

Gingl Zoltán, Szeged, 2018.

Elektronika

Műveleti erősítők

Műveleti erősítők

Univerzális építőelem hasznossága

- ▶ Passzív elemek
 - ▶ nem lehet erősíteni, kicsi jeleket kezelni
 - ▶ erősen korlátozott műveletek végezhetők
- ▶ Tranzisztoros erősítők – hatékonyabbak, de
 - ▶ AC erősítés
 - ▶ nem túl pontos
 - ▶ egyszerű feladatokra elég csak

Univerzális építőelem hasznossága

▶ Műszerek

- ▶ szenzorok kezelése
- ▶ precíz elektronika
- ▶ komplikált jelfeldolgozás

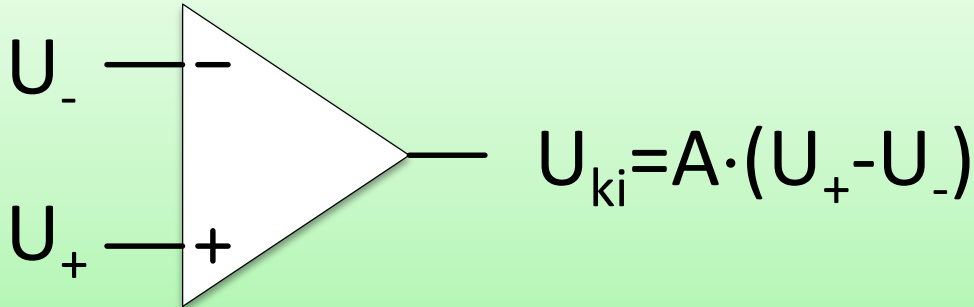
▶ Korszerű eszközök

- ▶ sokféle feladat
- ▶ bonyolult feldolgozás
- ▶ igen sok áramköri elem

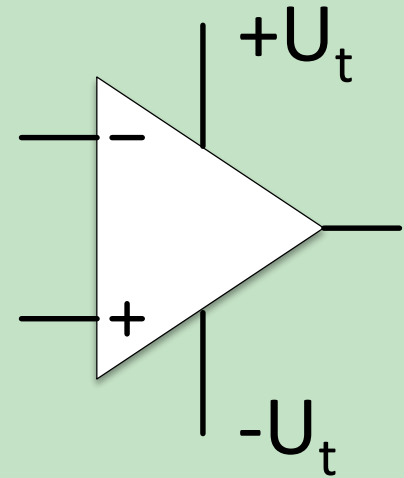
Műveleti erősítők

- ▶ Előre elkészített tranzisztorokból álló kapcsolás
- ▶ Integrált áramkör
- ▶ Nagyon sokféle funkció
 - ▶ erősítés
 - ▶ összeadás, kivonás
 - ▶ integrálás, deriválás
 - ▶ exponenciális, logaritmikus műveletek
 - ▶ áram-feszültség, ellenállás feszültség konverzió
 - ▶ jelgenerátorok, ...

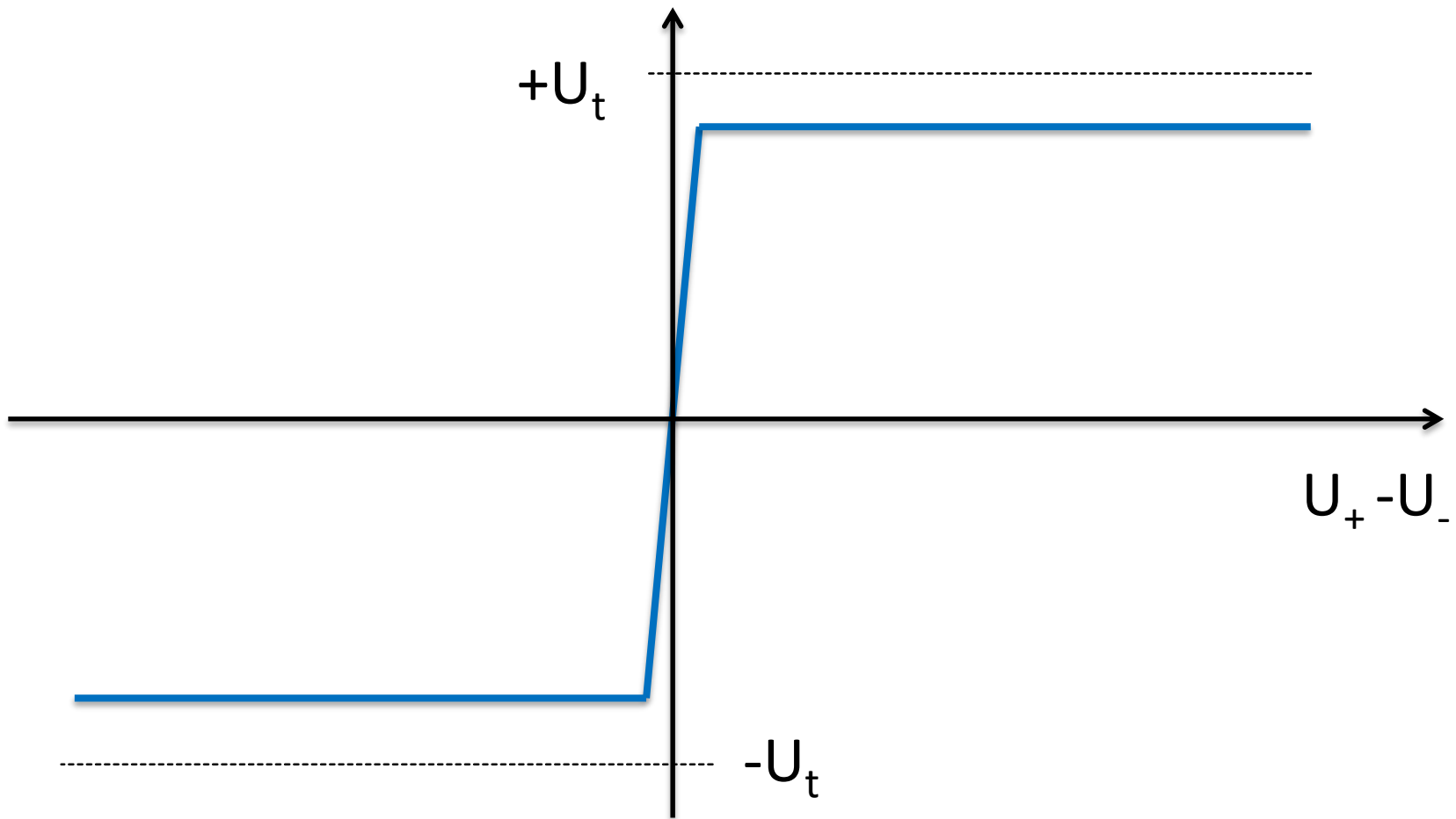
Alapvető működés: feszültségerősítés



- ▶ Van tápfeszültsége is: $+U_t$, $-U_t$
- ▶ Pozitív és negatív jelek is
- ▶ Tranzisztor: β , ME: A
- ▶ Jó: β nagy, A nagy
- ▶ ME: **A igen nagy, 10^5 vagy akár több!**
- ▶ Ideális: A végtelen



