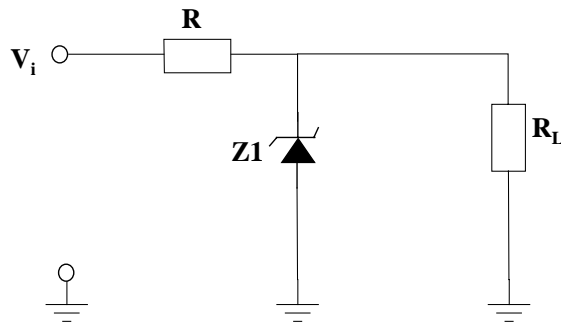


(2) **EJERCICIO 1** (realizar los cálculos con una precisión de 5 cifras significativas)

(1) a) El diodo zener Z1 del circuito de la figura regula a 40 V con corrientes del diodo mayores a 10 mA. Su potencia máxima es de 2 W. La tensión de suministro  $V_i$  es de 200 V. Calcular R para tener regulación de tensión con una carga  $R_L$  desde infinito hasta una  $R_L$  mínima (mínimo valor posible de  $R_L$ ).



$$I_{Z \min} = 10 \text{ mA}$$

$$I_Z = \frac{P_Z}{V_Z} \Rightarrow I_{Z \max} = \frac{P_{Z \max}}{V_Z} = \frac{2 \text{ W}}{40 \text{ V}} = 50 \text{ mA}$$

El zener regula para corrientes en inversa entre 10 mA y 50 mA. Cuando la  $V_i$  es constante, la corriente por el resistor R ( $I_R$ ) es constante siempre que el zener regule. Cuando  $R_L$  es infinita (circuito abierto) la corriente por el diodo será la máxima y a medida que  $R_L$  va disminuyendo la corriente por  $R_L$  ( $I_L$ ) aumenta y por lo tanto  $I_Z$  disminuye. Analizando el circuito:

$$I_R = I_Z + I_L = \text{CTE}$$

$$R_L = \infty \Rightarrow \begin{cases} I_Z = I_{Z \max} \\ I_L = 0 \end{cases} \Rightarrow I_R = I_{Z \max} = 50 \text{ mA}$$

$$V_i = I_R \cdot R + V_Z \Rightarrow R = \frac{V_i - V_Z}{I_R} = \frac{200 \text{ V} - 40 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 3,2 \text{ k}\Omega$$

$R = 3,2 \text{ k}\Omega$
---------------------------

(0,5) b) ¿Cuál es la máxima corriente de carga posible y cual es el valor de la  $R_L$  mínima?

La máxima corriente de carga, sin que el zener pierda la regulación, se da cuando la resistencia de carga tiene su mínimo valor posible y la corriente por el diodo zener es la mínima. Por lo tanto:

$$I_R = 50mA = CTE = I_Z + I_L \Rightarrow I_L = I_R - I_Z \Rightarrow I_{Lmax} = I_R - I_{Zmin} = 50mA - 10mA = 40mA$$

$$R_L = \frac{V_Z}{I_L} \Rightarrow R_{Lmin} = \frac{V_Z}{I_{Lmax}} = \frac{40V}{40mA} = 1k\Omega$$

$I_{Lmax} = 40 \text{ mA}$ $R_{Lmin} = 1 \text{ k}\Omega$
---

(0,5) c) Si la tensión de entrada  $V_i$  puede tener cualquier valor comprendido entre 160 V y 300 V, recalcule R para tener regulación en una carga  $R_L = 10 \text{ k}\Omega$ .

$$160V \leq V_i \leq 300V \quad R_L = 10K$$

$$I_L = \frac{V_Z}{R_L} = \frac{40V}{10K} = 4mA \left\{ \begin{array}{l} \Rightarrow I_{Rmax} = I_{Zmax} + I_L = 50mA + 4mA = 54mA \\ I_{Rmin} = I_{Zmin} + I_L = 10mA + 4mA = 14mA \end{array} \right.$$

$$I_R = I_Z + I_L$$

La  $I_{Rmax}$  se consigue con  $V_{imax}$  y  $R_{min}$ . La  $I_{Rmin}$  se consigue con  $V_{imin}$  y  $R_{max}$ . Por lo tanto:

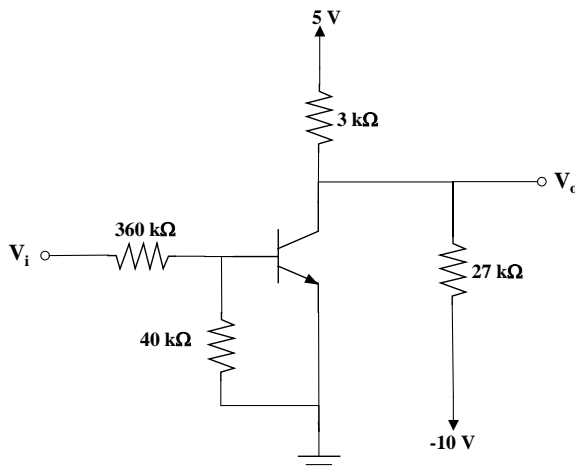
$$R = \frac{V_i - V_Z}{I_R} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} R_{min} = \frac{V_{imax} - V_Z}{I_{Rmax}} = \frac{300V - 40V}{54mA} = 4,8148K \\ R_{max} = \frac{V_{imin} - V_Z}{I_{Rmin}} = \frac{160V - 40V}{14mA} = 8,5714K \end{array} \right.$$

