

Bináris alapsávi jelek átvitele sávszűrő jellegű és frekvencia eltolást is okozó vonalakon

ETO 621.372.543.2:621.395.38.681.327.8

Az adatátvitel növekvő mennyiségi és minőségi igényei szükségessé tették olyan modulációs eljárások kidolgozását, amelyek lehetővé teszik soros bináris információ átvitelét, megfelelő sebességgel és hibarárányal, a már meglévő távbeszélő-vonalakon.

A feladat megfogalmazása

A távbeszélő-vonalak tulajdonságait az adatátviteli eljárások és berendezések kialakításakor figyelembe kell venni. Ezek közül a legfontosabbak:

- a sávszűrő jellegű átviteli karakterisztika,
- az FDM berendezések okozta frekvenciaeltolás,
- a csoportfutási idő torzítás,
- a különféle eredetű és típusú zajok.

A felsorolt tulajdonságok közül az első kettő hatását részletesebben megvilágítjuk.

Sávszűrő jellegű csillapítás-karakterisztika

Az adatátvitel véletlenszerű bináris információ átvitelét jelenti. Ha feltételezzük, hogy az információforrás egyenlő időközönként bocsát ki egy-egy információs bitet, és megvizsgáljuk jelsorozatspektrumát, azt találjuk, hogy az igen kis frekvenciájú komponenseket is tartalmaz.

Határesetben, ha igen hosszú ideig bináris 1, ill. bináris 0 a kibocsátott jel, akkor az egyenáramú komponens a legnagyobb energiájú. Ilyen esetben tehát az átvitel aluláteresztő karakterisztikát követelne meg (ilyen tulajdonságúak a digitális átviteli csatornák: telex, datex).

Sávszűrő jellegű csatorna esetén biztosítani kell, hogy az átviendő jeltől függetlenül mindig elegendő energia jusson az átviteli sávba.

Az FDM berendezések okozta frekvenciaeltolás

Mint ismeretes, a nagy távolságú távbeszélő-átvitelben a kábelek jobb kihasználása érdekében frekvenciamultiplex (FDM) berendezéseket használunk, így több távbeszélő-összeköttetés létesíthető egy csatornán.

Az FDM-berendezések adó-, ill. vevőoldali oszcillátorai nincsenek szinkronizálva. Ez azt jelenti, hogy vagy azonos frekvencián működnek, de nem azonos fázisban, vagy a frekvenciájuk is eltér egymástól. A frekvenciaeltérés megengedhető mértékét nemzetközi ajánlások határozzák meg.

Ha alapsávi jeleket ilyen tulajdonságú vonalakon kívánunk továbbítani, olyan eljárást kell kialakítanunk, amely elegendő energiát juttat az átviteli sávba a vételoldali detekció viszonylag egyszerűen megvalósítható, megfelelő átviteli sebességet biztosít és nem túlságosan érzékeny a torzításokra sem.

Az alapsávi jelek amplitúdó szerinti detektálása esetén a frekvenciaeltolás jelensége az átvitelt teljességgel lehetetlenné teszi, mint ezt később kimutatjuk.

Az ismert modulációs eljárások a fenti feltételeket teljesítik, ugyanis a moduláció során a vivőjel frekvenciájára szimmetrikus oldalsávokba transzformálják az alapsávi spektrumot.

Az általunk kidolgozott eljárás modulációs technika alkalmazása nélkül oldja meg a problémát úgy, hogy az alapsávi jelet olyan más alapsávi jellel kódolja át, amelynek spektruma megfelel az említett követelményeknek, és a vételoldalon olyan eljárást alkalmaz az jeldetekcióhoz, amely a frekvenciaeltolódásra és az egyéb torzításokra kevésbé érzékeny.

Kódolás

Az első feladat, ha a bináris jelsorozatot sávszűrő jellegű vonalon kívánjuk átvinni, a spektrális követelmények kielégítése. Az általunk választott megoldás a megfelelő szabályok szerinti kódolás.

A kódolási szabályok kiválasztását a vonalak tulajdonságai és az átvitel minőségi követelményei (bit-hibaarány) szabják meg.

