

## Vazelintöltésű telefonkábelek üzemi kapacitásának beállítása

ETO 621.315.211.011.4:665.772.3

A hazai telefonkábel-igények mielőbbi és maradéktalan kielégítése érdekében került sor az 1975—76-os években az ún. TT program keretében új kábelgyártó gépsor nyugati importból való beszerzésére. Ennek a beruházásnak a termelésbe állítása várhatóan megoldja a hazai problémákat, sőt a létesített kapacitással híradástechnikai kábelexportra is gondolhatunk.

Természetes, hogy a gyártást a méglevő, illetve kialakuló magyar előírások szerint indítjuk el. A magyar előírások azonban többé-kevésbé eltérnek a világ más részein érvényben levő előírásoktól. E cikkünknek nem képezi tárgyát az esetleges különbségek feltárása és értékelése, mindenesetre azt meg kell állapítanunk, hogy ezek az eltérések az exportálási lehetőségeket nehezítik.

Arra legkevésbé sem számíthatunk, hogy a legfejlettebb, vagy akár csak a fejlettebb tőkés országok is telefonkábeleiket Magyarországról fogják beszerezni. Számunkra piacot elsősorban a közepesen fejlett kapitalista országok, a harmadik világ, és nem utolsósorban a szocialista országok jelentenek.

Bár az egyes országok nemzeti szabványai és előírásai eltérőek, azok nagyjából követik a világszerte legjobban elterjedt szabványokat (Egyesült Királyság, USA, NSZK). Fel kell tehát készülnünk arra, hogy a fenti országok szabványainak megfelelő kábeleket gyártunk, megfelelő villamos és mechanikai paraméterekkel. Fel kell készülnünk arra is, hogy ezektől is eltérő, általunk mindeztideig nem ismert előírásokat kell követnünk a gyártás során.

Mit jelentenek ezek az eltérések? Vessünk talán futó pillantást a helyi telefonkábelek szerkezetére, felépítésére.

Kétféle szerkezeti rendszer ismeretes és használatos, attól függően, hogy a beszélgetések átvitelére szolgáló egyes érpárok a kábelben hogyan helyezkednek el.

Az ún. érpáros rendszerben a jelzett érpárok egymással összesodorva képezik a kábel alapelemét. Az érnégyes vagy csillagnégyes rendszerrel négy szigetelt eret sodornak össze, amelynek egymással szemben levő tagjai képezik az alapáramköröket. Az alapelemeket a továbbsodrástól függően kétféle rendszerben építik össze kábellé. Egyrészt az alapelemeket koszoróban egymásra sodorják, így a kábel tengelyétől a köpeny felé haladva az egyes koszorókba egyre több alapelem kerül. Másrészt néhány alapelem összesodrásával ún. alappászmat készítenek, több alappászma összesodrásával pedig pászmákat. A szükséges érpárszámnak megfelelően a pászmákat összesodorva készül el a helyi telefonkábel.

Gyakori, hogy a pászmákból összesodort kábel egy-egy pászmája koszorús szerkezetű.

A páros típusú kábelekből általában pászmás kábeleket, a négyes típusúakból pedig koszorús kivitelű kábeleket készítenek.

Példaként érdemes megemlíteni, hogy négyes sodrási elemű hírközlőkábeleket inkább Közép-Európában alkalmaznak. A vonatkozó VDE, illetve FTZ előírás  $\varnothing 0,4$ -es rézvezetőjű, tömör polietilénszigetelésű, töltött terű, illetve  $\varnothing 0,6$  és  $\varnothing 0,8$ -as rézvezetőjű, habosított érszigetelésű, töltetlen kábelekre vonatkozik. Az angol BS szabvány érpáros szerkezetű, töltött terű kábelt ír elő, 100 érpárosig koszorús felépítésben, fellette  $25 \times 2$ -es alappászmaiból sodorva, ahol maga az alappászma  $25 \times 2$ -es, koszorús felépítésű.

Az előbbieken jelzett eltérések elsősorban — a kábelek felépítését keresztül — az alapáramkörök ún. üzemi kapacitásának előírt értékéből adódnak. Az üzemi kapacitás az alapáramkörök erei között mérhető kapacitás értéke, miközben a többi ér és a köpeny földpotenciálon van. A mérést 800—1000 Hz frekvencián végzik. Ezt az értéket a hírközlő hálózatok gyakorlatában a szerkezettől, a szigetelési rendszertől függően — 20 nF/km—120 nF/km nagyságrendben — írják elő a különböző szabványok (GOSZT távkábel — hazai bányatelefon kábel).

