

# A TMB-31/32 típusú, PCM-kompatibilis táviró multiplex rendszerrel létesített kísérleti összeköttetés vonali mérései

ETO 621.376.56:621.394.43:621.391.816

A Posta Központi Táviróhivatal megbízása alapján a Távközlési Kutatóintézet és a Telefongyár kifejlesztette a BD-30/32 típusú, magyar primer PCM multiplex rendszerrel együttműködni képes táviró-multiplexert, amelyet 1974 júniusában a Belváros-Krisztina távbeszélő-központok között üzembe helyeztünk. A TMB-31/32 típusú táviró multiplex berendezésének alkalmazásával 50 és 200 baudos digitális csatornákat létesítettünk a PCM rendszer 64 vagy  $n \times 64$  kbit/s-os csatorna időréseiben. Az üzembe helyezett kísérleti szakaszon méréseket végeztünk annak megállapítása céljából, hogy a hazai táviró-hálózatban első alkalommal üzembe kerülő berendezés milyen műszaki paramétereket biztosít a táviró és adatátviteli szolgáltatás-speciális követelményeinek figyelembevételével. Célunk volt az is, hogy a PCM rendszerek táviró és adatátviteli szempontból történő hazai mérés technikáját kidolgozzuk, és a gyakorlatban alkalmazzuk.

## 1. Bevezetés

A digitális linken nem nulla annak valószínűsége, hogy a hordozó egy bitje meghibásodik, így a hordozón előálló hiba az adatjelben távirótorzítást, adathibát, illetve a digitális adatcsatornában többszörös adathibát idéz elő. Az irodalomban még nem lezárt terület a különböző adatkonverziós eljárások általános hibaanalízise, valamint a digitális link és az adatátviteli csatorna hibaarányának az összefüggése.

Ezért mérésekkel kívántunk választ kapni arra, hogy a 2,048 Mbit/s sebességű digitális linken előálló hibák áttevődése a táviró- vagy adatcsatornába milyen statisztikus törvényszerűséget követ.

A digitális adatjelek PCM rendszerekben történő átvitele alkalmával — a hibaarány mellett — fontos annak ismerete is, hogy a PCM rendszer bemenetére csatlakozó adatforrás szisztematikus, illetve véletlen távirótorzítását milyen törvényszerűség szerint transzformálja a PCM rendszer a kimenetén. E kérdés megválaszolása céljából empirikus távirótorzítás-analízist végeztünk.

Mielőtt az elvégzett vizsgálatokat és az azokból levont következtetéseket ismertetnénk, röviden áttekintjük a BD-30/32 rendszer alkalmazását digitális jelek átvitelére.

## 2. A BD-30/32 típusú rendszer alkalmazása digitális jelek átvitelére

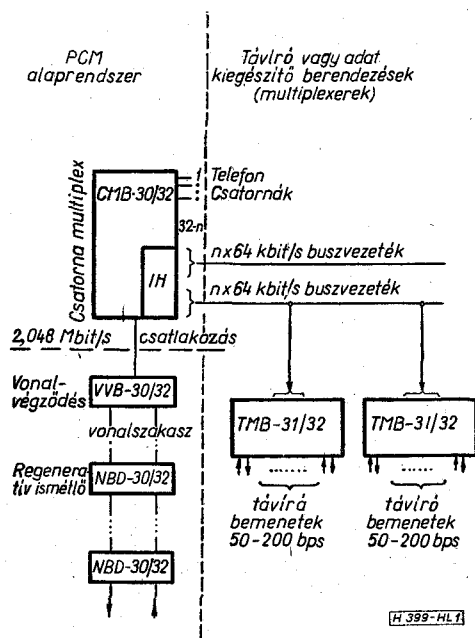
A BD-30/32 típusú primer PCM multiplex rendszer felépítését és főbb egységeit az 1. ábra mutatja. A rendszer alaprendszerből és az ahhoz csatlakozó — az adott alkalmazástól függő — opcionális, kiegészítő berendezésekből áll. Az alaprendszer négy berendezéstípust tartalmaz:

a CMB-30/32 típusú multiplex berendezést, amely 30 beszédcsatorna és a közvetlenül csatlakoztatott digitális csatornák kialakítására is alkalmas;

a VVB-30/32 típusú, vonalszakasz végződő berendezést, amely a 2,048 Mbit/s sebességű vonalszakasz végződésével vagy átmenő vonalak kiszolgálásával kapcsolatos feladatokat lát el felügyeleti ismétlő állomásokon;

az NBD-30/32 típusú, felügyelet nélküli, távtáplált ismétlő állomást, amely max. 5 kétirányú vonal jeleinek az ismétléséhez és az ismétlők távellenőrzéséhez szükséges egységeket tartalmazza.

Az alaprendszerhez kapcsolható kiegészítő berendezésként a TMB-31/32 típusú, PCM táviró multiplex berendezés, amely a beszédcsatornák számának



1. ábra. A BD-30/32 típusú primer PCM rendszer felépítése

a csökkentése nélkül 8, beszédcsatornák helyettesítésével maximálisan 31 db, 50...200 baudos távirócsatorna létesítését teszi lehetővé.

A TMB-31/32 rendszert az alábbi három fő változatban lehet digitális jelek átvitelére alkalmazni:

a CMB-30/32 típusú, PCM csatorna multiplex berendezéshez csatlakoztatott kiegészítő berendezés (IH-időréshozzáférő egység) közbeiktatásával, a TMB-31/32 típusú PCM táviró multiplex berendezés jele egy vagy több telefoncsatorna helyére kerül (ez az eset az 1. ábrán),

a 2,048 Mbit/s sebességű vonalszakasz önálló felhasználásával, amikor egy PCM szervezésű, de telefon-kodeket nem tartalmazó, DMB-30/32 típusú digitális multiplex berendezés (és benne az IH idő-rezshozzáférő egység) szükséges a TMB-31/32 táviró multiplexerek becsatlakoztatására (1. a 2. ábrán), a TMB-31/32 táviró multiplex önálló felhasználása 64 kbit/s-os, négyhuzalos alapáramkörön.

2.1 A TMB-31/32 típusú PCM táviró multiplex berendezés

A digitális linken történő jelátvitel során az adatjelnek mint digitális jelnek a jellemzőit illesztjük a digitális linken megengedett jellemzőihez.

A TMB-31/32 típusú táviró multiplex berendezés – mint említettük – az IH jelű, időréshozzáférő egységen keresztül csatlakozik a CMB-30/32 vagy DMB-30/32 jelű multiplex berendezéshez.

A digitális információ átvitelére a berendezés az egyszerű mintavételezési konverziót alkalmazza. A mintavételi frekvencia értékét 2, 4 vagy 8 kHz-re lehet választani. A mintavételezés által okozott torzítás és az áramköri okokra visszavezethető torzítás együttes eredőjeként adódó izokron torzítások értékét az 1. táblázat tartalmazza.

A berendezés maximálisan 31 táviró- vagy adatcsatorna létesítését teszi lehetővé. A digitális csatornák ±20 mA-es kettősáramú, négyhuzalos földviszszavezetésű csatlakozásúak, a bemenetek ±3 mA-es jelszint alatt érzéketlenek a vonali zavarokra. Az előfizetői vonalak csatlakoztató áramköre a vonalra adott jelek alakját trapéz formájú jelekké alakítja a nagyfrekvenciás komponensek amplitúdójának csökkentése céljából. A helyiköri csatlakozó pontok 650 V-os, 50 Hz-es váltakozó jel-, illetve ±60 V-os telepzárlat-védelemmel is el vannak látva.

A csatornák szerkezeti párokra vannak rendezve, s valamennyi csatornapár mintavételi frekvenciáját tetszőlegesen lehet megválasztani. Így az 50, 100 és 200 baudos alkalmazások mellett vegyes kiépítéseket is lehet alkalmazni.

1. táblázat

Digitális csat. sebesség	Mintavételi frekvencia	Max. mintavételi torz.	Max. áramköri torz.	Max. eredő torzítás
50 Bd	2 kHz	2,5%	0,6%	3,1% 4%
100 Bd	4 kHz	2,5%	1,2%	3,7% 4%
200 Bd	8 kHz	2,5%	2,4%	4,9% 5%

A táviró multiplexer kimeneti jelzési sebessége választhatóan 64, 128 vagy 256 kbit/s lehet. A létesíthető csatornaszámokat a jelsebességek függvényében – a 2. táblázat mutatja. A táblázatban az a, b, c esetek azonos sebességű digitális csatornák létesítésének lehetőségeit mutatják, a d esetek pedig a egyes sebességű adatcsatornák kialakítási lehetőségeire adnak példát.

