



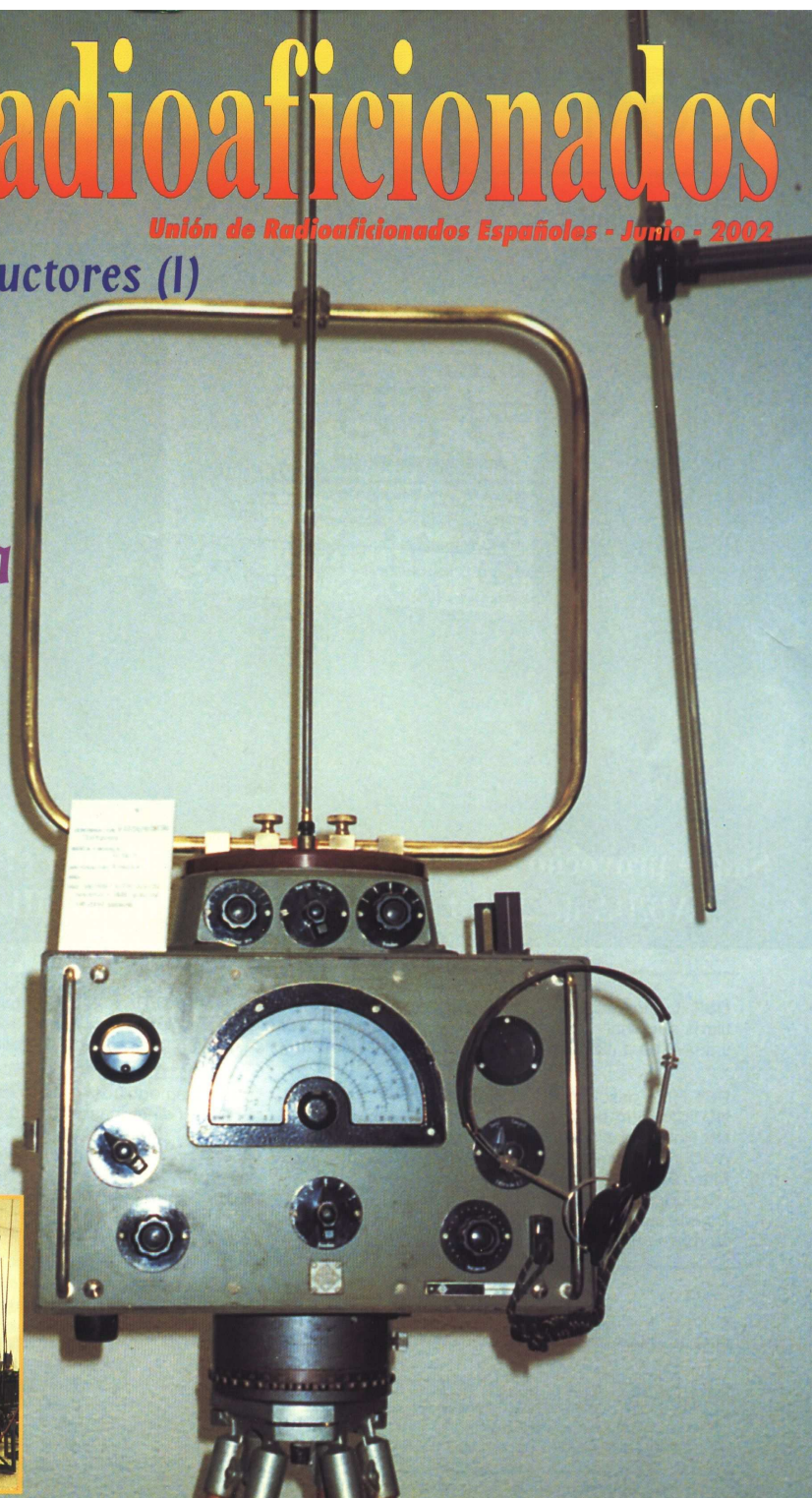
Radioaficionados

Unión de Radioaficionados Españoles - Junio - 2002

Los semiconductores (I)

Uso del
programa
MMANA

Expedición a
Sacrifice Rock
(AS-161)



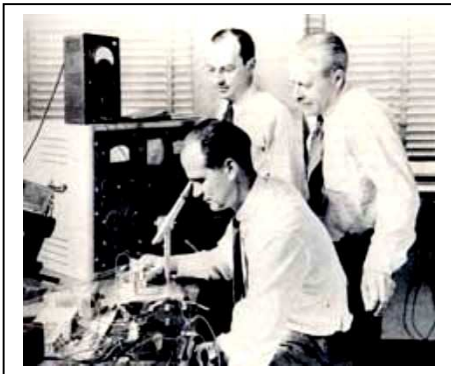
LOS SEMICONDUCTORES (I).

1.- INTRODUCCIÓN.

Pocos inventos aislados han tenido un efecto mayor como el de los semiconductores y concretamente el transistor que, desde 1948, empezó a transformar no sólo la radio y la televisión sino muchos otros equipos que dependían, para su funcionamiento, del control de los electrones.

Muchos contribuyeron para su creación. Entre ellos cabe mencionar por su importancia al físico angloamericano William Shockley. Unos años antes, Shockley y sus compañeros en los Estados Unidos descubrieron que si los cristales del raro metal germanio contenían pequeñas cantidades de determinadas impurezas, actuaban como los cristales de los primeros aparatos de radio. Funcionaban como rectificadores, y dejaban pasar la corriente eléctrica en una sola dirección. Sin embargo, hacían el trabajo con mucha más eficacia.

En 1948, Shockley descubrió cómo combinar dos clases ligeramente diferentes de cristales de tal modo que no sólo funcionaban juntas como un rectificador sino que también amplificaban una corriente. El invento, que pronto se llamó transistor porque transfería corriente a través de un resistor, hacía todo cuanto hiciera una válvula electrónica, pero contaba con inmensas ventajas, ya que era más pequeño, más ligero y más resistente que una válvula. Además, se ponía en marcha sin necesidad del período preparatorio de calentamiento, tan necesario para las válvulas.



En la figura número uno podemos ver a los doctores William Shockley (sentado), John Bardeen (a la izquierda) y Walter H. Brattain, en los Laboratorios de Teléfonos Bell, en 1948. Están con el aparato utilizado en las investigaciones que condujeron a la invención del transistor.

El uso de los transistores, cuyo desarrollo se aceleró una década después con la necesidad de miniaturizar el equipo para los satélites, se extendió rápidamente en las industrias de radio, y televisión. También se extendió en otras partes de la industria de la electrónica que habían estado evolucionando paralelamente.

Un ejemplo espectacular del modo en que se ha utilizado el conocimiento del electrón y de los semiconductores, son los ordenadores modernos. Su importancia yace básicamente en el hecho de que para llevar a cabo los cálculos no emplea la mano humana, como en el ábaco, ni un mecanismo físico, como en una computadora mecánica, sino una corriente eléctrica que hace que la información se envíe de lugar en lugar en una diminuta fracción de segundo.

