

Közepes kapacitású, 2 GHz-es analóg-digitális mikrohullámú rádiórelé rendszer tervezési kérdései

DENK ATTILA
Orion



ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző olyan 2 GHz-es sávban működő hibrid rádiórelé rendszert ismertet, melynek adó-vevői azonos felépítésűek és 1020 FDM telefoncsatorna, vagy színes TV és kísérő zenecsatornák, vagy 34 Mbit/s-os jelfolyam átvitelét biztosítják. A cikk a rendszertechnikai tervezés után a rendszer egyes berendezéseinek ismertetésével foglalkozik.

1. Bevezetés

A mikrohullámú rádiórelé rendszerek területén az 1970-es évek közepéig szinte egyeduralkodók voltak az analóg berendezések. Az 1980-as évek közepére azonban az új rendszerek többsége már digitális rádiórelé berendezésekből épült fel. A tendencia az, hogy az évezred végére a digitális berendezések kiszorítják az analóg berendezéseket. Ebben az átmeneti 15–20 évben reális igény az olyan rendszerek tervezése, gyártása és felhasználása melyek a jelforráshoz és nyelőhöz illeszkedően mind digitális PCM mind analóg (FDM) átviteli utat biztosítanak. Bár a meglévő eszköz- és műszerpark, valamint a kezelői ismeretek késleltetik az analóg rendszerek kihalását, a digitális átvitel térhódítását az alábbiak gyorsítják:

Növekszik az igény digitális eredetű információ (pl. adatjelek) átvitelére

— A sokcsatornás távbeszélő technikában a drága FDM berendezésekkel szemben előtérbe kerülnek a nagy integráltságú PCM multiplex berendezések

— A félvezető technika kiugróan gyorsan fejlődik a digitális áramkörök szférájában

— A digitális technikával megvalósított berendezések átviteli minősége az idő nagy százalékában függetleníthető a fading hatásától, zavarokra kevésbé érzékeny

— A digitális jelfolyam regenerálásával az ismétlések száma elméletileg tetszőleges lehet.

A vegyes rendszerek felhasználására 15–20 évig igény van, ugyanakkor előnnyel járnak a felhasználónak (berendezések ára, tartalékok csökkentése, karbantartás egyszerűsödés, egységes műszerpark stb.) és a gyártónak is (kedvezőbb darabszám, előállítási költség stb.).

2. Frekvenciasáv választása

A CCIR régóta foglalkozik a vegyes átvitel műszaki kérdéseivel, egyelőre azonban csak a 10, 7...11,7

Beérkezett: 1986. V. 7. (★)

DENK ATTILA

A BME Villamosmérnöki Karán mikrohullám ágazaton szerzett diplomát 1969-ben. Kezdetben a TKI fejlesztésű mikrohullámú áramkörök honosításában vett részt, majd 1973-tól rendszertechnikai feladatokkal bízták meg. 1974 vége óta mint rendszertechnikai fejlesztési osztályvezető

az Orion fejlesztésű berendezések tervezését irányítja. Legfontosabb korábbi munkái: 7 és 8 GHz-es 960 TF/TV rádióreléberendezés család, RRM—8 kiscsatornaszámú berendezés, RP 2/120T rendszer. Több folyóiratcikke jelent meg. Számos előadást tartott Magyarországon, illetve külföldön.

GHz-es frekvenciasávra jelent meg ajánlás (Rec 387—3). Az ajánlás példaként közöl egy vegyes analóg-digitális frekvenciatervet, mely szerint a digitális és analóg részsávok vivőfrekvenciái között 60 MHz-es védősávot ír elő. Ez az érték lényegesen több, mint a más frekvenciasávokban szokásos raszter.

Átlagos állomástávolság: 35 km.

További lehetőségekkel a CCIR Rep. 610—1 jelentésben találkozhatunk. Három alapelrendezés jöhet szóba:

a) a digitális csatornák a teljes sávot igénybeveszik. A mi szempontunkból ez érdektelen.

b) a digitális átvitel bizonyos kijelölt csatornákon történik

c) a digitális átvitel részsávokon történik. Így mindkét irányban egy-egy analóg és digitális rész-sáv adódik. Ekkor a szükséges mértékű analóg/digitális elválasztás szabja meg a digitális rész-sáv csatornaszámát.

Ugyanezen jelentés függeléke már megépített és kipróbált rendszerek adatait közli a szomszédcsatorna interferenciával kapcsolatban. Konklúziói az alábbiak:

— Vegyes digitális/analóg csatornák elhelyezésére legalkalmasabb a 2 GHz-es frekvenciasáv.

— 1020 FDM—FM telefoncsatorna és QPSK modulációjú 34,368 Mbit/s jelfolyam koegzisztenciája lehetséges a 2 GHz-es sávban 28 MHz-es raszterben. Meredek levágású adószűrő alkalmazásával a szomszédos csatornák azonos polarizációjúak lehetnek.

Ilyen feltételek esetén a megengedett szomszédcsatornás interferencia zaj az FDM csatornáknál szakaszonként néhány pWop lehet.

