

Szimmetrikus kábeleken megvalósított digitális összeköttetések méretezése

BALÁS MIKLÓS

Posta Kísérleti Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk a szimmetrikus kábeleken telepített primer digitális (PCM) rendszerek vonalszakaszainak tervezését ismerteti egy-, ill. kétkábeles üzemmód esetén. Eljárást ad a maximális megengedhető regenerátor távolság meghatározására.

BALÁS MIKLÓS

A Budapesti Műszaki Egyetemen 1977-ben híradástechnikai, 1982-ben táv- és adatközlési szakmérnöki diplomát szerzett.

A Posta Kísérleti Intézet dolgozója, tématerülete az időosztásos digitális rendszerek telepítési kérdései, minőségi paraméterei és mérés technikája.

Bevezetés

Napjainkban a távközlő hálózat bővítése a már meglévő kábelek ereinek többszörös kihasználása útján a Magyar Posta számára is egyre sürgetőbb kényszer. A feladat megoldásában a vivőfrekvenciás rendszerek mellett mind nagyobb szerephez jutnak a hálózat valamennyi síkján alkalmazható digitális rendszerek. A szimmetrikus kábeleken megvalósított digitális összeköttetések átviteltechnikai méretezésének legfontosabb kérdése a maximális regenerátor távolságok meghatározása. E közlemény a Posta Kísérleti Intézet által javasolt tervezési módszert ismerteti anélkül, hogy a digitális összeköttetés alapáramkörét megvalósító érpárok kiválasztásának módszereire részletesen kitérne.

Ismeretes tény, hogy a regenerátorok között megengedhető távolságot az egy kábelben levő szimmetrikus érpárok között létrejövő áthallásból adódó jel-zaj viszony korlátozza. Az általunk javasolt tervezési eljárás lényege az, hogy átlagos kábel paramétereiből indul ki és a paraméterek szórását figyelembe véve egy olyan maximális regenerátor távolságot határoz meg, amely a kívánt hibaarányt az összeköttetések 97%-ában biztonsággal teljesíti. Ezt a regenerátor távolságot a továbbiakban maximális megengedhető regenerátor távolságnak nevezzük. A maximális megengedhető regenerátor távolságra történő méretezés szükségességét az indokolja, hogy az egyes egyedi esetekre történő méretezés számos — gyakorlati szempontból áthidalhatatlan — nehézséggel jár, így pl. az egyedi kábel paraméterek meghatározása sok időt és nagymennyiségű műszert igényel.

A tervezési eljárás kidolgozásánál figyelemmel kellett lenni arra, hogy a postai hálózat a különböző érátmérők figyelembevétele nélkül is több mint 50 kábelszerkezetet alkalmaz, melyekhez egységes méretezési eljárás szükséges, és hogy a módszernek elegendő tartalékot kell biztosítania ahhoz, hogy a kábel paraméterek változása pl. öregedés esetén is megfelelő minőségű maradjon az összeköttetés.

A vonalszakaszok méretezése

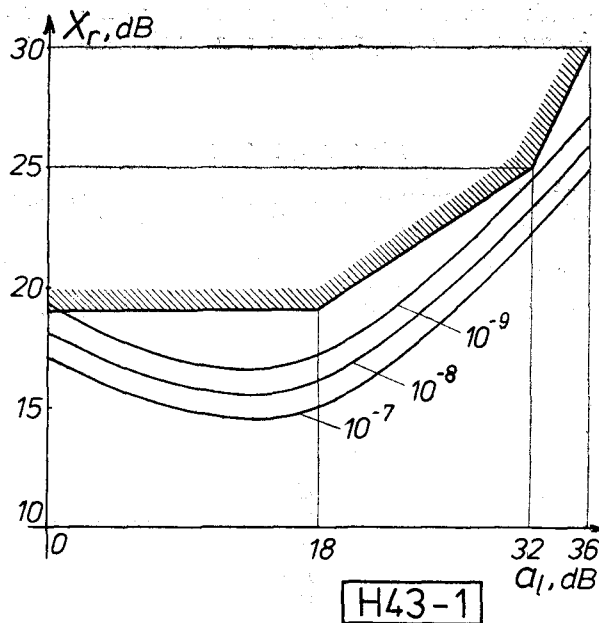
A maximális megengedhető regenerátor távolságú regenerátor szakasz végpontján, azaz a regenerátor bemenetén a kábel által biztosított áthallási védettségnek (jel-zaj viszony) meg kell egyeznie az előírt hibaarányhoz szükséges X_r jel-zaj viszonyal.

$$X_r = a_v + K, \quad (1)$$

ahol a_v a kábel áthallási védettsége egyetlen zavaró rendszer esetén, dB

K a korrekciós tényező és tartalék, dB.

