Electrónica 1

Práctico 3
Diodos 1

Los ejercicios marcados con ★ son opcionales. Además cada ejercicio puede tener un número, que indica el número de ejercicio del libro del curso (*Microelectronic Circuits, 4th. edition. Sedra/Smith.*) o una fecha, que indica en que prueba (examen o parcial) se planteó el ejercicio.

Objetivo: El objetivo general del presente práctico es presentar el Diodo: sus diferentes modelos y la elección del adecuado al problema, sus principales características y aplicaciones y el análisis de circuitos que contienen este componente.

Ejercicio 1.

Una aplicación típica del diodo es como un elemento de seguridad, en este ejercicio se pretende observar el funcionamiento del diodo para limitar voltaje.

Para los circuitos de las Figuras 1.1, 1.2 y 1.3 hallar V_{out}, si V_{in} es una señal como la de la Figura 1.4. Considere que los diodos son ideales salvo por su voltaje de umbral V_γ diferente de cero.

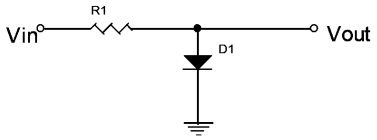

Figura 1.1

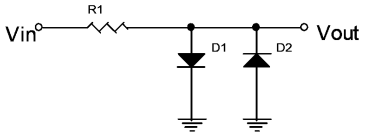

Figura 1.2

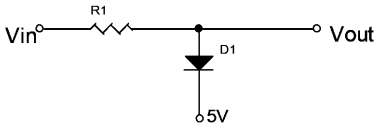

Figura 1.3

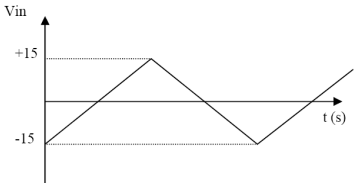

Figura 1.4

Ejercicio 2.

El objetivo de este ejercicio es mostrar como puede utilizarse el diodo para implementar funciones lógicas. Para ello se pide hallar las funciones lógicas

implementadas por los circuitos de las Figuras 2.1 y 2.2, asumiendo que los diodos son completamente ideales.

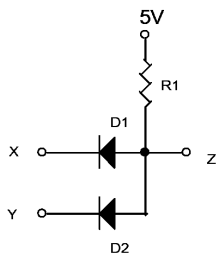

Figura 2.1

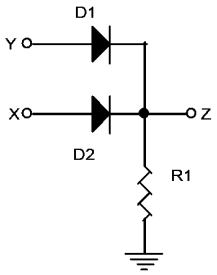

Figura 2.2

Ejercicio 3. (3.25)

El objetivo de este ejercicio es observar como impacta la elección del modelo del diodo. En el circuito mostrado en la Figura 3, D2 tiene un área de juntura 10 veces mayor que D1.

(a) ¿Qué valor de V_{out} se obtiene si los diodos se consideran ideales o ideales salvo V_γ?

(b) ¿Cuál es realmente el valor V_{out}?

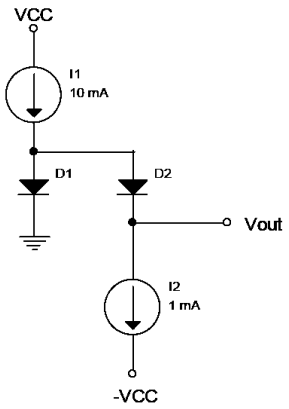

Figura 3

Ejercicio 4. (3.27)

El objetivo de este ejercicio es trabajar con el diodo en inversa y en directa con pequeñas corrientes. También se aprovecha la diferente variación de las corrientes de fugas y saturación con la temperatura para deducir cuanto aporta cada una de ellas a la corriente inversa. Para esto considere el circuito de la Figura 4 que usa diodos idénticos para los cuales $I_D = 1mA$ cuando $V_D = 0.7V$ y $\eta = 1$. A $25°C$, V_{out} es medido y vale $0.1V$.

(a) ¿Por que factor la corriente de fugas inversa I_F excede a I_S a $25°C$?

(b) Estimar el valor de V_{out} cuando la temperatura aumenta $50°C$.

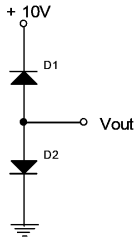

Figura 4

Ejercicio 5.

El objetivo de este ejercicio es analizar como se reparten la corriente y la tensión de un par de diodos, cuando respectivamente están en paralelo y en serie.