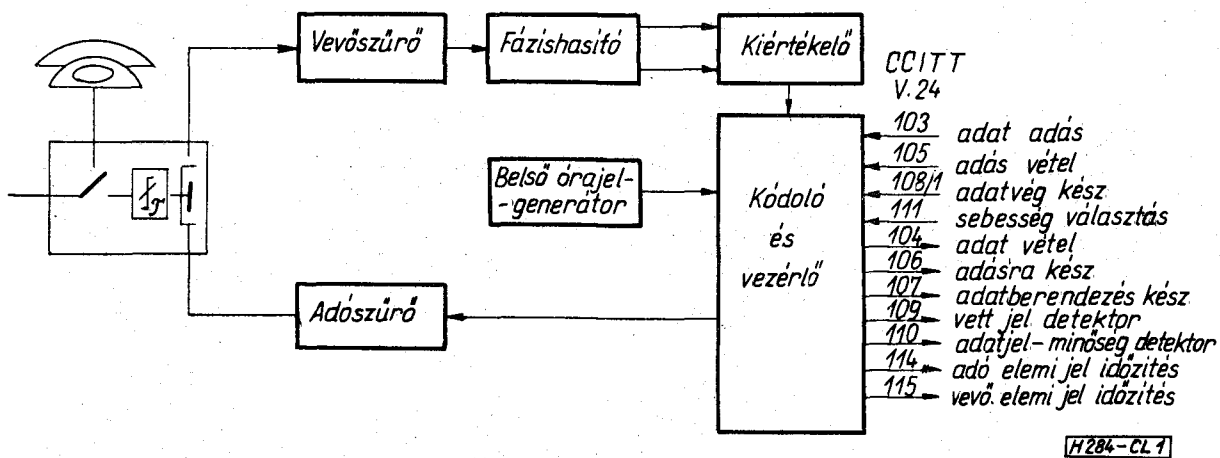
A kódolási szabály megválasztásának alapja a rendelkezésre álló frekvenciasáv szélessége, ill. az alsó és felső frekvenciahatár viszonya. Ezek ismeretében mindig kétféle módon választható meg a kódoló:

- a) blokk kódoló,
- b) folyamatos kódoló.

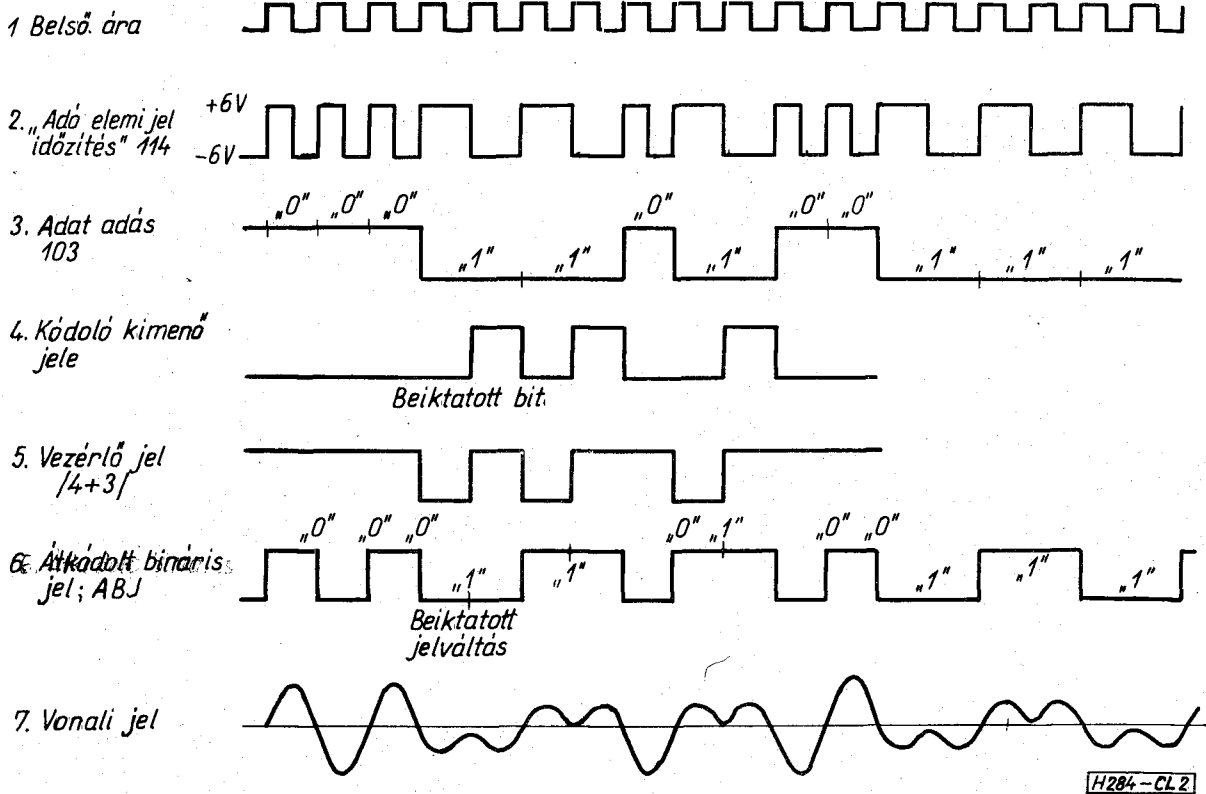
Az a) esetben az információforrás korlátozott számú (pl. 5) információs bitet szolgáltat egy-egy kiolvasás során, a kódoló ezekhez rendel hozzá egy-egy új blokkot, amelyek mindegyike azonos számú és az eredeténél több bitet (pl. 8-at) tartalmaz úgy, hogy ezen új blokkok — bármely sorrendben való — egymás utáni megjelenése esetén a soros bináris jelsorozat spektruma kielégítse a követelményeket.

