

Colección de Problemas de Diodo. Capítulo 3

- El circuito de la Figura 1(a) tiene un diodo cuya característica I-V se muestra en la Figura 1(b). Calcule:
 - El rango de valores de V_I para el que el diodo está en OFF en ausencia de señal.
 - El punto de trabajo (V_D, I_D) para $V_I = 10$ V.
 - La resistencia equivalente del diodo en pequeña señal cuando $V_D = 550$ mV.

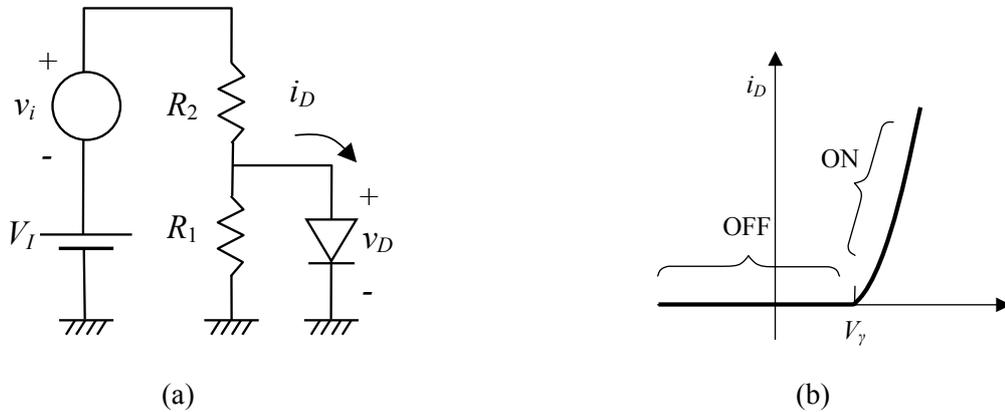


Figura 1

DATOS: $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 10$ k Ω , $V_\gamma = 0,50$ V, $a = 100$ mA/V², $b = 10$ mA/V

$$\text{Modelo del diodo: } i_D = \begin{cases} 0 & \text{para } v_D \leq V_\gamma \text{ (estado OFF)} \\ a(v_D - V_\gamma)^2 + b(v_D - V_\gamma) & \text{para } v_D \geq V_\gamma \text{ (estado ON)} \end{cases}$$

- Considere el circuito de la Figura 2(a). Represente la señal de salida v_O si la señal de entrada v_I es la representada en la figura Figura 2(b) suponiendo $V_{\max} > V_1 > V_2 > 0$ y diodos ideales.

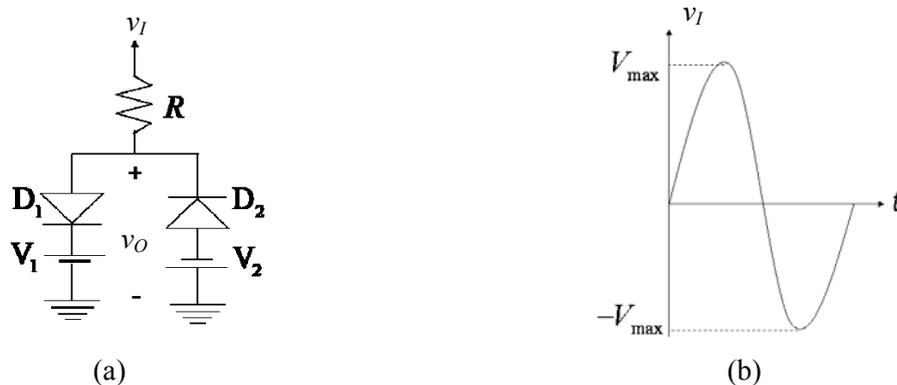


Figura 2

- Se pretende utilizar el diodo real de unión p-n mostrado en la Figura 3(a) para una aplicación en la que operará con altas corrientes. En estas condiciones el efecto de la resistencia parásita asociada a las regiones semiconductoras del diodo no es despreciable. Este efecto puede estudiarse con el circuito equivalente de la Figura 3(b), que consta de un diodo modelado con la ecuación de Shockley en serie con la resistencia R_S .

- Expresar la característica $V = f(I)$ de estática de este diodo real en directa, en función de los parámetros I_S , V_t y R_S .

- b) Calcule R_S e I_S sabiendo que se ha medido para $I = 1$ A, $V = 600$ mV y para $I = 10$ A, $V = 700$ mV.
- c) Para bajas corrientes, el efecto de esta resistencia serie parásita es despreciable. Estime el valor de la tensión V para el cual considerar R_S supone sólo un 5% de variación en el cálculo de I .

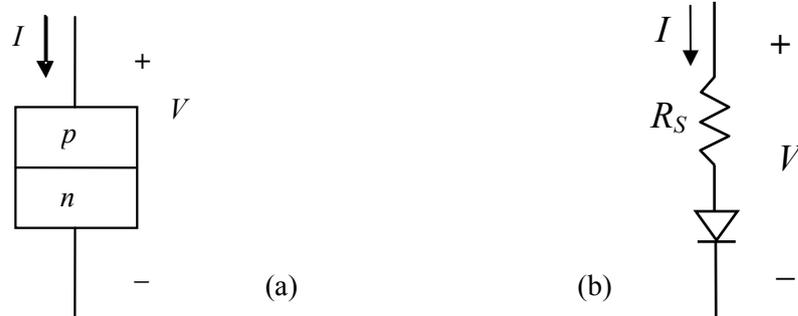


Figura 3

DATOS: $V_t = 25$ mV. Para todo el ejercicio considere la ecuación de Shockley como:

$$I_D \approx I_S \exp \frac{V_D}{V_t}$$

4. Para el circuito de la Figura 4, calcule:
- La tensión V utilizando un modelo lineal por tramos con $V_\gamma = 0,5$ V y $V_Z \rightarrow \infty$ y compruebe el estado en que opera cada diodo.
 - Igual al apartado a) pero con $V_Z = 3$ V.
 - La diferencia $V_{D3} - V_{D1}$ (con precisión del mV) en el caso del apartado a) usando el modelo de Shockley para los diodos y considerando correctas las corrientes calculadas en dicho apartado.