(a) Calcular como se reparte la corriente por cada diodo del circuito de la Figura 5.1 si: $I_{D1} = I_{O1}(e^{V_D/V_T} - 1)$ e $I_{D2} = I_{O2}(e^{V_D/V_T} - 1)$, siendo $I_{O1} = 100nA$ e $I_{O2} = 2I_{O1}$ en un caso e $I_{O1} = 100nA$ e $I_{O2} = 4I_{O1}$ en otro caso.

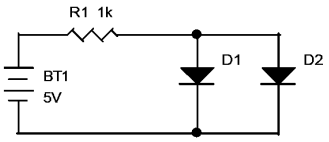

Figura 5.1

(b) Calcular como se reparte la caída de tensión en cada diodo del circuito de la Figura 5.2 si los diodos son idénticos a los del caso anterior.

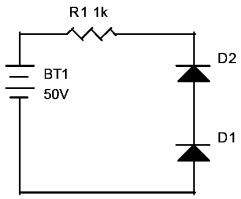

Figura 5.2

(c) ¿En que zona de la curva opera el diodo D1? Muestre este resultado a partir de observar las curva de ambos diodos en inverso e imponer las

relaciones que deben cumplir las tensiones y corrientes de ambos. A partir de esta observación deduzca el resultado de la parte anterior sin necesidad de iteraciones numéricas.

(d) ¿Qué implican estos resultados en cuanto a la utilización de diodos en paralelo para soportar una corriente mayor o en serie para soportar una tensión mayor?

Ejercicio 6.

El objetivo de este ejercicio es presentar el amplificador logarítmico.

(a) Hallar la transferencia del circuito de la Figura 6.1.

(b) Hallar la transferencia del circuito de la Figura 6.2. Suponer que $R_f >> R_2 + R_T$, $R_T >> R_2$ e $I_1 = 1V/R_1$. ¿Qué mejora observa respecto a la parte anterior?

(c) ¿Cómo debe ser la dependencia de R_T con la temperatura para que la transferencia total sea independiente de la temperatura?

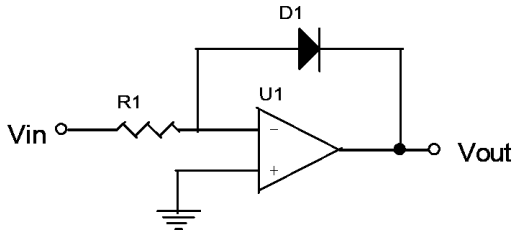

Figura 6.1

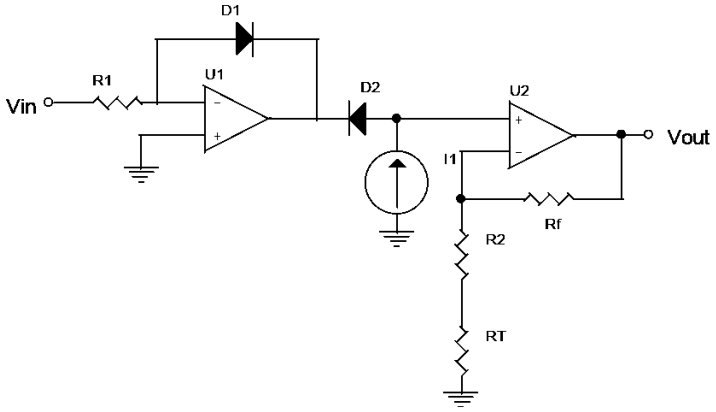

Figura 6.2

Ejercicio 7. ★

El objetivo de este ejercicio es analizar el circuito rectificador de media onda con filtro por condensador que se presentan en la Figura 7. Para ello se pide hallar y graficar la corriente por el diodo y la tensión de salida V_{out}.

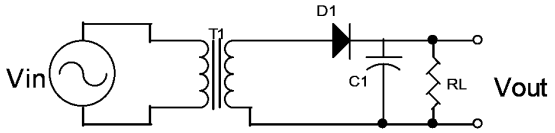

Figura 7

Ejercicio 8.

El objetivo de este ejercicio es analizar el circuito rectificador de onda completa con filtro por condensador que se presenta en la Figura 8.

(a) Dibujar la forma de onda de la corriente en los diodos y de la tensión en la carga del circuito de la Figura 8

(b) Calcular el valor medio de la corriente y la tensión en la carga.

(c) Calcular la tensión inversa de pico en los diodos y el ripple.

