

Áthallásból és erősáramú rendszerektől származó zajok hangfrekvenciás távkábeláramkörökön

BALOGH VILMOS

Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola



ÖSSZEFOGLALÁS

Távközlési kábeláramkörökben fellépő zajok egy része áthallásból és erősáramú befolyásolásból származik. A zavaró jelek eliminálására az áramkörök közötti csatolásokat kiegyenlítési eljárásokkal csökkentik. Megvizsgáljuk a még elfogadható maradékcsatolások nagyságát az adott áthallási feltételek alapján. Áramköri modell mutatunk be az erősáramú rendszerek által okozott zavarok meghatározására földcsatolások és ellenálláscsatolások alapján.

Bevezetés

Az automatizált kapcsolású telefonhálózatok góckörzeti síkjában a gócközpontokat a távoli település helyi jellegű főközpontjával összekötő kábeleket nevezik körzetkábeleknek.

A jól bevált hazai gyakorlat szerint a körzetkábelben DM sodrású négyeseket alkalmaznak és fantomképzéssel négyesenként három áramkört alakítanak ki.

Hazai viszonyaink között a körzetkábel nem hosszabb, mint 16 csévemező és átlagosan kb. 10 csévemezőből áll. A hangfrekvenciás távkábeláramkörökre vonatkozó műszaki jellemzőket a hagyományos erősítőmező-hosszra — kb. 60 km és 33 csévemező — értjük. Mivel jelenleg ilyen hosszú hangfrekvenciás áramkörök már nincsenek, célszerű megvizsgálni, hogy a változatlan minőségi követelményeket milyen engedmények mellett lehet teljesíteni az aktuális hosszok esetén. A hangfrekvenciás áramkörökben észlelhető zajoknak egy része az áthallás következtében lép fel. Ismeretes, hogy a szimmetrikus kábeláramkörök áthallás elleni védettségét csak hosszadalmas kiegyenlítési eljárással lehet elérni, így ezen a területen lehet az eredmények alapján megtakarítással számolni. (Lásd Kábeltechnika I., Közdotk, 1977.)

Az áramköri zajoknak egy másik része a távkábel környezetében működő erősáramú rendszerek befolyásoló hatásából ered. Az erősáramú zavarásból keletkező áramköri zajt az egyes érpárok „e” földcsatolásai és ΔR ellenállás-különbségei alapján határozzuk meg.

Elektromágneses csatolások kábeláramkörök között

Egy elemi hosszúságú kábelszakasz földszimmetrikus áramkörei között mágneses és villamos csatolások lépnek fel a nem tökéletes szimmetria miatt (1. ábra).

BALOGH VILMOS

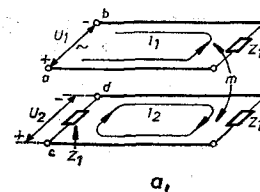
1968 és 1976 között a Postai Tervező Intézetben távközlési hálózatok és berendezések fejlesztésével foglalkozott. Jelenleg főiskolai docens a Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola vezetékes távközlési osztályán.

Egyetemi tanulmányait a BME híradástechnikai és gyengeáramú szakán 1958-ban fejezte be. A BHG-ban, majd a Telefontyár ÁFO keretein belül vivőáramú berendezések áramkörfejlesztési munkáiban vett részt.

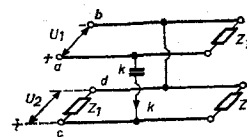
Hangfrekvenciás tartományban a kapacitív csatolások vannak túlsúlyban az induktívval szemben, mert a pupináramkörök hullámimpedanciája jóval nagyobb, mint a terheletlen áramköré. Egy DM sodrású négyesekből álló távkábel keresztmetszetét szemlélve megfigyelhető, hogy számottevő villamos csatolás a négyesen belüli három áramkör (t_1 , t_2 és f) között, valamint az azonos koszorúban elhelyezkedő közvetlenül szomszédos négyesek között lehetséges két okból is:

- a fenti helyzetű négyesek áramkörei között a legkisebb a távolság és nincs közöttük villamosan árnyékoló felület,
- a két-két szomszéd négyes a kábel teljes hosszában megtartja egymáshoz viszonyított változatlan helyét, mert az áramkörök „k” csatolásait kondenzátorral egyenlítik ki a Siemens-módszer szerint (ugyanis hazánkban ma már nem alkalmazzák az ún. négyeskeverős kiegyenlítést).

Végül is, ha egy DM négyest és egy szomszédját



a,

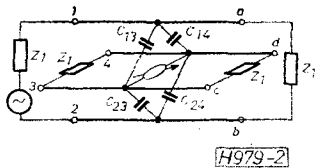


b,

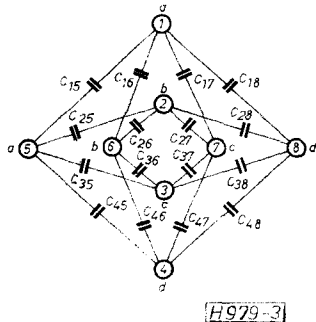
H979-7

1. ábra. Mágneses (m) és villamos (k) csatolás két áramkör között

Beérkezett: 1984. VI. 11. (↔)



2. ábra. A négyesen belüli csatolásokat meghatározó oldalkapacitások



3. ábra. A szomszédnégyesek közötti csatolásokat meghatározó oldalkapacitások

kiválasztjuk, akkor ezeken belül 12-féle relációjú k kapacitív csatolást különböztethetünk meg:

- négyesen belüli csatolások: k_1 ; k_2 és k_3 , amelyek a 2. ábra négy oldalkapacitásából határozhatók meg, és
- szomszédnégyesek közti csatolások: k_4 ; $k_5...8$; $k_9...12$, amelyek a 3. ábra 16 oldalkapacitásából számíthatók ki. (L. Pattantyús 10. kötet 202. oldal.)

