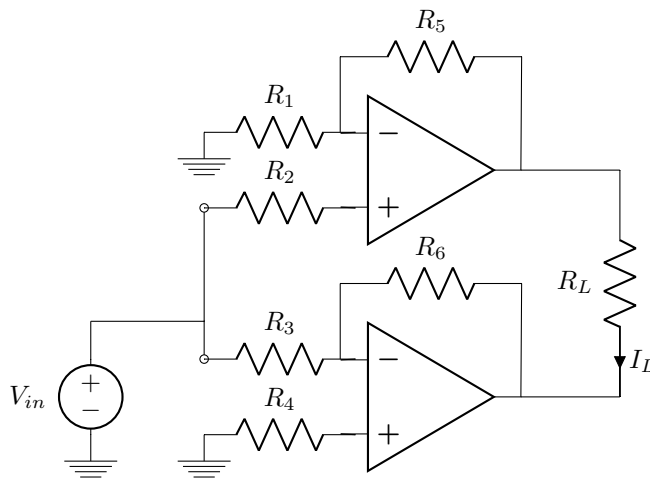


Esercizi Elettronica

1 Esercizio: 2 Amplificatori Operazionali



Ho due amplificatori operazionali ideali, cioè A_1 e A_2 sono ∞ .

La tensione di ingresso $V_{in} = 2V$

Amplificatore operazionale ideale $L^+ = |L^-| = 12V$

$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 4K\Omega$

$R_5 = 2K\Omega$

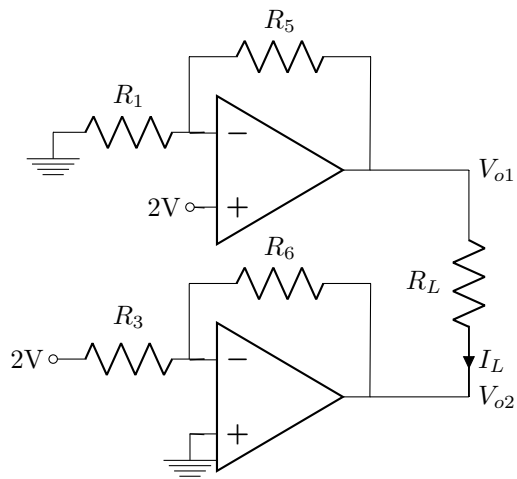
$R_6 = 12K\Omega$

$R_L = 6K\Omega$

Bisogna trovare la corrente I_L

Qualche resistenza si può tagliare; la corrente che scorre su R_2 è **nulla** il potenziale è $2V$ e non ha effetto sul potenziale di uscita e quindi si può tagliare la resistenza.

Lo stesso vale per R_4 , dove **non** scorre corrente e la caduta di potenziale è $0V$.



Ha una **configurazione non invertente** ed una **configurazione invertente**.

I_L è data la differenza di potenziale ai capi della resistenza R_L .

Da una parte ho V_{o1} e V_{o2}

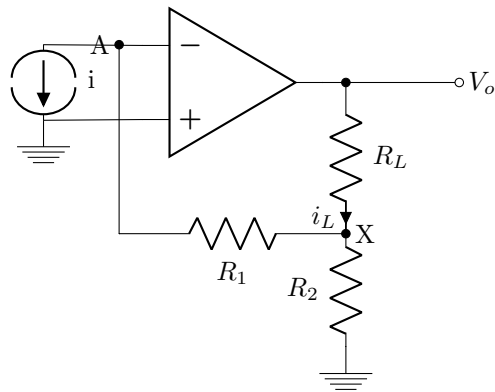
$$I_L = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{R_L} \text{ perchè la corrente passa da + a -}$$

V_{o1} = ingresso A_1 x funzione di trasferimento della configurazione non invertente =
 $V_{in} \left(1 + \frac{R_5}{R_1}\right) = 3V$

$$V_{o2} = V_{in} \left(-\frac{R_6}{R_3}\right) = -6V$$

$$I_L = \frac{V_{o1} - V_{o2}}{R_L} = 1.5mA$$

2 Esercizio: Amplificatore Operazionale



$$\begin{aligned}
i &= 1\text{mA} \\
R_1 &= 6K\Omega \\
R_2 &= 2K\Omega \\
L^+ &= |L^-| = 12V
\end{aligned}$$

Trovare la corrente i_L che scorre su R_L nei casi

- a) $R_L = 1K\Omega$
- b) $R_L = 2K\Omega$

Consideriamo di avere un amplificatore ideale e dato che l'impedenza di ingresso nell'amplificatore ideale è ∞ non scorre corrente.

La corrente che arriva nel nodo A è la **stessa** del nodo X, ciò implica che la caduta di potenziale su R_1 è $V_1 = R_1 i = 6V$; avrò 6V anche su X.

$$i_L = i + \frac{V_x}{R_2} = 4mA$$

La corrente che scorre su R_L è **indipendente** da R_L stessa, questo perchè qualsiasi sia la configurazione associata all'amplificatore operativo ideale, l'impedenza di uscita è sempre uguale a **zero**.

Avendo quindi ipotizzato di avere un **cortocircuito virtuale** devo calcolare V_o per vedere se il valore è compreso nella dinamica.

$$V_o = i_L R_L + V_x \text{ perchè per la legge di ohm}$$

$$\frac{V_o - V_x}{R_L} = i_L$$

Per $R_L = 1K\Omega \rightarrow V_o = 10V$ OK

per $R_L = 2K\Omega \rightarrow V_o = 14V$ NO perchè amplificatore satura, bisogna ricominciare e non considerare più il cortocircuito virtuale.

Per il caso b) non considero un cortocircuito virtuale ma avrò che dato che la massima ampiezza deve essere pari a 12 V, avrò che $V_o = 12V$.

L'impedenza di ingresso sarà sempre pari ∞ dato che si tratta sempre di un amplificatore ideale, e quindi sarà sempre 6V la tensione su R_1 , inoltre avremo che la corrente $i_L = i + \frac{V_x}{R_2}$

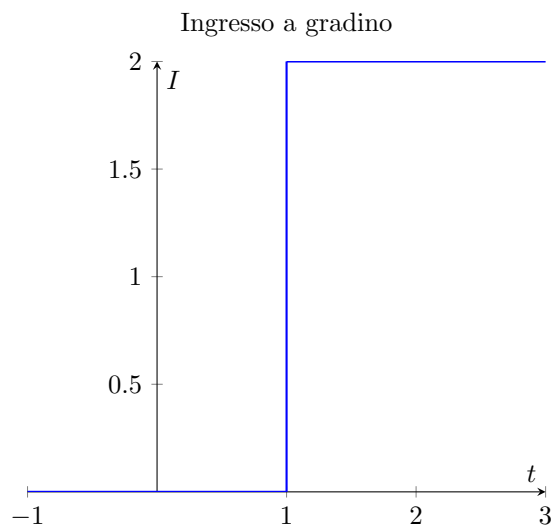
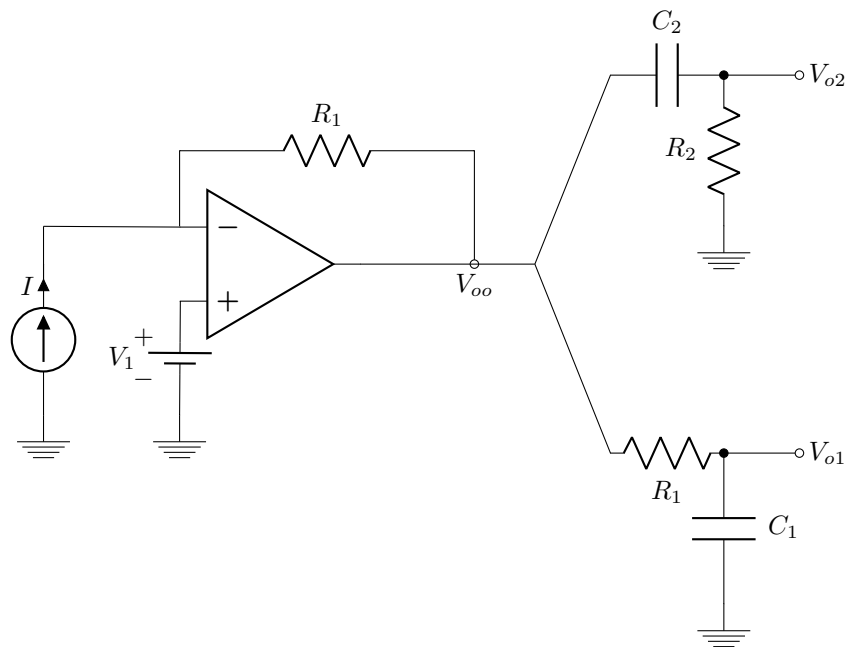
Però non so la tensione su X

$$\text{Sapendo che } i_L = \frac{V_o - V_x}{R_L}$$

$$V_x = i_2 R_2 = (i_L - i) R_2 = \left(\frac{V_o - V_x}{R_L} - i \right) R_2 = \frac{V_o R_2 - R_2 R_L}{R_L + R_2} = 5V$$

$$i_L = \frac{V_o - V_x}{R_L} = 3.5mA$$

3 Esercizio: Amplificatore operazionale

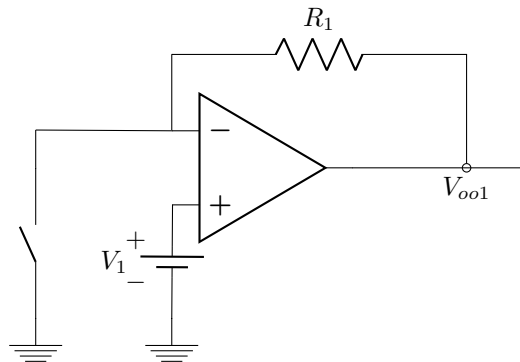


$$R_1 = 3K\Omega$$

$$V_1 = 2V$$

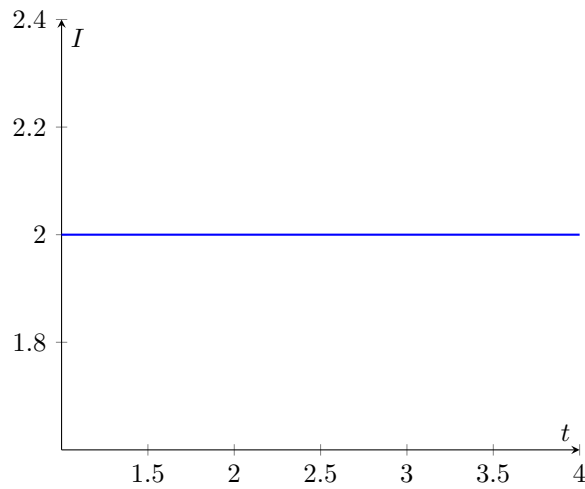
Calcolo prima V_{oo} , ma devo considerare l'effetto dei singoli generatori (V_{oo1} e V_{oo2}) per poi sommarli per ottenere V_{oo} .

