

Soluciones Ejercicios Diodos

Soluciones Cuestiones tipo test

1. La respuesta correcta es a).
2. La respuesta correcta es d).
3. La respuesta correcta es d).
4. La respuesta correcta es d).

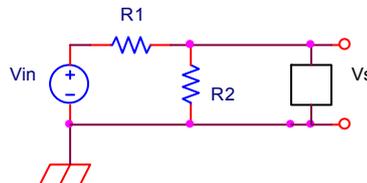
Soluciones Problemas

Problema 1. En la figura inferior hay un elemento no lineal cuya característica corriente-voltaje viene dado por la expresión:

$$i_s = A(v_s - v_t)^2 \quad \text{si } v_s > v_t$$

$$i_s = 0 \quad \text{si } v_s < v_t$$

Calcular el voltaje que cae en dicho dispositivo si $A = 1$, $v_t = 0$, $V_1 = 12 \text{ V}$ y $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ y $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$



Empezamos calculando el equivalente de Thévenin entre los bornes del elemento no lineal:

$$V_{Th} = \frac{V_{in} R_2}{R_1 + R_2} = 6V$$

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 0,5k\Omega$$

Sustituimos la parte lineal del circuito por la fuente de Thévenin y la resistencia de Thévenin en serie. Aplicando Kirchhoff nos queda:

$$V_{Th} = R_{Th} i_s + v_s$$

$$V_{Th} = R_{Th} A(v_s - v_t)^2 + v_s$$

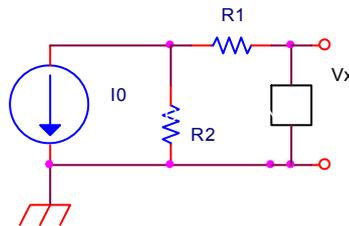
Sustituyendo por los datos del problema tenemos:

$$6 = 0,5v_s^2 + v_s \Rightarrow 0,5v_s^2 + v_s - 6 = 0$$

$$\Rightarrow v_s = \frac{-1 \pm \sqrt{1+12}}{1} = -1 \pm 3,6 = 2,6V$$

Se debe tomar la solución positiva ya que la negativa no tiene sentido físico.

Problema 2 Encontrar la recta de carga presentada al elemento desconocido por el circuito resistivo de la figura.



De manera equivalente al ejercicio anterior, es necesario calcular el equivalente de Thévenin entre los bornes del elemento no lineal. Dado que la corriente I_0 de la fuente sólo circula por R_2 , y lo hace de abajo hacia arriba:

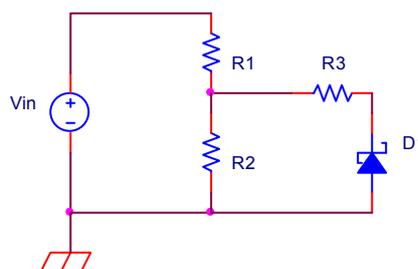
$$V_{Th} = -I_0 \cdot R_2$$

$$R_{Th} = R_1 + R_2$$

La recta de carga presentada al elemento desconocido será entonces, denominando V_x , i_x a la tensión y la corriente que pasa por dicho elemento, respectivamente:

$$V_x = V_{Th} - i_x \cdot R_{Th} \Rightarrow i_x = -\frac{1}{R_{Th}}V_x + \frac{V_{Th}}{R_{Th}}$$

Problema 3. Si el diodo Zéner de la figura tiene una tensión de codo de 0,7 V y un voltaje de ruptura Zener de 3 V, hallar su punto de trabajo ($V_{in} = 12 V$, $R_1 = 1 k\Omega$, $R_2 = 1 k\Omega$ y $R_3 = 0.5 k\Omega$)



Empezamos haciendo un equivalente de Thévenin de toda la parte lineal del circuito (V_{in} , R_1 , R_2 y R_3).

$$V_{Th} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in} = 6V$$

$$R_{Th} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 = 1k\Omega$$

Con el circuito equivalente de Thévenin aplicado al Zener, vemos que al estar colocado en sentido “opuesto”, se encontrará en polarización inversa. La tensión V_{TH} de 6 V es suficientemente grande como para que el diodo se encuentre en la zona de ruptura Zener, es decir, polarizado a $V_d = -3$ V. Sustituyendo el Zener por una fuente de continua a 3 V tenemos que la corriente i_d que pasa por el mismo (tomada como positiva de P a N) es:

$$6V + 1k\Omega \cdot i_d - 3V = 0$$

$$i_d = \frac{3V - 6V}{1k\Omega} = -3 \text{ mA}$$

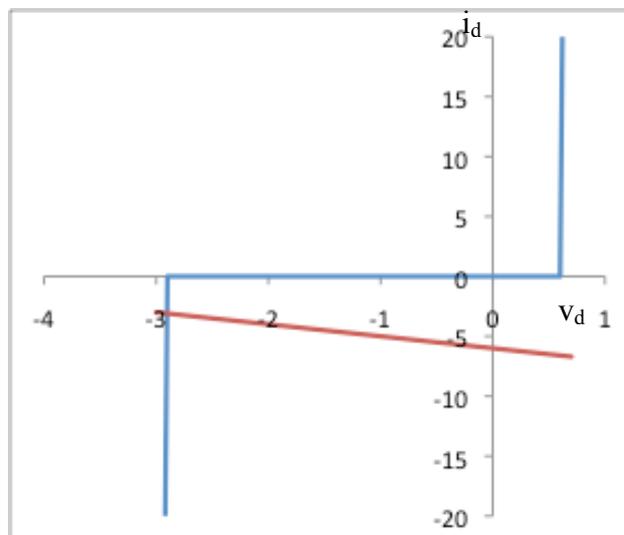
Otra manera de resolverlo es mediante la **recta de carga**, usando el **método gráfico**. Planteamos la ecuación de Kirchoff para obtenerla (recordemos, v_d es el voltaje que cae en el diodo e i_d la corriente que lo atraviesa):

$$V_{Th} = -R_{Th} i_d - v_d$$

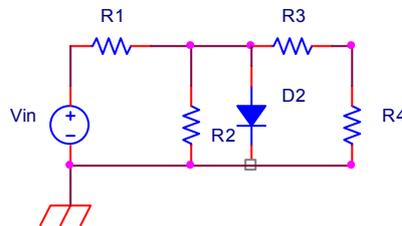
$$6 = -i_d - v_d$$

Representaremos en una misma gráfica la característica i-v del diodo Zener (usando el modelo sencillo) y la recta de carga (en rojo). La recta de carga es una recta de pendiente -1 y ordenada en el origen -6.

En el gráfico inferior se observan las dos características y el punto de corte que está en $v_d = -3$ V, $i_d = -3$ mA



Problema 4 Encontrar el punto de operación del diodo de Si de la figura. ($V_{in} = 12\text{ V}$, $R_1 = 10\text{ k}\Omega$, $R_2 = 5\text{ k}\Omega$, $R_3 = 100\text{ k}\Omega$ y $R_4 = 50\text{ k}\Omega$)



Nos encontramos con **un circuito lineal (fuente de tensión y cuatro resistencias) con un único diodo**. La manera más rápida de hallar el punto de trabajo del diodo es trabajar con el equivalente de Thévenin del circuito en bornes del diodo, con lo que el circuito queda reducido a uno bastante más sencillo (una única fuente de tensión V_{Th} y una única resistencia R_{Th} en serie con el diodo).

Para simplificar los cálculos se deben asociar las resistencias. Es fácil ver en el circuito que R_3 y R_4 están en serie y a su vez en paralelo con R_2 . Llamaremos R_e a esta resistencia equivalente ($R_2 \parallel (R_3 + R_4)$)

$$R_e = R_2 \parallel (R_3 + R_4) = 5 \parallel 150 = \frac{5 \cdot 150}{5 + 150} = 4,84\text{ k}\Omega$$

$$V_{Th} = \frac{V_{in} R_e}{R_1 + R_e} = 12 \frac{4,84}{14,84} \approx 3,87\text{ V}$$

$$R_{Th} = R_1 \parallel R_e = 3,25\text{ k}\Omega$$

Al ser la tensión Thévenin positiva y mayor que el voltaje de activación o tensión de codo del diodo ($0,7\text{ V}$ en un diodo de Si), **podemos suponer que el diodo estará en polarización directa (conduce, ON)**, y sustituirlo por una fuente de tensión constante a $0,7\text{ V}$. Resolviendo el circuito resultante:

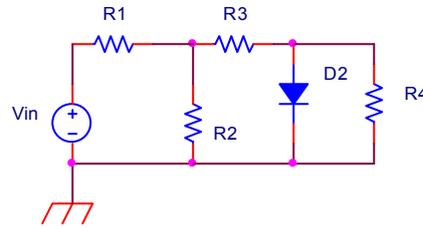
$$V_D = V_{Th} - i_D \cdot R_{Th};$$

$$V_D = 0,7\text{ V}$$

$$i_D = \frac{V_{Th} - V_D}{R_{Th}} = \frac{3,87 - 0,7}{3,25} = 0,973\text{ mA} = 973\text{ }\mu\text{A}$$

Al ser la corriente positiva, se comprueba que el diodo está en directa

Problema 5. Encontrar el punto de operación del diodo de Si de la figura. ($V_{in} = 12$ V, $R_1 = 10$ k Ω , $R_2 = 5$ k Ω , $R_3 = 100$ k Ω , y $R_4 = 50$ k Ω)



La resolución es exactamente igual a la vista en el problema 4. Calculamos primero el equivalente de Thévenin en bornes del diodo, para lo cual ahora tenemos dos mallas:

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= R_1 i + R_2 (i - i') \\
 R_2 (i - i') &= R_3 i' + R_4 i' = (R_3 + R_4) i' \\
 V_{Th} &= i' R_4
 \end{aligned}$$

