

*Ejercicios relativos al
diodo de unión pn*

1. Una unión pn abrupta de germanio tiene las siguientes concentraciones de impurezas:

$$N_A = 5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3} \quad N_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$\epsilon_r = 16.3 \quad \epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} \quad \epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$$

$$n_i^2 = 6 \cdot 10^{26} \text{ cm}^{-6}$$

- a) Calcular el potencial de contacto a $T = 300 \text{ K}$. **Resultado: $\Phi_T = 0.226 \text{ V}$.**
- b) Calcular el campo eléctrico máximo en la zona de carga de espacio y la anchura de dicha capa para $V = 0 \text{ V}$ y para $V = -20 \text{ V}$.

Resultado: $V = 0 \text{ V} \quad l = 0.933 \text{ } \mu\text{m} \quad |E_{\text{max}}| = 0.4845 \text{ V}/\mu\text{m}$

$V = -20 \text{ V} \quad l = 8.75 \text{ } \mu\text{m} \quad |E_{\text{max}}| = 4.6231 \text{ V}/\mu\text{m}$

2. Calcular la corriente que circula por el diodo para los siguientes valores de tensión:

$$V = 0.2 \text{ V} \quad V = 0.4 \text{ V} \quad V = 0.6 \text{ V}$$

$$V = 0.7 \text{ V} \quad V = -0.5 \text{ V} \quad V = -10 \text{ V}$$

Datos:

$$N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3} \quad N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3} \quad n_i = 1.5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3} \quad A = 0.5 \text{ cm}^2$$

$$D_p = 15 \text{ cm}^2/\text{seg} \quad D_n = 6 \text{ cm}^2/\text{seg} \quad \tau_p = 50 \text{ } \mu\text{seg} \quad \tau_n = 0.5 \text{ mseg}$$

$$\epsilon_{rSi} = 11.8; (\epsilon_{rSi} = \epsilon_{rSi} * \epsilon_0 = 104 \text{ pF/m} = 1.04 \text{ pF/cm})$$

Resultado:

V (Volt)	0.2	0.4	0.6	0.7	-0.5	-10
I (A)	$2.9 \cdot 10^{-7}$	$8.75 \cdot 10^{-4}$	2.6	142.5	$-9.86 \cdot 10^{-11}$	$-9.86 \cdot 10^{-11}$

3. Dibujar los perfiles de los portadores minoritarios a lo largo de las regiones neutras del diodo, así como los perfiles de la densidad de corriente en el caso en que:

$$N_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3} \quad L_n = 17.3 \text{ } \mu\text{m} \quad w_{\text{ánodo}} = 5 \text{ } \mu\text{m}$$

$$N_D = 10^{14} \text{ cm}^{-3} \quad L_p = 274 \text{ } \mu\text{m} \quad w_{\text{cátodo}} = 800 \text{ } \mu\text{m}$$

Suponer polarización directa.

4. Un diodo de unión pn, constituido por ánodo y cátodo cortos, se ilumina homogéneamente en todo su volumen con una radiación que produce G_L pares/cm³·s. Se puede suponer que la recombinación en volumen es cero y que sin iluminación se verifica la ecuación de Shockley.

Calcular:

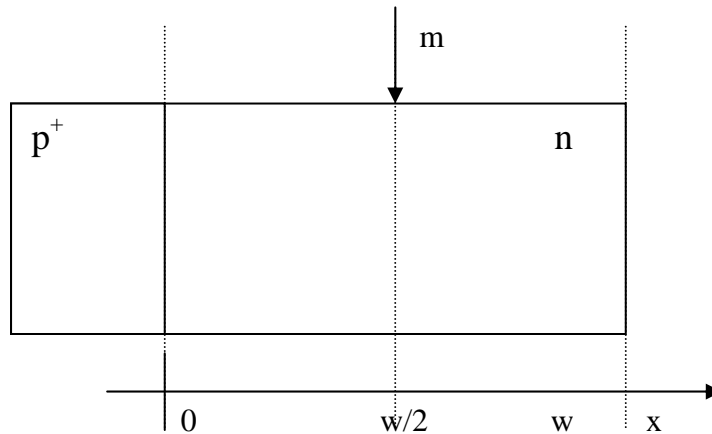
- a) En cortocircuito:
 1. Perfil de minoritarios.
 2. Recombinación total.
 3. Generación total.
 4. Corriente total que atraviesa el circuito exterior (corriente de cortocircuito, I_{sc}).
- b) Aplicando una tensión V y manteniendo la iluminación:
 5. Perfil de minoritarios.
 6. Característica tensión – corriente – iluminación.
- c) Dejando el diodo en circuito abierto:
 7. Tensión de circuito abierto y su polaridad (V_{oc})
- d) A continuación se coloca una resistencia entre las bornas del diodo. Calcular su valor si el módulo de la corriente que circula por el circuito es $I_{sc}/2$.