Mindezek alapján választásunk a 2 GHz-es (1,7—2,1 GHz) sávra esett és a korábban említett a—b—c variációk közül a b.) változat mellett

döntöttünk úgy, hogy nem teszünk megkötést a különböző információt hordozó vivő egymásmellettiségére.

3. Tervcél ismertetése

3.1 Alkalmazás

Közepes kapacitású analóg/digitális rádiórelő rendszer, mely körzeti alkalmazásokban a 2 GHz-es frekvenciatartományban max. 5 + 1 duplex rádiócsatorna átvitelét biztosítja egyantennás üzemmódban, négyfrekvenciás frekvenciaterv szerint. Átlagos állomástávolság 46,7 km, a referenciális hálózat hossza 840 km.

3.2 Szolgáltatás

A később ismertetésre kerülő rendszer berendezései a CCIR Rec 382—3 ajánlás szerinti 1700—2100 MHz-es frekvenciasávban rádiófrekvenciás csatornánként az alábbiakat biztosítják:

- Vagy max. 1020 FDM—FM telefoncsatorna és a hozzátartozó 4 szolgálati és 48 kiegészítő csatorna és egy sávfeletti 2 Mbit/s jelfolyam átvitele.
- Vagy színes TV műsor és max. 4 db 15 kHz-es zenecsatorna átvitele.
- Vagy 34 Mbit/s sebességű digitális jelfolyam és 4 db analóg szolgálati csatorna átvitele.

A kapcsoló automatika max. 5 üzemi csatornához biztosít egy közös melegtartalék csatornát. A távellenőrzés rendszere egy központi állomásról automatikus lekérdezéssel ad információt valamennyi állomás állapotáról.

A szolgálati távbeszélő csatorna omnibusz vagy express kiépítésű.

Az analóg csatornán max. 300 FDM telefoncsatorna leágaztatása és visszatáplálása lehetséges.

3.3 Környezeti jellemzők

Működési hőmérséklettartomány
végállomási berendezéseknek: 0 °C... + 50 °C
ismétlőállomási berendezésnél —10°... + 50 °C
Relatív légnedvesség: max. 85% 25 °C-on

4. Általános jellemzők

- Valamennyi csatornára középfrekvenciás (70 MHz) be és kimenetű adó-vevők
- Mind az üzemi, mind a tartalékcsontrán heterodin ismétlők
- FDM/FM illetve offset QPSK moduláció
- Főinformációtól független szolgálati moduláció
- Slim-rack konstrukció
- Teljes félvezetős, nagyrészt integrált áramkörös felépítés
- Alacsony teljesítmény felvétel: $P_{ki} = 2W$ esetén max. 40W/adó-vevő (24V-ról)
- Rádiófrekvenciás illeszkedés: vegyes analóg-digitális vonalakhoz több kimenő teljesítményű változatban
- Telepítési igényekhez illeszkedően Ø2 m és Ø4 m-es antennák.

— Működtetési, szervizelési feltételek: moduláris felépítés gyors blokkcsere lehetőséggel.

5. Rendszertechnikai kérdések

5.1 A 2 GHz-es sávból adódó feladatok

A 2 GHz-es frekvenciatartomány számos előnye mellett (olcsóbb berendezés alkalmazható, könnyebben előállítható kimenőteljesítmény, kisebb fadingtartalék igény) lényeges hátrányokkal rendelkezik a magasabb frekvenciasávokkal szemben ezek a hátrányok:

- Az első Fresnel zóna nyitottsága magasabb tornyokat ill. hosszabb kábelt kíván.
- Nem realizálhatók nagy hátrasugárzási csillapítással rendelkező antennák, melyek biztosítanak a kétfrekvenciás frekvenciaterv alkalmazhatóságát.
- A relatív széles sávban (>20%) kis antenna bemeneti állóhullámarány ($r \leq 1,1$) megvalósítása jelentős műszaki feladat
- Analóg átvitelnél az idő nagy százalékában teljesíthető össz-zaj értékét a fenti tényezők jelentősen megnövelik (bemenőszintfüggő-, antenna hátrasugárzási-, echo- és interferenciás zajok).

5.2 Ferritek és csatlakozások nemlinearitásai

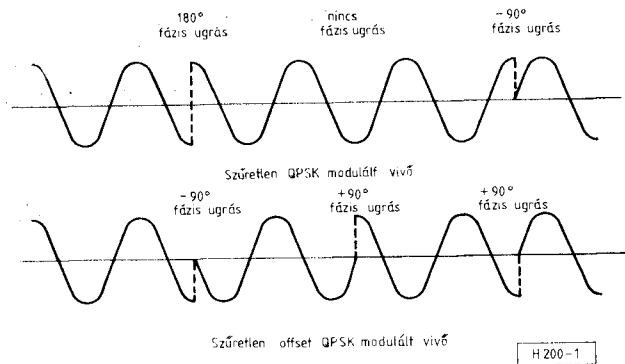
A rádiófrekvenciás adónként specifikált 2W ill. 10 W-os kimenőszint jelentős szintű harmad és ötödrendű intermodulációs terméket hozhat létre a jel útban lévő nemlinearitásokon. Ezek a modulált zavarjelek az azonos állomáson felépített vevők átviteli sávjába kerülve lerontják azok specifikációs jellemzőit. Annak érdekében, hogy ezek a zavaró jelek ne befolyásolják az analóg átvitelt, <—140 dBW-os zavarjel előírást kell tenni a cirkulátorokra és csatlakozásokra.

