

Kisszintű alapsávi jelátvitel adatátviteli alkalmazása

Az elmúlt 20 évben a számítógéptechnika új digitális átviteli igényekkel jelentkezett. A megindult fejlődés eredményeként a működési sebesség a távirőtechnikában addig használt mechanikus szerkezetekéhez képest, több mint egy nagyságrenddel megnőtt. Az elektronikus áramkörök — köztük az elektronikus jelfogók — az átviteli sebesség növelését is lehetővé tették. Az ember — ember kapcsolatot biztosító távirőtechnika mellett megjelent az ember — gép, illetve a gép — gép kapcsolatot kiszolgáló adatátvitel.

1. Bevezetés

Az adatátvitel sebességigényének kielégítésére a hagyományos távirós megoldások nem feleltek meg. Ennek — többek között — a szükségesnek vélt nagyobb jelfeszültség zavaró hatása, a mechanikus elemek (jelfogók) lassú működése, illetve a számításba jöhető elektronikus elemek kis működési felszültségtartományja volt az oka. A távirőtípusú alapsávi jelátvitel háttérbeszorulását az is elősegítette, hogy a távbeszélő- és távirő-átviteltechnikában rendelkezésre álltak azok a megoldások, amelyek alkalmazásával az adatátviteli igények keilégíthetők voltak (gondolunk itt a már jól kidolgozott AM, FM, PM vagy más impulzusmodulációs módszerekre).

Az adatátviteli igények rohamos növekedése előtérbe helyezte az átviteli berendezések és módszerek gazdaságossági kérdéseit. Az adatátviteli hálózatok kialakulása, s ezekben a hálózatokban az adatátviteli (digitális) kapcsolóközpontok megjelenése, sőt az utóbbi időben az adathálózatok és a távirőhálózatok várható összeolvadása, a helyi hálózatra, az előfizetői vonalakra terelte a figyelmet.

A távirősebesség növelése iránti igény, a helyi hálózatok gazdaságos kialakításának követelménye és a rendelkezésre álló nagyobb sebességű mechanikus berendezés, valamint a kis feszültség- és energiaigényű elektronikus jelfogó lehetősége vezetett el az alapsávi átviteli módszerhez. Ennek első megvalósításaként a Siemens cég bemutatta GDN (Gleichstrom Datenübertragungseinrichtung mit niedriger Sendespannung) berendezését. Az elv egyszerű: a távbeszélő-technikában is alkalmazott jelszinttartományú (kb. 0,5 V nagyságrendű) impulzussorozatot aláillesztve kell a vonalra adni, illetve a vonalról venni.

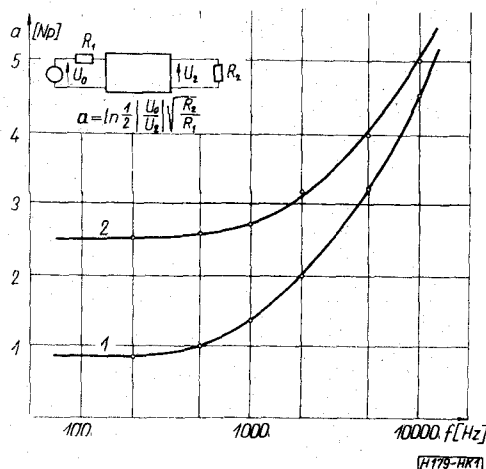
Cikkünk keretében egy hazai fejlesztésű kisjelű egyenáramú adatátviteli berendezés vizsgálatáról, illetve a vizsgálat során az alapsávi jelátvitel új módszeréről szerzett tapasztalatainkról számolunk be. Különösen szeretnénk felhívni a figyelmet az alkal-

mazhatóság korlátaira. Tapasztalataink szerint az átvitel felső korlátja a torzítási hatótávolság, ez alatt tetszőlegesen kis távolságra használható a berendezés az ismertetendő kiegyenlítési módszerrel.

2. Működési elv és az alkalmazhatóság korlátai

Egy adatátviteli összeköttetés alapvető feladata az adatjel lehetőleg hibamentes eljuttatása az adatforrásból az adatnyelőbe. Ezért elsődleges paramétere az elemi jel hibaarány. A hibaarány azonban az összeköttetés egyéb jellemzőitől csak közvetve függ. Adatátviteli összeköttetés létesítésekor általában a másodlagos paraméterek (pl. távirőtorzítás, jel-zaj viszony) optimalálására törekszünk. Az így kialakított összeköttetésen utólag ellenőrizzük a hibaarányt. Alapsávi összeköttetés esetén a 0-tól 10 000 Baud-ig terjedő sebességtartomány átviteléhez a csatorna sáv szélességének legalább 5 kHz-ig kell terjednie, és mivel a berendezés sem modulációt, sem kódkonverziót nem tartalmaz, transzparens átvitel érdekében az egyenáramú komponens is át kell vinni, azaz galvanikus összeköttetést kell biztosítani az adó és a vevő között.

