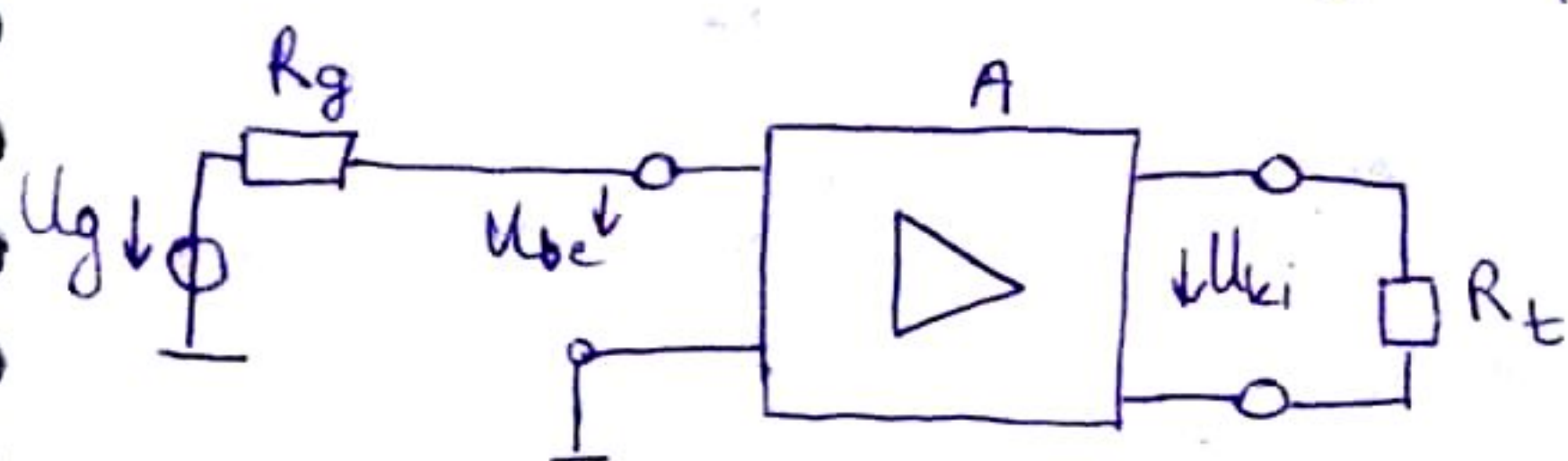


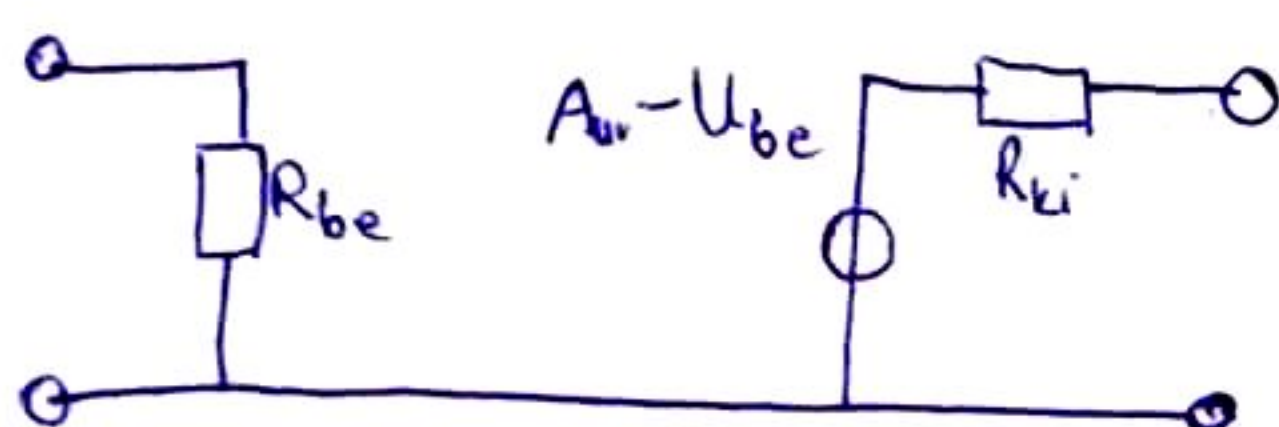
Lineáris erősítők - második ZH

Nérdátalakítók feszültséget fordítottak, ezt erősíteni kell
 $g = \text{generátor}$

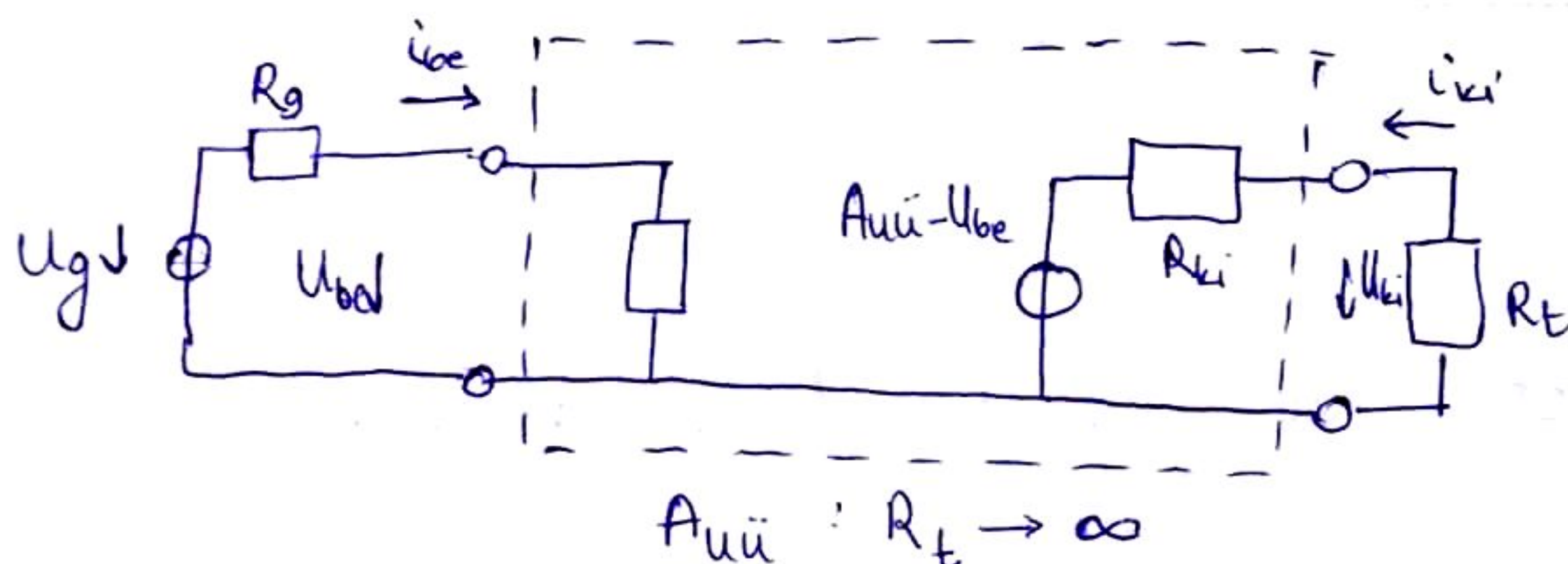


A generátor ellenállás számunkra
 kedvezőtlen

aszimmetrikus
 erősítő = földelt



U : üresjárat
 r : rövidzárlat



$$A_{uü} : R_t \rightarrow \infty$$

$$U_{ki} = U_g \cdot \frac{R_{be}}{R_{be} + R_g} \cdot A_{uü} \cdot \frac{R_t}{R_t + R_{ki}}$$

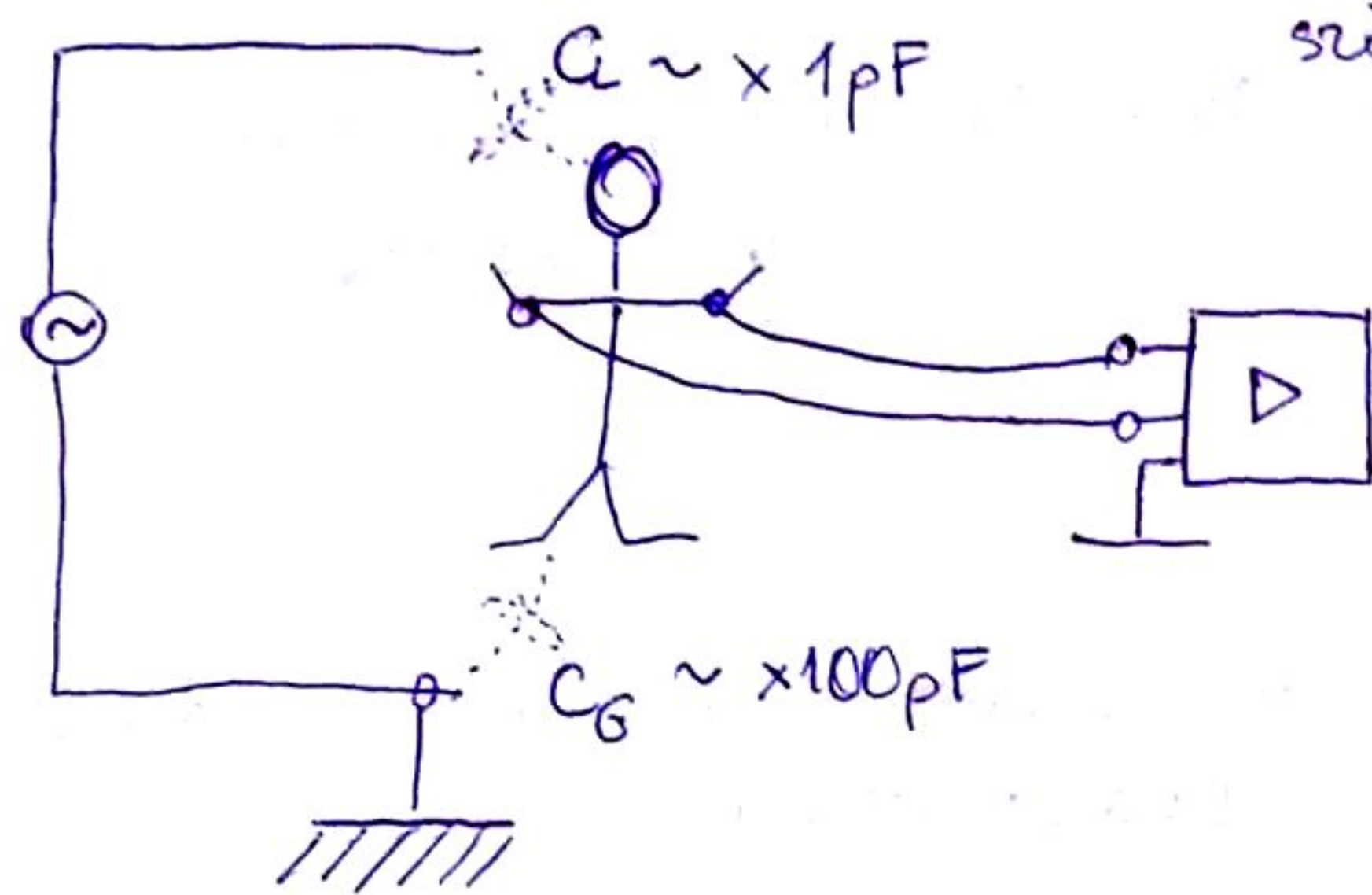
$$R_{be} = \frac{U_{be}}{i_{be}} \quad , \quad R_{ki} = - \frac{U_{uü}}{i_{ki}}$$

