



Unidad Didáctica
Diodos Especiales

FONDO  FORMACION

Programa de Formación Abierta y Flexible

Obra colectiva de FONDO FORMACION

Coordinación *Servicio de Producción Didáctica de FONDO FORMACION
(Dirección de Recursos)*

Diseño y maquetación *Servicio de Publicaciones de FONDO FORMACION*

© FONDO FORMACION - FPE

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otro método, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Depósito Legal *AS -1953-2001*

Unidad Didáctica Diodos Especiales

Seguramente habrás visto que algunos aparatos de radio, televisión, vídeo, etc., llevan unos indicadores luminosos para decirnos si están o no funcionando, para saber qué cadena de televisión estamos viendo, o simplemente para indicarnos la hora y la fecha.

¿Te has preguntado alguna vez cómo funciona el mando a distancia del televisor o del vídeo?

En la Electrónica hay otro tipo de componentes que, basándose en el efecto de la unión, funcionan de forma diferente y se emplean muy a menudo en los circuitos electrónicos como indicadores o visualizadores.

En esta unidad veremos los siguientes contenidos:

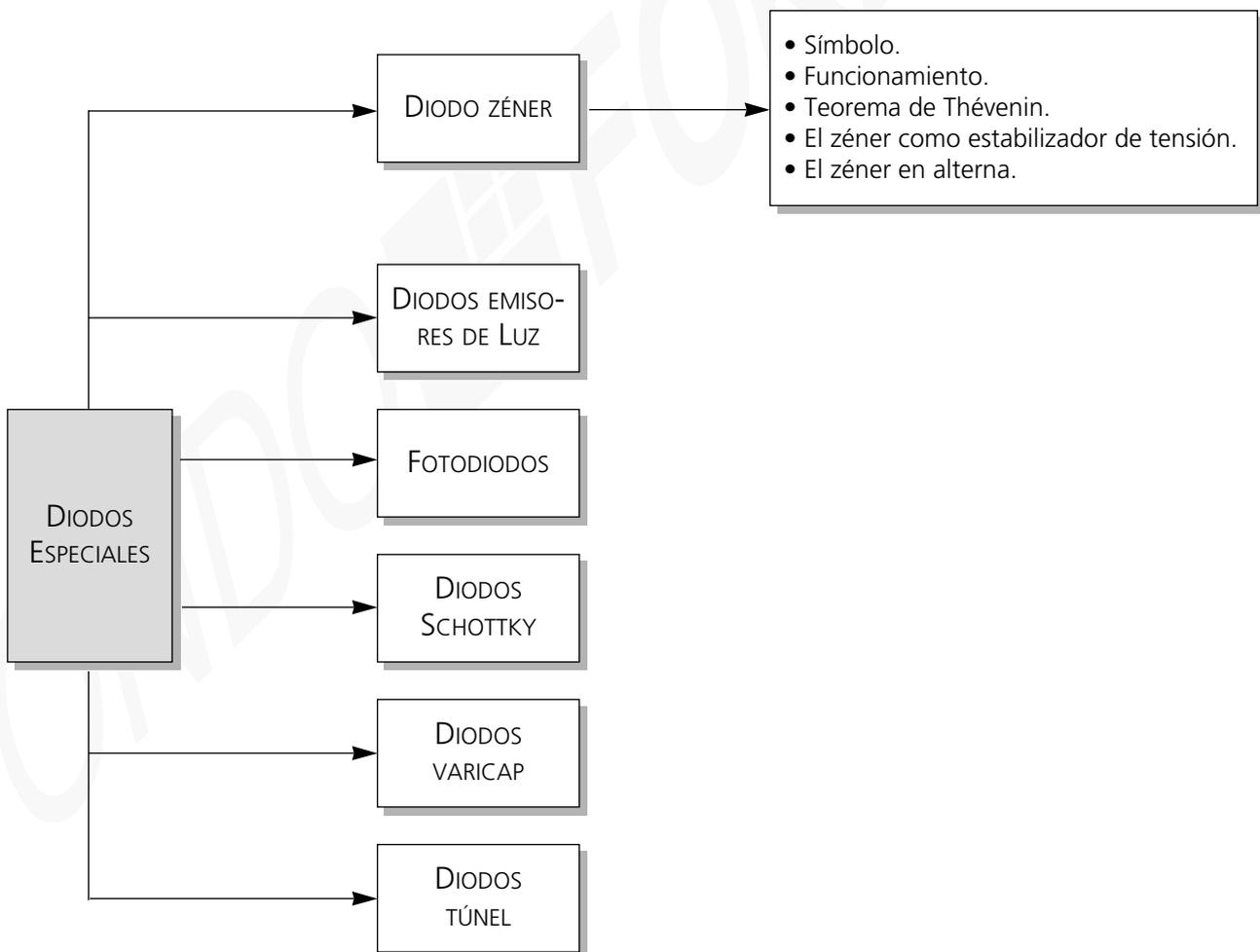
- El diodo zéner.
- Diodos emisores de luz.
- Fotodiodos.
- Diodos Schottky.
- Diodos varicap.
- Diodos túnel.