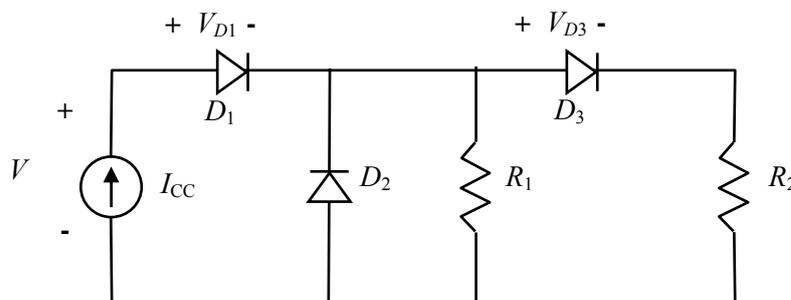


Figura 4

DATOS: $I_{CC} = 10$ mA, $R_1 = 1$ k Ω , $R_2 = 4$ k Ω . Modelo de Shockley para los tres diodos:

$$I \approx I_S \exp \frac{V}{V_t}, \text{ con } V_t = 25 \text{ mV}$$

NOTA: No hace falta el valor numérico de I_S para resolver el ejercicio.

5. El circuito de la Figura 5(a) es un regulador de tensión con diodo zener. La función del diodo es mantener una tensión constante en la resistencia de carga R_L con independencia de las variaciones en R_L y en V_I . En el diseño del regulador debe asegurarse que la corriente en el diodo zener se mantiene dentro de los límites $-I_{Zmin}$ y $-I_{Zmáx}$. Utilizando el modelo lineal por tramos de la Figura 5(b) para el diodo zener, se pide:

- a) Para $V_I=15V$, calcular los valores máximo y mínimo de R_L en el circuito regulador.
- b) Para $R_L=500 \Omega$, calcular los valores máximo y mínimo de V_I en el circuito regulador.

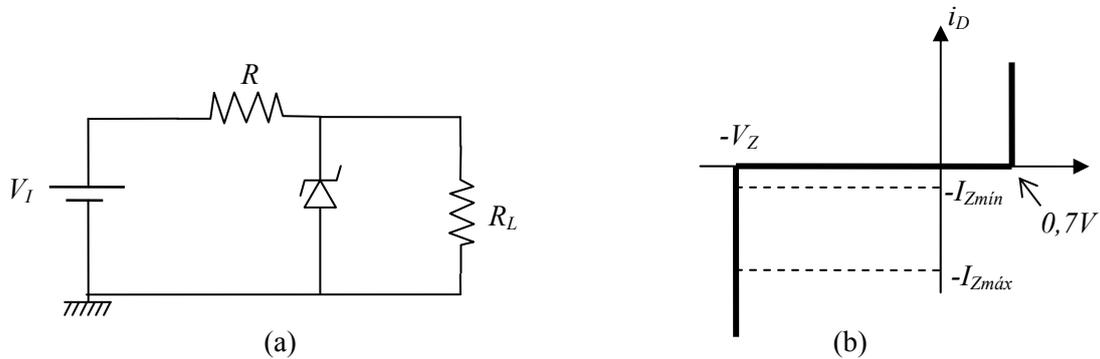


Figura 5

DATOS: $V_Z=5V$; $I_{Zmin}=10mA$; $P_{Zmax}=1W$; $R=48,7\Omega$

6. En el circuito de la Figura 6 los cuatro diodos, D_1 , D_2 , D_3 y D_4 son iguales. El generador V_G es de tensión continua.
- a) Para $V_G = 0 V$, diga, razonando la respuesta, en qué estado se encuentra cada uno de los diodos. Calcule la corriente por las resistencias R_1 , R_2 y R_L .
- b) Para $V_G = 7 V$ demuestre que los diodos D_1 y D_4 están en OFF. Calcule el valor de la tensión de salida, V_0 y la corriente por la resistencia R_L .
- c) Para $V_G = -7 V$ explique cuál será el estado de cada uno de los diodos.

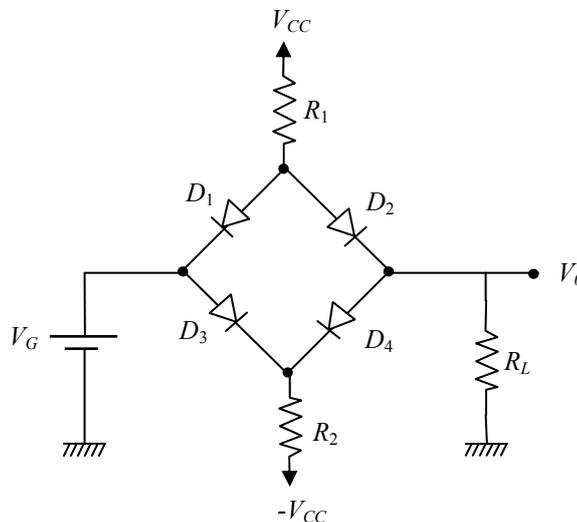


Figura 6

DATOS: $V_{CC}=10V$; $R_1=R_2=R_L= 10 k\Omega$. Para los diodos utilice un modelo lineal por tramos con $V_\gamma= 0.7 V$.

