

Fuentes de alimentación conmutadas

Por Edgardo Escudero

Las fuentes de alimentación conmutadas, también conocidas como SMPS (switch mode power supply) son esenciales en nuestra vida, y por lo tanto en nuestro trabajo como técnicos. En electrónica, la mayoría de averías están relacionadas con las fuentes de alimentación. Por eso, conociéndolas y sabiendo repararlas, podemos resolver más de la mitad de problemas.

Conocerlas no solamente sirve para reparar este tipo de circuitos. Hay una gran cantidad de equipos que utilizan electrónica de potencia con estructuras similares, como los variadores de frecuencia que regulan la velocidad de los motores, las máquinas de soldadura, o los sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI, o UPS en inglés).

Además, una gran parte de la literatura relacionada que se puede encontrar hoy en día tiene uno o varios de los siguientes problemas:

Está obsoleta, porque se ilustra con equipos y componentes que ya no se comercializan. Hay libros muy buenos, pero están basados en sistemas que ya no se aplican.

Está enfocada al diseño y fabricación de equipos nuevos, por lo que se centran demasiado en fórmulas y cálculos, complicando enormemente su comprensión.

Está pensada para reparar un tipo determinado de equipos, como televisores.

Está escrita en otros idiomas. Es cierto que la mayor parte de información técnica se encuentra en inglés.

La corriente eléctrica que llega a los edificios e industrias tiene unas características determinadas. La mayoría de receptores que se conectan a la red eléctrica no pueden trabajar directamente con esta corriente, es necesario modificarla.

¿QUÉ ES UNA FUENTE DE ALIMENTACIÓN?

La red eléctrica suministra corriente alterna, que invierte su polaridad unas 100 o 120 veces por segundo, dependiendo del estándar seguido en cada país.

Los equipos electrónicos trabajan con corriente continua, que tiene un valor fijo, siempre con la misma polaridad.



Para convertir la corriente alterna en corriente continua es necesario rectificarla y estabilizarla. La tensión de la red eléctrica puede ser de entre 110V y 400V, dependiendo de la conexión y del estándar de cada país.

Los equipos conectados pueden trabajar a cualquier tensión, dependiendo de su aplicación. Por ejemplo, un televisor trabaja internamente con varias tensiones, que pueden ir desde poco más de 1Vdc hasta más de 50000V en el caso de los televisores CRT (los de tubo de rayos catódicos, que ya han sido sustituidos por las pantallas planas). Por lo tanto, necesitamos usar elementos capaces de transformar la corriente alterna de la red eléctrica en corriente continua con una o varias tensiones específicas.

El ejemplo más básico de fuente de alimentación que todos conocemos sería el cargador para el teléfono móvil (celular). Éste convierte la corriente de la red eléctrica de 220Vac a un valor que en la mayoría de los casos es de 5Vdc.

¿CÓMO FUNCIONAN LAS FUENTES CONMUTADAS?

Los primeros cargadores para teléfonos pesaban mucho más que los actuales debido a que utilizaban fuentes de alimentación lineales, mientras que los más ligeros usan fuentes de alimentación conmutadas.

En una fuente de alimentación lineal se reduce la tensión mediante un transformador, y seguidamente se rectifica con diodos. Para que la corriente sea más estable se filtra con condensadores electrolíticos, y en algunos casos se añaden estabilizadores para que la tensión de salida tenga un valor exacto.



Fuente de alimentación lineal con transformador toroidal



Fuente de alimentación conmutada

Este tipo de fuentes tiene una gran pérdida de energía en el transformador. Además, para conseguir corrientes de salida muy altas, el transformador debe tener estar bobinado con hilo de cobre muy grueso, lo que hace que sea muy grande, pesado y caro.

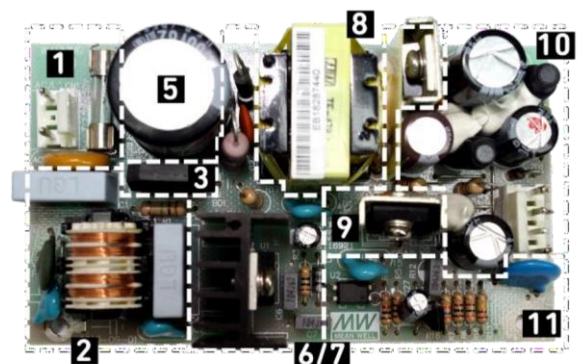
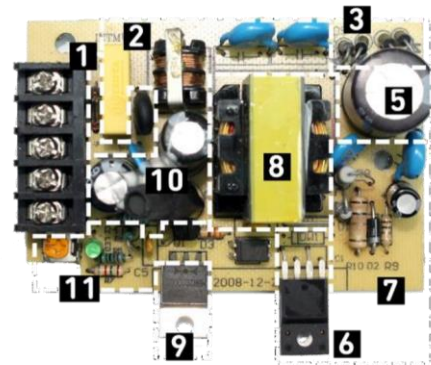
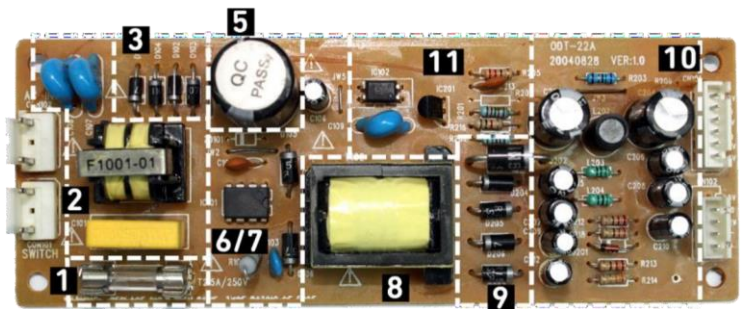
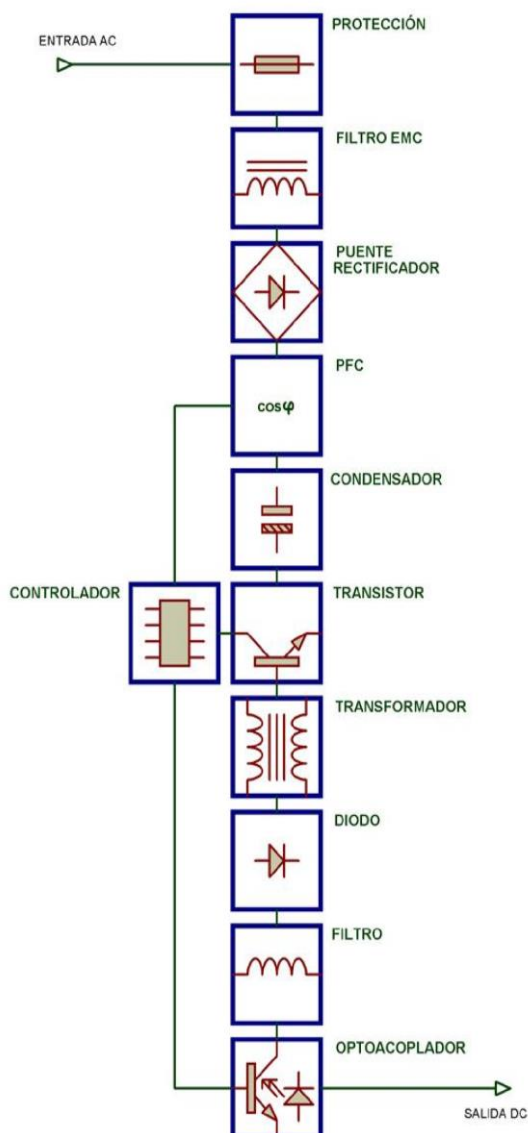
Las fuentes de alimentación conmutadas utilizan un principio similar, pero con diferencias muy importantes. Básicamente, aumentan la frecuencia de la corriente, que pasa de oscilar 50/60Hz a más de 100kHz, dependiendo del sistema utilizado. Al aumentar tanto la frecuencia, reducimos las pérdidas y conseguimos reducir el tamaño del transformador, y con ello su peso y volumen.

En este tipo de fuentes, la corriente se convierte de alterna a continua, después otra vez a alterna con una frecuencia distinta a la anterior, y seguidamente vuelve a transformarse en continua. Por eso muchos equipos basados en fuentes conmutadas son conocidos como inversores o inverters.

Un claro ejemplo serían las máquinas de soldadura al arco. Los equipos que usan transformadores lineales (prácticamente han desaparecido) pesan muchísimo más que los de tipo inverter, que no es más que una fuente de alimentación conmutada, adaptada a las características de este tipo de máquinas. En un variador de velocidad, el funcionamiento es muy similar. Regulando la frecuencia de la corriente modificamos la velocidad del motor.

ETAPAS DE LA FUENTE CONMUTADA

Para entender el funcionamiento de una fuente conmutada, debemos separarla en bloques, y analizarlos paso a paso. Existen muchos tipos distintos de fuentes, y sería imposible explicar los detalles de cada uno.



1. **Protecciones de entrada.** Protege al circuito de alteraciones en la red, y a la vez protege a la red de averías en el circuito.
2. **Filtro EMC.** Su función es absorber los problemas eléctricos de la red, como ruidos, transitorios, etc. También evita que la propia fuente envíe interferencias a la red.
3. **Rectificador primario.** Solo deja pasar la corriente en un sentido, de modo que convierte la corriente alterna en corriente pulsante, es decir que oscila igual que la corriente alterna, aunque únicamente en un sentido.
4. **Corrector del factor de potencia.** En determinadas circunstancias, la corriente se distorsiona o se desfasa respecto a la tensión, lo que provoca que no se aproveche toda la potencia de la red. El corrector se encarga de solventar este problema.
5. **Filtro primario.** Amortigua la corriente pulsante para convertirla en corriente continua con un valor estable.
6. **Transistor.** Se encarga de cortar y activar el paso de la corriente. De este modo se convierte a la corriente continua en corriente pulsante.
7. **Controlador.** Activa y desactiva el transistor. Esta parte del circuito suele tener varias funciones, como protección contra cortocircuitos, sobrecargas, sobretensiones... Además, mide la tensión de salida de la fuente, y modifica la señal entregada al transistor, para regular la tensión y mantener estable la salida. También puede controlar al circuito de corrección del factor de potencia o incluir el transistor en un mismo componente.
8. **Transformador.** Reduce la tensión, y además aísla físicamente la entrada de la salida.
9. **Rectificador secundario.** Convierte la corriente alterna del transformador a corriente pulsante.
10. **Filtro secundario.** Convierte la corriente pulsante en continua, igual que el filtro primario.
11. **Estabilizador de tensión.** Enlaza la salida de la fuente con el circuito de control, manteniéndolos físicamente separados.

