

PRACTICA 6

El diodo zéner

6.1. INTRODUCCION

En la Práctica 1 estudiábamos el diodo semiconductor; en él se expresaba que, al polarizar un diodo inversamente, se podía alcanzar la destrucción de éste de dos formas, por efecto avalancha o por efecto zéner.

Pues bien, esta limitación (ruptura por efecto zéner) es aprovechada en el diodo zéner, encontrando sus principales aplicaciones en reguladores de tensión y como elementos de referencia de tensión para otros circuitos. De su estudio nos ocuparemos en la presente práctica, primero, como componente aislado y, posteriormente, como elemento regulador.

6.2. DESCRIPCION BASICA

El diodo zéner basa su funcionamiento en el efecto zéner, de ahí su nombre.

Recordemos que, en polarización inversa y alcanzada esta zona, a pequeños aumentos de tensión corresponden grandes aumentos de corriente.

Este componente es capaz de trabajar en dicha región cuando las condiciones de polarización lo determinen y, una vez hayan desaparecido éstas, recupera sus propiedades como diodo normal, no llegando por este fenómeno a su destrucción salvo que se alcance la corriente máxima de zéner $I_{Z\text{máx}}$ indicada por el fabricante.

Lógicamente, la geometría de construcción es diferente al resto de los diodos, estribando su principal diferencia en la delgadez de la zona de unión entre los materiales tipo P y tipo N , así como de la densidad de dopado de los cristales básicos.

Sus parámetros principales son:

- V_z = Tensión nominal de zéner. Polarización inversa en torno a la cual su funcionamiento es efectivo.
- $I_{Z\text{mín}}$ = Mínima corriente inversa que ha de atravesar el diodo para asegurar su correcto funcionamiento, también llamada corriente de mantenimiento.
- $I_{Z\text{máx}}$ = Máxima corriente inversa que lo puede atravesar con garantía de no destrucción.
- P_z = Potencia de disipación nominal del componente que no debe ser sobrepasada.

Existen distintos símbolos para su representación esquemática; la Figura 6.1 presenta los más usuales y su aspecto exterior, que no difiere en nada de los diodos semiconductores normales. En su designación se da información del tipo y de su tensión nominal de zéner.

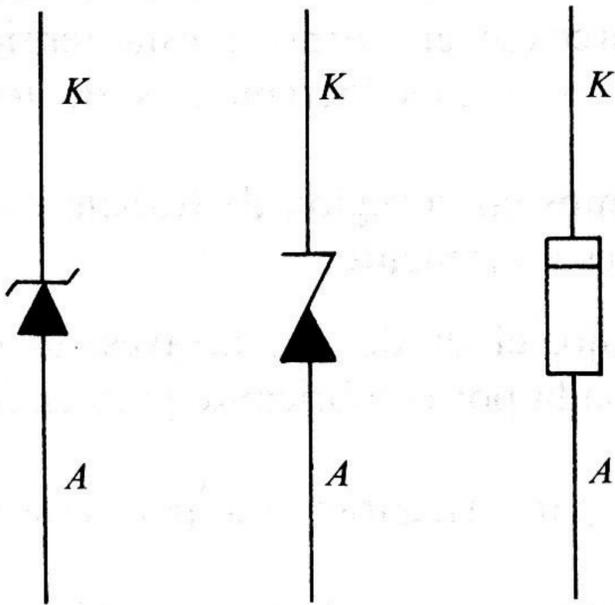


Figura 6.1. Diodo zéner. Símbolos esquemáticos y aspecto físico.

6.3. FUNCIONAMIENTO

■ El zéner como componente

Como ha quedado expuesto, el diodo zéner está ideado para trabajar con polarización inversa, careciendo de interés su funcionamiento en polarización directa, que es igual al de cualquier diodo semiconductor.

La Figura 6.2 corresponde a su característica tensión-corriente, y en ella nos apoyaremos para estudiar su funcionamiento.

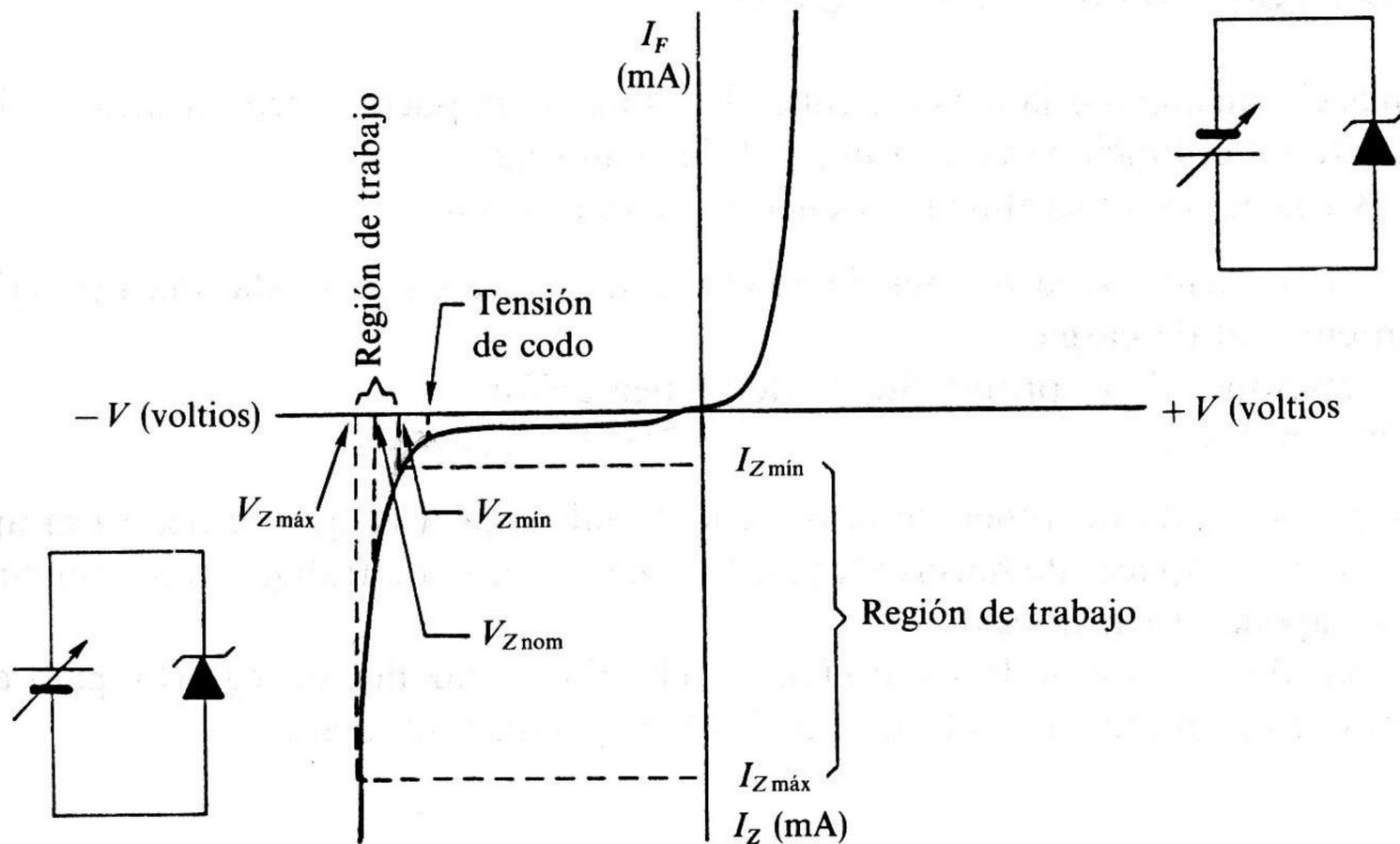


Figura 6.2. Característica tensión-corriente.

