

Digitális távközlő vonalak számítógépes leírása és szimulációja

DR. CSOPAKI GYULA – DR. HALÁSZ EDIT
– DR. TRÓN TIBOR
BME Híradástechnikai Elektronikai Intézet

ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk áttekinti a digitális távközlő vonalak leírásával és szimulációjával szemben támasztott követelményeket és ismerteti a követelményrendszeft kielégítő DLSIM (Digital Line SIMulation) program szolgáltatásait. A DLSIM program tetszőleges topológiájú alapsávi PCM vonalak számítógépes szimulációját végzi. A programot Pascal és FORTRAN-77 nyelven készítettük el IBM PC-re.

1. Bevezetés

Az első hazai digitális számítógép a BME Villamosmérnöki Karán Dr. Kozma László egyetemi tanár irányítása mellett készült el 1958-ban. Ez serkentette a hajdani Vezetékes és Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszékek oktatóit és kutatóit arra, hogy 1959-től kezdődően a híradástechnika számos feladatának megoldására számítógépes módszereket és programokat dolgozzanak ki. A Híradástechnika folyóiratban sok-sok ilyen témájú publikációnk látott napvilágot elért eredményeinkről. A Híradástechnika folyóiratban 1968-tól 1983-ig rendszeresen publikált "Számítógépprogramok katalógusa" elnevezésű gyűjtemény a hazánkban kifejlesztett és/vagy elérhető híradástechnikai, áramkörtervezési programokról adott felvilágosítást. A számítógépes elektronikai tervezésről hosszú évek óta tartunk előadásokat és gyakorlatokat és négy alkalommal szerveztünk kétéves levelező szakmérnöki szakot a Villamosmérnöki Karon.

Jelen cikkben egy érdekes és fontos feladat számítógépes megoldását ismertetjük. A személyi számítógépek számának növekedésével megnőtt a szerepe az olyan szimulációs programoknak, melyek távközlő rendszereket írnak le és vizsgálják annak viselkedését még a realizálást megelőzően. Széles körben ismert szimulációs programok személyi számítógépes változatait készítették el [1, 2] és újabb szimulációs programok is megjelentek [3, 4].

A DLSIM (Digital Line SIMulation) programcsomag [5,6] melyet a BME-HEI munkatársai fejlesztettek ki a Telefonyár megbízásából, alapsávi PCM rendszerek vonali szakaszának leírására, modellezésére és szimulációjára szolgál. A programcsomag segítségével az átviteli rendszer még a tervezés fázisában - azaz a tényleges megvalósítást megelőzően - vizsgálható és



Dr. CSOPAKI GYULA

Villamosmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki Karán szerezte 1969-ben. 1987-ig a BME HEI-ben az Informatikai és Elektronikai Tanszéki Kutatócsoport tudományos munkatársa volt. 1987 óta a BME HEI Kapcsolástechnikai Osztályán dolgozik. A műszaki tudomány kandidátusa, szakterülete digitális kapcsolástechnika, számítógépes elektronikai tervezés, számítástudomány.



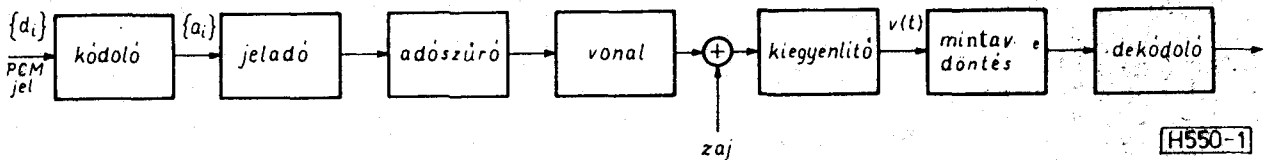
Dr. HALÁSZ EDIT.

A Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett oklevelet. Majd a Villamosmérnöki Kar Vezetékes Híradástechnika Tanszékén tanársegédként kezdett dolgozni. Jelenleg a Híradástechnikai Elektronika Intézetben egyetemi docens. Fő érdeklődési területe a számítógépes szintézis, a hálózatelmélet, az optimalizálási eljárások és a távközlés. Az általa és társai által készített áramkörtervező programokat külföldi egyetemeken oktatási és kutatási célra alkalmazzák. Részt vett számos ipari kutató munkában. Egyetemi doktori értekezését 1972-ben, kandidátusi értekezését 1983-ban védte meg.



Dr. TRÓN TIBOR

1964-ben végzett a BME Villamosmérnöki Karán, jelenleg a BME Híradástechnikai Elektronika Intézetében docens. A hálózatelmélethez és a számítógépes elektronikai tervezéshez kapcsolódó tantárgyak oktatásában vesz részt. Kutatási területe a lineáris hálózatok érzékenység és tolerancia kérdésköre, a kapcsolt kapacitású hálózatok számítógépes analízise, valamint távközlő rendszerek szimulációja. Több egyetemi jegyzet, számos kutatási jelentés, hazai és nemzetközi publikáció szerzője, illetve társszerzője. 1974-ben szerzett egyetemi doktori címet, 1987-ben a műszaki tudomány kandidátusa lett.



1. ábra. A szimulálandó rendszer

minősíthető. A tervezés ellenőrizhető és különböző megoldások is összehasonlíthatóak. Egyszerűen modellezhető a rendszer egyes elemeinek (vagy azok bizonyos paramétereinek) megváltoztatása és vizsgálható a változtatások hatása. Mindezek alapján egy szimulációs programcsomag nagyon hatásos eszköz lehet a tervező kezében.

2. A programrendszer főbb sajátosságai

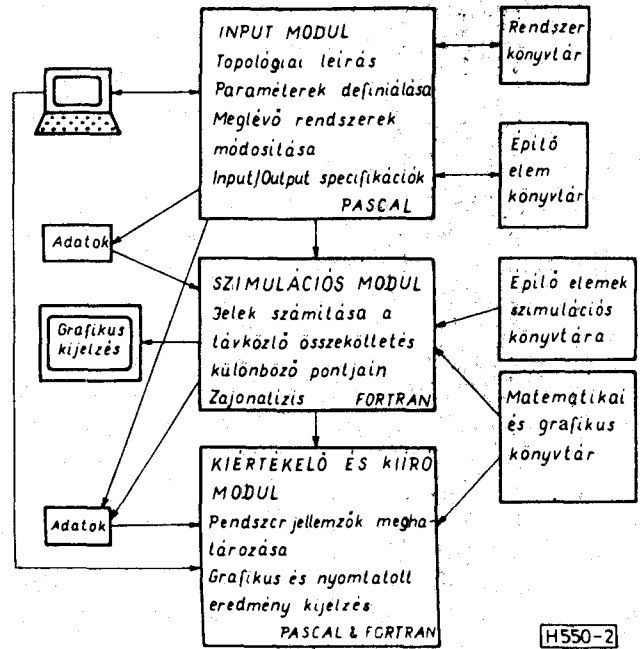
A DLSIM programcsomaggal szimulálható átviteli rendszer egy nagyon leegyszerűsített blokkvázlata az 1. ábrán látható. A bemenetre érkező digitális PCM jelet egy vonali kódoló - nagyobb távolságú átvitelre alkalmasabb - többszintű szimbólumsorozattá alakítja, mely egy jeladót vezérel. Az elemi jel a vonalon ájtutva jelentős torzulást szenved, az egymás utáni jelek átlapolódnak, így az átvitt információ azonosítása bizonytalanná válhat. Ugyancsak a helyes döntést nehezítik meg a hasznos jelhez hozzáadódó zajok. A vett jelből a digitális információ visszaállítása általában mintavételezéssel, döntéssel, majd dekódolással történik. A jeltorzulás, illetve jelátlapolódás miatt a mintavételezés időpont helyes megválasztása lényeges szerepet játszik a hibás döntések elkerülésében.

