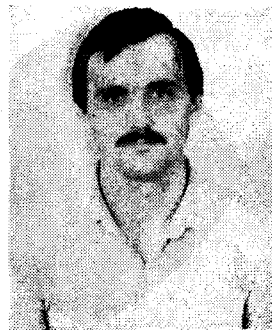


PCM összeköttetés korrektorainak számítógépes tervezése

BAUMANN FERENC—DR. HALÁSZ EDIT—
TIHANYI ATTILA
BME Híradástechnikai Elektronika Intézet
PAKSY GÉZA
Telefongyár



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a kábeles digitális átviteli rendszerekben alkalmazott fix és változtatható amplitudókorrektorok számítógépes tervezését mutatja be. A BME—HEI-ben készült programok a döntés szempontjából optimális jelalakot adó korrektorok áramkörti elemeinek meghatározását egy frekvenciatartományban értelmezett célfüggvény minimalizálásával végzik. A cikk különféle átviteli sebességre tervezett korrektorok mintapéldáin keresztül mutatja be a programok hatékonyságát.

1. Bevezetés

A frekvencia osztásos (FDM) távközlési berendezések korrektorait frekvenciatartományi csillapítás kiegyenlítésére méretezték. A méretezést grafikonok [1], számítógépes programok [2] segítették. A PCM összeköttetés regenerátorai alkalmazott korrektorok az előbbinél bonyolultabb feladat ellátását végzik. A korrektoroknak az átvivő kábel lineáris torzítása, és az áthallási és termikus zajok miatt fellépő jelalaktorzulásokat oly módon kell korrigálni, hogy a vett jel felismerhető, regenerálható legyen. Ez egy időtartományi tervezést igényel. Jelen cikkben bemutatunk egy hatékony eljárást, amely segítségével időtartományi előírásoknak megfelelő amplitudó korrektorok tervezhetők [3]. A tervezés kritériuma előírást jelent a korrektor amplitudó és fáziskarakterisztikájára egyidejűleg. A tervezés algoritmusá alapján két számítógépprogram készült a Telefongyár részére. Mindkét program lehetőséget ad különböző alakú adó jelek választására, különböző vonali kódok felvételére. A tervezést a szomszédos rendszerek okozta közel vagy távlevégi áthallásának figyelembe vétele mellett oldja meg. A KOPOZE program [4] adott hosszúságú kábel kiegyenlítésére alkalmas lineáris áramkör transzfer függvényét szolgáltatja eredményül racionális törtfüggvény formájában. A KOPTI85 [5] program adott struktúrájú kiegyenlítő és ledégesztő áramkörök paramétereit határozza meg. A kiegyenlítő áramkörök adott hosszúságú (átlagos hossz, minimális hossz v. maximális hossz) kábelek kiegyenlítését végzik. A ledégesztő áramkörök szolgálnak az adott hosszúságtól eltérő kábelek okozta torzítás, hőmérsékletfüggés stb. kompenzálására. Ily módon a ledégesztő áramkörök vagy ún. Bode korrektorok vagy kábelutánzatok vagy kiegyenlítő típusú áramkörök. Közös tulajdonsá-

BAUMANN
FERENC

A BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnika szakán végzett 1985-ben. Már egyetemi hallgatóként részt vett a PCM vonali korrektorok tervezésében. Munkáját rek-

tori különdíjas Tudományos Diákköri (TDK) dolgozat fémjelzi, mely első helyezést ért el az országos TDK találkozón. Pályáját a HEI Átvitel-és Rendszertechnika Osztályán folytatta. Érdeklődési területe: digitális jelátvitel és jelfeldolgozás.

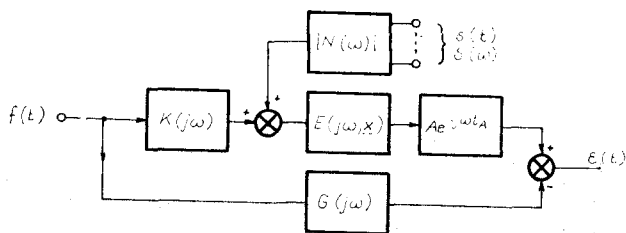
guk, hogy egy (két) ellenállás automatikus változásával végzik a jel korrigálását.

A programok a tervezést optimalizáló matematikai eljárást alkalmazó iteratív szintézissel végzik. Az optimalizált minimalizálandó hibafüggvénye az ideális átviteli karakterisztika és a választott struktúrájú (hálózatfüggvényű) áramkör átviteli karakterisztikája közti eltérés a teljes frekvenciatartományban.

