

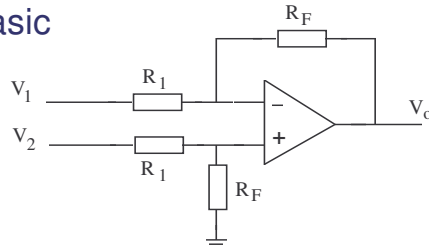
Tema : Amplificadors

Continguts

- L'amplificador diferencial
- L'amplificador d'instrumentació
- Atenuador-amplificador
- Convertidor I/V
- Exemple d'aplicació
- Amplificador d'aïllament
- Amplificador de transimpedància
- Amplificador de transconductància
- Circuits integradors i derivadors

L'amplificador diferencial

- Objectiu : amplificar una tensió diferencial ($V_1 - V_2$)
 - CMRR molt alt (baix guany en mode comú)
- Esquema bàsic

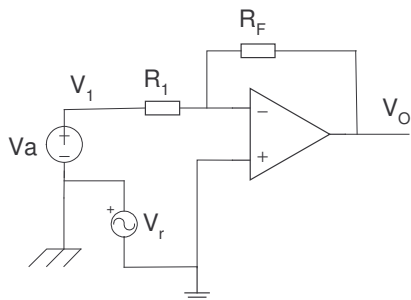


Ideal

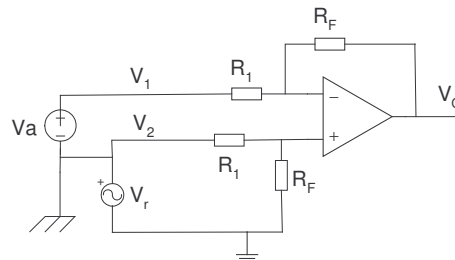
- AO ideal. (Impedàncies d'entrada i CMRR infinits)
- Amplificador diferencial ideal amb $\text{CMRR} = \infty$

$$V_o = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1)$$

- Mesures diferencials vs. mesures d'entrada única
– efecte del renou: font V_r (renou entre terres)



$$V_O = \frac{-R_F}{R_1} V_1 = \frac{-R_F}{R_1} (V_a + V_r)$$



$$V_o = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1)$$

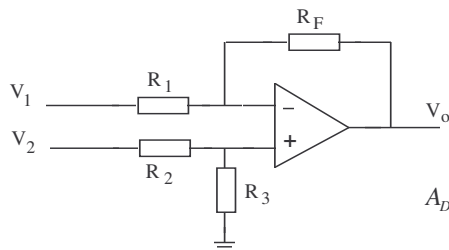
$$V_2 - V_1 = V_r - (V_r + V_a) = -V_a$$

$$V_O = \frac{-R_F}{R_1} V_a$$

- Conclusió :

Mesura diferencial minimitza l'afecte d'aquest tipus de renou

- No idealitats: 1. Desaparellament de resistències



$$V_o = \frac{R_1 + R_F}{R_1} \frac{R_3}{R_3 + R_2} V_2 - \frac{R_F}{R_1} V_1$$

$$V_o = A_{DIF}(V_2 - V_1) + A_{CM} \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)$$

$$A_{DIF} = \frac{1}{2} \left(\frac{R_1 + R_F}{R_1} \frac{R_3}{R_3 + R_2} + \frac{R_F}{R_1} \right) \quad A_{CM} = \left(1 + \frac{R_F}{R_1} \right) \frac{\frac{R_3}{R_2}}{1 + \frac{R_3}{R_2}} - \frac{R_F}{R_1}$$

- Guanys A_{CM} y A_{DIF} $\rightarrow$ CMRR finit

- Si es compleix $\frac{R_3}{R_2} = \frac{R_F}{R_1}$ $A_{CM} = 0$ i CMRR infinit (ideal)

$$V_o = \frac{R_F}{R_1} (V_2 - V_1)$$

- Exemple numèric (exercici) :

- $R_1 = R_2 = 10\text{k}\Omega$ y $R_F = R_3 = 100\text{k}\Omega$
- Toleràncies de l'1 %
- Desaparellament màxim : R_3 i R_1 (-)
 R_F i R_2 (+)



$$\begin{aligned} A_{DIF} &= 10.183 \\ A_{CM} &= 0.0371 \\ \text{CMRR} &= 48.7 \text{ dB} \end{aligned}$$

