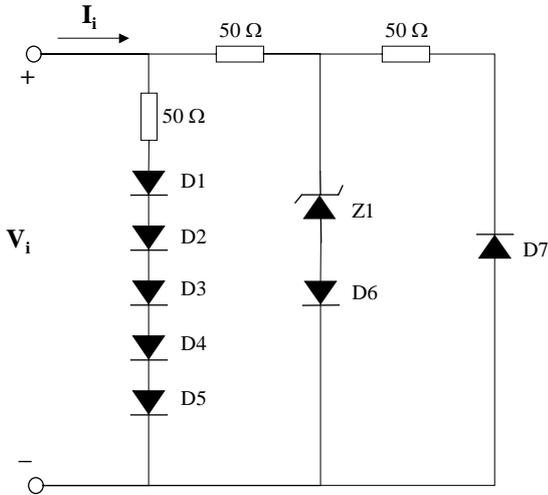


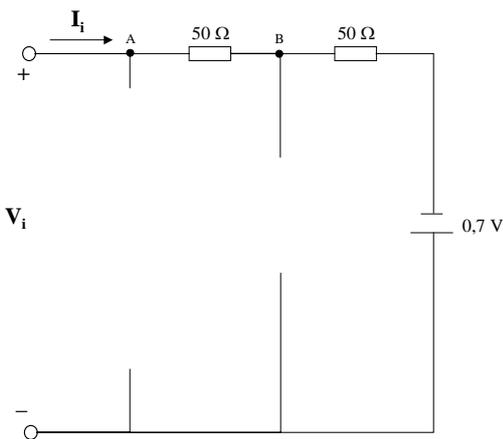
(3) **EJERCICIO 1** (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)
 Obtener analíticamente y dibujar la gráfica de la función $I_i = f(V_i)$ en el circuito de la figura.

DATOS: Diodos $\rightarrow V_\gamma = 0,7 \text{ V}$, $R_f = 0$, $R_r = \infty$
 Diodo zener $\rightarrow V_\gamma = 0,7 \text{ V}$, $V_Z = 1,9 \text{ V}$, $R_f = 0$, $R_r = \infty$, $R_Z = 0$



Con V_i negativas sólo puede conducir el diodo D7 y conducirá para $V_i < V_\gamma = -0,7 \text{ V}$

* $V_i \leq -0,7 \text{ V} \Rightarrow$ D7 conduce y el resto de diodos en corte. El circuito equivalente sería:



$$I_i = \frac{V_i + 0,7}{100} \text{ A}$$

Para $V_i > -0,7 \text{ V}$ el diodo D7 entra en corte e $I_i = 0$. Al no haber corriente por el circuito $V_A = V_B = V_i$.

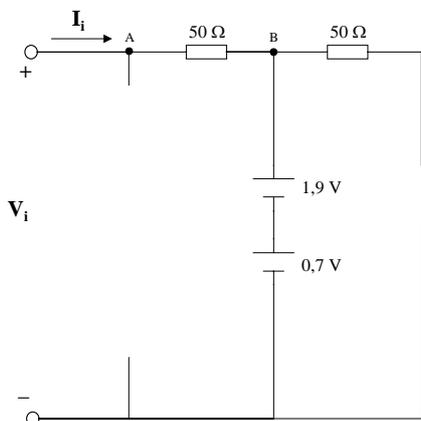
Para que conduzcan los diodos D1, D2, D3, D4 y D5 se necesita $V_i = V_A \geq V_{\gamma 1} + V_{\gamma 2} + V_{\gamma 3} + V_{\gamma 4} + V_{\gamma 5} = 3,5 \text{ V}$

Para que conduzca el diodo D6 es necesario que Z1 entre en regulación y se necesita $V_i = V_B \geq V_{Z1} + V_{\gamma 6} = 2,6 \text{ V}$

Esto quiere decir que el próximo cambio se produce para $V_i = 2,6 \text{ V}$ en donde Z1 empezaría a regular y D6 pasaría a conducción.

