

TEMA 4 - DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

Modelos atómicos

- Dalton
- Thomson
- Rutherford
- Bohr

Tipos de materiales

- Aislantes (Iónicos)
- Conductores (Metálicos)
- Semiconductores (Covalentes)
 - Se comportan como conductores al aumentar T

Distancia Banda valencia-Banda conducción

- Aislantes: Grande
- Conductores: Nula, mezcladas
- Semiconductores: Separación normal

↳ Nos proporciona información sobre la energía necesaria para que los electrones pasen

$$\text{Conductividad} = qn\mu_n + qp\mu_p$$

$n \equiv$ concentración de electrones $p \equiv$ densidad de huecos

μ_n y $\mu_p \equiv$ movilidad de electrones y huecos

Para aumentar la conductividad se puede alterar la estructura del cristal (aumentar el nº huecos en banda valencia o aumentar el nº electrones banda conducción).

DOPADO

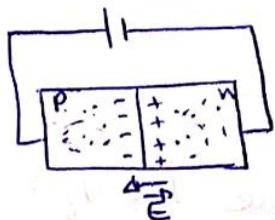
Tipos de semiconductores

- Intrínsecos: Su estructura no ha sufrido cambios.
- Extrínsecos (dopados): Sí han sufrido cambios. Hay 2 tipos:
 - Tipo P (impurezas aceptadoras, materiales de la columna III) \rightarrow Muchos huecos
 - Tipo N (con impurezas donadoras, materiales de la columna V) \rightarrow Muchos electrones

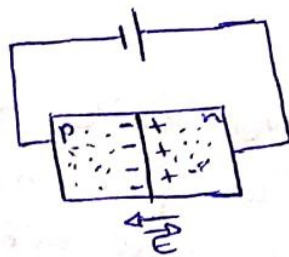
Unión PN \rightarrow Semiconductor P + Semiconductor N

Da lugar a diodos. En esta unión, electrones de la zona N pasan a ocupar huecos de la zona P hasta que se llega a una situación de equilibrio en la que cerca de la unión aparece una región de iones positivos (N) y otra de iones negativos (P), creándose así un campo eléctrico (el cual mantiene el equilibrio). Para que la unión PN nos sirva, podemos someterla a una polarización:

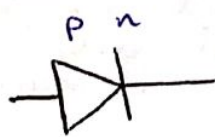
Polarización directa \Rightarrow Disminuye o anula \vec{E}



Polarización inversa \Rightarrow Aumenta \vec{E}



El Diodo



$$I_d = I_s \left(e^{\frac{qV_d}{k_B T}} - 1 \right)$$

Relación
voltaje/intensidad

$I_d \equiv$ intensidad que atraviesa el diodo

$I_s \equiv$ corriente inversa de saturación

$q \equiv$ carga del electrón

$V_d \equiv$ ddp entre los extremos del diodo

$k_B \equiv$ constante de Boltzmann

$T \equiv$ temperatura

Esa ecuación da problemas, por lo que usaremos aproximaciones:

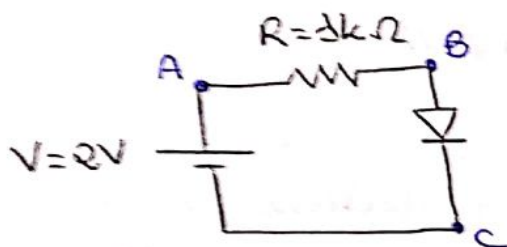
$V_f \equiv$ tensión a partir de la cual el diodo conduce

Modelo 1 $\begin{cases} V_f < 0 \Rightarrow \text{El diodo se comporta como un circuito abierto} \\ V_f > 0 \Rightarrow \text{El diodo se comporta como una fuente de tensión.} \end{cases}$

