

UNIDAD 7

REGULADORES DE TENSIÓN

OBJETIVO

El estudiante conocerá porqué se necesita una etapa de regulación de voltaje, las distintas formas de lograrlo, el uso de reguladores integrados, y las configuraciones más comunes para construir una fuente de poder.

TEMARIO

7.1 EL REGULADOR DE AIRE

7.2 REGULADORES INTEGRADOS Y ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE

7.3 FUENTES DE PODER

7.3.1 Fuente regulada simple positiva

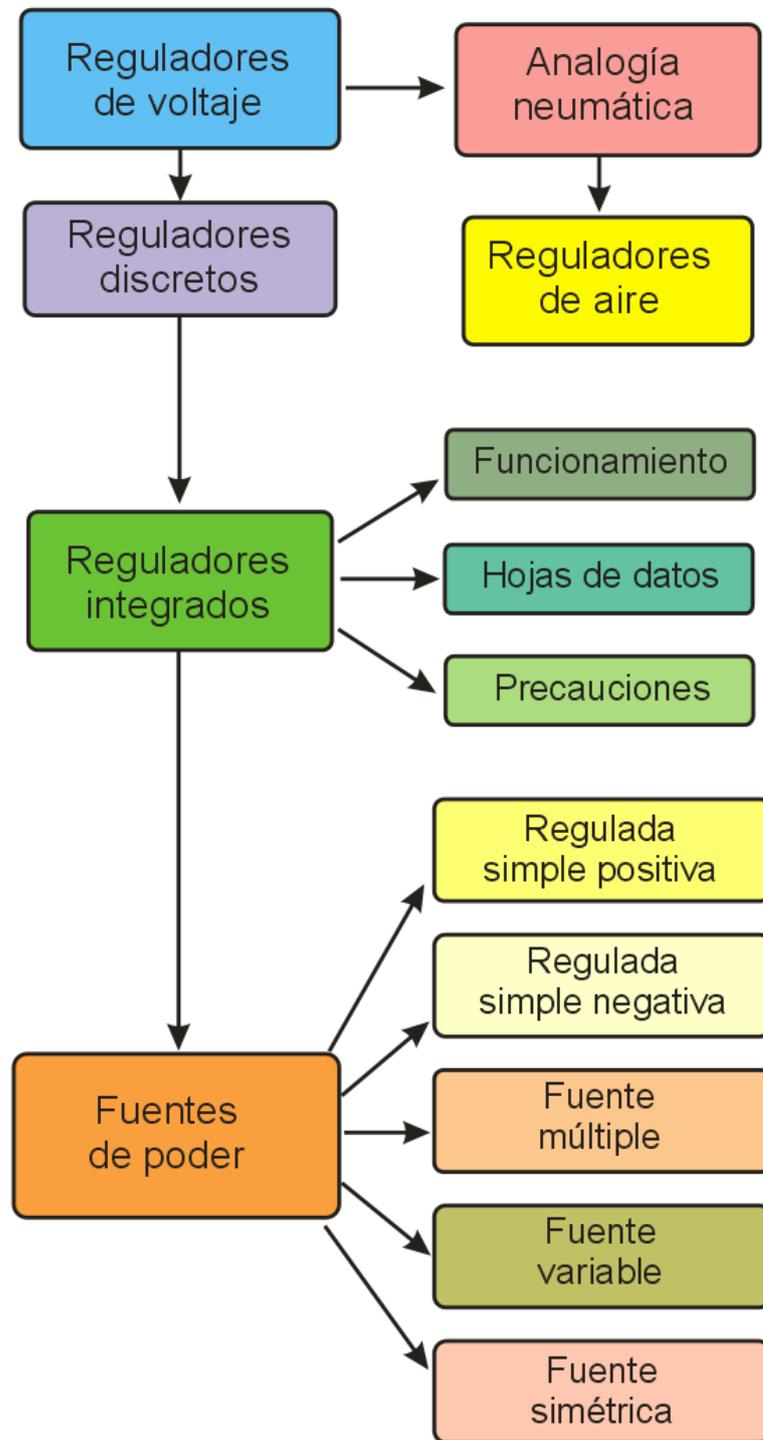
7.3.2 Fuente regulada simple negativa

7.3.3 Fuente múltiple positiva

7.3.4 Fuente regulada variable positiva

7.3.5 Fuente simétrica

MAPA CONCEPTUAL



INTRODUCCIÓN

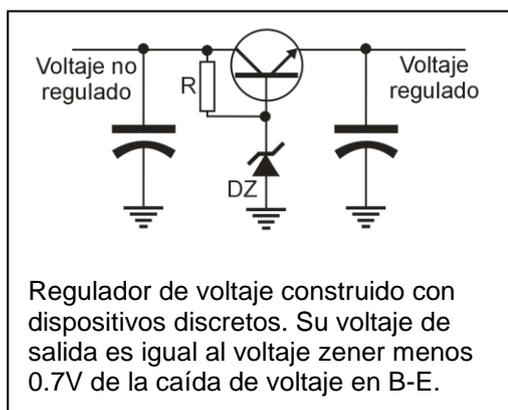
Otro bloque funcional muy empleado en electrónica, son los reguladores de voltaje, que son bloques que toman por un lado una tensión que puede mostrar grandes variaciones en su valor, pero a su salida entrega un voltaje fijo estable, ideal para alimentar diversos circuitos electrónicos.

Prácticamente desde que aparecieron los primeros circuitos electrónicos, hubo la necesidad de un bloque capaz de estabilizar el voltaje que se aplique a los amplificadores, procesadores de señal, etcétera, ya que si estos bloques se alimentaran con un voltaje variable, su comportamiento no sería muy confiable. En un principio, cuando aún se utilizaban válvulas de vacío, los bloques reguladores eran



Ejemplo de amplificador que aún utiliza tubos de vacío en la fuente de poder. Los dos bulbos de la izquierda son los rectificadores. (Foto: Space-tech Labs).

voluminosos y costosos, pero con el desarrollo de los dispositivos semiconductores, este bloque se simplificó considerablemente.



De hecho, es posible hacer un regulador de voltaje aceptable utilizando dispositivos discretos: lo único que se necesita es un diodo zener, una resistencia, un transistor NPN y un par de condensadores, conectados como se muestra en la figura anexa: se sabe que la

característica principal de un diodo zener es que, cuando se conecta en inversa, mantiene un voltaje fijo entre sus terminales; y también ya se indicó que en un transistor NPN, el voltaje entre base y emisor siempre es el mismo, equivalente a la caída de voltaje de un diodo normal. Entonces, cuando se conectan estos elementos como se ve en la figura, el diodo mantiene siempre un voltaje fijo, y por la caída de base a emisor, en la salida

del transistor se tendrá siempre el voltaje del zener menos la caída B-E; esto significa que si se necesita una fuente de aproximadamente 5V, basta con adquirir un zener de 5.6V, conectarlo a un transistor NPN como se muestra, y a la salida se tendrá un voltaje de entre 4.9 y 5V, perfecto para casi cualquier aplicación.

Sin embargo, los reguladores de voltaje son tan utilizados en electrónica, que estar colocando zeners y transistores en exceso resultaba algo tedioso para los fabricantes, así que se diseñaron circuitos integrados que hacen la función de regulación de voltaje de forma muy simple y con mayor precisión, prácticamente sin componentes externos auxiliares. Precisamente, en esta unidad se estudiarán los reguladores de tensión, cómo se aplican y las posibles variantes que se pueden encontrar en el mercado electrónico.



7.1 EL REGULADOR DE AIRE

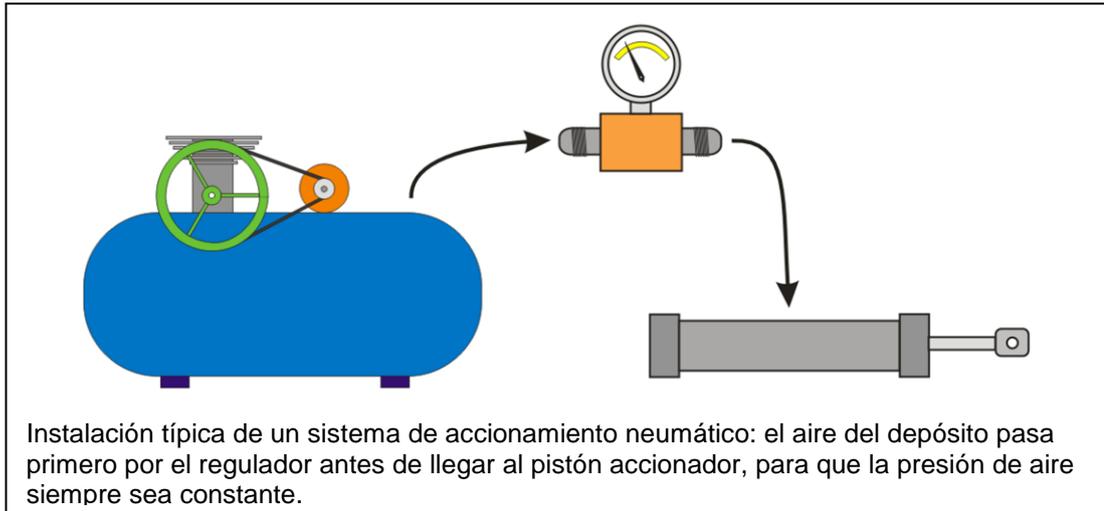
Para tener más clara la función de un regulador de voltaje, conviene hacer una analogía fácil de comprender. Se tiene un proceso industrial en el cual



se utiliza aire a presión para mover distintas piezas de una maquinaria, pero para que los movimientos sean precisos, se requiere que la presión que llega a los pistones neumáticos sea

siempre la misma. Para accionar estos dispositivos, se cuenta con una compresora de aire para suministrar el gas a presión, pero por cuestiones de economía, no conviene que esté funcionando todo el tiempo, así que se le añade un contenedor de aire a presión, donde almacena el gas comprimido, y lo va liberando conforme se necesita. Cuando el nivel de presión dentro de este contenedor desciende a un punto predeterminado, el motor de la compresora se enciende nuevamente, con lo que se llena otra vez el depósito, y así se tiene aire a presión siempre disponible para el funcionamiento del mecanismo.

Sin embargo, aquí surge un problema: si se aplicara el gas a presión directamente desde el depósito hacia los pistones accionadores, las variaciones en la presión del gas podrían provocar funcionamientos erráticos en el mecanismo, lo cual evidentemente no le conviene al fabricante. Para evitar este problema, entre el depósito y el pistón neumático se coloca una etapa de regulación, que reduce la presión del aire que sale del depósito y la expide con una presión constante hacia los pistones; esto significa que a la entrada de este regulador se tiene una presión de aire variable, mientras que a su salida se tiene una presión de aire constante, ideal para impulsar los mecanismos necesarios.



Esa es la función de un regulador de aire, tomar a su entrada un gas con presión variable, y dejarlo salir a una presión constante. Este tipo de equipos se utilizan para prácticamente toda aplicación que requiera el flujo continuo y estable de algún gas, como son las instalaciones de gas propano domésticas, los tanques de oxígeno que se usan para el buceo, el oxígeno medicinal, etcétera.

Pues bien, así como el aire que se utiliza en distintas aplicaciones necesita ser cuidadosamente regulado, sucede lo mismo con el voltaje que se aplica como alimentación a los diversos circuitos electrónicos. Es por ello que se han diseñado circuitos integrados especiales que hacen la función de reguladores de tensión o voltaje, que son precisamente los que se explicarán a continuación.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 7A

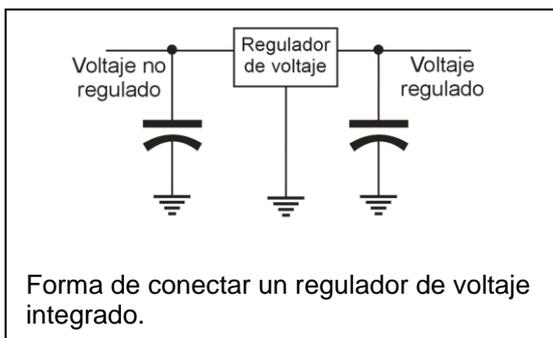
- a) ¿Se puede construir un regulador de voltaje con componentes discretos?
- b) ¿Qué voltaje se tiene a la salida de este tipo de reguladores?
- c) ¿Cómo se relaciona un sistema neumático con una fuente de poder?
- d) ¿Qué función hace el depósito de aire?
- e) ¿Qué función hace el regulador de aire?
- f) ¿En dónde se encuentran normalmente los reguladores de aire?

7.2 REGULADORES INTEGRADOS Y ESPECIFICACIONES DEL FABRICANTE

Tal y como sucedió con el bloque amplificador, que debido al amplio uso que tiene en la electrónica moderna, los fabricantes de circuitos integrados pronto sacaron al mercado amplificadores funcionales dentro de un chip, en el caso de los reguladores de voltaje también existen circuitos integrados capaces de tomar a su entrada un voltaje que aún presenta variaciones considerables en su valor, y expedirla como un voltaje fijo y estable, que servirá perfectamente como alimentación a circuitos electrónicos posteriores. En la foto anexa se muestra el aspecto típico de algunos reguladores de voltaje integrados. Se puede ver que existen distintos encapsulados, dependiendo de la aplicación que se le dará al circuito.



Se puede apreciar de esta imagen que un regulador típico es un dispositivo de sólo tres terminales: una para la entrada de voltaje no regulado, una para la salida del voltaje regulado, y una más como referencia de nivel “tierra”, 0V o GND. La forma como se representa es mediante un



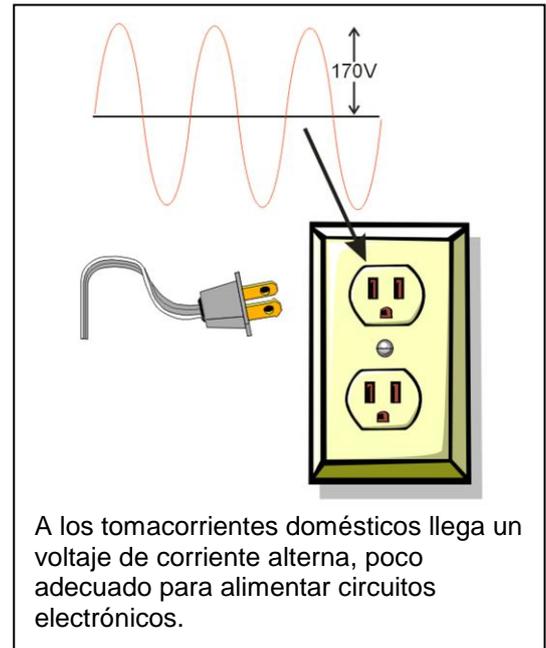
rectángulo con sus tres terminales claramente indicadas, y la manera correcta de conectarlo es como se muestra en la figura anexa: se puede apreciar que lo único que se necesita es un condensador auxiliar a la salida, y también conviene

colocar uno de refuerzo en la entrada, aunque estrictamente éste no es indispensable.

De esta imagen, es fácil apreciar lo sencillo que resulta aplicar un regulador integrado para que establezca el voltaje de alimentación de un circuito electrónico, pero ¿por qué se necesita el regulador? Es lo que se explicará enseguida.

Como se sabe, las líneas de alimentación hogareñas utilizan una corriente variable, conocida como “corriente alterna”; esto significa que el valor del voltaje que llega por los tomacorrientes está variando en el tiempo, una fracción de segundo es positiva, la siguiente es negativa, y así sucesivamente. Debido a que en México se utiliza una frecuencia de 60Hz en la alimentación, esto significa que el voltaje doméstico está cambiando de polaridad 120 veces por segundo.

Si bien este tipo de alimentación es adecuada para ciertos aparatos eléctricos, como calefactores, licuadoras, motores de corriente alterna en general, focos incandescentes, etcétera, si se tratara de alimentar un circuito electrónico con ese voltaje, se dañaría prácticamente de inmediato. En primer lugar, el voltaje es demasiado alto (alcanza picos de alrededor de 170-180V, tanto positivos como negativos), y en segundo lugar, al estar variando en polaridad, el circuito electrónico no tendría una referencia



A los tomacorrientes domésticos llega un voltaje de corriente alterna, poco adecuado para alimentar circuitos electrónicos.

adecuada de voltaje para trabajar, lo que causaría su destrucción casi inmediata.

El problema del voltaje alto se puede solucionar relativamente fácil: basta con colocar un transformador reductor de voltaje, y entonces se tendrá a la salida exactamente el valor de tensión que se desee; sin embargo, ésta sigue siendo de corriente alterna, así que el siguiente paso es transformar este voltaje alterno en directo. Esto se puede hacer con un diodo rectificador, que sólo deja pasar el voltaje cuando tiene la polaridad correcta, bloqueándolo cuando ésta se invierte; pero en tal caso, se tendría un resultado como el que se muestra en la figura superior: unos cuantos picos de voltaje, separados entre sí por amplias zonas en las que no hay voltaje.

Esto se resuelve colocando un dispositivo que almacene el voltaje cuando sí está presente, y lo deje salir poco a poco mientras no está, y ésta es precisamente la función de los condensadores o capacitores de filtrado.