Sustituyendo los valores de las resistencias y la fuente de tensión:

$$\begin{aligned}
 12 &= 10i + 5(i - i') = 15i - 5i' = 460i' \Rightarrow i' = 0,026 \\
 5(i - i') &= 150i' \Rightarrow i = \frac{155}{5} i' = 31i' \\
 V_{Th} &= i' R_4 = 1,3V
 \end{aligned}$$

Si cortocircuitamos los terminales del diodo, la resistencia R_4 queda cortocircuitada. Las ecuaciones para hallar i_{sc} son:

$$\begin{aligned}
 V_{in} &= R_1 i + R_2 (i - i_{sc}) \Rightarrow 12 = 10i + 5(i - i_{sc}) \\
 R_2 (i - i_{sc}) &= R_3 i_{sc} \Rightarrow i = \frac{105}{5} i_{sc} = 21i_{sc} \\
 \Rightarrow 12 &= 310i_{sc} \Rightarrow i_{sc} = 0,0387mA \\
 \Rightarrow R_{Th} &= \frac{1,3}{0,0387} = 33,7k\Omega
 \end{aligned}$$

Si no se sustituyen las resistencias y la fuente se pueden hallar las expresiones generales de V_{TH} y R_{TH} , pero la resolución del sistema de ecuaciones puede resultar más laboriosa:

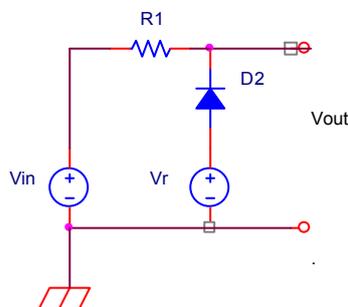
$$\begin{aligned}
 V_{Th} &= \left(\frac{R_2 \cdot R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4) + R_2 \cdot R_1} \right) \cdot V_{in} = 1,3V; \\
 R_{Th} &= \frac{\left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 \right) \cdot R_4}{\left(\frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3 \right) + R_4} = 33,7k\Omega
 \end{aligned}$$

Como la fuente de entrada (V_{Th}) es superior al voltaje de activación, el diodo estará en conducción (ON) con lo que el voltaje que cae en el diodo es de aproximadamente 0,7 V.

Para hallar la corriente que circula por el diodo aplicamos la ley de Kirchhoff a la malla:

$$V_D = V_{Th} - i_D \cdot R_{Th} \Rightarrow i_d = \frac{1,3 - 0,7}{33,7} = 0,0178mA = 17,8\mu A$$

Problema 6. Hallar la función de transferencia del circuito y dibujar v_{out} vs v_{in} ($R_1 = 10\text{ k}\Omega$ y $V_r = 3V$, el voltaje de activación del diodo es 0,7 V).



En este circuito hay una única malla, por lo que no hace falta simplificarlo más, es decir, no hace falta hallar Thévenin. **Dado que ahora V_{in} no toma un valor fijo, debemos estudiar por separado en qué rango de V_{in} el diodo conduce, y en qué rango no conduce. Por ello:**

1) Primero suponemos que el **diodo está en zona de conducción**, lo que implica que dada la orientación del diodo (hacia arriba) la corriente atravesaría R_1 de derecha a izquierda. Aplicando la ley de Kirchhoff a la malla quedaría:

$$V_{in} + R_1 i + v_d - V_r = 0$$

Si el diodo está en ON, lo sustituimos por una fuente de tensión a 0,7 V en el sentido correcto (la tensión positiva en la zona P del diodo y la negativa en la N). Despejamos la corriente de la ecuación anterior e imponemos la condición de que dicha corriente tiene que ser positiva al estar en ON el diodo:

$$i = \frac{V_r - v_d - V_{in}}{R_1} = \frac{V_r - 0,7 - V_{in}}{10}$$

$$i \geq 0 \Rightarrow V_r - 0,7 - V_{in} \geq 0$$

De esta forma hemos podido obtener la condición de conducción del diodo (que en realidad podría haberse deducido directamente observando la malla y la orientación del diodo):

$$V_{in} \leq V_r - 0,7V = 2,3V$$

El voltaje de salida quedará fijado a 2,3 V:

$$V_{out} = V_r - 0,7V = 2,3V$$

Para el resto de valores de tensión de entrada ($V_{in} > 2,3 V$) **el diodo estará en corte** (no conduce, OFF). Se deben tratar por separado:

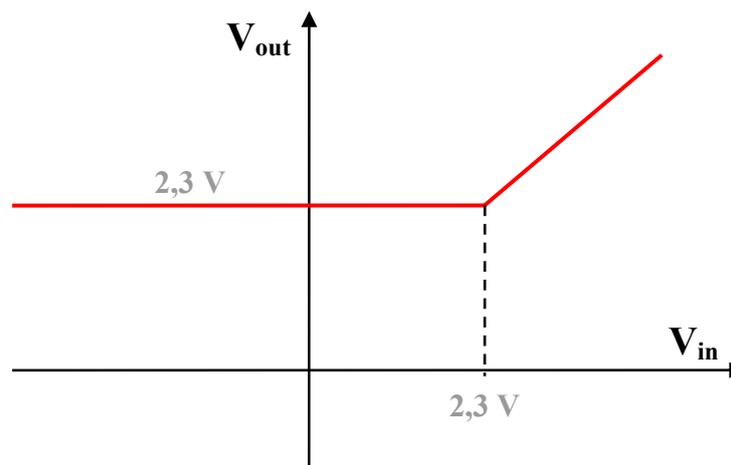
2) **Cuando el diodo no conduce (corte, OFF, para $V_{in} > 2,3 V$)** se sustituye por un circuito abierto, es decir, no hay corriente por el circuito ($i_d=0$). Por ello no hay caída de tensión en la resistencia y el voltaje en la salida (V_{out}) es igual al voltaje en el otro borne de la resistencia (V_{in}).

En resumen, el voltaje de salida está definido en dos tramos:

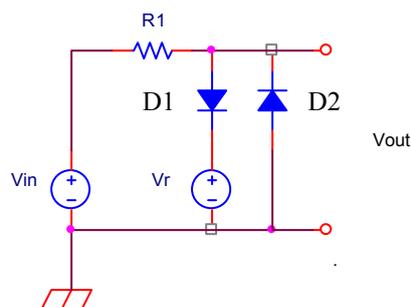
$$\text{Si } V_{in} \leq 2,3V \rightarrow V_{out} = V_r - 0,7V = 2,3V$$

$$\text{Si } V_{in} > 2,3V \rightarrow V_{out} = V_{in}$$

Gráficamente:



Problema 7 Hallar la función de transferencia del circuito y dibujar v_{out} vs v_{in} ($R_1 = 10 k\Omega$ y $V_r = 5V$, el voltaje de activación de los diodos es $0,7 V$).



En este ejercicio hay que volver a averiguar **para qué valores de la tensión de entrada cada diodo está en conducción (ON) y en corte (OFF)**. Resulta conveniente empezar estudiando para qué valores de la tensión de entrada conduce D1, y para qué valores conduce D2:

- 1) Si la tensión que genera la fuente de entrada (V_{in}) es superior a la tensión de la fuente V_r (5 V) más la tensión de codo de D1 (0,7 V), **D1 estará en conducción (ON)**.

$$V_{in} > V_{D1} + V_r = 0,7V + 5V \Rightarrow V_{in} > 5,7V$$

Igual que en el ejercicio anterior, esta condición se puede obtener también de la aplicación de la ley de mallas. Suponiendo inicialmente D1 en conducción (ON), la tensión en D2 será negativa, por lo que estará en inversa (OFF). Sustituyendo D1 por una fuente de tensión a 0,7 V y D2 por un circuito abierto, la corriente i que atraviesa R_1 circula de izquierda a derecha. Aplicando la ley de Kirchhoff en la malla:

$$V_{in} = R_1 i + v_d + V_r$$
$$V_{in} = 10i + 0,7 + 5 \Rightarrow i = \frac{V_{in} - 5,7}{10}$$

Para que D1 esté en conducción la corriente que circula por él debe ser mayor que cero. Imponiendo esta condición obtenemos de nuevo que esto ocurre cuando $V_{in} > 5,7$ V:

$$i > 0 \Rightarrow \frac{V_{in} - 5,7}{10} > 0 \Rightarrow V_{in} > 5,7V$$

En este caso el voltaje de salida viene dado por la suma de las dos fuentes de tensión a 5 V y 0,7 V, que están en serie:

$$V_{out} = V_d + V_r = 0,7 + 5 = 5,7V$$

- 2) Cuando **D1 esté en conducción** (y por ello D2, que está al revés, estará en corte), la corriente i que pasa por R_1 circula de derecha a izquierda. Sustituyendo ambos diodos por sus modelos, la ecuación de la malla en este caso es:

$$V_{in} + R_1 i + 0,7 = 0 \Rightarrow i = \frac{-V_{in} - 0,7}{10}$$

Igual que en el apartado anterior, la corriente que circula por D1 cuando está en conducción tiene que ser positiva (pasar de P hacia N). Por tanto al imponer esta condición nos queda que para que esta situación se produzca la tensión de entrada V_{in} debe ser menor que -0,7 V.

$$i > 0 \Rightarrow \frac{-V_{in} - 0,7}{10} > 0 \Rightarrow V_{in} < -0,7V$$

En este caso el voltaje de salida es igual a la tensión de activación de D2 con signo negativo:

$$V_{out} = -V_d = -0,7V$$

- 3) ¿Y qué ocurrirá entonces para valores de V_{in} entre $-0,7 V$ y $5,7 V$? Si la tensión de entrada está en ese rango ni D1 ni D2 pueden estar en conducción, luego tendremos a **los dos diodos en corte, OFF**. Sustituyendo ambos por circuitos abiertos se extrae que la corriente que circula por R_1 sera nula y por tanto $V_{out} = V_{in}$.