- No idealitats: 2. Efecte del CMRR finit de l'AO

- Resistències perfectament equilibrades i aparellades

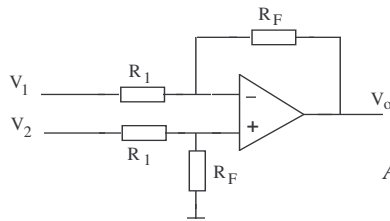
- Amplificador operacional

- CMRR finit



$$V_o = A_d(V_+ - V_-) + A_c \left(\frac{V_+ + V_-}{2} \right)$$

- Impedàncies d'entrada infinites



$$V_o = A_{DIF}(V_2 - V_1) + A_{CM} \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)$$

$$A_{CM} = \frac{A_c R_F}{R_1 + R_F + R_1 A_d - (A_c R_1 / 2)} \quad A_{DIF} = \frac{A_d R_F}{R_1 + R_F + R_1 A_d - (A_c R_1 / 2)}$$

$$\text{CMRR}_{AD} = 20 \log \frac{A_{DIF}}{A_{CM}} = 20 \log \frac{A_d}{A_c} = \text{CMRR}_{AO}$$

- Amb resistències idealment equilibrades el CMRR del diferencial està limitat pel CMRR de l'AO

Comentari : Amplif. Diferencial

Millora del CMRR

- Regulació del desaparellament degut a toleràncies
 - Resistència variable en serie amb R_3
 - Millora del CMRR de l'AO (teòric)
- Pràctica :
 - El CMRR del diferencial està acotat pel CMRR de l'AO
 - Baixa precisió en el valor de les resistències.

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

Altre problema : resistències de les fonts a mesurar

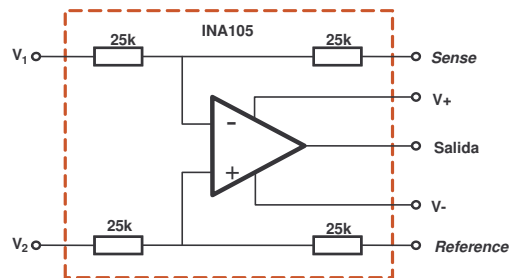
- Resistències R_1 i R_2 baixes.
- Desaparellament en les resistències de les fonts R_{S1} i R_{S2}



Reducció del CMRR de l'amplificador.

Ex. Amplificador diferencial

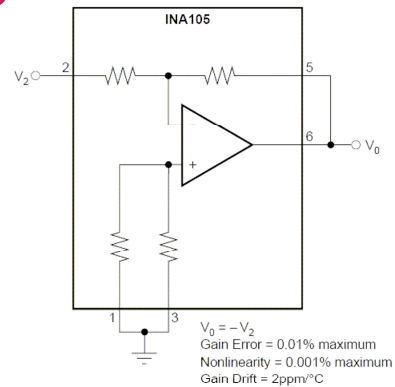
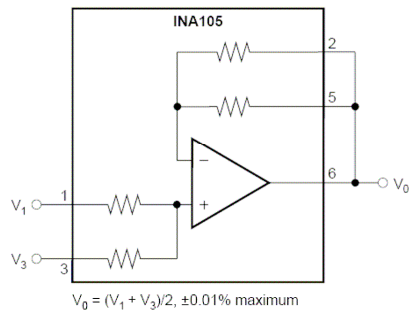
- INA105. Exemple d'amplificador diferencial
 - Limitació: Guany unitari
 - Resistències d'altíssima precisió ajustada mitjançant làser
 - Accés independent a les seves resistències : possibilitat de gran nombre de configuracions



Ex. Amplificador diferencial

- INA105 com a inversor de guany unitari

$$V_o = -V_2$$

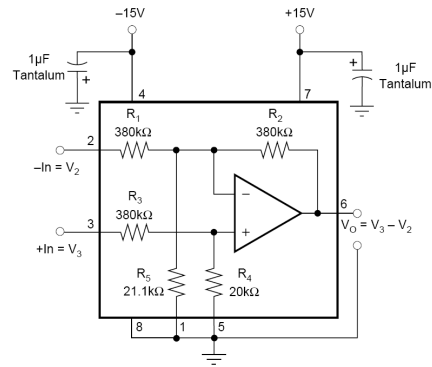
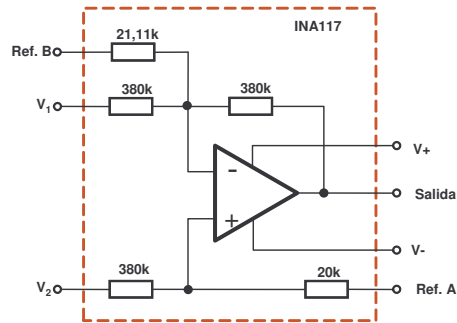