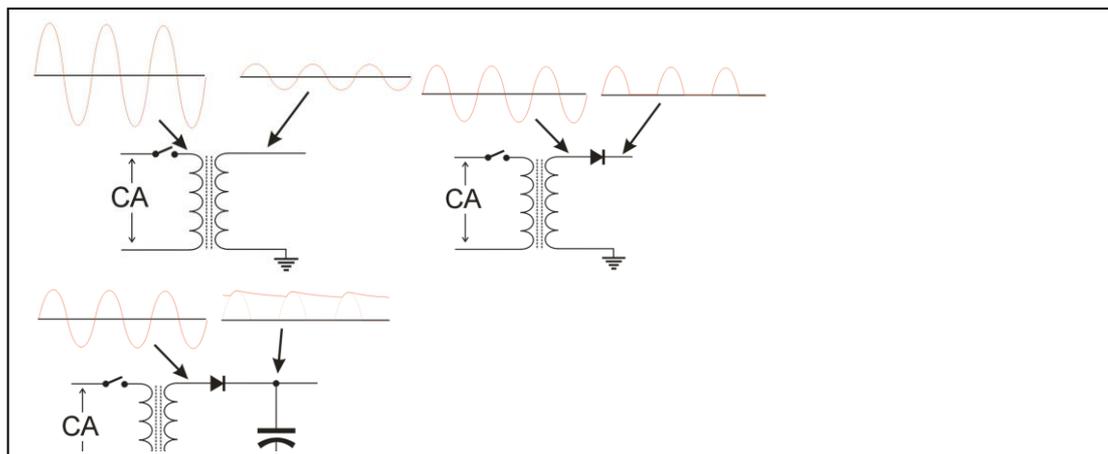
En estos dispositivos, debido a sus propiedades de almacenar carga en forma de campo eléctrico, cuando aparecen los picos de voltaje, el condensador se carga, y cuando el voltaje desaparece, entra en funciones liberando gradualmente la carga almacenada. Se podría decir que funciona como el tanque de almacenamiento en la analogía que se planteó anteriormente, cuando se explicó la función del regulador de aire:

La compresora funciona → Aparece el pico de voltaje.

Guarda el aire en el depósito → Carga al condensador.

El aire va saliendo gradualmente de este depósito → El condensador libera la carga almacenada poco a poco.

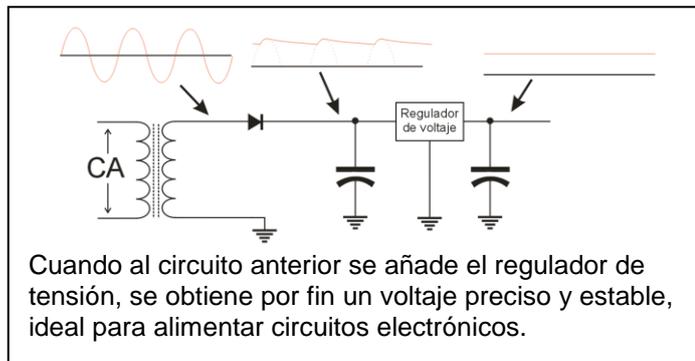
Cuando la presión baja, funciona nuevamente la compresora → Llega el siguiente pico de voltaje y vuelve a cargar al condensador.



Con esto se puede distinguir que se están cubriendo los “huecos” dejados por el diodo rectificador, y se obtiene un voltaje a la salida más parejo, pero todavía no adecuado para la alimentación de circuitos electrónicos. Esto se debe a que, debido a la carga-descarga del condensador, el voltaje a la salida de este arreglo tendría un aspecto como el que se muestra en la figura superior. Se puede ver que si bien el voltaje ya es de corriente directa, aún presenta muchas variaciones, conocidas en el medio como “rizo”, y mientras más corriente solicite el circuito electrónico alimentado, más rizo se presentará en el voltaje de alimentación.

El problema es que este rizo puede afectar seriamente el desempeño de los circuitos electrónicos. Por ejemplo: si en un momento dado un comparador está sacando su referencia de voltaje tomando como base la

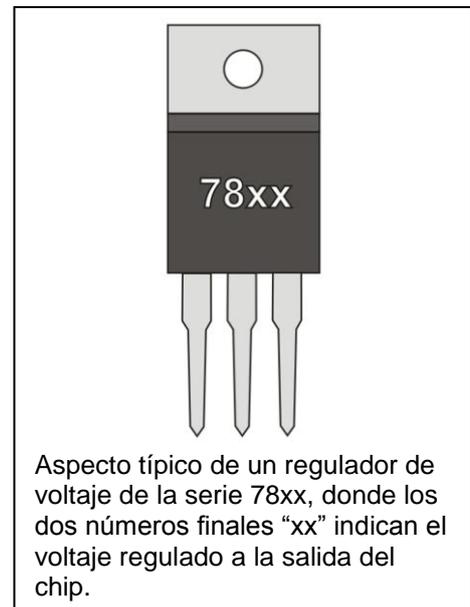
tensión de alimentación, si ésta varía se tendrá un circuito cuya referencia estará oscilando dependiendo del valor del voltaje de alimentación. Resulta obvio entonces que este voltaje, que aún presenta variaciones, no es adecuado para la alimentación de un circuito electrónico, y es ahí donde aparece la figura del regulador de voltaje.



Precisamente, la función de este bloque es tomar el voltaje variable que llega desde el condensador de filtrado, y expedir a su salida un voltaje menor, pero en el

cual se han eliminado por completo todas las variaciones de la entrada, como se muestra en la figura superior. A este voltaje que ya no presenta variaciones se le denomina “voltaje regulado”, y es el que se debe utilizar siempre que se alimenten circuitos electrónicos.

Ahora bien, no siempre se necesita un mismo valor de voltaje para todas las aplicaciones, lo que significa que en un aparato electrónico es posible encontrar bloques que requieran un voltaje de 12V, otros necesitan 9V y unos más trabajan con 5V. Resulta evidente que un solo regulador no podría entregar todos estos voltajes, así que los fabricantes de circuitos integrados producen una serie de dispositivos con distintos voltajes en su salida. Precisamente en la popular serie 78xx de reguladores de



voltaje, los dos números finales (la “xx” de la matrícula) indican el voltaje que se tendrá a la salida, lo que implica que para obtener el voltaje de 12V se deberá colocar un 7812, para el de 9V un 7809 y para el de 5V un 7805. En la siguiente figura se muestra la primera hoja de datos de los reguladores 78xx, donde también se podrán apreciar otros aspectos interesantes de este dispositivo.

Por ejemplo, se puede ver que se fabrican reguladores de la serie 78 con los siguientes voltajes de salida: 5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V, 20V y 24V, lo que proporciona al diseñador una amplia variedad de opciones para alimentar sus circuitos. En la tabla anexa también se observa que el fabricante recomienda que para los reguladores desde 5 hasta 15V, el voltaje máximo de entrada sea de 35V, mientras que para reguladores de 18 hasta 24V, este valor sube hasta 40V.

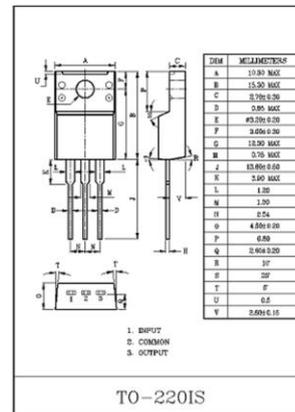
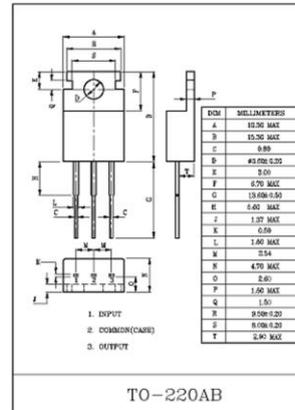
THREE TERMINAL POSITIVE VOLTAGE REGULATORS
5V, 6V, 8V, 9V, 10V, 12V, 15V, 18V, 20V, 24V.

FEATURES

- Suitable for C-MOS, TTL, the Other Digital IC's Power Supply.
- Internal Thermal Overload Protection.
- Internal Short Circuit Current Limiting.
- Output Current in Excess of 1A.
- Satisfies IEC-65 Specification. (International Electrotechnical Commission).

MAXIMUM RATINGS (Ta=25°C)

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Input Voltage	V _{IN}	35	V
		40	
Power Dissipation (Tc=25°C)	P _D	20.8	W
Power Dissipation (Without Heatsink)	P _D	2.0	W
Operating Junction Temperature	T _j	-30~150	°C
Storage Temperature	T _{stg}	-55~150	°C



Hoja de datos de un regulador de voltaje serie 78xx. (Imagen: KEC).

Siempre que se diseñe una fuente de alimentación, se recomienda que el voltaje a la entrada del regulador sea por lo menos 3V más alto que el voltaje que se desea a la salida, para que el dispositivo tenga un rango de maniobra para realizar la regulación de la tensión. Si el voltaje de entrada es demasiado parecido al deseado, se pueden dar casos en los que el regulador sea incapaz de mantener fijo el voltaje a su salida.

Tampoco hay que exagerar en el valor del voltaje de entrada, haciéndolo excesivamente grande en comparación con el de salida. La razón

de esto es que, al momento de realizar la regulación del voltaje, el regulador debe absorber la diferencia de voltaje entre entrada y salida, además de proporcionar la corriente que solicite el circuito a alimentar. El problema es que, recordando las leyes de la potencia eléctrica, esto significa que el regulador debe disipar una potencia equivalente a la caída entre su entrada y su salida, multiplicada por el valor promedio de la corriente circulando; por ejemplo, si se necesita una fuente de 5 voltios y 1 amperio, y se le suministra al regulador una tensión de 10V a su entrada, esto significa que el dispositivo deberá absorber esa diferencia de 5V, y al multiplicarlas por 1A de corriente que está circulando, entonces el regulador necesita disipar 5W de calor hacia el ambiente.

El problema es que, consultando la tabla especializada de la hoja de datos, se tiene que el regulador 78xx típico tiene una disipación de calor (sin elementos auxiliares) de apenas 2W, lo que significa que el chip por sí mismo será incapaz de liberar todo el calor que se está generando en su interior, lo que se traduce en sobrecalentamiento y la eventual destrucción del regulador. Esto da pie para la introducción de un concepto muy importante en el diseño de circuitos electrónicos, y es el uso de los disipadores de calor.

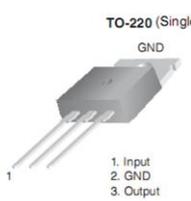


Figure 2.

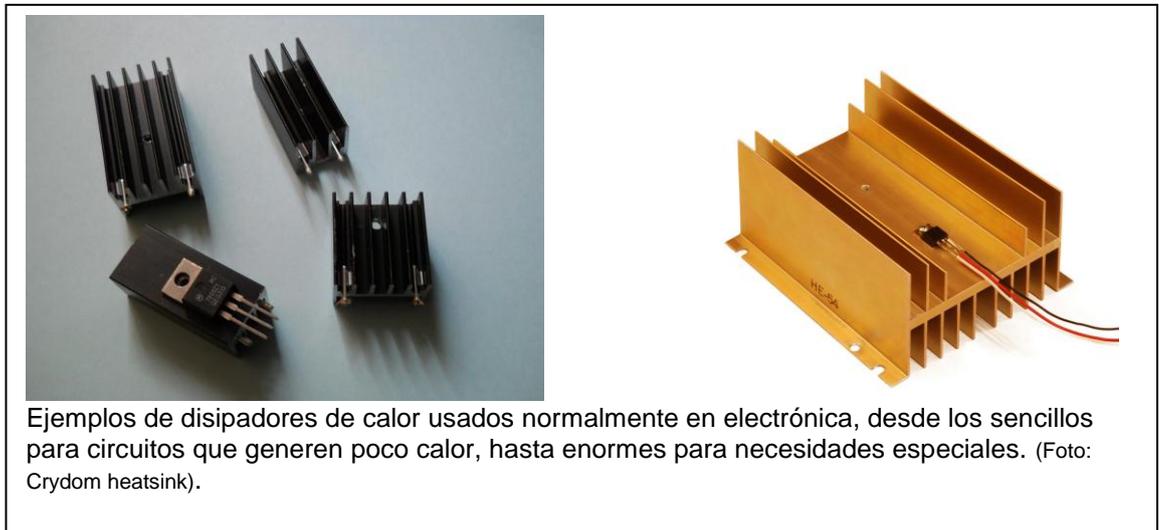
Absolute Maximum Ratings

Absolute maximum ratings are those values beyond which damage to the device may occur. The datasheet specifications should be met, without exception, to ensure that the system design is reliable over its power supply, temperature, and output/input loading variables. Fairchild does not recommend operation outside datasheet specifications.

Symbol	Parameter		Value	Unit
V_I	Input Voltage	$V_O = 5V$ to 18V	35	V
		$V_O = 24V$	40	V
$R_{\theta JC}$	Thermal Resistance Junction-Cases (TO-220)		5	$^{\circ}C/W$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance Junction-Air (TO-220)		65	$^{\circ}C/W$
T_{OPR}	Operating Temperature Range	LM78xx	-40 to +125	$^{\circ}C$
		LM78xxA	0 to +125	
T_{STG}	Storage Temperature Range		-65 to +150	$^{\circ}C$

Fragmento de las hojas de datos de un regulador 78xx, donde se pueden ver los aspectos térmicos del dispositivo. (Imagen: Fairchild).

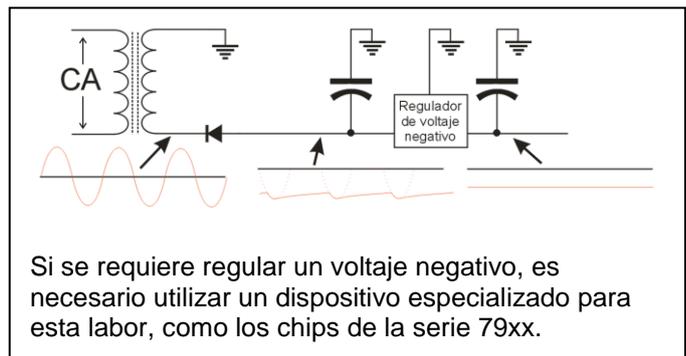
En la figura superior se muestra un extracto de una hoja de datos de un regulador de la serie 78xx, y se puede apreciar que en la tabla se mencionan algunos datos referentes a la temperatura de operación de este dispositivo: por ejemplo, se especifica que la resistencia térmica desde el chip hasta el encapsulado es de $5\text{ }^{\circ}\text{C/W}$, mientras que esta resistencia térmica entre el chip y el ambiente es de $65\text{ }^{\circ}\text{C/W}$. Esto significa que si se desea utilizar un regulador de estos para la fuente que se indicó como ejemplo más arriba, con un voltaje de entrada de 10V, uno de salida de 5V y una corriente de 1A, entonces el dispositivo tendrá que disipar 5W de calor hacia el ambiente; si se coloca el regulador sin ningún tipo de disipador auxiliar, para encontrar la temperatura interna del chip se tendría que multiplicar la cantidad de watts que disipa el dispositivo por la resistencia térmica del chip al ambiente, lo que daría la extraordinaria temperatura de 325°C (a esto todavía se debe sumar la temperatura ambiente), lo cual evidentemente implicaría la destrucción del chip (ningún dispositivo electrónico debe usarse a más de $100\text{-}120^{\circ}\text{C}$ máximo en el chip, ya que superar eso reduce considerablemente la vida útil del circuito).



¿Cómo se soluciona esto?, en la tabla de la página anterior también se puede ver que la resistencia térmica entre chip y encapsulado es considerablemente menor; entonces, si se logra mantener el encapsulado a una temperatura razonable, el chip también se mantendrá dentro de parámetros operativos. Para lograr que el encapsulado permanezca en una temperatura adecuada, se puede utilizar un disipador que tome el calor generado en el regulador, y lo envíe hacia el ambiente de forma más

eficiente. Existe una amplia variedad de disipadores, desde simples laminillas metálicas adosadas al encapsulado, hasta grandes y pesados bloques de aluminio con múltiples aletas de liberación de calor; el secreto está en colocar un disipador capaz de mantener al chip funcionando por debajo de los 100 °C, y con ello se garantizará la correcta operación de la fuente de poder.

Ahora bien, existen casos en los que el voltaje que se desea regular tiene polaridad negativa; para ello, existen reguladores especiales para ese tipo de aplicaciones, como es la popular serie 79xx, muy similar a la 78, pero específicamente diseñada para voltajes negativos. La forma como se utilizan es la misma que en el caso anterior, como se muestra en la figura anexa, y las precauciones para usarlas también son las mismas.



¿Qué pasa si se necesitará una salida de voltaje que pueda ser manipulada, esto es, que no tenga un valor fijo, sino variable? Para esos casos existen reguladores de voltaje especiales, que debido a la adición de un par de componentes externos, pueden variar el valor del voltaje que están expidiendo a su salida. Un buen ejemplo de éstos es el regulador LM317 para voltajes positivos, y el LM337 para voltajes negativos. Ambos se describirán con mayor detalle en el siguiente tema.



Para aplicaciones especiales, existen reguladores con múltiples voltajes de salida, como las series TDA y STK, muy empleadas en aparatos electrónicos de consumo. En estos circuitos se tienen voltajes que siempre están presentes a la salida, para cuando el equipo está apagado en modo de espera, y otras líneas que

entran en operación cuando el aparato se enciende. Este tipo de integrados

le permiten al fabricante manejar varios voltajes en sus circuitos, sin necesidad de poner reguladores individuales para cada línea.

