

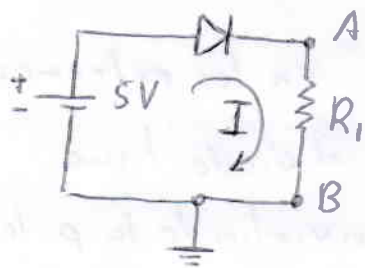
Entregable

Juan Carlos Llamas Núñez

Ejercicio 5: Dado el circuito,

a) Calcula la corriente inversa de saturación del diodo sabiendo que la caída de tensión entre los extremos de la resistencia R_1 es $V_{AB} = 4,3V$ (Factor de idealidad del diodo $N=2$, $R_1 = 360\Omega$).

b) Calcula la diferencia de potencial V_{AB} si se invierte la pila.



a) Como estamos en serie $V_{AB} = I \cdot R_1 \Rightarrow I = \frac{V_{AB}}{R_1} = 11,94 \mu A$.

Sabemos que la curva característica del diodo ($I-V$) sigue la ecuación

$$I = I_0 \left(e^{\frac{qV}{NkT}} - 1 \right) \quad \text{donde } q = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$

$$N = 2$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$$

y suponemos $T = 300K$

Idealmente, la corriente inversa de saturación del diodo se alcanza cuando $V \rightarrow -\infty$. $I_s = \lim_{V \rightarrow -\infty} I(V) = \lim_{V \rightarrow -\infty} I_0 (e^{\frac{qV}{NkT}} - 1) = -I_0$.

Como sabemos que para $I = 11,94 \mu A$, $V_A = 5V - 4,3V = 0,7V$ entonces podemos despejar de la ecuación I_0 que será:

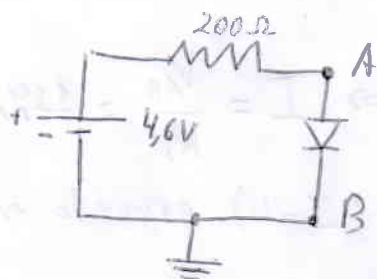
$$I_0 = \frac{I}{e^{\frac{qV}{NkT}} - 1} = \frac{11,94 \cdot 10^{-3} A}{e^{\frac{1,6 \cdot 10^{-19} C \cdot 0,7V}{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} J/K \cdot 300K}} - 1} = 1,59 \cdot 10^{-8} A$$

$$\Rightarrow I_s = -1,59 \cdot 10^{-8} A$$

b) Si se invierte la pila, entonces el diodo estará conectado en inversa y el diodo se comporta como un circuito abierto que idealmente no deja pasar la corriente. Calculemoslo.

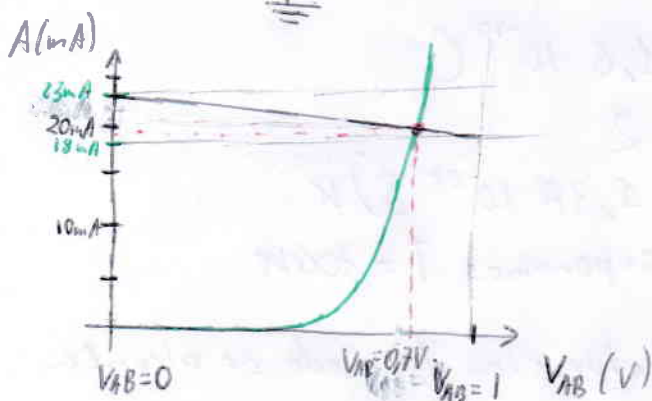
$V_{AB} = I \cdot R_s = I_s \cdot R_i = -1,59 \cdot 10^{-8} \text{ A} \cdot 360 \cdot \Omega = -5,73 \cdot 10^{-6} \text{ V}$ que es despreciable frente a los 4,3V que caída de potencial en el caso de polarización directa.

Ejercicio 6.- Determina la caída de tensión en los extremos del diodo y la corriente que lo atraviesa si el diodo tiene la característica de la figura 6b. Repite invirtiendo la pila.



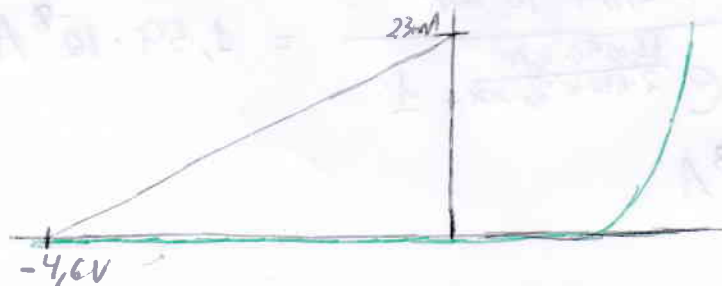
$$4,6\text{V} = I \cdot 200 \cdot \Omega + V_{AB}$$

$$\Rightarrow I = \frac{4,6\text{V} - V_{AB}}{200 \cdot \Omega} = 23\text{mA} - \frac{V_{AB}}{200 \cdot \Omega}$$



Estas curvas se intersecan aproximadamente cuando $V_{AB} = 0,725 \text{ V}$ e $I = 19\text{mA}$.

