

Reductor y elevador

Cómo diseñar convertidores reductores y elevadores con control analógico total para regulación de salida

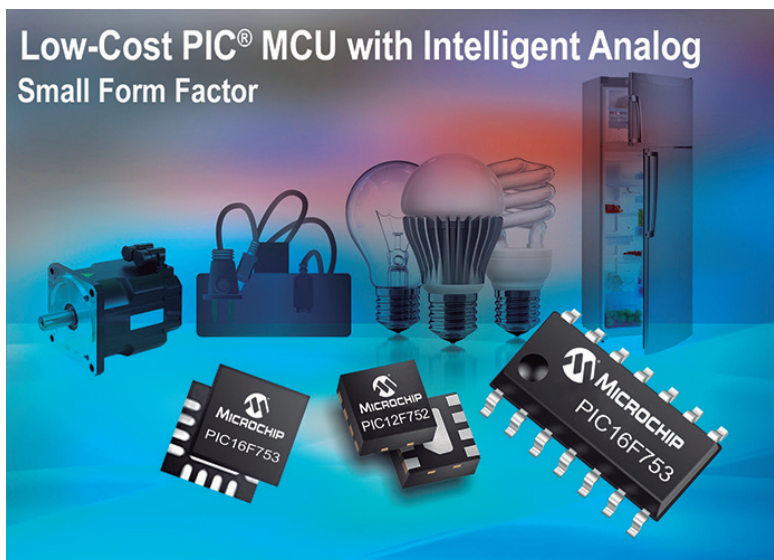
Artículo cedido por Microchip



MICROCHIP

www.microchip.com

Autor: Mihnea Rosu



Es posible construir una fuente de alimentación síncrona reductora (buck) y elevadora (boost) con un control analógico del 100 por cien para regulación de salida utilizando el mismo microcontrolador. En ambos casos, la puesta en práctica tiene la ventaja de no utilizar potencia del procesador, dejando así libre el núcleo para el firmware más complejo. También el bucle analógico tiene una respuesta mucho más rápida a las variaciones de la carga y de la tensión de entrada, por lo que resulta útil en numerosas aplicaciones.

El microcontrolador en cuestión es el PIC16F753 de Microchip. Los convertidores reductor y elevador necesitan el mismo conjunto de periféricos: un generador de salida complementaria; comparador; amplificador operacional; convertidor A/D de 9 bit; referencia de tensión fija; módulo de compensación de pendiente; y módulo PWM de captura y comparación. Los periféricos se deberían conectar internamente por firmware, reduciendo así el número de patillas externas necesarias.

Diagramas del circuito

El rango operativo de entrada para el convertidor reductor es de 8 a 16V

CC. Las cifras para la salida son 5V CC, 2A y 10W. El tamaño de código es de 105 palabras, la RAM es de 0byte, el tamaño de código disponible es de 1943 palabras y la RAM disponible de 128 byte. La eficiencia medida a 2A es del 94 por ciento.

La Fig. 1 muestra un diagrama de bloques de la fuente de alimentación

reductora síncrona. La tensión de salida se debería regular mediante el control en modo de corriente de pico y la comparación con la tensión de referencia a través del amplificador operacional de error (error operational amplifier, OPA). El resultado se puede introducir a continuación en el comparador de corriente de pico. El módulo interno de compensación de corriente sustrae una rampa programable por software de la salida del amplificador de error antes del comparador de corriente de pico. El módulo PWM de captura y comparación proporciona una frecuencia fija, una señal de control de ciclo de trabajo fija y la salida del comparador de corriente de pico se selecciona como segunda fuente (basada en nivel) para el flanco de bajada del generador de salida complementaria (complementary output generator, COG).

El convertidor elevador funciona de la misma manera y su diagrama de bloques se puede ver en la Fig. 2. Sin embargo existen algunas diferencias en las especificaciones. En este caso,

