

Korszerű

SZEIZMIKUS ERŐSÍTŐ

tervezési kérdései.

Korszerű, fejlett műszerekkel elérhető nagyobb mérési pontosság, gazdaságosabb mérési munka határozott fejlesztési igényt jelent a műszer konstruktőrök számára. Jelen cikkben összefoglaljuk azokat az alapvető elvi követelményeket, melyek kielégítését az erősítő konstrukciójának biztosítania kell, és kritikai tárgyalás alá vesszük az egyes konstrukciós megoldásokat műszaki, gazdaságossági szempontok alapján. Az erősítő tervezésénél meg kell határoznunk az erősítő érzékenységét, átviteltechnikai tulajdonságait, valamint dinamikáját.

Az egész szeizmikus csatorna érzékenységét az a kívánság szabja meg, hogy regisztrálni tudjuk az átlagos talaj nyugtalanságot, 10^{-8} cm, átlagos talaj nyugtalanságot feltételezve, $200 \mu\text{V}/\text{cel}$ geofon érzékenységgel számolva, 25 Hz-nél az erősítő elektronikus részének érzékenysége mintegy $0.5 \mu\text{V}$ legyen. Természetesen magasabb frekvenciákon a helyzet kedvezőbb. A teljes erősítő erősítése reflexiós méréseknél elegendő ha 80 dB, míg refrakciós méréseknél az erősítés egy nagyságrenddel nagyobb legyen: 100 dB. Az erősítés mértékszámainak ilyen mértékű megválasztása bizonyos erősítés tartalékkal számol, szűrő fokozatok beiktatása, AGC rendszer alkalmazása esetén a tényleges erősítés kisebb lesz.

Az erősítő átviteltechnikai tulajdonságainak meghatározásához meg kell vizsgálnunk, hogy milyen jellegű zavarokkal kell számolnunk a szeizmikus mérések során. Reflexiós mérések során a legnagyobb nehézséget a kisméretű zavar, az ún. ground roll okozza. A zavar 10-25 Hz-es sávban jelentkezik, és energiája felülmúlja a hasznos jelek energiáját. Átlagosan a jel/zaj viszonyt - 20 dB-ben határozhatjuk meg. Ez az érték csak középértéknek fogható fel, mert a tényleges jel/zaj viszony területenként változik és egyes helyeken még rosszabb is lehet. Refrakciós mérést a ground roll mérés technikai okok miatt nem zavarja. A nagyobb frekvenciákon jelentkező zavar ún. back ground noise egyenletes spektrális eloszlású fejtér zaj jellegű. Reflexiós méréseknél kevésbé zavaró hatása van mint a ground roll-nak, mert a jel/zaj viszony feltétlenül pozitív. Refrakciós méréseknél nagymértékben növelheti a mérés önköltségét. Ugyanis a back ground noise miatt nem lehet kihasználni az erősítő erősítését, és ahhoz, hogy a jel kiemelkedjen a zaj háttérből, nagyobb töltet szükséges. Az elmondottak alapján a következőképpen célszerű kialakítani az erősítő frekvencia karakterisztikáját az egyes mérési módszerek esetén.

Reflexiós mérések esetén a hasznos jelek sávja üzemi tapasztalatok szerint 35-55 Hz-ig terjed. A 30 Hz alatti sávot meredek átmeneti sávú, nagy csillapítású szűrővel vágjuk. A szűrő átteresztő és záró sávja között az üzemi csillapítás legalább 30 dB legyen. Ugyanis átlagosan - 20 dB jel/zaj viszonytal számolhatunk, így a hasznos jelek kiemeléséhez csillapítás tartalékra is szükség van. A szűrő átmeneti sávja 25-35 Hz-ig terjedjen, 25 és 35 Hz között 30 dB szintkülönbséggel csak 70-75 dB/oktáv meredekségű szűrővel lehet biztosítani. Refrakciós méréseknél a kis frekvenciák csillapítatlan átvitele a lényeges. Ezért az erősítő alsó határfrekvenciája 5-8 Hz legyen. A nagyobb frekvenciákat 20-40 Hz határfrekvenciával vág-

ni kell. Mivel a back ground noise kis energiával jelentkezik, nem szükséges az éles vágás, a gyakorlat számára jó megoldás 20-30 Hz között 20 dB csillapítás.

