

Ж. КАРАШ

## ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СКВАЖИН, БУРЯЩИХСЯ НА ЖЕЛЕЗНЫЕ РУДЫ

Техника измерений, применявшаяся до настоящего времени в скважинах железорудного месторождения Рудабанья для выявления рудных зон, не оказалась эффективной. Использование гамма-спектрометрии с захватом нейтронов для изучения скважин привело к решению этой проблемы, имеющей большое значение и с точки зрения горных работ.

В настоящей работе приводятся результаты применения указанного метода в лабораторных условиях и в условиях скважин.

ZS. KARAS

## GEOPHYSICAL WELL LOGGING IN IRON ORE EXPLORATORY DRILLINGS

In the area of the Rudabánya iron ore deposits the well logging techniques employed in order to detect the ore bodies have been inefficient so far. The utilization of the gamma spectrometry with neutron capture led to the solution of this problem, important in mining, too.

The paper gives a review of the results of the laboratory and downhole application of this method.

## ГЕОФИЗИКАИ ВИЗСГÁЛАТОК ВАСÉРCKУТАТÓ ФÚРÁSOKBAN

KARASNÉ TAMÁS ZSUZSA

Az érckutató fúrásokban végzett geofizikai vizsgálatok célja az ércfeldúsulás helyének kijelölése és az ércanyag minőségének meghatározása.

E feladat megoldására az ércanyag összetétele szövete, fizikai tulajdonságai ismerete alapján meg kell állapítani a legmegfelelőbb mérés-komplexust.

A tanulmányozott rudabányai vasérc teleptani kifejlődése és minősége igen változatos. Az ércanyag a középső triász dolomit hidrotermális metasomatózisának terméke. Hidrotermális utóműködés, oxidációs és redukciós hatások később jelentősen átalakították. Az egész összletet ért heves tektonikai mozgások az érces öveket, érctelepeket is számos helyen összemorzolták.

Ipari szempontból legjelentősebb a barna-vasérc és a pátvasérc.

A metasomatózis elsődleges terméke, a pátvasérc, nem meghatározott összetételű, egységes ásványkeverék. Fő tömegét a metasomatikus sziderit adja és kizárólag a vastartalom % aránya dönti el, hogy ércnek minősül-e, vagy sem. Általában 24%-os vastartalom felett nevezik ércnek. A kőzet szövete a tömött, finom szemcséstől a durva kristályosig, az üde, zavartalan fáciestől a tektonikailag morzsoltig, széles határok között változik.

Nem egységes a másik fő vasérefajta, a barna-vasérc sem. Az eredeti ércanyag, a másodlagos folyamatok: a felszíni oxidáció, a könnyen oldható részek

kilügződása, az ércanyag áthalmozódása – sokrétű hatása következtében számos változást szenvedett. A keletkezett kőzetek összetétele is igen változatos. Az érc fő tömege limonit. Itt is az átlag vastartalom dönti el, hogy az ásvány ércnek minősül-e. Barna-vasércről 34%-os vastartalom felett beszélünk. Szövege egységesen nem jellemezhető. Lehet durva kristályos, földes, likacsos, kérges, stb.

A vegyi és ásványos összetétel, valamint szövet szempontjából ennyire változatos ércanyag mélyfúrási geofizikai vizsgálata nem könnyű feladat.

A rudabányai érckutató fúrásokban végzett nagyszámú elektromos ellenállás és *PS* szelvényezés adataiból megállapítható, hogy a kőzet vastartalma és elektromos sajátságai között egyértelmű összefüggés nincs.

A tömött, finom szemcsés vagy durva kristályos szövet alacsony effektív porozitást eredményez; ennek következtében a fajlagos ellenállásérték magas. Az ilyen ércanyag elkülönítése a szintén magas fajlagos ellenállású dolomitól, nem oldható meg.

A tektonikailag morzsolt fácies, továbbá a földes, likacsos, laza szövet módot nyújt víz felvételére. Ezzel az elektrolitikus áramvezetés feltételei is létrejönnek. Az ilyen kőzet eredő fajlagos ellenállását a képződmény szövege és a folyadék fajlagos ellenállása alakítja ki.

Az érc elektromos sajátságai tehát egységesen nem jellemezhetők. A mérési görbék kiértékelésének nehézségét növeli, hogy az érces előfordulások egyetlen fúrásban is jelentősen különböznek egymástól.

A *PS* szelvények a tömött szövetű érczónáknál olyanok, mint bármely tömött képződményénél. Az ilyen ércet porozítása és átteresztőképessége csekély. Az ércanyag csaknem egyenletes pirithintése – a szulfidos vas igen magas kémiai aktivitása folytán – biztosítja az oxidációs potenciál keletkezésének feltételeit, azonban csak laza képződmény esetében. Ilyenkor az érces zónának pozitív *PS* anomáliája van.

Az elektromos mérési eljárások tehát általában nem alkalmasak a vasérc fúrásban történő kijelölésére. Némelykor felhasználhatók, de eredményességük úgyszólván fúrásról-fúrásra változik.

A fúrásban végzett természetes gamma- és  $\text{Co}^{60}$  izotóppal készített szórt gamma-sugárzás mérési eredményei az érces képződmények kijelölését nem vittek előbbre.

A természetes gamma szelvények segítségével az agyagos, homokos, meszes képződmények elkülönítése oldható meg, a vasércnek azonban nincs jellegzetes sugárzási szintje; így e módszer az ércfeldúsulási helyek kiválasztására nem alkalmas.

Az érces fúrások magmintáin végzett térfogatsúly mérések adatai szerint az érces anyag és a meddő dolomit térfogatsúly értékei között jelentős különbség van (a pátvas átlagos térfogatsúlya  $3,6 \text{ g/cm}^3$ , a dolomité  $2,6 \text{ g/cm}^3$ ). Ebben a tartományban azonban a gamma-gamma mérések érzékenysége alacsony, sűrűségbeli elkülönítésre már nem alkalmazhatók.

Az előbbieken érintett mélyfúrási geofizikai módszerek alkalmazásával a fúrás rétegsora felbontható, az ércfeldúsulás helye azonban nem jelölhető ki (1. ábra).\*

\* L. mellékletck közt,

A vasérc fúrólukban való meghatározására a befogási gamma-spektrometriát használjuk fel. Ezt az eljárást irodalmi adatok szerint (Bljumencev M., Feldman I. 1962; Löttsch W. 1964; Richard L., Caldwell et al. 1963) fúrólukban is sikeresen alkalmazták a vastartalom kimutatására;

Ez a tanulmány az eljárásnak első hazai alkalmazásáról számol be. Az eljárás alapelve röviden a következő:

A sugárforrásból kilépő neutronok a kőzetalkotó elemek atommagjaival kölcsönhatásba lépnek. A kölcsönhatás – az atommagokkal való ütközés – a neutronenergia és az elem fajtájának függvénye. Elegendő nagy neutronenergia és főként nehezebb elemek mellett a szóródás rugalmatlan. A neutron kinetikus energiájának egy része a mag gerjesztésére fordítódik. A gerjesztett mag alapállapotba tér vissza. A folyamatot gammasugárzás kíséri, amelynek energiaspektruma a mag fajtájának függvénye.

A kölcsönhatás másik formája a rugalmas ütközés. Ilyenkor a neutron mozgási iránya megváltozik, energiája pedig a szóró mag tömegétől függően csökken. A hidrogén – atommagjának a neutronéval közel azonos tömege folytán – a leghatásosabb lassító közeg.

A rugalmatlan és rugalmas ütközéseknél a neutron termikus sebességre lassul. A termikus neutronok legnagyobb valószínűséggel végbemenő folyamata a magok általi befogás, amelyet egy vagy több gammakvantum kibocsátása követ. A befogási gammasugárzás energiaeioszlása az elemek karakterisztikus tulajdonsága.

Ez a törvényszerűség nyújt lehetőséget a vasérces kőzetek vastartalmának meghatározására. Mivel a kőzetekből kapott befogási gammasugárzás az alkotó elemek befogási gammasugárzásának összegeként kezelhető, meg kell vizsgálni az ércelőfordulás elemtársulását és az egyes elemek neutron sajátságait.

