

Componentes Electrónicos Analógicos Básicos

23

Introducción

El sector electrónico ha conseguido hoy en día unas cotas de importancia en el sector productivo y de bienes de consumo que parecían inimaginables hace unos años. La electrónica y los componentes electrónicos comienzan su andadura a finales del siglo XIX con el desarrollo del diodo y del triodo de vacío. Con estos elementos ya era posible la amplificación de señales y multitud de aplicaciones. Con la invención del transistor bipolar a base de componentes de estado sólido, a finales de 1940, se produjo una verdadera revolución en el sector electrónico. El siguiente paso fue la aparición en 1959 del primer circuito integrado. Desde ese momento las posibilidades de miniaturización de los circuitos gracias al aumento de las posibilidades en la densidad de integración ha crecido exponencialmente, dando lugar a un nuevo concepto: la microelectrónica.

Contenido

- ▶ Resistencias para circuitos electrónicos.
- ▶ Los semiconductores.
- ▶ El diodo de unión.
- ▶ Aplicaciones del diodo a circuitos de rectificación.
- ▶ Filtro por condensador.
- ▶ El diodo Zener.
- ▶ El Zener como regulador de tensión.
- ▶ Dispositivos optoelectrónicos: diodos LED y fotodiodos.
- ▶ El transistor.
- ▶ Tiristores: el SCR, el diac, el triac y el UJT.

Objetivos

- ▶ Analizar la tipología y características funcionales de los componentes electrónicos analógico básicos y su aplicación en los circuitos electrónicos.
- ▶ Describir las curvas características más representativas de los componentes electrónicos básicos, explicando la relación existente entre las magnitudes fundamentales que los caracterizan.
- ▶ Interpretar los parámetros fundamentales de los componentes electrónicos básicos que aparecen en las hojas técnicas de los mismos.

23.1 Resistencias para circuitos electrónicos

En electricidad las resistencias cumplen una misión que ya todos conocemos, la de oponerse al paso de la corriente y transformar la energía eléctrica en calor. En unos casos este efecto es beneficioso (resistencias calefactoras de estufas y cocinas eléctricas, filamentos de lámparas incandescentes, etc.) y en otros perjudicial (calentamiento de conductores y pérdida de potencia).

En los circuitos electrónicos las resistencias cumplen un papel mucho más especial: permiten distribuir adecuadamente la tensión y la corriente eléctrica en los diferentes puntos del circuito. Para realizar esta correcta distribución se basan en todo momento en la ley de Ohm.

En los circuitos electrónicos estas corrientes y tensiones suelen ser muy pequeñas y por lo tanto las potencias que deben disipar también lo serán. Estas bajas potencias permiten construir las resistencias de pequeños tamaños con otro tipo de materiales más baratos y sencillos de manejar, tales como el carbón finamente troceado.

23.1.1 Tolerancia de una resistencia

Como ya sabemos la unidad de medida que caracteriza a una resistencia es el ohmio. Las resistencias se construyen con diferentes valores óhmicos, pero, ¿son exactos los valores que, según los fabricantes, poseen las resistencias?

Obtener en un proceso de fabricación una resistencia con un valor exacto es muy difícil. Es más, cuanto mayor sea la exactitud que se puede asegurar que tiene una resistencia, más se encarece el producto. De aquí nace el concepto de tolerancia. Éste indica los valores máximo y mínimo entre los que estará comprendida la resistencia. Estos valores se expresan como un porcentaje del valor en ohmios asignado teóricamente.

Ejemplo: 23.1

Se quieren determinar los valores en que puede estar comprendida una resistencia de 100Ω , si el fabricante asegura que ésta posee una tolerancia del $\pm 8\%$.

Solución: El 8% de 100Ω es exactamente 8Ω . Los valores buscados son: $100 + 8 = 108 \Omega$

$$100 - 8 = 92 \Omega$$

Si nosotros realizásemos ahora una verificación del valor óhmico de esta resistencia con un óhmetro de precisión y obtuviésemos un resultado menor que 92Ω o mayor que 108Ω , la medida mostraría que dicha resistencia no cumple con la tolerancia marcada.

Las tolerancias están normalizadas, de tal forma que sólo existen en el mercado resistencias con los siguientes valores:

$$\mp 1\%, \mp 2\%, \mp 5\%, \mp 10\%, \mp 20\%$$

$\mp 1\%$ y $\mp 2\%$ para resistencias de gran precisión.

$\mp 5\%$ y $\mp 10\%$ son las más utilizadas en la práctica.

$\mp 20\%$ están prácticamente en desuso.

23.1.2 Código de colores

La forma de inscribir el valor de una resistencia para que después sea fácilmente identificable a simple vista, es la de utilizar una serie de anillos de colores pintados sobre la superficie del cuerpo de la resistencia, que mediante un código permite cubrir toda la gama de valores de resistencias existentes en el mercado.

La razón de utilizar éste sistema es debido a que el reducido tamaño de éstas impide que sobre ellas puedan inscribirse cifras que sean legibles.

Toma una resistencia y obsérvala. Aprenderás que existen tres anillos de diferentes colores y un cuarto un poco más separado de éstos. Los tres primeros anillos que vamos a denominar A, B y C dan la clave del valor óhmico y el cuarto indica la tolerancia (Figura 23.1).

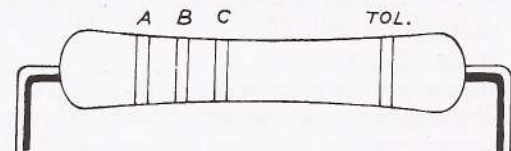


Figura 23.1. Las resistencias poseen una serie de anillos de color que nos indican el valor óhmico.

En la Tabla 23.1 está representado el código de colores:

COLOR	A 1ª cifra	B 2ª cifra	C Multiplicador	Tolerancia
Negro	0	0	x1	
Marrón	1	1	x10	$\mp 1\%$
Rojo	2	2	x100	$\mp 2\%$
Naranja	3	3	x1000	
Amarillo	4	4	x10000	
Verde	5	5	x100000	
Azul	6	6	x1000000	

Violeta	7	7	$\times 10000000$	
Gris	8	8	$\times 100000000$	
Blanco	9	9	$\times 1000000000$	
Oro	-	-	$\times 0,1$	$\mp 5\%$
Plata	-	-	$\times 0,01$	$\mp 10\%$
Sin color	-	-		$\mp 20\%$

Tabla 23.1. Código de colores.

Ejemplo: 23.2

Determinar el valor óhmico y la tolerancia de una resistencia que aparece con los colores Rojo, Azul, Naranja y Plata.

Solución: Situemos las cifras que van asociadas a los colores en el orden que aparecen inscritos los mismos:

Rojo - Azul - Naranja - Plata

(2) (6) (x1.000) ($\mp 10\%$)

$$26 \cdot 1.000 = 26.000 \Omega = 26 \text{ K}\Omega \mp 10\%$$

23.1.3 Potencia de disipación de una resistencia

La misión de una resistencia en un circuito electrónico no es precisamente la de calentarse, pero resulta inevitable que se produzca este fenómeno. Este calentamiento dependerá de la mayor o menor potencia a que esta resistencia trabaje. Dicha potencia, a su vez, dependerá de los valores de tensión e intensidad a que esté sometida la misma.

Cuanto mayor sea la potencia a la que deba trabajar una resistencia, el calentamiento será mayor, corriendo el riesgo de que ésta se queme si no se diseña de forma adecuada.

Lógicamente, cuanto mayor sea el tamaño de la resistencia, mejor podrá evacuar o disipar el calor que produce. Es por esta razón que se fabrican resistencias de varios tamaños.

De tal forma que las resistencias aumentan de tamaño de acuerdo con la potencia a disipar.

En el mercado existen resistencias que van desde 1/8 de vatio (0,125 W) hasta más de 100 W (Figura 23.2).

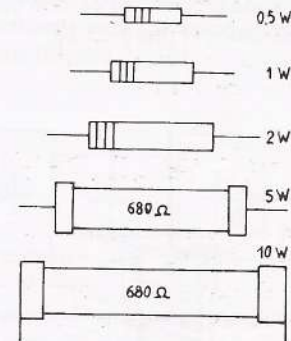


Figura 23.2. Tamaño de las resistencias en función de su potencia.

23.1.4 Clasificación de las resistencias

Existen en el mercado varios tipos de resistencias confeccionadas con diferentes procesos de fabricación. Esta amplia gama permite la elección del tipo más idóneo para cada aplicación específica.

En la Tabla 23.2 se muestra una clasificación de los diferentes tipos de resistencias.

CLASIFICACIÓN DE LAS RESISTENCIAS		
Fijas	Variables	Resistencias dependientes
- Aglomeradas	- Potenciómetros de capa	NTC
- De película de carbón	- Potenciómetros bobinados	PTC
- De película metálica	- Potenciómetros multivuelta	LDR
- Bobinadas	- Potenciómetros miniatura	VDR

Tabla 23.2

23.1.5 Resistencias fijas

Como su nombre indica, poseen un valor de resistencia fijo.

Resistencias aglomeradas: están constituidas por una mezcla de grafito (o carbón), y un material aislante (resina, talco, etc.), en las proporciones adecuadas para obtener una determinada gama de valores.

En los extremos del cilindro se colocan unos casquillos a presión donde van soldados los hilos. Por último, se recubre el conjunto por una resina o se plastifica y se pintan los colores que indicarán el valor de la resistencia.

El inconveniente que presentan es que su valor cambia en exceso con la temperatura, por lo que son poco empleadas.

Resistencias de película de carbón: es la más usada para pequeñas potencias. Consiste en un cilindro aislado en el que se deposita una delgada película de carbón con dos casquillos metálicos en los extremos (Figura 23.3).

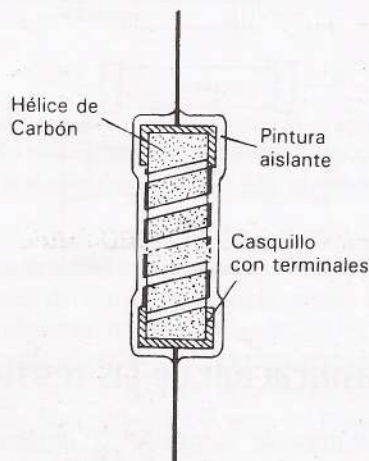


Tabla 23.3. Resistencia de película de carbón.

Para obtener el valor óhmico de la resistencia, se practican unos surcos en espiral a lo largo de la película de carbón. Con un control preciso del paso de la espiral, se fabrican resistencias de muchos valores y de buena precisión.

Sobre este conjunto se deposita la capa de esmalte y se pintan los anillos de colores.

Resistencias de película metálica: Estas resistencias son básicamente iguales que las anteriores, con la diferencia de que utilizan una película de una aleación metálica, que las hace muy estables con la temperatura. Con ellas se consiguen unas tolerancias muy bajas.

Resistencias bobinadas: Están fabricadas a base de bobinar hilo resistivo (generalmente una aleación de Ni-Cr-Al) sobre un cilindro aislante hasta obtener el valor óhmico deseado. Se utilizan para grandes potencias, por lo que el recubrimiento exterior es de porcelana o esteatita. La tolerancia habitual es del 10% y son capaces de disipar potencias por encima de los 100 vatios (Figura 23.4).

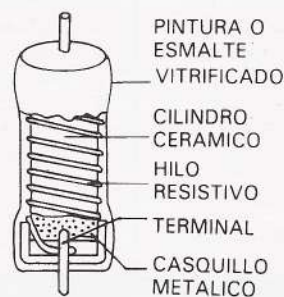


Figura 23.4. Resistencia bobinada.

23.1.6 Resistencias variables

Son resistencias a las que se les puede modificar su valor óhmico desde cero hasta un valor máximo.

Estas resistencias, también llamadas potenciómetros, se utilizan para ajustar las magnitudes eléctricas de los circuitos, o bien como control externo de aparatos electrónicos de uso general, tales como control de volumen, luminosidad de una pantalla de televisión, etc.

La estructura de estas resistencias consiste en una resistencia fija (que puede ser de película de carbón o bobinada) construida sobre un soporte circular por el cual se desplaza un contacto móvil o cursor (Figura 23.5). Este contacto está unido a un tercer terminal de conexión. De esta forma puede obtenerse el valor óhmico que se desee entre cualquiera de los extremos del potenciómetro y el punto móvil.

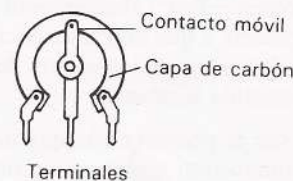


Figura 23.5. Resistencia variable.

23.1.7 Resistencias dependientes

Existen algunas aplicaciones prácticas en las que es de gran utilidad disponer de componentes cuya resistencia óhmica se modifique bajo la acción de una variable física, como la temperatura, luz, tensión, presión, tracción mecánica, etc.

23.1.7.1 Resistencias dependientes de la temperatura

Por lo general, las resistencias fabricadas con materiales metálicos modifican su valor óhmico con la temperatura. En la mayoría de los metales el coeficiente de temperatura es positivo, lo que significa que la resistencia tiende a aumentar un poco con la temperatura. Pues bien, se pueden fabricar resistencias a base de óxidos semiconductores que exageren esta dependencia del valor óhmico con la temperatura. De esta

forma, se pueden construir resistencias con coeficiente de temperatura negativo (NTC) y resistencias con coeficiente de temperatura positivo (PTC).

Este tipo de resistencias será de gran utilidad para aplicaciones en las que sea necesario el control, compensación, regulación y medida de la temperatura.

Experiencia 23.1: Consigue una resistencia NTC y, mediante el óhmetro, mide su valor óhmico a temperatura ambiente. Seguidamente, y sin desconectar el aparato de medida, acerca paulatinamente a la superficie de la NTC una lámpara incandescente encendida, para conseguir así aumentar la temperatura de la misma (Figura 23.6). Comprueba que el valor óhmico de la resistencia se hace más pequeño con los aumentos de la temperatura.

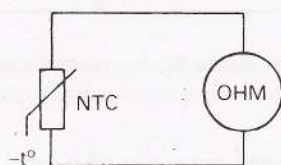


Figura 23.6. La NTC disminuye su resistencia al aplicar calor.

Repita la misma experiencia con una resistencia PTC.

Como sus siglas nos indican (NTC, *Negative Temperature Coefficient*), las NTC (Figura 23.7) son resistencias que poseen un coeficiente de temperatura negativo, lo que significa que su valor óhmico disminuye rápidamente cuando aumenta la temperatura.

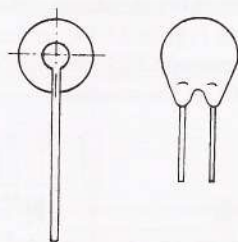


Figura 23.7. Resistencias NTC.

El valor nominal de la resistencia de estos componentes se especifica habitualmente para una temperatura de 25 °C. En la Figura 23.8 se puede apreciar la dependencia del valor óhmico de tres NTC en función de la temperatura.

La sensibilidad de las resistencias NTC es bastante más elevada que la de los termómetros y termopares convencionales. Se pueden fabricar resistencias NTC que modifiquen su valor óhmico en varios miles de ohmios por cada grado centígrado de temperatura, por lo que son ideales para la construcción de termómetros de precisión en los que sea importante la medición de pequeñas variaciones de temperatura.

Las aplicaciones prácticas que se hacen de las resistencias NTC, son: construcción de termómetros de resistencia, compensación térmica de instrumentos de medida, alarmas, construcción de sistemas de regulación y control.

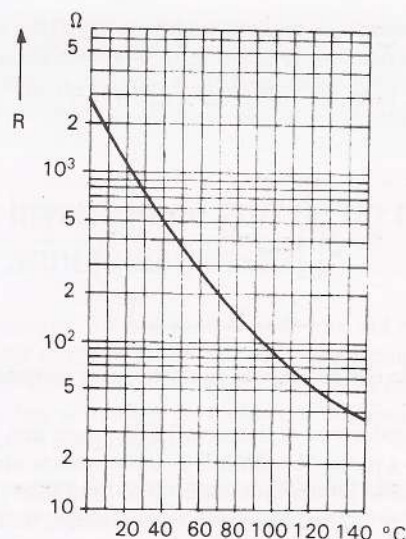


Figura 23.8. Característica de una NTC.

Al contrario que las NTC, las PTC son resistencias que poseen un coeficiente de temperatura positivo (PTC, *Positive Temperature Coefficient*). Estas resistencias aumentan rápidamente su valor óhmico al aumentar la temperatura.

Las aplicaciones prácticas de las resistencias PTC son similares a las de las NTC. Si bien, su campo de aplicación se ve más restringido por el estrecho margen de temperaturas a las que pueden operar.

23.1.7.2 Resistencias dependientes de la luz, LDR

Las resistencias LDR (Figura 23.9) (*Light Dependent Resistor*) son componentes que modifican su resistencia eléctrica de acuerdo con la intensidad luminosa que inciden sobre su superficie. Esta interesante propiedad es de gran utilidad para la fabricación de dispositivos de control, regulación y medida que estén relacionados con la luz, como son: regulación automática del contraste y brillo de los televisores en función de la intensidad de la luz de la estancia de visión, medida de la intensidad luminosa para cámaras fotográficas (fotómetros), conexión y desconexión de la iluminación urbana según la intensidad de la luz solar, detectores para alarmas, etc.