Feladat:

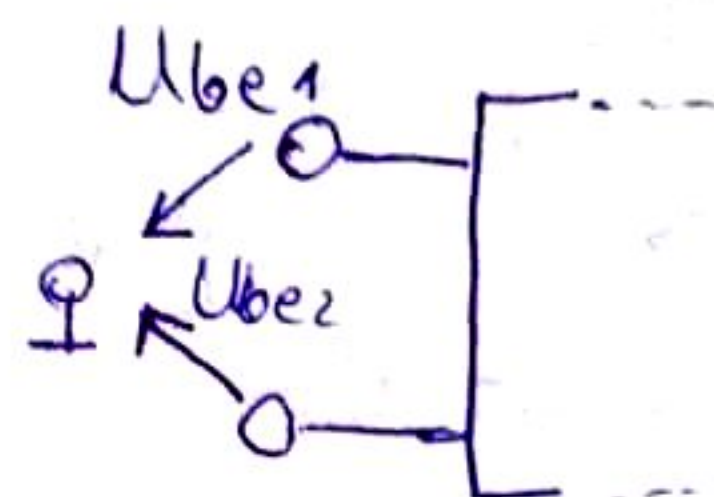
R_t	U_{ki}
∞	1V
$10k\Omega$	0,5V
<hr/>	
$R_{ki} = 10k\Omega$	

R_g	U_{ki}
0	2V
$100k\Omega$	1V
<hr/>	
$R_{be} = 100k\Omega$	

szimmetrikus erősítő



szórt kapacitások



$$U_{bes} = U_{be1} - U_{be2}$$

$$U_{be2} = \frac{U_{be1} - U_{be2}}{2}$$

$$U_{ki} = A_{us} \cdot U_{bes} + A_{uk} \cdot U_{be2}$$

$$U_{ki} = A_{us} \left(U_{bes} + \frac{A_{uk}}{A_{us}} \cdot U_{be2} \right)$$

S = szimmetrikus erősítő

CMRR

U_{be1}	U_{be2}	U_{ki}
9,95V	10,05V	-0,9V
5,1V	5V	1,0505V

A_{us}, A_{uk}, E_{ku}

- szimmetrikus jel: szeretjük, ez kell nekünk
- közös jel: meg akarunk tőle szabadulni
(pl. testfelszínen lévő 50 Hz-es jel)

2016.09.29.

U_{be2imm}	$U_{behozós}$
-0,1	10V
0,1	5,05 V

U_{be1}	U_{be2}	U_{ki}
9,95V	10,05	-0,9V
5,1V	5V	1,0505V

$$U_{ki} = U_{bes} \cdot A_{us} + U_{beh} \cdot A_{uk}$$

$$\left. \begin{aligned} -0,9 &= -0,1 \cdot A_{us} + 10 \cdot A_{uk} \\ 1,0505 &= 0,1 \cdot A_{us} + 5,05 \cdot A_{uk} \end{aligned} \right\}$$

$$0,1505 = 15,05 \cdot A_{uk}$$

$$\left. \begin{aligned} A_{uk} &= 10^{-2} = -40 \text{ dB} \\ A_{us} &= 10 \rightarrow 20 \text{ dB} \end{aligned} \right\} E_{ku} = \frac{A_{us}}{A_{uk}} = 10^3 \text{ 60 dB}$$

dB - viszonyszám

erősítés: $A = \frac{U_{ki}}{U_{be}}$

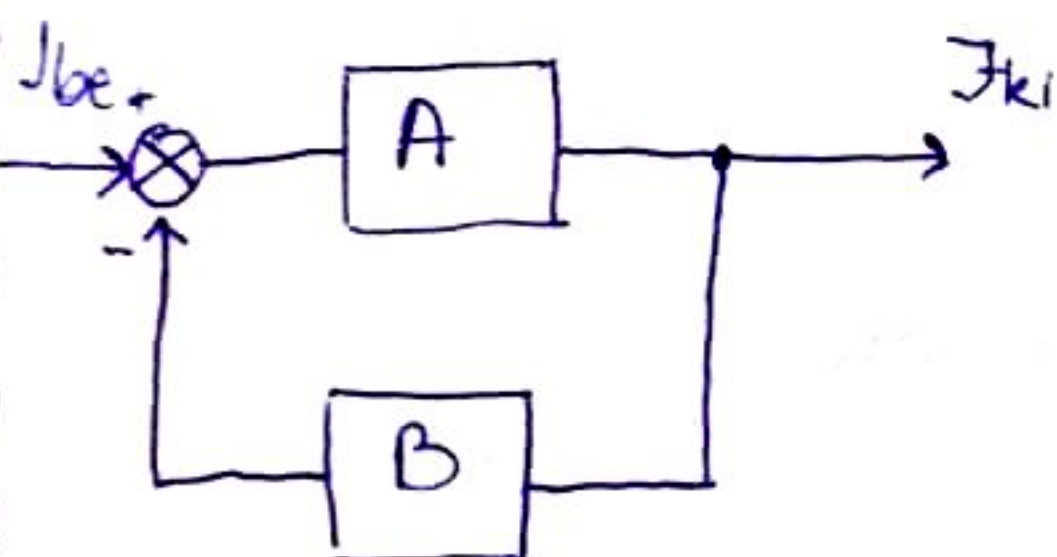
$$A_{lg} = 20 \cdot \lg A_{\text{lineáris}}$$

0 dB	1
20	10
40	100
-20	0,1
~6	2
3	$\sqrt{2}$
-3	$\frac{1}{\sqrt{2}}$

20 mPa - ezt tekintjük 0 dB-nak (=Ø zaj)

Visszacsatolás

\boxed{A} = erősítő
 \boxed{B} = visszacsatoló



$$J_{ki} = J_1 \cdot A$$

$$J_1 = J_{be} - B \cdot J_{ki}$$

$$J_{ki} = A \cdot J_{be} - A \cdot B \cdot J_{ki}$$

$$J_{ki} = \underbrace{\frac{A}{1+AB}}_{A_v} \cdot J_{be}$$

ez negatív

A negatív visszacsatolás képes stabilizálni a jelnek instabilitását.

A pozitív viszont bevenő jel nélkül is produkálhat kimenő jelet.

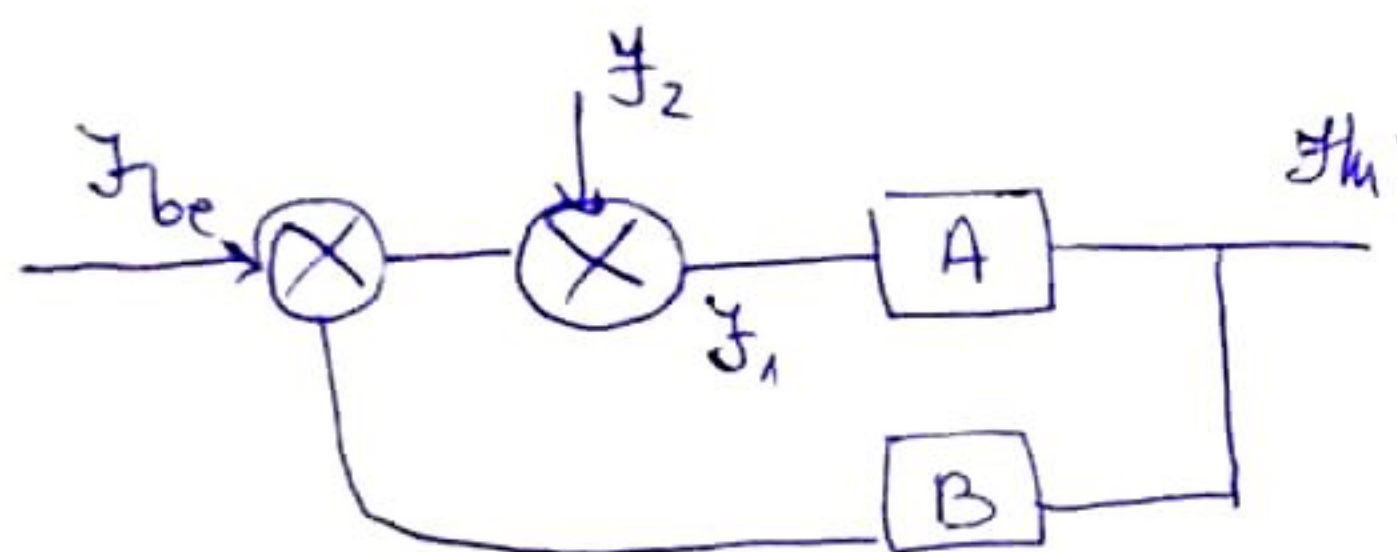
$$A_v = \frac{A}{1+AB}$$

$$\Delta A_v = \frac{\partial A_v}{\partial A} \cdot \Delta A + \frac{\partial A_v}{\partial B} \cdot \Delta B$$

$$\Delta A_v = \frac{1+AB-AB}{(1+AB)^2} \cdot \Delta A + \frac{-A^2}{(1+AB)^2} \cdot \Delta B$$

$$\frac{\Delta A_v}{A_v} = \frac{1}{1+AB} \cdot \frac{\Delta A}{A} - \frac{AB}{1+AB} \cdot \frac{\Delta B}{B}$$

Ha erősítőt akarunk csinálni, akkor a visszacsatolást negatívnak kell választanom.



$$I_{ki} = A \cdot I_1$$

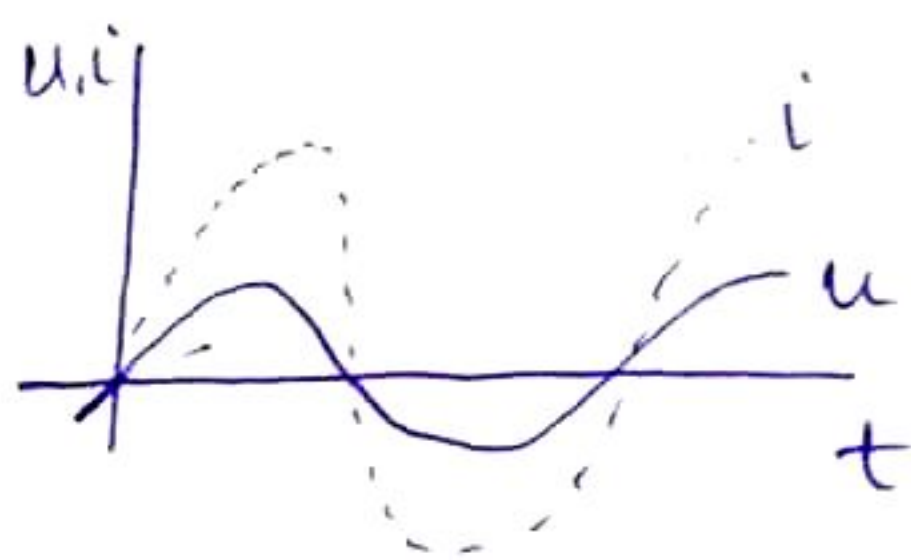
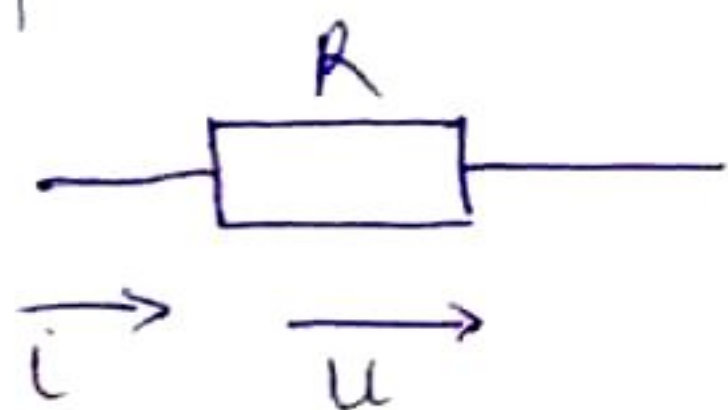
$$I_1 = I_{be} + I_2 - B \cdot I_{ki}$$

