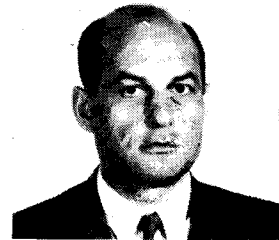


2 GHz-es sávban működő új digitális rádiórelé berendezés

BORS LÁSZLÓ

Orion Rádió és Villamossági Vállalat



ÖSSZEFOGLALÁS

Az Orion Rádió és Villamossági Vállalat újonnan kifejlesztett DRF 2/8 T típusú digitális mikrohullámú berendezése 8,448 Mbit/s információt továbbít a 2 GHz-es sávban. Része az RP 2/120 T berendezéscsaládnak, melybe a primer és szekunder PCM multiplex, jelzés-multiplex és táviró multiplex berendezések is beletartoznak. A DRF berendezés 1 + 1 tartalékolású. Omnibusz rendszerű autonóm szolgálati csatornával és távellenőrző rendszerrel működik.

Korszerű hibajelző — és riasztó rendszere a beépített tesztelési lehetőségekkel együtt az üzemfenntartást és szervizelést megkönnyíti.

A berendezés nagymértékben integrált áramköröket tartalmaz. Az aktív mikrohullámú áramkörök mikrosztríp konstrukcióval vannak realizálva. Az elmondottak illusztrálását szolgálják a berendezésről és néhány egységéről készült fotók.

A digitális moduláció QPSK formában adókeverővel kerül kisugárazásra. A vevőben a fázisemodulátor módosított Costas-hurok elvén működik.

1. Bevezetés

Az Orion Rádió és Villamossági Vállalat újonnan kifejlesztett DRF 2/8 T típuselnevezésű rádiórelé berendezése az 1,9—2,1 GHz-es frekvenciasávban biztosítja 8,448 Mbit/s sebességű digitális információ továbbítását 500 km távolságra átlagosan 50 km állomástávolságban kiépített rádiórelé lánc formájában. A DRF 2/8 T mikrohullámú berendezés a vele egyidejűleg kifejlesztett, illetve korszerűsített szekunder PCM multiplex (S4 P V, S4 P L), primer PCM multiplex (P 303 V, P 143 L), jelzés multiplex (J 30 V, J 14 L), valamint táviró multiplex (TMV 30, TML 16) berendezésekkel és kiegészítő berendezésekkel együtt az RP 2/120 T digitális berendezéscsaládot alkotja, mely 120 telefoncsatorna jelét vagy az ezzel ekvivalens kapacitású más információt PCM szervezésű digitális jelek formájában továbbítja.

A berendezés felhasználható két távoli pont — például telefonközpontok — közötti vezeték nélküli átvitel céljára (trunk-kábel helyett) vagy elszórtan elhelyezkedő, egyenként kis kapacitású pontokból álló hálózatban, ahol a továbbítandó telefoncsatornák egy részének többszöri lebontására, illetve új csatornák beiktatására van igény. Ily módon előnyösen használható rurálhálózat részeként szuverén hálózatok technológiai vonalaként, pl. villamos erőművek olaj- és gázvezetékek, út- és vasúthálózatok stb. mentén. A számítástechnika térhódításával egyidejűleg egyre nagyobb szükség van adatoknak nagy távolságú átvitelére, ahol egy digitális jelek fogadására kész vezeték nélküli berendezéssel a feladatot gazdaságosan lehet megoldani.

2. A berendezés főbb jellemzői

A vett információ feldolgozása és továbbítása a regeneratív ismétlés elvén alapul, melynek során minden egyes ismétlőállomáson a digitális jelsor alapsávra le-

BORS LÁSZLÓ

Diplomáját a Budapesti Műszaki Egyetemen szerezte. Munkáját fejlesztőmérnökként a BHG-ban kezdte, majd 1965 óta az Orion Rádió és Villamossági Vállalatnál hasonló beosztásban folytatta. Jelenleg a vállalat rádiófrekvenciás fejlesztési osztályának vezetője. Tevékenységi köre a mikrohullámú aktív áramkörök és rádiórelé berendezések különböző fajtáinak fejlesztése, fejlesztési munkáinak irányítása. Ezekről a témakörökről tartott előadásokat, ill. jelentetett meg szakfolyóiratokban publikációkat.

bontás és regenerálás után kerül a továbbmenő adóra. Ennek során a digitális jelek élhelyzetének ingadozása, az ún. dzsitter is csökkentett mértékben jelentkeznek a továbbmenő jelsoron. Mindez azt eredményezi, hogy többszöri ismétlés esetén sem kell számottevő zajromlással és jeltorzulással számolni.

A berendezés digitális alapsávi csatlakozása a CCITT G 703.6 ajánlás szerint HDB-3 interface jellemzőkkel rendelkezik. Ismétlőállomásokon a két DRF berendezés közvetlenül alapsávon csatlakozik, míg vég- és leágazóállomásokban az úgyancsak szabványos interface adatú leágazó multiplex berendezéshez csatlakoztatható közvetlenül, vagy kábelen keresztül (melynek csillapítása maximum 6 db lehet). Mivel a leágaztatás a digitális jelek síkjában történik, ez a továbbmenő információra nézve semmiféle veszteséggel nem jár. Egy leágazóállomáson bármely PCM primercsoport (maximum 4) leágaztatható vagy végződteshető. Egy primercsoporton belül maximum 14 TF csatorna jelsora bontható le vagy végződteshető. Minden esetben a lebontott csatornák helyére továbbmenő irányba új csatornák jelsorai iktathatók be.

