

HEGYESI LAJOS

## Frekvenciamodulált váltakozó áramú távírórendszerek szintjének csökkentése

ETO 681.394.549.1

A sokcsatornás vivőáramú összeköttetéseken üzemelő adatátviteli és távírórendszerek számának növekedése, azok egy csatornára eső nagyobb teljesítménye miatt, a vonalerősítők túlterheléséhez vezethet. Ezért a CCITT a távíró és adatátviteli rendszerekben egyaránt a maximális adószintre, az üzemmódtól függetlenül  $-13$  dBmO/50  $\mu$ WO értéket ajánl. További előnyt jelentene a beszéd  $-32$   $\mu$ WO átlagteljesítmény-szintjével azonos szint ( $-14$  dBmO) bevezetése.

Az alkalmazást a CCITT az alábbi két területen ajánlja:

a jelenlegi ajánlásoknak megfelelő modern berendezésekben,

azon új rendszerekben, amelyeket a CCITT a jövőben fogad el.

E munka keretében egy kísérletsorozatot ismertünk a hangfrekvenciás távírórendszerek kimenő szintjének csökkentési lehetőségeivel kapcsolatban. Ennek során az alábbi jellemzők meghatározását tűztük ki célul:

- súlyozatlan széles sávú zaj a vivőáramú távbeszélő-csatornában a 0,3...3,4 kHz frekvenciasávban, 200 ms-os időállandóval mérve;
- súlyozott (pszofometrikus) zaj a vivőáramú távbeszélő-csatornában, a 0,3...3,4 kHz-es frekvenciatartományban, nagy időállandóval mérve.

Ha a fenti mérések eredményeként a zaj értéke a vivőáramú távbeszélő-csatornában meghaladja a  $-41$  dBmO értéket, akkor az alábbi c) pontban közzölt mérést is el kell végezni:

- súlyozatlan keskenysávú zaj mérése a hangfrekvenciás távírócsatornák vevőszűrői után;
- impulzus zaj-mérés a CCITT V. 55 ajánlásának megfelelő mérőberendezéssel:  $-30$ ,  $-33$ , illetve  $-36$  dBmO küszöbszinten, valamennyi vizsgált vivőáramú távbeszélő-csatornában. A mérés időtartama 15 perc, az alkalmazott számlá-

lasi holtidő 125 ms, és a méréseket „adatcsatorna szűrő” állásban kell végezni. A mérésekre forgalmas órában kerüljön sor, és 12 egyedi mérés eredményéből kell meghatározni az impulzus zaj-számlálás várható értékét.

A mérési sorozat elvégzéséhez a nyugatnémet és az ausztrál postaigazgatóságok tapasztalatai szerint nagy műszerezettség és sok idő szükséges. Az üzemi körülmények között lefolytatott mérések több hónapot vesznek igénybe. Ennek elkerülése érdekében a kérdésre adandó válasz kialakításához elegendőnek tartjuk a valóságos üzemi viszonyokat jól utánzó laboratóriumi méréseket. Ennek megfelelően az 1. fejezet az egyszerűsített mérés jogosságának indoklását tartalmazza. Ezután a mérési módszerek leírása következik. A mérési eredmények ismertetése után az azokból levonható következtetéseket állítjuk össze.

### 1. A mérési program indokolása

A szintcsökkentés hatásának vizsgálata szempontjából a távközlési csatornában keletkező zajokat kell figyelembe vennünk.

A csatorna alapzájával együtt a távbeszélő-csatorna nemlineáris működése miatt a távíró-csatornák között intermodulációs zaj is előáll. A szintcsökkentés következtében az intermodulációs zajok csökkenni fognak, így a jel/zaj viszony megnövekszik. Ez azt jelenti, hogy a szintcsökkentés következtében bekövetkező minőségromlás mértékét az intermodulációs zajok csökkenése kismértékben ellensúlyozza. Ennek ellenére vizsgálatainkból az intermodulációs zajok hatását kirekesztjük, mivel azt a vizsgált jelenség szempontjából elhanyagolhatónak tekinthetjük.

A vivőáramú távbeszélő-csatorna kimenetén megjelenő FM-VT jeléhez a zaj hozzáadódik. A távbeszélő-csatorna kimenetén megjelenő véletlen zajok matematikai tárgyalás szempontjából két csoportra oszthatók:

impulzus zajra, illetve  
Gauss-zajra.

A gyakorlatban a vivőáramú távbeszélő-csatornában mindkét zajtípus egyidejűleg jelen van. Ennek következtében a csatorna kimenetén megjelenő eredő zajfeszültség valószínűségi sűrűségfüggvénye eltér a gaussi sűrűségfüggvénytől. Az eltérés mértéke függ attól, hogy a kérdéses eredő zajt kapcsolt vagy beélt összeköttetésben vizsgáljuk-e. Az impulzus zaj fontos tulajdonsága, hogy a zaj feszültsége, illetve energiája az elemi jelhez képest rövid időtartamú csomókba koncentrálódik, és ez alatt az idő alatt az eredő zajfeszültség igen nagy értékű (az impulzus zaj pl. 200 ms-os integrálási idővel mérve, a Gauss-zajhoz tartozó feszültség effektív értékét csak kevésbé növeli meg). A zajimpulzusok teljesítménysűrűség-spektruma a frekvencia függvényében állandónak tekinthető. Az impulzus zajhoz tartozó energiacsomóhoz rendelhető feszültségcsúcs amplitúdója az  $Y(f)$  átviteli függvényével jellemzett távbeszélő-csatorna kimenetén:

$$U_{cs} = \text{konst.} \int_0^{\infty} Y(f) \cdot w^{1/2}(f) df, \quad (1)$$

ahol  $w(f)$  a zajimpulzus egyoldalas teljesítménysűrűség-spektruma.

További gondolatmenetünkhöz vegyük figyelembe az alábbi tételt.

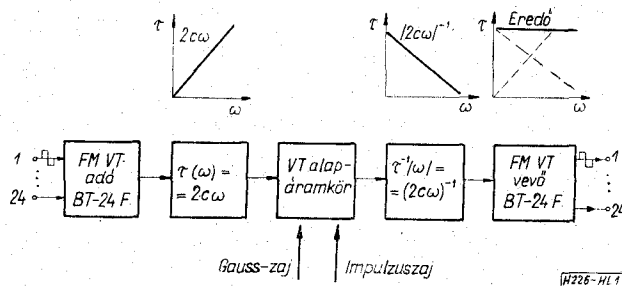
Ha tetszőleges amplitúdóeloszlású zajt folyamatosan csökkentett sávzélességű rendszeren vezetünk át, akkor a sűrűségfüggvény aszimptotikusan Gauss-sűrűségfüggvényhez tart. Az 50 Bd sebességű FM-VT csatorna vevőszűrőjének  $\pm 40$  Hz-es sávzélessége a távbeszélő-csatorna 4 kHz-es sávzélességénél közel két nagyságrenddel kisebb, és ezért a fenti tétel értelmében az FM-VT csatorna vevő-sávszűrőjének kimenetén megjelenő eredő zajfeszültség amplitúdójának valószínűségi sűrűségfüggvénye várhatóan jól közelíti a gaussi sűrűségfüggvényt.

