

# Az analógszorzás alkalmazása szeizmikus feladatoknál

CHR. O E L S N E R

A szeizmikus jelek információtartalmának teljes kihasználása a regisztrált jelenség terjedési sebességének és frekvenciájának értelmezése mellett megkövetelja más jellemzők, így elsősorban az energia vizsgálatát is.

A szerző különböző lehetőségeket vizsgál meg a jelek kvadrálására: ez az előfeltétel a rezgés energiájának regisztrálásához. Részletesen ismertet néhány eredményt a szeizmikus jelek diódaláncok segítségével történő négyzetreemelésével kapcsolatban.

Die Ausnutzung des Informationsinhaltes seismischer Signale erfordert neben der Auswertung von Ausbreitungsgeschwindigkeit und Frequenz des registrierten Vorganges die Erfassung weiterer Größen, von denen die Energie die wichtigste ist.

Verschiedene Möglichkeiten für eine Signalquadrierung, welche Voraussetzung zur Registrierung der Schwingungsenergie ist, werden behandelt.

Im einzelnen werden einige Ergebnisse vorgelegt, die bei der Quadrierung seismischer Signale mit Hilfe von Diodenkettten erzielt wurden.

Использование информационного содержания сейсмического сигнала требует кроме оценки скорости распространения и частоты регистрируемого процесса определения дальнейших величин, в числе которых энергия является наиболее важной.

Рассматриваются различные возможности превращения сигнала в квадратную форму, что является предпосылкой для регистрации энергии колебания.

Детально приводятся некоторые результаты полученные при превращении сейсмических сигналов в квадратную форму с помощью диодных цепей.

## 1. Bevezetés

A mérés- és szabályozástechnikában már régóta alkalmaznak analóg számolóelemeket; ezek a geofizikai mérés technikában is egyre jobban elterjednek. Alkalmazásuk azzal párhuzamosan növekszik, amint a geofizikai mérési eredményekből egyre több információt szeretnénk nyerni. A fentebbi törekvés, valamint a geofizikai adatanyag megszorodása megköveteli, hogy olyan fizikai mennyiségeket mérjünk és regisztráljunk, amelyek iránt azelőtt kevésbé érdeklődtünk.

A szeizmikában néhány éve mind több figyelmet szentelnek a szeizmikus jelenségek energiájának. Baranov [1] bevezette a kutatási szeizmikába az „energianyom” (Energiespur) fogalmát.

Egy szeizmikus impulzus energiáját első közelítésben az alábbi képlettel fejezhetjük ki:

$$E \sim \rho c \int_0^T (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2) dt, \quad (1)$$

ahol  $\rho$  a közetsűrűség,  $c$  a hullámterjedési sebesség és  $v_x$ ,  $v_y$  és  $v_z$  a részecskék rezgési sebességének komponensei. Az (1) egyenletből kitűnik, hogy ha az energiával arányos regisztrálást akarunk előállítani, a „négyzetreemelés” (Quadrierung) és „integrálás” (Integration) műveleteit kell végrehajtanunk.



## 2. A jel-négyzetelés lehetőségei

Belotolov [2] fejlesztett ki egy eljárást, amelynél a „négyzetelés” szeizmikus célokra optikai úton, egy parabolikus maszk igénybevételével történik. Ezzel szemben a következőkben elektronikus úton történő eljárásokat nevezünk jel-négyzetelésnek.

### 2.1 Szorzás Hall-szondákkal

Ha egy vékony fém- vagy félvezető-lemezt mágneses térbe helyezünk, és ha ezen a lemezen a ( $B$  indukciójú) mágneses tér irányára merőlegesen  $J$  áram folyik keresztül, akkor a lemezben mindkét irányban létrejön az ún. Hall-feszültség  $U_H$ , amelynek értéke

$$U_H = R_H \cdot \frac{J \cdot B}{d}, \quad (2)$$

ahol  $R_H$ , az ún. Hall-együttható és  $d$  a lemez vastagsága.