5.3 Lokálfrekvenciák választása

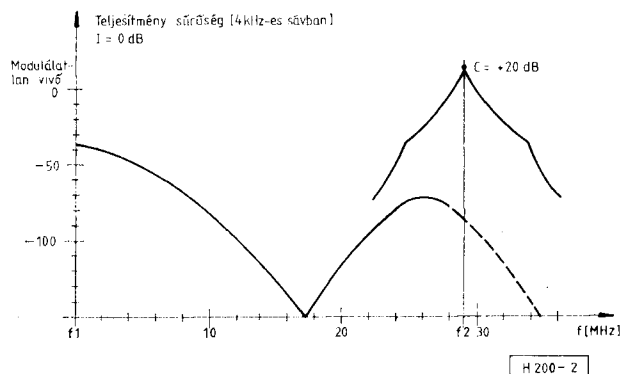
A lokálfrekvenciákat úgy kell megválasztani, hogy a rendszeren belüli interferenciát minimalizáljuk. Egyetlen megkötés, hogy — tekintettel a TV és digitális átvitelre — az üzemi csatornák és a tartalék csatorna jele azonos polaritású legyen. Mivel nem tervezzük nagyszintű adókeverőt, (mely megkövetelné az adó oldali alsó keverést) az adó és vevőlokál frekvenciákat azonosra választhatjuk. Mindezek alapján az alsó félsávban alsó keverést, míg a felső félsávban felső keverést terveztünk. Ezáltal a saját adók nem esnek a saját vevők tükrös- és más érzékeny tartományaira.

5.4 Modulációs mód választása

A 2. pontban tett megfontolások szerint digitális csatorna modulációjaként (spektrumkihasználás szempontjából) megfelelő a QPSK moduláció. Ha azonban figyelembe vesszük a minimális fogyasztás és a középfrekvenciás ismétlés követelményeit, olyan modulációs módot kell választanunk, melynek spektrumkiterülése kedvezőbb, mint



1. ábra. QPSK és offset QPSK összehasonlítása



2. ábra. Digitális-analóg szomszédcsatornás interferencia

a QPSK-é ha a jel limitálásra kerül (illetve limitáló jellegű erősítőn) páros nemlinearitáson vezetjük keresztül. Vizsgáljuk meg az 1. ábra szerinti jelalakokat:

QPSK moduláció esetén a két jelfolyam időben ko incidenciában van egymáshoz képest, így 0° , $+90^\circ$ és 180° fázisemetek lehetségesek, mivel véges sáv szélességnél csak 0 energiával lehet fázisugrás. A 180° -os fázisátmenet akkor következik be, ha mindkét digitális jel fázisa egyszerre vált, így a vivőfrekvenciás jelamplitudó burkolója nullára csökken ami 100%-os amplitudó modulációnak felel meg.

Offset QPSK modulációnál az egyik jelfolyam 1 bit idővel késleltetve van a másikhoz képest, így nem fordulhat elő a 180° -os fázisugrás, csak $\pm 90^\circ$ -os. Ebből adódik a 3 dB-es burkoló változás, ami 70%-os amplitudó modulációnak felel meg. Elméleti és gyakorlati vizsgálatok (4) és (5,6) azt mutatták, hogy kedvezőbb választás a QPSK és offset QPSK modulációk közül az utóbbi, olyan feltételekkel, hogy $BT_b = 1$ alkalmazunk (ahol B a szűrő 3 dB-os sáv szélessége, T_b a bitidő). Ebben az esetben limitálás után az első mellékharok 26 dB-al van a főharok szintje alatt, a vivő 10° -os fázishibája esetén a szemábra szűkülés $< 1,5$ dB, a maradék fázisjitter $< 2^\circ$. Vizsgáljuk meg egy, a fentieknek megfelelő digitális modulációjú adó és egy FDM—FM 960 csatornás adó párhuzamos üzemét. A 2. ábra szerinti példán-

kon a zavart FDM—FM csatorna modulálatlan vivőszintje $+20$ dB míg a zavaró ellentétes polarizációjú offset QPSK jel modulálatlan vivőszintje 0 dB. Ha a 4 kHz-es sávba eső teljesítménysűrűséget vizsgáljuk, a zavart analóg rádiócsatorna legfelső mérő- ill. beszédcsatornájában ~ -66 dB adódik, ami megfelel $C/I = 86$ dB értékek. Transzfer faktor $= -26$ dB így $S/N = 60$ dB $\div 10^3$ pWop. Ha a megengedett interferenciás zaj 1 pWop, akkor a limitáló erősítő utáni mikro hullámú szűrőnek 30 dB elnyomással kell rendelkezni $f_1 \pm 25,5$ MHz-nél.