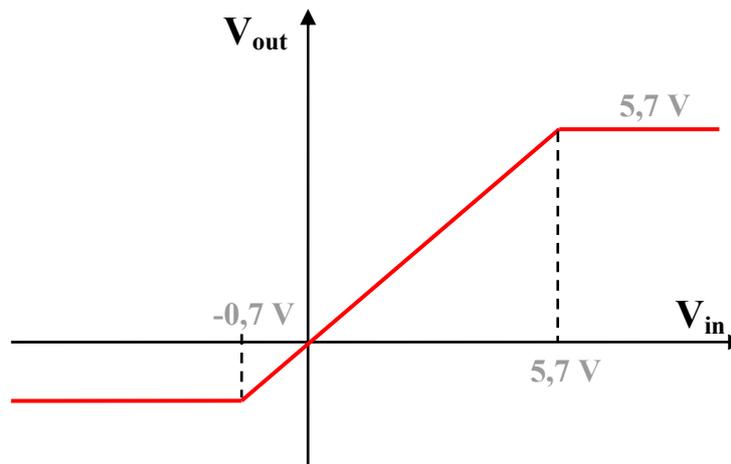
En resumen, el voltaje de salida está definido en tres tramos:

$$\text{Si } V_{in} > 5,7V \rightarrow V_{out} = V_{D1} + V_r = 5,7V$$

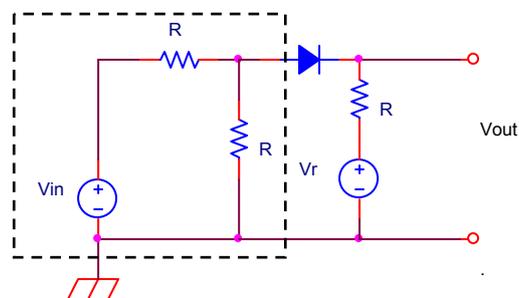
$$\text{Si } -0,7V < V_{in} < 5,7V \rightarrow V_{out} = V_{in}$$

$$\text{Si } V_{in} < -0,7V \rightarrow V_{out} = -0,7V$$

Gráficamente:



Problema 8 Hallar la función de transferencia del circuito y dibujar v_{out} vs v_{in} . El diodo es de Si.



En este ejercicio hay que volver a averiguar **para qué valores de la tensión de entrada el diodo está en conducción (ON) y en corte (OFF)**. La novedad es que el circuito es un poco más complicado. En la parte izquierda tenemos un divisor de tensión (V_{in} y las

dos resistencias R), por lo que lo mejor es sustituir la parte señalada en el recuadro por su equivalente de Thevenin:

$$V_{Th} = \left(\frac{R}{R+R} \right) V_{in} = \frac{V_{in}}{2} = 0,5V_{in}$$

$$R_{Th} = \frac{R \cdot R}{R+R} = \frac{R}{2} = 0,5R$$

Tras ello queda una única malla en el circuito. Entonces:

- 1) Supongamos que **el diodo está en conducción (ON)**. Sustituyéndolo por una fuente de tensión a 0,7 V, la corriente que circula por la malla vendrá dada por, aplicando la ley de mallas:

$$0,5V_{in} = i \cdot 0,5R + 0,7 + i \cdot R + V_r \Rightarrow i = \frac{0,5 \cdot V_{in} - 0,7 - V_r}{3R/2}$$

Si el diodo conduce su corriente debe ser positiva (de izquierda a derecha), de lo que se extrae la condición de conducción para V_{in} :

$$i > 0 \Rightarrow \frac{0,5 \cdot V_{in} - 0,7 - V_r}{3R/2} > 0 \Rightarrow 0,5 \cdot V_{in} > 0,7V + V_r \Rightarrow V_{in} > 1,4V + 2V_r$$

Es decir, cuando la tensión que genera la fuente de entrada V_{in} es superior a dos veces la tensión de la fuente V_r más dos veces la tensión de codo del diodo, **el diodo estará en conducción (ON)**.

V_{out} viene dado por V_r más la caída de tensión en la resistencia ($i \cdot R$):

$$V_{out} = i \cdot R + V_r = \frac{0,5 \cdot V_{in} - 0,7 - V_r}{3R/2} \cdot R + V_r \Rightarrow V_{out} = \frac{V_{in} - 1,4 + V_r}{3}$$

- 2) Para el resto de valores de V_{in} ($0,5 \cdot V_{in} < 0,7V + V_r \Rightarrow V_{in} < 1,4V + 2V_r$) **el diodo está en corte (OFF)**. Sustituyéndolo por un circuito abierto, la corriente que circula por la malla será igual a cero, por lo que la caída de tensión en la resistencia será igual a cero también y el voltaje de salida vendrá dado por:

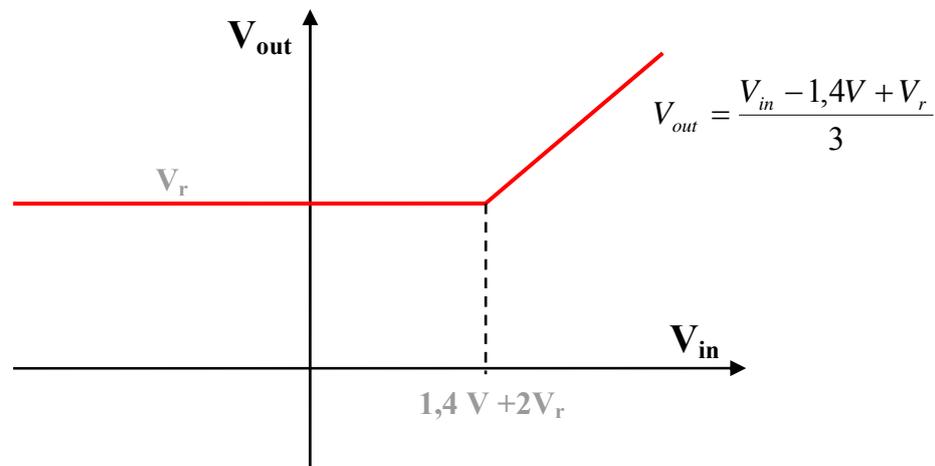
$$V_{out} = i \cdot R + V_r = 0 \cdot R + V_r \Rightarrow V_{out} = V_r$$

En resumen:

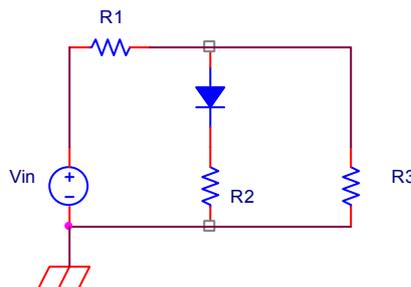
$$\text{Si } 0,5 \cdot V_{in} < V_D + V_r \rightarrow V_{out} = V_r$$

$$\text{Si } 0,5 \cdot V_{in} > V_D + V_r \rightarrow V_{out} = \frac{V_{in} - 1,4V + V_r}{3}$$

Gráficamente:



Problema 9. Hallar el punto de operación del diodo de la figura. ($V_{in} = 3\text{ V}$, $R_1 = 1\text{ k}\Omega$, $R_2 = 21\text{ k}\Omega$ y $R_3 = 3\text{ k}\Omega$)



El circuito equivalente de Thevenin en bornes del diodo viene dado por:

$$V_{Th} = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_1} \right) \cdot V_{in} = 2,25V$$

$$R_{Th} = \left(\frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} \right) + R_2 = 21,75k\Omega$$

Como la tensión Thevenin es mayor que el voltaje de activación del diodo, **el diodo estará en conducción (ON)**. Sustituyéndolo por una fuente de tensión a $0,7\text{ V}$, la corriente i_d que circula por la malla vendrá dada por, aplicando la ley de mallas:

$$V_{Th} - i_d \cdot R_{Th} - 0,7V = 0 \Rightarrow i_d = \frac{V_{Th} - 0,7V}{R_{Th}} = \frac{2,25V - 0,7V}{21,75k\Omega} = 0,0712mA = 71,2\mu A$$

Este tipo de circuitos también se pueden resolver de manera directa, sin sustituir por el equivalente de Thevenin. Para ello y dado que la tensión de entrada es de 3 V , suponemos que el diodo está en conducción y lo sustituimos por una fuente a $0,7\text{ V}$.

Llamamos i_d a la corriente que atraviesa el diodo e i a la corriente que atraviesa R_3 (la corriente que atraviesa R_1 será por tanto $i+i_d$).

Aplicando las leyes de Kirchoff en las dos mallas obtenemos:

$$V_{in} = R_1(i_d + i) + 0,7 + R_2i_d$$

$$V_{in} = R_1(i_d + i) + R_3i$$

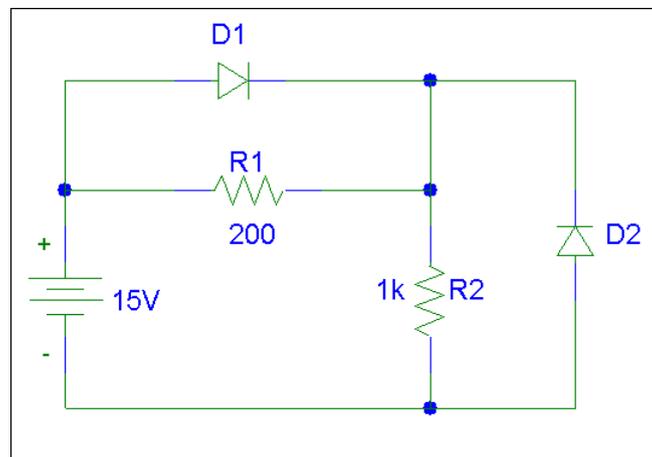
Sustituyendo los datos del problema nos queda un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$3 = (i_d + i) + 0,7 + 21i_d$$