A szimulációs programcsomag funkcionális blokkvázlata a 2. ábra mutatja. A program három fő modulból áll.

Az *input modul* segítségével tudja a felhasználó definiálni a szimulálandó átviteli rendszert. A definiáló alapfunkción kívül az input modul lehetővé teszi előzőleg már definiált rendszerek könyvtárzását, utólagos módosítását. Mivel a program elsősorban ezen a modulon keresztül van kapcsolatban a felhasználóval, alapvető követelmény a felhasználó-orientált kezelhetőség.

A *szimulációs modul* az elemi vonali jelhez tartozó válaszelet határozza meg a döntő áramkör bemenetén. Mivel a program jelenlegi változatában az átviteli rendszert lineárisnak tételezzük fel, az elemi válaszelet ismeretében a bemenetre érkező tetszőleges PCM jelsorozathoz meghatározható a kimenő időfüggvény. A szimuláció a frekvencia tartományban történik. Ugyancsak a szimulációs modul határozza meg a döntő áramkör bemenetére érkező zaj spektrális teljesítmény sűrűségét (PSD).

A *kiértékelő modul* - a szimuláció eredményei alapján - adja meg az átviteli rendszer minősítéséhez szükséges információkat, rendszerjellemzőket. A bemenő jelsorozat alapján megadja a vizuális



2. ábra. A DLSIM program blokkdiagramja

kiértékeléshez nagyon informatív szemábrát, annak numerikus adataival együtt, továbbá megadja - a jel-zaj viszony függvényében és az aktuális jel-zaj viszonytól - az átviteli rendszert alapvetően minősítő szimbólum-hibarányt.

Az egyes modulok megfelelő adatfile-okon keresztül kommunikálnak egymással. A programcsomag felépítésében igyekeztünk kihasználni a személyi számítógép adta lehetőségeket: interaktív kezelhetőség, grafikus megjelenítés.

A továbbiakban a három fő programmodul felépítését és elvi működését ismertetjük részleteiben.

3. Input modul

A szimulációs program számára a szimulálandó távközli rendszert egyértelműen specifikálni kell. A specifikáció során a felhasználó számára a következő lehetőségeket kell nyújtani:

- új átviteli rendszer megadása, az összetevő elemek teljes leírásával;
- már meglévő, előzőleg definiált rendszer valamely elemének cseréje, törlése vagy módosítása;
- az újonnan létrehozott leírások felvétele az átviteli rendszereket leíró könyvtárba.

A fenti szolgáltatásokat menüvezérelt módon, felhasználó-orientált kialakításban kell megvalósítani [7]. A kifejlesztett DLSIM rendszer felhasználói input modulja teljesíti a fenti előírásokat.

A programrendszerbe történő bejelentkezéskor a főmenü a 3. ábrán látható formátumban jelenik meg a képernyőn. A főmenü funkcionális szolgáltatásait az 1. ábrázat részletezi. A DLSIM rendszerbe belépni, illetve abból kilépni csak a főmenün keresztül lehet. A CREATE funkció kiválasztása esetén az első almenü kéri az átviteli rendszer nevének megadását (max. 8 alfanumerikus karakter), a bitrate és a baudrate adatokat, valamint a bitenkénti minták számát (4. ábra). Az egyes bemenőadatoknál mérnöki formájú adatok specifikálhatók, a dimenziók megadása nem szükséges, az egyes rövidítések a következők: G(giga), M(mega), K(kilo), m(milli), u(mikro), n(nano), p(pico). Amennyiben a definiálandó paraméter értéke korlátozott, akkor olyan input értékeket nem fogad el az input program, amely az intervallum határait túllépi, hanem hibaüzenetet ad és újra kéri az adatmegadást. Numerikus adat esetén nem fogadja el betűk beírását (ez egyszerűen hatástalan, meg sem jelenik a képernyőn, hibaüzenet sem keletkezik). Természetesen a számértéket követő G, M, K, m, u, n, p karakterek megengedettek, de ezek után már újabb karakter nem írható.

A CREATE almenü adatainak megadását követően az Elemválaszték menü jelenik meg (5. ábra). Az alábbiakban ennek részletezését adjuk meg.

A program jelenlegi kiépítésében elemi vonali jelként (source) megadható:

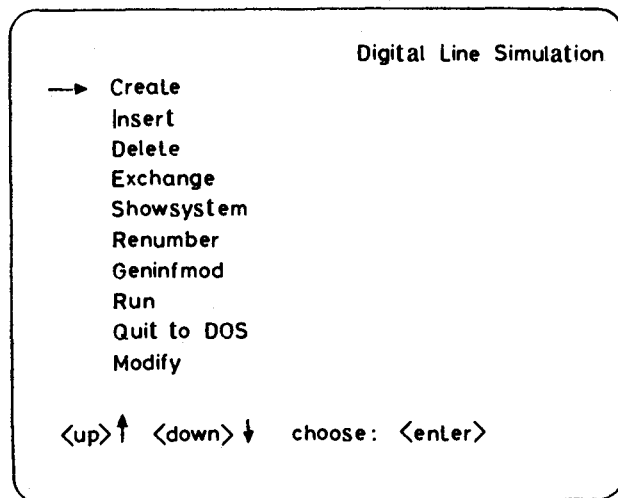
- négyszögimpulzus;
- trapéz impulzus;
- félszínusz impulzus;
- szinusznégyszög impulzus.