A 2. pontban a tervezés algoritmusát ismertetjük. A 3. pontban adjuk meg a korrektor hálózatfüggvényét ill. az alkalmazott kapcsolásokat. A mintapéldákat a 4. pont tartalmazza. A cikket a tervezett áramkörök gyakorlati ellenőrzésének ismertetésével és irodalomjegyzékkel zárjuk.

2. A tervezés algoritmusá

Az 1. ábra az átviteli utat, a korrektor áramkört, az áthallási négyfólyust is tartalmazó modellt mutatja be. Ezen modell alapján ismertetjük a tervezés algoritmusát, s ezen belül megmutatjuk azt, hogy az időtartományi előírás hogyan vezethető vissza frekvencia tartományi hibafüggvény minimalizálásra.



1. ábra. A tervezés matematikai modellje

Beérkezett: 1987. XI. 18. (↔)



A Budapesti Műszaki Egyetemen szerzett villamosmérnöki oklevelet. Majd a Villamosmérnöki Kar Vezetékes Híradástechnika Tanszékén, utóbb annak jogutódjánál, a Híradástechnikai Elektronika Intézetben egyetemi docensként dolgozik. Fő érdeklődési területe a számítógépes szintézis és a távközlés. Részt vett számos ipari kutatómunkában. Egyetemi doktori értekezését 1972-ben, kandidátusi értekezését 1983-ban védte meg.

2.1. A tervezés matematikai modellje

A matematikai modellben szereplő mennyiségek:
 $S(\omega)$: az adójel teljesítmény sűrűség spektruma

$G(j\omega)$: az ideális átviteli függvény

$K(j\omega)$: a kábel átviteli karakterisztikája, $U_{ki}/U_{be}(j\omega)$

$E(j\omega, \underline{x})$: a regenerátor kiegyenlítőjének és igazító áramkörének $U_2/U_1(j\omega, \underline{x})$ karakterisztikája, ahol \underline{x} vektor az áramköri paramétereiből vagy a transzfer függvény együtthatóiból képzett vektor a megvalósítandó áramkör átviteli függvénye és az ideális átviteli függvény, $G(j\omega)$, erősítés- és késleltetési idő különbségének korrigálására szolgáló fikatív változók.

A, t_A : a megvalósítandó áramkör átviteli függvénye és az ideális átviteli függvény, $G(j\omega)$, erősítés- és késleltetési idő különbségének korrigálására szolgáló fikatív változók.

$N(\omega)$: a közel- vagy a távlevégi áthallásra jellemző négy pólus transzfer függvénye.

n : a zavaró rendszerek száma

$e(t)$: az ideális és a valós áramkörön áthaladt jel különbsége

Az adójel leírása

Az átvíendő PCM jelsorozat az

$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k f(t - kT)$$

formulával írhatjuk le, ahol $f(t)$ az adó elemi jelalak, a_k pedig az információt hordozó digitális sorozat, k -edik tagja értéke $+1$, -1 lehet két-szintű, $+1$, 0 , -1 pedig háromszintű átvitel esetén.

A program az alábbi $f(t)$ elemi jelalakokat tudja kezelni:

- négyszög
- trapéz
- félszínusz

Az egyes elemi jelek jellemzői a 2. ábrán láthatók. Az adó elemi jelek Fourier transzformáltjainak abszolútérték negyzete:

négyszög: $|F_1(\omega)|^2 = \left[T_i \frac{\sin(\omega T_i/2)}{\omega T_i/2} \right]^2$

trapéz: $|F_2(\omega)|^2 = \frac{16}{a^2 \omega^4} \sin^2 \frac{\omega T_i}{2} \sin \frac{a\omega}{2}$

félszínusz: $|F_3(\omega)|^2 = \left[\frac{2\pi T_i \cos(\omega T_i/2)}{\pi^2 - (\omega T_i)^2} \right]^2$

ahol T_i : az adóimpulzus szélessége
 a : a trapézimpulzus felfutási ideje.

$S(\omega)$ adójel teljesítménysűrűség spektrum

A digitális adó által létrehozott $s(t)$ sztochasztikus folyamat valószínűségi jellemzőit az információt hordozó a_k diszkrét értékű sorozat határozza meg. A a_k azonban statisztikusan nem független, a vonali kódolás szabályaitól függő korreláció miatt az $\{s(t)\}$ folyamat $S(\omega)$ teljesítménysűrűségének meghatározására nem alkalmazható a stacionáris folyamatokra érvényes Wiener—Hincsin tétel. A kódolt véletlenváltozó digitális jelsorozatok teljesítménysűrűség spektrumának meghatározására Cariolaro [6] dolgozott ki eljárást. E módszer felhasználására a Telefongyár megbízásából készítette el a BME—HEI a SPEK programot [7, 8]. A program felhasználásával számítható ki különféle, a PCM technikában alkalmazott vonali kód spektruma.

