

## 15 MONTAJES CON RECTIFICADORES CONTROLADOS DE SILICIO (SCR O TIRISTORES)

Los tres dispositivos semiconductores que hemos visto hasta aquí fueron ideados en principio para su uso en circuitos de poca potencia. Sin embargo, paralelamente a su desarrollo, se idearon otros dispositivos destinados a circuitos conmutadores o interruptores de alta potencia siendo el más importante, sin duda, el «rectificador controlado de silicio» conocido también como TIRISTOR o *SCR* (*Silicon Controlled Rectifier*).

El símbolo empleado para la designación esquemática de un SCR está mostrado en la Fig. 4.1a. Puede observarse que este símbolo se parece mucho al de un rectificador normal por cuanto sólo se le ha añadido un terminal más denominado «puerta». Prácticamente el SCR debe verse como un rectificador de silicio modificado que presenta las siguientes características fundamentales:

- (1) En situación normal, sin polarización alguna aplicada a la puerta, el *SCR* se halla «bloqueado» y respecto a sus electrodos ánodo y cátodo actúa como si se tratara de un interruptor abierto permitiendo únicamente el paso de una corriente insignificante en ambas direcciones.
- (2) Cuando se une la puerta a una tensión positiva de polarización, el *SCR* actúa como un rectificador normal de silicio conduciendo corriente en un solo sentido (entre cátodo y ánodo) e impidiendo el paso de dicha corriente en sentido opuesto.

- (3) Una vez que el SCR ha abierto su conducción y está dejando pasar la corriente en un solo sentido, la puerta pierde todo control de dicha corriente y el dispositivo continúa conduciendo aun cuando cese la polarización de la puerta. Resulta pues que sólo es necesario un breve impulso de tensión positiva aplicado a la puerta para que el interruptor quede permanentemente cerrado y la conducción permanente abierta.
- (4) Una vez que se ha abierto la conducción del SCR sólo puede cerrarse mediante la interrupción o reducción a cero de la intensidad de corriente que lo atraviesa. Evidentemente en los circuitos de corriente alterna el cierre de la conducción ocurre forzosamente en cada semiciclo negativo. Conviene recordar en consecuencia que NO ES POSIBLE cerrar la conducción de un SCR, una vez abierta, por medio de la puerta.

En la práctica se conecta la carga exterior en serie con el SCR para que éste haga las veces de interruptor. Esta disposición permite la conmutación de cargas de alta potencia con la mayor eficiencia. Suponiendo, por ejemplo, que un SCR se halle conectado a una carga que requiera una corriente de 3 A procedente de una fuente de alimentación de 400 V, ocurrirá que con la conducción del SCR cortada sólo circulará una corriente de fugas insignificante sin que llegue a disiparse potencia significativa alguna en el circuito; pero tan pronto como el SCR abra su conducción circulará la totalidad de la intensidad de 3 A tanto a través del dispositivo semiconductor como a través de la carga útil con una caída de tensión en el propio SCR de tan sólo 2 V cuando se halle conduciendo; con ello únicamente se disiparán 6 W de potencia en el propio SCR mientras que la disipación de potencia en la carga será de casi 1.200 W.

Una de las mayores ventajas del rectificador controlado de silicio es que presenta una elevada ganancia en potencia entre su puerta y el circuito de carga exterior. Normalmente sólo se precisa de una corriente máxima de compuerta de 20 mA a 2 V de tensión para abrir la conducción de un SCR de 3 A, de manera que en el ejemplo anterior la ganancia total en potencia sería de 30.000.

Los rectificadores controlados de silicio pueden ser también utilizados como sustitutos de los relés electromecánicos conven-

cionales presentando las ventajas de que no tienen partes mecánicas móviles que sufran desgaste o que puedan dar lugar a arcos de chispa, son silenciosos en su trabajo, pueden operar a altas velocidades y no son sensibles a las vibraciones mecánicas por más intensas que sean ni tampoco a fuerzas de gravedad (G) elevadas.

### Teoría del SCR

Físicamente el SCR es un dispositivo de cuatro capas NPNP. La Fig. 4.1b muestra un diagrama simplificado de su estructura mientras que en la Fig. 4.1c puede verse una variante de su representación partiendo de la cual se evidencia que el SCR puede considerarse formado en principio por la disposición de dos transistores, uno NPN y el otro PNP, conectados tal como está indicado en la Fig. 4.1d y así el funcionamiento del SCR puede explicarse en los mismos términos que el funcionamiento del transistor. El valor resultante de  $R_1$  y  $R_2$  representa la resistencia entre puerta y cátodo del tiristor y el funcionamiento del circuito equivalente de la Fig. 4.1d puede explicarse de la siguiente forma:

Al conectar inicialmente la fuente de alimentación sin que exista ninguna tensión de polarización en la puerta, la base de  $Q1$  queda cortocircuitada con el cátodo a través de  $R_1$  y de  $R_2$ , de manera que  $Q1$  tiene cerrada su conducción y no permite la circulación de corriente de colector. Como sea que la corriente de base de  $Q2$  se deriva del colector de  $Q1$ , el transistor  $Q2$  se halla también con su conducción cerrada y no puede circular corriente alguna entre ánodo y cátodo.

Cuando se aplica a la puerta una tensión positiva de polarización se abre la conducción de  $Q1$  y circula una corriente por el colector de este transistor que se dirige directamente a la base de  $Q2$  abriendo a la vez la conducción de este segundo transistor. La corriente de colector que se origina en  $Q2$  vuelve a la base de  $Q1$  completando un circuito de realimentación positiva que lleva a los dos transistores a la condición de saturación dando lugar a una corriente muy intensa entre cátodo y ánodo. Una vez que se ha iniciado la regeneración ésta continúa con independencia de la tensión aplicada a la puerta y una vez alcanzada la saturación de ambos transistores éstos sólo pueden cerrar de nuevo su con-

ducción si momentáneamente se reduce a cero la corriente que los atraviesa bien sea cortocircuitando ánodo y cátodo o bien cortando las conexiones de unión con la fuente de alimentación. No es posible cerrar dicha conducción por medio de un cortocircuito entre puerta y cátodo porque  $R_1$  impide que la base de  $Q_1$  pueda quedar al potencial de cátodo y por tanto la corriente de colector de  $Q_2$  seguirá llegando directamente a la base de  $Q_1$ .

