

# Control digital de fuentes de alimentación: se cumple lo prometido

Por Bill Hutchings



Bill Hutchings, Director de Marketing de Producto, División de Microcontroladores de Altas Prestaciones, Microchip Technology Inc.

El control de fuentes de alimentación conmutadas (Switch Mode Power Supplies, SMPS) se ha venido realizando tradicionalmente con circuitería completamente analógica. La llegada de controladores de señal digital (digital signal controllers, DSC) de bajo coste y altas prestaciones ofrece una vía práctica para descubrir las ventajas de las fuentes de alimentación digitales en aspectos como:

- costes de la lista de materiales para las fuentes de alimentación digitales respecto a las analógicas
- flexibilidad de control y capacidad de controlar topologías avanzadas
- implementación de funciones de valor añadido sin aumento del coste

## Ahorros de coste en las fuentes de alimentación digitales

La Figura 1 ofrece el diagrama de bloques de alto nivel de una fuente de alimentación CA/CC analógica de dos etapas. Éstos son algunas de sus principales funciones:

- Sección de potencia: conmutadores semiconductores, inductores, condensadores y transformadores de potencia.
- Control de conmutación de potencia: controladoras de puerta y circuitería de soporte.
- Realimentación: sensores, amplificadores y redes de resistencias.
- Control: controladores dedicados para cada etapa de potencia.
- Gestión: un microcontrolador dedicado y circuitería de soporte para control secuencial, monitorización y comunicaciones.

A modo de comparación, se considera una fuente de alimentación de dos etapas. El convertidor de la etapa de entrada es un circuito elevador con corrección del factor de potencia (PFC), mientras que la segunda etapa es un convertidor CC/CC de puente completo con variación de fase.

Algunos de estos elementos, como por ejemplo la sección de potencia y los circuitos de control y de

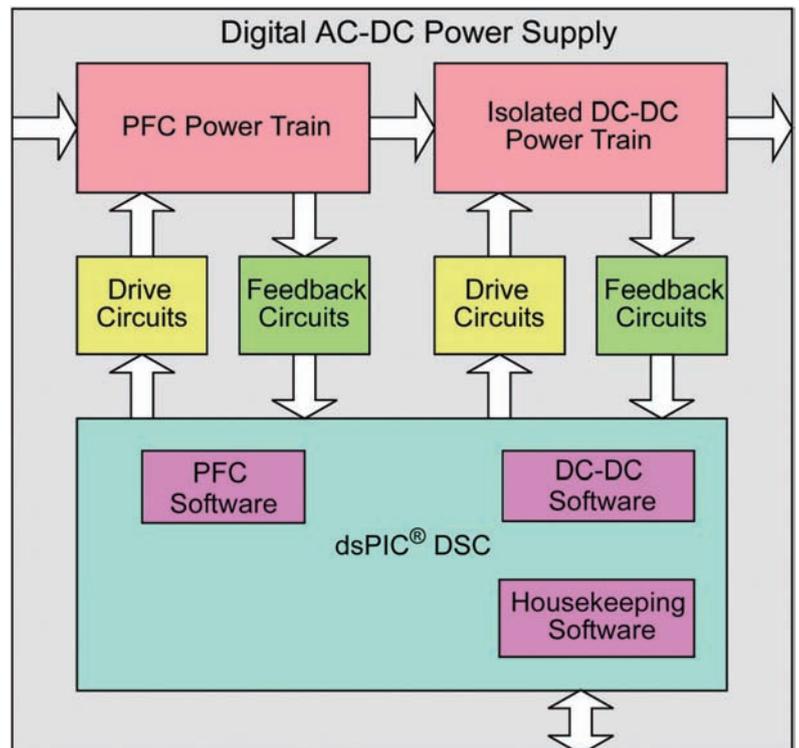
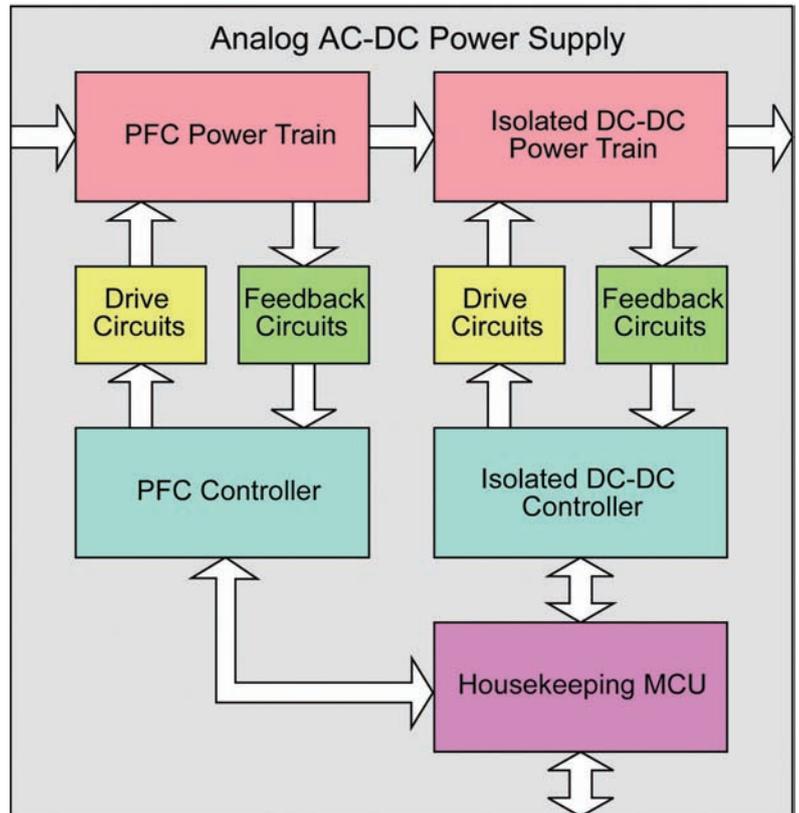


