

ÉRZÉKELŐK ÉS BEAVATKOZÓK I.

4. VILLAMOS ELVŰ MÉRÉSEK – ALAPELVEK, ALAPÁRAMKÖRŐK



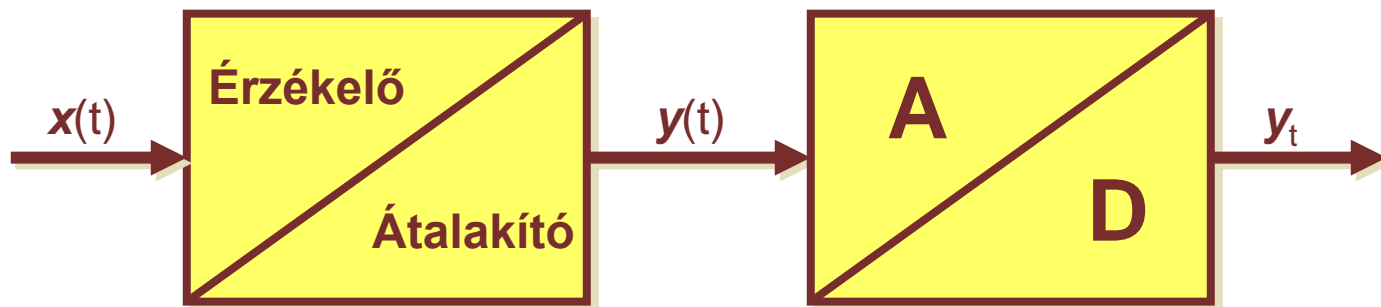
Dr. Soumelidis Alexandros

2020.10.08.



BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG

Digitális elvű mérés



Érzékelő/átalakító (szenzor, távadó):
az AD konverzió számára feldolgozható formára
hozza a mért jellemzőt

Ma: villamos elven működő AD konverterek jellemzők

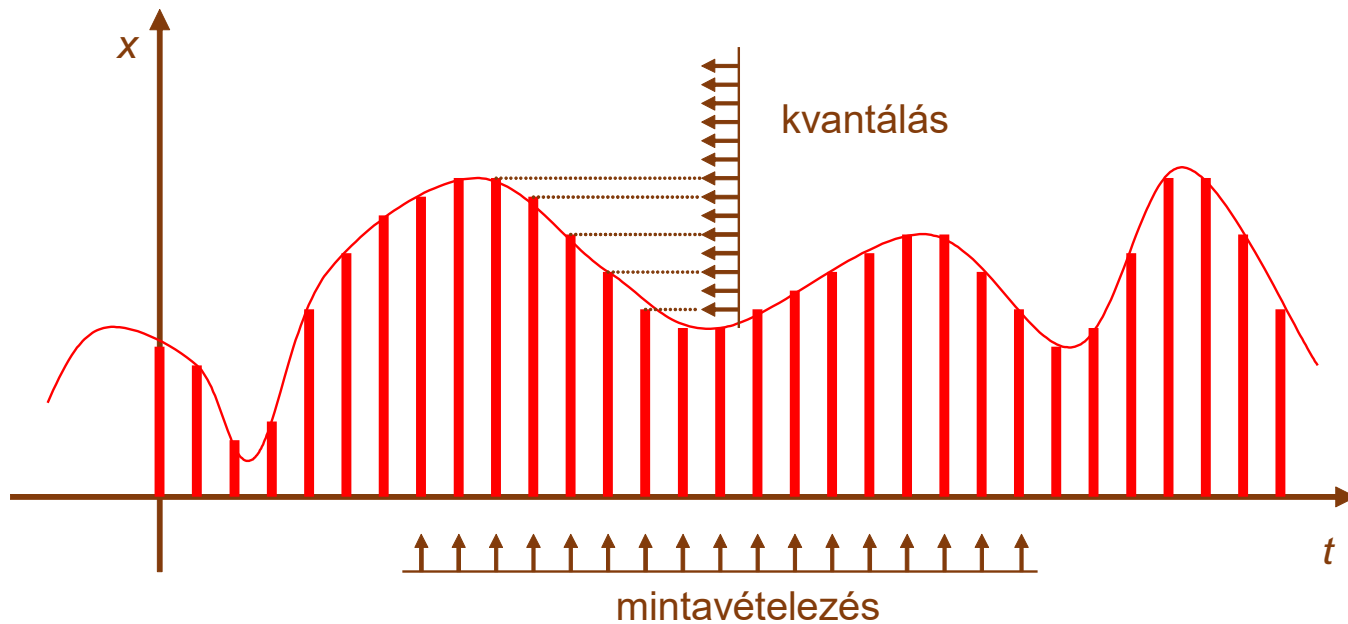
A következőkben: elektromos és elektronikus elvű
jelfogadó, kondicionáló, átalakító, előfeldolgozó
eszközök, alapáramkörök megismerése



AD konverzió

AD konverzió:

- *Mintavételezés - időbeli diszkretizálás*
- *Kvantálás - értékbeli diszkretizálás*



Mérési jelek fogadó áramkörei

Áramkör típusok:

- **Mérőátalakítók** - szintillesztő, osztó áramkörök, mérőhidak
- **Erősítők** - leválasztás, jelkondicionálás, jelszint konverzió, teljesítmény illesztés
- **Komparátorok** - egybites kvantálás, limit-figyelés
- **Jelformáló áramkörök** - lényegkiemelés, zavaró hatások kiküszöbölése
- **Szűrők** - zavaró hatások kiküszöbölése, zajcsökkentés, „anti-aliasing”

Műveleti erősítővel felépített áramkörökkel foglalkozunk:

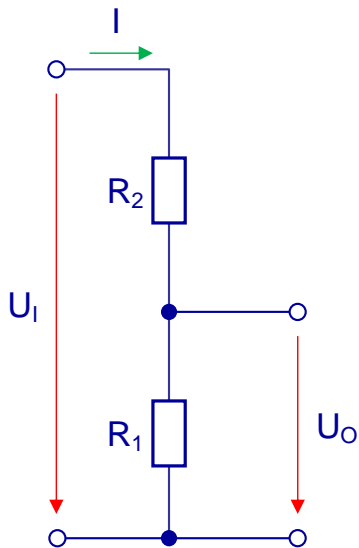
- egyszerű kezelhetőség és tervezés
- ma a leggyakrabban használt megoldás



Passzív áramkörök

Számítások

Ellenállások soros kapcsolása

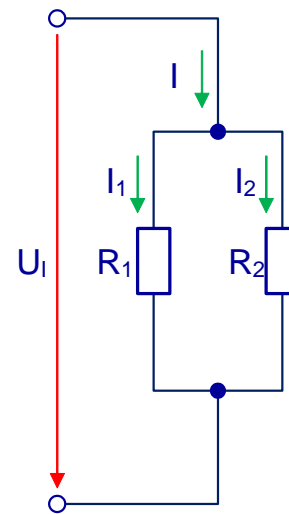


$$R = R_1 + R_2$$

$$U_O = U_I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

feszültségosztó

Ellenállások párhuzamos kapcsolása



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

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

$$R = R_1 \times R_2$$

Jelölés: \times - replusz

áramosztó

$$U_I = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = I \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

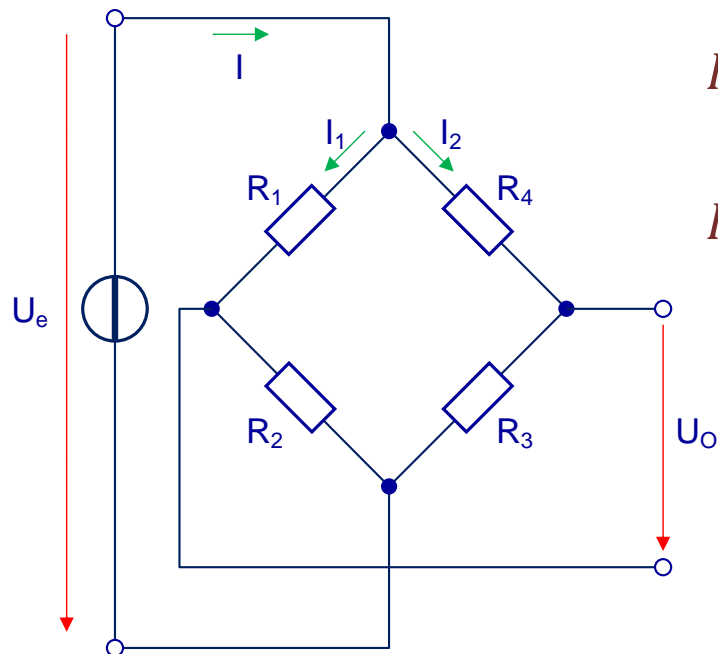


Egyenfeszültségű mérőhidak

Wheatston-híd

Állandó gerjesztő feszültség

$$I = \frac{U_e}{(R_1 + R_2) \times (R_3 + R_4)} = U_e \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} = U_e \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}{R_1 R_3 + R_1 R_4 + R_2 R_3 + R_2 R_4}$$



$$I_1 = I \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = U_e \frac{R_3 + R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} = \frac{U_e}{R_1 + R_2}$$

$$I_2 = I \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4} = U_e \frac{R_1 + R_2}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} = \frac{U_e}{R_3 + R_4}$$

$$U_o = I_2 R_3 - I_1 R_2$$

$$U_o = U_e \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right)$$

$$U_o = U_e \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)}$$



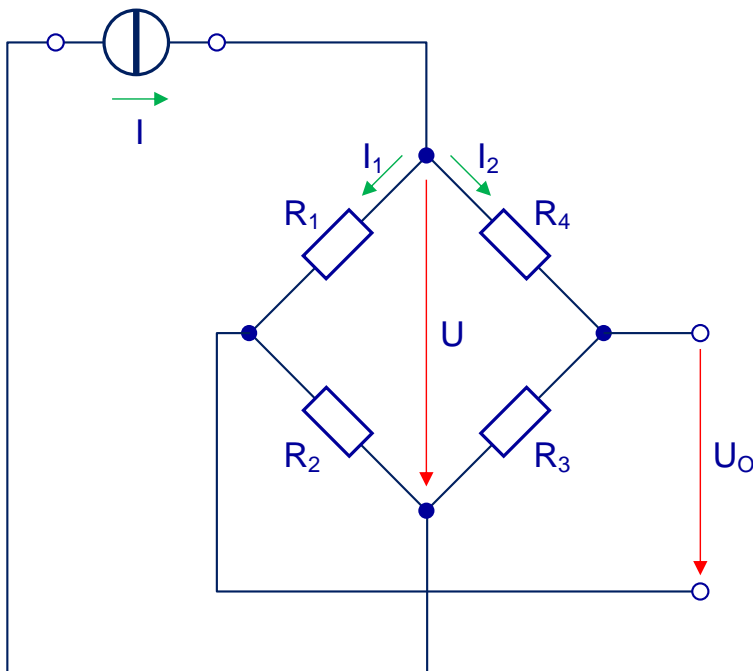
Egyenfeszültségű mérőhidak

Wheatston-híd

Állandó gerjesztő áram

$$I_1 = I \frac{R_3 + R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$I_2 = I \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$



$$U_o = I_2 R_3 - I_1 R_2$$

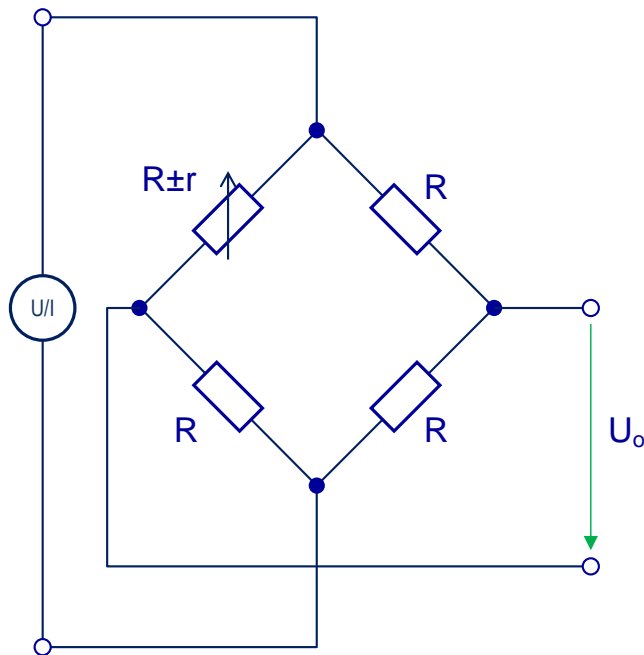
$$U_o = I \frac{(R_1 + R_2)R_3 - (R_3 + R_4)R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$

$$U_o = I \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{R_1 + R_2 + R_3 + R_4}$$



Egyenfeszültségű mérőhidak

Egy változó ellenállású elem: legyen ez R_1



$$R_1 = R + r \quad R_2 = R_3 = R_4 = R$$

Feszültséggenerátoros gerjesztés

$$U_o = U_e \frac{(R+r)R - R^2}{(2R+r)2R} = U_e \frac{(R+r) - R}{2(2R+r)} = U_e \frac{r}{2(2R+r)}$$

$$r \ll R \quad U_o \approx U_e \frac{r}{4R} \quad \text{közéltőleg lineáris}$$

Áramgenerátoros gerjesztés

$$U_o = I \frac{(R+r)R - R^2}{4R+r} = I \frac{rR}{4R+r} = I \frac{r}{4 + \frac{r}{R}}$$

