

Electrónica 1

Práctico 8 *Amplificadores Diferenciales*

Los ejercicios marcados con ★ son opcionales. Además cada ejercicio puede tener un número, que indica el número de ejercicio del libro del curso (*Microelectronic Circuits, 4th. edition. Sedra/Smith.*) o una fecha, que indica en que prueba (examen o parcial) se planteó el ejercicio.

Objetivo: El objetivo general del presente práctico es familiarizar al estudiante con el estudio de circuitos con amplificadores diferenciales, los cuales son utilizados en muchas aplicaciones, por ejemplo en la etapa de entrada de los amplificadores operacionales. Se presentan ejercicios donde se busca determinar la resistencia de entrada y la ganancia para distintas configuraciones, así como otros parámetros como el slew-rate.

Ejercicio 1.

En este problema se busca ver como varían varios parámetros de dos amplificadores diferenciales los cuales solo se diferencian en cuanto a configuración de resistencias de emisor y fuentes de corriente. Para esto, calcule para los amplificadores diferenciales de las Figuras 1.1 y 1.2:

- (a) Ganancia diferencial y resistencia de entrada diferencial.
- (b) Ganancia en modo común y resistencia de entrada en modo común. Si las fuentes de corriente se consideran no ideales con una resistencia de salida finita de valor r_o .
- (c) Rango de entrada en modo común.
- (d) Indicar que configuración es más conveniente utilizar si se tiene un mejor apareo en las fuentes de corrientes que en las resistencias y viceversa.

Ejercicio 2.

Para el circuito de la Figura 2:

- (a) Calcular la frecuencia f_T para la cual la ganancia en voltaje V_o/V_i es la unidad.
- (b) A los efectos de tener una estimación para el rango de funcionamiento lineal del par diferencial y la amplitud entrada a la cuál el fenómeno del Slew Rate empieza a actuar, calcular la amplitud de la tensión V_{in} para que la amplitud de la corriente por el condensador sea del 90 % de I_1 de pico ($T = 300^\circ K$). Sugerencia: considere para los transistores la relación exponencial.

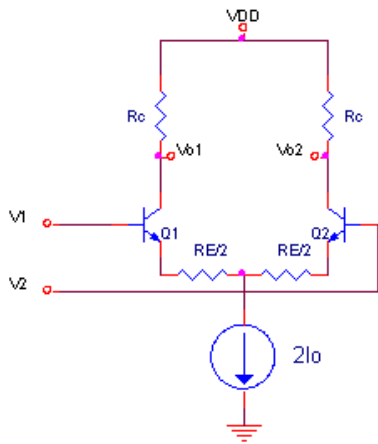


Figura 1.1

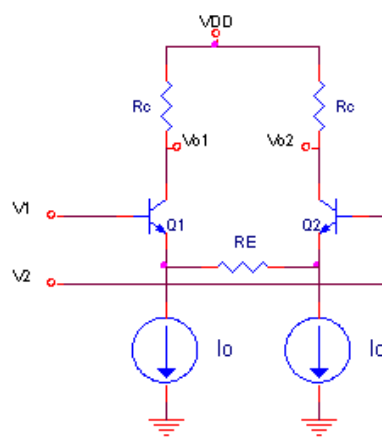


Figura 1.2

- (c) Si la velocidad de crecimiento de la señal de salida al aplicar un escalón a la entrada es SR , calcular SR/f_T .
- (d) Repita el ejercicio sustituyendo los transistores bipolares por sus equivalentes MOS.

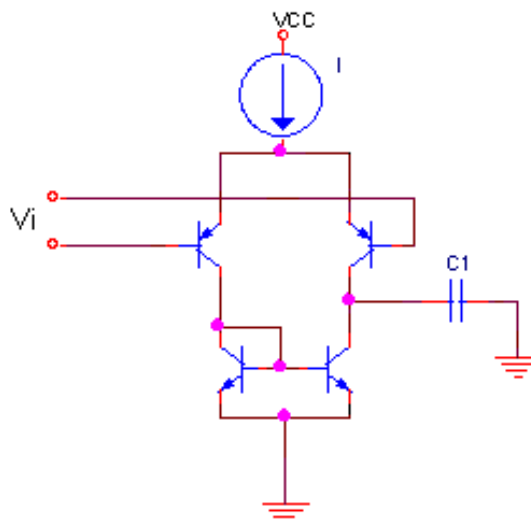


Figura 2

Ejercicio 3.