Figura 1. Este diagrama muestra, desde un punto de vista de alto nivel, los principales bloques funcionales de una fuente de alimentación conmutada convencional con control analógico.

Figura 2. En la implementación de control digital de la misma fuente de alimentación de la Figura 1, el software sustituye al hardware para una serie de funciones principales.

realimentación, son prácticamente idénticos en una fuente de alimentación analógica o digital. La Figura 2 ilustra la fuente de alimentación digital correspondiente para el mismo ejemplo. Para la versión digital de esta fuente de alimentación, las funciones del controlador analógico dedicado y del microcontrolador de gestión se pueden combinar en un solo DSC dsPIC®.

La Figura 1 y la Figura 2 muestran sólo las principales diferencias desde una perspectiva de alto nivel; sin embargo, también debe incluirse toda la circuitería de soporte en la comparación. Cada etapa de la alimentación analógica generalmente necesita una circuitería para proporcionar alimentación auxiliar así como funciones avanzadas de supresión de flanco inicial, oscilador, control secuencial, arranque suave y compensación, todas ellas conectadas a un controlador central. Una implementación digital necesitará también hardware para la circuitería de alimentación auxiliar, pero cada una de las funciones citadas se convierte en software ejecutado en el controlador central. No sólo se precisan menos componentes, sino que también las conexiones físicas (pistas de la placa de circuito impreso) se ven enormemente reducidas. El análisis de la lista de materiales debería tener en cuenta el coste de esta circuitería de soporte, la complejidad del trazado de pistas y el tamaño de la placa. Algunas de las funciones identificadas (en la implementación analógica) tan sólo necesitan unos pocos componentes pasivos, mientras que otras tienen un mayor coste (un microcontrolador por separado para las funciones de gestión, por ejemplo).

Alguien podría argumentar que una solución digital requiere el uso de controladores de puerta MOSFET dedicados, mientras que la solución analógica proporciona los controladores de puerta integrados. Si bien esto es cierto para los diseños de baja potencia, la mayoría de diseños analógicos de alta potencia también habrían de recurrir a controladores de puerta externos.

Una comparativa detallada de los costes de la lista de materiales indicará siempre una cifra total notablemente más baja para una fuente digital respecto a un diseño analógico

de similares prestaciones. Una simple suma de los costes de los componentes supone tan sólo una parte del total: se puede ahorrar más con las fuentes de alimentación digitales ya que ofrecen un trazado más sencillo, placas de menor tamaño, costes reducidos de fabricación y de montaje de la placa así como una mejor calidad y fiabilidad.

