

Traslazione del valor medio

Traslazione del valore medio

Non tutti gli amplificatori permettono di utilizzare una alimentazione duale.

Ciò vuol dire che se ho un segnale sinusoidale centrato in 0, le semionde negative verranno tagliate dal mio amplificatore

Devo poter traslare il mio segnale in modo da centrarlo su un valor medio che non venga tagliato dall'amplificatore.

- 1) Devo tener conto dell'ampiezza del segnale
- 2) Devo tener conto di quanto lo voglio amplificare
- 3) Devo tener conto di qual è l'alimentazione massima (es. 0-10 V) → l'uscita dovrà essere verosimilmente centrata a metà (in questo caso 5 V) e potrà avere escursione massima della metà (in questo caso 5 V)

Traslazione del valore medio

Esempio

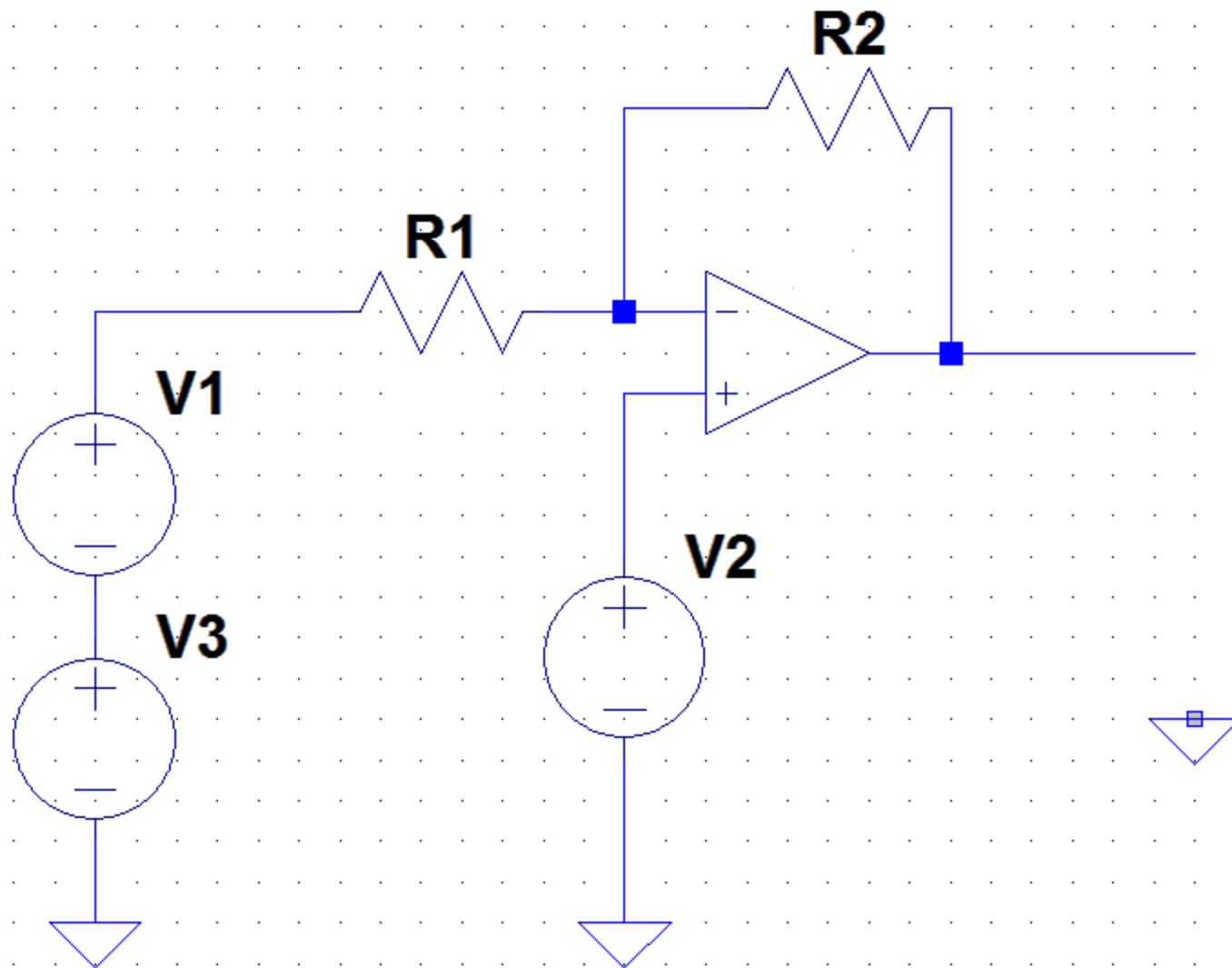
Il mio segnale sinusoidale con ampiezza 100mV , se il mio amplificatore è ad alimentazione singola, $0 - 10\text{V}$

Potrò al massimo amplificarlo di 50 volte ($\text{ampiezza } 100\text{mV} \times 50 = 5\text{V}$) centrandolo in $+ 5\text{V}$

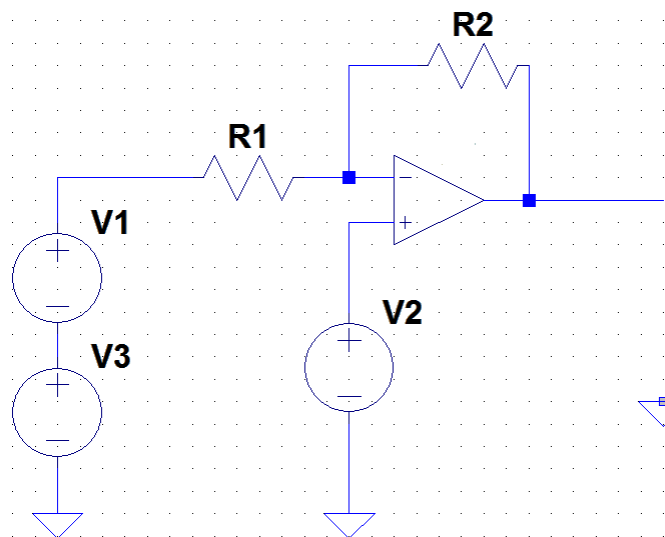
Come posso fare?

In realtà l'abbiamo già visto

Esempio 2: traslazione della tensione media



Traslazione della tensione media



Cosa succede se $V_2 = V_3$?

$$V_{out} = V_1 \left(-\frac{R_2}{R_1} \right) + V_2 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + V_3 \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

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

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

Ho amplificato la V_1 e ho traslato l'uscita di un valore pari a V_2

Traslazione della tensione media

Il problema che molto spesso il segnale che io devo trattare ha un su offset, ovvero una sua componente in continua-

A tutti gli effetti può essere visto come la somma di un segnale tempovariante e di un segnale in continua (costante)

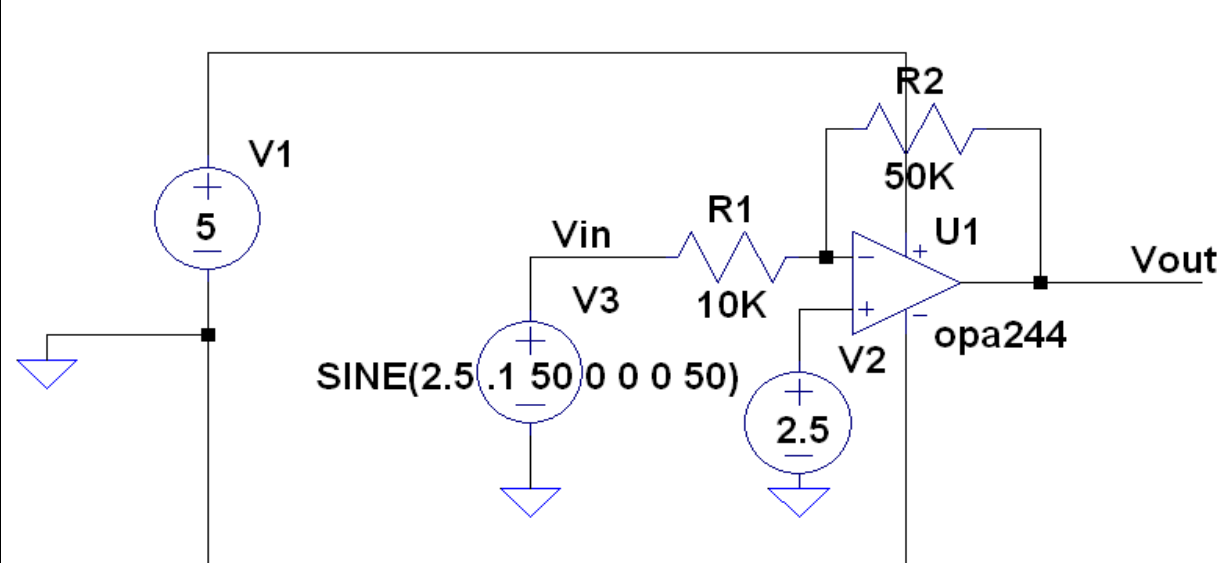
Es. consideriamo voler avere un segnale sinusoidale di ampiezza 0.1 volt centrato intorno a 2.5 volt.

Abbiamo già visto che in questo caso, posso inserire un generatore sinusoidale di ampiezza 0.1 V, per esempio il V1, e se metto i due generatori V2 e V3 costanti a 2.5V, effettuo una amplificazione della sola uscita, questa volta centrata non più in 0V, ma in 2.5V

Potrei decidere di mettere un unico generatore V1 con offset pari a 2.5V e un generatore costante nel terminale non invertente, con tensione 2.5V per ottenerlo stesso effetto

Traslazione della tensione media

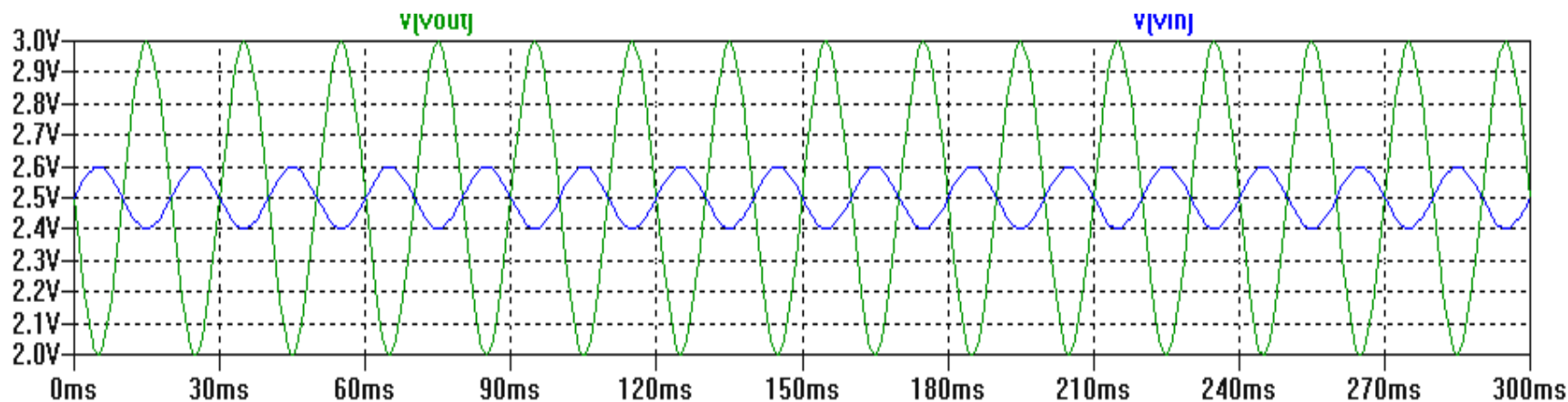
In questo caso, abbiamo un generatore sinusoidale, con ampiezza 0.1 V, con un offset di 2.5 V
Sinusoide centrata in 2.5V di ampiezza 0.1V