### Parámetros del SCR

Las características prácticas de un SCR quedan definidas por siete parámetros fundamentales que son los siguientes:

**Tensión inversa máxima ( $V_r$ ).** Como en el caso de los rectificadores convencionales, ésta es la máxima tensión de pico que puede soportar el dispositivo con polarización inversa sin riesgo de destrucción. Obsérvese que este parámetro se expresa en «tensión de pico» mientras que la mayoría de las tensiones de salida de las fuentes de corriente alterna se indican con valores de «tensión eficaz». La tensión de pico de una corriente alterna sinusoidal es aproximadamente 1,4 veces el valor de la tensión eficaz, de manera que si un SCR ha de trabajar unido a la salida de una fuente de corriente alterna, deberá tener una  $V_r$  de por lo menos 1,4 veces superior a la tensión eficaz de salida de la fuente de alimentación.

**Tensión continua directa máxima ( $V_f$ ).** Es la tensión de pico directa que puede soportar un SCR cuando no es conductor siendo, por regla general, de valor igual al de  $V_r$ . En los circuitos de corriente alterna la tensión  $V_f$  está sujeta a las mismas consideraciones que  $V_r$ .

**Corriente directa máxima ( $I_f$ ).** Es la máxima intensidad de corriente directa que puede circular entre cátodo y ánodo sin perjuicio para el dispositivo; puede expresarse tanto en valores eficaces como en valores medios. La mínima  $I_f$  necesaria para una determinada aplicación puede calcularse de manera sencilla mediante la fórmula:

$$I_f \text{ mínima} = \frac{\text{tensión alimentación}}{\text{resistencia de la carga}}$$

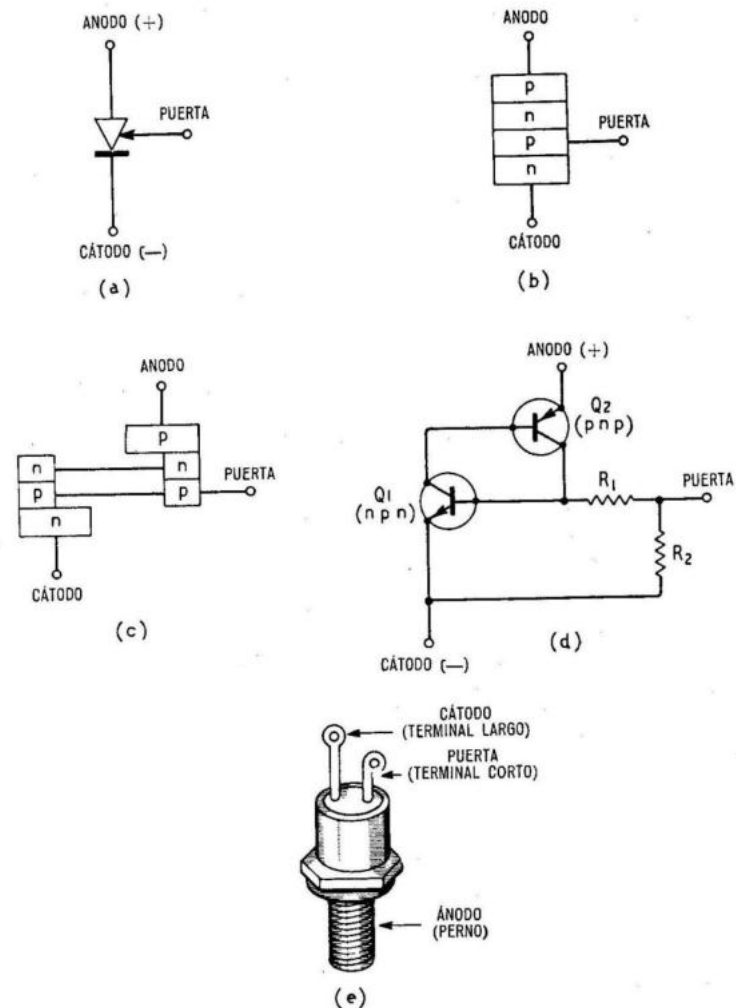


Fig. 4.1

(a) Símbolo del rectificador controlado de silicio llamado también «tiristor» o SCR. (b) Diagrama simplificado de la estructura semiconductor del SCR. (c) Variante representativa de la estructura semiconductor del SCR. (d) Esquema del circuito equivalente de un SCR según se deriva de la Fig. 4.1c. (e) Identificación de las conexiones del SCR típico

o en el caso de conocerse la disipación de la carga,

$$I_f \text{ mínima} = \frac{\text{disipación carga}}{\text{tensión alimentación}}$$

Si un SCR debe controlar una carga máxima de 1 kW procedente de una fuente de corriente alterna de 230 V, la  $I_f$  mínima será de  $1.000/230 = 4,35 A_{ef}$ . Al realizar estos cálculos debe tenerse presente que los dispositivos termoelectrónicos como las lámparas y los filamentos incandescentes disipan tres veces su potencia normal de régimen en el momento de la conexión (al estar fríos). Por otra parte, las perforadoras eléctricas, por ejemplo, pueden llegar a disipar varias veces su potencia nominal cuando se obstaculiza su giro por una carga mecánica excesiva (freno o atasco de la broca).

*Tensión de puerta (max) para abrir la conducción o para el disparo ( $V_g$ ).* Es la tensión máxima de polarización de la puerta necesaria para abrir la conducción o disparar al SCR. Presenta valores típicos entre 1 y 2 V.

*Corriente de puerta (max) para abrir la conducción o para el disparo ( $I_g$ ).* Es la intensidad de corriente máxima necesaria para el disparo del SCR. Suele tener un valor típico entre 1 y 30 mA. La unión puerta-cátodo actúa como un diodo de silicio normal presentando una impedancia muy baja cuando se halla polarizada en el sentido de la conducción y por este motivo en los montajes prácticos debe limitarse la corriente de puerta a un valor de seguridad por encima de  $I_g$  mediante la inserción de una resistencia en serie cuyo valor MÁXIMO está determinado por la fórmula :

$$\text{Resistencia máxima} = \frac{\text{tensión de puerta}}{I_g}$$

Pero como la intensidad de corriente máxima permisible en la puerta de un SCR está generalmente limitada a una décima parte del valor de  $I_f$ , el valor MÍNIMO de la resistencia de puerta viene dado por :

$$\text{Resistencia mínima} = \frac{10 \times \text{tensión de puerta}}{I_f}$$

Consecuentemente el valor óhmico a elegir para la resistencia de puerta deberá hallarse entre los dos límites señalados por las fórmulas anteriores.

*Corriente de mantenimiento máxima ( $I_{hm}$ ).* Anteriormente se dijo que para cerrar la conducción de un SCR debía reducirse a cero la corriente que lo atraviesa (cátodo-ánodo). En la práctica, sin embargo, resulta posible cerrar la conducción reduciendo dicha corriente a un valor que típicamente se sitúa entre 1 y 50 mA. De aquí que en la realidad un SCR no pueda mantener su conducción abierta si la corriente principal cátodo-ánodo es poco intensa y por ello los fabricantes especifican en las características la mínima intensidad cátodo-ánodo necesaria para que se mantenga dicha conducción abierta ( $I_h$ ) designándose como  $I_{hm}$  el valor más alto de esta corriente hallado en la totalidad de una serie de fabricación de los SCR. La trascendencia práctica de esta característica surge al limitar el valor máximo de la resistencia de carga de ánodo que puede utilizarse sin perturbar el funcionamiento del SCR (sin provocar el cierre de la conducción por insuficiencia de corriente).