Cuando el zéner está polarizado inversamente, con pequeños valores de tensión se alcanza la corriente inversa de saturación, prácticamente estable y de magnitudes despreciables a efectos prácticos.

Si sigue aumentando la tensión de polarización inversa se alcanza un determinado valor, denominado tensión de codo o de giro, donde los aumentos de corriente son considerables frente a los aumentos de tensión (apréciese en torno a esta tensión la curvatura de la gráfica). Sobrepasada esta zona, a pequeños incrementos de tensión corresponden aumentos elevados de la corriente I_z .

Alcanzada la circunstancia anterior, nos encontramos en la región de trabajo efectivo del zéner. Debemos hacer ciertas consideraciones en este momento:

1. Se ha de asegurar que, en régimen de trabajo, el diodo sea atravesado como mínimo por una corriente inversa, $I_{Z\text{mín}}$, expresada por el fabricante para excluir la región de giro del funcionamiento normal.
2. No se debe sobrepasar en ningún caso $I_{Z\text{máx}}$ para asegurar la supervivencia del componente.
3. Estos dos valores de I_z llevan asociados un par de valores de tensión, V_z ; aproximadamente, el valor medio de ellos representa la tensión nominal de zéner $V_{Z\text{nom}}$. Se suele expresar en las características un porcentaje de tolerancia sobre la tensión nominal.
4. La potencia disipada en cada momento, P_z , vendrá expresada por el producto de los valores instantáneos de V_z e I_z .
5. Los valores de $I_{Z\text{mín}}$ e $I_{Z\text{máx}}$ con sus valores de V_z asociados representan la región de trabajo.

En estos momentos estamos en condiciones de asegurar que, en la región de trabajo, el zéner es capaz de mantener en sus extremos una tensión considerablemente estable.

■ El zéner como regulador de tensión

En muchas circunstancias la tensión aplicada a una carga puede sufrir variaciones indeseables que alteren el funcionamiento normal de la misma.

Estas variaciones generalmente vienen provocadas por:

1. Una variación de la resistencia de carga, que lleva emparejada una variación de la intensidad de carga.
2. Variaciones de la propia fuente de alimentación.
3. Por ambas causas.

Si elegimos un diodo zéner de tensión nominal igual a la que es necesaria aplicar a la carga y somos capaces de hacerlo funcionar en su región de trabajo, conseguiremos una tensión sin apenas variaciones.

El objeto de este apartado es diseñar un circuito capaz de conseguirlo, para ello nos apoyaremos en ejemplos de cada una de las tres posibles situaciones.

Ejemplo de diseño para la causa 1

Supongamos que deseamos alimentar una carga que absorbe una corriente que puede variar entre 10 mA y 40 mA, para una tensión $V_L = 12$ V. Para ello disponemos de una f.a. $V_A = 18$ V.

Debemos atenernos a unas condiciones mínimas para abordar el diseño con éxito. Estas condiciones son:

1. El circuito se diseña para las peores condiciones ($I_{L\text{máx}}$). *40 mA*
2. El zéner debe ser en todo momento atravesado por una $I_{Z\text{mín}}$ para asegurar su efecto regulador; fijémosla en 5 mA (este dato sería dado por catálogo).
3. La tensión de la fuente ha de ser en todo momento mayor que la aplicada a la carga para asegurar $I_{Z\text{mín}}$.
4. Debemos disponer de una resistencia limitadora en serie que absorba la diferencia de tensión entre V_A y V_L ; será R_{lim} .

De esta forma, el circuito quedaría como el representado en la Figura 6.3, con lo cual el zéner asegura la estabilidad de la tensión V_L .

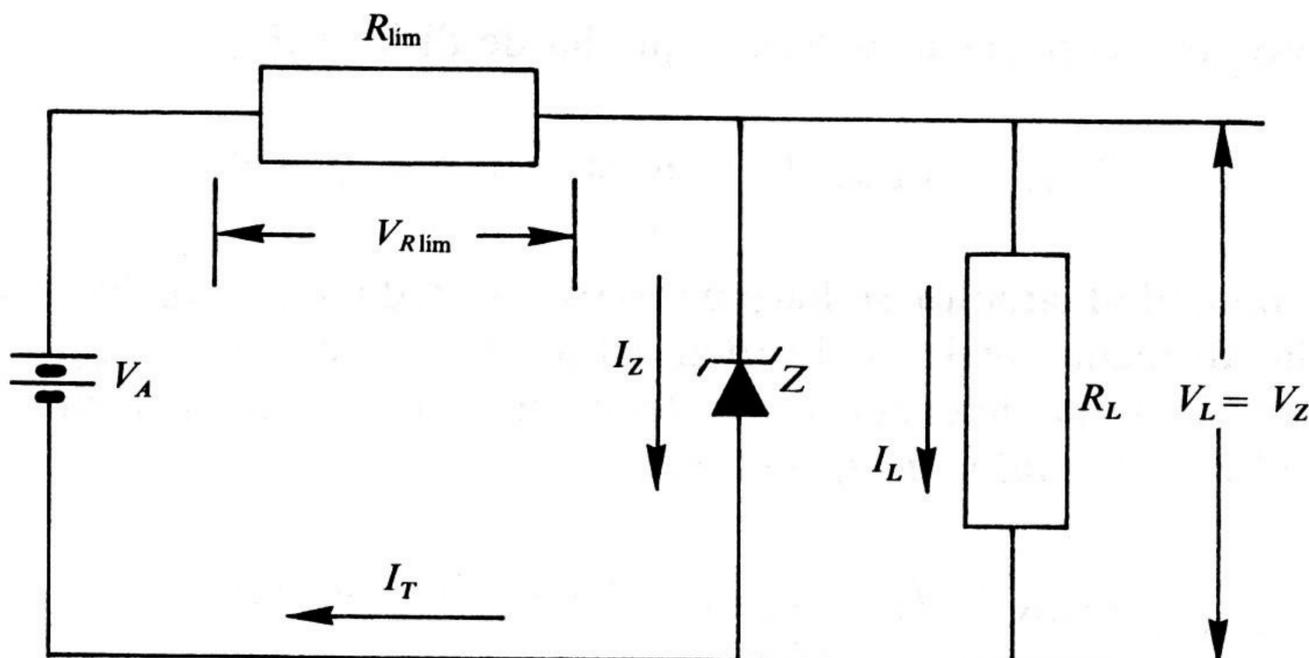


Figura 6.3. Zéner como regulador de tensión para carga variable.

