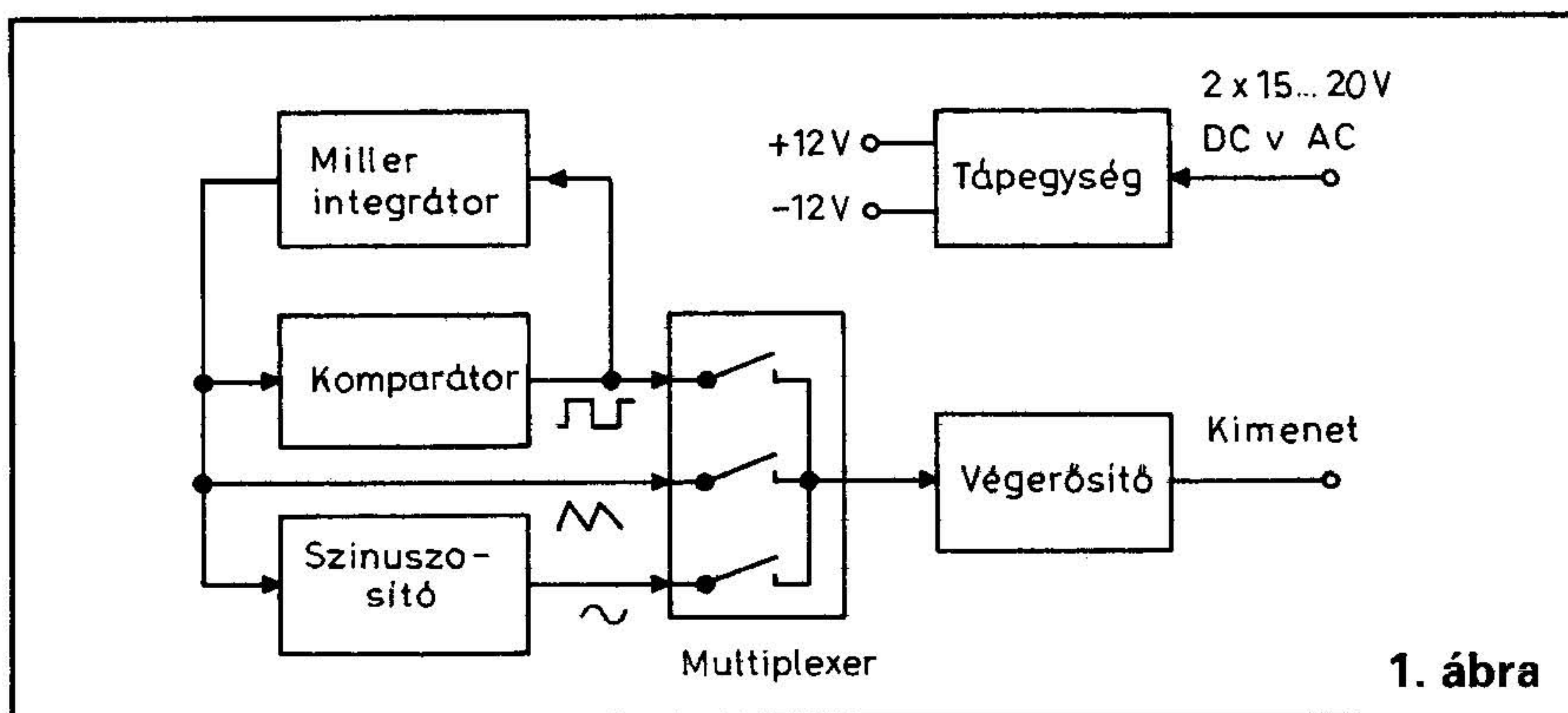
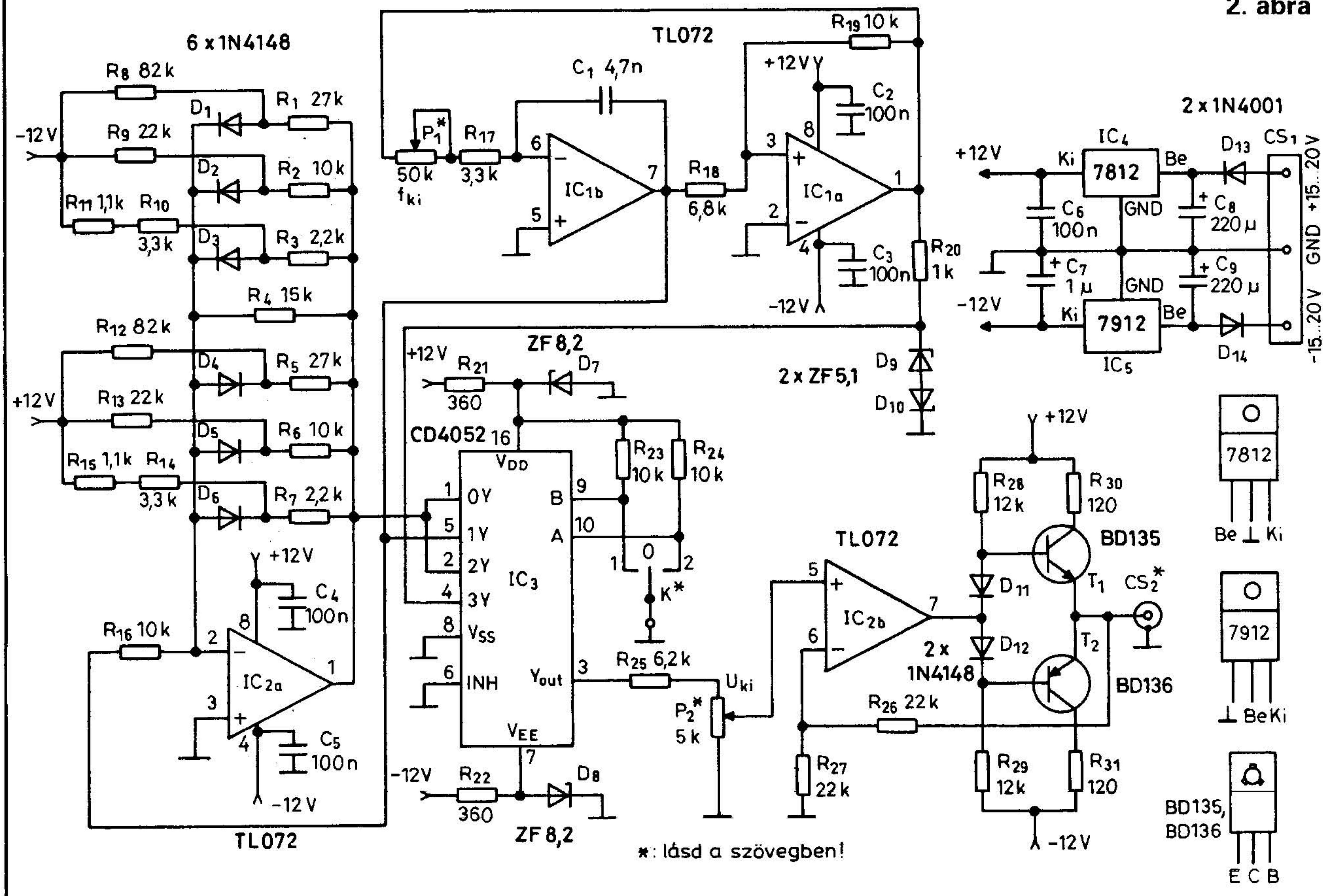