*Máxima caída de tensión continua directa para  $I_f$  ( $V_{fm}$ ).* Es la caída de tensión continua directa máxima que tiene lugar entre los extremos del SCR cuando funciona o es atravesado por la máxima corriente permisible  $I_f$ . El valor típico de esta característica se sitúa alrededor de los 2 V.

Completada la descripción de las características generales del rectificador controlado de silicio, vamos a considerar 15 circuitos prácticos de interés. Cuantos circuitos se describen aquí son de baja tensión y pueden trabajar con cualquier tipo de SCR cuya  $I_f$  sea de 3  $A_{ef}$  y cuya  $V_f$  sea de 50 V, de manera que cualquier unidad de rectificador controlado con éstos o superiores parámetros podrá ser utilizado. La mayoría de los SCR tienen el aspecto mostrado en la Fig. 4.1e en la que quedan identificadas sus conexiones.

### Circuitos básicos para los interruptores electrónicos de c. c.

La Fig. 4.2 muestra un circuito interruptor básico con rectificador controlado de silicio cuya carga queda constituida por una lámpara o bombilla de 12 V y 500 mA. Cualquier clase de carga cuya corriente máxima no sobrepase los 3 A puede conectarse a este circuito teniendo siempre en cuenta que el SCR deberá mon-

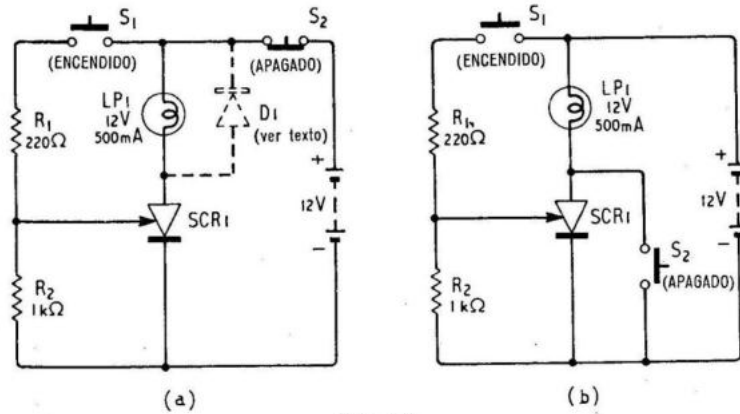


Fig. 4.2

(a) Circuito interruptor básico con SCR. (b) Variante del circuito anterior. En (a) y (b) SCR1 es un tiristor cualquiera con una  $V_r$  de 50 V de tensión inversa de pico y una  $I_f$  de 3 A como mínimo

tarse sobre un refrigerador si ha de trabajar con intensidades de corriente superiores a 1 A. Si la carga fuera inductiva debería cortocircuitarse con un diodo conectado con la polaridad invertida y cuya corriente de régimen sea al menos igual a la que debe circular por la carga, tal como está mostrado con trazo discontinuo en el esquema de la Fig. 4.2a, al objeto de evitar que una fuerza contraelectromotriz excesiva pueda llegar a dañar al circuito.

La apertura de la conducción del SCR y con ella la circulación de corriente por la lámpara se obtiene con la simple conexión de una tensión positiva de polarización de puerta a través del pulsador  $S_1$ . El circuito mantiene automáticamente su conducción abierta y por tanto sólo se precisa aplicar la polarización de la puerta

durante un par de microsegundos para que el interruptor electrónico quede totalmente cerrado. Es posible prescindir del pulsador  $S_1$  si se aplica el impulso de polarización de puerta mediante un generador de impulsos transistorizado. La conducción del SCR se puede cerrar mediante la momentánea interrupción de la alimentación accionando el pulsador  $S_2$ ; tan sólo son necesarias unas décimas de microsegundo para que el SCR deje de conducir.

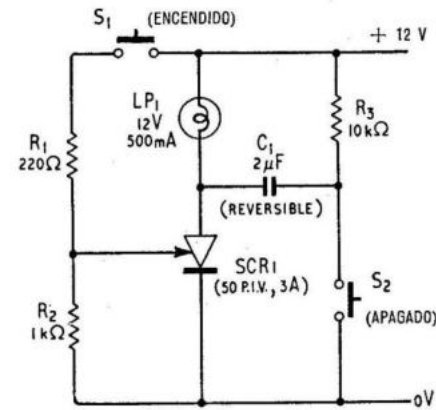


Fig. 4.3

Circuito interruptor con apagado automático por descarga capacitativa (P.I.V. = tensión inversa de pico)

Una ligera variante del sistema de cierre de la conducción está mostrada en la Fig. 4.2b. Aquí el ánodo del rectificador controlado queda cortocircuitado con el cátodo cuando el pulsador  $S_2$  se presiona momentáneamente; con ello la corriente a través del SCR se interrumpe un instante lo cual es suficiente para que deje de conducir.

Una segunda variante está mostrada en la Fig. 4.3. Aquí cuando el rectificador controlado está conduciendo, el condensador  $C_1$  se carga a través de  $R_3$  y cuando la carga se ha completado el extremo del condensador  $C_1$  unido al ánodo del SCR adquiere un potencial de 2 V por encima de masa mientras que el otro extremo de  $C_1$  unido a  $R_3$  tiene el mismo potencial que la línea positiva



de alimentación con lo cual y en este caso en particular, la tensión entre los extremos de  $C_1$  una vez cargado es de 10 V. Al presionar el pulsador  $S_2$  el extremo positivo de  $C_1$  queda conectado a masa y su carga fuerza al ánodo del SCR a pasar momentáneamente a una polarización negativa de -10 V con lo que se invierte la polaridad del SCR y se interrumpe su conducción. Aun cuando la carga del condensador  $C_1$  desaparece rápidamente, sólo es pre-

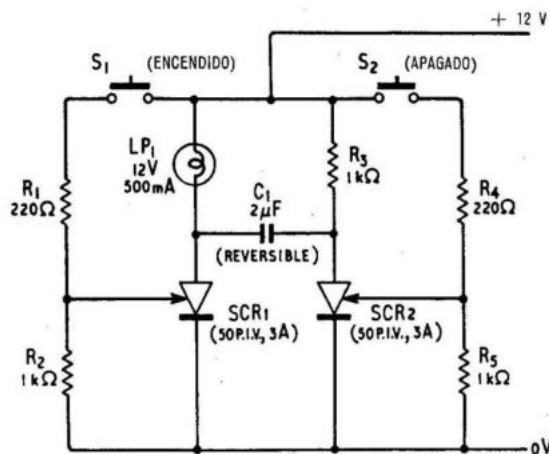


Fig. 4.4

Circuito interruptor automático (biestable) con dos tiristores

ciso que mantenga al ánodo del SCR con polaridad negativa durante unas pocas centésimas de milisegundo para que tenga lugar la interrupción definitiva de la conducción. Obsérvese que si el pulsador de  $S_2$  continuara presionado una vez que la carga de  $C_1$  ha desaparecido, este condensador empezaría a cargarse nuevamente a través de  $LP_1$  con polaridad opuesta a la de la primera carga; esto quiere decir que el condensador  $C_1$  debe ser siempre de polaridad reversible. Por otra parte el valor de su capacidad no es crítica.