- INA105 com a promitjador

$$V_o = \frac{1}{2}(V_1 + V_3)$$

Ex. Amplificador diferencial

- INA 117: Exemple d'amplificador diferencial
 - Incorpora altres resistències desiguals permetent poder treballar amb tensions en mode comú molt altes (200V)
 - Ref.B i Ref.A connectades a terra ➔ $V_O = V_2 - V_1$



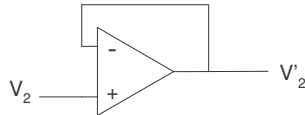
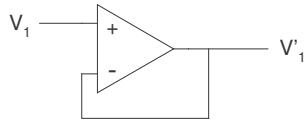
L'amplificador d'instrumentació

- Es un amplificador diferencial amb els requisits:
 1. Guany finit, precís i estable
 - Convé guany ajustable mitjançant potenciómetres o switches digitals
 2. Impedàncies d'entrada extremadament altes
 - Evitar efectes de càrrega de les fonts d'entrada
 3. Impedàncies de sortida extremadament baixes
 - Evitar efectes de càrrega a la sortida
 4. CMRR molt alt

Millores en el diferencial ➡ Amplificador d'Instrumentació

Millora 1 a l'amplificador diferencial

- Etapa d'entrada d'alta impedància d'entrada
 - Circuits seguidors



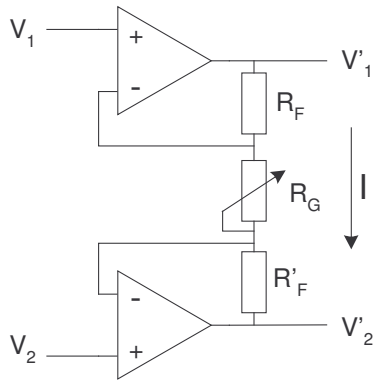
Impedàncies d'entrada del diferencial



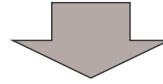
Impedàncies d'entrada d'amplificadors operacionals (quasi infinites)
Minimitza efecte de la impedància de les fonts

Millora 2 a l'amplificador diferencial

- Etapa d'entrada amb guany regulable



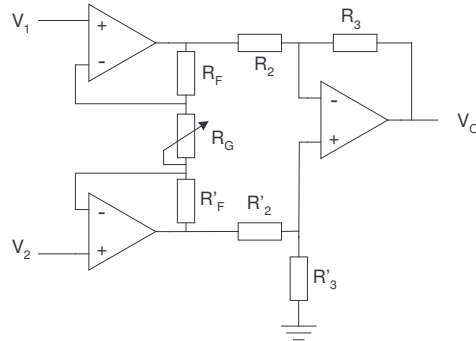
$$V_+ = V_- \text{ als 2 OpAmps}$$
$$V_{1'} - V_{2'} = I(R_F + R_G + R_{F'})$$



$$V_{2'} - V_{1'} = (V_2 - V_1) \left(1 + \frac{R_F}{R_G} + \frac{R_{F'}}{R_G} \right)$$

- Variant el valor de R_G variem el guany

Amplificador d'instrumentació amb 3 OpAmps



$$V_O = A_{DIF}(V_2 - V_1) + A_{CM}\left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right)$$

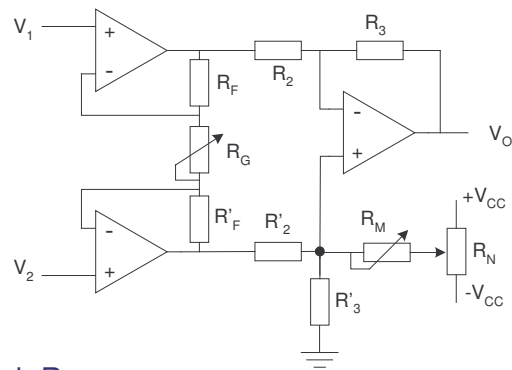
$$|A_{DIF}| = \frac{1 + \frac{R_3}{R_2}}{1 + \frac{R_2'}{R_3'}} \left(\frac{1}{2} + \frac{R_{F'}}{R_G} \right) + \frac{R_3}{R_2} \left(\frac{1}{2} + \frac{R_{F'}}{R_G} \right)$$

$$|A_{CM}| = \left(1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \left(\frac{\frac{R_3'}{R_2'}}{1 + \frac{R_3'}{R_2'}} \right) - \frac{R_3}{R_2}$$

