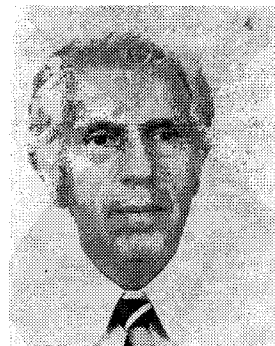


Vegyes analóg-digitális hálózatok átviteli minősége*

DR. LAJTHA GYÖRGY

Posta Kísérleti Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A digitális átvitel és kapcsolástechnika a hálózatban először ott jelenik meg, ahol az a műszaki és gazdasági igényeket legjobban kielégíti. Az átmeneti időszakban több független digitális négyhuzalos szakasz létesül. A négyhuzalos hurkokat 2/4 huzalos végződések zárják le és közben minden irányban 1-1 kodekpár van. Az összeköttetésben megengedhető öt független négyhuzalos hurok. A stabilitás, echo, reflexió és zaj előírásokat ennek figyelembevételével kell meghatározni. Bemutatjuk a tervezés néhány kulcsfontosságú lépését és a viszonyokat leginkább megváltozott értékekkel érzékeltetjük.

1. Bevezetés

A digitális időosztásos átviteltechnika és az időosztásos tárolt programvezérlésű központok bevezetésének megkezdésekor már felmerült az egységes digitális időosztásos távközlőhálózat (*EDITH*) lehetősége [1, 2, 3]. Az előfizetőtől előfizetőig terjedő digitális hálózat rendkívül vonzó perspektívákat ígért mind műszaki-minőségi, mind gazdasági szempontból. A távlat az egyre bővülő szolgáltatások integrálásából adódó Integrált Szolgáltatású Digitális Hálózat (*ISDH*) pedig egyértelműen a fejlett távközlés csúcspontja [4, 5, 6, 7, 8]. Ezekhez a kecsegtető kilátásokhoz elérkezni azonban csak hosszú, 15–25 éves átmeneti időszak útján lehet. Az átmenet, az analóg-térsztású technika és a digitális-időosztású rendszerek között az együttműködés megoldása számos műszaki és gazdasági problémát vet fel. A gazdasági hátrányok minimalizálására különböző áttérési stratégiákat dolgoztak ki, melyek igyekeznek a később esetleg szükségtelessé váló beruházásokat elkerülni, és a szolgáltatás-fejlesztés folyamatosságát biztosítani [9, 10, 11, 12].

A két technika együttélése azonban az alapvető műszaki-minőségi követelmények kielégítését is megnehezíti. A 2. pontban ismertetett hálózati struktúrák nyilvánvalóan mutatják, hogy az átmeneti időszakban megnövekszik a 2/4-huzalos átmenetek száma, ezzel a független négyhuzalos hurkoké is, egyidejűleg több analóg/digitális átmenet szükséges és számos jelzéstechnikai kérdés is megoldásra vár.

A következő pontokban az átvitel tervezését vizsgáljuk. Kezdjük a csillapítással, mert ez befolyással van a visszafordulásokon keresztül a stabilitásra, a kongásra és a visszhangra [13, 14]. A 4. pontban a különböző jellegű zajok és torzítások együttes hatását figyelembe vevő tervezési elveket alakítjuk ki

DR. LAJTHA
GYÖRGY

1952-ben került a Posta Kísérleti Intézetbe, ahol átviteltechnikai és hálózattervezési témákkal foglalkozott. 1974 óta az intézet igazgatóhelyettese.

Címzetes egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora. A C. C. I. T. T. XVI. Tanulmányi Bizottságának 1976 óta alelnöke, 1983-ban megbízták az elnöki teendők ellátásával.

[15, 16, 17]. Valamennyi átviteli jellemzőre vonatkozó követelmény meghatározásakor a beszéd mellett a különböző adat- és táviró átviteli feladatokat is szem előtt tartjuk.

