

## Trabajo práctico 5

### TIRISTORES

- **Autores:**

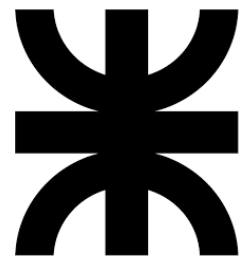
- Manuel León Parfait - Leg. 406599
- Marcos Raúl Gatica - Leg. 402006
- Valentino Rao - Leg. 402308

- **Curso:** 3R1

- **Docente:** Guillermo Gilberto

- **Asignatura:** Electrónica Aplicada

- **Institución:** Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional de Córdoba.



U  
T  
N  
  
F  
R  
C



## Contents

|          |  |          |
|----------|--|----------|
| <b>1</b> | <b>Polarización del punto Q</b>                    | <b>1</b> |
| 1.1      | Cálculos del punto Q . . . . .                     | 2        |
| 1.2      | Implementación circuito carga pasiva . . . . .     | 3        |
| <b>2</b> | <b>Polarización Con fuente de corriente</b>        | <b>3</b> |
| 2.1      | Cálculo de $R_1$ . . . . .                         | 3        |
| 2.2      | implementación circuito con carga activa . . . . . | 4        |



## 1. Polarización del punto Q

### Parte analítica

En este trabajo implementamos un transistor JFET en configuración fuente común, para aplicar el modelo MES, en esta oportunidad implementamos el modelo con autopolarización. Nuestros datos iniciales fueron  $V_{DD} = 12V$   $R_G = 1M\Omega$ , además contabamos también con los datos del punto Q ya predefinidos  $I_{DQ} = \frac{I_{DSS}}{2}$  y  $V_{DSQ} = \frac{V_{DD}}{2}$

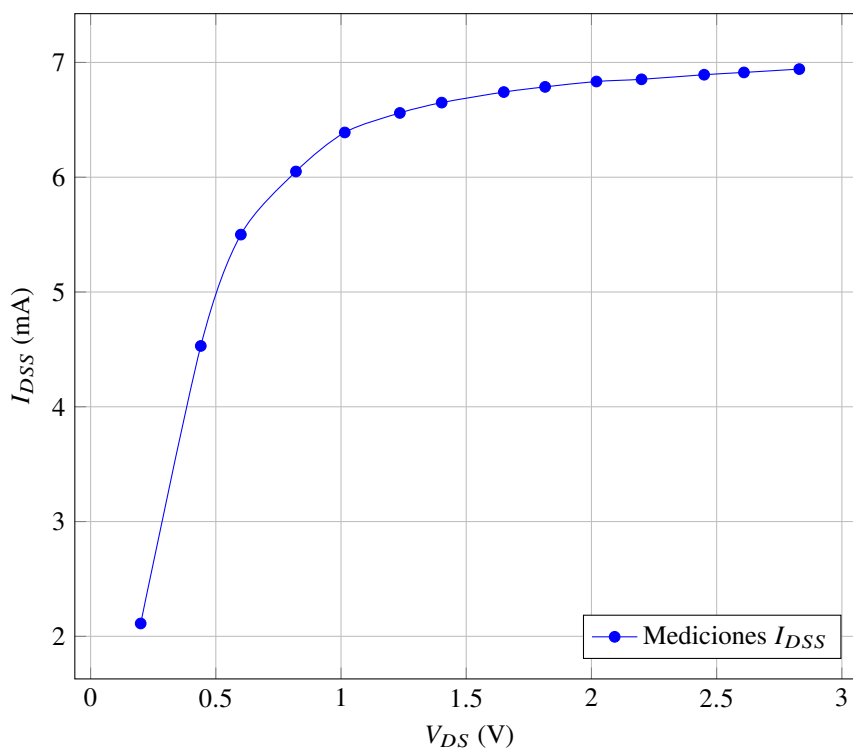
Primero revelamos la curva de  $I_{DSS}$ , para luego calcular  $R_S$   $R_D$ , la curva relevada fue la siguiente.

