

Bináris- és Gauss-amplitúdóeloszlású álvéletlen zajgenerátorok, előnyeik és alkalmazásuk*

ETO: 621.373:621.391.822

A modern technikában, sőt mindennapi életünkben is egyre nagyobb szerepük van az olyan berendezéseknek, amelyek a legkülönbözőbb fizikai, technikai, gazdasági, tudományos stb. jelenségek jellemző adatainak, összefoglaló néven az információknak az átvitelével, tárolásával, átalakításával és feldolgozásával kapcsolatos műveleteket végzik.

Az ilyen berendezések iránt megnyilvánuló mennyiségi igények igen nagy mértékben növekszenek. Ez természetesen gazdaságossági problémákat vet fel, hiszen szükséges, hogy minél tömörebben, hatóságosan tudjuk a szóban forgó információkat tárolni, átvinni.

Adatviteli rendszerek berendezéseinek mérésénél nagy jelentőségük van a pseudo-véletlen vagy álvéletlen digitális zajgenerátoroknak. Segítségükkel a hibastatisztikai mérések könnyűszerrel és nagy pontossággal elvégezhetők.

Az álvéletlen jelelmélet elvén alapuló zajgenerátor legfőbb előnye, hogy az általa előállított bináris- és Gauss-amplitúdóeloszlású jel determinisztikus. Statisztikai tulajdonságai viszont jó közelítéssel megegyeznek a véletlen jelekével.

A generátor digitális elven épül fel, ezért egyszerű, kvarcvezérelt óragenerátora pedig pontos mérést tesz lehetővé.

Az álvéletlen bináris jelek jellemzői

A zajok, zavarok nagymértékben hatnak az elektronikus rendszerek pontos működésére, így az információ-átvivő rendszerek átvitt jelének információtartalmát szintén befolyásolják. Analóg rendszerekre egy előírt jel-zaj viszonyt kell megadni, ez a vétel minőségét messzemenően determinálja. Digitális jelátvitelnél statisztikai adatokat kell megadni az információ pontosságára, az átvivő rendszer minőségét ezek határozzák meg.

Ahhoz, hogy ezeket az értékeket megadhassuk, berendezéseinket zaj hatásának kell kitennünk. Zajforrásul zajgenerátort használunk, amelynek attól függően, hogy analóg vagy digitális rendszereket vizsgálunk, analóg vagy bináris véletlen jelet kell szolgáltatnia.

Amennyiben a véletlen zaj-jelet klasszikus módon valamilyen zajforrással (radioaktív, elektroncső, dióda stb.) állítjuk elő, méréseink során a következő problémákkal kell számolnunk:

- A kimenő zaj-jelet közvetlenül befolyásolják a fizikai zajforrás tulajdonságai.

- Mivel a zaj eloszlása általunk nem befolyásolható, így annak statisztikai jellemzői sem adhatók meg tetszőleges pontossággal véges időintervallumban.
- A mérési eredményt csak mint közelítő értéket fogadhatjuk el. E probléma élesen ott jelentkezik, ahol egy berendezés vagy rendszer bizonyos áramköri paramétereinek zajfüggését analizáljuk. A paraméterek adott értékhatárok között való változtatásával a zajmérést újra és újra el kell végezni, hiszen itt fokozottabban szükség van a mért értékek pontosságára.
- Mivel a jel sztochasztikus, ezért keresztkorrelációs mérésnél megfelelő hosszúságú időre kell a mérést végezni, hogy a sztochasztikus jel statisztikai jellemzőit a mérési ciklus hossza által meghatározott rövid idejű sztochasztikus jellemzők jól közelítsék.

Fentiekből kitűnik, hogy a mérés pontosságának növelésére egyetlen kézen tartható paraméter a T mérési idő. Ennek növelésével ugyanis a zajgenerátor kimenő jelének statisztikai jellemzői nagyobb pontossággal megadhatók s így a mérési eredmények szórásai. T viszont nem lehet tetszőlegesen nagy, van gyakorlati felső határa.

