

Láncbakapcsolt PCM csatornák átviteli minőségromlásának hatása a beszédsávi adatátvitelre

B. KISS ANDRÁS
Posta Kísérleti Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A vegyes analóg-digitális hálózatokban a PCM-rendszerek számának növekedése szükségessé teszi az általuk okozott minőségromlások értékelését nem-beszéd típusú hírányagokra (pl. adatátvitelre) is.

A CCITT erre vonatkozó munkáinak összefoglalása után a cikk ismerteti a laboratóriumi körülmények között láncbakapcsolt PCM-csatornák átviteli jellemzőinek alakulását a csatornaszámtól függően. A továbbiakban különböző típusú (CCITT V. 23 és V. 26) adatátviteli modemek közé láncbakapcsolt PCM-csatornák átviteli jellemzőinek megváltozásából adódó adatátviteli hibaarány romlást vizsgálja, majd megadja a mérések alapján megállapítható következtetéseket.

1. Bevezetés

A távközlő hálózatokban egyre jobban terjedő digitális technika mind az átvétel, mind pedig a kapcsolástechnika területén alapvetően befolyásolja a hálózat fejlesztését, tervezéshez pedig szükségessé teszi az eddigi előírások felülvizsgálatát.

A CCITT 1981–84. tanulmányi periódusában a XVI. Tanulmányi Bizottság foglalkozott a digitális jelfolyamok minőségének leírására használatos jellemzők kidolgozásával, többek között a meglévő hálózatban létrejövő átviteli minőségromlásokkal, ezen belül a beszédátviteli minőség és a minőségromlások kapcsolatával [1].

A minőségromlások meghatározására léteznek javaslatok [2,3], azonban egységes módszert még nem sikerült kialakítani az elmúlt tanulmányi időszakban. Ezért cél egy olyan arányossági mérőszám (egység) megadása, mely független az átviteli berendezések kódolási technikájának megoldási módjától (pl. 7 bites vagy 8 bites kodek). Ezt figyelembe véve a XVI. Tanulmányi Bizottság tervezési célokra az átvinni kívánt információ típusa szerint, különválasztva a beszéd- és adatátviteli követelményeket, új kifejezések definiálását tartotta szükségesnek. Ezek szerint javasolja a beszédromlás egység SIU (Speech Impairment Unit) és az adatromlás egység DIU (Data Impairment Unit) [4] fogalmakat. Ezeket a munkákat az 1985–88. tanulmányi időszakban a XII. Tanulmányi Bizottság koordinálja [5], mely fenti problémák tisztázását tűzte ki célul.

Kapcsolódva a CCITT-munkákhoz méréseket végeztünk annak meghatározására, hogy láncbakapcsolt PCM-csatornák átviteli jellemzői milyen hatással vannak az adatátviteli hibaarányra. A következőkben — röviden a témához kapcsolódó kutatások áttekintése után — ismertetjük külön-

B. KISS ANDRÁS
A Közlekedési és Táv-
közlési Műszaki Fő-
iskolán szerzett üzem-
mérnök oklevelet. 1970-
től dolgozik a Posta Kísérleti Intézetben, a Rendszertechnikai Osztályon. Az utóbbi időszakban a digitális átviteli utak és digitális

kapcsoló berendezések bevezetésének a távbeszélő hálózatok átviteli jellemzőire gyakorolt hatásával, továbbá az analóg-digitális vegyeshálózatokban létrejövő, adatátvitelt befolyásoló minőségromlások hatásával foglalkozik.

böző modulációs rendszereket alkalmazó (FSK, PSK, DPSK) és különböző sebességű (1200 bit/s és 2400 bit/s) adatmodemek között láncbakapcsolt PCM-csatornákkal végzett mérések eredményeit, és az adatok alapján megadható következtetéseket.

2. Az analóg-digitális átalakítás hatása az átvitelre

A vegyes analóg-digitális hálózatokban egy-egy kapcsolat felépítésénél több PCM-kodek láncbakapcsolására is lehet számítani. A többszörös A/D és D/A átalakítás megnöveli a kvantálási torzítást, ami a beszédátviteli minőségének jelentős romlását okozhatja. A szubjektív vizsgálatok [6] szerint a jel-quantálási torzítás viszonyának az optimális 36 dB-ről 20–24 dB-re való csökkenése beszédnél már lényeges minőségromlást okoz. A kvantálási zajok minőségromló hatása a különböző kódolási törvények alkalmazásával működő digitális rendszerek esetén különbözik. Ezért a digitális folyamatok minőségének leírására, illetve különböző rendszerek összehasonlításra mérőszámmal a CCITT a „kvantálási torzítás egység” (qdu) használatát javasolja. 1 qdu egyenértékű azzal a minőségromlással, amelyet egy 8 bites, A vagy μ törvényű, G.711 Ajánlás szerinti PCM-rendszer okoz a beszédátvitelben, ha a berendezés a G.712 Ajánlásban rögzített torzítás görbénél átlagosan 2 dB értékkel kevesebb kvantálási zajt termel. Ez azt jelenti, hogy az említett ideális PCM-rendszer objektíven mérhető jel/kvantálási zaja 36 dB. Ez a fül számára — adottságai miatt — nem érzékelhető, ugyanis a zavar a hasznos szint alatt 36 dB-lel jelenik meg beszélgetés közben.