7. Para el circuito recortador de la Figura 7(a), se pide:
- a) Calcular y dibujar la función de transferencia $v_0=f(v_I)$

- b) Dibujar la señal de salida $v_o(t)$ para la señal de entrada $v_i(t)$ de la Figura 7(b), suponiendo que los efectos capacitivos asociados al diodo son despreciables

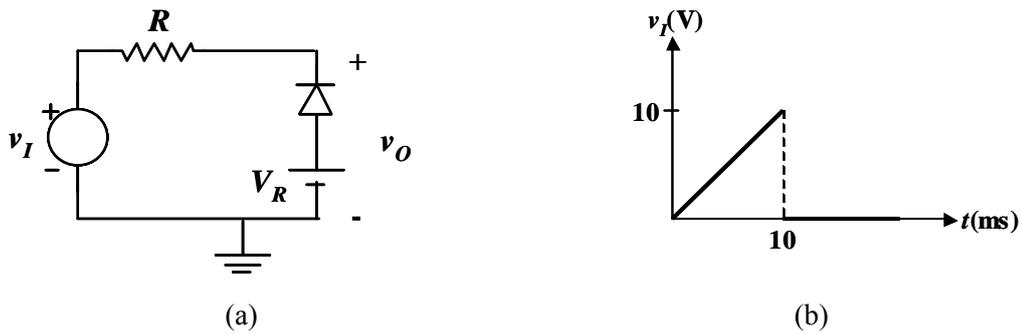


Figura 7

DATOS: $R = 1 \text{ k}\Omega$; $V_R = 6 \text{ V}$. Diodo: Modelo lineal por tramos con tensión de codo $V_\gamma = 0.7 \text{ V}$

8. Debido a la dispersión inherente al proceso de fabricación, la corriente de saturación de los dos diodos de la Figura 8.1 puede ser diferente hasta en un factor diez. Se supone aquí que ése es el caso, de manera que es el caso, de manera que $I_{S1} = 10 \times I_{S2} = 10^{-14} \text{ A}$. Ambos diodos obedecen la ley ideal de Shockley y están a la misma temperatura.

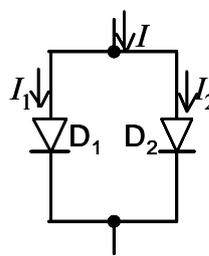


Figura 8.1

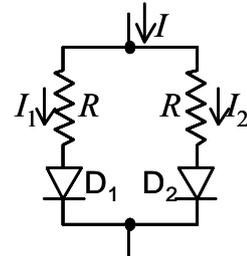


Figura 8.2

- a) Calcule las corrientes que pasan por los diodos y las tensiones en sus terminales cuando están conectados como en la Figura 1.1.

Para determinada aplicación, la diferencia de corrientes resulta inaceptable y se pretende corregirla introduciendo resistencias en serie como se ve en la Figura 8.2.

- b) Calcule las tensiones en ambos diodos para que la diferencia entre las corrientes sea sólo del 10 %, es decir, $I_1/I_2 = 1,1$
 c) Calcule el valor R de la resistencia que hay que introducir para conseguir la relación anterior.

DATOS: $I = 1 \text{ mA}$; $V_t = 0,025 \text{ V}$

9. En el circuito de la Figura 9.1 los dos diodos, D_1 y D_2 , tienen la misma curva $i-v$ (representada en la Figura 9.2). Calcule la expresión de v_L en función de v_i , para $v_i \geq 0$, en los siguientes casos:

- d) Cuando sea válida la hipótesis de que los dos diodos están cortados.
 e) Cuando sea válida la hipótesis de que un diodo conduce y el otro no.
 f) Cuando sea válida la hipótesis de que ambos diodos conducen.
 g) Dibuje la función de transferencia v_L en función de v_i .

DATOS: $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$; $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$; $R_G = 6 \text{ k}\Omega$

