Arquitectura de Alimentación Factorizada y V•I Chips: Una Solución Holística

Por Paul Yeaman

Paul Yeaman es Principal PLE Strategic Accounts de Vicor Corporation

Con cada generación de procesadores, memorias, DSP y ASIC, la tendencia hacia menores tensiones para corrientes más altas sigue representando un reto para la infraestructura necesaria que ofrezca soporte a las "cargas" contemporáneas con los requisitos de corriente. No obstante, las principales funciones de cualquier sistema de conversión de potencia permanecen inalterables: almacenamiento de energía, aislamiento, transformación de la tensión y regulación. En los últimos años, el I+D en la distribución de la alimentación, las topologías y las arquitecturas de control integradas con ASIC han llevado a la Arquitectura de Alimentación Factorizada (Factorized Power Architecture, FPA) que es una solución holística – es decir, un sistema optimizado unificado – frente a los compromisos de diseño tradicionales.

Descripción de la FPA

FPA es una arquitectura para la realización de sistemas de alimentación rápidos, eficientes y densos mediante bloques funcionales denominados V·I Chips (Figura 1). Los V·I Chips son dispositivos altamente integrados que utilizan un encapsulado común para un diseño simplificado del sistema. Cada uno desempeña una función especializada en un sistema de alimentación, eliminando así funciones duplicadas. La separación de las etapas de conversión de la alimentación reduce las pérdidas de distribución en un sistema, reduce las funciones duplicadas en la ruta de conversión CC/CC y reduce la disipación de energía en el punto de carga al tiempo que se incrementa la eficiencia del sistema total.

Figura 1. Los V•I Chips de Alimentación Factorizada

Los V•I Chips son bloques funcionales de conversión CC/CC que proporcionan las principales ventajas para el diseñador de potencia, como: pequeño tamaño, bajo peso, alta densidad de potencia, alta eficiencia, flexibilidad de diseño y respuesta rápida. Entre los componentes V•I Chip se encuentran el regulador PRM™, el multiplicador de corriente VTM™ y el convertidor BCM™.

El PRM suministra una tensión de salida regulada — la tensión de bus factorizada — a partir de la fuente de entrada no regulada. Se puede retirar, o "factorizar", respecto al punto de carga.

Los PRM se combinan con los VTM para crear convertidores CC/CC aislados, y también se pueden utilizar de forma autónoma como reguladores de tensión no aislados. El VTM proporciona la transformación de tensión de punto de carga (point-of-load, POL) y aislamiento. Los VTM se utilizan junto con PRM que habilitan un convertidor CC/CC completo con mayores niveles de densidad, flexibilidad y eficiencia. El BCM suministra una tensión de bus intermedio aislado para alimentar los convertidores POL no aislados a partir de una fuente CC con un estrecho rango de entrada. El BCM ofrece unas prestaciones superiores y un menor coste que los tradicionales convertidores de bus de cuarto de brick.

Regulación y Transformación de la Tensión

En los sistemas FPA, la tensión del POL es el producto de la tensión de Bus Factorizada proporcionada por el PRM y el factor K (la relación fija correspondiente a la transformación de tensión) de un VTM situado más abajo. El PRM controla la tensión de Bus Factorizada para proporcionar regulación en el POL. Dado que los VTM realizan una verdadera división de tensión y multiplicación de corriente, la tensión de Bus Factorizada se puede establecer en un valor que sustancialmente mayor que las tensiones de bus que se encuentran habitualmente en sistemas de bus intermedio, reduciendo así las pérdidas de distribución y abriendo la posibilidad de recurrir pistas más estrechas para el bus de distribución.

El sistema de control del PRM y el soporte a ASIC permiten la regulación de la tensión de salida bajo control de una serie de protocolos de control. Bajo el control del Bucle Local, el PRM detecta su tensión de salida, regulando así la tensión en la carga, sujeto a la "caída" proporcional a la resistencia de salida del VTM. Este protocolo del "bucle local" proporciona regulación de carga dentro de un ± 4%. Bajo el control de Bucle Adaptativo, el PRM compensa la resistencia de salida del VTM; la regulación de carga suele ser del 1% en la salida del VTM.

La realimentación por compensación del Bucle Adaptativo es una alternativa única de un solo hilo a la detección remota tradicional y al bucle de realimentación. Proporciona un control preciso de una tensión POL aislada sin necesidad de una conexión directa a la carga, o de dispositivos de aislamiento sensibles al ruido y limitados en el ancho de banda, en la vía de realimentación.

La compensación del Bucle Adaptativo, ilustrada en la Figura 2, potencia las ventajas en cuanto a ancho de banda y velocidad de la Alimentación Factorizada. El PRM monitoriza su corriente de salida y ajusta automáticamente su tensión de salida para compensar la caída de tensión en la resistencia de salida del VTM. R_{OS} establece el valor deseado de la tensión de salida del VTM, Vout. R_{CD} se fija en un valor que compensa la resistencia de salida del VTM, que, de forma ideal, se encuentra en el punto de carga. Los valores de R_{OS} y R_{CD} se podrían determinar mediante la consulta de la tabla apropiada o por cálculo.

