

## CIRCUITOS ELECTRÓNICOS I

### GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS N° 6

#### AMPLIFICADORES DIFERENCIALES

##### Cuestionario

- 1) ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los amplificadores de acoplamiento directo?
- 2) Determine los factores que caracterizan la estabilidad de la polarización de los mismos.
- 3) Un amplificador de corriente continua está alimentado con una fuente de tensión  $V_{cc} \pm \Delta V$ . ¿Qué valor toma dicha fuente en el análisis de pequeña señal? ¿Qué valor influye en la determinación de los parámetros del circuito incremental? Justifique las repuestas.
- 4) ¿Qué configuración de amplificadores de corriente continua permite diferenciar la polarización de la señal? ¿Por qué?
- 5) Definir un amplificador diferencial ideal. Definir las señales de modo común y modo diferencial. Definir el rechazo de modo común.
- 6) Trace las características de transferencia  $I_c = f(V_d)$  aproximadas. Determine el rango de operación lineal. Calcule la transconductancia en función de la tensión diferencial.
- 7) ¿Cómo influyen las señales de modo común en el rango de linealidad? ¿Por qué no se observa esta influencia en las características aproximadas?
- 8) Enuncie el Teorema de bisección.
- 9) En un amplificador diferencial acoplado por emisor, dibuje los circuitos equivalentes de modo diferencial y de modo común. Calcule las respectivas ganancias. Determine la influencia de R en el rechazo de modo común. ¿Cómo se puede mejorar el circuito? Justifique la respuesta.

## Bibliografía

### **Bibliografía general disponible en la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería**

[Gray, P., Meyer, R.](#) *Análisis y Diseño de Circuitos Integrados Analógicos*. Prentice Hall, 3ra Ed. 1995.

[Gray, P., Meyer, R.](#) *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*. Wiley, 3ra Ed. 1993.

[Lewis, S., Hurst, P., Gray, P., Meyer, R.](#) *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*. Wiley, 5ta Ed. 2001.

Millman, J., Grabel, A. *Microelectrónica*. Hispano Europea. 6ta Ed. 1993, 1ra Ed. 1981.

Rashid, M. *Circuitos Micro-electrónicos: Análisis y Diseño*. International Thompson Editors. 2000.

Malvino, A., Bates, D. *Principios de Electrónica*. Mc Graw-Hill, 7ma Ed. 2007.

Sedra, A., Smith, K. *Circuitos Micro-electrónicos*. Mc Graw-Hill, 5ta Ed. 2006.

Hambley, A. *Electrónica*. Prentice-Hall, 2da Ed. 2001.

[Savant, C., Roden, M. Carpenter, G.](#) *Diseño Electrónico*. Addison Wesley, 3ra Ed. 2000.

Storey, N. *Electrónica: de los Sistemas a los Componentes*. Addison Wesley. 1995.

La biblioteca cuenta además con versiones o ediciones anteriores de varios de los libros mencionados, y con una amplia variedad de textos que cubren aspectos específicos del programa de la asignatura.

### **Bibliografía general disponible en la Cátedra de Circuitos Electrónicos I**

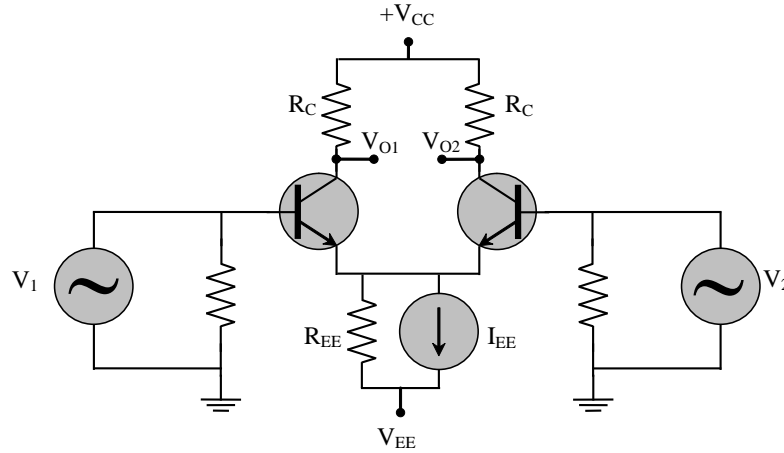
[Gray, P., Hurst, P., Lewis, S., Meyer, R.](#) *Analysis and Design of Analog Integrated Circuits*. Wiley, 5ta Ed. 2009.