### Mediciones de $I_{DSS}$ Obtenidas

**Table 1:** Mediciones de  $I_{DSS}$  en función de  $V_{DS}$ .

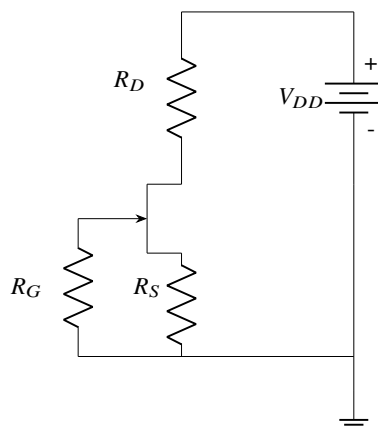
| $V_{DS}$ (V) | $I_{DSS}$ (mA) | Diferencia (%) |
|--------------|----------------|----------------|
| 0.200        | 2.112          | -              |
| 0.440        | 4.530          | 114.5          |
| 0.600        | 5.500          | 21.4           |
| 0.820        | 6.050          | 10.0           |
| 1.015        | 6.390          | 5.6            |
| 1.235        | 6.560          | 2.7            |
| 1.402        | 6.650          | 1.4            |
| 1.650        | 6.742          | 1.4            |
| 1.815        | 6.787          | 0.7            |
| 2.020        | 6.834          | 0.7            |
| 2.200        | 6.853          | 0.3            |
| 2.450        | 6.893          | 0.6            |
| 2.609        | 6.913          | 0.3            |
| 2.830        | 6.942          | 0.4            |

Curva característica de JFET (K117) ( $V_{GS} = 0$ )



**Figure 1:** Curva de salida  $I_D = f(V_{DS})$  para  $V_{GS} = 0$ .

## 1.1. Cálculos del punto Q



Una vez revelada la curva, el valor de  $I_{DSS}$  se extrajo a partir de las diferencias porcentuales del mismo valor, el valor elegido fue:  $I_{DSS} = 6,650 \text{ mA}$ , ya que la diferencia porcentual con el valor anterior fue del 1.4%, el valor de tensión en este punto se denomina  $V_{GSoff}$  y es de  $V_{GSoff} = 1,402 \text{ V}$

$$I_{DQ} = \frac{I_{DSS}}{2} \rightarrow I_{DQ} = \frac{6,650 \text{ mA}}{2} \rightarrow I_{DQ} = 3,325 \text{ mA}$$

$$V_{DSQ} = \frac{V_{DD}}{2} \rightarrow V_{DSQ} = \frac{12 \text{ V}}{2} \rightarrow V_{DSQ} = 6 \text{ V}$$

El siguiente paso fue calcular las resistencias para situar el punto Q, para esto primero obtenemos el valor de  $V_{GS}$  para luego obtener  $R_S$  y finalmente obtenemos  $R_D$ . Las ecuaciones de las cuales obtenemos estos valores son las siguientes:

$$i_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_{GSoff}}\right)^2$$

$$V_{GS} = -i_D \cdot R_S$$

$$V_{DD} = i_D \cdot (R_S + R_D) + V_{DS}$$

De la primera ecuación despejamos  $V_{GS}$ , como nos encontramos en el punto Q, podemos sustituir  $i_D$  por  $I_{DQ}$  y queda:

$$V_{GS} = \left(\sqrt{\frac{I_{DQ}}{I_{DSS}}} - 1\right) \cdot (-V_{GSoff}) \rightarrow V_{GS} = \left(\sqrt{\frac{I_{DSS}/2}{I_{DSS}}} - 1\right) \cdot (-1,402 \text{ V}) \rightarrow V_{GS} = -0,4106 \text{ V}$$

Con este dato podemos obtener  $R_S$  a partir de la segunda ecuación:

$$R_S = \left|\frac{-V_{GS}}{I_{DQ}}\right| = \left|\frac{-(-0,4106 \text{ V})}{3,325 \text{ mA}}\right| = 123,48 \Omega \xrightarrow{\text{Normalizado}} R_S = 120 \Omega$$

Ya con este valor podemos calcular  $R_D$  a partir de la 3ra ecuación. Para el cálculo de  $R_D$  se utiliza el valor no normalizado de  $R_S$  para mayor precisión:

$$R_D = -R_S + \frac{V_{DD} - V_{DSQ}}{I_{DQ}} = -123,48 \Omega + \frac{12 \text{ V} - 6 \text{ V}}{3,325 \text{ mA}} = 1681,51 \Omega \xrightarrow{\text{Normalizado}} R_D = 1,8 \text{ k}\Omega$$