A b) esetben a kódoló az információt bitről bitre olvassa ki a forrásból, és a kiolvasott információs bit logikai értéke alapján végzi a kódolást.

Mivel a folyamatos kódoló egyszerűen megvalósítható úgy, hogy az elkészített berendezés adatvégbereendezés oldali felülete (néhány megszorítástól el-



1. ábra



2. ábra

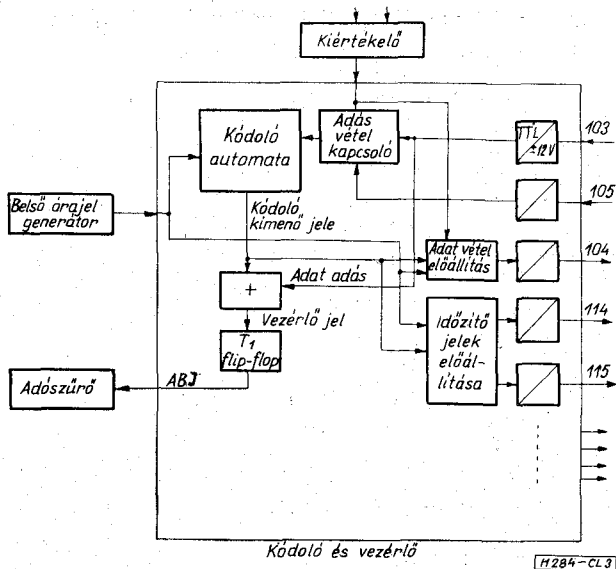
tekintve) megegyeznek a CCITT V. 24. ajánlásával, a megvalósított berendezés folyamatos kódolóval működik.

A folyamatos kódoló működését az 1., 2. és 3. ábrán tekinthetjük át.

A belső órajelgenerátor egyenletes időközönként működteti a kódolót. Az adat-végberendezés órajelét a belső órajelből származtatjuk. Amíg az adat adás (103) bináris 0 jelek sorozata, a kódoló nem avatkozik a berendezés kimenő jelének, az ABJ-nek előállításába. Ekkor a kimenő jel belső óra frekvenciájú jelváltások sorozata. Amikor az adat adás jel bináris 1 értékre vált, egyrészt az adó elemi jel időzítés

periódusideje kétszereződik, így a következő belső órapériódus után a berendezés nem olvassa ki a következő adatbitet, másrészt a következő mintavételi időpontban az ABJ-ben jelkövetkezés lép fel, és ezzel egyidejűleg a kódoló jelzi, hogy ún. beiktatott jelváltás létrehozása szükséges az ABJ-ben. A jelkövetkezés után beiktatott jelváltás hivatott tehát a spektrális követelményeket biztosítani ennél a kódolási szabálynál, mivel így két jelkövetkezés soha nem léphet fel egymás után.

A végberendezéssel szemben ez az eljárás azt a követelményt támasztja, hogy ne érzékelje a berendezés szolgáltatja órajelek egymást követő felfutó



3. ábra

élei közti időt, amely függ az előző adatbit értékétől. Ez a korlátozás azon adat-végberendezések működését, amelyek a MODEM órajeleivel működnek, nem érinti.

Az átkódolt bináris jel vonali szűrő (adósűrítő) közbeiktatásával jut az átviteli vonalra.

A kódolási szabályok definíciója

A fentiek alapján általánosíthatjuk a kódolási szabályokról mondottakat.

Az átkódolt bináris jel (ABJ) jelváltások, jelkövetkezések, beiktatott jelváltások és esetleges beiktatott jelkövetkezések sorozata.

A kódolási szabály az a törvényszerűség, amely szerint a bináris 1, ill. 0 adatjelekhez a fenti eseményeket hozzárendeljük.

Legyen pl. az alábbi megállapodás érvényes: minden logikai 0 értékű adatjelhez egy jelváltás tartozik az ABJ-ben, minden logikai 1 értékű adatjelhez egy jelkövetkezés tartozik az ABJ-ben.

Ezek után a kódolási szabályok egy könnyen megvalósítható esete a következő törvényszerűségekkel jellemezhető:

1. hány beiktatott jelváltás követi a logikai 0-hoz tartozó jelváltást (ez a szám nulla is lehet);
2. a logikai 1-hez tartozó jelkövetkezést hány újabb jelkövetkezés követheti beiktatott jelváltások közbeiktatása nélkül;
3. az előzőleg definiált számú, egymást követő következést hány beiktatott jelváltás követi;
4. az egymást követő logikai 0-ákhoz tartozó jelváltások száma korlátozott-e, ha igen, ez a korlát és a sorozatot megszakító beiktatott következések száma mekkora.