A pontosság növelésének másik sokkal hatékonyabb módja — olyan zajforrás alkalmazása, amelynek kimenő jele a véletlen jel kedvező tulajdonságait tartalmazza, mint pl. széles egyenletes spektrum, hasonló a természetes zavarokhoz hullámformában és valószínűség sűrűségfüggvényben, azonban hiányoznak a mérés szempontjából kedvezőtlen tulajdonságok. Ilyen zajforrás az álvéletlen jelgenerátor.

Az álvéletlen jel előnye a valódi zajjal szemben

Digitális áramkörökkel állítható elő. A kimenőjel jellemzőit — az óragenerátor frekvenciájától eltekintve — a környezeti változások, zavarok nem befolyásolják.

- A bináris álvéletlen jel sáv szélessége arányos az óragenerátor ütemidejével, amely könnyen változtatható.
- Sem az óragenerátor frekvenciájának, sem a periódushossznak a változtatása nem változtatja meg a zajteljesítmény értékét.
- Mivel a jel determinisztikus, elegendő, ha egy periódusra végezzük el a keresztkorrelációs mérést, szemben a „valódi” véletlen jellel, amelynek alkalmazása statisztikus szórás vizsgálatára, azaz eredményeinkbe, mivel a keresztkorreláció készítéséhez rendelkezésre álló idő mindig véges. Elvileg az „igazi” zaj pontosabb eredményeket ad. Ez a pontosság azonban csak úgy lenne

Beérkezett: 1971. XI. 15.

* Ez a cikk a szerző 1970-es diplomaterv-pályázaton I. díjat nyert dolgozata alapján készült.

realizálható, ha a mérési idő végtelen hosszú volna. Minthogy a mérési idő természetszerűleg mindig véges, kénytelenek vagyunk egy statisztikus bizonytalanságot megengedni az „igazi” zaj—jel statisztikus jellemzőiben.

Véges időtartamra végzett korrelációmérés esetén a legtöbb esetben pontosabb eredmények érhetők el álvéletlen jelek alkalmazásával, amelyeknek statisztikus jellemzői konstansok. Más szóval ez azt jelenti, hogy ha különböző mérések eredményei különböznek, akkor biztosak lehetünk abban, hogy az kizárólag a vizsgált rendszer változásából fakad.

- Mivel a jel determinisztikus, az álvéletlen jel (akár bináris, akár analóg) mindig egyértelműen ugyanattól a referencia-állapottól indítva ismételhető, ami az ismételten elvégzett mérések azonos feltételeit biztosítja, valamint lehetővé teszi a szinkronizált oszcilloszkóp segítségével történő kijelzést.
- Meghibásodások előfordulási valószínűségének álvéletlen analóg jel alkalmazásával történő vizsgálatánál nem kell hosszú ideig várni arra, hogy megfelelő nagyságú amplitúdócsúcsok megfelelően nagy valószínűséggel előforduljanak. Mivel a jel determinisztikus, számíthatók a legnagyobb amplitúdócsúcsok és ezek egy perióduson belül biztosan előfordulnak.
- Álvéletlen analóg jel maximális amplitúdóértéke jól meghatározott, ezért a mérés úgy tervezhető, hogy biztosan nem kerülünk ki a vizsgált rendszer linearitási tartományából. „Valódi” zaj alkalmazása esetén a vizsgálójel effektív értékét kisebb szinten kell tartani, mivel az azonos effektív értékhez tartozó maximális amplitúdóérték (bár előfordulásának kis valószínűsége van) nagyobb, mint álvéletlen analóg jel esetén.
- Ha a vizsgálandó folyamat csak rövid ideig áll fenn, akkor megfelelően rövidre választva a periódust, teljes értékű mérés végezhető, míg „valódi” zaj alkalmazásával az eredmények statisztikus bizonytalansága nagy és megbízhatósága igen kicsiny lenne.