$$CMRR = 20 \log_{10} \left| \frac{A_{DIF}}{A_{CM}} \right|$$

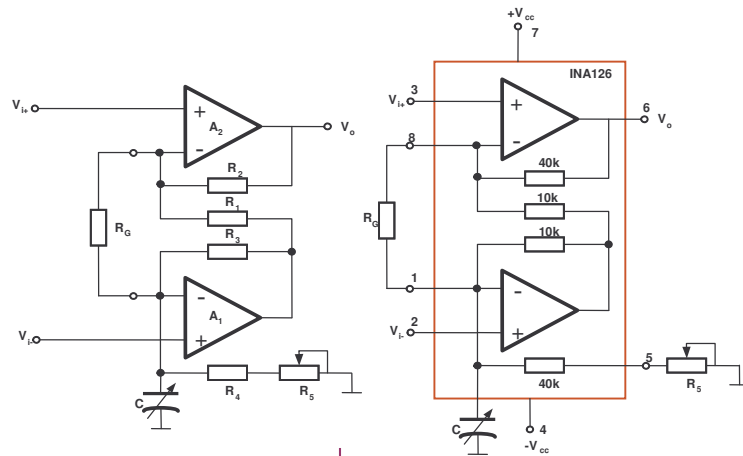
- Idealment si $R_3'/R_2' = R_3/R_2 \rightarrow CMRR = \infty$
- Ajust de $R_3' \rightarrow$ Ajust del CMRR
- A la pràctica : CMRR valors del mateix ordre al $CMRR_{AO}$
- R_G permet variar A_{DIF} sense variar el A_{CM}

Esquema modificat



- Possibilitat d'ajust de l'offset amb R_N
 - Possibilitat d'ajust del CMRR amb R_M
 - Possibilitat d'ajust del A_{DIF} amb R_G
- Hi ha amplificadors de guany programable, (altres esquemes)
 - Xarxes resistives seleccionables digitalment
 - Multiplexació i lògiques de control

Amplificador d'instrumentació amb 2 OpAmps



$$\text{Si } R_2 / R_1 = (R_4 + R_5) / R_3$$

$$v_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1} + 2 \frac{R_2}{R_G} \right) (v_{i+} - v_{i-})$$

$$1 + \frac{R_2}{R_1} + 2 \frac{R_2}{R_G} = G \text{ amb } G = 5 + \frac{80k\Omega}{R_G}$$

Amplificador d'instrumentació: especificacions

- Guany
- Marge de Guany
- Error de guany
- Deriva de guany
- Tensió offset
- Deriva tèrmica de la tensió d'offset
- Corrents de polarització i d'offset
- Derives tèrmiques dels corrents de polarització i offset
- Temps d'establiment
- Producte guany ample de banda
- CMRR

Amplificador d'instrumentació

	AD622	INA155	AD624	INA101	INA103	AD8220
Preu (per 1000 ICs)	\$2.48	\$1.65	\$11.79	\$7.90	\$5.00	\$2.29
Marge de Guany	1-1000	10-50	1-1000	1-1000	1-1000	1-1000
Error de guany (% G_{max})	0.5	0.25	0.25	0.4	0.25 $G=100$	0.2
Deriva de guany (ppm/ $^{\circ}C$)	-50	30	15	110	25 $G=100$	-50
V_{OS} (μV)	125	1mV	25	25	30	125
Deriva tèrmica V_{OS} ($\mu V/^{\circ}C$)	1	5	2	0.25	1	5
Corrent de polarització (pA)	5000	10	15000	20000	12uA	10
Corrent d'offset (pA)	2500	10	10000	20000	1uA	0.6
Deriva tèrmica corrent de polarització (pA/ $^{\circ}C$, T_{min} a T_{max})	3	---	50	100	15nA	300
Deriva tèrmica corrent d'offset(pA/ $^{\circ}C$, T_{min} a T_{max})	2	---	20	100	0.5nA	5
Temps d'establiment 0.01% (μs , $G=100$)	10 (0.1%)	15	15	70	3.5	8.1
GBP (kHz $G=100$)	120	110	150	140	800	120
CMRR (dB, DC to 60Hz)	103	86	110	106	100	90