2. Az átmeneti időszak hálózati struktúrái

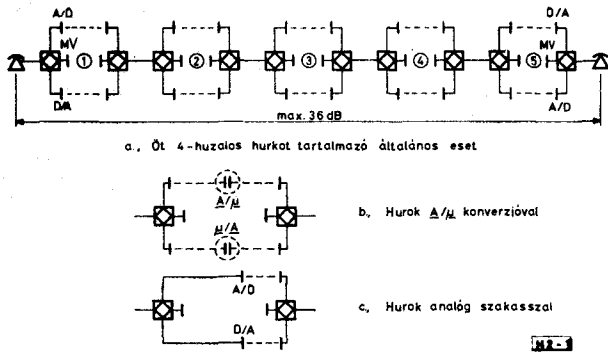
A távközlési igazgatások általában kidolgozzák a digitális rendszerekre való áttérés stratégiáját, melynek lényege, hogy a meglévő analóg hálózattal és minimális számú illesztő egységgel valósítsa meg az együttműködést. Gazdasági és forgalmi problémák miatt azonban sok esetben eltérnek a kidolgozott stratégiától. Máskor vállalatok a hivatali távközlés bevezetése érdekében előbb vásárolnak digitális alközpontot, mint az az áttérési tervben szerepel.

A különböző áttérési problémák hatására szélső esetben az 1. ábrán látható hálózati struktúrák alakulhatnak ki. Természetesen bármely hurok tartalmazhat akár kizárólag átviteli utat vagy központot, akár ezek bármilyen számú kombinációját. Ugyanúgy a kéthuzalos analóg szakaszok is reprezentálhatnak esetleg több átvivő utat közbeiktatott központokkal. Természetesen a kapcsolási pontok együttes száma nem lehet több egy-egy nemzeti hálózatban a C.C.I.T.T. által ajánlott 4-nél és a nemzetközi szakaszon a felső korlát szintén 4.

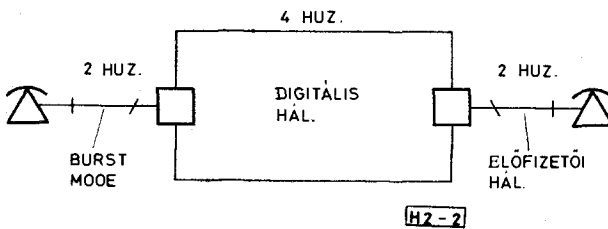
Ebből az összetett rendszerből a 2. ábrán látható közbenső lépcsőn keresztül jutunk el a távlati célt reprezentáló digitális hálózathoz (3. ábra). E végső állapotban a csillapítás- és szintértékek tetszőlegesen meghatározhatók, mert a visszafordulás nem korlátozott. Hasonlóképpen a digitális összeköttetésben a zaj gyakorlatilag tetszőlegesen alacsony szinten tartható, végül az összeköttetés használhatóságának növelése is minimális ráfordításokkal növelhető.

A következőkben ezért kizárólag az átmeneti időszak problémáinak megoldására szorítkozunk.

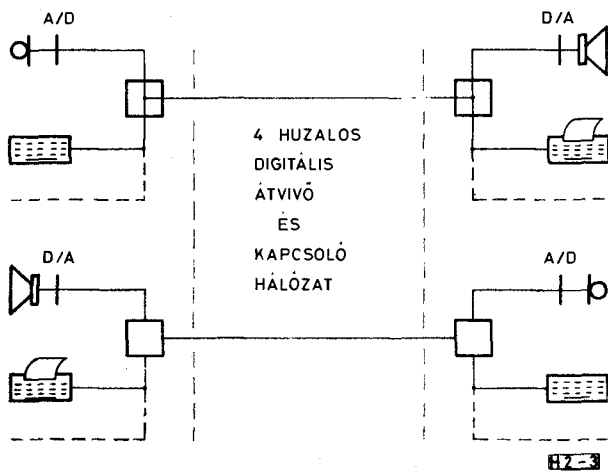
* Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia 1984. nov. 1-i tudományos ülésén.



1. ábra



2. ábra



3. ábra

3. A csillapításkiosztás tervezése

A tervezés korlátját a visszafordulások jelentik. Induljunk ki ennek vizsgálatához a 4. ábrából. Itt az egyes hurkok körbejárási (hurkok) csillapítása

$$H = a_1 + a_2 + a_{v1} + a_{v2}$$

Ahol a_1 és a_2 az ág csillapítása és a_{v1} és a_{v2} a 2/4 huzalos átmenet visszafordulási csillapítása, ami a vonal és vonalutánc impedanciájának különbözőségétől függ:

$$a_v = 10 \log \frac{Z_v + Z_{vU}}{Z_v - Z_{vU}}$$

Mivel bármelyik hurkok nemzetközi összeköttetés része lehet, ezért nem indokolt, hogy minden H értéket egyedileg határozzunk meg. Viszont az megengedhető, hogy $H_1 = H_5$, $H_2 = H_3 = H_4$, mert az előfizetői rendszerhez csatlakozó ponton nehezebb a vonal- és művonal egyezését biztosítani.

