

Sávszélesség korlátozás a duobináris jelre

DR. FERENCZY PÁL

BME Híradástechnikai Elektronika Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

Az európai közvetlen műholdas tv műsorszórás a kép- és hangjelek valamint adatok átvitelére az EBU által kidolgozott új kódolási eljárást, a MAC (Multiplexed Analogue Components) elnevezésű időosztásos analóg összetevők rendszerét fogja használni. A MAC-család egyik tagja, a D2-MAC/Paeket a digitális hang/adat jeleket duobináris kóddal viszi át a csatornán. A cikk bemutatja e duobináris jelnek keskenysávú csatornán való áthaladásából származó torzításait és levonja ezekből a gyakorlati következtetéseket.

Az Európai Műsorszóró Unió (EBU) 1985-ben részletes műszaki ajánlást tett közzé a közvetlen műholdas műsorszórás céljára általa ajánlott jelkódolási és modulációs eljárásokról. (EBU-SPB 284-SPB 352). Az eljárásokat gyűjtőneveken MAC-rendszereknek nevezik (MAC=időosztásos analóg összetevők), a video jel kódolási módszernek alapján. A műholdas csatornán a hangjelek, ill. egyéb információk digitális formában csomagokba, ún. „paeket”-ekbe rendezve kerülnek átvitelre időben váltakozva a MAC-jellel. Az EBU ajánlás „C” változatában a csomagjelek bináris formában egy különleges 2—4 PSK-modulációval jutnak el a műholdról a DBS-vevőkbe, míg a „D” és a „D2” változatokban a csomagjelek duobináris jel alakjában frekvenciában modulálják a műhold vivőfrekvenciáját. Az alábbiakban megvizsgáljuk, hogy az alapsávban duobináris alakot öltő csomagjelek mennyire túriks el az átviteli csatorna sávkorlátozó hatását. Ennek birtokában már lehetséges a kép és a hang összehangolt átviteléhez leginkább alkalmas csatornasávszélesség megválasztása, illetve egy adott sávszélesség esetén az átvitel várható minőségének a megítélése.

Az alábbiakban a duobináris jel alapsávi sávszélesség kérdését részletesen megvizsgáljuk. Az EBU SPB—352 ajánlása D-MAC/PACKET-rendszer céljára egységesen a 20, 25 MHz mintavételi frekvenciát írja elő mind az analóg MAC-jel, mind a digitális csomagjel átvitelére, ez utóbbinál a jel az alapsávban duobináris formájú kell, hogy legyen. Elvileg a 20, 25 MHz mintavételi frekvencia fele azaz 10,125 MHz elég ahhoz, hogy szimbólumközi áthallás nélkül átvihető legyen az eredeti bináris adatjel. Ez az elvi érték nyilvánvalóan alkalmazható a duobináris jelre is. Annak következtében azonban, hogy most két szint (+1 és -1) is leírja a logikai magas szintet, de ugyanakkor a jel e sajátos képzése nem engedi meg pl. egy +1 és egy -1 egymás mellé kerülését, ebből következik,

DR. FERENCZY PÁL
1954-ben végzett a Budapesti Műszaki Egyetemen, ahol oktatóként azóta is folyamatosan dolgozik. 1979-ben elnyerte a műszaki tudomány doktora fokozatot, 1980-ban

kinevezték egyetemi tanárnak. A Rádió, TV és Hírközlés Osztály vezetője a Híradástechnikai Elektronika Intézetben. Fő tématerülete a műsorszórás.