Az alkalmazott szigetelőanyag papír, papír légűr, műanyag, habosított műanyag, műanyag légűr lehet; a helyi hálózatban általában a papír és a polietilén jöhet számításba; illetve a nemrég bevezetett habosított polietilén—vazelin kombináció. Ezt az utóbbi típusú szigeteléssel ellátott kábelt nevezzük TT — azaz töltött terű kábelnek. A gyakorlat és a szakirodalom tanúsága szerint a papír relatív dielektromos állandója 1,4—1,6, a polietiléné 2,1—2,3, habosítva lényegesen kisebb lehet, a szerkezetüktől függően. A vazelin — külföldi irodalomban petróleumzselé — relatív dielektromos állandója 2,3 körül van.

Az export rendeléseknél az üzemi kapacitás előírása általában kétféle lehet:

- a) az áramkörök maximális kapacitását írja elő;
- b) a maximális értéken túl az átlagok ugyancsak maximumát kötik meg.

Nem megy egyik napról a másikra az, hogy jó minőségű termékeinkkel betörjünk a piacra. Különösen addig, amíg széleskörű referencia hálózattal nem rendelkezünk, esetenként csak néhány km-nyi kábel rendelésére számíthatunk. Ezeknek a kis tételeknek a jó minőségű és számunkra is gazdaságos előállításával lehetséges csak a piac biztosítása, amelyet már nagyobb tételek szállítása követhet.

Egy-egy kábelszállítási versenytárgyalást követően nincs sok idő arra, hogy a prototípus és a nullszéria-

Beérkezett: 1978. január 26.

\* BME Elméleti Villamosságtan Tanszék.

gyártást külön válasszuk, hiszen a piac megnyerésének egyik feltétele a kedvező szállítási határidő.

Belföldi kötelezettségeink miatt arra nem is válnakozhatunk, hogy az összes gyártható kábeltípusból, amelyekre egyáltalában rendelés érkezik, prototípust készítsünk. Évekkel később természetesen már abban a helyzetben leszünk, hogy semmilyen rendelés sem érheti váratlanul vállalatunkat. Ehhez azonban olyan mennyiségű gyártási tapasztalatra van szükség, amelyet valóban csak évek alatt lehet összegyűjteni.

Rendkívül fontos feladat az áramkörök kapacitásának pontos beállítása. Nem járható az az út, hogy az előírtól sokkal kisebb üzemi kapacitást állítunk be, mert a kábelek túlméretezése, túlbiztosítása méret- és költségnövekedést is jelent. Az érszigetelés falvastagságának túlzott megemlése tehát értelmetlen és gazdaságtalan. Az üzemi kapacitást úgy kell a gyakorlatban beállítani, hogy az a gyártás gazdaságosságát ne veszélyeztesse, hiszen a megrendelő a specifikált termékekért fizet.

Éppen azért, hogy a különféle rendeléseknek mielőbb és minél jobb minőségben eleget tudjunk tenni, és gyártásunk gazdaságos legyen, különféle számításokat és gyártási vizsgálatokat végeztünk a töltött terű kábelek üzemi kapacitás-értékének megbízható és pontos beállítása érdekében. Kidolgoztunk egy olyan eljárást, amely viszonylag egyszerűen és olcsón előállítható és egyetlen rövid kísérleti kábeldarab elkészítése, bemérése, továbbá a paraméterek (geometria, dielektromos állandó) megváltozásának hatását kellő pontossággal leíró számítási eljárás kombinálásával lehetővé teszi teljes kísérleti kábelgyártások elhagyását. Jelen cikkünk a továbbiakban ezt az eljárást ismerteti.

## 1. A szigetelt érpár kapacitásának számítása

Feladatunk tehát az, hogy gyors, megbízható és nem utolsósorban olcsó eljárást dolgozzunk ki a Szegedi Kábelgyár TT kábelgyártó során gyártható kábelek — elsősorban töltött terű kábelek — üzemi kapacitás-értékeinek beállítására.

A telefonkábel egy-egy érpárjának hosszegységére vonatkoztatott kapacitását a gyakorlatban a

$$C = \frac{\lambda \epsilon_r 10^{-6}}{36 \ln k(d/r)} \frac{F}{\text{km}} \quad (1)$$

képlettel állítják be. Itt

- $d$  — a vezetők tengelytávolsága,
- $r$  — a vezetők sugara,
- $\epsilon_r$  — a vezetőket körülvevő közeg „átlagos” relatív permittivitása,
- $\lambda$  — a kábelelem sodratából eredő hosszabbodási tényező,
- $k$  — a különböző kábeltípusokra tapasztalati úton megállapított arányossági tényező.