$$I_{ki} = A \cdot I_{be} + A \cdot I_2 - AB \cdot I_{ki}$$

$$I_{ki} = \frac{A}{1+AB} \cdot I_{be} + \frac{A}{1+AB} \cdot I_2$$

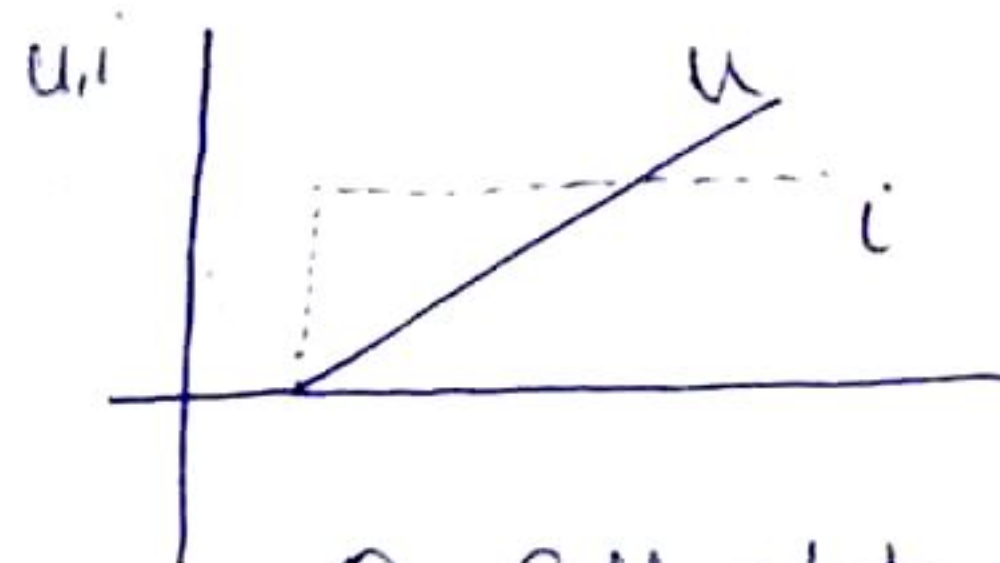
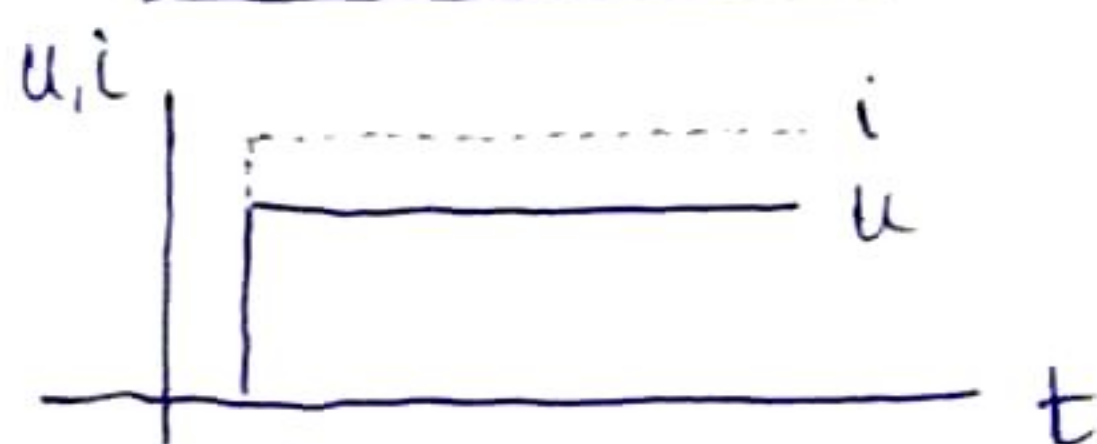
Visszacsatolás hatása a frekvenciamenetre

Az ellenálláson az áram és a fesz. egymással fázisban van.



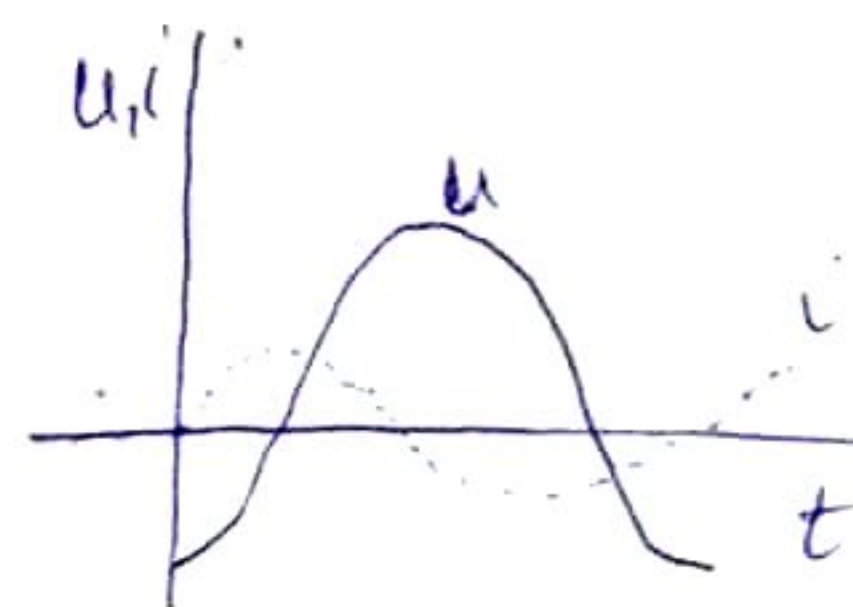
- ezek fázisban vannak

(kondenzátor)

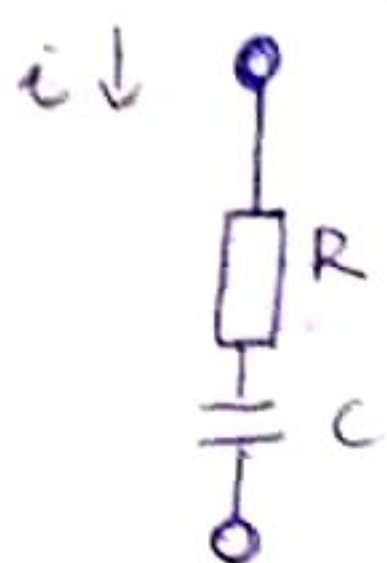


$$Q = C \cdot U = I \cdot t$$

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{I \cdot t}{C}$$



az áram késik



ezt így
nem lehet
számolni.

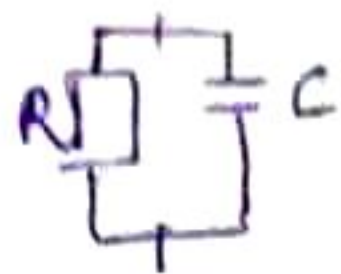
$$Z = R + \frac{1}{sC}$$

$$|Z| = \left| R + \frac{1}{j\omega C} \right|$$

$$|Z| = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

$$\varphi_z = -\arctg \frac{1}{\omega RC}$$

$$Z(j\omega) = R - j\frac{1}{\omega C}$$



$$Z = \frac{R \cdot \frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}}$$

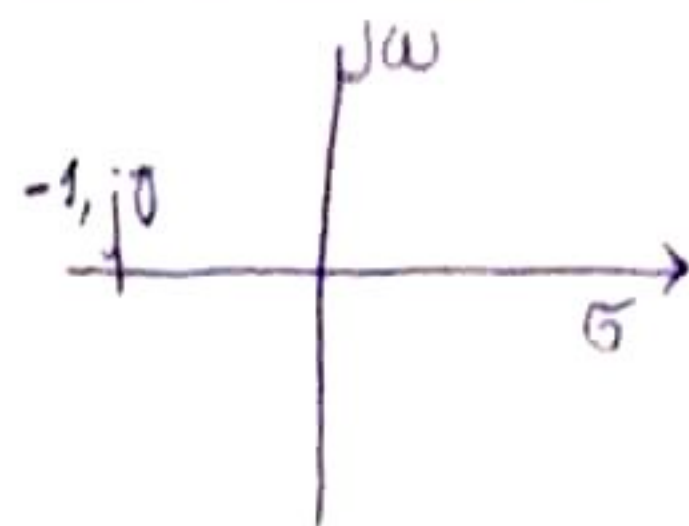
$$Z = \frac{R}{1 + sRC}$$

$$Z = \frac{R(1 - j\omega RC)}{1 - \omega RC}$$

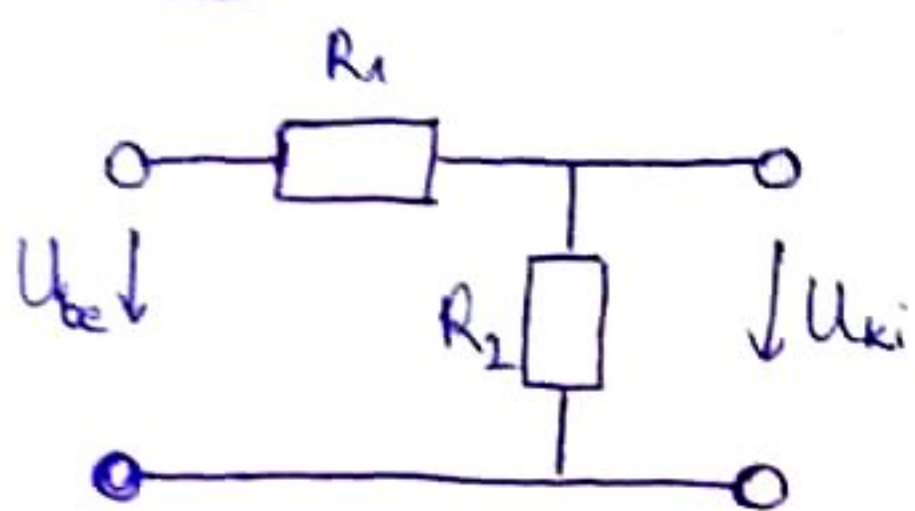
$$|Z| = \frac{R}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}}$$