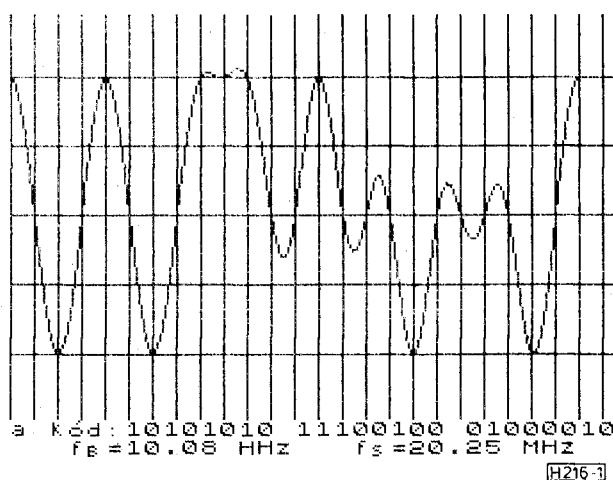
hogy a duobináris jel esetén a Nyquist kritériumból számítható minimális frekvencia érték alá is lehet menni a szimbólumközi áthallás veszélyének jelentős megnövekedése nélkül. Tulajdonképpen úgy is mondhatjuk, hogy a duobináris átvált, átkonvertál sávszélességet jel/zajra, miután a 3 szint átvitele jobb jel/zaj-ú csatornát kíván meg, de cserébe megenged kisebb sávszélességet.

Fentiek igazolására számítógéppel szimulált duobináris impulzussorozat átvitelét adjuk meg különböző sávszélességű (ideális fázismentű) csatornán történő átvitel után az időtartományban. Valamennyi géppel szerkesztett ábrán a vízszintes lépték azonos, a függőleges vonalak az eredeti bináris impulzusok helyét adják (itt „érvényes” az adat!), az ábrák vízszintes középvonala felel meg a „0” szintnek, a felső a +1, az alsó vonal pedig a -1 értéket adja és fel van még ezenkívül tüntetve a +0,5 és a -0,5 is, mint kritikus döntési küszöbérték az egyenes és a nullás értékek között.

Az ábrásorozat 840 kHz lépésekkel ($20,25 \times 10^6 : 24 = 843\,750$ Hz) csökkentve adja meg az önkényesen felvett

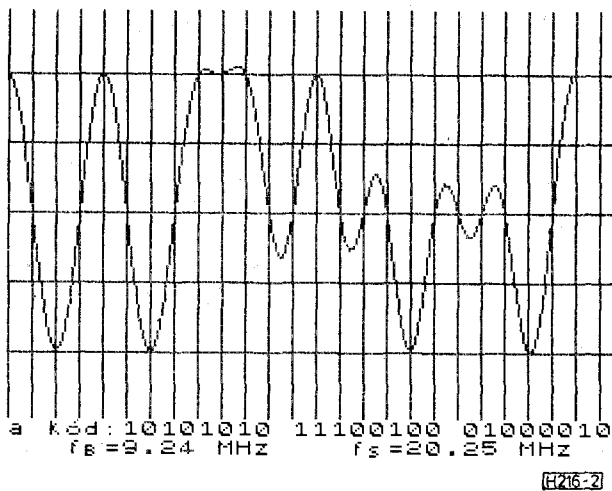
10101010 11100100 01000010

24 bitből álló bináris impulzussorozatnak megfelelő duobináris időfüggvényt, miután az áthaladt

