

Ejercicios Resueltos de Dispositivos Electrónicos I

Examen de Septiembre de 2006 - Ejercicio 2<sup>1</sup>

**Enunciado**

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

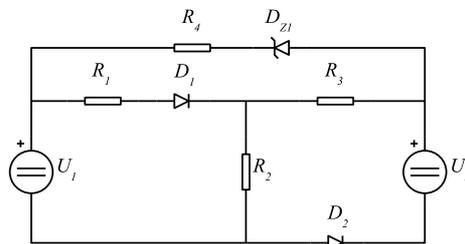


Figura 1: Circuito del enunciado

**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.

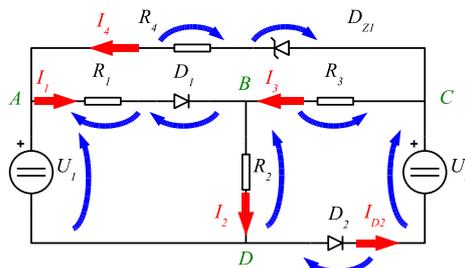


Figura 2: Circuito del enunciado con corrientes, tensiones y nudos

Al presentar la fuente  $U_2$  un valor de 5V, 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

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

<sup>1</sup>Resuelto por el Prof. Andrés A. Nogueiras Meléndez, andres.nogueiras@dte.uvigo.es, 2006

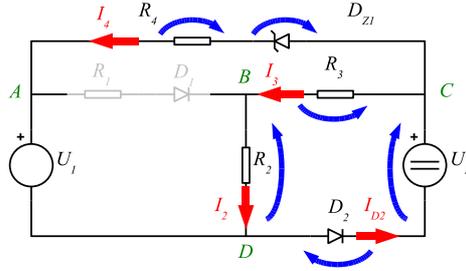


Figura 3: Primer circuito equivalente

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

$$I_{D_{Z1}} = I_4 = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_{Z1})} - U_1 - U_{\gamma(D_2)}}{R_4} \quad (2)$$

y la que circula por el diodo  $D_2$  viene definida por

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

Los valores iniciales de estas dos corrientes son

$$I_{D_{Z1}} = \frac{5V - 0,7V - 0,7V}{4k\Omega} = 900\mu A \quad (4)$$

$$I_{D_2} = 900\mu A + \frac{5V - 0,7V}{2k\Omega + 7k\Omega} = 1,37778\mu A \quad (5)$$

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

$$U_1 = U_{R1} + U_{\gamma(D_1)} + U_{R2} \quad (6)$$

donde

$$U_{R2} = R_2 \cdot I_2 = R_2 \cdot \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} = 7k\Omega \cdot \frac{5V - 0,7V}{7k\Omega + 2k\Omega} = 3,34444V \quad (7)$$

que aplicado en la ecuación 6 implica que el nivel de tensión que hace entrar en conducción al diodo

$$U_1 = 0V + 0,7V + 3,34444V = 4,04444V \quad (8)$$

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

$$U_1 = -U_{R4} - U_{\gamma(D_{Z1})} + U_2 - U_{\gamma(D_2)} \quad (9)$$

Si  $U_{R4} = 0$ , el valor de tensión frontera es

$$U_1 = -U_{\gamma(D_{Z1})} + U_2 - U_{\gamma(D_2)} = -0,7V + 5V - 0,7V = 3,6V \quad (10)$$

Luego, el cambio de estado del diodo zener  $D_{Z1}$  se produce cuando la tensión de la fuente  $U_1$  alcanza el valor de 3,6V, dando lugar al circuito equivalente de la figura 4. Las ecuaciones que describen la corriente por los diodos son

$$I_{D_1} = 0 \quad (11)$$

$$I_{D_{Z1}} = 0 \quad (12)$$

$$I_{D_2} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} \quad (13)$$

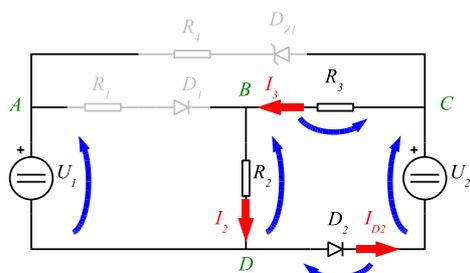


Figura 4: Segundo circuito equivalente

que son válidas hasta que la fuente  $U_1$  alcance el valor de  $3,6V$ . La corriente por el diodo  $D_2$  vale

$$I_{D_2} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} = \frac{5V - 0,7V}{7k\Omega + 2k\Omega} = 477,778\mu A \quad (14)$$

Nuevamente, 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 A y el nudo C del circuito supere la tensión Zener del diodo  $D_{Z1}$ , haciendo que este pase a regulación. Procedamos a analizar ambas opciones.