Átviteli karakterisztika

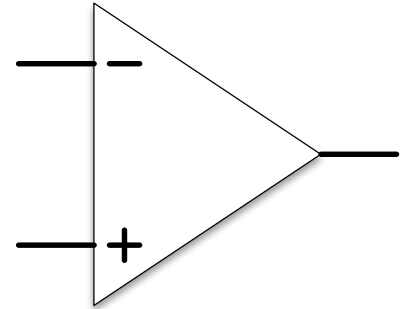


Ideális ME

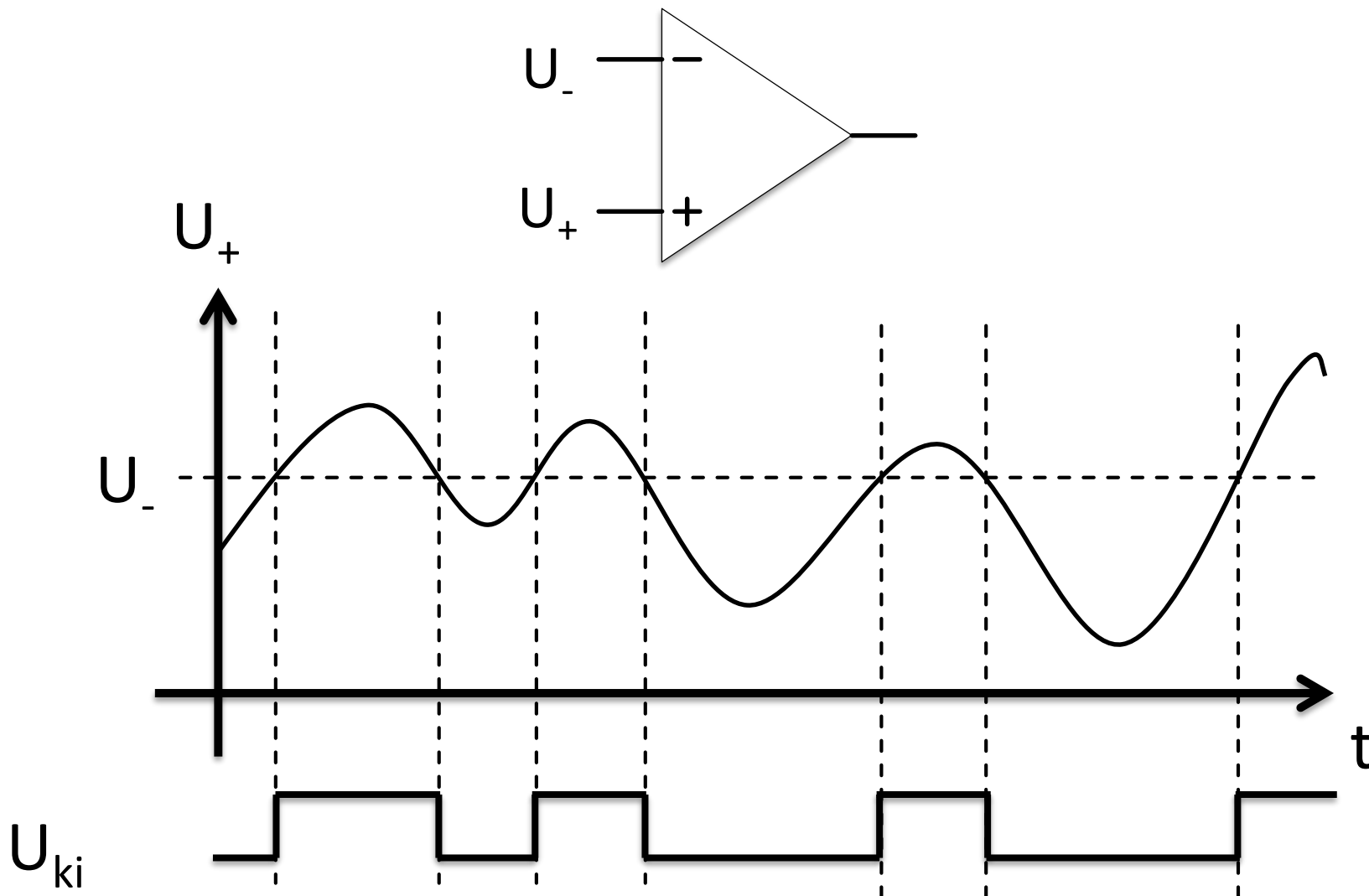
- ▶ A bemenetekbe áram nem folyik
- ▶ A kimenet ideális feszültséggenerátor
- ▶ Az erősítés végtelen nagy – mire jó egy ilyen?

Komparátor

- ▶ A kimenet két állapotú lehet
 - ▶ U_{ki} magas, ha $U_+ > U_-$
 - ▶ U_{ki} alacsony, ha $U_+ < U_-$
- ▶ Analóg bemenet, digitális kimenet
- ▶ Szintmetszés detektálása
 - ▶ szabályozásokhoz
- ▶ Szinuszos jelek digitális jellé alakítása
 - ▶ frekvencia digitális mérése



Komparátor ► Idődiagram



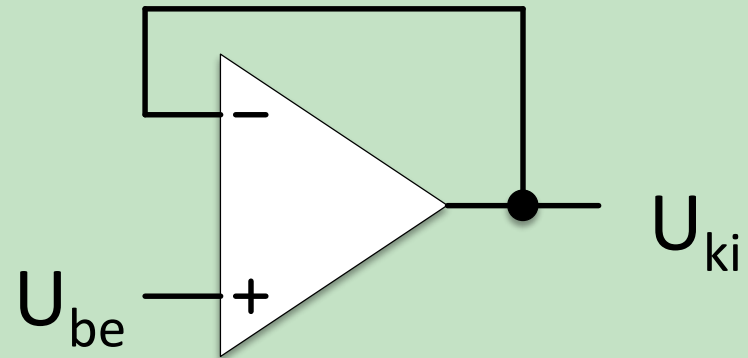
A legegyszerűbb kapcsolás: feszültségkövető

$$U_{ki} = A \cdot (U_{be} - U_{ki})$$

$$\frac{U_{ki}}{A} = U_{be} - U_{ki}$$

$$U_{ki} + \frac{U_{ki}}{A} = U_{be}$$

$$U_{ki} = U_{be} \frac{1}{1 + \frac{1}{A}}$$



Azaz, ha $A \rightarrow \infty$:

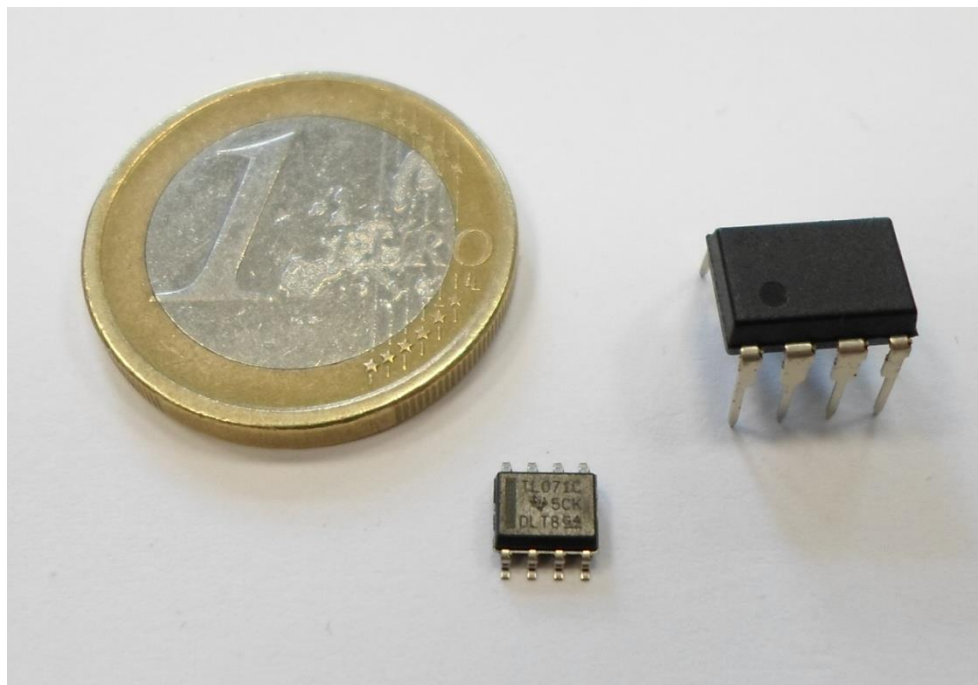
$$U_{ki} = U_{be}$$

A lényeg: negatív visszacsatolás

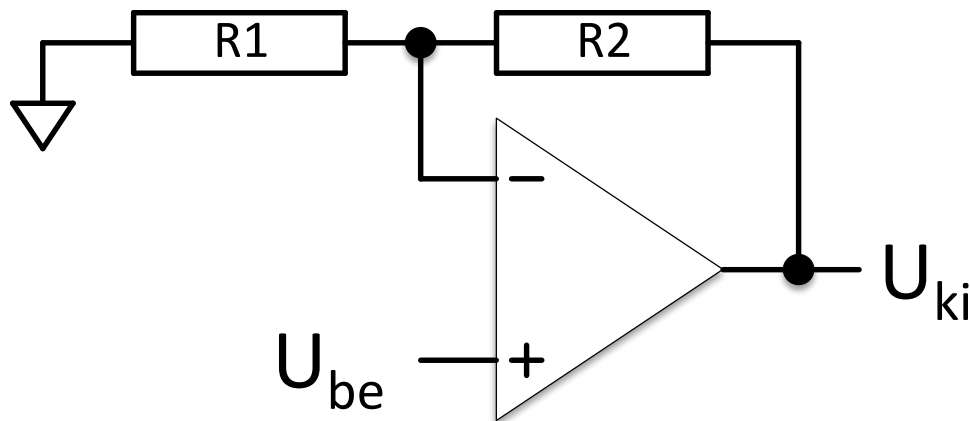
- ▶ A kimenetet visszakötjük a bemenetre
 - ▶ ha a bemenetet változtatjuk, a kimenet követi
 - ▶ minél nagyobb A, annál pontosabban!
 - ▶ a kimeneti érték szabályozása ez
- ▶ **Szabályozás**
 - ▶ mérjük az eltérést a kívánttól
 - ▶ beavatkozunk, hogy az eltérés kicsi legyen
 - ▶ **vezérlés**: nem mérjük az eltérést, csak ismerjük az összekötő képletet – például földelt emitteres erősítő

Valódi műveleti erősítők gyakori értékei

- ▶ $A \approx 10^5$ (100dB)
- ▶ Bemeneti áram: 10nA
- ▶ Kimeneti áram: 10mA
- ▶ Tápfeszültség: $\pm 15V$
- ▶ Tápáram: 5mA
- ▶ Léteznek
 - ▶ kisfeszültségűek (táp:2V)
 - ▶ kis bemenő áramú (1pA)
 - ▶ kisfogyasztású (0,1mA)
 - ▶ nagyáramú (akár 1A)