Annullo $I=0$, mettendo un **cirtcuito aperto** per studiare effetto dovuto alla batteria V_1 .

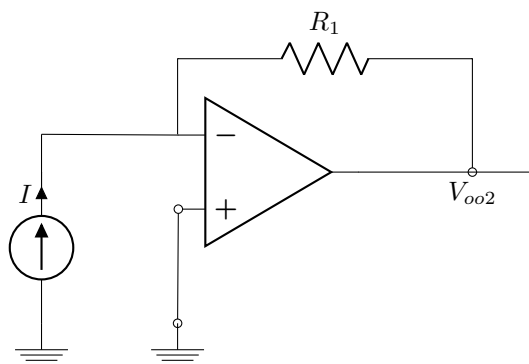


$$V_{oo1} = V_1 = 2V$$

Transcaratteristica V_{oo1}



Annullo la batteria, mettendo $V_1 = 0$, **cortocircuito**



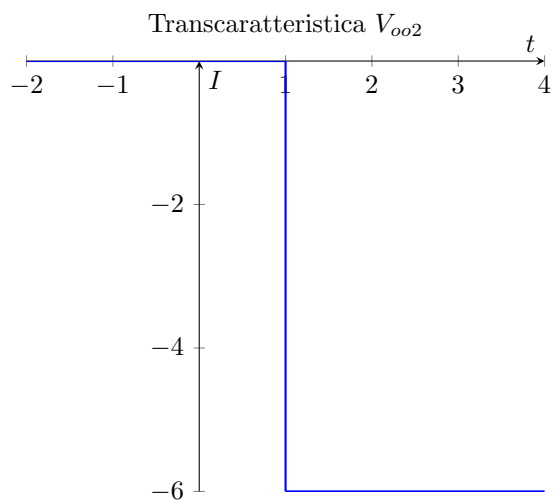
per la legge di ohm

$$V^- - V_{oo2} = IR_1 \rightarrow V_{oo2} = -IR_1$$

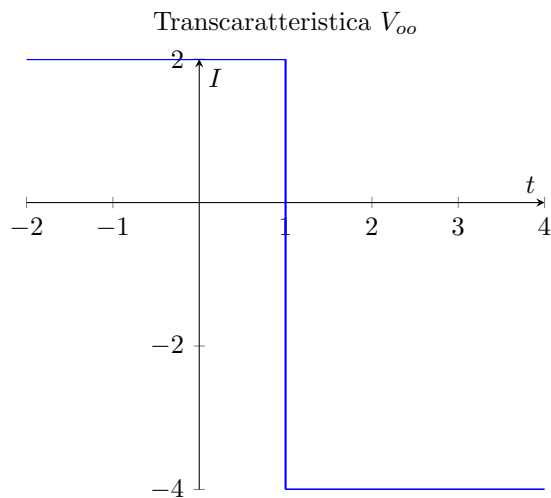
Per $t < 1 \rightarrow V_{oo2} = 0V$

Per $t = 1^+ \rightarrow V_{oo2} = -6V$

Per $t > 1 \rightarrow V_{oo2} = -6V$



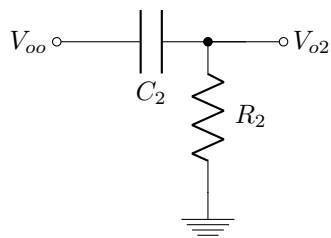
Dato che $V_{oo} = V_{oo1} + V_{oo2}$



i valori di 2V e -4V sono inclusi nei limiti

Ora devo trovare V_{o2} e V_{o1}

Considero prima il circuito sopra per calcolare V_{o2}



Circuito si comporta come un **passa-alto**

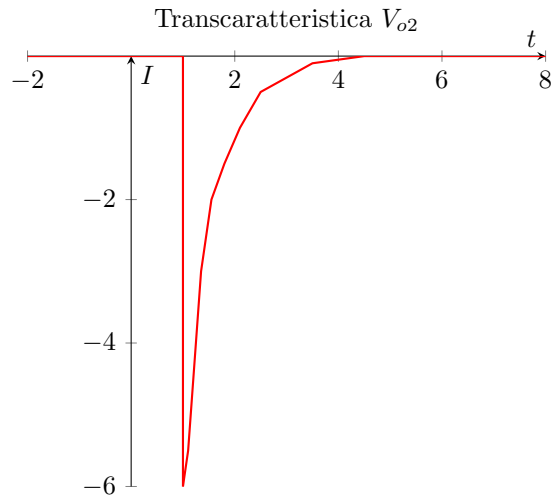
Se $\omega = 0$ e $Z_c = \infty \rightarrow$ il condensatore viene considerato come un **circuito aperto**

Se $\omega = \infty$ e $Z_c = 0 \rightarrow$ il condensatore viene considerato come un **cortocircuito**

Nel periodo in cui la tensione è 2V e rimane costante per $t = 1^-$ si avrà una tensione di uscita 0V

Quando $t > 1$ la tensione in ingresso risulta essere di -4 V ma quella sul condensatore è pari a zero dato che per un tempo relativamente alto, ω rende a zero, quindi il condensatore si comporta come un circuito aperto dove non passa corrente, cioè vuol dire che si sta ma mano scaricando fino a tornare a 0V.

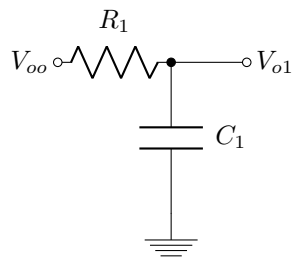
Invece per $t = 1^+$ la tensione sul condensatore è pari al salto che si va a fare su V_{oo} , cioè $-6V$.



$R_{eq} = R_2$ perchè per l'amplificatore ideale $R_o = 0$ e dato che li ho solo la resistenza R_2

$$\tau = R_{eq}C = 0.5ms$$

Per trovare V_{o1} considero l'altra parte del circuito



Circuito si comporta come un **passa-basso**

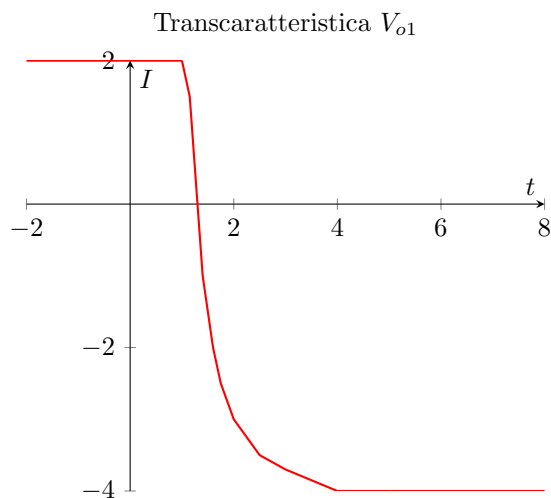
Se $\omega = 0$ e $Z_c = \infty \rightarrow$ il condensatore viene considerato come un **circuito aperto**

Se $\omega = \infty$ e $Z_c = 0 \rightarrow$ il condensatore viene considerato come un **cortocircuito**

Nel periodo in cui la tensione è $2V$ e rimane costante per $t = 1^-$ si avrà una tensione di uscita $2V$

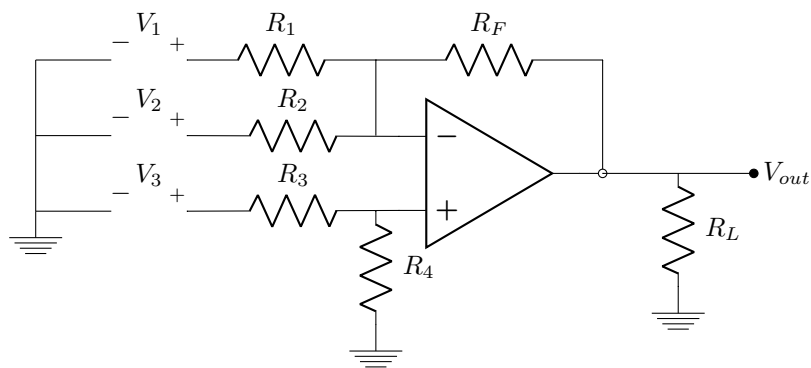
Quando $t > 1$ la tensione in ingresso risulta essere di -4 V quella del condensatore sarà di -4V.

Invece per $t = 1^+$ il condensatore si sta caricando fino ad arrivare poi verso -4V.



τ è la costante di tempo, quindi sarà la stessa.

4 Esercizio: Sommatore Pesato Invertente



Trovare R_1, R_2, R_3 in modo tale che $V_{out} = 3V_3 - 4V_2 - 3V_1$, considero amplificatore ideale

$$R_F = 12K\Omega$$

$$R_4 = 3K\Omega$$

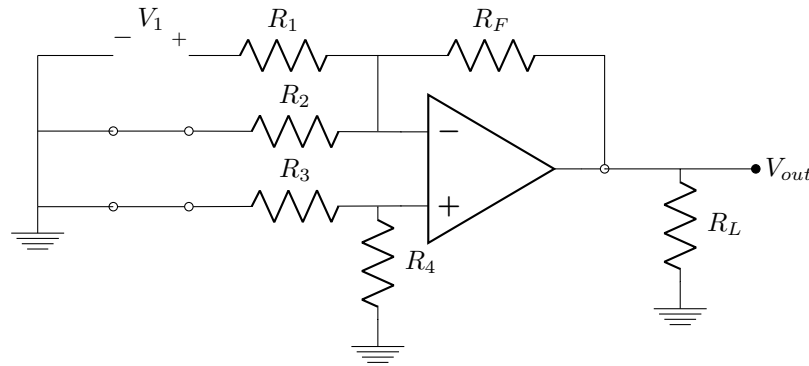
$$R_L = 1K\Omega$$

Noto che si tratta di **controreazione negativa** perchè il *feedback* va sul morsetto "meno" dell'amplificatore.

Inoltre, V_1, V_2 sono connessi al morsetto -, invece V_3 è connesso al morsetto +.

Applico il principio di sovrapposizione degli effetti per vedere come incidono le singole tensioni, annullando le altre.