A (2) egyenletből látható, hogy a Hall-szonda igen alkalmas két mennyiség közvetlen összeszorzására, ha ezek a  $J$  vezérárammal és a  $B$  mágneses térrel arányosak. A Hall-generátor belső ellenállása az indukcióval együtt növekszik, ami szorzási hiba fellépését vonja maga után. Felírhatjuk, hogy

$$U_H = \frac{U_{H0}}{1 + \frac{1}{\lambda} \frac{R_{IB}}{R_{i0}}}, \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{R_a}{R_{i0}},$$

$R_a$  = külső ellenállás

$R_{i0}$  = a Hall-generátor belső ellenállása a mágneses tér nélkül.

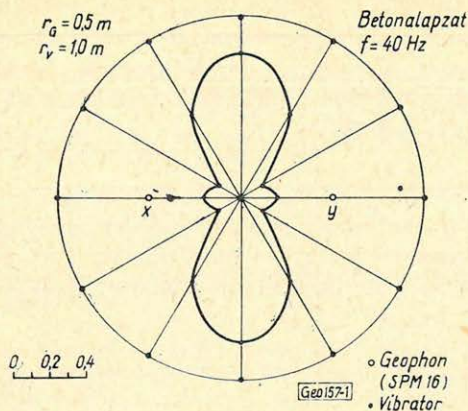
Négyzetelésnél a  $B$  indukciót és a  $J$  vezéráramot egyidejűleg ugyanazzal a mennyiséggel kell vezéreltetni, ami legegyszerűbben úgy történhet, ha a tértekercset a vezérárammal táplálhatjuk.

Az 1. ábrán egy Hall-szondával felvett szorzási karakterisztikát láthatunk. A vezéráramot és a mágneses teret az  $x$  és  $y$  geofon-jelek vezérlik. Természetesen az ilyen irányítási karakterisztikák alakja függ a geofonok távolságától és az alkalmazott hullámhossztól. Így egyszerű úton olyan irányítási effektusok érhetők el, amelyekhez különben komplikált csoportos elrendezések volnának szükségesek. Különösképpen pedig jelentékenyen megnövelhető ilyen szorzási elrendezéssel a jel/zaj-viszony, ha a két geofon, illetve geofon-csoport közötti távolságot úgy választjuk, hogy a felvett mikroszeizmika nem lesz koherens.

### 2.2 Varisztorok használata

Teljesség kedvéért említsük meg, hogy az analóg számítástechnikában újabban varisztorokat (feszültségfüggő ellenállásokat) is használnak függvény-generátorokul. A varisztorok feszültségi és áram-görbéi a következő törvény-





1. ábra. Hallgenerátorral felvett szorzási-iránykarakterisztika

Фиг. 1. Ориентировочная характеристика умножения, снятая генератором Холла

Fig. 1. Multiplikations richtekarakteristik, aufgenommen mit Hall-Generator

szerűségnek felelnek meg:  $U = K J^n$ , (4)

ahol  $K$  és  $n$  a szóban forgó varisztor jellemző konstansai. Különböző exponenciális kapcsolásokhoz *Brown* és *Bond* [3] adtak meg kapcsolásokat.

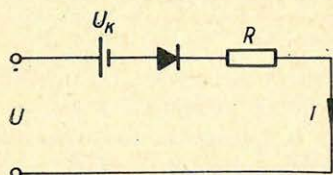
### 2.3 Négyzetelés diódalánccal

Ha az  $R$  ellenállást és a fix  $U_K$  feszültséget egy dióval sorba kapcsoljuk, úgy az ilyen előfeszültség segítségével egy ún. tört-karakterisztikát állíthatunk elő. A kapcsolást és a karakterisztikát a 2. ábrán láthatjuk.

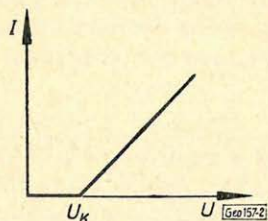
Az  $U_K$  előfeszültség útján a töréspontot az  $U = 0$  helyről az  $U = U_K$  helyre helyezzük át. A karakterisztika emelkedését az  $U$  feszültség és az  $R$  ellenállás nagysága határozza meg.

$$\text{Ha } U > U_K, \text{ akkor } J = \frac{U - U_K}{R}.$$

Különböző diódák előkapcsolása útján parabolikus karakterisztikákat tudunk tetszés szerinti pontossággal megközelíteni.