Modelo 2 $\begin{cases} V_f < 0 \Rightarrow \text{Igual que modelo 1} \\ V_f > 0 \Rightarrow \text{El diodo se comporta como una fuente de tensión en serie con una resistencia (fuente real)} \end{cases}$

$$\frac{dV}{dI} = r_d$$

Ejemplo Resolución Ejercicio



$$V_f = 0.7V$$

$$r_d = 0.3k\Omega$$

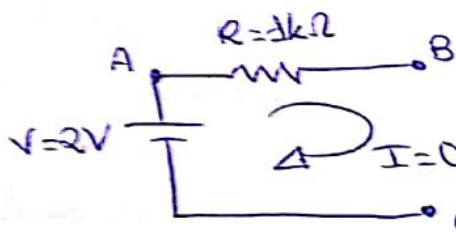
Hay que usar el modelo 2:

Usamos mallas:

$$V = V_R + V_d$$

$$V_A - V_C = (V_A - V_B) + (V_B - V_C)$$

Hacemos una suposición sobre el diodo. Al final veremos si la suposición es correcta. Supongamos que no conduce:



$I = 0A$ porque la malla está abierta $\Rightarrow V_R = I \cdot R = 0V$

$$V_A - V_B = 0V$$

$$\Rightarrow V_A = V_B$$

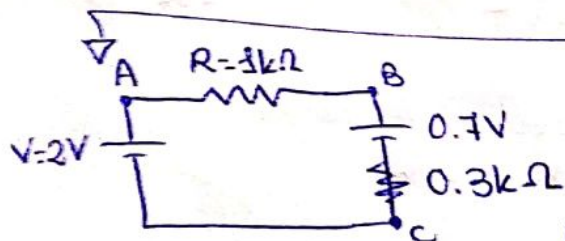
$$V_D = V_B - V_C$$

$$\Rightarrow V_D = V_B - V_C = V_A - V_C = 2V$$

Compruebo la suposición:

Si el diodo está OFF es porque $V_D < V_f$:

$V_D = 2V < V_f = 0.7V \Rightarrow$ Suposición incorrecta, por lo que el diodo sí estaba conduciendo (comprobémoslo)



$$2V - 0.7V = I(3k\Omega + 0.3k\Omega)$$

$$V_D = V_B - V_C = 0.7V + 0.3k\Omega \cdot 1mA = 1V$$

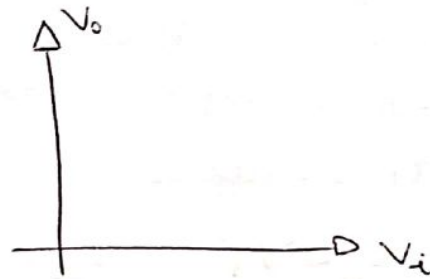
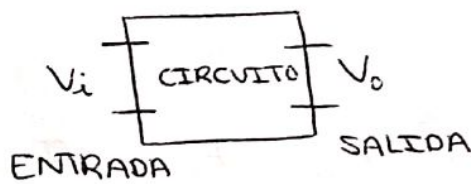
$$I = 1mA$$

Como $V_D = 1V > V_f = 0.7V$, la suposición del conductor era correcta.

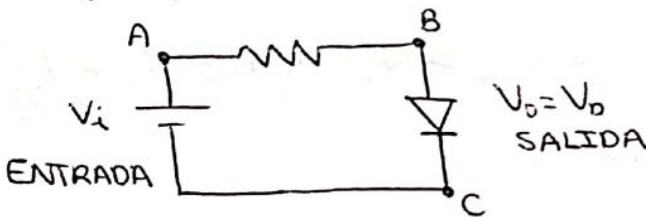
Para eso habría que ver que la intensidad circula desde la zona p hasta la n

Característica de transferencia

Es la representación de la salida de un circuito en función de la entrada.