Tus objetivos

Al final de esta unidad deberás ser capaz de:

- Comprender el funcionamiento del diodo zéner.
- Distinguir diferentes tipos de diodos.
- Aplicar el teorema de Thévenin a un circuito electrónico.
- Estabilizar una tensión con zéner.
- Utilizar el zéner como recortador.
- Interpretar las gráficas de respuesta de los componentes.

Esquema de estudio



Cuando polarizamos inversamente el diodo de unión, podemos llegar a ocasionar su destrucción. Por ello, se ha diseñado, expresamente, un componente para trabajar en la zona inversa: **el diodo zéner**. El diodo zéner presenta una geometría de construcción diferente a la del diodo de unión: el dopado de los cristales es distinto y la zona de la unión entre los materiales tipo P y tipo N es más delgada.

Este componente no lineal es capaz de trabajar en la región inversa cuando las condiciones de polarización lo determinen sin que por ello se destruya, salvo cuando se alcance la corriente máxima de zéner indicada por el fabricante. En polarización directa, su funcionamiento es como el de un diodo normal. El diodo zéner encuentra sus principales aplicaciones en estabilizadores de tensión y como elementos de referencia de tensión para otros circuitos.

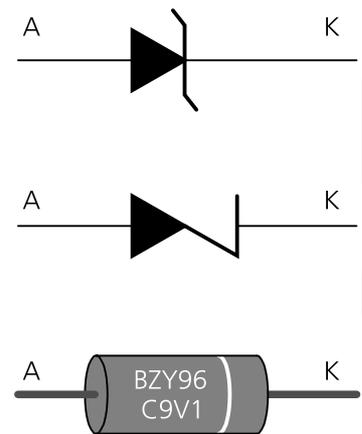


Fig. 1
Diodo zéner. Simbología y aspecto físico.

1. Símbolo

Existen distintos símbolos. En la figura 1 puedes ver los más usuales.

2. Funcionamiento

En la figura 2 puedes ver la curva característica del diodo zéner. Nos apoyaremos en ella para estudiar su funcionamiento.

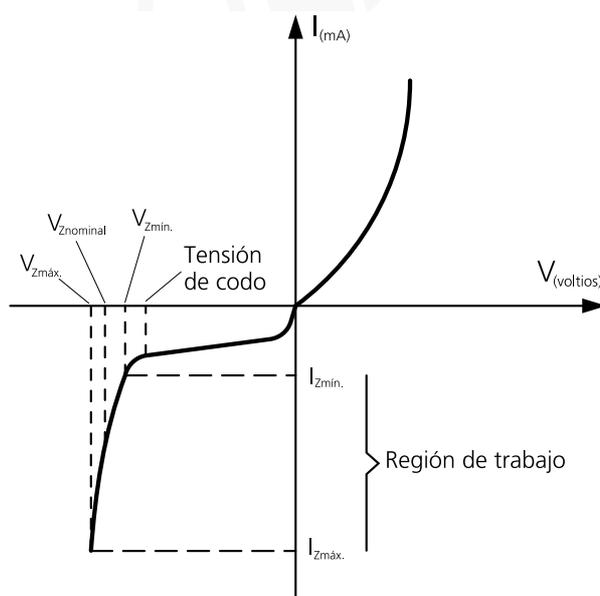


Fig. 2: Curva característica del diodo zéner.

Cuando el zéner está polarizado inversamente y la tensión de codo sobrepasada, vemos que a pequeños incrementos de tensión corresponden aumentos elevados de la corriente I_Z . Los valores de $I_{Z_{\min}}$ e $I_{Z_{\max}}$, con sus valores de V_Z asociados, representan la región de trabajo del zéner.

En la región de trabajo, el zéner es capaz de mantener en sus extremos una tensión considerablemente estable que es la tensión nominal del zéner: $V_{Z_{\text{nom}}}$.

Para que el zéner se mantenga en su zona de trabajo, tenemos que hacer que pase por él, como mínimo, una corriente inversa, $I_{Z_{\min}}$, expresada por el fabricante. Además, no se debe sobrepasar en ningún caso la $I_{Z_{\max}}$, para asegurar la supervivencia del componente.

ACTIVIDAD 1

Completa el texto con las palabras siguientes:

zéner, componente, trabajo, polarización, directa, inversa, diodo, extremos, aumenta.