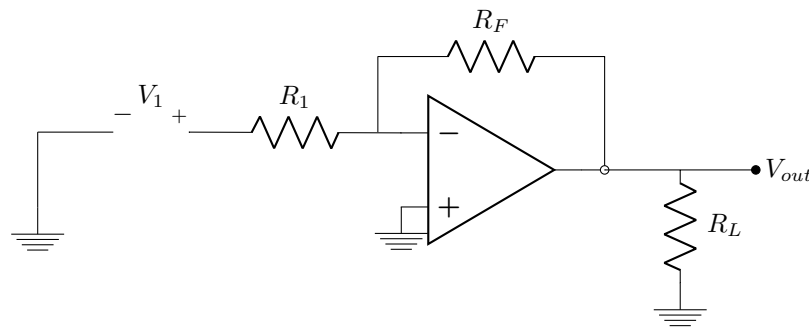
Studio effetto di V_1 , annullo V_2 e V_3 , cioè metto un **cortocircuito**



Tra R_3 e R_4 non ci sta nessuna differenza di potenziale e quindi nessuna corrente.

La corrente su R_2 è zero perchè ho 0V a sx ed a dx ho il cortocircuito virtuale con 0V.

$$\text{Ho solo } I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

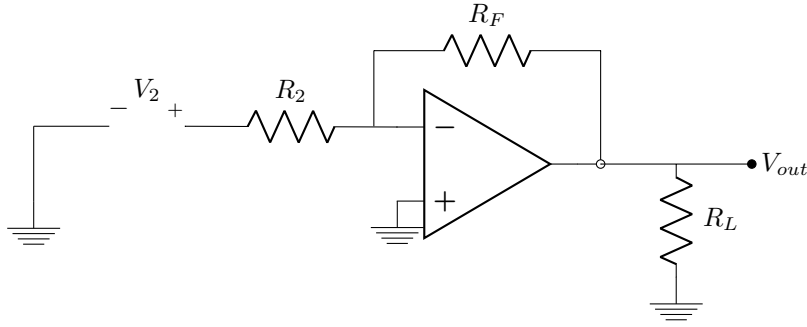


Ho una **configurazione invertente** quindi

$$V_{out} = V_1 - \frac{R_F}{R_1}$$

Dato che devo avere $-2V_1 \rightarrow \frac{R_F}{R_1} = 2 \rightarrow R_1 = 6K\Omega$

Studio effetto di V_2 , annullo V_1 e V_2 , cioè metto un **cortocircuito**

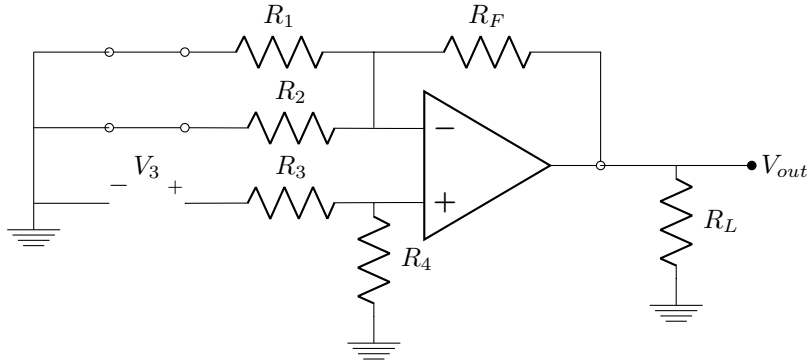


Ho una **configurazione invertente** quindi

$$V_{out} = V_2 - \frac{R_F}{R_2}$$

Dato che devo avere $-4V_2 \rightarrow \frac{R_F}{R_2} = 4 \rightarrow R_2 = 3K\Omega$

Studio effetto di V_3 , annullo V_1 e V_2 , cioè metto un **cortocircuito**



Ho una **configurazione non invertente** quindi

$$V_{out} = V^+ \left(1 + \frac{R_F}{R_2 // R_1}\right)$$

Dalla legge di Ohm la corrente che scorre su R_3 è la stessa che scorre su R_4

$$\frac{V_3 - V^+}{R_3} = \frac{V^+ - 0}{R_4} = V_3 R_4 - V^+ R_4 = V^+ R_3$$

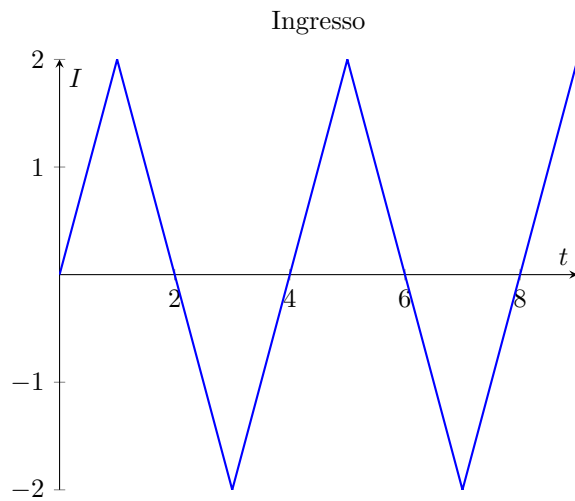
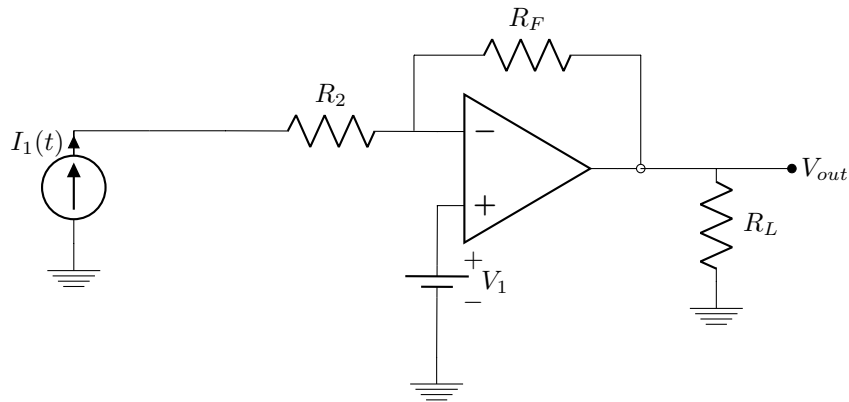
$$\rightarrow V^+ = \frac{V_3 R_4}{R_3 + R_4}$$

$$V_{out} = \frac{V_3 R_4}{R_3 + R_4} \left(1 + \frac{R_F}{\frac{R_2 R_1}{R_2 + R_1}}\right)$$

$$\frac{21}{R_3+3} = 3$$

$$R_3 = 4K\Omega$$

5 Esercizio: Amplificatore operazionale



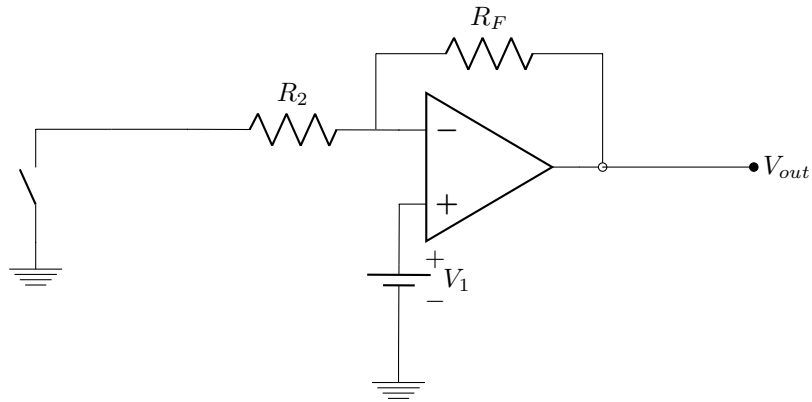
Raffigurare la tensione in uscita nel tempo

$$V_1 = 4V$$

→ Applico la sovrapposizione degli effetti

Effetto in uscita V_1 , annullo $I_1 \rightarrow$ **circuito aperto**

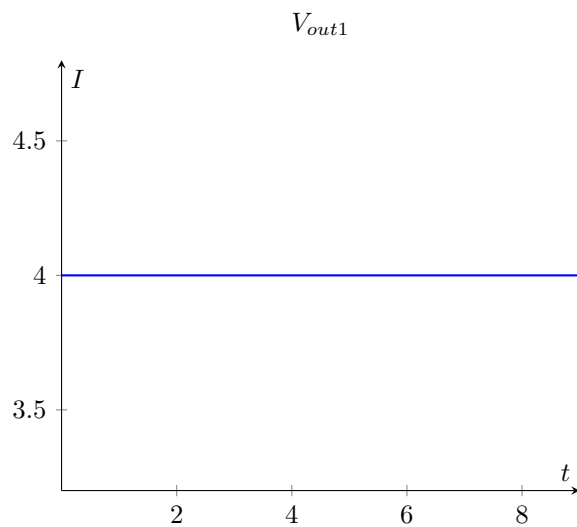
R_L non serve essendo $R_{out} = 0$



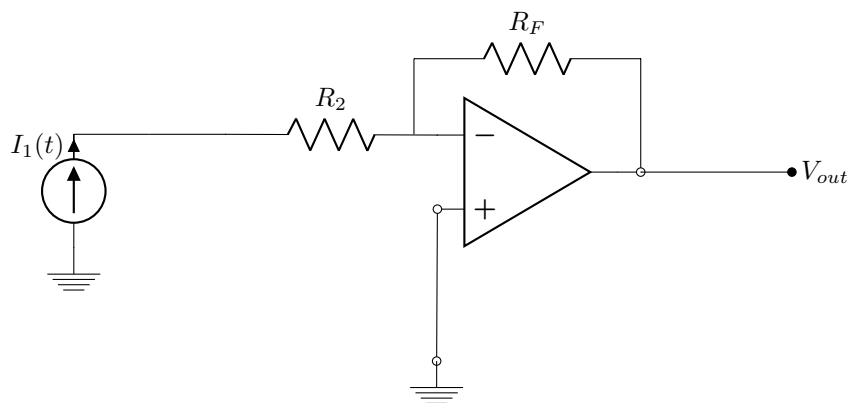
Notiamo che la configurazione è **non invertente**