Álvéletlen jelek előállítása

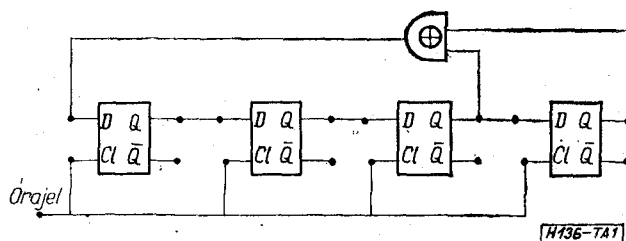
A híradástechnikában a leghasznosabban és legszélesebben körben felhasználható álvéletlen vizsgálójeleknek két típusa van:

1. Álvéletlen bináris jelek.
2. Álvéletlen Gauss-amplitúdóeloszlású jelek.

Minthogy az álvéletlen jelek statisztikus tulajdonságai jó közelítéssel megegyeznek a véletlen jelek statisztikus tulajdonságaival, ezért alapvető fontosságú a sztochasztikus jelek statisztikus tulajdonságainak ismerete.

Álvéletlen bináris jelek előállítása

Bináris álvéletlen jelsorozatokat kapunk, ha tárolókból felépített léptető-regiszter meghatározott fokozatainak kimeneteire antivalencia áramkörrel csatlakozunk és ennek kimenetét a regiszter első tárolójá-



1. ábra. 15 bites álvéletlen bináris jelsorozat előállító visszacsatolt léptető-regiszter

nak bemeneti pontjára csatlakoztatjuk. Így a léptető-regiszter egy zárt visszacsatolt hurokban dolgozik. Az 1. ábra az álvéletlen generátor egy egyszerű formáját mutatja.

A fenti egyszerű példában a visszacsatolás a harmadik és negyedik fokozat kimeneteiről történik. Az előállított jelsorozat bármelyik tároló kimenetéről levehető, a periódushossz: $N=2^4-1=15$ bit.

Ha pl. feltételezzük, hogy a regiszter kezdeti állapota 1 0 0 0, akkor egy ciklus:

- 1 0 0 0
- 0 1 0 0
- 0 0 1 0
- 1 0 0 1
- 1 1 0 0
- 0 1 1 0
- 1 0 1 1
- 0 1 0 1
- 1 0 1 0
- 1 1 0 1
- 1 1 1 0
- 1 1 1 1
- 0 1 1 1
- 0 0 1 1
- 0 0 0 1

Egy cikluson belül előáll az 1 és a 0 összes lehetséges kombinációja a 0 0 0 0 állapotot kivéve, de ez nem is fordulhat elő, mert ha igen, akkor a regiszter ettől kezdve mindig 0 0 0 0-ban maradna.

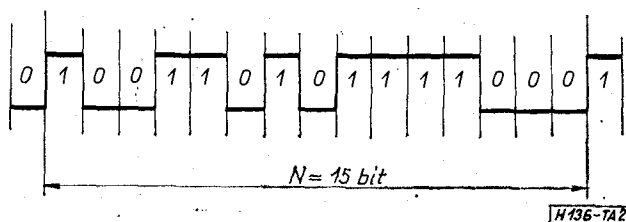
A digitális sorozat, amit eredményül kapunk, a 2. ábrán látható.

Általánosan, ha az álvéletlen bináris hullámforma kialakításában maximálisan felhasznált tárolók száma n , akkor az álvéletlen sorozat maximális hossza:

$$N=2^n-1$$

lehet a visszacsatolási pontok helyes megválasztásával.

Csupán utalást tennénk arra vonatkozólag, hogy nagy jelentősége van a visszacsatolási pontok helyes megválasztásának. Adott n regiszterhosszhoz tartozó



2. ábra

maximális hosszúságú bináris jelsorozat előállításának szükséges és elégséges feltétele, hogy az adott léptető-regiszter generátor karakterisztikus polinomja, GF(2) felett primitív n -ed fokú polinom legyen.

Álvéletlen Gauss-amplitúdóeloszlású jelek előállítása

Álvéletlen analóg jelek előállításának három alapvető módja ismeretes:

1. Kaszkádba kapcsolt bistabil multivibrátorok segítségével.
2. Bináris álvéletlen jelgenerátorból párhuzamosan kiolvasott bináris álvéletlen jel párhuzamos átalakításával.
3. Előbbi módon előálló bináris jel soros átalakításával.