A vivőáramú távbeszélő-csatornában keletkező és az FM-VT rendszer csatornáinak jeléhez hozzáadódó zajimpulzusok amplitúdója nagymértékben csökkenthető még az FM-VT rendszer bemenete előtt. Ehhez figyelembe kell vennünk a Gauss- és az impulzus zaj alábbi tulajdonságait. A Gauss-zaj számunkra fontos tulajdonsága az, hogy az egyes komponensek fázisa egymáshoz képest véletlen, és ez a tulajdonság nem változik meg akkor sem, ha a zajfolyamat tetszőleges paraméterű távközlési csatornán halad át.

Az impulzus zajban, ellentétben a Gauss-zajjal, igen szoros kapcsolat van a komponensek fázisa között, vagyis a zajimpulzusok egyes komponensei „rendezett fázisúak”. Ha az impulzus zajt, illetve az impulzus zaj és a Gauss-zaj eredő feszültségét olyan szűrőn vezetjük keresztül, amelynek frekvenciafüggő fázismenete nem lineáris, akkor a zajimpulzusok csúcsainak amplitúdója csökkenthető.

Abban az esetben, ha a zajimpulzusok olyan rendszeren haladnak keresztül, amelyre  $\tau(\omega) \neq \text{áll.}$ , akkor a különböző frekvenciájú komponensek egymáshoz képesti fázisa megváltozik. Ez azt jelenti, hogy a nagy amplitúdó-csúcsokat produkáló rendezett fázisú állapot rendezetlenné válik, ami FM-VT rendszer esetében előnyösen kihasználható.

Az 1. ábrán látható elrendezésben az FM-VT



1. ábra. FMVT berendezés elkenő szűrőkkel

alapáramkörü csatlakozási pontjához olyan négy pólus csatlakoztatunk, melyre  $a(\omega) \cong 0$  és  $\tau(\omega) = 2c\omega$ .

A VT rendszer bemenete elé kapcsoljunk olyan négy pólus, amelyre  $a(\omega) \cong 0$ , illetve

$$\tau(\omega) = 2c(\omega^{-1})$$

Az adó és vevő csatlakozási pontjai között esetünkben  $\tau(\omega) = \text{áll.}$  Az eredő csoportfutási idő — az FM-VT rendszer alapáramkörü pontjai között — frekvenciától függetlenül közel állandó. A VT rendszer alapáramköréről szolgáló vivőáramú távbeszélő-csatornában keletkező összeg zajfolyamat azonban  $\tau(\omega^{-1})$  szerint transzformálódik. Az összeg folyamat egyik komponense — a Gauss-folyamat — amplitúdó-sűrűségfüggvényének jellege változatlan marad, míg az impulzus zaj egyes zajimpulzusai rendezetlen fázisúvá válnak, és amplitúdóik jelentősen csökkennek. Az eredő zajamplitúdó valószínűségi sűrűségfüggvénye közelít a gaussi sűrűségfüggvényhez.

Gondolatmenetünket összefoglalva azt mondhatjuk, hogy a CCITT R. 35 ajánlását kielégítő 24 csatornás, 50 Bd sebességű FM-VT csatornák vevőszűrői kimenetén megjelenő összeg-zajfolyamat a sávkorlátozás miatt Gauss-zajnak tekinthető. Ha az impulzus zaj zavaró hatása az FM-VT vevőszűrőinek kimenetein is érzékelhető, akkor az előzőekben ismertetett ún. „elkenési technika” alkalmazásával a zajimpulzusok amplitúdója — kellően megválasztott csoportfutási idő karakterisztikával — jelentősen csökkenthető. A valószínűségi sűrűségfüggvénye az FM-VT rendszer csatornái vevőszűrőinek kimenetén megjelenő eredő additív zajt a továbbiakban Gauss-zajnak tekintjük.

Megválaszolásra váró kérdésünk tehát a következőképpen fogalmazható meg: FMVT rendszer alapáramkörén előálló, sávkorlátozott Gauss-zaj szintjének függvényében hogyan változik a táviróátvitel minősége, továbbá milyen mértékben csökkenthető a CCITT R. 35 ajánlásának megfelelő 24 csatornás FM-VT rendszer valamennyi csatornája által az alapáramkörü adásponton adható eredő átlagteljesítmény az átvitel minőségének számottevő csökkenése nélkül.

A következőkben ezekre a kérdésekre kívánunk választ adni, és a laboratóriumi vizsgálatokból ki- rekesztjük

- a rövid időtartamú megszakadások,
- a fázisingadozás,
- a fázisugrás, valamint az időben változó frekvenciatorzítás hatását.

2. A mérés összeállítása és a mért távirójellemzők

A mérés összeállítása a 2. ábrán látható. A mérésekhez a Telefongyár által gyártott BT-24 F típusjelű, 24 csatornás, 50 Bd sebességű FM-VT berendezést alkalmaztunk, amely kielégíti a CCITT R. 35 ajánlását. Az impulzutorzítás valószínűségi sűrűségfüggvényét, a start-stop torzítás túllépési valószínűségét, valamint a bithibaarányt a 112. csatornában határoztuk meg. A mérések tartama alatt a 111. és 113. csatornában 1 : 1 arányú jelet vittünk át, a többi csatorna bemenetére startszintet kapcsoltunk. A méréseket berendezéshurokban végeztük. A Gauss-zajt előállító generátor kimenetéhez ún. távirósávszűrőt csatlakoztattunk.

$\epsilon$  értéke kisebb, mint  $x$ . Ezt a valószínűséget

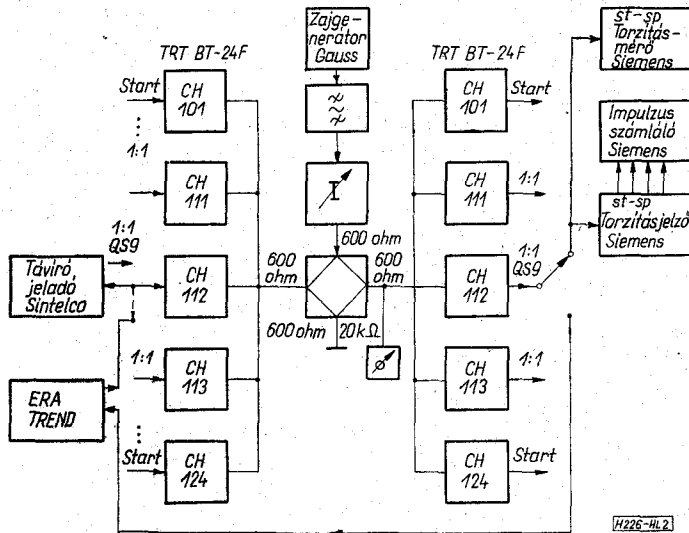
$$P(\epsilon < x)\text{-szel jelöljük.} \quad (2)$$

A  $P(\epsilon < x)$  valószínűség az  $x$  változó függvénye, jelöljük  $F(x)$ -szel, és nevezzük a távirótorzítás eloszlásfüggvényének.  $F(x)$  értékeinek ismeretében tetszőleges  $(a, b)$  intervallum esetén meg tudjuk mondani annak a valószínűségét, hogy  $\epsilon$  értéke — azaz a távirótorzítás — az  $(a, b)$  intervallumba esik, tehát

$$P(a \leq \epsilon < b) = F(b) - F(a). \quad (3)$$

$\epsilon$  eloszlásfüggvénye,  $F(x)$  szakaszonként sima, azaz létezik az

$$F'(x) = f(x) \text{ függvény, és} \quad (4)$$



2. ábra. A mérés összeállítása

A mérések során az alábbi jellemzők meghatározására került sor:

1 : 1 arányú vizsgáló jelekkel mért véletlen távirótorzítás valószínűségi sűrűségfüggvényének változása a jel/zaj viszony függvényében;

a CCITT R. 51 ajánlásának megfelelő QS9 start-stop jelekkel mért véletlen torzítás túllépési valószínűség változása a jel/zaj viszony függvényében. E mérések eredményeinek ismeretében meghatározásra került a CCITT R. 55 ajánlása szerinti konvencionális torzítási fok változása a jel/zaj viszony függvényében;

a CCITT R. 53 ajánlásában előírt, 8%-os start-stop torzítás túllépési valószínűség változása a jel/zaj viszony függvényében;

A CCITT R. 54 ajánlásának megfelelő hibaarány-mérés különböző jel/zaj viszony esetén.

