

Laboratorio 5 - Circuitos Electrónicos I - Ing. Electrónica

Ignacio Nahuel Chantiri 69869/1
Universidad Nacional De La Plata, Argentina, Julio 2024.

Resumen—El análisis de laboratorio presentado describe el estudio de un amplificador diferencial, abarca desde su ganancia diferencial y común, hasta su respuesta en frecuencia y su comportamiento al ser realimentado.

I. INTRODUCCIÓN

En este informe se procederá a medir la ganancia de modo diferencial A_{dd} y A_d , la ganancia de modo común A_{cc} y A_c , la ganancia cruzada A_{dc} , el factor de rechazo al modo común $CMRR$, la respuesta en frecuencia, las curvas de gran señal. Se repetirán las mediciones en dos casos: con y sin resistencias de degeneración " R_e " en el emisor.

II. MARCO TEÓRICO

La placa utilizada es la diagramada en la figura 1.

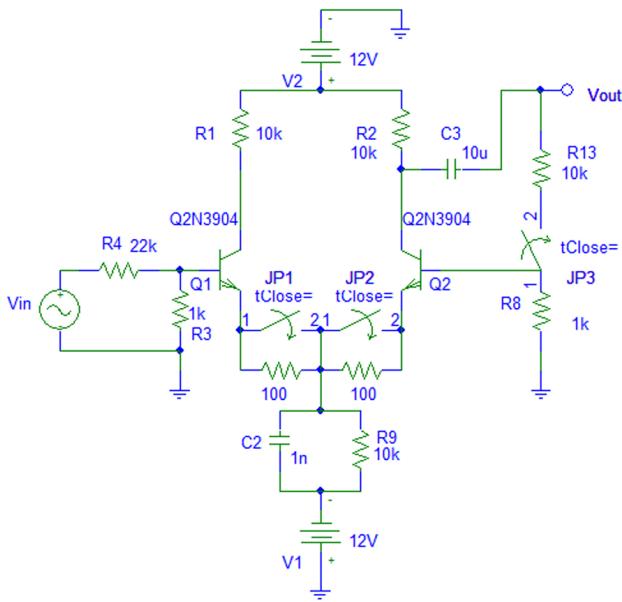


Fig. 1. Diagrama circuitual de la placa utilizada.

Consiste en un amplificador diferencial configurable:

- **jp1, jp2 y jp3 abiertos:** La configuración es la de un amplificador diferencial con resistencias de 100Ω en los emisores.
- **jp1 y jp2 cerrados y jp3 abierto:** La configuración es la de un amplificador diferencial sin resistencias en los emisores.
- **jp1 y jp2 cerrados, jp3 cerrado:** El amplificador diferencial sin resistencias en los emisores, queda realimentado desde su salida a la base del segundo transistor Q_2 .

Los parámetros de polarización son:

- $I_{cq} = 565\mu A$
- $V_{ce} = 7,05V$
- $gm = 0,0217$
- $r_\pi = 9,2k\Omega$

II-A. Ganancia Modo Diferencial A_{dd}

Ante una entrada por el primer transistor Q_1 , se puede calcular la ganancia diferencial por bisección. Si se considera el caso sin resistencias de emisor, éste queda conectado a una tierra virtual. Analizando el circuito de pequeña señal, se obtiene:

$$A_d = \frac{-gmR_c}{2} \approx -108,7 \quad (1)$$

Es decir, aparece en el colector amplificada y desfasada en 180 grados.

La misma señal que la de entrada (menos 0.7V e invertida) aparece como tensión base-emisor del segundo transistor Q_2 , por lo que se ve amplificada en el colector de Q_2 también en la misma cantidad, sin desfase.

En resumen, la señal de entrada aparece:

- Amplificada por gmR_c e invertida en el el colector de Q_1 ,
- Amplificada por gmR_c y sin invertir en el colector de Q_2 .

