

# Négyzetes detektor és frekvencia kétszerező $\mu A$ 795 szorzó áramkörrel

ETO 621.374.4.049.7-111: 631.335.5

Analóg szorzó áramkörökre az elektronikában több helyen szükség van. Megvalósításukra több fajta megoldást dolgoztak ki. Az egyik típusnál logaritmikus karakterisztikájú átalakítóra vezették a jeleket, majd az így kapott feszültségeket összeadták. Ilyen logaritmikus átalakítóként használtak elektroncsövet is, amelynek rácsáram-feszültség karakterisztikája logaritmikus. Más esetben a logaritmus függvényt törtvonalas közelítéssel valósították meg, diódás áramkörrel. Végeztek szorzást modulátorral is [1]. Később a tranzistor nonlineáris karakterisztikáját felhasználva építettek szorzó áramköröket [2, 3]. Az integrált szorzó áramkör tulajdonképpen ezeknek a tranzistoros áramköröknek az integrálásával jött létre, a tranzistoros kapcsolásnál jóval stabilabb és könnyebben kezelhető.

## Szorzó áramkör működése

Az 1. ábra a szorzó áramkör egyszerűsített kapcsolását mutatja. Írjuk fel az  $U_{ki}$  feszültség értékét. Ehhez nézzük meg a tranzistor helyettesítő képét (2. ábra). A tranzistor meredeksége  $g_m$  az emitter áram függvénye

$$g_m = \frac{q}{kT} I_e$$

ahol  $q$  az elektron töltése,  $k$  a Boltzman-féle állandó,  $T$  az abszolút hőmérséklet.

Esetünkben

$$g_m = \frac{q}{kT} (I_0 + I_2)$$

$$U_{ki} = g_m U_1 \cdot R = C(U_1 I_2 + U_1 I_0)$$

A  $2I_0$  áram megosztását az  $U_2$  feszültség vezérli,  $I_2$  arányos  $U_2$ -vel.

Az  $U_{ki}$  feszültségképlete azonban tartalmaz egy zavaró tagot, a  $C U_1 I_0$ -t. Ennek kiküszöbölésére a 3. ábrán látható kapcsolást lehet megvalósítani. A 3. ábra alapján felírhatjuk a következő összefüggéseket:

$$I_a = U_1 C (I_0 + I_2)$$

$$I_b = -U_1 C (I_0 + I_2)$$

$$I_c = -U_1 C (I_0 - I_2)$$

$$I_d = U_1 C (I_0 - I_2),$$

továbbá

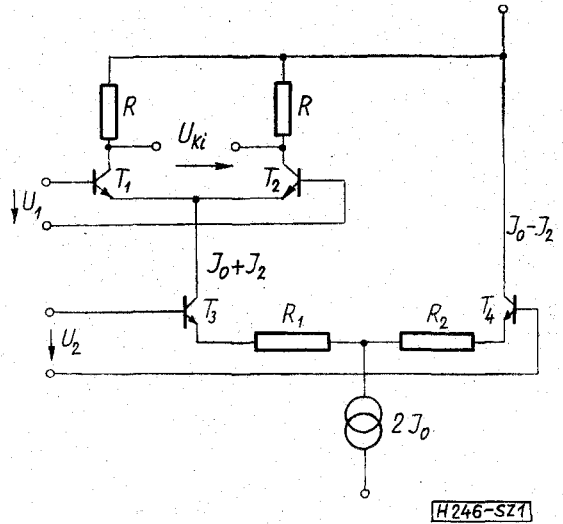
$$I_1 = I_a + I_c = U_1 C [(I_0 + I_2) - (I_0 - I_2)] = 2C U_1 I_2 = C_1 U_1 I_2$$

