

HÍRADÁSTECHNIKA

Szimmetrikus szerkezetű távkábelek veszteségi tényezőjének hosszfüggése

DR. DÉKÁNY LÁSZLÓ
ROMEISZ GYÖRGY
Magyar Kábel Művek

Műanyag és papír szigetelésű távkábelek tervezésének és fejlesztésének egyik alapvető tervezési paramétere a kábel veszteségi tényezője, másnéven tangens deltája. Ezen tényező fontos szereppel bír úgy a műanyag, mint a papír szigetelésű távkábeleknel, nevezetesen

- papír szigetelésű távkábeleknel a szigetelés alkotóelemeinek — a papírnak és a levegőnek — az arányát úgy kell megválasztani, hogy az üzemi kapacitás megkövetelt szintje mellett a veszteségi tényező is biztonsággal kisebb legyen a szabványokban általánosan előírt $50 \cdot 10^{-4}$ értéknél. Ez a kordei méretének és a szigetelőpapír négyzetmétersúlyának előírásához ad támpontot;
- műanyag (polietilén-légűr, habosított polietilén stb.) szigetelésű távkábelekre szintén szabvány-előírás a tangens delta fentebb említett korlátja. Ismert, hogy a poliolefinnek veszteségi tényezője igen alacsony ($1-5 \cdot 10^{-4}$), azonban a műanyag szigetelésű távkábel dielektrikuma olyan egyéb anyagokat tartalmaz vagy tartalmazhat, amelyek hatására ezen jellemző leromlik. A kábel esetleges vazelinrel való töltése a vazelin rosszabb villamos jellemzői miatt nagymértékben lerontja, kedvezőtlen esetben az előírt határ fölé emeli a tangens delta értékét. A kábel dielektrikumába valamilyen módon (pl. köpenyezéskor vagy üzem közben beázással) bekerült víz hatására ugyancsak megengedhetetlen mértékben megnő a veszteségi tényező.

Kapcsolódva az előbbiekből elmondottakhoz, a cikk többféle elvi és gyakorlati célt tűz maga elé. Többek között:

- körvonalazva a távkábelek veszteségi tényezőjének fizikai tartalmát és befolyásolásának lehetőségeit, hozzá kíván járulni a szimmetrikus szerkezetű műanyag szigetelésű távkábelek MKM-ben folyó fejlesztésének mielőbbi műszaki sikeréhez;

- összevetve a szabványokban található — veszteségi tényezőre vonatkozó — előírást a mérés-technikai lehetőségekkel és a tangens deltát befolyásoló mennyiségek hatásával, a szabványok előírásának finomításával és kiegészítésével el akarja érni, hogy az előírások jobb összhangba kerüljenek az előírás mögött rejlő fizikai képpel.

Jelen cikkben leírtak gyakorlati eredménye, hogy több próbálkozás és kísérlet lefolytatása után sikerült a szabványnak biztonsággal megfelelő veszteségi tényezőjű papír szigetelésű DM sodrású távkábel előállítását.

1. A probléma előtörténete

A Magyar Kábel Művek és — a távkábelek jelenlegi két legnagyobb felhasználója — a Magyar Posta és az OKGT viszonylatában visszatérő műszaki probléma, hogy egyes (főleg DM sodrású) távkábelek veszteségi tényezője magasabb a szabványban előírt értéknél. A kérdés újlag, az eddiginél némileg élesebben vetődött fel az elmúlt néhány év folyamán. A rendelői igények mind magasabb szintű kielégítése, a probléma feloldása érdekében az utóbbi két évben széleskörű vizsgálatot folytattunk a magas tangens delta okával kapcsolatban. Az ellenőrzés igen sok jellemzőre kiterjedt, többek között vizsgálatnak vetettük alá a szigetelés alapanyagait, a gyártástechnológiai lépéseket, a mérési módszereket és a mérési vizsgálati jegyzőkönyvei alapján statisztikát készítettünk a nem megfelelő veszteségi tényezőjű kábelek típusonkénti relatív előfordulásáról. Itt célirányosan csak utóbbit említjük meg részletesebben.

Nagyszámú jegyzőkönyv mérési adatainak összegezése alapján készült az 1. táblázat, amely nagyobb-részt DM sodrású kábeleket tartalmaz, mert a nevezett gond elsősorban ezen típusnál jelentkezett. Ezen megjegyzést a táblázat adatai is megerősítik, ti. az utolsó két sorban látható csillagnégyes szerkezetű távkábelek veszteségi tényezője jóval 50×10^{-4} alatt van, másrészt relatíve nem sok kábel veszteségi tényezője lépi túl az előírást. Észrevehető, hogy a viszonylag kis négyesszámú (7×4 , 4×4) szerkezetek-

1. táblázat

Távkábelek veszteségi tényező statisztikája

Szerkezet	tg δ átlag	magas tg δ %
4×4×0,9 DM	62,7·10 ⁻⁴	68,5
7×4×0,9 DM	63,6·10 ⁻⁴	70,4
14×4×0,9 DM	45,8·10 ⁻⁴	25
27×4×0,9 DM	41,8·10 ⁻⁴	5,1
4×4×1,2 C ₃	41,3·10 ⁻⁴	6,2
B ₄	35,7·10 ⁻⁴	3,5

nél az összes mért kábel jóval több mint fele nem felel meg a szabvány előírásainak.

A nagyobb érszámú DM négyes szerkezetű kábelek felé tartva a tangens delta átlag csökken, és csökken a nem megfelelő kábelek aránya is. Érdekes — és a továbbiak szempontjából fontos — megfigyelés, hogy a 7×4 és 4×4 DM kábelek gyártási hossza 922 m, a 14×4 DM-eké 462 m, 27×4 DM-é 232 m, a két csillagnégyes sodrású kábelé 464, ill. 310 m. Ez azt jelenti, hogy a magas tg delta és a nagy hosszak közt bizonyos korreláció van.