2. táblázat

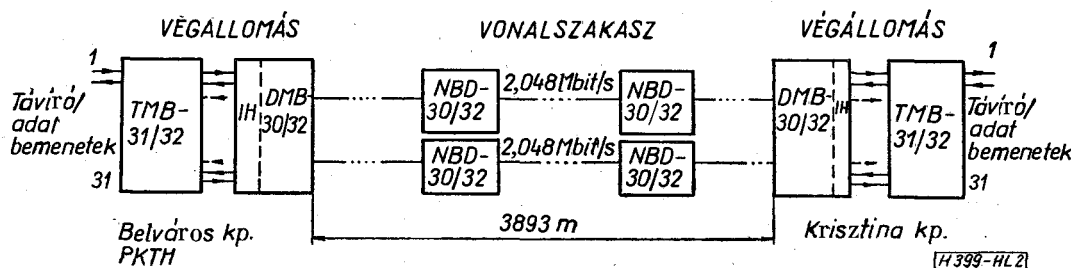
Kimeneti jelzési sebesség	Az átvitt digitális csatornák száma											
	64 kbit/s				128 kbit/s				256 kbit/s			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
50 baudos csat. száma	31	—	—	23	31	—	—	27	31	—	—	—
100 baudos csat. száma	—	15	—	—	—	31	—	—	—	31	—	—
200 baudos csat. száma	—	—	7	2	—	—	15	4	—	—	31	31

3. Az összeköttetés felépítése

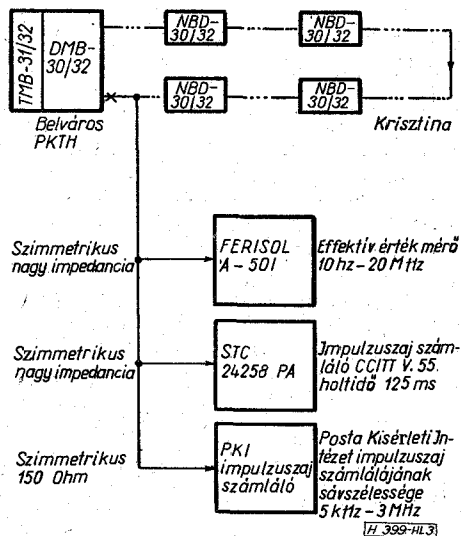
Az összeköttetés felépítése a 2. ábrán látható. A végállomási berendezések a Belváros Távbeszélő Központban, illetve az azonos épületben levő PKTH helyiségében és a Krisztina Távbeszélő Központban nyertek elhelyezést. Az összeköttetést a Belváros-Krisztina III. jelű kábelén létesítettük. Az összeköttetés hossza 3893 méter. Az 1. jelű, NBD-30/32 típusú felügyelet nélküli távtáplált ismétlő állomást a végponttól 784 méterre, míg a 2. jelűt a Krisztina központtól 725 méterre helyeztük el.

4. A PCM áramkörön végzett analóg mérések eredményei

A PCM vonali maradékcillapítása 1 MHz frekvencián 47,6 dB. A közelvégi áthallási csillapítás értéke 81 dB (Belváros) és 63 dB (Krisztina).



2. ábra. Az összeköttetés felépítése



3. ábra. Mérési elrendezés az analóg paraméterek meghatározásához

A csillapításmérések után a PCM áramkör adási és vételi pontjait a Krisztina Távbeszélő Központban visszahurkoltuk, és a további méréseket a PKTH helyiségében levő végberendezés bemenetén végeztük el. A PCM vonal hossza a mérések tartama alatt emiatt 7786 méterre nőtt. A digitális csatorna mérései előtt a PCM áramkör vételi pontján zajméréseket végeztünk. A mérési elrendezés a 3. ábrán látható. A PCM jelek adását a zajmérések tartama alatt kikapcsoltuk.

A széles sávú eredő (Gauss + impulzus) véletlen zajfeszültség effektív értéke 135 Ohm-os ponton mérve 11 mV, a PCM berendezés bemenetén, az ún. döntési ponton 35 mV (ahol az impedancia értéke indefinit).

A széles sávú eredő zajfeszültség effektív értékének meghatározása után a kisméretű, V.55 ajánlásnak megfelelő impulzus zaj-számlálóval (S. T. C.), valamint a Posta Kísérleti Intézet által kifejlesztett nem CCITT szabványú, széles sávú impulzus zaj-számlálóval impulzus zaj-méréseket végeztünk.

A PKI által kifejlesztett impulzus zaj-számláló csak unipoláris zajimpulzusok regisztrálására alkalmas.

A mérőberendezés 6 csatornás kivitelű. Az egyes csatornák küszöbszintjei a következők:

- 1. sz. csatorna 40 mV
- 2. sz. csatorna 160 mV
- 3. sz. csatorna 200 mV
- 4. sz. csatorna 240 mV
- 5. sz. csatorna 580 mV
- 6. sz. csatorna 700 mV.

Az egyes küszöbszintekhez tartozó csatornák 10 darab decimális számláncot tartalmaznak. A csatornák kiolvasása, illetve figyelése egyenként valószínűleg megválaszthatóan. Az impulzus zaj-mérések alkalmával a vizsgálatokat 10 és 16 óra között végeztük. Egy-egy mérés időtartamára 1 órát választottunk. Az egyes mérések alkalmával — 1 óra időtartam alatt — a 3. táblázaton látható eredményeket kaptuk.

### 5. Hibaaránymérés az adatcsatornában

A PCM vonal zajviszonyainak meghatározása után hibaaránymérést végeztünk a 200 bit/s sebességű csatornában. Ezzel egyidejűleg a bipoláris szabály megsértéséből származó hibaarányt is regisztráltuk a PCM linken. A bipoláris hibaarány értéke kisebb volt  $10^{-7}$ -nél.

A hibaaránymérést (jelalakformáló kondenzátor nélkül) 200 bit/s sebességen a TRENDATA Test Set no 1—4 típusjelű berendezéssel végeztük. A mérési sorozat alkalmával 1532 darab 511 bit hosszúságú álvéletlen blokkot vittünk át és hibát nem regisztráltunk. Tekintettel arra, hogy az átvitt 771 621 elemi jel közül egyetlen bit sem hibásodott meg, a méréseket nem folytattuk, mert 200 bit/s sebességen a megkívánt konfidenciaszint biztosítására igen hosszú mérést kellett volna végezni. Ez ok miatt a PCM link vevő bemenetén fehér zajt kevertünk a hasznos PCM jelhez, és különböző zajszintekkel határoztuk meg az alábbi jellemzőket:

- a) a bipoláris szabály megsértéséből származó hibaarány,
- b) a PCM link hibaaránya, bitenkénti kiértékelés alapján,
- c) hibaarány az adatcsatornában.

3. táblázat

### Impulzus zaj-mérések eredményei

CCITT V. 55 Impulzus zaj-számláló, küszöbszintek (dB)		-60	-54	-51	-51	-54	-51	-51	-51
CCITT V. 55, számlált zajimpulzusok száma (125 ms holtidő, flat szűrőállás)		482	254	92	81	479	170	97	230
PKI impulzus zaj-számláló csatornái	1.	1141	1494	2434	1557	2081	1875	790	1840
	2.	0	12	14	6	3	1785	5	92
	3.	0	4	4	2	1	1291	4	79
	4.	0	1	1	1	0	827	2	68
	5.	0	0	0	0	0	26	0	35
	6.	0	0	0	0	0	0	0	20

Hibaaránymérések eredményei

Zajsztint (dB)	4	3,5	3	2,5	2	1,5
Bipoláris hibaarány	$2,42 \times 10^{-3}$	$1,57 \times 10^{-3}$	$0,66 \times 10^{-3}$	$0,55 \times 10^{-3}$	$0,34 \times 10^{-3}$	$1,59 \times 10^{-4}$
Átvitt bitek száma	144 173	207 977	179 872	388 360	335 216	918 267
Hibás bitek száma	303	333	144	147	64	36
Bithibaarány	$280 \times 10^{-3}$	$1,66 \times 10^{-3}$	$0,8 \times 10^{-3}$	$0,38 \times 10^{-3}$	$1,94 \times 10^{-4}$	$3,9 \times 10^{-5}$
95%-os konfidencia szinten a relatív hiba (%)	9	10	12	13	15	19

A fehérzaj-generátor sávszélességét 60–2660 kHz értékre állítottuk be.