Az áramkör alkalmas hangfrekvenciás tartományban, időtengelyre szimmetrikus négyszög, háromszög, valamint szinuszos hullámformájú jelek előállítására. A kimeneti jel frekvenciája valamint amplitúdója változtatható, a hullámforma kiválasztása háromállású kapcsoló segítségével lehetséges.

Működés

Az 1. ábrán az áramkör tömbvázlatát látjuk. A négyszög-, illetve háromszögjel előállítása az ismert módon történik: a hiszterézises neminvertáló komparátort egy aktív (Miller-)integrátoron keresztül csatoljuk vissza. A szinuszelet az integrátor kimenetén megjelenő háromszögjelből jelformálással hozzuk létre. A kimenetre a vég-

erősítőn keresztül, a multiplexer segítségével kiválasztott jel kerül. A helyi tápegység a bemeneti stabilizálatlan egyen- vagy váltakozó feszültségből állítja elő az áramkör működéséhez szükséges tápfeszültségeket.

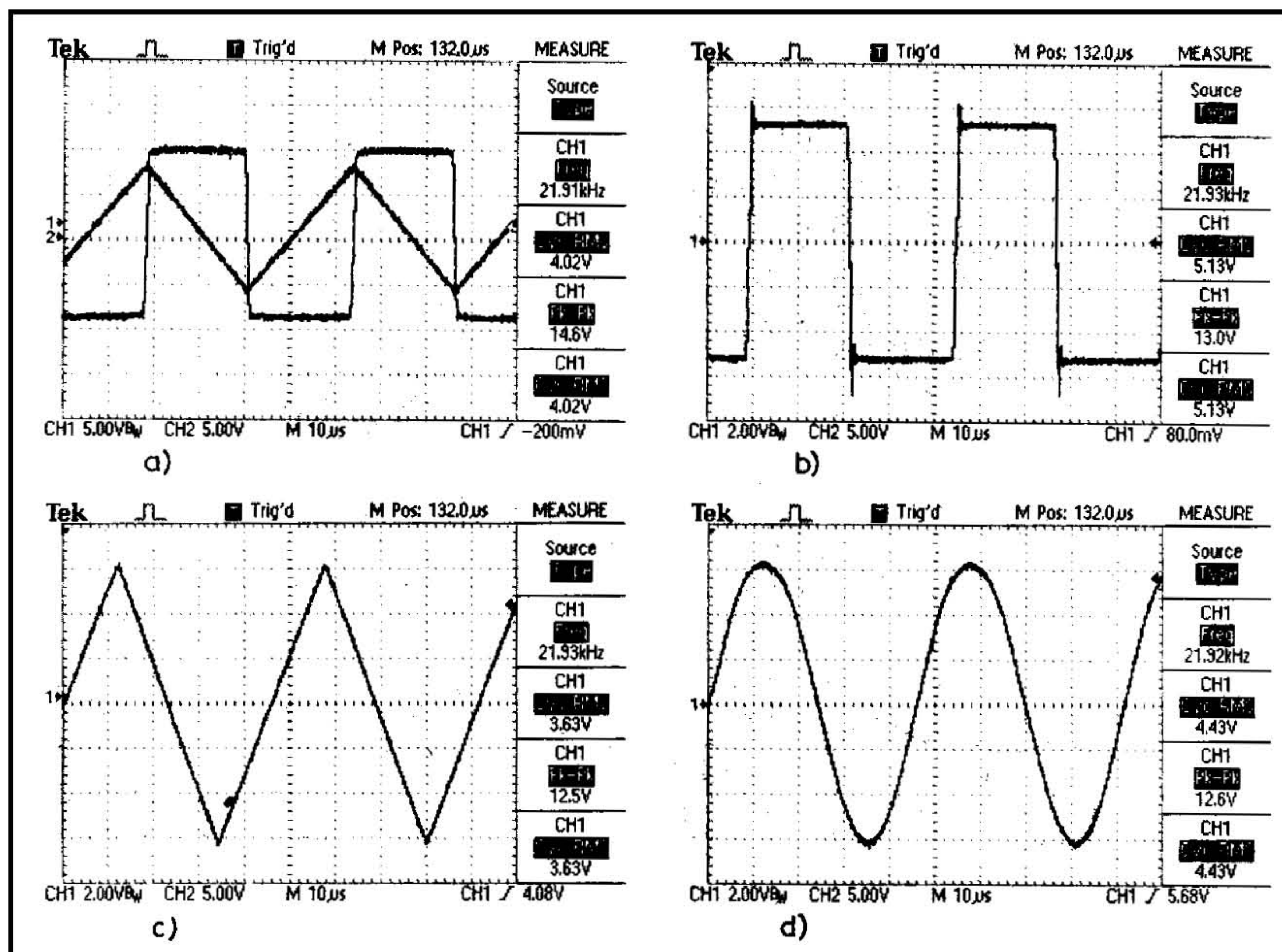
A 2. ábra kapcsolási rajzán jól elkülöníthetjük a tömbvázlaton bemutatott áramköri egységeket. A *neminvertáló hiszterézises komparátor* az IC_{1a}-n alapul, a hiszterézishurok szélességét az R₁₈, R₁₉ ellenállással állítjuk be. Az IC_{1b}-vel felépített *integrátor* integrálási időállandóját a P₁, R₁₇, C₁ áramköri elem értéke határozza meg. A P₁ a frekvencia beállítására szolgál. Az

