

# Frekvenciaszondázás periodikus áramimpulzusok spektrumának felhasználásával

TAKÁCS ERNŐ

*A geoelektromos mélységi szelvényezés korszerű formája a frekvenciaszondázás. Az elektróda-elrendezés méreteinek változása helyett az áram behatolási mélységét a frekvenciával szabályozhatjuk. A technikai előnyökön túl az információtartalom különbsége is indokolja a klasszikus egyenáramú mellett a frekvenciaszondázás alkalmazását.*

*Terepi mérési eredmények bemutatásával ismertetésre kerül a módszer és a műszer is.*

*Современной формой глубинных исследований электроразведочными методами является частотное зондирование. Вместо изменения разносов электродов при этом методе частотой регулируется глубинность проникновения тока. При стандартных работах на постоянном токе применение частотного зондирования обосновывается, помимо технических преимуществ, и повышенным объемом получаемой информации.*

*Die zeitgemässe Form der geoelektrischen Tiefensondierung ist die Frequenz-Sondierung. Die Eindringungstiefe des Stromes kann statt einer Änderung der Elektrodenkonfiguration durch die Frequenz geregelt werden. Ausser den technischen Vorteilen wird die Anwendung der Frequenz-Sondierung auch durch den grösseren Informationsinhalt gerechtfertigt.*

*Anhand von Geländemessungen werden im Aufsatze auch die Methoden und Instrumente vorgezeigt.*

Az általánosan alkalmazott egyenáramú, vagy geometriai mélyszondázás mellett egyre nagyobb a jelentősége a váltóáramú *frekvenciaszondázó* módszerek különböző módosulatainak, amelyeket elsősorban a Szovjetunióban fejlesztettek ki.

A *frekvenciaszondázás* lényegében a skin-hatás elvén alapszik. A terepen egy táp- és egy mérődipólt telepítenek. Ezek elektromos – földelt elektródák – és mágneses dipólusok – tekercsek – is lehetnek aszerint, hogy a gerjesztést konduktív vagy induktív módon kívánják megvalósítani és az elektromágneses térerősség elektromos vagy mágneses összetevőjét mérik.

Míg az egyenáramú szondázásnál az elektromos dipólusok középpontjai  $R$  távolságának változtatásával – az elektródák áthelyezésével – szabályozzák az áram behatolási és így a kutatás mélységét, addig a frekvenciaszondázásnál az  $R$  távolság állandó marad és a tápáram frekvenciájának változtatásával érhető el ugyanaz. Adott  $R$ -nél maximális behatolású az egyenáram lesz. Az  $R$  távolságot a megkívánt kutatási mélység 3–6-szorosára kell megválasztani. A frekvencia növekedésével az áram egyre inkább kiszorul a felszín felé. Így a mérőelektródák között mért feszültségkülönbség és a tápáram, vagy a tekercssel mért vertikális mágneses térerősség és a tápáram, vagy a horizontális elektromos és mágneses térerősség hányadásából számítható látszólagos fajlagos ellenállás-értékek a frekvenciától függően más és más mélységig terjedő kőzet-tömegről adnak információt. A frekvencia függvényében felvett látszólagos fajlagosellenállás-görbék tehát tulajdonképpen fajlagosellenállás-mélység szelvények.

A frekvenciaszondázás technikai előnyei már az elmondottakból is kitűnnek. Azonban más szempontok is indokolják alkalmazását. A rétegek anizo-



trópiájának hatása például a frekvencia növekedésével az elektromos térerősségkomponensre egyre kisebb, a vertikális mágneses térerősséget mérve pedig egyáltalán nem is jelentkezik. Így a rétegződéssel párhuzamos fajlagos ellenállás jut bennük kifejezésre. A frekvenciaszondázás az egyenáramú méréseket leárnyékoló nagy fajlagos ellenállású rétegek alól is képes adatokat szolgáltatni. Elmarad továbbá az elektródák áthelyeztetésével elkerülhetetlenül együttjáró változó inhomogenitások torzító hatása. A mérési pontosság is nagyobb, mert a váltóáramú jelek jól erősíthetők és szűrhetők. Az ekvivalencia-tartomány pedig szűkebb, mint a geometriai szondázásnál.

A mesterséges áramterű frekvenciaszondázást jelenleg nagy mélységű kutatásokra használják és két változata terjedt el.

Az egyiknél különböző frekvenciájú szinuszos tápáramot küldenek a talajba és ezek mindegyikén mérik az elektromos vagy mágneses teret [1].