Az (1) képlet elméletileg akkor használható két hengeres vezető hosszegységre vonatkoztatott kapacitásának a számítására, ha a vezetőket körülvevő közeg homogén (ennek relatív permittivitását jelöli  $\epsilon_r$ ) és a vezetők sugara sokkal kisebb tengelyeik tá-

volságánál. Elvileg nem érvényes a képlet szigetelővel koncentrikusan bevont hengeres vezetők kapacitására, minthogy ilyenkor a vezetőket körülvevő közeg inhomogén. A kapacitás értéke alulról is, felülről is becsülhető; mindenképpen nagyobb, mintha mindennütt légszigetelés lenne, és kisebb, mintha a közeg teljesen ki lenne töltve a szigetelő anyagával. Már futó gyártásban gyakorlati tapasztalatok birtokában — a geometriai adatok és a szigetelő permittivitásának ismeretében — becsülhető egy átlagos dielektromos állandó, amellyel az (1) képlet jó közelítéssel megadja a szigetelt vezetékekből készített, különálló érpár kapacitását.

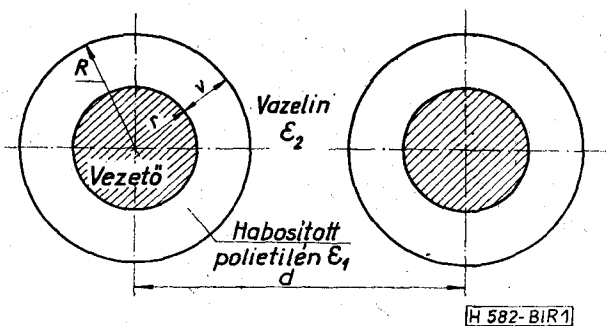
Amikor a kábel készítése során egy-egy érpárt a többivel összesodornak, kapacitása a többi vezető árnyékoló hatása, illetve azok szigetelésének jelenléte következtében megváltozik, és pedig megnő. A növekedés mértéke futó gyártásban szintén becsülhető, gyakorlati adatok birtokában. Ezt a hatást figyelembe veszik az (1) képlet  $k$  tényezőjében ( $k$  értéke:  $0,55 \sim 0,94$ ; [3]).

Az eddig kialakult számértékek azért nem használhatók a TT helyi kábelek készítésekor, mert itt a szigetelővel bevont vezetékeket körülvevő közeg nem a szigetelőbevonatnál kisebb permittivitású levegő, hanem az annál nagyobb permittivitású vazelin.

A most következő számítási eljárásnál lemondunk arról, hogy a sodrat egy-egy érpárja kapacitásának meghatározásakor a többi érpár árnyékoló hatását, illetve azok szigetelőbevonatának jelenlétét figyelembe vegyük, ez ugyanis nagyon bonyolult feladatot jelent. Eleve csak valamilyen numerikus térszámító módszer jöhet szóba, és az inhomogén közeg, valamint a sok elektróda jelenléte szinte reménytelenül bonyolulttá teszi a számítást. Az üzemi kapacitás beállítására egy számítás és a kísérleti kábeldarab elkészítésén és bemérésén alapuló módszert dolgoztunk ki.

Egy önmagában álló, habosított polietilén szigetléssel ellátott, és vazelinba ágyazott vezetékpar kapacitását számítjuk. A gyakorlat azt igazolja, hogy ha ily módon az üzemi kapacitást nem is lehet kiszámítani, a geometriai anétekek vagy a permittivitások kis mértékű változtatására fellépő — számítással meghatározott — kapacitásváltozásokból az üzemi kapacitás megváltozásának a mértékére következtetni lehet. Így lehetőség van arra, hogy egy kísérleti kábeldarab elkészítése, majd bemérése után a kívánt üzemi kapacitáshoz tartozó paraméterek megállapíthatók.

Az önmagában álló, szigetelt érpár esetében is (keresztmetszeti rajzát ld. az 1. ábrán) az elektromos teret csak valamilyen numerikus módszerrel lehet kiszámítani. Esetünkben azonban nincs szükség nagyon pontos értékre, hiszen igen jelentős körülményt — a többi érpár jelenlétét — hagyunk figyelmen kívül. Megelégszünk ezért két kapacitásérték kiszámításával, egyik ezek közül a ténylegesen feltétlenül nagyobb, a másik pedig biztosan kisebb annál. A két korlátra egymáshoz közeli érték adódik (az eltérésük  $10-20\%$ ) így az önmagában álló érpár kapacitását kellő pontossággal tudjuk számítani. Ezen kapacitáskorlátok kifejezésében a permittivitások és a geometriai paraméterek szerepelnek, és ezen változók



1. ábra. A szigetelt érpár keresztmetszeti rajza

növelésének vagy csökkentésének a hatása számításal követhető. A gyakorlati méretek mellett igen durva közelítést jelent annak feltételezése, hogy a vezetők sugara sokkal kisebb tengelyek távolságánál, számításunkban ezért ezzel a közelítéssel nem élünk.

A kapacitásérték alsó és felső korlátja igen egyszerű modell alapján megadható. Ugyanis elemi úton és pontosan számítható az olyan elrendezés kapacitása, ahol a keresztmetszetben a vezetők kontúrját jelentő körök, valamint a kétféle dielektrikum határát jelentő körök ugyanazon két pontra „támaszkodó” ún. Apollonius körök, ekkor ugyanis a két dielektrikum elválasztó felülete ekvipotenciális (részletesebben 1 pl. [1]-ben).