Két azonos négyzetelő-fokozat karakterisztikáit a 3. ábrán láthatjuk. Szembetűnő, ha  $U_E > 1V$ , akkor a fokozatok igen pontosan négyzetelnek. E fokozatoknál a  $0,8 Hz$ -nél nagyobb frekvenciákra a négyzetelés a frekvenciától független.



2. ábra. Egy „előbekapcsolt” dióda kapcsolása és sematikus karakterisztika-menete ([4] után átrajzolva)

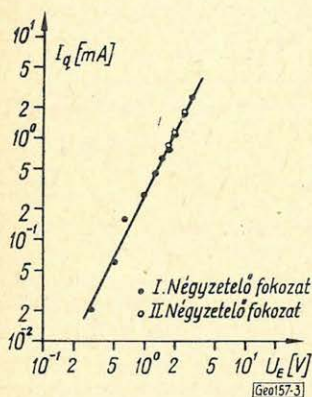
Фиг. 2. Схема „предвключенного” диода и схематическое представление его характеристики (из работы [4])

Fig. 2. Schaltschema einer vorgeschalteten Diode und schematischer Gang ihrer Charakteristik (umgezeichnet nach [4])



A 4. ábrán a Jéna-i Geodynamikai Intézet Moxa-i szeizmikus központi állomásán felvett egyik négyzetelt regisztrálás kiértékelése látható. A vizsgálat ideje alatt 7,5 percenként meghatározták az  $E_{60} = \int_{-30}^{+30} v^2 dt$  értéket, ahol a

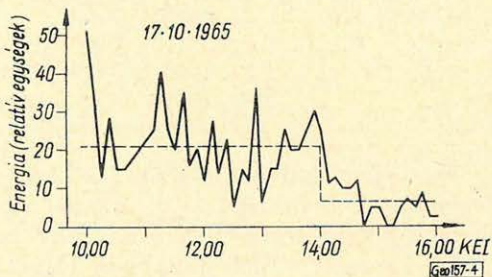
határok másodpercben kifejezve szerepelnek. Az integrációt planimetrálással végezték s a kapott értékeket, mint relatív mennyiségeket rakták fel az ordinátatengelyre. Szaggatott vonalakként rajzolták be a középértékeket a 14<sup>00</sup> óra előtti és utáni időre vonatkozóan. Knothe [5] vizsgálatai szerint a rövidperiódusú mikroszeizmikában beálló intenzitásváltozás egy nagyüzem tevékenységével kapcsolatos.



3. ábra. Négyzetelő fokozatok karakterisztikája

Фиг. 3. Характеристика квадратических каскадов

Fig. 3. Charakteristik von Quadrierstufen



4. ábra. Rövidperiódusú mikroszeizmák relatív energiaszintje

Фиг. 4. Относительный уровень энергии при короткопериодной микросейсмике

Fig. 4. Relatives Energieniveau der kurzperiodischen Mikroseismik

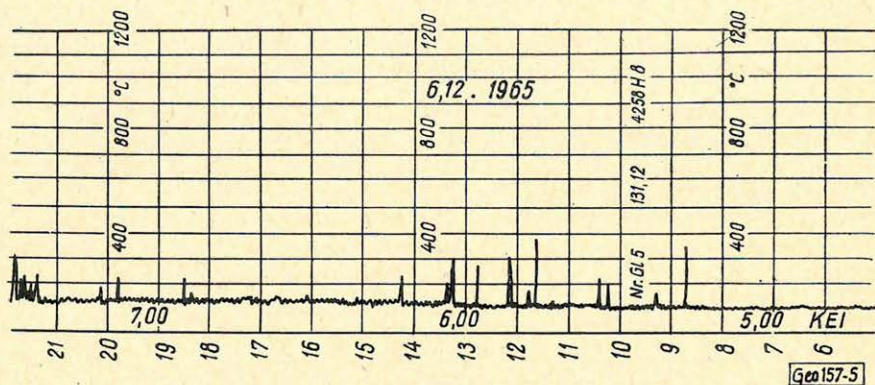
Ha feltesszük, hogy ezeket a közepes energiaértékeket 2 Hz-es rezgések eredményezik, akkor a frekvenciakarakterisztika segítségével közepes rezgési sebességeket számíthatunk. Ennek értéke: a 14<sup>00</sup> előtti időre  $0,38 \frac{\mu}{s}$  és a 14<sup>00</sup>

utánira  $0,21 \frac{\mu}{s}$ .