Az *a* és *c* jellemzők meghatározása egyidőben történt. Szintén egyidejűleg határoztuk meg a PCM link hibaarányát és bipoláris hibaarányát.

Az ismertetett mérési sorozatokkal empirikus információt nyerhetünk arra, hogy milyen sztochatikus törvényszerűség szerint transzformálódnak a PCM linken előálló hibák az adatcsatornába. A mérési összeállítást a 4. ábrán tüntetjük fel.

A zajgenerátoron beállított zajsztintek: 4 dB, 3,5 dB, 3 dB, 2,5 dB, 2 dB, 1,5 dB. A 4 dB zajsztint a PCM berendezés döntési pontján 610 mV (effektív). Ugyanezen a ponton a PCM jel csúcsfeszültsége 1,75 V. Az első mérési sorozat alkalmával a TMB–31/32 multiplex berendezés kimenő helyi körében elhelyezett jelalakformáló kondenzátort kikapcsoltuk és így a kimenő helyi körben ideális négyszögjelek jelennek meg.

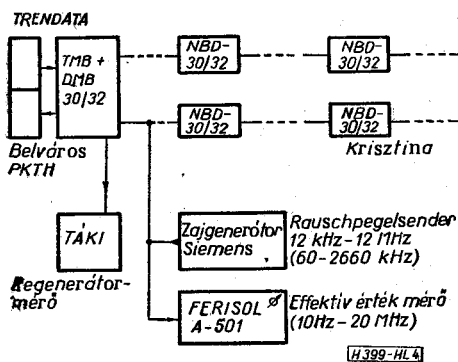
A mérési eredmények a 4. táblázatban láthatók.

#### 5.1 Hibaaránymérés helyi köri jelalakformáló kondenzátorral

Az előzőekben ismertetett hibaaránymérést megismételtük úgy, hogy a helyi köri feszültséges (vételi) ágába bekapcsoltuk a jelalakformáló kondenzátort. A jelalakok oszcillogramjai az 5a és 5b ábrán láthatók.

Az 5a ábrán látható időfüggvényt a helyi köri lezárás nélkül, míg az 5b ábrán látható időfüggvényt 1000 ohmos lezárással határoztuk meg.

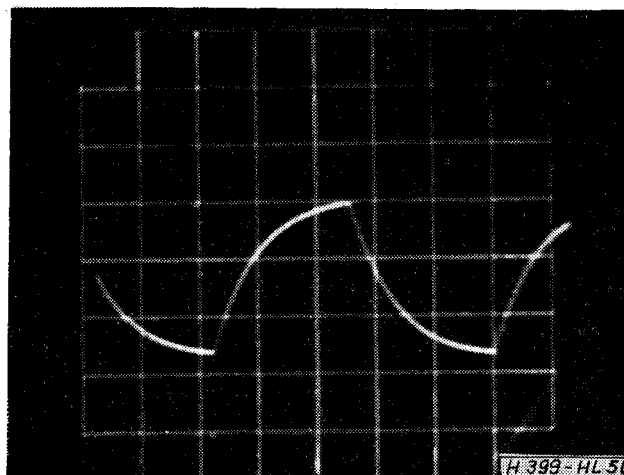
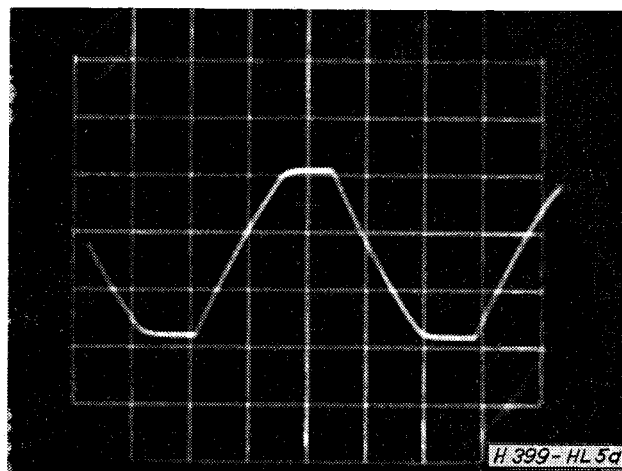
A bipoláris hibaarány 30 egyedi mérésből megha-



4. ábra. Hibaaránymérés összeállítása

tározott értéke  $2,47 \times 10^{-3}$ , átvitt bitek száma 1 501 829, hibás bitek száma: 1.

E mérési sorozatból nem kaphatunk megbízható adatokat a digitális csatorna hibaarányára vonatkozóan, mivel csupán egyetlen hibát regisztráltunk. A mérés folytatásától a mérés hosszára vonatkozó időbeli kötöttségek miatt eltekintettünk (a becslések alapján azonban a bithibaarány értéke legalább egy nagyságrenddel csökken).



5. ábra. a) Helyi köri jelalakok lezárás nélkül, b) helyi köri jelalakok lezárással

5.2 Az adatcsatornában végzett hibaaránymérések értékelése

A jelalakformálás nélküli adatcsatornában, a PCM link bipoláris szabályának megsértéséből származó hibaarány értékeit (különböző zajszintek esetén) az előzőekben már meghatároztuk.

Számunkra azonban fontos annak vizsgálata is, hogy kapcsolatuk milyen természetű. Tekintsük a digitális csatorna, valamint a PCM link bipoláris hibaarányát valószínűségi változónak, és jelöljük őket  $\eta$ ,  $\xi$ -vel.

A következőkben a két valószínűségi változó sztochasztikus kapcsolatát vizsgáljuk. Tudjuk, hogy bár az egyik értéke nem határozza meg pontosan a másik értékét, az egyik növelésével azonban a másik nagy valószínűséggel monoton növekvő tendenciát mutat. Közelíteni akarjuk  $\eta$  értékét, az adatcsatorna hibaarányát, amelyet nehezebb mérni, az egyszerűbben mérhető  $\xi$ -vel, azaz a PCM link bipoláris hibaarányának valamilyen lineáris függvényével.

Ha nem független valószínűségi változók esetén az egyikre vonatkozó kísérleti eredményből a másikra kívánunk következtetni, a legjobb közelítést a regressziós függvény segítségével nyerhetjük. Ebből ugyanis megmondhatjuk, hogy az egyik változására vonatkozó tapasztalati adat ismeretében mi lesz az a szám, amely körül a másik valószínűségi változó ingadozik, azaz mi lesz a kérdéses valószínűségi változó adott feltétel melletti várható értéke.

A regressziós függvény meghatározása legtöbbször nem könnyű feladat, emiatt a gyakorlatban könnyebben kezelhető egyszerűbb függvénytípust keresünk és így jutunk el regressziós egyeneshez. Ha a  $(\xi, \eta)$  valószínűségi vektorváltozó eloszlását nem ismerjük, akkor a regressziós görbe egyenletét nem tudjuk meghatározni.

Az  $(x_i, y_i)$  értékek — a hibaarányok — halmaza, a megfigyelt pontfelhő azonban lehetővé teszi számunkra, hogy a  $\xi$  és  $\eta$  változók közötti összefüggést lineáris függvénnyel közelítsük. Ez a megoldás esetünkben kielégítő. Feltesszük tehát, hogy az  $\eta$  valószínűségi változó a  $\xi$  változó lineáris függvénye, azaz közelítőleg

$$\eta = a \cdot \xi + b. \tag{5.1}$$

A gyakorlatban úgy járunk el, hogy a  $(\xi, \eta)$  véletlen vektorra vonatkozóan méréseket végzünk, s az  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$  pontokat egy koordináta-rendszerben ábrázoljuk. Ezután megkeressük azt az  $y = ax + b$  egyenest, amely a nyert ponthalmazhoz legjobban illeszkedik a legkisebb négyzetek elvének megfelelően, azaz meghatározzuk azon  $a$  és  $b$  számokat, amelyekre

$$f(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2 = \text{minimum}. \tag{5.2}$$

A megoldást a differenciálszámítás segítségével nyerjük. Az egyenes  $a$  és  $b$  értékeire az alábbi egyenletrendszert nyerjük:

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 a + \sum_{i=1}^n x_i b = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i, \tag{5.3}$$

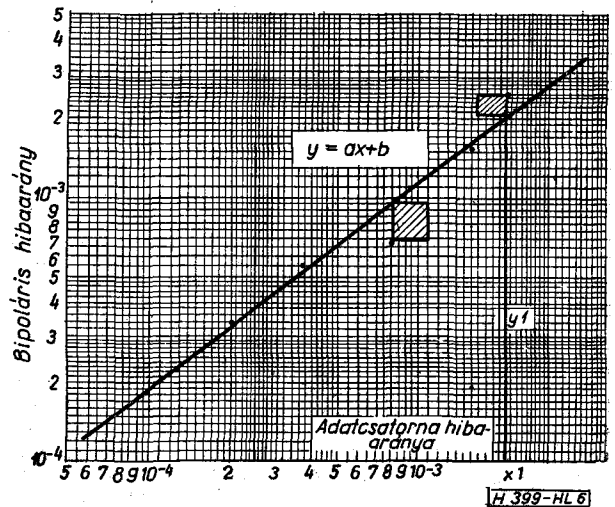
$$\sum_{i=1}^n x_i a + n \cdot b = \sum_{i=1}^n y_i. \tag{5.4}$$

A 6. ábrán felrajzoltuk  $\xi$  és  $\eta$  valószínűségi változó mérésekkel meghatározott  $x_i, y_i$  értékeit. A hat mérési pont ismeretében felrajzoltuk a közelítő empirikus regressziós egyenest.