5. Un diodo ideal de unión abrupta unidimensional, que no tiene generación ni recombinación resultante en la zona de carga de espacio, tiene los siguientes parámetros:

$$\begin{array}{lll} \underline{\text{ÁNODO}}: N_A = 6.25 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3} & D_n = 50 \text{ cm}^2/\text{s} & \tau_n = 2 \text{ } \mu\text{s} \\ \underline{\text{CÁTOD}}: N_D = 6.25 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3} & D_p = 50 \text{ cm}^2/\text{s} & \tau_p = 2 \text{ } \mu\text{s} \\ n_i = 2.5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3} & & \end{array}$$

- a) Aproximadamente, ¿qué fracción de la corriente que atraviesa la zona de carga de espacio se debe a los electrones?. **Resultado= 1/11**
- b) ¿Cuál es la corriente de saturación de este diodo si el área de la sección recta es de 10^{-2} cm^2 ?. **Resultado: $I_{SAT} = 0.88 \text{ } \mu\text{A}$.**

6. Una unión pn, como la representada en la figura, es iluminada por un estrecho haz de luz que produce una generación en régimen permanente de $m = 1.25 \cdot 10^{16}$ e-h/cm²·s, uniforme en todos los puntos de la superficie transversal situada a la distancia $w/2$ de la unión. Suponiendo que la recombinación de portadores en el volumen del semiconductor es despreciable, se pide:



DATOS:

$$N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3} \quad \tau_p = 15 \text{ } \mu\text{s} \quad L_p = 200 \text{ } \mu\text{m} \quad w = 100 \text{ } \mu\text{m}$$

$$n_i = 1.5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

- Con la unión en cortocircuito, dibujar el perfil de minoritarios y calcular el exceso de portadores en la sección iluminada.
- En las condiciones del apartado a), calcular la corriente de cortocircuito (valor y sentido de la misma).
- Calcular la corriente de recombinación en la zona neutra n, y comprobar que se cumple la hipótesis de recombinación despreciable admitida originalmente.
- Suponiendo que el haz luminoso se desplaza para iluminar la sección correspondiente a la zona de carga de espacio, calcular y dibujar el nuevo perfil de minoritarios así como la nueva corriente de cortocircuito.
- En las condiciones de iluminación del apartado d), ¿qué tensión externa V es necesario aplicar para que la corriente total sea cero?

7. Resolución exacta de circuitos con diodos

- a) En el circuito de la figura 1, calcular la tensión y corriente por el diodo si su $I_{SAT} = 0.1 \mu A$.

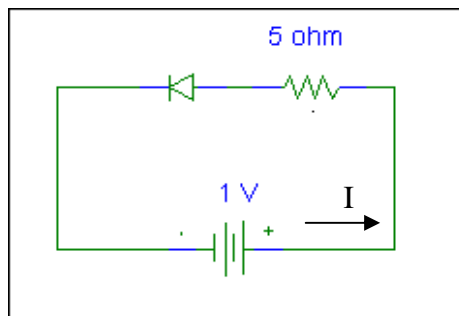


Figura 1

- b) Repetir el problema si, en lugar del dato I_{sat} , nos proporcionan la característica I-V (Figura 2).

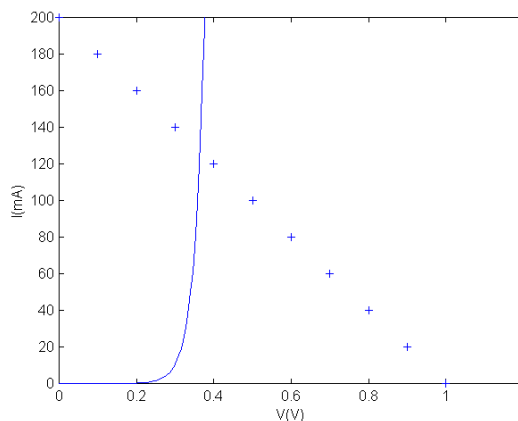


Figura 2

- c) Calcular la corriente que recorre el circuito de la figura 3, donde $I_{SAT1} = 10 \mu A$ e $I_{SAT2} = 20 \mu A$. ¿Qué ocurriría si, en dicho circuito, conectamos los dos diodos en oposición (ánodo con ánodo)?.

