

CIRCUITOS CON DIODOS PROBLEMAS RESUELTOS

Problema 1

Determine la tensión de salida V_o y el estado de los diodos del circuito de la figura en los siguientes casos:

- $V_1=V_2=5V$
- $V_1=5V, V_2=0$
- $V_1=V_2=0$

Nota: La tensión umbral de conducción de ambos diodos es de $0.6V$ y su resistencia $r_d = 30\Omega$.

Solución

- a) Para que los diodos conduzcan deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$\begin{cases} \mathbf{D1:} & V_a - V_b \geq V_\gamma = 0.6V \Rightarrow V_a \geq V_b + 0.6V \\ \mathbf{D2:} & V_a - V_c \geq V_\gamma = 0.6V \Rightarrow V_a \geq V_c + 0.6V \end{cases}$$

Cuando $V_1 = V_2 = 5V$ ninguno de los diodos conduce ya que, teniendo en cuenta que al no conducir no hay caídas de tensión en las resistencias por estar el circuito abierto, se cumple que:

$$\begin{cases} \mathbf{D1:} & V_a = 5V \leq V_b + V_\gamma = 5.6V \\ \mathbf{D2:} & V_a = 5V \leq V_c + V_\gamma = 5.6V \end{cases}$$

por lo que $V_o = V_a = 5V$

- b) Cuando $V_1=5V, V_2=0$ sólo conduce el diodo D2 ya que se cumple que:

$$\begin{cases} \mathbf{D1:} & V_a \leq V_b + V_\gamma = 5.6V \\ \mathbf{D2:} & V_a \geq V_c + V_\gamma = 0.6V \end{cases}$$

De forma que el circuito queda como se indica. En este caso se tendremos que:

$$5V - (4.7k\Omega)I - 0.6V - (0.03k\Omega)I - (0.27k\Omega)I = 0$$

$$\Rightarrow 5V - 0.6V = (5k\Omega)I \Rightarrow I = \frac{4.4V}{5k\Omega} = 0.88mA$$

Y, por tanto: $V_o = V_a = (0.3k\Omega)I + 0.6V = 0.864V \approx 0.9V$

- c) Cuando $V_1=0, V_2=0$ conducen los dos diodos ya que se cumple que:

$$\begin{cases} \mathbf{D1:} & V_a \geq V_b + V_\gamma = 0.6V \\ \mathbf{D2:} & V_a \geq V_c + V_\gamma = 0.6V \end{cases}$$

De forma que sustituyendo los circuitos equivalentes de los diodos que el circuito queda como se indica y

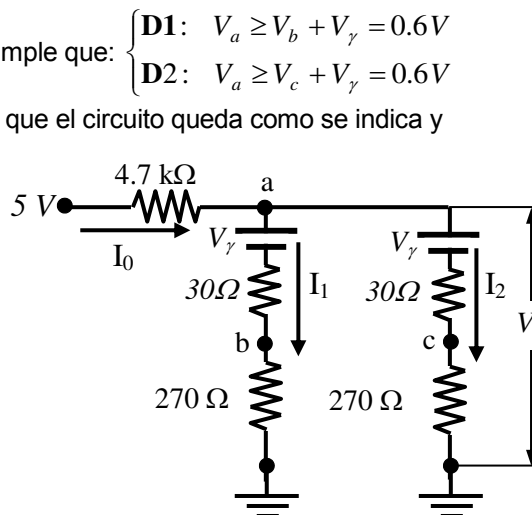
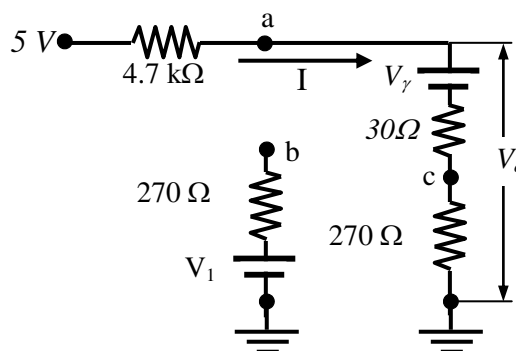
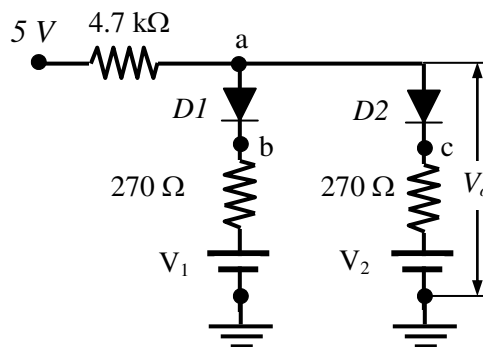
$$\left. \begin{aligned} 5V - 0.6V &= (4.7k\Omega)I_0 + (0.3k\Omega)I_1 \\ 5V - 0.6V &= (4.7k\Omega)I_0 + (0.3k\Omega)I_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{aligned} 4.4V &= 5I_1 + 4.7I_2 \\ 4.4V &= 4.7I_1 + 5I_2 \end{aligned}$$