Konklúzióként a vizsgálatok alapján az adódott, hogy fentebb részletezett műszaki problémát nem az érszigetelésnek felhasznált anyagok nem megfelelő minősége, és nem gyakorlati mérés technikai gondok okozzák. A probléma gyökere sokkal inkább elvi mérés technikai korlátokra és alapvetően a konstrukció kérdésére vezethető vissza. Mielőtt ezen kérdések részletesebb kifejtésére rátérnénk, nem haszontalan tisztázni a kérdés nemzeti és nemzetközi szabvány vonatkozásait.

2. Szimmetrikus szerkezetű helyközi beszélgetésre használt kábelekre vonatkozó szabványelőírások

Magyar viszonyokat tekintve a hang- és vivőfrekvenciás, papír szigetelésű távkábelek műszaki paramétereinek és ellenőrzésének előírásait két ágazati szabvány tartalmazza.

Ezen szabványokkal vetettünk össze két nemzetközileg általánosan ismert és elfogadott előírást a CCITT-t és a megfelelő VDE szabványt.

a) A **DIN 57816/VDE 0816** szabvány a veszteségi tényező mérésére vonatkozó 6.4 pontját és a mérési útmutatót tartalmazó 4., 6., 7. és 8. táblázatot áttanulmányozva az alábbiakat állapítottuk meg:

- helyi telefon- és távkábeleknel nem kell tangens deltát mérni;
- a veszteségi tényezőt 800 vagy 1000 Hz mérőfrekvencián az 1040 m-nél nem hosszabb, hang- és vivőfrekvenciás távkábeleknel mérni kell. A veszteségi tényezőt meg kell határozni valamennyi csillag vagy DM négyesre és árnyékolt rádiófrekvenciás ér-

párta. A 4. táblázat alapján ezen paramétert mérni kell a $\varnothing 0,9$ átmérőjű, 34 nF/km üzemi kapacitásszintű habosított polietilén szigetelésű, vazelin töltésű kábeleken is. A veszteségi tényezőnek kisebbnek kell lenni 50·10⁻⁴-nél.

b) A **CCITT** piros könyvének ajánlásai közül a **G 323** számú a vivőfrekvenciás a **G 541** számú a DM sodrású hangfrekvenciás távkábelek műszaki előírásait rögzíti. Eszerint:

- vivőfrekvenciás távkábeleken veszteségi tényezőt nem kell mérni;
- a DM szerkezetű kábeleknel az ajánlás szerint „minden egyes áramkörtípusra és valamennyi vizsgálat alá vont gyártási hosszra vonatkoztatva az átlagos fajlagos levezetés — G/C — nem haladhatja meg a 25 értéket”.

c) A magyar szabványok előírásai következőképpen hangzanak az **MSZ 05—48.3501** számú „Papír-kordel szigetelésű távkábel” című előírás 6.7. pontja szerint:

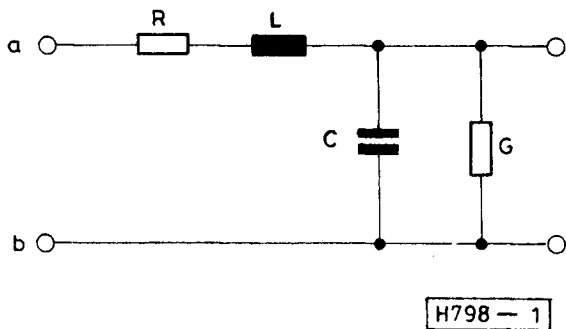
- „A levezetési állandó átlagértéke valamennyi áramkörtípusra és az egész vizsgált gyártási hosszra legfeljebb 25.”

Az **MSZ 05—48.3701** „Alumínium vezetőjű papír-kordel szigetelésű vasúti távközlési vonalkábel” című szabvány 6.8. pontja kimondja:

- „A levezetési állandó átlagértéke mindkét négyestípusra és a vizsgált gyártási hosszra vonatkoztatva, 800 Hz frekvencián mérve legfeljebb 25 lehet.”

A szabványok összevetéséből meg tudjuk állapítani, hogy

- hangfrekvenciás kommunikációra használt csillagnégyes szerkezetű kábelekre sem a VDE, sem a CCITT nem ír elő tg δ mérést. Ennek megfelelően semmiféle műszaki indoka nincs annak, hogy az **MSZ 05—48.3701** a telefonnégyesként használt $\varnothing 1,8$ átmérőjű erekből álló négyesre is előírja ezen paraméter meghatározását;
- vivőfrekvenciás csillagnégyesekre a CCITT nem ír elő veszteségi tényező mérést. Ez érthető és műszakilag indokolt dolog, mert a vonalcsillapítás és impedancia — amelyet viszont mérni kell — a vezeték minden elsődleges paraméterét tartalmazza, tehát a kábelt egyértelműen minősíti;
- előbb említett típusra a VDE és a magyar szabványok előírják a tangens delta mérést. Fentebb elmondottak alapján megfontolandó, hogy ennek műszakilag van-e jelentősége;
- DM négyes szerkezetű kábeleknel és árnyékolt rádiófrekvenciás érpároknál említett paraméter ellenőrzését valamennyi említett szabvány előírja. A legkonzekvensebb a VDE 0816, mivel fogalmazásában benne rejlik az, hogy lényeges a tangens delta szempontjából a gyártási hossz.



1. ábra. Érpár négyfólyus helyettesítő képe

Azt, hogy ez miért és hogyan befolyásolja ezen jellemzőt, a következő részben tárgyaljuk.

Megjegyezzük, hogy a magyar szabványban alkalmazott G/C -re vonatkozó előírás — bár ez a $\operatorname{tg} \delta$ -tól csak egy ω szorzóval tér el — fizikailag nem annyira kifejező és megfogható, mint a $\operatorname{tg} \delta$. Helyesebb lenne a magyar szabványokban is — a VDE-hez hasonlóan — a veszteségi tényezőt előírni.

Összefoglalva: A magyar szabványok, az említett paraméter vonatkozásában meglehetősen következetlen és „öszvér” ollózásai a két említett, nemzetközileg mértékadónak tartott szabványnak.