Fue en la década de 1930 cuando los investigadores norteamericanos señalaron por primera vez las similitudes entre los estados de encendido y apagado de un circuito eléctrico y las alternativas gemelas básicas de la lógica. El siguiente paso fue la combinación de una notación de dos símbolos y las operaciones de la lógica matemática. Esto permitió que las más complicadas sumas y los más complicados cálculos pudieran llevarse a cabo a velocidades que antes se habrían creído inimaginables.

Una de las desventajas de los nuevos ordenadores, que empezaron a fabricarse poco después de que acabara la segunda Guerra Mundial, era su tamaño. La máquina norteamericana ENIAC pesaba 3 toneladas, y consumía 130 KW, debido a que estaba construida con miles de válvulas electrónicas. Estas válvulas, precisamente, fueron eliminadas en los ordenadores posteriores, reemplazadas primero por transistores y después por circuitos integrados, los dispositivos que hicieron que las nuevas máquinas electrónicas en menos de dos décadas se convirtieran en un artículo cotidiano de la vida de los negocios y comercial. Así mismo, su penetración en los hogares ha sido espectacular en los últimos años.

2.- PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE LOS SÓLIDOS.

Atendiendo a sus propiedades eléctricas, podemos dividir los cuerpos sólidos en conductores, aislantes y semiconductores. Las distintas propiedades de estos grupos se deben a la estructura atómica de los materiales y muy especialmente al número de electrones en la órbita exterior de los átomos. Estos electrones se llaman electrones de valencia y tienen un papel muy importante en la determinación de las propiedades físicas y químicas del sólido en cuestión.

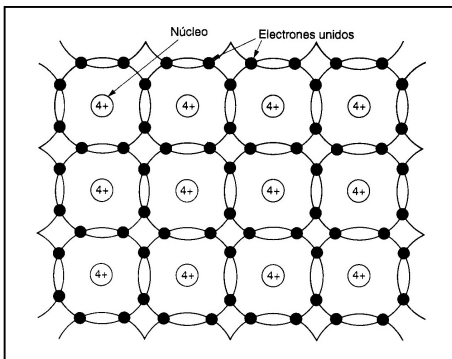
Los materiales conductores, como el cobre, aluminio y en general todos los metales, tienen electrones libres a temperaturas por encima del cero absoluto. Estos electrones libres son los electrones de valencia que están unidos débilmente al núcleo del átomo y están situados en las órbitas exteriores. Si a estos materiales le aplicamos un campo eléctrico, estos electrones libres se pondrán en movimiento dando lugar a una corriente eléctrica.

En los materiales aislantes, como los plásticos, madera, etc., los electrones de valencia están fuertemente unidos a sus átomos, por lo que la aplicación de un campo eléctrico no hace que los electrones se pongan en movimiento y por tanto no se establece la corriente eléctrica.

A muy bajas temperaturas, los semiconductores como el silicio y el germanio, tienen las propiedades de los aislantes. Sin embargo al aumentar la temperatura, algunos electrones tienen mayor libertad de movimiento y estos cuerpos toman las propiedades y características de un conductor, aunque no muy bueno. No obstante, estos materiales tienen características propias muy interesantes, que los hacen muy útiles para la fabricación de dispositivos electrónicos.

El material semiconductor más utilizado para tales aplicaciones es el silicio, pero también se usa el germanio, al igual que varios materiales más exóticos, como el arseniuro de galio. Muchos óxidos de metal tienen propiedades semiconductoras, por ejemplo, los óxidos de manganeso, níquel y cobalto. Estos óxidos semiconductores se utilizan en la fabricación de termistores, que son resistencias cuyo valor depende en gran medida de la temperatura.

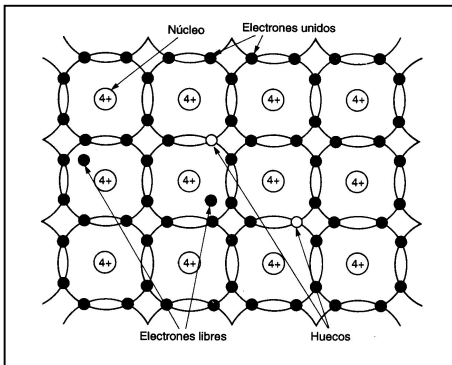
A temperaturas cercanas al cero absoluto, (-273°C), los electrones de valencia de un semiconductor están ligados con fuerza a sus núcleos atómicos y el material tiene las características de un aislante. La razón de esto se puede entender si consideramos la estructura de un semiconductor típico.



La figura número dos muestra una representación bidimensional de un cristal de silicio. El silicio es un material tetravalente, es decir, tiene cuatro electrones de valencia. La capa de electrones externa de cada átomo puede acomodar hasta ocho electrones, y el átomo se encuentra más estable cuando esta capa está llena. En un cristal de silicio puro, cada átomo comparte sus electrones de valencia con los cuatro átomos vecinos, de manera que en realidad

comparte ocho electrones en lugar de tener sólo cuatro en propiedad absoluta. Esta es una disposición muy estable que también se encuentra en materiales como el diamante. Este tipo de enlace atómico se llama enlace covalente.

A bajas temperaturas, la fuerte unión de los electrones de valencia en los



materiales semiconductores no deja electrones libres para conducir electricidad, lo que da como resultado las propiedades aislantes que describimos antes. Sin embargo, conforme aumenta la temperatura, la vibración térmica de la red cristalina trae como resultado el rompimiento de algunos de los enlaces, generando así electrones libres que se pueden mover por el cristal. Esto también produce huecos que aceptan electrones de átomos adyacentes y que, por

lo tanto, también se mueven. En la figura número tres se puede ver el efecto de la temperatura sobre un cristal de silicio. Vemos los electrones liberados por la vibración térmica y los huecos subsiguientes.

Los electrones son portadores de carga negativa y se mueven en sentido contrario al campo eléctrico, lo que genera una corriente eléctrica. Los huecos, al ser la ausencia de un electrón, actúan como portadores de carga positiva y se mueven en la dirección del campo eléctrico aplicado, contribuyendo también al flujo de corriente.

A temperatura ambiente normal, el número de portadores de carga presentes en el silicio puro es pequeño, y éste se considera un conductor pobre. Tal tipo de conducción se denomina conducción intrínseca.

3.- CONTAMINACIÓN INTENCIONAL.