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

V_1 di ampiezza 0.1 V

$V_2 = V_{offset} = 2.5$ V



Traslazione della tensione media

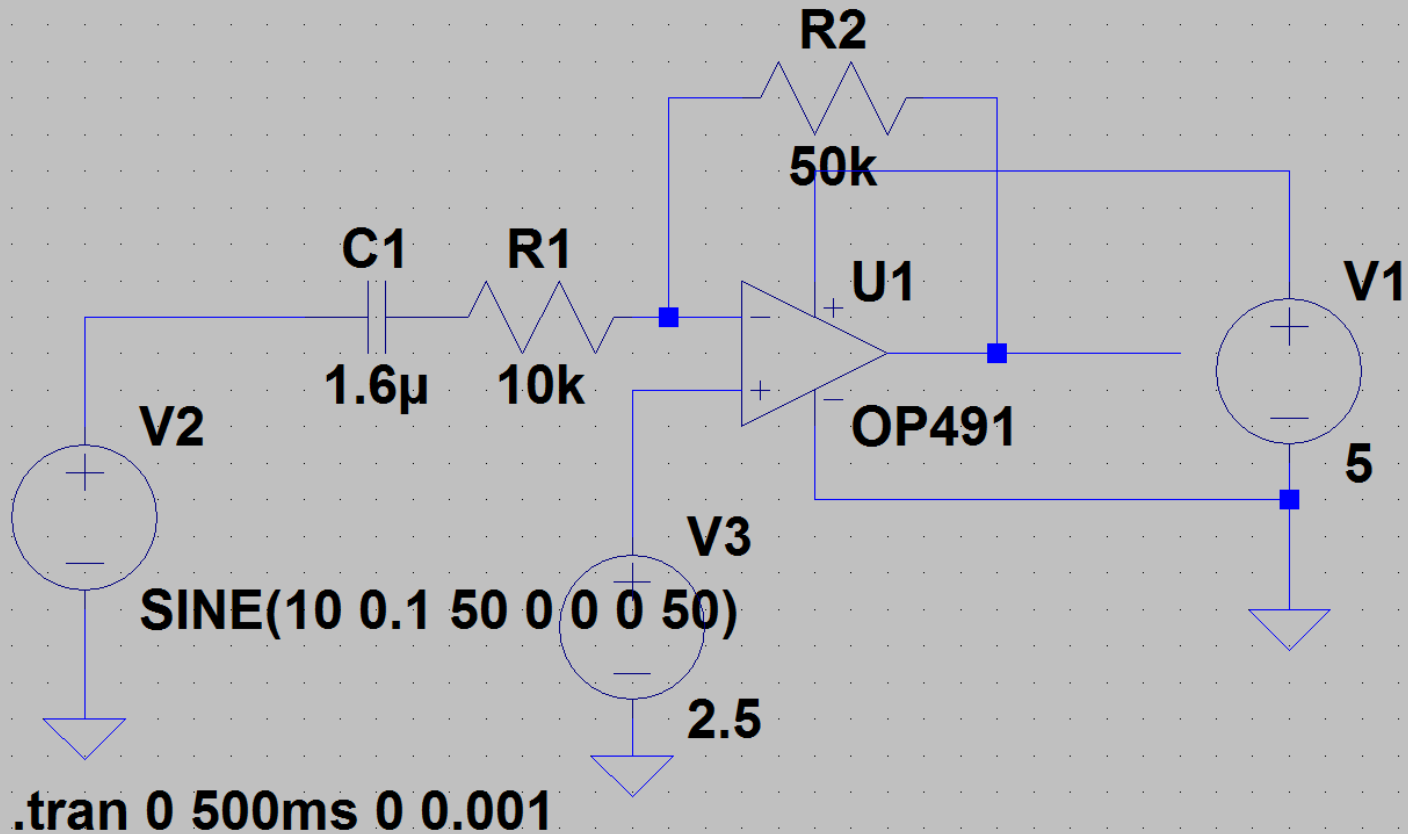
Riassumendo nuovamente, **se conosco l'offset posso eliminarlo** (non amplificandolo), a patto di collegare al terminale non invertente un generatore di tensione pari alla tensione di offset

Tal volta però la tensione di offset non nota a priori, e io vorrei comunque centrare il mio segnale ad una tensione tale da non avere il segnale tagliato (alimentazione singola, non posso avere le parti negative del mio segnale!)

Come posso fare?

Traslazione della tensione media

Riconsideriamo questa configurazione



Traslazione della tensione media

Posso continuare a vedere il mio circuito come se nel terminale invertente avessi un generatore in continua, costante, di tensione pari a V_{offset} e un generatore sinusoidale, V_{sign} , di ampiezza 0.1V che si sommano

In sostanza avrò una sinusoide centrata in V_{offset} di ampiezza 0.1 V

Voglio amplificare solo il segnale sinusoidale

E voglio che **NON** venga tagliato per via dell'alimentazione duale.

Ideale, centrarlo in 2.5 V e amplificarlo al massimo di 25 volte

Problema \rightarrow non conosco V_{offset} , o poco affidabile

Diagramma di Bode

Abbiamo già visto che per questo circuito la $H(s)$ si ottiene facilmente:

$$V_{out} = -\frac{R_2}{Z_{ser}} V_{in} \quad Z_{ser} = R_1 + \frac{1}{sC}$$

$$V_{out} = -\frac{R_2}{R_1 + \frac{1}{sC}} V_{in}$$

$$V_{out} = -\frac{sR_2C}{1 + sR_1C} V_{in}$$

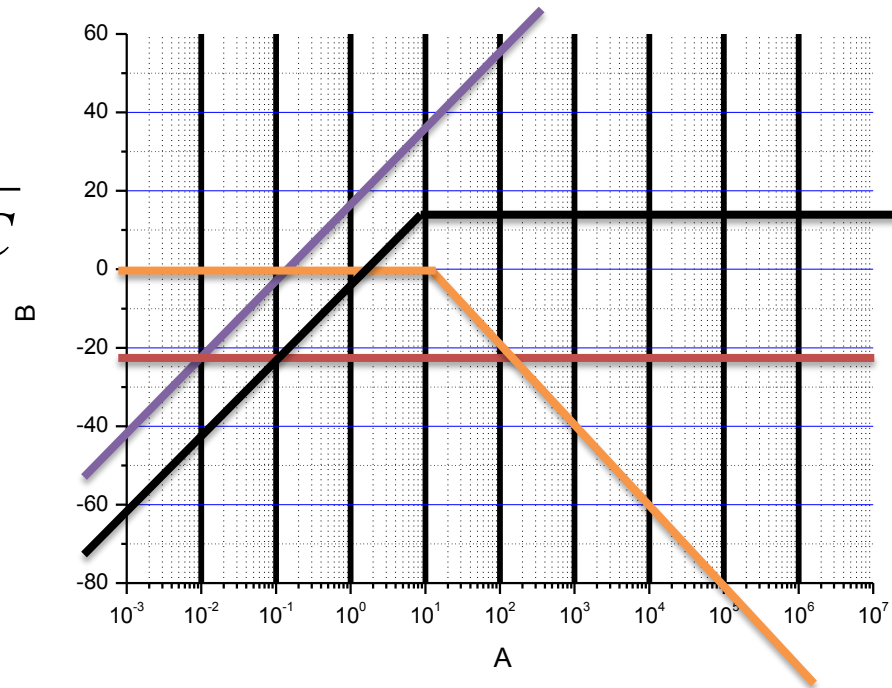
Circuito passa alto con taglio in
(polo in)
 $\omega = 1/R_1C$
Guadagno massimo $-R_2/R_1$

A basse frequenze il capacitore è un aperto, V_{out} tende a 0

Ad alte frequenze il capacitore è un corto, rimane una configurazione invertente di resistenze

Traslazione della tensione media

$$H(s) = -\frac{sR_2C}{1+sR_1C}$$

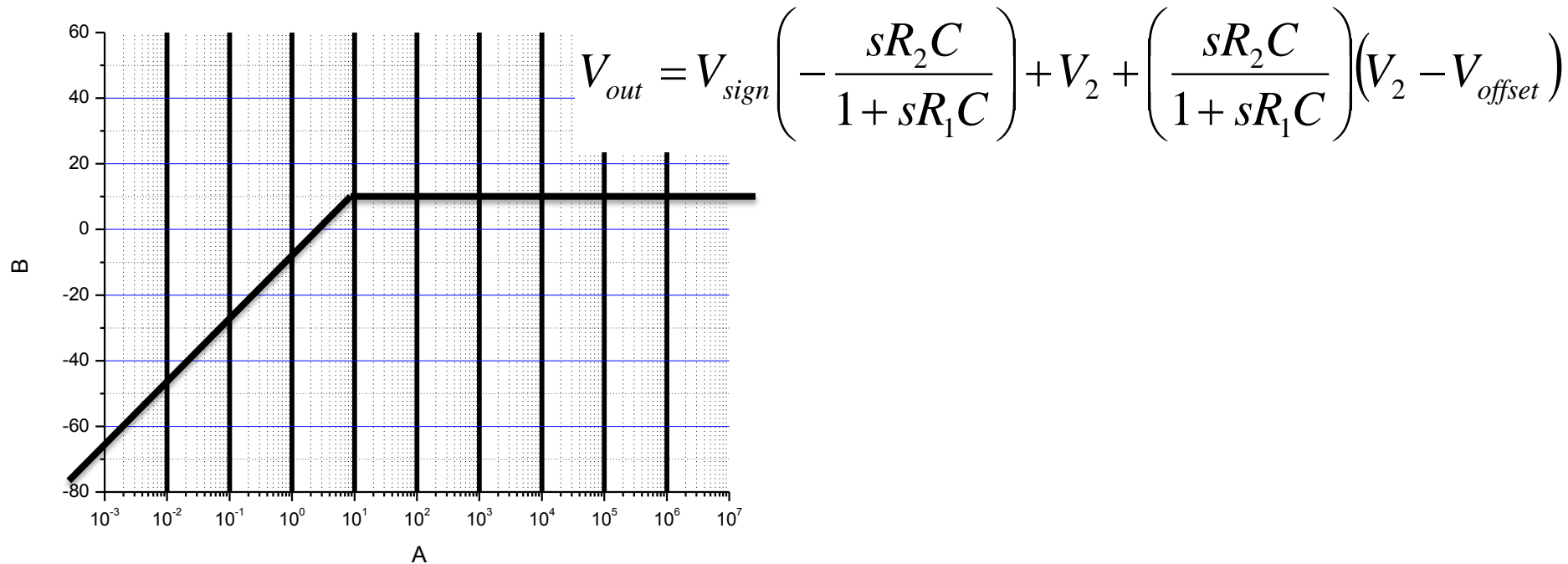


$$V_{out} = V_{sign} \left(-\frac{sR_2C}{1+sR_1C} \right) + V_2 + \left(\frac{sR_2C}{1+sR_1C} \right) (V_2 - V_{offset})$$

Vedremo che, in realtà

$$V_{out} = V_{sign} \left(-\frac{R_2}{Z_1} \right) + V_2$$

Traslazione della tensione media



Come posso leggere queste relazioni?