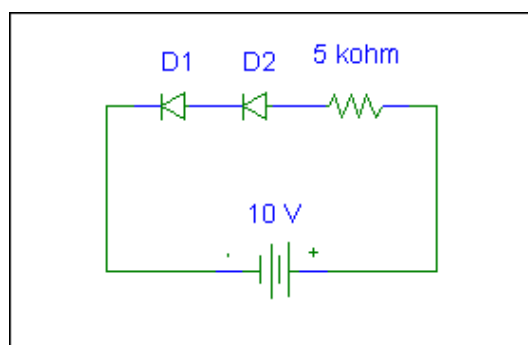
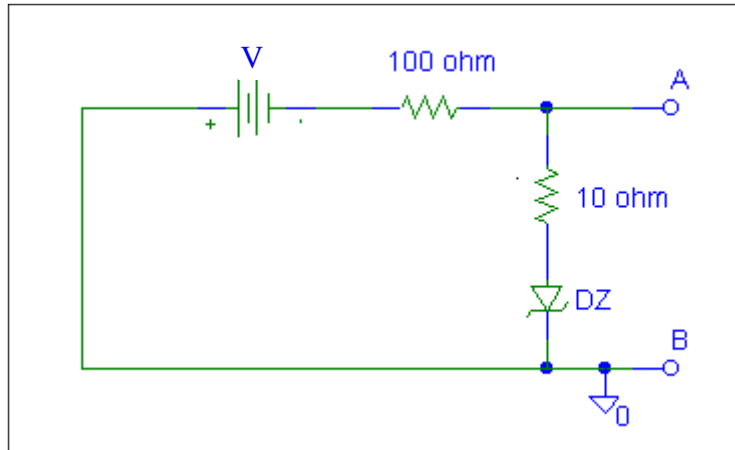
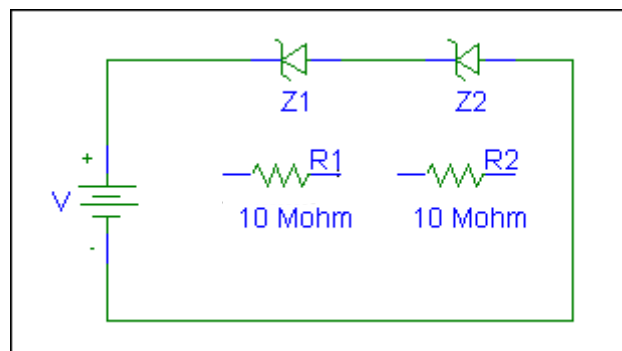


Figura 3

8. Calcular la tensión en el punto A del circuito para diversas tensiones V de la batería, comprendidas entre 0V y 24V, si la disrupción del diodo es a 8V.

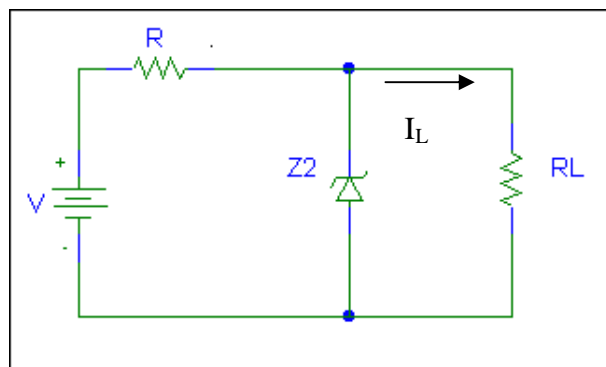


9. Las corrientes de saturación de los dos diodos son de $1\mu\text{A}$ y $2\mu\text{A}$. Las tensiones de ruptura son las mismas y valen 100V.
- Calcular la corriente y la tensión en cada diodo si $V = 90\text{V}$ y $V = 110\text{V}$.
 - Repetir la parte a) si se conecta en paralelo con cada diodo una resistencia de 10 Mohm.



10. Un diodo de avalancha regula a 50V un margen de corriente por el diodo de 5mA a 40mA. La tensión de alimentación es $V = 200V$.

- Calcular R para que exista regulación de tensión desde una corriente de carga $I_L = 0$ hasta I_{max} , y el valor máximo posible de I_L . ¿Cuánto vale I_{max} ?
- Si R es la calculada en la parte a) y la corriente en la carga es $I_L = 25mA$, ¿Cuáles son los límites entre los cuales puede variar V sin que el circuito deje de regular?

