

# Elektró 10

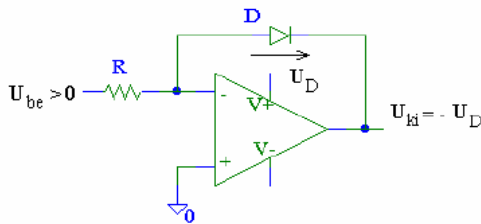
## 10. Logaritmikus és exponenciális erősítők, precíziós egyenirányítók.

### Logaritmikus erősítők:

-a dióda feszültsége ( $U_D$ ) és áram ( $I_D$ ) között az alábbi kapcsolat áll fenn nyitóirányú előfeszítés esetén:

$$I_D = I_s \cdot (e^{\frac{U_D}{m \cdot U_T}} - 1)$$

-Is az elméleti záróirányú visszáram,  $U_T$  a termikus feszültség ( $U_T = \frac{k \cdot T}{q}$   $k=1.38 \cdot 10^{-23}$ ),  $m$  pedig 1 és 2 közé eső tapasztalati érték ami az előállítási technológiának függvénye.



9.2. ábra. Logaritmikus erősítő diódával

-nem lineáris karakterisztikájú diódát bekötve a műveleti erősítő visszacsatoló ágába.

-ha a diódán eső feszültség 10mV feletti, akkor a fenti képlet -1 tagja elhanyagolható és ekkora bemenet és a kimeneti jel között az állási kapcsolat írható fel:

$$\frac{U_{be}}{R} = I_s \cdot e^{\frac{U_D}{m \cdot U_T}}$$

$$m \cdot U_T \cdot \ln \frac{U_{be}}{R \cdot I_s} = U_D = -U_{ki} \quad \text{--->} \quad U_{ki} = -m \cdot U_T \cdot \ln \frac{U_{be}}{R \cdot I_s}$$

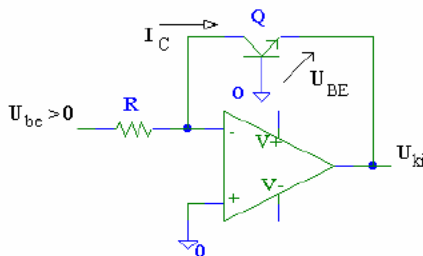
-a bemeneti jel logaritmusával lesz egyenlő a kimeneti feszültség

-a logaritmikus kapcsolat csak egy –két dekádon át tekinthető elegendő pontosnak. -> a hibát a dióda nagyobb áramoknál fellépő soros ellenállása és az  $m$  paraméter áramfüggése idézi elő

1 dekád 10x-es erősítés ami 20dB ha logaritmuson ábrázolom

10x ->20dB    100x->40dB    1000x->60dB

-ez csökkenthető, ha bipoláris tranzisztort alkalmazunk a dióda helyett:



9.3. ábra. Logaritmikus erősítő bipoláris tranzisztorral

$$I_C = \alpha \cdot I_s \cdot (e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1) \approx I_s \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \quad \text{a tranzisztor kollektor árama}$$

bázis emitter feszültség az alábbi alakban adható meg:

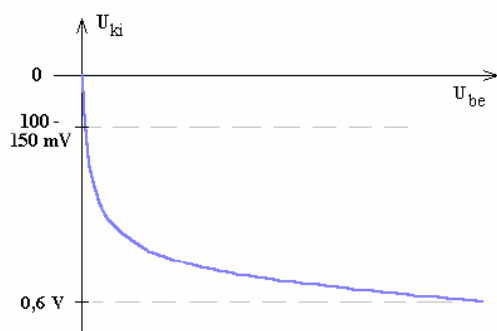
$$\frac{U_{be}}{R} = I_C = I_s \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

$$U_T \cdot \ln \frac{U_{be}}{R \cdot I_s} = U_{BE} = -U_{ki}$$

$$U_{ki} = -U_T \cdot \ln \frac{U_{be}}{R \cdot I_s}$$

-Ez a kapcsolat 1% os pontossággal fenntartható abban az esetben ha:

- kollektor áram 0.5nA és 0.5mA közötti tartományban marad -> a diódás két dekád helyett 5 dekádos átfogást jelent!!!
- bázis emitter feszültsége nagyobb, mint kb 100mV (4-6szorososa  $U_T$  -nek)
- áramerősítési tényezője a tranzisztornak nagy, és ezzel  $\alpha$  jó közelítéssel egynek tekinthető
- UBC  $\approx 0$  -> mivel a kollektor virtuális földponton van



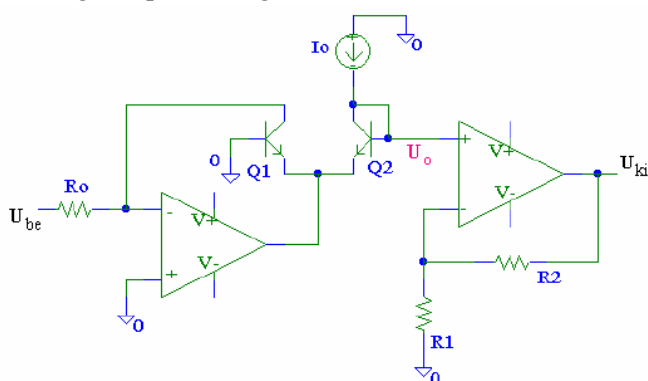
9.4. ábra. A logaritmusos erősítő átvitele

-a kimenet változása a bemeneti feszültség függvényében

-a nulla ofszet áram, és az ofszet feszültség hibát okoz

-legnagyobb probléma a nagy hőmérsékletérzékenység. Oka  $U_T$  és  $I_s$  erőteljes hőfokfüggése

-a hőmérséklet érzékenység részbeni kompenzálását két tranzisztor bázis-emitter feszültségének különbségét képezve megoldható:



9.5. ábra. Hőmérsékletkompenzált logaritmusos erősítő

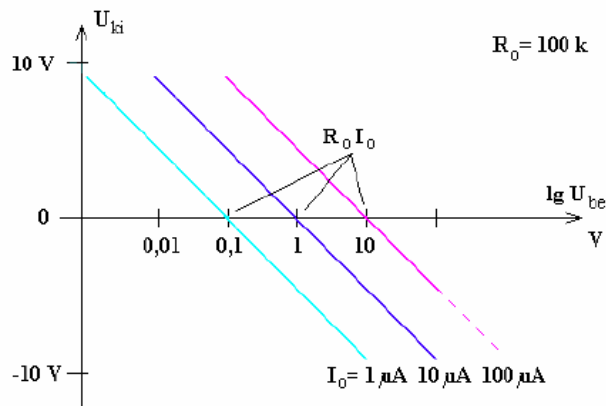
-ha a két tranzisztor paraméterei azonosak, akkora termikus feszültségük és záróirányú visszaramuk egyformának tekinthető. Két tranzisztör közös tokban.

$$U_o = -U_T \cdot \ln \frac{U_{be}}{R_o \cdot I_o}$$

-ez már független  $I_s$  - től.  $U_T$  hőmérsékletfüggését az R1-R2 ellenállások segítségével lehet hatástalanítani, amennyiben termikus állandójú hőmérsékletfüggő ellenállásokat alkalmazunk.

$$U_{ki} = -\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_T \cdot \ln \frac{U_{be}}{R_o \cdot I_o}$$

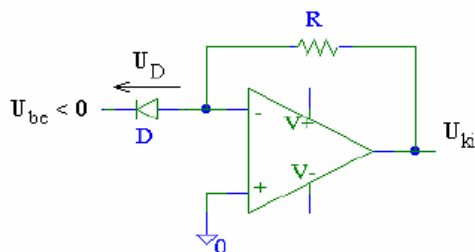
A kimeneti jel nagysága  $R_1$   $R_2$   $R_0$  és  $I_0$  értékeivel állítható be, akár  $\pm 10V$  os tartományban



9.6. ábra. A hőmérsékletkompenzált logaritmusos erősítő kimeneti jele ( $U_{be}$  logaritmusos tengelyen ábrázolva)

-a karakterisztika meredekségét a nem –invertáló erősítőként működő második fokozat erősítése határozza meg.