$$\varphi_z = -\arctg(\omega RC)$$

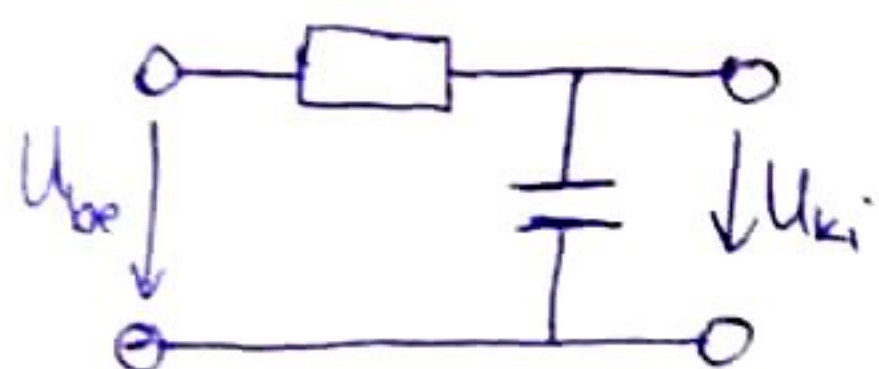
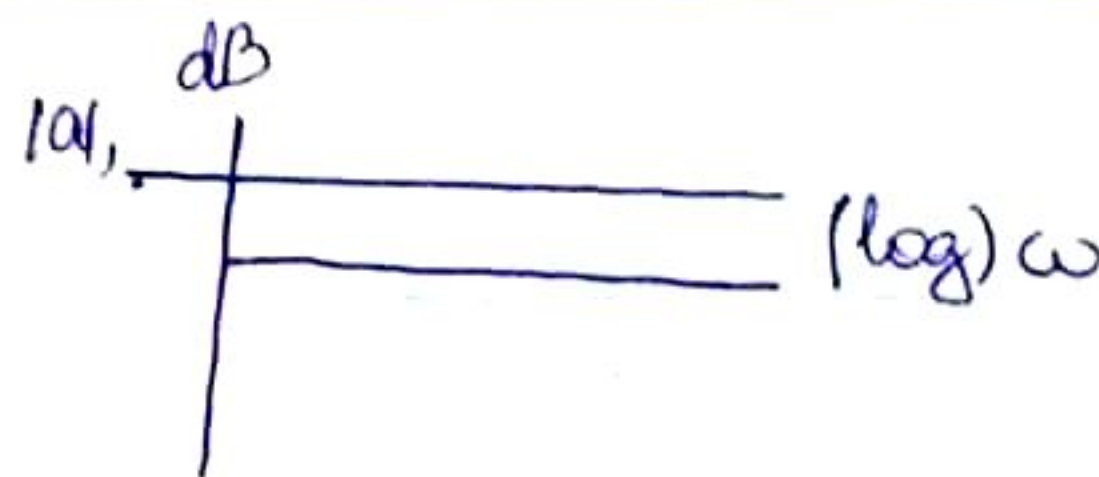
$s = j\omega$
s-komplex frekvencia
 $s = \sigma + j\omega$



• Mennyit vesztek a jelen ha csökkentem azajt.



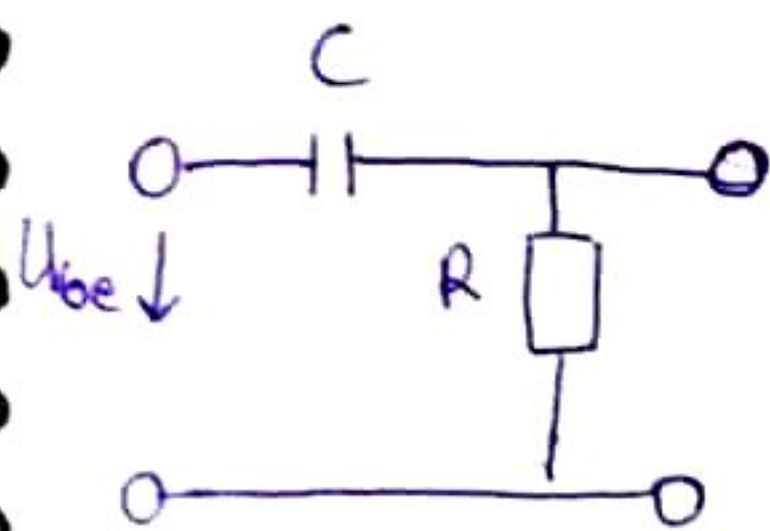
$$\frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



$$\frac{\frac{1}{sC}}{R + \frac{1}{sC}} = \frac{1}{1 + sRC}$$

átvitel függ - milyen frekvencia van a bemeneten.

✱



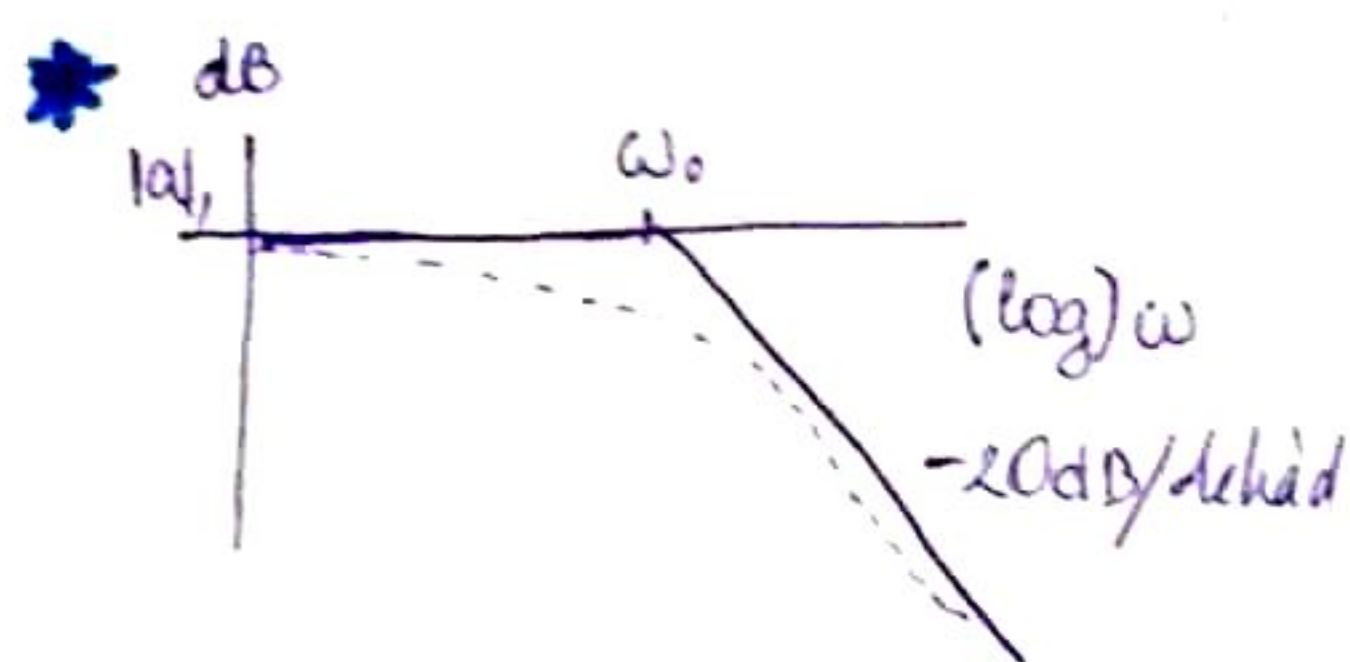
$$\frac{R}{R + \frac{1}{sC}} = \frac{sRC}{1 + sRC}$$

✱ ✱

ha a frekv. végtelenül nagy, az 1 elhanyagolható (felüláteresztő)

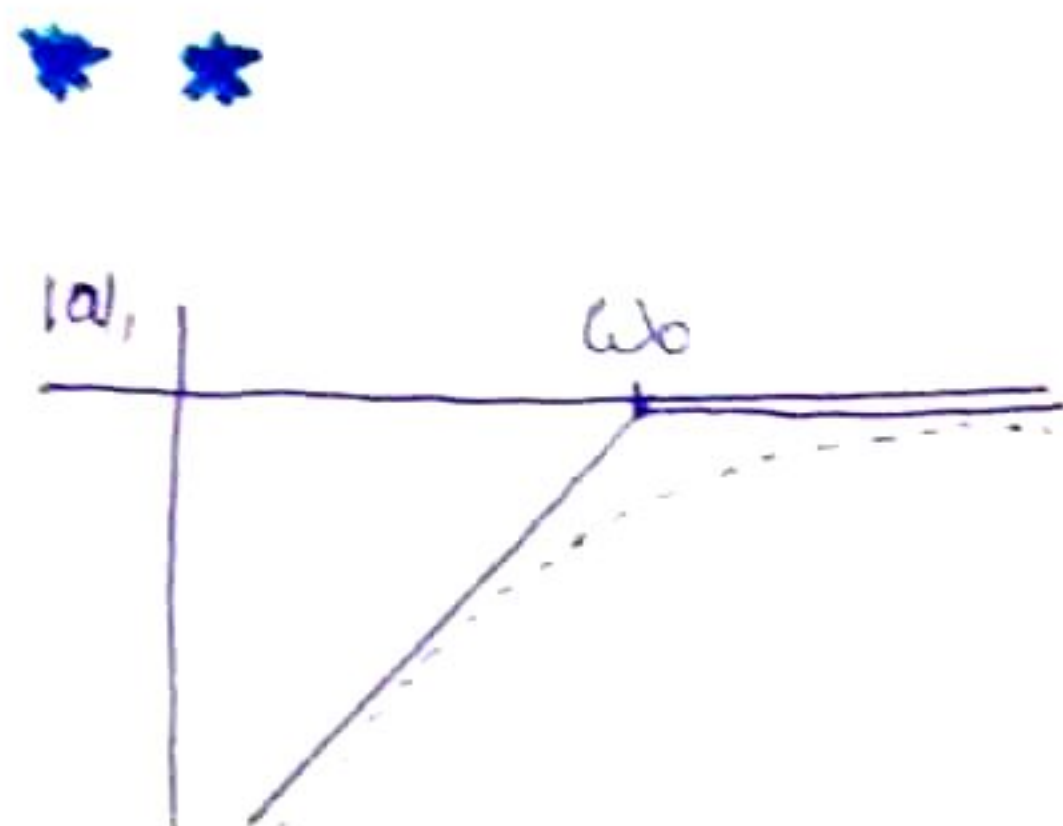
A frekvencia függvényében a változás





$$\left| \frac{1}{1+s/\omega_0} \right| = \left| \frac{1}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}} \right| = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} = \begin{cases} \omega \ll \omega_0 : \sim 1 \\ \omega = \omega_0 : \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (-3\text{dB}) \\ \omega \gg \omega_0 : \sim \frac{\omega_0}{\omega} \end{cases}$$

ellenállással és kondenzátorral
alkuláteresztő szűrőt csináltunk.

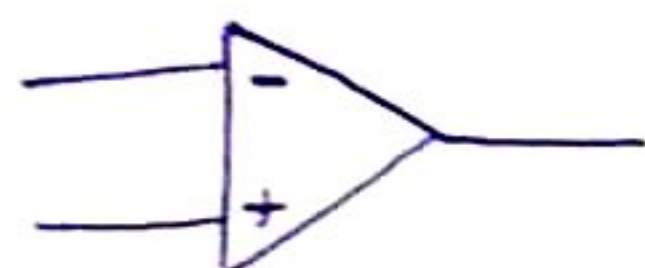


$$\left| \frac{s/\omega_0}{1+s/\omega_0} \right| = \left| \frac{j\frac{\omega}{\omega_0}}{1+j\frac{\omega}{\omega_0}} \right| = \frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{\sqrt{1+\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}} = \begin{cases} \omega \ll \omega_0 : \frac{\omega}{\omega_0} \\ \omega = \omega_0 : \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \omega \gg \omega_0 : 1 \end{cases}$$

felüláteresztő

A számonekérés csak olyanból amiből példát oldunk.