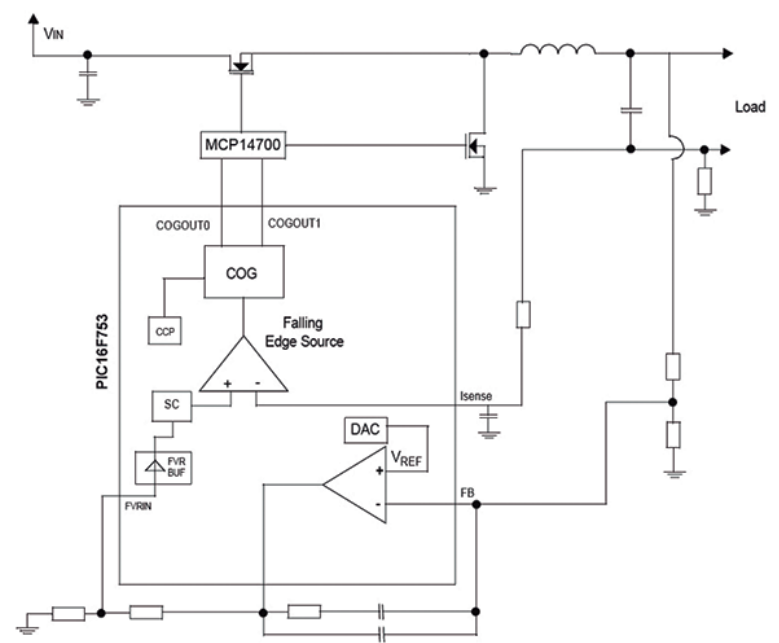


Fig. 1: Diagrama de bloques de la fuente de alimentación reductora.

el rango de la tensión de entrada es de 3 a 5V CC. Las salidas son las mismas, al igual que el tamaño de la RAM. El tamaño de código es de 99 palabras y el tamaño de código disponible es de 1949 palabras. La eficiencia a 2A es del 87 por ciento.

Cómo funcionan

Tras configurar e interconectar los periféricos, el bucle de control funcionará por sí mismo, sin necesidad de tiempo del procesador. Las técnicas de control de la corriente de pico necesitan compensación de pendiente para ciclos de trabajo superiores al 50 por ciento para evitar oscilación. Para ciclos de trabajo inferiores, la compensación de pendiente también ayudará a estabilizar el bucle de control si la derivación de corriente es pequeña. El PIC16F753 cuenta con un módulo interno de compensación de pendiente que se puede utilizar para sustraer una rampa programable de la salida del amplificador de error antes de que se introduzca en el comparador de corriente de pico.

Para fuentes conmutadas síncronas hace falta un tiempo muerto corto para las señales de control del transistor con el fin de evitar el disparo de la corriente. El COG puede generar esta señal a partir de la frecuencia del oscilador o de una cadena de retardo analógica. La cadena de retardo permite que el usuario ajuste el tiempo muerto con una resolución de 5ns, que es más adecuada para transistores pequeñas. En esta aplicación el tiempo muerto se fijó en 30ns.

En la topología reductora, la corriente del inductor es igual a la corriente de carga. Para poder medir la corriente de pico del inductor mediante una derivación en el lado de bajo potencial (low-side) hace falta añadir algunas modificaciones. Normalmente la derivación ve la corriente de salida filtrada que no es aprovechable por la técnica de control de corriente de pico. Al conectar los condensadores de salida a masa a través de la derivación, ESR aumenta pero la forma de onda resultante se aproxima mucho a la forma de onda de la corriente del inductor. El inconveniente de este método es su eficiencia ligeramente inferior, pero una derivación en el lado de alto potencial (high-side) generalmente exige un

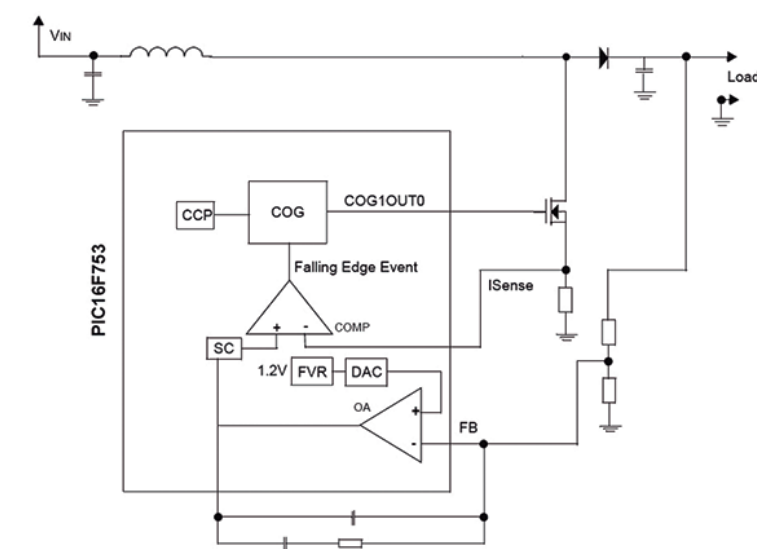


Fig. 2: Diagrama de bloques del convertidor elevador.

circuito adicional (espejo de corriente o CI especializado), que aumenta el coste. Para la topología reductora, la corriente del inductor es igual a la corriente de entrada. La corriente de pico del inductor se midió directamente sobre una resistencia colocada entre la fuente del transistor y masa.