* $-0,7 \text{ V} \leq V_i \leq 2,6 \text{ V} \Rightarrow$ Todos los diodos en corte $\Rightarrow I_i = 0$

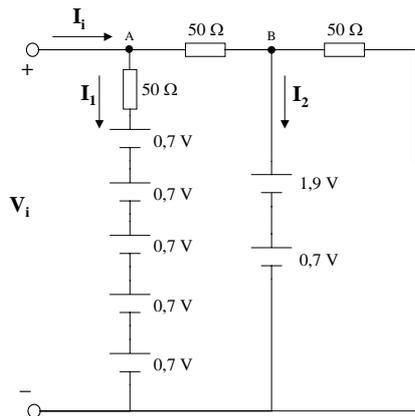
* $2,6 \text{ V} \leq V_i \leq V_X \Rightarrow$ Z1 regula, D6 conduce y el resto de diodos en corte. El circuito equivalente sería:



$$I_i = \frac{V_i - 0,7 - 1,9}{50} \text{ A} = \frac{V_i - 2,6}{50} \text{ A}$$

El próximo cambio ocurrirá cuando los diodos D1 a D5 empiecen a conducir y para ello $V_i = V_A \geq V_{\gamma 1} + V_{\gamma 2} + V_{\gamma 3} + V_{\gamma 4} + V_{\gamma 5} = 3,5 \text{ V}$. Por lo tanto la situación anterior se conserva hasta $V_X = 3,5 \text{ V}$

* $3,5 \text{ V} \leq V_i \Rightarrow D1, D2, D3, D4, D5 \text{ y } D6 \text{ conducen, } Z1 \text{ regula y } D7 \text{ en corte. El circuito equivalente sería:}$

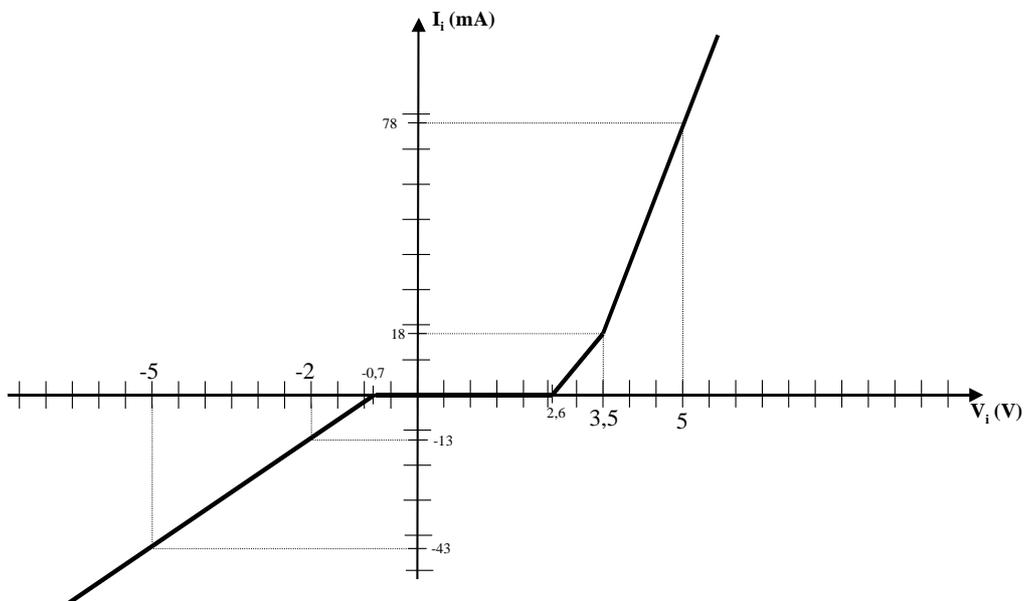


$$I_1 = \frac{V_i - 3,5}{50} \text{ A} \quad I_2 = \frac{V_i - 2,6}{50} \text{ A}$$

$$I_i = I_1 + I_2 = \frac{V_i - 3,5}{50} + \frac{V_i - 2,6}{50} = \frac{2 \cdot V_i - 6,1}{50} \text{ A}$$

