

Állománynév: aramkorok_07jelfeldolgozo_aramkorok03.pdf

Irodalom: Tankönyv: R. J. Smith & R. C. Dorf, „Circuits, Devices and Systems,” Wiley, (5th Edition), pp. 517- 544, 279-295.

Előadó jegyzetei: <http://users.itk.ppke.hu/~kolumban/aramkorok/>

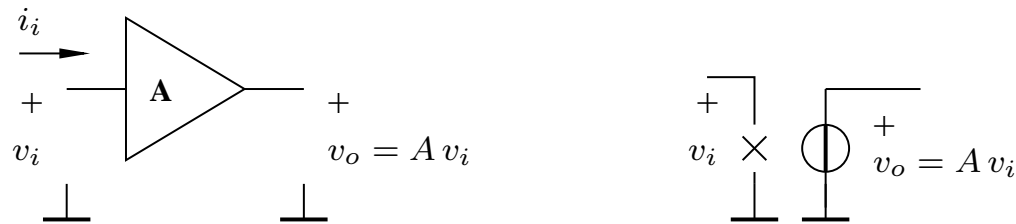
7. JELFELDOLGOZÓ ÁRAMKÖRÖK

TARTALOM:

- 7.1. Ideális erősítők definíciója és matematikai modellje
- 7.2. Szimmetrikus/aszimmetrikus jelfeldolgozás
- 7.3. Blokkdiagram algebra
- 7.4. A visszacsatolás alkalmazása
- 7.5. Műveleti erősítők alkalmazása

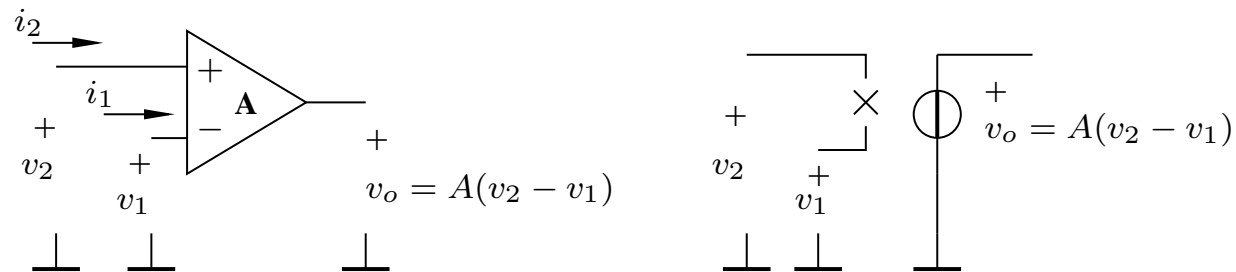
7.1. Ideális erősítők definíciója és matematikai modellje

(Aszimmetrikus) erősítő



ahol $i_i = 0$ A, azaz $R_{be} \Rightarrow \infty \Omega$, és $R_{ki} = 0 \Omega$

Differenciál erősítő

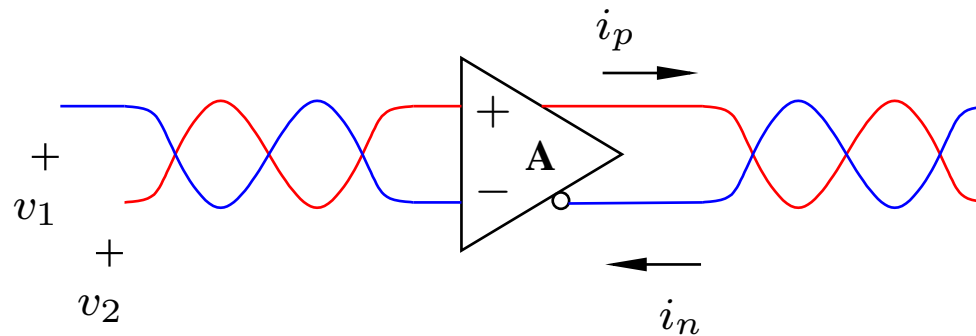


ahol $i_1 = i_2 = 0$ és $R_{ki} = 0 \Omega$

7.2. Szimmetrikus/aszimmetrikus jelfeldolgozás

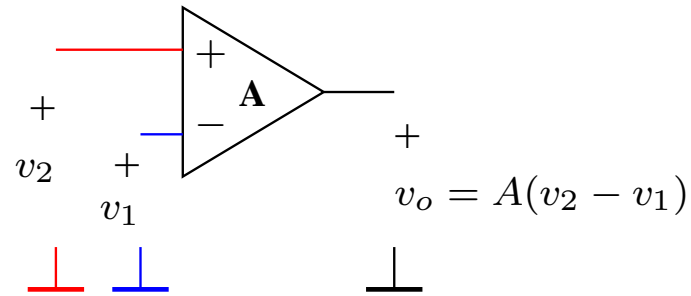
Vonalvevő alkalmazása (pl. Csavart érpárral működő Ethernet hálózatok)

Szimmetrikus bemenet és szimmetrikus kimenet



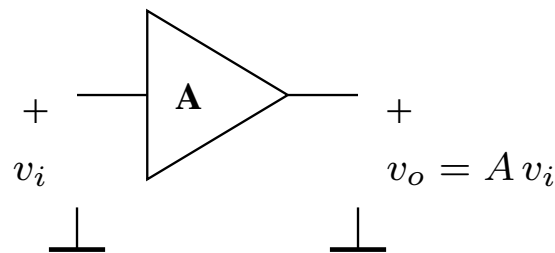
- Előnyök:
- Bemeneten a közös módusú vezérlés, azaz zavaró jelek kiejtése
Védelem külső zavarok ellen
 - Kimeneten az ellentétes irányú áramok által generált elektromágneses tér (EMC, ElectroMagnetic Compability) kiotja egymást
Nem zavar másokat