1. Álvéletlen analóg jel előállítása kaszkádba kapcsolt bistabil multivibrátorokkal

Ha óragenerátorral vezérelt bistabil multivibrátorokat a 3. ábrának megfelelően kaszkádba kötünk, a kimeneten álvéletlen analóg jelet kapunk. Az óragenerátor által előállított impulzussorozat frekvenciáját a bistabil multivibrátorok fokról fokra felezik.

Az ily módon előálló álvéletlen jel előnyei:

- Egyszerű bistabil elemekkel állítható elő.
- Minden egyes multivibrátor kimenő szintje változtatható, sőt az eredő jel is, így könnyen tudjuk a jel amplitúdóját, valószínűsűrsűség függvényét változtatni.
- A kimenő jel integrálásával álvéletlen háromszög jelet, differenciálásával álvéletlen csúcsok sorozatát kaphatjuk.
- A bistabil elemek számának és az óragenerátor frekvenciájának változtatásával a jel spektruma változtatható.

A módszer hátránya, hogy az előállított jel diszkrét binomiális eloszlású, és csak akkor közelíti meg a normális eloszlást, ha elegendően nagy számú bistabil elemet alkalmazunk.

2. Analóg álvéletlen jel előállítása a léptető-regiszter generátor által előállított bináris jel párhuzamos átalakításával

A párhuzamos átalakítás elvi tömbvázlatát mutatja a 4. ábra.

Ahol:

$A = \{a_0, a_1, a_2, \dots, a_{n-1}\}$ a léptető-regiszter állapota egy adott időpillanatban,

$h = \{h_0, h_1, h_2, \dots, h_{n-1}\}$ az egyes tárolók kimenő jeleinek súlyozó együtthatói,

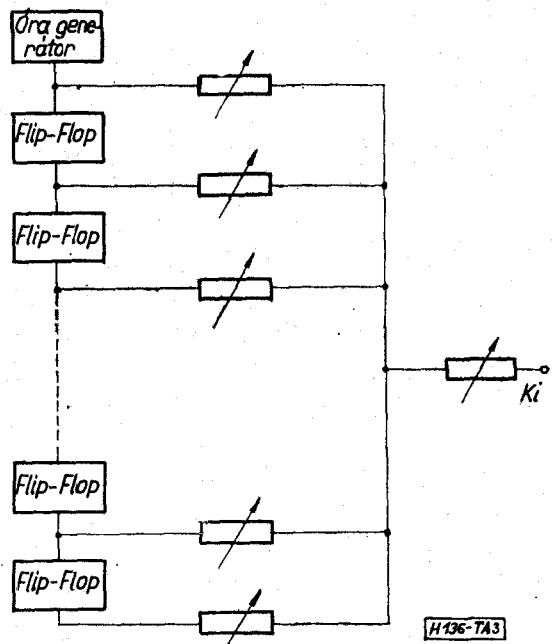
W a kimenő analóg jel, amelyet a súlyozott bináris jelek összeadása útján nyerünk, értéke:

$$W = \sum_{k=0}^{n-1} a_k \cdot h_k$$

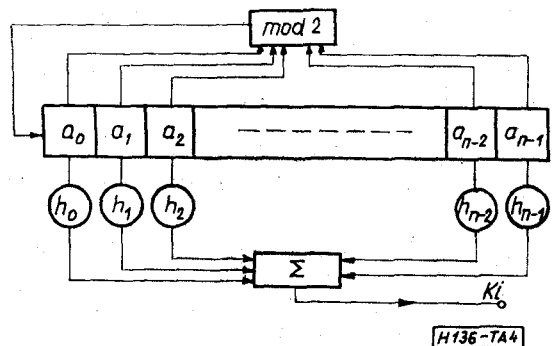
Tehát az analóg álvéletlen jelsorozat úgy áll elő, hogy a léptetőregiszter párhuzamos bináris jelsorozatának bitjeit súlyozó koefficienssekkel megszorozzuk, majd összeadjuk.