1. PROTECCIONES DE ENTRADA

La fuente de alimentación no solamente se encarga de adaptar la corriente. También sirve como aislamiento.

Los circuitos conectados pueden trabajar con tensiones y corrientes muy bajas, por lo que una avería podría provocar que llegase tensión directa desde la red, quemando los componentes, y provocando riesgos de incendio y electrocución.

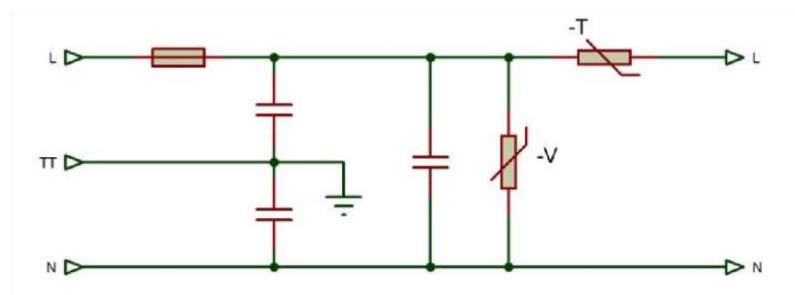
Para evitar estos problemas, las fuentes incorporan varios elementos de seguridad. Éstos cumplen varias funciones:

- Aislar el circuito alimentado de la red eléctrica
- Absorber sobretensiones transitorias (duran un solo instante) y permanentes de la red

- Evitar que una avería de la fuente o el circuito receptor provoque daños a la red eléctrica o a otros equipos conectados a ella
- Evitar interferencias y ruido, tanto en un sentido como en el otro (este tipo no es una protección eléctrica en sí mismo, y lo veremos en el siguiente apartado)

Cada componente tiene una función específica, aunque algunos trabajan combinados, o se refuerzan entre sí.

La posición de los componentes que aparecen en el esquema es orientativa. Cada circuito puede tener varios de estos elementos, prescindir de algunos, o estar conectados en distinto orden.



Elementos de protección comunes

1.1 Condensadores



Los condensadores con baja capacidad, del orden de unos pocos nF dejan pasar las corrientes de alta frecuencia, y a la vez se comportan como aislantes para bajas frecuencias.

Esta característica permite que los pequeños picos parásitos presentes en la red pasen a través de estos condensadores, y sean devueltos a la red o derivados a la toma de tierra.

Su respuesta es instantánea, aunque no pueden conducir corrientes elevadas.

Los mismos condensadores hacen función de filtrado de ruidos de alta frecuencia, por lo que pueden ser considerados como parte de esta etapa, o bien del filtro EMC.

1.2 Fusible



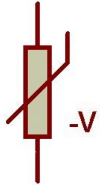
En las fuentes conmutadas, el fusible cumple varias funciones, principalmente:

- Desconectar la fuente en caso de una sobrecarga excesiva en la salida, para evitar daños a la red o a la propia fuente
- Desconectar la fuente de la red si hay una avería que la ponga en cortocircuito
- Proteger a la fuente y al circuito alimentado contra sobretensiones permanentes, en combinación con el varistor

Debido a los picos de corriente que puede generar la propia fuente al arrancar, los fusibles utilizados suelen ser retardados, también llamados antitransitorios, que tardan un tiempo en fundirse.

Si colocásemos fusibles rápidos, podrían fundirse sin que realmente existiese una anomalía en el circuito.

1.3 Varistor



Un varistor es una resistencia que varía con la tensión. Su respuesta no es lineal.

En la práctica, los varistores se comercializan con un valor nominal, que corresponde a la tensión a partir de la cual comienzan a conducir, es decir, que por debajo de una tensión se comportan como aislantes, mientras que al superar el umbral establecido se comportan como conductores.

Esta característica permite que si la tensión de la red aumenta demasiado, el varistor entrará en conducción. Al conducir el varistor que está conectado en paralelo, se comporta como un cortocircuito, dejando pasar toda la corriente posible a través de fusible, provocando que éste se corte.

Si la sobretensión es más corta que el tiempo de respuesta del fusible, el varistor absorberá gran parte de la energía sobrante, y el circuito seguirá funcionando normalmente.

1.4 NTC



Cuando la fuente de alimentación se conecta a la red, el condensador electrolítico absorbe mucha corriente hasta que se carga. Durante ese instante, se produce una sobrecarga que puede fundir el fusible o afecta a otras protecciones de la red.

Para evitarlo, se conecta un termistor en serie, del tipo NTC (coeficiente -) de unos pocos ohmios. Éste se encarga de limitar la corriente en el arranque.

2. FILTRO EMC

2.1 ¿Qué es el ruido electromagnético?

Cuando se conecta o desconecta cualquier elemento eléctrico, es normal que se produzcan picos de tensión que se transmiten a través de la red eléctrica, o a través del aire en forma de campos electromagnéticos.

Normalmente estos picos, también llamados *transitorios*, suelen ser muy leves, y no afectan al resto de equipos conectados. Sin embargo, en instalaciones con muchos aparatos conectados, estos picos se multiplican.

Las fuentes conmutadas producen bastante ruido eléctrico, debido a los picos de tensión que genera la propia conmutación del transistor.

Las máquinas más potentes, como las que utilizan motores activados mediante contactores, pueden generar picos bastante fuertes.

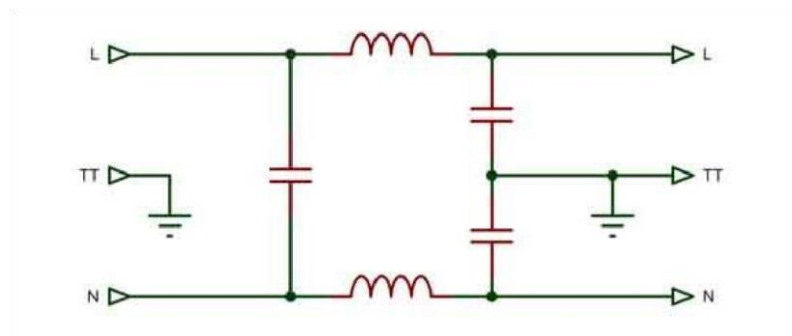
Podríamos pensar que los variadores de velocidad eliminan este fenómeno, al no tener contactores, pero como se trata de aparatos similares a las fuentes conmutadas, debemos seguir teniéndolos en cuenta.

2.2 ¿Qué es un filtro EMC?

EMC son las siglas de *compatibilidad electromagnética*.

Existen reglamentaciones internacionales y normativas, donde básicamente, se trata de que cada aparato sea inmune a los problemas electromagnéticos de la red eléctrica, y a su vez no emita interferencias a través de ésta. Es decir, que el equipo quede aislado en ambos sentidos, en lo que se refiere a ruido electromagnético.

Para poder cumplir estos requisitos, las fuentes de alimentación deben montar un filtro en su entrada. Este filtro suele estar compuesto principalmente por una o varias bobinas en serie, uno o varios condensadores en paralelo, o una combinación de ambos sistemas.



Esquema de un filtro EMC común

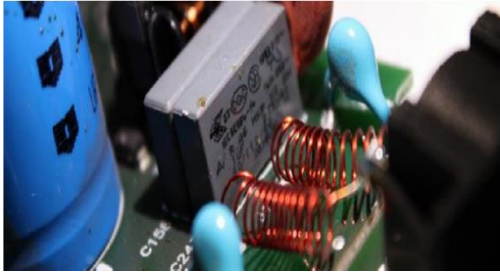
2.3 ¿Cómo funciona un filtro EMC?

Evitan el paso de corriente de alta frecuencia, y los condensadores hacen justo lo contrario.

Los campos electromagnéticos tienen un alcance proporcional a su frecuencia, es decir que se propagan con más facilidad cuando su frecuencia es más alta. Por eso la radio y la televisión transmiten a frecuencias muy altas.

La red eléctrica tiene una frecuencia muy baja, de modo que su campo magnético suele ser muy reducido. Esto quiere decir que eliminando las altas frecuencias evitamos la mayor parte del ruido generado por campos electromagnéticos.

Al montar bobinas en serie, solo puede atravesarlas la corriente continua, o la alterna de baja frecuencia (BF). Los condensadores en paralelo solo dejan pasar la corriente de alta frecuencia (HF), sin afectar a la corriente continua o alterna BF. Los picos de tensión, al tener una duración tan corta, se comportan como la corriente de alta frecuencia.



Filtro EMC con bobinas con núcleo de aire y condensadores y filtro EMC de dos etapas, con una de ellas puenteada

Dependiendo de la calidad del filtro y de las características eléctricas de la fuente, éste puede constar simplemente de un condensador, o montar varias etapas de bobinas y condensadores.

También se comercializan filtros EMC montados, que pueden ir en un módulo independiente, o acoplados a la propia clavija de toma de corriente del equipo. En este caso, la fuente ya no necesitaría incorporar estos componentes.

Es muy habitual encontrar placas donde los elementos de filtrado han sido puenteados para ahorrar componentes.

Lo más común es que esto suceda en equipos económicos. En el lado contrario, los equipos más sensibles o de mejor calidad, montan filtros EMC más sofisticados, de varias etapas, para asegurar que no darán problemas en entornos poco óptimos.



Fuente conmutada donde no se ha montado el filtro EMC

3. RECTIFICADOR PRIMARIO

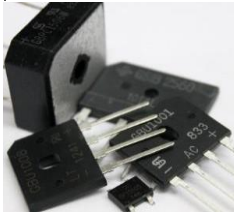
En esta etapa la corriente alterna se convierte en corriente pulsante. Para convertir la corriente alterna en continua, necesitamos de un componente semiconductor, es decir que deja pasar la corriente solo bajo unas determinadas condiciones.

3.1 El diodo



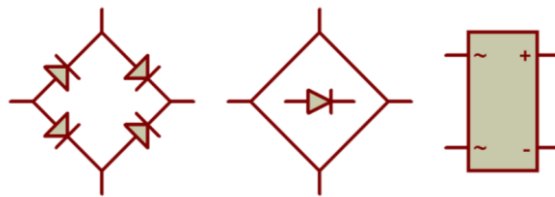
Un diodo se compone, básicamente, de dos cristales de silicio conectados entre sí. Estos cristales tienen características especiales que únicamente permiten el paso de electrones en un sentido. Gracias a esta característica, podemos eliminar todos los semiciclos negativos o positivos de una corriente alterna.