Műveleti erősítő



ideális műveleti erősítő

- nyílt hurok, visszacsatolás nélküli erősítése végtelen nagy
- kimeneti ellenállása 0

$$\begin{aligned} A_{us} &\rightarrow \infty \\ A_{uk} &= 0 \\ E_{ku} &\rightarrow \infty \\ R_{be} &\rightarrow \infty \\ I_{be} &\rightarrow 0 \\ f_{th} &\rightarrow \infty \\ R_{ki} &\rightarrow 0 \end{aligned}$$

$$C \sim 100\text{p}$$

$$\omega = 50 \cdot 2\pi$$

$$\left| \frac{1}{\omega C} \right| = \frac{1}{10 \cdot \pi \cdot 10^{-12}} \sim 3 \cdot 10^9$$

$$I = \frac{230\text{V} \cdot H}{3 \cdot 10^9} \sim 70\text{nA}$$

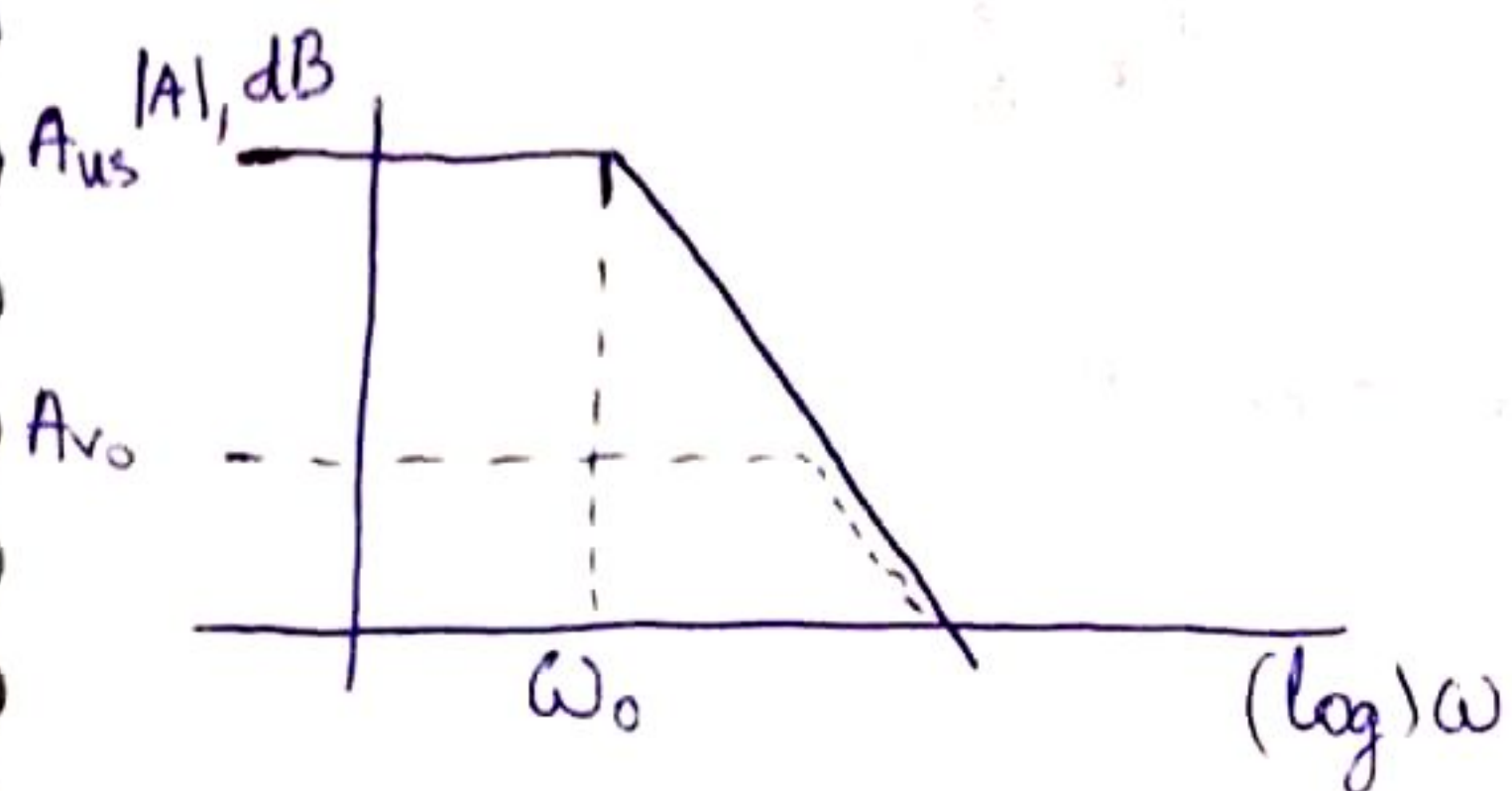
$$A_{us}(\omega) = \frac{A_{vo}}{1+s/\omega_0}$$

$$A_v = \frac{A}{1+A \cdot B}$$

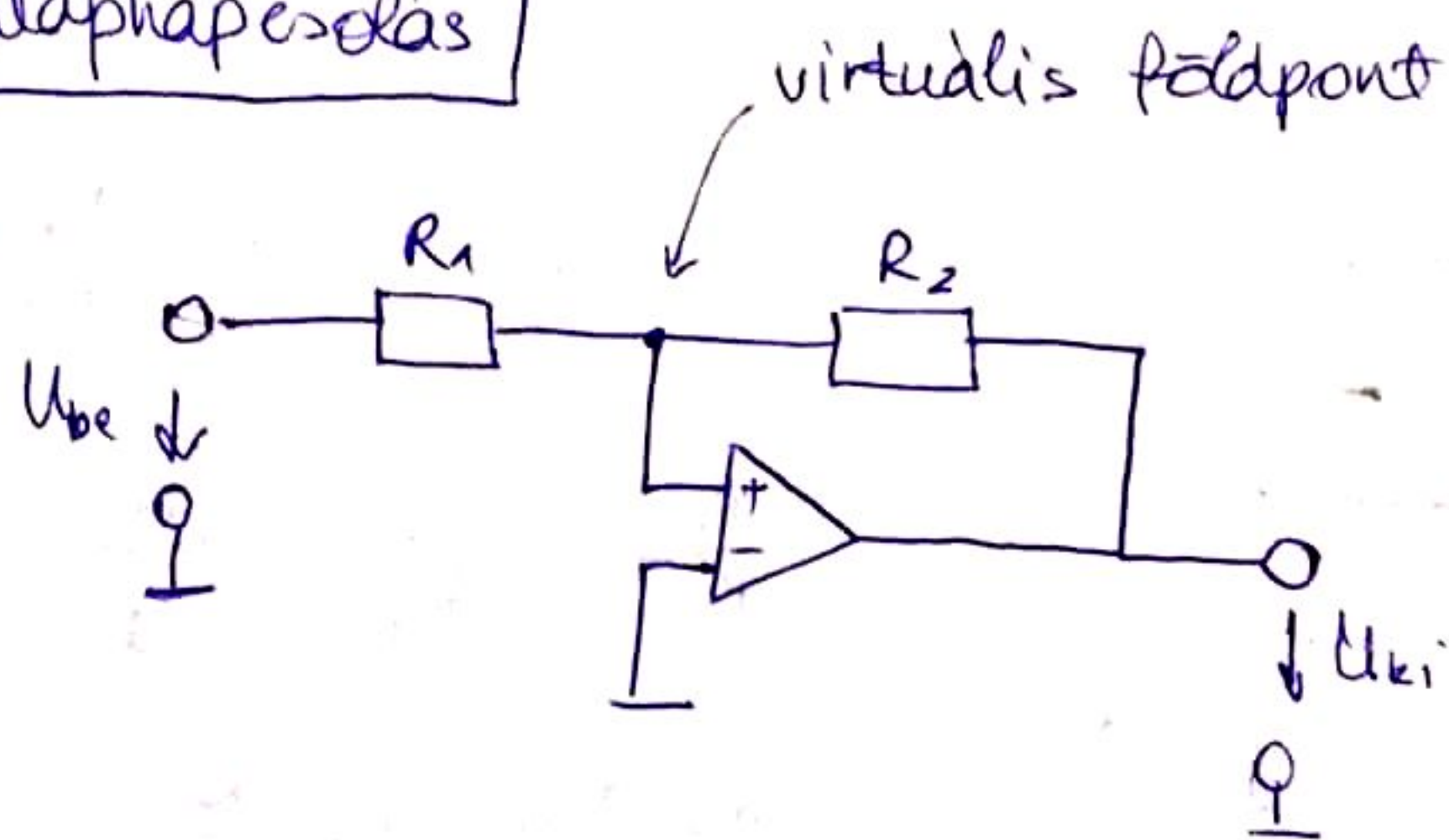
$$A_v = \frac{\frac{A_{u0}}{1+s/\omega_0}}{1 + \frac{A_{u0} \cdot B}{1+s/\omega_0}}$$

$$= \frac{A_{u0}}{1 + A_{u0} \cdot B + s/\omega_0}$$

$$= \underbrace{\frac{A_{u0}}{1 + A_{u0} \cdot B}}_{A_{u0}} \cdot \underbrace{\frac{1}{1 + \frac{s}{(1 + A_{u0} \cdot B) \cdot \omega_0}}}_{\omega_{bv}}$$



Invertáló alaphelosolás



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

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

virt. föld:

Minden ellenállás egyben zajforrás

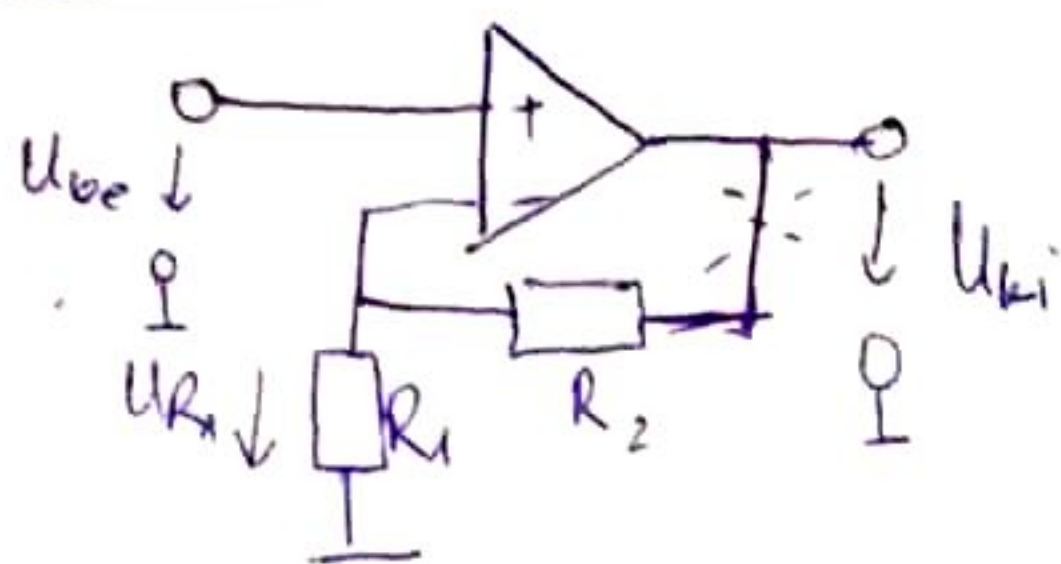
$$U_z^2 = 4kTR\Delta f = 1,66 \cdot 10^{-20} \cdot R \cdot \Delta f$$

$$R = 1M, \Delta f = 10kHz$$

$$U_{reff} = 13\mu V$$

$$U_{R_{zpp}} \sim 0,1mV$$

2046. 10.13.



