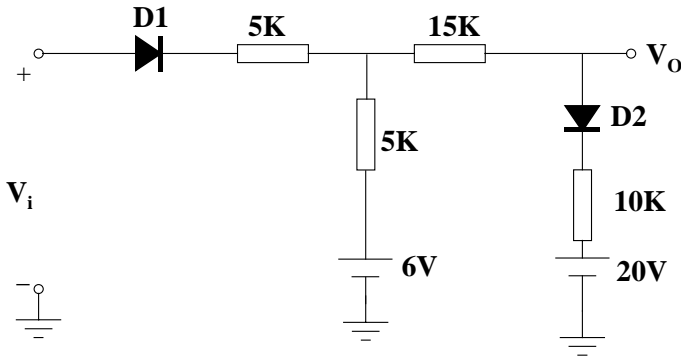


EJERCICIO 1 (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)

(1) **a)** Calcular la característica de transferencia del circuito de la figura para $0V \leq V_i \leq 50V$. Dibujar la característica de transferencia e indicar el estado de cada uno de los diodos en cada tramo.

DATOS: Diodos ideales

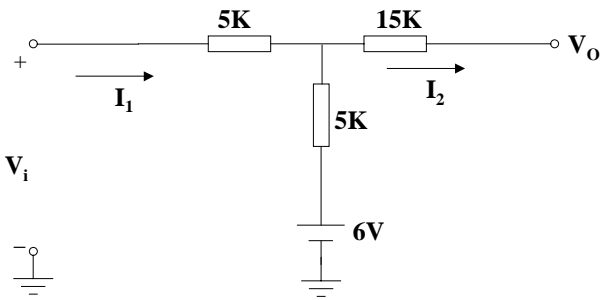


* $V_i = 0 \Rightarrow D1$ y $D2$ en corte $\Rightarrow V_o = 6V$

El primer cambio ocurre cuando $V_i > 6V$ y $D1$ empieza a conducir.

* $6V \leq V_i \leq V_x \Rightarrow D1$ conduce y $D2$ está en corte.

El circuito equivalente sería el siguiente:



$$I_2 = 0$$

$$I_1 = \frac{V_i - 6V}{10K} = \left(\frac{V_i - 6}{10} \right) mA$$

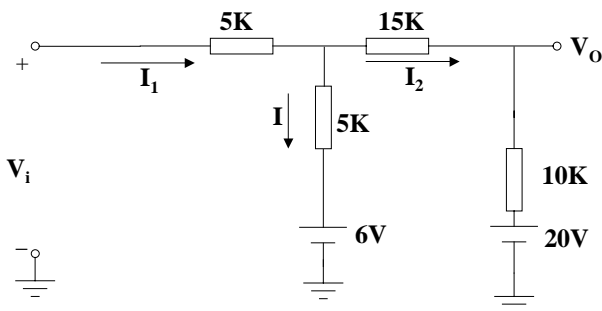
$$V_o = V_i - I_1 \cdot 5K = V_i - \frac{V_i - 6}{10} \cdot 5 = \frac{V_i}{2} + 3$$

Esta situación se conserva hasta que $V_o \geq 20V$ y entonces $D2$ empieza a conducir

$$\frac{V_i}{2} + 3 \geq 20V \Rightarrow V_i \geq 34V \Rightarrow V_x = 34V$$

* $34V \leq V_i \Rightarrow D1$ y $D2$ conducen.