Kábelként (cable), a cable sor kiválasztásával megjelenik az a csoport menü, amely biztosítja, hogy a felhasználó a lehetséges kábelek közül választhasson (6. ábra):

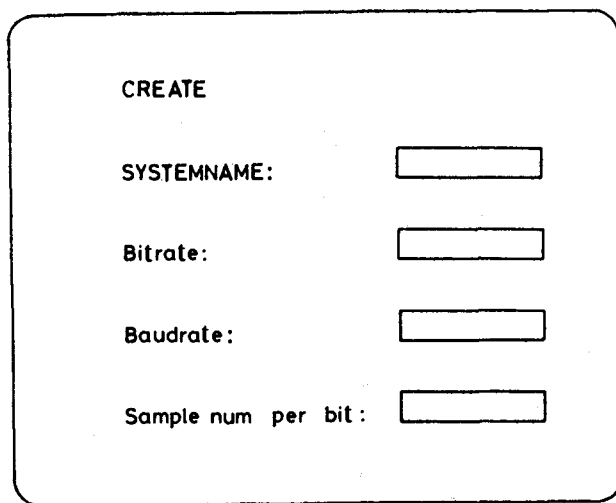
- CABFUN (kábel képlettel adott csillapítással)
- CAB12 (1.2-4.4 koaxiális kábel)
- CABWG (Wandel&Goltermann kábel utánzat)
- CABAB (kábel táblázatosan adott csillapítással és fázissal)
- CABAT (kábel táblázatosan adott csillapítással és futási idővel)

A kábel kiválasztása után megjelenik az elemdefiníciós menü (7. ábra), ahol meg kell adni az elem paramétereit és nevét, hogy a későbbiekben módosítás, csere vagy törlés esetén lehessen rá hivatkozni. Elemekre tehát névvel vagy csomóponttal kell hivatkozni. Ha az elem definíciója teljes, akkor visszatérünk az elemmenühöz.

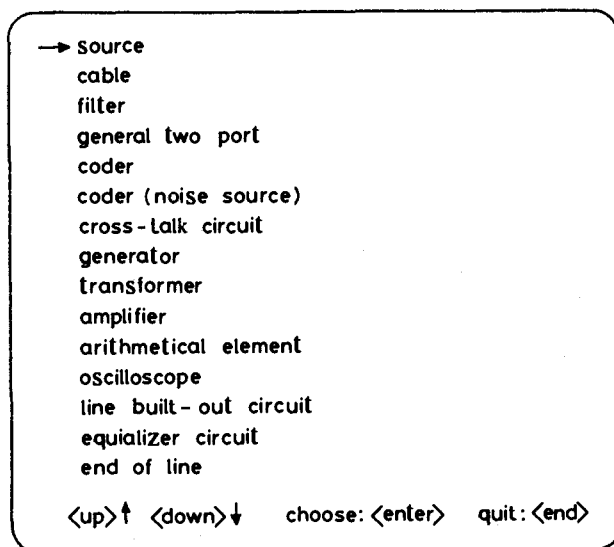
Szűrőként (filter) tetszőleges fokszámú Butterworth, Csebisev vagy Thomson alul-, felül- és sáváteresztő szűrő specifikálható a szükséges paraméterekkel.



3. ábra. Az input főmenü felépítése [H550-3]



4. ábra. A CREATE funkció almenüje [H550-4]



5. ábra. Az Elemválaszték menü felépítése [H550-5]

A főmenü szolgáltatásai

Funkció	Szolgáltatás
Create	új átviteli rendszer definiálása
Insert	új összetevő elem beiktatása
Delete	meglévő elem törlése
Exchange	összetevő elem cseréje
Showsystem	meglévő rendszer kijelzése
Renumber	módosított rendszer csomópontjainak újra sorszámozása
Geninfmod	az átviteli rendszer általános információinak megadása
Run	szimulációs futtatás kezdeményezése
Quit to DOS	visszatérés a DOS operációs rendszerbe
Modify	adott elem módosítása

CABFUN
 CAB12
 CABWG
 CABAB
 CABAT

<up>↑ <down>↓ choose: <enter> quit: <end>

6. ábra. A csoportmenü felépítése

H550-6

Általános kétkapuk (general two port) az alábbiak lehetnek:

- racionális törtfüggvénnyel adott négygólus
- pólus-zérus képpel adott négygólus.
- pontonkénti frekvenciaátviteli karakterisztikával adott négygólus

A kódolók (coder) típusai a következők:

- bipoláris (AMI) kódoló
- HDB3 kódoló
- FOMOT kódoló
- MS43 kódoló
- általános blokk kódoló.

A kódolók mint zajforrások (coder noise source):

- AMI kódoló zaja
- HDB3 kódoló zaja
- MS43 és FOMOT kódoló zaja
- általános blokk kódoló zaja.

type: CABWG signal
 pi

The name of the CABWG:

H:

jel
csomópont
↓
paraméterek

H550-7

7. ábra. Az elemdefiníciós menü felépítése

Az áthallás szimulálására az alábbi elemek szolgálnak:

- közelvégi áthallási négygólus
- speciális közelvégi áthallási négygólus
- távolvégi áthallási négygólus.

A DLSIM program további elemei:

- Gauss zajgenerátor
- transzformátor
- erősítő
- összeadó, kivonó, szorzó
- oszcilloszkóp
- kábelkiegészítő áramkörök
- kábelkiegénylítő áramkörök.

Abban az esetben, ha olyan elemet definiálunk, amelynek két bemenete van, akkor a menürendszer automatikusan kéri a zajágbeli elemek megadását. A menüszerkezetek egymás utáni hívási hierarchiája a & ábrán látható a CREATE funkció esetén.

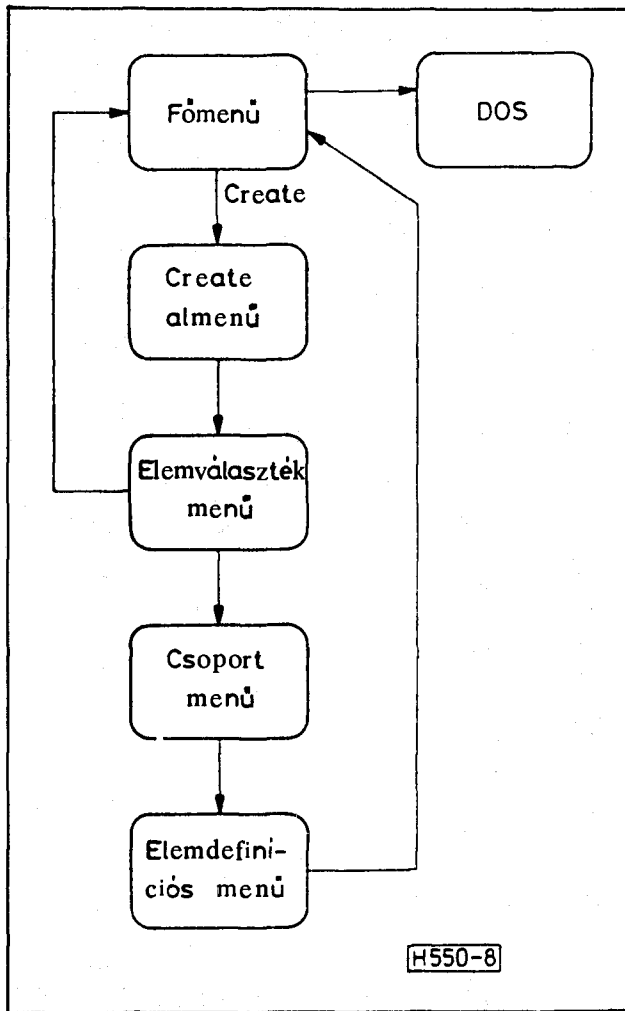
4. Szimulációs modul

A nagy távolságra történő átvitel miatt az átviteli vonal (csatorna) nem tekinthető digitálisnak, hiszen a digitális információt hordozó impulzusok a vétel helyén eltorzulva, egymás között átlapolódva jelennek meg. Az átvitelt ezért időben folytonosan, azaz analóg módon kell kezelni.