Az alkalmazott planimetrálásos integráció nagyobb adatanyag esetében minden előnye ellenére — amilyenek pl. a bizonyos hullámcsoportokra szorítózkodás lehetősége és a jó pontossági teljesítmény — kissé körülményes. Másik integrációs lehetőségként az RC-tagok segítségével működő elektronikus eljárás kínálkozik. Hogy itt megfelelő pontosságot érhessünk el, kiegészítő elektronikus egységek alkalmazása szükséges. Egyszerűbb azonban, ha az integrációhoz egy forgótekeres mérőmű tehetetlenségét használjuk ki. Minthogy diódaláncunk négyzetelt árama tintaíró-tud vezérelni (EAW R 120, teljes kiütés 2,5 mA), ilyet használtunk a feljegyzésekhez. Az író tehetetlensége 20 sec alatti periódusokig kihasználható az integráció céljára: a vonatkozó regisztrálást az 5. ábrán láthatjuk. Szeizmométerként egy Krumbach-vertikális-komponenst (2,4 sec sajátperiódussal) használtunk. A regisztrálás helye a Freiberg-i Alkal-



mazott Geofizikai Intézet pincéjében volt. Láthatjuk, hogy  $5^{00}$  és  $6^{00}$  között az általános mikroszeizmika energiaszintje emelkedik. A magasabb energiájú események mesterséges eredetűek.

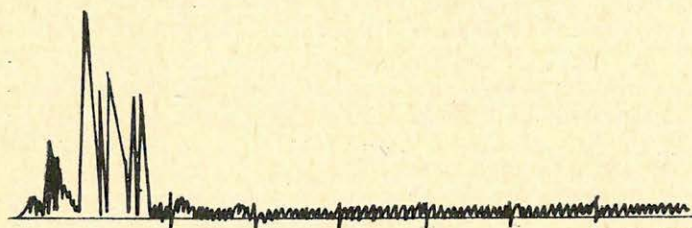
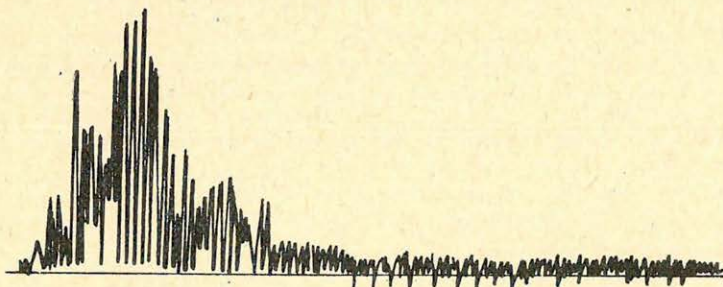


5. ábra. Energiaregisztrálás tintairóval

Фиг. 5. Запись энергии при помощи перописца

Fig. 5. Energieregistrierung mit Tintenschreiber

Kiterjedt kalapácsszeizmikai vizsgálatok keretében, a Freiberg melletti *Halsbrücke* bányában [6, 7], más mérési adatok összehasonlítása kedvéért a négyzetelt regisztrálásból az abszorpció-koefficiens is meghatározottuk. A méréseket  $5 - 8$  m mélyre fúrt lyukakban végeztük. Az elektrodinamikus lyukgeofonon kívül még egy, a lyuk szájánál elhelyezett, ugyancsak elektrodinamikus referencia-geofon is regisztrált. A 6. ábrán láthatunk egy ilyen regisztrálást, amelyet duplasugaras oszcilloszkóppal vettünk fel. A referencia-geofon (alsó nyomvonal) erősebben van csillapítva.



