

RISOLVERE
ESAMI SETM

ELETTRONICA

OPAMP

- Imparare configurazioni per Vout
- Usare Millman, partitore e sovrapposizione effetti
- Ricavare le Iout
- Funzione di trasferimento: impedenze
- Ricavare poli e zeri
- Diagrammi di bode
- Dinamica di uscita
- Offset

TRANSISTOR

- Distinguere tra pmos e nmos e determinare parametri di piccolo segnale
- Distinguere common source e common drain e capire come può semplificare la vita
- Disegnare circuito di piccolo segnale
- Ricavare Rin e Rout, anche con gen di prova
- Ricavare Vout
- Diagrammi di Bode
- Stadi in cascata

IN CONTINUA: Condizionamento circuito aperto

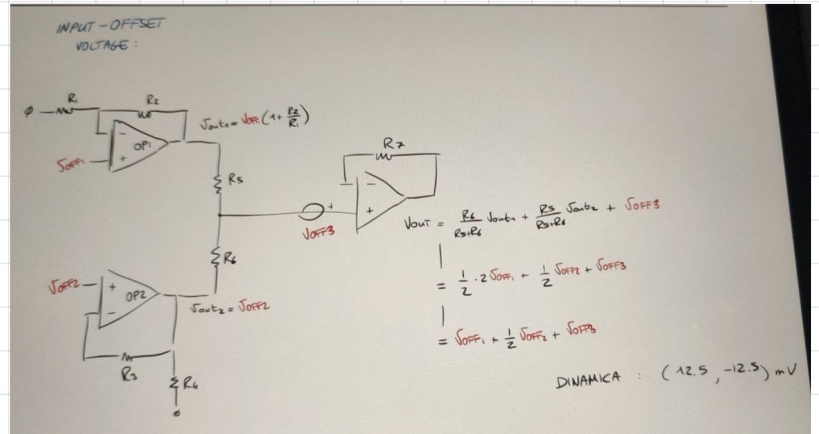
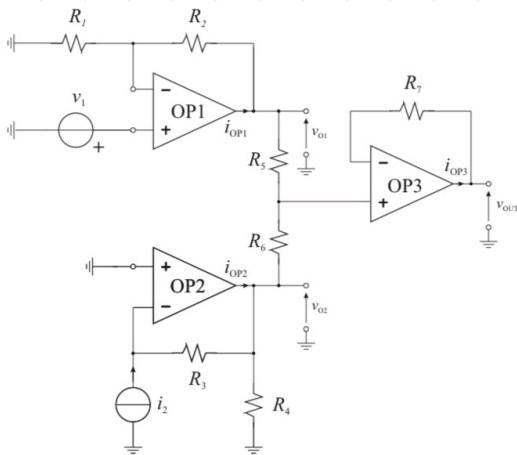
$C \rightarrow \infty$ Cortocircuito

$C \rightarrow 0$ Circuito aperto

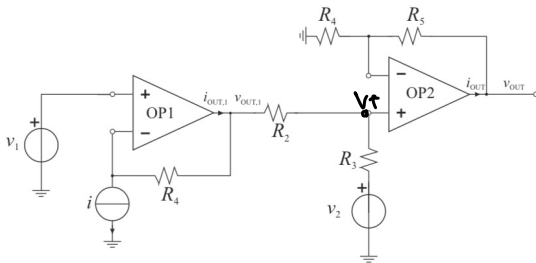
INPUT OFFSET VOLTAGE

In pratica quando ti dice di considerare input offset voltage

Spegni tutti i generatori che hai e metti un generatore di tensione su uno dei due morsetti dell'opamp



USARE MILLMAN



Nel circuito in figura si ha: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R = 1\text{ k}\Omega$ e $R_5 = 5R$. Determinare:

1. l'espressione delle tensioni $v_{OUT,1}$ e v_{OUT} in funzione degli ingressi v_1 , v_2 e i ;
2. l'espressione delle correnti $i_{OUT,1}$ e i_{OUT} in funzione degli ingressi v_1 , v_2 e i ;
3. la minima dinamica di uscita della tensione e della corrente di OP1 e OP2 considerando $i = 0$, $v_1 \in [-1, 1]$ V e $v_2 \in [-1, 1]$ V.