Kicsit bonyolultabb negatív visszacsatolás

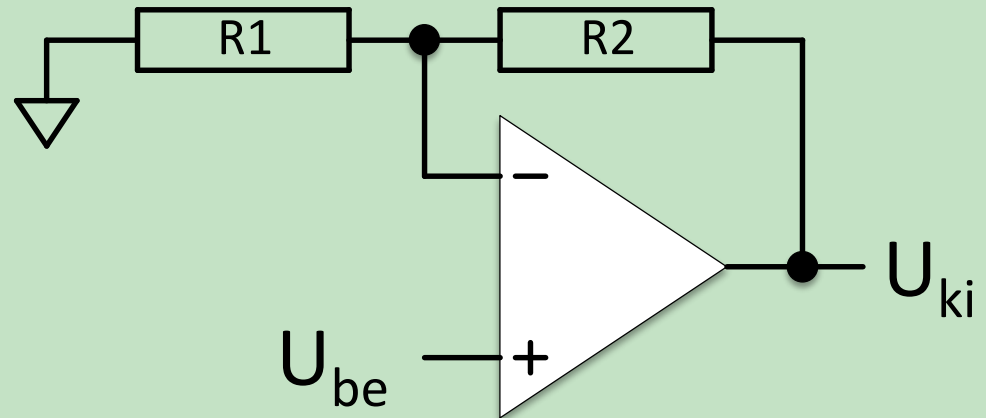


- ▶ A kimenetnek csak egy része van visszakötve
- ▶ Lehetne a szokásos számolással (és $A \rightarrow \infty$)
- ▶ De lehet egyszerűbben is, mivel $U_+ - U_- = U_{ki}/A \approx 0$:
 - ▶ $U_+ = U_-$
 - ▶ *a bemenetekbe áram nem folyik*

Negatív visszacsatolás esetén: egyszerűsített számolási módszer alkalmazható

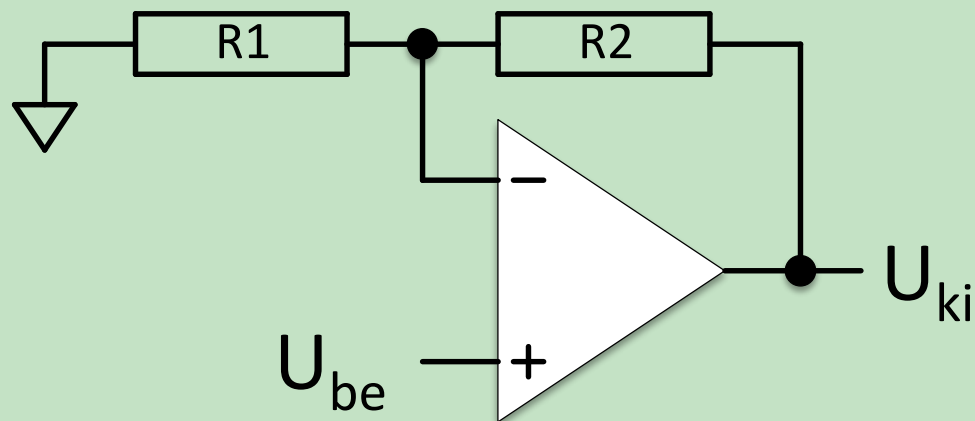
- ▶ *A bemenetekbe áram nem folyik*
- ▶ $U_+ = U_-$
- ▶ A módszer lépései tehát
 - ▶ Számítsuk ki
 - ▶ a neminvertáló bemeneti feszültséget (U_+)
 - ▶ az invertáló bemeneti feszültséget (U_-)
 - ▶ a számítások során az erősítő bemenetek szakadásként viselkednek (azaz mintha nem lennének az áramkörre kötve)
 - ▶ A két feszültség egyenlőségéből kiszámítható a kimeneti feszültség

Egyenes erősítő: nem-invertáló bemenet

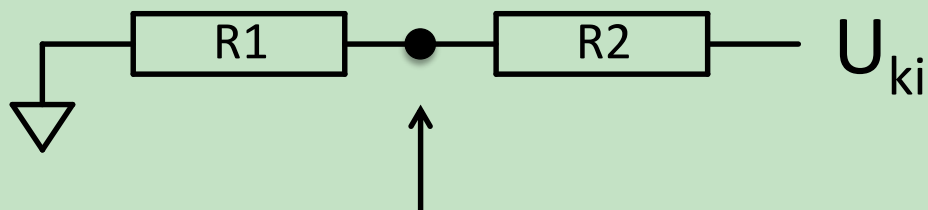


$$U_{+} = U_{be}$$

Egyenes erősítő: invertáló bemenet



A számoláskor csak ezt kell néznünk:



$$U_- = U_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

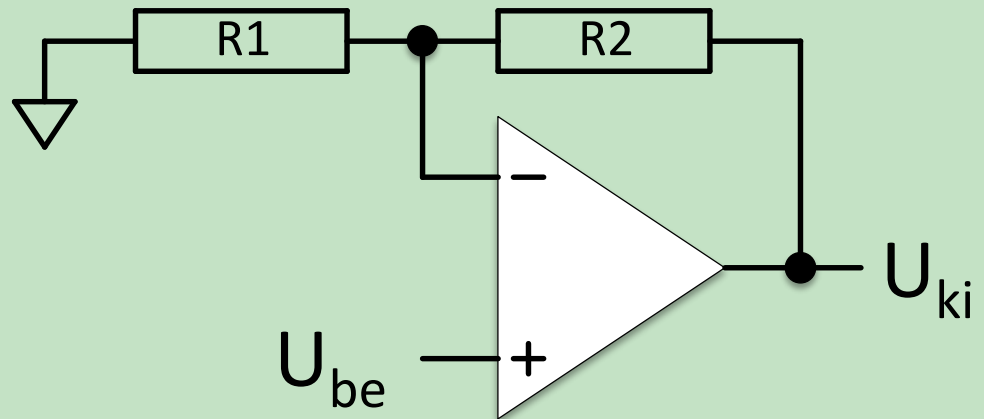
Egyenes erősítő: $U_+ = U_-$

$$U_+ = U_{be}$$

$$U_- = U_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_{be} = U_{ki} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_{ki} = U_{be} \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$



$$U_{ki} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot U_{be}$$

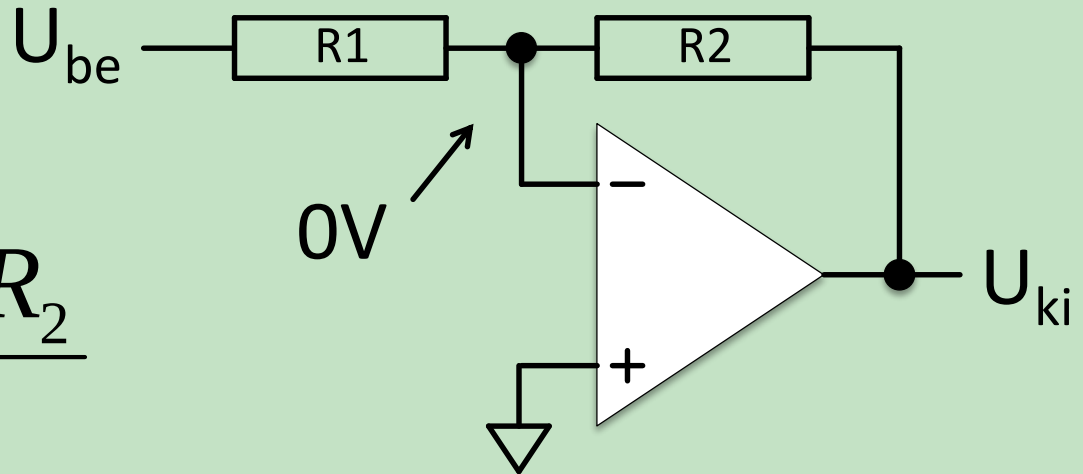
Cseréljük fel a bemeneteket: *invertáló erősítő*

$$U_+ = 0V$$

$$U_- = \frac{U_{ki}R_1 + U_{be}R_2}{R_1 + R_2}$$

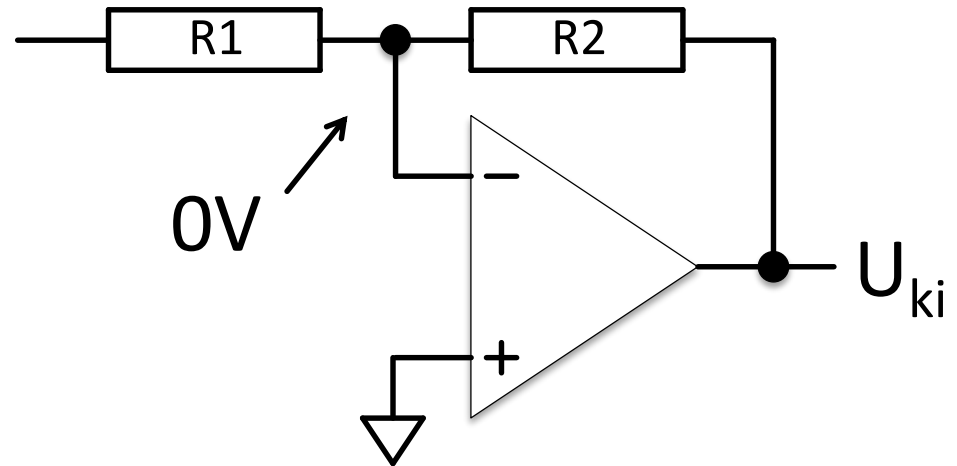
$$0V = \frac{U_{ki}R_1 + U_{be}R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_{ki}R_1 = -U_{be}R_2$$