Az összeköttetés céljára számításba vehető kábelnek ebben a rendkívül széles frekvenciatartományban jelentős amplitúdótorzításuk van. Ennek kiegyenlítése rendkívül sok elemet igényelne, mert az oktávokban kifejezett átviteli sáv extrém értékhez tart, az elemértékek pedig nehezen megvalósítható tartományba esnek. Ígyekszünk ezért elkerülni az amplitúdókorrektor alkalmazását, és az amplitúdótorzítást a kábel aláillesztésével csökkentjük. Ezt a módszert



1. ábra. \varnothing 0,4 mm, 11,4 km hosszú papírszigetelésű rézkábel csillapítása

már régóta alkalmazzák terheletlen kábeleken alapsávi zeneátviteli áramkörök létesítésére [1].

Az 1. ábra egy $\varnothing 0,4$ mm, 11,4 km hosszú*, papírszigetelésű rézkábel csillapítását mutatja 600 ohmos (1. görbe), illetve aláillesztett (50 ohmos generátor és 140 ohmos vevőoldali) lezárás esetén (2. görbe). Az aláillesztés hatására az amplitúdótorzítás csökken.

Adott adó-vevő berendezés esetén az alapsávi összeköttetés alkalmazhatóságának két korlátja van. Az egyik a kábelben fellépő feszültségeseből számítható egyenáramú hatótávolság, a másik a lineáris torzítások okozta távirótorzítás növekedéséből számítható torzítási hatótávolság. Az egyenáramú hatótávolságot a feszültségosztásból könnyen számíthatjuk:

$$l = \frac{U_0 R_v - U_v (R_g + R_v)}{U_v R_k} \quad (1)$$

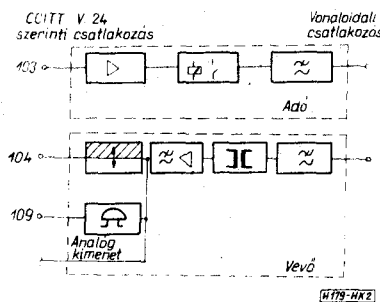
- ahol: l = az áthidalható távolság,
 U_0 = az adó forrásfeszültsége,
 U_v = a minimálisan megengedett vételi feszültség,
 R_g = az adó kimeneti ellenállása,
 R_v = a vevő bemeneti ellenállása,
 R_k = a kábel hosszegységre eső ellenállása.

A torzítási hatótávolságot, vagyis az adott sebességen áthidalható maximális távolságot, illetve az adott távirótorzításhoz megengedhető legnagyobb sebességet a lineáris torzítások határozzák meg. Az egyenáramú hatótávolság abszolút korlát, a torzítási hatótávolság ennél kisebb, gyakorlati korlátként mindig ez utóbbit kell figyelembe venni.

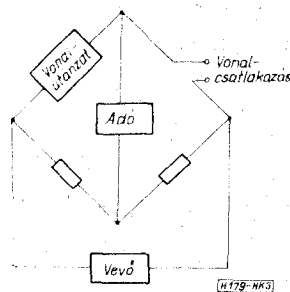
3. A berendezés ismertetése

A 4. és 5. pontban leírt vizsgálatokat és kísérleteket a 2. ábrán látható egyszerűsített tömbvázlat szerinti adó-vevő párral végeztük. Előljáróban vázlatosan ismertetjük a berendezés elvi működését. Az adóoldalon egy alkalmas kapcsolás az adatjelet $\pm 0,5$ V csúcsértékű kettősáramú, földfüggetlen, földszimmetrikus jelle alakítja át. Az adószűrő feladata, hogy elnyom-

*A mérések során felhasznált, 20 km-nél is hosszabb érpár valójában egyetlen kábeldobban helyezkedett el, s a kívánt hosszúságot a kábelben lévő érpárok sorbakapcsolásával biztosítottuk.