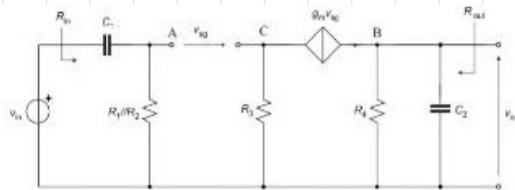
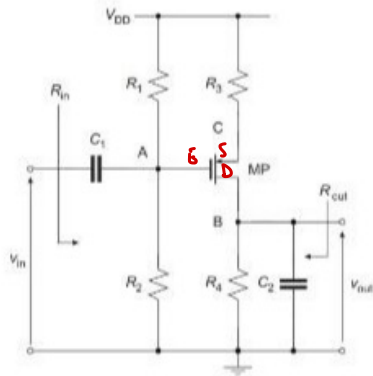
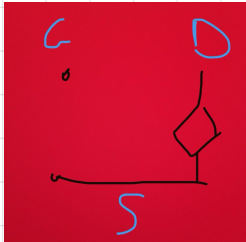
$$3) \quad v_{OUT,1} = v_1 + R_4 i$$

$$V^+ = v_{OUT,1} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_2} + v_2 \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

Se ci sono due tensioni v_1 e v_2 che passano attraverso due resistenze R_1 e R_2 , e confluiscono in un morsetto di un Op.Amp., allora la formula per la tensione risultante è:

$v = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2}$ per il teorema di Millman. Fare attenzione anche alle tensioni nulle del

COME NON SBAGLIARE PICCOLO SEGNALE



Io parto da sinistra a guardare il circuito e vedo che ho V_{in} collegato fra la terra e quel punto prima del condensatore, poi c'è il condensatore che ha disegnato lo stesso ma io avrei lasciato come corto circuito e messo poi dopo.

Poi mi chiedo cosa c'è collegato fra il punto A (gate) e la terra (V_{DD} lo considero terra) e quindi disegno $R1||R2$

Poi troviamo il pMOS e so che si sostituisce con una tensione V_{gs} fra gate (punto A) e source (punto C).

Fra C e la terra o $R3$.

Sempre per il pMOS fra source (C) e drain (B) inserisco il generatore di corrente controllato in tensione.

Fra il punto B e la terra ho $R4$ (il condensatore è un c.a.).

E infine V_{out}

Praticamente la riga sotto del circuito equivalente è sempre la terra, mentre sopra metto in ordine gate source e drain.

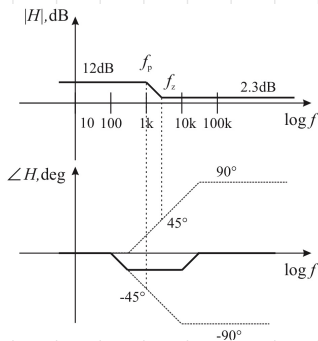
Questo è uno dei casi più semplici, ma facendo così riesci a trovare anche quelli più complicati

APOMP

$$H(s) = 1 + \frac{R_2 \parallel (R_3 + \frac{1}{sC_1})}{R_1} = \frac{4 + 13RCs}{1 + 10RCs}$$

$$13RCs = -4 \rightarrow s_2 = -\frac{4}{13} \cdot \frac{1}{RC} = -19,3 \text{ md/ms} \quad f_2 = 3,08 \text{ kHz}$$

$$10RCs = -1 \rightarrow s_p = -\frac{1}{10RC} = -6,28 \text{ md/ms} \quad f_p = 1 \text{ kHz}$$



$$|H(0)| = 4$$

$$20 \log_{10} |H(0)| = 12 \text{ dB}$$

Forse parte da 0°, se non ci sono poli o zeri nell'origine.

Tracciare i diagrammi di Bode del modulo e della fase di $A_v(s)$:

Modulo:

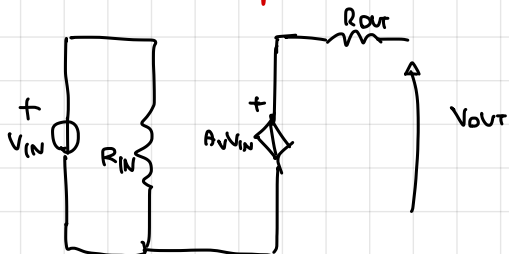
- inizio la curva da un valore in dB pari al guadagno A_{v0} .
- Ogni zero nell'origine aumenta la pendenza di 20 dB/dec, ogni polo nell'origine la diminuisce dello stesso valore.
- Ogni zero o polo incontrato ha lo stesso effetto di quelli nell'origine ma alla frequenza d'incontro.

Fase:

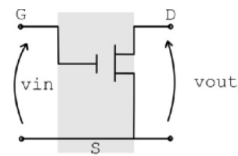
- Ogni zero nell'origine aggiunge 90 gradi, ogni polo nell'origine toglie 90 gradi. Se il guadagno A_{v0} è negativo 180 gradi dall'inizio.
- Incontrare poli negativi o zeri positivi fa perdere 90 gradi, 45 prima dell'incontro e 45 dopo. Incontrare poli positivi o zeri negativi fa guadagnare 90 gradi, 45 prima e 45 dopo.

Supponendo di collegare in cascata due stadi analoghi a quello riportato, determinare in condizioni di piccolo segnale...

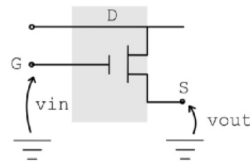
Se chiede amplific. di tens. equiv.