A program a vonali kódok közül az AMI (Alternate Mark Inversion), A HDB—3 (High Density Bipolar) és az MBNT típusú blokk kódokat képes kezelni.

AMI kód

$$S(\omega) = \frac{|F_k(\omega)|^2}{T} \sin^2 \frac{\omega T}{2}$$

HDB—3

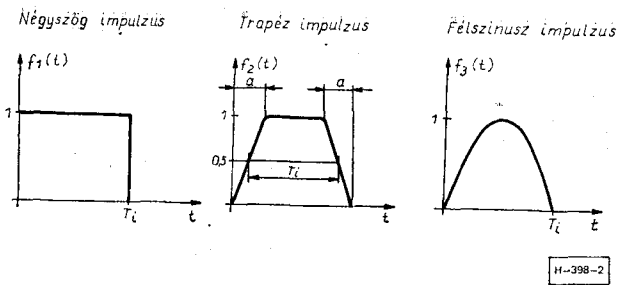
$$S(\omega) = \frac{|F_k(\omega)|^2}{T} \frac{-40 + 32 \cos \omega T}{465(1025 - 64 \cos 5\omega T)} \times \left[75,5 - 1797 \cos \omega T + 1073 \cos 2\omega T + 320 \cos 3\omega T \right.$$

$$\left. - 288 \cos 4\omega T + \frac{565125 \cdot 5 - 580957 \cos \omega T + 1521 \cos 2\omega T}{16 \cos 3\omega T + 24 \cos 2\omega T + 44 \cos \omega T - 85} \right]$$

NBNT blokk kódok folytonos komponense

$$S(\omega) = \frac{|F_k(\omega)|^2}{T} \left(\sum_{i=0}^{N-1} A_i \cos \omega_i T + \frac{\sum_{i=0}^{N(I+1)-1} N_i \cos \omega_i T}{\sum_{i=0}^I D_i \cos \omega_i N T} \right)$$

A fenti képletben I a kódállapotok száma. A program A_i, N_i, D_i, I bemenő adatait a SPEK program [8] szolgáltatja általános esetben, az MS43 és a FOMOT elnevezésű 4B3T kódok spektrum együtthatóit pedig a KOPTI85 program tartalmazza.



2. ábra. Adó elemi jelalakok

$G(j\omega)$ Az ideális átviteli függvény

A hibamentes detektálás feltételeit a közismert Nyquist feltételek határozzák meg. Gyakorlati szempontból kedvező, ha a döntő áramkör bemenetére $\sin^2 t$ alakú jel jut.

$G(j\omega)$ az az ideális átviteli függvény, mely a megválasztott adójelalakból $\sin^2 t$ alakú impulzust állít elő. A különböző adójelekhez tartozó ideális átviteli függvények az alábbiak:

$$G_1(j\omega) = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi^2}{\pi^2 - \omega^2 T_w^2} \frac{\sin \omega T_w}{\sin \omega T_i / 2} e^{-j\omega(T_w - T_i/2)}$$

$$G_2(j\omega) = G_1(j\omega) \frac{e^{j\omega \frac{a}{2}}}{\sin \frac{\omega a}{2}} \frac{\omega a}{2}$$

$$G_3(j\omega) = \frac{\pi}{2\omega T_i} \frac{\pi^2 - \omega^2 T_i^2}{\pi^2 - \omega^2 T_w^2} \times \frac{\sin \omega T_w}{\cos \omega T_i / 2} e^{-j\omega(T_w - T_i/2)}$$

$K(j\omega)$ kábel karakterisztika

A kábel átvitelének megadására három lehetőség van:

- Frekvenciaként megadható a kábel csillapításának (decibel) és fázisának (radián) értéke.
- Lineáris fázismentű kábelek esetén frekvenciánként csak a kábel csillapítását kell megadni. Az ilyen típusú megadás elvi lehetőségéről készült a [9] tanulmány.
- 1,2/4,4 mm-es koaxiális kábel esetén elegendő csak a vizsgálati frekvenciákat és a kábel hosszát megadni. Ekkor a csillapítás és fázis adatokat az alábbi képletből számítja a program.

$$a(f) = 5 \cdot 2\sqrt{f} + 3,85 \cdot 10^{-3} \cdot f, \text{ dB/km; } f, \text{ MHz}$$

$$b(f) = 22 \cdot 18f + 59 \cdot 84 \cdot 10^{-2}\sqrt{f}, \text{ rad/km; } f, \text{ MHz}$$

Áthallás

A program vagy közelvégi vagy távolvégi áthallást vesz figyelembe az alábbi összefüggések szerint. Közelvégi áthallás esetén:

$$|N(\omega)| = N_0 (f \cdot 2 \cdot T_i)^{0,75}$$

A BME Villamosmérnöki Kar Híradástechnikai Szakán végzett 1985-ben. Azóta a Híradástechnikai Elektronikai Intézet dolgozója. Már hallgató éveiben sokat foglalkozott a digitális átviteli berendezések korrekoraival. Ebben a témában rektori elsődíjas Tudományos Diákköri (TDK) dolgozatot írt, amivel az országos TDK találkozón is szép sikerrel szerepelt. További munkája során is foglalkozik a korrekterok méretezési kérdéseivel. Érdeklődési területe: a digitális jel-feldolgozás, beszédkutatás.