V_{sign} ha frequenza superiore alla frequenza di taglio, ok!

V_2 non passa attraverso il filtro, per cui rimane così, ok!

$V_2 - V_{offset}$, passa attraverso il filtro, ma viene filtrato, qualsiasi sia il suo valore, perchè ha frequenza 0 Hz, sotto la f di taglio!

$$V_{out} = V_{sign} \left(-\frac{R_2}{Z_1} \right) + V_2$$

Amplificatore multistadio

Questa tecnica è utilizzata molto spesso specie in circuiti alimentati con tensione singola per accoppiamento di stadi.

Si può osservare infatti che, nel caso di circuito accoppiato in continua, se il segnale V_{in} avesse una componente continua (la tensione media) diversa da V_{ref} (sia per precisa scelta o per difetto di realizzazione), quella differenza verrebbe amplificata del fattore di guadagno dell'operazionale, determinato dalla retroazione.

L'accoppiamento capacitivo permette quindi di annullare l'effetto di eventuali tensioni di offset in stadi ad ampio guadagno.

Scelgo V_{ref} , in base a quanto voglio traslare il segnale di ingresso!

Traslazione della tensione media

Se voglio eliminare la continua devo inserire un **condensatore tale per cui la frequenza di taglio sia leggermente superiore a 0 Hz!!**

Altrimenti taglio anche frequenze che potrebbero interessarmi

Es. resistenza 1 k Ω , potrei mettere un condensatore $C = 15.9 \mu\text{F}$

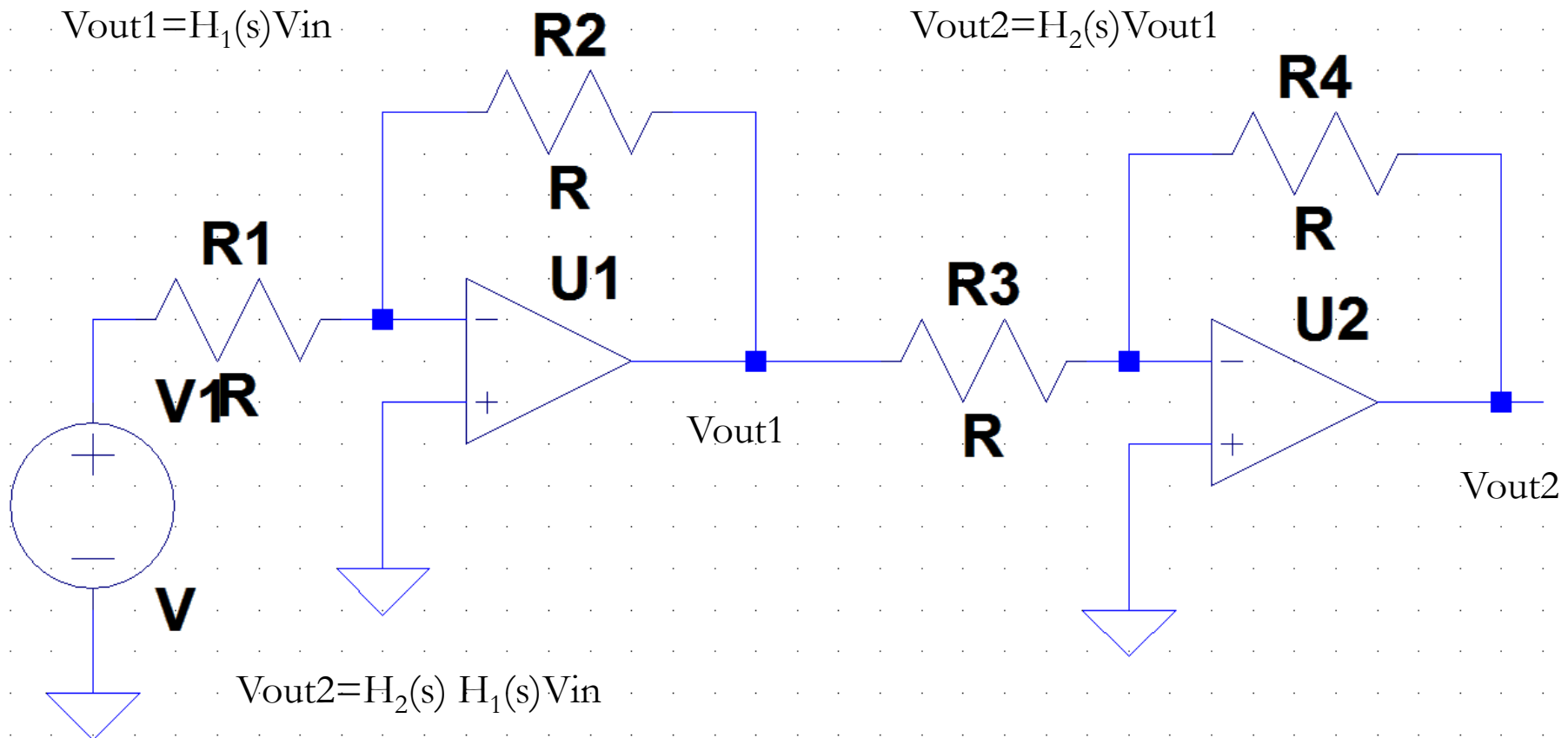
Considerando l'esempio di prima, taglierei le frequenze inferiori a 10 Hz, ma lascerei passare il mio segnale che è a 50 Hz, che verrebbe amplificato

V_{ref} , mi permetterebbe di traslare il suo valore medio, molto utile se ho una alimentazione singola

Amplificatori multistadio

Amplificatore multistadio

Determinare nel dominio di Laplace il rapporto tra uscita e ingresso $H(s)$



$$H(s) = H_2(s)H_1(s)$$

Amplificatore multistadio

Accoppiamento in continua quando non sono frapposti condensatori tra gli stadi

Vengono inseriti condensatori tra gli stadi quando si vuole togliere la componente continua, condensatori di accoppiamento

Se per esempio tra due stadi invertenti completamente resistivi si pone un condensatore, è come se si facesse seguire al primo stadio uno stadio passa-alto di primo ordine con una frequenza di taglio facilmente calcolabile secondo quanto visto nelle lezioni precedenti.

Visto che l'obiettivo degli accoppiamenti con condensatore è il taglio della sola continua, di solito i condensatori sono scelti grandi per evitare di tagliare un ampio range di frequenze basse.