A közelítő empirikus regressziós egyenes alapján a bipoláris szabály megsértéséből számolt hibaarány ismeretében megbecsüljük az adatcsatorna bithibaarányát, pontosabban megállapíthatjuk azt az értéket, amely körül a digitális csatorna hibaaránya ingadozik. Ez az összefüggés lehetővé teszi, hogy a digitális csatornák üzeme alatt — azok megzavarása nélkül — a bipoláris hibaarány egyidejű mérésével megbecsüljük az adatcsatornák hibaarányát, ugyanis a bipoláris hibaarány méréséhez nem kell megbontanunk a PCM linket, illetve az adatcsatornát. Az adatcsatornák hibaarányának fenti módon történő folyamatos ellenőrzési lehetősége megítélésünk szerint fenntartási szempontból jelentős előnyöket biztosít.

A következőkben összehasonlítjuk mérési eredményeinket az irodalomban hozzáférhető mérési eredményekkel.

Az átmenet-átviteli eljárást alkalmazó berendezésekkel létesített összeköttetések mérési adatai közül többek közt a NIPPON Táviró és Telefon Társaság által benyújtott CCITT hozzászólás érdemel figyelmet [1]. Az NTT cég az ún. dual-mode kódolási eljárást alkalmazza, amely a csúszó szó kezdetű kódolás családjába tartozik. A vizsgált összeköttetés hossza 100 km. Az adatcsatornában végzett hibaaránymérésekhez szintén a CCITT V.52 ajánlásában javasolt 511 bit hosszúságú álvéletlen jelsorozatot alkalmazták. A mérések alkalmával az adatcsatorna hibaarányát  $P_q$ -t, valamint a PCM link hibaarányát  $P_c$ -t határozták meg. Tekintettel arra, hogy a PCM link hibaaránya  $10^{-8}$  értékű volt, szintén zajt keverték a vételi oldalra a PCM jelhez. Zajforrásként Gausszaj generátort alkalmaztak. A vonali mérések körülményeit számítógéppel is szimulálták, és megadták a vonali mérések eredményeit, valamint a szimulációból adódó hibaarányértékeket is. A mérések eredményeit az 5. táblázatban tüntettük fel. Ezek azt mutatják, hogy a digitális adatcsatornában mért bithibaarány körülbelül négyszere a PCM link hiba-



6. ábra. Empirikus regressziós egyenes

arányának, és ez viszonylag csak kis mértékben függ az adatsebességtől.

5. táblázat

Sebesség	Bithibaarány			
	Szimuláció $P_d/P_e$ $P_d$		Vonali mérés $P_e$ $P_d/P_e$	
2400 bit/s	4,3	$6,0 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-6}$	4,6
4800 bit/s	4,3	$8,9 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$	6,4
9600 bit/s	4,3	$7,0 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$	5,0
48 bit/s	4,4	$4,1 \times 10^{-6}$	$1,4 \times 10^{-6}$	2,9
240 kbit/s	4,2	$5,0 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-6}$	3,8

A méréseket közép- és nagy sebességű adatcsatornákon végezték, és az eredmények ezért méréseinkkel csak közvetve hasonlíthatók össze. Az általunk végzett mérések eredményei szerint a bipoláris hibaarány és az adatcsatornában mért hibaarány viszonyának átlagértéke 2,08.

Ha nem vesszük figyelembe az 1,5 dB zajszintnél végzett mérésünk eredményeit — ahol a relatív hiba értékére 19% adódott 95%-os konfidenciaszintet figyelembe véve — akkor ennek a viszonynak az átlagértéke 1,25.

A Belga Igazgatás 1974 májusában igen érdekes hozzászólást nyújtott be a CCITT-hez [2]. A hozzászólásban PCM linken üzemelő távíró multiplexerral létesített összeköttetéseken végzett mérések eredményeit ismertetik. A távírómultiplexer szintén a 64 kbit/s sebességű távbeszélő-időréssben üzemelt. A PCM link sebessége 2,048 bit/s. Kétfajta adatkonverziót alkalmaztak a vizsgálatok alkalmával: az egyszerű mintavételes konverziót és a csúszó szó kezdetű kódolást. A csúszó szó kezdetű kódolás alkalmazása esetén az adatjelek jelátmeneteihez 3 bithől álló kódkaraktert rendeltek hozzá. Az első a jelátmenet irányát, a két következő a jelváltás helyét jellemzi.

A méréseket 200 bit/s sebességen végezték. A vizsgáló jel a V.52 ajánlásnak megfelelő 511 bites álvéletlen jelsorozat. A vizsgált összeköttetés hossza 14 km. A PCM link hibaaránya a mérés alkalmával  $10^{-8}$  értékre adódott, emiatt a hibaarányt mesterségesen megnövelték  $10^{-6}$ , illetve  $10^{-5}$  értékre. Keretszinkronból való kiesést a mérések alkalmával nem regisztráltak. Az egyes mérések időtartamait és a mért hibaarányokat a 6. táblázatban tüntettük fel.

Kódolt esetben a PCM link és az adatcsatorna hibaarányának viszonya  $\sim \frac{1}{0,85}$ , míg mintavételes konverzió esetén  $\sim \frac{1}{0,8}$ . A hosszú mérési sorozattal kapott eredmények igen érdekesek, ugyanis a csúszó szó kezdetű kódolás esetén az átvitt jelek az adatcsatornában elméletileg érzékenyebbek a PCM linken előálló hibák szempontjából. A mérési eredmények pedig azt igazolták, hogy a mintavételes konverzióval azonos hibaarányt biztosít a csúszó szó kezdetű kódolás is. E megállapításnak nagy gyakorlati jelentősége van, ugyanis a csúszó szó kezdetű kódolási eljárással egy 64 kbit/s sebességű távbeszélő-időréssben

2,5%-os torzítással 120, 5%-os izokron torzítással 240 db 50 dB-es csatornát lehet létesíteni. E megoldásra példa a PHILIPS cég 3 TR 1500 típusú rendszere. A vizsgált rendszerhez képest tehát négyszer több azonos hibaarányú távírócsatorna létesíthető a csúszó szó kezdetű kódolás alkalmazásával, ami az adat PCM rendszer gazdaságosságát jelentősen megnöveli.