TIHANYI ATTILA

ahol $|N(\omega)|$ a közelvégi áthallási karakterisztika abszolútértéke és N_0 a közelvégi áthallás az $1/2T$ frekvencián

$f = \omega/2\pi$ a frekvencia, Hz
 T_i az elemi jelidő, sec (lásd 2. ábra)

Távolvégi áthallás esetén

$$|N(\omega)|^2 = K_{FO} \cdot (f/f_0)^2 \cdot l/l_{\max}$$

ahol $|N(\omega)|$ a távolvégi áthallás karakterisztika abszolútértéke

K_{FO} a távolvégi áthallás az $1/2T$ frekvencián

$f = \omega/2\pi$ a frekvencia, Hz

$f_0 = 1/T_i$ ahol T_i az elemi jelidő, sec (lásd 2. ábra)

l/l_{\max} a zavaró kábel relatív hossza

A program $n(=0, 1, \dots, 99)$ zavaró rendszert tud figyelembe venni.

2.2. A tervezés célfüggvénye

Az 1. ábrán az $e(t)$ az ideális és valóságos átvitt jel eltérése. Az $\varepsilon(t)$ autókorrelációs függvényének null helyen vett értéke: σ^2 , a tervezés minimalizálandó célfüggvénye. A $\sigma^2(x, A, t_A)$ mennyiség jellemző a matematikai modellben szereplő ideális és valóságos áramkör átvitelének különbségére a frekvenciatartományban.

$$\sigma^2(x, A, t_A) = \frac{1}{\pi} \int_{\omega=0}^{\infty} S(\omega) |K(j\omega)| \times |E(j\omega, x) A e^{-j\omega t_A} - G(j\omega)|^2 d\omega + \frac{nA^2}{\pi^2} \int_{\omega=0}^{\infty} S(\omega) \cdot |N(\omega)|^2 \cdot |E(j\omega, x)|^2 d\omega \quad (1)$$

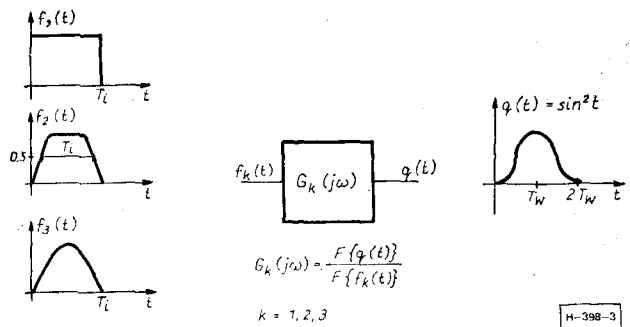
$E(j\omega, x)$ a tervezendő korrektor átviteli függvénye, és x az áramköri paraméterek vagy a transzfer függvény együtthatóinak vektora.

Az idő- és frekvenciatartomány közötti kapcsolat alapján, ha a^2 tart a zérushoz, akkor az időtartománybeli függvény is közelíti az ideálisat. Ezen tulajdonsága alapján a a^2 hibafüggvényt egy optimalizáló eljárás célfüggvényeként hasz-



PAKSY GÉZA

A BME Híradástechnikai Szakán 1966-ban villamosmérnöki, 1971-ben átviteltechnikai szakmérnöki diplomát szerzett. 1966—1980 között a Távközlési Kutató Intézetben PCM berendezések fejlesztésén dolgozott. 1983-tól a Telefongyár Átviteltechnikai Fejlesztési Főosztályán a digitális vonali berendezések osztályának a vezetője. Fő érdeklődési területe: a digitális hírközléstudomány, digitális jelátvitel rész és fényvezető kábel.



3. ábra. Az ideális átviteli függvény meghatározása

nálható, ahol x tartalmazza az optikalizálandó elemeket.

A szakirodalom alapján a tevezés áthallásmentes esetben akkor mondható jónak, ha σ^2 értéke kisebb, mint 10^{-3} . Áthallás esetén 10^{-2} -os σ^2 -nél kisebb érték fogadható el.

Minimalizáló eljárásaként Hooke—Jeeves kereső algoritmusának egy általunk módosított, a Fibonacci féle keresést is alkalmazó változatát építettük be a programba [10].