A rudabányai ércelőfordulás alapvető kőzetalkotó elemei Szádeczky (1955) szerint a következők: Fe, O, C, Ca, Mg, Si, H, Ba, Al, S, Mn. A felsorolt elemekre vonatkozó termikus neutron befogási hatáskeresztmetszeteket az 1. táblázatban láthatjuk.

1. táblázat

Elem	Befogási hatáskeresztmetszete (barn.)
Fe	2,53
Mn	13,20
Ba	1,17
O	0,0002
Si	0,13
H	0,33
S	0,49
Al	0,215
C	0,0032
Ca	0,43
Mg	0,063

A táblázatból kitűnik, hogy ezek közül a Mn, Fe és Ba befogási hatáskeresztmetszete a legnagyobb.

Termikus neutronok befogásakor az alábbi magreakció játszódik le:

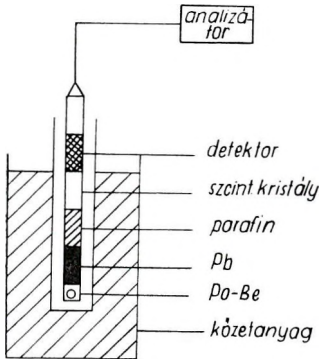


Az itt szereplő vasizotóp gyakorisága a természetes vasban 91,68%. A magreakció során keletkezett  $26\text{Fe}^{57}$  izotóp stabil. A kilépő gammasugárzás energiaeloszlása Agyjaszevics és társai (1959) szerint a következő (2. táblázat).

2. táblázat

Elem	$\gamma$ -energia MeV	% intenzitás eloszlása
Fe <sup>57</sup>	7,636	31,5
	7,275	5,3
	6,43 – 6,026	8,6
	5,92 – 5,51	9,3
	4,94 – 4,03	10,9
	3,84 – 3,15	15,8
	2,84 – 2,14	7,4
	1,8 – 0,31	32,2

Az ércelőfordulás egyes elemeire, a befogási gammasugárzás energiaeloszlását és a 100 neutron befogására kilépő gammakvantumok számát vizsgálva, megállapítható, hogy a 7 MeV feletti energiatartományban már csaknem kizárólag a vas csúcsai dominálnak. A többi elem együttes hatását 7 MeV felett becsülhetjük. Goldstein és Troubetzky (1964) szerint a 10% vastartalmú ércanyag 7 MeV feletti gammasugár intenzitásának 1/100-adát adja a kőzetben levő



2. ábra. Modellmérés elrendezése

Фиг. 2. Схема моделирования

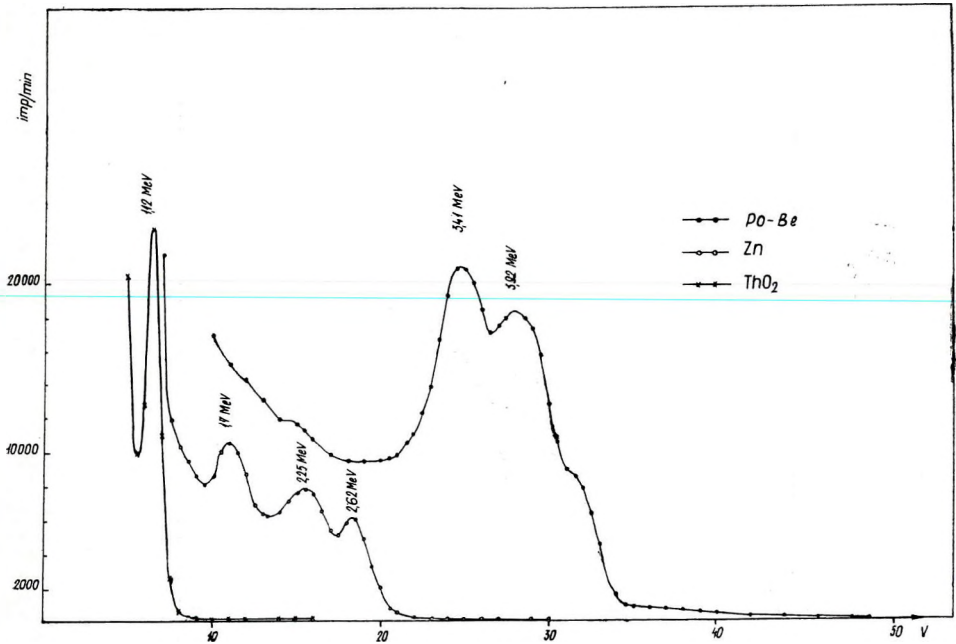
Fig. 2. Arrangement of the modelling system

17,4% Mg	14,65% Ba
1,12% Al	1,81% S
7,94% Si	4,66 · 10 <sup>-20</sup> % Mn
9,25% Ca	

A rudabányai ércminták elemzési eredményeit és az előző táblázat adatait összevetve megállapítható, hogy a spektrum 7 MeV feletti tartományában a felsorolt elemek maximális jelenléttel, együttesen sem érik el a 10%-os Fe tartalomnak megfelelő  $\gamma$  intenzitás 0,7%-át.

Az elméleti következtetések igazolására és az eljárás terepi alkalmazásának előkészítésére fúrólukviszonyokat utánzó modell-mérések történtek (2. ábra). 60 cm átmérőjű, 90 cm magas hengerbe jellegzetes rudabányai érceket helyeztünk. A henger tengelyvonalaiban 10 cm átmérőjű, alul zárt műanyagcső helyettesítette a fúrólukat. A méréseknél alkalmazott műszert

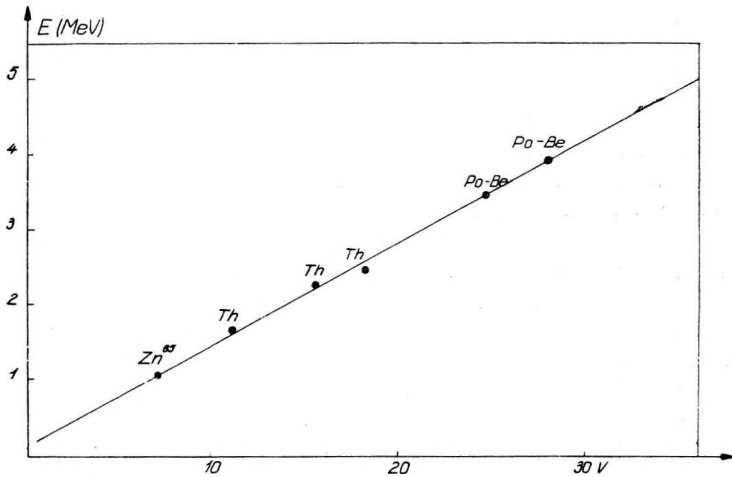
az Intézet Műszerszerkesztő Csoportja készítette. A műszer egycsatornás differenciál amplitúdóanalizátor (differenciális mérőüzem módban alkalmazva) és NaJ(Tl) 32 × 50 mm szcintillációs kristály. Sugárforrásként 3 C erősségű



