

Ejercicios Resueltos de Dispositivos Electrónicos I

Examen de Diciembre de 2005 - Ejercicio 2¹

Enunciado

Obtener razonadamente, la función matemática de las corrientes por los diodos cuando la fuente U_1 varía su tensión desde 0V hasta 4V. Indicar los valores de las corrientes y la fuente U_1 en los puntos de inflexión de las funciones. La fuente $U_2 = 4V$. D_1 y D_2 son diodos con $V_\gamma = 0,7V$, $R_f = 0\Omega$, $R_r = \infty\Omega$. D_{Z1} con $V_\gamma = 0,7V$, $R_f = 0\Omega$, $R_r = \infty\Omega$, $V_Z = -2,3V$ y $R_Z = 0\Omega$. $R_1 = 4k\Omega$, $R_2 = 5k\Omega$, $R_3 = 3k\Omega$ y $R_4 = 2k\Omega$.

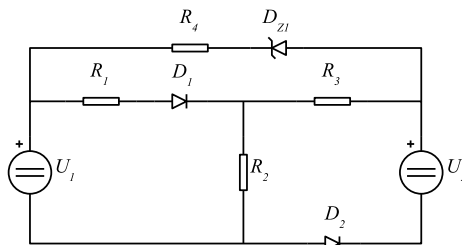


Figura 1: Circuito del enunciado

Solución

Para comenzar a resolver el problema se procede a analizar las distintas ramas del circuito y las corrientes que por ellas pueden circular. Para ello se dibujan las corrientes, tensiones y se ponen nombres a los nudos, de acuerdo con la siguiente figura.

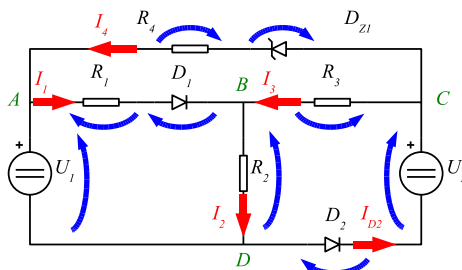


Figura 2: Circuito del enunciado con corrientes, tensiones y nudos

Al presentar la fuente U_2 un valor de 4V, y estar inicialmente la fuente U_1 a cero voltios, el diodo D_1 se encuentra polarizado inversamente y los diodos D_2 y D_{z1} están polarizados directamente. El circuito equivalente es el de la figura 3. Por lo tanto la corriente inicial por el diodo D_1 es

$$I_{D1} = 0 \tag{1}$$

¹Resuelto por el Prof. Andrés A. Nogueiras Meléndez, andres.nogueiras@dte.uvigo.es, 2005

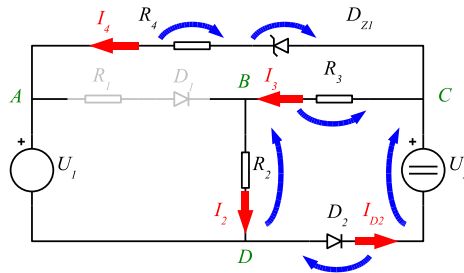


Figura 3: Primer circuito equivalente

La corriente que circula por el diodo D_{Z1} viene definida por

$$I_{D_{Z1}} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_{Z1})} - U_1 - U_{\gamma(D_2)}}{R_4} \quad (2)$$

y la que circula por el diodo D_2 viene definida por

$$I_{D_2} = I_{D_{Z1}} + \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} \quad (3)$$

El estado del circuito puede cambiar de dos formas al aumentar la tensión en U_1 . La primera opción es que la diferencia de potencial entre el nudo A y el nudo B del circuito supere la tensión umbral del diodo D_1 . La segunda opción es que la diferencia de potencial entre el nudo C y el nudo A del circuito se haga menor que la tensión umbral del diodo D_{Z1} , haciendo que este pase a corte. Procedamos a analizar ambas opciones.

La primera opción es que la diferencia de potencial entre el nudo A y el nudo B del circuito supere la tensión umbral del diodo D_1 . Expresado matemáticamente es

$$U_1 - U_{R_2} = U_{\gamma(D_1)} \quad (4)$$

donde

$$U_{R_2} = R_2 \cdot \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} = 5k\Omega \cdot \frac{4V - 0,7V}{5k\Omega + 3k\Omega} = 2,0625V \quad (5)$$

que aplicado en la ecuación 4 implica que el nivel de tensión que hace entrar en conducción al diodo

$$U_1 = 0,7V + 2,0625V = 2,7625V \quad (6)$$

La segunda opción es que la diferencia de potencial entre el nudo C y el nudo A del circuito se haga menor que la tensión umbral del diodo D_{Z1} . Esto implicaría que la corriente I_4 tomaría el valor cero, lo que expresado matemáticamente

$$U_1 + U_{R_4} + U_{\gamma(D_{Z1})} = U_2 - U_{\gamma(D_2)} \quad (7)$$

Si $U_{R_4} = 0$, el valor de tensión frontera es

$$U_1 = 4V - 0,7V - 0,7V = 2,6V \quad (8)$$

Luego, el cambio de estado del diodo zener D_{Z1} se produce cuando la tensión de la fuente U_1 alcanza el valor de 2,6V, dando lugar al circuito equivalente de la figura 4. Las ecuaciones que describen la corriente por los diodos son

