

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

## Appello del 2 settembre 2014

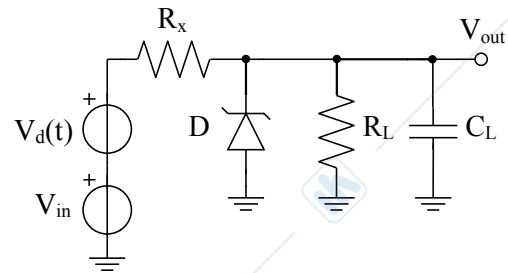
Indicare chiaramente la domanda a cui si sta rispondendo. Ad esempio A1) ...

**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:

$V_{dd}=10V$

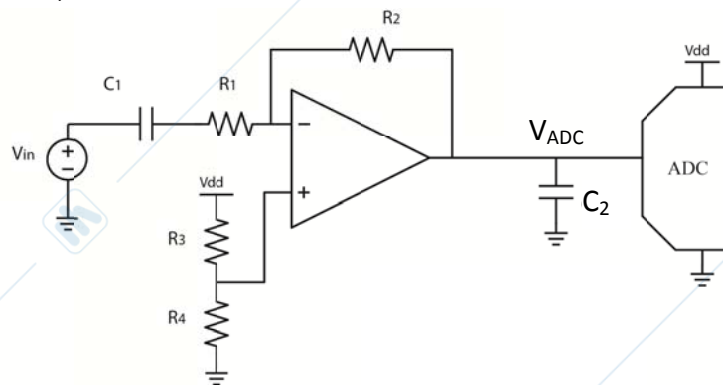
$V_{IN}=A \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$

$A=100mV$

$f=50kHz$

$R_1=1k\Omega$ ,  $R_2=25k\Omega$

$R_3=2k\Omega$ ,  $R_4=2k\Omega$



- 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  $C_2=10nF$ .

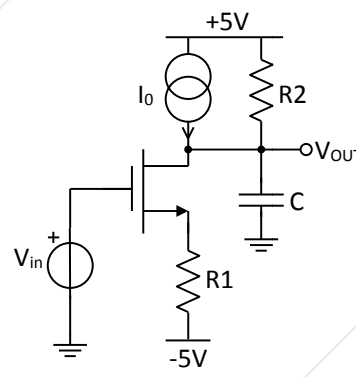
**Esercizio C:**

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. Affinche' il diodo sia in BD la corrente  $I^*$  dev'essere sempre positiva. Dall'espressione di  $I^*$  calcolata al punto precedente si ottiene  $R_{Lmin} = 4.9\text{V}/10\text{mA} = 490\Omega$  (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  $V_{in} * (R_L / (R_L + R_x))$ . 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  $t^* = \tau * \log(1/0.369) \approx 3.1\text{ms}$ .
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  $500\text{mV} * 15\Omega / (15\Omega + 310\Omega) = 23\text{mV}$ . La capacità  $C_L = 10\mu\text{F}$  introduce un polo con frequenza  $f_p = 1 / (2\pi * C_L * R_x // R_z // R_L) \approx 1 / (2\pi * C_L * R_z) = 1.06\text{kHz}$ . 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:  $V_{adc1} = V_{in} * (-R_2/R_1) = (-25) * V_{in}$  e  $V_{adc2} = V_{DD} * (R_4 / (R_3 + R_4)) = 5\text{V}$ . Quindi  $V_{adc}$  varia tra  $(5\text{V} - 100\text{mV} * 25)$  e  $(5\text{V} + 100\text{mV} * 25)$ , ovvero nell'intervallo 2.5V-7.5V, 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  $V_{ADC} / V_{in} = -sC * R_2 / (1 + sC * R_1)$  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  $i_C |_{max} = C * dV_{adc} / dt |_{max} = 10e-9 * 25 * A * 2 * \pi * f = 7.85\text{ mA}$  e  $i_2 |_{max} = V_{adc} |_{max} / R_2 = 25 * A / R_2$ . 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 =  $-g_m * R_2 / (1 + g_m R_1) = -0.73$ ;  $v_{out} / v_{in}$  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  $12\text{k}\Omega * 10 / 0.73 = 165\text{k}\Omega$ . Affinche' 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  $I_0$ :  $f_p = 1 / (2\pi * R_2 * C)$  e  $GBP = g_m * R_2 / (1 + g_m R_1) / (2\pi * R_2 * C) = g_m / (1 + g_m R_1) / (2\pi * C) = 965\text{kHz}$ .