Az erősítőt el kell látni automatikus erősítés szabályozóval. Ugyanis a szeizmikus jelek dinamikája eléri a 75-80 dB-t, míg a fotografikus jelrögzítő berendezés dinamikája nem több mint 20 dB. Az AGC rendszer felépítésénél alapvető szempont, hogy ne okozzon időmérési hibát. Célszerű az AGC rendszert késleltethető és változtatható időállanddal megtervezni.

A megvalósítandó feltételek rövid összefoglalása után tekintsük át hogy ezek megvalósítása milyen műszaki nehézségeket jelentenek.

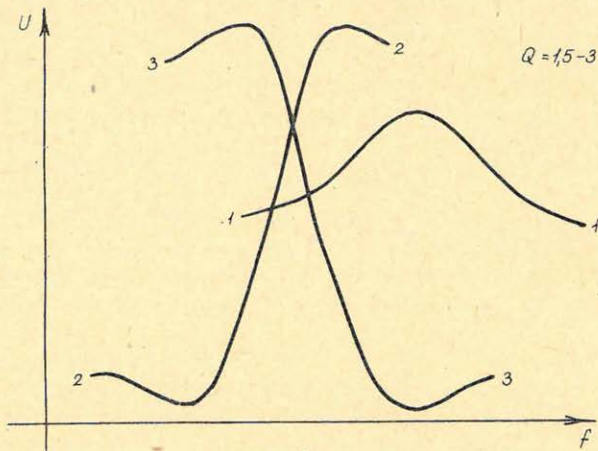
Az egész erősítő felépítését tekintve több fokozatú, RC csatolású kis frekvenciás impulzus erősítő. A tranzienst csökkentése céljából törekedni kell a minél kisebb fokozat számra, azaz egy fokozat minél többet erősítsen. Célszerű az egyes fokozatokat pentódával megépíteni. Bemenő fokozatnak trióda ajánlható kisebb zajra miatt. A szeizmikus csatorna alapzaját döntő mértékben a szeizmikus alapzaj határozza meg, de tekintve az erősítő nagy erősítését, kívánatos az elektromos alapzaj minél kisebb szinten való tartása. Az erősítő infra hangfrekvenciás erősítő, ezért alsó határ frekvenciájának megválasztásában több szempont érvényesülhet. Az eddigi konstrukciók kompromisszumos megoldásként széles sávú kombinált erősítők, azaz reflexiós és refrakciós mérésre egyaránt alkalmasak. A kompromisszum mindig magában rejti azt, hogy a különböző feltételeket nem tudjuk egészében teljesíteni. Felmerül az a gondolat, hogy célszerű lenne külön reflexiós és külön refrakciós erősítőt konstruálni, melyek maradéktalanul teljesítik az egyes mérési módszerek sajátos követelményeit. Refrakciós erősítő megépítése lényegesen egyszerűbb, és az AGC rendszer elhagyása azzal az előnnyel jár, hogy azonos csőszám használata esetén megnövekszik az erősítés. Refrakciós erősítő alsó határfrekvenciáját 25-30 Hz-nek választhatjuk, és ez azzal az előnnyel jár, hogy kis frekvenciás zavart már az erősítő vágja. 30 Hz önfrekvenciájú geofon, magasabb határfrekvencia együttesen azt eredményezhetik, hogy egy fokozatú alulvágó szűrő használata elegendő, míg széles-sávú erősítő használata esetén a kis frekvenciás zavar kellő csillapításához két alulvágó szűrőfokozat szükséges. A szűrőfokozat növeli az erősítő tranzienst. Végül soron azt mondhatjuk, hogy a szélessávú megoldásnak, a két erősítő típus kidolgozásának vannak előnyei, és gazdasági szempontok kell döntenek az egyik vagy másik megoldás javára.