$$f = R_{19} / (4 (R_{P1} + R_{17}) R_{18} C_1)$$

képletből adódóan ez 1,5...22 kHz lehet. Nagyobb jelváltozási sebességű

műveleti erősítőt alkalmazva a felső határfrekvencia növelhető. A 3.a ábrán a komparátor kimeneti négyszögjelét, valamint a bemenetén megjelenő háromszögjel oszcilloszkóp-ábráját látjuk. Egy periódust elemezve: pozitív bemeneti feszültség esetén az integrátor kimenetén egyenletesen csökkenő feszültség jelenik meg mindaddig, ami el nem éri a komparátor billenési szintjét. Ekkor a komparátor ellenkező állapotot vesz fel, az integrátor ezt a feszültséget integrálja, azaz egyenletesen növekvő feszültség jelenik meg a kimenetén, ami ellenkező állapotba billenti a komparátort. A négyszögjel amplitúdóhatárolását Z-diódás szintmegfogó áramkör (R₂₀, D₉, D₁₀) végzi. Az IC_{2a}-val felépített *szinuszos jelformáló* áramkör méretezését a cikk 2. részében részletesen ismertetjük. Ennek kimenetén a bemeneti háromszögjelből, a szinuszos átviteli függvény törtvonalas közelítésével előállított, szinuszos jel jelenik meg.

A három különböző hullámformájú jel egy négycsatornás *analóg multiplexerre* kerül (CD4052). A szükséges, de a határértéket meg nem haladó tápfeszültség előállítása Z-diódás határolással történik. A három címkombinációt az A, B címbemeneten a K háromállású kapcsolóval állítjuk be; ennek állásától függően fog a három bemeneti jel egyike megjelenni a multiplexer Y_{out} kime-



3. ábra

netén. Ez egy szabályozható feszültségosztón keresztül jut a *végerősítő* bemenetére. A P_2 segítségével a kimeneti jel csúcsértéke 0...6 V között változtatható. A BD135, BD136 komplementer-párral felépített végerősítő A-osztályú munkapontját a D_{11} , D_{12} diódával állítjuk be. A fokozat kétszeres erősítéssel rendelkezik. Kimeneti rövidzár esetén az áramkorlátozást a kollektorköri ellenállások végzik. A kimeneti jelalakok oszcilloszkópos méréseinek eredményeit a 3.b...d ábra mutatja.

Megépítés, működtetés

Az egyoldalon fóliázott panel nyomtatott áramköri rajzát a 4. ábrán, a beültetési rajzot az 5. ábrán láthatjuk. A versenyen elkészült példányokba az átkötések helyére „nulla ohmos” ellenállások kerültek. A CS_1 tápfeszültség-csatlakozó hárompólusú nyákba ültethető sorkapocs. A P_1 , P_2 nyákba ültethető potenciométer, a K háromállású karos kapcsoló, valamint a CS_2 BNC-csatlakozó a nyákhoz lemezcsavarok segítségével rögzített szerelvénytartó lemezen nyert elhelyezést. Az utóbbi két alkatrész bekötése merev, szigetelt huzallal történik. Tekintve, hogy ezen szerelvénytartó lemezen elhelyezett alkatrészek ára az összköltség tekintetében számottevő, ezért lehetőség van egy olcsóbb változat elkészítésére is. Ekkor a P_1 , P_2 helyére álló trimmerpotenciometereket, a K helyett pedig két-áramkörös DIP-kapcsolót ültetünk be, erre a nyomtatás kialakítása lehetőséget nyújt. Amennyiben bedobozoljuk az

áramkört, a nyáklemez 4 db bepattintható műanyag távtartó segítségével rögzíthető; transzformátor beépítésével hálózatról működtethető a készülék. *Ebben az esetben azonban felhívjuk a figyelmet az érintésvédelmi szabályok fokozott betartására!* Külső tápegységről történő üzemeltetés esetén a rajzon megjelölt polaritású és nagyságú egyenfeszültséget kapcsolunk a tápfeszültség-bemenetekre. Helytelen polaritású csatlakoztatás esetén a D_{13} , D_{14} dióda nyújt védelmet. A bemenetre kapcsolható feszültség felső határát az elkő névleges feszültsége, a stabilizátor IC-k megengedhető legnagyobb bemeneti feszültsége (általában 40 V), valamint a megengedhető maximális réteghőmérséklete limitálja. 15...20 V tápfeszültség-tartomány esetén a stabilizátor IC-k hűtést nem igényelnek. Az üzemi áramfelvétel csatornánként kisebb, mint 35 mA, kimeneti rövidzár esetén kisebb, mint 100 mA, 15 V-os bemenőfeszültség esetén.

Törtvonalas átviteli karakterisztikájú erősítő méretezése

A következőkben műveleti erősítő alapkapsolásból származtatjuk a törtvonalas átviteli karakterisztikával rendelkező invertáló erősítőt, majd tárgyaljuk a méretezését.

A 6.a ábrán egy műveleti erősítővel felépített invertáló alapkapsolást, valamint átviteli karakterisztikáját látjuk A_1 , illetve A_2 erősítés esetén, ahol $A_2 > A_1$ (a telítési tartomány nincs áb-

rázolva). Invertáló erősítőről lévén szó, az origón áthaladó, negatív iránytangensű egyenes a koordináta-rendszer II. és IV. síknegyedében foglal helyet; az erősítés beállítása az R_1 és az R_2 ellenállással történik.