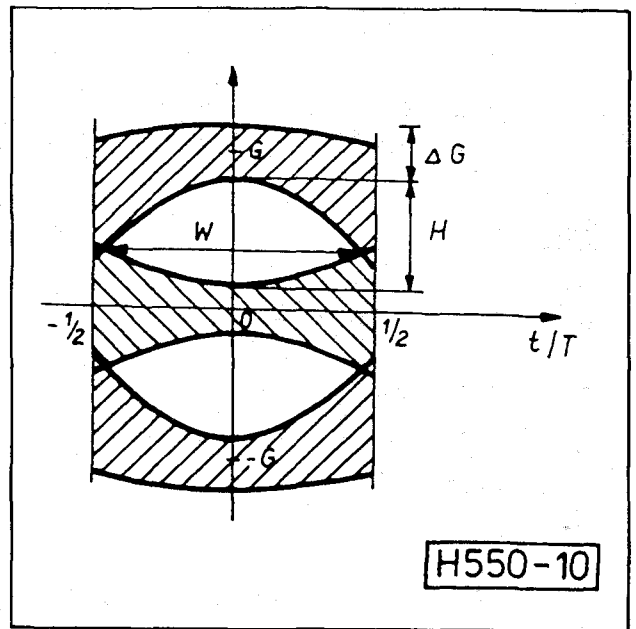
A szimulációs modul feladata az átviteli rendszer analóg szakaszán az átvitel meghatározása, vagyis a döntő áramkör bemenetén megjelenő időfüggvény megadása. Az analóg szakaszt lineárisnak tételezve fel, a vett jel a szuperpozíció alapján a

$$v(t) = y(t) + z(t) = \sum_{i=-n_1}^{n_2} a_i g(t-iT) + z(t) \quad (1)$$

alakban adható meg, ahol $y(t)$ a hasznos jel, $z(t)$ a hasznos jelet zavaró additív zaj, továbbá $g(t)$ a jeladó elemi impulzusához tartozó kimeneti válasz (9. ábra), $\{a_i\}$ a kódolt vonali szimbólumok sorozata, T a szim



8. ábra. A menüképek szekvenciája



10. ábra. Szemábra

szer építőelemeinek $h_k(t)$ súlyfüggvényeiből és az $e(t)$ elemi impulzusból sorozatos konvolúciós integrállal adódik $g(t)$. Ennél lényegesen egyszerűbb a frekvenciatartományi szimuláció, ahol az egyes építőelemek $H_k(j\omega)$ komplex átviteli függvényeinek szorzataként állítható elő a $H(j\omega)$ eredő átvitel ül. az $E(j\omega)$ bemeneti spektrum ismeretében a $G(j\omega)$ kimeneti spektrum. Az idő- és frekvenciatartomány között Fourier transzformációval közlekedhetünk.

A DLSIM programban frekvenciatartományi szimulációt valósítottunk meg. Az egyes építőelemek átvitelének számítását egy-egy megfelelő szubrutin végzi, melyeket az átviteli út felépítésének megfelelő sorrendben hív be a program. A Fourier transzformációt 1024 pontos FFT algoritmus helyettesíti. Az oszcilloszkóp építőelem segítségével (FFT szubrutin hívás) lehetőség van bármely közbülső ponton az elemi jelalak megjelenítésére.

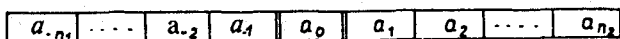
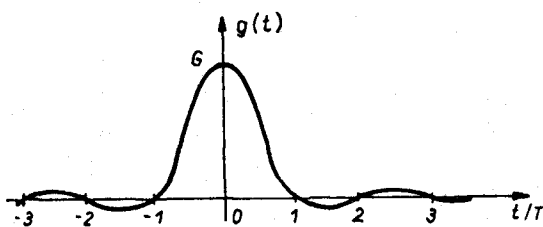
A zajszimuláció során a szimulációs modul a kimeneti $z(t)$ zaj $Z(\omega)$ spektrális teljesítménysűrűség függvényét (PSD) határozza meg. A rendszerbe belépő zaj lehet fehér zaj vagy áthallási zaj. Belépő fehér zaj esetén

$$Z(\omega) = |H_z(j\omega)|^2 N_0 \quad (2)$$

míg áthallási zaj esetén

$$Z(\omega) = M(\omega) |E(j\omega)H_z(j\omega)|^2 \quad (3)$$

ahol N_0 a fehér zaj egyoldalas spektrál sűrűsége, $H_z(j\omega)$ a zaj-út feszültség átvitele, $E(j\omega)$ az elemi vonali jel spektruma, $M(\omega)$ pedig a zavaró csatorna vonali kódolójának PSD-t módosító hatását leíró függvény. A $Z(\omega)$ PSD-vel rendelkező kimeneti zajt a program egy f_{eq} sávzélességű ekvivalens sávkorlátozott fehér

