

**Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure**  
**Appello del 30/1/2020**

Nome:	_____
Cognome:	_____ <b>SOLUZIONE</b> _____
Matricola:	_____

**ATTENZIONE**

1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella posta all'inizio della relativa sezione
4. Le risposte ai vari quesiti vanno riportate **esclusivamente** nello spazio reso disponibile immediatamente dopo il quesito stesso
5. Si può fare uso di fogli di brutta **bianchi** resi disponibili a cura dello studente. La brutta non deve essere consegnata
6. Non si possono utilizzare libri, appunti o formulari

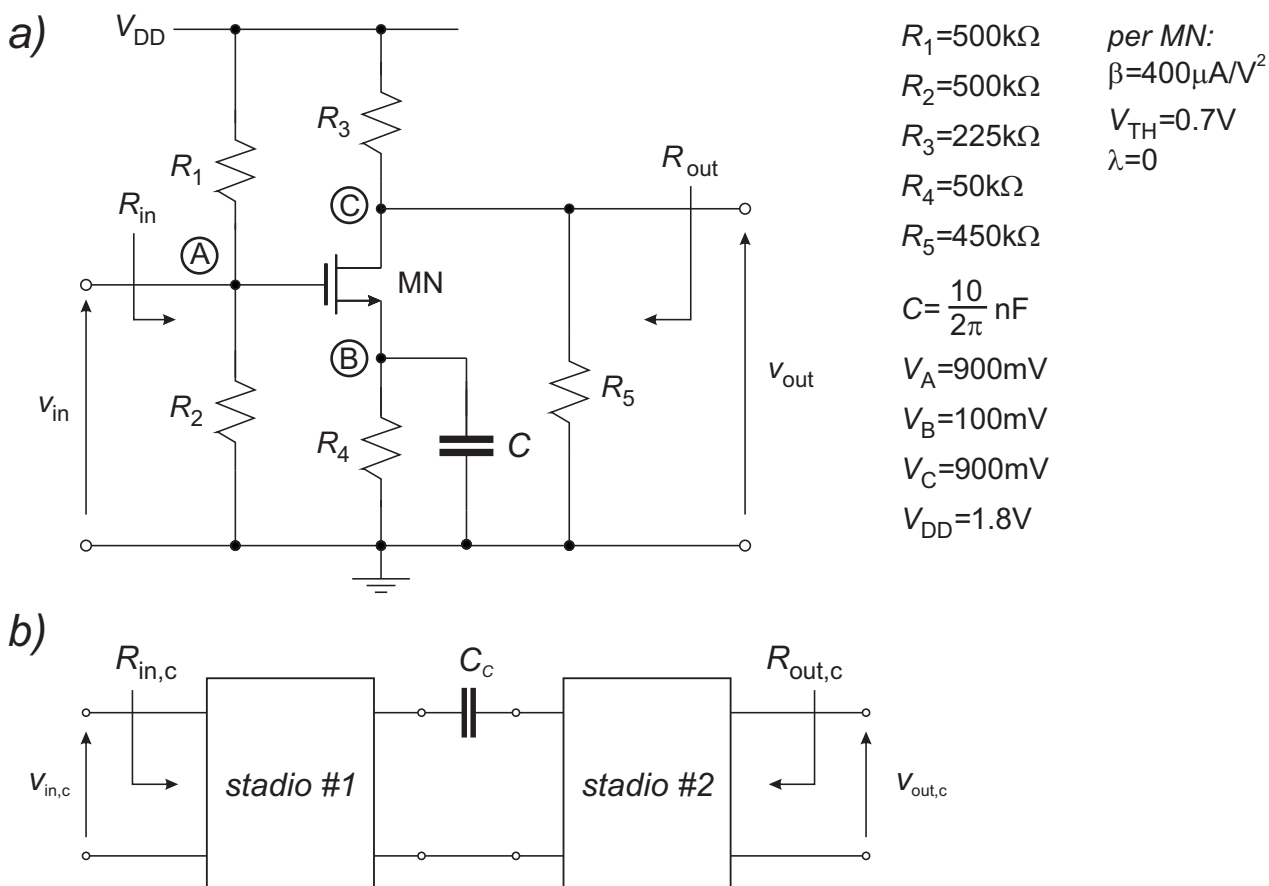
## Domande a risposta multipla

	1	2	3	4	5	6
a	X				X	
b		X	X *			
c			X *			X
d				X		

\* entrambe le risposte sono corrette per un errore nel testo: per uniformità nella valutazione, la domanda non sarà conteggiata ai fini del punteggio

