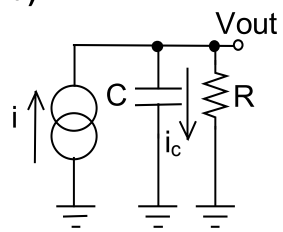
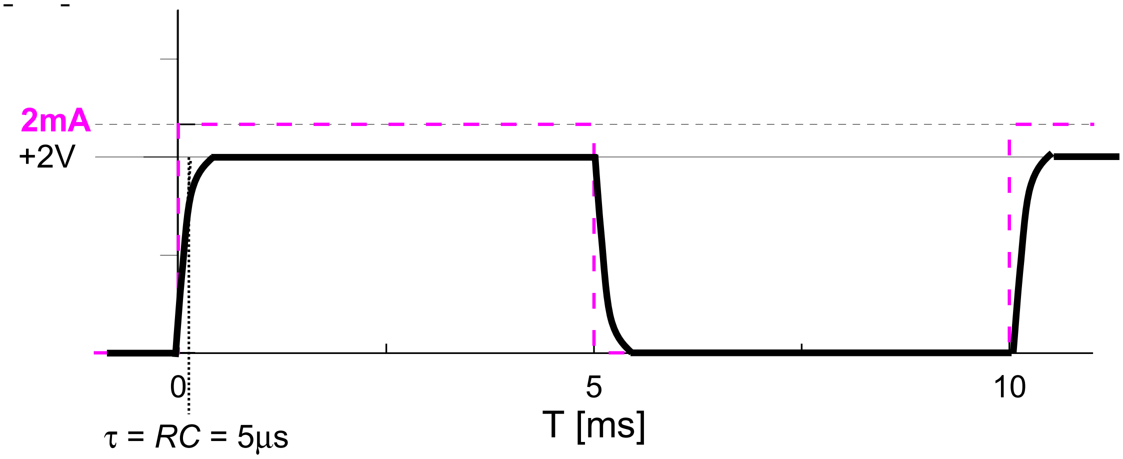
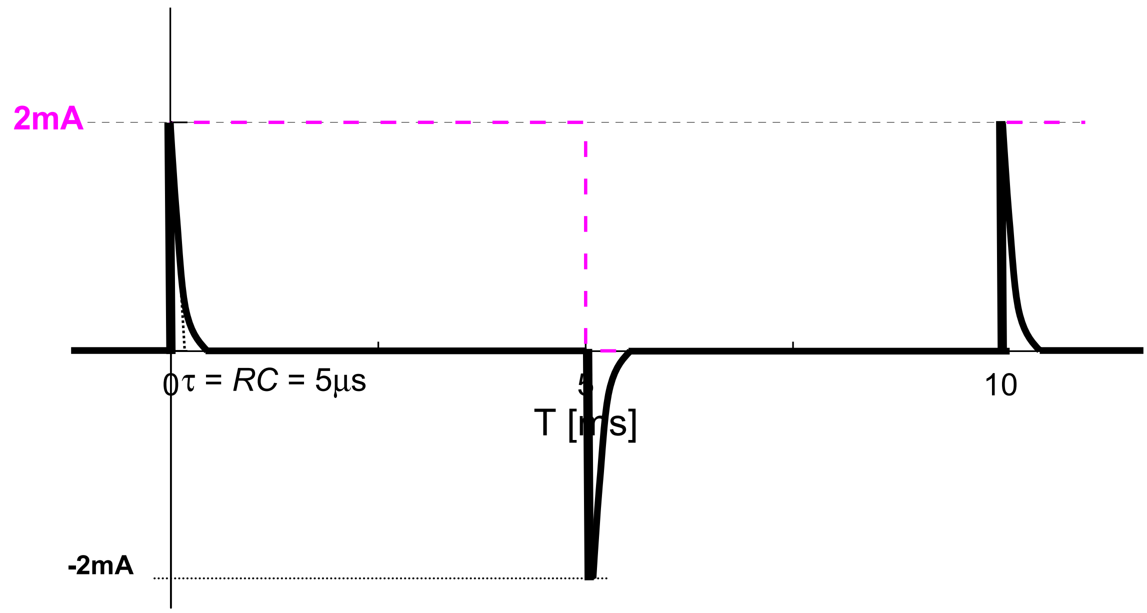
Fondamenti di Elettronica - Ingegneria Elettronica - AA 2003/2004 - 15 settembre 2004
Traccia di soluzione