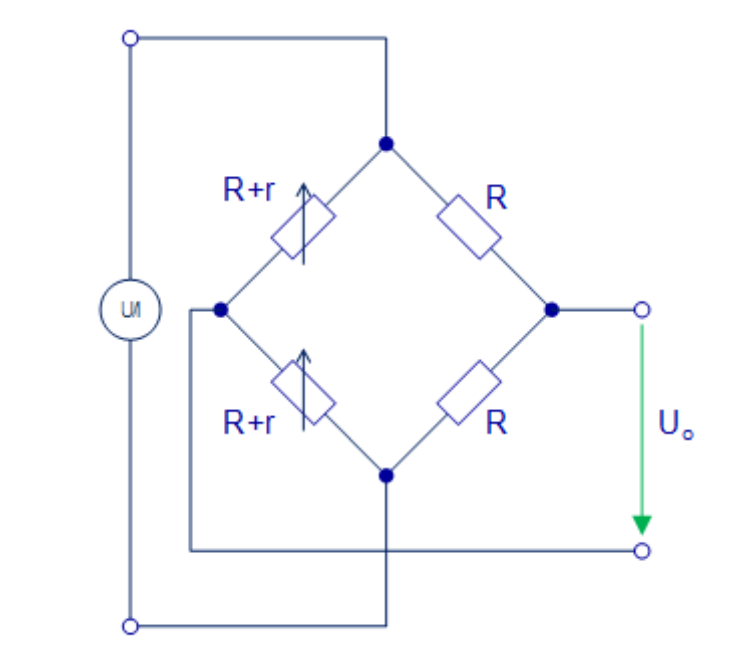
$$r \ll R \quad U_o \approx I \frac{r}{4} \quad \text{közéltőleg lineáris}$$



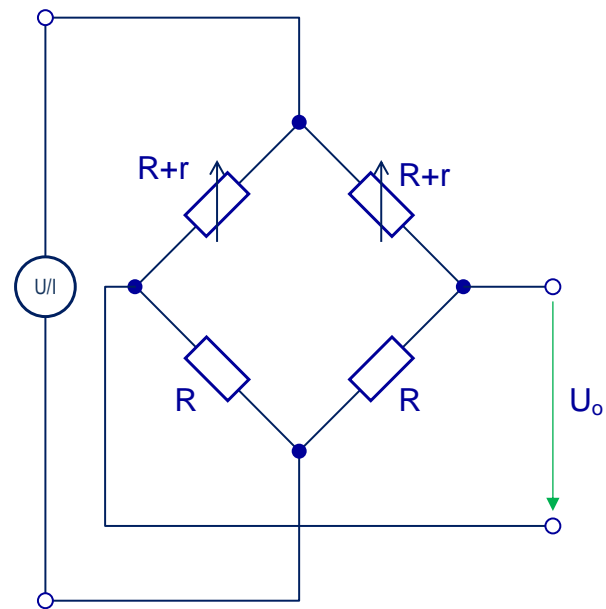
Egyenfeszültségű mérőhidak

Két azonos irányban változó ellenállású elem:

a jobb vagy bal hídágban
(legyen R_1 és R_2)



a felső vagy alsó hídágban
(legyen R_1 és R_4)



$U_o = 0$ - gerjesztéstől függetlenül



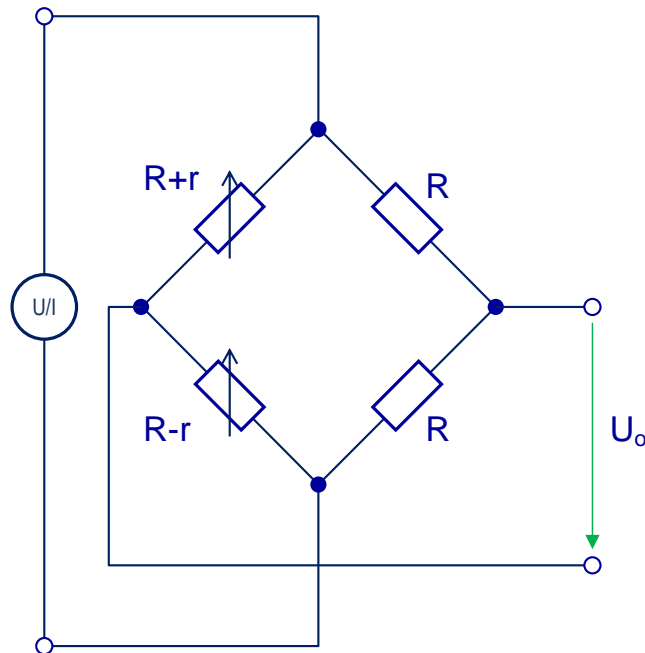
Egyenfeszültségű mérőhidak

Két ellentétesen változó ellenállású elem a jobb vagy bal hídágban (legyen R_1 és R_2)

$$R_1 = R + r$$

$$R_3 = R_4 = R$$

$$R_2 = R - r$$



Feszültséggenerátoros gerjesztés

$$U_o = U_e \frac{(R+r)R - (R-r)R}{4R^2} = U_e \frac{r}{2R}$$

lineáris

Áramgenerátoros gerjesztés

$$U_o = I \frac{(R+r)R - (R-r)R}{4R} = I \frac{r}{2}$$

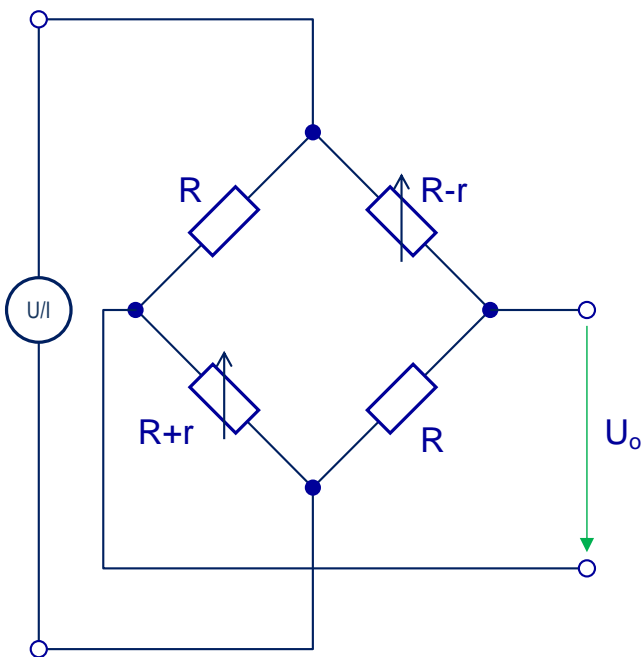
lineáris



Egyenfeszültségű mérőhidak

Két ellenoldali ellentétesen változó ellenállású elem:
(legyen R_2 és R_4)

$$R_2 = R + r \quad R_4 = R - r \quad R_1 = R_3 = R$$



Feszültséggenerátoros gerjesztés

$$U_o = U_e \frac{R^2 - (R+r)(R-r)}{(2R+r)(2R-r)} = U_e \frac{r^2}{4R^2 + r^2}$$

$$r \ll R \quad U_o \approx U_e \frac{r^2}{4R^2} \quad \text{közéltőleg négyzetes}$$

Áramgenerátoros gerjesztés

$$U_o = I \frac{R^2 - (R+r)(R-r)}{4R} = I \frac{r^2}{4R}$$

négyzetes (kvadrátikus)

A négyzetes forma előnye:

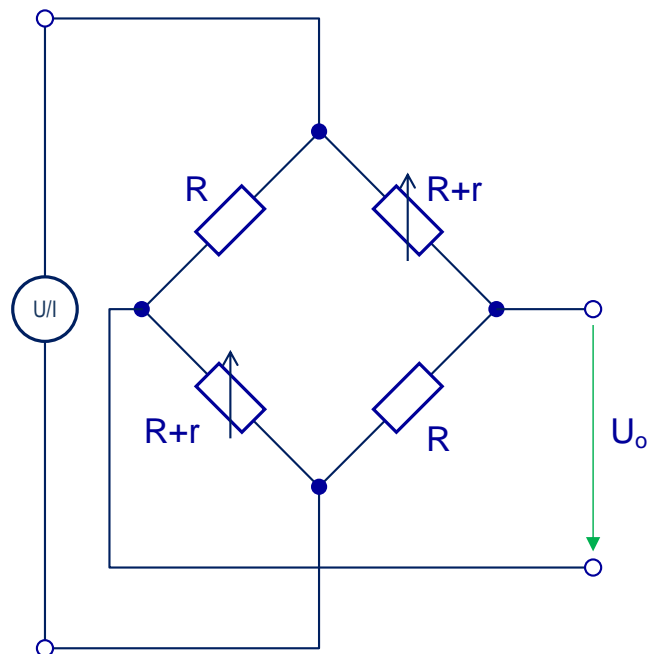
átlagolással kombinálva *effektív érték* mérés valósítható meg



Egyenfeszültségű mérőhidak

Két ellenoldali azonos irányban változó ellenállású elem:
(legyen R_2 és R_4)

$$R_1 = R + r \quad R_3 = R - r \quad R_2 = R_4 = R$$



Feszültséggenerátoros gerjesztés

$$U_o = U_e \frac{(R+r)^2 - R^2}{(2R+r)^2} = U_e \frac{r^2 + 2Rr}{(2R+r)^2} = U_e \frac{r}{2R+r}$$

$$r \ll R \quad U_o \approx U_e \frac{r}{2R} \quad \text{közéltőleg lineáris}$$

Áramgenerátoros gerjesztés

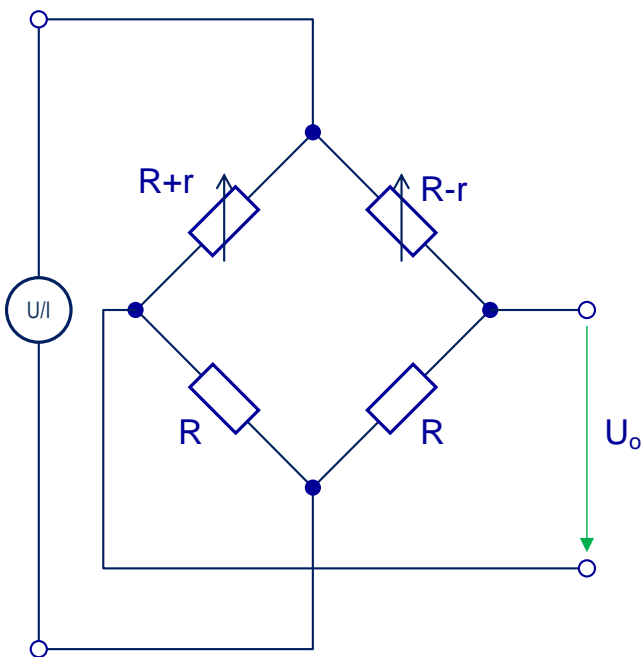
$$U_o = I \frac{(R+r)^2 - R^2}{4R+2r} = I \frac{r^2 + 2Rr}{2(2R+r)} = I \frac{r}{2}$$

lineáris



Egyenfeszültségű mérőhidak

Két ellentétesen változó ellenállású elem a felső vagy alsó hídágban (legyen R_1 és R_4)



$$R_1 = R + r \quad R_4 = R - r \quad R_2 = R_3 = R$$

Feszültséggenerátoros gerjesztés

$$U_o = U_e \frac{(R+r)R - (R-r)R}{(2R+r)(2R-r)} = U_e \frac{2Rr}{4R^2 - r^2} = U_e \frac{r}{2R - \frac{r^2}{2R}}$$

$$r \ll R \quad U_o \approx U_e \frac{r}{2R} \quad \text{közeli} \ddot{t} \text{ol} \text{e} \text{g} \text{ line} \ddot{a} \text{r} \text{is}$$