La solución del problema es:

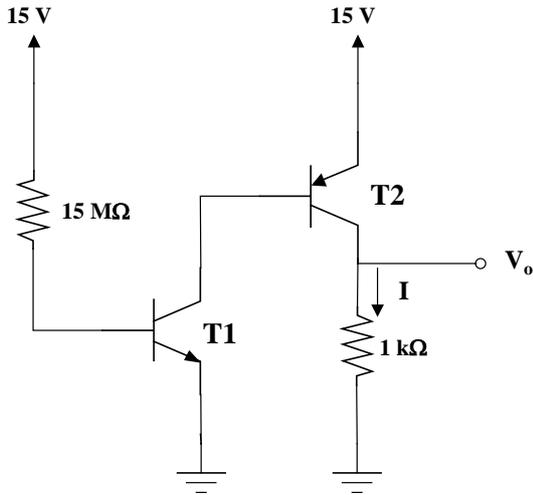
$$I_i = \begin{cases} \frac{V_i + 0,7}{100} \text{ A} & V_i \leq -0,7\text{V} \\ 0\text{A} & -0,7\text{V} \leq V_i \leq 2,6\text{V} \\ \frac{V_i - 2,6}{50} \text{ A} & 2,6\text{V} \leq V_i \leq 3,5\text{V} \\ \frac{2 \cdot V_i - 6,1}{50} \text{ A} & 3,5\text{V} \leq V_i \end{cases}$$



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

Hallar el valor de la tensión de salida V_o y de la corriente I por la resistencia de $1\text{ k}\Omega$ en el circuito de la figura.

DATOS: $|V_{BEon}| = 0,7\text{ V}$ $|V_{CEsat}| = 0,2\text{ V}$ $\beta = 100$



Suponemos que los 2 transistores están en activa:

$$I_{B1} = \frac{15V - V_{BE1}}{15M\Omega} = \frac{15V - 0,7V}{15M\Omega} = 0,95333\mu A \Rightarrow I_{C1} = \beta \cdot I_{B1} = 100 \cdot 0,95333\mu A = 95,333\mu A = I_{B2} \Rightarrow$$

$$I_{C2} = \beta \cdot I_{B2} = 100 \cdot 95,333\mu A = 9,5333\text{mA} = I$$

$$V_o = I \cdot 1K = 9,5333\text{mA} \cdot 1K = 9,5333V$$

Ahora hay que comprobar si es cierto que los 2 transistores están en activa para confirmar que los resultados obtenidos son los correctos.

$$V_{CE1} = 15V - V_{EB2} = 15V - 0,7V = 14,3V \Rightarrow \text{suposición T1 en activa es correcta}$$

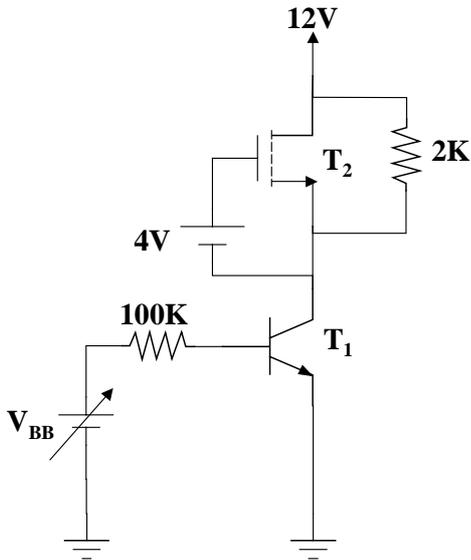
$$V_{CE2} = V_o - 15V = 9,5333V - 15V = -5,4667V \Rightarrow \text{suposición T2 en activa es correcta}$$

$V_o = 9,5333\text{ V}$ $I = 9,5333\text{ mA}$

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.

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

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

$$I_{B \text{ min sat}} = \frac{I_{C \text{ sat}}}{\beta} = \frac{7,1mA}{100} = 0,071mA = 71\mu A$$

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

Como se cumple que $I_B > I_{B \text{ min sat}}$ 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