Szimmetrikus bemenet és aszimmetrikus kimenet



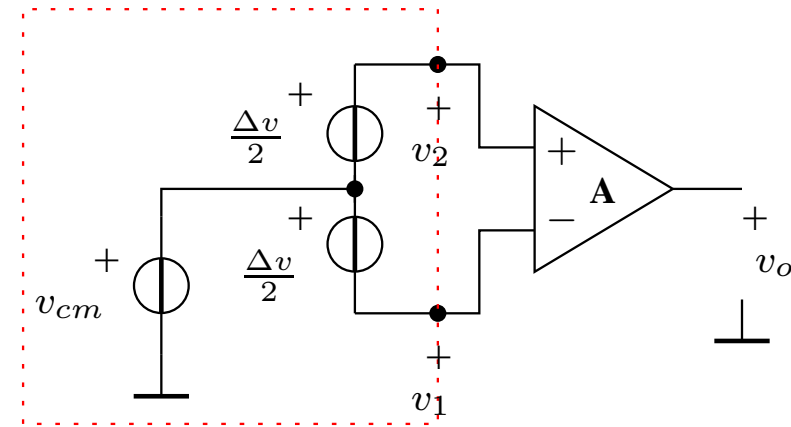
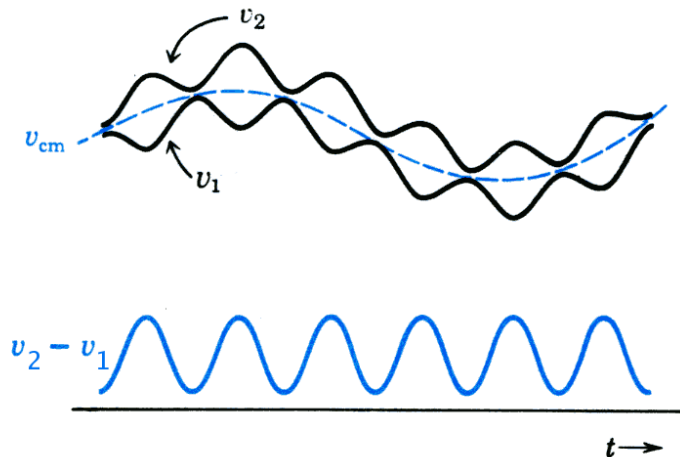
- Előny: • Bemeneten a közös módusú vezérlés, azaz zavaró jelek kiejtése
Védelem külső zavarok ellen
Tipikus alkalmazás: EKG és EEG erősítők

Aszimmetrikus bemenet és aszimmetrikus kimenet



Matematikai leírás:

Bemenet felbontása egy szimmetrikus és egy közös módusú komponensre



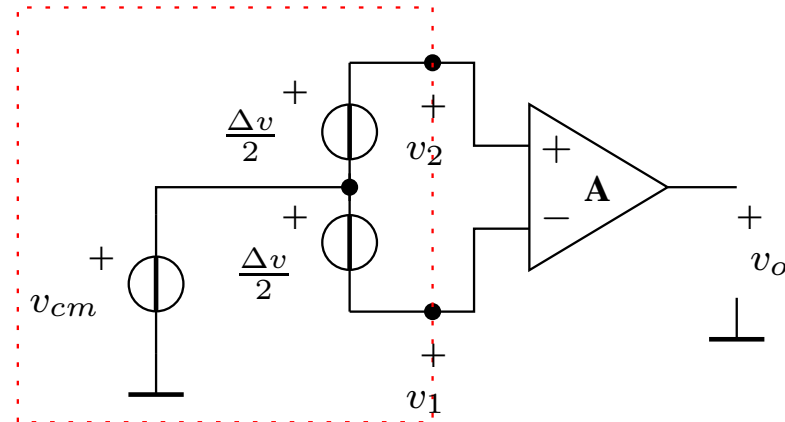
Definíció szerint az ún. **differentiál erősítő** bemenetein mért v_2 és v_1 jeleket felbontjuk egy **közös módusú bemeneti jelre**

$$v_{cm} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

és egy **szimmetrikus bemeneti jelre**

$$\Delta v = v_2 - v_1$$

A differenciál erősítő be- és kimenetein mért jelek



A v_{cm} közös módusú és Δv szimmetrikus bemeneti jelekkel a differenciál erősítő bemeneti jelei kifejezhetők mint

$$v_2 = v_{cm} + \frac{\Delta v}{2} \quad \text{és} \quad v_1 = v_{cm} - \frac{\Delta v}{2}$$

A differenciál erősítő kimeneti jele:

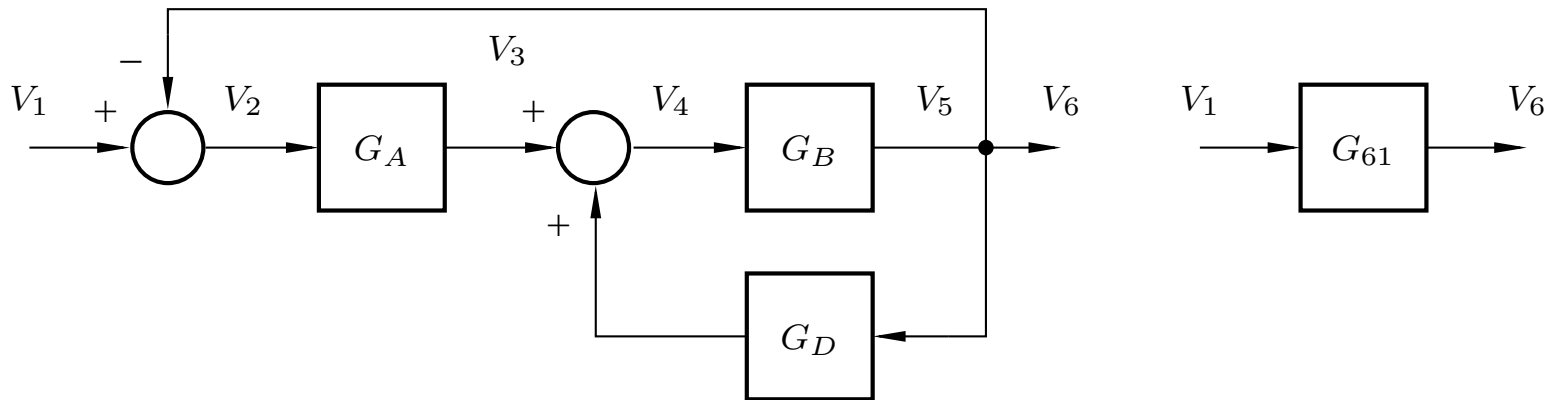
$$v_o = A(v_2 - v_1) = A\Delta v$$

Vedd észre: A közös módusú bemenet nem jelenik meg a kimeneten

7.3. Blokkdiagram reprezentáció

Alapelv: Bármilyen bonyolultságú lineáris rendszer helyettesíthető egy, a **blokk-diagram algebrával** meghatározott átviteli függvénnyel

Például:



$$\text{ahol } G_{61} = \frac{V_6}{V_1} = \frac{G_A G_B}{1 - G_A G_B \left(\frac{G_D}{G_A} - 1 \right)}$$

A blokkdiagram algebra alkalmazásának feltételei:

- A rendszer átviteli függvényekkel jellemzett, **lineáris** blokkokat tartalmazhat csak

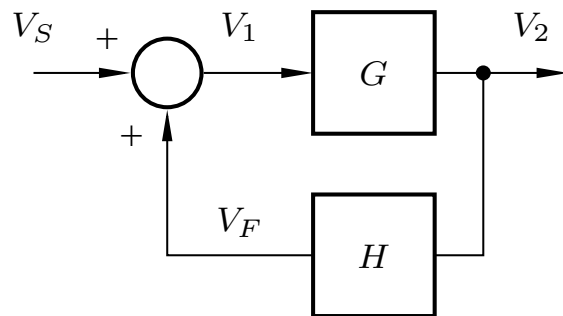
$$V_2(s) = G(s)V_1(s)$$

- Az egyes blokkok nem terhelik egymást, mert minden blokkra $Z_{in} \rightarrow \infty$ és $Z_{out} = 0$
- A rendszert alkotó blokkok **unilaterálisak**, azaz egy blokk kimeneti jele nem jut vissza a blokk bemenetére. A jel haladási irányát nyíllal jelöljük

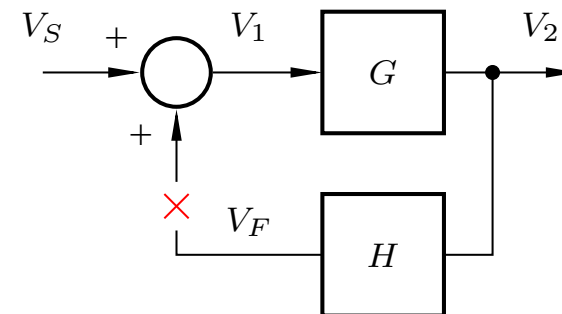
Legfontosabb fogalmak:

- Visszacsatolás: A kimenő jel egy részének bemenetre való visszavezetése
- Zárt és nyílt hurok
- G az előremenő ág erősítése míg H a visszacsatoló ág átvitele
- V_S a referencia jel, V_F a visszacsatolt jel és V_1 a hibajel