La Fig. 4.4 muestra una variante del circuito de la Fig. 4.3 que utiliza un SCR adicional para poder obtener el cierre del interruptor electrónico a través de un impulso de corriente débil aplicado a la

puerta. Los dos rectificadores controlados  $SCR1$  y  $SCR2$  funcionan en una modalidad de circuito « flip-flop » o biestable en el cual la conducción del  $SCR1$  está abierta cuando la de  $SCR2$  está cerrada y viceversa.

En el supuesto de que inicialmente  $SCR1$  tenga su conducción abierta y  $SCR2$  tenga su conducción cerrada, el condensador  $C_1$  se carga a través de  $LP_1$  y el extremo del mismo unido al ánodo de  $SCR1$  alcanza la tensión positiva de la línea de alimentación. Cuando un impulso de tensión positiva llega a la puerta de  $SCR1$  tanto este rectificador como la lámpara conducen corriente; en tal momento el extremo de  $C_1$  unido al ánodo de  $SCR1$  se ve abocado al potencial de masa y el ánodo de  $SCR2$  pasa a ser momentáneamente negativo cerrando su conducción. La carga de  $C_1$  invierte ahora su polaridad a través de  $R_3$  y el extremo del condensador unido a dicha  $R_3$  alcanza eventualmente la polarización positiva de la línea de alimentación. Resulta así que cuando un impulso de tensión positiva queda aplicado a la puerta de  $SCR2$  este rectificador abre su conducción y lleva al extremo de  $C_1$  unido a  $R_3$  casi al potencial de masa polarizando con tensión negativa al ánodo de  $SCR1$  que inmediatamente cierra su conducción repitiéndose indefinidamente este ciclo operativo. En este circuito el rectificador controlado  $SCR2$  sólo es atravesado por una intensidad de corriente igual, en amperios, a la tensión de alimentación dividida por el valor de  $R_3$  ( $I = V_{atim}/R_3$ ).

### Interruptor electrónico automático

La Fig. 4.5 muestra un desarrollo progresivo del circuito de la Fig. 4.4. Una vez que la lámpara ha sido encendida por el pulsador  $S_1$ , se apaga automáticamente transcurrido un periodo de tiempo predeterminado. El retardo en el apagado de la lámpara está determinado por un circuito temporizador con transistor de unión única y puede variarse a voluntad desde 8 a 80 segundos según sea el valor óhmico de la resistencia de ajuste  $R_7$ .

En circunstancias normales ni el rectificador  $SCR1$  ni la lámpara son atravesados por corriente alguna; el rectificador  $SCR2$  tiene su conducción abierta y su ánodo se halla casi al potencial de masa. En estas condiciones el circuito del transistor de unión

única está en reposo. Cuando se aplica un impulso de tensión positiva al rectificador *SCR1*, éste y la lámpara conducen corriente y el rectificador *SCR2* cierra su conducción, momento en que el ánodo de este último aumenta su potencial hacia la tensión positiva de alimentación con lo que el circuito del transistor de unión única

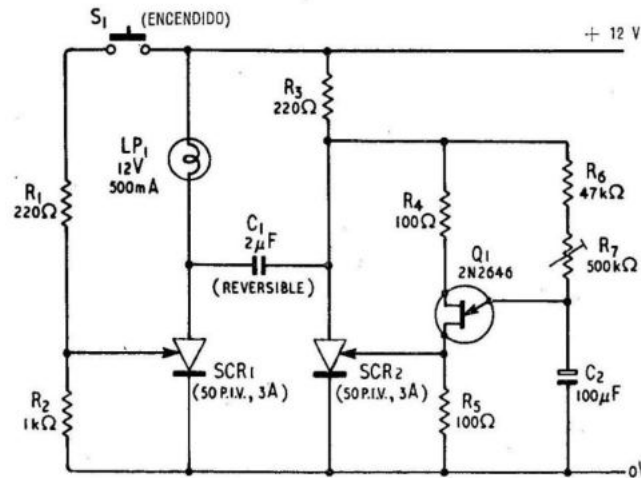


Fig. 4.5

Circuito interruptor de apagado automático retardado de 8 a 80 segundos

comienza un ciclo temporizador. Al final del período determinado por el valor de ajuste de  $R_7$ , el transistor (UJT) abre su conducción y dispara la de *SCR2* con el impulso positivo que envía a través de  $R_5$ , mientras que este mismo *SCR2* cierra la conducción de *SCR1* a través de  $C_1$ . El circuito queda entonces nuevamente dispuesto para ser reactivado por el pulsador  $S_1$ .

Debe observarse que cuando se conecta la alimentación por primera vez, tanto un rectificador controlado como el otro se hallan con su conducción cerrada, lo cual representa cierto retardo del transistor de unión única en completar su primer ciclo temporizador antes de que el circuito pase a la situación biestable que se acaba de describir.

### Circuito interruptor electrónico de un solo pulsador

La Fig. 4.6 indica cómo puede convertirse un circuito biestable con rectificadores controlados de silicio en un interruptor de un solo pulsador, es decir, que con una pulsación se encienda la lámpara y con la siguiente pulsación del mismo interruptor se apague.

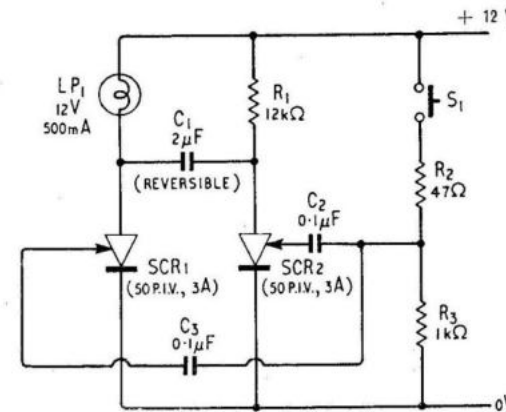


Fig. 4.6

Circuito interruptor de encendido y apagado con un solo pulsador  
(P.I.V. = tensión inversa de pico)

En este caso el rectificador controlado *SCR2* tiene conectada una carga de ánodo considerable de manera que su corriente de conducción es inferior a la de mantenimiento; con ello este *SCR2* es incapaz de auto-controlar su conducción.