3. A veszteségi tényező fizikai jelentése és hosszfüggése telekommunikációs kábeleknél

A veszteségi tényező, mint fogalom a kábeliparban, szigetelőanyagok, valamint közép- és nagyfeszültségű kábelszigetelések minősítésének kapcsán merül fel elsődlegesen. Definíciója szerint a szigetelőanyagban fellépő valós és látszólagos teljesítmény hányadosa. Attól függően, hogy a szigetelőanyagot soros vagy párhuzamos villamos helyettesítő képpel jellemezzük, a veszteségi tényező

$$\operatorname{tg} \delta_s = \omega RC, \quad \text{vagy}$$

$$\operatorname{tg} \delta_p = \frac{G}{\omega C},$$

ahol az R a szigetelőanyag soros veszteségi ellenállása, G a paralel kép vezetőképessége, C a szigetelőanyag kapacitása. Akár soros, akár párhuzamos képpel jellemezzük, fenti paraméter minden esetben a szigetelőanyag minőségének kvantitatív mutatója.

Az alábbiakban ki fogjuk mutatni, hogy a veszteségi tényező hírközlő kábeleknél nem egyértelmű jellemzője a dielektrikumnak, hanem az érpár egyéb tulajdonságainak is függvénye.

Be fogjuk bizonyítani továbbá, hogy a tangens delta — az erőáramú kábeleknél tapasztaltakkal ellentétben — telefon- és távkábeleknél hosszfüggő.

Tekintsük egy érpár 1. ábrán látható villamos helyettesítő képét.

Ha egy 240 mm^2 áramvezető keresztmetszetű 10 kV vonalfeszültségű erőátviteli kábel 1 km -es hosszát tekintjük, erre $R=0,119 \ \Omega$, $X_L=0,094 \ \Omega$. A soros

R és L a náluk több nagyságrenddel nagyobb X_C és G mellett elhanyagolható és ilyenkor az a , b kapcsok közt mérhető veszteségi tényező

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{G}{\omega C} = \frac{19,5 \cdot 10^{-9}}{97,4 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{-4},$$

tehát valóban a szigetelőanyag jellemzője. Mivel G és C a hossz változtatásával lineárisan egy irányban változik, a veszteségi tényező hosszfüggetlen. Az áramvezető igen kicsi ellenállása miatt a vezető felülete ekvipotenciális, vagyis az elrendezés ideális (ellenállás nélküli fegyverzetű) kondenzátornak tekinthető.

Helyettesítsük most az ábra elsődleges paramétereinek helyére egy $\varnothing 0,9$ átmérőjű DM távkábel adatait. Az egyszerűség kedvéért tételizzük fel, hogy a dielektrikum ideális szigetelőanyag, vagyis $G=0$, illetve az induktivitás a vezető ellenállása mellett elhanyagolható. A kábel egy 460 m -es darabját tekintve $C=17,71 \text{ nF}$; $R=25,2 \text{ ohm}$. Az a és b pontok közt mérhető veszteség $f=800 \text{ Hz}$ -et feltételezve

$$\operatorname{tg} \delta_s = \omega RC = 24,4 \cdot 10^{-4}.$$

Fenti érték azt jelenti, hogy ideális dielektrikumot feltételezve az érpárnak a vezető ellenállásából adódóan jelentős vesztesége van, azaz a tangens delta hírközlő kábeleken a vezetőt és a dielektrikumot együttesen jellemzi. Előbbiekből már sejthető, hogy a veszteségi tényező hosszfüggő, — mégpedig a hossz kvázi négyzetes függvénye — mivel mind az R , mind a C a hossz növelésével lineárisan nő. A kábel 920 m -es hosszát tekintve ezen jellemző

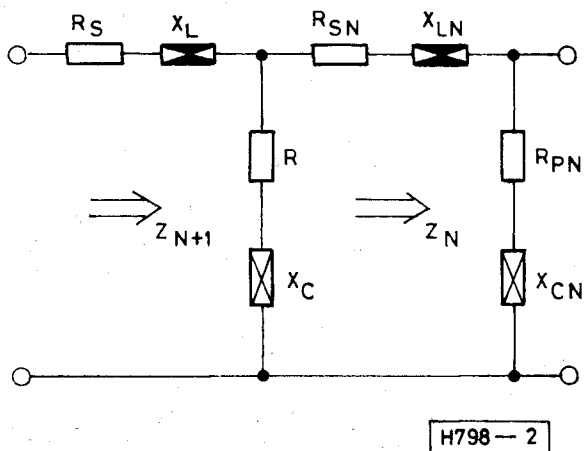
$$\operatorname{tg} \delta_s = \omega RC = 97,6 \cdot 10^{-4},$$

mert mind az R , mind a C duplája a fentebb leírt értékeknek.

Ilyen magas veszteségi tényezőjű kábel a szabvány szerint már nem megfelelő minőségű, holott a dielektrikum ideális és a kábel minden más paramétere névleges értékű, tehát az érpár kiváló minőségű. Ez jelenti az egyik ellentmondást.

Ha számított eredményeinket megpróbáljuk mérésrel ellenőrizni, azt tapasztaljuk, hogy a mért érték jóval a számított alatt van; 930 m -en például $71,65 \cdot 10^{-4}$. Ez első ránézésre azért is érthetetlen, mert a dielektrikum veszteségét a számításban elhanyagoltuk. A mérési eredménynek eszerint a számítottnál nagyobbak kellene lennie, mert a szigetelés összetevői nem ideális tulajdonságúak, tehát $G \neq 0$. Ez a második ellentmondás.

Utóbbi probléma feloldása abban rejlik, hogy a veszteségi tényező számításánál elvi-fizikai hibát követtünk el. Mivel az elektróda, vagyis a vezető hosszirányban nem tekinthető ekvipotenciálisnak (mert ellenállása miatt a feszültség amplitúdója a hossz mentén változik), a koncentrált paraméterekből kiinduló veszteségi tényező számítás elvileg hibás. Hogy helyes eredményt kapjunk, az érpárt elemi részekből összetettnek kell tekintenünk, és ezen elemi részek egymás utáni kapcsolásával kell meghatározni az eredő tangens deltát.