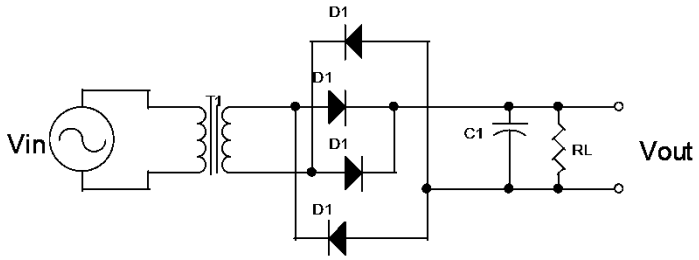

Figura 8

Ejercicio 9. ★

Realizar la elección de los componentes a utilizar para construir una fuente DC basada en el circuito de la Figura 8, considerando las siguientes especificaciones:

- Voltaje de salida de $30V$.
- Corriente máxima $= 0.8A$.
- Ripple $1V$.
- Se dispone de la siguiente lista de componentes: Diodos 1N4001-1N4007

Ejercicio 10.

El objetivo de este ejercicio es presentar y analizar dos implementaciones de rectificadores ideales que son ampliamente utilizadas. Considere que los diodos D1 y D2 tienen tensión umbral V_γ.

(a) Hallar V_{out} en función de V_{in} para el circuito de la Figura 10.1.

(b) Utilizando la parte anterior, hallar V_{out} en función de V_{in} para el circuito de la Figura 10.2.

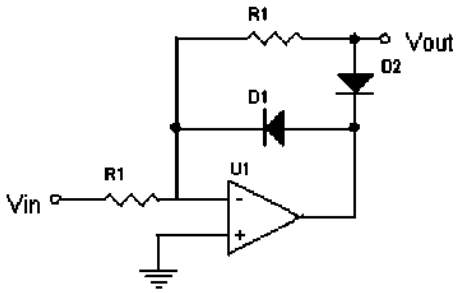

Figura 10.1

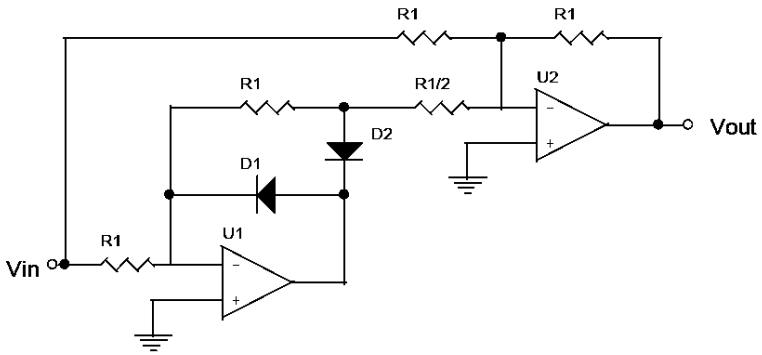

Figura 10.2

Ejercicio 11.

El objetivo de este ejercicio es continuar profundizando en el análisis de circuitos con diodos y operacionales. Para ello se pide hallar la salida del circuito de la Figura 11.1 para la entrada de la Figura 11.2. ¿Qué función implementa dicho circuito?.

Ejercicio 12.

El objetivo de este ejercicio es continuar profundizando en el análisis de circuitos con diodos y operacionales. Para ello se pide hallar la transferencia del circuito

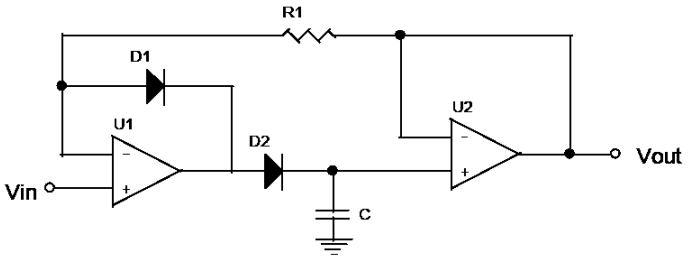

Figura 11.1

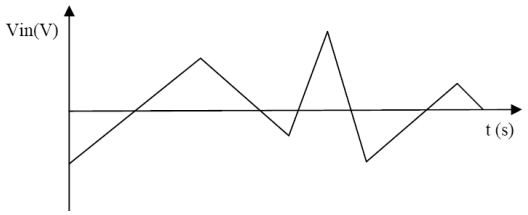

Figura 11.2

de la Figura 12. ¿La utilización del modelo ideal permite determinar claramente en todos los casos la zona de operación de ambos diodos?