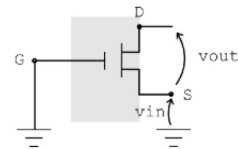
- **Common Source, CS:**
 - Ingresso sul *gate*
 - Uscita sul *drain*
 - Terminale comune: *source*



- **Common Drain, CD:**
 - Ingresso sul *gate*
 - Uscita sul *source*
 - Terminale comune: *drain*



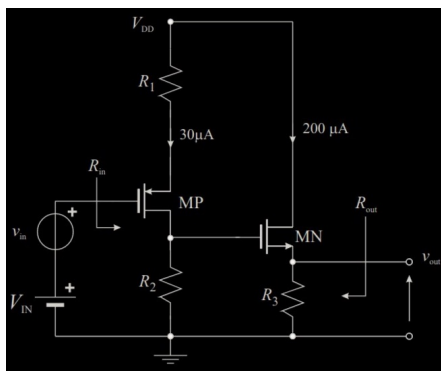
- **Common Gate, CG:**
 - Ingresso sul *source*
 - Uscita sul *drain*
 - Terminale comune: *gate*



Stadi amplificatori elementari: Riepilogo

	A_v	R_{in}	R_{out}	commenti
Source Comune	$-g_m (R \parallel r_o)$	$\rightarrow \infty$	$R \parallel r_o$	- R_{in} e R_{out} elevate \rightarrow buon ampl. di <i>transconduttanza</i> - Amplificazione di tensione invertente, anche elevata in modulo
Drain Comune	$\frac{g_m R'}{1 + g_m R'} < 1$	$\rightarrow \infty$	$\simeq \frac{1}{g_m}$	- R_{in} elevata, R_{out} ridotta \rightarrow buon ampl. di <i>tensione</i> - L'amplificazione di tensione A_v è sempre minore di 1 in modulo
Gate Comune	$\simeq g_m (R \parallel r_o)$	$\simeq \frac{1}{g_m}$	$R \parallel r_o$	- R_{in} ridotta R_{out} elevata \rightarrow buon ampl. di <i>corrente</i> - L'ampl. di tensione A_v è non invertente e può essere elevata

N.B. La simbologia adottata in tabella fa riferimento alle slide precedenti



Per esempio questo è COMMON DRAIN
 R_{out} dipende da g_m

Risolvere esami SETM

Vengono evidenziate tutte le domande che capitano più di frequente

Parte di Elettronica

Quiz riscontrati:

Vengono indicati in grassetto i termini peculiari che variano da quiz a quiz.

Un amplificatore operazionale con **amplificazione differenziale a bassa frequenza / guadagno in banda** pari a A_{v0} , prodotto banda-guadagno pari a f , resistenze d'ingresso e uscita trascurabili, è utilizzato in un amplificatore **di tensione non invertente / invertente con amplificazione di tensione in banda** di A_v . La banda dell'amplificatore **di tensione non invertente / invertente** è pari

Se è **invertente** uso $B = \frac{f}{|A_v|+1}$. Se è **non invertente** uso $B = \frac{f}{10^{\frac{|A_v|}{20}}}$ ovvero la versione non in dB di A_v a denominatore.

In un amplificatore invertente basato su operazionale ideale, il resistore che collega la sorgente di segnale all'ingresso invertente è sostituito da un diodo con anodo collegato alla sorgente e catodo collegato all'ingresso invertente. Per $v_{in} > 0$ il circuito che si ottiene si comporta come:

In un amplificatore di **tensione non invertente / transconduttanza / derivatore invertente** basato su operazionale **ideale**:

Questa domanda può uscire con tutti i tipi di amplificatori basati su operazionale ideale.

Soluzione:

Tensione: $R_{in} \rightarrow \infty, R_{out} \rightarrow 0$

Transconduttanza: $R_{in} \rightarrow \infty, R_{out} \rightarrow \infty$

Transresistenza: $R_{in} \rightarrow 0, R_{out} \rightarrow 0$

Corrente: $R_{in} \rightarrow 0, R_{out} \rightarrow \infty$

Voltage-follower: $R_{in} \rightarrow \infty, R_{out} \rightarrow 0$

Invertente: se viene specificato, allora $R_{out} \rightarrow 0$

Esponenziale: Diodo su R_{in}

Logaritmico: Diodo su R_{out}

Derivatore: Condensatore su R_{in}

Integratore: Condensatore su R_{out}

La **conduttanza / resistenza d'uscita di piccolo segnale** g_0/r_0 di un transistor **MOS / nMOS** nel punto di lavoro Q è definita come:

$$g_0 = \lambda I_D, r_0 = \frac{1}{\lambda I_D}.$$

Un amplificatore di tensione è descritto dai parametri A_v , R_{in} , R_{out} , tutti finiti e non nulli. Se la porta d'uscita è lasciata a vuoto e la porta d'ingresso è chiusa su un bipolo incognito che presenta tensione a vuoto v_s :

In uno stadio amplificatore MOS **drain/gate/source** comune, descritto dai parametri A_v , R_{in} e R_{out} :

Per **drain**: $0 < A_v < 1$, $R_{in} \rightarrow \infty$, $R_{out} \simeq \frac{1}{g_m}$. Uscita prelevata al terminale di *source*.