Egy teljes előfizetőtől-előfizetőig terjedő összeköttetésre a „14 qdu”-s szabály [2] érvényes, mely szerint a nemzeti szakaszokra 5+5 qdu, míg a nemzetközire 4 qdu engedhető meg. Így 14 PCM-szakasz láncbakapcsolása 10 lg 14=11,5 dB jel/kvantálási zaj romlást eredményez, tehát egy teljes nemzetközi összeköttetésre 36–11,5=24,5

Beérkezett: 1986. XI. 5. (□)

dB a megengedhető kvantálási zaj, amely egyezik a fent említett szubjektív vizsgálatok eredményével. Megjegyezzük, hogy az Ajánlások időlegesen megengedik a nemzeti szakaszra eső 5 qdu növeledését max. 7 qdu-ra, vagyis $7+4+7=18$ qdu-t engednek meg maximálisan.

Az eddig összefoglaltak beszédátvitel szempontjából értékelik az analóg-digitális vegyeshálózatokban létrejövő minőségromlásokat. Szükségessé vált azonban a nem-beszéd típusú (pl. adat) híryananyagok átvitelére is megvizsgálni, hogy milyen átviteli jellemzők befolyásolják jelentősen az adatátviteli hibaarányt, illetve van-e összefüggés a qdu és a hibaarány között.

3. Az adatátvitelt befolyásoló minőségi jellemzők

A nemzetközi összeköttetésekre vonatkozó jelenlegi átviteli terv a beszédátvitel minőségére ad útmutatást. A legjelentősebb minőségromlásokat és azok beszédjelekre gyakorolt hatását foglalja össze a P.11 Ajánlás. Ezek a minőségromlások az önhangcsillapítás, áramkörüi zaj, teremzaj, csillapítástorzítás, visszhang, kvantálási torzítás és fázisdzsiszitter.

Ezeket túlmenően azonban vizsgálni kell a nemzetközi összeköttetéseken továbbított adatokra a minőségromlást okozó jellemzőket is. Ilyenek az impulzus zaj, a csoportfutásidő-torzítás, a nemlineáris torzítás, a jel-zaj viszony, az erősítés és fázis tranziensek stb.

A továbbiakban az adatátvitelt befolyásoló minőségjellemzőkkel és a vonatkozó CCITT-ajánlásokkal foglalkozunk részletesebben.

3.1. Impulzus zaj

Az impulzus zaj egy adott időintervallumba eső és adott küszöbszintet átlépő zajamplitúdók számlálásával határozható meg. Erre határértéket ideiglenesen a H.12 Ajánlás [7] javasol, mely szerint a bérelt áramkörök esetén a -21 dBmO küszöbszintet meghaladó zajimpulzus csúcsok száma 15 perc alatt nem lehet több 18 darabnál.

Adatátvitelnél, rendszertől függően, a bithibaarány akkor romlik jelentősen, ha a zajcsúcsok $3+12$ dB-re megközelítik a hasznos jel effektív értékét [8]. A zajérzékenység határát az alkalmazott adatmodem modulációs megoldása (pl. FSK, PSK) és az adatátvitel sebessége, valamint a csatornák más átviteli minőségromlásának a nagysága befolyásolja.

Az American Telephone and Telegraph Company vizsgálatai szerint adatátvitelnél megfelelő határértéknek tekinthető, ha az impulzus zajok 15 perc alatt 15-nél többször nem lépnek túl egy olyan küszöbszintet, mely 6 dB-lel van a vett adatjel effektív értéke alatt.

3.2. Csoportfutásidő torzítás

Csoportfutásidő torzításnak nevezzük az átvitt frekvenciasávban mért legkisebb csoportfutásidőhöz viszonyított eltérést, melynek határait az M.1020 Ajánlás 2. ábrája az irányadó. Az adat-

átviteli hibaarány és a csoportfutásidő torzítás kapcsolatát a későbbiekben részletesebben tárgyaljuk.

3.3. Fázisdzsiszitter

A fázisdzsiszitter az átvitt jelnek egy nemkívánatos fázismodulációja, mely zavarja a jel null-átmeneteit. Ilyen null-átmenet zavarásokat zajok is okozhatnak, melyek hatása fázisdzsiszitterként jelentkeznek, és adatátvitelnél a vételi érzékenységek csökkenését okozhatja. Egy teljes összeköttetésen fázisdzsiszitterre határértékeket a H.12 Ajánlás javasol, mely 10° (csúcstól-csúcsig) a 20 Hz—300 Hz és 15° (cs-cs) a 3 Hz—300 Hz sávban mérve.

