

**Sistemi Elettronici, Tecnologie e Misure**  
**Appello del 4/9/2018**

Nome: \_\_\_\_\_ SOLUZIONE \_\_\_\_\_  
Cognome: \_\_\_\_\_  
Matricola: \_\_\_\_\_

**ATTENZIONE**

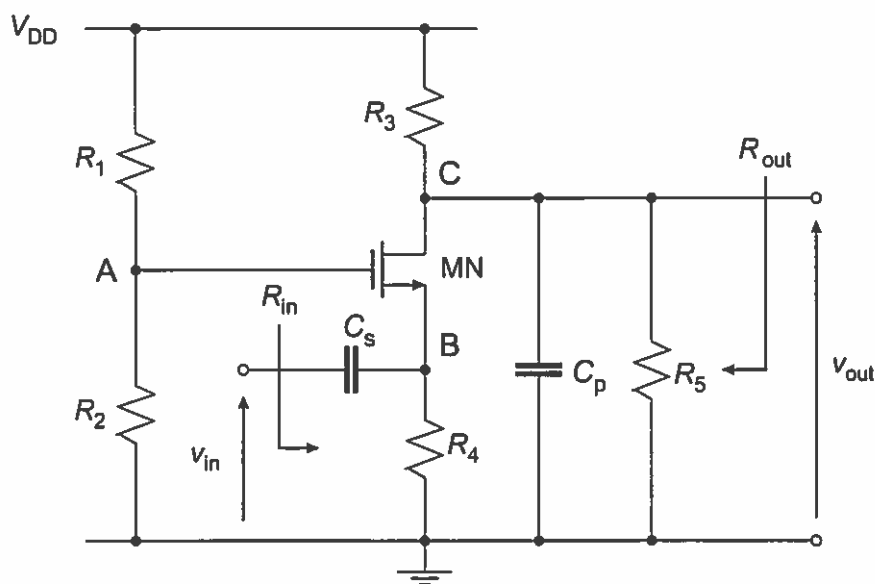
1. Compilare subito questa pagina con nome, cognome e numero di matricola
  2. Per i quesiti a risposta multipla, la risposta errata determina la sottrazione di un punteggio pari a metà del valore della risposta esatta
  3. Riportare le **risposte esatte** dei quesiti a risposta multipla nella tabella 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					
d					X	

- Un amplificatore operazionale con amplificazione differenziale a bassa frequenza pari a 80dB, 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 con amplificazione di tensione in banda di 20dB. La banda dell'amplificatore di tensione non invertente è pari a:
  - 100Hz
  - 10MHz
  - 100kHz
  - 10kHz
- In un amplificatore invertente basato su operazionale ideale, il resistore che collega la sorgente di segnale  $v_{in}$  all'ingresso invertente è sostituito da un diodo, con anodo collegato alla sorgente e catodo collegato all'ingresso invertente. Per  $v_{in} > 0$  il circuito che si ottiene si comporta come
  - amplificatore esponenziale invertente
  - amplificatore esponenziale non invertente
  - amplificatore logaritmico invertente
  - amplificatore logaritmico non invertente
- La conduttanza d'uscita di piccolo segnale  $g_o$  di un transistor MOS nel punto di lavoro  $Q$  è definita come:
  - $g_o = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{GS}} \right|_Q$
  - $g_o = \left. \frac{\partial i_D}{\partial v_{DS}} \right|_Q$
  - $g_o = \left. \frac{\partial i_G}{\partial v_{GS}} \right|_Q$
  - $g_o = \left. \frac{\partial v_{DS}}{\partial i_D} \right|_Q$
- Un amplificatore di tensione è descritto dai parametri  $A_v$ ,  $R_{in}$ ,  $R_{out}$ , tutti finiti e non nulli. Se la porta d'uscita è lasciata a vuoto e la porta d'ingresso è chiusa su un bipolo incognito che presenta tensione a vuoto  $v_s$ :
  - $v_{out} = A_v v_s$  indipendentemente dal bipolo in ingresso e da  $R_{out}$
  - se il bipolo in ingresso è un generatore ideale di tensione,  $v_{out} = A_v v_s$  per qualsiasi valore di  $R_{in}$  ed  $R_{out}$
  - se  $R_{out} = 0$ , allora  $v_{out} = A_v v_s$  indipendentemente dal bipolo in ingresso
  - non è possibile determinare  $v_{out}$  dal momento che la porta d'uscita è a vuoto
- In uno stadio amplificatore MOS *drain comune*, descritto dai parametri  $A_v$ ,  $R_{in}$  e  $R_{out}$ :
  - è sempre  $A_v < 0$  (stadio invertente)
  - è sempre  $|A_v| > 1$
  - $R_{out}$  è indipendente dalla transconduttanza  $g_m$  del transistor MOS
  - l'ingresso è applicato al terminale di *gate* e l'uscita è prelevata al terminale di *source* del transistor
- Per ricavare il circuito equivalente per il piccolo segnale di un amplificatore:
  - è necessario conoscere il punto di funzionamento a riposo dei dispositivi non lineari
  - i generatori di corrente costanti nel tempo possono essere sostituiti con corto circuiti
  - i condensatori possono essere sempre sostituiti da circuiti aperti
  - è necessario assumere che i segnali applicati siano in banda