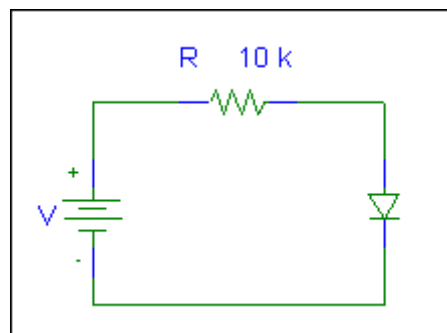


11. En el circuito de la figura, calcular la corriente que circula por el diodo:

- Si la tensión de alimentación es $V = 10V$
- Si la tensión de alimentación es $V = 1V$

Utilizar, en cada caso los siguientes tres modelos: 1.- Diodo ideal, 2.- Modelo de tensión constante, 3.- Modelo de Batería + Resistencia

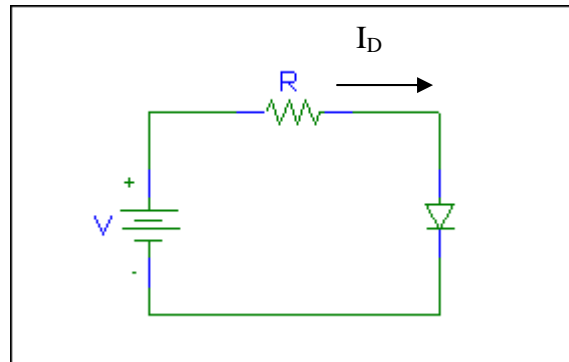
(Datos: tensión umbral = $V_\gamma = 0.5V$; Resistencia –modelo en directa- $R_f = 200 \Omega$)



12. En el circuito de la figura, calcular I_D :

$$V = 15 \text{ V}; I_{\text{sat}} = 100 \text{ nA}; R = 100 \text{ } \Omega.$$

(Al no proporcionarnos $R_{\text{zonas neutras}}$, la consideraremos despreciable).



13. En ocasiones, es más conveniente (o cómodo) modelar la curva característica del diodo real mediante modelos más apropiados que $I = I_0 * [\exp(V/V_T)-1]$.

- Si ese modelo fuese $I = I_0 * [\exp(V/mV_T)-1]$, calcular m e I_0 .
- Calcular los parámetros V_γ y R_f que se utilizarían en el modelo lineal

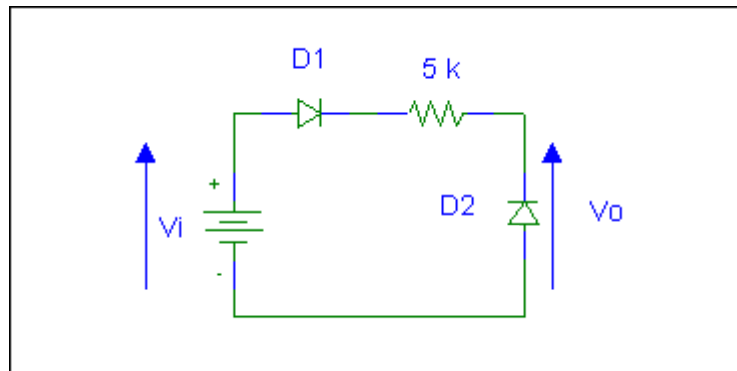
DATOS: $I_1 = 0.25 \text{ mA}$ $V_1 = 0.6 \text{ V}$

$$I_2 = 100 \text{ mA} \quad V_2 = 0.85 \text{ V}$$

$$KT/q = V_T = 25 \text{ mV}$$

14. Los dos diodos representados en el circuito de la figura son idénticos, salvo que el diodo **D1** tiene un área de sección transversal doble que la del diodo **D2**. Además, en el **D2** la superficie $x = w_c/2$ se encuentra iluminada por un estrecho haz de luz que produce, en régimen estacionario, una generación de $m = 2 \cdot 10^{16} e^{-h^+}/\text{cm}^2 \cdot \text{s}$, uniforme en todos los puntos de dicha sección transversal. Se pide:

- Característica de transferencia si v_i varía linealmente entre 15V y 30V.
- Caída de tensión en los dos diodos.
- Perfil de los excesos de portadores en los dos diodos para $v_i = 20\text{V}$.



DATOS:

$$q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

$$n_i = 1.5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$A_1 = 0.1 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = A_1/2 \quad \tau_p = 15 \mu\text{s}$$

