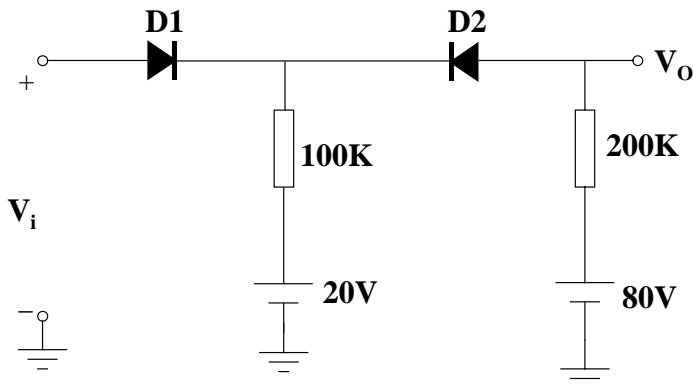


(2) **EJERCICIO 1** (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)

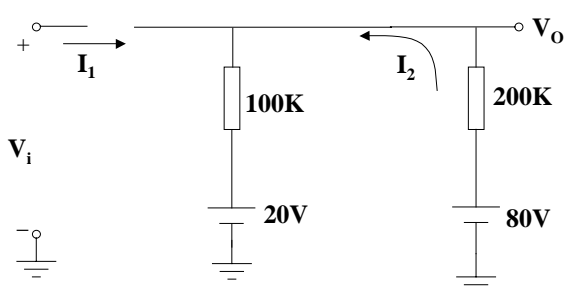
Calcular la característica de transferencia del circuito de la figura. Dibujar la característica de transferencia e indicar el estado de cada uno de los diodos en cada tramo.

DATOS: Diodos ideales



\*  $-\infty < V_i \leq V_x \Rightarrow$  D1 en corte y D2 conduce

El circuito equivalente es el siguiente:



$$I_1 = 0$$

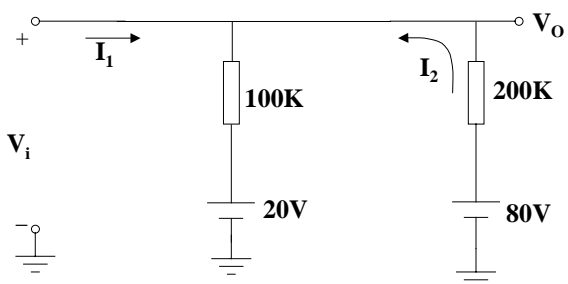
$$I_2 = \frac{80V - 20V}{200K + 100K} = 0,2mA$$

$$V_o = 80V - I_2 \cdot 200K = 80V - 0,2mA \cdot 200K = 40V$$

D1 empieza a conducir cuando  $V_i \geq V_o = 40V \Rightarrow V_x = 40V$

\*  $40V \leq V_i \leq V_y \Rightarrow$  D1 y D2 conducen

El circuito equivalente es el siguiente:



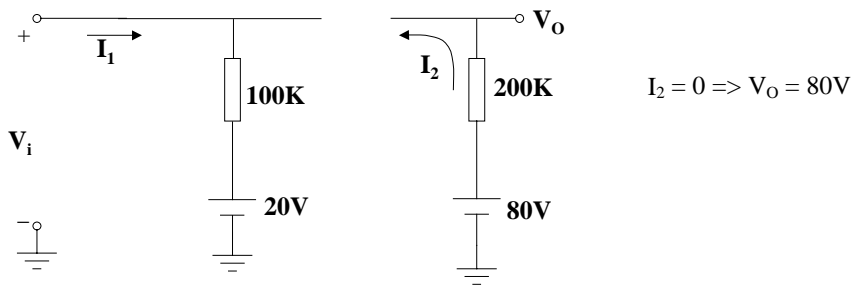
$$V_o = V_i$$

$$I_2 = \frac{80V - V_i}{200K}$$

D2 entra en corte cuando  $I_2 = 0 \Rightarrow \frac{80V - V_i}{200K} = 0 \Rightarrow V_i = 80V \Rightarrow V_y = 80V$