3.2 El puente rectificador

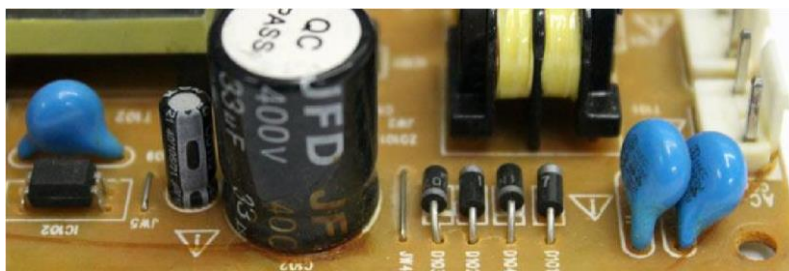


Los diodos pueden conectarse de forma que inviertan el signo de uno de los semiciclos. De esta forma, en vez de eliminar un semiciclo, se consigue aprovechar, para sacar el máximo rendimiento de la corriente de entrada.

Este tipo de puentes no son más que conjuntos de cuatro diodos encapsulados en un mismo componente, lo que facilita la fabricación, y la disipación de la temperatura.



Es fácil encontrar circuitos donde el puente rectificador está formado por diodos individuales. El funcionamiento eléctrico es idéntico.



Puente rectificador formado por diodos individuales

4. CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Las fuentes de mayor rendimiento incorporan una etapa para corregir el factor de potencia, también conocida como PFC. En corriente alterna, la tensión y la intensidad tienen formas de onda independientes. La tensión depende de la red, pero la intensidad varía en función del consumo del circuito conectado.

Cuando conectamos una lámpara incandescente o una resistencia a la red, las formas de onda de la corriente y la tensión son muy similares, variando únicamente su amplitud. Las cargas resistivas son lineales, es decir que su consumo es proporcional a la tensión aplicada, porque la resistencia es fija.

Sin embargo, es habitual que las cargas no sean puramente resistivas, y por lo tanto el consumo no sea lineal.

Cuando conectamos un motor, la forma de onda de la intensidad es similar a la de la tensión, aunque desplazada en el tiempo. Esto es debido a que los bobinados no absorben la corriente de forma lineal.

Las bobinas almacenan corriente en forma de campo magnético, y esto provoca que tarden un tiempo en cargarse y descargarse. Por lo tanto, absorben corriente eléctrica en función de la diferencia entre la tensión aplicada y la carga de la bobina.

Ocurre el mismo efecto cuando la carga es un condensador, aunque el desfase es inverso. Es decir, que en un caso la corriente se atrasa respecto a la tensión, y en el otro se adelanta.

Cuando la carga se comporta como una bobina decimos que es una carga inductiva. Si lo hace como un condensador, la llamamos carga capacitiva.

Si la corriente está adelantada o atrasada respecto a la tensión, decimos que están desfasadas. El ángulo de desfase se expresa con la función coseno, y se representa como $\cos\phi$ (se lee coseno de ϕ). Su valor puede estar entre 0 y 1.

La potencia real, teniendo en cuenta que $P=V \cdot I$, es menor si hay un desfase. En este caso no podemos multiplicar los valores absolutos, sino que debemos tener en cuenta este desfase. La fórmula correcta sería $P=V \cdot I \cdot \cos\phi$.

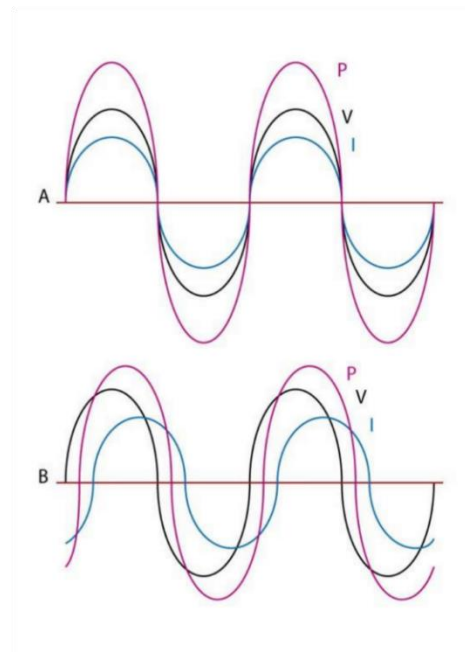
Si las señales están alineadas, es decir que la carga es resistiva o lineal, $\cos\phi=1$. Por eso no se tiene en cuenta en la fórmula del cálculo de la potencia ($P=V \cdot I \cdot 1$ da el mismo resultado que $P=V \cdot I$).

Para entenderlo gráficamente, observa la siguiente figura:

Cuando las ondas están sincronizadas (A) en el paso por cero tenemos que $P=0V \cdot 0A=0W$, y en el pico $P_{\max}=V_{\max} \cdot I_{\max}$. El ángulo de desfase es cero, por lo que el $\cos\phi=1$.

En la figura B no sucede lo mismo, porque cuando una de las ondas pasa por cero, la otra tiene un valor positivo o negativo. El $\cos\phi < 1$, por lo que el resultado es que la onda P tiene un valor menor que en la figura A.

En definitiva, cuando la tensión y la intensidad están desfasadas entre sí, la potencia no se aprovecha correctamente. Si además sumamos más cargas del mismo tipo, es decir inductivas o capacitivas, los desfases se van sumando, por lo que el ángulo de desfase también aumenta, disminuyendo el rendimiento de la línea.



En la práctica, podemos tener una línea eléctrica por la que circula una gran intensidad teniendo conectados equipos de poca potencia. Esto provoca el sobrecalentamiento de los cables y otros

problemas. Por este motivo, las normativas (y también las compañías eléctricas) penalizan estos problemas de calidad eléctrica.

4.1 Los armónicos

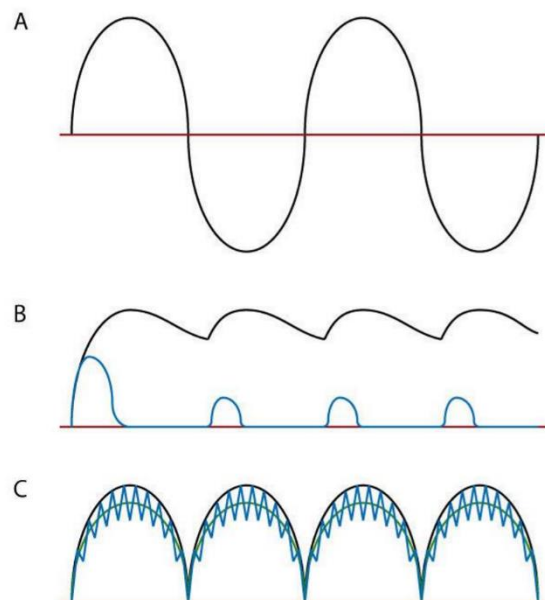
En una fuente de alimentación se combinan varios problemas que afectan a su rendimiento. Por un lado, tenemos un condensador que adelanta la intensidad respecto a la tensión. Esto significa que el $\cos\phi \neq 1$. Por otro lado tenemos el puente de diodos, que convierte la corriente alterna en corriente pulsante.

El condensador no se carga y descarga completamente, sino que suelta una pequeña parte de su carga cuando la tensión es menor, y se recarga cuando la tensión es mayor. Esto quiere decir que solamente absorbe corriente cuando se recarga.

En la figura B puedes ver la tensión en el condensador, que se mantiene en la zona alta, y la corriente de carga, que son pequeños impulsos de corriente absorbida por el condensador. El resultado es que la intensidad absorbida por el circuito tiene una forma de onda no senoidal, y además desfasada.

Esta forma de onda distorsionada se compone de varias frecuencias superpuestas, que se conocen como armónicos. Los armónicos son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental. Si la red eléctrica tiene una frecuencia de 50Hz, los armónicos se comportan como “ecos” a 100Hz, 150Hz, 200Hz, etc. Cuanto mayor sea la distorsión, mayor valor tendrán estos armónicos.

Los armónicos son un efecto indeseado, porque son corrientes parásitas que no podemos aprovechar, pero circulan igualmente por los conductores, provocando recalentamientos e interferencias.



Formas de onda en condensador y bobina

4.2 El factor de potencia

Hemos visto que el desfase entre tensión e intensidad disminuye la potencia real, y que el conjunto de diodos más condensador distorsiona la corriente.

Denominamos factor de potencia a la relación entre la potencia activa (potencia real aprovechada por los equipos conectados), y la potencia aparente (potencia consumida de la red eléctrica). De la propia definición podrás deducir que si las dos potencias (activa y aparente) no son iguales, estamos aprovechando solo una parte de la potencia consumida.

El objetivo en cualquier circuito eléctrico es que la potencia activa y la aparente sean iguales, por lo tanto su relación será igual a 1. Habitualmente se confunde el factor de potencia con el $\cos\phi$.

El $\cos\phi$ influye en el factor de potencia, porque cuanto mayor sea el desfase entre tensión e intensidad, más potencia estaremos desperdiciando. Sin embargo, la distorsión de la señal no tiene nada que ver con el desfase, y también influye en el factor de potencia.

4.3 ¿Cómo corregir el factor de potencia?

El factor de potencia se puede corregir, de modo que toda la potencia absorbida sea aprovechada.

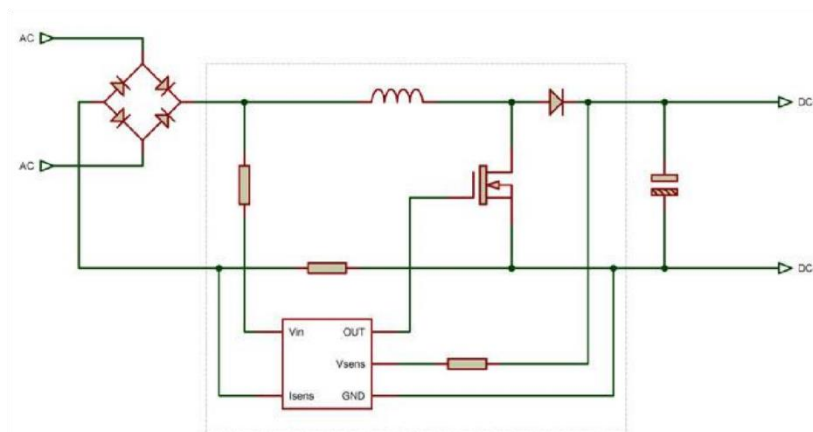
Hay varios sistemas para conseguirlo.

En el caso de un motor, donde ambas ondas son senoidales y hay poca distorsión, basta con conectar un condensador en paralelo.

Si decíamos que una bobina retrasa la intensidad, conectando un condensador la adelantamos. Solamente debemos calcular el valor del condensador para que las dos ondas queden sincronizadas.

En el caso de las fuentes conmutadas, que es lo que nos importa, no resulta tan sencillo, porque el problema no es solamente el desfase, también hay que corregir la distorsión. Para ello necesitamos un corrector del factor de potencia activo.

Para conseguirlo, hay varios sistemas que son similares, por lo que nos centraremos en el más utilizado.