$$I_n = I_b + I_d = -U_1 C [(I_0 + I_2) - (I_0 - I_2)] = -2C U_1 I_2 = -C_1 U_1 I_2$$

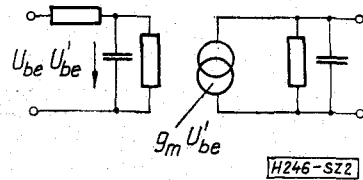
Mivel  $I_2 \sim U_2$

$$U_{ki} = C_2 U_1 \cdot U_2$$

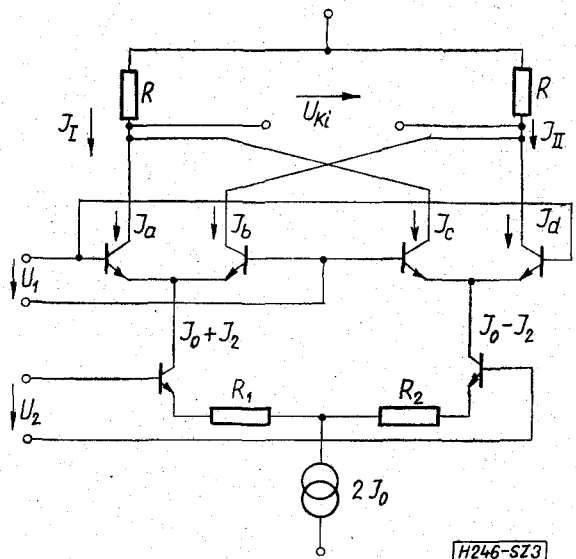
Amint látható, megvalósul a szorzás, a kimenő feszültség valóban arányos a két bemenő feszültség szorzatával.



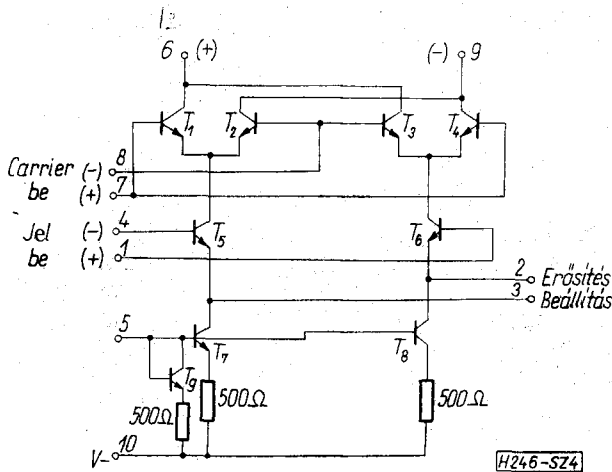
1. ábra



2. ábra



3. ábra



4. ábra

A  $2I_0$  áramgenerátort meg lehet valósítani egy tranzisztorral. A  $\mu A$  796 áramkörben két tranzisztort használnak erre a célra, az áramgenerátorok közé bekötött ellenállás bizonyos beállítási lehetőséget ad (4. ábra). Az áramkör hátránya, hogy a két bemenet különböző egyenfeszültségen van. Ezért elsősorban modulátorként, frekvencia kétszerezőként, valamint más olyan helyeken célszerű alkalmazni, ahol a bemenet egyenáramúlag leválasztható. Az előzőekben tárgyalt szorzó tulajdonképpen feszültség-áram szorzó,  $U_{ki} = C_1 U_1 I_2$ .

Egy áram-áram szorzó blokkvázlata az 5. ábrán látható, ez megfelel a  $\mu A$  795 elvi felépítésének is. Amint látható, tartalmaz két feszültség-áram átalakítót és egy szorzót. A szorzó résznek a kapcsolását a 6. ábrán láthatjuk. A dióda alkalmazásával lineáris működést kapunk széles tartományban. A dióda logaritmikus feszültség-áram karakterisztikája, kompenzálja a tranzisztor exponenciális áram-feszültség karakterisztikáját. Ennek igazolására nézzük meg a 7. ábrát. Itt egy  $I_1$  árammal meghajtott diódának kötött tranzisztor vezérel egy másik tranzisztort, amely kimenő árama  $I_2$ . Tegyük fel, hogy  $h_{FE} \approx \infty$ , vagyis nagy.

