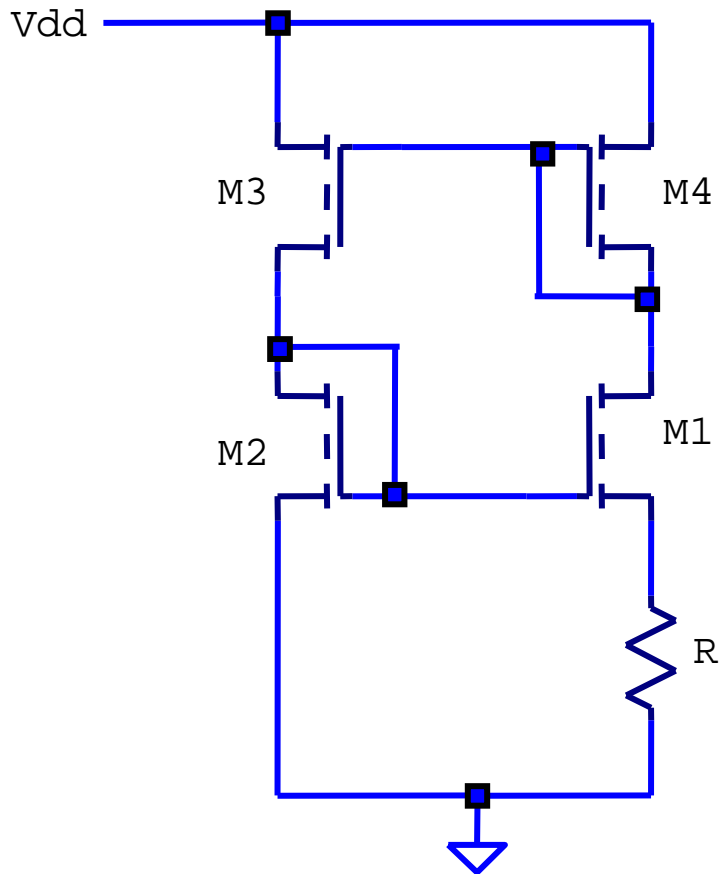


14 Giugno 2006  
Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici  
(tempo a disposizione 90 min)



Nel circuito in figura determinare:

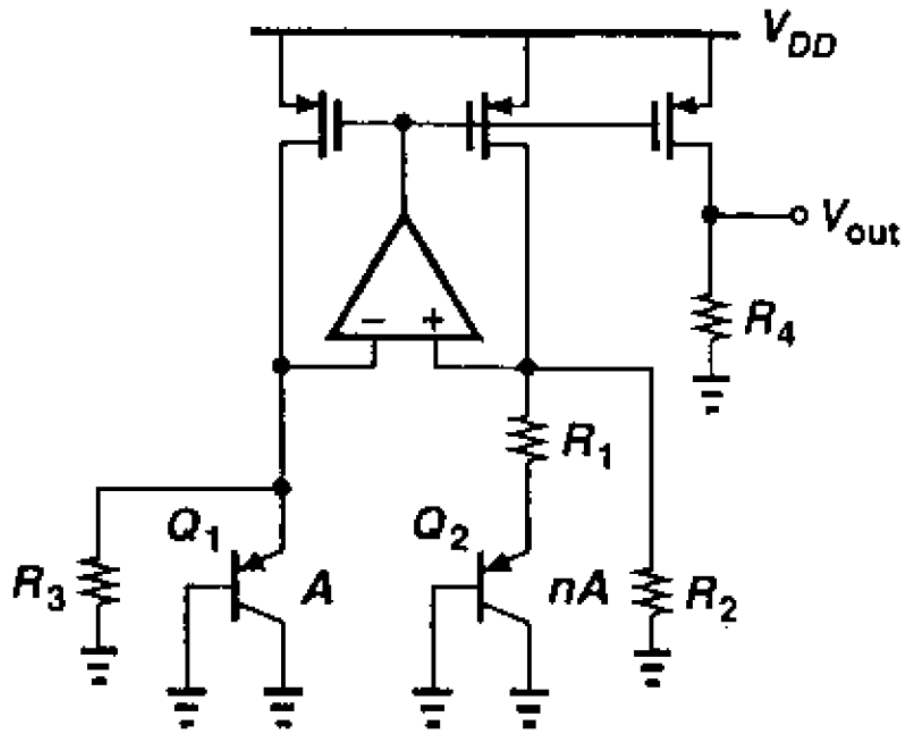
- 1) trascurando l'effetto di modulazione della lunghezza di canale, il legame tra la corrente che scorre nella resistenza **R** e i parametri fisici e geometrici dei dispositivi.
- 2) considerando successivamente l'effetto della modulazione della lunghezza di canale determinare la sensibilità di tale corrente alle piccole variazioni della

tensione di alimentazione  $\frac{\partial I_R}{\partial V_{DD}}$

**5 Luglio 2006**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

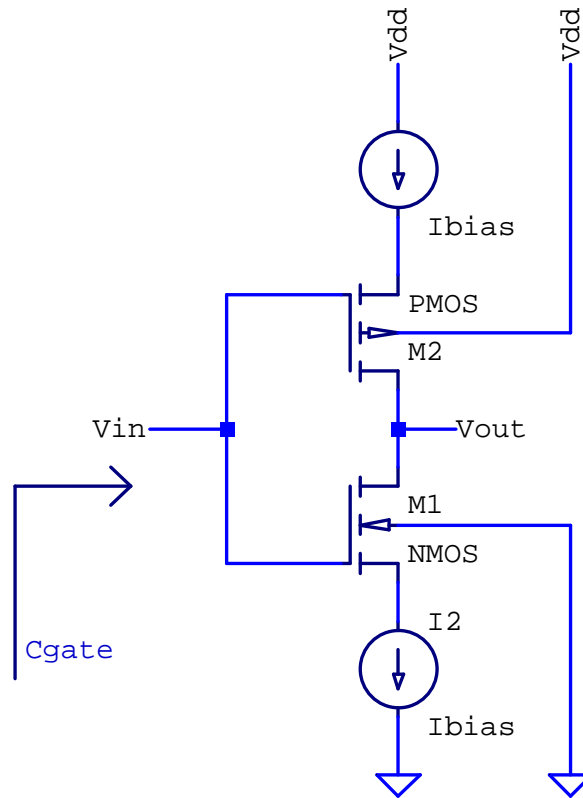
Progettare un amplificatore operazionale telescopico a singolo stadio con le seguenti specifiche:  $V_{DD}=3.3V$ , output swing differenziale 4V, dissipazione di potenza inferiore a 10mW, guadagno di tensione non inferiore a 70dB. Si consideri  $\mu_n C_{ox}=80\mu A/V^2$ ,  $\mu_p C_{ox}=40\mu A/V^2$ ,  $\lambda_n=0.1 V^{-1}$  e  $\lambda_p=0.2 V^{-1}$  (per una lunghezza di canale pari a  $0.5\mu m$ ),  $V_{tn}=|V_{tp}|=0.8 V$ . Si trascuri l'effetto body.

