

A műveleti erősítők alkalmazásai

Az Elektronika 1-ben már szerepelt:

A műveleti erősítő alapkapsolásai:

- nem invertáló alapkapsolás,
- invertáló alapkapsolás,
- differenciálerősítő alapkapsolás.

További alkalmazások:

- összegzők (invertáló és nem invertáló összegző),
- integrátor,
- differenciáló áramkör.

Ez a téma folytatódik a most következő 8. és 9. fejezetben.

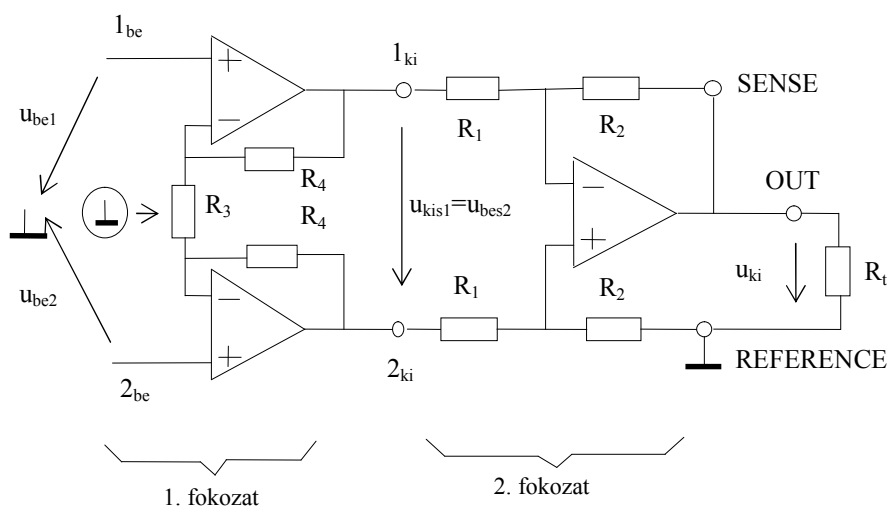
8. Fejezet

A HÁROM MŰVELETI ERŐSÍTŐS MÉRŐERŐSÍTŐ

A mérőerősítő olyan szimmetrikus bemenetű, aszimmetrikus kimenetű erősítő, amelynek legfontosabb jellemzői a következők:

1. nagy (ideálisan végtelen nagy) bemeneti ellenállások (impedanciák);
2. kicsi (ideálisan nulla) kimeneti ellenállás (impedancia);
3. pontos és stabil erősítés (tipikusan az 1-től $n10^3$ -ig terjedő tartományban); és
4. nagy (ideálisan végtelen nagy) közösjel-elnyomás.

A műveleti erősítő differenciál-erősítő alapkapsolása (lásd Elektronika 1: az összegzőknél) az 1. kritériumot kivéve teljesíti e követelményeket ($R_{bes} = 2R_1$ és $R_{bek} = 0.5[R_1 + R_2]$). Ez a hátrány küszöbölhető ki bemeneti illesztő erősítők alkalmazásával.



Az első fokozat szimmetrikus bemenetű, szimmetrikus kimenetű erősítő. Tisztán szimmetrikus bemenet esetén ($u_{be1} = -u_{be2}$) az R_3 ellenállás középpontja virtuálisan földelt a szimmetria következtében, és az első fokozat két oldala úgy viselkedik, mint egy-egy nem-invertáló alapkapsolás.

Tehát a szimmetrikus erősítés:

$$A_{uss1} = 1 + \frac{2R_4}{R_3}$$

Tisztán közös vezérlés ($u_{be1} = u_{be2}$) esetén nem folyik áram se az R_4 , se az R_3 ellenállásokon, ezért a bemeneti feszültségek átmásolódnak a kimeneti pontokra, vagyis a közös erősítés:

$$A_{ukk1} = 1$$

A második fokozat differenciál-erősítő alapkácsolás, így erősítései:

$$A_{us2} = -\frac{R_2}{R_1} \quad \text{és} \quad A_{uk2} = 0.$$

(Megjegyzés: sokszor a második fokozatot önállóan is használják „egy műveleti erősítő mérőerősítőként”. Ekkor a bemeneti ellenállásokkal szemben támasztott követelmény nem teljesül maradéktalanul.)