6. ábra. Négyzetes regisztrálás (a [7]-ből)

Фиг. 6. Квадратическая регистрация (из работы [7])

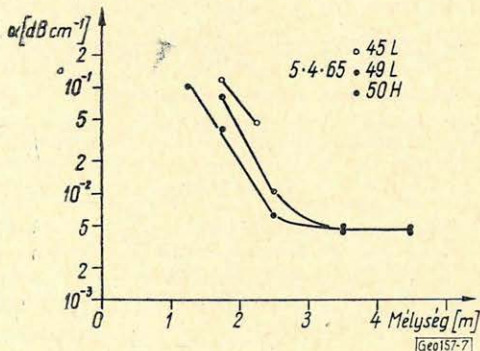
Fig. 6. Quadratische Registrierung (aus [7])



Az energiameghatározáshoz ezeket a regisztrátumokat még grafikusan integrálni kellett. Minthogy az ütések intenzitása nem volt konstans, mindég a lyukgeofon és a referenciageofon közötti energiaviszonyt képeztük. Tekintetbe véve a síkhullám energiacsökkenését a távolsággal, a két  $r$  távolságú geofon-elhelyezés közötti elnyelési koefficiens számára érvényes a következő formula:

$$E_{i+1} = E_i e^{-\alpha r} \quad (5)$$

A 7. ábrán láthatjuk egy ilyen abszorpciós-koefficiens-meghatározás eredményét. Két eltérő gradiensű tartományt határozhatunk el. Az első mintegy 2,5–3 m mélységig tart és az abszorpciós-koefficiens igen erős csökkenése jellemzi ( $0,1 \text{ dB cm}^{-1}$ -ről  $1,25 \text{ m}$ -ben  $0,006 \text{ dB cm}^{-1}$ -re  $2,5 \text{ m}$  mélységben). Ehhez csatlakozik egy kisebb gradiensű tartomány. Ez átvezet a zavartalan kőzetbe, míg az első tartományban a szakasz főrepedezettségi zónája ismerhető fel.



7. ábra. Az abszorpciós-koefficiens mélységfüggése (átrajzolva a [7]-után)

Фиг. 7. Зависимость коэффициента поглощения от глубины (из работы [7])

Fig. 7. Tiefenabhängigkeit des Absorptionskoeffizienten (umgezeichnet nach [7])

A felsorolt eredmények mutatják, hogy már olyan egyszerű analógoperációknak, mint a szorzás, illetve négyzetelés, szeizmikus problémákra való alkalmazása az információtartalom jelentékeny javítását, illetve kiterjesztését nyújthatja. Az eredményeket a Freiberg-i Bányászakadémia Alkalmazott Geofizikai Intézetének és a Jena-i Geodinamikai Intézet Freiberg-i fiókkutatóhelyének együttes munkája révén értük el.

#### IRODALOM

- [1] Baranov, V.: Energie des vibrations et filtrage non lineaire, Geophy. Prosp. 9 (1961) 13, 342–349.
- [2] Belotelov, V. L. – Vesnjakov, N. O. – Chiljajev, J. J.: Szeizmicseszkiy energometr, Izv. AN SSSR, Szer. geofiz., Moszkva (1959), 4, 611–616.
- [3] Brown, G. – Bond, R. A. B.: Design data for voltage dependent resistor function generators, Electr. Eng. 37, (1965) 411, 584–588. old.
- [4] Giloi, W. – Lauber, R.: Analogrechnen, Springer-Verlag, Berlin (1963).
- [5] Knothe, Chr.: személyes közlés.
- [6] Oelsner, Chr.: Schlagseismische Untersuchungen unter Tage zur Bestimmung physikalischer Eigenschaften des Gebirges in situ, Freiburger Forschungshefte C 178 (1965).
- [7] Schütze, D.: Seismische Klüftigkeitsuntersuchungen auf der Grube Halsbrücke, Diplomarbeit am Institut für Angewandte Geophysik der Bergakademie Freiberg (1965), nem jelent meg.
- [8] Schwaibold, E.: Der Halleffekt und seine technische Anwendung, ATM, V 943–2.