Vizsgáljuk meg a következőkben a véletlen távirótorzítás tulajdonságait és matematikai leírásának lehetőségét.

3. Véletlen távirótorzítás

Tekintsük az  $\epsilon$  távirótorzítást valószínűségi változónak.  $\epsilon$  eloszlását akkor tekinthetjük ismertnek, ha tetszőleges  $x$  értékre tudjuk mi a valószínűsége, hogy

$f(x)$  szakaszonként folytonos. Az  $f(x)$  függvényt  $\epsilon$  sűrűségfüggvényének nevezzük.

Annak valószínűségét, hogy a távirótorzítás értéke az  $(a, b)$  intervallumba esik, a sűrűségfüggvénynek az illető intervallumon vett integrálja szolgáltatja:

$$F(b) - F(a) = P(a \leq \epsilon < b) = \int_a^b f(x) dx. \quad (5)$$

A sűrűségfüggvény alatti terület 1-gyel egyenlő, azaz

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1. \quad (6)$$

Méréseink során a távirócsatornák jeleihez sávkorlátozott Gauss-zajt kevertünk, és emiatt jogosnak látszik feltételezni azt, hogy az  $\epsilon$  véletlen távirótorzítás normális eloszlású (ezt a hipotézist már előtűnk sokan igazolták, és ez a mi vizsgálatainkból is kiderül). Emiatt az  $\epsilon$  valószínűségi változó, azaz a véletlen távirótorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye a következő:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(x-\bar{\epsilon})^2}{2\sigma^2}} \quad (7)$$

A (7) összefüggésben  $\bar{\epsilon}$  a távirótorzítás várható értéke. Mivel az egyoldalas torzítást kiküszöböltük, esetünkben  $\bar{\epsilon} = 0$ .

Ez a feltételezés csak 1 : 1 arányú jeleknél természetes. Start—stop jelek esetében a távirótorzítás várható értékét az egyoldalas torzítás és az átlagos modulációs sebességnek a névleges értéktől való eltéréséből származó torzítás összege határozza meg. Az általunk alkalmazott, kvarevezérlésű oszcillátort tartalmazó jeladó modulációs sebessége gyakorlatilag megegyezik a névleges értékkel, így a véletlen torzítás várható értékét start—stop jelekre is nullának tekinthetjük.  $\sigma$  az eloszlás-szórása, és értéke a jel/zaj viszonytól függ.

A valószínűségi eloszlásfüggvény:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{t^2}{2 \cdot \sigma^2}} dt. \quad (8)$$

Jelöljük a konvencionális torzítás fokát  $\varepsilon_k$ -val. Konvencionális torzítás fokának a CCITT R. 55. ajánlása szerint azt az egyéni torzításértéket kell tekinteni, amelynek túllépési valószínűsége  $10^{-5}$ , azaz

$$P(|\varepsilon| > \varepsilon_k) = 10^{-5}. \quad (9)$$

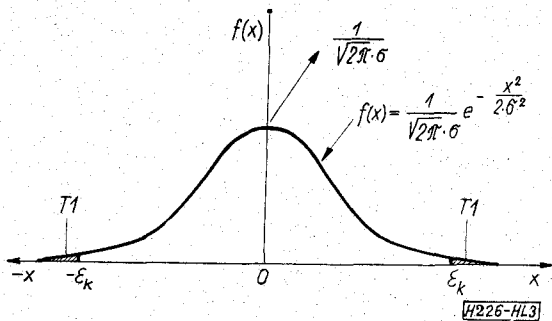
Egyéni torzítás alatt azt a jelváltási időpontokban — impulzustorzításnál a jelváltási időközökben — értelmezett torzítást kell érteni, amely a mérés során megfigyelhető volt. Az egyéni torzítás nagysága tehát időben viszonylag rövid intervallumokban, legfeljebb elemi jelenként változhat.

Nulla várható értékű normális eloszlás esetében

$$\frac{\varepsilon_k}{\sigma} = 4,417, \text{ ugyanis} \quad (10)$$

$$P(\varepsilon > \varepsilon_k) = 10^{-5}, \text{ és} \quad (11)$$

ekkor igaznak kell lennie a (12) összefüggésnek (1. a 3. ábrát):



3. ábra. Véletlen távirótorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye, 1:1 arányú vizsgálójellel mérve

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \left[ \int_{-\infty}^{-\varepsilon_k} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2 \cdot \sigma^2}} d\varepsilon + \int_{\varepsilon_k}^{\infty} e^{-\frac{\varepsilon^2}{2 \cdot \sigma^2}} d\varepsilon \right] = 10^{-5} \quad (12)$$

Az ábrán feltüntetett  $2T_1$  terület tehát  $10^{-5}$ . Figyelembe vettük, hogy a torzítás várható értéke:  $\bar{\varepsilon} = 0$ , és a sűrűségfüggvény alatti terület 1.

Vezessük be az alábbi új változót

$$\frac{\varepsilon}{\sigma} = z.$$

Ezzel a (12) kifejezés az alábbi alakban írható:

$$1 - \Phi\left(\frac{\varepsilon_k}{\sigma}\right) = 10^{-5}, \quad (13)$$

ahol

$$\Phi(z) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (14)$$

$\Phi(z)$  értékei táblázatban megtalálhatók.

Tekintsük most (13) összefüggésünket:

$$1 - \Phi\left(\frac{\varepsilon_1}{\sigma}\right) = p_{ei}, \quad (15)$$

amiből

$$1 - p_{ei} = \Phi\left(\frac{\varepsilon_1}{\sigma}\right). \quad (16)$$

$p_{ei}$  a beállított  $\varepsilon_1$  torzításküszöb esetén mért túllépési relatív gyakoriságot, illetve hosszú mérés esetén a torzítástúllépési valószínűséget jelenti, amely a mérési sorozat folyamán különböző  $\varepsilon$ -ok esetén került meghatározásra.  $p_{ei}$  ismeretében tehát meghatározható  $\Phi(z)$ , ennek ismeretében a szórás értéke.

Illeszkedés-vizsgálatot végzünk lineáris közelítéssel: a kérdés az, hogy milyen  $\sigma$ -hoz tartozó görbe felel legjobban a mérési pontokat?

Ebből a célból rögzített jel/zaj viszony esetén, különböző torzításküszöbökkel meghatározott  $\sigma_1$ -kat valószínűségi változónak tekintjük, és mivel ez a várható érték körül ingadozik, a mérési sorozatból meghatározzuk  $\bar{\sigma}$  empirikus várható értékét:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i,$$

ahol  $n$  a mérés során beállított torzításküszöbök száma.

#### 4. 1 : 1 arányú vizsgálójellel mért véletlen távirótorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye

A mérés során elemi jelek jelátmenetei közötti időintervallumok változását vizsgáljuk Gauss-zaj jelenlétében, különböző jel/zaj viszonyok esetén.