3. ábra.  $Zn^{65}$ ,  $ThO_2$  és  $Po-Be$  gamma sugár spektrumai

Фиг. 3. Спектры гамма-излучения для источников  $Zn^{65}$ ,  $ThO_2$  и  $Po-Be$

Fig. 3. Gamma-ray spectra of  $Zn^{65}$ ,  $ThO_2$  and  $Po-Be$  sources

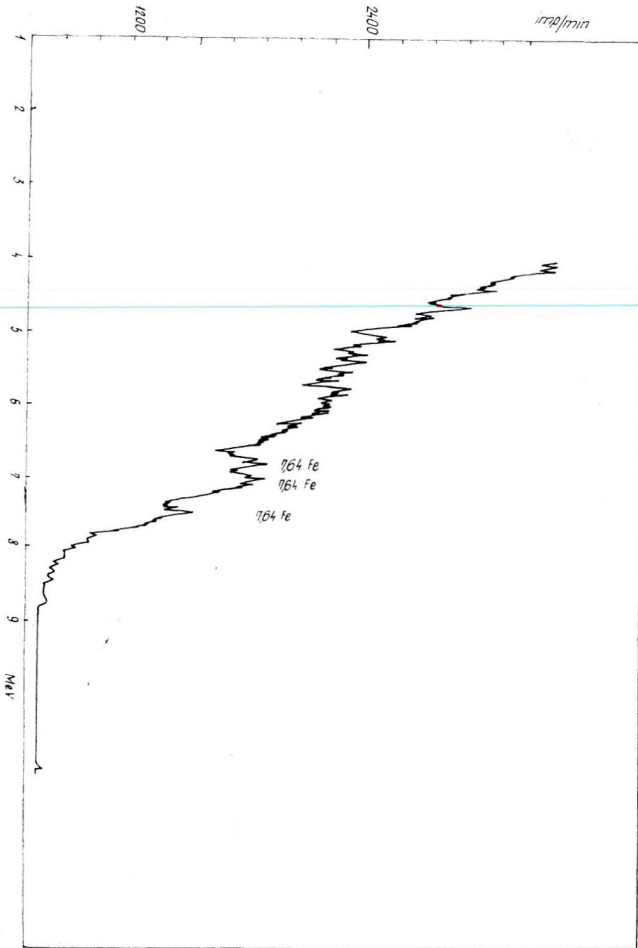


4. ábra.  $\gamma$ -energia hitelesítő görbe

Фиг. 4. Эталонная кривая энергии гамма-излучения

Fig. 4. Etalon curve of the gamma-ray energy





5. ábra. Befogási  $\gamma$ -spektrum barnavasérces modellben

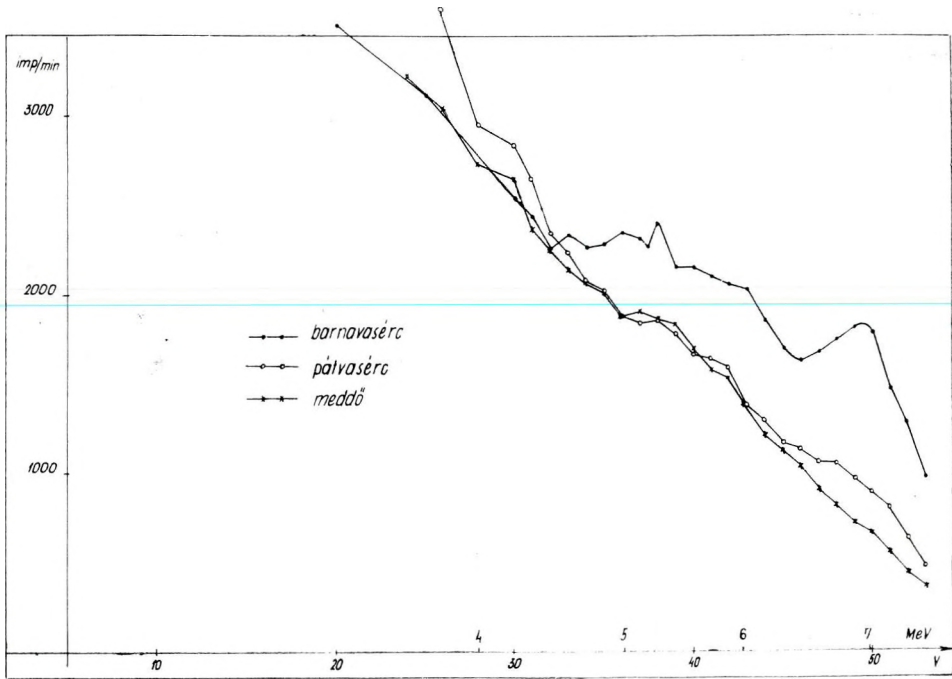
Фиг. 5. Спектр гамма-излучения захвата для модели бурого железняка

Fig. 5. Gamma-ray spectrum of neutron capture in limonite model

Po-Be neutronforrást használtunk. A forrás és a detektor között ólom és parafin árnyékolást alkalmaztunk.

A spektrum hitelesítése  $Zn^{65}$ ,  $ThO_2$  és Po-Be források gamma-vonalaira történt (3. és 4. ábra).

Barna-vasérces modellben felvett spektrum látható az 5. ábrán. A nagy energiájú – 6 MeV feletti – tartományban a spektrum legszembeszökőbb csúcsai 7,12 MeV és 6,62 MeV-nél jelentkeznek, s a vas 7,64 MeV-es befogási gamma vonalához tartozó párképződési csúcsokkal azonosíthatók, mivel 0,51 ill. 1,02 MeV-vel különböznek a fotocsúcs energiaértékétől. A spektrumon 7,64 MeV-nél jelentkező csúcs – mérés technikai megfontolásokat szem előtt tartva – feltételesen azonosítható a vas befogási gammasugárzásának fotocsúcsával.



6. ábra. Befogási  $\gamma$ -sugár spektrum érces és meddő kőzetben

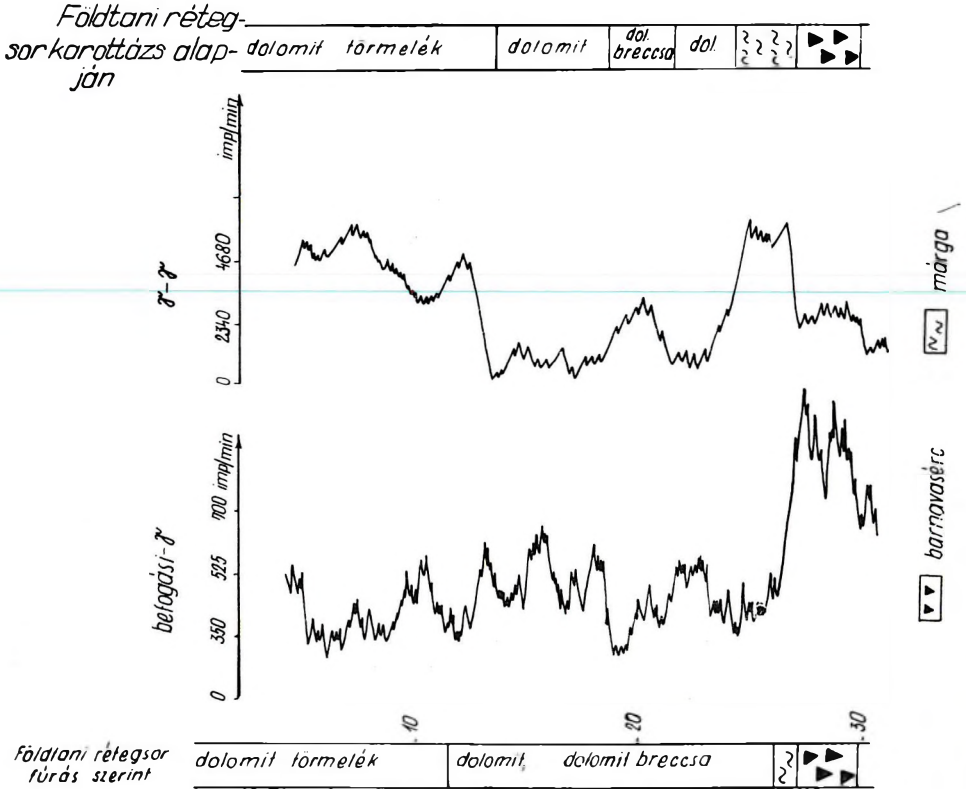
Фиг. 6. Спектр гамма-излучения захвата для рудоносных и вмещающих пород  
Fig. 6. Gamma-ray spectrum of neutron capture in ore bodies and in dead rocks

Érces és meddő anyagú modellekben végzett mérések eredményeit közli a 6. ábra. A spektrumok összehasonlításából kitűnik, hogy a vaskoncentráció különbségei a spektrum 6,5 MeV feletti tartományában jelentkeznek. A gamma-sugár intenzitás a 49,7% Fe tartalmú barna-vasércben a legnagyobb, a 31,5% Fe tartalmú pátvasnál erősen csökken, míg a kb. 6% vastartalmú meszes, homokos agyagmárgában a kérdéses helyen anomália nem mutatható ki.

Az ércanyag többi elemeihez tartozó gamma-sugár csúcsok az alacsonyabb energiák tartományában már nem különíthetők el egymástól.