$$U_{B1} = \frac{kT}{q} \ln \frac{I_1}{I_s}$$

$$I_1 = I_s \exp \frac{qU_{B1}}{kT}$$

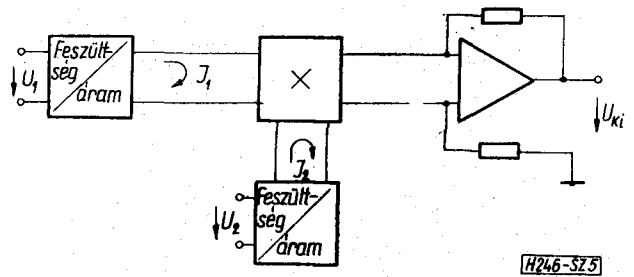
$$I_2 = I_s \exp \frac{qU_{B2}}{kT},$$

ahol  $I_s$  a telítési áram.

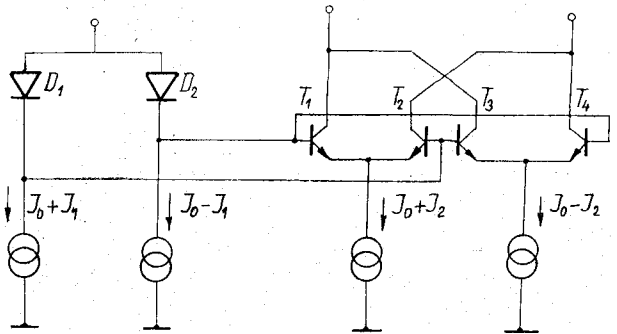
Mivel  $U_{B1} = U_{B2}$ , így  $I_1 = I_2$ , tehát valóban lineáris a működés.

A feszültség-áram átalakító úgy van megoldva, hogy a bemeneti egyenfeszültség mind a két bemenetre azonos. A föld potenciálhoz képest egyenlő nagyságú pozitív és negatív feszültséggel vezérelhető.

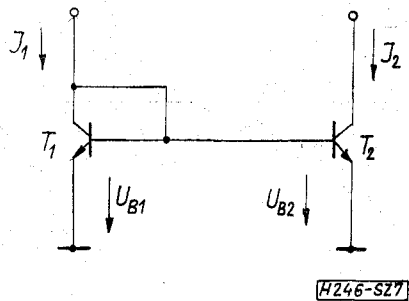
A  $\mu A$  795 áramkör teljes kapcsolása a 8. ábrán látható.



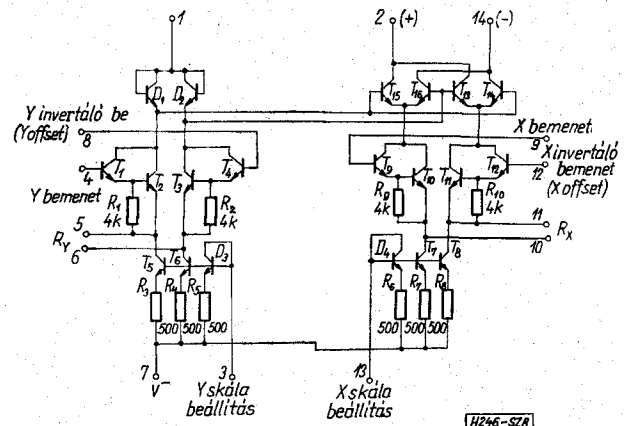
5. ábra



6. ábra



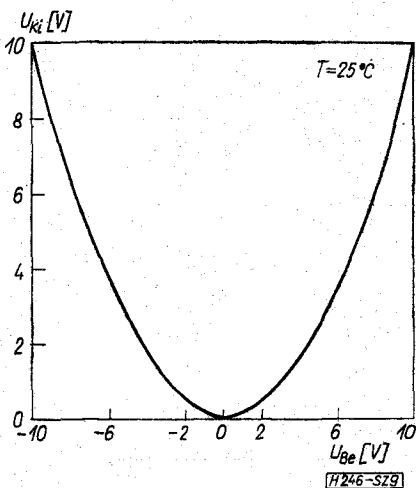
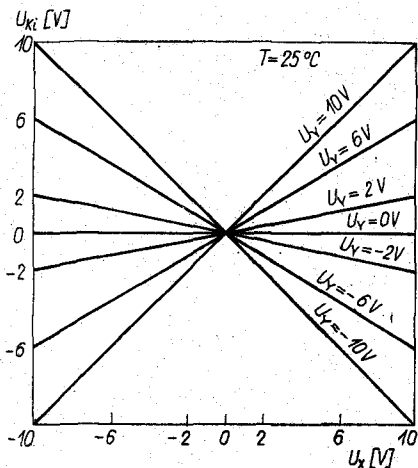
7. ábra



