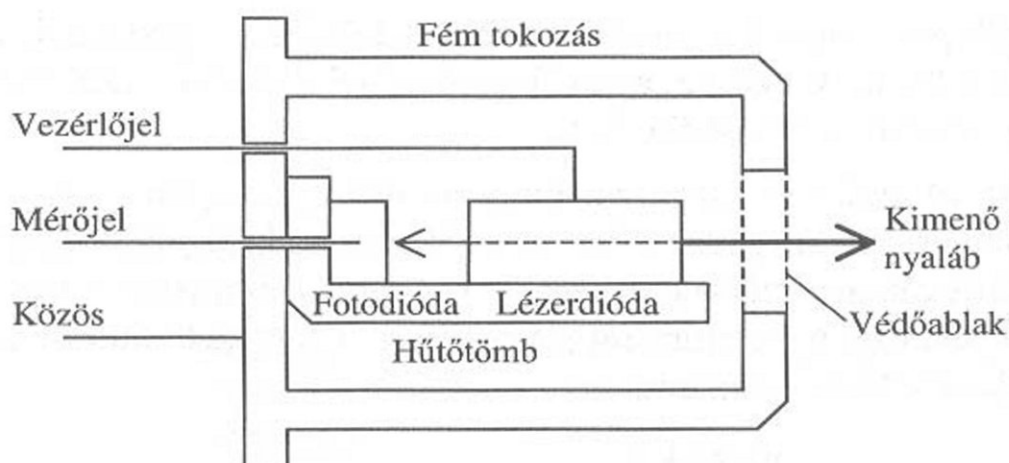
DBR lézer

A DBR (Distributed Bragg Reflector, elosztott Bragg-reflektoros) lézerben mindkét tükröt optikai rács helyettesíti, amelyek az aktív rétegen kívül helyezkednek el (3.6.9. ábra). Ennek az az előnye, hogy az aktív rétegen kívül elhelyezett rács hőmérséklete kevésbé ingadozik, ezért a DBR lézer frekvenciastabilitása jobb, mint a DFB lézereknek.

A félvezető lézerek felépítése

A lézerdiódát az ellenőrző fotodiódával közös fémházba szerelik. (Az ellenőrző fotodióda az aktív réteg hátulján kilépő fényt alakítja árammá.) Az elrendezés egy hűtőtömbön helyezkedik el. Nagyobb teljesítményű adóknál a hűtést Peltier-cella végzi. A félvezető lézer tipikus hossza 1 mm, a teljes lézerdióda hossza kb. 1 cm (3.6.10. ábra). A 3.6.11. ábrán egy DFB lézerdióda képe látható.

3.6.10. ábra. Lézerdióda felépítése

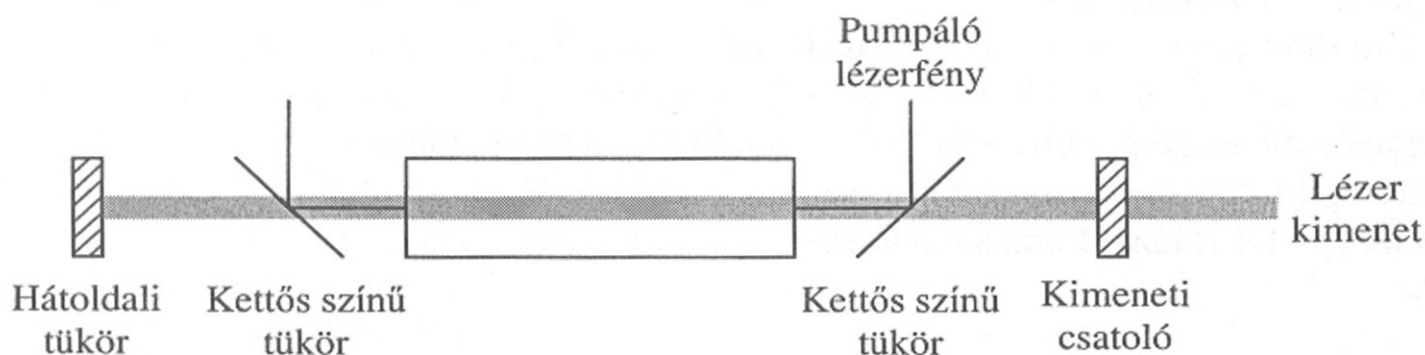


3.6.11. ábra. Pillangó tokozású DFB lézerdióda (agere systems)

Szilárdtest lézerek

Nd:YAG lézer

Az optikai erősítő közeg neodímiummal adalékolt ittrium-alumínium gránát (Neodymium doped Yttrium-Aluminum-Garnet, YAG, $Y_3Al_5O_{12}$). A populáció inverzió fenntartásáról külső pumpáló lézerdióda gondoskodik, a modulációt külső modulátor végzi (3.6.12. ábra). A bonyolult felépítés miatt a Nd:YAG lézerek drágábbak a félvezető lézereknél, de előnyük a kisebb zaj és a jobb sáv szélesség.



3.6.12. ábra. Külső pumpálású szilárdtest lézeradó működési elve

3.6.4. A lézerfény modulációja

Közvetlen moduláció

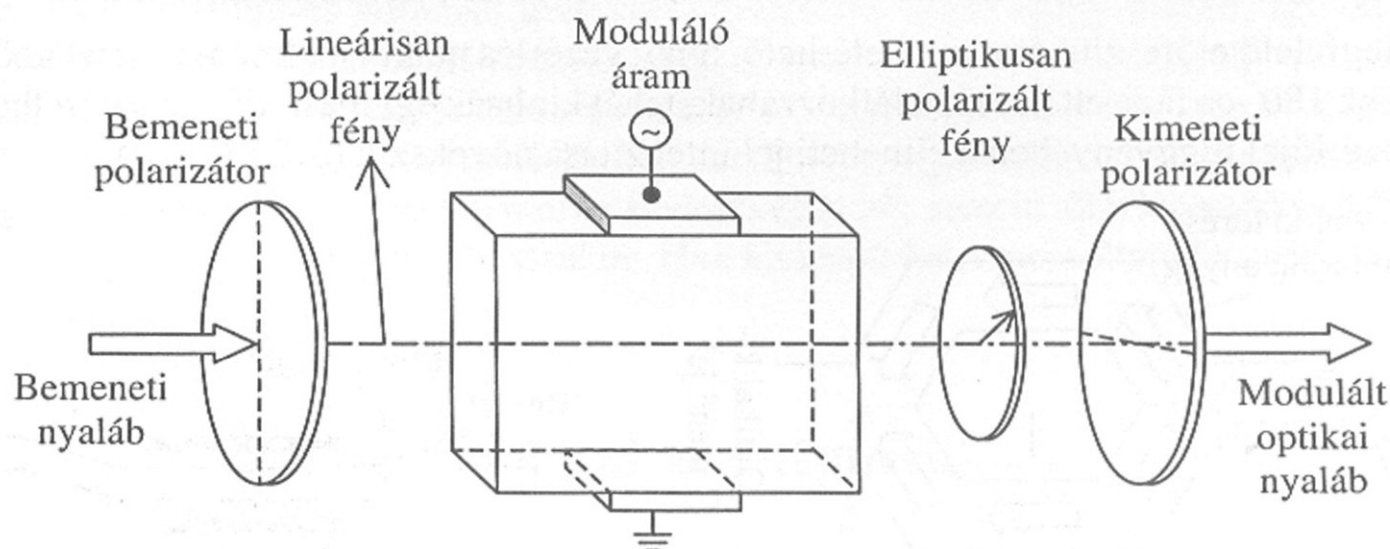
Optikai jelátvitelnél intenzitásmodulációt (tulajdonképpen a fénycsillag amplitúdómodulációját) használják. Mivel a lézerek intenzitása széles tartományban arányos a gerjesztéssel, a moduláció egyszerűen megoldható az RF-jel közvetlen rákapcsolásával (direkt moduláció). Ebben az esetben a lézer kimeneti teljesítménye változik. A módszer előnye az egyszerűség, hátránya viszont, hogy közvetlen modulációkor a lézer hőmérséklete a vezérlés függvényében változik, ami nagy frekvenciaváltozást (chirping-et) eredményez.

Külső moduláció

A chirping elkerülése érdekében a lézert azonos intenzitással működtetik és a kijövő fényt külső eszközzel modulálják. Erre a célra számos modulátortípust alakítottak ki.

Magneto-optikai modulátor

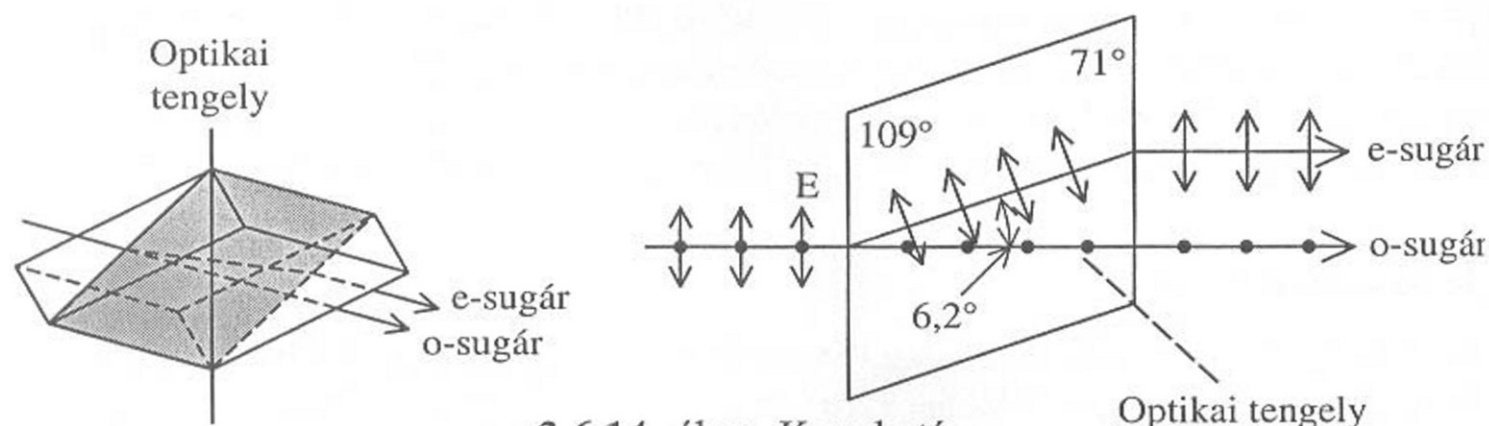
Az áteső polarizált fény polarizációs síkja mágneses tér hatására elfordul (Faraday-hatás). A modulátorba belépő fény két, egymáshoz képest 90° -kal elforgatott polarizátoron halad keresztül. A bemeneti polarizátor függőlegesen polarizálja a bejövő fényt, amelyet a kimeneti vízszintes polarizátor teljes egészében kiszűr. Ha a két polarizátor közötti közeget körülvevő tekercsre feszültséget kapcsolunk, a keletkező mágneses tér elforgatja a fény polarizációs síkját és a kimeneti polarizátor az elforgatott polarizációjú fény vízszintes komponensét átengedi. Az átengedett fény intenzitása a modulátorra kapcsolt feszültségtől függ (3.6.13. ábra).



3.6.13. ábra. Magneto-optikai modulátor működési elve

Elektro-optikai modulátor

Bizonyos anyagok külső villamos térben kettőstörővé válnak (Kerr-hatás), és a belépő fény vízszintesen, ill. függőlegesen polarizált összetevőjére különböző törésmutatók érvényesek. Ennek következtében a fény két sugárra válik és azok különböző irányokban hagyják el a közeget (3.6.14. ábra). A modulátorban a törésmutató értéke a vezérlőfeszültség függvényében változik, így a kilépő fény intenzitása modulálható.



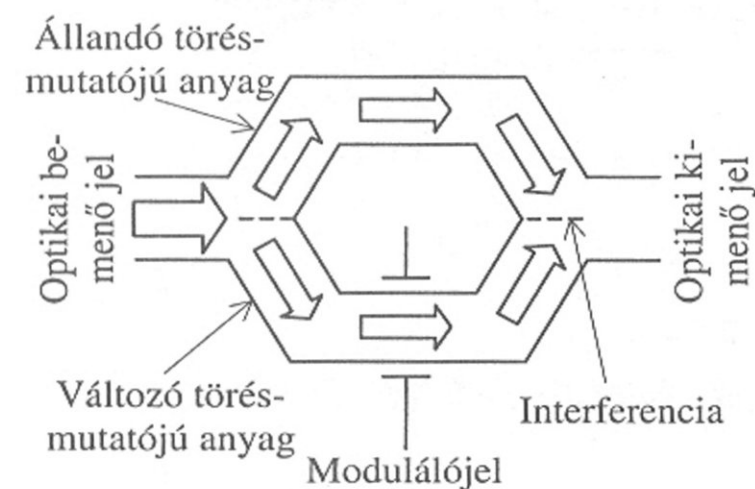
3.6.14. ábra. Kerr-hatás

Mach-Zender modulátor

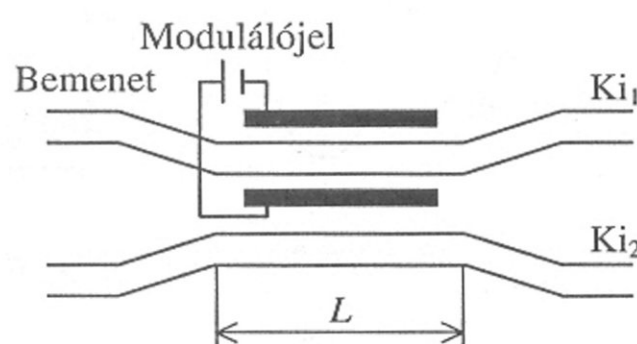
A modulátor bemenetén a jelet egy optikai osztó két egyenlő energiájú nyalábra osztja. Az osztott jelek két azonos hosszúságú optikai szálon haladnak keresztül, majd egy összegzőn fázishelyesen találkoznak. A két nyaláb interferenciával erősíti egymást és az összegzett jelek megközelítőleg az eredeti teljesítménnyel hagyja el a modulátort.

Ha az egyik optikai szál elektromos térbe helyezik, a szál törésmutatója megváltozik. Ennek következtében az áthaladó fény sebessége csökken, a kimeneti összegzőn a fényhullámok fázisa eltolódik, kevésbé erősítik egymást, az intenzitás csökken.

Megfelelő előfeszítő árammal elérhető, hogy vezérlés nélkül a kimeneti összegzőn a jelek 180° -os fáziseltolással találkozzanak, tehát kioltásuk egymást. Ebben az esetben a vezérlőjel függvényében a kimeneti jelek intenzitása növekszik (3.6.15. ábra).



3.6.15. ábra. Mach-Zender modulátor működési elve



3.6.16. ábra. Iránycsatolós modulátor működési elve

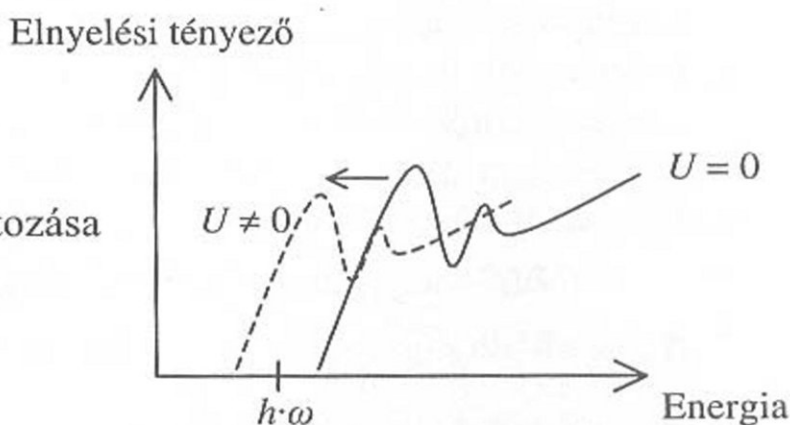
Íránycsatolós modulátor

Az optikai iránycsatoló egyik ágát elektromos térbe helyezik és így a vezérlőfeszültség hatására a törésmutató – és ezzel együtt a csatolási tényező – meg fog változni. Az eszköz az 1. ágból a 2. ágba átlépő fény teljesítményét szabályozza, tehát a kimeneteken intenzitásmodulált jel lesz (3.6.16. ábra).

Elektro-abszorpciós modulátor

Egy közeg abszorpciós (elnyelési) tényezője – azaz, hogy az áthaladó fotonok hány százalékát nyeli el – a fotonok energiájának függvényében változik. Bizonyos elrendezésű félvezetőkben ez a függvény külső feszültség hatására az energiatengely mentén eltolódik, ezért a vezérlőfeszültség hatására az áthaladó állandó frekvenciájú fotonok különböző mértékben nyelődnek el (3.6.17. ábra).

3.6.17. ábra. Az elnyelési tényező változása külső feszültség hatására



A KTV hálózatokban a külső modulációt elsősorban az 1550 nm-es adókban használják, mivel az 1310 nm-es adókban a frekvenciastabilitás iránti igény kisebb, így ott az egyszerűbb, közvetlen modulált adók is megfelelnek. Adatátviteli rendszerekben a külső modulációnak szintén nagy jelentősége van. DWDM (Dense Wave Division Multiplexing, sűrű hullámhossz multiplexelésű) rendszerekben a nagyobb kihasználtság érdekében egy szálon hullámhossz szerinti multiplexelést végeznek, azaz itt több lézeraó működik egymás mellett, közeli hullámhosszakon. Ha a kimeneti frekvencia eltolódik, a csatornák egymásba csúszhatnak.

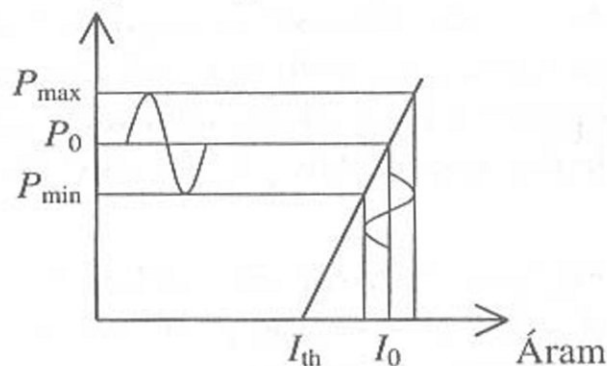
3.6.5. A lézeraóók jellemzői és felépítésük

A KTV rendszerekben alkalmazott lézeraóóadás adók fontosabb jellemzői a következők.

- Bemeneti jelszint: 80...90 dB μ V.
- Kimeneti teljesítmény: 10...20 dBm.

- Optikai modulációs index (optical modulation index, OMI): $OMI = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}}$.

Optikai teljesítmény



3.6.18. ábra. Optikai modulációs index

Az OMI növelésével analóg rendszereken nő az intermodulációs torzítás (*CSO*, *CTB*), digitális rendszereken csökken a BER. Az OMI tipikus értéke 3–5%.

- Sáv szélesség: a moduláló jel sáv szélessége előreirányú adóknál 40...860 MHz, visszairányú adóknál 5...200 MHz.
- Relatív zajszint (Relative Intensity Noise, *RIN*): A lézeradóban lezajló spontán emisszió nemkívánatos fotonokat eredményez a kimeneten (lézerzaj). Ez az állandó feszültséggel vezérelt lézerdióda kimeneti optikai jelének ingadozását okozza. A *RIN* az ingadozás (fluktuáció) és a kimeneti jel szintje arányát adja meg.

$$RIN = \text{teljesítményingadozás négyzete} / \text{vivő teljesítményének négyzete}.$$

A lézerdióda zajszintjének kiszámításakor az értéket meg kell szorozni a csatorna

sáv szélességével. A jel-zaj viszony kiszámítható az $SNR = \frac{OMI^2}{2 \cdot RIN}$

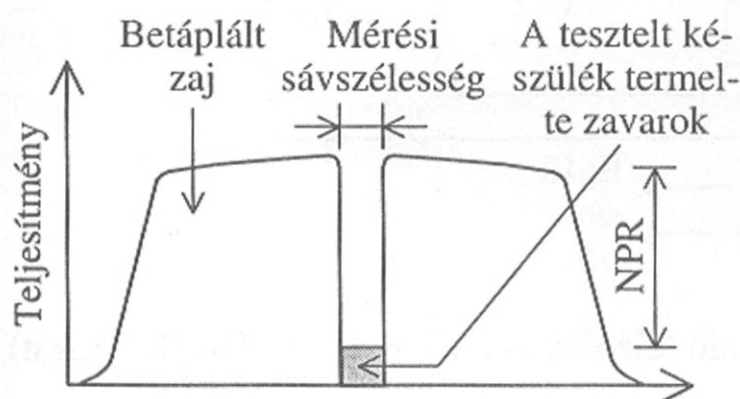
összefüggéssel is.

Látható, hogy az optikai modulációs index növelésével a jel-zaj viszony javítható. DFB lézerek tipikus *RIN* értéke kb. -160 dBc/Hz, a Fabry-Perot lézereké ennél rosszabb, a YAG lézereké pedig jobb.

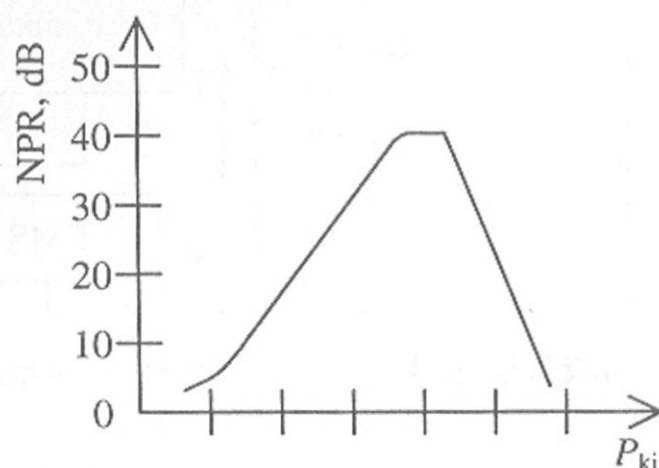
- SBS (Stimulated Brillouin Scattering, indukált Brillouin szórás). Az indukált Brillouin-szórás az optikai szálakban előforduló nemlineáris effektus, amelynek hatására a nagy teljesítményű, keskeny sáv szélességű optikai jel átvitele közben az eredeti jellel ellentétes irányban haladó fényhullám indukálódik. Ez a hullám interferál a haladó jellel és gyengíti azt. (A vezérlő optikai jel vele egyező irányban haladó akusztikus hullámot kelt az üvegszálaban. A hullám, mint mechanikai deformáció mentén a törésmutató értéke periodikusan változik, ami optikai rácsként hat. Erről a rácsról verődik vissza a jel egy része. Mivel a rács a jelterjedés irányával párhuzamosan halad, a Doppler-effektus miatt a visszavert hullám frekvenciája kisebb lesz a haladó jel frekvenciájánál.) Egy bizonyos kimeneti teljesítmény felett (SBS threshold, SBS-küszöbszint) már nem érdemes növelni az adó teljesítményét, mert a jelenség következtében a vevőbe érkező jel szintje már nem nő. A küszöbszint néhány dBm. A szint emelésére általában SBS-elnyomó áramköröket alkalmaznak (SBS suppression). SBS elnyomásra használatos eljárás az optikai jel sáv szélességének növelése,

vagy külső modulátorral végzett fázismoduláció. Az eljárások 5...10 dB-lel emelik az SBS-küszöbszintet, ezáltal a max. kimeneti teljesítményt.

- Bemeneti reflexiós csillapítás (RF): 16...18 dB.
- Kimeneti reflexiós csillapítás (optikai): kb. 50 dB.
- Egyenetlenség (flatness): 0,5 dB.
- Dőlés (slope): kb. 1 dB.
- Intermodulációs torzítás: 65...68 dB.
- Vivő-zaj viszony: 55 dB.
- NPR (Noise Power Ratio): Mérésekor egy kivételével az összes csatornát fehérzajjal terhelik. Definíció szerint az NPR a terhelő fehérzaj szintje osztva az üres csatorna zajszintjével (3.6.19. ábra). Értéke legrosszabb esetben kb. 44 dB, de ez a fehérzaj szintjének függvényében változik. A gyártók az NPR bemeneti jelszinttől való függését táblázatban vagy diagrammal adják meg. A mérés tulajdonképpen az eszköz linearitását vizsgálja. Alacsony jelszintnél a mért zaj az eszköz félvezető zaja. A görbén látszik, hogy ha növeljük a mérőjel szintjét, az NPR is növekszik, mivel az eszköz saját zaja állandó. Növelve a jelszintet a nemlinearitás miatt keletkezett torzítási termékek jelennek meg a vizsgált csatornában. Ekkor az NPR meredeken csökken, mert a magasabb rendű torzítási termékek gyorsabban növekednek, mint a jelszint (3.6.20. ábra). Az NPR mérésének a hagyományos, analóg mérőjelekkel végzett méréshez képest az az előnye, hogy itt a teljes sávban keletkező torzítási termékek egyszerre mérhetők, míg az analóg eljárásnál a mérés eredménye függ a mérőjelek frekvenciájának megválasztásától. Másrészt a digitális jelátvitel minőségéről ez a mérés többet elárul, mivel a fehérzaj spektruma hasonlít a digitális jel spektrumára.



3.6.19. ábra. Az NPR értelmezése

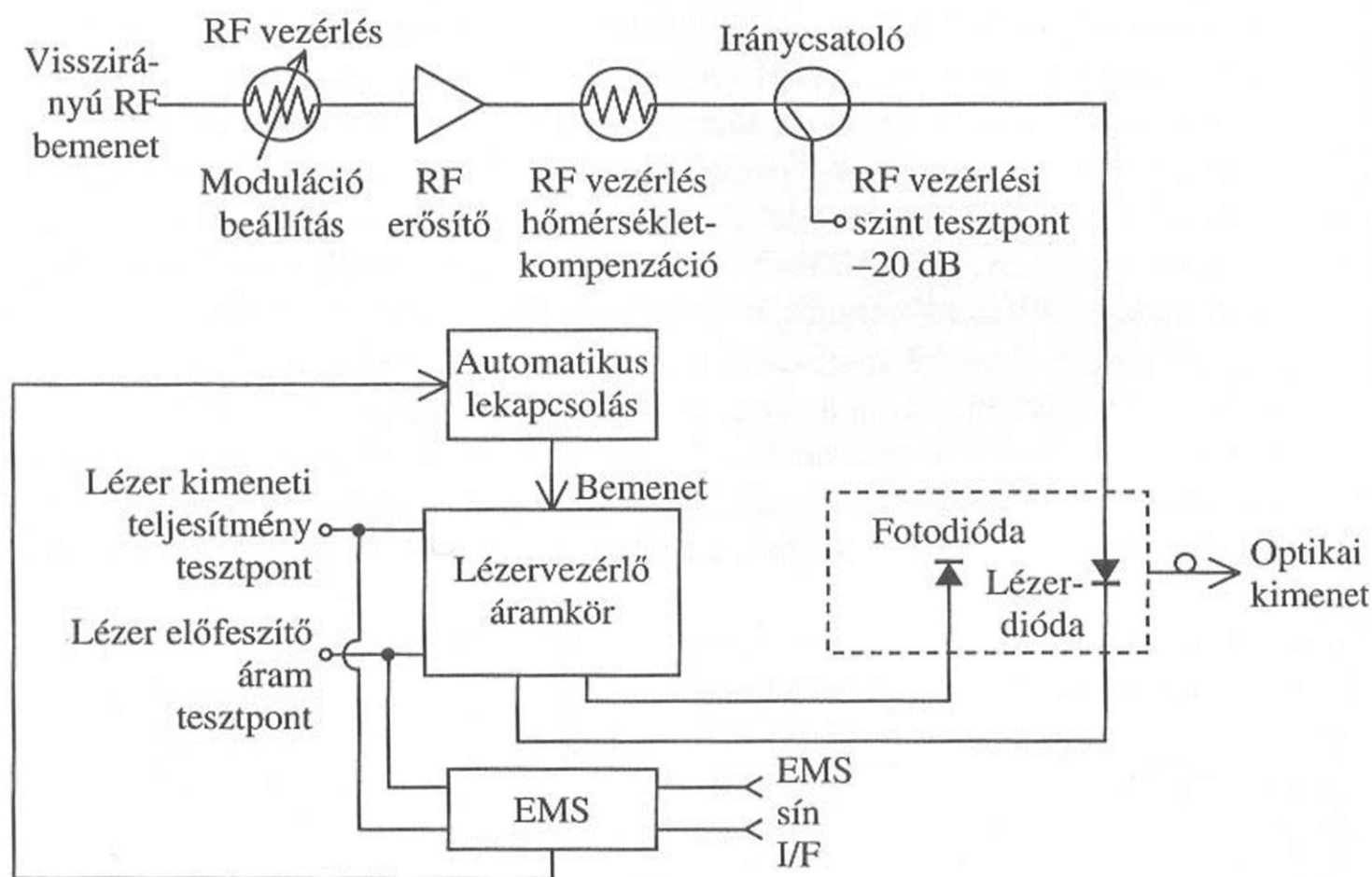


3.6.20. ábra. Az NPR változása a kimeneti teljesítmény függvényében

- Kimeneti osztásviszony: két kimenetű adóknál a kimenetekre optikai osztón keresztül kerül a jel. Ekkor a gyártó megadja a két kimenet közötti osztásviszonyt. Ezt általában a készülék típuszámának négyjegyű tagja is jelzi (pl. 5050: 50%–50%; 6040: 60%–40%).

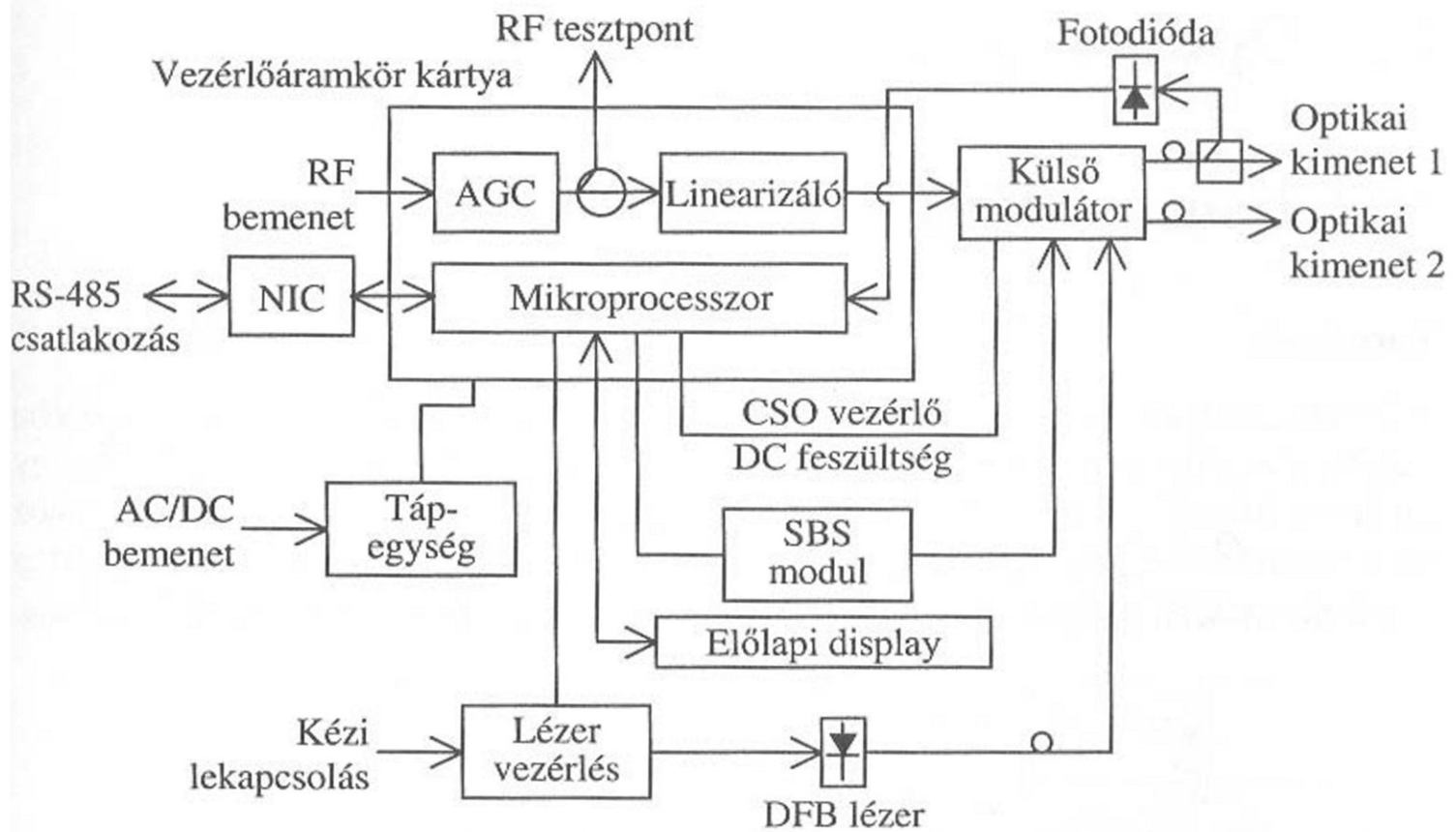
A következőkben néhány, a KTV rendszerekben alkalmazott lézeradó egység felépítését ismertetjük.

A 3.6.21. ábrán egy egyszerűbb felépítésű, visszirányú (5...200 MHz) 1310 nm-es optikai adóra látunk példát. 1310 nm-en a frekvencia nagyobb határok között ingadozhat, ezért a készülékben az olcsóbb közvetlen modulált DFB lézeradót alkalmazzák. A lézerrúd hátfalán kilépő fény teljesítményét folyamatosan figyeli a közös tokban elhelyezett fotodióda. A fotodióda árama és a lézerdióda munkaponti árama egy vezérlőáramkörre kerül. Ezen keresztül egy ellenőrzőrendszer vezérli a diódát, ill. a paraméterek tesztpontokon keresztül mérhetők is. Az eszköz az ellenőrzőrendszerhez csatlakozó adatsínen keresztül távvezérlő/távfelügyeleti rendszerbe köthető.



3.6.21. ábra. 1310 nm visszirányú optikai adó felépítése (Philips Tierra TSOT sorozat)

Magasabb minőségű előírásoknak kell megfelelnie egy 1510 nm-es adónak (3.6.22. ábra). A nagyobb frekvenciastabilitást külső moduláció garantálja, amivel a lézerdióda chirpingje elkerülhető. A kimeneti optikai jelet az SBS csökkentése érdekében a vezérlőáramkör fázisban modulálja. A moduláló RF-jel egy szintszabályozó és egy linearizáló fokozaton keresztül jut a modulátorra. A vezérlő áramkör folyamatosan figyeli és szabályozza a lézerdióda és a modulátor munkaponti áramát, valamint az SBS-elnyomó áramkört. Adatsínen keresztül ezek a paraméterek távfelügyeleti rendszerhez továbbíthatók.



3.6.22. ábra. 1550 nm visszirányú optikai adó felépítése (Philips 5000 sorozat)

Szabványelőírások

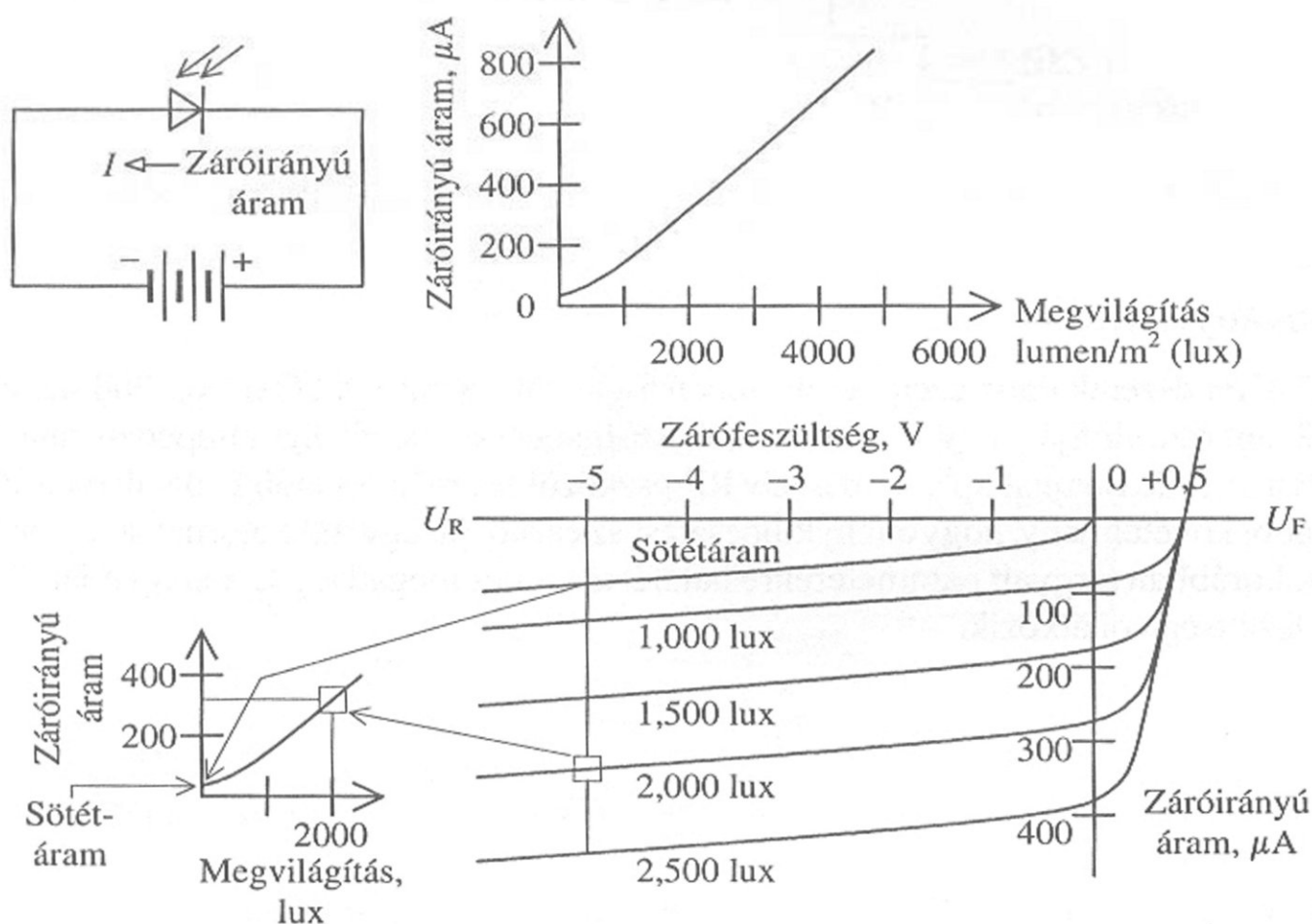
A KTV rendszerek fényvezetős eszközeivel foglalkozó MSZ EN 80053-6:2000 szabvány 6.1.2. fejezete előírja, hogy az optikai adók RF-bemenetének névleges impedanciája 75Ω legyen. A reflexiós csillapítás a passzív RF-eszközökre érvényes előírásoknak megfelelő. További követelmény, hogy a fénykibocsátást az eszközön egy indikátornak jeleznie kell. Más, korábban tárgyalt paraméterekre határérték nincs megadva, de azokra adatközlési kötelezettség vonatkozik.

3.7. Optikai vevők

3.7.1. Optikai-elektromos átalakítók

Fotodióda

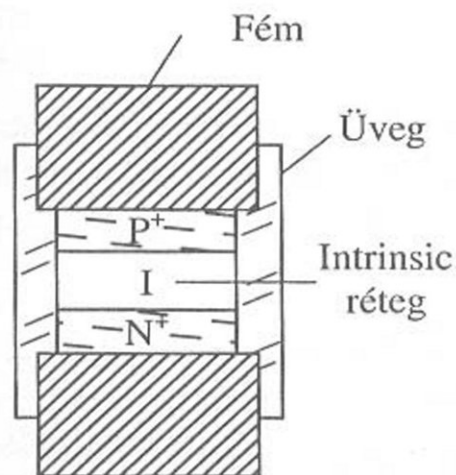
A fotodióda olyan záróirányban előfeszített félvezető eszköz, amelynek kiürített rétegébe vezetik a vezérlő optikai jelet. A beérkező fotonok a kiürített réteg atomjaival ütközve egy elektront löknek ki a vegyértékhéjról. Az így keletkezett elektron-lyuk pár áramot hoz létre a félvezetőben (3.7.1. ábra). Elektron-lyuk párok megvilágítás nélkül, spontán módon is keletkeznek, az így létrejött áram a sötétáram, ami tulajdonképpen a fotodióda saját zaja.



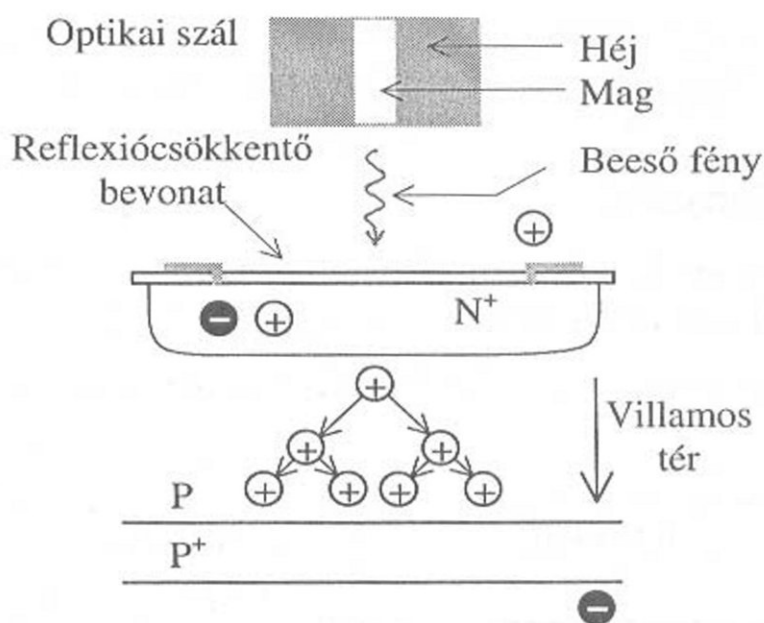
3.7.1. ábra. Fotodióda bekötése és jelleggörbéje

PIN fotodióda

A PIN (Positive Intrinsicly Negative) diódában az adalékolt p és n réteg között adalékoltan (intrinsic) réteg helyezkedik el (3.7.2. ábra). Ebben a rétegben kevés a szabad töltéshordozó, ezért nagy az átlagos szabad úthossz. A töltéshordozók nagy sebességre tudnak felgyorsulni, ezért a PIN dióda gyorsabb az egyszerű pn-fotodiódánál.



3.7.2. ábra. PIN dióda szerkezete



3.7.3. ábra. Lavina fotodióda (APD) működési elve

Lavina fotodióda

A lavina fotodióda (Avalanche Photo Diode, APD) egy olyan fotodióda, amelynek a munkapontját záróirányú előfeszítéssel a letörési feszültségtartományába helyezzük. Ekkor egy beérkező foton kiüt a vegyértékhéjről egy elektront, amit a külső elektromos tér felgyorsít. A kiürített rétegben az elektron akkora energiára tesz szert, hogy egy, az atomrácsban elhelyezkedő másik atommal ütközve újabb elektront üt ki. A jelenség többször ismétlődik, lavinahatás jön létre, a keletkező fotóáram igen nagy lesz (3.7.3. ábra).

3.7.2. A kábeltelevíziós technikában használt fotodiódák és főbb jellemzőik

A KTV rendszerekben használt fotodiódák fontosabb jellemzői a következők.

Sávszélesség

A fotodiódák tipikus működési tartománya 1200...1600 nm. Ebből következik, hogy a kábeltelevíziós technikában használt két hullámhosszra (1310 és 1550 nm) ugyanaz a vevő használható.

Bemeneti teljesítmény

Az optikai vevők bemeneti teljesítménye típustól függően kb. -15 és +2 dBm között változik. Egyes gyártók ezen felül megadják azt a tartományt, amelyen belül az előírt

paraméterek teljesülését garantálják (általában néhány dBm-es tartomány), ill. azt a tartományt, ahol a vevő még megfelelően, de nem optimális paraméterekkel működik.

Érzékenység

1 W bemeneti jelteljesítmény által keltett áram (A/W). Számértéke gyakorlatilag megegyezik az 1 mW (0 dBm) optikai jelteljesítmény által keltett, mA-ben mért fotóárammal).

A gyakoribb fotodiódák jellemzőit a 3.7.1. táblázat tartalmazza.

Fotodiódák jellemzői. 3.7.1. táblázat

Jellemző	InGaAs Shottky-fotodióda	Ge PIN fotodióda	InGaAs PIN fotodióda
Működési hullámhossz, nm	950 – 1650	800 – 1800	800 – 1700
Érzékenység, A/W	0,4	0,9	0,95
Működési sebesség, GHz	60	6	25

Szabványelőírások

A kábeltelevíziós rendszerek fényvezetős eszközeivel foglalkozó MSZ EN 80053-6:2000 szabvány 6.2.2. fejezete előírja, hogy az optikai vevők RF-kimenetének névleges impedanciája 75 Ω legyen. A reflexiós csillapítás az passzív RF-eszközökre érvényes előírásoknak megfelelő. A 6.2.1.6. ajánlása szerint az optikai reflexiós csillapítás min. 40 dB legyen. Más, korábban tárgyalt paraméterekre határérték nincs megadva, de azokra adatközlési kötelezettség vonatkozik.

3.7.3. Az optikai vevő felépítése

Optikai tesztpont

Az optikai vevőkben lehetőség van a bejövő optikai teljesítmény mérésére a fényvezető szál bontása nélkül. Az egyenfeszültségű tesztponton a bejövő jel teljesítményét egyenfeszültséggé alakítja a vevő (Optical Monitor Test Point, vagy Input Power based on DC voltage, IPD). A mérést egyszerű multiméterrel lehet elvégezni. Általában 1 mW (0 dBm) felel meg 1 V-nak. A feszültség arányos a bejövő jel optikai teljesítményével, tehát pl. fele akkora jelteljesítménynél (0,5 mW, azaz -3 dBm) a feszültség 0,5 V lesz. Az átalakítást a gyártók megadják a készülék adatlapján, ill. feltüntetik a készüléken is. A fenti példa jelölése: IPD 1 V/mW vagy 1 V/dBm.

Redundáns vevő

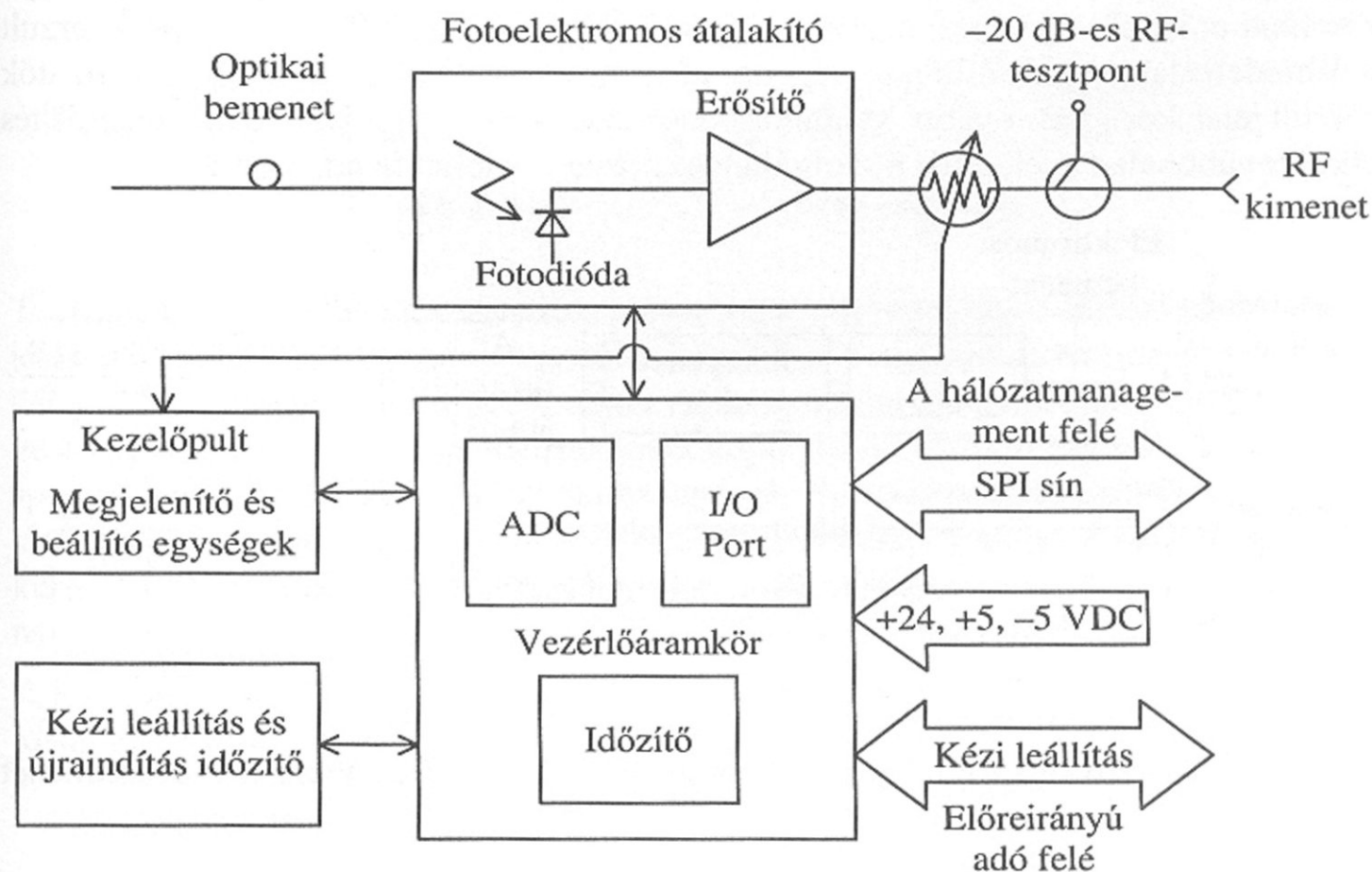
Redundáns hálózaton a vevő két különböző irányból kapja ugyanazt a jelet (körgyűrű). A redundáns vevő alapesetben az egyik irányról működik, de meghibásodás (többnyire kábelszakadás) esetén automatikusan átkapcsol a másik irányra, így nincs kiesés a szolgáltatásban.

Riasztások

Az optikai vevők különböző riasztásokat adhatnak, ami lehet egy előlapon kigyulladó LED vagy az adatkommunikációs porton a felügyeleti rendszernek küldött jelzés. A tipikus riasztások a következők: bejövő optikai jelteljesítménye alacsony/magas, kimeneti RF-jelszint alacsony.

Zajzár

A kábeltelevíziós gyakorlatban a visszirányú vevők kimenő RF-jele sok esetben közösítve van. Ekkor, ha a közösített vevők bármelyikén a zaj vagy a jelbeszűrődés megnövekszik, az összes többi vevő jele is feldolgozhatatlan lesz. Ezekre az esetekre a gyártók automatikus zajzár (squelch) áramkört építenek be a visszirányú vevőkbe. Az áramkör figyeli a bejövő zajszintet és amennyiben az egy, a felhasználó által előre beállított küszöbszint fölé kerül lekapcsolja az RF-kimenetet.



3.7.4. ábra. Optikai vevő tömbvázlata (Philips Diamond FRX sorozat)

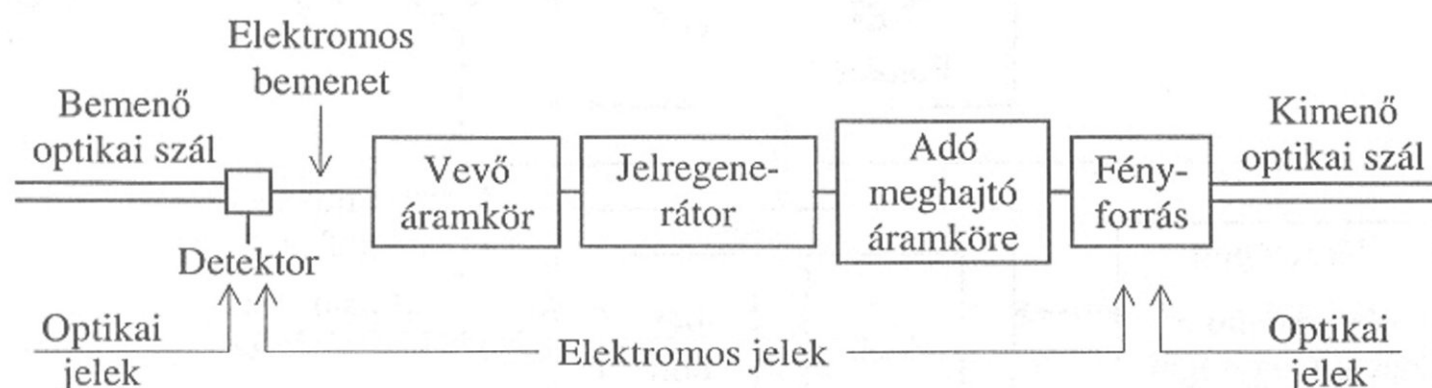
A módszer előnye, hogy egy visszirányú körzet bezajosodásakor csak az adott vevő körzetében szünetelnek a visszirányos szolgáltatások (pl. Internet), a többi körzet előfizetői továbbra is használhatják a szolgáltatást.

Végezetül példaképpen tekintsük át egy optikai vevő felépítését. A vevő tömbvázlata a 3.7.4. ábrán látható, és fő része a közös tokba szerelt fotódióda és RF-erősítő. A kimeneti RF-jelet automatikusan működő, ill. az előlapról kézzel is működtethető szintszabályozó fokozat követi. A kimenő RF-jelet minőségét és szintjét a kimeneti tesztponton lehet mérni. A szabályozó automatika a szintszabályozáson túl a külső adatkapcsolatokat is vezérli.

3.8. Optikai erősítők

3.8.1 Ismétlőerősítő (jelregenerátor)

Bármilyen hullámhosszú optikai jel erősíthető RF-jellé való visszaalakítással (3.8.1. ábra), de a módszer egyrészt drága, másrészt a három aktív elemen való áthaladáskor a jel minősége számottevően romlik, ezért a valódi optikai erősítőkben nem történik átalakítás, magát az optikai jelet erősítik. Az ismétlőerősítők (jelregenerátorok, repeaterek) előnye az optikai erősítőkhez képest az, hogy digitális jelek esetén az RF-szakaszon a torzult jelek eredeti alakja visszaállítható (regenerálás), ezzel szemben a tisztán optikai erősítők a torzult jelalakot adják tovább. Meghibásodás esetén a valódi optikai erősítőkön erősítés nélkül továbbhalad a jel, tehát a szolgáltatás esetleg továbbra is fennmarad.

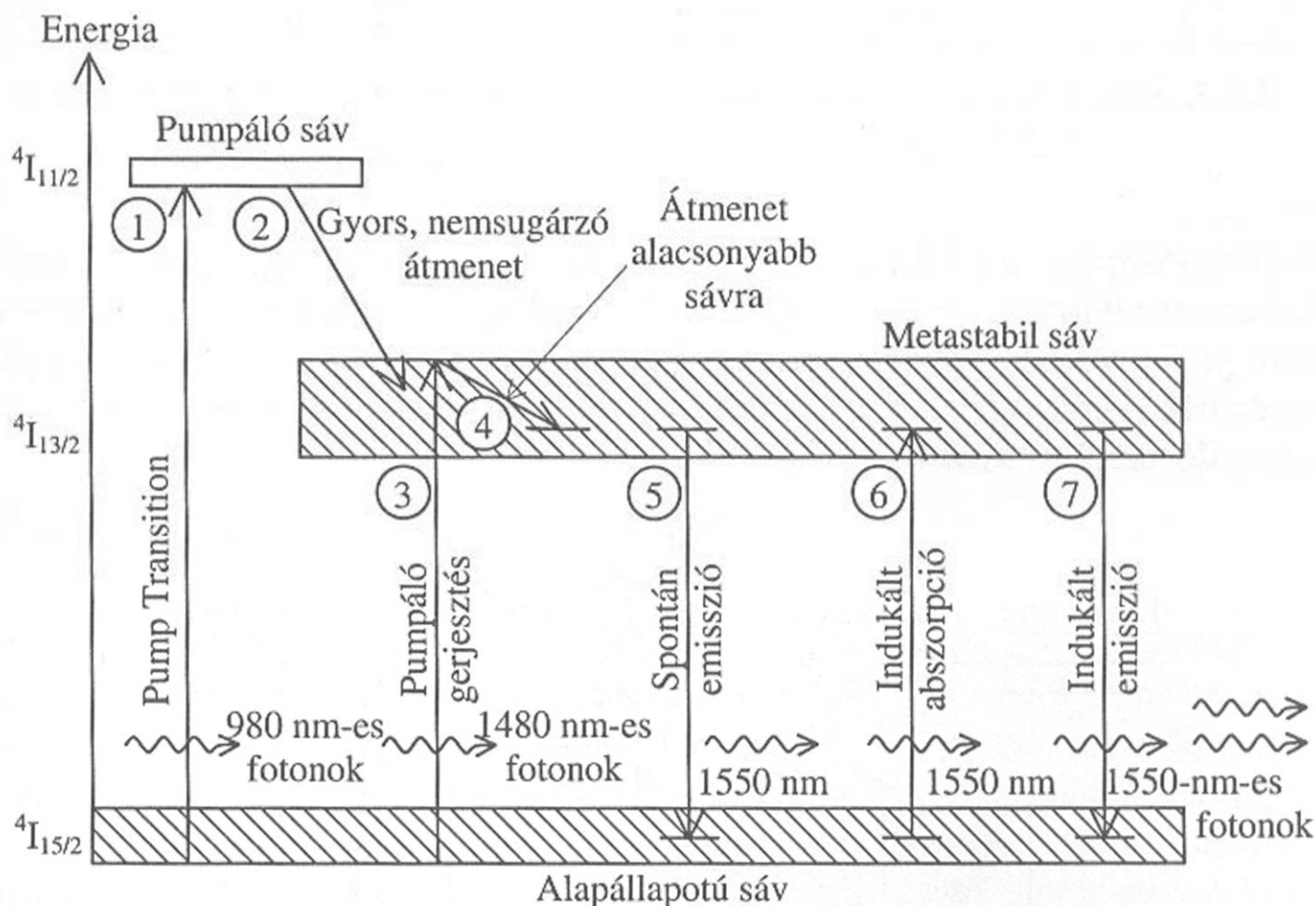


3.8.1. ábra. Jelregenerátor

A valódi optikai erősítők mindkét irányban azonos módon erősítenek. A be- és a kimenet felcserélhető.

3.8.2. EDFA erősítők

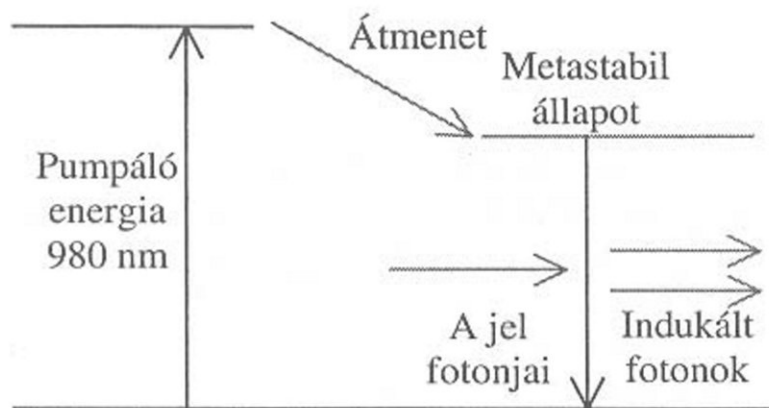
Az EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier, erbiummal szennyezett optikai erősítő) az erbium atomfizikai tulajdonságait használja ki. Az erbium a természetben előforduló ritkaföldfém, amelynek három vegyértékelektronja van, ezek néhány lehetséges energiaszintje látható a 3.8.2. ábrán.



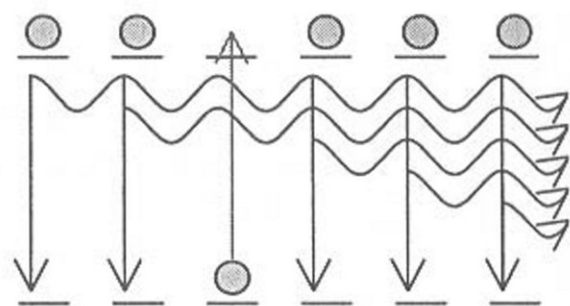
3.8.2. ábra. Az erbium energiaszintjei

Természetes állapotban a vegyértékelektronok a vegyértékhéjon tartózkodnak, de gerjesztés (külső energia) hatására magasabb, instabil héjakra ugranak. Az ugráshoz szükséges energiát külső pumpáló lézervedióák adják. A pumpáló lézervedióa fotonjai az atommal ütközve energiájukat a vegyértékelektronoknak adják át. Az instabil héjakról az elektronok spontán emisszióval egy metastabil héjra ugranak. Ilyenkor energia szabadul fel, ami nem jár fotonkibocsátással. A metastabil állapotból a vezérlő fény fotonjaival való ütközés következtében ugranak vissza a vegyértékhéjra (indukált emisszió), miközben az ütköző fotonnal megegyező hullámhosszú fotonnal sugározzák ki a felszabaduló energiát (3.8.3. ábra).

A kimeneten a vezérlő fény elektronjai és az erbium atom vegyértékelektronjai által kisugárzott fotonok jelennek meg, tehát az eredeti jel felerősödik (3.8.4. ábra).

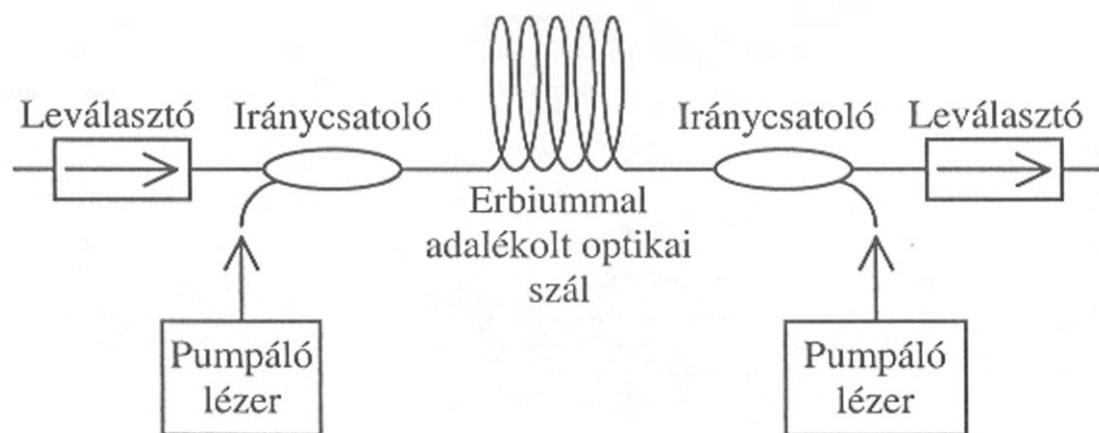


3.8.3. ábra. Erősítés mechanizmusa EDFA-ban



3.8.4. ábra. Fotonokszorozás gerjesztett emisszióval

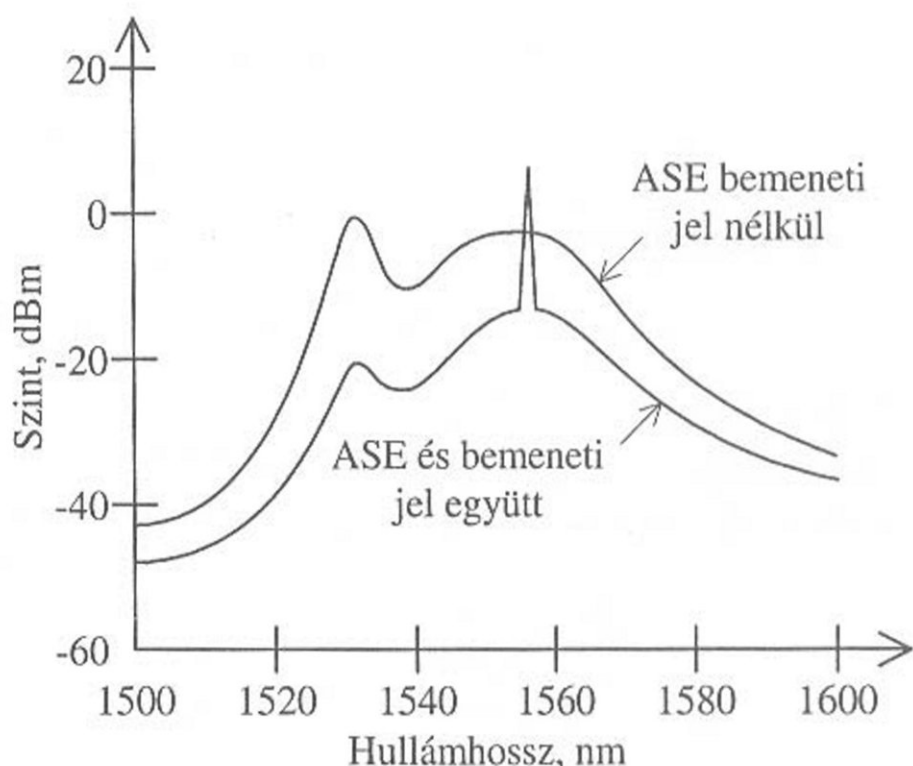
Az erősítő felépítése a 3.8.5. ábrán látható. Az erősítési folyamat a kb. 10...50 m hosszúan felfekercselt erbiummal szennyezett fényvezető szálban megy végbe. A vegyértékelektronok gerjesztését a szál két végén optikai összegzőn keresztül becsatolt pumpáló lézerdiodák végzik. Az erősítő be- és kimenetén optikai szűrők vannak, amelyek feladata a pumpáló lézerefény kiszűrése.



3.8.5. ábra. EDFA felépítése

Az EDFA erősítők tipikus kimeneti teljesítménye 15 dBm, az optikai erősítés 10...30 dB, a hullámosság 1 dB-en belül van. A torzítási termékek szintje (CSO, CTB) 70...80 dB.

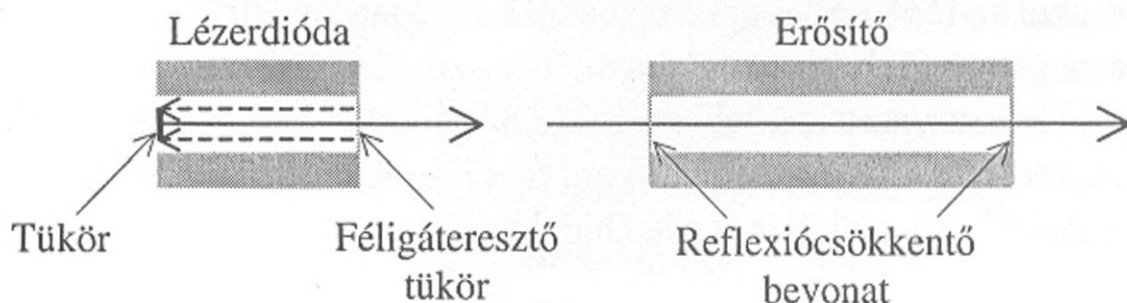
A vegyértékhéjra visszaugró elektronok nem csak egyetlen hullámhosszon, hanem az 1530...1640 nm tartományon belül sugározhatnak ki fotont, ami nagy sáv szélességet jelent. Az EDFA 1550 és 1625 nm-es összeköttetésekben használható (ez utóbbit kábeltelevíziós technikában jelenleg nem alkalmazzák). A metastabil állapotból való visszaugrás a külső fotonnal való ütközésen túl spontán módon is létrejöhet. Az így kibocsátott nemkívánatos foton az erbiummal szennyezett szálon végighaladva (a hasznos jelhez hasonlóan) felerősödik és a kimeneten zajt okoz (Amplified Spontaneous Emission, ASE, erősített spontán emisszió, 3.8.6. ábra). Ez határozza meg az EDFA-k zajtényezőjét, ami kb. 4...5 dB.



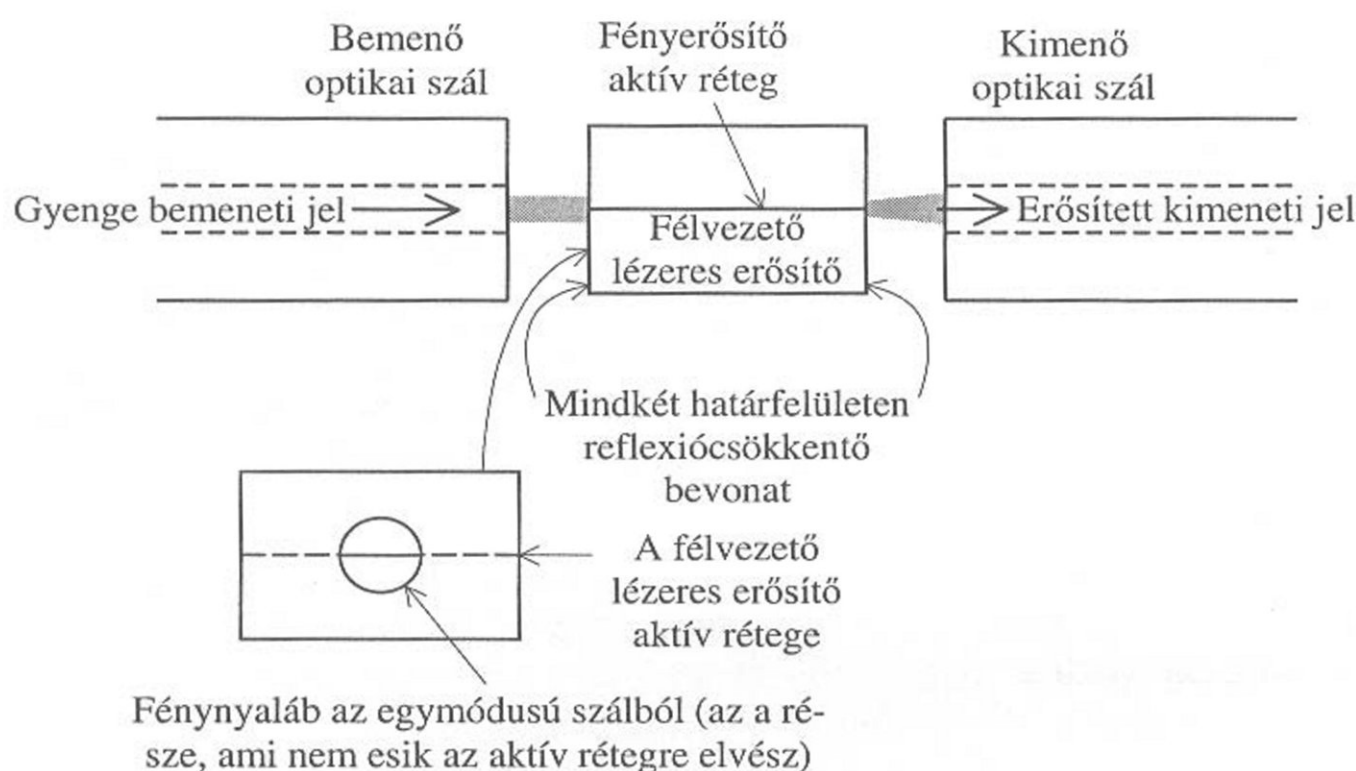
3.8.6. ábra. EDFA erősítő optikai zaja (ASE)

3.8.3. Félvezetős optikai erősítő

A félvezetős optikai erősítők (Semiconductor Optical Amplifier, SOA) felépítése és működési elve a félvezető lézerekéhez hasonló. Méretük a félvezető lézerek méretének néhány szorosa (2...3 mm hosszú rúd). A lézerektől eltérően a SOA-ban a félvezető rúd végén nincsenek tükrök. A félvezető kristály hátsó falához ún. malacfarkat (pigtail-t) – azaz szabad végű optikai szálát – csatlakoztatnak, ezen keresztül csatolják be az erősítendő jelet (3.8.7. ábra). A populáció inverzió fenntartásáról a félvezető diódára kapcsolt nyitóáram gondoskodik. Az erősítés mechanizmusa az EDFA működéséhez hasonló. A bemeneten érkező fotonok alapállapotba ugrasztják a gerjesztett elektronokat, miközben azok a beérkező fotonokkal azonos hullámhosszú és velük azonos fázisú fotont emittálnak (3.8.8. ábra). A SOA-nak kisebb az erősítése, mint az EDFA-nak, de jobb a zajtényezője.



3.8.7. ábra. Félvezető lézer és SOA felépítése



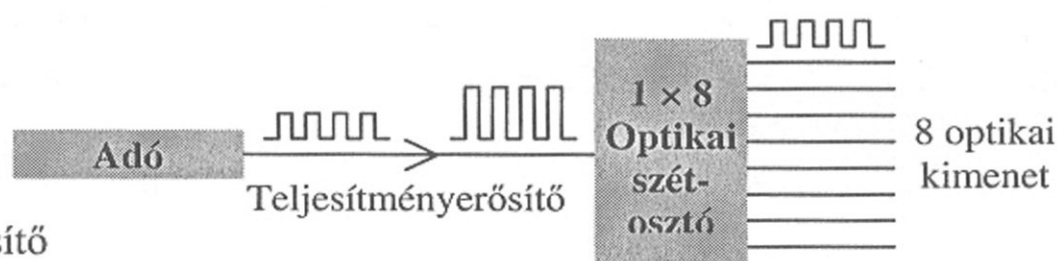
3.8.8. ábra. A SOA működési elve

Optikai erősítőkre vonatkozó szabványelőírások

A KTV rendszerek fényvezetős eszközeivel foglalkozó MSZ EN 80053-6:2000 szabvány 6.3.2. fejezete előírja, hogy a fénykibocsátást az eszközön egy indikátornak jeleznie kell. A 6.3.1.5. ajánlása szerint az optikai reflexió csillapítás min. 40 dB legyen. Más, korábban tárgyalt paraméterekre határérték nincs megadva, de azokra adatközlési kötelezettség vonatkozik.

3.8.4. Optikai erősítők szerepe a kábeltelevíziós hálózatban

A kábeltelevíziós hálózatokon optikai erősítőt (főleg EDFA-t) csak a fejállomásokon használnak, ahol az 1550 nm-es optikai adóból kijövő jelet erősítik, majd szétosztják több optikai szálra (vagy több kimenetű erősítőt használnak). Ebben az elrendezésben az optikai erősítő booster, azaz kiemelő erősítő (3.8.9. ábra). A kábelhálózatban nincs szükség erősítőre, hiszen egy városban belül akkora távolságok vannak, amiket az 1550 nm-es hullámhosszon erősítés nélkül is át lehet hidalni.



3.8.9. ábra. Optikai erősítő tipikus felhasználása

3.9. Passzív optikai eszközök

3.9.1. A passzív optikai eszközök jellemzői

A passzív optikai eszközök az optikai jelek összegzését, szétosztását és csillapítását végzik, és a hullámhossz alapján egyablakos (1310 vagy 1510 nm hullámhosszon működő) vagy kétablakos (mindkét hullámhosszon használható) csoportba, módus alapján egymódusú vagy többmódusú csoportba sorolhatók.

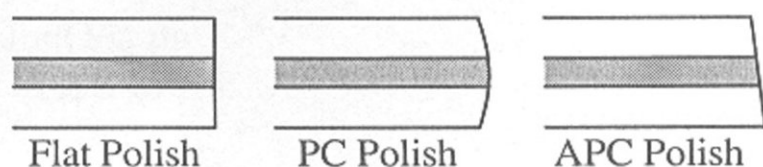
A kábeltelevíziós gyakorlatban legtöbbször kétablakos, egymódusú eszközöket használnak.

A passzív optikai eszközök jellemző paraméterei

Visszaszóródás (backscattering, reflectance, Optical Return Loss, ORL): Az eszköz bemenetén a bemeneti és a visszavert jel teljesítményének hányadosa. A visszaverődés fő oka a bejövő optikai szál és az eszköz közötti légrés. Itt az üveg-levegő, ill. a levegő-üveg határokon az eltérő törésmutató miatt a jel egy része visszaverődik. A visszaverődés függ a csatlakoztatás módjától, ami a következők egyike lehet (3.9.1. ábra).

- Egyenes csiszolás: A merőleges felületről a fénytelsítmény jelentős része visszaverődik. Kábeltelevíziós technikában ma már nem használják.
- PC (Physical Contact): Lekerekített csiszolású. A két csatlakozó mag között kisebb légrés marad. A visszaszóródás értéke kb. 35 dB.
- SPC (Super Physical Contact): lekerekített, finomabb csiszolású. A visszaszóródás értéke kb. 45 dB.
- APC (Angled Physical Contact): 5...15°-os ferde csiszolású (tipikus érték 8°). Itt a visszaverődő jel a határszögnél kisebb szögben érkezik a mag felületére, ezért kilép a magból és nem okoz interferenciát a haladó fényhullámmal. A visszaszóródás értéke jobb, mint 55 dB. Az APC csatlakozásokat a gyártók zöld színnel jelölik.
- UPC (Ultra Physical Contact): kis veszteségű, lekerekített, különlegesen finoman polírozott. A visszaszóródás értéke jobb, mint 65 dB.

3.9.1. ábra. Optikai szálvégek csiszolása



Beiktatási csillapítás: az eszköz ki- és bemenetén mért optikai teljesítmény különbsége, tulajdonképpen a veszteség.

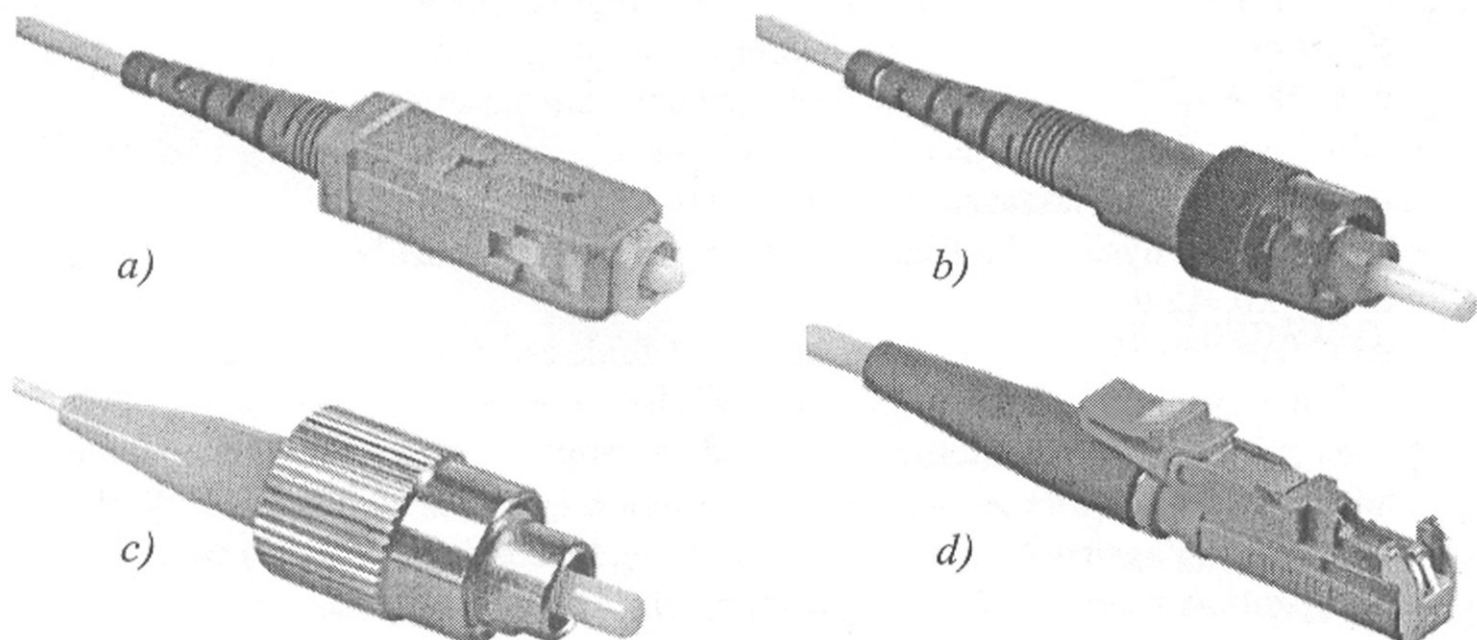
Szabványelőírások

A kábeltelevíziós rendszerek fényvezető eszközökkel foglalkozó MSZ EN 80053-6:2000 szabvány 7. fejezete foglalkozik a passzív optikai eszközök minőségi követelményeivel. A 7.1.1.4. ajánlása szerint az optikai reflexiók csillapítása min. 50 dB. Egyéb paraméterekre határérték nincs megadva, de azokra adatközlési kötelezettség vonatkozik.

3.9.2. Optikai csatlakozók

Az optikai csatlakozók a fényvezető szálak és az optikai készülékek oldható kötésére szolgálnak. Számos forgalomban lévő típus közül a kábeltelevíziós rendszereken a következő típusokat használják (3.9.2. ábra):

- SC (Subscriber Connector): téglalap keresztmetszetű, becsúsztható csatlakozó.
- ST (Straight Tip): kör keresztmetszetű, bajonettzáras csatlakozó.
- FC (Fiber Connector): kör keresztmetszetű, menetes csatlakozó.
- E2000: téglalap keresztmetszetű, becsúsztható csatlakozó. A csatlakozó végén egy rugós fedél található, ami a bontáskor lefedi az optikai szál végét, csatlakoztatáskor automatikusan felemelkedik.



3.9.2. ábra. Optikai csatlakozók
a) SC; b) ST; c) FC; d) E2000

A csatlakozókat ún. malacfarokkal (pigtail) szerelik, ami egy 0,5–2 m hosszú optikai szál, amelynek másik vége szabad. Ehhez hegesztik a csatlakoztatni kívánt szálát.

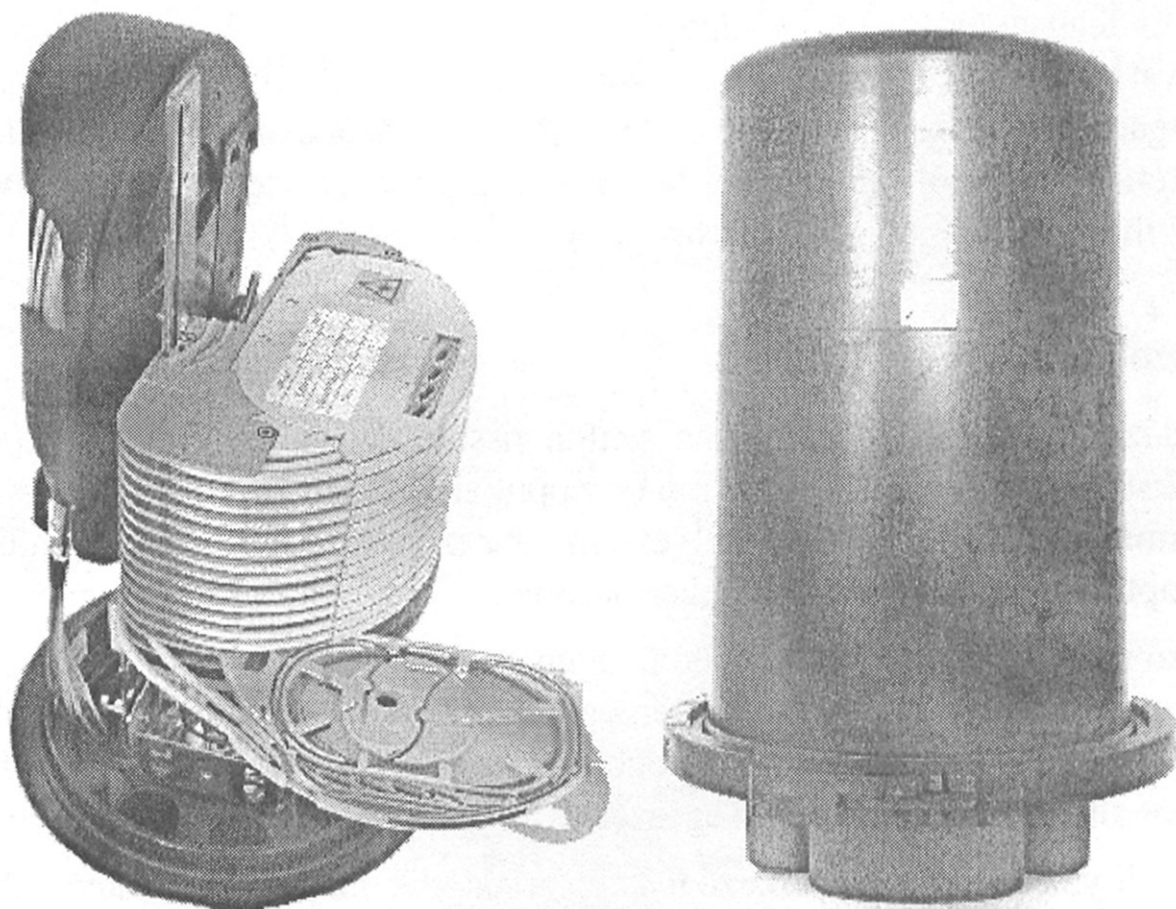
A csatlakozók megengedett max. beiktatási csillapítása 0,5 dB, a tipikus érték 0,2 dB.

3.9.3. Optikai kábelek végződése és toldása

Az optikai kábelek mindennemű csatlakoztatásakor biztosítani kell valamennyi szál megfelelő mechanikai rögzítését és azt, hogy bármely szálhoz egyesével hozzá lehessen férni. Ezért az optikai kábeleket fogadó eszközökben egységesen kihajtható tálcák helyezkednek el, amelyekben 8-12 vájat található az optikai hegesztések mechanikai rögzítésére. Egy-egy tálcán az optikai kábel egy csövét kell kifejtetni. Az eszközben annyi tálcát kell elhelyezni, ahány csőből áll a felhasznált kábel.

Fejállomásokon, optikai elosztó állomásokon a kábelek optikai elosztószekrényekbe érkeznek. A szekrények akár több száz kötésig bővíthetők, több kábel fogadására képes vízzáró – azaz kültéri felhasználásra is alkalmas – fém szekrények. Állomáson belül rack szekrénybe szerelhető optikai rendező egységekben végződthetők a felhasznált szálak. Ide csatlakoznak külön optikai szálon az állomás optikai készülékei (adók, vevők).

A hálózaton leágazásnál vagy toldásnál optikai kötődobozokban helyezkednek el a kötések. A kötődobozok hermetikusan zárható műanyag hengerek (3.9.3. ábra). A kötések az optikai fogadószekrényekhez hasonlóan kihajtható tálcákon helyezkednek el. A fokozottabb vízállóság érdekében egyes típusoknál egy szelep segítségével túlnyomást lehet létrehozni. Ekkor a kötődoboz hosszabb ideig képes a víz alatt működni.



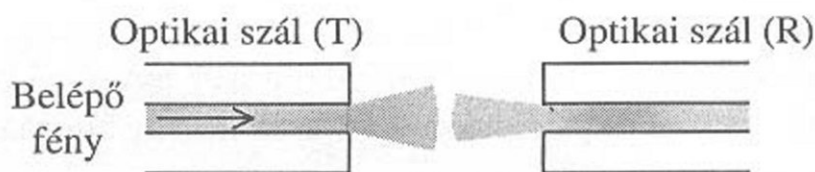
3.9.3. ábra. Optikai kötődoboz (Pirelli)

3.9.4. Egyéb passzív optikai eszközök

Optikai csillapító

Az optikai csillapítókat az optikai vevők előtt használják a nagy jelteljesítmény megfelelő csökkentésére, és a csillapításuk értéke 1... 20 dB között változik.

Az optikai csillapítók légréses felépítésűek és a szálvégek numerikus apertúrája különbözik. A légrésbe kilépő fény enyhén széttartó lesz, ennek következtében a kimeneten lévő szálba csak a fényteljesítmény egy része érkezik (3.9.4. ábra). A változtatható értékű csillapítóban a szálvégek távolsága állítható.



3.9.4. ábra. Optikai csillapító

A csillapítók apa-anya (male-female) és anya-anya csatlakozós kivitelben készülnek.

Osztók, leágazók

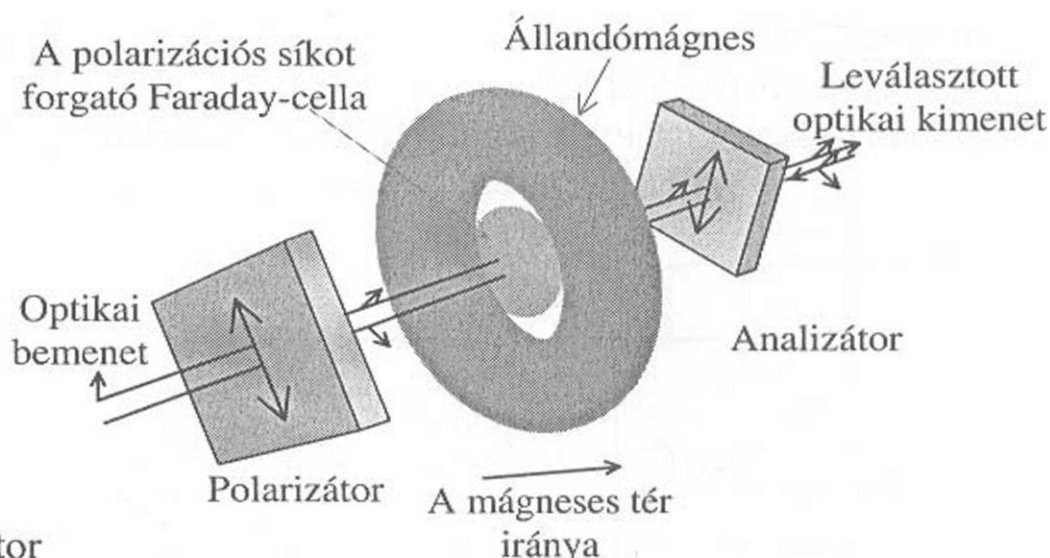
Osztókat és leágazókat megfelelő hegesztéssel vagy az optikai szálak egymás köré csavarásával készítik. Az optikában az osztásviszonyt nem dB-ben, hanem százalékban szokás megadni. A kínálat 50-50%-os osztótól 99-1%-os leágazóig terjed. Több kimenetű osztókat kettes osztókból építenek fel. Rendeléskor minden kettes osztó osztásviszonya megválasztható és így igen sokféle osztó szerezhető be a gyártótól.

Optikai izolátorok

Az optikai izolátorok feladata az optikai szálon vissz irányba haladó jelek kiszűrése. Ott van rá szükség, ahol a visszaszóródás miatt az optikai adóba olyan nagy teljesítményű jel érkezne, ami az adó működését veszélyeztetné. Az izolátorok felépítése és működése a magneto-optikai modulátor működéséhez hasonló.

A beérkező fény áthalad egy polarizáló üvegen, majd egy mágneses mezőben 45°-ban elfordul a polarizáció síkja. A kimeneten egy szintén 45°-os szögben álló polarizátor található. Ennek polarizációs síkja megegyezik a ráeső fény korábban elforgatott polarizációs síkjával, ezért azt teljes egészében átengedi.

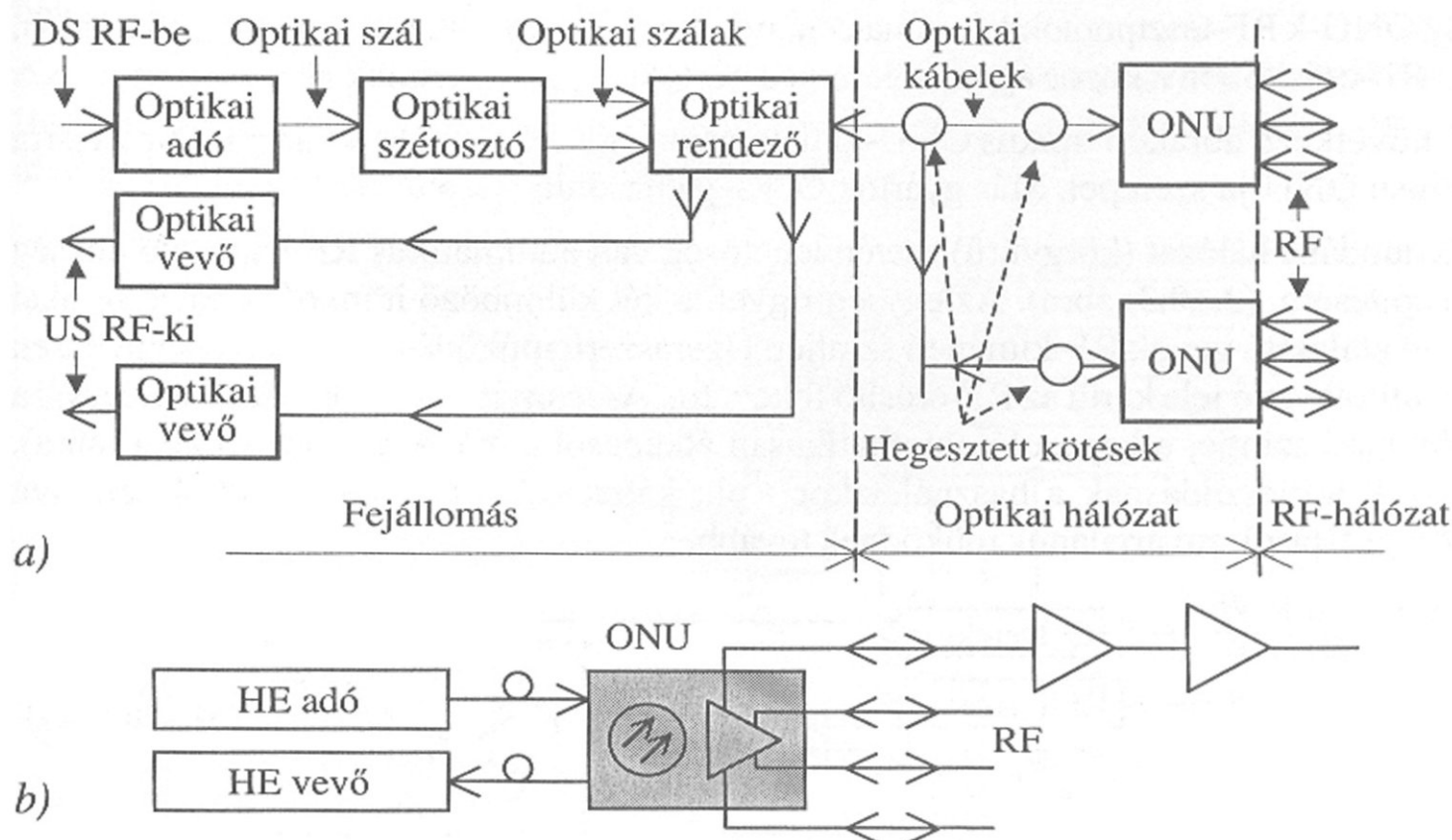
Ellenkező irányban a kimenetre érkező fény polarizálódik, majd a polarizációs sík elforog a mágneses mezőben. A bemeneti polarizátorra érkező fény polarizációs síkja 90°-kal eltér a polarizátor polarizációs síkjától, ezért a polarizátor teljes mértékben kiszűri, azaz a vissz irányú fényt az izolátor nem engedi tovább (3.9.5. ábra).



3.9.5. ábra. Optikai izolátor

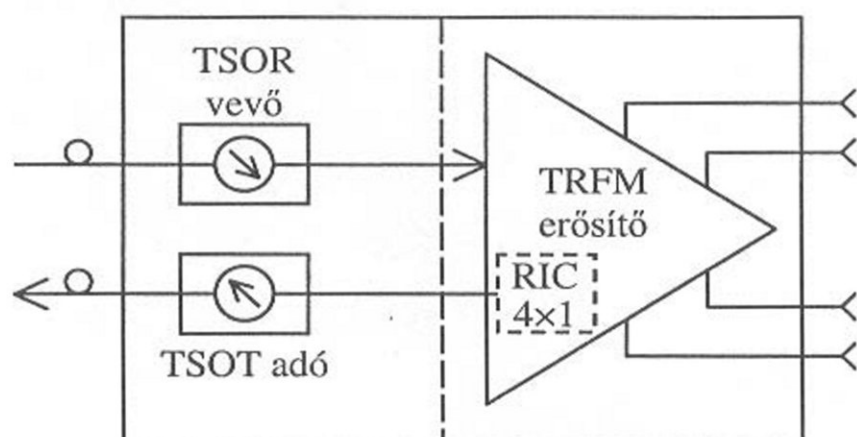
3.10. Optikai csomópontok (ONU-k)

Az optikai csomópont (ONU: Optical NODE Unit) feladata az optikai-RF, ill. visszírányban RF-optikai átalakítás. A 3.10.1.a) ábrán a KTV rendszer részeként kialakított optikai hálózat egy lehetséges elrendezése látható. Ezen belül jól látszik, hogy az ONU rendszertechnikailag a hálózat optikai és RF-szakaszának határán helyezkedik el.



3.10.1. ábra. Optikai csomópont
a) kapcsolódása a KTV hálózathoz; b) felépítése

Egy ONU előreirányú optikai vevőből, visszirányú optikai adóból, RF-erősítőből, valamint tápegységből áll (3.10.2. ábra). A visszirányú RF-ág sok esetben passzív, hiszen a ONU után (visszirányban) már nincs koaxiális kábel, tehát az erősítés felesleges.



3.10.2. ábra. Optikai NODE tömbvázlata

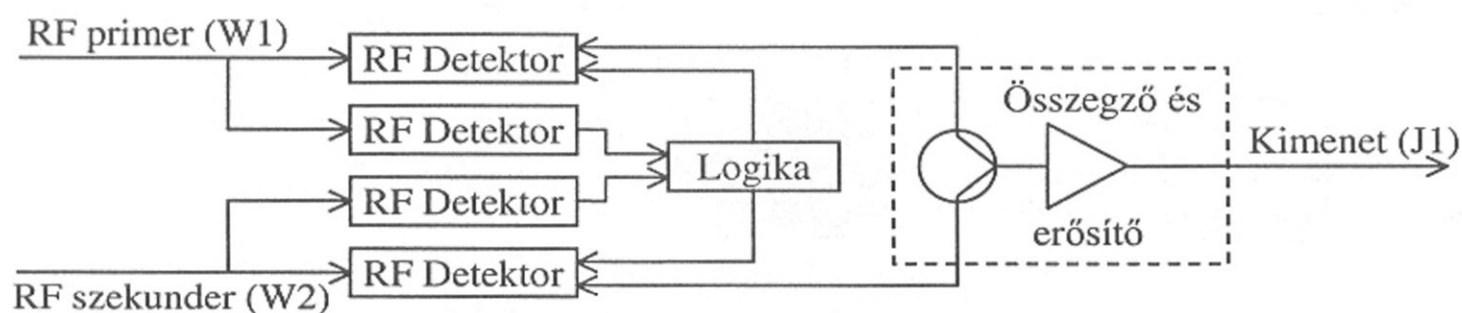
A csomópont az erősítőkhoz hasonlóan por- és vízmentes, öntött alumínium készülék-házban helyezkedik el. Az RF-csatlakozók PIN típusúak, az optikai csatlakozók választhatóak. A felépítés moduláris, tehát az egyes elemek meghibásodás esetén külön cserélhetőek.

Az ONU-k általában kistávolságú optikai összeköttetésben működnek, ezért többnyire 1310 nm-es eszközökkel vannak felszerelve. (Pontosabban a vevők egyaránt alkalmasak az 1310 nm-es és az 1550 nm-es hullámhossz vételére).

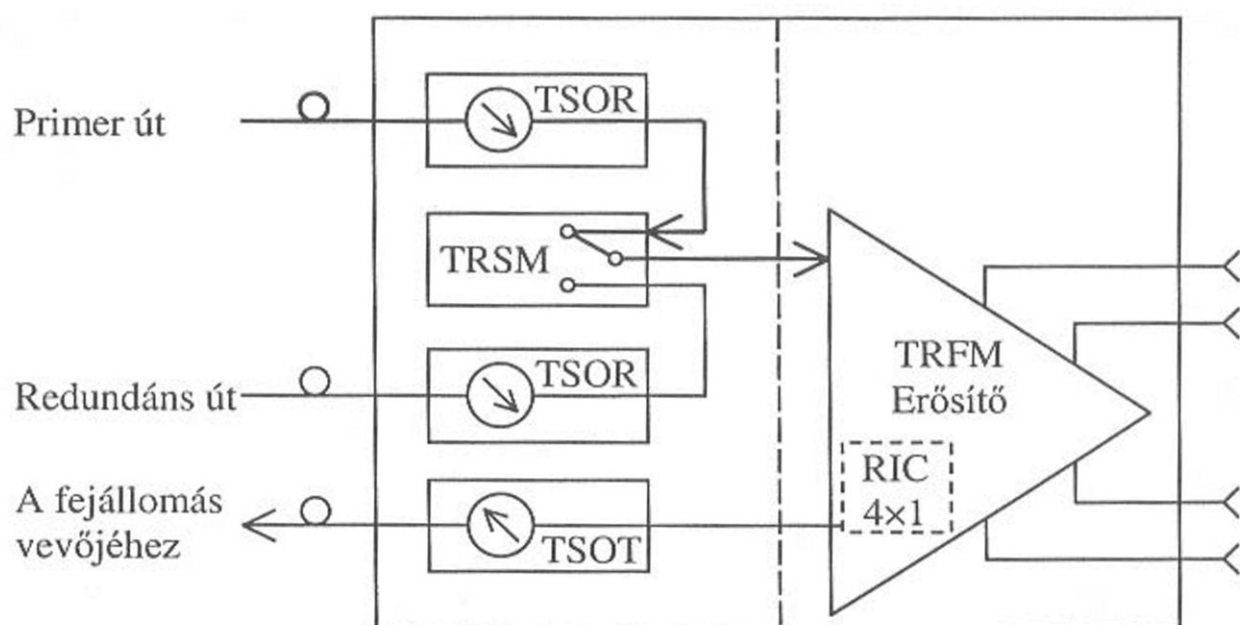
Az ONU-k RF-tesztpontokkal vannak ellátva, amelyek az optikai vevőn, az optikai adón, az RF-erősítőben a közös ágon, valamint a portokon helyezkednek el.

A következő ábrákon tipikus ONU-kialakítások láthatók. A példákban a Philips Tiarra típusú ONU-ja szerepel. Más gyártók ONU-jai hasonló felépítésűek.

Redundáns hálózat (körgyűrű) esetén lehetőség van automatikus RF-kapcsoló egység beépítésére. (3.10.3. ábra). Az egység figyeli a két különböző irányból érkező optikai jelet átalakító vevők RF-kimeneti szintjét. Üzemszerű működés esetén az elsődlegesen beállított vevő jele kerül az RF-erősítő fokozatra. Amennyiben ennek a vevőnek leesik a kimeneti szintje, a kapcsoló automatikusan átkapcsol a másik vevőre. (3.10.4. ábra). Ennek a megoldásnak a használatakor - pl.: kábelszakadás esetén - az előreirányú szolgáltatások zavartalanul működnek tovább.



3.10.3. ábra. RF-kapcsoló redundáns optikai vevőben

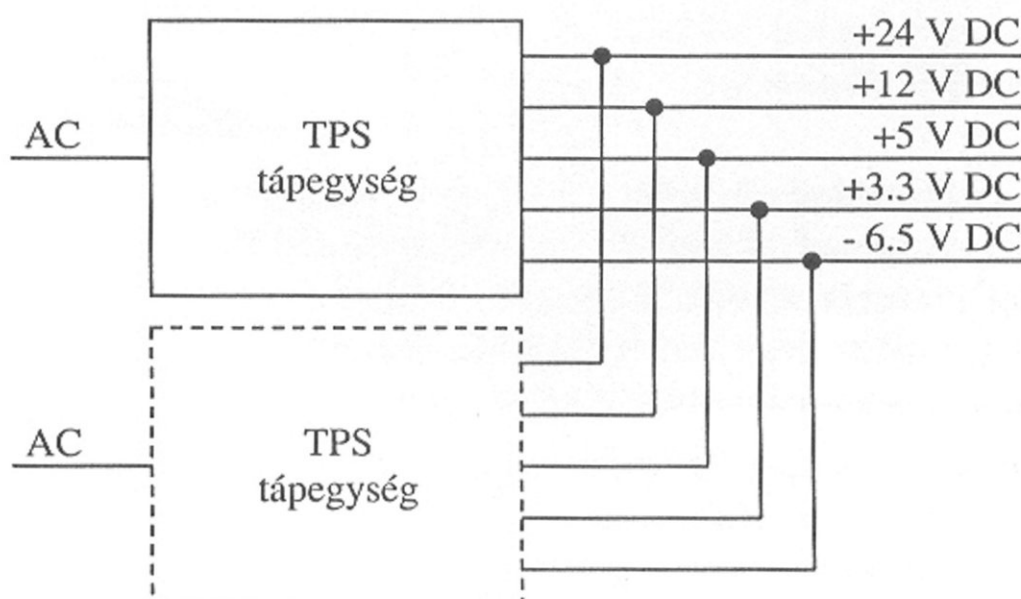


3.10.4. ábra. ONU redundáns optikai vevőegységgel

Az előreirányú vevő, a vissz irányú adó és a tápegység blokkvázlata megtalálható a vonatkozó fejezetekben. Az RF-egység tulajdonképpen egy leágazó (bridger) erősítő. Az erősítő bemenete az optikai vevő RF-kimenetéről kapja a jelet és a bemeneti erősítőfokozat után 3 – 4 ágra osztja. Mindegyik ágon fokozatközi szabályozó-modulok és kimeneti erősítőfokozat található.

A vissz irányú ágon passzív összegzés után kerül a jel a vissz irányú optikai adó RF-bemenetére.

Az üzembiztos működés érdekében lehetőség van redundáns tápegység használatára. Ilyenkor két tápegység működik párhuzamosan. Az egyik meghibásodásakor a másik átveszi a teljes ONU tápellátását (3.10.5. ábra).



3.10.5. ábra. Redundáns tápegység

4. Kábeltelevíziós rendszerek fejállomásai

A kábeltelevíziós rendszer feladata az előfizetők ellátása nagy számú, jó minőségű rádió- és tv-műsorral. A rendszer központi része a fejállomás, itt történik a műsorok feldolgozása és az előfizetőkhez továbbítandó frekvenciamultiplex jelcsomag összeállítása.

A digitális kábeltelevízió fejállomások esetében is megmarad ez a központi szerep, azonban egyre inkább az adatok továbbításra koncentrálódik; a korábbi műsorkészítési funkciókat különböző média társaságok veszik át.

4.1. Az analóg kábeltelevíziós fejállomások felépítése

Az analóg kábeltelevíziós fejállomásokon a berendezések 80-90%-a a tv-műsorok feldolgozását végzi. A fennmaradó rész egyik fele a rádióműsorok továbbításával foglalkozik, a másik fele egyéb kiegészítő jeleket állít elő. A KTV rendszerekben a jelek továbbítása elsősorban a földi sugárzású műsorok szabványának megfelelően történik, annak érdekében, hogy az előfizető ugyanazzal a vevőkészülékkel tudja venni a kábelen érkező jeleket, mint amellyel korábban a lakóhelyén fogható műsorokat vette az antennáján keresztül.

A fejállomások a rádió- és tv-műsorokat többségükben műholdakról kapják. Mivel a műholdas átvitelnél a földi műsorsugárzástól eltérő szabványban lehet csak továbbítani a műsorok jelét, a kábeltelevízió fejállomásokon először alapsávi jellé, másként fogalmazva audio- és videojellé kell alakítani a vett jelet, majd ezt követően tv-modulátorral ugyanúgy nagyfrekvenciás vivőre kell ültetni, mint a tv-adókban.