### Optimizaciones de la eficiencia

Durante los últimos años, las continuas mejoras en las prestaciones de los transistores de potencia y el uso de nuevas topologías han contribuido a lograr notables mejoras en la eficiencia de la fuente de alimentación. Sin embargo, las cifras de eficiencia máxima disponibles corresponden a menudo a unas determinadas condiciones de funcionamiento (el pico de eficiencia se debe especificar a media carga o con altas tensiones de línea). Las fuentes de alimentación digitales ofrecen una versatilidad adicional para optimizar la eficiencia en múltiples puntos de funcionamiento.

Para el convertidor elevador PFC, las pérdidas en conmutación pueden reducirse con cargas más bajas si el convertidor trabaja con una menor frecuencia de conmutación. Debido a la carga más baja, los componentes magnéticos ofrecerán un rendimiento adecuado a las menores frecuencias de conmutación. Si se implementa un convertidor PFC intercalado se puede desconectar una fase con cargas pequeñas.

De forma parecida, para un convertidor de puente completo con variación de fase, las pérdidas añadidas en conmutación se pueden eliminar para pequeñas cargas desconectando la conmutación de los MOSFET síncronos y utilizando en su lugar los diodos estructurales de los dispositivos.

Otro ejemplo similar se produce en la aplicación de un convertidor reductor. Los convertidores reductores síncronos se utilizan generalmente con salidas de corriente elevada. Sin embargo, el uso de un MOSFET síncrono conlleva corrientes que circulan con pequeñas cargas, lo cual a su vez provoca una mayores pérdidas. Por tanto, se puede desactivar el MOSFET síncrono/de circulación libre en

un convertidor reductor cuando éste trabaja en un modo de corriente discontinua.

Estas técnicas complementan los incrementos de la eficiencia que se obtienen mediante la utilización de topologías avanzadas como convertidores resonantes y cuasirresonantes. El control digital ofrece un total soporte a estas topologías avanzadas, incluyendo el puente completo con variación de fase y los convertidores LLC-resonantes para lograr elevados niveles de eficiencia y densidad de potencia. Como resultado de ello, el control digital ofrece numerosas opciones para optimizar la eficiencia de las fuentes de alimentación en todo el rango de funcionamiento.