Neamen, D. *Análisis y Diseño de Circuitos Electrónicos*. Mc Graw-Hill, 2000.

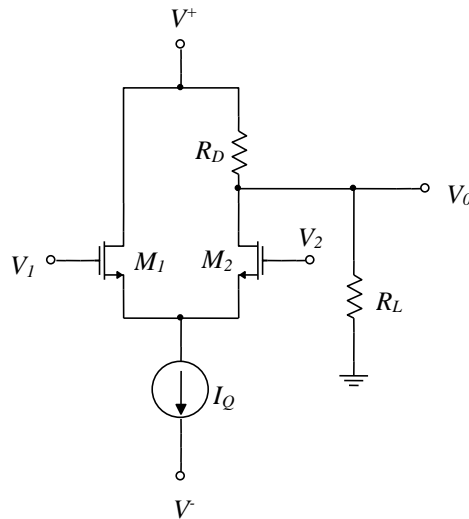
Fiore, J. *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. Thomson, 2002.

**PROBLEMAS****Problema N° 1**

- a) Determine las ganancias de MD y MC y las resistencias de entrada de MD y MC para el circuito de la figura donde:  $I_{EE} = 20 \mu\text{A}$ ,  $R_{EE} = 10 \text{ M}\Omega$ ,  $\beta = 200$ ,  $R_C = 100 \text{ k}\Omega$ ,  $V_{CC} = 5 \text{ V}$ ,  $V_{EE} = -5 \text{ V}$ . Utilice el modelo  $\pi$ -híbrido con  $r_b = 0$ ;  $r_\mu = \infty$ ;  $r_o = \infty$ .
- b) Calcule también el CMRR (Salida por 1 colector).

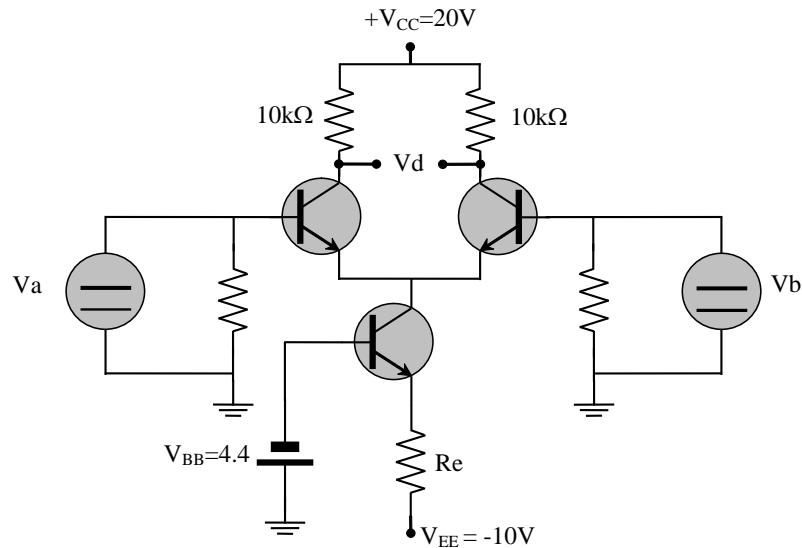
**Problema N° 2**

Considere el amplificador diferencial de la figura. Suponga que  $\lambda_1 = \lambda_2 = 0$  y que la fuente de corriente tiene una resistencia de salida  $R_o$ . Encuentre las expresiones para las ganancias de MD y MC.