Per **gate**: $A_v \simeq g_m(R \parallel r_0)$, $R_{in} \simeq \frac{1}{g_m}$, $R_{out} = R \parallel r_0$. Uscita prelevata al terminale di *drain*.

Per **source**: $A_v < 0$, $R_{in} \rightarrow \infty$, R_{out} finita.

Spesso bisogna andare per esclusione ricordando queste regole.

Per ricavare il circuito equivalente per il piccolo segnale di un amplificatore:

In un amplificatore di tensione non invertente basato su un operazionale con $A_v = X$, è applicata una tensione d'ingresso costante V_{in} , la porta d'uscita è collegata ad un carico R e la corrente che scorre nella rete di retroazione è trascurabile. Supponendo che la dinamica della tensione d'uscita dell'operazionale sia ΔV e che la dinamica della corrente d'uscita dell'operazionale sia ΔI , in quale dei seguenti casi l'amplificatore opera in linearità?

Per operare in linearità uso i valori proposti di V_{IN} e calcolo $V_{OUT} = V_{IN} \cdot A_v$ e $I_{OUT} = \frac{V_{OUT}}{R}$. Solo uno dei valori permetterà che entrambi i parametri rientrino nel limite definito dalla dinamica. Gli estremi della dinamica sono inclusi in essa.

Un transistor MOS con $\lambda \neq 0$ **polarizzato in regione di saturazione / in regione di interdizione** si comporta per il piccolo segnale / in condizioni statiche come:

In **interdizione** è un circuito **aperto**.

In regione di **saturazione** come generatore di **corrente** controllato in tensione.

Un amplificatore differenziale fornisce in uscita una tensione $v_{out} = av^+ - bv^-$, detta A_d l'amplificazione differenziale, A_{cm} l'amplificazione di modo comune e $CMRR$ il rapporto di reiezione del modo comune:

$$A_d = \frac{a+b}{2}, A_{cm} = a - b, CMRR = 20\log\left(\frac{|A_d|}{|A_{cm}|}\right).$$

Formula per i dB: $A_d[dB] = \text{sgn}(A_d)20\log(|A_d|)$

In un circuito analogico contenente due amplificatori operazionali, l'errore in continua sull'uscita può essere espresso in funzione delle tensioni di offset in ingresso degli operazionali come $\Delta V = a V_{OFF,1} - b V_{OFF,2}$. Se, dai dati di targa degli operazionali si legge che input offset voltage (max.): x mV, in quale intervallo potrà variare l'errore in continua ΔV ?

In un amplificatore di corrente, per evitare effetti di carico per qualsiasi poffossibile sorgente o carico deve essere:

Un amplificatore di **transconduttanza / transresistenza** è ottenuto collegando in cascata un amplificatore di **transconduttanza / corrente** con parametri ..., finiti e non nulli, ed un amplificatore di **corrente / transresistenza** descritto dai parametri ..., tutti finiti e non nulli. La **transconduttanza / transresistenza** complessiva della cascata dei due stadi è data da:

In un **comparatore di soglia non-invertente con isteresi** realizzato a partire da un **amplificatore operazionale**:

- se comparatore con isteresi => retroazione positiva
- se oscillatore => retroaz. positiva e negativa
- se comparatore senza isteresi => nessuna retroazione.
- se amplificatore => retroazione negativa

La banda di un blocco funzionale analogico:

In un circuito contenente un diodo semi-ideale D con $V_\gamma = 0.6V$ si è fatta l'ipotesi che il diodo sia

diodo OFF

diodo ON

per $v_D < V_\gamma$:
 $i_D = 0$

per $i_D > 0$:
 $v_D = V_\gamma$

ON. L'ipotesi è verificata se e solo se:

Esercizio 1 - Transistors:

Verificare il funzionamento del transistor in regione di saturazione...

Per prima cosa identificare G, S e D. G è dove c'è la sbarra corta, S è dove c'è la corrente, D è il rimanente. Se la corrente è entrante si tratta di un pMOS, altrimenti di un nMOS.

Le tensioni vanno tracciate con la coda in basso e la punta in alto, ricordando che la prima lettera di una tensione indica dove sta la punta (v_{GS} indica punta in G e coda in S).

Le tensioni $v_{GS/SG}$ e $v_{DS/SD}$ vanno calcolate come differenza tra le tensioni dei due nodi (ovviamente mantenendo il risultato positivo). In caso non siano note queste tensioni, saranno note le correnti e le resistenze. Distinguo tre casi:

- Corrente attraverso resistenza, semplicemente applico la legge di Ohm

Le condizioni di saturazione sono: $v_{GS/SG} > V_{TH}$ e $v_{DS/SD} > v_{GS/SG} - V_{TH}$

...e determinare i parametri del modello di piccolo segnale:

Devo calcolare $g_m = \beta(v_{GS/SG} - V_{TH})$ e $g_o = \lambda I_D$, dove di solito λ è nullo.