## Esercizio 1.



$$\begin{aligned}
 R_1 &= 340\text{k}\Omega & \text{per MN:} \\
 R_2 &= 160\text{k}\Omega & \beta = 25\text{mA/V}^2 \\
 R_3 &= 2.5\text{k}\Omega & V_{TH} = 0.9\text{V} \\
 R_4 &= 1\text{k}\Omega & \lambda = 0 \\
 R_5 &= 10\text{k}\Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_A &= 1.6\text{V} \\
 V_B &= 500\text{mV} \\
 V_C &= 3\text{V} \\
 V_{DD} &= 5\text{V}
 \end{aligned}$$

Con riferimento al circuito in figura, in cui sono date le tensioni continue ai nodi A, B e C:

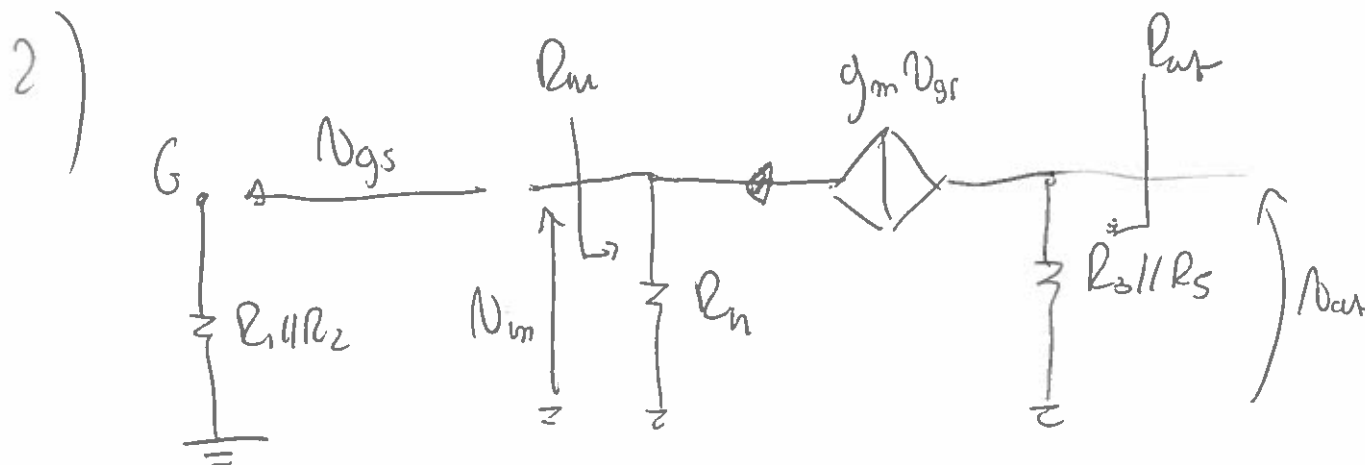
1. verificare la regione di funzionamento di MN e determinarne i parametri del modello per il piccolo segnale;
2. valutare l'amplificazione di tensione  $A_v = \frac{v_{out}}{v_{in}}$ , la resistenza d'ingresso  $R_{in}$  e la resistenza d'uscita  $R_{out}$  in condizioni di piccolo segnale e nell'ipotesi che il condensatore  $C_s$  si comporti come un corto circuito ed il condensatore  $C_p$  si comporti come un circuito aperto [sono richiesti: il circuito equivalente per il piccolo segnale, le espressioni simboliche (passaggi essenziali) ed i valori numerici];
3. determinare l'espressione della funzione di trasferimento  $A_v(s) = \frac{V_{out}(s)}{V_{in}(s)}$  assumendo  $C_s = \frac{5}{2\pi}\mu\text{F}$  e  $C_p = \frac{500}{2\pi}\text{pF}$  e tracciarne i diagrammi di Bode di modulo e fase (sono richiesti: l'espressione simbolica della funzione di trasferimento, i valori numerici della costante moltiplicativa e delle frequenze centrali di poli/zeri ed i diagrammi di Bode di modulo e fase, da tracciarsi sugli assi quotati forniti).

