

Región Zener

Hay un punto donde la aplicación de un voltaje demasiado negativo producirá un cambio abrupto de las características. La corriente se incrementa muy rápido en una dirección opuesta a la de la región de voltaje positivo. El potencial de polarización en inversa que produce este cambio dramático de las características se llama potencial Zener y su símbolo es V_Z . A medida que se incrementa el voltaje a través del diodo en la región de polarización en inversa también se incrementará la velocidad de los portadores minoritarios responsables de la corriente de saturación inversa. Es decir, se producirá un proceso de ionización por medio del cual los electrones de valencia absorben suficiente energía para abandonar el átomo padre, estos portadores adicionales pueden ayudar entonces al proceso de ionización al punto de que se establece una corriente de avalancha y determina la región de ruptura de avalancha.

Se puede hacer que la región de avalancha V_Z se acerque al eje vertical incrementando los niveles de dopado en los materiales p y n, con forme V_Z se reduce a niveles muy bajos, la ruptura de tener contribuirá al cambio abrupto de la característica, este cambio abrupto de la característica a cualquier nivel se llama región Zener y los diodos que emplean esta parte única de las características de una unidos p-n se llama diodos Zener. Se debe evitar la región Zener del diodo semiconductor descrita para que el sistema no sea modificado por completo, el máximo potencial de polarización en inversa que se puede aplicar antes de entrar a la región Zener se llama voltaje inverso pico PIV. A una temperatura fija la corriente de saturación en inversa de un diodo se incrementa con un incremento de la polarización en inversa aplicada

Ge, Si y GaAs

El análisis de semiconductores es importante con otros materiales de primordial importancia además del Si como son: GaAs y Ge. El punto de levantamiento vertical de las características es diferente para cada material, aunque la forma general de cada una es muy semejante donde el germanio es el más cercano al eje vertical y el GaAs es el más distante. La forma de la curva en la región de polarización inversa también es bastante parecida para cada material, pero hay una diferencia medible en las magnitudes de las corrientes de saturación en inversa típicas, además las magnitudes relativas de los voltajes de ruptura en inversa para cada material.

Diodo Zener

La característica cae casi verticalmente con un potencial de polarización en inversa denotado V_Z . El hecho de que la curva caiga y se aleje del eje horizontal en vez de elevarse y alejarse en la región de Positivo, revela que la corriente en la región Zener tiene una dirección opuesta a la de un diodo polarizado en directa. La ligera pendiente de la curva en la región Zener revela que existe un nivel de resistencia que tiene que ser asociado al diodo Zener en el modo de conducción.

En el caso del diodo semiconductor el estado “encendido” soportará una corriente en la dirección de la flecha del símbolo. Para el diodo Zener la dirección de conducción es opuesta a la de la flecha del símbolo, también la polaridad de V_D y V_Z es la misma que se obtendría si cada uno fuera un elemento resistivo. Por sus excelentes capacidades de corriente y temperatura, el silicio es el material preferido en la fabricación de diodos Zener.

El modelo equivalente de un diodo Zener en la región de polarización en inversa por debajo de V_Z es un resistor muy grande, para la mayoría de las aplicaciones esta resistencia es tan grande que puede ser ignorada y se emplea el equivalente de circuito abierto.

El término nominal utilizado en la especificación del voltaje Zener sólo indica que es un valor promedio típico. La corriente es la que definirá la resistencia dinámica Z_T y aparece en la ecuación general del coeficiente de potencia del dispositivo.

$$P_{Z_{max}} = I_{ZT} V_Z$$

El potencial Zener de un diodo Zener es muy sensible a la temperatura de operación. Se puede utilizar el coeficiente de temperatura para determinar el cambio del potencial Zener debido a un cambio de temperatura por medio de la siguiente ecuación.

$$T_C = \frac{\Delta V_Z / V_Z}{T_1 - T_0} \times 100\% / ^\circ\text{C}$$

Donde

T_1 es el nuevo nivel de temperatura

T_0 es la temperatura ambiente en un gabinete cerrado (25°C)

T_C es el coeficiente de temperatura

V_Z es el potencial Zener nominal a 25°C

Para diodos Zener con potenciales Zener de menos de 5 V es muy común ver coeficientes de temperatura negativos, en los que el voltaje Zener se reduce cuando se incrementa la temperatura.