Disegnare il circuito di piccolo segnale:

Per passare al circuito di piccolo segnale devo:

- Spegnere tutti i generatori continui e farli diventare GND
- Convieniente disegnare innanzitutto il GND e gli eventuali nodi cortocircuitati ad esso, poiché saranno presenti ovunque.
- Disegnare gli equivalenti in piccolo segnale eventualmente in cascata:
 - Per gli nMOS il generatore dipende dalla punta Source
 - Per i pMOS il generatore dipende dalla punta Drain

Assumendo che il/i condensatore/i si comporti come circuito aperto/corto circuito...

I condensatori si comportano in modo da far saltare qualche resistenza dal circuito di piccolo segnale.

...determinare $A_v = v_{out}/v_{in}$...

Per calcolare $v_{GS/SG}$ applico KVL o KCL:

- KVL: prendo una maglia, devo segnare il polo positivo e negativo di tutti i bipoli che trovo percorrendola. Il polo positivo è quello in cui entra la corrente. Percorrendo la maglia, sommo le tensioni attraverso ogni bipolo, eventualmente usando la legge di Ohm se conosco la corrente. Le tensioni che vanno da polo negativo a positivo sono positive, altrimenti sono negative. La somma è pari a zero.
- KCL: prendo un nodo, sommo le correnti entranti e le correnti uscenti con segno negativo. Eventualmente uso la legge di Ohm se conosco la tensione, distinguendo innanzitutto il polo negativo e quello positivo del bipolo considerato.

Se il circuito è formato da due blocchi a cascata, allora $A_{vTOT} = A_{v1} A_{v2}$.

...l'amplificazione di transresistenza $R_m = v_{out}/i_{in}$:

...la resistenza d'ingresso R_{in} e la resistenza d'uscita R_{out} :

R_{in} è la resistenza tra Source e Gate iniziale, per R_{out} bisogna fare attenzione. Distinguo due casi:

- In caso di nMOS a chiudere il circuito (come ultimo transistor), allora il generatore dipendente sarà orientato verso Source, ciò si può immaginare come l'aggiunta di una retroazione negativa, che influenza R_{out} nel seguente modo: $R_{out} = \frac{R_f}{1+g_m R_f}$ dove R_f è la resistenza tra Source e Drain.
- In caso di pMOS a chiudere il circuito, allora non ho retroazione negativa e $R_{out} = R_f$.

Si supponga che... Determinare l'amplificazione di tensione $A_v = v_{out}/v_s$ nelle condizioni descritte:

Dare una rappresentazione dello stadio in termini di amplificatore di tensione:

Supponendo che... Determinare la massima ampiezza di picco che può avere senza incorrere in limitazioni di linearità. Si assuma lo slew rate $|SR|$...

Determinare l'amplificazione di tensione di piccolo segnale nel dominio della frequenza

$$A_v(s) = V_{out}(s)/V_{in}(s):$$

I condensatori presenti nel circuito devono ora essere implementati nell'espressione di A_v calcolata in precedenza. Quello che ci interessa è la loro impedenza, che va a modificare l'impedenza delle resistenze che avevamo già considerato. In particolare l'impedenza di un condensatore si esprime come $Z_c = \frac{1}{sC}$ e si comporta esattamente come una resistenza, ponendosi in serie o in parallelo a quelle presenti già nei precedenti calcoli.

Bisogna ricordarsi che un condensatore in parallelo a una resistenza significa impedenza:

$$Z = \frac{R}{1+sCR}.$$
 Questa impedenza va sostituita alle R presenti nell'equazione di A_{v0} . Adesso

l'obiettivo diventa isolare i termini dipendenti da s in modo da avere una forma del tipo:

$$A_v(s) = A_{v0} H(s) \text{ con } H(s) = \frac{1+sX}{1+sY}.$$
 Il passaggio più frequente è quello di, dopo aver sostituito Z ,

eseguire il prodotto tra le due frazioni ottenute, a numeratore sarà evidente il numeratore di A_{v0} ,

a denominatore basterà raccogliere il denominatore di A_{v0} e si otterrà la forma desiderata. A

questo punto $s = \frac{1}{X}$ e $s = \frac{1}{Y}$ sono rispettivamente zeri e poli (eventualmente con molteplicità

pari all'esponente di s). Per trovare la frequenza alla quale questi si manifestano, applico la

$$\text{formula } f = |s| \frac{1}{2\pi}.$$

Tracciare i diagrammi di Bode del modulo e della fase di $A_v(s)$:

Modulo:

- inizio la curva da un valore in dB pari al guadagno A_{v0} .
- Ogni zero nell'origine aumenta la pendenza di 20 dB/dec, ogni polo nell'origine la diminuisce dello stesso valore.
- Ogni zero o polo incontrato ha lo stesso effetto di quelli nell'origine ma alla frequenza d'incontro.