3.4. Nemlineáris torzítás

Az átviteli berendezésekben lévő elemek növelik a harmonikus és intermodulációs torzításokat, melyeket összefoglalva nemlineáris torzításoknak nevezünk. Ezeket a torzításokat általában a különböző rendszerek erősítői, multiplex berendezései okozzák, de létrejöhet kodek meghibásodás hatására PCM-csatornában is. Több PCM-szakaszból álló adatátviteli összeköttetésben esetleg előforduló egyetlen hibás kodek pár is — áramkörüi elhelyezkedésétől függően — jelentős hibaarány romlást okozhat. Korábbi vizsgálataink szerint hibás kodek hatására, ha pl. a harmonikusok kb. 12 dB-re megközelítik az alapjelet, a hibaarány nagyságrenddel rosszabb lehet a V.53 Ajánlásban javasolt $5 \cdot 10^{-5}$ értéknél.

3.5. Jel-zaj viszony

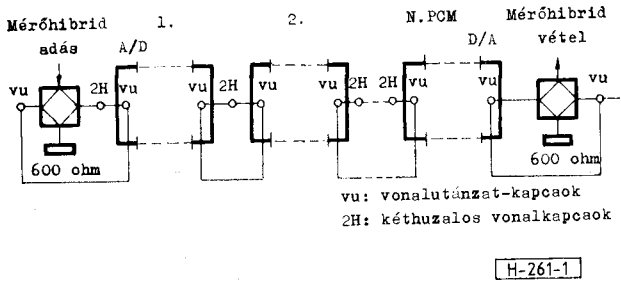
A zaj beszédátvitelnél a beszédészünetekben, míg adatátvitelnél az aktív időszakokban zavaró, és a minőségromlás nagysága a jel-zaj távolságtól függ. A PCM-rendszerek esetén a kvantálásból származó zaj éppen az aktív időszakban növekszik meg, ezért szükséges megvizsgálni hatását az adatátvitelre is. A vizsgálat elve az, hogy a mérendő PCM-csatornák bemenetére megfelelő szintű és frekvenciájú jelet adva, a kimeneteken lyukszűrővel elnyomva az alapjelet, mérhetjük a kvantálásból származó zajokat.

3.6. Erősítés- és fázis tranziensek

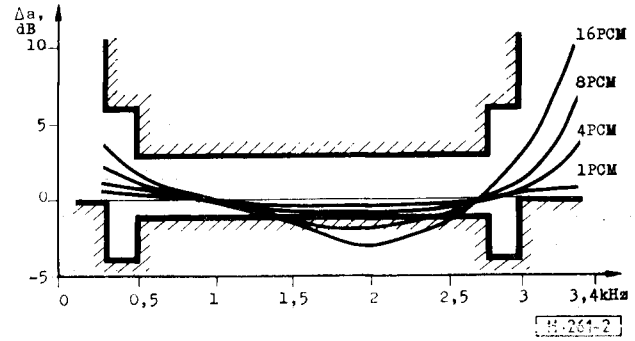
Különösen a nagysebességű adatátvitelnél a 2—3 dB nagyságú erősítésugrások és a 20—25° nagyságú fázisugrások okozhatnak hibákat [5]. Javaslatot is tartalmaz az [5] irodalom 4. függeléke teljes összeköttetés esetére, mely szerint a 3 dB-t túllépő erősítésugrások és a 20° küszöböt meghaladó fázisugrások száma nem lehet több 8 darabnál 15 perc alatt.

4. Az adatátviteli hibaarány és a PCM-csatorna-jellemzők kapcsolatának vizsgálata

Vizsgálataink során arra törekedtünk, hogy lehetőleg világos képet kapjunk az egyes PCM-jellemzők adatátviteli hibaarányra gyakorolt hatásáról, de nem hagyhattuk figyelmen kívül ezek együttes hatását sem. A véletlen minőségromlások (pl. központ impulzus zajok, vonali megszakadások)



1. ábra. PCM-csatornák láncba kapcsolása



2. ábra. Láncba kapcsolt PCM-csatornák csillapítás-torzítása

kiküszöbölésére laboratóriumi körülmények között két 30 csatornás (CMB—30) PCM-betétes csatornákat kapcsolunk láncba.

4.1. PCM-csatornák láncba kapcsolása

A rendelkezésünkre álló CMB—30 betéteknél nincs lehetőség átkapcsolással a csatornák négyhuzalos működtetésére, viszont ahhoz, hogy több PCM-csatorna összekapcsolásakor létrejövő visszafordulások, illetve a megnövekedett beiktatási csillapítás ne korlátozzák az adatátvitelt, csak a négyhuzalos üzemeltetés a megfelelő. Ezért a PCM-csatornák 2/4-huzalos végződő egységeinek kéthuzalos pontjait, ill. az összekapcsolás helyén mindkét végződés vonalutáncát elhagyva, a vonalutánc pontokat pólushelyesen kötöttük össze (1. ábra). A hibridek ilyenkor egyszerű transzformátorként működnek.

