

Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure
Appello del 20/2/2020

Nome:	_____
Cognome:	_____ SOLUZIONE _____
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
b	X			X	X	
c			X			
d		X				

1. La relazione $i_D(v_D)$ in un diodo reale è:

- (a) $i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} - 1 \right)$
- (b) $i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} + 1 \right)$
- (c) $i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} + 1 \right)$
- (d) $i_D = I_S \left(e^{\frac{v_D}{V_T}} + 1 \right)$

2. Un transistor MOS (con $\lambda = 0$) polarizzato in regione di saturazione si comporta per il piccolo segnale come:

- (a) un circuito aperto
- (b) un generatore di tensione controllato in corrente
- (c) un corto circuito
- (d) un generatore di corrente controllato in tensione

3. In amplificatore di tensione non invertente basato su operazionale con $A_v = 2$, la dinamica del segnale d'ingresso è (0,1V), la porta d'uscita è collegata ad un carico di 1k Ω e la corrente che scorre nella rete di retroazione è trascurabile. Detta ΔV la dinamica della tensione d'uscita dell'operazionale e ΔI la dinamica della corrente d'uscita dell'operazionale, in quale dei seguenti casi l'amplificatore opera in linearità?

- (a) $\Delta V = (-1V, 1V), \Delta I = (-5mA, 5mA)$
- (b) $\Delta V = (0V, 5V), \Delta I = (0, 0.5mA)$
- (c) $\Delta V = (0V, 5V), \Delta I = (0, 10mA)$
- (d) $\Delta V = (-0.5V, 0.5V), \Delta I = (-0.5mA, 0.5mA)$

4. In un comparatore di soglia con isteresi invertente realizzato a partire da un amplificatore operazionale:

- (a) è presente retroazione negativa
- (b) è presente retroazione positiva
- (c) sono sempre presenti sia retroazione positiva sia retroazione negativa
- (d) non è presente alcuna retroazione (circuito ad anello aperto)

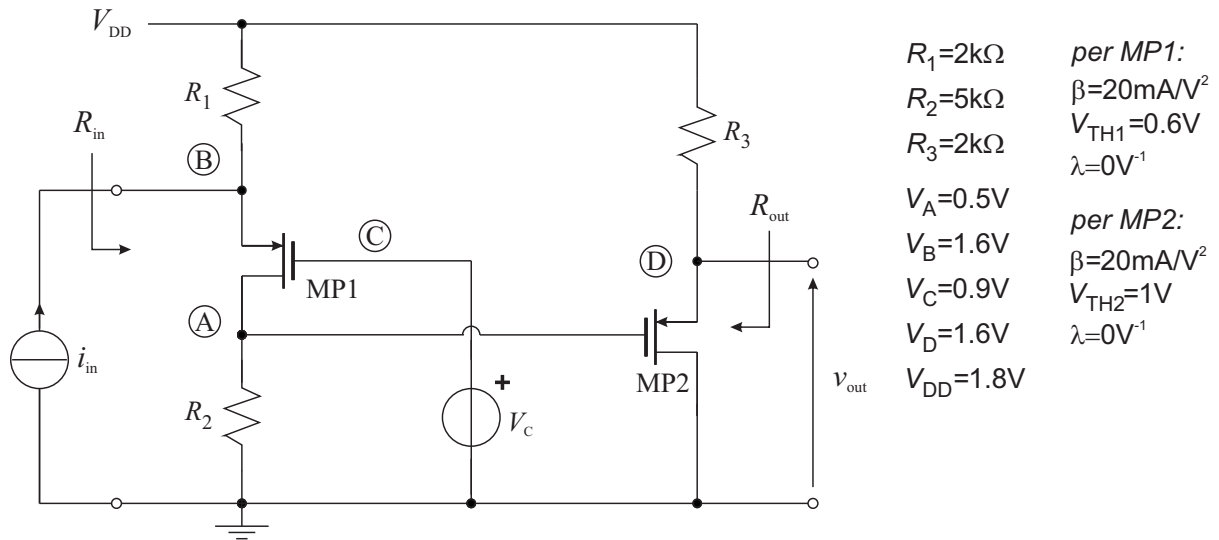
5. La banda di un blocco funzionale analogico:

- (a) deve essere inclusa nella banda del segnale ed è opportuno che sia decisamente più stretta della banda del segnale, così da non amplificare né il rumore fuori banda, né il rumore in banda
- (b) deve includere la banda del segnale con un certo margine, ma è opportuno che non sia molto più ampia, per evitare di amplificare rumore fuori banda
- (c) deve essere più ampia della banda del rumore in ingresso, per evitare che il rumore sia distorto
- (d) deve essere la più ampia possibile, per evitare perdita di informazione

6. In un derivatore invertente basato su operazionale ideale (indicare quale delle seguenti affermazioni è errata):

- (a) è presente un condensatore C collegato tra ingresso invertente ed uscita
- (b) l'impedenza d'ingresso del circuito è capacitiva ed è pari all'impedenza del condensatore C
- (c) la resistenza d'uscita in continua è nulla
- (d) la resistenza d'ingresso vista dalla sorgente in continua è infinita

Esercizio n. 1



Con riferimento al circuito in figura:

1. verificare il funzionamento dei transistori 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 transresistenza $R_m = v_{out}/i_{in}$, R_{in} e R_{out} indicate in figura;
3. si supponga che lo stadio amplificatore sia collegato alla porta d'ingresso ad una sorgente che presenta tensione a vuoto v_s e resistenza interna $R_S = 400\Omega$ e che piloti un carico $R_L = 400\Omega$ collegato alla porta d'uscita. Sia la sorgente, sia il carico sono accoppiati in AC mediante condensatori che si possono considerare come corto circuiti nella banda del segnale. Determinare l'amplificazione di tensione $A_v = v_{out}/v_s$ nelle condizioni descritte.

Soluzione

1. Per il transistor MP1:

$$V_{SG1} = V_B - V_C = 1.6V - 0.9V = 700mV > V_{TH1} = 600mV$$

e

$$V_{SD1} = V_B - V_A = 1.6V - 0.5V = 1.1V > V_{SG1} - V_{TH1} = 100mV$$

Il transistor MP1 è polarizzato in regione di saturazione.

La transconduttanza di piccolo segnale può essere valutata come $g_{m1} = \beta(V_{SG1} - V_{TH1}) = 2mS$. La conduttanza di uscita è nulla essendo $\lambda = 0$.

Per il transistor MP2:

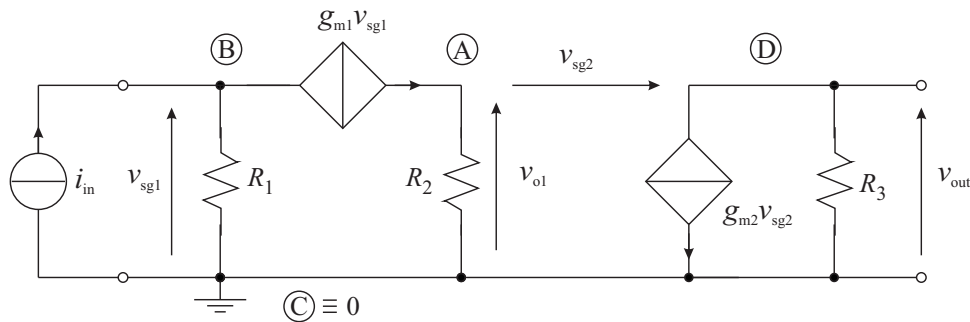
$$V_{SG2} = V_D - V_A = 1.6V - 0.5V = 1.1V > V_{TH2} = 1V$$

e

$$V_{SD2} = V_D = 1.6V > V_{SG2} - V_{TH2} = 100mV$$

Il transistor MP2 è polarizzato in regione di saturazione.

La transconduttanza di piccolo segnale può essere valutata come $g_{m2} = \beta(V_{SG2} - V_{TH2}) = 2mS$. La conduttanza di uscita è nulla essendo $\lambda = 0$.



2. Il circuito equivalente per il piccolo segnale è quello riportato sopra in figura. Si tratta di uno stadio *gate comune* collegato in cascata ad uno stadio *drain comune*.