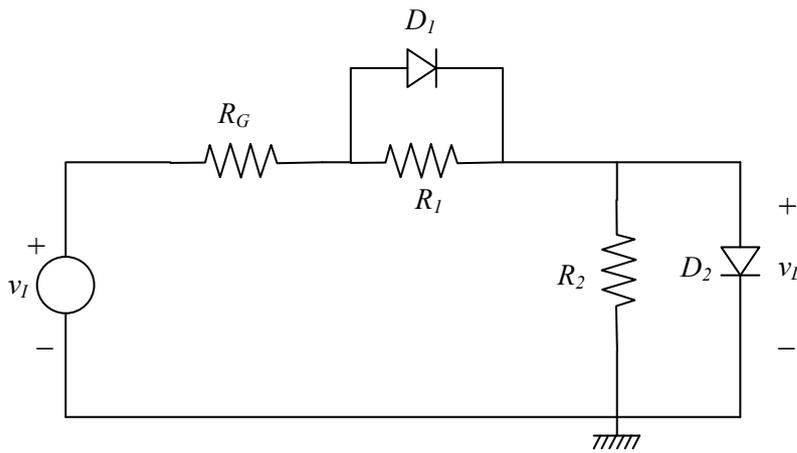


Figura 9.1

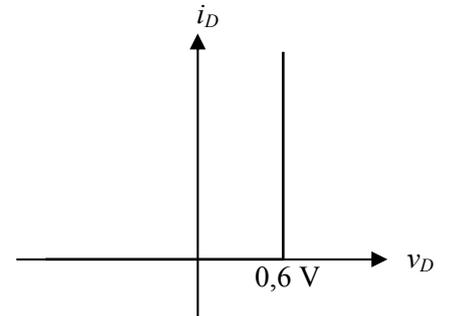


Figura 9.2

10. El componente de dos terminales de la Figura 10 limita la tensión en los terminales de la resistencia R mediante la acción de los diodos D_1 y D_2 .
- ¿Cuál es esa tensión límite en valor absoluto, si considera como primera aproximación el modelo lineal por tramos para los diodos?
 - Obtenga y represente gráficamente la característica I - V del componente en estática, utilizando de nuevo el modelo lineal por tramos.
 - Considerando como segundo nivel de aproximación el modelo de Shockley para los diodos, calcule el valor de la resistencia equivalente r_{EQ} del componente para pequeña señal en el punto de trabajo $V_Q = 407$ mV despreciando los efectos capacitivos de los diodos.

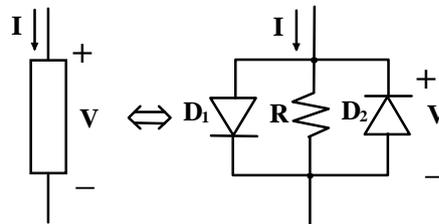


Figura 10

DATOS: $R=1$ k Ω , $V_t = 25$ mV, $I_s=2,1$ pA; $\frac{1}{r_d} = g_d = \left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_{v_D=V_Q}$

Soluciones:

1.

- a) En OFF $i_D = 0$ y $V_D < V_\gamma$. Realizando un análisis del circuito obtenemos que

$$V_D = V_I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Por lo tanto, para que el diodo esté en OFF

$$V_D = V_I \frac{R_1}{R_1 + R_2} \leq V_\gamma \Rightarrow V_I \leq V_\gamma \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) = 5,5 \text{ V}.$$

- b) Del apartado anterior se deduce que el diodo está en ON. Para determinar el punto de trabajo (V_D , I_D) necesitamos dos ecuaciones que relacionen V_D e I_D . Una es la del modelo del diodo y la otra la podemos obtener a partir del circuito:

$$V_I = R_2 \left(\frac{V_D}{R_1} + I_D \right) + V_D \rightarrow I_D = \frac{V_I}{R_2} - \frac{V_D}{(R_1 \parallel R_2)}.$$

Por lo tanto:

$$\left. \begin{aligned} I_D &= a(V_D - V_\gamma)^2 + b(V_D - V_\gamma) \\ I_D &= \frac{V_I}{R_2} - \frac{V_D}{(R_1 \parallel R_2)} \end{aligned} \right\} a(V_D - V_\gamma)^2 + \left(b + \frac{1}{(R_1 \parallel R_2)} \right) (V_D - V_\gamma) + \left(\frac{V_\gamma}{(R_1 \parallel R_2)} - \frac{V_I}{R_2} \right) = 0$$

Sustituyendo valores numéricos y resolviendo la ecuación de segundo grado obtenemos dos valores para V_D : 0,357 V y 0,532 V. El primer de valor se descarta al no ser compatible con que el diodo esté en ON. Utilizando el segundo valor en la ecuación del modelo del diodo obtenemos $I_D = 100 \times 0,032^2 + 10 \times 0,032 = 0,422 \text{ mA}$.

- c) $\frac{1}{r} = \left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_{V_D=550 \text{ mV}} = 2a(V_D - V_\gamma) + b = 2 \times 100 \times (0,550 - 0,50) + 10 = 20 \text{ m}\Omega^{-1}$.

Por lo tanto $r = 50 \Omega$.

2. El circuito se analiza utilizando el modelo de batería + resistencia ($v_D = V_\gamma + r i_D$) para diodo ON) particularizando para el caso de diodos ideales ($V_\gamma = 0$ y $r = 0$). Del circuito se obtiene (i es la corriente que atraviesa R en sentido descendente de la Figura 2(a))

$$\begin{aligned} v_i &= Ri + v_{D1} + V_1 \\ v_{D1} + V_1 + v_{D2} + V_2 &= 0 \end{aligned}$$

Analizando las cuatro posibilidades de la configuración de los dos diodos tenemos:

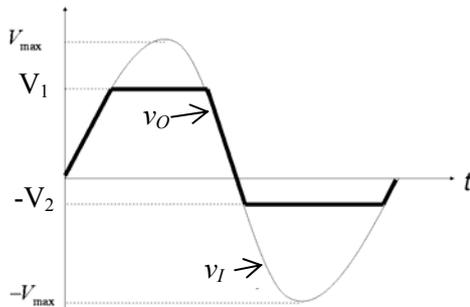
- a. Los dos diodos en ON. En este caso la segunda de las ecuaciones anteriores toma la forma $2V_\gamma + V_1 + V_2 = 0$. Esta ecuación no se puede cumplir, ya que todos los términos son positivos. Por lo tanto, los dos diodos no pueden estar simultáneamente en ON.