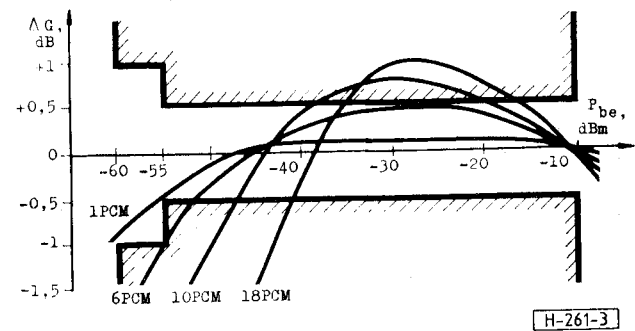
4.2. A láncba kapcsolt PCM-csatornák minőségi jellemzőinek mérése

A PCM-csatornák minőségi jellemzőit a G.712 és M.1020 Ajánlásokban [9, 10] rögzítetteknek megfelelően ellenőriztük max. 18 csatorna láncba kapcsolása esetén. A G.712 Ajánlásban javasolt határértékek a minőségjellemzőkre beszédszempontúak, viszont ellenőrzésükkel pontos képet kaphatunk a PCM-csatornák láncba kapcsolásából adódó minőségromlások alakulásáról, illetve arról, hogy ezek befolyásolják-e és milyen mértékben az adatátviteli hibaarányt. A vizsgálatokhoz a HP 3776A PCM Terminal Test Set és a Wandel and Goltermann csoportfutasíró- és csillapítástorzításmérő műszereket használtuk fel, melyeket az 1. ábra szerinti összeállítás adás, ill. vételi pontjaira kapcsolunk.

4.2.1. Csillapítástorzítás-mérés

A PCM-csatornákat úgy állítottuk be, hogy maradékcillapításuk, a mérőhibridekkel együtt $f = 810$ Hz-en ~ 1 dB legyen.

Az $f = 810$ Hz-en mért maradékcillapításhoz képest az eltéréseket a sávban az M.1020 Ajánlás 1. ábráján megadott csillapításhatárok feltüntetésével rajzoltuk fel (2. ábra). Az Ajánlásban javasolt határok esetünkben 5 PCM-csatorna összekapcsolásánál még teljesülnek, további csatornaszám növelés azonban kiemelését okoz.



3. ábra. Az erősítés változása a bemenő szint függvényében

4.2.2. Az erősítés változása a bemenő szint függvényében (linearitás)

A bemenő szint változásának hatására bekövetkező erősítés-változás (ΔG) vizsgálatára kétféle módszer szerepel az ajánlásokban [9]. Az egyik módszer szerint, ha a csatorna bemenetére -60 dBmO és -10 dBmO szint közötti fehérzajt adunk, akkor a csatorna erősítés-változásának a -10 dBmO bemenő szinthez tartozó erősítéshez képest a 3. ábrán feltüntetett maszkhatárok közé kell esnie.

A másik módszer szerint, ha a 700 Hz és 1100 Hz között (pl. $f = 810$ Hz) -55 dBmO és $+3$ dBmO között szinuszos jelet adunk a csatornák bemenetére, akkor az erősítés-változásnak a -10 dBmO bemenő szinthez képest a [9] irodalomban megadott maszkhatárok közé kell esnie.

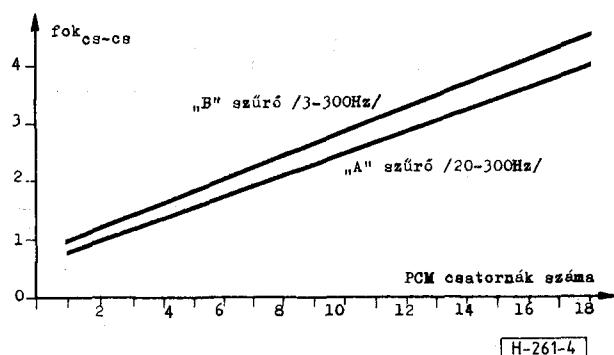
A méréseket mindkét módszerrel elvégeztük, azonban csak a fehérzajjal végzett mérések eredményeit mutatjuk be a 3. ábrán, mivel a kettő között lényeges eltérés nincs. A csatornaszám növelésével az alacsonyabb (-40 dBmO alatti) szinttartományban nagyobb az erősítés-változás, de ez az adatátvitelt nem befolyásolja.