De lo anterior se puede determinar cuáles son los elementos más importantes que se deben tomar en cuenta al momento de elegir un regulador de voltaje para cierta aplicación. Básicamente, los puntos que hay que considerar son:

- Voltaje de salida: se debe comprar un dispositivo del voltaje adecuado para la aplicación prevista.
- Corriente máxima permitida: que el regulador soporte la cantidad de corriente que se espera consume el circuito a alimentar; aunque siempre hay que considerar un factor de seguridad de al menos un 20% adicional.
- Polaridad: utilizar un dispositivo de la polaridad adecuada.
- Disipación de calor: verificar que el regulador elegido puede manejar la cantidad de calor que se generará en su interior, con el uso de un disipador adecuado.

Si se cuidan esos aspectos al elegir un regulador de voltaje, lo más seguro es que funcione a la perfección y sin problema.

Como se ha podido apreciar, el mundo de los reguladores de voltaje es muy amplio, ya que estos bloques se necesitan prácticamente en cualquier circuito electrónico que se construya. Por ello, vale la pena profundizar en cómo se construye una fuente de poder regulada, que es precisamente el tema que se tratará enseguida.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 7B

- a) ¿Cuántas terminales tiene un regulador de voltaje integrado típico?
¿Cuáles son?
- b) ¿Qué elementos externos necesita un regulador integrado?
- c) ¿Por qué no se puede alimentar un circuito electrónico directamente con el voltaje de la línea de CA?
- d) ¿Qué elemento se usa para reducir el voltaje de la línea de CA?
- e) ¿Cómo se convierte la salida de este elemento en voltaje directo?

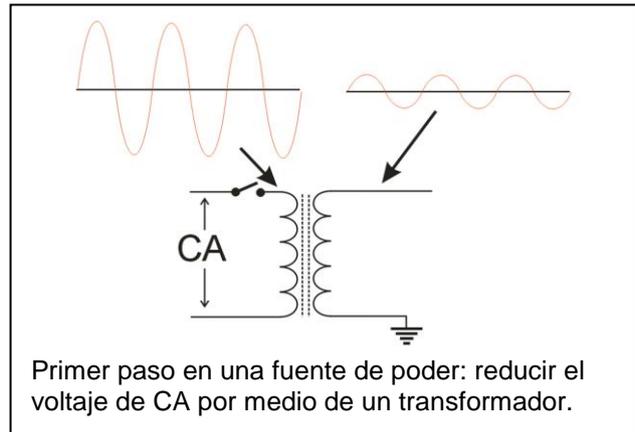
- f) ¿Cómo se le denomina a la variación en el voltaje que todavía se tiene en los extremos del condensador?
- g) ¿Cómo se le llama al voltaje antes y después del regulador?
- h) ¿Todos los reguladores de voltaje son del mismo valor?
- i) ¿Por qué es indispensable que el voltaje de entrada sea mayor que el voltaje a la salida?
- j) ¿Por qué son importantes los factores térmicos al aplicar un regulador de voltaje?
- k) ¿Existen reguladores para tensiones negativas? ¿Y para tensiones variables?
- l) Menciona los cuatro criterios importantes al elegir un regulador de voltaje.

7.3 FUENTES DE PODER

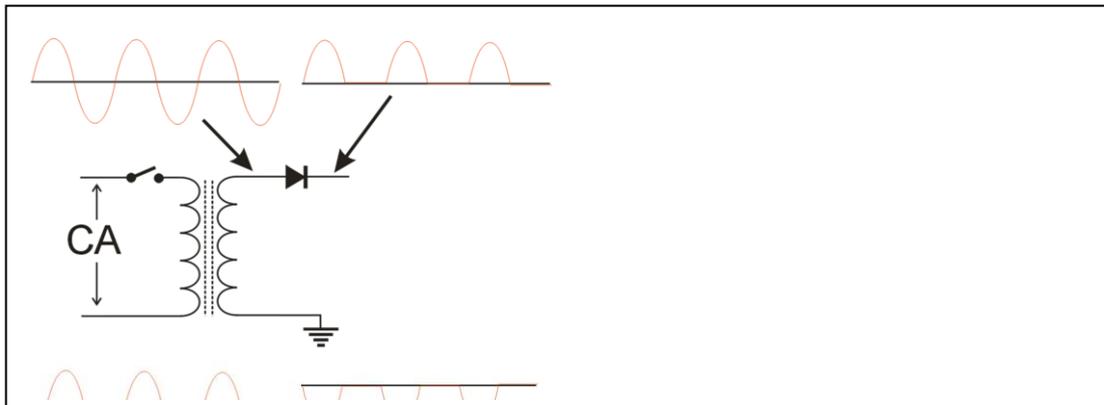
Como ya se mencionó en el punto anterior, el bloque de fuente de poder es una etapa prácticamente obligada en cualquier aparato electrónico que vaya a ser energizado por la línea de corriente alterna (CA) doméstica, ya que resulta imposible alimentar directamente con este voltaje los delicados chips que procesan la señal que se maneje. Esto significa que el diseño y construcción de fuentes de poder es una tarea muy habitual.

El problema principal que existe al tratar de utilizar la línea de CA doméstica para alimentar circuitos electrónicos, es que resulta demasiado grande para aplicaciones normales. Mientras que la mayoría de los circuitos integrados funcionan con voltajes de 5, 9, 12 o 15 voltios de corriente directa (en muy pocas ocasiones se necesitan voltajes mayores a esos), a través de la línea de CA está llegando un voltaje con polaridad cambiante y que alcanza picos de cerca de 180V, lo que evidentemente dañaría de forma casi inmediata a los circuitos electrónicos. Afortunadamente, solucionar este problema resulta sencillo, basta con introducir a la entrada de la línea de CA un transformador reductor de voltaje, como se muestra en la figura anexa.

La ventaja de los transformadores es que se pueden elegir dependiendo del voltaje que se necesite a su salida, y de la corriente que se desee suministrar; esto significa que si se necesitara una fuente de 5V-1A, se puede comprar un transformador de unos $7-8V_{CA}$

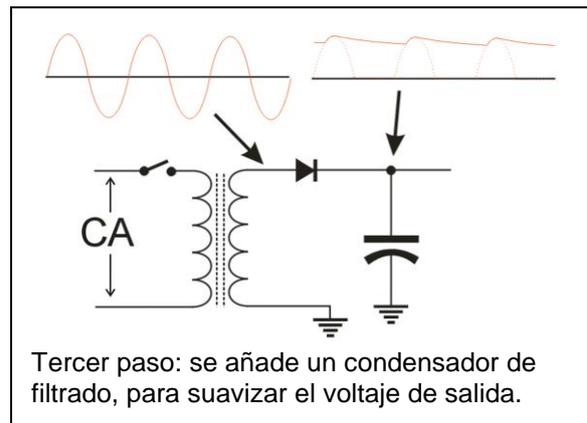


de salida, y capaz de manejar una corriente de 1.2A o más (por simple factor de seguridad); si se necesitan 12V, el transformador puede tener una salida de $15V_{CA}$, y así sucesivamente (se debe recordar la conveniencia de que el voltaje de entrada de un regulador sea por lo menos 3-4V mayor que su voltaje de salida). Esto proporciona al diseñador un amplio margen de maniobra, permitiéndole comprar el transformador adecuado para su necesidad específica (o mandarlo construir, en caso que sea necesario).



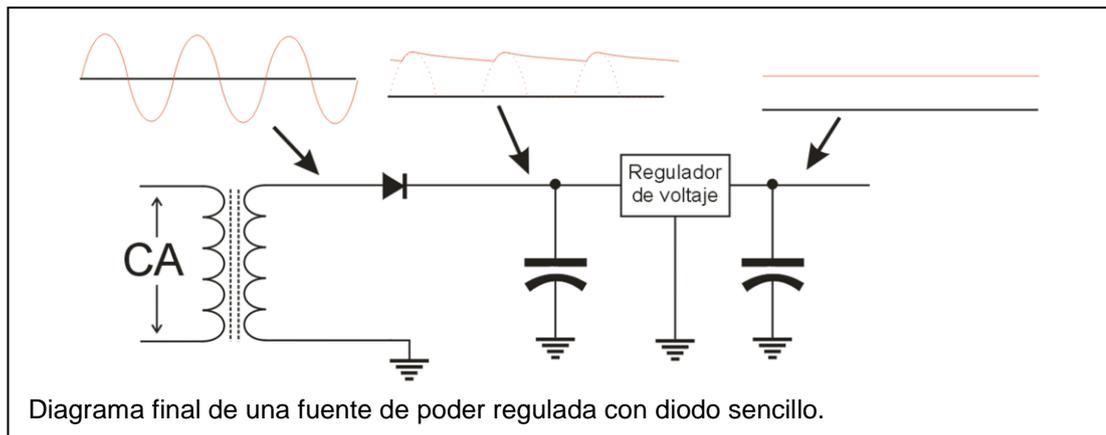
Ya que se ha reducido el voltaje de entrada, es momento de rectificarlo. La forma más sencilla de hacerlo es colocando un diodo simple, como se muestra en la figura anexa. Recordando la propiedad principal de un diodo, que es la de dejar pasar el voltaje cuando se polariza en cierto sentido, y bloquearlo si la polarización se invierte, resulta obvio que a la salida del diodo se tendrá lo que se muestra en las figuras anexas: un voltaje positivo para un diodo colocado como en el primer ejemplo, y un voltaje negativo para un diodo invertido como el del segundo ejemplo. Debido a que en estos casos el diodo sólo deja pasar la señal cuando su polaridad es correcta, a este tipo de rectificador se le llama “de media onda”.

Es fácil apreciar aquí que, a pesar de que ya se obtuvo el resultado deseado, de que únicamente se tenga un voltaje de una polaridad a la salida del diodo, el voltaje resultante es demasiado irregular como para aplicarse a circuitos electrónicos, ya que presenta secciones donde hay un voltaje positivo variable, y amplias zonas donde no hay voltaje. Para corregir este problema, es necesario insertar un componente adicional, que almacene carga durante el tiempo en que el voltaje sí está presente, y luego la libere gradualmente, conforme lo pida el circuito que se esté alimentando. Esta es la función del condensador de filtrado, el cual debe conectarse como se muestra en la figura anexa (nota: de aquí en adelante, para simplificar las explicaciones, sólo se mostrará el caso de una fuente de voltaje positivo, pero lo que se explique se aplica de la misma forma a las fuentes



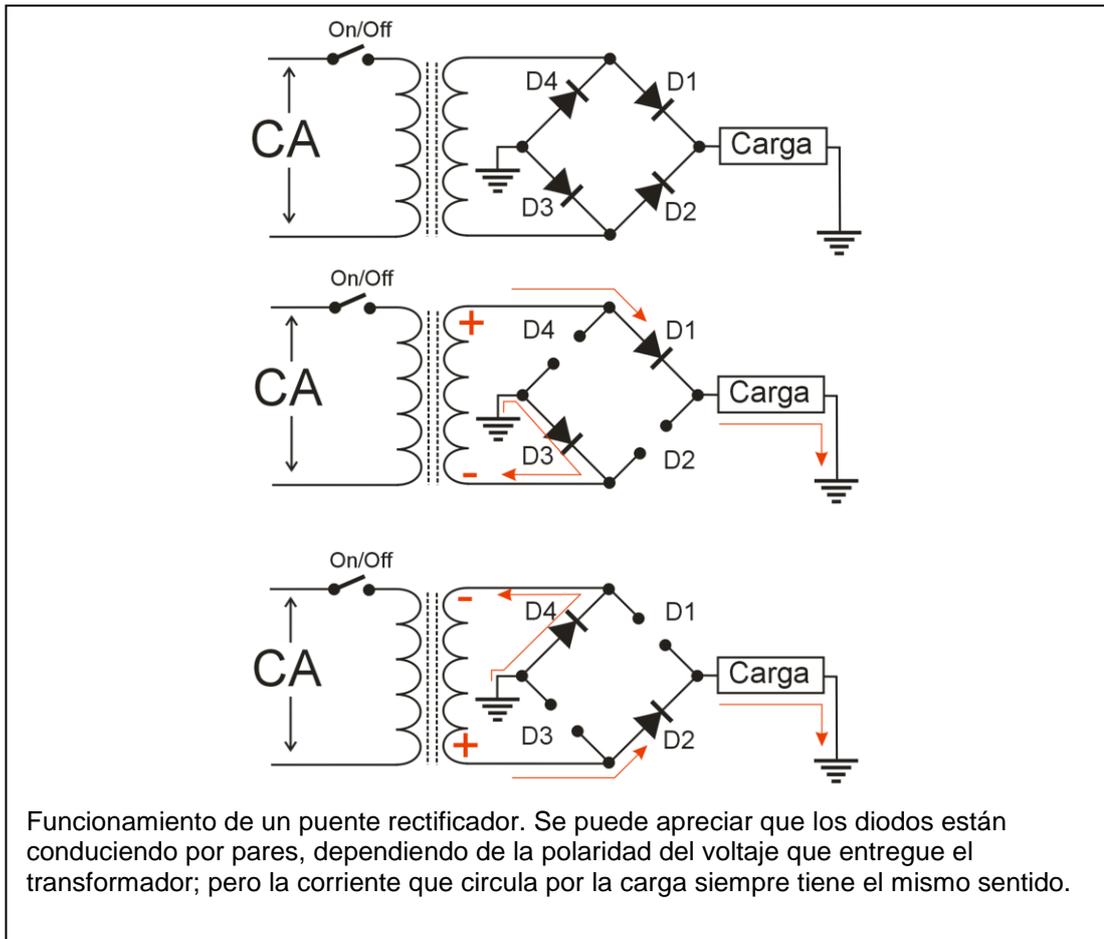
negativas, considerando los respectivos cambios en la polaridad de los componentes). Se puede apreciar que al añadir el condensador, éste se carga durante el tiempo en que el diodo sí deja pasar el voltaje del transformador, y cuando el diodo entra en su etapa de bloqueo, es el condensador el encargado de suministrar la energía hacia el circuito que se desea alimentar.

De esta manera se tiene un voltaje de corriente directa, pero aún resulta poco adecuado para la alimentación de circuitos electrónicos, ya que las variaciones inevitables por el ciclo de carga y descarga del condensador, podrían afectar el desempeño de los circuitos de proceso de señal; por eso, el último paso en cualquier fuente electrónica es precisamente el bloque regulador de voltaje, el cual toma la tensión no regulada que viene del condensador, y la expide con un voltaje menor, pero ya perfectamente estable y sin variaciones, ideal para la alimentación de circuitos electrónicos de precisión. Entonces, el diagrama final de una fuente regulada con diodo simple sería como se muestra en la figura anexa.



Si bien las fuentes con diodo simple sí se llegan a utilizar en electrónica, el amplio espacio que queda entre porciones con voltaje obliga al uso de condensadores de muy alta capacidad, lo que resulta algo costoso para los fabricantes. Para superar este problema, se diseñó un método más efectivo para la rectificación de una señal de CA, y es el uso del puente de diodos.

En la figura siguiente se ve la configuración típica de un puente de diodos, y para efectos de explicación, se ha colocado una simple resistencia de carga a su salida. En el diagrama central se puede distinguir qué sucede cuando a la salida del transformador se tiene una polaridad positiva en el extremo superior y negativa en el inferior: se puede ver que en tal caso la corriente circula por D1 y D3, aplicando a la carga un voltaje positivo. Cuando la polaridad de salida del transformador se invierte (negativo en el extremo superior y positivo en el inferior), ahora los diodos que conducen son D2 y D4, y se puede ver que la polaridad aplicada a la carga no ha cambiado. Esto significa que con un puente de diodos, se han eliminado los grandes espacios que había entre puntos con voltaje en el rectificador de media onda; y es por esta razón que a este arreglo de cuatro diodos se le conoce como “rectificador de onda completa”.



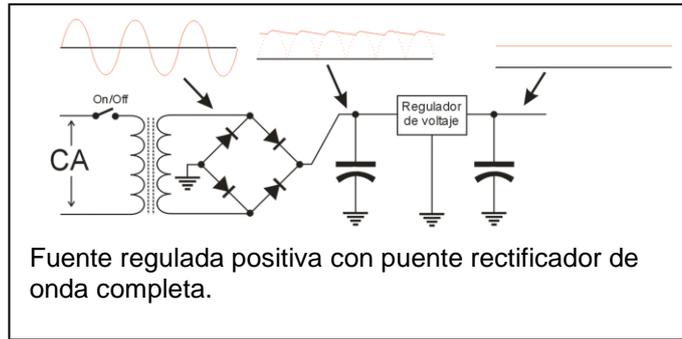
Debido a que este último arreglo es el que más se utiliza en fuentes comerciales, de ahora en adelante se utilizará como ejemplo para las fuentes que se explicarán a continuación. Cabe aclarar que si se va a utilizar un puente de diodos, hay que tomar en cuenta la caída cercana a 1.4V que producen los dos diodos conduciendo, ya que de lo contrario, el voltaje aplicado a la carga podría ser menor al que se espera.

Con lo que hasta ahora se describió, se pueden analizar las configuraciones típicas de las fuentes que es posible encontrar en diversos aparatos electrónicos. Se explicarán cinco fuentes distintas, y con ellas se pretende abarcar la mayor cantidad de opciones que se pueden enfrentar.