24 Luglio 2006  
 Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici  
 (tempo a disposizione 60 min)



Il circuito in figura rappresenta una configurazione di bandgap-reference proposta per funzionare anche quando la tensione di alimentazione  $V_{DD}$  è inferiore a 1V. Supponendo ideale l'amplificatore operazionale e  $R_2=R_3$ , determinare l'espressione di  $V_{out}$ .

**22 Settembre 2006**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 60 min)**

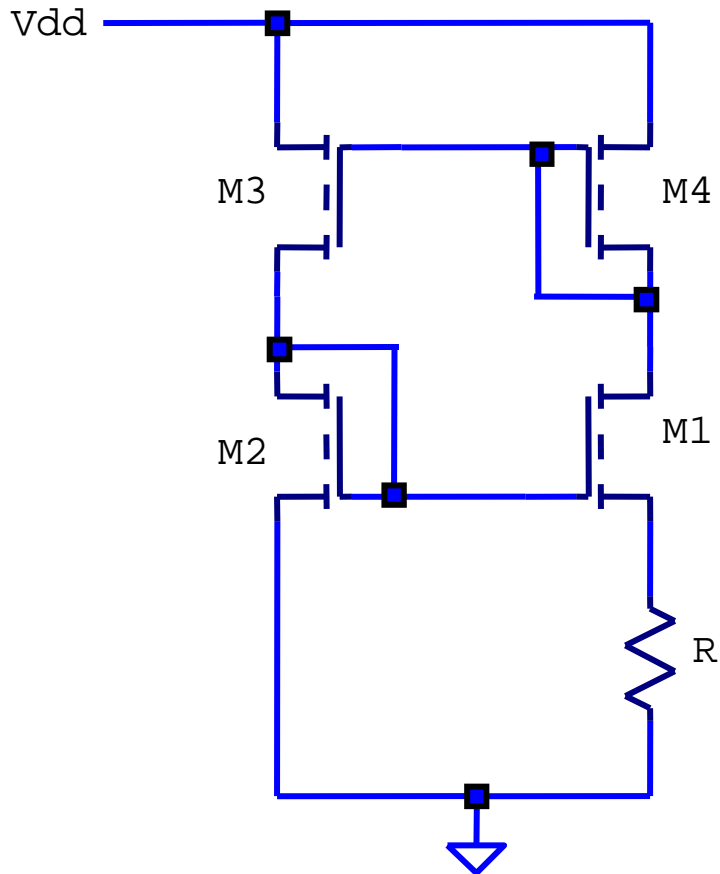


Il circuito in figura rappresenta una particolare configurazione di amplificatore in cui il dispositivo di ingresso è formato da una coppia complementare. Determinare, note  $I_{bias}$  e  $C_{gate}$ , le dimensioni dei dispositivi attivi affinché la transconduttanza  $G_m$  dello stadio amplificatore sia massima.

Si considerino noti ed assegnati tutti i parametri fisici che caratterizzano i dispositivi attivi. In particolare considerare la mobilità degli elettroni doppia rispetto a quella delle lacune.



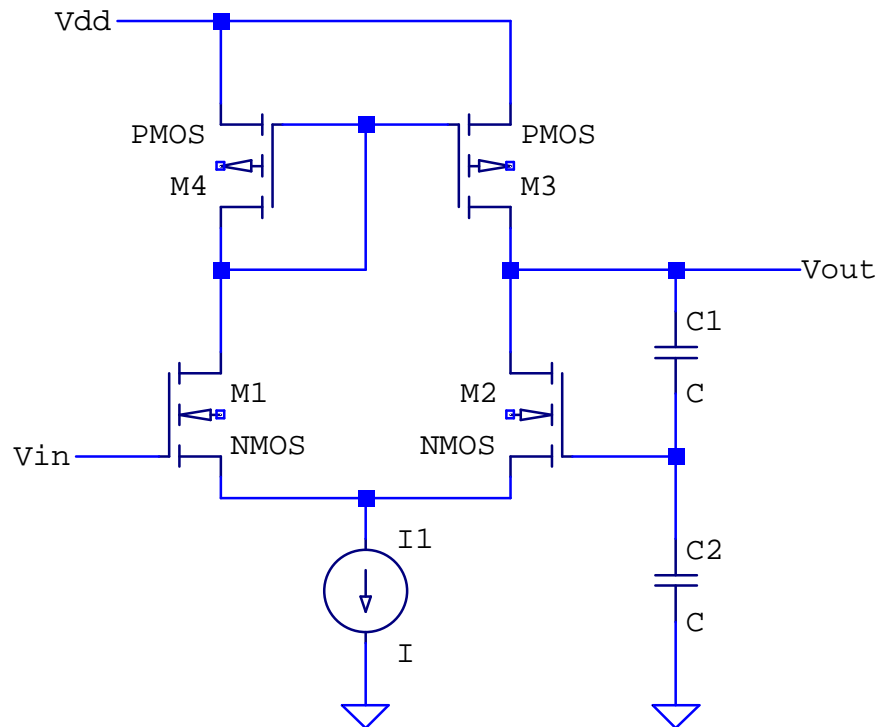
**8 Febbraio 2007**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**



Nel circuito in figura determinare:

- 1) trascurando l'effetto di modulazione della lunghezza di canale, il legame tra la corrente che scorre nella resistenza **R** e i parametri fisici e geometrici dei dispositivi.
- 2) disegnare poi una possibile rete di startup e dimensionare i dispositivi affinché il circuito e la rete di startup funzionino correttamente