La adición de pequeñas cantidades de impurezas a un material semiconductor puede cambiar en forma drástica sus propiedades. De particular interés resultan las impurezas de materiales que pueden acomodarse en la red del cristal del semiconductor, pero que tienen un número diferente de electrones de valencia. Un ejemplo de semejante impureza es la presencia de fósforo en el silicio. El fósforo es un material pentavalente, es decir, tiene cinco electrones de valencia en su capa externa de electrones. Cuando un átomo de fósforo está presente en la red de un pedazo de silicio, cuatro de sus electrones de valencia están ligados con fuerza por el enlace covalente que se describió antes. Sin embargo, el quinto electrón sólo está unido en forma débil y por lo tanto se encuentra libre para moverse dentro de la red y contribuir a la formación de una corriente eléctrica.

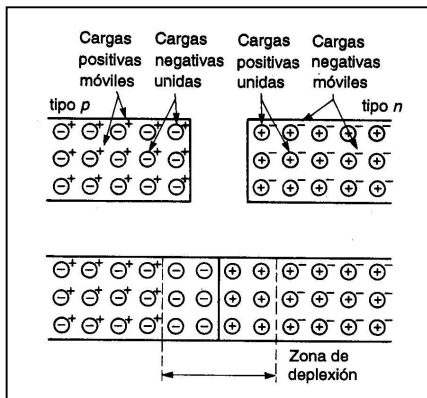
Los materiales como el fósforo se conocen como impurezas donadoras, pues producen un excedente de electrones libres. Los semiconductores que contienen semejantes impurezas reciben el nombre de semiconductores tipo N, pues tienen portadores de carga negativa (electrones) libres.

El boro tiene tres electrones de valencia y es, por lo tanto, un material trivalente. Cuando hay un átomo de boro dentro de un cristal de silicio, la ausencia de un electrón en la capa exterior deja un espacio (un hueco) que puede aceptar un electrón de un átomo adyacente para completar sus enlaces covalentes. Este hueco se mueve de átomo en átomo y actúa como portador móvil de carga positiva exactamente de la misma manera que los huecos generados por la vibración térmica en el material intrínseco. Los materiales como el boro se conocen como impurezas receptoras, pues aceptan electrones para producir huecos. Los semiconductores que contienen impurezas de este tipo reciben el nombre de semiconductores tipo P, pues tienen portadores de carga positiva (huecos) libres.

La inclusión intencionada de estas impurezas en los materiales semiconductores se llama contaminación intencional (doping).

Los materiales semiconductores tanto de tipo N como de tipo P tienen conductividades mucho mayores que la del material sin dopar, cuya magnitud depende del nivel de contaminación intencional. A esto se le llama conductividad extrínseca. Los portadores de carga dominante en un semiconductor contaminado (es decir, los electrones en un material de tipo N y los huecos en un material de tipo P) reciben el nombre de portadores de carga mayoritaria. A los otros portadores de carga se les llama portadores de carga minoritaria.

4.- UNIÓN PN.



Si tomamos dos trozos de silicio, uno de tipo P y otro de tipo N, y los unimos, los electrones sobrantes del silicio tipo N pasan a ocupar los huecos que hay en el silicio tipo P. Esto ocurre hasta que se establece una diferencia de potencial entre los dos trozos de silicio que impide nuevas recombinaciones. En la unión de los dos semiconductores se produce una zona donde no hay electrones libres que se llama zona de depleción. Esto se puede observar en la figura número cuatro.

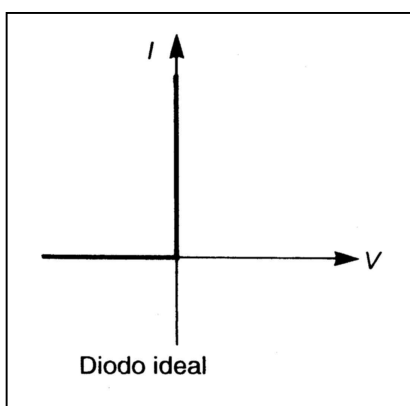
Consecuentemente, el silicio tipo N, que ha cedido electrones, queda cargado positivamente y el silicio tipo P, que ha recibido esos electrones (ha cedido huecos), queda cargado negativamente.

Si a esta unión le aplicamos un campo eléctrico, su comportamiento será distinto según la polaridad del campo aplicado. Si el lado tipo P del dispositivo se hace positivo con respecto al lado tipo N, el potencial aplicado neutraliza algo de la carga espacial y disminuye el ancho de la zona de depleción, tanto más cuanto mayor sea el campo eléctrico aplicado. La altura de la barrera se reduce y ahora una mayor proporción de portadores mayoritarios en la región de la unión tiene la energía suficiente para vencerla y una corriente neta fluye a través de la unión.

Si se hace negativo el lado tipo P del dispositivo con respecto al lado tipo N, aumenta la carga espacial y aumenta el ancho de la zona de depleción. Esto produce una barrera de potencial más grande y reduce el número de portadores mayoritarios que tiene la energía suficiente para vencerla, reduciendo la corriente a través de la unión. Incluso una pequeña polaridad negativa, quizá de 0,1V es suficiente para reducir la corriente de difusión a un valor despreciable.

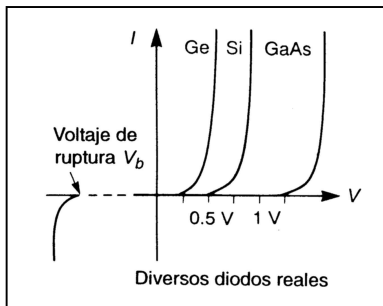
A temperatura ambiente normal esta corriente inversa es muy pequeña, por lo general de unos cuantos nanoamperios para dispositivos de silicio y unos cuantos microamperios para los dispositivos de germanio.

5.- DIODOS SEMICONDUCTORES.



Podemos definir un diodo ideal como un componente que no conduce corriente alguna cuando se aplica un voltaje a través de él en una dirección, pero que se comporta como un cortocircuito cuando se le aplica un voltaje en la dirección contraria. La característica de semejante dispositivo ideal aparece en la figura número cinco.

Una unión PN no es un diodo ideal, pero tiene una característica que se aproxima a ese dispositivo. La relación corriente-voltaje para



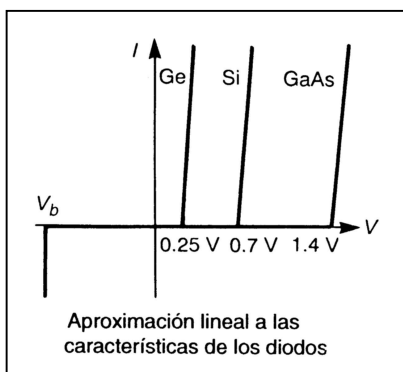
tres tipos de semiconductores, tiene la forma que aparece en la figura número seis. Como ya vimos, si el lado tipo P de una unión se hace negativo con respecto al lado tipo N (polarización inversa) sólo fluirá una corriente muy pequeña, la corriente inversa de saturación. Para una unión de silicio, esta corriente de saturación suele ser de 1 nA y es despreciable en casi todas las aplicaciones. La corriente inversa es

aproximadamente constante conforme el voltaje inverso se incrementa hasta un voltaje crítico que recibe el nombre de voltaje de ruptura inverso. Si el voltaje negativo se incrementa más allá de este punto la unión se rompe y empieza a conducir. Esto limita la gama útil de voltajes del diodo.