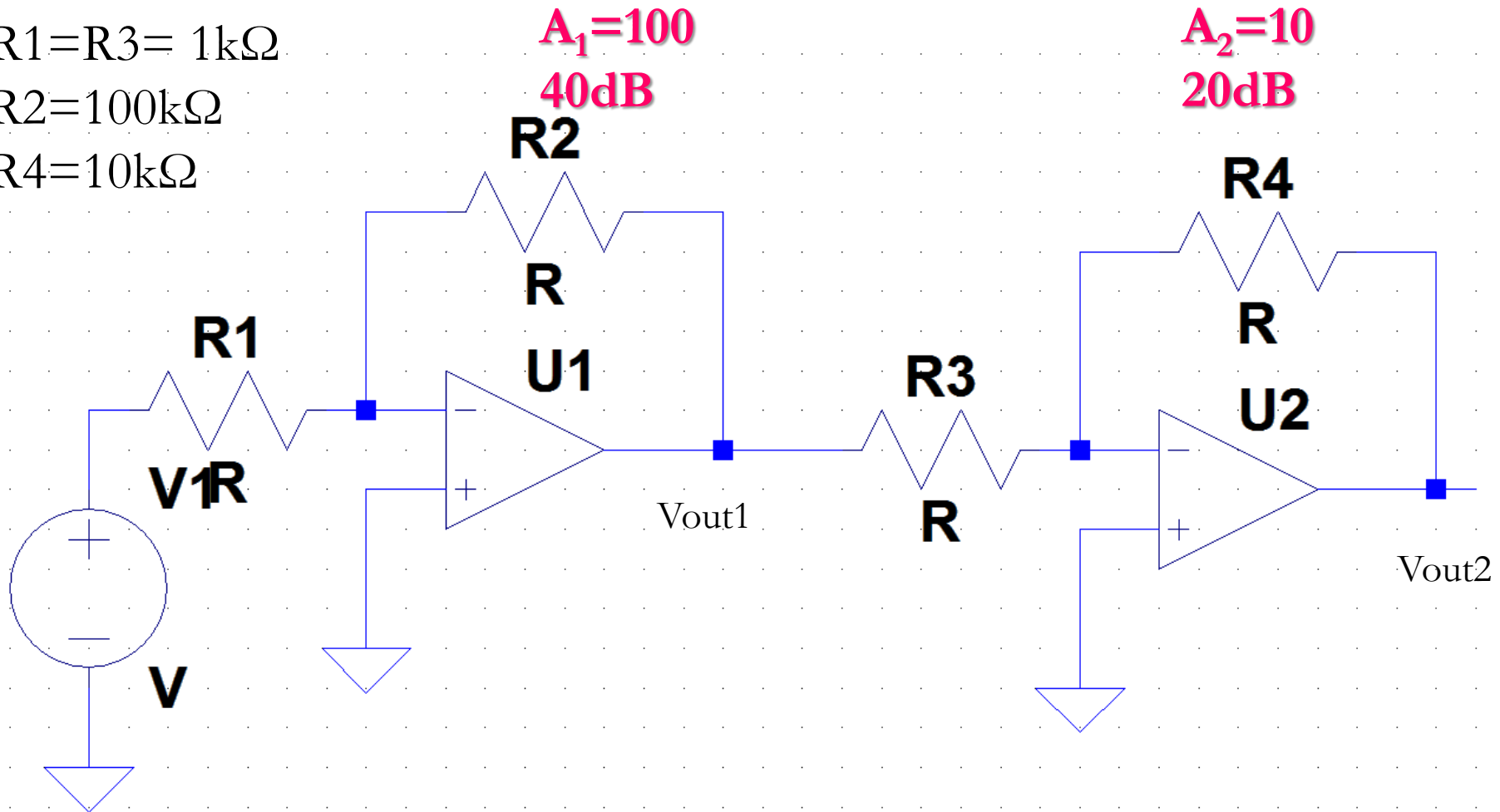
Amplificatore multistadio

Supponiamo che gli operazionali siano uguali, con A_{max} 80dB e GBW 1MHz

$$R1=R3= 1k\Omega$$

$$R2=100k\Omega$$

$$R4=10k\Omega$$



Disegnare i diagramma di Bode

Amplificatore multistadio

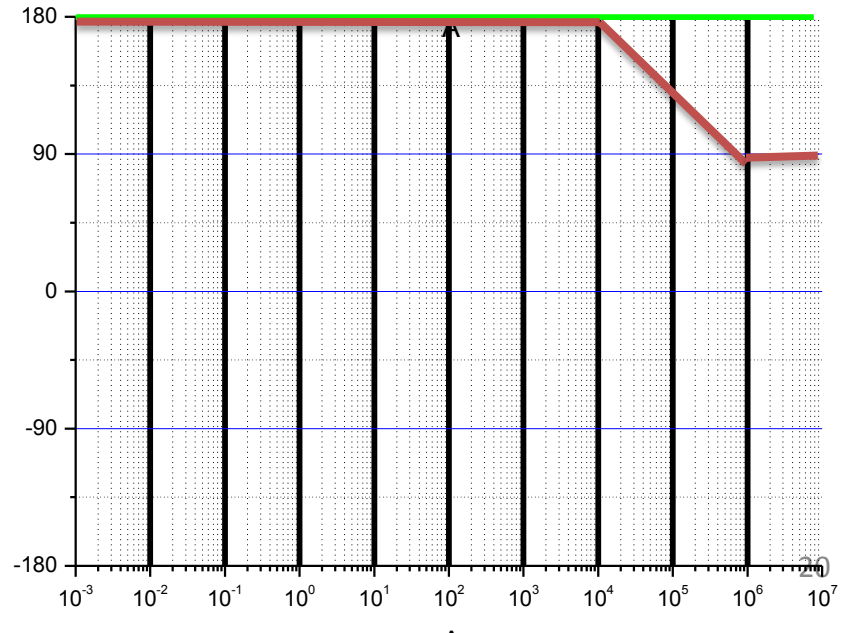
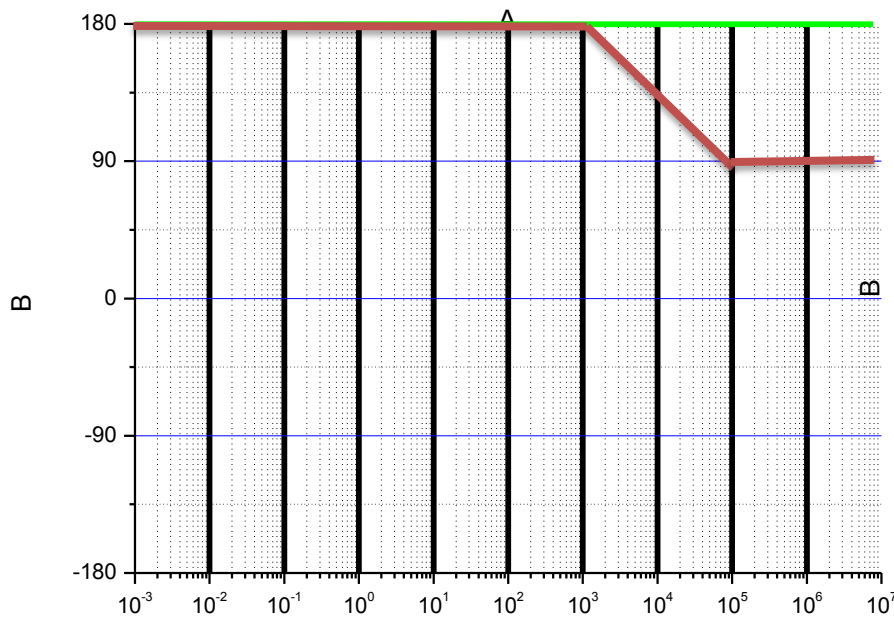
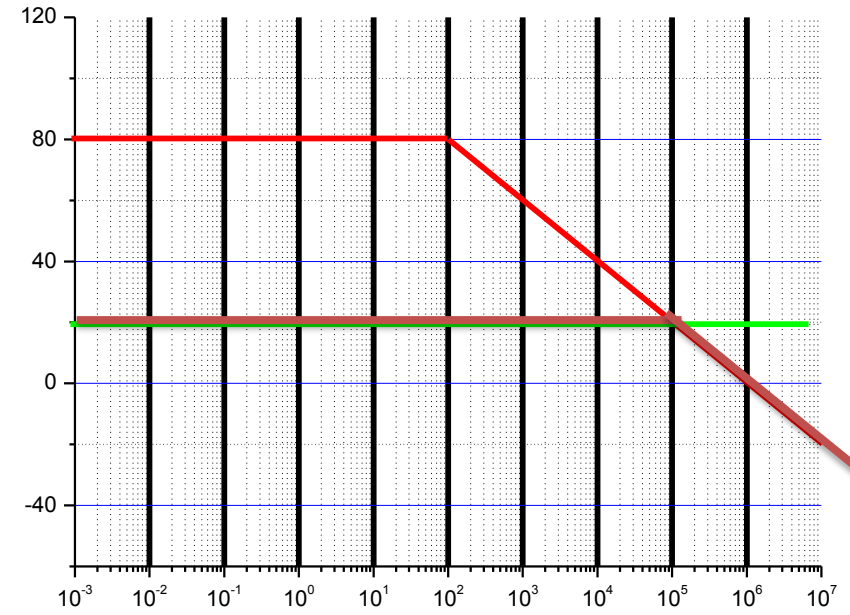
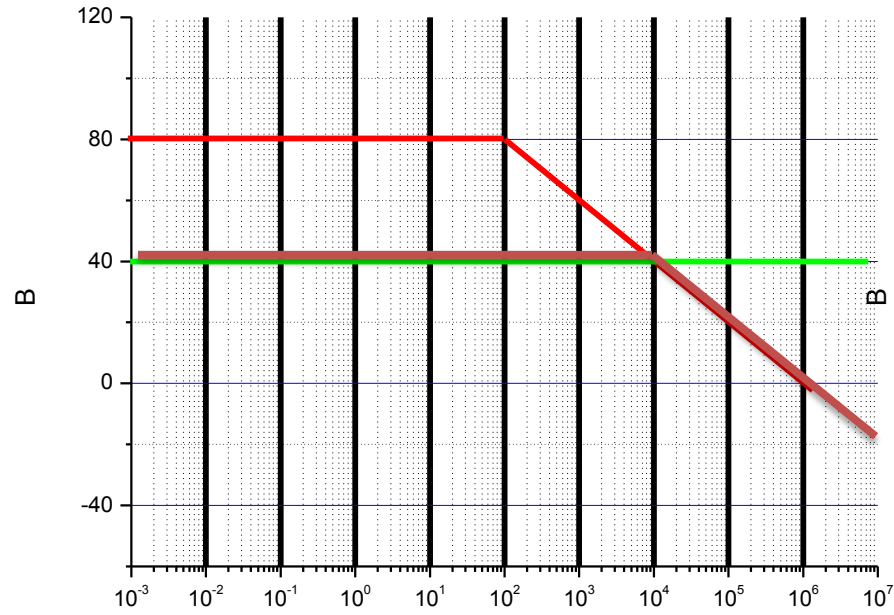
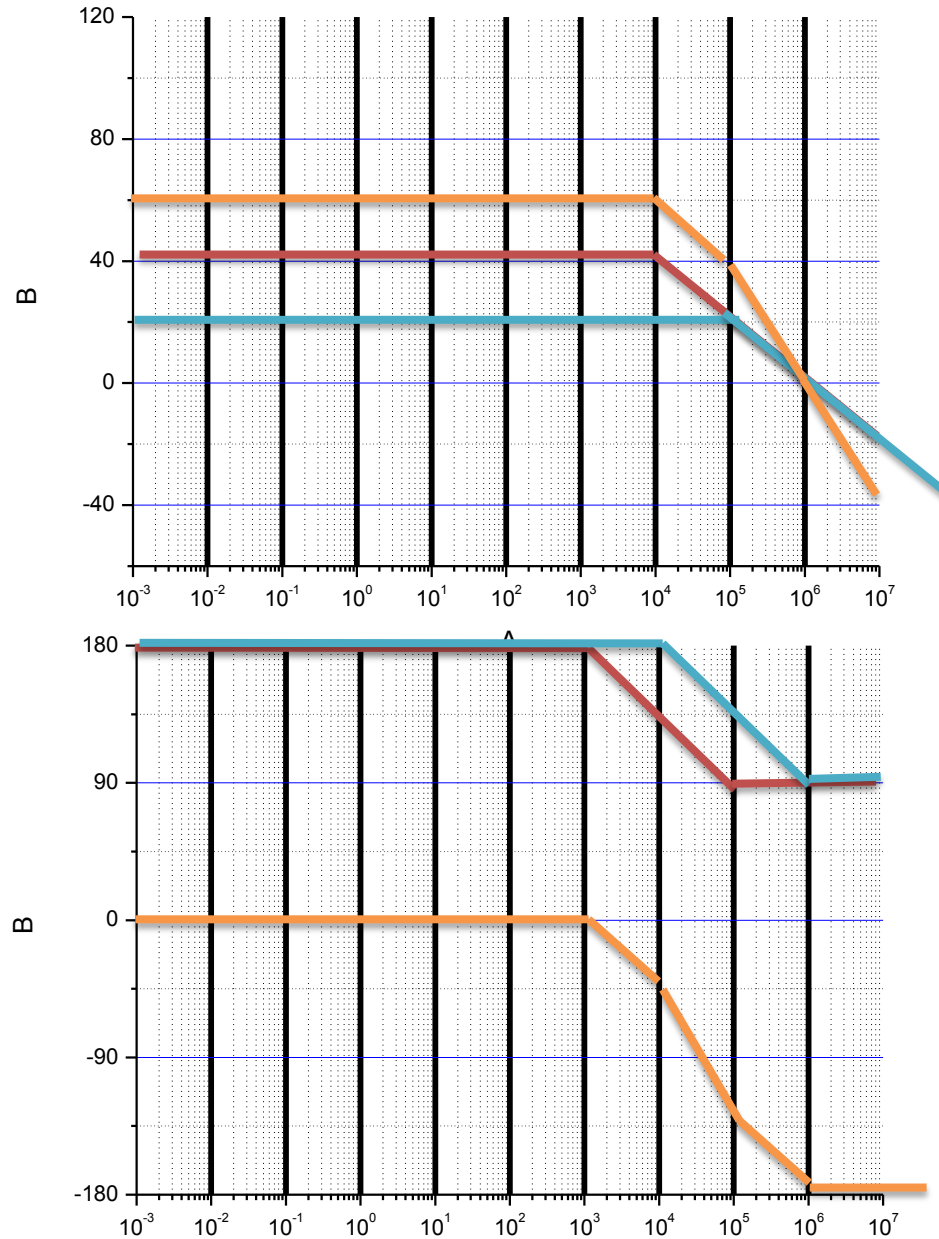


Diagramma di Bode - multistadio



Amplificatore multistadio

Perché può avere senso mettere degli operazionali in cascata?