Áramgenerátoros gerjesztés

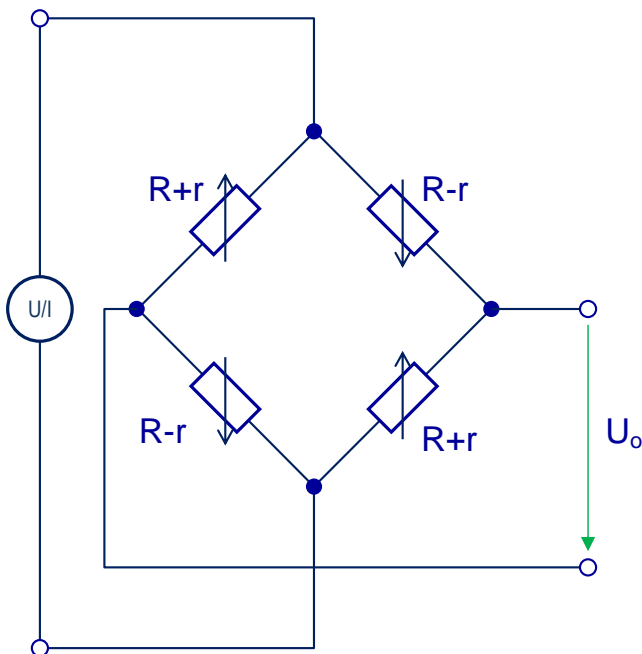
$$U_o I = \frac{(R+r)R - (R-r)R}{4R} = I \frac{r}{2}$$

lineáris



Egyenfeszültségű mérőhidak

Két-két ellentétesen változó ellenállású elem



$$R_1 = R + r \quad R_4 = R - r$$

$$R_2 = R - r \quad R_3 = R + r$$

Feszültséggenerátoros gerjesztés

$$U_o = U_e \frac{(R + r)^2 - (R - r)R^2}{4(R + r)(R - r)} = U_e \frac{Rr}{R^2 + r^2}$$

$$U_o = U_e \frac{r}{R + r^2/R}$$

közelítőleg
lineáris

$$r \ll R \quad U_o \approx U_e \frac{r}{R}$$

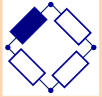


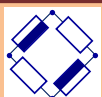
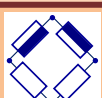
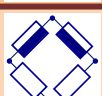
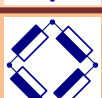
Áramgenerátoros gerjesztés

$$U_o = I \frac{(R + r)^2 - (R - r)R^2}{4R} = Ir$$

lineáris



Egyenfeszültségű mérőhidak

Elrendezés		Gerjesztés	
		Feszültség-generátoros	Áram-generátoros
1 változó ellenállású elem		közel lineáris	közel lineáris
2 ellentétesen változó ellenállású elem a bal vagy jobb hídágban		lineáris	lineáris
2 azonos irányban változó ellenállású elem a bal hídágban		0	0
2 ellenoldali, azonos irányban változó ellenállású elem		közel négyzetes	négyzetes
2 ellenoldali, ellentétes irányban változó ellenállású elem		közel lineáris	lineáris
2 ellentétesen változó ellenállású elem a felső vagy alsó hídágban		közel lineáris	lineáris
2 azonos irányban változó ellenállású elem a felső vagy alsó hídágban		0	0
2-2 ellentétesen változó ellenállású elem		közel lineáris	lineáris



Egyenfeszültségű mérőhidak

Áramgenerátoros gerjesztés:

- Azonos irányban vagy ellenüteműen változó két elem alkalmazásával elvben ideális (lineáris, kvadratikus) karakterisztika érhető el.
- A hídellenállástól független kimeneti feszültség - a konstans elemek hőmérsékletfüggése nem játszik szerepet.

Feszültséggenerátoros gerjesztés:

- A legtöbb elrendezésben nemideális karakterisztika - linearitási hiba.
- A hídellenállástól függő kimeneti feszültség - a konstans elemek hőmérsékletfüggése hibát okoz.



Egyenfeszültségű mérőhidak

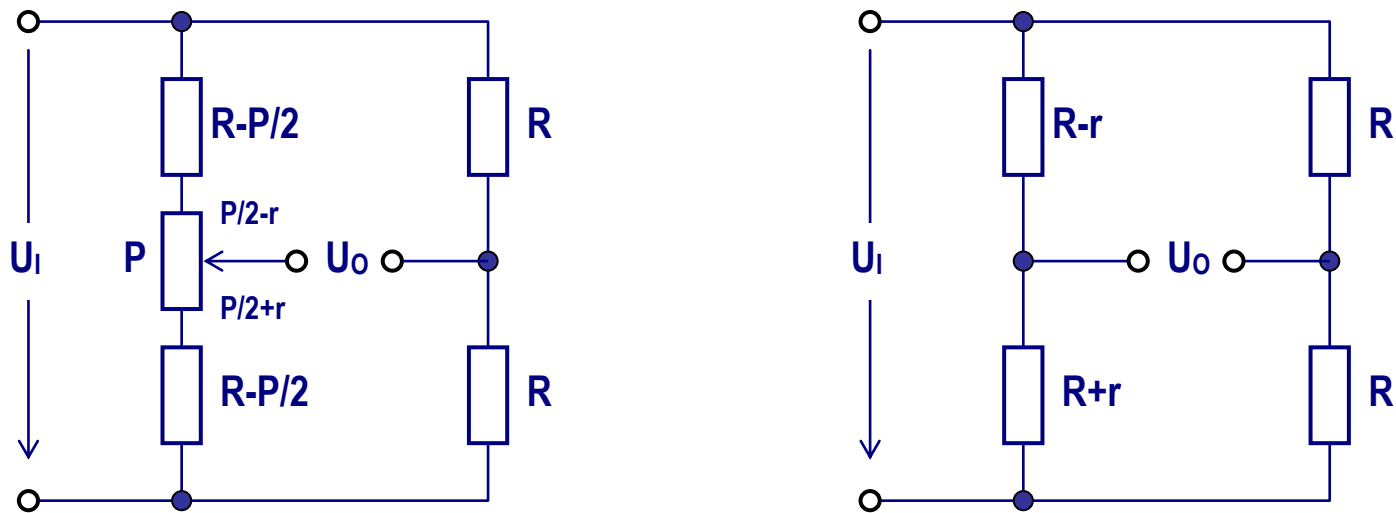
Az egyenfeszültségű mérőhidak hibáinak forrásai:

- Technikailag nem mindig valósítható meg ellenüteműen vagy azonos irányban azonosan változó ellenállású elem.
- Eltérések a hídelemek névleges paramétereitől - érték-tolerancia.
- A hídelemek (konstans elemek) hőmérsékletfüggése.
- Kis feszültségek (mV nagyságrend) mérése miatt zajok, erősítési linearitási, hőmérsékleti hibák.
- A kis jelszintek miatt külső zavarforrások, elektromágneses zavarok.
- Termikus feszültségek a villamos kapcsolódási pontokon.



Egyenfeszültségű mérőhidak

Példa ellenütemű változásra (félhidas):



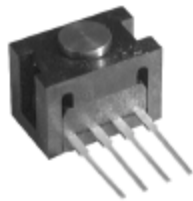
A potenciométer középállásához képest $\pm r$ változás.



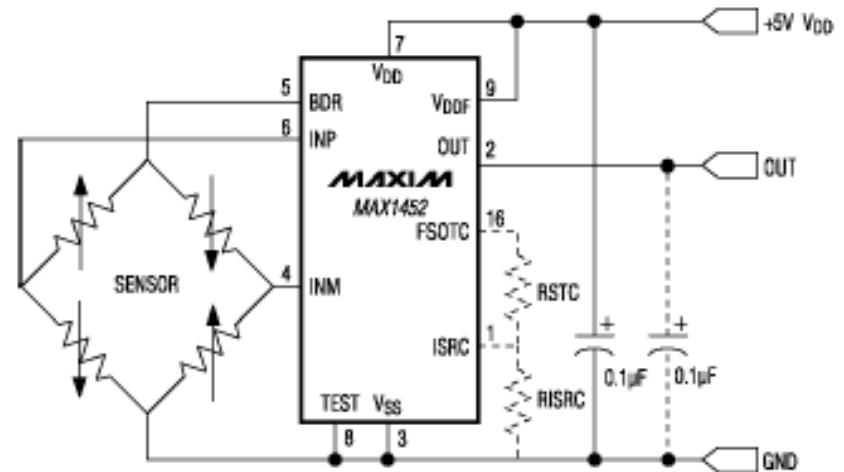
Egyenfeszültségű mérőhidak

Példa teljes hidas ellenütemű változásra:

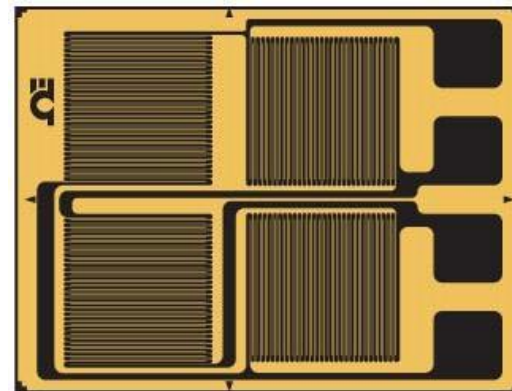
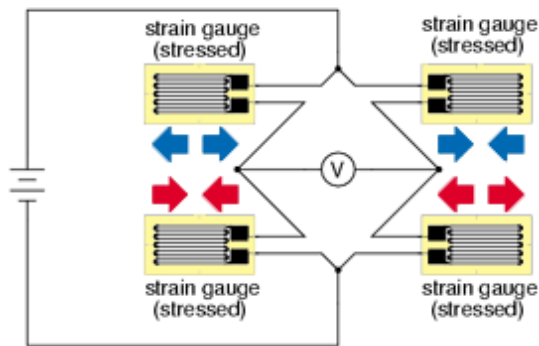
Egy erőmérő cella adatlapjából:



Megfelelően elhelyezett nyúlásmérő bélyegek hálózata.

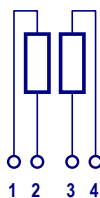


Full-bridge strain gauge circuit

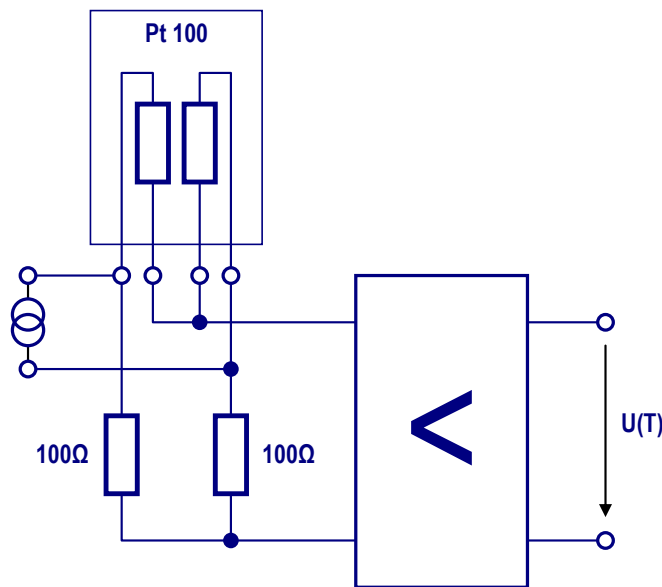


Egyenfeszültségű mérőhidak

Példa azonos irányú változásra: kettős (duál) RTD:



Két azonos tulajdonságú RTD közös tokban: azonos hőmérsékleti viszonyok mellett: ellenállásuk azonos mértékben változik a hőmérséklet függvényében.



RTD mérőhíd



Elektronikus erősítők

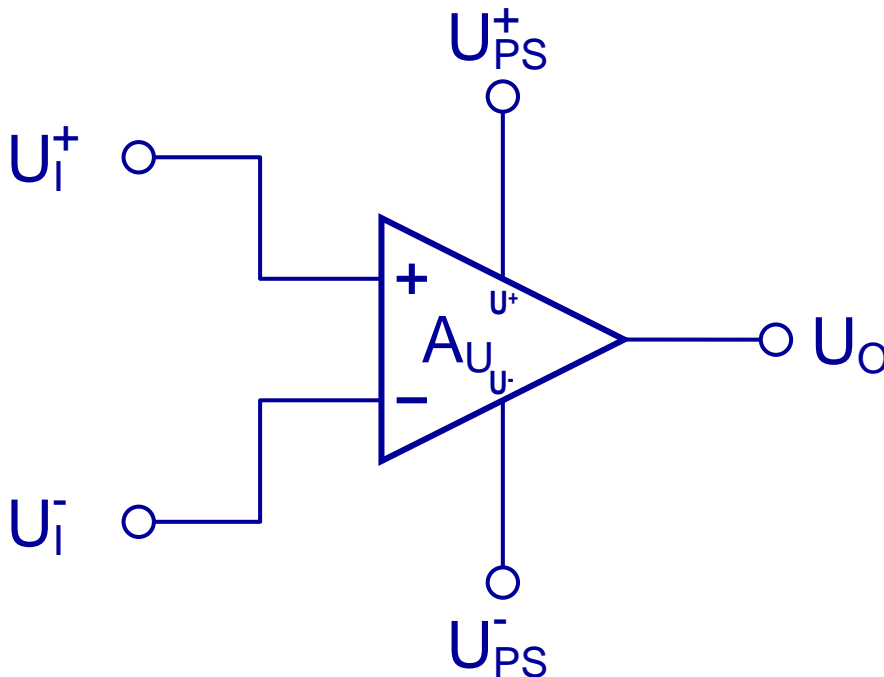
Miért van szükség erősítőkre:

- Kis amplitúdójú jelek mérhető szintűre erősítése, a megfelelő pontosság és jel/zaj viszony biztosítására.
- Jelszint- és teljesítményillesztés.
- Jelkondicionálás.
- A következő fokozat (pl. ADC) visszahatásának, terhelő hatásának csökkentése - puffer-erősítő, leválasztó erősítő.
- A referenciapont áthelyezése, aszimmetrikus / szimmetrikus elrendezések közti átmenet biztosítása.
- Teljesítményigény biztosítása (teljesítményerősítők).