El uso de un diodo Zener como regulador es una de sus principales áreas de aplicación. Un regulador es una combinación de elementos diseñados para garantizar que el voltaje de salida de una fuente permanezca más o menos constante, además, el uso del diodo Zener como regulador es tan común que se consideran tres condiciones entorno al análisis del regulador Zener básico. El análisis brinda una excelente oportunidad de conocer mejor la respuesta del diodo Zener a diferentes condiciones de operación. El análisis primero es para cantidades fijas, seguido por un voltaje de alimentación fijo y una carga variable y por último una carga fija y una alimentación variable.

V_i y R fijos

El voltaje de cd aplicado es fijo, lo mismo que el resistor de carga. El análisis se puede dividir en dos pasos.

1.- Determinar el estado del diodo Zener eliminándolo de la red y calculando el voltaje a través del circuito abierto resultante.

$$V = V_L = \frac{R_L V_i}{R + R_L}$$

Si $V \geq V_Z$ el diodo Zener está encendido y se puede sustituir el modelo equivalente apropiado.

Si $V < V_Z$ el diodo está apagado y se sustituye la equivalencia de circuito abierto.

2.- Sustituyendo el circuito equivalente apropiado y resolviendo para la cantidad desconocida deseada.

$$V_L = V_Z$$

La corriente a través del diodo Zener se determina con la ley de corrientes de Kirchhoff. Es decir

$$I_R = I_Z + I_L$$

y

$$I_Z = I_R - I_L$$

donde

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} \quad y \quad I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_i - V_L}{R}$$

La siguiente ecuación determina la potencia disipada por el diodo Zener

$$P_Z = V_Z I_Z$$

la cual debe ser menor que P_{ZM} especificada para el dispositivo.

Es muy importante tener presente que el primer paso se emplea sólo para determinar el estado del diodo Zener. Si el diodo Zener está “encendido”, el voltaje a través del diodo no es de V volts. Cuando el sistema está encendido, el diodo Zener se encenderá en cuanto el voltaje a través del diodo Zener sea de V_Z volts. Se “mantendrá” entonces a este nivel y nunca alcanzará el nivel más alto de V volts.

V_i fijo, R_L variable

Debido al nivel de voltaje V_Z , hay un rango específico de valores de resistor que garantizará que el Zener esté “encendido”. Una resistencia de carga demasiado pequeña R_L hará que el voltaje V_L a través del resistor de carga sea menor que V_Z y el dispositivo Zener estará “apagado”.

Para determinar la resistencia de carga mínima que encenderá el diodo Zener

$$R_{L_{\min}} = \frac{RV_Z}{V_i - V_Z}$$

Cualquier valor de resistencia de carga mayor que R_L garantizará que el diodo Zener esté “encendido” y que el diodo pueda ser reemplazado por su fuente V_Z equivalente. La condición definida por la ecuación establece la R_L mínima, pero en cambio especifica la I_L máxima como

$$I_{L_{\max}} = \frac{V_L}{R_L} = \frac{V_Z}{R_{L_{\min}}}$$

Una vez que el diodo se “enciende”, el voltaje R permanece fijo en

$$V_R = V_i - V_Z$$

además, IR permanece fija en

$$I_R = \frac{V_R}{R}$$

La corriente Zener

$$I_Z = I_R - I_L$$

con la que se obtiene una IZ mínima cuando IL alcanza su valor máximo y una IZ máxima cuando IL alcanza un valor mínimo, puesto que IR es constante. Como IZ está limitada a IZM según la hoja de datos, no afecta el intervalo de RL y por consiguiente de IL. Sustituyendo IZM por IZ se establece la IL mínima como

$$I_{L_{\min}} = I_R - I_{ZM}$$

y la resistencia de carga máxima como

$$R_{L_{\max}} = \frac{V_Z}{I_{L_{\min}}}$$

RL fija, Vi variable

Para valores fijos de RL, el voltaje debe ser lo bastante grande para encender el diodo Zener. El voltaje de encendido mínimo se determina como

$$V_{i_{\min}} = \frac{(R_L + R)V_Z}{R_L}$$

La corriente Zener máxima limita el valor máximo de Vi

$$I_{R_{\max}} = I_{ZM} + I_L$$

Como IL se mantiene fija a $V_Z > R_L$ e IZM es el valor máximo de IZ, el Vi máximo se define como

$$V_{i_{\max}} = V_{R_{\max}} + V_Z$$

$$V_{i_{\max}} = I_{R_{\max}} R + V_Z$$