Si el lado tipo P se hace positivo con respecto al lado tipo N (polarización directa), fluirá una corriente despreciable para un pequeño voltaje aplicado, pero ésta aumentará de manera exponencial conforme aumente el voltaje.

Cuando se ve a gran escala, parece como si la corriente fuera cero hasta que el voltaje alcanzara un voltaje de umbral, como se le llama, y que conforme se incrementa el voltaje más allá de este punto la unión comienza a conducir y la corriente aumenta con rapidez. Este voltaje de umbral está relacionado de manera clara con el valor de la barrera de potencial que aparece en la figura número cuatro, cuyo valor es de 0,2V para una unión de germanio, de alrededor de 0,5V para una unión de silicio y de aproximadamente 1,3V para una unión de arseniuro de galio.

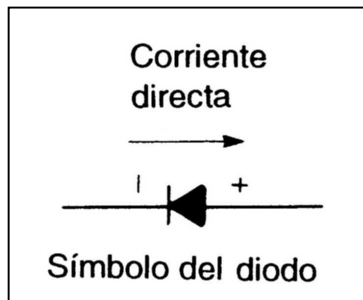
Un incremento adicional en el voltaje aplicado hace que la corriente de la unión aumente con rapidez. Esto tiene como resultado que la característica de corriente-voltaje sea casi vertical, lo cual muestra que el voltaje a través del diodo es más o menos constante, sin tener en cuenta la corriente de la unión.



En muchas aplicaciones es razonable aproximar la característica mediante una aproximación lineal, como se muestra en la figura número siete. Esta forma simplificada representa el diodo mediante una caída de voltaje directo de cerca de 0,25V para los dispositivos de germanio, 0,7 V para los de silicio y 1,4V para los de arseniuro de galio, combinada con una resistencia directa.

Esta última tiene como resultado la pendiente de la característica por encima del voltaje de umbral. En muchos casos, la resistencia directa del diodo se puede pasar por alto y considerar al diodo tan sólo como un diodo casi ideal con una pequeña caída de voltaje directo. Esto se llama voltaje de conducción del diodo. Conforme aumenta la corriente que atraviesa el diodo, también aumenta el voltaje que cruza la unión. Con una intensidad de corriente de 1A, el voltaje de conducción podría ser de cerca de 1V para un diodo de silicio, elevándose quizá a 2V a 100 amperes. En la

práctica, la mayoría de los diodos se destruirían mucho antes de que la corriente alcanzara tan altos valores.



La figura número ocho muestra el símbolo de circuito para un diodo. La flecha en este símbolo señala la dirección del flujo de corriente directa (se representa el sentido real de la corriente, es decir, el de los electrones).

Los diodos tienen una gran cantidad de aplicaciones dentro de los circuitos electrónicos. En muchos casos existen voltajes y corrientes relativamente bajos, y los dispositivos para estas aplicaciones reciben el nombre de diodos de señal. Un dispositivo típico podría tener una corriente directa máxima de 100mA y un voltaje de ruptura inverso de 75V.

Otras aplicaciones comunes para los diodos incluyen su uso en fuentes de alimentación para convertir las corrientes alternas en corrientes continuas. Estos diodos suelen tener una mayor capacidad de manejo de corriente (medida por lo general en amperios o en decenas de amperios) y reciben el nombre de rectificadores. Los voltajes de ruptura inversos para estos dispositivos varían con la aplicación, pero por lo común se encuentran en los cientos e incluso miles de voltios.

Se pueden hacer diodos y rectificadores usando diversos materiales semiconductores, y es posible hacer uso de otras técnicas en lugar de simples uniones PN. Esto permite construir dispositivos con una amplia variedad de características en términos de la capacidad de manejo de corriente, voltaje de ruptura y velocidad de funcionamiento.

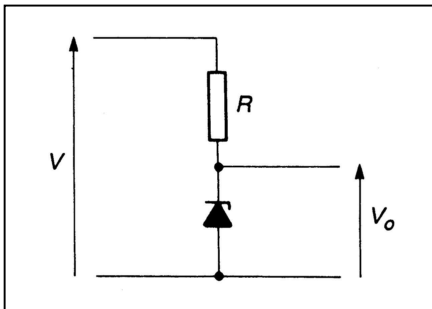
Así pues, además del diodo rectificador, existen otros tipos de diodo como son el diodo de señales, el diodo Zener, el diodo emisor de luz (LED), el diodo láser, el diodo Schottky, el diodo túnel, el diodo varactor y el fotodiodo.

5.1.- DIODO ZENER.

Cuando se aplica a un diodo una tensión inversa superior a su tensión de ruptura, se produce un efecto de avalancha que hace que el valor de la corriente inversa aumente rápidamente hasta valores tan altos que pueden llegar a destruir la unión PN. Si limitamos esta corriente inversa mediante componentes externos conectados al diodo, esta corriente inversa no tiene por qué causar daño al dispositivo. Este efecto se utiliza en dispositivos de uso especial llamados diodos Zener.

En las figuras números seis y siete se observa que cuando la unión se encuentra en la región de ruptura, el voltaje de la unión es más o menos constante, sin importar la corriente inversa que fluya. Esto permite que se use el dispositivo como un voltaje de referencia. En estos dispositivos el voltaje de ruptura a menudo recibe el símbolo V_b . Existen diodos Zener con diversos

voltajes de ruptura que permiten la producción de un amplio intervalo de voltajes de referencia.



En la figura número nueve tenemos un circuito típico en el que se usa un diodo Zener. Aquí un voltaje V mal regulado se aplica a una combinación en serie de una resistencia y un diodo Zener conectado en sentido inverso, es decir, el cátodo conectado al terminal positivo de la tensión de entrada.

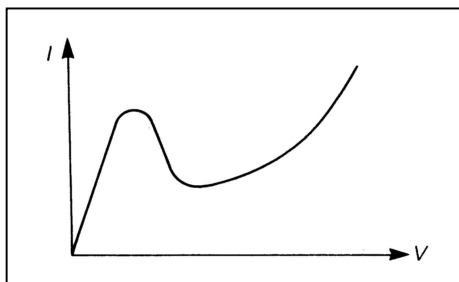
Si la tensión de entrada V es mayor que la tensión de Zener, la unión del diodo se romperá y conducirá corriente extraída de la resistencia R . El diodo genera un voltaje de salida más o menos constante, sin importar el valor del voltaje de entrada, siempre y cuando éste siga siendo mayor que la tensión de Zener.