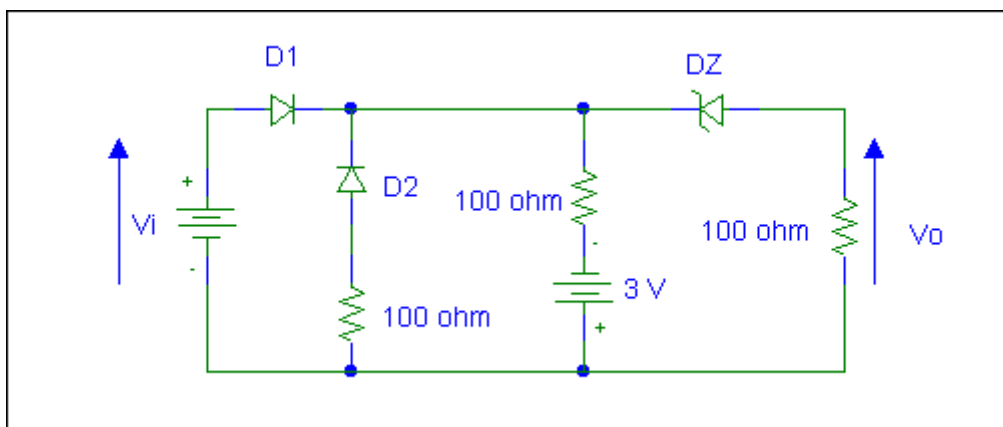
$$N_A \gg N_D$$

$$L_p = 200 \mu\text{m}$$

$$N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$w_c = 100 \mu\text{m}$$

- 15.** En el circuito de la figura, se supone que los diodos son ideales y que la disrupción del Zener se produce a 8V. Obtener la curva de transferencia.



16. Un diodo de unión pn y Área = 10^{-4} cm^2 está caracterizado por:

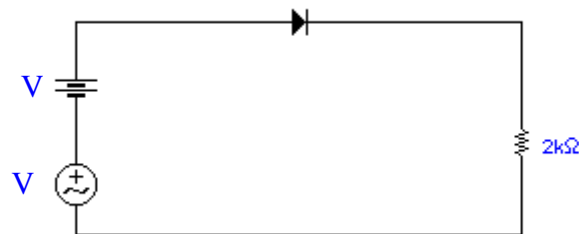
	<u>Cátodo</u>	<u>Ánodo</u>
Concentración de impurezas:	$N_D = 10^{19} \text{ cm}^{-3}$	$N_A = 2 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$
Longitud de la zona neutra	$w_n = 50 \text{ } \mu\text{m}$	$w_p = 20 \text{ } \mu\text{m} \ll L_n$
Resistividad de la zona neutra	$\rho_n = 10^{-2} \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$	$\rho_p = 50 \text{ } \Omega \cdot \text{cm}$
	$\mu_n = 1400 \text{ cm}^2/(\text{V} \cdot \text{s})$	

a) Calcular qué tensión (V_{Total}) se ha aplicado a este diodo si lo atraviesa una corriente de 0.65 mA.

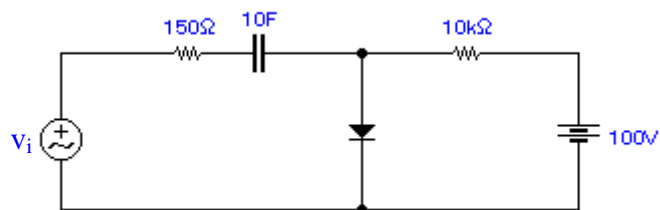
b) Explicar cómo se ha distribuido esta tensión entre la zona dipolar (V_j) y las zonas neutras ($V_{\text{ánodo}}$ y $V_{\text{cátodo}}$).

17. En el circuito de la figura $V = 9\text{V}$; $V_m = 0.2 \cdot \sin(100t)\text{V}$ y $R_L = 2 \text{ K}\Omega$. Los parámetros del modelo lineal de gran señal son: tensión umbral de $V_\gamma = 0.6\text{V}$ y R_f (f = forward = directa) = $10 \text{ } \Omega$.

Calcular la tensión que aparecerá en la carga, $v_L(t)$.



18. Conocemos la corriente de saturación y la resistencia conjunta de las zonas neutras y los contactos del diodo de unión p-n que aparece en la figura: $I_{\text{sat}} = 1 \text{ nA}$; $R_s = 5 \text{ } \Omega$.



Midiendo su tiempo de conmutación, se ha evaluado el tiempo de vida equivalente de las zonas neutras: $\tau = 1 \mu\text{s}$.

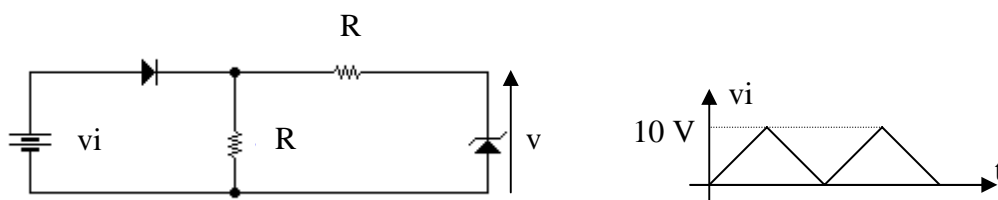
Calcular:

- a) La corriente (I_D) que atraviesa el diodo cuando $v_i = 0$.
- b) La tensión del diodo en dicha situación (V_D).
- c) La tensión total que aparece cuando $v_i = 0.1 \sin(100t)$.