A felügyelet nélküli rádiórelé berendezés 1 + 1 tartalékolású kiépítéssel rendelkezik. Adásoldalon az átmenő információt mindkét adó kisugározza, míg vételoldalon csak az üzemi vevő jele kerül továbbításra. Az átkapcsolás kritériuma a vételoldali bit hibaarányának 10^{-3} küszöbérték fölé kerülése. A két RF csatorna különböző frekvenciájú és azonos polarizációban vagy keresztpolarizációban kerül kisugárazásra.

A DRF 2/8 T berendezés autonóm szolgálati csatornával rendelkezik, mely a szolgálati beszéd és a távellenőrző jelek átvitelét biztosítja. A szolgálati csatorna omnibusz rendszerű, szelektív- és körösvény hívás lehetőséggel.

A berendezés állapotáról a keret előlapján levő jelzősáv ad felvilágosítást. Helyi riasztás lép fel az alábbi hibák esetén:

- bejövő jelsor kimaradása
- adószint csökkenése
- vevő-lokálószcillátor szintjének csökkenése
- vételi szint csökkenése

Beérkezett: 1985. VI. 5. (*)

- vételi bithibaarány küszöb (10^{-3}) túllépése
- tápfeszültség kimaradása

Az említett hibák kiértékelése alapján a közös ke-
retiasztáson megjelenik, hogy a hiba sürgős üzem-
fenntartás, nem sürgős üzemfenntartás vagy szolgál-
tatás kimaradás jellegű-e. A digitális jelsor kimaradá-
sa vagy hibás jelsor ($BER > 10^{-3}$) esetén riasztó jel
(AIS) kerül továbbításra.

A berendezés bemérését és az üzem közbeni hibael-
hárítást megkönnyítik az egyes áramkörökön levő
LED-kijelzők, melyek segítségével legtöbb esetben az
áramkör működőképessége megállapítható. A beren-
dezés előlapján levő digitális kijelzőn lehetőség van az
egyes paraméterek számszerű kiértékelésére külső mű-
szer felhasználása nélkül, mint a tápfeszültségek, adó-
kimenőszint, lokáloszcillátor teljesítmény, vételi
szint, bit-hibaarány. A berendezés áramköri egység-
csoportjainak tesztelését megkönnyíti, hogy mód van
visszahurkolás elvén történő mérésre egy adó-vevőn,
illetve egy keretben levő adó-vevőkön belül a digitális
áramkörök, a KF modem áramkörök (modulátor-de-
modulátor) és az RF-adó vonatkozásában. (Az utób-
bit az teszi lehetővé, hogy az RF-adó egyik mérőpont-
ján a visszakevert adó-oldali KF-jel jelenik meg.)

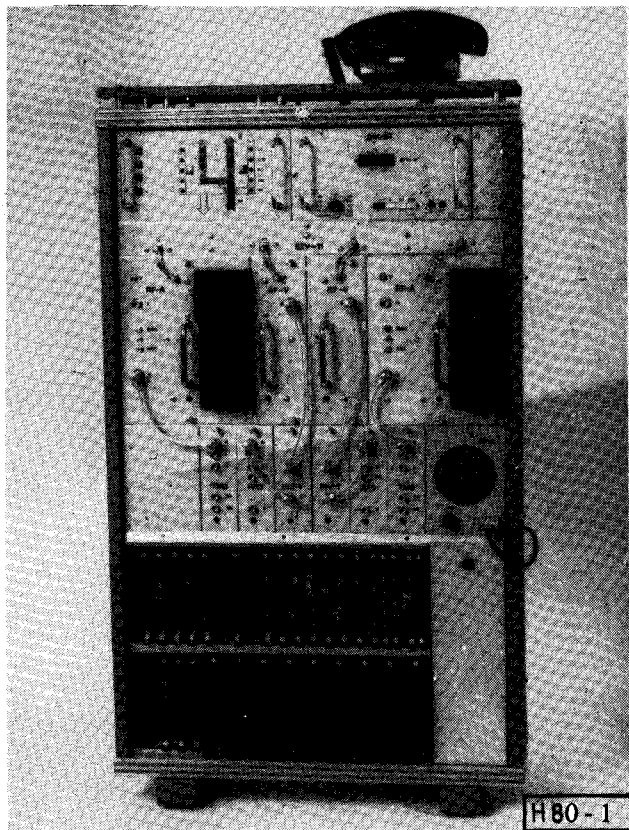
Mivel a berendezés felügyelet nélküli üzemelést té-
telez fel, az egyes állomásokon levő berendezések álla-
potáról a távellenőrző rendszer segítségével lehet in-
formációt szerezni. Egy központi állomásról maxi-
mum 16 DRF figyelhető. Egy állomásról 16-féle in-
formáció kérhető le. (Ebben természetesen nemcsak a
rádiórelé berendezés, hanem az adott állomáson levő
többi berendezés információja is benne lehet). Az
egyes állomásokon az összefogott hibajelek kódolt

formában a szolgálati csatornán keresztül kerülnek
továbbításra.