$$A = 1 + \frac{R_1}{\infty} = 1$$

$$\rightarrow V_{out} = V_1$$



Effetto I_1 , annullo V_1 mettendo un **cortocircuito**

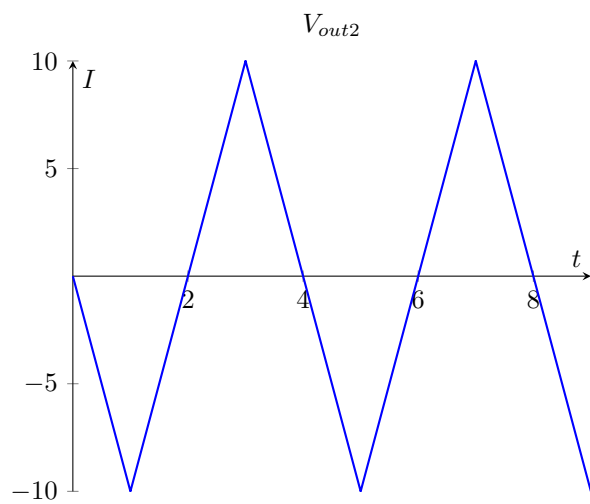


Configurazione **invertente**

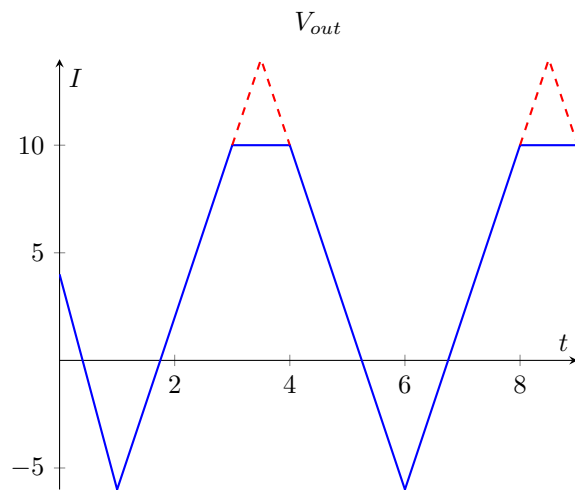
$$V_{out2} = 0 - I_1 R_1$$

$$\text{Se } I_1 = 2 \rightarrow V_{out2} = -10V$$

$$\text{Se } I_1 = -2 \rightarrow V_{out2} = 10V$$

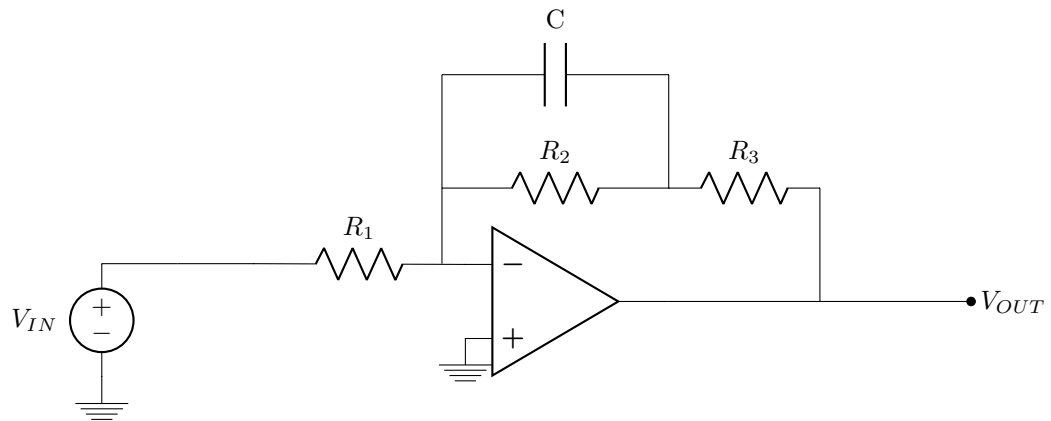


Sapendo che $L^+ = |L^-| = 10V \rightarrow$ vincolo



Notiamo che non arriverò **mai** a 14V perchè ho un massimo di 10V
L'amplificatore a 6V satura, cioè dopo aver sommato 6V ai 4V iniziali.

6 Esercizio: Amplificatore Operazionale + Condensatore



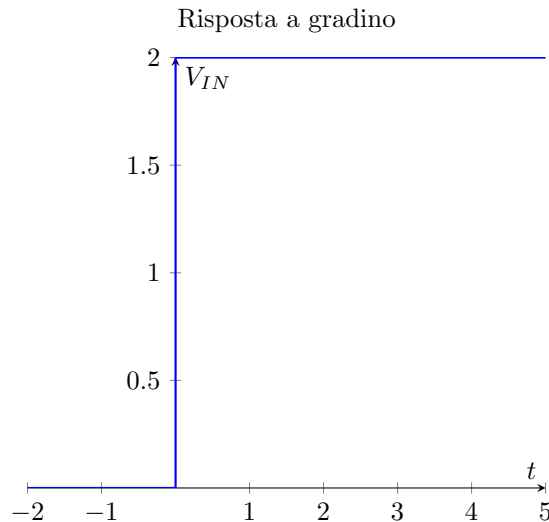
$$L^+ = |L^-| = 10V$$

$$R_1 = R_3 = 100K\Omega$$

$$R_2 = 200K\Omega$$

$$C = 10nF$$

Calcolare l'andamento nel tempo della tensione di uscita in risposta ad un gradino ideale di ampiezza 2V applicato al tempo $t=0$.



Notiamo subito dal circuito che si tratta di una **configurazione invertente**, questo fa subito capire che si avrà un *guadagno negativo*.

$A = -\frac{R_2}{R_1} \rightarrow$ dove R_2 comprende le resistenze R_2, R_3 e il condensatore C.

Prima di tutto considero l'amplificatore operazionale come ideale, quindi assumo che sia *valido* il **cortocircuito virtuale** $\rightarrow V^+ = V^-$

Per $t < 0$

La tensione di ingresso V_{IN} è costante, il condensatore è fermo, il circuito è stabile; avremo un'uscita fissa.

$V_{IN} = 0 \rightarrow$ non scorre corrente I perchè sia il morsetto - che la tensione di ingresso sono 0V.

La stessa corrente I scorre sulla parte controreazionata, ma se la corrente $=0$ non avrò la caduta di potenziale né su R_2 né su $R_3 \rightarrow V_{OUT} = 0$.

Inoltre $V_c = 0$ essendo il condensatore scarico, dato che dipende dalla tensione che arriva su V^- .

Per $t = \infty$

Il condensatore si comporterà come un **circuito aperto** perchè per $t=\infty$ ho che $\omega = 0$, quindi l'impedenza del condensatore sarà infinita.

$$V_{IN} = 2V \rightarrow \text{la corrente che scorre è pari a } I = \frac{V_{IN} - V^-}{R_1} = \frac{V_{IN}}{R_1} = 0.02mA$$

Questo perchè $V^- = 0$ dato che per il cortocircuito virtuale $V^- = V^+$ e $V^+ = 0$ a causa del fatto che è messo a massa.

Questa corrente scorre sulle due resistenze R_2 e R_3 dato che il condensatore è considerato come un circuito aperto, quindi di lì la corrente non passa.

$V^- = 0V$ a causa del cortocircuito virtuale

Per la 2 legge di Kirchoff

$$V^- - V_{OUT} = (R_2 + R_3)I = 0 - V_{OUT} = (R_2 + R_3)I$$

$$V_{OUT} = -(R_2 + R_3)I = -(R_2 + R_3)\frac{V_{IN}}{R_1} = -6V$$

Per quando riguarda la tensione sul condensatore, esso avrà la stessa tensione che avrà R_2 essendo il condensatore in parallelo con R_2

$$V^- - V_c = R_2 I = R_2 \frac{V_{IN}}{R_3}$$

$$V_c = -R_2 \frac{V_{IN}}{R_3} = -4V$$

Per $t = 0^+$

Il condensatore si comporta come un **cortocircuito** perchè $Z_c = 0$ essendo $\omega = \infty$ perchè $t=0$

$V_c = 0V$ dato che a $t = 0^-$ avevo $V_c = 0$ e la tensione sul condensatore **non** varia istantaneamente.

$$V_{IN} = 2V \rightarrow I = \frac{V_{IN} - V^-}{R_1} = \frac{V_{IN}}{R_1}$$

La corrente che scorre su R_3 è la stessa che vi è su R_1

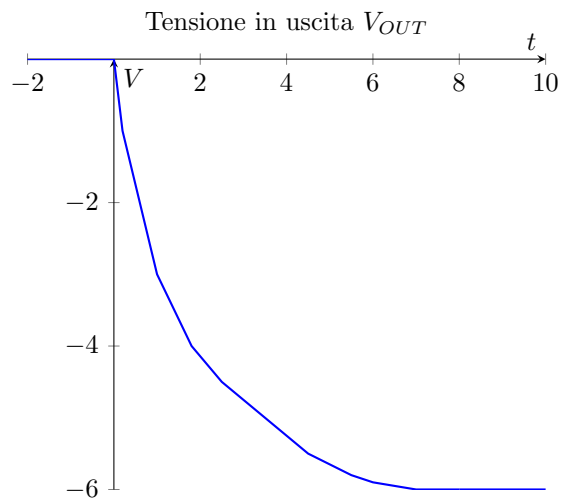
$V_c - V_{OUT} = IR_3$, infatti la corrente che entrà è uguale quella che esce

Dato che vi è un cortocircuito $V_c = 0$, quindi dato che il condensatore e la resistenza R_2 sono in parallelo, cioè avranno la stessa tensione, non scorrerà corrente su R_2 .

$$V_{OUT} = -IR_3 = -2V$$

Per $t > 0$

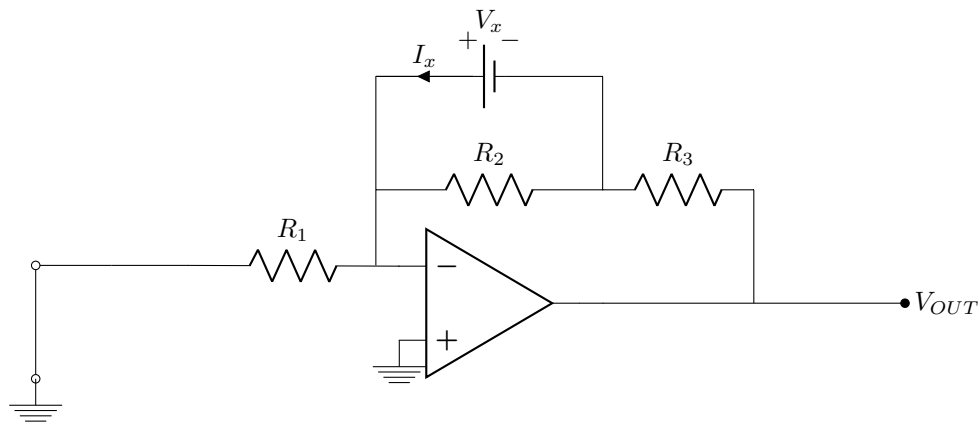
Il condensatore si caricherà andando a seguire l'andamento esponenziale, questo perchè ho un solo elemento reattivo (condensatore).