Műveleti erősítő

Szimmetrikus bemenetű
aszimmetrikus kimenetű
erősítő



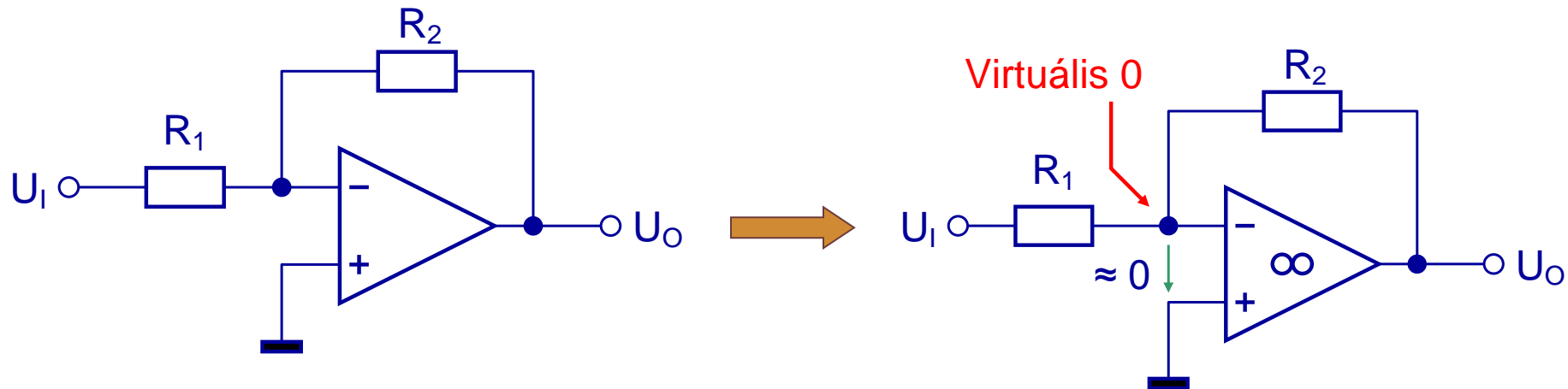
$$U_o = A_U (U_i^+ - U_i^-)$$

A_U - feszültségerősítés
nagyon nagy - $10^4 - 10^8$

R_b - bemeneti ellenállás
nagyon nagy - $10^4 - 10^9 \Omega$



Invertáló erősítő



$$\frac{U_o}{R_2} + \frac{U_I}{R_1} = 0 \quad \longrightarrow \quad U_o = -\frac{R_2}{R_1} U_I$$

Valóságos erősítővel:

- Véges erősítés
- Bemeneti áram
- Bemeneti offset feszültség
- Kivezérelhetőség
- Frekvenciafüggés
- Instabilitás
- Hőmérsékleti drift
- Sávszélesség
- Jelváltozási sebesség
- Zaj

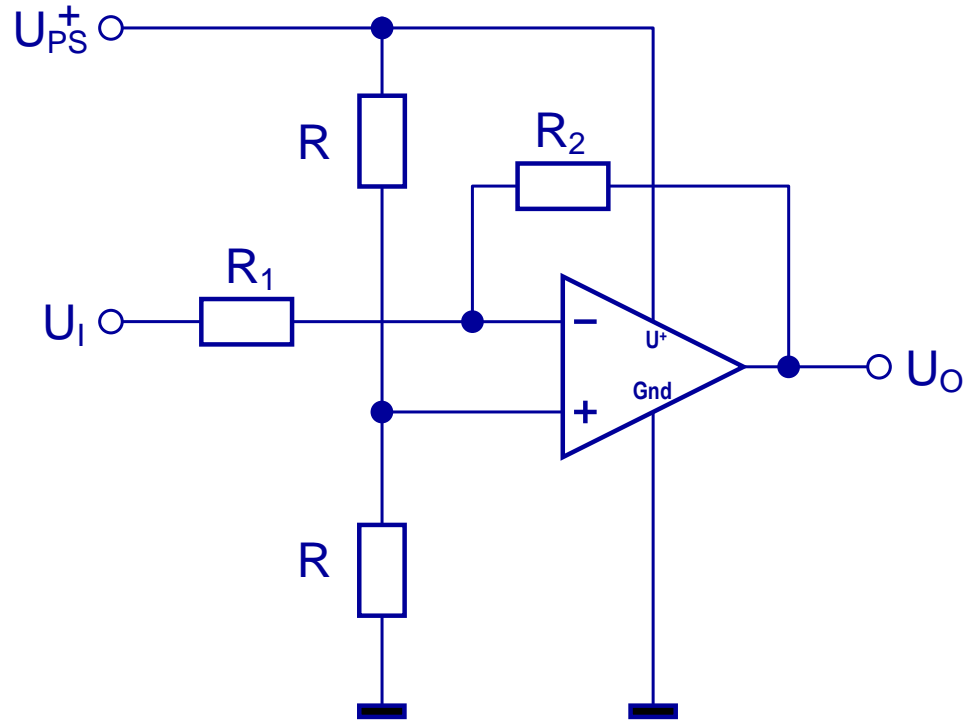
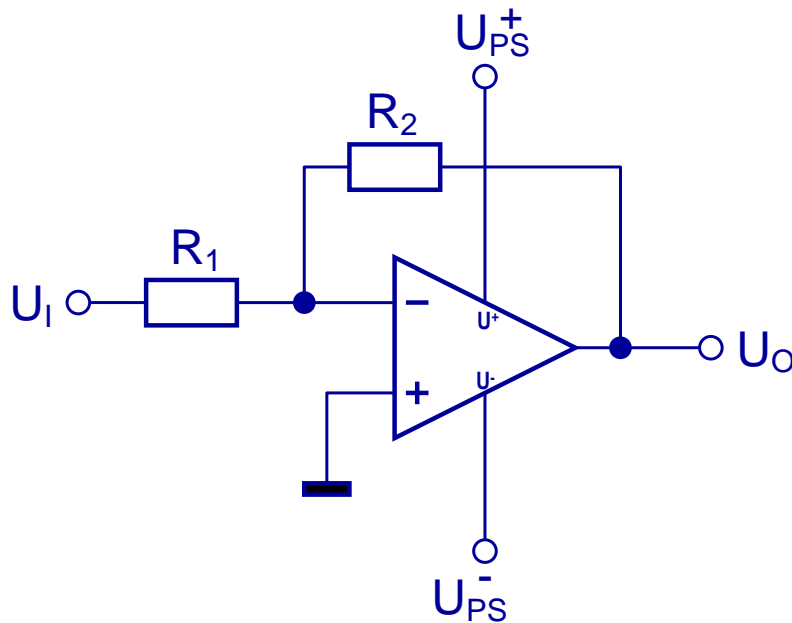


Invertáló erősítő

Tápfeszültség:

- Szimmetrikus + / -

- Egy tápfeszültség (Single Supply)



Invertáló erősítő

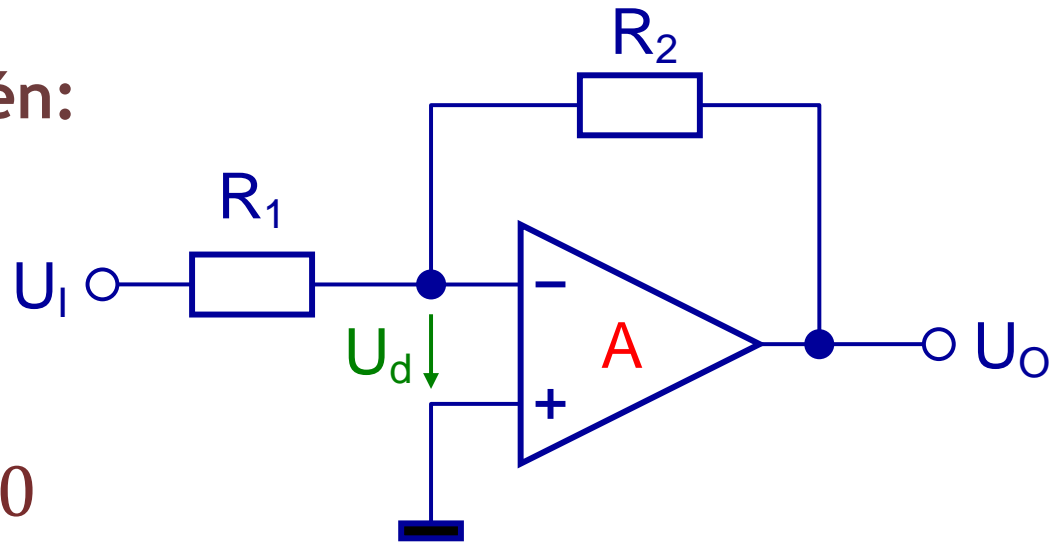
Véges A erősítés esetén:

$$U_O = -AU_d$$

$$\frac{(U_O - U_d)}{R_2} + \frac{(U_I - U_d)}{R_1} = 0$$

$$U_O = -\frac{AR_2}{AR_1 + (R_1 + R_2)} U_I = -\frac{R_2}{R_1} U_I \underbrace{\frac{1}{1 + \frac{R_1 + R_2}{AR_1}}}$$

erősítési hibatényező: 1 -hez tart, ha $A \rightarrow \infty$

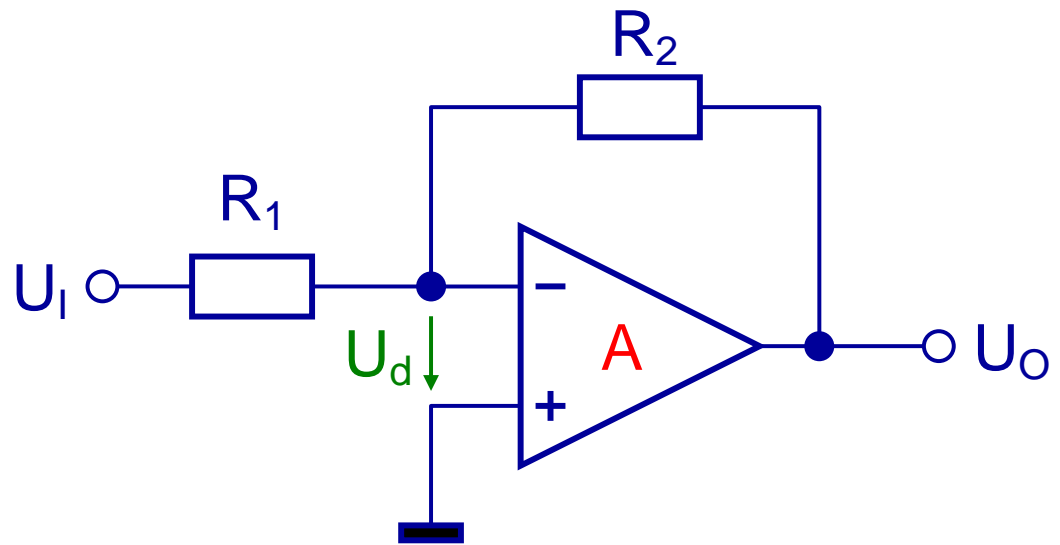


Invertáló erősítő

Frekvenciafüggés

$$A = \frac{a}{1 + sT}$$

$$U_O = -\frac{R_2}{R_1} U_I \frac{A}{A + \frac{R_1 + R_2}{R_1}}$$



$$U_O(s) = -\frac{R_2}{R_1} \frac{a}{a + \frac{R_1 + R_2}{R_1}} \frac{1}{1 + sT} \frac{R_1}{(a + 1)R_1 + R_2} U_I(s)$$

nagy a értékekre

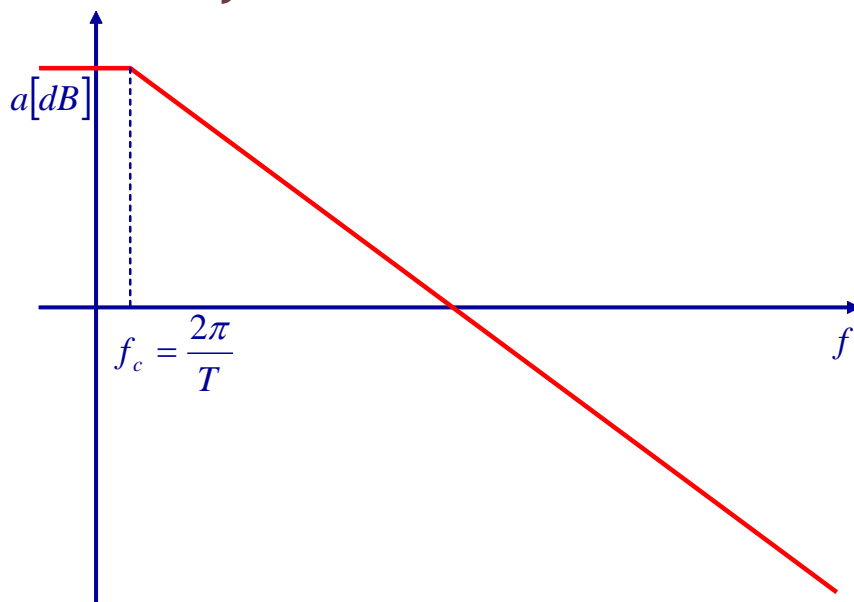
$$T' = T \frac{R_1}{(a + 1)R_1 + R_2} \approx \frac{T}{a}$$