- In un circuito contenente un diodo semi-ideale  $D$  con  $V_\gamma = 0.7V$  si è fatta l'ipotesi che il diodo sia OFF. L'ipotesi è verificata se e solo se:
  - $v_D < 0.7V$
  - $v_D > 0.7V$
  - $i_D > 0$
  - $v_D < -0.7V$
- Un amplificatore differenziale fornisce in uscita una tensione  $v_{out} = 200.5v^+ - 199.5v^-$ . Le amplificazioni differenziale ( $A_{d,dB}$ ) e di modo comune ( $A_{cm,dB}$ ) sono:
  - $A_{d,dB} = 46dB, A_{cm,dB} = -46dB$
  - $A_{d,dB} = 46dB, A_{cm,dB} = 0dB$
  - $A_{d,dB} = 0dB, A_{cm,dB} = 0dB$
  - $A_{d,dB} = 0dB, A_{cm,dB} = -46dB$
- Indicare in quale stadio amplificatore MOS a singolo transistor (assumendo  $\lambda = 0$ ) la resistenza d'uscita non dipende dalla transconduttanza  $g_m$  del transistor:
  - drain* comune
  - gate* comune
  - source* comune
  - la resistenza d'uscita dipende da  $g_m$  in tutti gli stadi MOS a singolo transistor
- Un amplificatore operazionale con prodotto banda-guadagno pari a 1MHz, resistenze d'ingresso e uscita trascurabili (cioè  $R_{in,d} \rightarrow \infty, R_{in,cm} \rightarrow \infty, R_{out} = 0$ ), è utilizzato in un amplificatore di tensione non invertente in cui i due resistori hanno resistenza uguale. La banda dell'amplificatore è pari a:
  - 900Hz
  - 1MHz
  - 2MHz
  - 500kHz
- In un circuito contenente due amplificatori operazionali, la tensione d'uscita per ingresso nullo  $V_{OUT,0}$  è esprimibile in funzione delle tensioni di offset in ingresso (*input offset voltage*)  $V_{OFF,1}$  e  $V_{OFF,2}$  dei due operazionali come:  $V_{OUT,0} = V_{OFF,1} - 2 \cdot V_{OFF,2}$ . Sui *datasheet* degli operazionali utilizzati è indicato  $|V_{OFF,max}| = 5mV$ . Si può necessariamente concludere che:
  - $V_{OUT,0} < 15mV$
  - $V_{OUT,0} < -15mV$
  - $V_{OUT,0} > -5mV$
  - $V_{OUT,0} < 5mV$
- Affinché un transistor pMOS sia polarizzato in regione di saturazione, si deve avere:
  - $V_{GS} > V_{TH}$  e  $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$
  - $V_{SG} > V_{TH}$  e  $V_{SD} < V_{SG} - V_{TH}$
  - $V_{SG} > V_{TH}$  e  $V_{SD} > V_{SG} - V_{TH}$
  - $V_{SG} < -V_{TH}$  e  $V_{DS} < V_{GS} + V_{TH}$

## Esercizio n. 1



Con riferimento al circuito in figura:

1. verificare il funzionamento del transistor MOS in regione di saturazione e determinarne i parametri di piccolo segnale nel punto di lavoro;
2. determinare, in condizioni di piccolo segnale, l'amplificazione di tensione  $A_v = v_{out}/v_{in}$ ,  $R_{in}$  e  $R_{out}$  indicate in figura, assumendo che il condensatore  $C$  si comporti come un corto circuito nella banda del segnale applicato (sono richieste le espressioni analitiche ed i valori numerici);
3. assumendo  $C = \frac{10}{2\pi}\text{ nF}$ , calcolare la funzione di trasferimento nel dominio della frequenza  $A_v(s) = V_{out}(s)/V_{in}(s)$  e tracciarne i diagrammi di Bode di modulo e fase;
4. si considerino due stadi analoghi a quello in figura a) collegati in cascata come indicato in figura b). Determinare l'amplificazione di tensione  $A_{v,c} = v_{out,c}/v_{in,c}$ ,  $R_{in,c}$  e  $R_{out,c}$  per la cascata dei due amplificatori assumendo che  $C$  all'interno dello stadio a) e  $C_c$  in b) si comportino entrambi come corti circuiti.