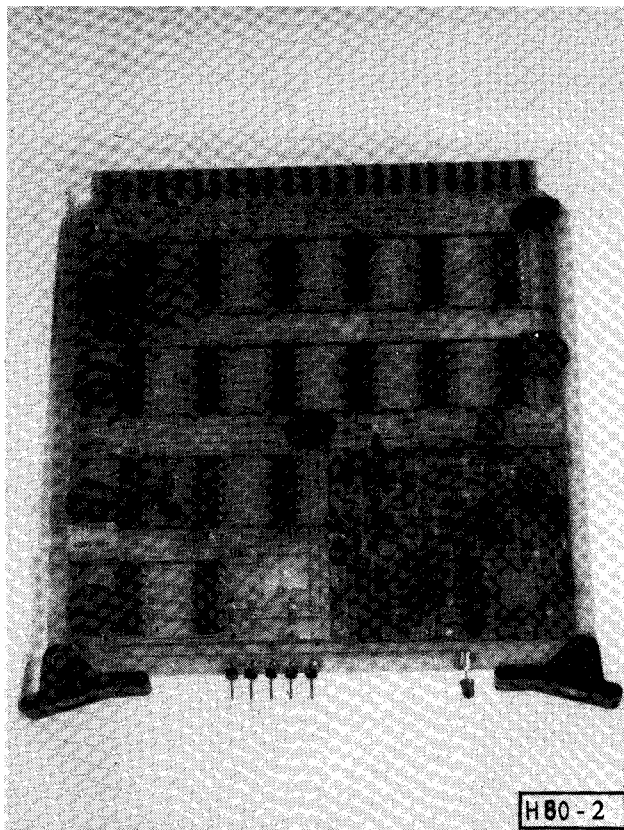
A berendezések tápfeszültség-ellátását egységes
tápegység család biztosítja, mely átállítás nélkül
— 20...—72 V közötti primer egyenfeszültségről mű-
ködtethető.

3. Konstrukció

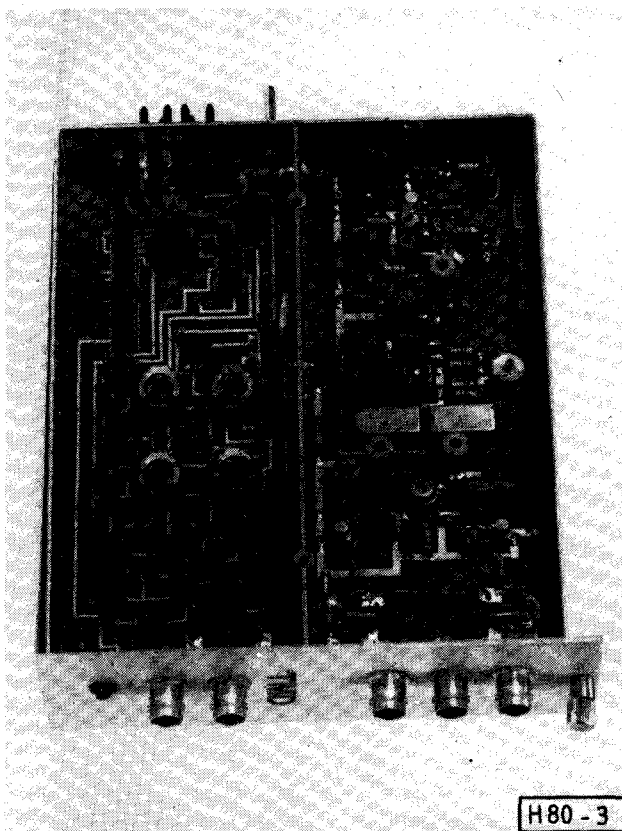
A DRF berendezés $232 \times 606 \times 1090$ mm méretű hord-
keretben van elhelyezve, mely tartalmaz 1 üzemi + 1
tartalék adó-vevőt, szolgálati csatornát, távellenőrző
rendszer állomási egységet, riasztó és jelzőrendszert.
Az 1. ábrán látható a tartalékolt kiépítésű DRF keret.
Az alsó emeleten van a tápegység és a szolgálati csa-
torna néhány áramköre, a fölötte levő nyomtatott
kártyás emeleten az adó-vevő digitális alapsávi egysé-
gei, az interface és tartalékoló áramkör, a szolgálati
csatorna, valamint a távellenőrzés áramkörei találha-
tók. A következő emeleten árnyékolt fémdobozokban
a KF modem egységek továbbá a szolgálati csatorna
hangszóró egysége van elhelyezve, míg a fölötte levő
emeleten két adóblokk és vevőblokk látható. A fölöt-
te levő keskeny emelet az RF váltórendszeré. A legfel-
sőbb emelet bal oldalán levő jelzőpanelen a berendezés
működő vagy hibás, az adó-vevők üzemi vagy tartalé-
kolt állapotát feltűntető optikai kijelzők találhatók,
míg a jobb oldalán a digitális kijelző egység van elhe-
lyezve. A keret tetején egy-polarizációs rendszer ese-
tén közös „N” — csatlakozó míg keresztpolarizációs
rendszer esetén két „N” csatlakozó található az anten-
nakábelek csatlakoztatására.