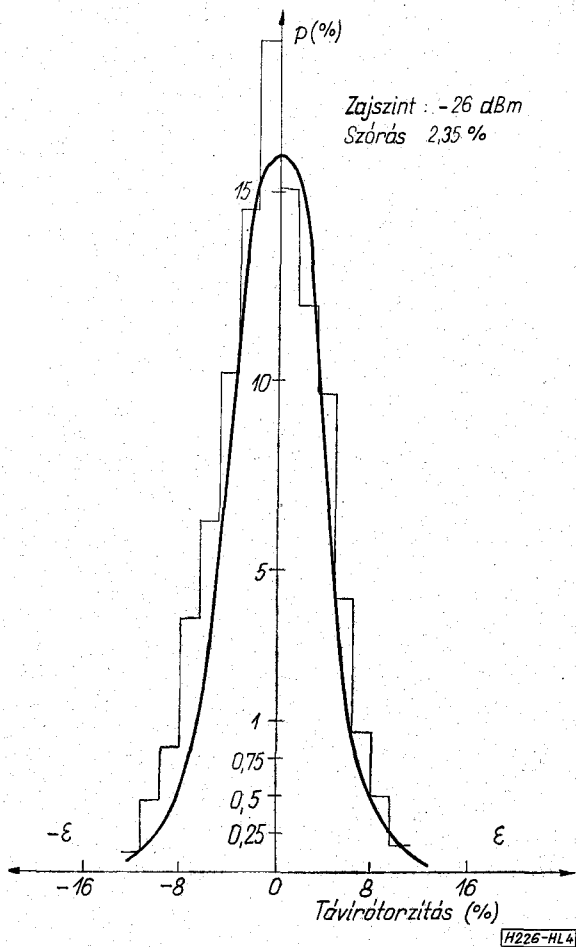
Az alapáramkör vételi pontján mérve, a csatorna adószintjét  $-25$  dBm értékre állítottuk be. Ugyanezen a ponton a következő zajszinteket állítottuk be (3100 Hz sáv szélességen):  $-14$  dBm,  $-20$  dBm,  $-22$  dBm,  $-24$  dBm,  $-26$  dBm.

Az analízátor csatornáinak tartalmát kinyomtattuk, és az adatokból meghatároztuk az impulzustorzítás gyakorisági hisztogramját. A különböző zajszinteken mért értékekből megszerkesztett hisztogramokat a 4., 5., 6., 7., 8. ábrákon tüntettük fel. Az adatokból meghatároztuk a különböző zajszintekhez tartozó értékeket, amelyek ismeretében a konvencionális torzítás foka meghatározható.

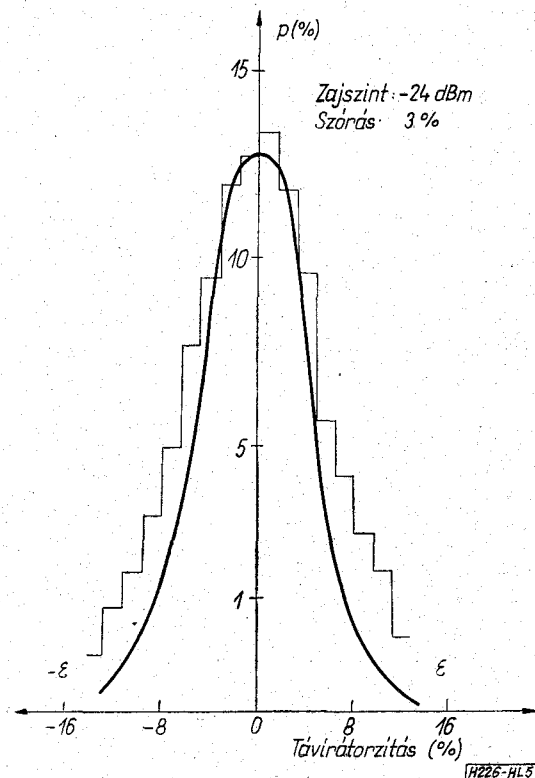
Ha az  $\varepsilon$  normális eloszlású valószínűségi változó várható értékére az  $M(\varepsilon) \approx \bar{\varepsilon}$ , szórásnégyzetére a  $D^2(\varepsilon) \approx \sigma^2$  becslést tesszük, akkor a távirótorzítás sűrűségfüggvényét a standard normális eloszlás  $\varphi(x)$  sűrűségfüggvénye táblázatának segítségével a

-22	17,7
-24	13,5
-26	10,5

Az adatokból észre kell vennünk, hogy a zajfeszültség kétszeres (a zajszint 6 dB-es) változása a szórás, illetve a konvencionális torzítási fok (közelítően) két-



4. ábra. Véletlen távírótorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye, 1:1 arányú vizsgálójellel mérve



5. ábra. Véletlen távírótorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye, 1:1 arányú vizsgálójellel mérve

következésképpen szerkeszthetjük meg:

$$\varphi(y, \bar{\epsilon}, \sigma) = \frac{1}{\sigma} \varphi\left(\frac{y - \bar{\epsilon}}{\sigma}\right).$$

Vagyis a táblázatban az  $x$  értékhez tartozó  $\varphi(x)$  értéket  $\sigma$ -val osztjuk, és ezt rajzoljuk fel ordinátaként a vízszintes tengely

$$y = \bar{\epsilon} + x\sigma \text{ pontjában.}$$

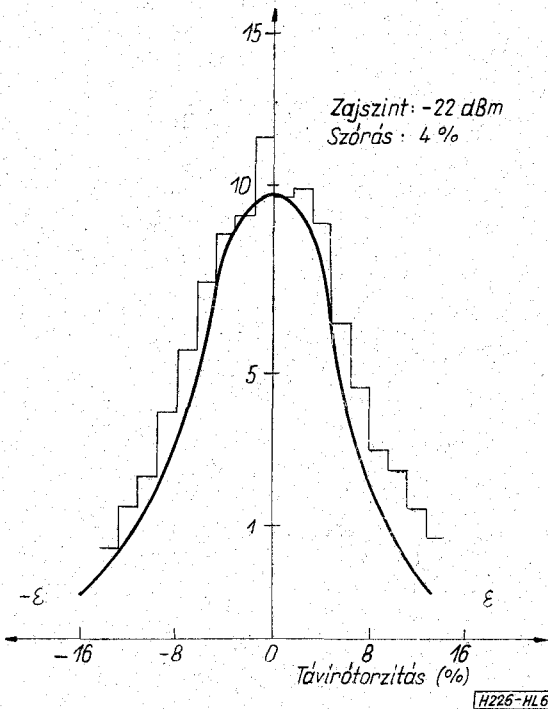
Esetünkben  $\bar{\epsilon}$ , a véletlen távírótorzítás várható értéke nullával egyenlő, így fenti összefüggéseink egyszerűsödnek.

A leírt eljárás alkalmazásával határoztuk meg a különböző  $\sigma$  értékekhez tartozó sűrűségfüggvényeket, és ezzel helyettesítettük a hisztogramokat. A Gauss-sűrűségfüggvény jól illeszkedett hisztogramunkhoz, így a normális eloszlásra vonatkozó hipotézisünket elfogadjuk.