Este problema muestra una configuración capaz de cancelar la tensión de offset en un amplificador diferencial. Para el circuito de la Figura 3:

- (a) Expresar $V_{o1} - V_{o2}$ en función de V_{BE1} , V_{BE2} , I_{C1} y hallar la posición del potenciómetro para la cual la tensión de offset se cancela.
- (b) En lo que sigue se consideran ambos transistores idénticos. Si el cursor del potenciómetro está en el centro, dibujar la transferencia I_{C1}/I_{C0} en función de $(V_{B1} - V_{B2})/V_T$.
- (c) Desarrollar $I_{C1}/(V_{B1} - V_{B2})$ por Taylor y calcular la transconductancia en señal.

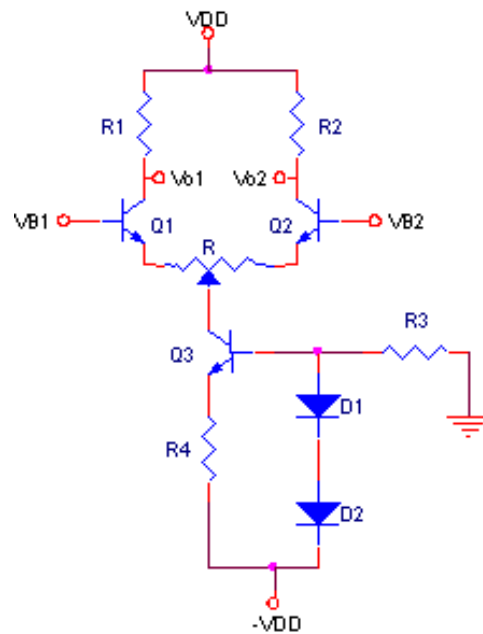


Figura 3

Ejercicio 4.

Para el circuito de la Figura 4:

- (a) Calcular V_{out} en función de V_1 y V_2 . Determinar R_3 para que la ganancia total sea máxima. Para esta parte R_5 no está conectada.
- (b) Opcional: Esta parte tiene como objetivo ver el efecto en un caso particular de una realimentación en la ganancia y resistencia de entrada del amplificador. Siendo R_3 la resistencia hallada en la parte anterior, el amplificador se realimenta con R_5 . Calcular V_o/V_i y la impedancia de entrada vista por V_1 .

El amplificador puede considerarse ideal. Los transistores Q1 y Q2 son idénticos con β grande.

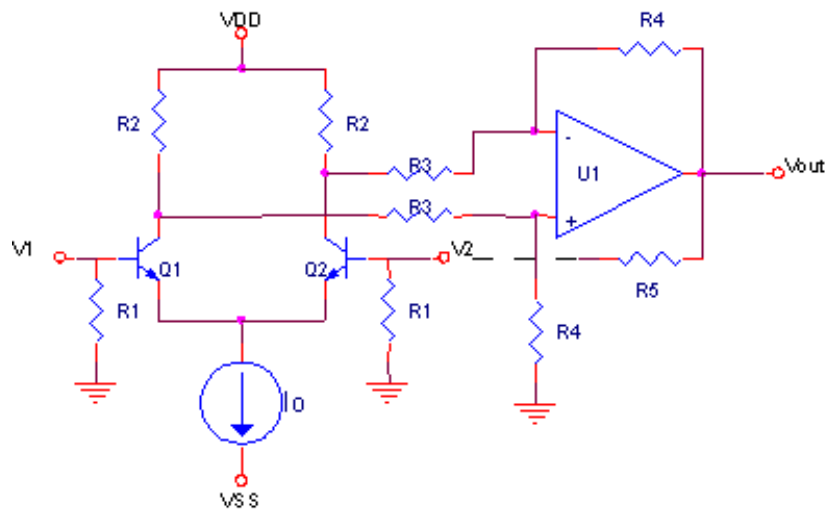


Figura 4

Ejercicio 5.