$$B = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

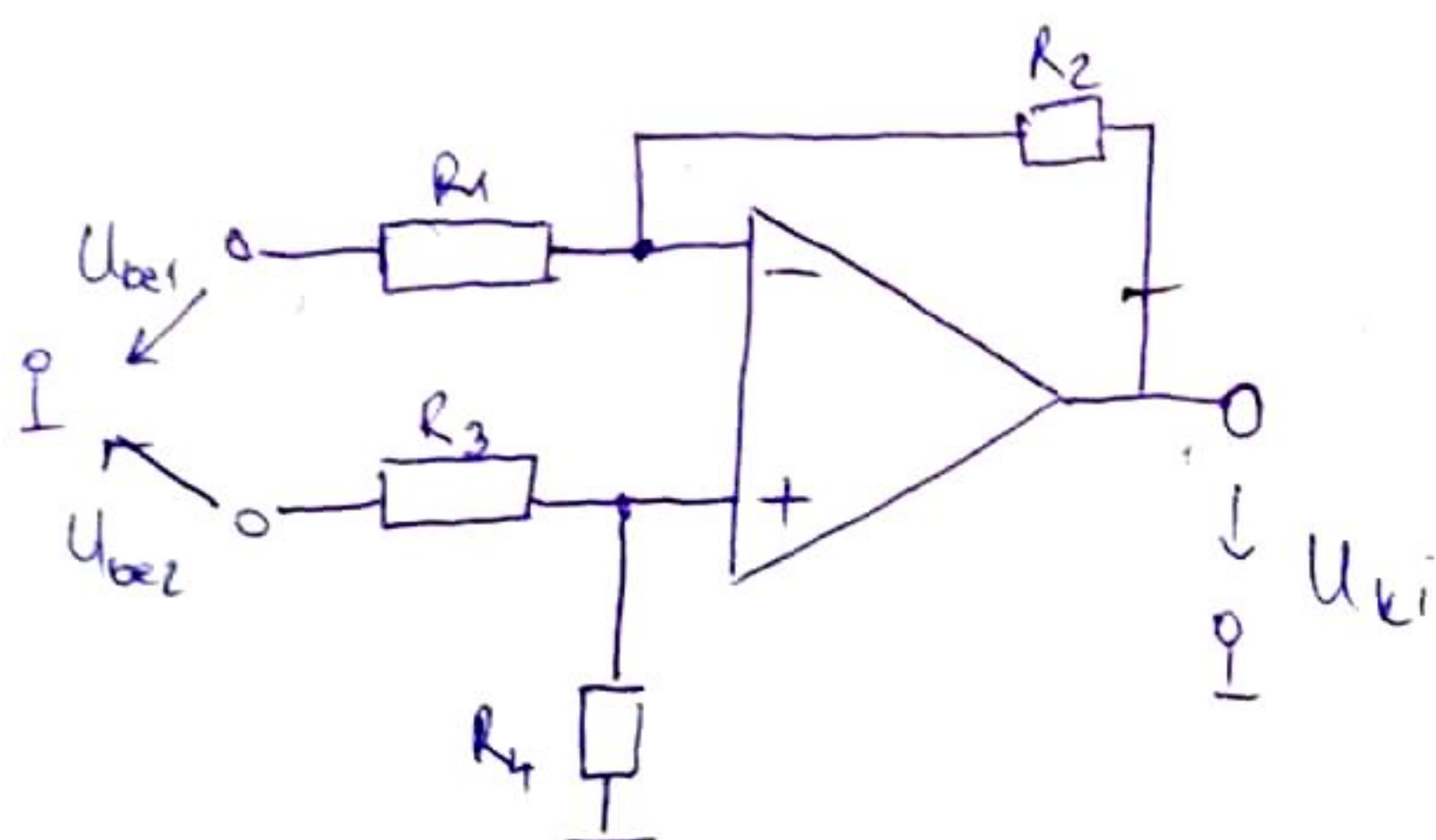
$$A = \frac{A_0}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

$$H = A \cdot B$$

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

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Feltételezem, h a műveleti erősítő ideális.



$$U_{ki} = -U_{be1} \cdot \frac{R_2}{R_1} + U_{be2} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_1}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

$$1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{R_1}{R_2}$$

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$R_{be} = R_1 + R_3$$

$$U_{ki} = U_{be2} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} - U_{be1} \cdot \frac{R_2}{R_1}$$

$$\frac{U_{ki}}{U_{bek}} = \frac{R_4 \cdot R_1 + R_4 \cdot R_2 - R_2 R_3 - R_2 R_4}{(R_3 + R_4) R_1}$$

$$R_1 = R_{th} (1 + h)$$

$$\frac{U_{ki}}{U_{bek}} = \frac{R_{2h} (1 + h) R_{th} (1 + h) - R_{2h} (1 + h) \cdot R_{th} (1 + h)}{(R_{1h} + R_{2h}) R_{1h}}$$

$$\left. \frac{U_{ki}}{U_{bek}} \right|_h = \frac{R_{2h}}{R_{1h} + R_{2h}} \cdot 4h$$

$$U_{bek1} = U_{bek} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

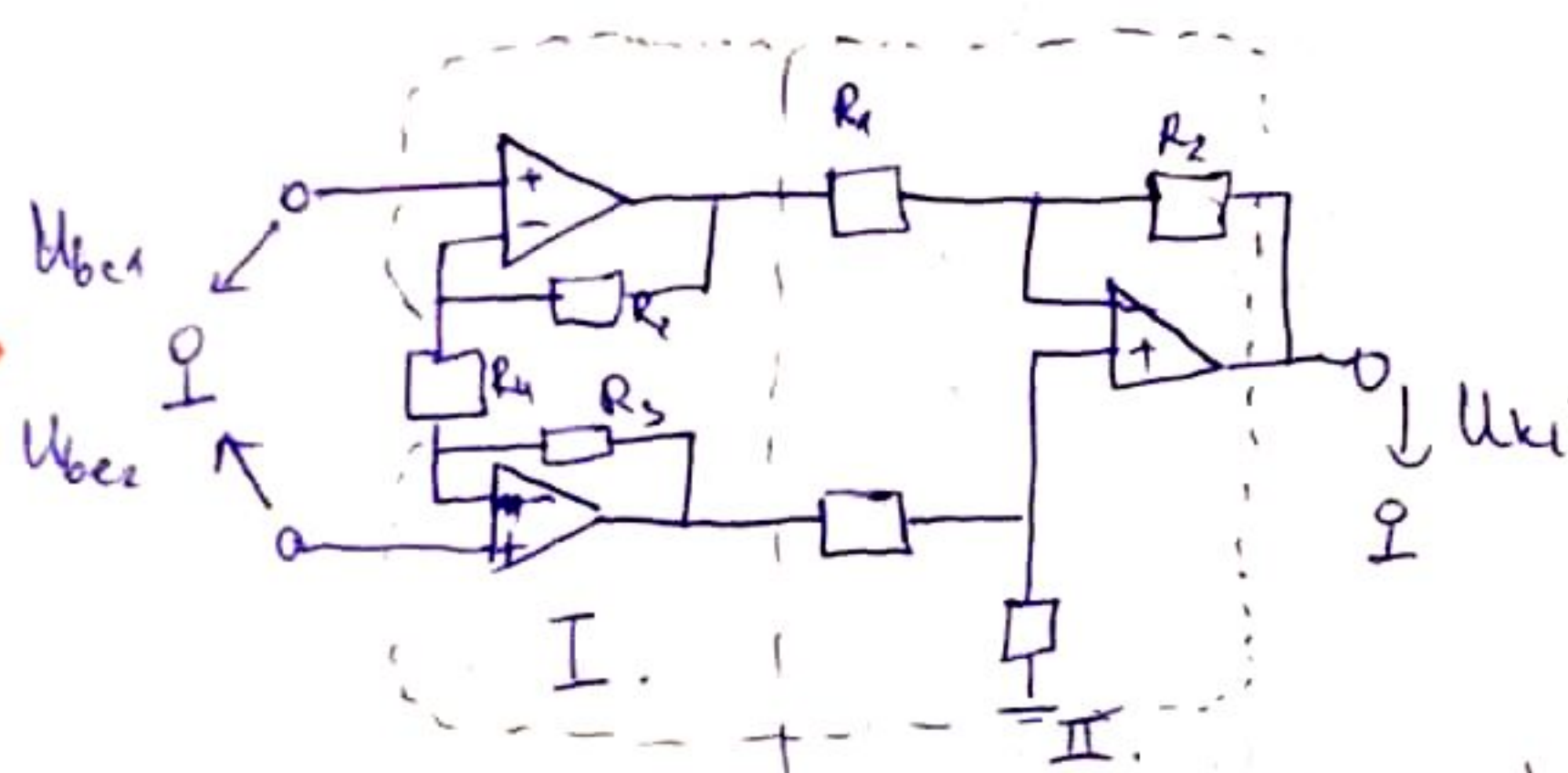
$$U_{ki} \Big|_{E_{konc}} = U_{bek} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{E_{konc}}$$

$$\frac{U_{ki}}{U_{bek}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot 4h + \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{E_{konc}}$$

$$A_{us} = \frac{R_2}{R_1} \rightarrow \frac{1}{E_{konc}} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \frac{1}{4h} + \frac{1}{E_{konc}}$$

Az előző műerősítőt kiegészítjük egy olyan műerősítővel, ami enyhíti annak a problémát...

I. és II. fokozat



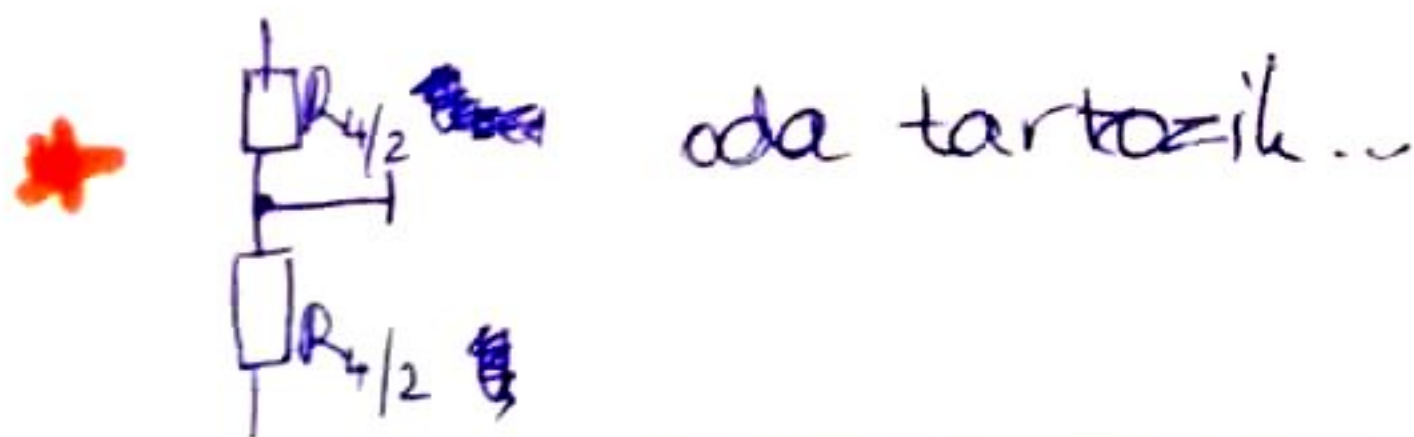
~~Közös vezérlés~~

"követő erősítő..."
Bemenete felé nagy impedanciát, kimenete felé kis imp.-t mutat.