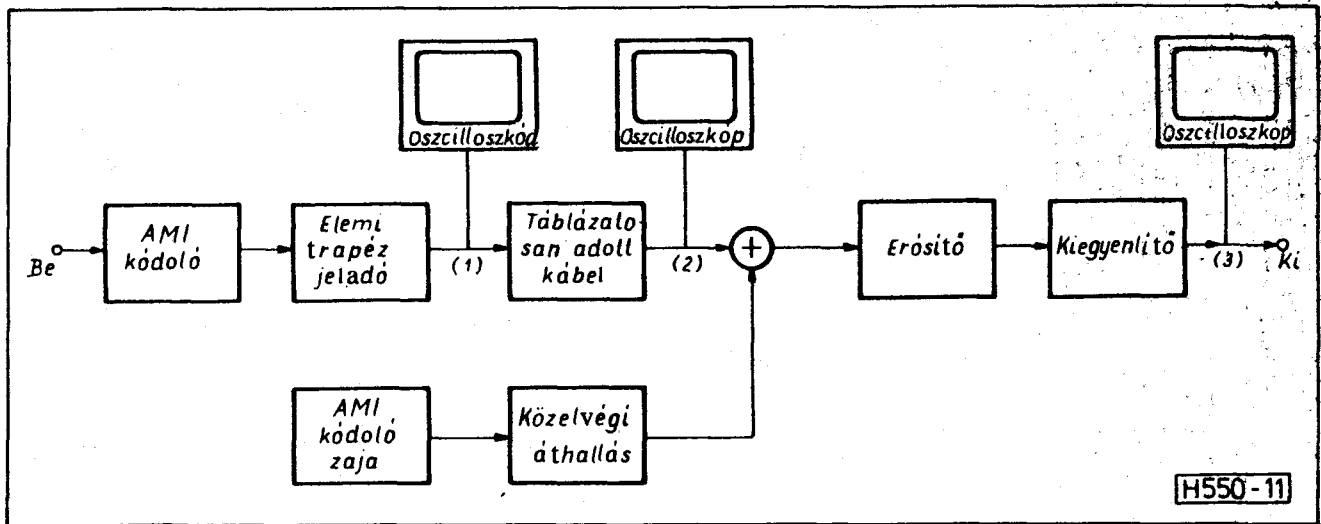


H550-9

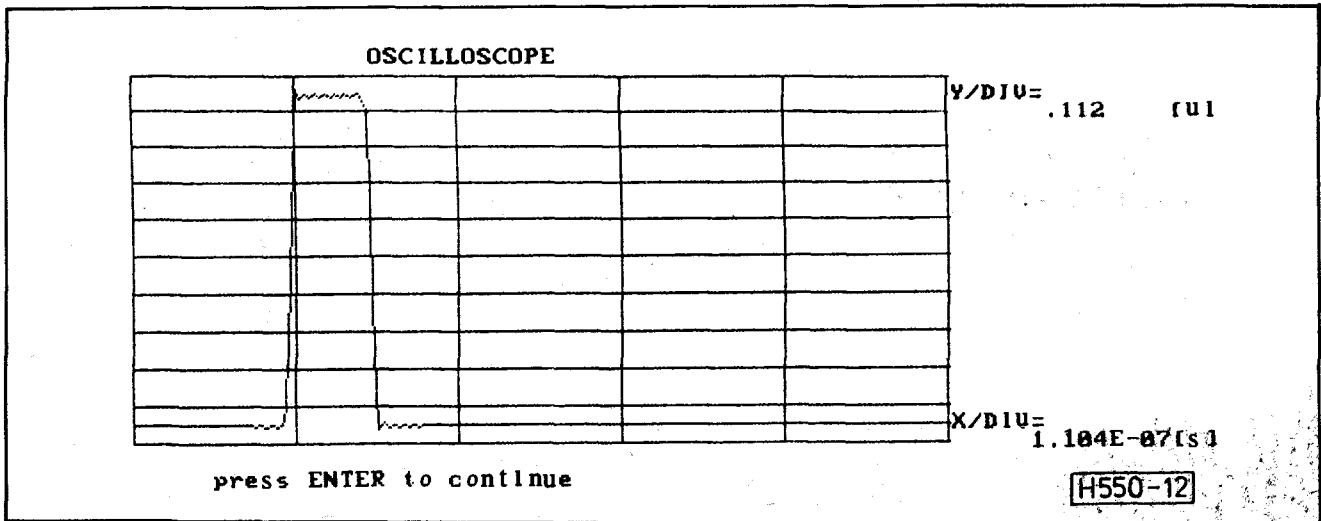
9. ábra. Elemi válaszel és az a_i szimbólumsorozat

bólumok ismétlési ideje, n_2 ill. n_1 egy kiszemelt a_0 szimbólumot megelőző ill. követő átlapolódó szimbólumok száma.

A jelátvitel szimulációja során (1) szerint elegendő a $g(t)$ elemi válaszel meghatározása. A szimuláció elvileg akár az idő-, akár a frekvenciatartományban lehetséges. Időtartományi szimuláció esetén a rend



11. ábra. 8 Mbit/sec-os PCM átviteli vonalszakasz



12. ábra. Elemi trapézjel a 11. ábra (1)-es jelű pontján

zajjal helyettesíti, melyet Gauss amplitúdó eloszlásúnak tételezünk fel σ szórással:

$$\sigma^2 = \frac{2}{f_{eq}} \int_0^{\infty} Z(f) df \quad (4)$$

5. Kiértékelő modul

A szimulációs modul eredményeinek megjelenítését, valamint az átviteli rendszert minősítő kvalitatív és kvantitatív jellemzők meghatározását a kiértékelő modul végzi. Így megjelenik a képernyőn a $g(t)$ válaszjel és - amennyiben volt zajszimuláció - a kimeneti zaj $Z(f)$ spektrális teljesítmény sűrűség függvénye. A grafikus képernyőtartalom - például dokumentációs célra - mindenkor kinyomtatható. Az

ábrákkal együtt jelenik meg a program továbbindításához szükséges információ is.

Az átvitel minőségének szemléletessé tételére szolgál az ún. szemábra. Ez nem más, mint a döntő áramkör bemenetén megjelenő zajos $v(t)$ vagy zajmentes $y(t)$ jel egymás utáni T idejű szegmenseinek egymásra rajzolása (10. ábra), mely a kiadódó - egy vagy több - szemszerű alakzatról kapta nevét. A szemábra $g(t)$ elemi válaszjelből vagy egy előre adott (általában worst-case) vagy egy generált álvéletlen $\{d_i\}$ bitsorozatból kódolt $\{a_i\}$ szimbólumsorozat alapján az (1) összefüggés szerint állítható elő. A szemábra egy vonalát kapjuk meg, ha az $\{a_i\}$ sorozat egy $n = n_1 + n_2 + 1$ hosszúságú ablaka fölött értékeljük ki (1)-et (1.: a 9. ábra), majd a következő vonalhoz a sorozatot eggyel léptetjük az ablakhoz képest.

Ahhoz, hogy az információ visszanyerését szolgáló döntés helyes lehessen, a szemnek nyitva kell lennie. A

helyes döntés valószínűsége akkor a legnagyobb, ha a mintavételi időpontot a maximális szemnyílás helyére választjuk meg és a döntési szint(ek)et a nyitott szem(ek) közepénél vesszük fel. A program a szemábrával egyidejűleg a képernyőn megadja az alábbi numerikus jellemzőket is (10. és 16. ábra): a jel csúcserő (G), max. szemnyílás (H), a szem szélessége (W), a szimbólumközi áthallás (ISI) mértéke (ΔG), a zajtartalom, a zaj effektív értéke (σ szórása), jel-zaj viszony ISI-vel és anélkül, valamint a szimbólum hibaarány egy közelítő worst-case értéke. A szemábrán a mintavételi időpontot a kurzor mozgatásával változtatható, és a fenti adatok az új beállításhoz tartozóan is kiíródnak.