2. ábra. Egyszerűsített tömbvázlat



3. ábra. A kéthuzalos üzemmód hídkapcsolása

ja a jel spektrumának azt a részét, amelynek nincs információtartalma (kb. 5 kHz felett). Az adó kimeneti ellenállása 50 ohm. Ezt úgy valósítottuk meg, hogy egy 100 ohmos aluláteresztő szűrőt lezárunk 100 ohmmal, így az adó kimenete a vonalról nézve 50 ohmnak látszott.

A vevő transzformátorán a jel egy szaggató kapcsoló (chopper) segítségével jut át. A vevő bemeneti szűrője megakadályozza a szaggatójel visszaszivárgását a vonalra. Az elválasztás után megjelenő impulzus-amplitúdómodulált jelet aluláteresztő jellegű erősítő erősíti és detektálja. A vevő karakterisztikáját a bemeneti szűrő, a szaggató fokozat és az erősítő karakterisztikája alakítja ki. Az erősítő kimenete a szemábra megfigyeléséhez, illetve egy szintfigyelő áramkörhöz csatlakozik.

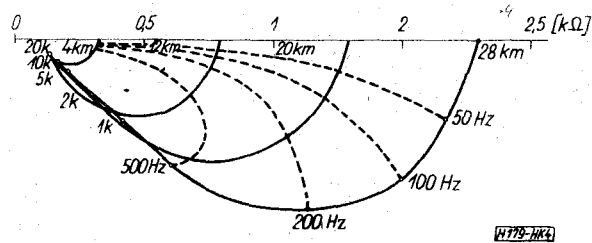
Az adót és a vevőt hídba kapcsolva kéthuzalos teljes duplex üzemet lehet kialakítani (3. ábra). Ha a művonallal a vonal impedanciáját jól sikerül utánozni, a híd egyensúlyban lesz, a vevőbe csak a vonalról jut jel, az adóból gyakorlatilag nem.

4. A kéthuzalos üzemmód és a visszafordulás kiegyenlítése

A kéthuzalos üzemmódhoz egyszerű szerkezetű, a kábel bemeneti impedanciáját jól utánzó, könnyen beállítható vonalutánzat szükséges. A 4. ábrán egy jellegzetes kábel bemeneti impedancia helygörbe látható.

Az ábrán felismerhetők a nagy veszteségű távvezetékek jellegzetes tulajdonságai. A frekvencia növekedésével a bemeneti impedancia a hullámimpedanciához tart, amelynek értéke:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{2\omega C} - j} \sqrt{\frac{R}{2\omega C}} \quad (2)$$



4. ábra. 100 ohm-nál lezárt, $\varnothing 0,8$ mm-es papírszigetelésű rézkábel bemeneti impedanciája

Kis frekvenciákon a bemeneti impedancia az egyenáramú ellenálláshoz tart. Nagy veszteségű kábelek vonalutánzataként elterjedten alkalmaznak RC tagokból álló ún. lépcsős vonalutánzatot. Az egyenáramú kiegyenlítés érdekében a szokásos lépcsős vonalutánzatot ki kell egészíteni az egyenáramú kiegyenlítést biztosító R ellenállással (5. ábra).

A gyakorlatban a vonalutánzatot próbálgatással állítjuk be. Célszerű először az R ellenállással a hidat egyenáramúlag kiegyenlíteni, majd C_1, R_1, C_2 elemekkel a vonalutánzat pólusait és zérusait „hozzáigazítani” a kábel bemeneti impedanciájához.

A beállítás „taktikájának” kialakításához vizsgáljuk meg az R taggal párhuzamosan kapcsolódó $Z_{(p)}$ maradékimpedanciát.

$$Z_{(p)} = \frac{1}{pC_1} \times \left(R_2 + \frac{1}{pC_2} \right) = \frac{1 + pR_2C_2}{pC_1 + pC_2 + p^2R_2C_1C_2} \quad (3)$$

A Bode-alak:

$$Z_{(p)} = K \frac{1 + \frac{p}{\omega_1}}{p \left(1 + \frac{p}{\omega_2} \right)} \quad (4)$$