4.2.3. Zajmérések

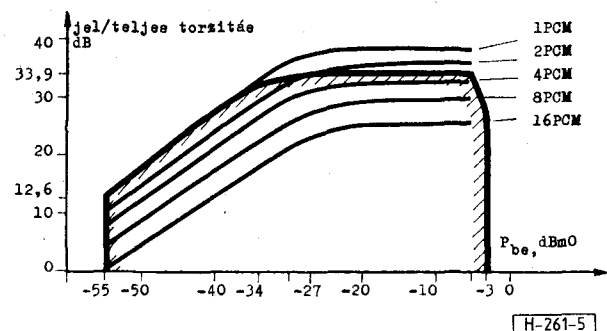
Az 1. táblázatban foglaltuk össze az üres csatorna (súlyozott és egyfrekvenciás) és a terhelt csatorna (zajmérés hanggal) zajait, valamint az intermodulációs torzításból származó zajok eredményeit. A súlyozott zajértékek pszofometrikus súlyozást jelentenek, melyek határértéke -65 dBmO lehet

Zaj és intermodulációs torzítás mérések eredményei

PCM-szakaszok száma	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Pszofometrikus zaj, dBmOp	-79	-75	-72	-70	-70	-69	-69	-69	-68	-68	-67	-66	-66	-66	-66	-65	-65	-65
Szelektív zaj, dBmO	-95	-90	-86	-84	-84	-84	-84	-84	-83	-83	-83	-82	-82	-82	-82	-82	-82	-82
Zaj+hang, dBmOp	-41	-40	-37	-35	-34	-33	-32	-32	-32	-31	-30	-30	-30	-30	-29	-29	-29	-29
Intermod. torz. dB	-47	-45	-42	-39	-38	-36	-35	-34	-34	-33	-32	-31	-30	-30	-29	-30	-29	-29



4. ábra. Fázisdzsitter

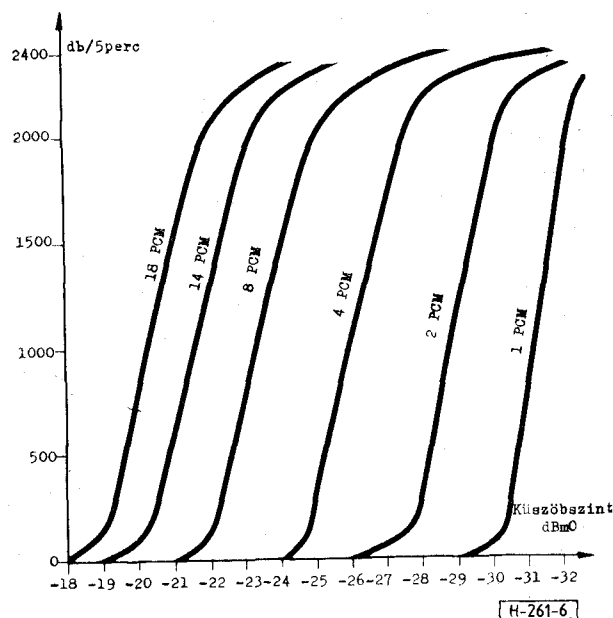


5. ábra. Kvantálási torzítás (mérés zajjal)

[9] szerint. Az egyfrekvenciás zaj az üres csatornában 810 Hz-en szelektíven mért zaj szintje, mely nem haladja meg a -50 dBmO-t [9].

A terhelt csatorna mérésénél 0 dBmO bemenő szintű 810 Hz-es jelet adva a csatornára, és kiszűrve a kimeneten, a jel által keltett pszofometrikus zaj értékét kapjuk.

Az intermodulációs torzítást kéthangos módszerrel (470 Hz és 620 Hz; $P_{be} = -4$ dBmO) mértük, melyre előírás, hogy a PCM-csatornák nem termelhetnek olyan $2f_1 - f_2$ intermodulációs terméket, amelyek szintje nagyobb annál a szintnél, ami 35 dB-lel alatta van a két bemenőjel egyikének szintjénél.



6. ábra. A kvantálásból származó zajimpulzusok gyakorisága

A táblázatból látható, hogy a pszofometrikus és egyfrekvenciás zaj ajánlások még 18 PCM-szakasz összekapcsolása esetén is teljesülnek, viszont az intermodulációs torzítás legfeljebb 6 szakasz összekapcsolását teszi lehetővé.

4.2.4. Fázisdzsitter mérés

A dzsitter mérését „A” (20–300 Hz) és „B” (3–300 Hz) szűrővel is elvégeztük. A mérés eredményeit a 4. ábra szemlélteti max. 18 PCM-csatorna esetére, mely szerint a fázisdzsitter értéke nem lépi túl a 3.3. pontban már ismertetett 10° , illetve 15° értékeket.

4.2.5. Kvantálási torzítás és impulzus zaj mérések

A zajjal mért kvantálási torzítás értékeket a G.712 Ajánlás maszkjába rajzoltuk be (5. ábra). Az ábráról látható, hogy a jel/torzítás romlás a $10 \lg N$ összefüggés szerint alakul, ahol N a láncba kapcsolt csatornák száma.

A kvantálási torzításból származó impulzus-zajokat a 3.5. pontban ismertetett módszerrel mértük. A PCM-csatornák bemenetére 0 dBmO szintű 810 Hz-es jelet adva, a kimeneten lyukszűrővel kiszűrve, a megemelkedett kvantálási zajból származó zajimpulzusok számának (5 perces mérések átlaga) eloszlását különböző küszöbszinteknél vettük fel (6. ábra).

