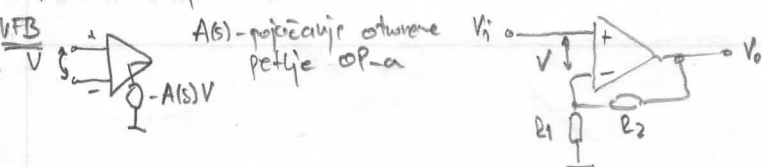


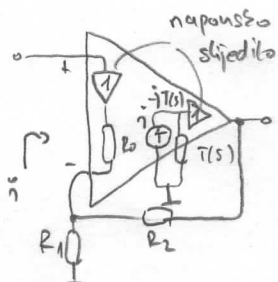
# Topologije operacijskih pojačala

- OP s naponskom povratnom vezom - VFB (voltage feedback)
- OP s strujnom povratnom vezom - CFB (current feedback)



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A(s)} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right]} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A(s)}} \approx \beta$$

CFB:



T(s) - transimpedancijsko pojačanje otvorene petlje

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \frac{R_2}{Z_1}}{1 + \frac{R_2}{T(s)} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{Z_1} \right)}$$

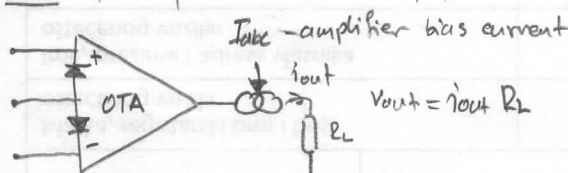
za  $R_2 \ll R_1$   
za  $R_2 \ll Z_1 \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \frac{R_2}{Z_1}}{1 + \frac{R_2}{T(s)}}$

za  $T(s) \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

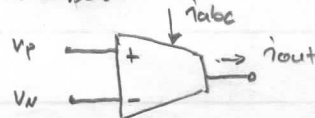
Ulazni stupanj je naponsko sljedilo, velika ulazna impedancija na + stezaljci (10kΩ || 10pF), mala ulazna impedancija na - stezaljci (10-50Ω). Stupa ulaznog stupnja se zvezi na izlaz i daje izlazni napon -i T(s), pri čemu je T(s) velika transimpedancijska pojačanje otvorene petlje (100kΩ-2MΩ || 2pF). Veće karakteristične CFB opom su: za razliku od VFB, CFB opai nemaju balansirane ulaze već je neinv. stezaljka višeg impedantna a inv. stezaljka niže impedantna. Pojačanje otvorene petlje

kod CFB izračun se u omilima (transimpedancija) za veliku V/V kod VFB opai. Uz lični R2 pojačanje uz zadržanu petlju CFB opai se može varirati promjenom R1 bez bitnog utjecaja na širinu pojasa (open gate loop). CFB je brža od VFB ali imaju lošije karakteristike u smislu napona i stuje pomažu, šuma, stat. nesavršenosti. Nisu diferencijalna, nemaju CMRR.

OTA - operacijsko strujno pojačalo (operational transconductance amplifier)



Simbol:

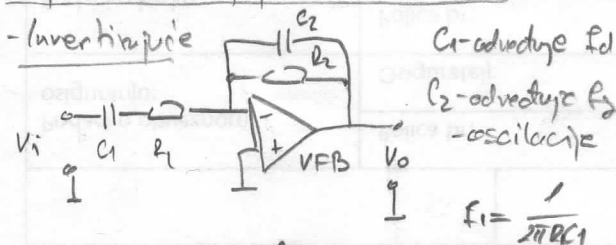


$$I_{out} = g_m (V_p - V_n) = k I_{abc} (V_p - V_n)$$

$V_{out} = i_{out} \cdot R_L$ ,  $g_m$  - strujna OTA daje izlaznu struju proporcionalnu ulaznom naponu, različni napona ulazni stezaljci

Širina freq. pojasa 2-275MHz, napon pomažu 5mV, ulazna struja 5nA, struja pomažu 66pA, max izlazna struja 500μA-300mA.