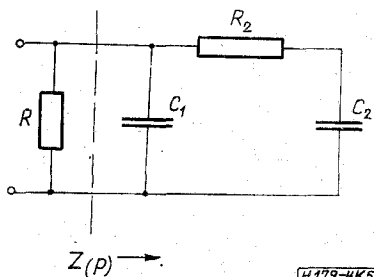
(3)-ból és (4)-ből kifejezhetők a töréspontok és a konstans az elemértékek függvényében:

$$K = \frac{1}{C_1 + C_2}, \quad (5)$$

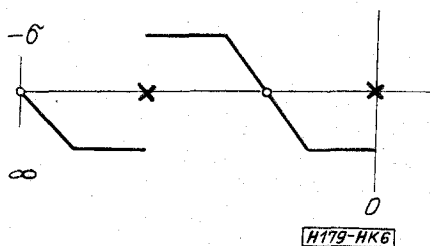
$$\omega_1 = \frac{1}{R_2C_2}, \quad (6)$$

$$\omega_2 = \frac{1}{R_2C_1} + \frac{1}{R_2C_2}. \quad (7)$$

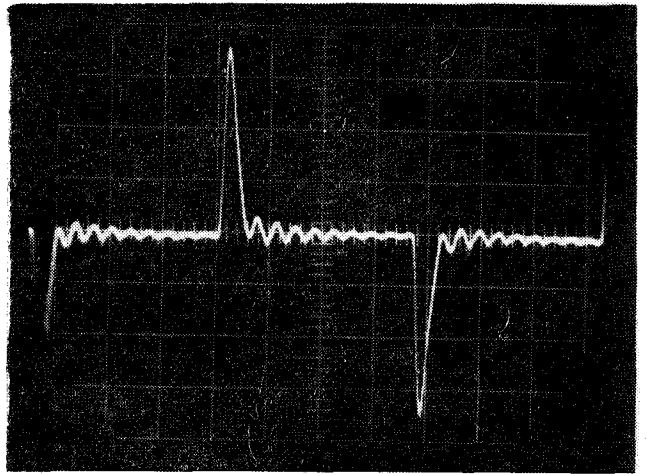
Az elemértékek a töréspontok és a konstans függvényében (4)-ből Cauer-kifejtéssel határozhatók meg.