A földi műsorsugárzással továbbított tv-műsorokat a kábelhálózat számára egy másik csatornába kell áttenni (egy másik vivőre kell átültetni), mivel azonos csatornafrekvencia esetén a rendszer könnyen begerjed. A földi műsorok feldolgozásánál kétféle módszert alkalmaznak.

- **Konvertálás középfrekvencián keresztül.** A középfrekvencián keresztüli kétszereskonvertálás előnye, hogy a konvertálás során nem romlanak a modulációs

jellemzők, a kisugárzott információmennyiség teljes egészében átvitelre kerül, viszont a módszer hátránya, hogy a telepítés során minden csatornát egyedileg műszeresen kell ellenőrizni és beállítani. Nagyszintű zavaró adók esetében az is előfordulhat, hogy a készülék szelektivitása önmagában kevés, ezért kiegészítő- vagy előszűrés alkalmazása is szükségessé válik. Mindezek mellett egy új adó bekapcsolása vagy egy új zavarforrás megjelenése esetén ismételten foglalkozni kell a csatornakeresztelés jeltisztaságával. A módszert hátrányai ellenére kénytelenek vagyunk használni olyan esetekben, amikor a teljes újramodulálás túlzottan költséges vagy technikailag túlzottan bonyolult lenne. Ilyen eset többek között a Nicam sztereo hanggal sugárzott tv-műsorok átvitele, amellyel a későbbiekben részletesen is foglalkozunk.

- **Konvertálás alapsávon keresztül.** Az igen jó minőségű tv-demodulátor IC-k megjelenése lehetővé tette, hogy a tv-műsorok átkonvertálásánál a bemeneti jelet alapsávig visszabontsuk, majd modulátorral új vivőre ültessük, ugyanúgy, mint azt a műholdas műsoroknál tesszük. A módszer nagy előnye, hogy gyakorlatilag nem kell foglalkozni a zavaró jelekkel, mind a közeli, mind távoli zavaró adók jelei teljesen kiesnek, miközben a modulációs jellemzők alig romlanak. Az alapsávon keresztüli konvertálással bármelyik csatorna bármelyik csatornába átültethető, a tervező keze gyakorlatilag nincs megkötve. Ez a módszer teszi lehetővé azt is, hogy könnyen és drága műszerek igénybevétele nélkül építsünk igen nagy csatornaszámú, akár 60–80 csatornás fejállomásokot. Az építés mellett az üzemeltetés is problémamentesebb. Hátránya, hogy az összetett, bonyolult jelek (pl. Nicam) átvitelénél az eljárás meglehetősen költséges, sőt speciális adatátviteliek esetében nem is alkalmazható.

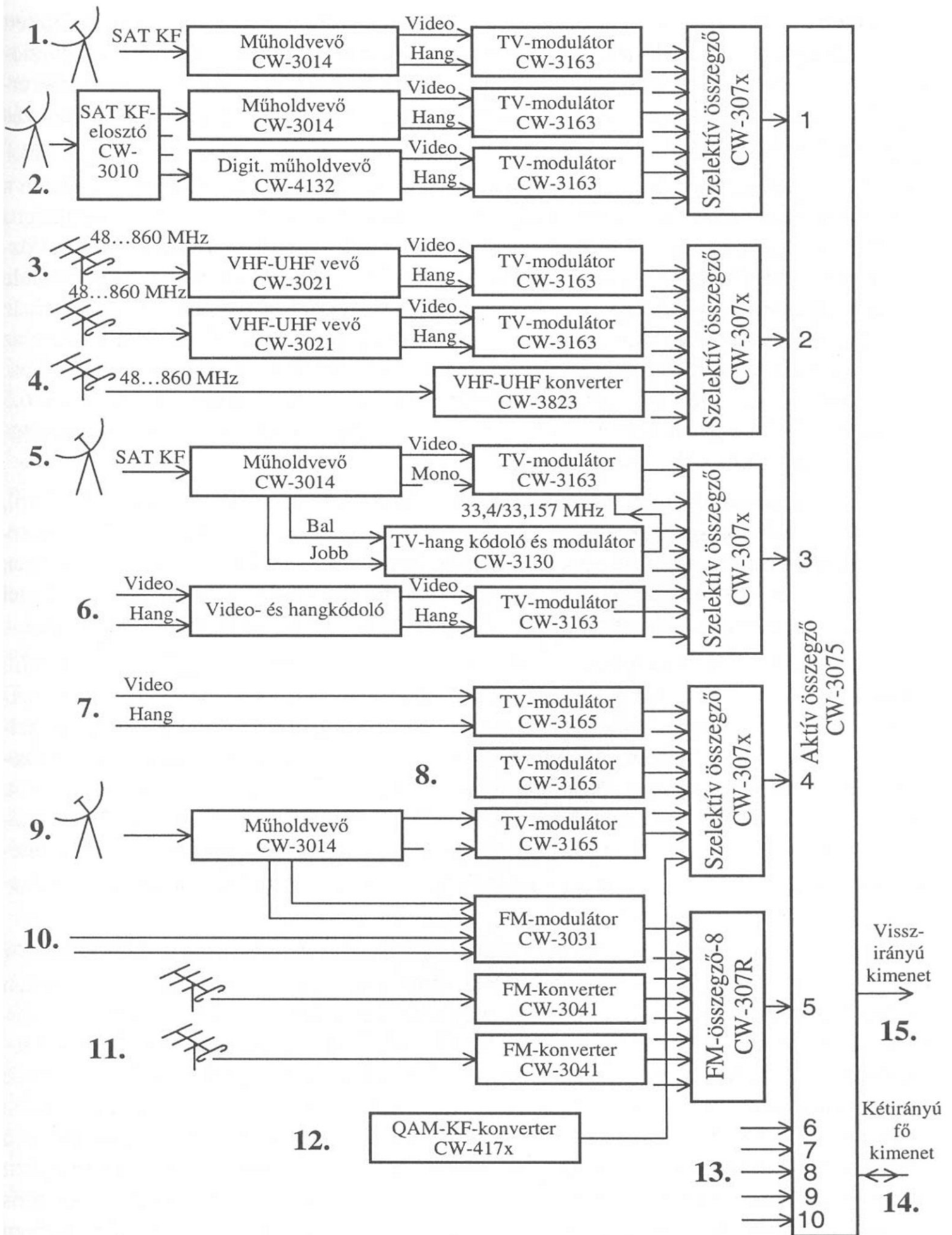
Napjainkra a rádióműsorok száma olymértékben megnövekedett, hogy a kábeltelevíziós fejállomások már csak a műholdon keresztül vett, valamint az URH sávban frekvenciamodulációval, ill. az új digitális technikával sugárzott műsorok jelét, továbbá a helyi rádióstúdiók alapsávi jelét táplálják a kábelhálózatba.

Az alapsávon (bal és jobb csatorna jele) rendelkezésre álló sztereo műsorokat FM-modulátorokkal ültetjük vivőre. A mono modulátorokat ma már nem alkalmazzák, az FM modulátorok minden esetben a sztereo kódolót is tartalmazzák.

A földi sugárzású FM adásokat a korábbi években a 10,7 MHz-es középfrekvencián keresztül konvertálva dolgozták fel. A konvertálás problémái itt is azonosak a televízió műsorok feldolgozásánál elmondottakkal. Az FM-rádióműsorok továbbításánál is előnyösen használható a újramodulálás módszere, amelynél a bemeneti jelet sztereo multiplex jellegű (összetett, kódolt sztereo jel) demoduláljuk, és ezt a demodulált jelet ültetjük új vivőre. Ezzel a módszerrel igen nagy jeltisztaság érhető el és nem vesznek el a kiegészítő információk (pl. RDS) sem.

A rádió- és tv-műsorok jelének feldolgozása mellett egyre többször jelennek meg a digitális jelek (pl. Internet) is.

A 4.1.1. ábrán látható CableWorld CW-3000 típusú kábeltelevíziós fejállomás tömbvázlatán keresztül mutatjuk be a fejállomások általános felépítését. Az ábrán csak



4.1.1. ábra. Kábeltelevíziós fejállomás tömbvázlata

a jellemző megoldásokat vázoltuk és nem rajzoltuk be tíz-húsz azonos módon felépített csatorna egységeit. A CW-3000 sorozat a vázlat szerinti kialakításban 60-70 televízió- és 20-30 FM-rádiócsatorna jelének feldolgozására alkalmas. A könnyebb eligazodás érdekében a jelfeldolgozó egységeket számozással láttuk el, és a felépítést e számozás sorrendjében tekintjük át.

1. A két egység egy analóg műholdas tv-műsor jelét dolgozza fel. A műholdvevő a beprogramozott műsor jelét demodulálja, a kimenetén megjelenő video- és hangjeleket a tv-modulátor ülteti új vivőre. A műholdvevő a koaxiális kábel belső erén keresztül közvetlenül tápfeszültséggel látja el a parabola antennában elhelyezett fejet. A kép átvitele csonka oldalsávós amplitúdómodulációval (AM-VSB, más jelöléssel A5C), a hang átvitele frekvenciamodulációval (F3) történik. A televíziós hang átvitele abban különbözik az FM-rádió hangátvitelétől, hogy csak intercarrier módon demodulálva ad jó minőséget. Az intercarrier demoduláció röviden azt jelenti, hogy a vételi oldalon az 5,5 vagy 6,5 MHz-es FM-vivőt a középfrekvenciás képvivő (38,9 MHz) és a középfrekvenciás hangvivő (33,4 vagy 32,4 MHz) különbségeként kell előállítani.

2. A második csoportban analóg- és digitális műholdvevő működik ugyanarról a fejről. A műholdas KF-jel (Sat IF) szétosztására aktív négyes szétosztót alkalmazunk. A szétosztó és a fej egyaránt az egyik, általunk kiválasztott műholdvevőről kapja a tápfeszültséget. A digitális műholdvevők egy része nem alkalmas a fej táplálására. Ilyenkor tápegységgel szerelt szétosztót (pl. CW-4010 SATELLITE IF DISTRIBUTOR) kell alkalmazni.

3. A harmadik blokkban földi sugárzású tv-műsorokat veszünk, és alapsávon keresztül tesszük át új csatornába. A demodulált video- és hangjelet tv-modulátor ülteti új vivőfrekvenciára. A jelfeldolgozás módja megegyezik a műholdas átvitelnél alkalmazott jelfeldolgozással. A műholdas jeleknél gyakori, hogy egy fejegységről több vevőt is üzemeltetünk a jel passzív vagy aktív elemekkel történő szétosztásával. A földi műsorok vétele esetén csak az egy irányból érkező és többnyire nagy szintű adók jeleinél használunk ilyen szétosztást. Itt jellemzőbb a vevők külön-külön antennáról történő működtetése. A VHF és/vagy UHF antennák jelének összegzését és egy kábelen történő levezetését csak nagyon ritkán használjuk.

4. A keverés módszerére láthatunk példát ebben a blokkban. A konverter először középfrekvenciára keveri le a bemenőjelet, amelyet speciális áramkörökkel erőteljesen megszűr. Az igen nagy levágási meredekségű szűrőt ma már kizárólag felületi hullámszűrővel (Surface Acoustic Wave filter, SAW filter) valósítanak meg. Az ilyen készülékekben széles tartományt átfogó szintszabályozó áramkörök működnek (Automatic Gain Control, AGC), azonban törekedni kell arra, hogy a bemeneti jel soha ne legyen kisebb 66...70 dB μ V-nál. Kis szintű, zajos jelből a legjobb konverterrel sem lehet jó minőségű adást táplálni a rendszerbe. Távoli adók vagy a fejállomástól távolabb telepített antennák esetében antenna-előerősítőt kell alkalmazni. A hangolt előerősítővel jelentős mértékű előszűrés is megvalósítható. A keveréssel feldolgozott jeleknél minden esetben kiemelten kell foglalkozni a kimeneti jel tisztaságával és az adásszünet alatti állapot

vizsgálatával. Adásszünetben a felszabályozott erősítők akkor is vihetnek zavaró jeleket a rendszerbe, ha normális bemeneti jelnél tökéletesen működnek. Előnyös, ha a konverterek átkapcsoló- vagy elnémító automatikával is rendelkeznek.

5. A műholdas műsorok gyakran érkeznek sztereo hanggal. Ilyen jelek feldolgozására készült pl. a CW-3014-es analóg műholdvevő, amelyik háromcsatornás hangfokozattal rendelkezik. Ebből az egyik csatornát általában a tv-műsor mono kíséző hangjára állítjuk, a másik kettőt pedig vagy a sztereo kíséző hangra, vagy a tv-műsor mellett továbbított valamelyik sztereo rádióműsorra. Ennél a vázlatnál a műsor mono hangcsatornáját megszakítottuk és a kép mellé sztereo- vagy két hangú kíséző hangot adunk ki. Változó üzemmód (időnként sztereo, máskor kéthang) esetén a video jel 16. sorában elhelyezett adatok kiolvasásával tudhatjuk meg, hogy éppen sztereo vagy kéthang üzemmódra kell-e állítanunk a hang kódolót. Az adatsor-dekódolókat automatikusan vezérlik a hang kódoló üzemmódját. Az ábrán egy olyan eset látszik, amikor a hang kódolót külön egységként valósították meg. A hang kódoló akár a műholdvevőbe, akár a modulátorba beépíthető. Hang kódolóval és adatsor-dekódolóval egybeépített analóg műholdvevő pl. a CW-3015-ös típus.

6. Egy fizető csatorna kialakítását szemlélteti a 6. blokk. Analóg fizetős tv-rendszerek esetében a modulátor elé egy speciális kódolót (scrambler) kell kapcsolni, ami lehetetlenné teszi a műsor vételét a dekódolóval nem rendelkező előfizetők számára. A modulátor és a kódoló kapcsolata a kódolás fajtájától függően igen sokféle lehet, ezért az ábrának ezt a részletét tekintsük elvi vázlatnak.

7. A hetedik egységben a helyi stúdió vagy videolejátszó jelét ülteti a kívánt csatornába a tv-modulátor. Ilyen alkalmazásoknál a tv-modulátor elé gyakran építünk átkapcsoló automatikát, amely adásszünetben egy másik jelforrás (pl. műholdvevő, számítógép stb.) jelét kapcsolja a modulátor bemenetére. Távoli stúdiók esetében a video ágba brummlévalasztó alkalmazásával, a hangoldalon szimmetrikus átvitel megvalósításával érhetünk el jó minőséget.

8. Korábban a nagy kábeltelevízió rendszerekben gyakran alkalmaztak olyan ún. törzs erősítőket, amelyek számára speciális vezérlő jeleket (pilotjelek) kellett kiküldeni az automatikák működtetéséhez. Az üvegszálakos technika ezeket az erősítőket teljes mértékben kiszorította. Azokon a helyeken, ahol mégis szükség van egy-egy pilotjelre, de nincs kéznél pilotgenerátor, gyakran építenek be egy stabil kimeneti szintű tv-modulátort moduláció nélkül működtetve. Mivel a modulátorok kimeneti detektora nagy szinten stabilabban működik, mint kis szinten, így akkor járunk el helyesen, ha a modulátor kimeneti szintjét a névleges érték közelébe állítjuk be, és külső csillapító taggal csökkentjük a jel szintjét a kívánt értékre. Korábbi rendszerekben a pilotjel szintje általában 10 dB-lel volt kisebb a képvivők szintjénél. A mai rendszereknél a rendszer tervezője által meghatározott értéket kell beállítani.

9. Az 5. blokkban bemutatott műholdvevő az analóg műholdas rádióműsorok jelének vételére volt alkalmas. Ebben a blokkban a műholdról érkező rádióműsört vesszük, és

az FM-rádiócsatornák (87,5...108 MHz) közé ültetjük be. A frekvenciamodulátor a bemenetére kapcsolt sztereo hangjelekből először sztereo multiplex jelet állít elő, majd ezt nagyfrekvenciás vivőre ülteti.

10. A CW-3000-es rendszerben a frekvenciamodulátorok és az FM-konverterek mind dupla egységek, azaz két független csatorna áramkörei találhatóak egy készülékvázban. Példánkban a frekvenciamodulátor második csatornáját helyi rádióstúdió jelének betáplálására használjuk. Távolabbi stúdiók esetében itt is célszerű a szimmetrikus átvitelt alkalmazni.

11. Az FM rádióműsorok jelének rendszerbe konvertálásánál nehezebb a helyzet, mint a tv-műsoroknál. Az utóbbi években a rádió-adóállomások száma jelentősen megnövekedett, így meglehetősen sok a „zavaró adó”. A jó minőségű fejállomásokban az URH FM-jeleket a konverter bemeneti fokozata multiplex jellegű demodulálja (FM-demoduláció sztereo dekódolás nélkül), majd azt a modulátor teszi új vivőre. A megoldás előnye, hogy nem kell a zavaró jelekkel számolnunk a kimeneten, és bármelyik csatorna bárhova konvertálható. A CW-3041 típusú FM-konverter is így működik, és egyszerre két csatornát dolgoz fel. A bemeneti jelet iránycsatoló osztja szét a két egység számára, így az egyik csatorna érzékenysége nagyobb, a másiké kisebb. A nagy szintű helyi adókat mindig a kisebb érzékenységű csatornával kell feldolgozni. Ez a kis mértékű (10...12 dB) érzékenységcsökkenés segít a túlvezérlések elkerülésében. A készülék kimenetén két csatorna közösített jele jelenik meg, csatornánként azonos szinten.

12. Egyre több digitális átvitellel megvalósított szolgáltatás jelét kell bevinni az analóg jelek közé. Ezek közül elsőként az Internet jelentkezik a legtöbb helyen. Az Internet-hozzáférést lebonyolító számítógép (router) QAM modulált kimeneti jelet állít elő, amelyet a fejállomás üzemeltetője kever az analóg csatornák közé. Ezt a feladatot látja el a CW-417x QAM IF CONVERTER. Európában ennek a jelnek a középfrekvenciája a szabvány szerint 36 MHz (vagy 36,15 MHz) lenne 7 vagy 8 MHz sávszélességgel, azonban a routereket leggyakrabban az USA-ból importálják, ezek középfrekvenciája viszont 44 MHz, a sávszélesség pedig 6 MHz. A konvertálás, a QAM jel bevitele mindkét esetben megoldható, de a tervezésnél és a rendelésnél ügyelni kell arra, hogy a készülékek illeszkedjenek egymáshoz. A természetes az lenne, ha az európai routerek az európai szabvány szerint működnének és nem kellene idegen szabványhoz alkalmazkodnunk.

13. A korszerű fejállomások sok csatorna jelének összeadására alkalmas összegzővel rendelkeznek. A CW-3075 típusú ACTIVE COMBINER tíz egyenértékű összegző bemenettel rendelkezik. Ezek mindegyikére nyolcas összegzőket kapcsolva max. 80 bemenethez juthatunk. A tíz bemenet általában a pilotgenerátorok és mérőműszerek jelének fogadására is képes. Az ACTIVE COMBINER bemeneteire kapcsolt CW-307x típusú szelektív összegzők a modulátorok kimeneti jelleggörbéjét nem befolyásolják, csoportfutási-idő hibát nem okoznak, jelleggörbéjük enyhe levágású. A bennük lévő csatornaszűrők feladata a programozható modulátorok szélessávú zajának elnyomása, a zajok nagy mennyiségben történő összegződésének megakadályozása, valamint a kimeneti

egység végfokozatára visszajutó idegen jelek mennyiségének csökkentése. Alkalmazásuk nagyobb rendszerekben, 25-30 csatorna felett válik szükségessé. A digitális KTV fejállomások megjelenésével egy időben várható az újabb kivitelű, még több bemenetű összegzők megjelenése is.

14. A fejállomások kimenete legtöbbször kétirányú, a kimeneti összegző a visszirány leválasztásához szükséges váltószűrőt is tartalmazza. A 100...105 dB μ V nagyságú kimeneti jel elegendően nagy ahhoz, hogy iránycsatolókkal szétosszuk az optikai adók és a törzsvonalakat meghajtó erősítők számára.

15. Az összegző váltószűrőjének kimenetén jelenik meg a visszirányból érkező jelcsoomag. Pl. Internet szolgáltatás esetén erről a kimenetről kell a router vevőjét jellel ellátni.

A szolgáltatás megbízhatóságának növelése érdekében a nagyobb fejállomásokban a fontosabb tv-műsorok jelfeldolgozó egységeit hideg vagy meleg tartalékkal egészítik ki. A tartalékolás kialakítására a következő két megoldás terjedt el.

- A leggyakoribb megoldás az, amikor a fontosnak jelölt műsor vételére két különböző vételi utat építünk fel és hiba esetén az erre kialakított áramkör a fő irányról automatikusan a tartalékra kapcsol át. A jel megfigyelése és minősítése minden esetben alapsávon történik. A leggyakrabban vizsgált jellemző, a szinkronjel frekvenciája és amplitúdója. Az átkapcsolás történhet alapsávon, a videojel és a hangjelek egyidejű átkapcsolásával vagy középfrekvencián. Az átkapcsoló automatika legtöbbször „change over” néven szerepel a katalógusokban.
- A korszerű, számítógéppel vezérelhető készülékek megjelenésével új lehetőség nyílt a tartalékolás kialakítására. A legfejlettebb rendszerekben számítógép felügyeli a fejállomás működését és hiba esetén az üzemeltető által meghatározott módon kezdi el a hiba kijavítását. Gyakori megoldás, amikor a számítógép a meghibásodott rész egységeit lekapcsolja, majd egy széles tartományban hangolható egységet programoz be a kieső egységek feladatának ellátására.

Áramszünet esetén a hálózati feszültség pótlása elsősorban erősáramú feladat, ezért ebben a fejezetben a tápellátás tartalékolásával nem foglalkozunk.

A fejállomások kialakítása típustól és gyártótól függően kissé eltérhet a bemutatott vázlattól, azonban lényegében mindegyik fejállomás ezeket a jelfeldolgozási műveleteket valósítja meg, csak másként csoportosítva vagy másként összeállítva az áramköröket.

Az analóg KTV fejállomások alapismereteit (video- és hangjelek felépítése, modulációk, kódolások stb.) a könyv bevezető fejezeteiben ismertettük.

4.2. A sztereo hang átvitele

A sztereo hang átvitelére Európában két eljárást fejlesztettek ki. Az elsőt lényegesen korábban alkották meg és vezették be Németországban, és mivel két FM hangvivőt használ, gyakran nevezik két vivős német sztereo rendszernek vagy röviden A2-sztereonak. A másik eljárás később született, és már a digitális technika előfutárának is tekinthető. Ez a Nicam rendszer, amelyet Angliában és a skandináv országokban vezettek be először. Van német változata is, ami lényegesen jobb mint az A2 rendszer, de mire elkészült, az A2 rendszer már olyan mértékben elterjedt, hogy azt nem tudta kiszorítani.

Hazánkban az A2 sztereo rendszert egy évtizede elterjedten használják a kábeltelevíziós hálózatokban, ezért célszerű megismerkedni vele. A Nicam rendszert néhány éve szabványosították, így ennek ismerete sem nélkülözhető. Földi tv-adóink Nicam rendszerű sztereo adást sugároznak.

4.2.1. A német két hangvivős rendszer

A német két hangvivős rendszer hazai elterjedése döntően a következő két tényezőre vezethető vissza:

- a rendszer megvalósítása viszonylag egyszerű és olcsó,
- a '80-as, '90-es évek bevásárló turizmusának keretében ebben a rendszerben működő vevőkészülékek érkeztek nagy számban az országba.

A német rendszer két hangvivővel működik és „dual-sound-carrier system” néven található az irodalomban. A kompatibilitás érdekében az 5,5 MHz-es fő hangvivő továbbra is az $(L+R)/2$ -es mono jelet továbbítja, miközben a sztereojel visszaállítása a segédvivőn továbbított R jellel történik.

A rendszer főbb jellemzői:

A fő hangvivő frekvenciája: 5,50 MHz ($352,0 \cdot f_h$, ahol f_h a sorfrekvencia).

A segédvivő frekvenciája: 5,74 MHz ($367,5 \cdot f_h$).

A hangvivők szintje: -13/-20 dB.

A hangmoduláció: FM.

A hangvivő névleges lökete: 50 kHz.

Előkiemelés: 50 μ s.

Sávszélesség: 40 Hz...15 kHz.

Pilotfrekvencia: 54,6875 kHz ($3,5 \cdot f_h$)

Pilot-moduláció: AM; 50%.

Azonosító jelek:

- mono: nincs,

- sztereo: 117,5 Hz ($f_h/133$),
- kéthang: 274,1 Hz ($f_h/57$).

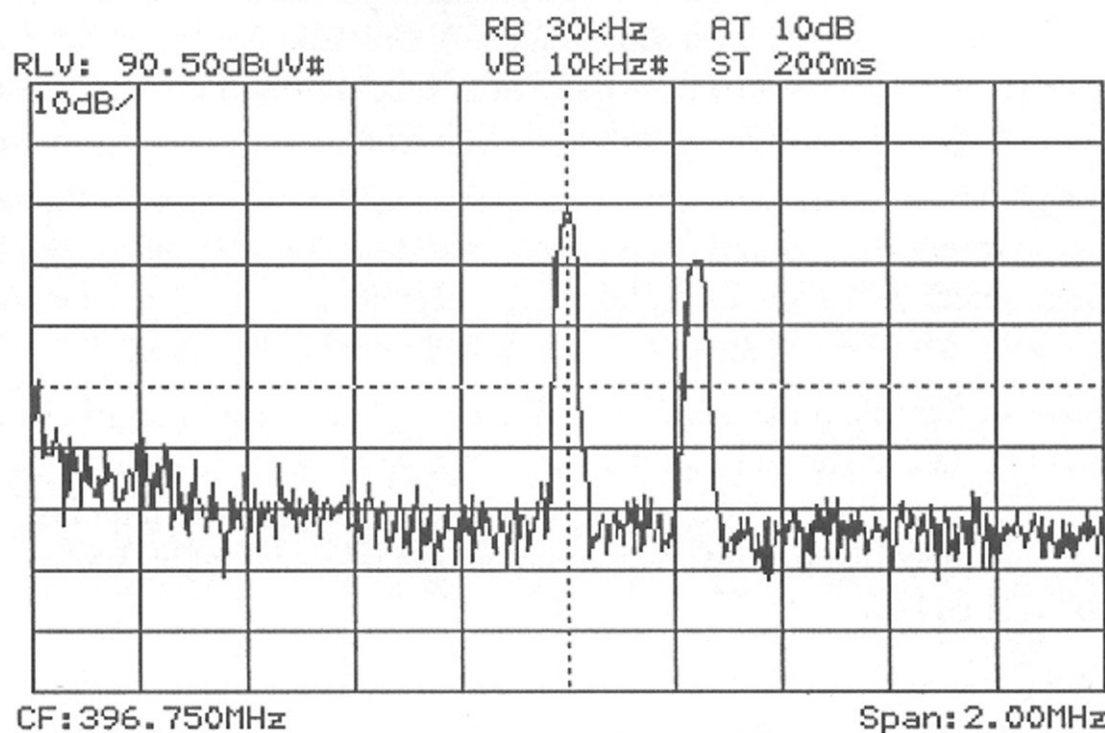
A pilotjel lökete: 2,5 kHz

Szinkronizáció: a pilotjel és az azonosító jelek a sorfrekvenciához kötöttek

Az 5,5 MHz-es fő hangvivőt az $(L+R)/2$ nagyságú hangfrekvenciás jellel, a kisebb szintű második vivőt az R jel mellett a pilotjellel is modulálják. A pilotjel amplitúdómodulációja hordozza az üzemmód információt, a tv-vevőkészülékek az amplitúdómodulációval átvitt azonosító jelből kapnak információt arról, hogy a demodulált jeleket melyik üzemmódnak megfelelően kell a kimenetre küldeni. A mono vevőkészülékeket a kisszintű 5,74 MHz-es hangvivő általában nem zavarja, így a rendszer kompatibilitás szempontjából is jó.

Sztereo üzemmódban az 5,74 MHz-es vivő csak az R jelet továbbítja, ezért a vevő kimenetén mérve az L csatorna áthallása az R csatornába igen kicsi. Fordított irányban a kimeneti jelet egy mátrix állítja elő, így az L csatornában megjelenő R jel szintje a különbségképzés hibájának függvénye. Az áthallás akkor lesz kis értékű, ha a két hangcsatorna késleltetése azonos, azaz a mátrixra érkező jelek fázisa frekvenciától függetlenül egyező.

Kéthang üzemmódban az áthallás a vevőkészülék szelektivitásának függvénye. 5,5/5,74 MHz-es kristálysűrők alkalmazásával a 60...70 dB-es érték könnyen elérhető. A második csatorna általában zajosabb, mivel itt a hangvivő szintje 7 dB-lel kisebb. A kétvivős rendszer jele a spektrumanalizátor képernyőjén könnyen felismerhető a két egymás mellett elhelyezett FM vivőről. Ilyen jelet láthatunk a 4.2.1. ábrán.



4.2.1. ábra. A két hangvivős átvitel spektruma egy kábeltelvíziós hálózaton mérve

A két hangvivős német rendszer használható, jó megoldás. A szolgáltatás bővítésére alkalmas, de minőségjavulást nem eredményez. Mind az adó, mind a vevő oldalon a

korábbi frekvenciamodulátor-demodulátor technikával megvalósítható, a költségek nem túlzottan magasak. Hátránya, hogy az átviteli lánc nemlineáris torzításaira érzékeny. A két hangvivő különbségeként kikeveredő 240 kHz-es jel a hang ütemében változó csíkozást okoz a vevőkészülék képernyőjén.

Magyarországon az 1980-as évek közepén folytak kétvivős kísérletek, amelyek azt igazolták, hogy ez a rendszer igen érzékeny a nemlineáris torzításokra. A televízióadók nemlineáris fokozataiban keletkezett 240 kHz-es zavarójel olyan erős csíkozást hozott létre a képernyőkön, hogy a sugárzási kísérleteket idő előtt abba kellett hagyni.

Németországban, Ausztriában és Svájcban nagy gonddal átvizsgálták a tv-adókat és alkalmassá tették azokat a kétvivős jelek továbbítására. Ezekben az országokban a mai napig elterjedten használják a sztereo hang átvitelének ezt a módszerét.

Az egykori Csehszlovákiában a kétvivős rendszert a 6,5 MHz-es szabványhoz alakították át és ezt vezették be. A hang-segédvivőt 240 kHz-cel a 6,5 MHz-es hangvivő alá tették. A megoldás olyan, hogy az intercarrier jelet 12 MHz-cel megkeverve 5,5/5,74 MHz-es jelet kapunk, amely feldolgozható a német rendszer alkatrészeivel. A sztereo, ill. kéthangú átvitel megvalósításához a fejállomás üzemeltetőjének legtöbb esetben nem kell teljesen új modulátort vásárolnia, mivel a mono modulátorok nagy része sztereová alakítható. A továbbításra szánt hangfrekvenciás jelet először kódolóba kell vezetni, amely a frekvenciamodulátorok moduláló jelét fogja kialakítani. A kódolón L/A és R/B feliratú bemenetek találhatóak. Az első betű a bal (L) és a jobb (R) csatorna bemenetét jelöli, míg a második betű a kéthangú átvitelnél az A és a B csatornát mutatja. Az „A” és „B” betűk helyett az „Audio-1” és „Audio-2” jelölés is használatos. A kódolók többsége középfrekvenciás modulált hangvivőket (33,4/33,157 MHz) állít elő, amelyeket a mono modulátor hangvivőjének kikapcsolása után a képvivőhöz kell adni.

Nagyon fontos, hogy a pilotjel és az azonosító jelek a sorsfrekvenciához kötöttek legyenek, ezért a kódolóba minden esetben be kell vezetni a videojelet is (vagy a videojelről leválasztott szinkronjelet). A tv-vevőkészülékek többsége nem azonosítja a sztereo és a kéthang üzemmódot, ha az azonosító jel nincs a sorsfrekvenciához kötve!

A stúdióból közvetített műsorok esetében az üzemmód beállítása a hangmérnök feladata. Az üzemmód beállítása történhet a készüléken elhelyezett kapcsolóval vagy távvezérlő áramkörrel. A német szabvány előírja, hogy a két távvezérlő bemenetet hogyan kell kialakítani (áram- és feszültség szint) és meghatározza a jelvezetékek kódját. Az előírás szerinti kódok (B1 és B2):

- sztereo: 10;
- mono: 01;
- kéthang: 11;
- hibás: 00 (kéthang).

A földi és a műholdas adások továbbítása esetén az üzemmódot automatikusan is beállíthatjuk, ha a videojel 16. sorában szabványos adatjelet továbbítanak.

Tapasztalataink szerint a német műsorokban általában található ilyen adatjel, a többiben csak igen ritkán.

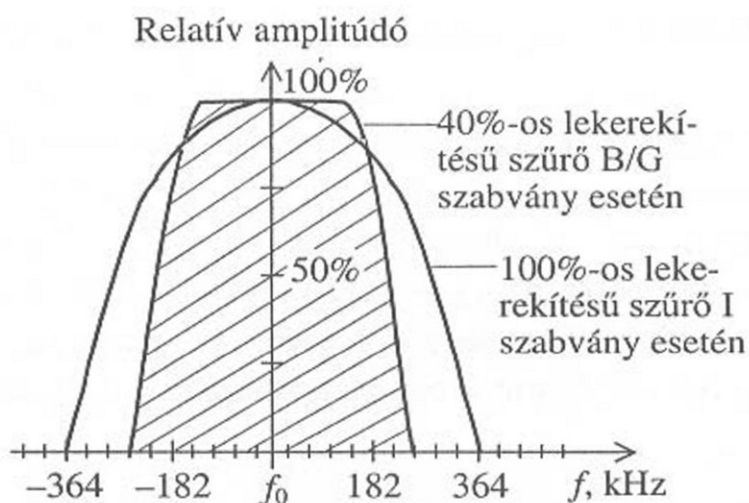
A CW-3000 rendszerben rendelkezésre álló adatsor-dekódoló a CW-3016 DATA LINE DECODER, ami a készülékbe építhető panel. Az egység $1 V_{p-p} \pm 3 \text{ dB}/75 \Omega$ nagyságú videojellel működtethető, és a B1, B2 vezérlőjeleket állítja elő. A CW-3015 típusú SATELLITE RECEIVER-be a CW-3016 panel gyárilag be van építve. Ennél a készüléknél az üzemmódkapcsoló háromállású. Két állásban a sztereo vagy a kéthang üzemmód állítható be kézzel, a harmadik, „auto” üzemmódban az adatsor-dekódoló vezérli a készüléket.

4.2.2. A Nicam rendszer

A CD-lejátszók fejlesztésében elért eredmények tették lehetővé a televíziós hangátvitel digitális megoldásainak kidolgozását. E fejlesztések keretében született meg a Nicam-728 digitális átviteli eljárás, amely a hang mellett adatátvitelre is alkalmas. A Nicam elnevezés a **N**ear **I**ntantaneous **C**ompanded **A**udio **M**ultiplex (kvázi folyamatosan tömörített multiplex hang) szavak kezdőbetűiből adódik, a 728-as szám pedig arra utal, hogy minden adatcsomag (frame) ennyi bitből áll. A rendszer a következő főbb átvitelek megvalósítására alkalmas:

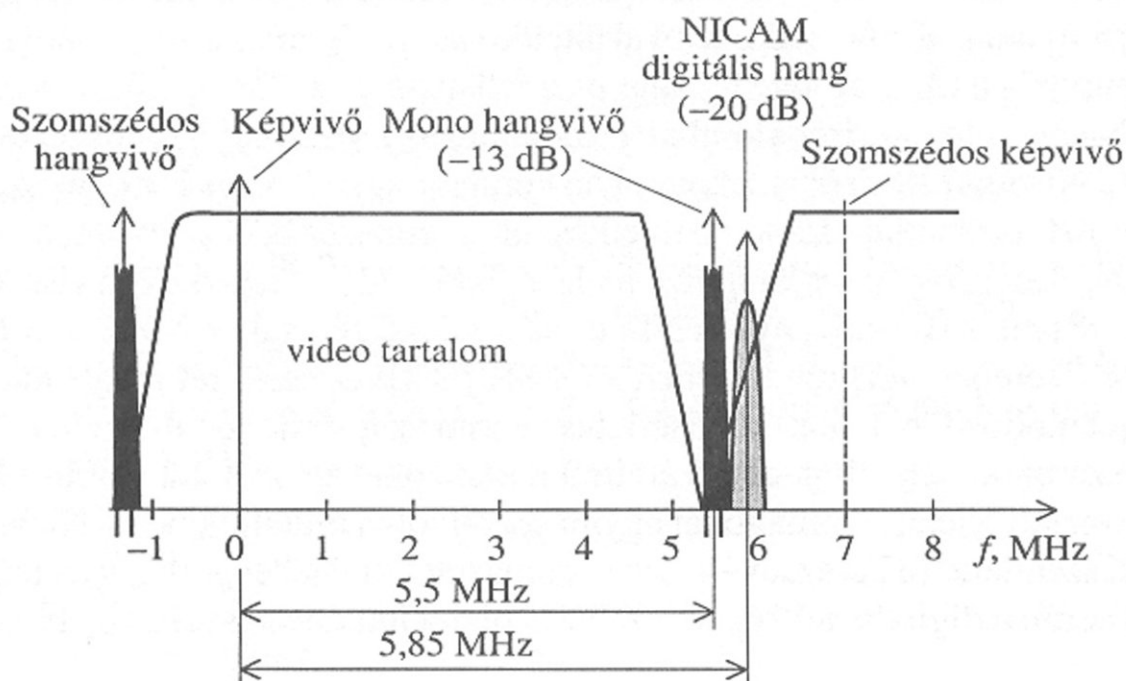
- egy jó (CD-) minőségű sztereo csatorna, vagy
- két független mono csatorna, vagy
- egy mono csatorna és egy 352 kbit/s-os adatjel átvitele, vagy
- csak egy 704 kbit/s-os adatjel átvitele.

A 32 kHz frekvenciával mintavételezett (ebből 16 kHz-re adódó a sáv szélességű) hangjeleket tömörítés után QPSK modulációval ültetik a segédvívőre. Az I szabványú rendszerekben a képvívőtől 6 MHz-re lévő főhangvívő mellett a 6,552 MHz-es segédvívővel sugározzák ki a Nicam jelet. Az irodalomban mindenhol az I szabványú rendszereket veszik előre, mivel a Nicam-728 elsőként Angliában került bevezetésre, és Európa északi országaiban ma is ezt használják. Időközben elkészült a rendszer B/G szabványhoz igazodó változata is, ahol az 5,5 MHz-es hangvívő mellett, 5,85 MHz-es segédvívőn viszik át a digitális jeleket. Mivel a B szabványú rendszer sáv szélessége csak 7 MHz, a 8 MHz-es I szabványúval szemben, a B rendszerben a QPSK jel sáv szélességét meghatározó szűrő jelleggörbéjét módosítani kellett. A kísérletek szerint az így adódó információcsökkenés a gyakorlat számára még elfogadható átviteli jellemzőket ad. A 4.2.2. ábrán a B/G és az I szabvány szerinti Nicam csomagokat egymásra rajzolva mutatjuk be. A Nicam csomagok alakja jól szemlélteti a két szabványban alkalmazott szűrő jelleggörbéjének különbségét és az átvitel során a digitális jelfolyam számára biztosítandó sáv szélesség nagyságát.



4.2.2. ábra. A B/G és az I szabvány szerinti Nicam jelcsomag alakja

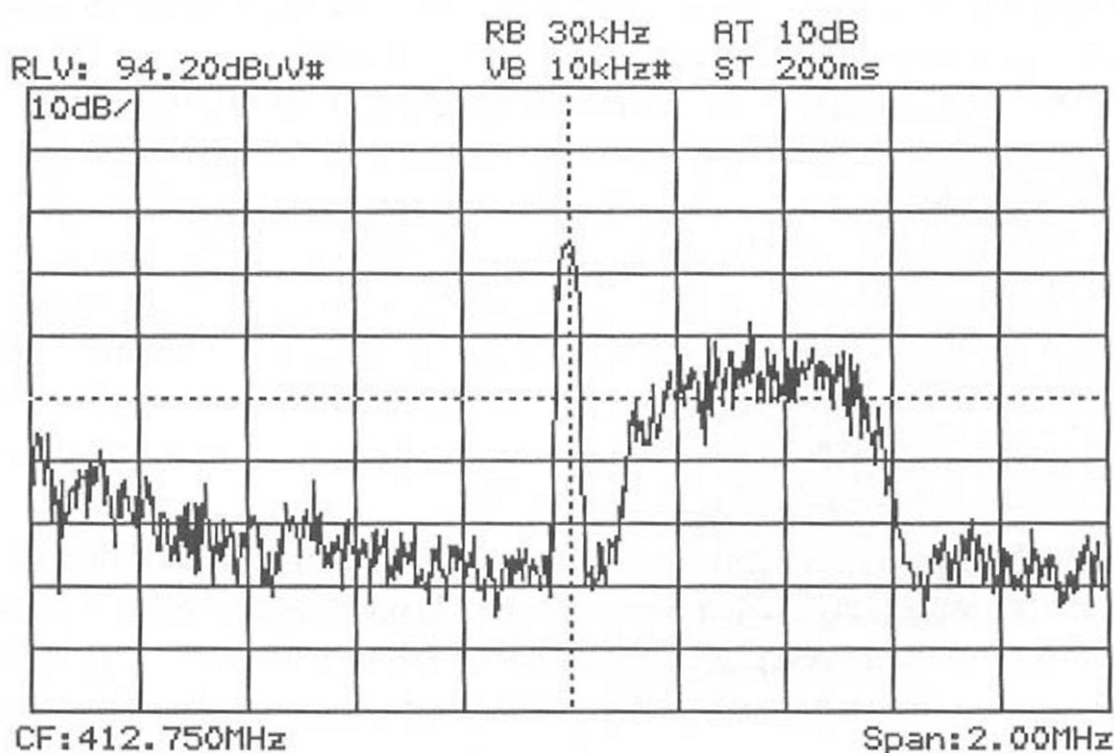
A kábeltelevízió fejállomáson igen gyakran utólag, bővítés vagy továbbfejlesztés keretében kerül sor egy-egy csatorna sztereová alakítására. Általában azokat a csatornákat alakítjuk sztereová, amelyek iránt a legnagyobb érdeklődés mutatkozik vagy amelyekre fizető szolgáltatást biztosítunk, ezért a sztereo átvitel minőségét mindig kiemelten kell kezelni. A 4.2.3. ábrán a B/G szabványú Nicam sztereo csatorna spektrumának vonalas képe látható. Az érthetőség érdekében a képvivő felső oldalsávját úgy rajzoltuk be, mintha az az 5,5 MHz-es mono hangvivő előtt befejeződne, pedig ez nem így van. A szabvány szerinti oldalsávszűrőnek 20 és 30 dB között kell csillapítania ezen a frekvencián, azaz a valóságban az oldalsáv közepesen csillapított és nem abszolút nulla értékű. A szomszédos csatornák jeleinek berajzolásával pedig a Nicam csomag zavartatását kívántuk érzékeltetni, ugyanis a B szabvány szerinti 7 MHz-es raster esetében a szomszédos képvivő csonka oldalsávja kisebb-nagyobb mértékben beelég a Nicam csomagba.



4.2.3. ábra. A B/G szabványú Nicam sztereo csatorna spektruma vonalas képe és a szomszédos csatornák jelei

A sztereo, a kódolt és a különleges szolgáltatást biztosító csatornák esetében ilyen vonalas ábrákkal szemléltethető a vivők helye, az oldalsávok sávszélessége és az esetleges átfedések, zavartatások. Hibakeresés esetén ezek alapján lehet megállapítani, hogy melyik oldalsáv túlnyúlása vagy melyik vivő rossz elhelyezése okoz zavart a rendszerben. A szabvány szerinti csatornák esetében a vivők és oldalsávok elhelyezkedését a tervezők és a kivitelezők körében is ismertnek tételezhetjük fel, a kódolt és a különleges adások esetében a tervező ilyen ábrák felrajzolásával segíti a beállítások elvégzését.

A 4.2.4. ábrán egy működő kábeltelevízió hálózatról készített felvételen mutatjuk be a Nicam hangvivő spektrumát. A jó minőség érdekében itt a sztereo csatornát a hipersáv egy 8 MHz sávszélességű csatornájában valósították meg.



4.2.4. ábra. A hangvivők spektrumának képe Nicam rendszer esetén

A Nicam rendszer előnyei a következők:

- kiváló átviteli jellemzők (CD minőség),
- sztereo/független hangok átvitelének lehetősége,
- adatátviteli lehetőség,
- zavarmentesség.

Hátrányként mindössze a rendszer bonyolultsága és a megvalósítás magas költsége (mind az adó-, mind a vevő oldalon) említhető. A Nicam rendszerrel hazánkban már a 80-as évek végén folytak kísérletek, amelynek eredményei közül külön ki kell emelni, hogy az adó torzításai által keltett zavarok rendkívül alacsony szintűek voltak. Mint már említettük, az FM-hangvivő által keltett zavarok a képen a hang ütemében vibráló csíkokat hoznak létre. A Nicam jel, amelynek spektruma zajszerű, és független a továbbított hang szintjétől, torzítások esetén a vivő mellé keveredve egyenletes zajként jelenik meg a képen.

A Nicam rendszer főbb műszaki jellemzői:

- Mintavételi frekvencia: 32 kHz.
- Mintavételezés: 14 bites, de a kompresszió után ebből csak 10 bit kerül átvitelre.
- Adatsomag: a paritásbitekkel és járulékos adatokkal kiegészített jelfolyam 728 kbit/sec sebességű.
- preemphasis CCITT Rec. J.17 előírás szerinti.

A tv-modulátorok többsége mono kísérőhang továbbítására készült, így a Nicam jelet külön kódolóban kell előállítani, majd a modulátor jeléhez keverni. A Nicam jel esetében a video csatornán és az intercarrier hangfokozaton keresztüli bekeverést is elterjedten használják.

A CW-3000 rendszerben a Nicam jelet középfrekvencián (38,9 MHz) keverik be. Ez a módszer a bekeverés szempontjából egyszerűen megvalósítható, mivel a KF ki- és bemenete a legtöbb modulátoron megtalálható vagy kialakítható. A vivőzajok kiküszöbölése érdekében a tv-vevőkészülékekben a Nicam jelet intercarrier módon demodulálják, ezért a $38,9 - 5,85 = 33,05$ MHz frekvenciájú Nicam KF-jelet a képvivőhöz kötötten kell előállítani, azaz a Nicam modulátorba a képvivőt is be kell vezetni. A Nicam modulátorok többsége a modulálatlan képvivő bevezetését igényli, de alig van olyan modulátor, amelyik rendelkezik modulálatlan képvivő kimenettel. A fejlettebb Nicam modulátorok a modulált képvivőt is fel tudják dolgozni, azonban ilyenkor a modulációs mélység beállítására ügyelni kell, nehogy a Nicam modulátor időnként kiessen a szinkronból. Műszakilag a modulálatlan képvivő felhasználása a kedvezőbb.

A szabványok a Nicam jel teljesítményszintjét a képvivő alatt -20 dB-ben határozzák meg, miközben a mono hangvivő szintje -13 dB. A problémát a Nicam jel szintjének mérése jelenti, mivel ez a jel az analóg vivőktől eltérően nem diszkrét frekvenciájú. Spektrumanalizátorral végzett mérés esetén a vivő L tényleges szintje a következőképpen határozható meg:

$$L_{\text{NICAM}} = L_{\text{mert}} + 10 \cdot \lg \left(\frac{R}{B_{\text{anal}}} \right) + K,$$

ahol L_{NICAM} a Nicam vivő tényleges szintje, dB μ V; L_{mert} a Nicam vivő mért szintje, dB μ V; R a jel -3 dB-es sávszélessége, kHz; B_{anal} a spektrumanalizátor sávszélessége, kHz; K a spektrumanalizátor logaritmikus erősítőjének alaktényezője, tipikus értéke 2 dB.

4.2.3. A sztereo átvitel megvalósításának problémái

Az elméleti áttekintés alapján látható, hogy mindkét sztereo átviteli eljárás utólag került beépítésre a csonka oldalsáv analóg átviteli rendszerbe, ezért egyik megoldás sem tökéletes. A kétvivős (A2) rendszer érzékenyebb az átvitel torzításaira, így a problémák többsége is ennél jelentkezik.

A Nicam kódolók ára meglehetősen magas, a teljes sztereosítás megkészszerzi a fejállomás árát, ezért ezt a rendszert kevesen választják. Az A2 sztereo kódolók olcsók, így a többség ezt a módszert alkalmazza.

A sokcsatornás (20-30 csatorna feletti) kétvivős sztereo hangú kábeltelevízió fejállomások építése meglehetősen nehéz feladat, nagy szaktudást, nagy körültekintést és igen jó rendszerelemeket kíván. A fejállomás megfelelőségét a gyártó, pl. a CW-3000 esetében a CableWorld Kft. garantálja, azonban ahhoz, hogy ezt a jelet elfogadható minőségromlással szét is lehessen osztani, igen jó minőségű elosztóhálózatra, és ahhoz hogy mindezt élvezni is lehessen az előfizetőknél, jó minőségű tv-vevőkészülékekre van szükség. A problémák alapvető forrása, hogy a két hangvivő német szabvány szerinti távolsága 240 kHz és a szétosztó hálózat erősítőinek nemlinearitásain, valamint a tv-vevőkészülékek tunerain kikeveredő 240 kHz-es zavarjel csíkozást okoz a képeken. A csíkozás mellett a másik probléma a sztereo vevőkészülékek nem megfelelő vételkészsége.

A problémák megoldásának tárgyalását kezdjük a sztereo vevőkészülékek vételkészségének vizsgálatánál. Svájci, német és kisebb számban magyar tapasztalatok azt mutatják, hogy a német szabvány szerinti -13 és -20 dB-es hangvivő szintek nagyon nehezen alkalmazhatók. Nagyszámú sztereo vevőkészüléket vizsgálva kiderül, hogy a vevőkészülékek egy része a -20 dB-es hangvivőt kicsinek találja, ezért a második hangvivőn zajos, gyenge vételt ad. Igaz, hogy a vevőkészülékekre -20 dB a specifikáció, de általában nincs tartalékuk. Amikor az elosztóhálózaton -21 vagy -22 dB-re csökken a hangvivő szintje, a vevőkészülékek már nem működnek rendesen. Ugyancsak probléma a vevőkészülékek tunerének sávszélességváltozása a vételi frekvencia függvényében. A kisebb sávszélességű csatornáknál a második hangvivő szintje a tuneren áthaladva csökken, így bármelyik vevőkészüléken lehetnek olyan csatornák amelyeken jó, és olyanok amelyeken akadozó a második hangvivő vétele.

E problémák megoldására számos olyan rendszer működik a világban, amelyben a -13 és a -20 dB-es szabvány szerinti hangvivők helyett max. -16 dB-ig csökkentett és max. -16 dB-ig emelt hangvivőkkel dolgoznak. Hibásan működő rendszer esetén érdemes kipróbálni a $-14/-18$ dB-es vagy a $-15/-17$ dB-es beállítást. Amennyiben gyengébb minőségű vevőkészülékek vannak a hálózaton, elsőként a $-15/-17$ dB-es beállítás javasolható.

A másik gyakran jelentkező probléma a képek csíkossága, amelynek erőssége helytől, frekvenciától és vevőkészüléktől függően változik. Amikor ilyen helyzet előtt állunk, javasoljuk a következőket: elsőként üzembe kell helyezni a teljes fejállomást mono hangvivőkkel. Ilyenkor a teljes elosztóhálózatnak és valamennyi vevőkészüléknek hibátlanul kell működnie. A hibátlan mono működés mellett az elosztóhálózatot legalább $2 - 3$ dB-es kivezérlési tartalékkal kell szintezni, azaz a kivezérlés a hálózat egyetlen eleménél sem lehet kritikus értékű. Amikor minden hibátlan, helyezzük üzembe az első, a legfontosabb sztereo csatornát igen pontosan szintezett pl. $-15/-17$ dB-es hangvivőkkel. Erre még mindennek hibátlanul kell működnie, de lehet, hogy lesz már néhány tv-vevőkészülék,

amely ezen a csatornán vagy ennek szomszédján csíkozódik. Ezeknél a tv-vevőkészülékeknél érdemes kísérletezni az optimális bemeneti szint megkeresésével és beállításával. Ezek a vevőkészülékek a zajosodás felett csak néhány dB-es tartománnyal rendelkeznek, amelyben a kép nem csíkosodik. Ezt a tartományt kell megkeresni, és erre kell beállítani a bemeneti jel szintjét külső csillapítótaggal.

Amint az első sztereo csatorna üzembe helyezését sikeresen megoldottuk, jöhet a következő, de annál is ugyanilyen alapossággal végig kell követni a helyes működést. Minél több csatornát helyezünk üzembe, annál több vevőkészüléknél lesz probléma. Külön figyelmet kell fordítani arra, hogy mikor torzít az elosztó hálózat, és mikor a tv-vevő tunere. Az elosztóhálózat hibája kizárható, ha van egy igen jó minőségű referenciavevőnk és az az adott helyen jól működik. Sokat segíthet, ha a sztereo csatornákat a frekvencia-tartományban szétszórta, és nem egymás mellett helyezük el.

Azt, hogy az adott rendszer hány sztereo csatornát tud elviselni előre nem tudjuk megmondani, de a szám jól minősíti az egész kábeltelevíziós rendszert, amelyhez ebben az esetben előfizetők tv-vevőkészülékei is hozzáértendők. Amennyiben úgy véljük, hogy a bemutatott módszerrel elértük az alkalmazható legnagyobb sztereo csatornaszámot, szünetet kell tartani mindaddig, amíg lehetőségünk nem nyílik az elosztóhálózat továbbfejlesztésére, a gyengének mutató erősítők és egyéb elemek lecserélésére, valamint az előfizetői tv-vevőkészülék állomány technikai színvonalának feljavítására. A tv-vevőkészülék állomány gyenge elemeinek lecserélését a kábeltelevíziós hálózat üzemeltetője kedvezményes vásárok és részletfizetési akciók szervezésével tudja segíteni. A vevőkészülék állomány ugyan nem része a kábeltelevízió rendszernek, azonban az üzemeltető mindaddig nem tud magas színvonalú, kielégítő profitot adó szolgáltatásokat nyújtani a rendszerén, ameddig a vevőkészülékek alacsony technikai színvonala jelentősen megköti kezét.

A Nicam átvitel problémáinál a Nicam csomag jelszintjének és alakjának ellenőrzésével kell kezdeni a hibák elhárítását. Láttuk, hogy a Nicam jel az átvitt csatorna azon szélén helyezkedik el, ahol már sem az amplitúdó, sem a csoportfutási idő jelleggörbe nincs szigorúan tűrésezve, ezért mindkettő hibája erős torzításokat vihet a jelbe. Ugyanezek a torzítások a vevőkészülék tunerében is erőteljesen jelentkezhettek, de azt nem tudjuk mérni, csak következtetni tudunk rá, ha a tv-vevőkészülék vételkészsége a különböző frekvenciatartományokban változó. A programozható kábeltelevíziós fejállomások igen érdekes lehetőséget kínálnak e problémák vizsgálatára és megoldására. Középfrekvencián keresztül konvertáló készülékek esetében a bemenet és a kimenet azonos mértékű (pl. 100 - 100 kHz-es) elhangolásával a KF-szűrő jelleggörbét úgy tudjuk tologatni a frekvenciatengelyen, hogy közben a kimeneti frekvencia nem változik. Ha pl. ha a bemeneti jelet nem 38,9 MHz, hanem 40 MHz-re konvertáljuk ($f_{bc}+100$ kHz), akkor a csonka oldalsáv változását szinte észre sem vesszük, miközben a Nicam jelcsomagot 100 kHz-cel beljebb hoztuk a SAW filter jelleggörbén. A visszakonvertálást ugyanígy 100 kHz-el eltolva a vivőfrekvenciák a helyükre kerülnek, csak az átviteli jelleggörbe csúszik el. A módszer földi adók hangvivőjének csökkentésére, közeli zavaró jelek kiszűrésére is használható, de az eredményes munkához spektrumanalizátorra van szükség.

A Nicam jelcsomag és a szomszédos adó csonka oldalsávja B szabványú 7 MHz-es raszter esetén átfedi egymást. Hibák esetén az átfedés mértékét külön ellenőrizni kell. Megoldás lehet a problémára, ha a zavaró oldalsávot megvágjuk vagy a sztereo csatornát áthelyezzük az UHF sávba, ahol a G szabványnál is 8 MHz a csatornaraszter. A sztereo átvitel mélyebb szintű vizsgálata olyan drága mérőműszerek alkalmazását igényli, amelyekkel a kábeltelevízió fejállomások általában nem rendelkeznek. További segítség a gyártóktól és a tv-adók üzemeltetőitől kérhető.

4.3. A kábeltelevíziós fejállomások minőségi kérdései

A fejállomás minőségének megítélése nehéz kérdés. Önmagában valamennyi gyártó terméke jó valamilyen alkalmazási körben, a tervező és a beruházó közös feladata eldönteni azt, hogy a vállalkozásuk melyik típus választását engedi meg a legjobbak közül, melyik alkalmazása hoz a vállalkozásnak nagyobb nyereséget. A helyes válaszhoz a gazdaságossági kérdéseket a műszaki paraméterekkel azonos súllyal kell figyelembe venni, mivel a KTV rendszer befektetés, amelynek véges időn belül meg kell térülnie és profitot kell termelnie.

A társasházak és kis rendszerek számára igen sokféle és olcsó jelfeldolgozó berendezés kapható. A maguk területén ezek kiválóan megfelelnek, és ha pénztárcánk megengedi, a rendszert 3, 6 vagy 10 évenként lecserélhetjük, átépíthetjük.

A kábeltelevízió fejállomások közül kisebbnek azokat szoktuk nevezni, amelyek csak néhány száz, esetleg ezer előfizetőt látnak el. A közepesek már néhány ezer, a nagyobbak néhány száz tízezer előfizetőt szolgálnak ki. Ma már nem ritkaság a 100 ezernél több előfizetőt ellátó fejállomás sem.

A fejállomás ára a hálózatépítés tizedének nagyságrendjében van, így ára nem befolyásolja alapvetően a beruházási költségeket. Amikor a fejállomás egy előfizetőre jutó költségét 1000 forintnak választjuk, akkor 50 – 100 ezer előfizető esetén akár az 50 – 100 millió forintos szuper fejállomást is betervezhetünk, ugyanakkor ezer előfizető esetén az 1 millió forintból alig futja valamire, 100 előfizető esetén pedig a 100 000 forintból szinte semmi sem építhető. Összefoglalva elmondhatjuk, hogy a fejállomás árának szempontjából akkor kedvező a helyzetünk, ha sok előfizetőnk van. A továbbiakban nem részletezve a számításokat ugyanerre az eredményre jutunk az üzemeltetés, a műsorkészítés és a profittermelés elemzésekor is.

A fejállomás műszaki jellemzői között az utóbbi években a rugalmasság, a továbbfejleszhetőség, és a digitális technikára való átállíthatóság került a legfontosabb helyre. A rugalmasság fontosságát igazolja az a tény, hogy a programozható készülékek szinte teljesen kiszorították a korábbi típusokat, a másik két kérdéskör ebben az évtizedben fog igazolódni.

A második sorban az élettartam, a szerviz- és üzemeltetési költségek csoportja áll. Bármilyen gyorsan is fejlődik környezetünkben a technika, a 24 órás folyamatos üzemben dolgozó KTV fejállomások élettartamának nagyobbak kell lennie 10 évnél. A rendszer bonyolultságából és igen nagy igénybevételéből adódóan megvalósíthatatlan, hogy 10 év alatt ne következzen be egyetlen meghibásodás sem, ezért nagyon fontos a szerviz kérdése. A távol-keleti olcsó készülékek esetében a javítás kérdése fel sem merül, a meghibásodott készüléket (pl. digitális műholdvevők) ki kell dobni és helyette újat vásárolni. Az USA-ból, Japánból és kisebb mértékben Európából importált készülékeknél a javításra történő kiküldés hosszadalmas, bonyolult folyamat, a javítás igen drága, ezért nagyon meg kell fontolni azt, hogy mi a helyes teendő. Sokkal kedvezőbb a helyzet, ha a gyártónak az országban van szervize vagy képvisellete, esetleg a gyártó könnyen elérhető egy szomszédos országban.

Meglehetősen bonyolultan, de a fejállomások élettartamára vonatkozóan is meghatározható egy felezési hőmérséklet, amelynek nagysága 5 és 7 °C közötti értékre adódik, és azt jelenti, hogy ha ennyivel emeljük a környezeti hőmérsékletet, az élettartam a felére csökken. A fejállomások esetében az élettartam és a meghibásodási gyakoriság szempontjából akkor kapjuk a legkedvezőbb eredményeket, ha a környezeti hőmérsékletet 10 és 18 °C közé állítjuk be. Ez az érték Magyarországon csak klímaberendezéssel biztosítható. 40 °C feletti környezeti hőmérsékleten történő működtetést kifejezetten kerülni kell.

Hazánkban a '80-as években klímaberendezést még alig alkalmaztak, a '90-es években már minden komolyabb helyre beépítettek és átlagosan 20–22 °C körüli hőmérsékleten működtették a fejállomásokat. A digitális jelfeldolgozás teljesítményfelvétele egyelőre meglehetősen magas, ezért a következő években a hűtés kérdésével kiemelten kell majd foglalkozni.

Egy-két évtizede, a technika akkori fejlettségi szintjén már 20-30 csatorna esetén is nehéz feladat volt a jó minőségű kép- és hangtovábbítás, ezért a legfontosabb fejállomás jellemzők a közvetlen műszaki adatok voltak. Mivel a hibás működést, a gyenge minőségű kép- és hangátvitelt ma már nem tekintjük elfogadható működési állapotnak, a technikai jellemzők meglehetősen háttérbe szorultak a fontossági létrán. A fejállomás technikusának addig kell dolgoznia, amíg a megfelelő minőséget el nem érte, mivel az analóg technikában ma műszaki korlátok gyakorlatilag nincsenek.

4.3.1. A kábeltelevíziós fejállomások fontosabb műszaki jellemzői

Az analóg televíziótechnika kialakulásának és szabványosításának időszakában a jelek előállítás, erősítése, módosítása stb. komoly műszaki feladat volt, a feladatokat többnyire elektroncsövekkel majd később gyenge minőségű, kezdetleges tranzistorokkal kellett megoldani. A kezdeti nehézségeket követő évtizedekben főleg a mérés technikát szabványosították a minőségi jellemzők egységes értelmezése és mérése érdekében.

Ebben az időszakban a video átviteli csatornáknál az amplitúdó- és a fázisjelleggörbe mérése mellett részletesen vizsgálták az impulzusátvitelt, a sor- és képfrekvenciás tetőesést, a túllövést stb. A kivezélhetőséget a 4,43 MHz-en mért differenciális amplitúdó- és fázistorzítással jellemezték. A differenciális jellemzők méréséhez a drága műszerpark mellett komoly szakmai felkészültségre is szükség volt.

A technika fejlődésével a tranzisztorok minősége folyamatosan javult, megjelentek az integrált áramkörök, és egyre tökéletesebbek lettek a készülékek. A tv-adókban, ahol még ma sem egyszerű feladat a nagy teljesítményű kimeneti jel előállítás, ma is végig kell mérni ezeket a paramétereket. A KTV hálózatokban, ahol a nagy csatornaszám miatt igen nagy linearitású és igen jó minőségű erősítőket és készülékeket kell alkalmaznunk, ezek a mérések az utóbbi évtizedben háttérbe szorultak. A jó kép- és hangminőség megköveteli, hogy ezek a paraméterek jók legyenek, azonban elegendő, ha csak a készülék gyártója méri, ellenőrzi és garantálja ezeket a paramétereket, ezek ismételt mérése a fejállomáson mellőzhető.

A KTV fejállomás valamennyi paraméterének az elmondottak szerinti pontos és részletes mérése már a 25-30 csatornás rendszerek esetében is több napig tart, és meglehetősen drága műszerparkot igényel. A mérések elvégzéséhez szükséges műszerpark ára a kis és közepes fejállomások esetében magasabb lehet, mint a fejállomásé. Magyarországon jelenleg mindössze néhány nagy cég rendelkezik olyan műszerparkkal, amely alkalmas a mérések pontos és részletes elvégzésére. Az analóg technika utolsó évtizedében már nem is javasolható a KTV rendszereket üzemeltető cégeknek, hogy komolyabb összegeket költsenek műszerek beszerzésére.

Mindezek mellett van három olyan kiemelten fontos jellemző, amelynek vizsgálatát a telepítéskor és a rendszeres karbantartás folyamán is szigorúan mérni és ellenőrizni kell. Ez a három jellemző a kimeneti jelek szintje, a kimeneti spektrum tisztasága és a vivő-zaj viszony. Ezek a jellemzők valójában nem független egymástól és mérésük ugyanazzal a műszerparkkal történik. A mérések elvégzéséhez szükséges műszerparkra a digitális fejállomásokon is szükség lesz, azaz érdemes a lehetőségeinkhez képest legjobb műszereket beszerezni. Ez a három jellemző alapvetően meghatározza a fejállomás minőségét, így a mérések menetét részletesen ismertetjük.

4.3.2. A fejállomás kimeneti jelének szintezése

A fejállomás kimenetén összetett frekvenciamultiplex jel jelenik meg, amelyben a rádió- és televízióműsorok jele, a digitális szolgáltatások jele és a mérőgenerátorok jele van elhelyezve a csatornakiosztásnak megfelelően. Mivel a szétosztóhálózatot ennek a jelnek a szétosztására méretezték, nagyon fontos, hogy azt a tervezettnél megfelelően állítsuk be. A mérővevőket speciálisan ilyen jelek pontos mérésére fejlesztették ki, alkalmasak is a mérés elvégzésére, de a velük való mérés meglehetősen hosszadalmas.

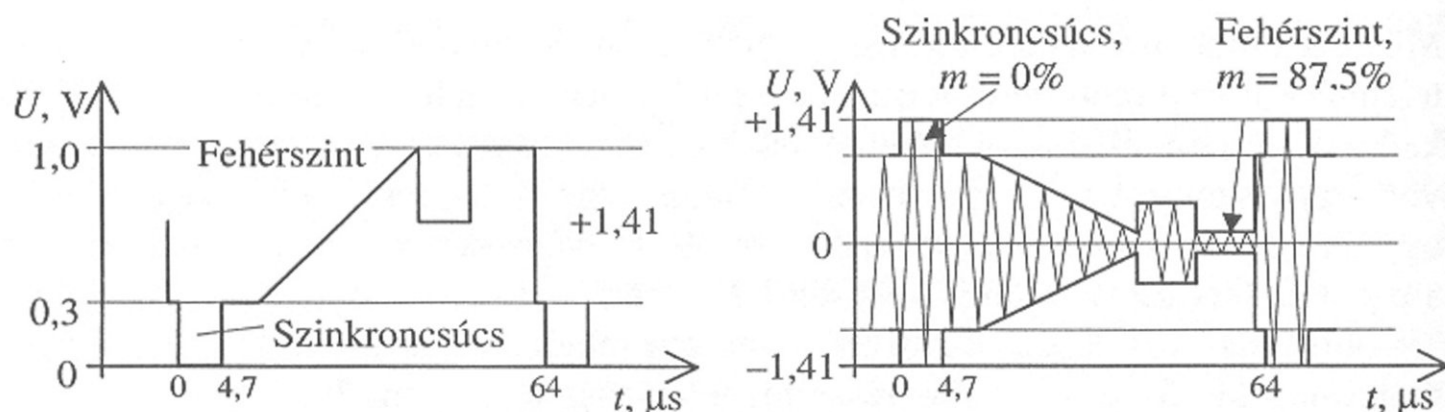
A programozható, automata mérővevők ellenőrzésre kiválóak, azonban a telepítés és a hibaelhárítás nehezen oldható meg velük.

Az utóbbi két évtizedben az elektrotechnikai mérések egyik legfontosabb mérőműszerévé lépett elő a spektrumanalizátor, amely a kábeltelevíziós méréseknél is alaplátszernek számít. Alkalmazásával egyszerűen mérhetők az átvinni kívánt frekvenciamultiplex jel összetevői, főbb jellemzői. A spektrumanalizátorral üzem közben, a szolgáltatás zavarása nélkül is lehet jellemzőket mérni, ezért a telepítők, üzemeltetők és a hatóságok is elterjedten használják ezt a készüléket.

A kábeltelevízió rendszerekben a továbbításra szánt jel összetett, így mérése számtalan problémát rejt magában. A mérések elvégzéséhez pontosan ismernünk kell az összetevők jellemző tulajdonságait.

A tv-technikában a kép átvitelére a csonka oldalsávós amplitúdómodulációt használjuk. Ez azt jelenti, hogy a képvivőt először amplitúdóban megmoduláljuk, majd a keletkező kétoldalsávós jelből az alsó oldalsáv nagy részét szűrővel levágjuk.

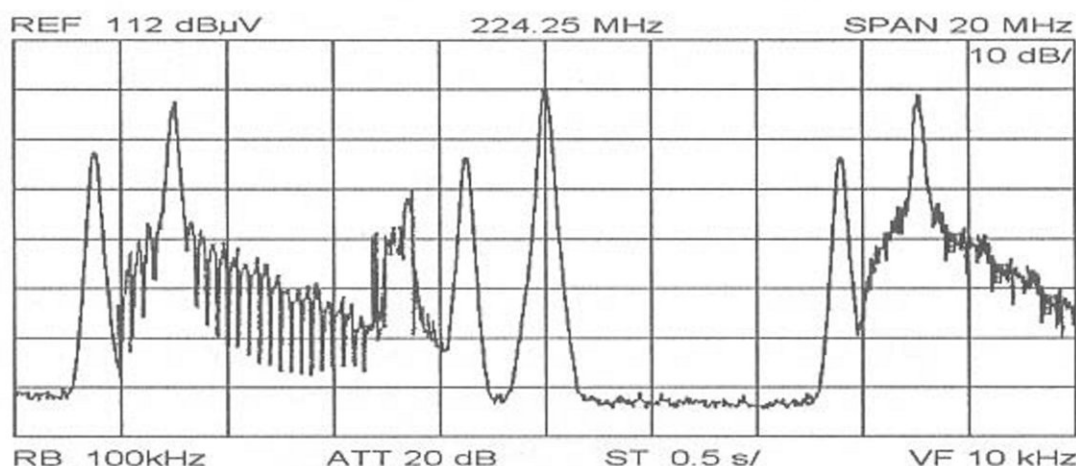
A videojel önmagában is bonyolult összetett jel, ami a képtartalomnak megfelelő feszültségösszetevők mellett a képek felbontását és ismételt visszaállítását lehetővé tevő szinkronjeleket is magába foglalja. Mivel a képtartalom a pillanatnyi műsor függvényében állandóan változik, egyedül a szinkronjelek időtartama alatt van lehetőségünk olyan mérések elvégzésére, amelyek a vivő szintjéről adnak tájékoztatást. Az elmondottak szemléltetésére vizsgáljuk meg a 4.3.1. ábrán a videojel és a hozzá tartozó modulált képvivő képét az időtartományban (ilyen képeket kapunk, ha oszcilloszkópon jelenítjük meg a jeleket).



4.3.1. ábra. A videojel és a modulált képvivő az időtartományban

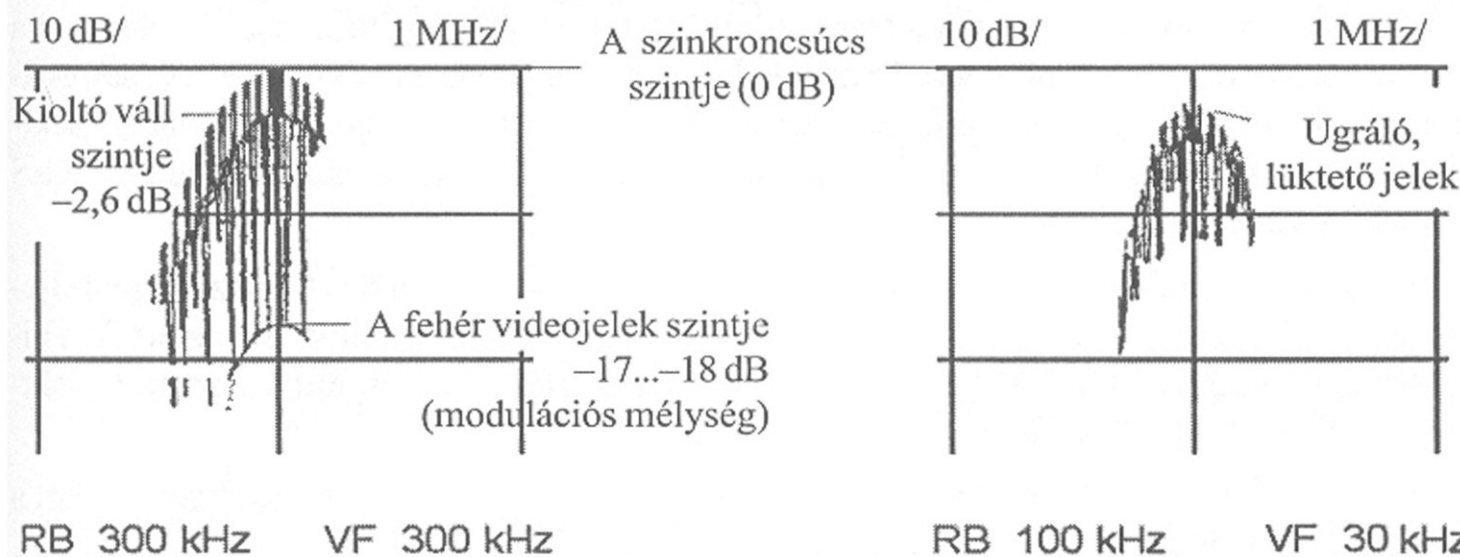
A hazánkban is használt negatív moduláció esetében a modulált képvivő szintjén mindig a szinkroncsúcs ideje alatt mérhető vivő nagyságának effektív értékét értjük. Pl. ha a 4.3.1. ábrán látható modulált jelnél a 4,7 μs tartamú szinkroncsúcs alatt az oszcilloszkópról 1,41 V-os amplitúdót vagy 2,82 V nagyságú csúcstól-csúcsig mért értéket olvasunk le, akkor az ehhez tartozó effektív érték éppen $1 V_{\text{eff}}$, ill. dBμV-ban kifejezve 120 dBμV. A kifejezetten televíziós jelek mérésére készített szintmérők, pl. a tv-mérővevők és egyéb szelektív feszültségmérők ennek az értelmezésnek megfelelően jelzik ki a mért értéket.

A spektrumanalizátorok igen bonyolult szelektív vevők, amelyek állandóan pásztázzák a kijelölt frekvenciatartományt. Fő feladatuk a bemeneti jel összetevőkre bontása a frekvenciatartományban, így bonyolultságuk következtében nem igazán jó szintmérők. Kiválóan használhatók az összetevők arányainak meghatározására, de az abszolút szintmérésben meglehetősen pontatlanok. A 4.3.2. ábrán egy fejállomás laboratóriumban vizsgált kimeneti jele látható spektrumanalizátoron megjelenítve. A középső csatorna modulációját kikapcsoltuk annak érdekében, hogy a moduláció hatását jól lehessen szemléltetni.



4.3.2. ábra. A modulálatlan és a modulált kép- és hangvívők a frekvenciatartományban

A képvívő frekvenciáján a max. érték leolvasásával kapjuk meg a képvívő szintjét, de a max. értéket körültekintően kell leolvasni, mivel a modulált képvívő csak a sor- és képszinkron jelek alatt veszi fel ezt az értéket. A 4.3.2. ábrán úgy látszik, mintha a két modulált képvívő szintje kisebb volna, mint a modulálatlan képvívőé, pedig a három képvívő szintje pontosan egyforma. A különbség abból adódik, hogy az erős szűrőzés miatt a modulált képvívők a szinkronjelek alatt sem tudnak felfutni a névleges szintig. A mérések során, mielőtt leolvasnánk a képvívő szintjét, a felbontási sáv szélesség (Resolution Bandwidth) és a videoszűrő (Video Filter) néhány fokozattal feljebb állításával mindig győződjünk meg arról, hogy a képvívő fel tud-e futni a max. értékig.



4.3.3. ábra. A képvívő csúcsa kinagyítva a spektrumanalizátor különböző beállításainál

A 4.3.3. ábrán a képvivő csúcsát kinagyítva is láthatjuk a spektrumanalizátor két különböző beállításában. A bal oldali beállításnál, a 300 kHz sávszélességű felbontó szűrő és a 300 kHz-es videoszűrő mellett a képernyőn „kirajzolódik” a videojel, a szinkronjelek felszaladnak a csúcstértékig, esetenként látni a kioltóváltak szintjét, és ha a videojelnek jelentősebb fehér-tartalma van, akkor leolvasható a modulációs mélység is (ami a felső és az alsó burkoló csúcsa közötti különbség dB-ben).

A jobb oldali ábra beállításánál már túl kicsi a sávszélesség, és alacsony a videoszűrő határfrekvenciája is, így a szinkronjelek alatt a jelszint nem éri el a tényleges értéket. Mivel a képszinkron jelek lényegesen hosszabbak a sorszinkron jeleknél, képszinkron alatt magasabbra fut a jel, a vivő teteje ugrál, nem ad pontos, leolvasható értéket.

A helyes méréshez min. 300 kHz-es felbontási sávszélességet (Resolution Bandwidth) kell beállítani 300 kHz körüli értékre állított videoszűrővel.

Megoldás lehetne, ha a modulációt a mérés idejére kikapcsolnánk, de sok modulátor típus kikapcsolt moduláció esetén nem a szinkroncsúcsnak megfelelő modulálatlan vivőt szolgáltatja. A mérés elvégzésére a különböző típusú spektrumanalizátorok további módszereket kínálnak, a megfelelő kiválasztásához mindig figyelembe kell venni az elmondottakat.

A hangvivő frekvenciamodulált jel, így szintjének mérése sokkal egyszerűbb. Itt mindössze arra kell vigyázni, hogy ne állítsunk be túlzottan finom felbontást, mert akkor a képernyőn megkezdődik a modulálójel szerinti összetevőkre bontás, és ilyenkor a vivő szintje a löket nagysága és a modulálójel frekvenciája függvényében csökkenhet. A KTV fejállomáson a mono hangvivő szintjét általában 13 dB-lel a képvivő szintje alá állítjuk. Ettől a tervező utasítására néhány dB-lel el lehet térni, mint azt a sztereo hangvivők beállításánál már láttuk.

Az URH sávban az FM-rádióműsorok vivőinek szintjét, ha más utasítás nincs, 10 dB-lel állítjuk a képvivők szintje alá. A rádióműsorok vivőinek szintjét a tv-műsorok hangvivőinek mérésével azonos módon végezzük.

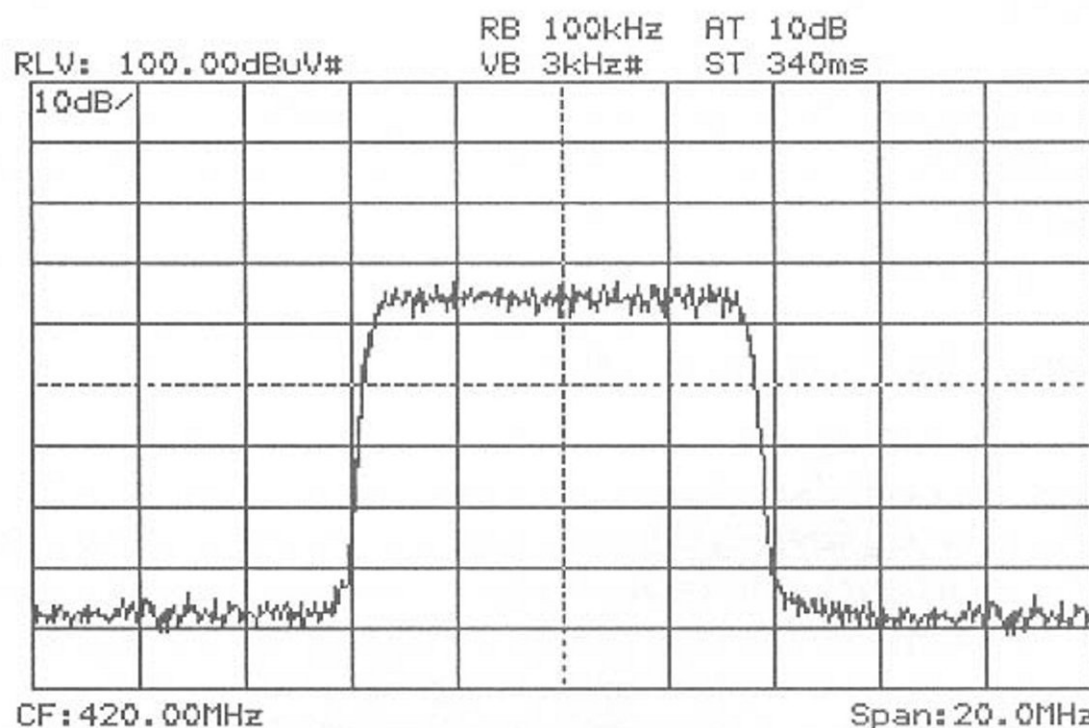
A következő években folyamatosan egyre több digitális jelet kell bekeverni és beszintezni az analóg jelek közé mindaddig, amíg az analóg jelek végleg ki nem szorulnak a rendszerből, ezért fontos már ma ismerni a szintezés és mérés menetét. A digitális televíziótechnika jelei az analógtól eltérően nem tartalmazzak diszkrét értékű összetevőket, a teljes csatornában egyenletes eloszlású, zajszerű spektrumot mutatnak. A fehérzajhoz hasonlóan a spektrumanalizátoron megjelenő szintjük a beállítás, a felbontó szűrő sávszélességének (RES BW) függvénye.

A digitális csatornák esetében a jel szintjén a csatornában elhelyezett zajszerű jel teljesítményével azonos teljesítményű szinuszos jel effektív értékét értjük. Ezt az értéket viszonyítjuk a képvivők szintjéhez, azaz a referenciaszinthez. Egy digitális csatorna spektrumát láthatjuk a 4.3.4. ábrán.

A szint mérésénél első feladatunk a vízszintes szakaszhoz tartozó szint leolvasása. Ezt a szintet kell korrigálnunk a következő összefüggés szerint:

$$c = 10 \cdot \lg \frac{B_s}{B_a} + K,$$

ahol, c a korrekciós tényező, dB; B_s a jel sávszélessége, MHz; B_a a spektrumanalizátor felbontási sávszélessége, MHz és K a spektrumanalizátor alaktényezője, tipikus értéke 2 dB.



4.3.4. ábra. A CableWorld Kft. CW-4154 típusú QAM modulátorának 8 MHz sávszélességű 64 QAM jele a hipersávban

A QAM jel tényleges szintjét megkapjuk, ha a spektrumanalizátorról leolvasott értékhez hozzáadjuk a képlettel számítható korrekciós tényezőt. Példánkban a 4.3.4. ábrán látható spektrumképen a vízszintes szakasz szintje $64 \text{ dB}\mu\text{V}$, a jel sávszélessége 8 MHz, a felbontás sávszélessége 100 kHz, a számított korrekciós tényező 21 dB, így a jel tényleges szintje:

$$U_{\text{QAM}} = U_{\text{leolvasott}} + c = 64 + 21 = 85 \text{ dB}\mu\text{V}.$$

A leggyakrabban előforduló esetekre a korrekciós tényező értékét a 4.3.1. táblázatban foglaltuk össze.

Korrekciós tényező értéke 8 MHz sávszélességű QAM jelek mérése esetén. 4.3.1. táblázat

	B_a felbontási sávszélesség	c korrekciós tényező, dB	Megjegyzés
1.	30 kHz	26	
2.	100 kHz	21	A leggyakrabban használt érték
3.	300 kHz	16	
4.	1 MHz	11	
5.	3 MHz	6	

A digitális vevőkészülékek működéséhez kisebb vivő-zaj viszony is elegendő, mint az analóg vevők esetében, így a digitális jelek szintje lényegesen kisebbre állítható, mint az analóg jeleké. A szakirodalom 10...15 dB-lel alacsonyabb jelszintet ajánl a QAM jelekre. A tervezés során a vétel határvonalai adják a kiinduló adatokat a fejállomáson szükséges bemeneti szint kiszámításához.

A KTV fejállomás kimenetén a jeleket úgy kell a rendszertervben meghatározott értékekre beállítani, hogy az abszolút hiba 1 dB vagy ennél kisebb érték legyen. Kívánatos, hogy a vivők relatív hibája (a szomszédos csatornák szintjeinek különbsége) ennél lényegesen kisebb legyen.

4.3.3. A vivő-zaj viszony mérése

Tudjuk, hogy az elektronikában a hasznos jelek mellett mindenhol számolnunk kell a jelenlévő zajokkal is. Az egyszerűség érdekében most feltételezzük, hogy minden zaj egyenletes eloszlású, ún. fehérzaj. Mivel a zaj jelenléte véletlenszerű, mindig csak egy adott frekvenciasávban megjelenő zajteljesítményként értelmezhető. A számításainkban használt, R ellenálláson keletkező termikus zaj feszültsége egy jelképes effektív érték, amelyet ebből a P zajteljesítményből kiindulva a következő képlettel határozzunk meg:

$$U_z = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B},$$

ahol k a Boltzmann-állandó, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K; T az ellenállás abszolút hőmérséklete, K; R az ellenállás nagysága, Ω és B a sáv szélesség, Hz.

Amilyen egyszerű a zaj meghatározása és számítása a szakkönyvekben, olyan nehéz annak pontos mérése a gyakorlatban. Az oszcilloszkóp csak a zaj nagyságának becslésére használható, mivel a mérési hiba 5...10 dB nagyságú is lehet (10 dB esetén a hiba nagyobb, mint 300 %!)

A frekvenciatartomány alsó részén a különböző effektívérték-mérőkkel a zaj nagysága viszonylag pontosan mérhető, azonban néhányszor tíz MHz felett a helyzet bonyolódik. A spektrumanalizátorok elvileg alkalmasak a zaj szintjének mérésére, de

- a zaj pontos méréséhez a spektrumanalizátorok sávszűrőjének Gauss-görbe alakúnak kellene lennie, azonban az egyéb okokból többnyire nem ilyen;
- a spektrumanalizátorok önmagukban igen érzéketlenek, zajosak, így csak nagyobb szintű zajok mérésére alkalmasak;
- a spektrumanalizátorok abszolút szintmérésre csak korlátozott pontossággal használhatók.

Ezek ellenére különböző korrekciós tényezők alkalmazásával a spektrumanalizátorok 3...10 dB pontossággal alkalmasak a zaj szintjének meghatározására. A mai mikroprocesszoros változatok általában 1 Hz sáv szélességre adják meg a zaj szintjét a marker helyén, és ebből nekünk kell kiszámítanunk a mérésben definiált sáv szélességre vonatkozó értéket.

Az előző pontban láttuk, hogy a képvivő szintjének mérése, ha nem is egyszerű feladat, de kellő figyelemmel és megfelelő műszerrel viszonylag pontosan elvégezhető. A szintmérés pontosságával kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy

- az egyszerűbb és olcsóbb mérőműszerek esetében a $\pm 30\%$ -os (kb. ± 3 dB-es) abszolút pontosság már elfogadható érték;
- a drágább, bonyolultabb mérőműszereknél a $\pm 10\%$ -os (kb. ± 1 dB-es) érték már jónak számít;
- 10% -nál kisebb hiba csak különleges összeállításokkal, drága műszerekkel érhető el.

Ezek akkor is jussanak eszünkbe, ha a méréshez használt nagyszerű és drága digitális műszer három vagy négy számjeggyel, esetleg több tizedessel írja ki a mért értéket, mivel a kijelzett számjegyek többsége csak szép, de nem igaz!

A vivő-zaj viszony (C/N , carrier/noise) annak mértékét adja meg, hogy az adott átviteli csatornában, esetünkben az 5 MHz-es sávban mennyivel nagyobb a hasznos jel szintje a zaj szintjénél.

Amikor az antenna kimenetén mérve a 75Ω -os ellenállás zaja ($B = 5$ MHz esetén) kb. $2 \text{ dB}\mu\text{V}$, a hasznos jel szintje $50 \text{ dB}\mu\text{V}$, akkor a vivő-zaj viszony nagysága:

$$C/N = 50 - 2 = 48 \text{ dB.}$$

Ha az antenna kimenetéhez egy $F = 4$ dB zajtényezőjű erősítőt kapcsolunk, akkor az erősítő kimenetén mérhető jel vivő-zaj viszonya a következők szerint számítható:

$$C/N = \text{bemeneti szint} - \text{zajtényező} - 2 \text{ dB}\mu\text{V};$$

$$C/N = 50 - 4 - 2 = 44 \text{ dB.}$$

Az észak-amerikai kontinensen az NTSC rendszert használják 6 MHz-es csatorna sáv-szélességgel. Ebben a rendszerben a zajt 4 MHz-es sáv-szélességgel veszik figyelembe. Európa nyugati felén, a PAL rendszer használói már 5 MHz-es sáv-szélességgel számolnak a 7 és a 8 MHz-es csatornarendszerek esetében is. Európa keleti felén, ha ragaszkodnánk korábbi szabványainkhoz, akkor 6 MHz-es sáv-szélességgel kellene figyelembe vennünk a zajt. Érdeemes egy kicsit átgondolni a sáv-szélesség kérdését. Vegyünk egy kiváló amerikai készüléket, ami adott vivő-zaj viszonyt produkál. Telepítsük át a nyugat-európai kontinensre és máris 1 dB-lel rosszabb vivő-zaj viszonyt fog produkálni, mivel itt a sáv-szélesség nagyobb [$10 \cdot \lg(5/4) = 0,97$]. Ugyanezt Moszkvába telepítve a romlás már 1,8 dB [mivel $10 \cdot \lg(6/4) = 1,76$]. Európához való csatlakozásunk miatt javasoljuk, hogy a továbbiakban mi is 5 MHz-es sáv-szélességgel számoljunk, és ha amerikai rendszerek adatait olvassuk, vegyük figyelembe, hogy azok a kisebb sáv-szélesség miatt kb. 1 dB-lel jobbak.

A KTV rendszerekben a zaj a hasznos információt, elsősorban a képet zavarja. A zavar-tatottság mértékének megítélésére méréssorozatot végeztek átlagos nézőkkel, átlagosnak tekinthető körülmények között, s ennek eredményét Európában több évtizede elterjedten használják a minősítések elkészítésénél. A méréssorozat eredményeit a 4.3.2. táblázatban foglaltuk össze.

A kép szubjektív minősítése a vivő-zaj viszony függvényében. 4.3.2. táblázat

Vivő-zaj viszony, dB	A tv-kép	A kép minősítése
> 46	A kép zajmentes	Kiváló
37	A képen látható zajok vannak, de azok nem zavaróak	Jó
30	A képen a zajok jól láthatóak, zavaróak	Rossz
26	A képen a zajok dominálnak	Használhatatlan

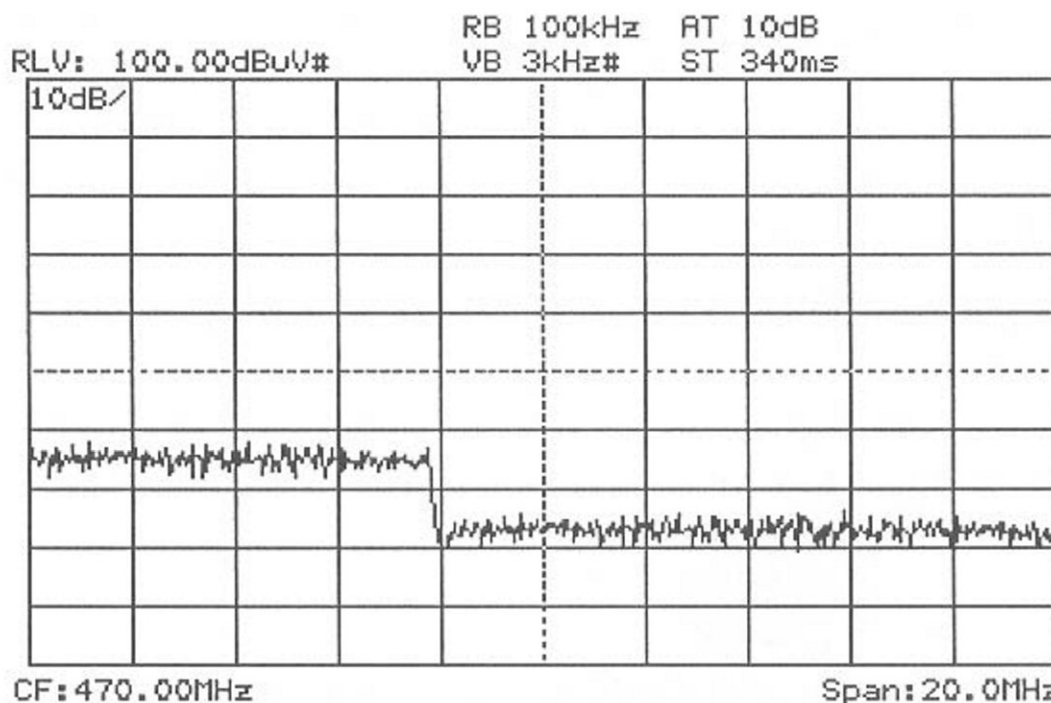
Ez az adatsor meglehetősen közelítő jellegű, de mégis alkalmas arra, hogy egy olyan szubjektív dologban, mint a kép minősége, összekapcsolja a számszerű adatokat a minősítő jelzőkkel. A főbb értékeket érdemes megjegyezni, a kábeltelevízió szakmában naponta szükség lehet rá! A C/N értéket az erősítők kimenetén vagy a fali aljzatokon stb. mérve jellemző, és a gyakorlatban jól használható adatot kapunk a jel minőségére nézve.

A KTV rendszerekben a telepítés során még kedvünk szerint mérhetjük a különböző paramétereket, azonban az üzembe helyezést követően már nem zavarhatjuk méréseinkkel az előfizetőket. A vivő-zaj viszony meghatározásához a vivők szintjét üzem közben is pontosan meg tudjuk mérni, azonban a csatornába eső zaj szintjének megmérése nehézségekbe ütközik. A zaj szintjének mérését zavarja a kép- és a hangvivő, valamint a modulációk során keletkező oldalsávok. E problémák miatt a kábeltelevízió rendszerekben a zaj méréséhez szelektív szintmérőt, leggyakrabban spektrumanalizátort kell használnunk. Az adás közbeni zajmérés annyira pontatlan, hogy vannak esetek, amikor a pontos mérés elvégzéséhez a moduláció levételével mégiscsak meg kell zavarnunk egy-egy csatorna műsorát. Azokban a rendszerekben, amelyekben modulálatlan csatorna is található, célszerű a mérést ezen a modulációval nem rendelkező csatornán végezni. A C/N érték csatornánként is különböző lehet, azonban elvárható, hogy a fejállomás kimenetén valamennyi csatornán elfogadhatóan jó értékű legyen. A zaj szintje az elosztóhálózat aktív elemein áthaladva folyamatosan növekszik. A zaj döntő többségét az elosztóhálózat termeli. A jó minőséghez arra kell törekednünk, hogy az előfizetői aljzatokhoz érve a C/N érték ne legyen kisebb 46 dB-nél vagy legalább a szabványban előírt 44 dB-nél. Amikor már az előfizetői aljzatokon mérünk, a legrosszabb értékeket az üzemi frekvenciatartomány felső végén fogjuk találni, ezért a méréshez biztosított modulálatlan csatornát ebben a felső tartományban célszerű elhelyezni.

A zaj szintjének mérése mind a mérőműszer oldaláról, mind a mérendő jel szempontjából több problémát vet fel, ezért mindkét esetet elemezzük.

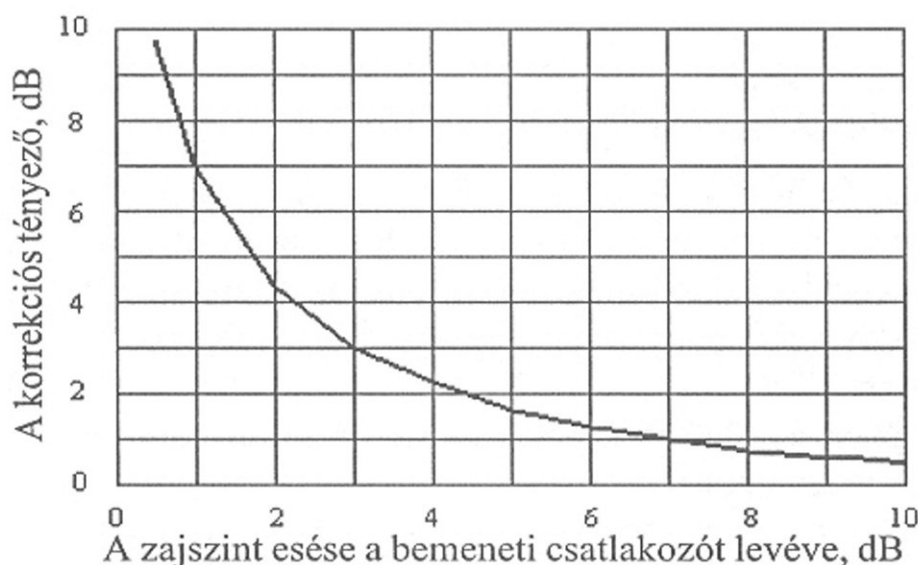
Vizsgálódásunkat kezdjük a mérőműszernél! Tételezzük fel, hogy a mérendő jel mindössze egy modulálatlan vivőből és a vivő környezetében elhelyezkedő zajból áll. A spektrumanalizátorok képernyőjén szinte minden esetben egy jellegzetes zaj látható. A mérés

megkezdésekor elsőként azt kell eldöntenünk, hogy a képernyőn éppen látható zaj honnan származik. Amennyiben a jel levételével (a bemeneti csatlakozó oldásával) a zaj szintje 10 dB-t vagy annál többet esik, a zaj döntően a mérendő jelforrásból származik, és ekkor folytathatjuk a mérést. Erre látható példa a 4.3.5. ábrán.



4.3.5. ábra. A zaj szintjének csökkenése a bemeneti jel levételekor, helyes beállítás esetén

Amennyiben az esés 10 dB-nél kisebb, növelnünk kell spektrumanalizátorunk érzékenységét. Ha erre nincs lehetőség, korrekciót kell alkalmazni. Az 4.3.6. ábrán megadunk egy görbét, amelyről a korrekciós tényező leolvasható. A függőleges tengelyről leolvasott értéket a zaj szintjének mért értékéből le kell vonni, mivel a zaj egy részét a mérőműszerünk termeli.



4.3.6. ábra. A zajmérés korrekciós tényezője a bemeneti jel levételekor bekövetkező zajszint esés függvényében

A 3 dB-es esés azt jelzi, hogy mérőműszerünk zaja már azonos a mérendő jelforrás zajával. Ezen szint alatt nem célszerű mérni. Az érzékenység külső előerősítő alkalmazásával is növelhető, de a zajszint esését ilyenkor is meg kell vizsgálni. Előerősítő alkalmazásakor a bemeneti jelet az előerősítő bemenetén kell megszakítani.

A spektrumanalizátor egy adott sáv szélességű szűrővel folyamatosan pásztázza a frekvenciatartományt. A szűrő sáv szélessége többnyire nem azonos azzal a sáv szélességgel, amelyben a zaj szintjét szándékozzuk meghatározni. Az átszámítás a következő képlettel történik:

$$\Delta P = 10 \cdot \lg \frac{B_1}{B_2},$$

ahol ΔP a teljesítménykülönbség, dB; B_1 a kívánt sáv szélesség, Hz és B_2 a mérőműszer sáv szélessége, Hz.

Példaként nézzük meg, hogy mennyivel kell korrigálni a spektrumanalizátor 30 kHz-es sáv szélességű szűrőjével mért értéket, ha 5 MHz sáv szélességű tartományban kívánjuk meghatározni a zaj teljesítményét:

$$\Delta P = 10 \cdot \lg \frac{5\,000\,000}{30\,000} = 22,22 \text{ dB},$$

azaz az 5 MHz sáv szélességű tartományban 22,22 dB-lel nagyobb a zaj teljesítménye, mint a 30 kHz-es sáv szélességű tartományban mért érték.

Már említettük, hogy a spektrumanalizátorok szűrőjének jelleggörbéje nem éppen olyan alakú, mint amilyenre a zaj méréséhez szükség lenne. Ennek következtében a leolvasott feszültség szint közvetlenül nem használható az adott sáv szélességben a zaj teljesítményének kiszámításához, az eredményt az alaktényezővel korrigálni kell. A zaj szintjének leolvasása nehéz, mivel a zaj frekvenciája és amplitúdója minden pillanatban más és más. A mérés reprodukálhatósága érdekében különféle aluláteresztő (átlagoló), szűrőket alkalmazunk. Ezek a szűrők a logaritmusos detektor után helyezkednek el. Mivel logaritmizált zajfeszültség utáni átlagot olvasunk le, az eredményt korrigálni kell. Ezek a korrekciós tényezők spektrumanalizátoronként más és más értékűek, a pontos értékek az adott műszer gépkönyvéből olvashatók ki.

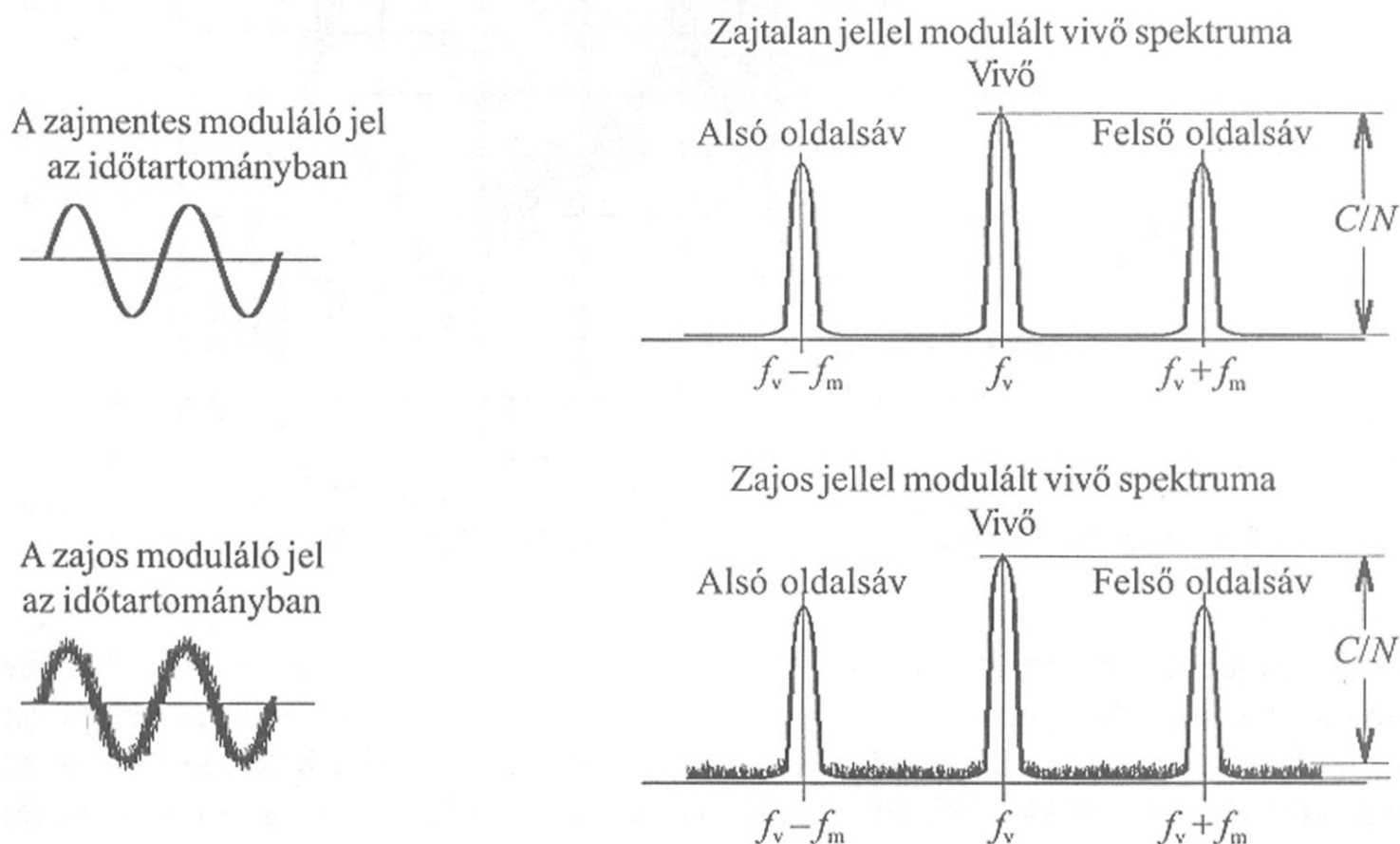
Példaként megemlítjük, hogy az egyik készülék gépkönyvében a gyártó ezeket a hibákat összevontan adja meg, és a zaj pontos szintjét akkor kapjuk meg, ha a leolvasott értéket 1,98 dB-lel megnöveljük. A mai mikroprocesszoros spektrumanalizátorokban már az alapkivitelek is tartalmaznak néhány segédprogramot a zaj méréséhez, azonban a komolyabb szoftvereket többnyire külön opcióként kell megvásárolnunk. Néhány mikroprocesszorral vezérelt típus elvégzi az ismertetett korrekciókat és számításokat, és 1 Hz sáv szélességre vonatkoztatva adja meg a zaj teljesítménysűrűségét. Az ilyen analizátoroknál 67 dB hozzáadásával kapjuk meg az 5 MHz-re vonatkoztatott zajszintet. Az elmondottakkal azt kívántuk érzékeltetni, hogy mennyire bonyolult és nehézkes a zaj szintjének megmérése a gyakorlatban, ezért célszerű a mérés előtt tanulmányozni a műszer gépkönyvét.

A zajszint mérésének pontossága a gyakorlatban 3 és 10 dB (kb. 30 – 300%) közötti. A pontosság zajgenerátorral és csillapítóval történő hitelesítéssel növelhető, de a 3 dB-nél pontosabb mérések már igen költségesek. A vivő és a zaj szintjének ismeretében a C/N érték a definíció alapján már könnyen kiszámítható.

A televízió csatornák esetében a vivő-zaj viszony értékét akkor tudjuk legpontosabban megmérni, ha először a modulált képvivő szintjét mérjük a szinkroncsúcson, majd kikapcsoljuk a modulációt és megmérjük a zaj szintjét a képvivő feletti 5 MHz-es tartományban. A video-automatikával rendelkező modulátorokat a mérés idejére kézi üzemmódra kell állítani.