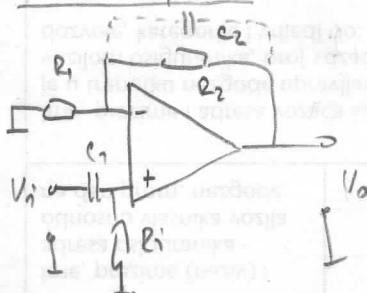
kvalificirano AC pojačalo s VFB OP



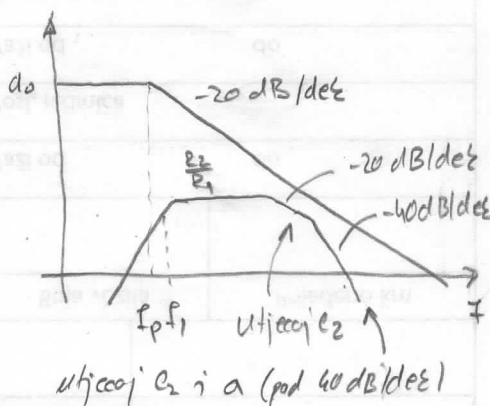
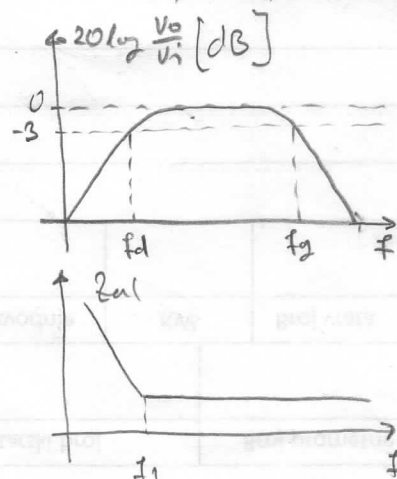
$$\frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{j\omega}{f_1 + j\omega} \cdot \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_B}} \quad \omega_B = \frac{21}{21 + Z_2}$$

α - karakteristika opai u otvorenoj petli

- Neinvertirajuće

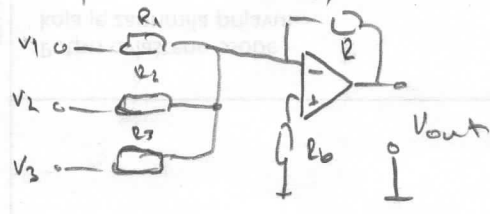


$$f_i = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$$

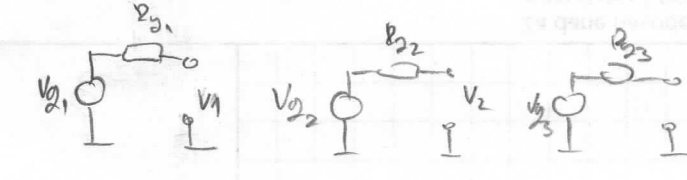


# Sklopovi za realizaciju linearnih analognih funkcija

## Zbrajanje: Invertirajuće

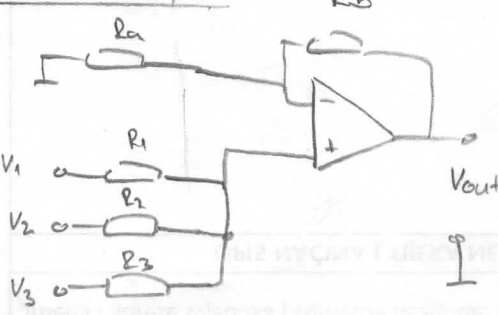


$$V_{out} = -\left(\frac{R_b}{R_1}V_1 + \frac{R_b}{R_2}V_2 + \frac{R_b}{R_3}V_3\right)$$

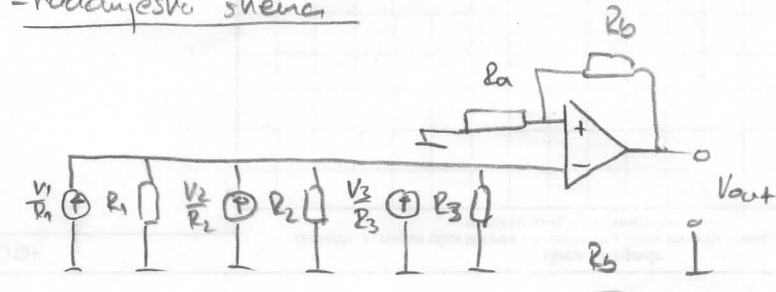


$R_b$  mora biti što manji od  $R_1$  da bi greška bila što manja.