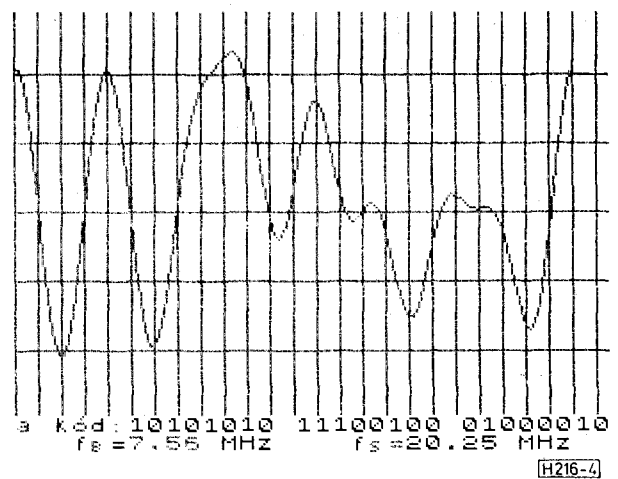


1. ábra. Sávszélesség = 10,08 MHz

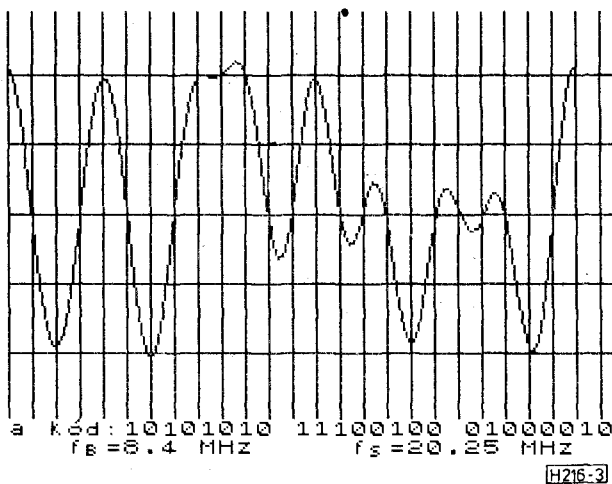
Beérkezett: 1986. V. 30. (H)