Este ejercicio busca familiarizar al estudiante con el análisis de etapas en cascada con entrada y salida diferencial, para lo cual se deberán manejar adecuadamente las resistencias vistas a aplicar en este caso. Asimismo el ejercicio se presta para resolverlo aplicando la simetría del par diferencial y manejando adecuadamente las impedancias de carga.

El circuito de la Figura 5 es un amplificador de 3 etapas, en él todos los transistores trabajan en su zona activa con $\beta = 200$ y $gm = 30\Omega^{-1}$. Se aplica en $V1 - V2$ una señal V_{in} de frecuencia angular ω .

- Hallar V_{out}/V_{in} y determinar ceros y polos.
- Elegir todos los componentes para que el Rise Time sea de $1\mu s$ y se cancelen la mayor cantidad de polos y ceros de la transferencia.

Se podrá suponer $C1 = C2 = C3$.

Ejercicio 6. (Examen 12/98)

- Hallar la resistencia vista R del circuito de la Figura 6.1. ¿Cómo se compara con el caso de un espejo de corriente usual (sin T1).
- Calcular la transferencia V_o/V_i del circuito de la Figura 6.2.
- Hallar su Slew Rate.

Notas:

- Se supondrá que todos los transistores tienen el mismo $\beta \gg 1$.
- Todos los transistores tienen el mismo Voltaje de Early V_A .
- A los puntos V_{bias} , V_{bias1} y V_{bias2} se conectan fuentes de continua para polarizar los transistores.

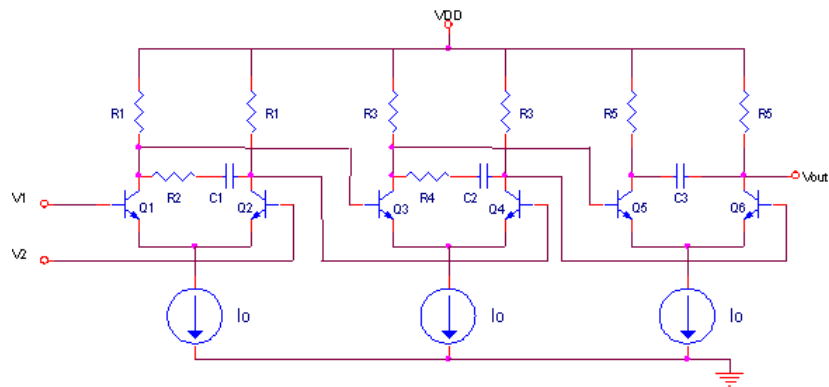


Figura 5

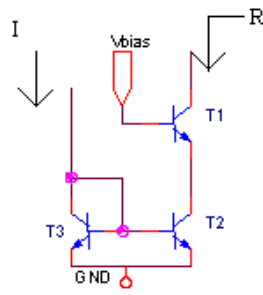


Figura 6.1

Ejercicio 7.

Considere el par diferencial de la Figura 7, el cual es polarizado mediante una fuente de corriente cascode, con $I_{ref} = 25\mu A$. Los transistores tienen $|VT| = 1V$ y $\beta = 800mA/V^2$. ¿Cuál es el valor mínimo de la fuente de alimentación ($VSS + VDD$) que permite el funcionamiento de cada transistor sin entrar en zona lineal?

Solución

Ejercicio 1

$$(a) \quad A_{\text{dif } 1} = A_{\text{dif } 2} = 2 \frac{RC}{RE}$$

$$R_{\text{in dif } 1} = R_{\text{in dif } 2} = 2r_{\pi} + \beta RE$$

$$(b) \quad A_{\text{cm } 1} = \frac{-gmRc}{1+gm(2ro+RE/2)}, ro = \text{resistencia interna de la fuente de corriente}$$

$$R_{\text{in cm } 1} = (r_{\pi} + \beta(2ro + RE/2))/2$$

$$A_{\text{cm } 2} = \frac{-gmRc}{1+gm2ro}, ro = \text{resistencia interna de la fuente de corriente}$$

$$R_{\text{in cm } 2} = (r_{\pi} + \beta 2ro)/2$$

$$(c) \quad CMR_1^+ = VDD - RcIo$$

$$CMR_1^- = V_{\text{min fuente corr}} + RE/2Io + V_{BE}$$

$$CMR_2^+ = VDD - RcIo$$

$$CMR_2^- = V_{\text{min fuente corr}} + V_{BE}$$

(d) Si se tiene un mejor apareo en las resistencias conviene mas la configuración de la Figura 1.1. Si se tiene un mejor apareo en las fuentes de corriente conviene mas la Figura 1.2.