El circuito equivalente sería el siguiente:



$$I = I_1 - I_2$$

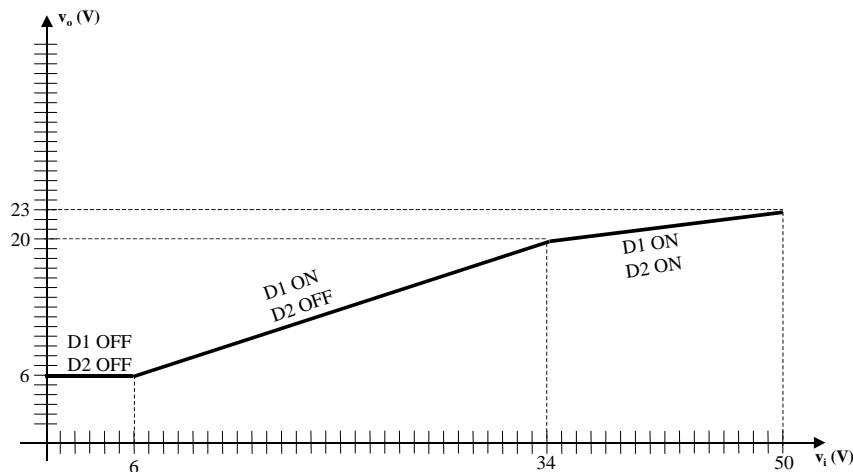
$$\left. \begin{aligned} V_i &= I_1 \cdot 5K + (I_1 - I_2) \cdot 5K + 6V = I_1 \cdot 10K - I_2 \cdot 5K + 6V \\ 20V - 6V &= (I_1 - I_2) \cdot 5K - I_2 \cdot 25K = I_1 \cdot 5K - I_2 \cdot 30K \end{aligned} \right\}$$

Resolvemos este sistema de ecuaciones con 2 incógnitas:

$$I_2 = \left(\frac{V_i - 34}{55} \right) mA \quad I_1 = \left(\frac{6V_i - 50}{55} \right) mA$$

$$V_o = I_2 \cdot 10K + 20V = \left(\frac{V_i - 34}{55} \right) mA \cdot 10K + 20V = \frac{2}{11} V_i + 13,818$$

Por lo tanto, la característica de transferencia sería la siguiente:



(1) b) Si los diodos no son ideales, calcular el valor de las corrientes por los diodos para $0V \leq V_i \leq 50V$.

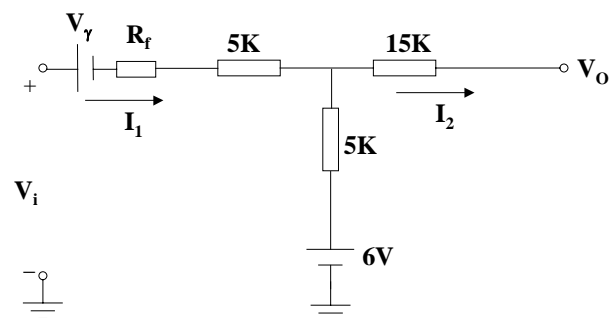
DATOS: D1 y D2 $\Rightarrow V_\gamma = 0,6V$ $R_f = 100\Omega$ $R_r = \infty$

* $V_i = 0 \Rightarrow$ D1 y D2 en corte $\Rightarrow V_o = 6V$ $I_1 = 0$ $I_2 = 0$

El primer cambio ocurre cuando $V_i \geq 6V + V_\gamma = 6V + 0,6V = 6,6V$ y D1 empieza a conducir.

* $6,6V \leq V_i \leq V_x \Rightarrow$ D1 conduce y D2 está en corte.

El circuito equivalente sería el siguiente:



$$I_2 = 0$$

$$I_1 = \frac{V_i - V_\gamma - 6V}{10,1K} = \left(\frac{V_i - 6,6}{10,1} \right) mA$$

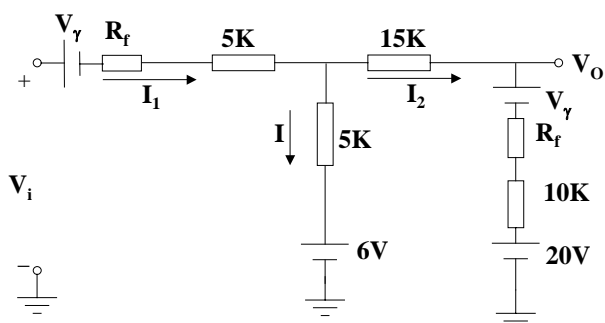
$$V_o = V_i - V_\gamma - I_1 \cdot 5,1K = 0,49505 \cdot V_i + 2,7326$$

Esta situación se conserva hasta que $V_o \geq 20V + V_\gamma = 20,6V$ y entonces D2 empieza a conducir

$$0,49505 \cdot V_i + 2,7326 \geq 20,6V \Rightarrow V_i \geq \frac{20,6 - 2,7326}{0,49505} = 36,092V \Rightarrow V_x = 36,092V$$

* $36,092V \leq V_i \Rightarrow$ D1 y D2 conducen.