El zéner es un que puede trabajar como un normal en polarización, pero además está diseñado para trabajar con inversa. Si está polarizado inversamente y se la tensión de polarización inversa hasta alcanzar la tensión de codo, nos encontramos en la región de trabajo efectivo del Para trabajar como zéner se ha de asegurar que el diodo sea atravesado por una corriente mínima para garantizar un funcionamiento normal. En la región de, el zéner es capaz de mantener en sus una tensión considerablemente estable.

3. Teorema de Thévenin

Antes de continuar con el zéner, es conveniente que entiendas este teorema:

Cualquier circuito puede quedar reducido a un generador de tensión y una resistencia, a efectos de la carga.

Observa el circuito de la figura 3. Si queremos calcular la tensión aplicada a la carga, aplicamos Kirchoff, o bien aplicamos Thévenin.

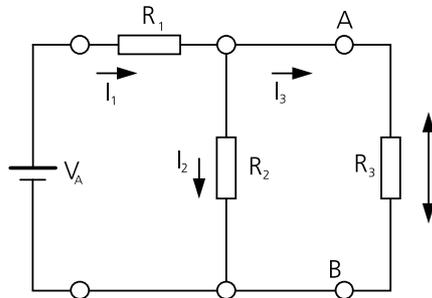


Fig. 3: Circuito para calcular la tensión aplicada a la carga.

Se trata de obtener un generador de tensión y una resistencia que, aplicada a la carga, sea equivalente al circuito original.

Para ello vamos a realizar los siguientes pasos:

1. Quitamos la carga y hallamos la tensión entre los puntos A y B. Esta tensión se llama **tensión Thévenin**.
2. Ahora, con el circuito desconectado de la carga, cortocircuitamos los generadores de tensión y hallamos la resistencia que se "ve" desde AB. Esta resistencia se llama **resistencia Thévenin**.

Mira la figura 4; en ella puedes ver el mismo circuito que el de la figura 3, en el que hemos suprimido la resistencia de carga:

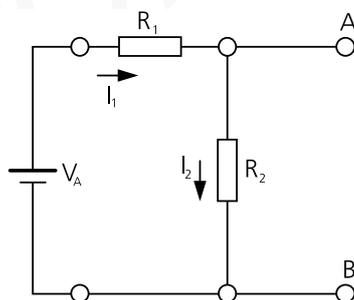


Fig. 4: Circuito para calcular la tensión Thévenin.

Calculamos la tensión que hay entre los puntos A y B:

$$V_{AB} = V_A \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}, \text{ que es la llamada tensión de Thévenin}$$

Fíjate en la figura 5; ahora con el circuito desconectado de la carga cortocircuitamos los generadores de tensión y hallamos la resistencia que se "ve" desde AB.

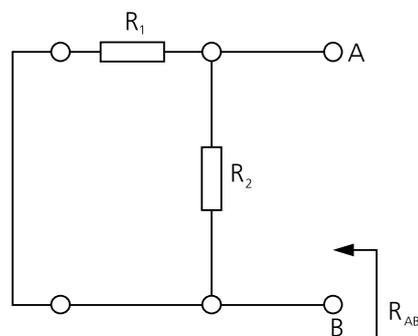


Fig. 5: Circuito para calcular la resistencia Thévenin.

$$R_{AB} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Ahora, con los valores calculados, conectamos la carga.

El circuito de la figura 6 es equivalente al de la figura 3 a efectos de la carga; por consiguiente, la tensión en la carga será:

$$V_{R_3} = \frac{V_{AB} \cdot R_3}{R_{AB} + R_3}$$

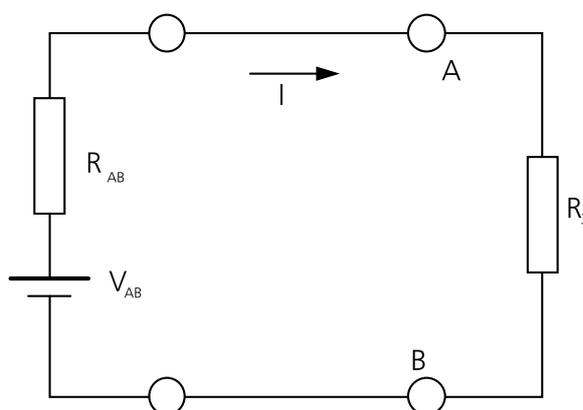


Fig. 6: Circuito equivalente Thévenin aplicado a la carga.

