Az STD—2 szeizmikus digitális berendezés ismertetése

NÉMETH GÉZA

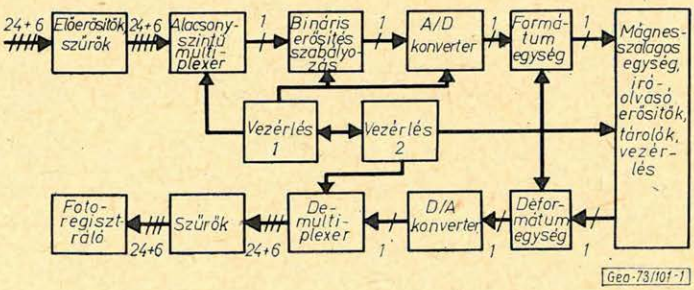
A cikk ismerteti az ELGI által kifejlesztett, korszerű harmadik generációs SDT – 2 digitális berendezést, egyben részletesen kitér a digitális berendezésekkel kapcsolatos új fogalmak, abszolút és relatív dinamika, mintavételezés stb. ismertetésére.

Дается описание современной сейсмической цифровой аппаратуры типа СДТ – 2 третьей генерации, разработанной в Геофизическом институте ЭЛГИ. Подробно рассматриваются новые понятия, связанные с цифровыми установками, как абсолютная и относительная динамика, квантование и т.п.

Es wird die beim Geophysikalischen Institut Lorand Eötvös entwickelte moderne digitale Einrichtung SDT – 2 von dritter Generation beschrieben. Zugleich werden die mit den digitalen Einrichtungen zusammenhängenden neuen Begriffe, wie absolute und relative Dynamik, Probeentnahme unsw. eingehend erörtert.

A szeizmikus kutatásokban világszerte tért hódítanak a korszerű digitális berendezések. Az OKGT *DES III*, az ELGI *SDT – 1*, *SDT – 2*, illetve *SD – 10* típusú berendezései jelzik a hazai szeizmikus kutatás rohamos fejlődését.

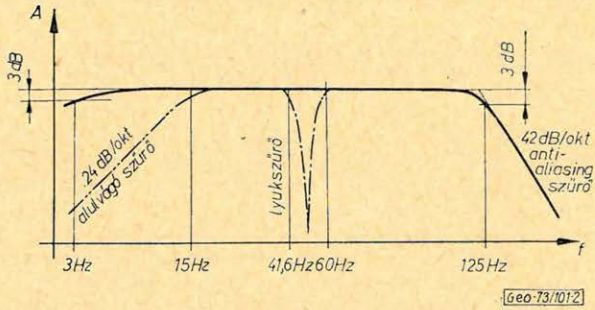
Mi tette szükségessé a digitális berendezések alkalmazását? Egyrészt a számítógépes feldolgozás követeli meg, hogy a terepen a mérések során már digitált formában rögzítsük a mérés eredményét mágnesszalagra, másrészt a több földtani információra törekvés, vagyis a dinamikatartomány növelésének igénye. Ha összevetjük a fotoregisztrálós berendezések *50 – 60 dB*-es dinamikatartományát a magnós műszerek kb. *90 dB*-es és a korszerű digitális berendezések *168 dB*-es dinamikatartományával, lemérhető az az óriási fejlődés, amelyen a szeizmikus felvevő berendezések keresztülmentek. Első hallásra szinte hihetetlenül nagy a *168 dB* értéke. Ez ugyanis azt jelenti, hogy a legkisebb és legnagyobb jel aránya *1 : 100 000 000!* Ez a nagy dinamika követelte meg azt, hogy a szokásos analóg rögzítés helyett rátérjünk a digitális rögzítésre.