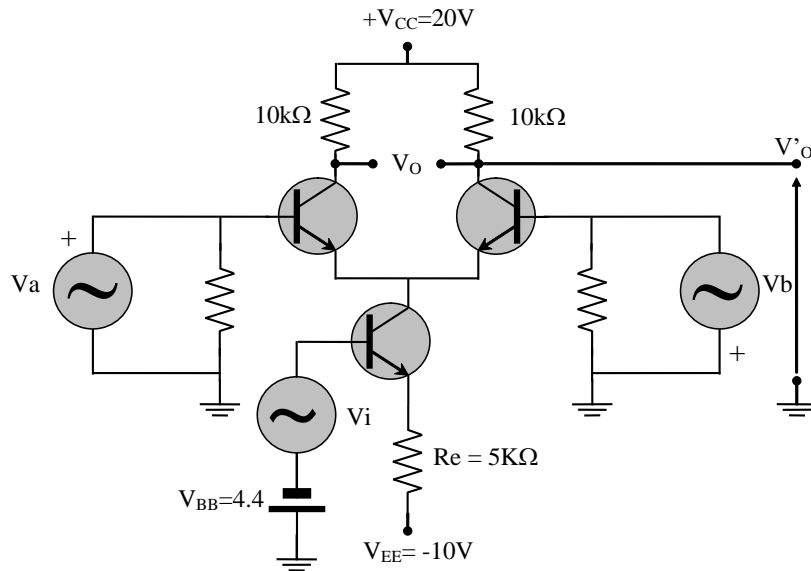


**Problema N° 3**

- a) Represente en un gráfico las curvas de transferencia del amplificador ante una entrada diferencial.
- b) ¿Cuánto debe valer  $R_e$  para obtener el máximo rango dinámico a la salida?.
- c) ¿Cómo varía el rango dinámico si se aplica a ambas bases  $V_C = 2.6$  V de modo común?

**Problema N° 4**

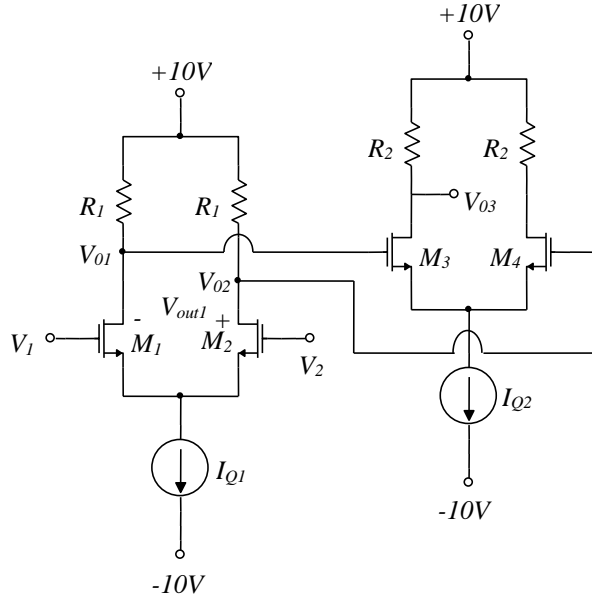
El amplificador de la siguiente figura se usa como modulador de amplitud



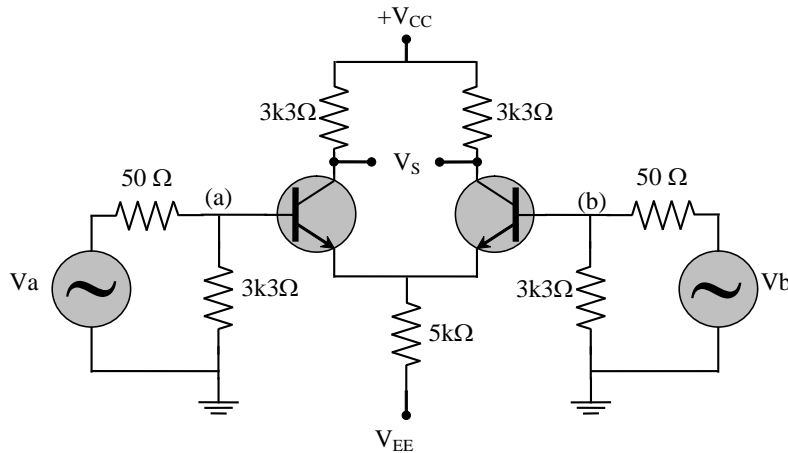
- a) Represente la forma de onda de  $V_o$  y de  $V_{o'}$  si se excitan las bases con una señal diferencial de 25mV de amplitud y 1kHz.
- b) Si se inyecta una señal sinusoidal  $V_i$  de 2V y 100Hz, qué sucede con las corrientes de colector, con  $g_{m0}$ , con  $V_o$  y con  $V_{o'}$  ( $V_a = V_b = 0$ )?. Represente gráficamente.
- c) Idem, si se inyecta la señal diferencial del inciso (a).
- d) Cuánto debe valer  $V_i$  para obtener a la salida 70 % de modulación de amplitud.