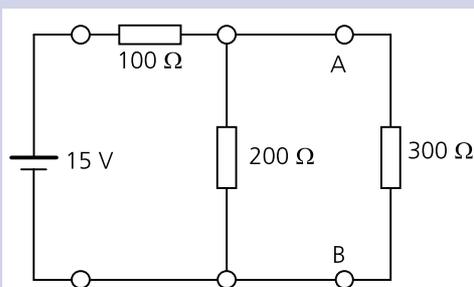
Asimismo, la corriente que pasa por la carga será:

$$I_{R_3} = \frac{V_{AB}}{R_{AB} + R_3}$$

Si hiciéramos los cálculos por mallas, el resultado sería el mismo, pero resultaría más engorroso. Si el circuito tuviera más de dos mallas, la complejidad de cálculo por Kirchhoff sería enorme; en cambio, aplicando Thévenin sucesivamente obtendríamos los resultados de una manera sencilla.

ACTIVIDAD 2

En el siguiente circuito, calcula la potencia consumida por la carga.



4. El zéner como estabilizador de tensión

La tensión aplicada a una carga puede sufrir variaciones indeseables, debido a la propia fuente de alimentación. Una de las aplicaciones más importantes del zéner es su utilización para mantener estable una tensión. Si elegimos un diodo zéner de tensión nominal igual a la que es necesario aplicar a la carga y logramos hacerlo funcionar en su región de trabajo, conseguiremos una tensión sin apenas variaciones.

Vamos a ver, con un ejemplo, cómo podemos hacerlo:

Ejemplo:

Se quiere alimentar una carga de $600\ \Omega$ con una tensión de $12\ \text{V}$, a partir de una fuente de alimentación que suministra una tensión que puede variar entre 15 y $20\ \text{V}$.

El circuito es el que ves en la figura 7.

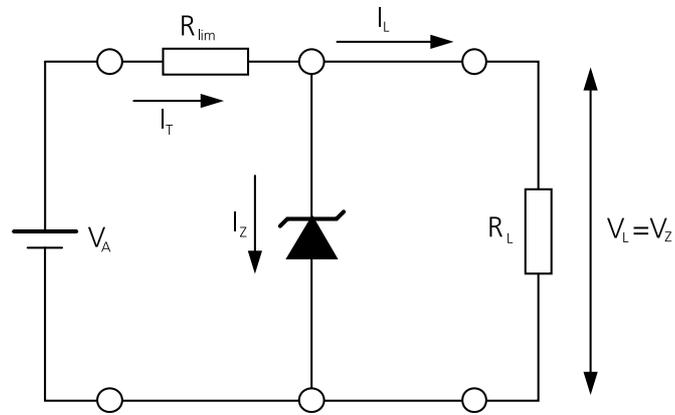


Fig. 7: Estabilizador de tensión con zéner.

Debemos considerar que:

- El zéner debe ser en todo momento atravesado por una $I_{z_{\min}}$, para asegurar su efecto estabilizador. Recordemos que este dato se obtendría del catálogo al elegir el zéner. (Vamos a tomar $I_{z_{\min}} = 10 \text{ mA}$.)
- La tensión de la fuente ha de ser siempre mayor que la aplicada a la carga.
- Debemos disponer de una resistencia limitadora en serie que absorba la diferencia de tensión entre la fuente y la carga, a la que llamaremos R_{lim} .

Con estas premisas bien claras, comenzamos el cálculo:

1. La intensidad que pasa por la carga es:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{12}{600} = 20 \text{ mA}$$

2. La intensidad mínima que debe suministrar la fuente se producirá cuando la tensión $V_{A_{\min}} = 15 \text{ V}$ y, además, por el zéner pase una corriente mínima de 10 mA. Por tanto:

$$I_{T_{\min}} = I_L + I_{z_{\min}} = 20 + 10 = 30 \text{ mA}$$

3. Para la tensión mínima de la fuente, tendremos una resistencia limitadora de:

$$V_{R_{lim}} = V_{A_{min}} - V_L = 15 - 12 = 3 \text{ V}$$

$$R_{lim} = \frac{V_{R_{min}}}{I_{T_{min}}} = \frac{3}{30 \times 10^{-3}} = 100 \Omega$$

4. La potencia de R_{lim} se calcula para el valor máximo de V_A , ya que será entonces cuando la potencia disipada sea mayor:

$$V_{R_{lim}} = V_{A_{m\acute{a}x}} - V_L = 20 - 12 = 8 \text{ V}$$

$$P_{R_{lim}} = \frac{(V_{R_{lim_{m\acute{a}x}}})^2}{R_{lim}} = \frac{8^2}{100} = 0,64 \text{ W} = 640 \text{ mW}$$

Por tanto, pondremos una resistencia limitadora de 100Ω y 1 W .

