

Medidas de la disipación de potencia en fuentes de alimentación conmutadas utilizando un osciloscopio

Por Hans-Peter Fleischheuer

Hans-Peter Fleischheuer es

European Marketing Manager Oscilloscopes de Tektronix

Artículo traducido por Juan Ojeda de AFC Ingenieros S.A.

Este artículo describe cómo un osciloscopio del fósforo de Digital (DPO) equipado con el software apropiado de medida de potencia se puede utilizar para realizar las medidas y los análisis necesarios de los parámetros clave en las aplicaciones de fuentes de alimentación conmutadas.

La demanda de cambios en la arquitectura de control de la potencia en las fuentes de alimentación conmutadas de la siguiente generación hace crítica la capacidad de medición y el análisis de la disipación de potencia en las mismas. Las nuevas arquitecturas de estas fuentes de alimentación destinadas a trabajar con sistemas que utilizan velocidades de transmisión de datos mucho más elevadas y que incluyen procesadores por encima de 1GHz necesitan suministrar corrientes elevadas y bajas tensiones de alimentación y están creando nuevas presiones sobre los diseñadores de dichas fuentes en cuanto a eficiencia, densidad de potencia, fiabilidad y coste. Para tratar con estas demandas, los diseñadores están adoptando nuevas arquitecturas que incorporan rectificadores síncronos, correcciones activas del factor de potencia y frecuencias de conmutación más elevadas. Estas técnicas, alternadamente, crean nuevos desafíos como la disipación de la alta potencia en el dispositivo de conmutación, la posibilidad de la elevación continua y descontrolada de la temperatura y los efectos excesivos de EMI/EMC.

Un parámetro clave para entender estos efectos son las pérdidas de potencia que ocurren durante el proceso de conmutación. Durante la transición entre los estados "on" a "off" del dispositivo de conmutación, la fuente de alimentación experimenta las mayores pérdidas de potencia. En cambio, cuando dicho dispositivo de conmutación permanece en el estado 'on' u 'off', las

pérdidas de potencia son más reducidas porque la tensión entre sus terminales o la corriente que circula a través de él es bastante pequeña.

Los inductores y los transformadores asociados con el dispositivo de conmutación aíslan la tensión de salida y suavizan la corriente de la carga. Estos inductores y transformadores están también expuestos a las frecuencias de conmutación, dando como resultado una disipación de la potencia y un funcionamiento ocasionalmente incorrecto debido al fenómeno de saturación magnética.

Debido a que la potencia disipada en una fuente de alimentación conmutada determina la eficacia total de la misma, con el consiguiente efecto térmico, la medida de las pérdidas de potencia en el dispositivo de conmutación, en los inductores y en los transformadores es de gran importancia - especialmente para indicar la eficiencia energética y la posible elevación continua y descontrolada de la temperatura. Los ingenieros necesitan por ello un equipo de medida y análisis que pueda medir y analizar rápida y exactamente las pérdidas de potencia instantánea bajo condiciones de carga cambiantes.

Los desafíos a los que se enfrentan los diseñadores que necesitan medir y analizar exactamente las

pérdidas de potencia instantánea en diversos dispositivos son:

- Establecer una configuración de prueba para la medida exacta de la pérdida de potencia.
- Corregir los errores causados por el retardo de propagación entre las sondas de tensión y corriente.
- Calcular las pérdidas de potencia en ciclos de conmutación que no son periódicos.
- Analizar las pérdidas de potencia mientras la carga está cambiando de forma dinámica.
- Calcular las pérdidas en el núcleo del inductor o del transformador.

Afortunadamente, ahora existe un sofisticado software para el análisis de la potencia que funciona en los osciloscopios de fósforo digital de última generación (figura 1), que junto con una interfaz de usuario que se ve y se siente como la de un osciloscopio, proporciona una navegación intuitiva y facilidad de utilización. Este software para aplicaciones de medida y análisis de potencia ayuda a los diseñadores de fuentes de alimentación conmutadas a realizar con exactitud análisis de las pérdidas de potencia en los dispositivos de conmutación y en los componentes magnéticos; así como, la ejecución de un análisis detallado de la relación entrada/salida. Las características clave del software incluyen una facilidad conocida como 'Hi-Power Finder' (descrito

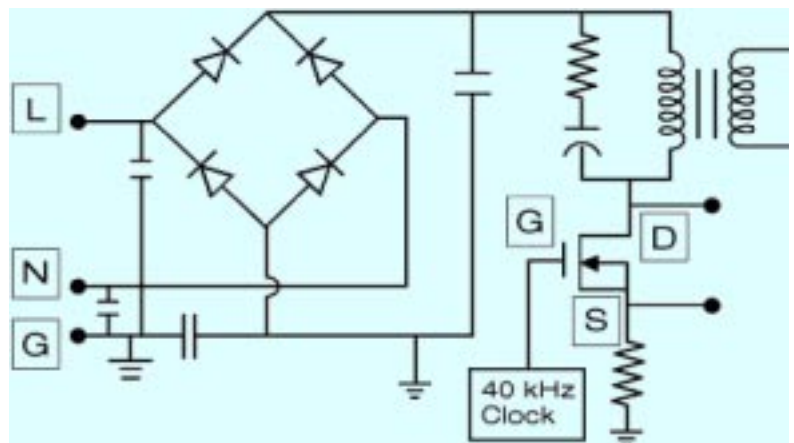


Figura 1. El software de medida y análisis de potencia DPOPWR de Tektronix funciona sobre los osciloscopios de fósforo digital (DPOs) de la serie DPO7000

más detalladamente abajo), la generación de informes sofisticados, un buscador de rizados, capacidad de realizar medidas de potencia magnética y un ajuste automático, rápido y eficiente de los tiempos de propagación entre canales.