Visszacsatolt rendszer

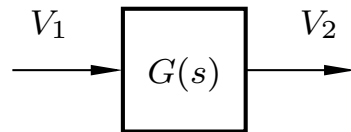


Megszakított, azaz nyílt hurok



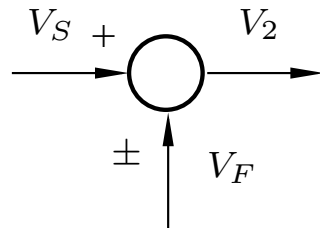
A blokkdiagram algebra építő elemei

(a) $G(s)$ átviteli függvénnnyel jellemzett blokk, azaz négypólus



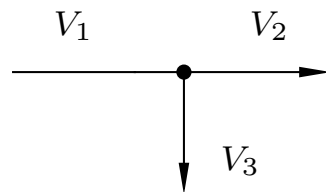
$$V_2 = G(s)V_1$$

(b) Előjelesen összegző pont



$$V_2 = V_S \pm V_F$$

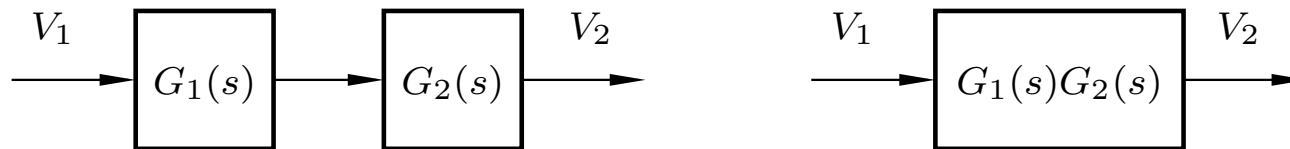
(c) Elágazás



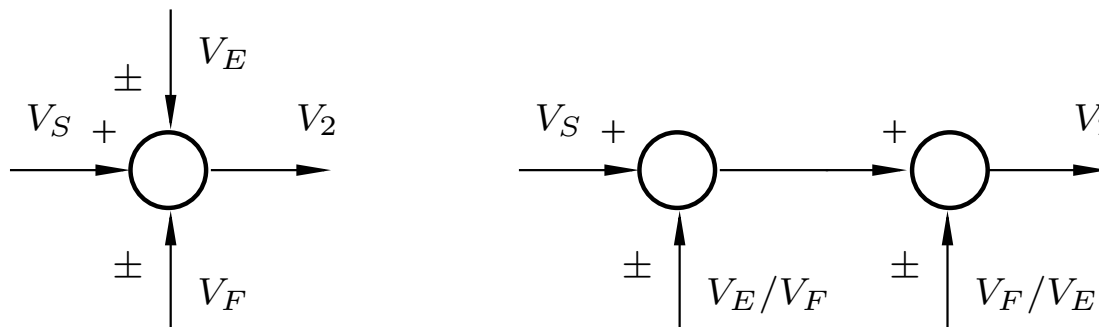
$$V_3 = V_2 = V_1$$

A blokkdiagram algebra szabályai

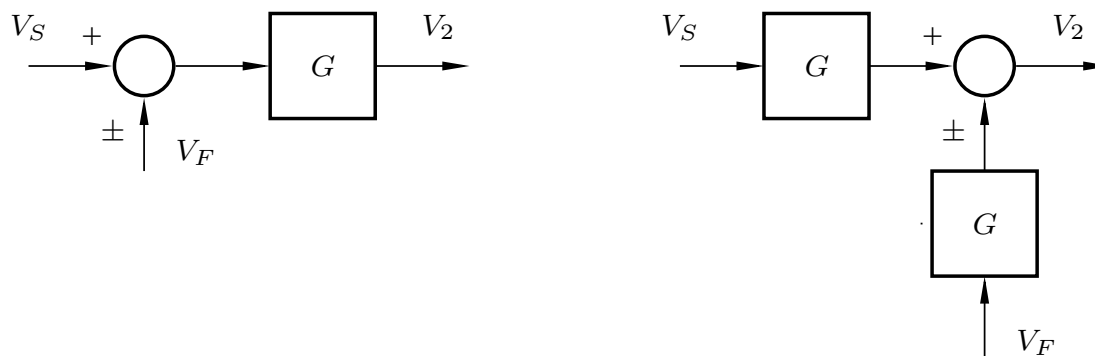
- (I) Egy tetszőleges zárthurkú rendszer helyettesíthető egy ekvivalens nyílthurkú rendszerrel
- (II) A kaszkádba kapcsolt blokkok transzfer függvénye megegyezik az egyes blokkok átvitelének szorzatával



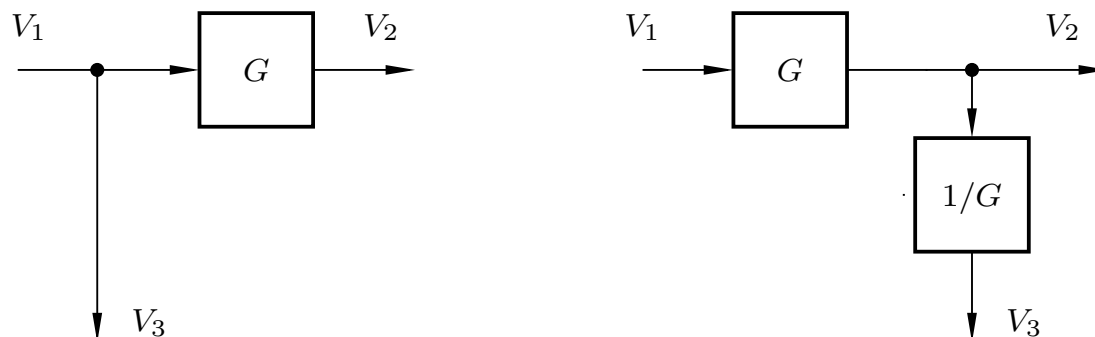
- (III) Az összegzés sorrendje szabadon felcserélhető



(IV) Az összegzési pont négypóluson való átemelése

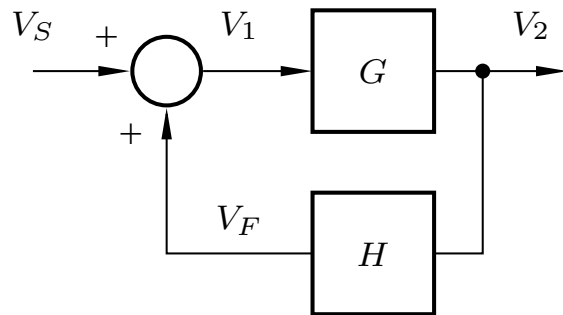


(III) Az elágazási pont négypóluson való átemelése



7.4. A visszacsatolás alkalmazása

Blokkvázlat



Átviteli függvény

$$V_1 = V_S + V_F$$

$$V_F = H V_2$$

$$V_2 = G V_1 = G(V_S + V_F) = G V_S + G H V_2$$

$$V_2 = \frac{G}{1 - GH} V_S = G_{VCS} V_S$$

Ahol:

- G az előremenő ág átvitele
- GH a nyílthurkú erősítés

Fontos: Figyelj oda a visszacsatolás előjelére, a fenti képlet összegző mellett érvényes!!!