AD622 Low Cost

INA155 low-cost CMOS

AD624 Precision

INA101 Very High Accuracy

INA103 Low Noise, Low Distortion

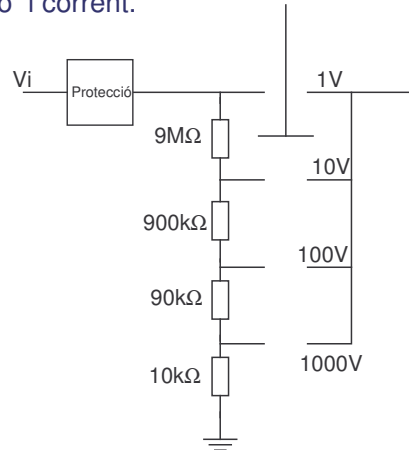
AD8220 JFET Input

Atenuador-Amplificador

- Atenuador Passiu

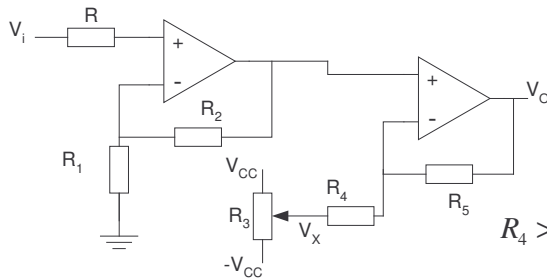
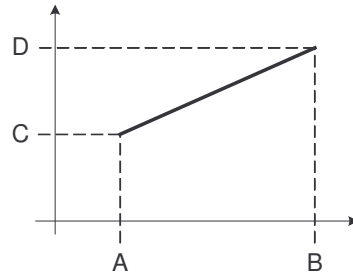
- Fixa la impedància d'entrada i valor màxim d'entrada al convertidor.
- Presenta proteccions per excés de tensió i corrent.

- Exemple de circuit passiu (pot ser actiu)
 - Fusible : evita corrents altes
 - Varistor : evita pics de tensió
 - Resistència d'entrada $10\text{M}\Omega$
 - A l'escala de 100 mV referència menor al convertidor o amplificació $\times 10$.



Atenuador-Amplificador

- Amplificador actiu
 - Objectiu: convertir entrades entre A i B a l'interval entre C i D linealment
 - Possible solució (no única)



$$V_o = K_1 V_i + K_2$$

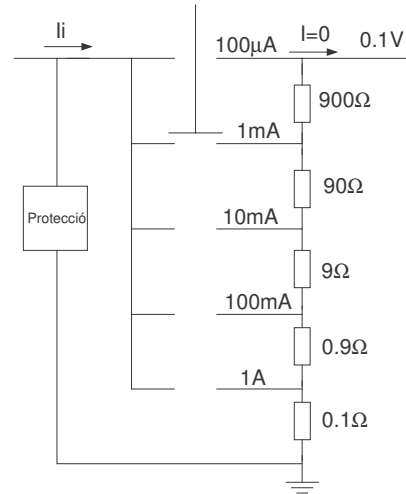
$$R_4 \gg R_3 \Rightarrow K_1 \approx \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$

$$K_2 = -V_x \frac{R_5}{R_4}$$

Convertidor I/V

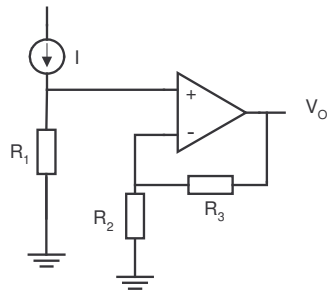
• Passiu

- Resistències tipus *shunt* (tensió a fons d'escala no depèn de l'escala).
- Es tanca el circuit per on circula el corrent.
- Impedància d'entrada depèn de l'escala.
- Corrents més altes ➡ resistència en paral·lel externa

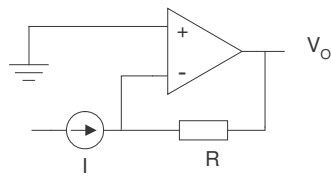


Convertidor I/V

- Actius



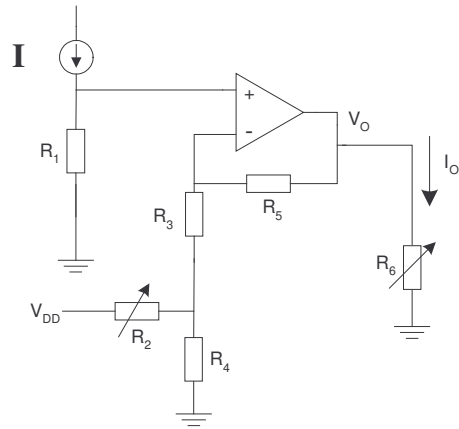
$$V_o = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) R_1 I$$



$$V_o = -RI$$

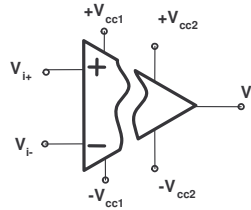
Exemple

- I varia entre $243\mu\text{A}$ i $373\mu\text{A}$
- I_O ha de variar entre 0 i 100mA
- Ajustar R_2 i R_6



Amplificadors d'aïllament

- Aïllament galvànic entre circuits d'entrada i sortida
- Es passa la informació des de l'entrada a la sortida (quasi) sense circulació de corrent



- Exemples:
 - Aplicacions biomèdiques: No volem transferència de potencial als sensors en contacte amb el cos humà
 - Terres dels circuits d'entrada i sortida no comuns i amb possibilitat de diferència de potencial entre elles
 - En general sempre que es necessiti aïllar circuit d'entrada de circuit de sortida