H értékeit úgy kell meghatározni, hogy a maximális öt hurkok esetén:

- ne gerjedjen be a kapcsolási folyamat valamely fázisában az összeköttetés;
- a felépült összeköttetésben ne jelentkezzen a hangminőséget rontó kongás;
- a beszélő vagy hallgató oldali visszhang ne csökkentse se a beszéd se az adatátvitel minőségét.

Stabilitás és kongás esetén feszültség (U) alapon kell a hurkok visszafordulási (hurkok) csillapítását összegezni:

$$\exp H = \frac{U_2}{U_1} = \sum_{j=1}^C \exp H_j$$

ahol C a hurkok száma. Az echo zavaró hatására jellemző súlyozott összegezési szabály

$$\exp H_E = \frac{U_2}{U_1} = \sqrt{\sum_{j=1}^C (\exp H_j^*)^2}$$

ugyanis itt a 300–3400 Hz sávra összegezett teljesítményt kell alapul venni:

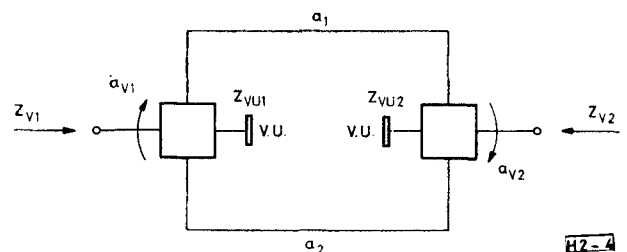
$$\frac{i}{2} H_j^* = 3,85 - 10 \lg_{10} \left[\int_{300}^{3400} \frac{H_j(f)}{2f} df \right] \quad [\text{dB}]$$

Ez a kifejezés a visszafordulási csillapítás frekvenciafüggő menetét $[H_j(f)]$ a telefonátvitel szempontjából fellépő zavaró hatásnak megfelelően súlyozza. Adatátvitel szempontjából a bit hibaarány romlás megengedett értéke határozza meg H_E értékét.

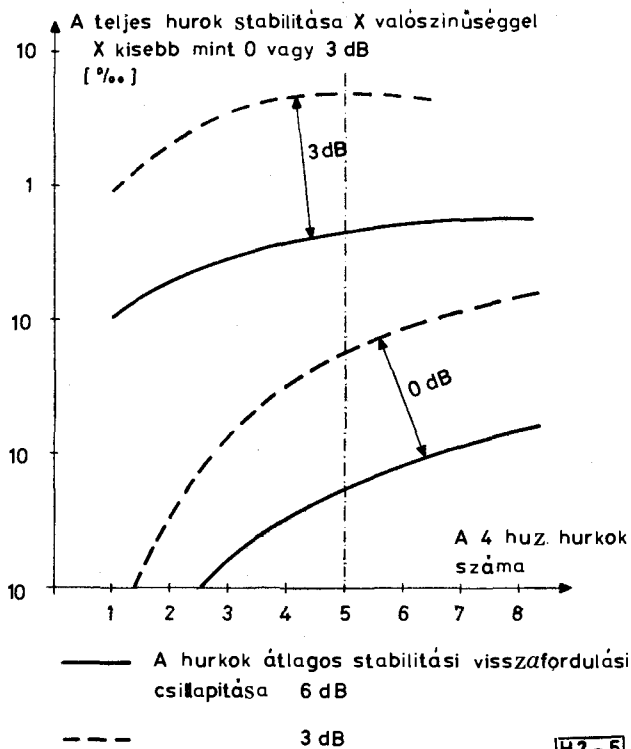
A stabilitás szempontjából a kapcsolási folyamat során előálló legkedvezőtlenebb impedancia viszonyok esetére kell $(H_{st})_{st}$ értékeit minden szakaszra meghatározni. Az átlagos $H_{st} = 3$ dB és 6 dB esetére kiszámolták, hogy a teljes összeköttetés stabilitás tartaléka milyen valószínűséggel lesz kisebb, mint 0, illetve 3 dB. A számítások során figyelembe vették az átviteli csillapítás ingadozásait (G. 151) és az átvitel amplitúdó torzításait. Az 5. ábrából látható, hogy az átmeneti időszakban az 5 négyhuzalos hurkok miatt $H_{st} \geq 6$ dB követelendő meg. Ugyanakkor remélhető, hogy a digitális átviteli utak kisebb ingadozása miatt a 3 dB stabilitás tartalékot a felépült összeköttetéseknek csak kb. $2 \cdot 10^{-4}$ részében nem éri el.