Figura 23.9. LDR.

Experiencia 23.2: Consigue una resistencia LDR y, mediante el óhmetro, mide su valor óhmico, procurando que no llegue nada de luz a la misma. Seguidamente, y sin desco-

nectar el aparato de medida, somete a la LDR a intensidades de luz creciente (Figura 23.10). Comprueba cómo el valor óhmico de la resistencia cambia con las diferentes iluminaciones.

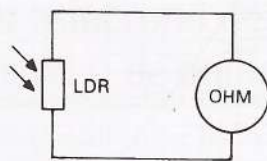


Figura 23.10. La LDR disminuye su resistencia con la intensidad de la luz.

En conclusión, una resistencia LDR posee una resistencia muy elevada a plena obscuridad y su resistencia eléctrica disminuye según se aumenta la intensidad luminosa (lux). En la Figura 23.11 se muestra la curva característica de una LDR.

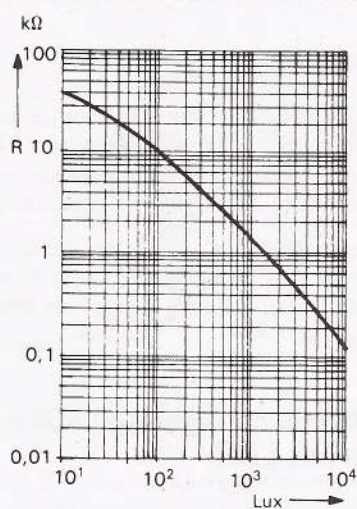


Figura 23.11. Característica de una LDR.

23.1.7.3. Resistencias dependientes de la tensión, VDR

Las resistencias VDR (Voltage Dependent Resistor) son componentes que modifican su resistencia eléctrica de acuerdo con la tensión que se aplica entre sus extremos. El valor de la resistencia disminuye al aumentar la tensión aplicada entre los extremos de la VDR, tal como se puede apreciar en la curva característica de la Figura 23.12.

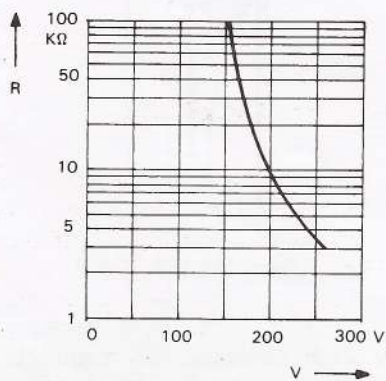


Figura 23.12. Característica de una VDR.

Una de las aplicaciones de las resistencias VDR es la estabilización de tensiones, con lo que puede evitarse las chispas que se producen en los contactos de elementos de accionamiento cuando éstos se abren con cargas inductivas y con ello, el desgaste irregular que esto produce.

En la Figura 23.13 se muestra el circuito correspondiente a la extinción de arcos en contactos mediante una VDR. Cuando se abre el contacto del interruptor, la bobina desarrolla una fuerza electromotriz elevada debido al fuerte coeficiente de autoinducción que ésta posee; esta elevada tensión provoca un arco entre los contactos que, con el tiempo, se acaban deteriorando; la VDR disminuye su valor óhmico drásticamente cuando se produce esta sobretensión, canalizando la energía producida por la bobina a través de la VDR, evitando así dicho arco.

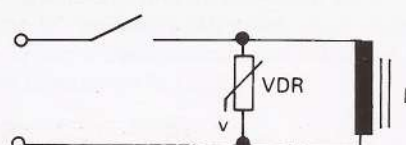


Figura 23.13. Extinción de arcos mediante VDR.

23.2 Los semiconductores

Los semiconductores han revolucionado el mundo de la electrónica. Con ellos han aparecido los diodos, transistores, tiristores y demás componentes electrónicos construidos gracias a los semiconductores que han sustituido a las válvulas electrónicas. Por otro lado, con la aparición de los circuitos integrados, que suplen la función de grandes cantidades de diodos, transistores, resistencias, condensadores y cualquier tipo de componente electrónico, se ha dado el gran paso hacia el futuro de la electrónica. Las ventajas que poseen los semiconductores es que son de reducido tamaño, pequeño consumo y bajo precio. En la Figura 23.14. se muestran los símbolos eléctricos de los semiconductores más comunes, y en la Figura 23.15 el aspecto de los mismos.

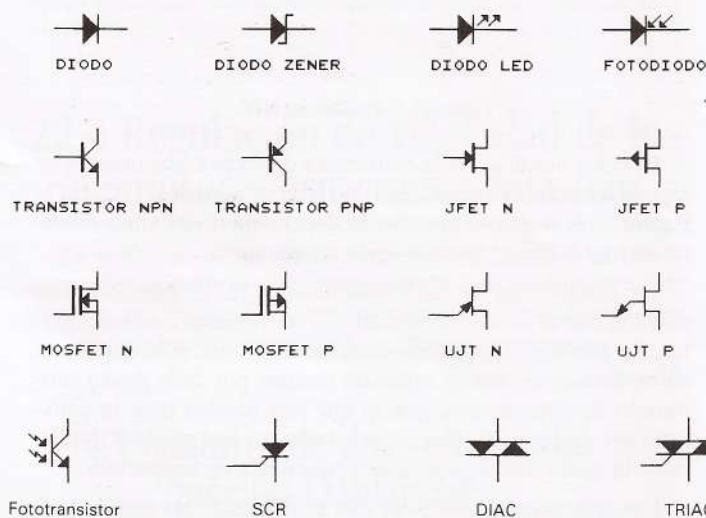


Figura 23.14. Símbolos eléctricos de los semiconductores.



Figura 23.15. Aspecto de los semiconductores.

En definitiva el diodo actúa como un interruptor que estará cerrado en caso de estar bien polarizado, y abierto cuando la polarización esté invertida.

Esta propiedad es muy interesante y está motivada por la estructura interna del diodo. En efecto, este componente está constituido por la unión de dos cristales semiconductores, uno de tipo P y otro de tipo N (Figura 23.18).

Estos cristales son de silicio o de germanio con la adición de algún otro elemento que les confiere una cierta polaridad, ya sea P (exceso de cargas positivas) o N (exceso de negativas).

¿Cómo se forman estos cristales?

Estudiemos el caso del silicio como cuerpo semiconductor, por ser el más utilizado.

23.3 El diodo como semiconductor

El diodo es un elemento semiconductor que sólo permite la circulación de corriente en un sentido único (Figura 23.16).

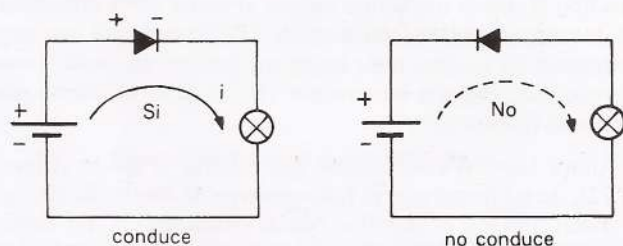


Figura 23.16

Su aplicación es especialmente interesante en aquellos dispositivos en que sea necesario esta cualidad, como, por ejemplo, en los rectificadores, que son capaces de convertir la C.A. en C.C.

Antes de pasar a estudiar los diodos de unión conviene tener una idea muy clara de lo que es un semiconductor.

Existen ciertos cuerpos como, por ejemplo, el selenio, el germanio y el silicio en los que en condiciones normales son aislantes, pero con ciertas modificaciones de su organización molecular se pueden convertir en conductores. Esto es debido a que en su estructura cristalina no se dispone de electrones libres capaces de establecer una corriente eléctrica; sin embargo, los electrones de sus últimas órbitas pueden ser liberados artificialmente, por lo que se convierten en cuerpos conductores. El procedimiento más habitual para conseguirlo consiste en introducir en el interior de estos materiales sustancias con una estructura atómica determinada.

Experiencia 23.3: Consigue un diodo y conéctalo intercalado en el circuito de una pila y una lamparita (Figura 23.17). Si conectas el cátodo del diodo (terminal negativo indicado por una raya en el componente) en el polo negativo de la pila, observarás que dicha lamparita se enciende. Sin embargo, si inviertes las conexiones del diodo la lamparita no se encenderá.

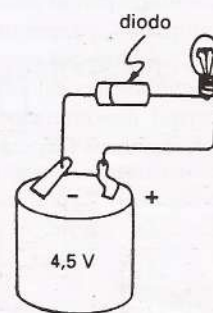


Figura 23.17

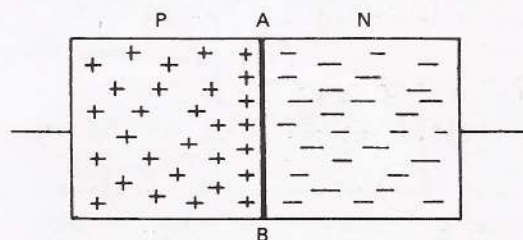


Figura 23.18. Unión de dos cristales de tipo P y N.

23.3.1 Características atómicas del silicio

Es un cuerpo cristalino cuyas moléculas tienen formas geométricas regulares. Por otro lado, posee 4 electrones de valencia, es decir, que en su órbita exterior sólo existen cuatro electrones (Figura 23.19). Como se sabe, todo cuerpo precisa de 8 electrones de valencia para que mantenga una estabilidad normal. El silicio es un cuerpo estable con sólo 4 electrones de valencia, ya que se complementa con cuatro electrones de los átomos vecinos (enlace covalente) y así suma los 8 electrones precisos para su estabilidad.

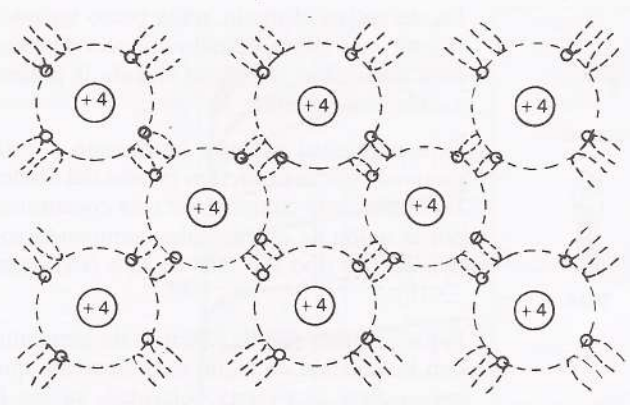


Figura 23.19. Enlaces covalentes en el silicio.

En estas condiciones, el átomo de silicio es completamente aislante, ya que no existen en su seno electrones libres capaces de establecer una corriente eléctrica.

Silicio tipo N: Existen elementos, como el antimonio, el arsénico, etc. que poseen 5 electrones de valencia. Si uno de estos elementos lo unimos con el silicio, se producirán enlaces covalentes incompletos, ya que uno de los electrones de estos elementos quedará libre por estar las órbitas completas. El resultado de la combinación del silicio con la impureza de antimonio es un cristal denominado silicio tipo N, ya que existen cargas negativas libres (Figura 23.20).

Silicio tipo N

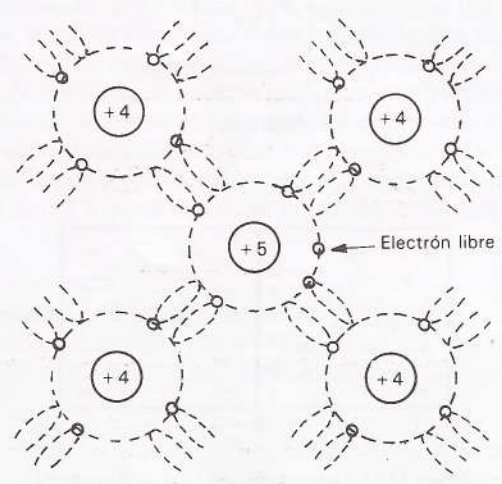


Figura 23.20. Enlaces covalentes incompletos de un cristal de silicio tipo N.

Silicio tipo P: De la misma forma que en el caso anterior, si al silicio en estado puro se le introducen impurezas que, en vez de tener cinco electrones de valencia, sólo dispongan de tres, como el indio, el aluminio, galio, boro, etc., el enlace covalente será, otra vez, incompleto (Figura 23.21).

El átomo de impureza, al tener sólo tres electrones, no llega a rellenar todos los huecos, pues sólo satisface las necesidades de tres de los cuatro átomos de silicio. Se necesita pues un electrón más para rellenar ese hueco.

Estos huecos representan una falta de electrones y producen una naturaleza positiva al cristal, que en este caso se denomina silicio tipo P.

Silicio tipo P

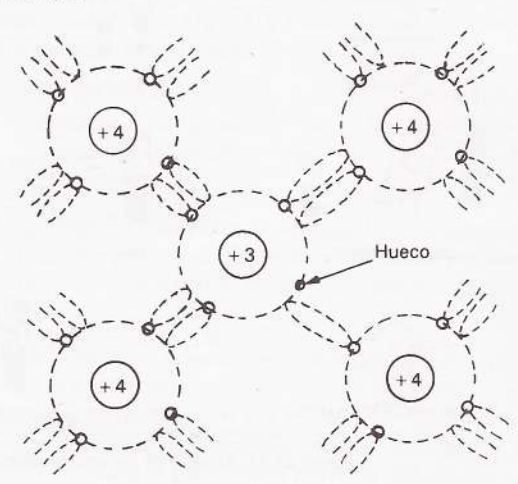


Figura 23.21. Enlaces covalentes incompleto en un cristal P.

23.3.2 El diodo de unión

El diodo de unión se forma al juntar un cristal tipo P con otro tipo N. Da la impresión de que al juntar estos dos cristales de cargas opuestas, en la unión AB se producirá una neutralización de cargas, pero no es así ya que en dicha unión aparece una pequeña barrera por efecto de la repulsión que evita este fenómeno.

Ahora bien, si conectamos una batería al diodo (Figura 23.22), de tal forma que el polo positivo de éste coincida con el cristal tipo P y el negativo con el cristal tipo N, las cargas negativas serán repelidas hacia la superficie de la unión con gran fuerza y vencerán de este modo la barrera AB. Por lo tanto, se producirá una corriente eléctrica I_F a través del diodo, neutralizándose los electrones con los huecos.

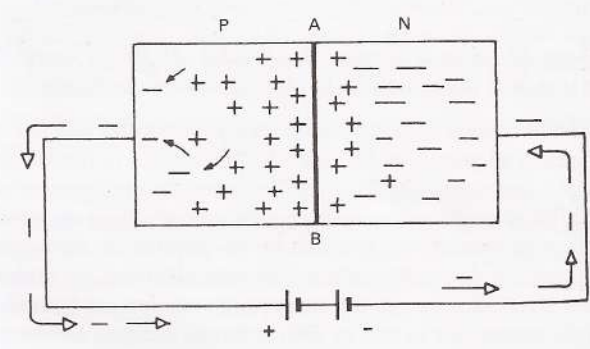


Figura 23.22. Polarización directa de un diodo de unión.

Veamos ahora qué pasaría si conectásemos la batería en sentido contrario (Figura 23.23).

Los electrones libres del cristal N se sentirán atraídos por el polo positivo de la batería y los huecos por el polo negativo de la misma, creándose en la unión AB una especie de vacío que evita la circulación de corriente a través del diodo. En este caso se ha conectado el diodo en sentido inverso. A pesar de ello siempre existe una pequeña corriente de fuga que recibe el nombre de *corriente inversa del diodo* (I_R).

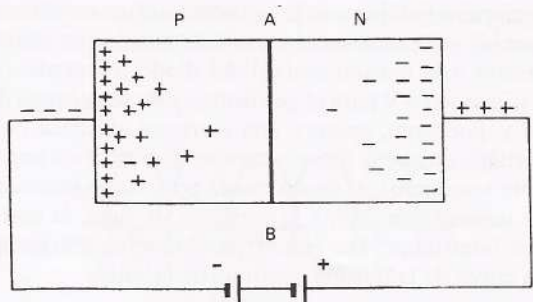


Figura 23.23. Polarización inversa del diodo de unión.

Para que el diodo conduzca polarizado en sentido directo necesita ser sometido a una tensión mínima de polarización, que en el caso del germanio es de 0,2 V, y de 0,6 V para el silicio.

Las características de los diodos semiconductores varían grandemente con la temperatura. De tal forma que, cuanto mayor sea la temperatura de la unión, mayor será el número de electrones libres y, por tanto, aumentará la corriente de conducción. En el germanio estas variaciones son excesivas, por encima de los 75 °C se hace difícil su utilización, mientras que el silicio puede emplearse hasta los 200 °C aproximadamente. En la actualidad la gran mayoría de semiconductores son de silicio.

23.3.3 Características en polarización directa de un diodo

Obtener las características de polarización de un diodo significa determinar la relación existente entre los diferentes valores de la tensión de polarización (V_F) y la corriente directa (I_F).