5. Del mismo modo, la máxima potencia disipada por el zéner será:

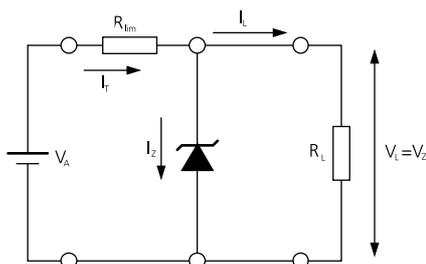
$$I_{Z_{m\acute{a}x}} = I_{T_{m\acute{a}x}} - I_L = \frac{V_{R_{lim_{m\acute{a}x}}}}{R_{lim}} - I_L = \frac{8}{100} - 0,02 = 0,06 \text{ A} = 60 \text{ mA}$$

$$P_{Z_{m\acute{a}x}} = V_Z \cdot I_{m\acute{a}x} = 12 \times 0,06 = 0,72 \text{ W} = 720 \text{ mW}$$

Por consiguiente, pondremos un zéner de 12 voltios de tensión nominal, con intensidad zéner mínima 10 mA y 1 vatio de potencia.

ACTIVIDAD 3

Se quiere alimentar una carga de $1 \text{ k}\Omega$ con una tensión de 15 V , a partir de una fuente de alimentación que suministra una tensión que puede variar entre 18 y 23 V . Suponemos que $I_{Z_{min}} = 10 \text{ mA}$. Calcular el zéner y la resistencia limitadora.



5. El zéner en alterna

El diodo zéner también puede ser utilizado como **recortador***. En la figura 8 puedes ver un circuito recortador con zéner.

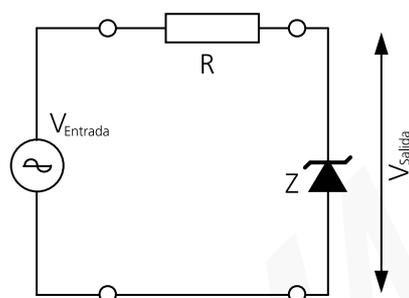


Fig. 8: El zéner como recortador doble asimétrico.

El funcionamiento del circuito es el siguiente:

Cuando llega un semiciclo positivo, el diodo Z queda polarizado inversamente, y, a partir de la tensión zéner, trabaja como tal fijando la señal de salida.

Cuando llega un semiciclo negativo, el diodo Z empieza a funcionar como un diodo normal a partir de 0,7 voltios, fijando esta tensión en la salida.

Vemos que es un limitador doble asimétrico, como puedes observar por las formas de onda de la figura 9.

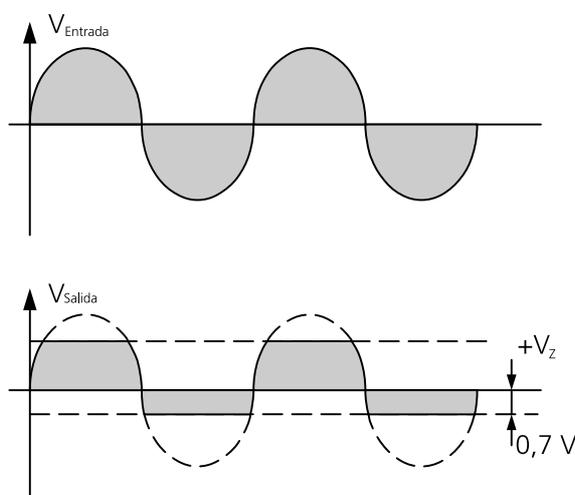


Fig. 9: Formas de onda del recortador doble asimétrico.

En la figura 10 puedes ver un limitador paralelo simple.

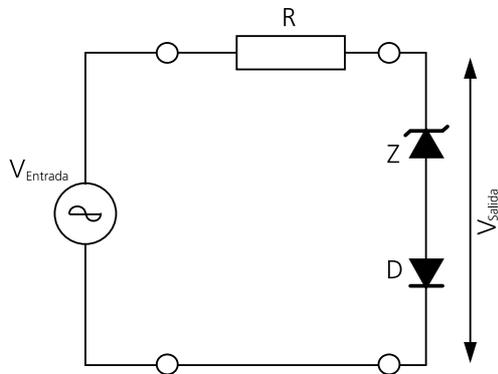


Fig. 10: Limitador paralelo simple con diodo zéner.

Durante el semiciclo positivo, cuando la señal de entrada alcance un valor superior a $V_z + 0,7$, el diodo D está en directo y el diodo Z en inverso, limitando ambos la señal de salida a ese valor.

Durante el semiciclo negativo, el diodo Z está con polarización directa, pero el diodo D está inversamente polarizado, por lo cual a la salida tendremos la señal de entrada.

Puedes ver las formas de onda en la figura 11.