Si se invierte la pila entonces el diodo estará polarizado en inversa y por tanto actuará como un circuito abierto, es decir, habrá diferencia de potencial en sus extremos pero no dejará pasar corriente. $\Rightarrow V_{AB} = -4,6\text{V}$ e $I = 0\text{A}$



Ejercicio 7.- Repetir el ejercicio 6 utilizando el modelo de tensión de codo. El diodo es de silicio con $V_F = 0,7V$.

Como $4,6V > 0,7V \Rightarrow 4,6V = 200\Omega \cdot I + 0,7V$

$$\Rightarrow I = \frac{4,6V - 0,7V}{200\Omega} = 19,5mA$$

Por tanto $V_{AB} = V_F = 0,7V$ e $I = 19,5mA$

Si invertimos la pila, entonces $-4,6V < 0,7V \Rightarrow I = 0A$.

Por tanto $V_{AB} = -4,6V$ e $I = 0A$.

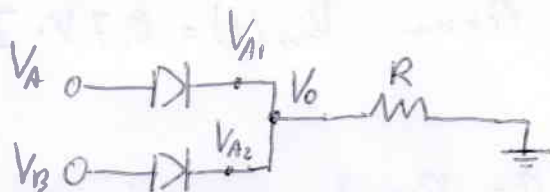
Se puede comprobar que la aproximación utilizando el modelo de codo es razonablemente buena.

Ejercicio 8.- Los dos diodos del circuito son de Si con $V_F = 0,7V$, se asume que son idénticos. Calcular la tensión de salida para las siguientes entradas.

a) $V_A = V_B = 5V$.

b) $V_A = V_B = 0V$

c) $V_A = 5V, V_B = 0V$



a) Como $V_A = V_B > V_F$ hay paso de corriente y $V_{A1} = V_A - V_F = 4,3V$.

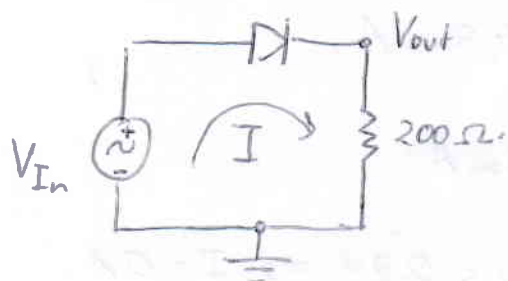
De igual manera $V_{A2} = 4,3V$. Por tanto, al estar en la misma rama, $V_O = 4,3V$.

b) Como $V_A = V_B < V_F$ no hay paso de corriente y ambos diodos funcionan como un circuito abierto. Por tanto $V_O = V_{A1} = V_{A2} = 0V$

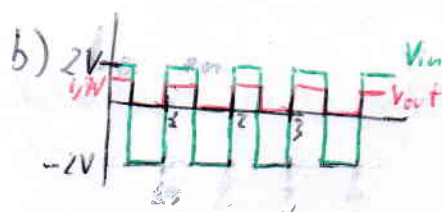
c) Como $V_A > V_F > V_B$, en el diodo de arriba hay paso de corriente y $V_{A1} = V_A - V_F = 4,3V = V_O$ porque en el de abajo no pasa la corriente y $V_{A2} = 0V$.

Ejercicio 9.- Si el diodo es de GE con $V_g = 0,3V$ calcula la tensión de salida si:

- La entrada es una señal DC de valor $0,5V$.
- La entrada es una señal cuadrada de amplitud $2V$ y periodo $1s$.



a) Como $V_{In} > V_g \Rightarrow V_{out} = V_{In} - V_g = 0,2V$ ya que se produce una caída de $0,3V$.



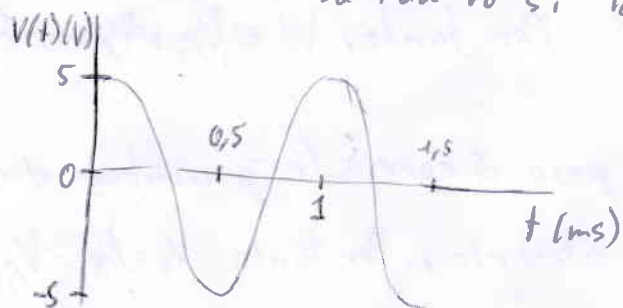
Cuando $t \in [x, [x] + \frac{1}{2})$ entonces $V(t) = 2V$ y $V(t) > V_g \Rightarrow V_{out} = V_{In} - V_g = 1,7V$.