Para obtener experimentalmente esta relación habría que realizar el ensayo que se muestra en la Figura 23.24. En la misma, la lectura de V_F indica la tensión de polarización directa en voltios y la lectura de la corriente directa I_F .

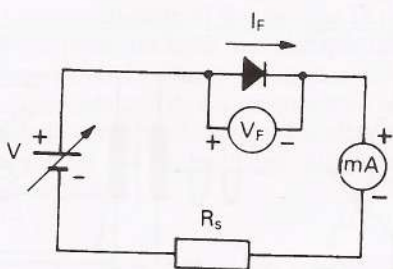


Figura 23.24. Circuito para obtener la curva de polarización directa de un diodo.

En la Figura 23.25 se puede apreciar la curva característica de polarización del diodo ensayado. La curva tiene forma exponencial en las proximidades del cero y se acerca al valor de la intensidad de corriente máxima admisible a medida que aumenta la tensión. Esto indica que la resistencia del diodo es de muy bajo valor y que disminuye rápidamente al aumentar la tensión.

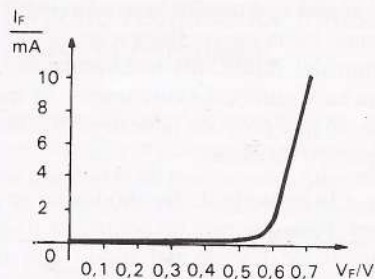


Figura 23.25. Curva de polarización directa de un diodo.

Cuando nosotros polarizamos directamente un diodo, éste no comienza a conducir de una forma apreciable hasta que le apliquemos la mínima diferencia potencial de barrera, conocida por el nombre de **tensión umbral**. En el caso del germanio esta tensión es de 0,2 V y en el del silicio 0,6 V. Por debajo de esta tensión la corriente es muy pequeña, y por encima aumenta considerablemente

23.3.4 Características en polarización inversa de un diodo

Para obtener la curva característica inversa bastará con invertir la corriente del diodo, de tal forma que el cristal N esté conectado al positivo de la pila y el P al negativo (Figura 23.26).

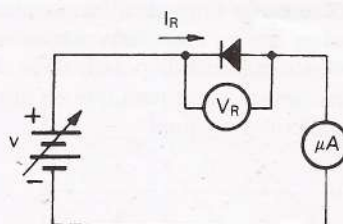


Figura 23.26. Circuito para obtener la característica inversa de un diodo.

Ya se expuso anteriormente que, cuando el diodo queda sometido a una tensión inversa V_R , aparece una pequeña corriente de fuga I_R , a la cual denominábamos corriente inversa. Esta corriente es del orden de unos nA, tal como se puede apreciar en la curva de la Figura 23.27 correspondiente a la característica inversa del diodo.

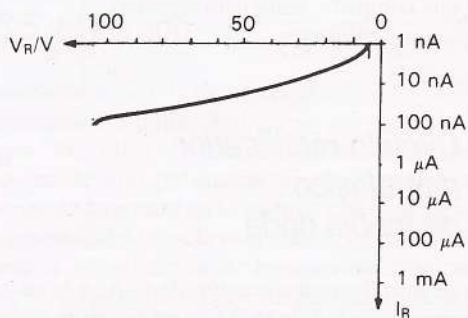


Figura 23.27. Característica inversa de un diodo.

Observa que, según se aumenta la tensión inversa, también lo hace la corriente, hasta que se llega a un valor V_Z , llamado tensión de ruptura del diodo. En este momento aparece un efecto de avalancha y aumenta bruscamente la intensidad de corriente inversa, lo que provoca la destrucción del diodo por la excesiva disipación de calor.

Por supuesto, a la mayoría de los diodos no se les permite llegar a la ruptura. Para que esto no ocurra, es necesario diseñar las condiciones de trabajo del diodo con una tensión inversa siempre menor a su tensión de ruptura.

23.3.5 Potencia y corriente nominal

Un diodo se diseña para trabajar óptimamente en unas condiciones nominales determinadas. Existen dos formas de provocar la destrucción de un diodo:

- Exceder la tensión inversa de ruptura.
- Exceder la potencia máxima nominal.

Como ocurría con las resistencias, los diodos poseen una cierta capacidad de disipar el calor que se produce en su unión. Este calor depende de la potencia a la que trabaja el diodo, que depende, a su vez, del producto de la corriente por la tensión del mismo.

Si la potencia que se produce en el diodo es superior a la capacidad de disipación del mismo, éste aumentará excesivamente su temperatura y acabará deteriorándose.

Existen algunos fabricantes que especifican la potencia nominal de sus diodos en las hojas de información técnica. No obstante, lo normal es que en estas informaciones únicamente aparezca la corriente máxima de polarización directa. Bastará con no sobrepasar este valor para que en ningún caso se supere la potencia máxima nominal.

23.3.6 Aplicación de los diodos a circuitos de rectificación

Como circuito rectificador se conoce aquél que tiene la función de convertir o rectificar la C.A. en C.C. Dependiendo del número de diodos que utilizemos y cómo los conectemos se pueden construir rectificadores de media onda y de onda completa, tanto para sistemas monofásicos como trifásicos.

23.3.6.1 Circuito rectificador monofásico de media onda

Cuando se introduce una tensión de C.A. a la entrada del circuito, mostrado en la Figura 23.28 en la salida aparece una tensión de C.C. pulsante. La resistencia R_L representa al receptor al que se le suministra C.C.

Este circuito funciona de la siguiente forma: en el momento en que los valores instantáneos de la tensión son positivos, y superiores a la tensión umbral del diodo (recuerda: 0,6 V para el silicio y 0,3 V para el germanio), éste se polariza directamente y, por tanto, aparece una corriente eléctrica por R_L . En el instante en que la tensión cambia de positiva a negativa, (siguiente semiciclo), el diodo queda polarizado inversamente y, no teniendo en cuenta la corriente de fuga, la corriente por R_L se interrumpe. Por esta razón, este semiciclo no aparece en la curva de la tensión continua de la salida.

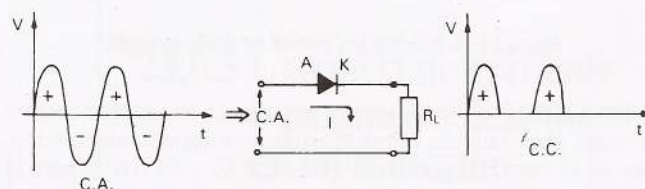


Figura 23.28. Circuito rectificador de media onda.

23.3.6.2. Circuito rectificador monofásico de onda completa

El circuito rectificador de media onda no proporciona una corriente continua demasiado perfecta. Esto es debido a que sólo es rectificada la mitad de un ciclo de la corriente alterna.

Para mejorar la calidad de la tensión continua rectificada, de tal forma que queden rectificadas tanto los semiciclos positivos como los negativos, se hace necesario utilizar otro tipo de circuitos, como el puente rectificador, denominados de onda completa. El puente rectificador consta de cuatro diodos (Figura 23.29) que en muchos casos se encierran en un componente compacto.

Veamos a continuación en qué consiste su funcionamiento.

En el semiciclo positivo los diodos D_2 y D_3 se polarizan directamente, lo que provoca la circulación de una corriente por la carga R_L en la dirección que se muestra en la Figura 23.20 a. Por otro lado, los diodos D_1 y D_4 están polarizados inversamente y no conducen.

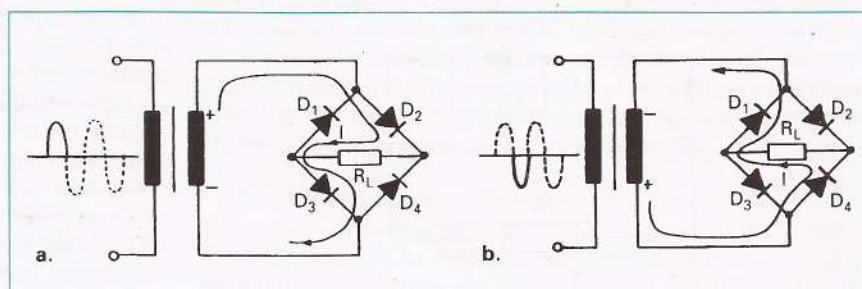


Figura 23.29. Funcionamiento del puente rectificador: a) Conducen los diodos D_2 y D_3 mientras que D_1 y D_4 permanecen bloqueados; b) conducen D_1 y D_4 mientras que D_2 y D_3 bloquean la corriente.

En el semiciclo negativo los diodos D_1 y D_4 comienzan a conducir por estar polarizados directamente, y dejan de hacerlo D_2 y D_3 . La dirección de la corriente que se establece por R_L es la misma que en el caso anterior (Figura 23.29 b).

En conclusión, la tensión que aparece en la carga posee siempre la misma polaridad, tal como se muestra en la Figura 23.30.

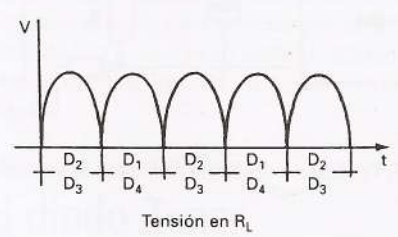


Figura 23.30. Tensión de salida de un puente rectificador.

23.3.6.3 Circuito rectificador trifásico de media onda

Cuando se quieren obtener grandes potencias de salida de C.C. resulta más conveniente la utilización de circuitos rectificadores trifásicos. Mediante estos circuitos se consigue mejorar sensiblemente la uniformidad de la tensión continua de salida.

En la Figura 23.31 se muestra el circuito correspondiente a un rectificador trifásico de media onda. En él se conectan tres diodos a la salida de un transformador trifásico con el secundario conectado en estrella. De esta forma, los diodos se conectan a cada una de las tensiones de fase del transformador, constituyendo tres circuitos monofásicos de media onda.

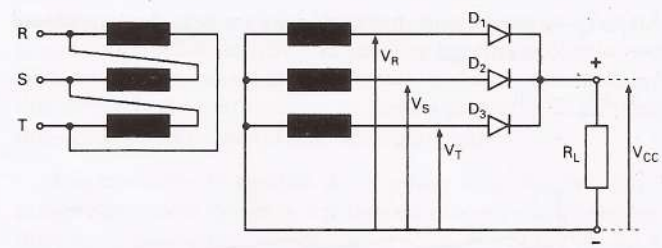


Figura 23.31. Circuito de un rectificador trifásico de media onda.

Como se aprecia en los gráficos de la Figura 23.32, correspondientes a la tensión de salida del rectificador, cada uno de los diodos conduce durante el tiempo que la tensión de fase correspondiente posee un valor más alto que las otras dos. La corriente fluye por cada uno de los diodos alternativamente, de tal forma que cada uno de los mismos sólo conduce durante un tercio de la corriente de salida. Para calcular la corriente por cada uno de los diodos habrá que dividir por tres la corriente por la carga.

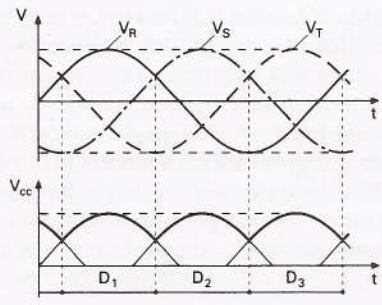


Figura 23.32. Tensión de entrada y salida de un rectificador trifásico de media onda.

23.3.6.4 Circuito rectificador trifásico de onda completa

Al igual que ocurría con los monofásicos, con este circuito rectificador se consigue una tensión continua de salida mucho más uniforme que con el de media onda. Además no requiere del neutro para su conexión. Por estas razones, el rectificador de onda completa es el que se emplea en aplicaciones industriales.

En la Figura 23.33 se muestra el circuito correspondiente a un rectificador trifásico de onda completa, donde se conectan tres pares de diodos rectificadores en paralelo con la carga a alimentar, conectándose los puntos de interconexión de los mismos a cada uno de los terminales de salida del transformador trifásico.

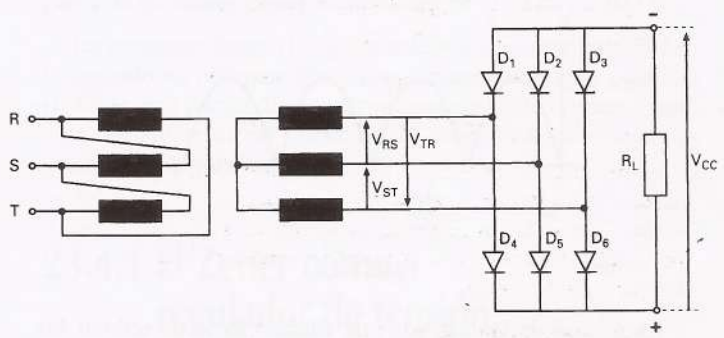


Figura 23.33. Circuito de un rectificador trifásico de onda completa.

Como se puede comprobar en la Figura 23.34, cada pareja de diodos se va sucediendo en la conducción, apareciendo en la salida una tensión continua con seis pulsos por período.

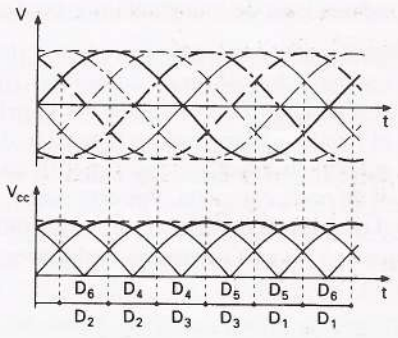
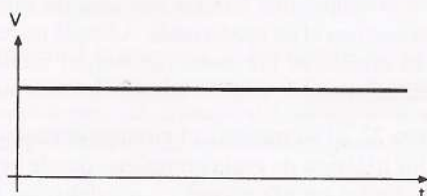


Figura 23.34. Tensión de entrada y salida de un rectificador trifásico de onda completa.

23.3.6.5. El filtrado

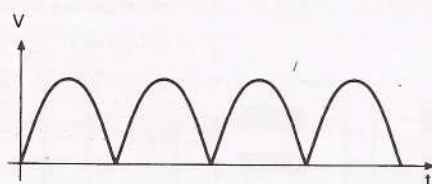
La corriente de salida de un rectificador no se corresponde a una corriente continua ideal, como por ejemplo la que proporcionan las pilas y acumuladores. Normalmente esta corriente es de tipo pulsatorio, lo cual implica que existen variaciones de amplitud en la misma. Este tipo de corriente no es muy recomendable en la mayoría de las aplicaciones, sobre todo para la alimentación de equipos electrónicos. Así, por ejemplo, si alimentásemos un amplificador de sonido, o un receptor de radio, con un circuito rectificador sin filtrado podríamos comprobar cómo aparece un zumbido de baja frecuencia en la salida del altavoz.

En la Figura 23.35 se muestra el aspecto de una C.C. pura, tal como la proporciona una pila. En contraste, en la Figura 23.36 aparece una C.C. pulsatoria procedente de un rectificador monofásico de onda completa.



a.

Figura 23.35



b.

Figura 23.36

La misión de los circuitos de filtrado es la de reducir las variaciones de amplitud de la corriente y conseguir que ésta sea lo más constante posible en la carga a alimentar. Cuando se consigue esto se dice que se ha reducido la componente de corriente alterna de la corriente de salida del rectificador, o que se ha reducido el *rizado*.

Los circuitos de filtrado se pueden realizar con un condensador o con redes a base de inductancias y condensadores.

Por lo general, para conseguir los efectos de filtrado, se conecta un condensador de gran capacidad (normalmente electrolítico) en paralelo con la salida del rectificador. Evidentemente, el rizado que aparece en la tensión de salida será mucho más acentuado en el caso del rectificador de media onda que en el de onda completa. Por esta razón, nos concentraremos en el estudio de los filtros para estos últimos rectificadores, ya que son los que tienen más aplicaciones prácticas.

Experiencia 23.4: Consigue un puente rectificador encapsulado, aliméntalo con C.A. y conecta la salida de C.C. del mismo a una resistencia de carga. Seguidamente, mide con un osciloscopio la tensión en la resistencia de carga, visualizando la onda. A continuación, conecta un condensador de 1.000 μF en paralelo con la carga y repite la medida con el osciloscopio. Compara los resultados obtenidos en ambos casos (Figura 23.27).

Habrás podido comprobar que la tensión que aparece ahora en la pantalla del osciloscopio ya no posee tantas ondulaciones, y que el valor medio de la tensión de salida ha aumentado.

El aspecto que tiene la tensión de salida en un circuito rectificador de onda completa con condensador de filtrado es como el que se muestra en la Figura 23.28.

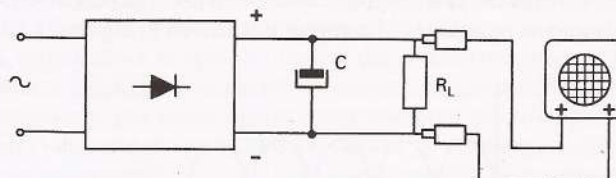


Figura 23.37. Verificación del efecto de filtrado de un condensador.