A kongás már beszédhelyzetbe hozott áramkörnél vizsgálandó. A hurkok frekvencia függő csillapításának hatására az érkező jel a kimeneten U_{ki} az átviteli út eredő csillapításától (a) és az eredő hurkokcsillapításától függ

$$U_{ki}(\omega) = U_{be} \frac{\exp a(\omega)}{1 - \exp H(\omega)}$$



4. ábra



5. ábra

Az átviteli úton a frekvenciafüggő fázisforgatás hatására

$$[\Delta U_{ki}]_{\max} \approx 2$$

esetén már zavaró a sáv egyes részeinek kiemelése. Ebből $A(\omega) = \text{const}$ esetén

$$\frac{1 + \exp H_{\min}}{1 - \exp H_{\min}} \leq 2.$$

Amiből következik, hogy legalább 10 dB eredő hurokcsillapítás kell a zavaró kongás elkerüléséhez.

A visszhang jelenti legtöbb esetben a legszigorúbb feltételt a hurokcsillapításra. A 6. ábra mutatja azt a minimális hurokcsillapítást a terjedési idő függvényében, melyet kevesebb, mint 1%, ill. 10% valószínűséggel ítélnék zavarónak. (Ennél kisebb csillapítás esetén visszhang-csökkentő vagy -elnyomó alkalmazandó.)

Adatátvitel esetében észrevehető bit-hibaarány csökkenés lép fel, ha a hurokcsillapítás 18 dB, illetve 25 dB érték alatt marad 2,4 kbit/s, illetve 9,6 kbit/s átviteli sebesség esetén. Ebből az egy huroknál megkövetelendő érték, ha N_p a hurok száma, melyek között 2–4 dB csillapítás van:

N_p	2,4 kbit/s-ig	9,6 kbit/s-nál
2	22	29
3	24,3	31,3
4	26 [dB]	33 [dB]
5	27,3	34,3
6	28,3	35,3

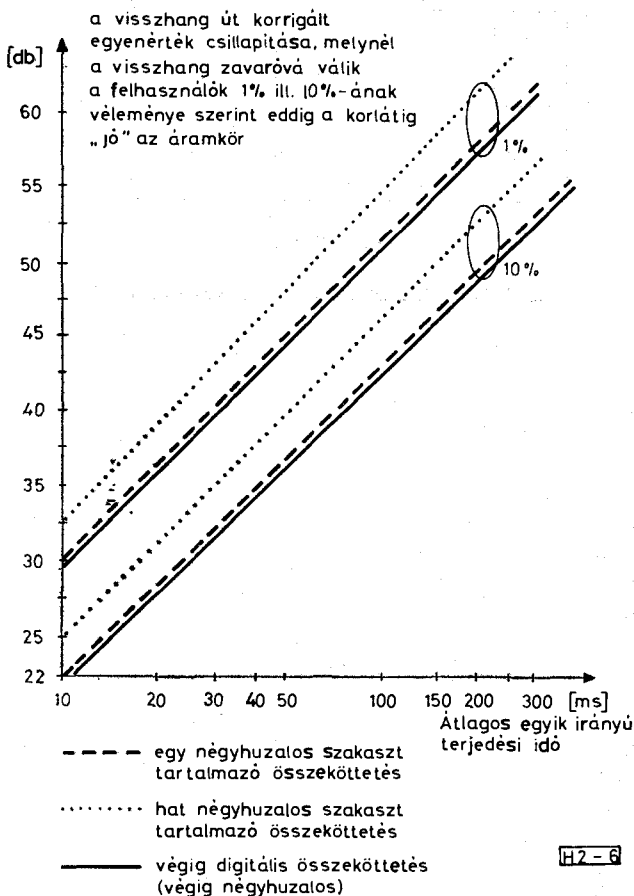
Ezeknek a rendkívül szigorú értékeknek megvalósítása csak a vonal és vonalutánczat eddigiekénél lényegesen jobb illesztése esetén érhető el. Ha a hurok egyirányú átviteli csillapítása 1 dB, akkor 26 dB eléréséhez 12 dB visszafordulási csillapítást kell meg-

valósítani. Ez a követelmény különösen a kéthuzalos előfűzetői hálózatoknál volt teljesíthető nehezen, mert eltérő hosszúságú kapacitív vonalhoz csatlakozott induktív készülék. Minimális előfeltétele a vegyes analóg-digitális hálózatok jó átviteli minőségének a homogén kapacitív vagy valós impedancia, melyhez a vonal kapacitív vagy ohmos készülékkel való lezárása szükséges. Jó eredményeket értek el kapacitív készülékkel és a 7. ábrán látható vonalutánczattal.