3. A korrektorok típusai

3.1. KOPOZE program

A KOPOZE azonosítójú programban a rögzített, hosszúságú kábel kiegyenlítésére az alábbi feszültség transzfer függvényt választottuk:

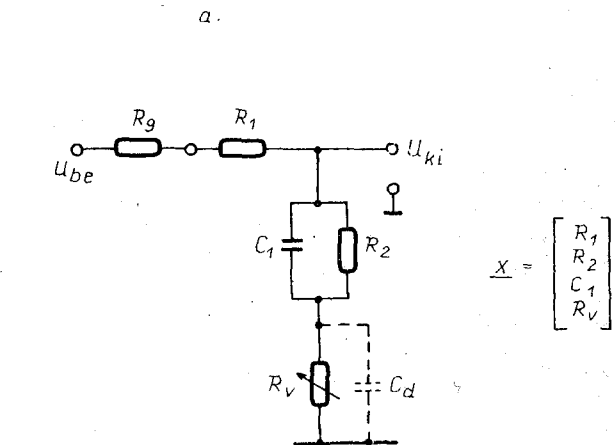
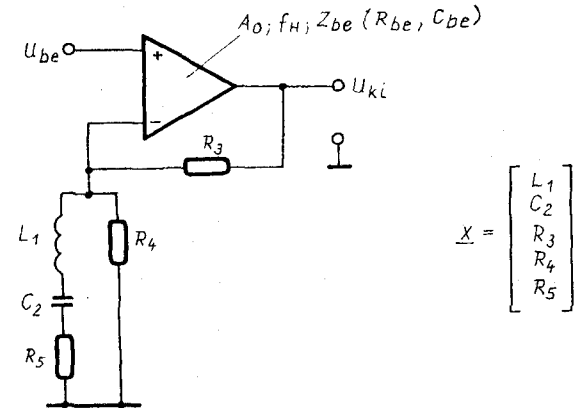
$$E(j\omega, x) = E(p, x) \Big|_{p=j\omega} = \prod_{k=1}^{N_{AF}} \frac{a_{0k} + a_{1k} \cdot p + a_{2k} \cdot p^2}{1 + b_{1k} \cdot p + b_{2k} \cdot p^2} \times \prod_{u=1}^{N_F} \frac{p - d_u}{p + d_u} \Big|_{p=j\omega} \quad (2)$$

A (2)-ben N_{AF} a másodfokú — frekvenciafüggő erősítéssel és fázissal is rendelkező — tagok száma, míg N_F a csak fázist korrigáló elsőfokú tagok száma.

A program iteratív tervezést végez, azaz a felhasználónak kell megadnia a tagok számát, azok típusait és a (2) együtthatóinak közelítő becslött értékét. A KOPOZE program a (2)-ben szereplő együtthatók olyan optimális értékét adja meg, amelyek mellett az (1) alatti hibafüggvény minimális. Ezen együtthatók ismeretében különböző kiegyenlítő áramköri struktúrákhoz tartozó elemek paramétereinek értéke számítható a transzfer függvényből.

3.2. A KOPTI85 program

A KOPTI85 azonosítójú program egy korábban kifejlesztett program [11] bővített változata. Hat



4. ábra. Másodfokú kiegyenlítő és elsőfokú kiegyenlítő

féle kiegyenlítő- és hét féle kiegyesítő áramkörtípus méretezésére alkalmas. Ezen áramkörök némelyikénél a rögzített kábelhossz korrigálására szolgáló kiegyenlítő és a változó kábelhossz korrigálására szolgáló kiegyesítő áramkörök megbontathatatlan egységet alkotnak, míg más kiegyenlítő és kiegyesítőket tetszőlegesen kombinálhatók.

A 4. és 5. ábrán mintaként két-két kiegyenlítő és kiegyesítő áramköri struktúrát láthatunk. A

programba beépített áramköri. struktúrák tervezendő szabad paramétereinek maximális száma: 15.

Az áramkörök tervezése iteratív szintézissel történik, azaz a program felhasználója az adatok közt feltünteti az áramköri paraméterek első iterációs értékét. A program ezen értékből indulva iteratív úton jut el az optimális paraméterértékekhez.

A kiegyenlítő és kiegészítő tervezése két fázisban zajlik. Először a rögzített hosszúságú kábelhez a kiegyenlítőt tervezzük. Ilyenkor a kiegészítő áramkör az átvitelben nem játszik szerepet. A második fázisban a már megtervezett kiegyenlítő és a kábel valamely szélső értékű — minimális v. maximális — hosszához tartozó karakterisztikája ismeretében a kiegészítőt tervezzük.

4. Mintapéldák

4.1. Mintapéldák a KOPOZE programhoz [12]

A KOPOZE program működését egy 704 kbit/s és egy 8Mbit/s adatsebességű regenerátor kiegyenlítőjének approximációjával mutatjuk be.