- b. Los dos diodos en OFF. En este caso no circula corriente por ningún diodo y por tanto $i=0$ lo cual implica que $v_O=v_I$. Para que ocurra este caso, la tensión en los diodos v_{D1} y v_{D2} debe ser menor que V_γ de donde se deduce que $v_O-V_1 < V_\gamma$ y $-v_O-V_2 < V_\gamma$ y por tanto $-(V_\gamma+V_2) < v_O < (V_\gamma+V_1)$ es decir $-V_2 < v_O < V_1$ por ser los diodos ideales ($V_\gamma=0$). Esto también puede escribirse como $-V_2 < v_i < V_1$ puesto que $v_O=v_I$.
- c. D_1 en ON y D_2 en OFF. Del análisis del circuito $v_I=iR+V_1$ y $v_O=V_1$. Para que el diodo D_1 esté en ON se debe de cumplir $i_{D1}=i > 0$, lo cual implica que $v_I > V_1$. Si el diodo D_1 está en ON necesariamente el diodo D_2 está en OFF ya que $v_{D2}=-(V_1+V_2+V_\gamma) < 0$.
- d. D_2 en ON y D_1 en OFF. Del análisis del circuito $v_I=iR-V_2$ y $v_O=-V_2$. Para que el diodo D_2 esté en ON se debe de cumplir $i_{D2}=-i > 0$, lo cual implica que $v_I < -V_2$. Si el diodo D_2 está en ON necesariamente el diodo D_1 está en OFF ya que $v_{D1}=-(V_1+V_2+V_\gamma) < 0$.

Resumiendo, la función de transferencia $v_O=f(v_i)$ es :

$$v_O = \begin{cases} v_I & \text{para } -V_2 \leq v_I \leq V_1 \\ V_1 & \text{para } V_1 \leq v_I \\ -V_2 & \text{para } v_I \leq -V_2 \end{cases}$$

y la tensión de salida $v_O(t)$ es :



3. a) Como están en serie, por ambos circula la misma corriente y la tensión V es la suma de las tensiones de los dos componentes. Así:

$$\left. \begin{aligned} V &= IR_S + V_D \\ I &= I_S \exp \frac{V_D}{V_t} \end{aligned} \right\} \Rightarrow I = I_S \exp \frac{V - IR_S}{V_t} \Rightarrow V = IR_S + V_t \ln \left(\frac{I}{I_S} \right)$$

b)

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= I_1 R_S + V_t \ln(I_1) - V_t \ln(I_S) \\ V_2 &= I_2 R_S + V_t \ln(I_2) - V_t \ln(I_S) \end{aligned} \right\} \Rightarrow V_2 - V_1 = (I_2 - I_1) R_S + V_t \ln \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow R_S = \frac{V_2 - V_1 - V_t \ln \left(\frac{I_2}{I_1} \right)}{I_2 - I_1} = 4,72 \text{ m}\Omega$$

Por tanto: $V_1 \approx I_1 R_S + V_t \ln(I_1) - V_t \ln(I_S) \Rightarrow I_S = I_1 \exp \left(-\frac{V_1 - I_1 R_S}{V_t} \right) = 4,56 \cdot 10^{-11} \text{ A}$

c) Para bajas corrientes: $I = I_S \exp \frac{V - IR_S}{V_t} \approx I_S \exp \frac{V}{V_t}$. Así:

$$\left. \begin{aligned} I(\sin R_S) &\approx I_S \exp \frac{V}{V_t} \\ I(\text{con } R_S) &= I_S \exp \frac{V - R_S I(\text{con } R_S)}{V_t} \end{aligned} \right\} \Rightarrow 0,95 = \frac{I(\text{con } R_S)}{I(\sin R_S)} = \exp \left(-\frac{R_S I(\text{con } R_S)}{V_t} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow I(\text{con } R_S) = -\frac{V_t}{R_S} \ln 0,95 = 272 \text{ mA} \text{ y además } I(\sin R_S) = \frac{I(\text{con } R_S)}{0,95} = 286 \text{ mA} .$$

$$\text{Por tanto: } V = V_t \ln \left(\frac{I(\sin R_S)}{I_S} \right) = 564 \text{ mV}$$

4.

a) *Hipótesis: D1 y D3 en ON, D2 en OFF*

$$I_{R1} R_1 = V_\gamma + (I_{CC} - I_{R1}) R_2 \Rightarrow I_{R1} = \frac{V_\gamma + I_{CC} R_2}{R_1 + R_2} = 8,1 \text{ mA}$$

$$V = V_\gamma + I_{R1} R_1 = 8,6 \text{ V}$$

Verificación hipótesis:

$$I_{D1} = I_{CC} = 10 \text{ mA} > 0$$

$$V_{D2} = -I_{R1} R_1 = -8,1 \text{ V} < 0,5 \text{ V} = V_r$$

$$I_{D3} = I_{CC} - I_{R1} = 1,9 \text{ mA} > 0$$

b) *La hipótesis válida en el apartado a) no puede mantenerse, ya que $V_{D2} = 8,1 \text{ V} < -3 \text{ V} = -V_Z$. Por tanto, hacemos la hipótesis: D1 y D3 en ON, D2 en disrupción. Así: $V = V_\gamma + V_Z = 3,5 \text{ V}$*