A vázolt kvalitatív kép alapján kiválasztható a szűrők típusa és fokszáma. A megtervezett szűrőkkel szimulálni kell a rendszert és figyelembe kell venni, hogy mélyfading esetén (pl. 35 dB-es határnál) a két rádiófrekvenciás csatorna ekvivalens rádiófrekvenciás jel-zaj viszonya a különböző polarizációban terjedő nullának korrelátlansága következtében kb. 10 dB-re csökken le az idő kis százalékában [2]. Ennek hatását ellenőrizni kell az alsó beszédcsatornák ill. TV képcatorna rendszergörbéjén. A szűrő választás akkor megfelelő, ha ilyen feltételek esetén a rendszergörbe lineáris-tól való eltérése 1—2 dB-en belüli.

5.5 Középfrekvenciás ill. direkt regeneráló ismétlések

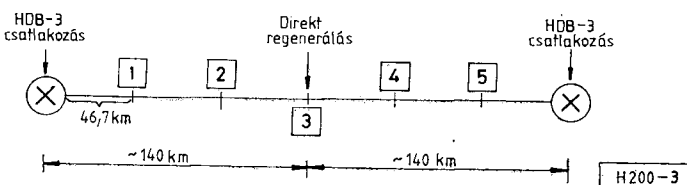
A digitális rendszer egy modem szakaszát a 3. ábrán rajzoljuk fel. A tartalékolt modem szakasz végén CCITT szerinti (G 703 ajánlás) csatlakozás van, míg a közbelső állomásokon KF-es ismétlés (1, 2, 4, 5) ill. direkt regenerálás 3. A KF-es ismétlésnél csak analóg áramkörök vannak a jelútban, míg a 3 típusú állomáson megtörténik a 34 Mbit/s-os jelfolyam vivőhelyreállítása és középfrekvenciás újramodulálása (tehát nincs órahelyreállítás). Az átviteli sáv szélesség az egyes ismétlő állomások között ~ 38 MHz a HDB—3 csatlakozású vevőkbe a Nyquist sávhoz illeszkedően 20 MHz-es 3 dB-es sáv szélességű KF szűrők kerülnek.

5.6 Sávfeletti 2 Mbit/s-os átvitel

Az analóg csatorna átviteli sáv szélessége tervezhető úgy, hogy a 1020 FDM csatorna, vagy a színes TV csatorna felett 2,048 Mbit/s jelfolyamot is átvigyünk. Ebben az esetben a két fajta (telefon és TV) analóg információ azonos rádiófrekvenciás sáv szélességet igényel (tehát a TV-nek megfelelő nagyobb).

Megoldandó feladatok:

Úgy kell megválasztani a segódvivő értékét, hogy az mind a 4636 kHz-es telefonsáv felett, mind a 6 MHz-es TV sáv felett elhelyezhető legyen a



3. ábra. Digitális (analóg rendszer modemszakasza (tartalékolás két végpontja)

folytonossági pilot (8,5 MHz vagy 9023 MHz) alatt. A segédvivő löketét KF—RF-en úgy kell megválasztani, hogy

- A 2 Mbit/s-os csatorna fadingmentes átvitele jó legyen
- A másodlagos moduláció miatti nemlineáris termékek a video ill. FDM alapsávot elfogadható mértékben terheljék
- A fősáv által okozott intermoduláció ne rontsa jelentősen a 2 Mbit/s-os átvitelt.
- A 2 Mbit/s-os csatorna fadingtartaléka (mely lényegesen kisebb, mint a fősáv) min. 30 dB legyen.

A fentiek alapján tervezett 2 Mbit/s-os sávfeletti átvitel 280 km-es (2 modem szakaszos) referencia-hálózatnak felel meg. A segédvivő frekvenciája: 7,3 MHz, KF-es lökete 500 kHz_{eff}, a moduláció módja: offset QPSK. Az elméleti értékhez képesti BER romlás max. 5 dB.

5.7 Szolgálati információ átvitele

Az egyes rádiócsatornákon a fő információon kívül kiegészítő információkat is át kell vinni. Ezeknek a kiegészítő információknak a feladata, hogy

- a mikrohullámú állomások közötti (omnibusz) ill. a csak főállomások közötti (express) telefonkapcsolatot létrehozza:
- a vonal egy központi állomásáról a többi mikrohullámú állomás távellenőrizhető legyen:
- A csatornatartalékolás hiba- és igazolójeleinek duplex átvitelét biztosítsa.

A szolgálati információk nyalábolására vagy FDM, vagy PCM elv jöhet szóba. Az utóbbi jobban illeszkedik a digitális modulációhoz, az FDM megoldás viszont mindkét modulációnál szokásos. Ezért berendezésünkben egy négycsatornás FDM multiplexet alkalmazunk, melynek jele offset QPSK, ill. FDM—FM átvitelnél is az adó lokáloszcillátorát modulálja.