Amplificadors d'aïllament

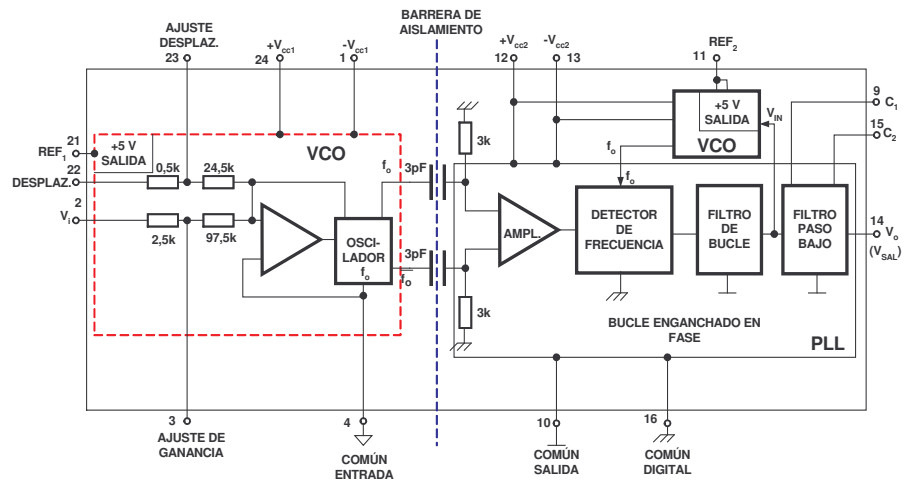
- No es veuen molt sovint als sistemes electrònics i si s'empren més en temes d'instrumentació
- Limitacions:
 - Ample de banda (max $\approx 200\text{kHz}$)
 - Preu: només s'empren quan veritablement són necessaris!

Amplificador d'aïllament

- Tipus:
 - Aïllament capacitiu
 - Exemple :
 - Modulació PWM: Burr Brown ISO103 (150€), ISO107 (200€)
 - Modulació FM: Burr-Brown ISO102 (90€), ISO106 (220€)
 - Aïllament inductiu
 - Mitjançant transformador (Analog Devices AD202/204, 30€)
 - Aïllament òptic
 - ISO100 de Burr-Brown (100€)

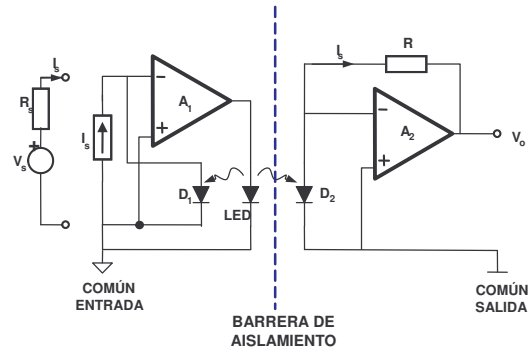
Amplificador d'aïllament

- ISO 102 (modulació en freqüència mitjançant un VCO i demodulació mitjançant un PLL)



Amplificador d'aïllament

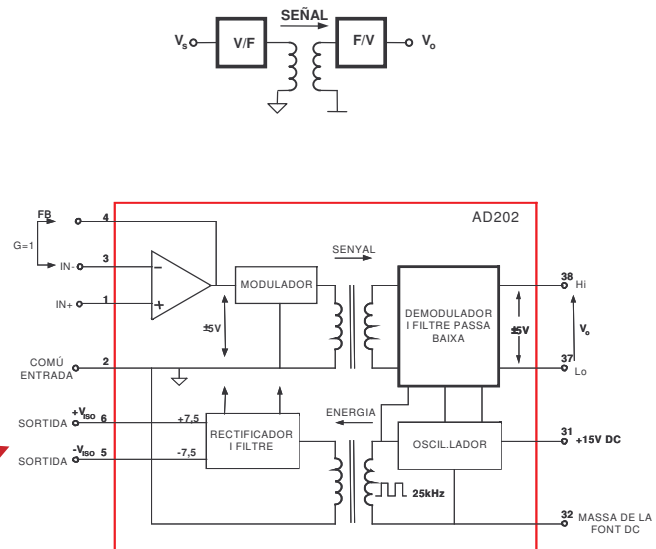
- Aïllament òptic (ISO100 de Burr-Brown)
 - Bona linealitat i estabilitat del guany
 - 0.02% i $0.005\%/^{\circ}\text{C}$
 - Ample de banda i slew-rate moderats
 - $<100\text{kHz}$ i $<0.5\text{uV/s}$
 - Tensions d'aïllament moderades
 - $\pm 800\text{V}$
 - Es poden transmetre dades digitals i analògiques