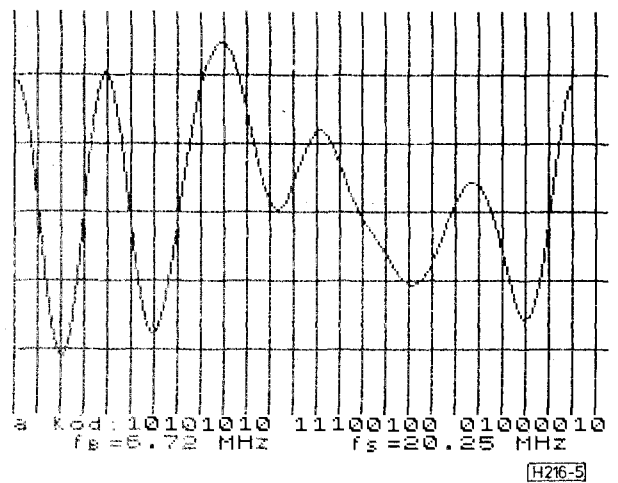
2. ábra. Sávszélesség=9,24 MHz



4. ábra. Sávszélesség=7,56 MHz



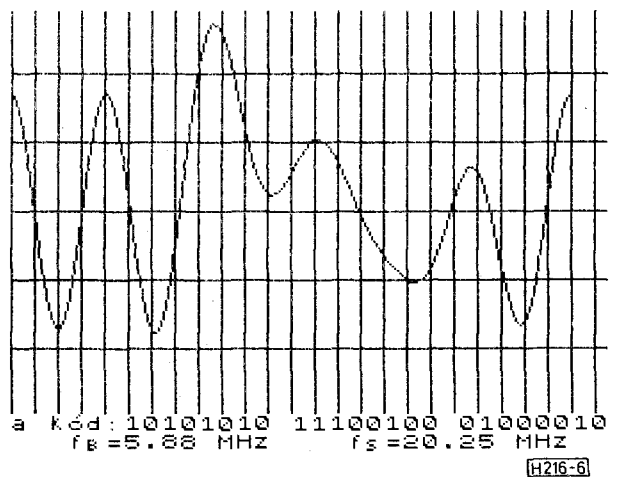
3. ábra. Sávszélesség=8,4 MHz



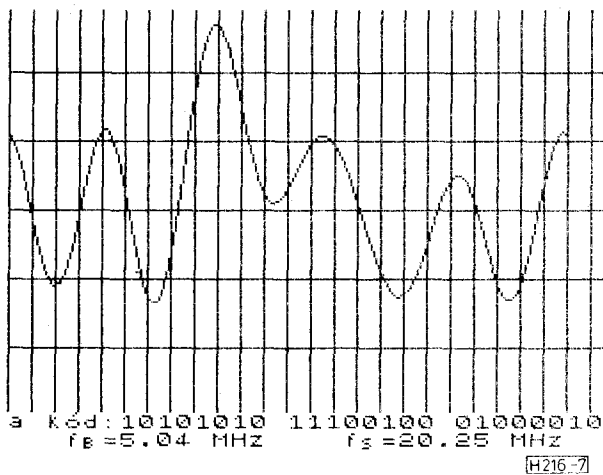
5. ábra. Sávszélesség=6,72 MHz

egy ideális, adott határfrekvenciájú, meredeken levágó aluláteresztő szűrőn (csatornán). Az első, 1. ábra tünteti fel az ideális viszonyokat: a kerek 10 MHz sávszélesség elegendően nagy ahhoz, hogy a kritikus időpillanatokban (függőleges vonalak!) a jel értéke +1, 0 vagy -1 értékeket mutasson, az eredeti bináris jelnek megfelelően. Megfigyelhető ugyanakkor, hogy a 10 MHz sávszélesség hatására a két mintavételi pont között a jel elég jelentős kilengéseket mutat. Egy másik észrevétel az első byte jelalakjára vonatkozik. Az egy-nulla sorozat (órajel-befutó!) képe duobinárisban elbeszélve +1, 0, -1, 0, +1, 0 stb. azaz egy színuszjel, amelynek frekvenciája negyedrésze (!) a 20,25 MHz-nek, azaz 5,0625 MHz. Ugyanez binárisban természetesen az 1, 0, 1, 0 stb. következtében 10,125 MHz lenne: vagyis egy órajel befutó duobináris alakban fele akkora sávszélességet követel, mint binárisban!

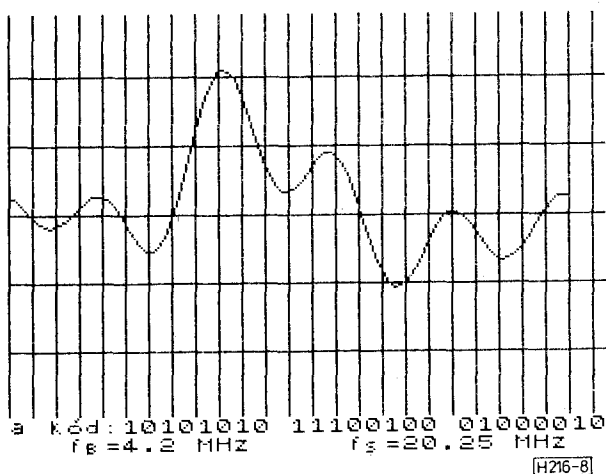
De nézzük az egyre csökkentett sávszélesség hatását az adatjelre (2. és 3. ábra). Kb. 8,4 MHz sávcsökkentőség az adatjel lényegében alig mutat torzulást, az ideálistól (1. ábra) való eltérés maximum 10% csupán a mintavételi (=adat érvényes)



6. ábra. Sávszélesség=5,88 MHz



7. ábra. Sávszélesség=5,04 MHz



8. ábra. Sávszélesség=4,2 MHz

időpontokban. Ha még tovább csökkentjük a sávszélességet (4., 5. ábra), akkor már veszélyes helyzet alakul ki különösen a két-két nullával körülvett egyes körül és $f_B = 5,88$ MHz esetén (6. ábra) ez az egyes (-1) már kritikus -0,5 fölé, azaz téves döntéssel a nullás tartományába kerül. Ugyanakkor érdemes megfigyelni, hogy ugyanekkor az órajelbefutó rész még alig 15–20% amplitúdó-csökkentést mutat csupán. Tovább csökkentve a sávszélességet a 7. ábrán látható jelalak adódik. Az órajel befutó lényegében a sávszélességnek 5 MHz alá való csökkentése esetén „törik meg”: a 8. ábrán 4,2 MHz sávszélesség esetén már szinte semmi sem ismerhető fel az eredeti adatjelből.