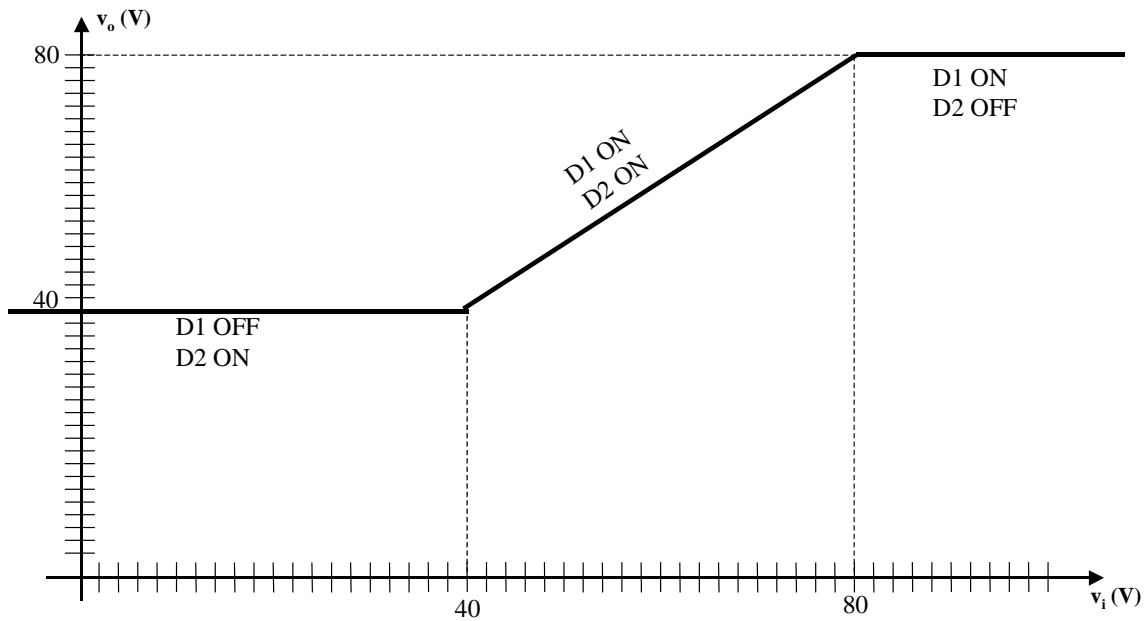
\*  $80V \leq V_i < \infty \Rightarrow D1$  conduce y  $D2$  en corte

El circuito equivalente es el siguiente:



Por lo tanto la característica de transferencia del circuito es la siguiente:

|                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| $-\infty < V_i \leq 40V$ | $\Rightarrow V_o = 40V$ |
| $40V \leq V_i \leq 80V$  | $\Rightarrow V_o = V_i$ |
| $80V \leq V_i < \infty$  | $\Rightarrow V_o = 80V$ |

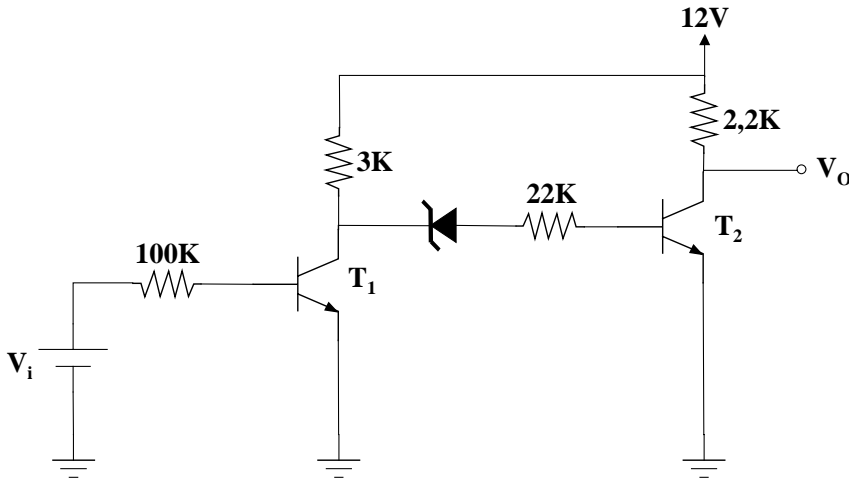


**EJERCICIO 2** (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)

En el circuito de la figura:

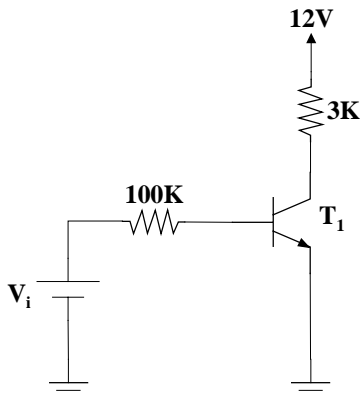
DATOS: Transistores T1 y T2 de silicio e idénticos:  $V_{BEon} = 0,7\text{ V}$      $V_{CEsat} = 0,2\text{ V}$      $\beta = 100$

Diodo:  $V_Z = 6\text{ V}$



(1) a) Calcular  $V_O$  para  $V_i = 4\text{ V}$ .

Suponiendo T1 saturado se tendría que  $V_{CE1} = 0,2\text{ V} \Rightarrow$  zener y T2 en corte. Quedaría el siguiente circuito equivalente:



$$I_{C1sat} = \frac{12\text{V} - V_{CE1sat}}{3\text{K}} = \frac{12\text{V} - 0,2\text{V}}{3\text{K}} = 3,9\text{mA}$$

$$I_{B1minsat} = \frac{I_{C1sat}}{\beta} = \frac{3,9\text{mA}}{100} = 0,039\text{mA} = 39\mu\text{A}$$

$$I_{B1} = \frac{V_i - V_{BE1}}{100\text{K}} = \frac{4\text{V} - 0,7\text{V}}{100\text{K}} = 0,033\text{mA} = 33\mu\text{A}$$

Como  $I_{B1} < I_{B1minsat} \Rightarrow$  T1 no está saturado y está en activa y por lo tanto  $I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} = 100 \cdot 33\mu\text{A} = 3,3\text{mA}$

Ahora suponiendo que el zener y T2 están en corte se tendría el mismo circuito equivalente y calculando  $V_{CE1}$  se obtiene:

$$V_{CE1} = 12\text{V} - I_{C1} \cdot 3\text{K} = 12\text{V} - 3,3\text{mA} \cdot 3\text{K} = 2,1\text{V}$$

Para que el zener y T2 conduzcan hace falta que se cumpla que  $V_{CE1} > V_Z + V_{BE2} = 6\text{V} + 0,7\text{V} = 6,7\text{V}$ .

Como  $V_{CE1} = 2,1\text{V} < 6,7\text{V} \Rightarrow$  suposición zener y T2 en corte correcta  $\Rightarrow I_{C2} = 0 \Rightarrow V_O = 12\text{V} - I_{C2} \cdot 2,2\text{K} = 12\text{V}$

$$V_O = 12\text{V}$$

(1) **b)** Calcular  $V_O$  para  $V_i = 1V$ .

Del apartado a) se conoce que  $I_{B1\text{minsat}} = 0,039mA$ . Calculando para los datos de este apartado  $I_{B1}$  se obtiene:

$$I_{B1} = \frac{V_i - V_{BE1}}{100K} = \frac{1V - 0,7V}{100K} = 0,003mA = 3\mu A$$

Como  $I_{B1} < I_{B1\text{minsat}} \Rightarrow T1$  no está saturado y está en activa y por lo tanto  $I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} = 100 \cdot 3\mu A = 0,3mA$

Ahora suponiendo que el zener y T2 están en corte y calculando  $V_{CE1}$  se obtiene:

$$V_{CE1} = 12V - I_{C1} \cdot 3K = 12V - 0,3mA \cdot 3K = 11,1V$$

Como  $V_{CE1} > V_Z + V_{BE2} = 6V + 0,7V = 6,7V \Rightarrow$  zener y T2 no pueden estar en corte  $\Rightarrow$  zener regula y T2 conduce.

