

# A SZCINTILLÁCIÓS MÉRÉS GEOFIZIKAI ALKALMAZÁSAI

## II. Karottázs-kábelek impulzus-átvitelére\*

SALAMON BATUR

*A cikk röviden ismerteti a Geofizikai Intézetben végzett vizsgálatok eredményeit. A karottázs kábelek impulzusátvitelének lehetőségét a klasszikusnak nevezhető operátor számítás nehézségeit elkerülve a csillapítás-karakterisztika közelítése alapján határoztuk meg. Befejezésül összehasonlító adatokat közlünk egyes kábelfajtákon végzett mérések jellemző paramétereit alapján.*

*В статье дается краткая информация о результатах исследований, проводимых в Геофизическом Институте. Возможности импульсной передачи каротажных кабелей определяем на основании приближения характеристики затухания, избегая затруднений так называемых классических операторных исчислений. В заключение приводим сравнительные данные на основании измерений характерных параметров, проведенных на отдельных типах кабелей.*

*Der Artikel gibt kurz die Ergebnisse der in dem Geophysikalischen Institut durchgeführten Untersuchungen bekannt. Die Impulsübertragung der Bohrlochmesskabel wird nach der Annäherung der Dämpfungcharakteristik bestimmt, um die Schwierigkeiten der sozusagen klassischen Operatorrechnung zu vermeiden. Abschliessend werden Vergleichungsdaten über charakteristische Parameter mitgeteilt, die auf verschiedenen Kabelsorten gemessen wurden.*

A kábeles vizsgálatok bevezetését az az igény indította el, hogy a mélyfúrásban alkalmazott GM csöves mérésekkel szemben a lényegesen bonyolultabb és pontosabb jeltovábbítást igénylő szcintillációs mérés lehetőségeit tisztázzuk. A GM csöves méréseknél a detektor jeleinek erős torzulásai sem jelentenek akadályt annak eldöntésére, hogy érkezett-e jel vagy nem. A szcintillációs mérés során a detektor jeleinek további jellemzőit vetjük analízis alá, nevezetesen elsősorban amplitúdóját. Ebben az esetben már a döntő információt a jelek amplitúdója hordozza. A kielégítő amplitúdó analízishez elengedhetetlenül kívánatos a jelek amplitúdójának minimális torzítása, illetve az arányosság megtartása.

A karottázs mérések kábelei a híradástechnikai gyakorlatban impulzusátvitelre alkalmazott távvezetékek jellemzőitől számos tekintetben eltérnek. A karottázs-kábelek elsősorban mechanikus kötést képviselnek a lyukműszer és a felszíni egység között megfelelő érszigetelés biztosítása mellett. A mechanikus felépítés követelményei olyan kapcsolatot teremtenek a szokásos kábelparaméterekben, melyek sajnálatosan lerontják a váltakozó áramú átvitel lehetőségeit. Az elméleti megfontolások és vizsgálati mérések azt eredményezték, hogy korlátozott mértékben ugyan, de lehetséges a váltakozó áramú jelátvitel viszonylag nagyfrekvenciás tartományban is.

### Elméleti alapok

Fejtegetéseinket szokásosan a távvezeték elmélet alapján kezdhetjük. A karottázs-kábel általában sok érből felépített vezeték, melynek teljes tárgyalása mátrix módszerrel lehetséges [1]. Mindenesetre azt feltételezhetjük, hogy

\* A Magyar Geofizikusok Egyesületében 1965. március 18-án elhangzott előadás alapján.

vizsgálatunk céljára egy érpárat választunk ki, míg a többin nem terjed változó áramú jel. Ezáltal elkerülhetjük a terjedés számos módusának figyelembevételét. Ha a kábelt a szokásos lineáris elemeket tartalmazó hálózattal közelítjük (1. ábra) és feltételezzük, hogy a lezárások illesztettek (nincs reflexió), akkor a Laplace transzformációval felírhatjuk

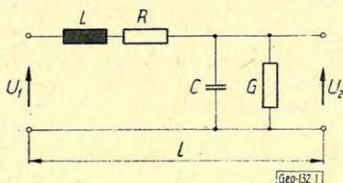
$$U_2(p) = U_i(p) \cdot e^{-\gamma(p) \cdot l} \quad (1)$$

ahol

$U(p)$  a feszültségek Laplace transzformáltjai

$\gamma(p) = \sqrt{(R + pL)(G + pC)}$  a terjedési együttható

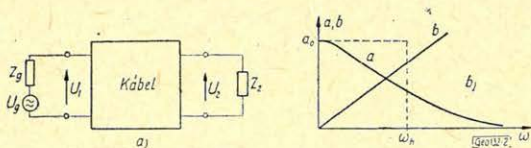
$l$  a számításba vett kábel hossza



1. ábra. A kábel közelítő hálózata

Az (1) egyenlet megoldása  $\gamma(p)$  alakja miatt igen bonyolult, gyakorlatilag csak valamilyen implicit alakban lehetséges s még abban az esetben is a valóságot sértő elhanyagolásokkal kell élni, pl.  $G = 0$ , ami a gyakorlatban egyáltalán nem teljesül.