### Exponenciális erősítők



9.9. ábra. Exponenciális erősítő diódával

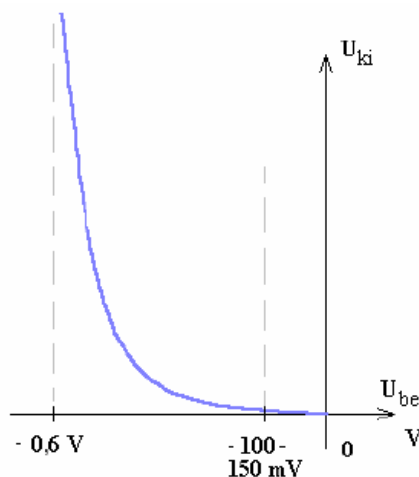
-a visszacsatoló ellenálláson átfolyó áram a dióda áramával fog megegyezni (ideális műveleti erősítőt feltételezve) ezért az alábbi alakú lesz:

$$U_{ki} = R \cdot I_D = R \cdot I_s \cdot e^{\frac{U_D}{m U_T}}$$

mivel  $U_{be} = -U_D$  ezért

$$U_{ki} = R \cdot I_s \cdot e^{\frac{-U_{be}}{m U_T}}$$

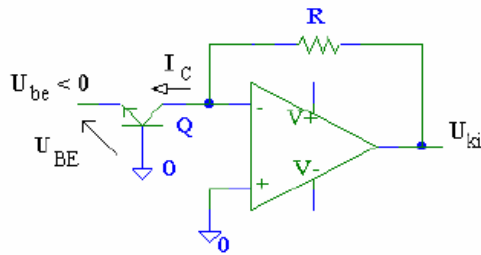
A kimeneti feszültség itt a bemeneti jel exponenciális függvénye lett, ahogy ezt a 9.10. ábra mutatja:



-bipoláris tranzisztort használva itt is jelentősen kiterjeszhetjük az exponenciális karakterisztika határait

-a logaritmikusnál felsorolt peremfeltételek mellet ez a kapcsolás is 1%-nál kisebb eltéréssel közelítheti az elméleti görbét, mely képletszerűen:

$$U_{ki} = R \cdot I_C = R \cdot I_s \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} = R \cdot I_s \cdot e^{\frac{-U_{be}}{U_T}}$$

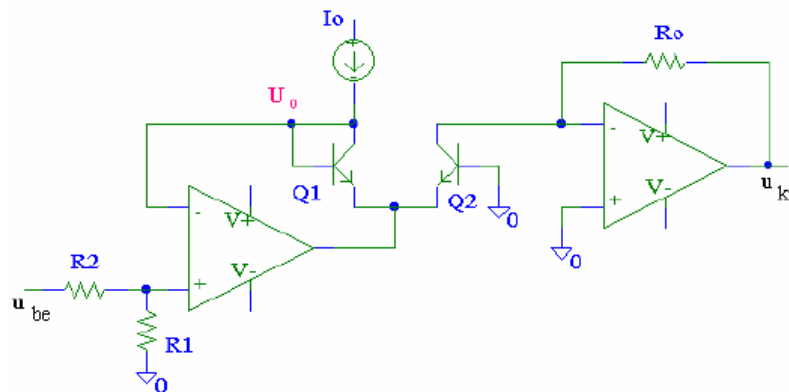


9.11. ábra. Exponenciális erősítő bipoláris tranzisztorttal

-ahogy a képletből is látszik ez is nagyon érzékeny a hőmérséklet változásra.

-két tranzisztor bázis-emitter feszültségének különbségét képezve – a záróirányú visszarámtól,  $I_s$ -től való függés teljesen kiküszöbölhető.  $R_1$  és  $R_2$  ellenállások

Helyett hőfokfüggő elemek alkalmazásával a termikus feszültség hatása is csökkenthető.



