

Electrónica Fundamental

Práctico 4 Diodos 2

Los ejercicios marcados con ★ son opcionales. Además cada ejercicio puede tener una fecha, que indica en que prueba (examen o parcial) se planteó el ejercicio.

Objetivo: El objetivo general del presente práctico es familiarizar al estudiante el funcionamiento y las particularidades de diodos especiales, especialmente del diodo Zener

Ejercicio 1.

El objetivo de este ejercicio es tener una visión cuantitativa de la cantidad de portadores disponibles en el silicio intrínseco. La concentración de portadores en el Si intrínseco varía con la temperatura según la ecuación siguiente

$$n_i = BT^{3/2}e^{-E_g/(2kT)}$$

Siendo:

- B una constante que depende del material, que para el Si vale $7.3 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3} \text{ K}^{-3/2}$.
- T la temperatura absoluta.
- E_g el ancho de la banda de energía prohibida ("bandgap energy"), que para el silicio vale $1.12 \text{ eV} = 1.12 \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$.
- k es la constante de Boltzmann $1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$.

- (a) Calcular n_i a $-55 \text{ }^\circ\text{C}$, $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y $125 \text{ }^\circ\text{C}$.
- (b) Sabiendo que el cristal de Si tiene aproximadamente $5 \times 10^{22} \text{ átomos/cm}^3$, ¿ qué porcentaje de los átomos han aportado un par electrón hueco a cada una de estas temperaturas ?

Ejercicio 2.

El objetivo de este ejercicio es tener una visión cuantitativa de cuán buen conductor es el Si dopado. Un joven diseñador, buscando desarrollar intuición acerca de las resistencias asociadas a diferentes caminos en un circuito integrado, calculó la resistencia de una barra de $10 \text{ } \mu\text{m}$ de largo, $3 \text{ } \mu\text{m}$ de ancho y $1 \text{ } \mu\text{m}$ de espesor, hecha de varios materiales:

- a) Si intrínseco a $20 \text{ }^\circ\text{C}$.
- b) Si dopado tipo n con $N_D = 5 \times 10^{16} \text{ átomos/cm}^3$.

- c) Si dopado tipo n con $N_D = 5 \times 10^{18}$ átomos/cm³.
- d) Si dopado tipo p con $N_A = 5 \times 10^{16}$ átomos/cm³.
- e) Aluminio con una resistividad de $2.8 \mu\Omega \cdot \text{cm}$.

Calcular la resistencia para cada caso. Para ello puede ser útil recordar que $R = \rho L/S$, y que $\rho = E/J$, siendo E el campo eléctrico y J la densidad de corriente y considerando que la movilidad varía en función del dopaje como se muestra en la tabla siguiente.

Concentración (at/cm ³)	μ_n (cm ² /V.s)	μ_p (cm ² /V.s)
Intrínseco	1350	480
10^{16}	1200	400
10^{18}	380	160

Ejercicio 3.

El objetivo de este ejercicio es estudiar numéricamente las diferentes características de una juntura p-n.

Se tiene una juntura p-n con los siguientes datos: $N_A = 10^{17}$ at/cm³, $N_D = 10^{16}$ at/cm³, $A = 100 \mu\text{m}^2$, $L_p = 5 \mu\text{m}$, $L_n = 10 \mu\text{m}$, $D_p = 10 \text{cm}^2/\text{s}$, $D_n = 18 \text{cm}^2/\text{s}$, $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$.

- (a) Calcule el potencial propio de juntura V_0 .
- (b) Calcule el ancho de la zona de depleción de la juntura en circuito abierto, W , y cuánto se extiende del lado n (x_n) y del lado p (x_p)
- (c) Calcule I_S
- (d) Calcule la corriente para una tensión directa aplicada de 750mV
- (e) Calcule C_{j0} y C_j con una tensión inversa aplicada de 3V considerando $m = 0.5$.

Ejercicio 4.

El objetivo del presente ejercicio es aprender a trabajar con un diodo Zener y con su hoja de datos. Para ello se diseñará una fuente regulada de voltaje de 5.1 V utilizando el circuito de la Figura 4 donde el diodo zener es el 1N4733.

- (a) Calcular R_1 para que exista regulación de tensión desde una corriente de carga $I_L = 0$ hasta el valor máximo posible de I_L ¿Cuál es dicho valor?
- (b) Si R_1 es el valor hallado en la parte anterior y la corriente de carga vale $I_L = 100 \text{ mA}$, calcular los límites entre los cuales puede variar la tensión de la batería sin que el circuito deje de funcionar correctamente.

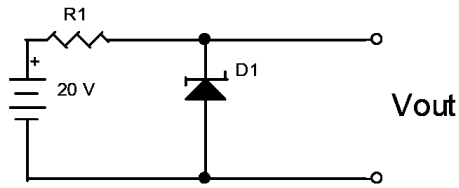


Figura 4:

Ejercicio 5.

El objetivo de este ejercicio es observar como trabaja el diodo Zener en inversa. Para ello considere el circuito de la Figura 5, donde la corriente de saturación del diodo D1 es $1 \mu\text{A}$ y la del D2 es $2 \mu\text{A}$ y las tensiones de ruptura son las mismas para ambos diodos y valen 100 V .