4.1.1. Első mintapélda 704 kbit/s adatsebességre

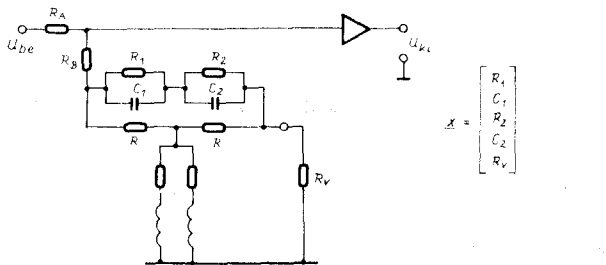
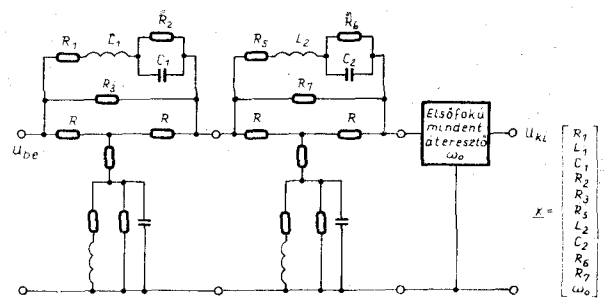
A 704 kbit/s sebességű kábel kiegyenlítésére alkalmas másodfokú

$$E(p) = \frac{a_{01} + a_{11}p + a_{21}p^2}{1 + b_{11}p + b_{21}p^2} \quad (2)$$

transzfer függvény együtthatói optimális értékének a KOPOZE programmal történő meghatározásához egy, a megoldástól nem túl távoli kiindulási együtthatóértékekre van szükségünk. Ilyen kiindulási értékeket például ezen kábel kiegyenlítésére korábban más módszerekkel megtervezett kiegyenlítő áramkör $E(p)$ transzfer függvényének a meghatározásával kaphatunk. Az így kapott kiindulási együtthatókat az 1. táblázatban láthatjuk. (Megjegyezzük, hogy az együtthatókat mindig az $f_c = 1$ MHz-es egységválasztásra vonatkoztatott normalizált értékekkel adjuk meg.)

A kiindulási együtthatókból különböző feltételek mellett több futtatást végeztünk.

A különböző jelalakot és kódot feltételezve az újraméretezett (optimalizált) együtthatókat, vala-



5. ábra. Negyedfokú kiegészítő és másodfokú kiegészítő

1. táblázat

Kiindulási együtthatók	
a_{01}	17,93
a_{11}	65,66
a_{21}	1,484
b_{11}	0,0575
b_{21}	0,0828

mint a kiindulási és az optimalizált σ^2 -eket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

4.1.2. Második mintapélda 704 kbit/s adatsebességre

Eddig egy közelítőleg jó áramkörből kiindulva kapott eredményeket ismertettünk. Az optimalizáló eljárás hatékonyságának illusztrálására most egy olyan mintapéldát mutatunk, melyben a kiinduló együtthatókat közel „véletlenül” választottuk meg. Példánkban az adó elemi jele félszi-

2. táblázat

Jelalak kód	Optimalizált együtthatók					
	Négyszög HDB3	Trapéz HDB3	Félszínusz HDB3	Félszínusz AMI	Félszínusz MS43	Félszínusz FOMOT
a_{01}	12,891	13,222	15,311	13,613	18,228	19,938
a_{11}	56,843	57,744	65,252	60,829	72,219	77,696
a_{21}	7,1244	1,6272	0,24617	4,8796	6,8246	1,7874
b_{11}	0,2626	0,25144	0,26607	0,27103	0,26624	0,25785
b_{21}	0,13165	0,12961	0,13422	0,13484	0,14074	0,1388
Induló σ^2	$3,74 \cdot 10^{-2}$	$3,74 \cdot 10^{-2}$	$4,34 \cdot 10^{-2}$	$4,10 \cdot 10^{-2}$	$1,84 \cdot 10^{-1}$	$1,98 \cdot 10^{-1}$
Optimalizált σ^2	$3,37 \cdot 10^{-4}$	$3,94 \cdot 10^{-4}$	$3,35 \cdot 10^{-4}$	$3,01 \cdot 10^{-3}$	$1,88 \cdot 10^{-3}$	$2,27 \cdot 10^{-3}$

nusz, a kód HDB—3. A kiindulási és a végeredmények a 3. táblázatban találhatóak meg.

Mint látjuk ez esetben az előtervezés eredményét fel nem használó együttható értékekből indulva is talált a program jó megoldást.