Kézenfekvő, hogy a 2. ábrán vázolt elrendezésben a vezetékpár kapacitása nem kisebb, mint az 1. ábra elrendezésében: a fémelektrodák azonosak a két elrendezésben, mindössze annyi a különbség, hogy az 1. ábra elrendezésében  $\epsilon_1$  permittivitású anyaggal kitöltött térrész egy része  $\epsilon_1$  permittivitású, a fennmaradó része  $\epsilon_2$  permittivitású a 2. ábrán vázolt elrendezésben, és  $\epsilon_2 > \epsilon_1$ . Hasonlóan belátható, hogy a 3. ábrán vázolt elrendezésben a két érpár kapacitása nem nagyobb, mint az eredeti elrendezésben: az eredetihez képest annyiban más ez az elrendezés, hogy az  $\epsilon_1$  permittivitású anyaggal kitöltött térrész bővült. A 2. ábra elrendezésével tehát felülről, a 3. ábra elrendezésével alulról lehet becsülni az 1. ábra elrendezésének megfelelő kapacitást. Páros felépítésű kábelek esetében  $d=2R$ , így tehát az alsó becslésnek megfelelő a 3. ábrán vázolt elrendezésben  $R_2 \rightarrow \infty$  (azaz úgy számolunk, mintha az egész térrész a vezetékpár körül  $\epsilon_1$  permittivitású anyaggal lenne kitöltve).

A 2. és 3. ábrán vázolt elrendezésben a közegek határát jelző Apollonius körök (pontjaik  $P_0$ , ill.  $P_0'$ , ponttól vett távolságának aránya állandó), így az ilyen elrendezésben a kapacitás az ún. hengeres tükrözés módszerével elemi úton számítható. Mielőtt erre rátérnénk, mutassuk meg, hogyan adhatók meg a 2. és a 3. ábrán bejelölt geometriai adatok az eredeti elrendezésre vonatkozó geometriai adatokból. Az 1. ábrán  $d$  jelöli a vezetők tengelytávolságát,  $r$  a vezető sugara,  $R$  a szigetelt vezető külső sugara, tehát  $v = R - r$  adja meg a szigetelő bevonat falvastagságát.

A  $P_0$ , ill.  $P_0'$  pont helyét az Apollonius körök azon tulajdonsága alapján tűzhetjük ki, hogy egy-egy kör sugara mértani közép a kör középpontjának  $P_0$ -tól, ill.  $P_0'$ -től vett távolsága között:

$$r^2 = t(d-t), \quad (2)$$

ahonnan

$$t = \frac{d}{2} \left[ 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{2r}{d} \right)^2} \right] \quad (3)$$

(A másodfokú egyenlet másik gyöke megegyezik az ezen gyökhöz tartozó  $d-t$  értékkel.)

Az  $R_1$  sugárnak és a kör középpontjának  $P_0$ -tól való  $t_1$  távolságának a kiszámítására két feltételünk van. Egyrészt az  $R_1$  sugarú kör is Apollonius kör, tehát

$$R_1^2 = t_1(t_1 + d - 2t), \quad (4)$$

másrészt az  $r$  és az  $R_1$  sugarú körök által határolt síkrész „legnagyobb vastagsága”  $v$ , eszerint

$$R_1 + (t_1 - t) = r + v = R \quad (5)$$

A (4) és (5) egyenletrendszerben  $t_1$  és  $R_1$  ismeretlen, az egyenletrendszer ezekre megoldva:

$$t_1 = \frac{(R+t)^2}{2R+d}; \quad R_1 = R + t - \frac{(R+t)^2}{2R+d} \quad (6)$$

Hasonlóan két feltétel vonatkozik a 3. ábrán vázolt,  $R_2$  sugarú Apollonius körre. Egyrészt

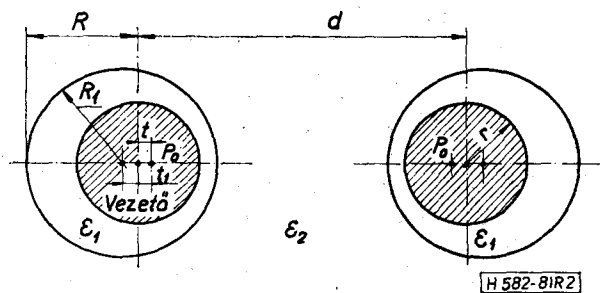
$$R_2^2 = t_2(t_2 + d - 2t) \quad (7)$$

másrészt az  $r$  és az  $R_2$  sugarú körök által határolt síkrész „legkisebb vastagsága”  $v$ , tehát