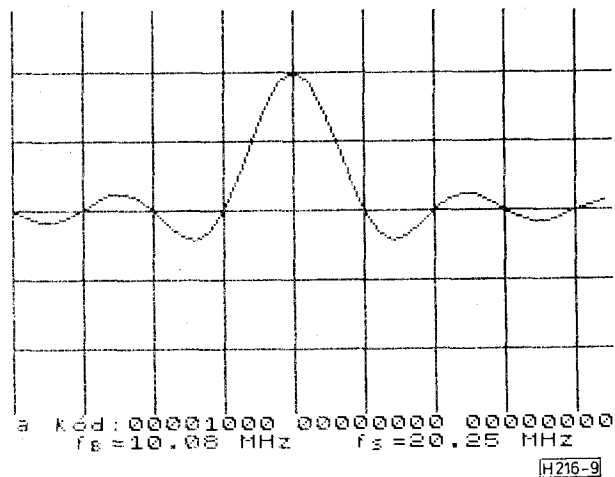
A sávszélesség-csökkentés hatását megfigyelhetjük egy másik vizsgálójel esetén is a következő, 9.—15. ábrasorozaton. Ezekon a számítógép annak a jelnek az időképét ábrázolta a sávszélesség, mint paraméter függvényében, amely számos zérus között egyetlen egyest tartalmazott. Ezúttal az időléptéket megnyújtottuk, hogy jobban le lehessen olvasni a mintavételi időpontok környezetében az adatjel értékét.

A 9. ábra tünteti fel az ideális esetet: az adatjellet egy 10,08 MHz sávszélességű aluláteresztő szűrőn

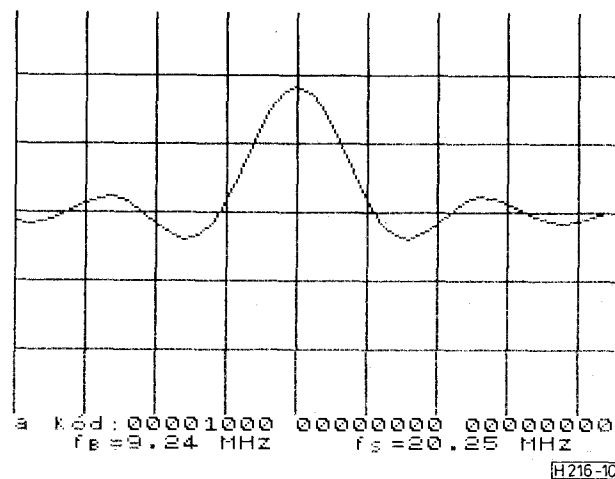
átbocsátva megfigyelhető, hogy valamennyi zérus, illetve az egyetlen egyes értékű bit pontosan a névleges értéket mutatja a függőleges vonalakkal megjelölt mintavételi időpontokban. Két ilyen időpont között természetesen az adatjel „hullámzása” ezektől eltérő értéket mutat, de egyrészt ilyenkor az adat nem „érvényes”, másrészt ez a hullámzás abból adódik, hogy a Nyquist-kritérium következtében itt nem az alakhű jelátvitel a cél, hanem a kérdéses időpillanatokban az adat értékek egyértelmű közlése.

Továbbmenve, a 10. és 11. ábrán látható ez a „Dirac impulzus” akkor, amikor a sávszélesség 9,24, ill. 8,4 MHz-re csökken. Itt már természetesen vannak eltérések az ideális eset zérus, illetve egyeséhez képest, de ezek még kicsik, nem haladják meg a 20%-ot. A 12. ábrán a sávszélesség 7,56 MHz, majd rendre következnek a 6,72 MHz, az 5,88 MHz, valamint a 15. ábrán az 5,04 MHz sávszélességnek megfelelő jelalak. Egészen az utolsó esetig még nincs téves döntés, de a biztonságos bit-átvitelhez ezek az esetek már nem alkalmasak.