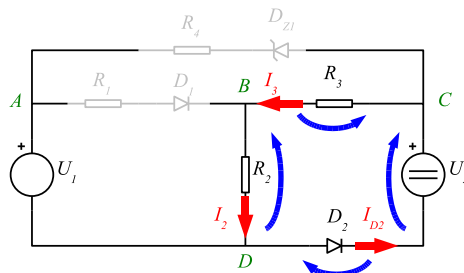


Figura 4: Segundo circuito equivalente

$$I_{D1} = 0 \quad (9)$$

$$I_{D_{Z1}} = 0 \quad (10)$$

$$I_{D2} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} \quad (11)$$

Cuando la tensión de la fuente U_1 alcance el valor de $2,7625V$, el diodo D_1 comenzará a conducir, dando lugar al circuito equivalente de la figura 5.

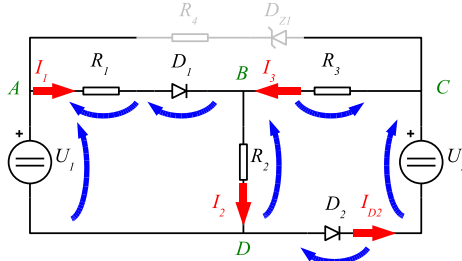


Figura 5: Tercer circuito equivalente

Las ecuaciones que describen el circuito ahora son, para el nudo B

$$I_1 + I_3 = I_2 \quad (12)$$

y para las mallas

$$U_1 = I_1 R_1 + U_{\gamma(D_1)} + I_2 R_2 \quad (13)$$

$$U_2 = I_3 R_3 + I_2 R_2 + U_{\gamma(D_2)} \quad (14)$$

sustituyendo la ec. 12 en la ec. 14, despejando y operando

$$I_2 = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} + I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (15)$$

sustituyendo la ec. 15 en la ec. 13, despejando y operando

$$I_{D1} = I_1 = \frac{(U_1 - U_{\gamma(D_1)})(R_2 + R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} - \frac{(U_2 - U_{\gamma(D_2)}) R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (16)$$

que es la expresión de la corriente por el diodo D_1 . La corriente por el diodo D_2 viene dada por

$$I_{D2} = I_3 = I_2 - I_1 \quad (17)$$

uniendo las expresiones de las ec. 15 y 16, operando y despejando

$$I_{D2} = (U_2 - U_{\gamma(D_2)}) \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} - (U_1 - U_{\gamma(D_1)}) \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (18)$$

Queda por comprobar que ocurrirá con el diodo D_{Z1} . Al aumentar la tensión de U_1 podría entrar zona Zener si la diferencia de potencial entre los nudos A y C supera la tensión de Zener. Basta con comprobar que si la tensión máxima que alcanza U_1 no basta, las ecuaciones establecidas hasta este momento son válidas. Luego,

$$U_{AC} = I_1 R_1 + U_{\gamma(D_1)} - I_3 R_3 \quad (19)$$

y aplicando los valores numéricos en las ecuaciones anteriores, se tiene que $I_1(U_1 = 4V) = 210,638\mu A$, $I_3(U_1 = 4V) = 70,213\mu A$ y, consecuentemente, $U_{AC}(U_1 = 4V) = 1,33191V$ que no es suficiente para hacer que el diodo D_{Z1} trabaje en zona Zener.

Finalmente, resumiendo los resultados

■ Si $0V \leq U_1 \leq 2,6V$, entonces

- $I_{D1} = 0A$
- $I_{D2} = I_{D_{Z1}} + \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3}$, con $1,7125mA \leq I_{D2} \leq 412,5\mu A$

- $I_{D_{Z1}} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_{Z1})} - U_1 - U_{\gamma(D_2)}}{R_4}$, con $1,3mA \leq I_{D_{Z1}} \leq 0A$

■ Si $2,6V \leq U_1 \leq 2,7625V$, entonces

- $I_{D1} = 0A$
- $I_{D2} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} = 412,5\mu A$
- $I_{D_{Z1}} = 0A$

■ Si $2,7625V \leq U_1 \leq 4V$, entonces

- $I_{D1} = (U_1 - U_{\gamma(D_1)}) \frac{R_2 + R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} - (U_2 - U_{\gamma(D_2)}) \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$, con $0A \leq I_{D1} \leq 210,638\mu A$
- $I_{D2} = (U_2 - U_{\gamma(D_1)}) \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} - (U_1 - U_{\gamma(D_2)}) \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$, con $412,5\mu A \leq I_{D1} \leq 280,851\mu A$
- $I_{D_{Z1}} = 0A$