A szokásos megoldásoknál az erősítő ki és bemenetének illesztésére illesztő transzformátorokat használnak. A megoldásnak jelentős hátránya az, hogy nehezen tartható a fázisidentitás a megengedhető tűréseken belül. Lehetőség van elektronikus impedancia illesztésre is. A kimenet illesztését katód followerrel végezhetjük. A fokozat feszültség erősítést ugyan nem végez, de impedancia transzformáció révén jelentős a teljesítmény erősítése. A geofon erősítőhöz való illesztését földelt rácsú erősítővel végezhetjük. Ennél a kapcsolásnál a trióda rácsát földeljük le, és a bemenő jelet a trióda katódjára adjuk. Egy erősítő katódban történő vezérlése magával hozza azt, hogy a vezérlendő áramkör ellenállása aránylag kis értékű lesz. Zaj szempontjából a földelt rácsú és földelt katódú kapcsolás egyenértékű. A cső zaját a rajta átfolyó elektron áram határozza meg, és az átfolyó áram mind a két kapcsolásnál ugyanaz.

A reflexiós erősítő frekvencia karakterisztikája 35-55 Hz-es sávban sávát-eresztő jellegű kell legyen. A sávát-eresztő jellegre való tekintettel kívánatos alul és felül át-eresztő szűrő együttes alkalmazása. Az alul át-eresztő szűrő alkalmas határfrekvenciájú fokozataival kialakíthatjuk a refrakciós erősítő szükséges frekvencia karakterisztikáját. A kis frekvenciás zavart éles vágású szűrővel kell csillapítani.

A szükséges meredek átmeneti sáv miatt csak a magasabb rendszámú derivált szűrők alkalmasak. A back ground noise vágására mind reflexiós, mind refrakciós mérés esetén egyszerű szűrő megoldások is alkalmasak.

A szűrőket a szokásos csoportosításon - alulvágó, felülvágó - kívül vizsgálhatjuk áramkörti kapcsolódásuk szerint, és így megkülönböztetünk kétpólusú, és négy-pólusú szűrőket. A következő összefoglalásban ezen elvi szempont szerint vizsgáljuk meg az egyes szűrő megoldásokat.



1. ábra

A kétpólusú szűrő legegyszerűbb megoldása a csillapított parallel rezgőkör. A műszer konstrukciók kezdeti fokán általánosan alkalmazzák. Az antirezonáns frekvencia kiemelésével ez a szűrő típus sáváteresztő jellegű. Nagy hátránya az, hogy az antirezonáns frekvencián történő gerjesztés esetén a kicsengési idő lényegesen felülmúlhatja az erősítő tranziens idejét. E hátrány kiküszöbölése érdekében kis jóságú $Q = 1.5 - 3$ jóságú köröket alkalmaznak, ez természetesen a szűrő szelektivitási tulajdonságait rontja le. A szűrő átviteli görbéjét az 1. ábrán 1 jelzésű karakterisztika mutatja be.