$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$I_2 = \frac{\begin{vmatrix} 5 & 4.4 \\ 4.7 & 4.4 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 5 & 4.7 \\ 4.7 & 5 \end{vmatrix}} = 0.4536mA$$

y por tanto: $V_o = V_a = (0.3k\Omega)I_2 + 0.6V = 0.7361V \approx 0.74V$

Vemos que, en este caso, los diodos están muy cerca del umbral de conducción.



Problema 2

En el circuito de la figura la tensión de entrada puede variar entre -15 y $+15$ V.

- Obtenga la tensión de salida en función de la tensión de entrada. **(4 puntos)**.
- Represente el resultado en un diagrama en el que V_i esté en abscisas y V_o en ordenadas. **(1 punto)**

Nota: La tensión umbral de conducción de ambos diodos es de 0.65 V y su resistencia $r_d = 10 \Omega$.

Para que conduzcan los diodos se debe cumplir que:

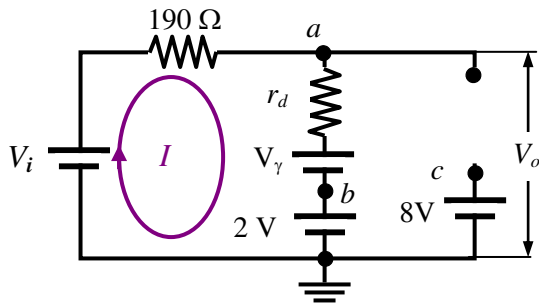
$$D1: (V_a - V_b) \geq V_\gamma \Rightarrow V_a \geq V_\gamma + V_b = 2.65V$$

$$D2: (V_a - V_c) \geq V_\gamma \Rightarrow V_a \geq V_\gamma + V_c = 8.65V$$

Por tanto, en el intervalo $[-15, 2.65]V$ ninguno de los diodos conduce y se cumplirá que

$$V_o = V_i \quad \forall V \in [-15, 2.65]V$$

A partir de $V_i = 2.65$ V comienza a conducir D1 y entonces:



$$I = \frac{V_i - (V_\gamma + \varepsilon_1)}{R + r_d} = \frac{V_i - 2.65}{200\Omega}$$

y como

$$V_o = (V_\gamma + \varepsilon_1) + r_d I = 2.65 + \frac{10}{200\Omega} (V_i - 2.65)$$

$$\text{Operando, obtenemos: } \boxed{V_o = 2.52 + 0.05V_i}$$

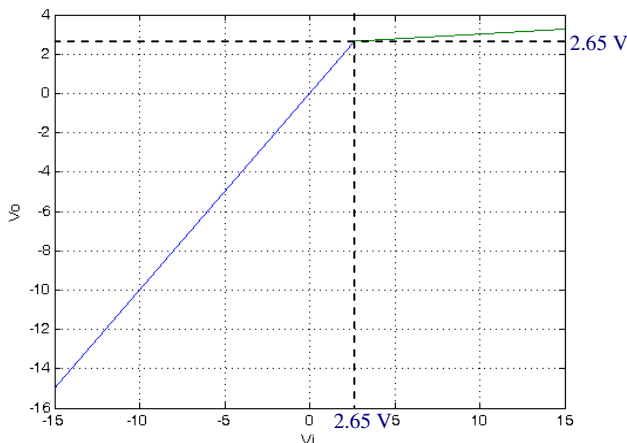
Esta relación se mantendrá hasta que comience a conducir el segundo diodo. Para que esto ocurra, el potencial en el punto a debe valer 8.65 V. Para determinar para qué valor de V_i ocurre esto utilizaremos la relación que acabamos de obtener:

$$V_o = 2.52 + 0.05V_i \Rightarrow V_i = \frac{V_o - 2.52}{0.05} \Rightarrow \text{para } V_o = 8.65V \Rightarrow V_i = \frac{8.65 - 2.52}{0.05} = 122.6V$$

De forma que esta tensión no se alcanzará nunca con la fuente del problema y el segundo diodo nunca conducirá. Por tanto el resultado final es:

$$\boxed{\begin{array}{ll} V_o = V_i & \forall V \in [-15, 2.65]V \\ V_o = 2.52 + 0.05V & \forall V \in [2.65, 15]V \end{array}}$$

- Para representar el resultado hemos de dar valores a la expresión anterior y representar a trozos.