9.12. ábra. Hőmérsékletkompenzált exponenciális erősítő

$$u_{ki} = R \cdot I_o \cdot e^{\frac{U_o}{U_T}}$$

mivel

$$U_o = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u_{be}$$

ezért

$$u_{ki} = R \cdot I_o \cdot e^{\frac{R_o}{R_1 + R_2} \frac{u_{be}}{U_T}}$$

Logaritmikus és exponenciális erősítők kombinálásával számtalan további művelet valósítható meg. Négyzetre emelő, analóg számológépek.

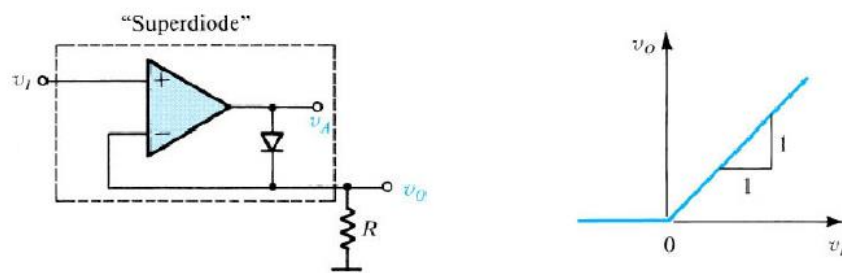
Analóg szorzó osztó áramkörökben, mert a matematika szabályai szerint ugyanis a szorzás visszavezethető a hatványkitevők összeadására.

## Precíziós egyenirányítók:

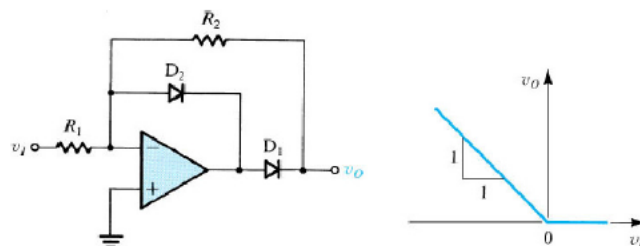
- tápegységek tervezése során szokták használni.
- nagyobb pontosságot lehet elérni velük, mint a hagyományos diódás egyenirányítással mivel a diódák nyitóirányú feszültség figyelmen kívül lehet hagyni
- másik alkalmazási terület a hangtechnika, ahol nagyon kis jelszintű jeleket is lehet egyenirányítani vele
- ezeknek sem hibátlan az egyenirányításuk, a szuperdióda könyökfeszültsége megegyezik a használt dióda könyökfeszültségének és a műveleti erősítő erősítésének hányadosával

## Precíziós egyutas egyenirányító: A szuperdióda

- kimenete majdnem 100%-osan követi a bemenet pozitív felének változását. A dióda nyitóirányú feszültségét a negatív visszacsatolással lehet elnyomni
- ha a bemenetre negatív feszts kapcsolunk a műveleti erősítő telített állapotba kerül. Ha a bemenet ezután újra pozitív polaritására vált, akkor az erősítőnek időre van szüksége míg a telített állapotból kikerül és követni tudja a bemeneti jelet. Ezt az időtartamot nevezik az erősítő slew rate- jének
- kisfrekvenciás kapcsolásoknál szinte hibamentesen használható
- magasabb frekvenciatartományokon azonban már nem használható

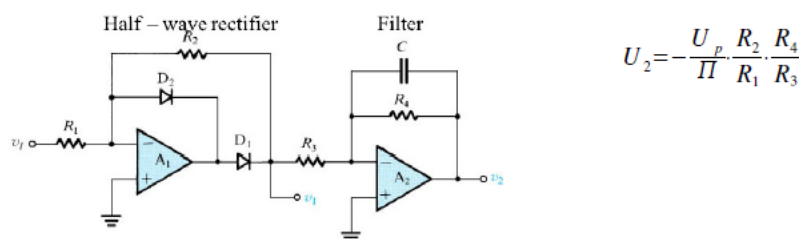


b) Egy második lehetőség:

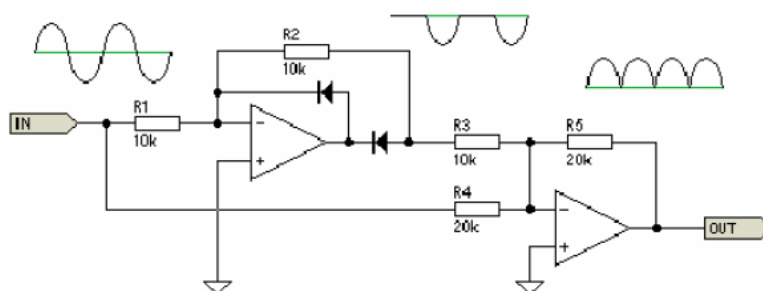


Ez a kapcsolás fázist fordít. Csak a bemenő jel negatív tartománya kerül a kimenetre. Itt a negatív visszacsatolást a  $D_2$  dióda nem engedi az opamp bemenetére.

c) Alkalmazási területe: váltakozófeszültség mérése

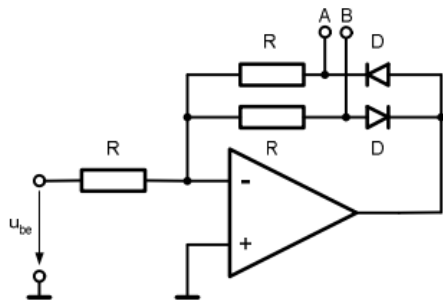


## 7.3. Precíziós kétutas egyenirányító



A pozitív bemeneti feszültség invertálva kerül az első opamp kimenetére, amelyet a második visszainvertál. A negatív bemeneti feszültség azonban egyből a második opampra kerül. Így a jelnek mind a pozitív, mind a negatív tartománya pozitív periódust kap.

### Precíziós egyenirányítók:



**5.15 ábra** Invertáló félhullámú egyenirányító kapcsolás

-bemeneti jel pozitív, vagy negatív félperiódusát egyenirányítja

-amíg a művelet i erősítő kimeneti jele nem éri el a diódák egyikének a nyitófeszültségét, addig az erősítő nyílthurkú feszültségerősítéssel dolgozik, ezért a kimenete nagyon meredeken követi a bemeneti jel változását.

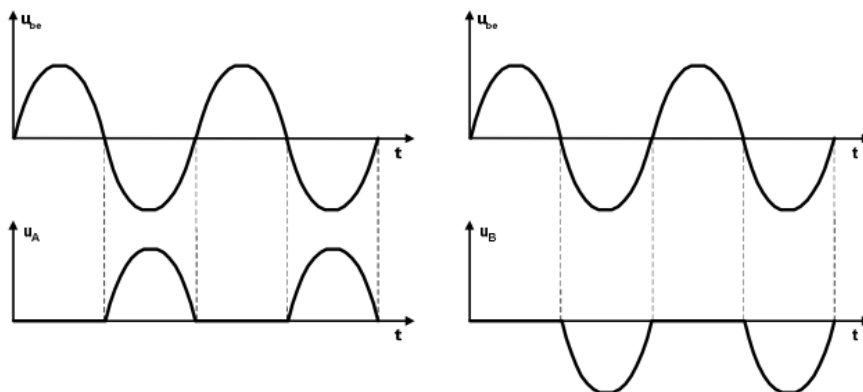
-ha a kimeneti jel már meghaladta a  $\pm U_D$ -t, akkor a visszacsatolásnak megfelelően  $U_D$  feszültségkülönbséggel és egységnyi meredekséggel követi a bemeneti jel invertáltját.

-pozitív bemeneti jeleknél az erősítő kimenete negatív és az A oldal diódája zárt és az A pont feszültsége nulla.

-negatív bemeneti jeleknél az A oldali dióda kinyit, mert az erősítő kimenete pozitív. Ekkor az A pont feszültsége az erősítő kimeneti feszültsége alatt marad,  $U_D$  értékkel.