## Neinvertirajuće

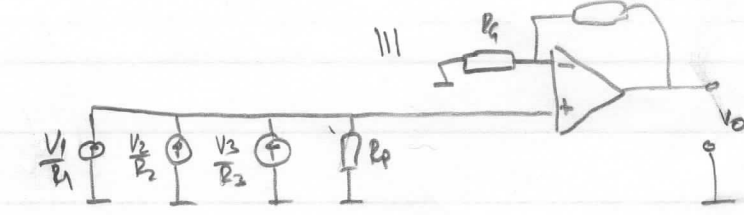


## -redanjesku shema

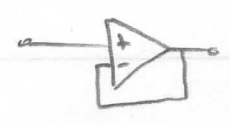


$R_p = R_1 || R_2 || R_3$

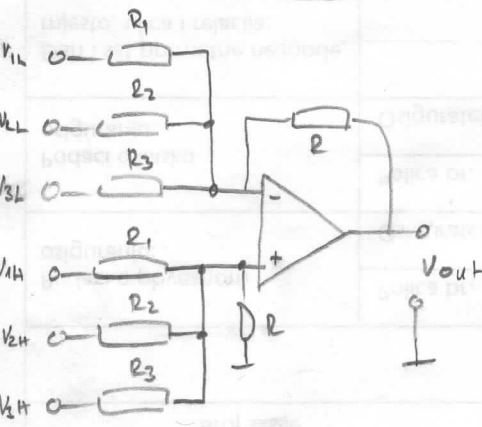
$$V_o = \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) V_p = \left(1 + \frac{R_b}{R_a}\right) R_p \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3}\right)$$



Ako imamo visokouputajnošće ulaze (veliki  $R_3$ ) onda se ponašanje slika u seriju.

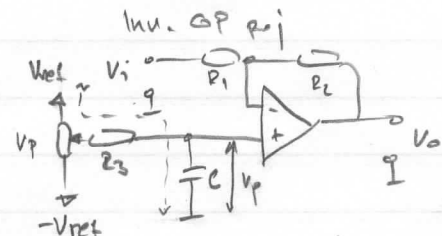


## Zbrajanje za diferencijalne signale



$$V_{out} = (V_{1b} - V_{1a}) \frac{R}{R_1} + (V_{2b} - V_{2a}) \frac{R}{R_2} + (V_{3b} - V_{3a}) \frac{R}{R_3}$$

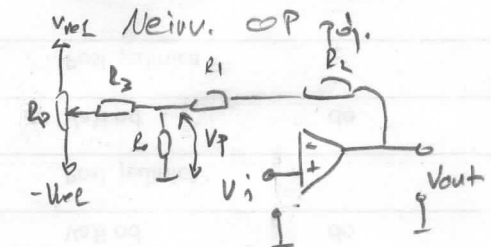
## Pocetak istosmjernog naponskog



$$V_o = -\frac{R_2}{R_1} V_i + V_p \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$V_p$  - negativan napon

C - služi za odvođenje izmjenične struje

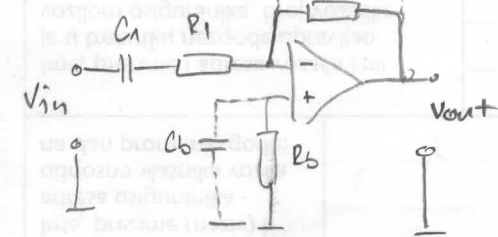


$$V_{out} = V_i \left(1 + \frac{R_2}{R_1 + R_o}\right) - \frac{R_2}{R_1} V_p$$

$R_o$  - zatvaranje ulazne struje prema masi  
 $R_3$  - zaštita od preopterećenja kada  $V_p$  veliki postao jednak  $V_{ref}$