8. ábra

Az áramkörre megadott főbb paraméterek

Bemenőfeszültség-tartomány:	$\pm 12$ V
Bemenőimpedancia:	20 M $\Omega$
Differenciális kimenőellenállás:	300 k $\Omega$



9. ábra

Linearitás:  $-10 \leq U_1 \leq 10$   
 $-10 \leq U_2 \leq 10$  2%  
 Négyzetes hiba: 0,75%  
 Skála tényező  $k(U_{ki}=kU_1U_2)$ : 0,1  
 Frekvenciaátvitel: -3 dB 3 MHz  
 3° fázistolás 750 kHz  
 1%-os fázishiba 30 kHz

A 9. ábra jellegzetes karakterisztikákat mutat. Meg kell jegyezni, hogy a kimenőfeszültség pozitív egyenfeszültségre szuperponálódva jelenik meg. Ezért, hogy a kimenetet is föld potenciálón kapjuk, az egyenáramú szintet műveleti erősítővel el kell tolni (10. ábra).

A 11. ábra az áramkör tipikus alkalmazására mutat néhány példát.

A négyzetre emelő üzemmódot egy kicsit részletesebben vizsgáljuk meg

$$u_1 = U_1 \cos \omega t$$

$$u_{ki} = u_1^2 = U_1^2 \cos^2 \omega t = \frac{U_1^2}{2} (1 + \cos 2\omega t)$$

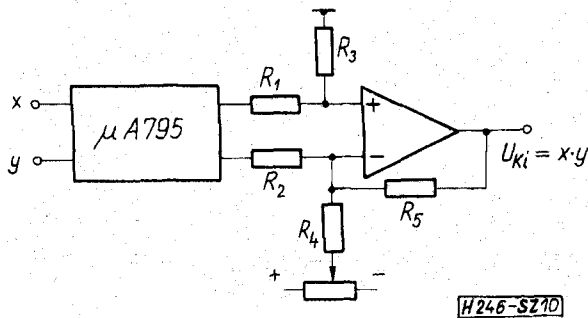
Amint látható, a kimenőfeszültség két tagot tartalmaz. Ha a  $2\omega$  frekvenciájú tagot leszűrjük négyzetes detektort kapunk. Ha csak a váltóáramú komponenst visszük tovább, úgy frekvencia kétszerezőhöz jutunk.

Megépített áramkörök

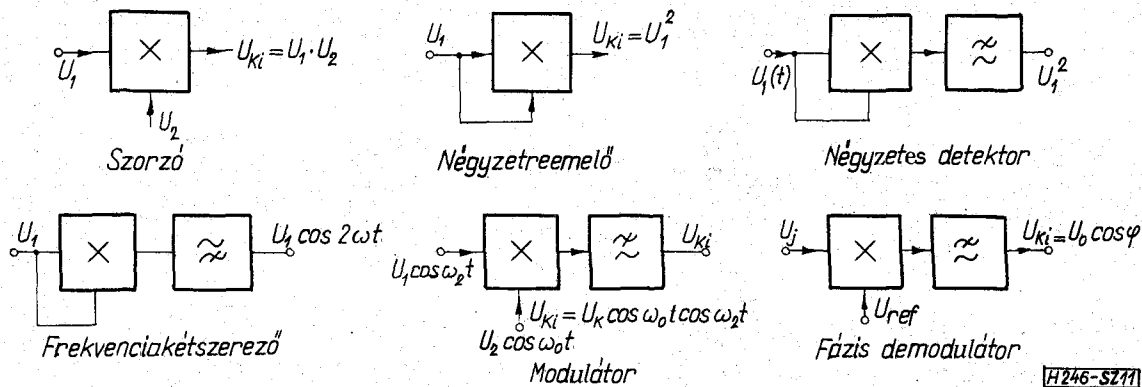
Az ORION Mikrohullámú Fejlesztési Osztályán kidolgozott kvantálási jel-zaj viszony mérőben  $\mu A$  795 áramkört használtunk négyzetes detektorként. Az áramkör teljes kapcsolása a 12. ábrán látható. A  $\mu A$  795 előtt levő SN 72741-el megvalósított erősítő