7.3.1 Fuente regulada simple positiva

Esta fuente se arma como se muestra en la figura anexa: la corriente alterna de la línea doméstica llega a un interruptor de encendido, y de ahí va a un transformador que reduce su valor hasta el voltaje deseado. Su salida se

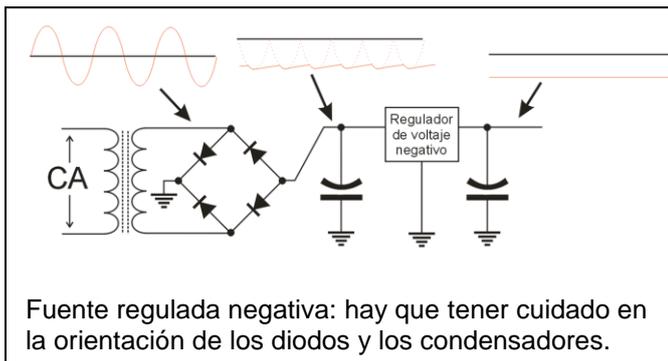
aplica a un puente rectificador, que a su vez alimenta a un condensador de filtrado. Finalmente, se encuentra el regulador de voltaje simple, que toma el voltaje no regulado a su



entrada y lo expide a su valor correcto y perfectamente estable. El último condensador es para absorber transitorios de alta frecuencia, y aunque no es estrictamente indispensable, se recomienda que se incluya en toda fuente de poder.

7.3.2 Fuente regulada simple negativa

Se puede ver su diagrama en la figura anexa. Es muy similar al caso anterior, pero los diodos del puente están conectados de forma inversa, de

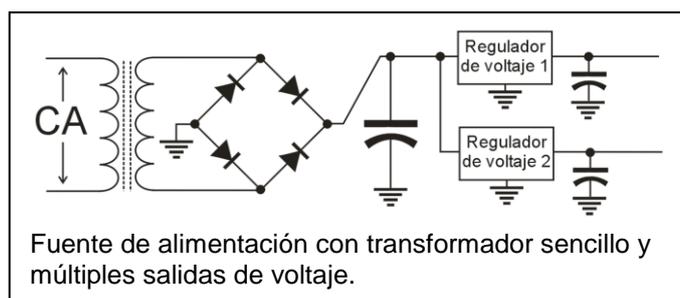


modo que la salida de voltaje ahora es negativa. Esto implica que el condensador de filtrado debe polarizarse de la forma adecuada, y colocarse un regulador de

voltaje especialmente diseñado para manejar voltajes negativos (como el 79xx mencionado). Aparte de eso, la estructura básica es idéntica al caso anterior, y su construcción es igualmente sencilla.

7.3.3 Fuente múltiple positiva

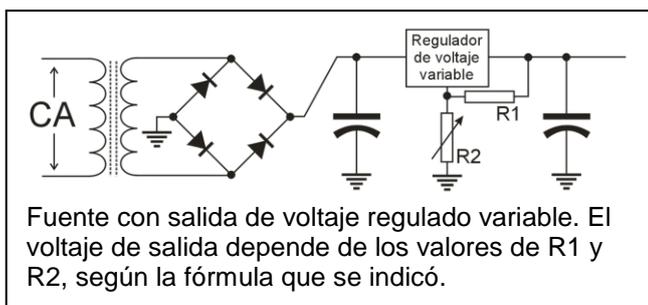
En ocasiones se necesita más de un voltaje a la salida, y en esos casos, para no utilizar varios transformadores, se aprovecha la salida de un transformador único para de ahí derivar los voltajes



necesarios. Esto se hace como se muestra en la figura anexa; se puede notar sólo se han colocado dos reguladores distintos a la salida, pero se podrían tener más, dependiendo de las necesidades del diseñador. En estos casos, es especialmente importante tomar en cuenta los factores térmicos de los reguladores de menor voltaje, ya que como la caída en sus extremos es alta, incluso con corrientes relativamente pequeñas se produce un gran calentamiento. Esto también se puede hacer con fuentes negativas, cuidando la polaridad de diodos y condensadores, y fijándose en el tipo de reguladores empleados.

7.3.4 Fuente regulada variable positiva

En el caso de que se necesite una fuente con voltaje variable a su salida, la forma de construirla es como se muestra en la figura anexa: se puede ver



que es muy similar al de una fuente regulada simple, pero cuando se llega al regulador LM317, se aprecian un par de elementos adicionales: una resistencia fija R1 y otra

variable R2. Estos elementos son precisamente los que permitirán variar el voltaje a la salida, ya que el LM317 expide a su salida un voltaje igual a:

$$V_{OUT} = 1.25 [1 + (R2/R1)] \text{ (voltios)}$$

Entonces, es fácil distinguir que calculando los valores de R1 y R2 se puede tener una fuente que pueda variar desde un valor mínimo de 1.25V hasta un valor máximo equivalente al voltaje obtenido en el condensador de filtrado menos unos 3-4V de rango de maniobra (si en el condensador se tienen unos 24V, la salida recomendada será de 1.25V hasta 20V).

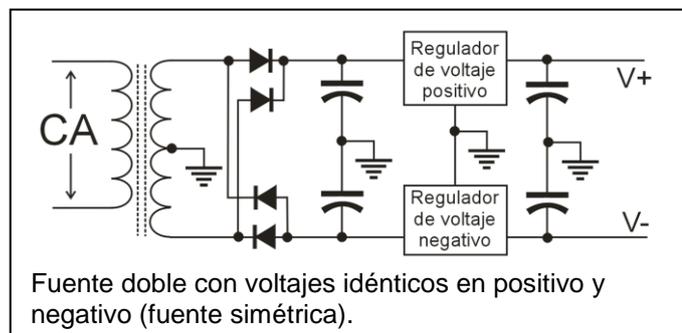
Este tipo de configuraciones se utiliza bastante en fuentes experimentales para estudiantes, ya que les permite tener una fuente variable muy confiable, a bajo costo y fácil de construir (no hay que olvidar el factor térmico; en estas fuentes es muy importante colocar un buen disipador de calor al regulador variable).

Si se necesita que la fuente variable sea negativa, la configuración es idéntica al caso anterior, pero cambiando la polaridad de los diodos, el condensador y el tipo de regulador empleado, que en este caso deberá ser un LM337; aparte de eso, las consideraciones son exactamente las mismas que en la fuente variable positiva.

7.3.5 Fuente simétrica

Para algunas aplicaciones de audio e instrumentación, a veces es necesario construir fuentes gemelas con voltajes idénticos pero de polaridad inversa; a este tipo de fuentes se les llama “simétricas”, ya que están expidiendo un voltaje $V+$ y un voltaje $V-$ de

la misma magnitud. La forma como se construyen normalmente es como se muestra en la figura anexa: se puede ver que se está utilizando un transformador



especial, que posee una derivación al centro de su embobinado de salida (también llamada “tap central”), y que esta derivación se utiliza como referencia de tierra. A continuación está el puente de diodos, luego un par de condensadores de filtrado, y finalmente los reguladores gemelos, uno para voltaje positivo y otro para negativo. Con esto a la salida se tendrán los voltajes $V(+)$ y $V(-)$ necesarios para alimentar amplificadores, comparadores o demás circuitos que requieran la presencia de ambas fuentes. Claro que también se podría hacer una fuente variable simétrica, colocando reguladores variables a la salida en lugar de los reguladores fijos, pero ese tipo de arreglos es muy poco común.

Estas son las configuraciones más empleadas en fuentes de poder convencionales, y se pueden encontrar en prácticamente todos los aparatos electrónico de consumo modernos que se alimenten directamente de la línea de CA doméstica. Sin embargo, conviene mencionar que, en años recientes, cada vez resulta más frecuente encontrar fuentes de poder que no trabajan de la forma explicada, sino que utilizan un principio completamente distinto. Se trata de las fuentes de tipo conmutado, que son capaces de proporcionar

grandes corrientes de salida sin necesidad de utilizar transformadores



excesivamente grandes, lo que al final implica un ahorro considerable para el fabricante. Estas fuentes poco a poco están invadiendo todos los campos: se usan en computadoras personales, en los cargadores para teléfonos móviles, en televisores, en reproductores de DVD y Blu-ray, incluso ya están llegando a los

aparatos de sonido y a otros equipos electrónicos, así este tipo de fuentes cada vez son más comunes.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 7C

- a) ¿De qué voltaje y corriente se debe comprar un transformador al construir una fuente?
- b) ¿Qué es más conveniente, un rectificador de diodo sencillo o un puente de diodos? ¿Por qué?
- c) ¿Qué función hace el condensador de filtrado?
- d) ¿Para qué se incluye un condensador a la salida del regulador?
- e) Dibuja el diagrama de una fuente regulada simple con salida negativa:
- f) Dibuja el diagrama de una fuente variable que utiliza el LM317 como regulador:
- g) ¿Cómo se calcula el voltaje a la salida de esta fuente?
- h) Dibuja el diagrama de una fuente simétrica:
- i) ¿Existe otro tipo de fuente de poder que se pueda usar en aparatos electrónicos modernos?

ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

1. Localiza y descarga de Internet las hojas de datos de los siguientes dispositivos: LM7805, LM7905, LM317 y LM337. Corresponden a reguladores de voltaje fijos y variables, tanto positivos como negativos.

2. Usando las hojas de datos de los reguladores serie 78xx, averigua la siguiente información; haz lo mismo para los reguladores 79xx, LM317 y LM337 y reúne los datos en una tabla comparativa:
 - Corriente máxima que puede manejar el chip.
 - Tipo de encapsulado y disposición de terminales.
 - Resistencia térmica de chip a encapsulado y de chip a ambiente.
 - Corriente de pico instantánea.
3. Adquiere en una tienda de partes electrónicas un regulador 7805 y un LM317. Compra también un condensador electrolítico de 1uF/50V y otro de 1000uF/35V, cuatro diodos 1N4004, una resistencia de 1K, un potenciómetro de 10K y un transformador de 15 o 18Vca, 300mA.
4. Con esos elementos, y usando la tablilla protoboard, arma una fuente fija de 5V positivos, usando el regulador 7805. Guíate de los diagramas explicados en la unidad, tomando en cuenta que el condensador de 1000uF será el filtro principal que se coloca después del puente de diodos y el de 1uF será el filtro de protección que se coloca después del regulador.
5. Ahora arma una fuente variable usando el regulador LM317, la resistencia y el potenciómetro (sigue el diagrama mostrado en la unidad). Mide el voltaje de salida para diferentes posiciones del potenciómetro, y comprueba que la fuente puede expedir desde 1.25 hasta aproximadamente 13V de salida.
6. Con esto ya tendrás a la mano una fuente regulada variable para futuros experimentos de electrónica. Sólo recuerda que por el transformador usado, esta fuente te puede dar un máximo de 300mA de salida; si necesitas una corriente mayor, hay que cambiar el transformador por uno de más capacidad, aunque lo máximo que pueden manejar tanto los diodos como el regulador 7805 es 1 ampere. Cuida también el aspecto térmico del chip para evitar sobrecalentamiento.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Por qué no se puede alimentar un circuito electrónico con un voltaje de corriente alterna?
2. ¿Cuál es la función de un regulador de voltaje?
3. ¿Por qué es importante la presencia de un regulador en un circuito electrónico?
4. ¿Cuál es el aspecto típico de un regulador de voltaje integrado?
5. ¿Cuál es la serie de reguladores integrados más popular en el mercado electrónico? ¿Qué voltajes puede manejar?
6. ¿Por qué es importante considerar los factores térmicos al aplicar un regulador de voltaje integrado?
7. ¿Cómo puede mantenerse una temperatura de trabajo adecuada en un dispositivo electrónico que esté disipando potencia en forma de calor?
8. Menciona las familias de reguladores más usuales para obtener voltajes negativos o voltajes variables:
9. ¿Existen reguladores con más de un voltaje de salida?
10. Describe las cuatro etapas básicas de cualquier fuente de poder:

RESPUESTAS

1. Porque las variaciones de voltaje dañarían los circuitos electrónicos.
2. Estabilizar el voltaje de alimentación de los circuitos, para que siempre esté en un valor fijo y confiable.
3. Porque los circuitos electrónicos muchas veces utilizan a su fuente de poder como referencia para diversos procesos, y se requiere que ésta sea lo más fija y estable posible.
4. Un dispositivo con tres terminales, para la entrada de voltaje, la salida de voltaje, y la referencia de tierra.
5. La serie 78xx, que se fabrica en voltajes de 5, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20 y 24V.
6. Porque si no se libera del calor generado en su interior, el regulador se dañaría.
7. Por medio de un disipador de calor adosado al circuito integrado.
8. La familia 79xx para voltajes negativos, y los chips LM317 y LM337 para voltajes variables positivos y negativos respectivamente.
9. Sí, son comunes en aparatos electrónicos de consumo.
10. 1.- Transformador reductor de voltaje. 2.- Rectificación por puente de diodos. 3.- Condensador de filtrado. 4.- Regulador.

RESPUESTAS A LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Actividad de aprendizaje 7A:

- a) Sí, con un diodo zener, un transistor, una resistencia y dos condensadores.
- b) El voltaje del zener menos la caída entre base y emisor del transistor.
- c) Su construcción básica es muy similar, ya que sus necesidades son casi iguales.
- d) Almacena aire a presión, y lo va liberando conforme lo necesite el sistema neumático.
- e) Toma la presión variable que viene del depósito y la transforma en una presión constante para la operación de los pistones neumáticos.
- f) En cualquier aplicación que requiera un flujo establece algún gas, como los tanques de oxígeno de los buzos, el gas doméstico, el oxígeno medicinal, etcétera.

Actividad de aprendizaje 7B:

- a) Son tres terminales: entrada de voltaje, salida de voltaje y referencia de tierra.
- b) Normalmente se coloca un condensador a la salida, aunque no es estrictamente indispensable.
- c) Porque las variaciones en el voltaje destruirían los delicados circuitos electrónicos.
- d) Un transformador reductor.
- e) Mediante diodos rectificadores.
- f) Rizo de voltaje.
- g) Voltaje no regulado y voltaje regulado.
- h) No, se elige el adecuado para la aplicación que se desee.
- i) Para que el regulador tenga espacio de maniobra para estabilizar el voltaje a la salida.
- j) Porque el regulador tiene que liberar todo el calor que genera en su interior, equivalente a la diferencia entre el voltaje de entrada y el de salida, multiplicado por la corriente circulando.

- k) Sí, como la serie 79xx para voltajes negativos, el LM317 para voltajes variables positivos y el LM337 para voltajes variables negativos.
- l) Voltaje, corriente, polaridad y factores térmicos.

Actividad de aprendizaje 7C:

- a) El voltaje debe ser entre 3 y 4V mayor que el voltaje deseado a la salida, y la corriente debe tener un factor de seguridad mínimo de un 20%.
- b) El de puente de diodos, porque así el condensador de filtrado se recarga más rápidamente, reduciendo la variación en el voltaje no regulado.
- c) Almacena temporalmente la energía eléctrica, liberándola cuando no esté presente.
- d) Para eliminar transitorios de alta frecuencia.
- e) (Dibujo).
- f) (Dibujo).
- g) $V_{OUT} = 1.25 (R2/R1)$ (voltios)
- h) (Dibujo).
- i) Sí, las fuentes conmutadas.

UNIDAD 8

OTROS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS

OBJETIVO

El estudiante conocerá otros dispositivos utilizados en la industria electrónica que no son tan comunes como los descritos en unidades anteriores, pero sí tienen un amplio número de aplicaciones especializadas.