A k hatásos csatolás és a $k_{1...12}$ méréssel is meghatározható csatolások között az alábbi összefüggések állnak fenn:

$$4k = k_1; 4...12$$

$$2k = k_2, 3.$$

Összefüggés a kapacitív csatolás és az áthalláscsillapítás között

Két elemi hosszúságú áramkör között az áthalláscsillapítás a 4. ábra szerint, ha $l \rightarrow 0$ -hoz:

$$a = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} = \ln \frac{2}{\omega \cdot k \sqrt{Z_1 Z_2}} Np, \quad (1)$$

ahol: k : a hatásos kapacitív csatolás az elemi hossz-
szon,

Z_1 : a zavaró áramkör hullámimpedanciája,

Z_2 : a zavart áramkör hullámimpedanciája,

ω : körfrekvencia.

Figyelemre méltó körülmény, hogy egy elektromosan rövid ($l \rightarrow 0$) áramkör esetén az (1) összefüggés érvényes mind a közel- (a_{kh}), mind a távolvégi áthalláscsillapításra (a_{th}). Tehát, ha

$$\alpha \cdot l = 0, \text{ akkor}$$

$$a_{\text{át}} = a_{\text{th}} = a_{\text{kh}} = \ln \frac{2}{\omega \cdot k_1 \sqrt{Z_1 Z_2}} Np, \quad (2)$$

és ezt a kifejezést nevezik helyi áthalláscsillapítás-

nak, mert azon a helyen értelmezik, ahol az áthallás keletkezik a k csatolás hatására.

Figyelembe véve a törzs- és fantomáramkörök impedanciáit, továbbá a hatásos csatolás helyett a mérhető csatolást véve, az alábbi összefüggéseket nyerjük az áthalláscsillapításra:

$$a_1 = a_9...12 = \ln \frac{8}{\omega \cdot k_{1,9...12} \cdot 1000} Np, \quad (3)$$

$$a_{2,3} = \ln \frac{4}{\omega \cdot k_{2,3} \sqrt{1000 \cdot 560}} Np, \quad (4)$$

$$a_4 = \ln \frac{8}{\omega \cdot k_4 \cdot 560} Np, \quad (5)$$

$$a_5...8 = \ln \frac{8}{\omega \cdot k_{5...8} \cdot \sqrt{1000 \cdot 560}} Np, \quad (6)$$

Áthalláscsillapítás hosszú kábeláramkörök között

Ha a zavaró és a zavart áramkör csillapítása már nem hanyagolható el, akkor különbséget kell tenni a közelvégi és távolvégi áthalláscsillapítás között.

A közelvégi áthalláscsillapítás egy, a mérőhelytől x távolságban ható k_h csatolás következtében:

$$a_k = \ln \frac{2}{\omega \cdot k_h \cdot \sqrt{Z_1 Z_2}} \cdot e^{\alpha(\gamma_1 + \gamma_2) l} Np, \quad (7)$$

ahol γ_1 : a zavaró áramkör átviteli mértéke,

γ_2 : a zavart áramkör átviteli mértéke.

Az átviteli mérték komplex mennyiség és felírható, mint

$$g = a + jb = \gamma \cdot l = \alpha \cdot l + j\beta \cdot l,$$

ahol $a = \alpha \cdot l$: az áramkör fajlagos csillapítása N/km-ben,

$b = \beta \cdot l$: az áramkör fajlagos fázisforgatása r/km-ben.

Összevetve a (2)-es és (7)-es kifejezéseket, látható, hogy a helyi csatolás és a mérőhelyen fellépő csatolás között a

$$k = k_h \cdot e^{-\alpha \cdot [(\alpha_1 + \alpha_2) + i(\beta_1 + \beta_2)] l} \quad (8)$$

összefüggés érvényes.

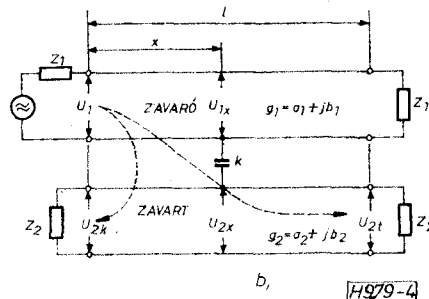
A közelvégi áthallásra jellemző, hogy a mérőhelyi eredő csatolásra a (7)-nek megfelelően a távolabbi helyi csatolások már nem hatnak számottevően.

Más a helyzet a távolvégi áthallással, amit az

$$a_t = \ln \frac{2 \cdot e^{\alpha_2 \cdot l}}{\omega \cdot k_h \cdot \sqrt{Z_1 Z_2}}, \quad (9)$$

összefüggés fejez ki és

ahol $|\gamma_2 \cdot l| = \alpha_2 \cdot l$: az l hosszúságú áramkör csillapítása.



4. ábra. Áthallási számítások modellje

A távlevégi áthallásban szerepet játszó eredő csatolás tehát

$$k = k_h.$$

(Vö. Pattantyús 10. kötet 202–213. oldal.)

Kábeláramkörök áthallásvédeltsége

Egy adott áramkör áthallásvédeltségét a mérőhelyen fellépő hasznos jel és zavaró jel teljesítményének viszonya határozza meg. A zavaró jel ebben az esetben áthallás révén jut a zavart áramkörbe.

Mind a zavaró, mind a zavart áramkör zérus relatív szintű kapcsolata ugyanakkora

$$P_{11} = P_{22}$$

teljesítményű hasznos jelet adunk. Az áthallásvédeltség mind a közlvegre, mind a távoli végre formailag azonos eredményt ad:

$$a_{kv} = a_k - \alpha_2 \cdot l \text{ Np}, \quad (10)$$

$$a_{tv} = a_l - \alpha_2 \cdot l \text{ Np}. \quad (11)$$

Elektromosan rövid áramkörre a védeltség megegyezik a helyi áthalláscsillapítással, ha az $\alpha_2 \cdot l$ vonalcsillapítástól eltekintünk.