1. táblázat

$U_{be}[mV]$	$\eta[\%]$
50	3,14
71	0,45
100	2,24
141	1,8
200	0
2,82	2,2
400	1,25

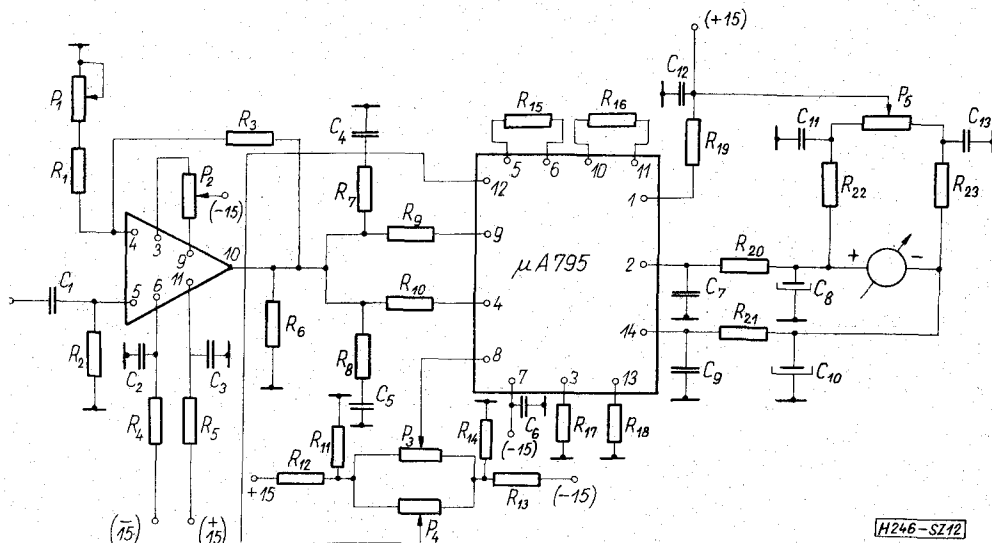


10. ábra

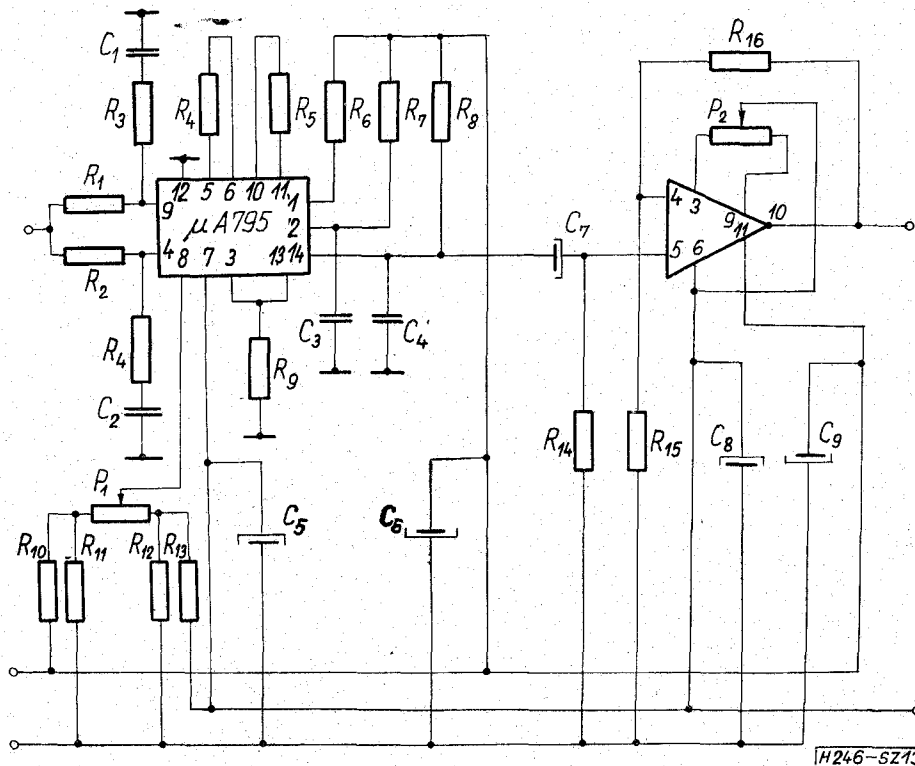


11. ábra

H246-SZ71



12. ábra



13. ábra

az előző fokozat jelének megfelelő szintre való fel-erősítését végezte. A  $P_3$ ,  $P_4$  potenciométerrel 1. és 2. bemenet offset feszültségét lehet beállítani, ennek helyes beállításától függ a pontos négyzetre emelés. A beállítás megkönnyítésére szolgál a kimenetekre elhelyezett kisértékű  $100 \Omega$  ellenállás, amelyen oszcilloszkóppal vizsgálhatjuk a teljes kimenő jelet. Úgy kell beállítani a szorzó áramkört, hogy az itt lát-ható 2 frekvenciájú jel torzításmentes legyen, ami a négyzetre emelés jóságát bizonyítja. A  $P_5$  potenco-méterrel a műszer nulláját állíthatjuk be.

A mérési eredményeket az 1. táblázat tartalmazza, ahol

$$h = \frac{U_{ki\text{mért}} - U_{ki\text{számított}}}{U_{ki\text{számított}}}$$

Az  $U_{ki}$  számított értéknél az  $U_{be} = 200 \text{ mV}$ -hoz tar-tozó  $U_{ki}$  értéket vettük alapul.