TEMARIO

8.1 TUBOS AL VACÍO

8.2 SCR, TRIAC Y DIAC

8.3 DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS

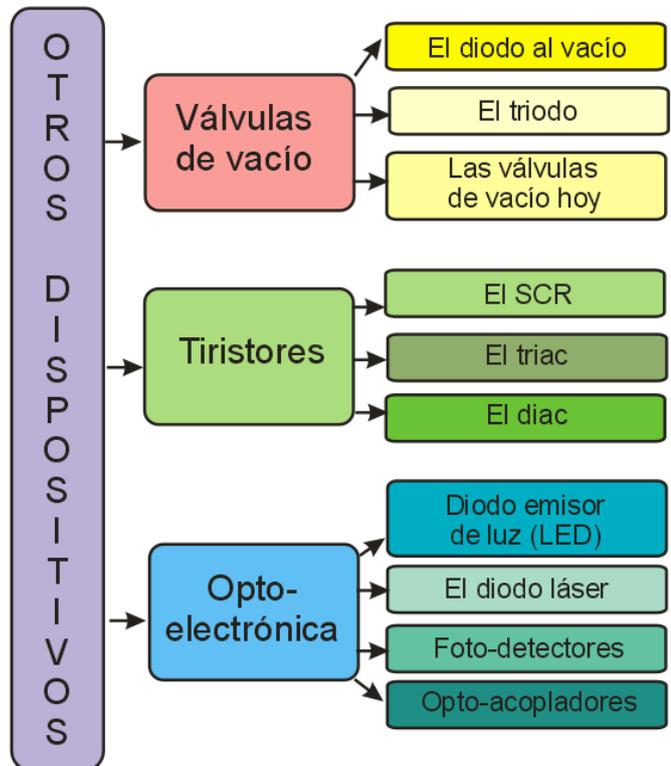
8.3.1 Diodos emisores de luz o LED

8.3.2 Diodo láser

8.3.3 Fotodetectores

8.3.4 Optoacopladores

MAPA CONCEPTUAL

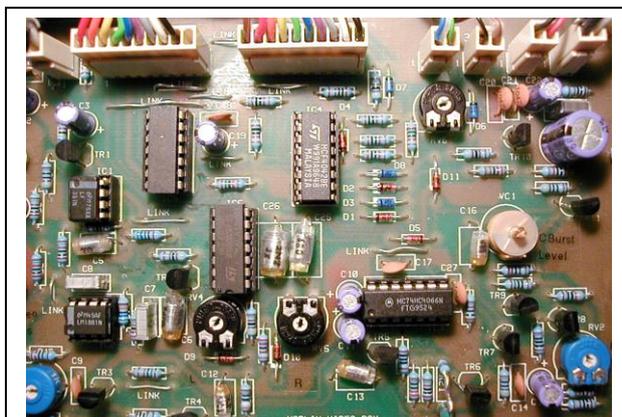


INTRODUCCIÓN

Si bien los diodos, transistores y circuitos integrados son los dispositivos electrónicos más empleados en la tecnología moderna, existe una amplia variedad de componentes especialmente diseñados para cumplir labores específicas, en aplicaciones

que difícilmente podrían ser cubiertas por los dispositivos electrónicos más convencionales. Entre ellos se encuentran los tiristores, que son elementos con cuatro capas o más de material semiconductor,

específicamente diseñados para el manejo de grandes voltajes y corrientes; los



Aunque los diodos, los transistores y los circuitos integrados son los dispositivos más usados en electrónica, no son los únicos. (Imagen: www.freeimages.co.uk)

dispositivos optoelectrónicos, que pueden funcionar como simples indicadores de encendido-apagado o como piezas fundamentales en los más avanzados sistemas de comunicación; y los tubos de vacío, que si bien en la actualidad parecería ser una tecnología antigua y obsoleta, en realidad tiene su nicho de mercado, sobre todo en los equipos de audio de muy alta fidelidad.

Precisamente, en esta unidad se expondrán estos elementos, sus principios de operación, cómo trabajan y sus aplicaciones más comunes. Con esto se tendrá un panorama más amplio de los límites y alcances de la tecnología electrónica, y quedará más clara la enorme influencia que tiene en la vida moderna.

8.1. TUBOS AL VACÍO

Se ha indicado bastante en las unidades anteriores, que los dispositivos electrónicos semiconductores sustituyeron a los grandes, pesados y poco confiables tubos al vacío, permitiendo realizar con unos cuantos elementos pequeños y robustos, lo que antes requería de una buena cantidad de válvulas electrónicas o bulbos. Esto a su vez se tradujo en circuitos más poderosos, flexibles y sofisticados, a la vez que reducían su tamaño y su complejidad.



A pesar de todos sus inconvenientes, los bulbos se siguen usando actualmente.
(Foto: Ciel electronique).

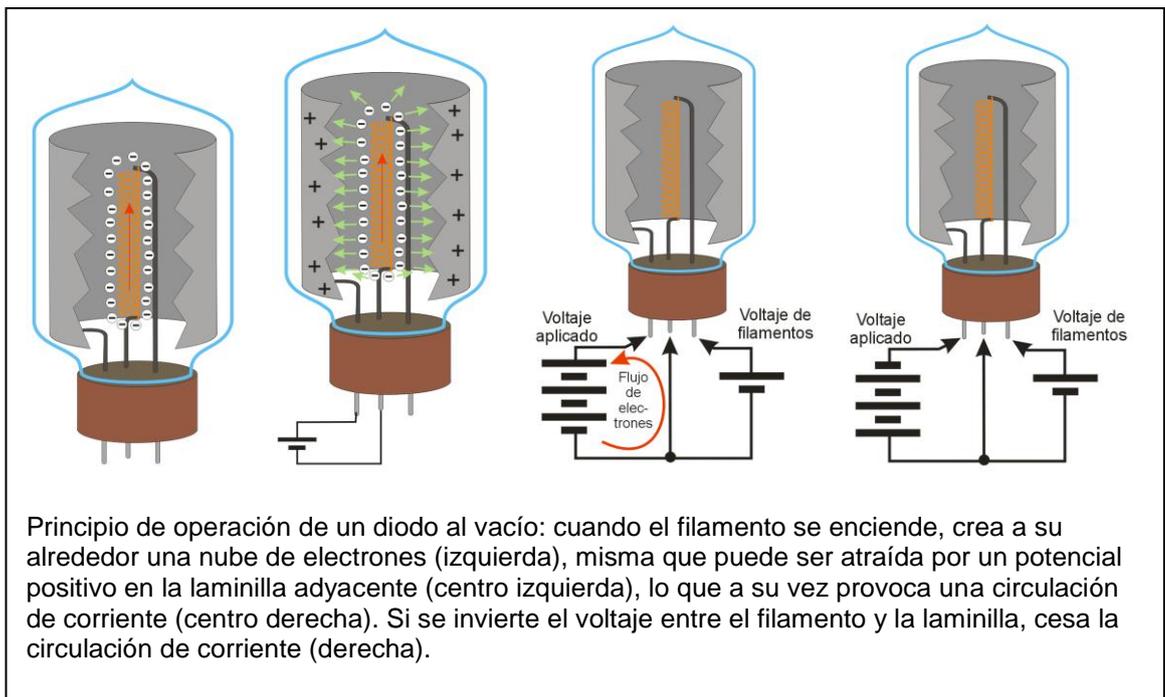
Por todo lo anterior, se podría pensar que la tecnología de los bulbos ya está completamente obsoleta, tanto o más que la de las cámaras súper-8 para tomar películas caseras; sin embargo, aún en la actualidad se siguen produciendo aparatos cuyo funcionamiento está basado en válvulas al vacío, ya que sus características de operación tan particulares, las hacen ideales para cierto tipo de aplicaciones avanzadas. A continuación se explicará el principio de funcionamiento de las dos válvulas más comunes: el diodo y el

triode, y se explicará porqué se siguen usando actualmente, cuando aparentemente ya existen opciones mucho más avanzadas para lograr el mismo objetivo.

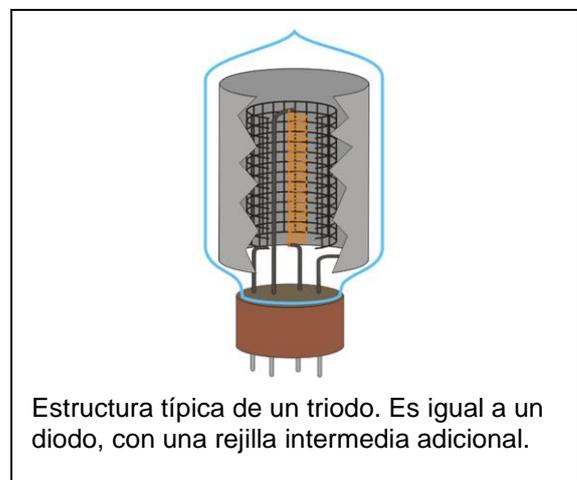
Como ya se explicó en la unidad tres, el primer diodo al vacío fue desarrollado a partir del denominado “efecto Edison”, el cual indica que, si se coloca una laminilla cerca de un filamento incandescente, y se aplica entre ambos una tensión eléctrica, habrá un flujo de electricidad cuando se polarice con un valor negativo al filamento y uno positivo a la laminilla, pero si se invierte esta polaridad, el flujo eléctrico cesa, lo que significa que este sencillo dispositivo puede servir como un rectificador de señal, dejándola pasar únicamente cuando posea la polaridad correcta, y bloqueándola en caso contrario.

La razón por la que sucede esto es la siguiente: en el filamento incandescente se forma una “nube” de electrones libres, liberados del

material por el calor producido por el flujo de electricidad. Si se coloca relativamente cerca una placa metálica con una polaridad positiva en comparación al filamento incandescente, los electrones se sienten atraídos hacia ese potencial, y debido a que el interior del dispositivo está al vacío, no tienen ningún obstáculo para viajar desde el filamento hacia la placa; sin embargo, si se invierte la polaridad y ahora la placa tiene un potencial negativo en comparación al filamento, los electrones que lo rodean se sienten repelidos por el potencial, así que permanecen alrededor del filamento.

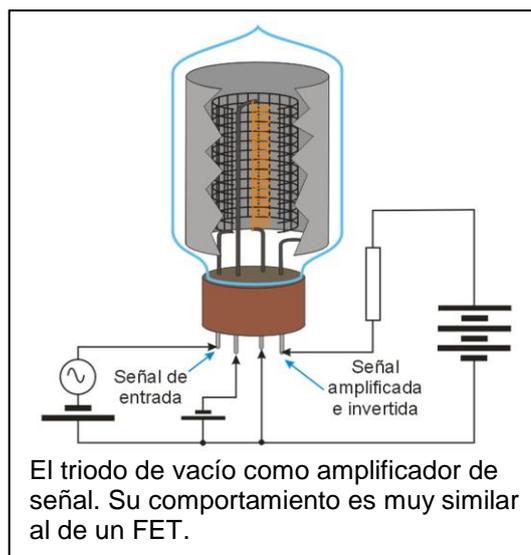


Entonces, con una estructura tan simple se tiene un dispositivo que sólo conduce cuando se polariza de forma adecuada, bloqueando el flujo de corriente si se llega a invertir la polaridad. Desde principios del siglo XX, cuando se desarrolló este componente, al extremo correspondiente al filamento se le denominó “cátodo”, y a la laminilla se le llamó “ánodo”, y estos nombres han



permanecido hasta este momento, aplicándose incluso a los diodos semiconductores.

Investigaciones posteriores demostraron que, si se coloca una placa con perforaciones entre el ánodo y el cátodo de un diodo al vacío, y se aplicaba un voltaje a esa nueva laminilla, se podía controlar la cantidad de flujo electrónico que circulaba entre el ánodo y el cátodo, ya que el voltaje en la placa intermedia (denominada “rejilla”), influía en el grado de atracción o repulsión que el ánodo ejercía sobre los electrones libres del cátodo. Surge así el triodo, primer dispositivo amplificador conocido en la electrónica, y que tenía una estructura como la que se muestra en la figura anexa: básicamente se puede decir que es un diodo al cual se le ha añadido una capa extra entre ánodo y cátodo, y es ahí donde se aplica la señal que se desea amplificar. En condiciones normales, y si no se aplica ninguna señal al triodo, la corriente de electrones podría comenzar a circular entre el cátodo y el ánodo, y se dice que el dispositivo está en modo de saturación; pero cuando comienza a aplicarse un voltaje negativo a la rejilla, por repulsión de cargas iguales, muchos de los electrones que antes salían sin problemas del cátodo ahora ya no pueden hacerlo, por lo que la corriente entre cátodo y ánodo disminuye. Cuando el voltaje de rejilla es lo suficientemente alto, la repulsión es tal que cesa por completo el flujo de corriente dentro del triodo, con lo que se dice que está en modo de corte.



Este comportamiento es prácticamente idéntico al de un FET canal N, y es por ello que, cuando apenas surgió este dispositivo, se le llamó “el triodo de estado sólido” o “triode semiconductor”.

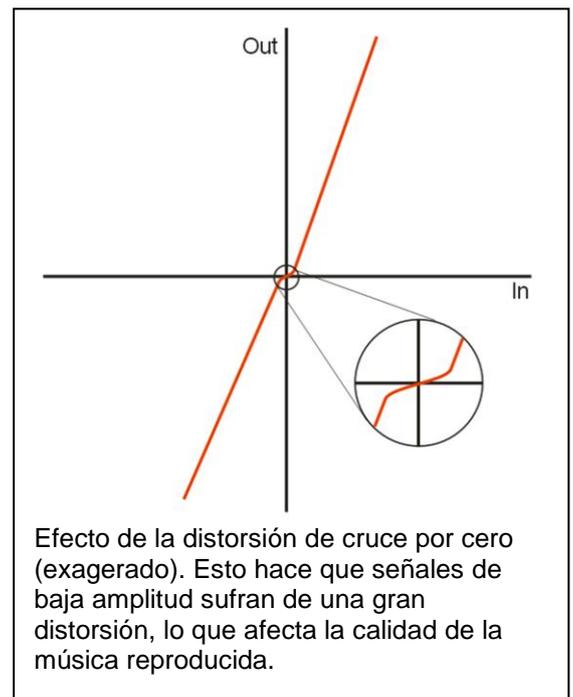
De lo anterior se desprende la propiedad amplificadora de los triodos: aplicando un voltaje lo suficientemente alto entre ánodo y cátodo, y colocando una resistencia

externa que permita apreciar fácilmente los cambios en el flujo de corriente, basta con aplicar una señal de entrada en la rejilla para que, entre el cátodo

y el ánodo del triodo, aparezca la misma señal, sólo que amplificada e invertida (como sucede con el FET).

De los triodos se desprendieron otros tubos de vacío, como los tetrodos o los pentodos, los cuales buscaban corregir algunos problemas que tenían los primeros en su operación, sobre todo a altas frecuencias; o conseguir algunos efectos interesantes, como la posibilidad de tener una ganancia controlada por medio de una señal adicional. En realidad, la tecnología de los tubos de vacío se desarrolló a niveles realmente asombrosos, pudiendo elaborarse con ellos algunos circuitos verdaderamente notables en su desempeño; pero con la aparición de los transistores y en general de los dispositivos electrónicos semiconductores, los tubos de vacío cayeron rápidamente en desuso, y de hecho, parecían condenados a una extinción definitiva.

Sin embargo, en los últimos años los tubos al vacío están teniendo un resurgimiento notable, sobre todo impulsado por el segmento de los audiófilos entusiastas. Esto se debe a que, debido al voltaje de polarización indispensable para que un dispositivo semiconductor funcione, en estos elementos es muy fácil que una señal de audio se distorsione, sobre todo cuando se manejan señales de muy baja



Amplificador de audio McIntosh, que usa tubos de vacío en vez de transistores. Se trata de aparatos de muy alto nivel, para audiófilos exigentes. (Foto: McIntosh).

amplitud. A este tipo de fallas se le conoce como “distorsión de cruce por cero”, y reducirlo al máximo resulta todo un reto para los fabricantes de amplificadores de audio. Pues bien, los tubos al vacío no tienen ese tipo de problemas, lo

que ha impulsado el desarrollo de toda una nueva generación de amplificadores de muy alto nivel, que utilizan tubos en lugar de transistores, para realizar su amplificación final. Estos aparatos suelen ser muy costosos, ya que están enfocados a un público muy exigente, pero precisamente por eso, le han dado una nueva vida a la tecnología de los tubos al vacío.

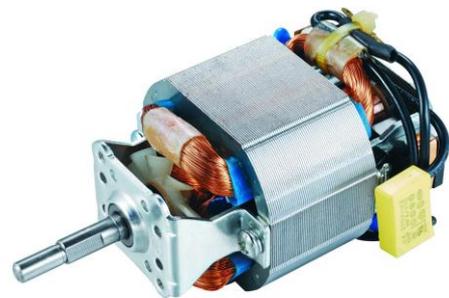
Entonces, resulta obvio que, a pesar de que en la actualidad casi han caído en desuso, los tubos de vacío siguen teniendo un nicho de mercado muy especial, lo que significa que conviene saber a grandes rasgos su principio de operación y su funcionamiento como amplificador de señal.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 8A

- a) ¿En qué se basaron los investigadores para crear el primer diodo al vacío?
- b) ¿Por qué el diodo al vacío sólo conduce en una dirección y no en la opuesta?
- c) ¿Cómo se denomina al dispositivo al vacío en el cual se ha añadido una rejilla de control entre ánodo y cátodo?
- d) ¿Para qué sirve este dispositivo?
- e) ¿Qué es la distorsión de cruce por cero? ¿Cómo afecta a las señales procesadas?
- f) ¿Por qué se utilizan válvulas de vacío en amplificadores de audio de alto nivel?

8.2. SCR, TRIAC Y DIAC

Existen aplicaciones en las cuales los dispositivos electrónicos convencionales, como el FET o el TBJ, no resultan muy convenientes, ya que fácilmente pueden resultar dañados. Por ejemplo, si se desea tener la capacidad de encender o apagar una corriente del orden de varias



Cuando el elemento a controlar es por ejemplo un motor de CA, los diodos y transistores convencionales no resultan adecuados. (Foto: KingTech).

decenas de amperes, resulta algo difícil encontrar un transistor capaz de manejar tal cantidad de amperaje. Esto es especialmente crítico para sistemas que utilizan corriente alterna para funcionar, y que requieren de algún control preciso para que lleven a cabo su función de forma eficiente, ya que tradicionalmente, los circuitos de control electrónicos sólo trabajan con corriente directa, y se dañan de inmediato si se les aplica una corriente con polaridad variable, sin mencionar que el alto voltaje de la línea de CA tradicional (aproximadamente 170V de voltaje pico), seguramente dañaría a cualquier transistor que se quisiera incluir como dispositivo de control.