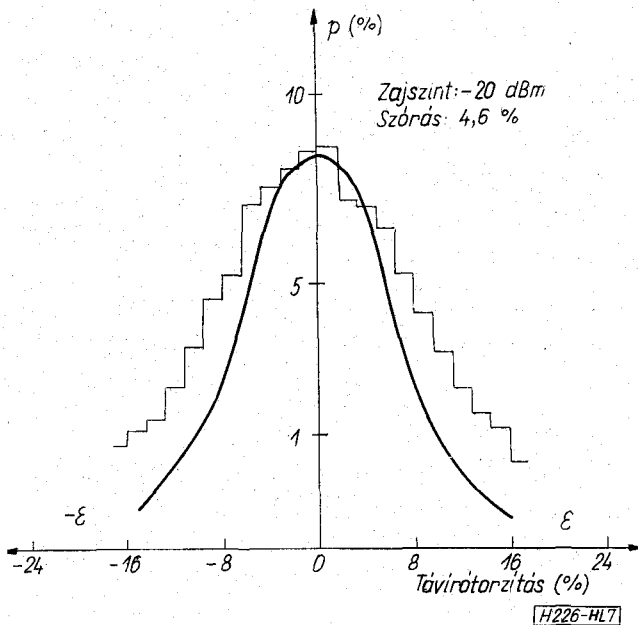
A szórások ismeretében az  $\epsilon_k = 4,417\sigma$  összefüggés segítségével meghatározhatjuk a különböző zajszinteken mérhető konvencionális torzítási fok értékét 1 : 1 vizsgálójelek esetében.

Eredményül a következőket kapjuk:

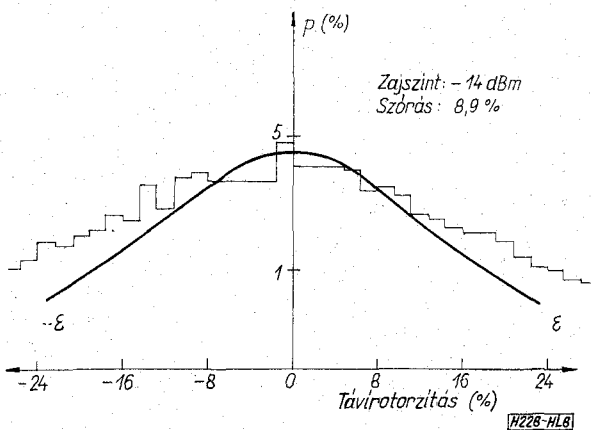
Zajszint (dBm)	Konvencionális torzítás foka (%)
-14	39,4
-20	21



6. ábra. Véletlen távírótorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye, 1:1 arányú vizsgálójellel mérve



7. ábra. Véletlen távírtorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye, 1:1 arányú vizsgálójellel mérve

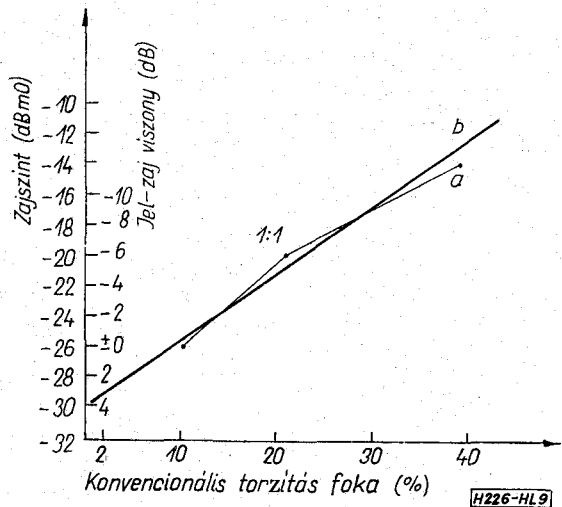


8. ábra. Véletlen távírtorzítás valószínűségi sűrűségfüggvénye, 1:1 arányú vizsgálójellel mérve

szeres változását idézi elő. A 9. ábrán a zajszint és a konvencionális torzítási fok összefüggését tüntettük fel. Az ábra alapján az alábbi két következtetést kell levonnunk:

- az adott feszültség-, illetve torzítástartományon belül a zajfeszültség effektív értéke a konvencionális torzítás fokának lineáris függvénye;
- a  $-30$  dBmO zajszint alatti zajfeszültség gyakorlatilag nem befolyásolja a rendszer konvencionális torzítási fokát. Ezt a zajszintet nevezzük „megszólalási zajszint”-nek, és jelöljük  $\alpha_k$ -val.

Vizsgáljuk meg a kapott eredményeinket a vonatkozó CCITT ajánlások figyelembevételével. A CCITT M. 102 ajánlása  $4$  pW/km tipikus közepes zajteljesítményt enged meg a váltakozó áramú távírtorzításra, illetve adatátvitelre felhasznált távbeszélő áramkörön.  $2500$  km-es referenciaáramkör esetén az eredő zajszint  $-50$  dBmO, illetve  $-57$  dBmOp. A CCITT R. 35. ajánlásának megfelelő  $24$  csatornás FM-VT csatornánkénti adószintje  $-22,5$  dBmO. A jel/zaj



9. ábra. A jel-zaj viszony és a konvencionális torzítási fok közötti összefüggés

távolság ebben az esetben  $27,5$  dB (e helyen meg kell jegyeznünk azt, hogy a jel/zaj távolságot nem azonos sávzsélességben definiáltuk, és így a valóságos jel/zaj viszony meghatározásához a zajteljesítményt a távíró-csatorna sávzsélességére kellene átszámítanunk).

Méréseink során a vizsgált csatorna adószintjét  $-28$  dBmO értékre állítottuk be. Előzőekben megállapítottuk, hogy a  $-30$  dBmO =  $\alpha_k$  megszólalási zajszintnél kisebb zaj gyakorlatilag nem befolyásolja a távírócsatorna konvencionális torzítási fokát.

Ebben az esetben a jel/zaj viszony  $4$  dB. Elvileg tehát rendelkezésre áll  $23,5$  dB jel/zaj távolság, ami azt jelenti, hogy a csatorna adószintjét jelentősen lehetne csökkenteni. A fenti érték első közelítésben igen kedvezőnek látszik, de véleményünk kialakításához vizsgáljuk meg a következőkben a konvencionális torzítási fok zajszinttől való függését start-stop vizsgáló jelek esetében.

### 5. QS9 vizsgálójelekkel mért véletlen start-stop torzítás valószínűség-eloszlásának változása a jel-zaj viszony függvényében

A mérés során a 113. csatornán a CCITT R. 51. ajánlásának megfelelő QS9 jelet vittünk át (1. a 2. ábrát). Az alkalmazott jeladó kvarcvezérlésű alaposzcillátort tartalmaz, így a modulációs sebesség eltéréseiből adódó távírtorzítást elhanyagolhatjuk. A Telefongyár gyártmányú BT-24 F típusú FM-VT csatorna vevőjének helyi köréhez start-stop torzításmérőt, illetve azzal párhuzamosan kapcsolt start-stop torzításjelzőt csatlakoztattunk. A start-stop torzításjelző négy kimenetéhez impulzusszámlálót (Siemens Tmse 103 e) csatlakoztattunk és mértük:

- az átvitt jelváltások számát,
- a beállított torzítás értékét túllépő jelváltozások számát,
- az átvitt karakterek számát,
- a beállított torzításküszöböt túllépő karakterek számát.

Méréseink során az alábbi empirikus értékeket határoztuk meg a zajszint, illetve a jel/zaj viszony változásának függvényében:

a beállított torzításküszöbhez tartozó — jelváltozásokra vonatkoztatott — túllépési relatív gyakoriságot, a beállított torzításküszöböt túllépő karakterek gyakoriságát.

A mérés pontosságát — mint azt a 8. fejezetben látni fogjuk — a regisztrált túllépések számának ismeretében meghatározhatjuk.