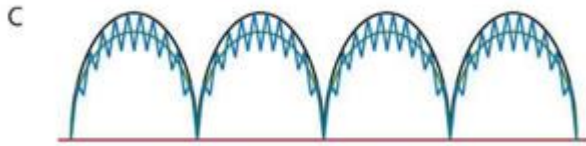


Esquema de corrector del factor de potencia (PFC).

En los circuitos reales, se añaden varios componentes pasivos y semiconductores discretos, dependiendo del fabricante y el modelo del circuito integrado. Observando el esquema, puedes ver los componentes mencionados en los apartados anteriores: el puente rectificador y el condensador electrolítico.

El circuito integrado controla a un transistor como si fuese un interruptor, conectándolo y desconectándolo miles de veces por segundo. Cuando el transistor está conectado, la bobina se carga de corriente, y cuando se desconecta, la bobina comienza a descargarse.

Variando el tiempo que el transistor está conectado y desconectado, se puede regular la cantidad de carga en la bobina. El circuito integrado mide varios parámetros, normalmente la tensión de salida del rectificador, la tensión en el condensador, y la corriente total consumida. El resultado es que, a partir de los datos medidos y del control del transistor, se consigue componer en la bobina una forma de onda senoidal.



Concretamente, tal como puedes ver en la imagen, la tensión aplicada a la bobina es la onda superior.

La corriente en la bobina tiene una forma triangular, generada por la carga de la bobina mediante el transistor.

La corriente tiene un valor eficaz que, al tratarse de una onda triangular, se corresponde con la media de dicha onda, observa la onda cruzando el centro de la señal triangular.

Mediante este circuito hemos conseguido una onda senoidal, con una distorsión mínima y sin desfase, es decir con un factor de potencia muy cercano a 1.

De cara a la red eléctrica, este circuito se comporta prácticamente igual que una carga resistiva. Por eso también se denomina emulador de carga resistiva. También se consigue desacoplar la corriente del condensador de la red, porque la corriente que absorbe el condensador no la toma de la red, sino de la bobina. Entre la bobina y el condensador hay un diodo para que el condensador no devuelva corriente hacia la bobina o el transistor.

4.4 El PFC en la práctica

Muchas fuentes de alimentación no incorporan corrector del factor de potencia. Sobre todo en equipos económicos de poca potencia. Otras combinan el PFC y la conmutación en un solo circuito integrado.

Gracias a los avances de los fabricantes de semiconductores, cada vez es más económico incorporar estas secciones en los equipos de bajo coste, por lo que serán más habituales. Las fuentes de alimentación para PC suelen incorporar este módulo, al tratarse de equipos que pueden llegar a consumir bastante energía.

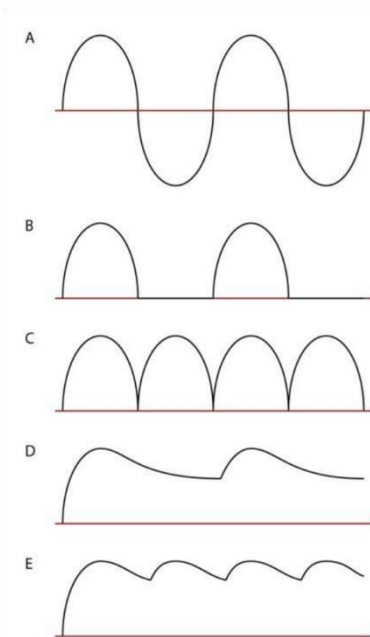
5. FILTRO PRIMARIO



Un condensador es, básicamente, un componente fabricado a base de capas conductoras separadas por un elemento aislante. Las capas están muy cerca unas de otras, lo que permite que los electrones, al tener carga negativa, se vean atraídos por la capa con carga positiva.

Este comportamiento hace que el condensador se convierta en una especie de batería con muy poca carga. Al aplicar corriente, el condensador se carga, y al desconectarlo, se descarga a través de los componentes conectados.

5.1 Funcionamiento conjunto rectificador-condensador



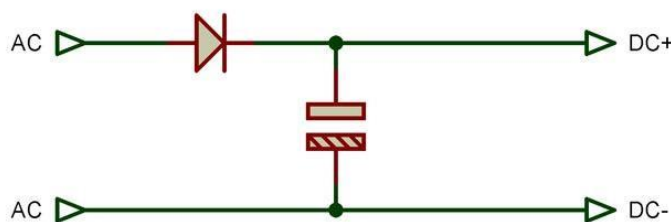
En la imagen A se puede ver la forma de onda sinusoidal típica de la corriente alterna. Durante la mitad del tiempo la corriente se desplaza en un sentido, y en la otra mitad lo hace en el sentido contrario.

Cuando conectamos un diodo en serie con la corriente, en su salida encontraremos la onda que aparece en B. Hemos eliminado el semiciclo negativo de la onda anterior.

Utilizando un puente rectificador conseguimos aprovechar la corriente de los dos semiciclos. La onda de salida será parecida a C.

En el primer caso (B) hablamos de un rectificador de media onda, porque perdemos la mitad de la onda. En el segundo (C) decimos que es un rectificador de onda completa.

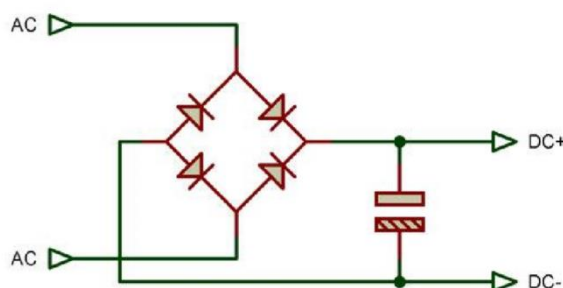
Al añadir un condensador a la salida del diodo, amortiguamos la onda, debido a que el condensador se carga mientras la onda asciende, y se descarga lentamente cuando desciende.



Rectificador de media onda, formado por un diodo y un condensador

Como puedes ver en el semiciclo positivo el diodo deja pasar corriente y el condensador se carga, mientras que durante el semiciclo negativo el diodo no conduce, y el condensador deja salir su carga. Como habrás deducido, se trata de un rectificador de media onda.

La onda de salida corresponde a D, donde se aprecia cómo se suaviza la caída de la onda gracias a la descarga del condensador.



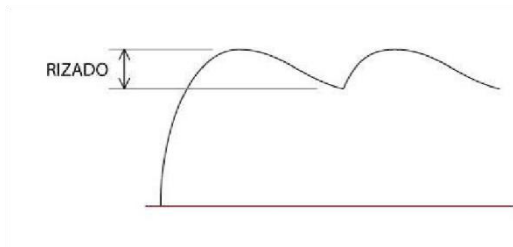
Puente rectificador de onda completa, con condensador electrolítico

Aquí hay cuatro diodos, que permiten que durante un semiciclo la corriente pase por dos de ellos, y en el semiciclo contrario pase por los otros dos. Así es como se aprovecha toda la corriente en un rectificador de onda completa. El esquema es idéntico si se utiliza un puente rectificador o cuatro diodos individuales.

El rectificador de media onda se utiliza en algunas fuentes de alimentación de muy poca intensidad donde la calidad no es muy importante, o donde se requiere utilizar muy pocos componentes, ya sea por motivos económicos o de espacio.

El condensador a la salida de un rectificador de onda completa transforma la señal, que es similar a la imagen E. Como ves, se parece más a una corriente continua que usando un rectificador de media onda. Como la caída es más corta, se puede utilizar un condensador de menor capacidad, haciendo el circuito más barato y compacto.

5.2 El rizado



Aquí realmente no hemos convertido la corriente alterna en una verdadera corriente continua. En una gráfica, la corriente continua es una señal totalmente horizontal, sin altibajos. A estos altibajos le llamamos rizado. Cuanto menor sea este rizado, más se parecerá la señal a una corriente continua, y por tanto será de mejor calidad.

Hay varias formas de reducir o eliminar el rizado:

- *Aumentando la capacidad* del condensador, la caída de la corriente es más lenta, por lo que la curva se suaviza.
- *Añadiendo una bobina* en serie. La bobina en serie se comporta igual que un condensador en paralelo, de modo que se refuerza este efecto.
- *Utilizando un estabilizador* a una tensión menor. Si añadimos un elemento semiconductor que elimine la parte alta de la onda conseguimos una corriente continua perfecta, aunque tendrá una tensión menor. En esta etapa de las fuentes conmutadas no se suelen utilizar estabilizadores.

6. TRANSISTOR

Antes de explicar el transistor, veremos la parte posiblemente más importante de una fuente de alimentación conmutada: el *inverter*. En esta etapa, la corriente continua se convierte en una especie de corriente alterna, necesaria para que funcione el transformador. El inverter o etapa de conmutación está formada por el transistor y el controlador.

6.1 El inverter

Un inverter es un convertidor de corriente continua a corriente alterna. Justo lo contrario que el diodo. A diferencia de un rectificador de diodos, un circuito para convertir la corriente continua en alterna es algo más complicado. Necesitamos generar impulsos de corriente con un oscilador. Para ello nos podría bastar con un transistor y un condensador.

En una fuente de alimentación necesitamos controlar la corriente, cualquier factor externo podría hacer que la tensión o la intensidad variasen de forma no deseada. Esto podría provocar averías, incluso daños graves.

Para conseguir controlar la corriente se utilizan circuitos integrados que hacen todo el trabajo difícil. El objetivo es que la tensión de salida de la fuente sea muy estable, y no se des controle aunque haya cambios de carga muy bruscos.

Para generar la corriente alterna, lo que hacemos es cortar y dejar pasar corriente alternativamente, muchas veces por segundo. Podemos imaginar un interruptor que se conecta y desconecta constantemente. El resultado es una forma de onda rectangular.

6.2 El transistor

En lugar de un interruptor, usamos un transistor, que permite trabajar a grandes velocidades, pudiendo cambiar su estado en pocos nanosegundos. En la práctica, los transistores utilizados suelen ser MOSFET e IGBT, porque sus características son más apropiadas que los transistores bipolares.

Para variar las características de la corriente, podemos controlar el transistor para que conmute de dos formas distintas:

➤ Regulación por variación de frecuencia

Una opción es variar la frecuencia del oscilador. Si el transistor conmuta a mayor velocidad, la frecuencia de la corriente resultante es más alta. Este sistema se utiliza en los variadores de velocidad de motores de corriente alterna. La velocidad del motor es proporcional a la frecuencia de la corriente aplicada.

Precisamente, los equipos de refrigeración inverter se denominan así porque tienen un circuito variador de velocidad, regulando la velocidad del compresor. En los equipos sencillos (no inverter) el compresor tiene dos velocidades fijas, una de arranque y otra de trabajo. Cuando se activa el compresor, el consumo eléctrico es muy elevado, hasta que alcanza su velocidad de trabajo.