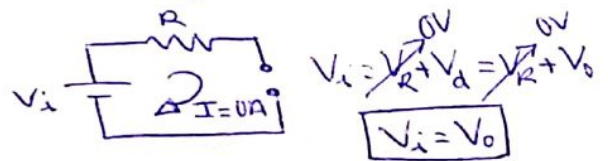


Ejemplo

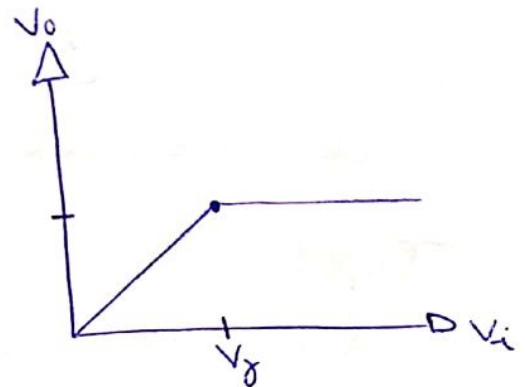
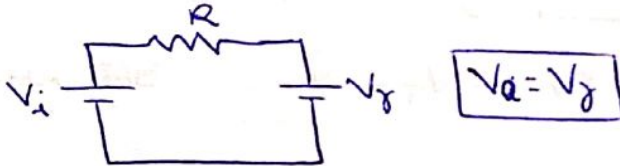


Usando el modelo 1:

Si $V_i < V_g \Rightarrow$ DIODO OFF

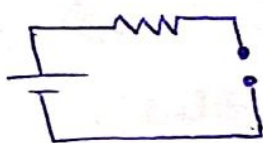


Si $V_i > V_g \Rightarrow$ DIODO ON



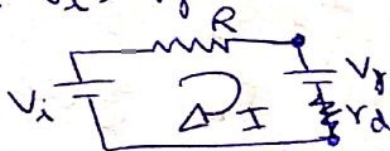
Usando el modelo 2:

Si $V_i < V_g \Rightarrow$ DIODO OFF



$$V_i = V_R + V_d = V_R + 0V \quad \boxed{V_i = V_o}$$

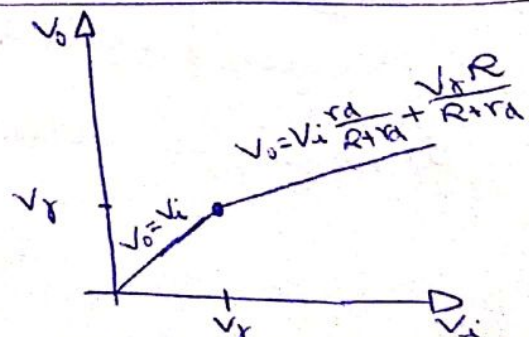
Si $V_i > V_g \Rightarrow$ DIODO ON



$$V_i - V_g = I(R + r_d) \Rightarrow I = \frac{V_i - V_g}{R + r_d}$$

$$V_o = V_d = V_g + I \cdot r_d = V_g + \frac{V_i \cdot r_d}{R + r_d} - \frac{V_g \cdot r_d}{R + r_d}$$

$$V_o = \frac{V_i \cdot r_d}{R + r_d} + \frac{V_g \cdot R}{R + r_d}$$



Transistor MOSFET

$V_T \equiv$ diferencia de potencial entre la puerta G y la que haya debajo de ella a partir de la cual se crea la capa de electrones

Tiene tres estados:

a) $V_G - V_S < V_T$ ó $V_{GS} < V_T$ ó $V_{GD} < V_T$ CORTE (No conduce)

b) $V_G - V_S = V_{GS} > V_T$ y $V_{GD} > V_T$

Se suele usar que $V_{GS} - V_{DS} > V_T \Rightarrow V_{GS} - V_T > V_{DS}$

LINEAL

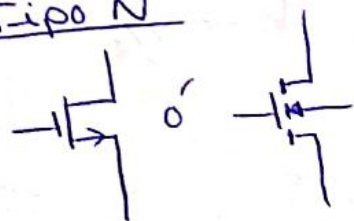
c) La conducción no es tan buena como la región lineal.

