

# Instituto Tecnológico de Buenos Aires

22.11 ELECTRÓNICA I

---

## Trabajo práctico N°2

---

*Grupo 3*

MECHOULAM, Alan	58438
LAMBERTUCCI, Guido Enrique	58009
RODRIGUEZ TURCO, Martín Sebastian	56629
LONDERO BONAPARTE, Tomás Guillermo	58150

*Profesores*

Alcocer, Fernando  
Oreglia, Eduardo Victor  
Gardella, Pablo Jesús

Presentado: 13/11/19

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Desarrollo</b>	<b>2</b>
2.1. Componentes dispuestos . . . . .	2
2.2. Circuitos considerados . . . . .	2
2.3. Fuente de corriente . . . . .	3
2.4. Darlington polarizado por corriente . . . . .	4
2.5. Desarrollo y armado de la placa . . . . .	6
2.6. Mediciones . . . . .	6
<b>3. Conclusiones</b>	<b>6</b>

## 1. Introducción

En el siguiente informe se busca analizar, desarrollar y confeccionar algún circuito estudiado a lo largo del cuatrimestre. Se destaca la existencia de una dificultad adicional, la cual se basa en el método mediante el cual se fueron adquiriendo los componentes. Estos fueron subastados durante la cursada, entre los diversos grupos. De esta forma, se condiciona el circuito final, ya que se posee acceso limitado a estos, los cuales no se pudieron elegir libremente.

## 2. Desarrollo

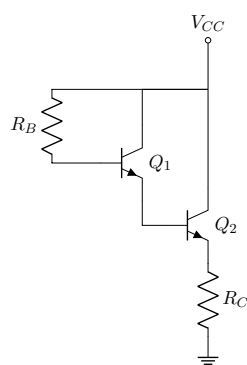
### 2.1. Componentes dispuestos

El presente grupo se valió de los siguientes componentes:

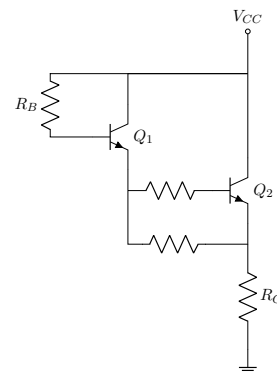
- Dos pares de resistencias de  $6.8\text{ k}\Omega$  y de  $680\text{ k}\Omega$ .
- Un transistor BJT NPN.
- Un diodo 1N4148.
- Un JFET.
- Un par Darlington NPN.
- Una placa de 5x5.

### 2.2. Circuitos considerados

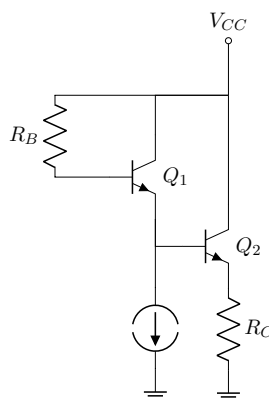
Como primer opción se consideró utilizar el par Darlington y mediante el uso de las resistencias, configurarlo de forma tal que este quede compensado. Una alternativa es el uso de una fuente de corriente, con el mismo objetivo que se mencionó anteriormente.



(a) Par Darlington.



(b) Par Darlington compensado con  $R$ .



(c) Par Darlington compensado con fuente de corriente.

Figura 1: Configuraciones posibles para el par Darlington.

La conexión representada en la Figura (1a) no es conveniente, ya que la caída de tensión entre la base y el emisor se encuentra entre 0.6 V y 1.5 V, siendo esta resultante de la suma de las tensiones base-emisor de ambos transistores. Esto genera a su vez que el dispositivo consuma más corriente y aumente su temperatura, además de generar respuestas más lentas frente a cambios en la entrada. Una solución a lo ya expresado se presenta en la Figura (1b).

Estrictamente hablando, esta disposición es la más económica al problema anterior. Dadas las condiciones, dicha consideración no afecta en la decisión a implementar, ya que se cuenta con componentes para realizar cualquiera de las tres. Finalmente, la mostrada en la Figura (1c) es más óptima para compensar el circuito, ya que permite aumentar  $I_{CEQ}$  sin modificar otros factores del propio circuito.