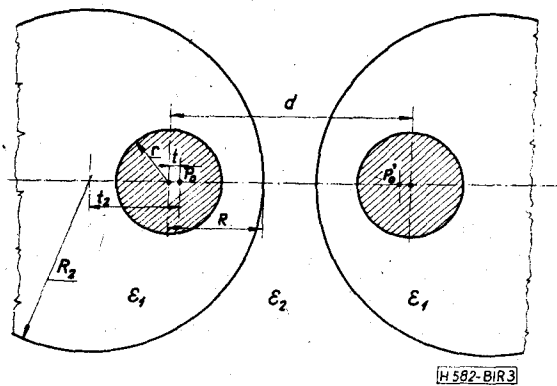
$$R_2 - (t_2 - t) = r + v = R \quad (8)$$

A (7) és (8) egyenletből álló egyenletrendszert  $t_2$ -re és  $R_2$ -re megoldva

$$t_2 = \frac{(R-t)^2}{d-2R}; \quad R_2 = R - t + \frac{(R-t)^2}{d-2R} \quad (9)$$



2. ábra. Az eredetinel nagyobb kapacitású elrendezés



3. ábra. Az eredetinel kisebb kapacitású elrendezés

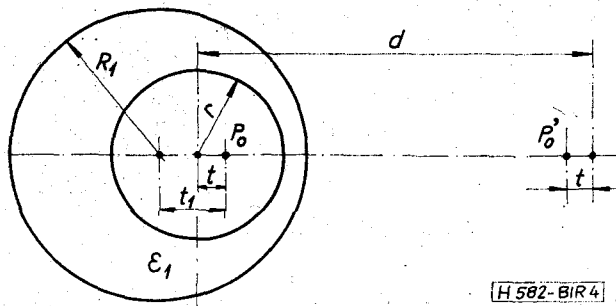
A kapacitás számítása szempontjából nincs elvi különbség a 2. és 3. példában vázolt elrendezés között, csupán az adatok értéke más. Ezért elegendő a 2. ábrán bejelölt adatokkal megadnunk az érpár kapacitását,  $t_1 \rightarrow t_2$ ,  $R_1 \rightarrow R_2$  betűcserével a másik elrendezés kapacitását is megkapjuk.

A vezetékparra kapcsolt feszültség hatására olyan elektromos tér jön létre, amelyben a kétféle dielektrikum határa ekvipotenciális, ezért ha ide vékony, töltetlen fémhengert tennénk, egyik térrészben sem változna az elektromos tér. Az elrendezés kapacitása így három sorbakapcsolt kondenzátor eredő kapacitásként kapható. Az egyik kondenzátor a baloldali vezetőből és a dielektrikumok határát képező fiktív henger elektródából áll (4. ábra), kapacitását  $C_a$ -val jelöljük, a másikat a két vezető körüli — a két különböző dielektrikum határát képező — fiktív hengerlektrodák alkotják (5. ábra), kapacitása ( $C_b$ ) a harmadik kondenzátor elektródái pedig a jobboldali vezető, és az őt körülvevő fiktív henger elektróda a dielektrikumok határán (ennek kapacitása nyilván megegyezik az elsővel a szimmetria miatt). Tehát az elrendezés kapacitásának reciproka (valamivel egyszerűbb a reciprokapacitással számolni a soros kapcsolás miatt):

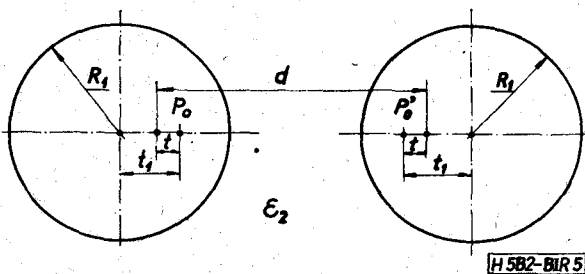
$$\frac{1}{C} = 2 \cdot \frac{1}{C_a} + \frac{1}{C_b} \quad (i0)$$

Az egymást burkoló, nem koncentrikus körhengerek hosszegységre jutó  $C_a$  kapacitását (4. ábra), továbbá a tengelytávolsághoz képest nem elhanyagolhatóan kicsi sugarú henger elektródák hosszegységre jutó  $C_b$  kapacitását (5. ábra) (2)-ből vettük át. A 4., ill. az 5. ábrán bejelölt adatokkal

$$C_a = \frac{2\pi\epsilon_1}{\ln \frac{(R_1 - t_1)(d - t - r)}{(d r t_1 - 2t - R_1)(r - t)}} \quad (11)$$



4. ábra. A  $C_a$  kapacitású elrendezés



5. ábra. A  $C_b$  kapacitású elrendezés

$$C_b = \frac{\pi\epsilon_2}{\ln \frac{d + t_1 - 2t - R_1}{R_1 - t_1}} \quad (12)$$