Para estas aplicaciones de altos voltajes y corrientes, existe una familia especial de dispositivos electrónicos, llamadas generalmente “tiristores”. Estos dispositivos se caracterizan por poseer cuatro o más capas de semiconductor, lo que les da características especiales que los hacen idóneos para circuitos de alto

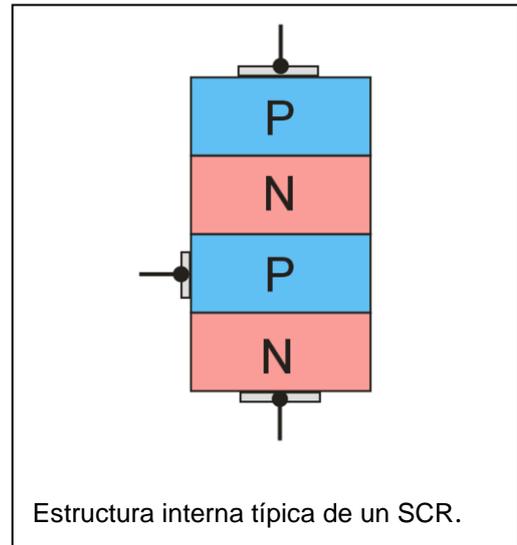
voltaje y alta corriente. Existe una amplia variedad de tiristores, pero los más comunes son los rectificadores controlados de silicio o SCR, los triacs y los diacs. A continuación se describe el funcionamiento de cada uno y sus principales aplicaciones.

El rectificador controlado de silicio (SCR)

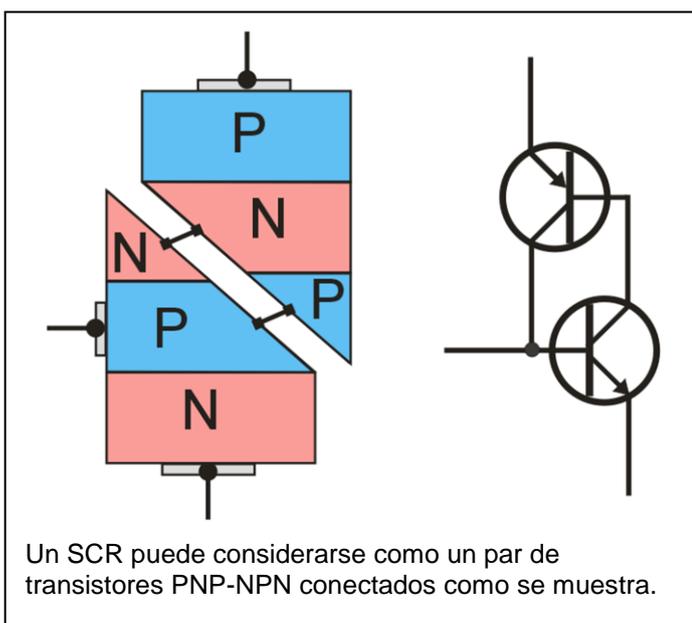
Cuando se desarrollaron los primeros dispositivos electrónicos, se descubrió que con capas de semiconductor P y N se formaba un diodo, con capas alternadas NPN o PNP se formaba un transistor bipolar de juntura; entonces, la pregunta natural sería: ¿y qué pasa con cuatro capas de semiconductor alternadas PNPN? Es así como aparece el primer tiristor: el SCR.

En la figura anexa se muestra la estructura básica de un SCR; se pueden apreciar las cuatro capas alternadas PNPN, con terminales en los extremos y en la capa P intermedia. Ciertas pruebas realizadas en laboratorio demostraron que, cuando se aplica un voltaje de polaridad positiva en la terminal superior y negativa en la inferior, el dispositivo no

conduce en lo absoluto; cuando se invierte la polaridad, tampoco entra en conducción, pero algo especial sucede si se polariza nuevamente como al principio, y se envía un pulso de activación a través de la terminal intermedia: en ese momento el dispositivo comienza a conducir, y permanece encendido aún si se ha retirado el pulso de activación, siempre y cuando se mantenga la polaridad adecuada entre sus extremos, o mientras circule un mínimo de corriente por su interior.



¿Por qué sucede esto? En la figura anexa se tiene una representación de cómo se podrían interpretar las cuatro capas semiconductoras del SCR: si se divide el dispositivo de modo que queden tres capas en la parte superior y tres en la inferior, se pueden considerar como dos transistores conectados como se muestra en la misma figura: un PNP en la parte superior y un NPN en la inferior. Si se analiza este arreglo, es lógico que si se aplica voltaje entre sus terminales superior e inferior, sin ningún pulso de activación en la base del NPN, no habrá flujo de corriente dentro del dispositivo; pero si se aplica un voltaje (+) en el emisor del PNP y

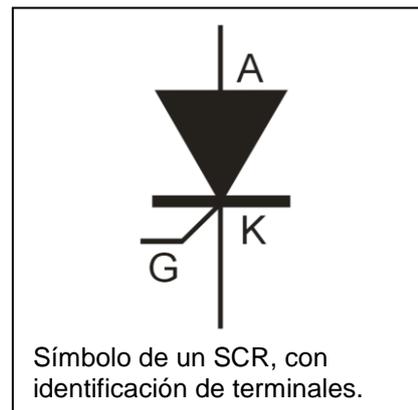


un voltaje (-) en el emisor del NPN, y bajo esas condiciones se aplica un pulso de activación en la base del NPN, sucede algo interesante: el transistor NPN comienza a conducir, lo que significa que cierta corriente comienza a circular entre su colector y su emisor; pero el colector del NPN está conectado a

la base del PNP, lo que a su vez enciende a este transistor y lo hace

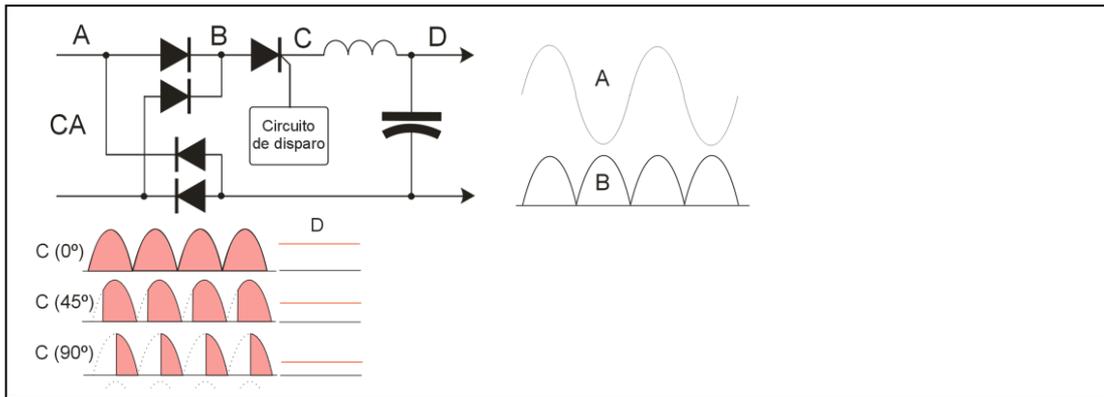
conducir. Como el colector del PNP está conectado a la base del NPN, no importa si después de un momento se retira el pulso de activación de la base del NPN, la corriente que viene del PNP mantiene encendido al NPN, así que el conjunto sigue conduciendo mientras esté polarizado adecuadamente.

Ahora bien, si se aplica un voltaje (-) en el emisor del PNP y un voltaje (+) en el emisor del NPN, se puede ver que ambos transistores están polarizados en inversa, así que aunque aparezca un pulso en la terminal intermedia, no habrá forma en que el dispositivo conduzca. Esto significa que el SCR sólo conduce cuando está polarizado de forma adecuada, y esto se debe combinar con un pulso de activación en la terminal intermedia. Debido a este comportamiento, parecido a un diodo con una terminal de encendido, el símbolo de este dispositivo se



muestra en la figura anexa: se puede ver que es igual al del diodo, pero con una terminal adicional para introducir el pulso de activación. Debido a esto, a las terminales se les denomina ánodo, cátodo y compuerta (A-K-G).

Los SCR se utilizan sobre todo para el manejo de grandes corrientes a altos voltajes, especialmente en la rectificación y control de corriente alterna. Con ellos es posible "recortar" una señal de AC rectificada, de modo que el voltaje RMS obtenido pueda variar dependiendo del ángulo de activación del SCR. En la figura inferior se muestra un ejemplo de aplicación de un SCR para controlar un voltaje de salida que toma directamente la alimentación de CA y la convierte en un voltaje variable de CD, controlando el momento del disparo del SCR. Junto al circuito se aprecia la forma como se realiza este control, y se ve el efecto de ir retrasando cada vez más el disparo del SCR.



Ahora bien, el SCR funciona muy bien para controlar un voltaje de directa, pero posee un inconveniente grave: es fácil de encender, pero difícil de apagar. Para que un SCR deje de conducir, es necesario que se cumpla alguna de dos condiciones: que el voltaje aplicado al dispositivo se invierta (aunque sea momentáneamente), o que la corriente que circule por él disminuya por debajo de la corriente de mantenimiento. Esto significa que en el caso del circuito anterior, cada vez que termina un “ciclo” de voltaje de entrada, el SCR se apaga de forma automática, pero si se aplicara un voltaje



de DC continuo a la entrada de este componente, no se podría apagar a menos que se incluyera una configuración que, al recibir la orden de apagado, invirtiera por un instante el voltaje aplicado al SCR. Estos circuitos son algo complejos, por lo que si bien los SCR se usaron por algún tiempo

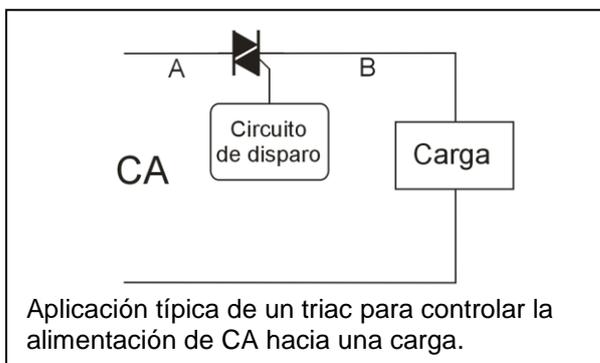
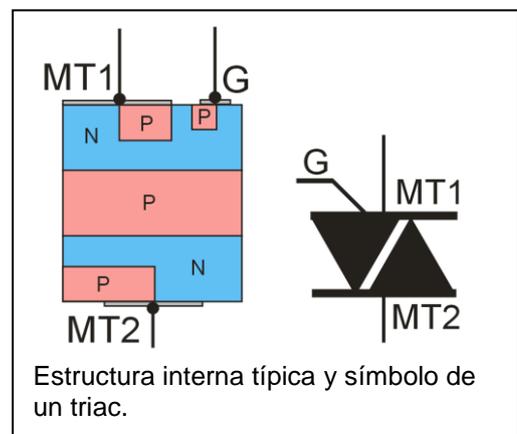
para el manejo de grandes corrientes en DC, en la actualidad han sido sustituidos por los MOSFET de potencia, más fáciles de encender y apagar, y que también ofrecen un buen desempeño en grandes voltajes y corrientes.

Sin embargo, existen ocasiones en que es necesario controlar un dispositivo que se alimenta directamente de corriente alterna, como podría ser un motor eléctrico, un sistema de iluminación, etcétera. Para estos casos, se ha diseñado un tiristor especialmente dedicado al manejo de señales de alterna, y es el triac.

El triac

Cuando el dispositivo a controlar se alimenta directamente de la línea de alimentación de corriente alterna, como sucede por ejemplo con los motores eléctricos o las lámparas incandescentes, sería bueno contar con un componente que pueda manejar la línea de AC tal cual, recortando su forma de onda para, de ese modo, controlar la potencia eléctrica que se proporciona al dispositivo.

Cuando se descubrieron las peculiares propiedades de los dispositivos electrónicos de cuatro capas o más, los científicos buscaron alguna configuración por medio de la cual se pudiera manejar voltajes de CA, y después de múltiples pruebas, se llegó a una arquitectura muy particular, misma que se muestra en la figura anexa: se puede ver que se trata de dos dispositivos de cuatro capas combinados, para que funcione casi como un par de SCR colocados en paralelo y en direcciones opuestas, pero



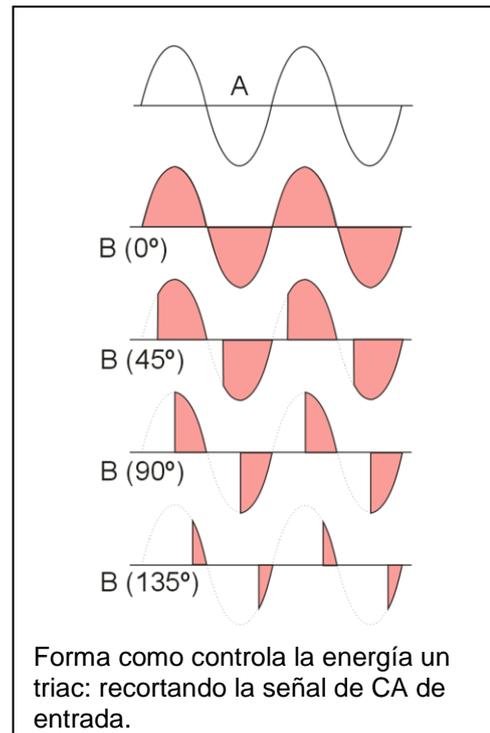
la compuerta (G) para el disparo.

Lo que hace especial a este dispositivo es que puede conducir en ambas direcciones, dependiendo de su voltaje de polarización, y que puede dispararse con un pulso tanto positivo como negativo. Esta es la razón por la cual el triac es el componente ideal para el manejo de corriente alterna.

¿Cómo se aplica un triac para, por ejemplo, controlar la velocidad de un motor eléctrico? Siguiendo el mismo principio que el SCR; esto es, “recortando” la forma de onda de la alimentación de CA aplicada al motor, tal

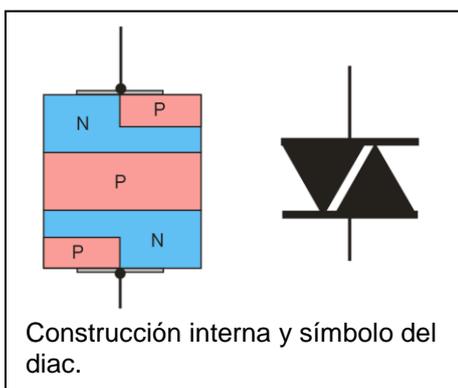
como se muestra en la figura anexa. Para ello, lo único que hay que hacer es ir retrasando gradualmente el disparo del triac, con lo que menos energía llega hasta el motor, y por consecuencia, se reduce su velocidad de giro. Esto también puede utilizarse por ejemplo para regular la intensidad de la luz que proporciona una lámpara incandescente, para regular el calor de un calefactor, la intensidad de una cocina eléctrica, etcétera.

Para poder disparar de forma rápida y económica a un triac, se diseñó un dispositivo muy peculiar: el diac, que se explicará enseguida.



El diac

El diac es el tercero de los dispositivos multi-capa más populares en el diseño electrónico. Se trata de un tiristor formado por cinco capas de semiconductor, con una arquitectura como la que se muestra en la figura

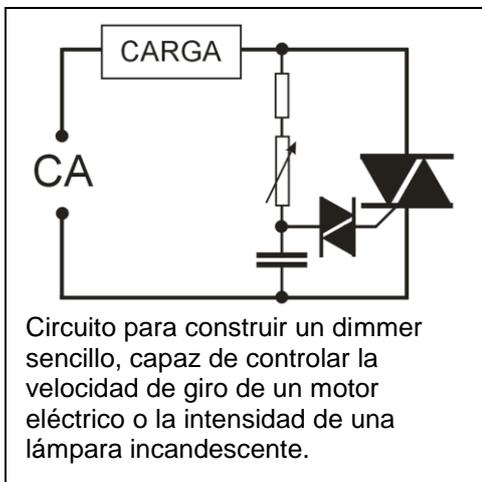


anexa. Se puede ver que si la corriente tratara de circular entre sus terminales, tendría en cada caso que atravesar cuatro capas de semiconductor PNPN, pero al no contar con una terminal de compuerta, el dispositivo en estado de reposo permanece apagado, esto es, no hay conducción.

Sin embargo, lo que hace especial al diac es que sus capas de semiconductor han sido dopadas de tal forma, que poseen algo que se llama “voltaje de disparo”, y cuando se alcanza ese valor, el dispositivo entra en conducción y no deja de hacerlo hasta que la corriente en su interior desciende por debajo del valor de mantenimiento o si se polariza en sentido inverso (igual que un SCR). Los diacs comerciales normalmente tienen un

voltaje de disparo de entre 20 y 30V, lo que los hace ideales para aplicaciones de control en la línea de CA residencial.

Al combinar un triac y un diac, es posible construir un circuito que



permita regular la cantidad de alimentación que se proporciona a un aparato eléctrico, conocido tradicionalmente como "dimmer". En la figura anexa se muestra el diagrama de este proyecto, se puede apreciar que lo único que se necesita es un triac, un diac, una resistencia fija, otra variable y un condensador, y con ello se podrá

variar la cantidad de energía que se aplique a la carga, normalmente un motor eléctrico o una resistencia. No se debe usar un circuito de estos para tratar de controlar la luz de una lámpara de tipo fluorescente, ya que se podría dañar el balastro de ésta.