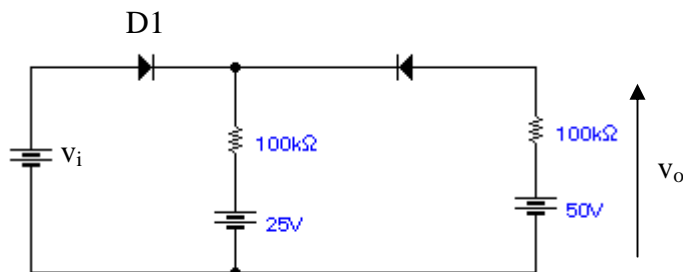
19. Para el siguiente circuito:

Obtener su curva de transferencia, para un valor cualquiera de v_i

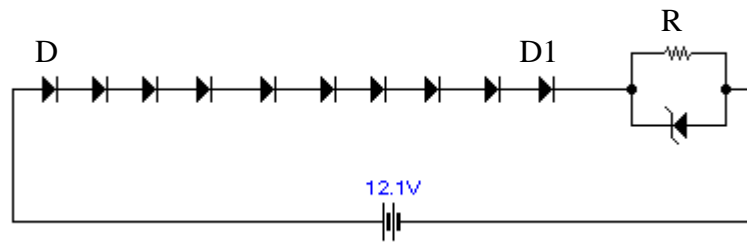
Dibujar $v_o(t)$ si v_i es de 10V de pico y $V_Z = 5V$.



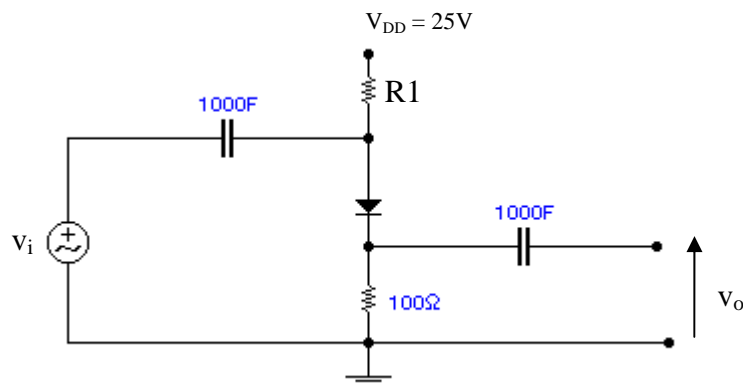
20. La tensión de entrada (v_i) del circuito de la figura inferior puede tomar valores comprendidos entre 0V y 100V. Calcular la curva de transferencia. (Los diodos son ideales).



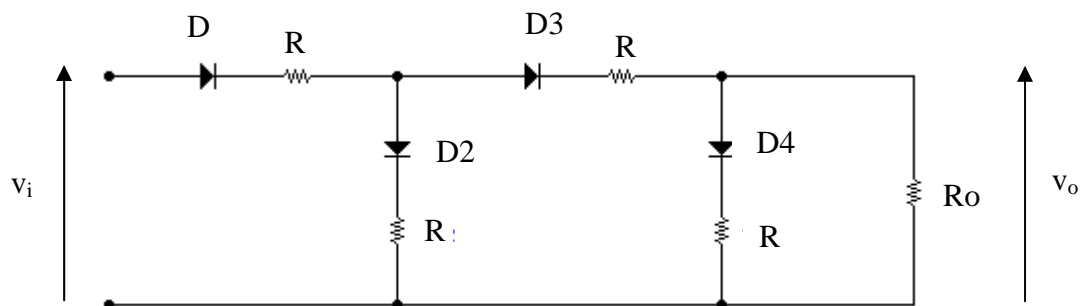
- 21.** Los diodos 1,2,...10 son idénticos, y presentan una $I_{SAT} = 1 \mu A$. Las características del ZENER son: $V_Z = 12V$ y $I_{SATZ} = 0.72 \mu A$. Si por R circula una corriente de $1 \mu A$, ¿cuál es el valor de R?



- 22.** Calcular el valor de R1 para que la amplitud de la señal de salida sea la mitad de la de la señal de entrada en condiciones de baja frecuencia. NOTA: Se supone despreciable V_D frente a V_{DD} .