Végeredményben a hosszegységre jutó kapacitás felső ( $C_1$ ) és alsó ( $C_2$ ) korlátjára vonatkozó képlet (itt is a reciprokapacitását adjuk meg):

a) Csillagnégyes elrendezésnél

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \frac{(R_1 - t_1)(d - r - t)}{(r - t)(d + t_1 - 2t - R_1)} + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \frac{d + t_1 - 2t - R_1}{R_1 - t_1} \right] \quad (13)$$

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{\pi\epsilon_0} \left[ \frac{1}{\epsilon_{r1}} \ln \frac{(R_2 - t_2)(d - r - t)}{(r - t)(d + t_2 - 2t - R_2)} + \frac{1}{\epsilon_{r2}} \ln \frac{d + t_2 - 2t - R_2}{R_2 - t_2} \right] \quad (14)$$

b) Érpáros elrendezésre  $1/C_1$  képlete azonos (13)-mal:

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{\pi\epsilon_0\epsilon_{r1}} \ln \frac{d - r - t}{r - t} \quad (15)$$

A kapacitás számításához alapadatnak tekintjük tehát a permittivitásokat, valamint  $r$  és  $v$  értékét. ( $2r$  a huzalátmérő,  $v$  a polietilén érszigetelés vastagsága.)

Csillagnégyes elrendezésnél

$$d = 2\sqrt{2} (r + v), \quad (16)$$

érpárosnál pedig

$$d = 2(r + v) \quad (17)$$

Ezek után  $t$  számítható (3)-ból, majd (6)-ból  $t_1$  és  $R_1$  (9)-ből  $t_2$  és  $R_2$ . (Utóbbi képletekben  $R = r + v$ . Ezek a (13)–(15) képletek geometriai paramétereit ismertek.  $\epsilon_{r1}$  és  $\epsilon_{r2}$  a relatív permittivitás,  $\epsilon_0$  pedig a vákuum permittivitása, melynek értéke SI egységekben négy értékes jegypontossággal:  $8,854 \cdot 10^{-12}$  As/Vm.

Tájékoztatásul megadjuk, hogy egy legyártott kábel típus  $r = 0,2$  mm,  $v = 0,17$  mm,  $\epsilon_{r1} = 1,78$ ,  $\epsilon_{r2} = 2,30$  valóságos adataival csillagnégyes elrendezésre  $C_1 = 36,84$  pF/m,  $C_2 = 33,68$  pF/m (a két korlát eltérése kevesebb 10%-nál), érpáros elrendezésre  $C_1 = 48,40$  pF/m,  $C_2 = 40,40$  pF/m (az eltérés 17%). Tekintve, hogy a kábelbe való beépítéssel az érpáros kapacitás jelentékenyen megnő, a gyakorlati igényeknek maradéktalanul megfelel a különálló érpár kapacitásának 10–15% pontosságú számítása. Ha a kísérleti kábel darab elkészítése és bemérése után a kapacitás értékét változtatni kell, a szükséges üzemi kapacitásváltoztatás értékéből becsülhető a különálló érpár kapacitásváltoztatásának szükséges mértéke, és ezek után számítás alapján beállíthatók a megfelelő paraméterek.

Felmerülhet az a gondolat, hogy a képletek átrendezésével az adott kapacitásból fejezzük ki a geometriai adatokat (pl. rögzített  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$  és  $r$  esetén  $v$  elvileg számítható). Ezt egyrészt azért nem tesszük meg, mert a gyártás során a polietilén habosításának mértékével  $\epsilon_1$  is változtatható, másrészt az itt közölt

képleteket úgyis asztali (esetleg zseb-) számológépre programozva célszerű számítani, és ekkor gyakorlatilag nem jelent kényelmetlenséget, ha próbálgatással állapítjuk meg  $v$  és  $\epsilon_1$  értékét.

## 2. Kísérleti eljárás vazelinnel töltött kábelek üzemi kapacitásának meghatározására

Kábelgyártási tapasztalatokból jól tudjuk, hogy a matematikai méretezés során nem lehet figyelembe venni az összes, elsősorban technológiai változót, amely az üzemi kapacitás értékére hatással lehet. Éppen ezért a hírközlőkábel méretezésének nagyon fontos része a gyakorlat — a gyártás és szerkezet hatásainak figyelembe vétele. Ennek megfelelően kísérleti kábelcsoport elkészítésére olyan eljárást dolgoztunk ki, amely az üzemi kapacitás szempontjából megfelel az üzemszerűen gyártott kábelnek, ugyanakkor gyorsan és olcsón előállítható.