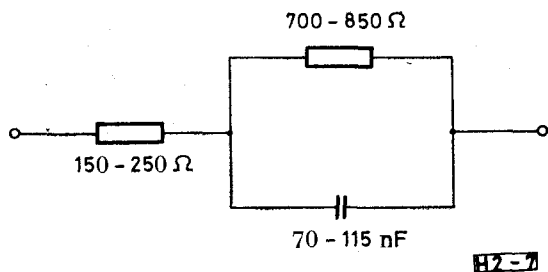
4. Kvantálási és analóg zajok együttes hatása

A különböző jellegű zajok összegezésére szubjektív vizsgálatokat végeztek. Az összeköttetések minőségére általános jellemző a felhasználók véleménye (16). A 8. ábrán látható, hogy a vonali analóg jellegű zajok és a kvantálási torzítás együttes hatása egyetlen PCM összeköttetés beiktatásakor 25–45 dB beszédzajtjeljesítmény távolság esetén kritikus. Jobb minőségű analóg hálózat esetén elsősorban a kvantálási zaj befolyásolja a szubjektív véleményt. Itt megjegyezzük, hogy 40 dB zaj távolság –15 dBmO beszédzajszintnél 1000 pWOp zajteljesítménynek felel meg, 25 dB 100 000 pWOp-nek, tehát a jelenlegi hálózatok általában ebbe a tartományba eső zajt termelnek.

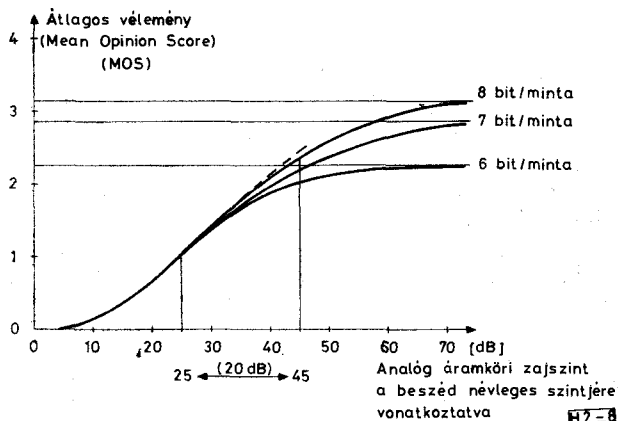
Több PCM szakasz láncba kapcsolásával az összegezés vizsgálatát 8 bit/minta szabványú A törvényű rendszereknél megnehezíti, hogy a rendkívül jó átviteli minőség miatt 2-3 vagy 4-5 szakasz között a szubjektív értékelés nem mutatott szignifikáns kü-



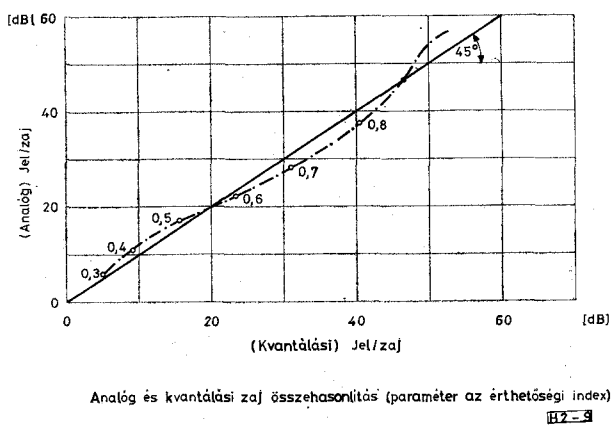
6. ábra



7. ábra



8. ábra



9. ábra

lönbséget [16]. Az eredményeket több szakaszon végzett vizsgálatokból kellett extrapolálni (9. ábra).

A zajok minőségromtó hatásának tervezését tovább nehezíti a különböző kódolási törvények alkalmazásával működő digitális rendszerek terjedése. A különböző rendszerek összehasonlítási mérőszámául bevezették a kvantálási torzítás egységét (qdu), melyet úgy határoztak meg, hogy 1 qdu egyenértékű az a minőségromlással, melyet egy 8 bit/minta átvitelű A-törvényű PCM rendszer okoz a beszéd átvitelben, ha a berendezés a C.C.I.T.T. G.711 ajánlásban rögzített torzítás görbénél átlagosan 2 dB értékkel kedvezőbb zajtermelés szempontjából. De mert ez beszéd-szemléletű értékelés, felmerült annak szükségessége, hogy a qdu helyett ezt SIU-nak (beszéd-minőségromlás egység)-nek nevezzék. Ezzel együtt megjelenik a DIU (adatátvitel minőségromlás egysége).