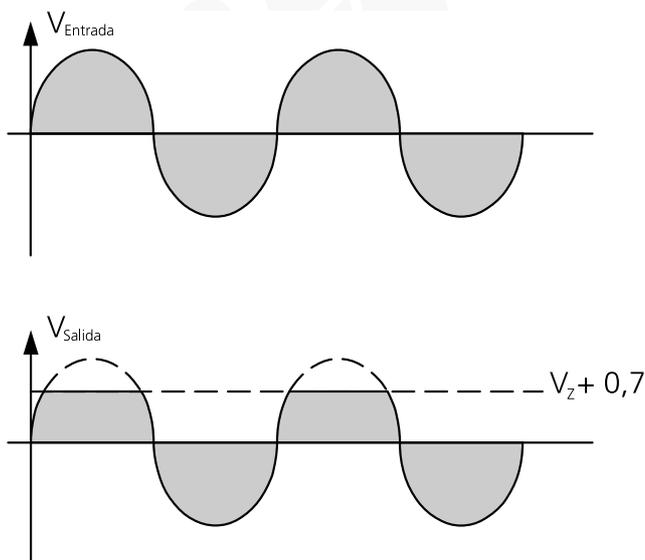


Fig. 11: Formas de onda del limitador paralelo.

En la figura 12 puedes ver un limitador doble simétrico realizado poniendo en oposición serie dos diodos zéner, siempre que $Z_1 = Z_2$.

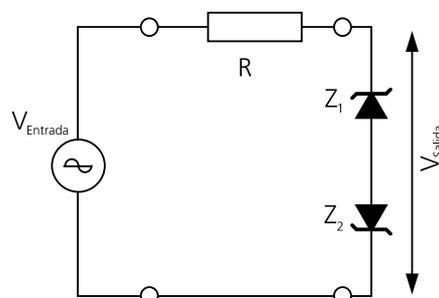


Fig. 12: Limitador doble simétrico.

Cuando llega un semiciclo positivo y alcanza el valor $V_{Z_1} + 0,7$, la salida queda limitada a ese valor.

Cuando llega un semiciclo negativo y alcanza el valor $V_{Z_2} + 0,7$, la salida queda limitada a ese valor.

Durante cada semiciclo, un zéner actúa como tal, polarizado inversamente; y el otro, como un diodo normal. Vemos que, si la señal de entrada no supera la tensión nominal del zéner correspondiente más los 0,7 V de polarización directa, la señal de salida sigue las mismas variaciones que la entrada; por consiguiente, se limitan los valores predefinidos por las tensiones de zéner correspondientes a Z_1 y Z_2 más 0,7 V, en cada caso. En la figura 13 puedes ver las formas de onda.

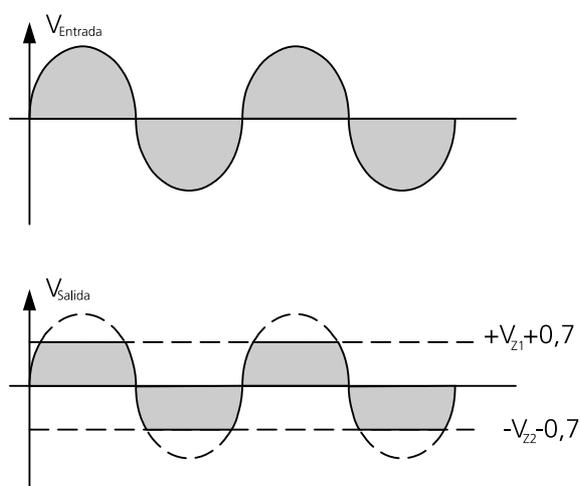


Fig. 13: Formas de onda del limitador doble simétrico.

Diodos emisores de luz

Hay diodos realizados con otro tipo de material que permiten que, al polarizar directamente la unión P-N, la energía liberada en el cristal se convierta en fotones* de luz. En la figura 14 puedes ver la constitución física de este tipo de diodos, así como su símbolo.

Se les conoce comúnmente con el nombre de LEDs (del inglés *Light Emitter Diode*) y, dependiendo de la radiación electromagnética emitida, se obtienen diferentes colores (fíjate en la tabla 1).

MATERIAL	LONGITUD DE ONDA
GaAsZn	Infrarrojo 900 nm
GaAsSi	Infrarrojo 930 nm
GaAsP	Rojo 660 nm
GaAsPN	Naranja 630 nm
GaAsPN	Amarillo 590 nm
GaPN	Verde 560 nm

Tabla 1: Tabla de materiales para diodos emisores de luz.

No solamente influye el material, sino también el tipo de dopado empleado.

Los hay de infrarrojo que emiten luz no visible y se emplean frecuentemente en detección y mando.

Los diodos **láser** –al igual que los LED– están basados en una unión P-N que, al ser polarizada directamente, emite radiación luminosa; pero su estructura interna es muy compleja. La principal diferencia entre un diodo láser y un LED normal reside en la alta luminosidad, la coherencia de la radiación y la estrecha banda del espectro de emisión que presenta el diodo láser. Internamente, además del propio diodo láser, llevan un fotodiodo para controlar la radiación, y externamente, llevan tres terminales. En la figura 15 puedes ver la constitución de un diodo láser.