Tekinthetjük a kábelt négy-pólusnak, mely az üzemi lezárások közé kerül (2a ábra). A számítások szerint a kábel aluláteresztő négy-pólus, mely jól jellemezhető a csillapítás- és fázis-karakterisztikával, melyek jellegét a 2b



2. ábra. A kábel jellemzése az átviteli karakterisztikával

ábrán láthatjuk. A csillapítás ( $a$ ) a frekvencia monoton függvénye ( $a_0$  a lezárás miatti egyenfeszültségű, alapesillapítás), a fázistolás ( $b$ ) pedig homogén lineárisan emelkedő függvénye (első közelítésben fázishiba mentes). Ez a felismerés módot nyújt arra, hogy a kábelnégy-pólus átviteli függvényét ( $Y_F$ ) az alábbi módon közelítsük:

$$Y_F = a_0 e^{j\beta\omega} e^{-\alpha\omega^2} \quad \dots (2)$$

A 2b ábrán bejelöltük az ideális aluláteresztő négy-pólust jellemző határfrekvenciát ( $\omega_k$ ). Ennek a jellemzőnek a számításbavételével a továbbiakban egyszerűsítésekhez juthatunk. Az elméleti határfrekvencia:

$$\omega_h = \int_0^{\infty} \epsilon^{-\alpha\omega^2} d\omega \quad \dots (3)$$

$$\omega_h = \frac{0,886}{\sqrt{\alpha}}$$

illetve

Ha a kábel-négyfólus bemenetére  $U_i = S_0(t)$  ugrásfeszültséget kapcsolunk, akkor az  $U_2(t)$  kimenő feszültség alakja – a levezetést mellőzve [2] – az alábbi:

$$U_2(t) = \frac{a_0 S_0}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^x \epsilon^{-x^2} dx \quad \dots (4)$$

ahol

$$x = \frac{\omega_h(t - \beta)}{\sqrt{\pi}} \quad \dots (5)$$

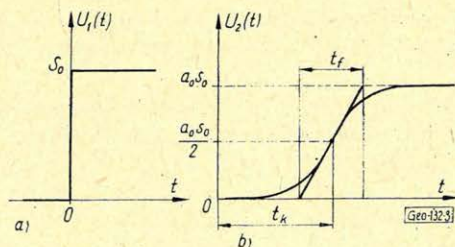
A (4) függvényben felismerhető a Gauss-féle hibaintegrál, mely

$$\text{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \epsilon^{-x^2} dx$$

$\text{erf}(x)$  függvény értékei  $x$  különböző helyein táblázatból kivehetőek [3]. Ezzel a kimenő jel

$$U_2(t) = a_0 S_0 \left[ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \text{erf}(x) \right] \quad \dots (6)$$

A bemeneti és kimeneti feszültségek alakját szemlélteti a 3. ábrán megadott vázlat. Láthatjuk, hogy a belépő  $S_0$  amplitúdó a kimeneten  $a_0$ -szorosán csillapodik. A 3/b részben bejelöltük a szokásos impulzus-jellemzőket. A



3. ábra. A kábel bemenetére adott  $U_1(t)$  ugrásfeszültség hatására megjelenő  $U_2(t)$  kimenő feszültség

késési idő ( $t_k$ ) – melyet az amplitúdó 50%-os értékének időpillanatában határozunk meg – értéke a (2) transfer függvényben található

$$t_k = \beta$$

Rögtön megemlítjük, hogy a számítások és mérések szerint a kábelhálózatra jó közelítéssel igaz, hogy

$$t_k = \sqrt{L \cdot C} \quad \dots (7)$$

A felfutási idő ( $t_f$ ) meghatározása a számításban az inflexiós pontnál ( $t = t_k$ ) húzott érintő metszése a 0 és az  $a_0 S_0$  végértéknél. Ez jól egyezik a mérés technikai gyakorlatban használt 10%-90%-os amplitúdó értékeknél jellemzett felfutási idővel. Értéke az alábbi képlettel számítható

$$t_f = 2\sqrt{\pi \cdot \alpha} \quad \dots (8)$$

### A módszer lényege

A számítások feltételeit és lépéseit a következőkben foglalhatjuk össze:

1. A kábelhálózat üzemi lezárásaival egy aluláteresztő négygypólusként kezelhető, melyben nincs csillapításhiba és fázishiba.