A kódolási szabályok szemléletes jelölésére vezetünk be a következő jelöléseket:

bináris 0 adatjelet reprezentáló jelváltás	V,
bináris 1 adatjelet reprezentáló következés	K,
beiktatott jelváltás	v,

beiktatott következés k,
az egymást folyamatosan követő K-k legnagyobb száma N.

Ezzel a jelöléssel példaként definiálhatjuk azt a hatféle kódolási szabályt, amelyet a realizált, telefonvonalakon való átvitelre tervezett berendezés megvalósíthat (a fent tárgyalt példa az 1-es kódolási szabály).

1. szabály	0	V
	1	Kv
2. szabály	0	Vv
	1	Kv
3. szabály	0	Vv
	1	Kvv

A 4., 5., 6. kódolási szabály az 1., 2., 3. olyan változata, amelyben hét váltást egy beiktatott következés és annyi beiktatott váltás követ, ahányat a kódolási szabály meghatároz.

Minden fenti szabályra $N = 1$.

A kódolási szabály megválasztása

A fentiek alapján hogyan határozható meg egy adott sávzélességű vonalhoz alkalmazandó kódolási szabály és belső órajel frekvencia?

1. A bitidőt, ezen keresztül azt a frekvenciát, amely folytonos váltások sorozatával keletkezik, a rendelkezésre álló sáv közepes frekvenciájából kell meghatározni.

2. A beiktatott váltások számát a rendelkezésre álló frekvenciasáv alsó és közepes frekvenciája viszonyából kell meghatározni.

A beiktatott váltások számának növelésével csökkenthető az adatátviteli sebesség, és rosszabb minőségű vonalokon is lehet átvitelt biztosítani.

3. Az egymás után megengedett következések száma a rendelkezésre álló sáv alsó határának abszolút értéke és a közepes frekvencia határozza meg. Pl. felül áteresztő karakterisztikájú és frekvencia-, valamint fázishiba-mentes vonal esetén N értéke bármekkora lehet.

A jeldetekció

Amint megmutatjuk, a vonalak torzító hatásai miatt a vett jel közvetlen kiértékelése lehetetlen. A kiértékelést az analitikus jel előállítása teszi lehetővé.

Az analitikus jel

Az analitikus jel fogalmát Gábor és Ville [1] vezette be. Az analitikus jel általánosítása az ismert $e^{j\omega t}$ kifejezésnek, amelyet előnyösen használunk, a $\cos \omega t$, ill. $\sin \omega t$ kifejezés helyett [2].

Melyek az $e^{j\omega t}$ kifejezés tulajdonságai?

Legyen $u = t + j\theta$, és vizsgáljuk az $e^{j\omega u}$ komplex változós függvény tulajdonságait:

1. az $e^{j\omega u}$ függvény az u változó analitikus függvénye az egész síkban, így a felső félsíkban is;
2. a függvény valós és képzetes része a valós tengelyen ($u = t$) ortogonális;

3. az $1/2\pi d/dt(\arg z^{(u)}) = f$ konstans, ez a periodikus jel frekvenciája.

Legyen ezek után $x(t)$ olyan időfüggvény (a berendezés kimenő jele), amelynek véges az energiája,

vagyis $\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt$ létezik és véges. Ekkor az $x(t)$ -hez egy

valós $y(t)$ időfüggvényt rendelhetünk – amelynek ugyanúgy véges az energiája, mint $x(t)$ -nek – úgy, hogy a $z(u) = x(u) + jy(u)$ függvény az $u = t + j\theta$ komplex változónak analitikus függvénye, a felső fél síkban.

A valós t időtengelyen $x(t)$ -t és $y(t)$ -t az ún. Hilbert-transzformáció rendeli össze, vagyis ha ismerjük

$x(t)$ -t, akkor $y(t)$ -t az $\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau$ intergrál Chauchy-

féle főértéke határozza meg és viszont. Ha pl. $x(t) = \cos \omega t$, akkor $y(t) = \sin \omega t$ és $z(t) = e^{j\omega t}$. Az $x(t) + jy(t)$ függvényt $z(t)$ -vel jelöljük, és analitikus jelnek hívjuk.

Vizsgáljuk az analitikus jel és az ún. kvadratúra komponenseinek $x(t)$ -nek és $y(t)$ -nek tulajdonságait.