En el supuesto de que ambos tiristores tengan inicialmente su conducción cerrada, los respectivos ánodos se hallan con una tensión próxima a la de la línea positiva de alimentación y no existe carga alguna en el condensador  $C_1$ . Al accionar por primera vez el pulsador  $S_1$  el rectificador *SCR1* y la lámpara  $LP_1$  pasan a conducir corriente gracias al breve impulso positivo recibido de  $C_3$ ; con ello el rectificador *SCR2* queda momentáneamente conductor gracias al impulso recibido de  $C_2$ . Al final de este breve impulso el rectificador *SCR2* vuelve a cerrar su conducción debido

a la falta de suficiente corriente de mantenimiento pero SCR1 permanece con su conducción abierta. El condensador  $C_1$  se carga entonces a través de  $R_1$  y en consecuencia el ánodo de SCR2 se aproxima a la tensión positiva de la línea de alimentación. Cuando tiene lugar la segunda pulsación de  $S_1$ , dos nuevos impulsos de tensión positiva se hacen presentes en los rectificadores controlados, pero el correspondiente a SCR1 no tiene efecto alguno, puesto que esta unidad se halla ya conduciendo. Sin embargo, SCR2 recibe el impacto del impulso y abre sólo momentáneamente su conducción, de manera que aplica una tensión inversa a SCR1 a través de  $C_1$ , tensión suficiente para que tanto SCR1 como la lámpara  $LP_1$  dejen de conducir. Al finalizar este impulso de cierre, el rectificador SCR2 cierra de nuevo su conducción por falta de la mínima corriente de mantenimiento y el circuito queda dispuesto para un nuevo ciclo operativo a través de la doble pulsación de  $S_1$ .

El circuito cambia de estado cada vez que se produce un impulso positivo originado por la pulsación de  $S_1$ . Repárese en que si se utiliza un pulsador ruidoso como  $S_1$  el funcionamiento del circuito puede convertirse en errático. De cualquier forma esta posibilidad se elimina si se utiliza un circuito multivibrador de un solo disparo (monoestables) para la obtención y aplicación de los impulsos activadores.

**Interruptores electrónicos repetitivos (intermitentes)**

El circuito de la Fig. 4.6 puede transformarse fácilmente para que trabaje como un interruptor repetitivo o en funcionamiento continuo si se le alimenta con los impulsos activadores procedentes de un generador con transistor de unión única. La Fig. 4.7 muestra el esquema práctico de un intermitente electrónico con esta disposición; el circuito proporciona tiempos iguales de encendido y apagado y la frecuencia repetitiva de los mismos puede variarse entre 25 y 150 destellos por minuto mediante el ajuste del valor de  $R_5$ .

En la figura 4.8 se muestra un circuito intermitente de distinto tipo que el anterior. Permite controlar independientemente los tiempos de encendido y de apagado que pueden variarse indistintamente desde aproximadamente 0,2 a 1,2 segundos. Puede ob-

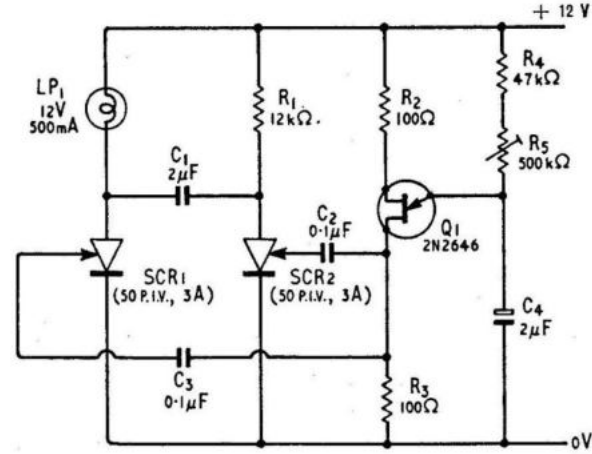


Fig. 4.7

Circuito intermitente de 25 a 150 destellos por minuto

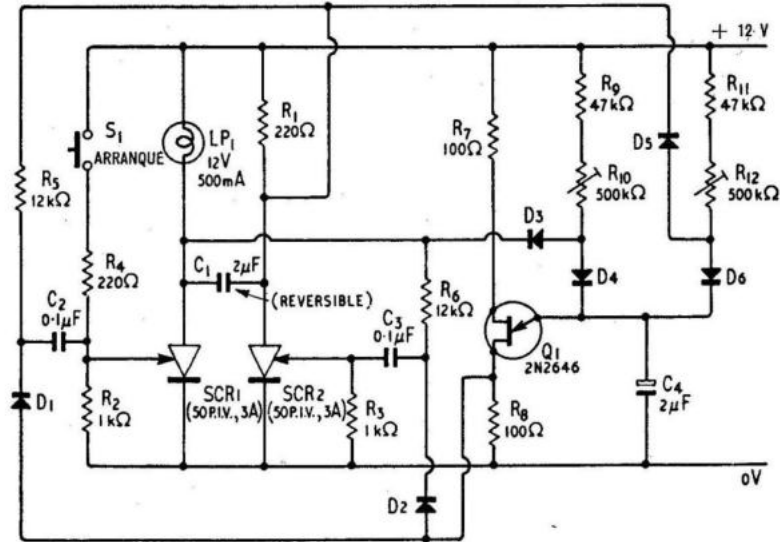


Fig. 4.8

Circuito intermitente con control independiente de los tiempos de encendido y de apagado desde 0,2 a 1,2 segundos. Los diodos D1 a D6 son de silicio para usos generales



servarse que se trata de un verdadero circuito biestable en el cual las cargas respectivas de los ánodos de los dos SCR se mantienen suficientemente bajas para posibilitar el autocontrol.

Cuando la fuente de alimentación se conecta por primera vez, ambos rectificadores controlados tienen su conducción cerrada y el temporizador con el transistor de unión única puede funcionar libremente a través de las redes  $R_9-R_{10}-D4$  y  $R_{11}-R_{12}-D6$ ; los diodos  $D1$  y  $D2$  se hallan con polarización inversa proporcionada por  $R_5$  y  $R_6$  respectivamente impidiendo de esta forma que los impulsos activadores puedan alcanzar las puertas de los rectificadores controlados; con ello el transistor de unión única no tiene efecto alguno sobre los SCR por el momento. Para iniciar el funcionamiento del circuito es preciso que se active momentáneamente el pulsador  $S_1$ .