Elméleti megfontolások és a modellmérések eredményei egyaránt azt mutatták, hogy a vas detektálására elegendő a befogási gamma-sugárzás 6,5 MeV feletti energiatartományának vizsgálata.

A terepi méréseket egy megfelelően átalakított szcintillációs lyukszelvényező műszerrel végeztük. A műszerhez tartozó szondát az Intézet Műszer-szerkesztő Csoportja úgy alakította át, hogy lehetőség nyílt a gamma-sugárzás meghatározott energiaértékeken felüli tartományának integráló üzemmódban való regisztrálására. A szondaköpeny, az elnyelődő hőneutronok befogási gamma-sugárzásának csökkentése végett, alumínium-ötvözetből készült. A sugárforrás és a kristály távolsága 20 cm, ezen felül ólom- és parafinárnyékolás volt. A mérések 200 m-es 3 erű karotázis kábel közbeiktatásával történtek. A rendszert a  $Zn^{65}$ -höz (1,12 MeV), a Po-Be befogási gammacsúcsához (4,43 MeV) és a vas befogási gamma legvalószínűbb csúcsához hitelesítettük. Az utóbbi

7. ábra. Vasérces fúrás befogási  $\gamma$  és  $\gamma\gamma$  szelvénye

Фиг. 7. Кривая гамма-излучения захвата и кривая ГГК в железорудной скважине

Fig. 7. Gamma-gamma-log and neutron capture gamma-ray log of an iron ore exploratory drilling

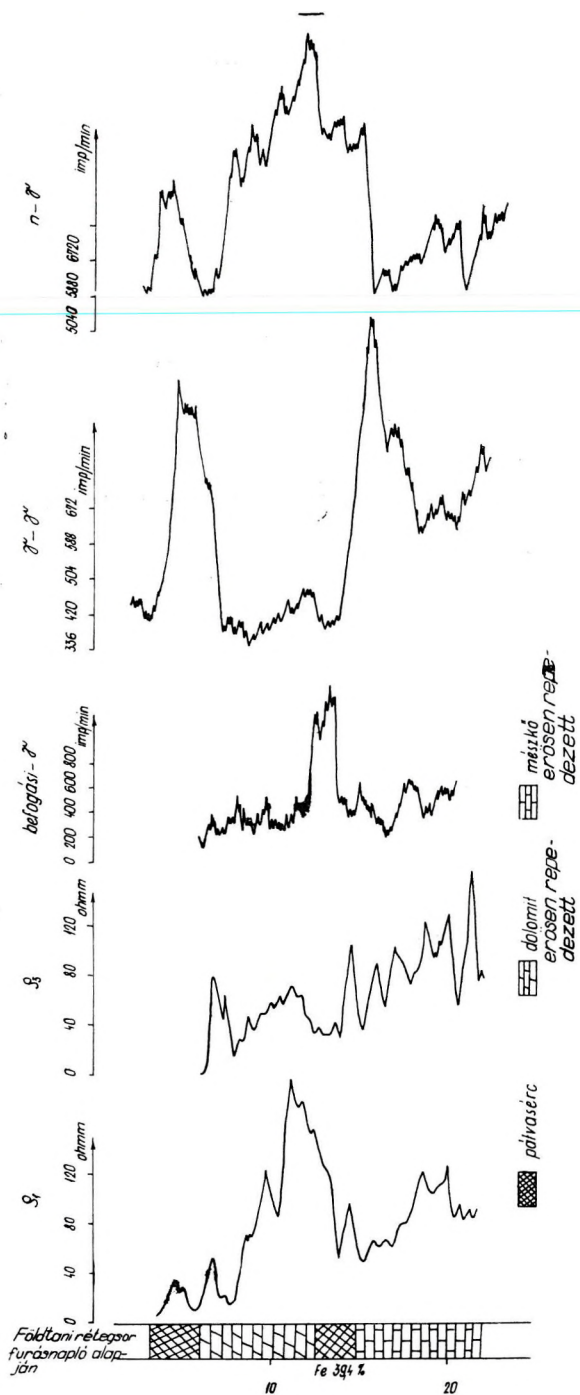
mérés parafinnal bélelt vas tömbben történt. A hitelesítést követően az energia alsó küszöbértékét 6,5 MeV-nél rögzítettük és a további vizsgálatokat ilyen beállítás mellett végeztük.

A természetes háttérsugárzás szintje az alkalmazott műszerbeállítás mellett nem mérhető, a kapott eredményeket tehát a háttérhatással nem kell korrigálni.

A 7. és 8. ábra rudabányai vasérces fúrások karottázsszelvényeit mutatja. Látható, hogy a befogási gammaszelvényen az érctelepnél határozott éles maximum jelentkezik, amelynek segítségével az érctelep helye egyértelműen bejelölhető. A mérés megismétlésével a befogási gammaszelvényen jelentkező anomália helye és szélessége változatlan maradt, amplitúdója statisztikus hibán belül ingadozott.

A modellvizsgálatok és fúrólyuk-mérések alapján megállapítható, hogy a vas feldúsulási helyeinek fúrólyukban való detektálására a hőneutron befogási gamma-spektrometria önmagában is eredményesen felhasználható.





8. ábra. Komplex karotázs szelvény vasérces fúrásban  
 Фиг. 8. Комплексный каротажный разрез для железорудной скважины  
 Fig. 8. Complex log of an iron ore exploratory drilling

Az érc vastartalmának fúrásban történő mennyiségi meghatározása a birtokunkban levő műszerrel nem oldható meg. Minthogy azonban a bányászat szempontjából ez igen nagy jelentőségű, soronkövetkező feladatunk, hogy megfelelő műszerezettséggel e problémát is megoldjuk.

## IRODALOM

*Grosev L. A. – Demidov A. N. – Lucenko V. N.*, 1959. Atlasz szpektrov gamma lucej radiációnnava zahvata teplovih nejtronov. Atomhizdat.

*Bljumencev M.*, 1962. Opredelénie szoderzsanija zseleza v rudah metodami nejtronovo karotazsa. Prikladnaja Geofizika.

*Bljumencev M. – Feldman I.*, 1962. Voproszi koliciesztvennoj ocenki szoderzsanija zseleza v ruhad po dannim radioaktivnava karotazsa. Razvedocsnaja i Promiszlovaja Geofizika, 46.

*Hertz G.*, 1960. Lehrbuch der Kernphysik.

*Lötzsch W.*, 1964. Neutronbefogásos gamma spektrometria ércminták vastartalmának meghatározására (fordítás a várnai konferencián elhangzott előadásból).

*Muench N. L. – Osoba I. S.*, 1957. Trans. AIME Vol. 210.

*Pantó G.*, Budapest 1957. Rudabánya ércbányászata.

*Pantó G.*, 1956. A rudabányai vasércvonulat földtani felépítése. Földtani Int. Évkönyve, 44. II. füzet.

*Richard L. – Caldwell et al.*, 1963. Geophysics, No. 4.

*Szádeczky-Kardos E.*, 1955. Geokémia (Akadémiai Kiadó).

Szpravocsnik geofizika 1962, Tom. 2.

*Tittman J. – Nelligan W. B.*, 1960. Journal of Petr. Techn., 12. 7.

Л. БАЯКИ — Б. КОВАЧ

### МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ НА ТРАНЗИСТОРАХ

Работ усилителя постоянного тока высокой чувствительности заключается в следующей м:

Постоянное напряжение на входе модулируется вибропреобразователем-транзистором, т.н. чопером, управляемым с генератора прямоугольных сигналов. Вибропреобразователь помещается в термостате для обеспечения независимости модулированного сигнала от влияния изменений наружной температуры.

Модулированный сигнал поступает с 5-каскадного усилителя переменного тока на демодулятор, разделяющий комбинации усиленного полезного сигнала и исходного уровня. Первый поступает на каскад оконечного усиления постоянного тока, обеспечивающий рядом с усилением напряжения определенную мощность.

Управление демодулятором осуществляется с генератора, приводящий каскад вибропреобразователя (для разделения, чувствительного к полярности).

Между выходом и входом системы применяется обратная связь RC для установки характеристик передачи.

Питание усилителя осуществляется с источника напряжением 2 раза 12 в. Колебание напряжения аккумулятора устраняется диодной схемой Зенера.