Quanto tempo ci mette la tensione per stabilizzarsi?

Calcolare τ , per stabilizzarsi ci voglio circa 5τ

Metto a zero tutti i generatori per poi inserire un generatore di prova V_x al posto del condensatore.



Notiamo che la corrente I_x scorre solo sulla resistenza R_2 perchè come visto prima la corrente che scorre su R_1 è la stessa che scorre su R_3 , che però risulta essere 0 avendo messo a massa il generatore V_{IN} .

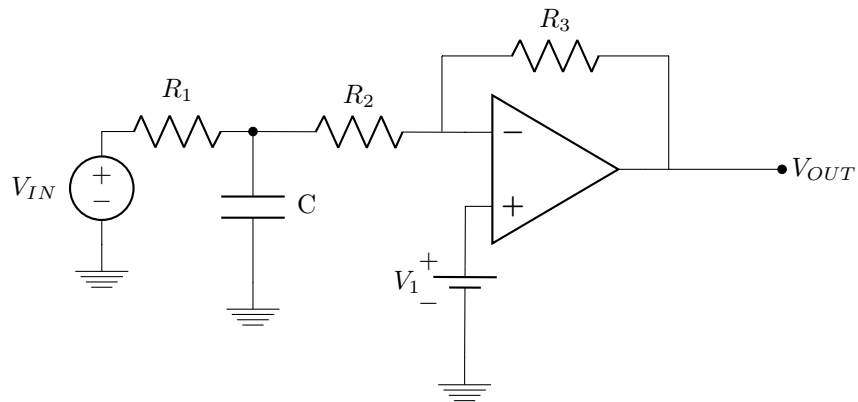
$$R_{eq} = R_2$$

$$\tau = CR_{eq} = CR_2 = 2ms$$

$$5\tau = 10ms$$

$V_c = V_\infty - (V_\infty - V_o)e^{-\frac{t-t_o}{\tau}} = -4V - (-4V - 0)e^{-\frac{t}{2ms}} = -4 + 4e^{-\frac{t}{2ms}}$
 che corrisponde all' andamento della tensione del condensatore al variare del tempo.

7 Esercizio: Amplificatore Operazionale



$$L^+ = |L^-| = 20V$$

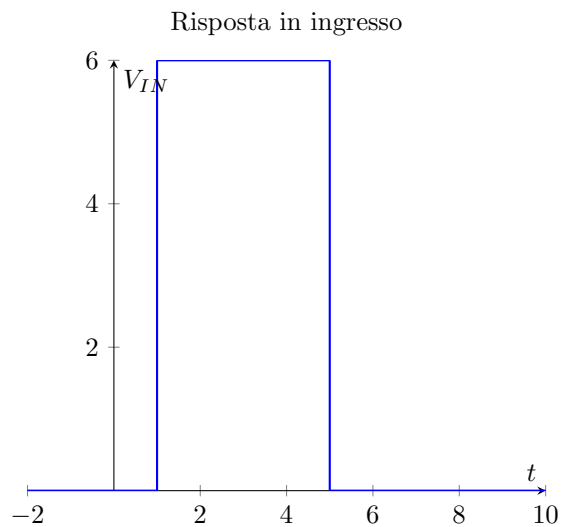
$$V_1 = 2V$$

$$R_1 = 2K\Omega$$

$$R_2 = 4K\Omega$$

$$R_3 = 12K\Omega$$

$$C=10nF$$

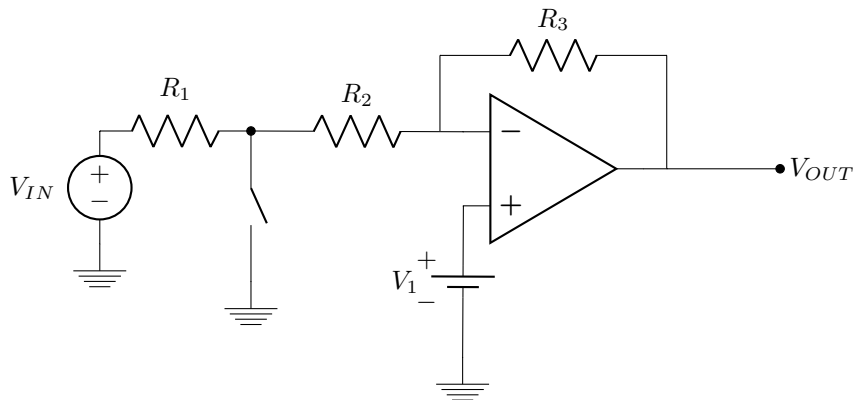


La risoluzione può essere fatta con il teorema della sovrapposizione degli effetti.

Ma faremo senza

$$t < 1ms$$

Condensatore si comporta come un circuito aperto



$$V_{IN} - V^- = I(R_1 + R_2) \rightarrow I = \frac{V_{IN} - V^-}{R_1 + R_2}$$

$V^+ = V^-$ perchè amplificatore operazionale ideale, ho un cortocircuito virtuale

$$V^- = V^+ = V_1 = 2V$$

$$V_{IN} = 0$$

La corrente che scorre su R_3 è la stessa che scorre all'ingresso

$$V^- - V_{OUT} = IR_3 = R_3 \frac{V_{IN} - V^-}{R_1 + R_2} = -4V$$

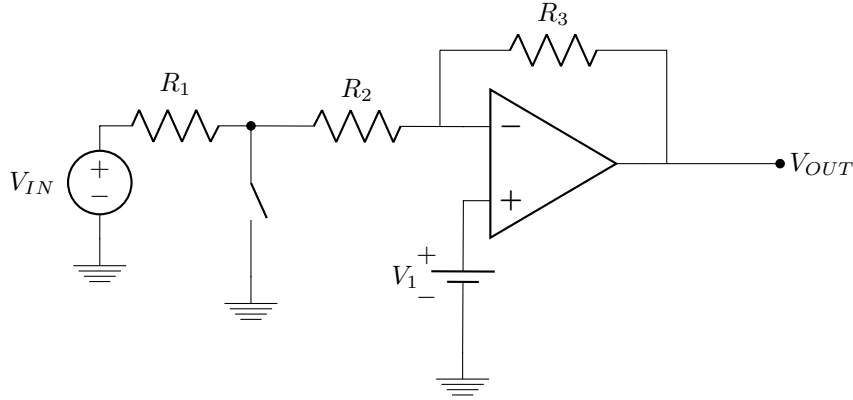
$$V_{OUT} = 4V + 2V = 6V$$

La tensione sul condensatore V_c

$$V_{IN} - V_c = IR_1 \rightarrow V_c = -\frac{V_{IN} - V^-}{R_1 + R_2} R_1$$

$$t = 5^-$$

Il condensatore sempre considerato un circuito aperto essendo la tensione sempre costante ma stavolta a 6V



$$V_{IN} = 6V$$

$$I = \frac{V_{IN} - V^-}{R_1 + R_2}$$

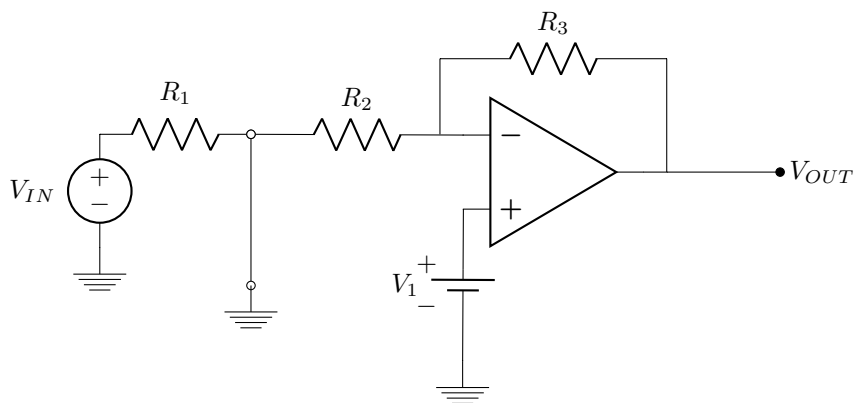
$$V^- - V_{OUT} = IR_3 = \frac{V_{IN} - V^-}{R_1 + R_2} R_3 = 8V \rightarrow V_{OUT} = -6V$$

$$V_{IN} - V_c = IR_1 \rightarrow V_c = -IR_1 + V_{IN} = \frac{14}{3}V$$

$$t = 1^+$$

$$V_{IN} = 6V$$

Il condensatore è considerato come un cortocircuito

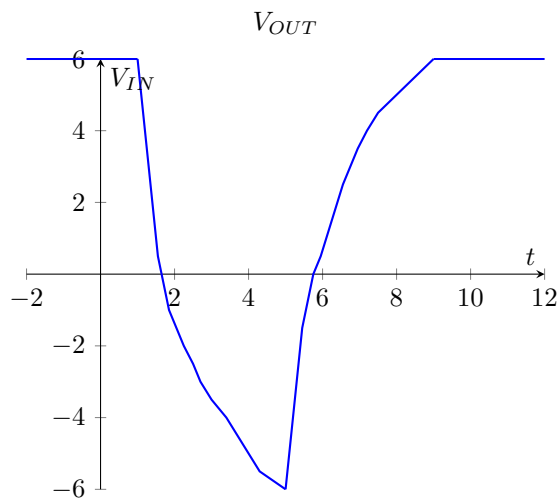


La V_c è $\frac{2}{3}V$ perchè prima la tensione era a $\frac{2}{3}V$

$$\frac{V_c - V^-}{R_2} = I$$

$$V^- - V_{OUT} = IR_3 = \frac{V_c - V^-}{R_2} R_3 = (\frac{2}{3} - 2)3 = -4V$$

$$V_{OUT} = +6V$$



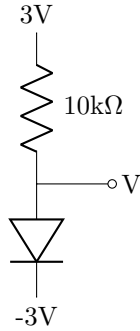
Calcolare $\tau = CR_{eq} = C \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 13.3\mu s$
 $5\tau = 66.5\mu s$

$$V_{c1} = V_{\infty} - (V_{\infty} - V_o)e^{-\frac{t-t_o}{\tau}} = -6 - (-6 - 6)e^{-\frac{t-1}{13\mu s}} = -6 + 12e^{-\frac{t-1}{13\mu s}}$$

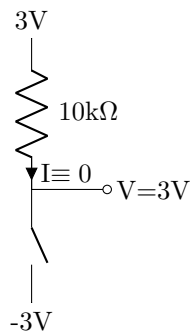
$$V_{c2} = V_{\infty} - (V_{\infty} - V_o)e^{-\frac{t-t_o}{\tau}} = 6 - (6 + 6)e^{-\frac{t-5}{13\mu s}} = 6 - 12e^{-\frac{t-5}{13\mu s}}$$

$$V_c = V_{c1} + V_{c2} = 12e^{-\frac{t-1}{13\mu s}} - 12e^{-\frac{t-5}{13\mu s}}$$

8 Esercizio: Diodo In Diretta

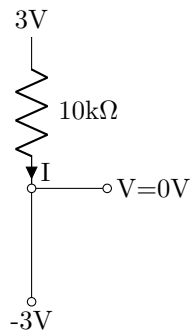


Se considero diodo come se fosse un **interruttore aperto** avrò che $I=0$ e $V=3V+IR=3V$



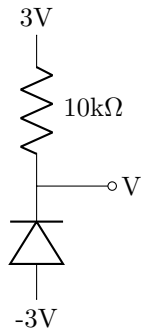
Diodo è considerato **in diretta** quindi non viene rispettata la condizione che $V_D < 0$, dato che risulta essere maggiore di zero; questo perchè la tensione del diodo deve essere minore di zero affinché posso considerare come modello equivalente di esso quello dell'interruttore aperto.

