

Circuitos Electrónicos Analógicos – EL3004

Guía de Ejercicios – Diodos

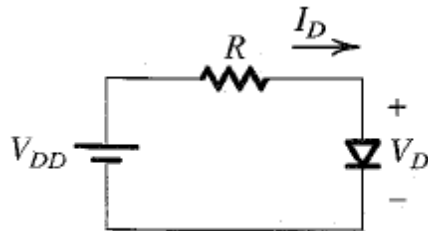
Profesor: Marcos Díaz

Auxiliar: Jorge Marín

Semestre Primavera 2009

Problema 1

Considere el circuito de la figura:



Calcule la corriente I_D y el voltaje V_D del diodo para $V_{DD} = 5$ [V] y $R = 1$ [k Ω]. Asuma que I_D ($V_D = 0.7$ [V]) = 1 [mA] y que la caída de voltaje sobre el diodo cambia en 0.1 [V] por cada década de cambio en la corriente. Obtenga el punto de operación mediante los siguientes modelos del diodo:

- a) Modelo exponencial
- b) Modelo lineal por tramos (con $V_{D0} = 0.65$ [V] y $r_D = 20$ [Ω])
- c) Modelo de caída de voltaje constante (con $V_{D0} = 0.7$ [V])
- d) Modelo ideal

Solución:

a) La ecuación del modelo exponencial es:

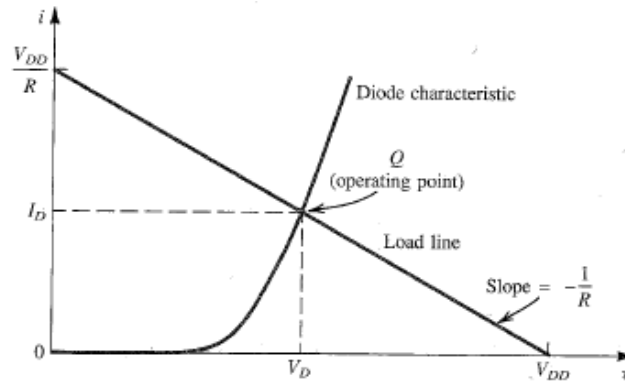
$$I_D = I_S * (\exp(V_D / (V_T * n)) - 1)$$

donde (V_D , I_D) es el punto de operación del diodo, e I_S (corriente de saturación, dependiente de las características de construcción del diodo), V_T (voltaje termal, se asume con valor 25 [mV] a temperatura ambiente de) y n (factor de juntura, se asume con valor unitario para proceso de integración estándar) son parámetros de la ecuación. Tomando dos puntos de operación del diodo, se puede deducir lo siguiente (demostrar):

$$V_2 - V_1 = 2.3nV_T \log(I_2/I_1)$$

Para este caso, se sabe que $2.3nV_T = 0.1$.

Al ser la ecuación exponencial de naturaleza no lineal, es necesario obtener una solución numérica de la intersección entre la curva de carga y la curva del diodo, como se muestra a continuación:



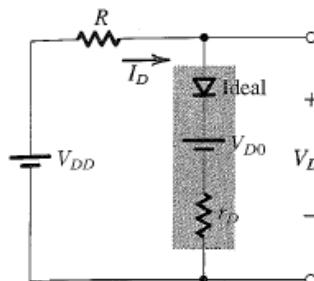
Se iterará sobre las dos ecuaciones de las curvas. Se asume inicialmente que $V_D = 0.7$ [V] (valor común de la caída de voltaje en la juntura), y se reemplaza en la recta de carga ("Load line" en la figura):

$$I_D = (V_{DD} - V_D)/R = 4.3 \text{ [mA]}$$

Esto es una mala estimación de la solución, ya que se sabe que la corriente es 1 [mA] si se aplica 1 [V] sobre el diodo. Para mejorar la solución, se reemplaza en la ecuación del diodo para dos puntos la solución conocida y la corriente calculada: $V_1 = 0.7$ [V], $I_1 = 1$ [mA] e $I_2 = 4.3$ [mA]. Con esto, $V_2 = 0.763$ [V].