L. VAJÁKI — V. KOVÁCS

### MAGNETOTELLURISCHER VERSTÄRKER MIT TRANSISTOREN

Die gleichströmige Eingangsspannung wird durch einen Transistor-Schalter (den sogenannten Chopper) moduliert, der von einem Rechteckgenerator geleitet ist. Der Chopper-Transistor befindet sich in einem Thermostat, um das modulierte Signal von den äusseren Temperaturschwankungen unabhängig zu machen.

Das modulierte Signal kommt von einem fünfstufigen Wechselstromverstärker zu einem Demodulator, der die Kombinationen des verstärkten Nutzsignals und des Grundsignals zertrennt. Das erste kommt zu einer gleichströmigen Endverstärkerstufe, die neben der verstärkten Spannung auch eine bestimmte Leistung sichert.

Die Steuerung des Demodulators wird von dem die Chopper-Stufe antreibenden Generator ausgeführt, um eine Polarität-empfindliche Trennung zu erreichen.

Zwischen dem Aus- und Eingang des Systems wird eine RC Rückkopplung angewendet, um die Übertragungscharakteristiken einzustellen.

Der Verstärker kann von zwei Akkumulatoren von 12 V inbetriebgehalten werden. Die Spannungsschwankung wird durch eine Zener-Dioden-Schaltung eliminiert.

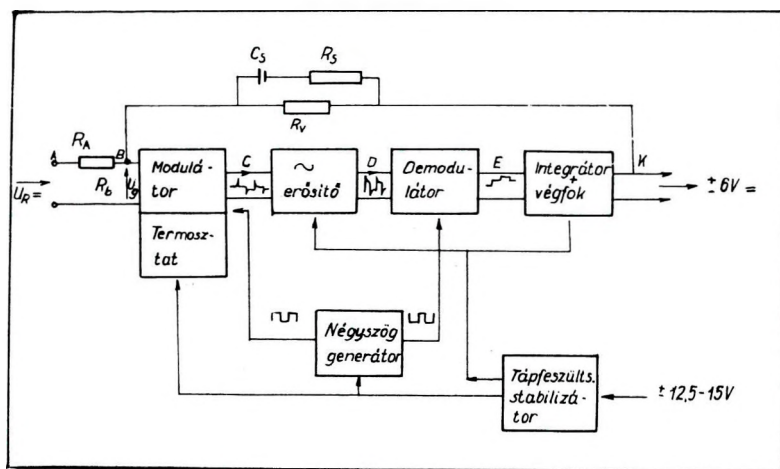
## TRANZISZTOROS MAGNETOTELLURIKUS ERŐSÍTŐ

BAJÁKI LÁSZLÓ – KOVÁCS BÉLA

## Bevezetés

A magnetotellurikus erősítő villamos dimenzionálását a mérési módszer, valamint a mért mennyiség határozza meg. A módszer lényege, hogy egy vasmagos induktivitást kell elhelyezni a fő mérési azimutoknak ( $\vec{E} - \vec{K}$ ) megfelelően, ekkor a természetes mágneses térváltozás  $\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)$  által indukált feszültség jellemző a mágneses fluxusváltozásra. A feszültség  $1 \mu\text{V} - 10\text{mV}$  nagyságrendű. Ezek az értékek megszabják az erősítő érzékenységét. Közvetlen regisztráláshoz szükséges, hogy a kimenőjel néhány volt nagyságrendű legyen és teljesítményt adjon le. Az indukciós tekerccsel kombinált berendezésnek alkalmasnak kell lennie mágneses változás, frekvencia- és energiaspektrum vizsgálatára. Ez a feltétel megszabja, hogy a rendszer különböző időállandójú visszacsatolást tartalmazzon (a frekvencia analízisre). A regisztrálási mód következtében egy további követelmény: legyen az erősítő középnullájú, valamint a 0-hoz képest negatív vagy pozitív polaritású bemenőjelre szimmetrikus. Ez földfüggetlen bemenetet tesz szükségessé.

Terepi használatban a berendezést akkumulátorról kell táplálni. A terepen jelentkező hőmérsékletváltozások működését nem befolyásolhatják. Mindezek a követelmények egy „chopper”-es kivitelű hőstabil egyenáramú erősítőt kívánnak.



1. ábra. Az erősítő elvi vázlata

Фиг. 1. Принципиальная схема усилителя

Abb. 1. Das Blockschema des Verstärkers

## Nagy érzékenységű egyenáramú erősítő

Az erősítő elvi vázлата az 1. ábrán látható. Az egyenáramú bemenőjelet a modulátor négyszögjellel alakítja, ezt a váltakozó áramú erősítő felerősíti, a modulátorral szinkron vezérelt demodulátor egyenirányítja. A végfokozaton kapjuk a megfelelő feszültségű és teljesítményű kimenő-jelet. A stabilitás fokozására visszacsatolást alkalmazunk. Az átviteli frekvenciasávot  $R_s C_s$  visszacsatoló elemek szabják meg.

A modulátort és a demodulátort négyszöggenerátor táplálja. A modulátor hőmérsékletét termosztát stabilizálja. Mivel a kapcsolat működéséhez stabil tápfeszültségre van szükség, a tápláló akkumulátor feszültségváltozásának kiküszöbölésére stabilizáló elemeket (Zener diódákat) használunk.

A visszacsatolás miatt az amplitúdó-frekvencia diagramban – elegendőszéles sávban – 6 db/oktáv meredekséget kell biztosítani (2. ábra  $\omega_1 \rightarrow \omega_2$ ).

Ezenkívül a kimenet fázisának a bemenethez képest ellentétesnek kell lennie.

Az 1. ábrából a visszacsatoló

$$A_v \cong \frac{R_b}{R_b + R_v} \quad (1)$$

A bemenő ellenállás megváltozása a visszacsatolás függvényében

$$R'_b \cong \frac{R_b \cdot R_v}{R_b \cdot A - R_v} = \frac{R_v}{A} \text{-nek adódik.} \quad (2)$$

Így az erősítés az A pont és a kimenet között

$$\frac{U_k}{U_g} = A' = A \frac{R'_b}{R'_b + R_a} = A \frac{R_v}{R_v + A R_a} \approx \frac{R_v}{R_a} \quad (3)$$

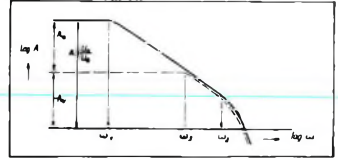
ha  $A_k = A \cdot A_v \gg 1$

Az erősítést a 2. ábrán szaggatott vonal jelöli.

A levágási frekvencia csökkentésre alkalmazott visszacsatoló kondenzátor ( $C_s$ )  $\omega_3$ -ra a következő értéket adja:

$$\omega_3 = \frac{1}{R_a C_s A} \quad (4)$$

Így azonban a fázistolás  $\omega_3$ -nál nagyobb frekvenciákon  $360^\circ$ -ra növekedne, ez az erősítőt túlvezérelné.



2. ábra. A visszacsatolt erősítés a frekvencia függvényében  
Фиг. 2. Усиление с обратной связью в зависимости от частоты

Abb. 2. Die rückgekoppelte Verstärkung in Funktion der Frequenz



Ezért  $R_s$  ellenállást kell alkalmazni, amely a visszacsatolást  $\omega_2' \omega_2$  frekvenciától kezdve állandó értékűvé teszi. Tehát az

$$\frac{R_b}{R_b + R_v'} = A_v < \frac{\omega_2'}{\omega_1} \quad (5)$$

feltételt be kell tartani. Itt

$$R_v' = \frac{R_v \cdot R_s'}{R_v + R_s'} \quad R_s' = \sqrt{R_s^2 + \frac{1}{\omega_3' C_s^2}} \quad (6)$$

Tehát  $C_s$ -t és  $R_s$ -t együttesen kell változtatni.