Amennyiben a kapcsolást kiegészítjük a K_1 és a K_2 kapcsolóval, valamint az R_3 és az R_4 ellenállással a 6.b ábrán látható módon, akkor az átviteli karakterisztika is megváltozik. A kapcsolók nyitott állása esetén az erősítése

$$A_1 = U_{ki}/U_{be} = -R_2/R_1.$$

Ha a K_1 -et zárjuk, amikor U_{be} eléri a $+U_{be1}$ értéket, miközben a K_2 nyitott állapotban marad, akkor az erősítés csökken az

$$A_2 = -(R_2 \times R_3)/R_1$$

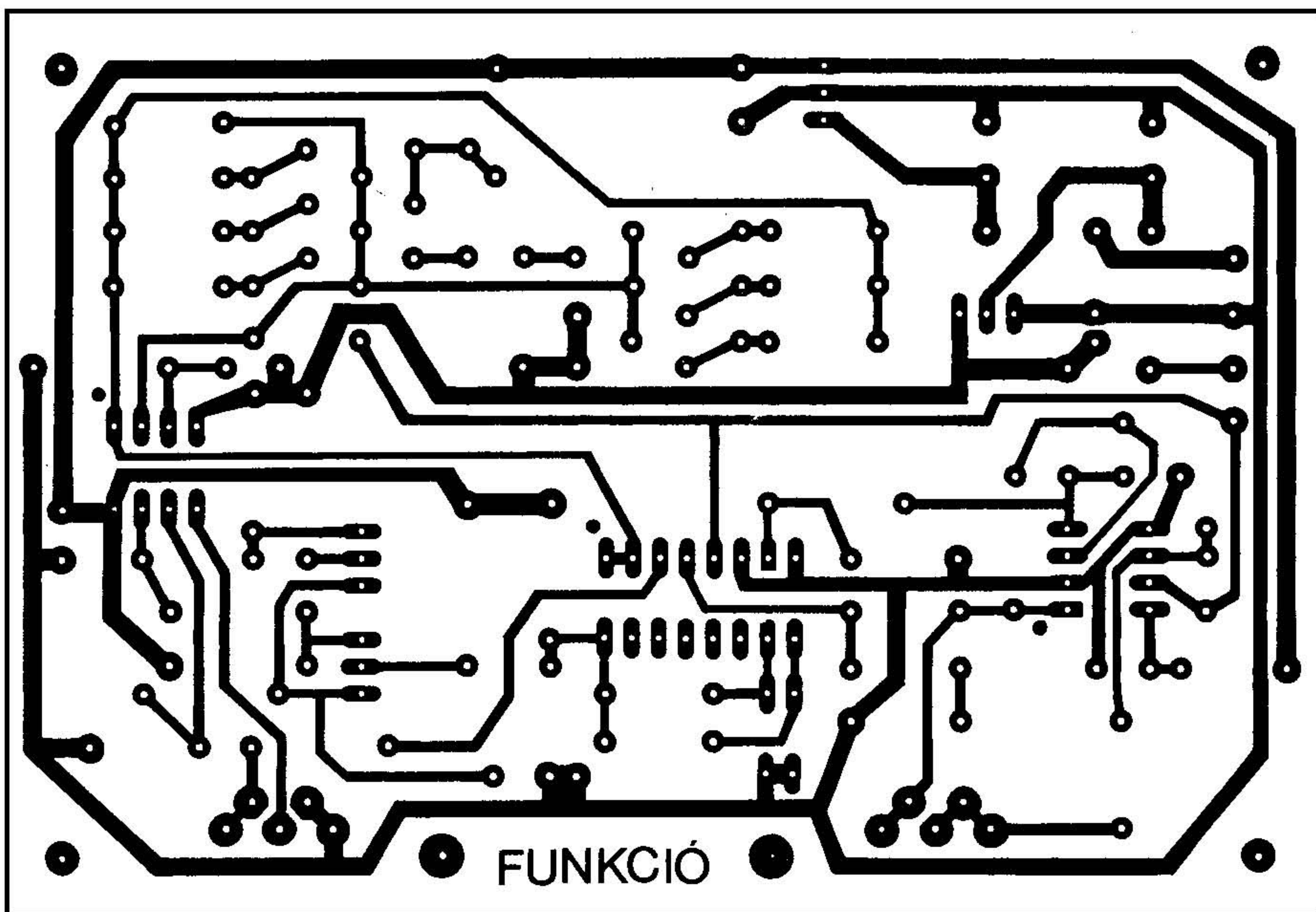
képletnek megfelelően. Ha a K_2 -t zárjuk $-U_{be1}$ feszültségnél – a K_1 ekkor nyitott állapotban van – akkor

$$A_3 = -(R_2 \times R_4)/R_1$$

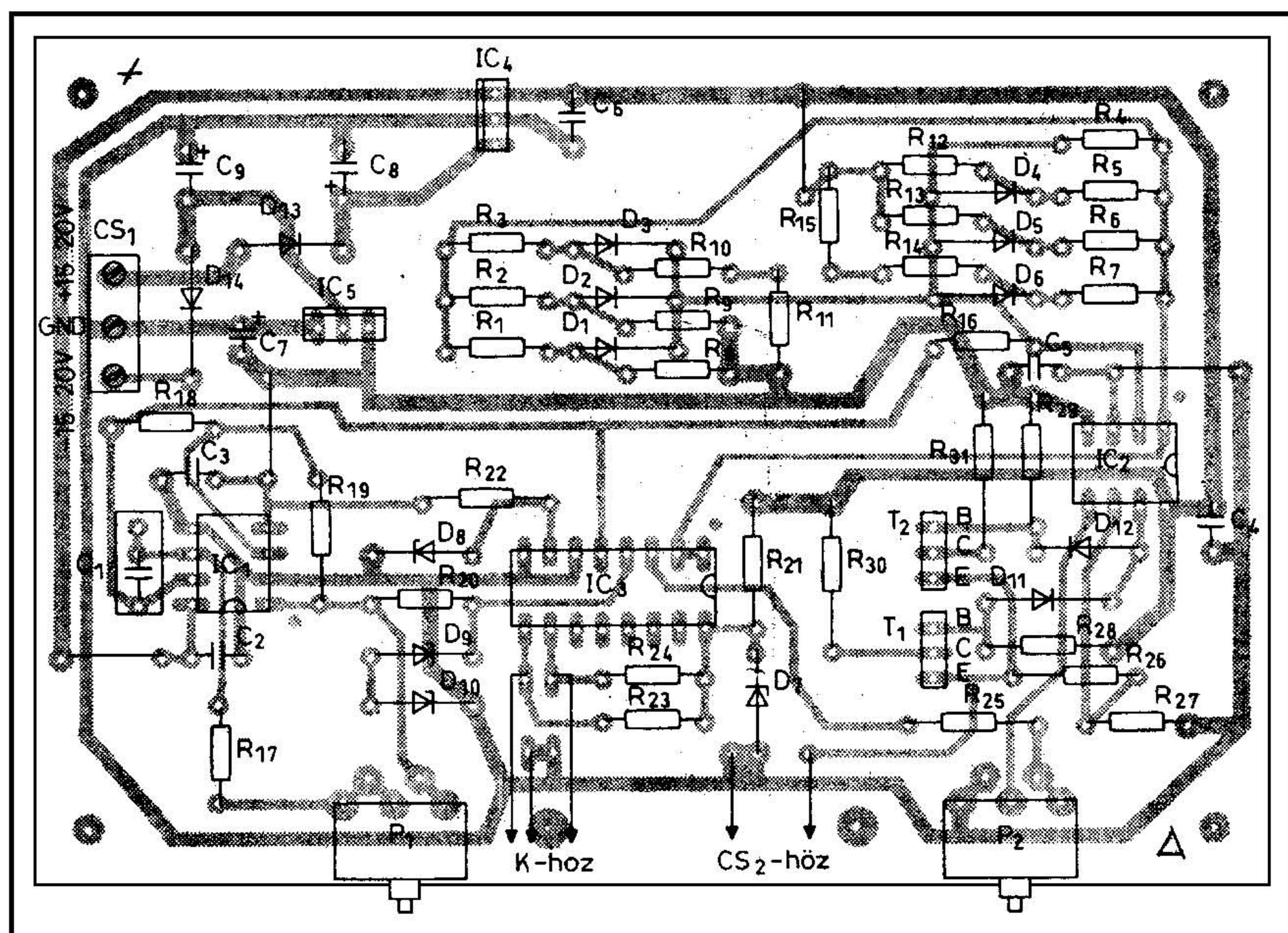
lesz az erősítés. Amennyiben fennáll az $R_3 = R_4$ egyenlőség, akkor $A_2 = A_3$, azaz a meredekségük azonos lesz. Ezáltal olyan átviteli karakterisztikához jutottunk, ahol a kimeneti feszültség és a bemeneti feszültség között az egyes szakaszokban lineáris, de a teljes bemeneti tartományra vonatkoztatva nemlineáris függvénykapcsolat van. A hibát – amely a törtvonalas közelítésű karakterisztika és a realizálandó ideális függvénygörbe közötti eltérés – csökkenthetjük a szakaszok, ezáltal a töréspontok számának növelésével.