Verificación hipótesis:

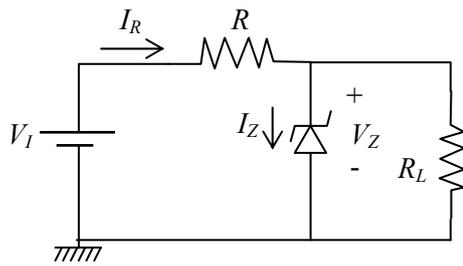
$$I_{D1} = I_{CC} = 10 \text{ mA} > 0$$

$$I_{D3} = \frac{V_Z - V_\gamma}{R_2} = 0,625 \text{ mA} > 0$$

$$I_{D2} = -\left(I_{CC} - \frac{V_Z}{R_1} - I_{D3} \right) = -6,375 \text{ mA} < 0$$

$$\text{c) } V_{D3} - V_{D1} = V_t \ln \left(\frac{I_{D3}}{I_S} \right) - V_t \ln \left(\frac{I_{D1}}{I_S} \right) = V_t \ln \left(\frac{I_{D3}}{I_{D1}} \right) = 42 \text{ mV}$$

5. a)



$I_Z > 10\text{mA}$. La potencia disipada en el diodo debe cumplir: $P_Z < 1\text{W}$; $V_Z I_Z < 1\text{W}$; $I_Z < 200\text{mA}$

Por tanto: $10\text{mA} < I_Z < 200\text{mA}$.

La corriente por R vale: $I_R = \frac{V_I - V_Z}{R} = 205\text{mA}$

Para $I_{Z\text{min}}$ se cumple:

$$I_R = I_{Z\text{min}} + I_{R_{L\text{máx}}} = I_{Z\text{min}} + \frac{V_Z}{R_{L\text{min}}} \quad \text{De donde: } R_{L\text{min}} = 25,6\Omega$$

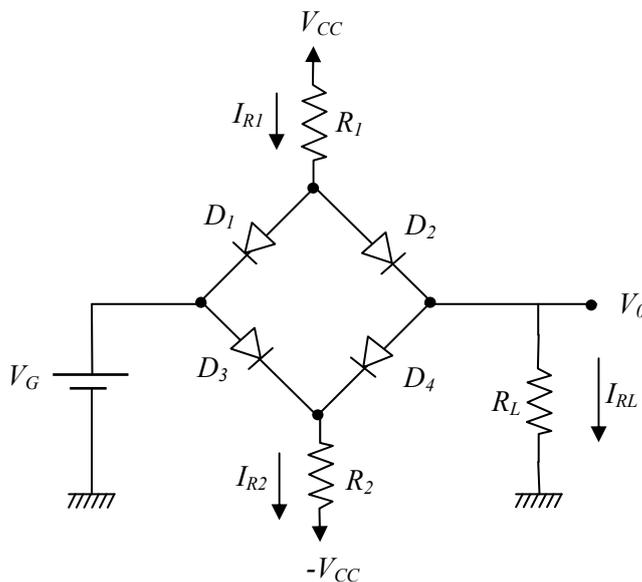
$$\text{Para } I_{Z\text{máx}} \text{ se cumple: } I_R = I_{Z\text{máx}} + I_{R_{L\text{mín}}} = I_{Z\text{máx}} + \frac{V_Z}{R_{L\text{máx}}} \quad \text{De donde: } R_{L\text{máx}} = 1\text{k}\Omega$$

b) En este caso debe cumplirse igualmente que: $10\text{mA} < I_Z < 200\text{mA}$

$$\text{Para } I_{Z\text{min}} \text{ se cumple: } V_I = R \cdot I_R + V_D = R \cdot \left(I_{Z\text{min}} + \frac{V_Z}{R_L} \right) + V_D = 5,97\text{V}$$

$$\text{Para } I_{Z\text{máx}} \text{ se cumple: } V_I = R \cdot I_R + V_D = R \cdot \left(I_{Z\text{máx}} + \frac{V_Z}{R_L} \right) + V_D = 15,23\text{V}$$

6. a) Suponemos que los cuatro diodos están en ON, por lo que la tensión en cada uno de ellos vale V_γ . En ese caso, siendo $V_G=0$, la tensión de salida será:



$V_0 = V_G + V_\gamma - V_\gamma = 0\text{V}$, y por tanto $I_{R_L} = 0$.

$$I_{R1} = (V_{CC} - V_\gamma) / R1 = 0,93 \text{ mA}$$

$$I_{R2} = (-V_\gamma + V_{CC}) / R2 = 0,93 \text{ mA}$$

Como el circuito es simétrico:

$$I_{D1} = I_{D2} = 0,465 \text{ mA}$$

Por otro lado:

$$I_{D3} = I_{D4} = 0,465 \text{ mA}$$

$$I_{D4} = I_{D2} = 0,465 \text{ mA}$$

La corriente de cada diodo es positiva, como corresponde a la hipótesis de estado ON.

b) Suponemos que los diodos D1 y D4 están en OFF, como dice el enunciado, y que los diodos D2 y D3 están en ON. Por tanto, las corrientes por los diodos D1 y D4 serán $I_{D1} = I_{D4} = 0$. En ese caso:

$$I_{R2} = (V_G - V_\gamma + V_{CC}) / R2 = I_{D3} = 1,63 \text{ mA}$$

$$V_{CC} = I_{R1} R1 + V_\gamma + I_{R_L} R_L$$

$$I_{R1}=I_{D2}=I_{RL} = (V_{CC}- V_{\gamma})/(R_1+R_L)=0,465 \text{ mA}$$

$$V_0=I_{RL} R_L=4,65 \text{ V}$$

La tensión en el diodo D₄ será: $V_{D4}=V_0 - (V_G - V_{\gamma})=-1,65 \text{ V}$. Por tanto el diodo D₄ está en OFF.