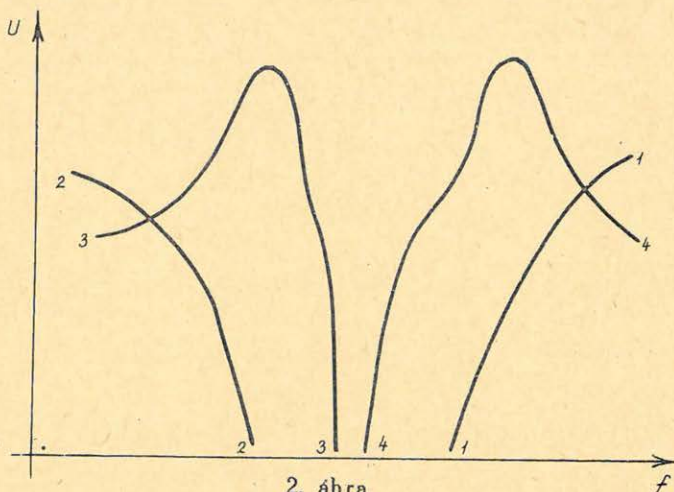
Alul és felülvágó jellegű szűrőt szintén készíthetünk két pólussal, mégpedig olyan reaktáns két pólussal, melynek a használatos frekvencia sávban két egymással ellentétes szingularitása van: rezonanciája és antirezonanciája. Természetesen Q és végtelen is szingularitás. A két szingularis frekvencia megfelelő frekvencia távolságra való méretezése biztosítja az átmeneti sáv kívánatos meredekségét. Alulvágó jellegű szűrő kapacitív kezdésű rezonáns kifejtésű kétpólussal valósítható meg. Az 1. ábra 2 jelzésű karakterisztikája mutatja be a szűrő átvitelét. Egy megvalósított megoldásnál a szűrőnek 28 Hz-nél rezonanciája és 44 Hz-nél antirezonanciája van. Az átmeneti sáv meredeksége - a legmeredekebb szakaszon mérve - eléri az 55 dB/oktáv értéket. Mint az elvi ismertetésből kitűnik, a szűrő megvalósításához egy induktivitás elegendő. Így jól gyártható gazdaságos szűrőtípus. Felülvágó jellegű szűrő is megvalósítható reaktív kétpólussal. A szűrő megvalósítása gyártási szempontból nem gazdaságos, mert két induktivitásra van szükség és a kölcsönös indukció miatt nem használható leágazásos fojtó.

A szeizmikus átvitel számára még kedvezőbbek az olyan relatív kétpólusok, melyek még több szinguláris frekvenciával rendelkeznek. Tekintve, hogy a magasabb rendszámú szűrők összetettebb kapcsolásokra vezetnek, ezért helyesebb,

ha más szűrő alap kapcsolást választunk. Ilyen lehetőség a négy pólusú szűrő.

A négy pólusú szűrő egyik lehetséges alkalmazási megoldása a frekvencia függő negatív visszacsatolás. Ez a megoldás bár biztosítja a sáváteresztő jelleget, mivel nem elég szelektív hatású, így nem fogadhatjuk el kielégítő megoldásnak. Egy gyakorlatban használatos megoldásnál a meredekség 12 dB/oktáv.

A négy pólusú LC szűrő klasszikus megoldási lehetősége π és T tag. Mindkettővel lehet mind alul, mind felül áteresztő szűrőt építeni. Az a feltétel, hogy a kapcsolást egy fojtóval kell megépíteni, alulvágónak T tagot, felülvágónak π tagot kínál. A két szűrő kapcsolás átvitelét a 2. ábra 1 és 2 jelű karakterisztikája mutatja be.



2. ábra

A kapcsolat könnyen megvalósítható, és előnye, hogy határfrekvencia változtatás esetén csak kondenzátorokat kell cserélni. Hátrányuk az átmeneti sáv kis meredeksége: 20 dB/oktáv. A négy pólusú szűrőknél is olyan megoldást kell alkalmazni, ahol a szűrőknek több szinguláris frekvenciájuk van. A 2. ábra 3 és 4 jelzésű karakterisztikája mutatja be a derivált alul és felül áteresztő szűrő átvitelét. A derivált szűrők modulusának megválasztásával lehet beállítani az átmeneti tartomány meredekségét. A kapcsolások minden szempontból megfelelőek, hátrányuk az, hogy határfrekvencia váltás esetén minden kapcsolási elemet változtatni kell. Így leágazások fojtóra van szükség. Végezetül megemlítjük, hogy az illesztő transzformátorok induktivitásait is ki lehet, sőt gazdaságos kihasználni. A bemenő transzformátor szekundér tekercsének induktivitásával párhuzamosan rezgőkört lehet készíteni, míg a kimenő transzformátor primer induktivitását L tag kapcsolásban hasznosíthatjuk.