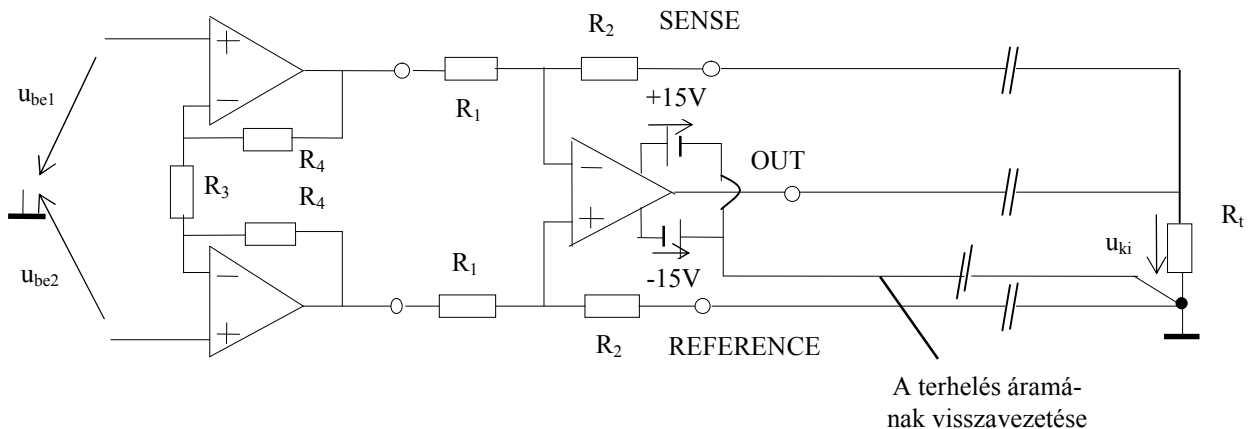
Vagyis az eredő erősítések:

$$A_{us} = A_{uss1}A_{us2} = -\left(1 + \frac{2R_4}{R_3}\right)\frac{R_2}{R_1} \quad \text{és} \quad A_{uk} = A_{ukk1}A_{uk2} = 1 \cdot 0 = 0.$$

A közösjel-elnyomás: $CMRR = \frac{A_{us}}{A_{uk}} = \infty.$

A szimmetrikus és a közös bemeneti ellenállások: $R_{bes} = R_{bek} = \infty.$

Távoli terhelés esetén a hosszú bekötő vezetékek belső ellenállása hibát okozhat a rajtuk fel-lépő feszültségesések miatt. A következő kapcsolási elrendezéssel lehet kiküszöbölni e jel-vesztéseket, mivel e bekötő vezetékek a visszacsatolt hurkon belülrre kerülnek.



9. fejezet OSZCILLÁTOROK Az oszcillátorok alapelve

A visszacsatolt erősítők elméletéből ismert: $A^* = \frac{A}{1+H}$.

Ha $H = -1$, akkor $A^* = \infty$, és lehetséges véges kimeneti jelet kapni bemeneti jel nélkül. Mivel a hurokerősítés általános esetben komplex az oszcilláció általános feltétele ($H = -1$) a következőképpen bontható fel:

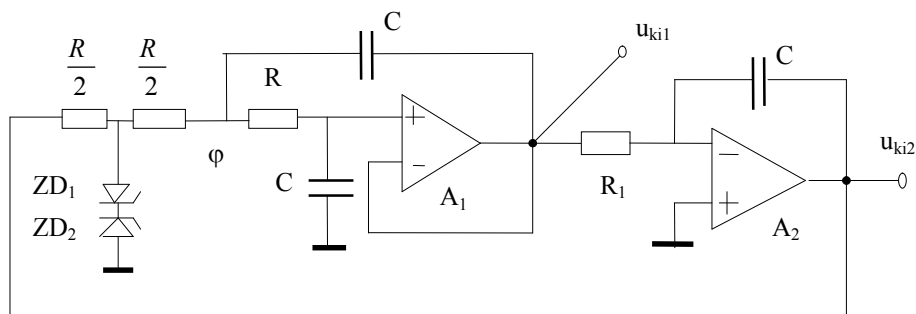
Amplitúdó-feltétel: $|H| = 1$
és fázisfeltétel: $\varphi_H = -180^\circ + n360^\circ$ (általában $n = 0$).

Az oszcillátorok osztályozása:

- az amplitúdó-stabilizálás szerint: lineáris (pontosabban kvázi-lineáris) és nemlineáris oszcillátorok;
- a frekvenciafüggő alkatelemek szerint: RC-, LC- vagy Kristály-oszcillátorok.