Emlékeztetőül az átviteli függvény: $V_2 = \frac{G}{1-GH} V_S = G_{VCS} V_S$

A visszacsatolás fajtái, és azok alkalmazása

- **Pozitív visszacsatolás:** $0 < GH < 1$

Alkalmazás: Erősítés növelés regeneratív vevőkben

- **Oszcillátor:** $GH = 1$

$$\underbrace{(1 - GH)}_{=0} V_2 \equiv GV_S = 0$$

Alkalmazás: Oszcillátorok és multivibrátorok megvalósítása

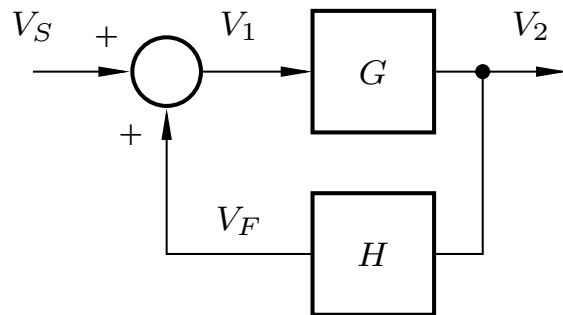
- **Negatív visszacsatolás:** $GH < 0$

Alkalmazások:

- Erősítés pontos értékének beállítása és stabilizálása
- Torzítás csökkentése
- Be- és kimeneti impedanciák optimális beállítása

7.4(a) A pozitív visszacsatolás

Blokkvázlat



Átviteli függvény

$$V_2 = \frac{G}{1 - GH} V_S = G_{VCS} V_S$$

A nyílthurkú erősítésre tett feltétel: $0 < GH < 1$

Ha $G = 100$ és $H = 0,009$ akkor a hurokerősítés $GH = 0,9$ és

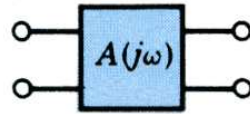
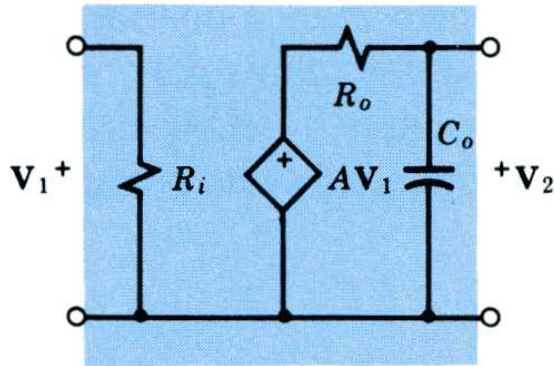
$$G_{VCS} = \frac{G}{1 - GH} = \frac{100}{1 - 0,9} = 1000$$

Hátránya, ami miatt ma már nem használják:

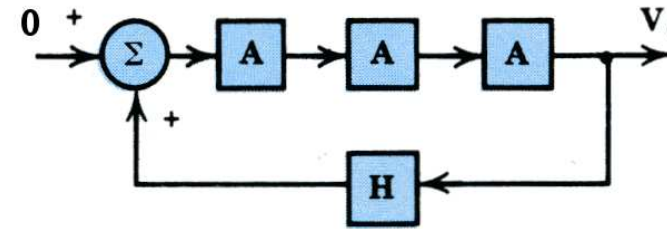
Igen nagyfokú érzékenység az áramköri paraméterek változásaira

7.4(b) Oszcillátor kialakítása

Egy erősítő modellje



A visszacsatolt rendszer



Az oszcilláció feltétele: $GH = 1$, ahol $GH(j\omega)$, egy frekvenciafüggő komplex mennyiség

A generált szinuszjel paramétereinek meghatározása

Egy fokozat erősítése:

$$\mathbf{A} = A(j\omega) = \frac{A_O}{1 + j\omega R_o C_o}$$

Ha a H visszacsatolás frekvenciafüggetlen, akkor a nyílthurkú erősítés:

$$G(j\omega)H = A(j\omega)^3 H = \left(\frac{A_O}{1 + j\omega R_o C_o} \right)^3 H$$

Legyen az oszcillációs frekvencia $\omega_{osc} = \frac{\sqrt{3}}{R_o C_o}$ (stabil fázistolás)

$$G(j\omega)H |_{\omega_{osc}} = \left(\frac{A_O}{1 + j\sqrt{3}} \right)^3 H = H \left(\frac{A_O}{2} \right)^3 \angle -180^\circ$$

Mivel az oszcilláció GH feltétele egy komplex mennyiség, ezért az felbontható egy, az **abszolút értékre**, és egy a **fázisra** vonatkozó feltételre