El circuito equivalente sería el siguiente:



$$I = I_1 - I_2$$

$$\left. \begin{aligned} V_i &= V_\gamma + I_1 \cdot 5,1K + (I_1 - I_2) \cdot 5K + 6V = I_1 \cdot 10,1K - I_2 \cdot 5K + 6,6V \\ 14V &= (I_1 - I_2) \cdot 5K - I_2 \cdot 25,1K - V_\gamma = I_1 \cdot 5K - I_2 \cdot 30,1K - 0,6V \end{aligned} \right\}$$

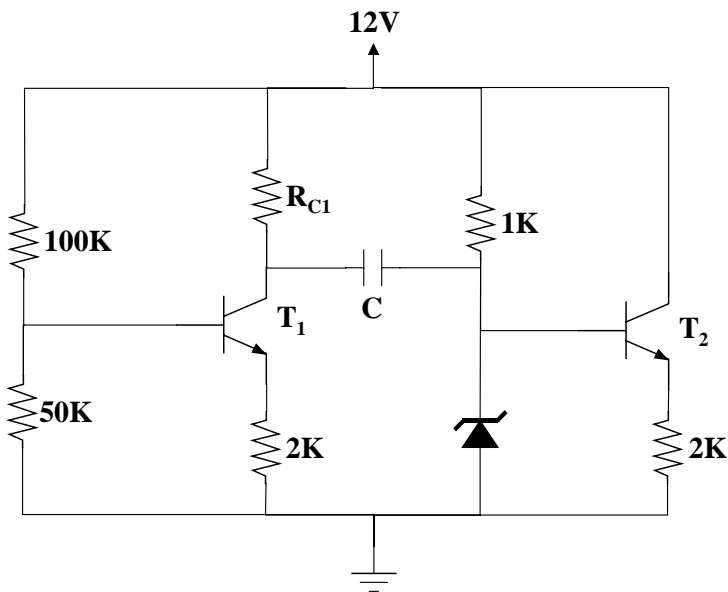
Resolvemos este sistema de ecuaciones con 2 incógnitas:

$$I_2 = \left(\frac{V_i - 36,092}{55,802} \right) mA \quad I_1 = (0,10788 \cdot V_i - 0,9736) mA$$

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

(1) a) Determinar el estado, las corrientes y las tensiones de polarización de los transistores del circuito de la figura y el valor de R_{C1} para que $V_{CE1} = 3V$.

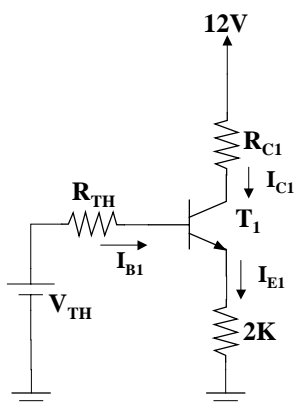
DATOS: Transistores T1 y T2 de silicio e idénticos: $V_{BEon} = 0,7V$ $V_{CEsat} = 0,2V$ $\beta = 100$
 Diodo: $V_Z = 6V$



	T1	T2
Estado	ACTIVA	ACTIVA
I_B	14,022 μA	26,237 μA
I_C	1,4022 mA	2,6237 mA
I_E	1,4162 mA	2,65 mA
V_{CE}	3 V	6,7 V
R_{C1}	4,3985 K Ω	

Como sólo tenemos señales continuas ($f = 0$), C es un circuito abierto. Por lo tanto quedarían 2 circuitos de polarización independientes.