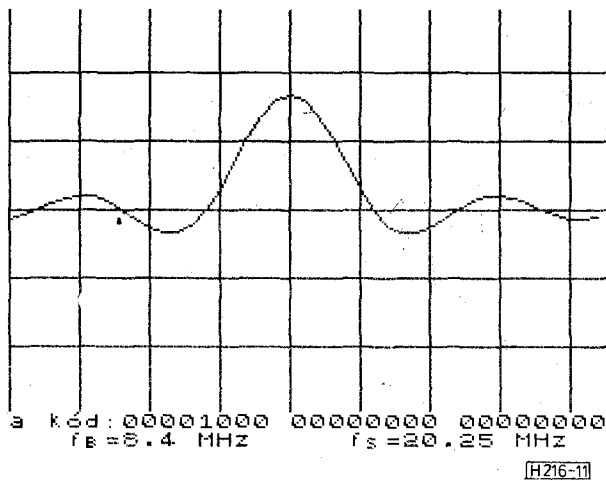
Mindezekből következik, hogy a duobináris átvitel az adat/hang sávszélességét nyugodtan



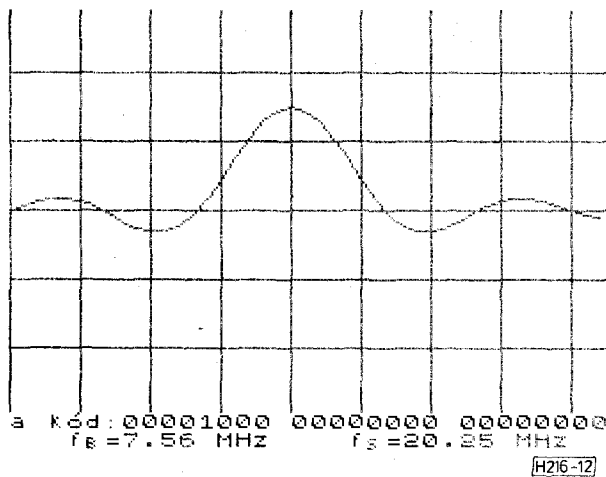
9. ábra. Dirac impulzus képe. Sávszélesség=10,08 MHz



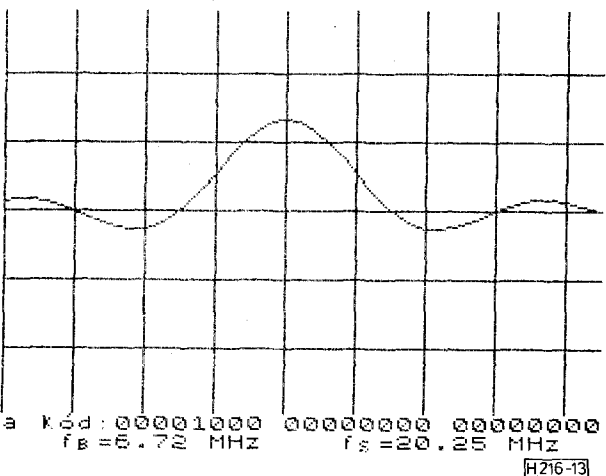
10. ábra. Dirac impulzus képe. Sávszélesség=9,24 MHz



11. ábra. Dirac impulzus képe. Sávszélesség = 8,4 MHz



12. ábra. Dirac impulzus képe. Sávszélesség = 7,56 MHz



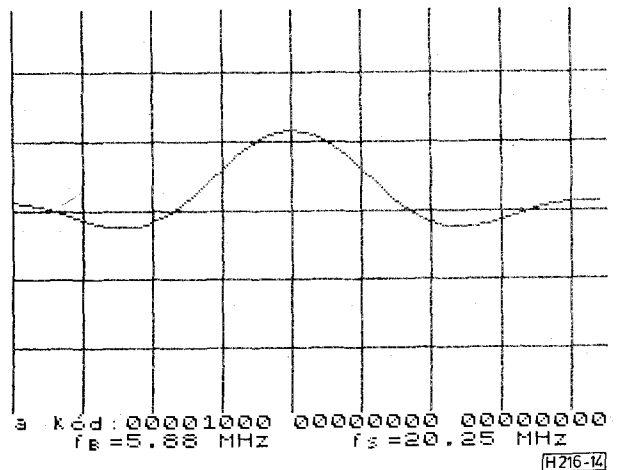
13. ábra. Dirac impulzus képe. Sávszélesség = 6,72 MHz