Jelen esetben infra hangfrekvenciás szűrők megvalósításáról van szó, így még közelítőleg sem érvényes a tiszta reaktív tagok fogalma. A szükséges nagyértékű 300-400 Hy értékű légréses fojtótekercs megvalósítása a jelenleg beszerezhető vasmagokkal nagy menetszámú tekercs használatát követeli meg. Ez nagy soros veszteségi ellenállást jelent. Ezért a szűrők elméleti csillapítás görbéi a következőképpen módosulnak: az áteresztő tartományban csillapítás jelentkezik a soros ágak ohmos ellenállása, valamint a keresztágak átvezetése miatt. A rezgőkörök ellenállása rezonáns frekvencián nem zérus, antirezonáns frekvencián nem végtelen,

tehát pólus frekvenciákon véges a csillapítás. A határfrekvenciákon a csillapítás görbe meredek emelkedése elmosódik, azaz az átmeneti sáv kisebb meredekségű lesz.

A szűrőkről elmondottakat összegezve: a ground roll vágására kívánatos egy vagy két fokozatú $m=0,7$ modulusú derivált alulvágó szűrőt alkalmazni. A back ground noise vágásra megfelel az egyszerű alul áteresztő \mathcal{N} tag.

A reflexiós mérésekhez feltétlenül szükséges AGC rendszer alkalmazása. Az egyes AGC rendszereket minőségileg a szabályzási állandó jellemzi. A szabályzási állandót a következő matematikai levezetés alapján értelmezzük.

AGC rendszerrel ellátott erősítőt négypólusnak tekintve az AGC rendszer működésének lényege az, hogy $U_1(t)$ időfüggvényből előállított $U_1(t)$ amplitudó függvény úgy befolyásolja a négypólus erősítési tényezőjét, hogy az növekvő amplitudóval csökkenjen. A négypólus bemenetén jelentkező feszültség amplitudót U_1 -el, a kimeneten jelentkező feszültség amplitudót U_2 -vel, a négypólus erősítési tényezőjét A -val jelölve, a kimenő és bemenő feszültség amplitudók viszonyát a következő egyenlet fejezi ki

$$U_2 = AU_1 \quad /1/$$

A feszültség függő, s mivel U amplitudó függvény időfüggvény, így A is időfüggvény. A feszültségváltozások összefüggését a következő egyenlet fejezi ki.

$$dU_2 = AdU_1 + U_1 dA \quad /2/$$

A jelamplitudók relatív változásainak összefüggését a 3. egyenlet fejezi ki.

$$\frac{dU_2}{U_2} = \frac{dU_1}{U_1} + \frac{dA}{A} \quad /3/$$

A 3. egyenletet átrendezve és bevezetve

$$R = 1 + \frac{U_1 dA}{AdU_1} \quad /4/$$

jelölést nyerjük az 5. egyenletet:

$$\frac{dU_2}{U_2} = R \frac{dU_1}{U_1} \quad /5/$$

ahol R az AGC rendszer működésére jellemző állandó. Értelmezése a ki és bemenő jelamplitudók relatív változásainak aránya. Vizsgáljuk meg R három értékénél a négypólus dinamikai tulajdonságait.

$$R = 1$$

Ebben az esetben az 5. egyenletből követhetően a ki és bemenő jelfeszültség amplitúdók százalékos változása azonos. Ebben az esetben nincs dinamika torzítás.

$$R < 1$$

Az 5. egyenlet alapján a bemenő jel amplitúdók relatív változása nagyobb, mint a kimenő jel amplitúdó relatív változása. A dinamika komprimálásáról van szó. Ez jellemző a szeizmikus erősítőben alkalmazott AGC rendszerre. A dinamika kompresszió annál nagyobb minél kisebb R .

$$R > 1$$

Az 5. egyenlet alapján a bemenő jel amplitúdó relatív változása kisebb, mint a kimenő jel amplitúdó relatív változása. Ez a dinamika expandálását jelenti.