### 2.1. A kísérleti kábelcsoport előállítása

Olyan eljárást dolgoztunk ki, amely 10 méter jó minőségű alappászma előállításával alkalmas a gyártandó kábel tervezett üzemi kapacitásának kimérésére, tehát a tervezés adatainak és eredményeinek ellenőrzésére. Ennek az alappászmanak az előállításához néhány száz méter szigetelt ér elegendő, mégpedig az egyszerűség kedvéért szintelen polietilén szigetelve. A mesterkeverék hatása ugyanis ismert, tehát kiküszöbölhető. A szintelen érszigetelés előnye abban van, hogy az érszigetelő gépen a színek váltására több ezer méter ér, és sok idő elmenne. Így sem lehetséges csak néhány száz métert gyártani, hiszen a továbbgyártáshoz az anyagot négy orsóra kell felvinni, és a dobok átváltása, a váltódob felpergetése is viszonylag idő- és anyagigényes tevékenység. A színváltás csak rontaná — és bizonytalanná is tenné — a helyzetet.

Így doboként 2–3 km-nyi eret kell legalább elkészíteni, ez persze ugyanolyan alapról több kísérletet tesz lehetővé, pl. különféle sodróüregek, sodróüreg sorok alkalmazásával.

Méréseink szerint így a tömlőzőgépen — a beállítás után — mintegy negyedórás munkával az erek rendelkezésre állhatnak.

A kísérleti alappászma készítésének egy másik problémája a négyesítőnél keletkezik. A gép ugyanis a négyesítőt pontos és állandó tartása érdekében sodróüreg sorral van kombinálva, amely sodróüregeket századmilliméteres pontossággal készítettek.

Egy új gyártmánynál az új négyes méretre új sodróüregeket is kell tervezni.

Az általunk ismertett ellenőrző gyártásnál csak az utolsó sodróüreg cseréjét végezzük el, amely végül megadja a négyes átmérőt és az alacsony csatolást is biztosítja, a többi sodróüreget változatlanul hagyhatjuk, hiszen nem nagy sorozatról van szó.

Így egyetlen sodróüreg cseréjével a kívánt négyes átmérőt biztosítani lehet. Ezzel megtakarítjuk egy esetleg feleslegesen előállított sodróüreg sor elkészítését is, ha egyetlen sodróüreg előállítására szorítkozunk, és csakis akkor készítettük el a gyártmányok-

hoz szükséges méretű sodrozatot, amikor már pontosan megállapítottuk a méretét. Érpáros felépítésénél ez a kérdés nem lényeges, mert annál nem következhet be értáugrás, aminek megakadályozására tervezték a viszonylag kényelmetlen sodróüregsort.

A további sodrásnál — az alappászma előállításához is — pontos sodróüregre van szükség, hiszen ezeknek a nagysága is kihat a geometriai méretekre, és ebből a villamos paraméterekre is.

Az ismertett eljárás kikísérletezése során vizsgáltunk töltetlen alappászmat és kábelszerkezetet, ugyanezeket megtöltöttük és műanyag fóliával szalagoztuk, ezután alumínium szalaggal tekertük be. Minden lépésnél megmértük az üzemi kapacitást, megállapítottuk a változást. A sodratokat folyékony vazelinbe mártogatva, majd a zselé teljes megdermedéséig benne tartva töltöttük.

### 2.2. A mérési eredmények értékelése

Az előbbiekben ismertett módszerrel 10–10 m kísérleti kábelcsoportot készítettünk. Egyelőre csak csillagnégyes felépítésű kábel sorozatgyártása folyik, így a kísérleti kábelcsoporton végzett méréseket ilyen szerkezetre tudtuk ellenőrizni. A kísérleti kábelcsoportok átlagos kapacitásértékei és a sorozatgyártásbeli kapacitásértékek igen jó egyezést mutattak.

Először az  $5 \times 4 \times 0,6$  alappászma kézzel töltött és fóliázott kísérleti darabján végeztük el a kapacitásmérést. A kapacitásértékek (egység: pF/m) a sodratra: 31,3; 31,7; 31,6; 31,4; 31,5; 31,0; 31,6; 32,3; 31,9; 32,0;

vazelinnel töltve: 39,6; 39,7; 39,2; 39,7; 39,4; 39,2; 39,8; 40,1; 39,7; 39,5;

árnyékolva: 42,4; 43,6; 43,6; 43,6; 43,9; 43,4; 44,0; 44,1; 43,1; 43,7.

Az átlagértékek rendre 31,62; 39,59; 43,60.

A növekedés a vazelinnel való töltés után 25,2%, vazelinnel töltve és árnyékolva 37,9%.

A sorozatgyártásból 15 gyártási hossz  $15 \times 4 \times 0,6$  szerkezetű kábelt mértünk; az átlagos kapacitásra 43,642 pF/m-t kaptunk, tehát az  $5 \times 4 \times 0,6$ -os kísérleti alappászmanára az átlagos kapacitásérték ezzel gyakorlatilag pontosan megegyezik. Készítettünk  $50 \times 4 \times 0,6$  szerkezetű kísérleti kábelt is, ennél a kapacitás átlagos értéke nagyobb eltérést mutatott (2%), de ez az eltérés is kisebb a sorozatgyártásban előállított kábelek érpárjai üzemi kapacitásának szórásnál.