Cuando $t \in ([x] + \frac{1}{2}, [x] + 1)$ entonces $V(t) = -2V$ y $V_{In}(t) < V_g \rightarrow I = 0A$ y el diodo funciona como circuito abierto por lo que $V_{out} = 0V$.

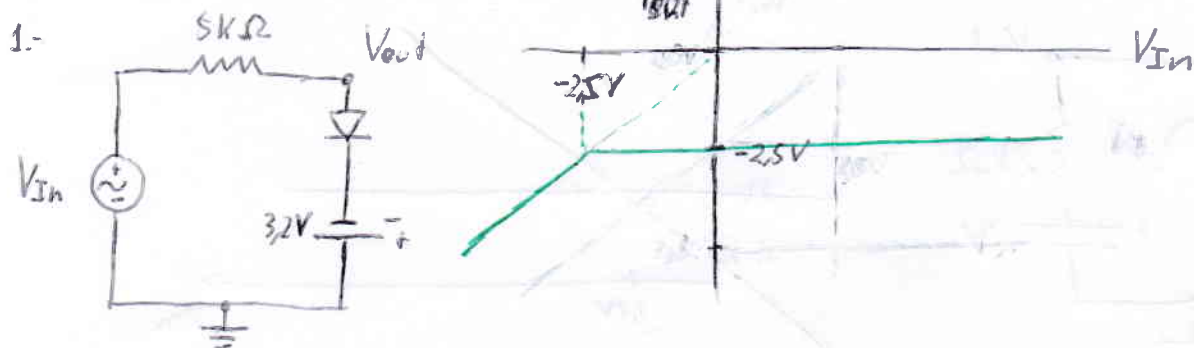
De esta forma $V_{out}(t) = 1,7V \cdot I_{([x], [x] + \frac{1}{2})}(t)$ con $x \in \mathbb{R}$

Ejercicio 10.- Para los siguientes circuitos:

- Determinar y representar la función de transferencia
- Calcular la corriente que circula por el diodo.
- Representar la salida V_o si la entrada V_i es:



Dato: Los diodos son de Si con $V_g = 0,7V$.



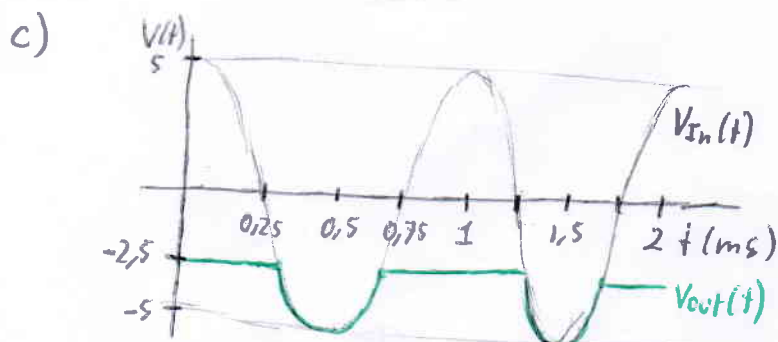
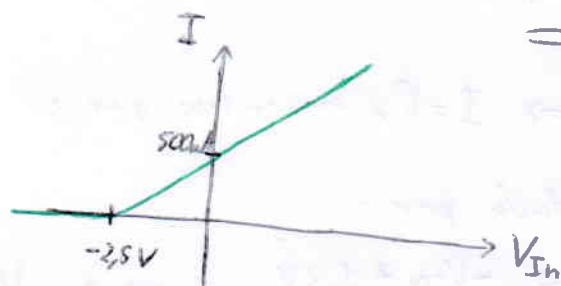
a) Si $V_{IN} + 3,2V < V_s \Rightarrow$ El diodo actúa en OFF y funciona como un circuito abierto por lo que $V_{out} = V_{in}$

Si $V_{IN} + 3,2V > V_s \Rightarrow$ El diodo deja pasar la corriente pero tiene una caída de potencial de V_s y $V_{out} = V_{IN} - V_s = V_s - 3,2V = -2,5V$