1. ábra. DRF 2/8 T RF berendezés 1 + 1 tartalékolással



2. ábra. Nyomtatott kártyás digitális alapsávi egység



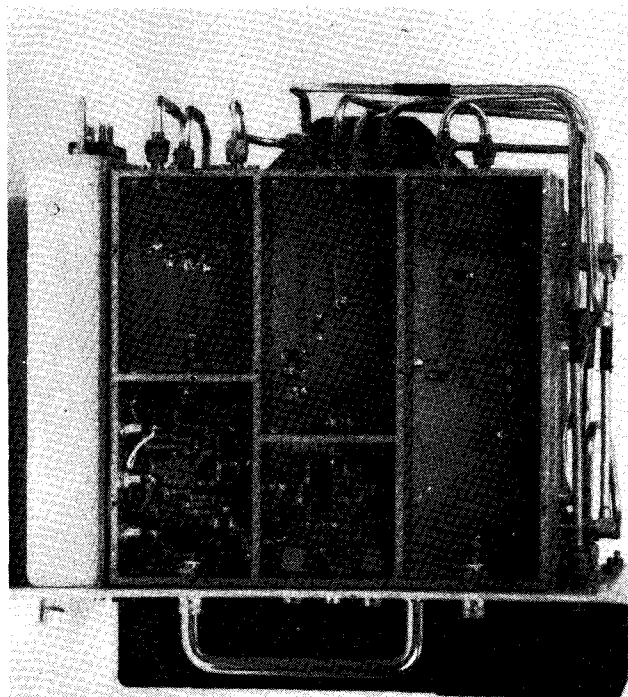
3. ábra. Fázismodulátor

A berendezés áramköreinek dugaszolható kártyák, dobozok, illetve blokkok formájában való elhelyezése a gyors telepítést és működő berendezésnél a könnyű szervizelhetőséget biztosítja.

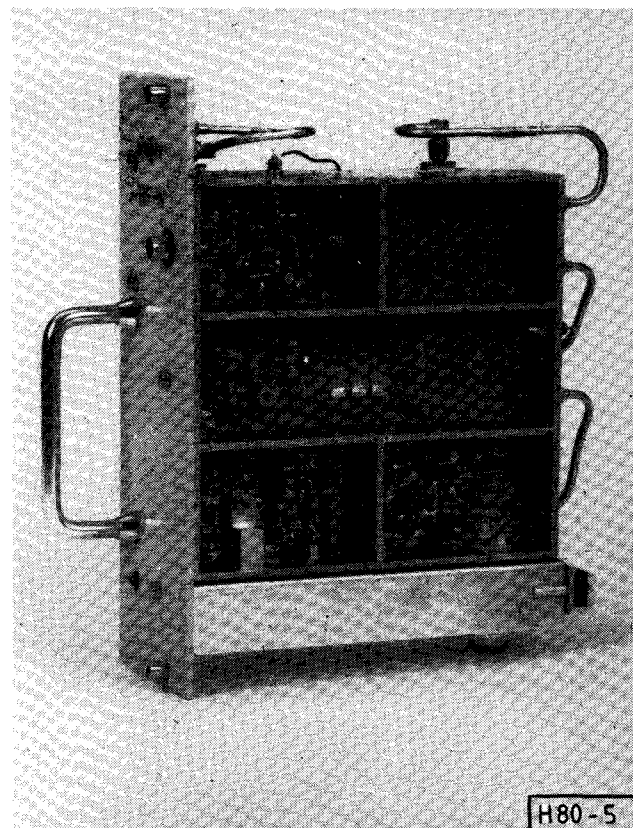
Az alapsávi jelek és a tápfeszültség jelei az egységek hátsó részén elhelyezett csúszóérintkezős sok pontos csatlakozósávon és a keret hátoldalán levő wire-wrap kerethuzalozáson vannak vezetve, de valamennyi a berendezés ellenőrzéséhez és beállításához szükséges mérőpont a kert előlap felőli oldalán van kivezetve a könnyű hozzáférés biztosítása céljából.

A KF frekvenciás jelek az egységek előlapján BNC csatlakozón vannak kivezetve, melyeket hajlékony kábelek kötnek össze. A digitális alapsávi (8 Mbit/s) jelsor csatlakoztatása ugyancsak BNC hüvelyeken át történik. Az adó- és vevőblokk mikrohullámú jelei SMA csatlakozókon és semi-rigid kábeleken keresztül csatlakoznak a váltóhoz.

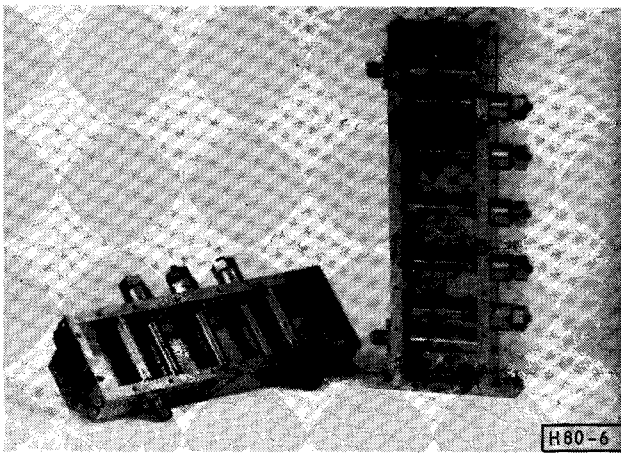
A berendezés alapsávi áramkörei túlnyomórészt monolitikus integrált áramkörökkel vannak felépítve, ahol a digitális áramkörök zöme kisfogyasztású LS sorozatú IC-kből áll. A nagyfrekvenciás áramkörök ezenkívül nagy megbízhatóságú diszkrét Si félvezetőket is tartalmaznak. A mikrohullámú aktív áramkörök teflon hordozón kialakított mikrosztrip konstrukciót képeznek. A kis veszteségű mikrohullámú szűrők négyzetes keresztmetszetű házban elhelyezett botsorból álló comb-line elrendezésűek. Az elmondottak illusztrálására a 2. ábra egy nyomtatott kártyás alapsávi egységet, a 3. ábra a QPSK fázismodulátort, a 4. ábra a szerelt RF-adóblokkot, míg az 5. ábra az RF-vevőblokkot mutatja levett fedéllel. Látható, hogy az aktív nagyfrekvenciás áramkörök — az RF-adó-



4. ábra. RF adóblokk



5. ábra. RF vevőblokk



6. ábra. Mikrohullámú szűrők

blokkhoz hasonlóan — mert fémházban vannak elhelyezve. A 6. ábra a három és öt rezonátoros comb-line szűrőket tünteti fel.

