

Diodos semiconductores

El diodo ideal es un dispositivo lineal con características de corriente contra tensión, como la mostrada en la figura 1.9(b). Esta característica se conoce como lineal a segmentos, ya que la curva se construye con segmentos de rectas, si se intenta colocar una tensión positiva (o directa) a través del diodo, no se tienen éxito y la tensión se limita a cero. La pendiente de la curva está infinita. Por tanto, bajo esta condición la resistencia es cero y el diodo se comporta como un cortocircuito. Si se colocan una tensión negativa (o inversa) a través del diodo, la corriente es cero y la pendiente de la curva también es cero. Por tanto, del diodo se comporta ahora como una resistencia infinita, o circuito abierto.

Figura 1.9

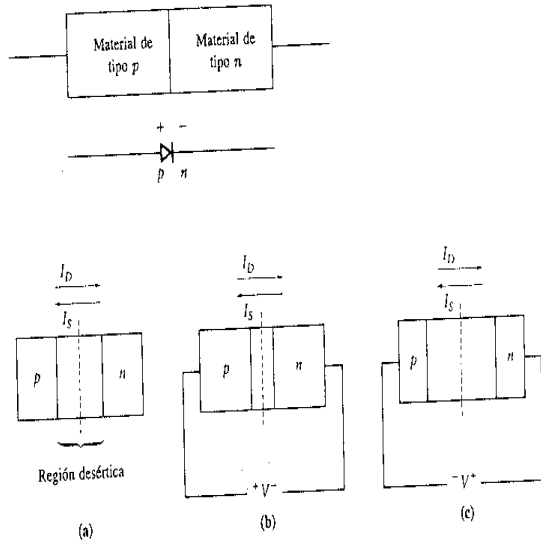
Construcción del diodo

En la figura 1.10 se muestra un material de tipo p y otro de tipo n colocados juntos para formar una unión. Esto representa un modelo simplificado de construcción del diodo. El modelo ignora los cambios graduales en la concentración de impurezas en el material. Los diodos prácticos se construyen como una sola pieza de material semiconductor, en la que un lado se contamina con material de tipo p y el otro con material de tipo n.

Los materiales más comunes utilizados en la construcción de diodos son tres; germanio, silicio y arseniuro de galio. En general, el silicio ha reemplazado al germanio en los diodos debido a su mayor barrera de energía que permiten la operación a temperaturas más altas, y los costos de material son mucho menores. El arseniuro de galio es particularmente útil en aplicaciones de alta frecuencia y microondas. La distancia precisa en el que se produce el cambio de material de tipo p a tipo n en el cristal varía con la técnica de fabricación. La característica esencial de la unión pn es que el cambio en la concentración de impurezas se debe producir en una distancia relativamente corta. De otra manera, la unión no se comporta como un diodo. C abran una región desértica en la vecindad de la unión, como se muestra en la figura 1.11 (a). Este fenómeno se debe a la combinación de huecos y electrones donde se unen los materiales. La región desértica tendrá muy pocos portadores.

Sin embargo, los dos componentes de la corriente constituida por el movimiento de huecos y electrones a través de la unión se suman para formar la corriente de difusión, I_D . La dirección de esta corriente es del lado p al lado n. Además de la corriente de difusión existe otra corriente debido al desplazamiento de portadores minoritarios a través de la unión, y se conoce como I_S .

Si ahora se aplica un potencial positivo al material p en relación con el material n, como se muestra en la figura 1.11 (b), se dice que el diodo está polarizado en directo, por otra parte, si la tensión se aplican como en la figura 1.11 (c), el diodo se polariza en inverso.



Figuras 1.10 y 1.11

Operación del diodo

En la figura 1.12 se ilustran las características de operación de un diodo práctico. Esta curva difiere de la característica ideal de la figura 1.9 (b) en los siguientes puntos: conforme la tensión en directo aumenta más allá de cero, la corriente no fluye de inmediato. Es necesaria una tensión mínima, denotada por V_{δ} , para obtener una corriente significativa. Conforme la tensión tiende a exceder V_{δ} la corriente aumenta con rapidez. La pendiente de la curva característica es grande pero no infinita, como en el caso del diodo ideal. La tensión mínima necesaria para obtener una corriente significativa, V_{δ} , es aproximadamente 0.7 V para semiconductores de silicio (a temperatura ambiente) y 0.2 V para semiconductores de germanio. La diferencia de tensión para el silicio y el germanio radica en la estructura atómica de los materiales. Para diodos de arseniuro de galio, V_{δ} es más o menos 1.2 V.