Az impulzus zaj mérésekkel egyidőben ellenőriztük a 3.6. fejezetben leírtaknak megfelelően az erősítés- és fázisstranzienseket is. A vizsgálat ideje alatt (~400 db 5 perces mérés) nem tapasztaltunk erősítés- és fázisugrásokat.

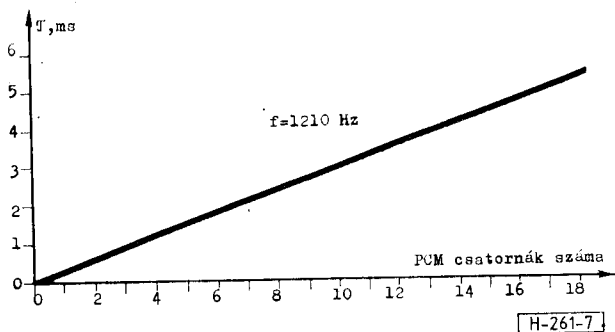
4.2.6. Csoportfutásidő és csoportfutásidő torzítás mérése

A csoportfutásidő a csatornák számának növekedésével lineárisan növekszik (7. ábra).

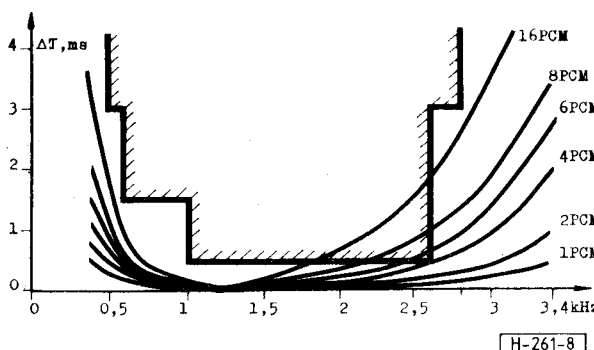
A csoportfutásidő torzítás határai az M.1020 Ajánlásnak megfelelően a 8. ábra szerint alakulnak. A mért értékek alapján 5 PCM-csatorna összekapcsolása határesetnek számít, ennél több szakasz láncbakapcsolásánál a 2 kHz feletti tartományban már fokozatos romlás tapasztalható.

4.2.7. Adatátviteli hibaarány mérés

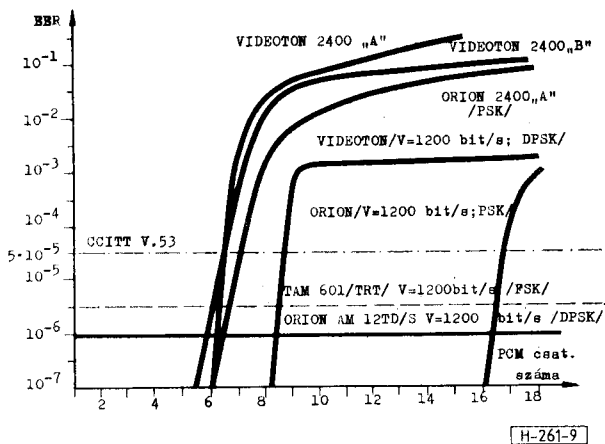
A hibaarány méréseket a CCITT V.52 Ajánlásban [11] javasoltak szerint 511 bites álvéletlen bit-sorozatokkal a HP 1645 típusú hibaarány mérővel végeztük. A vizsgálatok során $V=1200$ bit/s és 2400 bit/s sebességű FSK, PSK és DPSK modulá-



7. ábra. Abszolút futásidő



8. ábra. Láncbakapcsolt PCM-csatornák csoportfutásidő torzítása



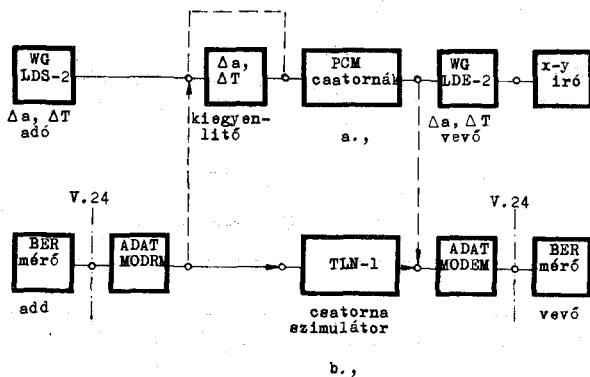
9. ábra. Az adatátviteli hibaarány alakulása a láncbakapcsolt PCM-csatornák számának növekedésével

ciót alkalmazó adatmodemek közé kapcsoltuk az 1. ábrán látható összeállításban a PCM-csatornákat.