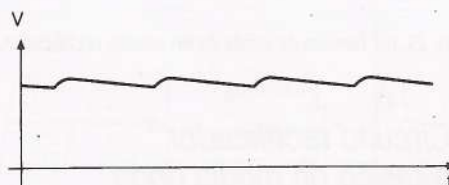


Figura 23.38. Tensión de salida de un rectificador con filtro por condensador.

Para poder explicar cómo actúa el condensador en el filtrado, en la Figura 23.39 se muestra la tensión de salida del filtro en superposición con la tensión de rectificación de onda completa aplicada a la entrada de dicho filtro.

- 0 a t_1 → el rectificador conduce y se carga el condensador.
- t_1 a t_2 → el condensador se descarga y deja de conducir el rectificador.
- t_2 a t_3 → el rectificador conduce y se carga el condensador.
- t_3 a t_4 → el condensador se descarga y deja de conducir el rectificador.
- t_4 a t_5 → etc.

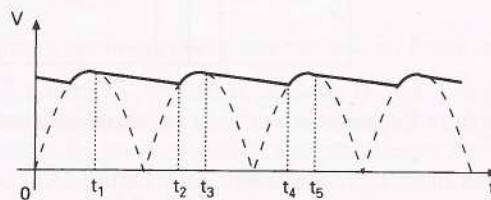


Figura 23.39. Tiempos de carga y descarga del condensador de filtro.

El funcionamiento de este filtro es como sigue:

En el primer instante (0 a t_1), los diodos del rectificador se polarizan directamente y el condensador se carga de energía mientras la tensión aplicada a sus bornes vaya en aumento. Una vez superada la tensión máxima (t_1), y mientras la tensión descende de valor, los diodos del rectificador se polarizan inversamente, ya que la tensión con que ha quedado cargado el condensador es algo superior que la aplicada a los mismos. En consecuencia, los diodos dejan de conducir (t_1 a t_2) y el condensador descarga la energía acumulada por la resistencia de carga R_L . Este fenómeno se repite continuamente en cada uno de los ciclos de tensión pulsatoria de salida del rectificador, manteniendo así la tensión en la carga a un valor más constante.

Cuanto más constante sea esta tensión, más calidad de C.C. poseerá la tensión rectificadora. Se dice, entonces, que se reduce el rizado de la misma.

El rizado que todavía perdura en la tensión de salida del filtro es debido a la carga y descarga del condensador. Un modo de aminorar el rizado consiste en aumentar el tiempo de descarga del condensador, lo cual se consigue con condensadores de gran capacidad, o lo que es lo mismo, aumentando la constante de tiempo de descarga, la cual está en función del producto de RLC .

23.4 El diodo Zener

Para reducir al máximo la tensión de rizado de la salida los circuitos de rectificación y así conseguir una tensión de C.C. lo más constante posible, se pueden utilizar circuitos estabilizadores (Figura 23.40). Una de las formas de conseguir este tipo de circuitos es con la utilización del diodo Zener.

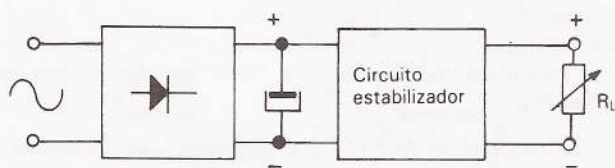


Figura 23.40. Circuito estabilizador conectado a la salida de un rectificador.

Al estudiar las características de los diodos de unión, pudimos comprobar que, al aplicar una tensión de polarización inversa a un diodo de unión PN, la corriente inversa que fluye por la unión es muy débil (del orden de unos pocos μA o nA) y que, aunque se aumente la tensión inversa aplicada, esta corriente apenas se modifica. Por otro lado, al aumentar gradualmente la tensión inversa, se llega a provocar un aumento brusco de la corriente (efecto de avalancha).

A este efecto de ruptura de la unión se le conoce con el nombre de *efecto Zener*, y a la tensión inversa a la que se produce se le denomina tensión Zener (V_Z). En la Figura 23.41 se puede apreciar las diferentes partes de la curva característica de un Zener con $V_Z = 6,8 V$.

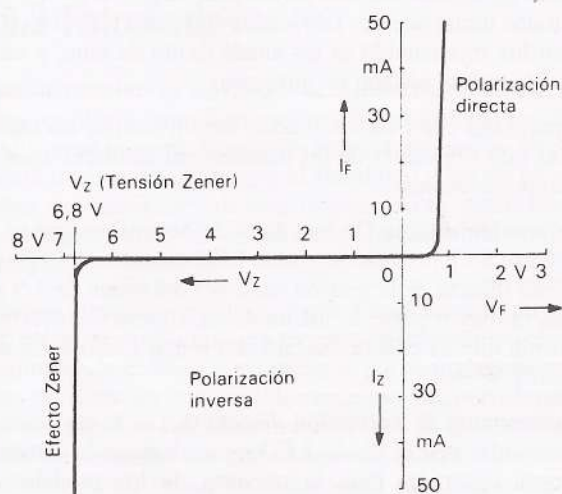


Figura 23.41. Curva característica del diodo Zener.

Existe un tipo de diodo fabricado de una forma especial, llamado Zener, que puede trabajar en estas condiciones de funcionamiento sin que la unión se destruya.

En la Figura 23.42 se puede ver el símbolo utilizado para la representación del diodo Zener.



Figura 23.42. Símbolo del diodo Zener.

El diodo Zener se comporta como un diodo normal al estar polarizado directamente, comenzando a conducir aproximadamente a una tensión de $0,7 V$. Hay que indicar que este tipo de funcionamiento en los diodos Zener no es el habitual, ya que están diseñados para trabajar en polarización inversa.

Los diodos Zener se fabrican a base de silicio y en una gama de tensiones Zener escalonadas desde 2 hasta $200 V$.

La corriente Zener (I_Z) que puede soportar un diodo Zener, trabajando en polarización inversa, dependerá de la potencia (P_Z) que éste pueda disipar térmicamente. Esta corriente aparece normalmente en las hojas de especificaciones técnicas que facilita el fabricante.

23.4.1 El Zener como regulador de tensión

Una de las aplicaciones más extendida del diodo Zener es como estabilizador de tensión para fuentes de alimentación. Eso se consigue aprovechando la propiedad que poseen dichos diodos de conducir con tensiones de polarización inversa, manteniendo la tensión entre sus extremos prácticamente constante, aunque se modifique apreciablemente la intensidad de corriente inversa que fluye por los mismos.

En la Figura 23.43 se muestra el esquema correspondiente a un regulador de tensión conectado a la salida de un puente rectificador. El diodo Zener consigue mantener la tensión en la carga (V_L) a valores constantes aunque existan variaciones de tensión (V) a la salida del circuito rectificador y aunque se modifique la corriente por la carga (I_L). La resistencia de polarización del Zener (R_S), que se conecta en serie con el circuito de regulación, tiene como misión mantener la tensión de polarización del Zener entre unos valores aceptables, valiéndose para ello de las caídas de tensión que se producen en la misma cuando la corriente que la atraviesa tiende a modificarse.

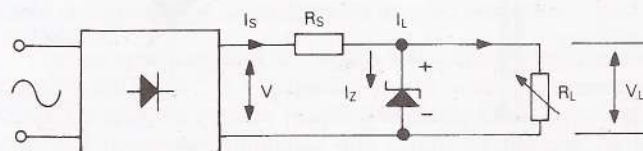


Figura 23.43. Estabilización de tensión a la salida de un rectificador mediante diodo zener.

Los procesos que se dan en este circuito de regulación son los siguientes: la tensión V_L que aparece en la carga y en el diodo Zener, es el resultado de sustraer a la tensión de entrada (V) del regulador, la caída de tensión que se produce en la resistencia de polarización (R_S); ($V_L = V - V_S$). En el caso de que la tensión de entrada se eleve, el diodo Zener aumenta su

corriente inversa (I_2) para evitar, en todo momento, que la tensión del Zener se modifique. Esto trae consigo un aumento de corriente por la resistencia R_s y, por tanto, un aumento de la caída de tensión que ésta produce en el circuito. De esta manera se consigue que el aumento de tensión de entrada quede compensado por dicha caída de tensión, manteniéndose la tensión en la carga (V_L) a un valor prácticamente constante. En el caso de que la tensión de entrada disminuya, los procesos que se dan son similares; la corriente por el diodo tiende a reducirse para mantener así una tensión constante entre los terminales del mismo. Esto provoca una disminución en la corriente por la resistencia R_s y, por tanto, una disminución de la caída de tensión en la misma. El resultado es que la tensión en la carga no se reduce debido a esta disminución en la caída de tensión.

23.5 Dispositivos optoelectrónicos

Dentro de la denominación de dispositivos optoelectrónicos se incluyen todos aquellos elementos semiconductores capaces de producir una radiación luminosa comprendida dentro del espectro visible o fuera del mismo (infrarrojos), como lo son los diodos LED. También se incluyen los componentes sensibles a la luz, como, por ejemplo, los fotodiodos.

23.5.1 Diodos luminiscentes (LED)

Seguro que ya conoces este tipo de dispositivo electrónico, ya que poseen grandes aplicaciones como elementos señalizadores del encendido de cualquier equipo electrónico, como puede ser: un equipo de sonido, un ordenador, etc.. Haciendo combinaciones con ellos, también pueden ser empleados para visualizar números y letras en pequeños indicadores luminosos (displays), con los cuales se pueden presentar resultados en equipos de medida, calculadoras, etc.

En la Figura 23.44 a se muestra el aspecto de un diodo led y en la Figura 23.44 b su representación esquemática.

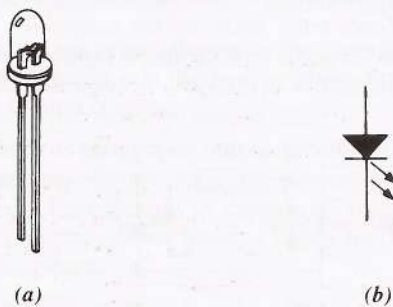


Figura 23.44. Diodo LED. (a) Aspecto físico; (b) símbolo.

Experiencia 23.5: Consigue un diodo LED, estudia su aspecto y conéctalo a través de una resistencia serie de unos 430Ω a una fuente de alimentación de 8 V, tal como se muestra en la Figura 23.45.

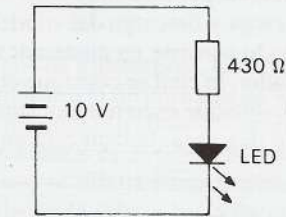


Figura 23.45

Habrás podido comprobar que para que el diodo LED se ilumine hay que conectarlo de tal forma que quede polarizado directamente. El terminal que representa al ánodo suele aparecer en el componente indicado con una marca (este terminal suele tener una longitud mayor que el del cátodo). Por si fuera poco, se añade un pequeño aplastamiento en la cápsula en las inmediaciones del terminal del cátodo). En el caso de no estar seguro cual es cada uno de los terminales, se puede verificar el estado de conducción con un polímetro, tal como se hacía con los diodos de unión PN.

¿Se enciende el diodo LED al polarizarlo directamente?

Los diodos LED se fabrican mediante la unión de dos cristales semiconductores PN, a los que se les ha contaminado de una forma especial. Cuando una unión de este tipo se polariza con una tensión directa, al igual que ocurría con los diodos convencionales, los electrones de valencia del cristal tipo N atraviesan la unión y se recombinan con los huecos del cristal tipo P. Dado que dichos electrones se trasladan de un nivel de energía más alto a uno más bajo, se produce una liberación de energía, que en este tipo de diodos se manifiesta en forma de radiaciones electromagnéticas dentro del espectro luminoso.

Los diodos LED se fabrican con elementos especiales, como arseniuro de galio (GaAs) y fósforo. Para conseguir modificar la longitud de onda de la radiación de la onda luminosa, y así conseguir diodos con emisiones de diferentes colores (rojo, naranja, verde, amarilla, azul, o infrarroja), se contaminan los cristales de una forma adecuada. Así por ejemplo, los diodos luminiscentes fabricados con galio y fósforo (GaP) emiten luz roja cuando se les añade óxido de cinc, y emiten luz verde con la adición de nitrógeno.

Aparte del color de los diodos luminiscentes, las características más relevantes de los mismos son similares a los diodos convencionales:

La **tensión directa** (V_F) es la caída de tensión que se produce entre los extremos del diodo LED cuando por él fluye la corriente directa. Esta tensión suele ser del orden de 1,5 a 2,2 V para la mayor parte de los modelos. Cuando se desconoce la tensión directa exacta, bastará con tomar como valor aproximado 2 V.

La **corriente de excitación directa** (I_F) es la corriente que debe circular por el diodo LED para alcanzar la intensidad luminosa esperada. Para la mayoría de los modelos está corriente esta comprendida entre 10 y 50 mA.

La **corriente inversa** (I_R) es la máxima corriente que puede fluir por el diodo luminiscente cuando a éste se le aplica una tensión de polarización inversa. Este valor suele estar en el entorno de los 10 μ A.

La **disipación de potencia** es aquella parte de la potencia que el diodo luminiscente no convierte en luz y que acaba degradándose en calor, teniendo que evacuarla al exterior. Por esta razón, los diodos LED se conectan en serie con una resistencia, con el fin de limitar la corriente que fluye por ellos.

Las ventajas que poseen los diodos LED para aplicaciones de señalización frente a las pequeñas lámparas incandescentes son innumerables, como gran duración, elevada resistencia mecánica frente a impactos y vibraciones, tamaño reducido y pequeño consumo, que los hace ideales para aplicaciones en combinación con otros semiconductores.

Una de las aplicaciones de los diodos LED es la fabricación de indicadores numéricos de siete segmentos (displays). Mediante 7 diodos luminiscentes dispuestos como se indica en la Figura 23.46, se pueden representar dígitos del 0 al 9. Para ello se excitan simultáneamente las combinaciones de diodos que se correspondan en cada caso.

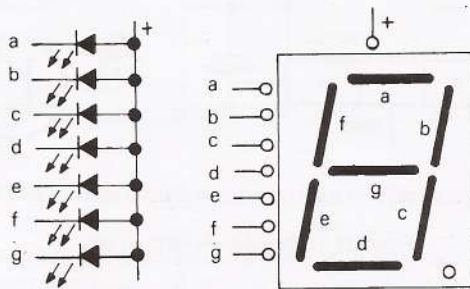


Figura 23.46. Indicador de siete segmentos con diodos LED.

¿Qué diodos habrá que excitar simultáneamente en el indicador de siete segmentos de la Figura 23.36 para que se ilumine el número 5?

En la actualidad, los indicadores de cristal líquido (LCD) están desplazando a los indicadores con diodos luminiscentes a campos de aplicación más reducidos.

23.5.2 Fotodiodos

Este dispositivo es un diodo especialmente diseñado para que sea sensible a las radiaciones luminosas que en él incidan. De tal forma que al aumentar éstas, también lo haga la corriente inversa que fluya por el fotodiodo. Una de las aplicaciones fundamentales de este dispositivo es como fotodetector, elemento capaz de transformar una magnitud luminosa en eléctrica.

Veamos como funciona este dispositivo: cuando a un diodo unión PN se le aplica energía térmica se rompen un número determinado de enlaces covalentes y, por tanto, aparecen en ambos cristales un número determinado de portadores de carga minoritarios. Pues bien, en este tipo de diodos además aparece un aumento de portadores minoritarios cuando se aplica energía en forma de radiaciones luminosas. De esta forma, si conectamos un fotodiodo con una tensión de polarización inversa, fluirá una pequeña corriente inversa por el mismo. Los fotodiodos se fabrican de tal forma que la luz pueda incidir en ellos, de modo que cuando la intensidad de la radiación luminosa se hace más grande, aumentan los portadores minoritarios, y con ellos la corriente inversa. De esta

forma se consigue que exista una relación determinada entre la luz y la corriente.

En la Figura 23.47 se muestra el circuito de un fotodiodo polarizado inversamente. Las flechas, que apuntan hacia el componente, indican que el diodo aprovecha la incidencia de la luz en él para funcionar.

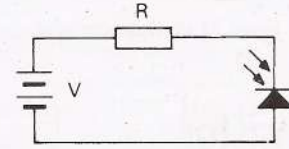


Figura 23.47. Fotodiodo.

En la Figura 23.38 se muestra la curva de polarización inversa de un fotodiodo.

Observa cómo al aumentar la intensidad de la radiación luminosa (su unidad de medida es el lux), también lo hace la corriente inversa.

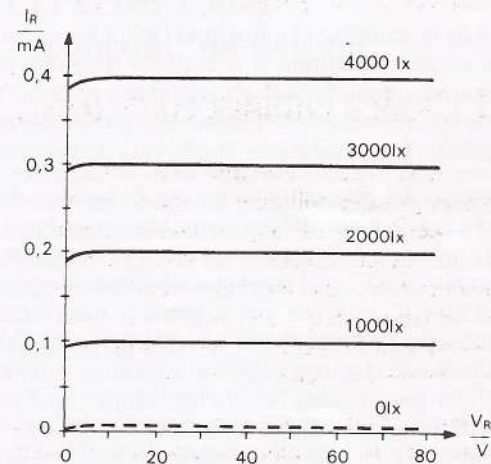


Figura 23.48. Curvas características de un fotodiodo.