Esercizio 1

a)

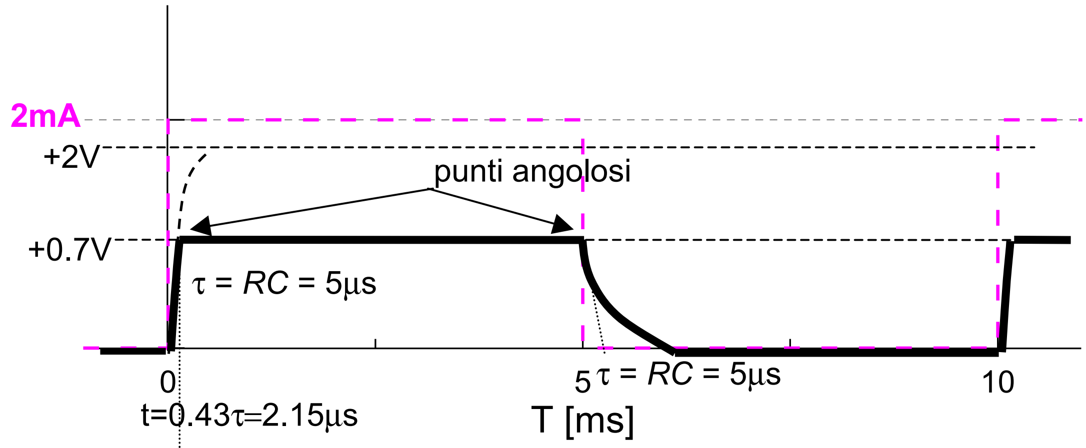


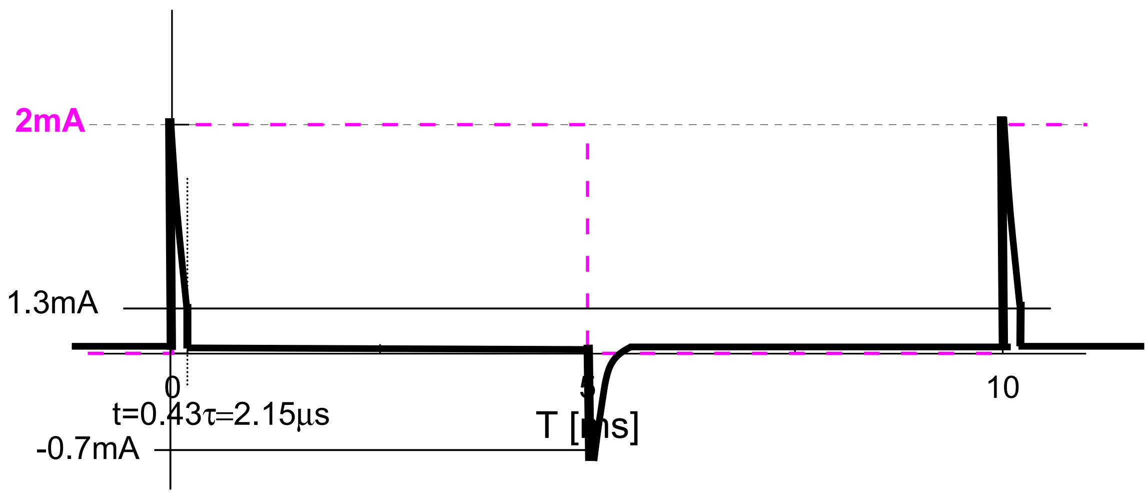




La costante di tempo e' molto minore del semiperiodo dell'onda, quindi il condensatore riesce a caricarsi completamente (secondo la consueta legge esponenziale).