Resulta conveniente calcular el valor de la tensión de salida máxima (la correspondiente a 15 V) que vale:

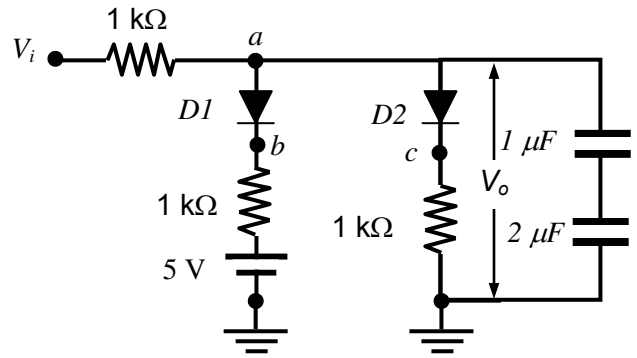
$$V_{o, \text{Máx}} = 2.52 + (0.05 \times 15) = 3.27V$$

En la figura se muestra la gráfica de la tensión de salida en función de la tensión de entrada.

Problema 3

En el circuito de la figura la tensión de entrada puede variar entre -25 y 25 V.

- Obtenga la tensión de salida en función de la tensión de entrada. *Nota: prescinda para ello de la rama de los condensadores.*
- Represente el resultado en un diagrama en el que V_i esté en abscisas y V_o en ordenadas.
- Determine la energía almacenada por cada condensador cuando $V_i = 5$ V.



Nota: Desprecie la resistencia de los diodos en su modelo linealizado. Tensión umbral los diodos $V_\gamma = 0.5$ V.

Solución

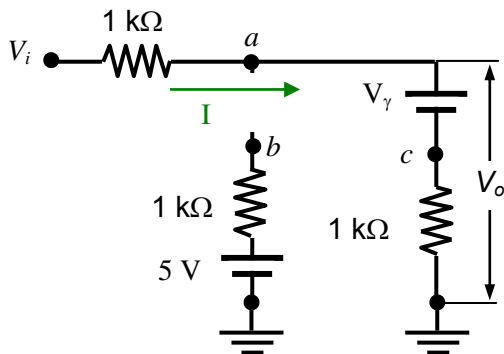
a) El diodo D1 está polarizado con una fuente de 5 voltios mientras que el diodo D2 está a tierra. Para que conduzcan deben cumplirse las siguientes condiciones:

$$D1: V_a - V_b \geq V_\gamma \Rightarrow V_a \geq V_b + V_\gamma = 5.5V$$

$$D2: V_a - V_c \geq V_\gamma \Rightarrow V_a \geq V_c + V_\gamma = 0.5V$$

En estas ecuaciones hemos tenido en cuenta que cuando los diodos no conducen por las resistencias de 1 kΩ no circula la corriente y en ellas no hay caídas de tensión. Se deduce que hasta que en V_a no se alcancen los 0.65 V no conduce ninguno de los diodos y se cumplirá que $\forall V_i \in [0, 0.5]V \Rightarrow V_o = V_i$ ya que en esta situación, al no haber corriente tampoco hay caída de tensión en la resistencia de 100 Ω y $V_a = V_i$.

A partir de 0.5 V comienza a conducir el diodo D1. Sustituyéndolo por su circuito lineal equivalente, tenemos:



$$V_i - (1k\Omega)I - V_\gamma - (1k\Omega)I = 0 \Rightarrow I = \left(\frac{V_i - V_\gamma}{2} \right) A$$

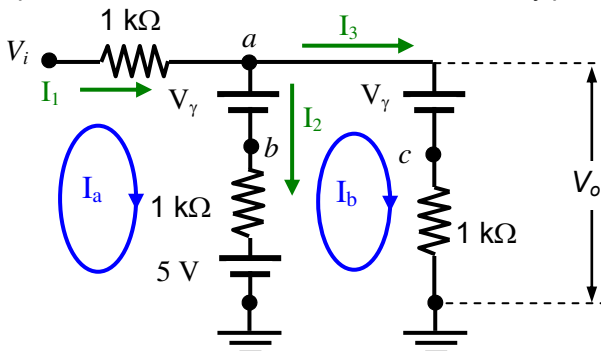
$$V_o = V_i - (1k\Omega)I = V_i - (1k\Omega) \times \left(\frac{V_i - V_\gamma}{2} \right) A \Rightarrow$$

$$V_o = \frac{1}{2}V_i + \frac{1}{2}V_\gamma = (0.25 + 0.5V_i)V$$

Esta situación se mantendrá hasta que comience a conducir el segundo diodo. Esto ocurrirá cuando el valor de V_a (que coincide con V_o) alcance los 5.5 V, el valor de V_i para el que esto ocurre es:

$$V_a = 5.5V = V_o = 0.25 + 0.5V_i \Rightarrow V_i = \frac{5.5 - 0.25}{0.5} = 10.5V$$