Se considero diodo come se fosse un **cortocircuito** ho che $V=0$ e $I = \frac{V_1 - V_2}{R} = \frac{3 - (-3)}{10k\Omega} = \frac{6}{10k\Omega} = 0.6mA$

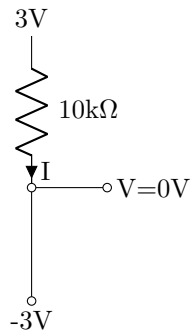


Ho che la tensione è zero e la corrente > 0 , quindi le condizioni per considerare il cortocircuito come modello equivalente di questo circuito sono rispettate \rightarrow OK!.

9 Diodo In Inversa



Se considero diodo come se fosse un **cortocircuito** ho che $V=0$ e $I = -\frac{V_1 - V_2}{R} = -\frac{3 - (-3)}{10k\Omega} = -\frac{6}{10k\Omega} = -0.6mA$

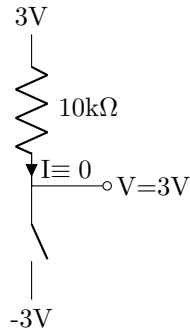


la corrente dal punto di vista del diodo è negativa perchè entra nella zona

”negativa” del diodo, infatti esso è considerato come se fosse in **inversa**.

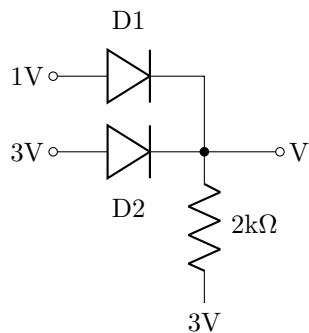
Le condizione del modello del cortocircuito non sono rispettate, in quanto la corrente è minore di zero pur avendo potenziale pari a zero.

Se considero diodo come se fosse un **interruttore aperto** avrò che $I=0$ e $V=3V+IR=3V$



Il diodo è polarizzato in inversa quindi la tensione del diodo sarà pari a $V_D = -3V$ che quindi risulta essere inferiore a zero, le condizioni del modello del interruttore aperto valgono \rightarrow OK!

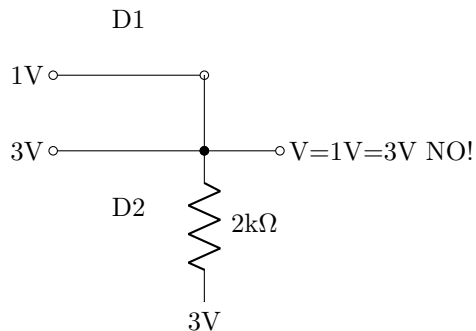
10 Esercizio: Diodo



I DIODI D1 E D2 **NON** SONO IN PARALLELO.

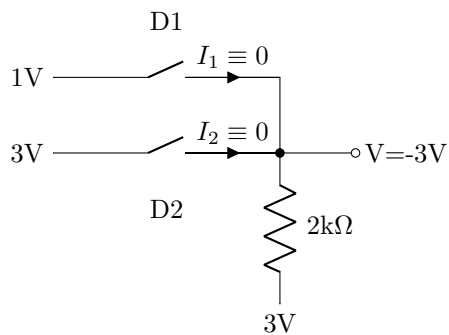
Avendo un terminale in comune non posso avere entrambi i diodi ”attivi” perchè dato che sono entrambi polarizzati in **diretta**, dato che ho tensione positive sul lato positivo in entrambi i diodi.

Se li considero tutti e due in cortocircuito significa che sul nodo in comune, dalla parte del diodo D1 devo avere 1V ma dalla parte del diodo D2 dovrei avere 3V.



Questo implica che non posso avere contemporaneamente 1V e 3V sul nodo in comune e quindi che non possono essere entrambi i diodi "attivi".

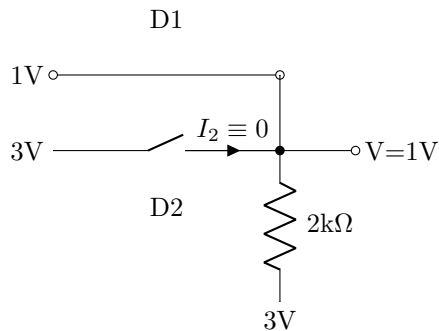
Se li considero tutti e due spenti, quindi interruttore aperto ho che $I_1 = 0$ e $I_2 = 0$ e $V=0-3V-3V$



Mi ritrovo ad avere su entrambi i diodi una tensione negativa sulla parte negativa dei diodi e questo implica che non sono spenti, ma anzi sono attivi → NO!

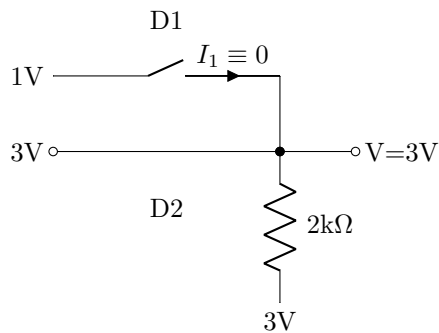
Metto D1 in cortocircuito e D2 interruttore aperto

Mi ritrovo 1V nel nodo in comune dei diodi.



Il potenziale dalla parte di sinistra del diodo D2 è 3V e a destra ho 1V, questo vuol dire che $3V > 1V$ e dato quando ho diodo in interruttore aperto devo avere che la tensione sul diodo deve essere minore di quella di "soglia" e qui non viene rispettata questa condizione \rightarrow NO!

Se considero D1 interruttore aperto e D2 cortocircuitato
Al nodo in comune dei diodi ho 3V.

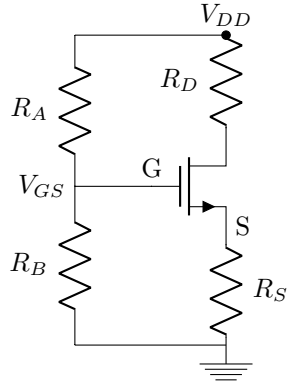


Ho il potenziale nella porta N che è maggiore del potenziale nella porta p considero D1 come diodo in inversa e quindi posso considerarlo come se fosse un interruttore aperto e D2 visto che è in diretta come un cortocircuito. \rightarrow OK!

$$I = \frac{3 - (-3)}{2k\Omega} = 3mA$$

$$V = IR - 3V = 3V$$

11 Transistor NMOS - Amplificatore



$$R_B = 30k\Omega$$

$$R_A = 20k\Omega$$

$$R_S = 1k\Omega$$

$$R_{sig} = 1k\Omega$$

$$Q_1 \Rightarrow V_T = 1V$$

$$K = 1 \frac{mA}{V^2}$$

$$V_{DD} = 5V$$

Bisogna calcolare il valore MAX della resistenza di Drain, R_D , per mantenere in zona di saturazione il transistor.

Condizione in cui il Transistor MOS sia in saturazione:

$$SAT \rightarrow \begin{cases} V_{GS} > V_T \\ V_{DS} > V_{GS} - V_T \end{cases}$$

$$V_{GS} = V_G - V_S =$$

Dato che Gate è isolato la corrente $i_g = 0$ quindi avrò che la corrente che scorre su R_A è la stessa che scorre su R_B .

Posso applicare la regola del partitore di tensione, oppure Ohm.

$$V_G = V_{DD} \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

La tensione sul Source è la caduta di potenziale sulla resistenza R_S e la corrente che scorre su R_S è la stessa che scorre sul Drain sempre perchè il Gate è isolato.

$$V_S = I_D R_S$$

$$\Rightarrow V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} \frac{R_B}{R_A + R_B} - I_D R_S = 3 - I_D$$

Supponiamo che il transistor sia inizialmente in zona di saturazione.

$$\begin{cases} V_{GS} = 3 - I_D \\ I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 = V_{GS}^2 - 2V_{GS} + 1 \end{cases}$$

$$V_{GS} = -1 \text{ o } V_{GS} = 2V$$

Scelgo $V_{GS} = 2V$ perchè devo soddisfare la condizione in cui $V_{GS} > V_T$, e con -1 non è soddisfatta.

Ho soddisfatto una delle due equazioni necessarie, ora devo soddisfare la seconda

$$\Rightarrow V_{DS} > V_{GS} - V_T$$

$$V_{DS} = V_D - V_S$$

$$V_D = V_{DD} - I_D R_D$$

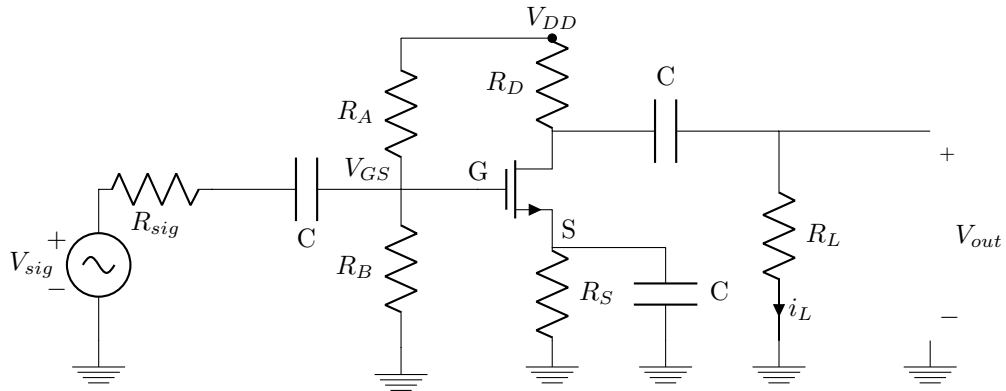
$$V_S = I_D R_S$$

$$\Rightarrow V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - I_D R_D - I_D R_S$$

$$V_{DS} > 2 - 1 \rightarrow V_{DD} - I_D R_D - I_D R_S > 1 \rightarrow R_D < 4\Omega \rightarrow R_D = 4\Omega$$

"uguale" perchè è proprio da quel momento che inizia la saturazione.