Se calcula  $I_{B2}$ :

$$12V = (I_{C1} + I_{B2}) \cdot 3K + V_Z + I_{B2} \cdot 22K + V_{BE2} \Rightarrow I_{B2} = \frac{12V - V_Z - V_{BE2} - I_{C1} \cdot 3K}{3K + 22K} =$$
$$= \frac{12V - 6V - 0,7V - 0,3mA \cdot 3K}{25K} = 0,176mA$$

Ahora se calcula  $I_{C2}$  suponiendo que T2 estuviera saturado:

$$I_{C2\text{sat}} = \frac{12V - V_{CE2\text{sat}}}{2,2K} = \frac{12V - 0,2V}{2,2K} = 5,3636mA$$

$$I_{B2\text{min sat}} = \frac{I_{C2\text{sat}}}{\beta} = \frac{5,3636mA}{100} = 0,053636mA$$

Como  $I_{B2} > I_{B2\text{minsat}} \Rightarrow T2$  está saturado  $\Rightarrow V_O = V_{CE2} = 0,2V$

$V_O = 0,2V$

(1) **c)** Calcular el rango de valores que puede tener  $V_i$  para que los dos transistores T1 y T2 estén saturados a la vez.

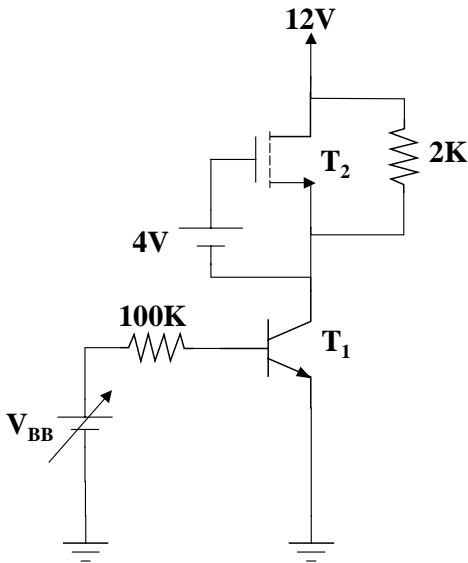
Si T1 está saturado implica que  $V_{CE1} = 0,2V$  por lo que en el cátodo del zener no hay tensión suficiente para polarizar en regulación al zener y al transistor T2 en conducción. Esto implica que el zener y T2 estarían en corte.

Por lo tanto es imposible polarizar a los dos transistores T1 y T2 en saturación a la vez.

**EJERCICIO 3** (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)

En el circuito de la figura:

DATOS: T1 =>  $V_{BE\gamma} = 0,3V$        $V_{BEon} = 0,5V$        $V_{CEsat} = 0,2V$        $\beta = 100$   
 T2 =>  $V_{TH} = 2V$        $K = 0,3 \text{ mA/V}^2$



(1,5) a) Calcular el punto de trabajo de los 2 transistores ( $I_C$ ,  $V_{CE}$ ,  $I_D$ ,  $V_{DS}$ ) cuando  $V_{BB} = 10V$ . La característica del MOSFET se puede aproximar por tramos lineales.

Se supone T1 en activa y T2 saturado:

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{100K} = \frac{10V - 0,5V}{100K} = 95\mu A \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 95\mu A = 9,5mA$$

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = 0,3 \frac{mA}{V^2} \cdot (4V - 2V)^2 = 1,2mA$$

$$I_{2K} = I_C - I_D = 9,5mA - 1,2mA = 8,3mA \Rightarrow V_{DS} = I_{2K} \cdot 2K = 8,3mA \cdot 2K = 16,6V$$

$V_{CE} = 12V - V_{DS} = 12V - 16,6V = -4,6V \Rightarrow$  T1 no puede estar en activa ya que para ello  $V_{CE}$  tendría que ser positiva => Suposición es incorrecta.

Se realiza otra suposición: T1 y T2 saturados:

T1 saturado =>  $V_{CE} = 0,2V \Rightarrow V_{DS} = 12V - V_{CE} = 11,8V$

Si T2 está saturado tiene que cumplirse que  $V_{DS} \geq V_{GS} - V_{TH}$  y como  $11,8V \geq 4V - 2V = 2V$  entonces la suposición de que T2 está saturado es correcta.