5.8 Kapcsoló automatika működése

A tervezett frekvenciasáv 6 duplex rádiófrekvenciás csatorna átvitelét biztosítja. Ebből öt csatorna üzemi, a hatodik közös melegtartalék csatorna. Vegyes átvitel analóg ill. digitális modulációjú csatornája más és más követelményt támaszt a

tartalékcsoporttal szemben. Analóg csatornában a fading miatt minőségromlással is számolnunk kell, míg digitális átvitelnél gyakorlatilag csak katasztrofális hibát ($BER > 10^{-3}$) kell feltételeznünk. Analóg csatornában a folyamatos alapsávi zajfigyelés (és az arra történő kapcsolás) ill. a pilotfigyelés jelenti a tartalékcsoportra történő átkapcsoláskérés kritériumát, ugyanakkor 34 Mbit/s átvitelnél a $BER > 10^{-3}$ jelenti a kritériumot. A teljes átkapcsolási folyamatnak a CCIR által előírt 45 mS idő alatt kell lezajlania.

6. Konstruktív kérdések

A beltéri berendezések egységes slim-rack konstrukciós elv szerint készülnek. A 120 mm-es osztású vázrendszer blokkjai $2 \times$ Európa kártya méretű elektronikus áramköröket tartalmaznak. A mikrohullámú aktív áramkörök mikrosztrip realizációban készülnek és egy ill. kétoldalról mart alumínium dobozokban foglalnak helyet. A blokkok közötti összeköttetéseket hajlékony kábelek biztosítják. Az állomásokon minden adó-vevőnek egy oszlop felel meg, míg az adó-vevő váltó külön oszlopban helyezkedik el. Ezek az oszlopok egymáshoz vannak rögzítve. Az adó-vevő oszlopok száma a kiosztott frekvenciák szerint bővíthető.

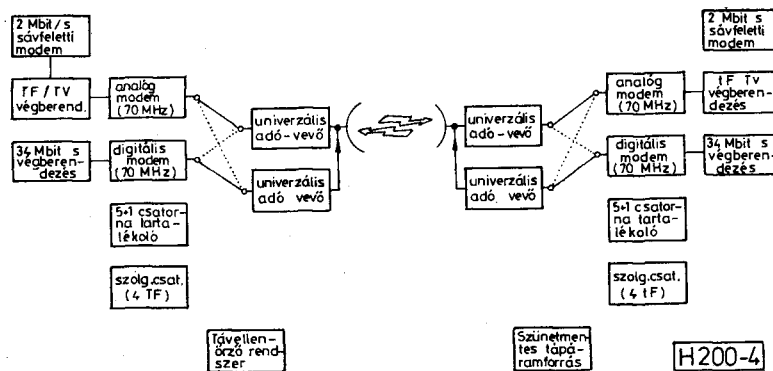
7. A rendszer egyes berendezéseinek ismertetése

A 4. ábrán látható a rendszer két végállomásos kiépíthettségének tömbvázlata.

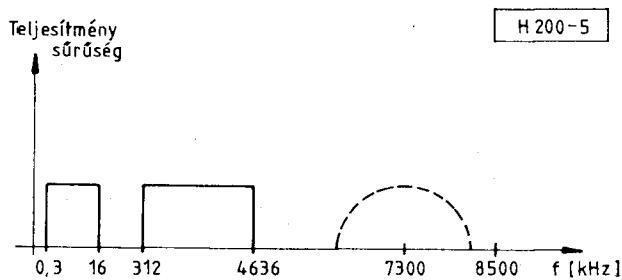
Az ábrán két adó-vevős változat van feltüntetve, mely bővíthető max. 6 rádiócsatornáig. Tekintsük át az egyes blokkok főbb funkcióit ill. jellemzőit.

7.1 Alapsávi végberendezések és modemek

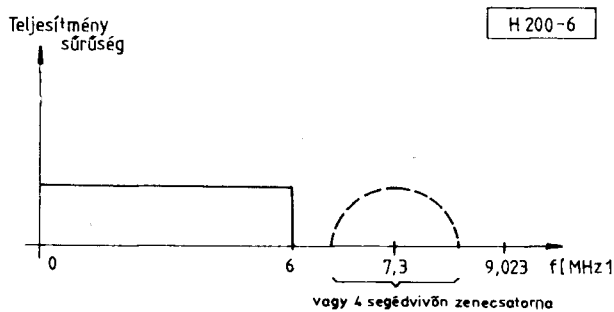
7.1.1 Az analóg telefon adó- és vevő végberendezések CCIR szerinti R' bemenőpont és R kimenő ponton csatlakoznak a 1020 csatornás multiplex berendezéshez. Szint -42 dB_r— -23 dB_r, az átviteli sáv 312...4636 kHz. Vizsgálójel löket 200 kHz_{eff} preemfázis-deemfázis a CCIR Rec. 275—3 szerinti. A blokkok a szükséges erősítőknél túl sávszűrőket és pilotgenerátort, továbbá a pre- és deemfázis áramköreit tartalmazzák.