Una de las aplicaciones que se puede hacer del fotodiodo, en combinación con el diodo luminiscente, es la fabricación de un **optoacoplador**, tal como se muestra en la Figura 23.39. Estos dos elementos se integran en un sólo elemento.

Con un optoacoplador se pueden aislar eléctricamente dos circuitos entre los que hay que intercambiar una determinada señal. La señal de entrada se aplica al diodo LED, generando éste una intensidad luminosa que estará en función de la corriente entregada por la señal. Esta radiación luminosa incide en el fotodiodo, el cual generará una corriente en la salida proporcional a la entrada del optoacoplador. Con el uso de optoacopladores se eliminan todos los riesgos que pueden surgir al conectar circuitos que, trabajan con señales de muy pequeñas tensiones, con otros circuitos que lo hacen con tensiones elevadas. Por ejemplo, se utilizan para aislar la salida de un ordenador con circuitos exteriores que estén alimentados con tensiones peligrosas. También se utilizan en electro medicina para aislar los circuitos de los electrodos que se han de aplicar al cuerpo humano, y en otras muchas aplicaciones.

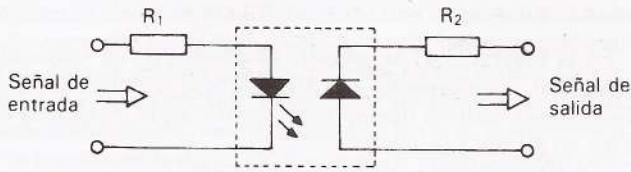


Figura 23.49. Optoacoplador.

23.6 El transistor

Los transistores son fundamentales en la mayoría de los circuitos electrónicos que realizan la función de amplificación, control, estabilización de la tensión, etc. Hay que pensar que los dispositivos electrónicos que generan las señales de control, como una resistencia NTC en un termostato, una LDR en una barrera fotoeléctrica, un micrófono de audio, etc. producen señales eléctricas muy débiles que, en la mayor parte de las aplicaciones, hay que aumentar (proceso de amplificación) para poder conseguir alimentar a dispositivos o receptores, que necesitan de un aporte mayor de energía para su funcionamiento (relés que ponen en marcha una lámpara o motor, altavoces, etc.).

Antes de descubrirse el transistor (1950), los circuitos electrónicos estaban contruidos a base de válvulas de vacío. Éstas eran muy voluminosas y necesitaban para su funcionamiento de una resistencia de caldeo, que provocaba un consumo de energía excesivo y acortaba la vida de las mismas.

El invento del primer transistor por Schockley dio paso a una nueva era. A partir del transistor bipolar se han ido desarrollando otro tipo de transistores, como el transistor de efecto de campo "JFET" y el transistor de campo de óxido metálico "MOSFET" que por sus especiales características les hace ideales para el tratamiento de señales de radio frecuencia y en el diseño de circuitos digitales. Con ellos también se han desarrollado los circuitos integrados "chips", que reúnen en un sólo componente multitud de transistores de todo tipo, diodos, resistencias, etc. consiguiendo miniaturizar y simplificar enormemente los circuitos. Los circuitos integrados consiguen realizar múltiples funciones con un sólo componente, como las que realiza el microprocesador de un ordenador.

Al igual que los diodos de unión, los transistores bipolares se construyen gracias a la unión de cristales semiconductores de tipo P y de tipo N.

El transistor es un componente fácilmente identificable por sus tres terminales de conexión que asoman al exterior a través de una de las bases de su cápsula (Figura 23.50). Éstos suelen estar dispuestos en línea, o según los vértices de un triángulo imaginario.



Figura 23.50. Aspecto de un transistor.

Cada uno de estos terminales está unido a un cristal semiconductor de tipo P o tipo N. De esta forma, nos encontramos

con un terminal de emisor, un terminal de base y otro de colector.

Existen dos tipos de transistores, los PNP y los NPN. En la Figura 23.51 se muestra la disposición de los cristales en cada uno de los tipos, así como su símbolo correspondiente. Obsérvese que si el transistor es PNP (PeNetra) la flecha correspondiente al emisor se dibuja hacia dentro, y si es NPN (No PeNetra) dicha flecha se dibuja hacia fuera.

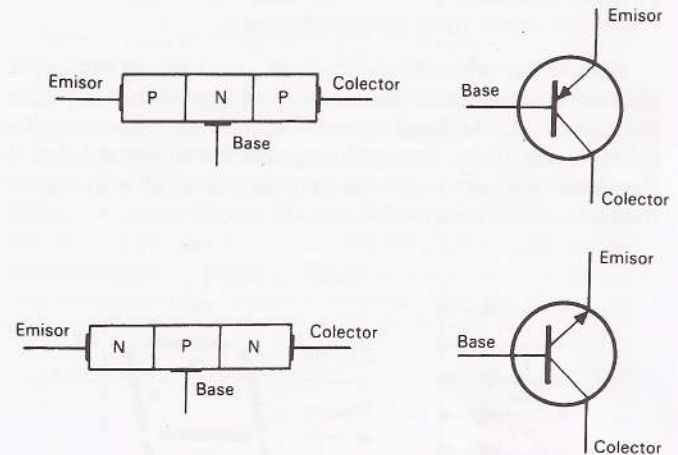


Figura 23.51. Transistores NPN y PNP.

En el proceso de fabricación de un transistor NPN se hace que el cristal semiconductor correspondiente al emisor esté muy contaminado, por lo que contendrá un exceso de portadores de carga; su tarea consistirá en enviar o emitir estos portadores de carga (electrones) a la base. El cristal semiconductor de la base se fabrica en una dimensión extremadamente delgada y un grado tenue de contaminación; los electrones emitidos por el emisor atraviesan, prácticamente en su totalidad, este cristal, para acabar dirigiéndose al colector. La misión de la base consistirá en controlar dicho flujo de electrones. El cristal semiconductor del colector se fabrica con un grado de contaminación intermedio y recibe este nombre por recoger los electrones enviados por el emisor.

23.6.1 Funcionamiento del transistor

Para estudiar el funcionamiento del transistor nos vamos a referir exclusivamente a tipo NPN.

Experiencia 23.6: a) Localiza un transistor NPN en el compartimiento de componentes del entrenador didáctico, por ejemplo el SC 107, y monta el circuito de la Figura 23.52 mediante un diodo LED conectado en serie con una resistencia de 470 Ω y alimenta el conjunto por una pila o fuente de alimentación de 9 V.

Al probar el circuito el diodo LED se tendrá que encender. Veamos cuál es la explicación de este fenómeno.

Al conectar el polo positivo de la pila a la base (cristal tipo P) y el negativo al emisor (cristal tipo N) la unión queda polarizada directamente y por tanto circulará una elevada corriente a través del cristal (como si se tratase de un diodo), que hace que el LED se encienda (Figura 23.53).

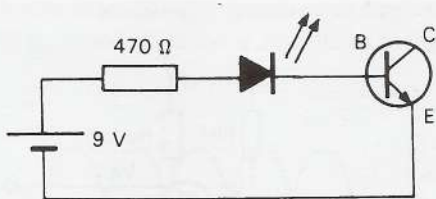


Figura 23.52

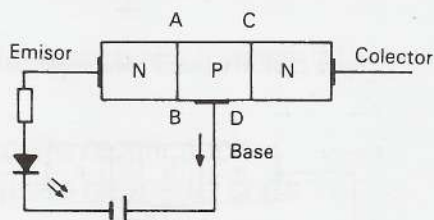


Figura 23.53

b) Ahora permuta los conductores en los terminales del transistor según se indica en el esquema de la Figura 23.54. Al probar el circuito, el diodo LED no se tiene que encender. ¿Cuál es la explicación?

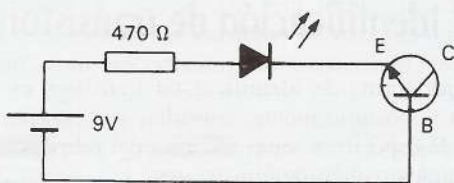


Figura 23.54

Si se polariza la unión emisor-base PN en sentido inverso, la corriente a través del cristal será prácticamente nula y por lo tanto el diodo LED permanecerá apagado (Figura 23.55).

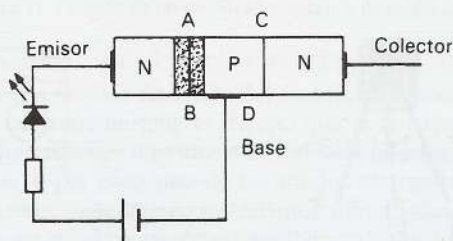


Figura 23.55

c) Realiza ahora las conexiones con los terminales de base y colector, tal como se indica en esquema de la Figura 23.56 y explica por qué se enciende el diodo en este caso.

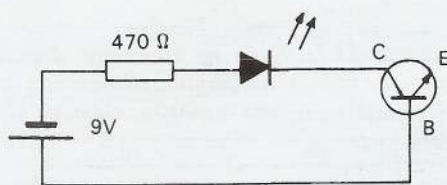


Figura 23.56

d) Ahora permuta los conductores de la pila, de tal forma que la base quede conectada al terminal negativo y el colector al diodo led. Dibuja tú mismo el esquema de conexiones y explica por qué no se enciende el diodo LED en este caso.

e) Seguidamente, conecta los terminales del colector y emisor, tal como se muestra en la Figura 23.57. Podrás comprobar cómo en este caso el diodo LED no se enciende. ¿Cuál es la explicación?

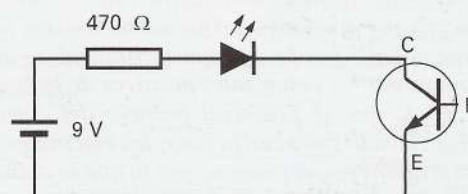


Figura 23.57

Los electrones libres del cristal N del emisor son repelidos por el polo negativo de la pila (Figura. 23.58), mientras que los electrones libres del cristal N del colector son atraídos por el polo positivo. De todo esto se deduce que se produce un desplazamiento de electrones en el sentido del emisor al colector. A pesar de ello, los electrones del emisor no poseen la suficiente energía para atravesar las barreras AB y CD de las uniones, las cuales los repelen.

La corriente emisor-colector es por tanto muy pequeña, y por eso el diodo LED no se enciende, considerándose a efectos prácticos como una corriente de fuga.

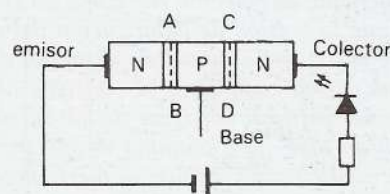


Figura 23.58

f) Consigue una resistencia de 1.000 Ω y una pila de 1,5 V y realiza el montaje que se propone en la Figura 23.59. Podrás comprobar como en este caso sí que se enciende el diodo LED. ¿Cuál es la explicación?

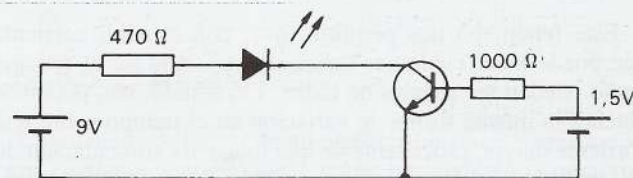


Figura 23.59

La principal barrera que se oponía al paso de los electrones desde el emisor al colector la constituía la barrera AB (Figura 23.60), ya que una vez atravesada ésta los electrones se encuentran bajo la influencia del campo eléctrico del polo positivo.

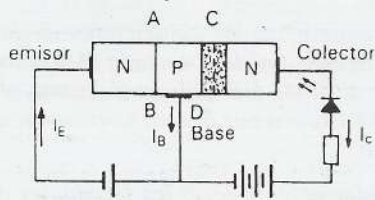


Figura 23.60

Al aplicar una pequeña tensión positiva a la base (cristal P), con respecto al emisor (cristal N), dicha barrera desaparecerá, por quedar polarizada directamente la unión de los cristales PN que la componen, sintiéndose atraídos los electrones por los potenciales positivos de la base y del colector. Dado que el potencial positivo del colector es mucho más elevado que el de la base, los electrones se sentirán más atraídos por el primero, por lo que se obtiene una elevada corriente de colector I_C (que hace que el diodo LED se encienda) y una pequeña corriente de base I_B .

A esta explicación hay que añadir que, al ser el cristal de la base extremadamente delgado y estar débilmente contaminado con unos pocos huecos, la base se satura rápidamente al ser invadida por la gran cantidad de electrones provenientes del emisor, causando una difusión de los mismos hacia la zona de empobrecimiento de la unión con el colector. Una vez que los electrones han superado la unión, son atraídos con fuerza por el fuerte campo eléctrico positivo a que está sometido el colector.

El número de electrones que fluyen hacia el colector será más elevado cuanto mayor sea la tensión de polarización directa del diodo base-emisor. Por lo que se puede decir que, esta tensión, junto con la corriente de base, controlan la corriente de colector. Haciendo un símil, podríamos decir que la tensión de polarización del diodo base-emisor abre más o menos una compuerta por donde pasan los electrones; esta compuerta se consigue abrir con un pequeño esfuerzo (débil corriente de base); sin embargo, por ella pasan una gran cantidad de electrones, que se dirigen hacia el colector, debido al fuerte potencial eléctrico que éste posee.

Si tenemos en cuenta que la corriente de base es muy pequeña con respecto a la del colector y que esta última varía en consonancia con la primera, habremos comprendido la más importante propiedad del transistor, consistente en su capacidad de amplificación de corriente.

Este fenómeno nos permitirá que, con la débil corriente que puede tener cualquier forma de variación en el tiempo, como pueden ser señales de radio, TV, sonido, etc, podamos obtener la misma forma de variación en el tiempo sobre una corriente mayor, procedente de una fuente de alimentación, lo que da lugar a poder transformar señales débiles en otras suficientemente fuertes para producir, por ejemplo, sonido en un altavoz, imagen en un televisor, etc (Figura 23.61).

El estudio que se ha hecho para el transistor NPN es igualmente válido para el PNP, con la única diferencia de que en el caso del transistor PNP la conducción se produce cuando se aplica una tensión negativa en el colector con respecto al emisor, y una tensión igualmente negativa, aunque de inferior valor a la base, con respecto al emisor (Figura 23.62).

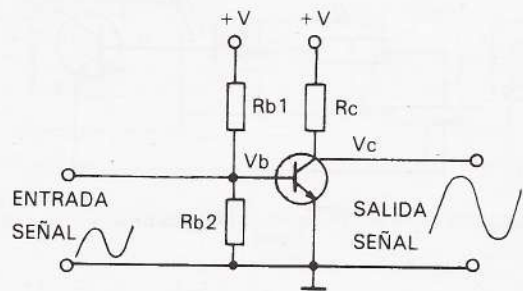


Figura 23.61. El transistor como amplificador.

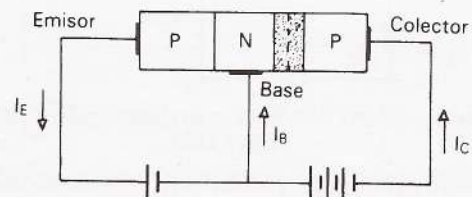


Figura 23.62. Polarizaciones en un transistor PNP.

23.6.2 Identificación de transistores

La mejor forma de identificar un transistor es anotar su referencia y, posteriormente, consultar sus características en las hojas de especificaciones técnicas del fabricante, o en un libro de características de transistores.

Mediante un método muy sencillo se puede determinar si un transistor desconocido es del tipo PNP o NPN. Este método consiste en tomar varias medidas, con el polímetro utilizado como óhmetro en el rango de $\times 100$, de las resistencias que aparecen entre los diferentes terminales del transistor (Figura 23.63).

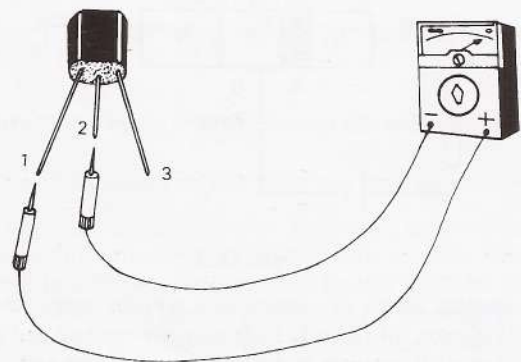


Figura 23.63. Identificación del tipo de transistor mediante polímetro.

Experiencia 23.7: Toma un transistor desconocido y averigua de qué tipo es, así como la disposición de sus terminales. Seguidamente, se exponen algunas ideas para conseguirlo.

Primero determinamos cuál de los terminales del transistor corresponde a la base. Esto se consigue midiendo la resistencia con el óhmetro entre los diferentes terminales.

En un transistor en buen estado, la resistencia entre el colector y el emisor es siempre muy alta, cualquiera que sea la polaridad aplicada por el óhmetro; cuando se haga esta verificación, el otro terminal corresponderá a la base.