A kapcsolókat olyan elektronikus kapcsolókkal helyettesítve, amelyek adott bemeneti feszültségnél bekapcsolnak, az előzővel azonos karakterisztikával rendelkező áramkört kapunk. Ilyen kapcsolást látunk a 6.c ábrán. A kapcsolók helyére diódák kerültek és az áramkör kiegészült az R_5 és az R_6 ellenállással, valamint a $+U_{ref}$ és a $-U_{ref}$ referenciafeszültséget biztosító részekkel. Alapállapotban ($U_{ki} = 0$) mindkét dióda záróirányban van előfeszítve, ekkor $A_1 = -R_2/R_1$. Amikor a D_1 (D_2) nyitóirányú előfeszítést kap; az R_2 -vel párhuzamosan kapcsolódik az R_3 (R_4), ezáltal az erősítés csökken. Kérdés, hogy ez milyen bemeneti, illetve kimeneti feszültségnél következik be?

A 6.d ábrán kiemeltük az R_5 , R_3 valamint a D_1 elemekből felépített áramkört. A dióda katódja virtuális földponton, anódja a feszültségosztó ki-



4. ábra



5. ábra

menetén van; az osztó egyik pontjára a $-U_{ref}$, a másik pontjára az U_{ki} kerül. Amennyiben a törésponti feszültség, valamint az ellenállások értéke sokkal nagyobb, mint a dióda nyitófeszültsége, illetve a dióda nyitóirányú ellenállása, akkor a továbbiakban $U_D = 0$, $R_D = 0$ értékekkel számolhatunk. Tehát $U_A = 0$ esetén a dióda kinyit, ekkor az R_3 párhuzamosan kapcsolódik az R_2 -vel; így az erősítés

$$A_2 = -(R_2 \times R_3) / R_1$$

lesz. A töréspont helyét a következőképpen határozhatjuk meg. Az osztó

kimeneti feszültsége a szuperpozíció tétele alapján:

$$U_A = -U_{ref} R_3 / (R_3 + R_5) + U_{ki} R_5 / (R_3 + R_5).$$

Mivel az R_3 az erősítés beállítására szolgál, a töréspont helyét az R_5 értékének megválasztásával állíthatjuk be. A töréspont U_{ki} azon értékénél lesz, ahol $U_A = 0$. A képletet R_5 -re rendezve:

$$R_5 = R_3 (-U_{ref} / -U_{ki}).$$

Könnyen belátható, hogy $R_3 = R_4$, $R_5 = R_6$, valamint $|U_{ref}| = |-U_{ref}|$ esetén mindkét síknegyedben azonos, az ori-

góra szimmetrikus karakterisztikát kapunk.

Szinuszos átviteli karakterisztika törtvonalas közelítése

A következőkben egy szinuszos átviteli karakterisztikát törtvonalas karakterisztikával közelítő áramkör méretezését tárgyaljuk, az előzőekben közölt alapokra építve.

A 7. ábra a törtvonalas közelítéssel realizálandó szinuszfüggvényt mutatja. A fokban is skálázott vízszintes tengelyen a bemeneti feszültséget (csúcsértéke 6 V), a függőleges tengelyen a kimeneti feszültséget ábrázoltuk. Ennek alapján szerkesztettük meg a törtvonalas közelítésű átviteli karakterisztikát, amelynek II. síknegyedbeli menetét a 8. ábra mutatja, a töréspontokhoz tartozó feszültségek bejelölésével.

Ennek az átviteli karakterisztikának a realizálására alkalmas a 9. ábrán látható kapcsolás, amelyet az alábbiakban analizálunk.