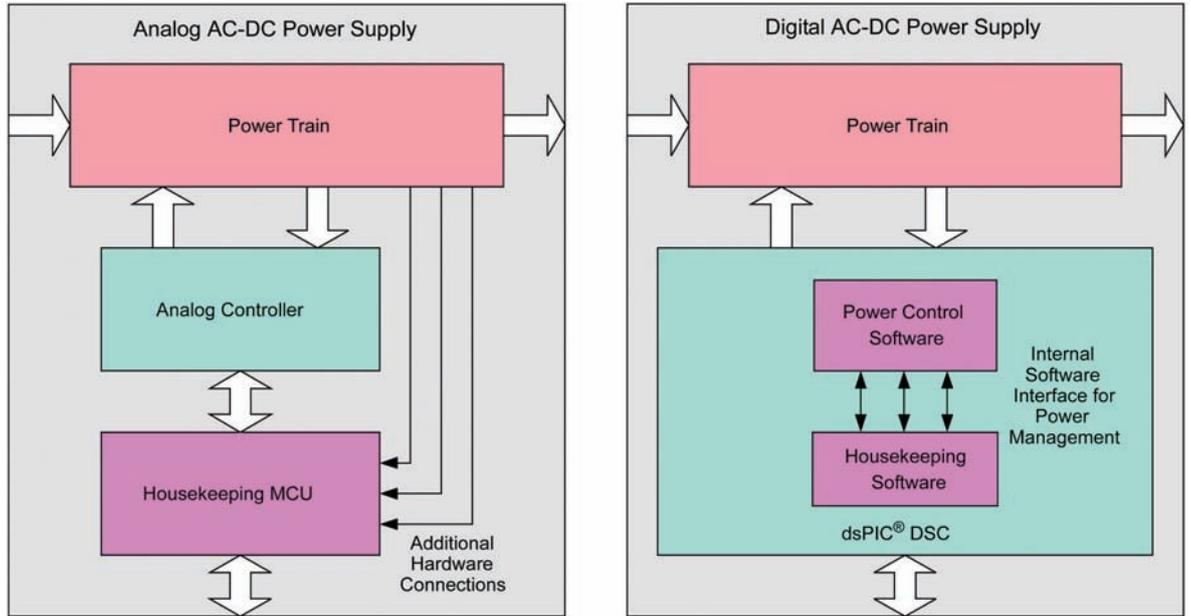
### Gestión de potencia

Una típica fuente de alimentación analógica cumplirá sus requisitos de gestión de potencia gracias a un microcontrolador de gestión (Figura 3). Este microcontrolador de gestión transmite los parámetros del sistema local a un controlador principal o un registrador de datos: utiliza circuitos adicionales de sensado para recoger los datos necesarios y luego los retransmite. En algunos casos, un sistema remoto también podría enviar instrucciones para controlar el funcionamiento de los convertidores locales de potencia. Esta configuración exige añadir interfaces hardware entre el microcontrolador de gestión y los circuitos de conversión de potencia, los cuales añaden costes y complejidad.

Una fuente de alimentación digital elimina la necesidad de esta circuitería adicional ya que todos los parámetros del sistema ya están medidos por el DSC. Estos parámetros pueden almacenarse en la memoria del DSC y transmitirse al sistema remoto utilizando periféricos de comunicación integrados como SPI, I2C™, UART o CAN. Toda modificación en el funcionamiento del sistema se puede llevar a cabo mediante una simple rutina de software sin hardware adicional.

La fuente de alimentación digital también reduce el coste total del sistema al eliminar la circuitería redundante. En el mismo ejemplo de una fuente de alimentación CA/CC de dos etapas, la primera etapa mide la tensión de salida para su funciona-

Figura 3. El control de la ruta principal del flujo de potencia y las funciones de gestión de la fuente de alimentación (circuitería separada en el diseño analógico) se ejecutan conjuntamente en un solo controlador en la versión digital.



miento en el lazo de control. Dado que esta tensión proporciona la entrada a la segunda etapa, la segunda etapa emplea los mismos datos para el control de alimentación directa o para la protección de entrada en caso de subtensión/sobretensión.

Un único DSC elimina las medidas redundantes e internamente proporciona todas las opciones para las diferentes funciones de controles o protección. El DSC también ayuda al sistema a reaccionar en caso de fallo frente a condiciones de fallo de forma mucho más rápida y efectiva que con los controladores analógicos discretos. Por ejemplo, en una fuente de alimentación CA/CC analógica de dos etapas, si se produce un fallo en el convertidor situado a continuación, el convertidor elevador PFC de la etapa de entrada no advertirá este fallo hasta que este estado se haya comunicado al controlador PFC. Un controlador digital puede detectar los fallos en todo el sistema y por tanto puede reaccionar prácticamente de forma instantánea ante un fallo independiente de dónde suceda.

### Arranque suave y secuencial

Quando se pone en funcionamiento una fuente de alimentación, los diversos elementos de almacenamiento, como condensadores e inductores, no contienen energía. Para evitar elevados transitorios de corriente y tensión, y el consiguien-

te estrés para los componentes de sistema, se implementa un arranque suave en todas las etapas de la fuente. Muchos (pero no todos) los controladores analógicos integran la función de arranque suave. Los controladores analógicos ofrecen una flexibilidad limitada para escoger la duración del arranque suave y los retardos de arranque con circuitería adicional.

En las fuentes de alimentación multietapa, también se necesita un arranque secuencial para las salidas de forma predefinida, dado que algunas salidas dependen de otras. Esto se puede lograr mediante un circuito de control secuencial por separado o con el microcontrolador de gestión con circuitería adicional.

Una fuente de alimentación digital elimina la necesidad de hardware adicional porque todo el arranque secuencial y las rutinas de arranque suave, que pueden aplicar diferentes estrategias, se pueden implementar como parte del software de control de la fuente de alimentación. Se puede implementar una rutina de

arranque suave para cada etapa de la fuente de alimentación, en cada uno de los casos combinada con una duración y un retardo configurables. El recuadro de la figura 4 muestra una típica rutina de arranque suave en el fragmento de código C.