(A következőkben csak az RC oszcillátorok témaköréből veszünk példát.)

A kétfázisú (nem lineáris RC-) oszcillátor



Vizsgáljuk meg először az u_{ki2} -től az u_{ki1} -ig terjedő fokozat átvitelét, feltételezve, hogy a Zener-diódák szakadásként viselkednek (mivel az $R/2$ ellenállások közös pontján az amplitúdó nem éri el az $U_Z + U_D$ feszültséget).

Csomóponti egyenlet a φ potenciálú pontra:

$$\frac{u_{ki2} - \varphi}{R} - \frac{\varphi}{R + \frac{1}{sC}} + \frac{u_{ki1} - \varphi}{\frac{1}{sC}} = 0$$

Mivel A_1 követőerősítő:

$$u_{ki1} = \varphi \frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} = \varphi \frac{1}{1 + sRC}$$

Az egyenletrendszer megoldásaként az átviteli függvény (erősítés):

Az ennek megfelelő BODE:

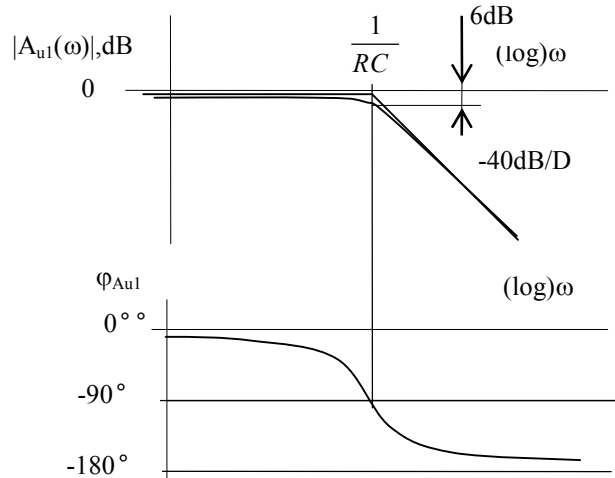
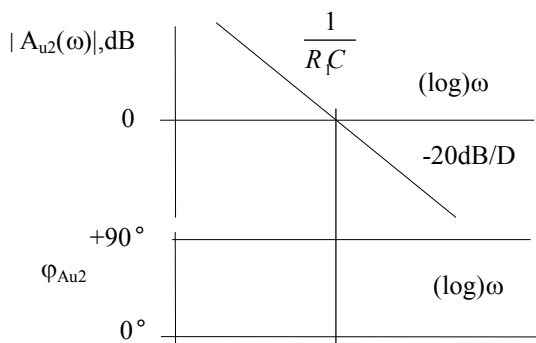
$$A_{u1} = \frac{u_{ki1}}{u_{ki2}} = \frac{1}{(1 + sRC)^2}$$

(Ez egy másodfokú alul-áteresztő szűrő átviteli függvénye.)

A hurok másik szakasza egy integrátor, amelynek átviteli függvénye:

$$A_{u2} = -\frac{1}{sR_1C}$$

Az ennek megfelelő BODE:



Az oszcilláció fázisfeltételéből ($\varphi_{Au1} + \varphi_{Au2} = 0$) következik, hogy az oszcilláció frekvenciája csak

$\omega_{oszc} = \omega_0 = \frac{1}{RC}$ lehet (itt a különbségképző hiánya folytán $-H = -1$ fejezi ki az oszcilláció feltételét, vagyis $H = 1$, ebből következik, hogy a fáziszögek összegének 0-nak kell lennie!). Ennél a frekvenciánál $|A_{u1}| = 0,5$ (a -6 dB-nek megfelelően), tehát $|A_{u2}| = 2$ esetén teljesül az amplitúdófeltétel ($|A_{u1}| |A_{u2}| = 1$):

$$|A_{u2}| = \frac{1}{\frac{1}{RC} R_1 C} = \frac{R}{R_1} = 2$$

vagyis $R_1 = 0,5R$. A gyakorlatban ennél egy kicsit kisebb R_1 -et használnak, hogy a tápfeszültségek bekapcsolása után növekvő amplitúdójú oszcilláció alakuljon ki. Az amplitúdó addig növekedhet, amíg az $R/2$ ellenállások közös pontján el nem éri az $U_Z + U_D$ értéket (ahol U_Z az egyforma Zener-diódák Zener-feszültsége, U_D pedig a közönséges diódaként nyitóirányban előfeszített Zener-diódán eső, kb. 0,6 V-os feszültség). A Zener-diódák előtti $R/2$ ellenállásból és a Zener-diódákból álló áramkörnek a diódák határoló szerepe miatt keletkező, a torzított szinuszos jel alap-harmonikusára vonatkozó átviteli tényezője kisebb, mint 1, ez állítja be az oszcilláció amplitúdóját a kívánt értékre (a torzítás növekedése az átviteli tényező csökkenését idézi elő). Az u_{ki1} kimeneti feszültség azonban csaknem tiszta (torzításmentes) szinuszos feszültség marad az alul-áteresztő szűrésnek köszönhetően.