Az átviteli rendszer egyik legfontosabb jellemzője a hibaarány. Ez hosszúidejű átlagban a hibás döntések száma viszonyítva az összes döntéshez, vagy pontosabban fogalmazva a hibás döntés valószínűsége (P_e). Feltételezve, hogy az $\{a_i\}$ szimbólumsorozat nullára szimmetrikus és azonos távolságú M különböző szintértéket vehet fel egyforma valószínűséggel, továbbá, hogy a zaj nulla várható értékű és Gauss eloszlású σ szórással, a hibaarányra a

$$P_e = 2 \left(1 - \frac{1}{M} \int_{-\Delta G}^{\Delta G} Q \left[\frac{d-y}{\sigma} \right] f(y) dy \right) \quad (5)$$

összefüggés vezethető le (8), ahol d a döntési szintek fél távolsága, Q(z) a normalizált Gauss eloszlás ún. hibafüggvénye és f(y) az ISI sűrűségfüggvénye, melyet gyakorlatilag sohasem ismerünk. Ezen utóbbi nehézség áthidalására az irodalomban több módszer ismeretes: a DLSIM programban a Gauss kvadratura szabályt (GQR) alkalmaztuk [9]. Ezzel

$$P_e = 2 \left(1 - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^N w_i Q \left[\frac{d-x_i}{\sigma} \right] \right) \quad (6)$$

ahol x_i és w_i az N-edrendű GQR közelítésből adódó számpárok. A részletekre vonatkozóan a [8,9] irodalmakra utalunk.

A kiértékelő modul N=5...10 értékekre grafikusán megadja a szimbólum hibaarányt (SER) a jel-zaj viszony (SNR) függvényében, az aktuális jel-zaj viszonyt külön is feltüntetve az ábrán (l.: a 17. ábra).

6. Mintapélda

A DLSIM programmal szimuláltuk a 11. ábrán vázolt 8 Mbit/sec-os PCM átviteli vonalszakaszt. Az elemi jel 1 voltos amplitúdójú $T=118,36$ nsec bitidejű $\tau=59,18$ nsec időtartamú $t_e=t_r=5,918$ nsec emelkedési és lefutási idejű trapézjel (12. ábra). A kábel csillapítása és fáziskarakterisztikája a 2. táblázatban talál-

2. táblázat.

A kábel csillapítása és fázisforgatása

Frekvencia MHz	KÁBEL	
	Csillapítás dB	Fázisforgatás rad
0.1	8.46	0.87
0.3	14.6	1.51
0.5	19.0	1.87
0.7	22.5	2.14
1.0	26.8	2.45
3.0	6.6	3.47
4.0	53.7	3.64
4.2	55.0	3.66
5.0	56.4	3.68
8.0	76.0	3.81

3. táblázat.

A kiegyenlítő áramkör paramétereinek értéke

ELEM		ELEM	
Neve	Értéke	Neve	Értéke
R ₁	2,5 ohm	R ₅	284 ohm
L ₁	5,09 μ H	L ₂	11,2 μ H
R ₂	1180 ohm	R ₆	1 Mohm
C ₁	123 pF	C ₂	114 pF
R ₃	15807 ohm	R ₇	10520 ohm
R	75 ohm	ω_0	66,8 Mr/s

ható. Az erősítő a vizsgált frekvenciasávban állandó; erősítés értéke $A_0=10000$.

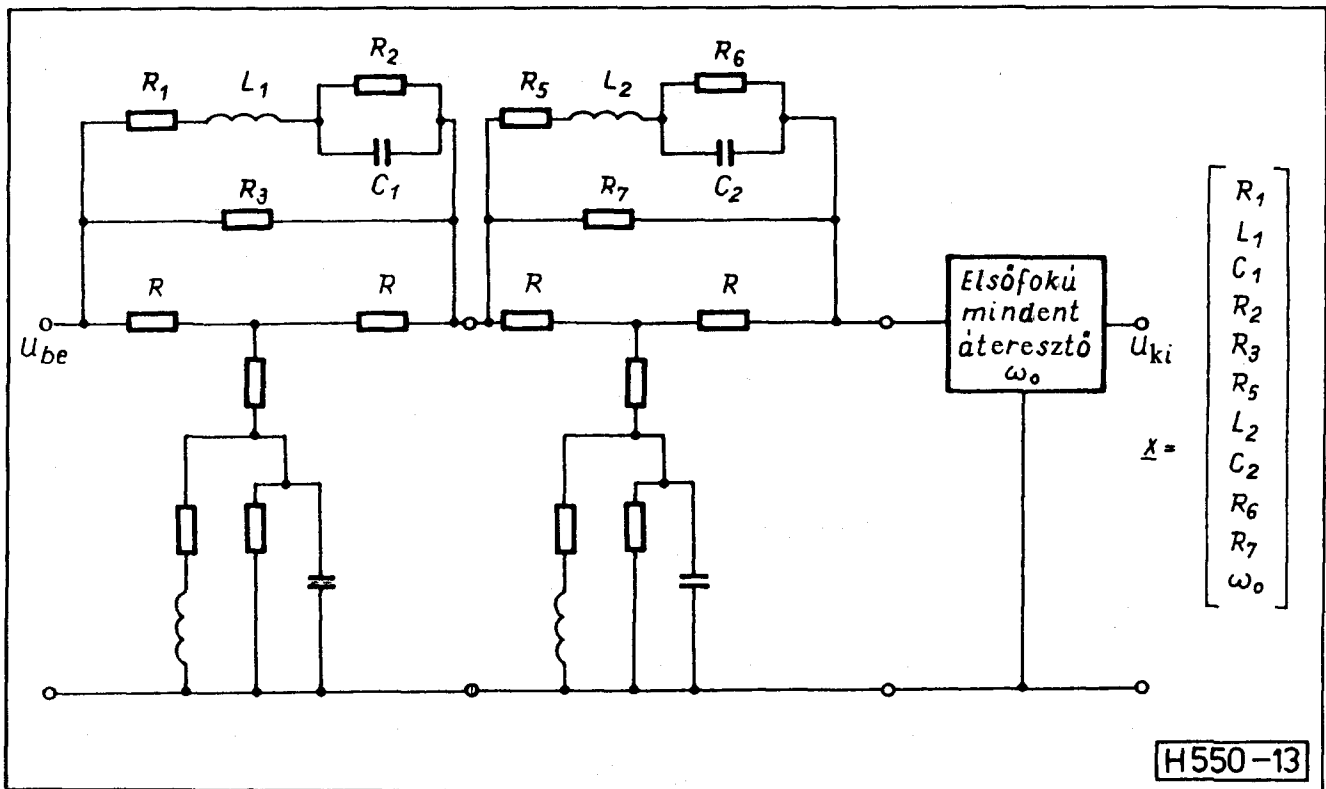
A kiegyenlítő áramkör felépítését a 13. ábra mutatja, az áthidaló ágak elemeinek értékét a 3. táblázatban láthatjuk. A keresztági elemek ezek 75 ohmra vonatkoztatott duáljai. A kiegyenlítő tervezését a Híradástechnikai Elektronika Intézetben a Telefongyár részére kifejlesztett KOPTI85 azonosítójú programmal végeztük [10].