Egyetlen csévezemő hosszúságú áramkörre az áthallásvédeltség és csillapítás mind a közel-, mind a távolvégre számszerűleg megegyezik. Az előírt áthallási csillapításhoz tartozó hatásos helyi kapacitív csatolás a (2) összefüggésből számítható ki:

$$k_h = \frac{2 \cdot e^{-a_{1t}}}{\omega \cdot \sqrt{Z_1 Z_2}}, \quad (12)$$

ebből pedig a mérhető csatolások az alábbi összefüggésekből:

$$k_1 = \frac{8 \cdot e^{-a_1}}{\omega \cdot 1000} \cdot 10^{12} \text{ pF},$$

$$k_{2,3} = \frac{4 \cdot e^{-a_{2,3}}}{\omega \sqrt{1000 \cdot 560}} \cdot 10^{12} \text{ pF},$$

$$k_4 = \frac{8 \cdot e^{-a_4}}{\omega \cdot 560} \cdot 10^{12} \text{ pF}, \quad (13)$$

$$k_{5...8} = \frac{8 \cdot e^{-a_{5...8}}}{\omega \sqrt{1000 \cdot 560}} \cdot 10^{12} \text{ pF},$$

$$k_{9...12} = \frac{8 \cdot e^{-a_{9...12}}}{\omega \cdot 1000} \cdot 10^{12} \text{ pF}.$$

Egy n csévezemőből álló erősítőmező eredő áthallásvédeltsége az eredő áthalláscsillapítás alapján határozható meg. Tételezzük fel, hogy a zavaró és zavart áramkör átviteli tulajdonságai gyakorlatilag azonosak, azaz

$$g_1 = a_1 + j b_1 = g_2 = a_2 + j b_2.$$

Az eredő közlvegi áthalláscsillapítás kiszámításához a (7) összefüggésből lehet kiindulni és a végeredmény:

$$a_{ke} = a_{kh} - \frac{1}{2} \ln \frac{1 - e^{-2n(a_1 + a_2)}}{1 - e^{-2(a_1 + a_2)}} \text{ Np}. \quad (14)$$

Figyelembe véve, hogy $a_1 = a_2 = a_0$ és áttérve tízes alapú logaritmusra:

$$a_{ke} = a_{kh} - 10 \lg \frac{1 - 10^{-0,4 \cdot n \cdot a_0}}{1 - 10^{-0,4 \cdot a_0}} \text{ dB}. \quad (15)$$

Az eredő áthallási védeltséget nyerjük, ha (10)-be helyettesítjük (14) kifejezést:

$$a_{kve} = a_{kh} - 10 \lg \frac{1 - 10^{-0,4 \cdot n \cdot a_0}}{1 - 10^{-0,4 \cdot a_0}} - \alpha_0 \cdot l \text{ dB}. \quad (16)$$

Az eredő távlevégi áthalláscsillapítást a (9) és (11) egyenletből kiindulva számíthatjuk ki. A távlevégi áthallásvédeltség (11) egyenletébe (9)-et behelyettesítve:

$$a_{tv} = \ln \frac{2}{\omega \cdot k_h \cdot \sqrt{Z_1 Z_2}} + \alpha_2 \cdot l - \alpha_2 \cdot l = a_{th} \text{ Np} \quad (17)$$

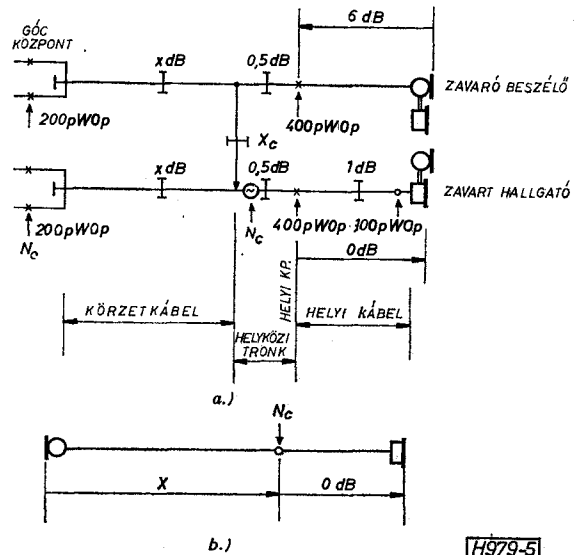
összefüggést nyerjük, ami azt fejezi ki, hogy két elemi hosszúságú áramkör közötti áthalláscsillapítás és védeltség matematikailag is azonos mennyiségek.

Az n csévezemőből álló áramkör távlevégi áthallásból származó várható zaja nem haladja meg az egyes szakaszok zajteljesítményének az összegét, ha az egyszerűség kedvéért eltekintünk az áramkörök fázisforgatásától és $k = +k_{\text{meg, max}}$. Így tehát az eredő távlevégi áthallási védeltség:

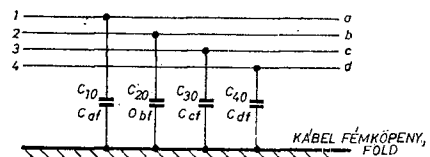
$$a_{tve} = a_{th} - \frac{1}{2} \ln n \text{ Np}. \quad (18)$$

Áttérve tízes alapú logaritmusra

$$a_{tve} = a_{th} - 10 \lg n \text{ dB}. \quad (19)$$



5. ábra. Göckörzeti referencia-áramkör



6. ábra. Egy érnégyes földkapacitásai

Követelmények a hangfrekvenciás távkábeláramkörök áthallásvédeltségére

A CCITT Sárga Könyv G.151 ajánlása szerint egy helyközi összeköttetés érthető áthallás csillapítás alaptertőke (áthallásvédeltsége) 65 dB mind a közlővégre, mind a távolvégre vonatkoztatva. Ezt az előírást lehet alkalmazni a körzetkábelek négyhuzalos távbeszélő áramköreire is. Kiszámítva a nullaszintű pontban fellépő zajteljesítményt, az 316 pWO-nak adódik. Megjegyezzük, hogy a G.543 ajánlásból származó és jelenleg még érvényes hazai előírások szerint a kéthuzalos üzemmódú négyesek áramköreire az áthallásvédeltség 61 dB (795 pWO zajteljesítmény) és a négyhuzalos üzemmódú négyesek áramköreire pedig 65 dB áthallásvédeltség tartozik. Hangsúlyozni kell azonban, hogy ezeknek az előírásoknak a betartásához — feltételezve a 60 km hosszúságú erősítőmezőket — csak a lehető leggondosabban végrehajtott kiegyenlítés és szimmetrizálással lehetett eljutni.

Célszerűnek látszik tehát a korszerű hálózati struktúra és a kapcsolatos CCITT ajánlások ismeretében meghatározni azokat az áthallási paramétereket, amelyek egyrészt megfelelnek a követelményeknek, de másrészt költségmegtakarítást eredményeznek a hagyományos eljárásokkal szemben.