Legyen a visszacsatolás frekvenciafüggetlen és kis értékű, hogy a visszacsatolás a kimenő jel teljesítményének csak egy nagyon kis részét használja fel

$$H = \mathbf{H} = 0,008$$

(a) Az abszolút értékre vonatkozó feltétel az erősítő nemlinearitásán keresztül a rezgés amplitúdóját adja meg:

$$|GH(j\omega_{osc})| = \mathbf{H} \left(\frac{|A_O|}{2} \right)^3 \equiv 1$$

amiből az amplitúdófeltétel:

$$|A_O| = 2^3 \sqrt{\frac{1}{\mathbf{H}}} = 10$$

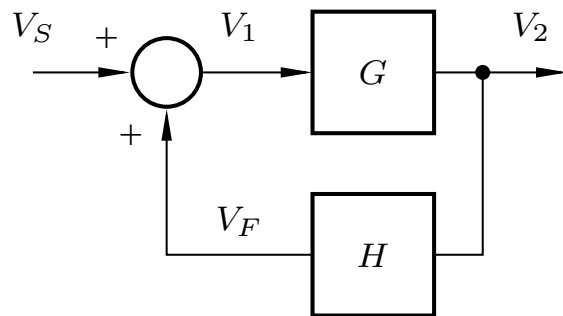
(b) Az eredő fázistolás a rezgés frekvenciáját határozza meg:

$$\angle GH(j\omega_{osc}) = -180^\circ + 3 \times \angle A_O + 0^\circ \equiv \pm k \times 360^\circ, \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

amely feltétel invertáló erősítőkkel ($\angle A_O = \angle -10 = -180^\circ$) teljesíthető

A megtervezett fázistolós oszcillátor adatai: $H=0,008$, $A_O=-10$ és $\omega_{osc}=\frac{\sqrt{3}}{R_o C_o}$

7.4(a) A negatív visszacsatolás



Átviteli függvény

$$V_2 = \frac{G}{1 - GH} V_S = G_{VCS} V_S$$

ahol $GH < 0$

Negatív visszacsatolás legfontosabb alkalmazása, az erősítés beállítása és stabilizálása

$$G_{VCS} = \frac{G}{1 - GH} \big|_{GH \gg 1} \approx \frac{G}{-GH} = -\frac{1}{H}$$

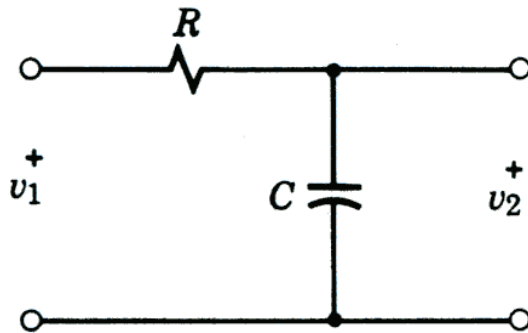
Vedd észre, a visszacsatolt erősítést a visszacsatolás határozza meg

- Műveleti erősítők
- G -t a műveleti erősítő határozza meg. Igen széles tartomány felett szór
 - H -t a diszkrét elemekből kialakított visszacsatolás határozza meg, ami igen pontos (akár 0,5%-os alkatrészek!!!)

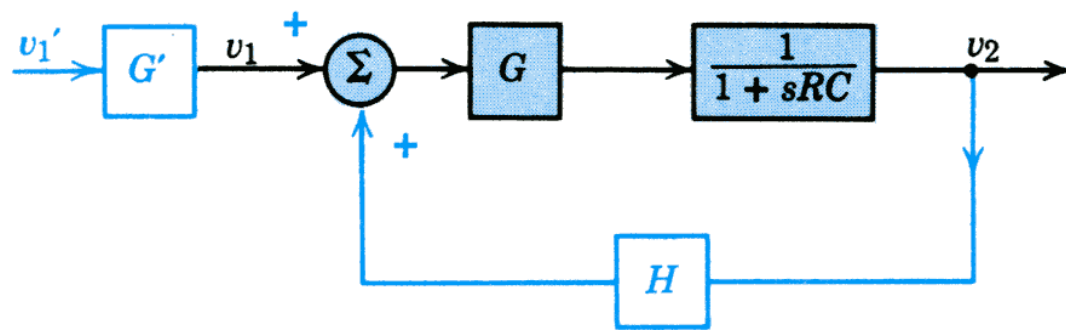
Időállandó lecsökkentése negatív visszacsatolással

(Azaz határfrekvencia megnövelése)

Eredeti rendszer



Visszacsatolással feljavított rendszer



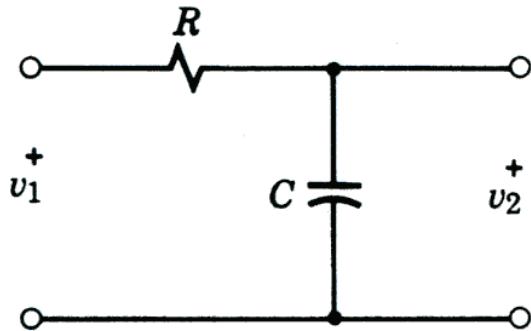
Az eredeti rendszer átviteli függvénye (feszültségosztó tétele):

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{1 + sRC} = \frac{1}{1 + s\tau}$$