A térbeállítás módszerénél az egyedi áramimpulzusok által létrehozott, mérőelektródákról levett vagy nagy felületű keretben indukált feszültségimpulzusokat regisztrálják és alakjuk torzulásából — ami a rétegeknek az impulzust felépítő végtelen sok szinusz és koszinusz hullámra gyakorolt hatása miatt áll elő — következtetnek a földtani felépítésre.

Az alábbiakban egy új frekvenciaszondázó módszer kerül ismertetésre, ami lényegében a fenti két változat kombinációjának is tekinthető.

## 1.

A tápdipólba periódikusan ismétlődő négyszögimpulzusokat küldve a tápáram és a mérőelektródákon mért feszültségkülönbség spektruma diszkrét frekvenciájú koszinusz hullámokat tartalmaz. Fourier-soruk ugyanis az

$$U(t) = Uk + \frac{2U}{\pi} \left[ \sin k\pi \cos \omega_1 t + \frac{\sin 2k\pi}{2} \cos 2\omega_1 t + \frac{\sin 3k\pi}{3} \cos 3\omega_1 t \right]$$

képlettel adható meg, ahol  $k = \frac{\tau}{T}$  és  $\tau$  az impulzus időtartamát,  $T$  ismétlődési idejét,  $\omega_1$  pedig az ismétlődés körfrekvenciáját jelenti.

A periódikusan ismétlődő áramimpulzusok sorozata tehát a spektrumot felépítő felharmonikusokkal egyszerre több, különböző frekvenciájú szinuszos áramteret képvisel a rétegekben. Az általuk létrehozott feszültségesés szelektív mérőerősítővel külön-külön vizsgálható.

A tápáramkörben a tápáram, a mérő áramkörben a feszültségkülönbség spektrumát meghatározva és az azonos frekvenciájú feszültségkülönbség az áramösszetevők amplitudójának  $\Delta U(\omega_n)/I(\omega_n)$  hányadosát képezve dipól ekvatoriális felállásnál a

$$\varrho_{\omega_n} = \frac{\pi r^3}{AB \cdot MN} \frac{\Delta U(\omega_n)}{I(\omega_n)}$$

képlettel frekvenciaszondázási görbe számítható. Értelmezése ugyanúgy történik, mintha szinuszos áramot használva készült volna.

A fenti alapelv alkalmazása lényegesen egyszerűsíti a méréshez szükséges generátor felépítését és kezelését, mert 4–5 különböző ismétlődési frekvenciájú



impulzus-sorozat harmonikusával egy teljes frekvenciaszondázási-görbe felvehető. Szinuszos áramot használva 20–30 különböző frekvenciára lenne szükség. A szelektív vétel egyébként mindenképpen elkerülhetetlen.

Egy vezérszint legjellemzőbb indikációjának megfelelően beállított ismétlődési idejű impulzus-sorozattal hatékony horizontális szelvényezési eljárás alakítható ki, mert az eddigi lehetőségen túlmenően egy terítéssel nem egyetlen látszólagos fajlagosellenállás-érték, hanem egy frekvenciaszondázási görbeszakasz kapható.

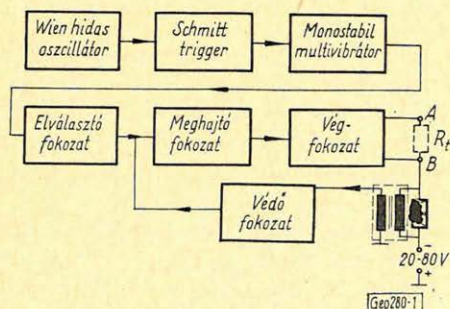
Több, a harmonikusokra lehangolt szelektív erősítő használatával az ismétlődési frekvenciától és az  $R$  távolságtól függő mélységintervallumra a fajlagos ellenállás időbeni változása regisztrálhatóvá válik, ami talaj- és kőzetmechanikai, valamint bányászati szempontból is érdeklődésre tarthat számot.

## 2.

Az ismertetett frekvenciaszondázási elv vizsgálatára sekély kutatási mélységű műszert konstruáltunk, amivel eredményes terepi kísérleteket végeztünk.

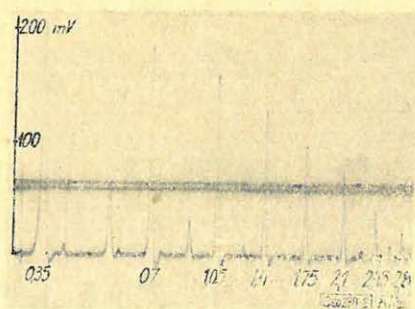
A szelektív mérés nem okozott külön problémát, mert a *Tel-Mes TT-1302* típusú szelektív mérővevője céljainknak megfelelt.