Entrada y salida

La limitación de la corriente de salida no está integrada en el bucle de control y para tal función debería utilizarse un segundo comparador seleccionado como fuente de apagado automático del COG. La salida del amplificador de error es el límite de la corriente de pico del inductor, así que mantener bajo este valor mediante un divisor resistivo ayuda si se producen problemas con la corriente de irrupción y cortocircuitos catastróficos. El inconveniente de este planteamiento es que la ganancia del sistema se ve reducida y responde con más lentitud ante transitorios.

La patilla de salida del amplificador operacional es la misma que la patilla de entrada del módulo de compensación de pendiente, por lo que se pueden utilizar los dos periféricos juntos sin añadir conectividad externa. Si se emplea un divisor resistivo para limitar la tensión de salida del amplificador operacional, se debe conectar externamente a la patilla de entrada del buffer de la referencia de tensión fija (fixed voltage reference, FVR). La tensión de entrada en el convertidor elevador se debería conectar al microcontrolador

mediante un pequeño diodo auto-elevador a la salida. De esta forma, cuando aumente la tensión de salida alimentará el microcontrolador y el driver del MOSFET.

Esto es más eficiente porque una mayor VGS mejorará la RDS(ON) y el intervalo por debajo de 4,5V es problemático para la mayoría de transistores de potencia. Esto convierte a la FVR en la única referencia estable disponible y el circuito precisa algunos cambios para asegurarse de que la tensión de referencia del bucle siempre sea independiente de la fuente o de la tensión de salida. Dado que la tensión de referencia del bucle de control se deriva del convertidor D/A, este periférico también necesita una referencia estable. Se ha seleccionado la FVR de 1,2V como referencia del convertidor D/A para que cubra estos requisitos.

La topología elevadora ofrece una ruta clara de CC entre la fuente de alimentación y la salida a través del inductor y del diodo rectificador, incluso si se bloquea el transistor de conmutación.

El bucle de limitación de corriente solo puede evitar la sobrecorriente hasta que la frecuencia de conmutación pasa a cero. A partir de este punto pueden producirse cortocircuitos catastróficos si no se añade un interruptor de protección. Se puede colocar un segundo transistor en el lado de bajo potencial de la salida para desconectar la carga en caso de cortocircuito. Para una protección frente a cortocircuito basada en comparador, la referencia debe ser

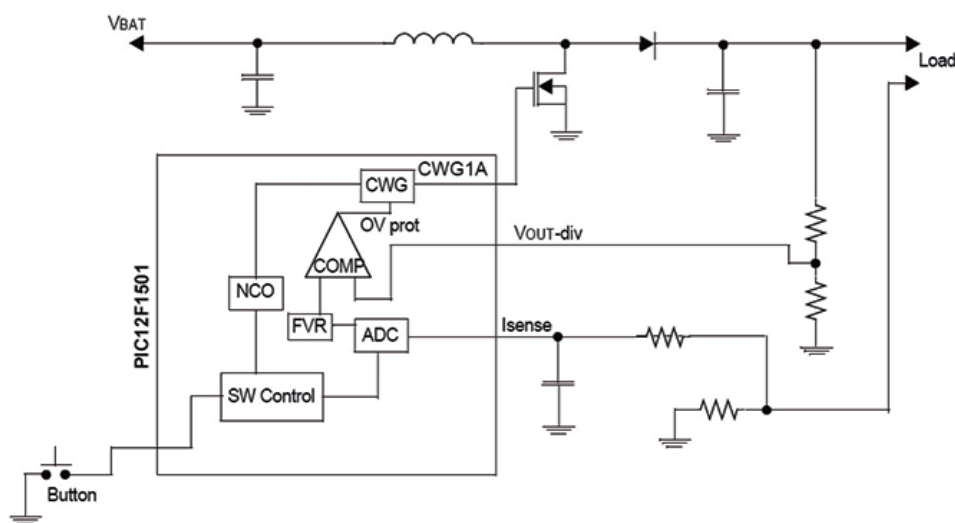


Fig. 3: Diagrama de bloques de una fuente de alimentación elevadora con control digital.