Az áthallási követelményeket két oldalról közelíthetjük meg. Az áramkörre előírt maximális zajteljesítményből számolhatunk visszafelé, majd meghatározzuk az érthető áthalláshoz tartozó minimális áthallási védeltséget. Nézzük az első esetet. Az [1] szerint célszerű a belföldi hálózatok struktúrájára való tekintettel a zajhozjárulást

$$A + B \cdot L \quad (20)$$

formába hozni, ahol A egy rögzített komponens, ami a központoktól és a rövidtávú multiplex rendszerektől származik, B pedig a nagytávolságú vivőáramú rendszerek zaj/hossz egysége, L a belföldi nagytávolságú rendszerek teljes hossza.

A hazai zajkiosztási terv szerint [2] a göckörzeti áramkörre $700 + 10 \cdot L_4 \leq 1000$ pWOp juthat, ahol $L_4 = \max.$ 30 km. Hangfrekvenciás távkábel-áramkörök esetében a fenti keretösszeggel gazdálkodhatunk, amit egyrészt az áthallásból származó zajok, másrészt az erősáramú rendszerek befolyásoló zajai terhelik.

A következő pontokban részletezett számításokból kiderül, hogy az erősáramú befolyásolás kedvezőtlen, de még megengedhető esetben kb. 14 p Wp/km zaj hozzájárulást jelent. Ha kereken 800 pWOp értéket engedünk meg az áthallási zajra, akkor 61 dBmOp áthallási védeltséget írhatunk elő, ami megfelel 60 dBmOp értéknek, ha az áthallást [3] szerint 1100 Hz-en számítjuk.

A második esetben az érthető áthallás küszöbértékéből számítható ki a szükséges áthallási védeltség [3, 4]. Az áthallás szubjektív hatását, a hallhatósági és érthetőségi határokat hallgatói véleményekből állapították meg. E határértékek több tényezőtől függenek, így az előfizetői készülék egyenérték csillapításától, az áramköri zajtól, a teremzajtól, a zavart áramkörön folyó beszélgetés aktivitásától, a zavart

készülék mikrofonzajától és végül az áthallást okozó csatolás frekvenciafüggő tulajdonságaitól.

Tervezési célra egyszerűsítő feltételekkel teszik kezelhetővé ezt a sokváltozós függvényt. Az érthető áthallás küszöbértékét az áramköri zajok jelentősen befolyásolják. Ismeretes ugyanis, hogy a zaj az egyébként érthető, de halk hangokra elfedő hatást gyakorol és ezt a jelenséget célszerű a tervezésben figyelembe venni. A (20) összefüggés szerint az egy göckörzeten belüli helyközi összeköttetés áramköri zaja a legkisebb, összehasonlítva ugyanazon hálózat más belföldi helyközi viszonylataihoz. Egy göckörzeti referencia áramkört mutat az 5. ábra. A feltüntetett egyenérték-csillapítás adatokat úgy választottuk meg, hogy azok egyrészt feleljenek meg a hazai tervezési előírásoknak, másrészt azonban X_c -re, a körzetkábel áthallásvédeltségére a maximális követelmény adódjon ki. Más szóval mind a zavaró, mind a zavart előfizetői készülék a helyi központ közelében van (1 dB a vonalcsillapítás). A számítások eredményeit az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A Sárga Könyv P.16-ban ajánlják ideiglenes jelleggel, hogy az azonos központhoz tartozó előfizetők között a potenciálisan érthető áthallás valószínűsége ne legyen több, mint 1:1000, minden más esetben 1:100. A vizsgált esetre alkalmazva ezt az ajánlást, az 1:1000 arányt a közlővégi, az 1%-os arányt pedig a távolvégi áthallásvédeltségre kell figyelembe venni.

Az érthető áthallás küszöbértékéből adódó szükséges áthallási védeltség az 1. táblázat utolsó sora szerint nem több, mint 65,6 dB. Ez az adat P.16 szerint 1100 Hz-re vonatkozik és ha átszámítjuk a hazai áthallási előírások mérőfrekvenciájára, 1500 Hz-re, akkor 2,6 dB korrekciót kell számításba venni. A szükséges közlővégi áthallási védeltség tehát 62,4 dB, a távolvégi védeltség pedig 61,3 dB. A kétféle megközelítés eredményeit összevetve látható, hogy az utóbbi feltétel teljesíthető nehezebben.

Maradékcsatolások számítása előírt áthallásvédeltségre

A maradékcsatolások megengedhető értékei a (13)-as összefüggésekből számíthatók ki. Ehhez azonban előbb ki kell számítanunk a 16-os egyenletből a közlővégi helyi áthallás csillapítás a_{kh} értékét:

$$a_{kh} = a_{kve} + 10 \lg \frac{1 - 10^{-0,4 \cdot n \cdot a_0}}{1 - 10^{-0,4 \cdot a_0}} + \alpha_0 \cdot l =$$

$$= a_{kve} + a_{i\bar{o}} + a_{von}. \text{ dB,}$$

ahol a_{kh} : egy cséveszakasz-hosszúságú áramkör közlővégi áthallás csillapítása dB-ben,

a_{kve} : az „l” hosszúságú áramkör eredő közlővégi áthallásvédeltsége dB-ben,

n : a cséveszakaszok száma.

A számítást elvégeztük $l = 30$ km vonalhosszig bezárólag $n = 1 \div 16$ cséveszakaszra. Az eredményeket a 2. táblázatban ismertettjük.

A maradékcsatolások megengedhető értékei a távolvégi áthallásvédeltség alapján ugyancsak a (13) és (19) összefüggésből számíthatók ki. Az eredményeket $n = 1 \div 16$ cséveszakaszra a 3. táblázatba foglaltuk.