**Problema N° 5**

En la figura puede verse un amplificador diferencial de dos etapas en cascada con carga resistiva. Diseñe el circuito para obtener el máximo modo diferencial en cada etapa y que a su vez  $A_{d1} = (V_{o2} - V_{o1}) / (V_1 - V_2) = 20$  y  $A_{d2} = V_{o3} / (V_{o2} - V_{o1}) = 30$ .  $K_{n1,2} = 200 \mu\text{A}/\text{V}^2$  y  $K_{n3,4} = 7.2 \text{mA}/\text{V}^2$ .

**Problema N° 6**

El amplificador de la figura utiliza un par diferencial integrado cuyos datos son:  $V_{CC} = 6\text{V}$ ,  $V_{EE} = -6\text{V}$ ,  $h_{FE} = 110$



- Si las resistencias de colector son al 10 % determine el rechazo de modo común  $H_c$ .
- Se excitan las bases con dos generadores de AC cuyas resistencias internas son iguales y de  $50 \Omega$ , y valen  $V_a = 150 \text{mV}$  y  $V_b = 175 \text{mV}$ . Calcular  $V_s$ .
- Calcular la impedancia diferencial de entrada.

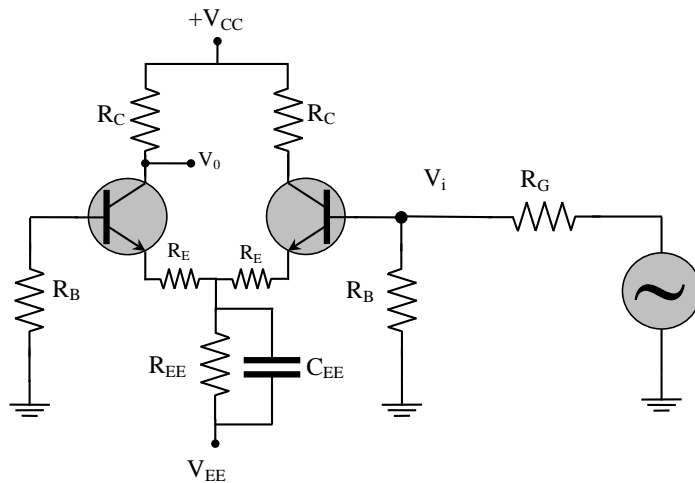
d) En el caso que el  $H_c$  del caso a) sea menor que 100 dB, diseñe un circuito que lo mejore, manteniendo constante el punto de polarización anterior. Calcule el nuevo  $H_c$ .

### Problema N° 7 (Problema de Laboratorio)

Dado el amplificador diferencial de la *figura 1* y sin tener en cuenta las  $R_e$  calcule:

- Ganancia diferencial de tensión saliendo por uno y por ambos colectores.
- Ganancia de tensión de modo común.
- Respuesta en frecuencia del modo diferencial.
- Respuesta en frecuencia del modo común.
- Trace el diagrama de Bode de amplitudes superponiendo en el mismo gráfico las respuestas de Modo Diferencial y Modo Común.
- ¿En qué rango de frecuencia le parece que se puede utilizar el amplificador diferencial?

Repita el paso a) pero teniendo en cuenta las  $R_e$ , identificando la topología de la realimentación introducida.