Attól függően, hogy a h_k súlyozó együtthatók egymáshoz viszonyítva milyen értéket vesznek fel, beszélünk:

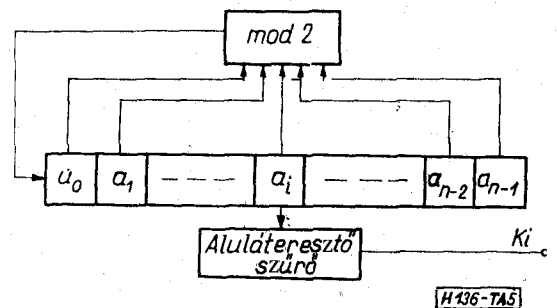
- egyenlő súlyozás esetéről,
- egyenlőtlen súlyozás esetéről.



3. ábra. Álvéletlen analóg jel előállítása kaszkádba kapcsolt bistabil multivibrátorokkal



4. ábra. Bináris álvéletlen jel párhuzamos átalakítása



5. ábra. Bináris álvéletlen jel soros átalakítása

A súlyozó tényezők és a léptető-regiszter hosszának megfelelő megválasztásával az eredményül kapott diszkrét eloszlású analóg álvéletlen jelsorozat igen jó valószínűséggel a normális eloszlást közelíti meg.

3. Analóg álvéletlen jel előállítása a léptető-regiszter generátor által előállított bináris jel soros átalakításával

A soros átalakítás elvi tömbvázlatát az 5. ábra mutatja.

A generátor tervezésekor két egymással ellentétes hatást kell figyelembe venni. Tekintsük a generátor kimenő jelének feszültség szintjeit a különböző ütem-

idő intervallumokban független valószínűségi változóknak. Az aluláteresztő szűrő a kimeneti jelet integrálja. A központi határelosztás tétel értelmében a szűrő határfrekvenciájának csökkentésével kimeneti jelének eloszlása egyre jobban közelít a normális eloszláshoz. Ezzel azonban egyre inkább csak a kisfrekvenciás komponenseket engedjük át. Márpedig az álvéletlen bináris jelnek éppen kisfrekvenciás összetevőinél található aszimmetria. Ugyanis a jel tartalmazza az 111...1 csak 1-est tartalmazó sorozatot, de nem tartalmazza a 000...0 csak 0-kat tartalmazó sorozatot. Ez az aszimmetria annál inkább kifejezésre jut, minél nagyobb az aluláteresztő szűrő időállandója.

A két jelenség együttes hatása azt eredményezi, hogy van egy optimális arány az óraimpulzus periódusideje (T_0) és a szűrő időállandója (T) között.

Elvi számítások és a mérések azt igazolják, hogy $T/T_0=20$ -nál az analóg jel jól közelíti a normális eloszlást.

Álvéletlen jelgenerátor alkalmazásai

Az adatátvitelben, akusztikában, rádiócsillagászatban, a híradástechnika legkülönbözőbb területein, mechanikai rezgésvizsgálatoknál és minden olyan területen, ahol véletlenszerű folyamatok korrelációanalízise szükséges, kiválóan alkalmazhatók az álvéletlen digitális zajgenerátorok.

Az alkalmazások sokfélesége közül talán kiemelni az adatátviteli méréseknél való jelentőségét.

Hibastatisztikai mérésekhez olyan etalon adatjelgenerátorra van szükség, amely sztochasztikus jellegű, de ugyanakkor a jelsorozat jól kiértékelhető.

E követelményeknek nagymértékben eleget tesz a léptető-regiszter generátor által előállított bináris álvéletlen jelsorozat.

Adatátviteli rendszerek mérése kétféleképpen történhet:

- hurokban,
- irányban.

Hurokban történő mérés tömbvázlatát mutatja a 6. ábra.