A partir de este valor, ambos diodos conducen y por tanto, aplicando el método de las Corrientes de Malla:



$$\begin{pmatrix} V_i - 0.5 - 5 \\ 5 + 0.5 - 0.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} V_i - 5.5 \\ 5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$I_1 = I_a = \frac{\begin{vmatrix} V_i - 5.5 & -1 \\ 2 & 2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 2 \end{vmatrix}} = \left(\frac{2V_i - 6}{3} \right) A$$

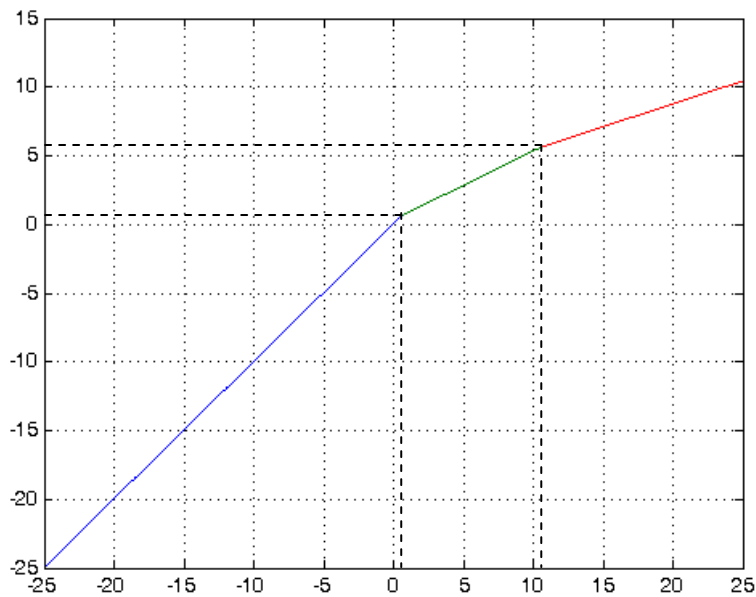
De forma que:

$$V_o = V_i - (1k\Omega)I_1 = V_i - (1k\Omega)\left(\frac{2V_i - 6}{3}\right)A = 2 + \frac{1}{3}V_i.$$

Si recopilamos todos los resultados anteriores tendremos:

$$V_o = \begin{cases} V_i & \forall V_i \in [-25, 0.5] \\ 0.25 + \frac{1}{2}V_i & \forall V_i \in [0.5, 10.5] \\ 2 + \frac{1}{3}V_i & \forall V_i \in [10.5, 25] \end{cases}$$

b) La representación gráfica de los datos anteriores es:



c) Cuando la tensión de entrada es de cinco voltios, la tensión de salida vale:

$$V_o = (0.25 + 0.5V_i)V = 0.25 + 0.5 \times 5V = 2.75V$$

Que es la tensión a la que están sometidos los condensadores. Al estar en serie, los dos condensadores almacenan la misma carga que su condensador equivalente y así,

$$C_{eq} = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{2}{3} \mu F \Rightarrow Q = C_{eq} V_o = \left(\frac{2}{3} \mu F\right) \times 2.75V = 1.833 \mu C = Q_1 = Q_2$$

Por tanto,

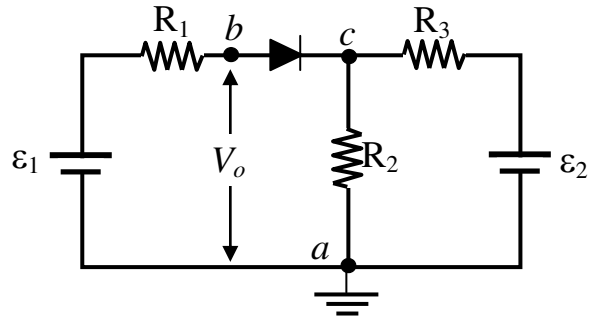
$$U_{C1} = \frac{Q_1^2}{2C_1} = \frac{(1.833 \times 10^{-6} C)^2}{2 \times (1 \times 10^{-6} F)} = 1.68 \mu J$$

$$U_{C2} = \frac{Q_2^2}{2C_2} = \frac{(1.833 \times 10^{-6} C)^2}{2 \times (2 \times 10^{-6} F)} = 0.84 \mu J$$

Problema 4

En el circuito de la figura el diodo tiene las siguientes características: $V_\gamma = 0.5 \text{ V}$; $r_d \approx 0 \Omega$.