6. táblázat

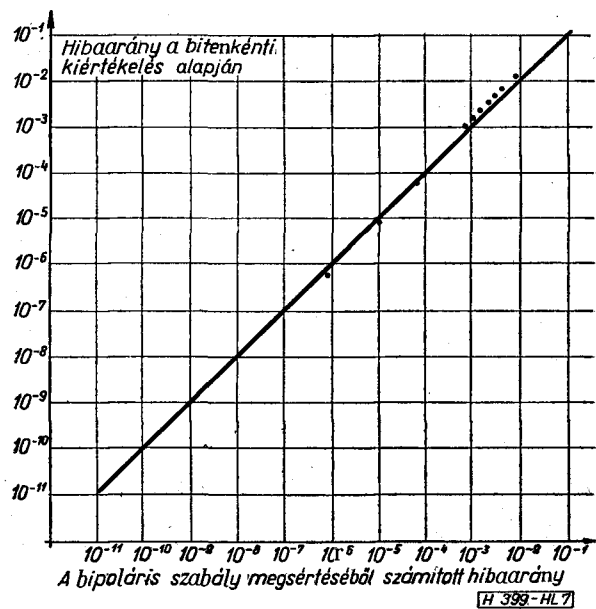
PCM link hibaaránya	A mérés hossza (óra)	Nem kódolt csat. hibaarányának átlagértéke ( $\tau_1$ )	Kódolt csat. hibaarányának átlagértéke ( $\tau_2$ )	$\frac{\tau_2 \text{ a.t.}}{\tau_1 \text{ a.t.}}$
$10^{-6}$	61,6	$0,82 \times 10^{-6}$	$0,85 \times 10^{-6}$	1,04
$10^{-5}$	101,5	$0,78 \times 10^{-5}$	$0,86 \times 10^{-5}$	1,1

5.3 A PCM link bithibaaránya és a bipoláris hibaarány közötti sztochasztikus kapcsolat vizsgálata

Fontos annak ismerete, hogy a bipoláris szabály megsértéséből származó és a valóság hibaarány (melyet az adott és a vett impulzussorozat összehasonlításából nyerünk) között milyen kapcsolat áll fenn.

Ezeket a hibaarányokat — különböző zajszintek esetén — a kísérleti összeköttetés vonali mérései alkalmával meghatároztuk. Az 5.3 pontban megvizsgáltuk az adatcsatornában mért, és a bipoláris hibaarányok közötti kapcsolatot, továbbá meghatároztuk a közelítő empirikus regressziós egyenest. A következőkben megvizsgáljuk azt, hogy a létesített PCM link valóságos hibaaránya és a bipoláris hibaarány közötti sztochasztikus viszony milyen természetű.

A mérésekhez a TÁKI által kifejlesztett hibastatisztika analízáló műszer került alkalmazásra, mely lehetővé teszi a digitális csatornák — elsőrendűen 2,048 Mbit/s sebességű primer PCM vonalszakaszok — vizsgálatát. A méréseket  $2^{15}-1$  bit hosszúságú álvéletlen vizsgálójel-sorozattal végeztük. A mérő



7. ábra. Bipoláris és bitenkénti kiértékelés alapján meghatározott hibaarányok

berendezés a mérési eredményeket lyukszalagon rögzíti, és a lyukszalagon tárolt információk feldolgozása, illetve kiértékelése számítógépen történt. A különböző küszöbszinteken meghatározott összetartozó bipoláris és valódi hibaarányértékeket a 7. ábrán rajzoltuk fel. Megrajzoltuk a közelítő empirikus regressziós egyenest is.

**6. Izokron és start-stop torzítás túllépési gyakoriságok mérése**

Az adatcsatornában, valamint a PCM linken végzett hibaaránymérések után távírótorzítás túllépési gyakoriságokat mértünk különböző zajszintek esetén a 200 bit/s sebességű digitális csatornában. A méréseket jelalakformáló kondenzátorral, illetve annak kiiktatásával végeztük.

Az izokron torzítástúllépési gyakoriság méréséhez a V.52 ajánlás szerinti 511 bites álvéletlen vizsgálójel-sorozatot alkalmaztuk. A mérésekhez a TREND hibaarány analizátort használtuk, ahol beállítottuk a különböző torzítási küszöbértékeket.

**6.1 Izokron torzítástúllépési gyakoriság mérése**

A mérés alkalmával — különböző zajszinteken — meghatároztuk az egyes torzításküszöbökhez tartozó túllépési relatív gyakoriságokat.

A különböző torzításküszöbökhez tartozó izokron torzítástúllépési gyakoriságokat a 8. ábrán tüntettük fel a zajszinttel paraméterezve.

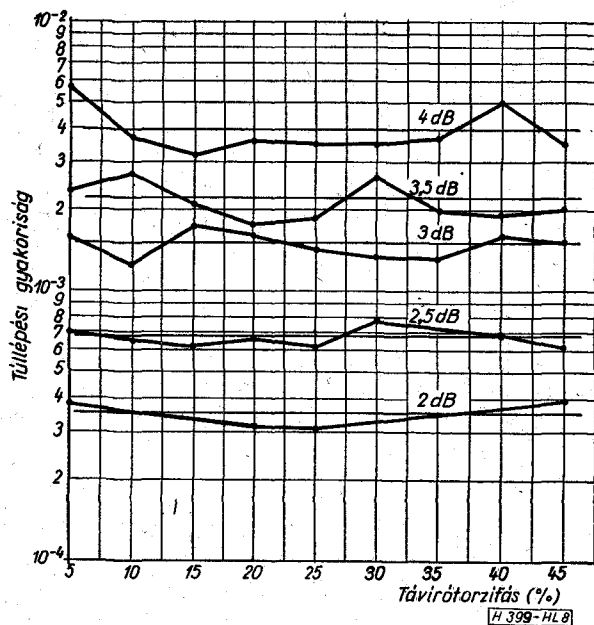
A helyi köri jelalakformáló kapcsolás beiktatása után meghatározott különböző torzításküszöbökhez tartozó izokron torzítástúllépési gyakoriságokat a 9. ábrán tüntettük fel.

A fenti két mérésorozatból az alábbi következtéseket vonhatjuk le:

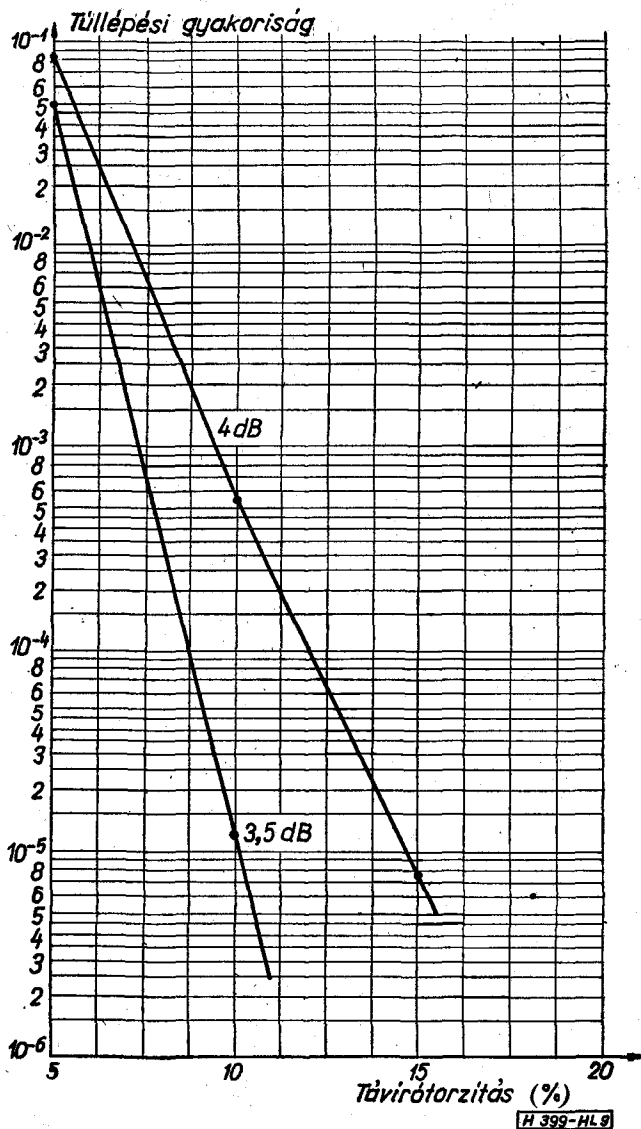
- a) az adatcsatorna véletlen, ill. izokron torzítása — az FM VT rendszerekkel összehasonlítva — alapvetően eltérő jelleget mutat. Jelalakformáló kapcsolás alkalmazása nélkül a különböző torzításértékek (adott zajszint esetén) azonos valószínűségekkel fordulnak elő, szemben az FM VT-vel, ahol a véletlen távírótorzítás sűrűség-, ill. eloszlásfüggvénye — Gauss-zaj jelenlétében — normális eloszlással közelíthető. Bár ebből a mérésekből nem derül ki, de a távírótorzítás sűrűségfüggvényének vizsgálatakor majd látjuk (és a működési elvből is következik), hogy a PCM rendszer kimenetén csak diszkrét torzításértékek állnak elő, amelyeket a mintavételi frekvencia határozza meg. Esetünkben a torzítások abszolút értéke:

$$2,5 \times n, \text{ ahol } n=1, 2, \dots, 20,$$

- b) a helyi körben elhelyezett jelalakformáló kondenzátor hatása jelentős mértékben befolyásolja a torzításértékeket. Első közelítésben azt mondhatjuk, hogy az egyes diszkrét torzításértékek nagysága exponenciálisan csökken. Ez a hatás hasonló az FM VT rendszerek sávszűrőjének hatásához. E mérési sorozat eredményeit