Perché ognuno singolarmente NON può superare un determinato guadagno

Questo ovviamente non vale per la somma!

La somma dei guadagni PUO' superare il guadagno massimo di ogni singolo stadio

Amplificatori delle differenze

Amplificatori di differenza e CMRR

Il difference amplifier (amplificatore di differenza) è un circuito comunemente utilizzato per **amplificare la differenza di due segnali**.

Ovviamente, già l'amplificatore operazionale risponde a questi requisiti, ma se ne vuole controllare (ridurre) il guadagno con opportune retroazioni.

Una configurazione di questo tipo ideale, dovrebbe **non essere dipendente dal valore assoluto dei due segnali di ingresso**, ma **solo dalla differenza**.

Nella realtà non è così.

Amplificatori di differenza e CMRR

Per definire la situazione si usa rappresentare i due segnali di ingresso v_{I2} e v_{I1} attraverso:

- la loro differenza v_{Id} (tensione differenziale)
- la loro media (semisomma), v_{Icm} (tensione di modo comune)

$$v_{Id} = (v_{I2} - v_{I1})$$

$$v_{Icm} = (v_{I1} + v_{I2}) / 2$$

In questo modo

$$v_{I1} = v_{Icm} - v_{Id} / 2$$

$$v_{I2} = v_{Icm} + v_{Id} / 2.$$

Amplificatori di differenza e CMRR

Questa rappresentazione ci permette di rappresentare la tensione di uscita

$$v_O = A_d v_{Id} + A_{cm} v_{Icm}$$

come una somma di un contributo differenziale e un contributo di modo comune idealmente nullo

$$CMRR = 20 \log \frac{|A_d|}{|A_{cm}|}$$

Ci permette inoltre di definire un importante fattore di merito per un amplificatore operazionale il CMRR (common mode rejection ratio), tradotto, rapporto di reiezione comune.

Amplificatore di differenza a singolo stadio

Per la realizzazione di un amplificatore alle differenze, le configurazioni che dobbiamo considerare sono quelle dell'amplificatore invertente e quella di quello non invertente.

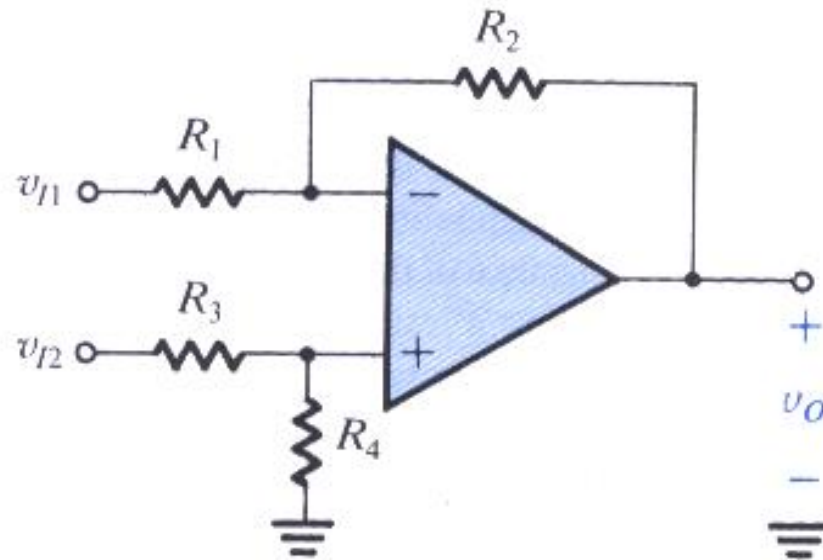
In entrambi i casi si è di fronte ad una retroazione R_2 e una resistenza sull'ingresso invertente R_1 .

Normalmente, nel caso invertente, il segnale è mandato attraverso R_1 all'ingresso -, nel caso non invertente, il segnale è inviato direttamente all'ingresso +.

Pensando in termini di sovrapposizione degli effetti si ha che il segnale v_{I1} sull'ingresso invertente viene amplificato del rapporto $-R_2/R_1$, mentre v_{I2} sull'ingresso non invertente viene amplificato di un fattore $(1+R_2/R_1)$.

Amplificatore di differenza a singolo stadio

Per realizzare un amplificatore di differenza, si attenua l'ingresso + attraverso un partitore R_3, R_4 .



Separando gli effetti dei due ingressi si hanno i seguenti circuiti (invertente il primo, non invertente il secondo)

Amplificatore di differenza a singolo stadio

Separando gli effetti dei due ingressi si hanno i seguenti circuiti (invertente il primo, non invertente il secondo)

Primo caso, ho una configurazione non invertente in cui l'uscita pari a

$$v_{O1} = v_{in2} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Secondo caso ho una configurazione invertente

$$v_{O2} = v_{in1} \cdot \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$v_{out} = v_{in2} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + v_{in1} \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

Amplificatore di differenza a singolo stadio

Cosa succede se scelgo le resistenze in maniera tale che

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

In questo caso la relazione si semplifica e ottengo:

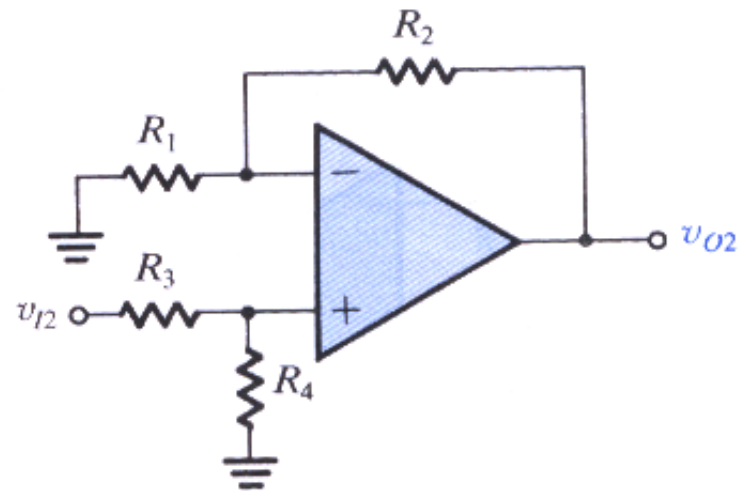
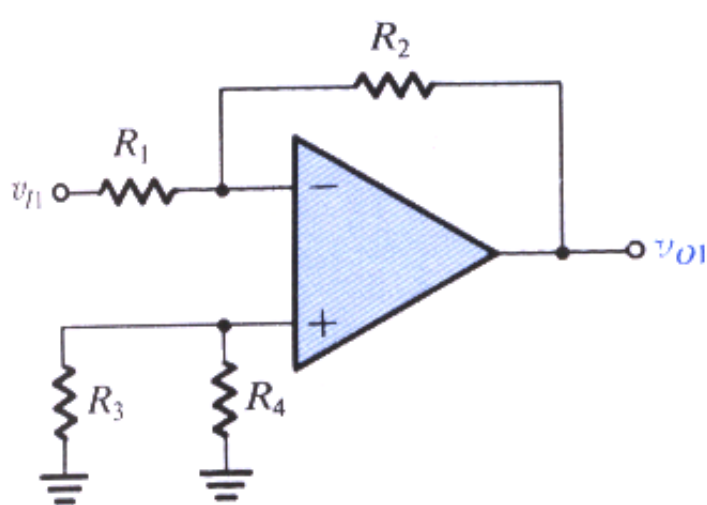
$$v_{out} = v_{in2} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) + v_{in1} \left(-\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$= v_{in2} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot \left(\frac{R_3 + R_4}{R_3} \right) - v_{in1} \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

$$v_{out} = (v_{in2} - v_{in1}) \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

$$A_d = \left(\frac{R_4}{R_3} \right) = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

Amplificatore di differenza a singolo stadio



Si dimostra che i due circuiti hanno amplificazione uguale (e quindi vengono amplificati ugualmente i due segnali) se e solo se $R_2/R_1 = R_4/R_3$.