Si se conectan circuitos a la salida del circuito, es decir, en paralelo con el diodo Zener, esto también hará circular una corriente mayor a través de la resistencia R . El valor de R se debe elegir de modo tal que la caída de voltaje a través de R , ocasionada por esta corriente, no sea tan grande que reduzca el voltaje a través del diodo Zener a un punto por debajo de su voltaje de ruptura. Este requisito se debe equilibrar contra el hecho de que la potencia disipada en el diodo y en la resistencia aumenta conforme se reduce R .

5.2.- DIODO SCHOTTKY.

A diferencia de los diodos de unión PN convencionales, que se forman con la unión de dos capas de material semiconductor contaminado de manera intencional, los diodos Schottky se forman mediante una unión entre una capa de metal (como el aluminio) y un semiconductor. El contacto de rectificación que se forma depende sólo de los portadores de carga mayoritaria y es, en consecuencia, de funcionamiento más rápido que los dispositivos de unión PN, que están limitados en cuanto a velocidad por la recombinación relativamente lenta de los portadores de carga minoritaria. Los diodos Schottky también tienen una caída de voltaje directo cercana a 0.5 V. Esta característica se usa con buenos resultados en el diseño de compuertas lógicas de alta velocidad.

5.3.- DIODO TÚNEL.



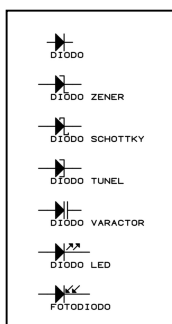
El diodo túnel fue descrito por vez primera por Esaki (1958) y utiliza altos niveles de contaminación intencional para producir un dispositivo con una zona de deplexión muy angosta. Esta zona es tan delgada que se puede dar un efecto de mecánica cuántica conocido como efecto túnel. Esto da como resultado que los portadores de carga puedan cruzar la zona de deplexión aun

cuando no tengan la energía suficiente para superarla. La combinación de este efecto túnel y la acción convencional del diodo produce una característica como la que aparece en la figura número diez. Esta característica más bien extraña encuentra aplicación en muchas áreas. De particular interés resulta el hecho de que dentro de parte de su zona de trabajo el voltaje que cruza el dispositivo disminuye con un incremento en la corriente. Esto corresponde a una región en la que la resistencia incremental del dispositivo es negativa. Esta propiedad se utiliza en circuitos osciladores de alta frecuencia en los cuales la resistencia negativa del diodo túnel se usa para cancelar pérdidas dentro de los componentes pasivos.

5.4.- DIODO VARACTOR.

Un diodo con polarización inversa tiene dos regiones conductoras de semiconductor tipo P y tipo N, separadas por una zona de deplexión. Esta estructura se asemeja a un condensador en el que la zona de deplexión forma el dieléctrico aislante. Los pequeños diodos de señal de silicio tienen una capacidad de unos cuantos picofaradios que cambia con el voltaje de polarización inversa, pues éste modifica el grosor de la zona de deplexión.

Este efecto es utilizado por los diodos varactor, que actúan como condensadores dependientes del voltaje. Estos dispositivos se usan en el corazón de muchos circuitos de sintonización automática, en los que el varactor se usa dentro de un circuito sintonizado L-C o R-C. La capacidad del dispositivo, y por lo tanto las características de frecuencia del circuito, se pueden modificar entonces mediante el voltaje de polarización inversa aplicado.

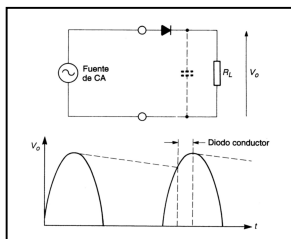


En la figura número once se pueden ver los símbolos utilizados para los distintos tipos de diodos enumerados.

6.- CIRCUITOS CON DIODOS.

Los diodos se usan en una amplia gama de circuitos, en aplicaciones tanto analógicas como digitales. A continuación veremos algunos ejemplos de utilización de los diodos como rectificadores.

6.1.- RECTIFICADOR DE MEDIA ONDA.

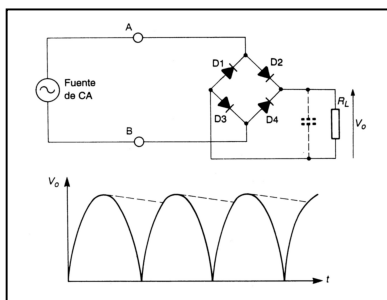


Uno de los usos más comunes de los diodos es como rectificadores dentro de una fuente de alimentación para generar una tensión continua a partir de la tensión alterna de la red de suministro eléctrico. Un circuito sencillo para lograr esto es el rectificador de media onda que se muestra en la figura número doce. Mientras el voltaje de entrada sea mayor que el voltaje de umbral del diodo, el diodo conducirá y el voltaje de

entrada (menos la pequeña caída de voltaje a través del diodo) aparecerá al otro lado de la carga. Durante la parte del ciclo, en la que el diodo tiene polarización negativa, no fluye corriente alguna en la carga.

Para producir un voltaje de salida más estable, normalmente se conecta un condensador de filtro al circuito de carga. Este condensador se carga mientras el diodo está conduciendo, y mantiene el voltaje de salida durante los semiciclos negativos de la tensión de entrada, suministrando corriente al circuito de salida. Esta corriente descarga de manera gradual el condensador, provocando que disminuya el voltaje de salida. El efecto de agregar un condensador de filtro es que el diodo conduce sólo en pequeños periodos de tiempo. Durante estos periodos, las corrientes del diodo son entonces muy altas. El valor del rizado en el voltaje de salida resulta afectado por la corriente tomada por la carga, por el tamaño del condensador y por la frecuencia de la tensión de entrada. Está claro que conforme aumenta la frecuencia de la fuente, se reduce el tiempo durante el cual el condensador debe mantener la salida.

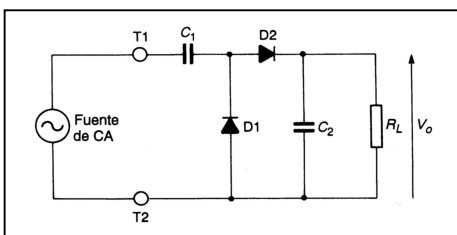
6.2.- RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA.



Un método sencillo para aumentar de manera efectiva la frecuencia de la forma de onda aplicada al condensador del ejemplo anterior es el uso de un circuito rectificador de onda completa como el que se muestra en la figura número trece. Cuando el terminal A de la fuente es positivo con respecto al terminal B, los diodos D2 y D3 tienen polarización directa y los diodos D1 y D4 tienen polarización inversa.

Entonces la corriente pasa del terminal A al diodo D2 y a la carga R_L , y regresa al terminal B a través del diodo D3. Esto hace que el voltaje de salida V_o sea positivo. Cuando el terminal B es positivo con respecto al terminal A, los diodos D1 y D4 tienen polarización directa, mientras que D2 y D3 tienen polarización inversa. La corriente fluye ahora del terminal B al diodo D4 y a la carga R_L , y regresa al terminal A a través del diodo D1. Como la dirección de la corriente en la resistencia de salida es la misma, la polaridad del voltaje de salida no cambia. Entonces, los medios ciclos de la fuente, tanto positivos como negativos, producen picos de salida positivos y se reduce el tiempo durante el cual el condensador debe mantener el voltaje de salida.