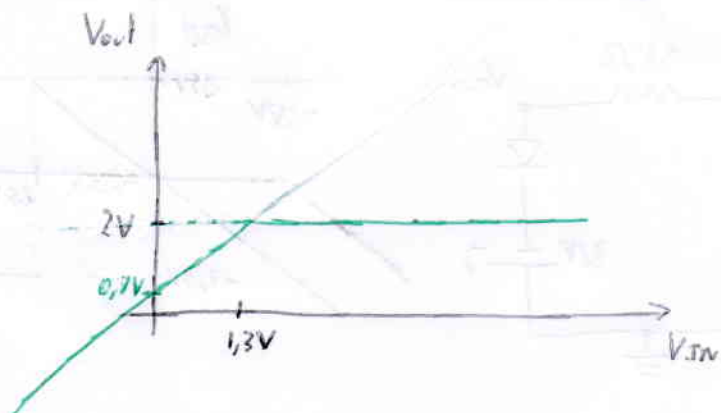
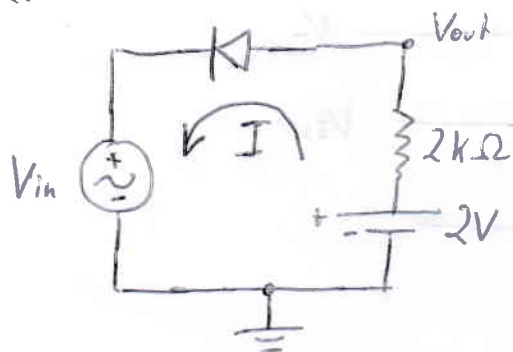
b) La corriente que pasa por el diodo es 0 si $V_{in} < -2,5V$ y si $V_{in} > -2,5V$ entonces

$$V_{IN} - I \cdot 5k\Omega - V_s + 3,2V = 0$$

$$\Rightarrow I = \frac{V_{IN} - V_s + 3,2V}{5k\Omega} = \frac{500mA}{5k\Omega} + \frac{V_{IN}}{5k\Omega}$$



2.-



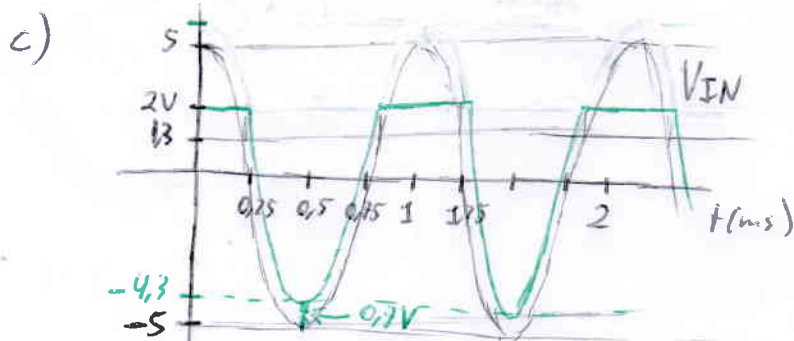
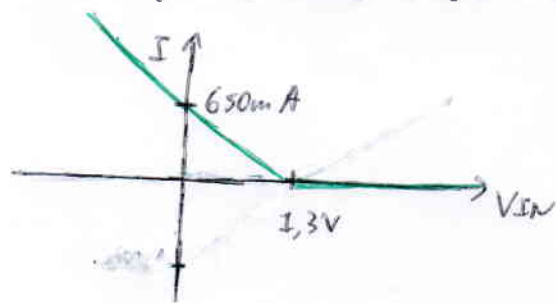
a) Si $2V - V_{IN} < V_F$ entonces el diodo actúa en OFF y no deja pasar la corriente por lo que quedamos en circuito abierto, $V_{out} = 2V$

Si $2V - V_{IN} > V_F$ entonces el diodo deja pasar la corriente pero hay una caída de potencial de V_F por lo que $V_{out} = 2V + I \cdot 2k\Omega = V_{IN} + V_F$

La condición $2V - V_{IN} < V_F \Leftrightarrow V_{IN} > 1,3V$

b) Ya hemos visto que si $V_{IN} > 1,3V \Rightarrow I = 0$, mientras que si $V_{IN} \leq 1,3V$ hay corriente y esta viene dada por:

$$-V_F = I \cdot 2k\Omega + 2V - V_{IN} = 0 \Rightarrow I = \frac{-V_{IN} + 1,3V}{2k\Omega} = +680\mu A + \frac{V_{IN}}{2k\Omega}$$



Ejercicio 11.- Sabiendo que la energía del gap de CdSe es de 1,8 eV, calcula la longitud de onda de la luz emitida por los LEDs de este material. ¿De qué color es esta luz?