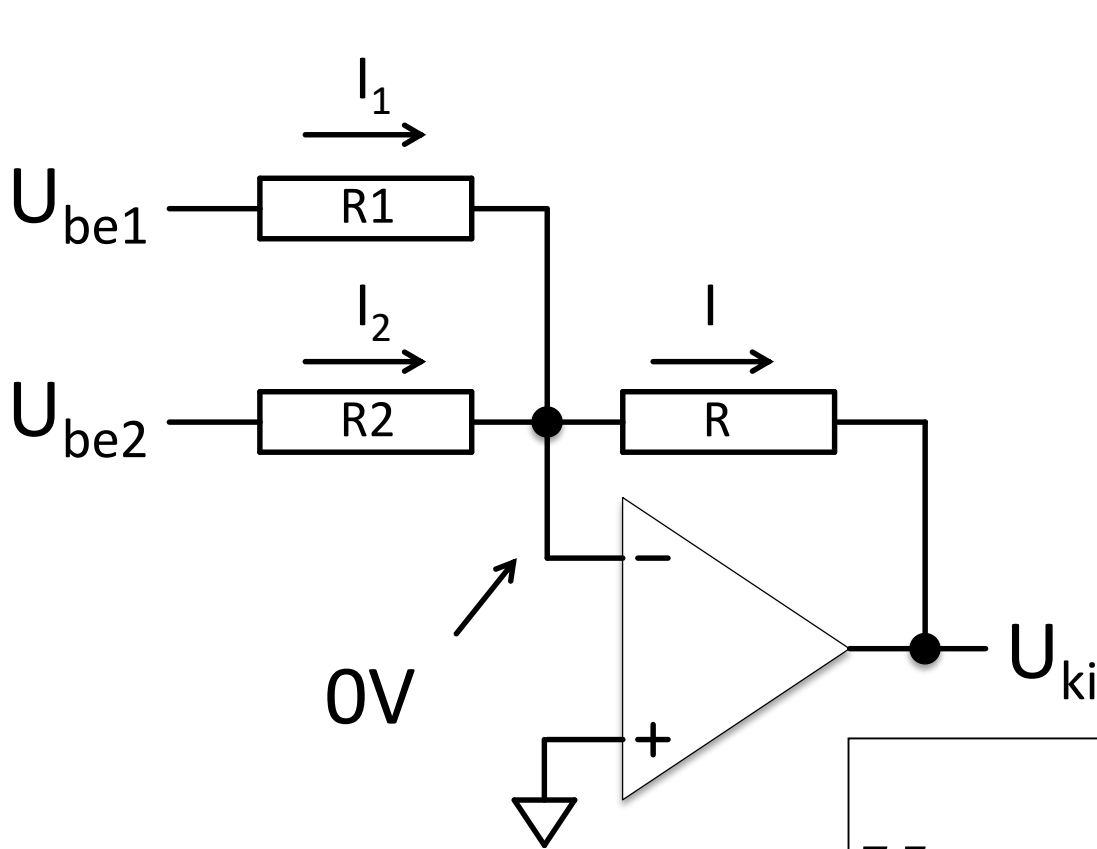
$$U_{ki} = -\frac{R_2}{R_1}U_{be}$$

Virtuális földpont



- ▶ Ha a nem-invertáló bemenet földelve van:
az invertáló bemenetet a kimenet $0V$ -ra húzza
- ▶ Virtuális földpont, egyszerűsíti a számolásokat