6.3.- DOBLADOR DE TENSIÓN.

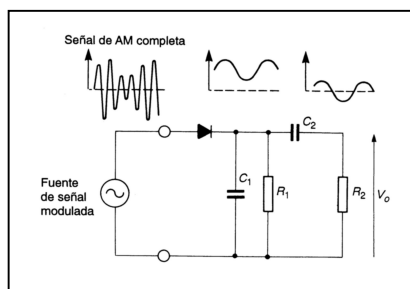


El doblador de tensión que se muestra en la figura número catorce produce un voltaje de salida mayor que el voltaje de pico de la entrada. Consideremos en principio el medio ciclo en el que la terminal de entrada T1 es negativo con respecto a la terminal de salida T2. El diodo D1 recibe polarización directa

hasta cerca del voltaje pico de la forma de onda de entrada. Durante el siguiente medio ciclo, el terminal de entrada T1 es positivo con respecto al terminal T2. El diodo D1 está en polarización inversa y por lo tanto no conduce. Conforme T1 se hace más positivo con respecto a T2, aumenta el voltaje que aplicado a D1, que es igual al voltaje de entrada más el voltaje que presente en C1. Cuando la entrada alcanza su valor pico, el voltaje que aplicado a D1 es casi el doble del voltaje de entrada. Esto da polarización directa al diodo D2, cargando a C2 hasta cerca del doble del voltaje pico de entrada. Esto forma el voltaje de salida del circuito.

Si se requieren voltajes de salida mayores, se pueden conectar en cascada varias etapas de doblador de tensión para producir voltajes cada vez mayores. Estos circuitos multiplicadores de voltaje son ideales para aplicaciones que requieren altos voltajes en corrientes relativamente bajas. Las aplicaciones comunes incluyen las alimentaciones de alto tensión de los tubos de rayos catódicos utilizados en osciloscopios y televisión, y los tubos fotomultiplicadores.

6.4.- DETECTOR DE SEÑALES.



Un uso común de los diodos de señal es en la rectificación (también llamada demodulación o detección) de señales moduladas, como las que se usan para la transmisión de radio. Estas señales a menudo usan la modulación de amplitud (AM), que produce una forma de onda del tipo que se puede ver en la figura número quince. La señal consiste en una portadora de alta frecuencia cuya amplitud se

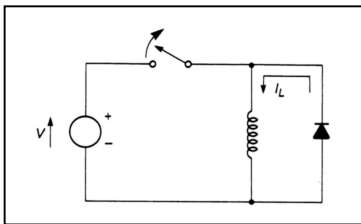
modula mediante una señal de baja frecuencia. Es esta señal de baja frecuencia la que lleva la información útil, y debe recuperarse mediante la demodulación de la señal.

El demodulador trabaja de manera similar a la del rectificador de media onda descrito antes. La señal modulada se pasa a través de un diodo que aplica sólo la mitad positiva de cada ciclo a una red R-C formada por R1 y C1. Los valores de R1 y C1 se eligen de manera que produzcan una frecuencia de corte que esté por encima de la frecuencia de la señal de modulación pero por debajo de la de la portadora de radiofrecuencia. Así se elimina la portadora dejando sólo la señal de BF más una componente de continua. Esta componente se elimina mediante un segundo condensador C2 que aplica la señal demodulada a R2.

El voltaje de salida desarrollado a través de R2 representa la envolvente de la señal original. Este circuito forma la base de la mayoría de los receptores de radio, desde los receptores de cristal, que consisten más que nada en el detector y una sencilla red selectiva de frecuencia, hasta los complicados receptores superheterodinos, que utilizan circuitos complejos para seleccionar y amplificar la señal requerida. (Ver revista RADIOAFICIONADOS de Agosto-Septiembre de 2001).

6.6.- SUPRESIÓN DE TRANSITORIOS.

En muchos equipos electrónicos se utilizan dispositivos de naturaleza inductiva. Como ejemplos de éstos podemos citar a los relés y los solenoides. Un problema con este tipo de dispositivos es que se producen grandes sobretensiones si se conmutan con rapidez. Este efecto se usa de manera provechosa en la mayoría de los sistemas de encendido de automóviles en los que se usa un interruptor (los "platinos") para interrumpir la corriente en una bobina de alto voltaje. La gran sobretensión producida se usa para generar la chispa que se requiere para quemar el combustible en el motor. En otros



sistemas electrónicos, estos voltajes inversos pueden a menudo ocasionar daños serios en equipos delicados si no se les elimina. Afortunadamente, en muchos casos la solución es muy sencilla. Basta colocar un diodo en paralelo con el componente inductivo para reducir el valor de este voltaje inverso mediante el uso del circuito

que se muestra en la figura número dieciséis.

El diodo se conecta de modo que reciba, en condiciones normales, polarización inversa del voltaje aplicado y que por lo tanto no esté conduciendo. Sin embargo, cuando se elimina la fuente de voltaje, cualquier sobretensión producida por la bobina dará polarización directa al diodo, que entonces conducirá y disipará la energía almacenada. El diodo debe ser capaz de manejar una corriente igual a la corriente directa que fluye antes de eliminar la fuente.

7.- PRUEBA DE DIODOS.

La comprobación de los diodos de señal y rectificadores es muy sencilla y se puede realizar rápidamente mediante un polímetro convencional o digital. Para ello dispondremos el polímetro para la medida de resistencias en su escala más baja (X1) y tocaremos con las puntas de prueba en los extremos del diodo en las dos posiciones, es decir, intercambiando las puntas de prueba. Como un óhmetro consiste básicamente en una pila en serie con un miliamperímetro, lo que estamos haciendo en realidad es polarizar el diodo en sentido directo y en sentido inverso y leer la intensidad de la corriente que le atraviesa. La escala del polímetro está calibrada directamente en ohmios.

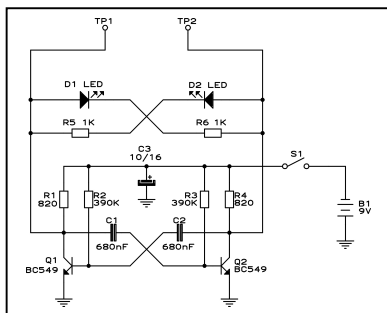
Normalmente, en los polímetros analógicos (de aguja) la punta de prueba roja corresponde al polo negativo de la pila, por lo que si conectamos la punta negra al ánodo del diodo y la punta roja al cátodo, el polímetro indicará una resistencia muy baja, de pocos ohmios, entre 5 y 10 para los diodos de silicio y un poco menor para los diodos de germanio. Si invertimos de posición las puntas de prueba y colocamos el polímetro en su escala más alta de resistencias, con un diodo de silicio, por ejemplo 1N4001, tendremos una indicación de resistencia prácticamente infinita, mientras que con un diodo de germanio la resistencia inversa rondará los 500Kohm.

Los polímetros digitales suelen tener una posición para la prueba de diodos. En este caso, la punta roja corresponde con el positivo de la pila interna, mientras que la punta negra corresponde con el polo negativo. Conectando la punta roja al ánodo del diodo y la punta negra al cátodo, es decir polarizado en sentido directo, el polímetro digital nos mostrará de forma aproximada la tensión de umbral del diodo, que será del orden de 0,5 voltios para los diodos de silicio y de 0,25 para los diodos de germanio.

El método indicado puede valer para efectuar la prueba rápida del estado de los diodos rectificadores y de pequeña señal. La prueba de los diodos zener y varactores requiere el uso de comprobadores un poco más elaborados (ver revista RADIOAFICIONADOS del mes de Noviembre – 2001).

8.- COMPROBADOR DE DIODOS.

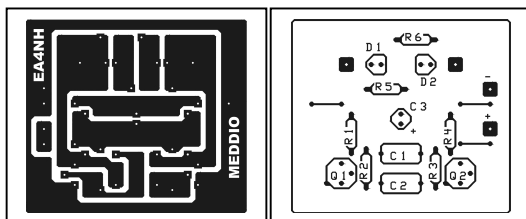
La prueba de diodos puede también realizarse con el comprobador que se describe a continuación. Se trata de un multivibrador astable formado por dos transistores que producen alternativamente una onda cuadrada que, aplicada al diodo bajo prueba, le polarizará alternativamente en sentido directo y sentido inverso. Unos diodos LED indicarán la polaridad y el estado del diodo.



En la figura número diecisiete puede verse el esquema del comprobador de diodos. Los transistores Q1 y Q2 forman un multivibrador acoplados por los condensadores C1 y C2. Las resistencias R1 y R4 constituyen las cargas de colector y las bases están polarizadas por las resistencias R2 y R3. El condensador C3 desacopla la línea de alimentación.

La señal presente en los colectores de Q1 y Q2 se aplican a los diodos LED D1 y D2, cuya corriente está limitada por las resistencias R5 y R6. el resultado es que los diodos LED D1 y D2 se iluminan alternativamente con una frecuencia de unos pocos ciclos por segundo. El diodo a comprobar se conecta en los puntos de prueba TP1 y TP2. Según se conecte el diodo bajo prueba, quedará cortocircuitado uno de los diodos LED, el cual se apagará, quedando iluminado el otro LED, indicando así la polaridad y el estado del diodo.

8.1.- CONSTRUCCIÓN.

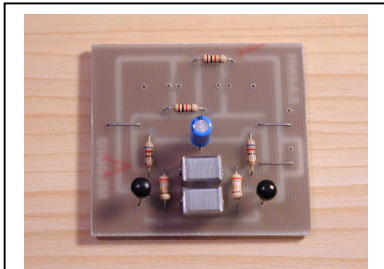


El comprobador de diodos se puede construir utilizando cualquier método de montaje, ya que las frecuencias que se utilizan son muy bajas. Puede utilizarse placa perforada para prototipos o bien utilizar la placa de circuito impreso cuyo diseño puede verse en la figura número dieciocho. En la figura número diecinueve tenemos la disposición de los componentes sobre la placa de circuito impreso.

En la figura número dieciocho. En la figura número diecinueve tenemos la disposición de los componentes sobre la placa de circuito impreso.

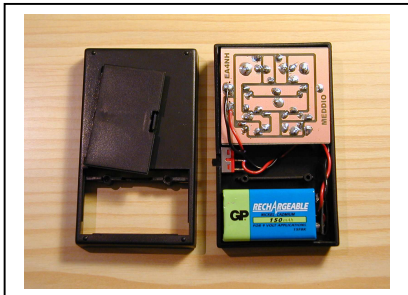
Los componentes necesarios para la construcción del comprobador de diodos, son los siguientes:

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
R1	820
R2	390K
R3	390K
R4	820
R5	1K
R6	1K
C1	680nF
C2	680nF
C3	10uF /16V
Q1	BC549
Q2	BC549
D1	LED VERDE
D2	LED VERDE
S1	INTERRUPTOR
B1	BATERÍA 9V
TP1	PUNTO DE PRUEBA
TP2	PUNTO DE PRUEBA
1	CONECTOR DE BATERÍA
2	BANANAS
2	PINZA DE COCODRILO
Caja	RB-551



En la figura número veinte podemos ver los componentes necesarios para el montaje del comprobador. Una vez en posesión del circuito impreso y el resto de los componentes, procederemos al montaje del comprobador. Colocaremos las resistencias en su lugar correspondiente, seguiremos por los condensadores y finalmente los transistores. En la figura número veintiuno tenemos la placa de circuito impreso con los componentes montados, excepto los diodos LED y los dos puntos de prueba, que irán fijados a la caja RETEX modelo RB-551, que se puede ver en la figura número veintidós. Como se puede observar, esta caja dispone de un compartimiento con una tapa fácilmente accesible, para el alojamiento de la batería de alimentación.

A continuación procederemos a fijar en la parte superior de la caja los dos puntos de prueba y los

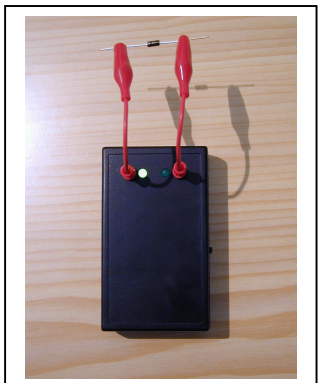


dos diodos LED. Estos diodos se han fijado en el prototipo con una gota de pegamento tipo locktite o similar. Es preciso tener en cuenta la posición de los diodos LED. La parte achaflanada, que corresponde con el cátodo, irá situada hacia el centro de la caja, como se puede ver en la disposición de los componentes. En un lateral realizaremos una pequeña caja para el interruptor de encendido, que también se ha fijado con pegamento. La figura número veintitrés muestra los diodos LED, los puntos de prueba y el interruptor en su lugar correspondiente.

Soldaremos unos trozos de hilo de cobre desnudo en los puntos de prueba. Introduciremos estos hilos de los puntos de prueba, así como los terminales de los diodos LED en los taladros correspondientes del circuito impreso y acercaremos el mismo hacia la caja lo más posible. Soldaremos estos hilos y cortaremos el sobrante. De esta manera queda sujeto el circuito impreso. Este montaje se muestra en la figura número veinticuatro. Cerraremos la caja con los dos tornillos autorosca correspondientes, tal como se ve en

la figura número veinticinco. Colocaremos la batería de 9 voltios en su compartimiento y procederemos a la comprobación del montaje.

8.2.- OPERACIÓN.



Accionando el interruptor de encendido pondremos en marcha el comprobador. Si todo es correcto, veremos parpadear alternativamente los dos diodos LED. En la figura número veintiséis vemos el montaje funcionando, aunque aparecen encendidos los dos diodos LED debido a la velocidad de obturación. Con las bananas, las pinzas de cocodrilo y unos trozos de cable prepararemos unas pinzas de prueba. Conectaremos un diodo en los puntos de prueba y observaremos que un diodo LED se apaga, quedando iluminado el que esté más cerca del cátodo del diodo bajo prueba, tal como se observa en la figura número veintisiete. Si el diodo está abierto, continuarán parpadeando los dos diodos LED y el diodo a comprobar está en cortocircuito se apagará ambos diodos LED.

9.- RESUMEN.

Los materiales semiconductores forman una parte esencial de los dispositivos electrónicos que se usan hoy día. Hemos visto que las propiedades eléctricas de estos materiales son producidas por su estructura atómica y que la presencia de pequeñas cantidades de impurezas en los semiconductores puede tener un efecto muy grande sobre estas propiedades.

De particular interés es la unión de materiales semiconductores de tipo P y de tipo N, la unión PN, la cual forma un diodo semiconductor con propiedades que se aproximan a las de un diodo ideal. La conducción en una dirección es en general despreciable (polarización inversa), mientras que la conducción en la dirección opuesta (polarización directa) está relacionada con una pequeña caída de voltaje a través del diodo. Los diodos semiconductores se usan en una gran cantidad de aplicaciones, desde la rectificación de voltajes alternos en las fuentes de alimentación hasta la demodulación, en un receptor de radio, de las señales transmitidas.

Además de estos dispositivos de uso general, hay varios tipos de diodos con características especializadas, como son los diodos Zener, que se usan mucho como voltaje de referencia, los diodos Schottky, que tienen una respuesta muy rápida y una pequeña caída de voltaje directo, los diodos túnel, que pueden funcionar como una resistencia negativa que los hace muy útiles en diversas aplicaciones, los diodos de capacidad variable o varactores, los diodos LED, los fotodiodos, etc.

Con este breve repaso a estas cuestiones, el lector podrá tener una visión inicial de estos dispositivos, que podrá ampliar consultando cualquiera de las muchas obras de electrónica disponibles.

El montaje descrito en el presente artículo no ha sido probado en grandes series y, por tanto, no se tiene certeza de que su funcionamiento sea 100% correcto. Solamente se describe la construcción y el funcionamiento del prototipo.

El autor no se hace responsable de posibles derechos de copia. La información para la realización de este montaje procede de diversas publicaciones, libros, revistas, etc., así como de los propios conocimientos del autor.

El autor no se hace responsable de posibles daños y/o perjuicios causados por la construcción y/o uso de este dispositivo, daños personales o muerte, daños a la propiedad, daños al medio ambiente, lucro cesante, pérdida total o parcial de datos informáticos o cualquier tipo de daño que se pudiera derivar del montaje y/o uso de este dispositivo.

No se aconseja el uso de este dispositivo en aplicaciones críticas, como son control de maquinaria peligrosa, control de navegación o tráfico, maquinaria de mantenimiento de vida o sistemas cuyo mal funcionamiento pueda provocar causas o efectos anteriormente mencionados. Este dispositivo no es tolerante a fallos.

El autor declina cualquier responsabilidad, ni se hace responsable de no mencionar a los dueños de las posibles patentes que aquí se pudieran reflejar.

El dispositivo descrito en el presente artículo es un montaje experimental, cuyo propósito es el estudio de los diferentes aspectos de la Electrónica, por tanto, no está destinado a su utilización industrial ni para su explotación comercial en cualquiera de sus facetas.

El autor no efectúa ninguna actividad comercial relacionada con este u otros montajes publicados en esta u otras revistas o publicaciones de cualquier tipo.

El presente artículo y todos los publicados hasta el momento en la revista "RADIOAFICIONADOS", están recopilados en un DVD a disposición de quien lo solicite. Se incluyen todos los textos, así como las fotografías, dibujos, gráficos, plantillas de circuitos impresos, etc.

Aunque se ha intentado proporcionar todos los detalles necesarios para la realización del proyecto, es posible que algún aspecto no haya quedado suficientemente desarrollado. Como es natural, con mucho gusto el autor dará cumplida información sobre cualquier detalle no especificado, o cualquier punto en particular que no haya quedado completamente explicado. Buena suerte a todos.

Luis Sánchez Pérez. EA4-NH
Apartado 421, 45080-TOLEDO
Tlf. 606-383-140
Web: www.ea4nh.com
E-mail: ea4nh@ure.es

FIGURA NÚMERO UNO.
William Shockley, John Bardeen y Walter H. Brattain.

FIGURA NÚMERO DOS.
Representación de un cristal de silicio.

FIGURA NÚMERO TRES.
Electrones libres y huecos.

FIGURA NÚMERO CUATRO.
Unión PN.

FIGURA NÚMERO CINCO.
Diodo ideal.

FIGURA NÚMERO SEIS.
Características de los diodos.

FIGURA NÚMERO SIETE.
Curva característica aproximada.

FIGURA NÚMERO OCHO.
Símbolo del diodo.

FIGURA NÚMERO NUEVE.
Circuito de diodo Zener.

FIGURA NÚMERO DIEZ.
Característica de diodo Túnel.

FIGURA NÚMERO ONCE.
Símbolos de diodos.

FIGURA NÚMERO DOCE.
Rectificador de media onda.

FIGURA NÚMERO TRECE.
Rectificador de onda completa.

FIGURA NÚMERO CATORCE.
Doblador de tensión.

FIGURA NÚMERO QUINCE.
Detector de AM.

FIGURA NÚMERO DIECISÉIS.
Supresión de transitorios.

FIGURA NÚMERO DIECISIETE.

Esquema del comprobador.

FIGURA NÚMERO DIECIOCHO.
Circuito impreso.

FIGURA NÚMERO DIECINUEVE.
Situación de los componentes.

FIGURA NÚMERO VEINTE.
Componentes del comprobador.

FIGURA NÚMERO VEINTIUNO.
Circuito impreso montado.

FIGURA NÚMERO VEINTIDÓS.
Caja de plástico.

FIGURA NÚMERO VEINTITRÉS.
Puntos de prueba y diodos LED.

FIGURA NÚMERO VEINTICUATRO.
Colocación del circuito impreso.

FIGURA NÚMERO VEINTICINCO.
Caja cerrada.

FIGURA NÚMERO VEINTISÉIS.
Operación sin diodo.

FIGURA NÚMERO VEINTISIETE.
Prueba de un diodo.