Se puede colocar un diodo entre el colector y el emisor de  $Q_2$ . Este tipo de configuración es utilizada para trabajar con potencias altas. Dado que este enfoque no es de interés, se reserva dicho componente.

### 2.3. Fuente de corriente

Una vez determinado que la implementación óptima, con los componentes disponibles, es la presentada en la Figura (1c), se decide confeccionarla. Para ello, primero se opta por analizar la fuente de corriente. Esta puede ser realizada con el JFET, dispuesto en una configuración en la cual se autopolarice, como se presenta a continuación.

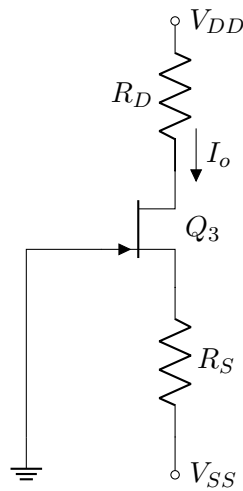


Figura 2: Par Darlington.

Recorriendo la malla de entrada y de salida del circuito de la Figura (2), se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$V_{GS} = V_{SS} - I_D R_S \quad (1)$$

$$V_{DS} = V_{DD} + V_{SS} - I_D (R_D + R_S) \quad (2)$$

Sabiendo que para un JFET se cumple que

$$I_D = I_{DSS} \left( 1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2 \quad (3)$$

$$gm = 2 \frac{\sqrt{I_D I_{DSS}}}{|V_P|}$$

De esta forma, seleccionando el componente XX y estableciendo  $V_{SS} = XX$  V,  $R_S = XX$   $\Omega$  y  $R_D = XX$   $\Omega$  se obtiene

Poner que JFET se usó, datasheet y reemplazar valores.

Seleccionar que resistencias usar,  $V_{SS}$  y  $V_{DD}$ .

Por otro lado,  $V_{DD}$  queda fijado por el circuito del Darlington, siendo esta  $V_{DD} = V_{BEON} = 0.7$  V.

Con lo establecido previamente, se prosigue a plantear el circuito incremental. Cabe aclarar que, como es de interés calcular la impedancia de salida, no se puede considerar tanto  $R_{DS}$  como  $R_{GS}$  despreciables. Es por ello que son tenidas en cuenta para este cálculo.

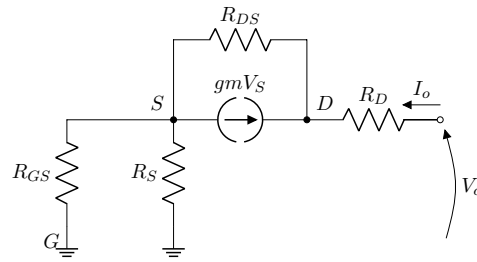


Figura 3: Circuito incremental de la Figura (2).

Se destaca que, como el gate queda a tierra, se cumple que  $V_{GS} = V_G - V_S = -V_S$ , por lo tanto, se da vuelta la fuente de corriente y se reemplaza con lo mencionado anteriormente.

Se define  $R_S^* = R_S // R_{GS}$ , para luego analizar el circuito presentado en la Figura (4).

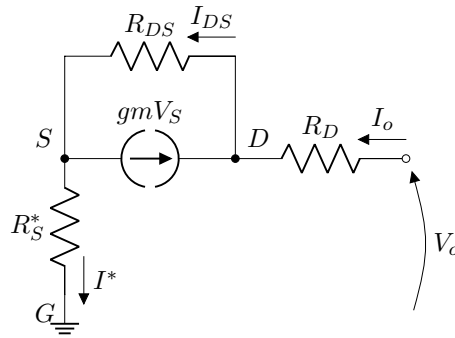


Figura 4: Análisis de la impedancia de salida del circuito de la Figura (3).