Tekintsük R értékét állandónak és integráljuk az 5. számú egyenletet.

$$\ln U_2 = R \ln U_1 + \text{konst} \quad /6/$$

Behelyettesítve a maximális és minimális jelamplitúdókat és a két egyenletet egymásból kivonva nyerjük:

$$\ln U_{2 \max} - \ln U_{2 \min} = R / \ln U_{1 \max} - \ln U_{1 \min} / \quad /7/$$

Felhasználva a dinamika definícióját, mely szerint egy átviteli rendszerben előforduló maximális és minimális jelamplitúdók viszonya, és átrendezve a 7 egyenletet

$$R = \ln D_2 / \ln D_1 \quad /8/$$

A 8. egyenlet segítségével különböző áramköri megoldású AGC rendszerek minőségét hasonlíthatjuk össze. Természetesen az AGC rendszert R értékén túl jellemzi az a dinamika tartomány, melyen belül az AGC rendszer szabályoz. Tehát azonos R szabályozási állandóval rendelkező AGC rendszer közül az a jobb, mely nagyobb dinamika tartományban szabályoz.

A szeizmikus erősítőben alkalmazott AGC rendszerek dinamika kompresszorok. Az áramköri megoldás tárgyalása előtt összefoglaljuk azokat az elvi követelményeket, melyeket az AGC rendszernek teljesítenie kell.

1. A szabályzás tartománya legalább 60 dB legyen.
2. R szabályzási állandó jobb mint 0,2.
3. Szabályzás késleltethető legyen.
4. Ne okozzon frekvencia torzítást.
5. Arányos dinamika torzítást okozzon.
6. Változtatni lehessen a leszabályozási időállandót.

Az 1. és 2. pontok szükségességét a rengés hullámok dinamikája, valamint a regisztrálhatóság feltétele szabja meg. Az AGC rendszernek feltétlenül késleltethető kivitelben kell elkészülnie. (A késleltetés szükségességét az a tény szabja meg,

hogy késleltetés nélkül a szabályzás már egészen kis bejövő jelek esetén megkezdődik, így esetleg a leszabályozott erősítő erősítése nem elegendő a végfokozat kivezérléséhez.) Így a késleltetés mértékét a végső kivezérlhetősége szabja meg. A nonlinearis torzítást az erősítőben kerülni kell, így nem engedhető meg, hogy az AGC rendszer nonlinearis torzítást okozzon. A gerjesztett rengéshullámok legfontosabb információja a reflexiók beérkezése. További információt jelent a beérkezett reflexió frekvenciája és amplitúdója. Amennyiben AGC rendszer használata miatt lemondunk a dinamika információról, annál inkább lényeges a frekvencia információ. Itt csatlakozik a következő szempont az arányos dinamika torzítás. Más szavakkal ez annyit jelent, hogy az AGC rendszer használata esetén is fennálljon az a követelmény, hogy nagyobb bemenő jelhez nagyobb kimenő jel tartozik. Természetesen a szabályzás következményeként a kimenő jel dinamikája nem azonos a bemenő jével. Végezetül az időállandó kérdése. Két fajta időállandót kell megkülönböztetnünk: az ún. leszabályozási vagy beállási időállandót, és a feloldási időállandót. A két fajta időállandót a következőképpen szemléltethetjük: adott pillanatban az erősítő bemenetére egy nagy impulzust adunk. Az egyes fokozatok sorban erősítik a jelet és így a szabályzó rész is vezérlést kap. Az AGC rendszer a vezérlés után csak az időállandó elteltével szabályozza le a jelet. Az impulzus megszűnte után azonban mindaddig van szabályozás, míg a feloldási időállandóank megfelelő időtartam el nem telik. Tehát a feloldási időállandó alatt beérkező újabb jel szintén csillapítva lesz, mégpedig a csillapítás mértékét az előzőleg beérkezett jel szabja meg. Az elmondottakból láthatjuk, hogy a szabályzás a jel beérkezése után kezdődik és a jel megszűnte után is tart. Tehát célszerű az időállandókat változtathatóra megoldani, mert ezzel javíthatjuk a műszer feloldó képességét.