Estos son los tres tiristores más comunes, aunque no los únicos. Existe el GTO (siglas en inglés de "apagado por compuerta"), que es un SCR cuya estructura interna le permite permanecer encendido sólo cuando hay un voltaje en su compuerta, y se apaga cuando se retira la señal; el SCS o switch controlado de silicio, una especie de SCR con compuertas en ambos extremos; el PUT o transistor de unijuntura programable, un dispositivo muy empleado en radio-frecuencia como parte de circuitos osciladores; y una multitud de dispositivos más. Sin embargo, los tres mencionados son los que con mayor seguridad se encuentran en diversas aplicaciones electrónicas, y los que más conviene conocer.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 8B

- ¿A qué dispositivos se les da el nombre genérico de "tiristores"?
- ¿Cómo está construido un SCR?
- ¿Qué condiciones deben existir para que un SCR entre en conducción?

- d) ¿Qué sucede si una vez encendido, se retira el pulso de activación de un SCR?
- e) ¿Cómo se apaga un SCR?
- f) ¿Qué tipo de dispositivo de conmutación se usa en la actualidad para manejar altos voltajes y corrientes de DC?
- g) ¿Qué dispositivo se utiliza para controlar voltajes y corrientes alternas?
- h) ¿Cómo puede este dispositivo controlar la energía proporcionada a una carga?
- i) ¿Cómo está construido un diac?
- j) ¿Cuál es el voltaje de disparo de los diac comerciales más comunes?
- k) Dibuja el circuito de un dimmer sencillo, que usa un triac y un diac para controlar su voltaje de salida:

8.3. DISPOSITIVOS OPTOELECTRÓNICOS

Una rama especial de la electrónica es aquella que trabaja con señales luminosas, ya sea produciéndolas o captándolas. A este tipo de componentes se les ha dado el nombre genérico de “dispositivos optoelectrónicos”, y sus aplicaciones van desde simples luces indicadoras, hasta complejos sistemas de almacenamiento o transmisión de información. Precisamente, en este apartado se estudiarán los más populares de estos componentes.

A grandes rasgos, los principales dispositivos optoelectrónicos que se manejan en diseño electrónico son: el LED, el fotodetector, el fototransistor, el diodo láser y el optoacoplador. A continuación se describirá brevemente cómo funciona cada uno de ellos.

8.3.1 Diodos emisores de luz o LED

Sin duda, el elemento optoelectrónico más popular, el LED también fue el primero que se descubrió. Como su nombre lo indica, se trata de una estructura hecha a base de semiconductor P y N funcionando como un diodo común, pero con la propiedad de emitir luz cuando circula por él una corriente.

Si bien los primeros reportes de este fenómeno se originaron a principios del siglo XX, la dificultad de construir dispositivos prácticos dejó este descubrimiento en el olvido por muchas décadas. No fue sino hasta mediados de la década de 1950 que en los laboratorios de RCA



se redescubrió este efecto, cuando Rubin Braunstein reportó que los diodos contruidos con un material muy especial, el arseniuro de Galio (GaAs), al circular por ellos una corriente emitían una radiación infrarroja. Esto no sucedía con el silicio o el germanio de forma independiente, pero si creaba una aleación de ambos metales, y con ellos se construía un diodo, este también comenzaba a emitir luz infrarroja.

Después de eso, los descubrimientos se dieron en rápida sucesión. Para 1962 se creó el primer diodo capaz de emitir luz roja, en los laboratorios de General Electric; luego aparecieron los LED amarillos y verdes, y en la actualidad ya se utilizan regularmente diodos azules, violetas e incluso ultravioletas. Ahora, los LED se han convertido en el principal medio indicador en electrónica, y nuevos desarrollos (como los LED orgánicos), prometen avances insospechados en el campo del despliegue de información.

Pero ¿cómo funciona un LED? Su principio de operación se basa en las propiedades cuánticas de la materia, que determinan que, cuando un electrón cruza un umbral de potencial superior hacia uno inferior, por ley de conservación de la energía, esta pérdida tiene que manifestarse de alguna forma, y si bien la mayoría de las veces se pierde en simple calor, en ciertas ocasiones lo hace produciendo un fotón, que es el que se lleva la energía liberada. Precisamente cuando los electrones cruzan la unión PN en ciertos materiales, y los electrones circulando comienzan a caer en los huecos del material P, se produce este bajón en el nivel energético de estas partículas, y en consecuencia, al circular una corriente comienzan a liberarse fotones, produciendo como resultado una luz cuya magnitud y longitud de onda dependerán del material semiconductor usado, y de la construcción física del dispositivo.

Los LED modernos se construyen principalmente de arseniuro de Galio (GaAs), pero se han desarrollado diversos materiales semiconductores que también presentan propiedades ópticas, como el antimoniuro de Galio (GaSb), el fosfato-arseniuro de Galio (GaAsP), el fosfato de Indio (InP), etcétera. Incluso se están desarrollando materiales plásticos capaces de producir luz, lo que ha originado la tecnología de los LED orgánicos (OLED), usados en la actualidad para las pantallas de algunos teléfonos celulares.



En la figura superior se muestran algunos encapsulados típicos de LED individuales modernos, y a un lado el símbolo que se utiliza para su representación. Se puede apreciar que se trata del mismo símbolo que un diodo común, pero con un par de pequeñas flechas saliendo de él, lo que indica que se trata de un diodo emisor de luz.

La construcción física de los LED es tan sencilla, que fácilmente pueden combinarse para crear distintos tipos de paneles para el despliegue de datos. Uno de los más comunes es el display de siete segmentos, muy utilizado para manejar cantidades numéricas, o las matrices de puntos para representar letras y números. Incluso recientemente se ha llevado esto a un siguiente nivel, con el desarrollo de las pantallas que usan LED en lugar de cristales líquidos para expedir su información. Estas se han utilizado principalmente en teléfonos inteligentes, pero ya comienzan a aparecer algunos televisores con esa tecnología.



8.3.2 Diodo láser

Para ciertas aplicaciones, también se producen diodos láser, esto es, que producen un haz de luz coherente y unidireccional. Su construcción interna



Los diodos láser se usan en muchas aplicaciones de manejo de información. (Foto: L2K).

es muy similar a la de un diodo común, pero sus capas de semiconductor se han calculado de tal forma que la luz producida por la unión PN sufra un fenómeno de resonancia, lo que la convierte en una emisión láser en lugar de una simple fuente de luz común. Los diodos láser

se utilizan para una muy amplia variedad de aplicaciones: como apuntadores para conferencias, para leer la información de discos ópticos, para el envío de datos a través de fibra óptica, etcétera. En la actualidad, prácticamente no hay hogar que no cuente con varios diodos de este tipo.

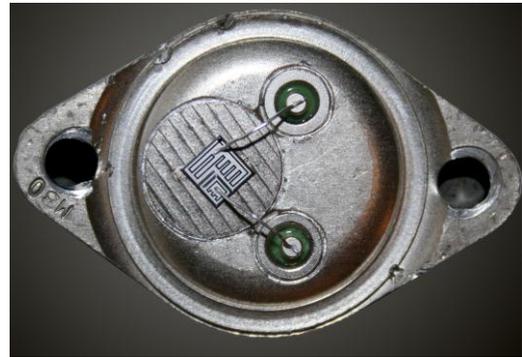
Pero hasta ahora, se ha mencionado bastante que los LED se usan para transmitir o recuperar información, pero si el LED lo único que hace es iluminar, para recibir los datos se requiere de un dispositivo especial que capte la luz y la convierta en señal eléctrica. Ese es precisamente el papel de los fotodetectores, los cuales se describirán a continuación.

8.3.3 Fotodetectores

¿De qué serviría tener un teléfono, si no existiera un aparato similar al otro extremo del cable? Lo mismo sucede con la transmisión de datos por medios ópticos: ya se tiene un elemento que convierte una señal eléctrica en datos

luminosos, pero ahora se necesita un dispositivo que reciba la luz enviada y la transforme nuevamente en señal eléctrica. Ese es el objetivo principal de los fotodetectores.

En términos generales, se puede denominar “fotodetector” a cualquier dispositivo electrónico capaz de reaccionar de alguna forma ante la presencia o la intensidad de una señal luminosa. De hecho, prácticamente cualquier dispositivo construido con silicio puede funcionar como fotodetector, ya que una de las propiedades de este elemento es que, al encontrarse en forma cristalina, comienza a liberar electrones ante la presencia de una luz externa, lo que varía sus condiciones de conducción interna. Esto significa que si se tuviera

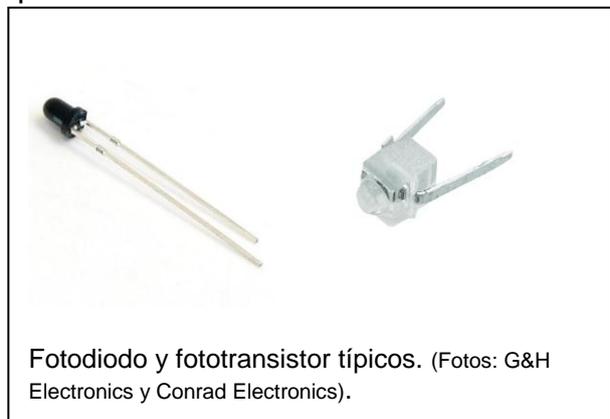


Casi cualquier dispositivo electrónico puede servir como fotodetector. Si se retira la tapa a un transistor metálico de potencia, su ganancia de corriente variará según la luz que llegue al chip. (Foto: Wikimedia).

acceso al chip de un transistor común, se polarizara de la forma adecuada, y a ese chip se le hiciera incidir una luz externa de cierta potencia, se podría apreciar la variación en sus condiciones de funcionamiento dependiendo de la presencia, ausencia o intensidad de la luz incidente.

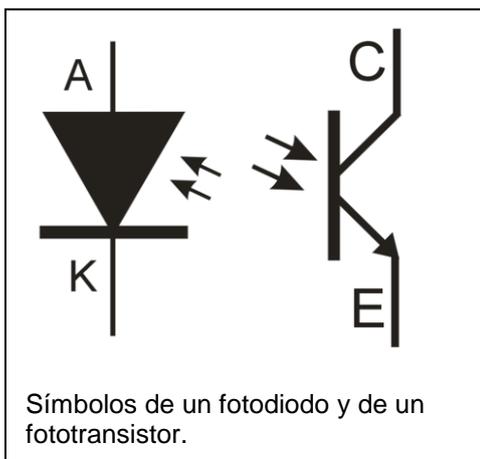
Esto implica que los fotodetectores son diodos o transistores convencionales, con la única diferencia de que su construcción está optimizada para que reaccionen a la intensidad de la luz aplicada. En la figura inferior se muestran un par de encapsulados típicos de un fotodiodo y de un fototransistor, de los que se usan todos los días en los hogares, sin que las personas se den cuenta de que lo están haciendo.

¿En dónde se encuentran fotodetectores en el hogar? En un reproductor de discos compactos, recibiendo la luz del diodo láser reflejada desde la superficie de datos del CD; en cualquier aparato electrónico que posea



Fotodiodo y fototransistor típicos. (Fotos: G&H Electronics y Conrad Electronics).

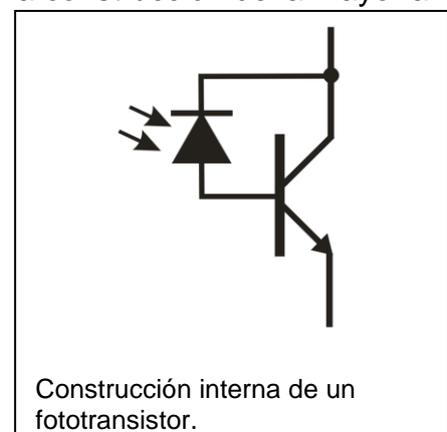
control remoto, recibiendo la serie de pulsos que envía el usuario y enviándola hacia el control del equipo, para que realice la tarea que indica el usuario; en los reproductores de DVD y Blu-ray, captando las variaciones de luz de los discos y convirtiéndolas en señal eléctrica, que a su vez se convertirá en el audio y video que se despliega en el televisor; en fin, las aplicaciones de los fotodetectores son muchas y muy variadas, y cada vez se encuentran más, sobre todo en el campo de la transmisión de información por fibra óptica, donde los datos se introducen en la fibra por medio de un LED, y se reciben en el otro extremo mediante un fotodetector.



En la figura anexa se muestra el símbolo de los dos tipos de fotodetectores más comunes: el fotodiodo y el fototransistor. Como su nombre lo indica, el primero es un diodo que normalmente se conecta en inversa, y que por tanto no conduce electricidad; pero cuando se aplica una luz externa, se produce un fenómeno de avalancha en el

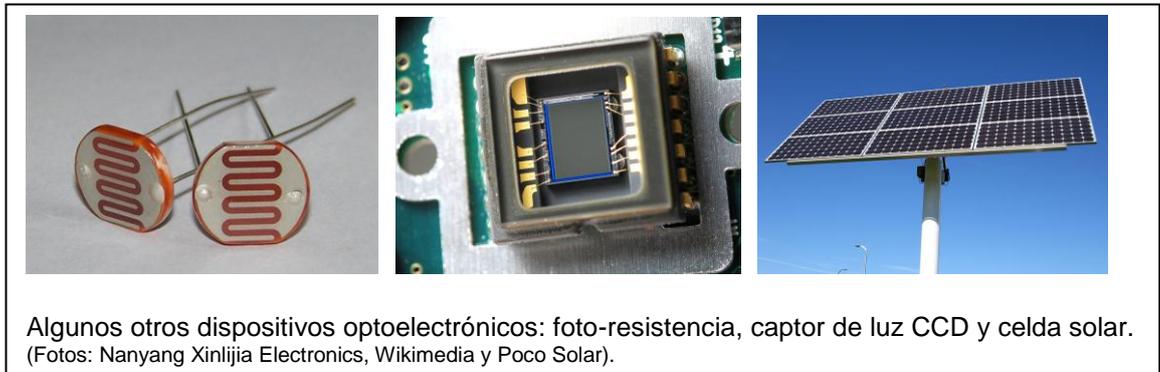
interior del dispositivo, y comienza a conducir electricidad. La cantidad de corriente que puede circular por su interior depende de la intensidad de la luz aplicada, y cuando la luz externa se apaga, el diodo nuevamente deja de conducir. Entonces, se puede decir que el fotodiodo se comporta como una resistencia variable en función a la intensidad de la luz que se le aplique.

En el caso del fototransistor, en realidad la construcción de la mayoría de estos dispositivos es como se muestra en la figura inferior: una combinación de un fotodiodo y un transistor bipolar común. Esto implica que cuando el diodo recibe una luz externa, comienza a conducir, lo que enciende al transistor. La intensidad de la luz controlará el grado de conducción del transistor, así que se puede conectar a una



fuente externa a través de una resistencia, y con eso en el colector del transistor se tendrá una representación fiel de la intensidad de la luz recibida, sólo que invertida.

Existen otros dispositivos optoelectrónicos, como la fotocelda, un componente capaz de producir un voltaje cuando recibe una luz externa; estos elementos se utilizan en medidores de luz de cámaras fotográficas y de video, o como paneles que convierten la luz solar en energía. También están los dispositivos de carga acoplada o CCD, que son arreglos de minúsculos receptores de luz capaces de convertir una imagen en señal eléctrica, muy empleados en cámaras tanto de fotos fijas como de video; así como en infinidad de aparatos científicos.



En cámaras más modernas se utilizan captosres tipo CMOS, que son transistores de este tipo acomodados en forma de matriz, y que en vez de recibir un voltaje de activación en sus compuertas, convierten la luz incidente en una señal eléctrica; estos captosres han sustituido casi por completo a los tradicionales CCD, ya que permiten mayor densidad de captosres, lo que incrementa la resolución de las imágenes digitales obtenidas. Existen las fotorresistencias, que como su nombre lo indica, varían su valor resistivo dependiendo de la luz externa incidente; en fin, hay una gran cantidad de dispositivos optoelectrónicos, con aplicaciones cada vez más variadas. Sin duda es una de las ramas de la electrónica que más desarrollo ha tenido en las últimas décadas.

8.3.4 Optoacopladores

Existen ocasiones en que se debe combinar un emisor y un receptor de luz, de modo que exista un medio de pasar información de un punto a otro de un circuito, pero al mismo tiempo, que ambas partes estén aisladas

eléctricamente. Esto resulta especialmente crítico en funciones de control de motores eléctricos de CA cuya velocidad está siendo manejada por un circuito digital (un microcontrolador o una computadora), ya que si existiera conexión directa entre ambos, es posible que algún pico de voltaje que se produjera en el motor se transmitiera hacia el circuito de control, dañándolo o afectando su funcionamiento. Para evitar que suceda esto, se suelen colocar ciertos dispositivos optoelectrónicos especiales entre el circuito de control y el elemento a controlar, y estos componentes son precisamente los optoacopladores.

Se trata de componentes con forma de circuito integrado, y en uno de sus extremos se tiene un emisor de luz, y en el otro un receptor. El emisor casi siempre es un LED infrarrojo, mientras que el receptor puede ser un fotodiodo, un fototransistor, un foto-triac, un foto-SCR, etcétera. En la siguiente figura se muestra un fragmento de la hoja de datos de un 4N35, que es uno de los optoacopladores más populares y fáciles de conseguir.