4. ábra. GTT 2/1020—34 rendszer két végállomásának tömbvázlata



5. ábra. TF átvitel alaj sávi spektruma



6. ábra. TV átvitel alapsávi spektruma

7.1.2 A televízió adó és vevő végberendezések a képcsatorna pre- és deemfázis korrekcióját, továbbá a zenehatárnak modulációját és demodulációját végzik.

7.1.3 A 2 Mbit/s-os sávfeletti modem a telefonvagy televízió végberendezés szűrőváltójához kapcsolódva biztosítja a 6 MHz-es képcsatorna vagy a 1020 FDM telefoncsatorna feletti átvitelt (5. és 6. ábra).

7.1.4 Az analóg modem adóoldali bemenetét az összefogott alapsávi jelcsomag vezérli. Az ellenütemű, AFC-vel ellátott, keverős típusú analóg modulátor sávhatárolt 70 MHz \pm 12 MHz-es jele az adókapcsolón keresztül az adó bemenetére kerül. Vevő oldalon a sávhatárolt jelből a limiter

— diszkriminátor — videoerősítőből álló demodulátor blokk előállítja a modulátor bemenetén lévő, összefogott alapsávi jelcsomagot.

7.1.5 A digitális végberendezés a tercier multiplex berendezéshez a CCIT G 703 ajánlása szerinti HDB—3 kóddal csatlakozik. Ezen blokk tartalmazza az adásoldali funkciókat (HDB—3 dekódolást, scramblert és dibit képzőt) ill. a vételi inverz átalakításokat. (Inverz dibit képzőt, descramblert, HDB—3 kódolót HDB—3 kódolót), továbbá az AIS generátorokat. (Riasztás jelzőjelgenerátorokat.)

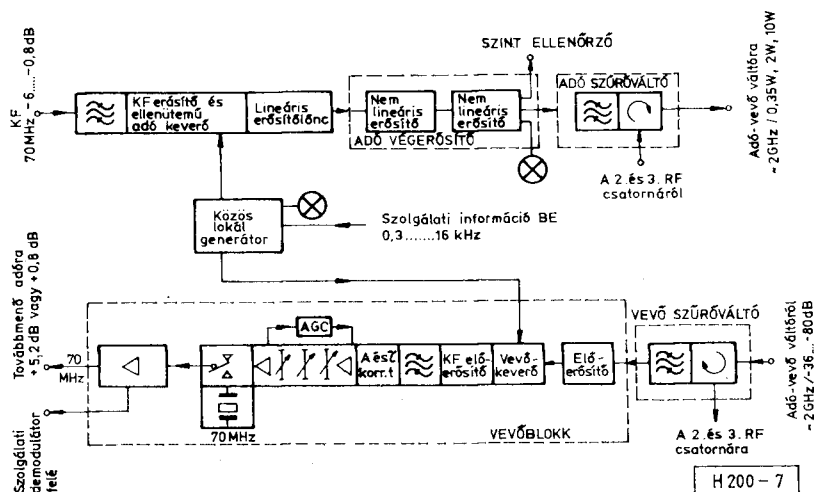
7.1.6 A digitális modem a bejövő A és B dibit jelpár és H óra jelsorból előállítja a 70 MHz-es, differenciálisan kódolt offset QPSK jelet, mely az adókapcsolón keresztül az adó bemenetére kerül. Vevő oldalon a sávhatárolt jel egy négyszerező típusú koherens demodulátorra jut. Az ECL szintű jitteres dibit jelsorok a kvarcvezérlésű regenerátorra jutnak. Jelfrissítés után az A és B dibit jelpár és a H óra jelsor a digitális végberendezés vevőoldalára kerül.

7.2 Univerzális adó-vevő

Felépítése a 7. ábrán látható. Az adókapcsolóról érkező analóg- vagy digitális modulációjú jel egy negyedfokú Csebisev típusú szűrőn keresztül a szintemelő erősítőkre, majd a kétszeresen kiegyenlített adókeverőre jut. Kétfokozatú lineáris erősítés után a szint 350 mW, majd egy-egy kétfokozatú „C” osztályú végerősítővel ezt 2 W ill. 10 W-os szintre emeljük.

A járulékos pólusokkal rendelkező hatodfokú Csebisev típusú szűrő a szomszéd csatorna interferencia miatt szükséges adóspektrum behatárolást végzi. Cirkulátorral kiegészítve szűrőváltó rendszert alkot az azonos polarizációjú 1, 2, 3 csatornák egyesítésére.