Sabemos que en los semiconductores el gap permite procesos de generación y recombinación de portadores y que en los diodos LED la energía de los fotones viene dada por:

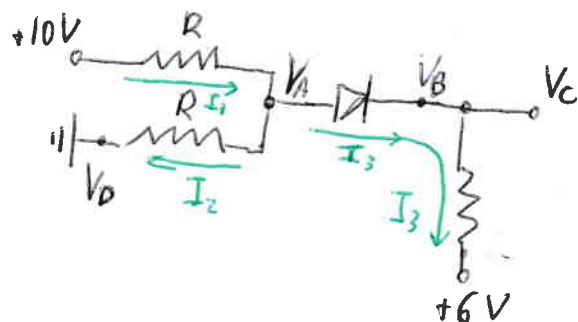
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Por tanto, si los electrones tienen que salvar una energía de 1,8 eV, la longitud de onda de la luz emitida será:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ kg m}^2 \text{ s}^{-2} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{1,8 \text{ eV} \cdot \frac{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{\text{eV}}} = 689 \text{ nm}, \text{ que se}$$

corresponde con la longitud de onda del color rojo.

Ejercicio 12.- Suponiendo que el comportamiento del diodo es ideal hallar V_C si R vale $5 \text{ k}\Omega$. Repetir el problema si se considera el modelo aproximado con tensión de cado y $V_x = 0,3 \text{ V}$



Sabemos que $V_A = 10 \text{ V} - 5 I_1$, $V_D = 0 \text{ V} = V_A - 5 I_2 = 10 \text{ V} - 5(I_1 + I_2)$

$$\Rightarrow 0 = 10 - 5(I_1 + I_2) \Rightarrow 2 = I_1 + I_2$$

También conocemos que $I_1 = I_2 + I_3$ y llamamos $V_x = V_A - V_B$.

$$\text{por lo que } V_A - V_x - 5 I_3 = 6 \text{ V} \Rightarrow 10 \text{ V} - 5 I_1 - V_x - 5 I_3 = 6 \text{ V}$$

Por último sabemos que la relación que hay entre I_3 y V_x es la que viene dada por la ecuación característica del diodo, es decir,

$$I_3 = I_0 \left(e^{\frac{V_x q}{N_A k T}} - 1 \right) \quad \text{donde se suponen conocidos } I_0, N_A, T, q, k$$

Por tanto tenemos un sistema con 4 ecuaciones y 4 incógnitas I_1, I_2, I_3, V_x :

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = 2 \\ I_1 = I_2 + I_3 \\ 5I_1 + V_x + 5I_3 = 4 \\ I_3 = I_0 \left(e^{\frac{V_x q}{N_A k T}} - 1 \right) \end{cases}$$

Suponiendo que hemos podido resolver este sistema y tiene solución única, tenemos que calcular ahora $V_c = 6V + I_3 \cdot 5$

Como suponemos conocido I_3 tras resolver el sistema el voltaje que se nos pide es $V_c = 6V + 5k\Omega I_3$

Si aproximamos por el modelo del codo se tiene que hemos eliminado la última ecuación pero tenemos una incógnita menos porque $V_x = V_y = 0,3V$. Resolvemos el sistema

$$\begin{cases} I_1 + I_2 \cdot 2 = 2 \\ I_1 = I_2 - I_3 = 0 \\ 5I_1 + 5I_3 = 3,7 \end{cases}$$

que tiene solución única

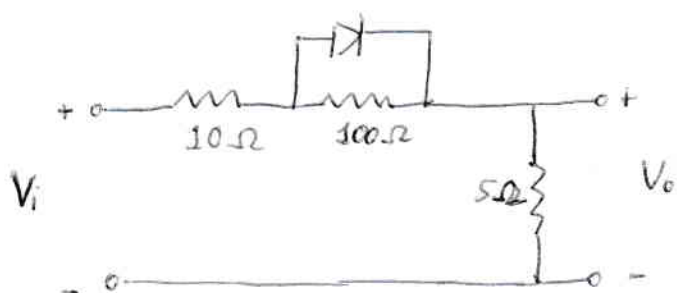
$$\begin{cases} I_1 = 0,913 \text{ mA} \\ I_2 = 1,086 \text{ mA} \\ I_3 = -0,173 \text{ mA} \end{cases}$$

Nos damos cuenta entonces que el diodo está en polarización inversa por lo que funciona como un circuito abierto y realmente no deja pasar la corriente. Por tanto, en ambas aproximaciones $I_3 \approx 0$

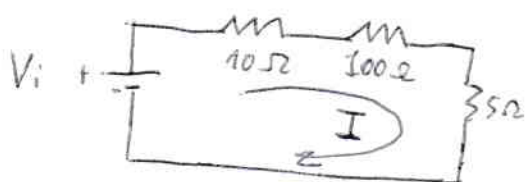
$$\text{y } V_c = 6V$$

Ejercicio 13.- Si consideramos el modelo aproximado con tensión de corte para el diodo ($V_F = 0,7V$):

- Escribir una ecuación que relacione la tensión de salida V_o con la de entrada cuando el diodo está en corte.
- ¿Existe algún valor mínimo de la tensión de entrada para que el diodo esté conduciendo?
- Repetir a) cuando el diodo está en conducción.