Fase:

- Ogni zero nell'origine aggiunge 90 gradi, ogni polo nell'origine toglie 90 gradi. Se il guadagno A_{v0} è negativo 180 gradi dall'inizio.
- Incontrare poli negativi o zeri positivi fa perdere 90 gradi, 45 prima dell'incontro e 45 dopo. Incontrare poli positivi o zeri negativi fa guadagnare 90 gradi, 45 prima e 45 dopo.

Supponendo di collegare in cascata due stadi analoghi a quello riportato, determinare in condizioni di piccolo segnale...

Supponendo lo stadio accoppiato in AC ad una sorgente di segnale v_s , con resistenza interna R_s e la porta di uscita è accoppiata in AC ad un carico resistivo R_L , si valuti la tensione sul carico R_L in funzione di v_s :

Esercizio 2: Amplificatori Operazionali:

Trovare le espressioni delle tensioni in funzione degli ingressi e delle resistenze

La resistenza tra l'uscita di un Op.Amp. e il morsetto invertente è detta **resistenza di feedback**. La corrente di tale resistenza scorre sempre nel verso del morsetto invertente.

Negli esercizi per le tensioni, distinguiamo i seguenti casi noti:

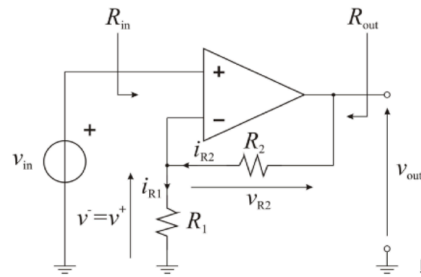
Amplificatore di tensione

$$\begin{cases} v_{out} = v^+ + v_{R2} \\ v_{R2} = i_{R2} R_2 = \frac{R_2}{R_1} v_{in} \end{cases} \Rightarrow v_{out} = v_{in} \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

$$- A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$- R_{in} \rightarrow \infty$$

$$- R_{out} = 0$$



AMPLIFICATORE DI CORRENTE

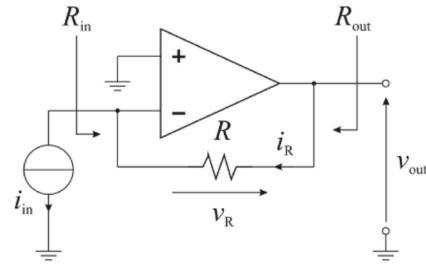
$$R_{in} = 0$$

$$R_{out} = \infty$$

Amplificatore di transresistenza

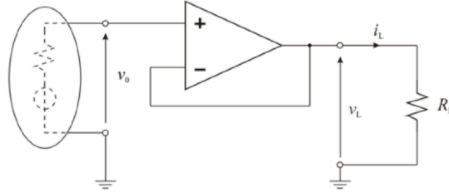
$$\begin{cases} v_{out} = v^+ + v_R = v_R \\ i_R = i_{in} - i^- \\ v_R = i_R R = R i_{in} \end{cases} \Rightarrow v_{out} = R i_{in}$$

- $R_m = R$
- $R_{in} = 0$
- $R_{out} = 0$



Inseguitore di tensione

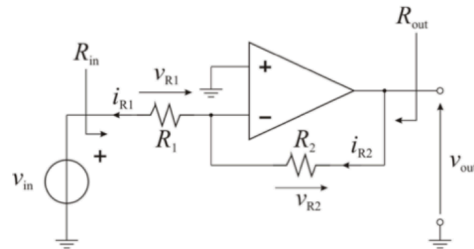
- $v_{out} = v_{in}$
- $R_{in} \rightarrow \infty$
- $R_{out} = 0$



Amplificatore invertente

$$\begin{cases} i_{R_2} = i_{R_1} \\ v_{R_2} = i_{R_2} R_2 = -\frac{v_{in}}{R_1} R_2 \end{cases} \Rightarrow v_{out} = -\frac{R_2}{R_1} v_{in}$$

- $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$
- $R_{in} = R_1$
- $R_{out} = 0$



I casi che presentano i diodi non escono mai. In caso di condensatori, per le prime domande viene sempre detto di considerarli come circuiti aperti o cortocircuiti. Se specificato "in continua" si intende circuito aperto al posto del condensatore.

Formule da sapere:

- Amplificatore di tensione: $v_{out} = v_{in} (1 + \frac{R_f}{R_{GND}})$ dove R_f è la resistenza di feedback
- Amplificatore di transresistenza: $v_{out} = i R_f$, eventualmente negativa se il generatore non è verso GND.