Nézzük meg részletesebben az összefüggés tényezőit. Vizsgálatainkat korlátozzuk a primer PCM



1. ábra. A TERTA BD-30 rendszer regenerátorainak jel-zaj karakterisztikája

Beérkezett: 1985. III. 6. (□)

rendszerek frekvenciasávjára és a Magyarországon alkalmazott konkrét berendezésekre.

Az előírt hibaarányhoz szükséges X_r jel-zaj viszony az alkalmazott regenerátorra jellemző. A Telefongyár által kifejlesztett és gyártott BD-30 típusú primer PCM rendszer automatikus erősítés-szabályozással rendelkező regenerátorainál különböző hibaarányokhoz tartozó jel-zaj karakterisztikákat az 1. ábra mutatja. Az ábra szerint a szükséges jel-zaj viszony az a_t szakaszcillapítás függvénye, amit a regenerátorban alkalmazott szint-szabályozás és amplitúdó karakterisztika kiegyenlítés maradék hibája okoz. Az ábrán a 10^{-7} hibaarányhoz tartozó tolerancia görbét is feltüntettük. Az ábrából látható, hogy a jel-zaj viszony 1 dB-es csökkenése a hibaarányban kb. egy nagyságrendű romlást okoz. A tervezés biztonsága érdekében a legrosszabb esetet jelentő tolerancia görbével számolunk. A méretezésnél figyelembe vett X_r jel-zaj viszony a következő módon adódik:

$$X_r = X(a_t) + E(\epsilon), \quad (2)$$

ahol $X(a_t)$ a 10^{-7} hibaarányhoz tartozó tolerancia görbe, dB és

$E(\epsilon)$ korrekciós tényező, melynek értéke az $\epsilon = 10^{-7}, 10^{-8}, 10^{-9} \dots$ hibaarányoknak megfelelően 0, 1, 2, ... dB.

Az a_v áthallási védettség a 2. ábra alapján közeli-
végi áthallás esetén

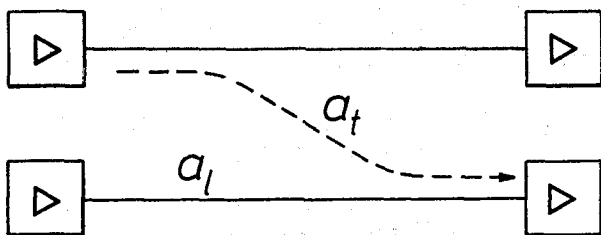
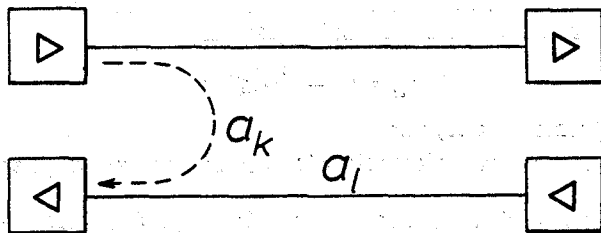
$$a_{vk} = a_k - a_t, \quad (3a)$$

távolvégi áthallás esetén

$$a_{vt} = a_t - a_l \quad (3b)$$

alakban írható fel, ahol

a_{vk} a közeli-
végi áthallási védettség, dB,
 a_k a közeli-
végi áthallási csillapítás, dB,



H43-2

2. ábra. Közelvégi és távolvégi áthallási csillapítás

a_v a távolvégi áthallási védettség, dB és

a_t a távolvégi áthallási csillapítás, dB.

Az a_t maximálisan megengedhető szakaszcillapítás felbontható a következőképp:

$$a_t = k \cdot l \cdot \alpha, \quad (4)$$

ahol l a maximálisan megengedhető regenerátor távolság hosszegységben,

α a kábelerek hosszegységre eső csillapítása a fél bitfrekvencián, dB és

k a csillapítás szórását és hőmérsékletfüggését figyelembe vevő konstans, melynek értéke mérési eredmények alapján föld alatti kábelknél 1,05, légekábelnél 1,15.

Az α csillapítási tényező jellegzetes értékeit különböző kábelre az 1. táblázatban adjuk meg.