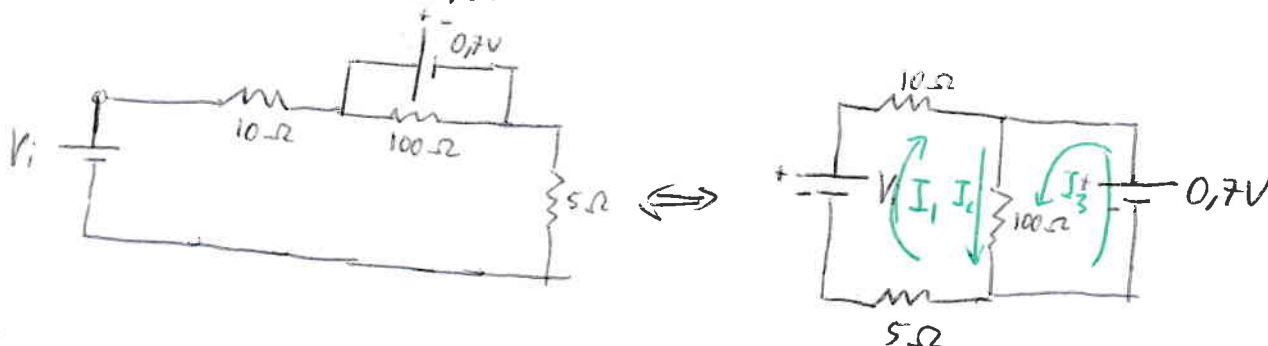
- a) Cuando el diodo está en corte el circuito se puede representar como:



Donde se nos pide la caída de potencial de la resistencia de 5Ω .

$$V_o = I \cdot 5\Omega = \frac{V_i}{R_T} \cdot 5\Omega = \frac{V_i}{115\Omega} \cdot 5\Omega = \frac{V_i}{23}$$

- b) Si sustituimos el diodo por una fuente de $0,7V$ y analizamos el sentido de la corriente podremos ver para que valores de V_{in} el diodo conduce o está en corte.



Resolviendo por Kirchhoff:

$$\begin{cases} I_1 + I_3 = I_2 \\ 10 I_1 + 100 I_2 + 15 I_3 = V_i \\ 0,7 - 100 I_2 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = \frac{V_i - 0,7}{15} \\ I_2 = 7 \text{ mA} \\ I_3 = 53,6 \text{ mA} - \frac{V_i}{15 \Omega} \end{cases}$$

Por tanto $I_3 > 0 \Leftrightarrow V_i < 0,805 \text{ V} \Leftrightarrow$ El diodo está en corte

El valor mínimo de V_i tal que el diodo está en conducción es cuando $V_i = 0,805 \text{ V}$.

Si $V_i \geq 0,805 \text{ V} \Rightarrow$ El diodo está en conducción

Si $V_i < 0,805 \text{ V} \Rightarrow$ El diodo está en corte.

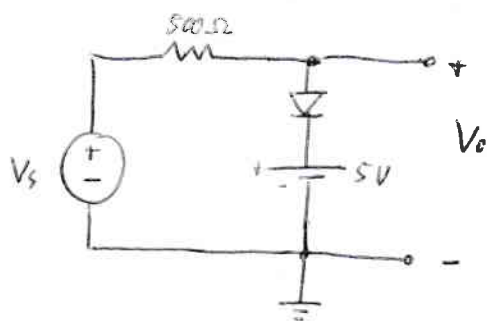
c) En el caso en el que el diodo está en conducción ($V_i \geq 0,805 \text{ V}$)

$$V_0 = 5 \Omega \cdot I_1 = \frac{V_i - 0,7}{15} \cdot 5 = \frac{V_i - 0,7}{3}$$

En resumen
$$V_0 = \begin{cases} \frac{V_i}{23} & \text{si } V_i < 0,805 \\ \frac{V_i - 0,7}{3} & \text{si } V_i \geq 0,805 \end{cases}$$

Ejercicio 14.- Considera el circuito donde el diodo es de silicio con $V_f = 0,7 \text{ V}$.