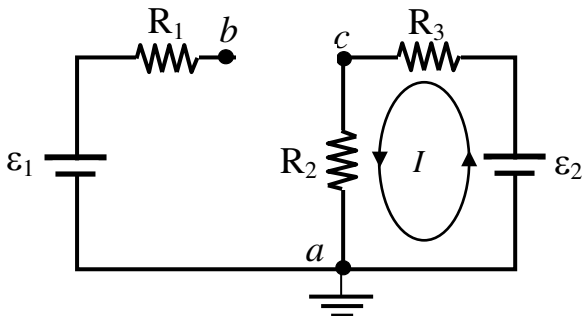
- Determine el valor que debe tener la resistencia R_2 para el diodo comience a conducir cuando $\varepsilon_1 = 2.5 \text{ V}$.
- Utilizando el valor de R_2 obtenido, calcule la tensión de salida V_o cuando la tensión de entrada (fuente ε_1), vale 1 V . Repita este cálculo cuando la tensión de entrada es de 5 V .



Datos: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_3 = 60 \text{ k}\Omega$, $\varepsilon_2 = 5 \text{ V}$.

Solución

- Para que el diodo conduzca debe cumplirse que: $V_b - V_c \geq 0.5 \text{ V} \Rightarrow V_b \geq V_c + V_\gamma$



Cuando el diodo no conduce, por su rama no circula la corriente, de forma que el circuito queda como se indica en la figura. En este caso la tensión en el punto b es ε_1 . Por otra parte, la tensión en el punto c vale, en este caso:

$$I = \frac{\varepsilon_2}{R_2 + R_3}; \quad V_c = R_2 I = \frac{R_2 \varepsilon_2}{R_2 + R_3}$$

de forma que la condición límite de conducción es:

$$V_b = \varepsilon_1 = \frac{R_2 \varepsilon_2}{R_2 + R_3} + V_\gamma$$

por tanto, para que el diodo conduzca cuando ε_1 valga 2.5 V se cumplirá que:

$$V_b = \varepsilon_1 = \frac{R_2 \varepsilon_2}{R_2 + R_3} + V_\gamma \Rightarrow (\varepsilon_1 - V_\gamma)(R_2 + R_3) = R_2 \varepsilon_2 \Rightarrow (\varepsilon_1 - V_\gamma)R_3 = R_2 \varepsilon_2 - (\varepsilon_1 - V_\gamma)R_2$$

y por tanto:

$$R_2 = \frac{(\varepsilon_1 - V_\gamma)R_3}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1 + V_\gamma} = \frac{(2.5 - 0.5) \times 60}{5 - 2.5 + 0.5} = 40 \text{ k}\Omega$$

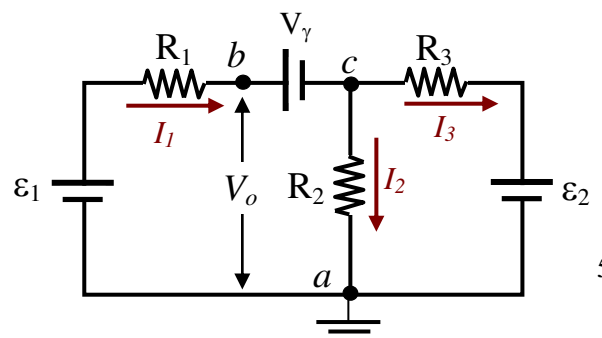
- Cuando el diodo no conduce

$$V_c = \frac{R_2 \varepsilon_2}{R_2 + R_3} = \frac{40 \text{ k}\Omega \times 5 \text{ V}}{(40 \text{ k}\Omega + 60 \text{ k}\Omega)} = 2 \text{ V}$$

por tanto, cuando la tensión $\varepsilon_1 = 1 \text{ V}$ el diodo está polarizado en inverso y no conducirá. En este caso la tensión de salida es igual a V_b y vale 1 V . Cuando la tensión $\varepsilon_1 = 5 \text{ V}$ el diodo conduce y, sustituyendo el circuito equivalente del diodo y aplicando las Reglas de Kirchhoff, se cumplirá que,