Planteando

$$V_o = I_{DS}R_{DS} + I_o(R_D + R_S^*)$$

$$I_{DS} = gmV_S + I_o = (gmR_S^* + 1)I_o$$

y operando algebraicamente se obtiene la variable deseada de la forma:

$$\begin{aligned} R_{OF} = \frac{V_o}{I_o} &= R_{DS}(1 + gmR_S^*) + R_S^* + R_D \\ &= R_{DS}(1 + gmR_S // R_{GS}) + R_S // R_{GS} + R_D \end{aligned} \quad (4)$$

## 2.4. Darlington polarizado por corriente

Con lo obtenido en la Sección (2.3), se posee la información necesaria para analizar el circuito presentado en la Figura (1c). El primer paso, consiste en reemplazar la fuente de corriente por su respectiva impedancia de salida  $R_{OF}$ . En el análisis que se muestra a continuación se considera también la carga y la fuente del sistema, componentes que no fueron presentados en la Figura (1).

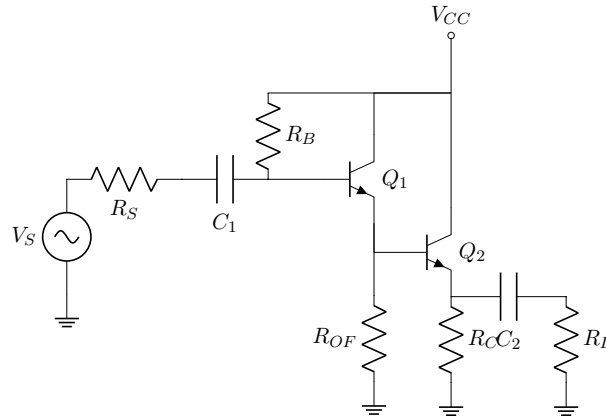


Figura 5: Circuito equivalente al reemplazar la fuente de corriente.

Planteando la malla de entrada y salida para cada transistor, se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$V_{CC} - V_{BEON} = I_{CE1} R_{OF}$$

$$V_{CC} - 2V_{BEON} = I_{CE2} R_{OF}$$

$$V_{CC} - V_{CE1} = I_{CE1} R_{OF}$$

$$V_{CC} - V_{CE2} = I_{CE2} R_C$$

Cabe destacar que, por el uso de la fuente de corriente,  $I_{CE1} = I_D$  del JFET. Además, se seleccionan transistores NPN XX

Poner que NPNs se usaron, datasheet y reemplazar valores.  
 Seleccionar que resistencias usar,  $V_{CC}$ .

Planteando su respectivo modelo incremental, se llega al circuito presentado a continuación:

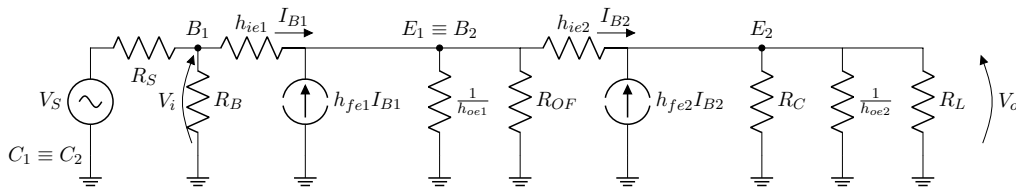
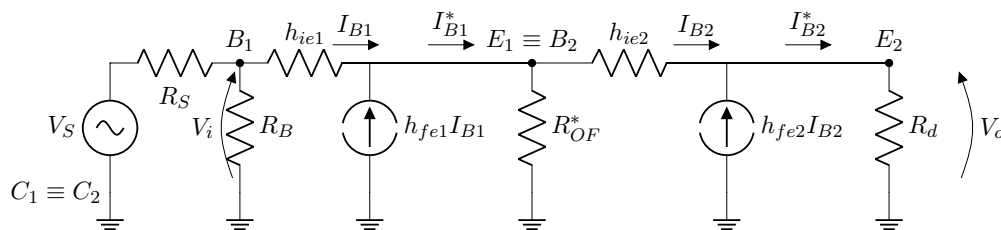
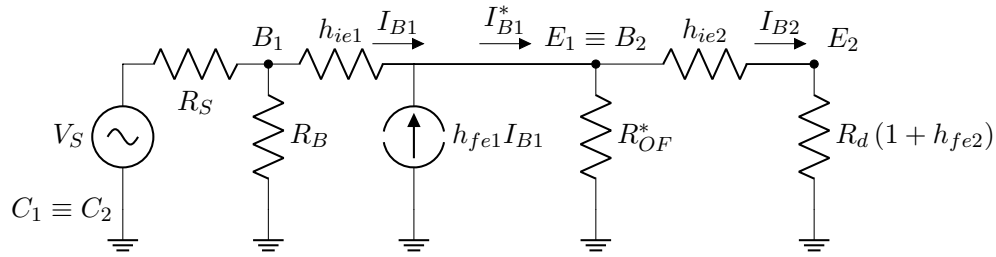