La segunda iteración, con $V_D = 0.763$ [V] evaluado en la recta de carga, entrega como resultado $I_D = (5 - 0.763)/1 \text{ [mA]} = 4.237 \text{ [mA]}$. Usando este valor en la ecuación del diodo junto con el punto conocido de la curva ($V_1 = 0.7$ [V], $I_1 = 1$ [mA]), se obtiene que $V_D = 0.762$ [V]. Luego la solución obtenida es $I_D = 4.237$ [mA] y $V_D = 0.762$ [V]; como los valores no difieren mucho de la solución de la primera iteración, se asume que se ha convergido a una buena aproximación de la solución.

b) En el modelo lineal por tramos, se reemplaza el diodo por un diodo ideal en serie con una fuente de voltaje constante y una resistencia. El circuito equivalente se muestra a continuación:



Esta linealización permite obtener una solución analítica:

$$I_D = (5 - 0.65)/(1 + 0.02) \text{ [mA]} = 4.26 \text{ [mA]}$$

$$V_D = (0.65 + 4.26 \cdot 0.02) \text{ [V]} = 0.735 \text{ [V]}$$

Se puede ver que, para los parámetros dados del modelo, se obtiene una solución aceptable en comparación con el modelo exponencial (de mayor significado físico que el modelo lineal por tramos).

c) Para el modelo de caída de voltaje constante, el diodo en polarización DC directa se reemplaza por un diodo ideal en serie con una fuente de voltaje. Luego:

$$I_D = (5 - 0.7)/1 \text{ [mA]} = 4.3 \text{ [mA]}$$

$$V_D = 0.7 \text{ [V]}$$

En este caso, el cálculo es sumamente fácil, aunque la precisión se degrada como costo de la simplicidad de cálculo. En general, para cálculos “de mano” en las primeras etapas de diseño, este modelo es el más utilizado.

d) Para el modelo del diodo ideal en polarización DC directa, se reemplaza el dispositivo por un cortocircuito, obteniendo:

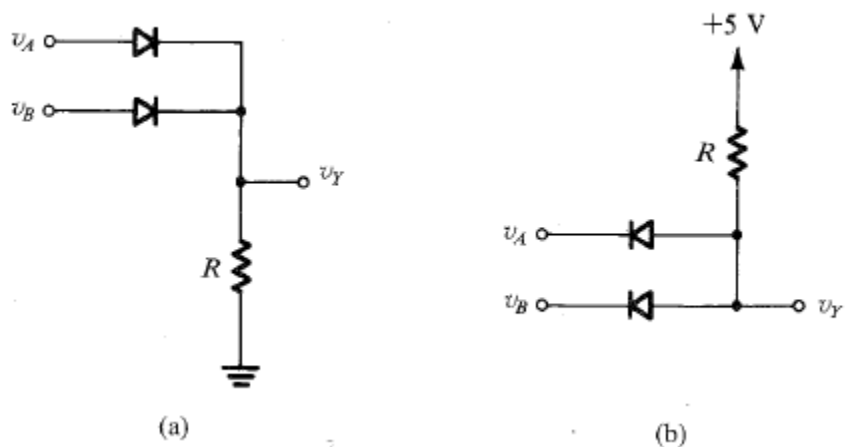
$$I_D = (5 - 0)/1 \text{ [mA]} = 5 \text{ [mA]}$$

$$V_D = 0 \text{ [V]}$$

Este modelo arroja una precisión numérica pobre, pero permite predecir si los dispositivos están encendidos o apagados (sobre todo cuando $V_{DD} \gg 0.7 \text{ [V]}$)

Problema 2

Identifique los tipos de funciones lógicas que es posible implementar con los siguientes circuitos con diodos:



Considere que V_A y V_B pueden tomar los valores 5 [V] (1 lógico) y 0[V] (0 lógico), y que $R = 1$ [k Ω].

Solución:

a) En el primer circuito, se puede ver que cualquiera de las dos entradas en estado alto (i.e. con valor 5 [V]) produce un valor alto en la salida V_Y . La tabla lógica se muestra a continuación:

VA	VB	VY
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Este comportamiento corresponde a una función lógica OR.