El puerto VC bidireccional del V•I chip:

- Proporciona una señal de activación del PRM al VTM que sincroniza la subida de la tensión de salida del VTM a la del PRM.
- Proporciona realimentación del VTM al PRM para permitir que el PRM compense la caída de tensión en la resistencia de salida del VTM, R_O.

La Función de la Conversión de Bus

El BCM se puede utilizar como fuente independiente o bien como convertidor de bus intermedio para alimentar convertidores POL no aislados. En el último caso, el BCM no sólo potencia las ventajas acerca del diseño de la IBA (Intermediate Bus Architecture, es decir, Arquitectura de Bus Intermedio) en cuanto a corriente y densidad de potencia, sino que dispone de un potencial único que puede resultar útil para los arquitectos de diseño de IBA. La alimentación del BCM ofrece una función única para la multiplicación de capacidad. Con un BCM, los múltiples y voluminosos condensadores se pueden eliminar de la entrada de los niPOL para verse sustituidos por un solo condensador a la entrada del BCM. Dado que la energía almacenada en un condensador es $0{,}5CV^2$, una pequeña cantidad de capacidad a la entrada del BCM tiene el mismo efecto que la voluminosa capacidad que normalmente se añade a la entrada de los niPOL situados a continuación. Cuando se utiliza un BCM con una K de ¼, por ejemplo, la capacidad de salida efectiva es 16 veces mayor que la capacidad de entrada.

La reducción de la impedancia es una característica adicional. La impedancia característica del condensador se transforma en realidad por el factor K al cuadrado, por lo que parece K al cuadrado veces más pequeño. El BCM parece una salida de muy baja impedancia de alrededor de 1 MHz, y los niPOL suelen conmutar a unos 250 kHz. Así pues a 250 kHz, la energía absorbida de la entrada procede del BCM. El BCM parece una impedancia de 12-15 miliohms a esa frecuencia, que tiene menos impedancia de la que se vería desde un condensador típico. El volumen de un condensador se incrementa linealmente con la resistencia. Por tanto un condensador con valores indicados para la tensión apropiada sería cuatro veces mayor (a K=¼), reduciendo así el tamaño total del condensador.

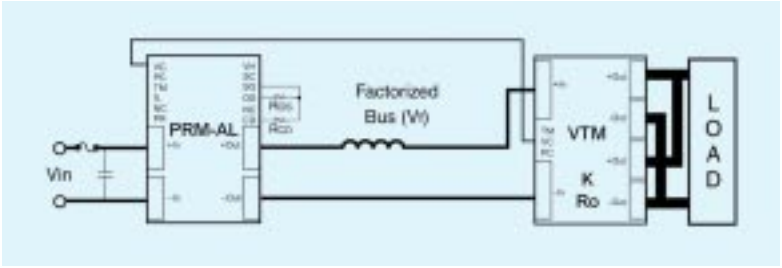

Figura 2. Con el control del Bucle Adaptativo, la salida del VTM se regula en todo el rango de la corriente de carga con una sola interconexión entre el PRM y el VTM y sin necesidad de aislamiento en la vía de realimentación

Puesta en paralelo con V•I Chips

En aplicaciones que requieren una corriente más elevada o redundancia, los VTM y los BCM pueden trabajar en paralelo sin añadir circuitería de control o líneas de señal. Compartirán la corriente de manera inherente en una configuración de matriz (array).

La precisión del compartimiento de corriente se maximiza cuando la impedancia de la fuente y de la carga presentadas a cada VTM o BCM dentro de la matriz sean iguales. El método recomendado para lograr igualar las impedancias consiste en dedicar planos de cobre comunes dentro de la placa de circuito impreso para proporcionar y devolver la corriente a la matriz, en lugar de recurrir a pistas de longitudes variables. En las aplicaciones típicas, la corriente a entregar a la carga es mayor que la suministrada desde la entrada, permitiendo así que las pistas se utilicen en la etapa de entrada si es necesario. No obstante, es preferible la utilización de planos de alimentación dedicados.

La estructura de la alimentación y las arquitecturas de control del VTM y el BCM permiten una transferencia de alimentación bidireccional, incluyendo el proceso de alimentación inversa de la salida a la entrada. La transferencia de alimentación inversa queda habilitada si la entrada se encuentra dentro de su rango operativo y el módulo en caso contrario queda habilitado. La capacidad de un VTM o el BCM de procesar alimentación en sentido inverso mejora la respuesta a transitorios del VTM/BCM a un volcado de la carga de salida.