Az u_{ki2} kimeneti feszültség $+90^\circ$ -kal siet az u_{ki1} kimeneti feszültséghez képest, ezért nevezzük az oszcillátort kétfázisúnak (hasonlóan az ugyanilyen fázishelyzetű feszültségekkel rendelkező kétfázisú energiaszolgáltató hálózatokhoz).

Előkészület a május 14-i 2. ZH-ra: A 2013-ban írt 2. ZH feladatainak bemutatása.

ELEKTRONIKA 2 (Fizikus szak)

2. ZÁRTHELYI

2012/13 – II.

NÉV:

NEPTUN-KÓD:

1.) Válaszoljon az alábbi, a komplementer emitter-követő, ellenütemű teljesítményerősítőre vonatkozó kérdésekre (annak elvi kapcsolására gondolva a szokásos egyszerűsítő feltételezésekkel). (Kérdésenként 4 pont)

A. A periódusidő hány százalékában vezetnek áramot a tranzisztorok AB osztályú beállításban? B. Mekkora relatív kimeneti amplitúdó tartozik A osztályú beállításban a maximális (átlagos) disszipációhoz. C. Melyik nagyobb B osztályú üzemben: az átlagos vagy a pillanatnyi disszipáció maximális értéke? D. Mekkora a maximális hatásfok B osztályban E. Az A osztályú üzemmód munkaponti áramának hányad részére célszerű beállítani a munkaponti áramot AB osztályban?

2.) Válaszoljon a 741 típusú műveleti erősítőre vonatkozó alábbi kérdésekre (a mellékelt kapcsolási rajz segítségével). (Kérdésenként 4 pont)

A. Hány áramtükör található a kapcsolásban? B. Melyik ellenállásnak van döntő szerepe az erősítő fokozatok munkaponti áramának meghatározásában? C. A kapcsolat melyik részén található a nagyfrekvenciás viselkedés szempontjából domináns időálló és mik az alkotóelemei (az ellenállásos és a kapacitások tényezője)? D. Mely paraméterek határozzák meg a maximális kimeneti áramot? E. Adott, hogy a maximális kimeneti jelváltozási sebesség („slew rate”): $SR = 0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$. Határozza meg a nagyjelű határfrekvenciát, ha a kimeneti jel amplitúdója $u_{kip} = 10 \text{ V}$.

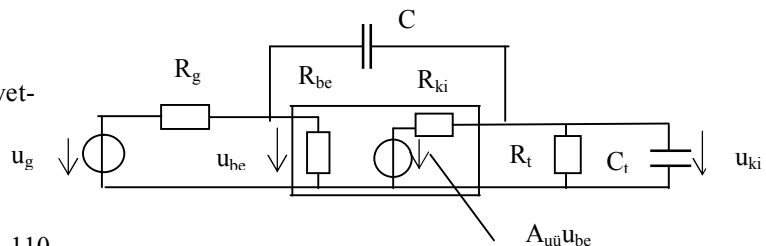
3) Egy ideális DC erősítő adatai a következők (lásd az ábrát jobbra):

$$R_{be} = R_t = 9 \text{ kohm}$$

$$R_{ki} = R_g = 1 \text{ kohm}$$

$$C_t = 900 \text{ pF}$$

Az üres-járási feszültségerősítés: $A_{uü} = -110$.



Az erősítőt $C = 100 \text{ pF}$ értékű kondenzátor hidalja át (“Miller helyzetben”). Számítsa ki az erősítő $A_{ug} = \frac{u_{ki}}{u_g}$

feszültségátvitelének 3 dB-es csökkenéséhez tartozó felső határfrekvenciájának közelítő értékét ($\omega_{hf} \approx ?$).