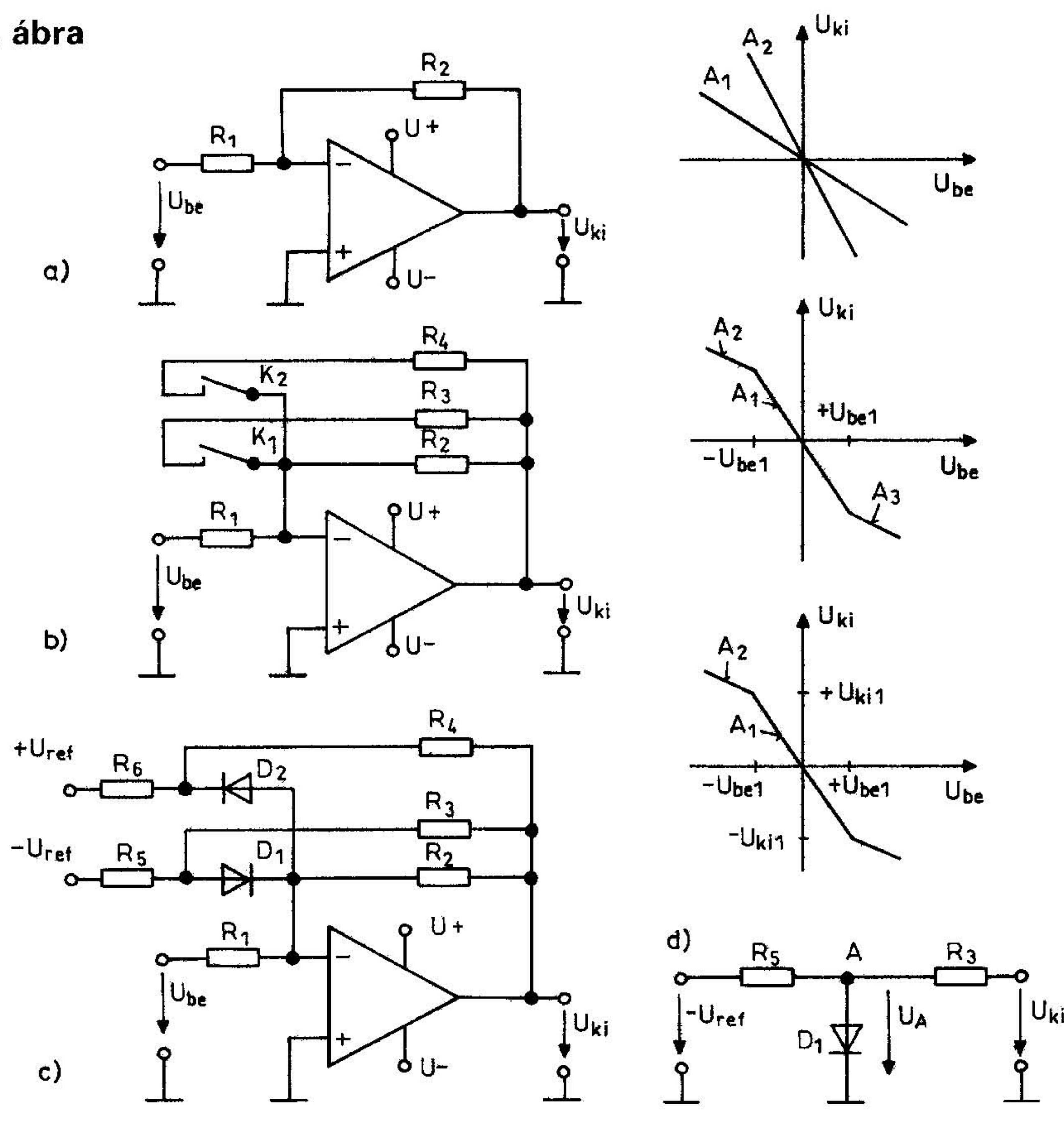
A *kezdeti szakasz* meredeksége: $A_1 = U_{ki} / U_{be} = 3,89 \text{ V} / -2,67 \text{ V} = -1,457$. R_1 -et 10 k Ω -ra választva $R_2 = 14,57 \text{ k}\Omega$ adódik. Az E24-es, 5%-os tűrésű ellenállássorban a legközelebbi érték 15 k Ω . (A szükséges ellenállásértékeket a továbbiakban is ebből a sorból választjuk ki.)

A *második szakasz* meredeksége az $(5,36 \text{ V} - 3,89 \text{ V}) / (-4,22 \text{ V} - (-2,67 \text{ V}))$ hányados alapján kb. -1 , tehát az R_3 és az R_2 párhuzamos eredő ellenállásának 10 k Ω -nak kell lennie, ezért $R_3 = 27 \text{ k}\Omega$ lesz. Az első töréspont helye $-2,67 \text{ V}$ -os bemeneti feszültségnél lesz, ekkor a kimenet 3,89 V. $-U_{ref} = -12 \text{ V}$ esetén $R_4 = R_3 (-U_{ref} / -U_{ki}) = 27 \text{ k}\Omega \cdot (-12 \text{ V} / -3,89 \text{ V}) = 83,3 \text{ k}\Omega$, a sorban a legközelebbi eső értéket választva $R_4 = 82 \text{ k}\Omega$.

A *harmadik szakasz* meredeksége $(5,9 \text{ V} - 5,36 \text{ V}) / (-5,33 \text{ V} - (-4,22 \text{ V})) = -0,486$, ezt a $-(R_2 \times R_3 \times R_5) / R_1$ összefüggés határozza meg. Az R_5 értéke a számítás alapján 9,9 k Ω , a legközelebbi érték 10 k Ω . A töréspont $-4,22 \text{ V}$ -os bemeneti feszültségnél van, ehhez 5,36 V kimeneti feszültség tartozik. Ez az R_6 ellenállással állítható be: $R_6 = R_5 (-12 \text{ V} / -5,36 \text{ V}) = 22,4 \text{ k}\Omega$, így $R_6 = 22 \text{ k}\Omega$ -ot választunk.

Az *utolsó szakasz* meredeksége: $A_4 = (6 \text{ V} - 5,9 \text{ V}) / (-6 \text{ V} - (-5,33 \text{ V})) = -0,149$. A $-(R_7 \times R_5 \times R_3 \times R_2) / R_1 = -0,149$ egyenletbe az ismert értékeket behelyettesítve $R_7 = 2,15 \text{ k}\Omega$ adódik, ide 2,2 k Ω -ot választunk. Az utolsó töréspont $-5,33 \text{ V}$ bemeneti és 5,9 V