Megvizsgáltuk, hogyan alakul az adatátviteli hibaarány különböző típusú adatmodemek esetén az összekapcsolt PCM-csatornák számának változtatásával. A 2400 bit/s-os, fázismodulációval (PSK) megoldott adatmodemeknél az adásra kerülő adatfolyam egymást követő bitpárok (dibitek) sorozatára van felosztva. Mindegyik dibitet az azt közvetlenül megelőző jelelem fázisához képest fázisváltozássá kódolják át. A vevőben a dibiteket dekódolják és a bitek eredeti sorrendjét is visszaállítják. A V.26 Ajánlás [12] ezen kódolásnak két lehetséges „A” és „B” változatát adja meg. Lehetőségünk volt mind az „A”, mind „B” változat zavarérzékenységének összehasonlítására, azonban, mint a 9. ábrán láthatjuk, nincs lényeges különbség hibaarány szempontjából a kettő között.

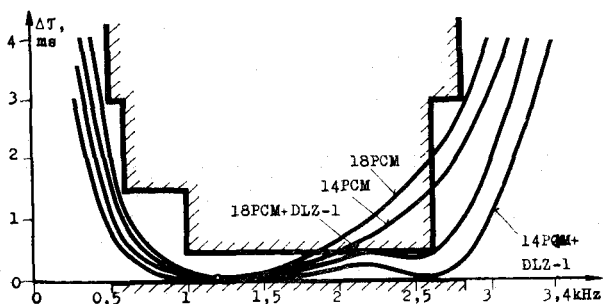
Hibaarányra határértékeknek a V.53 Ajánlásban [13] javasolt $5 \cdot 10^{-5}$ -t tekintettük, mely bérelt távbeszélő áramkörökön működő 1200 baud-os adatmodemekre érvényes.

Fenti megkötevéket figyelembe véve lehetőség van 5 PCM-csatorna összekapcsolására, ennél több csatorna esetén viszont rohamos hibaarányromlás tapasztalható. A vizsgált típusok között két kivétel van, melyeknél független a hibaarány az összekapcsolt PCM-csatornák számától. Az egyiknél (TAM 600) a frekvenciamodulációs megoldás (FSK), a másiknál (AM—12 TD/S) pedig a keverő és szűrőegység megoldása indokolja az adatátviteli hibaarány megfelelő értékét. Megjegyezzük, hogy az AM—12 TD/S adatmodem keverő és szűrő egysége mind az adó, mind a vevő oldalon elvégzi a jelek megkívánt spektrumkorlátozását, az átviteli úton bekövetkező amplitúdó-, valamint fázistorzítások kiegyenlítését is elősegítő szűrőkarakterisztikák megválasztásával. Ez a fázistorzítás kiegyenlítés, mint a következő 4.3. pontban láthatjuk, alapvetően meghatározza az adatátviteli hibaarány alakulását.



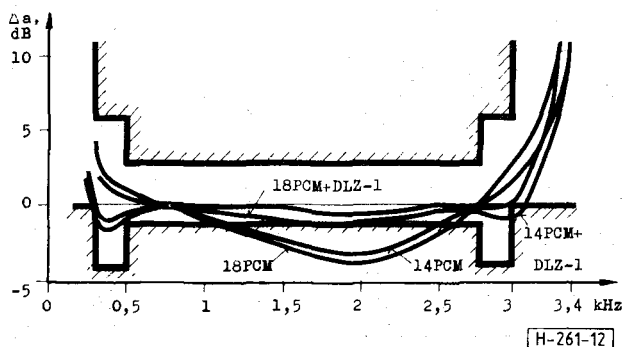
H-261-10

10. ábra. A hibaarány és a csoportfutásidő torzítás kapcsolatának vizsgálata



H-261-11

11. ábra. Láncbakapcsolt PCM-csatornák csoportfutásidő torzítása kiegyenlítővel (DLZ-1) és kiegyenlítő nélkül



H-261-12

12. ábra. Láncbakapcsolt PCM-csatornák csillapítás-torzítása kiegyenlítővel és kiegyenlítő nélkül

4.3. A bithibaarány (BER) és a csoportfutásidő torzítás kapcsolata

A 4.2.1.—4.2.7. pontokban ismertetett mérési eredményekből megismerhettük a PCM-csatornák összekapcsolódásából származó minőségromlásokat, illetve ezek milyen határokig teljesítik az előírásokat. Célunk annak megismerése, hogy van-e összefüggés a qdu és a BER között. Az általunk vizsgált PCM-csatornák a 2. pontban leírt definíciónak megfelelően 1 qdu minőségromlást okoznak amelynek hatását a BER-re csak akkor tudjuk megvizsgálni, ha a kvantálási torzításon kívül

minden olyan átviteli jellemzőnek a hatását kizárjuk, amely jelentősen befolyásolhatja a BER alakulását. Ezek közül az adatátvitelt leginkább befolyásoló átviteli jellemző a csoportfutásidő torzítás, melynek kiegyenlítésére van lehetőség.