8. ábra. Izokron torzítás-túllépési gyakoriságok



9. ábra. Izokron torzítás-túllépési gyakoriságok a helyi köri jelalakformáló kapcsolás beiktatása után

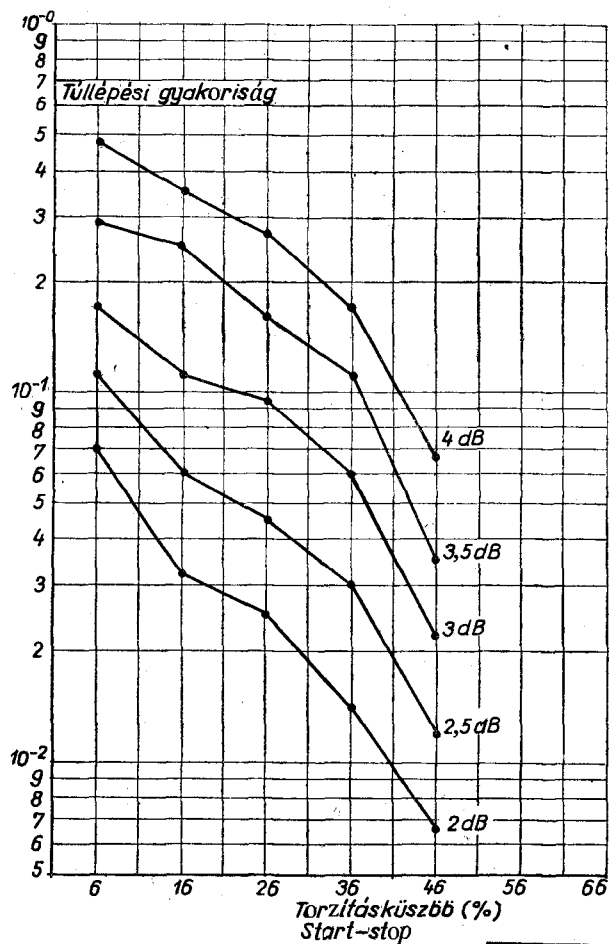
mege erősítik az 5.1, ill. 5.2 pontokban ismertett mérés is. Az 5.2 pontban láttuk ugyanis, hogy az adatcsatorna hibaaránya jelentősen csökkent a jelalakformáló kondenzátor bekapcsolása révén.

6.2 Start-stop torzítástúllépési gyakoriság mérése

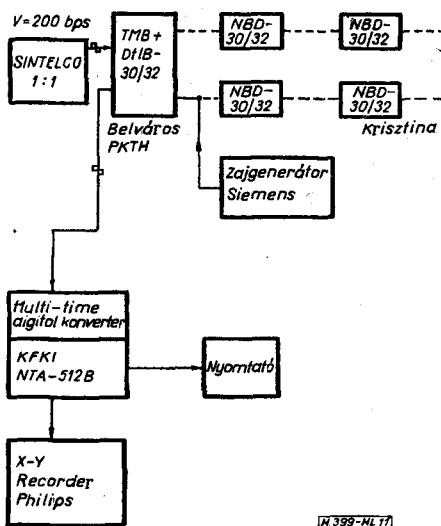
A start-stop torzítástúllépési valószínűségek méréséhez 200 Baud sebességgel QS9 vizsgálójelet adtunk az adatcsatorna bemenetére. A csatorna kimenetéhez a GNT Selector model 1495 típusú start-stop torzítástúllépést jelző berendezést csatlakoztattuk, a torzítástúllépést jelző kimenetekhez pedig a Siemens gyártmányú Tmse (Impulszähler) típusjelű impulzus-számláló berendezést kapcsoltuk. A mérések alkalmával meghatároztuk az átvitt karakterek számát, valamint a beállított torzításküszöböt túllépő karakterek számát. Az első mérési sorozatot jelalakformáló kapcsolás nélkül végeztük.

A különböző torzításküszöbökhez tartozó start-stop torzítástúllépési gyakoriságokat a 10. ábrán tüntettük fel. A jelalakformáló kondenzátor bekapcsolása után végzett mérések alkalmával a következő eredményeket kaptuk.

1. mérés	zajsztint 4. dB
	4% 0,78
	6% $2,1 \times 10^{-2}$



10. ábra. Start-stop torzítás-túllépési gyakoriságok



11. ábra. Kapcsolási elrendezés a véletlen távirótorzítás analíziséhez

2. mérés	zajsztint 3,5 dB
	4% 0,67
	6% $2,26 \times 10^{-2}$
3. mérés	zajsztint 3 dB
	4% 0,67
	6% $2,1 \times 10^{-2}$

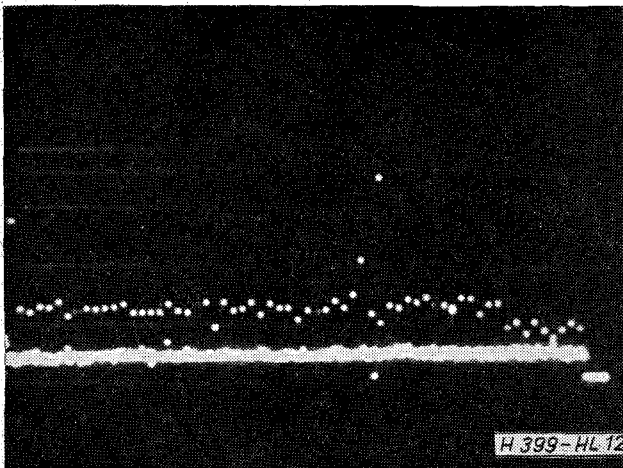
Ez a mérési sorozat szintén azt bizonyítja, hogy a jelalakformáló kapcsolás távirótorzítás csökkentő hatása igen jelentős.

7. Véletlen távirótorzítás vizsgálata

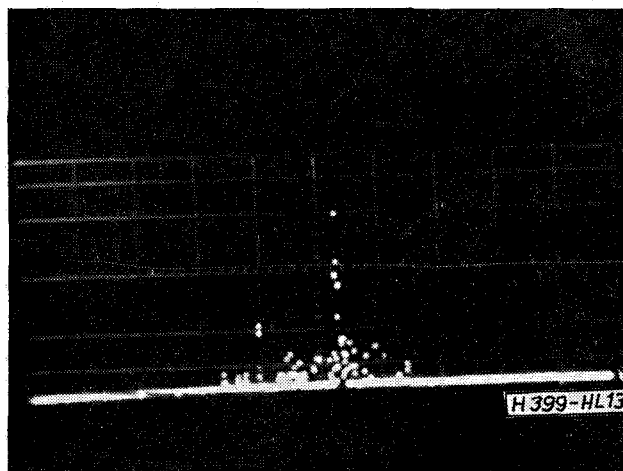
A PCM rendszer adatcsatornájában végzett hibaarány-mérések és torzítástúllépési gyakoriságok vizsgálata után a véletlen távirótorzítás analízisére tesszünk kísérletet. A mérésekhez a KFKI NTA-512-B típusú analizátort alkalmaztuk. Az analizátorhoz csatlakoztatható multi-time digital konverteregység alkalmazása lehetővé teszi a periodikus adatjelek jelátmenet jittereinek, azaz a véletlen impulzustorzítás értékének statisztikus vizsgálatát. A mérések alkalmával a véletlen távirótorzítás valószínűségi histogramját határoztuk meg különböző feltételek esetén. A kapcsolás elrendezése a 11. ábrán látható. A táviró-multiplexer kimenetén megjelenő jelek a multi-time digital konverteren keresztül a KFKI analizátorra jutnak. Az analizátor 1024 csatornás és az egyes csatornák szélessége 1, 2, 4, 8, 16, 32  $\mu$ s között tetszőleges értékre állítható be. Az analizátor csatornáinak tartalma megjeleníthető a berendezés katódsugárcsővé. A megjelenített histogramokat POLAROID kamerával lefényképeztük. A csatornák tartalmát nyomtatóval kinyomtattuk. Szintén kirajoltattuk a histogramokat a csatlakoztatott X-Y rekorderen.