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = 0,3 \frac{mA}{V^2} \cdot (4V - 2V)^2 = 1,2mA$$

$$I_{2K} = \frac{V_{DS}}{2K} = \frac{11,8V}{2K} = 5,9mA \quad I_C = I_D + I_{2K} = 1,2mA + 5,9mA = 7,1mA$$

$$I_{Bminsat} = \frac{I_{Csat}}{\beta} = \frac{7,1mA}{100} = 0,071mA = 71\mu A$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{100K} = \frac{10V - 0,5V}{100K} = 95\mu A$$

Como se cumple que  $I_B > I_{Bminsat}$  entonces la suposición de T1 saturado es correcta. Por lo tanto los dos transistores estarían saturados y los cálculos realizados son válidos.

|                           |
|---------------------------|
| T1 y T2 saturados         |
| $I_C = 7,1 \text{ mA}$    |
| $V_{CE} = 0,2 \text{ V}$  |
| $I_D = 1,2 \text{ mA}$    |
| $V_{DS} = 11,8 \text{ V}$ |

(1,5) b) Calcular los estados por los que pasan los transistores cuando  $V_{BB}$  varía entre 0V y 20V. La característica del MOSFET se puede aproximar por tramos lineales.

\*  $0V \leq V_{BB} \leq 0,3V \Rightarrow T1$  y  $T2$  están en corte

\*  $0,3V < V_{BB} < V_x \Rightarrow T1$  en activa y  $T2$  en óhmica

Cuando  $V_{BB} > V_{BE1}$   $T1$  empieza a conducir en zona activa y  $T2$  también empieza a conducir en óhmica. A medida que  $V_{BB}$  aumenta,  $I_B$  e  $I_C$  también van aumentando lo que provoca que  $V_{DS}$  aumente y por lo tanto  $V_{CE}$  disminuya ya que  $12V = V_{DS} + V_{CE}$ . Entonces, el próximo cambio en el estado de uno de los transistores ocurrirá en  $T2$  ya que cuando  $V_{DS} = V_{GS} - V_{TH} = 2V$   $T2$  entra en saturación y en ese punto  $V_{CE} = 12V - V_{DS} = 10V \Rightarrow T1$  aún sigue en activa.

Se calcula el valor de  $V_{BB}$  que hace que  $V_{DS} = 2V$ :

Para  $V_{DS} = 2V$   $T2$  se satura y la corriente de drenador tiene que tener un valor igual a

$$I_D = K \cdot (V_{GS} - V_{TH})^2 = 0,3 \frac{mA}{V^2} \cdot (4V - 2V)^2 = 1,2mA$$

$$I_{2K} = \frac{V_{DS}}{2K} = \frac{2V}{2K} = 1mA \quad I_C = I_D + I_{2K} = 1,2mA + 1mA = 2,2mA$$

Como  $T1$  está en activa  $\Rightarrow$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2,2mA}{100} = 0,022mA \Rightarrow V_{BB} = I_B \cdot 100K + V_{BE} = 0,022mA \cdot 100K + 0,5V = 2,7V$$

Entonces  $V_x = 2,7V$  y con ese valor el transistor  $T2$  se satura.

\*  $2,7V \leq V_{BB} < V_y \Rightarrow T1$  en activa y  $T2$  saturado

Ahora hay que calcular el punto donde  $T1$  se satura que es cuando  $V_{CE} = 0,2V \Rightarrow V_{DS} = 11,8V \Rightarrow T2$  saturado  $\Rightarrow I_D = 1,2mA$

$$I_{2K} = \frac{V_{DS}}{2K} = \frac{11,8V}{2K} = 5,9mA \quad I_C = I_D + I_{2K} = 1,2mA + 5,9mA = 7,1mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{7,1mA}{100} = 0,071mA \Rightarrow V_{BB} = I_B \cdot 100K + V_{BE} = 0,071mA \cdot 100K + 0,5V = 7,6V$$

Por lo tanto  $V_y = 7,6V$  y a partir de ese valor  $T1$  se satura

\*  $7,6V \leq V_{BB} \leq 20V \Rightarrow T1$  y  $T2$  saturados

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| $0V \leq V_{BB} \leq 0,3V$  | $\Rightarrow T1$ y $T2$ están en corte      |
| $0,3V < V_{BB} < 2,7V$      | $\Rightarrow T1$ en activa y $T2$ en óhmica |
| $2,7V \leq V_{BB} < 7,6V$   | $\Rightarrow T1$ en activa y $T2$ saturado  |
| $7,6V \leq V_{BB} \leq 20V$ | $\Rightarrow T1$ y $T2$ saturados           |