Si hemos de asegurar $I_{Z\text{mín}}$

$$I_T = I_{Z\text{mín}} + I_{L\text{máx}} = 5 + 40 = 45 \text{ mA}$$

R_{lim} debe absorber la diferencia de tensión, luego

$$V_{R\text{lim}} = V_A - V_L = 18 - 12 = 6 \text{ V}$$

de donde

$$R_{\text{lim}} = \frac{V_{R\text{lim}}}{I_T} = \frac{6}{45 \cdot 10^{-3}} = 133,3 \Omega$$

ahora bien, no olvidemos que tratamos de realizar un montaje práctico, y resistencias normalizadas de $133,3 \Omega$ no existen, luego deberíamos elegir entre los dos valores normalizados más próximos. Tomaremos valores normalizados al 10 por 100, esto es

$$120 \Omega < 133,3 \Omega < 150 \Omega$$

Si eligiéramos 150Ω , que es el más próximo superior, no quedaría garantizada $I_{Z\text{mín}}$, luego se ha de elegir siempre el primer valor inferior normalizado; de esta forma, $R_{\text{lím}} = 120 \Omega$ esto obliga a calcular de nuevo I_T

$$I_T = \frac{V_{R\text{lím}}}{R_{\text{lím}}} = \frac{6}{120} = 50 \text{ mA}$$

ahora, la mínima corriente que atravesará al zéner será:

$$I_{Z\text{mín}} = I_T - I_{L\text{máx}} = 50 - 40 = 10 \text{ mA}$$

Como es necesario conocer la potencia que ha de disipar $R_{\text{lím}}$:

$$P_{R\text{lím}} = V_{R\text{lím}} \cdot I_T = 6 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,3 \text{ W}$$

Para dar fiabilidad al circuito, se hace necesario sobredimensionar las potencias nominales frente a las disipadas reales, del orden del doble, en este caso $P_{R\text{lím}} = 1/2 \text{ W}$.

Del mismo modo, se ha de conocer la potencia máxima que ha de disipar el zéner, que corresponderá al mínimo valor de I_L , entonces

$$I_{Z\text{máx}} = I_T - I_{L\text{mín}} = 50 - 10 = 40 \text{ mA}$$

de donde

$$P_Z = V_Z \cdot I_{Z\text{máx}} = 12 \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 480 \text{ mW}$$

por lo que elegimos un zéner cuya $P_Z = 1 \text{ W}$.

De esta forma el circuito queda totalmente calculado

$$R_{\text{lím}} = 120 \Omega, 1/2 \text{ W}$$

$$\text{zéner que cumpla } \begin{cases} V_Z = 12 \text{ V} \\ I_{Z\text{mín}} < 10 \text{ mA} \\ P_Z = 1 \text{ W} \end{cases}$$

Obsérvese que I_T no varía y que el zéner varía su corriente absorbida, compensando las variaciones producidas en I_L y asegurando, de esta forma, la estabilidad de V_L .

Ejemplo de diseño para la causa 2

Es necesario alimentar una carga de 500Ω con una tensión de 10 V , a partir de una fuente que suministra una tensión que puede variar entre 15 y 20 V . (En adelante tomaremos $I_{Z\text{mín}} = 5 \text{ mA}$ y recordemos que este dato se obtendría del catálogo al elegir el zéner.)

El esquema de diseño se representa en la Figura 6.4.

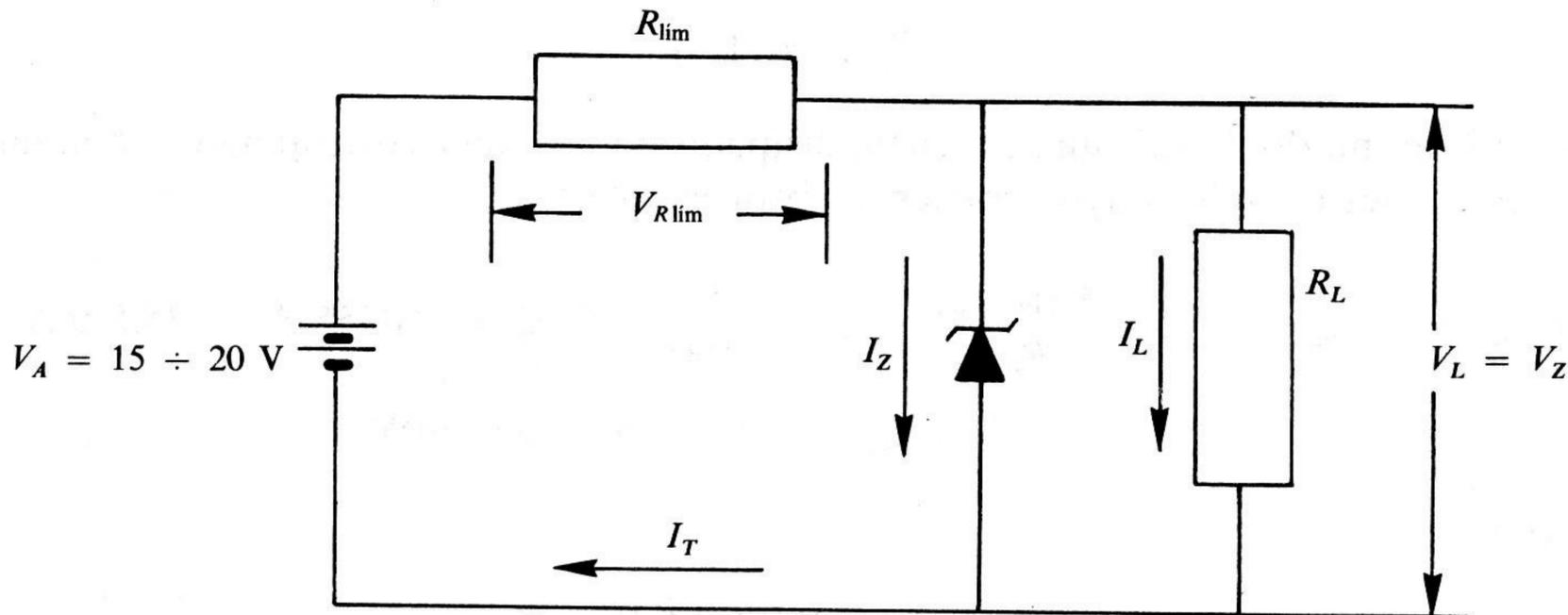


Figura 6.4. Regulador de tensión con zéner para fuente de tensión variable.

En este caso, las condiciones de trabajo vienen determinadas por la fuente y, de nuevo, hay que asegurar $I_{Z\text{mín}}$.