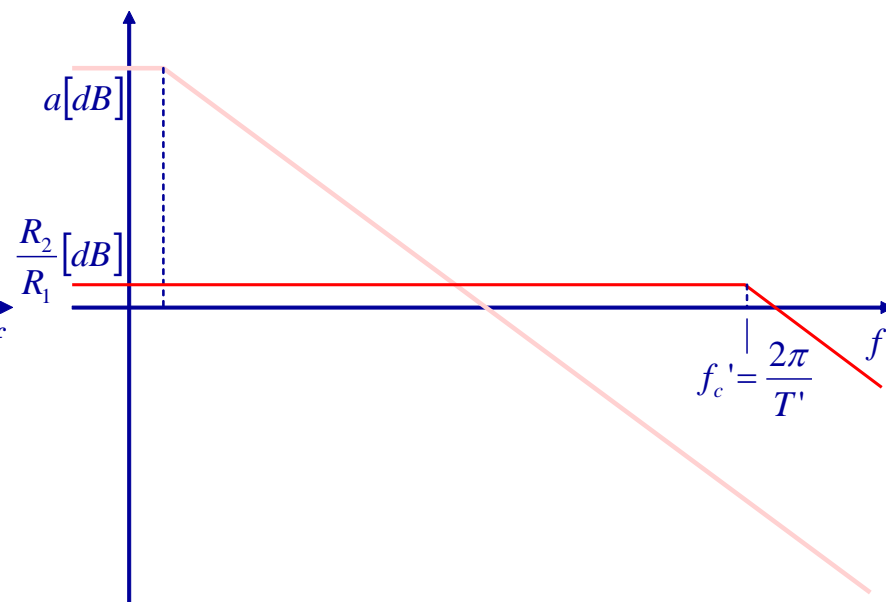
Invertáló erősítő

Frekvenciafüggés

Nyílt hurkú erősítés



Invertáló erősítő

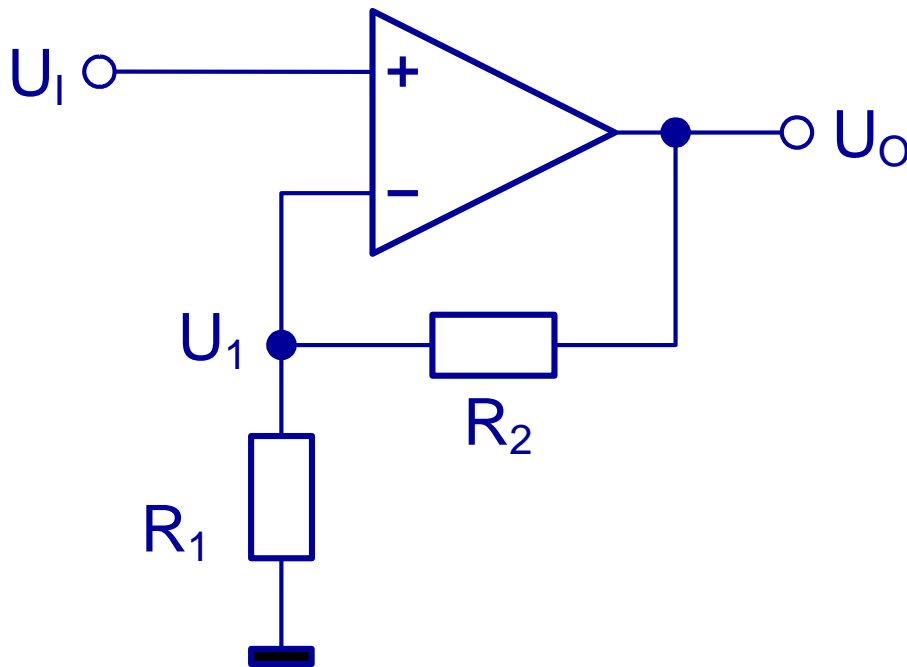


nagy a értékekre

$$T' = T \frac{R_1}{(a + 1)R_1 + R_2} \approx \frac{T}{a}$$



Neminvertáló erősítő



$$U_I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_O$$



$$U_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_I$$

feszültségerősítés $A_U \geq 1$

$$(U_I - U_1)A = U_O$$

$$U_I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_O$$

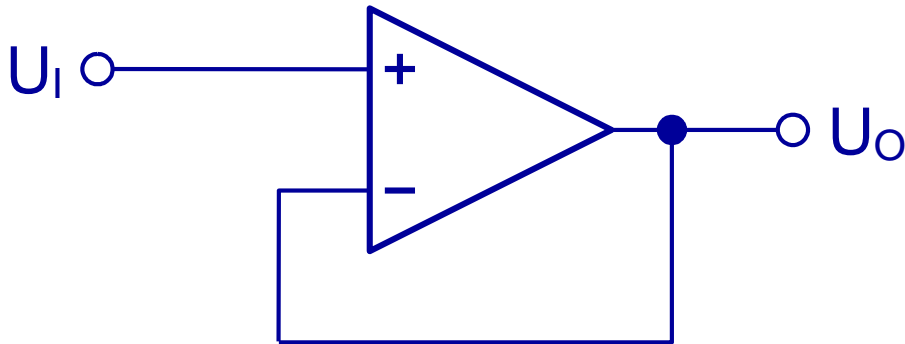
$$\longrightarrow U_O = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) U_I \frac{1}{1 + \frac{R_1 + R_2}{AR_1}}$$

ugyanaz a hibatényező



Neminvertáló erősítő

Hogyan érhető el $A_U = 1$ feszültségerősítés?

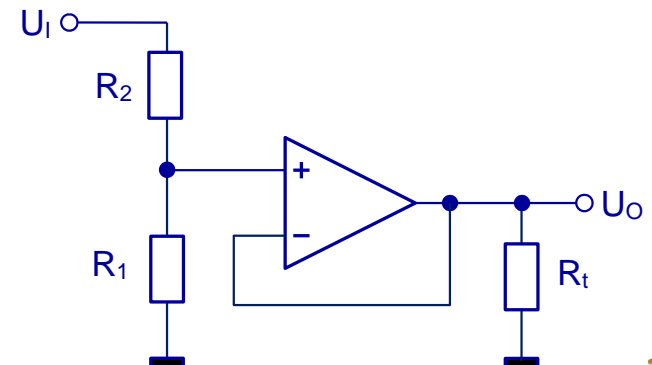


Követő erősítő

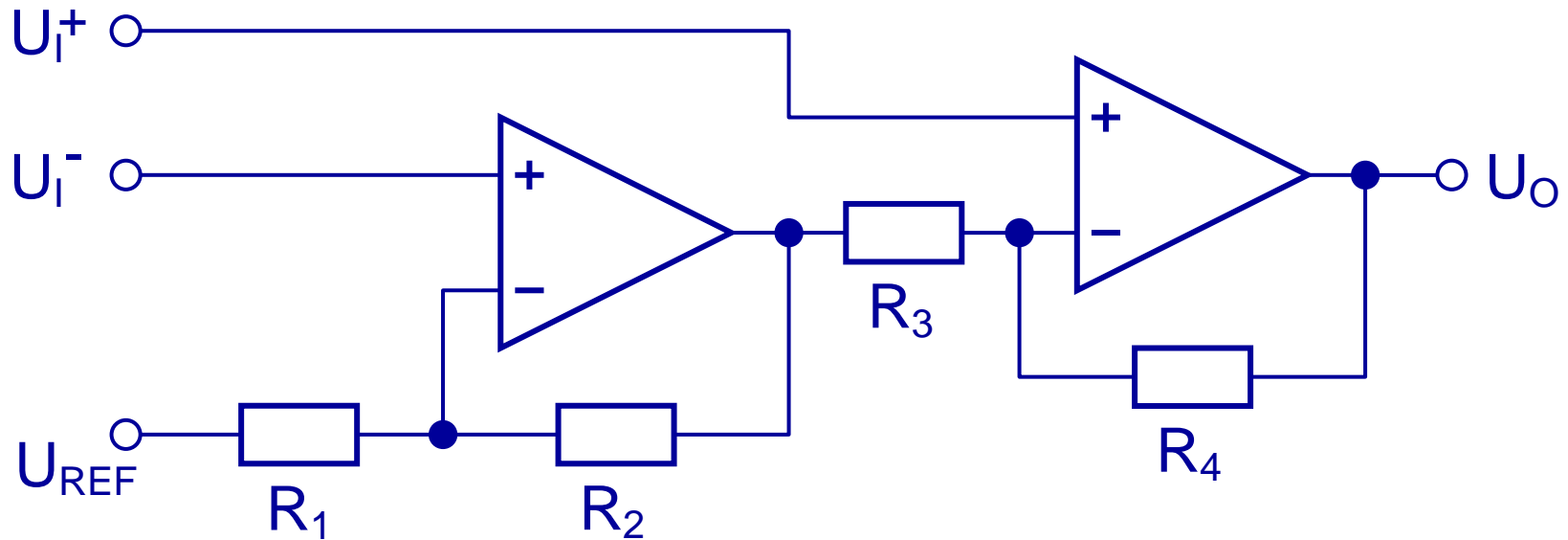
Mi értelme van egy 1-szeres erősítőnek?

- Nagyon kis belső ellenállású (feszültséggenerátoros) meghajtás biztosítása.
- Leválasztás: egy következő fokozat terhelő hatásának eliminálása.

Példa: „ideális” feszültségosztó



Szimmetrikus bemenetű erősítő



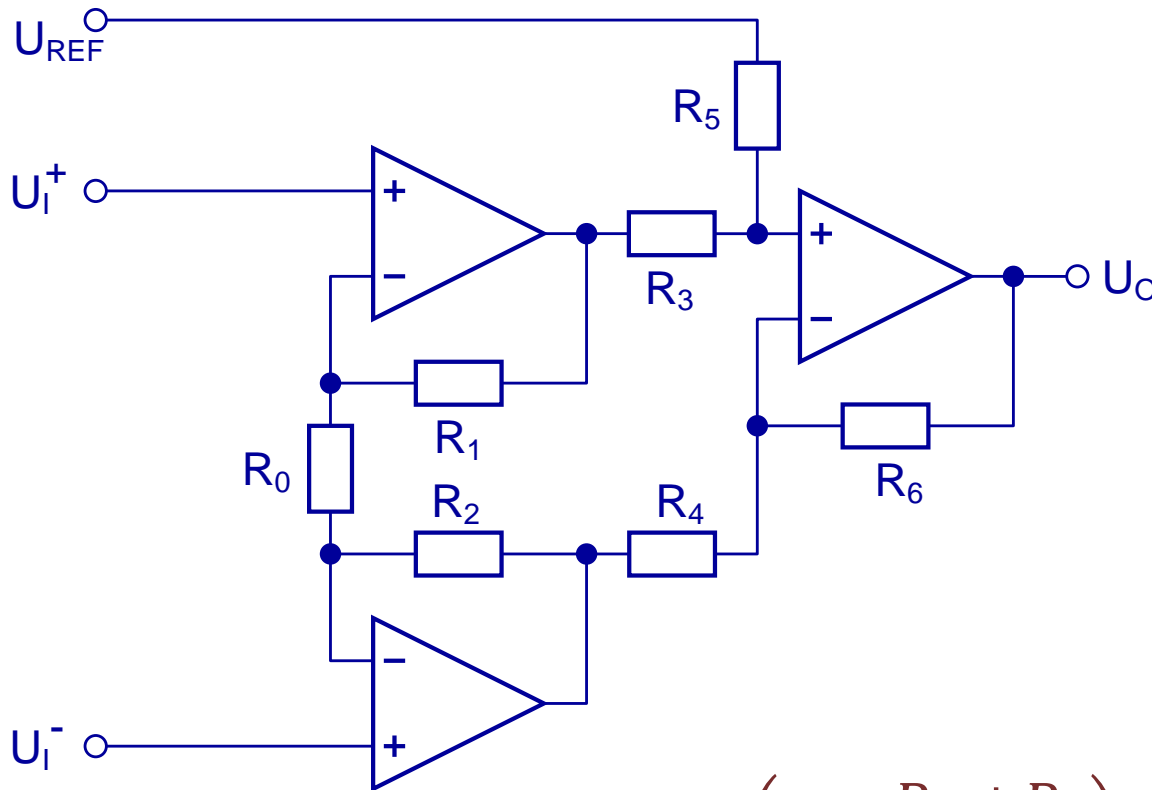
$$U_O = \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) (U_I^+ - U_I^-) + U_{REF}$$

$$R_1 = R_4 = R_a$$

$$R_2 = R_3 = R_b$$



Szimmetrikus bemenetű erősítő



$$R_3 = R_4 = R_5 = R_6$$

$$U_O = \left(1 + \frac{R_1 + R_2}{R_0} \right) (U_I^+ - U_I^-) + U_{REF}$$



Műveleti erősítő típusok

Közönséges (kommersz) műveleti erősítő, pl. 741-es (pl. $\mu A741$)

- Kettős szimmetrikus táp (dual-supply)
- Kivezérelhetősége korlátozott
- Komoly offset, hőmérsékleti drift, bemeneti áram
- Komoly zaj
- Korlátozott sáv szélesség

Javított műveleti erősítők - ma ezeket használjuk

- Egy-tápfeszültségű (single-supply)
- Kis feszültségű (2-6 V tápfeszültség)
- Rail-to-rail (tápfeszültség-határokig kivezérelhető)
- Precíziós (kis offset, kis drift)
- Kis fogyasztású
- Kiszajú
- Nagy bemeneti ellenállású (FET bemenetű)
- Nagyfrekvenciás (nagy gain-bandwidth product)



Műveleti erősítő típusok

Ma használatos műveleti erősítők - példák

- National Semiconductors LM324 - single supply
- Texas Instruments LMV324 - low voltage single supply
- Texas Instruments TLV271 - single supply rail-to-rail,
- On Semiconductors MC33201 - low voltage rail-to-rail
- Linear Technology LT1078 - kis fogyasztású, precíziós
- Linear Technology LTC2050 - 0 offset, 0 drift - chopperes műveleti erősítő
- Analog Devices AD8646 - 24 MHz sávszélesség, kis zaj



Műveleti erősítő példa: TI TLV27x

A tápfeszültség-határokig kivezérelhető

Sávszélesség

Maximális jelváltozási sebesség

Tápfeszültség-tartomány

Áramfelvétel

Bemenetre redukált zajfeszültség

Bemeneti offset áram

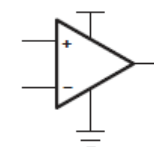
Üzemelési hőmérséklet tartomány

Tokozás

TLV271, TLV272, TLV274 FAMILY OF 550- μ A/Ch 3-MHz RAIL-TO-RAIL OUTPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS351D – MARCH 2001 – REVISED FEBRUARY 2004

Operational Amplifier



- Rail-To-Rail Output
- Wide Bandwidth . . . 3 MHz
- High Slew Rate . . . 2.4 V/ μ s
- Supply Voltage Range . . . 2.7 V to 16 V
- Supply Current . . . 550 μ A/Channel
- Input Noise Voltage . . . 39 nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
- Input Bias Current . . . 1 pA
- Specified Temperature Range
 - 0°C to 70°C . . . Commercial Grade
 - 40°C to 125°C . . . Industrial Grade
- Ultrasmall Packaging
 - 5 Pin SOT-23 (TLV271)
 - 8 Pin MSOP (TLV272)
- Ideal Upgrade for TLC27x Family

description

The TLV27x takes the minimum operating supply voltage down to 2.7 V over the extended industrial temperature range while adding the rail-to-rail output swing feature. This makes it an ideal alternative to the TLC27x family for applications where rail-to-rail output swings are essential. The TLV27x also provides 3-MHz bandwidth from only 550 μ A.