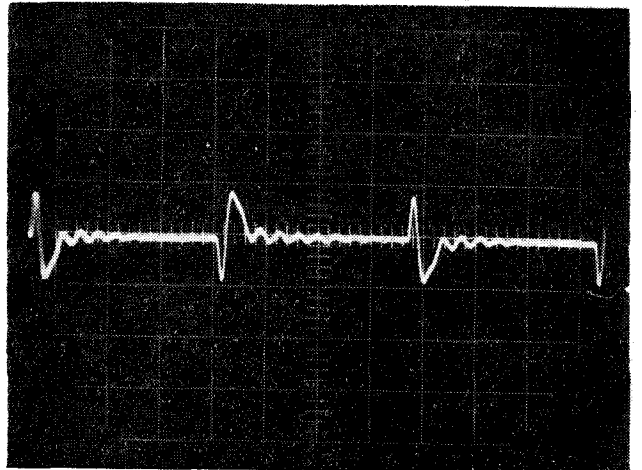
5. ábra. A vonalutánzat kapcsolása



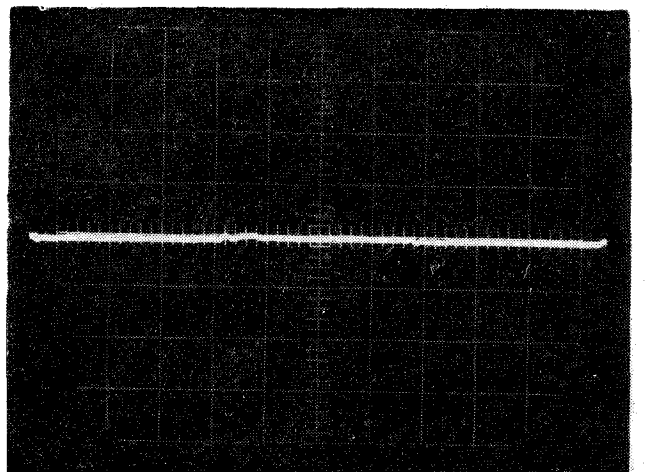
6. ábra. Z_p jelleggörbéje



H179-HK7a



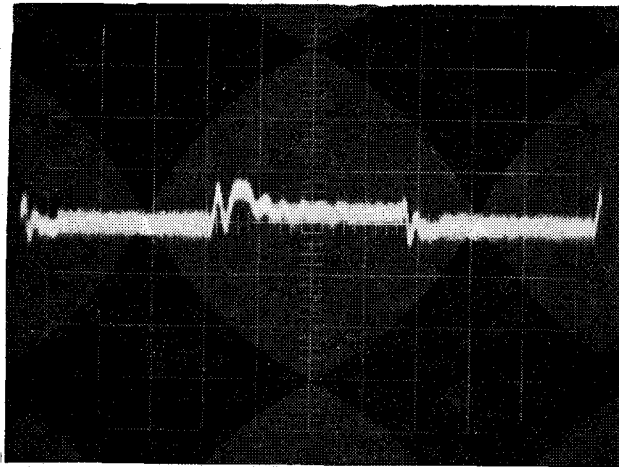
H179-HK7b



H179-HK7c

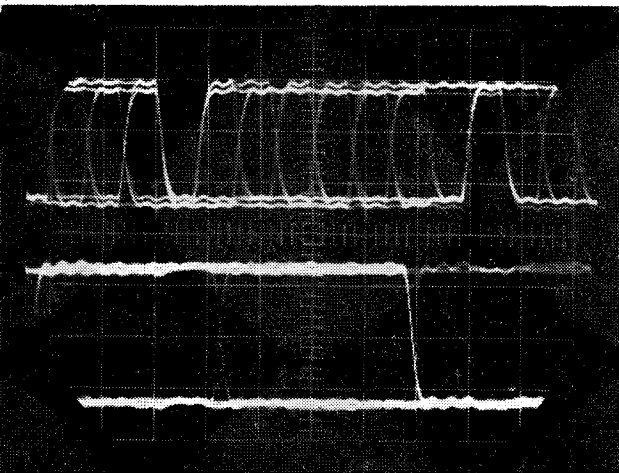
7. ábra. \varnothing 0,8 mm-es, 8 km hosszú papírszigetelésű rézkábel kiegyenlítése 200 Baud-os 1:1 arányú jellel (Függőleges érzékenység: 2 V/cm)

a) A visszafordult jel alakja egyenáramú kiegyenlítés után ($R = 650 \Omega$). b) A visszafordult jel alakja a konstans közelítő beállítása után ($R = 650 \Omega, C_2 = 114 \text{ nF}$). c) A visszafordult jel alakja a teljes kiegyenlítés után ($R = 650 \Omega, C_1 = 15 \text{ nF}, C_2 = 114 \text{ nF}, R_2 = 240 \Omega$)

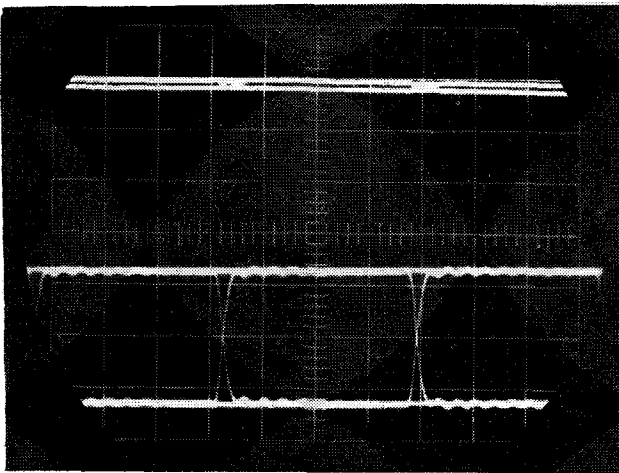


H179-HK8

8. ábra. A kiegyenlített állomás analóg kimenetén lévő jel (függőleges érzékenység: 0,2 V/cm)



H179-HK9a



H197-HK9b

9. ábra. A duplex összeköttetés szemábrái

$$C_1 = \frac{\omega_1}{K\omega_2}, \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{K\omega_2}{\omega_1\omega_2 - \omega^2}, \quad (9)$$

$$C_2 = \frac{\omega_2 - \omega_1}{K\omega_2}. \quad (10)$$

A jelleggörbe a 6. ábra szerinti, kis frekvenciákon $Z_{(p)}$ viselkedését a konstans és az origóban fekvő pólus határozzák meg. A konstans viszont első közelítésben csak C_2 -től függ, ugyanis általában $\omega_2 \gg \omega_1$ ezért (8) és (10) alapján $C_2 \gg C_1$.