1. ábra – рис. – Abbildung

A digitális berendezések használata egyre több olyan fogalom megismerését teszi szükségessé, amely a hagyományos műszereknél nem szerepel. Ennek tükrében szeretném ismertetni az ELGI által kifejlesztett, korszerű, harmadik generációs *SDT – 2* digitális berendezést. A berendezés elvi vázlatát az *1. ábrán* láthatjuk. Kövessük végig a jel útját a geofonoktól a fotoregisztrálóig!

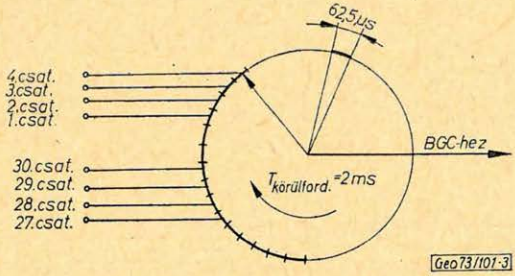
A geofonok nagy dina mikájú, de kis amplitúdójú jelet adnak az előerősítő- és szűrő-áramköröket tartalmazó bemeneti egységnek, amelynek átviteli karakterisztikáját a *2. ábra* mutatja. A megfelelő szintre erősített és megszűrt, még szabályozatlan analóg jel kerül az alacsony szintű multiplexer bemeneteire.

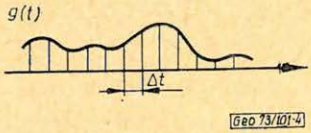


2. ábra — puc. — Abbildung

A multiplexer, működését tekintve, felfogható egy olyan körbe lépkedő-kapcsolónak, amelynek körülfordulási ideje állandó és éppen a mintavételezés idejével, esetünkben *2 ms*-al egyenlő. Minden érintkezője az erősítő kimenőpontjaihoz, leszedője pedig a bináris erősítésszabályozás bemenetére csatlakozik *(3. ábra)*.

3. ábra — puc. — Abbildung





4. ábra — puc. — Abbildung

A multiplexer kimenetén tehát mindig egy csatorna jele látható *63,5 μs* időtartamig. A leszedő *32* csatornás rendszer esetén *2 ms* múlva tér vissza ugyanarra a csatornára. Más fogalmazásban: a multiplexer az a szerv, amely minden csatornából *2 ms*-onként mintát vesz és eljuttatja a bináris szabályozáshoz *(4. ábra)*. Miből adódik a *2 ms*-os mintavételezési érték?

Shannon mintavételezési elmélete kimondja, hogy egy $g(t)$ jel, melynek frekvencia-spektruma *0*-tól f_{max}-ig tart, egyértelműen meghatározható a $g(t)$ jelből vett mintákból, ha a mintavételezés Δt ideje és a spektrum f_{max} maximális frekvenciája között a következő összefüggés áll fenn:

$$\Delta t = \frac{1}{2 f_{max}}.$$

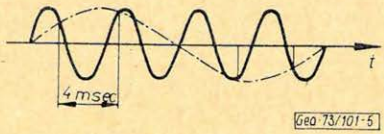
Mi történik, ha a frekvencia nagyobb, mint a Shannon-képlet alapján megengedett f_{max}? A következő példában vizsgálunk meg egy *200 Hz*-es jelet, *4 msec*-os mintavételezési periódussal *(5. ábra)*.

Láthatjuk, hogy a *200 Hz*-es jel a mintavételezés után, mint *50 Hz*-es jel jelenik meg. A mintavételezésnek ezt a tulajdonságát átlapolásnak, áttükrözésnek nevezzük és jelen esetben *125 Hz* volt a tükrözési tengely.