$$3 = (i_d + i) + 3i$$

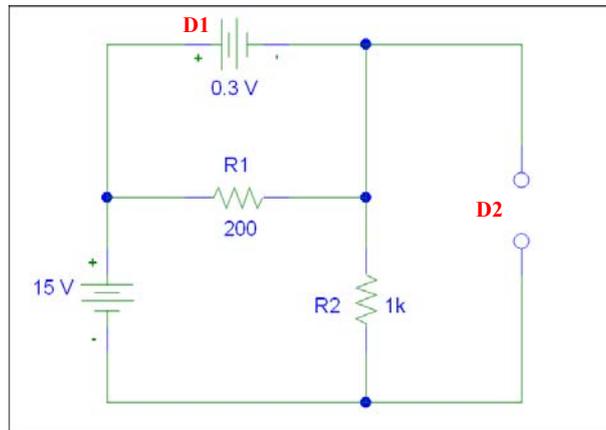
Resolviendo este sistema de ecuaciones extraemos las dos corrientes incógnitas, que son $i=0,732$ mA e $i_d=0,0712$ mA.

Problema 10. Determina, para el circuito de la figura, la corriente que circula por cada uno de los diodos $D1$ y $D2$ (I_{D1} e I_{D2}) y sus tensiones (V_{D1} y V_{D2}). Considera que ambos diodos son de Ge (voltaje de activación de 0.3 V).

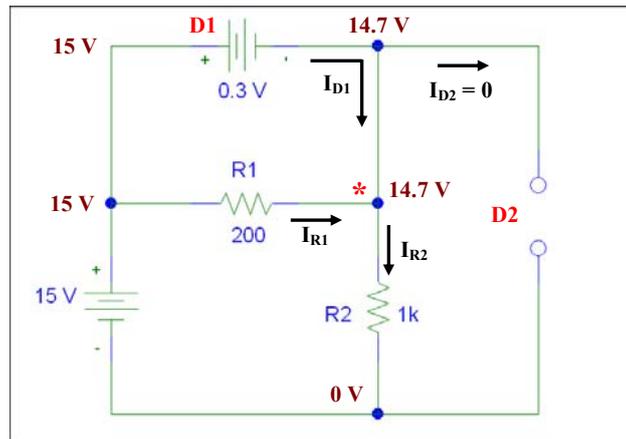


En este caso nos enfrentamos a un circuito con dos diodos con una fuente de tensión continua de 15 V. Observando la colocación de la fuente, lo más razonable es suponer que el **diodo D1 está en directa** (conduce) y el **diodo D2 está en inversa** (no conduce).

Sustituimos entonces $D1$ por una fuente de tensión a 0.3 V y $D2$ por un circuito abierto:



Una vez sustituidos los diodos por sus modelos podemos saber el voltaje en todos los puntos del circuito. Tomando la tierra (0 V) en la parte inferior:



Conocido el voltaje en todos los puntos y utilizando la ley de Ohm, las corrientes I_{R1} e I_{R2} que circulan por las resistencias son:

$$I_{R1} = \frac{15 \text{ V} - 14.7 \text{ V}}{200 \Omega} = 1.5 \text{ mA} \quad I_{R2} = \frac{14.7 \text{ V} - 0 \text{ V}}{1000 \Omega} = 14.7 \text{ mA}$$

La corriente que circula por el diodo D1 es entonces, considerando el nudo *:

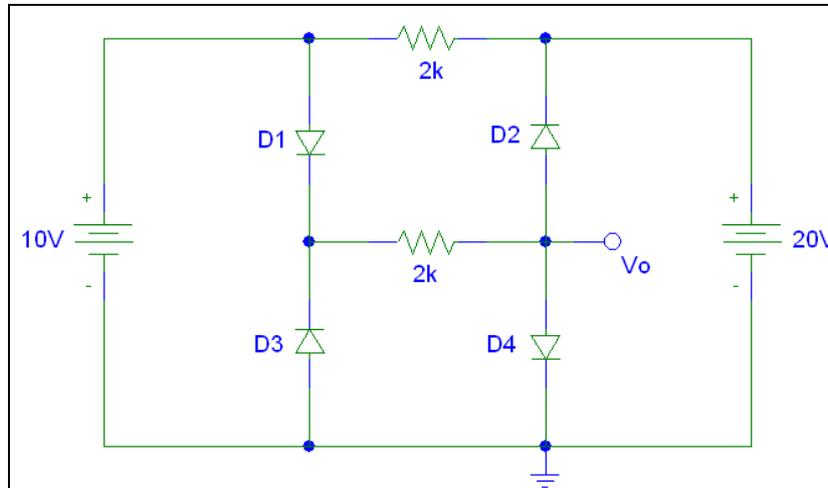
$$I_{D1} = I_{R2} - I_{R1} = 14.7 \text{ mA} - 1.5 \text{ mA} = 13.2 \text{ mA}$$