H798-2

2. ábra. Kapcsolási vázlat rekurziós formula meghatározásához

3.1 A hosszfüggés meghatározásához szükséges rekurziós formula

Bontsuk fel az érpárt l számú darabra. Gondolatban kössük ezeket egymás után és tegyük fel, hogy meghatároztuk n tag soros kapcsolása utáni impedanciát. Tekintsük a 2. számú ábrát. Célunk az, hogy meghatározzuk Z_n és az elemi elsődleges paraméterek ismeretében Z_{n+1} -et. A 2. ábrán ábrázolt $N+1$. elemi darabra, illetve a legelső tagra:

$$X_L = \frac{\omega \cdot L_h}{l}, \quad X_C = \frac{1}{l} \left(C_{\bar{u}} + \frac{G^2}{C_{\bar{u}} \cdot \omega^2} \right),$$

$$R_s = \frac{R_h}{l}, \quad R = \frac{1}{l} \cdot \frac{G}{G^2 + \omega^2 C_{\bar{u}}^2},$$

ahol: l — a felbontás finomsága, L_h — az érpár hurokinduktivitása, R_h — az érpár hurokellenállása, $C_{\bar{u}}$ — az érpár üzemi kapacitása, G — az érpár vezetőképessége.

A levezetés részleteit mellőzve kimutatható, hogy Z_n elemeinek (R_N, X_N) ismeretében Z_{N+1} elemet (R_{N+1}, X_{N+1}) a következőképp lehet megkapni:

$$R_{N+1} = \frac{(R + R_N) \cdot A + (X_N - X_C) \cdot B}{(R + R_N)^2 + (X_N - X_C)^2}, \quad (1)$$

$$X_{N+1} = \frac{(X_C - X_N) \cdot A + (R + R_N) \cdot B}{(R + R_N)^2 + (X_N - X_C)^2}, \quad (2)$$

ahol:

$$R_N = R_{SN} + R_{PN},$$

$$X_N = X_{LN} - X_{CN},$$

$$A = R_s(R + R_N) + R \cdot R_N + X_C X_N - X_L(X_N - X_C),$$

$$B = R_s(X_N - X_C) + X_L(R + R_N) + X_N R - X_C R_N.$$

Az (1) és (2) rekurzív formulából $R_N \rightarrow \infty$ és $X_N \rightarrow \infty$ határértékképzéssel adódik R_1 és X_1 , ezután az indexet lépésenként növelve kapom végül R_l és X_l -et. A veszteségi tényező az N . és l . lépést követően:

$$\text{tg } \delta_N = \frac{R_N}{X_N},$$

$$\text{tg } \delta_l = \frac{R_l}{X_l}.$$

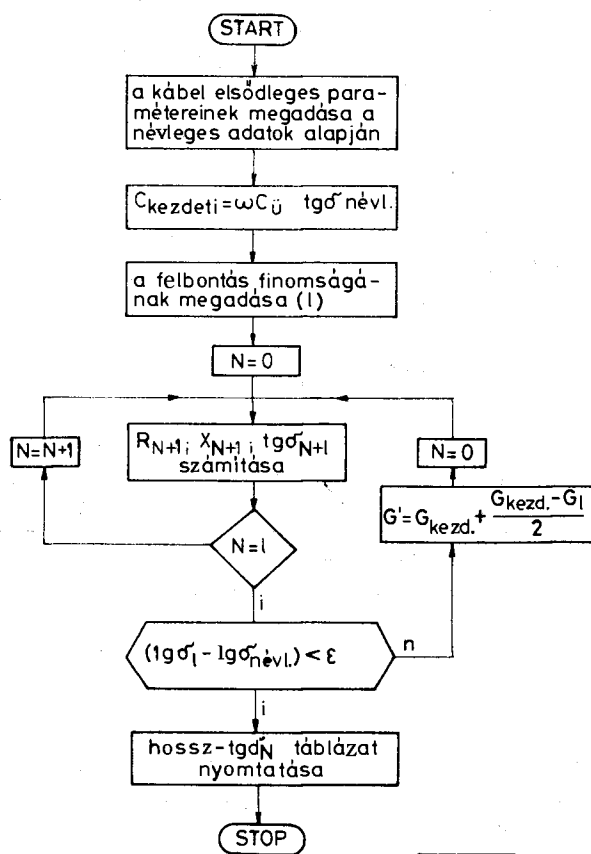
R_N és X_N -t lépésenként számítva, majd $\text{tg } \delta_N$ -t meghatározva kapom a veszteségi tényező hosszfüggését, végül $\text{tg } \delta_l$ adja a tényleges, mérhető veszteséget.

3.2 A feladat megoldása

Az előbb levezetett algoritmust egyszerűen digitális számítógépre lehet vinni, megoldás céljából. Mi is ezt tettük; a feladatot BASIC nyelven programoztuk, majd a programot egy PDP 11/45 típusú számítógépen futtattuk.

A következőkre voltunk kíváncsiak:

- ahogy függ a veszteségi tényező a hosszától,
- ha egy 460 m hosszú kábel érpárjára vagy phantom érpárjára, a szabványok által elfogadott $50 \cdot 10^{-4}$ nagyságú veszteségi tényezőt írjuk elő, hogyan változzon ez az előírás a hossz függvényében; emellett az $50 \cdot 10^{-4}$ értéken belül mekkora a dielektrikum (konstans értékű) tangens deltája és mekkora a második összetevő, a vezető ellenállásából adódó tangens delta.