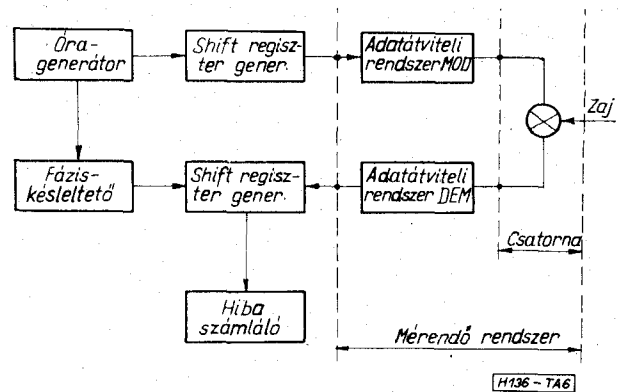
A léptető-regiszter generátor által előállított álvéletlen bináris jelet a mérendő adatátviteli rendszerre adva, majd csatornán keresztül engedve (mely lehet telefon vagy rádiócsatorna) az adatátviteli rendszer vevőrésze veszi az adatjelet megfelelő zajterheléssel. Az óragenerátor megfelelő késleltetésű jellel vezérelve a léptető-regiszter generátort, a csatorna és a berendezések zaja által előálló hiba detektálható.

Irányban történő mérés tömbvázlatát mutatja a 7. ábra.

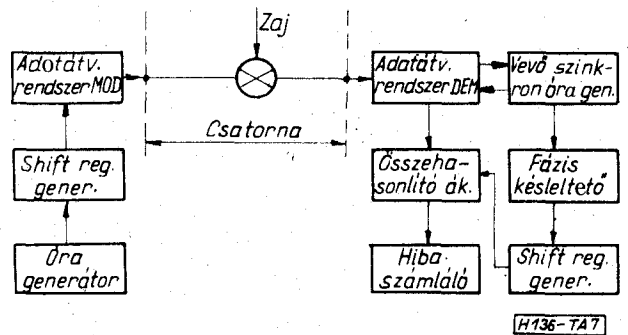
Az adóoldali adatátviteli rendszer léptető-regiszter generátora által előállított bináris jelsorozatot a vevőoldali adatátviteli rendszer zajjal terhelve veszi. A vevő szinkron óragenerátorát megfelelően késleltetve és ezzel egy második szinkron működő léptető-regiszter generátort vezérelve a hibadetektálás elvégezhető.

Ezek alapján meg kell határozni:

- hibaközi intervallumok hosszának eloszlását,
- a hibacsomók hosszának eloszlását,



6. ábra. Adatátviteli rendszer hurokban történő mérése



7. ábra. Adatátviteli rendszer irányban történő mérése

- hibás blokkok arányát adott blokkhossz esetén,
- hibák átlagos számát hibás blokkonként,
- átlagos elemi jel hibaarányt.

Ezenfelül előnyösen felhasználható az analóg álvéletlen jelsorozat is, segítségével Gauss-amplitúdóeloszlású zajterhelést állíthatunk elő, amely alkalmas az információátvivő rendszer zajvédeltségének mérésére.

Következtetések

A digitális elven működő bináris és analóg álvéletlen jelgenerátor megfelelően beállítható spektrumú jelsorozatokat szolgáltat. Az órafrekvencia változtatásával egy ciklus ideje széles határok között változtatható, a léptető-regiszter hosszának változtatásával pedig az 1-ek és 0-k variációjának számát állítjuk be.

Végso soron tehát sokoldalúan felhasználható, igen jól tartható determinisztikus jelsorozatot szolgáltató zajgenerátort nyerünk.

I R O D A L O M

- [1] Dr. Gordos G.—Varga A.: Adatátvitel és adatfeldolgozás, Egyetemi tankönyv, 1968.
- [2] Peterson, W. W.: Error correcting codes. John Wiley and Sons, Inc. New York, 1961.
- [3] Elspas, B.: The theory of autonomous linear sequential networks. IRE Transactions on Circuit Theory, 1959. márc. pp. 45—60.
- [4] Davies, W. D. T.: Generation and properties of maximum length sequences. Control. 1966. jún. pp. 302—304, 1966. júl. pp. 364—365. 1966. aug. pp. 431—433.
- [5] Davis, A. C.: Probability distribution of pseudo-random waveforms obtained from m sequences. Electronics Letters, 1967. No. 3. pp. 115—117.
- [6] Tóth Árpád: Diplomaterv, Budapesti Műszaki Egyetem 1970.