A továbbiakban a méretezés szempontjából külön kell kezelnünk az egy-, illetve kétkábeles üzemmódokat. Egykábeles esetben az adás és vétel irány érpárjai ugyanabban a kábelben helyezkednek el, szemben a kétkábeles üzemmóddal, ahol a két irány érpárjait független kábelek tartalmazzák.

Egykábeles üzemmódnál, ha egy kábelben egyidejűleg N db digitális rendszer üzemel, a vételi irányokat az összes, azaz N db adásirány zavarja a közeli-
végi áthallás útján (tehát a saját adásirány is), amíg a többi, $N-1$ vételi irányból a távolvégi áthallással jutnak jelek a megfigyelt áramkörre. Primer PCM frekvenciasávban a távolvégi áthallási csillapítás értéke általában 20-30 dB-lel nagyobb a közeli-
végi áthallási csillapításnál, ezért a vételi irányok zavaró hatását elhanyagoljuk.

Az áthallási zavarok gyakorlatilag teljesítmény szerint összegeződnek, ha $N > 5$, melyet a K korrekciós tényezőben $-10 \cdot \lg N$ taggal lehet figyelembe venni. Az $N \leq 5$ esetén a feszültség szerinti összegeződés a jellemző, melyet a különböző méretezési módszerek egymástól eltérően kezelnek. Több módszerrel közös, hogy az áthallási csillapítás szórását (σ) kombinálják a rendszerek számával. A korrekciós tagot $0,4 \cdot \sigma \cdot \lg N$ alakúra választottuk.

Méréseink alapján mind a közeli-
végi, mind a távol-
végi áthallási csillapítás megközelítőleg normális

1. táblázat

Kábelerek hosszegységre eső csillapítása
(α) 1 MHz-en, dB/km

Kábel típus	Érátmérő (mm)				
	0,4	0,6	0,8	0,9	1,2
Papír szigetelésű helyi távbeszélő kábel	25	18,5	14,5		
Polietilén szigetelésű helyi távbeszélő kábel	20,5	14,6			
Papír szigetelésű távkábel (DM)				11	8,5
Önhordó légekábel		15	10,5		
Vazelin töltésű helyi távbeszélő kábel	23	17,2	14		

Közelvégi áthallási csillapítás a_k

Kábeltípus	Statistikai csoport	Várható érték, dB
Vazelin térkitöltésű helyi távbeszélő kábel	Alappázmán belül, szomszédos érnégyesek között	61
	Alappázmán belül, nem szomszédos érnégyesek között	62
	Szomszédos alappázmák között	66
	Nem szomszédos alappázmák között	69
	Szomszédos főpázmák között	78
	Nem szomszédos főpázmák között	84
Papír szigetelésű helyi távbeszélő kábel Papír szigetelésű távkábel	Azonos koszorúban, szomszédos érnégyesek között	60
	Azonos koszorúban, legalább egy érnégyessel elválasztott érnégyesek között	68
	Azonos koszorúban, legalább két érnégyessel elválasztott érnégyesek között	71
	Szomszédos koszorúk között	64
	Legalább egy koszorúval, vagy árnyékolással elválasztott koszorúk között	75
Önhordó légekábel	Azonos koszorúban, szomszédos érnégyesek között	52
	Azonos koszorúban, legalább egy érnégyessel elválasztott érnégyesek között	56
	Azonos koszorúban, legalább két érnégyessel elválasztott érnégyesek között	60
	Szomszédos koszorúk között	55
	Egy koszorúval elválasztott koszorúk között	64

eloszlású és szórása 5–9 dB. A közelvégi áthallási csillapítás átlagértékeit különböző kábeltípusokra és áthallási viszonylatokra a 2. táblázatban adjuk meg. A közelvégi áthallási csillapítás frekvenciafüggő, a táblázat csak a méretezéshez szükséges, súlyponti frekvencián (1024 kHz-en) mért értékeket tartalmazza.

A tervezési eljárás célkitűzése, hogy a táblázatosan megadott áthallási csillapítási adatokból méretezett vonalszakasz a kijelölt kábelpárok 97%-án megfelelő minőségű működést biztosítson, ezért az áthallási csillapítás átlagértéke helyett a $2a$ -val csökkentett értékkel számolunk. A dB-ben kifejezett K korrekciós tényező így

$$K = -10 \cdot \lg N + 0,4 \cdot \sigma \cdot \lg N - 2\sigma - T \quad (5)$$

alakra hozható, ahol T a kábel paraméterek változására fenntartott tartalék, melynek értékét 3–5 dB-re célszerű választani.