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10}{500} = 20 \text{ mA}$$

Ahora bien, para asegurar V_L , al variar V_A , debe variar $V_{R\text{lim}}$ y, por tanto, I_T ; luego $I_{T\text{mín}}$ corresponderá al caso de $V_{A\text{mín}}$ (que resulta ser el caso más desfavorable)

$$I_{T\text{mín}} = I_L + I_{Z\text{mín}} = 20 + 5 = 25 \text{ mA}$$

si, para estas condiciones, calculamos R_{lim} , $I_{Z\text{mín}}$ no será nunca inferior a 5 mA , entonces

$$V_{R\text{lim}\text{mín}} = V_{A\text{mín}} - V_L = 15 - 10 = 5 \text{ V}$$

de donde

$$R_{\text{lim}} = \frac{V_{R\text{lim}\text{mín}}}{I_{T\text{mín}}} = \frac{5}{25 \cdot 10^{-3}} = 200 \Omega$$

Por las razones ya expuestas, el valor real de R_{lim} será 180Ω , con lo cual $I_{Z\text{mín}}$ aumentará ligeramente su valor.

$$I_{T\text{mín}} = \frac{V_{R\text{lim}\text{mín}}}{R_{\text{lim}}} = \frac{5}{180} = 27,7 \text{ mA}$$

$$I_{Z\text{mín}\text{real}} = \frac{5}{180} - 20 \cdot 10^{-3} = 7,7 \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

$$I_{Z\text{mín}\text{real}} = I_{T\text{mín}} - I_L = 27,7 - 20 = 7,7 \text{ mA} > 5 \text{ mA}$$

La potencia de R_{lim} será calculada para el valor máximo de V_A , ya que será entonces cuando la potencia disipada sea mayor

$$P_{R_{\text{lim}}} = \frac{(V_{R_{\text{lim}} \text{ máx}})^2}{R_{\text{lim}}} = \frac{10^2}{180} = 0,555 \text{ W} = 555 \text{ mW}$$

de donde

$$P_{R_{\text{lim}}} = 1 \text{ W}$$

Del mismo modo, la máxima potencia disipada por el zéner corresponderá a la misma situación, que es cuando mayor corriente absorbe, luego

$$I_{Z \text{ máx}} = I_{T \text{ máx}} - I_L = \frac{V_{R_{\text{lim}} \text{ máx}}}{R_{\text{lim}}} - I_L = \frac{10}{180} - 0,02 = 0,0355 \text{ A} = 35,5 \text{ mA}$$

$$P_{Z \text{ máx}} = V_Z \cdot I_{Z \text{ máx}} = 10 \cdot 35,5 = 355 \text{ mW}$$

resultando

$$R_{\text{lim}} = 180 \ \Omega, 1 \text{ W}$$

$$\text{zéner de } \begin{cases} V_Z = 10 \text{ V} \\ I_{Z \text{ mín}} < 7,7 \text{ mA} \\ P_Z = 1 \text{ W} \end{cases}$$

Ejemplo de diseño para la causa 3

Para alimentar una carga que absorbe una corriente que varía entre 10 mA y 50 mA, a una tensión de 10 V, disponemos de una fuente que suministra una tensión que varía entre 15 y 20 V. Hay que diseñar el circuito necesario.

Apoyándonos en los dos casos anteriores, $I_{Z \text{ mín}}$ se ha de asegurar para $I_{L \text{ máx}}$ y para $V_{A \text{ mín}}$ simultáneamente. La Figura 6.5 muestra el circuito correspondiente

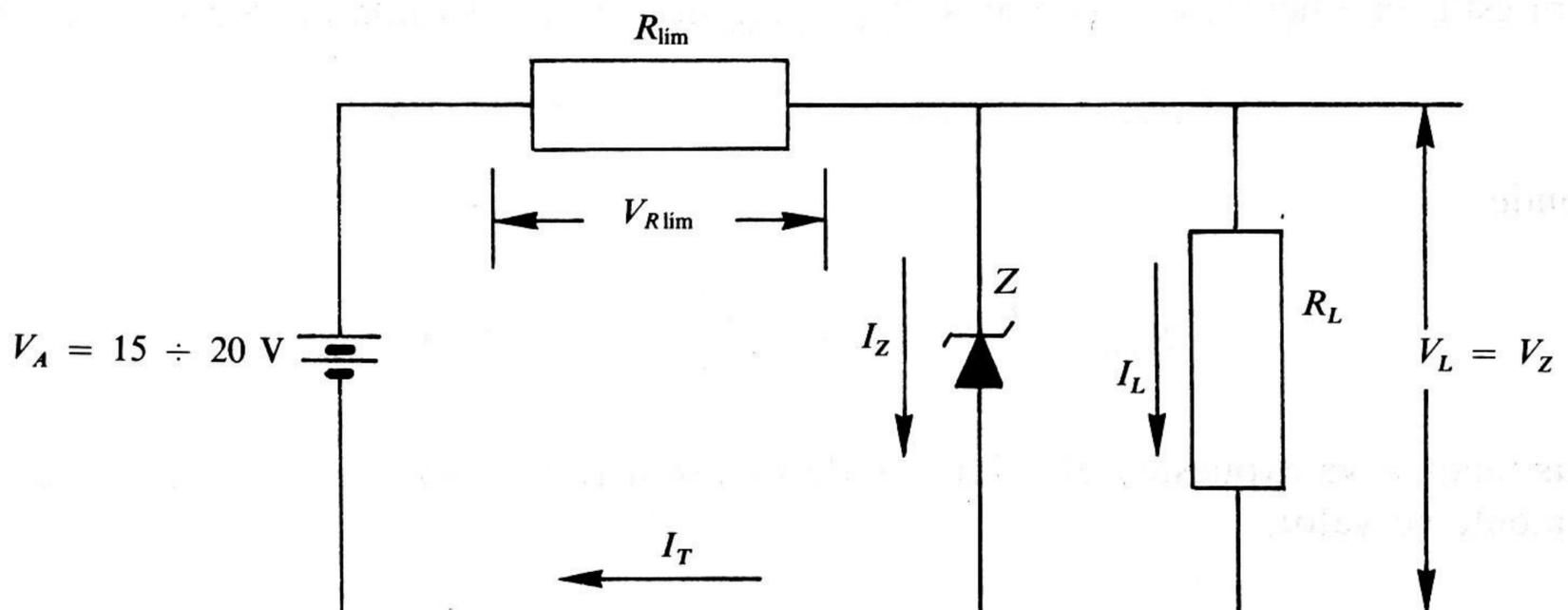


Figura 6.5. Regulador de tensión para carga y fuente variables.

De esta forma,

$$R_{\text{lím}} = \frac{V_{A\text{mín}} - V_L}{I_{L\text{máx}} + I_{Z\text{mín}}} = \frac{15 - 10}{50 + 5} = \frac{5}{55} = 0,0909 \text{ K}\Omega = 90,9 \Omega$$

luego

$$R_{\text{lím real}} = 82 \Omega, I_{Z\text{mín real}} = \frac{5}{0,082} - 50 = 10,9 \text{ mA}$$

Handwritten notes: $V_{Z\text{lím mín}}$ above the 5, $I_{Z\text{lím máx}}$ above the 50, and $= 60,9 \text{ m}\Omega R_{\text{lím}}$ below the 0,082.

