

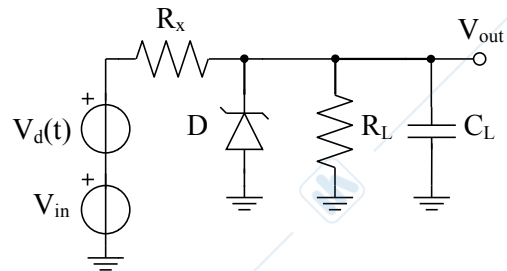
Fondamenti di Elettronica – Ing. AUTOMATICA - AA 2013/2014

Appello del 2 settembre 2014

Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio A1) ...

Esercizio A: Il circuito in figura può essere usato per mantenere costante la tensione sulla resistenza R_L al variare della tensione V_{in} e dello stesso valore di R_L : rappresenta pertanto un semplice regolatore di tensione.

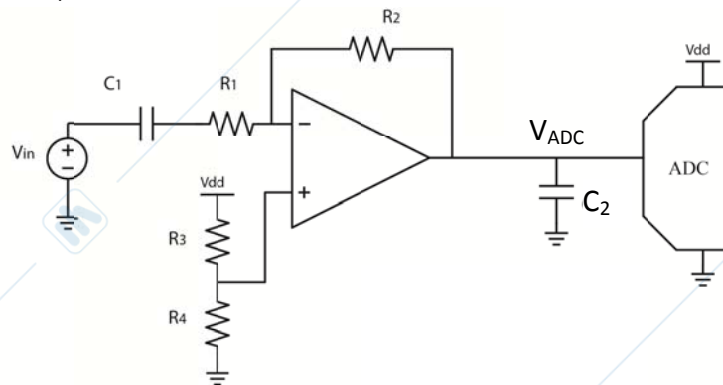
Dati:

 $R_x=310\ \Omega$, $V_{in}=8V$;tensione di breakdown del diodo: $V_{BD}=-4.9V$.

- 1) Con $V_d(t)=0$, $R_L=10k\Omega$, calcolare la **tensione regolata V_{out}** e la corrente circolante nel diodo.
- 2) Calcolare l'**intervallo dei valori di R_L** compatibile con il funzionamento corretto del circuito (cioè l'intervallo di R_L per il quale la tensione V_{out} resta costante e pari al valore calcolato in precedenza).
- 3) Con $R_L=10k\Omega$, $C_L=10\mu F$ e $V_d(t)=0$, calcolare in quanto tempo la tensione V_{out} raggiunge il valore di regime considerando un'accensione istantanea di V_{in} (cioè uno scalino $0 \rightarrow 8V$) e il condensatore inizialmente scarico.
- 4) Sia $V_d(t)$ un disturbo sinusoidale di ampiezza picco-picco $500mV$ e frequenza $100Hz$. Assumendo di modellizzare il diodo nella regione di breakdown con un **generatore reale di tensione V_{BD} con resistenza interna $r_z=15\Omega$** , calcolare l'**ampiezza residua del disturbo** su $R_L=10k\Omega$, assumendo $C_L=0$. Come cambierebbe tale ampiezza residua con il condensatore $C_L=10\mu F$?

Esercizio B:

Dati:

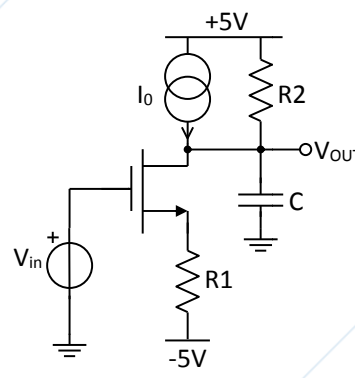
 $V_{dd}=10V$ $V_{in}=A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$ $A=100mV$ $f=50kHz$ $R_1=1k\Omega$, $R_2=25k\Omega$ $R_3=2k\Omega$, $R_4=2k\Omega$ 

- 1) Determinare il numero di bit necessario per avere una risoluzione di almeno $1/1000$ del segnale di ingresso V_{in} assumendo la capacità C_1 di valore infinito.
- 2) Tracciare il diagramma di Bode (modulo e fase) del trasferimento V_{ADC}/V_{in} con $C_1=1\mu F$ e con A.O. ideale.
- 3) Dato l'ingresso V_{in} indicato, dimensionare la corrente massima di uscita dell'amplificatore operazionale per non avere un segnale distorto all'ingresso dell'ADC con una $C_2=10nF$.

Esercizio C:

Si consideri l'amplificatore di segnale di figura.

Dati:

 $R_1=16k\Omega$, $C=10pF$ $k=4mA/V^2$, $V_T=0.75V$ 

- Si assuma inizialmente I_0 spento e $R_2=12k\Omega$

- 1) Determinare la polarizzazione del circuito.
- 2) Calcolare il guadagno di piccolo segnale v_{out}/v_{in} a bassa frequenza e ad alta frequenza.
 - Si voglia ora portare il guadagno a bassa frequenza dell'amplificatore a $G=-10$ agendo unicamente su I_0 e R_2 .
- 3) Determinare I_0 e R_2 per avere il guadagno richiesto e la stessa V_{out} di polarizzazione del punto a)
- 4) Tracciare su uno stesso diagramma di Bode il modulo del guadagno v_{out}/v_{in} sia nel caso di $I_0=0$, $R_2=12k\Omega$ (caso iniziale) sia con i valori di I_0 e R_2 calcolati al punto 3.