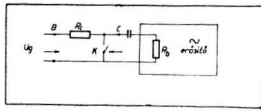
Az egyes elemek működésének részletes leírása a következő:

*Modulátor:* Kapcsolóüzemű tranzisztort alkalmazunk, párhuzamos kapcsolásban. A működés elve a következő:

$C$  pontban – a váltóáramú erősítő bemenetén

$$U_c = \frac{R_b}{R_b + R_c} U_g \frac{1}{2} \text{ eff.} \quad (7)$$

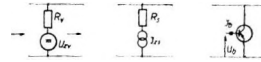
négyszög-feszültséget kapjuk, ha a  $K$  kapcsolót váltakozva zárjuk és nyitjuk. A kapcsoló tranzisztor csak megközelíti az ideális kapcsolót. Vezető állapot-



3. ábra. A modulátor (chopper) helyettesítő kapcsolása

Фиг. 3. Схема замещения модулятора (чопера)

Abb. 3. Die Ersatzschaltung des Modulators (Chopper)



4. ábra. A nyitott és zárt tranzisztor helyettesítő képe

Фиг. 4. Схема замещения открытого и замкнутого транзистора

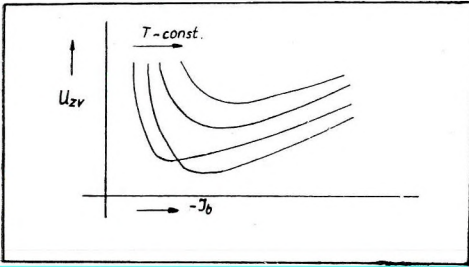
Abb. 4. Das Ersatzbild des offenen und geschlossenen Transistors

ban ellenállása nem zérus, hanem kb. 5–20 ohm, szigetelő állapotban pedig ellenállása nem végtelen, hanem kb. 20–500 kOhm (ez erősen függ a hőmérséklettől és a tranzisztor típusától). Ezenkívül vezető állapotban zavaró feszültséget, szigetelő állapotban zavaró áramot szolgáltat. A helyettesítő kép, vezető állapotban. (4. ábra).

$U_{zv}$  egyrészt az  $I_b$  bázisáramtól, másrészt a hőmérséklettől függ. (5. ábra.)  $I_{zs}$  a bázisfeszültség ( $U_b$ ) és a hőmérséklet függvénye. (6. ábra.)  $R_c$  hasonlóképpen  $T$  és  $U_b$  függvénye. (7. ábra.)

$I_{zs}$  – mint a 6. ábrából látható –  $U_b = 0$  helyen zérus. Tehát úgy szüntethető meg, ha a szigetelő állapotban nem adunk pozitív bázisfeszültséget. Ilyenkor  $R_s$  – az ideális zárt kapcsolókhöz képest nagy, – ezért  $U_{zv}$  csak kompenzálással szüntethető meg, a 8. ábrán látható megoldással.

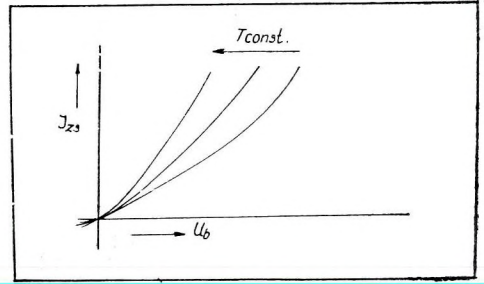
Mivel  $U_{zv}$  egyrészt a bázisáramtól, másrészt a hőmérséklettől függ, mindkettőt stabilizálni kell. Célszerű ezenkívül a kapcsoló tranzisztort inverz (kol-



5. ábra. A chopper tranzisztor áram-feszültség viszonya, változó hőmérséklet mellett

Фиг. 5. Отношение между силой и напряжением тока вибропреобразователя при изменении температуры

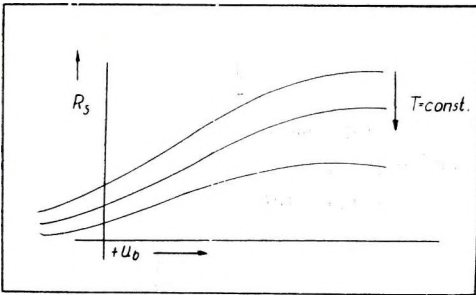
Abb. 5. Die Strom-Spannung Relation des Chopper-Transistors bei veränderlicher Temperatur



6. ábra. A chopper tranzisztor bemenő feszültség-áram viszonya, változó hőmérséklet mellett

Фиг. 6. Отношение между напряжением и силой входного тока вибропреобразователя при изменении температуры

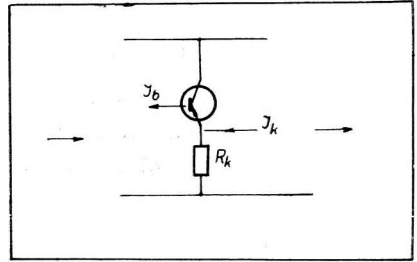
Abb. 6. Die Eingangsspannung-Strom Relation des Chopper-Transistors bei veränderlicher Temperatur



7. ábra.  $R_s$  bemenő feszültség függvénye, változó hőmérséklet mellett

Фиг. 7. Функция входного напряжения  $R_s$  при изменении температуры

Abb. 7. Die Funktion der  $R_s$  Eingangsspannung bei veränderlicher Temperatur



8. ábra. Áram-kompenzáló kapcsolása

Фиг. 8. Схема компенсации тока

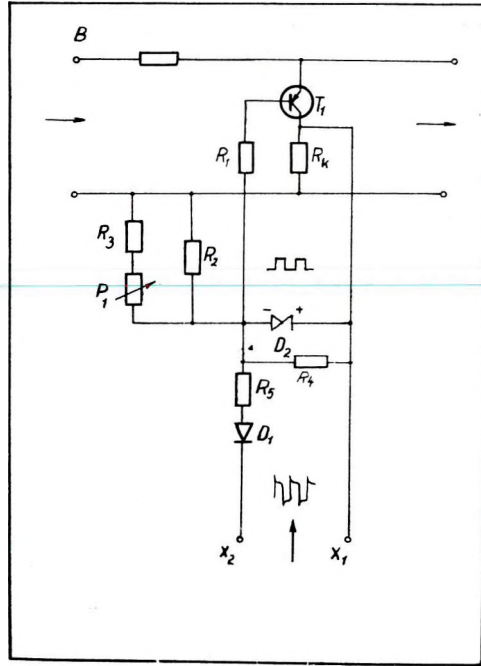
Abb. 8. Die Kompensationschaltung

lektor – emitter csere) üzemben használni, mivel ekkor  $U_{zv}$  egy nagyságrenddel kisebb,  $0,2-0,5 \mu\text{V}$  tartományban van. A hőmérséklet és a bázis-áram alkalmas megválasztásával

$$\frac{\partial U_{zv}}{\partial T} = 5-10 \mu\text{V}/\text{C}^\circ \quad (8)$$

érték érhető el.

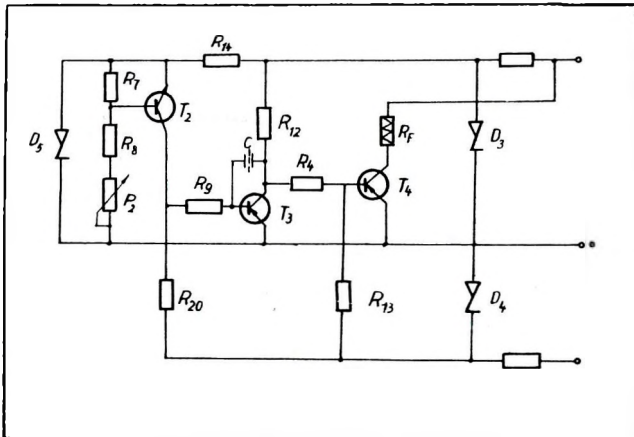
A felsorolt követelményeket kielégítő kapcsolást a 9. ábrán láthatjuk. Az  $X_1-X_2$  kapcsolókra transzformátorról négyszögfeszültséget adunk.  $D_1$  biz-



9. ábra. A chopper fokozat kapcsolása

Фиг. 9. Схема каскада вибропреобразователя

Abb. 9. Die Schaltung der Chopper-Stufe



10. ábra. A termosztát kapcsolása

Фиг. 10. Схема термостата

Abb. 10. Die Schaltung des Thermostats

tosítja, hogy a negatív félhullám kerüljön a kapcsolótranzistor áramkörébe. A  $D_2$  Zener dióda és az  $R_5$  stabilizálják a négyyszöget ( $R_4$  a  $D_1$  visszaramának söntölésére szolgál)  $R_1$ -el a bázis áramot,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $P_1$ -el az  $I_k$  kompenzáló áramot állítják be.