Összegző erősítő



$$I_1 = \frac{U_{be1}}{R_1}$$

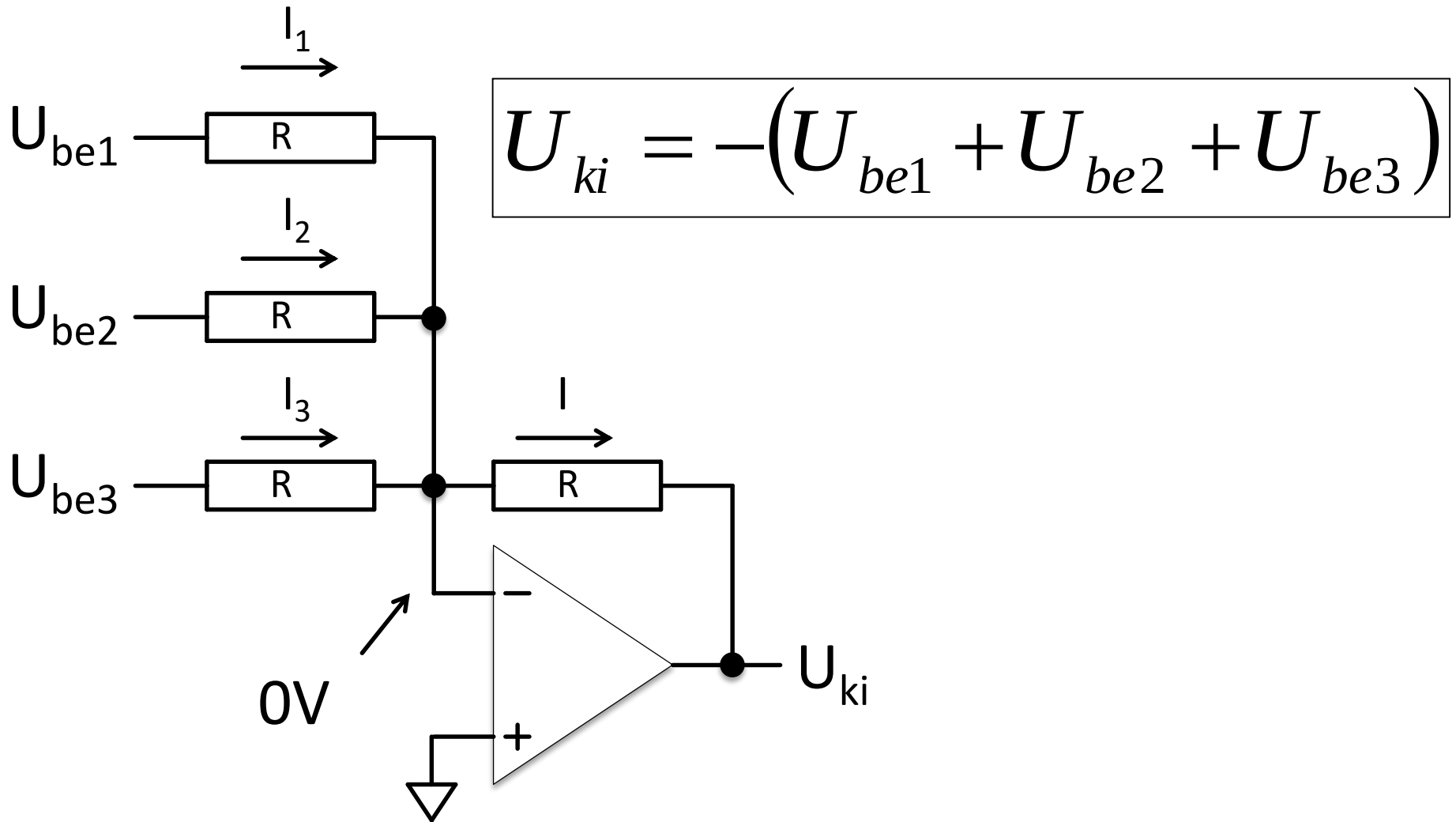
$$I_2 = \frac{U_{be2}}{R_2}$$

$$I = I_1 + I_2$$

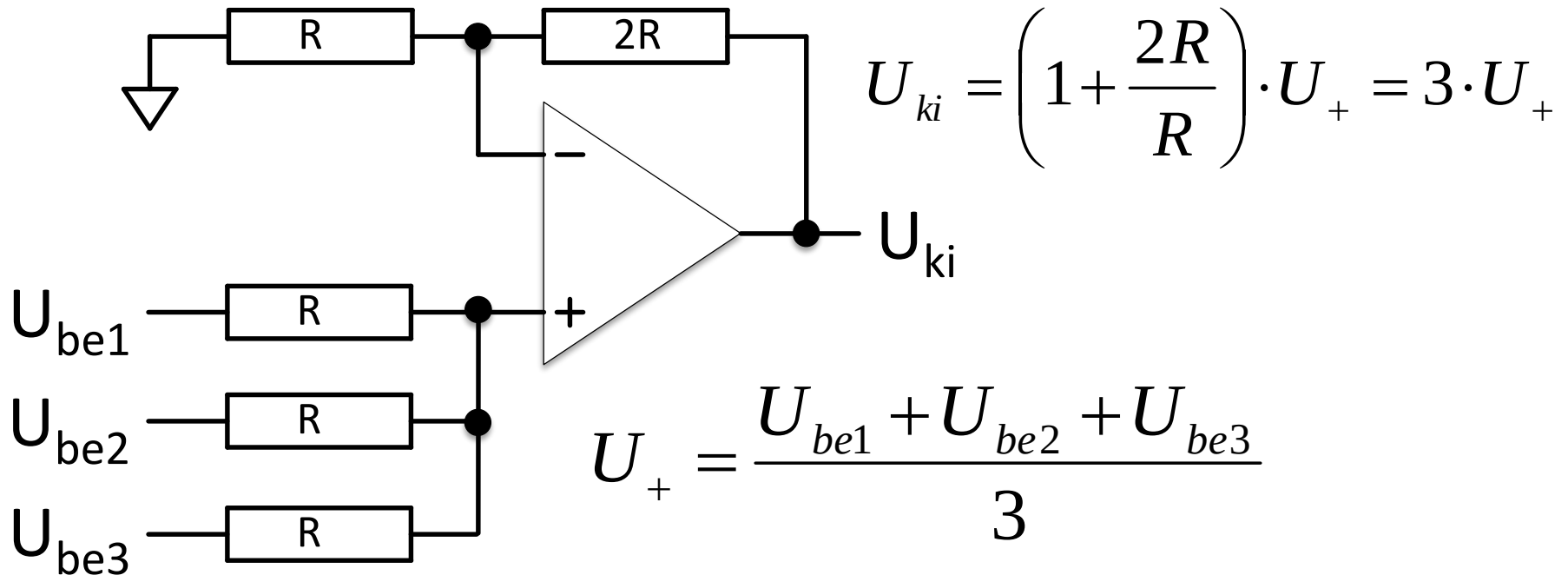
$$U_{ki} = -R \cdot (I_1 + I_2)$$

$$U_{ki} = -\left(\frac{R}{R_1} U_{be1} + \frac{R}{R_2} U_{be2} \right)$$

Összegző erősítő: azonos ellenállások

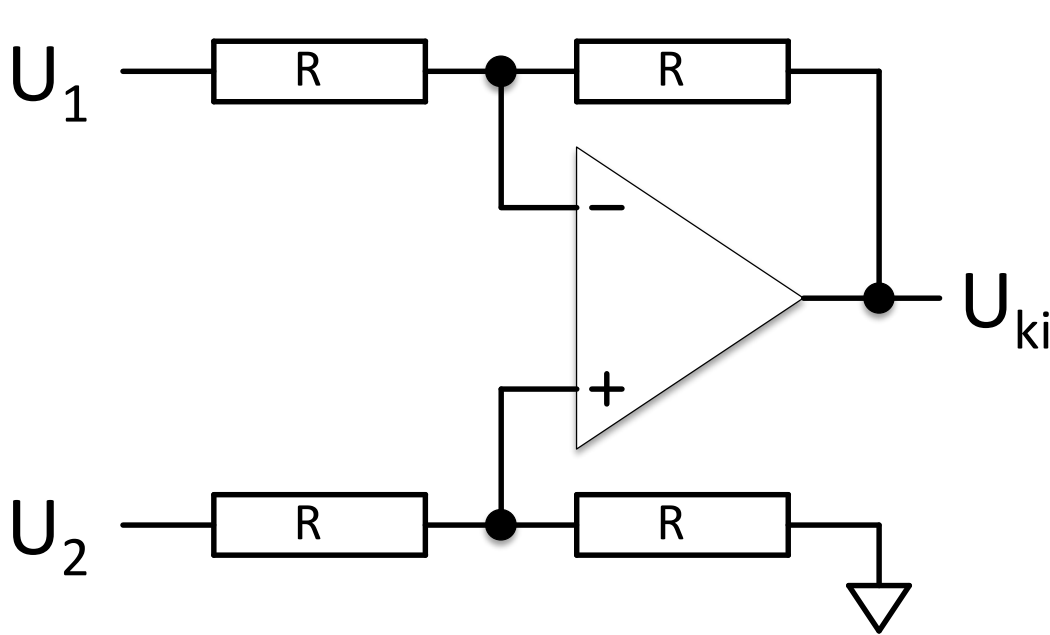


Neminvertáló összegző erősítő



$$U_{ki} = U_{be1} + U_{be2} + U_{be3}$$

Differenciálerősítő (különbségképző)



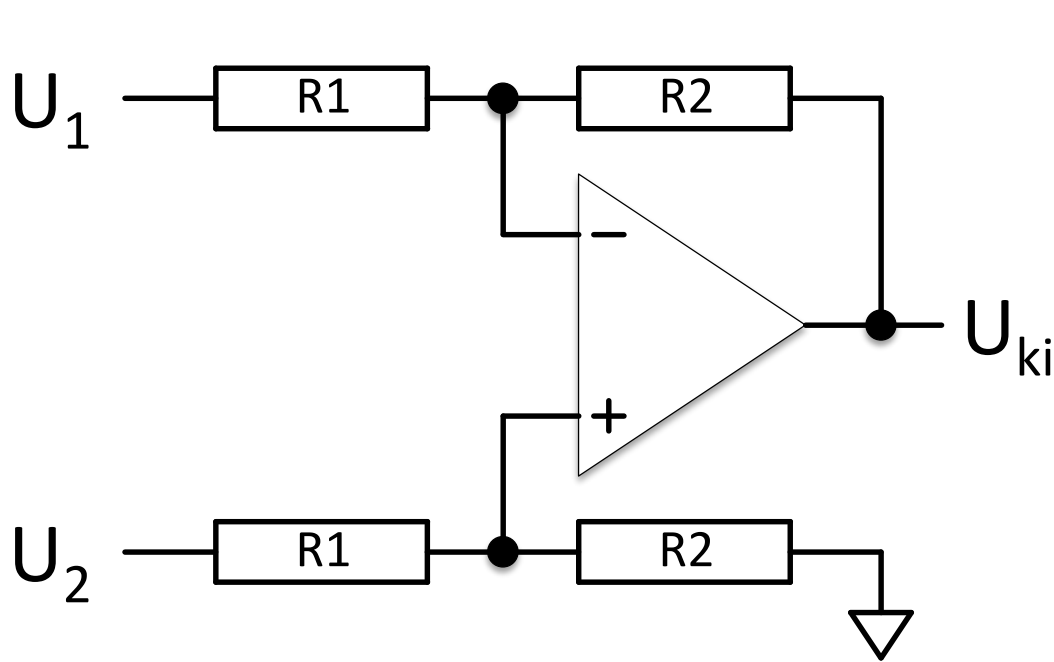
$$U_- = \frac{U_1 + U_{ki}}{2}$$

$$U_+ = \frac{U_2}{2}$$

$$U_+ = U_-$$

$$U_{ki} = U_2 - U_1$$

Differenciálerősítő (különbségképző)



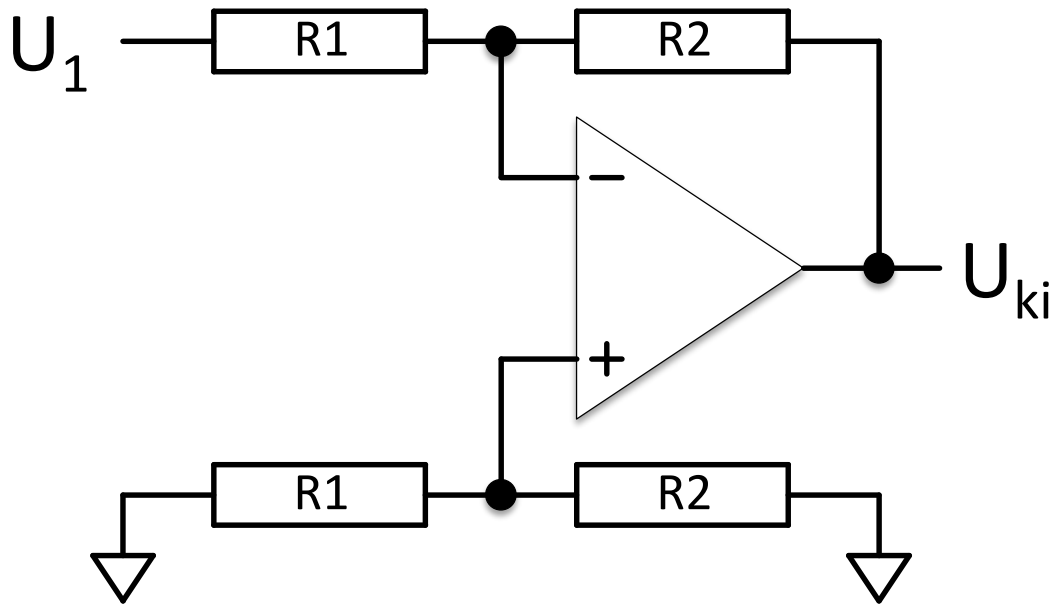
$$U_- = \frac{U_1 R_2 + U_{ki} R_1}{R_1 + R_2}$$

$$U_+ = \frac{U_2 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$U_+ = U_-$$