*A beállított torzításküszöböt túllépő (egy karakterre eső) jelváltások átlagos számának változása*

A 10., illetve 11. ábrán a jelváltozásokra, valamint a karakterekre vonatkozó torzítástúllépési valószínűségeket tüntettük fel. Az ábrákon Gauss-papírt alkalmaztunk, amelynek felhasználása egyben normalitásvizsgálatot jelent. Görbéink jól közelíthetők egyenesekkel, így a torzításeloszlás Gauss-eloszlás-családba tartozik.

Határozzuk meg a következőkben — QS9 vizsgálojelek alkalmazásakor — a konvencionális torzítási fok értékeit különböző zajszintek esetében. Ehhez vegyük figyelembe az alábbi összefüggésünket:

$$1 - \Phi(z) = p_{ei}$$

amiből

$$1 - p_{ei} = \Phi(z), \text{ és}$$

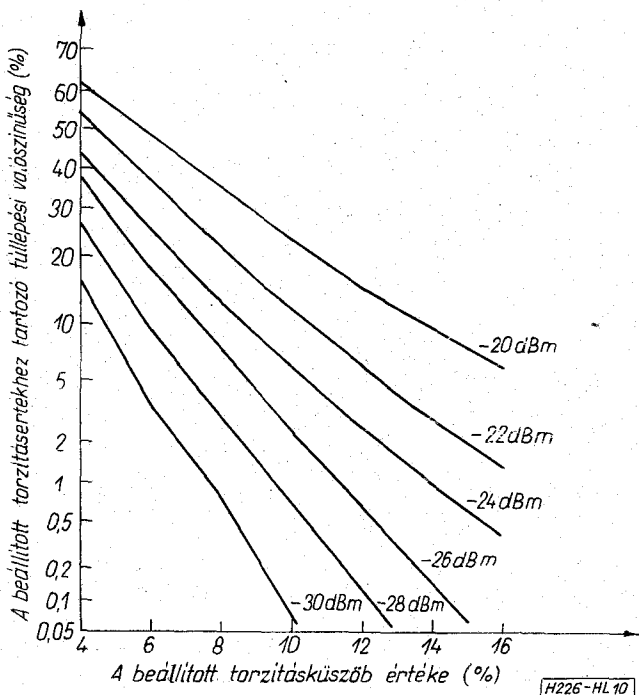
ahol

$$z = \frac{\epsilon_i}{\sigma}$$

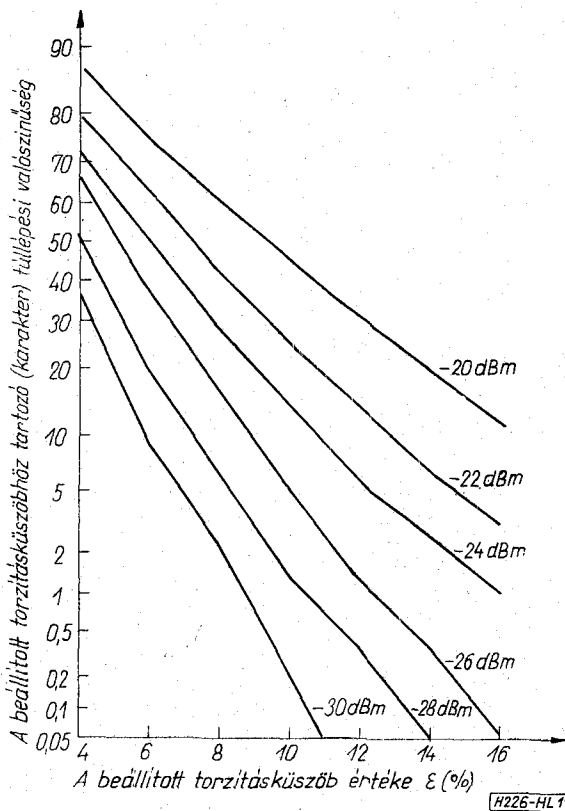
A konvencionális torzítási fok definíciója szerint Gauss-torzításeloszlás esetén

$$\frac{\epsilon_i}{\sigma} = 4,417.$$

A mérés során rögzített zajszintek mellett, 4, 6, 8, 10, 12, 14 és 16% torzításküszöb esetén meghatároz-



10. ábra. Jelváltásokra vonatkozó, különböző torzításküszöbökön mért túllépési valószínűségek



11. ábra. Karakterekre vonatkozó, különböző torzításküszöbökön mért túllépési valószínűségek

tuk a túllépési relatív gyakoriságokat, illetve valószínűségeket. Meghatároztuk a  $p_{ei}$  (4%)... $p_{ei}$  (16%) értékeket. Ennek ismeretében kiszámíthatók

$$1 - p_{ei} = \Phi(z) \text{ értékei.}$$

$\Phi(z, 4\%) \dots \Phi(z, 16\%)$  értékeinek ismeretében a hibaintegrál táblázatból meghatároztuk a  $z(4\%) \dots z(16\%)$  értékeket. Ebből kiszámíthatók rögzített zajszint mellett a  $\sigma(4\%) \dots \sigma(16\%)$  szórásértékek. Mint azt már a 3. fejezetben említettük, a különböző torzításküszöbök beállítása után mért, illetve számított  $\sigma$ -értékek rögzített zajszintekre vonatkoznak (csatorna adószint  $-26 \text{ dBmO}$ ).  $\sigma_i$ -t valószínűségi változóknak tekintjük, és meghatározzuk várható értékét.

A következőket írhatjuk tehát:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_i,$$

és az így kapott  $\bar{\sigma}$  számértékből határozzuk meg a konvencionális torzítási fok értékét rögzített zajszinten.

Különböző zajszintek esetén a szórásokia, illetve a konvencionális torzítási fok értékeire az alábbi eredményeket kaptuk:

Zajszint [dBm0]	Jel-zaj távolság [dB]	(%)	Konv. torz. foka (%)	
			QS9	1:1
-20	-6	8,4	37	21
-22	-4	6,4	28	17,7
-24	-2	5,6	24,5	13,5
-26	0	4,8	21	10,5
-28	2	3,6	16	—
-30	4	2,8	12	—

A megszólalási zajszint start—stop jelek esetén  $-36$  dBmO. Ez az érték 6 dB-lel kisebb, mint 1 : 1 vizsgálójelek esetében. Ennek megfelelően a megszólalási zajszinten a jel/zaj viszony QS9 jelek esetén 10 dB (ellentétben az 1 : 1 vizsgálójelekkel kapott 4 dB értékkel). A CCITT szélessávú zajra vonatkozó előírása  $-50$  dBmO, és egy távírócsatorna adószintjének maximális értéke nem lépheti túl a  $-22,5$  dBmO értéket. Ez, mint korábban már említettük, 27,5 dB jel/zaj viszonyt jelent. QS9 vizsgálójelek esetén tehát a jel/zaj viszonyt 17,5 dB értékkel lehetne csökkenteni, és még így sem csökkenne az előírt 10 dB alá.

6. 8% start—stop torzítás túllépési valószínűségének vizsgálata

A CCITT R. 35. ajánlása egyszakaszos VT összeköttetések] start—stop torzítására maximálisan 8% értéket enged meg. Méréseink során megvizsgáltuk, hogy a zajszint, illetve a jel/zaj viszony változásának függvényében hogyan változik a 8% start—, stop torzítás túllépési valószínűsége jelváltásokra, illetve karakterekre [jelszint  $-26$  dBmO].