R_4 -nek nincs párja (a többi ellenállás páronként megegyezik névtelenesen)

• közös vezérlés: $A_I = 1$

• szimmetrikus vez.: $A_I =$

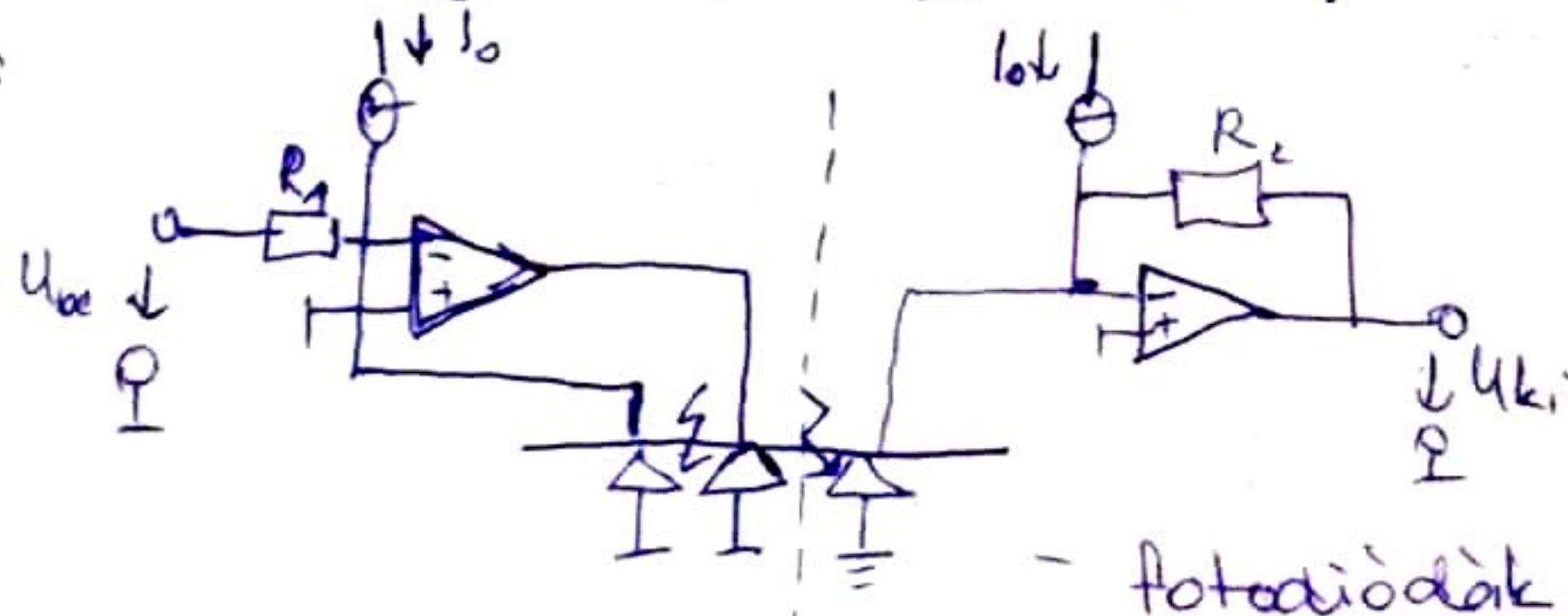


Galvanikusan leválasztott erősítőh...

A páciens beföldelése lenne ideális, de az biztonságtechnikailag nem adja.

Vagy úgy kell megoldani, hogy ne fém vigye az áramot.

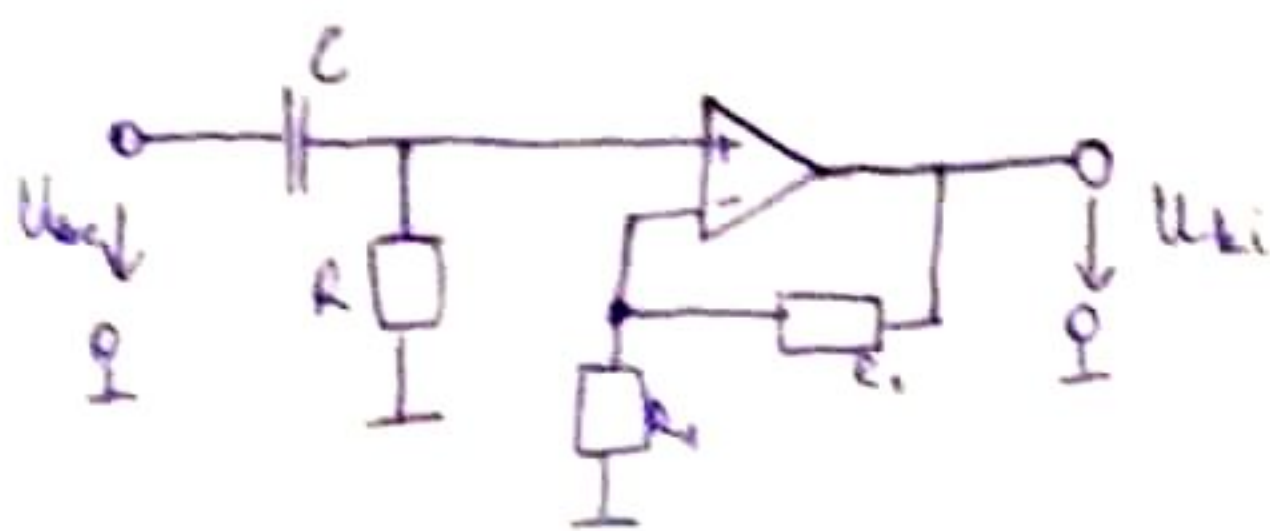
• vigye fény:



ez nem terjedt el

- fotodiódák

• transzformátoros: ennél mágneses tér van (kapacitív)



$$\left. \begin{array}{l} R = 1 \text{ M}\Omega \\ R_2 = 99 \text{ k}\Omega \\ R_1 = 1 \text{ k}\Omega \\ C = 1 \text{ nF} \end{array} \right\} 2\%$$

• C helyében rövidzár $A_u = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 1 + \frac{99}{1} = 100$

• az erősítés szélsőértékei? $2\% \Rightarrow A_{u \min} = 1 + \frac{R_2(1-0,02)}{R_1(1+0,02)} = 96,12$

$$A_{u \max} = 1 + \frac{R_2(1+0,02)}{R_1(1-0,02)} = 104,04$$

• bemeneti impedancia

bemeneti ellenállás: $R_{be} \approx 1 \text{ M}\Omega$

$$R = 1 \text{ M}$$

$$C = 1 \text{ nF}$$

$$C = \frac{1}{sC}$$

$$Z_{be}$$

nem csak a valós (ohmos) hanem a képzetes részt is tartalmazza

$$Z_{be}(s) = R + \frac{1}{sC} = R \left(1 + \frac{1}{sRC} \right)$$

$$Z_{be}(s) = R \cdot \left(1 + \frac{\omega_0}{s} \right)$$

(ha $s \rightarrow 0 \Rightarrow \omega_0$ - végtelen)

$$|Z_{be}| = R \cdot \left| 1 + \frac{\omega_0}{j\omega} \right| = R \cdot \left| 1 - j \frac{\omega_0}{\omega} \right|$$

komplex $j = \sqrt{-1}$

$$|Z_{be}| = R \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)^2}$$

amikor ω nagy $\rightarrow \frac{\omega_0}{\omega}$ elhanyagolható
haszn

$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C}$$

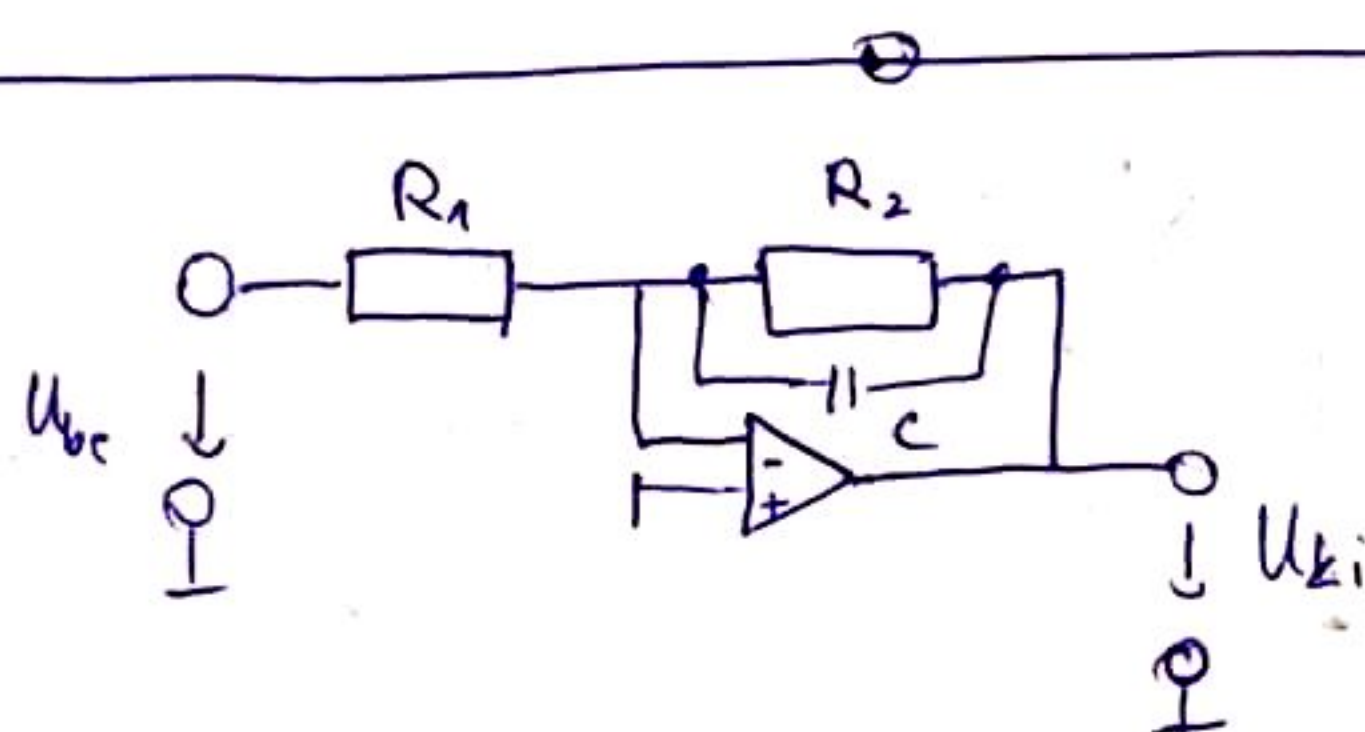
$$\omega_0 = \frac{1}{R \cdot C} = \frac{1}{10^6 \cdot 10^{-6}} = 1 \text{ r/s}$$

radián/szekundum

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \approx 0,16 \text{ Hz}$$

• fázistolás

$$\varphi_{Zbe} = \arctg\left(-\frac{\omega}{\omega_0}\right) = -\arctg\left(\frac{\omega_0}{\omega}\right)$$