* Realizamos el estudio para T1. Haciendo el equivalente Thevenin del circuito de la entrada, el circuito equivalente sería:



$V_{CE1} = 3V \Rightarrow T1$ en activa

$$V_{TH} = 12V \cdot \frac{50K}{100K + 50K} = 4V$$

$$R_{TH} = 100K // 50K = \frac{100K \cdot 50K}{100K + 50K} = 33,333K$$

$$I_{B1} = \frac{V_{TH} - V_{BE}}{R_{TH} + (1 + \beta) \cdot 2K} = 14,022 \mu A$$

$$I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} = 1,4022 mA$$

$$I_{E1} = I_{C1} + I_{B1} = 1,4162 mA$$

$$12V = I_{C1} \cdot R_{C1} + V_{CE1} + I_{E1} \cdot 2K \Rightarrow R_{C1} = \frac{12V - V_{CE1} - I_{E1} \cdot 2K}{I_{C1}} = 4,3985K$$

* Ahora realizamos el estudio de T2.

El zener regula $\Rightarrow V_{E2} = V_Z - V_{BE2} = 5,3V \Rightarrow V_{CE2} = V_{C2} - V_{E2} = 12V - 5,3V = 6,7V \Rightarrow T2$ en activa

$$I_{E2} = \frac{V_{E2}}{2K} = 2,65 mA$$

$$I_{B2} = \frac{I_{E2}}{\beta + 1} = 26,237 \mu A$$

$$I_{C2} = \beta \cdot I_{B2} = 2,6237 mA$$

(1) **b)** Calcular el valor máximo de R_{C1} para que las corrientes calculadas en el apartado anterior no se alteren.

Mientras T1 en activa las corrientes no dependen de R_{C1} (sólo dependen del circuito de polarización de entrada (12V y las resistencias de 100K y 50K). Las corrientes empezarán a cambiar y a depender del valor de la resistencia R_{C1} del circuito de salida de T1 cuando este transistor se sature.

Por lo tanto, para que las corrientes no se alteren la condición es que T1 siga estando en activa $\Rightarrow V_{CE1} > V_{CEsat} = 0,2V$.

$$12V = I_{C1} \cdot R_{C1} + V_{CE1} + I_{E1} \cdot 2K \Rightarrow V_{CE1} = 12V - I_{C1} \cdot R_{C1} - I_{E1} \cdot 2K > 0,2V \Rightarrow$$

$$R_{C1} < \frac{12V - 0,2V - I_{E1} \cdot 2K}{I_{C1}} = \frac{12V - 0,2V - 1,4162mA \cdot 2K}{1,4022mA} = 6,3953K$$

$$R_{C1} < 6,3953 K\Omega$$

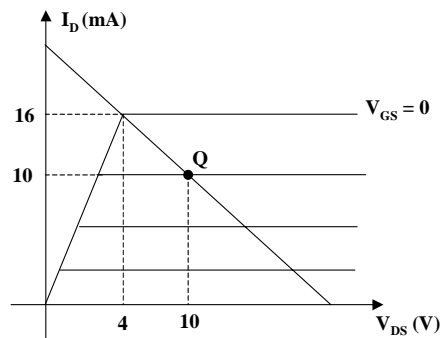
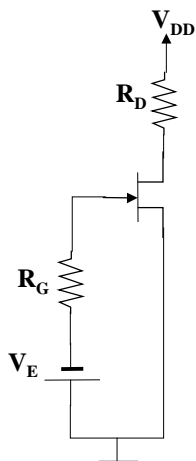
(1) **c)** ¿Cuál sería el valor mínimo que tendría que tener la resistencia del emisor del transistor T2 para que este transistor estuviera en saturación?

T2 no se puede saturar ya que la tensión entre colector y base es constante e igual a 6V y con esta tensión la unión colector-base siempre estará polarizada en inversa \Rightarrow T2 siempre en activa.