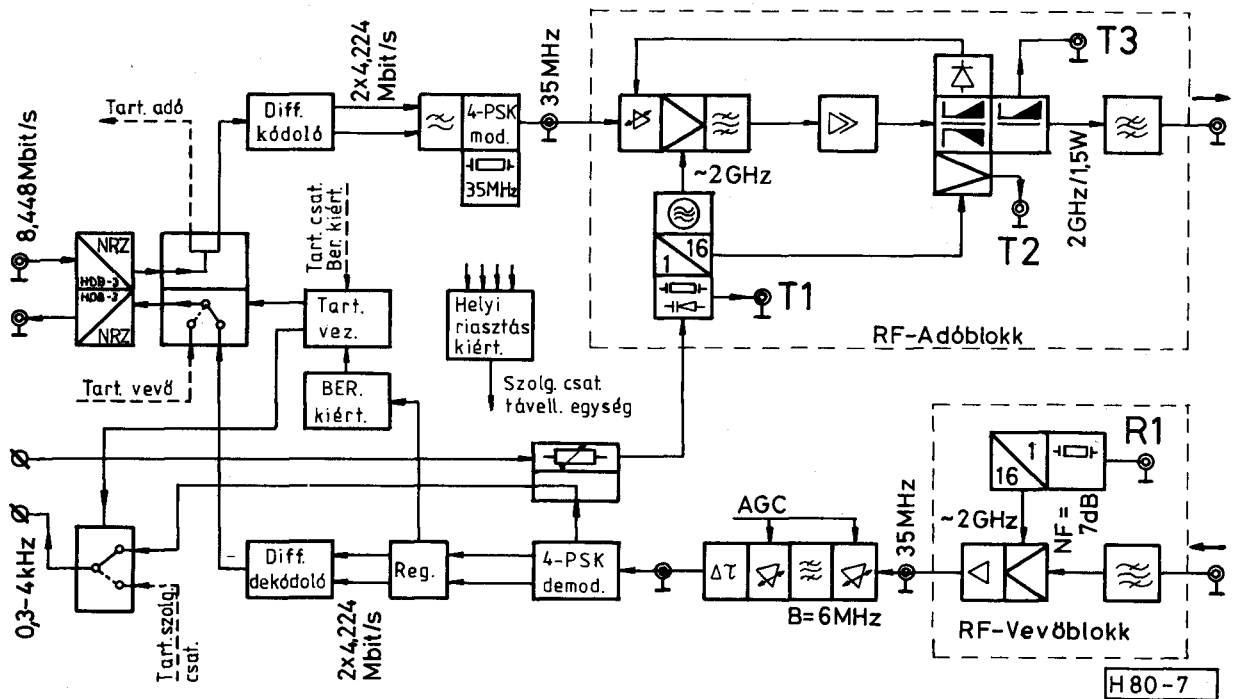
4. Működési elv

A DRF 2/8 T berendezés egy adó-vevőjének elvi blokkvázlatát a 7. ábra tünteti fel.

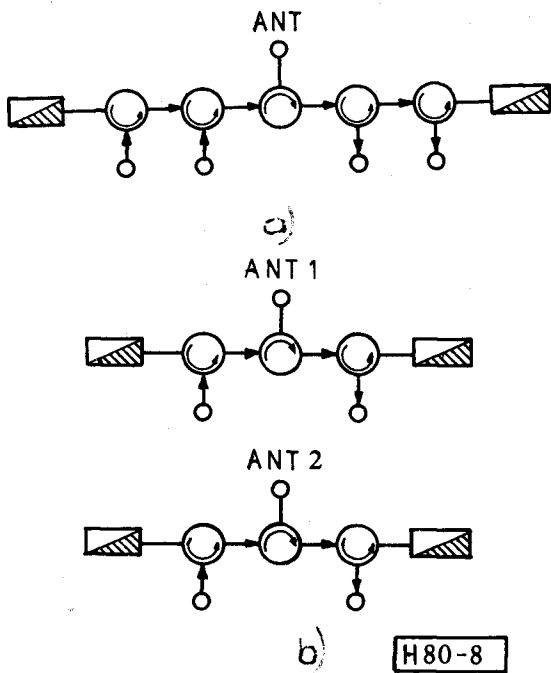
A berendezésben a digitális információ átvitelére négyállapotú fázismodulációt (QPSK) alkalmazunk. A kisugárzott spektrum szélességének csökkentése érdekében a digitális jelek a modulátor egységben levő aluláteresztő szűrőn keresztül jutnak a modulátorhoz. Az adóban a fázismodulációt 35 MHz-es KF-en kvadratura amplitúdó moduláció (QAM) formájában hozzuk létre, melyeket adókeverővel teszünk át a 2 GHz-es sávba. Vételi oldalon a 35 MHz-es KF sávba leke-