Áramkörü zaj $P_e=500$ pWop; $N_e=-63$ dBmp

érthető áthallás valószínűsége	teremzaj	áthallási áramkörü út egy. ért. csill. X	körzetkábel áth. védettség minimuma
1%	elhanyagolható	75,3 dB	67,8 dB
	+40 dB (A)	71,9 dB	63,9 dB
0,1%	elhanyagolható	77,0 dB	69,0 dB
	+40 dB (A)	73,6 dB	65,6 dB

2. táblázat

 $a_0=0,23$ dB/km; $a_{kve}=62,4$ dB $f=1500$ Hz

n	$a_{von.}$ dB	$a_{tbb.}$ dB	a_{kh} dB	$10^{-\frac{a_{kh}}{20} \cdot 10^{-4}}$	pF				l km
					k_1 k_{9-12}	k_{2-8}	k_4	k_{8-8}	
1	0	0	62,4	7,58	642	429	1145	859	1,83
2	0,43	2,23	65,1	5,55	470	314	838	629	3,66
3	0,86	3,27	66,53	4,71	399	267	711	534	5,49
4	1,29	3,85	67,54	4,19	355	237	633	475	7,32
5	1,72	4,20	68,32	3,83	324	217	578	443	9,15
6	2,15	4,43	68,98	3,55	301	201	536	402	10,98
7	2,58	4,57	69,55	3,33	282	188	603	377	12,8
8	3,01	4,66	70,1	3,12	264	177	471	353	14,6
9	3,44	4,72	70,56	2,96	251	167	447	335	16,5
10	3,87	4,77	71,04	2,80	237	158	423	317	18,3
11	4,30	4,80	71,5	2,66	225	160	402	301	20,1
12	4,73	4,80	71,93	2,53	214	143	382	286	22,0
13	5,16	4,81	72,37	2,40	203	135	362	272	23,8
14	5,59	4,82	72,81	2,28	193	129	344	258	25,6
15	6,02	4,83	73,25	2,17	184	123	327	246	27,4
16	6,45	4,84	73,69	2,06	174	116	311	233	29,2
32	13,0	5,0	80,0	$9,77 \cdot 10^{-5}$	83	55	147	110	58

A 2. és 3. táblázat számsorait összevetve látható, hogy a 2. táblázat maradécsatolásai a mérvadók. Tekintettel azonban arra, hogy az n szakaszból álló áramkör eredő áthallási csillapítását, illetve védettségét teljesítmény összegezéssel határoztuk meg (16-os és 19-es egyenletek), továbbá a kiegyenlítési eljárásához felhasznált mérési adatok tűréshatárai további bizonytalanságot hoznak be, célszerű egy 6 dB-es biztonsági tényezővel számolni [7]. Az így kiadódó maradécsatolásokat kettővel való osztással nyerjük. A 4. táblázatban már ezek a korrigált maradécsatolások szerepelnek az átlagos (n=10) és a maximális hosszúságú (n=16) szakaszra. Az utolsó sorban a jelenleg érvényes maradécsatolási maximumok vannak az összehasonlítás kedvéért.

Az eredmények összevetése után megfontolandónak látszik a körzetkábelek egyszerűbb és takarékosabb kiegyenlítési módszerének a bevezetése. A P.16

 $a_0=0,23$ dB/km; $a_{tve}=61,3$ dB $f=1500$ Hz

n	$a_{tbb.}$ dB	a_{tth} dB	$10^{-\frac{a_{kh}}{20} \cdot 10^{-4}}$	pF				l km
				$k_1; k_{9-12}$	k_{2-8}	k_4	k_{8-8}	
1	0	61,3	8,61	730	488	1300	976	1,83
2	3	64,3	6,10	517	345	921	691	3,66
3	4,8	66,1	4,95	419	280	747	561	5,49
4	6,0	67,3	4,31	365	244	651	488	7,32
5	7,0	68,3	3,84	325	217	580	435	9,15
6	7,8	69,1	3,51	297	199	530	398	10,98
7	8,5	69,8	3,23	273	183	488	366	12,80
8	9,0	70,3	3,05	258	173	460	345	14,6
9	9,5	70,8	2,88	244	163	435	326	16,5
10	10	71,3	2,72	230	154	410	308	18,3
11	10,5	71,8	2,57	217	145	388	291	20,1
12	10,8	72,1	2,48	210	140	374	281	22,0
13	11,1	72,4	2,40	203	136	362	272	23,8
14	11,5	72,8	2,29	194	130	346	259	25,6
15	11,8	73,1	2,21	187	125	334	250	27,4
16	12,0	73,3	2,16	183	122	326	244	29,2
32	15,0	76,3	1,53	129	87	231	173	58

ajánlás szerint számított maradécsatolások esetén teljesül az 1. táblázat szerinti 65,5 dB minimális áthallási védettség, ami megfelel 275 pWop áthallási zajteljesítménynek.

Erősáramú rendszerek elektromágneses terének zavaró hatása távközlési kábeláramkörökre

Az erősáramú rendszerek normális üzeme vagy esetleges üzemzavarai jelentősen befolyásolhatják a kábeláramkörök zajviszonyait. Ezek a zajkomponensek is meghatározhatók számítási eljárással és értéktől függően alakul a vizsgált kábeláramkörön fellépő teljes zaj, ami az áthallási és az erősáramú zajból tevődik össze. Külső eredetű zavaró jelek elsősorban az ún. földcsatolásokon át kerülnek a kábeláramkörbe, de az áramkör éellenállás különbsége sem hagyható figyelmen kívül. A földcsatolások definíciószerűen (6. ábra):

$$\begin{aligned} e_1 &= C_{af} - C_{bf}, \\ e_2 &= C_{ef} - C_{df}, \\ e_3 &= (C_{af} + C_{bf}) - (C_{ef} + C_{df}), \end{aligned} \quad (21)$$

ahol a, b, c, d : az érnégys egy-egy vezetőre,
 f : a föld mint áramvezető.

A teljesség kedvéért az ellenálláscsatolást is bemutattjuk, ami ugyancsak definíciószerűen:

$$\Delta R_1 = R_a - R_b,$$

$$\Delta R_2 = R_c - R_d, \quad (22)$$

$$\Delta R_3 = (R_a + R_b) - (R_c + R_d).$$

A (21) és (22) kifejezések alkalmasak arra, hogy a gyakorlatot kielégítő pontossággal meghatározzuk a kábeláramkörön fellépő erősáramú zajokat. A feladat abból áll, hogy az ismert módszerekkel meghatározott hosszirányú áramból és feszültségből kiszámítsuk az áramkör $a-b$, $c-d$ kapcsai között fellépő keresztirányú feszültséget. Az erősáramú rendszerekből származó zaj kérdése elsősorban a MÁV villamosított vasútvonalai mentén húzódó távközlési kábelek esetében merül fel, de lehetne más példákat is megemlíteni.