Tan pronto como se pulsa el botón de  $S_1$  llega a SCR1 un impulso activador a través de  $R_4$  y tanto este tiristor como  $LP_1$  conducen corriente. La tensión de ánodo de dicho SCR1 cae casi al potencial de masa suprimiéndose así la polarización inversa de  $D2$ ; al mismo tiempo el diodo  $D3$  queda con polarización directa y el diodo  $D4$  con polarización inversa; la red  $R_9-R_{10}$  queda fuera del circuito temporizador del transistor de unión única que se activa únicamente a través de  $R_{11}$ ,  $R_{12}$  y del diodo  $D6$ . Finalizado el ciclo temporizador, el transistor de unión única dispara su conducción y a través de  $D2$  y  $C_3$  abre la de SCR2 que a través de  $C_1$  ocasiona el cese de la conducción de SCR1 y de la lámpara  $LP_1$ . Esto proporciona una polarización inversa al diodo  $D2$  al tiempo que anula la también polarización inversa de  $D1$ , dejando al diodo  $D5$  con polarización directa y al diodo  $D6$  con polarización inversa. Con todo ello ahora son  $R_{11}$  y  $R_{12}$  las que quedan fuera del circuito del temporizador mientras que la polarización inversa de  $D3$  y la directa de  $D4$  permiten la carga del circuito temporizador a través de  $R_9$  y de  $R_{10}$ . Al final de este período el transistor de unión única se dispara de nuevo y activa la conducción de SCR1 y de la lámpara  $LP_1$  a través del diodo  $D1$  y del condensador  $C_2$ . Tan pronto como SCR1 abre su conducción se cierra la de SCR2 a través de  $C_1$  y las polarizaciones del circuito con sus diodos cambian de nuevo de manera que el temporizador unido al transistor de unión única vuelve a cargarse a través de  $R_{11}$  y  $R_{12}$  repitiéndose el proceso indefinidamente.

### Circuitos fundamentales para el interruptor de c.a.

La Fig. 4.9 muestra el circuito fundamental de un interruptor electrónico de corriente alterna que utiliza una tensión de alimentación de 12,6 V procedente de un transformador reductor. Con el interruptor  $S_1$  abierto, el SCR no conduce y no circula ninguna corriente por la lámpara  $LP_1$ . Cuando se cierra  $S_1$  la puerta del SCR queda polarizada en el sentido de la conducción sólo durante los semiciclos positivos, de manera que el tiristor conduce y la lámpara  $LP_1$  se enciende al tiempo que el diodo  $D1$  impide que pueda quedar aplicada a la puerta del SCR una polarización inversa. El tiristor deja de conducir automáticamente durante el transcurso de los semiciclos negativos de la corriente alterna con los que la unidad no puede controlarse a sí misma automáticamente y la lámpara se apaga casi instantáneamente cuando se abre de nuevo el interruptor  $S_1$ . Nótese que el tiristor sólo conduce durante los semiciclos positivos, de manera que viene a funcionar al igual que un rectificador convencional de media onda resultando de ello que la lámpara únicamente adquiere la mitad de su brillo normal.

La Fig. 4.10 muestra un circuito interruptor con rectificador de onda completa. Aquí la corriente alterna de alimentación es previamente rectificada por el puente formado por los diodos  $D1$  a  $D4$  con lo que queda aplicada al SCR una corriente continua pulsante. Con el interruptor  $S_1$  abierto la conducción del SCR está cerrada y no circula corriente a través de la lámpara y del puente rectificador. Cuando se cierra el interruptor  $S_1$  el SCR queda polarizado y se hace conductor siendo atravesado por la misma corriente que circula a través de la lámpara  $LP_1$  y el puente rectificador. Como la alimentación es una corriente continua pulsante, la tensión en el SCR cae a cero en cada semiciclo de la corriente alterna, con lo cual el circuito no puede autocontrolarse a sí mismo. Obsérvese que  $LP_1$  se halla insertada en el lado de la corriente alterna del puente rectificador mientras que el SCR se halla en el lado de la corriente continua; esto indica que el dispositivo ha sido diseñado para el control de una carga en corriente alterna.

El circuito de la Fig. 4.11 es el mismo de la Fig. 4.10, pero con la lámpara de carga conectada en serie con el ánodo del SCR

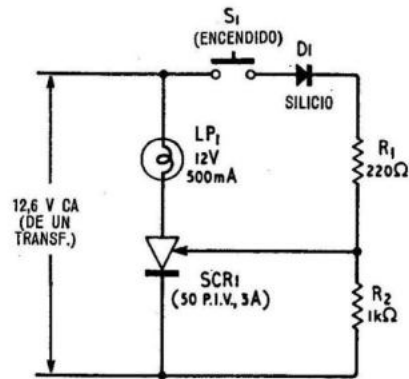


Fig. 4.9

Circuito básico del interruptor electrónico de corriente alterna (media onda)

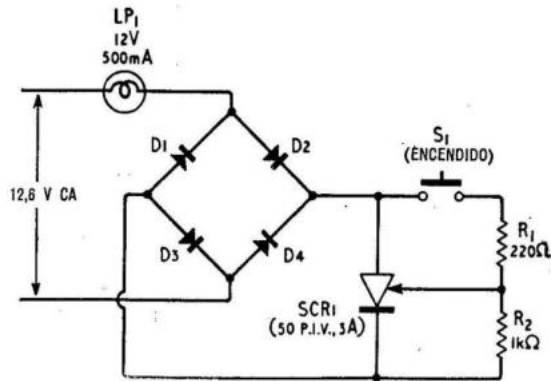


Fig. 4.10

Circuito interruptor de onda completa controlando una carga de corriente alterna. Los diodos D1 a D4 son rectificadores de silicio de 50 V de tensión inversa de pico y 3 A de corriente

indicando así que este último circuito se ha diseñado para el control de una carga de corriente continua. Tampoco este circuito se autocontrola a sí mismo.