vert jelet megfelelő erősítés és szűrés után a koherens fázisdemodulátorba vezetjük, melynek komparálás útján nyert kimenőjeléből regenerálás és dekódolás után az eredeti digitális jelsort visszakapjuk. A fázisdemodulátor az alapsávi jel feldolgozás (módosított Costas-hurok) elvén működik. Az alkalmazott modulációs rendszer megkívánja, hogy az átvendő digitális információt átkódoljuk, mielőtt a modulátorra jut. Az adóoldali differenciális kódolóban az átvendő jelsort két olyan felesebességű digitális jelsorra (dibitek-re) bontjuk, melyből a modulátor kimenetén az egymás utáni fázisállapotok különbsége meghatározható. Ily módon vételoldalon az abszolút fázishelyzetek ismerete nélkül a dibit idő alatti fázisváltozásból a digitális információ kiolvasható. A dekódoló a kódolóban végzett műveletek inverzét hajtja végre az adóoldali jelsor visszaállítása céljából. Vételoldalon a vivő felismerését és az órajel kinyerését megkönnyíti, hogy a bejövő PCM jelsor egy scrambler áramkörön is keresztül halad, mely biztosítja a pillanatnyi információtól nagymértékben függetlenül a 0 és 1 állapotok, valamint az átmenetek valószínűségének statisztikus egyenlőségét. Bejövő jelsor megszakadásakor vagy vételkimaradásakor a berendezés továbbmenő irányba ún. AIS (riasztás jelző) jelsort generál, mely az említett statisztikai feltételeket ilyen esetben is biztosítja. (Természetesen a továbbítandó jelsor ilyenkor PCM információt nem tartalmaz). A blokkvázlaton láthatjuk még a szolgálati csatorna átvitelét, mely az adóoldalon az adó lokáloszcillátor FM modulációjával történik és vételoldalon a fázisdemodulátorban levő PLL-ből nyerhető ki. A szolgálati csatorna alapsávi jele a 0,3–4 kHz-es sávban a beszéd, távellenőrzés és hívás jeleket tartalmazza.

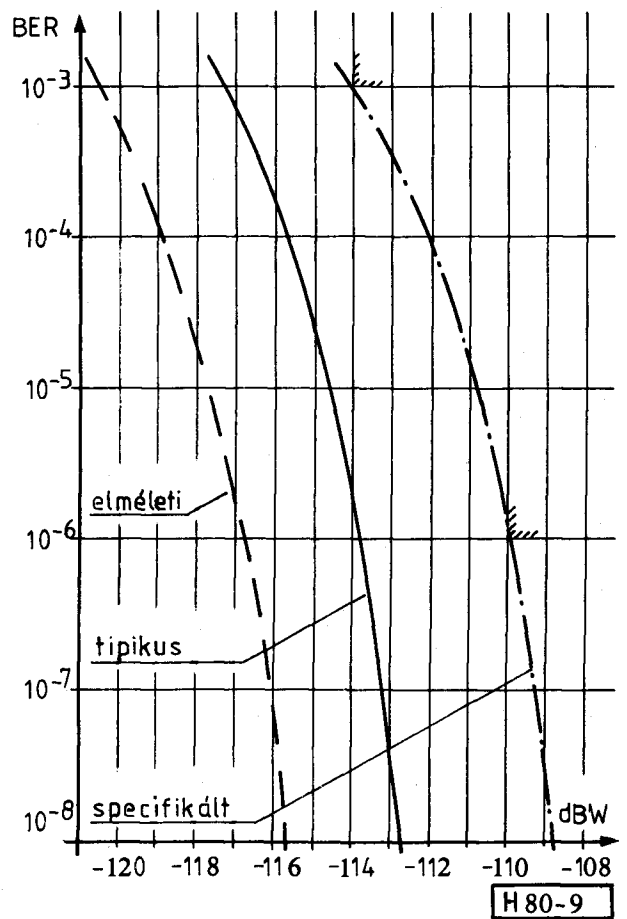
Néhány szót a tartalékolásról. Mind az üzemi mind a tartalék adó meg van modulálva a digitális és szolgálati információval, de vételoldalon csak az üzemi vevő



7. ábra. DRF 2/8 T adó-vevő blokkvázlat



8. ábra. a) Váltórendszer azonos polarizációval; b) Váltórendszer keresztpolarizációval



