

Índice

<i>TEMA 7: Desviaciones respecto a la ecuación de Shockley: el diodo real</i>	7.1
7.1. INTRODUCCIÓN	7.1
7.2. DESVIACIONES BAJO POLARIZACIÓN DIRECTA	7.3
7.3. DESVIACIONES BAJO POLARIZACIÓN INVERSA	7.6
7.3.1. Tensión de ruptura y diodos Zener	7.6
7.3.2. Circuitos con diodos Zener	7.7

Tema 7

Desviaciones respecto a la ec. de Shockley:

El diodo real

7.1.- INTRODUCCIÓN

En los dos primeros capítulos dedicados al estudio del diodo se han desarrollado descripciones cualitativas y cuantitativas del diodo de unión pn ideal. La ecuación del diodo ideal describe de manera precisa al diodo real trabajando en un amplio rango de corrientes y tensiones. Sin embargo, hay diversas condiciones de temperatura y voltaje aplicados en los cuales el diodo ideal no logra representar adecuadamente al dispositivo físico.

En este capítulo estudiaremos las desviaciones existentes entre el diodo ideal y el real para los dos tipos de polarización:

- 1. En polarización directa, tanto en el rango de bajas y corriente como en el de altas intensidades. En el caso de bajas corrientes se verán los efectos debidos a la recombinación en la Región de Carga de Espacio. En el de altas, los efectos de resistencia serie y de alta inyección.*
- 2. En polarización inversa, debido a la aplicación de voltajes inversos elevados que causan la ruptura de la unión.*

7.2.- DESVIACIONES BAJO POLARIZACIÓN DIRECTA

La ecuación de Shockley, deducida en el capítulo anterior, corresponde a la ecuación del diodo de unión pn que cumple una serie de hipótesis (en algunos casos diremos que es *ideal* desde el punto de vista de los contactos, la recombinación, etc; no debe confundirse con el diodo ideal desde el punto de vista circuital ON/OFF, con tensión de codo nula).

$$I = I_{sat} \left(e^{\frac{V}{V_T}} - 1 \right) \quad (7.1)$$

En la Figura 7.1 se ha representado dicha ecuación junto con los valores correspondientes a un diodo real, en escala semilogarítmica. En dicha gráfica, pueden observarse tres rangos de corriente perfectamente definidos:

1. Región de bajas corrientes
2. Región intermedia, en la que durante varias décadas de corriente el dispositivo ideal y el real están bastante próximos
3. Región de altas corrientes y alta inyección

El parámetro “n” se denomina **Factor de Idealidad**, y es una medida de la aproximación respecto al diodo ideal, según la cual fue fabricado el dispositivo real. El factor de idealidad se introduce en la ecuación 7.1 sin más que sustituir $V_T = kT/q$ por $V_T = nkT/q$

$$I = I_{sat} \left(e^{\frac{qV}{nkT}} - 1 \right) \quad (7.2)$$

Como $V > 0$ y $V > V_T = kT/q$, resulta que:

$$I = I_{sat} e^{\frac{V}{nV_T}}$$

Tomando logaritmos:

$$\ln(I) = \ln(I_{sat}) + \frac{V}{nV_T} \quad (7.3)$$

de manera que, $\ln(I_{sat})$ es la ordenada en el origen y $1/nV_T$ es la pendiente de la recta. Cuando $n = 1$, los datos físicos coinciden con el diodo ideal. Esto es precisamente lo que ocurre en la región intermedia (rango de medias corrientes). Para la mayor parte de los dispositivos de silicio, en esta región $1,0 \leq n \leq 1,06$. En este apartado vamos a explicar el porqué de la desviación en el rango de bajas corrientes. La tercera región, debido a efectos de Alta Corriente y Alta Inyección, se escapa del alcance de este curso.

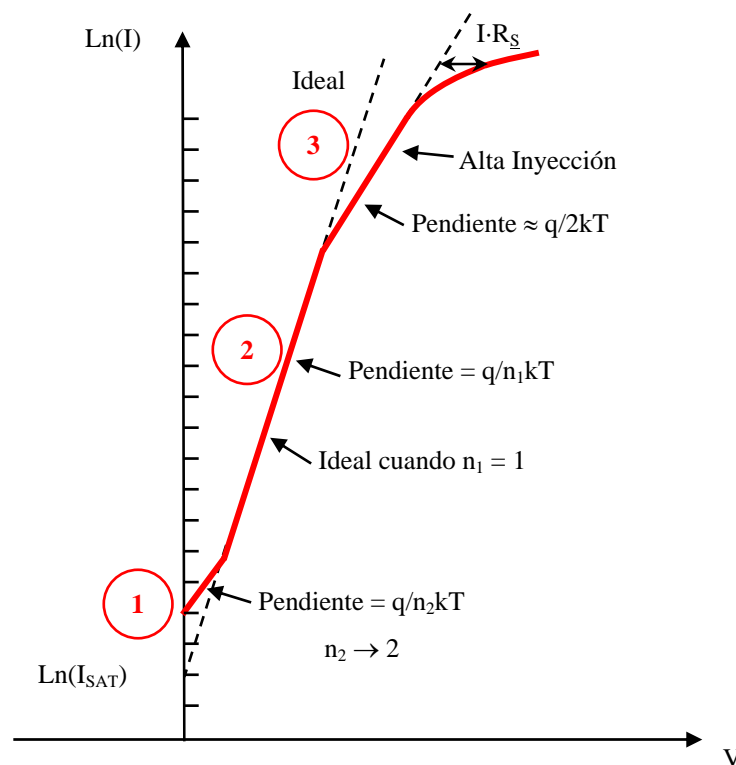


Figura 7.1.- Desviaciones respecto al ideal, en polarización directa.