Impulzusgenerátorunk lényegében egy tranzisztoros áramkörökből felépített kapcsoló, ami a kisméretű akkumulátorok sorbakapcsolásával nyert tápegység áramát éles impulzusokká alakítja. Kapcsolásának bloksémája az 1. ábrán látható.



1. ábra. Az impulzusgenerátor kapcsolásának tömbvázlata  
Фиг. 1. Блок-схема генератора импульсов

Fig. 1. Blokschema der Schaltung des Impulsgenerators



2. ábra. Az áramimpulzusok spektrumának terepi felvétele  
Фиг. 2. Запись спектра импульсов тока, полученная в полевых условиях  
Fig. 2. Geländeaufnahme des Spektrums der Stromimpulse

A Wien-hidas vezérosszcillátor az impulzusok ismétlődési frekvenciáját határozza meg. Négy fix frekvencia beállítására – 70, 350, 1750 és 8750 Hz – és folyamatos hangolásra – 20 Hz-től 15 kHz-ig – is lehetőség van.

Az oszcillátor szinuszos jelét a Schmitt-trigger négyszögimpulzusokká alakítja, amelyeket egy differenciáló transzformátor tűimpulzusokká formál. A pozitív impulzus-sorozat indítja az egyébként negatív előfeszültséggel zárva



tartott monostabil multivibrátort, amelynek visszabillenési idejét — a jel-szélességét — a vezérosszcillátor frekvenciájával egyidőben a mindenkor is-métlődési idő 10%-ára állítunk be. Ez a jel/szünet arány az első öt harmonikus-ra aránylag egyenletes spektrumot ad.

Az elválasztó fokozat biztosítja a kis bemenő impedanciájú meghajtó tranzisztor túlvezérlését, ami a jó felfutási idő elérése miatt szükséges.

A meghajtó és végfokozatot egy *NPN* és *PNP* egyenáramú csatolásban levő teljesítmény-tranzisztor alkotja. Egyenáramú beállításuk olyan, hogy nyugalmi állapotban záró irányba vannak előfeszítve a jó visszafutási idő érdekében. A végfokozat a külső tápfeszültség áramát kapcsolja, amit a feszültség és a soros terhelő ellenállás — *AB* tápdipól — határoz meg, de a védő multivibrátor maximálisan 5 *A*-re korlátozza. Amennyiben ezt az értéket meghaladná, a terhelő ellenállással sorbakapcsolt kis értékű ellenálláson olyan feszültségimpulzus keletkezik, hogy az egy differenciáló impulzus-transzformátoron keresztül a védő, bistabil multivibrátort átbillenti, ami egy „és” kapun keresztül az elválasztó fokozatot lezárja. A védelem lámpajelzést is ad. A túláram okának megszüntetése után a generátor üzeme nyomógommbal indítható.

A generátor jellemző adatai az alábbiak.

Impulzus amplitudó:  $20 V_{pp} - 80 V_{pp}$

Impulzus csúcsáram: 5 *A*

Jel/szünet arány: 1/10

Tápfeszültség: +12 *V* (200 *mA*), -12 *V* (600 *mA*)

2. ábránkon egy terepi felvételrészletet mutatunk be a tápáram spektrumára, amit a szelektív vevő kimenetét galvanométerre vezetve a vevő folyamatos elhangolásával vettünk fel.

Terepi méréseink igazolták a módszer alkalmazhatóságát.

A 3. ábrán Diósgyőrből mutatunk be mérési eredményt. Az állomás közelében felvett egyenáramú szondázási görbék kis mélységben nagy fajlagos ellenállású mészkőaljazatra utalnak. A frekvenciaszondázást dipól ekvatoriális felállásban  $AB = MN = 25\text{ m}$  és  $R = 75\text{ m}$  elektródaterítéssel végeztük és az ábrán bemutatott áram- és feszültség spektrumot mértünk. Az általuk számított frekvenciaszondázási görbe jól jelzi a mészkövet. Tekintve, hogy a használt frekvenciákkal a felső 5–7 *m* nem tagolható kétréteges görbetípust kaptunk, ami megfelel az elméleti görbéknek. Anélkül, hogy az értelmezés kérdéseivel foglalkoznánk, a helyes szemlélet kialakítására megjegyezzük, hogy a frekvenciaszondázási görbéken egy-egy rétegnél az ellenállásváltozás jellegének megfelelő hajlásszög-változás előtt ellentétes irányú szélső értékek is jelentkeznek. Így a görbe minimuma emelkedő és kis frekvenciás aszimptotikus szakasza egyaránt a mészkő hatására alakult ki.