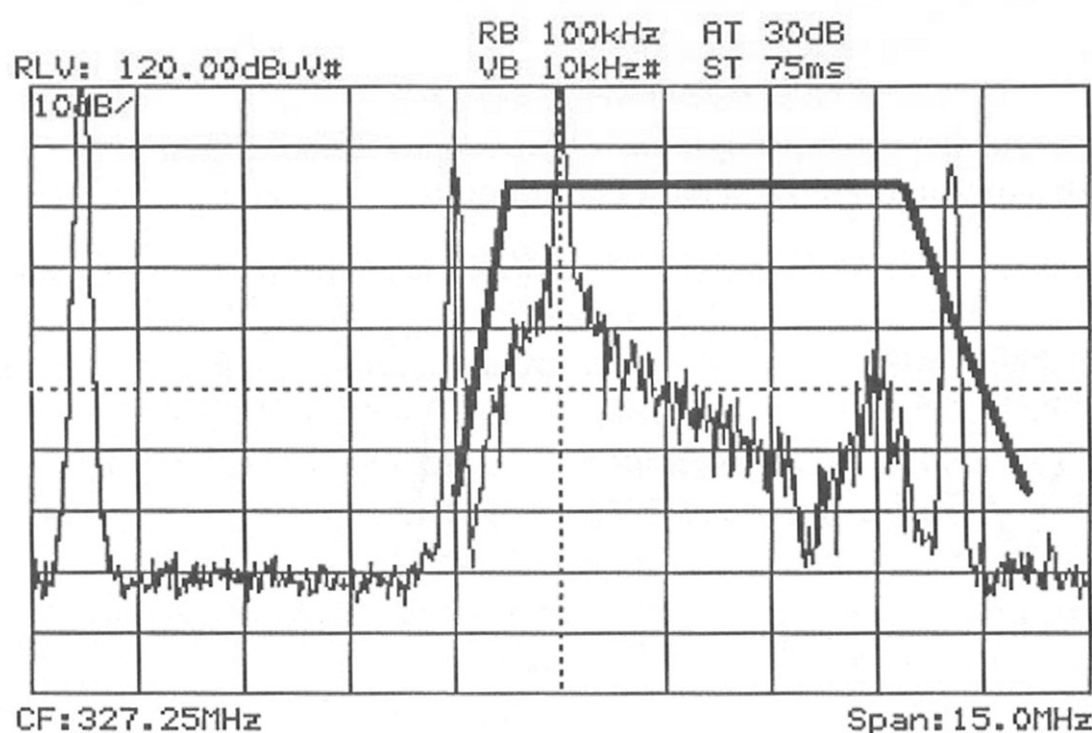
A KTV szolgáltatás minőségének fejlődése egyre kevésbé engedi meg, hogy a műsorszolgáltatást méréseinkkel zavarjuk, ezért egyre inkább rá vagyunk kényszerítve a sokkal pontatlanabb, műsor alatti zajmérésre. A műsorsugárzás alatti mérések megvalósíthatóságának vizsgálata előtt nézzük meg röviden, hogy a modulálójel jelenléte hogyan befolyásolja a C/N értékét.

Amplitúdómoduláció esetén a szinuszos modulálójel két oldalsávot hoz létre a vivő mellett. Zajmentes modulálójel esetén a vivő környezetében csak a vivő zaja van jelen. Zajos modulálójel esetén a modulálójel zaja a modulálójellel együtt felkerül a vivő oldalsávjaiba és hozzáadódik a vivő zajához. Ezt követően a két zaj már sohasem választható szét. Ilyen esetben a vivő-zaj viszonyra a ténylegesnél rosszabb értéket mérünk, mivel a vivő zajához hozzámérjük a modulálójel zaját is. Az elmondottakat szemléltetjük a 4.3.7. ábrán.



4.3.7. ábra. A moduláló jel zajának hatása a mért C/N értékre

A 4.3.8. ábrán egymás mellett ábrázoltuk a modulálatlan és a modulált televízió csatornák spektrumát. Az ábrán jól látható, hogy műsor közben a videojel átvitelére használt frekvenciatartomány teljesen telített, és az összetevők szintje lényegesen magasabb a zaj szintjénél. Az ábrába rajzolt vastag fekete vonal a csonka oldalsáv amplitúdómodulált jel számára biztosított helyet mutatja, mint azt a 4.2.3. ábrán korábban láttuk. Ezek után a moduláló videojel tartományán kívül már csak két helyen kínálkozik lehetőségünk a mérés elvégzésére. Az egyik a csonka oldalsáv alja, a másik a felső oldalsáv teteje és a hangvivő közötti tartomány. Mivel ez utóbbi gyakorlatilag összeér a hangvivő tartományával, a csonka oldalsáv alja kissé alkalmasabbnak mutatkozik. A B szabvány szerinti (VHF sáv, 7 MHz-es csatornaraszter 5,5 MHz-es hangvivővel) átvitelnél a mérés elvégzése még ezen a helyen is meglehetősen nehézkes. A G szabvány esetén (UHF sáv, 8 MHz-es csatornaraszter 5,5 MHz-es hangvivővel) már lényegesen jobb a helyzet, mivel ott a hangvivő után egy 1 MHz nagyságú üres tartományunk van. Ez az 1 MHz-es üres tartomány mindig jusson az eszünkbe, ha sztereo átvitelt akarunk kiépíteni, vagy méréseket akarunk végezni a rendszeren, mivel igen sok feladat megoldható ennek kihasználásával.



4.3.8. ábra. Az oldalsávok elhelyezkedése a televízió csatornák esetében

A B szabványú átvitel esetén a műsortovábbítás közbeni zajméréshez a csonka oldalsáv alsó szélén meglehetősen korlátozottan ugyan, de mutatkozik némi lehetőség, valamivel az alsó szomszéd hangvivője felett. A mérés pontos helye nem adható meg, mivel az alatta lévő hangvivő oldalsávja (frekvencialökettől függően) zavarhatja a mérést. A mérés helyét úgy kell kiválasztani, hogy a hangvivő oldalsávja már ne befolyásolja zajmérésünket. Abban sem lehetünk biztosak, hogy a csonka oldalsáv maradék összetevői sem fogják zavarni a mérést (a szabvány a hangvivő helyére, $-1,5$ MHz-re ugyan leszívást ír elő, azonban ennek mértéke kisebb, mint amire szükségünk volna), ezért ebben a tartományban

jelminimum keresésével kell megkeresni a mérés helyét, és a jelminimumon kell meghatározni a jel (pontosabban feltételezzük, hogy itt már nincs jel, akkor pedig a zaj) szintjét. A mérés pontatlansága arányos a felsorolt bizonytalansági tényezőkkel, azonban ennél jobb lehetőségünk nincs a mérés elvégzésére. A mérés pontossága annál jobb, minél zajosabb a jel. Amikor a C/N értéke 30 és 40 dB körüli értékre adódik, a mérés pontossága egészen jó, a 40 és 50 dB közötti tartományban még elfogadható. Az 50 és 60 dB közötti tartományban érdemes erősen megfontolni a mért értékek pontosságát, és az eredményeket más módon is igazolni. A 60 dB feletti tartományban ne tekintsük túlzottan komoly-nak az eredményeket, ha biztosak akarunk lenni a dolgunkban más módszerrel is igazoljuk a mérési eredményeket. A legpontosabb mérések műsoridőn kívül, hiteles zajgenerátor és csillapító felhasználásával, összehasonlításos módszerrel végezhetők. A jövőben sem várható, hogy a pontos mérések elvégzéséhez szükséges eszközök megtalálhatóak lesznek a fejállomásokon, ezért a velük való méréseket nem ismertetjük.

A C/N érték üzem közbeni mérésére bemutatott módszert a jelet előállító készülék, a tv-modulátor oldaláról is érdemes röviden megvizsgálni. A készülék oldaláról vizsgálva a mérési módszert, elsősorban az 50 dB feletti értékeknél adódnak problémák.

Amennyiben a tv-modulátorban a csonka oldalsávot kialakító szűrő csillapítása a vivő alatti 1,3...1,5 MHz-es tartomány egy részén eléri az 50 dB-t, lehetőségünk nyílik arra, hogy 60 dB körüli értékeket is mérjünk. Ha ugyanitt a szűrő csillapítása kisebb, rosszabb értékeket mérhetünk a ténylegesnél, mivel az oldalsávot is belemérjük. Amikor a mért érték nagyon ingadozik, vélhető, hogy az oldalsávot is belemérjük. A kábeltelevíziós rendszerekben végzett méréseknél azt is figyelembe kell vennünk, hogy egyidejűleg több televízió- és rádiócsatorna van jelen. A szomszédos csatornák modulációja hasonló módon zavarhatja a mérést, mint a mért csatorna modulációja. A zavartatás az alsó csatorna modulációjának kikapcsolásával szüntethető meg.

Azon típusú fejállomásokban, amelyek kimeneti szűrőt tartalmaznak vagy amelyekben a kimeneti jeleket hangolt körökkel összegzik, a vivő alatti 1,3...1,5 MHz-es tartományban már jelentős, 10...20 dB nagyságú csillapítás is felléphet. Az ilyen modulátoroknál és konvertereknél ezzel a módszerrel annyi dB-lel mérünk jobb C/N értéket a valóságosnál, ahány dB-t esik az amplitúdójelleggörbe a mérés helyén.

A nagy csatornaszámú rendszerek mérésénél ne felejtjük el, hogy a spektrumanalizátorok bemeneti keverőjének kivezérlését a csatornaszám növelésével ugyanúgy csökkenteni kell, mint az erősítőkét: két csatornánál 3 dB-lel, négy csatornánál 6 dB-lel, nyolc csatornánál 9 dB-lel stb. A bemeneti csillapító beállítása akkor helyes, ha az analizátor „nem nyomja a vivők tetejét”. A csillapító feltekerésének viszont az a következménye, hogy analizátorunk felbontóképessége fokozatosan csökken, azaz csak a gyengébb C/N értékek mérésére lesz alkalmas. Ezen a problémán bemeneti sávszűrő alkalmazásával segíthetünk. Erre a célra hangolható és fix sávszűrők egyaránt használhatók. A hangolható kivitelűek drágák, a fixen hangoltak sokkal olcsóbbak, de erősen korlátozzák lehetőségeinket.

4.3.4. A spektrum tisztasága

A KTV fejállomás minőségi jellemzői közül talán legfontosabb a kimeneti jel spektrumának tisztasága. A televíziós képen a zajos, szemcsés vagy elszíneződött részek kevésbé zavarják a műsor élvezetét, mint azok a zavaró jelek, amelyek vonagló vagy futó csíkként jelennek meg a képen. A zavaró jelek minőségrontó hatása szintjükkel arányos, ezért a zavaró összetevőket mindig a szintezés után kell alaposan elemezni.

A KTV fejállomás kimeneti jelébe a zavaró jelek (oszillátor jelek, harmonikusok stb.) a jelfeldolgozó készülékek áramköreiből ugyanúgy belekerülhetnek, mint a konverterek hasznos kimeneti jeléből (a vett jel közelében lévő zavarok átkeverésével). Olyan fejállomás nem létezik, amelyben ne lennének zavaró jelek, azonban a jó minőségű fejállomásokban ezek a zavaró jelek sokkal kisebbek, mint a gyengébb minőségűekben.

Bizonyítható, hogy ha a televíziós csatornában a zavaró jel szintje 60 dB-lel kisebb, mint a képívő szintje, akkor azt a legkritikusabb, legjobb szemű néző sem veszi észre a tv-képen. Ezért arra kell törekednünk, hogy a hasznos jelek mellett megjelenő zavaró jelek szintje a rendszer kimenetén 60 dB-lel a referenciaszint alatt legyen. Ha ez a feltétel teljesül, biztosak lehetünk, hogy a képek minősége még nagy csatornaszám mellett is kifogástalan.

Amikor a -60 dB-es szint felett találunk zavarójelet a kimeneti jelben, először azt kell megvizsgálunk, hogy a beállítások pontosításával vagy alkatrészcserevel stb. a kívánt szint alá csökkenthető-e a zavaró jel. Amikor azt találjuk, hogy technikailag megoldhatatlan a zavar elnyomása, második lépcsőben azt kell megvizsgálunk, hogy a képívőhöz képest hol helyezkedik el ez a zavar. A szakirodalomban a PAL és a SECAM átviteli csatornára is található olyan görbe (ún. „védelmi arány” görbe), amely a zavarójellel szembeni érzékenységet vagy érzéketlenséget tünteti fel. A görbéről leolvasható, hogy a televíziós csatorna a képívőtől $+3$ MHz-re eső tartományában a legkevésbé érzékeny a zavarokra, itt még a -40 ... -50 dB-es szinten lévő zavarok sem nagyon látszanak a képen. Ettől a ponttól távolodva az érzékenység folyamatosan nő. Ezt a viszonylagos érzéketlenséget használják ki egyes fizető-tv megvalósítására szolgáló kódolók, amelyek ide teszik a zavaró jelet, amelyet a kódolóval rendelkező előfizetőnél egy megfelelően méretezett szűrő eltávolít. További érzéketlen pontokat találunk a csonka oldalsávon, a képívő alatt, a -1 MHz körüli tartományban.

4.3.5. Az MSZ EN50083-1 és MSZ EN50083-5 szabványok előírásai

Az Európai Elektrotechnikai Szabványosítási Bizottság (CENELEC) által kidolgozott szabványok közül döntően kettő érinti a kábeltelevízió fejállomásokat. Az MSZ EN50083-1 szabvány a Kábeles kép- és hangjel elosztó rendszerek biztonsági követelményeivel

foglalkozik, az MSZ EN50083-5 szabvány pedig a fejállomás műszaki jellemzőit tárgyalja. A teljes rendszer paramétereit az EN50083-7 szabvány adja meg.

MSZ EN50083-1 szabvány a hang-, kép- és adatjelek vételére, feldolgozására és elosztására szolgáló telepített rendszerek és elemeik biztonsági követelményeivel foglalkozik. A szabvány előírásai a vevőantennától az előfizetői aljzatokig valamennyi elemre kiterjednek, függetlenül attól, hogy azok egy nagyméretű kábeltelevíziós hálózat, vagy egy egyedi vételre kiépített antennarendszer elemei, de már nem foglalkoznak a végberendezésekkel és a vevőkészülékekkel. A szabvány kizárólag a rendszer, a rendszeren munkát végző személy és az előfizetők biztonságára vonatkozik.

A szabványban a fogalom-meghatározások után az általános követelményekre, az időjárásállóságra, az egyenpotenciálú összekötésre és földelésre, az erősáramú hálózati táplálásra, a kábelhálózatok távtáplálására, az antennarendszerek telepítésére, az előfizetői (fali) csatlakozó és átadási pontokra és a villámvédelemre vonatkozóan találunk előírásokat.

MSZ EN50083-5 szabvány a KTV rendszeren továbbított jelek minőségi paramétereivel foglalkozik. A szabvány nagyon helyesen azokat a minimális követelményeket igyekszik összefoglalni, amelyekkel biztosítható az előfizetők jó minőségű jellel való ellátása. A jó minőség egy általánosan elfogadhatónak tekintett minőség, és nem jelenti azt, hogy a szolgáltató nem biztosíthat ennél sokkal jobb minőséget. Amikor a szabványban körvonalazott minőségi szintet nem érjük el, várható, hogy az előfizetők részéről kisebb-nagyobb minőségi reklamációk lesznek.

A szabvány igen helyesen a gyártóra és a KTV rendszer üzemeltetőjére bízta, hogy hogyan éri el a szabványban leírt követelményeket. A szabvány a KTV fejállomás minőségére vonatkozó követelményeket az elosztó hálózat nagyságának és minőségének a függvényében javasolja meghatározni, és az üzemeltetőre bízta, hogy milyen szolgáltatásokat alakít ki a hálózaton (pl. mono vagy sztereo átvitel, szabadon vehető vagy kódolt csatornák, szabadon választható a kódolás módja is stb.), milyen módon juttatja el a jelet az előfizetőhöz (üvegszálalás átvitel vagy koaxiális kábel, ill. ezek kombinációja), azonban azt megmondja, hogy az előfizetőhöz érkező jel minősége legalább milyen legyen.

A szabvány a fogalom-meghatározásokat követően sokat foglalkozik a műszaki jellemzők értelmezésével és mérésével. A külső érdeklődő számára a szabvány szövege meglehetősen nehezen értelmezhető, a szabvány alkotói által megfogalmazott tartalom megértéséhez komoly szakmai képzettség és némi szakmai gyakorlat is szükséges. A mérési módszerek sorában elsőként az intermodulációs torzítások értelmezése és mérése kerül egységesítésre. Ezt követi a vivő-zaj arány (C/N) értelmezése és mérése. Mindkettő elsősorban laboratóriumi körülmények figyelembevételével készült, az üzem közbeni módszerek kidolgozása ránk van bízva. Ennek kihangsúlyozása azért fontos, mert a kettő között komoly eltérések lehetnek, mint ahogy azt a 4.3.3. pontban láttuk.

A szabvány a televíziótechnikai mérések sorában a differenciális amplitúdó- és a differenciális fázistorzítás mérését, a csoportfutási-idő ingadozás mérését és a világosságjel nemlineáris torzításának mérését is definiálja. Külön ki kell emelni, hogy röviden

foglalkozik a vizsgálósoros mérések néhány egyszerűbben elvégezhető változatával és kiértékelésével. A szabvány végén a jellemzők értékeire kapunk táblázatos útmutatót. Javasolható, hogy a kábeltelevízió hálózat tervezőjénél vagy a rendszer műszaki vezetőjénél mindkét szabványból legyen másolat, amelybe szükség esetén bele lehet tekinteni.

4.4. A kábeltelevíziós fejállomások tervezésének szempontjai

A KTV fejállomások tervezése ma már elsősorban gazdasági kérdés, a műszaki tervezést ennek kell alárendelni. A KTV rendszereket profitot termelő vállalkozásként kell kezelni, a kábeltelevíziós fejállomás ennek a vállalkozásnak része. A tervezés legfontosabb kiinduló adatai: az üzleti terv, a befektetésre kerülő tőke nagysága, a megtérülési idő és a kitermelendő profit nagysága. A jó műszaki szakemberek vállalkozási ismeretei gyakran hiányosak, ezért a tervezés megkezdésekor szükség szerint célszerű médiaszakértőket és gazdasági szakembereket is bevonni a munkába.

Magas műszaki színvonalú, stabilan működő fejállomásnak a hosszú távra tervezett, fixen hangolt rendszerek tekinthetők. Európa közepén a kábeltelevízió rendszerek telepítése másfél évtizede kezdődött. Az eltelt időszakot meglehetősen változatos és többnyire tőkehiányos állapot jellemezte, így a hosszú távra tervezett, gondosan megépített kábeltelevíziós rendszerek nem tudtak kialakulni. Ebben a helyzetben elsősorban a programozható, a pillanatnyi igényekhez gyorsan igazítható készülékeket telepítették. A következő évtizedre hasonlóan változatos időszak jósolható, mivel az analóg technikáról rövidesen át kell állnunk a digitális technikára.

A tervezés első lépéseként a rendelkezésre álló gazdasági adatok alapján ki kell választani azt a céget, amelynek terméke alkalmasnak látszik a feladat megoldására. A beszerzési ár mellett nagyon fontos tényező a megépített fejállomás üzemeltetési és karbantartási költsége, valamint a továbbfejleszthetőség kérdése.

A fejállomás típusának kiválasztása kizárólag a műszaki adatok alapján nem végezhető el, a kiválasztás nehezen megfogalmazható, de fontos szempontjait a 4.6. alfejezetben foglaltuk össze. A fejállomás típusának kiválasztását követően a gyártó elemválasztéka és tervezési segédlete alapján kell elvégezni a tervezést.

Több cég termékéből összeválogatott vegyes fejállomás építése nem ajánlható, mivel mind az építés, mind az üzemeltetés során sok lesz a kompatibilitási probléma. Amikor idegen gyártók termékét vagyunk kénytelenek a fejállomásba építeni, törekedjünk arra, hogy a lehető legkevesebb gyártó termékét kelljen alkalmaznunk.

A kábeltelevízió eddig is dinamikusan fejlődő iparág volt, de a jövőben a fejlődés üteme a számítástechnikával összefonódva még dinamikusabb lesz. Ezt a kábeltelevízió fejállomások tervezésénél a további egységek helyének és csatlakoztatási pontjainak biztosításával tudjuk figyelembe venni.

A kábeltelevíziós fejállomást olyan központi teremben célszerű elhelyezni, amelyhez iroda, raktár és egyéb kisebb szobák is tartoznak. Igen előnyös, ha a központi teremben légkondicionáló berendezés is van. Fűtésre szinte soha nincs szükség. Néhány évtizeddel ezelőtt még igen nagy gonddal történt a fejállomás helyének megválasztása, mivel a műsorok többségét a földi adóállomások szolgáltatták, és a fejállomást dombra, vagy hegytetőre kellett építeni, hogy a rádió és televízió adások vétele zavarmentes legyen. A műholdas műsorsugárzás terjedésével a szempontok módosultak, egyre több parabola antennát kell a fejállomás közelében elhelyezni. A parabola antennák számára a rálátás biztosítása mellett, a szélcsendes, rázkódásmentes, védett helyek a legmegfelelőbbek.

Az antennákat úgy kell elhelyezni, hogy a levezető kábelek a lehető legrövidebbek legyenek. Levezető kábelnek mindig jó minőségű, kis csillapítású kábelt kell betervezni. A fejállomáshoz történő csatlakozás előtt célszerű elosztótáblát kialakítani, ami lehetővé teszi, hogy az utolsó néhány méteren hajlékonyabb, vékonyabb kábelre térjünk át. Az elosztótábla legtöbbször fém lapra szerelt F-F csatlakozó átmenetek sorozatából áll, és a tábla földelésével oldják meg a másodlagos villámvédelmet is. A másodlagos villámvédelem feladata, hogy villámcsapás esetén a szabályosan földelt antennákról mégis a fejállomás felé induló áramok levezetése még a fejállomás készülékeinek bemeneti csatlakozói előtt megtörténjen. Kissé biztonságosabb megoldás, ha az elosztótábla előtt a levezető kábelek külső árnyékolását földeljük le. A két megoldás egyszerre is használható.

A fejállomások egységeinek elhelyezésére szabványos, 19"-os műszerszekrényeket használunk egymás mellé építve, a rendelkezésre álló hely függvényében egy vagy több sorban. A szekrények közötti kábelezés a padozatban elhelyezett vagy a műszerszekrények tetejére épített kábelcsatornában történhet. A műszerszekrények alatti kábelcsatornák használata nehezekebb, azonban a fejállomás megjelenése esztétikusabb. A műszerszekrények feletti kábelcsatorna könnyebben kezelhető, azonban gondosabb kivitelezést igényel. A kábelcsatornák elemeit és a műszerszekrényeket érintésvédelmi szempontból földelni kell.

A hálózati tápellátást célszerű műszerszekrényenként szakaszolni, és kismegszakítóval védeni. A készülékek többsége kapcsolóüzemű tápegységgel készül, ezért lassú leoldású és jelentősen túlméretezett biztosítókat kell alkalmazni. A profi berendezések többségénél az indítás késleltetett, annak érdekében, hogy a kisebb-nagyobb hálózati feszültségkimaradások után a feléledés és újraindulás problémamentes legyen.

A készülékek környezeti hőmérsékletét célszerű alacsonyan tartani, ezért a légkondicionáló betervezése minden esetben javasolható. A megfelelő környezeti hőmérséklet mellett a részegységek hűtéséről sem szabad megfeledkezni. Pl. a tervező feladata a 19"-os műszerszekrényekhez ajtók és ventilátorok betervezése. Gyakori hiba, hogy a ventilátorok „rövidzárban” üzemelnek, mivel a műszerszekrényekre nem szereltek ajtót.

A fejállomások készülékeinek összekötéséhez kiemelten jó minőségű összekötő kábeleket és csatlakozókat kell betervezni, mivel a helytelen működést leggyakrabban a nem megfelelő minőségű kábelek és csatlakozók alkalmazása okozza. A gyártó által javasolt kábelek mindig megfelelőek, ettől csak akkor térjünk el, ha ennél is jobb minőségű kábelek alkalmazására nyílik lehetőségünk.

A KTV fejállomások tervezésének további részletei a gyártók tervezési útmutatóiban található. Minden fejállomás tartalmaz egyedi megoldásokat, mindegyikben vannak jobb és rosszabb megoldások, ezért az első fejállomás megtervezése előtt javasoljuk egy hasonló típus üzemi tapasztalatainak elemzését is.

4.5. A kábeltelevíziós fejállomások telepítése

A kábeltelevíziós fejállomások telepítését a központi terem és az antennatorony (antennakert) előkészítésével kell kezdeni. A fejállomás egységek telepítését csak a kőműves- és épületgépészeti munkák befejezése után kezdjük meg. Az antennák szerelését és a fejállomás telepítését a mechanikus munkákkal, a műszerszekrények és kábelcsatornák elhelyezésével kezdjük, ezt követheti az érintésvédelmi, majd a tápellátást biztosító szerelések elvégzése. Az antennalevezető kábelek behúzását követően kerüljön sor az antennák, előerősítők, fejegek és a kábelek csatlakozóinak szerelésére.

A fejállomás készülékeit csak akkor célszerű kicsomagolni és a műszerszekrénybe építeni, amikor az antennajelek rendelkezésre állnak és a műszerszekrények a helyükön vannak. A fejállomási egységek tényleges üzembe helyezésének sorrendjére szigorú szabály nincs, a fejállomás műszaki vezetőjének feladata a munkafolyamat ütemezése. A munka megszervezésénél érdemes figyelembe venni a következőket:

- A telepítéskor minden egységet külön-külön kell beállítani, és ellenőrizni (és csak ezt követően összekötni a következő egységgel), ezért ajánlható a készülékek egymás utáni, egyesével történő feszültség alá helyezése és bekapcsolása.
- A bemeneti egységeket külön-külön úgy kell beállítani, hogy a lehető legjobb minőségű műsorjelet szolgáltatassák, ugyanakkor az automatikák (AGC, AFC) szabályozási tartományuk közepén legyenek vagy attól a telepítéskori körülményeknek (pl. téli hideg, nyári meleg stb.) megfelelően térjenek el.
- A kimeneti egységek mindegyikének tökéletes, a többi csatornát semmilyen formában nem zavaró jelet kell szolgáltatnia. Az összegzőre csak hibátlan jeleket, ill. jelcsoportokat szabad rákapcsolni. Azokat a jeleket, amelyek más műsorokban zavart okoznak, azonnal le kell venni az összegzőről.
- Nagyon fontos szabály, hogy a hibát mindig a keletkezés helyén kell elhárítani, azaz az egyik készülékben keletkezett hibát ne korrigáljuk egy következő egység módosított beállításával.

- A telepítéshez csak jó minőségű kábeleket és csatlakozókat használjunk. A rejtett, hol jelentkező, hol eltűnő zavarok, a megmagyarázhatatlan jelenségek többsége gyenge minőségű kábelek és csatlakozók alkalmazására vezethető vissza. A profi rendszerekben a fejállomás nagyfrekvenciás összekötő kábelezésére a négyszeresen árnyékolt „headend” kábel vagy ezzel egyenértékű típus ajánlható.

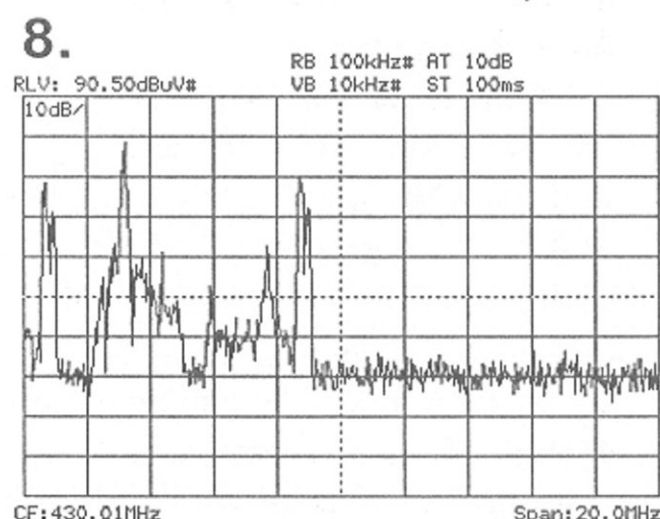
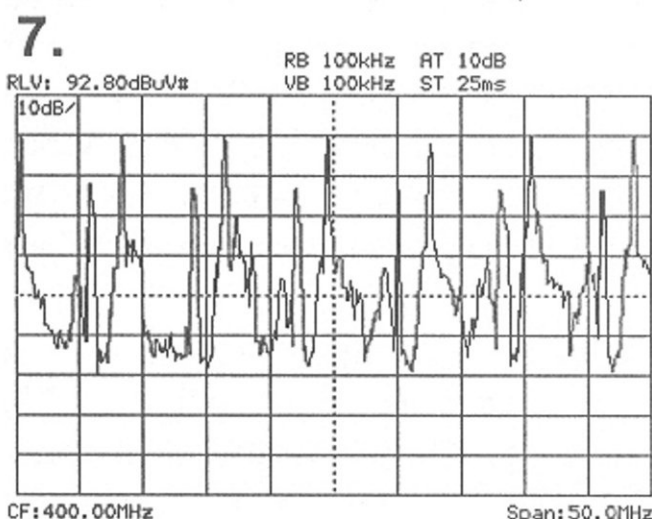
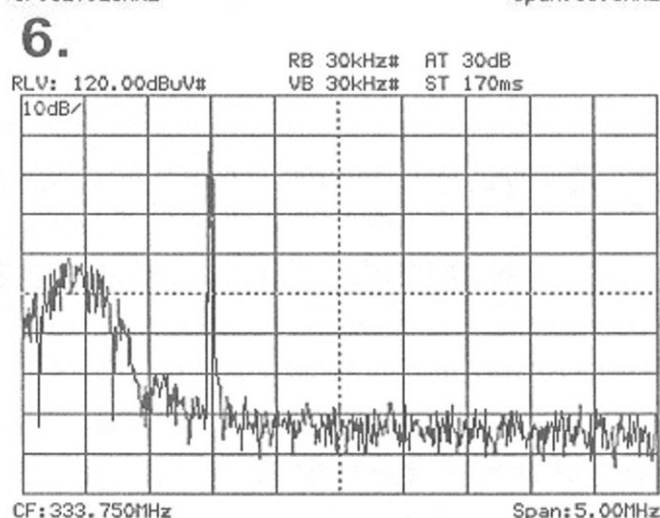
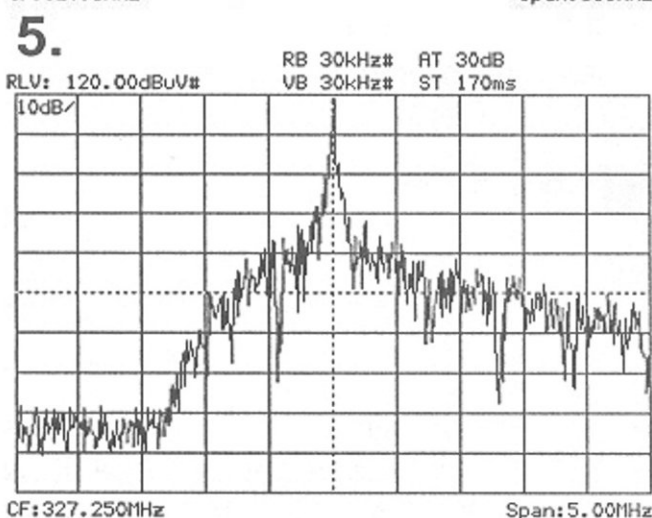
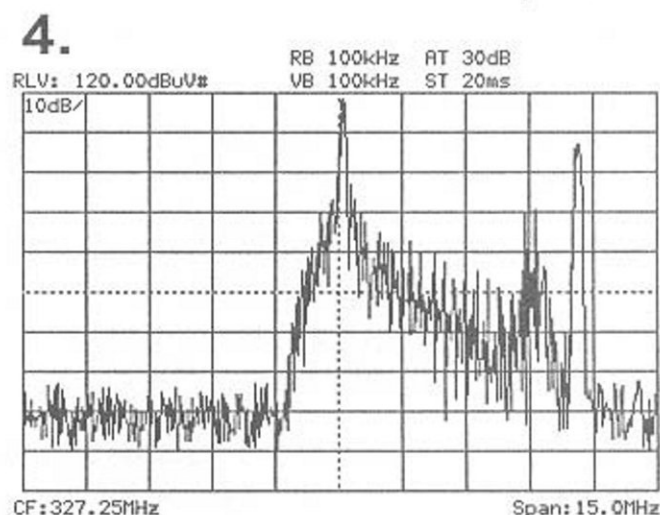
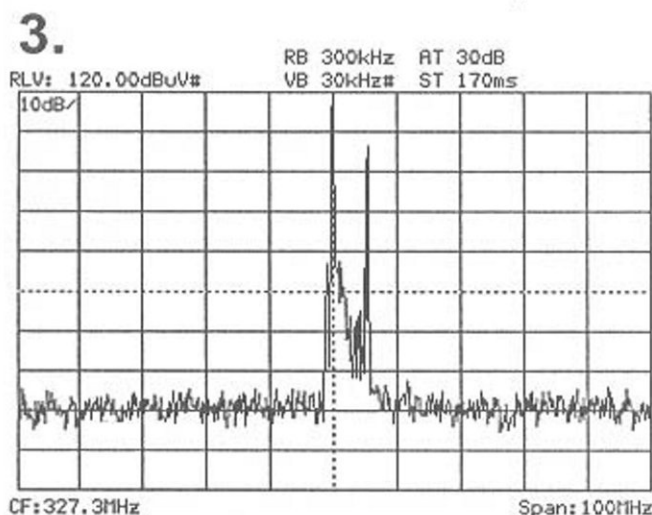
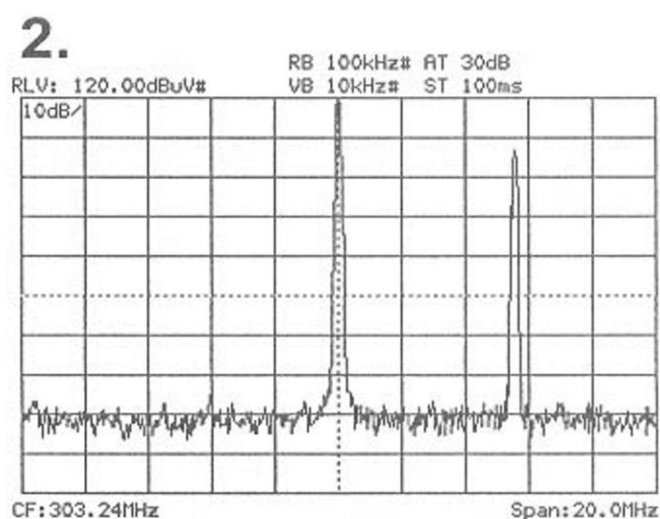
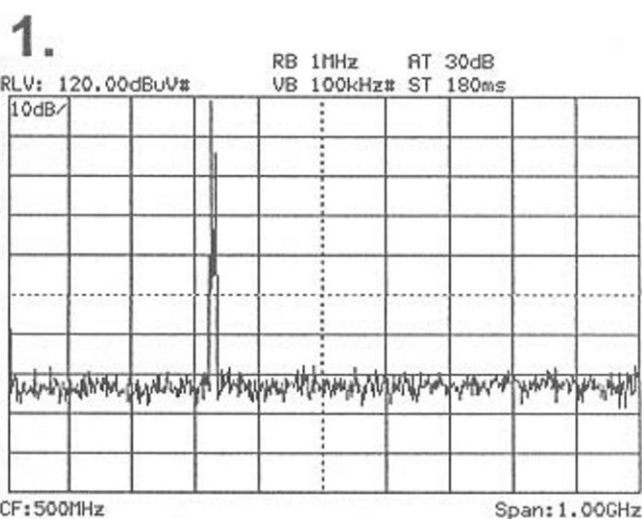
A kábeltelevíziós fejállomások egységeinek beállítása nagymértékben függ a készülékek típusától és gyártójától, ezért a telepítés megkezdése előtt alaposan át kell tanulmányozni az egységekhez mellékelt kezelési utasításokat. A bemeneti oldalon egy-egy hibás beállítás csak az érintett műsor vételénél okoz hibát, így a hiba helye könnyen behatárolható, a beállítás módosítható. A kábeltelevízió fejállomás lelke a kimeneti oldal, ennek helyes vagy helytelen beállítása döntően befolyásolja a kimeneti jel minőségét, ezért a kimeneti oldal beállítását megkülönböztetett figyelemmel kell elvégezni. A helyes működés és a jó minőség legfontosabb követelményeit a 4.5.1. ábra spektrumkép sorozatán keresztül szemléltetjük. Az ábra felvételei egy CW-3164 típusú tv-modulátorral készültek. A mérések elvégzéséhez legalább közepes minőségű spektrumanalizátor szükséges, az olcsó, „barkács” műszerek ilyen mérések elvégzésére nem alkalmasak.

A 4.5.1. ábrán látható felvételek értelmezése:

1. A kimeneti egységek mindegyikének csak saját csatornájában szabad jelet szolgáltatnia, a csatornán kívüli tartományoknak teljesen tisztának, zavaroktól mentesnek kell lenniük. A 4.5.1. ábra első felvételén a hipersáv alsó részére programozott tv-modulátor kimeneti jele látható a 0...1000 MHz-es frekvenciatartományban. A kimeneti szint 120 dB μ V, a vivők modulálatlanok. A 120 dB μ V-os szint alatti 70 dB-es tartomány szép tiszta, mindennemű zavarjeltől mentes. A minimális követelmény az, hogy a zavarok a -60 dB-es szint alatt legyenek.
2. A második felvételen ugyanez a jel látható a képvivő 20 MHz-es környezetének kinyújtásával. A felbontás sáv szélességét (RES BW vagy RB) 1 MHz-ről 100 kHz-re csökkentve a jel tisztaságát most már 80 dB mélységig tudjuk elemezni. Gyengébb minőségű készülékeknél előfordulhat, hogy a harmonikusok ($2 \cdot f_{\text{képvivő}}$, $3 \cdot f_{\text{képvivő}}$ stb.) szintje vagy a képvivő alatt megjelenő hangvivő ($f_{\text{képvivő}} - f_{\text{icarhangvivő}}$) szintje esetleg a -60 dB-es szint fölé nyúlik. Szelektív összegző alkalmazása esetén elegendő, ha a -60 dB-es követelmény a szelektív összegző szűrője után teljesül.
3. A harmadik felvétel a moduláció bekapcsolása után mutatja a vivő 100 MHz-es környezetét. A kimeneti jelnek a vivőtől távoli tartományokban ilyenkor is változatlanul zavarmentesnek kell maradnia.
4. A negyedik felvétel a modulált jel 15 MHz-es közeli tartományát mutatja. Ebben a beállításban már ellenőrizhető a hangvivő szintje (az ajánlott szint: -13 ... -15 dB között van), ha előzőleg pontosan beállítottuk a modulációs mélységet. A tv-modulátorok mérésénél mindig óvatosan kell kezelni a moduláció bekapcsolásához tartozó és a modulálatlan állapothoz tartozó kimeneti szintet, mivel a két érték eltérő lehet. Az üzemi állapot az, amikor a moduláció be van kapcsolva, a kikapcsolt moduláció esete

általában nincs specifikálva. Ezen a felvételen azért állítottuk a vízszintes eltérítést 1,5 MHz/div-re, hogy a csonka oldalsáv kiértékelhetőségét megkönnyítsük.

5. Az ötödik mérésnél a csonka oldalsáv spektrumát tovább nagyítottuk 0,5 MHz/div-re. Ebben az állásban jól ellenőrizhető, hogy a modulátor a képvivő alatt három kockával (-1,5 MHz) szabadon hagyja-e a szomszéd csatorna hangvivőjének frekvenciáját. Az ábra szerint a képvivő alatt 1,5 MHz-re a spektrum szép tiszta, modulátorunk csonka oldalsávja kismértékben sem zavarja az alsó szomszéd fő hangcsatornáját. Szép feladat a sztereo hang második hangvivőjének vagy a Nicam vivőnek a berajzolása az ábrába, majd a zavartatás mértékének meghatározása. A feladat elvégzése legalább egyszer minden kábeltelevíziós szakember számára javasolható, mivel jól rávilágít az analóg rendszerek hiányosságaira. A bemutatott csonka oldalsáv jelleggörbe a szabvány követelményeit messzemenően kielégíti, így a tapasztalt átlapolódás, azaz egy kisebb fokú zavartatás még a legjobb rendszerek esetében is fennáll.
6. A hatodik felvétel a hang oldalt mutatja ugyanilyen vízszintes eltérítés mellett. Ennek az oldalnak a vizsgálatára a sztereo átvitelnél kell nagy gondot fordítani. Ezen az oldalon arról kell meggyőződnünk, hogy nem zavarjuk-e majd a hangvivő felett 1,5 MHz-re beültetendő szomszédos képvivőt.
7. A 7. felvételen már az összegzett kimenőjelből mutatunk be egy 50 MHz-es tartományt. Mint látható, az összegzés után már sokkal nehezebb elvégezni a fenti méréseket, ezért a telepítéskor törekedjünk a kimeneti jelek elkülönített vizsgálatára. Az összegzett kimeneten kell elvégeznünk a jelek szintezését. Modulált jelek esetében a képvivők csúcsai a moduláció pillanatnyi értékének függvényében „ugrálnak”, ezért a pontos szintezéshez vagy nagyobbra kell állítanunk a felbontás sáv szélességét, vagy be kell kapcsolnunk a max. értékek tárolását („max hold” üzemmód). A mérés pontossága jelentősen növekszik a függőleges felbontás növelésével. Az 1 dB/div-es, esetleg a 2 dB/div-es üzemmód használatát javasoljuk.
8. Amikor a kimeneti egységek jelei a fenti követelményeknek már megfelelnek, várható, hogy az összegzett kimeneti jel is jó lesz, ha jó minőségű az összegzőnk. Az összegzők leggyakoribb hibája, hogy nem biztosítanak megfelelő elválasztást a készülékek kimenetei között, és a készülékek kimenetére visszajutó összegzett jel erős zavarokat hoz létre a kimeneti fokozatokban. Az összegzett jelen végzett méréseknél nehezíti a helyzetünket, hogy a spektrumanalizátor felbontóképessége a csatornaszám függvényében romlik, mivel vissza kell vennünk a kivezérlest, és a sok jel között meglehetősen nehéz a zavarok felismerése. Az elvesztett felbontóképességet előszelekcióval, bemeneti sávszűrő alkalmazásával nyerhetjük vissza, a zavarok megkeresését üres frekvenciatartományok vizsgálatával könnyíthetjük meg. A 8. képen az összegzett jel egy részben üres tartománya látható, amelynek olyan zavarmentesnek kell lennie, mint azt korábban láttuk. Hasonlóan zavarmentes tartományokat kell látnunk a kimeneti jelben, ha az összegzőre menő jelek vagy jelcsomagok egy részét a mérés idejére levesszük az összegzőről.



4.5.1. ábra. Nyolc spektrumkép a kábeltelevízió fejállomás kimeneti jeleiről

Vizsgálódásunkban csak a tv-csatornák jelével foglalkoztunk, mivel ezek a legbonyolultabb és legösszetettebb jelek. Hasonlóan kell eljárni a rádióműsorok jelénél és minden egyéb közösítendő jelnél is. Az FM-rádióműsorok jelét általában a képvivők szintjénél 10 dB-lel kisebbre színtezzük. Az abszolút és relatív jelszintek a különböző fejállomásokban kissé eltérhetnek, ezért mindenhol csak tájékoztató adatokat adtunk meg. A pontos adatokat a fejállomás tervezője határozza meg, és a rendszertervben rögzíti.

Azokban az összegzőkben, amelyekben az összegzett kimeneti szint állítható, először kisebb kimeneti szint mellett kell előállítani a jó kimenő jelet, majd az összegzett jel szintjét kell a lehető legnagyobb értékre állítani a jó C/N érték elérése érdekében.

A fejállomás bemeneti és kimeneti fokozatainak összekapcsolása és ellenőrzése után kezdődik a próbaüzem, aminek már valós körülmények között, folyamatos 24 órás üzemnek kell lennie. A próbaüzem időtartama változó, de nem ritka az egy, vagy több hónapos próbaüzem sem. A próbaüzem végén a fejállomás valamennyi paraméterének beállítását aprólékosan ellenőrizni kell. Ilyenkor kell a modulációs mélységek, a frekvencialöketek és a vivők nagyságát stb. utoljára ellenőrizni, és ha szükséges korrigálni, mivel ettől az időponttól kezdve a fejállomásnak hosszú ideig tökéletesen és hibátlanul kell működnie.

A telepítés a próbaüzem végén, az üzemeltetők részére történő átadással fejeződik be. Hasznos dolog a fejállomás mért paramétereit az átadási jegyzőkönyvben is rögzíteni.

4.6. A fejállomások kialakításával kapcsolatos kérdések

A kábeltelevízió szakma az utóbbi évtizedekben a televízió-adástechnikából fejlődött ki. Az 1960-as és az 1970-es években a közép- és a felsőfokú oktatásban a televíziótechnika volt a központban, ez képviselte a kor legfejlettebb technikáját. A '80-as évek közepétől a számítástechnika kiszorította erről a helyről: a számítógép, majd a mobiltelefon vette át a vezető szerepet. Mivel a televíziótechnika egyre kisebb helyet kap az oktatásban, egyre kevesebb szakember látja át teljes mélységében ezt a technikát, egyre kevesebben foglalkoznak az apró részletekkel. A könyv megírásánál a mi célunk sem volt több mint a napjainkban legfontosabbnak ítélt ismeretek összefoglalása, a különböző megoldások részletes elemzésére itt sem kerülhetett sor.

A kábeltelevízió rendszerek tervezését, üzemeltetését és javítását figyelve gyakran látunk olyan problémákat, feladatokat, amelyek egyszerűen és gyorsan megoldhatók lennének mélyebb szakmai ismeretek birtokában. A következőkben a teljesség igénye nélkül beszélünk ezekről a témákról azzal a céllal, hogy útmutatást adjunk a szakma iránt mélyebben érdeklődők, a döntéseket hozó vezetők és a problémákkal bajlódó szerelők számára.

Ugyanúgy, mint a többi szakmában, a kábeltelevíziósok körében is gyakrabban felmerülő kérdések a következők:

- Mitől profi a profi berendezés?
- Mennyit érnek a különböző megoldások?
- Meddig terjed az olcsó termékek alkalmazhatósága?
- Melyik rendszerben milyen megoldás alkalmazása célszerű vagy szükségszerű?

Összeállításunkban most olyan szemmel nézzük a fejállomásokat, hogy ezekre a kérdésekre megadhassuk a válaszokat, azonban kerüljük az éles határvonalak megrajzolását. Munkája során a végső következtetéseket a feladatok és a lehetőségek függvényében mindenkinek önállóan kell megtennie.

Mi a különbség a profi és a kommersz fejállomás között?

Elsősorban a kábeltelevízióhoz szakmailag kevésbé értők teszik fel ezt a kérdést két kábeltelevíziós fejállomás néhány oldalas ismertetőjét összehasonlítva. Az adatlapokat áttanulmányozva azt kell mondanunk, hogy semmi, de az is előfordulhat, hogy a sokkal olcsóbb termék az adatlap alapján jobbnak mutatkozik. A helyes válasz megtalálásához másként kell a témához közelíteni.

Vegyünk kezünkbe egy tv-vevőkészülék katalógust és nézzük meg milyen adatokat tesznek közzé a legjobb márkák gyártói és az ugyanolyan terméket fele- vagy harmadáron kínáló tömeggyártó cégek. Ne lepődjünk meg, ha az olcsó termék adatlapja részletesebb, esetleg előnyösebbnek mutatja a terméket, mivel neki is meg kell élnie, neki is el kell adnia termékét, és ehhez az alacsonyabb ár mellé a tetszetősebb adatokat is oda kell tennie. Érdekes tendencia, hogy a profik visszavonulva ettől a versenytől egyre kevesebb adatot tesznek közzé, azt még elmondják, hogy sztereó vagy teletextes-e a készülék stb., de további részletekbe nem bocsátkoznak, részletes műszaki adatokat nem tesznek közzé. A két készülék közötti különbség a nem leírható részletekben van. Pl. a profi készülék kávéját (házát) sokkal jobb műanyagból öntötték, már most jobb a tapintása, a színe nem fog néhány hónap múlva kifakulni, a műanyag nem fog egy-két év múlva berepedezni és behorpadni a melegtől. A profi áramköreit nagyobb tartalékkal méretezték, a megvalósításhoz jobb alkatrészeket választottak, a készüléket a gyártás végén hosszabb ideig „égették” és alaposabban tesztelték. Mindezek az adatlapon nem szerepelnek, de a gyártási költségeket akár meg is duplázhatják. A választás a vásárló feladata.

A kábeltelevízió fejállomásoknál hasonló a helyzet, de csak az tud jól választani, aki tudja, hogy mire kell figyelni. A következőkben a kábeltelevízió fejállomásoknál nézzük meg azt, hogy mire kell figyelni.

Mitől jó a fejállomás egyik legfontosabb egysége, a modulátor?

A régebbi tv-vevőkészülékeken még nem volt video bemenet, ezért a videomagnókba be kellett építeni egy kicsi TV-modulátort is, amelyik lehetővé tette, hogy a lejátszott műsort az antenna csatlakozón keresztül vezessük a tv-vevőkészülékbe. A kezdeti

időszakban diódás és tranzistoros modulátorokat alkalmaztak, majd kifejlesztésre került egy IC, amelynek ezt a feladatot kellett megoldania. Napjainkban két-három gyártó készít ilyen tv-modulátor IC-t, amelynek ára a nagy darabszámú felhasználás következtében 2 dollár körül van.

A jó minőségű televízió modulátor kifejlesztése nehéz feladat, a szaktudás mellett nagy szakmai gyakorlatot is igényel, ezért a kábeltelevízió fejállomások fejlesztői gyakran alkalmazzák ezt az olcsó IC-t. Az IC-hez mindössze néhány kiegészítő alkatrészt kell hozzátenni, és készen van egy teljes modulátor, de máris számos kérdés vetődik fel.

Meddig terjed egy-egy egyszerű és olcsó megoldás alkalmazhatósága?

Mielőtt megnéznénk, hogy milyen hátrányokkal jár az IC alkalmazása, végezzünk el egy gondolatkísérletet. Kapcsoljuk ezt a 2 dolláros áramkört az egyik 20 kW-os budapesti tv-adó bemenetére, és vizsgáljuk meg a változásokat. Lehet, hogy meglepő, de a tv-adó ezzel is egészen jól fog működni.

Jelenleg az adóberendezésekben használt modulátorok ára több millió forint. Mennyi pénzt megtakaríthatnánk ha ilyen olcsó, 2 dolláros modulátorokra cserélnénk le a jelenlegi drága berendezéseket! Másként szemlélve ugyanezt: szabad-e 2 millió néző legfőbb szórakozását egy ilyen 2 dolláros apró áramkörrel biztosítani?

Egy társasház lakóinak műholdas műsorokkal való ellátása csak ilyen olcsó, 2 dolláros áramkörökkel biztosítható elfogadható áron. Abban a hegyi falucskában, amelyikben alig van 100 lakóház, ugyancsak nincs lehetőségünk mást alkalmazni. A több 10 ezer esetleg 100 ezer előfizetőt ellátó rendszerekben, ahol több 10 millió forint a befolyó havi előfizetési díj, ott is ezt a 2 dolláros áramkört kell alkalmazni? Természetesen, ha ez az áramkör ugyanazt a szolgáltatást nyújtja, mint a drágább, akkor ezt kell alkalmazni, de mint látni fogjuk, azért építenek drága modulátorokat is, mivel ez az olcsó IC nem egészen azt nyújtja, amire itt szükség van. Megjegyezzük, hogy profi modulátor IC fejlesztése a kis darabszám miatt nem gazdaságos, ezért ezt a munkát egyetlen cég sem vállalta fel.

Mi a különbség az IC-s modulátorok szolgáltatása és a fejállomások modulátor igénye között?

Mint említettük, ezeket az IC-eket videomagnók számára fejlesztették ki, így sok olyan megoldást tartalmaznak, amelyek a nem szakemberek számára is egyszerűvé teszik a videomagnó használatát. Az egyik ilyen áramkör a video-automata. Az előző fejezetekben láttuk, hogy a videó jel nagysága a képtartalomtól függ, így csak a szinkronjel amplitúdójára vagy a videójelbe ültetett fehér referenciajelre lehet automatikus szabályozót építeni. Az említett két szabályozó megépítése igen költséges, és még akkor sem felel meg a videomagnónál felmerülő problémák megoldására, ezért ezekben az IC-kben a csúcstól-csúcsig mért amplitúdóra építettek automatikus szabályozót. A szabályozó átfogása típusától függően $\pm 3 \dots \pm 6$ dB. Az automata nagy szintet érzékelve gyorsan leszabályoz, majd néhány másodperc múlva szép lassan kezd visszaengedni.

Átgondolva az áramkör működését rájöhethetünk, hogy ez az automata a fekete képeket kicsinek találja, így azokat felerősíti, azaz szürkévé teszi. Ha fekete képünkön olyan finom rajzolatú fehér részlet is van, amelyet az automatika csúcsdetektora nem képes érzékelni, jelentős túlmoduláció fog fellépni. Ez a túlmoduláció a képet csak kissé zavarja, de a hangcsatornában, különösen a Nicam sztereó átvitelnél és az adatátvitelknél már komoly problémát tud okozni. Az ilyen automatáknál a szinkronjel amplitúdója és a modulációs mélység a képtartalom függvényében állandóan változik, a képen a képtartalomtól függően mindenféle torzulások lépnek fel. Azt tudjuk, hogy a problémák annál nagyobbak, minél nagyobb a video-automata átfogása, de azt már nem, hogy hány előfizetőt szabad e hibák elfogadására kényszeríteni.

Vajon miben különböznek még a profi modulátorok az IC-s eszköztől?

A profi készülékek többsége a videocsatornában nem tartalmaz automatikus szint- vagy erősítésszabályozó automatikát, a video modulációs mélységet nekünk kell beállítanunk. A profi rendszerekben a videojelet szolgáltató készüléknek kell stabil amplitúdójú szabványos videojelet szolgáltatniuk. A profi készülékekben a videojel szintjét a szinkronjel csúcsánál rögzítik. A drágább változatoknál a kioltóvállra is át lehet állítani a szintrögzítést, miközben a szintrögzítő úgy van kialakítva, hogy a kioltóvállon lévő „burst” jelet ne torzítsa el. Ezen áramkörök alkalmazása növeli a külső zavarjelek (pl. hálózati brumm) elnyomását, jelentősen stabilizálja a modulációs jellemzőket és javítja az impulzusátvitelt.

A video-automatát tartalmazó profi modulátorok elsőként a szinkronjel nagyságára szabályoznak. Az ennél is többet tudó készülékekbe a vizsgálósor (17. sor és/vagy 330. sor) fehér referenciaszintjére szabályozó áramkört építenek be. Természetesen ez a legprofibb megoldás csak akkor használható, ha ez a referenciajel valójában ott is van a videojelben, azaz a videojel előállítása is profi minőségben történik. A vizsgálósorok beültetése költséges és nem kötelező, ezért sok helyen mellőzik használatukat.

A profi tv-modulátorok árát ezek az áramkörök jelentősen emelik. A közepesnél jobb műszaki színvonal viszont csak ezekkel érhető el. Elsősorban gazdasági szempontok döntenek el a megoldások alkalmazhatóságát, mivel műszaki szempontból használatuk indokolt.

Mikor jó a videó moduláció nagysága?

Az MSZ EN 50083-5 szabvány a modulációs mélységet a profi rendszerekben 87,5...90% közötti értékre írja elő. Az említett IC-s modulátorokkal az ingadozások miatt csak 75...80% a modulációs mélység, ami esetleg 85 %-ig növelhető.

A 87,5%-os modulációs mélységet azért kell elérnünk, hogy jó, kontrasztos, szép képet kapjunk a vételi oldalon, azonban a 90%-os értéket már nem szabad átlépnünk a hangcsatornák védelme érdekében. Mint tudjuk, túlmoduláció esetében a hangban a képtartalomtól függő „kerregések” lépnek fel, mivel a vevőkészülékekben alkalmazott intercarrier hangfeldolgozás folyamatában időnként eltűnik a keveréshez használt képvivő. A profi készülékekben a kerregések elkerülése érdekében a modulátor előtt olyan fehér-vágót

helyeznek el, amelyik csak a világosság jelet (Y) vágja meg, a színjeleket torzítatlanul tovább engedi. Ezt a megoldást alkalmazzák az adóberendezésekben is. Az Y jel amplitúdójának ilyen módon történő rögzítésével nem alakul ki a fehérenél is fehérebb szint, soha nem fogy el a képvivő, pontosabban szintje soha sem lesz 8...10%-nál kisebb, így a hang sem fog kerregni.

A videó ágban ezek azok a megoldások, amelyek egy készüléket profivá tesznek, és alapvetően megkülönböztetnek a tömeggyártott olcsó termékektől. Ezeket az áramköröket egyedileg kell megtervezni és megvalósítani, mivel integrált áramkörös változatban nem léteznek, így mind a tervezés, mind a gyártás költséges.

Miben más a profi modulátorok KF-szűrője és KF-jelleggörbéje?

A tv-modulátorokban a videojelet jelfeldolgozás után AM-modulátor teszi fel a 38,9 MHz-es középfrekvenciára. Ezen a középfrekvencián speciális szűrővel kell kialakítani a csonka oldalsávós amplitúdójelleggörbét. A jelleggörbe kialakítására ma már minden gyártó SAW-szűrőt használ. A profi készülékek számára kifejlesztett, a szabvány által előírt jelleggörbét megvalósító szűrők ára jóval 100 dollár felett van. Annak érdekében, hogy olcsó készüléket is lehessen gyártani, egyszerűsített kivitelű szűrőt is készítenek mindössze néhány dollárért. A két típus közötti főbb különbségek:

- a profi szűrő zárótartománya lényegesen nagyobb,
- frekvenciamenete lényegesen egyenletesebb, pontosabb és stabilabb,
- csoportfutási-idő jelleggörbéje lényegesen kisebb ingadozású és pontosabb,
- az amplitúdójelleggörbe levág a hangvivő előtt, úgy ahogy azt a szabvány előírja.

Ez a levágás akadályozza meg, hogy a képcsatorna esetleges összetevői zavart okozzanak a hangcsatornában. Ilyen jelleggörbét megvalósító olcsó változat nincs, valamennyi a kép és a hang együttes feldolgozására készült. Az olcsóbb típus alkalmazása csak kisebb és időszakos zavarokat okoz, ezért a felületes szemlélődő észre sem veszi. A leggyakrabban előforduló hibajelenségek:

- a képcsatorna a képtartalom függvényében zavarja saját hangcsatornáját vagy az alsó szomszéd hangcsatornáját,
- a probléma sztereó átvitel esetén fokozottan jelentkezik,
- ritkábban előforduló jelenség a szomszédos képcsatorna zavarása.

Befolyásolhatja-e a sztereó átvitelt az olcsóbb szűrővel kialakított KF átviteli jelleggörbe?

A Nicam jelet már csak úgy lehetett beépíteni az analóg televízió nálunk is használt B/G szabványú rendszerébe, hogy annak spektruma kissé belelóg a felette lévő szomszéd csatorna csonkaoldalsávjába. Ez némileg igaz a két hangvivős német sztereó rendszerre is. A mérések azt igazolták, hogy a szabvány szerinti rendszerekben a zavartatás olyan kicsi, hogy azt elfogadhatónak lehet tekinteni. Amikor nem profi készülékekkel dolgozunk, és nem működik tökéletesen a sztereó átvitel, érdemes az elsők között megvizsgálni a

szomszédos csatorna csonkaoldalsávjának átfedését a Nicam jelcsomaggal vagy a második hangvívővel. A 4.5.1. ábra 5. részábráján jól látható, milyen egy profi modulátor csonkaoldalsávja, milyen tisztának kell lennie a spektrumnak a képvívő alatti 1,5 MHz környezetében.

Van-e megoldás a sztereó zavartatás megszüntetésére az olcsó rendszerekben?

Amikor az oldalsávok magas szintje okoz zavart a sztereó átvitelben, 8 MHz-es csatornarendszer alkalmazásával egyszerűen megoldhatjuk a problémát. A megoldásnak ez a módja egy társasházi rendszerben könnyedén kivitelezhető, de már a közepes méretű kábeltelevíziós rendszerekben többnyire nem. Nem marad más, mint a szomszéd csatorna modulátorának kicserélése jobb minőségűre.

A 80-as években még az előbb említett olcsó modulátorszűrő sem volt a piacon, ezért átjátszó- vagy más néven transposer szűrőket tettek a modulátorokba. Ezek jelleggörbéje még az említettél is szélesebb, így ezeknél az említett problémák fokozottabban jelentkeznek. Erre azok az üzemeltetők figyeljenek, akik régi vagy felújított egységekkel dolgoznak.

Miben más a profi modulátorok csoportfutási-idő jelleggörbéje?

Az amplitúdójelleggörbe mellett nagyon fontos a csoportfutási-idő jelleggörbe is. A B/G rendszerekben a 90 ns-os előtorzítás néven ismert jelleggörbét alkalmazzák. A görbe menete az MSZ EN 50083-5 szabványban található meg. A profi készülékek drága és bonyolult csoportfutási-idő korrektorral állítják elő ezt a jelleggörbét. Amikor az olcsó készülékben ezt a korrektort elhagyják, a videocsatorna impulzusátvitele nagyon leromlik, a képkontúrok erősen torzulnak. Az olcsó SAW-szűrők egy vagy két típusa tartalmaz némi csoportfutási-idő előkorrekciót. Ezzel a beépített korrekcióval javul is az impulzusátvitel, de nem lesz tökéletes. A 2T és a 20T mérőjelek alakján ezek a hiányosságok azonnal látszanak. A teletext jel és a Nicam jel átvitelénél igen fontos a jó impulzusátvitel, ezért ha ilyen problémával találkozunk, ne felejtsük el a csoportfutási-idő jelleggörbe megvizsgálását.

A technika fejlődése, a SAW-szűrők széleskörű alkalmazása lehetővé és szükségessé tenné a csoportfutási-idő jelleggörbe szabványának megváltoztatását. Az MSZ EN 50083-5 szabványban megtaláljuk a csoportfutási-idő jelleggörbére az EBU által javasolt új félkorrekciót is, azonban már nem várható, hogy bármelyik ország is módosítani fog az analóg televíziós szabványán ennek utolsó évtizedében.

Miért van szükség a költséges nagyszintű kimenetekre?

A profi készülékeknél megfigyelhető, hogy a tv-modulátorok és konverterek nagyszintű végfokozattal vannak ellátva, a névleges kimeneti feszültség 120 dB μ V körüli, míg az olcsó készülékek kimeneti szintje csatornánként csak 90...100 dB μ V körüli. A nagyszintű végfokozatban ma már minden gyártó nagyfrekvenciás hibrid áramköröket alkalmaz annak ellenére, hogy ezek az áramkörök meglehetősen drágák és működtetésükhöz nagyobb tápegység is kell.

A kérdésre a jelek összegzésének és a kimeneti szint stabilizálásának problémáit tanulmányozva kaphatunk választ. Először vizsgáljuk meg az olcsó modulátorok felépítését. A modulátor IC-k kimeneti feszültsége 60...70 dB μ V. A SAW-szűrő csillapítása 20...30 dB, a keverési csillapítást és az egyéb veszteségeket vegyük 6...10 dB-re. Ezekből az adatokból egyszerűen kiszámítható, hogy a 100 dB μ V nagyságú kimeneti szint előállításához a készülékben 50 és 70 dB közötti erősítést kell megvalósítanunk. Ekkora erősítést ± 1 dB-es stabilitással megvalósítani alig lehet, és a ± 2 dB-es stabilitás is már igen jónak mondható. Az olcsó készülékekben nincs szintszabályozó áramkör, ezért számolnunk kell azzal, hogy a kimeneti szint rövid és hosszú távon is ingadozik. Az ingadozás akár a néhány dB-es értéket is elérheti. Szomszédos csatornák esetében, ha az ingadozás ellentétes előjelű, a különbség a szabvány által megengedett max. eltérés értékét is átlépheti. A nagy kimeneti szint alkalmazásának első indoka az, hogy a szintszabályozó áramkör detektorának működtetéséhez nagy kimeneti szintre van szükség.

Van-e lehetőség az olcsó rendszereknél a szintingadozások kiküszöbölésére?

Kis hálózatoknál a pénz hiányára való tekintettel elfogadható, hogy a szintek ingadoznak, és a rendszer úgy működik, hogy hiba esetén az előfizetők kihívják a szerelőt, aki szükség szerint korrigálja a beállításokat. A 20-30-nál nagyobb csatornaszámmal üzemelő hálózatokban vagy néhány ezernél több előfizető esetén ez a megoldás már nem elfogadható. Ilyen helyeken már olyan kimeneti egységeket kell alkalmazni, amelyekben kimeneti szintszabályozó (ALC, automatic level control) áramkör is van.

Mekkora a kimeneti szintingadozás a profi fejállomásokon?

Nagyszintű detektorral néhány tized dB-re csökkenthető a kimeneti szint ingadozása, ha kapuzott ALC áramkört alkalmazunk. Az AM televíziós jel kimeneti szintjének mind pillanatnyi-, mind átlagértéke a képtartalom függvénye, ezért csak a szinkronjel csúcsára szabályozó kapuzott áramkörök megfelelőek. Ezekkel az áramkörökkel $\pm 0,1$... $\pm 0,3$ dB-es rövid idejű stabilitás és $\pm 0,3$... $\pm 0,5$ dB-es hosszú idejű (1-2 éves) stabilitás érhető el. A tapasztalatok azt mutatják, hogy nagy rendszerek csak ilyen szintszabályozó áramkörökkel működtethetők problémamentesen.

Miért kell az összegzésnél is nagy szintet használni?

A fejállomások építésénél a kimeneti jelek összegzésének problémái a csatornaszámmal arányosan nőnek. Gyakori eset, hogy a kimeneti jelek külön-külön mind megfelelőek, azonban összegezve azokat megmagyarázhatatlannak tűnő jelenségek lépnek fel. A jelenség okainak bemutatásához tegyük fel, hogy a kimeneti egységek 120 dB μ V-os, azaz $1 V_{\text{eff}}$ nagyságú kimeneti jelet szolgáltatnak. Amikor az összegző hálózat elválasztási csillapítása 20 dB, akkor az összegzett jel 10%-a jut vissza a kimeneti fokozatra, azaz 30 televízió csatorna összegzése esetén 29 csatorna jele külön-külön 0,1 V-os szinten. Igaz, hogy a jeleket pillanatnyi amplitúdójuk szerint kell összegezni, de előfordulhat, hogy a visszajutó jel nagysága eléri a $29 \cdot 0,1 = 2,9 V_{\text{eff}}$ értékű zavar szintet is az $1 V_{\text{eff}}$ nagyságú hasznos jel

mellé szuperponálva. A kimeneti erősítő kollektoráról a visszacsatolásokon keresztül a bázisba visszajutó jel a zavarok ezreit fogja előállítani úgy, hogy azokat már soha többé nem lehet eltávolítani. A végerősítőre visszajutó zavaró jel nagysága még az elfogadhatónak mondható 40 dB-es elválasztási csillapítás esetén is jelentős mértékű.

Minél nagyobb a csatornaszám, annál nagyobb elválasztási csillapításra van szükség, azonban nagy elválasztási csillapítás esetén az elfogadható vivő-zaj viszony eléréséhez a készülékeknek nagy kimeneti szintet kell szolgáltatniuk.

Mivel növelhető az elválasztási csillapítás nagysága?

A 4.1.1. ábrán bemutatott szelektív összegző rendszer nem csak a szélessávú zajok összegződését gátolja, az összegzett jel visszajutásának megakadályozásában is igen nagy szerepe van. Az iránycsatolók elválasztóképessége be- vagy kicsatolási csillapításukkal arányosan változik, ezért elválasztási csillapításuk tetszőlegesen nem növelhető. A passzív csatornaszűrők az egyik irányban megakadályozzák a kimeneti erősítő csatornán kívüli zajának kijutását az összegzőbe, a másik irányban megakadályozzák az összegzett jelek visszajutását a kimeneti erősítőre, így az iránycsatolók és a csatornaszűrők kombinációjával jó minőségű összegzők építhetők. 20-30 csatorna felett mindenképpen szükségessé válik az ilyen rendszerek alkalmazása.

Mi a helyzet a kisszintű jelek összegzésénél?

A jelenség a kis jelszintű, egyszerű rendszereknél is jelentkezik. Minél kisebb és egyszerűbb felépítésű a kimeneti erősítő, annál kevésbé viseli el az összegzőről visszakerülő zavarokat. Kis kimeneti jelszint esetén a C/N romlása miatt nem tudunk nagy elválasztási csillapítású összegző hálózatot alkalmazni, ezért a kis rendszerek elemeiből sem nagy csatornaszámú, sem kiváló minőségű fejállomás nem építhető.

Mikor kell nagyszintű rendszert választani?

A nagy kimeneti szint (kb. 120 dB μ V) szükségességét vizsgálva végül is arra a következtetésre jutottunk, hogy a drága kimeneti erősítőre a kimeneti szintek stabilitásának fokozása, az összegzés utáni magas C/N érték elérése és az összegzett jelben a csatornaszámmal arányosan megjelenő zavarok alacsony szinten tartása érdekében van szükség. A tervezés és a beruházás indításakor kell eldöntenünk, hogy csatornaszámban és előfizetők számában meddig tervezzük fejleszteni fejállomásunkat. A kis kimeneti szintű fejállomások sokkal olcsóbbak, de csak kis rendszerek építésére alkalmasak. Vannak nagyszintű típusok automatikus szintszabályozás nélkül, amelyek a problémák egy részét megoldják ugyan, de nem adnak tökéletes megoldást, és vannak profi változatok, amelyek a felvetett problémák mindegyikére jó megoldást kínálnak, azonban az árak magasabb a többiénél. Minden esetben a gazdaságosság alapján kell dönteni.

Van-e további előnye a nagy kimeneti szintnek?

A nagy szintű fejállomások kábelein, csatlakozóin megjelenő átlagos nagyfrekvenciás jelszint 100...120 dB μ V. A jó minőségű kimeneti jel eléréséhez a zavarokat minden esetben legalább 60 dB-lel a hasznos szint alá kell szorítanunk, így a kábelek által felvett zavarok szintje nem lehet 40...60 dB μ V-nál, azaz 100...1000 μ V-nál nagyobb.

A kis szintű fejállomásokban a jelszintek 20...30 dB-lel kisebbek, így ott a zavarérzékenység nagyobb, azaz a kábeleken megjelenő külső zavarok szintje nem lehet nagyobb néhány μ V-nál. Az ilyen és ehhez hasonló előnyök nem jelentősek, de ha több számítógépet kell üzemeltetni a fejállomás közelében, ha mobiltelefonokat használnak a fejállomás körül, vagy ha zavarokat okozhat a helyi rádió- vagy tv-adó stb., akkor érdemes a tervezés során ezekre a tényezőkre is gondolni.

Vannak-e hasonló különbségek a profi készülékek és a tömegcikkék között a bemeneti oldalon?

A válasz igen, mivel a tömegcikkéknél a legfontosabb tényező az ár és az eladható mennyiség, ezért sokkal egyszerűbb és olcsóbb megoldásokat tartalmaznak, mint a profi berendezések. A teljesség igénye nélkül néhány szemléletes példa az analóg műholdvevők összehasonlításából:

- A profi készülékek egy vagy két szabályos 75 Ω -os video kimenettel rendelkeznek, míg az olcsó termékek egy kimenetet is alig tudnak meghajtani.
- A profi video kimeneten a differenciális torzításokat specifikálják, az olcsó típusoknál jobb ha nem beszélünk róla.
- A profi készülékben futási-ideő korrigált aluláteresztő szűrőt tesznek a video ágba, az olcsó termékekben legtöbbször semmit.
- A profi hangkimenetek 0 dBm vagy +6 dBm szintűek, az olcsó termékek a háztartások jelszintjeihez igazodnak.
- A profi készülékek 24 órás folyamatos üzemre készülnek, az olcsó termékek a háztartások igényeit hivatottak kielégíteni.

A profi nagyfrekvenciás készülékektől sokan azt várják, hogy érzékenysége, vételkészsége múlja felül valamennyi olcsóbb társát, miközben a helyzet éppen fordított. Az olcsó fejállomás egységek a tv- és rádió-vevőkészülékek áramköreivel működnek, amelyeknél az érzékenység az egyik legfontosabb jellemző. Ezzel szemben a profi készülékek viszonylag érzéketlenek, azonban bemeneti impedanciájuk jó, átviteli jelleggörbéik az előírásoknak megfelelőek és stabilak, miközben a működés egészét is nagy stabilitás és megbízhatóság jellemzi. Pl. a profi berendezés bemenetén alkalmazott 3 vagy 6 dB-es bemeneti csillapító ugyan az érzékenységet jelentősen lerontja, azonban megakadályozza, hogy a levezető kábelben reflexiók keletkezzenek, majd a reflexiók hatására elromoljanak az átviteli jellemzők, aminek következménye a vett kép minőségének romlása.

Van-e különbség a videokábelek és csatlakozók területén?

A video bemenetek szintje valamennyi kategóriában $1 V_{p-p}$ névleges értékű, 75Ω -os lezáráson mérve. A profi készülékeknél a forrásoldali erősítő $2 V_{p-p}$ nagyságú kimeneti jelet állít elő 75Ω -os belső ellenállással, amelyből a vételi oldalon a 75Ω -os bemeneti ellenálláson (lezáráson) alakul ki az $1 V_{p-p}$ nagyságú bemeneti szint. A stúdiótechnikában és a tv-adástechnikában a kimeneti és a bemeneti impedanciák frekvenciafüggését 5 vagy 6 MHz-ig szigorúan vizsgálják a reflexiók elkerülése érdekében. A videojelek csatlakoztatásánál egységesen BNC csatlakozókat alkalmaznak.

Sajnos a kábeltelevíziós fejállomásokon a videocsatornák ilyen irányú vizsgálata háttérbe szorult, s még problémák esetén is csak ritkán kerül előtérbe. Az olcsó készülékeknél az ár csökkentése érdekében egyszerűsítik a kimeneti erősítőt, és a bemeneten sem alkalmaznak megfelelő elválasztó erősítőt. Ezek a megoldások elfogadhatóak a kis rendszerekben, azonban számítani kell rá, hogy apró problémáink lesznek, ha több felé akarjuk szétosztani a jelet vagy kiegészítő szolgáltatásokat kívánunk a rendszerre telepíteni. A BNC csatlakozóval megvalósított ki- és bemeneteken a 14...20 dB-es reflexiók csillapítás széleskörűen elfogadott, a kábeltelevíziós rendszerek számára megfelelő érték, a stúdiótechnikában ennél szigorúbbak a követelmények. Az ár csökkentése érdekében BNC helyett RCA és egyéb csatlakozót alkalmazó készülékektől ilyen értékeket nem várhatunk.

Mi a helyzet a hangfrekvenciás jeleknél?

A hangfrekvenciás bemenetek kialakításánál sokkal nagyobb eltérésekkel találkozhatunk. A profi stúdió berendezések nagyon érzéketlennek látszanak, általában +6 dBm nagyságú névleges szinttel működnek. A kábeltelevízió fejállomásokon a 0 dBm ($1 \text{ mW}/600 \Omega$) nagyságú névleges szintet elterjedten használják, míg az olcsó kategóriában megjelenik a házi elektronikák jelszintje. A nagy jelszintet előállító áramkörök sokkal drágábbak, azonban a működés egészét sokkal nagyobb stabilitás és a külső zavarokkal szembeni sokkal nagyobb érzéketlenség jellemzi. Az alacsony jelszintek megfelelőek az otthoni hi-fi berendezések működtetéséhez, azonban nem nyújtanak kellő biztonságot a külső zavarokkal szemben a fejállomások jel-zengetegében. Ez az oka annak, hogy a profik a sokkal drágább, nagy jelszintű hangfrekvenciás rendszereket használják.

Hogyan kezeljük a megbízhatóság, élettartam és az elavulás kérdéseit?

A profi vagy nem profi témakörnek vannak olyan kérdései is, amelyeket kifejezetten nehéz megválaszolni. Ezek közül most csak a megbízhatóságot vizsgáljuk.

Vannak tenderek, ahol előírják az „N” csatlakozó használatát. Vajon mi indokolja a nagyon profi berendezéseknél az „N” csatlakozók használatát az „F” csatlakozóval szemben, amikor tudjuk, hogy az „N” csatlakozó ára kb. százszorosa a minden szaküzletben kapható „F” csatlakozó árának? Az „N” csatlakozó többletszolgáltatásának 10 esetleg 20%-a az, ami műszeresen mérhető, és jobb reflexió vagy jobb frekvenciamenet formájában kimutatható. A nagyobbik részt úgy hívják, hogy megbízhatóság, amelynek mérése, kimutatása igen körülményes.

A kábeltelevízió rendszerekben 100 000 előfizető felett vetődnek fel az ilyen kérdések, miután a tartalékolás és felügyelet egyéb feladatait már megoldottuk. A határok pontosítása itt is inkább gazdasági, mint műszaki kérdés.

Összefoglalás

A fejállomások ilyen jellegű vizsgálata hosszan folytatható, a mechanika kialakítása, a felületkezelések megoldásai, a tápegységek és az alkatrészek megválasztása és méretezése stb., mind-mind egy kicsit más a profi készülékeknél. A különbségek meghatározása, az előnyök és hátrányok szétválogatása és rangsorolása nehéz feladat, ezért szerte a világban a legtöbben nem készüléket, hanem nevet, ill. gyártót választanak. Minden gyártó garantál valamit, az egyik magas műszaki színvonalat, a másik alacsony árakat, a harmadik közepes minőséget elfogadható áron, és így tovább.

A választás nehéz feladat, számítógéppel nem megoldható. A jó tervező áttanulmányozza a termékek leírását, lehetőségeket keres a termékek alaposabb megismerésére, majd szaktudása legjavát használva a gazdasági szempontok mérlegelése után hozza meg döntését.

A kábeltelevíziós szakma változások előtt áll, a technikai forradalom a fejlett országokban már javában zajlik, Európa középső részén még csak éppen beindult. Az analóg technika leváltása eltemeti a PAL és a SECAM rendszert, a Nicam és az A2 sztereó átvitelt, a csonkaoldalsávós modulációt és eltünteti minden olyan készüléket, ill. mérőműszert, amelyek ezek megvalósítását szolgálták. A digitális televíziótechnika egészen más alapon nyugszik és megoldja a televíziózás eddig összegyűlt problémáit. Bevezetése nem lesz könnyű, mivel most az elején többbe kerül, mint amennyivel többet nyújt. Az eddigi tapasztalatok az mutatják, hogy az előfizetők az elején még vonakodnak, azonban a kezdeti ismerkedésen túljutva, az előnyöket felfedezve aktívvá válnak, és kifejezetten igénylik az átállást. Jelentős mozgató erőnek tűnik az a tény, hogy az előfizetők is unják a Set Top Box-ok sokaságát, a különböző konverterek és kiegészítők kusza tömegét, s egyre jobban vágnak egy egyszerű és letisztult rendszerre.

Hazánk televíziós képe meglehetősen színes képet mutat, amelyben az OIRT rendszer keveredik a CCIR rendszerrel, a SECAM a PAL-lal, az A2 sztereó a Nicam sztereóval. Az összevisszaság kialakulása többségében történelmi és gazdasági okokra vezethető vissza. Részben szerencsésnek nevezhetjük magunkat, hiszen a megoldás, a digitális televíziótechnika előttünk áll.

A digitális fejállomásokban a jeltisztasággal, a jelek összegzésével és a vivő-zaj viszony alakulásával ugyanúgy kell foglalkozni, mint az analóg fejállomásoknál, ilyen irányú ismereteink, tapasztalataink ott is változatlanul alkalmazhatóak lesznek. Az új terület a jelfeldolgozás, a jelek átvitelének módja és az új mérés-technika. A digitális technikára való zökkenőmentes átállás érdekében az analóg technikában megszerzett ismereteinket mielőbb egészítsük ki az új technika speciális ismeretanyagával.

5. Kábeltelevíziós hálózatok tervezése

A KTV rendszerek tervezésének lényege, hogy az eddig bemutatott kábeltelevíziós építőelemeket felhasználva, egy minden jogos igényt kielégítő hálózatot kell kigondolni, kiszámolni és lerajzolni, úgy, hogy a későbbiekben azt egyértelműen megvalósítsák. A tervezés elkezdése előtt meg kell ismerni az épülő hálózat iránti elvárásokat: frekvenciasáv, visszirány, előfizetői penetráció, az ellátandó terület jellege, az alkalmazott eszközök jellemzői. Ezeket nevezzük kiindulási adatoknak, amelyek a tervezés szempontjából nélkülözhetetlenek. Célunk ezzel a fejezettel az, hogy áttekintést nyújtsunk a hálózat tervezéséről, bemutatva annak elméleti hátterét. Nem tervezési irányelveket akarunk adni, hanem egy általánosabb ismeretanyagot, amit felhasználva bármilyen most építendő KTV hálózat tervezéséhez segítséget nyújt. A tervezés mindenütt szigorú normákhoz és előírásokhoz van kötve, így nem tervezhet és engedélyeztethet bárki, viszont a későbbi üzemeltetést, hibajavítást segítheti ez az ismeretanyag.

5.1. Topológia, hálózati síkok

5.1.1. Alapvető hálózati struktúrák

A konkrét kábeltelevíziós topológiák megismerése előtt nézzük meg, milyen alapvető hálózati struktúrák léteznek és vizsgáljuk meg azok főbb tulajdonságait.

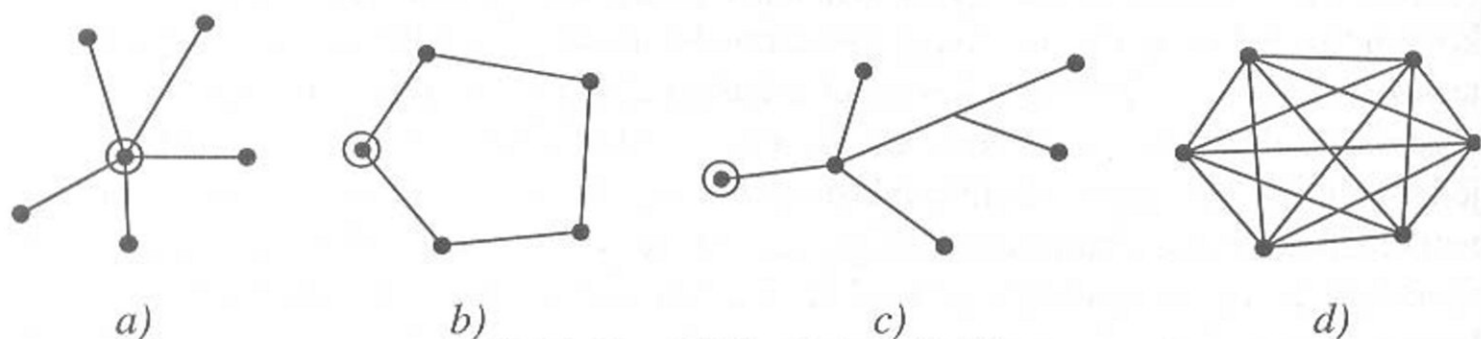
Csillag topológia: a hálózat pontjai csillag alakban helyezkednek el (5.1.1.a) ábra). A struktúrából adódóan a csillag középpontjában rendszerint a hálózat egy lényeges eleme helyezkedik el. A KTV hálózatoknál ilyen megoldást alkalmaznak a csillagponti szekrényeknél, az előfizetők ellátásánál, és egyes optikai gerinchálózatoknál.

Gyűrű topológia: a hálózat elemei egy gyűrű mentén helyezkednek el (5.1.1.b) ábra). Gyakorlati megvalósításakor rendszerint a gyűrű egyik pontja látja el a többi vezérlését. A gyűrűs struktúra legfőbb előnye, hogy ha a gyűrű valamely szakaszon megszakad, attól még kétirányú gyűrű esetén az összes pont elérhető marad. A kábeltelevíziós hálózatoknál ilyen megoldást alkalmaznak egyes gerinchálózatoknál (optikai, ill. professzionális koaxiális törzs hálózatok).

Faág topológia: a hálózat egy kiemelt pontból indul, és onnan egy faág struktúráját követve éri el a hálózat végpontjait (5.1.1.c) ábra). A faág struktúrájánál a „fa” egyik

ágának sérülése esetén teljes „gally” vagy „ágrész” válhat elérhetetlenné. A kábeltelevíziós hálózatok vonali kábelei, valamint a régi házhálózatok faág struktúrát alkotnak.

Hálós topológia: ezt a hálózati struktúrát csak a teljesség igénye miatt említjük meg, mert a kábeltelevíziós hálózatoknál nem használják, csak a távközlésben. Ennek lényege, hogy minden pontot minden ponttal összekötünk, ezzel a hálózat pontjai közti kapacitás és az elérhetőség maximális, és így nagy redundanciájú hálózatot alakítottunk ki (5.1.1.d) ábra).



5.1.1. ábra. Hálózati topológiák

a) csillag topológia; b) gyűrű topológia; c) faág topológia; d) teljesen összekötött hálózat

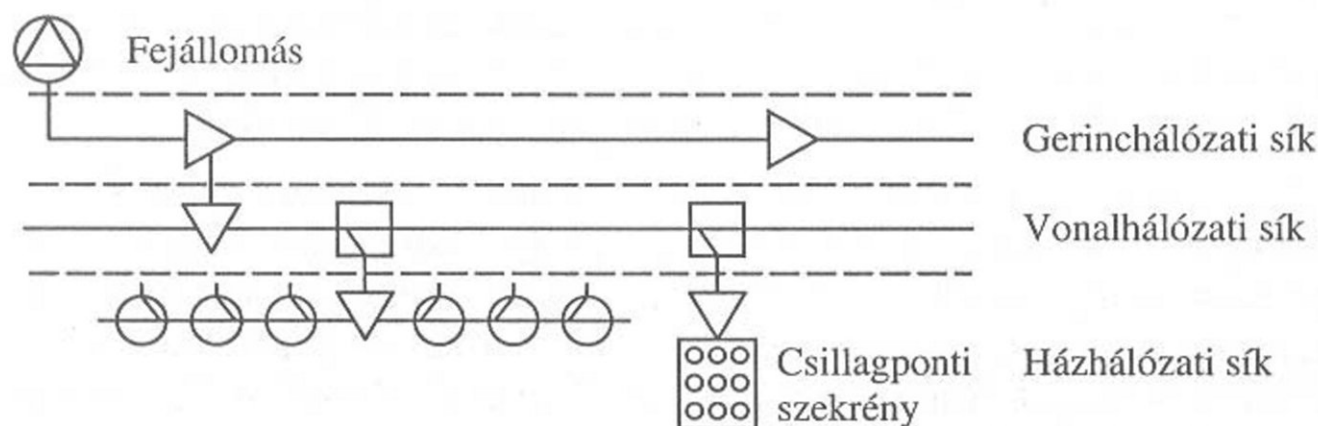
5.1.2. Kábeltelevíziós topológiák

A kábeltelevíziós hálózatok műsorelosztó jellegükből adódóan elméletileg faág struktúrát alkotnak, mégis gyakorlati felépítésük alapján különböző csoportokba sorolhatóak.

A hálózatot három fő síkra oszthatjuk:

- gerinchálózat,
- vonalhálózat,
- házhálózat.

A három hálózati sík különböző műszaki paraméterekkel rendelkezik, így mindegyik a legmegfelelőbbben látja el feladatát.



5.1.2. ábra. Hálózati síkok

A gerinchálózat

A kábeltelevíziós fejállomás jelét nagy távolságra eljuttató hálózati rész. A gerinchálózatra jellemző, hogy a rádiófrekvenciás jeleket kis torzítással viszik át. Kezdetben ez a hálózati rész is koaxiális kábelekből épült fel, napjainkban viszont az optikai eszközök elterjedésével egyre gyakrabban váltja fel optikai hálózat. Az optikai és a koaxiális kábel együttes alkalmazásával új hálózati megoldáshoz jutottunk el, amelyet HFC (Hybrid Fiber Coax) hálózatoknak nevezünk, ezekre a későbbiekben részletesen kitérünk.

Vonalhálózat

A vonalhálózat a gerinchálózat és a házhálózat közötti kapcsolatot teremti meg és műszaki paraméteriben is átmenetet képvisel a két hálózat között. A vonalhálózat építőelemei:

- vonalerősítők,
- vonali kábelek,
- leágazók.

A hálózat tervezésénél figyelembe kell venni, hogy a vonalhálózat feladata nem az előfizetők közvetlen ellátása, ellentétben a házhálózattal. A vonalhálózaton ne helyezzünk el előfizetői leágazókat, lehetőség szerint minél kevesebb ponton szakítsuk meg a kábeleket, és minél kevesebb aktív elemet használjunk.

Házhálózat

A házhálózat az utolsó hálózati sík az előfizetőig, és építőelemei:

- házerősítők,
- előfizetői leágazók,
- vonali kábelek,
- programcsomag szűrők,
- előfizetői kábelek,
- előfizetői aljzatok.

A házhálózat struktúrája nagyban eltér egy tömbházas területen és egy kertvárosi területen.

A hagyományos tömbházas struktúrában a házhálózat egy lépcsőházon belül valósul meg. A házerősítő egy erre a célra kialakított szekrényben helyezkedik el és a házerősítő után találhatóak az előfizetői leágazók és a programcsomag szűrők. Az előfizetők ebből az elosztószekrényből kapnak jelet. Ma már minden előfizetőt külön kábellel látunk el, ezért nevezzük csillagpontos rendszernek.

Kertvárosi környezetben a házhálózat tipikusan egy utcában valósul meg. A házerősítő rendszerint két irányban lát el előfizetői leágazókat, amelyen a programcsomag szűrők helyezkednek el és ezekről kapnak jelet az előfizetők.

A hálózati síkok a gyakorlatban nem különülnek el egymástól ilyen élesen. Gyakori megoldás, hogy a vonalhálózatot és a házhálózatot összevonják, ebben az esetben gyakorlatilag nincs házerősítő, a vonalhálózaton található az előfizetői leágazók. Ezt a megoldást nevezzük (koaxiális törzshálózatot, vagy optikai gerincet feltételezve) egysíkú megoldásnak. A tervezésnél figyelembe kell venni, hogy egy előfizető lehetőség szerint a legkevesebb aktív és passzív eszközön keresztül kapjon jelet. Az egysíkú megoldásnál ez nem teljesül, ezért ezt csak olyan esetekben alkalmazzuk, ha más megoldás nincs.

5.1.3. A hálózati struktúrák gyakorlati megvalósításai

A napjainkban épülő hálózatok szinte kivétel nélkül HFC hálózatok. Ezekben a koaxiális törzshálózatot optikai elosztóhálózat váltja fel. Az optikai hálózat végén az optikai csomópont (a szakirodalomban ONU - Optical Node Unit) biztosítja a rádiófrekvenciás jeleket. Az ONU egy optikai-elektromos átalakító, amelytől hagyományos koaxiális elosztóhálózatot keresztül jut el a jel az előfizetőig. Az ONU-t kihelyezett fejállomásként is felfoghatjuk, ami csak néhány száz vagy ezer előfizetőt lát el. Mivel a koaxiális hálózat az ONU-tól indul, ezért helyének kiválasztása, és az általa ellátott terület (ONU terület) meghatározása igen fontos feladat a tervezés során, ezért körültekintően kell elvégezni.

Az optikai hálózatok elterjedésével, az eszközök beszerzési árának csökkenésével egyre szélesebb körben használják az optikai berendezéseket. Az optikai kábelek fizikai átviteli kapacitása még napjainkban is bőven meghaladja a jelenleg kihasznált sáv szélességet, ezért alkalmazásuk utat nyitott a szélessávú kommunikáció irányába. Először csak nagy sáv szélességű gerinc kapcsolatok kiváltására használták (főleg a telefóniában és az adatátvitelben), de ma már az is elképzelhető, hogy egy egyéni előfizető optikai végződést kapjon. A két alkalmazás közti átmenetet nevezi a szakirodalom FTTx technológiának. Az optikai végződés és az előfizető távolsága alapján az alábbi kategóriákat határozhatjuk meg:

- FTTCab (Fiber To The Cabinet: optikai rendszer az elosztószelektől),
- FTTB/C (Fiber To The Building/Curb: optikai rendszer az épületig vagy az elosztó pontig),
- FTTH (Fiber To The Home: optikai rendszer a lakásig).

Az elmondottak alapján elsősorban azt kell eldöntenünk, hogy milyen közel akarjuk elvinni az ONU-t az előfizetőhöz. Leggyakrabban az FTTCab megoldást alkalmazzuk. Ebben a terminológiában az elosztószelektől a távközlési technológiában használt elosztó szelektől jelöli, amelyből csavart érpár megy ki minden előfizetőig, de könnyen átültethető ez a kábeltelevíziós hálózatokra is. Elképzelhető az is, hogy az ONU-t az épületben helyezzük el, és csak a házhálózatot látja el, ekkor az FTTB-t valósítjuk meg.

Az ONU terület meghatározása

Az ONU terület meghatározásánál vegyük figyelembe az eddig elmondottakat és ekkor eldönthetjük, hogy általában mekkora területet kívánunk ellátni egy ONU-ról. Ezt a területet két tényező befolyásolja. Az egyik az ellátott előfizetők száma, ami stratégiától függően 500 – 1000 előfizető lehet. Az előfizetői szám meghatározásánál fontos szempont, hogy számítunk-e visszirányú szolgáltatásra, és ha igen, mekkora arányban. Erre majd a későbbiekben bővebben kitérünk. A másik fontos tényező, hogy a max. kaszkád számot alkalmazva mekkora területet tudunk ellátni (kaszkád szám a sorbakapcsolt erősítők száma). Elképzelhető, hogy a terület alakjából adódóan a jeltorzítási paramétereket figyelembe véve jóval kevesebb előfizetőt tudunk ellátni, mint a max. ellátni kívánt előfizetői szám. A két tényező minimuma fogja meghatározni az ellátott területet. Az ONU terület települési tényezők is befolyásolhatják. Ilyen pl. egy vasútvonal, egy főútvonal, egy patak, stb. amelyeket nem kereshetünk (vagy keresztesük nehezen megoldható), ilyenkor ezek alakítják ki az ONU területünk határait.

Az ONU helyének megválasztása

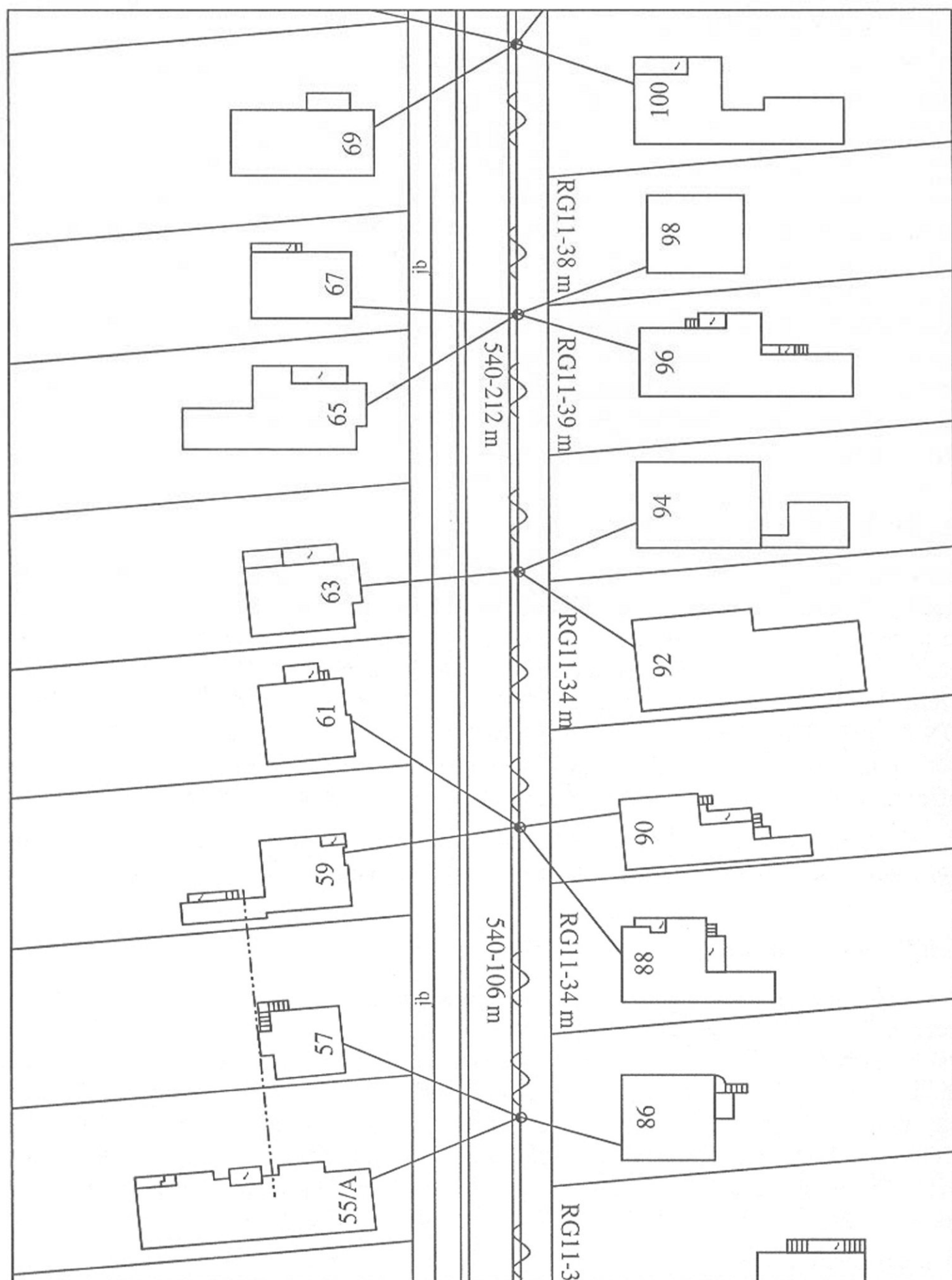
Az ONU helyének kiválasztásakor törekednünk kell arra, hogy lehetőség szerint az a terület középpontjában, súlypontjában helyezkedjen el, mert így érhetjük el az optimális kaszkád számot. A másik fontos tényező, hogy az ONU koaxiális kimeneteit jól tudjuk használni, tehát, ha egy három kimenetű ONU-unk van akkor az ONU helyről lehetőség szerint három vonali iránnyal tudjunk elindulni. A harmadik szempont pedig az, hogy az ONU elhelyezhető legyen a kiszemelt területre, tehát hiába találtunk a mondott szempontoknak tökéletesen megfelelő helyszínt, ha az a település főterén van, ahova minden bizonnyal nem adnak engedélyt szekrény állítására vagy bármilyen földmunkára.

A terület tervezése előtt el kell dönteni, hogy a kábel nyomvonal hol haladjon, levegőben vagy a föld alatt. Mindkét megoldásnak vannak előnyei és hátrányai is.

Légkábeles hálózat

A kábelek kerülhetnek a lakóházakra vagy oszlopsorra. A lakóházakon történő kábelvezetés főként tömbházas területen javasolt, ahol a házak egy lakóközösség tulajdonában vannak, így a kábel elhelyezése (és esetlegesen a leszerelése) jogilag jobban támogatott, mintha csak családi házakon keresztül vezetnénk a nyomvonalat, hiszen ott elegendő egyetlen tulajdonos ellenvéleménye, és a kábel nyomvonalvezetését meg kell változtatni. Kertvárosi környezetben célszerű oszlopsoron haladni, ami lehet saját tulajdonú vagy bérelt. Ez utóbbi esetben rendszerint valamely távközlési cég vagy áramszolgáltató oszlopait használjuk, ezt nevezzük közös oszlopsornak (5.1.3. ábra).

A közös oszlopsoros hálózat esetén az eszközök elhelyezésének módjára az oszlop tulajdonosa a kábeltelevíziós előírásoknál szigorúbb követelményeket is támaszthat.



5.1.3. ábra. Légekábeles kialakítás kertvárosi környezetben

Légekábeles hálózatoknál önhordó kábeleket használnak, és ezek segítségével rögzítik a kábelt a tartó szerelvényeken. Az önhordó optikai kábeleket rendszerint egy nagy szilárdságú (sok esetben kevlar) belső szállal készítik.

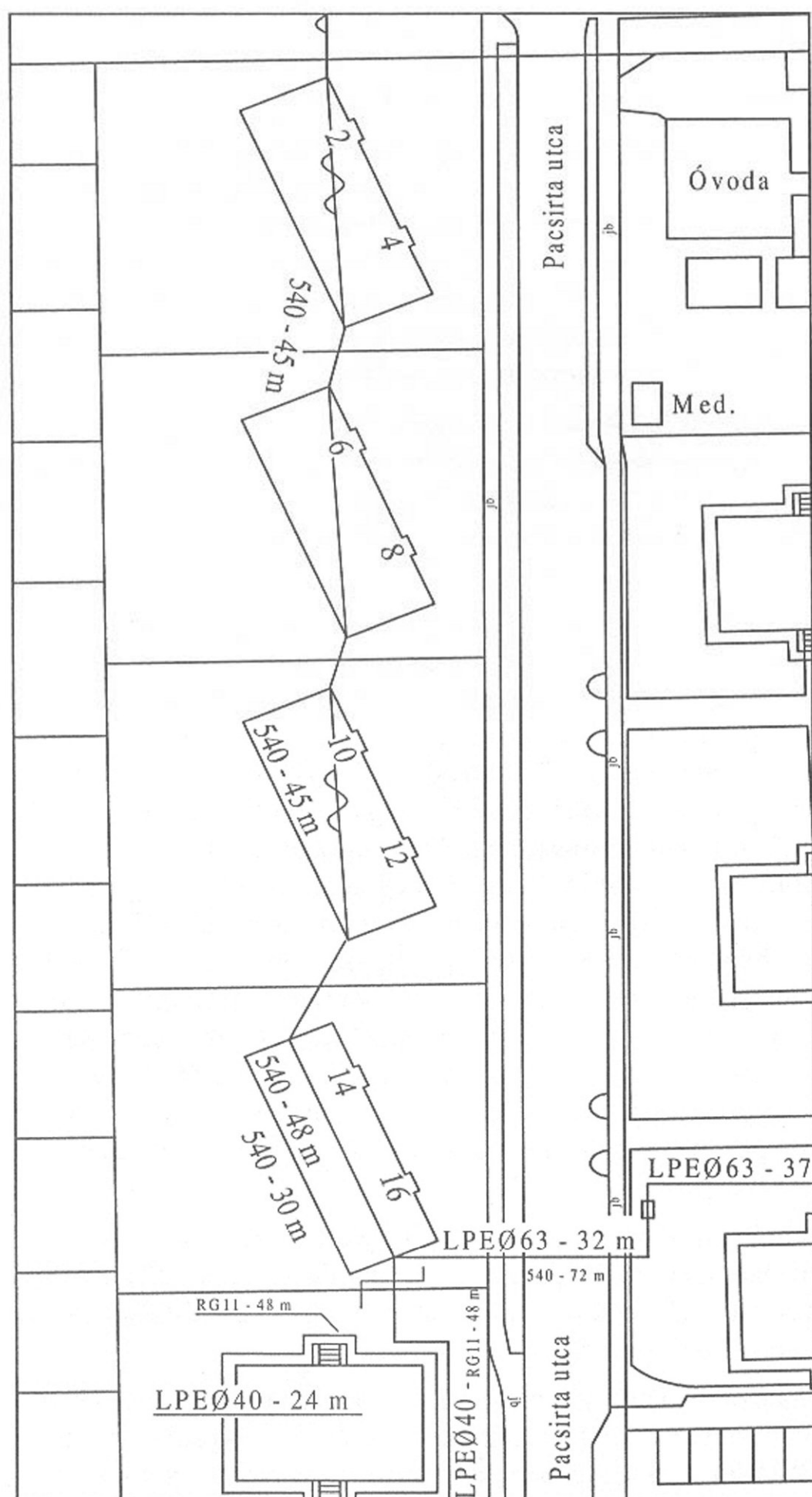
Amint már említettük, ebben az esetben az előfizetői leágazókat az oszlopokon helyezik el és kötik be az előfizetőket. Az előfizetői leágazó minden kimenetén a teljes műsorválaszték jelen van, tehát adott esetben minden előfizetőt „szűrőzni” kell, vagyis az általa választott programcsomagnak megfelelően a frekvencia sáv egy részét ki kell zárni az átvitelből. Mivel a programcsomagok korlátozása ma még többnyire szűrőkkel történik, ezért fontos, hogy azokhoz illetéktelenek ne férhessenek hozzá. Emiatt oszlopsoros hálózatokon gyakran alkalmaznak, csak speciális szerszámmal nyitható szűrő-védőket.

A régi kábeltelevíziós hálózatok a városok többségében a lakótelepeken jelentek meg először, ahol a fejállomásnak helyet adó épületből a házak tetején rögzítve indultak el a vonali kábelek. A lakásokat a falakban végigfutó kábelcsatornákon keresztül látták el jellel, „felfűzött” aljzatokat alkalmazva. Ezeket a hálózatokat mára már szinte mindenütt kiváltották csillagpontos hálózatokkal.

A kor előrehaladtával, egyre több műsor jelent meg a kábeltelevíziós hálózatok programkínálatában, és ezzel párhuzamosan az előfizetők igényei is különváltak, már nem lehetett ugyanazokkal a műsorokkal kielégíteni minden igényt. Ki több, ki pedig kevesebb műsorra vágyik. A hozzáférés korlátozásának számtalan módja van. Vannak digitális kódolási módszerek, amelynél az előfizető egy Set Top Boxon keresztül nézi a műsorokat, és ez az eszköz végzi a korlátozást, és vannak egyszerűbb „analóg” megoldások. Mivel a kábeltelevíziós hálózatokon a műsorok frekvenciaosztás elvén kerülnek ki az előfizetőkhöz, ezért a műsorok „csomagolására” ésszerű megoldásnak tűnik, hogy az előfizetőkhöz igényeik alapján csak bizonyos frekvenciasávokat juttassunk el. Mivel az elosztóhálózaton nem célszerű több párhuzamos kábelen különböző műsorstruktúrákat továbbítani, ezért ezt a frekvenciaszűrést célszerű a hálózat végpontján végrehajtani. A hálózat végpontja az előfizető tv-készüléke, de ez a pont nem alkalmas a szűrők elhelyezésére, mert elképzelhető, hogy illetéktelen személyek hozzáférnek, ezért a szűrőket a lépcsőházi elosztószekrényben, vagy – légekábeles hálózat esetén – az oszlopon lévő előfizetői leágazónál helyezik el. A lépcsőházakban alkalmazott tipikusan csillagponti szekrény kialakításával a későbbiekben még bővebben foglalkozunk.

A légekábeles hálózatoknak nagy előnye, hogy a hálózat „szem előtt van”. Ez sokszor egyszerűsíti az üzemeltetők feladatát, hiszen a terület bejárásával sok öregedési probléma felderíthető és az illegális bekötések is jobban nyomon követhetők. A légekábeles hálózat megépítése gyorsabb és rendszerint olcsóbb is.

A légekábeles hálózatok hátránya viszont, hogy mivel a természet viszontagságainak jobban ki van téve, nagyobb a hőmérsékletingadozás, amelyet később említett módszerekkel korrigálni kell. A kábelek kevésbé védettek, jobban hozzáférhetőek, mint a föld alatt.