A villamosvasút 25 kV-os tápáramköre a felsővezeték—sin áramkörből áll, amely egyfázisú aszimmetrikus rendszer. A táppont felé visszafolyó áram részben a vágány sínjein, részben a földön keresztül tér vissza a táptranszformátorhoz. A földben folyó áramrészt mágneses tere az ebben a térben húzódó kábel fémköpenyébe I áramot indukál, amely áramkomponens számítására itt nem térünk ki.

Lényegesnek mondható azonban az a kérdés, hogy a kábel fémköpenyében folyó I áram hatására mekkora zavaró feszültség ébred a távközlési áramkörben.

Hossz- és keresztirányú feszültség konverziója hangfrekvenciás távkábeláramkörben

Tűzzük ki célul a konverziós formula felírását — összhangban az előző fejezetekkel egy elemi, csévemező hosszúságú homogén — távkábel-áramkör szakaszra.

Kiindulási feltételek:

- a vizsgált áramkörök DM sodrású négyesen létesülnek, tehát t_1 és t_2 törzsáramkör, [valamint f fantomáramkör van szóban,
- a négyes terhelése (pupinozása) 70/36 mH, a csévemező hossza $l_{cs} = 1830 \text{ m} \pm 10 \text{ m}$,
- a kábellemek megfelel a vonatkozó távkábel-szabvány előírásainak,
- a négyesnek a csévészakaszra vonatkoztatott hossz- és keresztirányú csatolásai ezen belül az e_1 , e_2 és e_3 földcsatolások megfelelnek a kiegyenlítés utáni helyzetre vonatkozó előírásnak,
- a kábelsodrat megfelel minden egyéb minőségi előírásnak,
- négyes a kábelsodrat külső koszorújában foglal helyet, tehát befolyásolás szempontjából a legkedvezőtlenebb helyzetű,
- a kábelnek fémköpenye van.

Megjegyezzük, hogy a fenti feltételrendszer teljes körű, tehát elhanyagolást nem tettünk. A konverziós formulák érvényesek a csillagsodrású négyesekre is, így a helyi típusú terheletlen áramkörök négyeseire is.

Egyszerűsítő feltételek.

A pupinozott távkábel-áramkörök hullámimpedanciája jóval nagyobb, mint a terheletleneké. Emiatt a sodraton belüli k és m elektromágneses csatolások közül csak a k kapacitív csatolásoknak van jelentőségük, a mágneses csatolásokat elhanyagolják a hangfrekvenciás tartományban. Hozzáteesszük azonban,

hogy mivel az e_1 , e_2 és e_3 földcsatolásokat keresztzéssel egyenlítik ki, ez az eljárás még tovább csökkenti az amúgy is kicsiny mágneses csatolásokat.

Helyettesítő ábra (7. ábra) alapján írhatjuk fel a formulákat. Az áramköri modell alapján számított U_{a-b} és U_{c-d} feszültségeket a mérési eredmények jól alátámasztják. Méréseket végeztünk a KTMF távközlési laboratóriumában egy $4 \times 4 \text{ C2/1,2 Cu} + 15 \times 4/0,9 \text{ DM}$ keresztmetszetű és 1672 m hosszú távkábel négyesein. A kábel fémköpenyében folyó 50 Hz-es I áram hatására fellépő keresztirányú feszültséget mértük. A vizsgált négyesek $e_{1..3}$ és ΔR_1 , ΔR_2 csatolásait ugyancsak megmérve, a mért és számított feszültségek összevetése alapján az áramköri modell jól megfelel a gyakorlatnak. A 7. ábrában a kábel elosztott paraméterű jellemzőit koncentrált elemekkel helyettesítettük, [6]

ahol: R_a , R_b az „a”, ill. „b” ér ellenállása ohmban,
 C_{af} , C_{bf} az „a”, ill. „b” ér—föld kapacitása,
 R_B : kábelburkolat belsőfelületiellenállása ohmban,
 I : kábelköpenyben folyó áram A-ben.

A hosszanti feszültség a köpeny belső felületén:

$$U = I \cdot R_B. \quad (23)$$

Az „a” érben folyó áram:

$$I_a = \frac{U}{R_a + \frac{4}{j\omega \cdot C_{af}}} = \frac{I \cdot R_B}{R_a + \frac{4}{j\omega \cdot C_{af}}} \quad (24)$$

A „b” érben folyó áram pedig:

$$I_b = \frac{U}{R_b + \frac{4}{j\omega \cdot C_{bf}}} = \frac{I \cdot R_B}{R_b + \frac{4}{j\omega \cdot C_{bf}}}. \quad (25)$$

Tekintve, hogy $R_a \ll \frac{4}{j\omega \cdot C_{af}}$ és $R_b \ll \frac{4}{\omega \cdot C_{bf}}$,

az ágáramok:

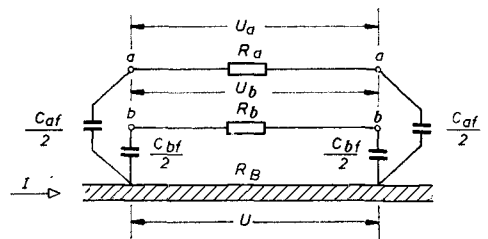
$$I_a = \frac{I \cdot R_B \cdot j \cdot \omega \cdot C_{af}}{4} \text{ és } I_b = \frac{I \cdot R_B \cdot j \cdot \omega \cdot C_{bf}}{4}.$$

Az „a” éren eső feszültség:

$$U_a = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R_a \cdot j \cdot \omega \cdot C_{af}. \quad (26)$$

A „b” éren eső feszültség pedig:

$$U_b = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R_b \cdot j \cdot \omega \cdot C_{bf}. \quad (27)$$



7. ábra. Áramköri modell U_{a-b} számításához

Maradékcsat. maximumok	n	k ₁ pF	k ₂₋₃ pF	k ₄ pF	k ₅₋₉ pF	k ₉₋₁₂ pF	l km
P.16 ajánlásból számított	10	120	80	210	150	120	18,3
	16	90	60	150	120	90	29,2
Hagyományos	33	10	10	60	30	30	

Az $a-b$ erek közötti feszültség, ha $R_b = R_a \pm \Delta R_1$ a t_1 törzsáramkörben:

$$U_{a-b} = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R_a \cdot j \cdot \omega \left[(C_{af} - C_{bf}) \mp \frac{\Delta R_1 C_{bf}}{R_a} \right] = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R_{aj} \cdot \omega \left[\pm e_1 \mp \frac{\Delta R_1 \cdot C_{bf}}{R_a} \right] \text{ V,} \quad (28)$$

mivel $C_{af} - C_{bf} = e_1$.