Ejercicio 2

$$(a) \quad f_T = \frac{gm}{2\pi C1}$$

$$(b) \quad V_{in} = V_T \log 19 = 77mV$$

$$(c) \quad SR/f_T = 4\pi V_T$$

Ejercicio 3

$$(a) \quad V_{o1} - V_{o2} = R1I_{c1} - R2(I_o - I_{c1}) = I_{c1}(R1 + R2 - \frac{R2}{(1-x)}) - \frac{R2(V_{BE1} - V_{BE2})}{R(1-x)}$$

con: $I_o = \text{corriente por la fuente de corriente}$

$$\text{Para cancelar la tensión de offset: } x = R1/(R1 + R2) - (V_{BE1} - V_{BE2})/RIo$$

$$(b) \quad V_{B1} - V_{B2} = V_T \log \left(\frac{I_{c1}/I_o}{1 - I_{c1}/I_o} \right) + RI_o \left(\frac{I_{c1}}{I_o} - \frac{1}{2} \right)$$

$$(c) \quad \frac{\delta I_{c1}}{\delta(V_{B1} - V_{B2})} = \frac{1}{R + 2/gm}$$

Ejercicio 4

$$(a) \quad \frac{V_{out}}{V1} = gm \frac{R_2 R_4}{R_2 + R_3}$$

Para que la ganancia sea máxima R_3 mínimo $\Rightarrow R_3 = 0$

$$(b) \quad Av = \frac{V_{out}}{V1} = \frac{2\beta R_4(R_1 + R_5)}{2r_{\pi}(R_1 + R_5) + R_1 R_5 + 2\beta R_4 R_1}$$

$$Zin = R1 / (2\beta R_4 / Av)$$

Ejercicio 5

(a)
$$\frac{V_o}{(V_1 - V_2)} = \frac{1}{2} \frac{gm_3 R' R'' R_5 (1 + R_2 C s)(1 + R_4 C s)}{(1 + (R_2 + 2R') C s)(1 + (R_4 + 2R'') C s)(1 + 2R_5 C s)}$$
$$R' = R_1 / r_\pi; R'' = r_\pi / R_3$$

Ceros: $wz1 = \frac{1}{R_2 C}$ $wz2 = \frac{1}{R_4 C}$
Polos: $wp1 = \frac{1}{(R_2 + 2R') C}$ $wp2 = \frac{1}{(R_4 + 2R'') C}$ $wp3 = \frac{1}{2R_5 C}$

(b) Cancelamos $wz1$ con $wp2$ y $wz2$ con $wp3 \Rightarrow R_2 = R_4 + 2R''$ y $R_4 = 2R_5$
$$\Rightarrow \frac{V_o}{(V_1 - V_2)} = \frac{1}{2} \frac{gm_3 R' R'' R_5}{1 + (R_2 + 2R') C s}$$

Rise Time para un sistema de primer orden es: $\tau \log 9$ con $\tau = (R_2 + 2R') C$
Elijiendo: $R_1 = R_3 = R_5 = 330\Omega \Rightarrow R_4 = 660\Omega$, $R_2 = 1.32k\Omega$ y $C = 230pF$

Ejercicio 6

(a) $R = \beta r_{o1}$ con r_{o1} resistencia de Early del transistor T1
Sin T1: $R' = r_{o2}$ por lo tanto es β veces menor que el primer caso.

(b)
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{gm\beta V_A}{(2I_o + \beta V_A C_L s)}$$
 con V_A Voltaje de Early

(c)
$$SR = \frac{2I_o}{C_L}$$

Ejercicio 7

Según la rama con la fuente de corriente: $(V_{DD} - V_{SS})_{MIN} = 2V_{GS} = 2.5V$.

Según la rama con el par diferencial:

$$(V_{DD} - V_{SS})_{MIN} = 2(V_{DSSat})_{esp} + (V_{GS} + V_{DSSat})_{pdif} = 1.85V$$

Por lo tanto, $(V_{DD} - V_{SS})_{MIN} = 2.5V$