Cognome e nome	
Matricola	
Data	10 aprile 2003

Progetto di circuiti analogici L-A

In figura è mostrata una variante dello schema classico di amplificatore differenziale CMOS a uscita singola: $S_1 = S_2 = S_3 = S_4 = 1250$, $S_5 = S_6 = S_7 = 1111$, $S_8 = 400$, $L_{min} = 0.5\mu m$, $\beta'_n = 60\mu A/V^2$, $\beta'_p = 30\mu A/V^2$, $V_{Tn} = -V_{Tp} = 0.7V$, $\gamma_n = \gamma_p = 0V^{1/2}$, $\lambda_n = \lambda_p = 0V^{-1}$, $V_{DD} = 3V$, $V_A = 1.6V$, $V_B = 1.7V$, $V_C = 1.2V$

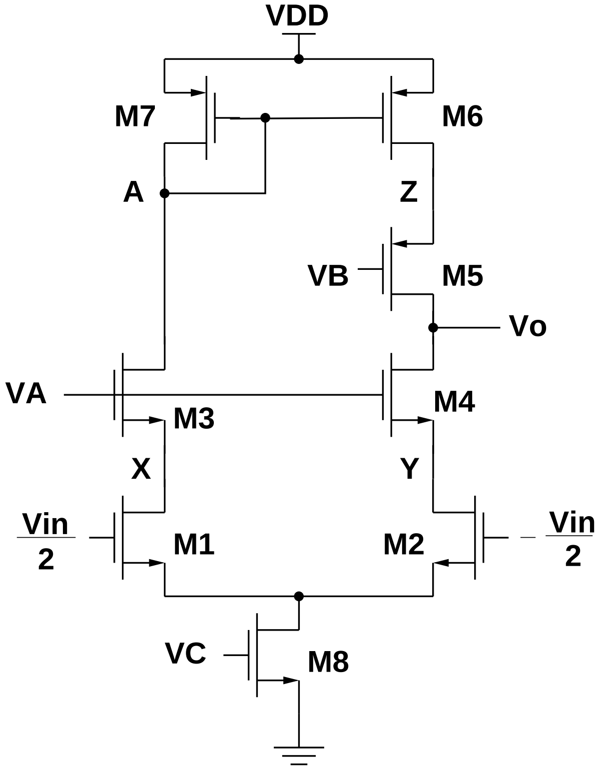

Figura 1.

1. Chiarire il ruolo svolto dai transistori M_4 e M_5, indicando le differenze di prestazioni che si possono ottenere rispetto allo schema classico del differenziale.

   Realizzano uno stadio cascode per aumentare la resistenza di uscita del differenziale e quindi accrescere il guadagno di tensione $A_V = g_m R_o$.

2. Determinare le tensioni di overdrive $V_{ov} = V_{GS} - V_T$ impiegate nello schema per polarizzare i transistori MOS.

L'esame del transistore M_8 permette di trovare la corrente di polarizzazione dello stadio:

$$I_{D8} = \frac{\beta_n'}{2}\left(\frac{W}{L}\right)(V_{GS} - V_{Tn})^2 = 3mA$$

e anche $V_{ov8} = 0.5V$. I due rami del circuito sono percorsi quindi dalla stessa corrente pari a 1.5mA. Applicando la formula

$$V_{ov} = V_{GS} - V_T = \sqrt{\frac{2I_D}{\beta'(W/L)}}$$

si ottengono le tensioni cercate $V_{ov1} = V_{ov2} = V_{ov3} = V_{ov4} = 0.2V$ e $V_{ov5} = V_{ov6} = V_{ov7} = 0.3V$

3. Calcolare il massimo valore possibile per lo swing della tensione di uscita V_o^{sw}.

La tensione sul nodo di uscita deve variare in modo da non fare uscire dalla regione attiva i transistori interessati. Si ha:

$$\begin{aligned} V_o^{min} &= V_{ov8} + V_{od2} + V_{ov4} = 0.9V \\ V_o^{max} &= V_{DD} - |V_{od6}| - |V_{od5}| = 2.4V \end{aligned}$$

per cui $V_o^{sw} = 1.5V$.