Según el material empleado, tenemos diferentes modelos:

- Modelo de AsGaAl, que emite radiaciones de 750 a 880 nanómetros. Emite luz no visible y se suele emplear en discos compactos y en impresoras.

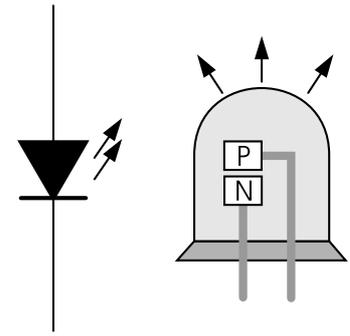


Fig. 14
Símbolo del diodo LED y constitución.

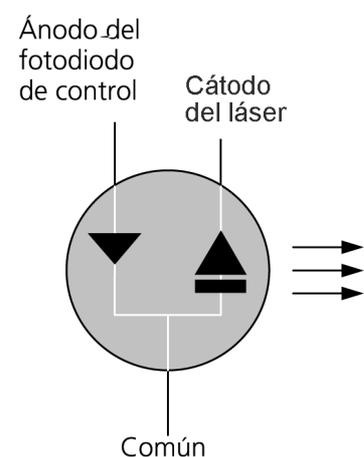


Fig. 15
Constitución interna de un diodo láser.

- b. Modelo de AsGaInP, que emite radiaciones de 1.300 a 1.500 nmetros. Emite luz no visible y se suele emplear en comunicaciones por fibra óptica.
- c. Modelo de AlGaInP, que emite radiaciones de 670 a 680 nmetros. Emite luz visible de color rojo.

Fotodiodos

También están basados en una unión P-N, pero su tecnología de fabricación es diferente. Al incidir la luz sobre ellos concentran esa luminosidad mediante la lente en la unión P-N, y generan una corriente fotoeléctrica*.

Por su naturaleza, son ideales para la detección de señales luminosas. El fotodiodo debe polarizarse en sentido inverso; puedes ver el símbolo y la constitución interna en la figura 16.

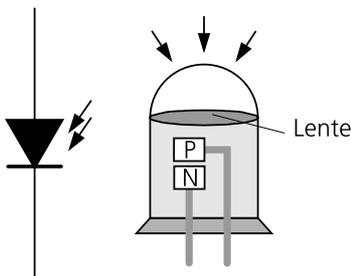


Fig. 16
Fotodiodo: símbolo y constitución.

Dentro de los fotodiodos merece una mención especial el diodo PIN (Positivo Intrínseco Negativo). Este posee una zona intrínseca de baja conductancia entre las zonas P y N, donde son absorbidos los fotones y se forman pares electrón-hueco, que debido al campo eléctrico producido por la polarización del diodo, originan una corriente. Poseen una alta sensibilidad al infrarrojo y un tiempo de respuesta muy pequeño, a causa del proceso especial de fabricación. Por su gran sensibilidad y su gran ancho de banda, se emplean en sistemas de fibra óptica.

Diodos Schottky

Están formados por una unión metal-semiconductor (normalmente Silicio tipo *n*); presentan una menor caída de tensión en polarización directa y tienen una mayor rapidez de conmutación. Se emplean en alta frecuencia y en circuitos integrados de gran velocidad. Puedes ver el símbolo en la figura 17.



Fig. 17
Símbolo del diodo Schottky.

Diodos varicap

En cada extremo de una unión P-N aparece un almacenamiento de cargas eléctricas similar al de las armaduras de un condensador, haciendo la propia unión como dieléctrico. Pues bien, hay diodos donde se acentúa especialmente esta propiedad capacitiva en el proceso de fabricación; esto da lugar a otro tipo de diodo denominado **varicap**.

Puedes ver el símbolo en la figura 18.

Variando la tensión inversa varían su capacidad. Se emplean en circuitos de alta frecuencia, en control automático de frecuencia en FM, en filtros, en UHF, etc.



Fig. 18
Símbolo del diodo varicap.

Diodos túnel

Es una unión P-N fuertemente dopada. Puedes ver el símbolo en la figura 19.

Es un diodo rápido que presenta una zona de resistencia negativa. Se emplea en conmutación rápida y en osciladores de muy alta frecuencia.



Fig. 19
Símbolo del diodo túnel.

Si consideras que has concluido el estudio de esta unidad, intenta responder a las siguientes cuestiones de autoevaluación.

Cuestiones de autoevaluación

1

Escribe debajo de cada símbolo el nombre del componente.



a)



b)



c)

2

Dibuja el símbolo del LED.

3

¿Cuál es la aplicación más importante de los diodos zéner?