A 10. ábrán lévő mérési összeállítással 14 PCM-szakasz összekapcsolásakor mért csoportfutásidő torzítást kiegyenlítővel és kiegyenlítő nélkül, valamint 18 szakaszra a 14 PCM-re optimális csoportfutásidő torzításkiegyenlítővel és anélkül rajzoltuk fel (11. ábra). Az előbbieknél megfelelő összeállításban a csillapítástorzítást is kiegyenlítettük, melyet a 12. ábrán mutatunk be. Fenti mérési összeállításban az adatátviteli hibaarány kiegyenlítő nélkül több nagyságrenddel rosszabb az előírt értéknél (9. ábra), viszont kiegyenlítővel még 18 PCM esetén is a BER 10^{-6} , 2400 bit/s adatátviteli sebességnél.

Egy adott PCM-szakasz-számra optimális csoportfutásidő kiegyenlítés 2400 bit/s adatátviteli sebességnél ± 4 PCM-szakaszig, míg 1200 bit/s-nél ± 9 PCM-szakaszig ad 10^{-6} bit hibaarányt.

Vizsgálatokat végeztünk a csoportfutásidő torzítás kiegyenlítő áramköri elhelyezkedésére vonatkozóan is. Ennek eredményeképpen a hibaarány független attól, hogy a kiegyenlítőt a PCM-szakaszok elé, közé vagy után kapcsoljuk.

Annak bizonyítására, hogy esetünkben csak a csoportfutásidő torzítástól függ a BER, vagy esetleg más üzemeltetési körülmények között más jellemzők befolyásolják, a PCM-csatornák helyére TLN-1 típusú távbeszélő csatorna szimulátort kapcsolunk (10/b. ábra). A szimulátorral a csoportfutásidő torzítás görbe meredeksége változtatható az átvitt frekvenciasávban.

Ennek megfelelően a csatorna szimulátoron beállíthatók olyan csoportfutásidő torzítás karakterisztikák, melyek menete megközelíti a PCM-csatornákét, és amelyekre hasonló nagyságrendű hibaarány értékeket kaptunk, mint a valós összeköttetésre.

Fenti eredmények alapján a 2400 bit/s-os adatátviteli sebességnél a hibaarány akkor romlik jelentősen, ha a csoportfutásidő torzítás az M.1020 Ajánlásban megadott határértéket átlépi. Kisebb, azaz 1200 bit/s sebességnél a csoportfutásidő torzításra való érzékenység eltér oly módon, hogy az M.1020 Ajánlás maszkhatárai megduplázódnak, vagyis pl. az 1 kHz—2,6 kHz tartományban a 0,5 ms helyett 1 ms-re növekszik az a torzítás határ, melyen belül még megfelelő a BER.

5. Következtetések

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy 2400 bit/s adatátviteli sebességig, a beszéd-átvitel tervezéséhez ajánlott qdu és az adatátviteli hibaarány között nem mutatható ki korreláció.

A PCM-szakaszok láncbakapcsolása után, a megváltozott átviteli jellemzők közül elsődlegesen a csoportfutásidő torzítástól függ az adatátviteli hibaarány.

Bizonyos megállapítások hibátlan, a CCITT-ajánlásoknak megfelelően beállított PCM-csatornák összekapcsolása esetén érvényesek. Az üzem

közben fellépő, sztohasztikus jellemzők (pl. kapcsoló berendezésektől származó tranziensek) minőségrontó hatását nem vettük figyelembe. Ez azonban minden híryanag átvitelét zavarja.

Végeredményben a beszédre tervezett PCM-csatornák tökéletesen megfelelnek adatátvitelre, ha a rohamosan emelkedő BER-romlást okozó fázistorzítást kiegyenlítjük.

I R O D A L O M

- [1] CCITT COM XVI-N° R1. Transmission Impairments in the Evolving Network.
- [2] Rec. G. 113 CCITT Yellow Book. Fascicle III. 1.

- [3] Reo. P. 11 CCITT Yellow Book. Fascicle V.
- [4] CCITT COM XVI-N° R3.
- [5] CCITT COM XII-1, Q.25/XII. Transmission Impairments in the Evolving Network.
- [6] *Balás Miklós*: Kvantálási torzítás összegződésének vizsgálata. *Híradástechnika* XXXII. évf. 1981. 8. sz. p. 293—295.
- [7] Rec. H. 12 CCITT Yellow Book. Fascicle III. 4.
- [8] *Dr. Lajtha György*: Vegyes analóg-digitális hálózatok átviteli minősége. *Híradástechnika* XXXV. évf. 1984. 11. sz. p. 497—500.
- [9] Rec. G.712 CCITT Yellow Book. Fascicle III. 3.
- [10] Rec. M. 1020 CCITT Yellow Book. Fascicle IV. 2.
- [11] Rec. V.52. CCITT Yellow Book. Fascicle VIII. 1.
- [12] Reo. V. 26 CCITT Yellow Book. Fascicle VIII. 1.
- [13] Rec. V. 53 CCITT Yellow Book. Fascicle VIII. 1.