$$U_{ki} = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

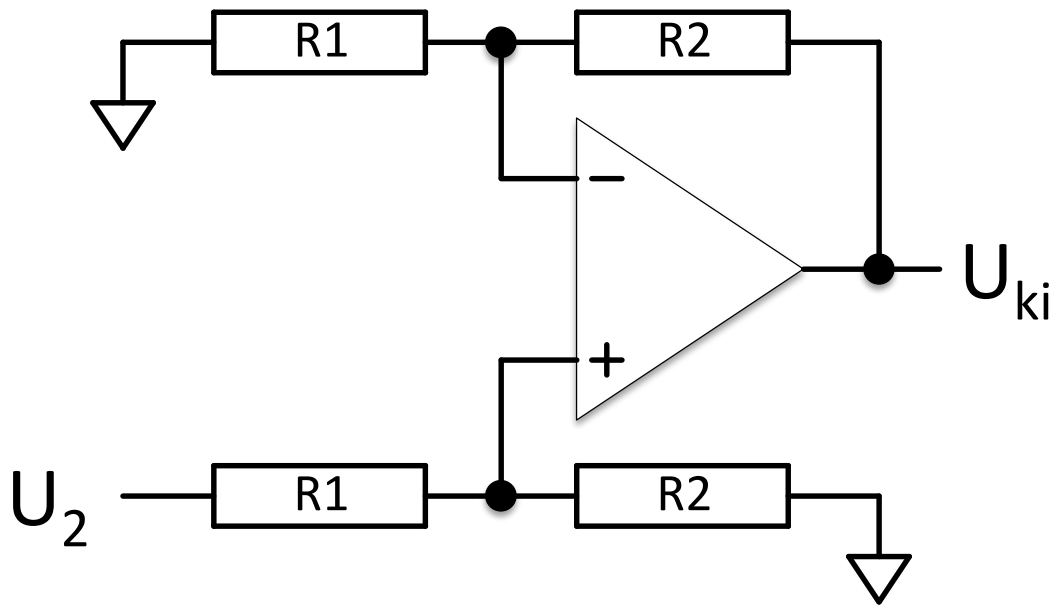
Szuperpozíció tétele is segít: $U_2=0V$



$$U_{ki,1} = -\frac{R_2}{R_1} U_1$$

► Ez egy invertáló erősítő, mert $U_+=0V$

Szuperpozíció tétele is segít: $U_1=0V$



$$U_{ki,2} = \frac{R_2}{R_1} U_2$$

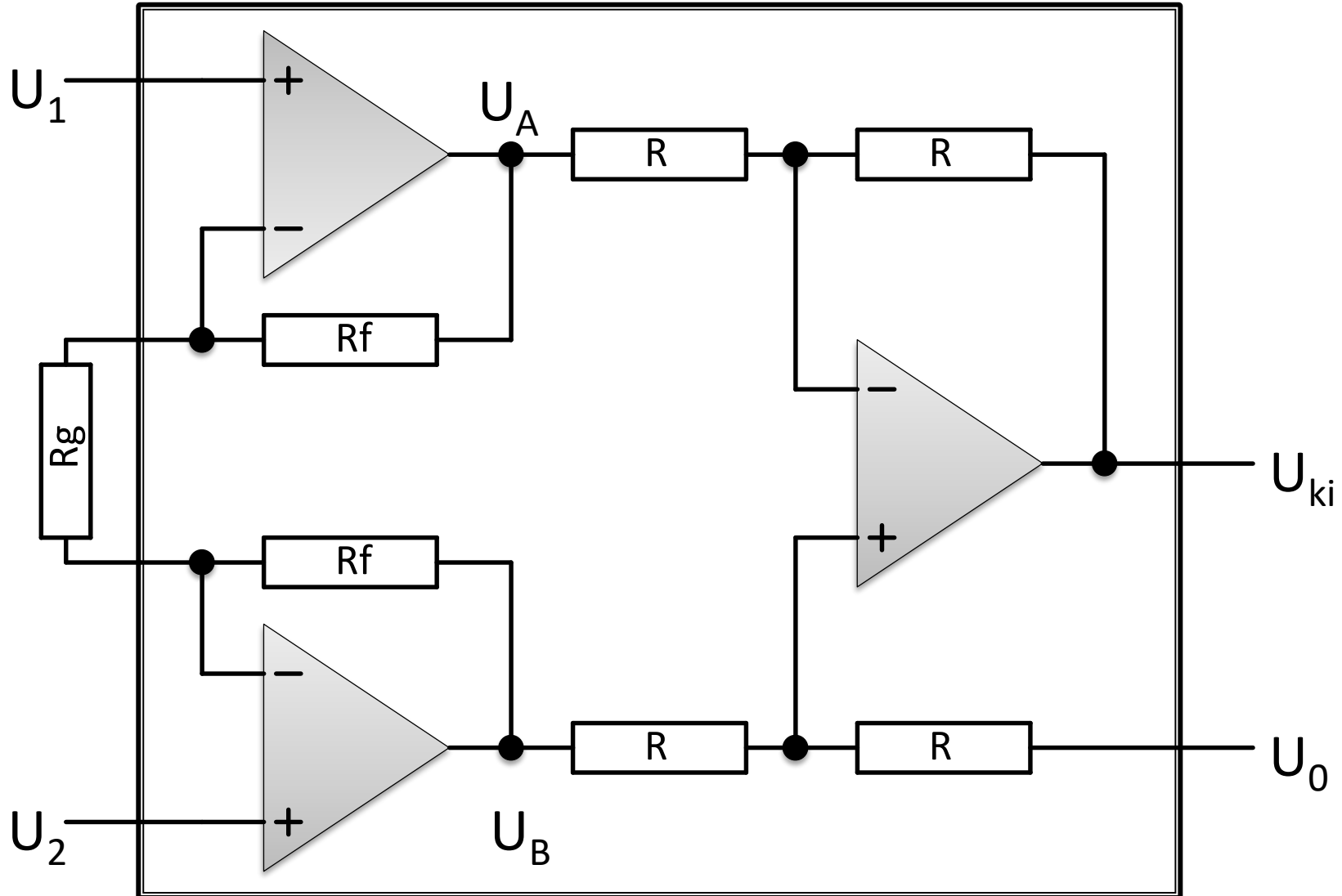
- ▶ Ez egy egyenes erősítő
- ▶ U_+ -t erősíti fel $(R_1+R_2)/R_1$ arányban
- ▶ U_+ értéke $U_2 R_2 / (R_1 + R_2)$

Összesítve tehát

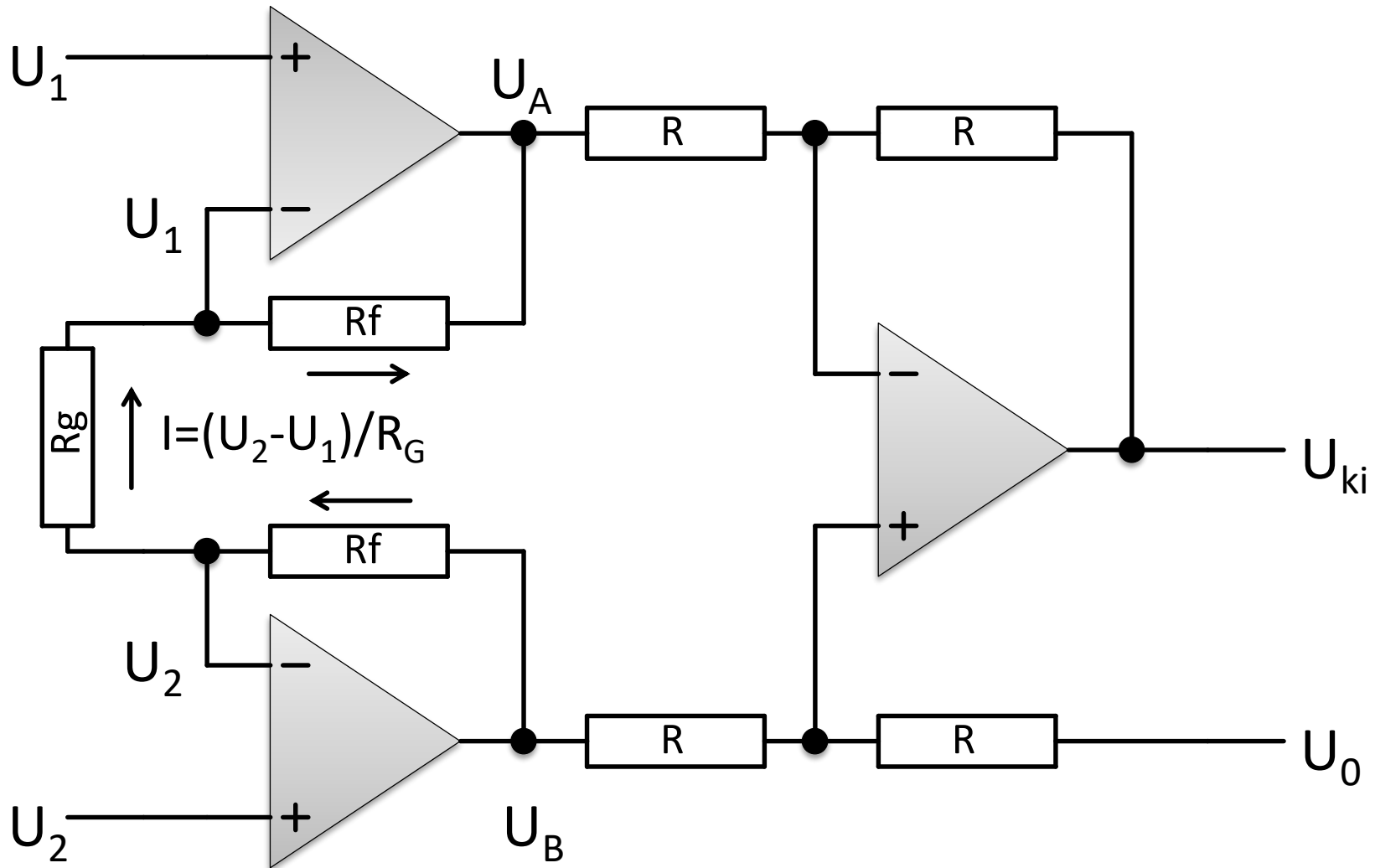
$$U_{ki} = U_{ki,1} + U_{ki,2} = \frac{R_2}{R_1} U_2 - \frac{R_2}{R_1} U_1$$