Las potencias de $R_{\text{lím}}$ y de Z, deben ser calculadas para las condiciones opuestas, o sea, para $V_{A\text{máx}}$ e $I_{L\text{mín}}$

$$P_{R\text{lím}} = \frac{(V_{A\text{máx}} - V_L)^2}{R_{\text{lím}}} = \frac{(20 - 10)^2}{82} = 1,22 \text{ W}$$

$$P_{R\text{lím real}} = 2 \text{ W}$$

$P_{Z\text{máx}}$ corresponderá a la máxima I_Z , esto es

$$I_{Z\text{máx}} = I_{T\text{máx}} - I_{L\text{mín}} = \frac{V_{R\text{lím máx}}}{R_{\text{lím}}} - I_{L\text{mín}} = \frac{10}{82} - 0,01 = 0,112 \text{ A} = 112 \text{ mA}$$

por tanto,

$$P_{Z\text{máx}} = V_Z \cdot I_{Z\text{máx}} = 10 \cdot 0,112 = 1,12 \text{ W}$$

resultando

$$P_{Z(\text{real})} = 2 \text{ W}$$

en resumen, los resultados obtenidos son

$$R_{\text{lím}} = 82 \Omega, 2 \text{ W}$$

$$\text{zener de } \begin{cases} V_Z = 10 \text{ V} \\ I_{Z\text{mín}} < 10,9 \text{ mA} \\ P_Z = 2 \text{ W} \end{cases}$$

Téngase en consideración que, los subíndices $I_{Z\text{máx}}$ y $P_{Z\text{máx}}$ no son referidos en estos casos a las características dadas por el fabricante, sino a los máximos valores alcanzados en cada circuito.

En determinados casos en que no se dispone de diodos zéner adecuados a las necesidades del circuito, es posible conectar en paralelo diodos zéner de igual tensión nominal, hasta conseguir que la corriente máxima que se ha de derivar, sea menor que la suma de las $I_{Z\text{máx}}$ características de los diodos (Fig. 6.6a).

Igualmente, se pueden conectar diodos zéner en serie hasta conseguir que la tensión suma de las nominales sea igual a la tensión que es necesario estabilizar, siempre que cada uno de los zéner esté dentro de sus especificaciones de corriente y de potencia disipable (Fig. 6.6b).

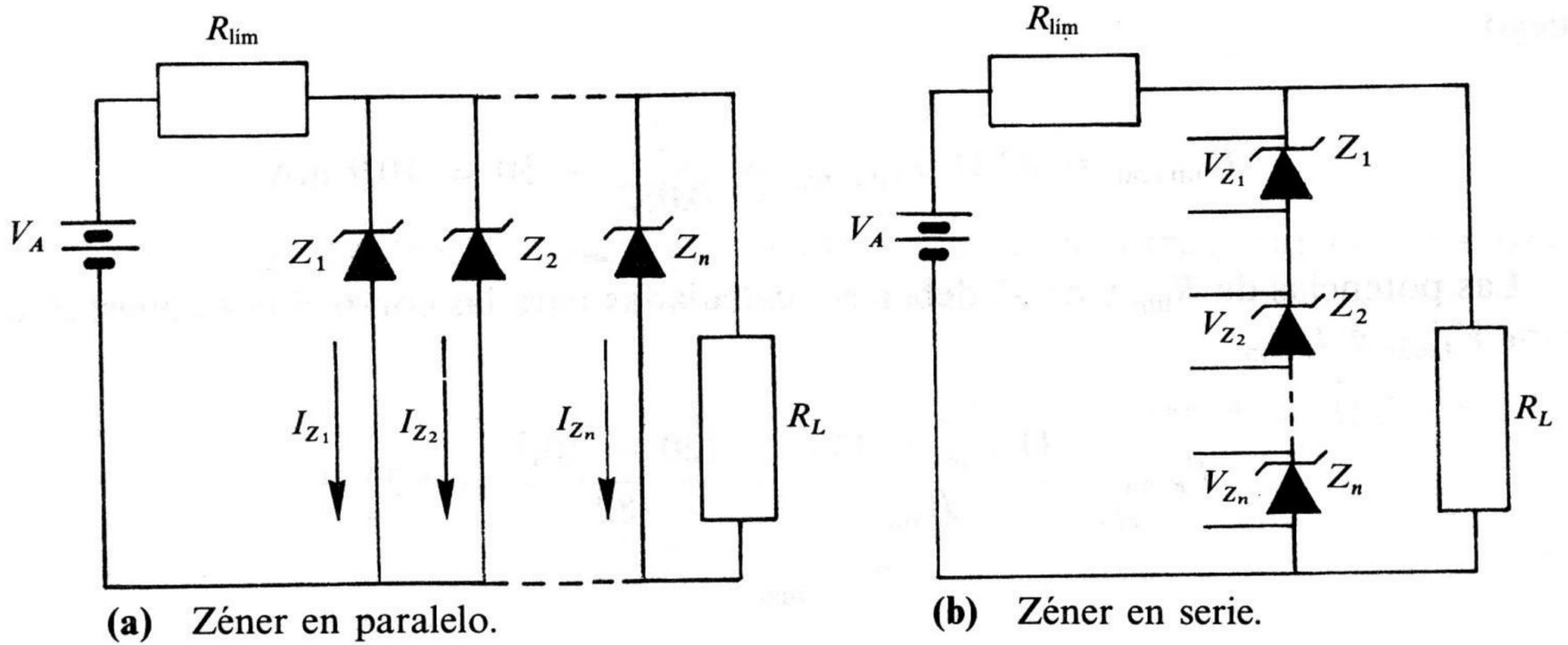


Figura 6.6. Asociación de diodos zéner.

■ El zéner en c.a.

Recortadores

Debido a sus características, el diodo zéner también puede ser utilizado como recortador, aunque, en este caso, el simple cambio de un diodo rectificador por un zéner implica un comportamiento diferente en el limitador. Veremos diferentes montajes y estudiaremos su comportamiento.

La Figura 6.7 es un limitador doble asimétrico, según se puede apreciar en el diagrama de tensiones de la Gráfica 6.1.

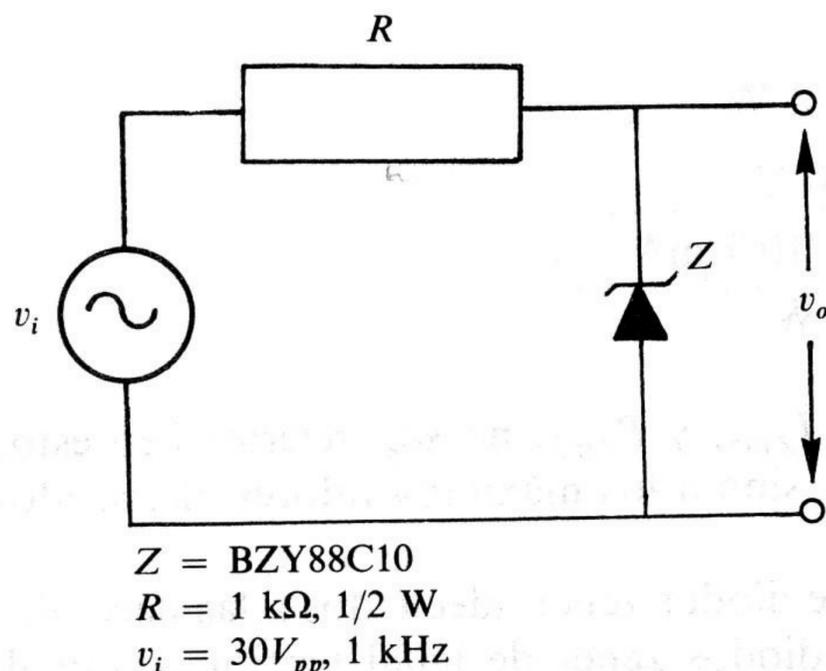
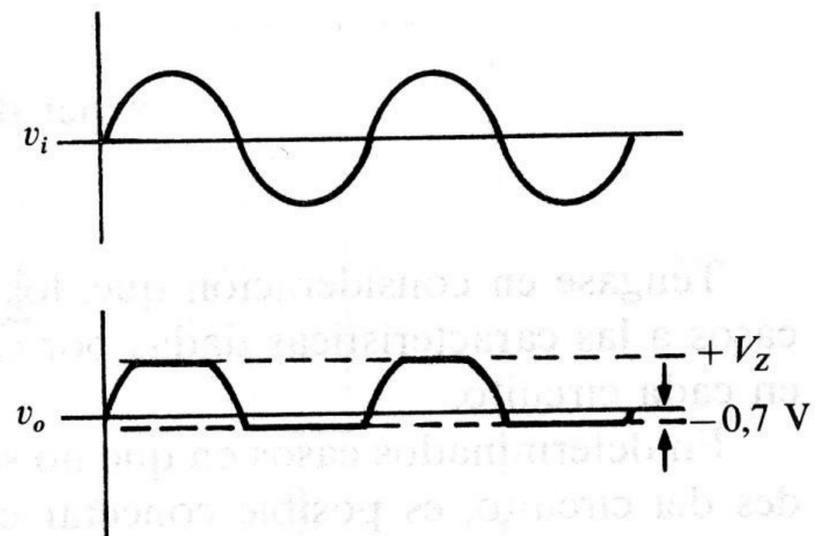