Amplificador d'aïllament

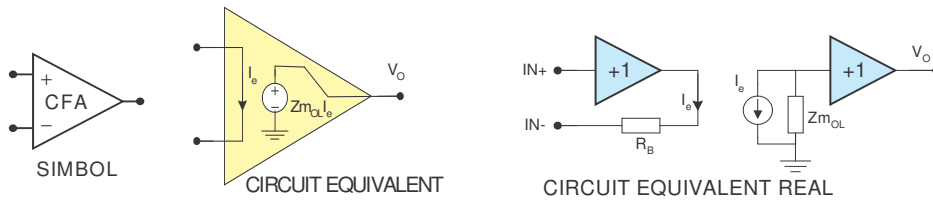
- Aïllament inductiu (AD202 de Analog Devices)
 - Baix ample de banda
 - 5kHz
 - Bona linealitat
 - 0.025%
 - Altes tensions d'aïllament
 - $\pm 2000V$

Genera també una alimentació aïllada



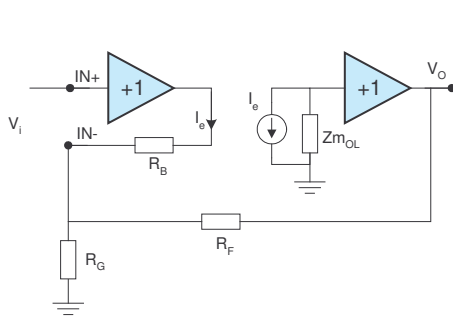
Amplificador de transimpedància

- Amplificador realimentat en corrent (CFA)
 - Exemple: THS3001 de TI
- $Z_{m_{OL}}$: guany de transimpedància

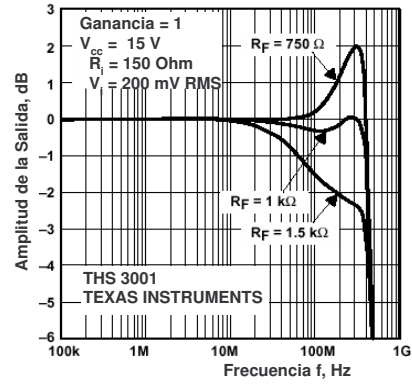


Amplificador de transimpedància

- Com amplificador de tensió (bon comportament a alta freq.)



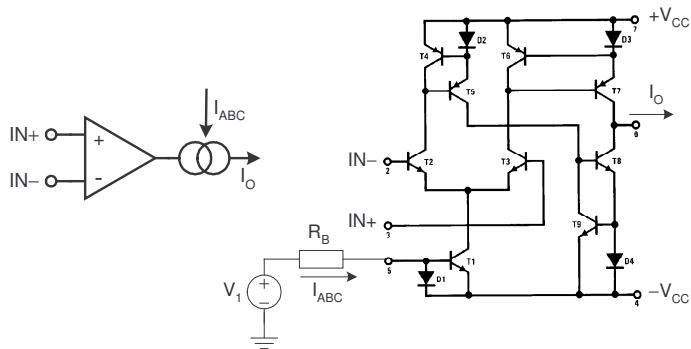
$$\text{Si } R_B \rightarrow 0 \quad \frac{v_o}{v_i} = \frac{Z_{m_{OL}} \cdot \left(1 + \frac{R_F}{R_G}\right)}{R_F + Z_{m_{OL}}}$$



$$\text{Si } Z_{m_{OL}} \rightarrow \infty \quad \frac{v_o}{v_i} = 1 + \frac{R_F}{R_G}$$

Amplificador de transconductància

- Font de corrent controlada per tensió (CSVC)
- Entrada en tensió i sortida en corrent
- Amplificador operacional transconductància (OTA) (LM3080)
- Guany en transconductància g_m



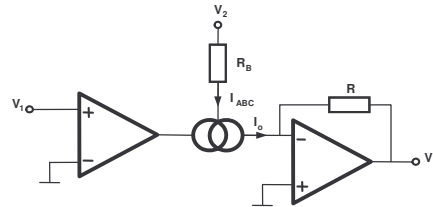
$$g_m = \frac{I_{ABC}/2}{V_T}$$

$$I_{ABC} = \frac{V_1 - V_{CC} - V_{D1}}{R_B}$$

$$I_O = g_m (V_{i+} - V_{i-})$$

Amplificador de transconductància

- Aplicació com a multiplicador analògic



MULTIPLICADOR ANALÓGICO

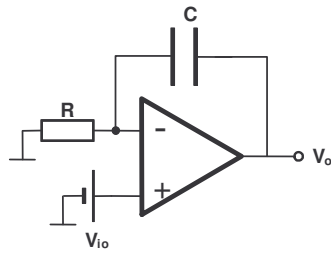
$$V_0 = -I_o \cdot R = -g_m \cdot V_1 \cdot R = -\frac{V_2 - V_{cc} - V_{D1}}{2V_T R_B} \cdot V_1 \cdot R = -\frac{R}{2V_T R_B} V_1 V_2 + \frac{R(V_{cc} + V_{D1})}{2V_T R_B} V_1$$