A kiegyelítési eljárás ezek után a következő: Az ellenállomás tápfeszültségét kikapcsoljuk, a kiegyenlítő állomás bemenetére olyan sebességű 1:1 arányú jelet kapcsolunk, amelyen az egyenszintek még jól megfigyelhetők. A hidban az adóból a vevőbe jutó jelet a vevő analóg kimenetén oszcilloszkóppal figyeljük. A vonalutánszát R ellenállásával egyenáramúlag kiegyenlítjük a hidat. Ekkor a visszafordult jelben az impulzustetők egy egyenesbe esnek (7a ábra). Ha a kábel olyan rövid, hogy bemeneti ellenállása jelentősen függ a lezárástól (a kábel „átlátszik”), célszerű a kiegyenlítés folytatása előtt az ellenállomás R ellenállását is beállítani. Ezután C_2 -vel közelítőleg beállítjuk a konstans értékét (7b ábra), R_2 -vel közelítőleg ω_1 -et, majd C_1 , R_2 és C_2 finom szabályozásával véglegesen beállítjuk a töréspontokat (7c ábra). Ha a kábel rövid, az ellenállomás kiegyenlítése után megváltozik a kábel bemeneti impedanciája, a hidegnyomás felborul. Tapasztalataink szerint a fenti kiegyenlítési eljárást 2–3-szor megismételve, némi gyakorlattal egészen rövid kábelek is jól kiegyenlíthetők. A kiegyenlítés minőségét az oszcilloszkóp-ábra alapján elég nehéz megállapítani. A kiegyenlítés vége felé egyre nehezebb eldönteni, hogy melyik közelítés jobb és melyik rosszabb. Rövid kábel esetén az ellenállomásról reflektált jel összekeveredik a visszafordult jellel. Általában nem lehet egyértelműen eldönteni, hogy a kiegyenlítés tovább javítható-e.

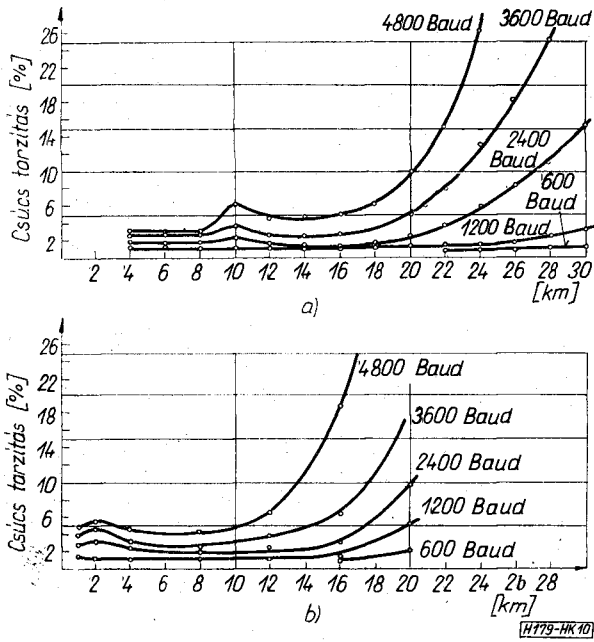
A 8. ábra a kiegyenlített állomás analóg kimenetén lévő jelet mutatja a 7. ábrához képest tízszeres nagyításban. Jól megfigyelhető a kiegyenlítés hibája miatt visszafordult jel, a detektált jelben maradó chopper impulzusok és a kábelben lévő zaj. Általában a kiegyenlítés jónak mondható, ha a három zavaró jelenség azonos nagyságrendbe esik.

A 9a ábrán a duplex összeköttetés két szemábrája látható. Az ábrán a felső jelhez tartozó hid kiegyenlítése rosszabb. A 9b ábra lekapcsolt ellenirányú adás esetén mutatja a szemábrát. A vevő szemábrája „kítisztult”, a torzítás csökkent.

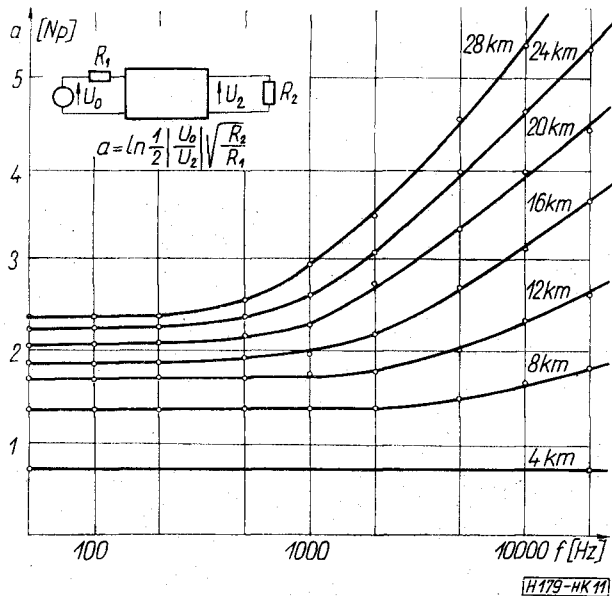
5. Távirótorzítás

A távirótorzítást a Trend cég Data Transmission Test Set típusú műszerével mértük. A 10. ábrán látható torzítási görbék a 2 s-os állásban mért csúcstorzítások átlagai. A vevő szinkronkiválasztó kapcsolója (SELECT TRANSITIONS) „ \square ” állásban állt.