Eredményül a következő értékeket kaptuk :

Zajszint [dBmO]	Túllépési valószínűség jelváltásokra	Túllépési valószínűség karakterekre
-18	0,418	0,791
-21	0,291	0,621
-22	0,206	0,402
-24	0,144	0,364
-27	$3,87 \cdot 10^{-2}$	$1,14 \cdot 10^{-1}$
-28	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$
-30	$8,8 \cdot 10^{-3}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$
-33	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$
-36	$3,6 \cdot 10^{-4}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$
-39	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$6,5 \cdot 10^{-4}$

7. Hibaaránymérés

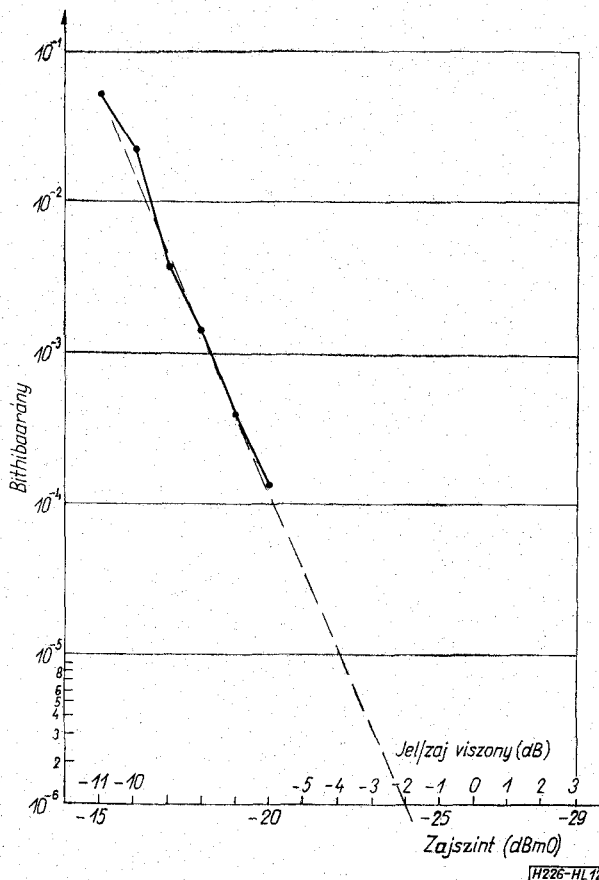
A CCITT R. 54 ajánlásának megfelelően hibaarány-mérést végeztünk különböző zajszintek esetén a 113. FM—VT csatornában, a CCITT V. 52 ajánlásának megfelelő 511 bit hosszúságú álvéletlen jelsorozattal.

Az alábbi eredményeket kaptuk :

Zajszint (dBmO)	Átvitt blokkok száma	Hibás bitek száma	Bithibaarány
-15	46	4022	$5,3 \cdot 10^{-2}$
-16	46	172	$2,3 \cdot 10^{-2}$
-17	72	148	$4 \cdot 10^{-3}$
-18	150	115	$1,5 \cdot 10^{-3}$
-19	596	114	$3,7 \cdot 10^{-4}$
-20	1747	117	$1,3 \cdot 10^{-4}$
-21	3110	8	—

A bithibaarány zajszinttől való függését a 12. ábrán láthatjuk.

A CCITT R. 54 ajánlása egy távíróösszeköttetés megengedhető legnagyobb hibaarányára (perifériák nélkül)  $1 \cdot 10^{-5}$  értéket enged meg.



12. ábra. A bithibaarány és a jel—zaj viszony közötti összefüggés

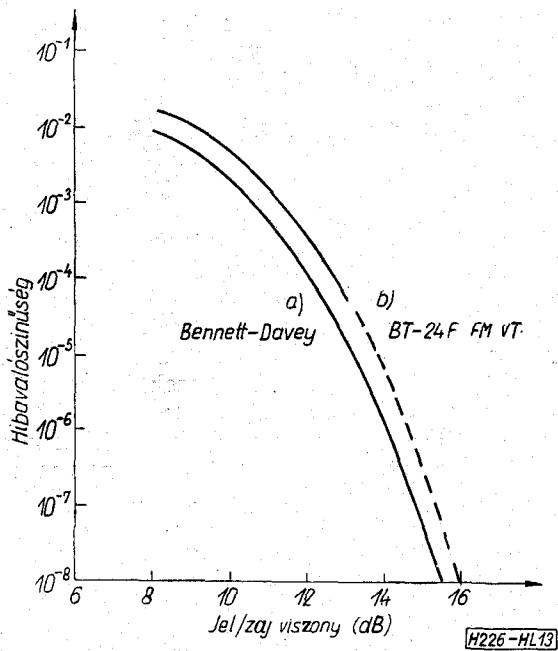
A 12. ábrának megfelelően, ha a zajszint nem haladja meg a  $-22$  dBmO értéket, akkor a hibaarány várhatóan jobb, mint  $10^{-5}$ . QS9 vizsgálójelek esetében a megszólalási zajszintre  $-36$  dBmO értéket kapunk. Ez azt jelenti, hogy a megszólalási zajszintnél kisebb zaj esetén a hibaarányra vonatkozó előírás automatikusan kielégíthető.

Kapott eredményeinket hasonlítsuk össze a irodalomban [2. 189. oldal] fellelhető adatokkal. A 13. ábrán a bithibavalószínűség változását tüntettük fel FM-rendszerben, Gauss-zaj jelenlétében. Az a) ábra (Bennett—Davey) számítógépes kiértékelés eredményeit mutatja. A hibavalószínűséget az FM-jel teljesítményének és az  $f_v$  körüli  $f_0=1/T_0$  szélességű sávba eső additív Gauss-zaj teljesítményátlagának segítségével definiált jel/zaj viszony függvényében ábrázoltuk.  $T_0$  az elemi jel hossza.

Az ábrán látható b) görbe az általunk végzett mérések eredményeit mutatja. Az ábra felrajzolásához a zajteljesítményt az  $f_0=1/T_0$  sáv szélességre vonatkoztattuk az összehasonlíthatóság céljából. A két mérés között kb. 0,5 dB jel/zaj viszony eltérés található.

Tekintettel arra, hogy 50 dB modulációs sebességen elfogadható megbízhatósági szintű hibaarány-mérés (az üzemi viszonyoknak megfelelő jel/zaj viszony esetén) időben irreálisan hosszú lenne, az ábrából szeretnénk a hibaarányra extrapolálni. A jelenlegi zaj-, illetve kimenőszintre vonatkozó ajánlások szerint a névleges jel/zaj viszony 27,5 dB. Ha a megengedett zajszintet az  $f_0=1/T_0$  sáv szélességre vo-





13. ábra. A bithibavalószínűség és a jel-zaj viszony közötti összefüggés

natkoztatjuk, akkor a jel/zaj viszony értéke 43,5 dB. Tekintsük most ábránkat, és vizsgáljuk a kedvezőtlenebb, *b*) jelű görbét. Látható, hogy 16 dB esetén a bithibaarány értéke  $10^{-8}$ . Ha tehát az FM-VT csatorna bithibaarányára  $10^{-8}$  előírást teszünk, akkor a csatorna adószintjét 27,5 dB-lel lehetne csökkenteni.

E helyen még egyszer hangsúlyozzuk, hogy a leírak csak Gauss-zaj jelenlétében tekinthetők igaznak!