Figura 6.7. El zéner como recortador doble asimétrico.



Gráfica 6.1. Diagrama de tensiones de un recortador doble asimétrico.

Cuando el semiciclo correspondiente a v_i es positivo, Z se polariza inversamente y, alcanzada V_Z , circula corriente por el circuito, manteniéndose v_o constante e igual a V_Z , hasta que de nuevo disminuye v_i y de nuevo se bloquea Z .

Durante el semiciclo negativo, Z se comporta como un diodo polarizado directamente y, por tanto, una vez que $v_i > 0,7$ V, circula corriente por el circuito produciendo una caída de tensión en R y quedando el valor de v_o limitado a un valor de 0,7 V aproximadamente.

La Figura 6.8 muestra un limitador paralelo simple con resultados idénticos al limitador paralelo polarizado (Práctica 4); su efecto se puede observar en la Gráfica 6.2.

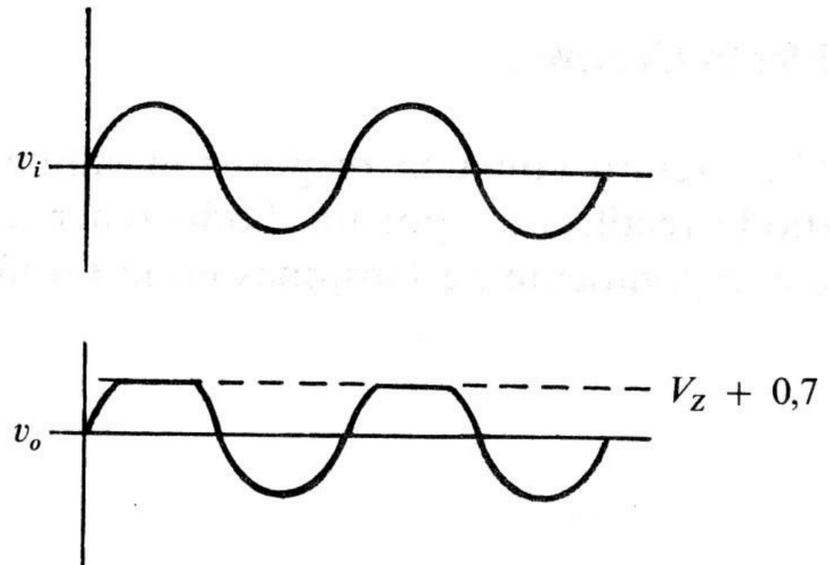
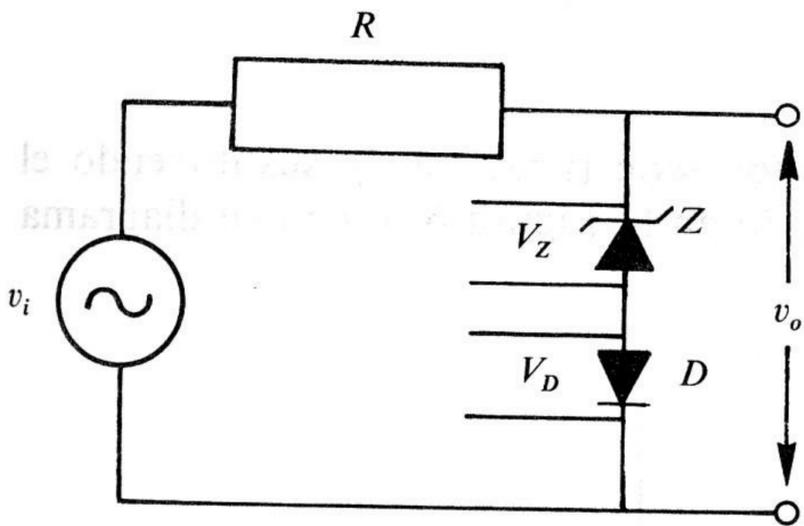


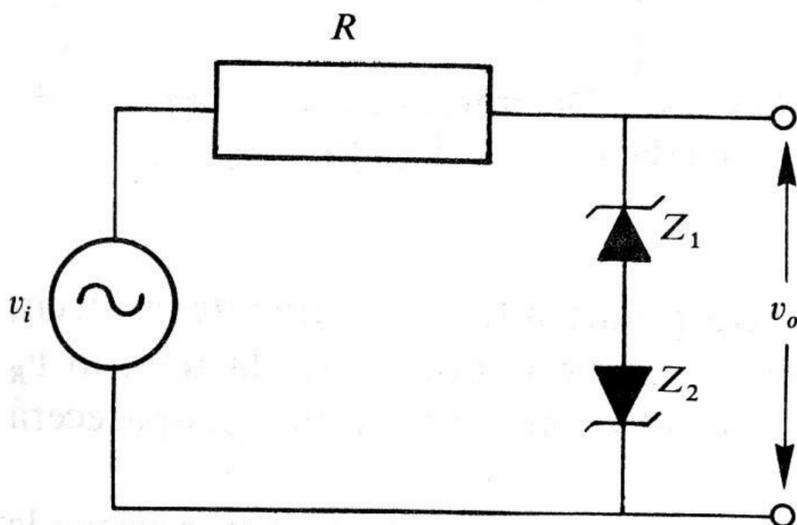
Figura 6.8. Limitador paralelo simple con diodo zéner.

Gráfica 6.2. Diagrama de tensiones del limitador paralelo.

Durante el semiciclo positivo es necesario alcanzar valores de $v_i > V_Z + 0,7$ para que circule corriente por el circuito y, por tanto, eliminar así de la salida valores de v_i con amplitudes superiores.