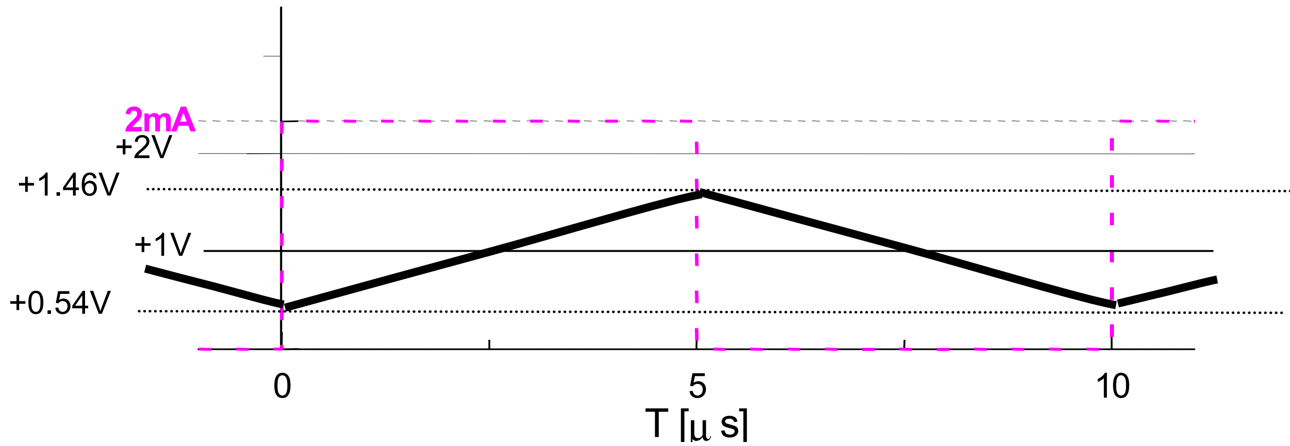
b)


2mA
+2V
punti angolosi
+0.7V
τ = RC = 5μs
0
5
τ = RC = 5μs
10
t=0.43τ=2.15μs
T [ms]

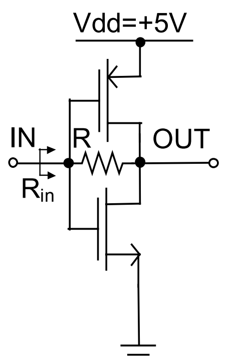

2mA
1.3mA
0
10
t=0.43τ=2.15μs
T [ms]
-0.7mA

c)

Dato che il semiperiodo e' pari alla costante di tempo il condensatore non riesce a caricarsi completamente, la tensione di uscita tende quindi ad essere un'onda triangolare centrata attorno al suo valore medio (filtro passa-basso).



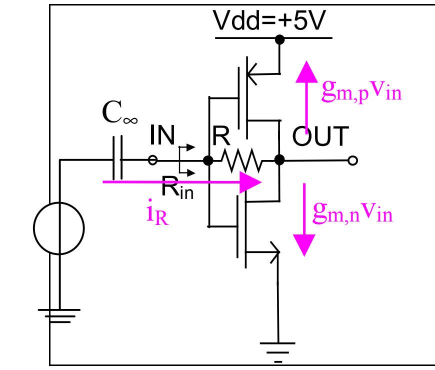
Esercizio 2



$|V_{Tp}|=V_{Tn}=1V$
$k_n=k_p=1mA/V^2$
$R=1M\Omega$

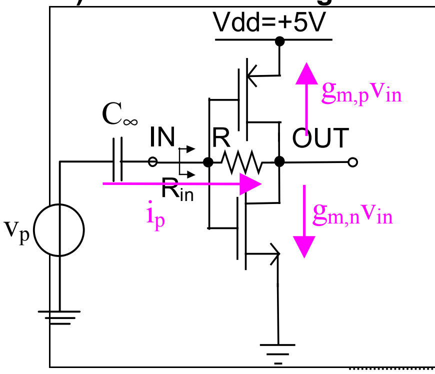
a) Polarizzazione
Nella resistenza R non puo' scorrere corrente, quindi
$V_{OUT}=V_{IN}$
La corrente che fluisce nei due MOSFET e' la medesima. I due MOSFET lavorano sicuramente in zona di saturazione poiche' $V_{GD}=0$ per entrambi.

$$I_{D,p}=I_{D,n}$$
$$k_p\left(V_{GS,p}-V_{T,p}\right)^2=k_n\left(V_{GS,n}-V_{T,n}\right)^2$$
Estraendo la radice quadrata e prendendo la soluzione con il segno corretto si ha:
$$-\left(V_{GS,p}-V_{T,p}\right)=\left(V_{GS,n}-V_{T,n}\right)$$
$$-V_{IN}+V_{DD}-V_{T,n}=V_{IN}-V_{T,n}$$
$$V_{IN}=\frac{V_{DD}}{2}=+2.5V=V_{OUT}$$
Per la corrente avremo:
$$I_{D,p}=I_{D,n}=k_n\left(V_{GS,n}-V_{T,n}\right)^2=2.25mA$$
$$g_{m,p}=g_{m,n}=2k_n\left(V_{GS,n}-V_{T,n}\right)=3mS$$
b) Guadagno di piccolo segnale



$$v_{out} - v_{in} = i_R R$$
$$i_R = (g_{m,n} + g_{m,p})v_{in} = 2g_m v_{in}$$
$$v_{out} - v_{in} = -2g_m R v_{in}$$
$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = 1 - 2g_m R = +5999$$