- Transresistenza:

per lo stadio *gate comune* è possibile ricavare la tensione di controllo v_{sg1} dalla KCL al nodo B come:

$$i_{in} = \frac{v_{sg1}}{R_1} + g_{m1}v_{sg1}$$

da cui:

$$v_{sg1} = \frac{i_{in}R_1}{1 + g_{m1}R_1}$$

e quindi la tensione d'uscita v_{o1} del primo stadio vale:

$$v_{o1} = g_{m1}R_2v_{sg1} = \frac{g_{m1}R_1R_2}{1 + g_{m1}R_1}i_{in}.$$

Per lo stadio *drain comune*, dalla KVL alla maglia d'uscita

$$v_{o1} = -v_{sg2} - g_{m2}R_3v_{sg2}$$

la tensione di controllo v_{sg2} si può esprimere come:

$$v_{sg2} = -\frac{v_{o1}}{1 + g_{m2}R_3}$$

e quindi la tensione d'uscita complessiva v_{out} è data da:

$$v_{out} = -g_{m2}R_3v_{sg2} = v_{o1}\frac{g_{m2}R_3}{1 + g_{m2}R_3} = \frac{g_{m2}R_3}{1 + g_{m2}R_3}\frac{g_{m1}R_1R_2}{1 + g_{m1}R_1}i_{in}.$$

La transresistenza dello stadio è quindi data da:

$$R_m = \frac{v_{out}}{i_{in}} = \frac{g_{m2}R_3}{1 + g_{m2}R_3}\frac{g_{m1}R_1R_2}{1 + g_{m1}R_1} = 3.2k\Omega \quad (70.1 \text{ dB}\Omega)$$

- Resistenza d'ingresso:
applicando un generatore di test i_t alla porta d'ingresso,

$$v_t = v_{sg1} = \frac{i_t R_1}{1 + g_{m1} R_1}$$

la resistenza d'ingresso R_{in} si può quindi esprimere come:

$$R_{in} = \frac{v_t}{i_t} = \frac{R_1}{1 + g_{m1} R_1} = 400\Omega$$

- Resistenza d'uscita:
applicando un generatore di test i_t alla porta d'uscita e spegnendo il generatore d'ingresso

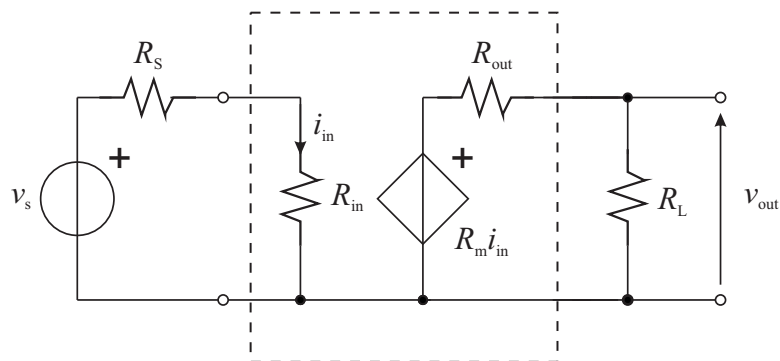
$$v_t = v_{sg2} = \frac{i_t R_3}{1 + g_{m2} R_3}$$

e la resistenza d'uscita si ricava pertanto come:

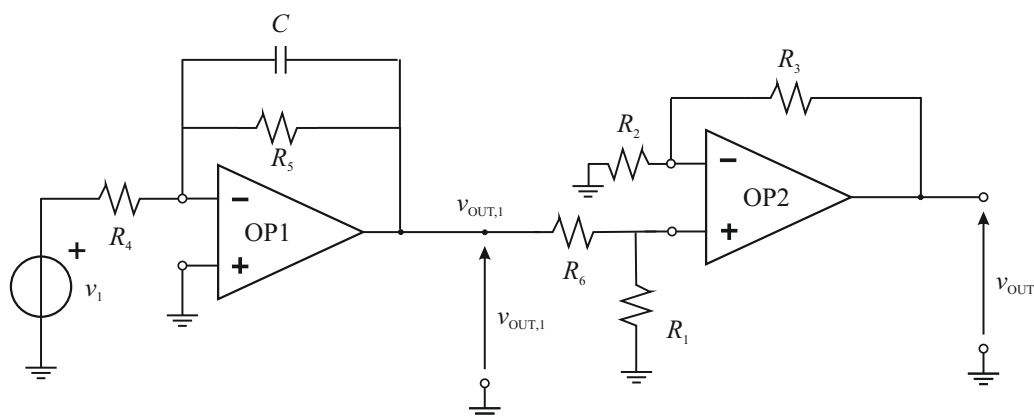
$$R_{out} = \frac{v_t}{i_t} = \frac{R_3}{1 + g_{m2} R_3} = 400\Omega$$

3. Nelle condizioni descritte al punto 3. (vedi figura sotto):

$$A_v = \frac{v_{out}}{v_s} = \frac{1}{R_{in} + R_s} R_m \frac{R_L}{R_{out} + R_L} = 2 \quad (6dB)$$



Esercizio 2.