## Deriviranje

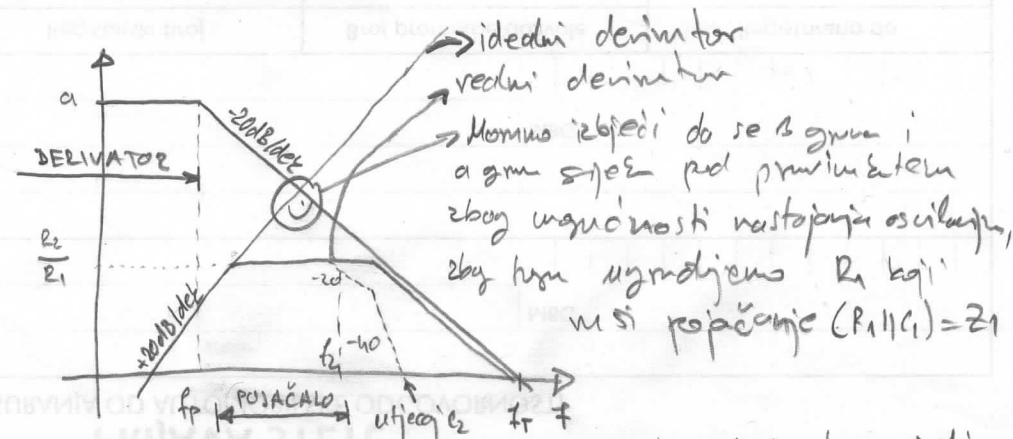
### -derivator



-u2 zatvaranje  $R_1, C_2, R_b, C_b$

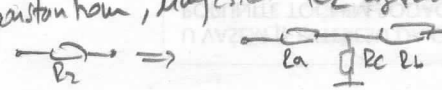
$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-\frac{R_2}{Z_1}}{1 + \frac{1}{\beta A_{OL}}} = \frac{-R_2 C_1 s}{1 + (R_2 C_1 + \frac{1}{A_{OL}})s + \frac{C_1(R_2 + R_b)}{A_{OL}} s^2}$$

$\beta = \frac{Z_1}{R_2 + Z_1}$ ,  $C_2$  - dodaje pol na  $R_2$   
 $R_1$  - osigurava stabilnost



→ idealni derivator  
 → realni derivator  
 → Moramo izbjeći da se  $\beta$  grana i  $\alpha$  grana spoje pod pravim kutom zbog mogućnosti nastajanja oscilacija, zbog toga umnogoljemo  $R_1$  koji u sebi pokazuje  $(R_1 || C_1) = Z_1$

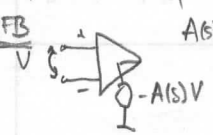
U konkretnom primjeru ti f-imo gdje radi kao derivator vrijedi:  
 $V_o = -R_2 C_1 \frac{dV_{in}}{dt}$ ,  $f \ll f_L$ . U slučaju da trebamo derivator sa vrlo velikom vremenskom konstantom, umjesto  $R_2$  umnogoljemo T mrežu u pov. veza  $\Rightarrow$



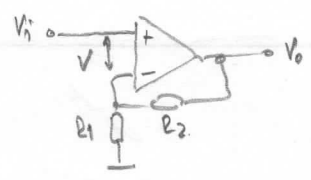
# Topologije operacijskih pojačala:



- OP s naponskom povratnom vezom - VFB (voltage feedback)
- OP s strujnom povratnom vezom - CFB (current feedback)

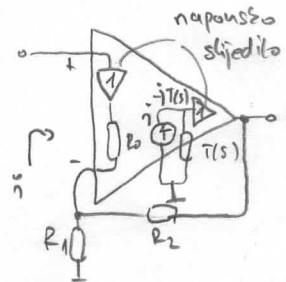


A(s) - pojačanje otvorene petlje OP-a



$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A(s)} \left[ 1 + \frac{R_2}{R_1} \right]} \approx \frac{1 + \frac{R_2}{R_1}}{1 + \frac{1}{A(s)}} \approx B$$