Las máquinas inverter mantienen el compresor girando a baja velocidad para mantener la inercia sin detenerse, y evitar el arranque. Por eso son equipos eléctricamente más eficientes.

➤ Regulación por ancho de pulso (PWM)

En las fuentes conmutadas no es viable el sistema anterior, porque el transformador debe trabajar a una frecuencia fija para aprovechar al máximo su rendimiento.

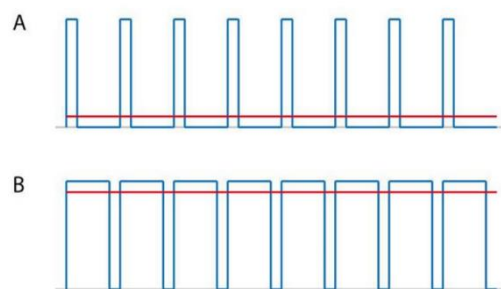
Para regular la tensión y la corriente de salida se utiliza un generador PWM, son las siglas de Pulse Width Modulation, que traducido significa Modulación por Ancho de Pulsos.

El concepto es muy simple: si el interruptor está conectado durante más tiempo, dejará pasar más corriente, y si está menos tiempo ocurre lo contrario.

Para entenderlo mejor, te lo mostraré de forma gráfica.

Aquí puedes ver dos ondas con la misma frecuencia y distinto ancho de pulso.

La línea recta representa el valor eficaz de la tensión, una vez rectificadora y filtrada.



6.3 Red snubber

Cuando el transistor deja de conducir, la corriente no desaparece inmediatamente. El bobinado del transformador se descarga, devolviendo la corriente en sentido contrario. Esto puede provocar problemas en el transistor, por lo que es necesario controlar y amortiguar esa corriente.

Para solucionarlo se utilizan varios componentes, conocidos como red *snubber* (amortiguador en inglés). Se trata de un filtro RC y un diodo que permiten el paso de las altas frecuencias, y por lo tanto el pico de descarga del transformador. Una particularidad de estos componentes es que deben soportar picos de tensión elevados, por lo que los condensadores suelen tener una tensión nominal de 1kV.

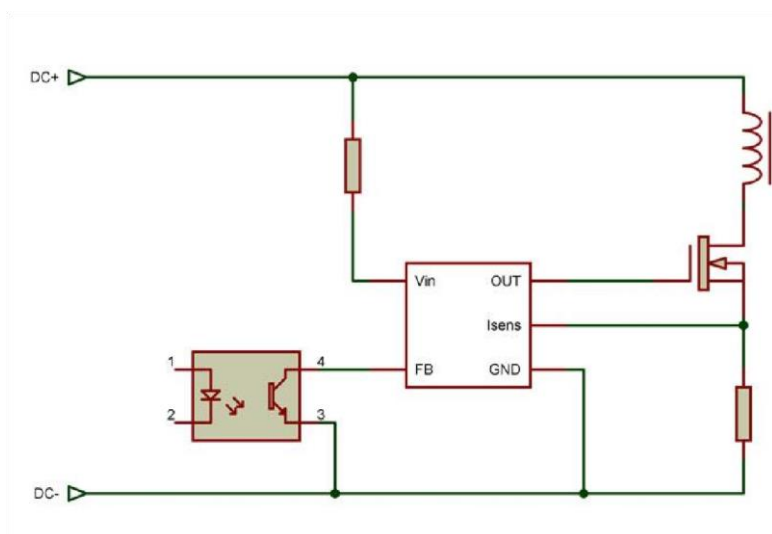
7. CONTROLADOR

Las fuentes de alimentación conmutadas incorporan generalmente un circuito integrado que realiza la regulación PWM, además de muchas otras funciones, como la protección contra cortocircuito, contra sobretensiones, arranque suave, stand by, etc.

Básicamente, el controlador genera una señal PWM en función de la tensión de salida de la fuente. Cuando la tensión de salida supera el valor deseado, estrecha los pulsos de corriente, y así el transformador recibe menos energía. Al caer la tensión de salida, el controlador realiza la función contraria.

De este modo, la tensión de salida se mantiene constante, aunque varíe la carga aplicada. Para ciertas aplicaciones, donde la carga varía muy rápidamente, el circuito debe tener una respuesta inmediata para prevenir altibajos que afecten al equipo conectado a la salida.

El regulador también puede incorporar una entrada que se conecta a una resistencia *shunt*, para medir la corriente que consume el equipo.

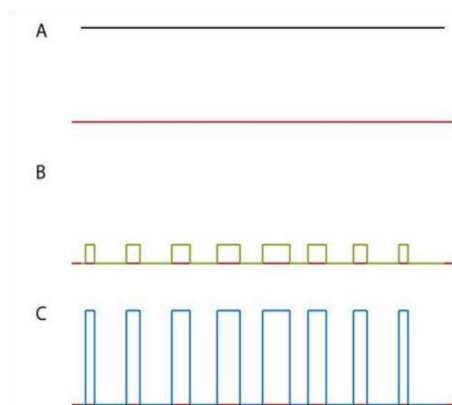


En el esquema puedes ver cómo se conectan los distintos elementos.

El circuito integrado puede alimentarse directamente a través de una resistencia (de un valor bastante alto), ya que interiormente incorpora un circuito estabilizador de tensión.

En otros casos se alimenta desde un bobinado auxiliar del transformador, nombrado en los datasheet como *bias*, o a través de una pequeña fuente de alimentación lineal.

La resistencia *shunt*, que une el transistor con la masa, tiene un valor óhmico muy bajo, menor de 1Ω , para no alterar el funcionamiento del circuito. También suele ser bastante gruesa (en muchos casos se conectan varias resistencias en paralelo), porque toda la corriente del circuito pasa a través suyo. Al medir la caída de tensión de esta resistencia podemos conocer la corriente que circula por el circuito. Aplicando la ley de Ohm, sabemos que $I=V/R$, por lo que la entrada *Isens* mide la tensión y calcula la corriente. El optoacoplador entrega una señal proporcional a la tensión de salida.



Cuando el transistor no está conduciendo, la tensión que le llega a través del bobinado del transformador es igual a la de entrada, porque las bobinas en corriente continua se comportan como un conductor. Esta tensión tiene la forma de la figura A.

Si aplicamos a la *base* o *puerta* (dependiendo del tipo utilizado) del transistor una señal PWM, éste conducirá de forma sincronizada con esta señal.

Cuando el transistor está conduciendo, la tensión en sus terminales de potencia (colector y emisor, o fuente y drenaje) es cero, porque quedan conectadas al negativo.

En este momento, la bobina del transformador recibe toda la tensión de entrada, al quedar conectada entre DC+ y DC-. Por lo tanto, absorbe toda la corriente que necesita. Cuando el transistor deja de conducir, la bobina se descarga. De este modo, la bobina se carga y descarga cíclicamente, por lo que la forma de la corriente sería una especie de onda triangular.

En definitiva, hemos conseguido entregar corriente alterna al transformador, con la que ya puede funcionar.

8. TRANSFORMADOR

En las etapas anteriores, hemos convertido la corriente alterna en continua, para después volver a generar una corriente alterna. Es el momento de reducir la tensión.

Un transformador, básicamente es un conjunto de dos bobinas que comparten el mismo núcleo. Una de las bobinas convierte la corriente en energía electromagnética, y la otra hace justo lo contrario.

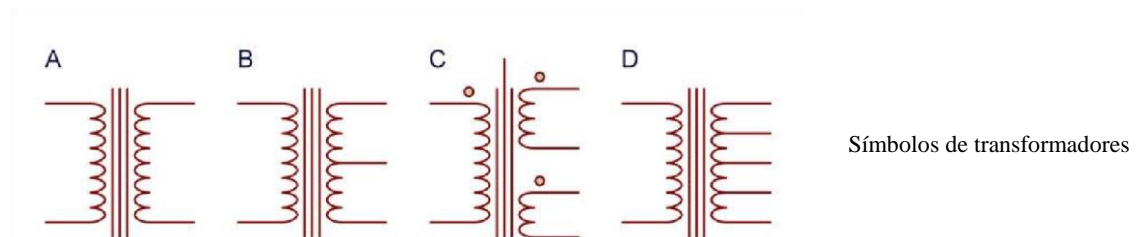
La bobina que recibe la corriente se conoce como bobinado primario, y la que genera corriente se llama bobinado secundario. Igual que ocurría en la etapa del PFC, la bobina recibe una corriente eléctrica, y como ocurre con cualquier conductor, una parte de esa corriente se convierte en un campo electromagnético. Este campo magnetiza el núcleo del transformador.

Cuantas más vueltas tiene la bobina, mayor cantidad de la corriente recibida se convierte.

Cuando la corriente se detiene, el campo magnético se disipa. El metal con el que se fabrica el núcleo no permanece imantado, por lo tanto, solo mantiene el campo magnético durante un instante.

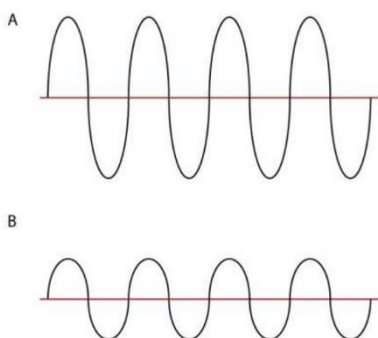
El campo magnético generado provoca que los electrones del bobinado secundario se desplacen, generando una pequeña corriente.

Al invertirse el semiciclo de la corriente, se vuelve a repetir el proceso, aunque esta vez el campo magnético tiene la polaridad invertida, y también la corriente del secundario.



Podemos arrollar varias bobinas en el mismo núcleo, con lo que tendremos varios secundarios. Éstos pueden estar eléctricamente unidos, como en la *figura B* y *D*, o separados como en la *figura C*.

No hay conexión eléctrica entre los bobinados primario y secundario, por lo que los transformadores también sirven para aislar el circuito de entrada del circuito de salida.



La tensión de entrada es proporcional a la de salida. Esto quiere decir que si aumenta en el primario, también lo hará en el secundario, y viceversa. Cambiando la relación de espiras también cambiamos la relación de tensiones. Si, por ejemplo, el bobinado primario tiene el mismo número de espiras que el secundario, la tensión de salida será igual a la de entrada. La relación de transformación será 1:1.

Este tipo de transformador solo resultaría interesante como aislamiento de seguridad. Si el bobinado primario tiene 100 espiras y el secundario tiene 10, la tensión de salida será 10 veces menor que la de entrada. La relación será 1:10. Si el primario tuviera 5 y el secundario 500, la tensión de salida sería 100 veces la de entrada (1:100).

Si al conectar el transformador intercambiamos el primario por el secundario, la relación de transformación se invierte, de modo que un transformador que reducía la tensión pasará a aumentarla, y viceversa.