estable para todo el rango operativo de entrada. Dado que la tensión de derivación de la corriente de salida generalmente es demasiado pequeña como para utilizarlo directamente con la FVR de 1,2V, necesita conectarse al exterior a través del buffer de la FVR y a continuación mediante un divisor resistivo para obtener la tensión de referencia deseada para el comparador. Al utilizar de esta forma el buffer de la FVR, la salida del amplificador operacional se debe utilizar directamente con el módulo de compensación de pendiente, sin añadir otro divisor.

No emplea tiempo de procesador pero también usa más patillas y periféricos. Para la protección frente a cortocircuitos basada en convertidor A/D, la tensión de derivación de corriente y la FVR se leen en el firmware. La tensión de la FVR es necesaria para calcular VDD (cuando es inferior a 5V), que en este caso es la tensión de referencia del convertidor A/D. Si bien no emplea el comparador añadido, las patillas de E/S y las resistencias externas, necesitará un cierto espacio de programa y tiempo del procesador.

El convertidor se debe compensar para una carga determinada y se ha de verificar la estabilidad para todo el rango de condiciones de funcionamiento. Si se compara con el uso de un chip controlador PWM especializado, las prestaciones son similares pero un microcontrolador PIC añade flexibilidad. Además el bucle de con-

trol analógico funciona de manera autónoma, por lo que el núcleo del microcontrolador es totalmente libre de ejecutar algoritmos del usuario, medir parámetros de la fuente de alimentación o transmitir información relevante.

Aplicaciones

El bucle de control analógico hace que la fuente de alimentación sea suficientemente rápida para cargas dinámicas y variaciones de la tensión de entrada. Para cargas controladas por corriente como LED o células termoeléctricas, la realimentación de tensión se puede sustituir por realimentación de la corriente media. La fuente de alimentación también se puede utilizar para aplicaciones que exigen control de tensión y corriente, como cargadores de baterías CC y CV.

El convertidor D/A PIC16F753 tiene 9 bits de resolución, lo que se traduce en un escalón mínimo de tensión de 20mV con un divisor de media salida para el convertidor reductor y de 50mV con un divisor de quinto de salida para el convertidor elevador.

La aplicación necesita un amplificador operacional, un comparador y un convertidor D/A. La salida del convertidor D/A se puede conectar internamente al amplificador operacional, ahorrando así una patilla. El módulo CCP genera una señal de frecuencia fija y ciclo de trabajo fijo para el COG. Dependiendo de la opción escogida

por el usuario para limitar la salida del OPA, el divisor resistivo se ha de conectar externamente a la entrada del buffer de la FVR. Si no se usa el divisor resistivo solo se emplea una patilla en lugar de dos. En este caso, la salida del amplificador operacional, que es la misma que la entrada del módulo de compensación de pendiente, se configura como una patilla analógica y no se debería utilizar para otro fin.

La patilla digital de solo entrada se puede utilizar como botón o para una función similar. Durante el tiempo de ejecución, la patilla de E/S de datos de programación y las otras dos patillas quedan libres para funciones específicas del usuario.

Convertidor elevador alternativo

También se puede realizar una fuente de alimentación elevadora con control digital mediante el PIC12F1501, que presenta una buena eficiencia con cargas pequeñas, así como protección frente a sobretensión por hardware, y utiliza un pequeño número de componentes. Los periféricos necesarios son dos canales de conversión A/D de 10 bit, una FVR, comparador, oscilador con control numérico y generador de forma de onda complementaria. Los periféricos están conectados internamente por firmware, reduciendo así el número de patillas externas a tres. Su diagrama de bloques puede verse en la Fig. 3.

La tensión y la corriente de salida se regulan con un bucle de control proporcional. Los valores de salida se leen mediante dos canales de conversión A/D y en función de ello se ajusta la señal de control. El oscilador con control numérico usa impulsos fijos en el tiempo y de frecuencia variable para ajustar la modulación de frecuencia en el impulso del ciclo de trabajo.

Conclusión

Se ha descrito la utilización de los microcontroladores de Microchip para crear convertidores reductores y elevadores, ahorrando así potencia de proceso para otras tareas. Los tres ejemplos mostrados solo necesitan un pequeño conjunto de periféricos para lograr sus objetivos. □