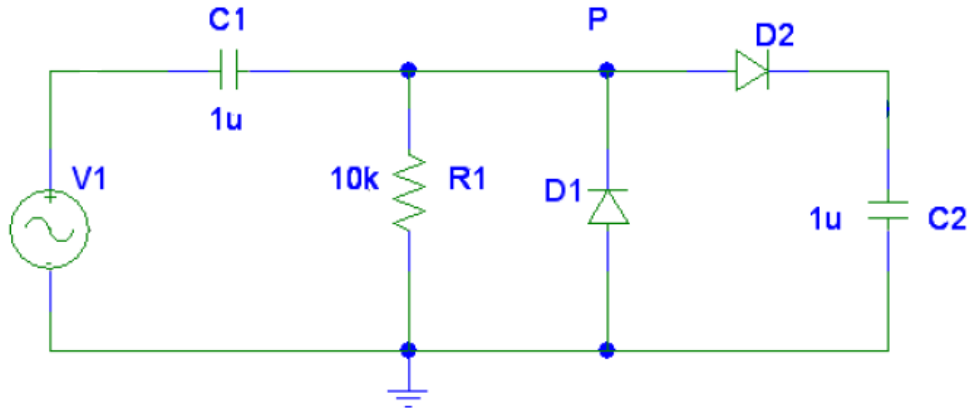
b) En el segundo circuito, cualquiera de las dos entradas en estado bajo produce un estado bajo en la salida. La tabla lógica se muestra a continuación:

VA	VB	VY
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

La tabla lógica corresponde a la de la función AND.

Problema 3

El circuito de la figura muestra un doblador de voltaje:



Ilustre el voltaje de salida sobre el condensador C2 considerando que $V1 = 10 \cdot \sin(2\pi \cdot 1000 \cdot t)$ [V] y que los diodos tienen una caída de voltaje constante de 0.6 [V] en polarización directa.

Solución:

En primer lugar, se debe considerar el semi-ciclo positivo. En tal caso, el voltaje se divide de igual manera entre las impedancias de los condensadores, y por lo tanto ambos se carga a $(10 - 0.6)/2$ [V] = 4.7 [V]. La resistencia R1 descarga el condensador C1 con una constante de tiempo $\tau = 10$ [k Ω] * 1 [uF] = 10 [ms], valor mucho mayor al periodo de la fuente de voltaje (1 [ms]), por lo cual esta descarga del circuito RC es a una tasa pequeña.

A medida que V1 se acerca al máximo, D2 tiende a cortarse; con esto, C2 mantiene la carga almacenada y por lo tanto el voltaje con respecto a tierra es constante. Una vez que el valor de V1 pasa el máximo y es menor que 5 [V], el diodo D1 se enciende, y el voltaje del punto P toma el valor 0.6 [V]. Con esto, C1 empieza a cargarse con polaridad inversa a la anterior, fundamentalmente a través del diodo D1, hasta un valor aproximado de -9.4 [V] (considerando la caída en D1). Esta diferencia se mantiene hasta que D2 vuelve a encenderse.

La condición de encendido de C2 es:

$$(V1 + 9.4 \text{ [V]}) > (V(C2) + 0.6 \text{ [V]})$$

con $V(C2) = 4.7$ [V] el voltaje debido a la carga almacenada en C2. En el caso ideal, el valor que debe alcanzar V1 para que se encienda C2 es aproximadamente -5 [V], pero en la práctica es menor, debido a la descarga de C1 por R1. En este punto, el valor de la fuente se suma al voltaje debido a la carga en C1; este voltaje se divide nuevamente entre las impedancias de los condensadores, hasta que D2 se corta. El voltaje de salida entonces sube a $(4.7 + 15/2)$ [V] ≈ 12 [V] y se mantiene constante por el ciclo.

A medida que el tiempo pasa, el voltaje de salida tiende a 20 [V] (menos 0.6 [V] de caída en D2).

El gráfico resultante de la simulación del circuito se muestra a continuación (el voltaje de salida sobre C2 en rojo, el voltaje de entrada V1 en verde, el voltaje sobre C1 en azul):