le lehet csökkenteni kb. 8,4 MHz értékre, ettől a bittévesztés veszélye szinte alig nő meg. Ez a sávszélesség viszont lényegében azonos a MAC-jel átvitelére szükséges alapsávi sávszélességgel, így leszögezhetjük, hogy az egész összetett MAC-jel

(D-MAC!) továbbítható egyetlen (!) 8,4 MHz sávszélességű csatornán akár az alapsávban, akár egy kábel hálózaton át például AM-VSB-modulációval.

A dekódolásnál háromszintű detekció szükséges: a középső érték felel meg a „zérus”-nak, míg akár a felső, akár az alsó az „egyes”-nek. Tulajdonképpen az a helyzet, hogy a duobináris jel egy kompromisszum az eredeti NRZ-bináris jel és a négy-szintű kódolt jel között. Az előző sávszélesség igénye több, mint 10 MHz, az utóbbi viszont csak 5 MHz lenne. A kábelen történő jelszétosztásnál a négy-szintű kódolt jel sokkal inkább megsérülne az esetleges reflexióktól, így annak használatától eltekintettek. Egyébként is a MAC-videójelnek szüksége van a 8,4 MHz sávszélességre, így logikus, hogy ezt kihasználandó a duobináris eljárás adja ehhez a „legközelebbi” illesztést.

Van még egy kérdés, amelyre itt kell megadni a választ. Ez pedig egészen logikusan adódik: miért nem javasolják a D-MAC/packet jel használatát magán a műholdas csatornán át? Nos a válasz az, hogy amennyiben a duobináris kódolást alkalmaznák magán a műholdról lesugárzott jelnél is, akkor az lényegesen jobban ki lenne téve a zaj okozta



14. ábra. Dirac impulzus képe. Sávszélesség = 5,88 MHz



15. ábra. Dirac impulzus képe. Sávszélesség = 5,04 MHz

tévesztéseknek, mint a 2—4 PSK-t használó C-MAC-rendszer. Az átviteli út ezen részében még megvan a lehetőség a 2—4 PSK-jel számára a nagyobb sáv szélességnek, így az jobban ki is használja a csatornát. A 20,25 Mbit/s adatsebesség mellett a D-MAC-rendszerű jel vételekor a hangcsatornák hamarabb válnának használhatatlanná, mint a képcsatorna. Ugyanakkor le kell szögezni, hogy a D-MAC-rendszer „teljesen átlátszó” a C-MAC által hozott információ számára, mind az adat/hang, mind a kép minősége tökéletesen azonos D-MAC és C-MAC esetén és a vételtechnika is azonos egészen a demodulálási pontig, ahol is a C-MAC egy PSK és egy FM, míg a D-MAC csupán egy FM-demodulátort kíván.

A D2-MAC/packet modulációs rendszer

1984-ben mind az NSZK mind Franciaország kifejezte azt a kívánságát, hogy vizsgálja meg egy szakértői testület annak lehetőségét, hogy nem lehetne-e egy MAC-típusú jelet olyan kábel-hálózatokon szétosztani, amelyek sáv szélessége mindössze 7 MHz. Ez esetben természetesen kompromisszum az egyedüli lehetséges megoldás, mert a 7 MHz sáv szélesség igen szigorú követelmény már magára a MAC-jelre is. A probléma azonban különösen a hang/adat jelcsomag esetében súlyos, hiszen az eredeti (C) elképzelés szerint ennek sáv szélességigénye több, mint 10 MHz!