A kapcsolótranzisztor, ( $T_1$ ),  $R_k$ ,  $D_2$ , valamint a kapcsolótranzisztor és  $R_k$  összes forrasztásai, a forrasztás termoelektromos hatásának elkerülésére, termosztátban vannak. Maga a termosztát alumínium tömb. Furataiban vannak az említett alkatrészek és a termosztát alkatrészei is. A tömböt hőszigetelő vatta veszi körül. A termosztát automata kapcsolása a következő (10. ábra):

A hőmérsékletváltozást a  $T_2$  tranzisztor érzékeli. Mivel  $R_7$  viszonylag kicsi (a  $T_2$  bemenő ellenállásához képest),  $T_2$  feszültség táplálású tranzisztor-ként működik. Az anyagállandók:

$$\frac{\partial U_{b0}}{\partial T} = 2,2 \text{ mV/C}^\circ \quad \text{germánium}$$

$$\frac{\partial U_{b0}}{\partial T} = 3,5 \text{ mV/C}^\circ \quad \text{szilícium}$$

Így tehát  $T_2$  vezérlő feszültsége  $\frac{\partial U_{b0}}{\partial T}$  függvénye.

A termosztát fűtését  $R_F$  fűtőellenállás, valamint  $T_4$  disszipációja végzi ( $T_4$ -et a termosztát tömbre helyeztük el).

A fűtőteljesítmény:

$$P_T = I_{c4}^2 R_F + (U_T - I_{c4} R_F) I_{c4} = U_T I_{c4} \quad (10)$$

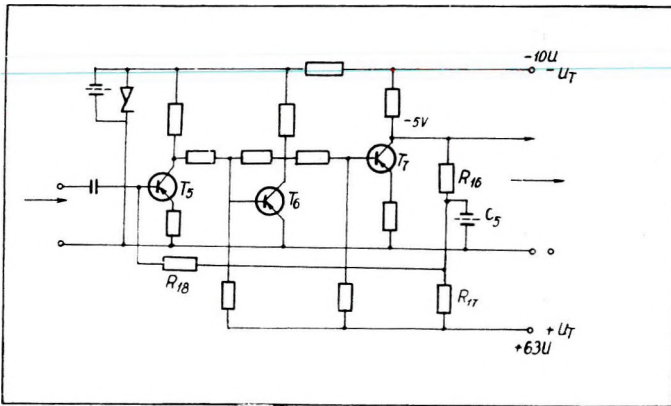
tehát  $I_{c4}$ -el arányos. Természetesen  $T_2$  is a termosztátban van. A választott megoldás előnye, hogy mivel  $T_3$  nincs a termosztátban, a külső hőmérséklet az adott kapcsolásban zavarójel kompenzálásként hat rá.  $D_3$   $D_4$  Zener diódák a tápfeszültséget stabilizálják, a fűtéshez már nincs szükség stabilizált feszültségre, ezt közvetlenül a tápláló akkumulátorra kapcsoljuk, annál is inkább, mivel a fogyasztás nagy.

### Váltakozó áramú erősítő

Két részre osztható: egy háromfokozatú és egy két fokozatú részre. Elvileg bármely váltakozó áramú erősítő megfelel, ha az alábbi követelményeket teljesíti.

Minél nagyobb erősítést kell elérni, hogy az erősítés drift-mentesen történjen. Határt szab viszont az erősítésnek, hogy a zajoknak nem szabad telítést okozni. A zaj egyrészt az erősítő (az első fokozat) zaja, másrészt a modulátor tranzisztor ( $T_1$ ) zaja. Az utóbbi a négyyszög le- és felfutó élei egy-egy 2–10  $\mu\text{sec}$  szélességű túimpulzusként jelentkeznek; amplitúdója 1–2 mV. Oka  $T_1$  bázis kollektor ill. az – inverz üzem miatt – bázis emitter kapacitása, amely minden periódusban kisül, illetve feltöltődik. Mivel ezen jel amplitú-

dója a modulálandó egyenfeszültségtől gyakorlatilag független, a négyszögben hatástalan részt eredményez. Az erősítő felső frekvencia határa miatt a túimpulzus azonos területű, de laposabb impulzussá változik. Az erősítő utolsó fokozata levágja az impulzus tetejét, ezáltal az utolsó fokozat munkapontjától függő modulációt visz a jelbe. Ezt lehetőleg kerülni kell, így az erősítést csak addig fokozhatjuk, amíg a végfokban a levágás még nem túl nagy. Te-



11. ábra. A háromfokozatú váltakozóáramú erősítő

Фиг. 11. Трехкаскадный усилитель переменного тока

Abb. 11. Dreistufige Wechselstromverstärker

hát a végfok tápfeszültségét a lehető legnagyobbra kell választani; ki kell használni a stabilizált  $\pm 10$  V-ból adódó 20 V-ot. A fentiekből következik az is, hogy a frekvenciamenetet úgy kell kialakítani, hogy a túimpulzust ne nagyon laposítsa el. 50 ~ 100 KHz-es levágási frekvenciáknál viszonylag jó eredményt kapunk, anélkül, hogy különleges nagy frekvenciás tranzistorokat kellene használni. Az alsó frekvenciahatárnak olyannak kell lennie, hogy a modulátor frekvencián a fázistolás ne legyen több néhány foknál. Fontos követelmény, hogy egy túlvezérlés miatt beálló telítés ne okozzon lényeges munkapont eltolódást a kimenő fokozatnál. A visszacsatolás miatt ugyanis ilyenkor tartós lengés léphet fel. Célszerű páratlan számú fokozatot választani, ekkor a végfok és a bemenet ellenkező fázisban van, így a tápláláson keresztül pozitív visszacsatolás nehezebben léphet fel.

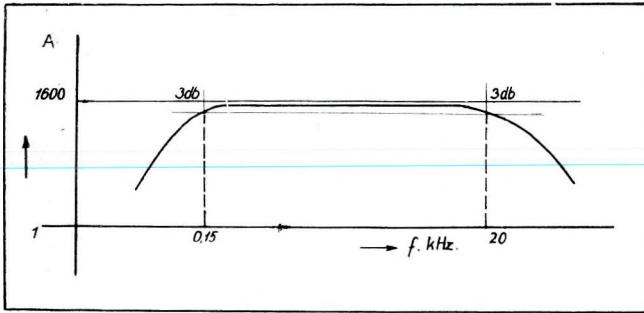
A választott megoldásnál az első fokozat egy leválasztott közvetlen csatolású erősítő (11. ábra).

A munkapont stabilizálását a kimenetről  $R_{16}$ ,  $R_{17}$  osztón keresztül  $R_{18}$  visszacsatolás biztosítja, amely  $C_5$  miatt csak egyenáramon, illetve nagyon kis frekvenciáig hatásos. Így csak egyetlen kondenzátor szükséges a stabilizáláshoz.

A kivitelezett megoldás erősítése 1600-szoros, zaja  $1,5 \mu\text{V}$  eff. váltakozó áram. Frekvenciamenetét a 12. ábrán mutatjuk be.