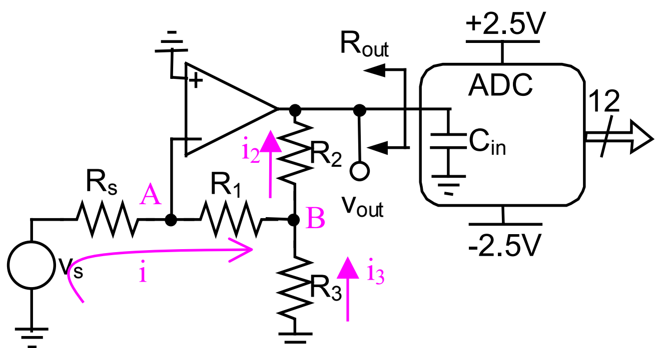
c) Resistenza di ingresso



$$R_{in} = \frac{v_p}{i_p} = \frac{v_p}{2g_m v_p} = \frac{1}{2g_m} = \frac{1}{6mS} = 167\Omega$$

Esercizio 3

a)



R_1=1kΩ
R_2=100kΩ
R_3=1kΩ
R_s=1kΩ
C_{in}=15pF
A_0=75dB

A e' un nodo di terra virtuale.

$$i = \frac{v_s}{R_s}$$

$$v_B = -iR_1 = -v_s R_1 / R_s$$

Assumendo per i_3 il verso indicato in figura

$$i_3 = \frac{v_B}{R_3}$$

La legge di Kirchhoff per le correnti applicata al nodo B ci fornisce:

$$i_2 = i + i_3$$

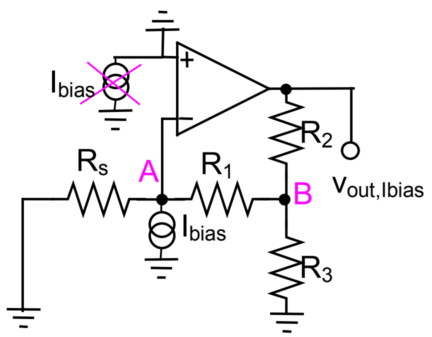
$$v_{out} = v_B - i_2 R_2 = -v_s \frac{R_1}{R_s} - v_s \frac{R_2}{R_s} - v_s \frac{R_1}{R_s}\frac{R_2}{R_3}$$

$$\Downarrow$$

$$\frac{v_{out}}{v_s} = -\frac{R_1}{R_s} - \frac{R_2}{R_s} - \frac{R_1}{R_s}\frac{R_2}{R_3} = -\frac{R_1}{R_s}\left(1 + \frac{R_2}{R_1} + \frac{R_2}{R_3}\right) = -201 \Rightarrow 46.1dB$$

b)

$$1LSB = \frac{V_{FS}}{2^n} = \frac{5V}{2^{12}} = 1.22mV$$



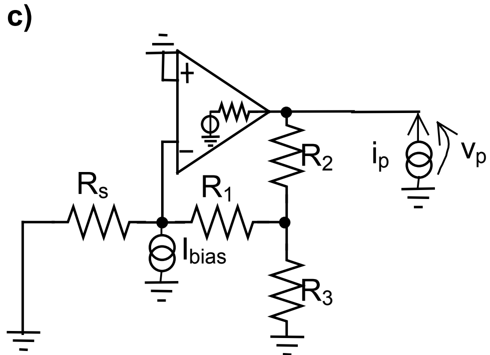
Il generatore di corrente di bias al morsetto non invertente non ha effetto perche' tutta la corrente e' direttamente drenata a massa.
Il nodo A e' un nodo di massa virtuale. I_{bias} fluisce tutta in R_1.