En polarización directa de Z , D está inversamente polarizado, por lo cual es equivalente a un circuito abierto, de ahí que $v_o = v_i$.

Un limitador doble simétrico se consigue con la disposición de la Figura 6.9, siempre que $Z_1 = Z_2$, la Gráfica 6.3 muestra los resultados.



$R = 1 \text{ k}\Omega, 1/2 \text{ W}$
 $Z_1 = Z_2 = \text{BZY88C10}$
 $v_i = 30V_{pp}, 1 \text{ kHz}$

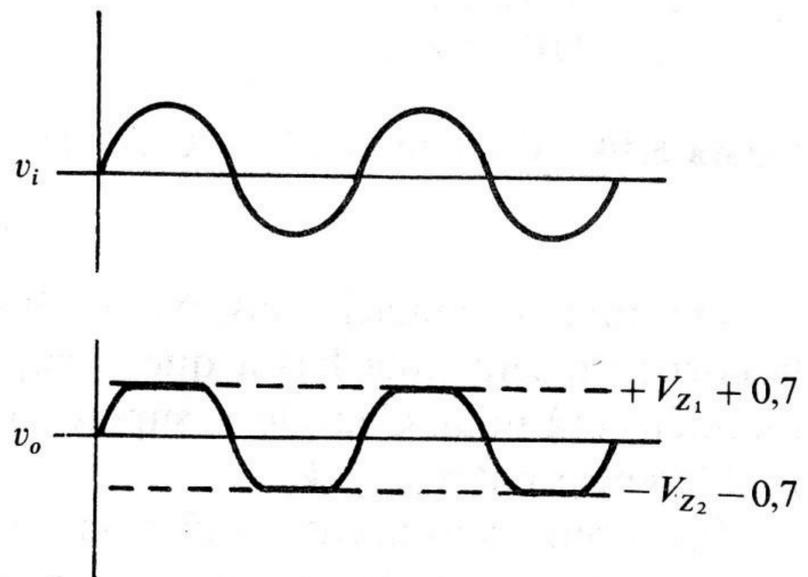


Figura 6.9. Limitador doble simétrico.

Gráfica 6.3. Diagrama de tensiones del limitador doble simétrico.

Durante cada semiciclo un zéner actúa como tal, polarizado inversamente, y el otro, como un diodo rectificador.

En el semiciclo positivo el valor de la tensión de salida será: $v_o = V_{Z_1} + 0,7$; y durante el semiciclo negativo dicho valor será: $v_o = V_{Z_2} + 0,7$.

Obsérvese que si v_i no supera la tensión nominal del zéner correspondiente, más los 0,7 V de polarización directa, v_o seguirá las mismas variaciones que v_i , por tanto, se limitan sólo valores predefinidos por las tensiones de zéner correspondientes a Z_1 y Z_2 , más 0,7 V, en cada caso.

Efecto Crowbar

Un circuito con una disposición similar al limitador serie (Práctica 4), sustituyendo el diodo rectificador por un diodo zéner, es el mostrado en la Figura 6.10 con su diagrama correspondiente de tensiones en la Gráfica 6.4.

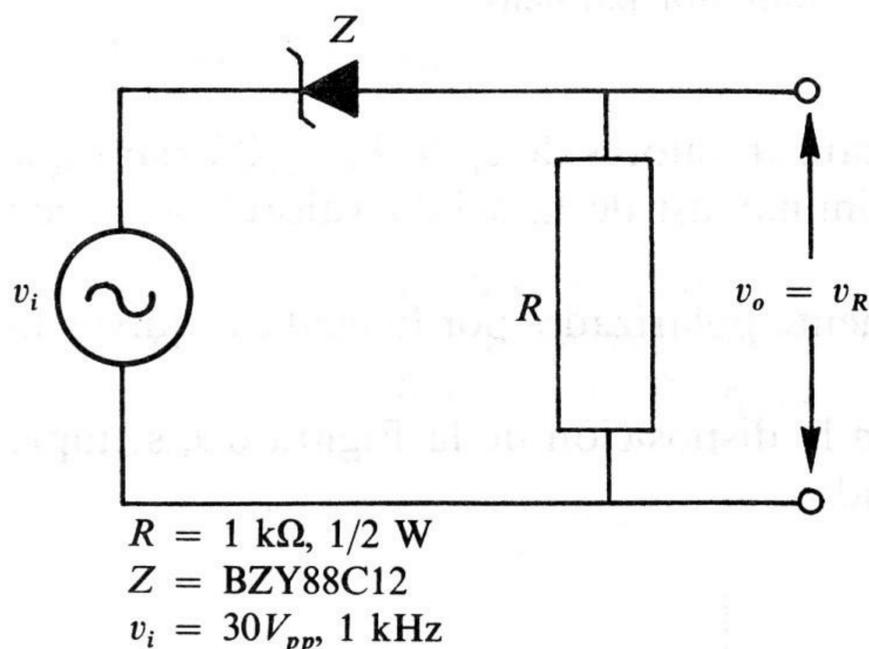
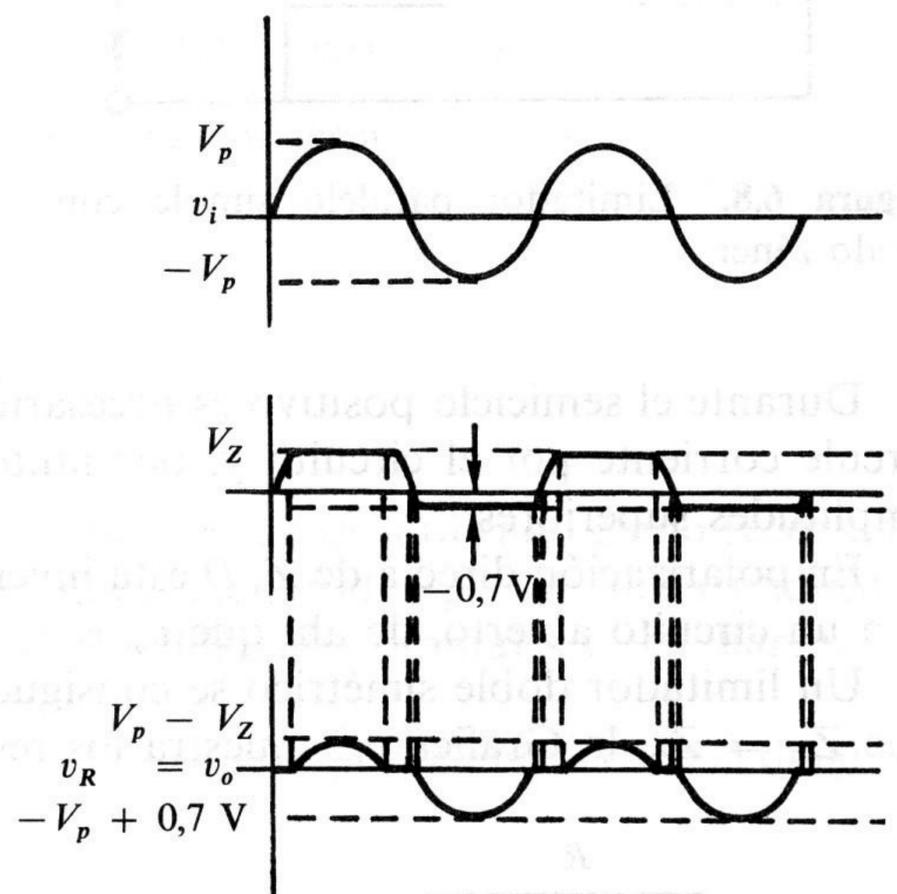


Figura 6.10. Circuito de efecto Crowbar.