A $c-d$ erek közötti feszültség, ha $R_d = R_c \pm \Delta R_2$ a t_2 törzsáramkörben:

$$U_{c-d} = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R_c \cdot j \cdot \omega \left(\pm e_2 \mp \frac{\Delta R_2 \cdot C_{df}}{R_c} \right), \quad (29)$$

mivel $C_{cf} - C_{df} = e_2$.

Az f fantom áramkörre is alkalmazva:

$$U_{a,b-c,d} = \frac{I}{4} \cdot j \cdot \omega \cdot R_B \left[\frac{R_a(R_a \pm \Delta R_1)}{2R_a \pm \Delta R_1} (C_{af} + C_{bf}) - \frac{R_c(R_c \pm \Delta R_2)}{2R_c \pm \Delta R_2} (C_{cf} + C_{df}) \right]. \quad (30)$$

Jó minőségű kábelgyártás és gondos kiegyenlítés esetén a ΔR érelenállás-különbség igen kicsiny,

$$\Delta R_1 = \Delta R_2 = 0 \text{ és}$$

$$R_a = R_b = R_c = R_d = R.$$

Ekkor:

$$U_{ab} = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R \cdot j \cdot \omega \cdot e_1 \cdot 10^{-9} \text{ mV,}$$

$$U_{cd} = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R \cdot j \cdot \omega \cdot e_2 \cdot 10^{-9} \text{ mV,} \quad (31)$$

$$U_{a,b-c,d} = \frac{I}{8} \cdot R_B \cdot R \cdot j \cdot \omega \cdot e_3 \cdot 10^{-9} \text{ mV,}$$

ha e_1 , e_2 és e_3 értékét pF-ban helyettesítjük be, és a formulákban szereplő mennyiségek egy cséveszakaszra mint homogén hosszra vonatkoznak.

A (31) alatti kifejezések a keresett konverziós formulák, amelyekből kiszámítható egy-egy cséveszakaszra az indukált zajfeszültség e.m.e.-je. Ebből az egy-egy szakaszvégen mérhető kapcsolófeszültség:

$$\frac{U_{a-b}}{2}; \quad \frac{U_{c-d}}{2}; \quad \frac{U_{a,b-c,d}}{2},$$

a zajteljesítmény pedig a törzsáramkörökben:

$$P_1 = \frac{|U_{a-b}|^2}{4 \cdot R_t} \text{ és } P_2 = \frac{|U_{c-d}|^2}{4 \cdot R_t}, \quad (32)$$

a fantomáramkörben:

$$P_f = \frac{|U_{a,b-c,d}|^2}{4 \cdot R_f},$$

ahol R_t : a törzsáramkör hullámimpedanciájának valós része,

R_f : a fantomáramkör hullámimpedanciájának valós része.

Az egy cséveszakaszra megengedett maximális földcsatolások ($e_1 = e_2 = 150$ pF, $e_3 = 300$ pF) alapján,

továbbá a 800 Hz-re számított egyenértékű zavaró áramból (amely a fémköpenyben folyik) a (32) összefüggésekből kiadódik az egy cséveszakaszra jutó zajteljesítmény. Nem vettük azonban figyelembe eddig a számítások során az érelenállás különbségből származó zajkomponenseket. A megengedett különbséggel számolva (28) és (29) szerint további, az előbbihez (32) hasonló nagyságú zajteljesítmény lép fel.

Erősáramú rendszerek által okozott zajok összegzése n szakaszból álló kábelvonal végpontjaira

A hangfrekvenciás távkábeleket cséveszakaszonként egyenlítik ki. Egy-egy szakasz kiegyenlítése a többitől teljesen függetlenül történik, ezért a szakaszonkénti maradékcsatolások egymástól nem függő, egyetlen tényezőknél tekinthetők, mégpedig úgy, hogy az egyes tényezők külön-külön csak igen kis mértékben járulnak hozzá az összes véletlen hatásból eredő ingadozásokhoz. A kábelszakasz végére jutó zavarófeszültség az egyes szakaszok részfeszültségeinek összegze (8. ábra):

$$U_{(a-b)} = \sum_{i=1}^n U_{(a-b)_i}. \quad (33)$$

Figyelembe véve, hogy egy szakaszra az átviteli mérték

$$g_0 = a_0 + j b_0,$$

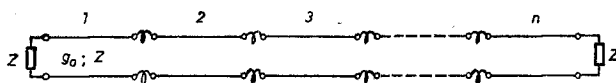
és (33)-ba helyettesítve (31)-et:

$$U_{a-b} = \sum_{i=1}^n \frac{I}{4} \cdot R \cdot R_B \cdot \omega \cdot e_1 \cdot e^{-i \cdot g_0}.$$

Ha feltételezzük, hogy I zavaró áram állandó a nyomvonal mentén, akkor kiemelés és átrendezés után:

$$U_{a-b} = \frac{I \cdot R \cdot R_B \cdot \omega \cdot e_1}{4} \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{e^{-2 \cdot i \cdot g_0}}{e^{-2 \cdot g_0}}}. \quad (34)$$

A (34) alatti kifejezésben további egyszerűsítő feltételezés, hogy e_1 földcsatolás pozitív előjelű, és abszolút értéke egyenlő az egy cséveszakaszra megengedett maximummal. A valóságban e_1, \dots, e_3 földcsatolások $0 \pm e_{\text{meg}}$ között bármilyen értéket felvehetnek.