Nel circuito in figura determinare:

1. l'espressione delle tensioni $v_{OUT,1}$ e v_{OUT} in condizioni statiche
2. l'espressione della funzione di trasferimento $A_v = v_{OUT}/v_1$, disegnandone i diagrammi di Bode del modulo e della fase
3. l'intervallo dei valori che può assumere l'errore in continua sulla tensione d'uscita, assumendo che l'*input offset voltage* massimo (in modulo) riportato sui dati di targa di tutti gli operazionali presenti sia pari a $V_{OFF} = 5\text{mV}$ e che *input bias current* ed *input offset current* siano entrambe trascurabili.

Si considerino i seguenti valori dei componenti: $R_1 = R_3 = R_6 = 5\text{ k}\Omega$, $R_2 = 1\text{ k}\Omega$, $R_4 = 2\text{ k}\Omega$, $R_5 = 10\text{ k}\Omega$.
 $C = \frac{10}{2\pi}\text{ nF}$.

1. Espressione della tensione d'uscita:

$$v_{\text{out},1} = -\frac{R_5}{R_4} v_1 = -5v_1$$

$$v_{\text{out}} = \frac{R_1}{R_1 + R_6} \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) v_{\text{out},1} = -15v_1$$

2. Funzione di trasferimento

$$A_v = -\frac{R_5}{R_4} \frac{R_1}{R_1 + R_6} \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \frac{1}{1 + sR_5C} = A_0 \frac{1}{1 - s/s_p}$$

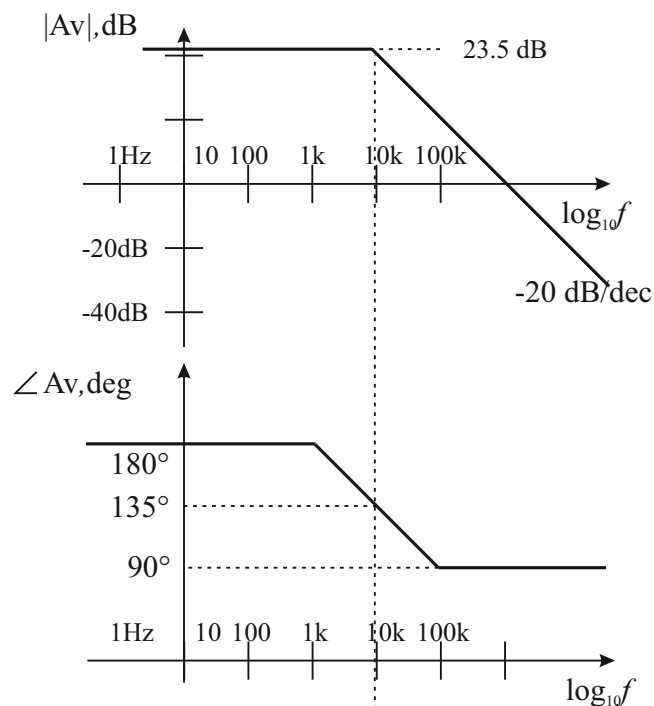
con

$$s_p = -\frac{1}{R_5C}$$

corrispondente alla frequenza

$$f_p = \frac{1}{2\pi R_5C} = 10 \text{ kHz}$$

La funzione è complessivamente di tipo passa-basso. Per $f = 0$ (continua) il guadagno è $20 \log_{10} 15 = 23.5 \text{ dB}$.



3. Le due tensioni di offset contribuiscono alla tensione di uscita come:

$$v_{\text{out}} = \frac{R_1}{R_1 + R_6} \left(1 + \frac{R_5}{R_4}\right) \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) V_{\text{OFF},1} + \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) V_{\text{OFF},2} = 18 V_{\text{OFF},1} + 6 V_{\text{OFF},2}$$

ovvero

$$\Delta V_{\text{OUT}} \in (-120, 120) \text{ mV}.$$