Las matrices en paralelo de los BCM trabajan de forma muy parecida a los MOSFET en paralelo. Hasta el punto en que se igualen los valores de $R_{DS(ON)}$, los MOSFET compartirán corriente. Hasta el punto en que se igualen las impedancias

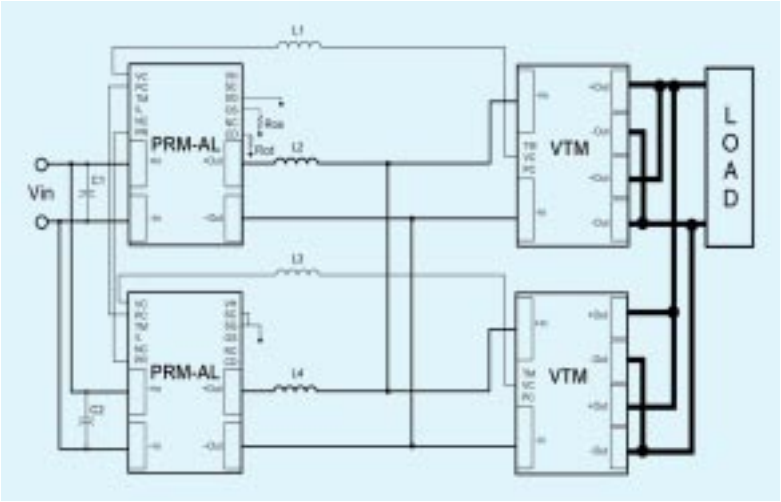

Figura 3. Esquema de interconexión PRM / VTM

de salida de los BCM, compartirán corriente. Varios BCM con resistencias de salida con parámetros diferentes en paralelo tendrán desequilibrios compartidos basados en sus impedancias de salida. No obstante, dado que tienen un coeficiente de temperatura positivo, hasta cierto punto ecualizarán sus impedancias de salida por las variaciones de temperatura que surgen de los desequilibrios de la corriente. Básicamente, un mecanismo de realimentación natural fuerza el compartimiento por las diferencias de temperatura entre los VTM ecualizando cualquier cambio paramétrico en la impedancia de salida.

Ejemplo de Funcionamiento en Paralelo de PRM y VTM

La creación de una mayor capacidad de alimentación mediante el emplazamiento de V•I Chips en paralelo utilizando el interface PR es una tarea sencilla, especialmente para la mayoría de aplicaciones en las que no se necesitan un alto ancho de banda / altas pendientes de salida. El ejemplo de puesta en paralelo mostrado en la Figura 3 es una matriz de compartimiento de corriente de potencia más alta utilizando dos pares de PRM-AL y VTM en una configuración en paralelo.

Los convertidores CC/CC tradicionales regulan la tensión de salida hasta un punto establecido mediante la comparación de una muestra de la tensión de salida respecto a una tensión de referencia interna, y ajustando la frecuencia de conmutación o el ancho de impulso para mantener la regulación. Estos convertidores pueden trabajar como dispositivos de corrientes constante, o dispositivos de potencia constante de tal manera que mantendrán la regulación de la tensión hasta que se llegue al límite de corriente o al límite de potencia. En el caso de algunos dispositivos de corriente constante, la tensión cae y la corriente permanece fija cuando se ha superado el límite.

Cuando se colocan en paralelo dos convertidores CC/CC de tensión regulada para incrementar la potencia entregada, simplemente al conectar las entradas conjuntamente y las salidas conjuntamente no se obtendrá como resultado un mismo compartimiento de corriente. Cada convertidor muestrea su salida y la compara a su referencia para mantener la tensión del punto establecido. Un dispositivo tendrá establecido siempre su punto de tensión por encima que otro debido a la variabilidad de la fabricación y al desequilibrio en la impedancia del circuito. Con dos dispositivos que trabajen en paralelo tal como se ha descrito, uno detectará que tiene más tensión en su salida y pasará a estado inactivo debido a que se satisface su bucle de regulación.

Las topologías de V•I Chip son únicas y se comportan de forma diferente que con las soluciones previas. Cuando se configuran en paralelo, existe la posibilidad de que un par vaya en aumento, alcance el límite de corriente y se apague mientras el otro par está haciendo lo mismo debido a los retardos inherentes en el paso a conducción y a la naturaleza asíncrona de los dispositivos. Esto evita que se configuren como convertidores tradicionales utilizando el método de caída-compartimiento. Ahora bien, simplemente conectando las patillas del PR y las patillas del PC del PRM, se supera esta situación y se asegura una división precisa de la corriente entre los pares.

Finalmente, la arquitectura de distribución de alimentación FPA es inherentemente más granular y logra que las funciones del convertidor CC/CC sean consistentes con los principios eficientes de la distribución de alimentación y un sistema holístico.

Resulta interesante asimismo que también puede aportar todas las ventajas de las Arquitecturas de Alimentación Centralizada sin la limitación que supone utilizar buses para grandes corrientes. De hecho, con las etapas de entrada del FPA y los VTM en el punto de carga, se hace realidad una nueva categoría de atractivos sistemas de alimentación centralizada de altas prestaciones y bajo coste.