Cuando el diodo está polarizado el inverso, existe una pequeña corriente de fuga, esta corriente se produce siempre que la tensión sea inferior a la requerida para romper la unión. El daño al diodo normal en ruptura se debe a la avalancha de electrones, que fluyen a través de la unión con poco incremento en la tensión. La corriente muy grande puede destruir el diodo si se genera excesivo calor. Esta ruptura a menudo se conoce como la tensión de ruptura del diodo (V_{BR}).

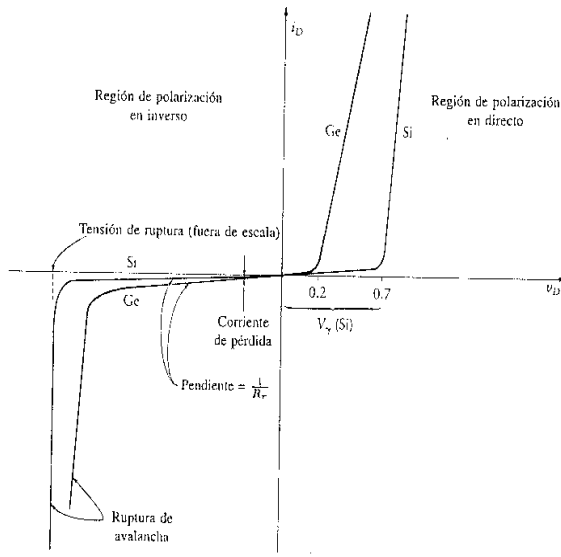


Figura 1.12

Modelos de circuito equivalentes del diodo

El circuito mostrado en la figura 1.13 (a) representa un modelo simplificado del diodo de silicio bajo condiciones de operación en cd tanto en directo como en inverso. El resistor R_r representa la resistencia en polarización inversa del diodo y, por lo general, es del orden de megohms ($M\Omega$). El resistor R_f representa la resistencia de bloque y contacto del diodo, y suele ser menor que 50Ω . Cuando se encuentra polarizado en directo, el diodo ideal es un cortocircuito, o resistencia cero.

La resistencia de circuito del diodo práctico modelado en la figura 1.13 (a) es $R_r \parallel R_f \approx R_f$

Bajo condiciones de polarización en inverso, el diodo ideal tiene resistencia infinita (circuito abierto), y la resistencia de circuito del modelo práctico es R_r . Los modelos de circuito en ca son más complejos debido a que la operación del diodo depende de la frecuencia.

Física de los diodos en estado sólido

Distribución de carga

Cuando existen materiales de tipo p y de tipo n juntos en un cristal, se producen una redistribución de carga. Algunos de los electrones libres del material n migran a través de la unión y se combinan con huecos libres en el material p. De la misma forma, algunos de los huecos libres de material p se mueven a través de la unión y se combinan con electrones libres en el material n. Como resultado de esta redistribución de carga, el material p adquiere la carga negativa neta y el material n obtiene una carga positiva neta. Estas cargas crean un campo eléctrico y una diferencia de potencial entre los dos tipos de material que inhibe cualquier otro movimiento de carga. El resultado es una reducción en el número de portadores de corriente cerca de la unión. Esto sucede en un área conocida como región desértica. Estampó eléctrico resultante proporciona una barrera de potencial, o colina, en una dirección que inhibe la migración de portadores a través de la unión.