H798-3

3. ábra. Számítási vázlat tg hosszfüggésének meghatározására

Ezen műszaki kérdéseket szem előtt tartva rajzoltuk meg a feladat — 3. ábrán látható — számítási vázlatát. A számítási vázlatban használt jelölések (N , l , $tg \delta_N$ stb.) megegyeznek a 3.1 pont jelöléseivel. A folyamatábrához rövid magyarázatot is fűzünk: A kábel három elsődleges paraméterének (R_h , L_h , C_h) és a megengedett veszteségi tényezőnek, szabvány alapján történt megadása után a gép kiszámítja a negyedik elsődleges paramétert ($G_{kezdeti}$). Ezt követően meg kell adni, hogy az adott hosszúságú (pl. 460 m) kábelt hány elemi részből kívánjuk összerakni (pl. $l=460$ megadása esetén a program a kábelt 460 db 1 m-es hosszából állítja össze). Ezután l számú ciklus befutása után adódik $tg \delta_l$, vagyis az érpár vagy phantom kapcsain mérhető veszteségi tényező. Amennyiben az így kapott tangens delta adott e -nél jobban eltér a névlegestől, a vezetést az eredményül kapott $tg \delta_l$ -ből számolt G_1 segítségével korrigáljuk és újra felépítjük a hálózatot. Bizonyos számú ilyen kettős hurok befutása után a névleges és a végeredményül kapott veszteségi tényező — adott hibahatáron belül — meg fog egyezni. Ekkor a tangens delta hosszfüggését megadó táblázatot, mint végeredményt kinyomtatjuk.

Egy $\varnothing 0,9$ ératmérőjű DM távkábelre végzett futtatás eredménye tekinthető meg az 1. és 2. mellékletben. Az 1. melléklet az érpár, a 2. melléklet a phantom érpár veszteségi tényezőjének hosszfüggését mutatja. A táblázatok 1 m-es felbontással készültek. A felbontás finomságát fokozni már nem volt értelme, mivel a további finomítás már csak az ezred nagyságrendjében okozott változást. A táblázatban az egyszerűbb számaábrázolás miatt nem a tangensdeltát, hanem a G/C -t vettük fel. A G/C értékekből a veszteségi tényezőt igen egyszerűen, $2 \cdot 10^{-4}$ -nel való beszorzással kaphatjuk meg.

A táblázatokat tanulmányozva megállapítható, hogy

— a dielektrikum konstans tangens deltája az érpárnál

— a több tizedes jegytől eltekintve — $42,6 \cdot 10^{-4}$ a phantomnál $44 \cdot 10^{-4}$, az érelenállásból adódó veszteség miatti változás előbbinél $29 \cdot 10^{-4}$, utóbbinál $23,4 \cdot 10^{-4}$, ha a kábel 920 m-es gyártási hosszát tekintjük. A leírt számértékek az egyes összetevőkre vonatkozó felső limitet jelentik, mivel a kiindulás is az elsődleges paraméterek névleges határértékeiből történt

— míg 920 m-es gyártási hosszra (a 460 m-re vonatkozó előírást $50 \cdot 10^{-4}$ -nek véve) $71 \cdot 10^{-4}$ értékű tangens delta is megengedhető, ez a maximum 230 m-es kábelre csak $44,6 \cdot 10^{-4}$.

Figyelembe véve, hogy az előírások szerint az egy szállítmányon belül átadott kábelhosszak — bizonyos minimális érték felett — elvileg tetszőlegesek lehetnek, számunkra igen fontos, hogy a sok szempontból kényelmetlenül használható táblázatok helyett analitikus formájú veszteségi tényező — hosszfüggvény is rendelkezésükre álljon. Ezen függvény approximációjával foglalkozunk a következő pontban.

1. melléklet

ÉRPÁR G/C HOSSZFÜGGÉSE

HOSSZ G/C MAX
[m]

20	21.3698
40	21.3915
60	21.4268
80	21.4757
100	21.5384
120	21.6146
140	21.7046
160	21.8081
180	21.9253
200	22.0562
220	22.2007
240	22.3589
260	22.5307
280	22.7162
300	22.9154
320	23.1282
340	23.3546
360	23.5947
380	23.8484
400	24.1158
420	24.3969
440	24.6916
460	25
480	25.322
500	25.6577
520	26.0071
540	26.3701
560	26.7467
580	27.1371
600	27.5411
620	27.9587
640	28.3901
660	28.835
680	29.2937
700	29.766
720	30.252
740	30.7517
760	31.265
780	31.792
800	32.3326
820	32.887
840	33.455
860	34.0367
880	34.6321
900	35.2411
920	35.8638
940	36.5003
960	37.1503
980	37.8141

2. melléklet

PHANTOM G/C HOSSZFÜGGÉSE

HOSSZ G/C MAX
[m]

20	22.0699
40	22.0874
60	22.1159
80	22.1554
100	22.2059
120	22.2675
140	22.3401
160	22.4237
180	22.5183
200	22.6239
220	22.7406
240	22.8682
260	23.0069
280	23.1566
300	23.3174
320	23.4891
340	23.6719
360	23.8657
380	24.0705
400	24.2863
420	24.5132
440	24.7511
460	25
480	25.26
500	25.5309
520	25.8129
540	26.106
560	26.41
580	26.7251
600	27.0513
620	27.3884
640	27.7366
660	28.0959
680	28.4661
700	28.8474
720	29.2398
740	29.6432
760	30.0576
780	30.4831
800	30.9196
820	31.3672
840	31.8258
860	32.2955
880	32.7762
900	33.268
920	33.7709
940	34.2848
960	34.8097
980	35.3457

3.3 A tangens delta hosszfüggvényének általános és specifikus alakja

A veszteségi tényező hosszfüggésének értékpárjait megadó számítógépprogram eredményének birtokában a pontsorozatot megpróbáljuk valamilyen zárt alakú függvényvel közelíteni. Tapasztalataink szerint az érpárokat igen jól approximálja a következő, másodfokú polinom:

$$tg \delta(x) = a_0 + a_1 x + a_2 x^2. \quad (3)$$

A polimom harmad- és magasabb rendű tagjainak figyelmen kívül hagyása a veszteségi tényező — hossz függvényben kisebb mint 2% hibát okoz. Ha figyelembe vesszük, hogy mérőeszközeink mérési bizonytalansága hozzávetőleg ugyanekkora, beláthatjuk, hogy a másodfokú, elegendően pontos közelítés.