Imaginemos que tenemos un generador conectado a turbina movida por una corriente de agua. Ese generador produce 12V. Si conectamos un transformador con una relación 1:20 (primario < secundario), a la salida tendremos 240V.

Podemos llevar la corriente a través de un cable, y en el otro extremo conectar otro transformador 1:20 (primario > secundario), para reducir la tensión de nuevo a 12V, donde conectaremos una lámpara. Así es básicamente cómo funcionan los tendidos de alta tensión que unen las centrales generadoras con los edificios de los consumidores.

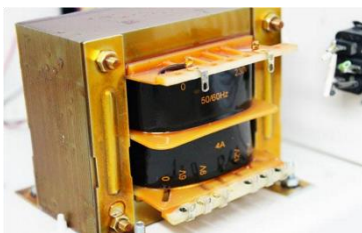
8.1 Tipos de transformadores

El transformador es un elemento bastante sencillo, y tiene muchísimas aplicaciones, por lo que existen muchos tipos distintos.

En las fuentes de alimentación, básicamente hay dos tipos:

➤ Transformadores lineales

Trabajan a baja frecuencia (50-60Hz). Son pesados y tienen un bajo rendimiento, es decir que al transformar *corriente – campo magnético – corriente*, una parte importante de la energía se pierde. Habitualmente se utilizan dos tipos:



- Transformadores de chapa en E: El núcleo está compuesto de muchas láminas metálicas superpuestas.

- Transformadores toroidales: El núcleo es un anillo al que se arrollan las bobinas. Por su forma, tienen menos pérdidas que el tipo anterior.



➤ Transformadores de pulsos



Su forma es similar a la de los transformadores de chapas en E, pero los núcleos están fabricados de materiales como la ferrita. Trabajan a altas frecuencias, lo que permite reducir las pérdidas, y además obtener una mayor corriente de salida, con un tamaño mucho menor que el de los transformadores lineales.

En las fuentes de alimentación conmutadas se utilizan los *transformadores de pulsos*. La principal particularidad de este tipo de transformadores, es que el núcleo está “afinado” a una frecuencia. Por lo tanto, no podemos intercambiar transformadores que trabajen en distintos rangos de frecuencias.

8.2 Potencia y corriente máxima en los transformadores

Un transformador consume una potencia igual a la del circuito conectado a su salida, más las pérdidas del propio transformador. En un transformador ideal, que no tuviese pérdidas, la potencia de entrada sería igual a la de salida.

La potencia nominal de un transformador se mide en VA (*voltiamperio*), al ser una medida de *potencia aparente*. La corriente de salida está limitada principalmente por la sección del hilo del bobinado secundario.

Si la carga conectada es muy grande, la corriente que circulará por el bobinado será mayor de la que pueda soportar el hilo, por lo que se quemará. La sección del hilo del bobinado primario será inversamente proporcional a la tensión. Es decir, si el primario es de 100V y el secundario de 10V (relación 1:10), la corriente del primario será 10 veces menor que la del secundario.

Como $P=V \cdot I$, si el transformador del ejemplo anterior tuviese 10VA nominales, la intensidad máxima del secundario sería de 1A, mientras que la del primario sería 0,1A.

8.3 El transformador en las SMPS

En la etapa anterior se había generado una corriente alterna de más de 300Vpp, que se aplica al primario. Normalmente las salidas del transformador serán menores de 50V eficaces.

Muchos transformadores de fuentes conmutadas tienen un bobinado auxiliar (bias) para alimentar los componentes de las secciones activas, es decir el corrector del factor de potencia y la etapa de conmutación (inverter).

De hecho, no es raro encontrar transformadores con más de cinco bobinados secundarios. Por ejemplo, en las fuentes de alimentación para PC, puede haber un bobinado para cada salida (bias, +12V, 12V, +5V, -5V, 3.3V, etc.).

En las fuentes de alimentación lineales (no conmutadas), los transformadores se seleccionan en función de sus tensiones, potencias, y conexión de los bobinados. Estos parámetros están bastante estandarizados, por lo que no hay demasiada variedad, y no es difícil encontrar el modelo deseado.

Los transformadores de pulsos son más complicados, porque al tener que seleccionar parámetros adicionales como la frecuencia de trabajo y la opción de bobinados auxiliares, las posibilidades se multiplican.

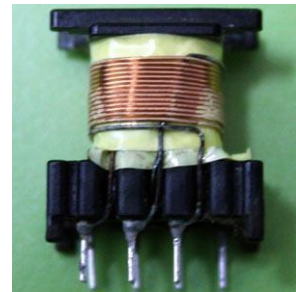
Por si esto fuese poco, no hay valores ni referencias estandarizados, lo que complica enormemente conseguir un repuesto, haciéndolo el componente más tedioso en caso de que sea necesario repararlo. A veces hay que dedicar mucho tiempo a buscar el repuesto, lo que puede hacer inviable la reparación.

En la mayoría de los casos, el transformador se diseña a medida para cada modelo de circuito. Si se trata de un equipo muy caro, donde vale la pena dedicarle bastante tiempo, se puede rebobinar el transformador. Tan solo es cuestión de desmontarlo con mucho cuidado, contando las vueltas de cada hilo y estudiando muy bien su montaje.

Es importante montar el hilo nuevo exactamente igual, con el mismo número de espiras, sentido, aislamientos, conexiones, distancias laterales, etc.

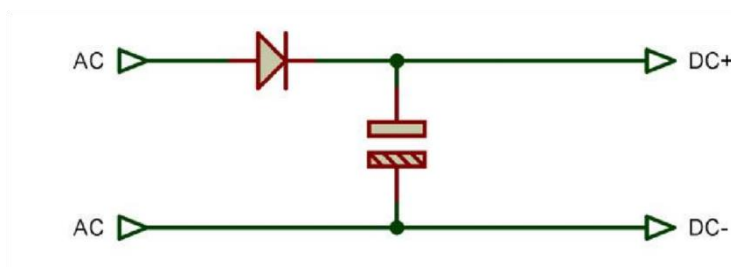
También hay que medir bien las secciones de los bobinados y seleccionar un hilo esmaltado idéntico, para que el conjunto mantenga las mismas características eléctricas.

Para reparaciones puntuales, rebobinar el transformador significa tener que comprar hilos de cada diámetro, cinta aislante especial (de color amarillo). Como normalmente los transformadores están fabricados mecánicamente, rebobinarlos a mano es un trabajo complejo, que cuesta tiempo y dinero. Por eso muy pocos técnicos los reparan.



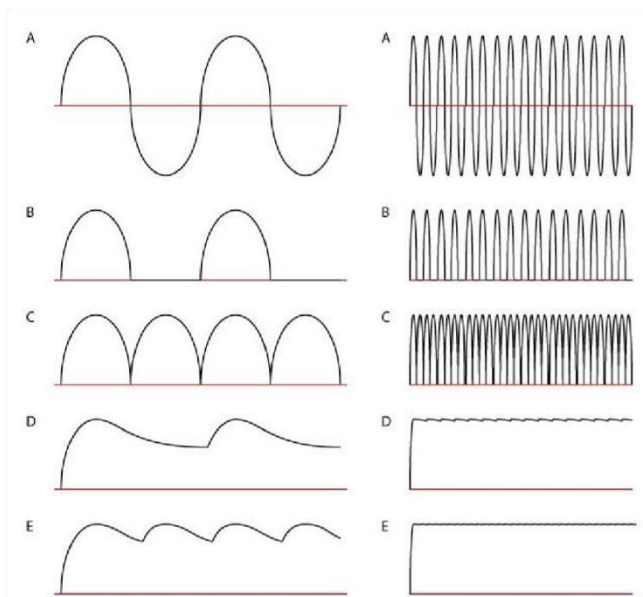
9. RECTIFICADOR SECUNDARIO

Al igual que ocurría en el rectificador del primario, donde convertíamos 230Vac en unos 320Vac, utilizaremos un diodo para convertir la corriente alterna en corriente pulsante (Figura 13).



Rectificador y filtro de salida

En esta ocasión no nos importa tanto si usamos un rectificador de media onda o un rectificador de onda completa. El motivo es que esta corriente es de alta frecuencia. Esto quiere decir que los pulsos estarán mucho más juntos, y será muy fácil filtrarlos para conseguir una corriente continua.



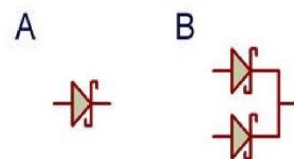
Formas de onda: Baja frecuencia a la izquierda y alta frecuencia a la derecha; (A) corriente alterna; (B) media onda rectificada; (C) onda completa rectificada; (D) media onda filtrada; (E) onda completa filtrada

En la figura puedes ver la comparación entre dos frecuencias distintas. Se aprecia que cuando la frecuencia es más alta, los pulsos están más juntos, por lo que el condensador prácticamente no trabaja. Si tenemos en cuenta que la frecuencia puede ser miles de veces superior a la del

primario, es fácil deducir que el condensador en el secundario puede ser mucho más pequeño.

Debido precisamente a la alta frecuencia de la corriente, no podemos utilizar diodos rectificadores normales. Si lo hiciésemos, éstos tardarían demasiado tiempo en empezar y dejar de conducir.

Para esta función se utilizan los diodos ultrarrápidos, o diodos Schottky. Su símbolo es distinto al de los diodos rectificadores normales. Como siempre se usan diodos de este tipo en las salidas de las fuentes conmutadas, es normal que se representen con el símbolo del diodo sencillo, porque se sobreentiende que son Schottky.



En las fuentes de alimentación más potentes es habitual encontrarlo y suele tener un encapsulado similar al de un transistor.

10. FILTRO SECUNDARIO

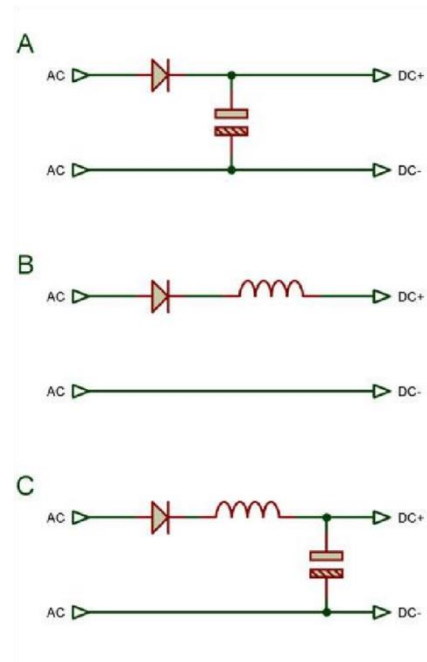
Tal como ocurre con el rectificador del primario, a la salida también es necesario montar un componente que suavice el rizado. Como ya hemos visto, con un condensador de poca capacidad es suficiente. Precisamente por la facilidad de filtrar el rizado, también se utilizan bobinas en serie.