- Calcular la corriente y la tensión en cada diodo si $V_{in} = 90 \text{ V}$ y $V_{in} = 110 \text{ V}$.
- Repetir los cálculos solicitados en la parte anterior si se conecta en paralelo con cada diodo una resistencia de $10 \text{ M}\Omega$.

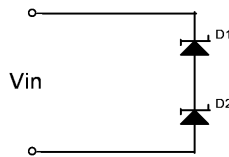


Figura 5:

Ejercicio 6.

Hallar y graficar la función $V_o = f(V_i)$ para el circuito de la Figura 6.1. Suponer para ambos diodos zener la característica de la Figura 6.2.

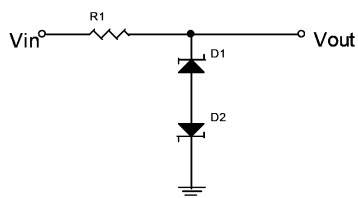


Figura 6.1:

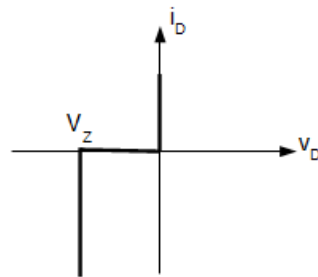


Figura 6.2:

Ejercicio 7.

El objetivo del presente ejercicio es familiarizarse con el diodo Varicap y su hoja de datos. El circuito de la Figura 7 se utiliza para sintonizar el circuito resonante L_1C -D1 a la frecuencia de la portadora de un sistema de comunicaciones que se recibe por V_{in} . La fuente variable V_{cont} (que tiene una resistencia R en serie que puede ser considerada lo suficientemente grande para no influir en las frecuencias de trabajo) se utiliza para controlar la capacidad C_{D1} del varicap D1.

- Establezca la relación que existe entre la frecuencia de resonancia ω_0 y el voltaje V_{cont} .
- Indicar el rango de variación para el caso en que se utilice un varicap MMVL105GT1, $L_1 = 10 \mu\text{H}$, $C = 1 \text{ nF}$ y V_{cont} pueda variar entre 1 V y 10 V.

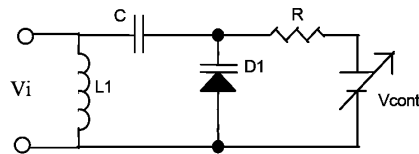


Figura 7:

Ejercicio 8. ★

Se desea construir un codificador angular. Para ello se dispone de un LED (HLMP-8103) y un fotodiodo con amplificador incluido (OPT101), el cual se realimenta con $R_f = 100 \text{ k}\Omega$ (R_f según hoja de datos del OPT101).

- Determinar el valor de R si se desea que a la salida del receptor se obtenga una señal de 10V de amplitud estando el LED y el fotodetector enfrentados y separados entre sí una distancia de 14 mm.
- Si ahora el eje del LED forma un ángulo $\theta_y = 50^\circ$ (θ_y según hoja de datos del OPT101), con la normal al plano del fotodetector: ¿Cuál es la amplitud a la salida del fotodetector?

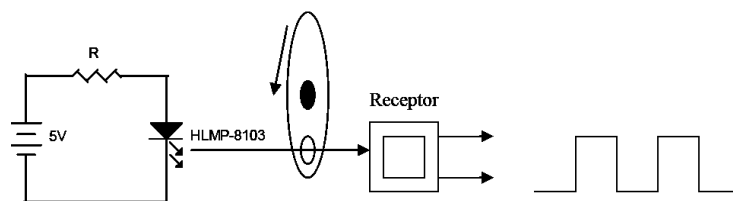


Figura 8:

Ejercicio 9.

El objetivo del presente ejercicio es aprender a trabajar con los diodos Led y con su hoja de datos. Para ello se diseñará una lámpara utilizando el circuito de la Figura 9 donde el modelo de diodo led usado es el XMLAWT-00-0000-000LT20E7.

- (a) Calcular R para que la corriente por los diodos sea 1500 mA .

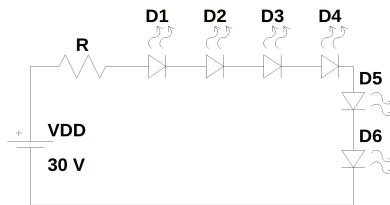


Figura 9:

Lista de ejercicios de parciales y exámenes de años anteriores recomendados para preparar parciales y/o exámenes. Los mismos abarcan los temas de los prácticos 1 al 4:

- Primer parcial de 2004: Problemas 1 y 3.
- Primer parcial de 2003: Problema 1.
- Primer parcial de 2000: Problema 2. Para este ejercicio pueden necesitarse conceptos del tema de transistores que aún no se han manejado. Por favor, rever este ejercicio cuando se hayan dictado esos temas)