Az adó-vevő váltó nagy zárócsillapítású, (kis bemeneti állóhullámarányú) széles sávú cirkulátort tartalmaz. A vevő szűrőváltó felépítése az adóoldalinak megfelelő. A vevőmodul kiszajú előerősítőt (<3 dB), tükörelnyomó vevőkeverőt, kétutas KF előerősítőt ötödfokú Butterworth típusú



7. ábra. Univerzális adó-vevő felépítése

sávszűrőt, (melynek 3 dB-es sáv szélessége ~ 38 MHz) háromkörös amplitudó és futásidő korrekort, AGC-zett főerősítőt és mélyfading ill. megszakadás esetén bekapcsolódó 70 MHz-es helyettesítő oszcillátort tartalmaz. A blokk kimenetén levő szétosztó erősítő a továbbmenő adó, ill. az analóg vagy digitális demodulátor és a szolgálati demodulátor meghajtásáról gondoskodik. A közös lokálgenerátor modul alacsony zajszintű, nagy pontosságú áramkör melynek adóoldala a szolgálati ill. sávalatti moduláció bevitelét teszi lehetővé.

7.3 Csatornatartalékoló berendezés

A 2 GHz-es sáv hullámterjedési szempontból kedvező tulajdonságai és az adó-vevő berendezések nagy megbízhatósága $N+1$ -es rendszerű tartalékolást tesz lehetővé. Ahol „ N ” a vegyes tartalékolású rendszer összes üzemi csatornájának (analóg telefon és TV ill. digitális telefon) összegét jelenti. A 2 GHz-es frekvenciasávban N értéke max. 5. Az ilyen, — szakasztartalékolás típusú — berendezés meghibásodás, ill. fading miatti megszakadás ellen véd.

A megvalósított csatornatartalékolás középfrekvenciás pontok között történik. Az egyes szélessávú csatornák a modulátorok kimenetei és a demodulátorok bemenetei között kerülnek átkapcsolásra. A csatornák állapotát vevő oldalon figyeljük (analóg berendezéseknél pilotot és zajt, a digitális berendezéseknél a tévesztést). Az átviteli tulajdonságok változásait a kiértékelő hálózatok logikai szintekké alakítják, melyek kódolás után a „vissza” irányban egy telefoncsatornán keresztül az adó oldalra jutnak vissza. Itt megtörténik a jelek dekódolása, majd ezek a hibajelek az adó oldalon középfrekvenciás kapcsolók vezérlését végzik. Az adóoldali kapcsolás azt jelenti, hogy a tartalék csatorna középfrekvenciás bemenete párhuzamosan kapcsolódik a meghibásodott üzemi csatorna bemenetével. Az átkapcsolással egyidőben az adórész logikai rendszere igazolójelet küld az előbbinek megfelelő, de „oda” irányú telefoncsatornán át a vevő oldal részére szintén kódolt formában. Itt megtörténik a vevőkapcsoló átváltása üzemiről tartalék csatornára. A tartalékolt szakasz közbenső állomásán a szolgálati kapcsoló a hiba és igazolójelek dekódolása után az üzemi (PCM vagy FDM telefoncsatornákat vivő) ill. tartalék csatornán áll be.

A logika manuálisan, ill. automatikusan működtethető. Egy kijelölt csatorna mindig a gyors csatorna és mindig elsőbbséget élvez a többi csatornával szemben. A kapcsolási folyamat lerövidül az előre párhuzamosított üzemi és tartalék csatorna esetén. Egyes csatornák kitalíthatók a tartalékolásból. Az automatikus display LED-ek segítségével kijelzi a duplex átviteli csatorna mindenkori állapotát.

A rendszer legfontosabb jellemzői

- Teljes működési idő a prioritást élvező csatornára 15 mS
- Teljes működési idő a többi csatornára 45 mS
- Átviteli mód: QPSK az 1800 Hz-es vivőn 2400 baud sebességgel.

7.4 Szolgálati csatorna multiplex berendezése

A berendezés feladata a főcsatornák működtetéséhez és ellenőrzéséhez szükséges jelek összefogása és szétosztása.

A teljes szolgálati sáv 0,3...16 kHz tartományú, mely 4 FDM telefoncsatornát jelent. Ezen csatornák átvitele a PCM vagy FDM telefoncsatornás mikrohullámú vivő frekvenciamodulációjával történik.

Az egyes telefoncsatornák a következő információkat viszik át:

- 0,3...4 kHz, a csatornatartalékolás hiba és igazolójeleinek átvitele.
- 4...8 kHz távellenőrzés, vagy omnibusz távbeszélő csatorna átvitele.
- 8...12 kHz } express távbeszélő csatorna átvitele.
- 12...16 kHz }

Valamennyi telefoncsatorna opcionálisan szelektív hívási lehetőséggel rendelkezik.

Az egyes csatornamodulátorok — 13 dBm/+4,3 dBm-es 600 Ohm pontokon csatlakoznak 4, ill. 6 vezetékes telefonkészülékekhez. A csatornamodemek kétszeres transzponálással állítják elő a 3 csatornás alcsoportot. A közbenső transzponálási sáv a 48...52 kHz-es tartomány. A vivőfrekvenciák kristálystabilitásúak. Az adás-vételi összevont erősítő a lokáloszcillátor modulációs bemenetéhez, ill. a frekvenciamodulátorhoz vagy az offset QPSK demodulátorhoz kapcsolódik.