**13 Giugno 2007**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

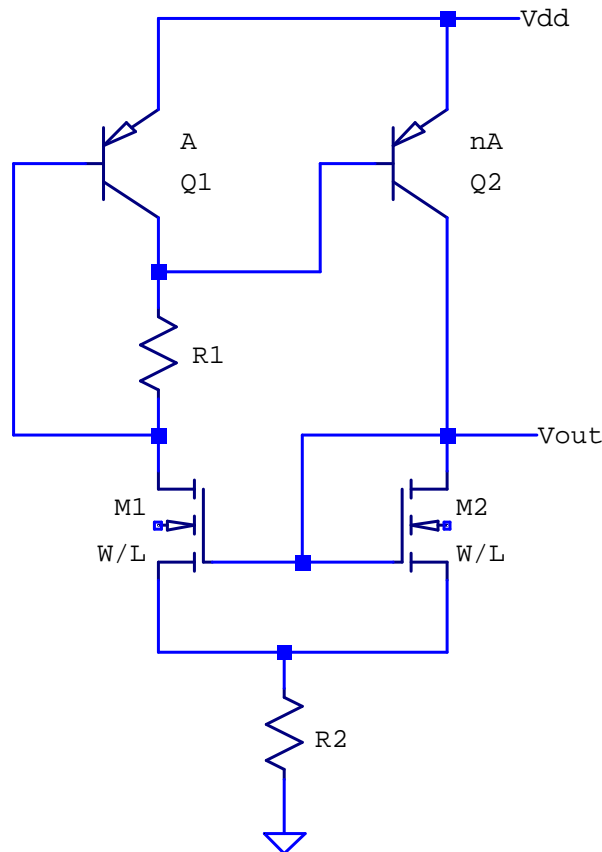


Nel circuito in figura determinare:

- 1) La funzione di trasferimento  $V_{out}(s)/V_{in}(s)$  e, di conseguenza, l'espressione della risposta ad un gradino in ingresso di piccola ampiezza.
- 2) Le espressioni della slew-rate quando al terminale di ingresso viene applicato un gradino positivo/negativo di ampiezza sufficiente ad innescare tale fenomeno.
- 3) Il PSRR in bassa frequenza (ovvero trascurando le capacità interne dei dispositivi attivi)

Si considerino note le dimensioni dei dispositivi, la corrente di polarizzazione e la tensione di alimentazione e si trascuri l'effetto di substrato sui mosfet a canale N.

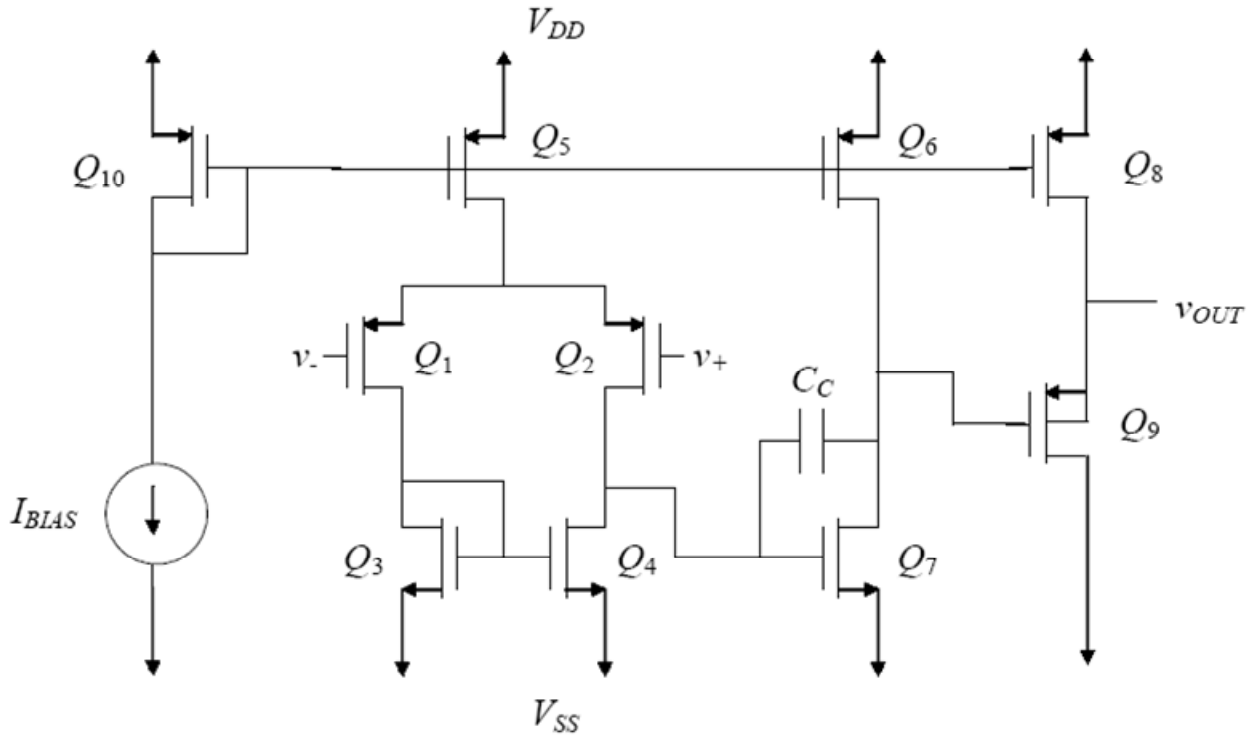
**13 Giugno 2007**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 60 min)**



Nel circuito riferimento di tensione riportato in figura determinare l'espressione della tensione  $V_{out}$  in funzione dei parametri che caratterizzano il circuito e come scegliere tali parametri per annullarne il coefficiente di temperatura ad una temperatura di riferimento  $T_{ref}$

Si considerino note le dimensioni dei dispositivi, si trascuri l'effetto di substrato e quello di modulazione della lunghezza del canale sui mosfet a canale N, si consideri la mobilità dei mosfet indipendente dalla temperatura e si ipotizzi, per la tensione di soglia, una dipendenza dalla temperatura del tipo  $V_t = V_{t0} - \alpha T$