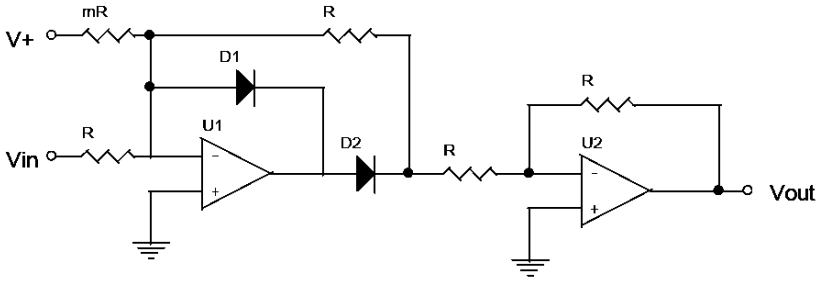

Figura 12

Solución

Ejercicio 1

El circuito de la Figura 1.1 limita la salida V_{out} a V_γ para todo $V_{in} > V_\gamma$.
El circuito de la Figura 1.2 limita la salida V_{out} a V_γ y $-V_\gamma$ dependiendo si respectivamente si $V_{in} > V_\gamma$ o $V_{in} < -V_\gamma$.
El circuito de la Figura 1.3 limita la salida V_{out} al valor de referencia, es decir a $5V + V_\gamma$ para todo $V_{in} > 5V + V_\gamma$.

Ejercicio 2

El circuito de la Figura 2.1 implementa la función lógica "AND" y el circuito de la Figura 2.2 la función "OR"

Ejercicio 3

(a) $V_{out} = 0$

(b) $V_{out} = V_{D1} - V_{D2} = \eta V_T \ln(90) = 117mV$

Ejercicio 4

(a) $I_F = 46.I_{S@25^\circ C}$

(b) $V_{out} = 37mV$

Ejercicio 5

(a) Para $I_{O2} = 2I_{O1}$: $I_{D1} = 1.58mA$ e $I_{D2} = 3.17mA$ con $V_D = 251.4mV$.
Para $I_{O2} = 4I_{O1}$: $I_{D1} = 0.95mA$ e $I_{D2} = 3.80mA$ con $V_D = 238.2mV$.

(b) Para $I_{O2} = 2I_{O1}$: $V_{D1} = -49.982V$ e $V_{D2} = -18mV$.
Para $I_{O2} = 4I_{O1}$: $V_{D1} = -49.992V$ e $V_{D2} = -8mV$.

(c) Observar que como ambos diodos llevan la misma corriente, esta corriente deberá ser menor o igual a I_{O1} y por tanto la caída de tensión en D2 será muy pequeña pues la zona de la curva de D2 en que la corriente es menor o igual a I_{O1} corresponde a tensiones inversa muy pequeñas.

(d) Estos métodos deben ser utilizados con precaución pues el desapareo entre los diodos puede hacer que el reparto entre ambos diodos sea muy desigual.

Ejercicio 6

(a) Para $V_{in} > 0$, $V_{out} = -\frac{kT}{q}.\ln(\frac{V_{in}}{R_1.I_S})$ siendo I_S la corriente de saturación inversa del diodo. El circuito presenta dos inconvenientes: Tiene sumado un componente de "offset" que depende directamente de I_S y depende directamente de la temperatura.

(b) Para $V_{in} > 0$, $V_{out} = -\frac{R_f}{R_T}\frac{kT}{q}\ln(V_{in})$. Como mejora respecto a la parte anterior se observa que desapareció el término $R_1.I_S$.

(c) R_T debe ser directamente proporcional a la temperatura.

Ejercicio 7

Considero $V_{in} = A.\cos(\omega t)$ y el circuito en régimen. Entonces, dado un período T se tendría:

$$V_{out} = \begin{cases} V_{in}, & \text{si } t \leqslant t_0; \\ V_{out}(t_0).e^{-\frac{t-t_0}{R_L C}}, & \text{si } t_0 \leqslant t \leqslant t_f; \\ V_{in}, & \text{si } t_f \leqslant t \leqslant T; \end{cases}$$

$$I_{D1} = \begin{cases} C.\frac{\mathrm{d}V_{out}}{\mathrm{d}t} + \frac{V_{out}}{R_L}, & \text{si } t \leqslant t_0; \\ 0, & \text{si } t_0 \leqslant t \leqslant t_f; \\ C.\frac{\mathrm{d}V_{out}}{\mathrm{d}t} + \frac{V_{out}}{R_L}, & \text{si } t_f \leqslant t \leqslant T; \end{cases}$$

con $t_0 = \frac{1}{\omega}\arctan(1/R_L C\omega)$ y t_f es tal que $V_{out}(t_0).e^{-\frac{t_f-t_0}{R_L C}} = V_{in}(t_f)$