**4N35, 4N36, 4N37
OPTOCOUPERS**

SOES021C – NOVEMBER 1981 – REVISED APRIL 1998

COMPATIBLE WITH STANDARD TTL INTEGRATED CIRCUITS

- Gallium-Arsenide-Diode Infrared Source
Optically Coupled to a Silicon npn Phototransistor
- High Direct-Current Transfer Ratio
- High-Voltage Electrical Isolation
1.5-kV, 2.5-kV, or 3.55-kV Rating
- High-Speed Switching
 $t_r = 7 \mu s$, $t_f = 7 \mu s$ Typical
- Typical Applications Include Remote Terminal Isolation, SCR and Triac Triggers, Mechanical Relays and Pulse Transformers
- Safety Regulatory Approval
UL/CUL, File No. E65085

DCJT OR 6-TERMINAL DUAL-IN-LINE PACKAGE
(TOP VIEW)

†4N35 only
NC – No internal connection

schematic

Fragmento de la hoja de datos de un optoacoplador 4N35. Se puede apreciar que se trata de un LED combinado con un fototransistor, de modo que las órdenes del circuito de control puedan llegar al dispositivo a controlar, sin que haya conexión eléctrica entre ambos. (Imagen: TI).

Cuando se diseñe un circuito que incluya un optoacoplador de protección, es conveniente consultar en su hoja de datos el valor de su voltaje de aislamiento, el cual por lo general se mide en kilovoltios. Se puede ver en el fragmento de la hoja de datos anterior, que el 4N35 ofrece un aislamiento de por lo menos 1.5kV, lo que significa que tendría que llegar un

pulso superior a 1500 voltios para que algo que sucede en un extremo del dispositivo llegara a afectar al otro extremo. Si se retoma el ejemplo que se describió del motor controlado por un circuito digital, en el motor tendría que aparecer un pico de más de 1500V para que éste llegara a afectar al circuito de control, lo que significa que para fines prácticos, el control está completamente aislado del elemento a controlar.



Pero los optoacopladores no sólo sirven para aislar: existen múltiples aplicaciones en que se requiere un emisor y un receptor luminosos, trabajando estrechamente y a corta distancia. Para facilitar el diseño en esos casos, se cuenta con diversos pares emisor-receptor, capaces de captar el momento en que el

haz luminoso entre ambos se interrumpe, lo cual es interpretado por el circuito de control según le convenga. En la figura anexa se presenta el aspecto típico de uno de estos elementos; en este caso, un detector de posición correspondiente a una impresora. Se puede ver que uno de sus extremos está marcado como un diodo, señalando que es el emisor de luz. Cuando una aleta del mecanismo entra en la ranura entre emisor y receptor, este último capta el momento en que deja de percibirse la luz del LED, lo cual a su vez es registrado por el circuito de control, y con ello se tiene una referencia de la posición del mecanismo. Este tipo de conjuntos emisor-receptor ópticos son muy usados en electrónica, así que es relativamente fácil encontrarlos en múltiples aparatos.

Este fue un recorrido por otros dispositivos electrónicos relativamente fáciles de encontrar en el entorno. Sin duda, los transistores son los componentes más empleados a nivel mundial; simplemente, en el microprocesador de cualquier PC moderna trabajan varios cientos de millones de transistores, realizando las operaciones necesarias para que el software se ejecute adecuadamente; sin embargo, para esas aplicaciones

donde un transistor no es adecuado, existen múltiples alternativas, que proporcionan a la tecnología electrónica una versatilidad nunca antes vista.

ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE 8C

- a) ¿A qué se le denomina dispositivo optoelectrónico?
- b) ¿Cuál es la característica especial de un LED?
- c) ¿Por qué produce luz un diodo?
- d) ¿Cuál es el material más común del que están contruidos los LED?
- e) ¿Para qué se usan los diodos láser?
- f) ¿Qué son los fotodetectores?
- g) Menciona algunos aparatos domésticos donde se utilizan los fotodetectores:
- h) Menciona otros tipos de dispositivos optoelectrónicos comunes:
- i) ¿Qué es un optoacoplador?
- j) ¿Qué factor es importante al aplicar un optoacoplador?
- k) ¿Qué otros usos tienen los pares emisor-receptor ópticos?

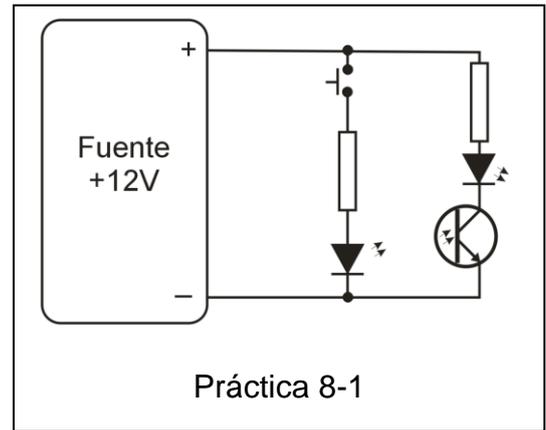
ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

1. Busca imágenes en Internet con el criterio “tube amplifier”, para que distingas la amplia variedad de amplificadores de audio que se siguen fabricando a base de tubos al vacío.
2. Trata de localizar el diagrama esquemático de algún amplificador para guitarra eléctrica profesional, usando los criterios de búsqueda “fender amplifier schematic” o “Marshall amplifier schematic”; verás que la mayoría aún utilizan tubos de vacío para funcionar, y sólo los más recientes usan transistores o circuitos integrados.
3. Localiza y descarga de Internet las hojas de datos de los siguientes dispositivos:
 - SCR: MCR100, C106, 2N6397, 2N6508
 - Triacs: 2N6073, BTA08, 2N6344, BTA24
 - Diac: HT30

Consulta en ellas los parámetros principales de los dispositivos, como corriente máxima que pueden manejar, voltaje máximo en sus extremos, voltaje de disparo, encapsulado y disposición de terminales, etcétera; haz una tabla comparativa con todos ellos.

4. Adquiere en una tienda de partes electrónicas los siguientes componentes: un SCR C106D y un foco incandescente de 12V.
5. Usando la fuente regulada variable construida en la unidad anterior, conecta el SCR de modo que quede en serie con el foco de 12V, aplica un voltaje de 12V al conjunto, y aplica un pulso momentáneo de activación al SCR. Observa lo que sucede.
6. Para apagar al SCR, disminuye gradualmente el voltaje de la fuente, hasta que deje de circular corriente por el circuito. Verás que el SCR se apaga cuando este valor cae por debajo de su corriente mínima de mantenimiento.
7. Adquiere en una tienda de partes electrónicas un LED rojo de 5mm normal, uno infrarrojo y un fototransistor, además de algunas resistencias de 470 ohms.
8. Conecta el LED rojo y la resistencia en serie, y aplica el voltaje de la fuente variable, comenzando por su valor mínimo de voltaje. Sube gradualmente el voltaje hasta que se encienda el LED, y mide el voltaje en sus extremos. Sigue subiendo el voltaje hasta el máximo que dé tu fuente, y comprueba que el voltaje a los extremos del LED casi no varía, aunque sí lo hace la intensidad de la luz producida. Con esto comprobarás que la intensidad con la que brilla un LED no depende del voltaje aplicado, sino de la corriente que circula a través de él.
9. Conecta el diodo infrarrojo a la fuente mediante una resistencia y un interruptor, y conecta el fototransistor de modo que el LED rojo esté en serie con él y con una resistencia (figura anexa). Verás que con este arreglo, si el LED apunta hacia el fotoreceptor, cada vez que presiones el interruptor el LED rojo se encenderá, y cuando dejes de presionarlo se apagará. Con

esto habrás construido un arreglo básico emisor-receptor óptico.



10. Localiza y descarga de Internet las hojas de datos de los optoacopladores de la serie 4Nxx para que aprecies las diferencias entre ellos y los usos de cada uno.

AUTOEVALUACIÓN

1. ¿Cuáles son los dispositivos electrónicos más usados en la actualidad?
2. ¿Por qué se siguen usando válvulas de vacío para ciertas aplicaciones?
3. ¿Qué es un tiristor?
4. Menciona tres tipos de tiristores utilizados comúnmente:
5. ¿Por qué casi no se usan SCR para el control de grandes voltajes y corrientes en directa?
6. ¿Qué es lo que hace especiales a los triacs?
7. ¿Se pueden usar LED para expedir información compleja?
8. ¿Cómo funciona un diodo láser?
9. ¿Cómo se conecta normalmente un fotodiodo?
10. ¿Qué es un optoacoplador?
11. ¿Qué dispositivo optoelectrónico hace funcionar a las cámaras digitales?

RESPUESTAS

1. Los transistores, ya que incluso los circuitos integrados más complejos están contruidos a base de transistores.
2. Porque manejan las señales de audio con menor distorsión que los dispositivos semiconductores.
3. Un dispositivo electrónico contruido con cuatro o más capas de semiconductor.
4. El SCR, el triac y el diac.
5. Porque un SCR es fácil de encender, pero difícil de apagar en aplicaciones de DC.
6. Que son capaces de manejar de forma directa la corriente alterna.
7. Sí, por medio de combinaciones como los display de siete segmentos, las matrices de LED o las pantallas OLED.
8. Por medio de un fenómeno de resonancia interna, que hace que la emisión de un LED salga como una luz de frecuencia única y coherente.
9. En inversa, y al momento de recibir una luz externa, comienza a conducir gradualmente.
10. Una combinación de un emisor y un receptor ópticos, que trabajan en conjunto para aislar un circuito de otro.
11. Un captor de luz CCD o CMOS.

RESPUESTAS A LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE

Actividad de aprendizaje 8A:

- a) En el “efecto Edison”, descubierto por Tomás Alva Edison cuando desarrollaba la bombilla eléctrica.
- b) Porque el filamento incandescente produce electrones libres, los cuales son atraídos por un ánodo positivo. Si el ánodo es negativo, repele a los electrones, y no hay conducción.
- c) Válvula triodo.
- d) Como amplificador de señal.
- e) Es el fenómeno que se origina en señales de magnitud cercana a cero, donde la amplificación deja de ser lineal, y por tanto, hay distorsión entre entrada y salida.
- f) Porque las válvulas de vacío no sufren de distorsión de cruce por cero, así que el audio obtenido es más puro y fiel al original.

Actividad de aprendizaje 8B:

- a) A dispositivos electrónicos contruidos por cuatro o más capas de semiconductor.
- b) Por cuatro capas alternadas de semiconductor PNP, con terminales a sus extremos y también en la capa P intermedia.
- c) Debe estar polarizado con un voltaje positivo en su extremo P y uno negativo en su extremo N, además de recibir un pulso de activación en la terminal P intermedia.
- d) El dispositivo sigue conduciendo, ya que se realimenta a sí mismo.
- e) Invertiendo momentáneamente el voltaje en sus extremos, o disminuyendo la corriente que circula por debajo del valor de mantenimiento.
- f) Transistores MOSFET de potencia.
- g) El triac.
- h) Recortando la señal de CA aplicada, retrasando el disparo del dispositivo.

- i) Con cinco capas de semiconductor PNPNP alternadas, como si fueran dos SCR en paralelo, pero sin terminal de compuerta.
- j) Entre 20 y 30 voltios.
- k) (Dibujo).

Actividad de aprendizaje 8C:

- a) A aquellos dispositivos electrónicos capaces de producir o captar información luminosa.
- b) Que produce luz cuando entra en conducción.
- c) Porque cuando los electrones caen en un “hueco” del material P, su nivel energético baja, y desprenden un fotón para liberarse de esa energía.
- d) El arseniuro de Galio (GaAs).
- e) Para leer información en discos ópticos, para apuntadores láser, para enviar información por fibra óptica.
- f) Son dispositivos cuyas condiciones de conducción cambian al recibir una luz externa.
- g) Reproductores de CD, reproductores de DVD, todos los aparatos que cuenten con control remoto inalámbrico, etcétera.
- h) Fococeldas, fotorresistencias, captores de luz CCD o CMOS, celdas solares, etcétera.
- i) Un dispositivo que combina un emisor y un receptor óptico, para que la información pueda fluir entre ambos, aunque no haya conexión eléctrica entre ellos.
- j) El valor del voltaje de aislamiento entre sus extremos.
- k) Para detectar los movimientos de mecanismos diversos.

GLOSARIO

Acoplamiento: Forma como una señal eléctrica viaja de un punto a otro de un circuito.

Amplificador: Circuito capaz de aumentar la ganancia de una señal de entrada, sea en amplitud, en potencia o en algún otro parámetro.

Amplificador operacional: Circuito integrado que funciona como un bloque amplificador con ayuda de pocos componentes externos.

CCD o dispositivo de carga acoplada: Sensor luminoso que permite la conversión de una imagen en señal eléctrica.

Celda solar: Dispositivo capaz de convertir la radiación luminosa en energía eléctrica.

CMOS o semiconductor de óxido metálico complementario: Tecnología de construcción de dispositivos electrónicos muy empleada en electrónica digital y para captadores de luz.

Diac: Tiristor que funciona como dispositivo de disparo al alcanzar cierto voltaje predeterminado.

Diodo: Dispositivo semiconductor que permite el flujo de corriente eléctrica sólo en un sentido, bloqueándolo en el opuesto.

Diodo al vacío: Dispositivo capaz de dejar pasar una corriente en un sentido y bloquearla en el opuesto. Fue el primer dispositivo electrónico conocido.

Diodo láser: LED capaz de producir una emisión de tipo láser, esto es, un haz de luz coherente y unidireccional.

Diodo Schottky: Diodo de alta velocidad, especialmente diseñado para el manejo de señales de muy alta frecuencia.

Diodo túnel: Diodo que presenta en su curva de comportamiento una zona de resistencia negativa; muy útil para osciladores y circuitos de radiofrecuencia.

FET (Field Effect Transistor o transistor de efecto de campo): Dispositivo que gradúa la cantidad de corriente que circula en su interior dependiendo de la magnitud de un voltaje externo aplicado a su terminal compuerta.

Fotocelda: Dispositivo semiconductor cuya conducción interna se ve influenciada por el grado de luminosidad exterior.

Fotodiodo: Diodo que al ser conectado en inversa, entra en conducción dependiendo de la intensidad de una luz externa aplicada.

LED o diodo emisor de luz: Diodo construido de tal forma que al circular una corriente en su interior genera como subproducto una luminosidad.

Material N: Semiconductor al cual se le han añadido impurezas de modo que queden electrones “libres” en su estructura cristalina, y con ellos puede circular una corriente.

Material P: Semiconductor al cual se le han añadido impurezas de modo que se formen “huecos” en su estructura cristalina, a través de los cuales puede circular una corriente.

MOSFET o FET de semiconductor y óxido metálico: Tipo especial de FET que se utiliza sobre todo en funciones de conmutación.

OPAMP: Ver “amplificador operacional”.

Proceso de señal: Transformación que sufre una señal eléctrica, desde el momento de su recepción hasta su expedición, almacenamiento, transmisión, etcétera.

Regulador de voltaje: Circuito integrado que absorbe las variaciones que puede presentar un voltaje no regulado, y lo expide perfectamente fijo y estable.

SCR o rectificador controlado de silicio: Tiristor formado por cuatro capas de semiconductor alternadas, y que sirve como interruptor de corriente directa.

Semiconductor: Material que dependiendo de condiciones externas, puede comportarse como conductor, como aislante o como una resistencia variable.

Señal analógica: Señal que está presente todo el tiempo y que puede tomar cualquier valor entre sus límites operativos.

Señal digital: Señal que sólo está presente en momentos muy específicos, y sólo puede tomar ciertos valores predeterminados.

Señal eléctrica: Flujo de electricidad a través del cual viaja cierta información importante para el usuario.

TBJ o transistor bipolar de juntura: Tipo de transistor fabricado con tres capas semiconductoras alternadas, muy empleado en electrónica analógica.

Tiristor: Nombre genérico que reciben los dispositivos electrónicos contruidos con cuatro o más capas de semiconductor P-N alternadas.

Transductor: Dispositivo que transforma un fenómeno físico en una señal eléctrica equivalente.

Transistor: Dispositivo electrónico capaz de amplificar una señal eléctrica, debido a sus propiedades internas.

Triac: Tiristor especialmente diseñado para el manejo de corrientes y voltajes alternos.

Triodo: Válvula al vacío que podía funcionar como amplificador de señal, con un principio de operación muy similar al FET.

Varactor: Diodo que presenta una capacitancia variable dependiendo del voltaje externo que se le aplique; muy empleado en procesos de sintonía de señales de radio.

Zener: Diodo que al ser polarizado en inversa, mantiene un voltaje fijo entre sus terminales; muy utilizado como referencia de voltaje o como protección.

BIBLIOGRAFÍA

Ghausi, M. S., *Circuitos electrónicos, discretos e integrados*, Interamericana, 1987.

Gray, Paul y Meyer, Robert, *Analog integrated circuits*, John Wiley & Sons, 2003.

Lurch, Norman, *Fundamentos de electrónica*, México, Cecsa, 1991.

Schilling, Donald y Belove, Charles, *Electronic circuits, discrete and integrated*, McGraw-Hill, 1989.

Varios autores, *Hojas de datos de dispositivos electrónicos*, Motorola.

Young, Thomas, *Linear integrated circuits*, John Wiley & Sons, 1982.