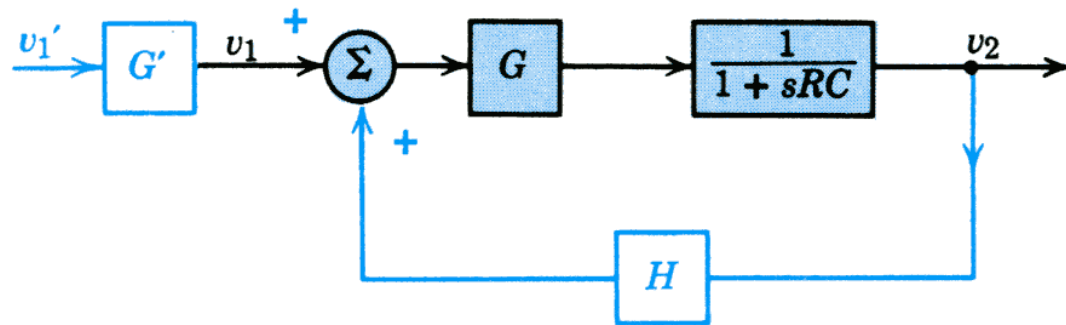
Átvitel DC meghajtásra

$$\left. \frac{v_2}{v_1} \right|_{s=0} = 1$$

Eredeti rendszer



Visszacsatolással feljavított rendszer

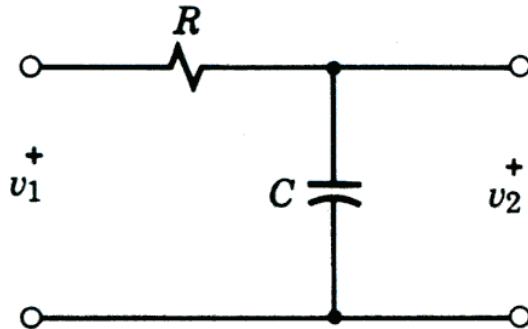
A visszacsatolással feljavított rendszer átvitele a v_1 és v_2 pontok között

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{G \frac{1}{1+sRC}}{1 - G \frac{1}{1+sRC} H} = \frac{G}{1 + sRC - GH}$$

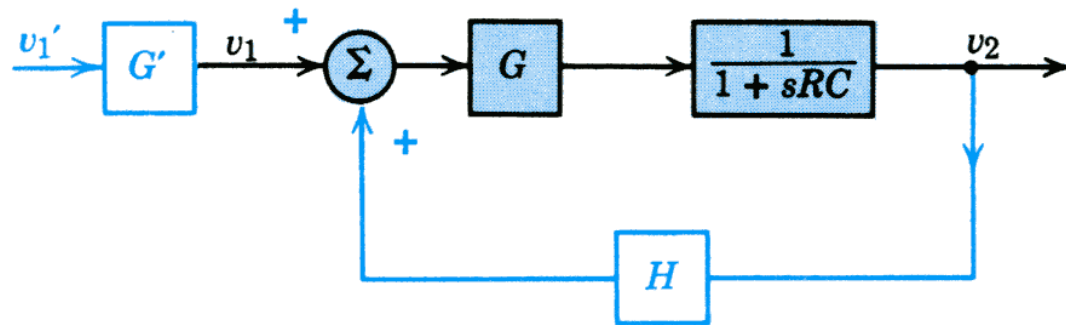
Átvitel DC meghajtásra

$$\left. \frac{v_2}{v_1} \right|_{s=0} = \frac{G}{1 - GH}$$

Eredeti rendszer



Visszacsatolással feljavított rendszer

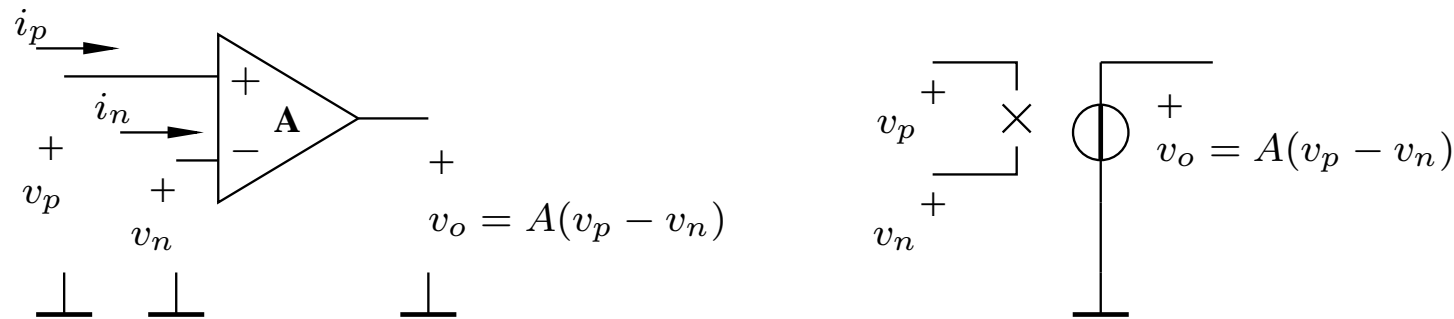
A G' blokk feladata, a DC erősítés 1-re való beállítása

$$\frac{v_2}{v_1'} = \frac{v_2}{v_1} \frac{v_1}{v_1'} = \frac{1 - GH}{G} \frac{G}{(1 - GH) + sRC} = \frac{1}{1 + s \frac{RC}{1 - GH}} = \frac{1}{1 + s \underbrace{\frac{\tau}{1 - GH}}}$$

Vedd észre, a negatív visszacsatolással az időállandó a hurokerősítés arányában lecsökkent. A frekvenciatartományban ez sáv szélesség növekedést jelent

Alkalmazás: Szabályozástechnika és erősítők sáv szélességének megnövelése

7.5. Műveleti erősítők szimbóluma és matematikai modellje



Tulajdonságok: • Szimmetrikus bemenet és aszimmetrikus kimenet

- $i_p = i_n = 0 \text{ A}$, $A_u \rightarrow \infty$ és $R_{ki} = 0 \text{ } \Omega$