## 8. A mérés megbízhatósága

Legyen  $p$  a távírócsatorna elméleti bithiba-valószínűsége és  $p_s$  a torzításküszöb túllépési valószínűsége. Nagy elemszám, illetve sok átvitt bit és regisztrált túllépési szám esetén a  $h$  bithibaarány, illetve a  $t$  torzítástúllépési gyakoriság jól közelíti a megfelelő valószínűségeket.

Annak érdekében, hogy képet kapjunk az eltérés nagyságáról, szükséges egy olyan felső és alsó határ megadása, hogy az ismeretlen  $p$  bithiba-valószínűség, valamint a torzítástúllépési valószínűség  $p_s$  — nagy valószínűséggel — ezen határokon belül legyen. Más szóval olyan  $(\alpha_1, \alpha_2)$  intervallumot keressünk, ami bizonyos értelemben nagy valószínűséggel tartalmazza  $p$  és  $p_s$  valódi értékeit:

$$P(\alpha_1 \leq p \leq \alpha_2) = 1 - \eta$$

ahol  $\eta$  kicsiny szám. Számításainkat továbbiakban csak a  $p$  bithiba-valószínűsége végeztük el, ugyanis a kapott eredmények a  $p_s$  torzításküszöb túllépési valószínűsége számításának esetében is minden változtatás nélkül felhasználhatók. Itt  $\alpha_1$  és  $\alpha_2$  nem állandók, és konkrét értéküket az átvitt bitek  $n$  számából állapítjuk meg.

Az  $(\alpha_1, \alpha_2)$  intervallumot a  $p$  hibavalószínűsége vonatkozó  $(1 - \eta)$  megbízhatósági szintű konfidencia-intervallumnak nevezzük. A konfidencia-intervallu-

mot — adott megbízhatósági szint mellett — a min-tanagyság növelésével szűkíthetjük, de  $n$  növelésével elég lassan,  $\sqrt{n}$ -nel arányosan csökken.

Vezessük be a mérés során elkövetett relatív hibát,  $\gamma$ -t, amely definíció szerint

$$\gamma = \frac{p_0 - h}{h},$$

ahol [1] szerint

$$p_0 = h + \frac{u_\eta}{n} \sqrt{h(1-h)},$$

a konfidenciaintervallum felső vége, ekkor a következőt írhatjuk:

$$\gamma = \frac{u_\eta}{h \cdot \sqrt{n}} \sqrt{h(1-h)},$$

$$\gamma^2 = \frac{u_\eta^2 (1-h)}{h \cdot n}, \text{ amiből}$$

$$n = \frac{u_\eta^2}{\gamma^2} \cdot \frac{(1-h)}{h}.$$

Torzítástúllépés esetén a következőt írhatjuk:

$$n = \frac{u_\eta^2}{\gamma^2} \cdot \frac{(1-t)}{t}.$$

$\eta$  és  $u_\eta$  között az alábbi összefüggés áll fenn:

$$1 - \eta = 2\Phi(u_\eta) - 1.$$

Ennek alapján a normális eloszlás táblázatából leolvasható adott  $u_\eta$ -hoz tartozó  $\eta$ , ill. adott  $\eta$ -hoz visszakereséssel megállapítható  $u_\eta$ .

Határozzuk meg a bithibaarány-mérésünk pontosságát. Tekintsük a legkedvezőtlenebb esetet. —20 dBmO zajsint esetén 117 hibát regisztráltunk. Az átvitt bitek száma  $1747 \times 511$ , és az ebből nyert bithibaarány  $1,3 \cdot 10^4$  értékre adódott. Számításainkat 95%-os konfidenciaszintre végezzük. Ekkor a relatív hibára 18% értéket kapunk. 68,26%-os konfidenciaszinten mérésünk relatív hibája 9%. Azt mondhatjuk tehát, hogy a  $8,93 \cdot 10^5$  átvitt bit alapján meghatározott  $1,3 \cdot 10^{-4}$  bithibaarány 95,4%-os biztonsággal az elméleti bithiba-valószínűség 9%-os környezetében helyezkedik el.

Vizsgáljuk meg ezután a torzítástúllépési gyakoriságra vonatkozó méréseink megbízhatóságát a fenti gondolatmenet alkalmazásával. Határozzuk meg a 8%-os start-stop torzítás — jelváltozásokra vonatkozó — túllépési gyakoriságát. —39 dBmO esetén  $1,8 \cdot 10^{-4}$  túllépési gyakoriságot nyertünk. E mérés során  $6,9 \cdot 10^5$  elemi jelet vittünk át, és közben 127 túllépést regisztráltunk.

Határozzuk meg a mérés relatív hibáját 95%-os konfidenciaszint esetén. A relatív hibára szintén 18%-ot kapunk eredményül.

A konvencionális torzítási fok meghatározása során — fenti összefüggéseink ismeretében — minden egyes torzításküszöb esetén legalább 100 túllépésszám bekövetkezéséig folytattuk a mérést.

## 9. Összefoglalás

A mérés során nyert eredményeink birtokában az alábbi megállapításokat tehetjük:

- Gauss-zaj jelenlétében, a VT-csatorna véletlen távirótorzításának eloszlásfüggvénye Gauss-eloszlásfüggvénnyel jellemezhető, és a jel/zaj viszony, illetve a konvencionális torzítási fok között lineáris kapcsolat áll fenn;
- abban az esetben, ha a VT alapáramkörül szolgáló távbeszélő-alapáramkörben a zajszint nem lépi túl a  $-36$  dBmO, ún. megszólalási zajszint értékét (a jel/zaj távolság a definiált körülmények között 10 dB), akkor a rendszer gyakorlatilag érzéktelen a zajszint változására. Ezzel egyidejűleg teljesül a hibaarányra vonatkozó követelmény is;
- kapott eredményeink ismertetében a csatornánkénti adószint a minőségi jellemzők elhanyagolható mértékű változása mellett, 24 csatornás, 50 Bd sebességű FM—VT-k esetében  $-28,5$  dBmO értékre csökkenthető. Ez 6 dB szintcsökkentést jelent, és ebben az esetben a 24 csatornás FM—VT rendszer által a vonalra adott eredő átlagteljesítmény nem haladja meg a  $34 \mu\text{WO}$  ( $-14$  686

dBmO) értéket. Ez az érték jól közelíti a beszéd  $32 \mu\text{WO}$  átlagteljesítményét.

A szintcsökkentés csak a jelenlegi ajánlásoknak megfelelő távbeszélőcsatornán üzemelő, modern FM—VT berendezések alkalmazása esetén javasolható.

Fenti megállapításaink ellenére nyilvánvaló, hogy a valóságos áramkörben fellépő és esetünkben figyelmen kívül hagyott, elsősorban sztochasztikus jellegű zavartatások miatt eredményeink korrekcióra szorulnak. Az eltérések nagyságának becslésére csak valóságos VT összeköttetéseken végzett mérések eredményeinek ismeretében vállalkozhatunk. Emiatt a következőkben egyrészt a VT összeköttetések alapáramkörül szolgáló valóságos vivőáramú távbeszélőcsatornán, másrészt a gyakorlatnak megfelelő körülmények között üzemelő FM—VT csatornán méréseket fogunk végezni.

## I R O D A L O M

- [1] Vineze I.: MATEMATIKAI STATISZTIKA ipari alkalmazásokkal
- [2] Bennett and Dawey: DATA TRANSMISSION. Mc Graw-Hill Book Company, (102—103. old., 189. oldal)
- [3] Rényi A.: VALÓSZÍNŰSÉGSZÁMÍTÁS. Tankönyvkiadó, 1966. (144. old.)