12 Transistor MOS - Piccoli Segnali



$$R_B = 3k\Omega$$

$$R_A = 3k\Omega$$

$$R_S = 1k\Omega$$

$$Q_1 \Rightarrow V_T = 1V$$

$$K = 1 \frac{mA}{V^2}$$

$$V_{DD} = 5V$$

I condensatori $\rightarrow \infty$

Calcolarmi la tensione in uscita V_{out}

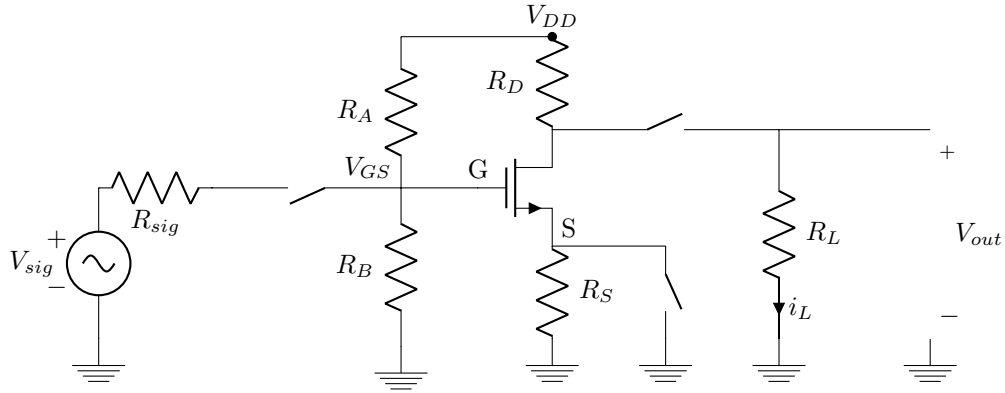
Devo calcolarmi $g_m = 2K(V_{GS}^* - V_T)$ ma dato che la transconduttanza dipende della polarizzazione, devo calcolarmi V_{GS}^* .

Devo analizzare il circuito senza le correnti alternate ma solo dalle correnti continue.

Notiamo che R_S fa una controreazione negativa per cui il punto di lavoro del transistor rimane più stabile.

Se per le componenti costanti nel tempo i condensatori $\rightarrow \infty$, quindi ho un $\omega = 0 \rightarrow Z_c = \infty$, quindi i condensatori si comportano come interruttori aperti.

Componenti Costanti - Analizzo Dal Punto Di Vista Della Polarizzazione



$$V_{GS} = V_G - V_S$$

La tensione su Gate è la tensione ripartita su R_A e R_B , cioè la corrente che scorre su R_A è la stessa che scorre su R_B perchè a sx ho interruttore aperto.

$$V_G = V_{DD} \frac{R_B}{R_A + R_B}$$

La corrente che scorre sul Drain è la stessa che scorre sul Source.

$$V_S = I_D R_S$$

$$\Rightarrow V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} \frac{R_B}{R_A + R_B} - I_D R_S$$

Ipotizzo che transistor è in saturazione, perche voglio che questo circuito sia

un amplificatore, quindi

$$\begin{cases} V_{GS} = V_G - V_S = V_{DD} \frac{R_B}{R_A + R_B} - I_D R_S = 3 - I_D \\ I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \end{cases}$$

$$V_{GS} = 2V \text{ o } V_{GS} = -1V$$

Scelgo $V_{GS} = 2V$ perché soddisfa la condizione che $V_{GS} > V_T$
Cosi ho che $I_D = 1mA$

Introduco $V_{GS}^* = V_{GS}$ perchè sto considerando circuito dal punto di vista della polarizzazione.

$$\text{Altra condizione } V_{DS} > V_{GS}^* - V_T$$

$$V_{DS} = V_D - V_S = V_{DD} - I_D R_D - I_D R_S = 2V \\ 2V > 1V$$

$$g_m = 2K(V_{GS}^* - V_T) = 2 \frac{mA}{V}$$

Adesso devo fare opposto, devo annullare i generatori in statica, quelli costanti nel tempo, e considero i condensatori a componenti alternate, quindi a componenti di frequenza diverse da zero.

Se C tende a infinito, significa per $\omega \neq 0$ per infinito va ad infinito, quindi $Z_C = 0$.

Quindi se ho una componente di frequenza diversa da zero, vede il condensatore come un corto circuito, passa entra nell'amplificatore e si va a sommare alla tensione di gate dovuta alla presenza della polarizzazione.

La tensione di Gate adesso varia nel tempo perchè il segnale sta "vedendo" quei condensatori.

Quei condensatori fanno in modo che, per far funzionare il circuito come amplificatore, devo polarizzare esso al centro della dinamica. E lo polarizzo attraverso un circuito dedicato.

Quello che non voglio è che se mi arriva un segnale con una componente continua quello mi sposta il punto di polarizzazione perchè se io non avessi condensatore vicino V_{GS} , supponendo di avere una tensione costante (1V) sovrapposta ad una sinusoide, quella tensione costante arriva a V_{GS} e modifica la tensione di polarizzazione perchè la tensione continua sale, cambia; quindi avrei una polarizzazione che dipende da un segnale esterno che non posso modificare.

Quello che posso fare è fare in modo che qualunque sia la presenza di una componente continua, questa non va ad intaccare il punto di polarizzazione.

Il condensatore sta un po' facendo il ruolo di "interruttore intelligente", riconosce che se il segnale ha una componente continua si apre, invece, appena ho una frequenza diversa da zero si cortocircuita.
Questo condensatore sta dando un comportamento di tipo **passa-alto** all'amplificazione.

In uscita ci sta un altro condensatore, infatti io voglio che l'uscita si una tensione che varia nel tempo con la stessa forma della tensione del segnale, ma con ampiezza amplificata.

Se non metto il condensatore vuol dire che io avrei la tensione di uscita pari proprio alla tensione sul Drain, 3V, sulla quale si somma l'effetto di una variazione indotta dall'ingresso.

Se voglio solo la variazione e non i 3V, ci metto al la capacità che nei confronti dei 3V si comporta come un interruttore aperto, e quindi la tensione in uscita che è pari alla caduta di potenziale sulla resistenza è 0V perchè non passa corrente.

Quindi la componente costante in uscita è 0V, vi è solo quella alternata in uscita.

La resistenza di Source, R_S , serve per fare una controreazione negativa che stabilizza il punto di lavoro. La corrente di Drain in continua attraversa R_S . Il Condensatore accanto a R_S è un condensatore che si comporta come circuito aperto quando la corrente è continua, quindi rimane R_S che stabilizza il punto di lavoro; invece si comporta come cortocircuito quando la corrente è alternata, la corrente scorrerà tutta nel cortocircuito.

Quindi il condensatore sta lì per evitare una controreazione negativa nella parte di guadagno dei piccoli segnali, rimane la controreazione con R_S in statica.

Analisi Di Piccoli Segnali

Analisi, comportamento di questo circuito nei confronti delle variazioni di correnti o tensioni prodotte dall'ingresso sul punto di polarizzazione.

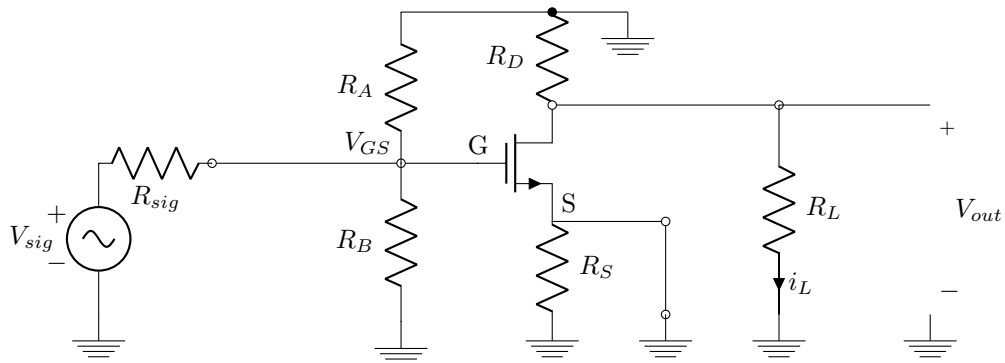
Sono interessato all'effetto che ha sul circuito la presenza di un segnale che varia nel tempo. Significa che devo annullare effetto di tutto quello che non varia nel tempo, non considerarle significa annullare la presenza di generatori di corrente o tensione indipendenti.

E le capacità che hanno un valore che tende ad infinito, se $Z_c = \frac{1}{j\omega C}$, se C tende a ∞ , l'impedenza se ne va ad infinito quindi condensatore circuito aperto.

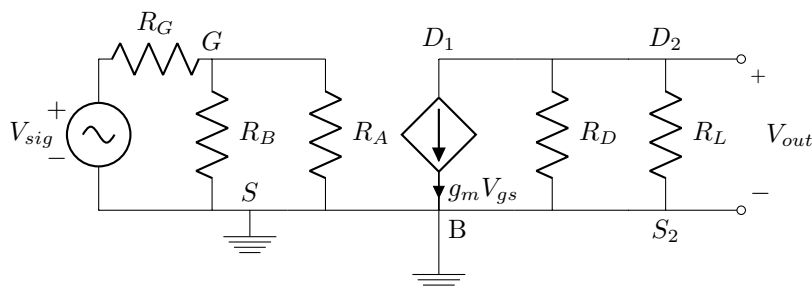
Se per C tende ad infinito e ω è diversa da 0, l'impedenza tende a zero, quindi in dinamica significa che segnale ha delle componenti in frequenza diverse da zero.

$Z_c = 0 \rightarrow$ cortocircuito

In dinamica condensatore è un cortocircuito.