Az első mérési sorozat alkalmával az adatcsatorna saját torzítását határoztuk meg 3 dB zajsztint esetén. E mérési sorozat alkalmával a jelalakformáló kondenzátort kiiktattuk. Az analizátor egy csatornájának szélességét 8  $\mu$ s értékre állítottuk be. Az 1 : 1 jelek-





12. ábra. 1 : 1 jelekkel mért véletlen távirótorzítás-értékek hisztogramja



13. ábra. 1 : 1 jelekkel mért véletlen távirótorzítás hisztogramja beiktatott helyi köri jelalakformáló kapcsolással

kel mért véletlen távirótorzítás-értékek a 12. ábrán láthatók. Az abszcissa teljes hossza (10 osztás)  $1024 \times 8 \mu s$ . Az ordináta teljes hossza (4 osztás)  $2^{10}$  esemény (jelváltás). Az ábrából látható, hogy az egyes diszkrét torzításértékek közel azonos valószínűséggel vannak jelen, és az egyes torzításértékek közötti távolság 2,5%.

E mérési sorozat eredményei megerősítik a 6.1 és 6.2 pontokban kapott mérési eredményeket, mely szerint — fehér zaj jelenlétében, jelalakformáló kondenzátor nélkül — az egyes diszkrét torzításértékek közel azonos valószínűséggel jelennek meg az adatcsatorna kimenetén. E mérési sorozat alkalmával az adatcsatorna bemenetére adott 1 : 1 jelek torzítása közel nulla értékű volt.

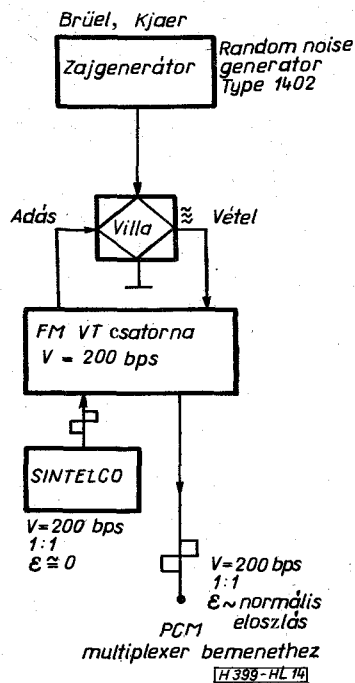
Ezek után — a körülmények megváltoztatása nélkül — a méréseket megismételtük, a jelalakformáló kapcsolás beiktatásával. A kapott távirótorzítás-értékek, illetve azok relatív gyakoriságai a 13. ábrán láthatók. Az analizátor időalapját (egy csatorna szélességét)  $2 \mu s$  értékre állítottuk be, tehát az abszcissa teljes hossza  $1024 \times 2 \mu s$ . Az ordináta teljes hossza  $2^{12}$  esemény. Az ábrából látható, hogy a jelalakformáló kondenzátor jelentősen befolyásolja az egyes

távirótorzítás-értékek előfordulási valószínűségeit. A nagy távirótorzítás-értékek előfordulási valószínűsége jelentős mértékben csökkent.

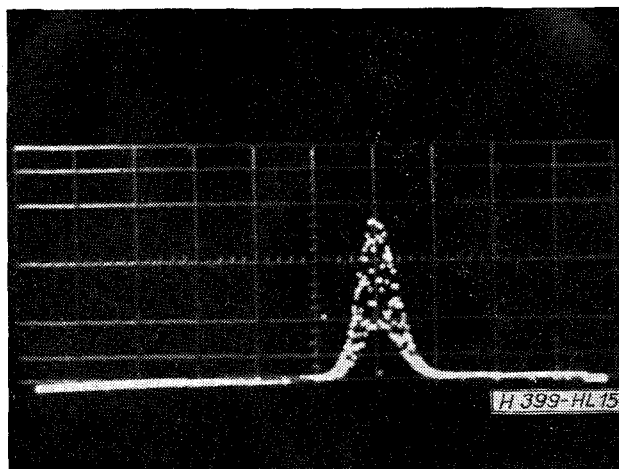
A véletlen távirótorzítás eddig ismertett mérési az üzemi viszonyoktól eltértek, ugyanis:

a vizsgált rendszer bemenetére nulla távirótorzítású jeleket kapcsolunk,  
és az üzemi viszonyoktól eltérő zajviszonyokat állítottuk elő a rendszer bemenetén.

A mérés körülményeit emiatt megváltoztattuk. A rendszer bemenetére csatlakoztatott zajgenerátort lekapcsoltuk, az adatcsatorna bemenetére pedig olyan távirójel-generátort csatlakoztattunk, amelynek véletlen távirótorzítása normális eloszlású. Tekintettel arra, hogy ilyen generátorunk nincs, a 14. ábrán látható kapcsolási elrendezéssel állítottuk elő a kívánt



14. ábra. Kapcsolási elrendezés normális eloszlású véletlen távirótorzítás generálására



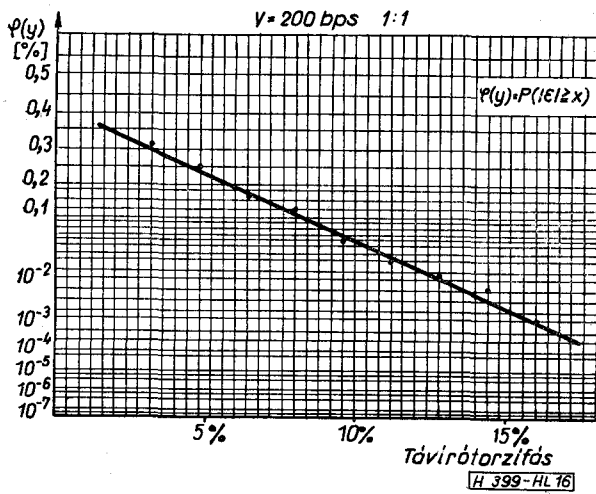
15. ábra. Véletlen távirótorzítás hisztogramja

vizsgálójelet. A telefonyári FM VT csatorna bemenő helyi körére nulla torzítású 1 : 1 jeleket kapcsolunk. A csatorna hangfrekvenciás adási és vételi pontjait egy villaáramkörön keresztül hurkoltuk vissza. Az FM VT hangfrekvenciás jeleihez — a villaáramkörön keresztül — Gauss-zajt kevertünk.

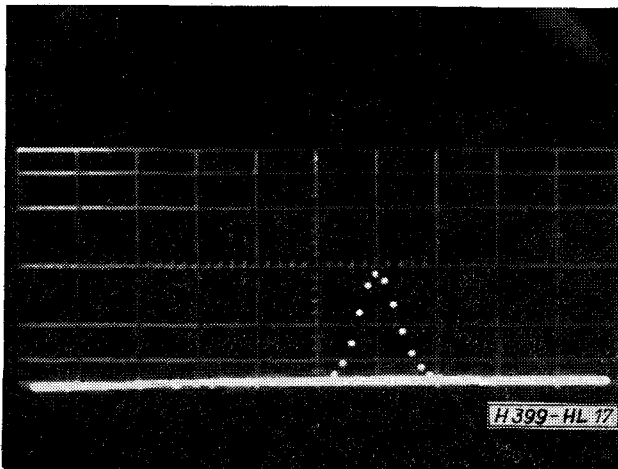
Az FM VT kimenő helyi körében megjelenő 1 : 1 jelek véletlen torzításának hisztogramját az analizátorral meghatároztuk. A gyakorisági hisztogram oszcillogramja a 15. ábrán látható. Az abcissa hossza  $1024 \times 8 \mu s$ . Az ordináta hossza  $2^{12}$  esemény.

A véletlen távirótorzítás hisztogramját — normalitásvizsgálat céljából — Gauss-papíron is megrajzoltuk a 16. ábrán.