2. A kábel-négygypólus saját csillapítását vagy megmérjük, vagy számítjuk az alábbi képlettel:

$$a(\omega) = \sqrt{\frac{1}{2} (RG - \omega^2 LC) + \frac{1}{2} \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} (G^2 - \omega^2 C^2)}$$

(Fel kell hívni a figyelmet, hogy  $G = G_0 + \omega C t g \delta$ , ahol  $G_0$  a szigetelés egyenfeszültségű átvezetése,  $t g \delta$  a szigetelés veszteségére jellemző szám, ami esetleg szintén frekvenciafüggő).

3. A kábelhálózat fázistolása jól közelíthető a

$$b(\omega) = \omega \sqrt{L \cdot C}$$

kifejezéssel. Ebből kapjuk meg a késési időt  $t_k = \sqrt{L \cdot C}$

4. A mért, vagy számított csillapítás-karakterisztikát közelítjük a transzfer függvény abszolút értékével:

$$a(\omega) = a_0 e^{-\alpha \omega^2}$$

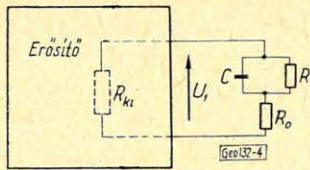
5. Közelítő számítással meghatározzuk a csillapítás-karakterisztika kitevőjében szereplő  $\alpha$  értéket. Ezzel a (8) képlet alapján számíthatjuk a  $t_f$  felfutási időt.

6. A  $t_f$  ismeretében meg tudjuk mondani, hogy a kábel bemenetére adott ugrásfeszültség mennyi idő alatt éri el maximális értékét. A maximális értéket korlátozza az egyenfeszültségű csillapítás, melynek értéke

$$a_0 = \frac{Z_2}{Z_2 + 2 \cdot l \cdot R_{ér}}$$

ahol  $Z_2$  a lezárás (mely igen gyakran tiszta ohmos),  $l$  a kábel hossza,  $R_{ér}$  a hosszegységre eső érellenállás.

7. Amennyiben a bemenetre adott jel tartama rövidebb, mint a  $t_f$  felfutási idő, a (6) képlet alapján számolni kell további amplitúdó veszteséget. Ez az eset bizonyosan fennáll a nukleáris detektorok esetében, ahol többnyire nem is beszélhetünk az impulzus tető-tartamáról. Az a feltételezés a karottázs-kábelek esetén igaz, hogy a jel felfutási ideje sokkal kisebb, mint a kábel felfutási ideje.



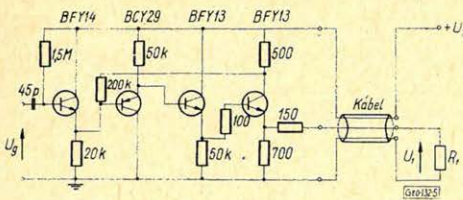
4. ábra. A kábel bemeneti impedanciáját közelítő vázlat

8. Ahhoz, hogy megadhassuk a kábel bemenetére érkező  $U_1$  jel amplitúdóját a generátor feszültségének ismeretében, meg kell határozni a kábel terhelő hatását. A mélyfúrásba eresztett szondákban teljesítményátvitelt kell biztosítani a generátorról a kábel felé. A kábel terhelése — a számítások és mérések szerint — a 4. ábrán bemutatott kétpólussal helyettesíthető. Az ábra jelöléseinek megfelelően az erősítő kimeneti ellenállása  $R_{ki}$ ,  $C$  a teljes kábelhossz ércapacitása,  $R_1$  a teljes kábelhossz érhurok ellenállása, és  $R_0$  a kábel nagyobb frekvenciákon beálló ohmikus hullámellenállása. A csatlakozás után fellépő  $U_1$  feszültség amplitúdó a kábel bemenetére kerül és illesztett lezárás esetén független a kábel felszíni lezárásától.