Una vez localizada la base, conectamos la punta de prueba positiva en la misma y la negativa en cualquiera de los otros dos terminales del transistor: si la resistencia obtenida es muy baja (se ha polarizado la unión de uno de los dos diodos por efecto de la tensión positiva aplicada con el óhmetro a la base P) se trata de un transistor tipo NPN; si obtenemos una resistencia muy alta (no se ha polarizado la unión) se trata de un transistor PNP.

Por si te sirve de ayuda, en la Tabla 23.3 se indican las medidas de resistencia que se dan en cada caso para los dos tipos de transistores.

Con este sencillo procedimiento también se puede llegar a averiguar cuál de los terminales corresponde al emisor y cuál al colector. Para ello, hay que tener en cuenta que:

La resistencia y tensión de barrera de la unión base-colector es algo menor que la correspondiente a la unión base-emisor.

Esta diferencia es más apreciable si medimos la tensión de barrera con un polímetro digital.

Punta (+)	Punta (-)	PNP	NPN
		Medida del óhmetro	Medida del óhmetro
colector	emisor	alta resistencia	alta resistencia
emisor	colector	alta resistencia	alta resistencia
emisor	base	baja resistencia	alta resistencia
base	emisor	alta resistencia	baja resistencia
base	colector	alta resistencia	baja resistencia
colector	base	baja resistencia	alta resistencia

Tabla 23.3

23.6.3 Comprobación del estado de un transistor

Para comprobar si un transistor está en buen estado utilizaremos el óhmetro. Con él verificaremos la resistencia entre los terminales del transistor con las diferentes posibilidades de polarización, teniendo en cuenta que: a) con cualquier polaridad, la resistencia obtenida al aplicar el óhmetro entre el colector y el emisor es siempre muy alta para un transistor en buen estado; b) al polarizar directamente cualquiera de las uniones entre base-colector y base-emisor la resistencia obtenida para un transistor en buen estado debe ser baja.

Por otro lado, los polímetros digitales suelen ir equipados con un dispositivo, llamado transistómetro, para poder conectar el transistor y así poder determinar su ganancia. Para ello dispone de dos filas de tres conexiones, una para transistores PNP y otra para NPN, tal como se muestra en la Figura 23.64.

Con este dispositivo podemos medir la ganancia de un transistor una vez conectado en el apartado que le corresponde, según su tipo, y en el orden de terminales correcto. Aprovechando el transistómetro, se puede verificar el estado de un transistor, ya que si el mismo está en buen estado tendrá que medirse una ganancia aceptable. Con este sistema también es posible comprobar la disposición de los tres terminales del transistor, ya que hasta que éste no se conecta adecuadamente al transistómetro no se mide ganancia alguna.

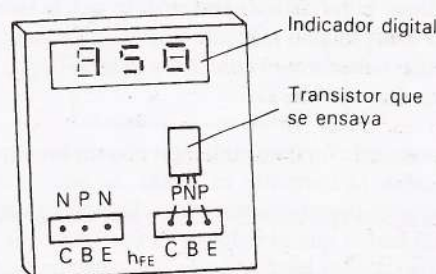


Figura 23.64. Medida de la ganancia mediante polímetro digital.

23.6.4 Intensidades de corriente en el transistor

En los apartados anteriores hemos estudiado, de una forma experimental, el funcionamiento del transistor. Completaremos ahora algunos otros aspectos más particulares del mismo, como son la relación de intensidades de corriente que aparecen en cada uno de los terminales del transistor. Pero antes vamos a realizar un pequeño repaso de los conocimientos ya adquiridos, intentando, a su vez, dar una mayor profundidad a los mismos.

Este estudio lo realizaremos también sobre un transistor NPN. Este tipo es más utilizado que el PNP, ya que actúa algo más rápido y se adapta mejor a los sistemas donde se conecta el negativo a masa. No obstante, es fácil encontrar los dos tipos de transistores en un mismo circuito, ya que su combinación amplía las posibilidades del diseñador.

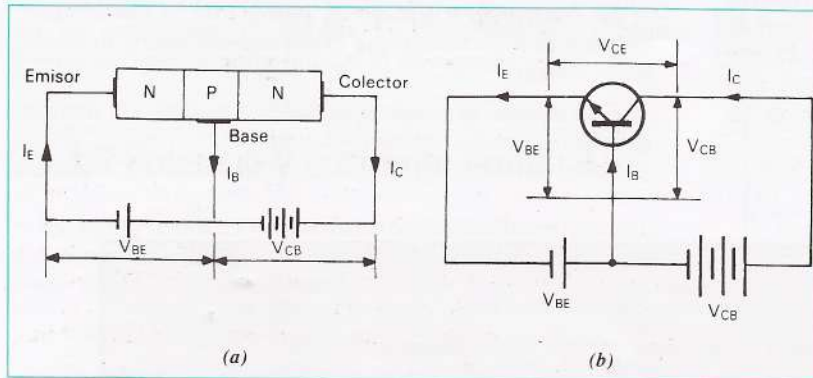


Figura 23.65. Sentido de la corriente en el circuito. (a) Según el flujo de electrones. (b) sentido convencional de la corriente.

Tal como está polarizado el transistor NPN (Figura 23.65), el diodo formado por la unión del emisor y la base queda polarizada directamente con la tensión V_{BE} . Para que esto ocurra, será suficiente con una tensión mínima, superior a la umbral, que en el caso del silicio será de 0,6 V a 0,7 V. Este fenómeno de polarización directa hace que la resistencia base-emisor (R_{BE}) disminuya a un valor muy reducido (por debajo de los 100 Ω).

Por otro lado, el diodo formado por la unión de la base y el colector aparece polarizado inversamente por la tensión V_{CB} , que es de un valor mucho más alto que V_{BE} . De aquí, se deduce que la resistencia entre el colector y la base (R_{CB}) sea de un valor elevado (unos 10 K Ω).

Sin embargo, tal como se pudo apreciar en las experiencias llevadas a cabo, la corriente es capaz de atravesar tanto la unión polarizada directamente como la polarizada inversamente. De tal forma que el valor de la corriente que entra por el emisor I_E se acerca bastante a la del colector I_C , siendo la corriente que sale de la base muy pequeña.

Efectivamente, la región que ocupa la base del transistor es muy reducida y está mínimamente impurificada, por lo que posee muy pocos huecos. De esta forma, los electrones que emite el emisor superan sin dificultad la unión emisor-base, por estar polarizada directamente. Pero es probable que uno de estos electrones encuentre en la base un hueco libre con el que combinarse. Por ello, la corriente de base será muy débil. Sin embargo, estos electrones, una vez que superan la barrera de emisor-base, se sienten fuertemente atraídos por el potencial eléctrico positivo del colector, estableciéndose un valor considerable de corriente de colector I_C .

Lo normal es que el 99% de la corriente del emisor se dirija directamente al colector y que el 1% restante lo haga a la base.

Se puede establecer una ecuación que relacione estas tres corrientes, de tal forma que:

$$I_E = I_C + I_B$$

A pesar de que la corriente de base es muy débil, ésta es muy valiosa, ya que gracias a ella se pueden gobernar la gran corriente que aparece en el colector. De tal forma que, si la corriente de base fuese nula, no habría corriente de colector. Téngase en cuenta que al desaparecer la tensión de polarización de la unión emisor-base los electrones del emisor no pueden superar esta barrera.

23.6.5 Ganancia de corriente o parámetro beta (β) de un transistor

La circunstancia de que una pequeña corriente de base controle las corrientes de emisor y colector mucho más elevadas, indica la capacidad que posee un transistor para conseguir una gran ganancia de corriente. Así, la ganancia de corriente de un transistor es la relación que existe entre la variación o incremento de la corriente de colector y la variación de la corriente de base.

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

Así, por ejemplo, en el caso de que en un transistor se obtenga una variación de corriente de colector de 8 mA y de 0,08 mA en la corriente de base, la ganancia será:

$$\beta = \frac{8}{0,08} = 100$$

La ganancia de corriente de los transistores comerciales varía bastante de unos a otros. Así, nos podemos encontrar transistores de potencia que poseen un β de tan sólo 20. Por otro lado, los transistores de pequeña señal pueden llegar a tener un β de 400. Por todo ello, se puede considerar que los valores normales de este parámetro se encuentran entre 50 y 300.

En las hojas de especificaciones técnicas que facilitan los fabricantes de transistores, en vez de utilizarse β para identificar la ganancia de corriente, se suele utilizar h_{FE} . Así por ejemplo, para el transistor con referencia BC 108, se lee en sus hojas de características, una h_{FE} entre 150 y 290; lo que nos indica que la ganancia de corriente de este transistor puede encontrarse entre estos valores.

La ganancia de corriente varía notablemente con la corriente de colector. Además, la temperatura ambiente influye positivamente en el aumento de dicha corriente. Hay que pensar que al aumentar la temperatura de la unión del diodo colector aumenta el número de portadores minoritarios y, por tanto se produce un aumento de la corriente de colector.

23.6.6 Tensiones de ruptura

Al igual que ocurría con los diodos, cuando se polariza inversamente cualquiera de las uniones de un transistor aparecen pequeñas corrientes inversas, que no provocarán la ruptura de dichas uniones si la tensión que se aplica no supera los valores máximos fijados en las hojas de especificaciones técnicas. Se pueden dar dos casos diferentes a tener en cuenta:

- **Tensión inversa colector-base (V_{CBO}) con el emisor abierto:** En la Figura 23.66 se ha abierto el circuito del emisor; observa cómo la unión formada por la base y el colector están polarizadas inversamente con la tensión V_{CB} . Como ocurría con los diodos, esto provoca la circulación de una pequeña corriente de fuga (I_{CBO}) que no será peligrosa hasta que no se alcance la tensión de ruptura de la unión. Normalmente esta tensión suele ser elevada (del orden de 20 a 300 V).

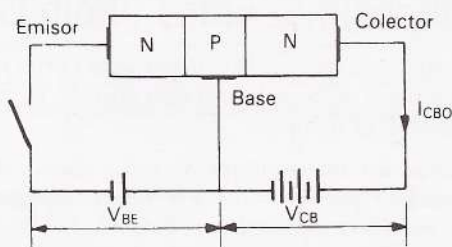


Figura 23.66. Transistor con el emisor abierto.

Nunca deberá trabajarse, por supuesto, con una tensión superior a la indicada por el fabricante en sus hojas técnicas. Este dato suele aparecer indicado con las siglas V_{CBO} .

- **Tensión inversa colector-emisor con la base abierta:** En este otro caso, se ha abierto la base y, por tanto, se aplica una tensión entre el colector y el emisor que es igual a la suma de las tensiones de las dos fuentes (Figura 23.67). Esta fuerte diferencia de potencial provoca un pequeño flujo de electrones que emite el emisor y que se sienten fuertemente atraídos por el potencial positivo de la fuente. El resultado es una pequeña corriente de fuga de emisor a colector I_{CEO} . Al igual que ocurría anteriormente, el valor de esta corriente está determinado por la tensión colector-emisor (V_{CEO}) aplicada. En las hojas técnicas también aparece la tensión máxima de funcionamiento (V_{CEO}), que en ningún caso debe ser superada, para evitar el peligro de destrucción del semiconductor.

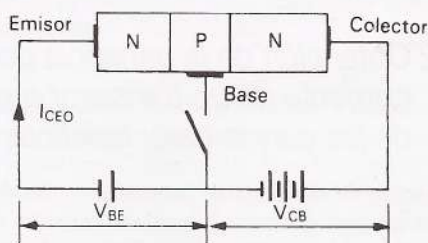


Figura 23.67. Transistor con la base abierta.

Así por ejemplo, para el transistor BC 108, en las hojas de especificaciones técnicas aparecen los siguientes valores para las tensiones de ruptura, $V_{CBO} = 30$ V y $V_{CEO} = 20$ V, lo que significa que este transistor nunca deberá operar con tensiones superiores a estos valores especificados.

23.6.7 Características de los transistores bipolares

Las curvas características del transistor relacionan entre sí todas las magnitudes de tensión e intensidad de corriente que se dan en el mismo, como son: la tensión colector-emisor (V_{CE}), la tensión base-emisor (V_{BE}), la tensión colector-base (V_{CB}), la corriente de base (I_B), la corriente de colector (I_C) y la corriente de emisor (I_E). De esta forma, conociendo las curvas características se puede entender el funcionamiento del transistor, así como determinar la mayor parte de los aspectos que definen al mismo.

23.6.7.1 Curvas características con el emisor común (EC)

La mayoría de los circuitos con transistores utilizan el emisor como terminal común entre la entrada y la salida. En la Figura 23.68 se muestra el circuito básico con la configuración en emisor común (EC).

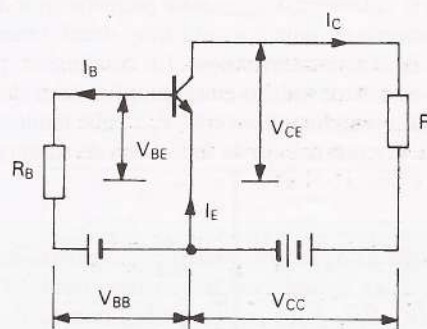


Figura 23.68. Transistor en emisor común.

Ahora la base hace de electrodo de entrada y el colector de electrodo de salida.

El funcionamiento del transistor es como sigue. Cuando la tensión de polarización directa V_{BE} del diodo emisor-base supera los 0,7 V (para transistores de silicio), los electrones libres, que provienen del emisor, traspasan la delgada capa de la base, en dirección al colector, empujados por el fuerte potencial eléctrico causado por la polarización inversa V_{CE} . Como podremos comprobar en las curvas **características $I_C = f(V_{CE})$ para $I_B = \text{cte}$** , el valor de la corriente de colector dependerá casi exclusivamente de la corriente de base.

Estas características también son conocidas como familia de colector, ya que son las correspondientes a la tensión e intensidad del colector. En la Figura 23.69 se muestra una familia de curvas de colector para diferentes valores constantes de la corriente de base.

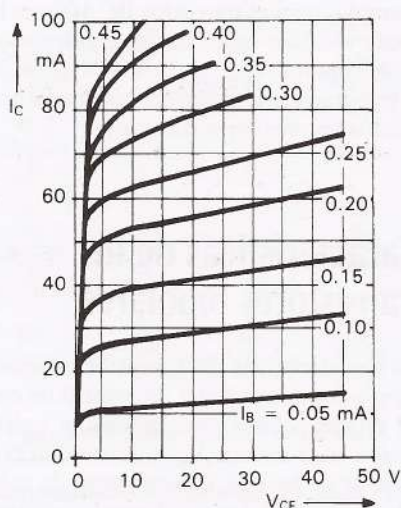


Figura 23.69. Curvas $I_C = f(V_{CE})$ para I_B constante.

Estas curvas representan, en cierto modo, la forma de funcionamiento del transistor. Se puede comprobar que, para una tensión constante de colector-emisor, si se producen pequeñas variaciones de la corriente de base (del orden de μA) esto origina unas variaciones en la corriente del colector mucho más elevadas (del orden de mA). De lo cual se deduce la capacidad del transistor para amplificar corrientes.

Observa que, en la mayor parte de las curvas, la tensión V_{CE} afecta muy poco a la corriente de colector I_C . Si se aumenta V_{CE} demasiado (por encima de V_{CE0}), la unión del colector entra en la región de ruptura y éste puede llegar a destruirse. Sin embargo, si la tensión V_{CE} es muy pequeña (por debajo de 0,7 V), la corriente de colector será muy débil, obteniéndose una ganancia de corriente muy baja. En conclusión, para conseguir que el transistor trabaje como amplificador de corriente, la tensión de polarización inversa V_{CE} debe mantenerse por encima de 0,7 V y por debajo de la tensión de ruptura.

Experiencia 23.8: Esta experiencia consistirá en determinar las curvas de colector de un transistor NPN, por ejemplo el BC 107. Para trazar dichas curvas recurriremos al circuito de la Figura 23.70.

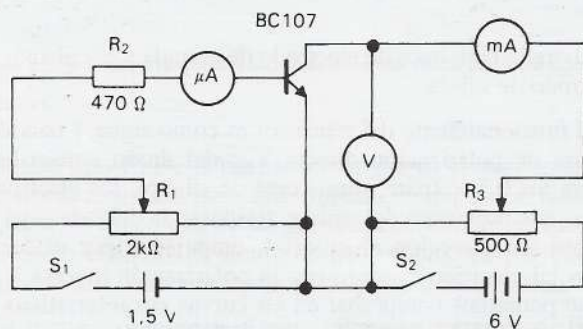


Figura 23.70. Ensayo para determinar las curvas de colector de un transistor.

Una vez montado el circuito de la Figura 23.52, el proceso que deberás seguir para trazar las curvas es el siguiente:

1) La primera curva a obtener será para una intensidad de base igual a cero ($I_B = 0$). Para lo cual es aconsejable seguir los siguientes pasos:

- Cerrar el interruptor S_2 y abrir S_1 ; ajustar el potenciómetro R_3 a su mínimo valor, hasta conseguir que el voltímetro indique cero voltios ($V_{CE} = 0$); anotar las medidas de I_C y V_{CE} .
- Ajustar R_3 hasta que la tensión V_{CE} indique el valor máximo que puede aportar la fuente de polarización inversa, es decir 6 V; anotar nuevamente las medidas de I_C y V_{CE} .
- Una vez que hemos averiguado los puntos extremos de la curva, escoger ocho puntos intermedios entre el límite inferior $V_{CE} = 0$ y el superior $V_{CE} = 6$ V. Para hacerlo ajustar R_3 y medir en cada uno de los puntos seleccionados los valores correspondientes de I_C .
- Terminada esta operación, llevar los puntos a unos ejes de coordenadas y trazar la curva correspondiente a $I_B = 0$.