**Table 2:** Valores del punto Q, medido vs calculado

| Parámetro | Valor Calculado (No normalizado) / Calculado | Valor Normalizado (Comercial) |
|-----------|--|-------------------------------|
| $V_{GSQ}$ | -0.4106 V                                    | —                             |
| $I_{DQ}$  | 3.325 mA                                     | —                             |
| $V_{DSQ}$ | 6 V  | —                             |
| $R_S$     | 123.48 $\Omega$                              | 120 $\Omega$                  |
| $R_D$     | 1681.51 $\Omega$                             | 1.8 k $\Omega$                |

## 1.2. Implementación circuito carga pasiva

### Parte práctica

Cuando implementamos el circuito con un transistor JFET K117 y medimos, tuvimos que hacer un cambio en  $R_S$ , ya que la polarización no daba de la manera correcta, fuimos bajando el valor hasta llegar a  $80\Omega$ , con ese valor la polarización nos dio los siguientes valores:

Para medir  $I_{DQ}$  dividimos la tensión medida en la resistencia  $R_D$ , dividido el valor de esta ( $1,8k$ ), el resultado fue de  $I_{DQ} = 3,144mA$  y la  $V_{DS} = 6,12V$

**Table 3:** Valores del punto Q: Comparación Calculados vs. Medidos

| Parámetro | Valor Calculado | Rango ( $\pm 10\%$ ) | Valor Medido | Diferencia (%) |
|-----------|-----------------|----------------------|--------------|----------------|
| $V_{DSQ}$ | 6 V             | [5.4 V; 6.6 V]       | 6.12 V       | 2.0%           |
| $I_{DQ}$  | 3.325 mA        | [2.99 mA; 3.66 mA]   | 3.144 mA     | 5.4%           |

### Resultados

Al comparar los resultados obtenidos en la “Parte analítica” con los medidos en la “Parte práctica”, se observa una muy buena correlación entre el modelo teórico y el comportamiento real del circuito. Como se detalla en la **Tabla 3**, el valor medido de  $V_{DSQ}$  (6.12 V) presentó una diferencia porcentual de solo **2.0%** con respecto al valor calculado de 6 V.

Por su parte, la corriente  $I_{DQ}$  medida (3.144 mA) tuvo un desvío del **5.4%** frente al valor teórico de 3.325 mA. Esta diferencia es atribuible a la discrepancia encontrada durante la implementación práctica. El valor calculado para la resistencia  $R_S$  fue de  $123.48\Omega$  (normalizado a  $120\Omega$ ), pero en el laboratorio fue necesario ajustar este valor a  **$80\Omega$**  para lograr la polarización correcta, tal como se describe en el texto de la parte práctica.

Este ajuste en  $R_S$  es la principal fuente del error porcentual en  $I_{DQ}$ . A pesar de esto, una diferencia del 5.4% se considera aceptable y valida el modelo analítico como una herramienta de diseño eficaz, demostrando que los cálculos teóricos del punto Q sirvieron como una excelente aproximación para la implementación física.

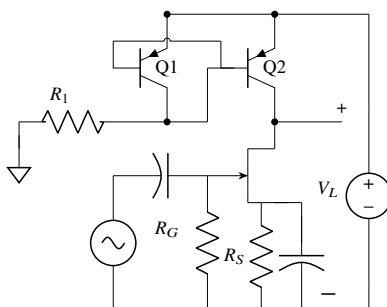
## 2. Polarización Con fuente de corriente

### 2.1. Cálculo de $R_1$

#### Parte analítica

En la segunda parte del trabajo práctico, se reemplaza la resistencia de drenador  $R_D$  por una **carga activa**. Como se vio en la teoría, en los circuitos integrados se utilizan fuentes de corriente de transistores como elemento de carga, ya que son menos sensibles a las variaciones de temperatura y ocupan una menor superficie que los resistores pasivos.

El circuito a implementar es una **Fuente de Corriente Básica** con BJT, también conocida como espejo de corriente. Esta configuración utiliza dos transistores (Q1 y Q2) apareados, donde Q1 se conecta como un diodo para establecer una corriente de referencia  $I_R$ .