Casi particolari:

- Se ci sono generatori di tensione in più rispetto alla forma base (soprattutto nei modelli dove + è connesso a GND), allora quella tensione va sommata alla formula base per il calcolo di v_{out} .
- Se ci sono due tensioni v_1 e v_2 che passano attraverso due resistenze R_1 e R_2 , e confluiscono in un morsetto di un Op.Amp., allora la formula per la tensione risultante è:

$$v = \frac{R_2 v_1 + R_1 v_2}{R_1 + R_2} \text{ per il teorema di Millman. Fare attenzione anche alle tensioni nulle del}$$

GND perché influiscono sul denominatore (la resistenza per la quale passano rimane a denominatore).

- Se ci troviamo in un amplificatore di tensione e il generatore di tensione è connesso tramite una resistenza R_x a un nodo, connesso a sua volta a una resistenza R_y , allora la

formula diventa
$$v_{out} = v_{in} \frac{R_y}{R_x + R_y} \left(1 + \frac{R_f}{R_{GND}}\right)$$

- Può capitare di trovarsi in un amplificatore di transresistenza ma al posto del generatore di corrente si ha una tensione attraverso una resistenza. A quel punto uso la legge di ohm per ricavare la corrente e il verso della tensione sarebbe quello del generatore di corrente (dal quale dipende il segno da utilizzare nella formula)
- Se ci sono x tensioni che passano attraverso x resistenze, allora la formula per la

tensione risultante è:
$$v = \frac{\frac{v_1}{R_1} + \dots + \frac{v_x}{R_x}}{\frac{1}{R_1} + \dots + \frac{1}{R_x}}$$
. Fare attenzione anche alle tensioni nulle del GND

perché influiscono sul denominatore (la resistenza per la quale passano rimane a denominatore).

Trovare le espressioni delle correnti in funzione degli ingressi e delle resistenze

L'espressione di i_{out} è sempre del tipo $\frac{v_{out} - v_x}{\sum R_x}$ con v_x tensione aggiuntiva derivante da qualche

altro op amp o generatore che non dipende dall'op amp in questione, e R_x sono le resistenze tramite le quali questa tensione passa per giungere al nodo dove stiamo valutando i_{out} .

Qui tornano **utili i casi con i diodi, dove i diodi sono delle resistenze (da ignorare)**.

Formule da sapere:

- Amplificatore di transconduttanza: $i_{out} = \frac{v_{out}}{R_{GND}}$
- Amplificatore di corrente: $i_{out} = i_{in} \left(1 + \frac{R_f}{R_{GND}}\right)$

Casi particolari:

- Eventuali generatori di corrente si sommano o sottraggono al totale rispettivamente se sono verso GND o verso il morsetto -.
- Eventuali generatori di tensione si sommano al totale sempre divisi per le resistenze attraverso le quali passano.
- Se l'op amp termina il circuito, $i_{out} = 0$

Strategia alternativa: distinguiamo due casi:

- Se c'è una v_{out} allora i_{out} la calcolo come somma di $\frac{v_{out} - v_x}{\sum R_x}$ tenendo conto di tutti i rami che arrivano a quel nodo.
- Se non c'è una v_{out} allora ci troviamo in uno dei casi particolari o nelle formule da sapere (casi con i diodi).

Calcolare la minima dinamica della tensione/corrente d'uscita di OP, compatibile con i segnali in ingresso assegnati:

Domanda molto semplice, vengono fornite le dinamiche degli ingressi nel testo, sostituendo tali valori nelle espressioni ricavate precedentemente, combinando il positivo e il negativo in modo da ottenere il massimo valore possibile, si ottiene un numero del quale ci interessa sia il valore positivo sia quello negativo, questi due estremi sono gli estremi della dinamica cercata.

Determinare l'intervallo di valori che può assumere la v_{out} quando tutti i generatori sono spenti, assumendo che tutti gli operazionali presentino input offset voltage (max.) pari a ...

Si elimina tutto quello che c'è al morsetto non invertente di tutti gli op amp, si mette un generatore di tensione pari all'input offset voltage e si ricalcolano le v_{out} con queste condizioni. Sostituiamo il valore di v_{off} nelle espressioni trovate, ponendo tutti i termini **sotto modulo** e ricaviamo un valore di tensione che rappresenta gli estremi (positivo e negativo) della dinamica ricercata.

L'espressione della funzione di trasferimento $A_v = \frac{v_{out}}{v_1}$, disegnandone i diagrammi di Bode del modulo e della fase:

Esattamente come nel caso dell'esercizio dei transistors.