Magyar és olasz gyártású távkábelek összehasonlító vizsgálata

Hossz [m]	Magyar kábel			Olasz kábel		
	230	460	920	230	460	920
Üzemi kapacitás [nF/km]	38,0	38,3	38,6	37,35	37,4	37,4
Veszteségi tényező $\times 10^{-4}$	42,1	50,9	74,2	30,4	35,3	56,6

(3) képlet a függvénykapcsolatot megadó összefüggés általános alakja.

A függvénykapcsolat specifikus — kábeltípus által meghatározott alakját úgy nyerhetjük —, hogy a program által megadott értékpárok közül hármat a (3) összefüggésben helyettesítünk és az így nyert háromismeretlenes lineáris egyenletrendszer a_0 , a_1 és a_2 -re megoldjuk. Ezután a_1 , a_2 és a_0 -at (3)-ba helyettesítve tetszőleges x hosszúság esetén meghatározhatjuk a veszteségi tényezőt.

Az approximációt elvégeztük a megelőző alponton említett $\varnothing 0,9$ mm, DM sodrású távkábel érpárjára és phantom érpárjára, és eredményül a következő értékeket kapjuk

$$\begin{aligned} \text{érpárra: } a_0 &= 42,6 \cdot 10^{-4}, \\ a_1 &= 6,56 \cdot 10^{-8}, \\ a_2 &= 3,62 \cdot 10^{-9}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{phantomra: } a_0 &= 43,9 \cdot 10^{-4}, \\ a_1 &= 0, \\ a_2 &= 2,75 \cdot 10^{-9} \quad [X]=1 \text{ m.} \end{aligned}$$

Amennyiben a 460 m-es szabványhossztól eltérő hosszra mérésel vagy egyéb módon meghatározott veszteségi tényezőt a 460 m hosszra akarjuk átszámítani, a következő összefüggést alkalmazzuk:

$$\operatorname{tg} \delta_{460} = \operatorname{tg} \delta_X + a_1(460 - X) + a_2(460 - X)(460 + X), \quad (4)$$

ahol: $\operatorname{tg} \delta_X$ — az átszámítandó veszteségi tényező,
 X — az átszámítandó kábel hossza méterben megadva,
 a_1 , a_2 — mint előbb.

4. Az elvi eredmények és számítások helyességének ellenőrzése

Levezetett eredményeink és számítási módszerünk korrekt voltának verifikálására ellenőrző méréseket végeztünk több magyar és egy tőkés importból beérkezett papír szigetelésű, $7 \times 4 \times 0,9$ DM szerkezetű távkábelen. Mérőműszerünk minden esetben SIEMENS R 2020 típusú digitális kapacitás és kapacitív csatolásmérő berendezés volt. Egy reprezentatív mintaként kivett hazai kábel — szempontjaink szerint lényeges — mérési eredményeit adtuk meg az alábbi, 2. táblázatban. A mérési jegyzőkönyveket a 3. számú melléklet tartalmazza.

A Budapesti Kábelgyárban gyártott kábel adatai mellett a táblázatban megadtuk egy olasz gyártmányú (ALFACAVI) kábel mérési eredményeit is. A kábel mérését a Posta Kábelüzem raktárában végeztük el. A táblázatot összevetve az 1. számú melléklet eredményeivel a következőket állapíthatjuk meg:

a) Az MKM gyártású kábel mérési eredményei rendkívül jól korrelálnak az elvi levezetés alapján nyert adatokkal. A két halmaz közti legnagyobb differencia $2,82 \cdot 10^{-4}$, relatíve csekély mértékű. A 230 m és 920 m közti veszteségi tényező növekedés mértéke hozzávetőleg

8%-kal kisebb, mint az elvileg meghatározott érték. Ennek oka elsősorban az, hogy az érpár hurokellenállása ténylegesen 53 ohm/km körüli érték, amely észrevehetően kisebb, mint a program futtatásakor betáplált 54,8 ohm/km. A kisebb ellenállás miatt ennek veszteségi tényező növelő hatása is kisebb mértékű.

b) Az olasz eredetű távkábel tangens deltája lényegesen jobb, mint az MKM-ben gyártotté. Ennek oka elsődlegesen a konstrukciós különbségekben keresendő. Észrevehető, hogy 920 m gyártási hosszát tekintve, a szabvány előírásainak merev alkalmazásával az olasz kábelt nem megfelelőnek kellene minősítenünk, holott a kábel jó minőségűnek mondható. Az előbbieken levezetett tangens delta-hossz függvény jellegét tekintve igen jó összhangban áll ezen kábel mérési eredményeivel is. Döntő, hogy a növekedés mértéke gyakorlatilag teljesen megegyezik az elvi módszerek révén levezetett változással (a mért változás $26,2 \cdot 10^{-4}$, a számított $26,8 \cdot 10^{-4}$). A veszteségi tényező alapértékében tapasztalható viszonylag nagy mértékű eltérés annak a következménye, hogy a kábel konstrukciójának tervezésekor biztonsággal az $50 \cdot 10^{-4}$ limit alá tudták vinni a tangens deltát, míg a magyar kábel — nem túl szerencsésen — éppen a határértékre méretezett. Ezen paraméterét tekintve az import kábel sokkal jobb minőségű a hazai gyártásúnál.

Leírtakat úgy foglalhatjuk össze, hogy a mérési eredmények megnyugtató és kétséget kizáró módon igazolták elvi jellegű megfontolásaink alapján kapott eredményeink helyességét, bizonyították a veszteségi tényező valóban hosszfüggő voltát.

5. Az eredmények szabványokra való hatásai

Fentiekben leírt megfontolásaink és eredményeink óhatatlan következménye, hogy az 1. pontban megnevezett magyar és egyéb nemzetközi jellegű szabványok veszteségi tényező előírásaira vonatkozó fejezetét módosítani szükséges. A hosszfüggést is figyelembe vevő, korrekt szabványelőírás a következőképp hangzik:

A veszteségi tényező ($\operatorname{tg} \delta$) átlagértéke valamennyi áramkörtípusra és 460 m gyártási hosszra vonatkoztatva legfeljebb $50 \cdot 10^{-4}$.