- Calcula la corriente que atraviesa el diodo si la fuente suministra una tensión de 10 V .
- Si la fuente suministra una tensión sinusoidal de periodo T y amplitud 10 , determina los valores de V_i para los que el diodo está en corte y saturación.
- Representación.



- a) Si: $V_s = 10V \Rightarrow 10V - 5V = V_{in} > V_g = 0,7V$ por tanto el diodo está en conducción y tiene una caída de potencial de V_g .

Así $V_o = V_g + 5V = 5,7V$ y la corriente que atraviesa el diodo es $I =$ (Misma intensidad que atraviesa la resistencia) y se puede calcular como $I = \frac{V_R}{R} = \frac{V_s - V_g - 5V}{500\Omega} = 8,6mA$.

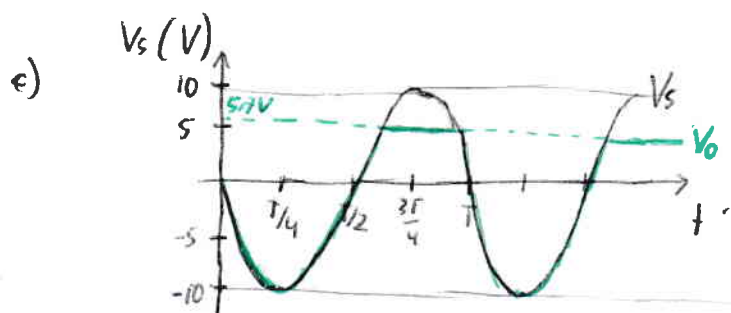
- b) Sabemos que el diodo está en corte $\Leftrightarrow V_{in} < V_g \Leftrightarrow V_s - 5V < 0,7V \Leftrightarrow V_s < 5,7V$

Por tanto, si $V_s < 5,7V \Rightarrow$ El diodo está en corte

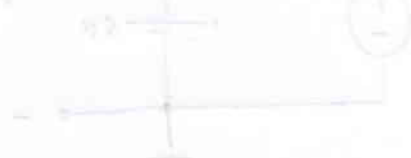
si $V_s \geq 5,7V \Rightarrow$ El diodo está en conducción.

También se tiene que

$$V_o = \begin{cases} V_s & \text{si } V_s < 5,7V \\ 5,7V & \text{si } V_s \geq 5,7V \end{cases}$$



Cuestión 3.- Explicar la barrera de potencial de un diodo en equilibrio y las partículas responsables de su existencia. Discutir los efectos de la polarización directa e inversa en dicha barrera.

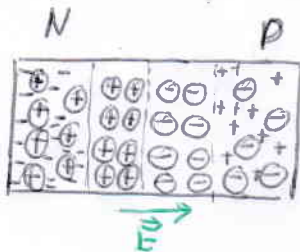


Cuando se ponen en contacto un semiconductor dopado tipo N, al que se le han añadido impurezas donoras y tiene un exceso de electrones, con un semiconductor dopado tipo P, al que se le han añadido impurezas aceptores y ~~tiene un~~ exceso de huecos, se produce un proceso de difusión. Los huecos cercanos a la unión que inicialmente se encuentran mayoritariamente en el semiconductor de tipo P tienden a irse a la banda de valencia del semiconductor de tipo N. Análogamente los electrones que en un principio se encuentran en la zona N tienden a irse a la banda de conducción del semiconductor de tipo P.

Al recombinarse dejan desnuda la zona de la unión y dejan sin compensar impurezas aceptores cargadas negativamente (región P) e impurezas donadoras cargadas positivamente (región N).

Entonces se crea un campo eléctrico que se opone a la difusión que se estaba produciendo hasta que se llega a un equilibrio.

La barrera de potencial es el potencial que hay que aplicar a las



cargas para vencer el campo que impide la difusión. Si se polariza el diodo en directa, podemos romper esa barrera de potencial y un gran

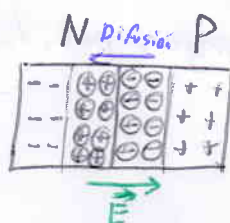
cantidad de electrones podrán pasar a la zona P y huecos a la zona N. Es entonces cuando habrá corriente eléctrica. Por tanto, la barrera de potencial disminuye cuando conectamos el diodo en polarización directa.

Si conectamos el diodo en inversa (aplicar un potencial mayor en la zona N que en la zona P), los electrones de la zona N se separan de la zona de la unión y se van hacia el potencial mayor.

Análogamente los huecos de la zona P se alejarán de la zona de unión y se irán a donde se está aplicando el menor voltaje. Por tanto, la barrera de potencial aumenta, ya que el proceso de difusión de electrones y huecos es en esta situación más complicado.