**Soluzione**

1. Essendo per il transistor MN:

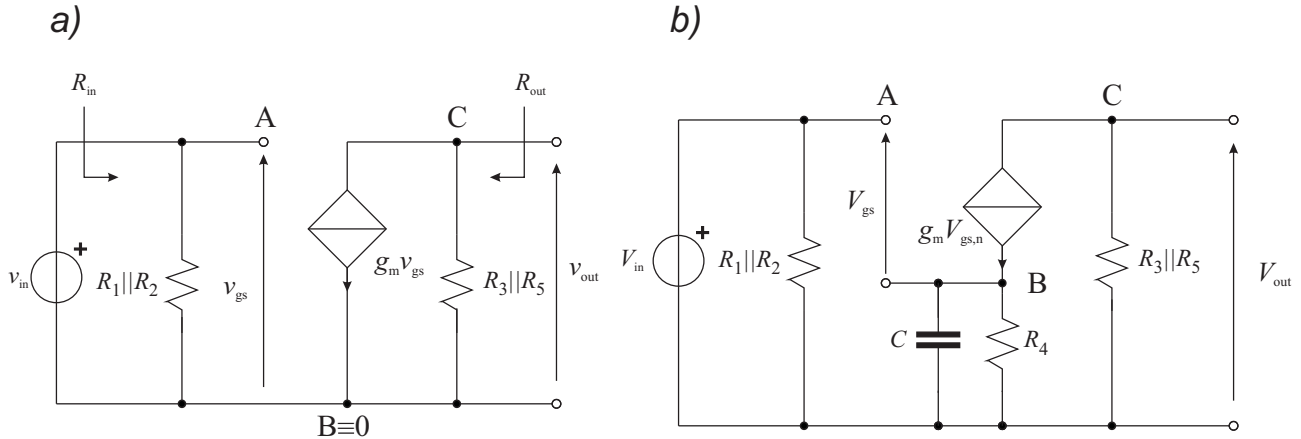
$$V_{GS} = V_A - V_B = 900\text{mV} - 100\text{mV} = 800\text{mV} > V_{TH} = 700\text{mV}$$

e

$$V_{DS} = V_C - V_B = 900\text{mV} - 100\text{mV} = 800\text{mV} > V_{GS} - V_{TH} = 100\text{mV}$$

Il transistor MN è polarizzato in regione di saturazione.

La transconduttanza di piccolo segnale può essere valutata come  $g_m = \beta(V_{GS} - V_{TH}) = 40 \mu\text{S}$ . La conduttanza di uscita è nulla essendo  $\lambda = 0$ .



2. Considerando  $C$  come corto circuito, il circuito equivalente per il piccolo segnale è quello riportato sopra in figura (parte a). Si tratta di uno stadio a *source comune* in cui  $v_{gs} = v_{in}$  e pertanto

$$v_{out} = -g_m \cdot R_3 \parallel R_5 v_{in}$$

da cui si valuta l'amplificazione di tensione:

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}} = -g_m \cdot R_3 \parallel R_5 = -6 \quad (15.5 \text{ dB})$$

La resistenza di ingresso è:

$$R_{in} = R_1 \parallel R_2 = 250\text{k}\Omega$$

La resistenza d'uscita è:

$$R_{out} = R_3 \parallel R_5 = 150\text{k}\Omega$$

3. Considerando il condensatore  $C$ , il circuito equivalente per il piccolo segnale è quello riportato sopra in figura (parte b), da cui si può calcolare l'amplificazione di tensione nel dominio della frequenza come:

$$A_v(s) = -\frac{g_m R_3 \parallel R_5}{1 + g_m Z_S}$$

dove

$$Z_S = \frac{R_4}{1 + sCR_4}.$$

Ossia:

$$A_v(s) = -\frac{g_m \cdot R_3 \parallel R_5}{1 + g_m R_4} \cdot \frac{1 + sCR_4}{1 + sCR_4/(1 + g_m R_4)} = k \frac{1 - s/s_z}{1 - s/s_p}$$