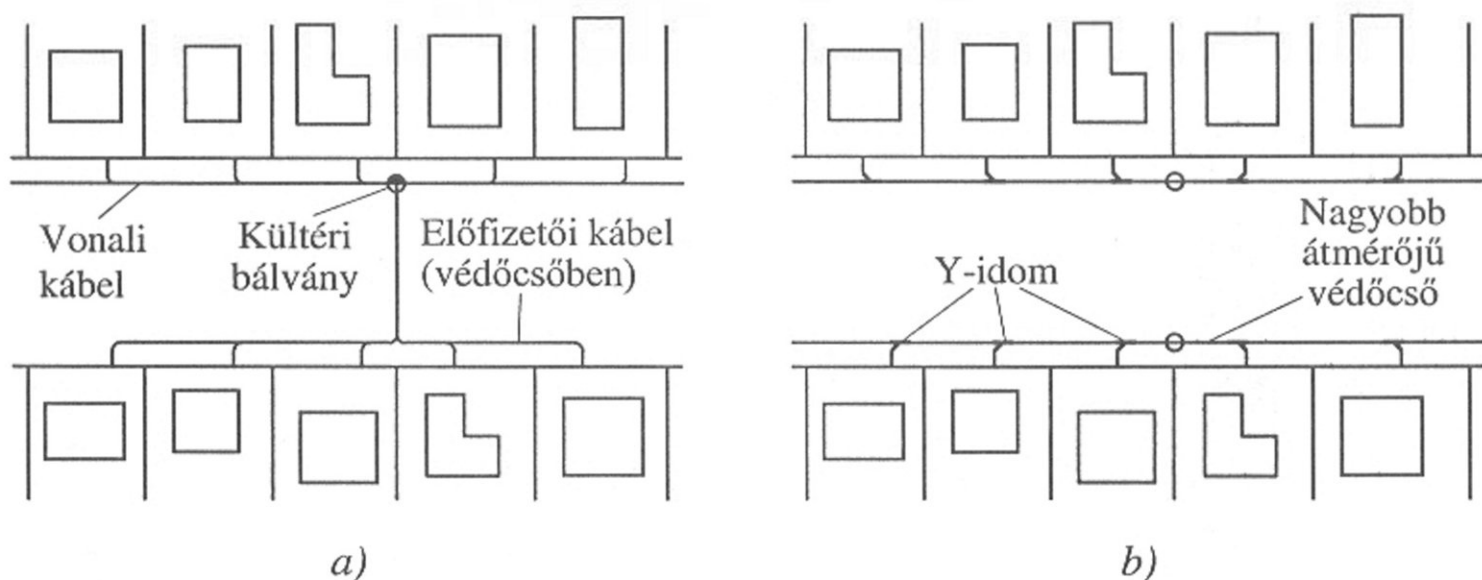


5.1.4. ábra. Légekábeles kialakítás tömbházas környezetben

Földkábeles hálózat

Azelosztóhálózat kábeleit elhelyezhetjük a földfelszín alatt is, ilyenkor a kábeleket fektethetjük közvetlenül földbe vagy építhetünk alépítményt védőcsövekből, és később ebbe húzzuk be a kábeleket. A kábeltelevíziós eszközöket (erősítők, osztók stb.) mindkét esetben megszakító létesítményben helyezik el, legyen az egy föld alatti akna vagy föld feletti „bálvány”. A földalatti hálózat esetén is kettéválasztjuk a tömbházas és kertvárosi környezetet. Tömbházas környezetben a házakat össze kell kötni egy ésszerű nyomvonallal, majd a lépcsőházakba be kell vezetnünk egy kábelt, amely a csillagponti erősítőbe megy. Lakótelepeken rendszerint minden más közművállalat is föld alatt fekteti kábeleit, csöveit, így rendszerint a kábeltelevíziós hálózat kiépítésének sincs más módja (5.1.6. ábra).

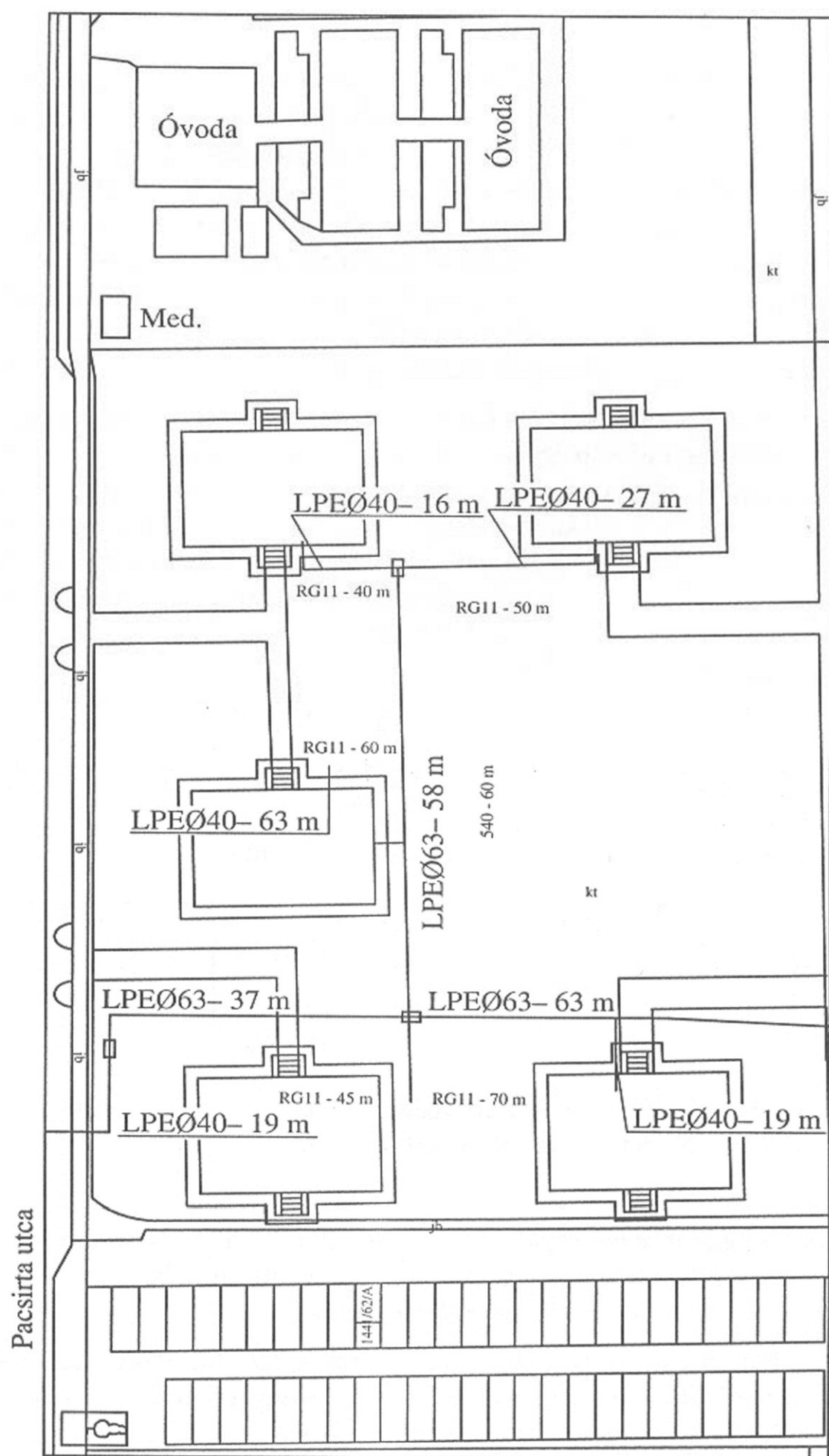
Kertvárosi környezetben a földkábeles hálózat kiépítése sokkal bonyolultabb, mivel ott minden előfizetőhöz egyedi kábelbeállást kell tervezni. Az előfizetői leágazókat és a házerősítőket bálványban helyezik el, amelyből minden előfizetőhöz egyedi kábel vezet. Ennél a megoldásnál az előfizetői kábeleket fektethetjük közvetlenül földbe is, ám ilyenkor nehézkes a kábelcsere, hiszen a nyomvonalat újra ki kell ásni. Az előfizetői kábelbeállítások kerülhetnek egyenként külön védőcsőbe, ilyenkor azonban a bálványokba akár 10-20 védőcsövet is végzödtetnünk kell, ami nehezen megvalósítható.



5.1.5. ábra. Kertvárosi környezet földkábeles megoldással
 a) egyszerű megoldás; b) Y csöves megoldás

A fenti problémára adhat megoldást az ún. Y-csövek alkalmazása, amelynek lényege, hogy az előfizetői kábeleket egy nagyobb átmérőjű védőcsőbe húzzuk be, és minden előfizetőhöz egy Y idommal állunk be (5.1.5.b). ábra).

Az Y csövek alkalmazásával elkerülhetőek a nagy számú előfizetői csövek, jobb a helykihasználás a bálványban. A megoldás hátránya, hogy a bonyolultabb idomok, és a nagyobb szerelési munka miatt költségesebb megoldás.



5.1.6. ábra. Lakótelepi környezet földkábeles megoldással

5.2. A tervezési alapadatok, szabványok

A kábeltelevíziós műsorelosztó hálózatok tervezésénél szem előtt kell tartani az ide vonatkozó szabványokat, előírásokat, amelyek a hálózat különböző pontjain előírják a biztosítandó jelszinteket és minőségi paramétereket.

Az MSZ EN 50083- 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 szabványok foglalkoznak a *Televíziójelek, hangjelek és interaktív szolgáltatások kábelhálózatai* nemzetközi követelményrendszerével. A tervezés szempontjából a felsoroltak közül az MSZ EN 50083-7 és 10-es szabványokat kell kiemelni, amelyek címe a következő:

MSZ EN 50083-7:1996/A1:2002 *Televíziójelek, hangjelek és interaktív szolgáltatások kábeles elosztóhálózatai. 7. rész: Rendszerjellemzők.*

MSZ EN 50083-10:2003 *Televíziójelek, hangjelek és interaktív szolgáltatások kábelhálózatai. 10. rész: A visszáramkör vagy visszirányú áramkör rendszerjellemzői.*

A 7. rész egyszerűsítve a kábeltelevíziós hálózat előreirányú paramétereivel foglalkozik, a 10. rész pedig a visszirányú adatkommunikációs rendszer feltételeivel.

Az előreirányú tervezés során mindvégig azt kell szem előtt tartani, hogy minden előfizetői végponton betartsuk a szabvány által előírt jellemzőket. A szabvány ezeket egyértelműen definiálja és közülük néhány definícióját a továbbiakban ismertetjük.

Előfizetői csatlakozó (rendszerkimenet)

Eszköz, amely az előfizetői tápvonalat kapcsolja össze a vevőkészülék csatlakozókábelével. Esetünkben ez rendszerint az előfizetői aljzat. Mivel a szabvány itt definiálja a szolgáltatás átadási felületét, ezért ezen a ponton kell teljesíteni a később megadott elvárásokat.

Előfizetői leágazó

Eszköz, amely az előfizetői tápvonalat a leágazó tápvonalra csatlakoztatja. Az előfizetői leágazó a gyakorlatban kültéri multitap (sokpontos leágazó) családiházass terület esetén vagy az erre a célra kialakított csillagponti szekrényben elhelyezett beltéri leágazó lakótelepi környezet esetén.

Szabványos vonatkoztatási teljesítmény, P_0

A kábeles jelelosztó rendszerekben a szabványos vonatkoztatási teljesítmény $1/75$ pW (ez a teljesítmény disszipálódik egy 75Ω -os ellenálláson akkor, ha azon $1 \mu V_{\text{eff}}$ feszültség esik).

$$P_0 = \frac{U_0^2}{R} = \frac{1 \mu V}{75 \Omega} = \frac{(10^{-6} \text{ V})^2}{75 \Omega} = \frac{10^{-12} \text{ V}}{75 \Omega} = \frac{1}{75} \cdot 10^{-12} \text{ W} = \frac{1}{75} \text{ pW}.$$

Szint

Bármely P_1 teljesítmény szintértéke, teljesítményviszonya a P_0 szabványos vonatkoztatási teljesítményhez dB-ben:

$$a_{\text{dB}} = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_0}.$$

Bármely U_1 feszültség szintértéke, feszültségviszonya a szabványos U_0 vonatkoztatási feszültséghez való viszonya dB-ben:

$$a_{\text{dB}} = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_0}.$$

Ez kifejezhető dB-ben (1 $\mu\text{V}/75 \Omega$ -ra vonatkoztatva) vagy egyszerűbben dB μV -ban, ha az egyértelmű.

Keresztmoduláció

Egy hasznos jel vivőhullámának nem kívánt modulációja, amelyet egy másik jel modulációja okoz a berendezés vagy a rendszer nemlinearitása következtében.

Intermoduláció

Az a folyamat, amely egy berendezés vagy rendszer nemlinearitása következtében a kimeneten olyan (intermodulációs termékeknek nevezett) zavarójeleket állít elő, amelyek frekvenciái a bemeneti jelek frekvenciáinak lineáris kombinációi.

Vivő-intermoduláció viszony

A vivőfrekvencia és egy meghatározott intermodulációs termék (vagy ez utóbbi kombinációinak) szintjei közötti, dB-ben mért különbség a berendezés vagy a rendszer meghatározott pontján.

Vivő-zaj viszony

A kép-, vagy hangvivő szintje és ugyanazon a ponton mért zajszint közti különbség dB-ben, a berendezés vagy a rendszer adott pontján (a használt rádió- vagy televíziórendszernek megfelelő sáv szélességben mérve).

Kölcsönös elválasztás

Kölcsönös elválasztásnak nevezzük két különböző előfizetői csatlakozó (rendszerkimenet) között mérhető csillapítást, bármely – a szóban forgó rendszer frekvenciasávjába eső – frekvencián. Ezt bármely telephelyre nézve úgy kell megadni, mint az előírt frekvenciahatárok között mérhető legkisebb értéket.

A szabvány az itt leírt értékekre is ad előírásokat, amelyeket az előfizetői csatlakozáson definiál (l. a **3. Függelék**et).

5.3. Optikai hálózatok tervezése

A HFC technológia bevezetésével a kábeltelevíziós hálózatok tervezésénél is találkozunk optikai rendszerekkel és azok tervezési feladataival. A kábeltelevíziós rendszerekben használt optikai eszközök tervezése két részből tevődik össze. Egyrészt figyelembe kell venni az optikai osztók, kábelek és kötések csillapítását, az ONU-k minimális bemeneti szintjét és ezek alapján kell meghatározni az optikai adó teljesítményét. Az optikai teljesítmény optikai szálon jut el az ONU-khoz. A tervezés másik fontos feladata, hogy meghatározzuk a hálózat különböző pontjain a szükséges szálszámot.

5.3.1. Az optikai hálózatok csillapításának meghatározása

Az optikai kábelek átlagos csillapítása a használatos hullámhosszokon:

1310 nm-en: 0,4 dB/km;

1550 nm-en: 0,2 dB/km.

Egy átlagos optikai kötés csillapítása: 0,08 dB.

Az optikai rendszerek tervezésénél teljesítménnyel számolunk, ellentétben a koaxiális hálózatokkal, ahol jelszinttel. Az ONU-k bemeneti optikai teljesítménye rendszerint 0 dBmW.

5.3.2. Az optikai rendszer struktúrája

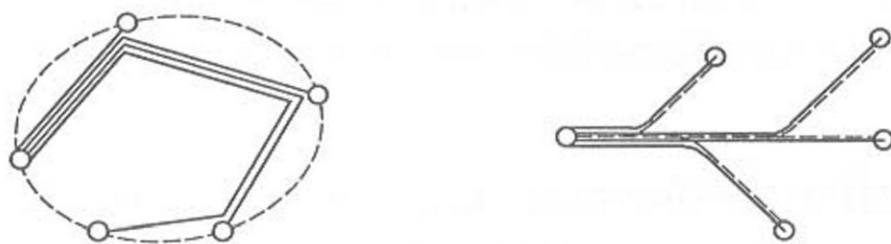
Az optikai rendszerek megbízhatósága nagyban befolyásolja a teljes hálózat megbízhatóságát, ezért tervezésüket is körültekintően kell elvégezni. A rendszer megbízhatóságát a megfelelő struktúra kialakításával növelhetjük. Mivel maguk az optikai eszközök megbízhatóan működnek, a leggyakoribb hibaforrást az optikai kábel szakadása jelenti.

Az esetleges kábel-átvágásokat nem tudjuk megelőzni (hiába a jelzőszalag, a pontos közműnyilvántartás stb.), de az okozott kárt enyhíteni tudjuk a megfelelő struktúra kialakításával. Ilyen pl. a már említettük a gyűrűs struktúra, amelynek lényege, hogy a gyűrű egy szakaszának szakadása esetén a jel a másik irányból még képes eljutni a gyűrű összes pontjához. Ezt az elrendezést a HFC hálózatok optikai rendszerén is megvalósíthatjuk, de akkor a tervezésnél figyelembe kell venni.

A kábeltelevíziós rendszerekben gyakran alkalmazzák a csillag topológiájú optikai rendszert, ami nem olyan megbízható, mint a gyűrű, de tervezése egyszerűbb, és megvalósítása is költséghatékonyabb. A továbbiakban konkrét példákat mutatunk az egyes topológiák tervezésére.

A csillag topológia tervezése

A csillag elrendezésnél a központból (esetünkben a fejállomás) minden hálózati ponthoz (ONU) külön vonalon jut el a jel. Tehát a tervezés fő feladata az, hogy meghatározzuk az optikai hosszakat, azok csillapítását és az ONU-k bemeneti teljesítményét figyelembe véve kiszámítsuk a fejállomásról az egyes ONU-k irányába induló jel teljesítményét. Az optikai hosszakat a nyomvonalterv alapján határozhatjuk meg. A nyomvonalterv alapján elképzelhető, hogy egy faág, vagy egy gyűrű topológiát kapunk, de ez csak nyomvonal szempontjából igaz, mert a rendszer logikailag csillag topológiájúnak minősül.



5.3.1. ábra. A nyomvonal szempontjából gyűrű, ill. fa, ténylegesen csillag topológia

A nyomvonalterv alapján meghatározhatjuk, hogy az egyes ONU-k irányában hány kötéson, csatlakozón megy keresztül a jel. A tervezés során a következő képlettel számíthatjuk az optikai szakasz csillapítását:

$$L = a_{\text{szál}} \cdot l_{\text{szál}} + a_{\text{kötés}} \cdot n_{\text{kötés}} + a_{\text{csatl}} \cdot n_{\text{csatl}},$$

ahol $a_{\text{szál}}$ az optikai szál csillapítása, dB/km; $l_{\text{szál}}$ az optikai szál hossza, km; $a_{\text{kötés}}$ a kötés csillapítása, dB; $n_{\text{kötés}}$ a kötések száma az optikai nyomvonalon; a_{csatl} a használatos optikai csatlakozó csillapítása, dB; n_{csatl} az optikai csatlakozók száma.

A fejállomásról elindítandó optikai teljesítmény meghatározásához használjuk a következő összefüggést:

$$P_{1\text{ONU}} = L_{1\text{ONU}} + P_{\text{beONU}},$$

ahol $P_{1\text{ONU}}$ az 1. ONU-hoz szükséges fejállomási teljesítmény; $L_{1\text{ONU}}$ az 1. ONU-hoz tartozó optikai szakasz csillapítása és P_{beONU} az ONU bemeneti teljesítményeigénye (a minimális jelszint megnövelve a hálózati tartalékokkal).

Az összefüggéssel meghatározzuk az összes ONU induló teljesítményét. Legyenek ezek: $P_{1\text{ONU}}$; $P_{2\text{ONU}}$; $P_{3\text{ONU}}$; ... $P_{n\text{ONU}}$, amelyek ismeretében már meg lehet határozni a fejállomáson elhelyezett optikai osztó és az ahhoz szükséges optikai adó jellemzőit.

Az optikai osztók (akárhány kimenetük is van) szimmetrikus vagy aszimmetrikus optikai osztókból épülnek fel. Az optikai osztók osztásarányát %-ban szokták megadni, pl. 80%/20%; 50%/50% stb. A százalékos osztásarány ismeretében meghatározhatjuk a csillapítást is. Vegyünk pl. egy 25%/75%-os optikai osztót. Az osztó bemenetére adott fényt teljesítmény 25%-a jut az egyik és 75%-a a másik kimenetre. A beiktatási csillapításokat dB-ben kifejezve:

$$P_{ki1} = 0,25 \cdot P_{be};$$

$$P_{ki2} = 0,75 \cdot P_{be};$$

$$L_{ki1} = 10 \cdot \lg \frac{P_{ki1}}{P_{be}} = 10 \cdot \lg 0,25 = -6,02 \text{ dB};$$

$$L_{ki2} = 10 \cdot \lg \frac{P_{ki2}}{P_{be}} = 10 \cdot \lg 0,75 = -1,25 \text{ dB}.$$

Ezek az értékek elméleti megvalósítás esetén érvényesek, a gyakorlatban, mivel az optikai osztók sem veszteségmentesek, ezért a valós csillapítást az **5.3.1.** táblázat adja meg.

Az optikai osztók beiktatási csillapításai. **5.3.1.** táblázat

Osztás, %	Max. csillapítás, dB	Osztás, %	Max. csillapítás, dB
99	0,45	1	21,6
97	0,55	3	16,4
95	0,66	5	14,3
90	0,9	10	10,8
85	1,1	15	8,9
80	1,4	20	7,6
75	1,7	25	6,6
70	2,0	30	5,8
67	2,4	33	5,6
65	2,6	35	5,1
60	2,7	40	4,5
55	3,1	45	4,1
50	3,6	50	3,6

A fenti osztókból kell megterveznünk egy optikai szétosztó hálózatot úgy, hogy az optikai szakaszok csillapítását figyelembe véve az ONU-k megfelelő teljesítményt kapjanak. Az egyes ONU-k (optikai szállal vett) beiktatási csillapításainak különbségeit a lehetőség szerint legjobban ki kell egyenlíteni az optikai szétosztó csillapításaival.

Az optikai adó teljesítményének meghatározásakor összegezzük az optikai szakaszokon fellépő csillapítást (szakaszcsillapítás, optikai szétosztó csillapítása), válasszuk ki ezek közül a maximálist, majd adjuk hozzá az ONU minimális bemeneti jelszintjének tartalékkal növelt értékéhez. Az így kapott érték megadja a választott optikai adó min. kimeneti jelszintjét.

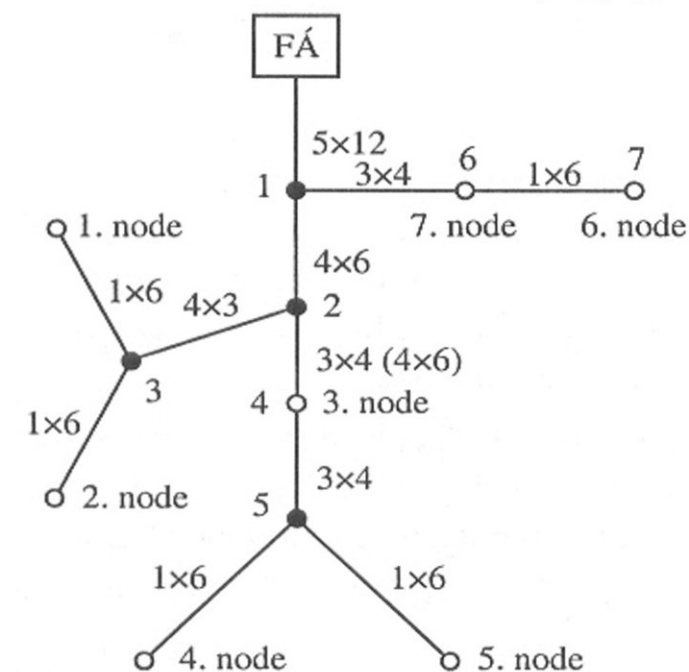
A fenti gondolatmenet ne rettentsen el senkit az optikai terv elkészítésétől, mivel a kábeltelevíziós hálózatoknál nincs olyan nagy különbség az ONU-k beiktatási csillapítását illetően, ezért leggyakrabban a fejállomáson használt optikai osztó egyenrangú kimeneteket állít elő.

Gyűrűs topológia tervezése

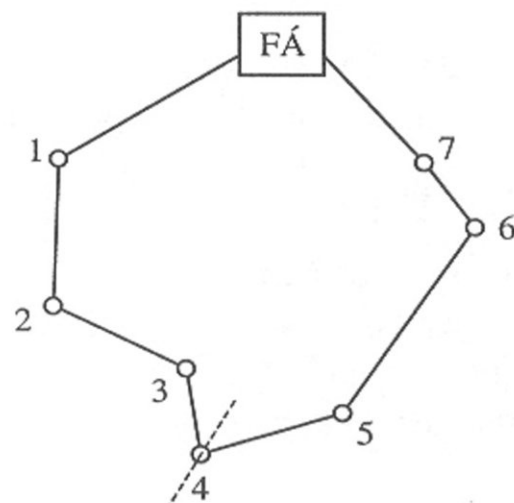
A gyűrűs topológia már említett haszna csak akkor érvényesül, ha azt megfelelő tervezés előzte meg. Nézzük meg mi történik, ha a gyűrű egyik pontján megszakad a jel továbbítása. Alapvetően az ONU-k ellátására az A irányt használjuk. A vonal megszakadása után a 1. ONU továbbra is elérhető az A irányból, de a 2. és 3. ONU már csak a B irányból. A fejállomáson az optikai szétosztást úgy kell méretezni, hogy a minden ONU mindkét irányból megkapja az optikai jelet, ezt a legegyszerűbben úgy érhetjük el, hogy két optikai osztót tervezünk, egyet az A, egyet a B irányra.

Az optikai rendszerek tervezése az optikai kábel kapacitásának figyelembe vételével

A korszerű HFC hálózatokban az ONU-nak alapvetően két optikai szádra van szüksége, egyre előreirányba egyre pedig vissz irányba. Gazdaságosság szempontjából azonban célszerű nagyobb kapacitású kábelt betervezni a későbbi tartalékok, bővítések miatt. Az ONU-kat egy 6 szálas optikai kábellel csatlakoztassuk az optikai gerinchez, és ebből 4-et kössünk egyenesbe a fejállomásig. A fennmaradó két szál esetleges kábelszakadással használható fel. Ha egyszerű faág struktúrájú optikai hálózatunk van, akkor mindezek figyelembe vételével a végpontokról elindulva határozzuk meg a szükséges kábel szerkezetét. A következőkben nézzük meg egy gyakorlati példát.



5.3.2. ábra. Optikai hálózat tervezése



5.3.3. ábra. Optikai gyűrű tervezése

Adott az **5.3.2.** ábrán látható optikai nyomvonal hét ONU-val. Jelen esetben az alábbi szálszámú optikai kábelek állnak rendelkezésünkre:

- Fveb1×6-os, 6 szálás behúzó kábel,
- Fveb3×4-as, 12 szálás behúzó kábel,
- Fveb4×6-os, 24 szálás behúzó kábel,
- Fveb5×12-es, 60 szálás behúzó kábel.

Vizsgáljuk meg a fenti hálózatot. Az egyes ONU-khoz használhatjuk a legkisebb szálszámú 1×6-os optikai kábelt. Kezdjük a tervezést a végpontoktól visszafelé. A 3-as számszámú optikai kötésbe befut az 1. és a 2. ONU 1×6-os kábele. Ezekből a fentiek alapján 2×4-et azaz 8 szálát használunk (ONU-nként 4-et). A nyolc szál összefogásához szükségünk van a 12 szálás (Fveb3×4) kábelre, tehát a 3. és a 2. optikai kötés közé min. ilyen kábelt kell behúzni. A 4. és az 5. ONU esetében hasonló a helyzet, így az 5. és a 4. optikai kötés között szintén egy 3×4-es kábelt kell használnunk. A 3. ONU közvetlenül a 4. kötésnél van, de ez a gyakorlatban olyan, mintha távolabb lenne, mivel ekkor is egy 1×6-os kábelt kell használnunk a kötés és az ONU között, csak természetesen rövidebbet. A 4. optikai kötésbe tehát befut egy 3×4-es kábel és egy 1×6-os, a hasznos szálszám $2 \times 4 + 4 = 12$. Ezek alapján 2. és a 4. kötés közé elegendő egy 12 szálás optikai kábel. (A későbbi fejlesztések figyelembevételével betervezhetünk nagyobb kábelt is, mert a 12-szálásban már nem marad tartalék.) A 2. kötéshez két 3×4-es kábel érkezik, ezért a 2. és az 1. kötés közé 4×6-os kábelt tervezünk. A 6. kötésnél két 1×6-os kábel találkozik (a hasznos szálszám 2×4) ezért az 1. és a 6. kötés közé 3×4-es kábelt tervezünk. Végezetül az 1. kötésnél találkozó 4×6-os és 3×4-es kábeleket egy 5×12 szálás kábelen visszük be a fejállomásra, ahol célszerű mind a 60 szálát kifejteni egy rendező panelre.

Tegyük fel, hogy a fenti területet a rendelkezésre állás növelése miatt gyűrű struktúrában kívánjuk szervezni (**5.3.3.** ábra).

Amint azt már az előzőekben láttuk, gyűrű alkalmazása esetén a minden ONU-t a gyűrűn mindkét irányból el kell tudni érni. Ennek a struktúrának a tervezése egyszerűbb. A 7 ONU-hoz $7 \times 4 = 28$ hasznos szálra van szükség, a gyűrű kialakításához nem kell mást tennünk, mint ezt a 28 szálát végig vinni a teljes gyűrűn. Tegyük fel, hogy a kábelünk szálait megszámozzuk 1-től 28-ig, és ezt felírjuk a kábel mindkét végére, amelyek a fejállomásra bejönnek. Az 1. ONU használja az 1-4., a 2. ONU 5-8. stb. szálakat. Az 1. ONU kötésénél mindkét irányból érkező kábelből kifejtek az 1-4. szálakat, így összesen 8 szálát kell az ONU-hoz csatlakoztatni. A 2. ONU-nál hasonló képen kifejtek mindkét irányból az 5-8. szálakat, és ezt megteesszük az összes ONU-nál. Ebben az esetben az 1. ONU mindkét irányból elérhető az 1-4. szálakon. A tervezésnél azt használjuk fel, hogy azok a szálak, amelyek az ONU egyik irányból történő ellátását szolgálják, a továbbiakban az ONU tartalék szálait képezik a másik irányba, ezért a tervezett optikai kábel keresztmetszete nem változik. A példa megvalósításához egy 5×12 szálás kábelt kell behúznunk.

5.4. Koaxiális hálózatok tervezése

A koaxiális hálózatok tervezésénél főként az előző pontban említett szabványokat, és az alkalmazott kábeltelevíziós építőelemek műszaki paramétereit kell figyelembe venni.

A hálózatnak nincs más „dolga”, mint az, hogy a fejállomásról induló jeleket eljuttassa az előfizetőkig, és az előfizetőktől érkező jeleket vissz irányban átvigye a fejállomásig. A tervezés alapvető feladatai:

- kábelek csillapításának és korrekciójának meghatározása a frekvencia függvényében,
- a hálózat aktív elemeinek kiválasztása,
- a kaszkádosítás problémájának megoldása,
- az erősítők szintezése,
- távtáplálás,
- előfizetői csatlakozás biztosítása,
- csillagponti szekrény tervezése.

5.4.1. Koaxiális kábelek

A koaxiális elosztóhálózatnál alkalmazott kábelek alapvető tulajdonsága, hogy az átvinni kívánt jeleket csillapítják. Másik fontos tulajdonságuk, hogy a frekvencia függvényében változik a csillapításuk. A kábelek csillapítása a hosszukkal arányos érték, ezért csillapításukat egységnyi hosszra adják meg, néhány jellemző frekvencián. A kábeltelevíziózásban általánosan használt CommScope gyártmányú koaxiális kábelek frekvencia függvényében mért csillapítását az 5.4.1. táblázat tartalmazza. Az értékek 100 m-re vonatkoznak. A kábelek csillapítását tehát egységnyi hosszúságra és adott frekvenciára adják meg, amiből az adott frekvenciára, tetszőleges l hosszra kiszámolhatjuk a csillapítást.

$$A_l = A_{100} \cdot \frac{l}{100},$$

ahol A_{100} a kábel csillapítása 100 m-en (katalógusadat), dB; A_l a kábel csillapítása l hosszon, dB és l a kábel hossza, m.

Láthatjuk, hogy a gyártók több frekvencián megadják a kábel csillapítását. Elképzelhető, hogy olyan f_2 pontban is szükségünk lehet a csillapításra, amely nincs megadva, ilyen esetben a következő összefüggéssel számíthatjuk a kábel csillapítását:

$$A_{f_2} = A_{f_1} \cdot \sqrt{\frac{f_2}{f_1}},$$

ahol A_{f_2} a kábel csillapítása a keresett f_2 frekvencián, dB; A_{f_1} a kábel csillapítása az ismert f_1 frekvencián, dB; f_1 : az ismert frekvencia, MHz és f_2 a megadott frekvencia, MHz.

A gyakrabban használt kábelek csillapítása. 5.4.1. táblázat

Frekvencia, MHz	Csillapítás, dB		
	RG6	RG11	QR540
5	1,90	1,25	0,46
55	5,25	3,15	1,54
83	6,40	3,87	1,90
187	9,35	5,74	2,94
211	10,00	6,23	3,12
250	10,82	6,72	3,338
300	11,64	7,38	3,71
350	12,63	7,94	4,03
400	13,61	8,53	4,33
450	14,43	9,02	4,59
500	15,09	9,51	4,89
550	16,08	9,97	5,12
600	16,73	10,43	5,38
750	18,54	11,97	6,07
865	20,01	13,05	6,56
1000	21,49	14,27	7,12

A összefüggés csak közelítő eredményt ad, ezért célszerű a keresett frekvenciához legközelebbi megadott frekvenciával és csillapítással számolni, így csökkenthetjük a hibát.

A kábelek csillapítása nem csak a frekvencia, hanem a hőmérséklet függvényében is változik, amit a következő összefüggéssel számíthatunk:

$$A_t = A_{20} \cdot [1 + 0,002 \cdot (t - 20)],$$

ahol A_t a kábel csillapítása t °C hőmérsékleten, dB; A_{20} a kábel csillapítása 20 °C-on, dB és t az a hőmérséklet, amelyen a csillapítást kívánjuk meghatározni, °C.

A katalógusok a kábel csillapítását rendszerint 20 °C-on adják meg, de találkozhatunk olyan – főleg angolszász terminológiát használó – gyártókkal, amelyek adott °F-ben (Fahrenheit fokban) adják meg a kábel csillapítását. Ekkor használhatjuk a következő összefüggéseket a hőmérsékletek átszámítására:

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} \cdot (^{\circ}\text{F} - 32), \text{ ill. } ^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} \cdot ^{\circ}\text{C} + 32.$$

(Pl. 20 °C-nak 68 °F felel meg.)

A tervezés szempontjából fontos tényező a kábel egyenáramú ellenállása is, amit a kábel specifikációjában szintén megadnak. A CommScope QR 540-es kábelre nézve ez az érték:

- az árnyékolás ellenállása: 1,94 Ω/km,
- a belső vezető ellenállása: 3,34 Ω/km,
- a kábelhurok ellenállása: 5,28 Ω/km.

Ezek az értékek a hálózat távtáplálásának tervezésekor fontosak.

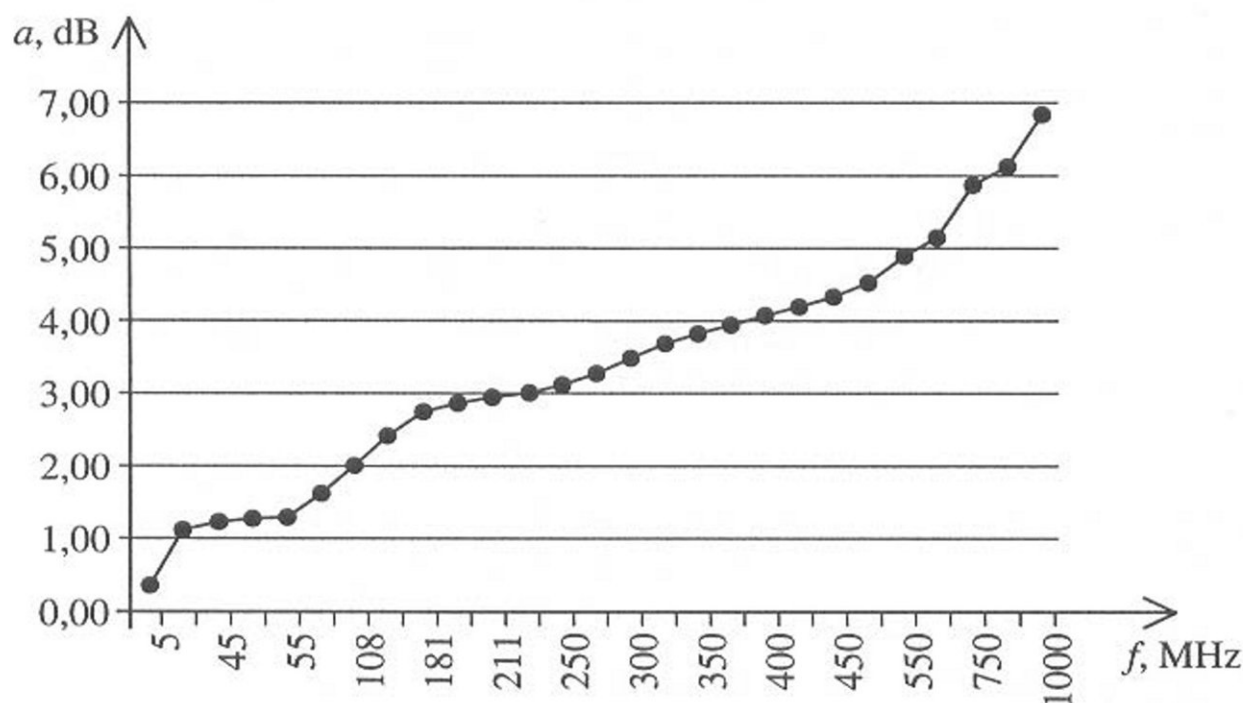
A hálózat tervezéskor a megadott jellemzők kerekített értékeivel dolgozunk. A kábel csillapítását előreirányba lineárisnak vesszük. Az 5.4.1. ábrán egy QR 540 típusú kábel csillapítási jelleggörbéje látható a katalógus alapján. A tervezés során a frekvenciasávok ismeretében meghatározunk négy frekvenciát, kettőt az előre irányban, kettőt pedig vissz-irányban. A megadott kábeladatokat felhasználva legyenek a tervezendő hálózat frekvencia-sávjai:

- előreirány: 65...862 MHz,
- visszirány: 5...55 MHz.

Ebben az esetben a kábelek csillapításait csak a következő frekvenciákon vesszük figyelembe, a megadott értékek között pedig lineárisnak tekintjük az átvitelt:

- előre irányban: 88 MHz és 865 MHz,
- visszirányban: 5 MHz és 55 MHz.

A koaxiális kábelek az előbb ismertetett tulajdonságaik mellett viszik át a rádiófrekvenciás jeleket a hálózaton. A jelek csillapítását erősítők alkalmazásával tudjuk kompenzálni.



5.4.1. ábra. QR 540 típusú kábel csillapítása

5.4.2. Erősítők alkalmazása a hálózatban

A koaxiális KTV hálózatok aktív elemei az erősítők, amelyek fontosabb műszaki paramétereit a 3. fejezetben ismertettük. A tervezés szempontjából az erősítők fontos feladata a passzív eszközökön csillapodó jelek erősítése, a kábelben a frekvencia függvényében csillapodó jelek frekvenciamentének helyrehozása, és ha a hálózaton a

kábelek csillapításának hőmérsékletfüggése egy bizonyos határon túl van, akkor ezek korrekciója. A hálózat építésénél használatos erősítők műszaki paramétereit a gyártók definiálják, ha egy erősítőt használnánk. A hálózatban azonban rendszerint több erősítőt használunk, kaszkádba kötve. A hálózat műszaki paramétereit nagyban befolyásolja az egymás után kötött (egy kaszkádban lévő) erősítők száma. A hálózat tervezésnél figyelembe kell venni a jelszintek alakulását, hogy az előfizetőknél az MSZ EN 50083-7 szabványban definiált értékeket biztosítani tudjuk. A jelek mellett minden esetben a nemkívánatos zajok is jelen vannak a hálózaton, ezek a zajok több irányból eredhetnek (zajnak tekinthetünk minden olyan jelet, ami eltér a csatornán átvitt hasznos jelektől).

Termikus zaj

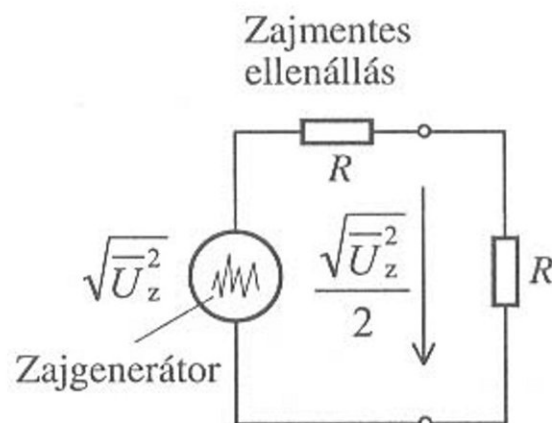
A termikus zaj, mint a 4.3.3. pontban láttuk az elektronok termikus mozgása következtében alakul ki. A termikus zaj teljesítmény eloszlása az adott frekvencia sávban egyenletesnek tekinthető, teljesítményét a következő összefüggés adja meg:

$$P_z = k \cdot T \cdot B_z,$$

ill. R ellenálláson kialakuló zajfeszültség (5.4.2. ábra).

$$U_z = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B_z}.$$

5.4.2. ábra. Zajforrás

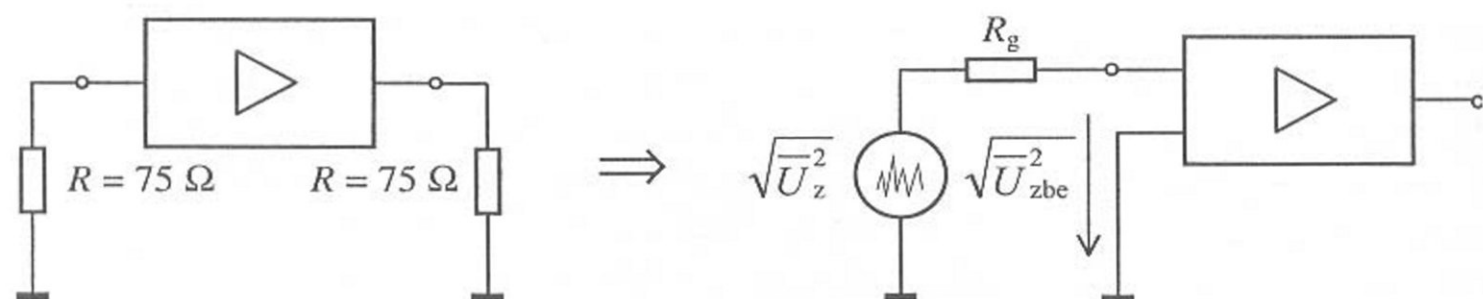


Határozzuk meg mekkora lesz a zajfeszültség, ha egy termikus zajforrást kapcsolunk a kábeltelevíziós erősítő bemenetére (a sáv szélesség 5 MHz, $R_g = R_{be} = 75 \Omega$, 5.4.3. ábra

$$\begin{aligned} U_{zbc} &= \frac{U_z}{R_g + R_{be}} \cdot R_{be} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B_z} = \sqrt{k \cdot T \cdot R \cdot B_z} = \\ &= \sqrt{75 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 5 \cdot 10^6} = 1,23 \mu\text{V}. \end{aligned}$$

A kapott értéket 1 mV vonatkoztatási szintben kifejezve (dBmV):

$$U_{zbc} = 20 \cdot \lg \frac{1,23 \cdot 10^{-6}}{10^{-3}} = -58,2 \text{ dBmV} \approx 2 \text{ dB}\mu\text{V}.$$



5.4.3. ábra. Erősítő zajforrással

Az erősítőkre jellemző érték a zajtényező (zajsám). Ez az érték fejezi ki a bemeneten és a kimeneten lévő jelteljesítmény és zajteljesítmény viszonyait, a következő módon:

$$F = \frac{P_{\text{jelbe}}}{P_{\text{zajbe}}} \bigg/ \frac{P_{\text{jelki}}}{P_{\text{zajki}}},$$

ahol $P_{\text{jelbe/ki}}$ a jel teljesítménye a be- és a kimeneten, $P_{\text{zajbe/ki}}$ a zaj teljesítménye a be- és a kimeneten. A zajtényező megadható viszonzyszámként is, ekkor:

$$F^{\text{dB}} = 10 \cdot \lg F.$$

Felhasználva, hogy a bemeneti zaj teljesítménye, $P_{\text{zajbe}} = k \cdot T \cdot B_z$, valamint azt, hogy az erősítő teljesítményerősítése $G_{\text{telj}} = P_{\text{jelki}}/P_{\text{jelbe}}$ és az erősítő feszültségerősítését \sqrt{G} -nek definiálva kapjuk, hogy:

$$F = \frac{P_{\text{jelbe}}}{P_{\text{zajbe}}} \bigg/ \frac{P_{\text{jelki}}}{P_{\text{zajki}}} = \frac{P_{\text{jelbe}} \cdot P_{\text{zajki}}}{P_{\text{zajbe}} \cdot P_{\text{jelki}}} = \frac{P_{\text{jelbe}} \cdot P_{\text{zajki}}}{k \cdot T \cdot B_z \cdot P_{\text{jelki}}} = \frac{P_{\text{zajki}}}{k \cdot T \cdot B_z \cdot \frac{P_{\text{jelki}}}{P_{\text{jelbe}}}} = \frac{P_{\text{zajki}}}{k \cdot T \cdot B_z \cdot G},$$

amiből $P_{\text{zajki}} = F \cdot G \cdot (k \cdot T \cdot B_z)$, és ebből a zajszint:

$$U_{\text{zajki}} = \sqrt{F \cdot G \cdot k \cdot T \cdot B_z \cdot R}.$$

A kapott összefüggések ismeretében az F zajtényezőjű erősítő kimenetén kívánjuk meghatározni a vivő-zaj viszonyt (CNR , Carrier to Noise Ratio), ha a bemenetén a hasznos jelen kívül csak a termikus zaj található. Ekkor a vivő-zaj viszony:

$$CNR = U_{\text{jelki}}/U_{\text{zajki}}, \quad \text{vagy} \quad CNR^{\text{dB}} = 20 \cdot \lg(U_{\text{jelki}}/U_{\text{zajki}}).$$

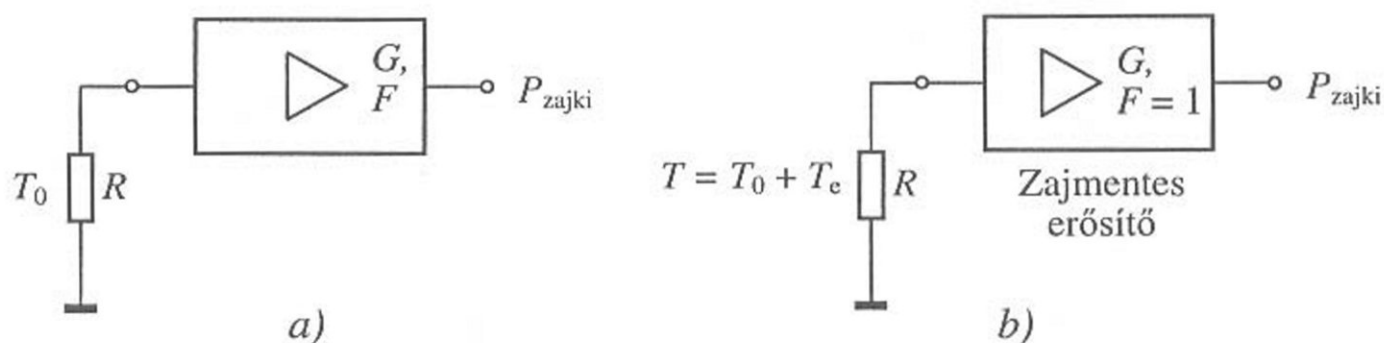
$$CNR = \frac{U_{\text{jelki}}}{U_{\text{zajki}}} = \frac{U_{\text{jelbe}} \cdot \sqrt{G}}{\sqrt{F \cdot G \cdot k \cdot T \cdot B_z \cdot R}} = \frac{1}{\sqrt{F}} \cdot \frac{U_{\text{jelbe}}}{\sqrt{k \cdot T \cdot B_z \cdot R}}.$$

ha a fenti összefüggést dB-ben akarjuk kifejezni, akkor:

$$\begin{aligned} CNR^{\text{dB}} &= 20 \cdot \lg CNR = 20 \cdot \lg \left(\frac{1}{\sqrt{F}} \cdot \frac{U_{\text{jelbe}}}{\sqrt{k \cdot T \cdot B_z \cdot R}} \right) = 20 \cdot \lg \left(\frac{1}{\sqrt{F}} \cdot \frac{\frac{U_{\text{jelbe}}}{1 \text{ mV}}}{\frac{\sqrt{k \cdot T \cdot B_z \cdot R}}{1 \text{ mV}}} \right) = \\ &= 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{jelbe}}}{1 \text{ mV}} - 20 \cdot \lg \frac{\sqrt{k \cdot T \cdot B_z \cdot R}}{1 \text{ mV}} - 20 \cdot \lg \sqrt{F} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{jelbe}}}{1 \text{ mV}} - 20 \cdot \lg \frac{\sqrt{k \cdot T \cdot B_z \cdot R}}{1 \text{ mV}} - 10 \cdot \lg (\sqrt{F})^2 = \\
 &= 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{jelbe}}}{1 \text{ mV}} - 20 \cdot \lg \frac{\sqrt{k \cdot T \cdot B_z \cdot R}}{1 \text{ mV}} - 10 \cdot \lg F = U_{\text{jelbe}}^{\text{dBmV}} - (-58,2 \text{ dBmV}) - F^{\text{dB}} = \\
 &= U_{\text{jelbe}}^{\text{dBmV}} + 58,2 \text{ dBmV} - F^{\text{dB}}.
 \end{aligned}$$

Mint azt ez előzőekben láthattuk, a vivő-zaj viszony meghatározásánál igen nagy szerepe van az erősítők zajtényezőinek, a továbbiakban pedig láthattuk, hogy a termikus zaj függ a rendszer hőmérsékletétől. A zajhőmérséklet korrekciójára bevezették az effektív zajhőmérsékletet, ami helyettesítheti a zajtényező fogalmát.



5.4.4. ábra. Az effektív zajhőmérséklet értelmezése

Az 5.4.4.a) ábrán a hagyományos elrendezést figyelhetjük meg, az F zajtényezőjű, G erősítésű erősítőre egy T_0 zajhőmérsékletű zajforrást kapcsolunk, így az erősítő kimenetén előálló zajteljesítmény P_{zajki} . A 5.4.4.b) ábra elrendezésében a zajmentesnek vett erősítő zajtényezője $F = 1$, erősítése G , kimeneti zajteljesítménye szintén P_{zajki} , amit úgy érünk el, hogy a zajforrás hőmérsékletét korrigáljuk a T_e effektív zajhőmérséklettel. Vizsgáljuk meg először az 1. esetet. Mint az már ismeretes,

$$F = \frac{P_{\text{zajki}}}{(k \cdot T_0 \cdot B_z) \cdot G}, \text{ amiből } P_{\text{zajki}} = F \cdot G \cdot (k \cdot T_0 \cdot B_z).$$

A 2. esetben az ellenállás termikus zaját az erősítéssel megnövelve kapjuk a kimeneti zajteljesítményt: $P_{\text{zajki}} = G \cdot k \cdot (T_0 + T_e) \cdot B_z$.

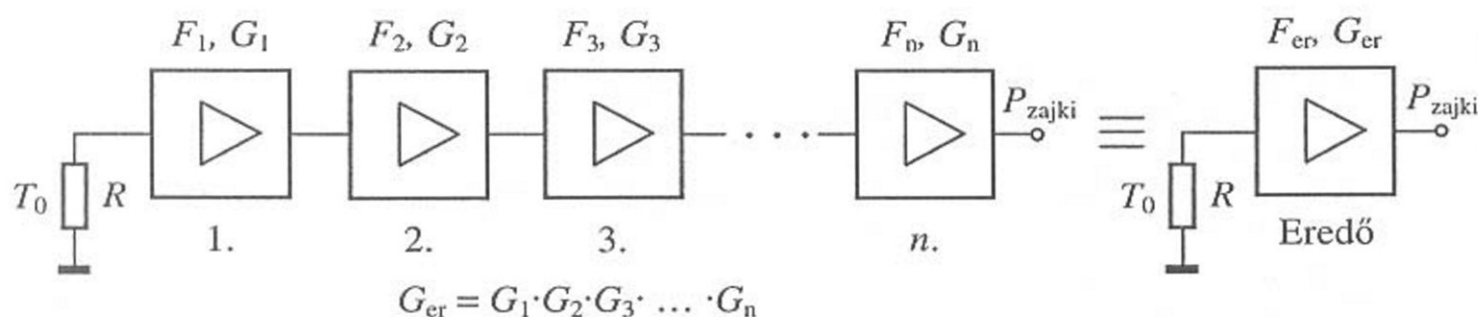
Mivel a két mennyiség megegyezik: $F \cdot G \cdot (k \cdot T_0 \cdot B_z) = G \cdot k \cdot (T_0 + T_e) \cdot B_z$,

ill. a szükséges egyszerűsítésekkel: $F = 1 + \frac{T_e}{T_0}$, valamint $T_e = (F - 1) \cdot T_0$.

Kiszajú esetekben célszerűbb a T_e -vel számolni.

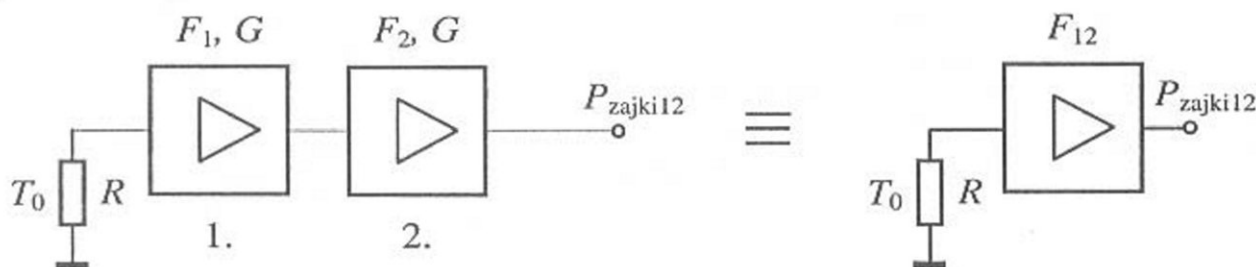
Az eredő zajtényező meghatározása több erősítő esetén (5.4.5. ábra):

$$G_{\text{er}} = G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot \dots \cdot G_n.$$



5.4.5. ábra. Zajtényező kaszkád kapcsolásban

Az eredő zajtényező meghatározásához nézzük először a két erősítőtől álló esetet (5.4.6. ábra):



5.4.6. ábra. Két erősítő eredő zajtényezője

Az első erősítő után a kimeneten a zajteljesítmény:

$$P_{zajki1} = F_1 \cdot G_1 \cdot k \cdot T_0 \cdot B_z;$$

$$P_{zajki2} = P_{zajki1} \cdot G_2 + X$$

Az X jelű mennyiség nem más, mint a második erősítőben keletkező zajteljesítmény, amelynek meghatározásához tekintsünk egy kicsit vissza az effektív zajhőmérsékletnél leírtakra:

$$P_{zajki} = G \cdot k \cdot (T_0 + T_e) \cdot B_z = G \cdot k \cdot T_0 \cdot B_z + G \cdot k \cdot T_e \cdot B_z$$

Itt az első tag a termikus zajból adódik, míg a második tag pedig az erősítő által hozzáadott zaj, tehát: $X = G \cdot k \cdot T_e \cdot B_z = G \cdot k \cdot T_0 \cdot (F_2 - 1) \cdot B_z$.

Ezt behelyettesítve a kimeneti zaj összefüggésébe:

$$P_{zajki2} = P_{zajki1} \cdot G_2 + G \cdot k \cdot T_0 \cdot (F_2 - 1) \cdot B_z = F_1 \cdot G_1 \cdot k \cdot T_0 \cdot B_z \cdot G_2 + G_2 \cdot k \cdot T_0 \cdot (F_2 - 1) \cdot B_z.$$

Az eredő erősítő kimenő zajteljesítménye: $P_{zajki2} = F_{12} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot k \cdot T_0 \cdot B_z$.

Mivel a két előző összefüggés megegyezik:

$$F_{12} \cdot G_1 \cdot G_2 \cdot k \cdot T_0 \cdot B_z = F_1 \cdot G_1 \cdot k \cdot T_0 \cdot B_z \cdot G_2 + G_2 \cdot k \cdot T_0 \cdot (F_2 - 1) \cdot B_z;$$

$$F_{12} \cdot G_1 \cdot G_2 = F_1 \cdot G_1 \cdot G_2 + G_2 \cdot (F_2 - 1);$$

$$F_{12} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}.$$

A gondolatmenetet folytatva az első három erősítő eredő zajtényezője:

$$F_{123} = F_{12} + \frac{F_3 - 1}{G_{12}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2}.$$

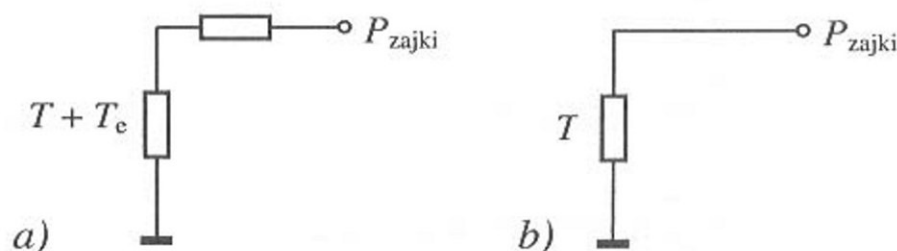
Ebből már látható, hogy az n db erősítő eredő zajtényezője:

$$F_{\text{er}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_n}.$$

Az összefüggést Früs-formulának nevezzük.

Az erősítők zajhozzájárulásának kiszámítása után vizsgáljuk meg a hálózatban alkalmazott csillapítók zaját!

5.4.7. ábra. Csillapító zaja



Határozzuk meg a csillapító effektív zajhőmérsékletét. Az 5.4.7.a) ábra szerint a kimeneti zajteljesítmény: $P_{\text{zajki}} = \frac{1}{L} \cdot k \cdot (T + T_e) \cdot B_z$,

ahol L a csillapító csillapítása (arányszámmal kifejezve).

Az 5.4.7.b) ábra szerint a kimeneti zajteljesítmény: $P_{\text{zajki}} = kTB_z$.

A két mennyiség megegyezik, ezért:

$$\frac{1}{L} \cdot k \cdot (T + T_e) \cdot B_z = k \cdot T \cdot B_z;$$

$$\frac{1}{L} \cdot (T + T_e) = T;$$

$$T_e = (L - 1) \cdot T.$$

Mivel ismeretes az effektív zajhőmérséklet és a zajtényező kapcsolata, a csillapító zajtényezője: $F_{\text{csill}} = 1 + \frac{T_e}{T} = 1 + (L - 1) \cdot \frac{T}{T}$.

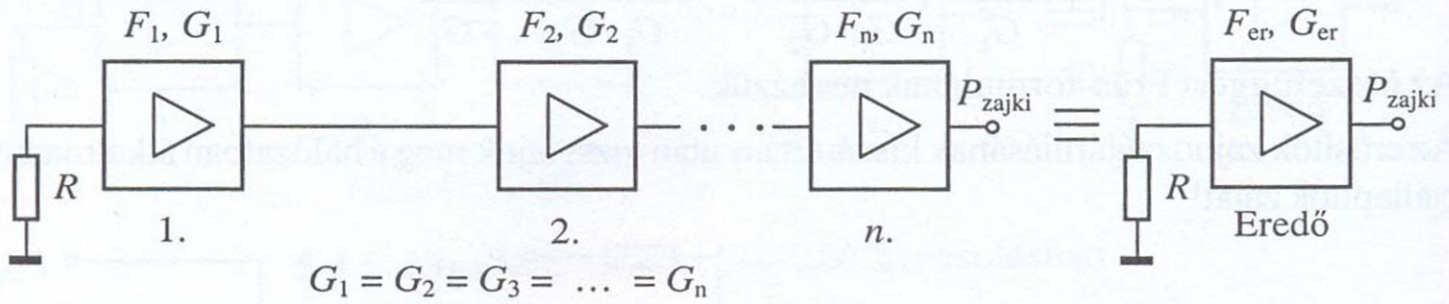
Az összefüggés alapján a csillapítók zajtényezője $T = T_0$ speciális esetben $F_{\text{csill}} = L$.

Az erősítő és a csillapító elemzése után vizsgáljuk meg együttes alkalmazásuk hatását a zajokra. A kábeles elosztóhálózatoknál alapvető tervezési mód, hogy az erősítők kimeneti szintje egy hálózati síkon belül állandó, tehát minden erősítő annyit erősít, amennyit az előtte levő kábelszakasz csillapít, vagyis a kábel-erősítő rendszer eredő erősítése egységnyi.

Ekkor: $G_{\text{er}} = G \cdot \frac{1}{L} = 1 \Rightarrow G^{\text{dB}} = L^{\text{dB}};$

$$F_{\text{er}} = F + \frac{L-1}{G} = F + \frac{1 - \frac{1}{L}}{\frac{G}{L}} = F + \left(1 - \frac{1}{L}\right).$$

A összefüggésben világosan elkülönül az erősítő (1. tag) és a csillapító (2. tag) zajhozjárulása.



5.4.8. ábra. Azonos elemeket tartalmazó szakasz

Vizsgáljuk meg N db azonos építőelem zaját. Az 5.4.7. ábrán látható rendszer erősítők és csillapítók összekapcsolásából áll, amelyek erősítése egységnyi, tehát:

$$G_1 = G_2 = G_3 = \dots = G_N = 1.$$

Mivel az építőelemek azonosak, ezért a zajtényezők megegyeznek:

$$F_1 = F_2 = F_3 = \dots = F_N = F.$$

A rendszer eredő erősítése: $G_{er} = G_1 \cdot G_2 \cdot G_3 \cdot \dots \cdot G_N = 1 \cdot 1 \cdot \dots \cdot 1 = 1$.

A Früs-formulát alkalmazva a rendszer eredő zajtényezője:

$$F_{er} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 \cdot G_2} + \dots + \frac{F_n - 1}{G_1 \cdot G_2 \cdot \dots \cdot G_n},$$

ill. kihasználva, hogy az erősítések egységnyiek ($G_i = 1$) és a zajtényezők azonosak ($F_i = F$):

$$F_{er} = F + (F - 1) + (F - 1) + \dots + (F - 1) = F + (N - 1) \cdot (F - 1) = N \cdot F - (N - 1).$$

A kapott összefüggés helyett gyakran számolunk annak egyszerűsített alakjával, ami:

$$F_{er} = N \cdot F.$$

Végezetül vizsgáljuk meg a kaszkádba kapcsolt építőelemek eredő vivő-zaj viszonyát. Az első erősítő után a vivő-zaj viszony:

$$CNR_{ki1}^{dB} = U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F^{dB}.$$

Az N -edik elem után (az építőelemek eredő zajtényezőjét $F_{er} = N \cdot F$ -nek véve):

$$CNR_{kiN}^{dB} = U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F_{er}^{dB} \cong U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - 10 \cdot \lg(N \cdot F);$$

$$\begin{aligned} CNR_{kiN}^{dB} - CNR_{ki1}^{dB} &\cong U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - 10 \cdot \lg(N \cdot F) - (U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F^{dB}) = \\ &= 10 \cdot \lg F - (10 \cdot \lg N + 10 \cdot \lg F) = -10 \cdot \lg N; \end{aligned}$$

$$CNR_{kiN}^{dB} = CNR_{ki1}^{dB} - 10 \cdot \lg N.$$

Az összefüggésből megállapíthatjuk, hogy a kaszkádszám növelésével romlik a vivő-zaj viszony. A gyakorlatban úgy is számolhatunk, hogy minden erősítőszám duplázás 3 dB-el rontja a CNR -t ($10 \cdot \lg 2 \approx 3$ dB).

A következőkben a kapott összefüggések alapján vizsgáljunk meg egy azonos építőelemekből álló kaszkád vivő-zaj viszonyát!

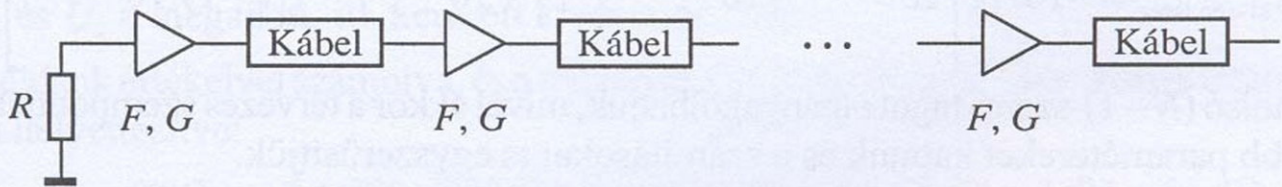
Az 5.4.9. ábrán látható hálózat 15 azonos műszaki jellemzőkkel rendelkező erősítőtől épül fel. Az egyes elemek jellemzői a következők:

$G = 28$ dB, ami arányként kifejezve $G = 10^{\frac{28}{10}} = 10^{2,8} = 631$ - szeres viszony,

$L = 28$ dB, ami arányként kifejezve $L = 10^{\frac{28}{10}} = 10^{2,8} = 631$ - szeres viszony,

$F = 8,5$ dB, ami arányként kifejezve $F = 10^{\frac{8,5}{10}} = 10^{0,85} = 7,08$ - szoros viszony,

$U_{ki} = 40$ dBmV.



5.4.9. ábra. Azonos elemekből álló kaszkád kapcsolás

Az első erősítő kimenetén a jel-zaj viszony a következők szerint alakul:

$$U_{jelbe} = U_{ki} - G = 12 \text{ dBmV};$$

$$CNR_{ki1}^{dB} = U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F^{dB} = 12 + 58,2 - 8,5 = 61,7 \text{ dB}.$$

Kezeljük a számítások során az erősítőt és az utána következő kábelszakaszt egy egységként, számítsuk ki az együttes paramétereiket:

$$G_{e-k} = G/L = 1;$$

$$F_{e-k} = F + \left(1 - \frac{1}{L}\right) = 7,08 + \left(1 - \frac{1}{631}\right) = 8,08,$$

amit arányszámként kaptunk és ez dB-ben kifejezve: $F_{e-k} = 10 \cdot \lg 8,08 = 9,07$ dB.

A kábel utáni jel-zaj viszony:

$$CNR_{kie-k}^{dB} = U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F_{e-k}^{dB} = 12 + 58,2 - 9,07 = 61,13 \text{ dB}.$$

Láthatjuk, hogy az erősítő kimenete és a kábel kimenete között már romlott a jel-zaj viszony.

A teljes kaszkád paramétereinek számításához használjuk a korábban az eredő zajtényező meghatározására kapott összefüggést:

$$F_{er} = N \cdot F_{e-k} - (N - 1) = 15 \cdot 8,08 - (15 - 1) = 107,2;$$

ami dB-ben kifejezve: $F_{er} = 10 \cdot \lg 107,2 = 20,3$ dB.

A 15 elemű kaszkád végén a jel-zaj viszony:

$$CNR_{kiN}^{dB} = U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F_{er}^{dB} = 12 + 58,2 - 20,3 = 49,9 \text{ dB.}$$

Ha közelítő összefüggést használjuk:

$$CNR_{kiN}^{dB} = CNR_{kie-k}^{dB} - 10 \cdot \lg N = 61,13 - 10 \cdot \lg 15 = 49,37 \text{ dB.}$$

Láthatjuk, hogy a közelítő összefüggéssel a megfelelő irányba „tévedünk”.

A gyakorlatban – amint azt már a hálózati síkok bemutatásánál is említettük – a rendszer nem azonos építőelemekből épül fel, mert a törzs-, a vonali és a házhálózat különböző paraméterekkel rendelkezik, ezért a fenti módszer nem használható. Ebben az esetben külön-külön meghatározzuk az egyes hálózati részek összegzett jellemzőit és a kimeneti jel-zaj viszonyukat, majd az így kapott értékeket összegezzük a következő összefüggéssel:

$$CNR_{ki-rendszer} = -10 \cdot \lg \left[10^{\frac{CNR_{ki1}^{dB}}{10}} + 10^{\frac{CNR_{ki2}^{dB}}{10}} + \dots + 10^{\frac{CNR_{kiN}^{dB}}{10}} - (N-1) \cdot 10^{\frac{CNR_{be}^{dB}}{10}} \right].$$

Az utolsó $(N-1)$ -szeres tagot elhanyagolhatjuk, mivel akkor a tervezés szempontjából szigorúbb paramétereket kapunk és a számításokat is egyszerűsítjük.

5.4.3. Torzítások a hálózatban

A hálózatban a hasznos jelek mellett a termikus zajon kívül más zavaró jelek is jelen vannak, amelyeket a tervezés során figyelembe kell vennünk. Ilyenek az intermodulációs termékek, amelyeknek három változatát vizsgáljuk.

- Összetett másodrendű intermodulációs termék (Composite Second Order, CSO);
- Összetett harmadrendű intermodulációs termékek (Composite Triple Beat, CTB);
- Keresztmoduláció (CXM).

A háromféle intermodulációs termék definíciója és mérési módszere a 6.6. alfejezetben található.

Összetett másodrendű intermodulációs termék (CSO)

Ez nem más, mint két vivőfrekvencia összeg és különbségi frekvenciája, amelyek a hasznos jel sávjába esnek. Ha a két intermoduláló jel frekvenciája f_1 és f_2 , akkor a zavaró jelek frekvenciái $f_1 + f_2$; $f_1 - f_2$; $f_2 - f_1$. Az erősítők CSO értékét a katalógusok bizonyos csatornaszámnál és adott kimeneti szinten definiálják. Pl. egy erősítő CSO értéke 49 csatornánál, 104 dB μ V kimeneti szintnél 65 dB. Ezt az értéket a gyakorlatban a konkrét csatornaszámra és kimeneti szintre kell átszámolni, mint ezt a következő példában tesszük.

Határozzuk meg, hogy a megadott CSO értékű erősítőket használva, egy ötös kaszkádban, 62 csatornánál és 102 dB μ V-os kimeneti szint esetén mekkora lesz az eredő CSO értéke!

A csatornaszám változását a következő összefüggéssel vehetjük figyelembe:

$$CSO_{n_2} = CSO_{n_1} - 10 \cdot \lg \frac{n_2}{n_1},$$

ahol CSO_{n_1} és CSO_{n_2} a CSO értéke a megadott n_1 és a keresett n_2 csatornaszám esetén, dB; n_1 és n_2 a megadott, ill. keresett csatornaszám. A mi példánk értékeivel szá-

molva: $CSO_{62} = CSO_{49} - 10 \cdot \lg \frac{62}{49} = 65 \text{ dB} - 10 \cdot \lg 1,265 \approx 65 \text{ dB} - 1 \text{ dB} = 64 \text{ dB}$.

A kivezérlés mértékének változása miatt a CSO a következő képen alakul:

$$CSO_{U_2} = CSO_{U_1} - (U_2^{\text{dB}\mu\text{V}} - U_1^{\text{dB}\mu\text{V}}),$$

ahol CSO_{U_1} és CSO_{U_2} a CSO értéke a megadott U_1 és a keresett U_2 kivezérlés esetén, dB; U_1 és U_2 a megadott, ill. keresett kivezérlés, dB μ V.

A mi példánk értékeivel számolva, és a megadott CSO helyére a 62 csatornára kiszámított értéket helyettesítve:

$$CSO_{U_2} = 64 \text{ dB} - (102 \text{ dB}\mu\text{V} - 104 \text{ dB}\mu\text{V}) = 64 \text{ dB} + 2 \text{ dB} = 66 \text{ dB}.$$

Az így kapott CSO érték már 102 dB μ V-ra és 62 csatornára vonatkozik. Az eredmények alapján látható, hogy a CSO értéke csatornaszám duplázás esetén 3 dB-lel romlik, és kimeneti szint 1 dB-es növelése a CSO 1 dB-es romlását eredményezi.

Ilyen erősítők ötös kaszkádja esetén a CSO paraméterek tovább változnak, a következők szerint: $CSO_N = CSO_1 - 10 \cdot \lg N$,

ahol CSO_1 egy, CSO_N N erősítő CSO paramétere, dB és N a kaszkádszám.

A példában szereplő erősítőből épített ötös kaszkád CSO paramétere:

$$CSO_N = 66 \text{ dB} - 10 \cdot \lg 5 \approx 66 \text{ dB} - 7 \text{ dB} = 59 \text{ dB}.$$

Ha különböző CSO paraméterű eszközöket kapcsolunk kaszkádba, akkor az eredő CSO -t a következők alapján lehet számolni:

$$CSO_{\text{eredő}} = -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{CSO_1^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{CSO_2^{\text{dB}}}{10}} + \dots + 10^{-\frac{CSO_N^{\text{dB}}}{10}} \right],$$

ahol $CSO_{\text{eredő}}$ az eredő CSO , dB; $CSO_{1,2,\dots,N}$ az egyes eszközök CSO paramétere, dB és N kaszkádszám.

Összetett harmadrendű intermodulációs termékek (CTB)

Ez nem más, mint három vivőfrekvencia azon összeg és különbségi frekvenciái, amelyek a hasznos jel sávjába esnek. Ha a három intermoduláló jel frekvenciája f_1, f_2 és f_3 , akkor a harmadrendű intermodulációs termékek (CTB) az $f_1 \pm f_2 \pm f_3$ vagy egy másodrendű torzítási termék és egy jel keveredéséből ($2 \cdot f_1 \pm f_2$) keletkező frekvencián jelentkeznek. Az erősítők CTB értékét szintén a gyártók specifikálják a katalógusaikban. Pl. egy szok-

ványos megadási mód (a *CSO*-hoz hasonlóan): az erősítő *CTB* értéke 49 csatornánál, 104 dB μ V kimeneti szintnél 66 dB. Nézzük meg ezt a *CTB* értéket hogyan tudjuk átszámítani az előző példa értékeire! A csatornaszám változást a következő össze-

függéssel írhatjuk le: $CTB_{n_2} = CTB_{n_1} - 20 \cdot \lg \frac{n_2}{n_1}$,

ahol CTB_{n_1} és CTB_{n_2} a *CTB* értéke a megadott n_1 és a keresett n_2 csatornaszám esetén, dB; n_1 a megadott és n_2 a keresett csatornaszám. A példánk értékeivel számolva:

$$CTB_{62} = CTB_{49} - 20 \cdot \lg \frac{62}{49} = 66 \text{ dB} - 20 \cdot \lg 1,265 \approx 66 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = 64 \text{ dB}.$$

A kivezérlés mértéke alapján a *CTB* a következő képen alakul:

$$CTB_{U_2} = CTB_{U_1} - 2 \cdot (U_2^{\text{dB}\mu\text{V}} - U_1^{\text{dB}\mu\text{V}}),$$

ahol CTB_{U_1} és CTB_{U_2} a *CTB* értéke a megadott U_1 és a keresett U_2 kivezérlés esetén, dB; U_1 és U_2 a megadott és keresett kivezérlés, dB μ V.

A példánk értékeivel számolva és a megadott *CTB* helyére a 62 csatornára kiszámított értéket helyettesítve: $CTB_{U_2} = 64 \text{ dB} - 2 \cdot (102 \text{ dB}\mu\text{V} - 104 \text{ dB}\mu\text{V}) = 64 \text{ dB} + 4 \text{ dB} = 68 \text{ dB}$.

Az így kapott *CTB* érték már 102 dB μ V-ra és 62 csatornára vonatkozik. Az eredmények alapján látható, hogy a *CTB* értéke csatornaszám duplázás esetén 6 dB-lel romlik, és a kimeneti szint 1 dB-es növelése a *CTB* 2 dB-es romlását eredményezi. Az erősítők ötös kaszkádja esetén az eredő *CTB*:

$$CTB_N = CTB_1 - 20 \cdot \lg N,$$

ahol CTB_1 egy, CTB_N N erősítő *CTB* paramétere, dB és N a kaszkádszám.

A példában szereplő erősítők épített ötös kaszkád *CTB* paramétere:

$$CTB_N = 68 \text{ dB} - 20 \cdot \lg 5 \approx 68 \text{ dB} - 14 \text{ dB} = 54 \text{ dB}.$$

Ha különböző *CTB* paraméterű eszközöket kapcsolunk kaszkádba, akkor az eredő *CTB*-t a következő összefüggéssel határozhatjuk meg:

$$CTB_{\text{eredő}} = -20 \cdot \lg \left[10^{-\frac{CTB_1^{\text{dB}}}{20}} + 10^{-\frac{CTB_2^{\text{dB}}}{20}} + \dots + 10^{-\frac{CTB_N^{\text{dB}}}{20}} \right],$$

ahol $CTB_{\text{eredő}}$ az eredő *CTB*, dB; $CTB_{1,2,\dots,N}$ az egyes eszközök *CTB* paramétere, dB és N a kaszkádszám.

Keresztmoduláció (XM vagy más jelöléssel CXM)

A keresztmoduláció definícióját már az 5.2. alfejezetben tárgyaltuk. A *CXM* a *CTB* és *CSO* értékeihez hasonlóan szintén az erősítőre jellemző katalógusadat, amit pl. úgy adunk meg, hogy a *CXM* értéke 42 csatorna és 104 dB μ V kimeneti szint esetén 65 dB.

A *CTB*-hez hasonlóan kell a *CXM* értékét is átszámolni más csatornaszám és kimeneti szint esetére. A csatornaszám változást a következő összefüggéssel írhatjuk le:

$$CXM_{n_2} = CXM_{n_1} - 20 \cdot \lg \frac{n_2}{n_1},$$

ahol CXM_{n_1} és CXM_{n_2} a CXM értéke a megadott n_1 és keresett n_2 csatornaszám esetén, dB; n_1 és n_2 a megadott és keresett csatornaszám.

A megadott értékekkel számolva:

$$CXM_{62} = CXM_{49} - 20 \cdot \lg \frac{62}{49} = 65 \text{ dB} - 20 \cdot \lg 1,265 \approx 65 \text{ dB} - 2 \text{ dB} = 63 \text{ dB}.$$

A kivezérlés alapján a CXM értéke a következőképpen alakul:

$$CXM_{U_2} = CXM_{U_1} - 2 \cdot (U_2^{\text{dB}\mu\text{V}} - U_1^{\text{dB}\mu\text{V}}),$$

ahol CXM_{U_1} és CXM_{U_2} a CXM értéke a megadott U_1 és keresett U_2 kivezérlés esetén, dB; U_1 és U_2 a megadott és keresett kivezérlés.

A példánk értékeivel számolva és a megadott CXM helyére a 62 csatornára számolt értéket helyettesítve:

$$CXM_{U_2} = 63 \text{ dB} - 2 \cdot (102 \text{ dB}\mu\text{V} - 104 \text{ dB}\mu\text{V}) = 63 \text{ dB} + 4 \text{ dB} = 67 \text{ dB}.$$

Az így kapott CXM érték már 102 dB μ V-ra és 62 csatornára vonatkozik. Az eredmények alapján látható, hogy a CXM értéke csatornaszám duplázása esetén 6 dB-lel romlik, és a kimeneti szint 1 dB-es növelése a CXM 2 dB-es romlását eredményezi.

Az erősítők ötös kaszkádja esetén a CXM paraméterek is változnak, a következők szerint:

$$CXM_N = CXM_1 - 20 \cdot \lg N,$$

ahol CXM_1 egy, CXM_N N erősítő CXM paramétere, dB és N a kaszkádszám.

A példában szereplő erősítőből épített ötös kaszkád CXM paramétere:

$$CXM_N = 67 \text{ dB} - 20 \cdot \lg 5 \approx 67 \text{ dB} - 14 \text{ dB} = 53 \text{ dB}.$$

Ha különböző CXM paraméterű eszközöket kapcsolunk kaszkádba, akkor az eredő CXM -t a következők szerint lehet számolni:

$$CXM_{\text{eredő}} = -20 \cdot \lg \left[10^{-\frac{CXM_1^{\text{dB}}}{20}} + 10^{-\frac{CXM_2^{\text{dB}}}{20}} + \dots + 10^{-\frac{CXM_N^{\text{dB}}}{20}} \right],$$

ahol $CXM_{\text{eredő}}$ eredő CXM , dB; $CXM_{1,2,\dots,N}$ az egyes eszközök CXM paramétere, dB és N a kaszkádszám.

5.4.4. Az eredmények gyakorlati alkalmazása, az ollódiagram

Az erősítők torzítási paraméterei és vivő-zaj viszonya nagyban függ az erősítő ki- és bemeneti jelszintjeitől, valamint az alkalmazott kaszkádszámtól.

Vivő-zaj viszony

Legyen a hálózaton biztosítani kívánt legkisebb jel-zaj viszony $CNR = 49$ dB.

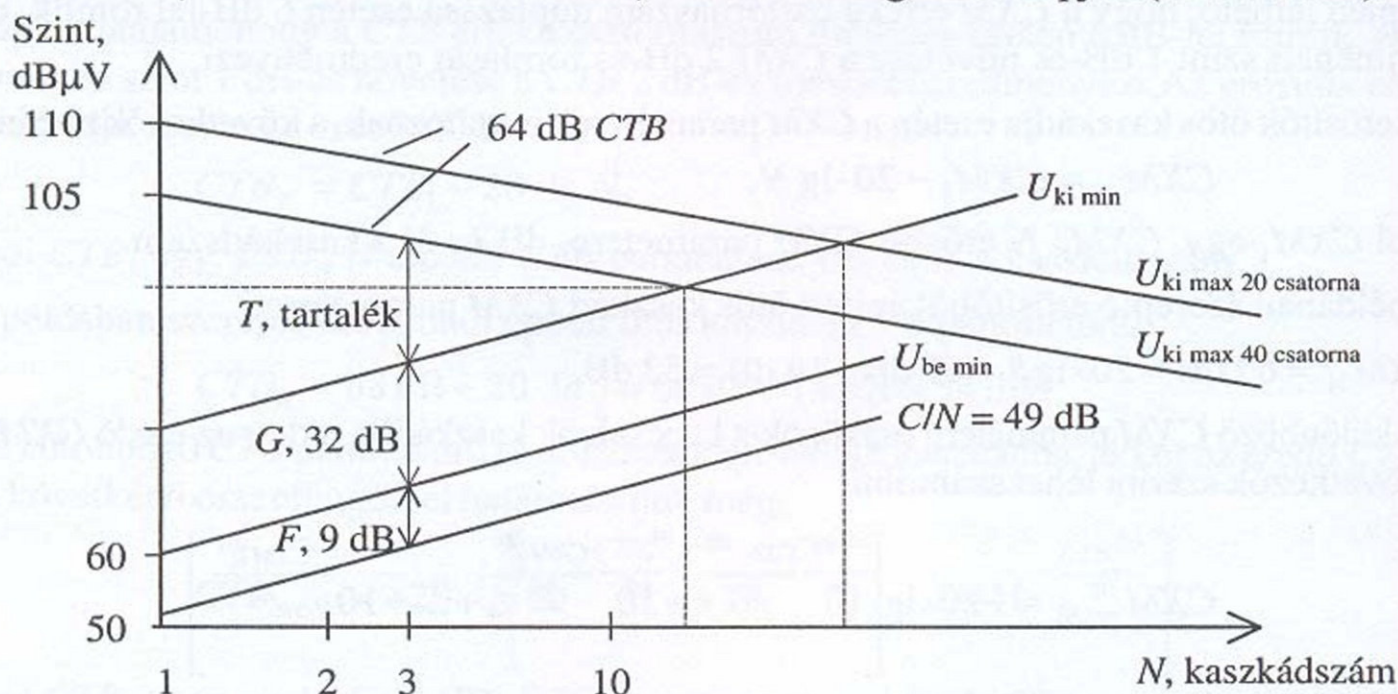
Az első erősítő kimenetén a jel-zaj viszony: $CNR_{ki1}^{dB} = U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F^{dB}$.

A szakasz N . kimenetén: $CNR_{kiN}^{dB} = CNR_{ki1}^{dB} - 10 \cdot \lg N = U_{jelbe}^{dBmV} + 58,2 - F^{dB} - 10 \cdot \lg N$.

Ha a hálózat végén adott CNR -t kívánunk garantálni, akkor a kaszkádszám növelése esetén változtatnunk kell az erősítők bemeneti jelszintjét. A bemeneti jelszintre átrendezve a fenti összefüggést:

$U_{jelbe}^{dBmV} = CNR_{kiN}^{dB} - 58,2 + F^{dB} + 10 \cdot \lg N$.

Ábrázoljuk a bemeneti jelszintet a kaszkádszám függvényében logaritmikus koordináta-rendszerben, amivel a következő ábrát, az ún. ollódiagramot kapjuk (5.4.10. ábra).



5.4.10. ábra. Ollódiagram

Az erősítők kimeneti szintjét is ábrázolhatjuk a diagramon: $U_{jelki} = U_{jelbe} + G$.

Az ezáltal kapott ábra alapján gondolhatnánk, hogy a kaszkádszám növekedése esetén a bemeneti és kimeneti szintek emelésével a végtelenségig biztosíthatjuk a megadott vivő-zaj viszonyt.

A kimeneti szintet azonban felülről korlátozzák a torzítási paraméterek. Az összetett másodrendű intermodulációs termékek (CSO) esetén láthattuk, hogy adott csatornaszám esetén a kaszkádszám duplázásával 3 dB-nyit romlik a CSO, a kimeneti szint 1 dB-es

csökkentése pedig 1 dB-es *CSO* javulást eredményez. Ebből következik, ha változatlan *CSO*-t kívánunk a hálózaton elérni, akkor a kaszkádszám duplázásánál 3 dB-lel csökkenteni kell a kivezérlest.

Összetett harmadrendű modulációs termékek és a keresztmoduláció (*CTB*, *CXM*) esetén láthattuk, hogy a kaszkádszám duplázása 6 dB-lel rontja a *CTB*-t és a *CXM*-et, a kimeneti szint 1 dB-es csökkentésekor pedig a *CTB* és a *CXM* 2 dB-lel javul. Ebből következik, hogy ha változatlan *CTB*-t és *CXM*-et akarunk biztosítani, akkor a kaszkád duplázásakor szintén 3 dB-lel csökkenteni kell a kimeneti szintet.

A min. bemeneti és a max. kimeneti szint görbéinek metszeténél van a rendszer maximálisan megengedett kaszkádszáma, és a metszéspont megadja az erősítők kimeneti szintjét is.

5.4.5. Erősítők szintezése

A koaxiális hálózat, mint azt már láttuk erősítőkből, kábelekből, passzív leágazókból és teljesítményosztókból épül fel. Az előfizetőknél olyan jelet, spektrumot kell átadni, amelynek frekvenciamenete kielégíti a szabványokban foglalt elvárásokat, de egyszerűen megfogalmazva közelítőleg „egyenes” jelet, tehát az alsó frekvenciák jelszintje legyen közel azonos a felső frekvenciák jelszintjével. A koaxiális kábelek átvitele erősen frekvenciafüggő, az alsó frekvenciákat kevésbé, a felső frekvenciákat jobban csillapítja. Ahhoz, hogy ilyen paraméterű eszközöket használva az előfizetőnél megfelelő jelszintet tudjunk előállítani, az erősítők kimenetét úgy kell beállítani, hogy az alsó frekvenciákon kisebb, a nagyobb frekvenciákon nagyobb jelszintet kell kiadnunk. Ezt az eljárást nevezzük tiltezésnek. A jel ún. dőlése nem csak az előfizetőnél meghatározó paraméter, hanem az erősítők bemenetén is, ott is arra kell törekednünk, hogy a bemeneti jel frekvenciamenete egyenes legyen.

Nézzünk egy egyszerű számítást! A fejállomásokat egyenes frekvenciamenetre szintezik, de a hálózatot ellátó első erősítő kimentén már egy bizonyos dölést adnak a jelnek. Legyen az induló jel szintje:

- 88 MHz-en 96 dB μ V;
- 860 MHz-en 102 dB μ V.

Ezt az erősítőben úgy érik el, hogy a kábel frekvenciamenetével ellentétes frekvenciamenetű frekvenciafüggő csillapítótagokat alkalmaznak. A következő példában az erősítők kimentén beállítandó jelszint megegyezik a fejállomásról kilépő 102/96 dB μ V-al. A tervekben gyakran szerepel ez a megadási mód, amelynél az első szám a felső frekvenciára (esetünkben 860 MHz-re), míg a második az alsó frekvenciára (esetünkben 88 MHz-re) vonatkozik. Az erősítők min. bemeneti jelszintje legyen 74 dB μ V, erősítésük 30 dB. A fejállomásról az első erősítőig 400 m hosszú QR540 típusú vonali kábelt tervezünk, amelynek csillapítása:

- 88 MHz-en: $L_{LO} = (400 \text{ m}/100 \text{ m}) \cdot 1,9 \text{ dB} = 7,6 \text{ dB}$;
- 860 MHz-en: $L_{HI} = (400 \text{ m}/100 \text{ m}) \cdot 6,56 \text{ dB} = 26,24 \text{ dB}$.

Az első erősítő bemeneti jelszintje:

- 88 MHz-en: $U_{Be_LO} = 88,4 \text{ dB}\mu\text{V}$;
- 860 MHz-en: $U_{Be_HI} = 75,76 \text{ dB}\mu\text{V}$.

Az erősítő első erősítőfokozat előtt még csillapíthatjuk és tiltezhethetjük a jelet, oly módon hogy a fokozat bemenetére megfelelően érkezzen. Egy ideális 12 dB-es tilttel a bemeneti jelet 75,76/76,4 dB μ V szintre hozhatjuk. Az erősítő fokozat 15 dB-t erősít, így annak kimenetén 90,76/91,4 dB μ V-os jelszintet kapunk. A közbenső tilttel állítjuk elő a kívánt kimeneti dőlést, tehát oda egy 7 dB-es tiltet tervezünk, amely után a jelszint 90,76/84,4 dB μ V. A kimeneten 102/96 dB μ V-ot kívánunk előállítani, tehát az előző jelet még 12 dB-lel kell erősíteni, így a csillapítótag helyére 3 dB-es csillapítást kell tervezni.

Gyakran az erősítők szint és tilt állítása diszkrét csillapítótagokkal valósítható meg, amelyekből lehet, hogy nem áll rendelkezésre a megfelelő értékű, ezért ilyenkor a fenti elveket követve a legjobb végeredmény elérésére kell törekednünk. Az erősítők gyártói esetenként alkalmaznak állítható csillapító és tilt tagokat is, viszont ezek értékstabilitása nem mindig megfelelő, ezért használatukat lehetőség szerint kerüljük.

5.4.6. A kábelek hőmérsékletfüggő csillapításának korrigálása

A koaxiális kábelek csillapítása a környezet hőmérsékletének függvényében változik. Ha nő a hőmérséklet, akkor nő a kábel csillapítása, ha csökken a környezet hőmérséklete, csökken a kábel csillapítása. A kábeleket bemutató fejezetben láthattuk már a csillapítás hőmérséklet alapján történő változását:

$$A_t = A_{20} \cdot [1 + 0,002 \cdot (t - 20)],$$

ahol A_t a kábel csillapítása t °C hőmérsékleten, dB; A_{20} a kábel csillapítása 20 °C-on, dB; t az a hőmérséklet, amelyen a csillapítást kívánjuk meghatározni (a katalógusok rendszerint 20 °C-on adják meg a csillapítást).

Vegyünk az erősítők tipikus távolságát 300 m-nek, használjunk QR 540 típusú kábelt és a frekvencia legyen 860 MHz. Az adott kábel csillapítása 108 MHz-en 2,07 dB/100m és 860 MHz-en 6,23 dB/100m, tehát a teljes hossza:

$$A_{108\text{MHz}}^{20^\circ\text{C}} = \frac{300 \text{ m}}{100 \text{ m}} \cdot 2,07 \text{ dB} = 6,21 \text{ dB};$$

$$A_{860\text{MHz}}^{20^\circ\text{C}} = \frac{300 \text{ m}}{100 \text{ m}} \cdot 6,23 \text{ dB} = 18,69 \text{ dB}.$$

Tegyük fel, hogy a kábel légkábel és hőmérséklete a téli, ill. nyári időszakban -25 °C és $+60$ °C között változik. Földkábel használata esetén ez a tartomány 0 °C és $+20$ °C között van.

Határozzuk meg a lég- és földkábel csillapítását az alsó, ill. felső frekvencián, -25 °C , 0 °C és 60 °C hőmérsékleteken.

$$A_{108\text{ MHz}}^{-25\text{ °C}} = A_{108\text{ MHz}}^{20\text{ °C}} \cdot [1 + 0,002 \cdot (-25\text{ °C} - 20\text{ °C})] = 6,21 \cdot [1 + 0,002 \cdot (-45)] \approx 5,7\text{ dB.}$$

$$A_{108\text{ MHz}}^{0\text{ °C}} = A_{108\text{ MHz}}^{20\text{ °C}} \cdot [1 + 0,002 \cdot (0\text{ °C} - 20\text{ °C})] = 6,21 \cdot [1 + 0,002 \cdot (-20)] \approx 6\text{ dB.}$$

$$A_{108\text{ MHz}}^{60\text{ °C}} = A_{108\text{ MHz}}^{20\text{ °C}} \cdot [1 + 0,002 \cdot (60\text{ °C} - 20\text{ °C})] = 6,21 \cdot [1 + 0,002 \cdot 40] \approx 6,7\text{ dB.}$$

$$A_{860\text{ MHz}}^{-25\text{ °C}} = A_{860\text{ MHz}}^{20\text{ °C}} \cdot [1 + 0,002 \cdot (-25\text{ °C} - 20\text{ °C})] = 18,69 \cdot [1 + 0,002 \cdot (-45)] \approx 17\text{ dB.}$$

$$A_{860\text{ MHz}}^{0\text{ °C}} = A_{860\text{ MHz}}^{20\text{ °C}} \cdot [1 + 0,002 \cdot (0\text{ °C} - 20\text{ °C})] = 18,69 \cdot [1 + 0,002 \cdot (-20)] \approx 17,9\text{ dB.}$$

$$A_{860\text{ MHz}}^{60\text{ °C}} = A_{860\text{ MHz}}^{20\text{ °C}} \cdot [1 + 0,002 \cdot (60\text{ °C} - 20\text{ °C})] = 18,69 \cdot [1 + 0,002 \cdot 40] \approx 20,2\text{ dB.}$$

A kapott eredményeket az 5.4.2. táblázatban foglaltuk össze.

Kábel csillapítása a hőmérséklet függvényében. 5.4.2. táblázat

Kábeltípus, frekvencia	$A^{20\text{ °C}}$, dB	$A^{0\text{ °C}}$, dB	$A^{20\text{ °C}} - A^{0\text{ °C}}$, dB	$A^{\text{nyár}}$, dB	$A^{\text{nyár}} - A^{20\text{ °C}}$, dB	$A^{\text{tél}} - A^{\text{nyár}}$, dB
Földkábel, 108 MHz	6,21	6,00	-0,21	6,21	0	0,21
Földkábel, 860 MHz	18,69	17,90	-0,79	17,90	0,79	0,79
Légkábel, 108 MHz	6,21	5,70	-0,51	6,70	0,49	1,00
Légkábel, 860 MHz	18,69	17,00	-1,69	20,20	1,51	3,20

Az adatokból látható, hogy a légkábeles hálózaton a normális (20 °C -on mért) értékhez képest (a tervezéskor ezt vesszük leggyakrabban figyelembe) télen és nyáron kb. $\pm 1,5\text{ dB}$ -es ingadozás lép fel. Ez a változás a példaként vett hosszon nem olyan jelentős, ám két erősítőszakasz esetén ez már $\pm 3\text{ dB}$ -es ingadozást okoz. Látható, hogy a hőmérséklet-ingadozás miatt változik a spektrum dőlése is, tehát változik a tilt.

A kábelek hőmérsékletfüggését az erősítők erősítésének, ill. tiltjének szabályozásával lehet kiküszöbölni. Tervezéskor meg kell vizsgálni, hogy az alkalmazandó szabályzórendszer milyen tartományban képes követni a kábel csillapításának változását, és annak függvényében meg kell határozni, hogy milyen hosszú szakaszokon alkalmazzuk.

5.4.7. Erősítők tápellátása

Mint már láttuk, a kábeltelevíziós rendszerekben általában váltakozó áramú távtáplálást alkalmaznak. A tápfeszültség frekvenciája 50 Hz , ami lényegesen kisebb, mint az információ átvitelhez használt sáv 5 MHz -es alsó határfrekvenciája. Ezért a távtáplált

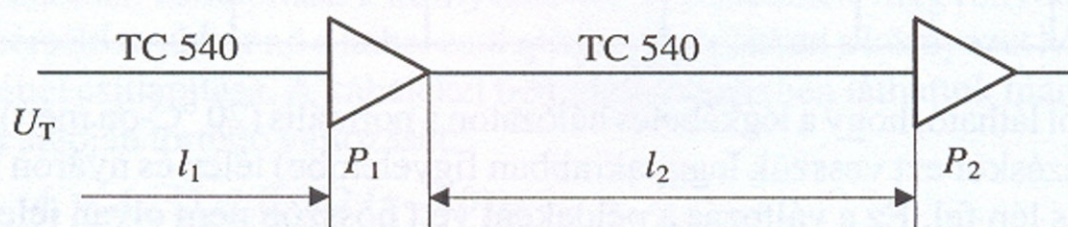
hálózat feszültség és áramviszonyainak számításakor az eszközök egyenáramú ellenállásával számolhatunk, így a feszültségek és áramok egymáshoz képesti fáziseltéréseivel nem kell foglalkoznunk.

Itt kell megemlíteni, hogy a távtáplálás ellenőrzése során végzett méréseket általában digitális vagy analóg kijelzőjű, csúcsértéket mérő multiméterrel, esetleg a rajta átfolyó átlagárammal arányos kitérésű mutatós Deprez-műszerrel mérjük. Annak ellenére, hogy ezek a műszerek a váltakozó mennyiség más-más tulajdonságait mérik, úgy skálázták azokat, hogy szinuszos mennyiséget feltételezve effektív értéket mutassanak.

Ebből következik az is, hogy a távtápláláshoz rendszerint használt trapéz-feszültséget (l. 3.4.1. pont) a rendelkezésre álló műszereinkkel nem is tudjuk pontosan megmérni, a mért értéknél kicsit nagyobb a valóságos effektív érték. Ennek ellenére a gyakorlatban a szükséges beállításokhoz, javításokhoz elegendő a rendelkezésre álló pontosság.

Az itt ismertetett példában az adatok között megadott feszültségértéket effektív értéknek tekintjük, és a többi jellemzőt nem mérjük, hanem számoljuk.

Első megközelítésben vegyünk egy olyan egyszerű példát, amelyben két erősítőt távtáplálunk (5.4.11. ábra). Az erősítők energiafelvételéről annyit tudni kell, hogy működés közben jó közelítéssel a katalógusban megadott teljesítmény ($P = U \cdot I$) felvételére törek-szenek. Vagyis ha valamilyen ok miatt csökken a tápfeszültség, növekszik az áramfelvétel, és ez bizonyos határok között fordítva is igaz. Emiatt és a rendszer soros jellegéből adódóan a távtáplálás jellemzőit csak több lépésben, fokozatos megközelítéssel tudjuk meghatározni.



5.4.11. ábra. Erősítők távtáplálása

Az erősítők névleges teljesítményfelvétele $P_1 = P_2 = 22 \text{ VA}$ (általában az összes lehetséges modul tartalmazó erősítőre adják meg a gyártók), a tápfeszültség $U_T = 60 \text{ V}$ (trapéz), a kábelek hosszúsága $l = l_1 = l_2 = 483 \text{ m}$ és a TC 540 típusú kábel egyenáramú hurokellenállása $R_{\text{eh}} = 4,14 \text{ } \Omega/\text{km}$.

A számítás egyszerűsítése érdekében az 5.4.11. ábrán látható elvi rajzot alakítsuk egyenértékű hálózattá (5.4.12. ábra).

A helyettesítőkép jellemzői: $R_1 = R_2 = R_{\text{eh}} \cdot l = (4,14 \text{ } \Omega/\text{km}) \cdot (0,483 \text{ km}) = 2 \text{ } \Omega$, $i_2 = i_{e2}$. A helyettesítőképen i_{e1} , i_{e2} az erősítők árama, u_{e1} , u_{e2} pedig az erősítők feszültsége.

a.) Első lépésben meghatározzuk az erősítők hozzávetőleges áramfelvételét, feltételezve, hogy mindkettő megkapja a teljes távtápláló feszültséget ($U_{e1} = U_{e2} = 60 \text{ V}$). Ekkor:

$$P = U \cdot I \quad \Rightarrow \quad I = P/U;$$

$$I_{e1} = I_{e2} = P_1/U_T = 22 \text{ VA}/60 \text{ V} = 0,366 \text{ A}.$$

Mivel az R_1 ellenálláson mindkét erősítő tápárama átfolyik, az R_2 ellenálláson csak a második erősítőé, ezért az ellenállásokon u_1 és u_2 feszültségek keletkeznek, és az erősítőkre jutó feszültség kisebb lesz mint 60 V. Így mindkét erősítő tápáram-felvétele az ideálisnál nagyobb lesz.

b.) Tételezzük fel, hogy a két erősítő árama nagyobb az ideálisnál és eltér egymástól:

$$I_{e1} = 380 \text{ mA}; I_{e2} = 385 \text{ mA}; \quad \Rightarrow \quad I_1 = I_{e1} + I_{e2} = 765 \text{ mA}; I_2 = I_{e2} = 385 \text{ mA}.$$
 Ekkor

$$U_{e1} = U_T - u_1 = U_T - I_1 \cdot R_1 = 60 \text{ V} - (0,765 \text{ A}) \cdot (2 \Omega) = 58,47 \text{ V}, \text{ amiből}$$

$$I_{e1} = P_1/U_{e1} = 22 \text{ VA}/58,47 \text{ V} = 376 \text{ mA}.$$
 Hasonlóan

$$U_{e2} = U_{e1} - U_2 = U_{e1} - I_2 \cdot R_2 = 58,47 \text{ V} - (0,385 \text{ A}) \cdot (2 \Omega) = 57,7 \text{ V}, \text{ amiből}$$

$$I_2 = P_2/U_{e2} = 22 \text{ VA}/57,7 \text{ V} = 381 \text{ mA}.$$

Az eredményekből azt látjuk, hogy a kábelek hurokellenállása miatt valóban megnövekedett az erősítők áramfelvétele, de nem annyira, mint amennyire becsültük.

Mivel a számítás alapján mások az ellenállásokon átfolyó áramértékek, mint amit becsültünk, így az ellenállásokon lévő feszültségek is megváltoznak, ezért az erősítőkön a számolthoz képest megváltozik a tápáram-felvétel. A pontosabb áramfelvétel kiszámításához újra kell számolni a jellemzőket.

c.) $I_{e1} = 376 \text{ mA}; I_{e2} = 381 \text{ mA}; I_1 = I_{e1} + I_{e2} = 757 \text{ mA};$

$$U_{e1} = U_T - U_1 = U_T - I_1 \cdot R_1 = 60 \text{ V} - (0,757 \text{ A}) \cdot (2 \Omega) = 58,48 \text{ V};$$

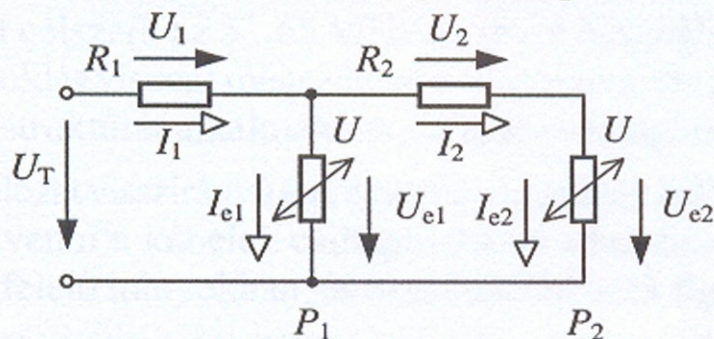
$$I_1 = P_1/U_{e1} = 22 \text{ VA}/58,48 \text{ V} = 376 \text{ mA}.$$

$$U_{e2} = U_{e1} - U_2 = U_{e1} - I_2 \cdot R_2 = 58,48 \text{ V} - (0,381 \text{ A}) \cdot (2 \Omega) = 57,7 \text{ V};$$

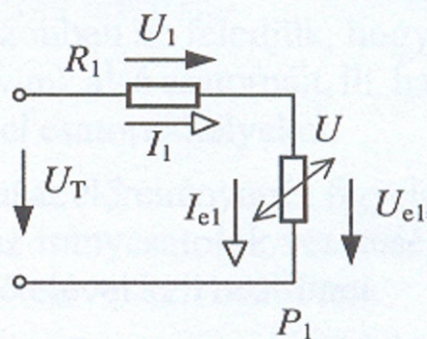
$$I_2 = P_2/U_{e2} = 22 \text{ VA}/57,7 \text{ V} = 381 \text{ mA}.$$

Látható, hogy a becsült értékhez képesti áramváltozás nem befolyásolta az erősítőkön megjelenő feszültséget, így a b.) pontban kiszámolt áramok nem változtak, elfogadhatjuk végeredménynek.

A megoldás menetéből látszik, hogy minél több elemet tartalmaz a távtáplált hálózat, annál bonyolultabb és esetleg több lépésben végezhető el a számítás.



5.4.12. ábra. Erősítők távtáplálásának helyettesítőképe



5.4.13. ábra. Egy erősítő távtáplálása

A megoldás menetéből látszik, hogy minél több elemet tartalmaz a távtáplált hálózat, annál bonyolultabb és esetleg több lépésben végezhető el a számítás.

A rossz kötések miatti többlet átmeneti ellenállás hatására csökkenhet az egyes erősítőkre jutó tápfeszültség, így növekedhet az áramfelvétel.

Vizsgáljuk meg hogyan változik a tápegységből felvett áramerősség, ha módosítjuk a rendszert!

d.) Vegyük ki a rendszerből a második erősítőt (5.4.13. ábra)! Ekkor az R_1 ellenálláson átfolyó áram egész biztosan csökken a második erősítő áramfelvételével, első megközelítésben $I_1 = I_{e1} = 376$ mA. Mivel R_1 ellenálláson kisebb áram folyik, változik az első erősítőn lévő feszültség, így annak áramfelvétele valószínűleg a 376 mA-hez képest változni fog.

$$U_{e1} = U_T - U_1 = U_T - I_1 \cdot R_1 = 60 \text{ V} - (0,376 \text{ A}) \cdot (2 \Omega) = 59,248 \text{ V};$$

$$I_1 = P_1 / U_{e1} = 22 \text{ VA} / 59,248 \text{ V} = 371 \text{ mA};$$

$$U_{e1} = U_T - U_1 = U_T - I_1 \cdot R_1 = 60 \text{ V} - (0,371 \text{ A}) \cdot (2 \Omega) = 59,257 \text{ V};$$

$$I_1 = P_1 / U_{e1} = 22 \text{ VA} / 59,257 \text{ V} = 371 \text{ mA}.$$

Az eredmények alapján a következő következtetéseket vonhatjuk le.

- A tápegységből felvett áram $\Delta I_1 = 5$ mA-rel csökkent.
- Egy új eszköz rendszerbe helyezése esetén az erősítő saját áramfelvételénél nagyobb áram terheli a tápegységet.
- Minél több elemből áll a távtáplált rendszer, annál nagyobb lehet ΔI_1 .
- A távtáplált rendszerből kivett, vagy a rendszerbe helyezett új eszköz az egész rendszer működési jellemzőit megváltoztatja.

A számításokat a gyakorlatban szükségesnél nagyobb pontossággal végeztük, mivel a két erősítés rendszer esetén így voltak láthatók a rendszer sajátosságai. 1-2 erősítő távtáplálása esetén 3-4%-kal, több (10–15) erősítő esetén 20-30%-kal nagyobb a tápegységből felvett áram az ideális (0 Ω -os ellenállású kábelre számolt) értékhez képest. A becsült többletfogyasztás függ a rendszerben lévő kábelek típusától, hosszától, és hőmérsékletétől.