### Kábelmérések

A kábelmérések általános leírására helyszüke miatt nem térhetünk ki[4]. A közismert eljárásokkal határozhatjuk meg az érellenállás ( $R_{ér}$ ), az ércapacitás ( $C$ ) és a szigetelési átvezetés ( $G_0$ ) értékét. Az indukciós tényező ( $L$ ) meghatározása már meglehetősen bonyolult, közvetlenül nehezen mérhető. Szokásos még a fázistolás mérése (Lissajous görbe alapján), melyből a terjedési sebesség is meghatározható. Az üzemi csillapítás mérése a lezárások között végezhető el (ügyelni kell a földpotenciálok hatásának elkerülésére). Az üresjárási átvitel mérése ( $Z_2 = \infty$ ) zavaró rezonanciákat eredményez, meghatározása a karottázs kábeleket esetében nem bír jelentőséggel.

Az impulzusátvitel meghatározására célszerű a valóságnak megfelelő üzemi viszonyok beállítása. Esetünkben ennek vizsgálatára építettünk egy kísérleti szonda-erősítőt, melynek kapcsolását az 5. ábrán mutatjuk be. Az erősítő többfokozatú, komplementer elemet tartalmazó emitter-követő kapcsolás, melynek erősítése 25 – 150 °C tartományban — 2% stabil volt. Az erősítő bemenetére egyszer impulzus generátorról adtunk jeleket, más alkalommal szcintillációs jeleket. A bemeneti jel amplitúdója mindkét esetben 1 V volt.



5. ábra. A Geo – RSO kísérleti szcintillációs-szonda erősítőjének kapcsolási vázlata

Táblázatunkban néhány kábel-típuson végzett mérések eredményeit foglaltuk össze. Az egyes sorokban szerepel a mért kábeltípus; az első sor az a szélsőhelyzet, amikor a szonda és a felszíni mérő-erősítő közé nem iktattunk kábelt. Az utolsó két sorban ugyanaz a Pirelli-kábel szerepel, de a 7,8 km vizsgálati hossz kedvéért külön sort vettünk fel.

Az egyes oszlopok sorrendben a következők: 1. a megvizsgált kábel hossza, 2. a mért érellenállás, 3. a kapacitás, a héteres kábeleknél külön ér-ér és ér-páncél között, 4. indukciós tényező, 5. oszlopban azt a  $t_{fgen}$  felfutási időt adjuk meg, mellyel egy, a szonda-erősítő bemenetére adott ugrásfeszültség maximális amplitúdójáig fel tud emelkedni, 6. oszlop adata a szcintillációs jelre vonatkozik, egy beállított detektor jel-alak felfutási ideje, 7. oszlopban azt az amplitúdót közöljük, mely a kábel kimenetén jelenik meg, ha az 5. ábrán bemutatott szondaerősítő bemenetére adott szcintillációs jel amplitúdója 1 Volt, 8. oszlopban az értékelés kedvéért a szcintillációs jel amplitúdójára vonatkozó csillapítás egységet számítottuk ki.

### T Á B L Á Z A T

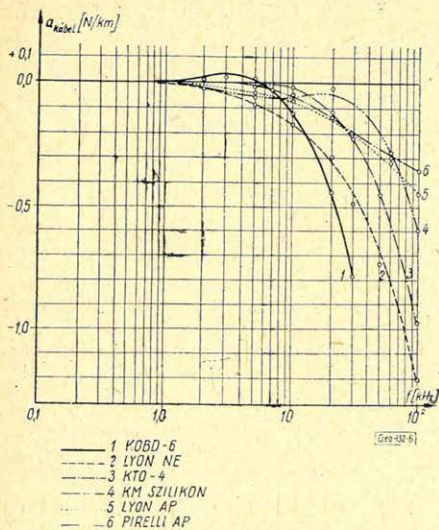
A kábelmérések eredményeinek összehasonlítása

Tipus	km $l$	Ohm/ km $R_{ér}$	$\mu F/km$ C	mH/km L	$\mu s$ $t_{fgen}$	$\mu s$ $t_{fscint}$	mV $u_i$	N/km $a_i$
kábel nélkül	0	0	0	0	3	3	690	0
KTO - 4	3	20	0,12	0,88	14	8	92	0,67
Lyoni AP	4,5	33	0,15	1,0	20	8	36	0,65
			0,296	0,74				
Pirelli AP	4	33	0,1	1,1	16	8	89	0,5
			0,2	1,0				
Pirelli AP	7,8	33	0,1	1,0	19	8	16	0,5