A beszédátvitelnél $qdu = SIU$, melynek értéke pl.

7 bites PCM-kodek párnál 3, 32 kbit/s átviteli sebességű ADPCM-nál 5–6, amit adaptív prediktor $3 \div 4$ értékre javít. Ugyanakkor egy teljes összeköttetésben 14 qdu engedhető meg, mely még nem nehezíti meg a beszélgetést (9).

Adatátvitelnél az impulzus zajoknak van döntő hatása a DIU-ra. A bit-hibaarány (BER) a rendszertől függően akkor romlik szignifikánsan, ha a zajesúcsok 3–12 dB-re megközelítik a hasznos jel effektív értékét. Várhatóan 1 DIU 12 dB zajesúcsjel effektív érték távolsággal lesz definiálva. Ez a jellemző különösen kritikus elektromechanikus központok között működő digitális rendszereknél.

A 9. ábrán bemutatjuk az analog és kvantálási zajok szubjektív összehasonlítása alapján nyert egyenértékűségi görbét [17]. Ebből következik, hogy a nem azonos szubjektív hatású impulzus zajok, bit-tévesztések, kvantálási torzítás, termikus zaj, lineáris és nem-lineáris áthallások előírásait úgy célszerű elkészíteni, hogy minden rendszer hosszarányosan részesüljön a teljes összeköttetésre megengedett megfelelő típusú zajból.

I R O D A L O M

- [1] Lajtha György: Egységes távközlési hálózat. Híradástechnika XX. évf. 11. sz. 1969. p. 335–341.
- [2] Decina M-de Ferry P.: Prospects for Techniques and Services Integration into the Italian Telecommunication Network. International Switching Symposium Munich Sept 1973. pp. 9–13.
- [3] Slow J. L. – Purton R. F.: The background to future digital networks. System Technology Sept 1974. No. 19.
- [4] A. Rudberg–Ö. Sahlin: Planning of ISDN. Ericsson Review No. ISDN 1984. p. 34–41.
- [5] A. Roche: General presentation of the Integrated Telephone and Data Network (ITDN). l'echo des Recherches 1983. English issue p. 3–14.
- [6] C.C.I.T.T. Study Group XVIII. TD No. 1 Brasilia 1984. febr. 13–24.
- [7] C.C.I.T.T. study Group XVII. TD No. 18 Genf 1984. máj. 23., jún. 2.
- [8] Schweitzer, L.: Transmision Plan for the Transition Towards a Digital Network. I.S.S. 1979. Paris máj. 7–10.
- [9] C.C.I.T.T. Study Group XVI. Report No. R3 1983. jún. ITV–Genf.
- [10] Lajkó–Lajtha: PCM a távközlésben. Műszaki Könyvkiadó – Budapest, 1978.
- [11] J. M. Camborde – R. Cadoret: Digital Transmission on Subscriber Loops. l'echo des Recherches 1983 English issue p. 51–58.
- [12] Molnár Pál (szerk.): Digitális távközlő hálózatok. KÖZDOK Budapest – 1981.
- [13] N. Sato–F. Inumara: Consideration on Subscriber Loop Impedance Standards in Digital Telephone Network. Review of the El. Comm. Lab. Vol. 31 No. 5 1983. p. 610–617.
- [14] Y. Yamamoto–H. Murakami: Minimum Transmision Loss Plan for Digital Telephone Network. Review of the Electrical Comm. Lab. Vol. 31 No. 5, 1983. p. 603–609.
- [15] N. Kitawaki–K. Stoh–K. Kakeh: Quantization and Circuit Noise Evolution for Digital Telephony Network. Review of the El. Comm. Lab. Vol. 31. No. 5 1983. p. 596–602.
- [16] Balás Miklós: Kvantálási torzítás összegeződésének vizsgálata – Híradástechnika XXXII. évf. 1981. 8. sz. p. 293–295.
- [17] Brebovszky Judit: Digitális rendszerek értékelése szubjektív mérésekkel. Posta Kísérleti Intézet közleményei XI./2. kötet – 1971. p. 35–44.