$$\begin{cases} \varepsilon_1 - R_1 I_1 - V_\gamma - R_2 I_2 = 0 \Rightarrow \varepsilon_1 - V_\gamma = R_1 I_1 + R_2 I_2 \\ -R_3 I_3 - \varepsilon_2 + R_2 I_2 = 0 \Rightarrow -\varepsilon_2 = -R_2 I_2 + R_3 I_3 \\ I_1 - I_2 - I_3 = 0 \Rightarrow I_3 = I_1 - I_2 \end{cases}$$

simplificando obtenemos el sistema:



$$\begin{cases} \varepsilon_1 - V_\gamma = R_1 I_1 + R_2 I_2 \\ -\varepsilon_2 = R_3 I_1 - (R_2 + R_3) I_2 \end{cases}$$

sustituyendo los valores

$$\begin{cases} 4.5 = I_1 + 40I_2 \\ -5 = 60I_1 - 100I_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} 4.5 \\ -5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 40 \\ 60 & -100 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix} \Rightarrow I_1 = \frac{\begin{vmatrix} 4.5 & 40 \\ -5 & 100 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 40 \\ 60 & -100 \end{vmatrix}} = 0.1 \text{ mA}$$

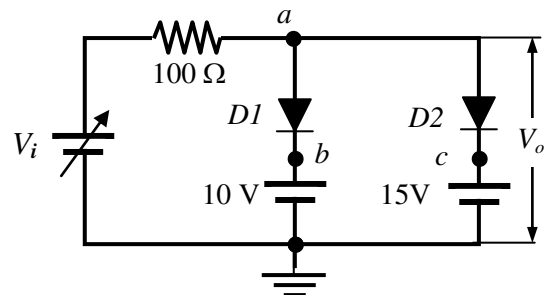
y finalmente:

$$V_o = \varepsilon_1 - R_1 I_1 = 5V - (1k\Omega) \times (0.1 \text{ mA}) = 4.9V$$

Problema 5

En el circuito de la figura la tensión de entrada puede variar entre 0 y 100 V.

- Obtenga la tensión de salida en función de la tensión de entrada (característica de transferencia del circuito).
- Represente en una gráfica la tensión de salida en función de la tensión de entrada.



Nota: La tensión umbral de conducción de ambos diodos es de 0.65 V y su resistencia $r_d = 10 \Omega$.

Solución

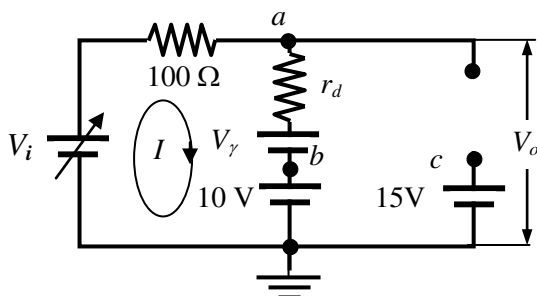
a) Dado que los diodos están polarizados por las fuentes de 10 y 15 voltios, para que conduzcan deben superarse estos umbrales. Las condiciones serán:

$$D1: V_a - V_b \geq V_\gamma \Rightarrow V_a \geq V_b + V_\gamma = 10.65V$$

$$D2: V_a - V_c \geq V_\gamma \Rightarrow V_a \geq V_c + V_\gamma = 15.65V$$

por tanto, hasta que en V_a no se alcancen los 10.65 V no comienza a conducir ninguno de los diodos y se cumplirá que $\forall V_i \in [0, 10.65]V \Rightarrow V_o = V_i$, ya que en esta situación, al no haber corriente no hay caída de tensión en la resistencia de 100Ω y $V_a = V_i$.

A partir de 10.65 V comienza a conducir el diodo D1. Sustituyéndolo por su circuito lineal equivalente, tenemos:



$$V_i - 100I - 10I - 0.65V - 10V = 0 \Rightarrow I = \left(\frac{V_i - 10.65}{110} \right) A$$

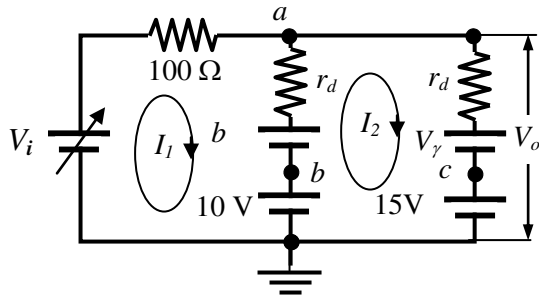
$$V_o = \varepsilon_1 + V_\gamma + r_d I = 10V + 0.65V + (10\Omega) \times \left(\frac{V_i - 10.65}{110} \right) A \Rightarrow$$

$$V_o = (9.68 + 0.091 V_i) V$$

Esta situación se mantendrá hasta que comience a conducir el segundo diodo. Esto ocurrirá cuando el valor de V_a (que coincide con V_o) alcance los 15.65 V, el valor de V_i para el que esto ocurre es:

$$V_a = V_o = 9.68 + 0.091 V_i \Rightarrow V_i = \frac{15.65 - 9.68}{0.091} \approx 65.6V$$