De modo que, midiendo entre colectores, la ganancia es:

$$A_{dd} = -gmR_c \approx -217,4 \quad (2)$$

Si se considerasen las resistencias del emisor, y analizando nuevamente por bisección, la ganancia diferencial medida desde un colector es:

$$Ad = \frac{-\beta R_c}{2((\beta + 1)R_e + r_\pi)} \approx -40,5 \quad (3)$$

Mientras que la salida entre colectores es:

$$Add = \frac{-\beta R_c}{(\beta + 1)R_e + r_\pi} \approx -81 \quad (4)$$

Con resistencias de emisor, la ganancia diferencial se ve reducida considerablemente. A pesar de la pérdida de ganancia , al agregar R_9 se produce también un aumento de la zona en la que el amplificador opera linealmente.

II-B. Ganancia Modo Común A_{cc}

La ganancia de Modo Común se medirá con la misma señal entrando por las bases de ambos transistores. Se obtiene entonces que la misma señal se ve amplificada en ambos colectores de igual manera.

Separando el circuito simétricamente, la resistencia $R9$ se divide en dos resistencias en paralelo, por lo que para el análisis de pequeña señal por bisección se considera el doble de $R9$.

Si no se consideran los resistores de emisor, la ganancia de Modo Común medida entre un colector y tierra es:

$$Ac = \frac{-\beta R_c}{(\beta + 1)(2R9) + r_\pi} \approx -0.4964 \quad (5)$$

Si se consideran los resistores de emisor, la ganancia de Modo Común medida entre un colector y tierra es:

$$Ac = \frac{-\beta R_c}{(\beta + 1)(R_e + 2R9) + r_\pi} \approx -0.4939 \quad (6)$$

Se observa que la señal de modo común se ve muy atenuada por la existencia de $R9$. Además, la existencia de la resistencia de emisor R_e disminuye aún más la ganancia de modo común solo si tiene un valor considerable frente a $R9$ (este no es el caso).

II-C. Factor de rechazo de modo común (CMRR)

Es la relación entre la ganancia de modo diferencial y la ganancia de modo común. Para el caso sin resistencias en el emisor:

$$CMRR = \frac{A_{dd}}{A_{cc}} = \frac{-108,7}{-0,4969} \approx 46,79dB \quad (7)$$

Para el caso con resistencias en el emisor:

$$CMRR = \frac{A_{dd}}{A_{cc}} = \frac{-40,5}{-0,4939} \approx 38,27dB \quad (8)$$

II-D. Respuesta de Gran Señal

Partiendo de las ecuaciones de Ebers-Moll para la corriente de colector, se puede llegar a:

$$V_d = V_T \ln\left(\frac{I_{c1}}{I_{c2}}\right) \quad (9)$$

Y de allí:

$$I_{c1} = \frac{I_{ee}}{1 + e^{\frac{V_d}{V_T}}} \quad (10)$$

Nuevamente de (9), se obtiene:

$$I_{c2} = \frac{I_{ee}}{1 + e^{-\frac{V_d}{V_T}}} \quad (11)$$

Graficando las corrientes de colector I_{c1} e I_{c2} en función de la tensión diferencial V_d :

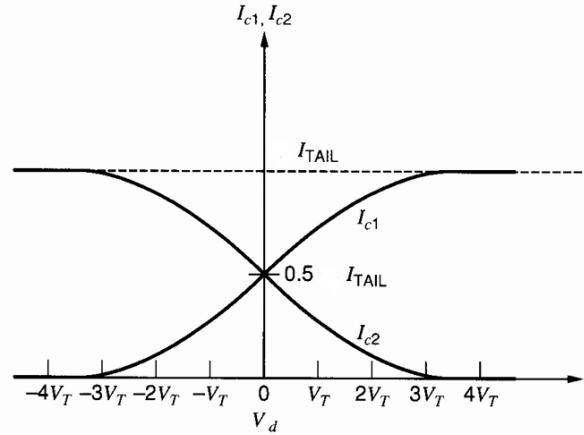


Fig. 2. Corrientes de colector en función de el voltaje diferencial. I_{TAIL} representa la corriente de polarización, mientras que V_T es el voltaje térmico.

Se observa de la figura 2 que la corriente de cada colector es una función lineal (aproximadamente) de la tensión diferencial solamente en el rango $-2V_T < V_d < 2V_T$

II-E. Realimentación

Se espera una reducción importante de la ganancia diferencial A_{dd} , y una mejora de la linealidad.