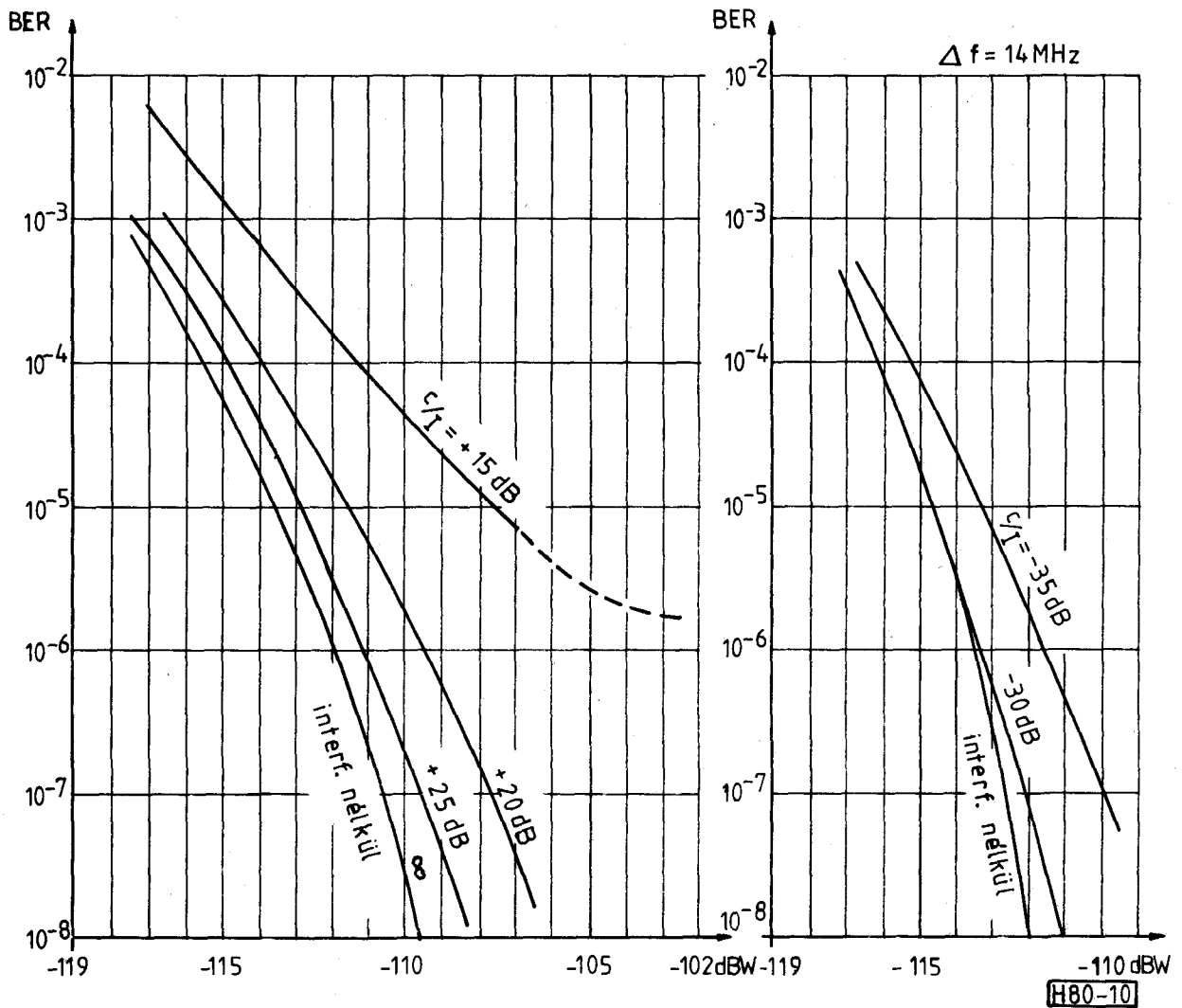
9. ábra. Bit hibarány karakterisztika

jele jut tovább a bithibaarány kritériumnak megfelelően. Azonos polarizációban kisugárzott, illetve vett jelek esetén az adók és vevők összefogott jelei a közös keret kimenetéhez csatlakoznak, melyet egy koaxiális kábel köt össze az antennával (1. a 8. ábrát). A két adó (vevő) távolsága minimum 28 MHz kell, hogy legyen. Keresztpolarizációnál (lásd. 8/b ábrát) két adó (vevő) minimum távolsága 14 MHz lehet. Azonos frekvencián működő tartalék adó, illetve vevő csak akkor alkalmazható, ha a vétel helyén a két polarizációban érkező hullám között legalább 20 dB elválasztás biztosítható.

5. Főbb műszaki adatok

| | |
|---------------------------------|---------------------------|
| Frekvenciasáv: | 1,9–2,1 GHz |
| Frekvenciakiosztás: | CCIR Rec. 283–3 |
| Digitális alapsávi csatlakozás: | CCITT G. 703.6 |
| bitsebesség: | 8,448 Mbit/s \pm 30 ppm |
| vonali kód: | HDB–3 |
| csatlakozási impedancia: | 75 ohm, aszimmetrikus |
| Digitális moduláció: | QPSK |
| Adó kimenő teljesítmény: | min. 1,5 W |
| Frekvenciapontosság: | $\pm 2 \times 10^{-5}$ |
| Vevő zajtényező: | max. 7 dB |
| KF frekvencia: | 35 MHz |
| KF szűrő sávzélessége: | 6 MHz |
| (3 dB) | |
| 30 dB csillapítás: | $f_0 \pm 7$ MHz |
| Vételi küszöbszint: | –114 dBW |
| (BER = 10^{-3}) | |
| AGC átfogás: | 55 dB |
| Demodulátor: | módosított Costas hurok |

| | |
|--|---------------------------------|
| Szűrőváltó: | adószűrő, vevőszűrő + váltó |
| Adó/vevő szűrő típusa: | 5 rezonátoros, comb-line |
| Áteresztősávi csillapítás: | max. 1,5 dB |
| Tükörselektivitás: | min. 65 dB |
| Váltó rendszer beiktatási csillapítása | |
| 1 adó + 1 vevő: | tip. 2,2 dB |
| 2 adó + 2 vevő: | tip. 4 (< 4,3) dB |
| Ajánlott antenna típusa | |
| egy polarizációs: | FPA 3 S–19 |
| két polarizációs: | FPA 3 D–19 |
| tükörátmérő: | 3 m |
| nyereség (f = 1,9 GHz): | min. 32 dB |
| hátrasugárzási csillapítás: | 50 dB |
| Szolgálati csatorna | |
| alapsáv: | 0,3–4 kHz |
| moduláció: | FM |
| jel/zaj (1 szakaszra): | min. 45 dB |
| hívásmód: | szelektív vagy körözüvény hívás |
| Tápellátás | –20...–72 V DC |
| Fogyasztás | |
| 1 tartalékolt keret: | 160 W |
| 1 adó-vevő: | 65 W |
| Hőmérséklettartomány | |
| specifikált: | +5°...+40 °C |
| működési: | 0...+50 °C |