**18 Luglio 2007**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

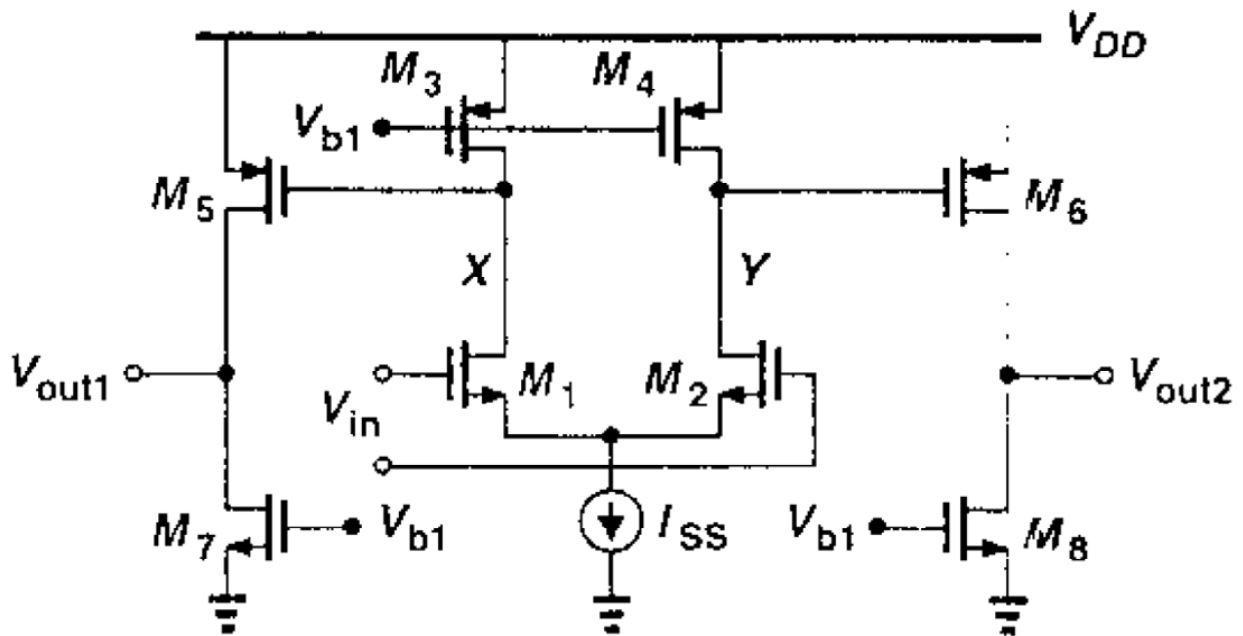


$$\begin{aligned}
 V_{DD} = -V_{SS} &= 3 \text{ V} & I_{BLAS} &= 50 \mu\text{A} \\
 \mu_p C_{ox} &= 40 \mu\text{A/V}^2 & \mu_n C_{ox} &= 120 \mu\text{A/V}^2 \\
 V_m = -V_{tp} &= 0.8 \text{ V} & V_A &= 40 \text{ V (for all devices)} \\
 (W/L)_1 = (W/L)_2 = (W/L)_5 = (W/L)_6 = (W/L)_{10} &= 100 \\
 (W/L)_3 = (W/L)_4 = 50 & & (W/L)_8 = (W/L)_9 &= 200 \\
 C_C &= 5 \text{ pF}
 \end{aligned}$$

Si consideri il circuito operazionale mostrato in figura in cui tutti i transistori sono correttamente polarizzati nella regione di pinch-off. Trascurando l'effetto body, si determini:

- Il guadagno di tensione in dB.
- Una stima della frequenza del polo dominante espressa in Hz.
- La slew-rate espressa in V/ $\mu$ s.

**12 Settembre 2007**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**



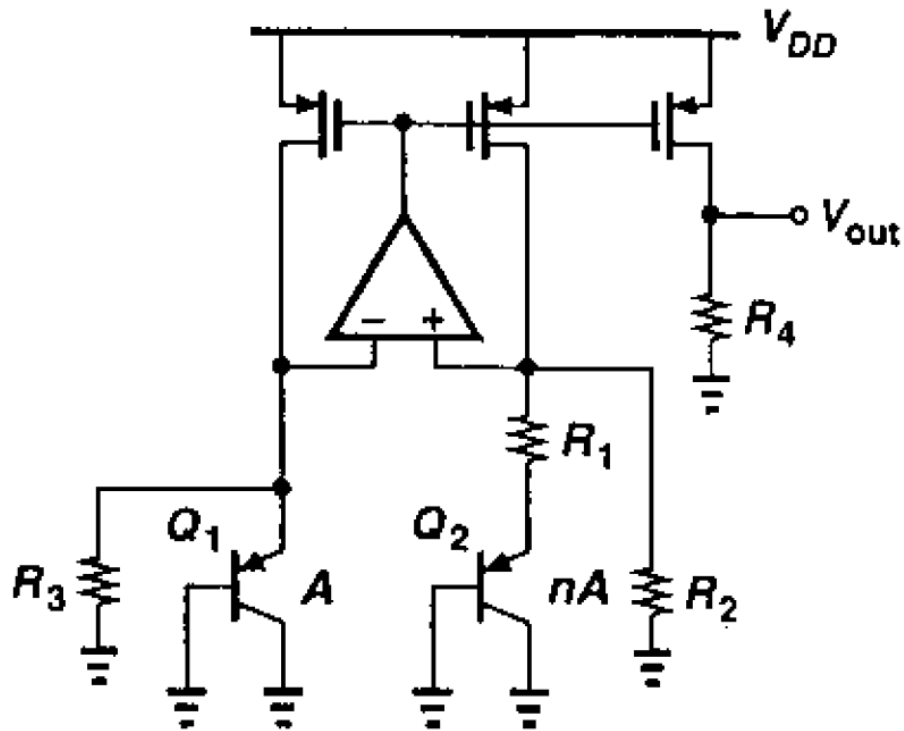
Si consideri il circuito operativo mostrato in figura in cui  $I_{SS}=0.25\text{mA}$  e i due stadi di uscita sono polarizzati da una corrente complessiva di  $1\text{mA}$ .

- a. Dimensionare i dispositivi affinché il circuito presenti un guadagno superiore a  $1000\text{ V/V}$  ed uno swing differenziale in uscita di almeno  $4\text{V}$ .
- b. Valutare il valore di tensione modo comune ai nodi X,Y
- c. Valutare la slew-rate se il circuito viene compensato utilizzando la tecnica di Miller con una capacità da  $1\text{pF}$

Il circuito ed i MOSFET sono caratterizzati dai seguenti parametri

$$V_{DD}=3\text{V}, |V_{tn,p}|=0.7\text{V}, K_n=2K_p=50\mu\text{A}/\text{V}^2, \lambda_n=\lambda_p=0.1 \text{ (per } L=0.5\mu\text{m)}$$

4 Ottobre 2007  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
 (tempo a disposizione 60 min)



Il circuito in figura rappresenta una configurazione di bandgap-reference proposta per funzionare anche quando la tensione di alimentazione  $V_{DD}$  è inferiore a 1V. Supponendo ideale l'amplificatore operazionale e  $R_2=R_3$ , determinare l'espressione di  $V_{out}$ .