Lényeges kérdés az AGC rendszer működtetéséhez milyen minőségű kis frekvenciásan szűrt vagy szűretlen jelet használjunk. Az automatikus szabályzó célszerű az alulvágó szűrő után levett jellel meghajtani. Ugyanis ha kis frekvenciák től nem szűrt jele működne az AGC rendszer, akkor a hasznos jelnél nagyobb intenzitással jelentkező ground roll szintjének megfelelő csillapítás értékre állna be az AGC rendszer. Ez gyakorlatilag azt jelentené, hogy a hasznos jelek nem emelkednének ki kellő mértékben a regisztrátumon. Ezért célravezetőbb a szabályzó működtetésére az alulvágó szűrő után levett jelet használni. Természetesen az intenzív szűrés igen fontos, mert ha a szűrő nem biztosítja a ground roll kellő mértékű elnyomását, a szabályzó csillapítását megint csak a ground roll szabja meg. Ezt gyakorlatban jól megfigyelhetjük a magyar szeizmikus berendezéseken.

Az AGC rendszer meghajtására szolgáló szabályzó jelet általában egy fokozatú erősítővel erősítjük. Az a kívánság, hogy az AGC rendszer frekvencia független legyen, meghatározza az erősítő minőségét, azaz nem alkalmazhatunk frekvencia függő visszacsatolást a szabályzó jel erősítőjében. A szabályzó jel egyenirányítására alkalmazhatunk mind csövet mind félvezetőt. A gyakorlatban félvezető teljes mértékben megfelel, és alkalmazása azzal az előnnyel is jár, hogy kisebb az erősítő fűtő teljesítmény szükséglete. A kompresszor nonlinearis osztójában fix elemként általában 3-5 MOhm-os ellenállást alkalmazunk. Nonlinearis elemként választhatunk minden olyan elemet, melynek feszültség - áram karakterisztikája nem egyenes. Ilyen elem sok van. Elektroncsövek közül alkalmasak dióda, trióda, félvezetők közül silicium, germánium dióda, sirutor ect. Általában bármely elem választható, mivel az osztó szimmetrikusan alkalmazza a nonlinearis elemet, így a választás a csövek felé pontosabban a kettős diódák felé fordul. A félvezető diódák nagy szórása miatt nehéz lenne egy műszerre való azonos diódát összeszedni és a műszert összeszabályozni. Felmerül a kérdés, hogy a nonlinearis osztót az erősítőben melyik fokozat

elő helyezzük, azaz vissza szabályozzuk vagy előre szabályozzuk. Az a feltétel, melyet a dinamika szabályozó általános követelményeinek megállapításánál tettünk, azaz, hogy az AGC rendszer arányos dinamika torzítást végezzen, megszabja a szabályozás irányát. Abban az esetben ha vissza szabályozást végzünk, a kimenő és bemenő feszültség karakterisztika mindig enyhén emelkedő lesz, azaz teljesül az a feltétel, hogy nagyobb bemenő jelhez nagyobb kimenő jel tartozzon. Előreszabályozás esetén elérhetjük azt, hogy az AGC rendszer karakterisztikája nem emelkedik, esetleg nagyobb bemenő jeleknél a karakterisztika csökken, azaz nagyobb bemenet-höz kisebb kimenet tartozik. Bár az utóbbi megoldásnak vannak bizonyos előnyei, történetesen az, hogy a kisebb bemenő jelek kevésbé vannak leszabályozva, mint a nagyobbak. De ez a megoldás lehetlenné tesz minden dinamikai következtetést az egyes beérkezések energiájára vonatkozólag.

A cikk keretében felsorolt konstrukciós szempontok minél tökéletesebb megvalósítása biztosítja a geofizikai követelmények kielégítését, az eredményesebb kutató munkát.

Jermendy Zoltán