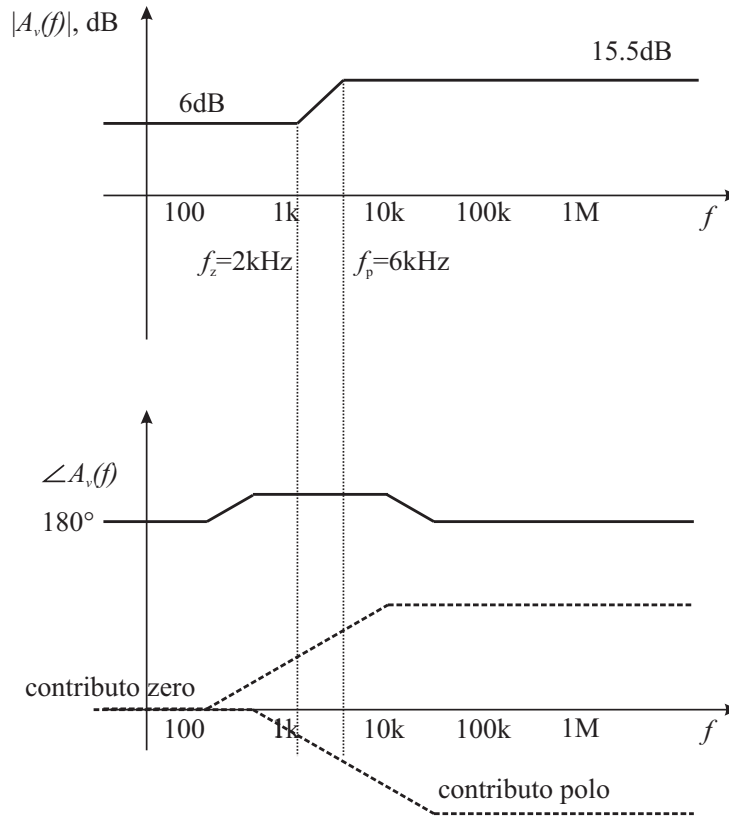
La costante moltiplicativa vale pertanto

$$k = -\frac{g_m \cdot R_3 \parallel R_5}{1 + g_m R_4} = -2$$

e frequenze di taglio dello zero e del polo sono

$$f_z = \frac{|s_z|}{2\pi} = 2\text{kHz} \quad f_p = \frac{|s_p|}{2\pi} = 6\text{kHz}$$

I diagrammi di Bode del circuito sono pertanto rappresentati in figura.



4. Con riferimento al circuito in figura b), i parametri richiesti possono essere valutati come:

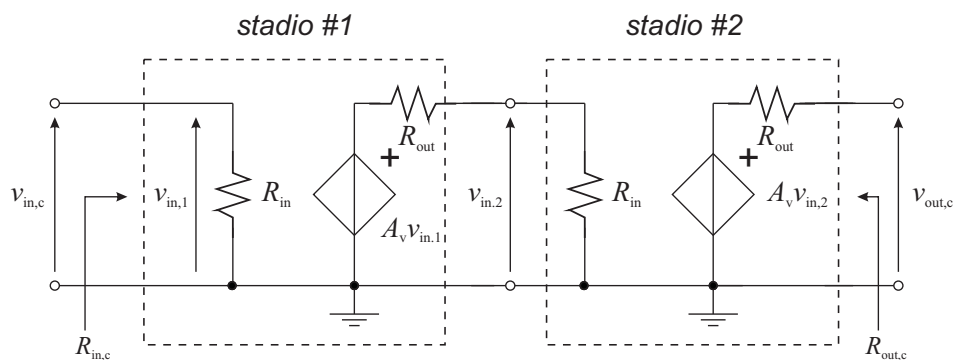
$$A_{v,c} = A_v^2 \frac{R_{in}}{R_{in} + R_{out}} = 22.5 \quad (27\text{dB})$$