4.) Egy szimmetrikus bemenetű, szimmetrikus kimenetű erősítő bemeneti egyenfeszültségei:

$u_{be1} = 6.025 \text{ V}$ és $u_{be2} = 5.975 \text{ V}$. Az erősítő következő paramétereit ismerjük:

$A_{uss} = 100$; $A_{uks} = 0$; $D = 68 \text{ dB}$; $E_k = 94 \text{ dB}$. Számítsa ki a kimeneti feszültségek szimmetrikus és közös összetevőit (u_{kis} , $u_{kik} = ?$).

5.) Rajzolja fel a következő áramkörök kapcsolását kommentár nélkül (4 – 4 pont):

- aszimmetrikus kimenetű differenciálerősítő DC csatolt bemenettel és kimenettel,
- p-n-p típusú Darlington tranzisztor-pár,
- DC áramgenerátor munkapont-beállító bázisköri generátorral és földelt terheléssel,
- differenciálerősítő emitter-köri visszacsatolással és megnövelt közösjel-elnnyomással,
- normál kaszkád (vagy kaszkód) kapcsolat.

* * *

Minden kérdés 20 pontot ér. A maximálisan elérhető 100 pontból 40 pont az elégséges alsó határa. A kidolgozási idő: 75 perc.

Elektronika 2 (BMEVIMIA027) 2. ZH-jának megoldása

2012/2013 – II.

- 1.) A: több mint 50 %, de kevesebb mint 100 %
 B: 0 V
 C: a pillanatnyi
 D: 78 %
 E: 20 %-át

- 2.) A: 4
 B: az $R_5 = 39$ kohm-os ellenállásnak
 C: a főerősítő bemenete (Miller hatással redukált C, a főerősítő bemeneti ellenállása /és vele párhuzamosan a bemeneti differenciálerősítő kimeneti ellenállása, ha nem tekinthető ∞ -nek/)
 D: az R9 (illetve R10) jelű 25 ohmos ellenállások és a T17 (illetve T18) tranzisztorok küszöb feszültsége (kb. $U_{BE0} = 0,4$ V).

$$E: u_{ki} = u_{kip} \sin \omega \text{ tehát } \left. \frac{du_{kip}}{dt} \right|_{\max} = u_{kip} \omega = SR \text{ ahonnan}$$

$$\omega_{\text{hfnj}} = \frac{SR}{u_{kip}} = \frac{0,5 \frac{V}{\mu s}}{10V} = 0,5 \cdot 10^5 \frac{r}{s} \Rightarrow f_{\text{hfnj}} = \frac{50}{2\pi} \text{ kHz} \approx 8 \text{ kHz}$$

$$3.) A_u = A_{uü} \frac{R_t}{R_{ki} + R_t} = -110 \frac{9}{1+9} = -99$$

$$C^* = C(1 - A_v) = 100(1 + 99) = 10^4 \text{ pF}$$

$$C^{**} = C \left(1 - \frac{1}{A_u} \right) \cong C = 100 \text{ pF}$$

$$A \text{ bemeneti időállandó: } \tau_{be} = C^* [R_g \times R_{be}] = 10^4 10^{-12} [1 \times 9] 10^3 = 0,9 \cdot 10^{-5} \text{ s}$$

$$A \text{ kimeneti időállandó: } \tau_{ki} = [C_t + C^{**}] [R_{ki} \times R_t] = 10^3 10^{-12} [1 \times 9] 10^3 = 0,9 \cdot 10^{-6} \text{ s}$$

$$\text{Mivel a bemeneti időállandó domináns (10-szer nagyobb): } \omega_{\text{hf}} \approx \frac{1}{\tau_{be}} = \frac{1}{0,9 \cdot 10^{-5}} = 111,1 \frac{\text{kr}}{\text{s}}$$

$$4.) u_{\text{bek}} = \frac{u_{\text{be1}} + u_{\text{be2}}}{2} = 6V \text{ és } u_{\text{bes}} = u_{\text{be1}} - u_{\text{be2}} = 0,05V$$

$$D = 68 \text{ dB} = 2500; \text{ mivel } 68 \text{ dB} = 80 \text{ dB} - 12 \text{ dB} = 10^4 \frac{1}{4}$$

$$\text{mivel } D = \frac{A_{\text{uss}}}{A_{\text{ukk}}} \Rightarrow A_{\text{ukk}} = \frac{A_{\text{uss}}}{D} = \frac{100}{2500} = 0,04$$

$$E_k = 94 \text{ dB} = 50000; \text{ mivel } 94 \text{ dB} = 100 \text{ dB} - 6 \text{ dB} = 10^5 \frac{1}{2}$$