**9 Gennaio 2008**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

Per stabilizzare un operazionale telescopico a singolo stadio, sono necessarie due capacità da 1pF collegate sui nodi di uscita. In questa condizione si ottiene un circuito a singolo polo dominante con un prodotto guadagno-banda  $GB=1$  GHz. Se il circuito deve dissipare  $330\mu W$  (relativamente al solo stadio amplificatore) e tutti i dispositivi hanno le stesse dimensioni, determinare:

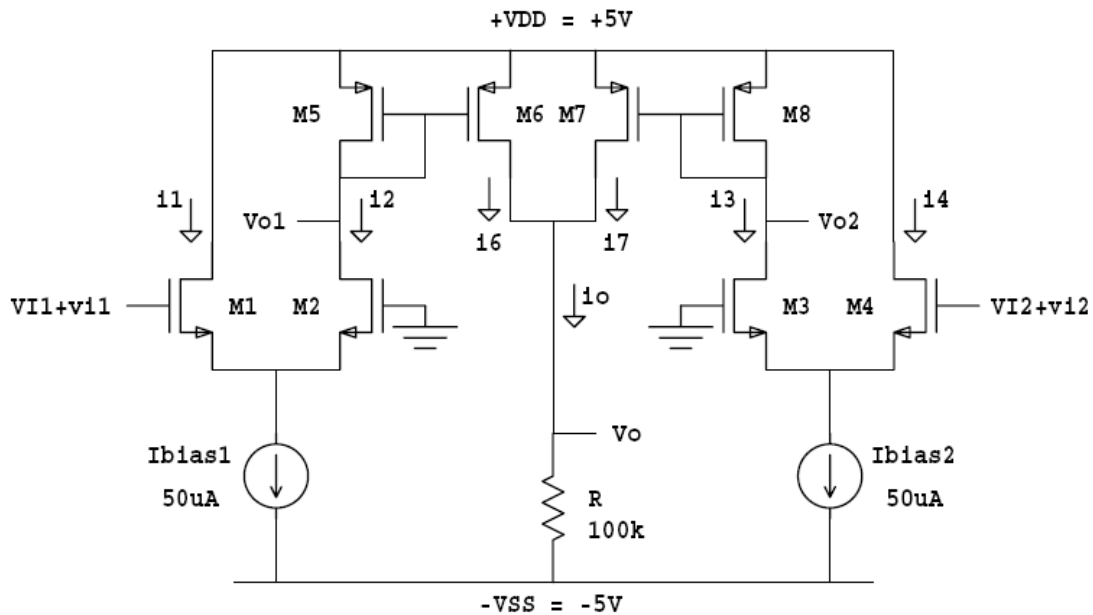
- Il rapporto  $W/L$  dei mosfet
- Il guadagno di piccolo segnale
- Lo swing differenziale in uscita

Il circuito ed i MOSFET sono caratterizzati dai seguenti parametri

$$V_{dd}=3.3V, |V_{t_{n,p}}|=0.7V, K_n=2K_p=50\mu A/V^2, \lambda_p=2\lambda_n=0.1 \text{ (per } L_{min}=0.5\mu m)$$

- I risultati saranno pubblicati sul sito web del corso in area DOWNLOAD.
- La verbalizzazione dei voti avverrà il giorno 14 Gennaio alle ore 9.30 nello studio del docente

**30 Gennaio 2008**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**



Nel circuito CMOS di figura, i parametri dei dispositivi sono:  $(\mu_n C_{ox}/2)(W/L) = (\mu_p C_{ox})(W/L) = K = 25 \mu A/V^2$ ,  $\lambda = 0$ , effetto body trascurabile,  $V_{tn} = -V_{tp} = 1V$ . Le tensioni di alimentazione sono  $V_{DD} = V_{SS} = 5V$  e la resistenza di carico è  $R = 100k\Omega$ . Le tensioni di ingresso hanno componente continua  $V_{I1}$ ,  $V_{I2}$  e segnale  $v_{i1}$ ,  $v_{i2}$ .

- Se  $V_{I1} = V_{I2} = 0$  determinare le correnti di polarizzazione  $I_1, I_2, I_3, I_4, I_6, I_7, I_0$  e le tensioni di polarizzazione DC:  $V_{O1}, V_{O2}$  e  $V_O$ .
- Nel punto di polarizzazione determinato in (a), determinare il guadagno di tensione differenziale e riferito ai singoli ingressi
- Se le tensioni DC di ingresso sono uguali e pari a  $V_{DD}$  oppure  $V_{SS}$ , determinare la modalità di funzionamento di ciascun MOSFET (interdizione, triodo, pinch-off) riempiendo la tabella riportata in calce

$V_{I1}$	$V_{I2}$	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
$V_{DD}$	$V_{DD}$								
$V_{DD}$	$V_{SS}$								
$V_{SS}$	$V_{DD}$								
$V_{SS}$	$V_{SS}$								

- Utilizzando un solo resistore  $R_1$  e un numero qualsiasi di mosfet, costruire i generatori di polarizzazione  $I_{bias1}$  e  $I_{bias2}$ . Che valore deve avere la resistenza  $R_1$ ?

20 Febbraio 2008

**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici - A**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

Si determini l'area occupata (intesa come area totale di gate) di un amplificatore operazionale *single-ended* a due stadi che

- presenti uno swing di uscita di almeno 2.5V se alimentato a  $V_{dd}=3.3V$
- abbia un guadagno di tensione ad anello aperto pari a 500.
- dissipi complessivamente una potenza inferiore a 5mW.
- non soffra di effetto body

Si suggerisca inoltre una rete di compensazione in frequenza che garantisca la stabilità di questo circuito,

I MOSFET sono caratterizzati dai seguenti parametri

$$|V_{t_{n,p}}|=0.7V, K_n=2K_p=50\mu A/V^2, \lambda_p=2\lambda_n=0.1 \text{ (per } L_{min}=0.5\mu m)$$

**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici - B**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

Si determini l'area occupata (intesa come area totale di gate) di un amplificatore operazionale a singolo stadio che

- presenti uno swing di uscita differenziale di almeno 5V se alimentato a  $V_{dd}=3.3V$
- abbia un guadagno di tensione ad anello aperto pari a 500.
- dissipi complessivamente una potenza inferiore a 5mW.