A felvetett kívánságot számos engedmény árán lehetett csak teljesíteni. Végül is az EBU magáévá tette azt a javaslatot, amely számos kompromisszum árán, de teljesíti a 7 MHz sáv szélesség igényt. A rendszert D2-MAC/packet névvel vették a MAC-családba és a másik két társával, a C és D változattal együtt az EBU ajánlott rendszerei között szerepel.

A legfontosabb változás a korábbi MAC változatokhoz képest a hang/adat jel kialakításában van. Itt az eredeti 20,25 Mbit/s nagyságú adatsebességet a felére csökkentették, a D2-MAC-rendszer információátviteli sebessége 10,125 Mbit/s. A fele akkora adatsebesség természetesen azzal jár együtt, hogy a rendelkezésre álló 15 kHz sáv szélességű hangcsatornák száma 8-ról 4-re csökkent. Ebben a rendszerben is a duobináris kódolást alkalmazzák a hang/adat jelek átvitelére, amely kódolás itt megengedi, hogy a sáv szélesség

igény a 8,4 MHz-ről akár annak a felére, tehát 4,2 MHz-re is lecsökkenjen.

A videójel-rész (MAC) formátuma elvileg nem változik, de természetesen a 7 MHz-re való sáv szélesség csökkentés hatása itt is megmutatkozik: az átvitt kép felbontása gyengébb, mint az eredeti teljes értékű MAC-jelé. Ez a hatás különösen akkor szembetűnő, ha a kábeles szétosztásra magán a kábelhálózaton AM—VSB-t alkalmaznak, nagyjából hasonlót, mint amit a jelenlegi földi műsorszórás is alkalmaz, kivéve azt, hogy most nincs hangvivő. Ez esetben a videó sáv szélesség még jobban lecsökken és kb. 5,7 MHz komprimált értéknek megfelelő 3,8 MHz alapsávi világosságjel-sáv szélességre csökken. Olyan országokban, mint Franciaország, vagy az OIRT országok, ahol a VSB-csatorna-sáv szélesség 8 MHz, ezek az értékek valamelyest nagyobbak.

Itt jegyezzük meg, hogy az EBU a D2-MAC-rendszert, úgy ajánlja, hogy az a C-MAC formában érkező jelnek egy kábelhálózat fejállomásán való átalakítás és betáplálás célját szolgálja. Az NSZK és a Franciaország által 1986-ban felbocsátandó DBS-műholdak azonban ennek ellenére a D2-MAC/packet rendszerben fogják műsoraikat sugározni — legalább is e sorok írásának idején (1986. május) ez a helyzet. Miután az adat/hang csatorna sebessége felére lett csökkentve, már nem igaz az az állítás, hogy a duobináris eljárás alkalmazása zajos vétel esetén hamarabb okozza a hangcsatornák kiesését, mint a kép elromlását, hiszen a 4 MHz környéki sáv szélességű jel egy FM-csatornán már megfelelő jel/zajt produkál, szemben a 8 MHz sáv szélességű (D-MAC) esettel. Mindazonáltal az is nyilvánvaló, hogy a DBS-sugárzás szempontjából a műholdas rendszer nem optimalizált, nem használja ki az átviteli csatorna teljes kapacitását.

I R O D A L O M

- [1] Television Standards for the Broadcasting Satellite Service. Specification of the C-MAC/Packet system. EBU publ. SPB 284. 4th revised version. Febr., 1985.
- [2] Specification of the D-MAC/Packet system. EBU publ. SPB 352. Chapter A. Febr., 1985.
- [3] Specification of the D2-MAC/Packet system. EBU publ. SPB 352. Chapter B. Febr., 1985.
- [4] G. J. Philips: Direct broadcasting satellite transmission systeme. Montreux TV Symposium Records. Joint Sessions. June, 1985.

**Lapunk példányonként megvásárolható:
az V., Váci utca 10. és
az V., Bajcsy-Zsilinszky út 76. sz. alatti
hírlapboltokban**