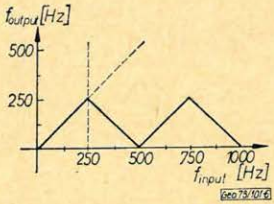
2 msec-os mintavételi periódus esetén a tükrözés:

$$f_{\max} = \frac{1}{2 \times 0{,}002} = 250 \text{ Hz-nél}$$

lesz. Tekintsük át a mintavételezés input/output frekvencia karakterisztikáját *(6. ábra)*. Amint a 6. ábra mutatja, az $f_{\max}$ feletti frekvenciák tükröződnek a hasznos frekvenciasávban. Ezeket a nagy frekvenciákat már a mintavételezés előtt ki kell szűrni, ezért minden digitális berendezés elengedhetetlen tartozéka egy ilyeneket szűrő, de itt most nem részletezett, ún. anti-aliasing szűrőkészlet. Tovább vizsgálva a jel útját láthatjuk, hogy a multiplex kimenete a bináris erősítésszabályozás bemenetére csatlakozik.



5. ábra — рис. — Abbildung



6. ábra — рис. — Abbildung

Milyen előnyei vannak a bináris erősítésszabályozásnak az *FM* analóg berendezések programszabályozásával szemben?

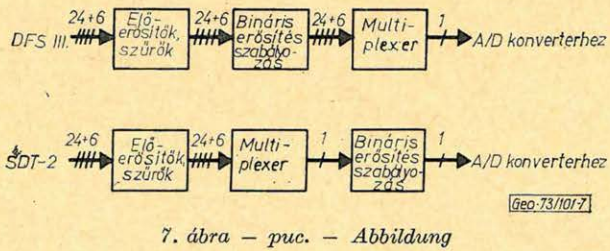
Egyrészt nemcsak erősítésnövelés, hanem erősítéscsökkentés is lehetséges, másrészt az erősítés konkrét *6 dB* értékkel változik és az erősítés pillanatnyi értékét rögzíteni tudjuk, tehát a számítógépes feldolgozás során az eredeti amplitúdót vissza tudjuk állítani.

A szabályozás dinamikája *84 dB*, ami *6 dB*-es lépéseket tekintve *14* lépcsőnek felel meg. Az erősítés lépési pontossága $\pm 1\%$. Erősítést növelni *60 ms*-onként, csökkenteni pedig *2 ms*-onként lehet.

Hasonlítsuk össze az *SDT-z* multiplexer és bináris erősítésszabályozás megoldását a *DFS III.* berendezés hasonló részeivel.

Amint a *7. ábra* mutatja, a *DFS III.* berendezésnél a multiplexer a bináris erősítésszabályozás után helyezkedik el, és így szükség van minden előerősítő után egy bináris szabályozású erősítőre.

Az *SDT – 2* konstruktőreinek sikerült a multiplexert a bináris erősítésszabályozás elé helyezni. Ez lényegesen nagyobb követelményt támaszt a kapcsolóval szemben (zaj, a kapcsolt jel dinamikája stb.), viszont bináris erősítő-



7. ábra — рис. — Abbildung

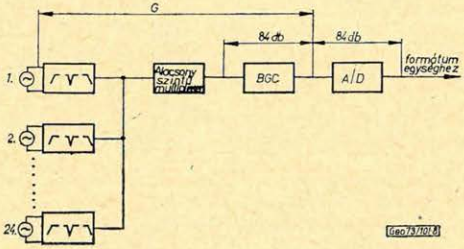
ből csak egyetlen egy kell. Így valamennyi csatorna jele ugyanazon a bináris osztóláncon halad keresztül, tehát ez a megoldás mind pontosságban, mind egyszerűségben jóval előnyösebb.

Meg kell jegyezni, hogy a legújabb *DFS IV. IFP* erősítésű berendezésekben a multiplexer már szintén a szabályozás előtt helyezkedik el.

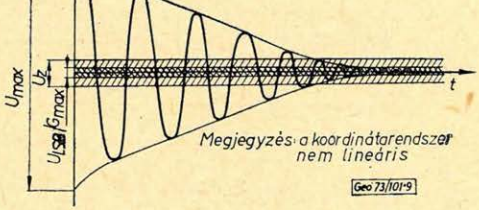
A bináris erősítésszabályozást a digitális berendezések legfontosabb egysége, az analóg/digitál átalakító követi. Az *A/D* konverter feladata az, hogy megmérje minden csatornán a mintavételi amplitúdó értékét és ezt bináris számmá átalakítva a kimeneti tároló sorba beírja.