Si suggerisca inoltre uno schema di retroazione del modo comune.

I MOSFET sono caratterizzati dai seguenti parametri

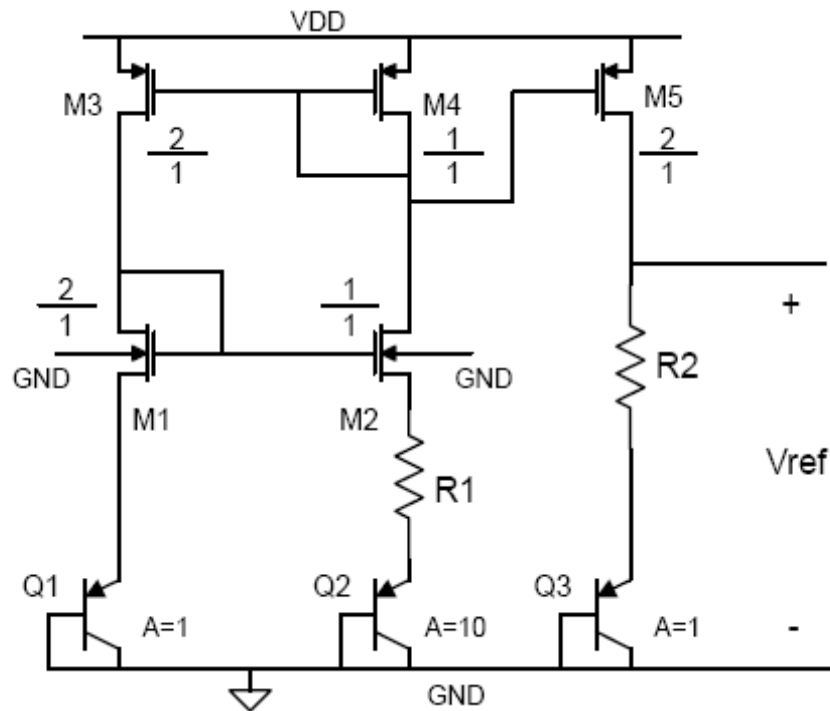
$$|V_{t_{n,p}}|=0.7V, K_n=2K_p=50\mu A/V^2, \lambda_p=2\lambda_n=0.1 \text{ (per } L_{min}=0.5\mu m)$$

**12 Marzo 2008**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 60 min)**

Cognome:

Nome:

Matricola:



Si consideri il circuito riferimento di tensione riportato in figura e si assuma che la tensione  $V_{BE}$  possa essere approssimata tramite la relazione

$$V_{BE} = \left[ \frac{kT}{q} \right] \ln \left( \frac{I_E}{I_S} \right)$$

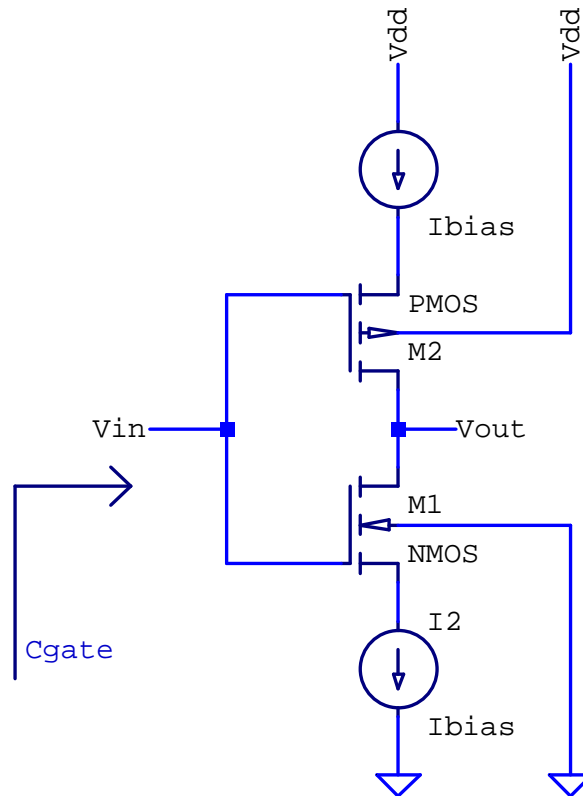
Si determini il valore di  $R_2$  utile ad ottenere una tensione di uscita  $V_{ref}=1.205V$  a  $25^\circ C$ . Si assuma che i BJT presentino, ad area unitaria, un valore di  $I_S$  pari a  $1 \times 10^{-13}$ , e si consideri  $R_1=5K$ .

Si trascurino l'effetto di modulazione della lunghezza di canale e l'effetto di substrato.

$R_2=$

**Riportare il procedimento sul retro della traccia.**

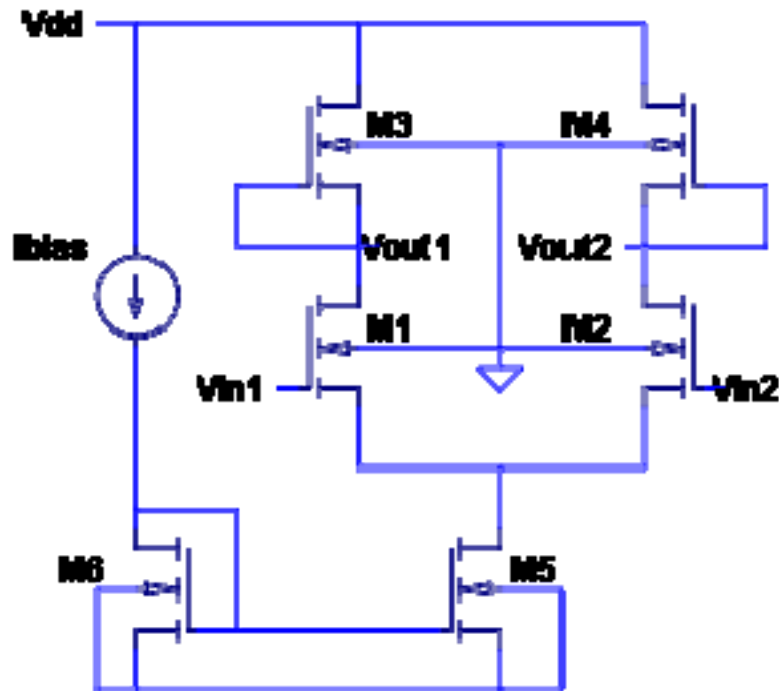
**20 Maggio 2008**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 60 min)**



Il circuito in figura rappresenta una particolare configurazione di amplificatore in cui il dispositivo di ingresso è formato da una coppia complementare. Determinare, assegnate  $I_{bias}$  e  $C_{gate}$ , le dimensioni dei dispositivi attivi affinché la transconduttanza  $G_m$  dello stadio amplificatore sia massima.