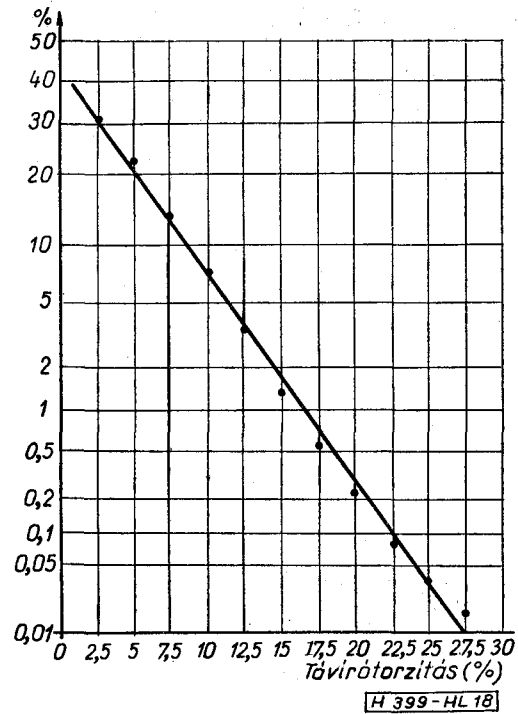
A fentiekben ismertetett eset a gyakorlatban akkor fordul elő, ha pl. a helyi PCM szakaszhoz FM VT-vel létesített trunk csatlakozik. A fentiekben leírt vizsgálójelet a PCM adatsatorna bemenetéhez csatlakoztatjuk. A jelalakformáló kapcsolást a PCM adatsatorna feszültséges ágából kiiktattuk. A mérési sorozattal arra kívántunk választ kapni, hogy a PCM adatsatorna kimenetén megjelenő jel véletlen távirótorzítása milyen matematikai törvényszerűséget követ. A KFKI analizátorral meghatározott gyakori-



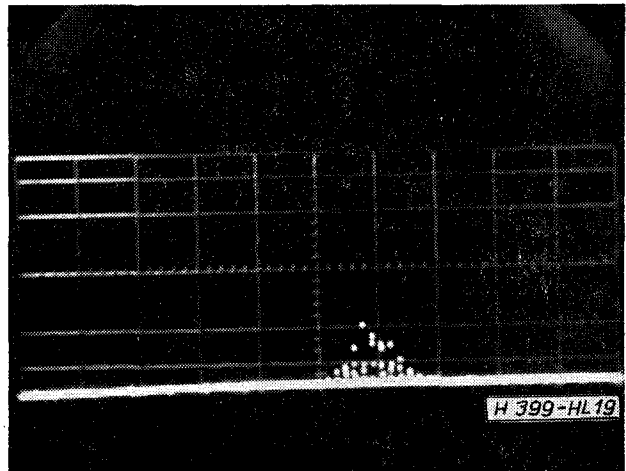
16. ábra. Véletlen távirótorzítás normalitás-vizsgálata Gauss-papíron



17. ábra. Véletlen távirótorzítás hisztogramja az adatsatorna kimenetén



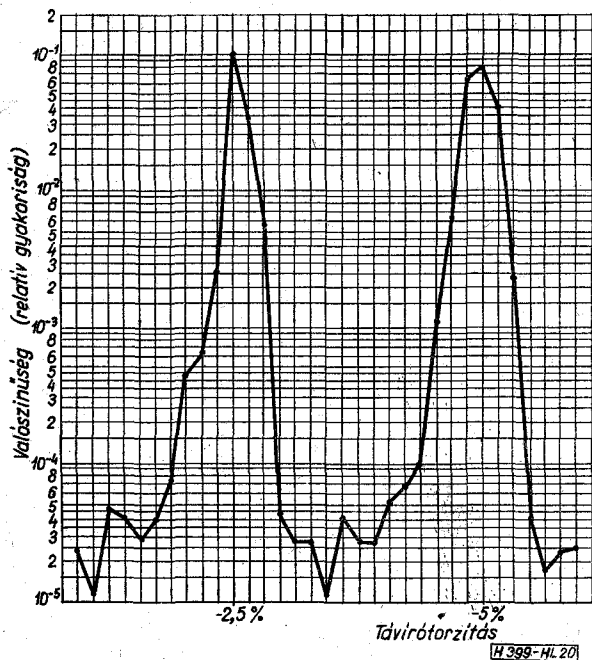
18. ábra. A helyi körű kimeneten megjelenő jelek normalitás-vizsgálata



19. ábra. Véletlen távirótorzítás hisztogramja az adatsatorna kimenetén, a helyi körű jelalakformáló kapcsolás beiktatása után

sági hisztogram a 17. ábrán látható. Az abcissa hossza  $1024 \times 8 \mu s$ . Az ordináta hossza  $2^{16}$  esemény. Az ábrából látható, hogy a kimeneten csak diszkrét távirótorzítás-értékek jelennek meg. Az egyes diszkrét torzításértékek közötti távolság a mintavételi frekvenciával arányos, esetünkben az egyes torzításértékek 2,5%-nak egész számú többszörösei. A mérés alkalmával 179 978 darab jelátmenet jitterének időbeli eloszlását vizsgáltuk.

A diszkrét torzításértékek abszolút értékeit a 18. ábrán Gauss-papíron is felrajzoltuk normalitásvizsgálat céljából. Az egyes gyakorisági értékekhez jól illeszthető egy egyenes, ezért a diszkrét torzításeloszlást gyakorlatilag jól közelíthetjük normális eloszlással.



20. ábra. A jelváltási időpontok jittereinek hisztogramja

A kapott eredmények ismeretében az alábbi megállapításokat tesszük:

- a PCM rendszer adatcsatornája a bemenetére adott folytonos távírótorzítás-eloszlást diszkrét eloszlássá transzformálja,
- a bemenetre adott normális eloszlású folyamatot a PCM rendszer úgy transzformálja a kimenetén, hogy az normális eloszlással közelíthető.

A jelalakformáló kondenzátor béiktatása után a mérési sorozatot — változatlan körülmények között — megismételtük, hogy meghatározhassuk a jelalakformáló kondenzátor torzításeloszlásra gyakorolt hatását. A kapott gyakorisági hisztogram a 19. ábrán látható. Az abcissa hossza  $1024 \times 8 \mu\text{s}$ . Az ordináta hossza  $2^{16}$  esemény (jelátmenet). A mérés alkalmával 170 601 jelátmenet jitterét analizáltuk.

A jelalakformáló kondenzátor hatására a diszkrét eloszlású folyamat folytonos eloszlásúvá transzformálódott, és emiatt az egyes diszkrét torzításértékek előfordulási valószínűsége lecsökkent.

A 20. ábrán a jelátviteli időpontok jitterének hisztogramját egy rövid intervallumra rajzoltuk fel. A

hisztogram maximumhelyei közötti távolság a mintavételi frekvenciával arányos, esetünkben 2,5%.

A 6. és 7. fejezetekben ismertetett torzításmérések után a kvarcvezérlésű Sintelco jeladóval 0% torzítású QS9 jelet kapcsoltunk az adatcsatorna bemenetére. A csatorna kimenetén megjelenő jel tozítása kb. 0,5% értékű volt, mely — a jeladó és a PCM órajelének frekvenciaeltéréséből adódó periódusidővel (kb. 5–10 perc) rövid időtartamra — kb.  $2,5 \pm 0,5\%$  értékűre nőtt meg.

## 8. Összefoglalás

A magyar TMB—31/32 típusú multiplexeren végzett és a primer PCM multiplex rendszerrel együttes vonali mérések alkalmával kapott eredmények alapján megállapítást nyert, hogy a vizsgált berendezés, illetve annak alkalmazásával létesített kísérleti összeköttetés műszaki jellemzői teljes mértékben megfeleltek a specifikációban közölt adatoknak. A rendszerrel létesített összeköttetés lehetővé teszi a telex-, távíró- és adatátviteli előfizetők digitális jeleinek nagy megbízhatóságú továbbítását.

## 9. Köszönetnyilvánítás

A mérések összeállítása és lefolytatása alkalmával a TÁKI szakértőitől jelentős segítséget kaptunk. E helyen szeretnénk ismételtelen köszönetet mondani Bakos Gyulának és Paksy Gézáknak, a TÁKI tudományos kutatóinak, akik nagymértékben hozzájárultak a mérések sikeres elvégzéséhez. Komoly támogatást kaptunk a Posta Kísérleti Intézettől is. Dr. Lajtha György és az intézet rendszertechnikai osztálya a távírótorzítás empirikus analizéséhez nyújtott segítséget.

## IRODALOM

- [1] Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation. (Contribution COM IX — No. 55-August 1972) Report on field tests of data transmission by PCM system.
- [2] Belgian T. T. Administration. Test Results on a tdm telegraph equipment for transmission over PCM links.
- [3] Bakos Gy.—Paksy G.: 2 Mbit/s sebességű távíró- és adatmultiplexer rendszerek és berendezések, amelyek az egyéni vagy primer szinten multiplikált távíró- és adatjelek szekunder nyalábolását, leágaztatását és átvitelét biztosítják. TÁKI tanulmány.