A partir de este valor, ambos diodos conducen y por tanto:



$$\begin{pmatrix} V_i - 10.65 \\ -5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 110 & -10 \\ -10 & 20 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \end{pmatrix}$$

$$I_1 = \frac{\begin{vmatrix} V_i - 10.65 & -10 \\ -5 & 20 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 110 & -10 \\ -10 & 20 \end{vmatrix}} = \left(\frac{2V_i - 26.3}{210} \right) A$$

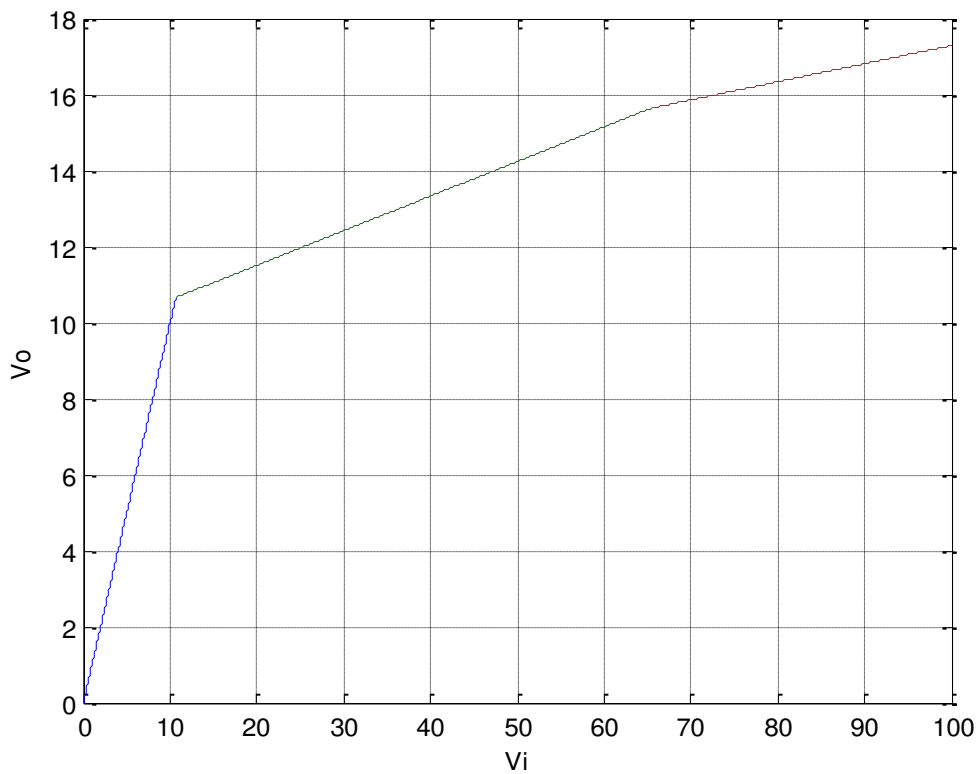
De forma que:

$$V_o = V_i - 100I_2 = V_i - 100 \left(\frac{2V_i - 26.3}{210} \right) = 12.52 + 0.0476V_i.$$

Si recopilamos todos los resultados anteriores tendremos:

$$V_o = \begin{cases} V_i & \forall V_i \in [0, 10.65] \\ 9.68 + 0.09V_i & \forall V_i \in [10.65, 65.6] \\ 12.52 + 0.0476V_i & \forall V_i \in [65.6, 100] \end{cases}$$

b) La representación gráfica de los datos anteriores es:



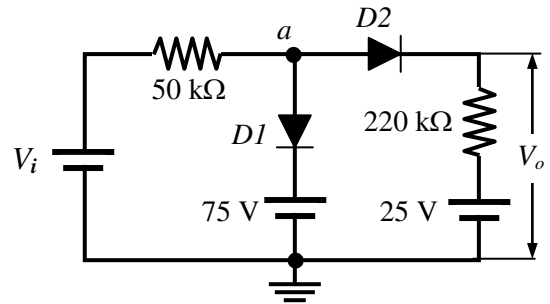
Problema 6

En el circuito de la figura la tensión de entrada puede variar entre cero y 100 V.

a) Obtenga la tensión de salida en función de la tensión de entrada. (4 puntos)

b) Represente el resultado en un diagrama en el que V_i esté en abscisas y V_o en ordenadas. (1 punto)

Nota: Desprecie la resistencia de los diodos en su modelo linealizado. La tensión umbral de conducción de ambos diodos es de 1 V.