Like the TLC27x, the TLV27x is fully specified for 5-V and \pm 5-V supplies. The maximum recommended supply voltage is 16 V, which allows the devices to be operated from a variety of rechargeable cells (\pm 8 V supplies down to \pm 1.35 V).

The CMOS inputs enable use in high-impedance sensor interfaces, with the lower voltage operation making an attractive alternative for the TLC27x in battery-powered applications.

All members are available in PDIP and SOIC with the singles in the small SOT-23 package, duals in the MSOP, and quads in the TSSOP package.

The 2.7-V operation makes it compatible with Li-Ion powered systems and the operating supply voltage range of many micropower microcontrollers available today including TI's MSP430.



Műveleti erősítő példa: TI TLV27x

Részletes specifikáció (példák)

dc performance

PARAMETER		TEST CONDITIONS		T _A †	MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{IO}	Input offset voltage	V _{IC} = V _{DD} /2, R _L = 10 kΩ,	V _O = V _{DD} /2, R _S = 50 Ω	25°C	0.5		5	mV
				Full range			7	
α _{VIO}	Offset voltage drift			25°C		2		μV/°C
CMRR	Common-mode rejection ratio	V _{IC} = 0 to V _{DD} -1.35V, R _S = 50 Ω	V _{DD} = 2.7 V	25°C	58	70		dB
				Full range	55			
		V _{IC} = 0 to V _{DD} -1.35V, R _S = 50 Ω,	V _{DD} = 5 V	25°C	65	80		
				Full range	62			
		V _{IC} = -5 to V _{DD} -1.35V, R _S = 50 Ω,	V _{DD} = ±5 V	25°C	69	85		
				Full range	66			
A _{VD}	Large-signal differential voltage amplification	V _{O(PP)} = V _{DD} /2, R _L = 10 kΩ	V _{DD} = 2.7 V	25°C	97	106		dB
				Full range	76			
			V _{DD} = 5 V	25°C	100	110		
				Full range	86			
			V _{DD} = ±5 V	25°C	100	115		
				Full range	90			

† Full range is 0°C to 70°C for C suffix and full range is -40°C to 125°C for I suffix. If not specified, full range is -40°C to 125°C.



Műveleti erősítő példa: TI TLV27x

Részletes specifikáció (példák)

input characteristics

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _A	MIN	TYP	MAX	UNIT
I _{IO} Input offset current	V _{DD} = 5 V, V _{IC} = V _{DD} /2, V _O = V _{DD} /2, R _S = 50 Ω	25°C		1	60	pA
		70°C			100	
		125°C			1000	
I _{IB} Input bias current		25°C		1	60	pA
		70°C			100	
		125°C			1000	
r _{i(d)} Differential input resistance		25°C		1000		GΩ
C _{IC} Common-mode input capacitance	f = 21 kHz	25°C		8		pF



Műveleti erősítő példa: TI TLV27x

output characteristics

PARAMETER	TEST CONDITIONS	T _A †	MIN	TYP	MAX	UNIT
V _{OH} High-level output voltage	V _{IC} = V _{DD} /2, I _{OH} = -1 mA	V _{DD} = 2.7 V	25°C	2.55	2.58	V
			Full range	2.48		
		V _{DD} = 5 V	25°C	4.9	4.93	
			Full range	4.85		
		V _{DD} = ±5 V	25°C	4.92	4.96	
			Full range	4.9		
	V _{IC} = V _{DD} /2, I _{OH} = -5 mA	V _{DD} = 2.7 V	25°C	1.9	2.1	
			Full range	1.5		
		V _{DD} = 5 V	25°C	4.6	4.68	
			Full range	4.5		
		V _{DD} = ±5 V	25°C	4.7	4.84	
			Full range	4.65		
V _{OL} Low-level output voltage	V _{IC} = V _{DD} /2, I _{OL} = 1 mA	V _{DD} = 2.7 V	25°C	0.1	0.15	V
			Full range		0.22	
		V _{DD} = 5 V	25°C	0.05	0.1	
			Full range		0.15	
		V _{DD} = ±5 V	25°C	-4.95	-4.92	
			Full range		-4.9	
	V _{IC} = V _{DD} /2, I _{OL} = 5 mA	V _{DD} = 2.7 V	25°C	0.5	0.7	
			Full range		1.1	
		V _{DD} = 5 V	25°C	0.28	0.4	
			Full range		0.5	
		V _{DD} = ±5 V	25°C	-4.84	-4.7	
			Full range		-4.65	
I _O Output current	V _O = 0.5 V from rail, V _{DD} = 2.7 V	Positive rail	25°C	4	mA	
		Negative rail	25°C	5		
	V _O = 0.5 V from rail, V _{DD} = 5 V	Positive rail	25°C	7		
		Negative rail	25°C	8		
	V _O = 0.5 V from rail, V _{DD} = 10 V	Positive rail	25°C	13		
		Negative rail	25°C	12		

† Full range is 0°C to 70°C for C suffix and full range is -40°C to 125°C for I suffix. If not specified, full range is -40°C to 125°C.

‡ Depending on package dissipation rating



Műveleti erősítő példa: TI TLV27x

Diagramok (példák)

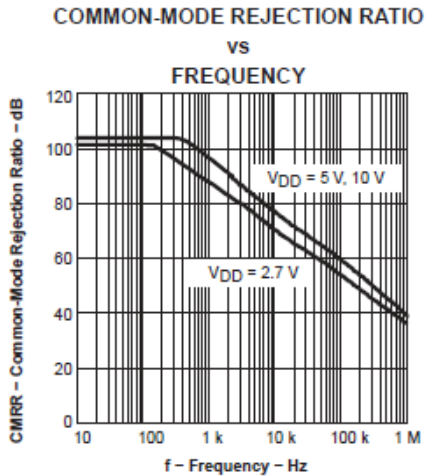


Figure 1

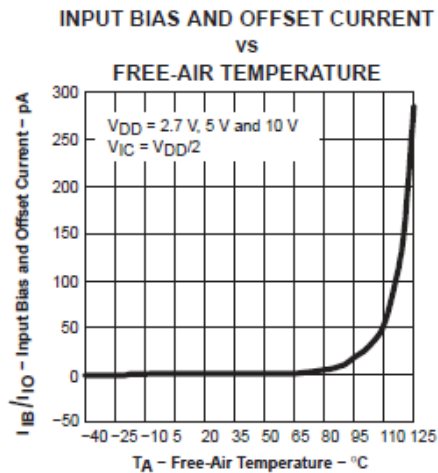


Figure 2

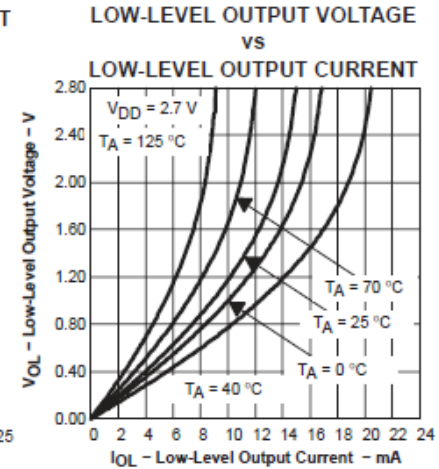


Figure 3

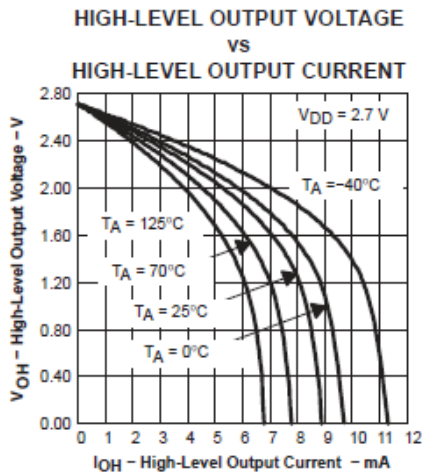


Figure 4

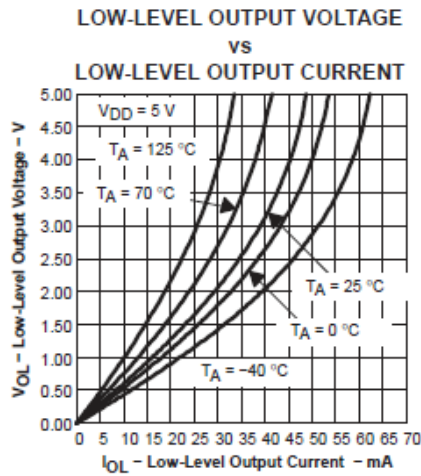


Figure 5

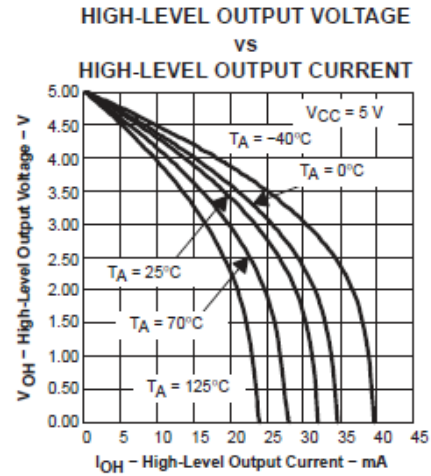
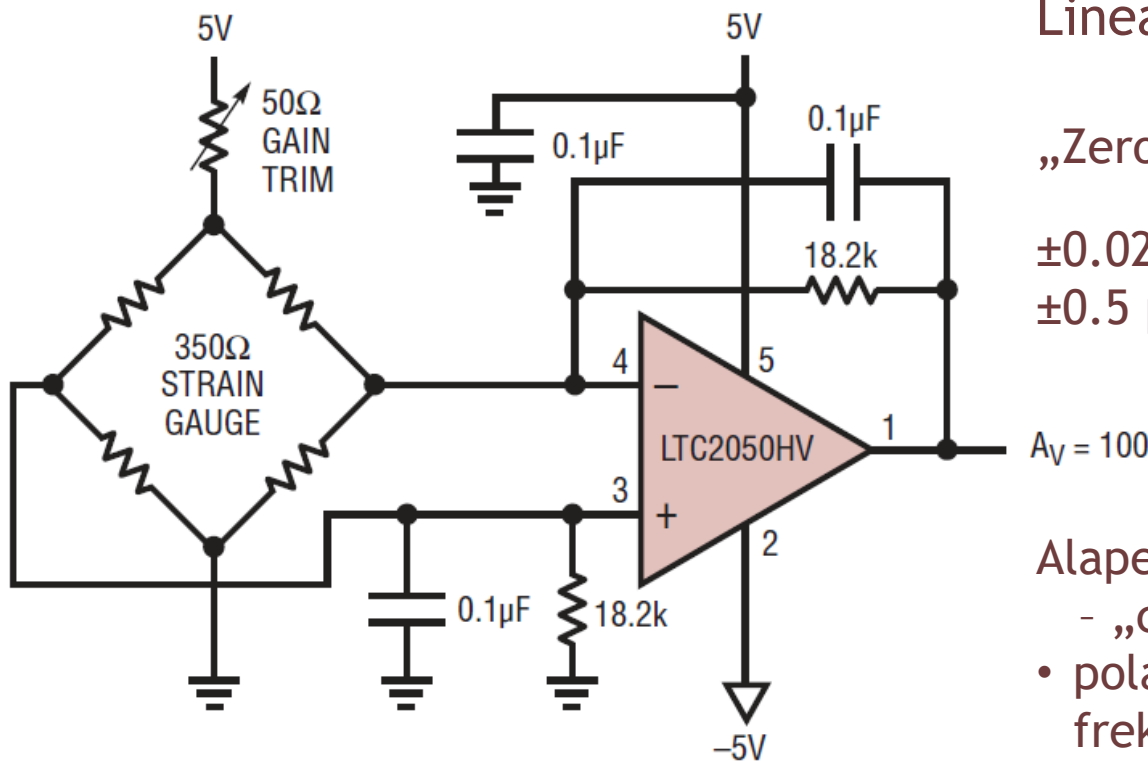


Figure 6



Alkalmazási példa: precíziós híderősítő



Linear Technology LTC2050

„Zero drift” műveleti erősítő

$\pm 0.02 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$ drift

$\pm 0.5 \mu\text{V}$ tipikus offset mellett

$A_V = 100$

Alapelv: kapcsolóüzemű

- „chopper”-es - működés
- polaritás-váltás 7.5 kHz frekvenciával,
- az offset átlagolódik.