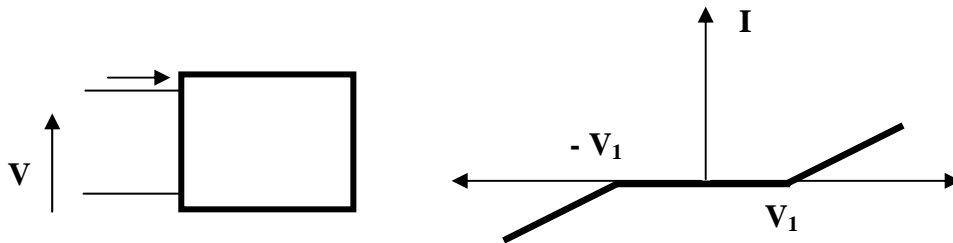


- 23.** En el siguiente circuito, se sabe que $V_\gamma = 0.4V$ y que $R \ll R_o$. Obtener la curva de transferencia.



24. (a) Diseñar un circuito con diodos, resistencias y baterías tal que tenga la curva característica indicada en la figura:

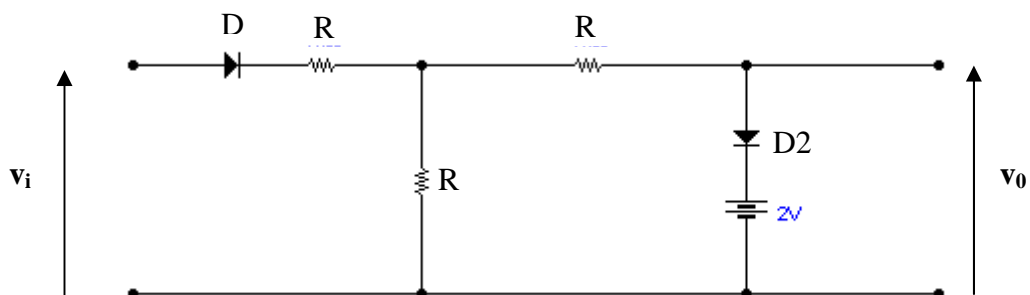
(b) Calcular su curva de transferencia.



25. (a) En el circuito de la figura, los diodos son ideales. Calcular su curva de transferencia.

(b) ¿Qué pasaría si tuviéramos en cuenta la caída de tensión en los diodos? $V_D = 0,7V$.

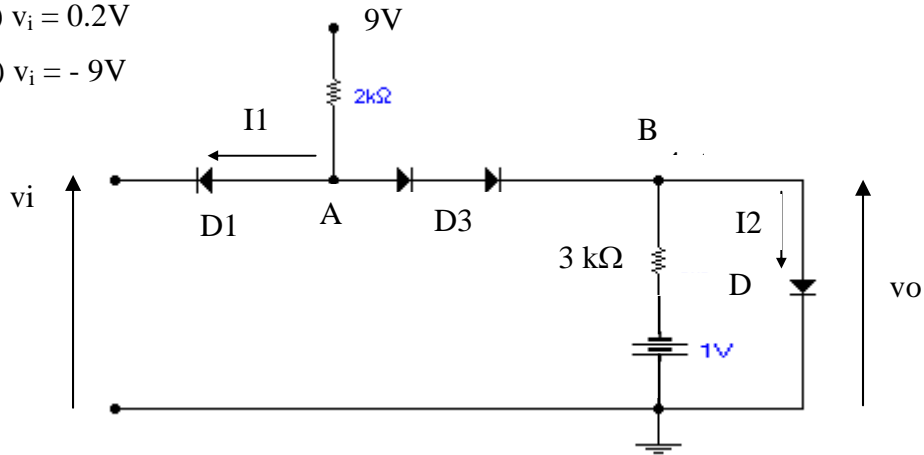
En el caso del apartado a, ¿cómo podríamos modificar el circuito, concretamente la rama en la que se encuentra D2, para que la tensión de salida siguiera limitada a 2 V?