Como la corriente obtenida es positiva, se comprueba que D1 está en directa. En resumen, las corrientes y las tensiones pedidas son entonces:

$$\text{Diodo D1} \begin{cases} V_{D1} = 0.3 \text{ V} \\ I_{D1} = 13.2 \text{ mA} \end{cases} \quad \text{Diodo D2} \begin{cases} V_{D2} = 0 \text{ V} - 14.7 \text{ V} = -14.7 \text{ V} \\ I_{D2} = 0 \text{ mA} \end{cases}$$

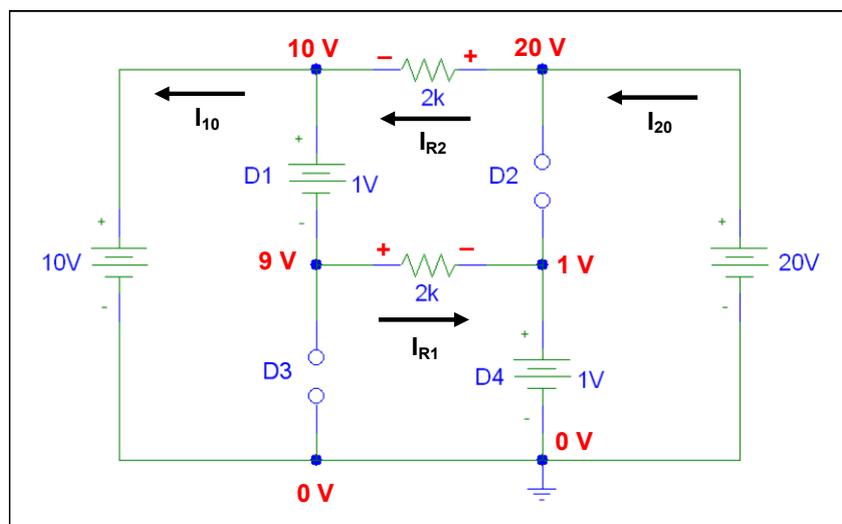
Dado que V_{D2} es negativa, también se comprueba que D2 está en inversa.

Problema 11. Determina la tensión de salida V_0 y la corriente I_D que pasa por cada uno de los diodos del circuito. Considera que todos los diodos son de GaAs (voltaje de activación de 1 V).



Observando que las tensiones de las fuentes de 10 y 20 V se encuentran en la parte superior del circuito y que la tierra (0 V) está en la rama inferior, lo más razonable es comenzar suponiendo que el **diodo D1 está en directa** (conduce) y el **diodo D2 está en inversa** (no conduce, al estar “al revés”). Por ello se sustituye D1 por una fuente de tensión a 1 V (diodos de GaAs) y D2 por un circuito abierto.

Así, la tensión en el punto inferior a D1 sería de 9 V, tal y como se puede ver en la figura. Con 9 V arriba (zona N) y 0 V abajo (zona P) es sensato suponer que el **diodo D3 está en inversa** (no conduce), por lo que toda la corriente del diodo D1 circularía por la resistencia de $2k\Omega$ inferior y posteriormente por el diodo D4, que suponemos también **en directa** (conduce). Al sustituir D4 por una fuente de tensión a 1 V y D2 por un circuito abierto nos queda un circuito muy sencillo de resolver, ya que conocemos las tensiones en todos sus puntos:



Analizando el circuito detenidamente se puede observar que **hay una única rama “central” desde el punto a 10 V hasta tierra**, que incluye al diodo D1, a la resistencia de $2\text{k}\Omega$ inferior y al diodo D4. Por ello, la corriente en los tres elementos sería exactamente la misma. Para calcularla hacemos uso de la ley de Ohm, ya que sabemos la tensión a uno y otro lado de la R de $2\text{k}\Omega$:

$$I_{R1} = \frac{9\text{ V} - 1\text{ V}}{2\text{ k}\Omega} = 4\text{ mA} \quad I_{D1} = I_{D4} = I_{R1} = 4\text{ mA}$$

Como I_{D1} e I_{D4} son positivas, se comprueba ambos diodo está en directa. Para comprobar que D2 y D3 están en inversa debemos calcular sus tensiones, observando que son negativas.

$$\text{Diodo D2} \begin{cases} V_{D2} = 0\text{ V} - 9\text{ V} = -9\text{ V} \\ I_{D2} = 0\text{ mA} \end{cases} \quad \text{Diodo D3} \begin{cases} V_{D3} = 1\text{ V} - 20\text{ V} = -19\text{ V} \\ I_{D3} = 0\text{ mA} \end{cases}$$

Una vez que hemos comprobado que no hay contradicciones podemos asegurar que **la tensión V_0 es igual a 1 V**.