$$\begin{aligned}
 1) \quad V_{GS} &= V_A - V_B = 1.1\text{V} & V_{GS} > V_{TH} = 0.9\text{V} \\
 V_{DS} &= V_C - V_B = 2.5\text{V} > (V_{GS} - V_{TH}) = 0.2\text{V}
 \end{aligned}$$

• FUNZIONAMENTO in REGIONE DI SATURAZIONE

$$g_m = \beta (V_{GS} - V_{TH}) = 5\text{mS}$$

$$g_o = \lambda I_D = 0$$



$$V_{GS} = -V_{in}$$

$$A_v = \frac{-g_m V_{GS} R_3 || R_5}{V_{in}} = g_m \cdot R_3 || R_5 = 10 \quad (20 \text{ dB})$$

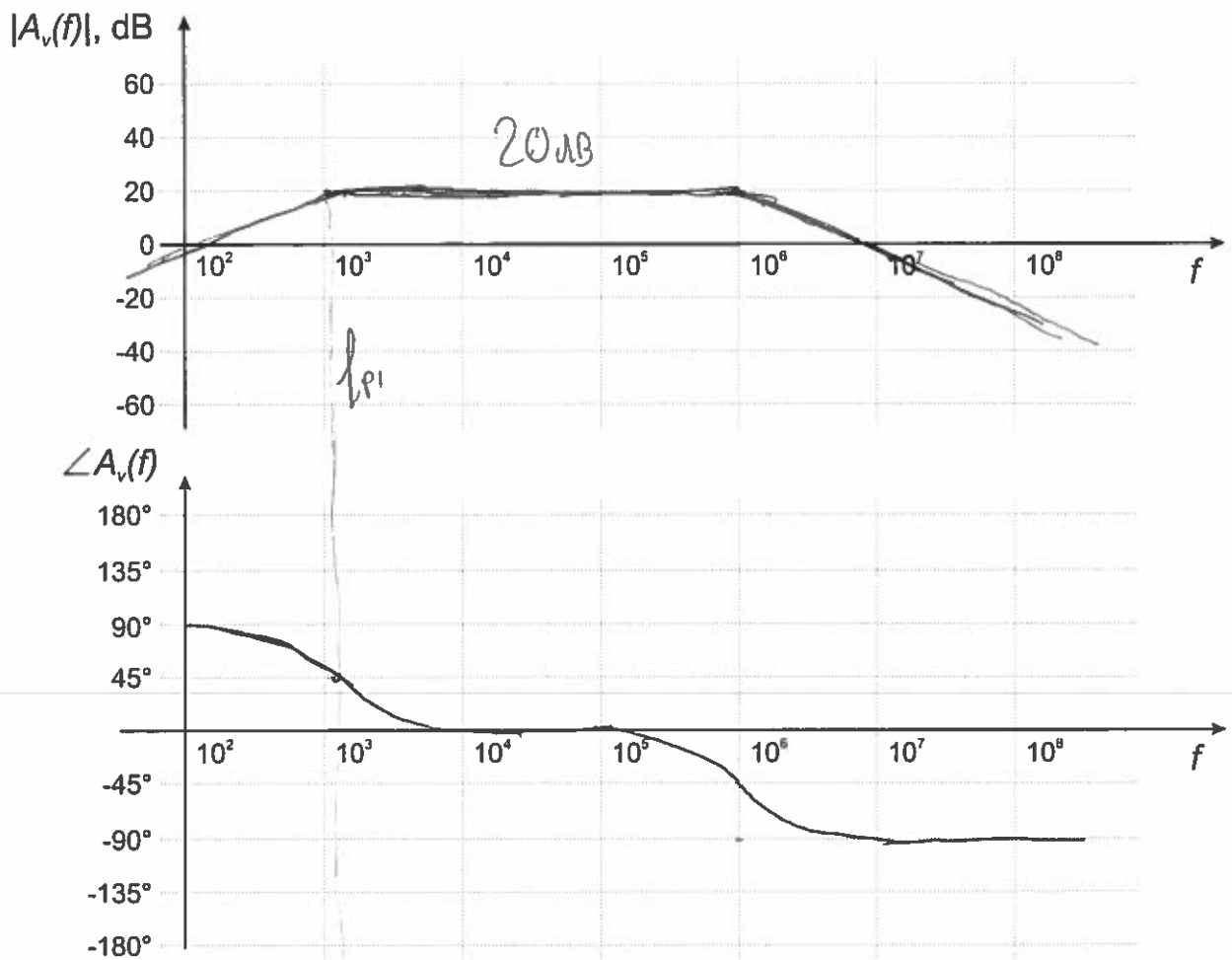
•  $R_{in}$ ) applica  $V_{in} = V_t$  e considero la corrente di test  $i_t$  erogata