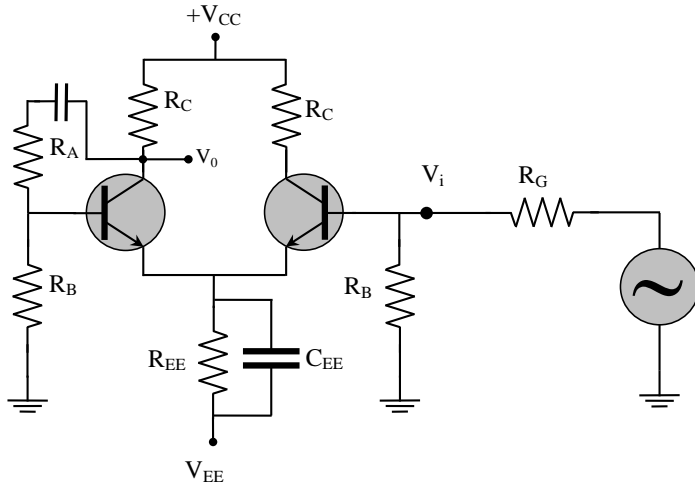


- Figura 1-

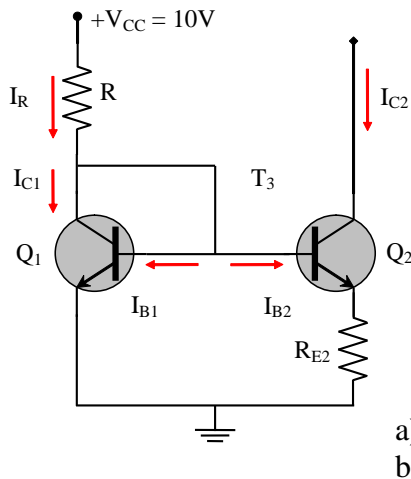
Dado el amplificador diferencial de la *figura 2*.

- Identifique la topología de realimentación indicando variables muestreadas, comparadas y comunes a la entrada y salida.
- Identifique el bloque  $\beta$  y calcule su valor.
- Calcule la ganancia realimentada despreciando el efecto de cargas.
- Calcule la ganancia realimentada sin despreciar el efecto de cargas.

Datos:  $R_G = 22\text{k}\Omega$ ,  $R_C = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_A = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_B = 1\text{k}\Omega$ ,  $R_{EE} = 10\text{k}\Omega$ ,  $C_{EE} = 1\text{nF}$ ,  $\beta = 200$ ,  $R_E = 100\Omega$ ,  $f_T = 270\text{ MHz}$ ,  $C_\mu = 2\text{pF}$ ,  $V_{CC} = -V_{EE} = 12\text{V}$ .



- Figura 2 -

**Problema N° 8**

Analizar un espejo de corriente en montaje *Widlar* de la figura.

Utilizar modelo  $\pi$ -híbrido despreciando  $r_b$  y  $r_\mu$ .

Datos para los cálculos numéricos:

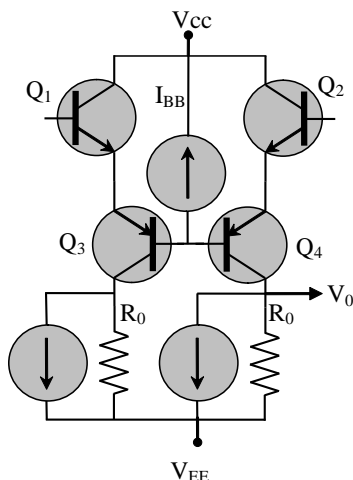
Tensión de *Early*,  $V_A = 100$  V; Tensión de alimentación,  $V_{CC} = 10$  V;  $V_{BE} = 0,7$  V; Resistencia entre  $V_{CC}$  y el colector de  $Q_1$ ;  $R = 9,3$  k $\Omega$ ;  $\beta = 100$ ;  $I_{C2} = 50$   $\mu$ A.