En otras palabras, el diodo zener impide que se pueda polarizar la unión base-colector en directa, es decir, impide que el transistor T2 se sature.

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

En el circuito de la figura:



(1) **a)** Calcular el valor de V_E para obtener el punto de trabajo Q representado en la gráfica.

El punto de trabajo Q es $I_D = 10 \text{ mA}$ y $V_{DS} = 10 \text{ V}$.

De la gráfica se obtiene que $I_{DSS} = 16 \text{ mA}$ y $V_P = -4 \text{ V}$.

$$\text{Como el punto Q está en la zona de saturación se cumple } I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{|V_{GS}|}{|V_P|}\right)^2 \Rightarrow 10 \text{ mA} = 16 \text{ mA} \cdot \left(1 - \frac{|V_{GS}|}{4}\right)^2$$

$$10 \text{ mA} = 16 + |V_{GS}|^2 - 8 \cdot |V_{GS}| \Rightarrow |V_{GS}|^2 - 8 \cdot |V_{GS}| + 6 = 0$$

Se resuelve la ecuación de 2º grado y se obtienen los siguientes valores: $|V_{GS}| = 7,16 \text{ V}$ y $|V_{GS}| = 0,84 \text{ V}$

Si $|V_{GS}| > |V_P|$ el transistor está en corte \Rightarrow la respuesta de $7,16 \text{ V}$ no es válida. Entonces la respuesta válida es $|V_{GS}| = 0,84 \text{ V}$

Como es un JFET de canal N $\Rightarrow V_{GS}$ tiene que ser negativa $\Rightarrow V_{GS} = -0,84 \text{ V}$.

Como $V_E = -V_{GS} \Rightarrow V_E = 0,84 \text{ V}$

$$V_E = 0,84 \text{ V}$$

(1) **b)** Si $V_E = 1V$ y $V_{DD} = 10V$, calcular el valor máximo que puede tener R_D para que el JFET esté saturado.

En este caso $V_{GS} = -V_E = -1V$ y de la gráfica sabemos que $V_P = -4V$

Para que el JFET esté saturado se tiene que cumplir $|V_{DS}| \geq ||V_P| - |V_{GS}|| \Rightarrow |V_{DS}| \geq |4V - 1V| = 3V$

Analizamos el circuito y se obtiene:

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D \cdot R_D \geq 3V \Rightarrow I_D \cdot R_D \leq V_{DD} - 3V = 10V - 3V = 7V$$

Cuando el JFET está saturado la corriente I_D es igual a: $I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{|V_{GS}|}{|V_P|}\right)^2 = 16mA \cdot \left(1 - \frac{1}{4}\right)^2 = 9mA$

Por lo tanto para que el JFET esté saturado tiene que cumplirse que:

$$I_D \cdot R_D \leq 7V \Rightarrow R_D \leq \frac{7V}{I_D} = \frac{7V}{9mA} = 777,77\Omega$$

$R_D \leq 777,77 \Omega$

(1) **c)** Si $V_E = 2V$, $V_{DD} = 6V$ y $R_D = 5K\Omega$, calcular la corriente que circula por el drenador del transistor JFET e indicar en que región está trabajando dicho transistor.

Suponemos que el JFET está en la región óhmica \Rightarrow se comporta como una resistencia de valor $r_{DS} = \frac{|V_P|}{I_{DSS}} = \frac{4V}{16mA} = 250\Omega$

$$V_{DD} = I_D \cdot (R_D + r_{DS}) \Rightarrow I_D = \frac{V_{DD}}{R_D + r_{DS}} = \frac{6V}{5,25K} = 1,1428mA$$

Ahora comprobamos la suposición:

$$V_{DS} = I_D \cdot r_{DS} = 1,1428mA \cdot 0,25K = 0,2857V$$

Si el JFET está en óhmicas tiene que cumplirse que $|V_{DS}| < ||V_P| - |V_{GS}|| \Rightarrow$ suposición correcta
 $0,2857 < |4V - 2V| = 2V$

$I_D = 1,1428 mA$ JFET en óhmica