2) El siguiente paso será obtener otra curva para una intensidad de base lo más alta posible. El proceso a seguir es el siguiente:

- Cerrar los interruptores S_1 y S_2 ; ajustar R_3 hasta conseguir que $V_{CE} = 0$ V y R_1 hasta conseguir que I_B sea máximo; anotar las medidas de I_C y V_{CE} .
- Seguir el mismo procedimiento anterior para conseguir ocho puntos intermedios de la curva, procurando que la intensidad de base permanezca constante. Una vez hecho esto, trazar la curva correspondiente.

3) Para completar la familia de curvas, se escogen 4 o 5 valores intermedios de la corriente de base y, siguiendo el mismo procedimiento que el indicado con anterioridad, se trazan las curvas correspondientes a los mismos.

La familia de curvas obtenidas nos da una idea muy clara del efecto de regulación que posee la intensidad de base (I_B) sobre la de colector (I_C), ya que según aumenta débilmente I_B (μA), aumenta en mayor grado I_C (mA). Este fenómeno se plasma más claramente en el concepto de ganancia de corriente (β).

En la actualidad, no es habitual realizar un ensayo como el realizado en la experiencia para trazar las curvas a mano. Para ello existen unos equipos llamados trazadores, los cuales consiguen dibujar las curvas características en un tubo de imagen o en un papel.

23.6.7.2 Obtención de la ganancia de corriente de un transistor a partir de las curvas características

La ganancia de corriente de un transistor se definía como la relación que se da entre la variación de la corriente de colector (ΔI_C) y la variación de corriente de base (ΔI_B). Para determinar dicha ganancia se puede recurrir a las características de colector.

Supongamos que las curvas características del transistor ensayado es la que se muestra en la Figura 23.71.

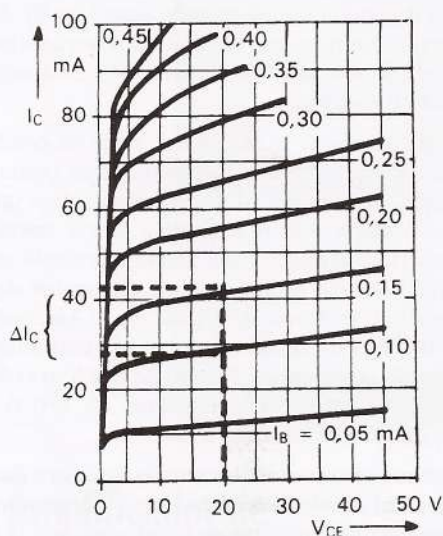


Figura 23.71

Para un punto de funcionamiento situado en $V_{CE} = 20$ V, según las curvas de la Figura 23.71, la intensidad de colector variará entre $I_C = 28$ mA e $I_C = 43$ mA, mientras que la intensidad de base lo hará entre $I_B = 0,10$ mA e $I_B = 0,15$ mA. La ganancia se calcula así:

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{43 - 28}{0,15 - 0,10} = 300$$

¿Qué ganancia de corriente posee el transistor BC 107 que has ensayado en la Experiencia 23.8?

23.6.7.3 Influencia de la temperatura ambiente en la potencia máxima de un transistor

La potencia máxima que puede disipar, en forma de calor, un transistor depende de la temperatura máxima permitida en la unión del colector T_j (máx). Esta temperatura nunca debe ser superada, ya que a partir de ella se puede destruir el transistor. Este dato aparece en las hojas de características del componente. Así, por ejemplo, el transistor BC 107 posee una T_j (máx) de 175 °C.

La potencia máxima a que puede trabajar un transistor también depende de la temperatura ambiente. Hay que tener en cuenta que el calor producido en las uniones se conduce a través del encapsulado del transistor y se disipa al aire que le rodea. Cuanto mayor sea la temperatura de este aire (temperatura ambiente), peor será la ventilación del transistor, y por lo tanto, menor la potencia máxima que se le puede exigir al mismo.

Por lo general, en las hojas técnicas se indica la potencia máxima para una temperatura ambiente de 25 °C.

En el caso de que la temperatura ambiente fuese superior habría que encontrar la potencia máxima de funcionamiento

para que el transistor trabaje dentro de sus límites de temperatura admisibles.

En el caso de que se desee aumentar la potencia de un transistor, se puede acoplar un disipador de calor, o aleta de refrigeración en la superficie de la cápsula. De esta forma, se consigue que el calor se evacue con mayor facilidad hacia el aire exterior.

En otras ocasiones se une, mediante tornillos, la cápsula del transistor con el chasis, que en este caso actúa como disipador de calor, por tener una gran superficie.

23.7 Tiristores

Los tiristores son una serie de componentes semiconductores que poseen unas características que los hace ideales para trabajar en el control de grandes corrientes eléctricas. Este tipo de semiconductores tiene un gran campo de aplicación en la electrónica industrial o electrónica de potencia. Con ellos es posible controlar la potencia de receptores en C.C. y en C.A. De esta forma, es posible regular la velocidad de motores eléctricos, controlar la intensidad luminosa de equipos de alumbrado, sustituir a los relés y contactores en el control y accionamiento de dispositivos de potencia, etc.

Los tiristores trabajan en forma de conmutación; es decir, poseen dos estados de funcionamiento: conducen o no conducen. De esta forma es posible controlar grandes corrientes eléctricas sin que el semiconductor se caliente excesivamente. Como ejemplos de tiristores tenemos el rectificador controlador de silicio (SCR) y el tiristor. El SCR es similar a un diodo rectificador, pero al que se le ha añadido un tercer terminal de puerta con el que se consigue iniciar la conducción del mismo (Figura 23.72 a). El triac también posee un tercer terminal de puerta, pero está preparado para conducir en ambos sentidos, a diferencia del SCR que conduce en un sólo, por lo que es capaz de controlar los dos semiciclos de la C.A. (Figura 23.72 b).

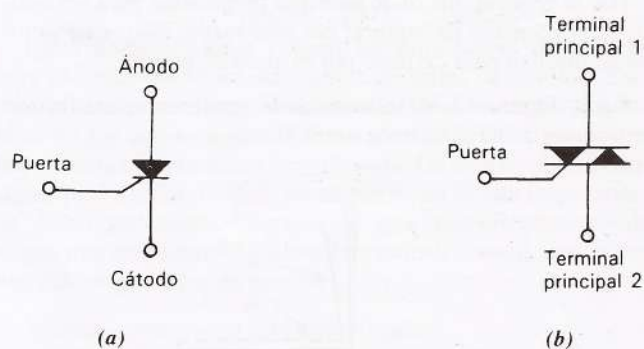


Figura 23.72. Representación esquemática de tiristores. (a) El SCR. (b) El triac.

Los tiristores son componentes semiconductores que poseen tres uniones, a diferencia de las dos con las que se construyen los transistores comunes. Estudiaremos primero el diodo PNPN de cuatro capas, y posteriormente, pasaremos al estudio concreto del tiristor o rectificador controlado de silicio (SCR).

A partir de este elemento aparecen otros con algunas variantes, como son los diac, triac y UJT.

23.7.1 El rectificador controlado de silicio (SCR)

Este elemento constituye uno de los dispositivos electrónicos más adecuados para sustituir al relé electromagnético. Su funcionamiento es muy rápido, seguro y, al no poseer contactos móviles, de gran duración.

En la Figura 23.73. se muestra la composición de un SCR y su símbolo.

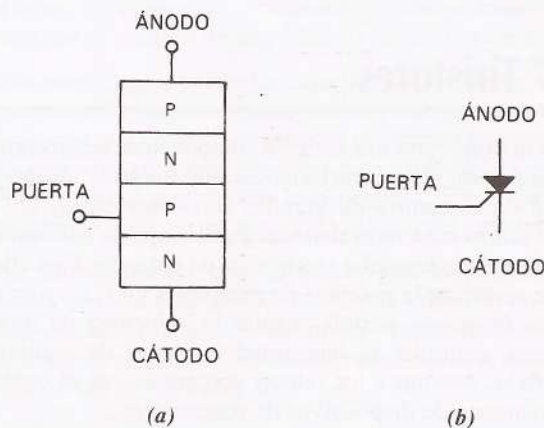


Figura 23.73. Rectificador controlado de silicio (SCR). (a) Composición. (b) Representación esquemática.

Este dispositivo conduce únicamente en un sentido cuando se cumplen las condiciones de disparo, que se darán cuando se excite positivamente la puerta o cuando se supere la tensión de ruptura del mismo. En las hojas de especificaciones técnicas de los SCR se facilitan los valores de tensión y corriente de disparo. Así, por ejemplo, el tiristor 2N 6389 posee una tensión de disparo en puerta (V_g) de 0,7 V y una corriente de disparo en puerta (I_g) de 8 mA, siendo su tensión de ruptura directa (V_d) de unos 600 V.

Por lo general, los SCR no están preparados para ser activados por tensión de ruptura; por esta razón, éstos casi siempre se diseñan para cerrarse por disparo de puerta.

En la Figura 23.74 se muestra la curva característica de tensión-corriente directa de un SCR.

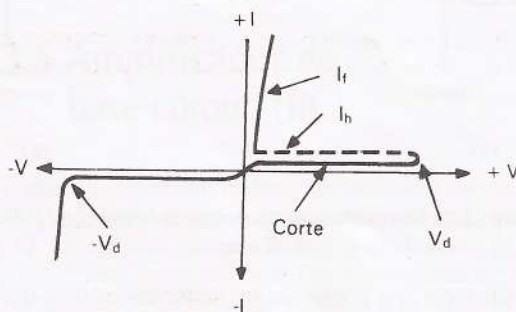


Figura 23.74. Curva característica del SCR.

I_f = Corriente de conducción

I_h = Corriente de mantenimiento

V_d = Tensión directa de ruptura

$-V_d$ = Tensión inversa de ruptura

En esta curva no se ha tenido en cuenta la corriente de polarización de puerta (se ha trazado para $I_g = 0$). En ella se puede observar que para que el SCR entre en conducción, es necesario aplicar una tensión directa (V_d) bastante elevada entre el ánodo y el cátodo.

Una vez disparado el SCR, éste se pone en conducción y aumenta su corriente directa, comportándose como un interruptor cerrado. Por lo general, las corrientes directas que son capaces de conducir los SCR pueden llegar hasta algunos miles de amperios, lo que lo hace ideales para aplicaciones de tipo industrial (control de potencia de elementos de calefacción, iluminación, motores eléctricos, etc.). Así, por ejemplo el SCR 2N 6389 es capaz de conducir una corriente de 12 A con una pequeña corriente de disparo de 8 mA; o el S 6210 D, que es capaz de manejar una corriente de 170 A con una corriente de disparo de también 8 mA.

Es importante observar en las curvas que para que el SCR permanezca en el estado de conducción es necesario que por él circule una corriente mínima de mantenimiento (I_h). Para el 2N 6389 esta corriente es de 10 mA, mientras que para el S 6210 D es de 9 mA.

En la región de polarización inversa el SCR se comporta como un diodo normal.

En resumen, la forma habitual de disparar un SCR es aplicando a la puerta un pulso. Para desactivar el SCR bastará con reducir la corriente directa del mismo hasta un valor inferior a la de mantenimiento.

23.7.2 El diac

A diferencia del SCR, que únicamente admitía el paso de la corriente en un sentido, el diac permite que ésta fluya en ambas sentidos. Este dispositivo sólo posee dos terminales.

La aplicación fundamental de este dispositivo es la de producir los impulsos de disparo para los SCR y triacs.

Un diac está constituido por dos diodos de cuatro capas conectados en paralelo y en oposición, a los que se les ha desprovisto del terminal de puerta. En la Figura 23.75 se muestra su constitución y su símbolo.

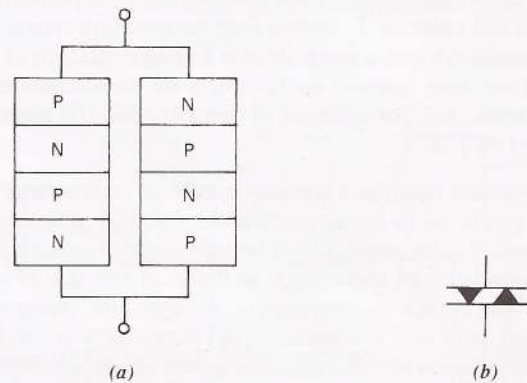


Figura 23.75. Diac. (a) Composición. (b) Representación esquemática.

Dado que no existe terminal de puerta, la única forma de que exista conducción en cualquiera de los dos diodos es apli-

cando una tensión directa superior al de ruptura de la unión polarizada.

La forma de que deje de conducir un diac, una vez disparado, es reduciendo la corriente directa a un valor inferior al de mantenimiento.

En la Figura 23.76 se puede apreciar la curva característica de un diac:

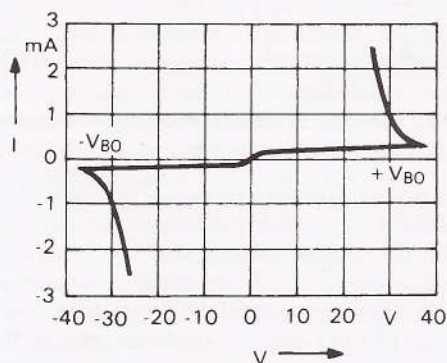


Figura 23.76. Curva característica del diac.

Aquí se puede comprobar que, hasta que no se supere la tensión de ruptura V_{BO} , el diac no entra en conducción y que además ésta puede ser positiva ($+V_{BO}$) o negativa ($-V_{BO}$).

Si aplicamos un C.A. a un diac, éste conduce en ambos sentidos cuando la tensión supere a la de ruptura.

En la Figura 23.77 se muestra una de las aplicaciones del diac. Se trata de controlar la potencia de un horno mediante un SCR y un diac. Para ello alimentamos el circuito con una C.A. senoidal y, mediante el potenciómetro R_2 , regulamos el tiempo de disparo del SCR gracias al circuito formado por el condensador C y el diac.

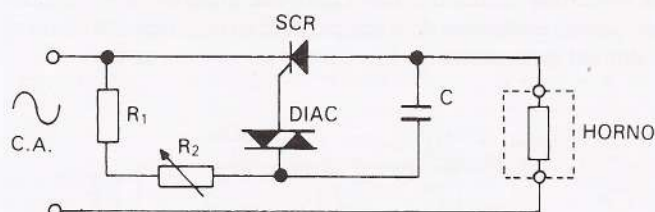


Figura 23.77. Control de potencia de una carga de C.A. mediante SCR controlado por diac.

Al disminuir el valor óhmico de R_2 se consigue que el tiempo de carga del condensador C sea menor. Al alcanzarse la tensión de ruptura del diac, éste entra en conducción y descarga al condensador hacia la puerta del SCR, provocando el disparo del mismo. De esta forma, variando el valor del potenciómetro R_2 podemos conseguir variar el período de conducción del SCR y con él la potencia del horno. En este circuito el SCR sólo conduce durante el semiciclo negativo, permaneciendo bloqueado durante el semiciclo positivo. Para conseguir que este circuito alimente al receptor durante los dos semiciclos será necesario el empleo de un nuevo componente: el triac.

23.7.3 El triac

El triac es un elemento que, al igual que el diac, admite el paso de la corriente en ambas direcciones. Este dispositivo posee tres terminales y se comporta como dos SCR invertidos en paralelo.

Al igual que el diac, el triac se forma al conectar en paralelo dos diodos de cuatro capas en oposición, con la diferencia de que ahora se conserva el terminal común de puerta. En la Figura 23.78 se puede ver su constitución y su símbolo.

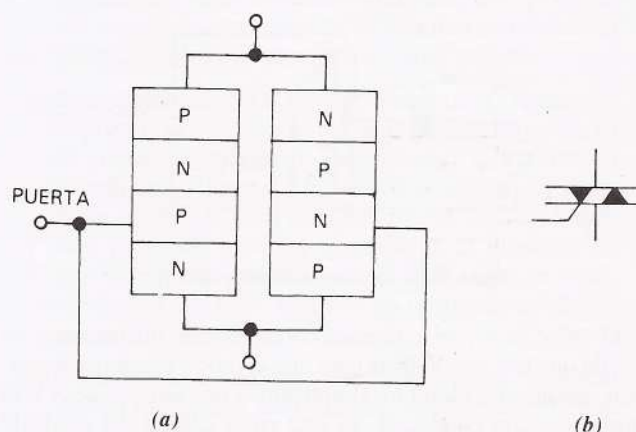


Figura 23.78. Triac. (a) Constitución. (b) Representación esquemática.