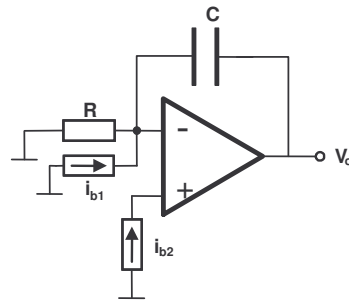
Producte $V_1 \times V_2$

Circuit integrador

- Idealment, el circuit funciona correctament
- Realment degut a tensió d'offset o a corrents de polarització, el circuit es satura



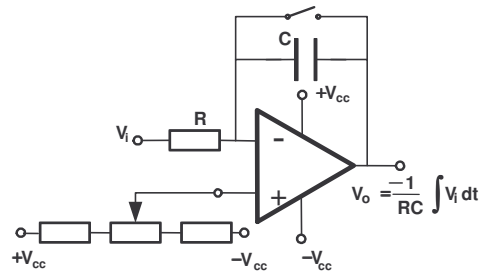
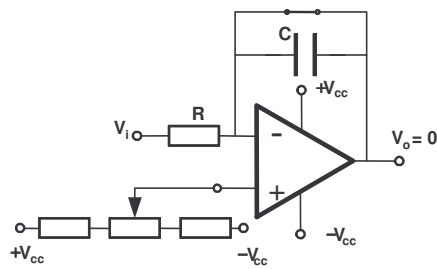
(a)



(b)

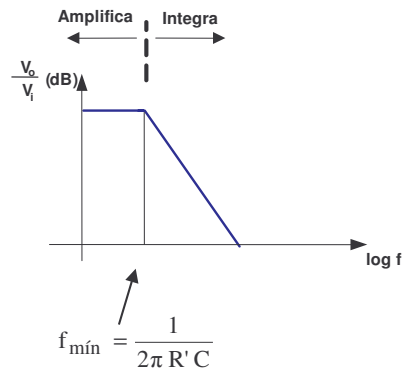
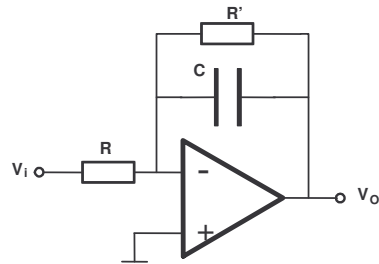
Circuit integrador

- Primera solució: Curtcircuitar el condensador, ajustar offset i només obrir el condensador durant el període d'integració



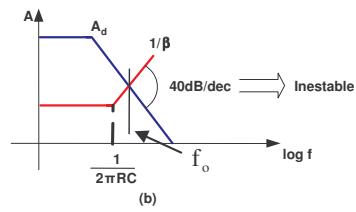
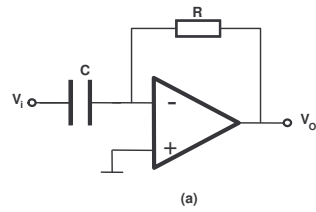
Circuit integrador

- Segona solució. Limitar baixes freqüències (continua)
 - L'efecte de V_{io} i I_b només es veu amplificat per $(1+R'/R)$

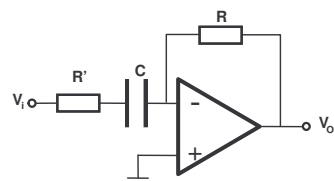


Circuit derivador

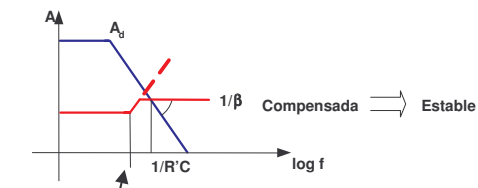
- Problema d'oscil.lacions al sistema (inestabilitat)



$$1/\beta = 1 + j\omega RC$$



$$R' > \frac{1}{2\pi C f_0}$$



$$f_{\text{máx}} = \frac{1}{2\pi (R + R')C}$$

$$1/\beta = \frac{1 + j\omega (R + R')C}{1 + j\omega R' C}$$