Traccia di soluzione

Es. A

1. Si verifica che il diodo è in BD, quindi la tensione di uscita $V_{out} = -V_{BD} = 4.9 \text{ V}$. La corrente in R_x vale $I_x = (8\text{V} - 4.9\text{V})/310\Omega = 10\text{mA}$. La corrente nel diodo I^* (presa positiva verso il basso) $= (I_x - I_L) = 10\text{mA} - 4.9\text{V}/R_L = 10\text{mA} - 0.49\text{mA} = 9.51\text{mA}$ (positiva, che conferma l'ipotesi fatta di BD).
2. Affinché il diodo sia in BD la corrente I^* dev'essere sempre positiva. Dall'espressione di I^* calcolata al punto precedente si ottiene $R_{L\min} = 4.9\text{V}/10\text{mA} = 490\Omega$ (indipendentemente dal valore di R_L , la corrente I_x erogata dal generatore è 10mA).
3. Nell'intervallo $0 < V_{out} < 4.9\text{V}$ si ha un transitorio di carica con D OFF, $\tau = C_L R_x // R_L \approx C_L R_x = 3.1\text{ms}$ e valore a regime pari a $V_{in} \cdot (R_L / (R_L + R_x))$. Quando V_{out} raggiunge 4.9V , D va in BD e la V_{out} rimane fissata a 4.9V . L'istante di tempo t^* in cui $V_{out} = 4.9\text{V}$ (D passa da OFF in BD) è dato da $t^* = \tau \cdot \log(1/0.369) \approx 3.1\text{ms}$.
4. L'effetto del disturbo V_d si calcola spegnendo le altre sorgenti (V_{in} , V_{BD}). La resistenza differenziale del diodo R_z è in parallelo a R_L ($R_L // R_z \approx R_z$). Dunque l'ampiezza picco-picco del disturbo in uscita vale $500\text{mV} \cdot 15\Omega / (15\Omega + 310\Omega) = 23\text{mV}$. La capacità $C_L = 10\mu\text{F}$ introduce un polo con frequenza $f_p = 1 / (2\pi \cdot C_L \cdot R_x // R_z // R_L) \approx 1 / (2\pi \cdot C_L \cdot R_z) = 1.06\text{kHz}$. Essendo la frequenza del segnale di ingresso $100\text{Hz} \ll f_p$ l'attenuazione dovuta al filtraggio passa-basso è trascurabile quindi l'ampiezza residua in prima approssimazione non cambia.

Es. B

1. La capacità C_1 è aperta in DC e si comporta come un cortocircuito per ogni frequenza di segnale. Con la sovrapposizione degli effetti: $V_{adc1} = V_{in} \cdot (-R_2/R_1) = (-25) \cdot V_{in}$ e $V_{adc2} = V_{DD} \cdot (R_4 / (R_3 + R_4)) = 5\text{V}$. Quindi V_{adc} varia tra $(5\text{V} - 100\text{mV} \cdot 25)$ e $(5\text{V} + 100\text{mV} \cdot 25)$, ovvero nell'intervallo $2.5\text{V} - 7.5\text{V}$, interamente contenuto nella dinamica di ingresso dell'ADC. Chiedere una risoluzione della tensione di ingresso di $1/1000$ significa chiedere che $LSB < (7.5\text{V} - 2.5\text{V}) / 1000 = 5\text{mV}$. Quindi il n. di livelli dell'ADC dev'essere $> V_{DD} / 5\text{mV} = 2000$, ovvero $n = 11$.
2. La funzione di trasferimento $V_{ADC}/V_{in} = -sC \cdot R_2 / (1 + sC \cdot R_1)$ presenta uno zero nell'origine e un polo a 159Hz , il guadagno ad alta frequenza è (-25) . I diagrammi di Bode sono elementari.
3. La corrente di uscita dell'AO si ottiene dal bilancio di corrente al nodo di uscita: $i_0 = i_C + i_2$. Risulta $i_C |_{\max} = C \cdot dV_{adc}/dt |_{\max} = 10e-9 \cdot 25 \cdot A \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = 7.85 \text{ mA}$ e $i_2 |_{\max} = V_{adc} |_{\max} / R_2 = 25 \cdot A / R_2$. Quindi $|i_0|_{\max} = 785\text{mA} + 0.1\text{mA} \approx 785\text{mA}$.

Es. C

- 1) $V_{gs} = 1\text{V}$, $I_d = 0.25\text{mA}$, $V_{out} = 2\text{V}$. MOS saturo con $g_m = 2\text{mS}$
- 2) v_{out}/v_{in} bassa frequenza = $-g_m \cdot R_2 / (1 + g_m R_1) = -0.73$; v_{out}/v_{in} alta frequenza = 0
- 3) La polarizzazione del transistor non cambia rispetto al caso precedente così come l'espressione del guadagno di piccolo segnale. Volendo un guadagno di 10 bisogna allora scegliere R_2 pari a $12\text{k}\Omega \cdot 10 / 0.73 = 165\text{k}\Omega$. Affinché la tensione V_{out} di polarizzazione rimanga 2V bisogna avere $I_0 = I_d - 3\text{V}/R_2 = 232\mu\text{A}$.
- 4) Il diagramma di Bode in entrambi i casi è di tipo passa-basso con un singolo polo. Si nota che - a pari polarizzazione del mosfet - il prodotto guadagno-banda è indipendente dal valore di R_2 e I_0 : $f_p = 1 / (2\pi \cdot R_2 \cdot C)$ e $GBP = g_m \cdot R_2 / (1 + g_m R_1) / (2\pi \cdot R_2 \cdot C) = g_m / (1 + g_m R_1) / (2\pi \cdot C) = 965\text{kHz}$.