Recombinación en la región de vaciamiento

A la hora de deducir la ecuación del diodo ideal de unión pn, se han despreciado los efectos de recombinación en la z.c.e. Sin embargo, hay que tener en cuenta que una polarización directa provoca un flujo de huecos desde la región p hacia la región n y un flujo de electrones desde la región n hasta la región p. Cuando estos portadores atraviesan la z.c.e., sus concentraciones son mayores que las de equilibrio, $p \cdot n > n_i^2$, por lo tanto puede haber recombinación. En la Figura 7.2 se muestra la recombinación de un par e^-h^+ aproximadamente en el centro de la zona dipolar.

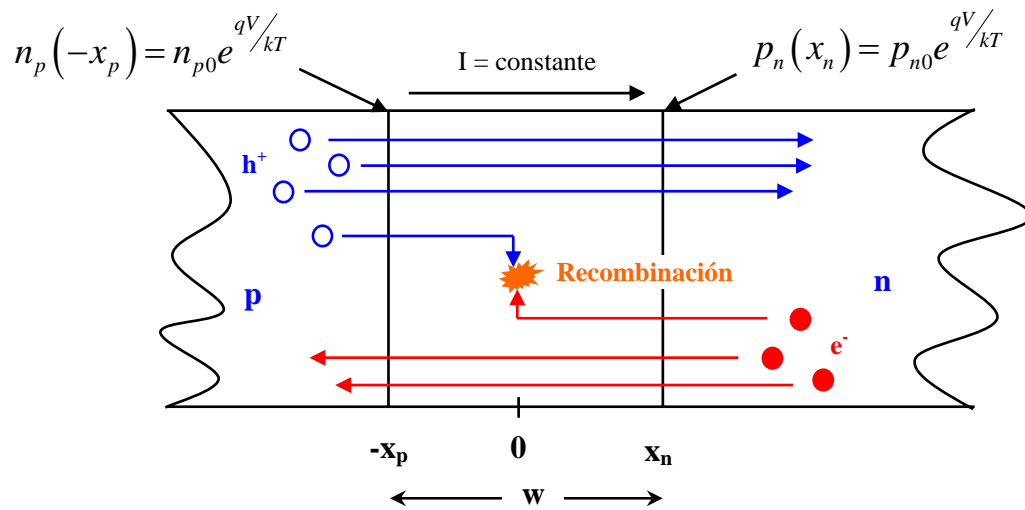


Figura 7.2.- La recombinación como corriente adicional al diodo ideal en la región de vaciamiento bajo polarización directa.

Por lo tanto, para una misma tensión V , deben ser más los h^+ que entran en la región de vaciamiento puesto que algunos se pierden por recombinación. Lo mismo se puede razonar para los e^- que se mueven de la zona n a la zona p . El resultado neto es que para una misma tensión V , el diodo real presenta una corriente mayor que la del diodo ideal. Es decir,

$$I = I_{SAT} \left(e^{\frac{V}{n_1 V_T}} - 1 \right) + \frac{q A n_i w}{2 \tau_0} \left(e^{\frac{V}{n_2 V_T}} - 1 \right)$$

Corriente de recombinación en la z.c.e.

A niveles bajos de corriente (región 1 de la Figura 7.1), la componente dominante de la corriente es la de recombinación en la z.c.e.. Típicamente, en muchos dispositivos $n_2 \rightarrow 2$. En el rango de medias corrientes (región 2 de la Figura 7.1), esta corriente de recombinación también existe, pero es sólo una fracción muy pequeña de la corriente total. Esto es, dominan las corrientes de difusión.

7.2.- DESVIACIONES BAJO POLARIZACIÓN INVERSA

7.2.1.- Tensión de Ruptura y Diodos Zener

Vamos a ver de forma cualitativa otra de las desviaciones de la característica I-V de un diodo real respecto del caso ideal analizado en el apartado anterior. Concretamente se va a estudiar la ruptura de la unión pn bajo polarización inversa (fig 7.3a). Aquellos diodos que posean una disipación de potencia adecuada para trabajar en la región de ruptura, se denominan Diodos Zener y su símbolo de circuito es el representado en la Figura 7.3b.