$$|V_B| = I_{bias} R_1$$

$$|V_{out,Ibias}| = \left(I_{bias} \frac{R_1}{R_3} + I_{bias} \right) R_2 + I_{bias} R_1 = 20.1mV$$

$$|V_{out,Ibias}|_{LSB} = 16.5LSB$$

c)



La retroazione tende ad abbassare la resistenza di uscita.

$$R_{out} = \frac{R_{out}^0}{1 - G_{loop}^*}$$

$$R_{out}^0 = r_{out} // [R_2 + R_3 // (R_1 + R_s)] \cong 1k\Omega$$

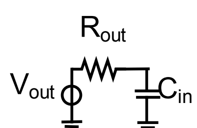
$$G_{loop}^* = -\frac{R_2 + R_3 // (R_1 + R_s)}{r_{out} + R_2 + R_3 // (R_1 + R_s)} \frac{R_3 // (R_1 + R_s)}{R_2 + R_3 // (R_1 + R_s)} \frac{R_s}{R_s + R_1} A_0 = -184$$

$\Downarrow$

$$R_{out} = 52\Omega$$

d)

Se la risposta in frequenza dell'opamp e' del tipo $A(s)=A_0$, l'unica capacita' in gioco nel circuito e' C_{in}.
Il problema e', quindi, ricondotto a calcolare la banda passante del seguente circuito:



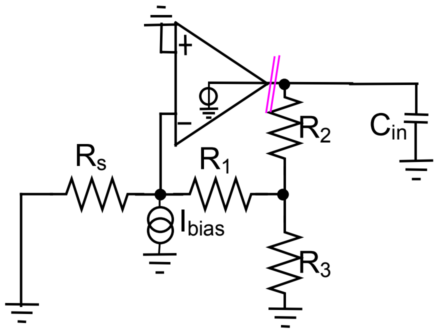
R_{out}=52Ω (calcolata al punto c)
C_{in}=15pF

$$\tau = R_{out} C_{in} = 780 ps$$

$\Downarrow$

$$f_{BP} = \frac{1}{2\pi\tau} \cong 204MHz$$

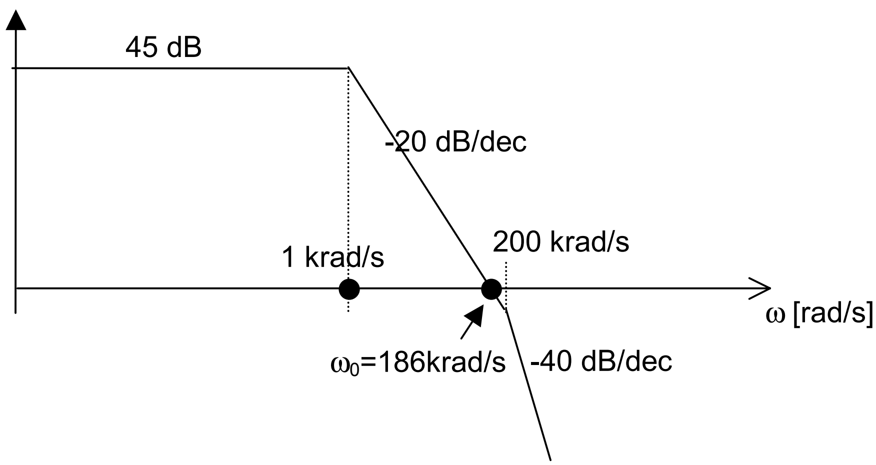
e)



$$A(s)=\frac{A_0}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$

Per calcolare il margine di fase occorre calcolare il $G_{loop}(s)$. Il condensatore C_{in} non introduce alcun polo al finito in $G_{loop}(s)$.

$$G_{loop}(s)=\frac{G_{loop}(0)}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}=\frac{R_3//(R_1+R_s)}{R_2+R_3//(R_1+R_s)}\frac{R_s}{R_s+R_1}A_0\,\frac{1}{(1+s\tau_1)}\frac{1}{(1+s\tau_2)}=-\frac{186}{(1+s\tau_1)(1+s\tau_2)}$$



Il margine di fase e' di poco piu' di 45° poiche' il G_{loop} taglia l'asse 0dB appena prima del secondo polo, infatti:

$$\phi_M=\left[-180°-\underbrace{artg\frac{\omega_0}{\omega_1}}_{\cong 90°}-artg\frac{\omega_0}{\omega_2}\right]-(-360°)=+47°$$