Készítettünk 0,4 mm átmérőjű huzalból is kísérleti kábelt. A  $15 \times 4 \times 0,4$ -es kísérleti kábelre az átlagos üzemi kapacitás 42,85 pF/m-re adódott, míg az  $\varnothing 0,4$ -es sorozatgyártásbeli teljes gyártmányválaszték ( $5 \times 4 \times 0,4 - 100 \times 4 \times 0,4$ ) 96 kábelének átlagos üzemi kapacitása 42,61 pF/m (az eltérés 0,6%).

Az itt szereplő kábelekben az erek szigetelésének falvastagsága 0,17 mm. Rendelkezésünkre állt 0,16 mm falvastagságú szigeteléssel ellátott vezeték is.

Ennek felhasználásával is készítettünk kísérleti kábelcsoportot. Ezzel az átlagos üzemi kapacitás 43,68 pF/m-re adódott, ez az érték 2,5%-kal nagyobb, mint a 0,17 mm-es szigetelő falvastagság esetén.

Ha elvégezzük a számítást az 1. fejezetben ismertett módon — a kétféle falvastagság esetén a vaze-

linbe ágyazott, különálló érpár kapacitására —, a kapacitás relatív megváltozására ugyancsak 2,5%-ot kapunk. (A 2. fejezetben alsó és felső korlátot adtunk a kapacitásra. Mindkét esetben a különálló érpár kapacitására — önkényesen — a két korlátérték számítani közepét tekintettük.)

A fentiekből egyrészt az látható, hogy a kísérleti kábeldarab az üzemi kapacitás szempontjából a sorozatgyártásbeli kábel igen pontos másának tekinthető. Másrészt a geometriai méretek kismértékű változtatásának hatása az 1. fejezetben ismertetett számítással követhető.

Készítettünk kísérleti kábelt érpáros szerkezettel is. Mivel jelenleg érpáros szerkezetű kábelt sorozatban nem gyártunk, összehasonlító adataink nincsenek. Mindenesetre az egyébként ugyanolyan méretű huzalokról készített csillagnégyes szerkezetű kísérleti kábel átlagos üzemi kapacitásának és az érpáros szerkezetű kísérleti kábel átlagos üzemi kapacitásának aránya tűrhető pontossággal megegyezik a megfelelő, vazelinbe ágyazott, különálló érpár kapacitására számítással kapott értékek arányával.

### 3. Összefoglalás

A telefonkábelek üzemi kapacitására vonatkozóan igen sokféle előírás van érvényben azokon a területeken, ahol az MKM kábelértékesítésre számíthat.

A sok típus gazdaságos előállítása céljából jelentős az általunk ismertetett eljárás a telefonkábel üzemi kapacitásának beállítására, minthogy lehetővé teszi több teljes kísérleti kábel gyártásának elhagyását.

Kidolgoztunk egy eljárást mintegy 10 m-es kísér-

leti kábeldarab olcsó, gyors előállítására, amelyen az üzemi kapacitás ellenőrizhető.

Számítási eljárást adtunk önmagában álló, inhomogén közegben elhelyezkedő vezetékpár kapacitásának becslésére.

A kábelbe való beépítéskor a többi érpár jelenléte miatt az üzemi kapacitás ennél nagyobb, tehát az üzemi kapacitás ezen számítással még nem állítható be. De a geometriai adatok kismértékű megváltoztatására vagy a polietilén érszigetelés habosítása mértékének (a dielektromos állandónak) megváltoztatására bekövetkező üzemi kapacitásváltozás a különálló érpár kapacitásának számításával meghatározható.

A számítás jól kiegészíti a kísérleti kábeldarab előállítását. Ha ugyanis a kísérleti kábeldarab bemérése után a kapacitás kis mértékben tér el az előírttól, számítással megállapítható a geometriai adatok (esetleg a dielektromos állandó) szükséges változtatásának mértéke.

### I R O D A L O M

- [1] Fodor: Elméleti elektrotechnika III. Tankönyvkiadó, Budapest, 1972. (egyetemi jegyzet)
- [2] Fodor: Villamosságtan példatár III. Elektrosztatika I. Tankönyvkiadó, Budapest, 1964. (egyetemi jegyzet)
- [3] MKM műszaki kollektívája: Kábel-zsebkönyv II. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1972.
- [4] Grodnyev I. I.—Miller B. R.: Hírközlő kábelek. Közlekedési Kiadó, Bp. 1954.
- [5] H. J. C. Spencer: Some Principles of Local Telephone Cable Design. The Post Office Electrical Engineers Journal. 1970 okt.
- [6] H.E. Martin: Übertragungseigenschaften van Leitungen A. E. U. Band 18. 1964. 5. füzet.