Gráfica 6.4. Diagramas de tensiones correspondientes a la Figura 6.10.

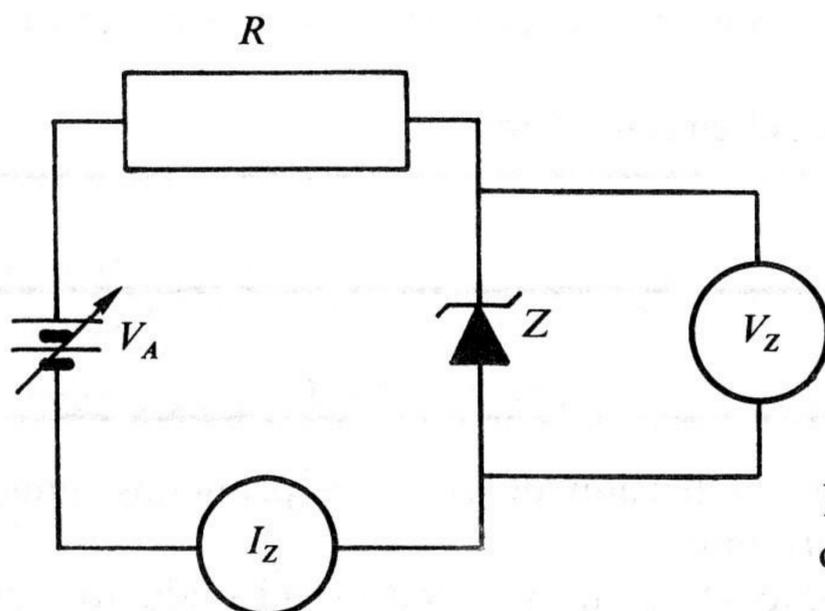
Durante el semiciclo positivo, el diodo se encuentra polarizado inversamente, es decir, la corriente será nula hasta que v_i supere la tensión de zéner y, por tanto, la tensión v_R también será nula. Cuando v_i supere dicha tensión, el diodo conducirá, y, en v_R , aparecerá la diferencia entre v_i y V_Z .

En el semiciclo negativo, el diodo queda polarizado directamente, motivo por el que la corriente será nula hasta que v_i supere $-0,7 \text{ V}$, razón por la que v_R también será nula. Una vez superados los $-0,7 \text{ V}$, el diodo conducirá ofreciendo una caída de tensión constante e igual a $0,7 \text{ V}$ y, por ser un circuito serie, el resto de la tensión de entrada se reflejara en v_R .

Si observamos la forma de onda durante el semiciclo positivo en R , vemos que no existe tensión hasta que la entrada supere el valor V_Z , éste es el llamado *efecto Crowbar*, en el que la tensión de salida es nula hasta que la entrada supera un nivel de tensión previamente fijado; se le puede, pues, considerar como un disparador por nivel de tensión.

6.4. PROCESO OPERATIVO

1. Conectar el circuito de la Figura 6.11. Ajustar V_A a 0 V.



$R = 180 \Omega, 1 \text{ W}$
 $Z = \text{BZY88C10}$
 $V_A = 0 \div 30 \text{ V}, 0,5 \text{ A}$

Figura 6.11. Circuito experimental para obtener la curva característica del zéner.

2. Ajustar V_A para conseguir los valores de V_Z indicados en la Tabla 6.1.
3. Medir y anotar los valores correspondientes de I_Z .
4. Ajustar de nuevo V_A a 0 V. Invertir las conexiones del zéner.
5. Repetir los puntos 2 y 3 para la Tabla 6.2.
6. Dibujar la gráfica con los valores obtenidos en ambas tablas.
7. Montar el circuito de la Figura 6.4 y comprobar su funcionamiento correcto aun en las condiciones extremas. Se ha de tener en cuenta que el zéner a emplear será buscado en catálogo comercial según los valores calculados y rehacer los cálculos si $I_{Z\text{min}}$ fuera mayor que la estimada.
8. Montar el circuito de la Figura 6.7. Anotar las formas de onda.
9. Repetir el punto 7 para la Figura 6.9.
10. Comprobar el efecto Crowbar mediante el montaje del circuito de la Figura 6.10, anotando las formas de onda.

Tabla 6.1.

V_Z (V)	0	4	8	9	9,3	9,6	9,8	9,9	10	10,1	10,2
I_Z (mA)											

Tabla 6.2.

V_F (V)	0	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8	0,9
I_F (mA)							

CUESTIONES

1. ¿Qué ocurre en un diodo zéner una vez alcanzada la tensión de zéner?
2. ¿Cómo se comporta un zéner en polarización directa?
3. ¿Por qué se ha de hacer que atraviese al zéner una $I_{Z\text{mín}}$, trabajando como regulador de tensión?
4. Queremos alimentar una carga que consume 500 mW a una tensión de 10 V y para ello disponemos de una fuente que entrega una tensión de 15 V con variaciones de ± 3 V.
Diseñar el circuito que cumpla tal cometido, teniendo en cuenta que los diodos zéner disponibles disipan una potencia máxima de 400 mW.
5. Establecer las diferencias entre un limitador polarizado con diodos rectificadores y un limitador simple con diodo zéner.
6. Razonar la forma de onda de salida del circuito Crowbar.

CONCLUSIONES

- En el diodo zéner, una vez alcanzada la tensión de zéner, a pequeños aumentos de tensión corresponden grandes aumentos de corriente.
- En polarización directa, el zéner se comporta como un diodo semiconductor cualquiera.
- Al emplearlo como regulador, se ha de asegurar que lo atraviese una $I_{Z\text{mín}}$, para excluir la región de codo de la zona de trabajo y poder conseguir una buena estabilización.
- La $I_{Z\text{máx}}$ que circule por el zéner ha de ser limitada por una resistencia ($R_{\text{lím}}$), para no sobrepasar la $I_{Z\text{máx}}$ indicada en las características.
- Se pueden realizar asociaciones serie y paralelo de diodos zéner, para conseguir los mismos efectos de diodos zéner teóricos no disponibles en el mercado, siempre que no se sobrepasen las especificaciones de cada uno de ellos.

INFORMACION ADICIONAL

Tabla 6.3. Características del diodo zéner BZY88C10

Material	V_Z	$I_{Z\text{mín}}$	$I_{Z\text{máx}}$	$V_{F\text{máx}}$	P_{tot}	Tolerancia
Silicio	10 V	5 mA	250 mA	0,9 V	400 mW	5 %

Tabla 6.4. Características del diodo zéner BZY88C12

Material	V_Z	$I_{Z\text{mín}}$	$I_{Z\text{máx}}$	$V_{F\text{máx}}$	P_{tot}	Tolerancia
Silicio	12 V	5 mA	250 mA	0,9 V	400 mW	5 %