Las bobinas presentan una serie de ventajas, entre las que podemos destacar :

- Se puede filtrar una gran corriente aumentando la sección del hilo que forma la bobina
- No hay desgaste, como ocurre en los condensadores electrolíticos.
- No se ven afectadas por las altas temperaturas.

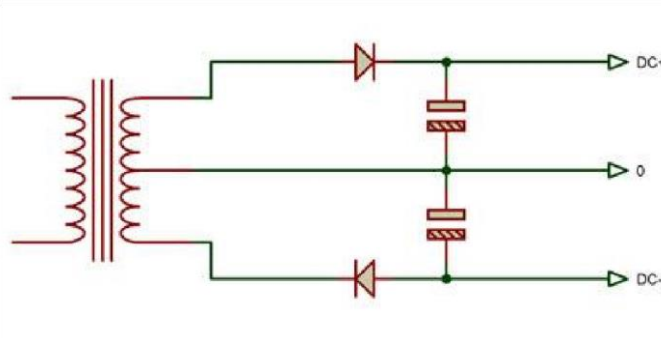
Si una bobina sirve como filtro igual que un condensador, podemos combinar ambos para mejorar el filtrado.

Aquí podemos observar tres tipos de filtro: de tipo C (condensador), de tipo L (bobina), y de tipo LC (bobina y condensador). Las combinaciones se pueden complicar más aumentando el número de componentes. Por ejemplo, no es raro encontrar filtros LC en configuración π (condensador, bobina y condensador).



Tipos de filtro de salida: (A) filtro C; (B) filtro L; (C) filtro LC

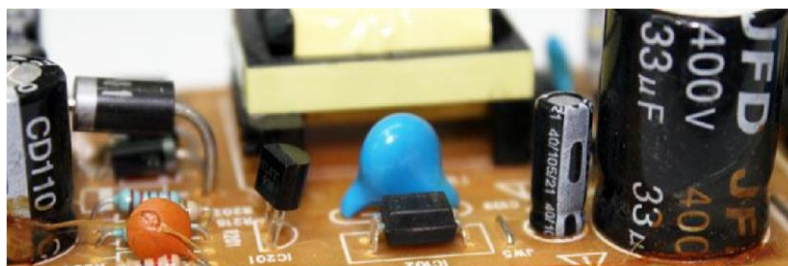
10.1 Rectificador y filtro con salida negativa



Para conseguir una alimentación negativa, simplemente se conectan dos diodos y dos condensadores. En este caso, los condensadores se pueden sustituir por bobinas o combinar ambos componentes, igual que en el ejemplo anterior. Únicamente hay que tener en cuenta la polaridad de los condensadores.

11. ESTABILIZADOR DE TENSIÓN

La última etapa de una fuente de alimentación conmutada es la que controla la regulación de tensión, también llamada retroalimentación (feedback), o amplificador de error. El funcionamiento de esta etapa es muy básico, pero resulta bastante confuso por la forma de explicarlo en los libros de texto y datasheet de fabricantes.



11.1 Regular la tensión

En las fuentes SMPS la tensión de salida depende de varios factores. Cuando se conecta una carga que consume mucha corriente, la tensión de la fuente cae. Igualmente, cuando la carga disminuye, la tensión aumenta de nuevo. Si la carga no es estable, como ocurre habitualmente, hay que mantener la tensión constante, para evitar problemas de funcionamiento y averías.

El regulador PWM del primario varía la anchura de los pulsos para cambiar la tensión de salida del transformador. Esto quiere decir que en una fuente conmutada la tensión es variable. En la mayoría de aplicaciones, la tensión de la fuente debe ser fija, y además muy estable, para que la tensión sea lo más exacta posible y no varíe en ningún momento.

11.2 ¿Cómo se regula la tensión de salida?

En una fuente de alimentación lineal, la tensión de salida se regula mediante circuitos integrados estabilizadores de tensión, o diodos zener en aplicaciones más básicas.

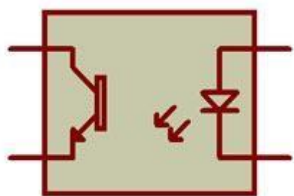
En muchos circuitos no se requiere demasiada precisión, por lo que ni siquiera se usan componentes específicos. La tensión de salida es la que entrega el transformador, una vez rectificada por los diodos y filtrada por el condensador.

En una fuente de alimentación conmutada no sirve este planteamiento, y se hace de una forma totalmente distinta. La solución es muy básica. Se mide la tensión en la salida de la fuente y se varía la señal PWM para aumentarla o disminuirla según se requiera.

Es fácil decirlo, pero hacerlo es otra historia. El principal problema es que el regulador PWM está en el primario, con tensiones de más de 300V, y queremos medir la tensión en el secundario, que suele ser de pocos voltios.

El transformador sirve como aislamiento de seguridad, por lo que no interesa conectar partes del primario con componentes del secundario, para mantener este aislamiento.

11.3 El optoacoplador

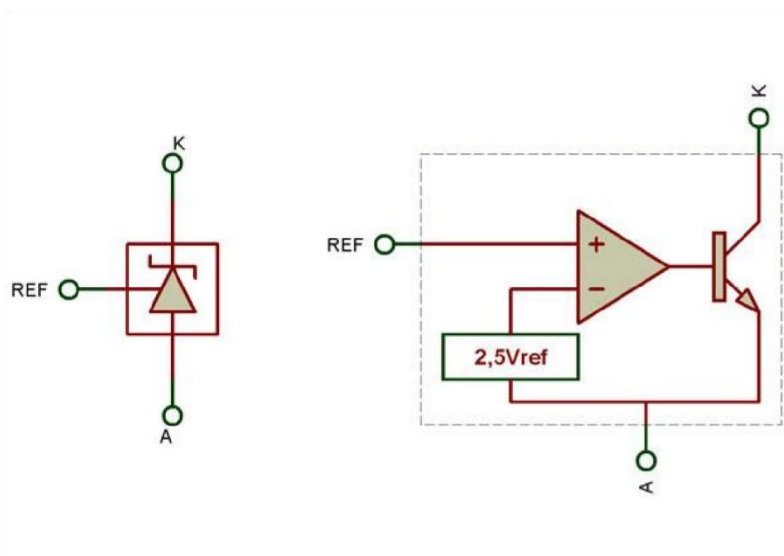


Un *optoacoplador* es un circuito integrado que contiene un diodo led y un fototransistor. Cuando aplicamos tensión al led, éste se ilumina, activando el fototransistor que entra en conducción. Ambos componentes "se ven pero no se tocan", es decir que el led transmite luz al fototransistor, pero no hay contacto físico ni eléctrico entre ellos.

Al estar los componentes aislados eléctricamente, los circuitos conectados en cada lado permanecen separados. Las corrientes que soporta un optoacoplador, tanto en el diodo como en el fototransistor son muy bajas, por lo que únicamente pueden manejar señales. Para poder manejar cargas de cierta potencia, se debe conectar algún componente adicional.

11.4 El circuito integrado TL431

Aunque hay varias formas de regular la tensión en una fuente conmutada, la más habitual gira en torno a un componente: el TL431.



Se trata de un circuito integrado que incorpora varios elementos. Debido a su bajo coste y a su precisión, es el componente más habitual para esta aplicación. Cada fabricante varía la referencia de sus componentes. Es habitual encontrar este componente con otros códigos, pero suelen coincidir en la numeración xxx431.

Internamente, el TL431 tiene tres elementos, representados a la derecha de la figura anterior:

- Un circuito de referencia de 2,5V. Siempre que entre los terminales K y A haya una tensión superior, esta parte del circuito generará 2,5V con una gran precisión y estabilidad ante los cambios de temperatura.
- Un amplificador operacional, que cuando la tensión en el terminal REF es superior a 2,5V activa su salida.
- Un transistor, que entra en conducción cuando el operacional entrega tensión a su base.

En definitiva, el integrado conecta los terminales K y A cuando en el terminal REF hay más de 2,5V. Este modo de funcionamiento ha hecho que el TL431 sea conocido como "zener regulable".

El símbolo que se suele utilizar en los esquemas es del símbolo de un diodo zener, al que se ha añadido el terminal REF.

11.5 ¿Cómo funciona el circuito de regulación?

Aunque en la práctica cada circuito tiene unos componentes distintos, es habitual seguir el siguiente esquema básico:

Protección contra sobretensiones

Además de las protecciones a la entrada de la fuente, muchos circuitos integrados controladores de conmutación incorporan una protección contra sobretensiones. El funcionamiento es muy básico.

Una de las patillas del integrado se conecta a la corriente continua del primario, a través de una o varias resistencias, según las especificaciones del fabricante. De este modo, el integrado mide la tensión constantemente, y la compara con un valor de referencia interno. A partir de esta comparación, sabe en todo momento si la tensión es la adecuada.

En el momento que la tensión supera un valor establecido, el integrado entra en modo de protección, desactivando la fuente, para que la corriente que circule sea mínima y no provoque daños.

Algunos controladores se rearmen automáticamente, cuando la tensión vuelve a un valor seguro, y otras quedan desactivadas hasta desconectarlas de la red eléctrica durante unos segundos.

Protección contra sobreintensidades

Igual que en el caso anterior, el integrado también puede medir la corriente que está circulando a través de la fuente, para desconectarla en caso de que exista una sobrecarga importante, o un cortocircuito a la salida.

Aunque el fusible de entrada cumple la misma función, la ventaja de que sea el controlador quien proteja a la fuente es que se desconectará antes de fundir el fusible, por lo que no se requiere sustituirlo, con los inconvenientes que puede suponer (desmontar el equipo, o localizar un fusible nuevo).

Por este mismo motivo, cuando encuentres una fuente con el fusible fundido, lo normal es que al sustituirlo vuelva a fundirse, porque no se trata de una sobrecarga temporal que habría activado el modo de protección, sino de una avería.

Para medir la intensidad, se coloca una resistencia en serie, que puede estar en la salida del rectificador primario, o conectada al transistor de conmutación. Una de las patillas de la resistencia se conecta a una entrada del integrado, y la otra suele conectarse al punto de masa.

El integrado sabe, comparando la tensión de la resistencia con la de masa, la intensidad que está circulando a través de la fuente. En caso de superarse el valor establecido, desconectará la fuente y entrará en modo de protección. Es habitual que la fuente quede protegida aunque desaparezca la sobreintensidad.

Para rearmar la protección y que la fuente vuelva a funcionar, es necesario desconectar la fuente de la red y esperar a que el condensador se descargue completamente. Al volver a conectarla, funcionará con normalidad.