1. Mindkettő energiája ugyanaz:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} y^2(t) dt.$$

2. A függvények ortogonálisak:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot y(t) dt = 0.$$

3. A spektrumaik közti összefüggés az alábbi:

$$\begin{aligned} Y(\omega) &= -jX(\omega), & \text{ha } \omega < 0, \\ Y(\omega) &= jX(\omega), & \text{ha } \omega > 0. \end{aligned}$$

A fentiek következménye, hogy a $z|t|$ analitikus jel spektruma:

$$\begin{aligned} Z(\omega) &= 0, & \text{ha } \omega > 0, \\ Z(\omega) &= 2X, & \text{ha } \omega < 0. \end{aligned}$$

4. A frekvencia általánosítása:

$$f(t) = 1/2 \pi d/dt(\arg z(t)) = 1/2 \pi d/dt \Phi(t),$$

ahol $\text{tg } \Phi(t) = y(t)/x(t)$. Az $f(t)$ függvényt pillanatnyi frekvenciának nevezzük.

Ha pl. $x(t) = \cos \omega t$ és $y(t) = \sin \omega t$, $f(t)$ az $f = \omega/2\pi$ frekvencia.

A fent definiált analitikus jel felhasználásával megvizsgálhatjuk, milyen hatást gyakorol az FDM berendezések fázis- és frekvenciahibája az analitikus jelre. Azt találjuk, hogy a $z'(t)$, a modulációs és demodulációs eljárás után létrejövő analitikus jel $z'(t) = z(t)e^{j(\Delta\omega t + \alpha)}$, ahol α a vivőfrekvenciás berendezések oszcillátorai közti fázis-, $\Delta\omega$ pedig a frekvenciakülönbség.

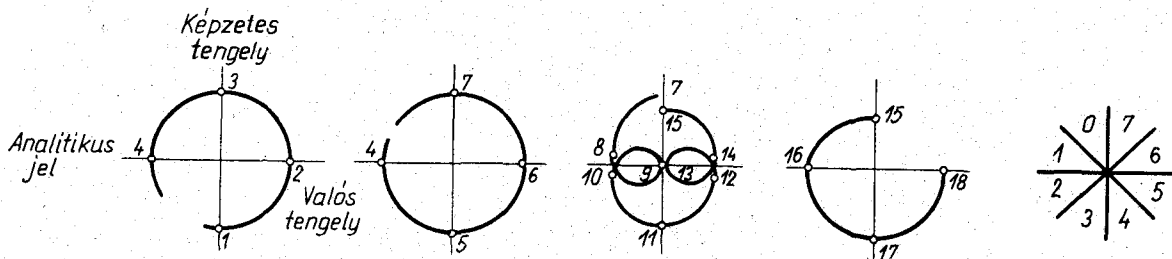
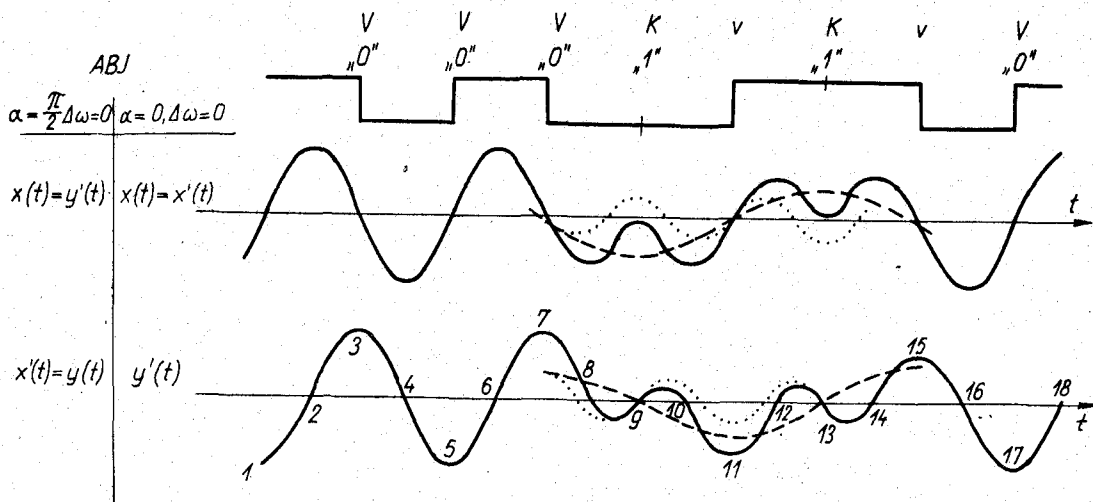
A vett jel a fenti $z'(t)$ jel valós része, vagyis

$$x'(t) = x(t) \cdot \cos(\Delta\omega t + \alpha) - y(t) \sin(\Delta\omega t + \alpha).$$

Vizsgáljuk meg $x'(t)$ tulajdonságait.

1. Legyen $\Delta\omega = 0$, vagyis az oszcillátorok közt csak fáziskülönbség van. Ha $\alpha = 0$, akkor $x'(t) = x(t)$, vagyis a bemenő jelet kaptuk vissza.