Parte di Misure

Cosa studiare per i quiz:

- Oscilloscopio digitale
- Voltmetro basato su integratore a doppia rampa
- Metodo voltamperometrico

Cosa ricordare per i quiz:

- Voltmetro con tabella incertezze: scelgo il fondoscala più vicino per eccesso, se c'è la risoluzione la formula è $\pm (x\% \cdot misurazione + y \cdot risoluzione)$, altrimenti è $\pm (x\% \cdot misurazione + y\% \cdot fondoscala)$.
- Calcolo incertezza su argomento casuale: il testo riporta il calcolo di qualche misura attraverso altre misure con incertezze. Dopo aver calcolato l'incognita utilizzando una formula che dipende dall'argomento trattato, calcolo l'incertezza sapendo che è pari alla **somma delle derivate parziali della formula rispetto alle variabili in gioco**,

moltiplicate ognuna per l'incertezza della variabile considerata, e sfruttando le seguenti regole particolari:

- Somma $y = f(a, b) = a \pm b \implies \delta y = \delta a + \delta b$
- Prodotto $y = f(a, b) = a \cdot b$ oppure $\frac{a}{b} \implies \frac{\delta y}{y} = \left| \frac{\delta a}{a} \right| + \left| \frac{\delta b}{b} \right|$
- Potenza $y = f(a) = a^n \implies \frac{\delta y}{y} = n \cdot \left| \frac{\delta a}{a} \right|$
- Radice $y = f(a) = \sqrt[n]{a} \implies \frac{\delta y}{y} = \frac{1}{n} \cdot \left| \frac{\delta a}{a} \right|$

Bisogna ricordare che queste formule ricavano l'incertezza relativa, ovvero il rapporto tra l'incertezza assoluta e il valore nominale.

Attenzione: l'incertezza deve sempre avere solo due cifre significative

- Oscilloscopio real time, formule da ricordare: $T = \text{taratura} \cdot \text{divisioni orizzontali}$,
 $f = \frac{\text{profondità di memoria}}{T}$.

$$\Delta T = T_c = \frac{\text{taratura} \cdot \text{divisioni orizzontali}}{\text{profondità di memoria}}$$

Esercizio

Calcolare valore nominale e incertezza di una certa misura: per qualche motivo si può sempre trascurare l'effetto delle cose che darebbero fastidio :\

Le formule da utilizzare per legare i dati con la variabile richiesta o sono date o sono note.

Riporto alcune formule ricorrenti:

- Resistenza: $R_x = \frac{v_x}{i_x}$
- Potenza (eventualmente dissipata dalla resistenza R_x): $P_x = v_x \cdot i_x$

Poi procedo col calcolo del valore nominale e dell'incertezza.

Tempo di salita: negli esercizi sul tempo di salita viene richiesto quello relativo al segnale.

Innanzitutto bisogna calcolare valore nominale e incertezza di quello dell'oscilloscopio:

$$t_{sm} = L_{ts} \cdot K_x$$

Viene sempre trascurato l'effetto di carico dovuto alla banda limitata dell'oscilloscopio, dunque

la formula per il tempo di salita del segnale diventa: $t_x = \sqrt{t_{sm}^2 - t_{sIN}^2}$

dove: $t_{sIN} = 0.35 \cdot 2\pi \cdot R_{eq} \cdot C_{eq}$, dove $R_{eq} = R_G // R_{IN}$ e $C_{eq} = C_d + C_{IN}$.

Di solito C_d la trovo usando la capacità distribuita e la lunghezza del cavo: $C_d = C' \cdot l$

Applicando questa formula otteniamo il valore nominale del tempo di salita del segnale.

Per valutare l'incertezza ovviamente tengo conto solo delle variabili con incertezza non trascurabile:

$$\delta t_x = \frac{1}{t_x} (L_{ts} K_x^2 \delta L_{ts} + K_x L_{ts}^2 \delta K_x + (0.35 \cdot 2\pi \cdot R_{eq})^2 C_{eq} \delta C_{eq})$$

Interruttore: sono esercizi in cui un interruttore posto al morsetto invertente di un op amp fa in modo che si possa calcolare la tensione di offset, in modo da sommarla al calcolo della tensione ricercata per risolvere il problema. Bisogna utilizzare le regole degli Op Amp. Di solito le posizioni possibili dell'interruttore sono 2, in caso fossero 3 significa che una è per V_{ref} , tensione che ci serve per calcolare il guadagno dell'amplificatore, da moltiplicare alla tensione da ricercare nel problema:

Esempio: Vengono forniti i valori di $V_{out1,2,3}$ e V_{ref} . Interruttore a GND su 1, a V_{ref} su 2 e alla componente di interesse (V_s) su 3. Allora avrò $A_v = \frac{V_{out2} - V_{off}}{V_{ref}}$ e $V_s = V_{out3} \cdot A_v + V_{off}$

MINIMIZZARE ERRORE DI CONSUMO RELATIVO NEL CALCOLO DI R_x

→ VOLTMETRO A MONTE $\frac{\Delta R}{R_x} = \frac{R_A}{R_x}$

R_A = resint. interna AMPEROMETRO

→ VOLTMETRO A VALLE $\frac{\Delta R}{R_x} = -\frac{R_x}{R_x + R_v}$

R_v = resint. ingresso VOLTMETRO