*Edelény* határában a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet csereháti I. jelzésű geoelektromos vonala mentén [3] három állomáson a szinuszos és impulzus frekvenciás áramtér egyenértékűségét vizsgáltuk  $AB = MN = 40\text{ m}$  és  $R = 150\text{ m}$  elektródaterítéssel. A 4. ábra mutatja a mérés eredményét. A null-körökkel jelzett pontokat szinuszos árammal kaptuk, a kereszttel felhordottakat pedig az impulzusok spektrumából számítottuk. Az egyezés megfelelőnek mondható.

A Bódva folyó jobb oldalán levő 1. és 2. állomáson a diósgyőrihez hasonló görbék a kis mélységben elhelyezkedő kristályos mészkövet jelzik. A 3. ponton



a Bódva bal oldalán a fenti terítéssel a kristályos mészkövet már nem értük el és csak egy, a felszíni nagyobb ellenállású réteg alatti kisebb fajlagos ellenállású képződményre utaló indikációt kaptunk.

3. ábra. Mérési eredmény Diósgyőrből

a – az áram- és feszültségimpulzusok spektruma felhasznált harmonikusainak amplitúdói

b – terepi és elméleti frekvenciaszondázási görbék

c – geometriai szondázási görbe.

Fig. 3. Результаты работ, проведенных в районе г. Диошдьёр

a) Амплитуды использованных гармоник спектра импульсов тока и напряжения;

б) Фактическая и теоретическая кривые частотного зондирования;

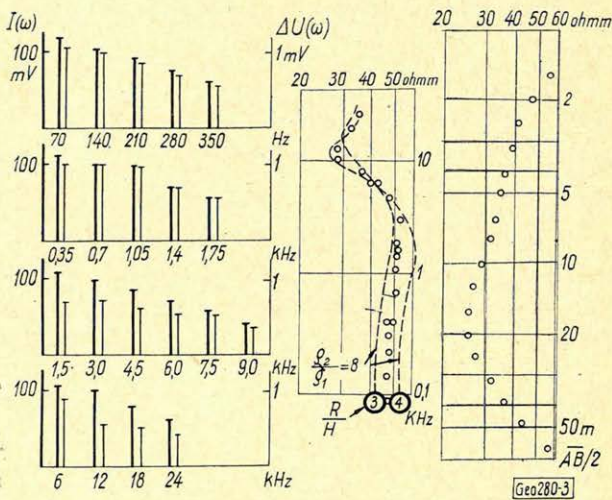
в) геометрическая кривая зондирования

Fig. 3. Messungsergebnisse aus Diósgyőr

a – Amplituden der benutzten Harmonischen der Strom- und Spannungs-Impulse

b – Gelände- und theoretische-Frequenzsondierungskurven

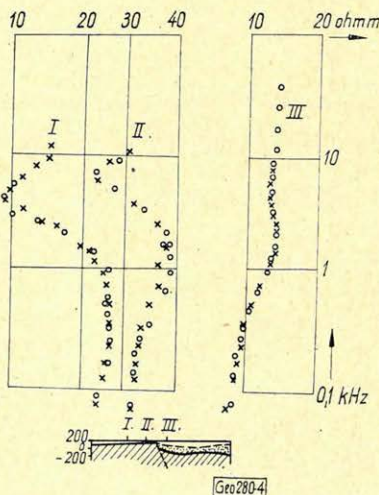
c – geometrische Sondierungskurve



4. ábra. Mérési eredmények Edelény környékéről

Fig. 4. Результаты работ, проведенных в районе с. Эделень

Fig. 4. Messungsergebnisse aus der Umgebung von Edelény



A frekvenciaszondázással nyerhető földtani információk jellegével és az értelmezésükkel kapcsolatos kérdésekkel egy másik dolgozatban szeretnénk foglalkozni.

#### IRODALOM

- [1] Vanjan, L. L.: Osznovü elektromagnitnüh zondirovanij. Nedra, Moszkva 1965.
- [2] Vanjan, L. L.: Sztanovlenie elektromagnitno polja i evo ispolyzovanie dlja resenia zadacs sztrukturnoj geologii. Nauka. Novoszibirszk 1966.
- [3] Erkel A. és tsai: Komplex geofizikai kutatás a Cserehátan. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1965. évi jelentése. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967.