Para la primera nos encontramos con un razonamiento análogo al que se planteó para el cambio de condiciones anterior, que conduce al resultado de la ecuación 8.

Para la segunda opción, la ecuación que modela la condición de cambio es

$$U_1 = -U_{R4} - U_{Zener(D_{Z1})} + U_2 - U_{\gamma(D_2)} \quad (15)$$

a la que aplicando valores

$$U_1 = -0V - (-3,5V) + 5V - 0,7V = 7,8V \quad (16)$$

Por lo tanto, cuando la tensión de la fuente  $U_1$  alcance el valor de  $4,04444V$ , el diodo  $D_1$  comenzará a conducir, dando lugar al circuito equivalente de la figura 5.

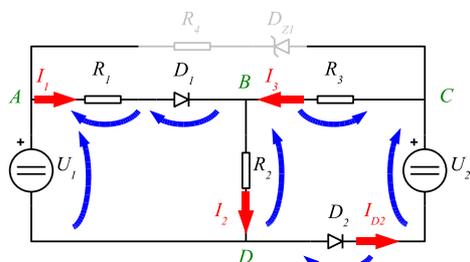


Figura 5: Tercer circuito equivalente

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

$$I_1 + I_3 = I_2 \quad (17)$$

y para las mallas

$$U_1 = I_1 R_1 + U_{\gamma(D_1)} + I_2 R_2 \quad (18)$$

$$U_2 = I_3 R_3 + I_2 R_2 + U_{\gamma(D_2)} \quad (19)$$

sustituyendo la ec. 17 en la ec. 19, despejando y operando

$$I_2 = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} + I_1 \frac{R_3}{R_2 + R_3} \quad (20)$$

sustituyendo la ec. 20 en la ec. 18, despejando y operando

$$I_{D1} = I_1 = \frac{(U_1 - U_{\gamma(D_1)}) (R_2 + R_3)}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} - \frac{(U_2 - U_{\gamma(D_2)}) R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (21)$$

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

$$I_{D2} = I_3 = I_2 - I_1 \quad (22)$$

uniendo las expresiones de las ec. 20 y 21, operando y despejando

$$I_{D2} = (U_2 - U_{\gamma(D_1)}) \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} - (U_1 - U_{\gamma(D_2)}) \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (23)$$

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,

$$U_{AC} = I_1 R_1 + U_{\gamma(D_1)} - I_3 R_3 \quad (24)$$

y aplicando los valores numéricos en las ecuaciones anteriores, se tiene que

$$I_1 (U_1 = 5V) = 1,16610mA \quad (25)$$

$$I_3 (U_1 = 5V) = 1,51356mA \quad (26)$$

y, consecuentemente

$$U_{AC} (U_1 = 5V) = 3,50338V$$

que no es suficiente para hacer que el diodo  $D_{Z1}$  trabaje en zona Zener.

Finalmente, resumiendo los resultados

■ Si  $0V \leq U_1 \leq 3,6V$ , entonces

- $I_{D1} = 0A$
- $I_{D2} = I_{D_{Z1}} + \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3}$ , con  $1,37778\mu A \leq I_{D2} \leq 477,778\mu A$
- $I_{D_{Z1}} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_{Z1})} - U_1 - U_{\gamma(D_2)}}{R_4}$ , con  $900\mu A \leq I_{D_{Z1}} \leq 0A$

■ Si  $3,6V \leq U_1 \leq 4,04444V$ , entonces

- $I_{D1} = 0A$
- $I_{D2} = \frac{U_2 - U_{\gamma(D_2)}}{R_2 + R_3} = 477,778\mu A$
- $I_{D_{Z1}} = 0A$

■ Si  $4,04444V \leq U_1 \leq 5V$ , 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  $0A \leq I_{D1} \leq 1,16610mA$
- $I_{D2} = (U_2 - U_{\gamma(D_1)}) \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} - (U_1 - U_{\gamma(D_2)}) \frac{R_2}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}$ , con  $477,778\mu A \leq I_{D2} \leq 364,407\mu A$
- $I_{D_{Z1}} = 0A$