La resistenza d'ingresso complessiva è:

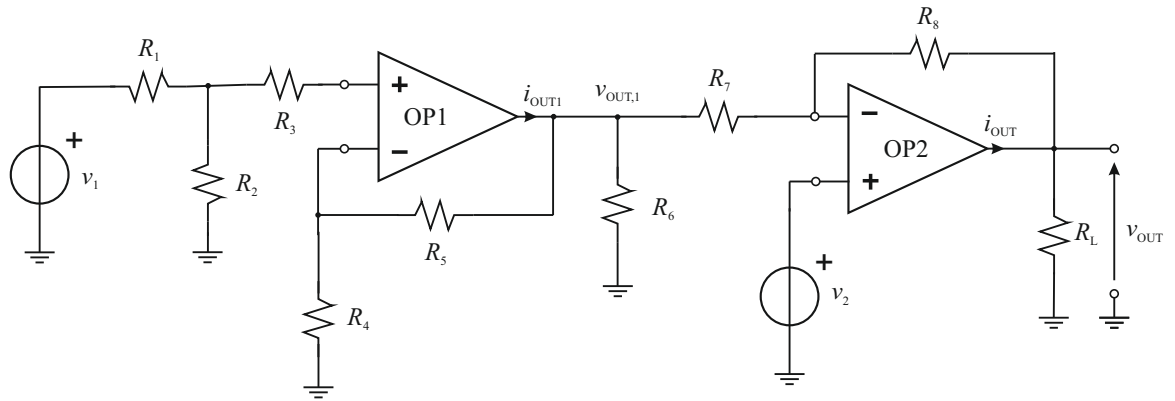
$$R_{in,c} = R_{in} = 250\text{k}\Omega$$

La resistenza d'uscita complessiva è:

$$R_{out,c} = R_{out} = 150\text{k}\Omega$$



## Esercizio 2.



Nel circuito in figura la dinamica di  $v_1$  e  $v_2$  è  $(-1V, 1V)$  e  $R_{1,2,\dots,8} = R_L = R = 10k\Omega$ . Determinare:

1. l'espressione delle tensioni  $v_{OUT,1}$  e  $v_{OUT}$ ;
2. l'espressione della corrente erogata da OP1 ( $i_{OUT,1}$ ) e da OP2 ( $i_{OUT}$ ), assumendo che gli amplificatori operazionali siano ideali;
3. la minima dinamica delle tensione d'uscita di OP2 ( $V_{OUT,min}, V_{OUT,max}$ ) compatibile con i segnali in ingresso assegnati;
4. la minima dinamica della corrente d'uscita di OP2 ( $I_{OUT,min}, I_{OUT,max}$ ), compatibile con i segnali in ingresso assegnati.

1. Espressione della tensione d'uscita:

$$v_{\text{out},1} = \frac{R_2}{R_1+R_2} \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) v_1 = v_1$$

$$v_{\text{out}} = -\frac{R_8}{R_7} v_{\text{out},1} + \left(1 + \frac{R_8}{R_7}\right) v_2 = 2v_2 - v_1$$

2. Espressione della corrente d'uscita ( $G_0 = 1/R$ )

$$i_{\text{out},1} = \frac{v_{\text{out},1} - v_{\text{OP1}}^-}{R_5} + \frac{v_{\text{out},1}}{R_6} - \frac{v_2 - v_{\text{out},1}}{R_7} = G_0 \left(\frac{5}{2}v_1 - v_2\right)$$

$$i_{\text{out}} = \frac{v_{\text{out}}}{R_L} + \frac{v_{\text{out}} - v_2}{R_8} = G_0 (3v_2 - 2v_1)$$

3. Minima dinamica della tensione d'uscita richiesta:

$$v_{\text{out}} = 2v_2 - v_1$$

$$(V_{\text{OUT,min,OP2}}, V_{\text{OUT,maxv}}) = (-3V, 3V)$$

4. Minima dinamica della corrente d'uscita richiesta:

$$i_{\text{out}} = G_0 (3v_2 - 2v_1)$$

$$(I_{\text{OUT,min,OP2}}, I_{\text{OUT,max,OP2}}) = (-500 \mu\text{A}, 500 \mu\text{A})$$