Ha $\alpha = \pi/2$, akkor $x'(t) = y(t)$, vagyis a bemenő jel kvadratúrakomponensét kapjuk vissza. Pl. ha $x(t) = \cos \omega t$, $x'(t) = \sin \omega t$ lesz. A mi esetünkben a vett



4. ábra

H284-CL4

jel közvetlen komparátorral történő kiértékelését ez a hatás is lehetetlenné tenné, mert ha pl. a fent ismertetett 1-es kódolási szabályt (2. ábra) alkalmazzuk, és folyamatos logikai 1 jelet kell átvinni, az ABJ-ben a jelkövetkezések és jelváltozások sorozata két frekvenciakomponens megjelenését eredményezi. Ezek, ha a belső órafrekvencia 3200 Hz, 800 Hz és 2400 Hz-es komponensek lesznek. Ilyenkor $x(t) = \cos \omega t - \cos 3\omega t$. Mindkét komponens kvadratúra-komponense jelenik meg a vételi oldalon, így a fáziseltolás miatt az $x'(t) = \sin \omega t - \sin 3\omega t$ jel nem hasonlít az eredeti $x(t)$ -re (4. ábra), és nullkomparálással kiértékelhetetlen.

2. $\Delta\omega$ nem nulla, de sokkal kisebb a vonalra juttatott jelek frekvenciájánál.

Az $x'(t)$ jel az $x(t)$ és $y(t)$ lassú folyamatos cserélődéséből képződik, az $x'(t) = x(t) \cos \Delta\omega t - y(t) \sin \Delta\omega t$ egyenlet szerint.

Legyen $x(t) = \cos \omega t$. Ez az eset, ha a fenti kódolási szabálynál folyamatos bináris 0 jelek kerülnek átvitelre.

$$z(t) = e^{i\omega t}, \quad z'(t) = e^{i(\omega + \Delta\omega)t}, \quad x'(t) = \cos(\omega + \Delta\omega)t.$$

Olyan jelet kapunk, amelynek frekvenciája $\Delta\omega$ -val eltér az eredeti frekvenciától, vagyis komparálással történő jeldetektálás esetén több váltást, azaz több bináris 0 értéket érzékelnénk, mint amit át akartunk vinni.

Ezzel megmutattuk, hogy alapsávi jeleket a fenti tulajdonságokkal jellemzett vonalakon nem lehet átvinni, ha kiértékelésként az ismert komparációs módszereket használjuk.

Melyik az analitikus jelnek az a paramétere, amely nem vagy csak keveset változik az átvitel során?

Az $f(t)$ pillanatnyi frekvenciát megvizsgálva azt találjuk, hogy ha $\Delta\omega = 0$, $f(t)$ megegyezik $f'(t)$ -vel.

Ha $\Delta\omega \neq 0$, de igen kicsi az előforduló ω -okhoz képest, $f(t)$ -ben elhanyagolhatóan kis változást okoz az átvitel.

Mivel a kódolási eljárás során előállított jelhez rendelt analitikus jelet az jellemzi, hogy jelkövetkezések esetén fázisa 180° -ot visszamarad az egyenletes fázissebességgel meghatározott értékhez képest, ha a vételoldalon előállítanánk a $z'(t)$ analitikus jelet, ennek pillanatnyi frekvenciája kis Δf -eltéréstől eltekintve megegyezne a $z(t)$ pillanatnyi frekvenciájával. Így a 180° -os visszamaradás detektálásával a jelkövetkezések időpontjait meghatározhatnánk. A feladat és az általunk talált megoldás a vétel során nyert $x'(t)$ jel kvadratúrakomponensének $y'(t)$ -nek előállítása után nyert komplex $z'(t)$ jel fázisváltozásainak detektálásával megállapítani a következések (bináris 1) bekövetkezésének időpontjait.

A gyakorlati megoldás

Az analitikus jel $y'(t)$ komponensét a gyakorlatban olyan fázishasználóval állíthatjuk elő, amely az átviteli sávban minden frekvenciakomponens $\pi/2$ -vel történő fázistolását eredményezi.

A fázistolással előállított $y'(t)$ jel és az $x'(t)$ jel jellemzi a $z'(t)$ analitikus jelet. Példaként a 4. ábrán látható a kiadott ABJ, a vett jel, $x'(t)$, a hozzárendelt $y'(t)$ (itt $x'/t = \dot{x}(t)$), valamint $z'(t)$. Az ábrán az időtengely a rajz síkjára merőleges.

Az 1. ábrán látható, hogy a vett jel vevőszűrőn keresztül jut a fázishasználóra. Az adó- és vevőszűrők kialakításánál figyelembe vettük mind az additív, mind a multiplikatív zavarokat. Az adó- és vevőszűrő az átvindó jel spektrumához illeszkedik, és együttes átviteli karakterisztikájuk teljesíti az analitikus jelre kiterjesztett Nyquist-feltételeket.