In tale caso **$A_d = R_2/R_1$**

Amplifico SOLO la differenza dei due segnali

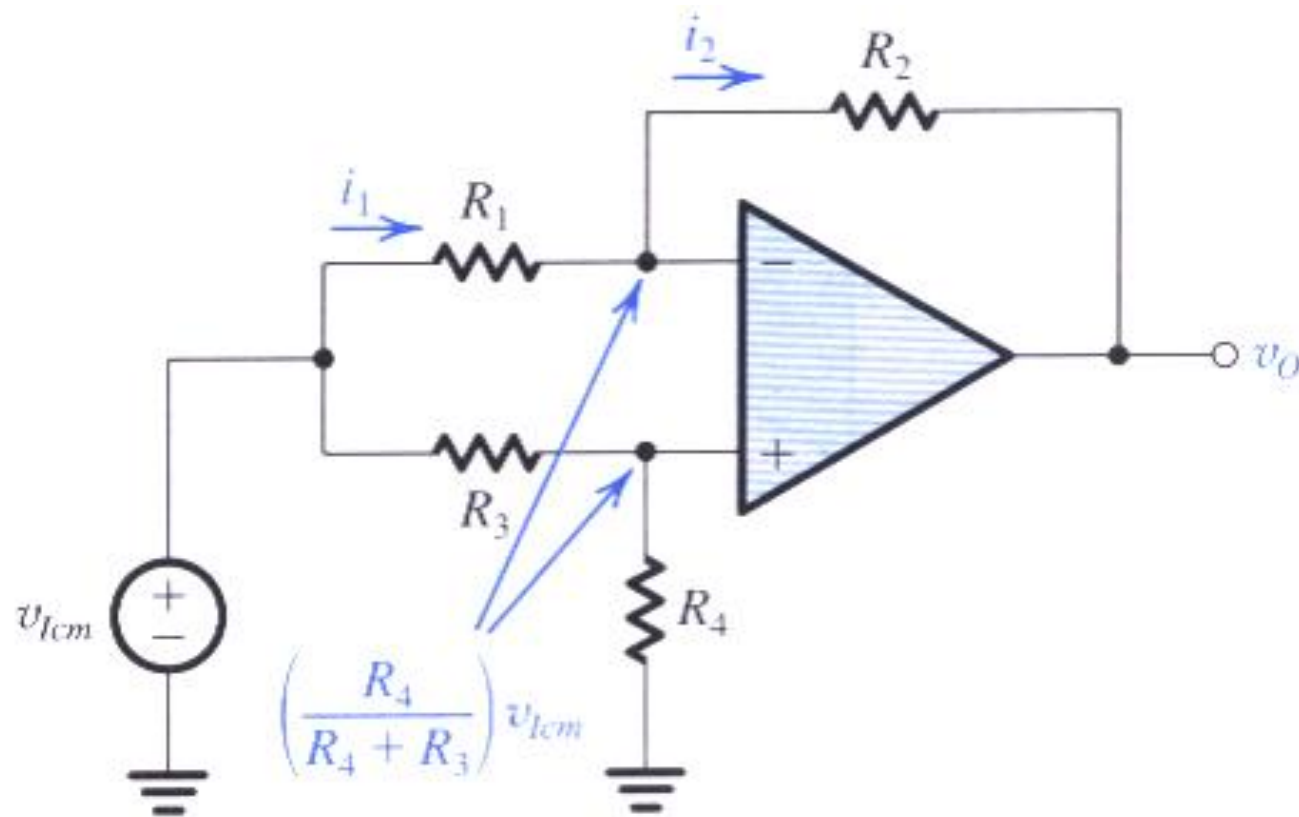
Es: $V_1 = 1001V$, $V_2 = 999V$, amplifico solamente $2V \times R_2/R_1$!!!!

Perdo il segnale di modo comune che non mi interessa!

Se i due ingressi sono uguali, l'uscita è nulla

Amplificatore di differenza a singolo stadio

Per vedere l'effetto della tensione di modo comune si può provare a vedere il comportamento del circuito con la sola tensione di modo comune, cioè con v_{I1} e v_{I2} identiche e pari a v_{Icm} .



Amplificatore di differenza a singolo stadio

Abbiamo visto che per avere v_0 finito è necessario che tra $-$ e $+$ ci siano circa 0 volt.

In queste condizioni

$$i_2 = i_1 = \left(v_{Icm} - v_{Icm} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \frac{1}{R_1} = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \frac{v_{Icm}}{R_1}$$

$$v_O = v_{Icm} \left(\frac{R_4}{R_3 + R_4} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \frac{R_2}{R_1} \right) = v_{Icm} \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 - \frac{R_2}{R_1} \frac{R_3}{R_4} \right)$$

$$A_{cm} = \frac{v_O}{v_{Icm}} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \left(1 - \frac{R_2}{R_1} \frac{R_3}{R_4} \right)$$

Se assumiamo che $R_4/R_3 = R_2/R_1$, allora $A_{cm} = 0$.

Sebbene **teoricamente** perfettamente **valida** la condizione $R_4/R_3 = R_2/R_1$, può essere critica perché due resistenze, sebbene nominalmente identiche, sono soggette ad **approssimazioni che non rendono valida questa condizione (tolleranza)**.

Amplificatori per strumentazione

Amplificatore per strumentazione

Questa configurazione può essere utile soprattutto in ambito biomedico, perché se voglio prelevare dei biopotenziali in punti differenti del corpo umano, e valutarne la differenza, **non ho bisogno di riferimenti a massa.**

Tenete presente che un determinato punto del corpo umano potrebbe anche essere soggetto a dei potenziali elevati rispetto a massa, per cui vorrei evitare di prendere la massa come riferimento.
(esempio paziente in un tavolo operatorio)

Se utilizzo questa configurazione, non ho bisogno di utilizzare un riferimento a massa.

Amplificatore per strumentazione

Occorre notare che non abbiamo tenuto conto della non idealità dei generatori.

Se io sto acquisendo un biopotenziale, verosimilmente avrò associata una resistenza di ingresso abbastanza elevata e confrontabile con R_1 , R_3

Questo è chiaramente un problema perché le relazioni viste prima non sarebbero più valide!

Inoltre occorre anche tenere in considerazione la non idealità dei componenti resistivi che hanno tutti una loro tolleranza

Utilizzo uno schema differente

Amplificatore per strumentazione

Per migliorare la resistenza in ingresso del circuito e aumentare il guadagno si può utilizzare quello che viene chiamato amplificatore per strumentazione.

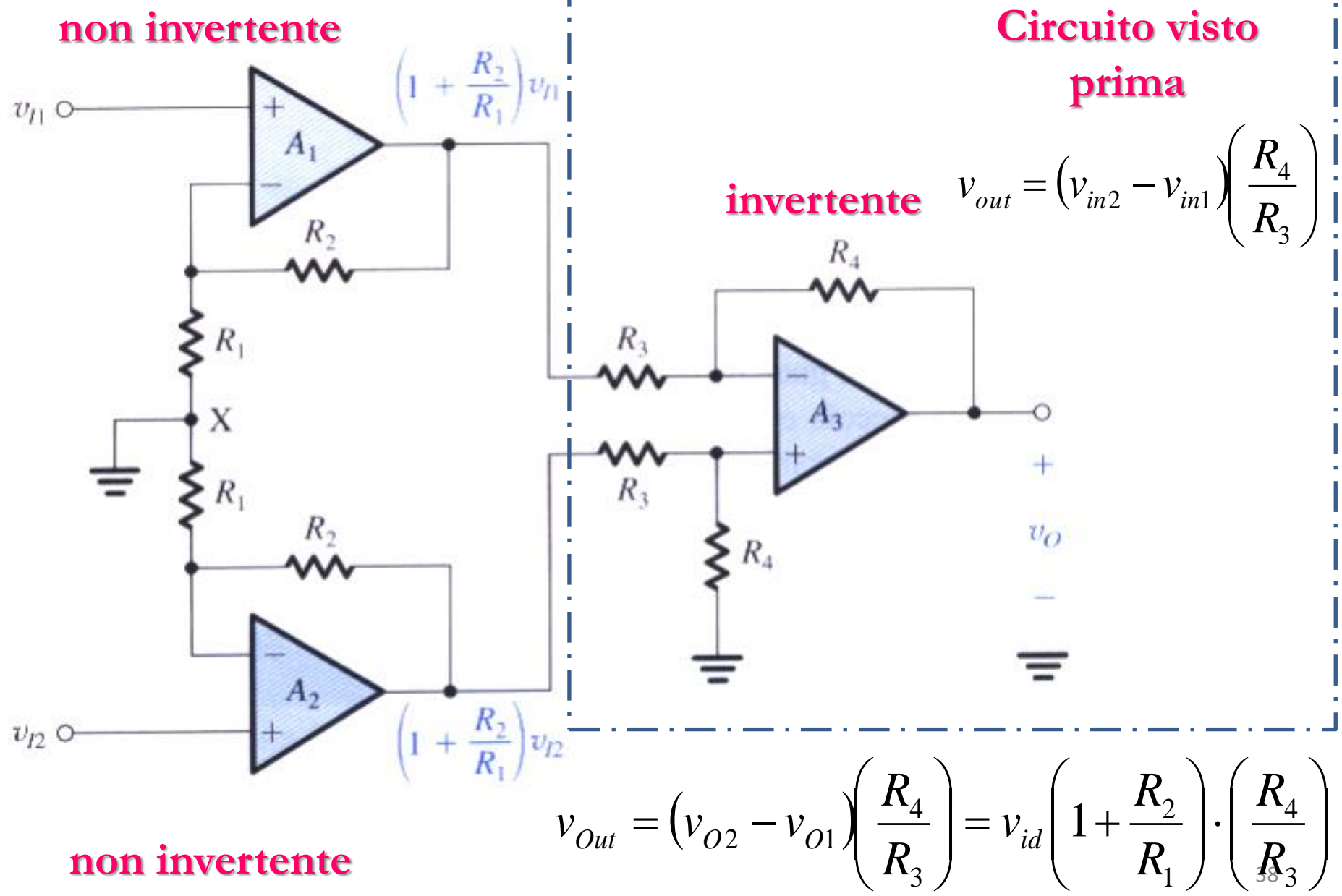
Applicare ad entrambi gli ingressi una amplificazione non invertente

Questa è la configurazione che risente di meno se il mio segnale ha una resistenza serie elevata!

Domanda

Perchè non utilizzo un inseguitore di tensione?