5.5. Visszirányú szintezés

A kábeltelevíziós hálózatok alapjában véve műsorszóró hálózatok voltak, de az idők folyamán megnövekedtek az igények olyan szolgáltatásokra, amelyekhez kétirányú átvitel szükséges. A hálózatokon nyújtható értéknövelt szolgáltatások az alábbiak lehetnek (a teljesség igénye nélkül):

- adatátviteli (Internet) szolgáltatás,
- Video on Demand (VoD) – igény szerinti videóműsor,
- TV shop,
- telefonszolgáltatás,
- video átvitel (előfizetői irányból).

Ezek a szolgáltatások kisebb vagy nagyobb mértékben igénylik, hogy az előfizető irányából is eljussanak az információk a fejállomásra vagy más adatátviteli központba.

Az előfizető felé irányuló adatátviteli folyamatot előreirányú (az angol irodalomban downstream, DS vagy letöltés), az előfizetőtől jövő forgalmat pedig visszirányú (az angol irodalomban upstream, US vagy feltöltés) forgalomnak nevezzük.

5.5.1. Koaxiális hálózatok visszirányú tervezése

Mivel a korai kábeltelevíziós hálózatok a bennük lévő erősítők miatt alkalmatlanok voltak a visszirányú forgalomra, a visszirányú forgalmat más csatornákon keresztül (pl. telefonhálózaton) valósították meg. A hálózaton a műsorok átvitelére frekvenciaosztást alkalmaznak, ezért a kétirányú átvitel megoldására is ezt a módszert választották. A visszirányú átvitelére a frekvenciasáv alsó részét használjuk. Amint már említettük, a visszirányú sáv a hálózatoknál más és más lehet, de általában az 5...30 MHz vagy 5...65 MHz szabványos frekvenciasávokat használjuk.

A két sáv közötti választásánál a következőket figyelembe véve kell dönteni. A visszirányú átvitelre használt frekvenciasáv sokkal inkább zavartabb, mint más, felső frekvenciák, ezért célszerű az 5...65 MHz-es sávot használni. Ekkor azonban ne feledjük, hogy ez a megoldás viszont megszünteti a műsorátvitelre használt sávunk alsó csatornáit, ill. ha csomagstruktúrát alkalmazunk, az alsó csomagból veszünk el csatornahelyeket.

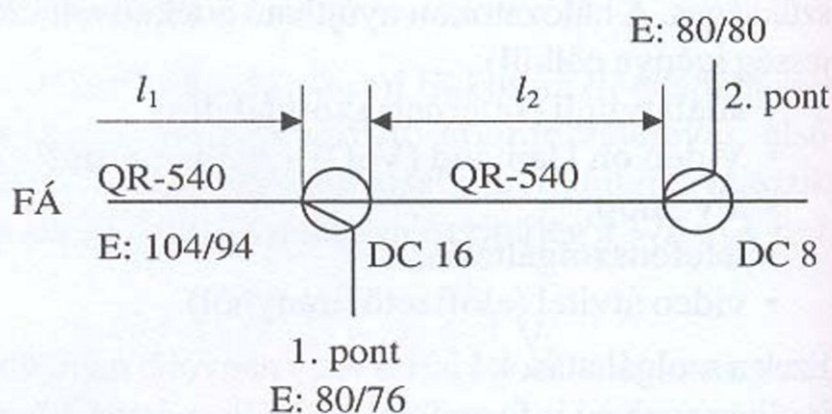
A hálózat visszirányú tervezésénél ugyanúgy kell eljárni, mint az előreirányúnál: figyelembe kell venni a kábelek csillapítását az adott frekvencián, az iránycsatolók veszteségét a megfelelő irányokban, és az erősítőket ezek figyelembe vételével kell beállítani.

A kábeltelevíziós hálózatok előreirányú tervezésénél a fő szempont az, hogy az előfizetőkhez közel azonos jelszinten jussanak el a televíziós jelek. Ez azt jelenti, hogy a hálózat csillapítása (erősítése) a fejállomás és az egyes előfizetők közt közel azonos. A

visszirányú tervezésnél is hasonló elvet kell követni, csak fordított gondolatmenettel: az előfizetőktől induló jeleknek a fejállomásra kell azonos szinteken megérkezniük. A hálózatok alapvetően fa struktúrájúak.

A visszirányú működés megértéséhez nézzünk egy egyszerű példát. A fejállomásról kiinduló kábelre két végpont csatlakozik (5.5.1. ábra).

5.5.1. ábra. A visszirány működése



Az ábrán egy igen egyszerű hálózati részt láthatunk, amelyen szerepelnek az előreirányú jelszintek (UHF/VHF struktúrában). Vizsgáljuk meg a hálózat visszirányú csillapítását, az egyszerűség kedvéért 35 MHz-en. Az iránycsatolók csillapítása a visszirányú frekvenciasávban közel azonos az előreirányú csillapításukkal, a kábelek pedig a katalógusban megadott csillapítással rendelkeznek.

- $l_1 = 110$ m, QR-540 típusú kábel, csillapítása 35 MHz-en: 1,23 dB;
- $l_2 = 90$ m, QR-540 típusú kábel, csillapítása 35 MHz-en: 1 dB.

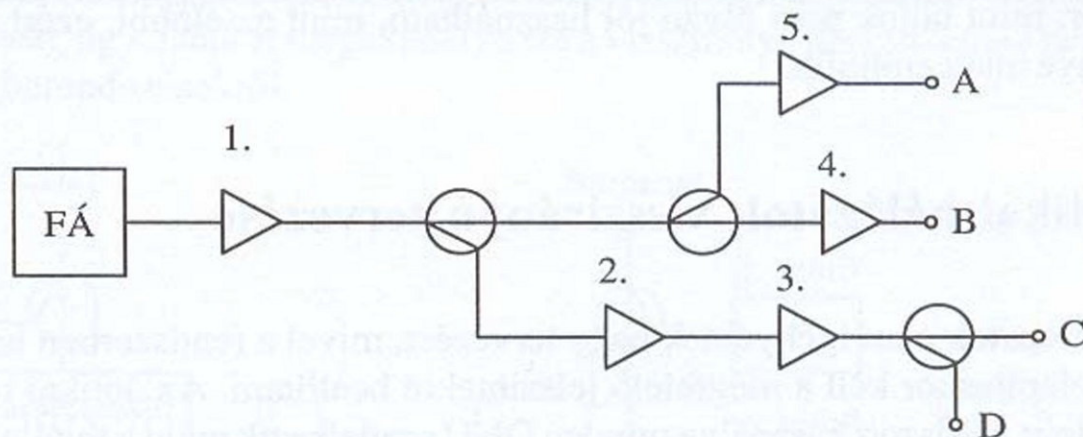
Az iránycsatoló csillapítását a jel iránya alapján kell meghatározni. Így a 16 dB-es iránycsatoló az 1. pont és a fejállomás közötti visszirányú csillapítást a kábel 1,23 dB-es csillapításán felül 16 dB-lel növeli, ezért az eredő csillapítás 17,23 dB.

A 2. pont és a fejállomás közötti visszirányú csillapítás az $l_1 + l_2 = 200$ m kábel 2,23 dB-es csillapításából, az első iránycsatoló kimenete és bemenete közötti 1,5 dB-es csillapításból, valamint a második iránycsatoló kicsatolása és bemenete közötti 8 dB-es csillapításból tevődik össze, így a teljes csillapítás 11,73 dB.

A két pont fejállomáshoz viszonyított csillapítása előreirányban közel azonos volt (meggegyező jelszinteket kapnak), de láthattuk, hogy visszirányban más a helyzet. Ha a korábban tárgyalt tervezési elveinket akarjuk követni, akkor a végpontokon elhelyezett berendezéseinknek visszirányba különböző szintekkel kell adniuk, ahhoz, hogy a fejállomásra azonos szinten érkezenek meg a jelek. A visszirányban használatos rendszerek adási jelszintjei kézi vagy automatikus szabályozással tág határok közt változtathatóak. A példaként megadott rendszert vizsgálva észrevehetjük, hogy a fejállomáshoz közelebb eső végpontnak nagyobb a visszirányú csillapítása. A részletesebb elemzéshez nézzünk egy kicsit nagyobb hálózat-részt.

A kábelek és osztók csillapítását ne vizsgáljuk egyenként, abból induljunk ki, hogy a hálózaton lévő A, B, C, D végpontok jele azonos szinten érkezik meg a fejállomásra.

Mivel a fejállomás és az 1. számú erősítő közti csillapítás mind a négy végpont jelét egyaránt csillapítja, ezért ezek a jelek az erősítő bemenetére (vagy kimenetére) is azonos szinten kell, hogy megérkezzenek. Ha a gondolatmenetet folytatjuk, akkor láthatjuk, hogy a C, D pontok jelei egyaránt áthaladnak a 2. és 3. számú erősítőn, tehát ezekre is igaz, hogy bemenetükre (kimenetükre) egyező szinten kell a jeleknek beérkezniük.



5.5.2. ábra. Visszirányú hálózat kialakítása

Ezt a gondolatmenetet követve a hálózatot úgy kell megtervezni, hogy a végpontokról induló jelek minden közös aktív (visszirányú) eszköz (erősítő, ONU, fejállomás) bemenetére vagy kimenetére azonos jelszinttel érkezzen meg. Az előzőekben nem választottuk külön a visszirányú erősítőmodul be- és kimenetét. Ez különválasztás adja meg a visszirányú hálózat tervezés (szintezés) két fő irányát.

Visszirányú bementi rendszerszint

Ebben az eljárásban a visszirányú erősítők, az ONU-k és a fejállomás bemenetére vonatkoztatva adjuk meg a rendszerszintet, ezért arra törekedünk, hogy a visszirányú jelek minden aktív elem bemenetére ezzel a szinttel érkezzenek meg. Ahhoz hogy ezt teljesíteni tudjunk, először meg kell határoznunk a rendszerszintet, majd ezután (a hálózatot a végpontok felől végigjárva) az erősítőknek annyit kell erősíteniük, mint a következő erősítőig a visszirányú csillapítás. Így gyakorlatilag a szétosztó hálózat visszirányú szempontból 0 dB-es erősítéssel rendelkezik. A visszirányú rendszerszint meghatározásakor az aktív elemek optimális bemeneti szintjét kell figyelembe venni, úgy, hogy az így kapott rendszerszint minden elemnek megfelelő legyen (hiszen a rendszerszint a hálózat minden pontján azonos). Ez általában 77...78 dB μ V.

Visszirányú kimeneti rendszerszint

Itt a visszirányú erősítők kimeneti szintjét határozzuk meg, ami a hálózat minden pontján azonos. Ehhez az szükséges, hogy minden erősítő annyit erősítsen, mint az előtte lévő erősítőig a visszirányú csillapítás. Ez az elv könnyen követhető egy el nem ágazó törzshálózat esetében, ám ha a hálózat hagyományos fa struktúrát követi, akkor nehezen

lehet meghatározni az „előtte lévő erősítőig a visszirányú csillapítást” hiszen több előtte lévő erősítő is van, és ekkor a legnagyobb csillapítást kell figyelembe venni. Ilyenkor azonban a többi irányt „túl” erősítjük, ezért azon a végberendezések alacsonyabb jelszintekkel működnek majd. A két kimenetű erősítőkben esetenként van arra lehetőség, hogy a visszirányú bementeket áganként csillapítsuk, ezzel a különbségeket csökkentjük. Ez a módszer, mint látjuk nem olyan jól használható, mint az előbbi, ezért ezt csak a teljesség igénye miatt említjük.

5.5.2. Optikai hálózatok visszirányú tervezése

Az optikai hálózatok nem igényelnek nagy tervezést, mivel a rendszerben használatos eszközöket telepítéskor kell a megfelelő jelszintekre beállítani. Az optikai rendszerek tervezésénél leírt módszert használva minden ONU rendelkezik majd a fejállomásig egy szabad optikai szállal, amelyen keresztül a visszirányú jelek visszajutnak a központba. Az ONU-ban van az optikai adó és a fejállomáson pedig az optikai vevő, amelynek kimenetén megjelenik a visszirányú rádiófrekvenciás jel. A visszirányú jeleket a fejállomáson az alkalmazott rendszertől függően kell összegezni vagy szétosztani. A visszirányú optikai rendszerek sávszélessége rendszerint nagyobb (5...200 MHz), mint az alkalmazott sávszélesség, így ezt a nyereséget felhasználhatjuk más jellegű átvitelre (pl. videojelek átvitelére) az ONU és a fejállomás között.

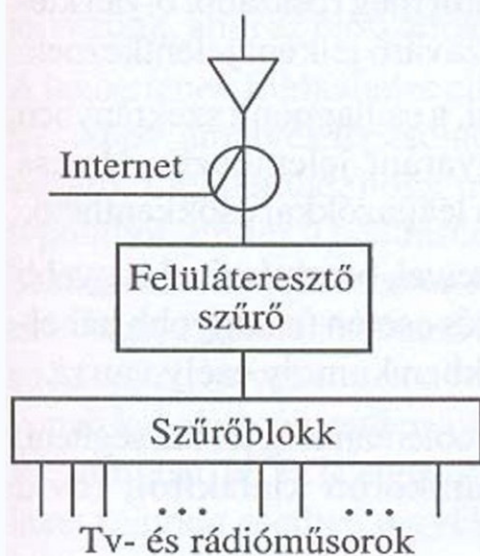
5.6. Csillagponti elosztás

A kábeltelevíziós hálózatokkal szemben támasztott követelmények, elvárások mára eljutottak odáig, hogy az előfizetők különböző programcsomagok közül akarnak válogatni, és annak megfelelő havidíjért kívánják igénybe venni a szolgáltatást. Mivel a kábeltelevíziós elosztóhálózatra kénytelenek vagyunk a teljes műsorspektrumot kiadni, ezért az előfizetőnél kell megoldani a műsorokhoz való hozzáférés korlátozását. Ez a programok nagy részénél úgy történik, hogy a műsor frekvenciasávját kiszűrjük az előfizetőnél. Mivel ezt nem lehet megtenni minden műsorra külön-külön, ezért a programokat célszerű programcsomagokba szervezni oly módon, hogy azok frekvenciájukban is csomagokat alkossanak, és így már csak nagyobb frekvenciasávokat kell kiszűrni, ami műszakilag könnyebben megoldható.

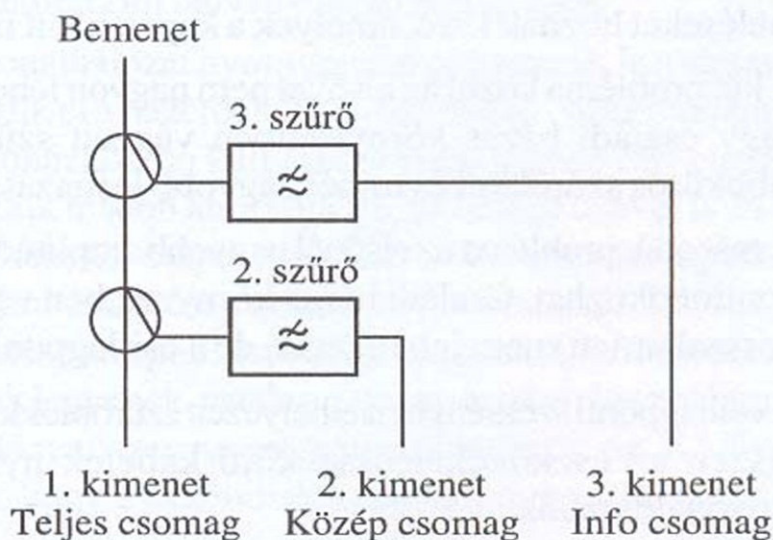
A lakótelepi elosztóhálózat csillagponti szekrényében egyrészt meg kell oldani az egyes műsorcsomagok eloszthatóságát az előfizetők felé, másrészt biztosítani kell a visszirányú átviteli út lehető legjobb zavarvédeltségét.

A műsorcsomagok kialakítására két mód kínálkozik, az egyik, hogy szűrőkből és elosztókból felépítjük a csillagponti szekrény elosztóhálózatát. A másik megoldásnál pedig előre gyártott elosztó- és szűrőkapcsolást vásárolhatunk meg, amelyet szűrőblokknak neveznek

A szűrőblokk elé elhelyezett felüláteresztő szűrő biztosítja az előfizetők felé az előreirányú jelek eljutását, ugyanakkor megakadályozza a visszirányú sávba történő zavarást az előfizetői végberendezésekről.



5.6.1. ábra. Csillagponti elosztó-szekrények célszerű kialakítása



5.6.2. ábra. Három műsorcsomagos szétosztásának vázlatja

A diszkrét elemekből megvalósított csomagszűrőnek számos problémája van.

Az egyik probléma, hogy a 2. és 3. kimenet előtt elhelyezkedő aluláteresztő szűrők beiktatási csillapítása frekvenciafüggő. A törésponti frekvencia alatti sávban a beiktatási csillapítás kicsi (áteresztő tartomány), a törésponti frekvencia feletti sávban a beiktatási csillapítás nagy (zárótartomány). Az áteresztő sávban nagy a szűrő reflexiós csillapítása (bemeneti impedancia 75Ω), a bemenetről visszaverődő teljesítmény kicsi. A zárótartományban a szűrő reflexiós csillapítása csökken (bemeneti impedancia nem 75Ω), a bemenetről visszaverődő teljesítmény megnövekszik. (Másképpen fogalmazva: a szűrő által „nem áteresztett” teljesítmény nem disszipálódik – alakul hővé – a szűrőn, hanem visszaverődik.) A visszaverődő teljesítmény a leágazók és a kábelek csillapításain keresztül visszajut az erősítő kimenetéig és újra reflektálódik, ezúttal előre irányban. A szűrő bemenetéről reflektálódott teljesítmény az adott átviteli sávban lehetlenné teszi az egyenletes átvitelt.

Az elmondottak miatt az 1. kimenet teljes frekvenciatartományából az info csomag csatornáinak átviteli egyenletességét reflexió nem zavarja, a középcsomag info csomaghoz képesti többlet csatornáinak átviteli egyenletességét a 3. szűrő reflektált teljesítménye zavarja, a teljes csomag közép csomaghoz képesti többlet csatornáit mindkét szűrő reflektált teljesítménye zavarja. A 2. kimenet teljes frekvenciatartományából az info csomag csatornáinak átviteli egyenletességét reflexió nem zavarja, a középcsomag info csomaghoz képesti

többszörös csatornáinak átviteli egyenletességét a 3. szűrő reflektált teljesítménye zavarja. A 3. kimenet átviteli egyenletességét a szűrők által okozta reflexió nem zavarja.

A másik probléma, hogy a szűrőket csillagponti szekrényben összekötő kábelek 10...20 cm hosszúsága összemérhető az UHF tartomány hullámhosszaival. A kábeldarabok a zárótartományban az illesztetlen lezárás miatt kapacitásként vagy induktivitásként viselkedhetnek és a többi eszköz reaktanciáival rezgőköröket hozhatnak létre különböző rezonanciákkal. ($\lambda/4$ hosszúságú kábel esetén eleve rezgőkört alkotnak.) Ez tovább növeli az előbb tárgyalt átviteli egyenletlenségeket, beszívásokat vagy ami még rosszabb, olyan kiemeléseket hoznak létre, amelyek a képen adott frekvenciájú zavaró jelként jelentkeznek.

A két probléma közül az elsővel nem nagyon lehet mit kezdeni, a csillagponti szekrényben vagy családi házas környezetben végzett szűrőzésnél egyaránt jelentkeznek. Hatása többkörös szűrőkkel és minél nagyobb leágazási csillapítású leágazókkal csökkenthető.

A második probléma az elsőnél nagyobb amplitúdójú kiemeléseivel, beszívásaival nagyobb gondot okozhat. Családi házas környezetben végzett szűrőzés esetén (a nagyobb kábelhosszak miatt) nem jelentkeznek, de a csillagponti szekrényekben komoly esély van rá.

A csillagponti szekrényben elhelyezett szűrőblokk a második problémán elég jól tud segíteni, hiszen az eszközöket összekötő kábelek nyomtatott áramkörön kialakított rövid tápvonalak darabok.

5.7. Tervezési példa

Ebben a pontban az eddigieket összefoglalva szeretnék egy konkrét tervezési feladatot bemutatni, hogy a fejezet első felében tárgyalt – főleg elméleti – összefüggéseket a gyakorlatban is használjuk, másrészt pedig a tervezés gyakorlati menetét ismertessük.

Vegyünk alapul egy területet, amely kellően sokrétű, így lehetőség nyílik a többféle tervezési mód bemutatására. A terület egy tömbházas környezet, amelyet családi házas terület fog közre, és nézzük a hálózat tervezését ezen a területen!

A tervezés gyakorlati lépései a következők:

- a nyomvonal meghatározása,
- a rendszerjellemzők kiválasztása,
- a rendszerparaméterek kiszámítása,
- a kiviteli tervrajzok elkészítése, engedélyeztetés.

5.7.1. A nyomvonal meghatározása

Egy terület ellátását egy meghatározott pontból kell megvalósítani, ami lehet a fejállomás vagy egy ONU. A példaként szereplő területen a tömbházak egy részét léghálózattal, míg a többi részét földkábeles hálózattal kellett ellátni, mivel az épületek tetején nem lehet kábelelni. A területet közrefogó kertvárosi rész egyik utcájában a hálózatot az áramszolgáltató oszlopain helyezték el, a másik utcában pedig földkábeles ellátást tervezünk, ahol az előfizetők bekötését földfelszíni bálványokból oldjuk meg.

A lakótelepek földkábeles ellátásakor a vonalhálózat nyomvonalából ágazunk le a társasházakhoz, amelyek lépcsőházába helyezük el a házerősítőt. A nyomvonal struktúrájánál vegyük figyelembe, hogy minden lépcsőházhhoz be kell állni a legközelebbi eső elosztópontból. Ehhez a beálláshoz tervezhetünk kisebb átmérőjű (pl. Ø32-40) csövet is és a beállításokat minden esetben RG11 típusú kábellel oldjuk meg, hiszen a házerősítő tápellátását ezen a kábelen keresztül kell megoldani. Lehetőség szerint ne tervezzük QR540 típusú kábellel, mivel ennek nyomvonalvezetése az épületen belül nehezen kivitelezhető. A vonali kábelek célszerűen QR540 típusúak legyenek, esetleg a vonalvégeken használjunk RG11 típust, ha az is elegendő a megfelelő rendszerparaméterek garantálásához. A kábeleket minden esetben tegyük védőcsőbe, hogy a későbbiek során könnyen megoldható legyen a kábelcsere.

Az alépitményes nyomvonal tervezésénél célszerű gondolni a későbbi igények kielégítésére is, ezért a csövek kapacitását úgy tervezzük, hogy belátható időn belül ne kelljen a kapacitást bővíteni (meggondolandó esetlegesen a teljes lakásszámra tervezni a hálózatot, amiből az első lépcsőben csak az épül meg, ami éppen akkor szükséges). A kábeltelevíziós hálózat távközlési hálózatnak minősül és a közműszabvány előírásai érvényesek rá. A területen lévő közművek ismeretében tudjuk meghatározni a pontos nyomvonalat, betartva a – szabványokban, és az egyes közművek előírásaiban foglalt – védőtávolságokat. A földkábeles nyomvonal tervezéséhez elengedhetetlen egy pontos összközműves alaptérkép, amelyen megtalálható a terület közműveinek nyomvonala.

A léghálózati hálózat nyomvonalát a társasházak területén úgy kell tervezni, hogy a vonalkábel a házak tetején haladjon, minden lépcsőházhhoz leágazót telepítünk és RG 11 típusú kábellel beállunk a lépcsőházakban elhelyezett erősítőkhöz. A léghálózati hálózat tervezésekor könnyebb dolgunk van, hiszen nem érintünk olyan sok közművet, ennél a megoldásnál viszont nagy figyelmet kell fordítanunk a házakon elhelyezett tartószerkezetek megválasztására, mert ezek, a nagy távolságú átfeszítések miatt nagy igénybevételnek vannak kitéve.

A kertvárosi környezetben a földkábeles nyomvonal tervezésénél hasonló előírásokat kell követni, mint azt már leírtuk a tömbházak esetén. Struktúrájában azonban más ez a hálózat, hiszen itt a csillagponti elosztás „kint marad” az utcán, és onnan látunk el minden előfizetőt egyedi kábelekkel. Az egyedi kábelezés megoldásáról már korábban szóltunk, de még annyit megjegyeznénk, hogy minden előfizetőhöz külön kábelt kell behúzni. A

közelebbi előfizetőkhez elegendő az RG6 típusú kábel, a távolabbiakhoz pedig az RG11 típusúval kell beállni. Az elosztási pontokat helyezhetjük földalatti megszakító létesítménybe, ebben az esetben szekrényekről, aknákról beszélünk, ha pedig földfeletti elosztásokat alkalmazunk, akkor az eszközöket bálványoknak vagy kültéri szekrényeknek nevezzük. A földkábeles hálózat struktúrájánál fontos eldöntenünk, hogy az utca mindkét oldalán viszünk külön-külön vonalhálózatot, vagy csak az egyiket, de ilyenkor sokszor kell az utat átfúrunk, tehát a két költséget kell szembeállítani egymással, hogy döntést hozhassunk.

A család házak légkábeles ellátásakor rendszerint nem igényel nagyobb tervezést a nyomvonal kialakítása, hiszen az esetek többségében már meglévő oszlopokat használunk fel, és az előfizetői beállításokat is azokról tervezzük. A hálózatok nyomvonalánál – és ez mindegyik megoldásra igaz – fontos szempont, hogy a nyomvonal lehetőség szerint csak a szükséges ingatlanokon menjen keresztül, ezért a vonalhálózat rendszerint közterületen, vagy társasházak területén halad, és csak az előfizetői beállítások érintenek magánterületeket, de törekedni kell arra, hogy mindenkit csak a saját bekötését szolgáló kábel érintsen. Ez a probléma a légkábeles, családi házas területekre jellemző leginkább, hiszen itt a meglévő oszlopról történő bekötéskor könnyen érinthetjük a szomszédos telek területét is. A nyomvonal meghatározásánál az első lépés az, hogy meghatározzuk, hogy melyik oszlopról mely ingatlanokat tudjuk ellátni. Ha a lakás bekötésére szolgáló légkábel érint más tulajdonában lévő magáningatlant, akkor ahhoz a tulajdonos hozzájárulását kell kérni.

A nyomvonal megtervezésekor a terület jellegétől függően megkapjuk azokat a pontokat, ahova eszközöket tudunk elhelyezni, pl. légkábeles hálózat esetén a tömbházak teteje, vagy az oszlopok. Földkábeles hálózat esetén csak valamilyen megszakító létesítménybe tudunk eszközöket elhelyezni.

5.7.2. A rendszerparaméterek meghatározása

A terület központjában egy ONU-t helyezünk el. HFC hálózat tervezésekor elsősorban azt kell figyelembe vennünk, hogy a hálózat három külön részből tevődik össze:

- optikai hálózat,
- vonalhálózat,
- házhálózat.

Elsősorban meg kell határozni ezek egyenkénti jellemzőit, majd az összegzett paramétereket. A hálózat paramétereit a következő rendszerjellemzőkre kell meghatározni:

- jelszint,
- jel-zaj viszony,
- CTB,
- CSO,
- CXM.

Az ONU kimeneti paraméterei az adatlapokból kereshető ki, a példa kedvéért számoljunk a következő adatokkal:

- jelszint: 102 dB μ V,
- jel-zaj viszony: 50 dB,
- CTB: 65dB,
- CSO: 65 dB,
- CXM: 60 dB.

Az optikai hálózatok jel-zaj viszonyának és CTB,CSO, ill. CXM paramétereinek romlásával a továbbiakban nem foglalkozunk.

A vonalhálózat paramétereit a már megismert módszer alapján számolhatjuk. Vegyünk egy vonalerősítő típust, aminek jellemzői a következők:

- üzemi erősítés: $G = 30$ dB,
- zajtényező: $F = 7$ dB.
- torzítási paraméterek (104 dB μ V-os jelszint és 49 csatorna átvitele esetén):
 - CTB: 66 dB,
 - CSO: 65 dB,
 - CXM: 66 dB.

Mielőtt a több kaszkádból álló vonalszakasz tervezésével foglalkoznánk, vizsgáljuk meg a házhálózatokat. A házhálózat síkjában már csak egyetlen aktív elem van a házerősítő, így annak műszaki jellemzőit könnyű meghatározni. A házerősítő paramétereit:

- üzemi erősítés: $G = 30$ dB,
- zajtényező: $F = 8$ dB.
- torzítási paraméterek (104 dB μ V-os jelszint és 49 csatorna átvitele esetén.):
 - CTB: 66 dB,
 - CSO: 65 dB,
 - CXM: 66 dB.

A korábban tárgyalt elméleti alapokat felhasználva, a házerősítőt és az utána következő szétosztó hálózatot egyszerűsítve felfoghatjuk úgy, mint egy erősítőt és egy ugyanakkora csillapítású csillapítót. Ezeket figyelembe véve a $G = 30$ dB-t arányként kifejezve:

$$G = 10^{\frac{30}{10}} = 10^3 = 1000 \text{ -szeres viszony,}$$

az $L = 30$ dB-t arányként kifejezve szintén $L = 1000$ -szeres viszony adódik.

Az $F = 8$ dB-t arányként kifejezve:

$$F = 10^{\frac{8}{10}} = 10^{0,8} = 6,31 \text{ -szeres viszony.}$$

A minimális bemeneti jelszint 72 dB μ V = 12 dBmV. Kezeljük a számítások során az erősítőt és a kábelt egy egységként, számítsuk ki az együttes paramétereiket:

$$G_{e-k} = \frac{G}{L} = 1; \quad F_{e-k} = F + \left(1 - \frac{1}{L}\right) = 6,31 + \left(1 - \frac{1}{1000}\right) = 7,31.$$

Ezt arányszámként kaptuk, ami dB-ben kifejezve $F_{e-k} = 10 \cdot \lg 7,3 = 8,64$ dB.

A kábel utáni jel-zaj viszony:

$$CNR_{\text{kic-k}}^{\text{dB}} = U_{\text{jelbe}}^{\text{dBmV}} + 58,2 - F_{e-k}^{\text{dB}} = 12 + 58,2 - 8,64 = 61,56 \text{ dB.}$$

Látható, hogy a házhálózati sík jel-zaj viszonya 61,56 dB. A vonatkozó szabványokat bemutató pontban összefoglaltuk, hogy milyen műszaki paramétereknek kell teljesülnie az előfizetői csatlakozón. A jel-zaj viszonyának jobbnak kell lennie, mint 44 dB. A különböző hálózati síkok jel-zaj viszonyának összegződését a következő összefüggés írja le:

$$CNR_{\text{kirendszer}} = -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{ki1}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{ki2}}^{\text{dB}}}{10}} + \dots + 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{kiN}}^{\text{dB}}}{10}} - 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{bc}}^{\text{dB}}}{10}} \right]$$

(Az utolsó tagot elhanyagolhatjuk, mert az eredményt jó irányba befolyásolja.) A vonalhálózat paramétereinek meghatározásához helyettesítsük be, a már ismert értékeket, majd oldjuk meg az egyenletet:

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{rendszer}}^{\text{dB}} = -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{10}} \right];$$

$$44 \text{ dB} = -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{50 \text{ dB}}{10}} + 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{60 \text{ dB}}{10}} \right] = -10 \cdot \left[\lg 10^{-5} + 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-6} \right];$$

$$10^{-4,4} = 10^{-5} + 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-6};$$

$$2,88 \cdot 10^{-5} = 10^{-\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}};$$

$$\lg 2,88 \cdot 10^{-5} = -\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10};$$

$$-4,54 = -\frac{\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10};$$

$$\left(\frac{C}{N}\right)_{\text{vonal}}^{\text{dB}} = 45,4 \text{ dB.}$$

Az eredmény azt mutatja, hogy a vonalhálózat esetén a teljes vonali kaszkádra az eredő jel-zaj viszony 45,4 dB.

Most vizsgáljuk meg a vonalszakaszt! A házhálózati síknál megismert módszert használva határozzuk meg, hogy mekkora kaszkádot tudunk megvalósítani úgy, hogy az előfizetői oldalon tartani tudjuk a szabványban előírtakat. A vonalerősítő $G = 30$ dB erősítését és a kábel $L = 30$ dB csillapítását arányként kifejezve 1000-szeres viszonyt kapunk, az $F = 7$ dB zajtényező

$F = 10^{\frac{7}{10}} = 10^{0,7} = 5$ -szörös viszonynak felel meg.

A min. bemeneti jelszint $72 \text{ dB}\mu\text{V} = 12 \text{ dBmV}$. Kezeljük a számítások során az erősítőt és a kábelt egy egységként és számítsuk ki az együttes paramétereiket:

$$G_{e-k} = \frac{G}{L} = 1; \quad F_{e-k} = F + \left(1 - \frac{1}{L}\right) = 5 + \left(1 - \frac{1}{1000}\right) = 6.$$

Ezt arányszámként kaptuk, ami dB-ben kifejezve: $F_{e-k} = 10 \cdot \lg 6 = 7,8 \text{ dB}$.

A kábel utáni jel-zaj viszony:

$$CNR_{kie-k}^{\text{dB}} = U_{jelbe}^{\text{dBmV}} + 58,2 - F_{e-k}^{\text{dB}} = 12 + 58,2 - 7,8 = 62,4 \text{ dB}.$$

Ez az érték az első erősítőre és a hozzá tartozó kábelszakaszra igaz. Ha több ilyen tulajdonságú részt sorba kötünk, akkor az alábbiakban módosul:

$$CNR_{kiN}^{\text{dB}} = CNR_{ki1}^{\text{dB}} - 10 \cdot \lg N.$$

Az előzetesen kiszámított 45,4 dB-es értéket akkor érjük el ha a kaszkádszám növelésével, lerontjuk azt:

$$45,4 \text{ dB} = 62,4 \text{ dB} - 10 \cdot \lg N;$$

$$10 \cdot \lg N = 62,4 \text{ dB} - 45,4 \text{ dB} = 17 \text{ dB};$$

$$\lg N = 1,7;$$

$$N = 10^{1,7} = 50,11 \approx 50.$$

Láthatjuk, hogy a megadott paraméterek esetén a vonalhálózatunk 50 erősítős kaszkádig működőképes lesz, ha csak a jel-zaj viszonyt vesszük figyelembe. Vizsgáljuk meg a tervezendő hálózatot a torzítások figyelembe vételével. Az előfizetői aljzaton biztosítandó értékek:

- $CSO > 57 \text{ dB}$,
- $CTB > 57 \text{ dB}$,
- $CXM >$ a szabvány kidolgozás alatt.

A CSO értékek kiszámításánál hasonlóképp járunk el, mint a jel-zaj viszony esetén. Az optikai- és a házhálózat paraméterei egyszerűen meghatározhatóak, a vonalhálózat paraméterei pedig a kaszkádszámtól függenek.

Az optikai rendszer CSO értéke 65dB (katalógus adat).

A házerősítő CSO értékét az erősítő gyártói a katalógusban 49 csatornánál és $104 \text{ dB}\mu\text{V}$ -os kimeneti szint esetén 65 dB -ben határozzák meg.

A különböző paraméterű hálózatrészek összekapcsolása esetén a rendszer eredő CSO paraméterét a következő összefüggés írja le:

$$CSO_{\text{rendszer}}^{\text{dB}} = -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{CSO_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{CSO_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{CSO_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{10}} \right].$$

Az előzőek alapján a fenti összefüggésből fejezzük ki a vonalhálózatra jutó CSO értéket:

$$10^{-\frac{CSO_{\text{rendszer}}^{\text{dB}}}{10}} = 10^{-\frac{CSO_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{CSO_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}} + 10^{-\frac{CSO_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{10}};$$

$$10^{-\frac{CSO_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{10}} = 10^{-\frac{CSO_{\text{rendszer}}^{\text{dB}}}{10}} - 10^{-\frac{CSO_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{10}} - 10^{-\frac{CSO_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{10}};$$

$$CSO_{\text{vonal}}^{\text{dB}} = -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{CSO_{\text{rendszer}}^{\text{dB}}}{10}} - 10^{-\frac{CSO_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{10}} - 10^{-\frac{CSO_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{10}} \right].$$

A korábban kapott értékeket behelyettesítve kapjuk:

$$\begin{aligned} CSO_{\text{vonal}}^{\text{dB}} &= -10 \cdot \lg \left[10^{-\frac{57 \text{ dB}}{10}} - 10^{-\frac{65 \text{ dB}}{10}} - 10^{-\frac{62 \text{ dB}}{10}} \right] = \\ &= -10 \cdot \lg [10^{-5,7} - 10^{-6,5} - 10^{-6,2}] = 59,8 \text{ dB}. \end{aligned}$$

Láthatjuk, hogy a vonalhálózatra 64 dB -es CSO értékeknek kell teljesülniük, amit csak úgy érhetünk el, hogy csökkentjük a vonalerősítők kivezérelését:

$$\begin{aligned} CSO_{U_2} &= CSO_{U_1} - (U_2^{\text{dB}\mu\text{V}} - U_1^{\text{dB}\mu\text{V}}) = 65 \text{ dB} - (100 \text{ dB}\mu\text{V} - 104 \text{ dB}\mu\text{V}) = \\ &= 65 \text{ dB} + 4 \text{ dB} = 69 \text{ dB}. \end{aligned}$$

A vonalhálózatban rendszerint nem csak egy erősítőt használunk, a kaszkádszám a következőképpen befolyásolja CSO értékeket:

$$CSO_N = CSO_1 - 10 \cdot \lg N,$$

$$59,8 \text{ dB} = 69 \text{ dB} - 10 \cdot \lg N;$$

$$10 \cdot \lg N = 69 \text{ dB} - 59,8 \text{ dB};$$

$$N = 8,31 \approx 8.$$

Ahhoz, hogy a vonalhálózat eredő CSO értéke 64 dB legyen max. 8 vonalerősítőt köthetünk kaszkádba.

A CTB értékeknek az előfizetői végponton 57 dB -nek kell lennie. A számítás hasonlóképpen zajlik, mint a CSO esetén, csak itt 20-szoros logaritmussal kell számolni. Az optika CTB értéke 66 dB , a házerősítőé szintén 66 dB . A rendszer kimeneti CTB paramétere:

$$CTB_{\text{eredő}}^{\text{dB}} = -20 \cdot \lg \left[10^{-\frac{CTB_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{20}} + 10^{-\frac{CTB_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{20}} + 10^{-\frac{CTB_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{20}} \right].$$

Ebből kifejezve a vonalhálózat eredő CTB értékét, ezt kapjuk:

$$10^{-\frac{CTB_{\text{rendszer}}^{\text{dB}}}{20}} = 10^{-\frac{CTB_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{20}} + 10^{-\frac{CTB_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{20}} + 10^{-\frac{CTB_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{20}} ;$$

$$10^{-\frac{CTB_{\text{vonal}}^{\text{dB}}}{20}} = 10^{-\frac{CTB_{\text{rendszer}}^{\text{dB}}}{20}} - 10^{-\frac{CTB_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{20}} - 10^{-\frac{CTB_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{20}} ;$$

$$CTB_{\text{vonal}}^{\text{dB}} = -20 \cdot \lg \left[10^{-\frac{CTB_{\text{rendszer}}^{\text{dB}}}{20}} - 10^{-\frac{CTB_{\text{optika}}^{\text{dB}}}{20}} - 10^{-\frac{CTB_{\text{ház}}^{\text{dB}}}{20}} \right].$$

A felhasználásra kerülő eszközök adatait behelyettesítve a következőt kapjuk:

$$CTB_{\text{vonal}}^{\text{dB}} = 67,7 \text{ dB.}$$

A vonalerősítők kimeneti szintje a CSO paraméterek miatt 100 dB μ V, így a CTB-re megadott katalógusadat az alábbiak szerint változik:

$$\begin{aligned} CTB_{U_2} &= CTB_{U_1} - 2 \cdot (U_2^{\text{dB}\mu\text{V}} - U_1^{\text{dB}\mu\text{V}}) = 66 \text{ dB} - 2 \cdot (100 \text{ dB}\mu\text{V} - 104 \text{ dB}\mu\text{V}) = \\ &= 66 \text{ dB} + 8 \text{ dB} = 74 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Az előzőek alapján már sejtjük, hogy a kaszkád fogja lerontani a CTB értékét:

$$CTB_N = CTB_1 - 20 \cdot \lg N;$$

$$67,7 \text{ dB} = 74 \text{ dB} - 20 \cdot \lg N;$$

$$20 \cdot \lg N = 74 \text{ dB} - 67,7 \text{ dB} = 6,3 \text{ dB};$$

$$N = 2,06 \approx 2.$$

A harmadrendű torzítási termékek miatt csak két vonalerősítőt köthetünk kaszkádba, ha tartani kívánjuk a szabványban foglalt előírásokat!

Összefoglalva tehát a rendszerparamétereket:

- vonalerősítőkből maximum 2 köthető kaszkádba, 100 dB μ V-os kimenőszinttel,
- a házerősítők kimenőszintje 104 dB μ V,
- az erősítők minimális bemeneti jelszintje 72 dB μ V.

5.7.3. A rendszerparaméterek kiszámítása

A tervezés nehezen már túl vagyunk, viszont most következik a munka nagyobbik része, a számítás. Az előző részben meghatároztuk a rendszerjellemzőket, most ezeket betartva meg kell határoznunk azt a rendszertechnikai struktúrát, ami kielégíti az elvárásokat. A rendszertechnikát a már meghatározott nyomvonalra kell „ráhúznunk”.

A rendszertechnikai számításokat alapvetően kétféleképpen lehet elvégezni.

- a számítást a fejállomástól (ONU-tól) kezdjük, és a hálózat végre felé haladunk,
- a számítást az előfizető irányából kezdjük, és a fejállomás (ONU) felé haladunk.

Természetesen az első eset tűnik a járhatóbb útnak, hiszen könnyebb egy pontból kiindulva ellátni kb. 500 pontot jellel, mint 500 pontból elindulni és egy pontba eljutni. A másodikhoz lényegesen bonyolultabb tervezési algoritmusra van szükség, viszont könnyen belátható, hogy azzal jobb eredményre jutunk.

Vegyünk egy példát! Egy pontból kiindul három irány, amelynél olyan távolságok vannak, hogy egy-egy irányt (átlagosan) 3,5 erősítőszakasz lát el megfelelően. Ezt az első módszert alkalmazva úgy oldjuk meg, hogy minden ágon az utolsó erősítőszakasz már nincs teljesen kihasználva. Ha azonban a végpontok felől indultunk volna el, a végeken mindenütt teljesen kihasznált erősítőszakaszok vannak, és feltehetően a három irány összefonódása után van egy kevésbé kihasznált erősítő. Ez azonban azt jelenti, hogy 12 erősítő helyett csak 10-et használtunk fel.

A hagyományos tervezés esetén felosztjuk a területet hasonló nagyságú részterületekre, amelyeket az ONU egy-egy kimenete lát el jellel.

Az ONU kimeneti jelszintjei lesznek a kiindulási paraméterek és ezek a passzív elemek csillapítása révén csillapodnak. A rendelkezésre álló eszközök közül úgy választunk, hogy lehetőség szerint minden hálózati elemre a megfelelő jelszint jusson. A számításokat végezhetjük kézzel (ehhez segítséget nyújthat a 6.1.1. táblázatban található csillapítástáblázat) vagy – főleg nagyobb területek esetén – célszerű valamilyen számítógépes programmal végezni.

Ha a jelszint a min. bemeneti szint közelébe csökken, akkor erősítőt kell alkalmazni. Az erősítő kimenete után ugyanúgy járunk el, mint az ONU kimeneténél.

A tervezésnél mind gazdaságossági, mind pedig műszaki szempontból lényeges, hogy a lehető legkevesebb eszközön keresztül jussunk el az előfizetőhöz. Ha egy erősítő kimenete után rögtön el akarjuk ágaztatni a hálózatot, akkor célszerűbb két kimenetű erősítőt használni. Ha egy légkábelen hálózat esetén egy oszlopról 5 lakást kívánunk bekötni, akkor célszerűbb egy 8 kimenetű előfizetői leágazót használnunk, mint egy 4-est és egy 2-est.

Tömbházak esetén a lépcsőházakba történő beállást RG11 típusú kábellel valósítjuk meg, és a vonalról akkora kicsatolású iránycsatolóval ágazunk le, ami megfelelő jelszintet ad a házerősítő számára.

A légkábelen, családi házas területrésznél a házhálózati síkot RG11 típusú kábellel építjük ki, míg a vonalhálózatot QR540 típusú kábellel.

A „visszafelé tervezésnél”, azaz amikor az összes előfizetőtől visszafelé elindulva tervezzük meg a hálózatot még számítógépes segítséggel is nehezen lenne megvalósítható. A két tervezési módszer ötvözése azonban jó megoldást eredményez. Az alapvető elgondolás az, hogy nem minden előfizetőtől indulunk visszafelé, hanem csak az utolsó házerősítőtől. A tervezés kezdetekor meghatározzuk a házerősítők helyét, ez a feladat

tömbházas környezet esetén egyszerű, mert rendszerint minden lépcsőházba kerül egy aktív elem. Családirházas, légkábeles környezetben tervezzük meg az utolsó – házhálózati – síkot, így megkapjuk a házerősítők pontos helyét. Ezek után határozzunk meg egy optimális, vonalhálózati nyomvonalat, ami az összes, előzőekben meghatározott pontot érinti. Az így kapott ág struktúra végpontjairól elindulva már meghatározhatjuk, hogy az elágazási pontokban milyen arányú osztásokat kell alkalmaznunk, és a vonalerősítők helyét is. Ezzel a módszerrel kapott rendszert még célszerű pontosabban átszámolni, immár a fejlődéstől kiindulva. Látszólag, ez a módszer több energiát igényel, de nagyobb területek tervezésénél érdemes alkalmazni, mert nincs annál bosszantóbb dolog, mikor egy 4-5 kaszkádos hálózat nem tudja ellátni az utolsó 100 m-t, és akkor előlről kezdhjük a munkát.

5.7.4. A kiviteli tervrajzok elkészítése, engedélyeztetés

A tervezés másik fontos feladata – amellet, hogy műszakilag megfelelő hálózatot hozzunk létre –, az hogy az elgondolást mások, pl. kivitelezők, megrendelők, más közművek, hatóságok számára is érhetővé és egyértelművé tegyük. Ezt a célt szolgálják a tervdokumentáció részei.

Egy tervdokumentáció a következőkből tevődik össze:

- műszaki leírás,
- rajzok,
 - áttekintő rajz,
 - rendszertechnikai rajz,
 - nyomvonal rajz,
 - helyszínrajz,
 - egyéb rajzok,
- egyeztetési jegyzőkönyvek,
- szakhatósági és tulajdonosi hozzájárulások.

Műszaki leírás

A műszaki leírásnak tartalmaznia kell a megtervezett hálózat szöveges ismertetését, a főbb műszaki paraméterek bemutatását. A műszaki leírásban kell kitérni a szokványostól (a terület nagyobb részére jellemző megoldástól) való eltérésre is.

Áttekintő rajz

A terület áttekintését lehetővé tevő rajz, méretaránya 1:4000, külterületen 1:10000. A rajz tartalmazza a nyomvonalat, úgy, hogy lehetőség szerint a részletesebb nyomvonalrajzok közt is segítsen eligazodni. Az áttekintő rajz ne tartalmazzon túl sok információt, mert akkor könnyen áttekinthetlenné válhat.

Rendszertechnikai rajz

Ez a rajz tartalmazza a kábeltelevíziós eszközök összekapcsolását, a rendszer műszaki rajzát. Itt tüntethetjük fel a hálózat különböző pontjaira számolt jelszinteket.

Nyomvonal rajz

A rajz ábrázolja a pontos nyomvonalat, javasolt méretaránya 1:1000 vagy 1:500. A földkábeles építési munkálatokat minden esetben 1:500-as léptékű összközműves rajzon ábrázoljuk, és lehetőség szerint a nyomvonal főbb töréspontjait kótázzuk be az állandó tereptárgyakhoz.

Helyszínrajz

Ez a rajz a nyomvonalrajz és a rendszertechnika rajz „összegyűrése”, gyakorlatilag térképen ábrázoljuk a rendszertechnikai rajzot, jelszintek nélkül, csak az eszközök típusa kell, hogy felkerüljön a rajzra. Méretaránya többnyire 1:1000 vagy 1:500.

Egyéb rajzok

Különböző részletrajzok, amelyek kiemelik egy-egy terület részletes megvalósítását, pl. út, vasút, patakkereszteзések, azok keresztshelvényei. A keresztshelvényeken ábrázolni kell a keresztshelzési magasságot (mélységet), és a más, jelen levő közművektől való távolságot.

Egyeztetési jegyzőkönyvek

A területen lévő más közművek nyilatkozata a tervezett hálózatról, annak megfeleléséről. Ezek az egyeztetési jegyzőkönyvek a kiviteli terv részét kell hogy képezzék.

Szakhatósági és tulajdonosi hozzájárulások:

Ezek a hozzájárulások a nyomvonal által érintett területek tulajdonosainak hozzájárulásai, valamint az állami hivatalok beleegyezései a munkálatokba.

Az engedélyeztetési eljárást nem ismertetjük bővebben, mivel az engedélyeztetéssel kapcsolatos eljárások változnak, és az ország más-más területein is többféle kialakult gyakorlattal találkozhatunk. A jelenlegi engedélyeztetési eljárást a 29/1999 és a 9/2000 KHVM rendelet szabályozza.

6. Mérések a kábeltelevíziós hálózatokon

6.1. Bevezetés

A kábeltelevíziós mérés technikában a hagyományos használt eszközöket (jelgenerátorok, kalibrált szűrők és csillapítók, szelektív mérővevők) felváltották a speciálisan kábeltelevíziós célokra fejlesztett digitális analizátorok és komplex mérőrendszerek. Az analizátorok mintavételezik a mért jelet, azután szoftveresen számítják a hálózati paramétereket. A mérési algoritmusok nagy része teljesen automatizált, a vezérlő processzor a teljes folyamat alatt vezérli a műszer áramköreit. Korábban hosszadalmas mérési eljárások ma már néhány gombnyomással elvégezhetők.

A mérési idő lerövidíthető azzal, hogy a műszerben a mért hálózat csatornatervét el lehet menteni. A csatornaterv tartalmazza a rendszeren lévő összes kép- és hangvivő frekvenciáját, beszerkeszthetők a digitális csatornák és az egyéb (pl. mérésre, adatátvitelre használt) jelek paraméterei. A gondosan megszerkesztett csatornaterv jelentősen meggyorsítja a műszer kezelését, hiszen a mérések nagy részénél nem kell hangolni.

Tovább gyorsítja a munkát, hogy a műszerekben a szabványoknak megfelelő határértékek is eltárolhatók. A mérés során a mért értékeket ezekhez hasonlítja a műszer és a teszt eredményéből azonnal kiderül, hogy a hálózat megfelel-e az előírásoknak.

A műszerek a mérések eredményeit belső memóriába menthetik és adatátviteli portjukon keresztül más eszközök felé továbbíthatják. A gyártók PC szoftvert adnak a műszerekhez, amellyel a mérési eredmények számítógépen tárolhatók és kiértékelhetők.

A műszerek a teljes kábeltelevíziós frekvenciasávban (5-870 vagy 5-1000 MHz) működnek, ma már a digitális jellemzők mérésére is alkalmasak (alapkiépítésben vagy a szükséges opció megvásárlásával) és egy részük a mikrohullámú KF-tartományban a műholdak jellemzőit is méri, így egyetlen műszer használható a fejjállomástól az előfizetői csatlakozási pontig.

A video demodulátorral rendelkező műszerek meg tudják jeleníteni a mért csatorna képét (és a csatorna teletextjét), ami azért lehet hasznos, mert az analóg tévétechnikában a legtöbb hibajelenség látható minőségromlást okoz a tévéképen.

6.1.1. Kábeltelevíziós szabványok

Ez a fejezet az analóg kábeltelevíziós hálózatok főbb jellemzőinek méréseit tárgyalja. A hálózatnak az MSZ EN 50083-7: *Rendszerjellemzők (1998)*. *Analóg jelek mérése*

című szabványnak kell megfelelnie. A szabvány elsősorban az előfizetői átadási pontra határoz meg minőségi paramétereket. A hálózaton lévő értékeket a szabvány nem írja elő, de analóg technikában a jelminőség a hálózaton haladva fokozatosan romlik, ezért a hálózatnak az előírt értékeknél jobbakat kell produkálnia.

A szabvány néhány mérésnél visszautal az MSZ EN 50083-3: *Koaxiális hálózatok aktív szélessávú elemei (2000)* című szabványra, tehát ennek ismerete is szükséges a mérésekhez.

A szivárgásmérés előírásait az MSZ EN 50083-8: *Kábelhálózatok elektromágneses összeférhetősége (2002)* szabvány tartalmazza.

A szabványok a szükséges mérési eljárásokat is tartalmazzák, amelyek egy részét a gyakorlatban egyszerűbb eljárások váltották fel. A szabványok megengedik egyenértékű, azonos pontosságú mérések alkalmazását. Sok esetben a pontosságot az határozza meg, hogy a műszerek a hálózaton folyamatosan jelen lévő képvivőket (és esetleg a hangvivőket) használják mérőjelként. Mivel a képvivők amplitúdómoduláltak, az ebből adódó mérési hibák befolyásolják a különböző jellemzők mért értékét.

6.1.2. A mérések körülményei

A pontos mérések érdekében a következő előírásokat kell betartani:

- Kerüljük el a műszerek túlvezérlését! A műszerek érzékenysége egy adott bemeneti szint felett nemlineáris és a nemlineáris szakaszon végzett mérés eredménye pontatlan lesz. A műszer bemenetére csak az előírt max. bemeneti szint adható. Ha ez az adat nem ismert, akkor a túlvezérlés-teszttel győződhethetünk meg arról, hogy a műszer még a lineáris szakaszon működik-e. A teszt lényege, hogy adott bemeneti szint mellett feljegyezzük a műszerrel mért értéket, majd egy kis értékű (3 dB-es) csillapítót kötünk a műszer bemenetére. A mért jelszintnek 3 dB-lel kell csökkennie.
- Zajsztint mérésekor a mért zajnak a műszer saját zaja felett kell lennie (részletesen l. a 6.4. alfejezetben).
- Intermodulációs torzítások mérésekor biztosítani kell, hogy a műszerben ne termelődjenek torzítások (részletesen l. a 6.5. alfejezetben).

A fejezetben illusztrációként bemutatott mérési eredmények HP 8591 C analizátorral és Acterna SDA5000 kéziműszerrel készültek. Az ettől eltérő illusztrációknál megadjuk a felhasznált műszer (vagy gyártó) nevét.

6.2. Matematikai alapok

6.2.1. Mértékegységek

Relatív egységek

A kábeltelevíziós technikában a jelszintek mérésére speciális, logaritmikus egységeket használnak. A logaritmikus egységekben való számolás előnyei:

- A nagyobb számok felé haladva a logaritmikus skála meredeksége csökken. Emiatt a logaritmikus skálák a nagyobb számok felé „összenyomódnak”, ezért nagy szám-tartományok ábrázolhatók kis helyen.
- A szorzások és osztások a logaritmikus egységek használatával összeadásra és kivonásra egyszerűsödnek.
- Logaritmikus skálán ábrázolva a hatványfüggvények képe egyenes lesz.
- A logaritmikus skála aránytartó.

Két teljesítményérték arányának tízes alapú logaritmusa a Bel (B):

$$A^B = \lg \frac{P_2}{P_1}.$$

A gyakorlatban ennek tizedrésze, a dB terjedt el:

$$A^{dB} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}.$$

Fontos megjegyezni, hogy csak pozitív valós számoknak létezik logaritmusa. Tehát semmilyen fizikai mennyiség nem állhat a logaritmus után, csak valamilyen számarány.

A gyakorlatban sokszor teljesítmény helyett feszültséget adnak meg. Az átszámítás módja behelyettesítéssel adódik:

$$A^{dB} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \lg \frac{\frac{U_2^2}{R_2}}{\frac{U_1^2}{R_1}} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} + 10 \cdot \lg \frac{R_1}{R_2}.$$

Amennyiben a két mérési ponton a hullámellenállás megegyezik ($R_1 = R_2$):

$$A^{dB} = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1}.$$

Mivel ma már minden kábeltelevíziós elem hullámimpedanciája 75Ω , az előbbi egyenlőség automatikusan teljesül.

Néhány gyakrabban használt feszültség- és teljesítményarány dB-ben kifejezett értéke a 6.1.1. táblázatban található.

Néhány gyakori feszültség- és teljesítményarány dB-ben mért értéke. 6.1.1. táblázat

Feszültség-arány	Teljesítmény-arány	Szint, dB	Feszültség-arány	Teljesítmény-arány	Szint, dB
1	1	0	$\sqrt{40}$	40	16,02
$\sqrt{2}$	2	3	$\sqrt{50}$	50	16,99
$\sqrt{3}$	3	4,77	$\sqrt{60}$	60	17,78
2	4	6	$\sqrt{70}$	70	18,45
$\sqrt{5}$	5	6,99	$\sqrt{80}$	80	19,03
$\sqrt{6}$	6	7,78	$\sqrt{90}$	90	19,54
$\sqrt{7}$	7	8,45	10	100	20
$\sqrt{8}$	8	9,03	100	10 000	40
3	9	9,54	1000	1 000 000	60
$\sqrt{10}$	10	10	$1/\sqrt{2}$	1/2	-3
$\sqrt{20}$	20	13,01	1/2	1/4	-6
$\sqrt{30}$	30	14,77	1/10	1/100	-20

A dB-ben megadott szintek néhány jellegzetes tulajdonsága:

- Pozitív dB érték erősítést, negatív dB érték csillapítást jelent.
- 0 dB esetén a két mérési ponton azonos jelszint van.
- Egy feszültség- vagy teljesítményarány reciprok értéke decibelben kifejezve az eredeti érték -1 -szerese. Pl. a kétszeres teljesítményarány 3 dB, az $1/2$ teljesítményarány -3 dB.

A kábeltelevíziós gyakorlatban, ha a kifejezett mennyiség egy mért jel és a képvivő arányát fejezi ki, akkor ezt dBc-vel jelölhetik (c: carrier, vivő).

A dBr jelölés mutatja, hogy egy mért jel és egy korábban meghatározott referenciaérték közötti arányról van szó (r: relative, relatív).

Abszolút egységek (szintek)

A gyakorlatban nem csak két mért érték aránya (azaz az erősítés vagy a csillapítás) fontos, hanem egy adott mérési ponton mért abszolút szint is. A logaritmus tulajdonsága miatt ekkor is csak viszonzszámokat használhatunk, ahol a viszonyítási szintek előre rögzített referenciaértékek lesznek. A gyakran használt egységek a következők:

$$P \text{ (dBm)} = P^{\text{dBm}} = 10 \cdot \lg \frac{P_{\text{mért}}}{1 \text{ mW}};$$

$$U \text{ (dBmV)} = U^{\text{dBmV}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{mért}}}{1 \text{ mV}};$$

$$U \text{ (dB}\mu\text{V)} = U^{\text{dB}\mu\text{V}} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{mért}}}{1 \mu\text{V}};$$

Pl. egy 100 dB μ V szintű jel: $100 \text{ dB}\mu\text{V} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{mért}}}{1 \mu\text{V}};$

$$5 = \lg \frac{U_{\text{mért}}}{1 \mu\text{V}}.$$

A logaritmus ellentett művelete a hatványozás, ezt alkalmazzuk mindkét oldalon:

$$10^5 = \frac{U_{\text{mért}}}{1 \mu\text{V}},$$

ebből $U_{\text{mért}} = 100 \text{ mV}.$

A kábeltelevíziós szakmában a dBm egységet elsősorban az optikai jelteljesítmény mérésére használják. A dBmV és dB μ V egységekkel az RF-hálózaton lévő jelek feszültség szintjét fejezik ki. Mivel a milli- és a mikro- előtagok között a szorzószám 1000, a 6.1.1. táblázatból kiolvasható, hogy dB egységekben a váltószám 60: $1 \text{ dBmV} = 60 \text{ dB}\mu\text{V}.$

6.2.2. A kábeltelevíziós technikában alkalmazott matematikai eljárások

A Fourier-tétel szerint minden periodikus jel felbontható szinuszos (és koszinuszos) jelek összegére. A legkisebb frekvenciájú összetevő neve alapharmonikus. Az összes többi összetevő a felharmonikus. A tétel szerint az alapharmonikus frekvenciája megegyezik az eredeti jel frekvenciájával. A felharmonikusok frekvenciája az alapharmonikus frekvenciájának egészszámú többszöröse. Egy másik terminológia szerint az összes összetevőt harmonikusnak nevezik és azok sorszáma mutatja, hogy az adott harmonikus frekvenciája hányszorosa az eredeti jel f_0 frekvenciájának. Ezek szerint:

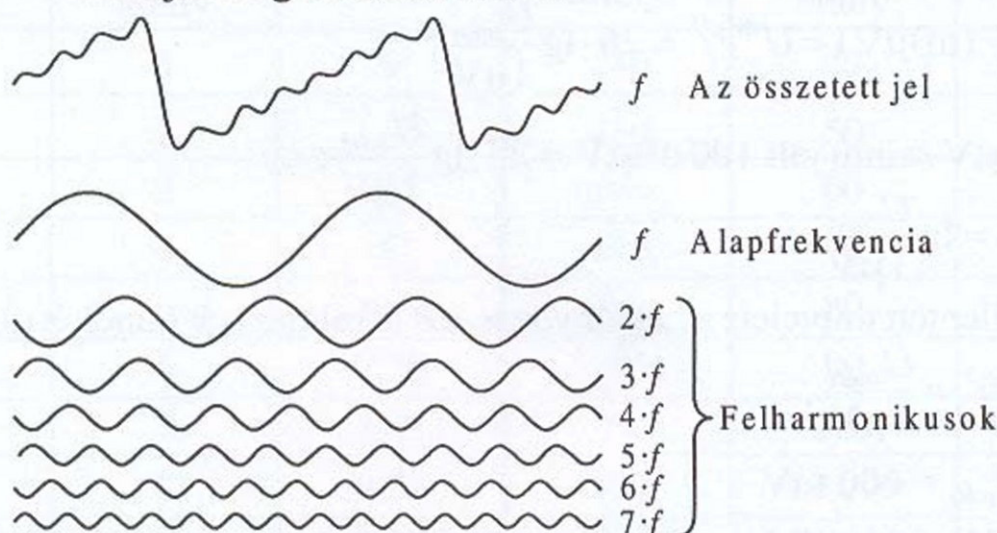
- alapharmonikus: első harmonikus $f_1 = f_0$;
- első felharmonikus: második harmonikus $f_2 = 2 \cdot f_0$;
- második felharmonikus: harmadik harmonikus $f_3 = 3 \cdot f_0$, és így tovább.

A Fourier-tétel megfordítása is érvényes, azaz bármely periodikus jel előállítható a megfelelő szinuszos (és koszinuszos) jelek összegeként.

Az 6.2.1. ábrán egy háromszögjel látható, ami függvényrajzoló programmal készült az alatta lévő szinuszos jelek összegzésével. A rajzoláshoz felhasznált függvény:

$$y = \sin x - \frac{1}{2} \cdot \sin 2 \cdot x + \frac{1}{3} \cdot \sin 3 \cdot x - \frac{1}{4} \cdot \sin 4 \cdot x + \frac{1}{5} \cdot \sin 5 \cdot x - \frac{1}{6} \cdot \sin 6 \cdot x + \frac{1}{7} \cdot \sin 7 \cdot x.$$

Tehát az f frekvenciájú fűrészjel a megfelelő jelszintekkel és megfelelő fázisban összegzett f , $2\cdot f$, $3\cdot f$, $4\cdot f$, $5\cdot f$, $6\cdot f$ és $7\cdot f$ frekvenciájú szinusz jelekből előállítható. További harmonikusok hozzáadásával a fűrészjel még simábbá tehető.



6.2.1. ábra. Összetett periodikus jel előállítása szinuszos jelekből

Az összetett jelek harmonikusai matematikai eljárással (Fourier-analízis vagy Fourier-sorfejtés) határozhatók meg. Mivel az eljárás integrálással keresi az összetevőket, a számítási folyamat hosszadalmas. A mérés technika fejlődésével, a digitális jelfeldolgozás elterjedésével szükségessé vált egy olyan eljárás, ami a Fourier-analízishez képest egyszerűbb és automatizálható. A digitális műszerek először mintát vesznek a mért jelből, majd a kapott impulzussorozatból matematikai eljárással határozzák meg az eredeti jel összetevőit. Az eljárás neve Fourier-transzformáció. Ez már matematikailag egyszerűbb, de számításigényes eljárás.

Az 1960-as években a számítási idő lerövidítése érdekében született meg a gyors Fourier-transzformáció (Fast Fourier Transformation, FFT). Az FFT gyors, viszonylag kevés műveletet igénylő eljárás. Az analízis során csak (komplex számokkal végzett) szorzásra és összeadásra van szükség, tehát az eljárás könnyen automatizálható.

Ezen előnyök miatt az FFT eljárást ma már a mérés technika minden területén alkalmazzák, ahol periodikus jelek felbontására, zajos jelek mérésére, zajban elmerült periodikus jelek keresésére van szükség (távközlés, orvosi műszerek, úrkutatás stb.).

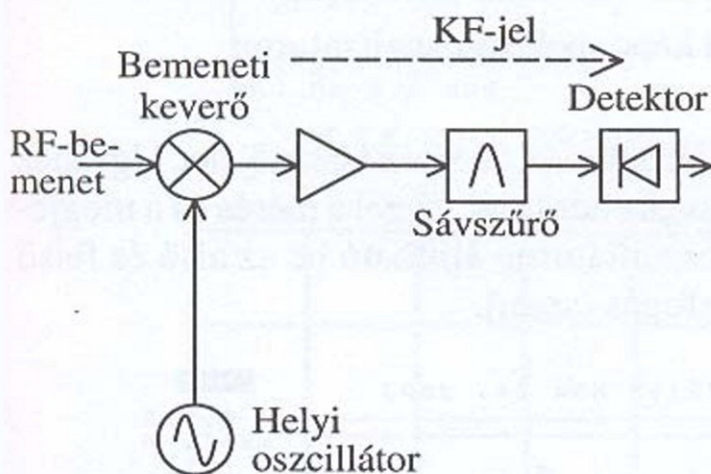
A digitális jelfeldolgozó processzorral ellátott kábeltelevíziós mérőeszközök képesek a mért periodikus jel időfüggvényéből a jelet alkotó összetevőket meghatározni. A vizsgált jel időfüggvényét zero-span (nulla átfogású) üzemmódban veszik fel. Ezután a mért jel mintavételezése következik, majd a kapott mintákból FFT-vel számítják ki az időfüggvényt alkotó frekvenciákat és azok szintjei. Az eljárás akkor használható, ha a vizsgált képvivőn nemkívánatos külső moduláló jelet keresnek. Ilyen külső moduláció a tápellátásból származó bűgásmoduláció és a modulált képvivők okozta keresztmoduláció.

Az eljárás fordítottja az inverz-FFT, amely egy frekvenciaspektrumból az azt létrehozó összetett jel időfüggvényét számítja ki. Kábeltelevíziós mérés technikában a frekvencia alapú reflektométerekben alkalmazzák az eljárást.

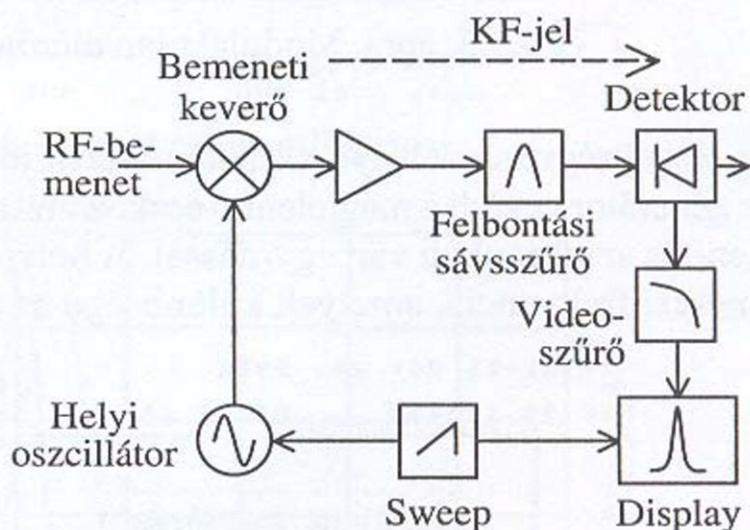
6.3. A kábeltelevíziós műszerek felépítése és működése

6.3.1. A spektrumanalizátorok és mérővevők általános felépítése

A spektrumanalizátorok és a hangolható mérővevők szuperheterodin elven működnek. A bemeneti keverőfokozat a bemenetre érkező szélessávú jel és a helyi oszcillátor által generált jel különbségi frekvenciáját állítja elő (6.3.1. ábra). Ezután a mérendő jel a fix hangolású KF-fokozatokon (KF-erősítő és KF-sávszűrő) keresztül jut a mérődetektorba. Ennek az az előnye, hogy ezeket a mérés szempontjából fontos áramköröket nem kell mérés közben hangolni, ezáltal nagyobb pontosság és egyszerűbb felépítés érhető el.



6.3.1. ábra. Szuperheterodin mérővevő tömbvázlata



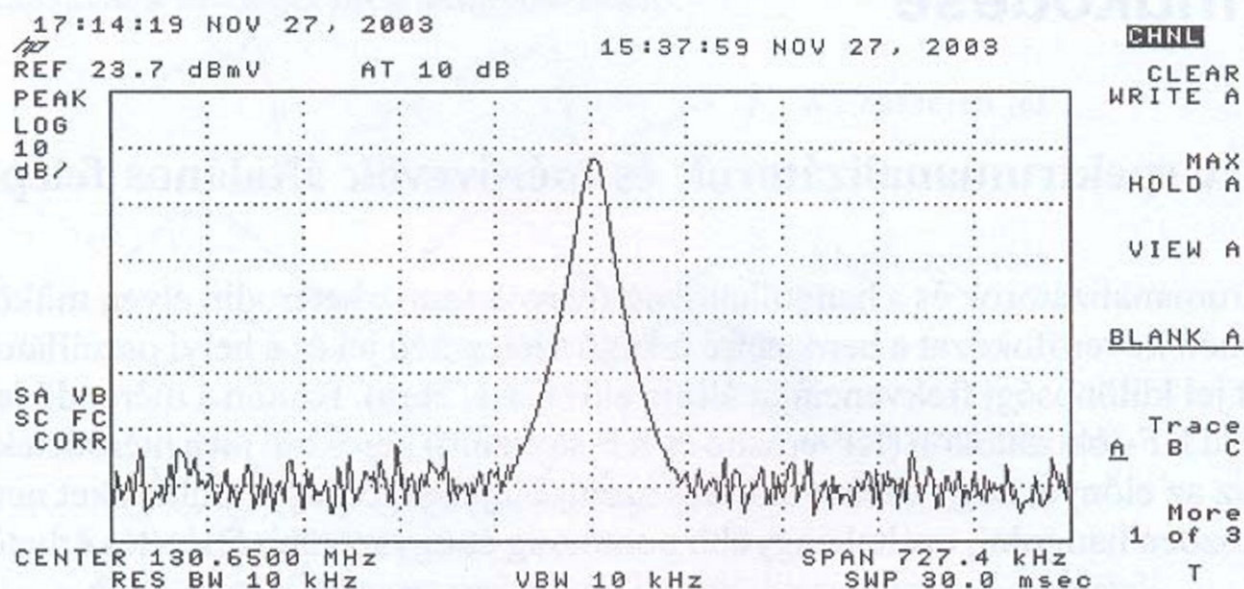
6.3.2. ábra. Spektrumanalizátor tömbvázlata

Spektrumanalizátorokban a mérővevőkhöz hasonlóan a jel először egy keverőfokozaton jut keresztül, ahol a helyi oszcillátorral középfrekvenciára keveredik le (6.3.2. ábra). Erősítés után a jel a felbontási sáv szélességet beállító szűrőre kerül. A szűrő kialakításánál figyelembe kell venni, hogy a mért jel melletti jeleket a lehető legjobban kiszűrje, viszont elég széles legyen ahhoz, hogy az adott mérési idő alatt a mért jel maximumát át tudja engedni. A mérésre rendelkezésre álló idő a söprési (sweep-) sebességtől függ. A pontos szintmérés feltétele a söprési idő és a felbontási sáv szűrő sáv szélességének megfelelő megválasztása. Modulálatlan mérőjel esetén spektrumanalizátorral kirajzolt kép a felbontási sáv szűrő jelleggörbéje, ami Gauss-görbe alakú (6.3.3. ábra).

A spektrumanalizátor sáv szélességét a vizsgált jelhez viszonyítva kell beállítani. A gyakorlatban alkalmazott sáv szélességek:

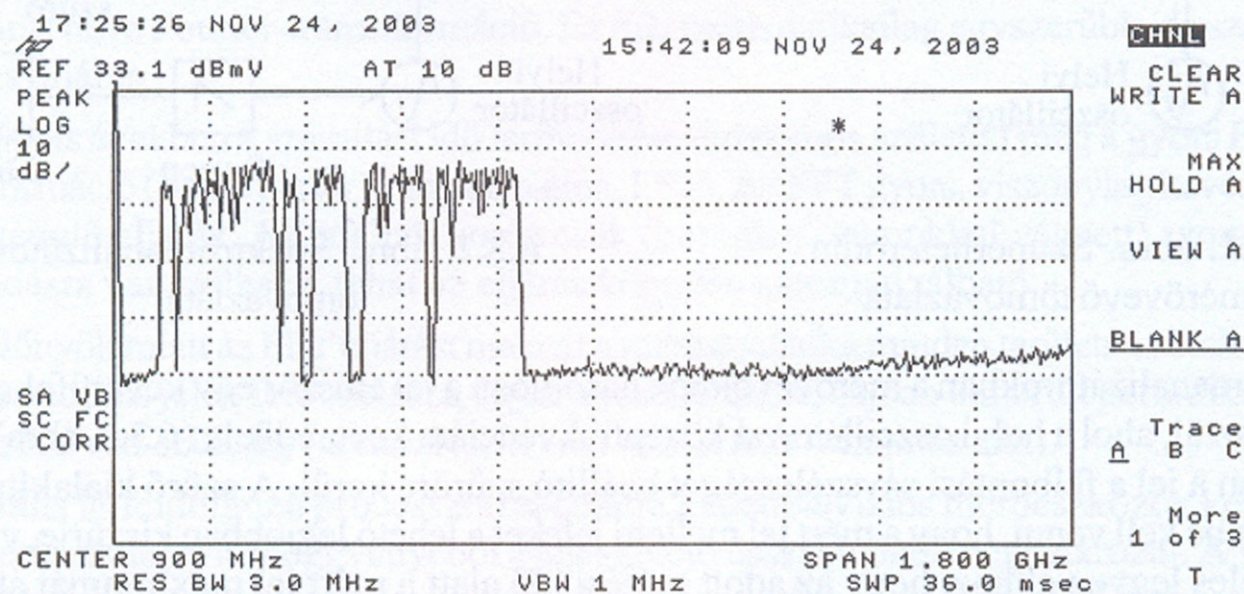
- képvivők vizsgálatánál: 200...300 kHz;

- zajmérésnél, modulálatlan mérőjelek vizsgálatánál: 10...30 kHz;
- szélessávú digitális jel vizsgálatánál: 2...3 MHz.



6.3.3. ábra. Modulálatlan mérőjel képe spektrumanalizátoron

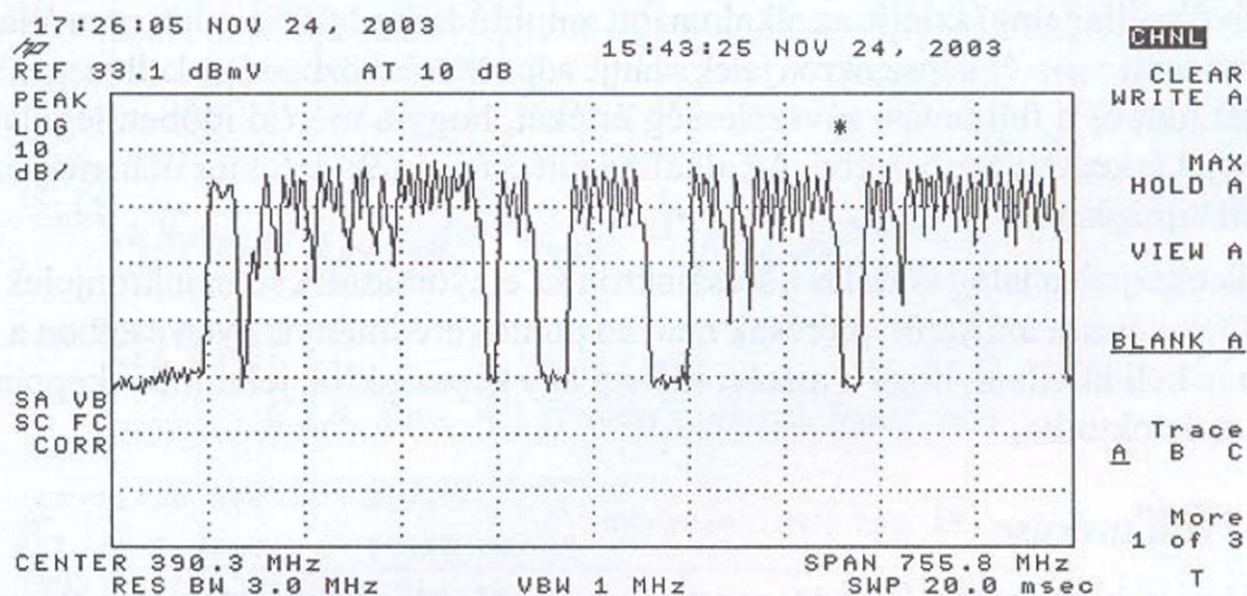
A feszültségvezérelt helyi oszcillátor a fűrészjel-generátorból kapja a vezérlőjelet. Ugyanez a generátor vezérli a megjelenítő eszköz vízszintes eltérítését. Ezzel a mérés és a megjelenítés szinkronban van egymással. A helyi oszcillátoron állítható be az alsó és felső mérési frekvencia, amelyek különbsége az átfogás (span).



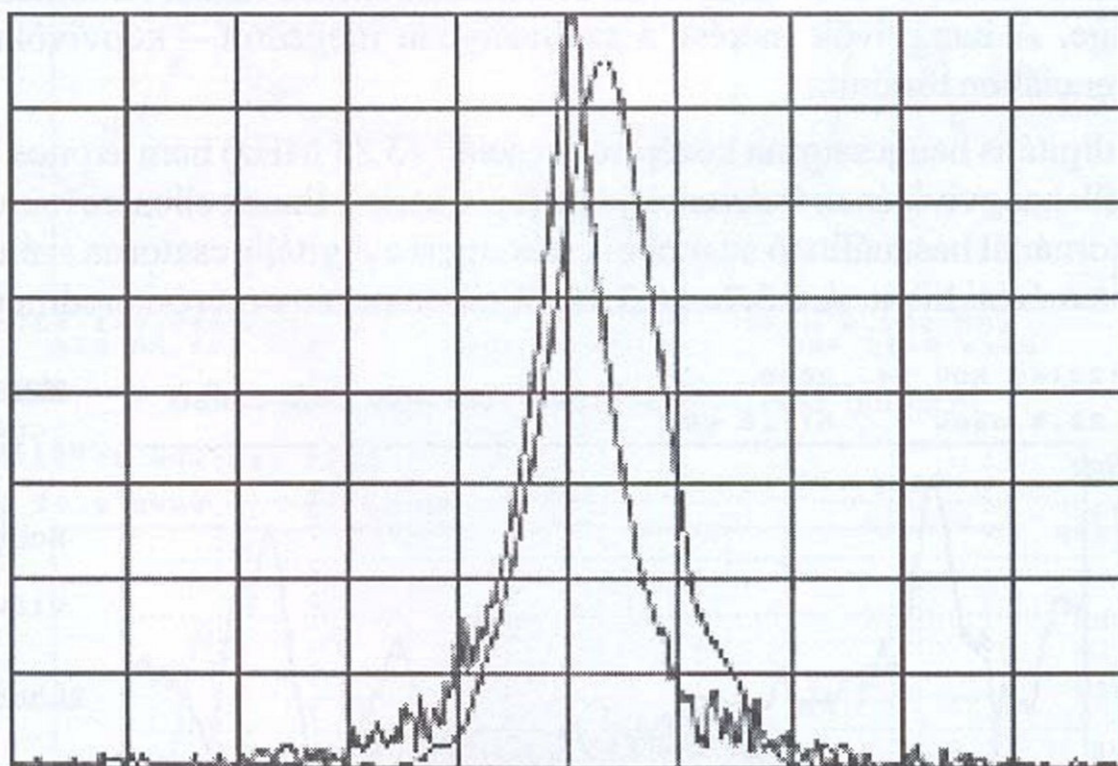
6.3.4. ábra. 750 MHz-es hálózat spektruma 1,8 GHz sáv szélességű analizátoron, teljes átfogással

A megszürt jel a csúcsérték-detektorra kerül. Az ezután következő video-szűrő feladata a jel további szűrése, a termikus zaj okozta fluktuációk csökkentése. A video-szűrő sáv szélessége itt nem részletezendő módon függ a felbontási sáv szűrő sáv szélességétől, a söprési sebességtől és az átfogástól. A 6.3.4. és 6.3.5. ábrán teljes átfogással készített

felvételek láthatók. A műszerek ezen adatok ismeretében automatikusan állítják a video sávszélességet. A 6.3.6. ábrán a beállítások okozta hiba hatása látható. A felső görbe megfelelő beállításokkal készült, az alsó görbe esetén a megfelelő paraméterek nem voltak összehangolva, a felbontási sávszűrőnek nem volt ideje a teljes mért jelet átengedni.



6.3.5. ábra. 750 MHz-es hálózat teljes átfogással



6.3.6. ábra. Amplitúdóhiba a spektrumanalizátoron

6.3.2. Szintmérések

Képvivők mérése

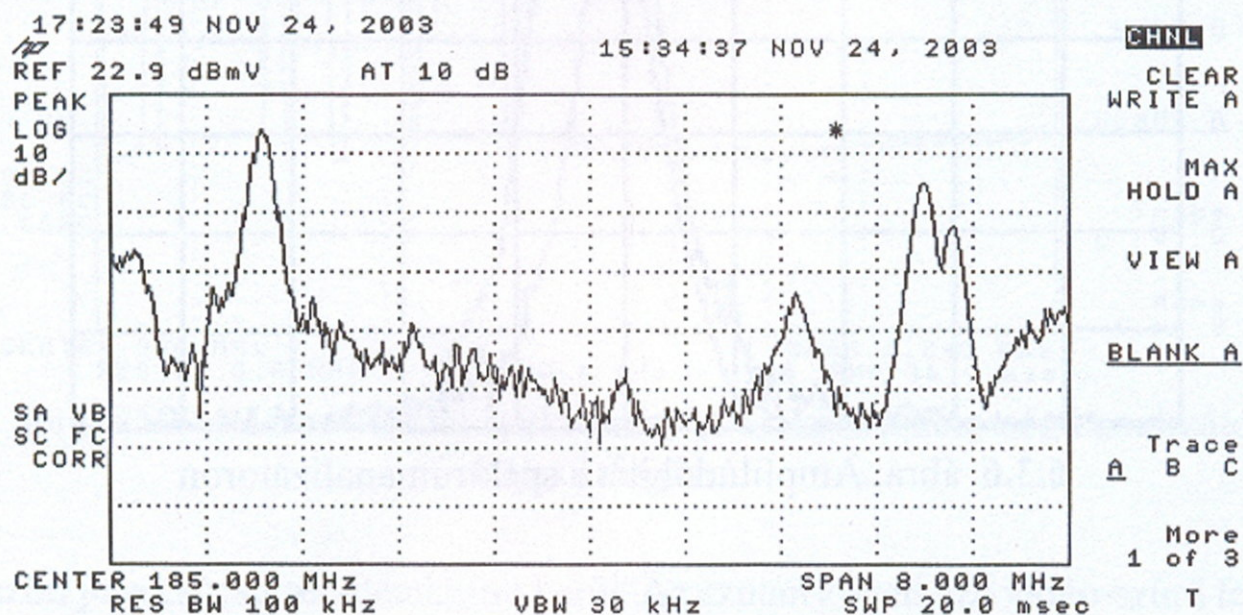
A képvivők pillanatnyi szintje az alkalmazott amplitúdómoduláció miatt nem állandó. A jel maximumát a sor- és képszinkron jelek szintje adja. Mérés közben úgy kell megválasztani a söprési időt és a felbontási sáv szélesség értékét, hogy a mérési időben legalább egy szinkronjel érkezzon a műszerbe. Az alkalmazott csúcsérték-detektor után már ez az érték kerül kijelzésre.

Az egyik elterjedt analóg kódolás a sorszinkron jel elnyomása. A sorszinkronjelek szintje ekkor a feketeszint alá kerül, mérésük nem ad pontos eredményt. Ilyen esetben a mérést annyira le kell lassítani, hogy a mérési időben egy képszinkron jel mindenképpen beérkezzen a detektorba.

Hangvivők mérése

Az FM hangvivők szintje állandó, ezért bármely időpillanatban mérhetők. Bár sáv szélességük kisebb egy képvivő sáv szélességénél, a gyakorlatban ugyanazokkal a beállításokkal történik a mérés. Tehát hangvivők esetén is 200...300 kHz a felbontási sáv szűrő sáv szélessége. A hangvivők mérése a szabványban megadott – képvivőktől mért – ofszetfrekvenciákon történik.

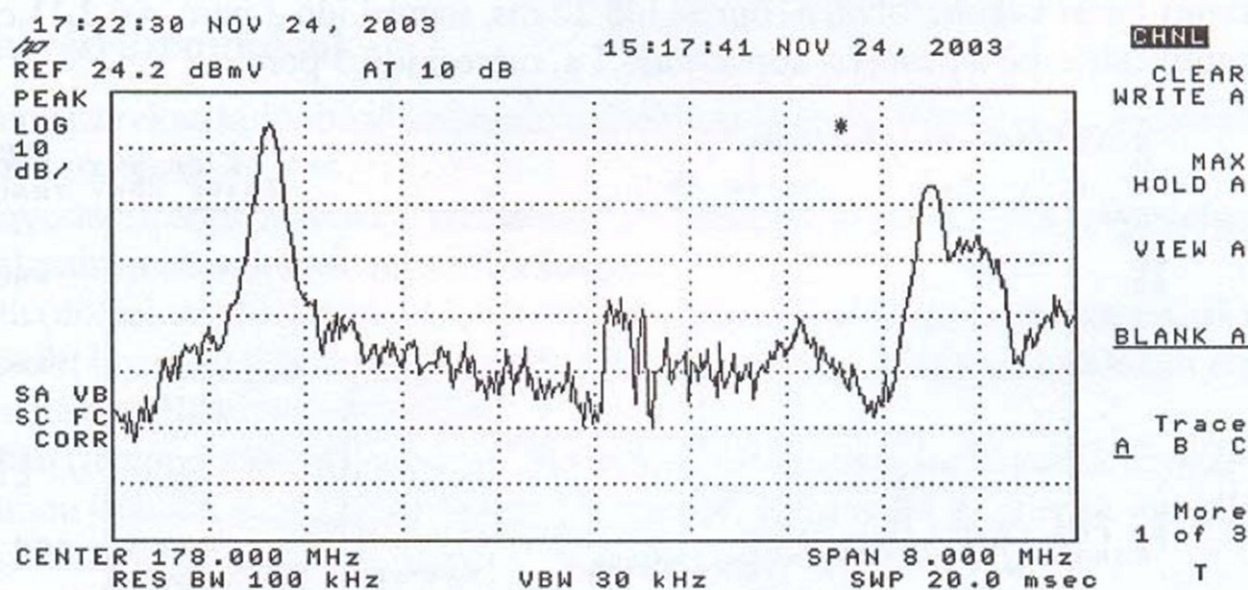
A NICAM digitális hangcsatorna középfrekvenciája (5,83 MHz) nem azonos az A2 csatorna második hangvivőjének frekvenciájával (5,74 MHz). Ennek ellenére mindkét típusú sztereo csatornánál használható az utóbbi érték, mert a digitális csatorna széles platóján ez nem okoz mérési hibát. A 6.3.7. – 6.3.10. ábrákon néhány mérési eredmény látható.



6.3.7. ábra. Sztereo csatorna A2 hanggal



6.3.8. ábra. A2 sztereo csatorna hangvívői



6.3.9. ábra. Sztereo csatorna NICAM hanggal

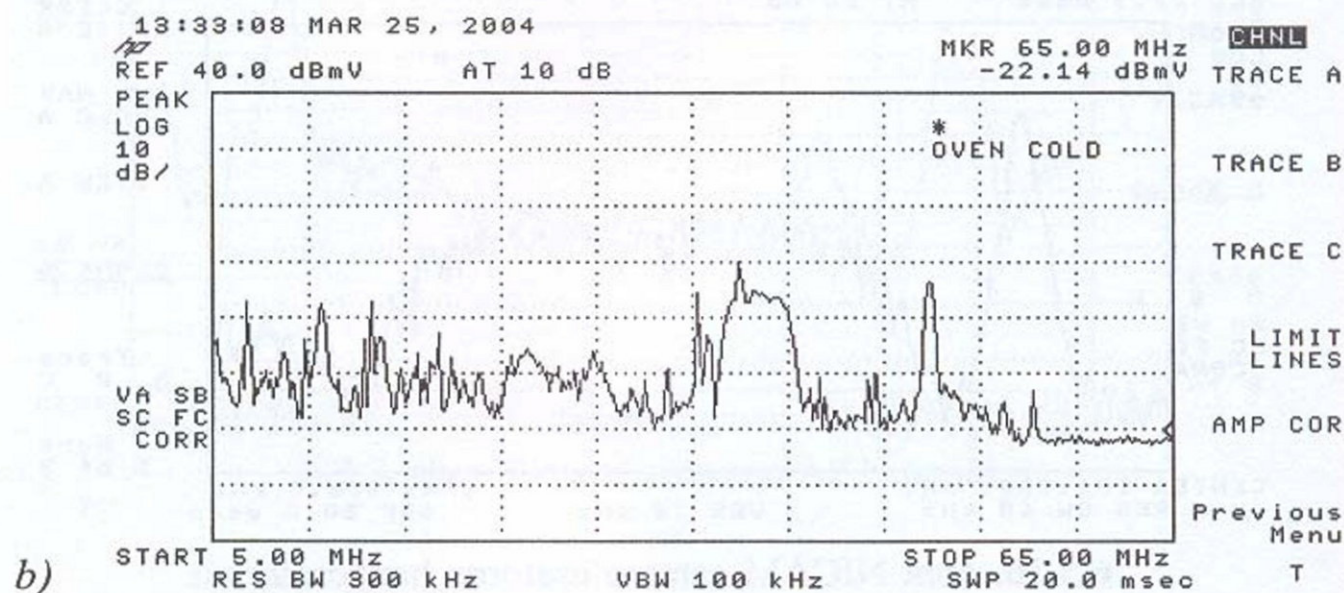
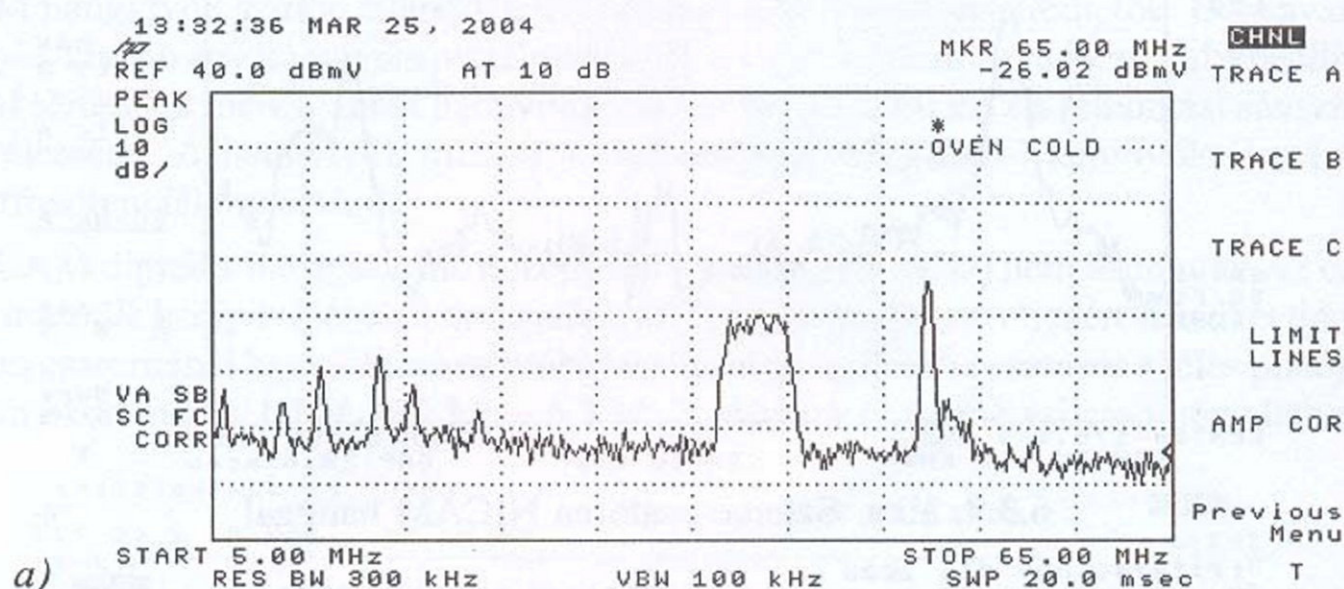


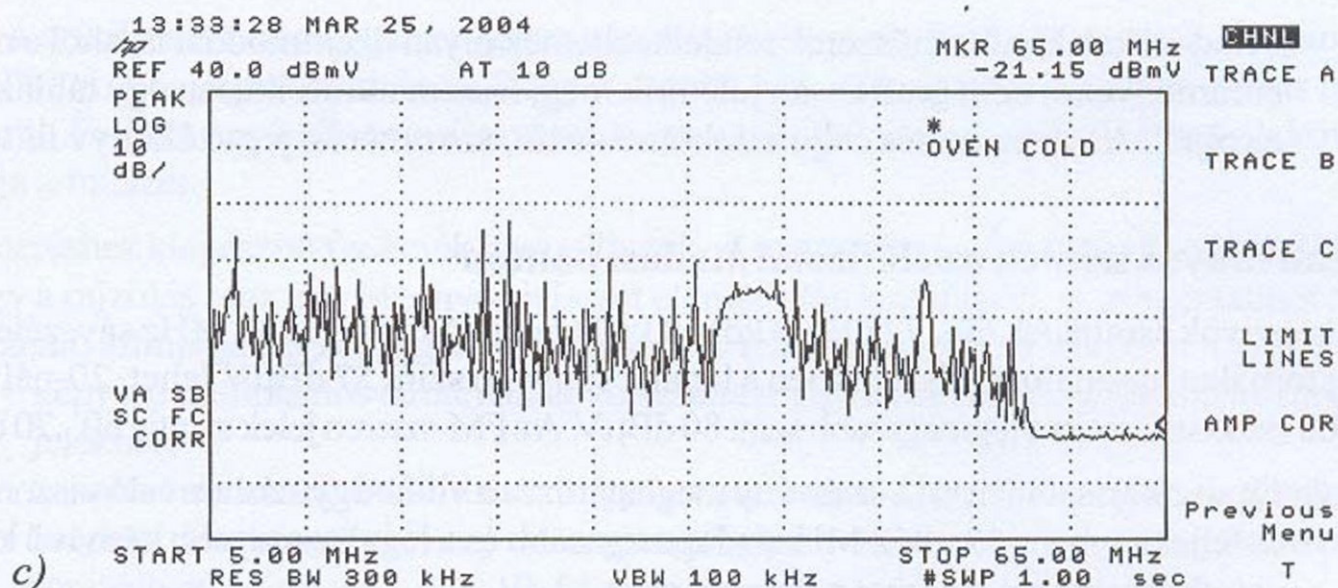
6.3.10. ábra. NICAM sztereo csatorna hangcsatornái

Külső zavarok keresése

A kábeltelevíziós hálózatba állandó vagy impulzusszerű zavarok szűrődhetnek be. Az állandóan jelen lévő zavarokat a műszerek az automatikus beállításokkal megtalálják. Az impulzusszerű zavarokhoz viszont a mérési időt növelni kell. Analizátorokon ez a söprési idő növelésével tehető meg. A söprési idő növelésével a véletlenszerűen megjelenő impulzusokat nagyobb eséllyel kapja el a műszer. Kéziműszereken a mérési idő a dwell time (tartózkodási idő) beállításával növelhető. Ez az adat mutatja, hogy a műszer mennyi időt tölt egy-egy mérési frekvencián.

Mérés közben a mérési ciklusok automatikusan újra indulnak, a műszerek folyamatosan átrajzolják a kijelzőt. Azért, hogy az éppen elkapott impulzust ne törölje le egy újabb mérés, be kell kapcsolni a maximumtartás (max. hold) funkciót. A 6.2.11. ábrán látható mérések egy kábeltelevíziós hálózat ugyanazon vissz irányú mérőpontján készültek. A 6.2.11.a) ábrán egy digitális jel és az állandó külső zavarok láthatók, a 6.2.11.b) ábrán a maximum-tartás bekapcsolva, a söprési idő 20 ms, mérési idő 3 perc, a 6.2.11.c) ábrán a maximum-tartás bekapcsolva, söprési idő 1 s, mérési idő 3 perc.



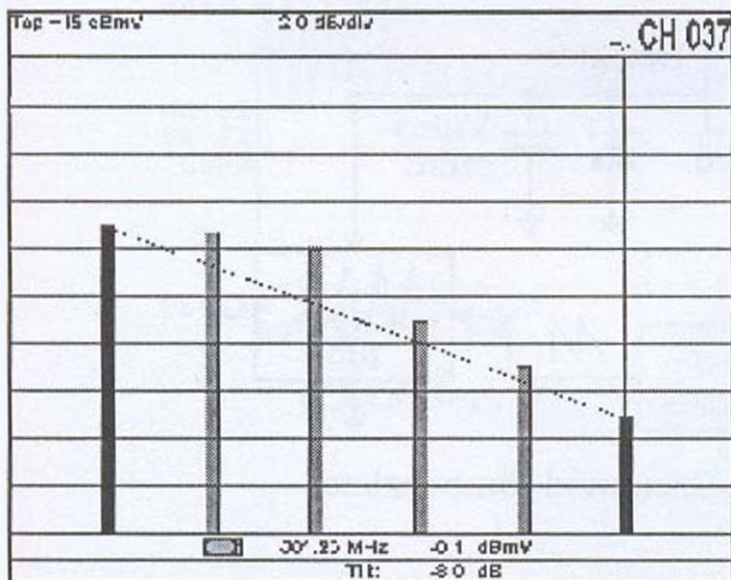


6.3.11. ábra. Kábeltévés hálózat vissz irányú spektruma

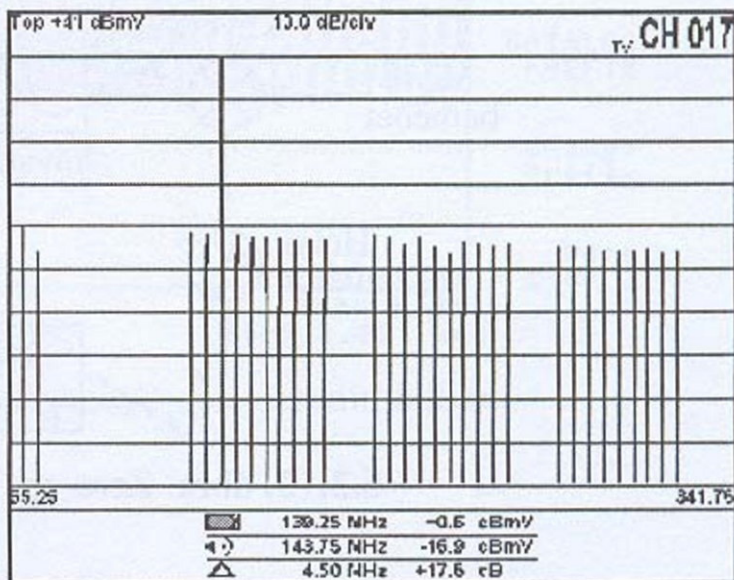
Szintmérési üzemmódok

A mérőműszereken különböző szintmérés üzemmódokat lehet kiválasztani attól függően, hogy mi a mérés célja.

- Egycsatornás szintmérés: a kiválasztott csatorna vivőit mérik és kijelzik a jelszinteket, valamint a köztük lévő szintkülönbséget.
- Tilt (dőlés): az előre irányú sáv legalsó és legfelső képvivőjének a szintjét, ill. az azok között lévő szintkülönbséget mérik (6.3.12.a) ábra). A mérést a hálózati rendszer-szintek beállítására használják.
- Scan (letapogatás): több (vagy valamennyi) csatorna szintjét mérik és oszlopdiagramon jelenítik meg (6.3.12.b) ábra). A mérés célja a vivők szintjének vizsgálata egymáshoz viszonyítva.



a)



b)

6.3.12. ábra. Mérés kéziműszerrel

a) tiltmérés; b) scan mérés

- Mindezekén kívül a műszerek rendelkezhetnek olyan üzemmóddal is, ahol a mérési eredményeket nem grafikusán jelenítik meg, hanem numerikusan egy táblázatban tárolják. Az ilyen mérés célja a dokumentáció, azaz mérési jegyzőkönyv felvétele.

Szabványos szintek az előfizetői átadási ponton

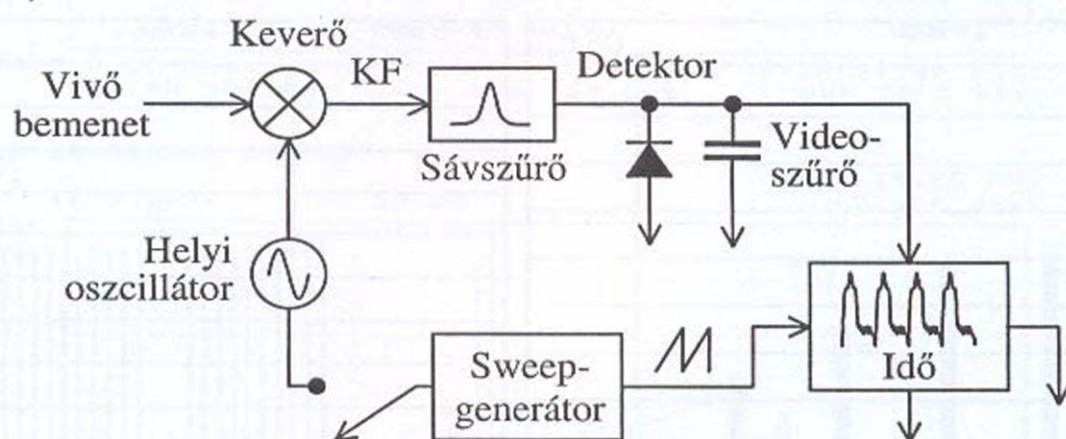
A képvivők szintjének 60...77 dB μ V között kell lennie. A csak 8 és 12 MHz sávszélességű csatornákat használó rendszerekben a legalacsonyabb szint 57 dB μ V lehet. 20-nál kevesebb csatorna esetén a legmagasabb szint 80 dB μ V. Az FM-sztereo jelek szintje 50...70 dB μ V.

A vivők abszolút szintjén túl a szabvány meghatározza a vivők egymáshoz való viszonyát is.

- A teljes sávban (47...862 MHz) a legmagasabb és a legalacsonyabb képvivő közötti szintkülönbség nem lehet nagyobb, mint 12 dB.
- Bármely 60 MHz-es tartományban a legnagyobb szintkülönbség nem lehet nagyobb, mint 6 dB.
- Bármely szomszédos képvivő közötti szintkülönbség max. 3 dB lehet.
- Bármely FM-rádiócsatorna szintje legalább 3 dB-lal legyen alacsonyabban a legalacsonyabb képvivő szintjénél.
- Az FM-rádiójelek legnagyobb szintkülönbsége 6 dB lehet.

6.3.3. Spektumanalizátorok zero-span üzemmódja

Zero-span (nulla átfogás) üzemmódban a spektromanalizátor egy mérési frekvencián a jelszint időbeli változását méri. A műszer helyi oszcillátora állandó frekvencián működik, az összes többi áramkör működése ugyanaz, mint a spektromanalizátor üzemmódban (6.3.13. ábra).



6.3.13. ábra. Zero-span üzemmód tömbvázlata

A kijelzőn ilyenkor – az oszcilloszkóphoz hasonlóan – egy idő-jelszint diagram jelenik meg. Ez látható egy képvivő esetén a 6.3.14. ábrán. A spektromanalizátor söprési ideje 1 s, a képen az ezen idő alatt átvitt 50 félkép jelalakja látható. A mérési paramétereket

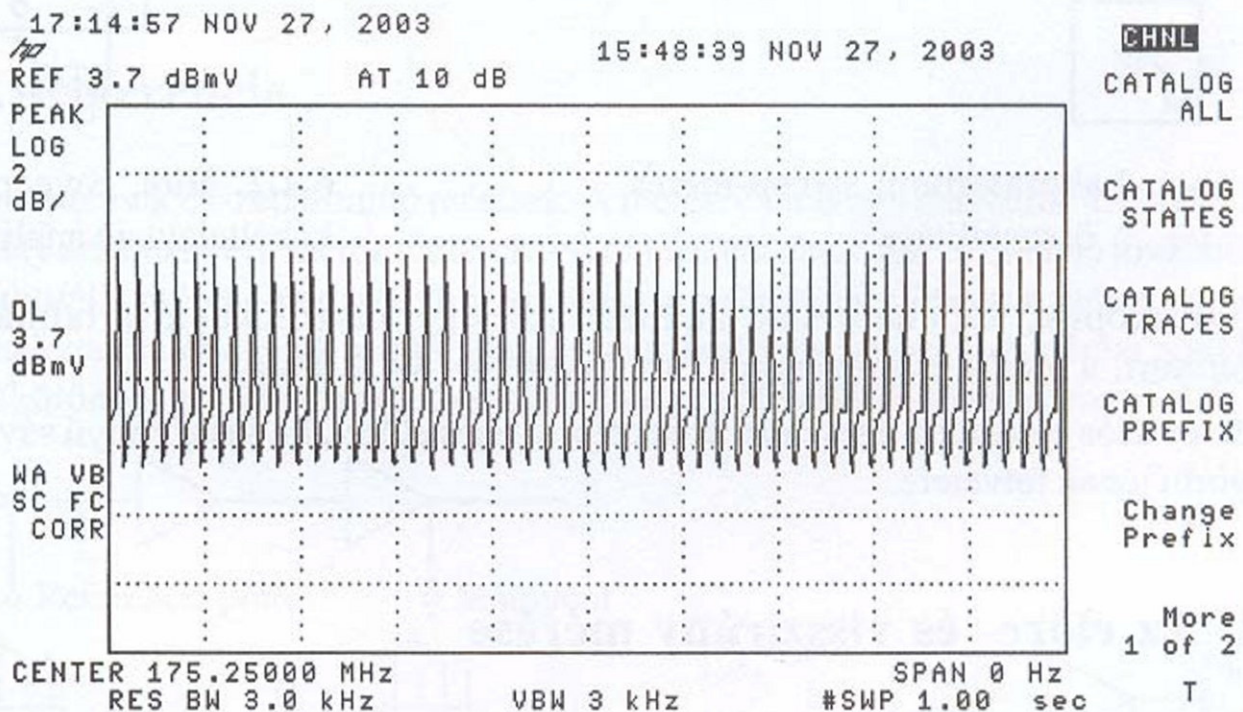
(pl. a szűrők sávszélessége) a spektrumanalizátor üzemmódban tárgyaltak alapján kell beállítani. Lényeges különbség, hogy a söprési idő jelen esetben a mérési ciklus idejét jelenti. Értékét úgy kell megválasztani, hogy a mért jel változásait jól láthatóan követni tudja a műszer.