A fázishasználó kimenő jelei, az analitikus jel két komponense, a kiértékelő egységbe jutnak.

A képzetes síkot nyolc szegmensre osztjuk — 4. ábra — és megállapítjuk, hogy az analitikus jel mely szegmensben tartózkodik, ezután az analitikus jel szegmensről szegmensre való haladását figyeljük csak meg. A szegmensekben való tartózkodás idejéből megállapítható, hogy mikor következik be a 180° -os visszaugrás és így jelkövetkezés.

A visszaugrás érzékelését úgy oldottuk meg, hogy olyan bináris számlálót készítettünk, amelynek utolsó három fokozata által reprezentált ún. segédvektor azzal a sebességgel forog, mint az analitikus jel, ha csak jelváltozások vannak.

A segédvektor forgási sebessége azonban kicsit — néhány százaléknnyit — lehet lassabb vagy gyorsabb. Vezérlő mechanizmus gondoskodik arról, hogy a két vektor lassan (néhány bit idő alatt) összeszinkronizálódjék, vagyis együtt fusson. Ha ezek után az analitikus jel, vagyis a fővektor fázisa 180° -kal visszamarad, és ezalatt a segédvektor eredeti sebességével tovább fut, akkor egy félfordulattal leahagyja a fővektort, és a jelkövetkezés detekciója bekövetkezik.

Ezután a két vektor ismét együtt fut a következő jelkövetkezésig. Ez a mechanizmus — a lassan szabályozott együttfutás — biztosítja, hogy a $\Delta\omega$ eltérés, vagyis az, hogy a $z'(t)$ vektor többet vagy kevesebbet fordul meg egy adott idő alatt, mint a $z(t)$ vektor, a jelkövetkezés-detekciót nem érinti. A detektált jelkövetkezések alapján a vételoldalon visszanyerhető az átkódolt bináris jel.

A vevőoldalon a kódoló ugyanazon kódolási szabály alapján működik, mint az adóoldali kódoló, így képes felismerni a beiktatott jelkövetkezéseket és jelváltozásokat, és ezek alapján előállítani az adatvételi (104) jelet és a szinkronizált vételi órajelet (115), amelyben ugyanolyan módon, mint az adóoldali órajelben, változni fog a hasznos átmenetek távolsága, az átvitt információtól és a beállított kódolási szabálytól függően.

A detektált jelkövetkezések időpontjai alapján lehet elvégezni a vételi órajel szinkronizálását. Azon periódusokban, amikor csak bináris 0 jelek kerülnek átvitelre, nem jön létre jelkövetkezés. A belső órajelgenerátor stabilitása biztosítja, hogy ilyenkor egy bizonyos ideig ne vesszen el a bitidőzítésre vonatkozó információ. Ha ez az idő igen hosszú is lehet, olyan kódolási szabályt kell alkalmazni (4. szabály), amelynél időnként beiktatott jelkövetkezések is vannak. Így a szinkronizmus állandóan fenntartható.

Ha a vonali torzítások, zajok miatt a vételoldali kódoló olyankor észlel jelkövetkezést, amikor az nem érkezhet be, ill. amikor meg kellene érkeznie és nem érkezik meg, riasztójelet generál. Ezt a jelet a végberendezés előnyösen használhatja fel hibafelismerésre. E hibafelismerési módszer jól használható hibacsomók felderítésére, különösen azon kódolási szabá-

lyok alkalmazása esetén, amikor beiktatott jelkövetkezések is vannak (4., 5., 6. kódolási szabály).

Az ismertetett eljárás szabadalmi oltalmat nyert [3, 4]. Az eljárás alapján kifejlesztett MODEM-berendezéseket, amelyekből kisebb sorozat készült el, üzemi és laboratóriumi körülmények közt megvizsgáltuk, és velük kedvező tapasztalatokat szereztünk. Az alábbi táblázatban összefoglaljuk a hatféle kódolási szabályhoz tartozó adatátviteli sebességeket, külön feltüntetve a véletlen jel átvitelére vonatkozó értékeket.

Kódolási szabály

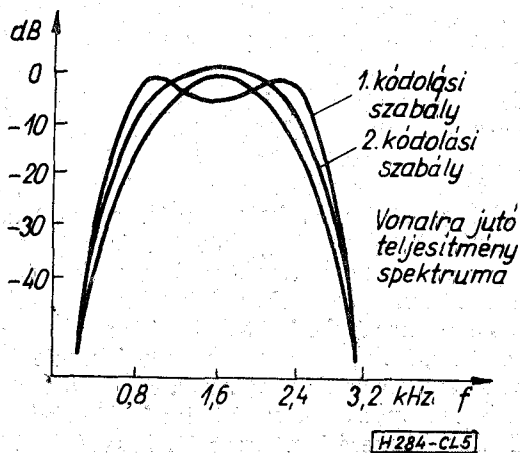
1.	0	3200 bit/s
	1	1600 bit/s
	átlag	2135 bit/s
2.	0=1= átlag	1600 bit/s
3.	0	1600 bit/s
	1	1066 bit/s
	átlag	1278 bit/s
4.	0	2400 bit/s
	1	1600 bit/s
	átlag	2087 bit/s
5.	0	1200 bit/s
	1	1600 bit/s
	átlag	1490 bit/s
6.	0	1065 bit/s
	1	1065 bit/s
	átlag	1180 bit/s