Respuestas a las actividades

R

ACTIVIDAD 1

El zéner es un **componente** que puede trabajar como un **diodo** normal en polarización **directa**, pero además está diseñado para trabajar con **polarización inversa**. Si está polarizado inversamente y se **aumenta** la tensión de polarización inversa hasta alcanzar la tensión de codo, nos encontramos en la región de trabajo efectivo del **zéner**. Para trabajar como zéner se ha de asegurar que el diodo sea atravesado por una corriente **inversa** mínima para garantizar un funcionamiento normal. En la región de **trabajo**, el zéner es capaz de mantener en sus **extremos** una tensión considerablemente estable.

R

ACTIVIDAD 2

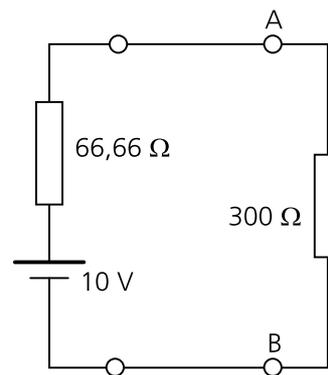
$$V_{AB} = 15 \times \frac{200}{100 + 200} = 10 \text{ V}$$

$$R_{AB} = \frac{100 \times 200}{100 + 200} = 66,66 \Omega$$

$$V = I \cdot R = 0,027 \times 300 = 8,18 \text{ V}$$

$$I = \frac{10}{66,66 + 300} = 0,027 \text{ A}$$

$$P = V \cdot I = 0,027 \times 8,18 = 0,223 \text{ W}$$





ACTIVIDAD 3

La intensidad que pasa por la carga es:

$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{15}{1.000} = 15 \text{ mA}$$

$$I_{T_{\min}} = I_L + I_{Z_{\min}} = 15 + 10 = 25 \text{ mA}$$

$$V_{R_{\lim}} = V_{A_{\min}} - V_L = 18 - 15 = 3 \text{ V}$$

$$R_{\lim} = \frac{V_{R_{\min}}}{I_{T_{\min}}} = \frac{3}{25 \times 10^{-3}} = 120 \Omega$$

$$V_{R_{\lim}} = V_{A_{\max}} - V_L = 23 - 15 = 8 \text{ V}$$

$$P_{R_{\lim}} = \frac{(V_{R_{\lim \max}})^2}{R_{\lim}} = \frac{8^2}{120} = 0,533 \text{ W} = 533 \text{ mW}$$

La resistencia será de 120Ω y 1 W .

$$I_{Z_{\max}} = I_{T_{\max}} - I_L = \frac{V_{R_{\lim \max}}}{R_{\lim}} - I_L = \frac{8}{120} - 0,015 = 0,0516 \text{ A} = 51,6 \text{ mA}$$

$$P_{Z_{\max}} = V_Z \cdot I_{Z_{\max}} = 15 \times 0,0516 = 0,774 \text{ W} = 774 \text{ mW}$$

El zéner será de 15 voltios con intensidad zéner mínima 10 mA y 1 vatio de potencia.

Respuestas a las cuestiones de autoevaluación

a) Diodo zéner.

1

b) Diodo varicap.

c) Diodo túnel.

El símbolo del LED es:

2



La principal aplicación del diodo zéner es su empleo como estabilizador de tensión.

3

Resumen de Unidad

Diodo zéner El diodo zéner ha sido especialmente fabricado para trabajar con polarización inversa.

En polarización directa, el zéner se comporta como un diodo normal.

Trabajando como zéner es capaz de mantener en sus extremos una tensión constante. Para ello debe ser atravesado por una intensidad mínima expresada por el fabricante.

Su principal aplicación es la de estabilizador de tensión; y para ello necesita una resistencia limitadora en serie. También se puede emplear como recortador en corriente alterna.

Thévenin El teorema de Thévenin nos dice que cualquier circuito electrónico puede quedar reducido a un generador de tensión en serie con una resistencia a efectos de la carga.

LED Es un diodo que emite luz al ser atravesado por una corriente. Los hay de diferentes colores (verde, rojo, etc.).

Los hay que emiten luz no visible, como los de infrarrojo o los láser. Los diodos láser se están imponiendo en la actualidad.

Fotodiodo Al incidir la luz en él, genera una corriente. Se emplea en la detección de señales luminosas.

Schottky Es un diodo rápido, basado en una unión metal-semiconductor. Se suele emplear en circuitos integrados.

Varicap Es un diodo que varía su capacidad en función de la tensión inversa presente en sus extremos.

Túnel Es un diodo rápido que se suele emplear en muy alta frecuencia.

Notas



Vocabulario

Fotoeléctrica: es la corriente generada debido al choque de los fotones de luz en la unión P-N.

Fotones: cuantos de energía luminosa.

Recortador: se llama así a un circuito que limita o recorta una señal.



FONDO  FORMACION