10. ábra. Bit hibaarány karakterisztika
 a) Sávbaeső interferencia esetén; b) szomszédos interferencia esetén

6. Vonaltervezési szempontok

Összhangban a CCIR Rec. 378—3 és Rec. 779-ben foglaltakkal a berendezés végpontjai között a rendelkezésre álló időminimum 95%-ban a bithibaarány (BER) értéke 10^{-7} alatt kell, hogy maradjon. A vonalakat úgy kell tervezni — a berendezés adatait figyelembe véve —, hogy mély fading hatására a bithibaarány értékének 10^{-3} alá való esése bármely hónapban a rendelkezésre álló idő legfeljebb 0,05%-ban következhesen csak be. Amennyiben a külső interferenciából származó zavaró tér szintje előírt korlát alatt tartható, a berendezés adatai mellett az utóbbi feltétel teljesülése automatikusan biztosítja az előző feltétel teljesülését is. A következő táblázatban névleges állomástávolság, antennatávolság esetére meghatározuk a berendezés fading tartalcát, illetve a keretkimenetek között értelmezett maximálisan megengedhető szakasz-csillapítást. Az első oszlopban az előírt paraméterek, míg a második oszlopban 8 adó-vevő mérésének átlagából nyert eredmények vannak feltüntetve.

A táblázatból látható, hogy a mért adatok alapján a berendezés fading tartaléka és a beiktatható határ-

szakasz csillapítás mintegy 5 dB-lel nagyobb a specifikus értékekhez képest, mely a nagyobb adóteljesítményből, kisebb vevő zajtényezőkből és a passzív elemek kisebb veszteségéből adódik.

A bithibaarány alakulását a bemenőszint függvé-

Táblázat

| | Előírt | Mért |
|--|---------------------|------------|
| Adóteljesítmény | +1,8 | +1,8 dBW |
| Passzív elemek csillapítása ($T_x + R_x$) | 3 | 2,8 dB |
| Váltó áteresztő csillapítása ($T_x + R_x$) | 4,3 | 3,7 dB |
| Tápvonal veszteség ($2 \times 50 \text{ m} \times 0,1 \text{ dB/m}$) | 10,0 | 10,0 |
| Antenna nyereség (2 G) | 64,0 | 64,0 dB |
| Szabadtéri csillapítás ($f = 2 \text{ GHz}, d = 50 \text{ km}$) | 132,4 | 132,4 dB |
| Szakaszcsillapítás | 85,7 | 84,9 dB |
| Vételi jelszint (fading nélkül) | -83,9 | -83,1 dBW |
| Vevő zajszint (NF = 7 dB, B = 6 MHz) | -128,7 | -129,7 dBW |
| Vevő C/N igény (BER = 10^{-3}) | 15 | 12,7 dB |
| Vételi küszöbszint | 113,7 | -117,0 dB |
| Fading tartalék | 29,8 \approx 30 | 33,9 dB |
| Határszakasz csill. | 108,2 \approx 108 | 112,3 dB |

nyében a 9. ábra mutatja, ahol a specifikált és tipikus görbe menetét egyaránt feltüntettük. A $BER = 10^{-3}$ -hoz tartozó RF vételi szintnek kb. 12,7 dB KF C/N felel meg, mely 3 dB-vel rosszabb az ideális elméleti küszöbértéknél. Figyelembe véve az elméletinél (Nyquist) nagyobb KF sávszélességet, a scrambler és a differenciális kódoló által fellépő tévesztés növekedést (mely kb. 1 dB romlást okoz) és a berendezésben fellépő belső interferenciát, a KF modem egységek megengedett fázis hibáját, a mért eredmény jónak mondható.

A vonaltervezés szempontjából, különösen elágazó vagy keresztező vonalak esetén érdekes lehet a berendezés külső interferenciával szembeni védettsége. A 10/a ábrán az azonos sávba eső konstans C/I (vivő/interferencia) értéke adja meg a BER alakulását a hasznos vételi jelszint függvényében. A 10/b ábra a 14 MHz távolságban levő szomszédos csatornából származó interferencia esetét tünteti fel. Mindkét

esetben a zavarójel a hasznos jellel megegyező modulációval (QPSK) rendelkezik. Azonos sávba eső interferenciánál látható, hogy ha a zavarójel szintje a hasznos jel alatt van legalább 25 dB-lel, az interferencia hatása nem számottevő, míg 15 dB-nél még zajmentes esetben is romlik a vételminőség. Szomszédos csatornából eredő interferenciánál (10/b. ábra) a zavarójel szintje a hasznos jelnél 30 dB-lel nagyobb lehet anélkül, hogy a BER karakterisztikán észrevehető romlás lenne. A hatás 35 dB-nél nagyobb zavarószintnél kezd érezhetővé válni, ezért ennek túllépése nem ajánlott. Az eddig elmondottak alapján megállapítható, hogy a berendezés megfelelő KF szelektivitással rendelkezik. (Távolabbi frekvenciájú zavaroknál a védettséget ezen túlmenően még a mikrohullámú szűrő is növeli.) Tényleges vonalaknál az antenna iránykarakteristikájából, az állomástávolságból és az esetleg eltérő polarizációs síkból eredő tényezőket is számításba kell venni.