La tensión en el diodo D₁ será: $V_{D1}=V_0 + V_{\gamma} - V_G=-1,65 \text{ V}$. Por tanto el diodo D₃ está en OFF.

c) En este caso, por la simetría del circuito los diodos D₁ y D₄ estarían en ON y los diodos D₂ y D₃ en OFF.

7.

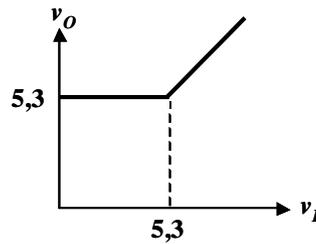
a) Cuando el diodo esté en inversa (OFF), entonces $v_0 = v_I$, y esto ocurrirá siempre que la tensión en bornas del diodo sea menor a la tensión de codo, es decir:

$$V_R - v_I < V_{\gamma} \Rightarrow v_I > V_R - V_{\gamma} = 5,3 \text{ V}$$

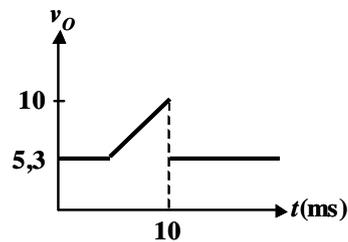
Cuando el diodo esté en directa (ON), $v_0 = V_R - V_{\gamma} = 5,3 \text{ V}$, en este caso con la corriente que atraviesa el diodo positiva:

$$V_R - V_{\gamma} - v_I > 0 \Rightarrow v_I < v_R - V_{\gamma} = 5,3 \text{ V}$$

La función de transferencia queda:



b) La señal de salida es:



8. a)

$$\left. \begin{array}{l} I_1/I_2 = I_{S1}/I_{S2} = 10 \\ I_1 + I_2 = I = 1 \text{ mA} \end{array} \right\} I_1 \cong 0,91 \text{ mA}, I_2 \cong 0,091 \text{ mA}$$

$$V_1 = V_2 = V_t \ln \left(\frac{I}{I_{S1} + I_{S2}} + 1 \right) = 0,631 \text{ V}$$

b)

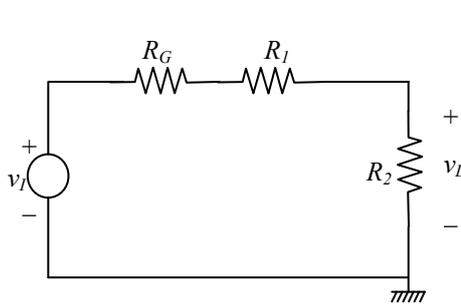
$$\left. \begin{array}{l} I_1/I_2 = 1,1 \\ I_1 + I_2 = I = 1 \text{ mA} \end{array} \right\} I_1 \cong 0,524 \text{ mA}, I_2 \cong 0,476 \text{ mA}$$

$$V_1 = V_t \ln\left(\frac{I_1}{I_{S1}} + 1\right) = 0,617 \text{ V}; V_2 = V_t \ln\left(\frac{I_2}{I_{S2}} + 1\right) = 0,672 \text{ V}$$

c) $I_1 R + V_1 = I_2 R + V_2 \Rightarrow R = \frac{V_2 - V_1}{I_1 - I_2} = 1,15 \text{ k}\Omega$

9.

a) Hipótesis: D_1 y D_2 cortados. No circula corriente por los diodos. El circuito equivalente es:



$$v_L = v_I \frac{R_2}{R_G + R_1 + R_2} = \frac{v_I}{6}$$

Esta relación es válida sólo cuando $v_{D1} < 0,6 \text{ V}$ y $v_{D2} < 0,6 \text{ V}$.

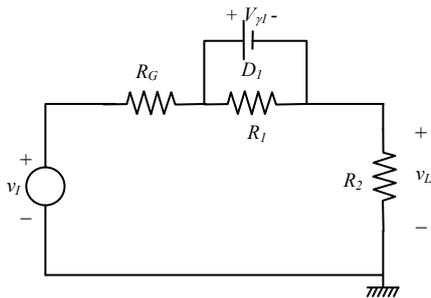
Es decir: $v_{D1} = v_{R1} = v_I R_1 / (R_G + R_1 + R_2) < 0,6 \text{ V} \Rightarrow v_I < 1,8 \text{ V}$

$v_{D2} = v_{R2} = v_I R_2 / (R_G + R_1 + R_2) < 0,6 \text{ V} \Rightarrow v_I < 3,6 \text{ V}$

Por tanto D_1 y D_2 están cortados para $0 < v_I < 1,8 \text{ V}$

b) Cuando $v_I = 1,8 \text{ V}$, $v_{D1} = 0,6 \text{ V}$ y $v_{D2} = 0,3 \text{ V}$. Por tanto el diodo D_1 empezará a conducir antes que D_2 .