Ejercicio 8

(a) Considero $V_{in} = A.\cos(\omega t)$ y el circuito en régimen. Entonces, dado un período T se tendría:

$$V_{out} = \begin{cases} V_{in}, & \text{si } t \leqslant t_0; \\ V_{out}(t_0).e^{-\frac{t-t_0}{R_L C}}, & \text{si } t_0 \leqslant t \leqslant t_{f1}; \\ -V_{in}, & \text{si } t_{f1} \leqslant t \leqslant t_0 + T/2; \\ V_{out}(t_0 + T/2).e^{-\frac{t-t_0-T/2}{R_L C}}, & \text{si } t_0 + T/2 \leqslant t \leqslant t_{f2}; \\ V_{in}, & \text{si } t_{f2} \leqslant t \leqslant T; \end{cases}$$

Los diodos conducen de a pares:

$$I_{D1,D3} = \begin{cases} C.\frac{\mathrm{d}V_{out}}{\mathrm{d}t} + \frac{V_{out}}{R_L}, & \text{si } t \leqslant t_0; \\ 0, & \text{si } t_0 \leqslant t \leqslant t_{f2}; \\ C.\frac{\mathrm{d}V_{out}}{\mathrm{d}t} + \frac{V_{out}}{R_L}, & \text{si } t_{f2} \leqslant t \leqslant T; \end{cases}$$

$$I_{D2,D4} = \begin{cases} 0, & \text{si } t_0 \leqslant t \leqslant t_{f1}; \\ C.\frac{\mathrm{d}V_{out}}{\mathrm{d}t} + \frac{V_{out}}{R_L}, & \text{si } t_{f1} \leqslant t \leqslant t_0 + T/2; \\ 0, & \text{si } t_0 + T/2 \leqslant t \leqslant T; \end{cases}$$

con:

- $t_0 = \frac{1}{\omega}\arctan(1/R_L C\omega)$
- t_{f1} es tal que $V_{out}(t_0).e^{-\frac{t_{f1}-t_0}{R_L C}} = V_{in}(t_{f1})$
- t_{f2} es tal que $V_{out}(t_0 + T/2).e^{-\frac{t_{f2}-t_0-T/2}{R_L C}} = V_{in}(t_{f2})$

(b) $V_{medio} = V_{inPico} - V_{ripple/2} = A\frac{2fR_L C-1}{2fR_L C}$ e $I_{medio} = \frac{V_{medio}}{R_L}$

(c) $V_{inversaPico} = A$ y $V_{ripple} = \frac{A}{2fR_LC}$

Ejercicio 9

$V_{ripple} < 1V \Rightarrow \frac{I}{2fC} < 1V \Rightarrow C > 8000\mu F$

Los parámetros del diodo a tener en cuenta en la hoja de datos son:

- Corriente promedio rectificada $= 0.8A < 1A$ (de hoja de datos) (cumplen todos los modelos).
- Voltaje inverso repetitivo de pico $= 30V$, varía según el modelo pero todos superan los 30 V de este caso.
- Voltaje inverso RMS $= \frac{30V}{2\sqrt{2}}$, varía según el modelo pero todos superan este valor.
- Pico de corriente no repetitivo menor a 17A.

Ejercicio 10

(a)

$$V_{out} = \begin{cases} -V_{in}, & \text{si } V_{in} > 0; \\ 0, & \text{si } V_{in} < 0; \end{cases}$$

(b) $V_{out} = |V_{in}|$

Ejercicio 11

$$V_{out} = \begin{cases} V_{in}, & \text{si } V_{in} > V_C^*; \\ V_C^*, & \text{si } V_{in} < V_C^*; \end{cases}$$

Siendo V_C^* el voltaje en bornes del capacitor C (que no tiene como descargarse).

El circuito "memoriza" el máximo de la función de entrada. Observar que normalmente existiría algún mecanismo para descargar el capacitor C, que actuaría como "reset" del circuito.

Ejercicio 12

Asumiendo que los diodos D1 y D2 tienen un V_γ constante se puede probar:

$$V_{out} = \begin{cases} V_{in} + \frac{V^+}{m}, & \text{si } V_{in} < -\frac{V^+}{m}; \\ 0, & \text{si } V_{in} > -\frac{V^+}{m}; \end{cases}$$

Se ha supuesto que $V^+ > 0$.