Valóságos adatok (LF356): • $i_p \approx i_n \approx 30 \text{ pA}$, de $\leq 100 \text{ pA}$

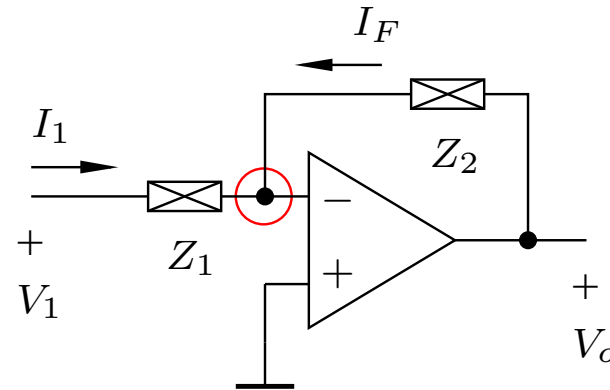
- $R_{out} \leq 40 \text{ } \Omega$

- $A_u \approx 200.000$, de ≥ 50.000

- Közös módusú elnyomási tényező

$$CMRR \approx 100 \text{ dB, de } \geq 85 \text{ dB}$$

7.5(a) Invertáló alapkapcsolás



Kulcs: 1. Műveleti erősítő két bemenete között ~ 0 V feszültség van

$$V_p - V_n = \frac{V_o}{A} \rightarrow 0, \quad \text{mivel} \quad A \rightarrow \infty$$

2. Műveleti erősítő neminvertáló bemenete földön van
3. Az invertáló bemenet földpotenciálon van, ezért **virtuális földnek** nevezzük
4. Felírjuk Kirchhoff csomóponti törvényét a virtuális földpontra

A megoldás:

Kirchhoff csomóponti törvényét a pirossal jelölt invertáló bemenetre felírva kapjuk

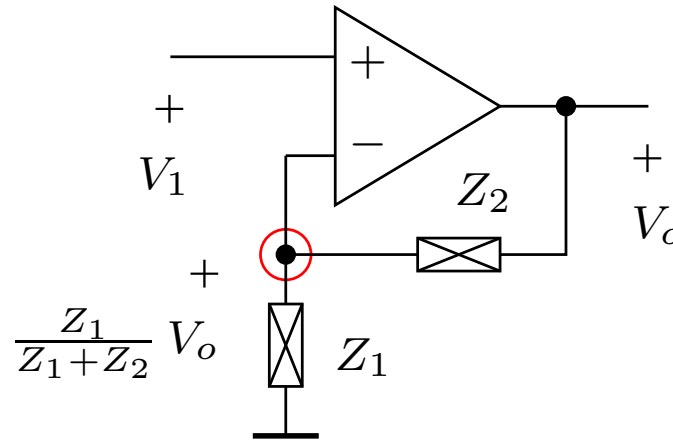
$$I_1 + I_F = \frac{V_1}{Z_1(s)} + \frac{V_o}{Z_2(s)} = 0$$

Amiből az átviteli függvény (erősítés) kifejezhető

$$A_u = \frac{V_o}{V_1} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}$$

Vedd észre: A_u értékét a **negatív visszacsatolás** állítja be

7.5(b) Neminvertáló alapkapcsolás



Kulcs: 1. Műveleti erősítő két bemenete között ~ 0 V feszültség van

$$V_p - V_n = \frac{V_o}{A} \rightarrow 0, \quad \text{mivel} \quad A \rightarrow \infty$$

2. A pirossal jelölt invertáló bemenetre a feszültségosztó tételt alkalmazzuk

$$V_1 - \frac{Z_1(s)}{Z_1(s) + Z_2(s)} V_o = V_p - V_n = 0$$

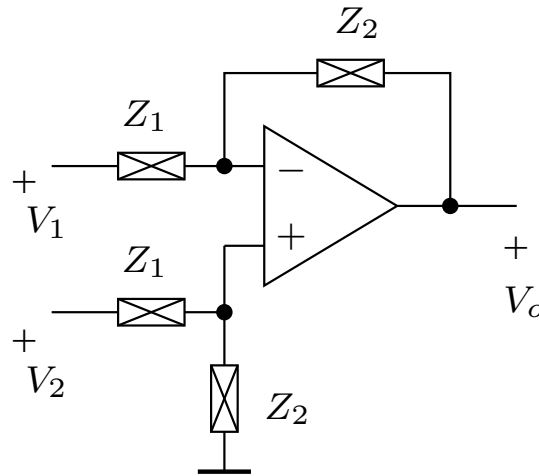
A megoldás:

A neminvertáló alapkapcsolás átviteli függvénye (erősítése):

$$A_u = \frac{V_o}{V_1} = \frac{Z_1(s) + Z_2(s)}{Z_1(s)}$$

- Vedd észre:
- A_u értékét a **negatív visszacsatolás** állítja be
 - Ha egy műveleti erősítő két bemenete között **bármelyik kapcsolásban** feszültség mérhető, akkor a műveleti erősítő vagy tönkrement, vagy a munkapontja rosszul van beállítva

7.5(c) Differenciál erősítő alkapcsolás



Kulcs: Szuperpozíció alkalmazása

$$V_o = V_{o1} + V_{o2} = -\frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}V_1 + \frac{Z_1(s) + Z_2(s)}{Z_1(s)} \left(\frac{Z_2(s)}{Z_1(s) + Z_2(s)}V_2 \right) = \frac{Z_2(s)}{Z_1(s)}(V_2 - V_1)$$

Vedd észre: A_u értékét a **negatív visszacsatolás** állítja be