III. DESARROLLO EXPERIMENTAL

La señal de entrada tiene una amplitud de 100mV. Durante la preparación de la placa, se conectó erroneamente la tensión continua de polarización. Esto provocó que las medidas efectuadas fueran completamente distintas de lo esperado. Cerca del final del laboratorio, se corrigió, pero no se hizo tiempo a realizar todos los pasos, por lo que no se logró medir todos los parámetros pedidos.

III-A. Ganancia Modo Diferencial Add sin resistencias de Emisor

Con los jumpers 1 y 2 cerrados, las resistencias de los emisores quedan en bypass. Se colocaron las puntas del osciloscopio en los colectores, y se inyectó una señal de 100mV solo en una de las entradas, como se muestra en la figura 3

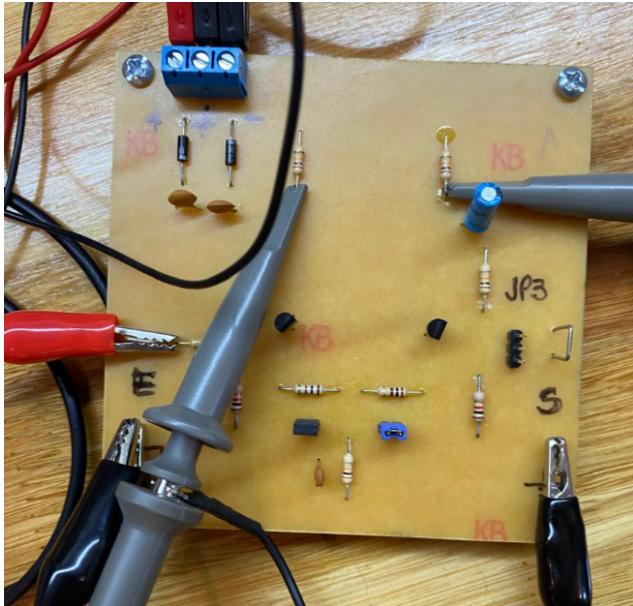


Fig. 3. Conexión de los instrumentos para la medición de A_{dd} .

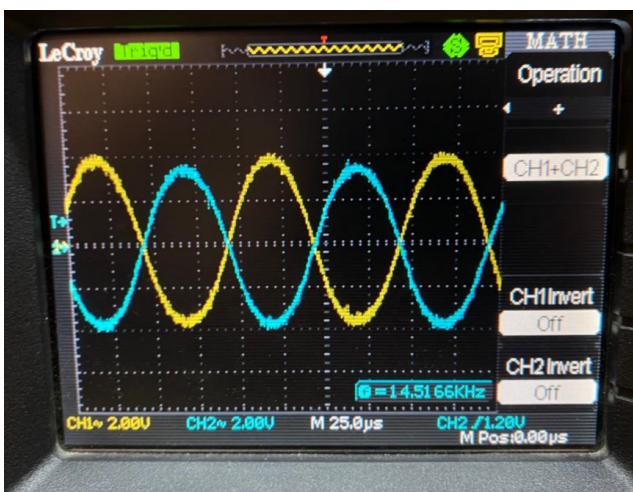


Fig. 4. Salida de tensión por los colectores 1 y 2.

La ganancia medida fue $A_d \approx \frac{2V}{100mV} \approx 80$

III-B. Ganancia Modo Común Acc sin resistencias de Emisor

Nuevamente con jp1 y jp3 cerrados, en un canal se midió la señal de entrada, mientras que en el otro la salida por el segundo colector. Se injectó por ambas entradas una señal de 100mV.

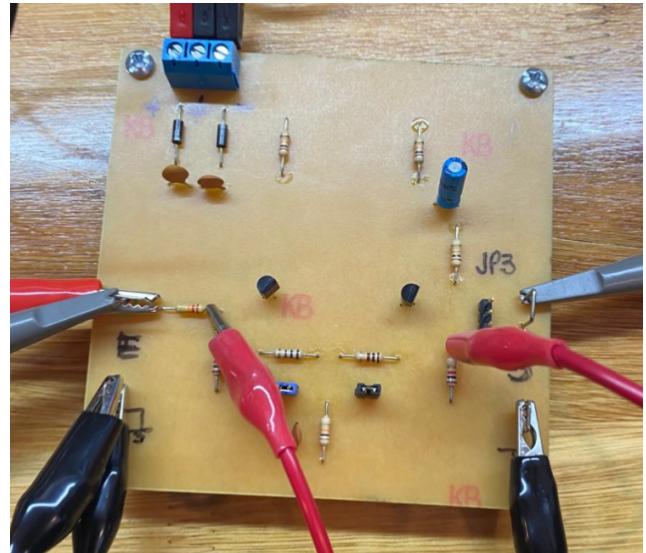


Fig. 5. Conexión de los instrumentos para la medición de A_{cc} .