Si considerino noti ed assegnati tutti i parametri fisici che caratterizzano i dispositivi attivi. In particolare considerare la mobilità degli elettroni doppia rispetto a quella delle lacune.

**20 Maggio 2008**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**



Si consideri il circuito differenziale riportato in figura. Il generatore  $I_{bias}$  è progettato per erogare una corrente di  $50\mu A$  e si desidera che, per un alimentazione di  $3V$ , il circuito non dissipi una potenza superiore a  $300\mu W$ . Si desidera inoltre che il guadagno differenziale di questo circuito sia pari a  $10 V/V$ .

Si dimensionino tutti i MOSFET affinché il circuito risponda a tali specifiche e si determinino, infine, i valori minimi e massimi consentiti in ingresso (CMIR).

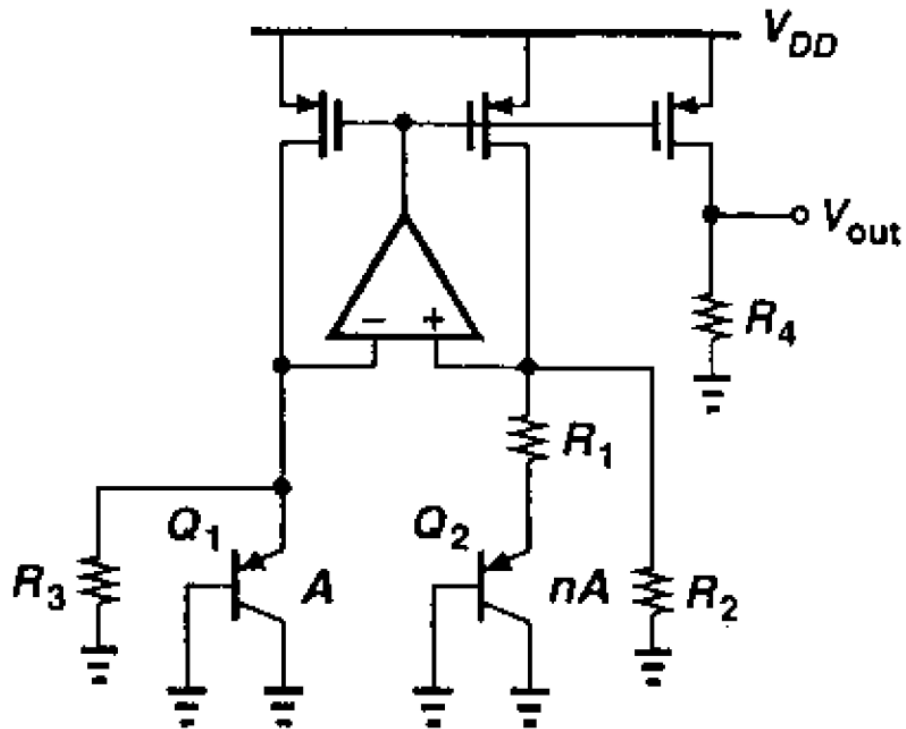
I MOSFET sono caratterizzati dai seguenti parametri

$$L_{min} = 0.5\mu m, V_{t_n} = 0.7V, K_n = 2K_p = 50\mu A/V^2$$

- I risultati saranno pubblicati sul sito web del corso in area DOWNLOAD.
- La verbalizzazione dei voti avverrà il giorno 18 Giugno c.m. alle ore 9.30 nello studio del docente



10 Novembre 2008  
 Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici  
 (tempo a disposizione 90 min)



Il circuito in figura rappresenta una configurazione di bandgap-reference proposta per funzionare anche quando la tensione di alimentazione  $V_{DD}$  è inferiore a 1V. Supponendo ideale l'amplificatore operazionale e  $R_2=R_3$ , determinare l'espressione di  $V_{out}$ .

**1 dicembre 2008**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

Per stabilizzare un operazionale telescopico a singolo stadio, sono necessarie due capacità da 10pF collegate sui nodi di uscita. In questa condizione si ottiene un circuito a singolo polo dominante con un prodotto guadagno-banda  $GB=3$  GHz. Se il circuito deve dissipare  $660\mu\text{W}$  (relativamente al solo stadio amplificatore) e tutti i dispositivi hanno le stesse dimensioni, determinare:

- Il rapporto  $W/L$  dei mosfet
- Il guadagno di piccolo segnale
- Lo swing differenziale in uscita

Il circuito ed i MOSFET sono caratterizzati dai seguenti parametri

$$V_{dd}=3.3\text{V}, |V_{t_{n,p}}|=0.7\text{V}, K_n=2K_p=50\mu\text{A}/\text{V}^2, \lambda_p=2\lambda_n=0.1 \text{ (per } L_{\min}=0.5\mu\text{m)}$$