$$U_{ki} = \frac{R_2}{R_1} (U_2 - U_1)$$

Műszererősítő – precíz differenciálerősítő



Műszererősítő – precíz differenciálerősítő



Számítások

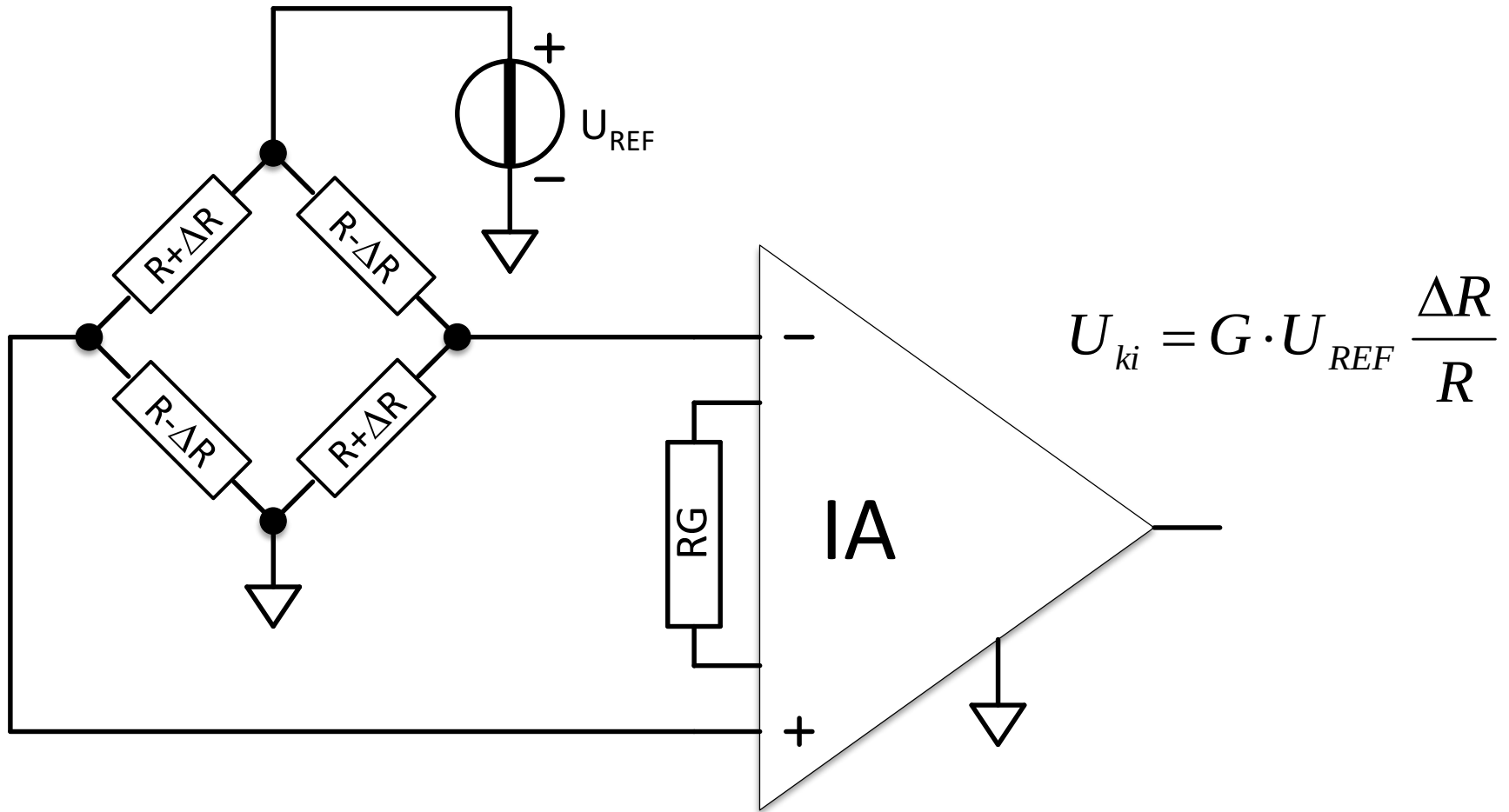
$$U_A = U_1 - \frac{U_2 - U_1}{R_G} R_f$$