Tívtípus Alfacovi TRPKOVB
 Keresztmetszet 7x4x0,9 φ DM



V. Á. Kapacitás és levezetés

Hossz No: _____ Kelet: 1980. 07. 16 Mértő: Kaprinnyak István
 Hossz m: 460 Készlet: Siemens R 2020 Számítanta: Kaprinnyak István
 Dob No: 12-2133 Hőfok: _____ Átvette: _____

Né- szo	1. ERPÁK			2. ERPÁR			Oszeg	Átlag	PHANTOM			Oszeg	Átlag
	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]							
1	17,87	58	17,06	58	26,98	63	C 241,13	17,22	C 188,247	26,89			
2	17,43	62	17,35	64	27,09	90							
3	17,36	62	17,41	65	27,06	69							
4	17,53	60	17,07	60	26,65	86							
5	16,67 (-)	58	16,89	58	26,21 (-)	84							
6	17,46	62	17,72 (+)	66	27,27 (+)	91							
7	17,04	58	17,07	62	27,04	89							
8							G/w 851	60,79	G/w 641	87,28			
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													

	Kapacitás nF/km						Ph./Ép	Levezetés e/km			
	Érpárok			Phantomok				Érpárok		Phantomok	
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.		/km	G/C	/km	G/C
	36,24	37,43	38,52	56,98	58,46	59,28	1,56	17,74	16,31		
	-3,2%	-2,78%	+2,9%	-2,5%	-2,39%	+1,4%					
	- %		%	- %		+ %					
	- %		+ %	- %		+ %					
	- %		+ %	- %		+ %					
	- %		+ %	- %		+ %					

Megjegyzés: 3/1. melléklet H798

Mérővezeték	Közdöt	Vég
Kapacitás		
Levezetés		

10378-71. Fővárosi Ny. 5. telep.

Távkapcsoló Alfocsvi TRPKOVB
 Karomtatás: 7x4x0,9 φ DM



V. Á. Kapacitás és levezetés

Hossz No: _____ Kelet: 1980. 07. 16 Mérte: Kaprinyak István
 Hossz m: 920 Készülék: Siemens R 2020 Számította: Romeisz György
 Dob No: 12 - 2433 Hőfok: _____ Átvette: _____

Négyes	1. ÉRPÁR			2. ÉRPÁR			PHANTOM	
	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]	Oszték	Átlag
1	34,78	194	34,45	201	53,60	262	C	34,44
2	34,05	165	34,32	199	53,08	256		
3	34,44	195	35,12 (+)	203	54,26 (+)	270		
4	33,95	182	33,54 (-)	190	52,64 (-)	251		
5	34,67	198	34,49	201	53,95	266		
6	34,87	200	34,50	197	54,41	268		
7	34,46	197	34,52	199	53,80	264		
8							C	375,44
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15							G/ω	2731
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25							G/ω	195,07
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35							G/ω	1837
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45							G/ω	262,43
46								
47								
48								
49								
50								
51								
52								
53								
54								

Kapacitás nF/km							Levezetés s/km			
Érpárak			Phantomok			Ph./ñp	Érpárak		Phantomok	
Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.		/km	G/C	/km	G/C
36,46	37,43	38,17	57,22	58,30	58,98	1,56	28,47		24,60	
-2,6%	-2,77%	+2,0%	-1,8%	-2,65%	+1,2%					
- %		%	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					

Megjegyzés: 3/2 melléklet

H798

Mérővezeték	Kezdet	Vég
Kapacitás		
Levezetés		

10879-71. Fővárosi Ny. 5. telep.

Tévkábel **MKM TRPKO**
 Keresztmetszet **7x4x0,9 φ DM**



V. Á. Kapacitás és levezetés

Hossz. No: **331** Kelet: **1980. 07. 14** Mérte: **Tiszavölgyi Imre**
 Hossz. m: **922** Készülék: **Siemens R 2020** Számította: **Romeisz György**
 Dob No: **150579 / Hv** Hőfok: Átvette:

Né- szo	1. ÉRPÁR			2. ÉRPÁR			Össz	Átlag	PHANTOM						
	C [nF]	G/ω [pF]		C [nF]	G/ω [pF]				C [nF]	G/ω [pF]		Össz	Átlag		
1	34,46	256		33,86	(-)	251	C	490,57	35,04	54,61	(-)	374	C	387,67	55,38
2	34,36	255		34,72		258				54,88		376			
3	35,52	264		35,74	(+)	264				55,14		378			
4	35,45	263		35,66		265				56,27	(+)	386			
5	35,61	264		34,79		258				55,49		380			
6	34,79	258		34,67		257				55,54		381			
7	35,62	264		35,47		263				55,74		382			
8							G/ω	1820,0	260,0				G/ω	2657,0	379,57
9															
10															
11															
12															
13															
14															
15															
16															
17															
18															
19															
20															
21															
22															
23															
24															
25															

Kapacitás nF/km							Levezetés s/km			
Érpárok			Phantomok			Ph./Ép	Érpárok		Phantomok	
Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.		/km	C/C	/km	G/C
36,72	38,01	38,56	59,51	60,07	61,03	1,58		37,30		34,43
-3,4%	-1,29%	+1,5%	-0,9%	-1,23%	+4,6%					
- %		%	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					

Megjegyzés **3/3 melléklet** H798

Mérővezeték	Kiszet	Vég
Kapacitás		
Levezetés		

10379-71. Fővárosi NY. S. telep.