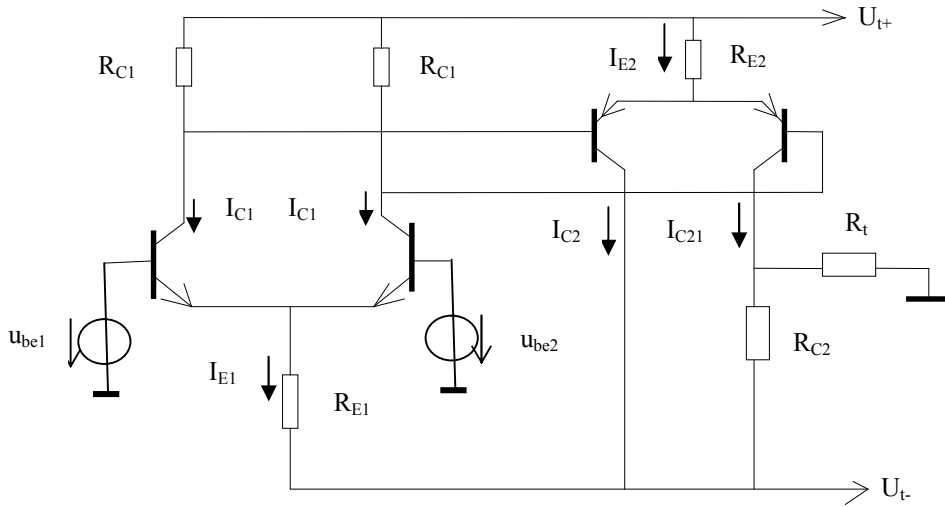
$$\text{mivel } E_k = \frac{A_{\text{uss}}}{A_{\text{usk}}} \Rightarrow A_{\text{usk}} = \frac{A_{\text{uss}}}{E_k} = \frac{100}{50000} = 0,002$$

Ezekkel:

$$u_{\text{kis}} = A_{\text{uss}} u_{\text{bes}} + A_{\text{usk}} u_{\text{bek}} = 100 \cdot 0,05 + 0,002 \cdot 6 = 5,012V$$

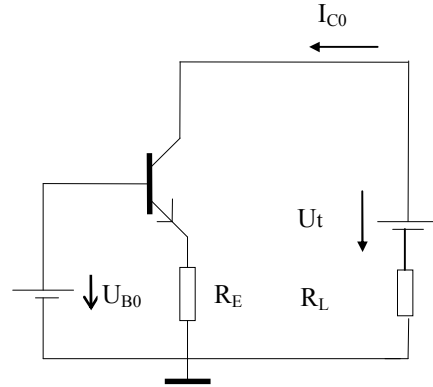
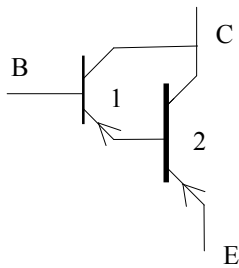
$$u_{\text{kik}} = A_{\text{uks}} u_{\text{bes}} + A_{\text{ukk}} u_{\text{bek}} = 0 + 0,04 \cdot 6 = 0,24V$$

5.) - aszimmetrikus kimenetű differenciálerősítő DC csatolt bemenettel és kimenettel

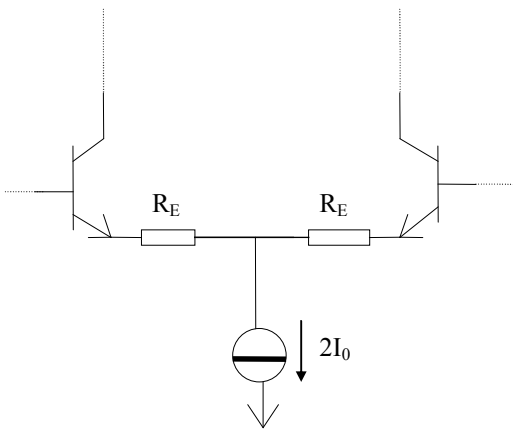


- pnp típusú Darlington tranzisztor-pár

- DC áramgenerátor munkapont-beállító bázisköri generátorral és földelt terheléssel



- differenciálerősítő emitter-köri visszacsatolással és megnövelt közösjel-elnyomással,



- normál kaszkád (kaszkód) kapcsolás