4.1.3. Approximáció 8,448 Mbit/s adatsebességre

8,448 Mbit/s adatsebességű regenerátor kiegyenlítőjét első közelítésben egy másodfokú $E(p)$ transzfer függvénnyel próbáltuk approximálni. A kapott eredmények nem voltak megfelelőek, ezért magasabb fokszámú közelítéssel kell próbálkozni. A negyedfokú transzferfüggvény kiinduló és optimalizált együtthatóit a 4. táblázatban találjuk. Elemi jelalak: trapéz, a kód: HDB—3.

A kapott eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy az adott kábelt negyedfokú transzfer függvénnyel rendelkező kiegyenlítővel ki tudjuk korrigálni. Megjegyezzük, hogy ezen eredmény alapján vált ismertté, hogy a 8,448 Mbit/s adatsebességű regenerátorhoz milyen bonyolultságú áramkört kell kialakítani.

4.2. Mintapéldák a KOPTI85 programhoz [5]

A KOPTI85 program működését egy 8,448 Mbit/s adatsebességű regenerátor kiegyenlítő és kiegészítő áramkörének tervezésével illusztráljuk.

4.2.1. Mintapélda kiegyenlítő tervezésére

A 8,448 Mbit/s adatsebességű átvitelnél alkalmazott kábel kiegyenlítésére a 5. ábra korrektorát terveztük. A gerjesztő elemi jelalak trapézimpulzus, a kód: HDB—3. A kábel csillapítása 4,224 MHz-en 55 dB. Az 5. táblázatban a kiinduló és az optimalizált kiegyenlítő adatai találhatóak. A táblázatban

3. táblázat

	Kiindulási érték	Optimalizált érték
a_0	10	4,4432
a_1	10	19,03
a_2	1	0,313
b_1	1	0,268
b_2	0,1	0,135
σ^2	0,29	$3,36 \cdot 10^{-4}$

4. táblázat

	Kiindulási érték	Optimalizált érték
a_{10}	11,88	8,0265
a_{11}	4,196	3,97
a_{12}	$9,388 \cdot 10^{-3}$	$6,51 \cdot 10^{-3}$
b_{11}	0,01912	$7,022 \cdot 10^{-3}$
b_{12}	$7,902 \cdot 10^{-4}$	$4,76 \cdot 10^{-1}$
a_{20}	1	0,4796
a_{21}	0,01912	0,0813
a_{22}	0,0	0,0
b_{21}	0,01912	0,0291
b_{22}	$7,902 \cdot 10^{-4}$	$1,35 \cdot 10^{-3}$
σ^2	0,1292	$5,55 \cdot 10^{-4}$

5. táblázat

	Kiindulási érték	Optimalizált érték
R1	50 ohm	144,4 ohm
L1	600 nH	9640 nH
C1	100 pF	990 pF
R2	2000 ohm	1583 ohm
R3	50 Mohm	94 Mohm
R5	100 ohm	12,4 ohm
L2	100 nH	0,1 nh
C2	100 pF	11 pF
R6	10 kOhm	41,8 kohm
R7	12 kohm	12,0 kohm
ω_0	$30 \cdot 10^6$ rad/s	$83,5 \cdot 10^6$ rad/s
σ^2	$0,22 \cdot 10^{-1}$	$3,8 \cdot 10^{-4}$

6. táblázat

	Kiindulási érték	Optimalizált érték
R1	60 ohm	73,3 ohm
C1	3,5 nF	3000 pF
Rv	100 ohm	5952 ohm
σ^2	$0,28 \cdot 10^{-3}$	$0,1 \cdot 10^{-2}$

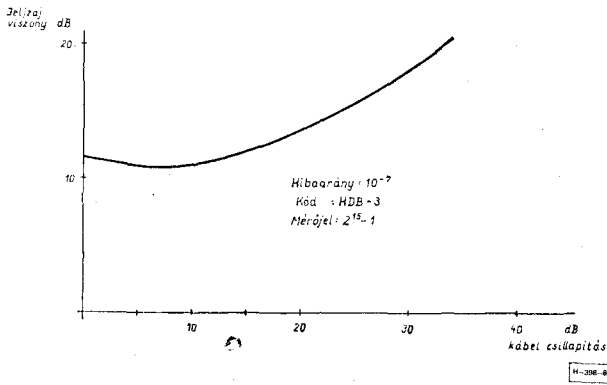
az ellenállásokat ohm-ban, az induktivitások mikrohenryben, a kapacitások pikofaradban, míg ω -t Mr/s-ben tüntettük fel. Az áthidalt T tagok keresztági impedanciái a hosszág impedanciák R -re vett duáljai.