$4,8148 \text{ k}\Omega \leq R \leq 8,5714 \text{ k}\Omega$
---

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

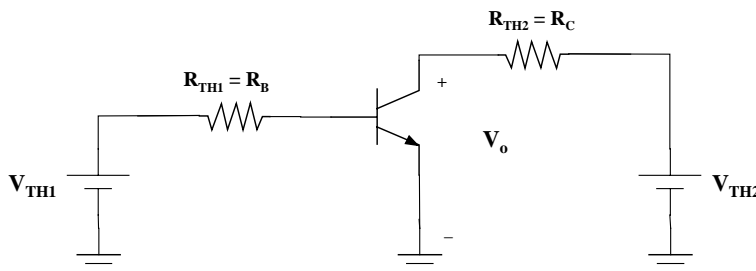
Hallar  $V_0$  en el circuito de la figura en los siguientes casos:

DATOS: Transistor de Silicio con  $|V_{BEon}| = 0,7\text{ V}$   $|V_{CEsat}| = 0,2\text{ V}$   $\beta = 40$



(1,5) a)  $V_i = 15\text{ V}$

Realizando el equivalente Thevenin del circuito de entrada y también del circuito de salida, queda el siguiente circuito equivalente que es mucho más fácil de analizar:



$$V_{TH1} = V_i \cdot \frac{40K}{360K + 40K} = 15V \cdot \frac{40K}{360K + 40K} = 1,5V$$

$$V_{TH2} = 15V \cdot \frac{27K}{3K + 27K} - 10V = 3,5V$$

$$R_B = (360K // 40K) = \frac{360K \cdot 40K}{360K + 40K} = 36K$$

$$R_C = (3K // 27K) = \frac{3K \cdot 27K}{3K + 27K} = 2,7K$$

Suponemos que el transistor está en activa:

$$I_B = \frac{V_{TH1} - V_{BE}}{R_B} = \frac{1,5V - 0,7V}{36K} = 22,222\mu A \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = 40 \cdot 22,222\mu A = 0,88888mA \Rightarrow$$

$$V_0 = V_{TH2} - I_C \cdot R_C = 3,5V - 0,88888mA \cdot 2,7K = 1,1V = V_{CE}$$

Como  $V_{CE} = 1,1V$  (positiva y mayor que  $V_{CEsat}$ ), el transistor está en activa y la suposición y los cálculos son correctos.

$$V_0 = 1,1\text{ V}$$

(1,5) **b)**  $V_i = 30 \text{ V}$

Utilizando el mismo circuito equivalente que el apartado anterior, para este nuevo valor de la tensión de entrada se obtiene:

$$V_{TH1} = V_i \cdot \frac{40K}{360K + 40K} = 30V \cdot \frac{40K}{360K + 40K} = 3V$$

$$V_{TH2} = 15V \cdot \frac{27K}{3K + 27K} - 10V = 3,5V$$

$$R_B = (360K // 40K) = \frac{360K \cdot 40K}{360K + 40K} = 36K$$

$$R_C = (3K // 27K) = \frac{3K \cdot 27K}{3K + 27K} = 2,7K$$

Suponemos que el transistor está en activa:

$$I_B = \frac{V_{TH1} - V_{BE}}{R_B} = \frac{3V - 0,7V}{36K} = 63,888\mu A \Rightarrow I_C = \beta \cdot I_B = 40 \cdot 63,888\mu A = 2,5555mA \Rightarrow$$

$$V_0 = V_{TH2} - I_C \cdot R_C = 3,5V - 2,5555mA \cdot 2,7K = -3,4V = V_{CE}$$

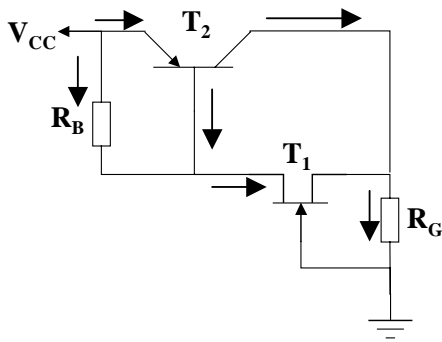
Como  $V_{CE} = -3,4V$ , el transistor no puede estar en activa ya que la ser un npn la tensión  $V_{CE}$  tendría que ser positiva. La suposición y los cálculos no son correctos.