A (2), (3) és (5) összefüggéseket az (1) egyenletbe helyettesítve és nullára rendezve az

$$a_k - a_l - 10 \cdot \lg N + 0,4 \cdot a \cdot \lg N - X(a_l) - 2\sigma - T - E(\epsilon) = 0 \quad (6)$$

méretezési összefüggést kapjuk, melyet a $\sigma = 5,5$ dB értékkel számolva nomogramban ábrázoltunk a 3. ábrán. Az l hossz (4) alapján számítható.

Kétkábeles üzemmód esetén csak az azonos irányú jelek a zavarforrások, ezért a távolvégi áthallási csil-

lapítás a méretezés alapja. Amíg a közelvégi áthallási csillapítás 1 MHz-en gyakorlatilag független a kábelhossztól kb. 300 m-nél hosszabb kábelek esetén, addig a távolvégi áthallási csillapítás és védettség hosszfüggése már nem hanyagolható el. A távolvégi áthallási védettség hosszfüggését az

$$a_{vt} = a_{vtd} - 10 \cdot \lg(l/d) \quad (7)$$

egyenlet írja le, ahol

d a mért referencia kábel hossza hosszegységben és

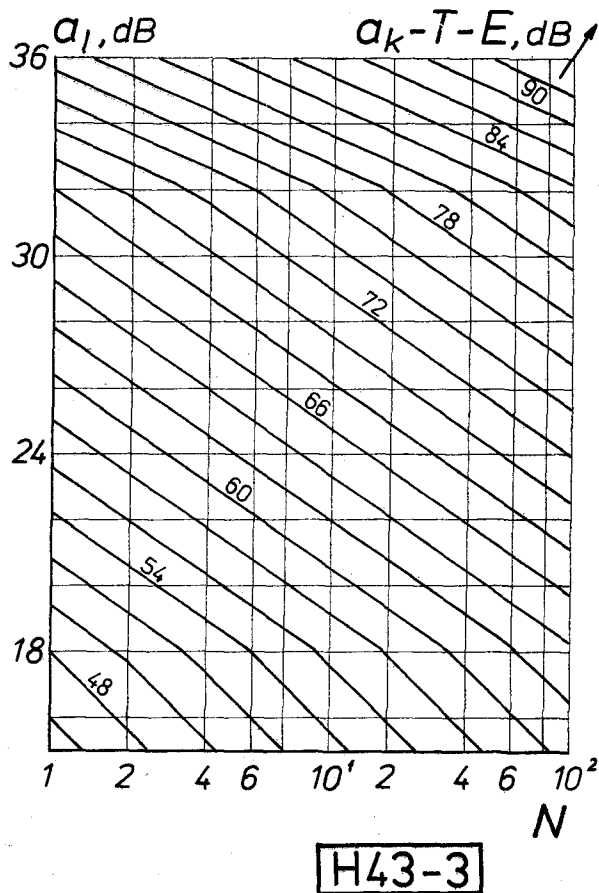
a_{vtd} a d hosszúságú kábel távolvégi áthallási védettsége, dB.

A Magyar Posta a kétkábeles üzemmódot csak vazelin térkitöltésű szimmetrikus kábeleken kívánja alkalmazni. A $d = 1$ km hosszúságú kábelek átlagos távolvégi áthallási védettségi értékeit a 3. táblázat tartalmazza.