4.2.2. Mintapélda kiegészítő tervezésére

Kiegészítő áramkört terveztünk 8,448 Mbit/s adatsebességre. Kiegészítő áramkörként az 5. ábrán látható kapcsolás első fokúra egyszerűsített változatát alkalmaztuk ($R_2=0$). A kiegészítő áramkörnek a 4,224 MHz-en ± 15 dB-t kell átfogni. Az alkalmazott kábel típusa a 4.2.1. mintapéldáéval megegyező. A kiegészítő áramkör az előbb tervezett kiegyenlítővel együtt működve 4,224 MHz-en (40—70) dB-es csillapítású kábelt korrigál. A futtatási tapasztalatok alapján azt a kiegészítő áramkört fogadtuk el végső megoldásnak, amelyet a maximális kábelhosszhoz terveztünk. A kiegészítő áramkör elemeinek kiindulási értéke és optimalizált értéke a 6. táblázatban található. A táblázatban az ellenállásokat ohmban, a kapacitásokat nanofaradban tüntettük fel. A 6. táblázatban található elemértékű kiegészítő áramkör szabályozó R_n ellenállásának 5,83 ohmos értéke mellett a 40 dB-es kábelt $\tau^2=0,1081 \cdot 10^{-3}$ -os értékkel korrigálja.

5. A megvalósított korrektorok gyakorlati ellenőrzése

A bemutatott módszer segítségével megtervezett PCM regenerátor korrektorok hatékonyságát hibaarány méréssel ellenőrizhetjük. A PCM jelátvitel hatására létrejövő zaj szimulálása Gauss amplitudó eloszlású, de az adójel teljesítménysűrűség spektrumának, $S(\omega)$ és a közel- vagy távolvégi áthallási karakterisztikának megfelelő módon korrigált „áthallási zajjal” lehetséges. A regenerátor bemenetére jutó hasznos jel, ill. az áthallási zaj



6. ábra. Mért jel/zaj viszony — hibaaarány karakterisztika

által meghatározott jel/zaj viszony egyértelműen jellemzi a kiegyenlítés jóságát. A 10^{-7} hibaaarányhoz tartozó 0—34 dB-es kábelcsillapításhoz tartozó jel/zaj értékeket mutat a 6. ábra.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki Szalay Tibor főosztályvezetőnek és Géher Károly egyetemi tanárnak a munka megszervezéséért, valamint Gaál József, Gefferth László és Simon Gyula egyetemi adjunktusoknak és Sente László fejlesztő mérnöknek hasznos ötleteiért, és együttműködésükért.

[1] Radványi László: Az Y kiegyenlítő. Magyar Híradástechnika. II. évf. 3—4. szám, 17—22. old. 1951.

[2] Halász Edit: Korrektortervezés optimalizálási eljárással. Egyetemi doktori értekezés BME 1972.

[3] K. Antreich, W. Hawk, M. Welzenbach: Zur Auslegung der Enterrernetzwerke für die Übertragung von PCM-Signalen auf Kabeln Archiv für Elektronik und Übertragungstechnik Band 26, Heft, 3, März 1971. pp. 109—116.

[4] Halász Edit, Baumann Ferenc, Tihanyi Attila: A KOPOZE program használati utasítása 1—24. old. A program a Telefongyár megbízásából a BME—HEI-ben készült. Budapest, 1985.

[5] Halász E., Baumann F., Tihanyi A.: A KOPTI85 használati utasítása. Készült a Telefongyár megbízásából BME—HEI 1—38. old. 1985. Budapest.

[6] G. L. Cariolaro, G. P. Tronca: Spectra of block coded digital signals. IEEE Trans. on Communication vol. COM—22 pp. 1555—1574. Oct. 1974.

[7] Gaál József: Blokk-kódolt vonali jelek spektrumának számítása. Tanulmány a Telefongyár részére. BME—HEI, 1—39. old. 1986. október.

[8] Gaál József, Gefferth László: Vonali-blokk kódok spektrumának számítása. A SPEK program használati utasítása. Készült a Telefongyár megbízásából. BME—HEI 1—15. old. 1986. október.

[9] Gaál József: Szimmetrikus kábel csillapítás- és fáziskarakteristikáinak analízise, modellezése. Készült a Telefongyár részére. BME—HEI 1—8. old. 1984.

[10] Baumann F., Tihanyi A.: PCM korrektork számítógépes tervezése. Tudományos Diákköri dolgozat. BME—HEI 1984. 1—70. old.

[II] Halász Edit, Gefferth László, Simon Gyula: A KOPTI PCM regenerátorkorrektorát optimalizáló program használati utasítása. 1—16. old. A program a Telefongyár megbízásából a BME HEI-ben készült 1984-.

[12] Gaál József, Baumann Ferenc: Esettanulmány PCM regenerátor kiegyenlítőinek approximálására a KOPOZE program felhasználásával. Készült a Telefongyár megbízásából. BME—HEI. 1—14. old. 1986.