6. ábra

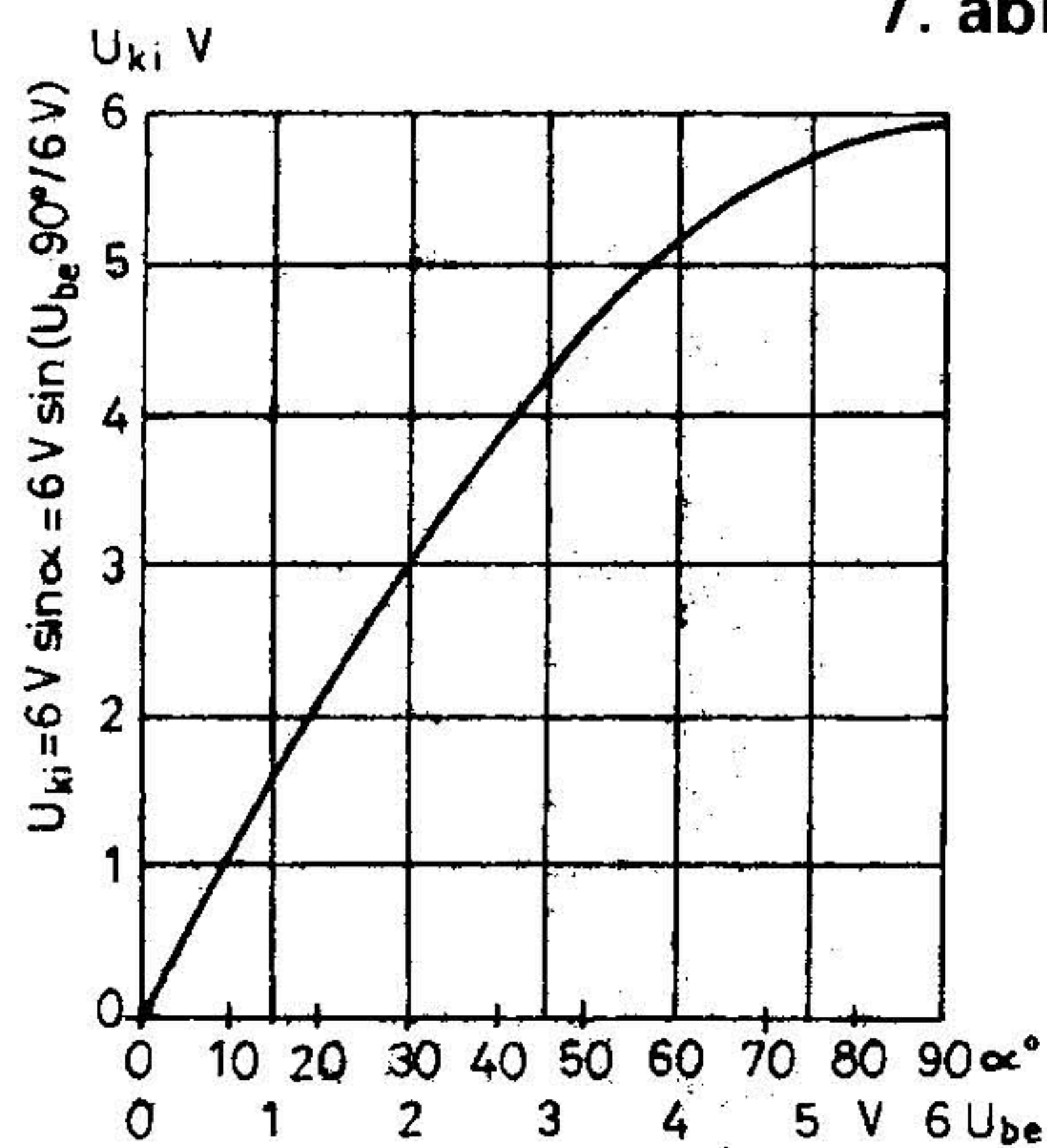


kimeneti feszültségnél van, ennek beállítására szolgáló R_8 értéke az R_7 ($-12\text{ V}/-5,9\text{ V}$) összefüggésből adódóan $4,47\text{ k}\Omega$. Mivel ehhez közel eső értéket csak az E48-as sorban találunk ($4,42\text{ k}\Omega$), az eredeti konstrukcióba két sorosan kapcsolt 5%-os ellenállás, $(3,3 + 1,1)\text{ k}\Omega$ került.

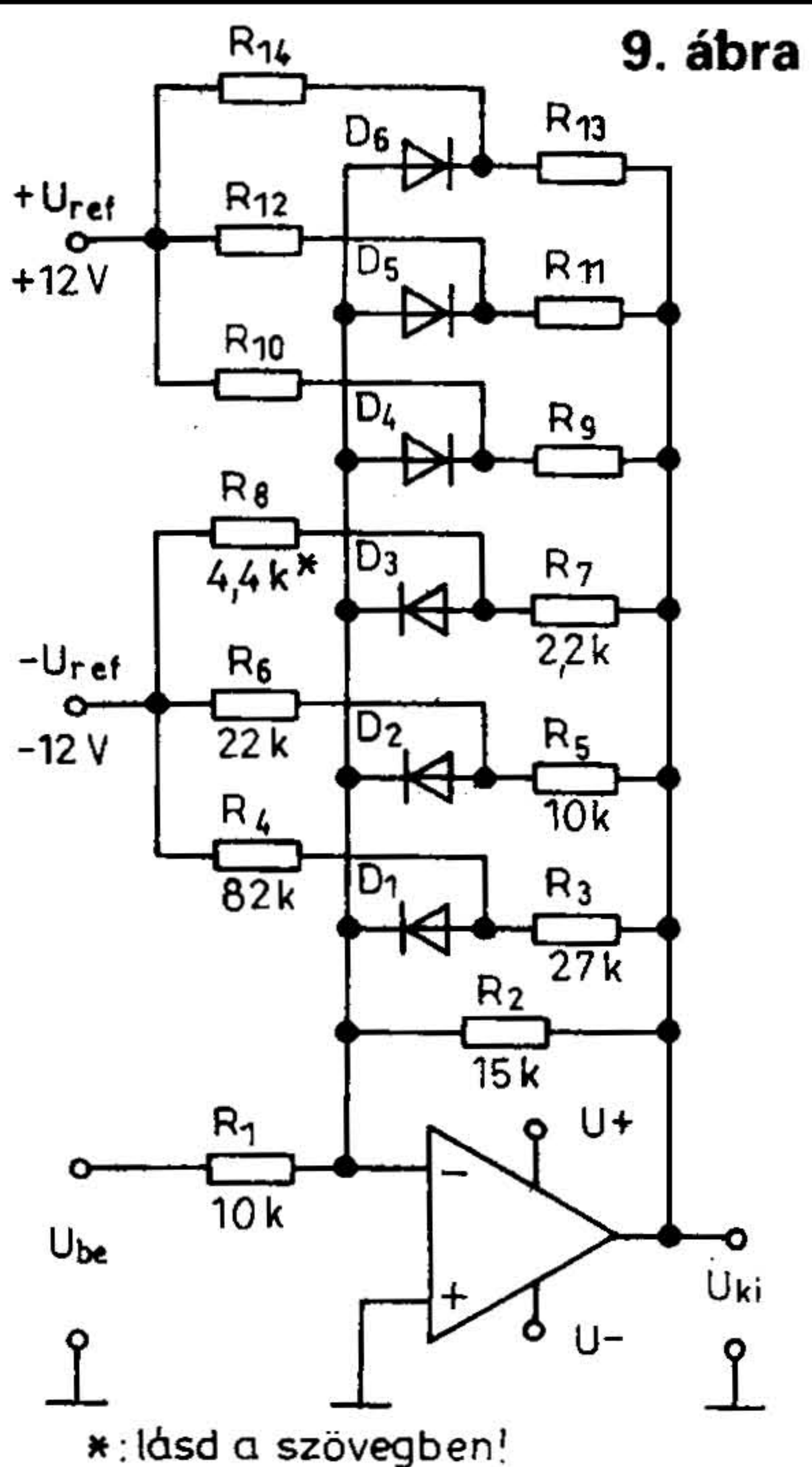
Amennyiben az így méretezett áramkört megkértszerezük úgy, hogy hasonló pozíciókba azonos ellenállásértékeket ($R_9 = R_3, R_{10} = R_4$ és így tovább), ellenkező polaritással bekötött diódákat ($D_4 \dots D_6$) és ellenkező polaritású, de azonos nagyságú referenciafeszültséget ($+12\text{ V}$) alkalmazunk, akkor az origóra szimmetrikus átviteli karakterisztikával rendelkező áramkört kapunk.