Az SDT-z konvertere a „*bináris súlyokkal való fokozatos megközelítés*" elvén működik. A konvertálás közelítő folyamat. Egy ciklusának a lépései a következők: veszi a mérendő jelet és megállapítja, hogy a mérési tartomány melyik felébe esik; ha szükséges, egy feszültségérték levonásával eltolja a tartomány első felébe. A következő ciklusban ugyanez történik és eredményül már azt kapjuk, hogy a tartomány melyik negyedébe esik a feszültség. A ciklus addig ismétlődik, amíg a bináris súlyokkal előállított feszültség meg nem egyezik a konvertálandó feszültséggel. A bináris súlyok előállítása létrahálózattal történik. A teljes konverzió eredményeként a mérési tartomány 2^{14} tartományra osztódik és a létrán beállított feszültség ennek megfelelő pontossággal fog megegyezni a mérendő jellel. A létra kapcsolóinak állása a jel nagyságának megfelelő bináris számot jelenti.

Vizsgáljuk meg a *8. ábra* alapján, hogy milyen szerepe van az *A/D* konverter bemenete és a geofon közötti erősítésnek, amit *G*-vel jelöltünk.



8. ábra — рис. — Abbildung



9. ábra — рис. — Abbildung

Könnyen belátható, hogy minél nagyobb *G* értéke, annál nagyobb lesz a berendezés érzékenysége. Ezzel szemben a bemeneti műszerzaj is nagyobb erősítéssel jelenik meg. Jelöljük a műszer bemeneti zaját U_{zeff}-fel, a konverter legkisebb bitjének értékét pedig U_{LSB}-vel. Ahhoz, hogy a műszer zaját még ne érzékelje az *A/D* konverter, a következő összefüggésnek kell teljesülnie:

$$U_{zeff} \times G < U_{LSB} \cdot \qquad (1)$$

Az ezzel a képlettel számolt *G* érték kis érzékenységet eredményezne. Ezért *G* értékét úgy kell megválasztani, hogy a (2) összefüggés teljesüljön, vagyis

$$U_z \times G \sim 225 \times U_{LSB} \qquad (2)$$

legyen. Ennek következtében megnő az érzékenység, másrészt teljes erősítés esetén az *A/D* konverter első nyolc helyértékét a zaj fogja kitölteni. Azokat a jeleket, amelyek ebbe a tartományba esnek, a visszajátszáskor nem tudjuk

kiértékelni. Számítógépes feldolgozás során azonban ezek a jelek, különböző matematikai módszerekkel elválaszthatók a zajtól, tehát a dinamikatartomány ezen része is hasznos.

Digitális berendezéseknél ennélfogva kétféle dinamikatartomány ismeretes. Ha a maximális bemenőjelet a bemeneti zajhoz viszonyítjuk, a relatív, vagy zajhoz számított dinamikát kapjuk.

Ha a dinamikatartománynak a zaj alatti, esetünkben *0,15 μV* alatti részét hozzáadjuk ehhez az értékhez, megkapjuk az abszolút dinamikatartományt. Másképpen fogalmazva: a maximális bemenőjelnek és annak a legkisebb jelnek a hányadosát, amelyet a konverter még érzékel, abszolút dinamikának nevezzük *(9. ábra)*.