Fig. 6. Entrada en amarillo, salida en azul. Señal de entrada común.

Ante la entrada común, la señal se atenúa y se desfasa 180 grados. De todos modos, la atenuación esperada era de la mitad del valor de entrada. En el caso de la imagen de la figura 6, se ve una atenuación mucho mayor.

III-C. Ganancia Cruzada Adc sin resistencias de Emisor

La ganancia cruzada medida no se registró.

III-D. Relación de rechazo de Modo Común CMRR.

Según los resultados obtenidos anteriormente (y los resultados analíticos, pues no se logró determinar la ganancia A_{cc}), se puede calcular la relación de rechazo al modo común:

$$CMRR = \frac{Ad}{Ac} = \frac{80}{0.49} \approx 163, 2 = 44, 2dB \quad (12)$$

III-E. Respuesta en frecuencia para el Modo Diferencial

Para hallar la frecuencia de corte se buscó una atenuación de 3dB en la señal salida con respecto a la misma salida, a frecuencias medias.

La frecuencia de corte fue mal medida y no se registró.

III-F. Respuesta en frecuencia para el Modo Común

Se procedió de la misma manera que para el Modo Diferencial, y tampoco se registró.

III-G. Curvas de Gran Señal.

Se busca representar las corrientes de colector en función de la tensión de la tensión de la señal de entrada. Al ser la caída de tensión en los resistores de colector proporcionales a su corriente, para "medir" la corriente se colocó en el canal 2 la tensión del resistor R_{c1} .

El canal 1 se ocupó midiendo la tensión de entrada.

Se seteó el osciloscopio en el modo XY, permitiendo graficar así la tensión de entrada en el eje x, y la tensión de R_{c1} (representado la corriente de colector) en el eje y.

Se inyectó en la entrada una señal Diente de Sierra. La segunda entrada se conectó a tierra, de modo que la tensión de entrada V_{in} sea la tensión diferencial V_d .

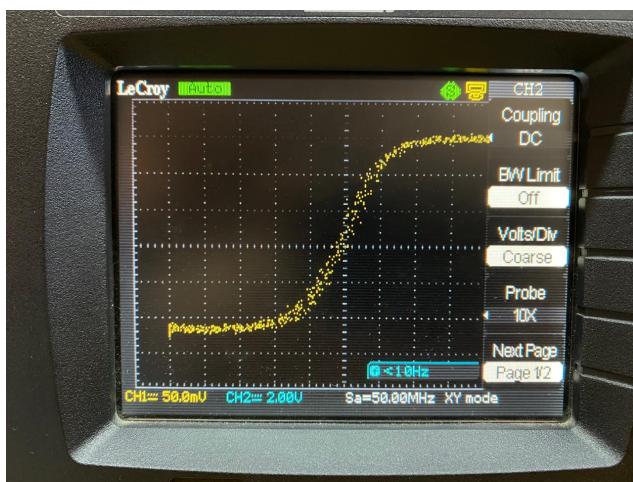


Fig. 7. I_{c1} en función de V_{in} .

En la imagen de la figura 7, la ganancia es lineal para valores de V_d desde $-50mV$ a $50mV$.

IV. CONCLUSIONES

En consecuencia de la erronea polarización de la placa, los resultados medidos no fueron de utilidad. De todos modos, al medir por segunda vez, se logró acercarse al valor esperado de A_{dd} .

Por otra parte, las curvas de gran señal medidas fueron muy cercanas a lo esperado, y se logró visualizar correctamente la zona de operación lineal.

REFERENCES

- [1] J. Millman and A. Grabel, "Microelectrónica," McGraw-Hill, New York, 6ta edición, 1993.
- [2] P. R. Gray and R. G. Meyer, "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits," John Wiley Sons, New York, 4th edition, 2001