A zajt egy szomszédos csatorna áthallása formájában tételeztük fel, így az AMI kódoló (mint zajforrás) zaja a kábel közelségi áthallásán keresztül jut a jelútba.

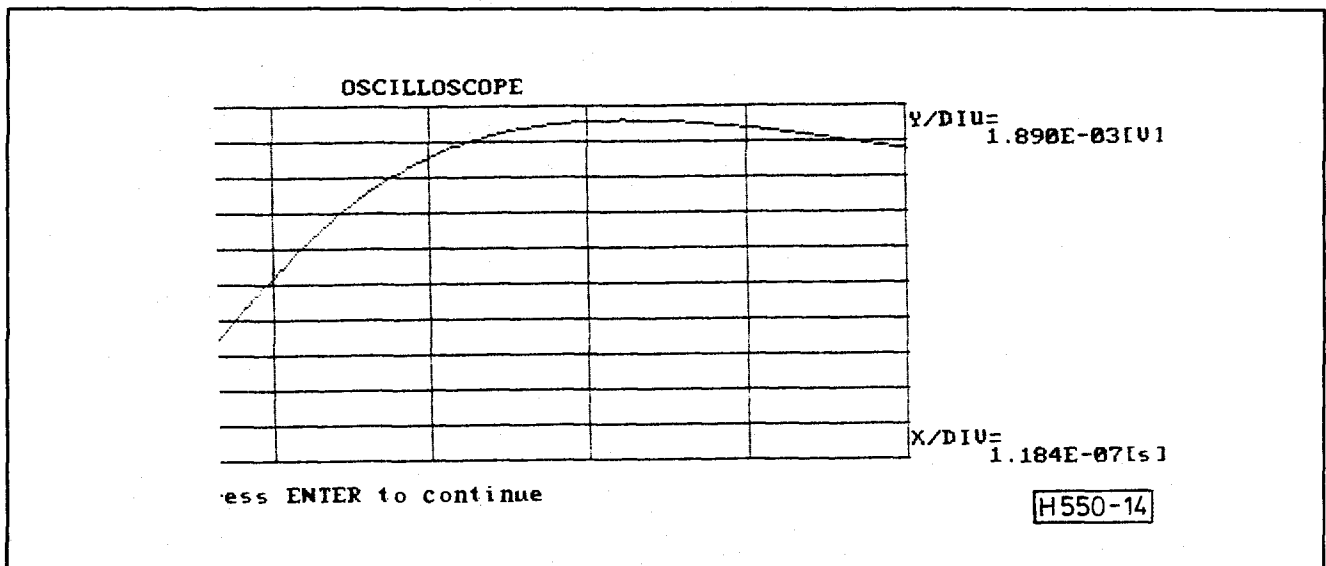
Az átviteli út (1), (2), (3) jelű pontjaiba grafikus kijelzőt, "oszilloszkópot" helyeztünk. A 14. ábra mutatja a kábel torzító hatását, a kiegyenlített jelet a 15. ábrán láthatjuk.

Az átviteli út minősítésére rajzoltattuk ki a szemábrát (16. ábra), amely mellett az egyéb minősítő adatok is láthatók.

A 17. ábra a rendszerre jellemző szimbólum hibaarányt adja a jel-zaj viszony függvényében, bejelölve az aktuális jel-zaj viszonyt.



13. ábra. Kiegyenlítő áramkör



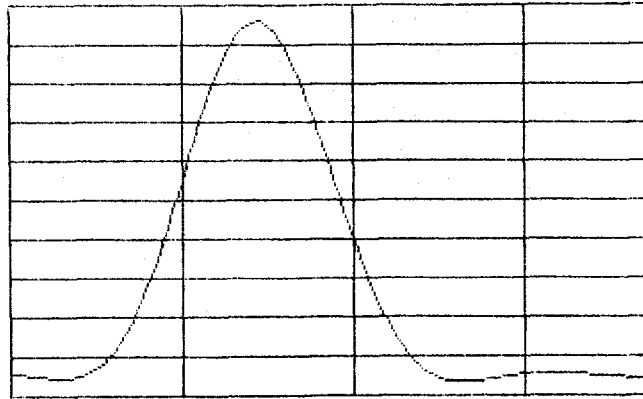
14. ábra. A kábel által torzított jel a 11. ábra (2)-es jelű pontján

7. Összefoglaló

A digitális hírközlés hatalmas jelentőségét e folyóirat olvasói számára szükségtelen részletezni. A hírközlő rendszerek feladata szerteágazó, specifikációjuk egyre szigorúbb, tervezésük számítógépes szimuláció nélkül elképzelhetetlen. Erre utal az is, hogy 1984-ben és 1988-ban az IEEE Journal on Selected Areas in Communications folyóirat különszámot jelentetett meg e témában [11,12] és a következő különszám 1991. januárjában fog megjelenni.

A jelen cikkben ismertetett DLSIM program az alapsávi PCM összeköttetés szimulációját végzi. A szimulálandó rendszer topológiáját a felhasználó - az elemkönyvtárban szereplő blokkokból - szabadon választhatja meg. További flexibilitást jelent, hogy az egyes blokkok paramétereit a felhasználó választja meg, illetve módosíthatja. A program több, mint egy hagyományos analízis program, mivel kezelni képes olyan speciális áramköröket, amelyek analízis programmal nem vizsgálhatók. Ilyenek például a pontonként mért karakterisztikával ismert és megadható