Az ismertetett kapcsolás, növekvő bemeneti feszültség esetén csökkenő meredekségű függvénykarakteristikák törtvonalas közelítésére alkalmas. Ellenkező jelleg esetén – növekvő bemeneti feszültség mellett növekvő meredekség – az R_2 -vel párhuzamosan kapcsolódó komplexumot, a bemeneti R_1 ellenállással kapcsoljuk párhuzamosan.

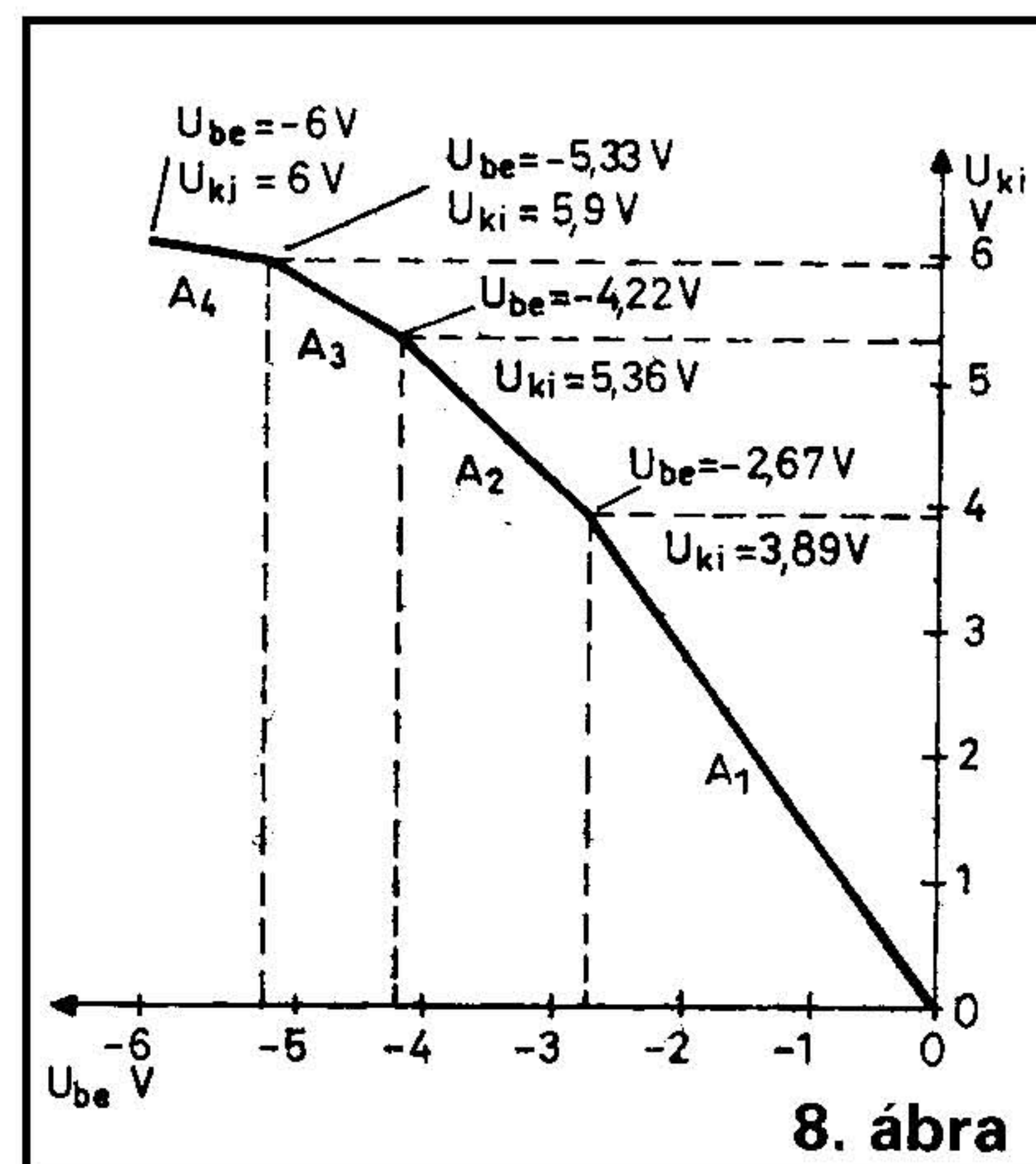
7. ábra



9. ábra



Felhasznált irodalom: J. Michael Jakob: Application & Design with Analog Integrated Circuits (Reston, Virginia, 1982)



Függvénygenerátor

Diószegi Gyula villamosmérnök, Divelex Bt.