Relación entre la corriente y la tensión en un diodo

Existe una relación exponencial entre la corriente del diodo y en potencial aplicado. La relación se describe por medio de la ecuación (1.1).

$$i_D = I_0 \left[\exp \left(\frac{qV_D}{nkT} \right) - 1 \right]$$

Los términos de la ecuación (1.1) se definen como sigue:

I_D = corriente en el diodo

v_D = diferencia de potencial a través del diodo

I_0 = corriente de fuga

q = carga del electrón: 1.6×10^{-19} coulombs

k = constante de Boltzman 1.38×10^{-23} J/°K

T = temperatura absoluta en grados kelvin

n = constante empírica entre 1 y 2

La ecuación (1.1) se puede simplificar definiendo

$$V_T = \frac{kT}{q}$$

Esto da

$$i_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right) - 1 \right]$$

(1.2)

Si se opera a temperatura ambiente (25°C) y solo en la región de polarización en directo, entonces predomina el primer término en el paréntesis y la corriente está dada aproximadamente por

$$i_D = I_0 \exp\left(\frac{v_D}{nV_T}\right)$$

(1.3)

La corriente desaturación inversa, I_0 , es función de la pureza del material, de la combinación y de la geometría del diodo. La constante empírica, n , es un número propiedad de la construcción del diodo y puede variar de acuerdo con los niveles de tensión y de corriente.

Aunque las curvas para la región en directo mostrados en la figura 1.15 recuerdan una línea recta, se sabe que la línea no es recta, ya que sigue una relación exponencial, esto significa que la pendiente de la línea se modifica conforme cambia i_D . Se puede diferenciar la expresión de la ecuación (1.) para encontrar la pendiente en cualquier i_D dada:

$$\frac{di_D}{dv_D} = \frac{I_0 \left[\exp\left(\frac{v_D}{nV_T}\right) \right]}{nV_T}$$

(1.4)

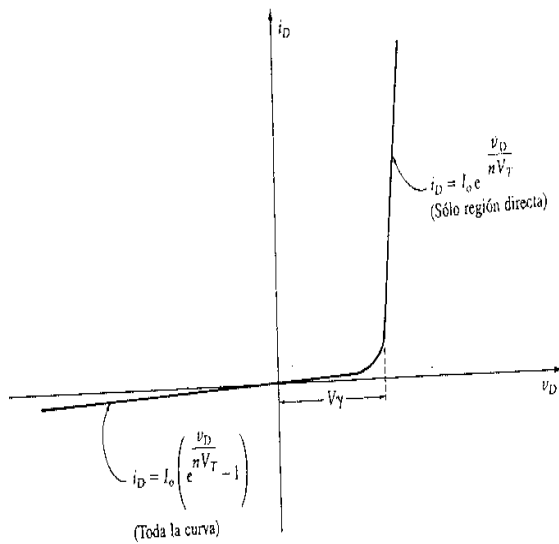


Figura 1.15

Aunque se sabe que r_d cambia cuando cambian i_D , se puede suponer fija

Para un intervalo de operación específico.

Efectos de la temperatura

La temperatura tiene un papel importante en la determinación de las características operacionales de los diodos. Conforme aumenta la temperatura, disminuye la tensión de encendido V . Por otra parte, un descenso en la temperatura provoca un incremento en V . Esto se ilustra en la figura 1.16. Aquí V varía linealmente con la temperatura de acuerdo con la siguiente ecuación (se supone que la corriente del diodo, i_D , se mantiene constante):

$$V = V_T \ln \left(\frac{i_D}{I_0} \right) + V_T$$

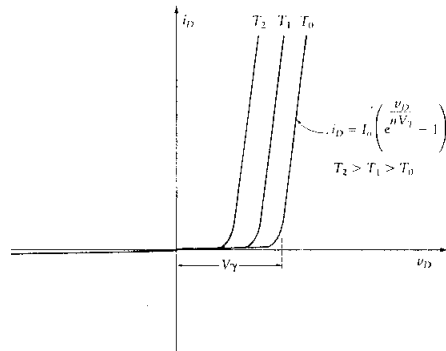
Donde:

T0 = temperatura ambiente

T1 = temperatura del diodo

V (T0) = tensión del diodo a temperatura ambiente

V (T1) = tensión del diodo a la nueva temperatura



k = coeficiente de temperatura en V/°C

Figura 1.16

Líneas de carga del diodo

Como el diodo es un dispositivo no lineal, se deben modificar las técnicas estándar de análisis de circuitos. No se pueden escribir ecuaciones simples y resolver para las variables, ya que las ecuaciones sólo son válidas dentro de una región particular de operación. En la figura 1. Resienten (a) se ilustra un circuito con un todo, un capacitor, una fuente y dos resistor se. Si se denomina a la corriente y a la tensión del diodo como las dos incógnitas del circuito, se necesitan dos ecuaciones independientes que incluyan estas dos incógnitas para encontrar una solución emitan para el punto de operación. Una vez las ecuaciones es la restricción proporcionada por los elementos conectados al diodo pronto la segunda es la relación real entre corriente y tensión para el diodo. Estas dos ecuaciones se deben resolver simultáneamente para determinar la tensión y la corriente en el diodo. Esta solución simultánea se puede llevar a cabo en forma gráfica. Si en primer lugar se toma la condición de cd, la fuente de tensión se vuelve simplemente V_s , y el capacitor es un circuito abierto (es decir, la impedancia del capacitor es infinita a frecuencia cero). Por tanto, la ecuación del caso se puede escribir como

$$V_S = V_D + V_M = V_D + I_D + I_D R_1$$

o

$$V_D = -R_1 I_D + V_S$$

(1.6)

Ésta es la primera de dos ecuaciones que incluyen la corriente y la tensión del diodo. Es necesario combinarla con la característica del diodo y resolver para el punto de operación. La gráfica de esta ecuación se muestra en la figura 1.17 (b) y se etiqueta como "línea de carga en cd". La gráfica de la característica del diodo también se muestra en el mismo conjunto de ejes. La intersección de las dos gráficas da la solución simultánea de las ecuaciones y se etiqueta como ". Q " en la figura. Este es el punto en el cual opera el circuito con las entradas variables iguales a cero. La Q (quiescent) denota condición de reposo.

Si ahora se aplica una señal en el tiempo además de la entrada de sede, cambia una de las dos ecuaciones simultáneas. Si se supone que la entrada variable es de una frecuencia suficientemente alta como para permitir la aproximación del capacitor como un cortocircuito, la nueva ecuación está dada por (1.7):

Figura 1.17

$$V_D = -(R_1 \parallel R_2) I_D + V_S$$

(1.7)

De los muchos parámetros, sólo se han considerado los componentes variables en el tiempo. Entonces, en valor total de los parámetros está dado por

$$V_D = V_d + V_{DQ}$$

$$i_D = i_d + I_{DQ}$$

y la ecuación (1.7) se vuelve

$$V_D i_D = (V_d + V_{DQ})(i_d + I_{DQ}) = V_d i_d + V_d I_{DQ} + V_{DQ} i_d + V_{DQ} I_{DQ}$$

Esta última ecuación se etiqueta como " línea de carga en ca " en la figura 1.17 (b). La línea de carga en ca debe pasar a través del punto Q, ya que en los momentos en que la parte variable se hace cero, las dos condiciones de operación (cd y ca) deben coincidir. Por tanto, la línea de carga en ca se determina de manera única.

Capacidad de manejo de potencia

Los diodos se clasifican de acuerdo con su capacidad de manejo de corriente. Las características se determinan por la construcción física del diodo (por ejemplo, el tamaño de la unión, el tipo de empaque y el tamaño del diodo). Las especificaciones del fabricante se utilizan para determinar la capacidad de potencia de un diodo para ciertos intervalos de temperatura. Algunos diodos, como los de potencia, se clasifican por su capacidad de paso de corriente.

La potencia instantánea disipada por un diodo se define por medio de la expresión de la ecuación (1.8):

$$P_D = V_D i_D$$

Capacitancia del diodo

El circuito equivalente del diodo incluye un pequeño capacitor. El tamaño de este capacitor depende de la magnitud y polaridad de la tensión aplicada al diodo. Así como de las características de la unión formada durante la fabricación.

Un diodo polarizado en inverso actúa como un capacitor cuya capacitancia varía en razón inversa a la raíz cuadrada de la tensión aplicada del material semiconductor. La capacitancia equivalente para diodos de alta velocidad es inferior a 5 pF. Esta capacitancia puede llegar a ser tan grande como 500 pF en diodos de alta corriente (baja velocidad).