Cuestión 4.- Indica y justifica en qué sentido están dirigidas las corrientes de difusión y arrastre asociadas a electrones y huecos en un diodo en equilibrio, polarización directa e inversa. Indica y justifica el sentido de la corriente neta del diodo en cada caso.

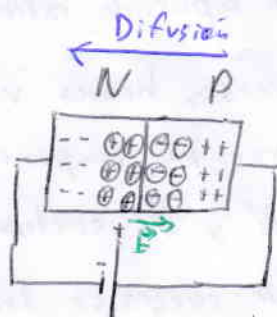
Equilibrio



La corriente de difusión de electrones y huecos en este esquema es hacia la izquierda ya que los huecos (+) tienden a "expandirse" hacia donde hay menos concentración (la izquierda) y los electrones (-) hacia la derecha.

La corriente de arrastre creada por el campo eléctrico formado tras los procesos de recombinación de electrones y huecos tiene sentido hacia la derecha. En situación de equilibrio, ambas corrientes tienen igual módulo y sentidos opuestos y la corriente neta es cero.

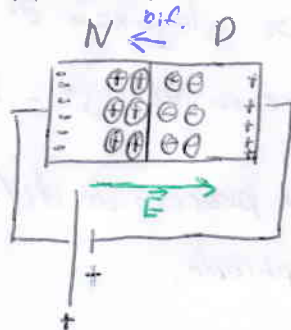
Polarización directa



Al aplicarle un potencial positivo a la región P y uno negativo a la región N, los huecos de la región P tienden a irse con más intensidad a la región N y los electrones a la región P y si la diferencia de potencial es suficiente, superan la barrera de potencial y la corriente neta hacia la izquierda.

Los sentidos de la corriente de difusión y de arrastre son los mismos pero ahora el módulo de la corriente de difusión es mucho mayor que la de arrastre y la corriente neta es hacia la izquierda.

Polarización inversa.



En este caso se le aplica un potencial positivo a la región N (por lo que los electrones se alejan de la zona de contacto descubriendo un mayor número de impurezas cargadas positivamente). y un potencial

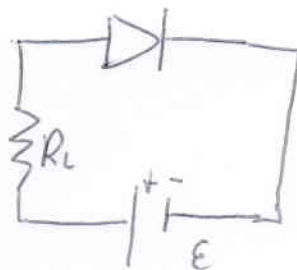
negativo a la región P (los huecos se alejan de la zona de contacto y descubren impurezas cargadas positivamente). Por tanto, la intensidad del campo E es mayor y la corriente de arrastre que impide la difusión aumenta. En este caso la corriente neta va hacia la derecha pero no se produce un flujo de cargas ya que las cargas positivas están ya a la derecha y las negativas a la izquierda.

Pregunta 5: Explica por qué en polarización inversa la corriente es aprox. nula mientras que en directa puede ser muy elevada.

Recurriendo a lo ya explicado en el ejercicio anterior, en el caso de polarización directa, la corriente de difusión es mucho mayor que la de arrastre y todas las impurezas que se habían introducido han aportado portadores que se mueven en el sentido de la corriente. Además, ese número de portadores es exponencial con el voltaje, por lo que la corriente es exponencial respecto al voltaje aplicado externamente.

En cambio, en polarización inversa, hemos visto que la barrera de potencial aumenta y el campo que generan las impurezas deslapadas impide el paso de huecos de la zona P a la zona N y de electrones de la zona N a la zona P. Este impedimento en el flujo de cargas se traduce en que no se observa corriente eléctrica pues los portadores no tienen energía suficiente para saltar la barrera de potencial.

Cuestión 6.- Dado el circuito razonar los cambios de tensión y corriente de diodo cuando:



a) Se baja la temperatura del diodo

Como $I \propto e^{\frac{qV}{nkt}} - 1$ si baja la

temperatura entonces aumenta la intensidad exponencialmente y el voltaje también aumenta

b) Se baja la temperatura de la resistencia de carga (metálica).

Aumenta la corriente porque la resistividad es proporcional a la temperatura. Como disminuye la temperatura disminuye la resistividad y aumenta la intensidad que la atraviesa.

c) Se baja la temperatura de la resistencia de carga (semiconductor).

Disminuye la corriente porque disminuye el número de portadores.

d) Se cambia R_L por una de menos valor.

El voltaje se mantiene constante y la corriente aumenta.

e) Aumenta el valor de la fem de la fuente de tensión.

La tensión se mantiene constante y la corriente aumenta.

f) Se invierte la polaridad de la pila.

La corriente es 0 y el voltaje es E

g) Se invierte el sentido de conexión del diodo

La corriente es 0 y el voltaje es E.