En el código, la rutina de arranque suave se activa inmediatamente después de la inicialización del DSC dsPIC. Primero se activa el retardo de arranque y luego se establece la referencia de la tensión de salida a la tensión de salida medida. La referencia se incrementa luego en una cantidad fija hasta alcanzar la referencia deseada. En este punto finaliza la rutina de arranque suave y comienza el funcionamiento del sistema normal. El controlador digital permite un uso muy flexible de esta rutina de arranque suave. La misma rutina puede activarse con diferentes parámetros en diferentes momentos. Por ejemplo, si el sistema intenta reiniciar después de que se haya producido un fallo, la duración del retardo de arranque y del arranque suave se pueden modificar con un valor diferente.

Figura 4. Este fragmento de código muestra cómo implementar una función de arranque suave al nivel del código fuente.

```
void PFCSoftStartRoutine()
{
    Delay_ms(STARTUP_DELAY)
    pfcVoltagePID.controlReference = pfcInitialOutputVoltage;
    while (pfcVoltagePID.controlReference <= PFCVOLTAGE_REFERENCE)
    {
        Delay_ms(SOFTSTART_INCREMENT_DELAY);
        pfcVoltagePID.controlReference += PFC_SOFTSTART_INCREMENT;
    }
    pfcVoltagePID.controlReference = PFCVOLTAGE_REFERENCE;
}
```

### Supresión de flanco inicial (leading-edge blanking, LEB)

Se debe filtrar las señales de realimentación de corriente en la mayoría de los convertidores de potencia para eliminar las medidas ruidosas y las variaciones falsas de los circuitos limitadores de corriente y en caso de fallo. Los conmutadores más rápidos tienden a generar elevados niveles de ruido y ese ruido también se presenta en las señales de realimentación. En algunas situaciones, los picos de ruido debidos a los instantes de conmutación en los MOSFET podrían exceder incluso el ajuste de limitación de corriente máxima. Es difícil filtrar (utilizando técnicas analógicas) este nivel de ruido desde la señal de realimentación de corriente sin que ello afecte negativamente a forma de onda. Es deseable conservar la forma de onda para un funcionamiento preciso del lazo de control y la protección de la limitación de corriente. De ahí que se aplique una técnica denominada LEB, de manera que el controlador ignora los picos de ruido en la señal de alimentación cercanos a los flancos de conmutación PWM.

Para un controlador analógico, esto implica el diseño de un circuito de supresión en hardware que inhibe la respuesta a (o "suprime") la señal de realimentación con una duración fija; el sensado se realiza habitualmente por medio de un transistor como interruptor controlado desde el controlador de puerta del MOSFET de potencia mediante un retardo R-C. El retardo asegura que el circuito de medida no "vea" los primeros instantes de cada ciclo de conducción. En la serie de dispositivos dsPIC33F "GS", LEB es una función estándar y el retardo se configura mediante un parámetro de software. La función LEB se puede activar o desactivar en cualquier momento y el usuario puede elegir aquellos flancos de PWM que desee suprimir.

### Control adaptativo y no lineal

Con los controladores de fuente de alimentación digital llega la capacidad de cambiar el funcionamiento de la fuente de alimentación en plena acción. Esto ofrece numerosas oportunidades para la innovación y la posibilidad de ganar una ventaja

competitiva frente a otros productos disponibles.

Una de las posibilidades del control adaptativo consiste en utilizar múltiples conjuntos de coeficientes del lazo de control. A medida que varían las prestaciones del sistema con diferentes condiciones de línea/carga, los coeficientes pueden modificarse sobre la marcha para lograr las mejores prestaciones posibles en cada punto de trabajo.

A modo de ejemplo, pensemos en un sistema diseñado para trabajar hasta 50°C; sin embargo, por alguna razón, la temperatura ambiente supera este límite. En este caso, se puede escribir el software para reducir la limitación de corriente. Esta implementación puede ayudar a ampliar de forma segura el funcionamiento del sistema más allá de los límites normales, si bien con algunas restricciones añadidas.

La introducción de la serie dsPIC33F "GS" de Controladores de Señal Digital ha hecho posible aprovechar al máximo el potencial del control digital de la fuente de alimentación, abriendo asimismo nuevas posibilidades de innovación en el mundo de las fuentes de alimentación.