El objetivo de esta parte es **mantener el mismo punto Q** (la misma  $I_{DQ}$  y  $V_{DSQ}$ ) que en el diseño con carga resistiva. Por lo tanto, la corriente de salida  $I_O = I_{C2}$  de nuestro espejo de corriente debe ser igual a la corriente  $I_{DQ}$  que calculamos en la primera parte. Para lograr esto, se debe calcular la resistencia  $R_1$  que establece la corriente de referencia  $I_R$ . Asumiendo

un  $\beta$  alto, la corriente de referencia  $I_R$  es aproximadamente igual a la corriente de salida  $I_{C2}$ . Por lo tanto, despejamos  $R_1$  de la ecuación de la malla de entrada, usando la corriente  $I_{DQ}$  deseada:

$$I_R = \frac{V_{DD} - V_{BE}}{R_1} \xrightarrow{\text{si } I_R \approx I_{C2} = I_{DQ}} R_1 = \frac{V_{DD} - V_{BE}}{I_{DQ}}$$

$$R_1 = \frac{12V - 0,7V}{3,325mA} \rightarrow R_1 = 3200\Omega \xrightarrow{\text{Normalizado}} R_1 = 3300\Omega$$

## 2.2. implementación circuito con carga activa

### Parte práctico

Para la implementación de la carga activa, se procedió a calcular el valor de la resistencia  $R_1$  para el espejo de corriente, con el objetivo de mantener el  $I_{DQ}$  de diseño (3.325 mA). Sin embargo, la implementación práctica presentó serias dificultades. En un primer intento se utilizaron transistores PNP **MPSA92**, y posteriormente **A92 B331**. En ambos casos, el circuito falló: la señal de salida  $v_L$  se observaba **severamente recortada**.

Este recorte sugiere que el punto Q del JFET se estaba desplazando incorrectamente, probablemente empujando al transistor a la región óhmica. Esto puede ocurrir si el espejo de corriente no logra establecer una corriente de colector ( $I_{DQ}$ ) estable, un problema común si los transistores (como los modelos de alto voltaje MPSA92) no están caracterizados para operar eficientemente a corrientes tan bajas, presentando un  $\beta$  muy bajo o un  $V_{BE}$  inconsistente.

Finalmente, se implementó el espejo de corriente utilizando transistores **BC 557**, con los cuales el circuito funcionó correctamente. Se midieron los  $\beta$  de ambos transistores, arrojando valores de **156 y 159**, lo cual es ideal para un espejo de corriente. Con esta configuración, se midió la corriente  $I_{DQ}$  de forma indirecta, midiendo la caída de tensión en  $R_S$  (80.2  $\Omega$ ), la cual fue de 261.7 mV, resultando en:  $I_{DQ} = 3.263$  mA. El valor medido para  $V_{DSQ}$  fue de **9.01 V**.

**Table 4:** Comparativa de los valores del punto Q

| Parámetro | Valor Calculado | Rango ( $\pm 10\%$ ) | Medido (Pasivo) | Medido (Activo) | Desvío (Pasivo / Activo) |
|-----------|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| $V_{DSQ}$ | 6 V             | [5.4 V, 6.6 V]       | 6.12 V          | 9.01 V          | 2.0% / 50.17%            |
| $I_{DQ}$  | 3.325 mA        | [2.99 mA, 3.66 mA]   | 3.144 mA        | 3.263 mA        | 5.4% / 1.86%             |

### Resultados

La implementación de la carga activa fue exitosa tras reemplazar los transistores PNP por el modelo **BC 557**. Los resultados de la polarización son notables: la corriente  $I_{DQ}$  medida con la carga activa (3.263 mA) es **extremadamente cercana** al valor teórico de diseño (3.325 mA), con un desvío de solo **1.86%**. Esto valida el diseño del espejo de corriente. Sin embargo, la tensión  $V_{DSQ}$  (9.01 V) se desvía significativamente del objetivo de 6 V. Esto es esperable, ya que la resistencia de salida  $r_o$  del espejo de corriente es mucho más alta que la  $R_D$  pasiva, reubicando el punto Q verticalmente, lo cual tendrá un impacto directo en la ganancia de tensión ( $A_v$ ) del amplificador.