4. Calcolare il minimo valore accettabile per la tensione di ingresso di modo comune V_{CM} e i valori minimo e massimo per le tensioni di polarizzazione V_{Amin} e V_{Bmin}.

$$\begin{aligned} V_{CM} &\Longrightarrow V_{GS1} + V_{ov8} = V_{Tn1} + V_{od1} + V_{ov8} = 1.4 \\ V_{Amin} &\Longrightarrow V_{GS3} + V_{od1} + V_{od8} = 1.6 \\ V_{Bmax} &\Longrightarrow V_{DD} - (|V_{GS5}| + V_{od7}) = 1.7 \end{aligned}$$

5. Supponendo adesso che per i transistori valga $\lambda_n = 0.1V^{-1}$, $\lambda_p = 0.2V^{-1}$ e, per semplicità, $\lambda_{n8} = 0V^{-1}$, calcolare la resistenza di uscita R_o dell'amplificatore.

Sfruttando il risultato ottenuto studiando lo stadio cascode si ha subito

$$R_o \cong (g_{m5}r_{d5}r_{d6})||(g_{m4}r_{d4}r_{d2})$$

6. Calcolare il guadagno di tensione $A_V = v_o/v_{in}$ dell'amplificatore.

$$A_V = g_m R_o \cong g_{m1}[(g_{m5}r_{d5}r_{d6})||(g_{m4}r_{d4}r_{d2})] \cong 1416$$

7. Supponendo di poter rappresentare gli effetti reattivi del circuito mediante condensatori costanti posti fra i nodi X,Y,A,Z,O in figura e massa, si chiede:

(a) Indicare i contributi capacitivi che concorrono a definire i condensatori indicati:

$$C_X =$$

$$C_Y =$$

$$C_Z =$$

$$C_A = C_{GS5} + C_{GS6} + C_{DB5} + 2C_{GD6} + C_{DB3} + C_{GD3}$$

$$C_O =$$

(b) Stimare gli ordini di grandezza dei poli introdotti dai condensatori trovati al punto precedente, identificando il polo dominante e quello immediatamente seguente.

$$-\frac{1}{R_o C_L} > -\frac{g_{m7}}{C_A} > -\frac{g_{m5}}{C_Z} > -\frac{g_{m3}}{C_X}$$

(c) Disegnare i diagrammi di Bode relativi al guadagno di tensione A_V.

(d) Fissare il polo dominante dell'amplificatore in modo da ottenere un GB pari a 10 MHz.

Polo dominante posto in GB/A_V. Uguagliando il rapporto A_V/GB al prodotto di R_o per la capacità di compensazione collegata al nodo di uscita si soddisfa la specifica:

$$C = \frac{g_{m1}}{GB}$$

8. Suggerire una variante al progetto per aumentare il guadagno di tensione A_V senza modificare la topologia del circuito, i fattori di forma S impiegati nel progetto e le tensioni di overdrive V_{ov}.

Osservando che:

$$g_m r_d = \frac{\sqrt{2\mu C_{ox} W/L I_D}}{\lambda I_D}$$

ed essendo $\lambda \propto 1/L$ si deduce $g_m r_d \propto \sqrt{WL/I_D}$.È quindi possibile au8mentare W o L oppure diminuire I_D. Solitamente considerazioni basate sulla velocità e sul rumore impongono di fissare I_D e quindi si agisce sulle dimensioni. Per mantenere lo stesso overdrive si deve quindi scalare W ed L. Raddoppiando W e L si raddoppia $g_m r_d$ perchè g_m constante ma r_d raddoppia.

9. Giustificare la presenza del transistore M_3 nello schema.

Mantenere le tensioni di drain dei transistori di ingresso il più possibile uguali e quindi ridurre i problemi legati all'offset.