További kedvező jellemzők:

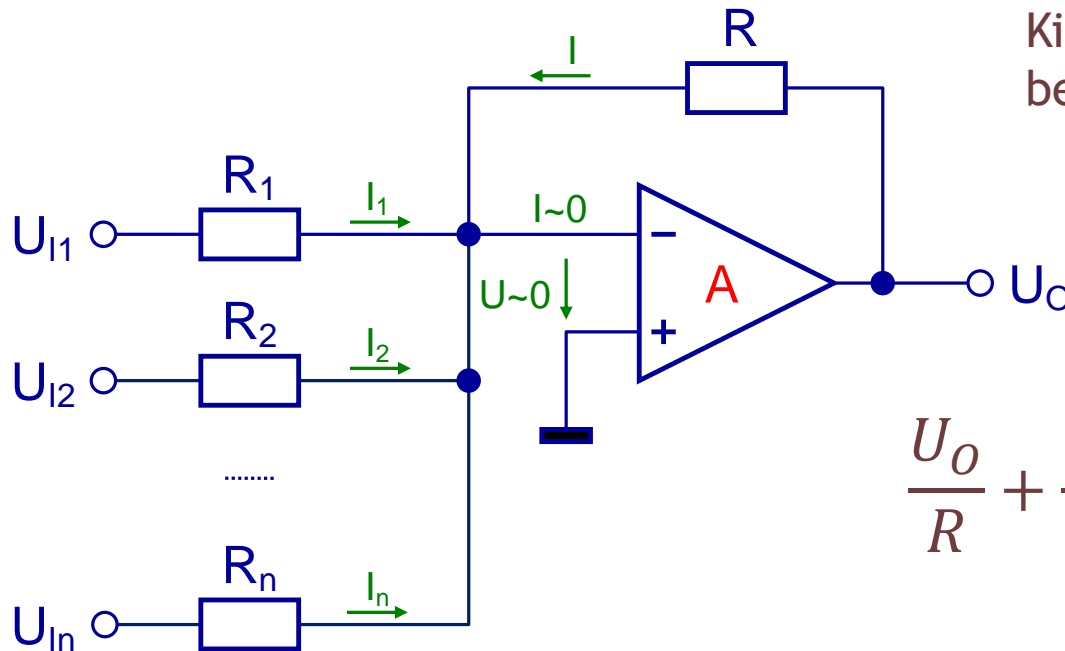
- Bemeneti áram: 75 pA
- Erősítés: 130 dB (kb. 3 milliószoros)
- Gain Bandwidth Product: 3 MHz

Kedvezőtlen jellemző:

- Kapcsolási zaj 7.5 kHz-en és felharmonikusaiban



Összegző erősítő



Kirchoff törvény a csomópontba befolyó áramokra

$$I + I_1 + I_2 + \dots + I_n = 0$$

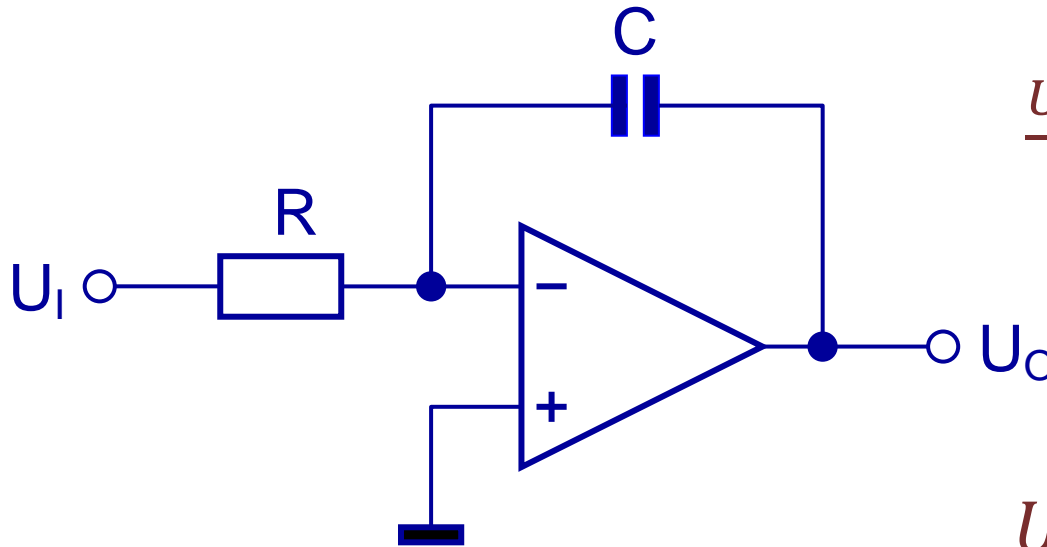
$$\frac{U_O}{R} + \frac{U_{I_1}}{R_1} + \frac{U_{I_2}}{R_2} + \dots + \frac{U_{I_n}}{R_n} = 0$$

$$U_O = - \left(\frac{R}{R_1} U_{I_1} + \frac{R}{R_2} U_{I_2} + \dots + \frac{R}{R_n} U_{I_n} \right)$$

A bemeneti feszültségek súlyozott összege.



Integrátor



$$\frac{U_I(s)}{R} + sCU_O(s) = 0$$



$$U_O(s) = -\frac{1}{sRC} U_I(s)$$

Komplex impedanciákkal számolunk:

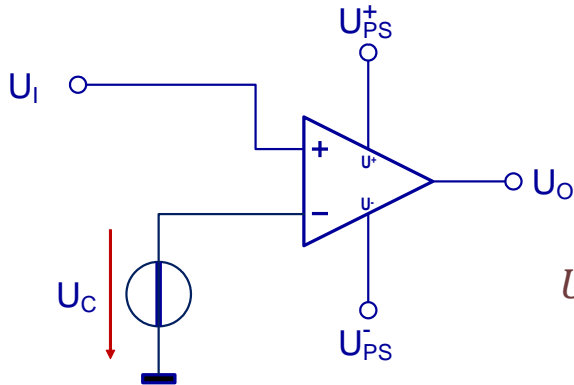
$$Z_R = R \quad Z_C = \frac{1}{sC} \quad Z_L = sL$$

$\frac{1}{s} \rightarrow t$ szerinti integrálás

$$U_O(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_I(\tau) d\tau$$



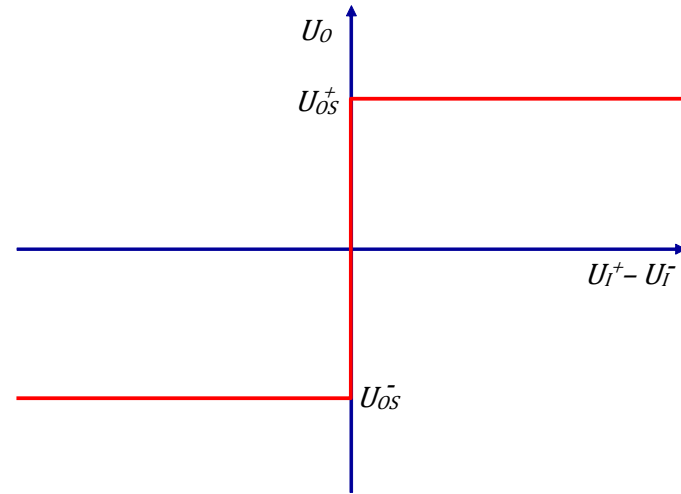
Komparátor



∞ erősítésű műveleti erősítő nyílt hurokban: komparátor

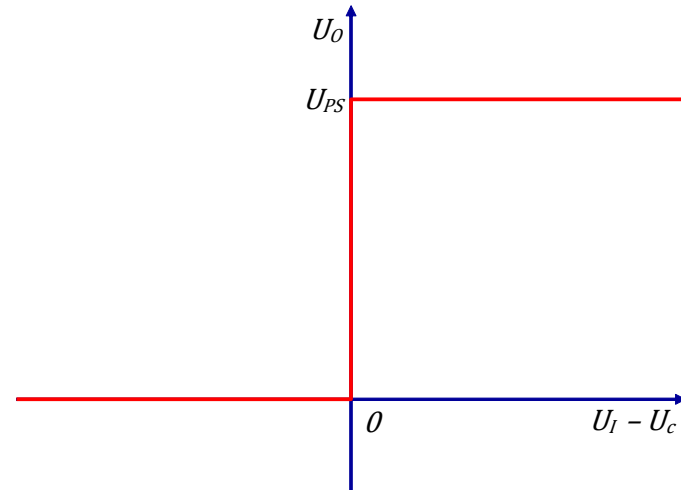
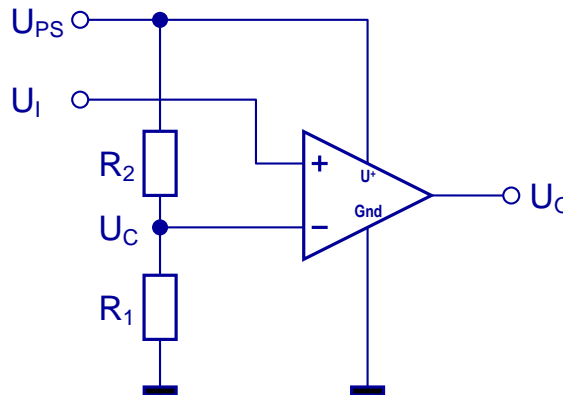
U_C komparálási feszültség

$$U_O = \begin{cases} U_{OS}^+ & \text{ha } U_I \geq U_C \\ U_{OS}^- & \text{ha } U_I < U_C \end{cases}$$

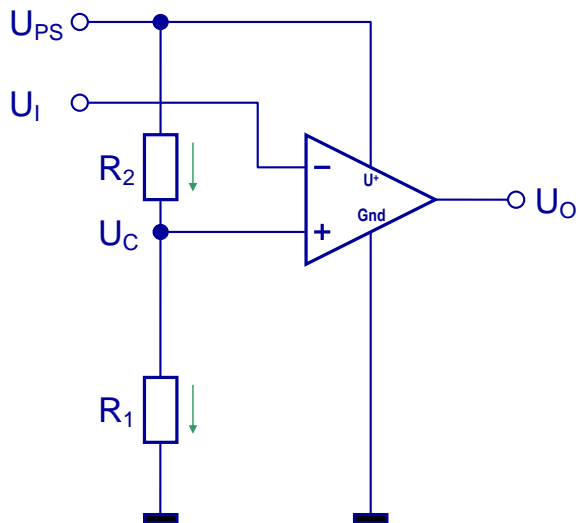


1-tápfeszültségű „rail-to-rail” kimenetű műveleti erősítővel:

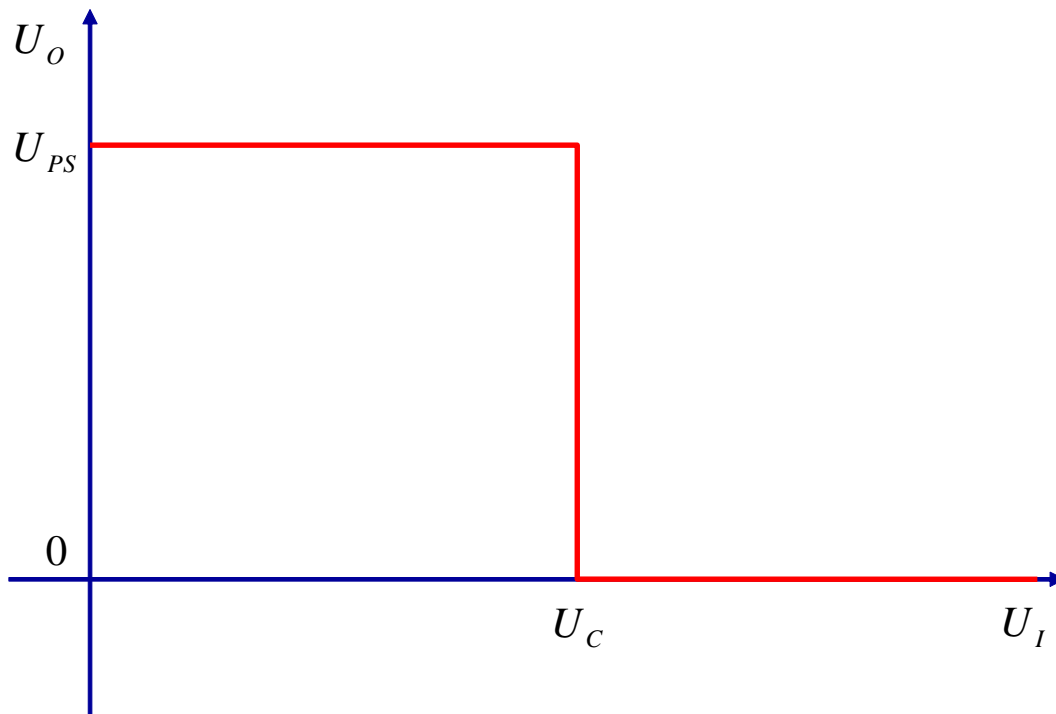
$$U_C = U_{PS} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