A méréshez kiegészítő funkciók használhatók. A trigger (kapuzás) funkcióval beállítható, hogy a rajzolás csak egy bizonyos jelszint elérése után kezdődjön. A triggerszintet a felhasználó állíthatja be. A trigger funkció tipikus felhasználása:

- képvivő modulációs tartalmának vizsgálatakor a mérés szinkronizálható a szinkronjelekhez,
- zavarmérés esetén beállítható, hogy a műszer csak a zavaró impulzust rajzolja ki,
- modem visszirányú vivő-zaj viszony mérésekor a műszer az adatsomagokhoz szinkronizálható.

Általában lehetőség van kézi triggerelésre is, amikor a pillanatnyi jelszinttől függetlenül, gombnyomásra egy mérési ciklus kirajzolódik a képernyőre. Erre a triggerszint beállításakor van szükség. Amíg a triggerszint magasabb a mérendő jelek szintjénél, a mérés nem indul el.

További választható lehetőség a mérési ciklusok átlagolása. Ezt zajméréskor kell bekapcsolni.

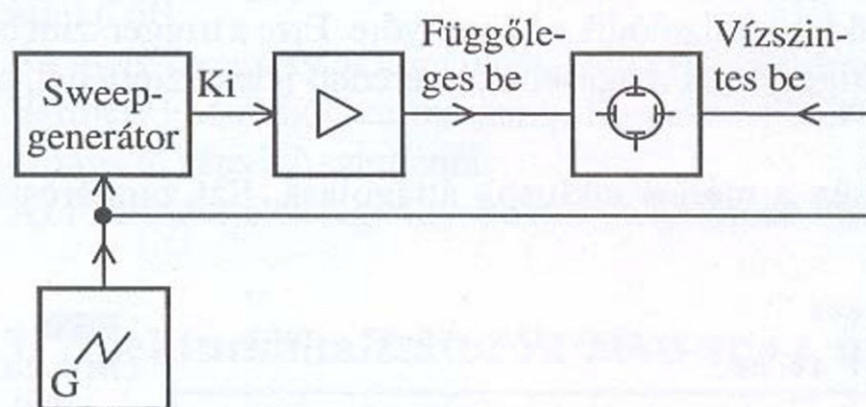


6.3.14. ábra. Képvivő jelalakja zero-span üzemmódban

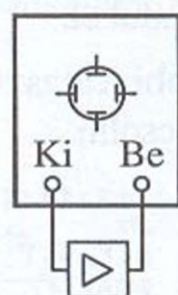
6.4. Sweep-mérések

6.4.1. A sweep-mérés elve és célja

A laboratóriumi sweep-mérések célja a mért eszköz teljes átviteli jelleggörbéjének felvétele. A sweep szó söprést jelent és arra utal, hogy mérés közben a mérőrendszer mérőjele a teljes sávon végigsöpör. Az átviteli jelleggörbe felvételéhez egy hangolható mérőjel generátort és egy szintén hangolható szintmérő műszert használnak. A feszültségvezérelt hangolókör egy fűrészfél-generátorból kapja a vezérlőjelet, ami egyben a megjelenítő eszköz vízszintes eltérítését is vezérli. A megjelenő kép a mért eszköz átviteli jelleggörbéje lesz (6.4.1. ábra).



6.4.1. ábra. Laboratóriumi sweep-mérés összeállítása



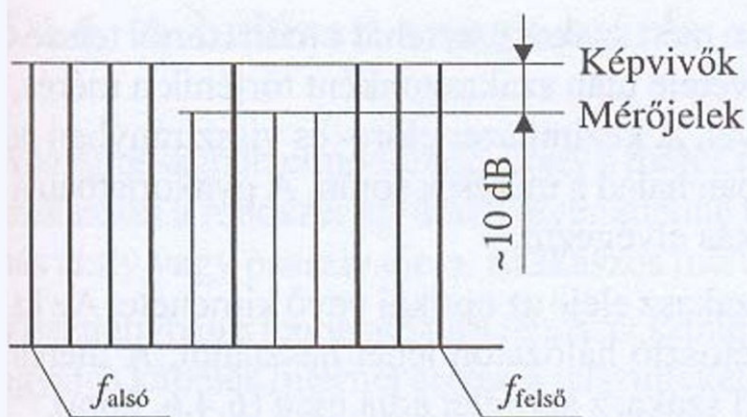
6.4.2. ábra. Sweep-mérés kábeltelevízió analízátorral

Oscilloszkópok, kábeltelevízió analízátorok egy készülékben tartalmazzák a jelgenerátort, a mérő- és megjelenítő áramköröket (6.4.2. ábra).

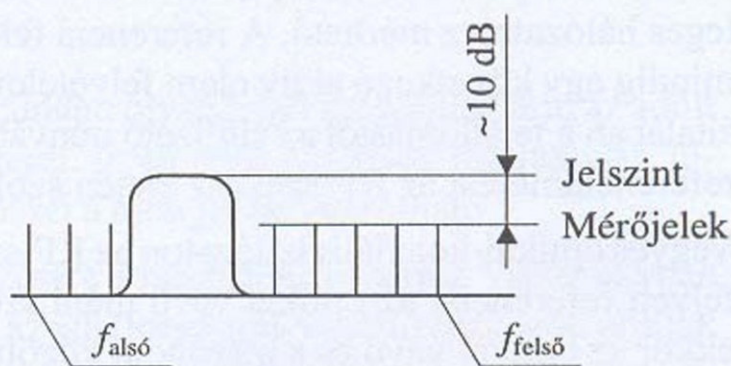
Kábeltelevíziós hálózaton a sweep mérés célja a teljes előre-, ill. vissz irányú sáv átviteli jelleggörbéjének felvétele.

6.4.2. Az előre- és vissz irány mérése

Működő kábeltelevíziós hálózaton lehetőleg olyan mérési módszereket kell alkalmazni, amelyek a szolgáltatásokban nem okoznak kiesést. Ezért előre irányban a foglalt csatornában a szolgáltatás képvivőit használják mérőjelként. Azért, hogy a teljes sávon lehessen mérni, a sweep-mérésre alkalmas mérőrendszerek a fejállomáson a kihagyott csatornák helyére egy generátorral mérőjeleket iktatnak a hálózatba (6.4.3. ábra). A mérőjelek kb. 10 dB-lel a képvivők szintje alatt vannak, amivel elkerülhető, hogy a mérőjelekből és a képvivőkből számottevő intermodulációs torzítási termékek keletkezzenek.



6.4.3. ábra. Sweep-mérésre használt jelek az előreirányú sávban

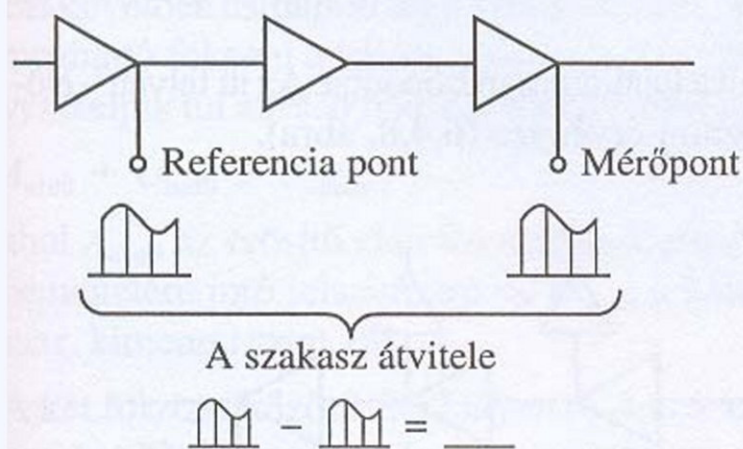


6.4.4. ábra. Sweep mérőjelek a visszirányú sávban

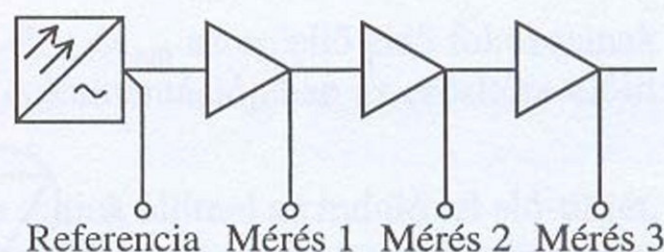
Visszirányban folyamatosan jelen lévő, mérésre alkalmas jelek általában nincsenek, itt tehát csak beiktatott mérőjelekkel lehet mérni. Ezért szükség van egy hordozható mérőjel generátorra és egy szintmérő műszerre. A generátoron csak olyan mérőjeleket szabad beállítani, amelyek a visszirányos szolgáltatásokat nem zavarják (6.4.4. ábra). A visszirányú szolgáltatások által használt frekvenciasávokat ki kell hagyni a mérésből. A mérőjelek szintjét – az előreirányú beállításokhoz hasonlóan – kb. 10 dB-lel a jelszint alá kell állítani.

6.4.3. Referencia

A sweep-mérések összehasonlító mérések. A mérési eljárás egy „nulladik” méréssel kezdődik, amely eredményét a mérőműszerek referenciaként eltárolják és minden további mérésnél az aktuális mérési eredményből kivonják a referenciát. Emiatt a mérés eredménye nem a hálózaton lévő jelek szintje lesz, hanem a referenciapont és a mérési pont közötti szintek különbsége, tulajdonképpen a két pont közötti átviteli jelleggörbe (6.4.5. ábra).



6.4.5. ábra. Sweep-mérés hálózaton

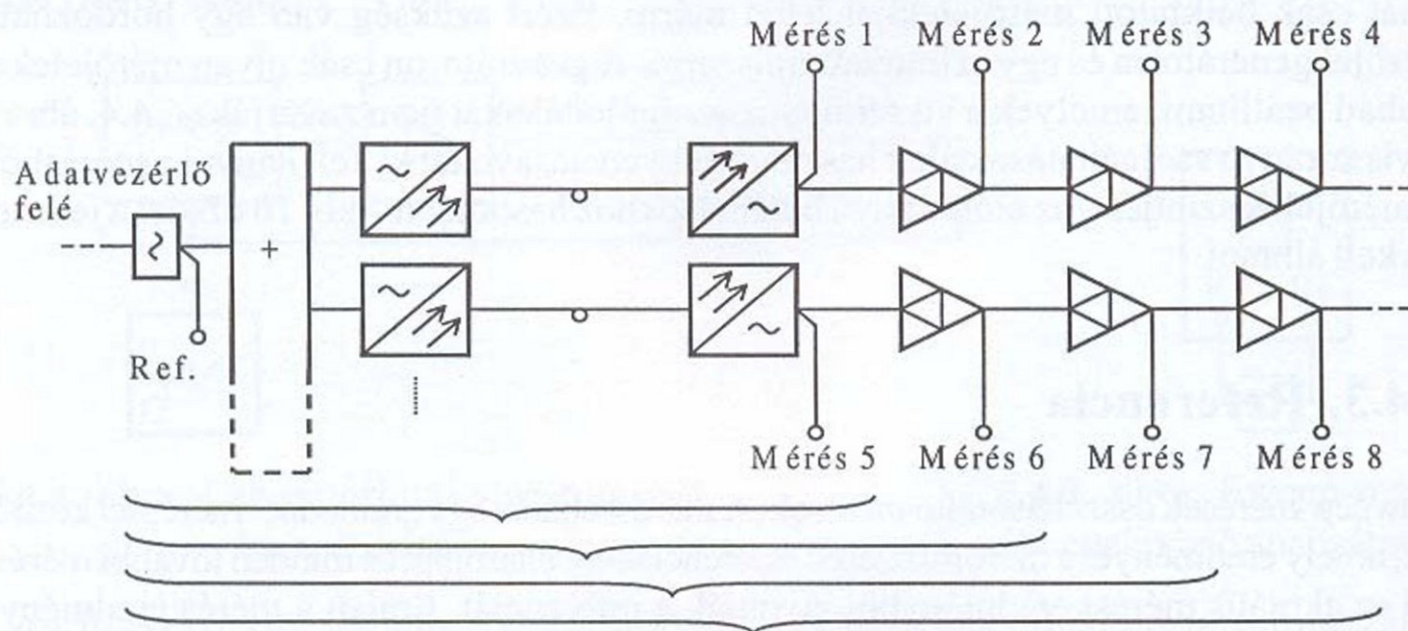


6.4.6. ábra. A referencia felvétele optikai-koaxiális vegyes hálózaton

A referenciapont és a mérőpont bárhol lehet a mért szakaszon, tehát a módszerrel tetszőleges hálózatrész mérhető. A referencia felvétele után szakaszonként történik a mérés, mindig egy következő aktív elem felvételével. A kéziműszer előre- és vissz irányban is általában a fejállomástól az előfizető irányában halad a mérések során. A gyakorlatban a referenciamérést az RF-szakasz elején szokás elvégezni.

Vegyes optikai-koaxiális hálózaton az RF-szakasz eleje az optikai vevő kimenete. Az itt felvett referenciát az optikai vevő utáni szétosztó hálózaton lehet használni. A mérés ekkor az optikai vevő és a mérőpont közötti szakasz átvitelét adja meg (6.4.6. ábra).

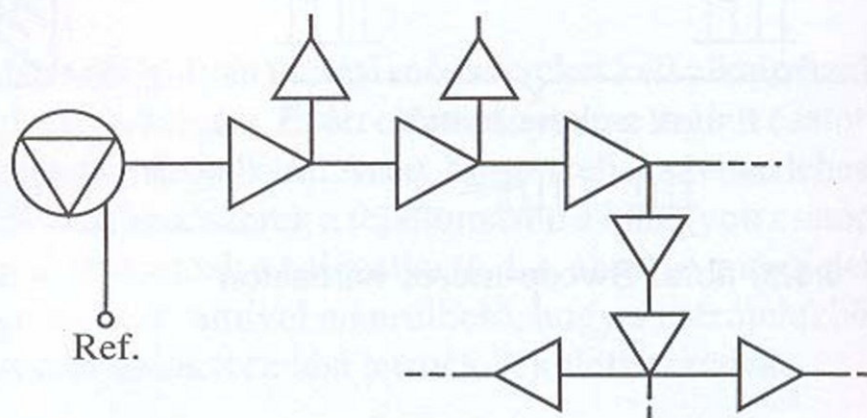
Vissz irányban alkalmazott megoldás az optikai szakasz – vagy annak egy részének – felvétele a mérésbe. Ekkor a referencia felvétele a vissz irányú optikai vevők összegzett RF-jelénél kialakított referencia ponton történik (6.4.7. ábra). A módszer előnye, hogy a felvett referenciát a szétosztó hálózat nagyobb részén lehet mérésre használni.



6.4.7. ábra. Vissz irányú referencia felvétele optikai-koaxiális vegyes hálózaton

Tiszta koaxiális kábelhálózaton a referenciapont a fejállomás mérőpontja. Az itt felvett – előre- és vissz irányú – referencia a teljes hálózatra érvényes (6.4.8. ábra).

6.4.8. ábra. Referencia felvétele koaxiális kábel hálózaton



6.4.4. A hálózati sweep-mérés alkalmazása

Általánosságban elmondható, hogy a mérés minden olyan hibát megmutat, ami az adott szakaszon a rendszer átvitelét egyenetlenné teszi. Ilyen lehet egy rossz csatlakozás, hibás aktív vagy passzív elem. Szakaszos méréssel a hiba jól behatárolható.

Visszirányban a fentieken túl a rendszer szintezésére is használják a mérést. Visszirányban ugyanis kábeles Internet esetén a jelszinteket az adatforgalom-vezérlő eszközök állítják be. A megfelelő működéshez szükséges, hogy minden irányból az előfizetői modem és az adatforgalom-vezérlő eszköz közötti szakasz erősítése (csillapítása) azonos legyen. Ehhez a beállításhoz a sweep-mérés a legalkalmasabb, hiszen azzal a hálózat szakaszainak erősítése mérhető (6.4.7. ábra). A szintezéshez az ábrán jelzett szakaszokon azonos erősítéseket kell beállítani a fejállomástól az előfizető felé haladva.

6.4.5. Hálózati előfizetői irányú szintbeállítás

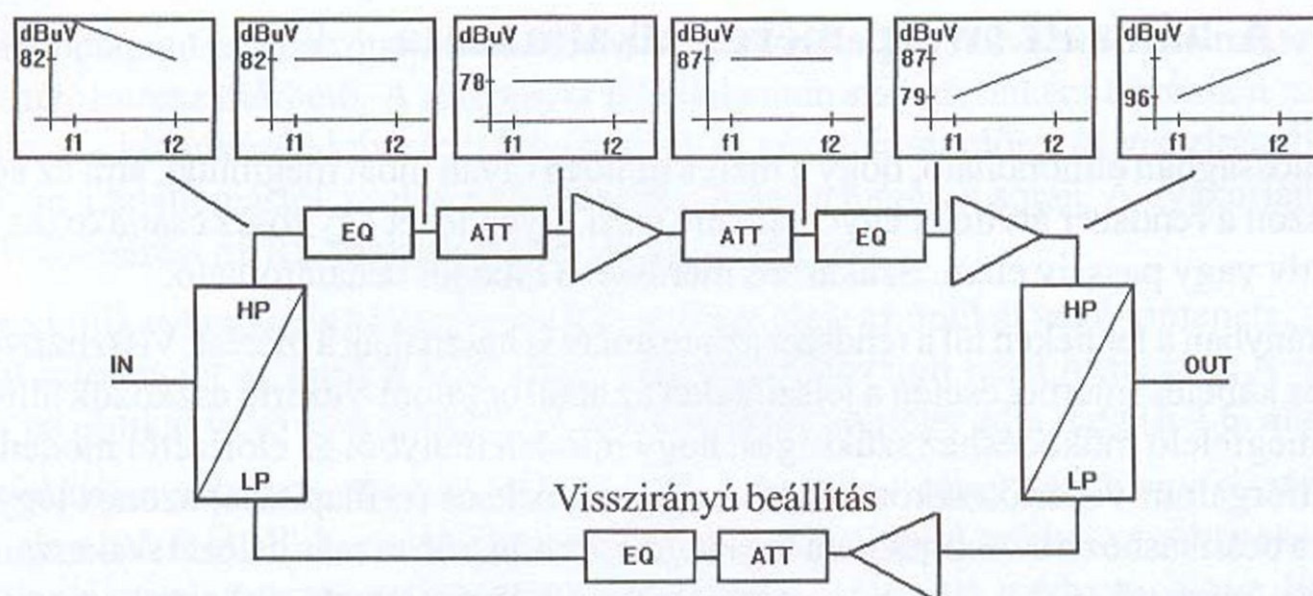
Amennyiben lehetséges a szintezést közvetlenül az erősítő kimenetén célszerű elvégezni, ugyanis előfordulhat, hogy a mérőpont kicsatolásának értéke a feltüntetett értéktől eltér, ill. frekvenciaátvitel nem egyenletes. Ha mégis a mérőponton szintezünk (és erre gyakran rákényszerülünk), meg kell győződnünk arról, hogy az erősítőt követő kábelszakasz vége illesztetten lezárt-e. (Mérés előtt ellenőrizzük, hogy a műszerben a tesztpont-kompenzáció értéke helyesen van-e beállítva.)

Első lépésként vizsgáljuk meg a bemenő jel dőlését (tiltjét)! Nagy valószínűséggel az alacsonyabb frekvenciatartományban fogjuk találni a magasabb szintekkel rendelkező csatornákat. Meghatározzuk a legalsó és legfelső csatornák közötti szintkülönbséget, és ezután ezzel az értékkel ellentétes előjelű tilt kockával a spektrumképet egyenesre „kihúzzuk”. Ezt követően csillapító tag alkalmazásával, ha szükséges a jelet visszacsillapítjuk, hogy a meghajtó fokozat a hálózat dokumentációjában előírt szintet kapjon. Semmiképpen ne vezéreljük túl az első fokozatot sem! A helyes szintbeállításra teljesülnie kell, hogy

$$A_{\text{uldB}} + U_{\text{bedB}} \leq U_{\text{kimax}},$$

ahol A_{uldB} az erősítő első fokozatának erősítése, dB; U_{bedB} az erősítő első fokozatának bemenetére jutó jelszint, dB és U_{kimax} a hálózat dokumentációjában az erősítőre előírt max. kimeneti szint, dB.

A két fokozat közötti EQ helyen (6.4.9. ábra) be tudjuk állítani az induló jel elő-tiltjét, majd ATT helyen a jelet visszacsillapítjuk, hogy kimenőszintünk a hálózat dokumentációjában előírt rendszerszinten álljon.



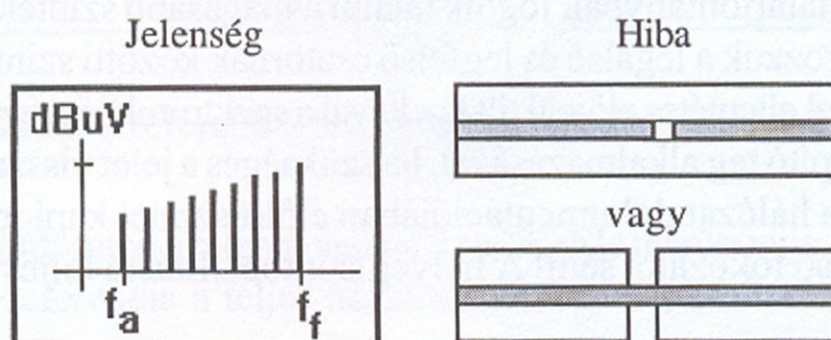
6.4.9. ábra. Erősítő előfizetői irányú beállítása

6.4.6. Az előreirányú átvitel során kialakuló leggyakoribb hibajelenségek

A hálózatban előforduló hibák nagy része a spektrumanalizátorral kapott átviteli jelleggörbe vagy a tv-kép jellegzetességei alapján egyszerűen azonosítható és az azonosítás után elhárítható. A következőkben a leggyakrabban előforduló hibákat tekintjük át.

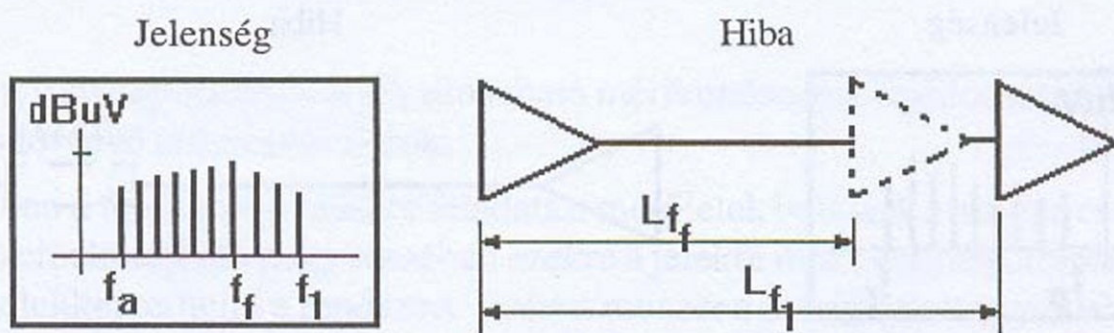
A spektrumképen látható hibajelenségek

1. jelenség: a sáv elején lévő csatornák szintjei alacsonyabbak, mint a sáv tetején.



Tudjuk, hogy egy koaxiális kábel csillapítása a frekvencia növekedésével nő, ezért üzemszerű állapotban az nem tud előfordulni, hogy a sáv alján lévő csatornák nagyobb mértékben csillapodjanak, mint a sáv teteje. Tehát egyértelmű, hogy a hálózatunkon hiba lépett fel. A jelenséget a hálózaton lévő szakadás idézi elő. Szakadás előfordulhat az árnyékolás, vagy a melegér (belső vezető) megszakadása esetén. Hasonló jelenség fordul elő abban az esetben is, amikor a melegért rögzítő csavar nincs meghúzva.

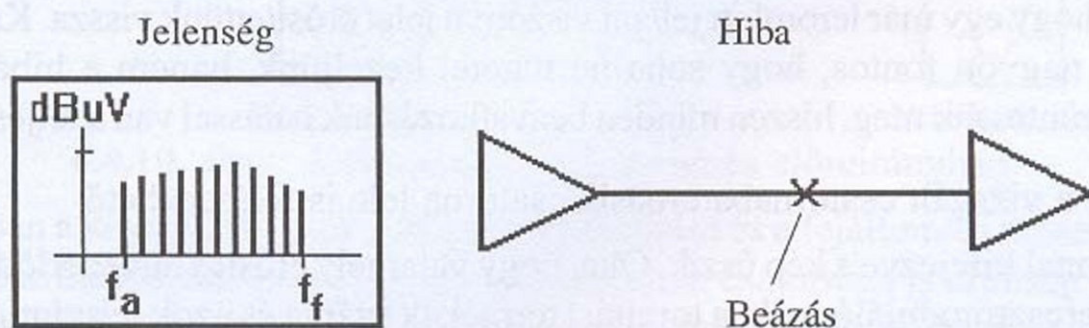
2. jelenség: a felső csatornák szintjei fokozatosan csökkennek



(Az ábrán f_1 az átvinni kívánt legmagasabb frekvencia, f_f a hálózat felső határfrekvenciája.)

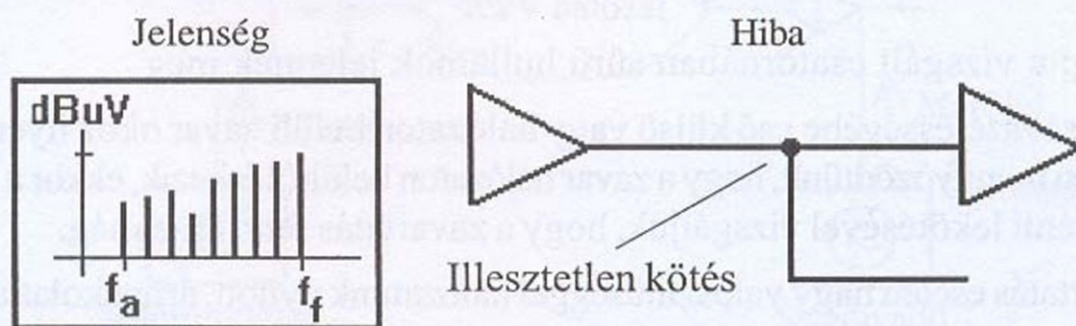
Ez a jelenség akkor fordulhat elő, amikor az erősítők közötti távolság nagy. A kaszkádba kötött erősítők távolsága nem áll arányban az átvinni kívánt legmagasabb frekvenciával. A sáv tetején lévő csatornák jelszintjének csökkenése nagyobb mértékű, mint a hálózaton alkalmazott erősítők erősítése. A kaszkádláncon minden erősítő kimenetén a felső csatornák szintje egyre jobban elmarad az őt megelőző csatornákétól.

3. jelenség: a hálózat sávszélességén belül a felső csatornák szintjei fokozatosan leesnek



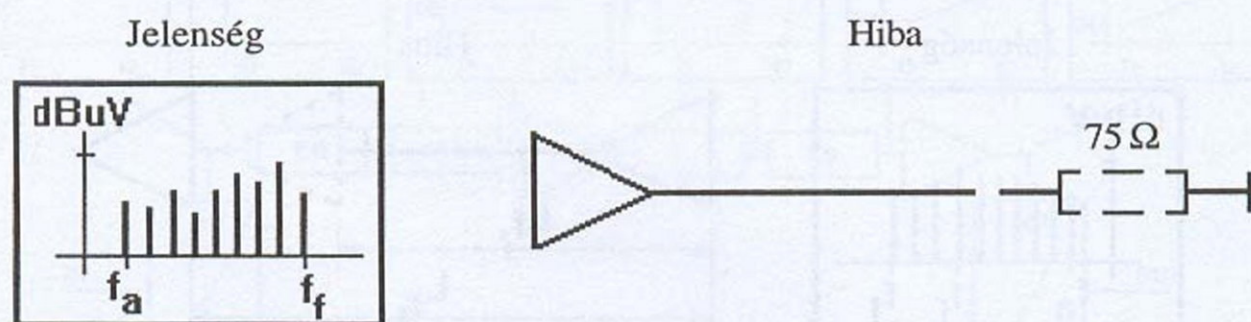
Ebben az esetben valamilyen eszköz (pl. multitap) beázott, vagy olyan berendezés van beépítve, melynek sávszélessége kisebb, mint a hálózaté.

4. jelenség: a spektrum az előírtaknak megfelelő, de egy, vagy néhány szomszédos csatorna szintje hirtelen meredeken leesik, ún. beszívás lép fel



Beázott vagy nem kellően meghúzott csatlakozó, ill. főleg soros hálózatoknál az illegális vonalra kötés – illesztetlen elágaztatás - esetén találkozhatunk ezzel a jelenséggel. A jelenséget okozhatja a melegér és az árnyékolás közötti rövidzár is.

5. jelenség: a spektrumvonalak burkológörbéje nem egyenes vonal



Illesztetlen vagy nem lezárt koaxiális hálózat estén a találkozunk ezzel a jelenséggel. Szélsőséges esetben a szomszédos csatornák szintjei jelentős mértékben különböznek egymástól és ez a teljes spektrumon végigvonul.

A tv-képen látható hibajelenségek

6. jelenség: a kép szemcsés

A hálózat valamely pontján a jelszint alacsony. Gondos karbantartás hiánya esetén előfordulhat, hogy az előfizetőnél a kívánt jelszint ugyan megvan, de a kép mégis szemcsés. Ennek oka, hogy egy már leromlott jel/zaj viszonyú jelet erősítettünk vissza. Karbantartás során ezért nagyon fontos, hogy soha ne tünetet kezeljünk, hanem a hibát előidéző jelenséget szüntessük meg, hiszen minden beavatkozásunk hatással van a teljes hálózatra.

7. jelenség: a vizsgált csatornában másik csatorna jele is felfedezhető

Szakzsargonnal kifejezve a kép úszik. Oka, hogy valamely erősítő túlvezérlődése miatt a csatornák keresztmodulálódnak, a torzítási termékek száma és azok jelszintje a vizsgált csatornában megnő. Ne feledjük azt sem, hogy az erősítők kivezérelhetősége minden csatornaszám duplázás esetén 3 dB-lel csökken.

8. jelenség: a vizsgált csatorna alatt halvány vízszintes csík függőleges irányba halad

A tápfeszültség szüretlensége miatt a bűgásmoduláció megnövekedett. A jelenség orvoslásával a 6.6.4. pontban foglalkozunk.

9. jelenség: a vizsgált csatornában sűrű hullámok jelennek meg

A csatorna sávszélességébe eső külső vagy hálózaton belüli zavar okoz ilyen jelenséget. Amennyiben meggyőződünk, hogy a zavar hálózaton belülről érkezik, ekkor a dropkábelek előfizetőnkénti lekötésével vizsgáljuk, hogy a zavartatás fenn áll-e még.

Külső zavartatás esetén nagy valószínűséggel hálózatunk nyitott, árnyékolatlan. Az is előfordulhat, hogy a hálózat zárt és ennek ellenére egy csatorna zavart. Ekkor a külső zavarforrás jele túl nagy, az adott csatornát a hálózaton nem szabad használni.

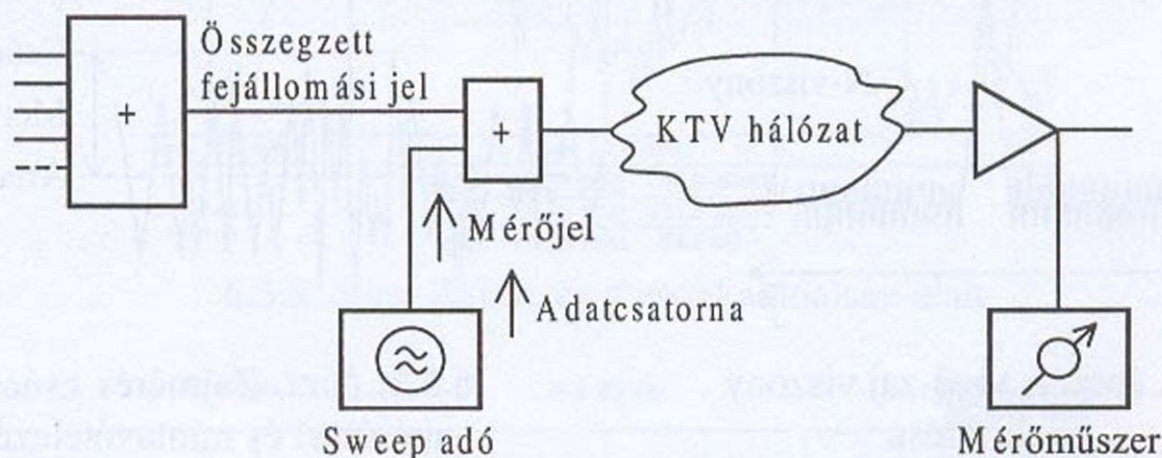
10. jelenség: teletext ábra hibásan jelenik meg

A jelenséget a hálózaton lévő reflexiók – illesztetlenség – okozza.

6.4.7. Mérőrendszerek

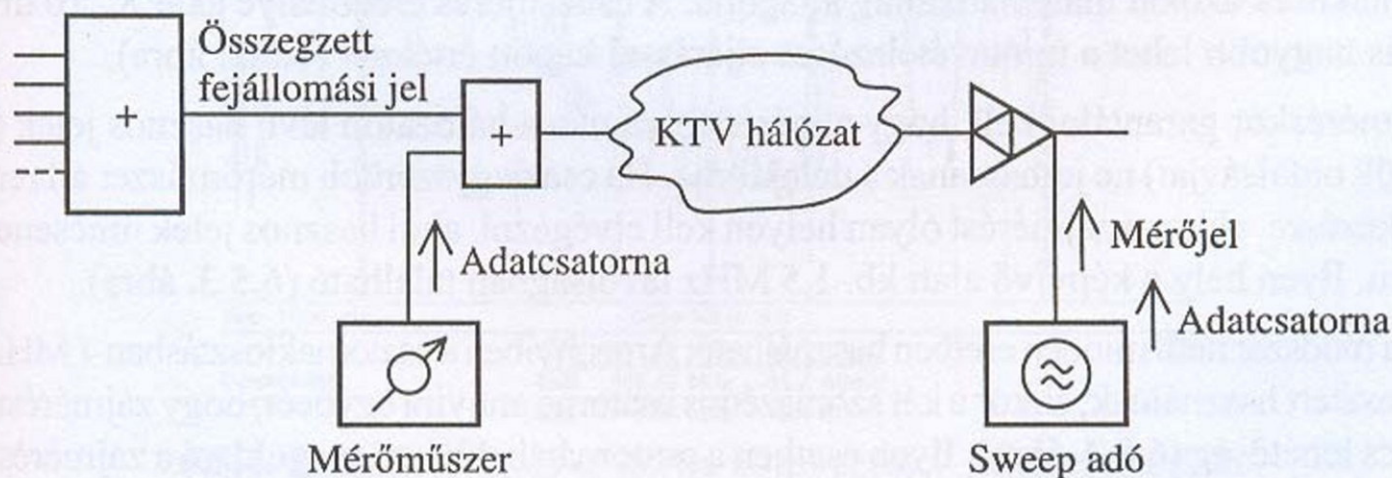
A visszirányú sweep-mérésre is alkalmazható mérőrendszerek fejállomási műszerből és kézi mérőadó-vevő műszerből állnak.

Előreirányban a fejállomási műszer feladata a mérőjelek beiktatása az üres csatornába. Mivel az üzemeltetési idő nagy részében ezekre a jelekre nincs szükség, felesleges lenne ezekkel a jelekkel terhelni a rendszert. Ezért a műszer a mérőjeleket egyenként, néhány ms idejére kapcsolja csak a hálózatra. Azért, hogy a kéziműszerek mindig az adott mérőjelre hangolhassanak, a fejállomási műszer egy, a hálózatra betáplált külön jelfolyamban elküldi, hogy éppen milyen frekvencián történik a jel generálása (6.4.10. ábra).



6.4.10. ábra. Automatizált sweep-mérés előreirányban

Visszirányban a kéziműszer működik jelgenerátorként és a fejállomási műszer mérővevőként. Ebben az esetben egy visszirányú adatátviteli csatornára is szükség van, ahol a kéziműszer elküldi a fejállomási műszernek a mérési frekvenciákat. A fejállomási műszer elvégzi a mérést és az eredményeket az előreirányú adatátviteli csatornán elküldi a kéziműszernek. Így a mérés helyben elvégezhető, az eredményekért nem kell bemenni a fejállomásra (6.4.11. ábra).

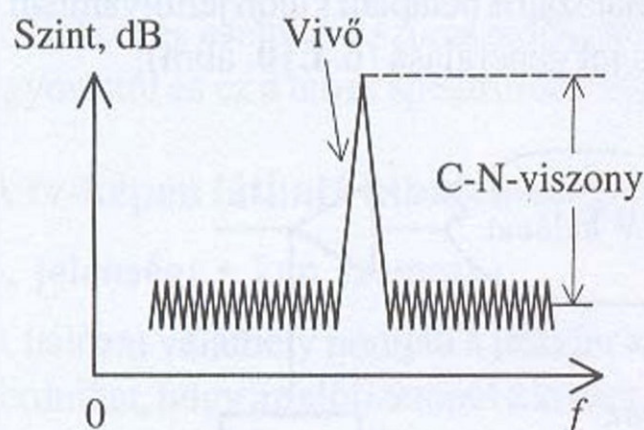


6.4.12. ábra. Automatizált sweep-mérés visszirányban

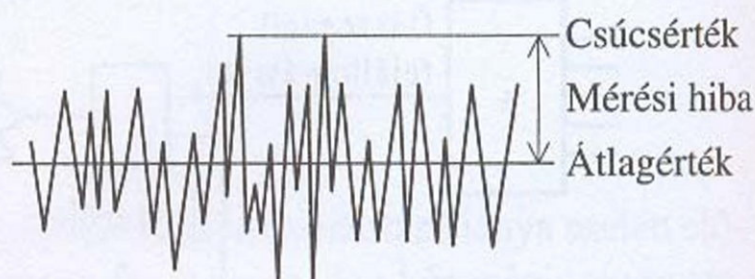
6.5. A vivő-zaj viszony mérése

6.5.1. A mérés alapelvei és módszerei

Vivő-zaj viszony mérésekor a csatornában lévő jel max. szintje (tehát a képvivő) és a zaj átlagos szintje közötti különbséget mérjük (6.5.1. ábra). A vivő mérése a 6.2. alfejezetben leírt módon történik. Nehezebb feladat a csatornában lévő zaj szintjének mérése.



6.5.1. ábra. A vivő-zaj viszony értelmezése



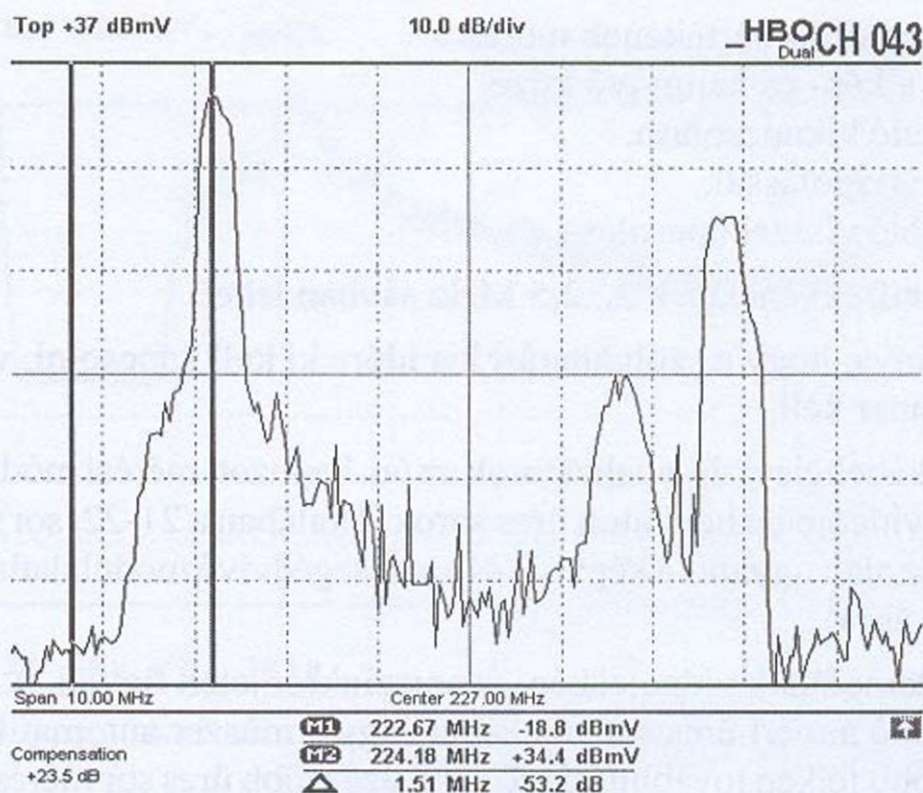
6.5.2. ábra. Zajmérés csúcsérték méréssel és mintavételezéssel

Az MSZ EN 50083-7 szabvány 44 dB vivő-zaj viszonyt ír elő az előfizetői csatlakozási pontra. Ennél alacsonyabb érték esetén a képernyő bezajosodik, a kép kásás, hangyás lesz. Körülbelül 38...40 dB-es jel-zaj viszony már látható minőségromlást eredményez.

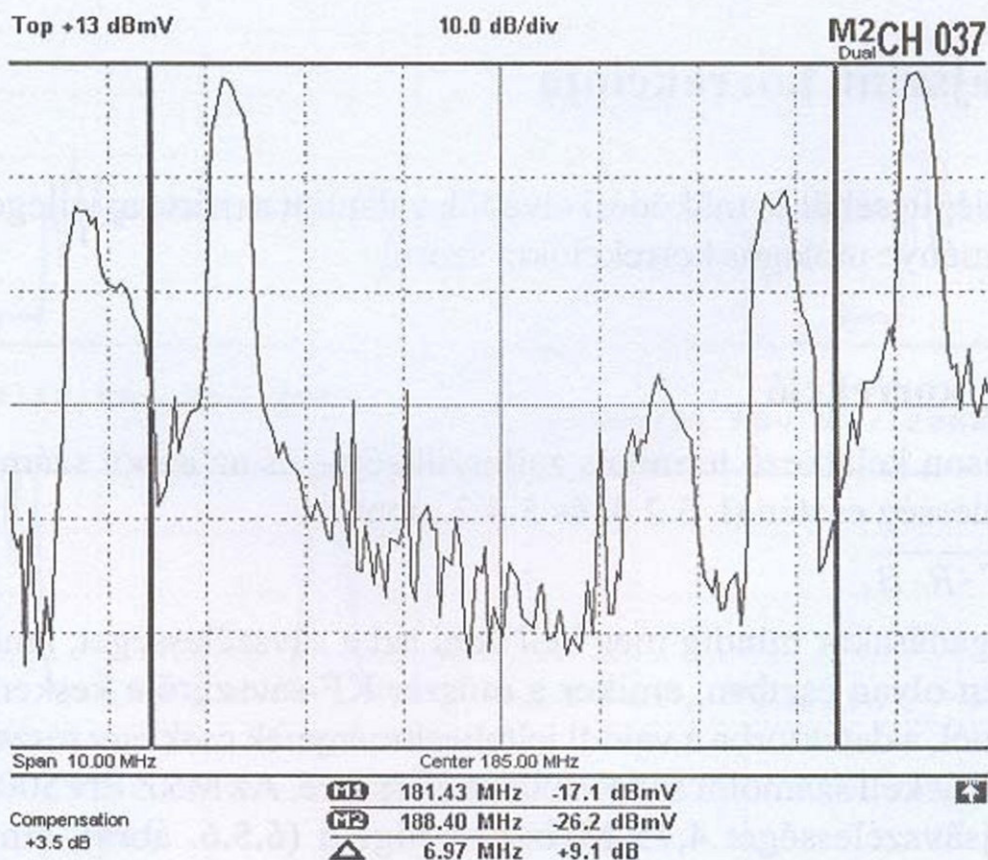
Zajmérésre nem használható a szintmérésnél általában alkalmazott csúcsértékmérés, mivel a véletlenszerűen változó zajt az átlagértéke jellemzi. Ez akkor mérhető, ha a műszer rendelkezik mintavételezési funkcióval. Ekkor a mért zajból véletlenszerűen vesz mintákat és azokat matematikailag átlagolja. A csúcsmérés eredménye akár 8...10 dB-lel is nagyobb lehet a mintavételezéses eljárással kapott értéknél (6.5.2. ábra).

Zajméréskor garantálni kell, hogy a mérés folyamán a hálózaton lévő hasznos jelek (a vivők oldalsávjai) ne juthassanak a detektorba. Ha csak egyszerűbb mérőműszer áll rendelkezésre, akkor a zajmérést olyan helyen kell elvégezni, ahol hasznos jelek nincsenek jelen. Ilyen hely a képvivő alatt kb. 1,5 MHz távolságban található (6.5.3. ábra).

Ez a módszer nem minden esetben használható. Amennyiben a csatornakiosztásban 7 MHz-es rasztert használnak, akkor a két szomszédos csatorna annyira egybeér, hogy zajmérésre nincs lehetőség (6.5.4. ábra). Ilyen esetben a csatornán belül kell megoldani a zajmérést.



6.5.3. ábra. Zajmérés a csonkaoldalsáv alatt



6.5.4. ábra. Televíziós csatorna környezete 7 MHz raszterben

Mint az a 6.5.4. ábrán is látható, egy csatornán belül nincs lehetőség zajra hangolni. Meg kell oldani, hogy a csatornában lévő oldalfrekvenciák a zajmérés idejére eltűnjenek. Ezt egyszerű esetben a moduláció kikapcsolásával lehet elérni. A mérés menete:

1. Képvivő maximumértékének mérése.
2. Hangolás a kép- és hangvivő közé.
3. A moduláció kikapcsolása.
4. Zajmérés átlagolással.
5. A moduláció visszakapcsolása.

A zajmérés ofszetfrekvenciája a 2...2,5 MHz sávban lehet.

A módszer hátránya, hogy a szolgáltatást kis időre ki kell kapcsolni, valamint, hogy a méréshez két ember kell.

Az automatikus kábeltelevízió-analizátorok az ún. kapuzott mérési módszert használják. A mérés során a videojelbe beiktatott üres sorok (általában a 21-22. sor) ideje alatt történik a zajmérés. Ez alatt ugyanis a képvivő és a színsegédvivő modulálatlan, az oldalsávok eltűnnek (6.5.5. ábra).

Az analizátor a demodulált videojel kép- és sorszinkronjeleit figyeli. A mérési folyamat során kiválasztható a mért üres sor sorszáma vagy a műszer automatikusan keres üres sort. Általában több félkép továbbítási idő alatt, azaz több üres sor mérési eredményének átlagolásával áll elő a zajmérés eredménye.

6.5.2. A zajszint korrekciója

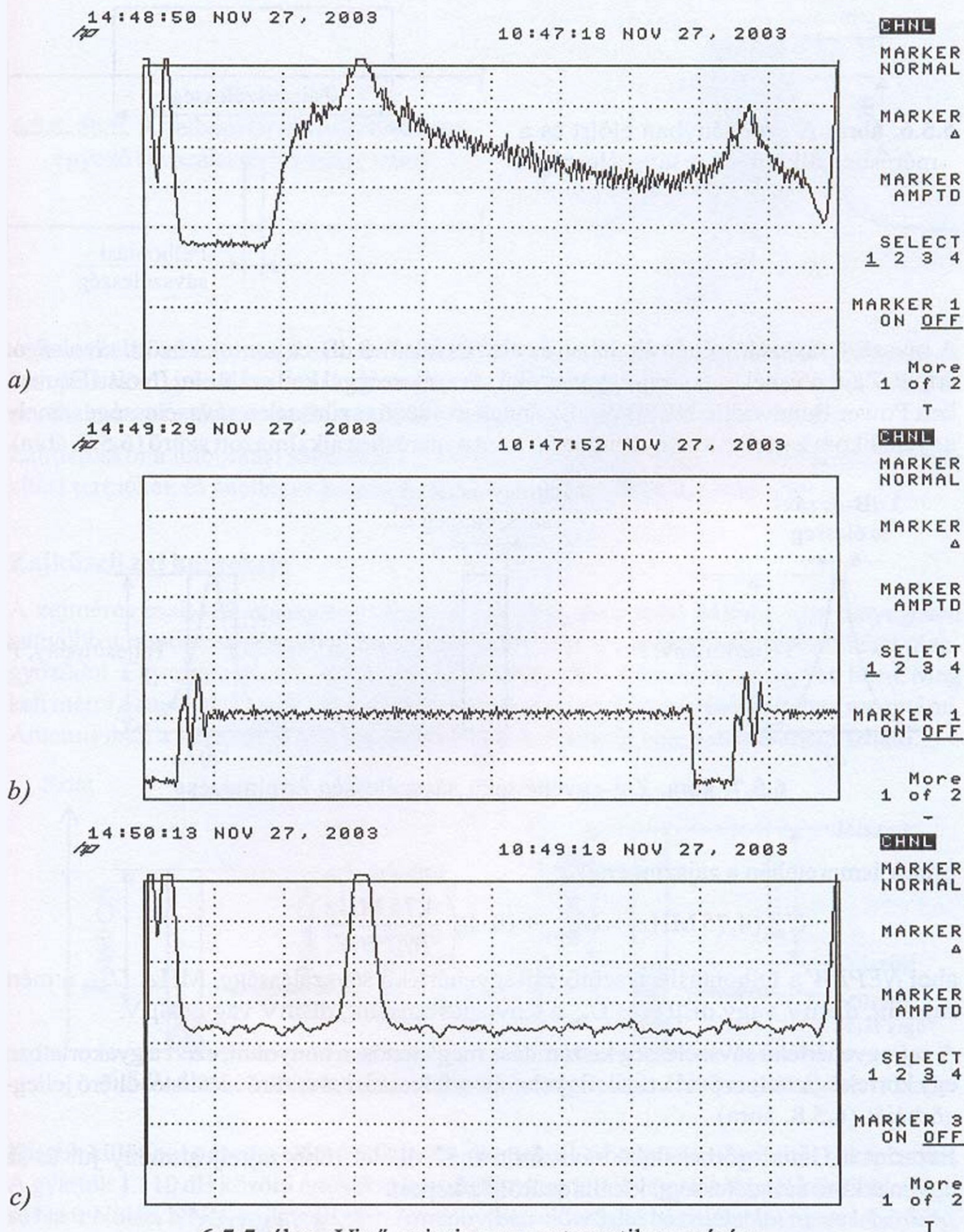
A műszerek felépítéséből és működési elvéből, valamint a mért zaj jellegéből adódóan a zajmérés eredménye utólagos korrekciókra szorul.

Sávszélesség korrekció

Az R ellenálláson keletkező termikus zajfeszültség – és az abból számított zajszint – adott B sávszélesség esetén (l. 3.2.4. és 5.4.2. pont):

$$U_T = \sqrt{4 \cdot k \cdot T \cdot R \cdot B}.$$

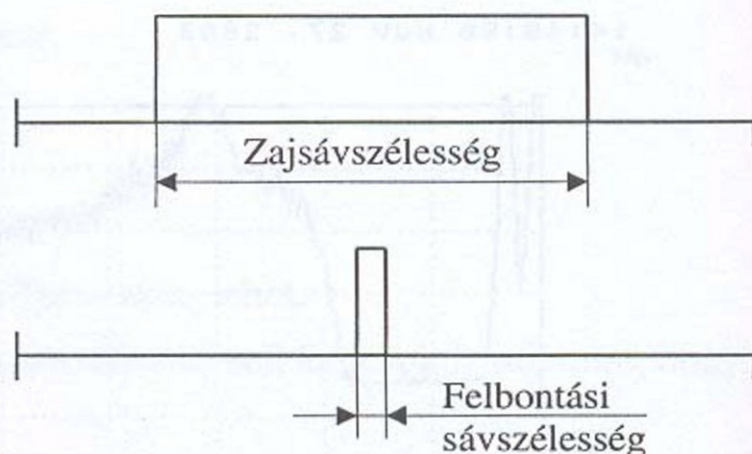
A zajszint megadásakor mindig meg kell adni azt a sávszélességet, amelynél a mérés történt. Minden olyan esetben, amikor a műszer KF-sávszűrője keskenyebb az előírt sávszélességénél, a detektorba a valódi jelteljesítménynek csak egy része jut be. A mért szintet ilyenkor át kell számolni a valódi sávszélességre. Az MSZ EN 50083-7 szabvány a csatorna zajsávszélességét 4,75 MHz-ben rögzíti (6.5.6. ábra), ami 7 és 8 MHz sávszélességű csatornára egyaránt érvényes. Ez egy ideális, szögletes átviteli jelleggörbéjű sávszűrő sávszélessége. A mérésben alkalmazott Gauss-görbe alakú sávszűrő sávszélességét is egy ilyen ideális szűrő egyenértékű sávszélességére kell átszámítani, hogy a két szűrő összehasonlítható legyen.



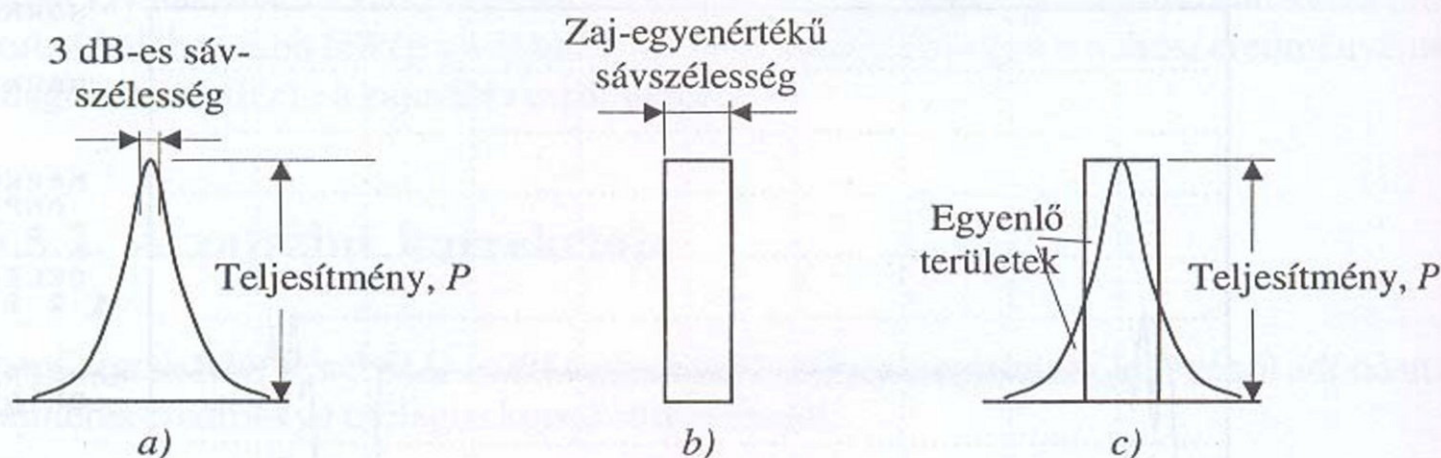
6.5.5. ábra. Vivő-zaj viszony automatikus mérése.

a) a képvivő mérése; b) üres sor kiválasztása; c) zajmérés az üres sor ideje alatt, az oldalsáv eltűnik

6.5.6. ábra. A szabványban előírt és a mérésben alkalmazott sávszélesség



A sávszűrő sávszélességén általában az alsó és felső -3 dB-es pontok közötti távolságot értjük. Zajmérésnél az ún. zaj-egyenértékű sávszélességgel kell számolni (Noise Equivalent Power Bandwidth, NEPBW). Ez annak az ideális szűrőnek a sávszélessége, amely ugyanakkora zajteljesítményt enged át, mint a méréshez alkalmazott szűrő (6.5.7. ábra).



6.5.7. ábra. Zaj-egyenértékű sávszélesség értelmezése

Ennek ismeretében a zajszint értéke:

$$U_{\text{zaj}}(4,75 \text{ MHz}) = U_{\text{mért}} + 10 \cdot \lg\left(\frac{4,75 \text{ MHz}}{NEPBW}\right),$$

ahol $NEPBW$ a felbontási sávszűrő zaj-egyenértékű sávszélessége, MHz; $U_{\text{mért}}$ a mért zajszint, dBmV vagy dB μ V és U_{zaj} a tényleges zajszint, dBmV vagy dB μ V.

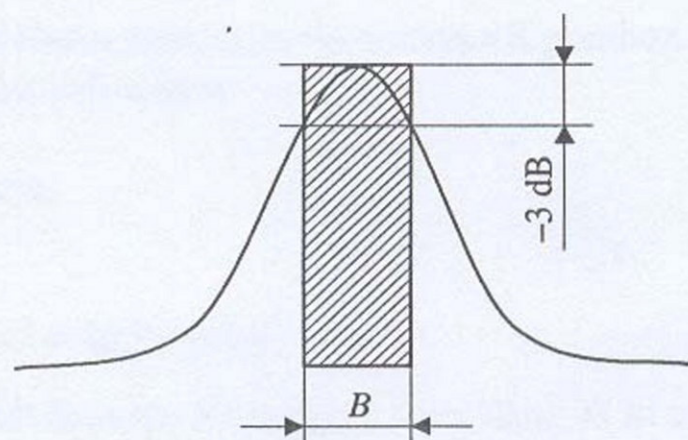
A zaj-egyenértékű sávszélesség kiszámítása meglehetősen bonyolult, ezért a gyakorlatban egy korrekciós tényezővel veszik figyelembe a felbontási sávszűrő ideálistól eltérő jelleg-görbéjét (6.5.8. ábra).

Eszerint a Gauss-görbe alakú sávszűrőn $0,52$ dB-lal több zajteljesítmény jut át az ugyanakkora sávszélességű ideális szűrőhöz képest.

$$U_{\text{zaj}}(4,75 \text{ MHz}) = U_{\text{mért}} - 0,52 \text{ dB} + 10 \cdot \lg\left(\frac{4,75 \text{ MHz}}{B}\right),$$

ahol B a felbontási sávszűrő sávszélessége.

6.5.8. ábra. A felbontási sávszűrővel meg-
egyező sávzélességű ideális szűrő

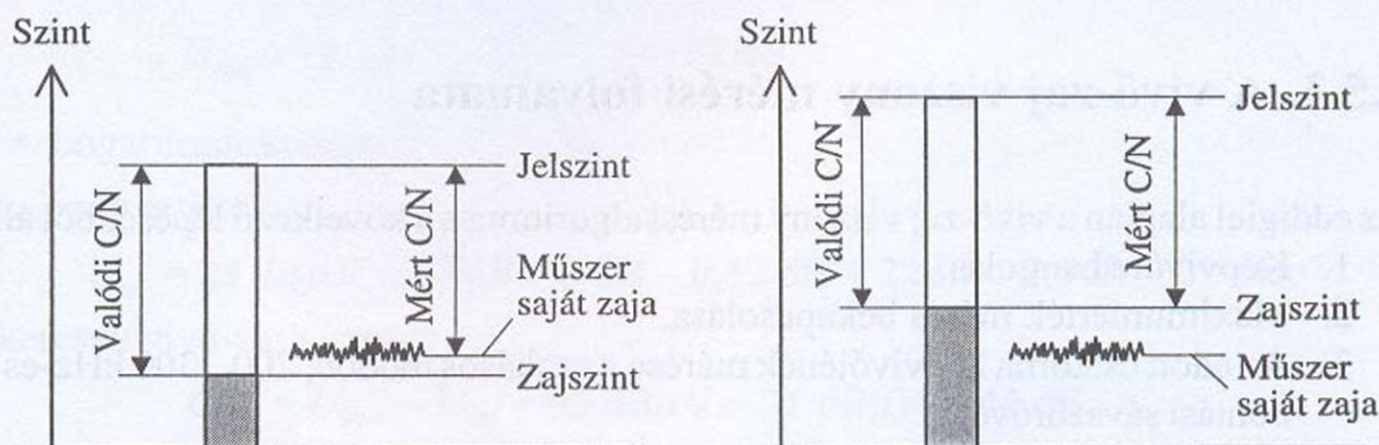


A korrekciót az automatikus mérőműszerek a mérés során önműködően elvégzik. A készülék konfigurálása során kell megadni a zajsávzélesség értékét. A műszer ebből és az alkalmazott szűrő sávzélességéből számolja ki a zajszint korrigált értékét.

Zajméréskor a felbontási sávszűrőt kis értékre kell állítani, hogy a csatornában lévő torzítási termékek és esetleges külső zavarok ne kerüljenek bele a mérésbe.

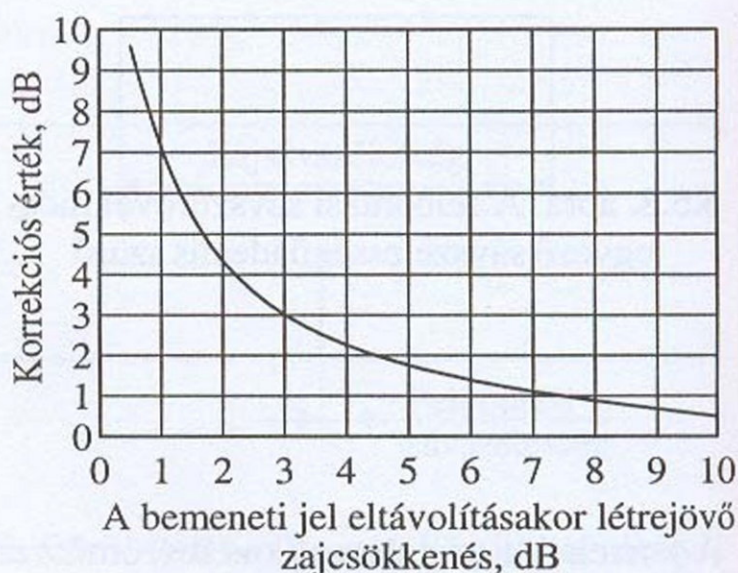
Zajközeli zaj korrekció

A zajmérés csak akkor ad megbízható eredményt, ha a mért hálózat zaja lényegesen nagyobb a mérőműszer saját zajánál (6.5.9. ábra). Erről a műszer kikötésével lehet meggyőződni. Egy olyan sávra kell hangolni a műszert, ahol csak a hálózati zaj van jelen. Meg kell mérni a zajszintet, majd le kell venni a mérőkábelt a hálózatról és ismételten megmérni. Amennyiben a két szint között legalább 10 dB különbség van, a mérés megbízható.



6.5.9. ábra. A műszer saját zajának hatása a zajmérés pontosságára

Kisebbség esetén előerősítőt kell beiktatni, ill. a beépített előerősítőt bekapcsolni. A gyártók 1...10 dB közötti értékekre korrekciós diagramot vagy táblázatot közölnek (Noise Near Noise, NNN, zajközeli zaj). Amennyiben előerősítő használatára nincs lehetőség, ebből a táblázatból kiolvasott értékkel kell a zajszint értékét megnövelni (6.5.10. ábra). Előerősítőt használva annak zajtényezőjét a kapott zajszint értékéből ki kell vonni.



6.5.10. ábra. NNN korrekciós diagram (Hewlett-Packard)

A zajközeli zaj korrekcióját feltétlenül figyelembe kell venni alacsony jelszintű mérési pontokon végzett méréseknél. A műszerek saját zaja kb. 10...12 dB μ V. Pl. az előfizetői csatlakozási ponton előfordulhat 60 dB μ V-os jelszint. Ha itt jó a vivő-zaj viszony (pl. 46 dB), akkor a zajszint 14 dB μ V, ami a műszer saját zajával összemérhető érték.

Logaritmus korrekció

A legtöbb spektrumanalizátorral végzett zajmérésnél a logaritmikus mérés miatt is korrigálni kell a mért értéket. A korrekció tipikus értéke +2,5 dB, ami egyrészt a mért feszültség szint logaritmikus-értékké konvertálásából, másrészt a felbontási szűrő a mért zaj eloszlását megváltoztató jelleggörbéjéből adódik.

6.5.3. A vivő-zaj viszony mérési folyamata

Az eddigiel alapján a vivő-zaj viszony mérési algoritmus a következő lépésekből áll:

1. Képvivőre hangolás.
2. Maximumérték mérés bekapcsolása.
3. Az adott csatorna képvivőjének mérése a szokásos módon, 200...300 kHz-es felbontási sávszűrővel.
4. A képvivőhöz képest feljebb hangolás 2-2,5 MHz-el.
5. A felbontási sávszűrő átkapcsolása 10-30kHz sáv szélességre.
6. Mintavételezéses mérés bekapcsolása.
7. Üres sorok kikapuzása. Az üres sorok automatikusan vagy a felhasználó általi kiválasztása.
8. Mérés mintavételezéssel.
9. Átlagolás.
10. A csatorna zajának és a műszer saját zajának összehasonlítása

11. Amennyiben az eltérés túl kicsi, előerősítés bekapcsolása és visszatérés a 8. ponthoz.
12. A mért érték átszámítása az előírt zajsáv szélességre.
13. Egyéb korrekciók elvégzése:
 - Zaj-ekvivalens sáv szélesség korrekciója,
 - Logaritmus korrekció,
 - Előerősítő zajtényezője.
14. A képvivő és a zaj szintjének kivonása és megjelenítése.

Példaként vizsgáljuk meg egy képvivő mérését csúcsértékméréssel és értékeljük ki a mérési eredményeket.

$$U_{\text{vivő}} = 65 \text{ dB}\mu\text{V};$$

Hangolás a képvivő fölé 2 MHz-cel.

Felbontási sáv szűrő átállítása 30 kHz-re, a mintavételezéses mérés bekapcsolása.

A mért rendszer zaja és a műszer saját zaja közötti különbség mérése a műszer kikötésével. A különbség 6 dB, emiatt előerősítőt kell alkalmazni.

20 dB erősítésű, 8 dB zajtényezőjű előerősítő bekapcsolása.

A mért zajszint 25 dB μ V.

A szükséges korrekciók:

- Az előerősítő erősítése: -20 dB.
- Az előerősítő zajtényezője: -8 dB.
- A felbontási sáv szűrő alakja miatti korrekció: -0,52 dB.
- A zajsáv szélesség szabványban megadott értékére át kell számolni a mért értéket:

$$U_{\text{zaj}} = 10 \cdot \lg\left(\frac{4,75 \text{ MHz}}{30 \text{ kHz}}\right) = +22 \text{ dB}.$$

- Logaritmus korrekció: +2,5 dB.

A zajszint értéke:

$$U_{\text{zaj}} = 25 \text{ dB}\mu\text{V} - 20 \text{ dB} - 8 \text{ dB} - 0,52 \text{ dB} + 22 \text{ dB} + 2,5 \text{ dB} \approx 21 \text{ dB}\mu\text{V}.$$

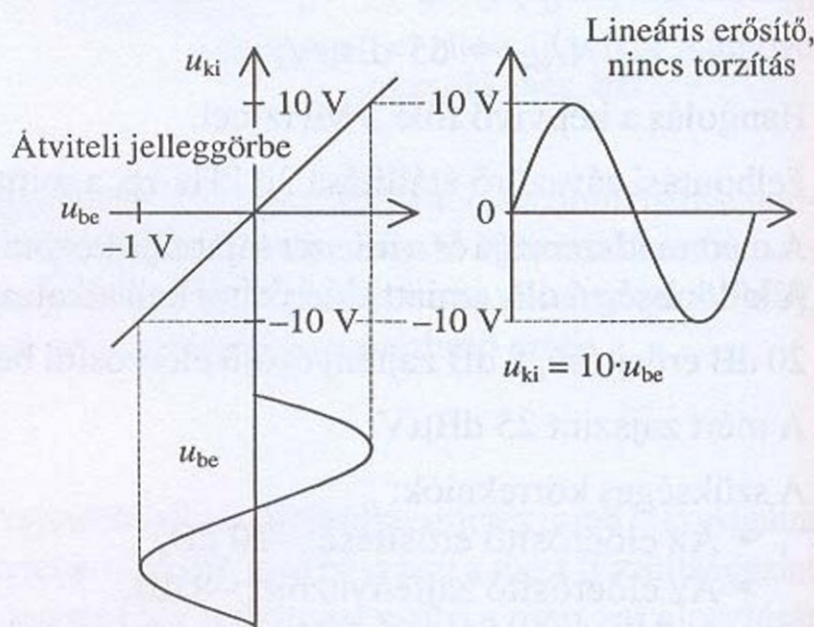
A keresett vivő-zaj viszony:

$$C/N = U_{\text{vivő}} - U_{\text{zaj}} = 65 \text{ dB}\mu\text{V} - 21 \text{ dB}\mu\text{V} = 44 \text{ dB}.$$

6.6. A nemlineáris torzítások mérése

6.6.1. A nemlineáris torzítások kialakulása

Ideális átviteli eszközök (legyenek azok aktívak vagy passzívak) átvitel jelleggörbéje egyenes (6.6.1. ábra). Ez azt jelenti, hogy a kimeneti jel egyenesen arányos a bemeneti jellel és egyéb jelek ilyen ideális elemekben nem keletkeznek.



6.6.1. ábra. Ideális átviteli elem jelleggörbéje

Valódi eszközök átviteli jelleggörbéje görbült (nemlineáris). Az ilyen eszközök keverőként viselkednek: a bemeneten lévő hasznos jelekből újabb, nemkívánatos jeleket állítanak elő. Ezeket a kikeveredő jeleket torzításoknak nevezik. A másodrendű torzításokat az átviteli jelleggörbe másodrendű jellege okozza. (Azaz ekkor a jelleggörbe egy parabolához hasonlít). Ugyanígy a harmadrendű torzítások kiváltó oka az átviteli jelleggörbe harmadfokú jellege. A nemlineáris torzítások a következőképpen csoportosíthatók.

- Harmonikus torzítások: a bemeneti jel felharmonikusai, azaz frekvenciájának egész-számú többszörösei.
- Intermodulációs torzítások: több bemeneti jel kombinációjaként előálló zavarójelek.
- Összetett intermodulációs torzítások: sokvívös rendszereken több intermodulációs termék csomósodása egy szűk frekvenciatartományban.
- Keresztmoduláció: egy modulált vivő modulációjának megjelenése egy másik vivőn.
- Összetett keresztmoduláció: sokvívös rendszereken az összes vivő együttes moduláló hatása a mért vivőn.
- Búgásmóduláció: a tápfeszültség 50 vagy 100 Hz-es komponensének moduláló hatása.

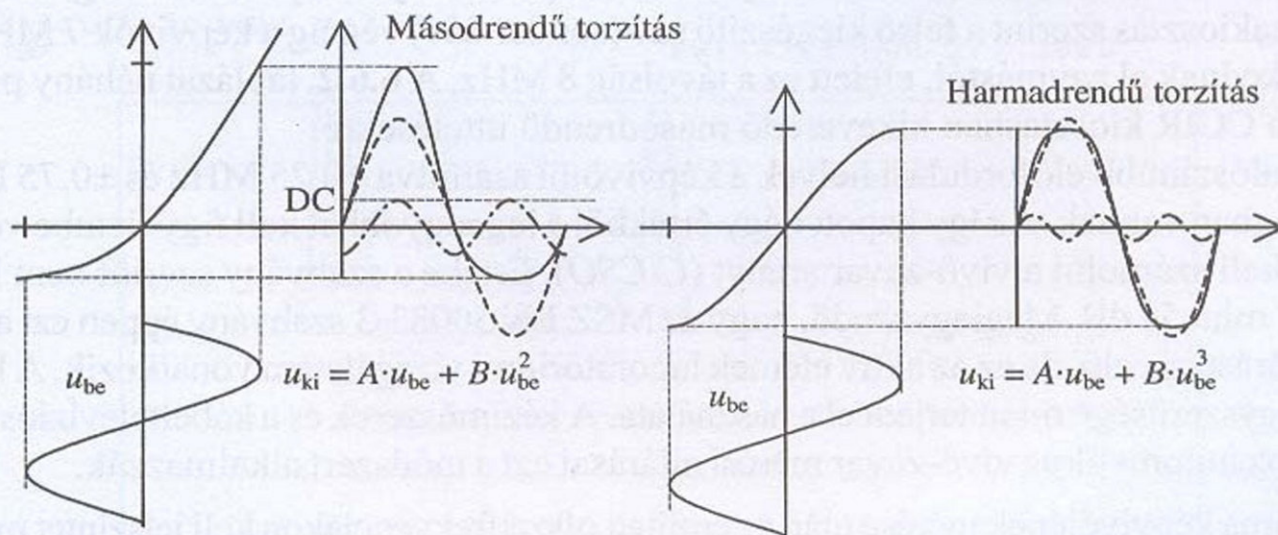
A nemlineáris torzítások csoportosítása a 6.6.1. táblázatban látható (a fontosabb összetevőket félkövéren szedtük).

Nemlineáris torzítások csoportosítása. 6.6.1. táblázat

A torzítás fajtája	Összetevők
Harmonikus torzítás <ul style="list-style-type: none"> • másodrendű • harmadrendű 	$2 \cdot f_1$ $3 \cdot f_1$
Intermodulációs torzítás <ul style="list-style-type: none"> • egyszerű <ul style="list-style-type: none"> — másodrendű — harmadrendű • összetett <ul style="list-style-type: none"> — CSO — CTB • keresztmoduláció <ul style="list-style-type: none"> — egyszerű — összetett • bűgásmoduláció 	$f_1 \pm f_2$ $2 \cdot f_1 \pm f_2; f_1 \pm f_2 \pm f_3$ $\Sigma(f_n \pm f_m)$ $\Sigma(f_n \pm f_m \pm f_u) + \Sigma(2 \cdot f_n \pm f_m)$ $m(f_2)$ $m(\Sigma f_n)$ $m(50 \text{ Hz}); m(100 \text{ Hz})$

6.6.2. Harmonikus torzítások

A görbült jelleggörbe a bemeneti jelet torzítja. Miként az a 6.6.2. ábrán látható, a torzított jel Fourier-analízissel felbontható az eredeti bemeneti jelre és annak felharmonikusaira.



6.6.2. ábra. Harmonikus torzítás keletkezése görbült átviteli jelleggörbéjű eszközökben

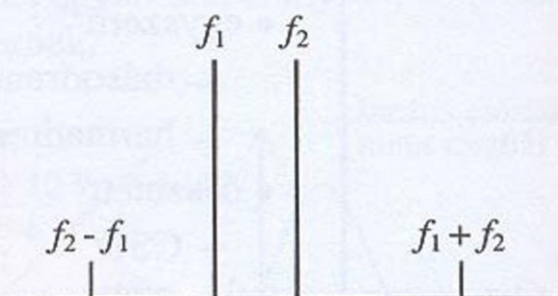
Sokvívós rendszerekben a harmonikus torzítások hatása elhanyagolható az intermodulációs torzításokhoz képest, ezért a gyakorlatban csak ez utóbbiakat mérik.

6.6.3 Intermodulációs torzítások

Másodrendű üttetések

A másodrendű üttetések két vivő keveréséből keletkeznek. A kikeveredő zavarójel frekvenciája az eredeti jelek frekvenciáinak összege és különbsége (6.6.3. ábra).

$$f_z = f_1 \pm f_2.$$



6.6.3. ábra. Egyszerű másodrendű üttetések

A kábeltelevíziós hálózatokon a különböző képvivők által kikevert másodrendű üttetések egy szűk frekvenciasávba esnek és felerősítik egymást. Az ilyen zavarójelek neve összetett másodrendű üttetés (Composite Second Order, CSO).

A szabvány által előírt mérési eljárás szerint a vizsgált csatornában spektrumanalizátorral kell megkeresni a torzítási termékeket. Közben a modulációt ki kell kapcsolni. A képvivő és a legnagyobb torzítási termék aránya lesz a keresett vivő-zavar arány. Az előírt módszer alkalmazása működő hálózaton meglehetősen hosszadalmas, ezért a gyakorlatban a mérést csak a legvalószínűbb frekvenciákon végzik el. Ezekről a frekvenciákról a rendszerjellemzőket előíró MSZ EN 50083-7 számú szabvány nem rendelkezik.

Kábeltelevíziós hálózatokon a képvivők egyenlő távolságokban helyezkednek el, ezért a másodrendű üttetések a képvivők környezetében tipikus helyeken jelennek meg. A CCIR csatornakiosztás szerint a felső kiegészítő sáv (sonder-sáv) végéig a képvivők 7 MHz-re helyezkednek el egymástól, efelett ez a távolság 8 MHz. A 6.6.2. táblázat néhány példát mutat a CCIR kiosztásban kikeveredő másodrendű üttetésekre.

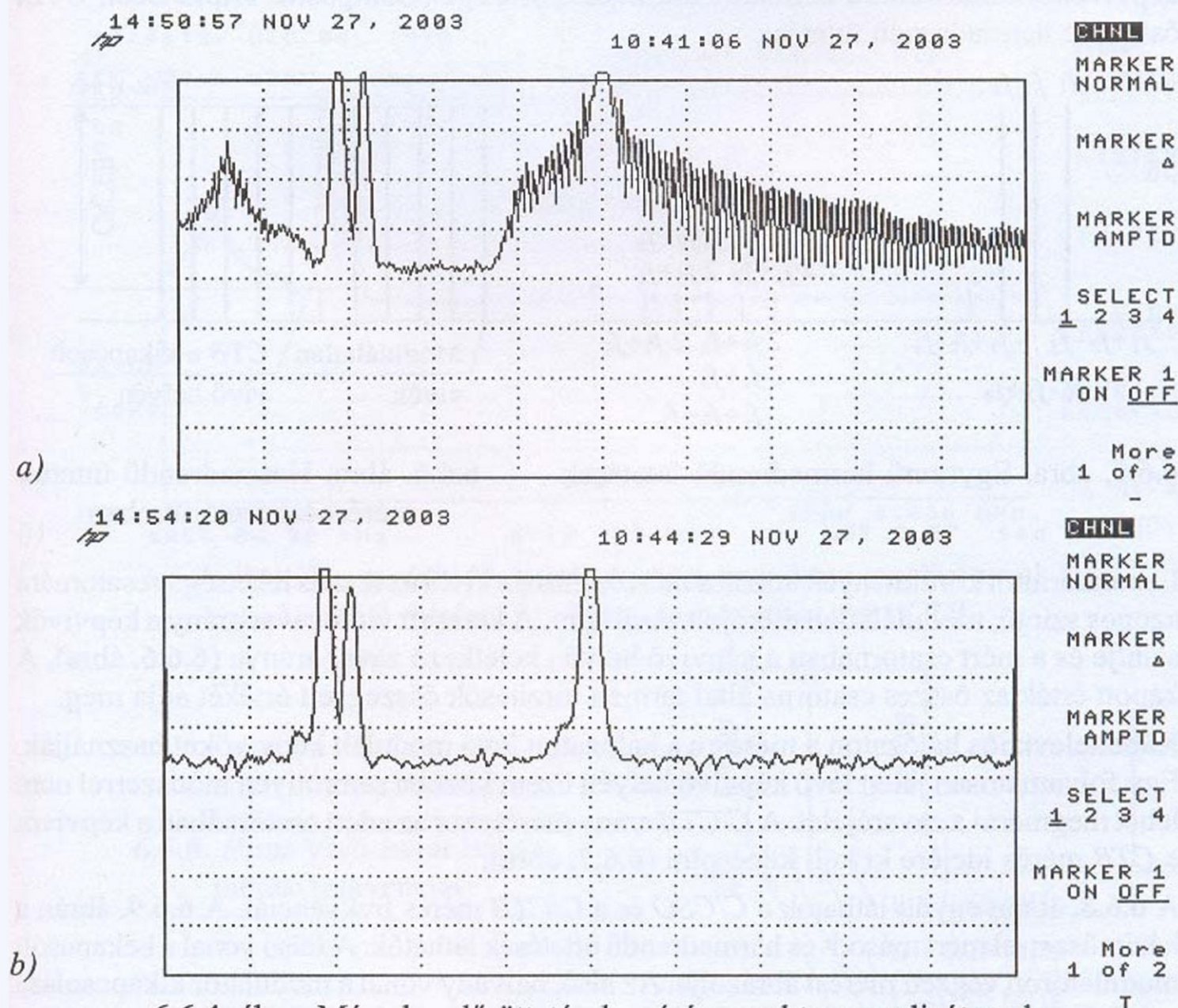
A legvalószínűbb előfordulási helyek a képvivőtől számítva $\pm 0,25$ MHz és $\pm 0,75$ MHz távolságban vannak. Az így kapott négy értékből a legnagyobbat kell figyelembe venni. Ebből kell számolni a vivő-zavar arányt (C/CSO). Értéke a szabvány szerint nem lehet kisebb, mint 57 dB. Megjegyzendő, hogy az MSZ EN 50083-3 szabvány éppen ezt a mérési eljárást írja elő, de ez az aktív elemek laboratóriumi vizsgálatára vonatkozik. A hálózaton egyszerűsége miatt terjedt el a használata. A kéziműszerek és a kábeltelevíziós analízátorok automatikus vivő-zavar mérési eljárásai ezt a módszert alkalmazzák.

A csatorna képvivőjének mérése után az említett ofszetfrekvenciákon kell jelszintet mérni. Modulált képvivő esetén viszont ezeken a helyeken a zavarójeleknél nagyobb szintű oldalfrekvenciák lehetnek jelen. Kábeltelevízió analízátorok a kép- és sorszinkron jelek figyelmével képesek kikapuzni a videójelbe beiktatott üres sorokat. Az üres sorok ideje alatt a képvivő nincs modulálva, tehát az oldalfrekvenciák eltűnnek (6.6.4. ábra), így ilyenkor

az ofszetfrekvenciákon megmérhetők a másodrendű üttetések. Egyszerűbb műszer esetén a mérés idejére a mért csatorna modulációját ki kell kapcsolni a fejállomáson.

Tipikus másodrendű üttetések CCIR csatornakiosztásban. 6.6.2. táblázat

Vivőfrekvencia		A keverés módja	A zavarójel frekvenciája, MHz	A legközelebbi képvivő frekvenciája, MHz	Eltolási frekvencia, MHz
f_1 , MHz	f_2 , MHz				
133,25	140,25	$f_1 + f_2$	273,5	273,25	+0,25
281,25	140,25	$f_1 - f_2$	141,0	140,25	+0,75
287,25	154,25	$f_1 - f_2$	133,0	133,25	-0,25
303,25	311,25	$f_1 + f_2$	614,5	615,25	-0,75



6.6.4. ábra. Másodrendű üttetések mérése spektrumanalizátorral
a) a képvivő mérése; b) az üres sor ideje alatt mért torzítási termékek

Harmadrendű üttetések

Harmadrendű üttetések a következő módokon keveredhetnek ki (6.6.5. ábra):

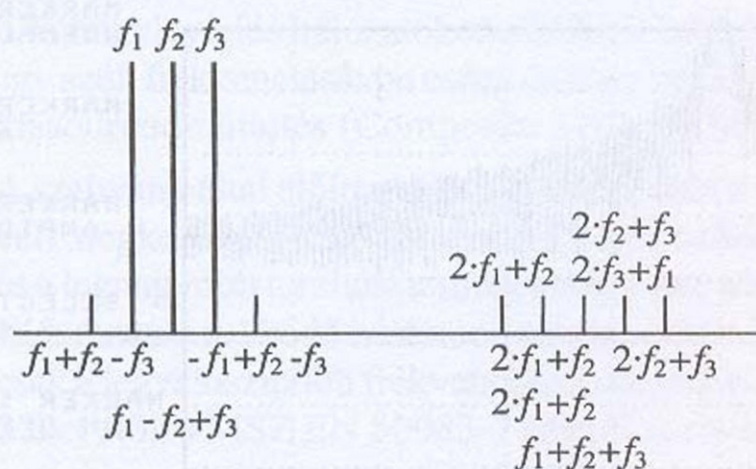
- egy képvivő második harmonikusa keverve egy másik képvivővel: $f_z = 2 \cdot f_1 \pm f_2$,
- három képvivő keveredése: $f_z = f_1 \pm f_2 \pm f_3$.

A harmadrendű üttetések jelentős része a kábeltelevíziós sávon kívül esik. Ezért elsősorban az $f_1 + f_2 - f_3$ és $2 \cdot f_1 - f_2$ típusú üttetéseket kell figyelembe venni. Ezek a zavarójelek a hálózaton lévő valamely képvivő helyén fognak keletkezni.

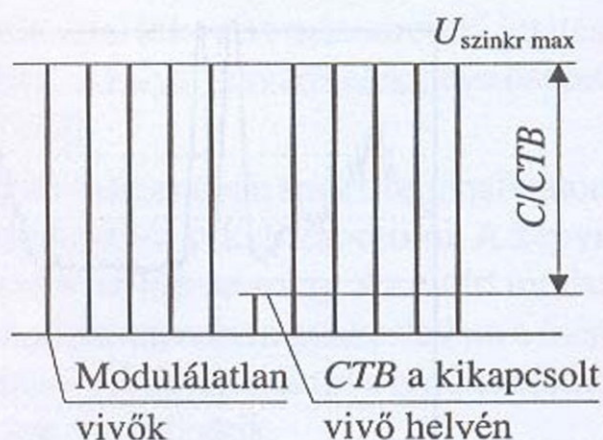
Pl. $140,25\text{MHz} + 147,25\text{MHz} - 133,25\text{MHz} = 154,25\text{MHz}$,

ahol a keletkezett zavarójel frekvenciája megegyezik az S8 csatorna képvivőjének frekvenciájával.

Sokvivős rendszereken egy képvivő helyén megjelenő torzítási termék több, különböző képvivőkből kikeveredő harmadrendű üttetés összege (Composite Triple Beat, CTB, összetett harmadrendű üttetés).



6.6.5. ábra. Egyszerű harmadrendű üttetések

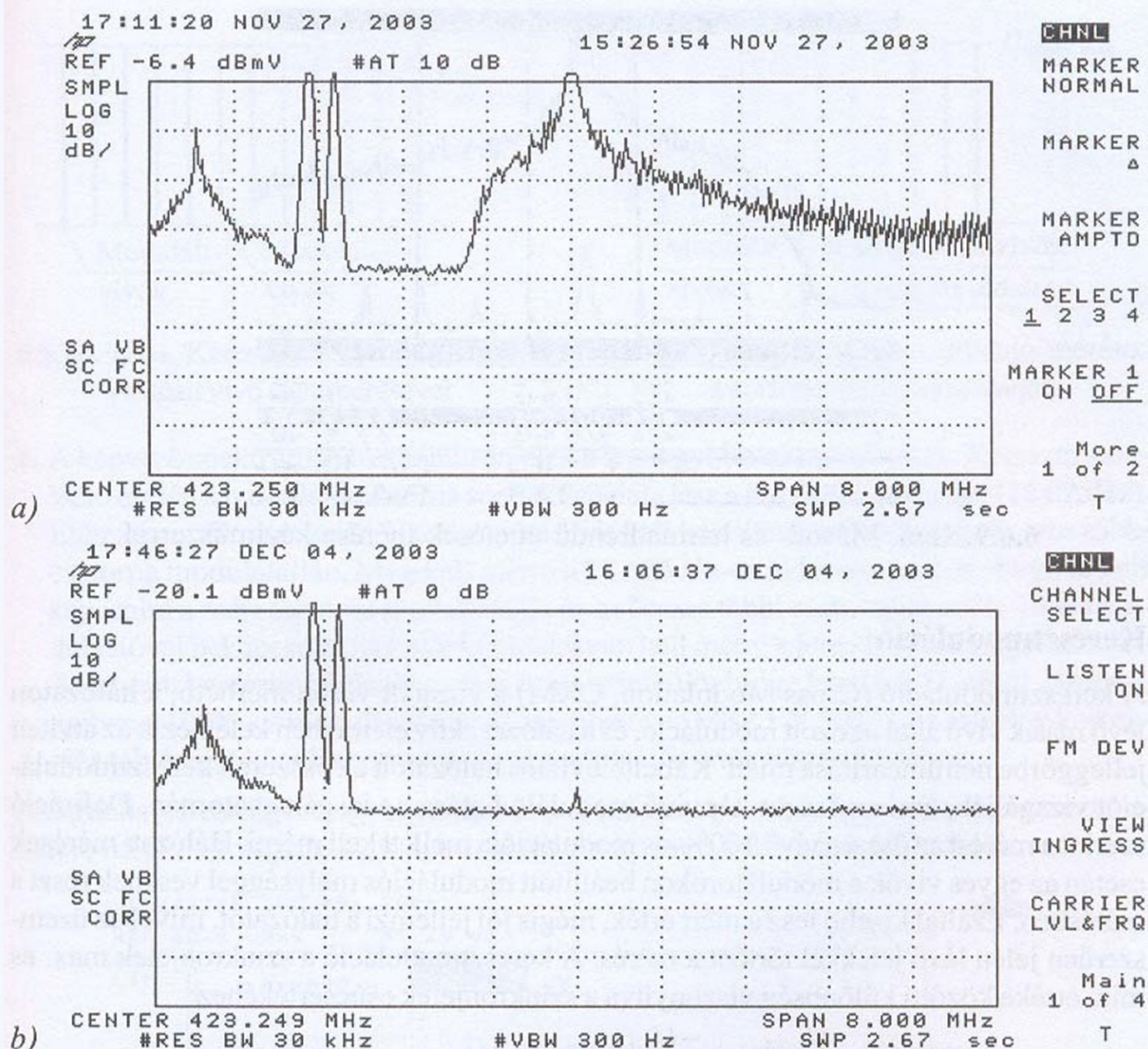


6.6.6. ábra. Harmadrendű üttetés mérése laboratóriumban

Laboratóriumi körülmények között a mért csatornán kívül az összes lehetséges csatornára azonos szintű, modulálatlan mérőjelet kell adni. A keresett vivő-zavar arány a képvivők szintje és a mért csatornában a képvivő helyén keletkező zavar aránya (6.6.6. ábra). A kapott érték az összes csatorna által termelt torzítások összegzett értékét adja meg.

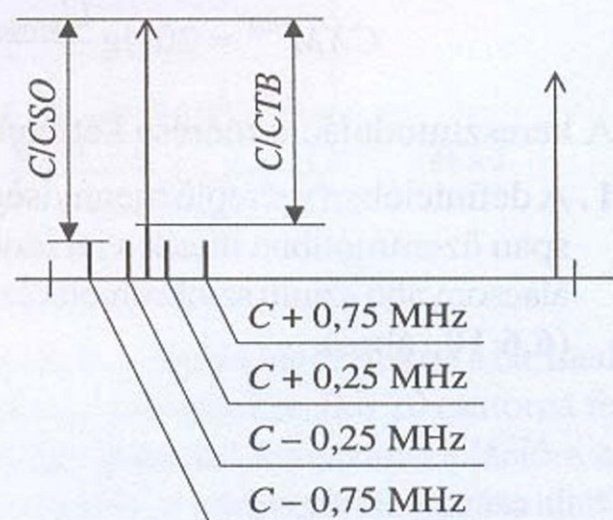
Kábeltelevíziós hálózaton a mérésre a hálózaton lévő modulált képvivőket használják. Egy folyamatosan jelen lévő képvivő helyén üzem közben semmilyen módszerrel nem lehet megmérni a zavarójelet. A C/CTB arány mérésekor az adott csatornában a képvivőt a CTB mérés idejére ki kell kapcsolni (6.6.7. ábra).

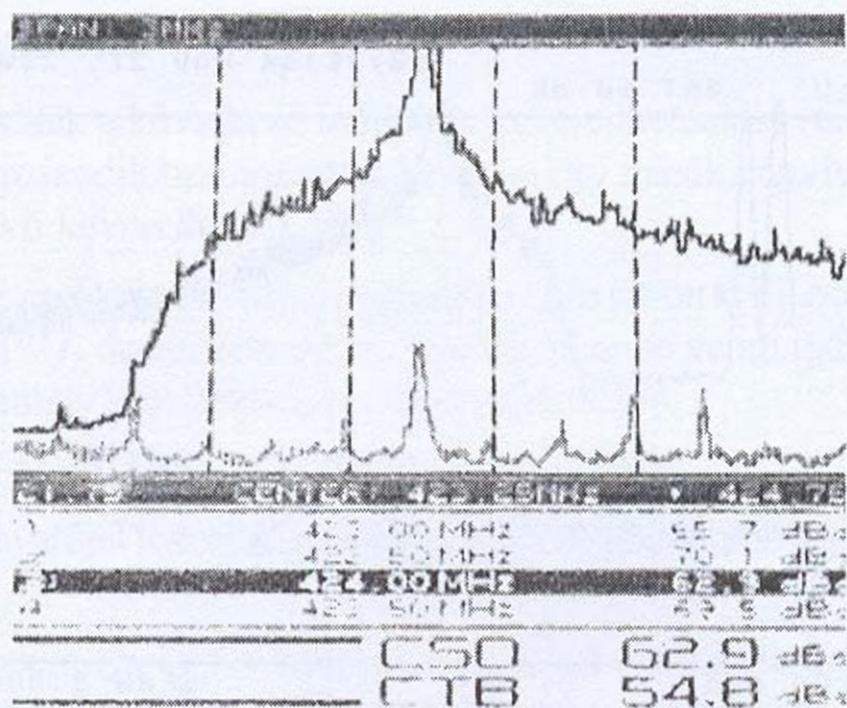
A 6.6.8. ábrán együtt láthatók a C/CSO és a C/CTB mérés frekvenciái. A 6.6.9. ábrán a kéziműszerrel mért másod- és harmadrendű üttetések láthatók. A felső vonal a bekapcsolt modulátoron végzett mérést ábrázolja. Az alsó, halvány vonal a modulátor kikapcsolása után készült, jól láthatók rajta az üttetések. A függőleges markerek a CSO mérés frekvenciáit mutatják.



6.6.7. ábra. Harmadrendű üttetések mérése spektrumanalizátorral
a) a képvivő mérése; b) a kikapcsolt vivővel mért CTB

6.6.8. ábra. Vivő-zavar arány mérési frekvenciái





6.6.9. ábra. Másod- és harmadrendű üttetések mérése kéziműszerrel.

Keresztmoduláció

A keresztmoduláció (Cross Modulation, CXM) a vizsgált vivőn mérhető, a hálózaton lévő másik vivő által okozott moduláció, és a hálózat aktív elemeiben keletkezik az átviteli jelleggörbe nemlinearitása miatt. Kábeltelevíziós hálózaton az összetett keresztmodulációt vizsgálják, ami az összes képvivő moduláló hatása a vizsgált csatornán. Definíció szerint a mérést az összes vivő 100%-os modulációjával kell mérni. Hálózati mérések esetén az egyes vivők a modulátorokon beállított modulációs mélységgel vesznek részt a mérésben. Ezáltal kisebb lesz a mért érték, mégis jól jellemzi a hálózatot, mivel az üzemszerűen jelen lévő jelekkel történt a mérés. A keresztmoduláció a szinkronjelek max. és min. értéke közötti különbség viszonyítva a szinkronjelek csúcserővértékéhez:

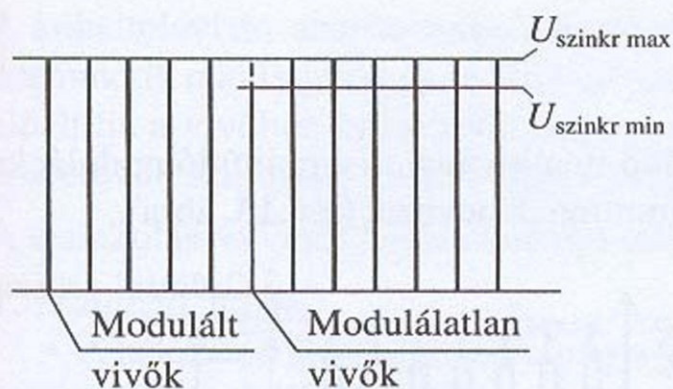
$$CXM\% = \frac{U_{\text{szinkr max}} - U_{\text{szinkr min}}}{U_{\text{szinkr max}}} \cdot 100\%,$$

vagy dB-ben kifejezve ugyanez:

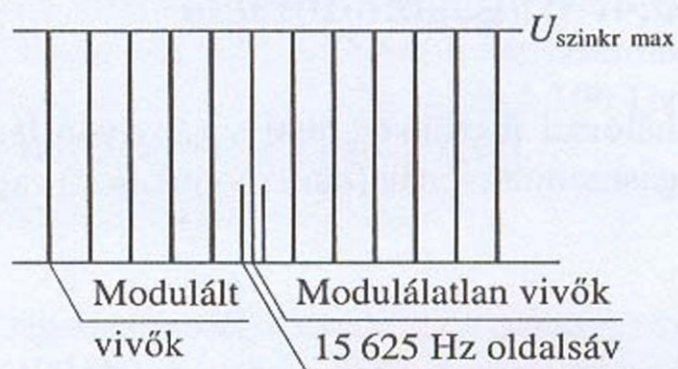
$$CXM\text{ dB} = 20 \cdot \lg \frac{U_{\text{szinkr max}} - U_{\text{szinkr min}}}{U_{\text{szinkr max}}}.$$

A keresztmoduláció mérése kétféleképpen történhet.

1. A definícióban szereplő mennyiségek mérésével. Az automatikus mérőműszerek zero-span üzemmódban mérik a jel időbeli változását, megkeresik a legmagasabb és a legalacsonyabb szintű szinkronjelet és ezekből az értékekből számítják a keresztmodulációt (6.6.10. ábra).



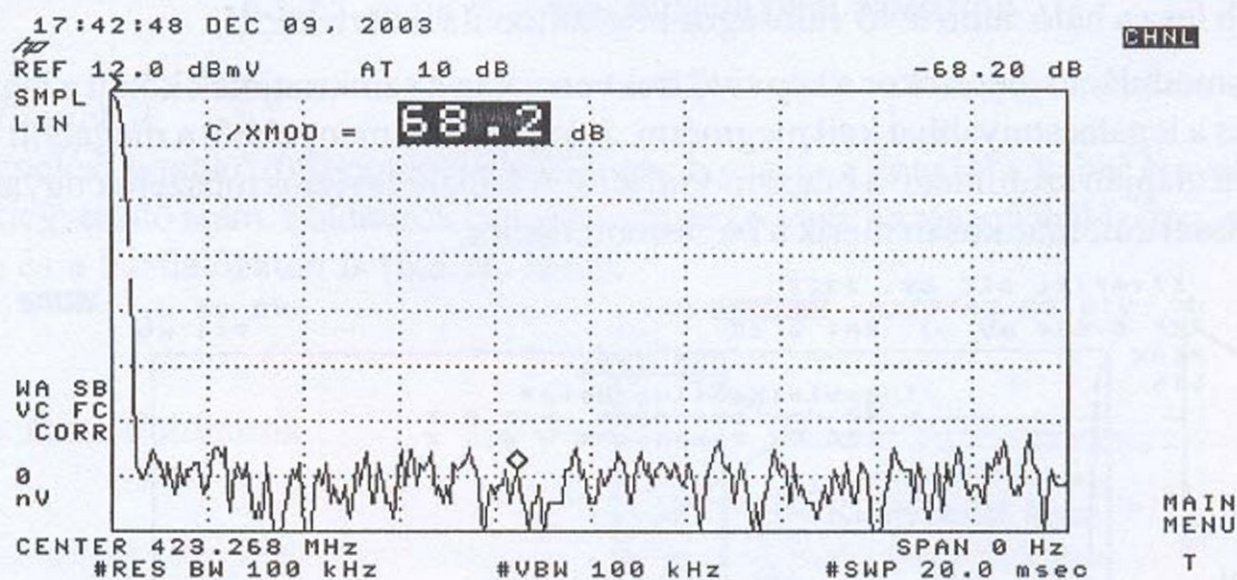
6.6.10. ábra. Keresztmoduláció mérése a vizsgált vivő szintmérésével



6.6.11. ábra. Keresztmoduláció mérése a sorfrekvencia oldalsávján

2. A képvivő spektrumában a szinkronjelek a legnagyobb energiájú jelek. Keresztmoduláció esetén a moduláló csatorna sorfrekvenciája lesz a domináló zavarójel (15 625 Hz). Először a mért csatornán 100% modulációt kell beállítani, miközben az összes többi csatorna modulálatlan. Meg kell mérni a 15 625 Hz-es oldalsáv szintjét. Majd le kell kapcsolni a mért csatorna modulációját és az összes többi csatornáját pedig 100% modulációval bekapcsolni. Az előbbi oldalsávon kell mérni a jelen lévő zavarójel szintjét. A keresett keresztmoduláció a két mért jel szintkülönbsége lesz (6.6.11. ábra). Amennyiben a 100%-os moduláció nem biztosítható, az MSZ EN 50083-3 szabvány korrekciós táblázatát közöl a pontos keresztmodulációs érték kiszámításához.

A digitális jelfeldolgozó egységet tartalmazó műszerek a mérést gyors Fourier-transzformációval (FFT) végzik. Egy ilyen mérés eredménye látható a 6.6.12. ábrán.



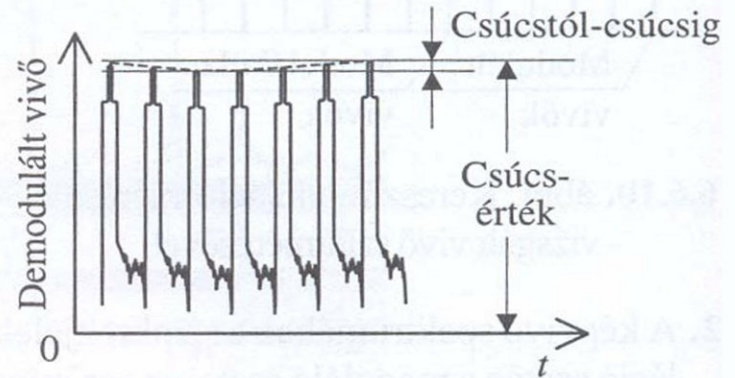
6.6.12. ábra. Keresztmoduláció mérése FFT-vel

A keresztmoduláció kis csatornaszám esetén jelentős. Sokcsatornás hálózatokon a harmadrendű üttetések által okozott zavarok dominálnak. A mai hálózatokon (kb 20 csatorna felett) ezért inkább a CSO és CTB mérésére van szükség. Összetett keresztmodulációra az MSZ EN 50083-7 szabvány nem ad meg határértéket (a könyv írásakor kidolgozása alatt).

6.6.4. Búgásmoduláció

A hálózati feszültség által a képvivőn létrejövő nemkívánatos amplitúdómodulációt búgásmodulációnak (hum modulation) vagy brummnak nevezik (6.6.13. ábra).

6.6.13. ábra. A búgásmoduláció fogalma



Definíció szerint a búgásmoduláció értéke a szinkronjelek max. és min. értéke közötti különbség viszonyítva a szinkronjelek csúcsértékéhez:

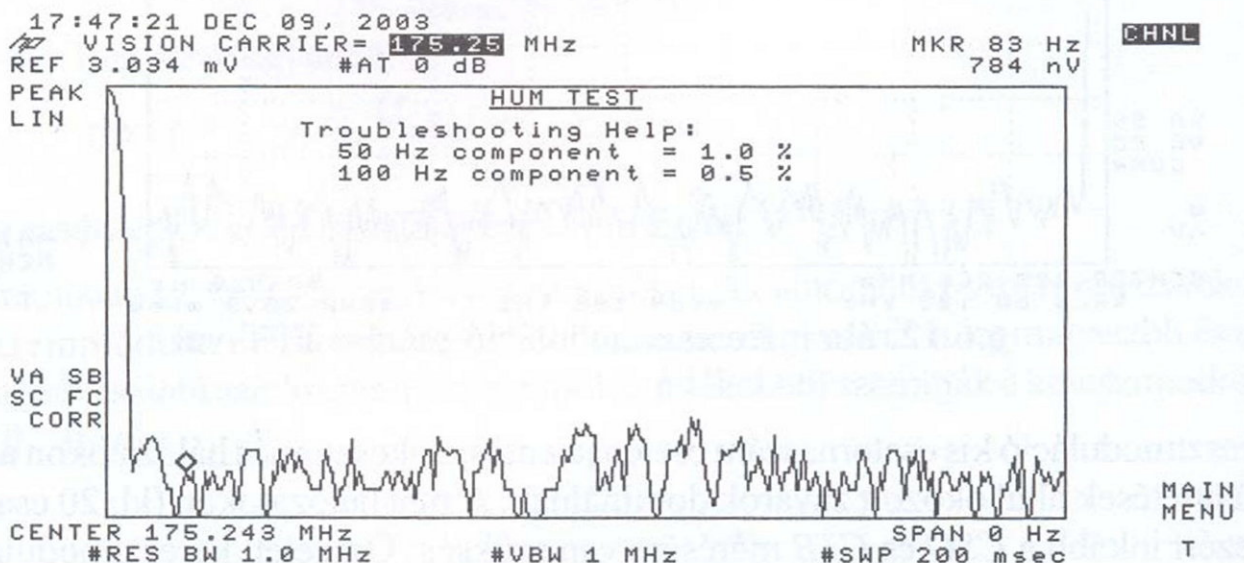
$$HUM\% = \frac{U_{\text{szinkr max}} - U_{\text{szinkr min}}}{U_{\text{szinkr max}}} \cdot 100\%,$$

vagy dB-ben kifejezve ugyanez:

$$HUM\text{dB} = 20 \cdot \log \frac{U_{\text{szinkr max}} - U_{\text{szinkr min}}}{U_{\text{szinkr max}}}.$$

A pontos mérés érdekében a képvivő modulációját ki kell kapcsolni. Amennyiben a szolgáltatás folyamatossága érdekében a mérés modulált vivőn történik, az eredmény rosszabb lesz a hálózaton lévő valóságos búgásmoduláció értékénél.

A búgásmoduláció mérésekor a képvivő frekvenciáján a szinkronjelek közül a legmagasabbat és a legalacsonyabbat kell megmérni. A kapott eredményekből a megadott összefüggések alapján számítható a búgásmoduláció. A kábeltelevíziós műszerek ugyanezzel az eljárással automatikusan mérik a búgásmodulációt.



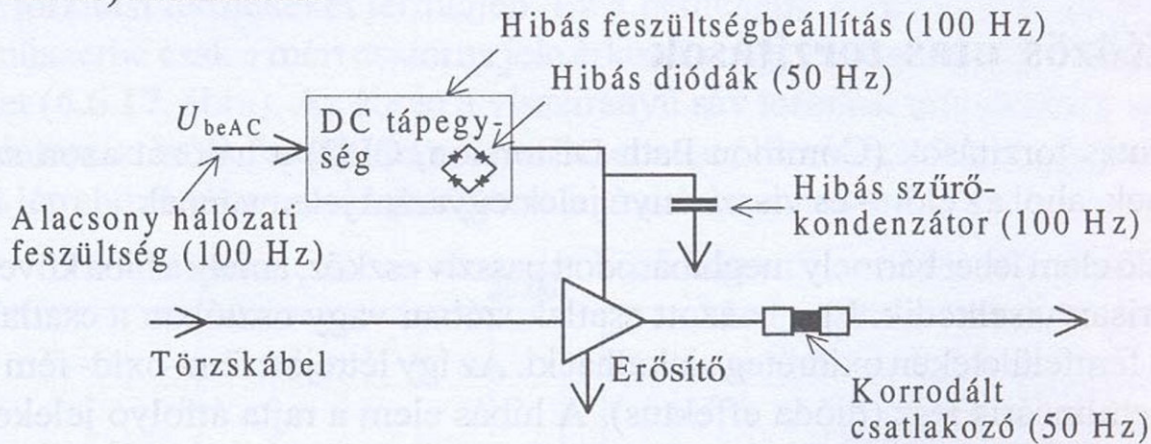
6.6.14. ábra. Búgásmoduláció mérése FFT-vel

A kábeltelevízió analizátorok először mérik a képvivő időbeli változását (zero-span üzemmód), majd a jelen gyors Fourier-transzformációt (FFT) végeznek. A transzformáció előállítja a vivőben található frekvenciakomponenseket. Az 50 Hz-es és a 100 Hz-es összetevők szintjéből kiszámítható a bűgásmoduláció értéke (6.6.14. ábra).