Figura 6: Modelo incremental del par Darlington.

Definiéndose  $R_{OF}^* = R_{OF} // \frac{1}{h_{oe1}}$  y  $R_d = R_C // \frac{1}{h_{oe2}} // R_L$ , se obtiene



Donde  $I_{B1}^* = I_{B1} (1 + h_{fe1})$  y  $I_{B2}^* = I_{B2} (1 + h_{fe2})$ . Aplicando paso a nivel de corriente se llega a



Por un lado se destaca que

$$V_o = I_{B2} R_d (1 + h_{fe2}) \quad (5)$$

Por otro lado, se analiza la relación entre  $I_{B1}^*$  e  $I_{B2}^*$  mediante un divisor de corrientes, consiguiéndose

$$I_{B2} = I_{B1}^* \frac{R_{OF}^*}{R_{OF}^* + h_{ie2} + R_d (1 + h_{fe2})} = I_{B1} \frac{R_{OF}^* (1 + h_{fe1})}{R_{OF}^* + h_{ie2} + R_d (1 + h_{fe2})} \quad (6)$$

Por último, se observa que

$$V_i = I_{B1} h_{ie1} + I_{B2} [h_{ie2} + R_d (1 + h_{fe2})] \quad (7)$$

Utilizando (6) en (7), se llega a la expresión

$$\frac{V_i}{I_{B1}} = h_{ie1} + \frac{R_{OF}^* [h_{ie2} + R_d (1 + h_{fe2})] (1 + h_{fe1})}{R_{OF}^* + h_{ie2} + R_d (1 + h_{fe2})} \quad (8)$$

Con todo lo calculado anteriormente, se procede a calcular la transferencia  $\Delta V$ , siendo esta de la forma

$$\Delta V \triangleq \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{I_{B2}} \frac{I_{B2}}{I_{B1}} \frac{I_{B1}}{V_i} = \frac{R_d R_{OF}^* (1 + h_{fe1}) (1 + h_{fe2})}{h_{ie1} [R_{OF}^* + R_d (1 + h_{fe2}) + h_{ie2}] + R_{OF}^* (1 + h_{fe1}) [R_d (1 + h_{fe2}) + h_{ie2}]} \quad (9)$$

## R<sub>ia</sub>, R<sub>oa</sub>, ΔI

A su vez, se puede calcular la ganancia del sistema  $\Delta V_S$ , siendo esta

$$\Delta V_S \triangleq \frac{V_S}{V_i} = \frac{V_S}{V_o} \frac{V_o}{V_i} = \frac{V_o}{V_i} \frac{R_i}{R_S + R_i} \quad (10)$$

### 2.5. Desarrollo y armado de la placa

Esquemático, PCB y foto.  
Consideraciones necesarias para medir.

### 2.6. Mediciones

## 3. Conclusiones

Dado que se optó por confeccionar una configuración Darlington, se puede afirmar que la ganancia de corriente del circuito, la cual ya de por sí es grande, como se demostró en (...), es mayor que la de los demás grupos, ya que la principal característica de este es la alta ganancia de dicha variable. Por otro lado, también es posible afirmar que la polarización resulta altamente estable, ya que se logró efectuar la polarización mediante una fuente de corriente.