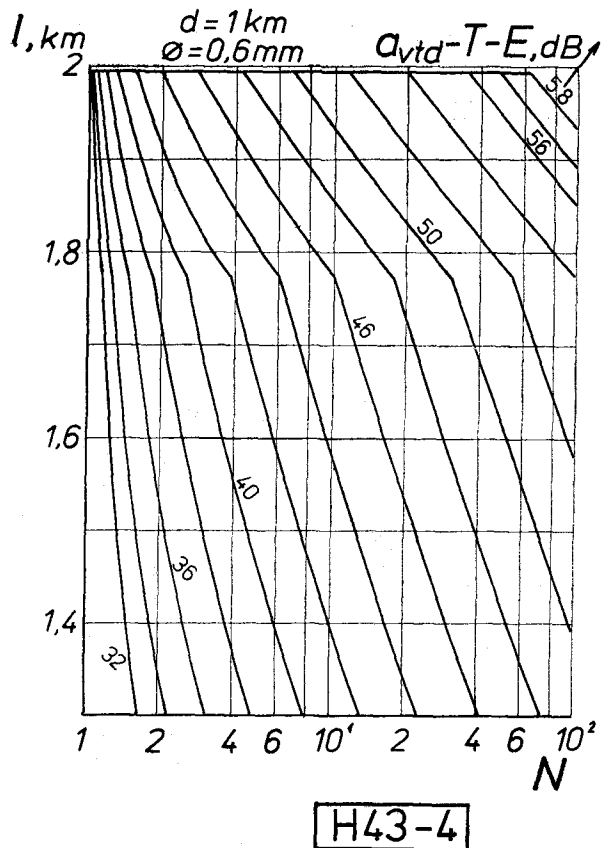
Az (1), (2), (5) és (7) egyenletből kapjuk a kétkábeles üzemmód méretezési összefüggését:

$$a_{vtd} - 10 \cdot \lg(l/d) - 10 \cdot \lg(N-1) + 0,4 \cdot a \cdot \lg(N-1) - X(a_l) - 2\sigma - T - E(\epsilon) = 0 \quad (8)$$

A képletben a zavaró rendszerek számának megfelelően $N-1$ szerepel. A $a = 5,5$ dB értékkel számolva példaként a 0,6 mm érátmérőjű vazelin térkitöltésű kábel nomogramját mutatjuk be a 4. ábrán. Az ismertetett tervezési módszer a magyar háló-



3. ábra. Az egykábelés üzemmód tervezési nomogramja



4. ábra. A kétkábelés üzemmód tervezési nomogramja

3. táblázat

Távlevégi áthallási védettség a_{vtd} ($d = 1$ km)

Kábeltípus	Statistikai csoport	Várható érték, dB
Vazelin töltésű helyi távbeszélő kábel	Érnégyes érpárjai között	51
	Alappászmán belül, szomszédos érnégyesek között	57
	Alappászmán belül, nem szomszédos érnégyesek között	62

zat feltételei között lehetővé teszi a szimmetrikus kábeleken telepített primer digitális rendszerek vonalszakaszain a regenerátorok optimális távolságának számítását.

Szám példák

1. Egykábelés üzemmód

Határozzuk meg egy $104 \times 4 \times 0,8$ mm érátmérőjű papír szigetelésű helyi távbeszélő kábelben létesítendő primer PCM összeköttetés maximálisan megengedhető regenerátor távolságát, ha a telepítendő rendszerek száma 10, és a regenerátor szakaszon megkövetelt hibaarány 10^{-9} .

E cikk nem tért ki az alapáramköröket megvalósító érpárok kiválasztására, ezért alapadatként kezeljük, hogy a 104×4 -es kábel külső koszorújában levő 29 érnégyesen 10 PCM rendszer elhelyezhető úgy, hogy az átviteli irányok között egynél több elválasztó érnégyes maradjon, a 2. táblázatból tehát $a_k = 68$ dB. $N = 10$, $E(e) = 2$ dB, az 1. táblázatból $\alpha = 14,5$ dB/km, a tartalékot válasszuk $T = 4$ dB értékre. A fenti adatokkal $a_k - T - E = 62$ dB és a 3. ábra nomogramja alapján $a_1 = 23$ dB. Papír szigetelésű földkábeleknél $k = 1,05$. A (4) egyenlet segítségével kiszámítható a maximálisan megengedhető regenerátor távolság: $l = 1,51$ km.

2. Kétkábelés üzemmód

Határozzuk meg két azonos minőségű, azonos nyomonvonalon haladó $10 \times 4 \times 0,6$ mm érátmérőjű vazelin térkitöltésű helyi távbeszélő kábelben létesítendő 8 db primer PCM összeköttetés maximálisan megengedhető regenerátor távolságát. A megkövetelt hibaarány: 10^{-9} .

A 10×4 -es kábelszerkezetben az alapáramkörök kiválaszthatók úgy, hogy az alappászmánokon belül szomszédos érnégyesekbe kerüljenek, tehát a 3. táblázatból $a_{vtd} = 57$ dB. $N = 8$, $E(e) = 2$ dB, legyen $T = 5$ dB. A 4. ábrából közvetlenül meghatározható maximális megengedhető regenerátor távolság: $l = 1,94$ km.