A kialakulás helyétől függően a bűgásmodulációnak több típusa van.

1. Hálózati hibák

- A hálózaton lévő valamely tápegység hibája esetén a létrejövő bűgásmoduláció frekvenciája a hálózati frekvencia kétszerese (100 Hz). A kétszeres frekvencia az egyenirányítás miatt alakul ki (6.6.15. ábra). Jellemző hibaok a pufferkondenzátor kiszáradása.
- A hálózat közös szakaszán lévő korrodált csatlakozó a másodrendű torzítási termékek előállításához hasonlóan keveri össze a távtápláló feszültséget és a vivőket. A keverés eredménye a vivőkre ültetett, a hálózati frekvenciával megegyező frekvenciájú (50 Hz-es) moduláció.

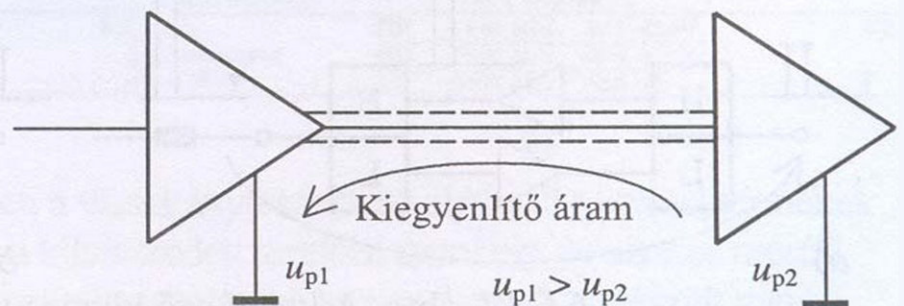


6.6.15. ábra. Bűgásmoduláció okai hálózaton

2. Földhurkok

Két földelési pont közötti potenciálkülönbség hatására a koaxiális kábel árnyékolásán folyó kiegyenlítő áram. Földhurok kialakulhat a törzs- vagy a szétosztóhálózaton, a fejállomáson és a házhálózaton is (6.6.16. ábra).

6.6.16. ábra. Földhurok



3. Fejállomási hibák

- Valamely csatorna jele akár a fejállomáson is brummossá válhat. Ha a csatorna modulátorának tápegységében a pufferkondenzátor kiszáradt, a csatornában megnő a 100 Hz-es bűgásmoduláció.

- Nem megfelelően földelt antennánál az antennát a fejállomással összekötő koaxiális kábelben földhurok alakulhat ki, amely az antennáról táplált csatornában okoz bűgásmodulációt.

A hálózaton kialakuló bűgásmoduláció az összes csatornán mérhető. Ezzel szemben a fejállomási hibáknál csak az érintett csatornában nő meg a bűgásmoduláció értéke.

A műszereken beállítható, hogy a bűgásmodulációt melyik moduláló frekvenciával mérjék. A hiba okát így már mérés közben azonosítani lehet.

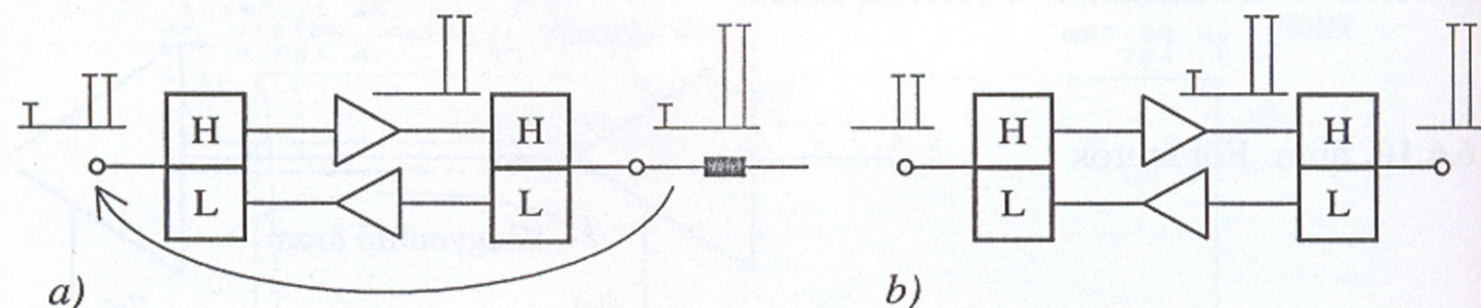
A bűgásmoduláció hatása a tv-képernyőn a képtartalomtól függően kb. 2% felett látszik, a szabvány által előírt határérték 0,5%. 50 Hz-es modulációnál egy, 100 Hz-esnél két néhány cm vastag vízszintes vonal látható a tévéképen. Így mérés nélkül is jól megkülönböztethető a kétféle bűgásmoduláció.

6.6.5. Közös utas torzítások

A közös utas torzítások (Common Path Distorsion, CPD) a hálózat azon szakaszain keletkeznek, ahol az előre- és vissz irányú jelek egyaránt jelen vannak.

A moduláló elem lehet bármely meghibásodott passzív eszköz, amely a hiba következtében nemlineárisan viselkedik. Egy beázott csatlakozóban vagy osztóban a csatlakozásban résztvevő fémfelületeken oxidréteg alakulhat ki. Az így létrejött fém-oxid-fém szerkezet átvitele nemlineáris lesz (dióda effektus). A hibás elem a rajta átfolyó jeleket keverni fogja, aminek hatására összetett másod- és harmadrendű üttetések, valamint bűgásmoduláció keletkeznek.

A közös utas torzítások egyik fő problémája, hogy a hibás elem a magas szintű előre irányú jelekből sok torzítási terméket termel a vissz irányú sávba, ami visszajut a fejállomásra (6.6.17.a) ábra). Ha egy erősítő kezdi termelni a torzítási termékeket, akkor a vissz irányba eső zavarokat a kimeneti diplex szűrő kiszűri (6.6. 17.b) ábra).

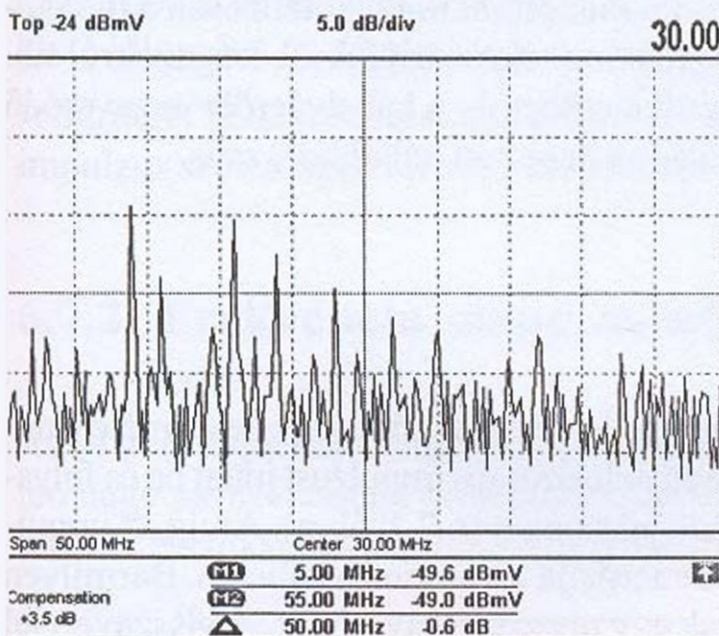


6.6.17. ábra. A keletkező közös utas torzítások útja
a) a vissz irányú sávban; b) az előre irányú sávban

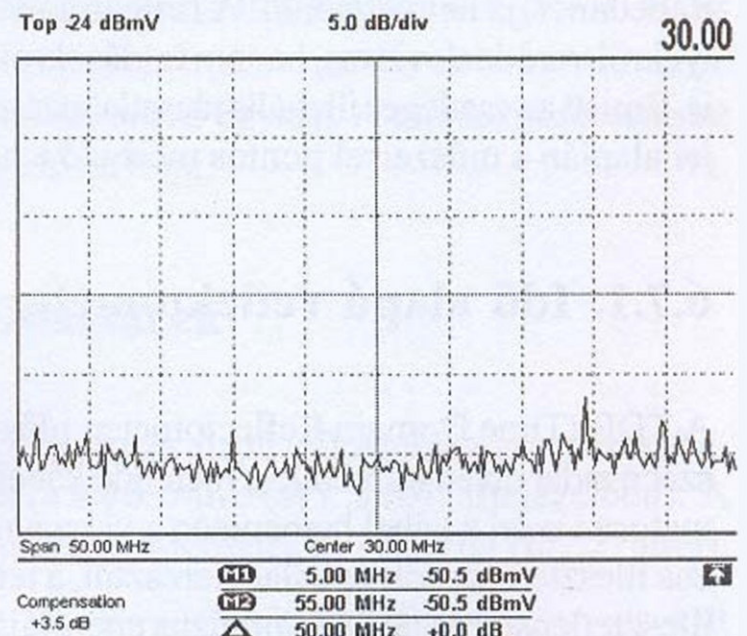
6.6.6. A mérések pontosságát befolyásoló tényezők

A laboratóriumi mérés előírása szerint az intermodulációs torzítás mérésekor a képvivők modulációját ki kellene kapcsolni, de erre természetesen a szolgáltatás folyamatosságának fenntartása miatt nincs mód. A szabvány megengedi a hálózati mérések során a képvivők üzemi modulációjának fenntartását. Így a mérőjelként használt csatornában nincs szükség a szolgáltatás szüneteltetésére.

Torzítási termékek nem csak a hálózaton keletkezhetnek, hanem a mérőműszerben is. A keletkezés helye megállapítható egy néhány (2...3) dB-es csillapítóval. Először a csillapító nélkül kell megmérni a vivő-zavar arányokat. Ezután a műszer bemenetére kell csatlakoztatni a csillapítót. Amennyiben a mért vivő-zavar arányok azonosak a korábban mértekkel, a zavarok a hálózaton keletkeztek. Ellenkező esetben meg kell akadályozni, hogy a műszer torzítási termékeket termeljen. Ez a bemenetre kötött sávszűrővel érhető el. Ekkor a műszerbe csak a mért csatorna jele érkezik meg, tehát nincs miből kikevernie az üttetések (6.6.17. ábra). Az ábrán a visszirányú sáv torzítási termékeinek mérése látható. Aluláteresztő szűrőt alkalmazva a műszer nem állít elő torzítási termékeket, mivel az azokat létrehozó előreirányú jelek nem jutnak a bemenetre.



a)



b)

6.6.18. ábra. Túlvezérelt műszerben a visszirányú sávban keletkező torzítási termékek a) az előreirányú jelek műszerben kikeveredett torzítási termékei; b) azonos mérési körülmények között, de a bemenetre kapcsolt aluláteresztő szűrővel készült mérés

6.7. Reflektométerek

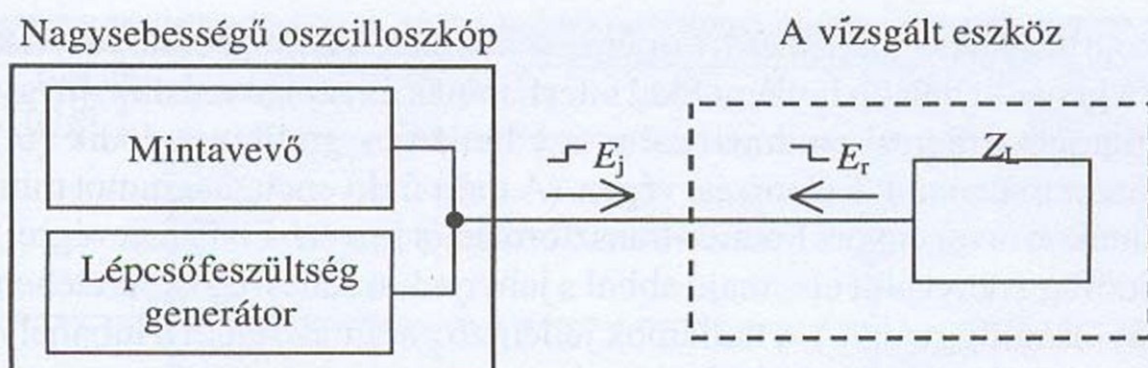
A reflektométerek a kábelhálózaton előforduló kábelhibák felderítésére használatosak. A mérés elve minden típusú műszeren ugyanaz: bármilyen kábelhiba esetén a hibahelyen a kábel impedanciája megváltozik, az adott ponton illesztetlenség lép fel. Az illesztetlenségről a beérkező jel energiájának egy része visszaverődik. A reflektométerek mérőjelet juttatnak a hálózatba és mérik a hibahelyekről visszaverődő jeleket. A mért értékekből számítják a kábel szerkezeti reflexiós csillapítását (SRL) a mért kábel hossza mentén, valamint a kábelhez csatlakoztatott eszközök reflexiós csillapítását. A beérkező jelszint függ egyrészt a hibahely reflexiós csillapításától, valamint a hiba távolságától. A kábelen haladva ugyanis a mérőjel szintje folyamatosan csökken. Ez meghamisítja a szintmérést, ezért a műszerekben kábelcsillapítás kompenzációt alkalmaznak. A kábel csillapítását a felhasználó adja meg. Ebből és a hibahely távolságából számítja ki a műszer, hogy a megtett távolságon mennyit csillapodott a jel. A korrigált értékből a valóságos reflexiós csillapítás számítható.

Az esetek többségében két kábeltelevíziós építőelem összekapcsolásakor nem beszélhetünk tökéletes illesztésről, mivel a gyártási pontatlanság következtében a csatlakozó elemek impedanciája nem egyenlő. A reflektométer által kiadott mérőjelek nem csak a hibahelyekről verődnek vissza, hanem toldásokról, csatlakozásokról, osztókról, leágazókról stb. is. Emiatt az esetleges illegális rácsatlakozások is felderíthetők. A kábelvégről visszaverődő jel alapján a műszerrel pontos mérhető a hálózatba beépített kábel hossza is.

6.7.1. Idő alapú reflektométerek

A TDR (Time Domain Reflectometer, idő alapú reflektométer) típusú reflektométer műszer a radar elvén működik: a mérendő kábelbe egy elektromos impulzust juttat be és folyamatosan méri a kábel bemenetén a visszaverődő jel szintjét (6.7.1. ábra). Amíg az impulzus illesztett pontokon halad keresztül, a teljes energiája tovaterjed a kábelen. Bármilyen illesztetlenség esetén az impulzus energiájának egy része visszaverődik. A visszavert jel bizonyos idő elteltével visszajut a műszerbe. A műszer a jel terjedési sebességének ismeretében egy távolság-jelszint diagramban ábrázolja a mérési eredményeket.

A műszerben a vizsgáló impulzus szélessége beállítható. A keskeny impulzusok kisebb energiával rendelkeznek, ezért csak kisebb távolságra lehet mérni velük. Emellett viszont jobb lesz a mérés felbontása, azaz a hiba helye pontosabban behatározható. A szélesebb impulzusok a nagyobb távolságú mérésekhez használhatók. Bizonyos esetekben viszont a közeli hibák is ilyen impulzusokkal deríthetők fel. Mivel ezeknek az impulzusoknak nagyobb az energiájuk, ha az illesztetlenség kicsi, akkor csak az energia kis része verődik vissza. Keskeny impulzusnál ez a visszaverődő energia már olyan kicsi is lehet, hogy a mérőműszer nem tudja mérni.



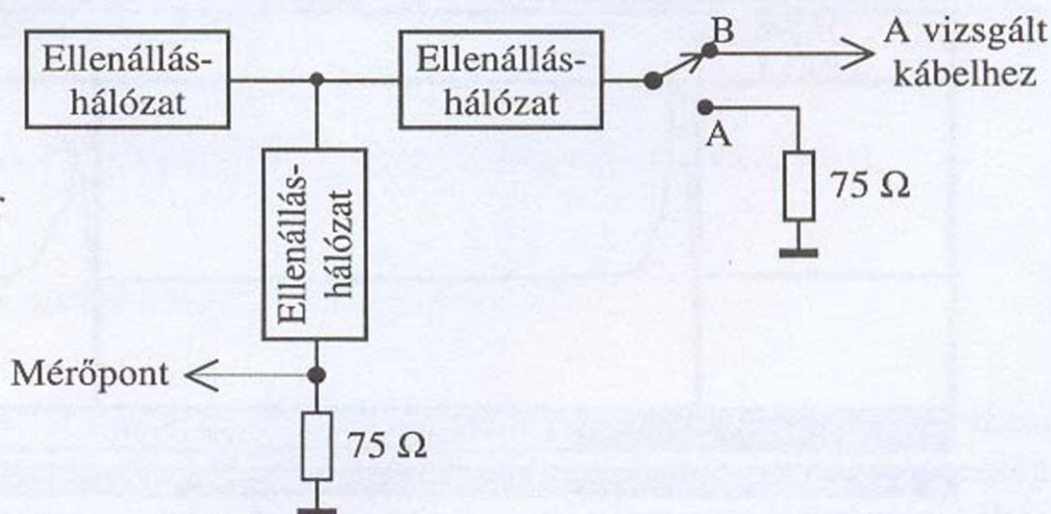
6.7.1. ábra. TDR műszer felépítése

A műszer detektorának érzékenysége a visszavert jelek mérésére van beállítva. A detektorba közvetlenül bejutó nagy energiájú vizsgáló impulzus a detektort telítésbe vezérli. A detektornak néhány impulzushossznyi időre van szüksége, hogy alapállapotba térjen vissza. Ezen idő alatt mérés nem lehetséges, ha ekkor egy közeli hibahelyről visszaverődik egy impulzus, a hiba nem észlelhető. Azt a hosszt, ahol a műszer még nem képes mérni, holtzónának nevezik (blind spot). A holtzóna hossza a méréshez használt impulzus szélességétől függ, szélesebb impulzushoz nagyobb holtzóna tartozik. Az alkalmazott tipikus impulzusszélesség ns – μ s nagyságú. Egy 2 ns-os impulzussal kb. 160 méterig lehet mérni és a hozzá tartozó holtzóna kb. 1 méter, míg egy 1 ms-os impulzussal a mérési távolság kb. 2 kilométer és a holtzóna kb. 130 méter.

A digitális TDR műszerekben a detektor egy mintavevő egység. A mérési pontosság az impulzus szélességén túl a mintavételezési időtől is függ.

6.7.2. Frekvencia alapú reflektométerek

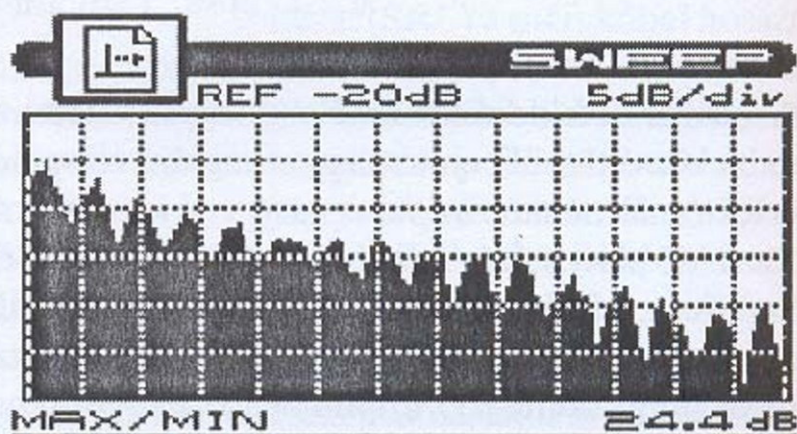
Az FDR (Frequency Domain Reflectometer, frekvencia alapú reflektométer) a mért kábelben nagy sáv szélességű sweep-mérést végez (a sweep-mérést l. a 6.4. alfejezetben). A műszer a szükséges referenciát egy belső referencia-terhelésen veszi fel (6.7.2. ábra).



6.7.2. ábra. FDR műszer felépítése

A referencia felvétele után indul a mérés a kábelen. A hibahelyekről visszaverődő hullámok a generált haladó hullámokkal interferálnak és azokat erősítik, ill. gyengítik. A sávot végigmérve mérési eredményként egy hullámos grafikon adódik (6.7.3. ábra), amin a műszer matematikai elemzést végez. (A mért frekvenciadiagramot mintavételezi, majd a mintákon inverz gyors Fourier-transzformációt [inverz-FFT] hajt végre. Az inverz-FFT egy időfüggvényt állít elő, majd abból a jelterjedési sebesség ismeretében kirajzolja a kívánt távolságfüggvényt.) A hullámok jellemző paramétereiből a hibahely távolsága és az illesztetlenség nagysága kiszámítható.

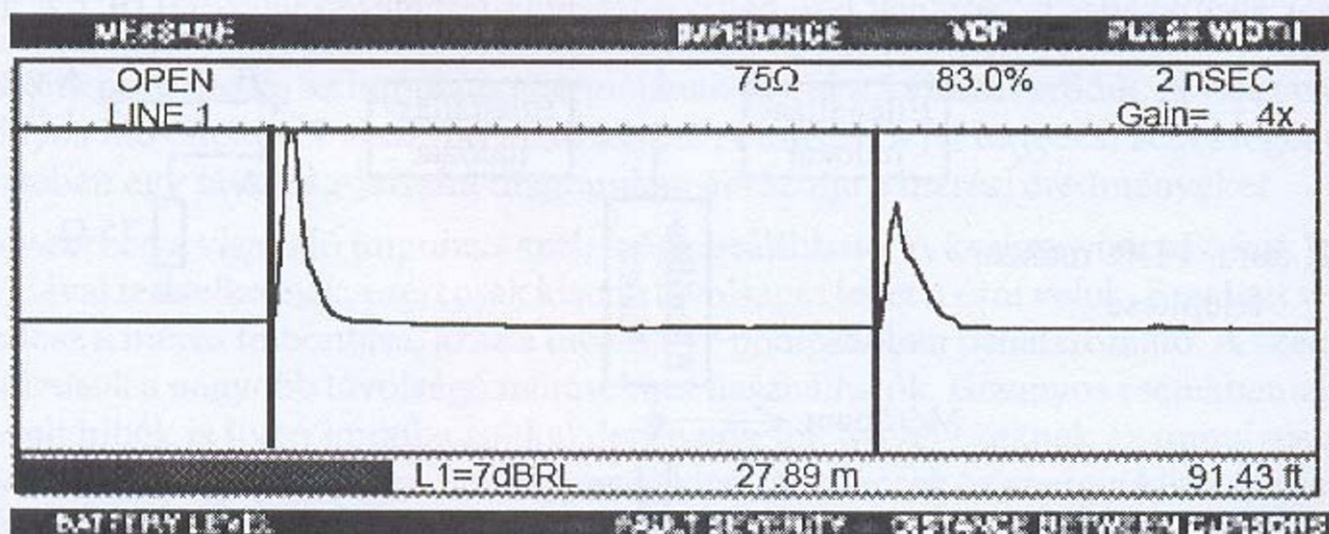
6.7.3. ábra. Kábelhiba okozta állóhullámok hatása



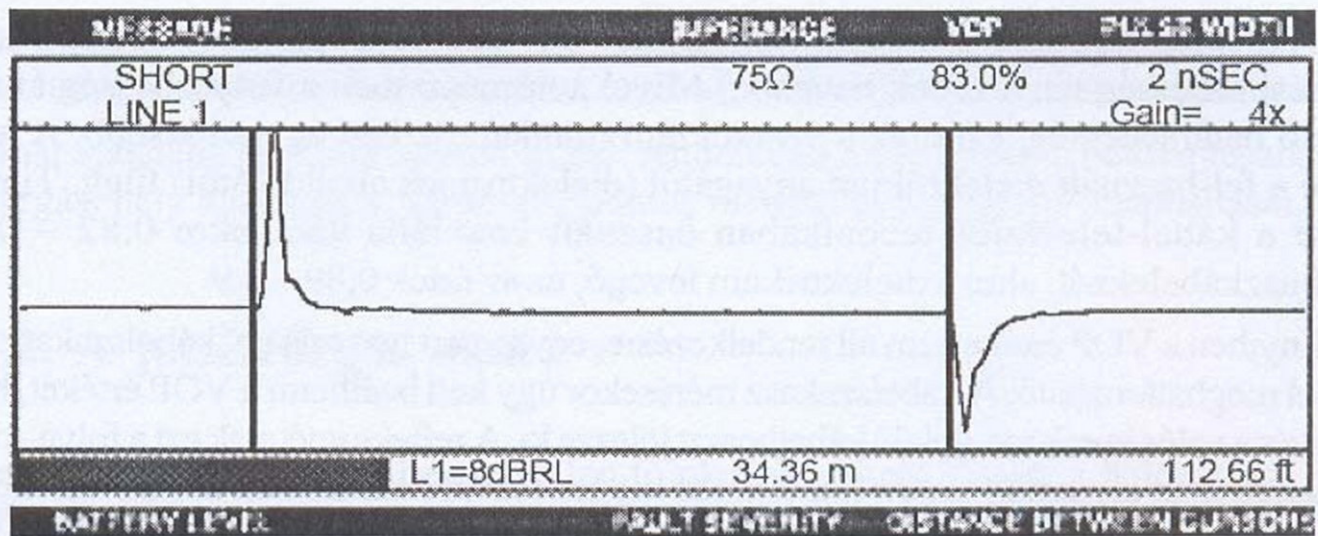
6.7.3. Az TDR és az FDR műszerek közötti különbségek

A mérési módszeren túl a TDR és FDR típusú műszerek között a következő gyakorlati különbségek vannak:

- Az FDR műszereknek a TDR műszerekkel ellentétben nincs holtterük, a gyakorlatban már a kimenet és a mért kábel közti illesztetlenséget is meg tudják mérni.
- A TDR műszerekkel meg lehet különböztetni a hiba jellegét. A szakadás jellegű hibahelyeket pozitív, a rövidzár jellegűeket negatív tüskékkel ábrázolja a műszer (6.7.4. és 6.7.5. ábra). Az FDR műszerek a hiba jellegét nem tudják érzékelni, csak a nagyságát.

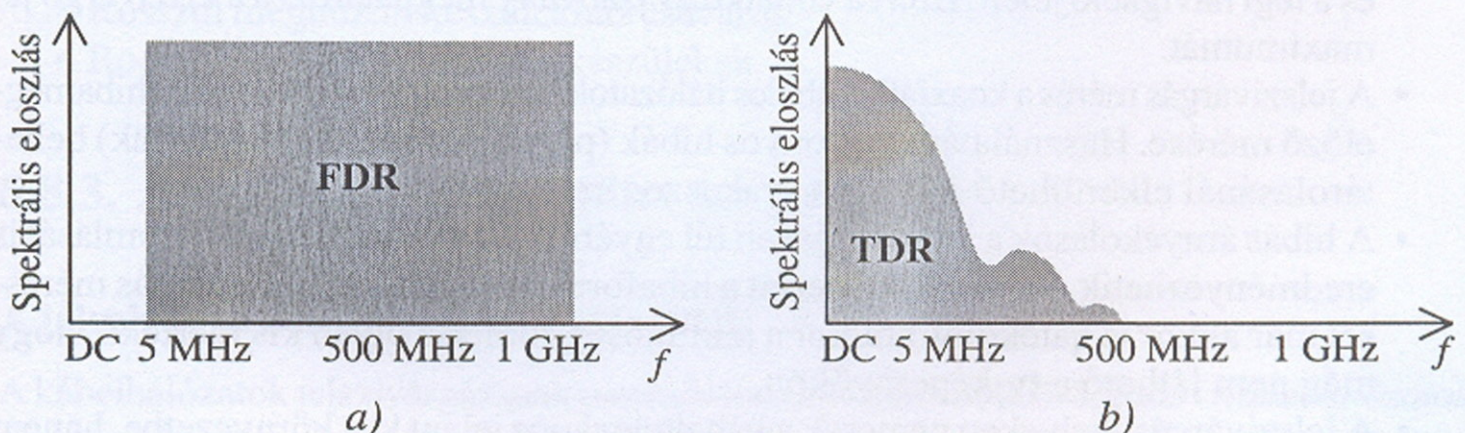


6.7.4. ábra. Kábelvégi szakadás mérése TDR műszerrel (Riser Bond)



6.7.5. ábra. Kábelvégi rövidzár mérése TDR műszerrel (Riser Bond)

- Az FDR műszerek a mért eredményből matematikai analízissel számítják ki a hiba távolságát. Az eljárásból adódóan az eredeti hibahelytől kétszeres, háromszoros távolságban is hibát jelezhet a műszer. TDR műszerek használatakor hasonló jelenség léphet fel, ha a vizsgálóimpulzus többször oda-vissza verődik a hibahely és a műszer kimenete között.
- A TDR műszerek vizsgálóimpulzusának sokkal kisebb a sáv szélessége, mint az FDR műszerek által használt sáv szélesség (6.7.6. ábra). Amennyiben a kábelhiba olyan, hogy csak a magasabb frekvenciákon okoz átviteli problémákat, azt a TDR műszer nem fogja észrevenni. Az FDR műszerek a teljes kábeltelevíziós sávban mérnek, így mérési eredményük megbízhatóbb.



6.7.6. ábra Az FDR és a TDR műszerek frekvenciatartománya

6.7.4. Jelterjedési sebesség

A kábelben terjedő jelek terjedési sebességét a fénysebességhez viszonyított arányszámmal adják meg a kábelkatalógusok. A VOP (Velocity Of Propagation, terjedési sebesség) megmutatja, hogy a terjedési sebesség hányadrésze a fény vákuumbeli terjedési sebes-

ségének. (Más terminológia szerint ugyanezt PVF-nek, Propagation Velocity Factor, terjedési sebesség tényezőnek nevezik.) Mivel a természetben a fénysebesség át nem léphető határsebesség, ezért ez a szorzószám minden esetben egynél kisebb. A VOP értéke a fel-használt dielektrikum anyagától (dielektromos állandójától) függ. Tipikus értéke a kábel-televíziós technikában használt koaxiális kábelekre 0,82 – 0,88. Bambuszkábeleknél, ahol a dielektrikum levegő, ez az érték 0,89 – 0,9.

Amennyiben a VOP értéke nem áll rendelkezésre, egy ismert hosszúságú kábelszakasz mérésével meghatározható. A kábelszakasz mérésekor úgy kell beállítani a VOP értékét, hogy a műszer a valóságnak megfelelő kábelhosszt jelezze ki. A reflektométerek ezt a folyamatot automatikusan elvégzik, azaz a kábelhossz megadásával kiszámítják a VOP értéket.

6.8. A jelszivárgás mérése

6.8.1. A jelszivárgás mérés jelentősége

A méréssel a hálózat árnyékolásának sérüléseit lehet megtalálni a kiszivárgó jel által keltett térerősséget mérő kéziműszerrel. A jelszivárgás mérésnek koaxiális kábeles hálózatokon kiemelt jelentősége van, mivel:

- A rosszul árnyékolt hálózat jele a környezetbe kijutva zavarhatja a földi távközlés és a légi navigáció jeleit. Ezért a vonatkozó szabvány meghatározza a kiszivárgó jel maximumát.
- A jelszivárgás mérés a koaxiális kábeles hálózatok hatékony hibafelderítő és hibameg-előző mérése. Használatával bizonyos hibák (pl. a beázások, kontakthibák) behatárolásánál elkerülhető a hálózat szakaszos szétbontása.
- A hibás árnyékolások a jelszivárgáson túl egyéb hálózati paraméterek leromlását is eredményezhetik. Tapasztalat szerint a hibaforrás megtalálása jelszivárgás méréssel már akkor is hatékony, amikor a jelminőség romlása olyan kis mértékű, hogy még nem látható a tv-képernyőkön.
- A jelszivárgási helyeken nemcsak a kábeltelevíziós jel jut ki a környezetbe, hanem a környezeti jelek is bejutnak a hálózatba és zavart okozhatnak a szolgáltatásban. (Ezeknek a hibáknak egy része elkerülhető a csatornaterv gondos kialakításával, tehát azon csatornák üresen hagyásával, amelyet a földi távközlés használ az adott területen.) Különösen hasznos lehet a mérés a vissz irányú jelbeszűrődések megszüntetésében, amely más eszközökkel meglehetősen hosszadalmas folyamat.

Megfelelő műszerezettség híján régebben a jelszivárgási helyek felderítésére autórádiót használtak. A rádiót ilyenkor egy olyan frekvenciára kell behangolni, ahol a kábeltelevíziós rendszeren rádiócsatorna üzemel. Ha a gépkocsi bejárás során az autórádió megszólal,

akkor a közelben jelszivárgási hely van. A módszer kétségkívül olcsó és egyszerű, viszont a hiba helye így nehezen határolható be, ezzel a módszerrel nem végezhető pontos mérés. Ma már speciális mérőrendszerek állnak rendelkezésre, amelyek lehetővé teszik a jelszivárgási hely által keltett térerősség pontos mérését és a hibahely azonosítását.

6.8.2. A jelszivárgás okai

A jelszivárgás minden esetben egyetlen fő okra vezethető vissza: a hálózat, ill. egyes építőelemek árnyékolása nem megfelelő. Az előforduló gyakoribb esetek:

Csatlakozási hibák

- Kilazult vagy eleve rosszul meghúzott csatlakozó.
- A hőmérsékletváltozás hatására fellépő hosszváltozás miatt a csatlakozóból kihúzó-dott árnyékoló cső.
- Lezáratlan csatlakozások és kábelvégek.

Kábelhibák

- A katalógusban megadott hajlítási sugárnál kisebb sugáron meghajlított kábel.
- Légekábeles hálózaton a szélterhelés miatt berepedezett árnyékoló cső.
- Állatok által kirágott kábel.
- Illegális rácsatlakozások.
- Gyenge minőségű, rossz fedettségű kábelből készített ház- vagy lakáshálózat.

Készülékhibák

- Rosszul meghúzott készülékház csavarok.
- Rosszul árnyékolt előfizetői készülékek.

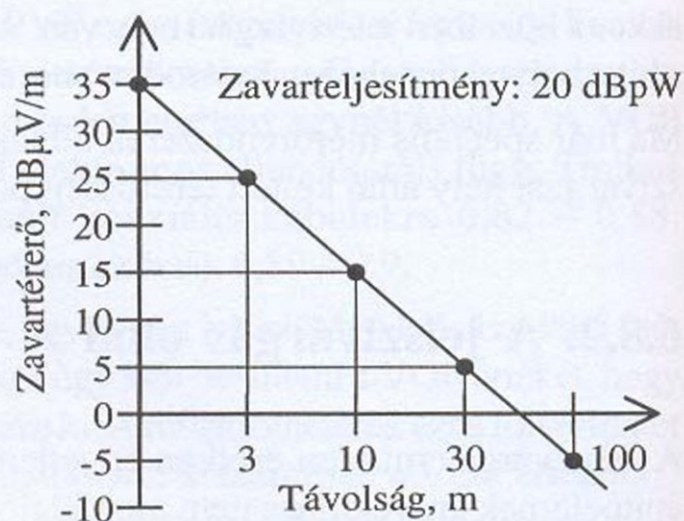
6.8.3. A szabvány által előírt határérték

A jelszivárgási helyre előírt határérték

A kábelhálózatok jelszivárgásának méréséről az MSZ EN 50083-8:2002 (*Kábelhálózatok elektromágneses összeférhetősége*) szabvány rendelkezik.

A szabvány szerint a jelszivárgási helyen a kilépő jel teljesítménye nem lehet nagyobb, mint 20 dBpW. A teljesítménymérés helyett a szabvány megengedi az azzal egyenértékű és egyszerűbb térerősségmérés alkalmazását. 3 m mérési távolság esetén a megfelelő térerősség 27 dB μ V/m (6.8.1. ábra). Mindkét mennyiség a 30...950 MHz tartományra vonatkozik.

6.8.1. ábra. A zavarteljesítmény és az általa keltett térerő függvénye



A teljes hálózatra előírt határérték

A kábelhálózatok jelszivárgására egy amerikai repülőgépbaleset hívta fel a figyelmet. A gép navigációs rendszere vált használhatatlanná a kábelhálózatból kiszivárgó jelek zavaró hatására. Az amerikai hatóságok a jelszivárgás mérést a hasonló balesetek megelőzése érdekében vezették be. Az érvényes előírásokon ma is érződik az eredeti cél: a kábelhálózat egészének jelszivárgása nem zavarhatja a légi navigációt.

Az FCC (Federal Communications Commission, Szövetségi Távközlési Bizottság) előírása alapján évente repülőgépes mérést kell végezni a kábelhálózatok felett. A mérés magassága 450 m, a mért térerősség nem lehet magasabb, mint $20 \mu\text{V/m}$. A mérést a légi navigáció frekvenciasávjában (108...137 MHz) kell végezni.

A kábelhálózat légi navigációra való hatását számítással is meg lehet becsülni. A hibahe-lyeket és a jelszivárgási értékeket a szokásos földi méréssel kell meghatározni. A kapott értékeket adott módon összegezni kell. Ez a kábelhálózat egészének jelszivárgását jellemző mennyiség a CLI (Cumulative Leakage Index, összegzett jelszivárgási mérőszám). A CLI számítása történhet egyszerű algebrai összegzéssel (I_8) vagy a hálózat feletti 3000 m-es pontra (I_{3000}) vonatkoztatva. A szükséges képleteket és a CLI határértékeket az FCC §76.611 számú előírása tartalmazza. A Magyarországon érvényes szabvány ezen mennyiségek mérését nem írja elő.

6.8.4. A jelszivárgás mérés gyakorlati megvalósítása

Hibahely felderítése és mérése

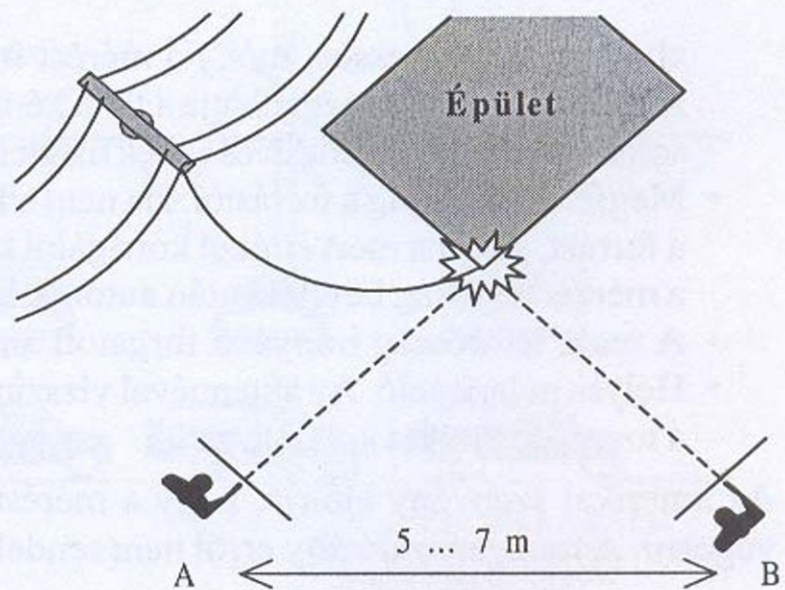
A szabvány a jelszivárgás mérésére két eljárást ír elő:

- Térerősség módszer: kalibrált antennával és spektrumanalizátorral a teljes sávban végzett mérés.
- Teljesítmény módszer: összehasonlító mérés, ahol a kábelhálózat által keltett térerősséget egy jelgenerátorból és adóantennából álló mesterséges jelszivárgás-forrás teljesítményével hasonlítják össze.

A gyakorlatban az előbbieknél egyszerűbb kéziműszeres térerősségmérés terjedt el. A hibahelyek felderítése gépkocsival történő bejárás alkalmával történik. A mérést tetőantennával érdemes végezni. A felderítés során a műszer a beállított mérési frekvencián folyamatosan méri a térerősséget. A beállított határérték átlépésekor hangjelzést ad, így a felderítést végző szakember a gépkocsi vezetésére koncentrálhat. A tetőantennás mérés csak körülbelül mutatja meg a hiba helyét. A pontos behatárolás és a pontos mérés érdekében ki kell szállni a kocsiból és irányérzékeny, behangolt kézi antennával kell folytatni a keresést. A leggyakrabban használt kézi antenna a félhullámhosszú egyenes dipól.

A jelszivárgás pontos helye háromszögeléssel határozható meg. A feltételezett hely közelében egy ponton megállva az irányérzékeny antennát úgy kell forgatni, hogy a műszer a max. értéket mutassa. Ekkor az antenna főiránya a jelszivárgási hely felé mutat. Ezután pár méterrel odébb újra meg kell ismételni a mérést. A két főirány metszéspontjában van a jelszivárgási hely (6.8.2. ábra).

6.8.2. ábra. Hibahely meghatározása háromszögeléssel



A felderítés megkezdése előtt célszerű egy próbamérést végezni egy mesterségesen kialakított jelszivárgási helyen. Csak akkor szabad elindulni, ha a műszer megfelelően működik.

A mérőjel

A méréshez valamelyik, állandóan a hálózaton lévő jelet lehet használni. Ez lehet egy képvisítő vagy a fejállomáson betáplált mérőjel. A mérés a légi navigáció frekvenciasávjában (108...137 MHz) történik. A mérőjel szintjének meg kell egyeznie a képvisítők szintjével. Egyszerű térerősségméréssel nem lehet megkülönböztetni a hiba keletkezési helyét, ugyanis más forrás is kelthet zavarjelet a méréshez használt frekvencián. (Földi távközlés adói, gépek által keltett elektromos zavarok, más szolgáltató kábeltelevíziós rendszere által keltett jelszivárgás.)

A ma használt mérőrendszereknél lehetőség van a mért jel speciális modulációjára. Ezt címkézésnek (tag, tagging) nevezik. Ekkor a mért jelet a fejállomáson egy külön modulátor alacsony frekvenciával (kb. 20 Hz) modulálja. A mérőműszert be lehet állítani a címkézés

figyelésére, s így egyértelműen meg lehet különböztetni a hálózattól kiszivárgott jeleket az egyéb környezeti zavaroktól.

A pontos mérés feltételei

A mérési eredmény csak akkor fogadható el, ha a mérést végző személy a következőkben felsorolt összes előírást betartja.

- Pontos a mérési frekvenciára hangolt műszer.
- Címkézett jel mérésekor a címkézési frekvencia beállítása a fejállomáson és a kézi-műszeren.
- Megfelelő hosszúságú antenna. A műszerek általában félhullámhosszú antennát használnak. Az antenna hossza az alábbi képlettel számítható:

$$L = \frac{1}{2} \cdot \frac{c}{f},$$

ahol c a fénysebesség, m/s; f a mérési frekvencia, Hz és L az antenna hossza, m. A műszer gyártója megadhatja a fenti képlet korrigált változatát, ami figyelembe veszi az antenna geometriáját és ennek megfelelően módosítja az elméleti antennaméretet.

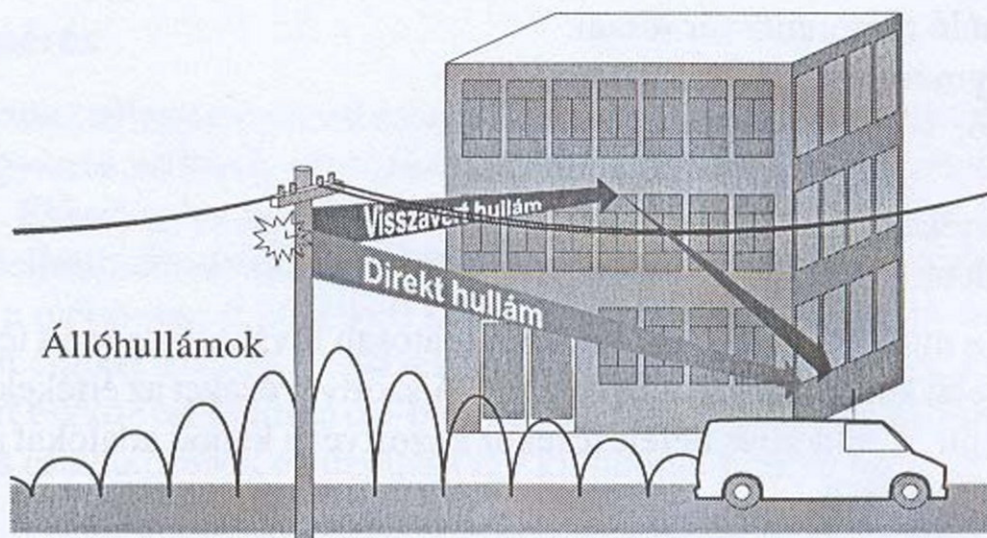
- Megfelelő távolság a forrástól. Ha nem lehet a szabványos távolságra megközelíteni a forrást, akkor a mért értéket korrigálni kell. Egyes mérőműszerek ezt a korrekciót a mérési távolság bevitele után automatikusan elvégzik.
- A max. térerősség irányába forgatott antenna.
- Helyes polarizáció. Az antennával vízszintes és függőleges irányban is mérni kell és a nagyobb értéket kell elfogadni.

Az amerikai szabvány előírja, hogy a mérést 3 m magasra helyezett antennával kell végezni. A magyar szabvány erről nem rendelkezik.

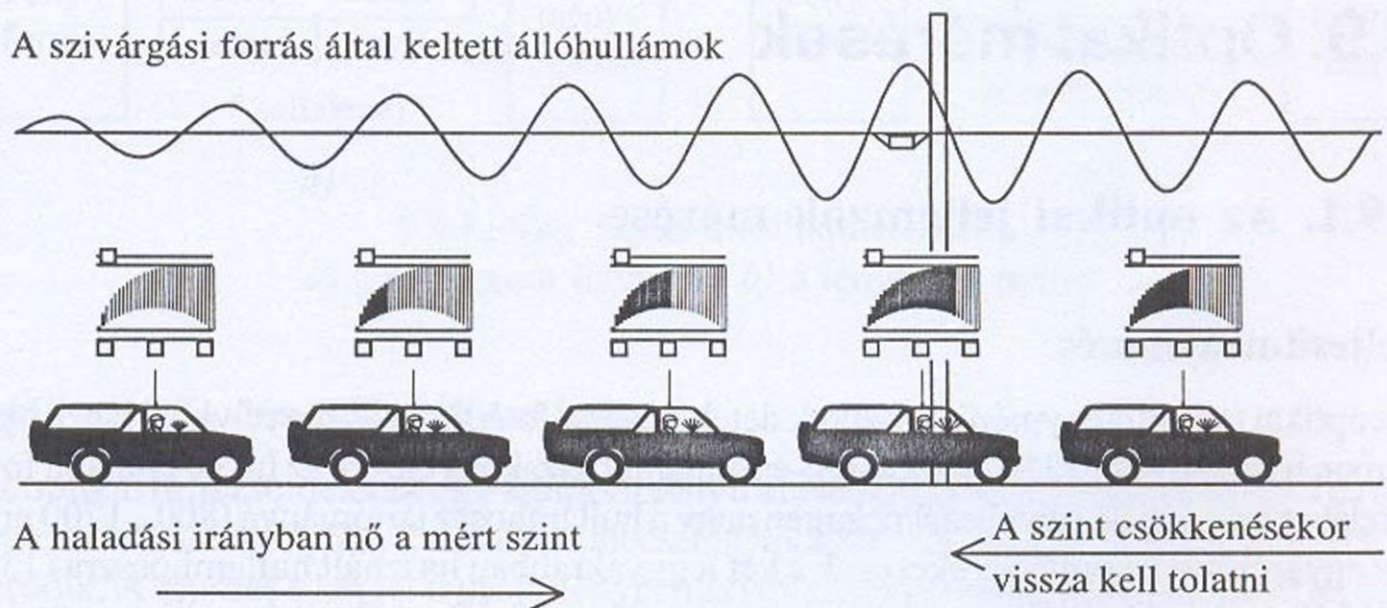
A mérést nehezítő tényezők

A gyakorlatban megnehezíti a helymeghatározást, hogy a környezetben lévő fémfelületek másodlagos jelszivárgási helyként lépnek fel. Az antennára a jelszivárgási forrás és a másodlagos források által keltett jel összege kerül, ami eltérítheti azt a valóságos iránytól. Épületek, kerítések, korlátok, kapuk, parkoló autók hatásával kell számolni (6.8.3. ábra). A jelenségnek meglepő hatásai lehetnek. A műszer olyan helyre mutathat, ahol nincs hálózat, vagy a hibahelytől távolodva bizonyos ponton növekedhet a térerősség stb. Ezek a jelenségek minden esetben az eredeti és a másodlagos jelszivárgási helyek keltette hullámok interferenciájából adódnak. A törzs- és szétosztó hálózatokon a hibát minden esetben a szerelvényeknél kell keresni: kábel megfeszítéseinél, csatlakozásoknál, eszközöknél.

Minden esetben fellépő probléma a kábel árnyékolása mentén továbbhaladó hullám. A kábel hossza mentén a kiszivárgott jel állóhullámokat alakít ki, amelynek max. másodlagos jelszivárgási helyekként nehezítik meg a hibahely behatárolását (6.8.4. ábra). Léghálózaton a hiba annyira szétterjedhet, hogy a térerősség a hibahelytől akár 100...150 méterre is átlépheti a határértéket.



6.8.3. ábra. A közvetlen és a visszavert jelek interferenciája



6.8.4. ábra. Másodlagos jelszivárgási források kialakulása a mért kábel mentén

Házhálózaton a kábelek köpenye mentén szintén szétterjed a jelszivárgás. Akár a hálózat egésze is jelszivárgási forrásként látszik, a hibahely behatárolása meglehetősen nehéz. A gyakorlatban a szakaszos lekötés gyors eredmény szokott hozni.

6.8.5. Jelszivárgás mérése GPS-rendszerrel

A felderítés meggyorsítása érdekében a mérést automatikus helymeghatározással lehet kiegészíteni. A GPS (Global Positioning System, globális helymeghatározó rendszer) a Föld körül keringő speciális műholdakból áll. A műholdak mérőjeleket sugároznak, amelyeket GPS-vevővel lehet fogni. A vevő a legjobban fogható négy műhold jelei alapján kiszámolja az aktuális földi koordinátákat.

A GPS-t használó mérőrendszer részei:

- térerősségmérő műszer adatkimenettel,
- GPS-vevő,
- laptop,
- méréskiértékelő szoftver,
- digitalizált térképek.

Mérés közben a műszer és a GPS-vevő folyamatosan továbbítja a mért térerősség értékeket és a földrajzi koordinátákat a laptop felé. A szoftver ezeket az értékeket egymáshoz rendeli és elmenti. A felderítés befejezésekor a szoftver a kapott adatokat a bejárt terület digitális térképére illeszti.

6.9. Optikai mérések

6.9.1. Az optikai jellemzők mérése

Teljesítménymérés

Az optikai teljesítménymérő műszerek detektora egy fotódióda. A fénytávközlésben elsősorban használt 850, 1310 és 1550 nm-es hullámhosszokra a Ge- és az InGaAs-alapú fotódiódákat használják, mivel ezeknek igen nagy a hullámhossz tartománya (800...1700 nm). Az egyszerűbb kéziműszereket csak a két leggyakrabban használt hullámhosszra (1310 és 1550 nm) kalibrálják. A mérési tartomány kb. -70 dBm-től néhány dBm-ig terjed, általában 0,01 dB felbontással. A mérési hiba néhány százalék.

A laboratóriumi optikai teljesítménymérő műszerek nagyobb hullámhossz tartományban, választható fotódiódákkal működnek. A mérési tartomány $-90 \dots +20$ dBm.

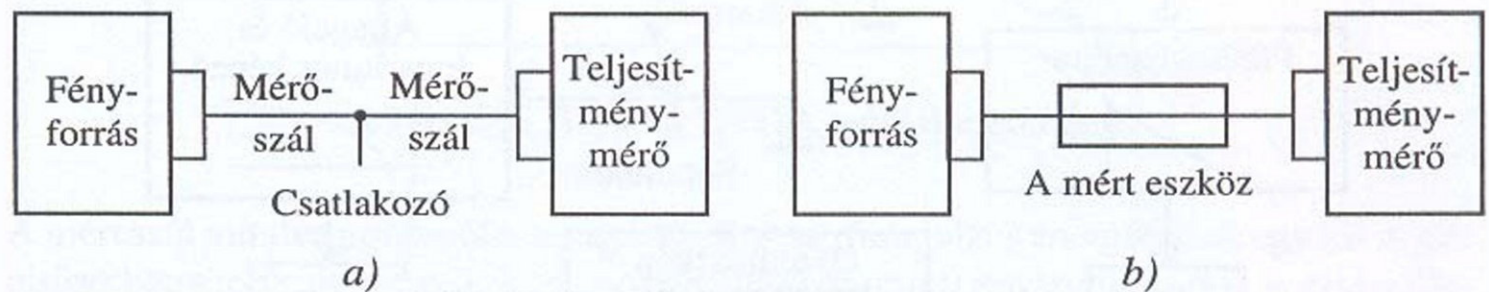
Kábeltelevíziós hálózatokon az egyszerű kéziműszerek elegendőek, mivel csak a kalibrált hullámhosszokon és kis dinamikatartományban szükségesek a mérések.

Referencia fényforrások, vizuális teszt

Csillapításméréshez és hibakereséshez használhatók a kalibrált fényforrások. A LED-es fényforrásokat a nagy sáv szélesség miatt a többmódusú szálak vizsgálatára alkalmazzák. A kábeltelevíziós technikában használt egymódusú szálakhoz lézerdiódás fényforrásokra van szükség. A fényforrások 850, 1310 és 1550 nm hullámhosszokon működnek. Ezen kívül általában képesek látható fény kibocsátására is, amivel szemrevételezéssel kereshetők meg a szálhibák (száلتörésnél, hajlításnál kilépő fény).

Csillapításmérés

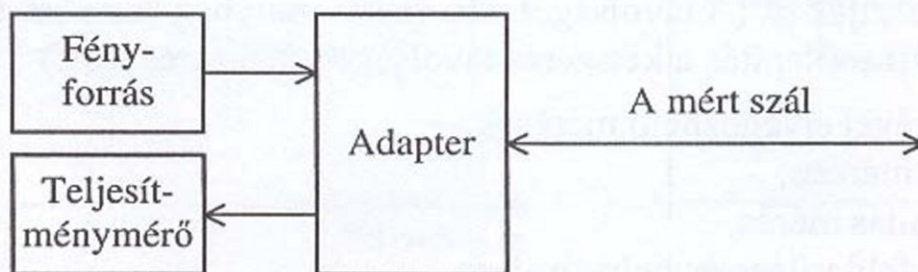
Optikai eszközök csillapításméréséhez egy referencia fényforrás és egy teljesítménymérő szükséges. A gyártók párban is árusítják ezeket az eszközöket. A csillapításmérés összehasonlító mérés. Először a két eszközt a méréshez használt mérőszálakkal össze kell kötni. Az így mért teljesítményértéket a mérőműszer eltárolja. Ezután a mérendő eszközt a fényforrás és a mérőműszer közé kell kötni. Ennek a mérésnek az eredményéből a korábban eltárolt értéket kivonja a műszer (6.9.1. ábra) és a kapott mérési eredmény közvetlenül a mért eszköz csillapítása dB-ben. Az eljárás előnye, hogy a mérésben résztvevő mérőszálak és csatlakozások csillapítása így kivonódik és nem hamisítja meg a mérési eredményt.



6.9.1. ábra. Optikai csillapításmérés
a) a referencia felvétele; b) a tényleges mérés

Optikai reflexiós csillapítás mérése

Az optikai reflektométerek egy kalibrált fényforrásból, egy teljesítménymérőből és egy összegzőből állnak. A fényforrás által kibocsátott impulzus egy része a mért eszköztől visszaverődik. A műszer a két jel teljesítményét méri és a kapott adatokból számítja ki az optikai reflexiós csillapítást (6.9.2. ábra).

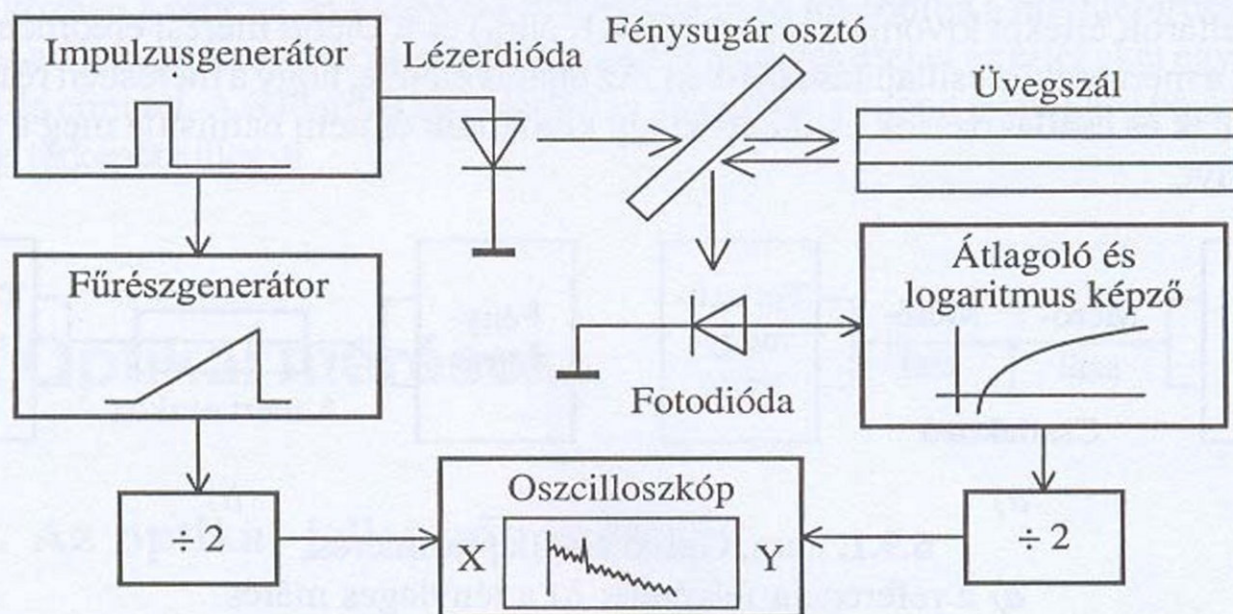


6.9.2. ábra. Optikai reflektométer felépítése

6.9.2. Optikai reflektométerek

A műszerek felépítése és működése

Az optikai reflektométerek (OTDR, Optical Time Domain Reflectometer) az RF-tartományban működő TDR műszerekhez hasonló elven működnek (6.9.3. ábra).



6.9.3. ábra. OTDR felépítése

A lézeradó egy fényimpulzust juttat a mérendő szálba és a visszaverődő jelet egy fotodióda folyamatosan árammá alakítja. A fotodióda jel-zaj viszonyának javítása érdekében a jel egy átlagolón halad keresztül, itt történik meg a dB-ben történő kijelzés miatt a logaritmálás is. A mért jel egy távolság-jeljeljesítmény diagram formájában jelenik meg a kijelzőn. A kijelzés vízszintes eltérítését a fűrészjel generátor vezérli. A kettős osztók a kétszeresen mért értékeket osztják le. (A távolságot oda-vissza irányban összesen kétszer méri meg a műszer. A mért csillapítás a kétszeres távolságon kétszeres lesz.)

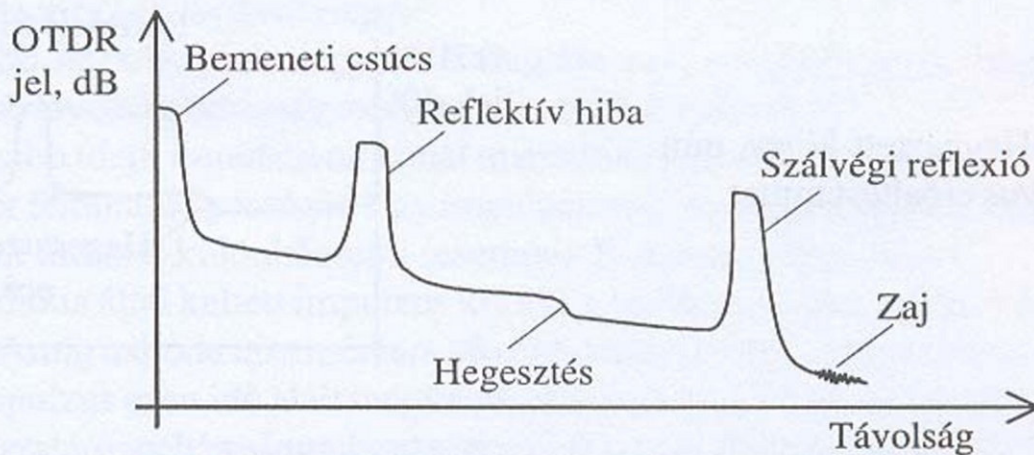
OTDR segítségével elvégezhető mérések:

- szálhossz mérése,
- szálcsillapítás mérés,
- szálhibák felderítése és behatárolása,
- csatlakozások csillapításának mérése,
- hegesztések csillapításának mérése.

Mérési eredmények kiértékelése

Tipikus OTDR jelleggörbe látható a 6.9.4. ábrán. A bemeneten jelzett reflexiós csúcsot a lézeradóról az optikai osztón keresztül közvetlenül a detektorra jutó fényimpulzus okozza. Optikai csatlakozóknál két felület találkozik, ahonnan a fényimpulzus energiájának egy

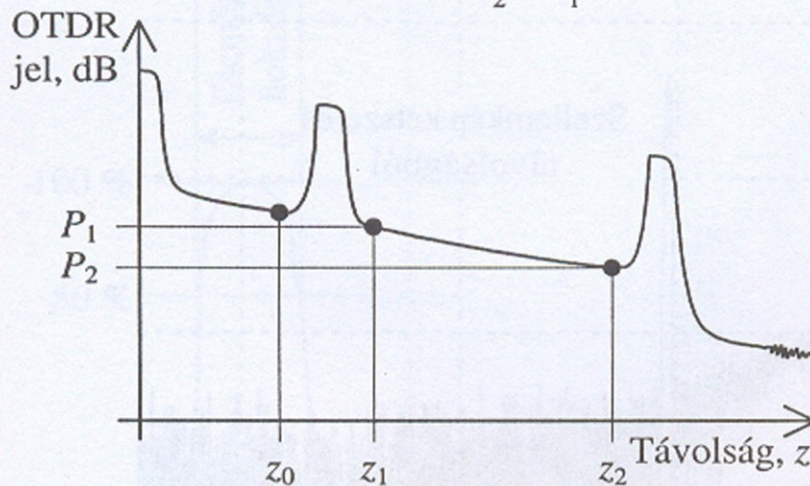
része visszaverődik. Az ilyen reflektív csatlakozások jelalakja egy impulzus. Ilyen jelalak jelzi a szálvéget is. A hegesztett kötéseknel nincsenek fényvisszaverő rétegek, tehát azok a fényimpulzust csak csillapítják. Képük egy lépcső az OTDR görbén.



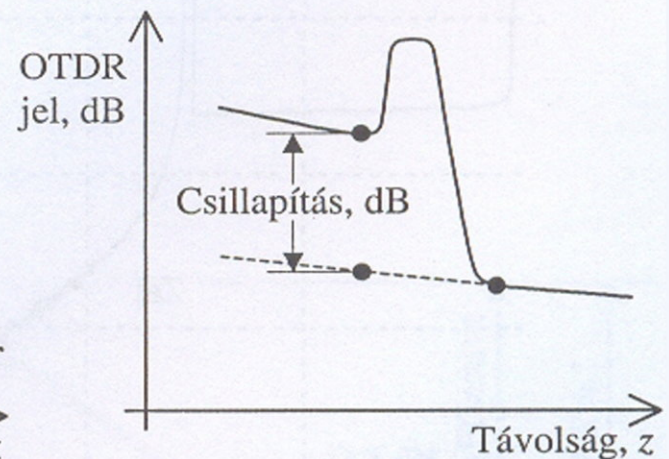
6.9.4. ábra. Tipikus OTDR mérési eredmény.

A mért szál minden pontjáról visszaszóródik a mérőimpulzus energiájának egy kis része, elsősorban a törésmutató mikroszkópikus változásai miatt (Rayleigh-szórás). A szál csillapítása miatt a visszajutott jelek teljesítménye egyenletesen csökken a távolság függvényében. Ezen a lineáris szakaszon mérhető a szál csillapítása (6.9.5. ábra.). A csillapítás az 1. és a 2. mérőpont közötti értékekből adódik:

$$A \text{ (dB/km)} = \frac{P_1 - P_2}{z_2 - z_1}$$



6.9.5. ábra. Kábelcsillapítás mérése



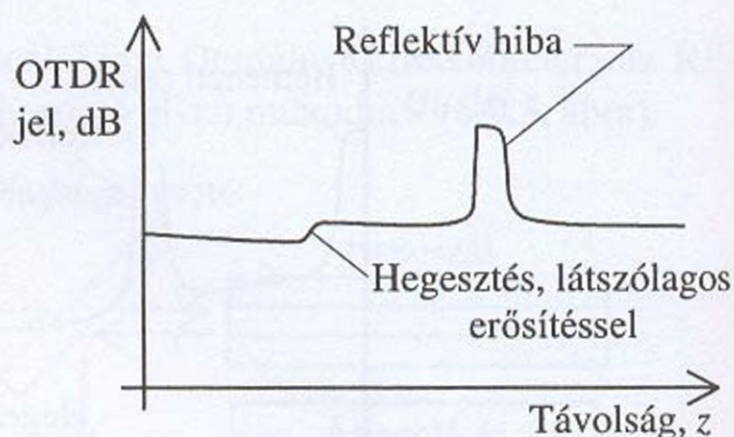
6.9.6. ábra. Csatlakozás csillapításának mérése

A csatlakozások csillapítását a csatlakozás utáni és előtti jelszintek különbségéből számolja a műszer (6.9.6. ábra).

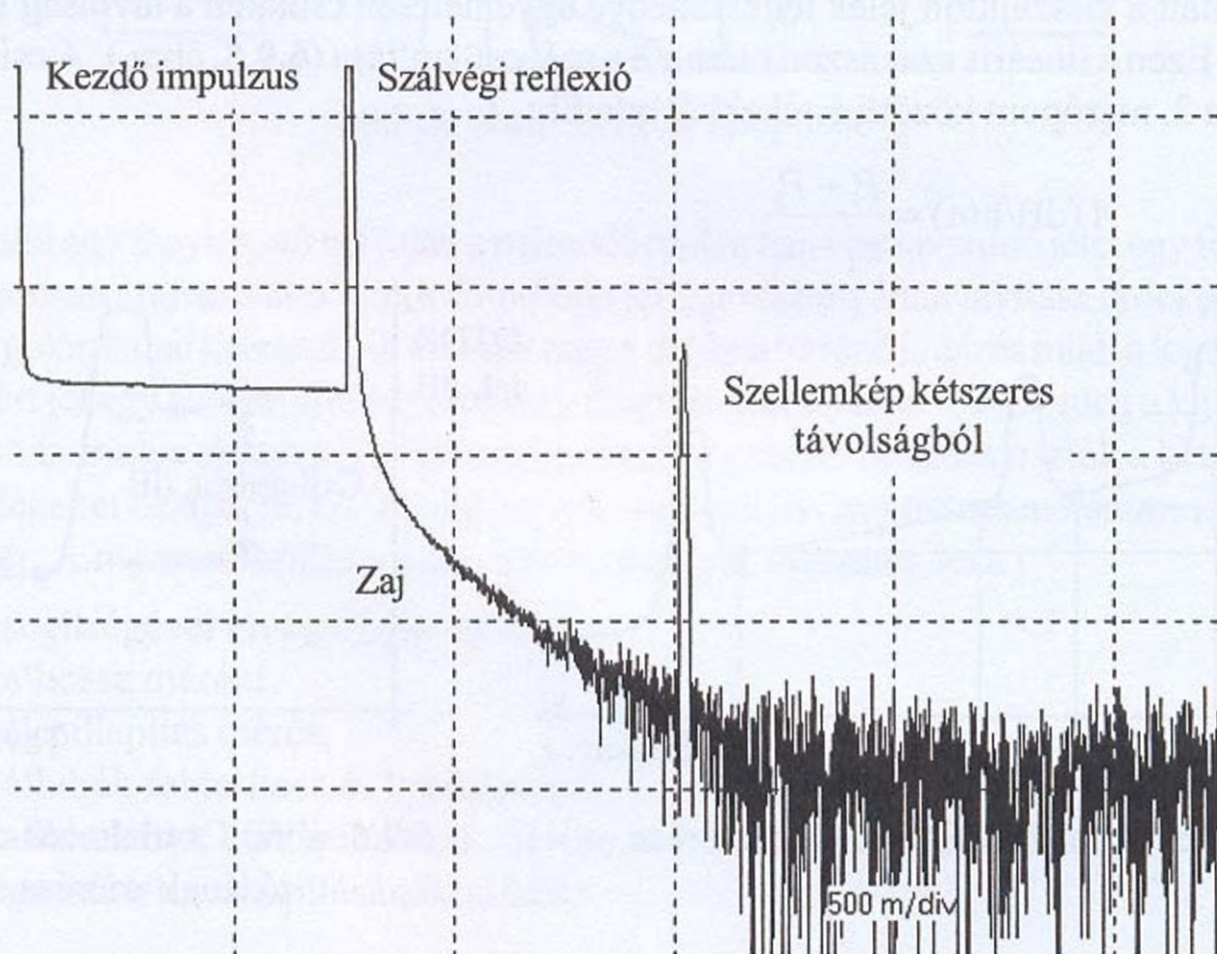
A hegesztett kötések képe meglepő módon egy emelkedő lépcső is lehet (6.9.7. ábra). Ez azt mutatná, hogy az adott helyen erősödik a jel. Valójában arról van szó, hogy a hegesztett szálak közül a távolabbi több fényt szór vissza. Tipikusan, ha a távolabbi

szálnak kisebb a numerikus apertúrája, akkor a visszaszórt fény kisebb része lép ki a szálból, így a detektorba nagyobb jelteljesítmény jut. Emiatt a kötések mérésénél a szálát mindkét irányból meg kell mérni és az egyes kötésekre kapott csillapítás értékeket átlagolni kell.

6.9.7. ábra. Hegesztett kötés, ami látszólagos erősítést mutat



Az OTDR mérések során a többször oda-vissza verődő impulzusok hibás mérési eredményeket okozhatnak. Erre látunk példát a 6.9.8. ábrán. Az első reflexiós csúcsot a kábelvégen mérte a műszer. A vizsgáló impulzus a műszer csatlakozásáról visszaverődött a szálba, majd a szálvégről visszaverődött a műszerbe. Így alakult ki a második –hamis– reflexiós csúcs.

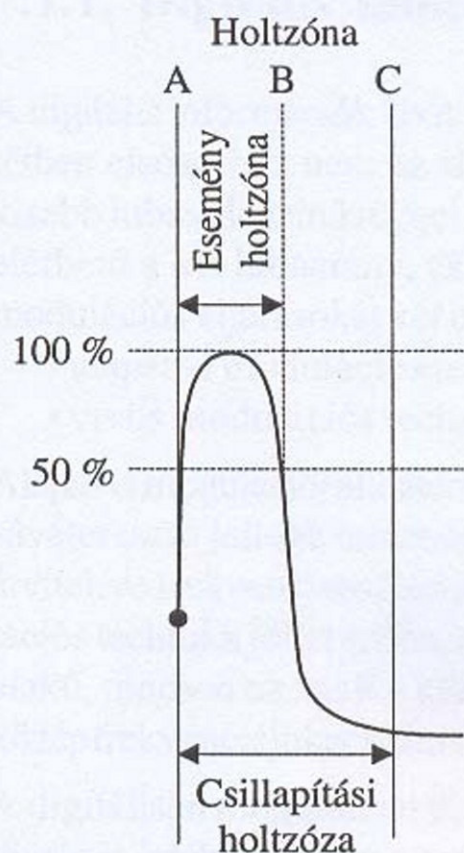


6.9.8. ábra. "Szellemkép" OTDR-es mérésnél

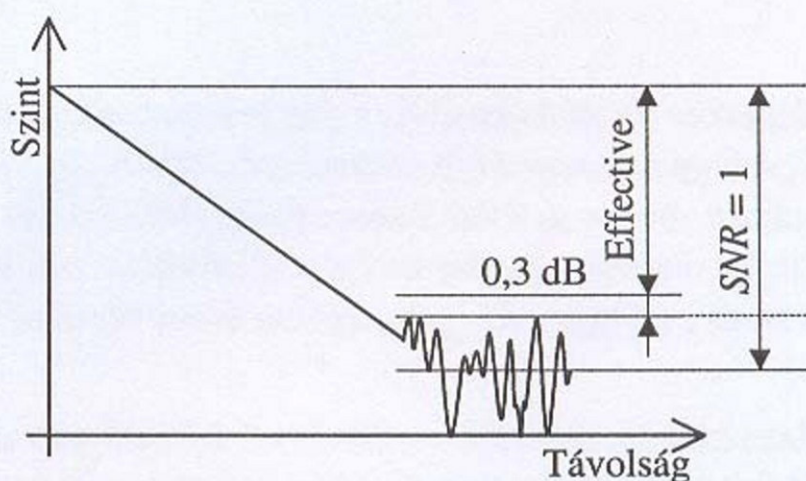
A mérési pontosságot befolyásoló tényezők

Az RF-tartományban működő TDR műszerekhez hasonlóan az OTDR-eknél is megválasztható a vizsgáló impulzus időtartama. Az impulzus időbeli hosszát az alábbi szempontok szerint kell megválasztani:

- Hosszabb impulzusnak nagyobb energiája van, távolabb jut a vizsgált szálban. Nagyobb távolságokon nagyobb impulzusokkal kell mérni.
- A hosszabb idejű impulzusok vonal menti kiterjedése is hosszabb. Ez befolyásolja a műszer felbontóképességét. Egy impulzushosszon belül előforduló két hibát a műszer nem tud megkülönböztetni (esemény holtzóna, 6.9.9. ábra).
- A lézercióda által keltett impulzus kis időre telítésbe viszi a mérésre használt fotodiódát. Amíg a dióda újra mérésre kész állapotba kerül, a műszer nem tud mérni. A mérőimpulzus ezen idő alatt megtett útját holtzónának nevezik. A telített állapotból való visszatérés néhány impulzushossznyi ideig tart. Minél hosszabb az impulzus, annál nagyobb a holtzóna. A holtzóna kiküszöbölésére bekötőszál használható, amelynek hossza legalább akkora, mint a holtzóna. Így mire a mérendő szálba jut az impulzus, a műszer mérésre kész. A jelenséget nem csak a lézerciódáról közvetlenül bejutó vizsgálóimpulzus idézheti elő, hanem a mérés során visszaverődő jel is. Ilyenkor is bizonyos időre van szüksége a diódának, hogy újra mérésre kész állapotba kerüljön. Az ezen idő alatt az impulzus által megtett út a csillapítási holtzóna (6.9.9. ábra).



6.9.9. ábra. Esemény- és csillapítási holtzóna



6.9.10. ábra. OTDR dinamikartománya

Tipikus OTDR paraméterek

Az OTDR-ek egy- és többmódusú szálak mérésére is alkalmasak. A következő adatok a kábeltelevíziós technikában alkalmazott egymódusú szálak mérésére vonatkoznak.

Hullámhossz: 1310 nm, 1550 nm.

Vizsgálóimpulzus ideje: 10 ns...20 μ s.

Vizsgálóimpulzus hossza: 1...2000 m.

Mérési tartomány: 1...250 km.

Felbontás: 0,1...10 méter.

Dinamikatartomány (6.9.10. ábra):

- Effektív: (A szál közeli végéről visszaszóródott fény szintje és a zaj maximuma felett 0,3 dB-lal lévő szint különbsége): kb. 28 dB.
- SNR = 1: (A szál közeli végéről visszaszóródott fény szintje és a zaj átlagszintje közötti különbség): kb. 31 dB.

Közelvégi holtzóna: impulzusszélességtől függően néhány métertől néhány száz méterig.

Esemény holtzóna: (10 ns-os impulzus esetén) kb. 3 m.

Csillapítási holtzóna: (10 ns-os impulzus esetén) 15...20 m.

7. Digitális szolgáltatások

7.1. Alapok

A mai modern kábeltelevízió rendszerek nagykiterjedésű, szélessávú, kétirányú kábelhálózatok. Nincs még egy olyan egyéni előfizetői végpontokig érő technológia – akár vezetékes, akár vezeték nélküli rendszerekről is legyen szó – ami hasonló sáv szélességet biztosítana. Konkrétan előfizetői irányban 777 MHz, míg az előfizetőtől a fejállomás irányába 60 MHz sáv szélesség áll rendelkezésre. A digitális technika felhasználásával még jobb minőségben és még hatékonyabban tudjuk kihasználni ezt a frekvenciatartományt. A kábelhálózaton megvalósulhat az igazi integrált szolgáltatású távközlési hálózat, vagyis szélessávú analóg és digitális műsorjel-átvitel, szélessávú adatátvitel, telefon, videokonferencia és más multimédia szolgáltatások. A digitális technikával való ismerkedést kezdjük a modulációkkal.

7.1.1. Digitális modulációk

A digitális információk átvitelére alkalmas modulációs rendszerekben, az analóggal ellentétben elsősorban nem az alakhű jelátvitel a fontos, hanem, hogy az átvitt jelből minél kisebb hibavalószínűséggel lehessen visszanyerni az eredeti bitsorozatot. Ha egyébként elérhető a kis hibaarány, akkor közömbös, hogy az átvitt jel milyen alakú. A digitális modulációs eljárásokat két csoportba oszthatjuk:

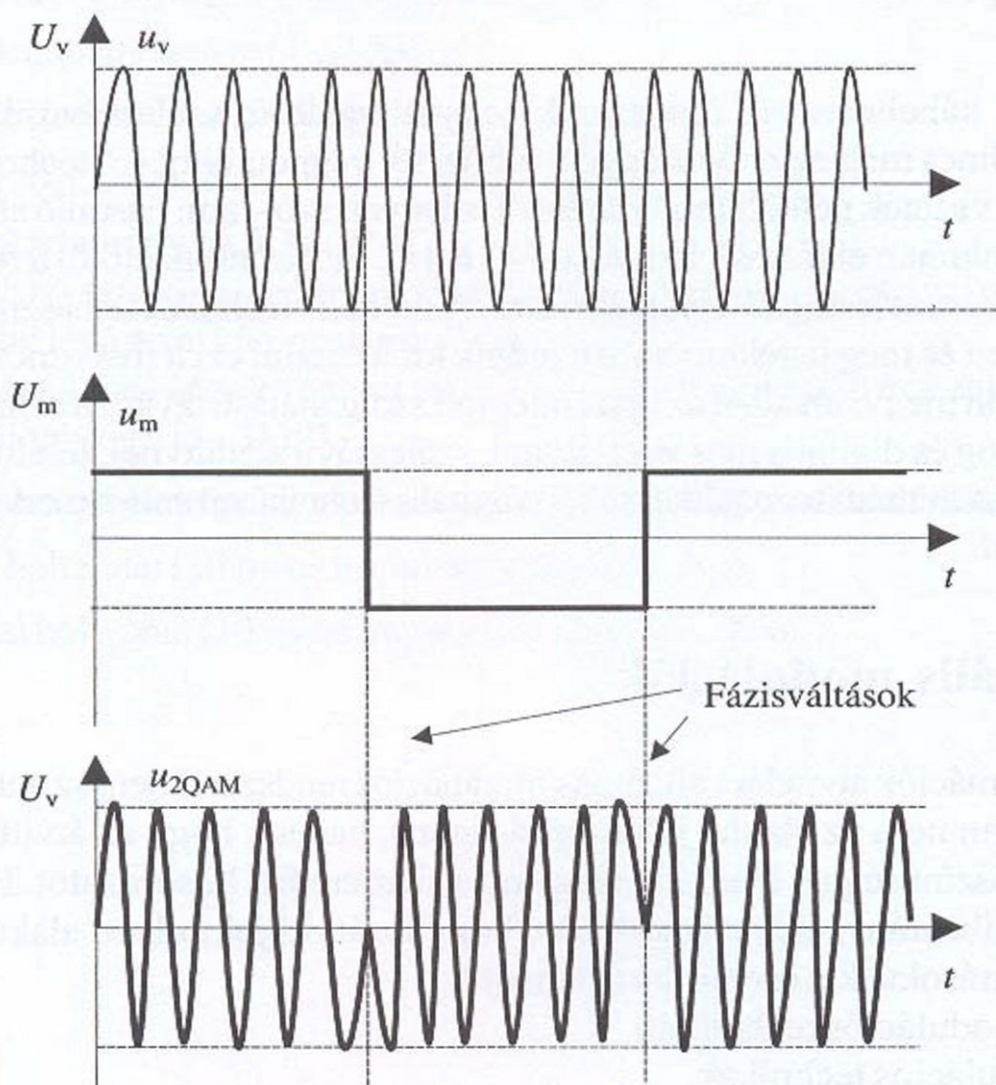
- alapsávi modulációs technikák,
- vivős modulációs technikák.

Alapsávi modulációt aluláteresztő jellegű csatorna esetén, míg a vivős modulációs technikát sáváteresztő jellegű csatornánál használunk. A kábelhálózatban több csatorna egyidejű átvitelére frekvenciaosztásos multiplexelést (FDM) alkalmaznak, tehát itt a vivős modulációs technika jöhet szóba. A vivős digitális modulációk spektrumábrája „szénaboglya” alakú, nincsen az analóg csatornához hasonló vivőfrekvenciája, jellemzésükre ezért a középfrekvenciájukat használjuk.

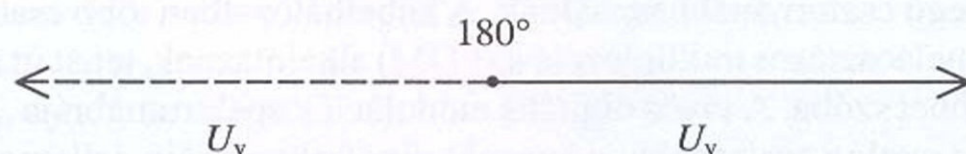
A digitálisan modulált jel fázisa és/vagy amplitúdója hordozza az információt, ami csak diszkrét értékekre van értelmezve. Egy állapotot (szimbólumot) egy adott amplitúdó és fázishelyzet jelöl. Nagy adatátviteli sebesség eléréséhez úgynevezett többállapotú modulációt kell használnunk. Az állapotváltozások gyorsaságát vagyis, hogy 1 s alatt hány állapotátmenet zajlik le, szimbólum-sebességnek nevezzük. Mértékegysége a megsimbólum/s, MSymb/s.

2QAM moduláció

A 2QAM (kétállapotú kvadrátúramodulált AM) modulációt főleg elméleti jelentősége miatt említjük, mivel ez az alapja a többállapotú modulációknak. A 2QAM időfüggvénye a 7.1.1. ábrán, vektorképe a 7.1.2. ábrán látható. Az időfüggvényen jól megfigyelhetők a digitális jel amplitúdóváltozásai miatti fázisváltások.



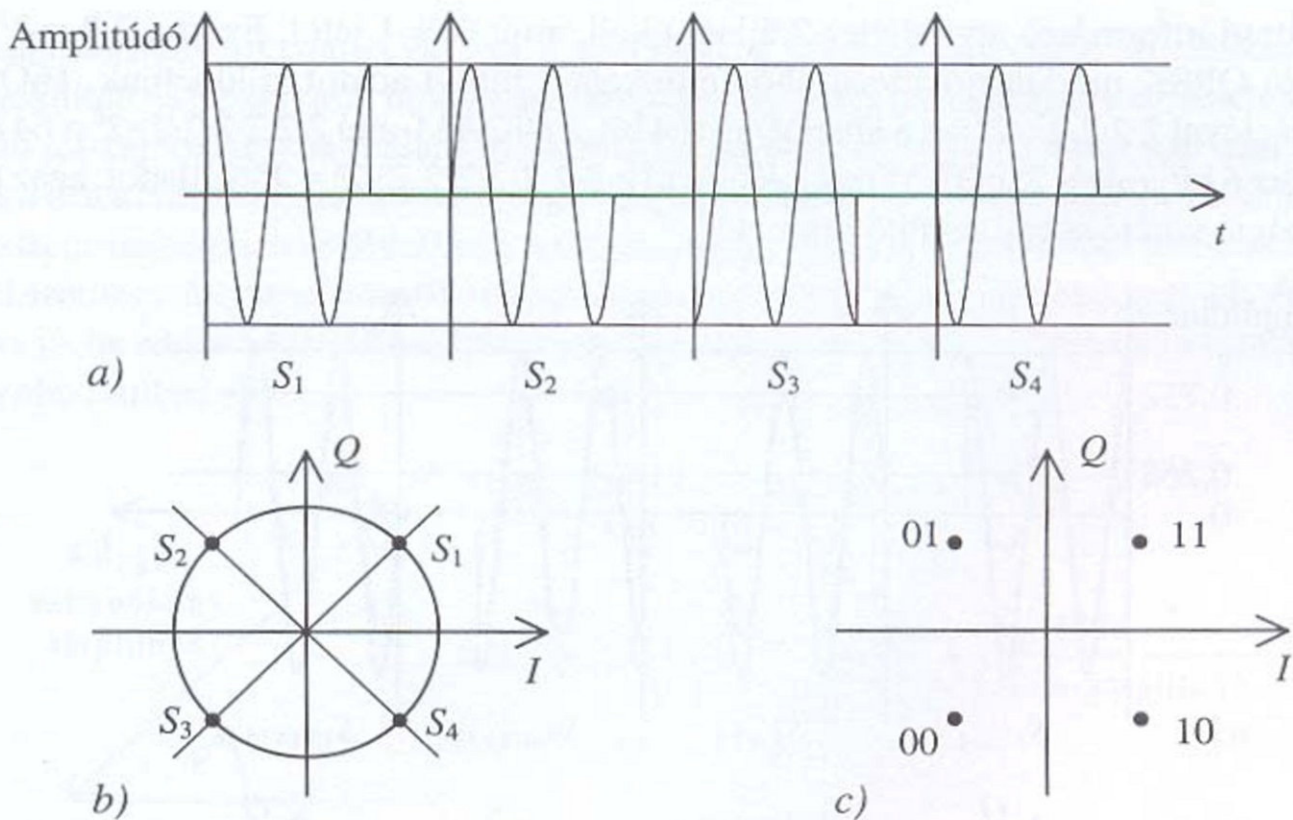
7.1.1. ábra. A 2QAM moduláció időfüggvénye



7.1.2. ábra. A 2QAM moduláció vektorképe

QPSK moduláció

A QPSK (Quaternary Phase Shift Keying) moduláció négyállapotú fázismoduláció. Tehát a jel amplitúdója nem, csak a fázisa változik a négy különböző állapot között. Az állapotok távolsága akkor lesz a legnagyobb, ha a négy fázisállapot között 90° fáziskülönbség van. A QPSK moduláció jellemzői a 7.1.3. ábrán láthatók.



7.1.3. ábra. QPSK moduláció
a) jelkészlete; b) vektorképe; c) bittérképe

A moduláló jelként létrehozott digitális jelsorozatot két bitből álló csoportokra bontják és a lehetséges bitkombinációkhoz rendelik hozzá a vivő fázisállapotait.

Bitkombináció	10	11	01	00
Fázisállapotok	$-\pi/4$	$\pi/4$	$3 \cdot \pi/4$	$-3 \cdot \pi/4$

Fentieket szemléletesen ábrázolja a QPSK bittérképe.

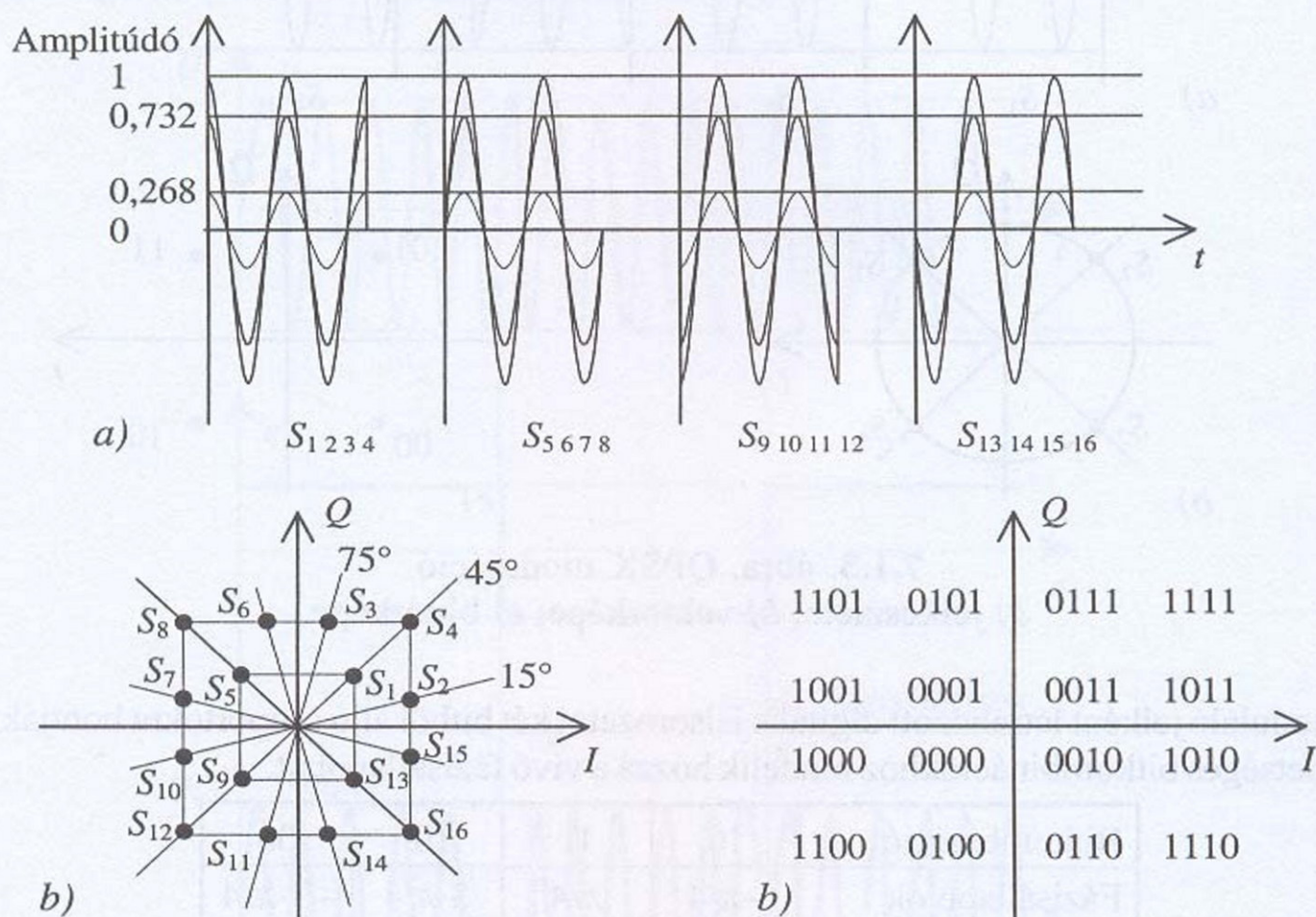
A QPSK modulációt robusztussága miatt általában zajos átviteli közegekben használják, mint amilyen a műholdas műsorszórás és a kábeltelevíziós visszirány.

QAM moduláció

A QAM moduláció (Quadrature Amplitude Modulation, hibrid amplitúdó- és fázis-moduláció) esetén a vivőfrekvencia amplitúdója és fázisa is változik. Az összetevők megengedett értékeitől függően beszélünk 16QAM-ról, ha 4-4 szint, 64QAM-ról ha 8-8 szint és 256QAM-ról ha 16-16 szint engedélyezett. Természetesen létezik más állapot-számú QAM moduláció is (128-, 512-, 1024QAM), de kábeltelevíziós szempontból csak ezek érdekesek. A 7.1.4. ábrán a 16QAM jelkészletét, vektorképét és bittérképét láthatjuk.

A 16QAM modulációt nagyobb zavartűrése miatt a visszirányban, míg a 64- és a 256QAM modulációt a nagy adatsebessége folytán az előreirányban használhatjuk.

Egy bitnyi információ átviteléhez 2 állapot kell, amit 0 és 1 jelöl. Ezért a $2 \cdot 2 = 2^2 = 4$ állapotú QPSK modulációval szimbólumonként 2 bitnyi adatot küldhetünk. 16QAM modulációval $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 2^4 = 16$ állapot, azaz 4 bit, a 64QAM-mel $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 2^6 = 64$ állapot, azaz 6 bit, míg a 256QAM modulációval $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 = 2^8 = 256$ állapot, azaz 8 bit információ vihető át egy szimbólummal.



7.1.4. ábra. QPSK moduláció

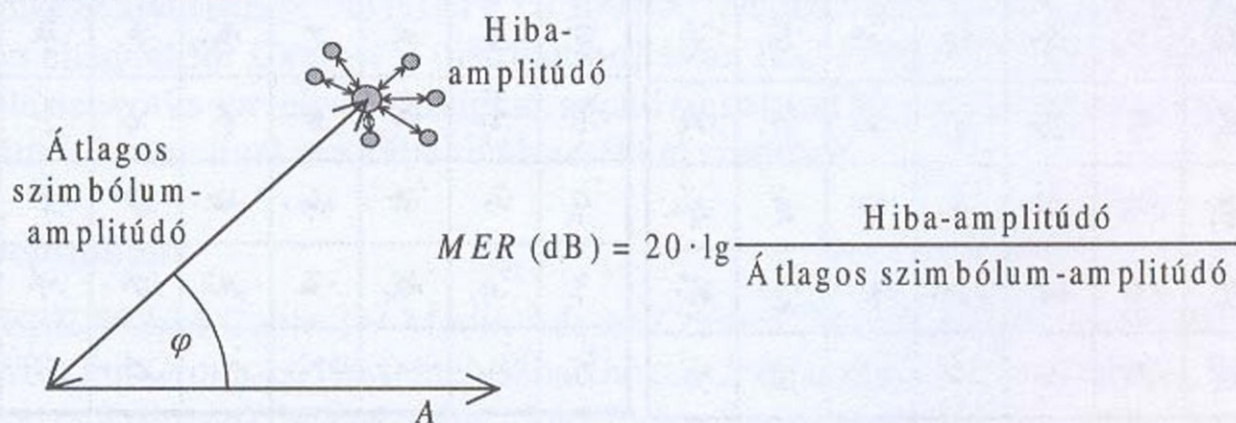
a) jelkészlete; b) vektorképe; c) bittérképe

7.1.2. Digitális jelek mérése

Mint láthattuk, a digitális jelek nagyban különböznek az analóg jelektől, ezért mérésükhöz is más módszereket kell használnunk.

Az előreirányú QAM jel teljesítményét már szinte minden műszer ki tudja számítani. A mérésnél arra kell figyelni, hogy pontosan adjuk meg a mérendő jel középfrekvenciáját és sávszélességét. Ellenkező esetben csak a jel egy részét mérjük, vagy pedig a szomszéd csatorna teljesítményét is beleszámoljuk a mért jelbe. A digitális előreirány mélyrehatóbb vizsgálatára a MER mutatót (modulációs hibaarány) használhatjuk. A modulációs hibaarány az egyes szimbólumok (amplitúdó- és fázishelyzet) eltérését mutatja az ideális helyzettől. Minél nagyobb az eltérés annál valószínűbb, hogy a vevő hibásan detektálja a digitális szimbólumot (7.1.5. ábra). A MER vagy másként a „digitális jel-zaj viszony”

sokkal informatívabb mutató a bithiba aránynál (BER). A BER a QAM szimbólumokból visszaállított és hibajavított bitsorozatban előforduló hibákat számolja. A BER érték egyre romló jel-zaj viszonyok mellett is viszonylag stabilan jó értéket mutat, egészen addig, amíg a detektált szimbólumokból a sok zaj miatt már nem tudja helyreállítani a bitsorozatot és összeomlászerűen bekövetkezik az átvitel megszakadása. A modulációs hibaarányban ezzel szemben folyamatosan tükröződnek a QAM jelben végbemenő torzulások. A MER értéke jó, ha értéke 64QAM modulációnál nagyobb mint 28 dB, és 256QAM modulációnál nagyobb mint 32 dB.



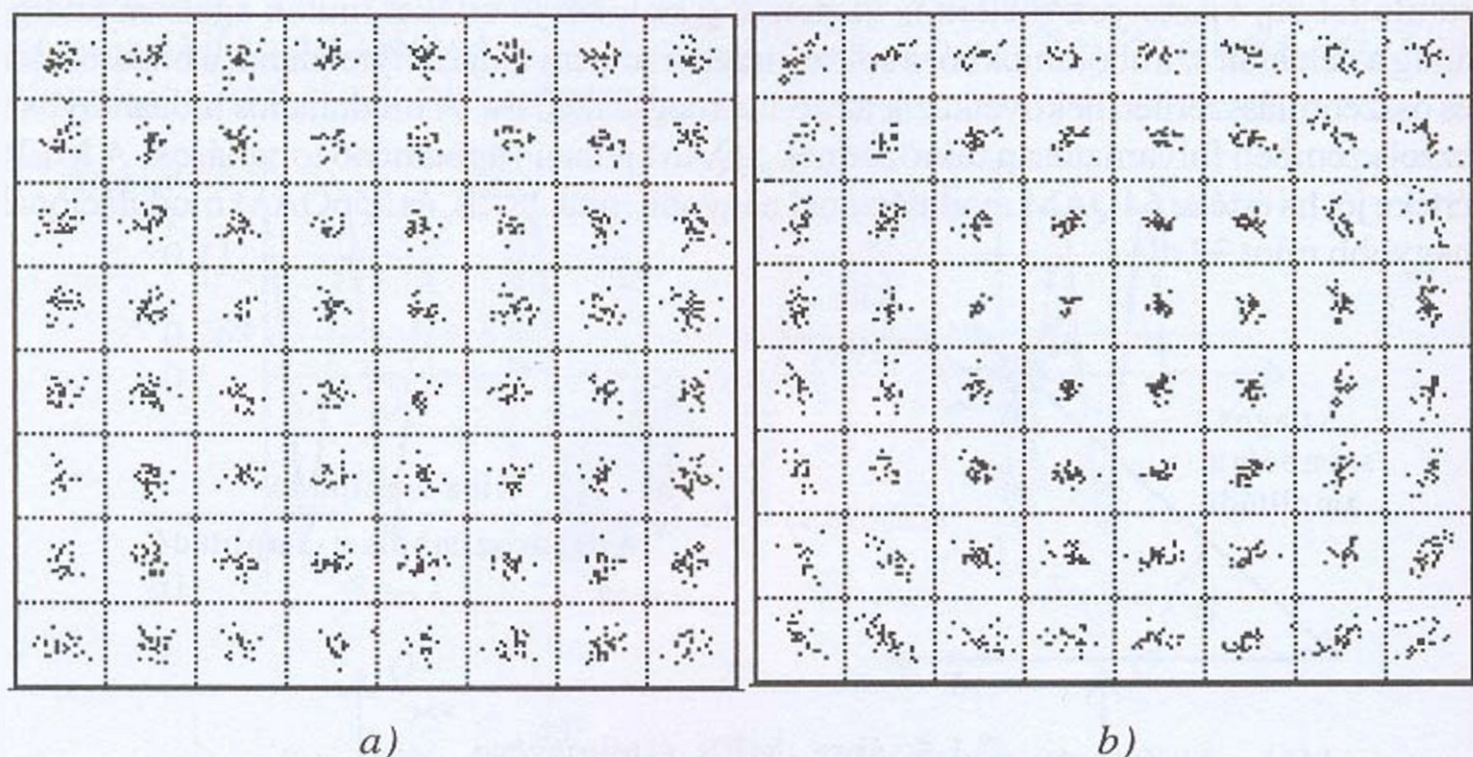
7.1.5. ábra. MER értelmezése

A QAM jel vektorképe vagy más szóval konstellációs ábrája is megjeleníthető QAM analizátor segítségével. Itt a QAM szimbólumokat fázis és amplitúdó koordináta-rendszerben ábrázolják a döntési határok feltüntetésével. A döntési határ azt a fázis- és amplitúdóeltérési maximumot jelöli, aminél nagyobb tévedés esetén a vevő már hibásan, más szimbólumként detektálja a jelet. Az ideális esetben minden QAM állapot a döntési határok által határolt négyzet közepére esik. A konstellációs ábráról nem csak az olvasható le, hogy jó vagy rossz a jel minősége, hanem az is, hogy milyen jellegű a torzulás. Termikus zaj esetén a pontok a középpont körül kenődnek el (7.1.6.a) ábra), fázishiba esetén a körkörös szóródnak szét a pontok (7.1.6.b) ábra).

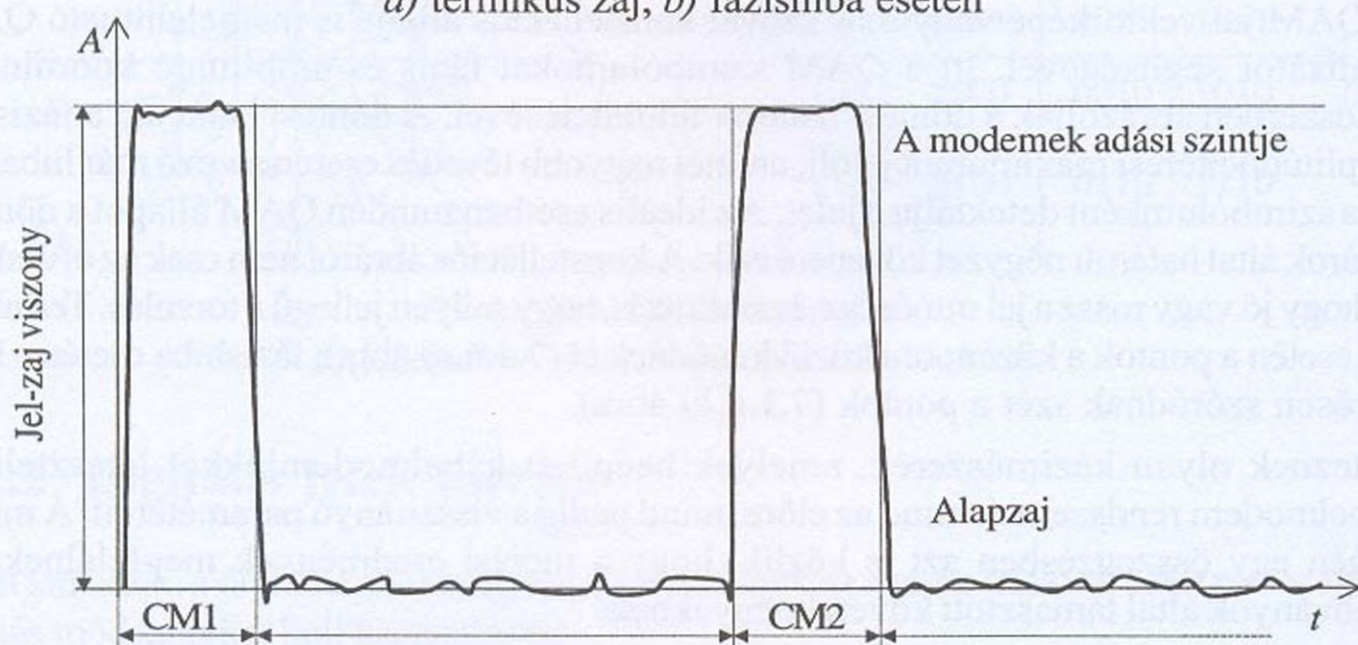
Léteznek olyan kéziműszerek, amelyek beépített kábelmodemjükkal letesztelik a kábelmodem rendszernek mind az előre, mind pedig a vissz irányú paramétereit. A mérés végén egy összegzésben azt is közlik, hogy a mérési eredmények megfelelnek-e a szabványok által támasztott követelményeknek.

A vissz irányú jelek borsztös jellege miatt mérésük nem végezhető el olyan egyszerűen, mint az előre irányú. Spektrumanalizátorral megkereshetjük a zajbeszivárgásokat és maximumtartás üzemmódban meghatározhatjuk a vissz irányú csatorna sávszélességét is, de a jel szintjét nem tudjuk megmérni. A kábelmodem adásának jel-zaj viszonyát a csatornán belül a spektrumanalizátor Zero-Span üzemmódjában tudjuk mérni (l. 6. fejezet). Mint ahogyan az eljárás nevéből is kiderül, itt 0 átfogással, azaz egy frekvencián mérünk az idő függvényében, mint egy oszcilloszkóppal. A kábelmodem vissz irányú jelét az idő függvényeként ábrázolva jól látszanak a modemek adási periódusai és a köztük lévő szünetek. A modemek adása közben mérhetjük a vivő szintjét és két adás közti szünetben

a zajszintet. E két értékből kapjuk meg a visszirányú csatornán belüli jel-zaj viszonyt (7.1.7. ábrát).



7.1.6. ábra. QAM konstellációs ábrája
a) termikus zaj, b) fázishiba esetén



7.1.7. ábra. Zero-Span mérés

Sok optikai csomópontból álló nagy kábeltelevízió hálózatokban a visszirányú "tisztántartásához" és így a folyamatos kábelmodem szolgáltatáshoz már szükség lehet egy, a nap 24 órájában figyelő monitoring rendszerre. Ez a rendszer másodpercenként többször is méri egy adott elektromos-optikai átalakítótól érkező jel frekvenciaspektrumát és egy évig visszamenőleg tárolja azt. Ezzel a módszerrel pl. olyan időszakosan, rövid ideig fennálló problémák is felderíthetők, amik nem munkaidőben jelentkeznek.

7.1.3. Szabványok

A kábelrendszer üzemeltetők régóta hittek abban, hogy a nagysebességű adatátvitel a kábelhálózatokon nagy üzleti sikerre számíthat. Ehhez azonban olyan kábelmodemekre volt szükség, amelyek ára megközelíti a telefonmodemekét és a hálózati csatlakozókártyáét. Ez csak a szabványosítás és a tömegtermelés beindításával volt elérhető.

Az adatátviteli szabványok mellett léteznek a KTV-n keresztüli interaktív szolgáltatásról rendelkező ajánlások is. Az ETSI ETS 300 800 [Digital Video Broadcasting (DVB) Interaction channel for Cable TV distribution] és az IEC 100D, CENELEC EN 50083-10 (Cable networks for television signal, sound signal and interactive services) szabványok rögzítik e kívánalmakat a kábelrendszerekkel szemben.

Kábelmodem

Az IEEE 802.14 Cable TV Media Access Control (MAC) and Physical (PHY) Protocol Working Group-ot 1994. májusában hozták létre a gyártók részvételével, hogy kifejlesszen egy nemzetközi szabványt a kábelhálózatos adatátvitelre. Az eredeti terv szerint a kábelmodem-rendszerek MAC és PHY szabványát 1995. decemberéig nyújtották volna be az IEEE-nek, de ez a határidő 1997 végéig kitolódott.

Belefáradva az IEEE 802.14-re való várakozásba, a kábelrendszer üzemeltetők erőiket egyesítve nekikezdték a saját szabványosítási folyamatuknak. A Comcast, a Cox, a TCI és a Time Warner 1996. májusában megalakították a Multimedia Cable Network System Ltd. (MCNS) nevű társaságot és felkérték egy projektmenedzser céget, hogy az év végéig fejlesszen ki számukra csatolóelem specifikációkat egy nagysebességű kábeles adatátviteli rendszerhez. Az MCNS-hez később többen csatlakoztak és a koalíció Észak-Amerika kábeltelevízió szolgáltatóinak nagy többségét képviseli. Az MCNS 1997. márciusában Data Over Cable System Interface Specification (DOCSIS) néven kiadta a KTV adatviteli csatolóelemekre vonatkozó specifikációját.

A különbség az IEEE 802.14 és a MCNS szabványok között abban keresendő, hogy a két társaság más-más szempontból közelítette meg a feladatot. Az IEEE 802.14 gyártók vezette csoportja arra összpontosította a figyelmét, hogy időtálló szabványt alkossanak a legújabb technológiák alkalmazásával, míg a szolgáltatók társasága a minimális költségre és a minél gyorsabb piacra vitelre törekedett. Ma már elmondhatjuk, hogy a következőkben tárgyalt DOCSIS szabvány került ki győztesen a szabványok csatájából.