OSCILLOSCOPE

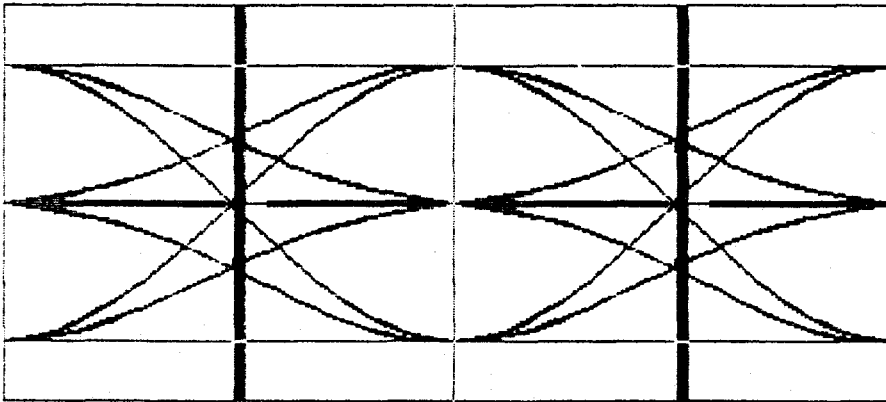


press ENTER to continue

15. ábra. A kiegyenlített jel a 11. ábra (3)-as jelű pontján

Eye-Pattern

DLINE-8

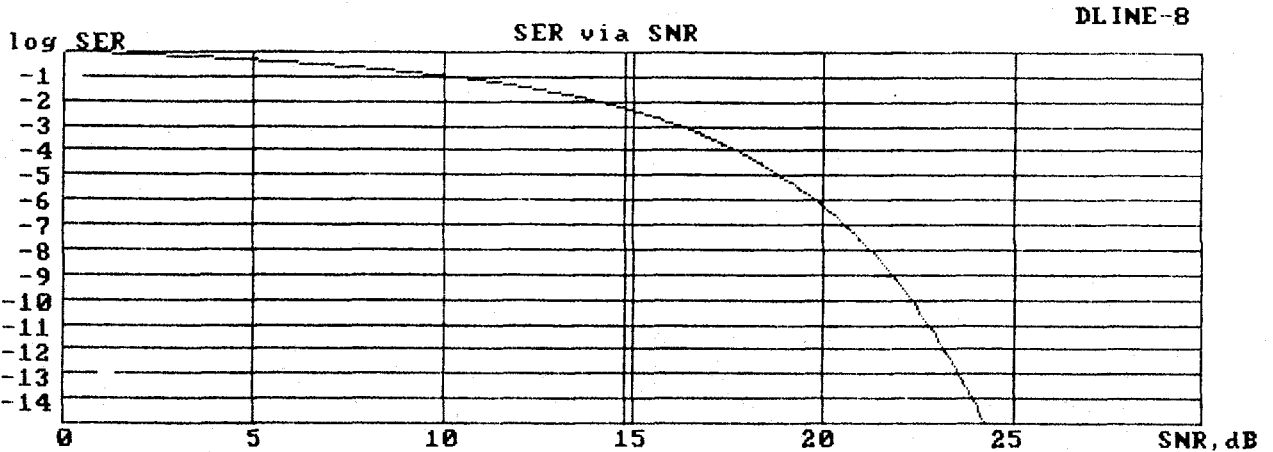


Signal peak = 1.168 Volt
 Eye opening = 1.137 Volt (97%)
 Eye width = 0.096 usec (S1%)
 ISI = 0.031 Volt (3%)
 Noise margin = 31.3 dB
 Noise effective = 0.213 Volt
 SNR without ISI = 14.8 dB
 SNR with ISI = 14.6 dB
 Worst-case SER = 6.271E-03

Set decision time with cursor keys <- and ->, END stops setting

H550-16

16. ábra. Szemábra a 8 Mbit/sec-os átvitelnél



Actual SER = 5.143E-03
 Press any key to continue

H550-17

17. ábra. Szimbólumhibaarány a jel-zaj viszony függvényében

áramkörök, melyek szimulációját optimalizálási és interpolálási eljárások [13] segítségével végezzük.

A DLSIM program FORTRAN és PASCAL nyelven készült IBM PC/AT gépre. A távközlés új irányzatai - optikai hírközlés, integrált szolgáltatású digitális hálózatok, stb. - a szimulációs program fejlesztésének irányát is megszabják.

8. Köszönetnyilvánítás

A DLSIM szimulációs program elkészítéséhez nyújtott segítségükért a szerzők köszönetüket fejezik ki Dr.Géher Károly témavezetőnek, Paksy Gézának, a Telefongyár Átviteltechnikai Főosztálya osztályvezetőjének, továbbá Baumann Ferenc, Bárányné dr.Sülle Gabriella, Tihanyi Attila kollégáiknak, valamint diákjaiknak, Adamis Gusztávnak, Mudrák Istvánnak és Saffer Zsoltnak.

IRODALOM

- [1]M. Fashano and A.L.Strodbeck: Communication Sytems simulation and analysis with SYSTID. IEEE J.Select. Areas Commun., vol. SAC-2, pp. 8-29, Jan. 1984.
- [2]M.Ajmone Marsan et al., Digital simulation of communication systems with TOPSIM III. IEEE J.Select.Areas Commun., vol. SAC-2, pp. 29-40, Jan. 1984.
- [3]W.H.Tranter and C.R.Byan, Simulation of communication systems using personal computers. IEEE J.Select.Areas Commun., vol. SAC-6, pp. 13-23, Jan. 1988.

- [4]K.S.Shanmugan et al., Block-oriented systems simulator (BOSS), in Proc. MILCOM'86, Oct. 1986, paper 36.1.
- [5]Baumann F., Csopaki Gy., Halász E., Tihanyi A., Trón T.: Használati utasítás a DLSIM programhoz (Témavezető Géher K.). A program a Telefongyár megbízásából készült a BME HEI-ben, 1988. október.
- [6]E.Halász - T.Trón - G.Adamis - F.Baumann - Gy.Csopaki - I.Mudrák - G.Paksy - A.Tihanyi: Digital Line Simulation Using Personal Computers. Proceedings of WORKSHOP on Network Theory and Application, Prague 1989 (Megjelenés alatt).
- [7]Adamis G.: Digitális távközlő rendszerek számítógépes szimulációjának felhasználói interfésze. Végzős konferencia '89 kiadványa, BME Villamosmérnöki Kar, 247-252. old.
- [8]Csopaki Gy. - Halász E. - Tihanyi A. - Trón T.: PCM rendszer vonali szakaszát szimuláló program algoritmikus rendszerterve. Tanulmány a Telefongyár megbízásából, BME HEI, 1988. április.
- [9]M.H.Mayers: Computing the distribution of a Random Variable via Gaussian Quadrature Rules. BSTJ, Vol. 61, Nov. 1982, pp. 2245-61.
- [10]Baumann F. - Halász E. - Tihanyi A. - Paksy G.: PCM összeköttetés korrektoraiknak számítógépes tervezése. Híradástechnika, XXXIX. évf. 3. sz., 104-110. old. 1988. március.
- [11]IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Special Issue on Computer-Aided Modelling, Analysis, and Design of Communication Systems. Vol. SAC-2, No. 1., Jan. 1984.
- [12]IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Computer-Aided Modelling, Analysis, and Design of Communication Systems II. Vol. SAC-6, No. 1. 1988.
- [13]Mudrák I.: Interpolációs eljárások digitális távközlő áramkörök modellezésében. Tudományos Diákköri Dolgozat, BME Villamosmérnöki Kar, 1988.