$$V_{GS} = -V_t$$

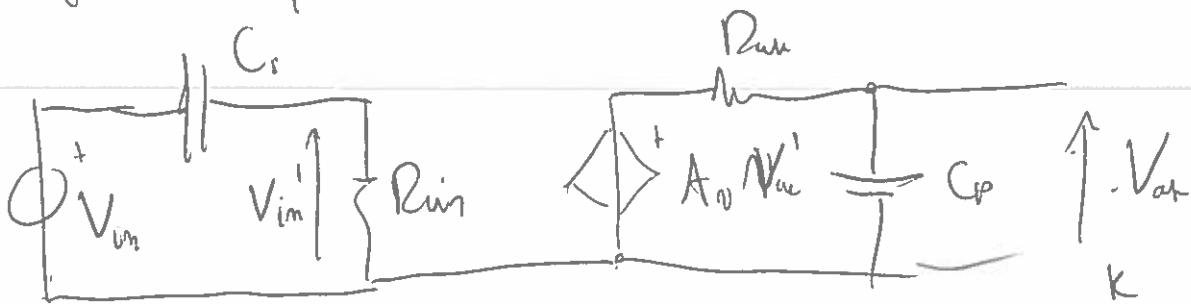
$$i_t = -g_m V_{GS} + \frac{V_t}{R_n} = \left( g_m + \frac{1}{R_n} \right) V_t$$

$$R_{in} = \frac{V_t}{i_t} = \frac{1}{g_m + \frac{1}{R_n}} = 166,7 \, \Omega$$

$$R_{out} = R_3 || R_5 = 2 \text{ K}\Omega$$



3) Risposta in freq



$$A_v(s) = \frac{R_{in}}{R_{in} + \frac{1}{sC_s}} \cdot A_v \cdot \frac{\frac{1}{sC_p}}{\frac{1}{sC_p} + R_{out}} = \frac{sC_s R_{in} A_v}{(sC_s R_{in} + 1)(sC_p R_{out} + 1)}$$