Piano di Massa



$$g_m = 2 \frac{mA}{V}$$

$$\text{Guadagno } A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-g_m V_{gs} (R_D // R_L)}{V_{sig}}$$

$$V_{gs} = V_{sig} \frac{(R_B // R_A)}{(R_A // R_B) + R_G}$$

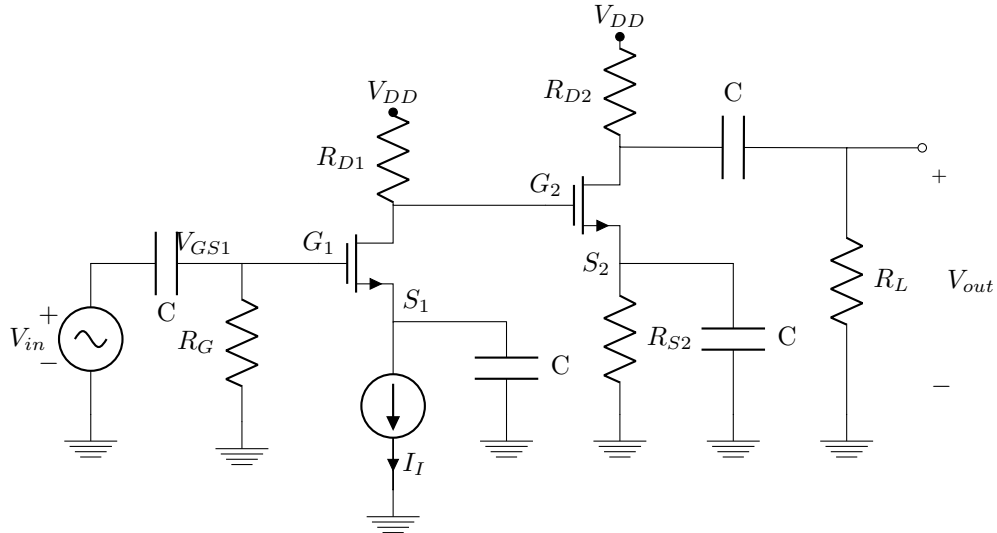
$$R_A // R_B = \frac{R_A R_B}{R_A + R_B} = 1.2 K\Omega$$

$$R_D // R_D = 1 K\Omega$$

$$\rightarrow V_{gs} = V_{sig} \frac{1.2}{1.2+1} = 2.64 V_{sig}$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{-2 * 2.64 V_{sig} * 1}{V_{sig}} = -5.28$$

13 Transistor



$$Q_1 \begin{cases} V_{T1} = 1V \\ K_1 = 0.5 \frac{mA}{V^2} \\ \lambda = 0 \end{cases}$$

$$Q_2 \begin{cases} V_{T2} = 1V \\ K_2 = 1 \frac{mA}{V^2} \\ \lambda = 0 \end{cases}$$

$$I_I = 2mA$$

$$C = \infty$$

$$V_{DD} = 5V$$

$$R_G = 10K\Omega$$

$$R_{D1} = 1K\Omega$$

$$R_{D2} = 2K\Omega$$

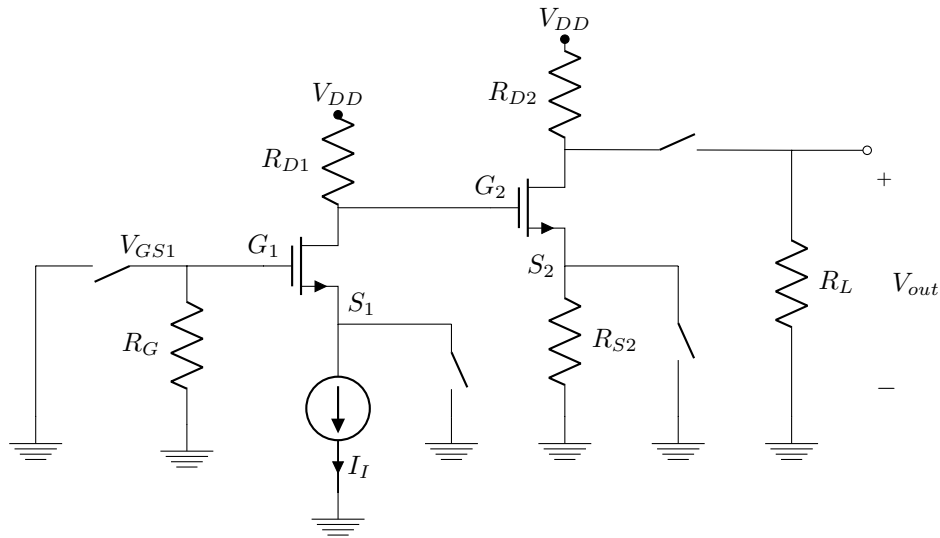
$$R_{S2} = 1K\Omega$$

$$R_L = 2K\Omega$$

Calcolare lo stato (V_{GS} , I_{DS} , V_{DS}) e

$A \frac{V_{out}}{V_{in}}$ per piccoli segnali

Devo vedere transistor dal punto di vista della statica e quindi devo annullare le tensioni/correnti variabili nel tempo, e inoltre dato che ho condensatori con capacità che tende a infinito, essi nella statica diventeranno circuiti aperti.



$$V_{G1} = 0$$

$$V_{GS1} = V_{G1} - V_{S1} = -V_{S1}$$

$$I_{D1} = I_{S1} = 2mA$$

Suppongo che transistor sia in zona di saturazione, quindi

$$\begin{cases} V_{GS1} > V_{T1} \\ V_{DS1} \geq V_{GS1} - V_{T1} \end{cases}$$

devono essere verificate

$$I_{D1} = K_1(V_{GS1} - V_{T1})^2$$

$$V_{GS1}^2 - 2V_{GS1} - 3 = 0$$

$$2 \text{ soluzioni} \rightarrow V_{GS1} = 3 \text{ oppure } V_{GS1} = -1$$

Se $V_{GS} = 0$ risulta essere $< V_{T1}$ quindi non va bene perchè non vengono soddisfatte le condizioni per far rimanere il transistor nella zona di saturazione

Se $V_{GS} = 3V$ risulta essere $> V_{T1}$

$$V_{S1} = -3V$$

$$V_{D1} = V_{DD} - I_{D1}R_{D1} = 5V - 2V = 3V$$

$$V_{DS1} = V_{D1} - V_{S1} = 6V$$

$V_{DS1} > V_{G1} - V_{T1}$ verificata

$$V_{G2} = V_{D1} = 3V$$

Suppongo sempre che Q_2 sia uguale ad un amplificatore quindi lo considero in saturazione

$$\begin{cases} V_{GS2} > V_{T2} \\ V_{DS2} \geq V_{GS2} - V_{T2} \end{cases}$$

$$I_{D2} = K_2(V_{GS2} - V_{T2})^2$$

$$V_{GS2} - V_{S2} = V_{G2} - I_{D2}R_{S2}$$

$$\rightarrow I_{D2} - 5I_{D2} + 4 = 0$$

$$\rightarrow I_{D2} = 4 \text{ oppure } I_{D2} = 1$$

Se $I_{D2} = 4mA$ ho che $V_{GS2} = -1V$ e non va bene perchè risulta minore di V_{T2}

Se $I_{D2} = 1mA \rightarrow V_{GS2} = 3V$ e va bene in quanto è maggiore di V_{T2}

$$V_{D2} - I_{D2}R_{D2} = 5 - 2 = 3V$$

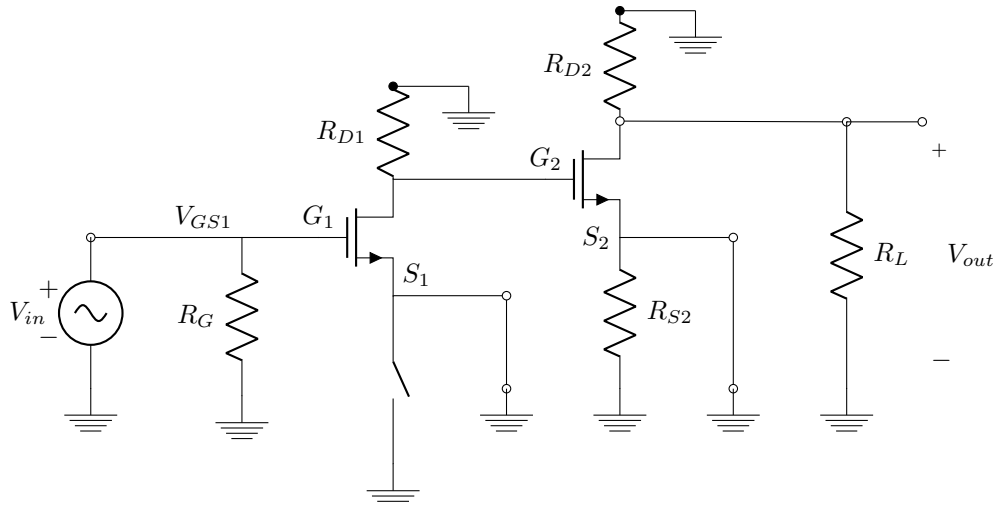
$$V_{DS2} = 3 - 1 = 2V$$

Ho analizzato il circuito nella statica

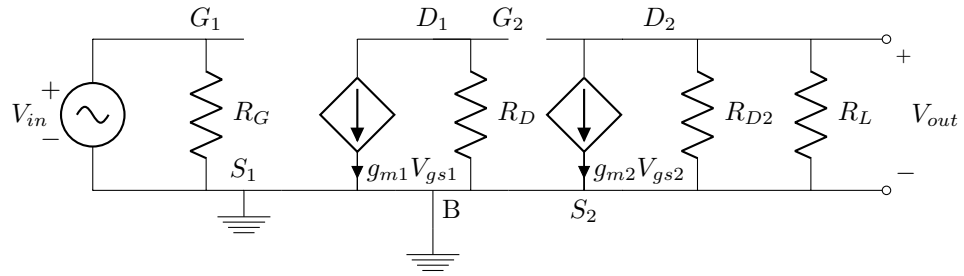
$$g_{m1} = 2K_1(V_{GS1} - V_{T1}) = 2 \frac{mA}{V}$$

$$g_{m2} = 2K_2(V_{GS2} - V_{T2}) = 2 \frac{mA}{V}$$

Ora per trovare il guadagno devo fare analisi per piccoli segnali, annullo i generatori di tensione / corrente riferiti alle tensioni / correnti indipendenti dall'ingresso. Inoltre i condensatori si comportano come cortocircuito.



Piano di massa



$$V_{out} = -g_{m2}V_{gs2}(R_{D2} // R_L)$$

$$V_{gs2} = -V_{d1}$$

$$V_{ds1} = V_{d1} - V_{s1} = V_{d1} = g_{m1}V_{gs1}R_{D1}$$

$$\Rightarrow A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-g_{m2} * (-g_{m1}) V_{in} R_{D1} (R_{D2} // R_L)}{V_{in}} = 4$$