El funcionamiento de este dispositivo es básicamente como el del diac, con la gran diferencia de que ahora se le puede disparar mediante impulsos aplicados al terminal de puerta. Por esta razón, la tensión de ruptura de un triac suele ser bastante elevada.

Según la polaridad de la tensión aplicada a los terminales del triac, así será la polaridad del impulso aplicado al terminal de puerta para que éste se dispare.

La aplicación fundamental de los triacs está en el control y regulación de potencia en C.A.

23.7.4 El transistor de unijuntura (UJT)

Este dispositivo se utiliza, fundamentalmente, como generador de pulsos de disparo para SCR y triacs.

El UJT es un componente que posee tres terminales: dos bases y un emisor, tal como se muestra en la Figura 23.79.

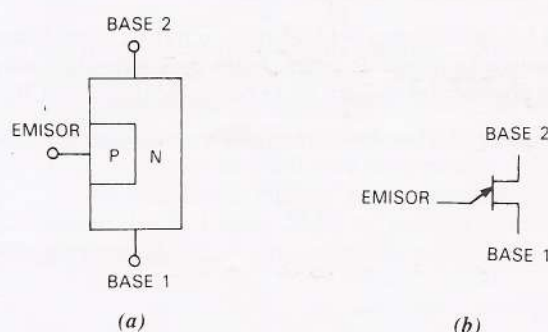


Figura 23.79. Transistor de unijuntura (UJT). (a) Constitución. (b) Representación esquemática.

En la Figura 23.79 a se puede apreciar la constitución de un UJT, que en realidad está compuesto solamente por dos cristales. Al cristal P se le contamina con una gran cantidad de impurezas, presentando en su estructura un número elevado de huecos. Si embargo, al cristal N se le dopa con muy pocas impurezas, por lo que existen muy pocas electrones libres en su estructura. Esto hace que la resistencia entre las dos bases R_{BB} sea muy alta cuando el diodo del emisor no conduce.

Para entender mejor cómo funciona este dispositivo, vamos a valernos del circuito equivalente de la Figura 23.80.

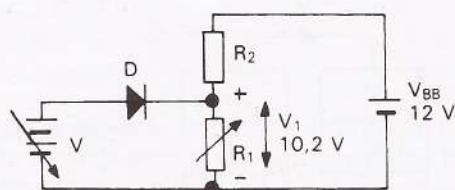


Figura 23.80. Circuito equivalente del UJT.

Al valor de V_1 se le conoce como tensión intrínseca, y es aquella que hay que aplicar para que el diodo comience a conducir. En nuestro ejemplo, si aplicamos una tensión de 8 V al emisor, éste no conducirá, ya que en el cátodo del diodo D existe un potencial positivo de 10,2 V (ver Figura 23.80), correspondientes a la tensión intrínseca, por lo que dicho diodo permanecerá polarizado inversamente. Sin embargo, si aplicamos una tensión superior a 10,9 V (los 10,2 V de V_1 más 0,7 V de la tensión de barrera del diodo D), el diodo comenzará a conducir, produciéndose el disparo o encendido del UJT. En resumen, para conseguir que el UJT entre en estado de conducción es necesario aplicar al emisor una tensión superior a la intrínseca.

Una vez que conseguimos que el diodo conduzca, por efecto de una tensión de polarización directa del emisor respecto a la base 1, los portadores mayoritarios del cristal P (huecos) inundan el tramo de cristal de tipo N comprendido entre el emisor y dicha base (recordar que el cristal P está fuertemente contaminado con impurezas y el N débilmente). Este efecto produce una disminución repentina de la resistencia R_1 y con ella una reducción de la caída de tensión en la base 1 respecto del emisor, lo que hace que la corriente de emisor aumente considerablemente.

Mientras la corriente de emisor sea superior a la de mantenimiento (I_V), el diodo permanecerá en conducción. Esta corriente se especifica normalmente en las hojas de características, y suele ser del orden de 5 mA.

Una de las aplicaciones del UJT más común es como generador de pulsos en diente de sierra. Estos pulsos resultan muy útiles para controlar el disparo de la puerta de triacs y SCR.

En la Figura 23.81 se muestra el esquema de uno de estos circuitos.

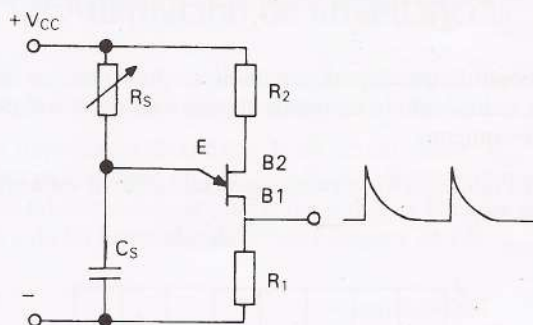


Figura 23.81. Generador de pulsos de diente de sierra mediante UJT.

Su funcionamiento es como sigue: al aplicar una tensión V_{CC} al circuito serie R-C, formado por la resistencia variable R_S y el condensador C_S , dicho condensador comienza a cargarse. Como este condensador está conectado al emisor, cuando se supere la tensión intrínseca, el UJT entrará en conducción. Debido a que el valor óhmico de la resistencia R_1 es muy pequeño, el condensador se descargará rápidamente, y en el terminal de B_1 aparecerá un impulso de tensión. Al disminuir la corriente de descarga del condensador, sobre el emisor del UJT, por debajo de la de mantenimiento, éste se desceba y comienza otro nuevo ciclo de carga y descarga del condensador. Así, se consigue que en el terminal de la base 1 aparezca una señal pulsante en forma de diente de sierra, que puede utilizarse para controlar los tiempos de disparo de un SCR o de un triac. Para regular el tiempo de disparo es suficiente con modificar el valor óhmico de la resistencia variable R_S , ya que de ésta depende la constante de tiempo de carga del condensador.

En la Figura 23.82 se muestra una típica aplicación del generador de pulsos de diente de sierra con UJT para controlar el disparo de un SCR. Mediante este circuito controlamos la velocidad de un motor serie (o de cualquier otro tipo de carga: estufas, lámparas, etc.) gracias a la regulación de la corriente que realiza sobre medio ciclo el SCR. Para controlar la velocidad del motor, basta con modificar la frecuencia de los pulsos en dientes de sierra, lo cual se consigue variando el valor del potenciómetro R_S .

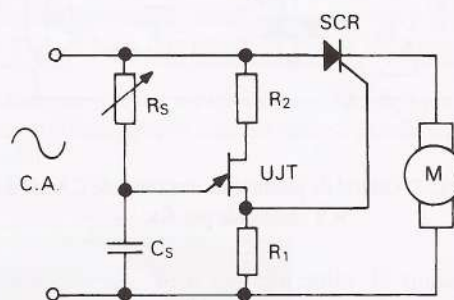


Figura 23.82. Control de velocidad de un motor mediante SCR y UJT.

Actividades

1. Consigue resistencias de todos los tipos y realiza una clasificación de las mismas. Comprueba su valor óhmico mediante el código de colores y contrasta los resultados midiendo la resistencia mediante un óhmetro.
2. Consigue un diodo y un polímetro. Para comprobar si el estado de la unión del diodo es perfecto, basta con conectar el polímetro utilizado como óhmetro entre los terminales del mismo, de tal forma que la punta de prueba (-) esté unida al cátodo del diodo, y la (+) al ánodo.

Si el resultado de la medida es cero ohmios será señal de que el diodo está en buen estado. Una vez que hayas comprobado esto último, invierte las conexiones. Si el polímetro indica infinito, el diodo está en perfecto estado.

Conviene tomar ciertas precauciones cuando se trata de comprobar diodos de pequeña potencia, ya que se puede dar el caso en que la corriente que proporciona el óhmetro para tomar la medida sea suficiente para destruirlo.

3. Consigue algunos diodos y monta un circuito rectificador monofásico de media onda y otro de onda completa. Mide con un voltímetro la tensión de salida en ambos casos. Después conecta un osciloscopio a la salida de cada uno de los rectificadores y compara los resultados.
4. En la Figura 23.83 se muestra el circuito correspondiente a una fuente de alimentación estabilizada. El puente rectificador y el filtro con condensador consiguen una tensión continua con una tensión de rizado determinada. El efecto combinado del diodo Zener y la resistencia de polarización consiguen reducir la tensión de rizado a valores muy pequeños y estabilizar la tensión en la carga, aunque ésta se modifique.

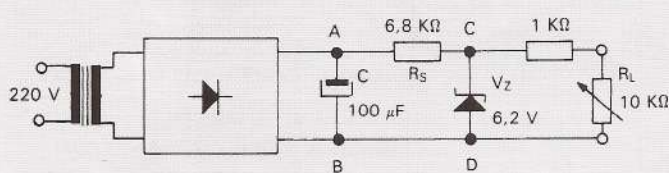


Figura 23.83. Fuente de alimentación estabilizada con diodo zener.

El diodo Zener utilizado como regulador podría ser el BZX85-C6V2 o el BZY96-C6V2, es decir un diodo que posea unos 6,2 V de tensión Zener. Para comprobar el efecto de estabilización cuando la carga se modifica, se ha utilizado un potenciómetro de 10 KΩ, conectado con una resistencia fija de 1 KΩ.

- a) Consigue el Zener, observa su aspecto e identifica sus terminales. Seguidamente, consulta en las especificaciones técnicas que facilita el fabricante del mismo, y anota los valores característicos más relevantes del diodo seleccionado.
 - b) Monta el circuito de la Figura 23.83 en el entrenador didáctico y, antes de suministrar energía al primario del transformador, sitúa en su máxima resistencia al potenciómetro que simula a la carga variable.
 - c) Suministra energía al circuito y mediante un osciloscopio comprueba el aspecto de la tensión de salida en el puente rectificador (puntos A-B). Realiza la misma operación para la tensión de salida del regulador (puntos C-D) y compara los resultados obtenidos, poniendo especial atención en la disminución que el regulador produce en el rizado. Con un voltímetro de C.C. mide también las tensiones en dichos puntos.
 - d) Varía la carga mediante el potenciómetro, haciendo que su resistencia sea cada vez más pequeña. Repite las medidas del apartado (c) en cada una de las modificaciones de la carga y comprueba el efecto estabilizador del diodo Zener para cualquier régimen de carga.
5. Consigue varios transistores y comprueba con el polímetro cuáles NPN y cuáles son PNP, así como la disposición de sus terminales. Al mismo tiempo, averigua si están en buen estado. Seguidamente, consigue las hojas de características de los fabricantes de los transistores verificados e identifica los valores característicos más significativos de los mismos. Para facilitar la tarea de identificación de los transistores, consigue los códigos y normas internacionales más usuales para identificar dispositivos semiconductores y comprueba las referencias dadas por los fabricantes de los mismos.
 6. Toma un transistor de silicio y otro de germanio, y mediante un polímetro digital con transistómetro, averigua su ganancia a temperatura ambiente. Seguidamente, aumenta la temperatura de los transistores (por ejemplo, acercando una lámpara incandescente) y comprueba cómo aumenta la ganancia de los mismos con la temperatura, especialmente en el de germanio.
 7. Se tratar de realizar un circuito que, aprovechando las propiedades del transistor, sea capaz de activar una lámpara cuando el nivel de iluminación se reduce hasta valores propios de la oscuridad de la noche. Este circuito es muy útil para el encendido automático del alumbrado público en los cambios de día-noche. En la Figura 23.84 se muestra el esquema correspondiente al circuito en cuestión.

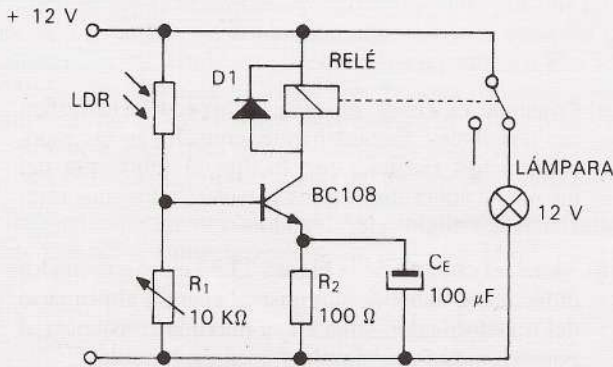


Figura 23.84. Circuito de un interruptor accionado por la luz.

Para su montaje necesitaremos:

- Una LDR, que es la que va a hacer las veces de sensor luminoso.
- Un transistor BC 108 o similar, que es el que va a ser capaz de aportar la suficiente corriente para excitar la bobina del relé electromagnético.
- Un relé, que es el que va a abrir y cerrar el circuito principal de las lámparas de alumbrado.
- Un potenciómetro R_1 de $10\text{ K}\Omega$, el cual se ajustará para conseguir la activación del relé para una determinada iluminación.
- Una resistencia R_2 de $100\ \Omega$ y un condensador de $100\ \mu\text{F}$, los cuales se encargarán de dar estabilidad al transistor.

- Un diodo D1 1N4001 para evitar la destrucción del transistor cuando se desconecte el relé (al desconectarse la bobina del relé, la energía acumulada por la misma, por el efecto de autoinducción, se manifiesta como una sobretensión inversa de descarga que puede llegar a destruir las uniones del transistor; el diodo conectado en derivación con dicha bobina, descarga esta energía por sí mismo, protegiendo al transistor).

El funcionamiento de este circuito es muy sencillo: para niveles de iluminación elevados (luz de día), la LDR posee un valor lo suficientemente bajo para polarizar la base del transistor y ponerlo en conducción. En estas condiciones, el transistor se comporta como un interruptor cerrado y excita la bobina del relé, el cual abre su contacto normalmente cerrado, quedando la lámpara de alumbrado apagada. Cuando la luz se reduce (noche), la LDR aumenta de valor y el transistor entra en corte (se comporta como un interruptor abierto), lo que provoca la desactivación del relé y el encendido de la lámpara.

Monta el circuito propuesto en la Figura 23.84 y comprueba su funcionamiento. Para conseguir el punto óptimo de activación de las lámparas deberás ajustar el potenciómetro R_1 .

8. Consigue un SCR, un triac, un diac y un UJT, comprueba la disposición de sus terminales y consulta sus características en las hojas de especificaciones técnicas que facilita el fabricante de los mismos.
9. Consulta en Internet (<http://www.t2000idiomas.com/electrotecnia>) sobre los temas relacionados con este capítulo e intenta contrastar y ampliar la información obtenida.

Autoevaluación

- 1) Determina el valor óhmico de las siguientes resistencias que aparecen con los colores
- R_1 : (rojo, violeta, naranja, plata)
 R_2 : (marrón, rojo, naranja, rojo)
 R_3 : (marrón, verde, gris, oro)
- 2) Determina el valor óhmico de las siguientes resistencias que aparecen con los colores
- $R_1 = 24 \text{ KW} \pm 5\%$
 $R_2 = 68 \text{ KW} \pm 10\%$
 $R_3 = 110 \text{ KW} \pm 2\%$
- 3) En una resistencia NTC:
- a) La resistencia aumenta con la temperatura
b) La resistencia aumenta con la tensión
c) La resistencia disminuye con la temperatura
- 4) Es una resistencia LDR:
- a) La resistencia aumenta con la luz
b) La resistencia aumenta con la temperatura
c) La resistencia disminuye con la luz
- 5) ¿A qué tensión de polarización comienzan a conducir los diodos de silicio?
- a) 0,3 V
b) 1 V
c) 0,7 V
- 6) ¿A qué se debe una corriente inversa elevada por el diodo?
- a) A la aplicación de una tensión directa también elevada
b) A la aplicación de una tensión inversa también elevada
c) A la elevación de la corriente por el diodo
- 7) ¿Con qué sistema de rectificación se consigue una tensión de salida con menos rizado?
- a) Rectificador monofásico de onda completa
b) Rectificador trifásico de media onda
c) Rectificador trifásico de onda completa
- 8) El diodo Zener funciona normalmente en polarización:
- a) Directa
b) Sin polarización
c) Inversa
- 9) Dibuja el circuito básico de un regulador de tensión con Zener y explica cómo se consigue el efecto estabilizador de la tensión en la carga.
- 10) ¿Qué ocurre con la corriente de colector al aumentar la tensión de polarización directa V_{BE} aplicada entre la base y el emisor de un transistor?
- a) Disminuye
b) También aumenta
c) Se mantiene invariable
- 11) ¿Cuál de las corrientes de un transistor es más baja?
- a) La de emisor
b) La de colector
c) La de base
- 12) En un transistor se ha medido una variación de corriente de colector de 98 mA y una variación de 100 mA en la corriente de emisor. Teniendo en cuenta que en un transistor se cumple que $I_E = I_C + I_B$, determinar la ganancia del transistor.
- 13) ¿Cómo se suele provocar habitualmente el disparo de los SCR?
- a) Aplicando una pequeña corriente en el terminal de puerta
b) Aplicando una tensión directa disruptiva
c) Aplicando una tensión inversa
- 14) ¿Cuál es la diferencia entre un SCR y un triac?
- a) El SCR puede conducir en ambos sentidos y el triac no.
b) El triac puede conducir en ambos sentidos y el SCR no.
c) El SCR posee dos terminales y el triac tres.