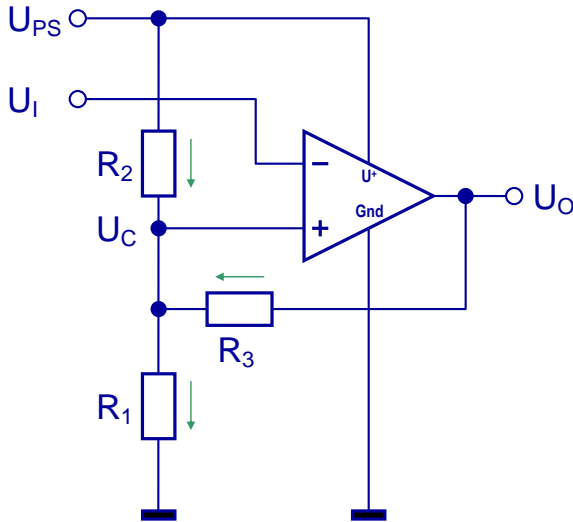
Invertáló komparátor



$$U_C = U_{PS} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



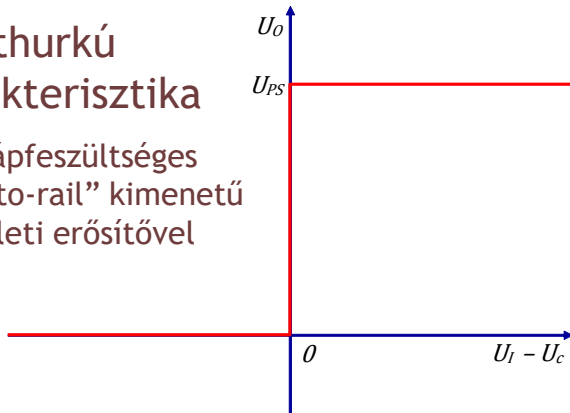
Hiszterézises komparátor



pozitív visszacsatolás

Nyílthurkú
karakterisztika

egy tápfeszültségű
„rail-to-rail” kimenetű
műveleti erősítővel



Kirchoff törvény
az U_C csomópontra:

$$\frac{U_{PS} - U_C}{R_2} + \frac{U_O - U_C}{R_3} = \frac{U_C}{R_1}$$

$$R_1 R_3 U_{PS} + R_1 R_2 U_O = (R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3) U_C$$

$$U_C = \frac{R_1}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} (R_3 U_{PS} + R_2 U_O)$$

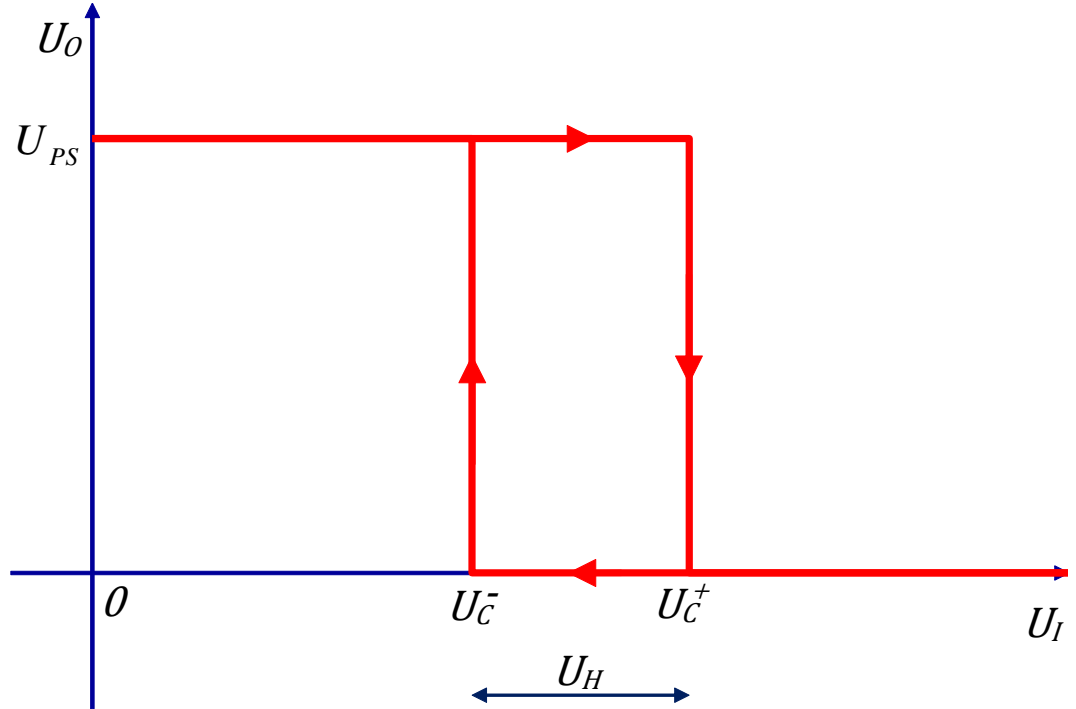
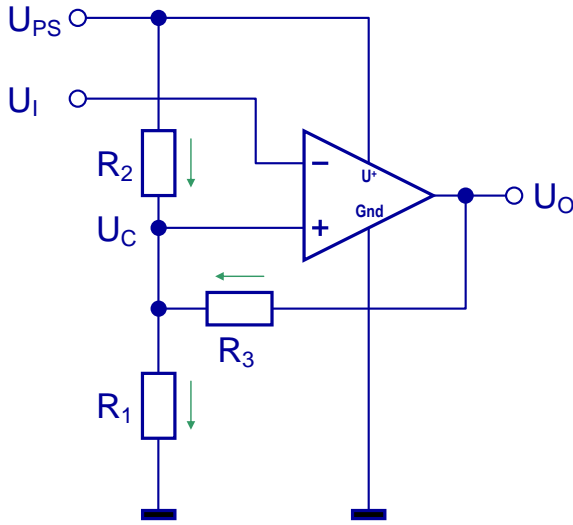
$$U_O = U_{PS} \quad U_C^+ = \frac{R_1 (R_2 + R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} U_{PS}$$

$$U_O = 0 \quad U_C^- = \frac{R_1 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} U_{PS}$$

$$U_H = U_C^+ - U_C^- = \frac{R_1 R_1}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} U_{PS}$$

U_H - hiszterézis feszültség

Invertáló hiszterézises komparátor



$$U_C^+ = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} U_{PS}$$

$$U_C^- = \frac{R_1R_3}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} U_{PS}$$

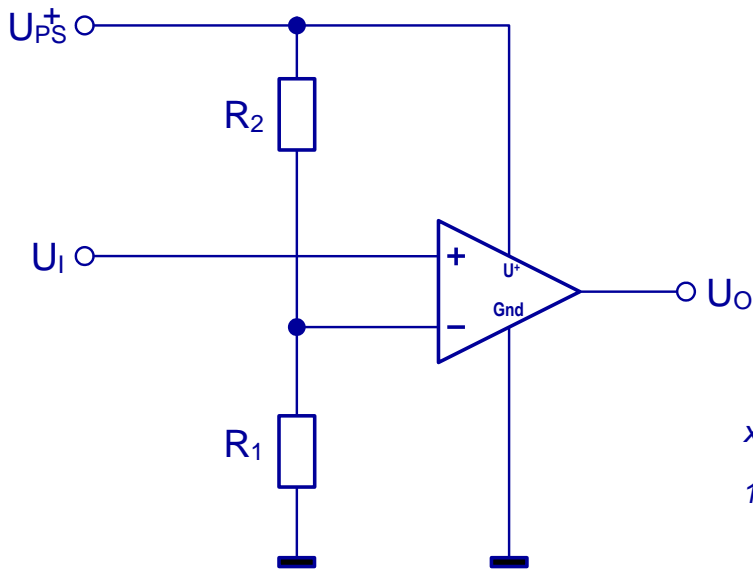
hiszterézis



$$U_H = \frac{R_1R_1}{R_1R_2 + R_1R_3 + R_2R_3} U_{PS}$$

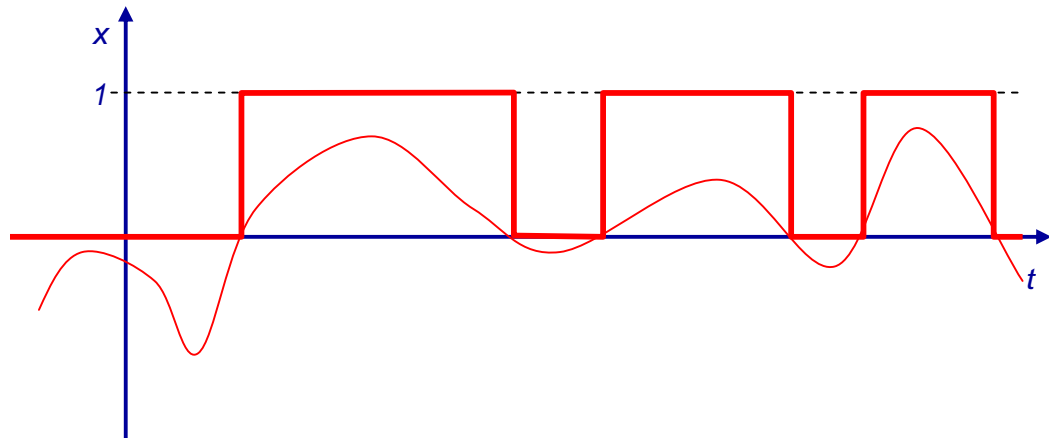


1-bites kvantáló (AD)



A komparátor:

Bináris (0/1) sorozattá
konvertálja a jelet.



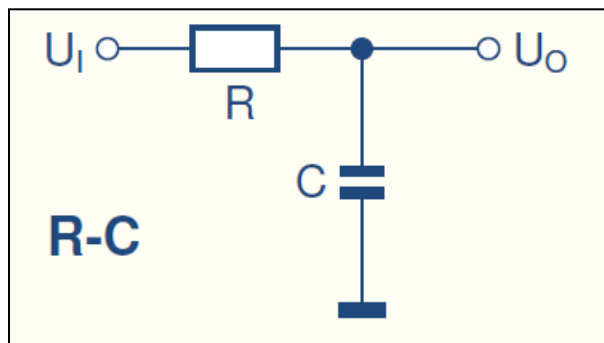
A ma legelterjedtebben használt AD konverterek (SAR, $\delta\sigma$)
alapját képező áramkör.



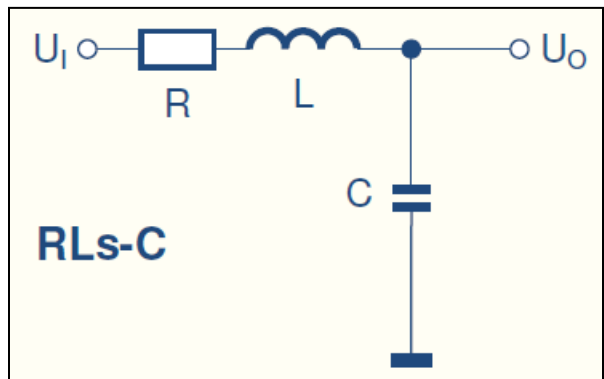
Analóg szűrők

LP (Low Pass - aluláteresztő) szűrők – kiszűrik a jelből a valamilyen határnál nagyobb frekvenciájú komponenseket:

- fontos szerepet töltenek be az AD konverzió megvalósításában.



$$W(s) = \frac{U_O(s)}{U_I(s)} = \frac{1}{RCs + 1}$$
$$W(s) = \frac{1}{R + \frac{1}{sC}}$$



aluláteresztő átviteli karakterisztika

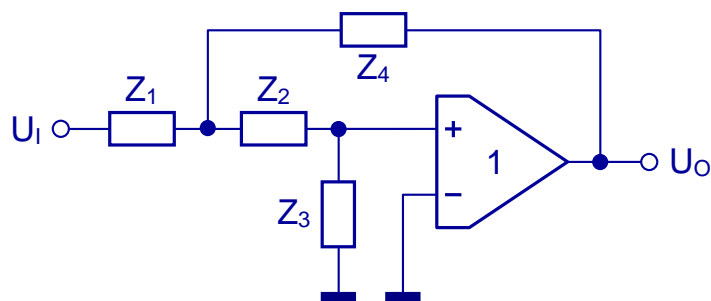
$$W(s) = \frac{U_O(s)}{U_I(s)} = \frac{1}{LCs^2 + RCs + 1}$$
$$W(s) = \frac{1}{R + sL + \frac{1}{sC}}$$



Analóg szűrők

Aktív LP szűrő: másodrendű alaptag

Sallen-Key elrendezés



általános karakterisztika:

$$W(s) = \frac{U_O(s)}{U_I(s)} = \frac{Z_3 Z_4}{Z_1 Z_2 + Z_4 (Z_1 + Z_2) + Z_3 Z_4}$$

aluláteresztő (LP) karakterisztika:

$$W(s) = \frac{U_O(s)}{U_I(s)} = \frac{C_1 C_2}{R_1 R_2 s^2 + C_2 (R_1 + R_2) s + C_1 C_2}$$

$$W(s) = \frac{U_O(s)}{U_I(s)} = \frac{1}{\frac{R_1 R_2}{C_1 C_2} s^2 + \frac{R_1 + R_2}{C_1} s + 1}$$



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM

Dr. Soumelidis Alexandros



email: soumelidis@sztaki.hu



BME KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI ÉS JÁRMŰMÉRNÖKI KAR
32708-2/2017/INTFIN SZÁMÚ EMMI ÁLTAL TÁMOGATOTT TANANYAG