(G, 0051)

Típkód: MKM TRPK0
 Keresztmetszet: 7x4x0,9 φ DM



V. Á. Kapacitás és levezetés

Hossz No: 331/B Kelet: 1980. 07. 15. Mérte: Kaprinnyak István
 Hossz m: 462 Készülék: Siemens R 2020 Számította: Romeisz György
 Dob No: 151268/Hv Hőfok: _____ Átvette: _____

Négyes	1. ÉRPÁR			2. ÉRPÁR			PHANTOM			
	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]
1	17,46	86	17,19	(-)	66	28,02		134		
2	17,41	84	17,25		85	28,01	(-)	134		
3	17,08	89	17,64		91	28,37		140		
4	18,03	94	17,88		93	28,66	(+)	146		
5	18,00	(+)	95	17,63	93	28,53		147		
6	17,65	89	17,58		91	28,60		142		
7	17,93	91	17,86		93	28,66		145		
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
						C			C	
						247,78			196,78	
						17,70			28,11	
						1260,0			988	
						G/ω			G/ω	
						90,0			141,43	

Kapacitás nF/km							Levezetés s/km				
Érpárok			Phantomok			Pb./Ép	Érpárok		Phantomok		
Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.		/km	C/C	/km	C/C	
38,21	38,31	39,16	60,63	60,85	62,47	1,59	25,56		25,29		
-2,9%	-0,5%	+2,2%	-0,4%	-0,13%	+2,7%						
-	%	%	-	%	+					%	
-	%	+	%	-	%					+	%
-	%	+	%	-	%					+	%
-	%	+	%	-	%					+	%

Megjegyzés: 3/4 melléklet H798

Mérővezeték	Kezdet	Vég
Kapacitás	325 pF-Cv	
Levezetés		

1037P-71. Fővárosi NY. 5. telep.

Tévkábel MKM TRPKO
 Kérszámotászt 7x4x0,9 φ DM



V. Á. Kapacitás és levezetés

Hossz. No: 331/B-1 Kelet: 1980. 07. 19 Mérte: Deák Bertalan
 Hesz. m: 231 Készülék: Siemens R 2020 Számította: Erki Sándor
 Dob No: 151710 / Hv Hőfok: _____ Átvette: _____

Né- sye	1. ÉRPÁR			2. ÉRPÁR			Össz Átlag	Össz Átlag	PHANTOM			Össz Átlag	Össz Átlag
	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]	C [nF]	G/ω [pF]			C [nF]	G/ω [pF]			
1	8,71	37	8,53 (-)	37	14,16 (-)		C 123,61	8,83	14,16		C 100,75	14,39	
2	8,64	35	8,73	37	14,20								
3	8,90	36	8,99	38	14,34								
4	8,98	38	9,03	41	14,63 (+)								
5	8,79	37	8,79	42	14,42								
6	8,78	37	8,79	39	14,47								
7	8,94	39	9,03 (+)	39	14,53								
8							G/ω 532,0	38,0			G/ω 467,0	66,71	
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
21													
25													

	Kapacitás nF/km							Levezetés s/km			
	Érpárok			Phantomok			Ph./Ép	Érpárok		Phantomok	
	Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.		/km	C/G	/km	C/C
	36,92	38,22	39,09	61,30	62,29	63,33	1,63		21,6		23,4
	-3,4%	-0,23%	+2,3%	-1,6%	+1,86%	+1,7%					
	- %		%	- %		+ %					
	- %		+ %	- %		+ %					
	- %		+ %	- %		+ %					
	- %		+ %	- %		+ %					
	- %		+ %	- %		+ %					

Megjegyzés 3/5 melléklet H798

Mérővezeték	Kezdet	Vég
Kapacitás	297 pF	- C _v
Levezetés		

AG. 4051)

Típus: **MKM TRPKO**

Karomtípus: **7x4x0,9 φ DM**

MKM TRPKO

7x4x0,9 φ DM



V. Á. Kapacitás és levezetés

Hossz No: **331/B-2**

Kelot: **1980. 07. 19.**

Mérte: **Romeisz György**

Hossz m: **231**

Készülék: **Siemens R 2020**

Számította: **Deák Bertalan**

Dob No: **151268/Hv**

Hőfok:

Átvette:

N6- 6700	1. ÉRPÁR			2. ÉRPÁR			Összes	Átlag	PHANTOM			Összes	Átlag	
	C [nF]	G	G/ω [pF]	C [nF]	G	G/ω [pF]			C [nF]	G	G/ω [pF]			
1	8,63		36	8,54		37	C	122,07	8,72	13,94		59	C	98,67
2	8,75		36	8,77		37				14,17		64		
3	8,49	(-)	34	6,56		35				13,88	(-)	55		
4	8,80		35	8,85		36				14,08		64		
5	8,76		35	8,88		37				14,28	(+)	64		
6	8,73		36	8,92	(+)	36				14,16		65		
7	8,67		35	8,72		36				14,16		63		
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														

Kapacitás nF/km							Levezetés s/km			
Érpárok			Phantomok			Ph./Ép	Érpárok		Phantomok	
Min.	Átlag	Max.	Min.	Átlag	Max.		/km	G/C	/km	G/C
36,75	37,75	38,61	60,09	61,04	61,62	1,62		20,75		22,10
-2,7%	-1,95%	+2,3%	-1,6%	+1,25%	+1,3%					
- %		- %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					
- %		+ %	- %		+ %					

Megjegyzés

3/6 melléklet

H798

Mérővezeték	Közvet	Vég
Kapacitás	297 pF	- Cv
Levezetés		

A 460 m-től eltérő gyártási hosszúságú kábelek veszteségi tényezőjének mért értékét 460 m hosszra kell átszámítani, az alábbi összefüggés szerint:

$$\operatorname{tg} \delta_{460} = \operatorname{tg} \delta_l + a_1(460 - l) + a_2(460 - l)(460 + l),$$

ahol: $\operatorname{tg} \delta_l$ — az átszámítandó veszteségi tényező értéke,

l — a gyártási hossz,

a_1, a_2 — a kábel típusától függő állandó.

Az állandó értékét $\varnothing 0,9$ DM típusú távkábelekre már meghatároztuk, ugyanezt valamennyi a szabványokban szereplő szimmetrikus szerkezetű távkábeltípusra — a kidolgozott és futó számítógépprogram segítségével — nehézségek nélkül el tudjuk végezni.