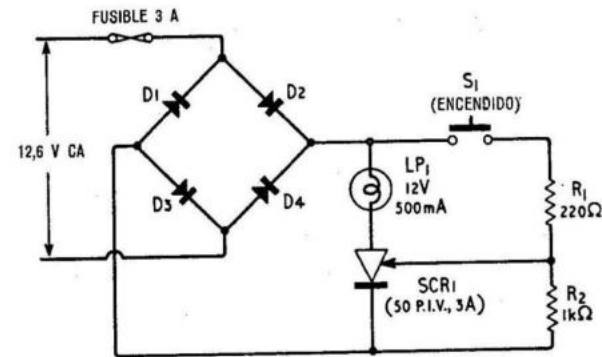


Fig. 4.11

Variante del circuito interruptor de onda completa para control de una carga de corriente continua. Los diodos D1 a D4 son rectificadores de silicio de 50 V de tensión inversa de pico y 3 A de corriente

### Circuitos interruptores con SCR activados por luz

La Fig. 4.12 muestra el resultado de la conversión del circuito de la Fig. 4.11 en un interruptor activado por la luz. Tanto el SCR como la lámpara se alimentan de corriente continua pulsante procedente de un puente rectificador típico, corriente continua pulsante que luego se filtra a través de  $C_1$  para convertirse en una corriente continua pura que ya no puede alcanzar al rectificador controlado por impedírsele el diodo D5. Esta corriente continua filtrada queda con su tensión estabilizada a 9 V y 20 mA por efecto de  $R_1$  y del diodo zener ZD1 utilizándosele para alimentar al circuito del transistor Q1 dispuesto como seguidor por emisor con polarización de base suministrada por un divisor de tensión compuesto por la resistencia  $R_4$  y una LDR. Bajo condiciones de iluminación intensa el valor óhmico de la resistencia LDR es bajo; en consecuencia la tensión en el emisor de Q1 no es suficiente para disparar la conducción del SCR y la lámpara permanece apagada. Bajo condiciones de oscuridad el valor óhmico de la re-

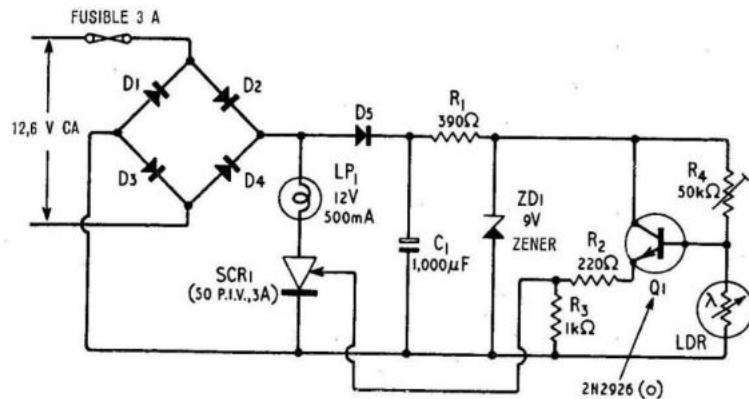


Fig. 4.12

Circuito interruptor sin autocontrol activado por luz. Los diodos  $D1$  a  $D4$  son rectificadores de silicio de 50 V de tensión inversa de pico y 3 A de corriente. El diodo  $D5$  es de germanio para usos generales y como LDR puede utilizarse cualquier célula fotoeléctrica de sulfuro de cadmio con un diámetro de superficie sensible superior a 6 mm

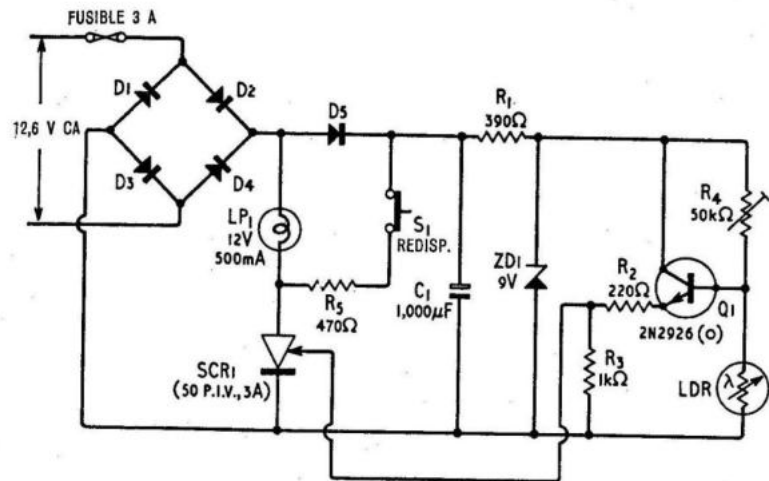


Fig. 4-13

Versión modificada del circuito de la Fig. 4.12 que procura el autocontrol del encendido. Los diodos  $D1$  a  $D4$  son rectificadores de silicio de 50 V de tensión inversa de pico y 3 A de corriente

sistencia  $LDR$  es elevado y la tensión de emisor en  $Q1$  es suficiente para disparar la conducción del  $SCR$  y permitir el paso de corriente a través de la lámpara  $LP_1$  que queda encendida. Como sea que la alimentación del  $SCR$  tiene lugar con una corriente continua pulsante, el circuito no se autocontrola a sí mismo, de manera que la lámpara se apaga tan pronto como falta la polarización de puerta del  $SCR$ .

La figura 4.13 muestra cómo todavía el circuito de la Fig. 4.12 puede modificarse para obtener el autocontrol de su funcionamiento. Aquí cuando el  $SCR$  tiene su conducción abierta se ve atravesado por la corriente de la lámpara más una pequeña intensidad de corriente continua pura que llega a través de  $R_5$ . Esta última corriente, aun siendo poco intensa, es superior a la corriente mínima de mantenimiento del  $SCR$  y gracias a ella, una vez que el rectificador controlado ha abierto su conducción, esta última se independiza de la tensión de puerta y la lámpara permanece encendida aun cuando cese la polarización de la puerta. El cierre de la conducción del  $SCR$  se obtiene entonces únicamente por el cese conjunto de la polarización de puerta y de la corriente continua de mantenimiento mediante la acción del pulsador  $S_1$  que dejará al circuito en situación de desarrollar un nuevo ciclo activo.

Los circuitos de la Figs. 4.12 y 4.13 pueden modificarse de manera que se activen por efecto del sonido, del calor, etc. simplemente reemplazando el transistor  $Q1$  por el circuito transductor apropiado.

### Circuitos reguladores de potencia

La Fig. 4.14a muestra cómo puede utilizarse el rectificador controlado de silicio, en unión de un generador de impulsos con transistor de unión única, para regular la potencia en corriente continua suministrada a una carga. Las formas de onda existentes en los distintos puntos del circuito se muestran en la Fig. 4.14b.

La tensión entre extremos del diodo zener  $ZD1$  y por tanto entre extremos del circuito generador de impulsos es una tensión continua pulsante recortada a 9 V que da lugar a que la energía suministrada al generador se conecte y desconecte automáticamente siguiendo los semiciclos de la corriente alterna de línea. Al comienzo

de cada semiciclo el circuito del transistor de unión única inicia un ciclo temporizador y, tras el retardo determinado por el valor de la resistencia  $R_5$ , genera un impulso de tensión positiva que dispara la conducción de SCR1. De esta forma el transistor de unión única proporciona un impulso al rectificador controlado con un tiempo de retardo perfectamente ajustable.