$$\text{abszolút dinamika} = \frac{U_{\max}}{U_{LSB}/G_{\max}}, \tag{3}$$

$$\text{relatív dinamika} = \frac{U_{\max}}{U_z}. \tag{4}$$

Ezek az értékek az *SDT – 2* berendezésnél *168 dB*, illetve *118 dB*. Az elvi vázlaton láthatjuk, hogy G értékének egyik összetevője a bináris erősítő erősítése. Ez változó, tehát meg kell különböztetni $G_{\min}$-ot és $G_{\max}$-ot. Behelyettesítve az (1) összefüggésbe azt kapjuk, hogy

$$U_z \times G_{\min} \ll U_{LSB} \tag{5}$$

és

$$U_z \times G_{\max} \sim 225\, U_{LSB}. \tag{6}$$

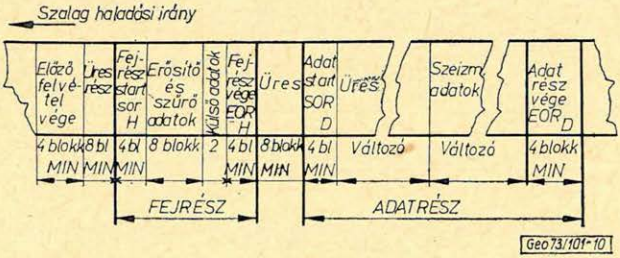
Az erősítés kezdeti értékét többféle tényező alapján (talajnyugtalanság, töltetnagyság stb.) határozhatja meg az észlelő.

Az *A/D* konverter kimenetéről a bináris információ a formátum-egységbe jut. Ide kerülnek még a különböző egyéb adatok is pl. a szűrő- és előerősítőadatok, felvételhossz, kezdeti erősítés stb. A formátum-egység funkciója:

1. a szalag-formátum előállítása a nemzetközi szabványnak megfelelően;

2. a felvétel elkészítése a hozzátartozó vezérlésekkel, magnó indítása, regisztráló indítása, robbantási parancs kiadása stb.

Egy felvétel a szalagon a következőképpen helyezkedik el: *(10. ábra)*.



10. ábra – рис. – Abbildung

Az adatrészben *21* sávban az alábbiakat rögzítjük:

a) *13+1* sávon az *A/D* konverter tartalmát,
b) *4* sávon a négy erősítés-bitet,
c) *1* sávon a fenti *18* bitből képzett paritás-helyességi-bitet,
d) *1* sávon az órajelet,
e) *1* sávon a blokk-bitet.

A szeizmikus adatok blokkokban rendezve vannak felírva. Egy blokk *32* szót tartalmaz. Ebből *24* szeizmikus csatorna adat, *6* segédcsatorna adat, a *31.* szóban tetszőleges szó írható fel, a *32.* szó pedig a blokkcímet tartalmazza. A blokkcím az időjeltől eltelt időt rögzíti *2 ms*-onként.

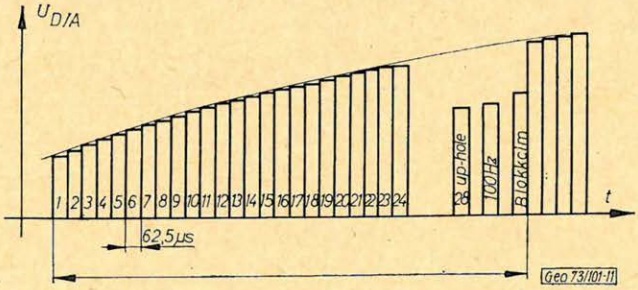
A formátum-egységből kijövő információt a mágnesszalagos egység rögzíti. Az egység *21* sávos, *1″*-os fejblokkal rendelkezik A fejblokk külön törlő, író, illetve olvasó fejeket tartalmaz, s így lehetősége van az írás utáni azonnali olvasásra. Ennek következtében a felvétellel egyidőben elkészíthető a direkt visszajátszás is, ami jelentős időmegtakarítást eredményez. Egyenáramú futóművel rendelkezik, ennek következtében a start/stop ideje nagyon kedvező. A szalagsebesség *45 ips (hüvelyk/sec)*, a felírható bitsűrűség *356 bpi (bit/hüvelyk)*. A felírási mód: *NRZI*. A mágnesszalagos egység tartalmazza ezen kívül a beíró, illetve kiolvasó logikai egységeket és a szükséges vezérléseket, tehát önálló tárolóként is alkalmazhatjuk.