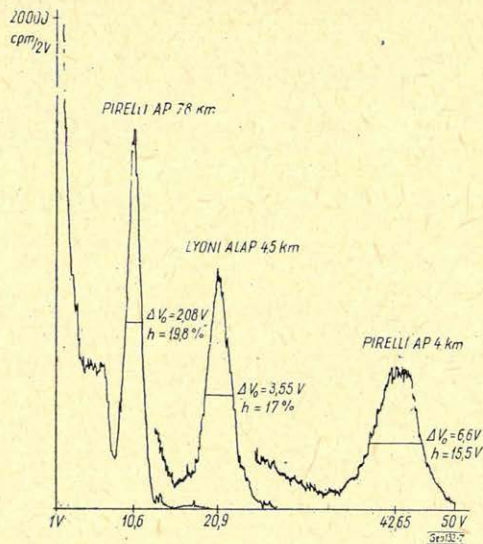
Az érellenállások változása a kábel felépítésétől függő, általában 10–50 Ohm körüli érték. A csillapítás csökkentése érdekében természetesen minél kisebb érellenállás kedvező. A kábel érkapacitásának értéke a legfontosabb jellemző, mert minden csillapítás típusban szerepel, mint arányos tényező. E paraméter tekintetében eléggé egyformák a vizsgált kábelek. Az ér-páncél kapacitás a héteres kábeleknél kétszer nagyobb, mint az ér-ér kapacitás. Az indukciós tényező jó közelítéssel 1 mH/km nagyságrend körüli érték.

Az impulzustechnikai jellemzők között láthatjuk, hogy rendkívül hosszú kábelek esetében is – természetesen a hosszától függően – kb. 15–20  $\mu sec$  felfutási idő érhető el. A szcintillációs jelre vonatkozó felfutási idő ( $t_{fscint}$ ) érdekes módon jó közelítéssel azonos értékű (8  $\mu sec$ ) és természetesen rövidebb, mint a megkívánt impulzus felfutási idő, mivel a szcintillációs detektor jelei lényegesen rövidebb felfutásúak. A kábel kimenetén kapott jelek amplitúdója a leghosszabb kábel esetén 16 mV, mely még jól kezelhető és feldolgozható érték. A kábelekre megállapított csillapítás érték a gyors áttekintés lehetőségét adja meg. (Mint érdekességet jegyezzük meg, hogy a szcintillációs jelalakra számított csillapítás értéke jól egyezik az adott kábelen kb. 100 kHz frekvencián mért csillapításával.)

A 6. ábrán bemutatjuk hat kábelfajtán mért csillapításmenetet. A tiszta kábel-csillapítást úgy határoztuk meg, hogy az üzemi lezárás következtében



6. ábra. Egyes kábel-típusok csillapítás-karakterisztikája



7. ábra. Cs 137 spektrum kétféle kábelen keresztül

beálló  $a_0$  értéket levontuk a mindenkori frekvencián mért értékből. Szerencsésen a héteres páncélkábelek viszonylag kis csillapítása a nagymélységű fúrások vizsgálatának lehetőségeit igéri.

A szcintillációs mérés dokumentálására Cs137 spektrumot vettünk fel két kábeltípuson három kábelhossz mellett (7. ábra). Az eredmények minőségileg is bizonyítják, hogy még a rendkívül hosszú, 7,8 km Pirelli AP kábel is sikerült spektrális képet nyerni. (Meg kell jegyeznünk, hogy méréseink a felszínen történtek, a kábelek a karottázs koci csörlőjén, vagy tároló dobokon voltak felhajtva.)

### Következtetések

Vizsgálataink eredményeit abban jelölhetjük meg, hogy sikerült bebizonyítani, hogy speciális kábelek és áramkörök alkalmazása nélkül a megvizsgált kábel típusokon lehetőség van kielégítő impulzus átvitelre. A végzett számítások és mérések jó egyezést mutattak. A felhasznált egyszerűsített szemlélet gyors és gyakorlatilag pontos tájékoztatást nyújt a várható eredmények megbecslésére.

### IRODALOM

- [1] Vágó István: Távfvezetékrendszerek elméletének néhány kérdése. Elektrotechnika 58. évf. 5-6. szám (1965. máj. - jún.).
- [2] K. Küpfmüller: Die Systemtheorie der elektrischen Nachrichtenübertragung, S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1952.
- [3] Handbuch für Hochfrequenz- und Elektro-Techniker III. Band Radio-Foto-Kinotechnik GMBH, Berlin 1957.
- [4] Karottázs kábelek váltóáramú jelátvittele. Intézeti jelentés 1965. M. Áll. Eötvös Loránd Tud. Int.