Amint a mérési eredményekből látható, a négyzet-reemelés nagyon pontos. A műszer négyzetes skálá-zása előre elkészíthető, nincs szükség a skála torzítá-sára, hogy a detektor karakterisztikának megfeleljen, ami egyébként szokásos. Megvizsgáltuk a frek-venca kétszerezés jóságát is, spektrum analízátorral mértük az egyes harmonikusok szintjét, a méréseket  $f_0 = 500 \text{ Hz}$ -en végeztük. A mérési eredmények a 2.

2. táblázat

$f$	$U_{ki}$ [dB]
$f_0$	-34,5
$2f_0$	0
$3f_0$	-41,5
$4f_0$	-46,5

táblázatban található. Az egyes szinteket a  $2f_0$  komponenshez viszonyítottuk.

A mérési eredményekből láthatóan az alap és felharmonikus tartalom alacsony. Az így megvalósított frekvenciakétszerezés esetén szűrőre nincs is szükség.

Az ORION-ban megépített frekvenciakétszerező kapcsolása a 13. ábrán látható.

A  $\mu A$  795 integrált áramkörrel építettünk fázisdemodulátort is, amely szintén jó eredményt adott.

## IRODALOM

- [1] B. J. Kogan: Analóg számológépek és alkalmazásuk ön-működő szabályzások vizsgálatára. Műszaki Könyvkiadó, 1962.
- [2] R. R. A. Morton: A simple d. c. to 10 MC/S analogue multiplier. J. SCI INSTRUM, 1966. VOL. U3
- [3] H. Brüggermann: New feedback-stabilised analogue multiplier. Electronics Letters 6th March 1969.
- [4] B. Marari, A. Bondini: Integrated balanced modulator. Communications présentées au Colloque International sur la Microelectronique Avancee Paris 1970.
- [5] Fairchild Complete Linear Book.