26. En el circuito de la figura, se considera que los diodos son ideales. Calcular I_1 , I_2 y v_o cuando:

(a) $v_i = 0.2V$

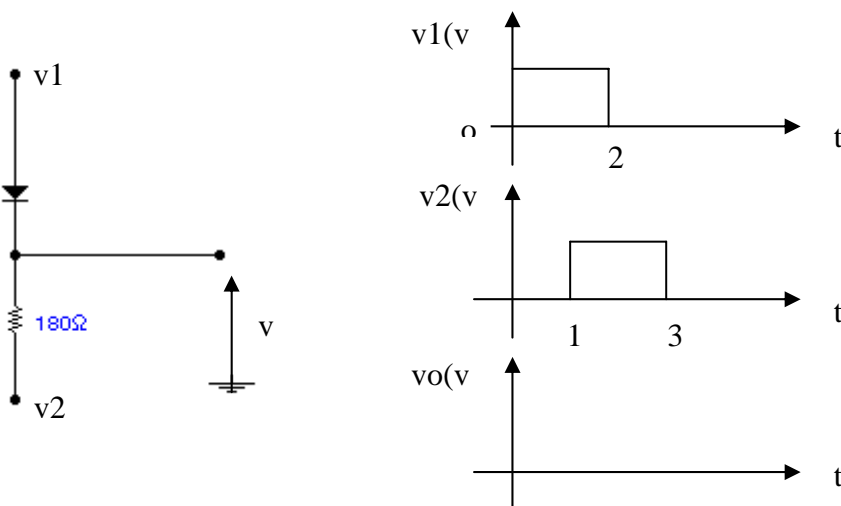
(b) $v_i = -9V$



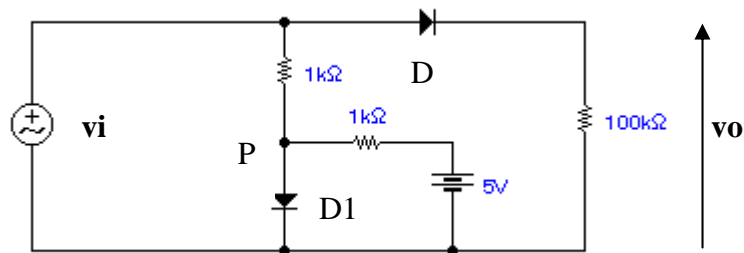
27. Dos diodos D1 y D2 son idénticos salvo que D2 tiene una sección de área cuatro veces la de D1.

- (a) Si la corriente de D1 es de 12mA cuando su tensión es de 0.62V, ¿cuál es la corriente de D2 para la misma tensión?. Razona la respuesta.
- (b) Si D1 y D2 están en serie y por ellos circula una corriente positiva elevada, obtener la relación entre sus respectivas caídas de tensión V_{D1} y V_{D2} . Hacer las simplificaciones que se consideren oportunas.
- (c) Si D1 y D2 están en paralelo y sus corriente suman 4mA, obtener la corriente y caída de tensión en cada diodo.

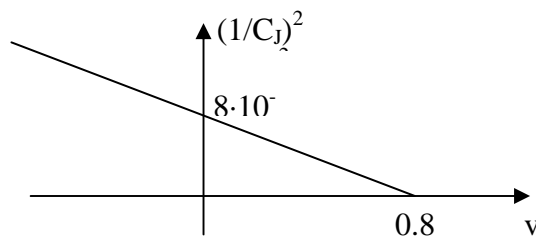
28. Al circuito de la figura, se le aplican las tensiones v_1 y v_2 . Dibujar $v_o(t)$ para $0 \leq t \leq 4ms$. Datos del diodo: $V_\gamma = 0.6V$, $R_F = 20\Omega$. (valor máximo de las entradas: 5V)



29. En el circuito de la figura, dibujar la tensión de salida $v_o(t)$ y la tensión en el punto P si a la entrada colocamos una tensión $v_i(t) = 10\text{sen}\omega t$. Se supone que los diodos D1 y D2 son ideales.



30. En la figura se muestra la evolución de $(1/C_j)^2$ con V para un diodo p⁺n.



Calcular:

- El potencial termodinámico (ϕ_T).
- La concentración de impurezas de la zona menos dopada (NOTA: aplicar que si $N_D \ll N_A \rightarrow 1/N_D \gg 1/N_A \rightarrow 1/N_D + 1/N_A \sim 1/N_D$)
- El dopaje de la zona P⁺.
- La longitud, en equilibrio, de la zona dipolar ($l_{\text{equilibrio}}$), desglosándola en x_p y x_n .
- El campo máximo en equilibrio ($\epsilon_{\text{max_equilibrio}}$).

DATOS:

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-14} \text{ F/cm.} \quad \epsilon_{r \text{ Si}} = 11.8 \quad \text{Area} = A = 0.348 \text{ mm}^2$$

$$(\epsilon_{\text{Si}} = \epsilon_0 * \epsilon_{r \text{ Si}}) \quad (q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) \quad (V_T(300\text{K}) = KT/q = 25.9 \text{ mV})$$

31. En un diodo (de tiempo de vida equivalente $\tau = 5 \mu\text{s}$) se aplica una tensión $V_F = +10\text{V}$ a través de una resistencia ($R = 10 \text{K}\Omega$) durante un tiempo largo (es decir, hasta alcanzar el estado estacionario).

En el instante $t = 0$, la tensión aplicada se cambia, de forma rapidísima, siendo, a partir de ahora, $V_R = -5\text{V}$.

La suma de las capacidades equivalentes del diodo (internas y externas) es de $C = 20 \text{pF}$.

Calcular y dibujar las corrientes y tensiones que aparecen en el diodo (indicando los valores más representativos).

NOTA: la tensión en directa del diodo se considera despreciable.