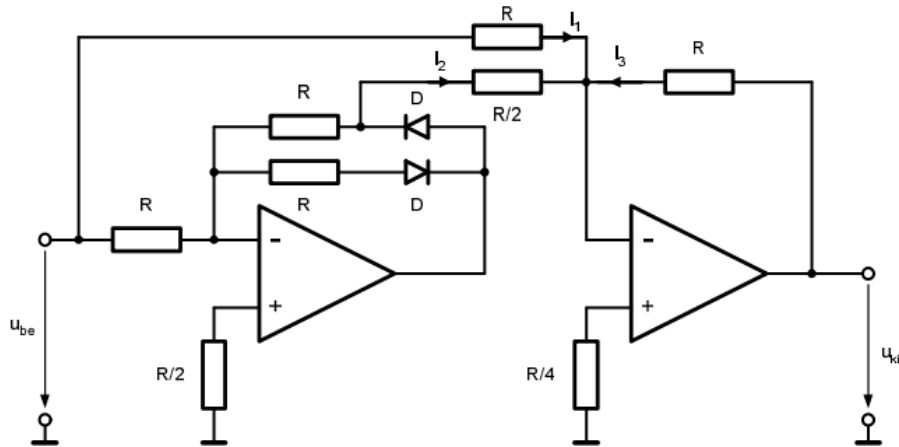
-Tehát pozitív bemeneti jelekre az A pont feszültsége nulla, negatív bemeneti jelekre pedig a bemeneti jelet invertálja, azaz pozitív lesz.

B pont feszültsége, hasonló meggondolásokból pozitív bemeneti jelekre invertálja azokat és negatív lesz, míg negatív bemeneti jelekre nullát ad.



**5.16 ábra** Félhullámú egyenirányító feszültségdiagramjai

Az invertáló félhullámú egyenirányító kapcsolás csekély kiegészítésével nagypontosságú kétutas egyenirányítót, azaz abszolútérték-képző áramkört hozhatunk létre.



**5.17 ábra** Precíziós abszolútérték-képző kapcsolás

-első műveleti erősítő egy félhullámú egyenirányító kapcsolás, mely a pozitív bemeneti jelre nem reagál, míg negatív bemeneti jel esetén a kimenetén előállítja annak invertáltját

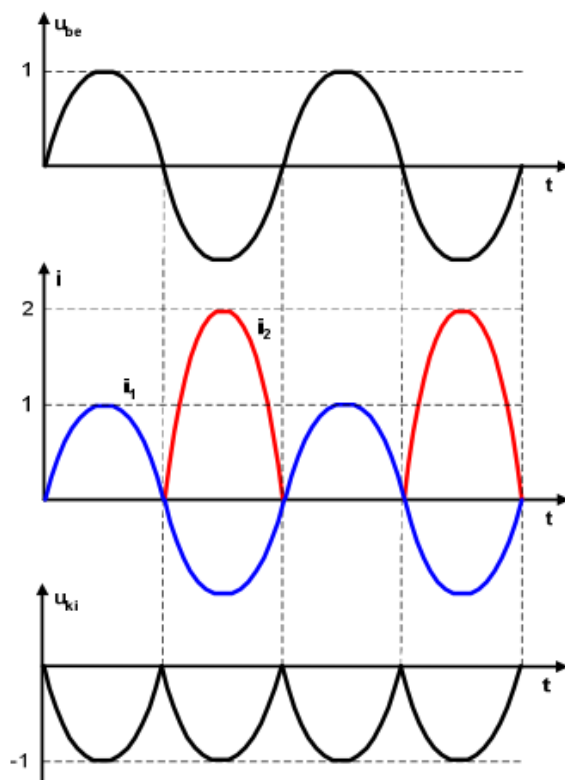
-a második műveleti súlyozott összegzőként viselkedik. Invertáló bemenetén az  $I_3$  árammal ellensúlyozza  $I_1$  és  $I_2$  összegét.  $I_1$  áram értéke mindegyik félperiódusban

$$i_1 = \frac{u_{be}}{R}$$

Az  $i_2$  áram a pozitív bemeneti jelekre 0, míg a negatív fél-periódusban

$$i_2 = -\frac{u_{be}}{\frac{R}{2}} = -2 \cdot \frac{u_{be}}{R} > 0$$

-a két áram összege csak pozitív félperiódusokból áll, ezért a kimeneti feszültségjelet csak negatív félperiódusok alkotják:



**5.18 ábra** Abszolútérték képző kapcsolás feszültségdiagramja