A berendezés főbb adatai:

Be/Kimeneti impedancia: 75 ohm

Szint a be/kimeneten: —15 dBm

Jel/zaj az egyes telefoncsatornában: min 40 dB pszof. súlyozott.

Jelzésátvitel: az egyes telefoncsatornák sávja felett CCITT szerint 3825 Hz-en.

7.5 Távellenőrző rendszer

A tervezett segédberendezések körét a távellenőrző rendszer teszi teljessé. A rendszer egy távfelügyelő (központi) állomásból és a távellenőrzött állomásokból áll (ismétlő, fő- vagy végállomások) Jellegére nézve nem lekérdező típusú, tehát az információs forgalom egyirányú, (állomásról a központi állomásra) a különböző állomások egymástól frekvenciában térnek el, az egyes állomások időosztásban rendezik össze az információkat. A különböző állomásokon elhelyezett távjelző adók a központi állomás távjelző vevőivel a 4—8 kHz közötti sáv egy-egy távirócsatornáján keresztül vannak kapcsolatban (egyirányú kapcsolat). A központi állomás display egységén a kívánt állomás számtárcsával állítható be. A 16, ill. 32 információ állapotát piros ill. zöld LED-ek mutatják. Az összesen 18 állomás (beleértve a központi állomást is) távellenőrzési ciklus ideje kb 4 sec.

8. Rendszerszámítás és főbb műszaki adatok összefoglalása

Frekvenciasáv 1,7...2,1 GHz, sávközép $f_0=1,9$ GHz. Szabadtéri csillapítás sávközépen ($d=46,7$

km) 131,4 dB. Kábel csillapítás ($2 \times 90 \text{ m} \times 0,035 \text{ dB/m}$) 6,3 dB. A jelútban lévő passzív elemek csillapítása 1 adó-vevőre: szűrőváltó szűrők átteresztő sávi és reflexiós csillapítása, cirkulátorok átteresztő csillapítása 8,1 dB

Antennanyereségek összege az adó és vevőoldalon (2 db \varnothing 4 m méretű antennával) 69,0 dB
 Adó teljesítmény +3 dBW
 Vevő bemenőszint -73,8 dBW

Fadingtartalék
 analóg és digitális főcsatornára > 35 dB
 2 Mbit/s-os sávfeletti átvitelre ~ 30 dB

Főbb műszaki adatok

Frekvenciasáv: 1700...2100 MHz

Raszter 29 MHz

Adó-vevő távolság: 68 MHz

Antenna \varnothing 2 m $G > 28,5 \text{ dB}$

\varnothing 4 m $G > 34,5 \text{ dB}$

Antenna kábel 50 ohm, 3,5 dB/100 m

vagy 50 ohm, 10,0 dB/100 m

vagy antenna tápvonal (Alumínium, félmerev elliptikus) 1,8 dB/100 m

Kimenő teljesítmény: 0,35 vagy 2 vagy 10 W

Frekvenciastabilitás max. $\pm 5 \times 10^{-5}$

Felharmónikus szint max. -70 dB

Vevő szuperheterodin, KF = 70 MHz

Bemenőszint tartomány -66...-110 dBW

Küszöbszint helyettesítő oszcillátor bekapcsolási szintje -110 dBW
 Vevő zajtényező max. 4 dB
 Tápfeszültség tartomány 20...72 V DC
 Adó-vevő fogyasztás ($P_{ki} = 2 \text{ W}$ esetén) max. 40 W
 Slim-rack méret (mélység \times szélesség \times magasság) $0,26 \times 0,12 \times 2,06 \text{ m}^3$

IRODALOM

- [1] *Frigyes—Szabó—Ványai*: Digitális mikrohullámú átviteltechnika Műszaki Könyvkiadó 1980.
- [2] *Róna*: Analóg szögmodulált mikrohullámú berendezések Műszaki Könyvkiadó 1980.
- [3] *Kamiló Fehér*: Digital Communications: Microwave Applications Prentice-Hall Inc 1981.
- [4] *Shuji Murakami, Y. Furuya*: Optimal modulation and Channel Filters for Nonlinear Satellite Channels IEEE Trans. COMMUNICATIONS December 1979.
- [5] *D. H. Morais, K. Fehér*: The effects of Filtering and Limiting on the Performance of QPSK, Offset QPSK and MSK Systems IEEE Trans. COMMUNICATION December 1980.
- [6] *K. Fehér*: Digital modulation techniques in an interference environment: EMC Encyclopedia, Vol 9 Don white Consuetants, 1977.
- [7] *D. H. Morais, K. Fehér*: Bandwidth Efficiency and Probability of Error Performance of MSK and Offset QPSK Systems IEEE Trans COMMUNICATIONS December 1979.
- [8] *Denk A*: DBF 13/03—06 típusú digitális mikrohullámú rádiórelő rendszer. Budavox Rev. 1986.