Solución

Ejercicio 1

(a) Evaluando $n_i = BT^{3/2}e^{-E_g/(2kT)}$ para los diferentes valores de T en K $n_i = 2.73 \times 10^6$ portadores/cm³, 8.71×10^9 portadores/cm³ y 4.77×10^{12} portadores/cm³

(b) $0.55 \times 10^{-14} \%$, $1.75 \times 10^{-11} \%$, $0.95 \times 10^{-8} \%$

Ejercicio 2

Calculando ρ para cada caso ($\rho = 1/q \cdot (\mu_n \cdot n + \mu_p \cdot p)$) se calcula R usando $R = \rho L/S$ donde $S = A \cdot E$

a) $13 \text{ G}\Omega$

b) $3.5 \text{ k}\Omega$

c) $110 \text{ }\Omega$

d) $10.4 \text{ k}\Omega$

e) $0.09 \text{ }\Omega$

Ejercicio 3

(a) $V_0 = V_T \ln(N_A \cdot N_D / n_i^2) = 0.76 \text{ V}$

(b) $W_{depl} = \sqrt{\frac{2 \cdot \epsilon \cdot V_0 \cdot (N_A + N_D)}{q \cdot N_A \cdot N_D}} = 33 \text{ }\mu\text{m}$

(c) $I_S = A \cdot q \cdot n_i^2 \cdot \left(\frac{D_p}{L_p \cdot N_D} + \frac{D_n}{L_n \cdot N_A} \right) = 7.8 \times 10^{-17} \text{ A}$

(d) $I_D = I_S \cdot e^{V_D/V_T} = 228 \text{ }\mu\text{A}$

(e) $C_{j0} = A \cdot \sqrt{\frac{\epsilon \cdot q}{2 \cdot V_0} \cdot \frac{N_A \cdot N_D}{N_A + N_D}} = 3.15 \times 10^{-14} \text{ F}$, $C_j = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 + V_R/V_0}} = 1.42 \times 10^{-14} \text{ F}$

Ejercicio 4

(a) $R_1 = 83.4 \text{ }\Omega$ e $I_{Lmax} = 129.6 \text{ mA}$.

(b) $V_{max} = 27.3 \text{ V}$ (determinado por I_{Zmax}) y $V_{min} = 17 \text{ V}$ (determinado por I_{Zmin}).

Ejercicio 5

(a)

$V_{in} = 90 \text{ V} \Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = 1 \text{ }\mu\text{A}$, $V_{D2} = -18 \text{ mV}$ y $V_{D1} = -89.982 \text{ V}$.

$V_{in} = 110 \text{ V} \Rightarrow I_{D1} = I_{D2} = 2 \text{ }\mu\text{A}$, $V_{D2} = -10 \text{ V}$ y $V_{D1} = -100 \text{ V}$.

(b)

$$V_{in} = 90 \text{ V} \Rightarrow I_{D1} = 1 \mu\text{A}, I_{D2} = 2 \mu\text{A}, V_{D2} = -40 \text{ V y } V_{D1} = -50 \text{ V.}$$

$$V_{in} = 110 \text{ V} \Rightarrow I_{D1} = 1 \mu\text{A}, I_{D2} = 2 \mu\text{A}, V_{D2} = -50 \text{ V y } V_{D1} = -60 \text{ V.}$$

Observar como en este caso agregar R permite que cada diodo pueda trabajar en inversa, de modo que uno de ellos no le impone al otro la región de trabajo (como sucedía en la parte anterior donde un diodo terminaba trabajando en la zona de ruptura).

Ejercicio 6

El circuito es un limitador, que limita la tensión a la salida a V_Z o $-V_Z$ dependiendo si la entrada es respectivamente mayor que V_Z o menor que $-V_Z$. Entre $-V_Z$ y V_Z la salida copia la entrada.

Ejercicio 7

(a) La frecuencia de resonancia es: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC_{serie}}}$ donde C_{serie} es la serie de C y C_{D1} con $C_{D1} = \frac{C_{j0}}{\sqrt{1 + \frac{V_{cont}}{V_0}}}$.

Observar que R en continua no afecta la carga de C_{D1} y por letra es lo suficientemente grande para no influir en señal.

(b) En la hoja de datos se obtienen los valores de las capacidades C_{D1} , mirando la gráfica de capacidad del diodo (C_T) contra el voltaje en inversa V_R . Luego, con el resultado de la parte anterior se obtiene la frecuencia de resonancia.

- $V_{cont} = 1 \text{ V} \Rightarrow C_{D1} = 15.5 \text{ pF} \Rightarrow f_{ResMIN} = 12.8 \text{ MHz.}$

- $V_{cont} = 10 \text{ V} \Rightarrow C_{D1} = 5 \text{ pF} \Rightarrow f_{ResMAX} = 22.5 \text{ MHz.}$

Ejercicio 8

(a) $R = 3.9 \text{ k}\Omega$.

(b) $V_{out} = 7 \text{ V}$.

Ejercicio 9

(a) La tensión en directo @ 1500 mA es $V_\gamma = 3.1 \text{ V} \Rightarrow R = \frac{V_{DD} - 6 \cdot V_\gamma}{1500 \text{ mA}} = 11.4 \Omega$.