Los controladores más modernos y eficientes miden la corriente en cada pulso de conmutación. Para descartar sobrecargas parásitas, de duración muy breve, solo entran en el modo de protección cuando la sobrecarga se ha detectado durante varios pulsos seguidos.

Arranque suave

Muchos reguladores incorporan esta función, que no es más que una regulación progresiva de los pulsos PWM, que hace que la fuente empiece a conmutar para que la tensión de salida sea muy baja, y va aumentando proporcionalmente, hasta alcanzar la tensión normal de trabajo.

La ventaja de este tipo de funcionamiento es que se evitan picos de corriente devueltos por las cargas inductivas, y otros fenómenos eléctricos no deseados.

En muchos modelos, el tiempo que dura esta rampa es regulable, mediante los valores de un condensador y una resistencia conectados a una entrada del circuito integrado.

Stand by

Este arranque suele ser bastante corto, de menos de un segundo, pero es suficiente para prevenir problemas.

La función de *stand by* puede encontrarse en dos variantes:

1. Green mode o funcionamiento en vacío

La fuente detecta que no hay ninguna carga conectada, y entra en modo de suspensión, consumiendo la corriente mínima que le permita supervisar que se conecta una carga.

En el momento que esto ocurre, se activa y funciona con normalidad.

Algunos controladores reducen la frecuencia de conmutación, lo que minimiza el consumo, y no afecta demasiado a la “afinación” del transformador, al tratarse de una corriente muy baja.

2. Stand by que depende de otro elemento

El circuito integrado incorpora una entrada de alimentación para stand by, y mientras ésta no se active, el circuito no consume energía (o lo hace con una corriente casi despreciable). De este modo, el circuito necesita de otro dispositivo que determine cuándo se debe activar el funcionamiento normal.

En las fuentes ATX que utilizan las computadoras, hay un cable (pin 9) que suministra tensión permanentemente (+5VDC), lo que permite el funcionamiento de varios periféricos, como el teclado o la tarjeta Ethernet. Otro cable (pin 14) activa la fuente cuando se conecta a masa.

De este modo, podemos activar la fuente con el pulsador de encendido, que puentea el pin 14 a masa, o puede ser el propio teclado o la tarjeta Ethernet quienes envíen un comando a la placa base para que puentee estos pins y el equipo arranque completamente.

LAS FUENTES CERTIFICADAS

Existen actualmente en el mercado distintas calidades de fuentes de alimentación, las cuales se pueden diferenciar en “FUENTES GENÉRICAS” y “FUENTES CERTIFICADAS”. Esta diferencia va estar basada en si el elemento que vamos a adquirir ha sido sometido a pruebas de laboratorio o no. Esto le otorga a la fuente un valor agregado que va a determinar su eficiencia en torno a valores de trabajo determinados.

80 PLUS

Las Certificaciones 80 Plus se cree son la manera más fiable que tiene un usuario de conocer la eficiencia energética de una fuente de alimentación. Se trata de una certificación que se obtiene sometiendo una fuente de alimentación a una serie de test que determinan su eficiencia energética.

Esta iniciativa fue propuesta fue llevada a cabo por la empresa Ecos Consulting y muchas pruebas son desarrolladas por la empresa americana independiente Plug Load Solutions en unas condiciones específicas similares para todas las fuentes de alimentación analizadas y posteriormente certificadas.

La especificación de rendimiento 80 PLUS requiere que las fuentes de alimentación de múltiples salidas en computadoras y servidores tengan un 80% o más de eficiencia energética al 20%, 50% y 100% de la carga nominal con un factor de potencia real de 0.9 o mayor. Esto hace que una fuente de alimentación certificada 80 PLUS sea sustancialmente más eficiente que las fuentes de alimentación típicas y crea una oportunidad única de diferenciación en el mercado para los fabricantes de computadoras y fuentes de alimentación.

El problema del test está en que en pocos ordenadores, la temperatura en el interior de la caja es de 23° C o menos y, añadiendo a esto que, cualquier producto electrónico pierde eficiencia energética cuanto mayor es la temperatura a la que trabaja. También, las fuentes de alimentación presentan una mayor eficiencia cuando están conectadas a redes eléctricas cuya diferencia de potencial es de 230V ("220 V"). Así que, en países o regiones donde la diferencia de potencial en la red eléctrica es de 115 V ("110 V"), por ejemplo Estados Unidos, es probable que las fuentes de alimentación presenten un rendimiento inferior al número anunciado por el fabricante, aunque en este caso de los certificados 80 plus no supone mucho problema ya que la mayoría de las fuentes son probadas con ambas potencias eléctricas, 230 V y 115 V.

80 PLUS Certification
% of Rated Load
80 PLUS
80 PLUS Bronze
80 PLUS Silver
80 PLUS Gold
80 PLUS Platinum
80 PLUS Titanium

Como su propio nombre indica, la eficiencia energética mínima para obtener una certificación 80 Plus debe ser del 80%. Sus distintos niveles de certificación y características son los siguientes:

115V Internal Non-Redundant			
10%	20%	50%	100%
---	80%	80%	80% / PFC .90
---	82%	85% / PFC .90	82%
---	85%	88% / PFC .90	85%
---	87%	90% / PFC .90	87%
---	90%	92% / PFC .95	89%
90%	92% / PFC .95	94%	90%

115V Industrial			
10%	25%	50%	100%

80%	85% / PFC .90	88%	85%
82%	87% / PFC .90	90%	87%
85%	90% / PFC .95	92%	90%

230V EU Internal Non-Redundant			
10%	20%	50%	100%
---	82%	85% / PFC .90	82%
---	85%	88% / PFC .90	85%
---	87%	90% / PFC .90	87%
---	90%	92% / PFC .90	89%
---	92%	94% / PFC .90	90%
90%	94% / PFC .95	96%	94%

230V Internal Redundant			
10%	20%	50%	100%

---	81%	85% / PFC .90	81%
---	85%	89% / PFC .90	85%
---	88%	92% / PFC .90	88%
---	90%	94% / PFC .95	91%
90%	94% / PFC .95	96%	91%

Fuente de las tablas de certificación: www.plugloadsolutions.com

OTRAS CERTIFICACIONES

La empresa **Cybenetics** cree que las calificaciones **80 plus** no son suficiente, y es por eso que están introduciendo nuevas certificaciones. Una de estas certificaciones es para la eficiencia energética, y la otra es para el ruido que pueda generar una fuente de alimentación.

El certificado energético se llama **ETA**, y el de sonido se llama **LAMBDA** y **Cybenetics** dice que gracias a estas nuevas certificaciones tendremos mayor precisión, en comparación con lo que tenemos actualmente disponibles por la certificación 80 Plus, en donde solo se tiene en cuenta la eficiencia energética.

LAMBDA “Λ”

Junto con la eficiencia, se busca calcular el ruido de salida general de la fuente. El proceso de promedio de datos de ruido no es sencillo ya que los decibelios (dB) se basan en escalas logarítmicas.

Por ejemplo, si tiene una fuente de alimentación que produce 40 dB, una duplicación de la intensidad del sonido de la potencia acústica no sería de 80 dB sino de 43 dB (y 50 dB para el volumen del volumen). Esto significa que se debe convertir primero los valores de dB a unidades de presión de sonido (Pa), antes de promediarlos, y luego convertir el resultado a dB nuevamente.

NOISE LEVELS (115V/230V INPUT)	NOISE REQUIREMENTS
A++	<15 dB(A)
A+	≥15 dB(A) & <20 dB(A)
A	≥20 dB(A) & <25 dB(A)
A-	≥25 dB(A) & <30 dB(A)
STANDARD ++	≥30 dB(A) & <35 dB(A)
STANDARD +	≥35 dB(A) & <40 dB(A)
STANDARD	≥40 dB(A) & <45 dB(A)

ETA “η”

Contrariamente a las metodologías existentes, el programa aplica más de 1450 combinaciones de carga diferentes en el DUT (Dispositivo bajo prueba), que con la interpolación de resultados, puede proporcionar hasta 25,000 puntos de medición, mientras que las metodologías actuales solo toman de tres a cuatro mediciones. La eficiencia general será el promedio de todas las mediciones, que cubren todo el rango operativo de la PSU. De esta manera, es imposible que un fabricante ajuste sus productos para cumplir con algunos niveles de carga específicos, ya que, en esencia, se toma en consideración los niveles de eficiencia bajo un mayor número de combinaciones de carga diferentes, distribuidas uniformemente en todo el rango de carga completa. Además de la eficiencia, se tiene en cuenta mediciones de voltaje, ondulación, factor de potencia, ruido y temperatura.

Además, la gran cantidad de datos que proporciona la metodología permite modificar rápidamente el programa de certificación de eficiencia, en caso de que sea necesario. Comienzan las pruebas a cerca de 30 ° C con la fuente de alimentación dentro de una caja caliente, que simula un entorno de casos. Al final de la prueba, la temperatura ambiente dentro de la caja alcanza hasta 32-34 ° C, por lo que está cerca de las condiciones de la vida real.

La “energía vampiro” (consumo de energía sin carga en el riel de 5VSB) es de gran importancia ya que toda esta cantidad de energía se desperdicia y la mayoría de los sistemas de PC no se mantienen en funcionamiento las 24 horas del día, los 7 días de la semana, lo que significa que durante una parte importante del día las PSU solo consume energía sin hacer nada útil. La eficiencia en este riel se mide por pasos de 0.05 A hasta su salida de corriente máxima y el promedio de todas las mediciones será el resultado final de eficiencia.

EFFICIENCY LEVELS (115V INPUT)	EFFICIENCY	PF	5VSB EFFICIENCY	VAMPIRE POWER
A++	≥94% & <97% overall efficiency	≥0.985 overall PF	>79%	<0.10W
A+	≥91% & <94% overall efficiency	≥0.98 overall PF	>77%	<0.15W
A	≥88% & <91% overall efficiency	≥0.97 overall PF	>75%	<0.20W
A-	≥85% & <88% overall efficiency	≥0.96 overall PF	>73%	<0.23W
STANDARD	≥82% & <85% overall efficiency	≥0.95 overall PF	>71%	<0.25W

EFFICIENCY LEVELS (230V INPUT)	EFFICIENCY	PF	5VSB EFFICIENCY	VAMPIRE POWER
A++	≥96% overall efficiency	≥0.95 overall PF	>78%	<0.10W
A+	≥93% & <96% overall efficiency	≥0.94 overall PF	>76%	<0.15W
A	≥90% & <93% overall efficiency	≥0.93 overall PF	>74%	<0.20W
A-	≥87% & <90% overall efficiency	≥0.92 overall PF	>72%	<0.23W
STANDARD	≥84% & <87% overall efficiency	≥0.91 overall PF	>70%	<0.25W