Entonces el transistor está en saturación y  $V_0 = V_{CEsat} = 0,2 \text{ V}$

$$V_0 = 0,2 \text{ V}$$

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

Calcular el estado de los transistores en el circuito de la figura, así como las corrientes y las tensiones indicadas en la tabla (indicar en la figura el sentido de las corrientes). Poner los resultados en la tabla. Resolver el problema sin despreciar la corriente  $I_B$ .



DATOS:  $V_{CC} = 20 \text{ V}$     $R_B = 470 \text{ } \Omega$     $R_G = 560 \text{ } \Omega$

Transistor T1:  $|V_P| = 4 \text{ V}$     $I_{DSS} = 10 \text{ mA}$

Transistor T2:  $|V_{Beon}| = 0,6 \text{ V}$     $|V_{Cesat}| = 0,2 \text{ V}$     $\beta = 100$

	T1
Estado	Saturado
$I_D$	1,3091 mA
$V_{DS}$	16,847 V

	T2
Estado	Activa
$I_C$	3,2492 mA
$I_B$	32,492 $\mu\text{A}$
$I_E$	3,2816 mA
$V_{CE}$	-17,447 V

Se supone que T1 está saturado y T2 en activa.

Como T1 está saturado se cumple que

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 10 \left(1 + \frac{V_{GS}}{4}\right)^2 \text{ mA}$$

Se tiene una ecuación con dos incógnitas, por lo que se necesita otra ecuación que sale del análisis del circuito

$$\left. \begin{aligned} I_D &= I_{R_B} + I_B = I_{R_B} + \frac{I_C}{\beta} \\ I_C + I_D &= I_{R_G} = -\frac{V_{GS}}{R_G} \Rightarrow I_C = -I_D - \frac{V_{GS}}{R_G} \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_D = I_{R_B} - \frac{I_D}{\beta} - \frac{V_{GS}}{\beta \cdot R_G} \Rightarrow I_D + \frac{I_D}{\beta} = I_{R_B} - \frac{V_{GS}}{\beta \cdot R_G} \Rightarrow$$

$$I_D = \frac{\beta \cdot I_{R_B}}{\beta + 1} - \frac{V_{GS}}{(\beta + 1)R_G} = \frac{100}{101} \cdot \frac{0,6\text{V}}{0,47\text{K}} - \frac{V_{GS}}{101 \cdot 0,56\text{K}} = \left(1,2639 - \frac{V_{GS}}{56,56}\right) \text{ mA}$$

Igualando las ecuaciones:

$$10 \left(1 + \frac{V_{GS}}{4}\right)^2 = 1,2639 - \frac{V_{GS}}{56,56}$$

Operando se llega a la siguiente ecuación de 2º grado:

$$V_{GS}^2 + 8,0282 \cdot V_{GS} + 13,977 = 0$$

Se resuelve y se llega a dos posibles resultados:

$$V_{GS} = \begin{cases} -2,5527V \\ -5,4755V \end{cases}$$

El resultado de  $-5,4755V$  no puede ser porque  $|V_{GS}| > |V_P|$  y el transistor T1 estaría en corte. Por lo tanto la respuesta correcta es:

$$V_{GS} = -2,5527V$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones del circuito se hallan el resto de valores:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P}\right)^2 = 10 \left(1 + \frac{V_{GS}}{4}\right)^2 \text{ mA} = 10 \left(1 - \frac{2,5527}{4}\right)^2 \text{ mA} = 1,3091 \text{ mA}$$

$$V_{DS} = V_{CC} - V_{EB} + V_{GS} = 20V - 0,6V - 2,5527V = 16,847V$$

$$I_C = I_{R_G} - I_D = -\frac{V_{GS}}{R_G} - I_D = \frac{2,5527V}{0,56K} - 1,3091 \text{ mA} = 3,2492 \text{ mA}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{3,2492 \text{ mA}}{100} = 32,492 \mu\text{A}$$

$$I_E = I_B + I_C = 32,492 \mu\text{A} + 3,2492 \text{ mA} = 3,2816 \text{ mA}$$

$$V_{CE} = -V_{GS} - V_{CC} = 2,5527V - 20V = -17,447V$$

Ahora hay que comprobar las suposiciones:

\* Suposición que transistor T1 está saturado

$V_{DS}$  tiene que ser positiva,  $V_{GS}$  negativa y tiene que cumplirse lo siguiente

$$|V_{DS}| \geq \|V_P| - |V_{GS}|| \quad \Rightarrow \text{Se cumple y entonces suposición correcta}$$

$$16,847V \geq 4V - 2,5527V = 1,4473V$$

\* Suposición que transistor T2 en activa

Como el transistor es pnp, para que el transistor esté en activa la unión de colector-base tiene que estar polarizada en inversa y esto ocurre si la tensión  $V_{CE}$  es y mayor en módulo que la  $V_{CE}$  en saturación. Esto se cumple por lo que la suposición es correcta.

Como las dos suposiciones son correctas, los cálculos realizados son válidos y el problema está resuelto.