$V_G - V_S > V_T$ y $V_G - V_D < V_T$

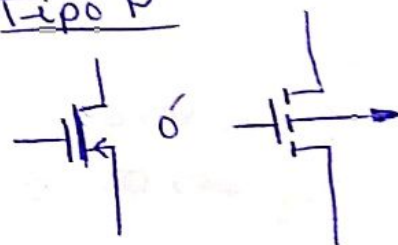
Se suele usar que $V_{GS} - V_T < V_{DS}$ SATURACIÓN

Tipos

Tipo N



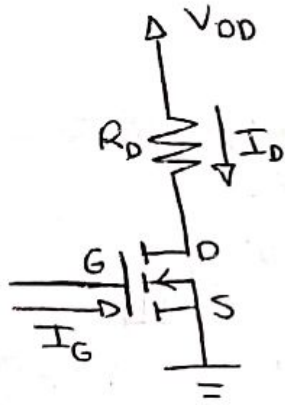
Tipo P



Modos de funcionamiento

- Tipo N**
- 1º) Región de corte $\Rightarrow I_G = 0 \quad I_D = 0$
 - 2º) Región lineal $\Rightarrow I_G = 0 \quad I_D = \frac{k}{2} [2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$
 - 3º) Región de saturación $\Rightarrow I_G = 0 \quad I_D = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2$
- En tipo P, V_T , V_{GS} y V_{DS} en valor absoluto
- 1º) Región de corte $\Rightarrow I_G = 0 \quad I_D = 0$
 - 2º) Región lineal $\Rightarrow I_G = 0 \quad I_D = \frac{k}{2} [2(V_{SG} - |V_T|)V_{SD} - V_{SD}^2]$
 - 3º) Región de saturación $\Rightarrow I_G = 0 \quad I_D = \frac{k}{2} (V_{SG} - |V_T|)^2$

Ejercicio



Datos

$$V_{DD} = 15V$$

$$R_D = 1k\Omega$$

$$V_i = 15V$$

$$V_T = 2V$$

$$k = 40 \cdot 10^{-6} \frac{A}{V^2}$$

Supongo que está en corte:

$$I_D = 0A$$

Compruebo mi suposición:

$$\dot{C} V_{GS} < V_T?$$

$$V_i = V_G \quad V_S = 0V$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 15V$$

$$\dot{C} 15V < 2V? \Rightarrow \text{NO}$$

Suposición incorrecta

Supongo que está en saturación:

$$I_D = \frac{k}{2} (V_{GS} - V_T)^2$$

$$V_{GS} = 15V \Rightarrow I_D = \frac{k}{2} (15V - 2V)^2 = 3.38 \mu A$$

Compruebo suposición:

$$\dot{C} V_{GS} > V_T? \quad \dot{C} V_{DS} > (V_{GS} - V_T)?$$

$$\checkmark$$
$$15V > 2V$$

↗ Necesitamos V_{DS} :

$$V_{DD} - \overset{0V}{V_S} = V_{DD} = R_D I_D + V_{DS}$$

$$V_{DS} = V_{DD} - R_D I_D = 11.62V$$

$$11.62 > 13 \Rightarrow \text{NO}$$

Supongo que está en la región lineal:

$$I_D = \frac{k}{2} [2 \underbrace{(V_{GS} - V_T)}_{15V} V_{DS} - V_{DS}^2] \rightarrow 1 \text{ ecuación}$$

$$V_{DD} - 0V = V_{DD} = R_D I_D + V_D - V_S = R_D I_D + V_{DS}$$

$$15V = 1k\Omega I_D + V_{DS} \rightarrow 2 \text{ ecuación}$$

Resolvemos el sistema y:

$$V_{DS1} = 64.3V \Rightarrow \text{No cumple las condiciones de lineal}$$

$$V_{DS2} = 11.68V \Rightarrow \text{Sí la cumple y es la solución correcta}$$