**19 gennaio 2009**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

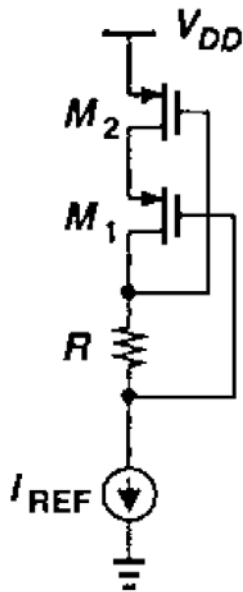


Fig.1

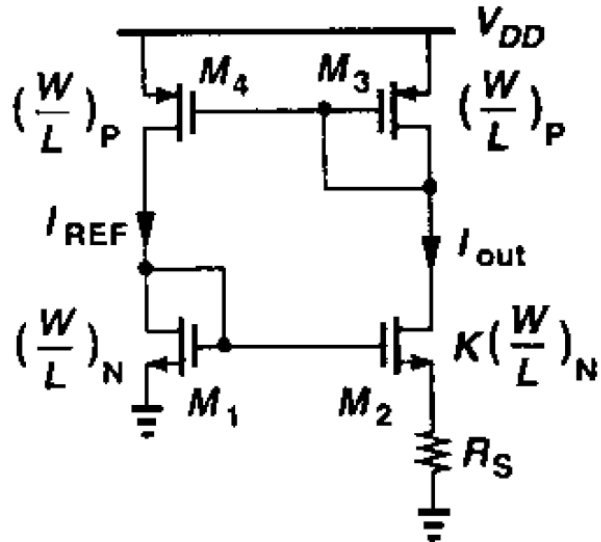
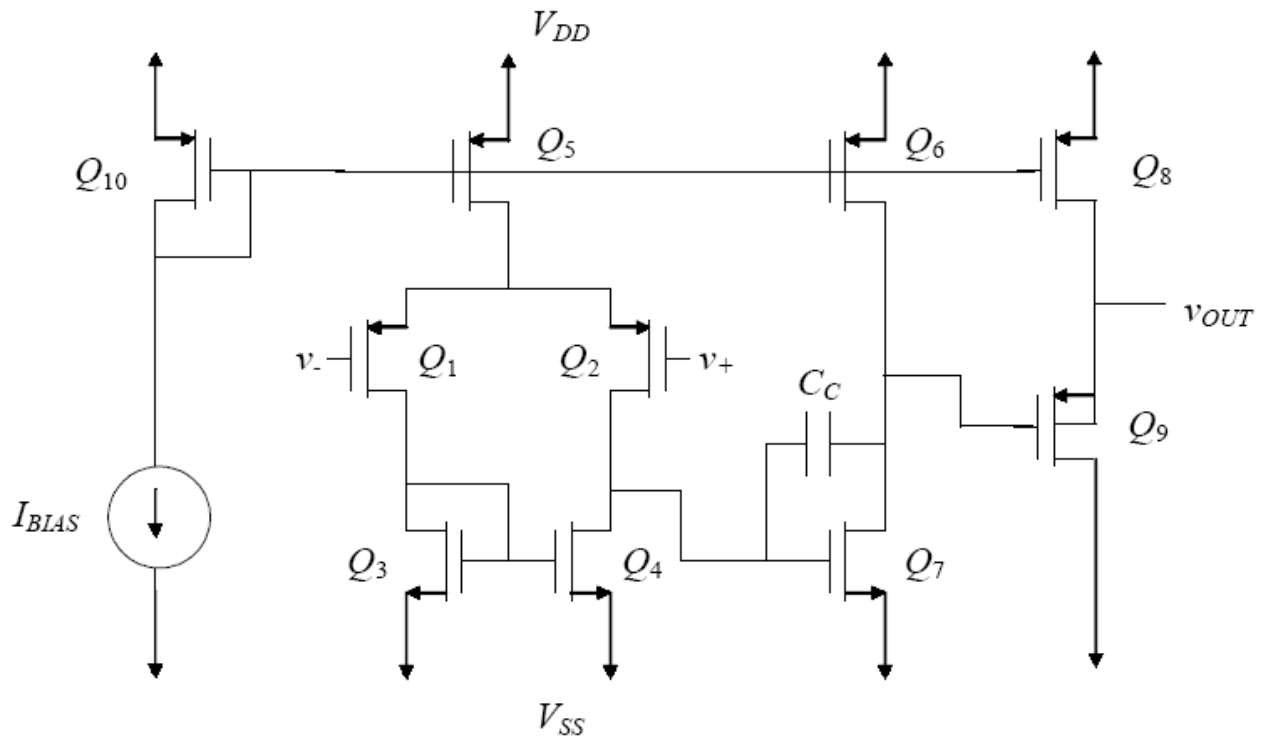


Fig.2

- A) Con riferimento al circuito di figura 1, assegnate le dimensioni dei mosfet  $M_1$  e  $M_2$ , determinare l'intervallo di valori del prodotto  $RI_{REF}$  tale che entrambi i mosfet rimangano in pinch-off
- B) Determinare il legame tra le correnti che scorrono nel circuito di Fig.2 e i parametri geometrici e fisici dei dispositivi che lo compongono. Indicare inoltre un possibile meccanismo che consenta al circuito accendersi anche senza l'esplicito inserimento della rete di start-up

**2 Febbraio 2009**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**



$$\begin{aligned}
 V_{DD} &= -V_{SS} = 3 \text{ V} & I_{BLAS} &= 50 \mu\text{A} \\
 \mu_p C_{ox} &= 40 \mu\text{A/V}^2 & \mu_n C_{ox} &= 120 \mu\text{A/V}^2 \\
 V_{tn} &= -V_{tp} = 0.8 \text{ V} & V_A &= 40 \text{ V (for all devices)} \\
 (W/L)_1 &= (W/L)_2 = (W/L)_5 = (W/L)_6 = (W/L)_{10} = 100 \\
 (W/L)_3 &= (W/L)_4 = 50 & (W/L)_8 &= (W/L)_9 = 200 \\
 C_C &= 5 \text{ pF}
 \end{aligned}$$

Si consideri il circuito operazionale mostrato in figura in cui tutti i transistori sono correttamente polarizzati nella regione di pinch-off. Trascurando l'effetto body, si determini:

- a. Il guadagno di tensione in dB ed il prodotto guadagno banda.
- b. La slew-rate espressa in V/ $\mu$ s.

**23 Febbraio 2009**  
**Prova scritta di Circuiti Integrati Analogici**  
**(tempo a disposizione 90 min)**

Progettare un amplificatore operazionale telescopico a singolo stadio con le seguenti specifiche:  $V_{DD}=3.3V$ , output swing differenziale 4V, dissipazione di potenza inferiore a 10mW, guadagno di tensione non inferiore a 70dB. Determinare, una volta progettato il circuito, il minimo e il massimo valore di tensione di ingresso di modo comune.

Si consideri  $\mu_n C_{ox}=50\mu A/V^2$ ,  $\mu_p C_{ox}=20\mu A/V^2$ ,  $\lambda_n=0.05 V^{-1}$   $\lambda_p=0.1 V^{-1}$  (per una lunghezza di canale pari a  $0.5\mu m$ ),  $V_{tn}=|V_{tp}|=0.8 V$ . Si trascuri l'effetto body.