A DOCSIS szabvány sikerén felbuzdulva elkészítették annak európai verzióját is EuroDOCSIS néven, amit az európai kábeltelevíziós szabványokhoz igazítottak.

A DOCSIS 1.0 szabvány a sávszélesség kiosztásra a „Best-Effort” vagyis a legjobb elérhető technikát alkalmazta, ami annyit tesz, hogy mindenki annyi sávszélességet kaphat az összesből, amennyi a pillanatnyi terhelésnek megfelelően jut. Garantált sávszélesség és időkritikus szolgáltatások nyújtásához kellett kifejleszteni a (Euro)DOCSIS 1.1 szab-

ványt, amelynek első verziója 1999-ben jelent meg és a QoS technológiával egészítette ki az előző változatot. Az újabb verzióra való átállás a legtöbb gyártmánynál csupán egy szoftverfrissítést jelent. Nem ez a helyzet a 2001-ben kihirdetett (Euro)DOCSIS 2.0 szabvánnyal. Itt a fizikai rétegben történt változás miatt teljesen új chip-készletekre van szükség. A 2.0 verzióban az előrelépést a vissz irány átviteli sebességének felgyorsítása és vele párhuzamosan zavartűrőbbé tétele jelentette. Így már az alapvetően aszimmetrikus KTV hálózatokon is lehet szimmetrikus adatszolgáltatást kínálni.

VoIP kábeltelefon

A kábelmodem rendszeren keresztüli telefonálás alapfeltételeit a (Euro)DOCSIS 1.1 szabványban már megtalálható Garantált Szolgáltatási Szintek (QoS) jelentik. Csak a QoS közreműködésével lehetséges megvalósítani a stabil és jó minőségű hangátvitelt.

A PacketCable projekt a CableLabs vezényletével kezdődött meg. A tervezet célja meghatározni egy szabványt, ami lehetővé teszi csomagalapú hang, video és más valós idejű multimédia szolgáltatás beindítását kábelhálózatokon keresztül. A PacketCable termékcsaládot arra tervezték, hogy csomag alapú kommunikációs szolgáltatásokat hordozzon DOCSIS protokollt használó HFC hálózaton keresztül. Elsőként a csomagkapcsolt hangátvitelre vonatkozó ajánlás jelent meg, a video és más multimédia szabványok még váratnak magukra.

A PacketCable szabvány felépítése:

- 1.x Mag architektúra
 - 1.0 Egyzónás, alap hang architektúra
 - 1.1 Elsődleges vonali követelmények és elektronikus felügyelet
 - 1.2 PacketCable rendszerek közti forgalom
 - 1.3 Önálló MTA
- 2.x Megnövelt kapacitású rendszerek
 - Videokonferencia
 - Interaktív játékok
 - Egyesített üzenetküldő rendszer
 - Streaming Video

7.1.4. Informatikai alapismeretek

Az Internet a világot behálózó informatikai hálózat, ami kiszolgáló és kliens számítógépekből, routerekből (átjárókból) és a köztük lévő távközlési vonalakkól álló rendszer. A háló minden egyes eszköze rendelkezik legalább egy hardverazonosítóval (MAC cím) és egy IP címmel. A MAC címek mindig egyedi azonosítók, a világon nincs két egyforma hardverazonosítóval jelzett hálózati eszköz. Az IP címeket két csoportra bonthatjuk: a publikus és a privát IP címtartományokra. A publikus címekből csakis egy létezhet az egész világhálón, a privát IP címekből viszont a több is lehet a hálózat egy-egy az Internettel csak közvetve kapcsolatban lévő részén.

A hálózaton a számítógépek IP (Internet Protokoll) segítségével kommunikálnak. Az IP protokoll definiálja azt az adatcsomag-formátumot, amit mindenki megért. Egy IP csomag minimálisan tartalmazza a feladó IP címét, a címzett IP címét, és az adatokat, amit a forrástól a célig küldeni akarunk. A routerek a csomag forrás és cél címe alapján képesek eldönti, hogy milyen útvonalon küldik azt tovább. Ha létezik több útvonal is a két cím között, akkor az routerek döntenek el, hogy milyen útvonalon küldik el az adott csomagot, előre definiált vagy a hálózat dinamikus terheltségéhez alkalmazkodó szabályok alapján.

A hálózat alsó szintjein ún. hub-okkal vagy mindinkább switch-ekkel osztjuk szét a hálózatot a végpontok (számítógép, nyomtató stb.) számára. Ezeket az eszközöket tekinthetjük egyszerű „hálózati ismétlőnek és elosztóknak”, ugyanis a bemenetükre érkező adatcsomagokat a kimenetükön megismételve továbbküldik. A switch annyival intelligensebb eszköz egy hub-nál, hogy csak arra a kimenetére továbbítja a csomagokat, ahol az eszköz található.

7.1.5. Alkalmazások

A digitális technika alkalmazásával nem egyszerűen csak több és jobb műsorjelet vagyunk képesek eljuttatni az előfizetőkhez, hanem merőben új távközlési és multimédia szolgáltatásokat is be tudunk vezetni. Ezek az alkalmazások lehetnek időkritikusak, vagyis olyan szolgáltatások, ahol számít az adatcsomagok átvitelének ideje és az egymást követő csomagok közti késleltetés ingadozása. Ilyen pl. a hangátvitel, videokonferencia, digitális video vagy a VoD. A másik csoport a nem időkritikus szolgáltatások, itt nem csökken az alkalmazás értéke a nagyobb és változó késleltetéstől sem, az észlelt minőséget sokkal jobban befolyásolja a sebesség. Ilyenek pl. az Internet-böngészés, az e-mail, a fájl le- és feltöltés, VPN stb.

Nem időkritikus szolgáltatások

Az Internet-böngészés során a világháló szerver számítógépein elhelyezett publikus Web oldalakat látogathatjuk. Információkat gyűjthetünk, multimédia anyagokat nézegethetünk, vagy éppenséggel programokat, zenéket és más fájlokat tölthetünk le és fel. Az Intranet az Internetnél zártabb rendszer, csak egy szűk csoport veheti igénybe szolgáltatásait, amik egyébként hasonlóak az Internetéhez. Az Intranet pl. egy cég saját belső hálózata vagy egy kábelmodem rendszer saját belső szerverekkel, hisz az itt elhelyezett információkat csak a hálózaton belüli felhasználók érhetik el. Az Internet talán legismertebb és legelterjedtebb alkalmazása az e-mail, magyarul az elektronikus levelezés.

A VPN vagyis Virtuális Magánhálózat használatával titkosított adatcsatornát hozhatunk létre pl. egy cég telephelye és egy tetszőleges Internet végpont között. Így a vállalat munkatársa otthon is dolgozhat, miközben ugyanúgy látja és elérheti a belső szervereket, mintha csak az irodában ülne.

Időkritikus szolgáltatások

A VoIP (IP alapú hangátvitel) és a videokonferencia (hang és kép IP alapú átvitele) közös tulajdonsága, hogy viszonylag kis sávszélességet igényelnek, de az átvitelt kis késleltetéssel kell megvalósítani, a csomagokat pontosan ütemezve kell továbbítani. Az IP alapú telefont először olcsó nemzetközi hívások lebonyolítására kezdték alkalmazni. Az érthető beszédátvitel biztosítására fejlesztették ki a QoS, azaz a Garantált Szolgáltatási Szintek mechanizmust az IP hálózatokban. Ez a QoS képes azt garantálni, hogy a kisméretű hang adat-csomagok (kb. 100 byte) 20 ms-onként biztosan eljussanak a hívótól a hívott félig és vissza. A VoIP telefon nagy előnye a hagyományos telefonrendszerekkel szemben, hogy a rendelkezésre álló átviteli kapacitást csak akkor foglalja a hívás, ha ténylegesen van mit átvinni, tehát ha valamelyik fél hallgat, akkor a csatornája arra az időre felszabadul. A kábelhálózaton kialakított nagy sávszélességű számítógép hálózaton keresztül a VoIP technológiát felhasználva gazdaságosan lehet kiépíteni telefonhálózatot. Ezek a telefonvonalak nagy többségében csak második vonalként szolgálnak, olcsóbb helyi és nemzetközi tarifákat kínálva a felhasználóknak. Ahhoz, hogy elsődleges, vagyis életmentő hívásokra is alkalmas telefon lehessen belőle, nagy rendelkezésreállást kell biztosítani. Ez a központi egységek és a hálózat főbb elemeinek redundáns kiépítését, az eszközök távmenedzselését és a teljes rendszer szünetmentes táplálását jelenti.

A videojelek digitalizálásával nemcsak egyszerűen 6-10-szer több tv-csatornát tudunk eljuttatni az előfizetői lakásokba, hanem sok új értéknövelt szolgáltatást is indíthatunk. Mivel az analóg tévékészülékek nem képesek venni a digitális jeleket, ezért erre külön vevőkészülékeket, úgynevezett Set Top Box-okat kell használni, ami aztán a tv-készülék számára is feldolgozható analóg jelet szolgáltat. Ezeknek a Set Top Box-oknak egyedi azonosítójuk van, így minden egyes dobozban programcsomagonként vagy akár egyesével is engedélyezhetők a csatornák az előfizetői igénytől függően. Így az ügyfél csak azért a csatornáért fizet, amelyiket kéri. A Pay Per View (PPV) szolgáltatás ezt az utóbbit finomítja tovább. Itt akár egyetlen filmre vagy sportközvetítésre is elő lehet fizetni on-line módon. A VoD (Video on Demand) „Igényt szerinti video” pedig nem más mint egy on-line videokölcsönző, ahol a kiválasztott filmet bármikor DVD minőségben nézhetjük, megállíthatjuk és előre-vissza tekerhetjük, akár egy videokazettát vagy DVD-t.

Az említett szolgáltatások mindegyikéhez már rendelkezésre áll a technológia, csak az a kérdés, hogy van-e, lesz-e hozzá fizetőképes kereslet.

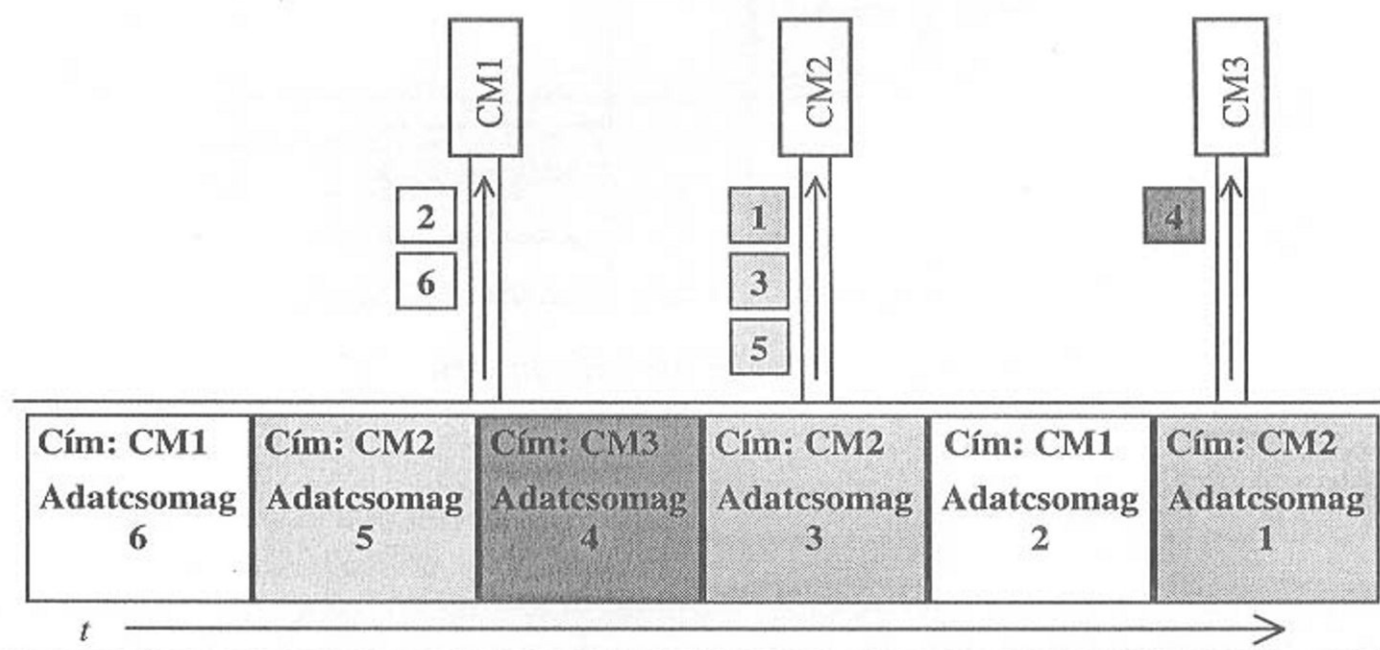
7.2. A kábelmodem rendszer

A kábelmodem rendszer működéséhez kétirányú adatátvitelre képes KTV rendszerre van szükség. A korai kábeles adatátviteli módszerek között még volt olyan, amelyik a vissz irányú adatátvitelre telefonvonalat használt, így megtakarítva a KTV vissz irány kiépítését, de mára ezek teljesen kihaltak.

A kábelmodem központ (CMTS) előre irányú jele az analóg és digitális műsorcsatornákkal együtt jut el a kábelmodemhez. Az előre irányú jel 64- vagy 256QAM modulált, folyamatos, kvázi állandó szintű 6 vagy 8 MHz sáv szélességű jel (jellemzői a 7.2.1. táblázatban láthatók). Az átviteli közeg megosztására (vagyis arra, ahogyan az egyes felhasználók megosztják egymás között az átviteli csatornát) az ún. broadcast technikát alkalmazzák. Ez – hasonlóan a LAN hálózatokhoz – azt jelenti, hogy a csatorna mindenkinek a csomagjait tartalmazza, de a felhasználó csak a neki címzetteket olvassa el a teljes adatfolyamból. Az adatok illetéktelen hozzáférés ellen titkosítással védik (7.2.1. ábra).

(Euro)DOCSIS előre irányú adatsebességei. 7.2.1. táblázat

Szabvány	Moduláció	Szimbólum-sebesség, Msym/s	Adatsebesség, Mbit/s
DOCSIS	64QAM	5,056 941	30,341 646
	256QAM	5,360 537	42,884 296
EuroDOCSIS	64QAM	6,952	41,712
	256QAM	6,952	55,616

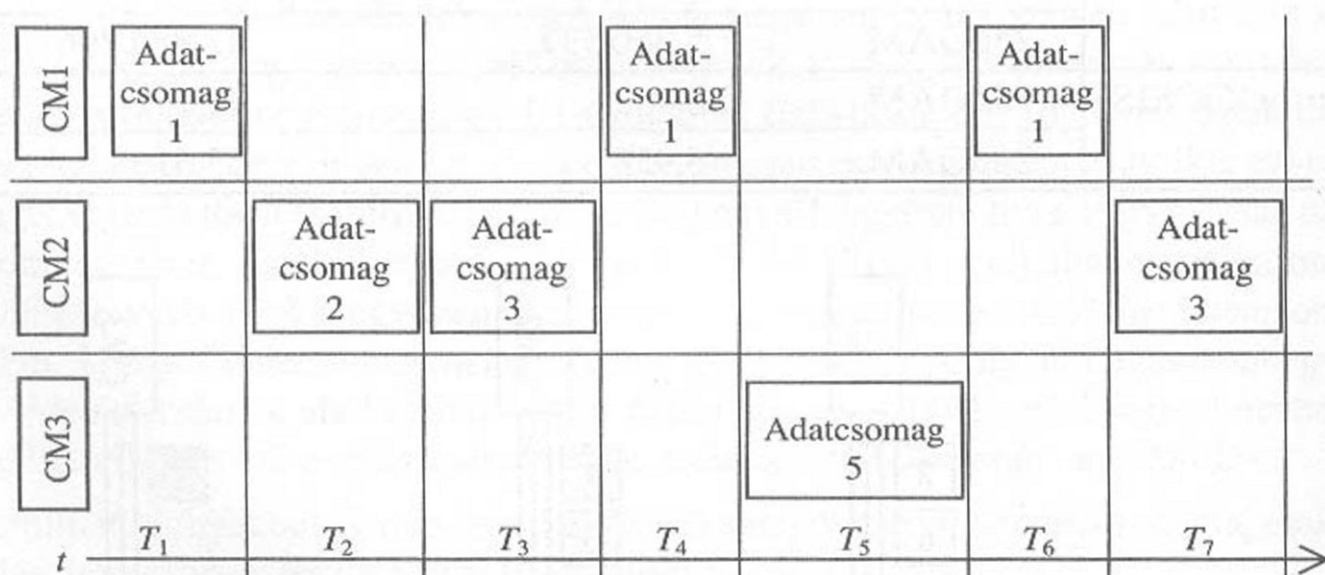


7.2.1. ábra. Broadcast az előre irányú csatornában

A kábelmodemektől induló jel a kábelhálózat visszirányán keresztül jut el a fejállomásra. A visszirányú jel QPSK vagy 16QAM modulált, 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 vagy 3,2 MHz sávszélességű börsztös jel. A kábelmodemek a saját időrésükben az adásukhoz a teljes rendelkezésre álló sávszélességet használják. Az időosztásos (TDMA) közegehozzáférésre azért van szükség, mert a KTV rendszer visszirányban összegző jellegű hálózat, így a modemek jele összeadódva, összekeveredve ér el a kábelmodem központba. A kábelmodemek a központi egység által ütemezett módon, egymás után küldik el adatcsomagjaikat a visszirányú csatornán keresztül (7.2.2. ábra). A visszirányú adatátvitel jellemzőit a 7.2.2. táblázatban foglaltuk össze.

(Euro)DOCSIS visszirányú adatsebességei. 7.2.2. táblázat

Szimbólum-sebesség, ksym/s	Csatorna sávszélesség, kHz	Adatsebesség, Mbit/s	
		QPSK	16QAM
160	200	0,32	0,64
320	400	0,64	1,28
640	800	1,28	2,56
1280	1600	2,56	5,12
2560	3200	5,12	10,24

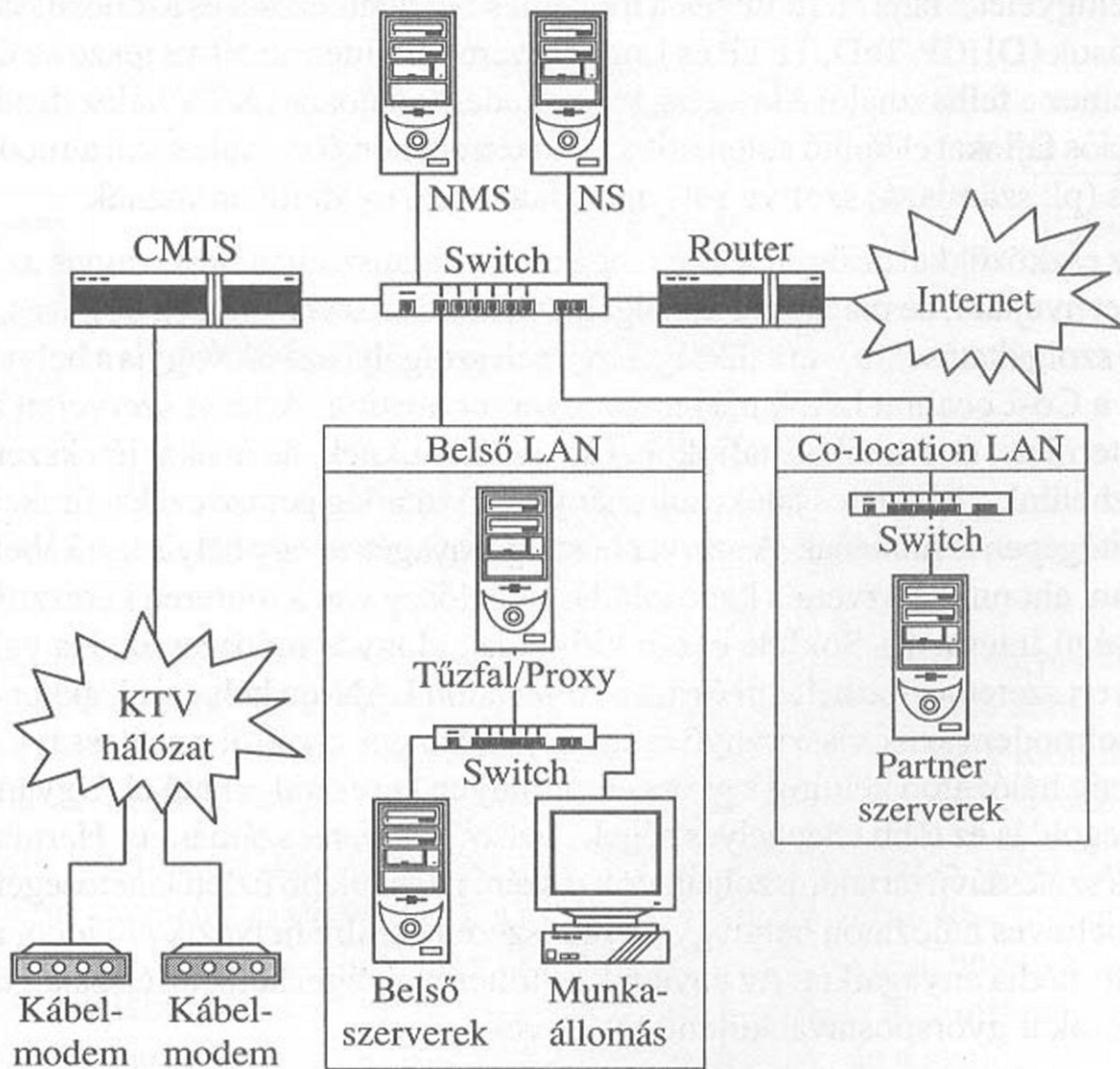


7.2.2. ábra. TDMA a visszirányú csatornában

7.2.1. A kábelmodem rendszer felépítése

Egy kábelmodem rendszer három elemből épül fel. Az előfizetői kábelmodemből, a kábelmodem központi egységből és a hálózat-menedzsment szoftverből. Azonban ez csak arra elég, hogy a felhasználók egymás között tudjanak adatokat átvinni a KTV hálózaton.

Internet eléréshez és más informatikai hálózati szolgáltatásokhoz (e-mail, Web, FTP stb.) ennél több kell. Az 7.2.3. ábrán a kábelmodem központ informatikai kiépítése látható.



7.2.3. ábra. Kábelmodem központ architektúrája

A kábelmodem központ (CMTS) rendkívül összetett feladatokat lát el. Gyakorlatilag a teljes rendszer „intelligenciája” ide összpontosul, az előfizetői modem szolgálai módon követi a központ utasításait. A központban három fő feladatot kell megvalósítani: kapcsolatot a kábelhálózat és a szolgáltatói hálózat között, kapcsolatot a szolgáltató hálózat és az Internet között, valamint a rendszer és az ügyfelek informatikai kiszolgálását.

A CMTS az átjáró (router) a kábelhálózat és a szolgáltatói hálózat között. Emellett ez a berendezés felelős a kábelmodemek működésének felügyeletéért. A központi egység F csatlakozókkal csatlakozik a kábelhálózathoz és 10/100 Ethernettel az IP hálózathoz.

A router teremt összeköttetést a szolgáltatói hálózat és az Internet közt. A router egyfelől Ethernet porton kapcsolódik a szolgáltatói hálózathoz, másfelől digitális távközlési vonalon éri el az Internetet. Redundáns kiépítésben több routeren és több távközlési útvonalon is csatlakozhatunk.

A szolgáltatói informatikai hálózat adja a háttérrel a rendszer működéséhez, menedzseléséhez és az ügyfelek kiszolgálásához. Az NMS szerver a kábelmodem rendszer eszköz- és ügyfélfelügyeletét látja el. Itt futnak a modemek bejelentkezését és azonosítását kezelő szolgáltatások (DHCP, ToD, TFTP és Log szervere). Szintén az NMS része az ügyviteli modul, amihez a felhasználói adatbázis, kábelmodem adatbázis, KTV hálózati adatbázis, konfigurációs fájlokat előállító automatika, rendszerellenőrző és statisztikai almodul, valamint a más (pl. számlázó) szoftverrel kapcsolatot tartó modulok tartoznak.

Ezekkel az eszközökkel az ügyfeleknek még csak az alapszolgáltatást, vagyis az Internet elérést lehet nyújtani, de manapság a szolgáltatók közti erős versenyben ez kevés, további kiegészítő szolgáltatásokra van szükség. Ezt a célt szolgálja az NS, vagyis a helyi hálózati szerver és a Co-Location LAN, más néven szerver hosting. A helyi szerveren biztosíthatunk tárterületet és e-mail postafiókokat az ügyfeleinknek, de itt akár játékszervereket is elhelyezhetünk a hálózatos játékosok számára. Fizikailag persze ezek a funkciók akár több számítógépen is futhatnak. A szerver hosting lényegében egy helyiség a kábelmodem központban, ahonnan közvetlen kapcsolódási lehetőség van a routeren keresztül a nagy sávzélességű Internetre. Sokféle okból kifolyólag előnyös módszer ez. Ha valaki egy Web-szervert szeretne üzemeltetni és azt a co-location LAN-on helyezi el, akkor ez a gép nem a kábelmodem szűk visszirányú csatornáján, hanem kívülről a szélessávú Internet vonalon, míg hálózaton belülről a gyors előreirányon keresztül érhető el. Ugyanezen ok miatt jó megoldás ez több telephelyes cégek „belső” szerverei számára is. Harmadik példaként ez a szélessávú tartalomszolgáltatók részére jelent újabb üzleti lehetőséget azáltal, hogy a kábeltévés hálózaton belüli gyors rendszeren belülről helyezik el video, audio és egyéb multimédia anyagaikat. Az anyagok feltöltését elvégezhetik az éjszakai üresjárat idején vagy akár gyorspostával küldött DVD-vel.

A tűzfalal védett belső LAN a szolgáltató saját belső hálózatát takarja, ahova a saját munkatársainak PC-i kapcsolódnak.

A modem az átjáró a KTV hálózat és az előfizetői PC között. A kábelmodem egy egyszerű készülék, ami a CMTS irányítása nélkül nem képes semmilyen adatátvitelre, tehát két modem önmagában nem tud pont-pont közti kapcsolatot létrehozni. A modem az összes működési beállítását a bekapcsolás és a regisztráció után a CMTS-ből és a mögötte lévő kiszolgáló szerverszámítógépekről tölti le. Szinte minden ma forgalomba lévő (Euro)DOCSIS kábelmodemnek van egy Ethernet (RJ-45) és egy USB portja. A VoIP-os kábelmodemek emellett még analóg telefon csatlakoztatására alkalmas RJ-11 csatlakozóval is rendelkeznek. A kábelmodem-routerek 4-5 Ethernet porttal is rendelkezhetnek. Kis- és közepes vállalkozásoknak találták ki a kábelmodem-routert, ez egy dobozban egyesíti a kábelmodemet, a 4-5 portos Ethernet Switch-et, a tűzfalat, a DHCP szerveret, ill. a NAT és VPN funkciókat. A kábelmodemhez az előfizető többféle módon csatlakoztathatja számítógépét (-gépeit).

Az 7.2.4.a) ábrán a legegyszerűbb eset látható, amikor egy modemhez egy számítógép csatlakozik Ethernet vagy USB porton keresztül. Ez tipikus példa az otthoni Internet használatra.

7.2.2. KTV hálózati követelmények

A DOCSIS és EuroDOCSIS szabványok pontosan definiálják azokat a kábeltelevízió hálózati határértékeket, amik teljesülése esetén megfelelően fog működni a kábelmodem rendszer (4. Függelék). Ezen paraméterek egy része magától értetődő, más része viszont magyarázatra szorul. Tekintsük át először az előreirányt a fejállomástól az előfizetői végpontig, majd fordítva a visszirányt, követve a jelet a forrástól a vevőig.

Előreirány

Az előreiránnyal általában kevés probléma adódik. A jel folyamatosan jelen van, kvázi állandó szinttel, így könnyű feltárni a hibákat. Az egyszerű jelteljesítmény-mérés a legtöbb esetben elég, de egy MER méréssel a digitális moduláció minőségéről is gyorsan meggyőződhetünk.

Fejállomás/kábelmodem központ

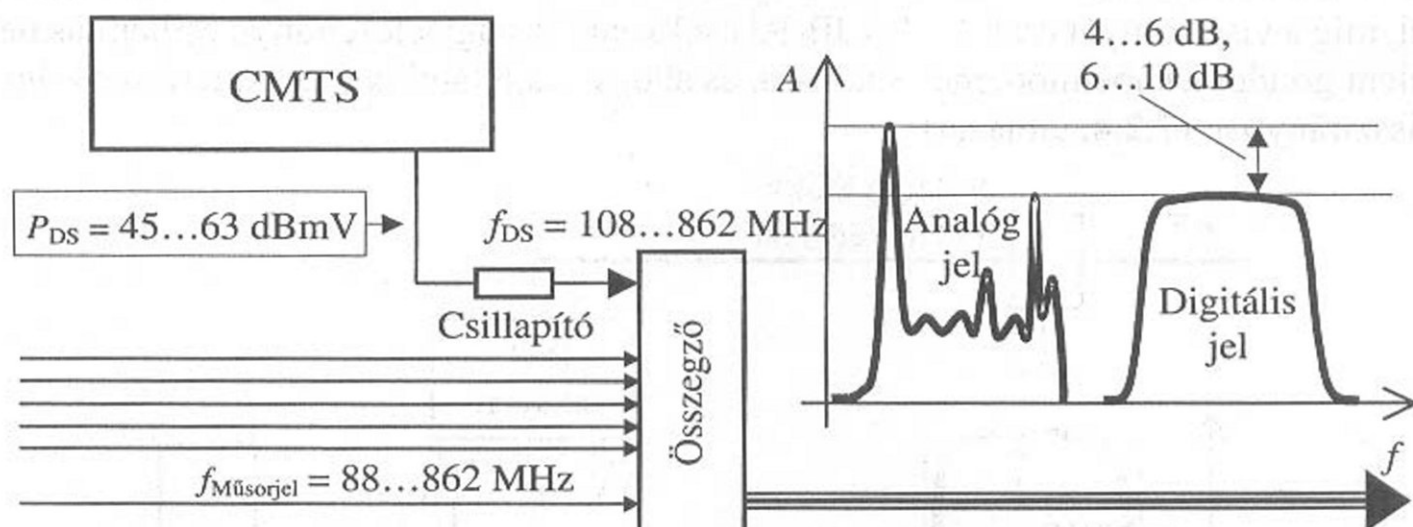
A kábelmodem központi egység előreirányú jele a többi műsorjellel együtt jut el az előfizetőkhöz. A DOCSIS amerikai szabványú CMTS-nek 6 MHz, míg az EuroDOCSIS-nak 8 MHz sávszélességre van szüksége. Az előreirányú frekvencia megválasztása gyakorlatilag csak helyi adottságoktól (a kábelrendszer teljes sávszélessége, csomagkiosztás) függ, a modem – pár kivételtől eltekintve – bárhol megtalálja azt, még nem szabványos csatornán is. Itt azért érdemes annyit megjegyezni, hogy a kábelmodem az automatikus keresés során a szabványos csatornára lényegesen gyorsabban rátalál. A „digitális vivő” a PAL B/G csatornakiosztás vivőfrekvenciáiból egyszerűen számolható a 7.2.3. táblázat alapján.

Az előreirányú frekvencia megválasztása. 7.2.3. táblázat

Jellemző	Sáv		
	VHF 108 – 300 MHz	300 – 470 MHz	UHF 470 – 862 MHz
	Raszter		
	7 MHz	8 MHz	8 MHz
DOCSIS	$f_{\text{vivő}} + 2,25 \text{ MHz}$	$f_{\text{vivő}} + 2,75 \text{ MHz}$	$f_{\text{vivő}} + 2,75 \text{ MHz}$
Példa:	$119,25 + 2,25 = 121,5 \text{ MHz}$	$399,25 + 2,75 = 402 \text{ MHz}$	$471,25 + 2,75 = 474 \text{ MHz}$
EuroDOCSIS	$f_{\text{vivő}} + 2,25 \text{ MHz}^*$	$f_{\text{vivő}} + 2,75 \text{ MHz}$	$f_{\text{vivő}} + 2,75 \text{ MHz}$
Példa:	$112,25 + 5,75 = 118 \text{ MHz}$	$399,25 + 2,75 = 402 \text{ MHz}$	$471,25 + 2,75 = 474 \text{ MHz}$

* Az EuroDOCSIS előreirányú vivője 8 MHz széles, így egy VHF 7 MHz-es csatorna helyén nem fér el. Ha két csatorna helyére rakjuk be, akkor célszerű az üres hely közepére tenni.

A digitális előreirányú jelek (ide értve a digitális video- és kábelmodem jeleket) jelszintjét 64QAM modulációt használva 6...10 dB-lel, míg 256QAM-et alkalmazva 4...6 dB-lel az analóg vivők szintje alá kell beállítani, ahogyan ez a 7.2.6. ábrán látható. Ennek oka a digitális jel az analóg jelnél lényegesen nagyobb spektrumterhelése, valamint a digitális vevők nagyobb toleranciája a vételi szintre nézve. A túlságosan nagy jelteljesítmény intermodulációs torzításokat okoz a többi csatornában.



7.2.6. ábra. Az CMTS előreirányú jelének beiktatása

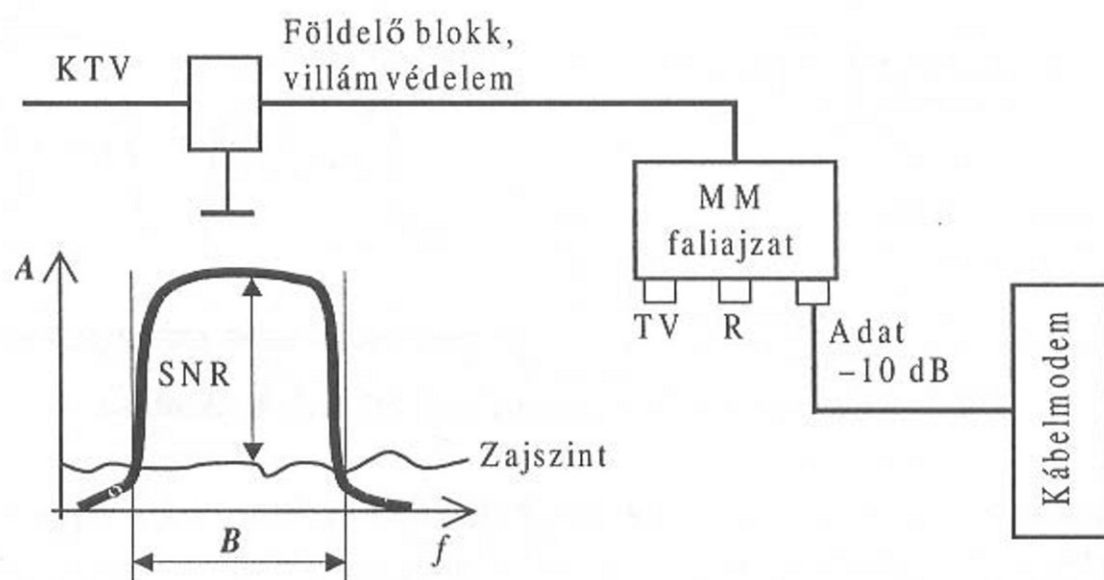
A (Euro)DOCSIS szabvány a 64QAM és a 256QAM modulációkat ismeri. 256QAM modulációt használva a letöltés irányú rendszersebesség 33%-kal meghaladja a 64QAM esetén lehetségest. A nagyobb sebességet akkor állíthatjuk be a CMTS-ben, ha minden előfizetői modem bemenetén elérhető a 32 dB-es MER érték. A 32 dB-es „digitális jel-zaj viszony” 8 MHz-es EuroDOCSIS jel esetén körülbelül 44 dB analóg jel-zaj viszonynak felel meg. DOCSIS-nál, 6 MHz sávszélességgel ez az érték már csak 35 dB.

A rendszer bővítésénél egy újabb előreirányú vivőt kell betennünk a csatornatervbe. Ezt vagy egy újabb frekvencia kijelölésével, vagy ugyanazon frekvencia használata mellett a kábelrendszer előreirányának szétválasztásával tehetjük meg. A második megoldásnál ügyelni kell arra, hogy az előreirányhoz tartozó visszirányú csatornák is az adott hálózatrészhez legyenek rendelve.

Előfizetői oldal

A kábelhálózat előfizetői végpontjának kialakításakor (7.2.7. ábra) több dolgot is figyelembe kell venni, ha olyan hálózatot szeretnénk, amely egyúttal alkalmas adat, hang és multimédia szolgáltatásokra. Először is a háztartási pontban földelni kell a hálózatot földhurok és bűgásmoduláció kialakulásának megelőzésére. A földelés azért is szükséges, mert a kábelmodemek a kábeltelevízió felé földelődnek. Ezen a ponton villámvédelmi szűrőt is alkalmazunk a háztartásban lévő vevőkészülékek védelmére. Egy ilyen villámvédő a lakásban lévő analóg és digitális készülékek értékének töredékébe kerül. A visszirányú zajok döntő többsége a háztartásokban keletkezik és kerül a rendszerbe,

ezért itt tudunk a leghatékonyabban fellépni bejutásuk ellen. Legjobb, ha a nem Internet előfizető ügyféltől már a fali aljzatnál lezárjuk a visszacsatornát. A kábelmodemes előfizető lakásába pedig úgynevezett multimédia aljzatot helyezünk el. Egy ilyen multimédia fali aljzat két feladatot lát el: egyrészt külön csatlakozást teremt a tv- és rádiókészülék, ill. a kábelmodem számára, másrészt csak a modem felé nyitja meg a vissz irányt, a tv- és rádió-kimenetek felől kiszűri azt. Az adatkimenet az előre irányú jelet jellemzően 10 dB-lel, míg a vissz irányút csak 1...1,5 dB-lel csökkenti. A nagy előre irányú csillapítás nem jelent gondot a kábelmodemek számára, és ahogy majd látni is fogjuk, létfontosságú a vissz irányban (7.2.4. táblázat).



7.2.7. ábra. Előre irány kialakítása az előfizetői végponton

Az előre irányú jellemzők. 7.2.4. táblázat

Szabvány	Vételi jelszint, dBmV	Szabványos SNR, dB	Mérhető SNR, dB		MER, dB	
			64QAM	256QAM	64QAM	256QAM
DOCSIS	-15 ... +15	35	23,5		28	32
	-15 ... -6			33,0		
	-6 ... +15			30,0		
EuroDOCSIS	-17 ... +13	44	25,5		28	32
	-13 ... -6			34,5		
	-6 ... +17			31,5		

Az így kialakított kábelmodem-csatlakozási ponton kell teljesülnie az (Euro)DOCSIS szabvány követelményeinek. Először is az előre irányú csatorna jelszintjének az előírt határok közé kell esnie. Ezt könnyen ellenőrizhetjük egy jelteljesítmény-mérővel. Ügyeljünk viszont arra, hogy a műszer mérési sávszélessége illeszkedjen a mért csatornához. Ha pl. egy 6 MHz mérési sávszélességű műszerrel mérünk egy 8 MHz sávszélességű EuroDOCSIS csatornát, akkor hamis eredményt kapunk, hisz a mérőeszköz csak a középső

6 MHz-et méri. Az európai szabványú műszereknél (8 MHz) viszont arra kell ügyelni, hogy csak 8 MHz-es rászterben elhelyezett jeleket mérjünk velük, mert különben a szomszéd csatorna elejét is hozzászámolja a végeredményhez.

A következő jellemző a jel-zaj viszony. A szabvány DOCSIS rendszer esetében 35 dB-ben, míg EuroDOCSIS esetében 44 dB-ben határozza meg ennek elégséges értékét, és a DOCSIS 1.x következőképpen értelmezi azt:

„Az analóg vivők szintjére állított digitális vivőn mérhető jel-zaj viszony érték, ami lehet kisebb, ha a digitális jel alacsonyabb szinttel indul, mint az analóg jel.”

A szabványos érték már tartalmazza biztonsági tartalékot is ahhoz, hogy a legnagyobb sebességgel használhassuk a kábelmodemeket. Tehát a hálózaton mérhető érték 6...10 dB-lel kisebb lehet a szabványban találhatónál.

Az analóg jel-zaj viszonynál lényegesen pontosabb és használhatóbb jellemzője a vivős digitális modulációnak a MER (modulációs hibaarány). A MER értéke csak a modulációtól függ, a DOCSIS verziótól nem. Amennyiben a hálózat teljesíti a MER-re vonatkozó előírásokat (a MER 64QAM moduláció esetén 28 dB-nél, 256QAM moduláció esetén 32 dB-nél jobb), akkor biztosak lehetünk benne, hogy az előreirány tökéletesen működik. Mellesleg a kábelmodemek által becsült „Downstream SNR” érték is ez a MER érték. De soha ne feledjük, a kábelmodem nem műszer, az általa szolgáltatott működési paraméterek csak tájékoztató jellegű, becsült értékek.

A gyakorlat azt mutatja, hogy a kábelmodem rendszerek jól beállított előreirányával nagyon kevés probléma adódik és azok is gyorsan észlelhetők, behatárolhatók és kijavíthatók. Ennél lényegesen keményebb dió a visszirány.

Visszirány

A kábeltelevízió hálózat visszirányával kapcsolatban a DOCSIS szabvány a 9. Függelékben található követelményeket fogalmazza meg.

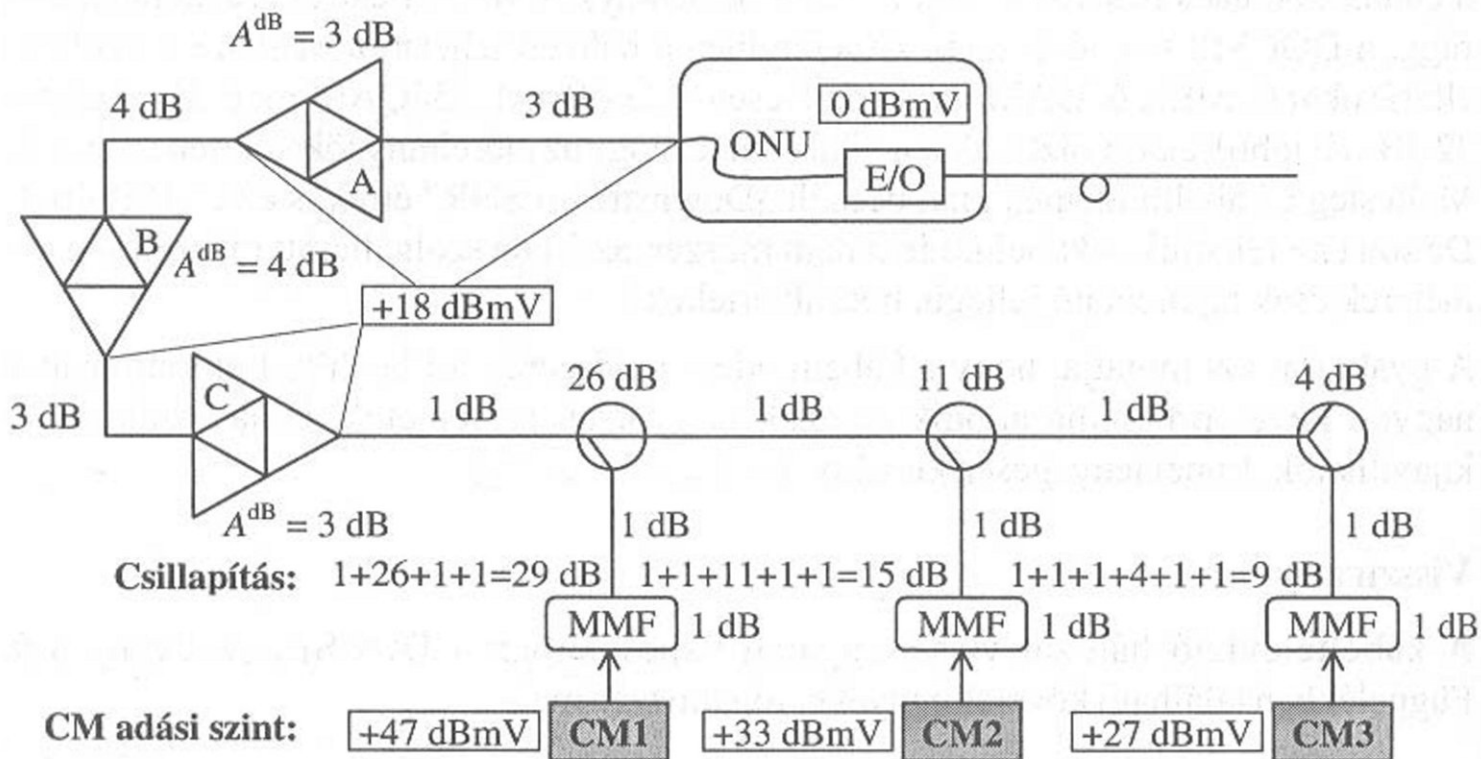
Előfizetői oldal

Egy kábelmodem rendszer legkritikusabb pontja a visszirány. Az (Euro)DOCSIS szabvány a szükséges jel-zaj viszonyon kívül nem ad további útmutatást a kábelhálózat visszirányának beállításához. A visszirány problémáinak elsődleges forrása a zaj-akkumuláció jelensége. Míg az előreirány egy szétosztó hálózat egy bemenettel és sok kimenettel, addig a visszirány egy összegző hálózat, vagyis a sok bemenet felől érkező jel összeadódva jelenik meg az egyetlen kimeneten. Emiatt akár egyetlen előfizetői végpont felől beszivárgó zaj is megbéníthatja a teljes hálózat/hálózatrész visszirányú kommunikációját.

Legelőször tehát a zajproblémával kell foglalkoznunk! A szélessávú kábelhálózat visszirányú csatornáiba bekerülő zavarok 75%-a az előfizetői házhálózatból ered, a maradék

a vonal- és törzshálózat elemein keresztül jut a rendszerbe. Az előbbi problémára a következetes szűrőzés a megoldás. Minden kábeltévé előfizetőnél, aki nem Internet előfizető a csillagpontban vagy az előfizetői faliajzatban ki kell szűrni a visszirányú frekvenciasávot. A kábelmodemes ügyfeleknél mindenképpen ajánlott a multimédia faliajzat alkalmazása, mivel ez csak a modem felé hagyja nyitva a visszirányt, a tv és rádió felől továbbra sem engedi be a nem kívánt zajokat. A vonal- és törzshálózat hibáit a fejállomástól indulva optikai csomópontként, erősítőként haladva deríthetjük fel. Hatékony módszer lehet emellett szivárgásméréssel keresni a kábelrendszerben a rést, ugyanis ahol be tud jutni a zavar, ott egészen biztosan szivárogni is fog az előreirányú jel. Így gyorsan behatárolhatjuk a rossz csatlakozót vagy szakadt kábelt. A jellemző hibaforrások a rosszul szerelt vagy korrodált csatlakozók, törött kábelek és túlvezérelt aktív komponensek.

A hálózat „zajmentessége” szükséges, de nem elégséges feltétele a visszirány működésének. A visszirányt be is kell állítani. Ennek a vázlatja látható a 7.2.8. ábrán.



7.2.8. ábra. Visszirányú KTV hálózat

A kábelmodemek visszirányú adási szintjének dinamikartományára vonatkozó (Euro)DOCSIS előírások a 7.2.5. táblázatban láthatók.

A kábelmodem visszirányú frekvenciája és csatorna-sávszélessége szabadon állítható az adott tartományon belül. Az adási teljesítményt a kábelmodem automatikusan állítja be a CMTS vezényletével. A kábelmodem úgy állítja a visszirányának szintjét, hogy a kábelmodem központi egységének visszirányú bemenetére minden modemtől egyforma szinttel érkezzen be a jel. Viszont ha itt egyforma ez a szint, akkor egység erősítést feltételezve, az már az első visszirányú erősítő (utolsó aktív elem) bemenetén is egyforma lesz.

A visszirányú adási szint dinamikatartománya. 7.2.5. táblázat

Moduláció	Adási szint, dBmV	
	DOCSIS	EuroDOCSIS
QPSK	8 ... 58	8 ... 58
16QAM	8 ... 55	8 ... 55

Ez a megállapítás nagyban segíti a visszirány szintezését. A közös teljesítményszintet, amire szintezünk két szempont figyelembe vételével kell meghatározni. Az első a modem szabályozási tartománya, a másik a kábelhálózat aktív elemeinek optimális működése. Bár a modem dinamikatartománya igen nagy (47...50 dB), de a 7.2.8. ábrán is látszik, hogy az egyenlő előreirányú csatornaszintekre optimalizált kábel-tévé rendszerben könnyen előfordulhat 20...30 dB vagy ennél is nagyobb szintkülönbség az egyes előfizetői visszirányok csillapítása között. A „maradék” adásiszint-tartalékokat pedig igyekszünk a minél jobb jel-zaj viszony érdekében a magasabb tartományba eltolni. Az aktív hálózati elemek közül a visszirányú optikai adók a legérzékenyebbek a bemeneti RF-szintre. Egy átlagos Fabry-Perot lézeres optikai adó az optimális jel-zaj viszony értéket 3,2 MHz-es sávszélességű csatornaterhelés esetén kb. 17...19 dBmV bemeneti RF-szint mellett adja. Ennél kisebb teljesítményű jelnél nem használjuk ki az elérhető legjobb jel-zaj viszonyt, nagyobb jelnél az adó túlvezérlődik és ez akár 20...30 dB-lel is megemelheti az alapzaj szintjét. A visszirányt egységerősítésre szintezzük, úgy, hogy minden visszirányú erősítő vagy optikai csomópont bemenetén a szint 18 dBmV legyen.

Ez azt jelenti, hogy az erősítők visszirányú erősítése megegyezik a visszirányú erősítő előtt lévő hálózat csillapításával. Az A jelű erősítő erősítése így 3 dB, mivel az ONU és az erősítő közötti kábelszakasz csillapítása 3 dB. A B és C jelű erősítők visszirányú erősítése ennek megfelelően 4 dB és 3 dB.

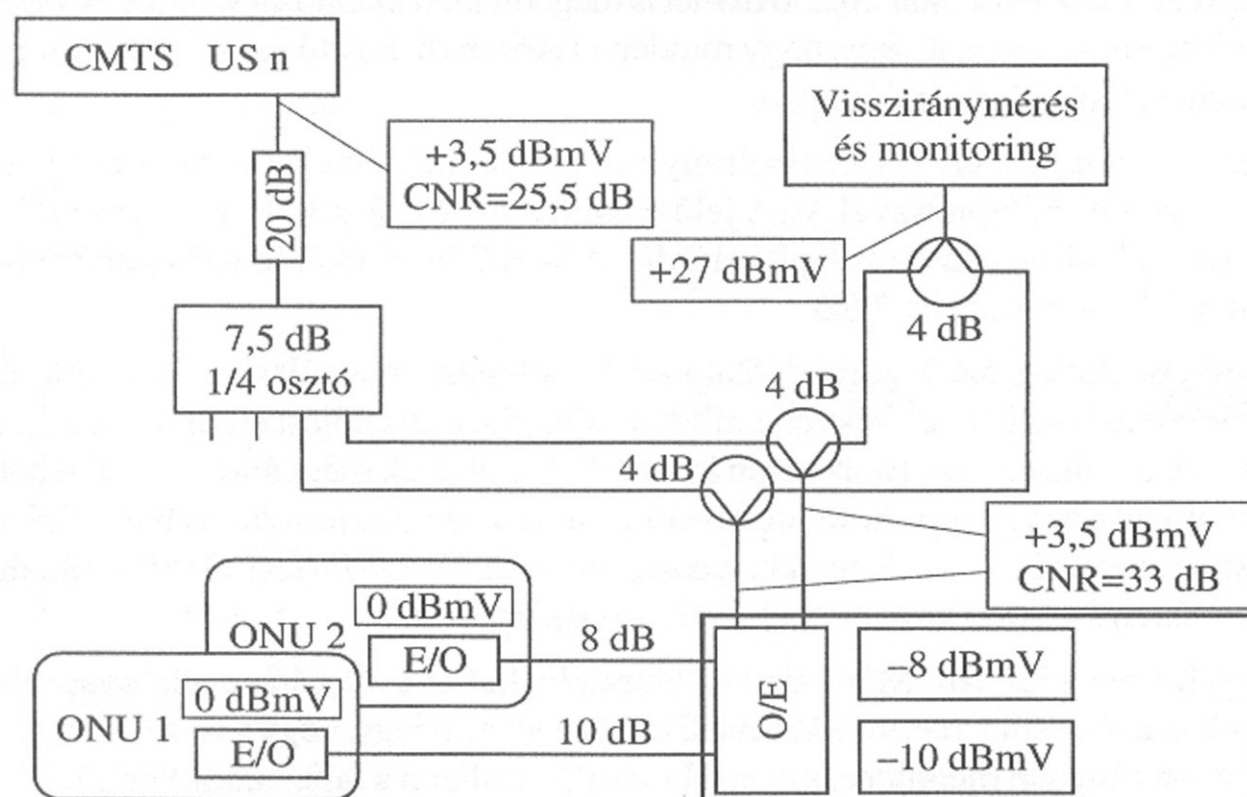
Az erősítők beállítása 6.4.9. ábrán látható ATT csillapítás megválasztásával történik. Bár a visszirányú sávban a kábel frekvenciafüggő csillapítása kis dőlést eredményez, kompenzálására mégis szükség van. Ez az ábrán látható EQ értékének megválasztásával lehetséges. A megfelelő jel-zaj viszony és szintek beállítása a teljes visszirányú sávban a 6.4. alfejezetben ismertetett mérési elvek alapján valósítható meg, pl. az SDA 5500 (5510) fejállomási egységből és SDA 5000 kézműszerből álló műszerpárral.

Alacsony frekvencián (65 MHz alatt) a koaxiális kábel csillapítása elhanyagolható az osztók és leágazók csillapításához képest. Ezért is nem mindegy, hogy a használt multimédia faliajzat visszirányban mennyit csillapít. Ha 10 dB-t csillapít a faliajzat, akkor a 7.2.8. ábrán az 1. kábelmodem már a határérték felett kell, hogy működjön. A rendszerszint csökkentésével normál tartományba tudjuk ugyan hozni újra a hálózatot, de ezzel értékes dB-eket veszítünk a visszirányú SNR-ből.

Fejállomás/kábelmodem központ

A DOCSIS és EuroDOCSIS szabvány 25, ill. 22 dB-ben határozza meg a visszirány optimális jel-zaj viszonyát. A visszirányú kommunikáció paramétereit a kábelmodem központi egységben kell beállítani. Minél nagyobb frekvenciát választunk a visszirányú csatornánk számára, többnyire annál alacsonyabb az alapzajszint. Ezért előnyösebb az EuroDOCSIS szabvány 65 MHz-ig állítható visszirányú frekvenciája a DOCSIS 42 MHz-es tartományánál. A visszirány sávszélességét és modulációját illetően teljesen egyforma a fenti két előírás, vagyis 200 kHz-től 3,2 MHz-ig változtatható a sávszélesség és QPSK vagy 16QAM lehet a moduláció. A beállítás az adott visszirányú ágban elérhető jel-zaj viszonytól függ. Robosztusabb, zavartűrőbb átvitel eléréséhez csökkenteni kell a visszirányú csatorna sávszélességét és QPSK modulációt érdemes választani. A zavartűrőbb csatorna-beállítás mellékhatása a lassabb átviteli sebesség.

Nézzük meg a visszirány kialakítását a két főbb hálózattípusnál. Az ábrákon külön-külön szerepel az optikai és koaxiális fejállomás. Természetesen ezeket keverten is használhatjuk, azzal a kikötéssel, hogy a CMTS egy visszirányú csatornájára csak egyféle technológiát szabad kötni. A központi egységben a visszirányban használt sávszélességtől függően $-16\dots+26$ dBmV-os tartományba állítható a vételi szint és az egy csatornában üzemelő modem jelszintjei ettől csupán 2...3 dB-lel térhetnek el. Ha a modem nem képes ezeken a határokon belül működni, akkor a CMTS elutasítja a modem regisztrációs kérését.

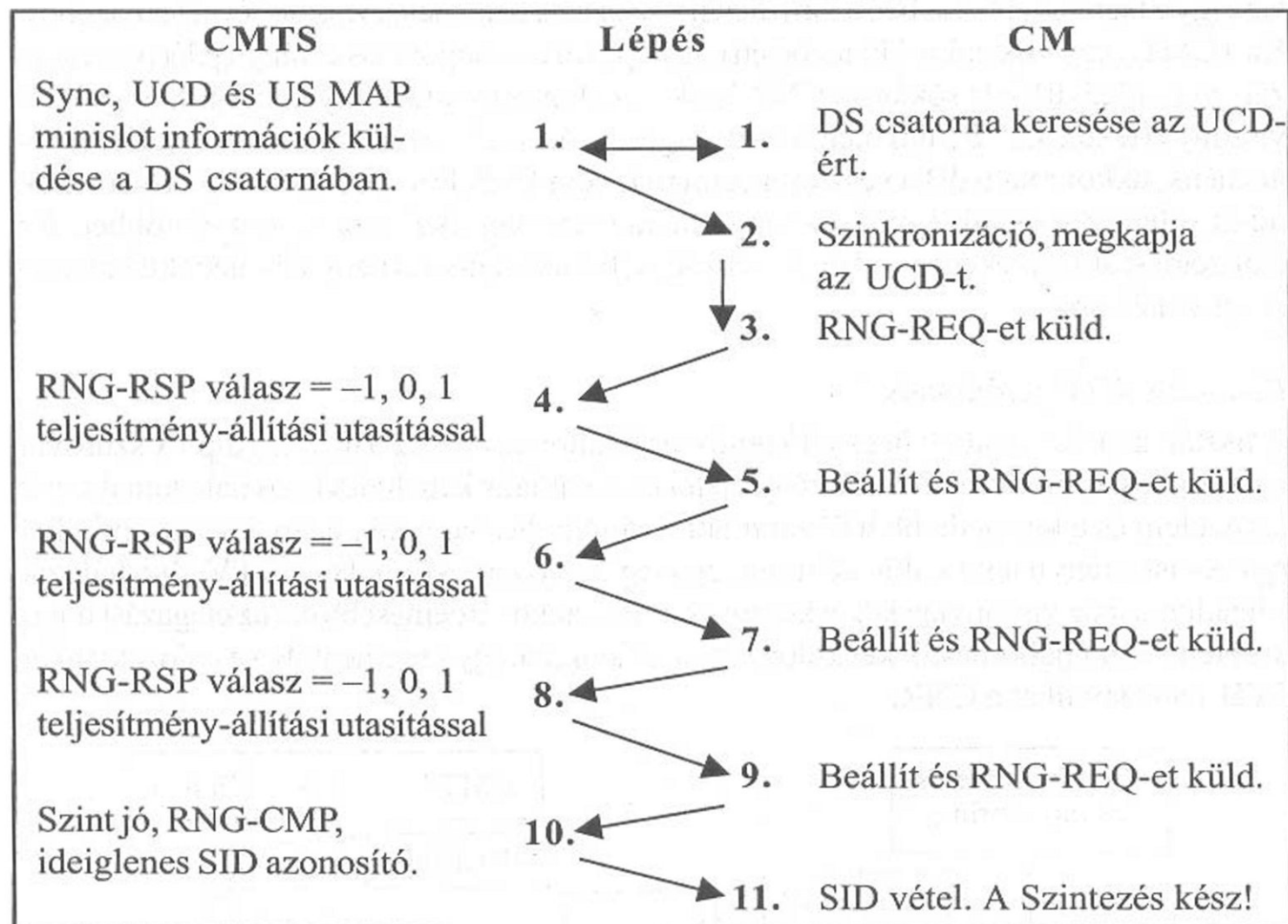


7.2.9. ábra. Visszirány az optikai fejállomáson

HFC hálózatok esetén (7.2.9. ábra) a visszirányú jel minden egyes optikai csomópontból (ONU) külön optikai szálon jut vissza a fejállomásra. Ott az optikai/elektromos átalakítás után RF-jelként jelenik meg a vevő kimenetén. A visszirányú optikai átviteli úton stan-

7.2.3. Kábelmodemek működése

A kábelmodemek bekapcsolásuk után a Szintezés (Ranging) és Regisztráció eljárások után kerülnek használatra alkalmas állapotba. A Szintezés folyamán a modem bejelentkezik a központi egységbe, felépíti a fizikai kapcsolatot és beállítja a vissz irányú adási szintet. A Szintezési folyamat menete a 7.2.11. ábrán láthatók.



7.2.11. ábra. A Szintezési folyamat menete

A Szintezési folyamat fő lépései a következők.

1. A kábelmodem központ (CMTS) az előre irányú (DS) csatornában folyamatosan küldi a szinkronizációs (Sync), a vissz irányú csatornát leíró UCD és vissz irányú csatorna időréseinek (minislot) kiosztását tartalmazó MAP csomagokat.
2. – 3. A kábelmodem (CM) ezt veszi és az UCD-ben meghatározott frekvencián, sáv szélességgel és modulációval, a MAP által engedélyezett időrésben elküldi a CMTS-nek az egyedi MAC azonosítójával együtt a Ranging Request-et (RNG-REQ), vagyis a fizikai kapcsolat felépítésének kérését.
4. A központi egység regisztrálja a kérést és válaszüzenetében utasítást ad a CM kezdeti adási szintjének 1 dB-es növelésére vagy csökkentésére.

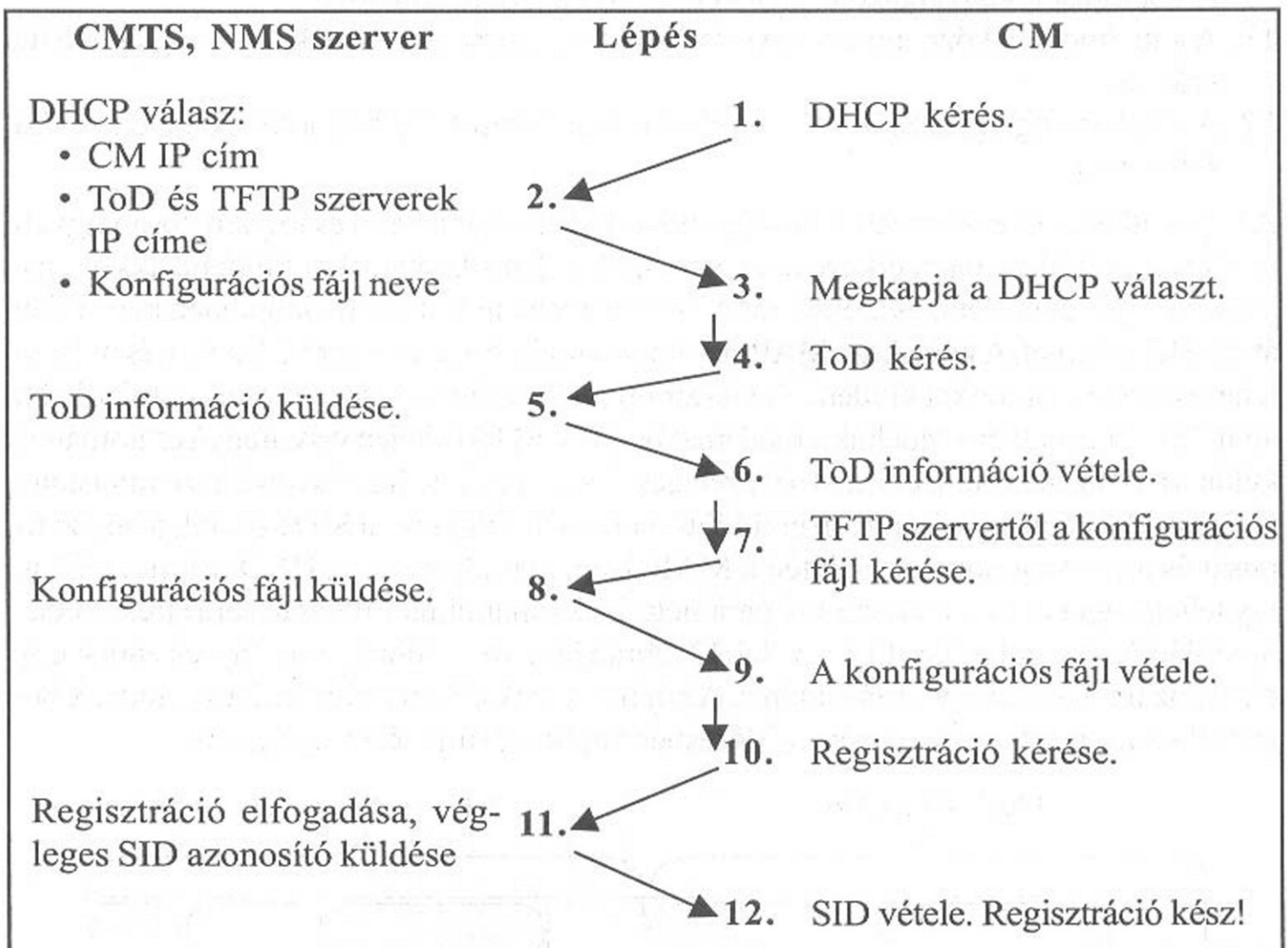
5. A modem veszi az üzenetet és elvégzi a beállítást, majd újbóli RNG-REQ kéréssel fordul a CMTS-hez.

A 3. – 4. – 5. lépés addig ismétlődik, amíg a kábelmodem központi egység megfelelőnek nem találja az adási szintet. Ha ezt a modem nem tudja elérni, akkor a CMTS visszautasítja a kérést és kezdődik előlről a folyamat.

6. A CMTS sikeres beállítás üzenetben (RNG-CMP) tudatja a modemmel, hogy most már megfelelő az adási szint, és elküld egy ideiglenes SID azonosítót.

7. A CM nyugtázza a sikeres Szintbeállítás végét.

Ezt követően automatikusan elindul a regisztráció, amelynek folyamata a 7.2.12. ábrán látható. A modem és az ügyfél hitelesítése után beállításra kerülnek a működési paraméterek.



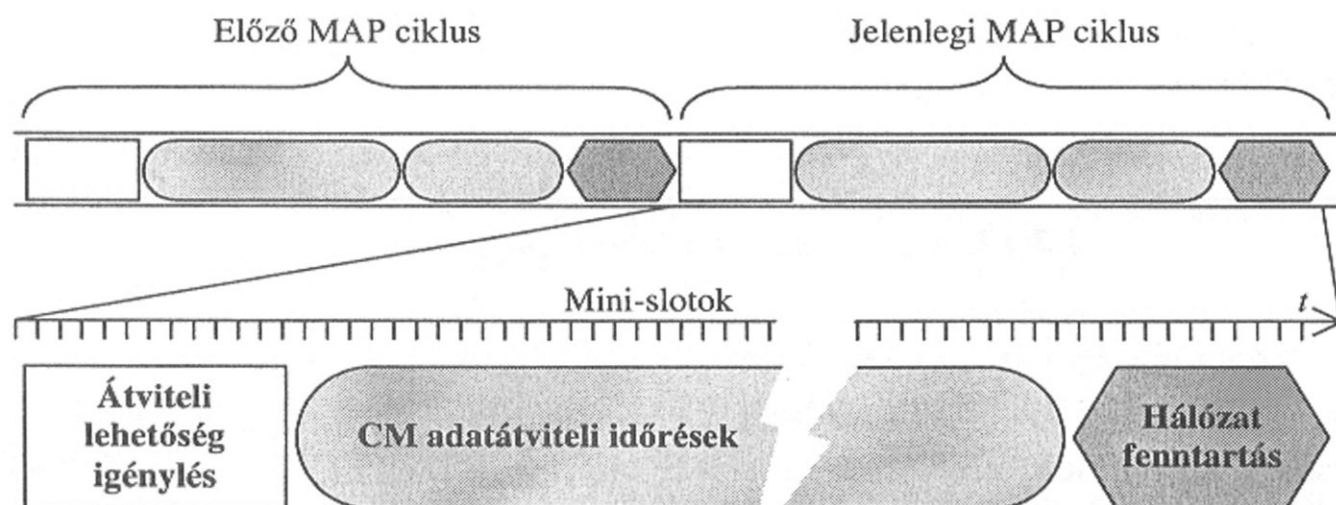
7.2.12. ábra A Regisztrációs folyamat menete

A regisztráció lépéseit a következők.

1. A kábelmodem DHCP kérést küld a központi egységen keresztül a hálózat-menedzsment szervernek, amiben kéri a saját IP címét, a ToD és TFTP szerver IP címét és a letöltendő konfigurációs fájl nevét. A kérés mellé a modem elküldi a MAC azonosítóját.

2. Az NMS szerver a MAC cím alapján ellenőrzi, hogy a modem és a hozzá tartozó felhasználó jogosult, és ha igen milyen feltételekkel a hálózat használatára. Ezután megküldi a rendszer-csatlakozáshoz szükséges információkat.
3. – 4. A kábelmodem megkapja a saját és a kiszolgálók IP címét. Kérést küld a Rendszeridő szervernek (ToD) a pontos időért. A ToD szervert általában valamelyik Interneten elérhető atomórához igazítják.
5. A Rendszeridő szerver megküldi a pontos időt.
6. – 7. A CM beállítja az időt, majd megszólítja a TFTP szerveret, hogy a modemhez rendelt konfigurációs állományt töltsse le.
8. A TFTP szerver elküldi a kért konfigurációs állományt.
9. – 10. A kábelmodem veszi a konfigurációs fájlt, értelmezi és elvégzi a beállításokat. A beállítások visszaigazolásával kéri a CMTS a regisztrációját.
11. A kábelmodem központi egység elfogadja a regisztrációt és megküldi a végleges SID számot.
12. A modem fogadja a SID-et és ezzel sikeresen lezárul a kábelmodem bejelentkezési folyamata.

A bejelentkezés után a modem normális működési állapotba kerül és folyamatosan figyeli az előreirányból számára érkező adatcsomagokat. Ha adatokat akar küldeni, akkor egy, a visszirányú időrés leíró és kiosztó (MAP) üzenetben meghatározott időpillanatban kérhet átviteli lehetőséget. A következő MAP tartalmazni fogja, hogy a modemnek mikor és mennyi lehetősége lesz adatokat küldeni. A visszirányú időrészeket az előreirányú adatok között átvitt MAP üzenetben rendeljük a modemekhez. A CMTS minden visszirányú csatornához külön MAP üzenetet állít elő, a MAP üzenetek összessége lefedi az összes létező minislotot (időrészt). Minden visszirányban elküldött csomag tartalmazza a SID számot, a borszt típusát és a csomag hosszát. Szintén a MAP üzenet tartalmazza az UCD információkat, így lehetőséget teremt a visszirány paramétereinek dinamikus változtatására (frekvencia, moduláció, sávszélesség stb.). Az 7.2.13. ábrán látható az időrés kiosztás, és ennek egy eleme az ún. hálózatfenntartási időrés. Az új modemek ebben az időszakban tudnak bejelentkezni a rendszerbe, ebben az időrésben zajlik a Szintezési folyamat is.



7.2.13. ábra. Visszirányú időrés kiosztás

7.3. VoIP kábeltelefon

A VoIP, azaz „Hangátvitel Internet Protokoll használatával” technológiát először a nemzetközi hívások költséghatékony megvalósítására alkalmazták. A technológia lényege, hogy a digitalizált hangot a már meglévő adathálózaton viszik át IP protokollal. Az adathálózatokon a garantált szolgáltatási szintet biztosító QoS algoritmus teszi lehetővé, hogy a hangátvitel követelményei teljesüljenek. A kábelrendszeren kialakított adathálózat is alkalmasá tehető a telefon szolgáltatásra és ezt a kábelmodem rendszerekben az 1.1-es és nagyobb verziószámú (Euro)DOCSIS, valamint a (Euro)PacketCable szabványok támogatják.

A felszabaduló telekommunikációs koncessziók lehetővé teszik, hogy az előfizetőknek olyan szolgáltatáscsomagokat kínáljunk, ami nagysebességű adatátvitelt, igény szerinti videót (VoD), virtuális magánhálózat (VPN) lehetőségét, multimédia szolgáltatásokat és hangátvitelt tartalmaz.

A VoIP telefónia megvalósítására a HFC hálózaton kétféle megoldás létezik: a kapcsolt IP alapú, és a teljesen IP alapú. A kapcsolt IP alapú megoldás viszonylag alacsony költségű és kockázatú megoldás, ahol a meglévő távközlési hálózati kapcsolóközpontokhoz (CLASS V switch) csatlakozunk V5.2-es típusú illesztéssel keresztül. Az végponttól-végpontig terjedően teljesen IP alapú megoldás a kifejezetten nagy (több mint 100 000 előfizetőt tartalmazó), újonnan létesülő hálózatok esetén lehet költséghatékonyabb megoldás.

A kapcsolt IP alapú megoldás

A kapcsolt IP alapú megoldással a meglévő nyilvános kapcsolt telefonhálózati (PSTN) kapcsolóközpontokon keresztül lehet hívásokat kezdeményezni és fogadni. Az úgynevezett IPDT árjárók fordítják a jeleket IP-ről V5.2-re. Ennek a „hibrid” megoldásnak a célja, hogy minél gyorsabban, minél biztonságosabban, az összes telefonos szolgáltatást felölelve és nem utolsósorban gazdaságosan lehessen bevezetni az adatcsomag alapú telefonálás SoftSwitch-en, azaz szoftveres kapcsolókon alapuló architektúráját. A tradicionális, jól kiforrott telefonhálózatok funkcionalitását és megbízhatóságát ma még ugyan nem éri el a kapcsolt IP-s hangátvitel, de lehetőséget teremt egy jobb átviteli kapacitáskihasználtságot eredményező technika bevezetésére. Ez a megközelítés azon túl, hogy tiszta és gazdaságos átmenetet biztosít majd a teljesen IP alapú hangátvitelnek, azonnal kínálja a következő előnyöket:

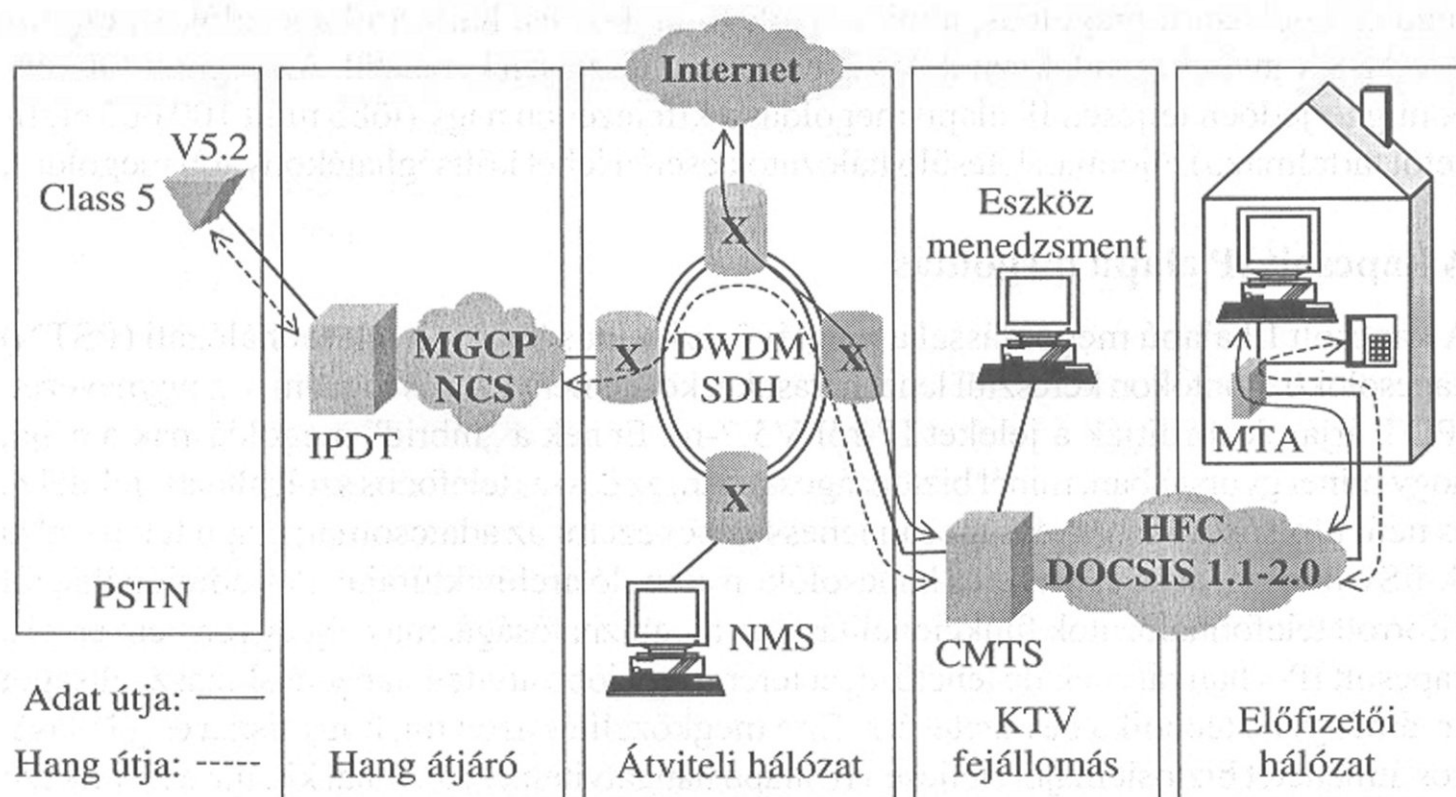
- Csökkenti a SoftSwitch alapú VoIP szolgáltatás bevezetésének kockázatát.
- A telefonos szolgáltatások teljeskörű támogatása már az első naptól.
- A számlázást, a hangpostát a távközlési cég meglévő rendszerei végzik.
- Megtakarítható a szolgáltató a nagy megbízhatóságú infrastruktúrájának (számlázás, karbantartó rendszerek, hálózat menedzsment és sürgősségi szolgáltatás) kiépítési költsége.
- Nyílt szabványok (MGCP és V5.2 jelzésrendszer) használata.

- Szoftver frissítéssel végpontól-végpontig teljesen IP alapú VoIP megoldásra upgrade-elhető.
- Integrált adat és hangrendszer a HFC hálózaton keresztül.

Szolgáltatói oldal

A kábelmodem központot a kapcsolt IP megoldáshoz két ponton kell módosítani. Az első maga az IPDT, vagy más néven a Média Átjáró beállítása. Ezt az informatikai hálózat olyan részén kell elhelyezni, ahol még garantálhatók a hangátviteli követelmények, vagyis tulajdonképpen a QoS. Az átjáró pl. E1-es távközlési vonalakon, V5.2-es illesztéssel csatlakozhat a telefon kapcsolóközponthoz. Az IPDT szolgáltatja a telefonos kábelmodemek számára a jelzéseket is, mint pl. a tárcsahang, a csengetés vagy a foglaltság jel. Az egyes előfizetőkhez tartozó telefonszámokat az IPDT-ben tárolt előfizetői adatok alapján a telefonos kapcsolóközpont tartja nyilván.

A másik szükséges módosítás a menedzsment-szoftvert érinti. A VoIP-kábelmodemeket vagy a különálló VoIP-telefonokat ugyanis, hasonlóan a kábelmodemekhez konfigurálni kell a működéshez szükséges paraméterekkel. A kapcsolt IP megoldás a 7.3.1. ábrán látható.



7.3.1. ábra. Kapcsolt IP megoldás architektúrája

Előfizetői oldal

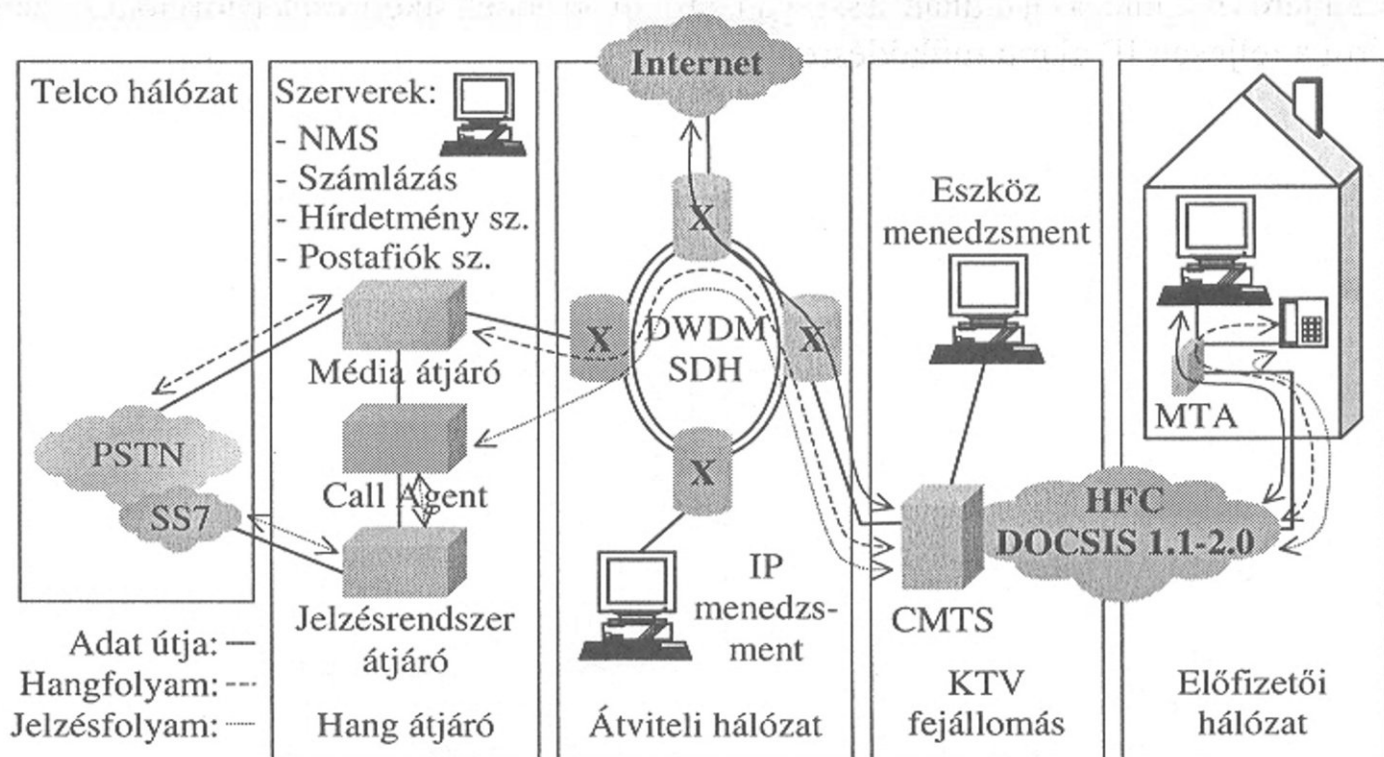
Az előfizetői oldalon, függetlenül a központ kialakításától kétféle megvalósítás létezik. Az egyik amikor a meglévő (Euro)DOCSIS 1.1 vagy 2.0 kábelmodemhez kötünk egy külső VoIP-készüléket (egy adaptert), amihez a normál analóg telefont csatlakozhatunk. Ezt általában akkor alkalmazzák, amikor az ügyfélnek már van kábelmodemje. Új előfize-

tőknél használhatunk kábelmodemmel egybeépített VoIP-telefont és így az analóg telefon közvetlenül a modemhez csatlakoztatható. Más eszközre vagy szoftverre nincs is szükség.

A IPDT minden a híváshoz és híváskezdeményezéshez tartozó információt lefordít és átvisz a CMTS és a telefonos kapcsolóközpont között, ugyanis a hívások forrását és célját csak ez utóbbi tudja meghatározni. A teljesen IP alapú megoldásnál ezt egy az IP hálózatban található szoftver, a Call Agent (Hívásvezérlő Ügynök) végzi.

A teljesen IP alapú megoldás

A HFC hálózatok esetén a teljesen IP alapú megoldás a végső cél. Ennél az egyik végponttól a másikig tisztán szélessávú IP hálózaton történne az átvitel, legyen szó bármilyen szolgáltatásról. Ez teszi majd lehetővé a Multimédia Szolgáltató számára, hogy a helyi beszélgetéseken túl helyközi és nemzetközi hívásokat is lebonyolíthasson az IP gerinchálózatokon keresztül, anélkül, hogy használna a távközlési szolgáltató infrastruktúráját és ezért fizetnie kellene. A költségcsökkentésen túl az IP a legkülönbözőbb értéknevelt szolgáltatásnak teremti meg az alapját (pl. a videotelefon, multimédia-üzenetküldés, célzott reklámok). A teljesen IP alapú megoldás architektúrájának kialakítása azonban lényegesen több változást és bonyolultabb fejlesztést igényel (7.3.2. ábra).



7.3.2. ábra. Végponttól-végpontig IP megoldás architektúrája

A végponttól végpontig IP megoldáshoz a következő eszközök szükségesek:

Szoftveres VoIP Telefonközpont (Softswitch Call Agent): a rendszer központi része a szoftveres VoIP-telefonközpont. Ez a szoftver biztosítja az összes szabványos funkciót, mint pl. az ügyfél-azonosítás és -regisztráció, hívásirányítás (kapcsolás), hívásinformációgyűjtés, IP címfordítás.

Média átjáró: A Média Átjáró a hangcsomagok továbbítását végzi az IP hálózat felől a nyilvános telefonhálózat felé. A Média átjáró gyakorlatilag azonos lehet az előző megoldás IPDT eszközével, csak más szoftver fut rajta. Az előző megoldáshoz képest a feladata a hangcsomagok továbbítására szűkült, a jelzésrendszert már egy másik rendszer elem kezeli.

Jelzésrendszer Átjáró: Ez az elem adja az átjárási felületet a telefonhálózat (C7/SS7) és a multimédia IP hálózat között. Ez az eszköz fordítja le az IP telefonos ügyfeleknek a PSTN hálózat felől érkező jelzéseket és kiegészítő szolgáltatásokat.

Számlaelőkészítő rendszer: A Számlaelőkészítő rendszer közvetítő funkciót tölt be a VoIP-telefonközpont és a számlázó szoftver között. Ez a program konvertálja a központban tárolt információkat a számlázás számára is feldolgozható formátumra.

A telefonszolgáltatás indítása kábeltelevízió hálózaton nagy kihívás, hiszen a konkurenciának már száz év előnye van ezen a területen. A telefon szolgáltatással szemben az ügyfelek által támasztott követelmények nagyon magasak, mind minőségi, mind megbízhatósági oldalon. Bármilyen új szolgáltatásnak minimum ilyen szintet kell produkálnia, hogy versenyben maradjon. A téma kényességére való tekintettel javasolt a két lépéses IP telefónia bevezetési forgatókönyvet követni: első lépésként a kisebb kockázatú V5.2 átjárós megoldással indítani a szolgáltatást, majd ennek sikere esetén jól előkészítetten áttérni a teljesen IP alapú működésre.

1. Függelék

A tv-csatornák kiosztása a B- és G-, valamint az európai H, I, K és L szabvány szerint

Tv-sáv	A csatorna		Képvivő, MHz	I. hangvivő, MHz	
	sor-száma	határai, MHz			
I.	2	47–54	48,25	53,75	
	3	54–61	55,25	60,75	
	4	61–68	62,25	67,75	
Alsó közben-ső sáv	S2	111–118	112,25	117,75	
	S3	118–125	119,25	124,75	
	S4	125–132	126,25	131,75	
	S5	132–139	133,25	138,75	
	S6	139–146	140,25	145,75	
	S7	146–153	147,25	152,75	
	S8	153–160	154,25	159,75	
	S9	160–167	161,25	166,75	
	S10	167–174	168,25	173,75	
	III.	5	174–181	175,25	180,75
6		181–188	182,25	187,75	
7		188–195	189,25	194,75	
8		195–202	196,25	201,75	
9		202–209	203,25	208,75	
10		209–216	210,25	215,75	
11		216–223	217,25	222,75	
12		223–230	224,25	229,75	
Felső közben-ső sáv		S11	230–237	231,25	236,75
		S12	237–244	238,25	243,75
		S13	244–251	245,25	250,75
		S14	251–258	252,25	257,75
	S15	258–265	259,25	264,75	
	S16	265–272	266,25	271,75	
	S17	272–279	273,25	278,75	
	S18	279–286	280,25	285,75	
	S19	286–293	287,25	292,75	
	S20	293–300	294,25	299,75	

2. hangvivő = képvivő + 5,742 MHz.

Tv-sáv	A csatorna		Képvivő, MHz	I. hangvivő, MHz
	sor-száma	határai, MHz		
Hipersáv	S21	302–310	303,25	308,75
	S22	310–318	311,25	316,75
	S23	318–326	319,25	324,75
	S24	326–334	327,25	332,75
	S25	334–342	335,25	340,75
	S26	342–350	343,25	348,75
	S27	350–358	351,25	356,75
	S28	358–366	359,25	364,75
	S29	366–374	367,25	372,75
	S30	374–382	375,25	380,75
	S31	382–390	383,25	388,75
	S32	390–398	391,25	396,75
	S33	398–406	399,25	404,75
	S34	406–414	407,25	412,75
	S35	414–422	415,25	420,75
	S36	422–430	423	428,75
	S37	430–438	431,25	436,75
	S38	438–446	439,25	444,75
IV.	21	470–478	471,25	476,75
	22	478–486	479,25	484,75
	23	486–494	487,25	492,75
	24	494–502	495,25	500,75
	25	502–510	503,25	508,75
	26	510–518	511,25	516,75
	27	518–526	519,25	524,75
	28	526–534	527,25	532,75
	29	534–542	535,25	540,75
	30	542–550	543,25	548,75
	31	550–558	551,25	556,75
	32	558–566	559,25	564,75
	33	566–574	567,25	572,75
	34	574–582	575,25	580,75
	35	582–590	583,25	588,75
	36	590–598	591,25	596,75
	37	598–606	599,25	604,75

A tv-csatornák kiosztása a B- és G-, valamint az európai H, I, K és L szabvány szerint (folytatás)

Tv-sáv	A csatorna		Képvivő, MHz	I. hangvivő, MHz
	sor-száma	határai, MHz		
V.	38	606-614	607,25	612,75
	39	614-622	615,25	620,75
	40	622-630	623,25	628,75
	41	630-638	631,25	636,75
	42	638-646	639,25	644,75
	43	646-654	647,25	652,75
	44	654-662	655,25	660,75
	45	662-670	663,25	668,75
	46	670-678	671,25	676,75
	47	678-686	679,25	684,75
	48	686-694	687,25	692,75
	49	694-702	695,25	700,75
	50	702-710	703,25	708,75
	51	710-718	711,25	716,75
	52	718-726	719,25	724,75
	53	726-734	727,25	732,75
	54	734-742	735,25	740,75
	55	742-750	743,25	748,75
	56	750-758	751,25	756,75
	57	758-766	759,25	764,75
	58	766-774	767,25	772,75
	59	774-782	775,25	780,75
	60	782-790	783,25	788,75
	61	790-798	791,25	796,75
	62	798-806	798,25	804,75
	63	806-814	807,25	812,75
	64	814-822	815,25	820,75
	65	822-830	823,25	828,75
	66	830-838	831,25	836,75
	67	838-846	839,25	844,75
	68	846-854	847,25	852,75
	69	854-862	855,25	860,75

A tv-csatornák kiosztása az OIRT D-szabvány szerint

Tv-sáv	A csatorna		Képvivő, MHz	I. hangvivő, MHz
	sor-száma	határai, MHz		
BI	RI	48,5-56,5	49,75	56,25
	RII	58-66	59,25	65,75
	RIII	76-84	77,25	83,75
(BII)	RIV	84-92	85,25	91,75
	RV	92-100	93,25	99,75
Alsó közben-ső sáv	s1	110-118	111,25	117,75
	s2	118-126	119,25	125,75
	s3	126-134	127,25	133,75
	s4	134-142	135,25	141,75
	s5	142-150	143,25	149,75
	s6	150-158	151,25	157,75
	s7	158-166	159,25	165,75
	s8	166-174	167,25	173,75
(BIII)	RVI	174-182	175,25	181,75
	RVII	182-190	183,25	189,75
	RVIII	190-198	191,25	197,75
	RIX	198-206	199,25	205,75
	RX	206-214	207,25	213,75
	RXI	214-222	215,25	221,75
	RXII	222-230	223,25	229,75
Felső közben-ső sáv	s9	230-238	231,25	237,75
	⋮	⋮	⋮	⋮
	s38	462-470	463,25	469,75

2. Függelék

Az OIRT és CCIR VHF tv-csatornák összehasonlítása

OIRT	MHz	CCIR
1	48,5	47
2	56,5	54
URH	58	61
3	66	68
4	73	
5	76	
	84	
	92	87,5
	100	100
		URH
A4		S1
A5		S2
A6		S3
A7		S4
A8	174	S5
6	182	S6
7	190	S7
8	198	S8
9	206	S9
10	214	S10
11	222	174
12	230	181
F1	238	188
F2	246	195
F3	254	202
F4	262	209
F5	270	216
F6	278	223
F7	286	230
F8	294	237
F9	302	244
		251
		258
		265
		272
		279
		286
		293
		300
	300	S11
		S12
		S13
		S14
		S15
		S16
		S17
		S18
		S19
		S20
		Hiper-sáv

3. Függelék

Kábeltelevíziós rendszerek alapvető műszaki követelményei az MSZ EN 50083-7 szerint

Vivőszintek az előfizetői csatlakozókon

A szolgáltatás típusa	A legkisebb szint, dB μ V	A legnagyobb szint, dB μ V
AM-VSB televízió	60*	80**
FM-televízió	47	77
FM-hang (mono)	40	70
FM-hang (sztereo)	50	70

* Csak a 8 és 12 MHz-es sávszélességű rendszerek esetén 57 dB μ V

** Csak húsznál több csatornás rendszerek esetén 77 dB μ V

Az egyes vivőszintek különbsége nem haladhatja meg a következő értékeket

Frekvenciasáv	Moduláció	A legnagyobb szintkülönbség, dB
47...682 MHz	AM	12
Bármely 60 MHz-es sávban	AM	6
Szomszédos csatorna	AM	3
950...1750 MHz	FM	15
470 MHz-ig	FM	15

A kölcsönös elválasztás az előfizetői csatlakozók között

Frekvenciasávok	Kölcsönös elválasztás, dB
Tv/Tv (47...862 MHz)	42*
Tv/Tv (950...1750 MHz)	30
Tv/FM-hang	42

* 36 dB azon frekvenciasávok esetén, amelyekben 8 és 12 MHz-es csatornatávolság van

Vivő-zaj viszony az előfizetői csatlakozókon

Rendszer	Szabvány	A legkisebb vivő-zaj viszony, dB	Egyenértékű zajsáv szélesség, MHz
FM-TV	PAL-SECAM	15	27
AM-VSB-TV	I	44	5,08
	B, G	44	4,75
	L	44	5,0
FM-rádió	Mono	38	0,2
FM-rádió	Sztereo	48	0,2

4. Függelék

Az (Euro)DOCSIS RF előreirányú csatorna tulajdonságai

Jellemző	Érték	
	DOCSIS	EuroDOCSIS
Frekvenciatartomány	88 ... 860 MHz	108 ... 862 MHz
Csatorna-sávszélesség	6 MHz	8 MHz
Átviteli késleltetés a CMTS és a legtávolabbi CM között	≤ 0,800 msec (de tipikusan ennél sokkal kisebb)	≤ 0,800 msec (de tipikusan ennél sokkal kisebb)
Vivő-zaj viszony a csatornán belül	≥ 35 dB	≥ 44 dB
Vivő-interferencia (zaj, CPD, XMR) viszony (ingress)	≥ 41 dB	≥ 52 dB
CTB	≤ -41 dBc	≤ -57 dBc
CSO	≤ -41 dBc	≤ -57 dBc
XMR	≤ -41 dBc	–
Amplitúdóingadozás	3 dB	2,5 dB 8 MHz-es csatornán belül
Csoport futási idő ingadozás a CMTS által elfoglalt spektrumban	75 ns	100 ns a 0,5 – 4,43 MHz közötti frekvenciatartományban
Mikro-reflexió a fő visszaverődéshez képest	-10 dBc @ ≤ 0,5 μs -15 dBc @ ≤ 1,0 μs -20 dBc @ ≤ 1,5 μs -30 dBc @ > 1,5 μs	-10 dBc @ ≤ 0,5 μs -15 dBc @ ≤ 1,0 μs -20 dBc @ ≤ 1,5 μs -30 dBc @ > 1,5 μs
Brumm moduláció	≤ 26 dBc (5%)	≤ -46 dBc (0,5%)
Börsztös zaj	Nem hosszabb mint 25 μs 10 Hz átlagos gyakoriság mellett	Nem hosszabb mint 25 μs 10 Hz átlagos gyakoriság mellett
Jelszintingadozás naponként, évszakonként	–	8 dB
Maximális dőlés (slope)	–	85 ... 862 MHz 12 dB
Maximális analóg video szint a CM bemenetén	17 dBmV	77 dBμV
A legalacsonyabb analóg vivőszint az előfizetői aljzaton (beleértve a jelszintingadozást)	–	60 dBμV
Analóg vivők max. száma	121	–

Az (Euro)DOCSIS RF visszirányú csatorna tulajdonságai

Jellemző	Érték	
	DOCSIS	EuroDOCSIS
Frekvenciatartomány	5 ... 42 MHz	5 ... 65 MHz
Átviteli késleltetés a CM és a legtávolabbi CMTS között	≤ 0,800 msec (de tipikusan ennél sokkal kisebb)	≤ 0,800 msec (de tipikusan ennél sokkal kisebb)
Vivő-zaj viszony az aktív csatornában	–	≥ 22 dB
Vivő-beszivárgó jel viszony az aktív csatornában		≥ 22 dB
Vivő-interferencia (zaj, CPD, XMR) viszony az aktív csatornában		≥ 22 dB
Vivő-interferencia (zaj, CPD, XMR) és beszivárgó jel viszony az aktív csatornában	≥ 25 dB	–
Brumm moduláció	≤ -23 dBc (7%)	≤ -23 dBc (7%)
Börsztös zaj	Nem hosszabb mint 10 μs 1 Hz átlagos gyakoriság mellett	Nem hosszabb mint 10 μs 1 Hz átlagos gyakoriság mellett
Amplitúdóingadozás	0,5 dB/MHz	2,5 dB 2 MHz-en belül
Csoport futási idő ingadozás	200 ns/MHz	300 ns 2 MHz-en belül
Mikro-reflexió Egyszeres visszaverődés	-10 dBc @ ≤ 0,5 μs -20 dBc @ ≤ 1,0 μs -30 dBc @ > 1,0 μs	-10 dBc @ ≤ 0,5 μs -20 dBc @ ≤ 1,0 μs -30 dBc @ > 1,0 μs
Naponkénti és évszakonkénti jelszint ingadozás	≤ 14 dB min.-től max.-ig	≤ 12 dB min.-től max.-ig

5. Függelék






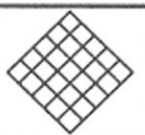


A kábeltelevíziós szolgáltatásokban előforduló gyakoribb rövidítések feloldása és magyar megfelelője

Rövidítés	Magyar nyelvű értelmezés	Idegennyelvű értelmezés
BER	Bithiba arány	Bit Error Rate
CENELEC	Európai Elektrotechnikai Szabványosítási Bizottság	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique
CM	Kábelmodem	Cable Modem
CMTS	Kábelmodem Központi Egység	Cable Modem Terminal Station
DHCP	Dinamikus végpont konfigurációs protokoll	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Tartomány Név kiszolgáló	Domain Name Server
DOCSIS	A kábelhálózatos adatátvitel interfész specifikációja	Data Over Cable Service Interface Specification
DS	Előreirány	Downstream
ETS	Európai Távközlési Szabvány	European Telecommunication Standard
ETSI	Európai Távközlési Szabványosítási Intézet	European Telecommunications Standards Institute
IEC	Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság	International Electrotechnical Commission
IEEE	Villamos- és Elektromérnökök Intézete	The Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.
IP	Internet Protokoll	Internet Protocol
IPDT	IP adat-végberendezés	Internet Protocol Data Terminal
LAN	Helyi hálózat	Local Area Network
MAC	Közeghozzáférés szabályozás	Media Access Control
MAP	Média hozzáférési protokoll	Media Access Protocol
MGCP	Média Átjáró Vezérlő Protokoll	Media Gateway Control Protocol
MTA	Multimédia Terminál Csatoló	Multimedia Terminal Adaptor
MSO	Multimédia Szolgáltató	Multimedia Service Operator
NMS	Hálózat felügyelő szoftver	Network Management Software
NS	Hálózati szerver	Network Server
ONU	Optikai csomópont	Optical Node Unit
PC	Személyi számítógép	Personal Computer
PPV	Fizetős-tv	Pay Per View
PSTN	Nyilvános Kapcsolt Telefonhálózat	Public Switched Telephone Network

Rövidítés	Magyarnyelvű értelmezés	Idegennyelvű értelmezés
QoS	Garantált Szolgáltatási Szint Mechanizmus	Quality of Service
Router	IP útvonalválasztó	Router
SID	Szolgáltatásazonosító	Service Identifier
Switch	Ethernet elosztó/ismétlő	Switch
TDMA	Időosztásos hozzáférés	Time Division Multiplex Access
TFTP	Internet protokoll fájlok letöltéséhez felhasználónév és jelszó nélküli automatikus letöltésekhez.	Trivial File Transfer Protocol
ToD	Rendszeridő szerver	Time of Day
UCD	Visszirányú csatornaleíró	Upstream Channel Descriptor
US	Visszirány	Upstream
USB	Univerzális soros sín	Universal Serial Bus
VoD	Igény szerinti video	Video on Demand
VoIP	Hangátvitel IP protokollal	Voice over IP
VPN	Virtuális Magánhálózat	Virtual Private Network

6. Függelék

Az IP védettségi fokozatok

Szilárd tárgyakkal szembeni védettség			Folyékony anyagokkal szembeni védettség		
Az első karakter	Leírás és jelzés		Az első karakter	Leírás és jelzés	
0	Nem védett		0	Nem védett	
1	50 mm-nél nagyobb szilárd tárgyakkal szemben védett		1	Csepegő víz ellen védett	
2	12 mm-nél nagyobb szilárd tárgyakkal szemben védett		2	Csepegő víz ellen védett 15°-os dőlés esetén	
3	2,5 mm-nél nagyobb szilárd tárgyakkal szemben védett		3	Eső ellen védett 60°-os dőlés esetén	
4	1 mm-nél nagyobb szilárd tárgyakkal szemben védett		4	Freccsenő víz ellen védett bármely irányból	
5	Por ellen védett		5	Vízszugár ellen védett bármely irányból	
6	Por ellen tömített		6	Viharos tenger ellen védett	
			7	Vízbemerítés ellen védett	
			8	Tartós víz bemerítés ellen védett a gyártó által megadott mélységig	

Irodalomjegyzék

Acterna CLI1750 manual

Acterna SDA5000 manual

ALPHA XM series manual

ANTEC 870 MHz Line Extender manual

BABOSA ANTAL, DANYI VILMOS, KVASZ MIHÁLY: Híradástechnika. Tankönyvmester Kiadó, Bp., 2001.

BAGOLY ZSOLT, CSÁKÁNY ANTAL stb.: Elektronika laboratórium II. jegyzet, ELTE Információtechnológiai Oktatási Laboratórium, 2001.

Basic CATV Concepts (Theta-com/Texscan)

Basic CATV Concepts (Theta-com/Texscan)

C-Cor Catalog 2002.

CommScope Drop Cable Catalog 1994.

DÉSI ALBERT szerk.: Közösségi vevőantenna berendezések. Építésügyi Tájékoztatási Központ, Bp., 1991.

DOCSIS 1.0, <http://www.cablemodem.com/specifications/>, 2003. 09. 10.

DOCSIS 1.1, <http://www.cablemodem.com/specifications/>, 2003. 09. 10.

DOCSIS 2.0, <http://www.cablemodem.com/specifications/>, 2003. 09. 10.

DR. BÁRDOS SÁNDOR: Kábeltelevízió, videokommunikáció. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1983.

DR. BÁRDOS SÁNDOR: Közösségi vevőantenna rendszerek. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1975.

FDR – Frequency Domain Reflectometer, www.acterna.com

SZILÁGYI MIKLÓS (főszerk.): Fizikai kislexikon, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1977.

Fundamentals of DWDM Technology, <http://www.cisco.com>

HAYES, JIM: Understanding OTDRs, Fotec

HP 8591 C analyser manual

JAKAB TIVADAR: Infokommunikációs hálózatok tervezése – Optikai hálózati alapfunkciók. BME Híradástechnikai tanszék, 2002.

Gróf Róbert: Kábelmodem rendszerek kábelhálózati követelményei, Media Kábel Műhold, 2003. évf., 5. – 9. sz.

Kábeltelevízió, közösségi televízió és épületfelügyelő diszpécserrendszerek létesítése és üzemeltetése. Építésügyi Tájékoztatási Központ, Bp., 1989.

MSZ 11458/1-86 Magyar Szabvány.

MSZ 11458/2-87 Magyar szabvány.

- MSZ EN 50083-1; MSZ EN 50083-1/A1; MSZ EN 50083-1/A2 Biztonsági követelmények
- MSZ EN 50083-2 Berendezések elektromágneses összeférhetősége
- MSZ EN 50083-3 Koaxiális hálózatok aktív szélessávú elemei
- MSZ EN 50083-4 Koaxiális hálózatok passzív szélessávú elemei
- MSZ EN 50083-5 Fejállomás
- MSZ EN 50083-6 Fényvezetős berendezések
- MSZ EN 50083-7; MSZ EN 50083-7/A1 Rendszerjellemzők
- MSZ EN 50083-8 Kábelhálózatok elektromágneses összeférhetősége
- MSZ EN 50083-9 CATV/SMATV fejállomások interfészei és hasonló professzionális berendezések DVB/MPEG-2 szállítási adatfolyamathoz
- MSZ EN 50083-10 A visszirányú rendszerjellemzők
- PacketCable 1.0, <http://www.packetcable.com/specifications/>, 2003. 09. 10.
- PacketCable 1.1, <http://www.packetcable.com/specifications/>, 2003. 09. 10.
- PacketCable 1.2, <http://www.packetcable.com/specifications/>, 2003. 09. 10.
- PacketCable 1.3, <http://www.packetcable.com/specifications/>, 2003. 09. 10.
- Pass, Nelson: Cascode Amp Design, Pass Labs
- Philips AMP0060 manual
- Philips: Catalog of Broadband Network Solutions
- Pocket Cable Guide, MAGNAVOX CATV Systes Co. 1988.
- SLATER, JAMES N.: Cable Television Technology
- SOLTI MIKLÓS: Kábeltelevíziós elosztóhálózatok tervezése. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1996.
- STADLER, ERICH: Moduláció a híradástechnikában. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1983.
- S. Tóth Ferenc (szerk): Rádió és televízió műszaki alapismeretek kézikönyve. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1983.
- Teletronik Catalog
- TEMESVÁRI ZSOLT: A fényvezető szálak tulajdonságai és mérési technológiái
- THOMAS, J. L.: Cable Television Proof-of-Performance, 1995.
- TAGAMI, T.; EHARA, H. stb.: Resonator Type SAW Filter, OKI Technical Review, No. 158, Vol. 63, April, 1997.
- www.fiber-optics.info
- www.noise.com: Application Note 117.
- www.tpub.com
- YAO, STEVE: A Tutorial, IEEE International Frequency Control Symposium, 1998.
- YAO, JIANPING: Laser Diodes I., Optical Amplifiers, Modulators and Switchers, Optical Amplifiers, <http://www.site.uottawa.ca/~jpyao/>