Solución

a) Los diodos sólo conducirán si están sometidos a una diferencia de potencial, $V_d \geq V_\gamma = 1$ V por tanto el diodo D1 sólo conducirá cuando esté sometido a una diferencia de potencial mayor de 76 V mientras que el diodo D2 lo hará para tensiones superiores a 26 voltios. Así, para tensiones inferiores a 26 voltios ninguno de los dos diodos conduce y la tensión de salida es de 25 V correspondientes a la fuente de la rama de salida ya que, al no circular intensidad, no hay caída de tensión en la resistencia de 220 kΩ. Comprobamos que la tensión de salida no está relacionada con la tensión de entrada. Resumiendo:

$$V_o = 25V; \quad \forall V_i \in [0, 26] V$$

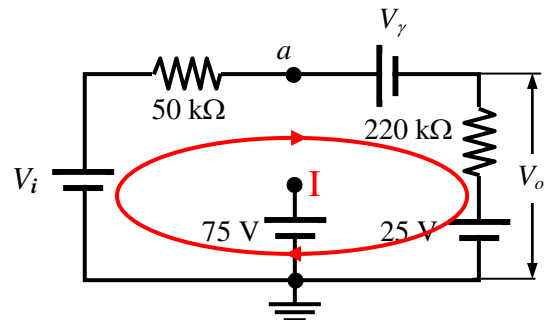
Para tensiones superiores a 26 V el diodo D2 comienza a conducir mientras que D1 sigue polarizado en inverso. Sustituyendo el equivalente lineal del diodo, el circuito queda como se muestra en la figura.

En este circuito se cumplirá que:

$$V_i - 50I - V_\gamma - 220I - 25 = 0 \Rightarrow V_i - V_\gamma - 25 = 270I \Rightarrow I = \frac{V_i - V_\gamma - 25}{270} = \frac{V_i - 26}{270}$$

y por tanto, la tensión de salida vale:

$$V_o = 25 + 220I = 25 + 220 \left(\frac{V_i - 26}{270} \right)$$



y así $V_o = 0.8148V_i + 3.82$. Vemos que la salida aumenta linealmente al aumentar la tensión de entrada V_i hasta la tensión en el punto a alcance los 76 V, en cuyo caso, sabemos que D1 empieza a conducir. La tensión en el punto a vale:

$$V_a = V_o + 1V = 0.8148V_i + 4.82$$

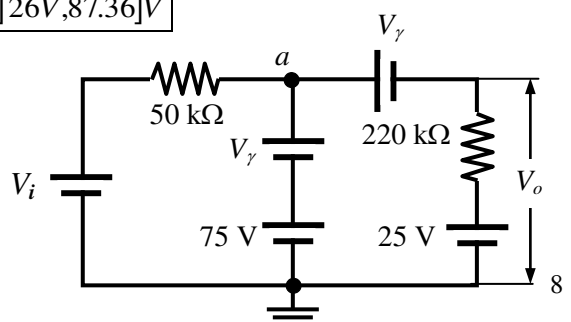
y así, cuando V_a valga 76 V, la tensión de entrada V_i valdrá:

$$V_a = 76 = 0.8148V_i + 4.82 \Rightarrow V_i = \frac{76 - 4.82}{0.8148} = 87.36V$$

de forma que finalmente:

$$V_o = 0.8148V_i + 3.82; \quad \forall V_i \in [26V, 87.36] V$$

Para tensiones de entrada superiores a 87.36 V conducen los dos diodos y, al sustituir los diodos por sus circuitos equivalentes, el circuito queda como se muestra en el esquema siguiente. La tensión de salida es claramente



$$V_o = 75 + V_\gamma - V_\gamma = 75V; \quad \forall V_i \in]87.36V, 100]V$$

b) Podemos resumir los resultados obtenidos de la siguiente forma:

$$V_o = \begin{cases} 25; & \forall V_i \in [0, 26] V \\ 0.8148V_i + 3.82; & \forall V_i \in]26V, 87.36]V \\ 75; & \forall V_i \in]87.36V, 100]V \end{cases}$$

y gráficamente:

