

LECCION 11

TEORIA: LECCION N° 11

Diodos Especiales

Hemos analizado dos tipos de diodos de uso común en la práctica: los diodos de señal y los diodos rectificadores. Como ha podido comprender, dichos diodos son tan importantes como “la misma electrónica del estado sólido”, dado que es imposible imaginar circuitos que no los contengan. Sin embargo, estos diodos no son los únicos que existen y, aprovechando las propiedades adicionales de las junturas semiconductoras (además de conducir corriente en un sólo sentido), se pueden construir diodos con características especiales, tales como los diminutos elementos que se usan como iluminadores en diferentes equipos electrónicos y que llamamos “leds”. En esta lección estudiaremos algunos de estos diodos especiales.

Coordinación: Horacio D. Vallejo

.....

Cuando un diodo es polarizado en el sentido directo y circula una corriente, pueden ocurrir muchas cosas, que dependen del modo en que el mismo está construido. Del mismo modo, cuando un diodo es polarizado en el sentido inverso cerca del punto de ruptura, pueden ocurrir muchas cosas, que también dependen de su construcción. Estas cosas nos llevan a componentes específicos que encuentran aplicaciones en muchas áreas de electrónica.

Algunos diodos que encuentran aplicaciones especiales, y que veremos en ésta y otras lecciones, son: diodos zéner, diodos emisores de luz, fotodiodos, diodos túnel, diodos varicap, etc.

Diodo Zéner

Según estudiamos en la lección anterior, si polarizamos un diodo en el sentido inverso, el mismo no conduce la corriente, presenta una elevadísima resis-

tencia hasta que se alcance una cierta tensión en que ocurre una ruptura de la juntura.

Esta tensión destruye un diodo común, pero podemos construir dispositivos en que esto no ocurre (figura 1).

Así, podemos tener diodos que son proyectados especialmente para trabajar polarizados en el sentido inverso con una tensión igual o mayor que la de la ruptura inversa.

Estos diodos, como muestra la figura 1, poseen un punto de

DIODOS ESPECIALES

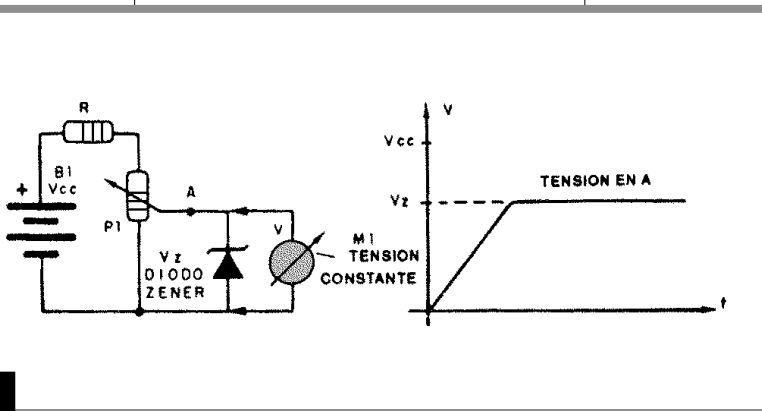
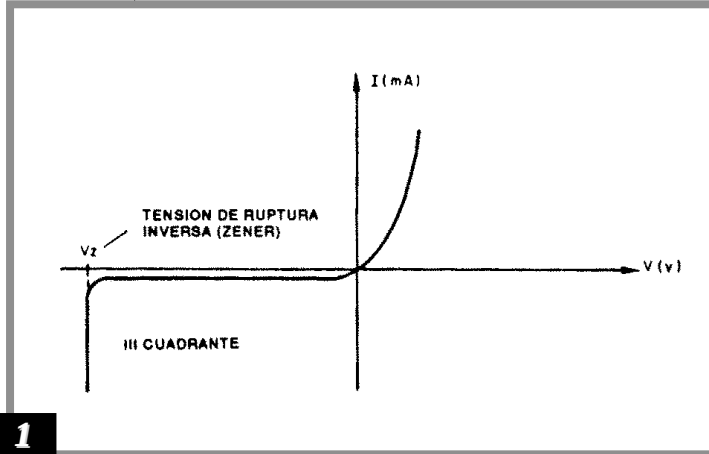
ruptura con una curva bastante acentuada, de tal modo que la tensión no puede sobrepasar este valor en una amplia banda de valores de corriente que se mantiene estable.

Analizando mejor lo que ocurre, daremos como ejemplo el circuito de la figura 2. Partiendo de una tensión nula, vamos aumentando gradualmente la tensión inversa en este diodo hasta que se alcanza el punto de ruptura inversa.

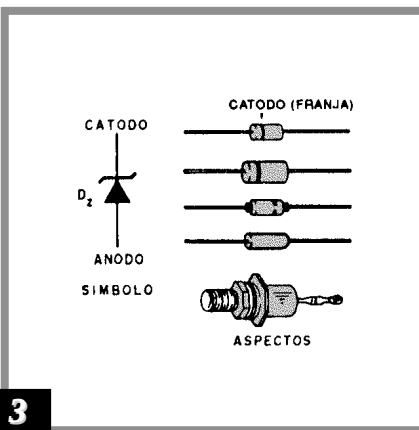
En el instante en que esta tensión es alcanzada, el diodo comienza a conducir la corriente, pero de forma que mantiene constante la tensión en sus terminales. A partir de ahí, por más que aumentemos la tensión en el circuito, lo que conseguiremos es simplemente aumentar la corriente circulante. El diodo varía su resistencia en el sentido inverso, se reduce de modo de mantener constante la tensión en sus terminales.

El valor constante de tensión obtenido, que corresponde a la ruptura inversa, es denominado "tensión zéner", y tales diodos, los que son utilizados de esta forma son denominados "*diodos zéner*".

Vea entonces que, colocando



en un circuito, el diodo zéner puede mantener la tensión constante, incluso cuando la misma varía y se aleja del valor mínimo en que ocurre su conducción. Tales diodos son usados como estabilizadores de tensión o como referencia en fuentes.



En la figura 3 aparece el símbolo del diodo zéner, así como su aspecto físico.

El diodo zéner trabaja polarizado en el sentido inverso y la corriente que lo recorre será tanto mayor cuanto mayor sea la variación de tensión que debe ser controlada. De esta forma, multiplicando la corriente circulante por la tensión entre los terminales del diodo, tenemos la cantidad de energía por segundo o potencia que debe ser disipada en forma de calor.

Los diodos de este tipo son entonces especificados por dos magnitudes:

a) La tensión zéner, dada en volt, que indica el punto de ruptura inversa o la tensión que el componente mantendrá entre sus terminales cuando se lo polariza en el sentido inverso.

b) La potencia máxima de disipación, que es dada en watt o miniwatt y que determina también la corriente máxima que el diodo puede conducir en operación.

Para calcular la corriente máxima en el diodo zéner, basta usar la fórmula:

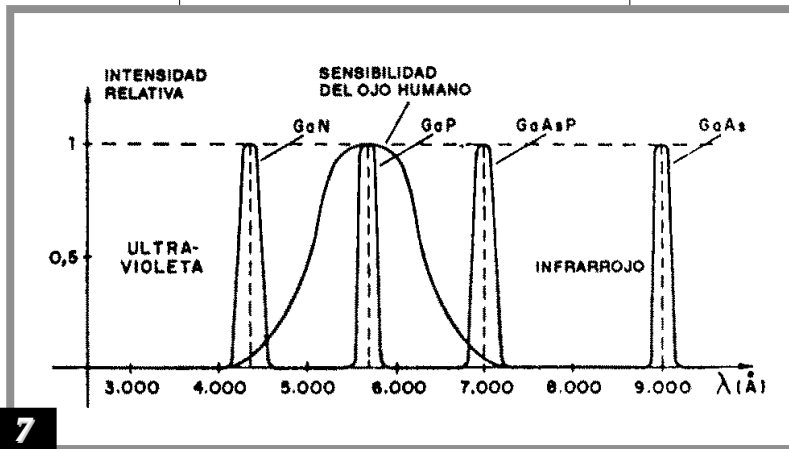
Tal componente estaba hecho de Arseniuro de Galio con Fósforo y emitía luz roja, recibió el nombre de "Light Emitting Diode", diodo emisor de luz que, abreviado en inglés, deriva en la conocidísima sigla LED.

El LED es un diodo de características especiales.

Como en los diodos comunes el led debe trabajar polarizado en sentido directo. La corriente que circula en la juntura y que provoca la recombinación de los pares electrón-lagunas es la que produce la emisión de radiación luminosa. Sin embargo, para que un led comience a conducir en el sentido directo, tenemos que aplicar una tensión bastante mayor que los diodos comunes de silicio o germanio, como muestra la figura 5.

Dependiendo del material de que está hecho el diodo, y por lo tanto, del color de la luz emitida, la tensión mínima para conducción puede variar entre 1,6 y 2,1 volt típicamente.

En la figura 6 tenemos un interesante gráfico que muestra la cantidad de combinaciones de materiales que hoy son conocidos y que pueden usarse para la fabricación de dispositivos fotoemisores, con las longitu-



7

des de ondas y energías necesarias para la excitación.

En la figura 7 tenemos otro gráfico en que mostramos las franjas estrechas de emisión de algunos leds cuando los comparamos con la sensibilidad del ojo humano.

Vea entonces que los leds de carburo de silicio emiten radiación en la banda del ultravioleta mientras que los leds de arseniuro

de galio (GaAs) emiten radiación en la banda del infrarrojo.

En la banda de la luz visible tenemos leds de diversos colores: los más comunes son los rojos, vienen a continuación los verdes y los amarillos, y un poco menos comunes, los azules.

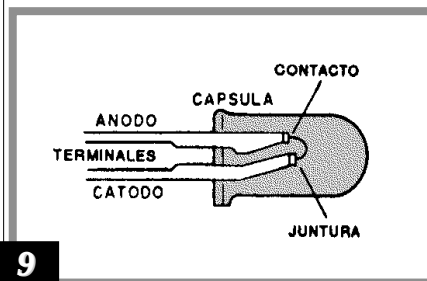
Como podemos observar en la figura 8, una característica importante de los leds es la banda bastante estrecha de frecuencias de emisión de los leds.

Se trata pues de componentes monocromáticos, lo que los diferencia bien de otras fuentes de luz; encuentran así aplicaciones importantes en la optoelectrónica. La optoelectrónica, para los lectores que todavía no conocen el término, es la parte de la electrónica que estudia dispositivos capaces de emitir y recibir luz y convertir señales de electricidad y viceversa, así como sus circuitos.

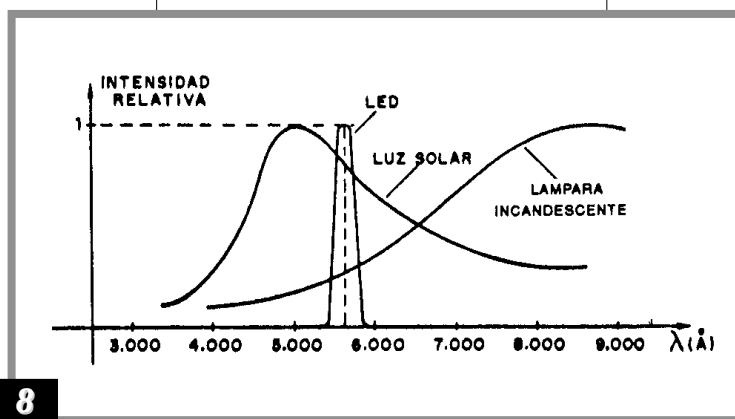
En la figura 9 tenemos la construcción de un led, así como su símbolo, se observa la identificación de los terminales de ánodo y cátodo.

Otra característica eléctrica importante del led es su tensión inversa relativamente baja que no debe ser superada.

Los leds comunes no deben ser sometidos a tensiones inversas



9



8

DIODOS ESPECIALES

de más de 5V típicamente, a riesgo de que ocurra la ruptura de su juntura con su consiguiente quema.

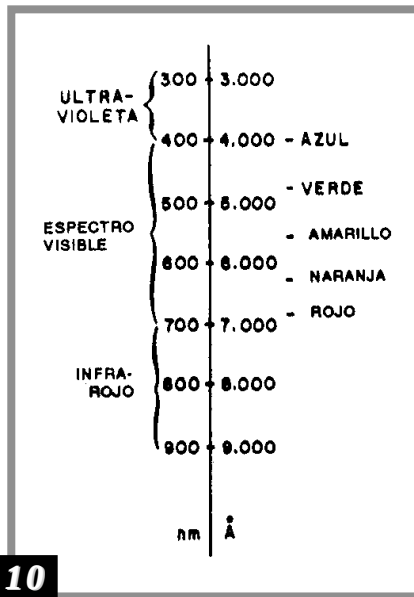
Los leds se encuentran comercialmente con dos especificaciones principales:

**La primera se refiere al color dado por la longitud de onda. Este color viene expresado en nanómetros(nm) o bien en angstroms (Å). En la figura 10 tenemos el espectro visible además de una parte del ultravioleta e infrarrojo expresado en sus unidades.*

**La segunda se refiere a la corriente máxima que puede pasar por el diodo cuando está polarizado en sentido directo. Esta corriente varía típicamente entre 10 mA y 100 mA para los leds comunes, y a través de ella podemos calcular la potencia absorbida por el led. Vea que, multiplicando la tensión en los extremos del led por la corriente, tenemos la potencia que la misma absorbe, pero que realmente no es la potencia convertida en luz, ya que el rendimiento del dispositivo no es 100%.*

Así, para un led rojo en que la tensión de operación es de 1,6V y la corriente de 10mA, tenemos la potencia de :

$$P= V \times I$$



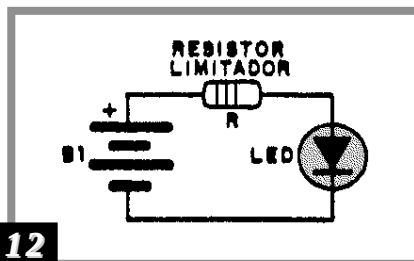
10

$$P= 1,6 \times 0,01$$

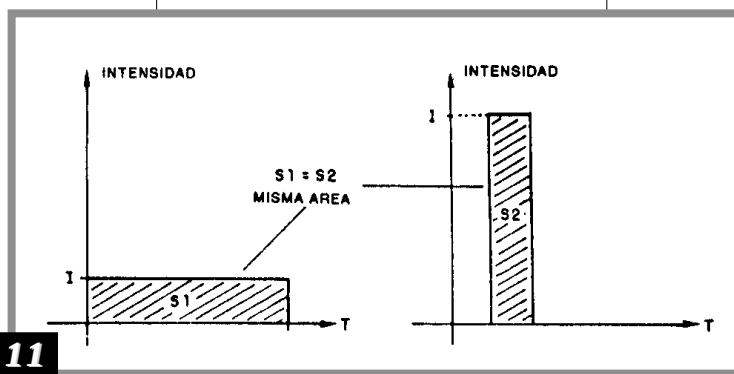
$$P= 0,016W \text{ ó } 16mW$$

Una característica importante del led es su velocidad de respuesta muy alta que permite la modulación de su luz y la operación en régimen pulsante.

Así, al contrario de una lámpara-



12



11

ra incandescente que posee una inercia de filamento que no puede calentarse ni enfriarse rápidamente, un led emite luz por la recombinación de portadores de carga, lo que es un proceso rápido.

Así, un led puede apagar y encender en velocidades del orden de hasta 100MHz. Podemos entonces modular la luz de un led con facilidad o hacerlo emitir pulsos en gran cantidad.

Una manera de producir pulsos de gran intensidad es con la reducción de la duración de cada pulso y el aumento del intervalo. De este modo la energía media se mantiene constante, pero el valor instantáneo se puede elevar considerablemente, como sugiere la figura 11.

Si en lugar de hacer que el led conduzca 10mA de corriente en la media, reducimos la duración del pulso a 1/100 del intervalo, podemos hacerlo conducir corrientes instantáneas a 1A, manteniendo constante la corriente disipada.

Este recurso es empleado en innumerables aplicaciones.

Los leds infrarrojos pueden usarse con controles remoto, en el envío de mensajes por fibras ópticas, etc.

Al utilizar el led, recordando que se comporta como un diodo, es muy importante usar el resistor limitador de corriente como la figura 12. Sin ese resistor no

hay limitación de corriente, con lo que el led se puede quemar fácilmente. En el futuro veremos cómo calcular esto tan importante.

Cálculos con Leds

El cálculo del resistor limitador, como muestra la figura 13, es relativamente simple y consiste en el uso de una única fórmula: Esta fórmula es:

$$R = (V - V_1) / I$$

Donde:

R es la resistencia limitadora en ohm

V es la tensión de alimentación

V₁ es la tensión de encendido del led en volt

I es la corriente en el led

Ejemplo:

¿Cuál debe ser el resistor conectado en serie con un led en una fuente de 12V para que el mismo sea recorrido por una corriente de 50mA?

El led es rojo con tensión de encendido de 1,6V.

Solución:

En este caso tenemos

$$V = 12V$$

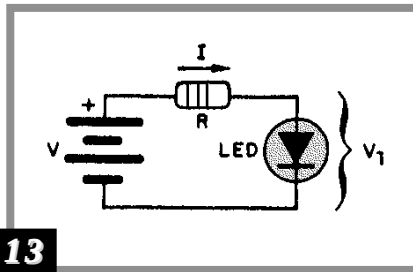
$$I = 50mA \text{ o } 0,05A$$

$$V_1 = 1,6V$$

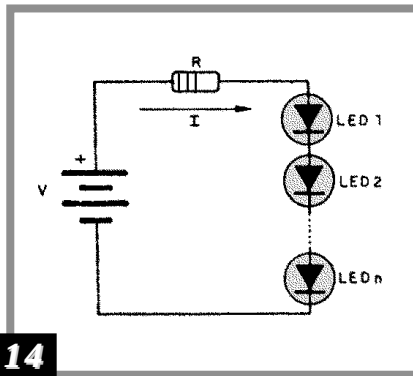
Aplicando la fórmula:

$$R = (12V - 1,6V) / 0,05A$$

$$R = 10,4V / 0,05A$$



13



14

$$R = 208 \text{ ohm}$$

El valor comercial más próximo de 220 ohm (220Ω) sería el recomendado.

Para el caso que conectemos leds en serie, como muestra la figura 14, podemos usar la siguiente fórmula:

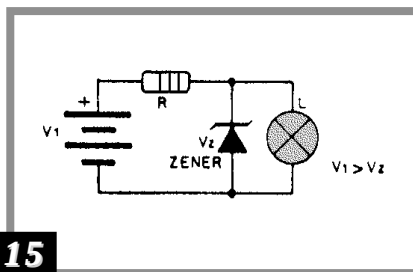
$$R = (V - n \cdot V_1) / I$$

Donde:

R es el valor de resistencia en ohm

V es la tensión de alimentación en volt

V₁ es la tensión de alimentación de cada led.



15

n es el número de leds.

Vea que en esta fórmula el producto ($n \cdot V_1$) no puede ser mayor que V, pues si eso ocurre el circuito no funciona.

Algunas Aclaraciones

¿Como puede un diodo zéner funcionar como estabilizador de tensión de una forma simple?

Ya abordaremos el tema de un modo más completo, pero podemos adelantar nuestras aplicaciones con un ejemplo, como muestra la figura 15.

Conectando un diodo zéner en paralelo con una carga, como por ejemplo una lámpara como muestra la figura 15, calculamos el valor del resistor de tal modo que, para una tensión máxima de entrada, el diodo conduzca una corriente próxima a la suya máxima. Así, cuando la tensión de entrada cae, el diodo zéner va derivando cada vez menos corrientes, de modo de mantener constante la tensión entre sus terminales. De esta forma, la lámpara recibe siempre la misma tensión y por ella circula la misma corriente. Mantemos entonces una "regulación" de tensión en la lámpara, gracias al zéner.

¿Tiene alguna relación un Led con Láser?

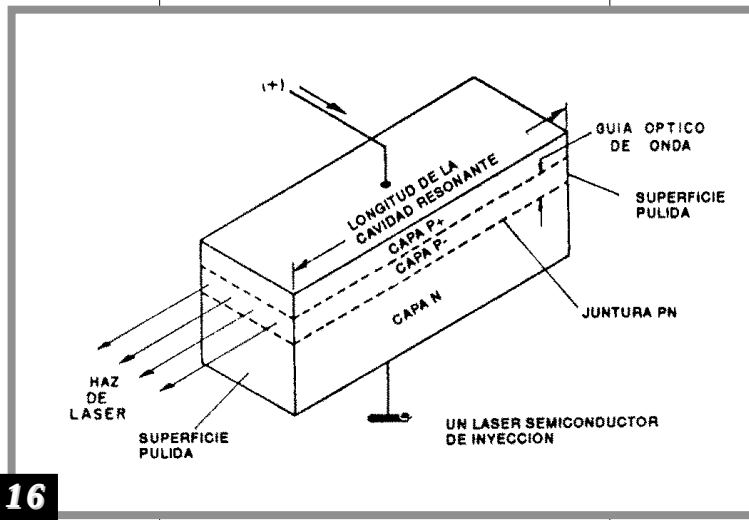
Los leds tienen más semejanzas con los láser que diferencias. Del mismo modo que los láser, los leds emiten luz monocromática. Sin embargo, esta luz emitida por los leds no es coherente. Pe-

ro partiendo de este hecho, se consigue la fabricación de láser semiconductores que no son más que diodos emisores de luz (leds) en que se agrega un cámara de resonancia, con espejados especiales, de modo de producir efecto "avalancha" que lleva a la producción de grandes intensidades de luz monocromática y coherente.

En la figura 16 tenemos un ejemplo de láser semiconductor que no es más que un diodo, hablando eléctricamente. Podríamos en nuestra clasificación de tipos especiales de diodos incluir perfectamente los láseres semiconductores.

Otros Eefetos, Otros Diodos Especiales

No es sólo por el hecho de que conduce o no conduce la corriente en un sentido; los diodos son muy usados en electrónica. También son importantes muchos efectos que acompañan la circulación de corrientes o la polarización inversa. De tal importancia son estos efectos, que a partir de ellos se pueden crear dispositivos electrónicos con amplias aplicaciones en la electrónica moderna. Dos de estos dispositivos son lo que estudiaremos a continuación.

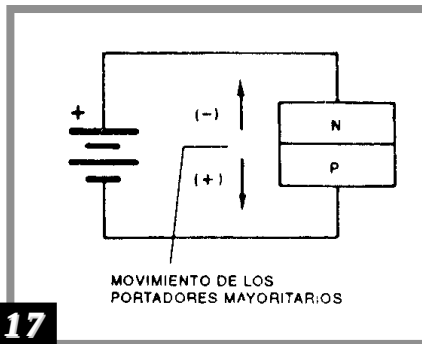


16

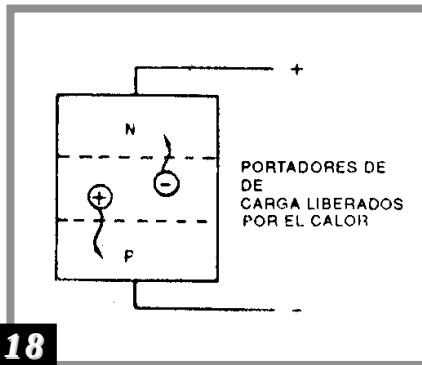
Los Fotodiodos

Cuando polarizamos una junta semiconductor (PN) en el sentido inverso, como muestra la figura 17, no debe circular ninguna corriente.

Los portadores de carga son "separados", esto hace que se manifieste una enorme resisten-



17



18

cia. En un diodo común de silicio esta resistencia inversa puede llegar a millones de ohm, pero no es infinita.

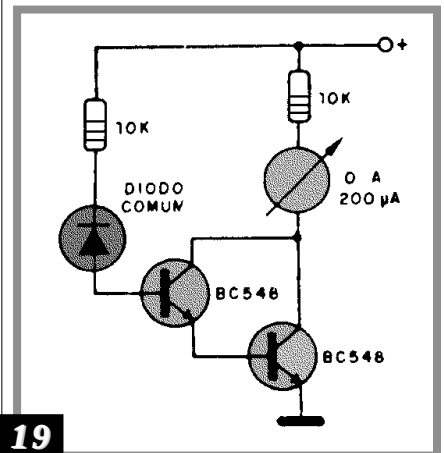
¿Por qué no es infinita, ya que teóricamente ninguna corriente debe circular?

Lo que ocurre es que incluso siendo polarizada inversamente, existen todavía algunos

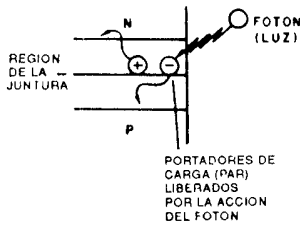
portadores de carga que son liberados en la región de la junta por el propio calor ambiente, resulta así una pequeña corriente inversa, denominada corriente de fuga.

Está claro que esta corriente aumenta con la temperatura, pues la agitación de los átomos puede liberar más y más portadores de carga, así aumenta la intensidad circulante (figura 18).

Este hecho permite que los diodos polarizados inversamente sean usados como sensores sensibles de temperatura, como en el circuito que usted mismo puede



19



20

experimentar después de observar la figura 19. Echando su aliento sobre el diodo, observará que el aire caliente hará que la corriente aumente en el instrumento indicador.

Además del calor, la radiación externa también puede liberar portadores de carga, en el caso la luz.

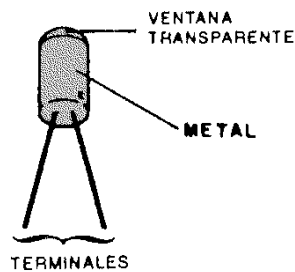
Si inciden fotones en la juntura semiconductor con suficiente energía, éstos pueden liberar portadores de carga y que harán la resistencia en el sentido inverso disminuya y así la corriente circule con más intensidad. (figura 20).

Este hecho permite que los diodos sean usados para detectar luz, en la forma de componentes denominados fotodiodos.

Basta entonces dotar el componente de una cubierta transparente o que tenga una ventana para que entre la luz, como muestra la figura 21, y usarlo polarizado en el sentido inverso.

Vea entonces que la cantidad de portadores de cargas libe-

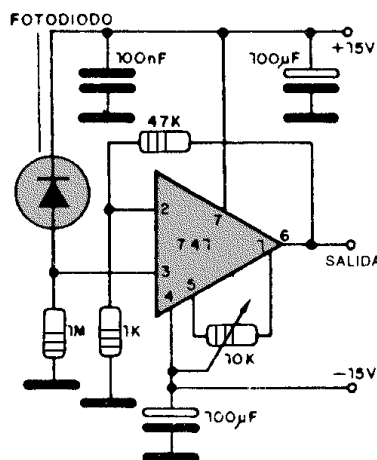
22



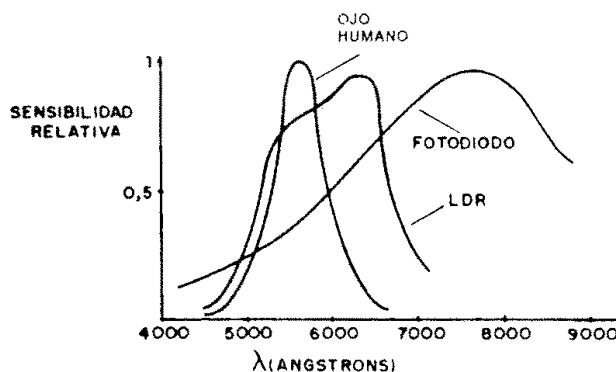
21

rados no depende de la energía de los fotones, y sí de su cantidad.

Los fotodiodos son componentes extremadamente sensibles, como podemos observar por su curva de respuesta mostrada en la figura 22.



23



Los fotodiodos poseen un pico de respuesta, o sea, punto de mayor sensibilidad que corresponde a $8.500\text{\AA}$ (Angstroms), lo que significa radiación dentro de la banda del infrarrojo, y puede "sentir" radiaciones hasta menos de $4.000\text{\AA}$ que corresponde al límite superior de la radiación visible, casi en el ultravioleta.

La velocidad de respuesta a la luz de estos componentes es muy grande.

Es común encontrarnos con componentes con velocidades de alrededor de 100MHz que son empleados en la lectura de tarjetas y cintas perforadas o en tacómetros.

Vea que el diodo funciona polarizado en el sentido inverso y que la corriente la obtenemos por la incidencia de luz y es del orden de microamperes. Esto significa que se deben emplear circuitos amplificadores de elevada ganancia como el de la figura 23.

Aplicaciones para Fotodiodos

Los fotodiodos pueden ser usados en diversas aplicaciones como por ejemplo en la lectura de tarjetas perforadas y cintas para computadoras, en la lectura de códigos de barras, en tacómetros, sensores de luz e infrarrojo, fotómetros, etc.

DIODOS ESPECIALES

En la figura 24 damos dos circuitos de aplicación para fotodiodos sugeridos por Texas Instruments.

Lo que diferencia estos circuitos es el tipo de transistor (NPN o PNP) y por lo tanto, la polaridad del sistema.

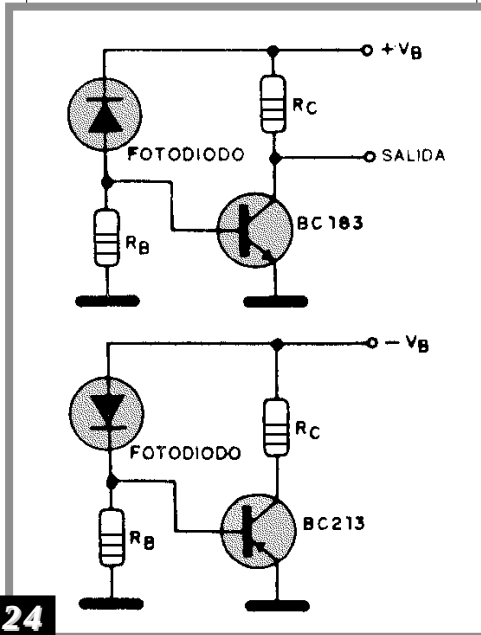
En la figura 25 tenemos un circuito, también sugerido por Texas Instruments, que trabaja con luz infrarroja modulada.

Este circuito puede usarse como un dispositivo de audio para la transmisión remota de audio de TV, por ejemplo, para un par de audífonos.

Para distancias elevadas se puede usar como emisor un diodo láser modulado en amplitud.

Diodos de Capacidad variable

Los diodos de capacidad variable o varicaps son también resultantes de los fenómenos que ocurren en la juntura de un diodo cuando es polarizado en sentido



24

inverso.

Si un diodo está sin polarización inversa, o sea, sometido a una tensión nula, como muestra la figura 26, las regiones conductoras de los dos materiales son separadas por una juntura no conductora exactamente como las placas de un capacitor.

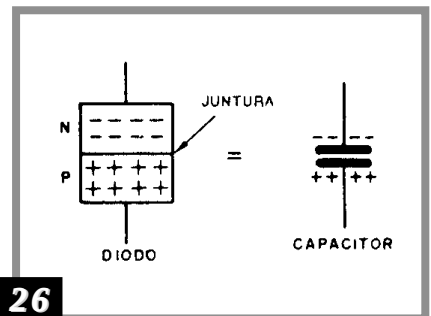
La capacidad de este capacitor va a depender tanto de la superficie de las placas que corresponden a los materiales semiconduc-

tores, como de su separación.

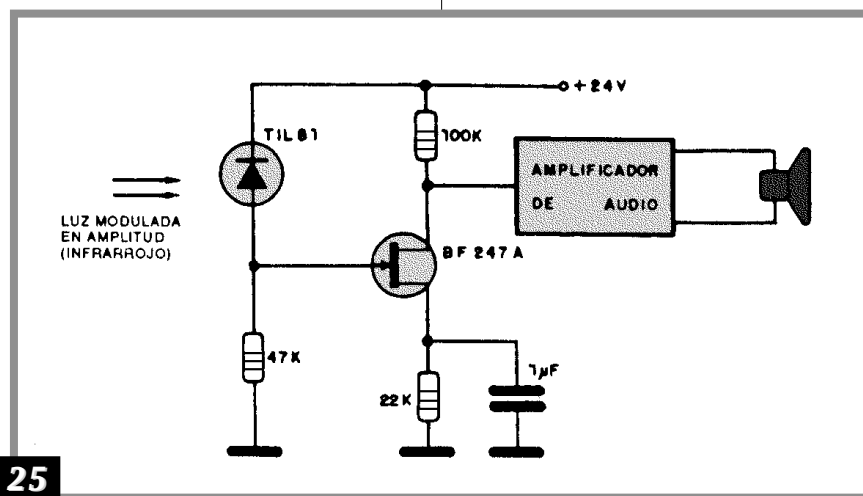
Si aplicáramos entonces una tensión creciente en el sentido de polarizar la juntura en el sentido inverso, lo que ocurre es una separación cada vez mayor de los portadores de carga, así aumentado la distancia entre las armaduras del capacitor como muestra la figura 27.

Esto significa que la capacidad disminuye.

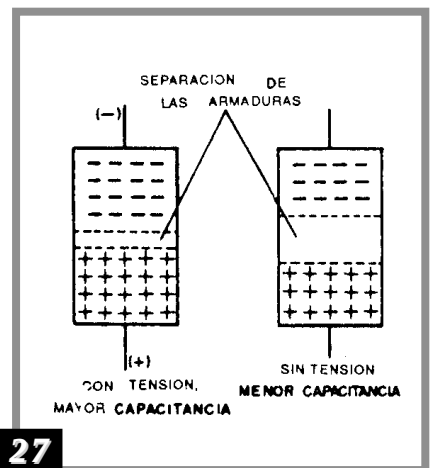
Podemos variar entonces la capacidad que el diodo presenta por la aplicación de una tensión en una determinada banda de valores. El diodo en cuestión funciona como un verdadero capacitor variable en el que se hace la actuación por medio de una tensión.



26



25



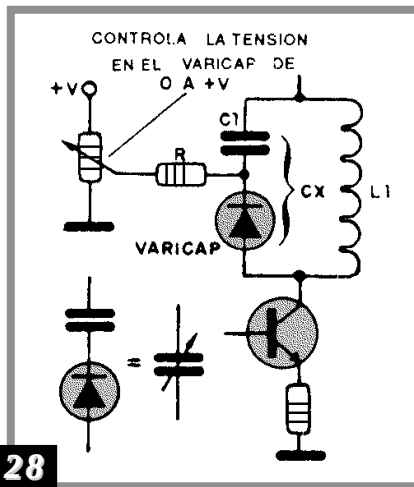
27

En los circuitos de sintonía el uso de estos diodos presenta innumerables ventajas, como por ejemplo, la reducción del costo del proyecto ya que un variable, además de ser un componente caro, es también voluminoso, sujeto a problemas de naturaleza mecánica.

Otra posibilidad para la aplicación de un varicap está en el hecho de que podemos controlar un circuito de altas frecuencias a través de tensiones continuas. Esto significa que el control, en el caso tradicional de un varicap, no precisa estar cercano a la bobina para hacer modificaciones de su frecuencia, pero puede ser remoto, sin problema de influencias de inductancias o capacitancias parásitas, debido al propio alambre.

En la figura 28 tenemos un circuito de aplicación para un diodo de este tipo.

En verdad, los diodos comunes funcionan también como varicaps, pero existen tipos especiales que son proyectados de modo



de mejorar estas importantes características analizadas. Aumentando la superficie de las junturas y usando técnicas de fabricación apropiadas, podemos obtener diodos que cubran una amplia faja de capacidad con una variación de tensión razonable.

Sintonizadores de FM, que normalmente usan capacitores de sintonía de valores bajos, usan diodos varicaps en su sistema de sintonía. Esto permite el cambio del sistema mecánico de accionamiento del variable por un potenciómetro lineal común.

Tipos Comerciales

Los diodos varicaps disponibles en el comercio son presentados con la sigla **BB**. La primera B indica que se trata de un componente de silicio y el segundo que se trata de un diodo de capacidad.

Philips, por ejemplo, fabrica diversos tipos de diodos cuyas capacidades varían típicamente en valores con una relación de hasta 23/1.

Esta relación es la característica más importante del diodo, pues dice cuántas veces la más grande capacidad obtenida es mayor que la menor capacidad obtenida.

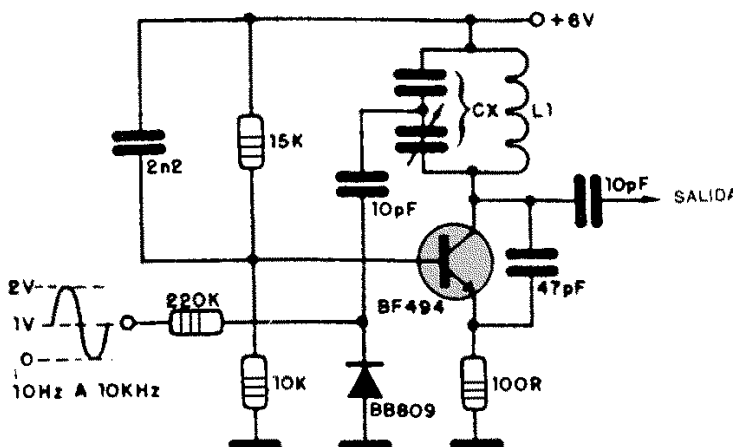
Así, un diodo cuya capacidad mínima sea 1pF y máxima 25pF tendrá una relación Cd V/V de 25 veces.

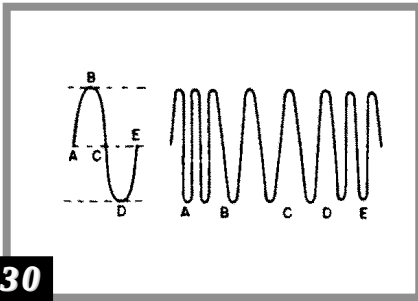
Además de esta característica importante, tenemos también la tensión máxima, que puede ser aplicada en el sentido inverso (**VR**), que será dada en Volts. Para los tipos de Philips los valores pueden estar entre 12 y 30V.

¿Se pueden usar los diodos de capacidad variable en modulación?

Sí, realmente se trata de una aplicación importante que puede ser explicada fácilmente, tomando como ejemplo el circuito de la figura 29.

La frecuencia de operación del circuito está determinada por la bobina L1 y por la capacidad CX presentada por el diodo, el cual es función de la tensión que lo





polariza inversamente. Si esta tensión fuera fija, tendríamos una frecuencia fija producida por el oscilador.

Sin embargo, si aplicamos una tensión variable, como por ejemplo una señal sinusoidal superpuesta a una tensión continua de modo que la misma varíe como indica la figura 30, ocurre que la frecuencia del oscilador correrá entre dos valores determinados por los máximos y mínimos de la tensión alternante sinusoidal.

Tendremos entonces una "*modulación en frecuencia*" cuyos límites son justamente dados por la amplitud de la señal modulada.

Con una amplitud de señal más elevada podemos hacer que el oscilador "barra" una amplia

banda de frecuencias, así se obtiene un generador de barrido de muchas aplicaciones en la instrumentación electrónica.

Algunas Aclaraciones

- *¿Cualquier diodo es sensible a la luz?*

Sí, en la práctica todos los diodos sufren una alteración de su corriente de fuga debido a la incidencia de la luz. Por este motivo los diodos normalmente vienen con cubiertas opacas. Estas cubiertas impiden que la luz llegue hasta las junturas y causa así modificaciones de sus características. En verdad, todas las junturas semiconductoras son sensibles a la luz, lo que lleva a que los componentes tengan cubiertas cerradas a prueba de luz. Como veremos en el futuro, podemos tener componentes sensibles a la luz a partir de componentes convencionales simplemente mediante el retiro de su protección opaca.

- *¿Podemos decir que un fotodiodo es un "ojo electrónico"?*

La palabra "ojo" realmente no le cuadra a este componente.

Vea que un ojo como el humano o incluso como el de un insecto posee una estructura compleja, y está formado por miles o millones de células individuales, cada una de las cuales recibe un punto de luz o de sombra y que en conjunto forman la imagen.

Un único punto recibido por una célula no es una imagen, y si una información incompleta, digamos un "bit" de información.

Un fotodiodo es una simple célula. Para tener realmente un ojo precisaríamos aglomerar muchos fotodiodos en un eje (además de una lente que concentrara los rayos de luz y un diafragma que regulara la cantidad que entra de acuerdo con la cantidad de luz en el exterior) para así obtener un conjunto mínimo de informaciones sobre puntos claros y oscuros que tendrían como resultado una imagen. ☼