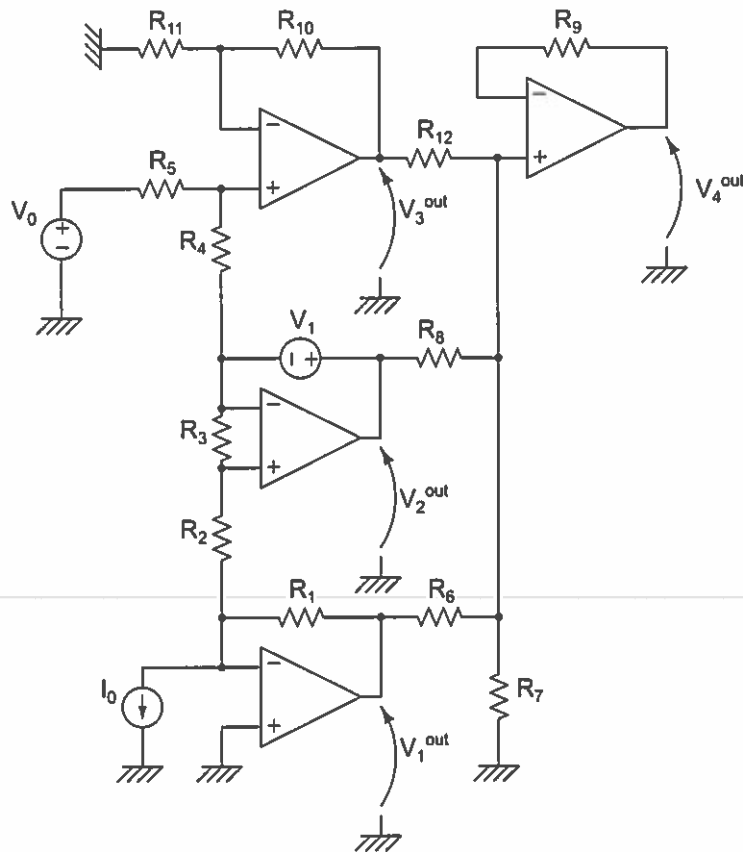
zmi  $s=0$

pole:  $s_{p1} = -\frac{1}{C_s R_{in}} \rightarrow f_{p1} = 1,2 \text{ KHz}$

$s_{p2} = -\frac{1}{C_p R_{out}} \rightarrow f_{p2} = 1 \text{ MHz}$

$k = C_s R_{in} A_v = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$

## Esercizio 2.



Con riferimento al circuito di figura, si assumano i seguenti valori:  $R_1 = R_2 = \dots = R_{12} = 1\text{k}\Omega$ ,  $V_0 = 3\text{V}$ ,  $V_1 = 1\text{V}$ ,  $I_0 = 10\text{mA}$ . Si supponga inoltre che gli amplificatori operazionali siano ideali e che lavorino sempre nella zona ad alto guadagno. Calcolare le tensioni di uscita degli operazionali  $V_1^{\text{out}}$ ,  $V_2^{\text{out}}$ ,  $V_3^{\text{out}}$  e  $V_4^{\text{out}}$ .

$$V_1^{\text{out}} = I_0 R_1 = 10\text{V}$$

$$V_2^{\text{out}} = V_1 = 1\text{V}$$

$$V_3^{\text{out}} = V_0 \cdot \frac{R_4}{R_4 + R_5} \cdot \left( 1 + \frac{R_{10}}{R_{11}} \right) = V_0 = 3\text{V}$$

$$V_4^{\text{out}} = V_4^{\text{t}} = \frac{\frac{V_3^{\text{out}}}{R_{12}} + \frac{V_2^{\text{out}}}{R_8} + \frac{V_1^{\text{out}}}{R_6}}{\frac{1}{R_{12}} + \frac{1}{R_8} + \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7}} = \frac{1}{4} (V_3^{\text{out}} + V_2^{\text{out}} + V_1^{\text{out}}) = \frac{14}{4}\text{V} = 3,5\text{V}$$