A negyedik – ötödik fokozat szintén közvetlen csatolású. Itt követelmény, hogy az ötödik fokozatnál kihasználjuk a rendelkezésre álló  $\pm 10$  V-ot. Fontos még a túlvezérlés munkaponteltoló hatásának csökkentése. Ez különösen a

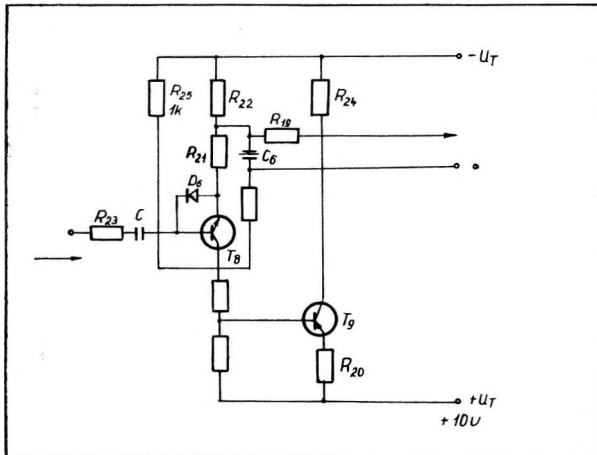


12. ábra. A váltakozóáramú erősítő frekvencia-karakteristikája

Фиг. 12. Частотная характеристика усилителя переменного тока

Abb. 12. Frequenzcharakteristik des Wechselstromverstärkers

tranzisztorok bemenetén léphet fel, emiatt a negyedik fokozat bázisát negatív túlvezérlés ellen a  $D_6$  diódával védjük meg, különben a  $C$  csatoló kondenzátor töltődik. Ugyanezért alkalmazzuk  $R_{23}$  ellenállást is. A kapcsolás a 13. ábrán látható. Az erősítés stabilizálására itt is visszacsatolásokat használunk. ( $R_{20}$ ,  $R_{21}$ ). A munkapontot  $R_{19}$ ,  $R_{22}$  és  $C_6$  stabilizálja. Az 1 KOhm-os kollektor ellenállás elegendő kimenő teljesítményt biztosít.

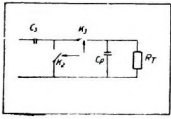


13. ábra. A váltakozóáramú erősítő végfokozata

Фиг. 13. Оконечный каскад усилителя переменного тока

Abb. 13. Wechselströmige Endverstärkerstufe

A demodulátor lényegében a négyszög generátorról meghajtott soros és párhuzamos kapcsoló-tranzisztorokból áll. Elvét a 14. ábrán láthatjuk.



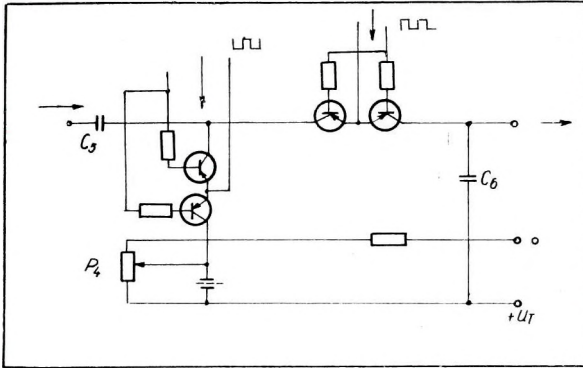
14. ábra.  
A demodulátor  
helyettesítő áramköre

Фиг. 14.  
Цепь замещения  
демодулятора  
Abb. 14.  
Ersatzstromkreis  
des Demodulators

Ha  $K_2$  vezető állapotban van,  $K_3$  szigetel, ebben a félciklusban  $C_s$  kondenzátor feltöltődik. A következő félciklusban  $K_3$  vezet és  $K_2$  szigetel. Ugyanekkor a generátorban is fázist vált és  $C_p$  (amely egy nagyságrenddel kisebb mint  $C_s$ ) feltöltődik a generátor csúcsig mért feszültségére. Ezt a feszültséget  $C_p$  a következő félciklusban tartja, feltéve ha ( $R_T$ ) az egyenáramú fokozat bemenő ellenállása elég nagy.

A gyakorlati kivitelnél  $K_2$  és  $K_3$  kapcsolótranszisztorok. Vezérlésük ugyanazon generátorról történik, mint a modulátor tranzisztoré ( $T_1$ ), természetesen ellenkező fázisban. Mivel itt a feszültség szint néhány volt nagyságrendű is lehet, kettős kapcsolótranszisztorokat használunk. Ezek egyrészt mindkét irányú feszültségnél egyformán szigetelnek, másrészt a zavarófeszültségek és áramok egymást kielégítően kompenzálják (15. ábra).

Mivel a következő fokozat egyenáramú erősítő (végfok), a kimenetnél bizonyos egyenáramú szintet kell beállítani ahhoz a szinthez képest, ahova a végfok emittora kapcsolva van. Ez a tápfeszültség pozitív ága. Beállításra  $P_4$  szolgál (úgy kell beállítani, hogy rövidrezárt bemenetnél a végfok kimenete 0-n legyen). A kétoldalas fázis-érzékeny egyenirányítás azért előnyös, mivel a kimenet csipkézettsége így nagyon kicsi.

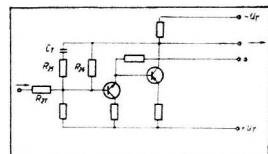


15. ábra. A demodulátor kapcsolása  
Фиг. 15. Схема включения демодулятора  
Abb. 15. Schaltung des Demodulators

A végfok feladata kettős: egyrészt megfelelő feszültség ill. teljesítmény-erősítést kell biztosítani, másrészt a visszacsatolás miatt 6dB/oktáv meredekség szükséges. Ez utóbbit Miller-integrátor kapcsolásban célszerű megol-

dani (16. ábra). A drift csökkentésére *PNP* – *NPN* szilícium kaszkád kapcsolású párt használunk. Az időállandót  $C_7$  és  $R_{27}$  adják, bár – mivel az erősítés csak kb. 10-szeres – a látszólagos kapacitásnövelő hatás ugyanilyen nagyságú.  $R_{25}$  kiegyenesíti a frekvenciamenetet, attól a frekvenciától kezdve, ahol a demodulátor kimenetének töréspontja van.

$$f = \frac{1}{2\pi R_{24} C'}; C' = \frac{C_0 \cdot C_6}{C_5 + C_6} \quad (11)$$



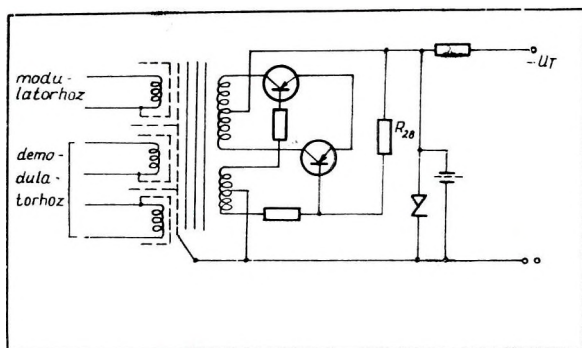
16. ábra. Az egyenáramú teljesítmény-végfokozat kapcsolása

Фиг. 16. Схема включения оконечного каскада усилителя мощности постоянного тока

Abb. 16. Schaltung der gleichströmigen Leistungsendstufe

Négyszöggenerátorként két tranzisztoros, transzformátoros multivibrátor kapcsolást használunk (17. ábra).

$R_{28}$  az üzembiztos, automatikus indítást szolgálja. Figyelemre méltó a kettős árnyékolás alkalmazása a szekunder tekercsnél. Minden tekercsnek saját (belső) árnyékolása van, amelyet a tekercs egyik végéhez kapcsolunk. Ezáltal az árnyékolás és a tekercs közötti szórt kapacitás miatt folyó áramok a tekercsen belül záródnak. Ezenkívül az egyes belső árnyékolásokat egymástól egy-egy földelt árnyékolással választjuk el. E két árnyékolás közötti kapacitáson át csak olyan áramok folyhatnak, amelyeket a földhöz képest a tekercs egyik végén jelentkező (a belső árnyékoláshoz kapcsolt) változó feszültség okoz. Ezt a véget ahhoz a ponthoz kell kapcsolni, amelynek a földhöz képest kisebb feszültsége van, a modulátornál az  $X_1$  ponthoz, a demodulátornál az emitterek összekötő pontjához.



17. ábra. A vezérlő négyszöghullám-generátor kapcsolása

Фиг. 17. Схема включения управляющего генератора прямоугольных сигналов

Abb. 17. Schaltung des Leitrechteckgenerators

A készülék működése 12,5–15 V tápfeszültségnél szabályos. Az egyes áramköri részeket az egymásrahatás elkerülése végett külön-külön stabilizáljuk Zener diódákkal és párhuzamosan kapcsolt kondenzátorokkal. Különösen lényeges a négyszögjel-generátor elválasztása, hogy a tápfeszültségen keresztül az erősítő fokozatokra zavarjel ne juthasson.