H979-8)

8. ábra n szakaszból álló kábelvonal

Vonalcsillapítás, dB	1	2	3	4	5	6
Megengedett zajfeszültség, mVp	0,45	0,40	0,35	0,31	0,28	0,25

Az összegezt elvégezve az eredő feszültség várható értéke nem haladja meg (35) értékét:

$$U_{a-b} = \frac{I \cdot R \cdot R_B \cdot \omega \cdot e_1}{4} \sqrt{\frac{1 - e^{-2(a_0 + j\omega_0)n}}}{1 - e^{-2(a_0 + j\omega_0)}}} \quad (35)$$

Ha bármelyik törzsáramkörben vagy a fantomáramkörben a ΔR ellenálláscsatolást is figyelembe kívánjuk venni, akkor az összegezt a (28), (29) és (30) egyenletekre kell elvégezni. Az eredő feszültség ekkor például a t_1 áramkör végén nem haladja meg (36) értékét:

$$U_{a-b} = \frac{I}{4} \cdot R_B \cdot R_a \cdot \omega \left(e_1 + \frac{\Delta R_1 \cdot C_{bf}}{R_a} \right) \sqrt{\frac{1 - e^{-2(a_0 + j\omega_0)n}}}{1 - e^{-2(a_0 + j\omega_0)}}} \quad (36)$$

Ebben az esetben is feltételezzük, hogy az összetartozó e és ΔR csatolások pozitív előjelűek és értékük a megengedett maximumon van.

A valóságban természetesen bonyolultabb helyzet kell számolnunk, mert sem a kábelköpenyben folyó I zavaró áram, sem az $e_{1..3}$ csatolás, illetve ΔR ellenálláscsatolás nem állandó a nyomvonal mentén. Ezért annyi szakaszra kell bontanunk a vizsgált kábeláramkört, amennyi már külön-külön eleget tesz az egy szakaszon belüli állandóságnak. Az „ n ” minimum annyi, amennyi az erősáramú befolyásolás alatt álló kábelszakasz csévvezetőinek száma. Minden egyes „homogén” szakaszt kiszámítva $P_{zaj}(i)$ értékét a teljes zajteljesítményt összegezzel nyerjük:

$$P_{zaj} = \sum_{i=1}^n P_{zaj}(i) \quad (37)$$

Az erősáramú rendszerek által okozott zajfeszültség megengedett értéke

Az erősáramú befolyásolásból származó zavaró zajfeszültség megengedett felső határa 0,5 mVOp, mert a CCITT G.123 ajánlása szerint a zaj e.m.e. megengedett értéke 1 mVp a vételoldali előfizetői készülék kapcsain mérve.

Az erősáramú zavarok teljesítménye ekkor 416 pWOp, ami igen jelentős tényezőnek mutatkozik a góckörzeti zajmértékben.

A jelenlegi gyakorlatban előfordul az 1 mVp értékre való tervezés is, amit a jövőben el kell kerülni a belföldi hálózatra előírt zajparaméterek megtartása érdekében. Megjegyezzük, hogy a hazai zajkiosztási terv szerint a góckörzetből összesen kb. 2000 pWOp juthat a távhívó hálózatba, illetve ezen keresztül a nemzetközi távbeszélő-hálózatba. Ebből a keretösszegeből oszthatók ki a góckörzeti zajkomponensek,

így az áthallási, központ-, modem-fokozati zajfeszültségek és az erősáramú zavarok, továbbá a helyi hálózatra jellemző zajok. A korszerű hálózati struktúrában törekedni kell arra, hogy a góckörzeti áramkörös szakaszon az összes zaj teljesítménye ne haladja meg az 500 pWOp értéket.

Az 5. táblázatban a körzetkábel csillapításával korrigált megengedett zajfeszültségek láthatók.

Összefoglaló

A hagyományos áthallásvédeltségi előírásokon túllépve figyelembe vettük a véletlenszerű áramkörü zajoknak a tiszta hangra gyakorolt elnyomó hatását, majd ebből meghatároztuk az ismert áthallás-elméleti összefüggések alapján a megengedhető $k_1 \dots k_{12}$ maradékcsatolások értékeit, ha az áramkör hossza max. 30 km lehet. Az eredmények alapján célszerű lenne a hagyományos kiegyenlítési eljárást felváltani egy jóval gazdaságosabb, számítógéppel támogatott gyorskiegyenlítési eljárással.

A vasútvillamosítás befolyásoló hatása elsősorban a körzetkábel-áramkörökre fejt ki zavarást. Konverziós formulákat állítottunk fel a hossz- és keresztirányú feszültségek között, amelyek jól megfelelnek a tervezési igényeknek. Ezen formulák előnye egyszerűségük mellett az, hogy közvetlen kapcsolatot jelentenek az $e_{1..3}$, illetve ΔR csatolások mint kábeláramkör-jellemzők és a fellépő zavaró e.m.e. feszültség között. A szakaszonként számított zavarójeleket teljesítményük szerint összegezve a várható maximális értéket nyerjük. Abban a kedvezőtlen esetben, ha hosszú a körzetkábel és teljes hossza mentén villamosított vasútvonal közelében halad, akkor a földcsatolások és ellenállás-csatolások hagyományos előírásait célszerű továbbra is szem előtt tartani a kiegyenlítés során.

Köszönetnyilvánítás

A szerző köszönetét fejezi ki dr. Lajtha György c. egyetemi tanárnak, a műszaki tudományok doktorának, dr. Gordos Géza egyetemi docens kandidátusnak és Gránásy Sándor tudományos osztályvezetőnek bíráló megjegyzéseikért és hasznos útmutatásaikért.

I R O D A L O M

- [1] Circuit noise in national networks. CCITT G.123 ajánlás.
- [2] Átviteli terv. Magyar Posta, 1983.
- [3] Subjective effects of direct crosstalk, thresholds of audibility and intelligibility. CCITT P.16 ajánlás.
- [4] Lapsa, P. M.: Calculation of multidisturber crosstalk probabilities. B.S.T.J., Vol. 55, No. 7, Sept., 1976.
- [6] Balogh V.: Távközlési vezetékhalozatok III. Tankönyvkiadó, 1983.
- [7] Lajtha Gy.: Távbeszélő-hálózatok tervezése és méretezése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.