## CFB:



T(s) - transimpedancijsko pojačanje otvorene petlje

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \frac{R_2}{Z_1}}{1 + \frac{R_2}{T(s)} \left( 1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{Z_1} \right)}$$

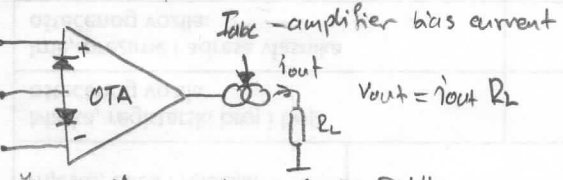
za  $R_2 \ll Z_1$   
 $R_2 \ll R_1 \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = \frac{1 + \frac{R_2}{Z_1}}{1 + \frac{R_2}{T(s)}}$

za  $T(s) \rightarrow \infty \Rightarrow \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$

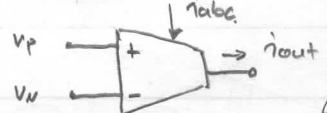
Ulazni stupanj je naponsko sljedilo, velika ulazna impedancija na + stezaljci (10kΩ || 10pF), mala ulazna impedancija na - stezaljci (10-50Ω). Stupa ulaznog stupnja se zveza na izlaz i daje izlazni napon -i T(s), pri čemu je T(s) velika transimpedancijska pojačanje otvorene petlje (100kΩ-2MΩ || 2pF). Vožve karakteristične CFB opom su: za razliku od VFB, CFB opai nemaju balansirane ulaze već je neinv. stezaljka nisko impedantna a inv. stezaljka nisko impedantna. Pojačanje otvorene petlje

kod CFB izračun se u omima (transimpedancija) za veliku V/V kod VFB OP-a. Uč. R2 pojačanje uz zatvorenu petlju CFB OP-a se može varirati promjenom R1 bez bitnog utjecaja na širinu pojasa (open gate loop). CFB u brza od VFB ali imaju lošije karakteristike u snizim naponu i stupa pojača, šuma, stat. nesavršenosti. Nisu diferencijalna, nemaju CMRR.

## OTA - operacijsko strujno pojačalo (operational transconductance amplifier)



Simbol:



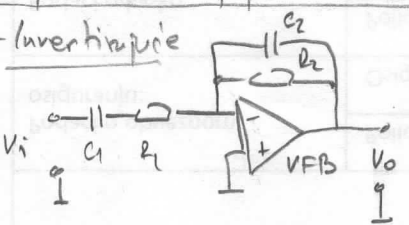
$$I_{out} = g_m (V_p - V_n) = k I_{abc} (V_p - V_n)$$

$V_{out} = I_{out} \cdot R_L$ ,  $g_m$  - strujica  
 OTA daje izlaznu struju proporcionalnu ulaznom naponu, različ. napona ulaznih stezaljki

Širina freq. pojasa 2-275MHz, napon pomaka 5mV, ulazna struja 5pA, stupa pomaka 6pA, max izlazna struja 500μA-300mA.

## Klasično AC pojačalo s VFB OP

### - Invertirajuće

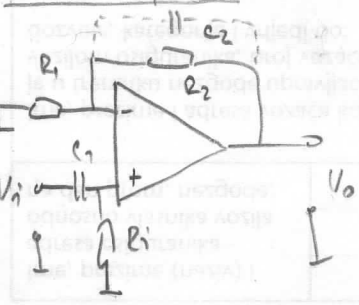


C1 - odvođenje fd  
 C2 - odvođenje f2  
 - oscilacije  
 $f_1 = \frac{1}{\pi R_1 C_1}$

$$\frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{j\omega}{f_1 + j\omega} \cdot \frac{1}{1 + \frac{j\omega}{\omega_B}} \quad B = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

α-karakteristika OP-a u otvorenoj petlji

### - Neinvertirajuće



$$f_i = \frac{1}{\pi R_1 C_1}$$