A mágnesszalagos egységből az adatok a deformátum-egységbe kerülnek, amelynek feladata a következő:

1. a felvétel visszajátszása és a felvételre jellemző paritáshibás szavak, illetve hibás blokkok számának megjelölése,

2. egy kiválasztott szeizmogram cím szerinti keresése úgy, hogy keresés közben állandóan jelzi a szalagon levő felvételek számát.

A deformátum-egység a szeizmikus adatokat a *D/A* konverter bemenetére továbbítja, amely a számjegyes formában levő információt analóg jellé alakítja vissza. A *D/A* konverter kimenetén mind a *32* csatorna jele egy vezetéken, időmultiplixer formában jelenik meg *(11. ábra)*.

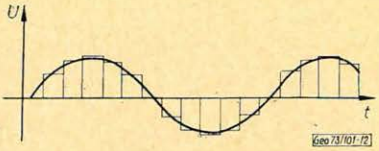


11. ábra — рис. — Abbildung

A demultiplexer feladata, hogy szétválassza ezt az időmultiplexer formában levő jelet. A csatornákra szétválasztott jelek megfelelő szűrés után a fotoregisztráló bemenetére kerülnek *(12. ábra)*.

A fotoregisztrálót csak monitor felvételek készítésére használjuk; *24+2* csatornás, ultraviola fényforrással rendelkezik, így nem kell a szokásos hívást és fixálást végezni.

Az *SDT – 2* berendezés időjel rendszere úgy van kiépítve, hogy mind rádiós, mind pedig kábeles összeköttetésnél használható.



12. ábra – puc. – Abbildung

Egy-két szót még a berendezés üzemeltetéséről. Az *SDT – 2* kísérleti példánya 1972 második felében készült el és kb. 1 hónapig dolgozott a Nyírségben. A tapasztalatok alapján télen elkészültek a szükséges módosítások. 1973 májusától a módszer ismét terepen dolgozik. Üzembiztonsága a vártnál jobb, amiben természetesen nagy szerepe van a műszer ellenőrzésének, illetve karbantartásának.

Reméljük, hogy az *SDT – 2* berendezés fordulópontot jelent az ELGI szeizmikus kutatásában és paramétereinél fogva olyan többlet-információt tud szolgáltatni, amilyent a hagyományos berendezések nem tudtak.

Befejezésként közlöm a berendezés műszaki paramétereit.

Az *SDT – 2* típ. digitális szeizmikus berendezés specifikációs adatai.

A szeizmikus csatornák száma	24
A segédcsatornák száma	6
A bitek száma	13+1
Az átviteli frekvenciatartomány	5 – 125 Hz
Szalagformátum	SEG 21 sávos
Harmonikus torzítás	0,2% (10 – 125 Hz)
Áthallás a csatornák között	70 dB
Az erősítés pontossága	
lépésről lépésre	– 0,15%
csatornák között	– 0,5%
A bemenetre számított zajfeszültség	0,2 μV_{eff}
Maximális bemenőjel	140 mV_{eff}
Az erősítőszabályozás módja	bináris erősítésszabályozás
Az erősítőszabályozás dinamikája	84 dB
Az alulvágó szűrő határfrekvenciája és meredeksége	15 Hz, 24 dB/oktáv
A felülvágó szűrő határferekvenciája és meredeksége	125 Hz (3 dB) 42 dB/okt.
A sávvágó szűrő csillapítása	40 dB (50 Hz-en)
Minimális erősítés	24 dB
Maximális erősítés	114 dB
Az időmérés pontossága	10^{-5} sec
Teljesítményfelvétel	max. 500 W (12 V akkumulátor)
A működés hőmérséklet tart.	0° – 40° C