A berendezés tulajdonságai

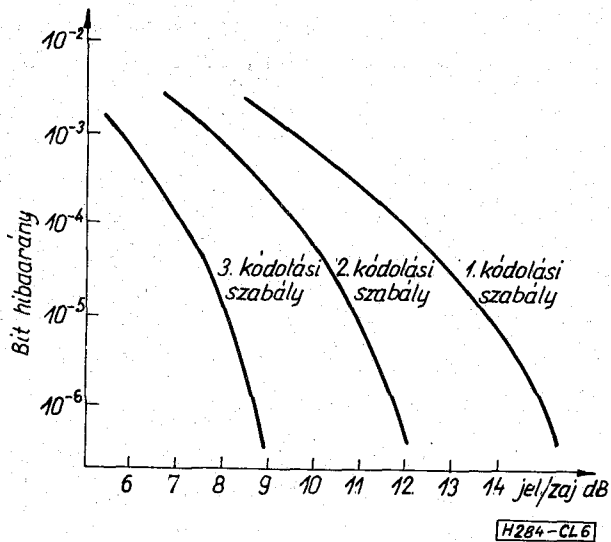
A továbbiakban röviden ismertetjük a berendezés néhány paraméterére vonatkozó vizsgálatok eredményét.

Az intézetben kidolgoztak egy olyan programrendszert [5], amely Markov-láncok által generált sztochasztikus folyamatok korrelációs függvényét és ebből a jelsorozat spektrumát számítja ki. Az 5. ábra mutatja a vonalra juttatott jel spektrumát az 1., 2. és 3. kódolási szabály esetén. Az ábrán a mért eredmények láthatók, amelyek jól megegyeznek a számított értékekkel.

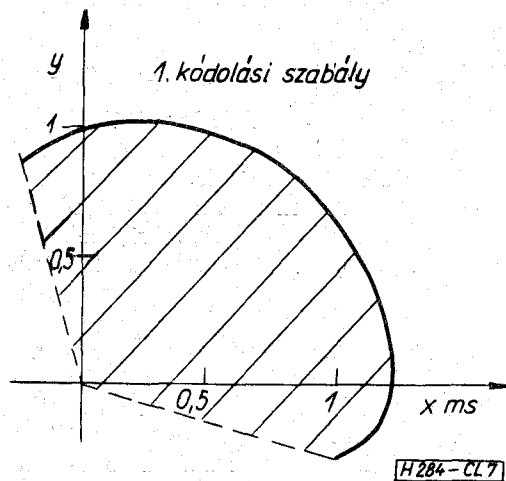
A 6. ábra a bit-hibaarányt mutatja a jel/zaj viszony függvényében. A zajt a 300...3400 Hz-es sávban mértük.



5. ábra



6. ábra



7. ábra

A 7. ábrán látható görbe a futási idő torzításhatását mutatja. A folytonos vonallal kihúzott görbe azon pontokat köti össze, amelyeken a bit-hibaarány 10^{-5} . Az ordináta a 800 Hz-en, az abszcissza a 2400 Hz-en mért futási idő. Az állandó késleltetés kiküszöbölése céljából az 1600 Hz-en mért futási időt nullának vettük, tehát a felrajzolt értékek ehhez viszonyítva értendők (így lehetséges, hogy a görbe negatív x és y értékeket is tartalmaz). A görbén belüli, vonalkázott területen a bit-hibaarány kisebb, mint 10^{-5} .

A mérési eredményekből látható, hogy az ismertetett eljárás alapján kifejlesztett berendezés paraméterei a hasonló sebességtartományban üzemelő, készülékek paramétereit elérik.

I R O D A L O M

[1] Gábor D.: „Theory of communications” J. IEE, vd 93, pt III. pp. 429—457. 1946. nov.
 [2] J. e. v. Oswald: „The Theory of Analitic Band-Limited Signals Applied to Carrier Systems. IRE Transactions on Circuit Tehory, CT—3/1956. dec., pp. 245—251.
 [3] Szabadalmi okirat (157 294).
 Csaba László, Uzsoy Miklós: Eljárás bináris információ sávszűrő jellegű vonalon való átvitelére.
 [4] Patent specification 1 272 283 (Anglia).
 [5] Baumgärten É.: On the power density spectrum of Markov chains generated series. III. Információelméleti Konferencia, Tallin.