Amplificatore per strumentazione



Amplificatore per strumentazione

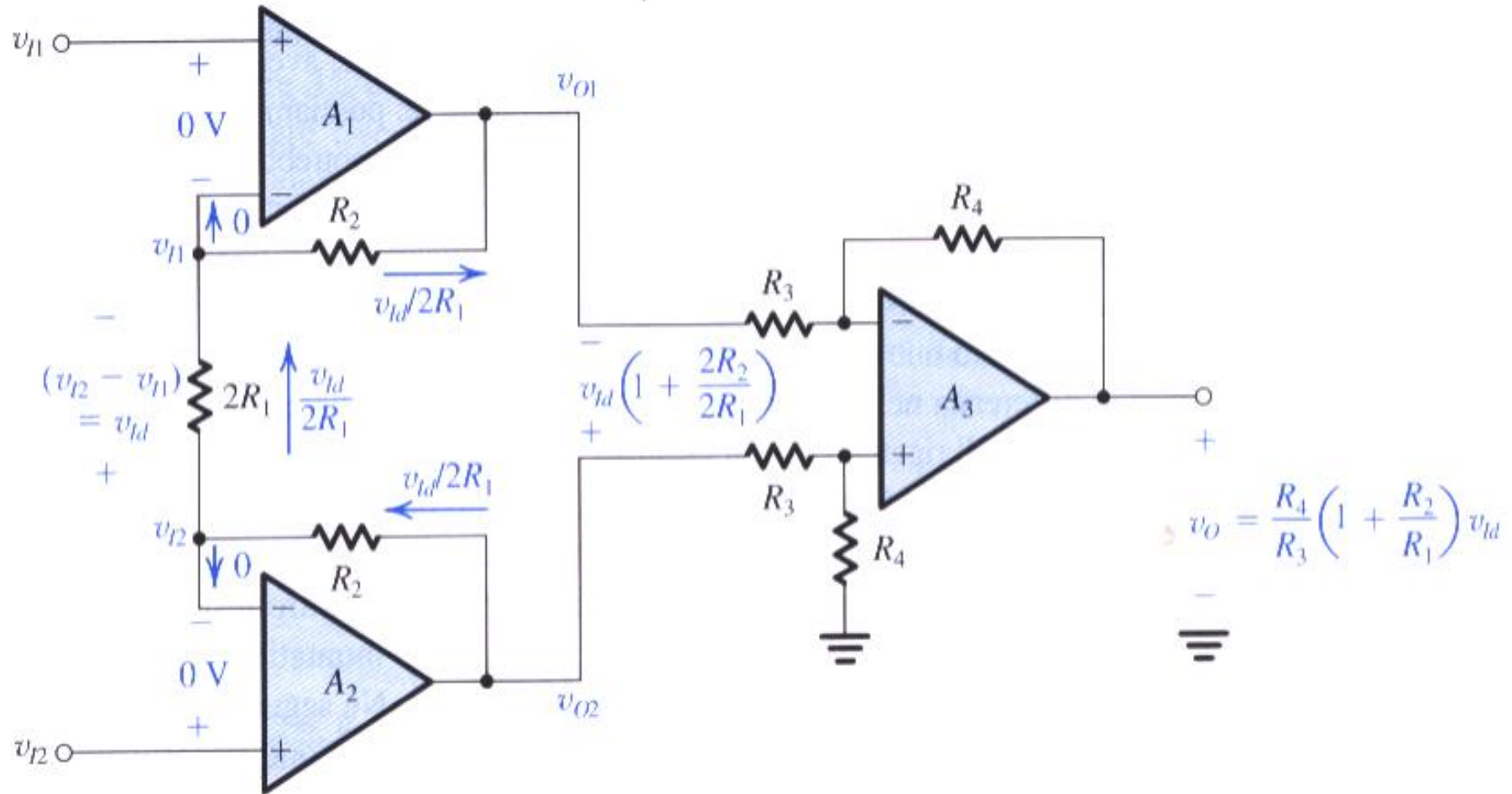
Questo circuito ha i seguenti problemi:

- il segnale di modo comune in ingresso viene amplificato da $A1$ e $A2$, rischiando di saturare lo stadio successivo;
- i due stadi $A1$ e $A2$ devono essere perfettamente uguali;
- per variare il guadagno del primo stadio è necessario variare due resistori (i due R_1 per esempio).

Il primo problema può essere risolto rimuovendo il collegamento tra X e massa

In questo caso il punto X del circuito assume automaticamente il valore della tensione di modo comune (il valore medio tra le tensioni ai terminali $-$ di $A1$ e $A2$, che coincidono con quelle ai terminali di $+$).

Amplificatore per strumentazione



Amplificatore per strumentazione

Considero A_1 , ai capi della resistenza che per semplicità chiamo $2R_1$ avrò una differenza di tensione

$$v_{id} = v_{i2} - v_{i1}$$

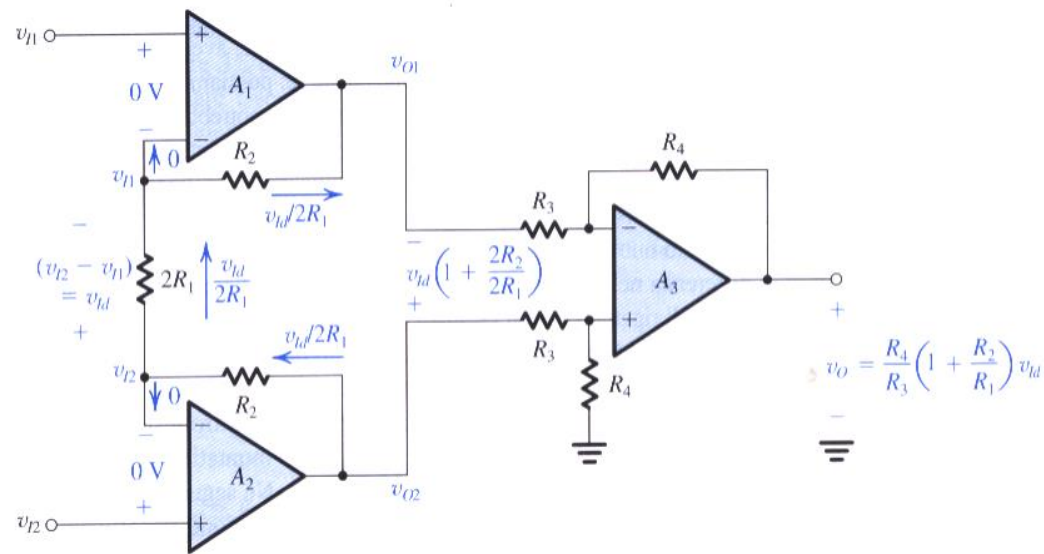
$$i = \frac{v_{id}}{2R_1}$$

Se $v_{i2} > v_{i1}$ la corrente scorre come in figura

Faccio le due maglie ottengo

$$v_{i1} - \frac{v_{id}}{2R_1} R_2 - v_{O1} = 0$$

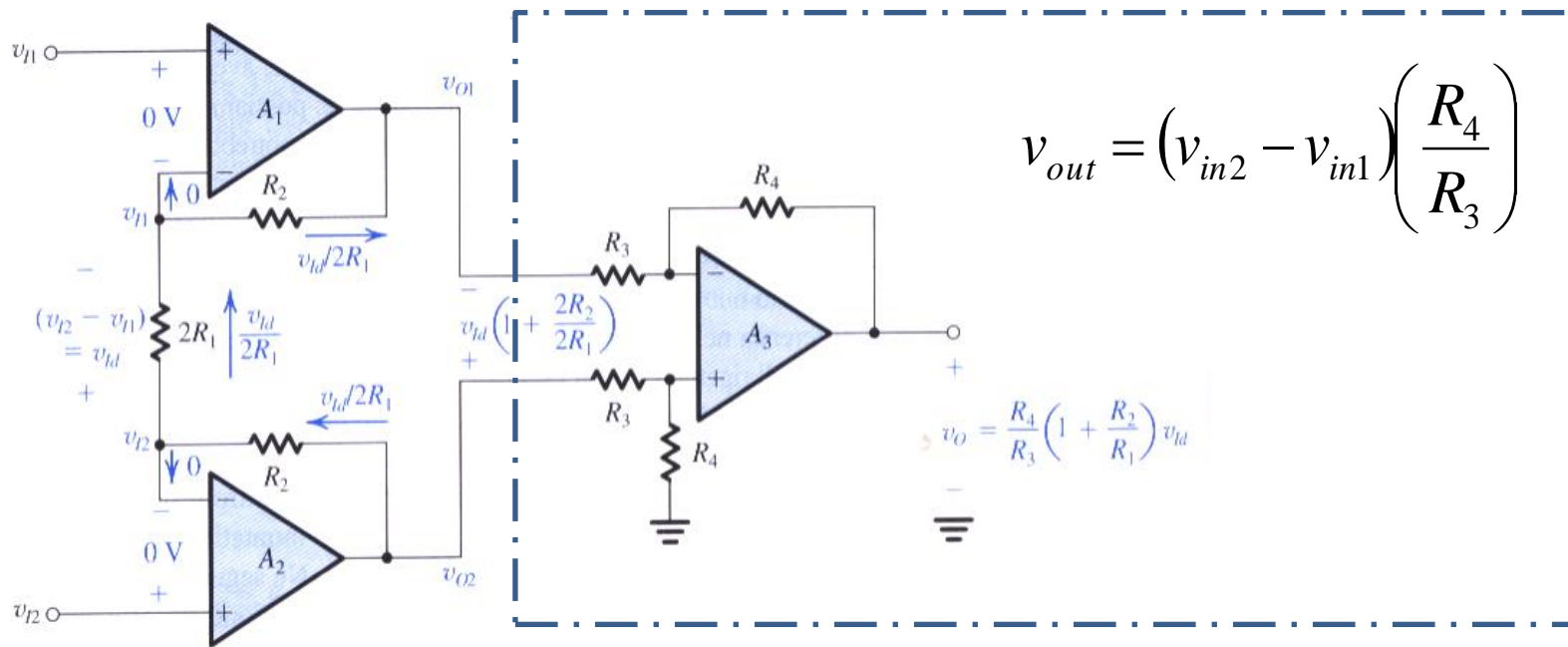
$$v_{i2} + \frac{v_{id}}{2R_1} R_2 - v_{O2} = 0$$



$$v_{O2} - v_{O1} = v_{i2} - v_{i1} + v_{id} \left(\frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$v_{O2} - v_{O1} = v_{id} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Amplificatore per strumentazione



$$v_{O2} - v_{O1} = v_{id} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$v_{Out} = (v_{O2} - v_{O1}) \left(\frac{R_4}{R_3} \right) = v_{id} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

Amplificatore per strumentazione

Pertanto, la tensione di modo comune non viene amplificata, evitando (o perlomeno riducendo il rischio) di saturare A1 e A2

Si ha allora il seguente circuito noto come amplificatore per strumentazione (venduto direttamente come componente a se).

Otteniamo quindi:

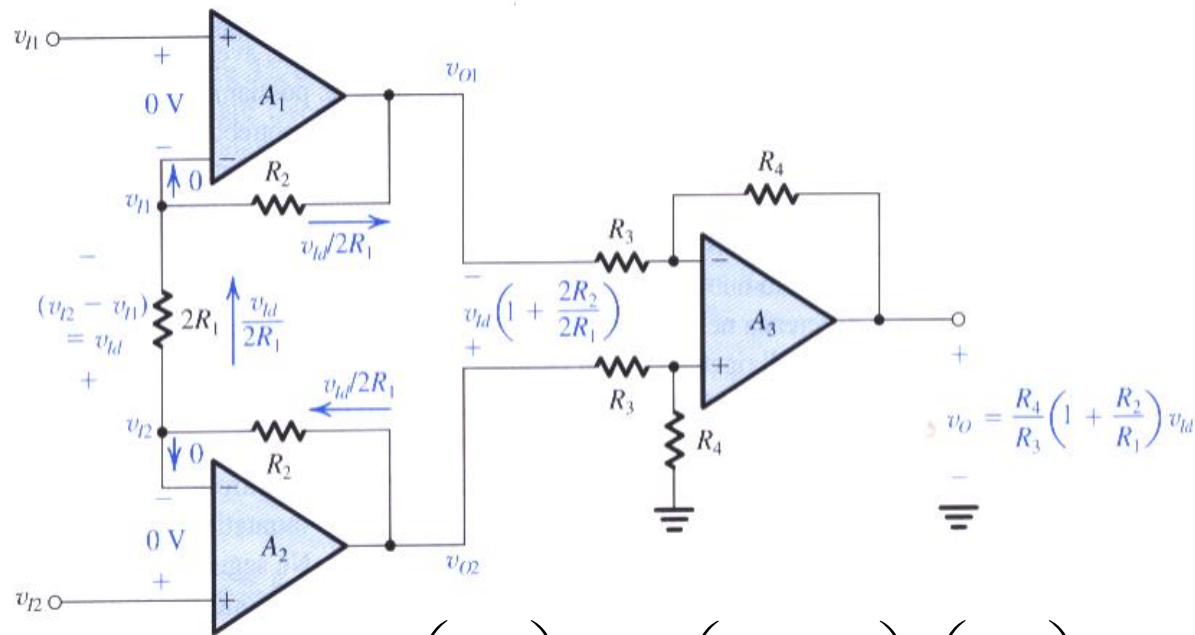
$$v_{Out} = v_{id} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

$$A_d = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Amplificatore per strumentazione