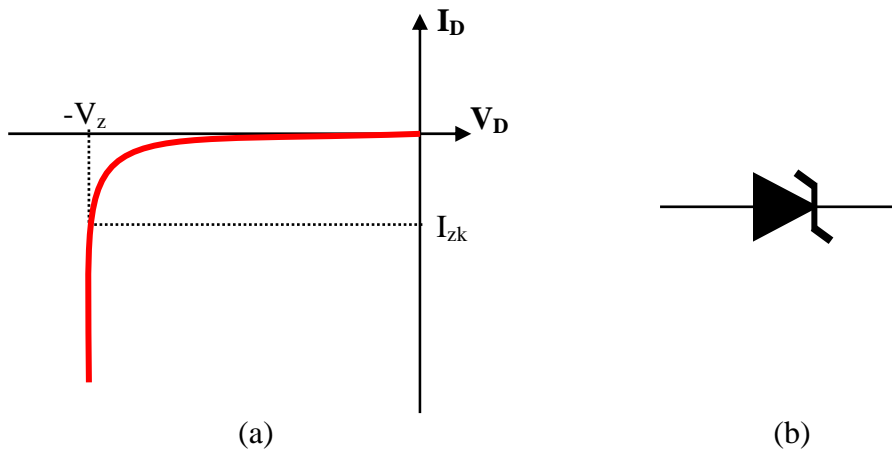


Figura 7.3.- (a) Característica de polarización inversa indicando la región de ruptura;
(b) símbolo del diodo Zener.

La curva I-V en inversa

Tal y como aparece reflejado en la Figura 7.3a, un diodo de unión pn no puede soportar cualquier tensión inversa que se le aplique sin dejar pasar apenas corriente, sino que al alcanzarse un cierto valor de la tensión inversa aplicada (ese valor es característico de cada dispositivo y depende fundamentalmente del dopado), se produce lo que se denomina “**Disrupción de la Unión**”. Esto es, el diodo empieza a conducir en sentido contrario, de cátodo a ánodo, manteniendo entre sus bordes una tensión

aproximadamente constante. La tensión a la que esto sucede se denomina “**Tensión de Disrupción o de Ruptura**” y se suele representar por las siglas V_z o **B.V.** (Breakdown Voltage).

Existen diferentes mecanismos responsables de la ruptura o disrupción de la unión, sin embargo, su explicación queda fuera de los contenidos de este curso. A nosotros lo que nos interesa es su aplicación práctica. Los diodos que operan en la región de ruptura se les denominan “**Diodos Zener**” o “**Diodos Reguladores**” ya que se comportan como fuentes de voltaje fijo en un intervalo de corriente muy amplio. El funcionamiento de un diodo Zener en la región de ruptura presenta unos límites de corriente tanto mínimo como máximo. El valor mínimo, representado en la Figura 7.3 (a) como I_{zk} , indica el valor mínimo de la corriente para que se produzca regulación de tensión. Para valores de corriente por debajo de I_{zk} , la regulación es pobre y la tensión en bornes del diodo se desvía de V_z . El límite máximo, por el contrario, proviene de la máxima capacidad de disipación de potencia del diodo Zener.

7.2.2.- Circuitos con diodos Zener

El circuito típico de uso de un diodo Zener es el que se muestra en la Figura 7.4. En este caso el Zener se utiliza para mantener una tensión de salida, $V_0 = V_z$, independiente de las variaciones de la resistencia de carga, R_L , y de la tensión V_s .

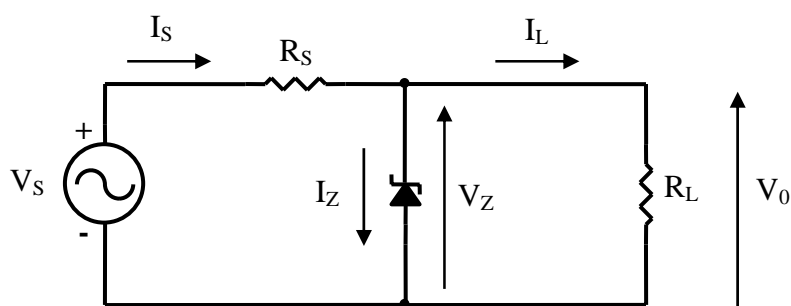


Figura 7.4.- Circuito Regulador Zener.

En efecto, la tensión V_S polariza inversamente al diodo. Si $|V_S| > |V_Z|$, entonces el diodo entrará en disrupción manteniendo entre sus bornes una tensión constante e igual a V_Z .

$$I_S = I_Z + I_L \quad (7.4)$$

$$V_S - V_Z = R_S \cdot I_S \quad \Rightarrow \quad I_S = \frac{V_S - V_Z}{R_S} \quad (7.5)$$

$$V_0 = V_Z = R_L \cdot I_L \quad \Rightarrow \quad I_L = \frac{V_Z}{R_L} \quad (7.6)$$

Por tanto, I_L es función de R_L mientras que I_S es independiente del valor de R_L . Es decir, la corriente que circula por el Zener (I_Z) se acomodará a las variaciones de la carga, al objeto de que la tensión de salida permanezca siempre constante.