Hipótesis: D_1 conduce y D_2 cortado. El circuito equivalente mientras D_1 conduce y D_2 permanece cortado es:

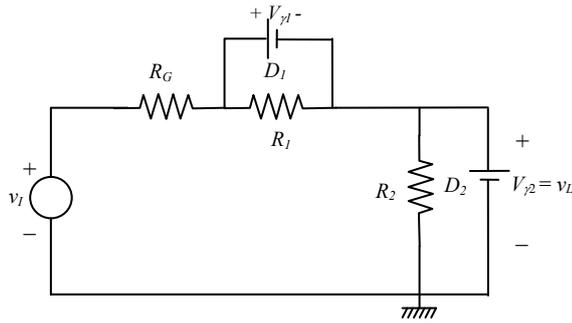


$$v_{D1} = v_{R1} = 0,6 \text{ V} \Rightarrow v_I \geq 1,8 \text{ V}.$$

$$v_{D2} = v_{R2} = v_L = (v_i - v_{D1}) \frac{R_2}{R_G + R_2} = \frac{v_i - 0,6}{4}.$$

La hipótesis se cumple cuando $v_{D2} < 0,6 \text{ V} \Rightarrow v_i < 3 \text{ V}$. Por tanto, la hipótesis de D_1 conduciendo y D_2 cortado es válida para $1,8 \leq v_i < 3 \text{ V}$

c) Hipótesis: D_1 y D_2 conducen. Para que D_2 empiece a conducir, según el apartado anterior, debe cumplirse que $v_i \geq 3 \text{ V}$. En este caso el circuito equivalente es:

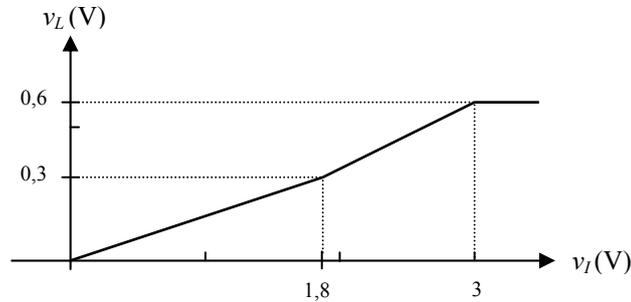


$$v_{D1} = 0,6V$$

$$v_{D2} = v_{R2} = v_L = 0,6V$$

d) La función de transferencia del circuito es:

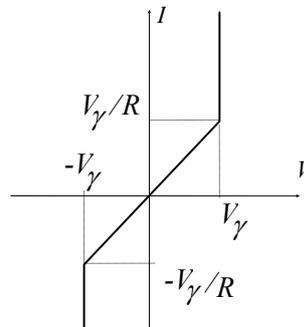
$$v_L = \begin{cases} v_I / 6 & \text{para } 0 \leq v_I < 1,8 \text{ V (D}_1 \text{ y D}_2 \text{ cortados)} \\ (v_I - 0,6) / 4 & \text{para } 1,8 \text{ V} \leq v_I < 3 \text{ V (D}_1 \text{ conduce y D}_2 \text{ cortado)} \\ 0,6 \text{ V} & \text{para } v_I \geq 3 \text{ V (D}_1 \text{ y D}_2 \text{ conducen)} \end{cases}$$



10.

- a) En el modelo lineal por tramos considerado para los dos diodos, sus tensiones $V = V_{D1} = -V_{D2}$ no pueden superar V_{γ} . Por tanto, $|V|_{\max} = V_{\gamma}$.
- b) Supongamos, en primer lugar, que D_1 está en ON. Entonces, $V_{D2} = -V_{D1} = -V_{\gamma} < V_{\gamma}$, por lo que D_2 está en OFF. En esta situación:
- $$V = V_{\gamma} \text{ (e } I_{D2} = 0) \text{ mientras } I_{D1} = I - I_R > 0 \Rightarrow I > \frac{V_{\gamma}}{R}.$$
- Por simetría, si D_2 está en ON, entonces D_1 estará en OFF y $V = -V_{\gamma}$ mientras se cumpla $I < -V_{\gamma}/R$. Para el resto de los valores de I ($|I| < V_{\gamma}/R$ o $|V| < V_{\gamma}$), los dos diodos están en OFF, luego $I = I_R = V/R$. En resumen:

$$\begin{cases} V = V_{\gamma} & \text{si } I > \frac{V_{\gamma}}{R} \\ I = \frac{V}{R} & \text{si } |I| < \frac{V_{\gamma}}{R} \\ V = -V_{\gamma} & \text{si } I < -\frac{V_{\gamma}}{R} \end{cases}$$



- c) Como $i_D = I_S \left(\exp \frac{v_D}{V_t} - 1 \right) \Rightarrow \frac{1}{r_d} = g_d = \left. \frac{di_D}{dv_D} \right|_{v_D=V_Q} \approx \begin{cases} \frac{I_S}{V_t} \exp \frac{V_D}{V_t} & \text{en directa} \\ 0 & \text{en inversa} \end{cases}$

Como para $V_Q = 407 \text{ mV} = V_{D1} = -V_{D2}$, D_1 está en directa y D_2 en inversa, y así se tiene:

$$\left. \begin{array}{l} r_{d1} \approx \frac{V_t}{I_S} \exp \frac{-V_Q}{V_t} = 1 \text{ k}\Omega \\ r_{d2} \approx \infty \end{array} \right\} \Rightarrow r_{EQ} = R \parallel r_{d1} \parallel r_{d2} = R \parallel r_{d1} = 500 \Omega$$