Supponiamo di avere due potenziali la cui differenza è molto piccola e la voglio amplificare, es. 20 mV, ma il loro potenziale non è noto a priori. Se per esempio il loro potenziale di base fosse molto elevato 10.01 V e 9.99 V

I due amplificatori non amplificano i segnali interi ed è più difficile che vadano in saturazione



$$v_{Out} = (v_{O2} - v_{O1}) \left(\frac{R_4}{R_3} \right) = v_{id} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) \cdot \left(\frac{R_4}{R_3} \right)$$

Fotodiodi

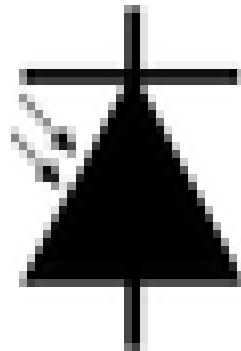
Fotodiodi

Lo scopo dei fotodiodi è di rivelare la radiazione luminosa (visibile o infrarossa) che colpisce il corpo del diodo stesso.

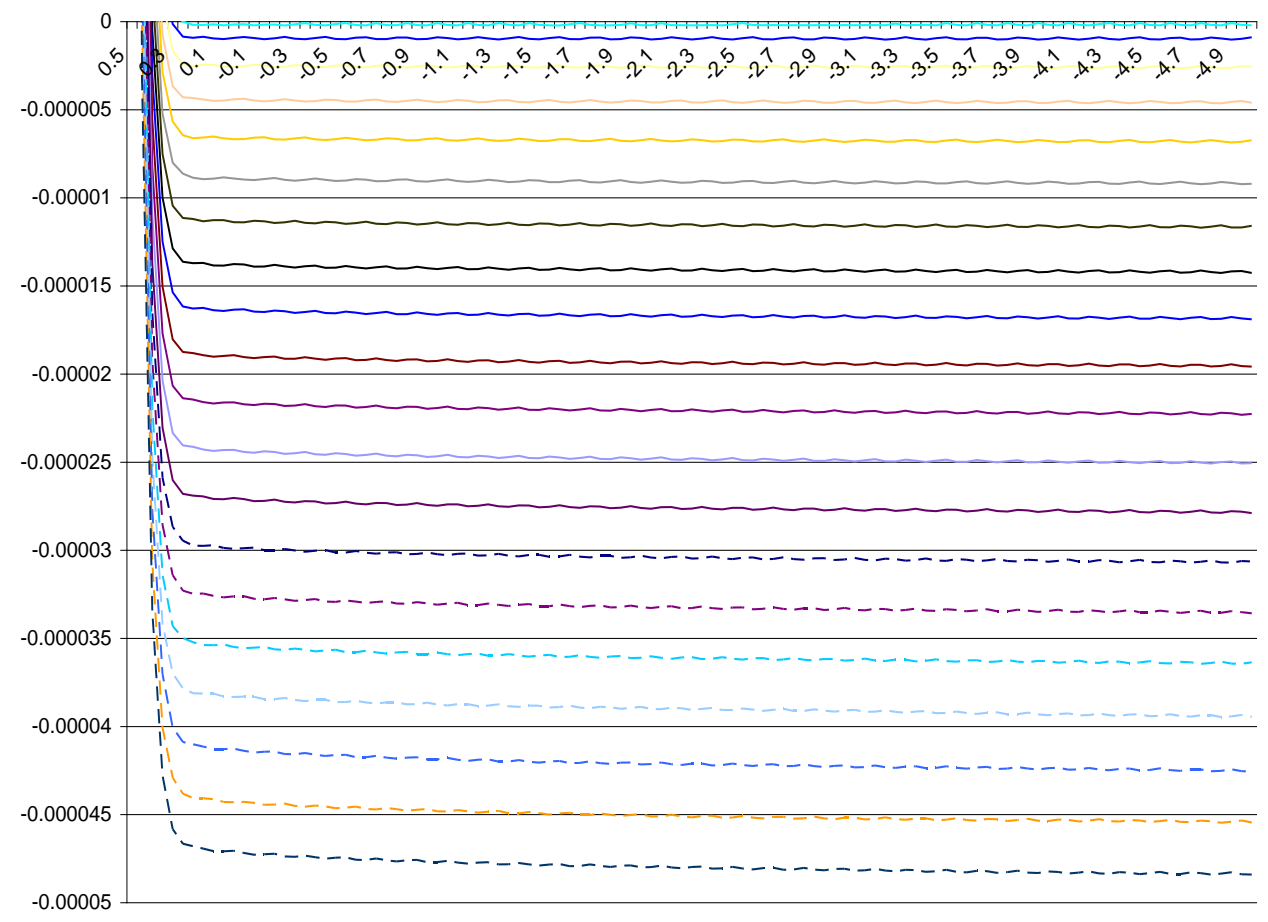
Si usano in polarizzazione inversa: in questa condizione, la corrente che attraversa il diodo è dovuta (quasi) esclusivamente alla luce incidente, ed è proporzionale all'intensità luminosa.

Al solo scopo di esempio, si riporta il grafico di misure di SFH203. Sull'asse X è indicata la tensione di polarizzazione, sull'asse Y la corrente generata.

Al variare delle curve varia la luce incidente emessa da un LED attraversato da una corrente sempre maggiore, che varia a step lineari.



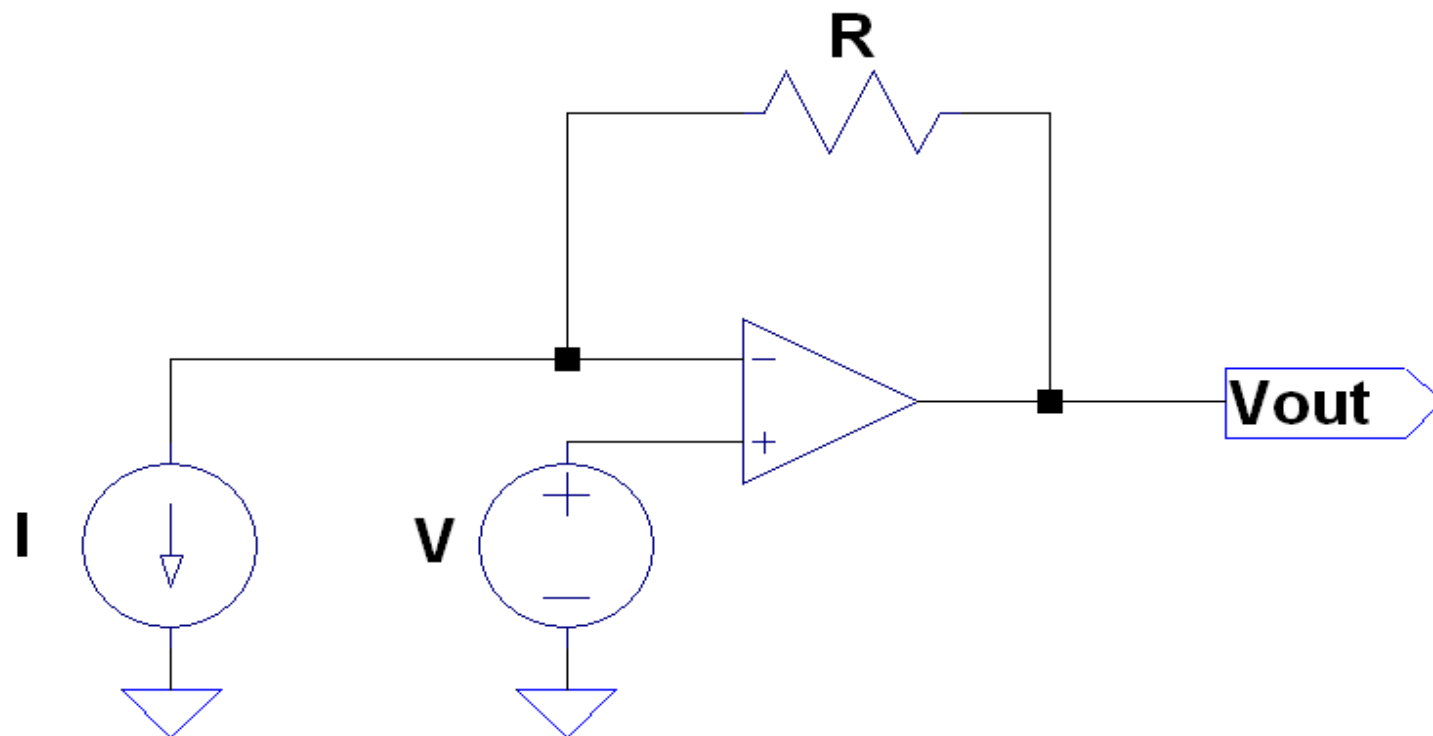
Fotodiodi



Convertitore corrente tensione

Fotodiodi

Un circuito particolarmente utile per leggere la corrente di un fotodiode è il seguente circuito convertitore corrente-tensione (pensato per amplificatori operazionali ad alimentazione singola).



Fotodiodi

Il meccanismo di retroazione impone in ingresso all'operazionale una differenza di potenziale nulla, quindi il terminare I_{in} (collegato ad un generatore di corrente) si troverà alla stessa tensione del terminale positivo di ingresso (che chiameremo V_{ref}).

L'ipotesi di impedenza infinita in ingresso all'operazionale (caso ideale) fa sì che tutta la corrente I_{in} attraversi R , quindi, definita I_{in} la corrente del generatore di corrente (supponendo positivo il verso indicato dalla freccia sul generatore), si può scrivere:

$$V_{out} = R I_{in} + V_{ref}$$

Fotodiodi

Questo circuito ben si adatta ad un fotodiode perché il fotodiode ha una corrente praticamente linearmente proporzionale alla luce incidente, se viene mantenuto a tensione costante in polarizzazione inversa.

Questa condizione è verificata perché la tensione ai suoi capi sarà sempre (a causa del meccanismo di retroazione) quella imposta dal generatore V .

Il catodo del fotodiode deve essere collegato direttamente al terminale $-$ e l'anodo ad una tensione inferiore.