$$U_B = U_2 + \frac{U_2 - U_1}{R_G} R_f$$

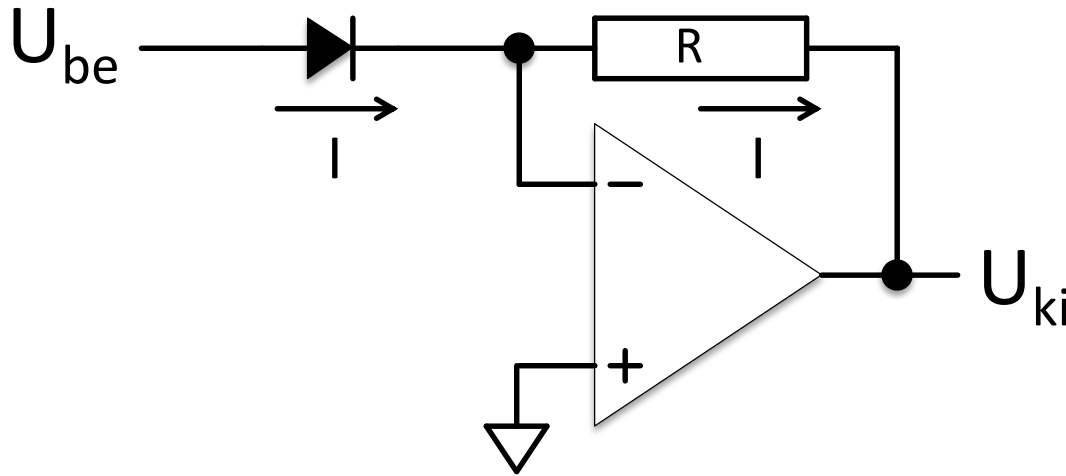
$$U_{ki} = U_B - U_A + U_0$$

$$U_{ki} = (U_2 - U_1) \cdot \left(1 + \frac{2R_f}{R_G} \right) + U_0$$

Mérőhíd erősítése



Exponenciális erősítő

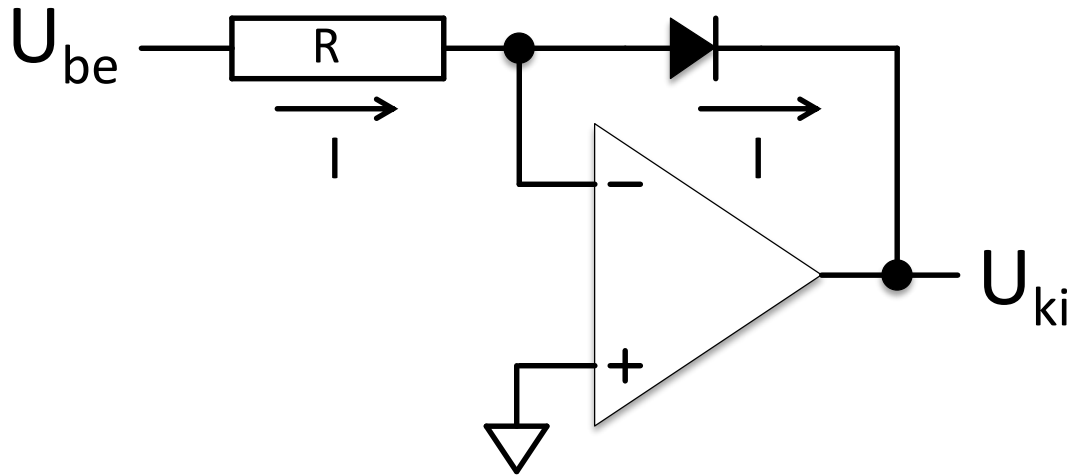


$$I = I_0 e^{\frac{U_{be}}{U_T}}$$

$$U_{ki} = -R \cdot I_0 e^{\frac{U_{be}}{U_T}}$$

$$U_{ki} = -R \cdot I_0 e^{\frac{U_{be}}{U_T}}$$

Logaritmikus erősítő



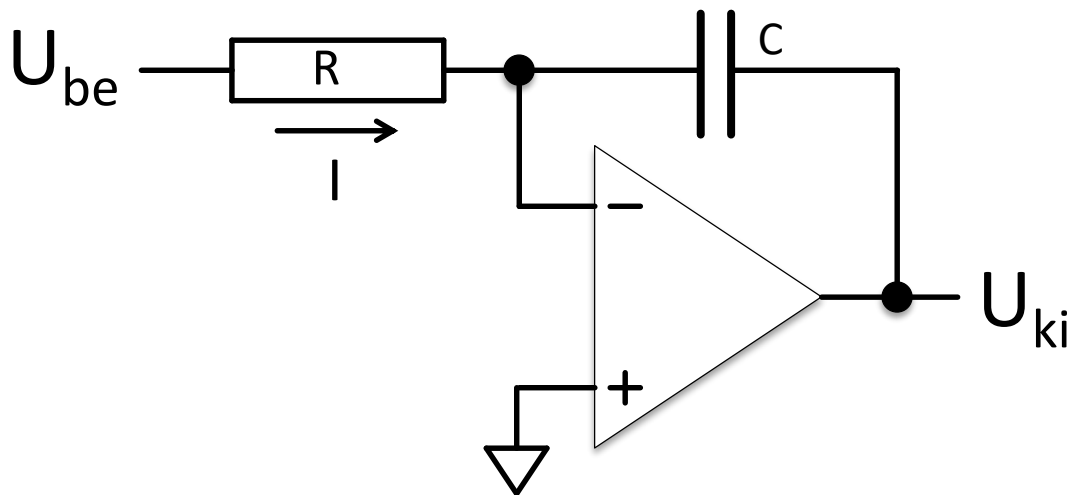
$$I = \frac{U_{be}}{R}$$

$$U_D = U_T \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

$$U_{ki} = -U_D$$

$$U_{ki} = -U_T \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Integrátor

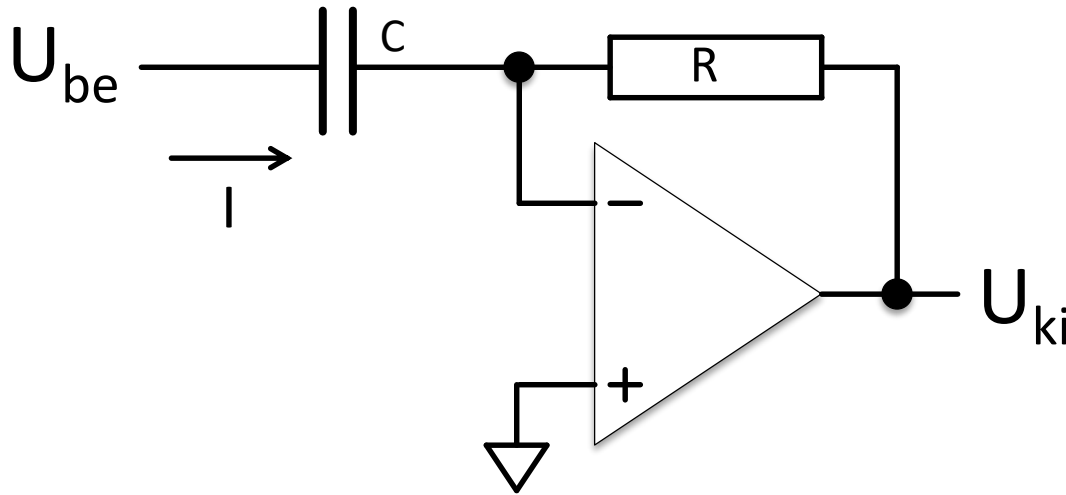


$$I = \frac{U_{be}}{R}$$

$$U_{ki} = -\frac{1}{C} \int I(t) dt$$

$$U_{ki} = -\frac{1}{RC} \int U_{be}(t) dt$$

Deriváló áramkör

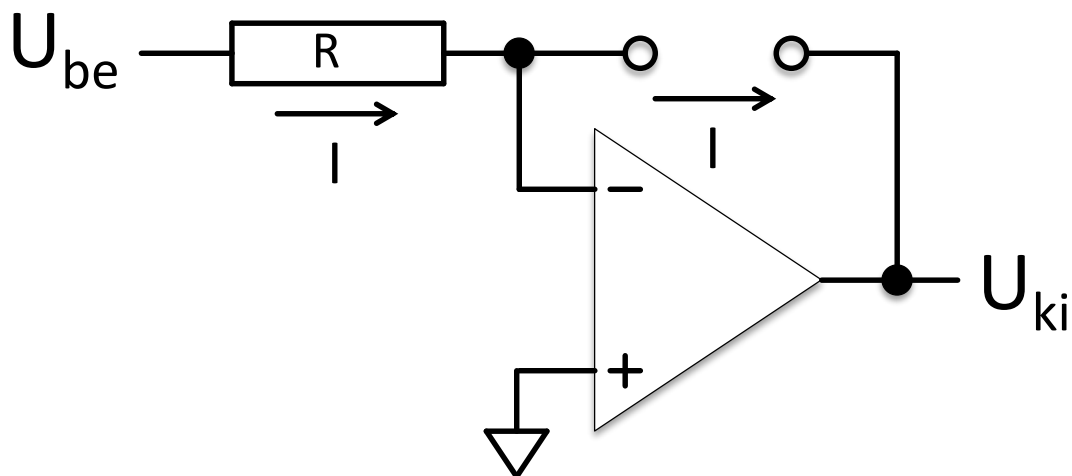


$$I = C \frac{dU_{be}}{dt}$$

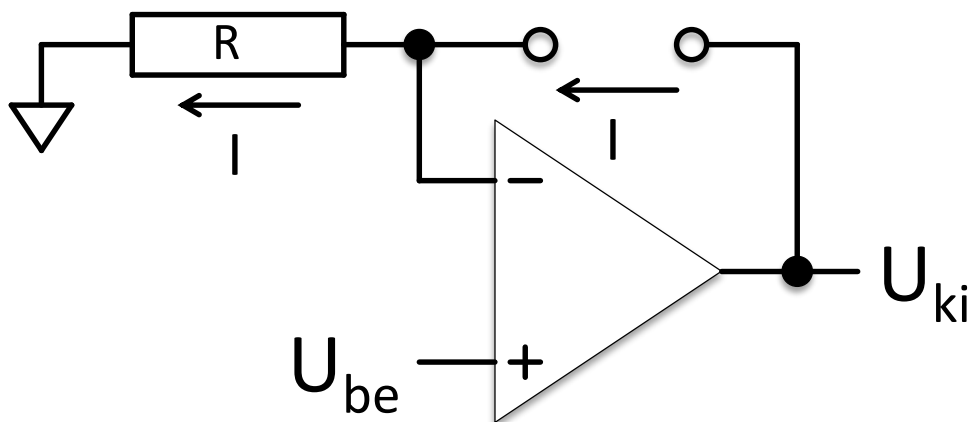
$$U_{ki} = -RC \frac{dU_{be}}{dt}$$

$$U_{ki} = -RC \frac{dU_{be}}{dt}$$

Áramgenerátor

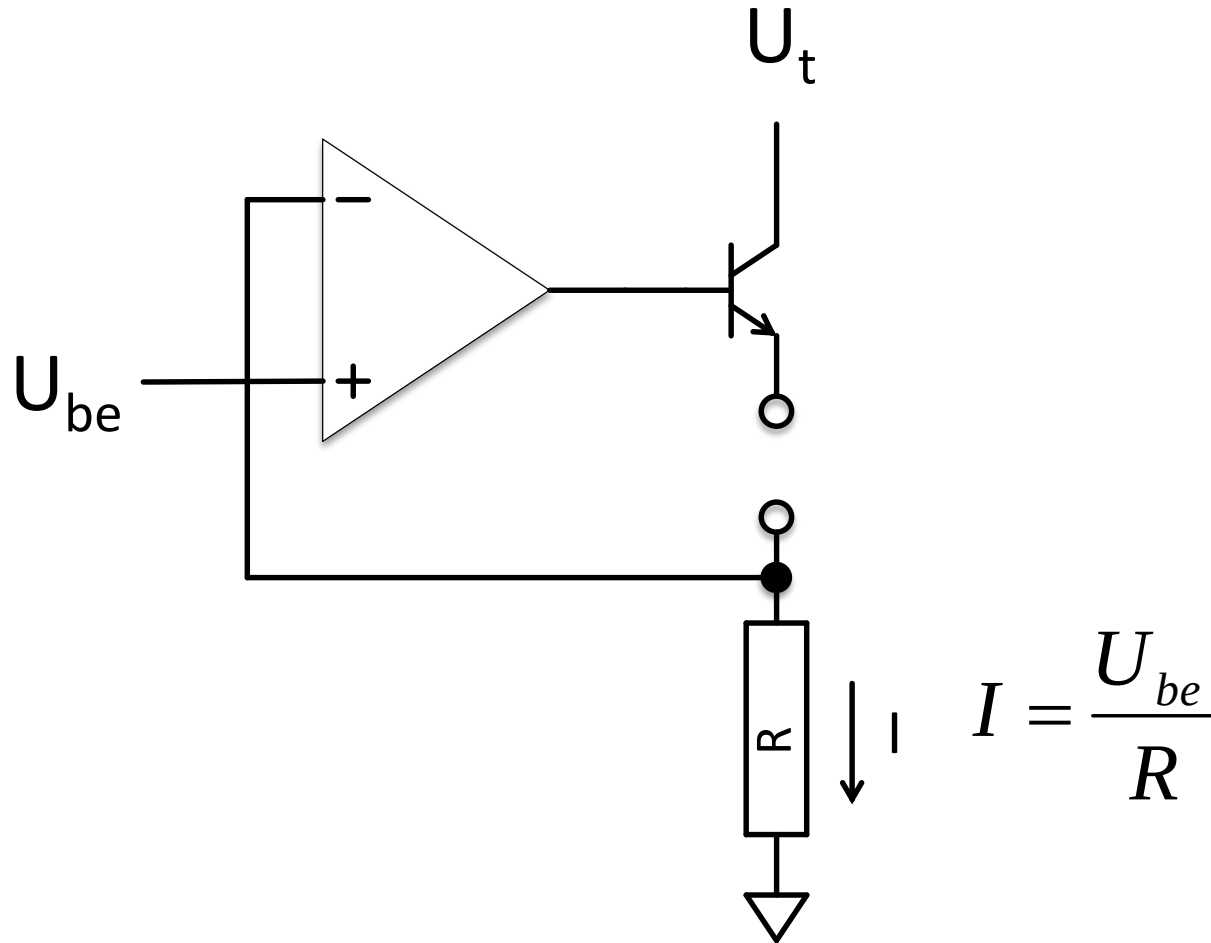


$$I = \frac{U_{be}}{R}$$



$$I = \frac{U_{be}}{R}$$

Nagyáramú áramgenerátor



Nagyáramú áramgenerátor