$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

$$A_u = -\frac{R_2}{R_1} = -10$$

$$C = 220 \text{ nF}$$

C - megjelenésével (kondenzátor)

$$A_u(s) = -\frac{Z_c}{R_1}$$

$$Z_c = R_2 \times \frac{1}{sC} = \frac{R_2 \frac{1}{sC}}{R_2 + \frac{1}{sC}} = \frac{R_2}{1 + sRC}$$

$$\omega_0 = \frac{1}{RC}$$

$$Z_c(s) = \frac{R_2}{1 + s/\omega_0}$$

$$A_u(s) = -\frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{1 + s/\omega_0}$$

$$RC = 10^5 \cdot 0,22 \cdot 10^{-6} = 0,022$$

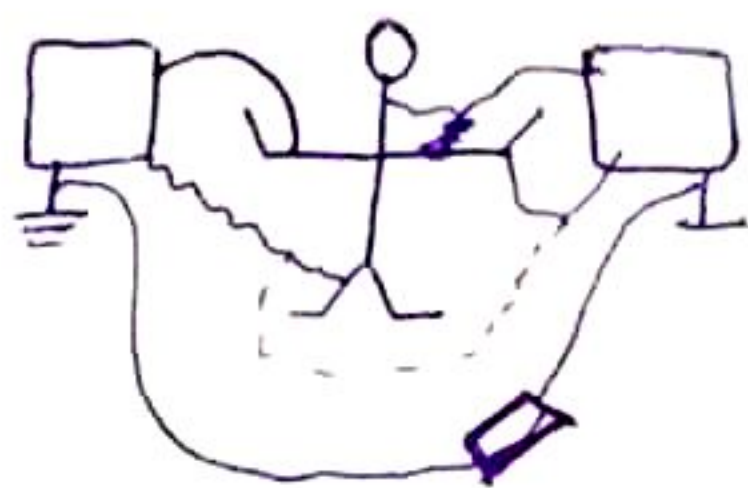
ház

I. Rákóczi
1630-1640

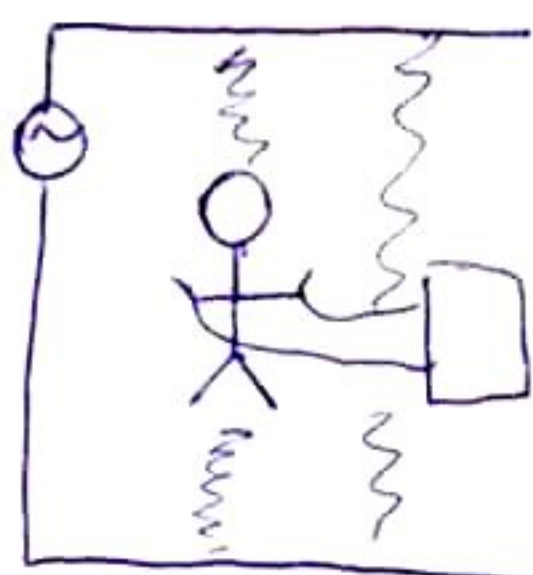
I. Ferenc (I)
1792-1835 m.

Habs

földhurok



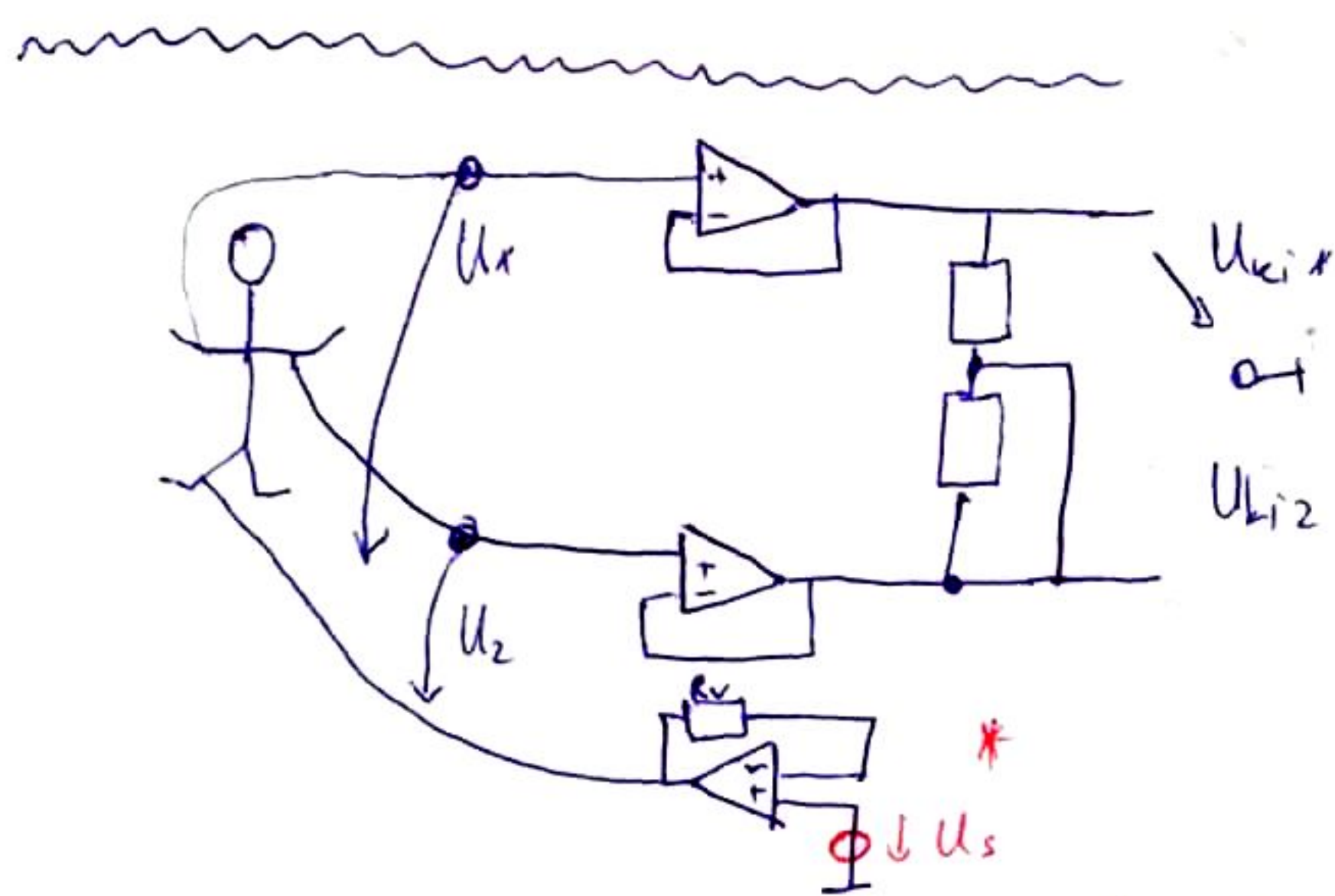
• kapacitív úton



• induktív úton



ez összeszedi az 50Hz-et



Az erősítőt ideálisnak tekintjük: $U_1 = U_{ki1} \left(-\frac{R_v}{R_o} \cdot U_{ki2} \right)$

$$U_1 = U_{ki1} - \left(-\frac{R_v}{R_o} \cdot U_{ki1} - \frac{R_v}{R_o} \cdot U_{ki2} \right)$$

$$U_2 = U_{ki2} - \left(-\frac{R_v}{R_o} \cdot U_{ki1} - \frac{R_v}{R_o} \cdot U_{ki2} \right)$$

$$-U_1 - U_2 = U_{ki1} - U_{ki2}$$

$\underbrace{\hspace{1cm}}_{U_{be3}} \quad \underbrace{\hspace{1cm}}_{U_{ki3}}$

$$U_1 + U_2 = (U_{ki1} + U_{ki2}) \left(1 + 2 \cdot \frac{R_v}{R_o} \right)$$

$$U_{kik} = \frac{U_{bek}}{1 + 2 \cdot \frac{R_v}{R_o}}$$

DRL: driven right leg
meghajtott jobb láb

hogyan változik a lép ennek hatására (U_s)?

$$U_1 = U_{ki1} - \left(-\frac{R_v}{R_o} U_{ki1} - \frac{R_v}{R_o} \cdot U_{ki2} + \left(1 + 2 \frac{R_v}{R_o} \right) U_s \right)$$

$$U_2 = U_{ki2} - \left(-\frac{R_v}{R_o} U_{ki1} - \frac{R_v}{R_o} \cdot U_{ki2} + \left(1 + 2 \frac{R_v}{R_o} \right) U_s \right)$$

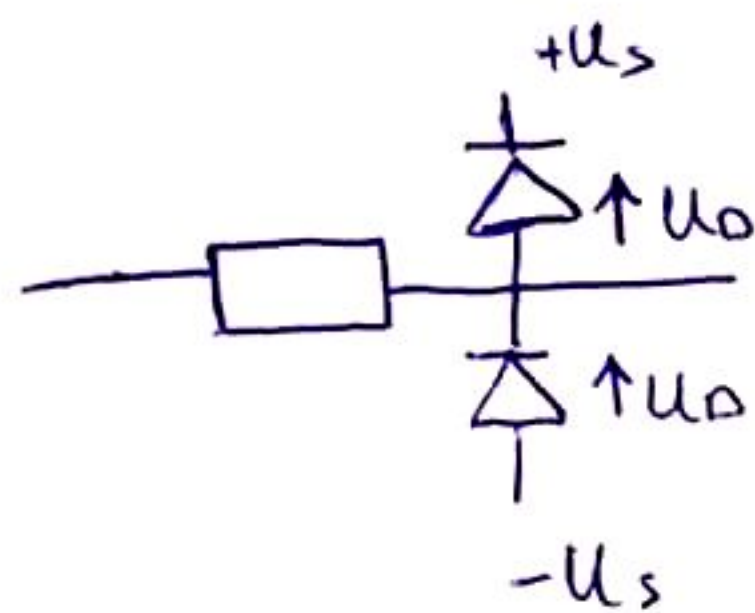
$$U_1 + U_2 = (U_{ki1} + U_{ki2}) \left(1 + 2 \frac{R_v}{R_o}\right) 2 \left(1 + 2 \frac{R_v}{R_o}\right) U_s$$

$$U_{bek} = U_{kik} \left(1 + 2 \frac{R_v}{R_o}\right) - \left(1 + 2 \frac{R_v}{R_o}\right) U_s$$

$$U_{kik} = \frac{U_{bek}}{1 + 2 \frac{R_v}{R_o}} + U_s$$

Erősítők védelme

jel útjába betesznek 1 ellenállást, még még van 1. Pl. diódát.
diófenültség



• gáz feszültségű csövek



Hozzávezetés