- Hallar la expresión de  $I_{C1}$  en función de la corriente  $I_R$  que circula a través de la resistencia conectada al colector de  $Q_1$ , sabiendo que ambos transistores tienen igual  $\beta$ .  $I_{C2} \ll I_{C1}$ .
- Hallar la expresión para calcular  $R_{E2}$  en función de  $I_{C1}$  e  $I_{C2}$ . Calcular  $R_{E2}$ .
- Hallar la expresión para calcular la resistencia de entrada, entre base y tierra, de  $Q_1$  vista desde la base de  $Q_2$ . Calcular el valor.
- Hallar la expresión de la resistencia de salida del espejo, que se ve desde el colector de  $Q_2$ . Calcular su valor.

**Problema N° 9**

El amplificador de la figura es configuración CC-BC y corresponde a la etapa de entrada del OpAmp 741. Determine la  $A_{dd}$ ,  $Z_{in}$  y  $Z_{out}$ .

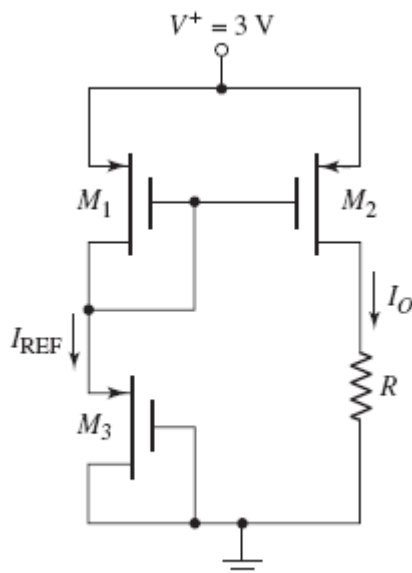
Datos:  $V_{CC}=12V$ ,  $V_{EE}=-12V$ ,  $I_{BB}=95\text{ nA}$ ,  $\beta=200$ ,  $R_0=18,8\text{ M}\Omega$ ,  $V_{ANPN}=125V$ ,  $V_{APNP}=50V$ .

**Problema N° 10**

En la figura puede verse una versión PMOS de un espejo de corriente donde la resistencia de referencia fue sustituida por un transistor. Este espejo es similar al utilizado en el integrado MC14573. Los parámetros de los transistores son:  $V_{tp} = -0.4V$ ,  $K'_p = \frac{1}{2}\mu_p C_{ox} = 20\mu A/V^2$ ,  $\lambda = 0$ ,  $(W/L)_1 = 25$ ,  $(W/L)_2 = 15$ ,  $(W/L)_3 = 5$ .

a) Determine  $I_{ref}$  e  $I_o$ .

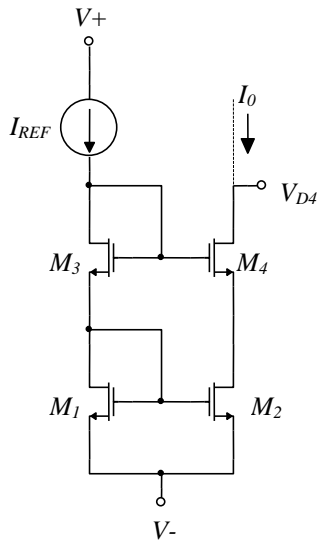
b) Cuál es el máximo valor de  $R$  para que  $M_2$  se mantenga en la zona de saturación?





**Problema N° 11**

Suponiendo que en el siguiente espejo de corriente cascode todos los transistores son iguales determine la resistencia de salida desde el drain de  $M_4$ . Datos:  $I_o = 120 \mu\text{A}$ ,  $g_m = 0.5 \text{mA/V}$  y  $\lambda = 0.01 \text{V}^{-1}$ .

**Problema N° 12**

El siguiente circuito es una versión simplificada del generador de corriente del OpAmp **NE5234**. Determine el valor de la corriente de carga, considere que  $AQ_1 = 2AQ_2$ ;  $AQ_2 = AQ_3 = AQ_4 = AQ_5$ . Los demás parámetros son iguales, suponga  $\beta \gg 1$ .