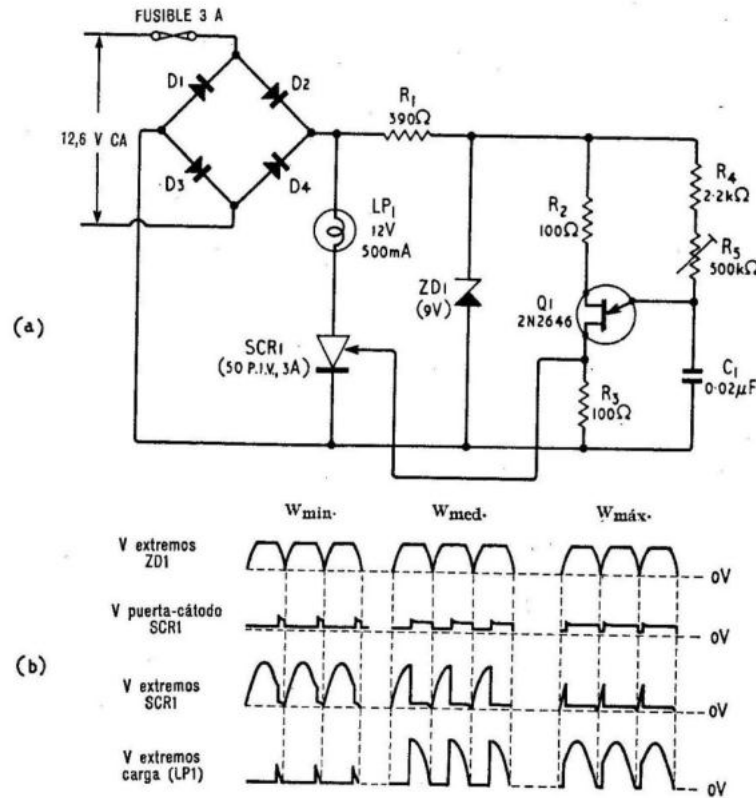


Fig. 4.14

(a) Unidad reguladora de potencia alimentando a una carga de corriente continua. Los diodos D1 a D4 son rectificadores de silicio de 50 V de tensión inversa de pico y 3 A de corriente. (b) Formas de onda en el circuito de la Fig. 4.14a bajo distintas condiciones de funcionamiento

Cuando la unidad se halla ajustada para la mínima potencia de salida (dissipada en  $LP_1$ ) el transistor de unión única procura un retardo máximo de manera que la apertura de la conducción del SCR tiene lugar casi al final de cada semiciclo de la c.a. de

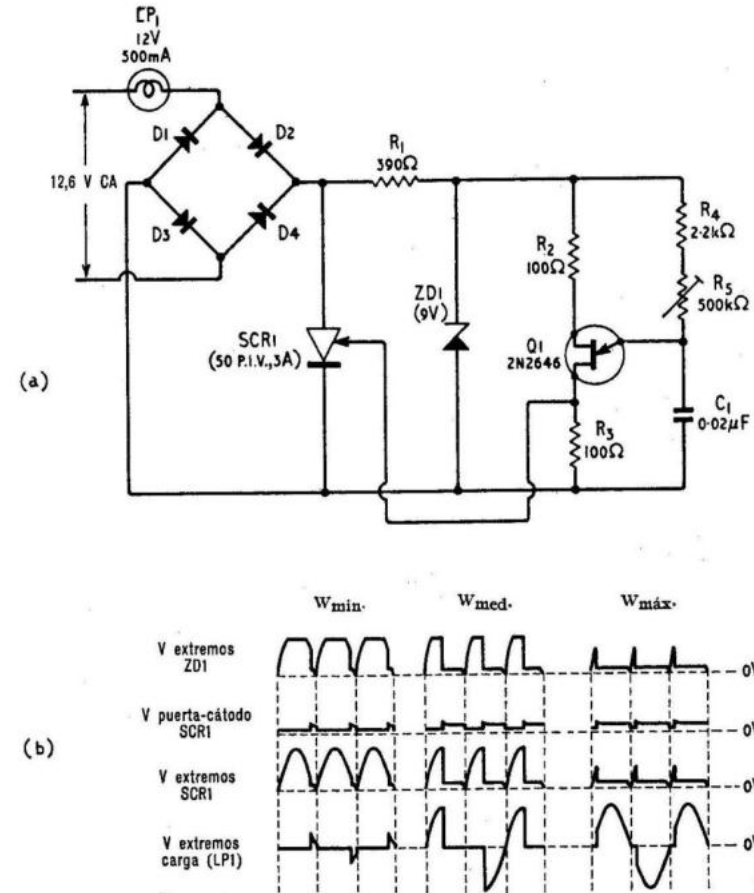


Fig. 4.15

(a) Unidad reguladora de potencia alimentando a una carga de corriente alterna. Los diodos D1 a D4 son rectificadores de silicio de 50 V de tensión inversa de pico. (b) Formas de onda en el circuito de la Fig. 4.15a bajo distintas condiciones de funcionamiento

manera que solamente una pequeña fracción de la energía total disponible llega a la carga. A media potencia el transistor de unión única abre la conducción del SCR en el punto medio de cada semiciclo; solamente la mitad de la energía disponible llega a la carga. Para la potencia máxima el transistor de unión única abre la conducción del SCR muy poco después del inicio de cada semiciclo y casi toda la energía disponible se disipa en la carga. De esta forma la energía en corriente continua que llega a la carga puede regularse a través del valor de  $R_s$  y como el rectificador controlado actúa como un interruptor, el sistema presenta un rendimiento muy elevado cuando actúa como fuente de energía variable.

Finalmente la Fig. 4.15a muestra cómo puede utilizarse un circuito similar para controlar la energía de la corriente alterna suministrada a una carga. El circuito en sí es igual al de la Fig. 4.14a con la excepción de que la carga se halla situada por el lado de la corriente alterna del puente rectificador. Las formas de onda son ligeramente distintas en este caso, tal como puede observarse a través de la Fig. 4.15b.

Ahora, tan pronto como el transistor de unión única abre la conducción del rectificador controlado, casi toda la tensión de alimentación aparece entre los extremos de la carga y por tanto las tensiones entre los extremos de SCR1 y de ZD1 caen prácticamente al potencial de masa. Esto no tiene importancia alguna puesto que cuando ocurre el SCR ha abierto ya su conducción y permanece en esta condición hasta que su ánodo desciende al potencial de masa justo al final de cada semiciclo. La energía suministrada a la carga puede variarse con suavidad desde casi cero hasta un máximo con el ajuste del valor de  $R_s$ , al igual que en el caso del circuito con carga de corriente continua.