A rövid kábeleknél jelentkező torzításnövekedést a vevőerősítő telítésbe vezérlése okozta. Adott távol-



10. ábra. A csúcs torzítás a távolság függvényében \varnothing 0,8 mm-es papírszigetelésű rézkábelben, a) négyhuzalos üzemmód, b) két-huzalos üzemmód



11. ábra. \varnothing 0,8 mm-es papírszigetelésű rézkábel csillapítása

jel kevésbé torzul. Kis csillapítástorzítású (rövid) kábeleken a szélesebb spektrumú jel is viszonylag kis torzítással halad át.

A csillapítástorzítás okozta távirótorzítás növekedése a 12. ábrán lévő szemábrákon is megfigyelhető. Ha a nagy veszteségű kábelt közelítésként RC létrahálózatnak képzeljük el, a jelenséget úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a kábel egy elemi idő alatt nem töltődik át, ezért a vételkor a jelek egyre jobban összezemosódnak (intersymbol interference), a szemábrára beszűkül. Például a 12a ábrán látható 3600 Baud-os összeköttetésen mért 38 % távirótorzítás elvileg még lehetővé tenné a hibátlan vételt, de a szemábrán látható, hogy a zajtartalék olyan kicsi, hogy az összeköttetés gyakorlatilag használhatatlan.

6. Összefoglalás

A kisjelű egyenáramú adatátviteli berendezés mérési eredményeit mérlegelve megállapíthatjuk, hogy:

- az alkalmazott kábel típusától, az átviteli sebességtől, az üzemmódtól és a megengedett torzítástól függően az áthidalható legnagyobb távolság kb. 7 és 30 km között van,
- az igen rövid (1 km) kábelszakaszok is elfogadható mértékben kiegyenlíthetők, így ezen távolságokra is már alkalmazható.

Fentiek alapján az alapsávi kisjelű egyenáramú adatátviteli áramkörök elsősorban a táviró típusú helyi hálózatokban alkalmazhatók akár az előfizetők közötti közvetlen összeköttetés, akár az előfizetők és az adatátviteli kapcsoló központ közötti összeköttetés biztosítására. Nagyobb távolságú helyközi szakaszok áthidalására (az előfizetők között, az előfizető és adatközpont között, illetve két adatközpont közötti trónköknél) továbbra is a távbeszélő típusú áramkörökre kidolgozott modulációs módszerek alkalmazása szükséges.

A leírt módszerrel kialakítandó adatátviteli hálózatban várhatólag számos olyan probléma fog felmerülni, amelyeket a táviróhálózatban már sikerrel megoldottak (példaképpen a többszakaszos összeköttetést említjük). E kérdések tisztázására a kisjelű egyenáramú adatátviteli berendezések elterjedésével egyidejűleg kell majd sort keríteni.

I R O D A L O M

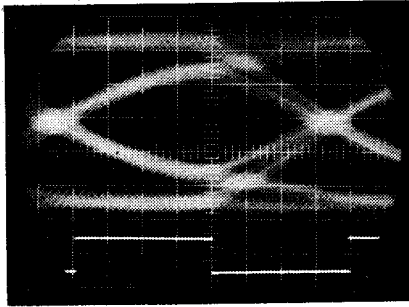
ságnál ugyanis a hosszabb „0” vagy „1” sorozatok a vevőerősítőt telítésbe vezértették. Ekkor az erősítő feléledési ideje is hozzáadódott az elemi időhöz. Egészen rövid kábeleken, ahol az erősítő már minden jelkombinációra telítésbe vezérlődött, a feléledési idő mindegyik elemi időhöz hozzáadódott, a torzítás ismét csökkent.

A 11. ábrán a kábel csillapítását tüntettük fel. Jól megfigyelhető a távirótorzítás és a csillapítástorzítás közötti összefüggés. Nagy csillapítástorzítású kábelben (20 km) a széles spektrumú jel (4800 Baud), jelentős távirótorzítást szenved. Kisebb sáv szélességű

- [1] Farkas V.: Programáramkörök létesítésének kérdései terheletlen fantomáramkörökön
- [2] Dr. Izsák M.: Vezetékes Távközlő Berendezések 1. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1970.
- [3] Horst, H., — Lang M.: Datenübertragung im Ortsnetz durch Gleichstromtastung- Ergebnisse eines Versuchsbetriebes. NTZ. 1969. H. 6. S. 353
- [4] Horak, W.—Lang, M.: Datenübertragung durch Gleichstromtastung auf bespülten Kabelleitungen- Ergebnisse eines Versuchsbetriebes NTZ. 1971. H. 6. S. 329
- [5] Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation: DC data transmission for data signaling rates above 200 bits/s. Special Study Group Sp. A. — Contribution No. 69. 1970. szeptember

12. ábra. Szemábrák a távolság és az átviteli sebesség függvényében

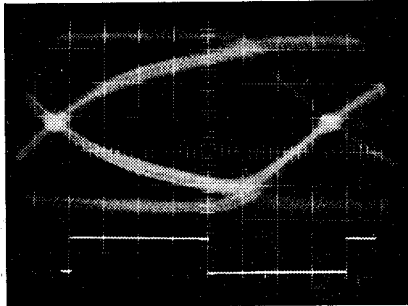
4800 B



a)

torzítás 11%

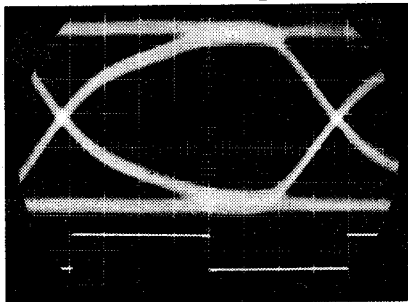
3600 B



b)

torzítás 6%

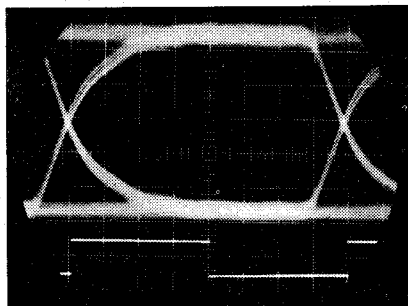
2400 B



c)

torzítás 2,5%

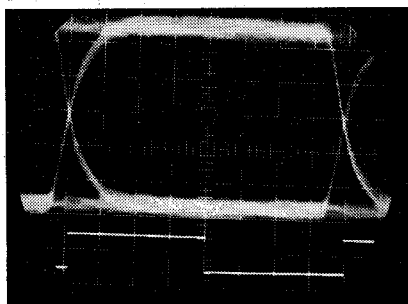
1200 B



d)

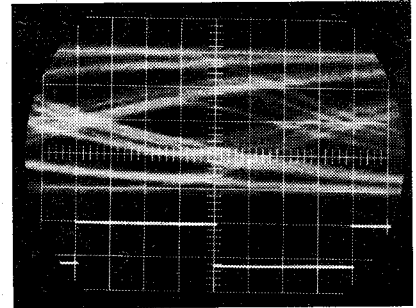
torzítás 1%

600 B



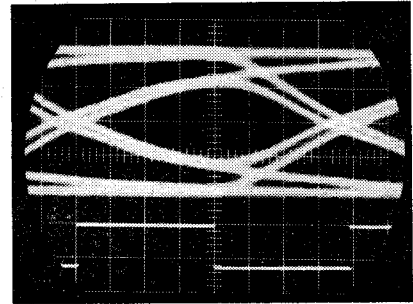
e)

torzítás 1%
20 km



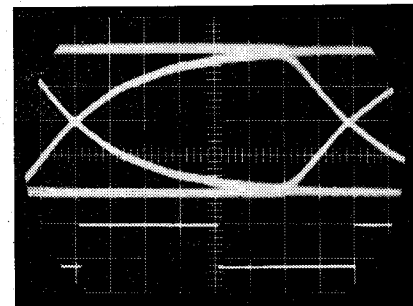
f)

torzítás 38%



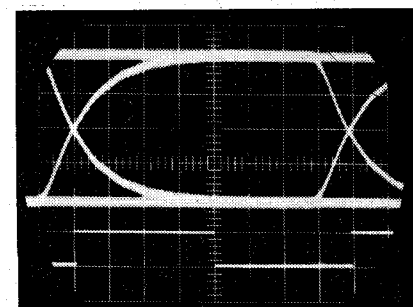
g)

torzítás 15%



h)

torzítás 3%



i)

torzítás 1%
30 km