Las secciones siguientes describen de forma general cómo este software de medida y análisis de potencia se puede utilizar para hacer frente a los desafíos enunciados anteriormente.

Preparación de un test para las medidas precisas de pérdidas de potencia

En la figura 2 se muestra un circuito simplificado de una fuente de alimentación conmutada.

Al transistor de efecto de campo fabricado con un semiconductor de unión óxido metal (MOSFET) se le ha aplicado un reloj de 40KHz y su misión es controlar la corriente. El MOSFET de la figura 2 no está conectado a la tierra principal de la toma de corriente alterna de la red o a la tierra de la salida del circuito. Por lo tanto, la simple toma de una medida de tensión referida a tierra

con un osciloscopio sería imposible porque se conectaría el cable de tierra de la sonda a alguno de los terminales del MOSFET y dicha acción cortocircuitaría a ese terminal a través de la tierra del osciloscopio.

La mejor forma de medir las formas de onda de tensión en los terminales del MOSFET es realizando medidas diferenciales. Con un procedimiento de medida diferencial es posible medir la tensión entre el terminal de drenaje y el de la fuente (V_{DS}), cualquiera de los cuales puede estar desde decenas a centenares de voltios sobre la referencia de tierra, dependiendo del rango de la fuente de alimentación.

Hay varios métodos para medir la tensión V_{DS} :

⇒ Eliminar la toma de tierra del osciloscopio y dejar su chasis en flotación. Esto no es recomendable porque crea inseguridad y pone en peligro al usuario, al dispositivo bajo prueba y también al propio osciloscopio.

⇒ Utilizar las dos puntas de prueba pasivas convencionales con sus referencias de tierra conectadas entre sí y usar las capacidades matemáticas entre los canales del osciloscopio.

Esta medida se conoce como ‘cuasi-diferencial’. Sin embargo, la combinación de sondas pasivas con una relación insuficiente de rechazo del modo común (CMRR) en el amplificador del osciloscopio no permite bloquear adecuadamente cualquier tensión en modo común. Esta configuración no permite medir la tensión con exactitud, pero si el uso de las sondas existentes.

⇒ Utilizar un aislador de sondas disponible en el comercio para aislar la tierra del chasis del osciloscopio. En este caso el terminal de tierra de las sondas ya no estará conectado al potencial de tierra y en ese caso la sonda se puede conectar directamente al punto de test. Los aisladores de sondas son una solución eficaz, pero resultan caros, costando de dos a cinco veces más que una sonda diferencial.

⇒ Utilizar una sonda verdaderamente diferencial en un osciloscopio de gran ancho de banda para medir con precisión la tensión V_{DS} . Al comenzar con las medidas de corriente a través del MOSFET el usuario debe aplicar primero la sonda de corriente. El paso siguiente es un ajuste fino del sistema de medida.

Muchas sondas diferenciales tienen incorporados controles de ajuste para la compensación de V_{CC} . Con el dispositivo bajo prueba apagado y el osciloscopio y las sondas de prueba preparadas después del periodo previo de calentamiento recomendado, el osciloscopio debe ajustarse para medir el valor medio de la tensión y de la corriente de las formas de ondas utilizando los ajustes de sensibilidad que serán utilizados en la medida real. Sin estar presente la señal, los controles de ajuste se deben utilizar para anular el valor medio de cada forma de onda (0V). Este paso reduce al mínimo la posibilidad de un error de medida resultado de la existencia de tensiones y corrientes no reales en el sistema de la medida.

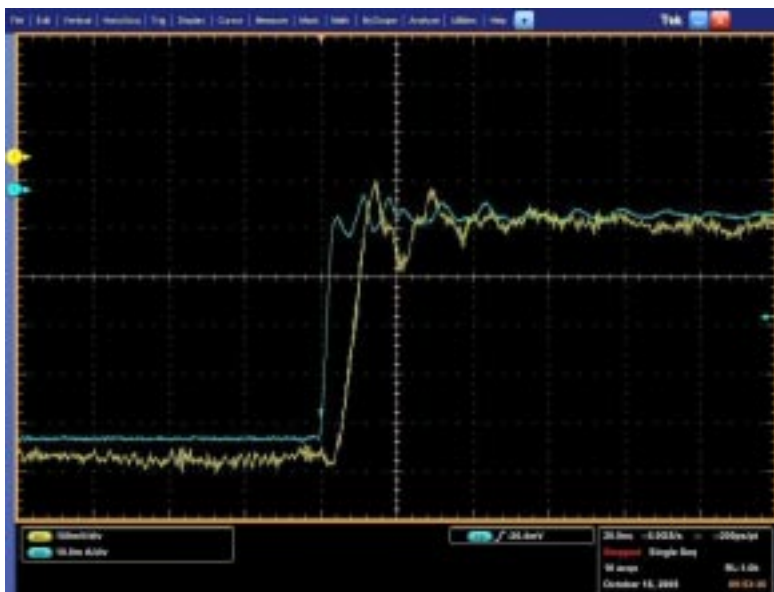


Figura 2. Circuito simplificado de una fuente de alimentación conmutada

Figura 3. Retardo de propagación entre una señal de tensión y de corriente.

Corrección de errores causados por los retardos de propagación entre las sondas de tensión y de corriente

Antes de realizar cualquier medida de pérdidas de potencia en una fuente de alimentación conmutada es importante sincronizar las señales de tensión y corriente eliminando el retardo de propagación entre ellas. Este proceso se llama 'de-skewing'. El método tradicional requiere el cálculo del retardo entre las señales de tensión y corriente y después un ajuste manual del retardo utilizando el rango de 'de-skew' disponible en el osciloscopio. Sin embargo, éste es un proceso que consume mucho tiempo.

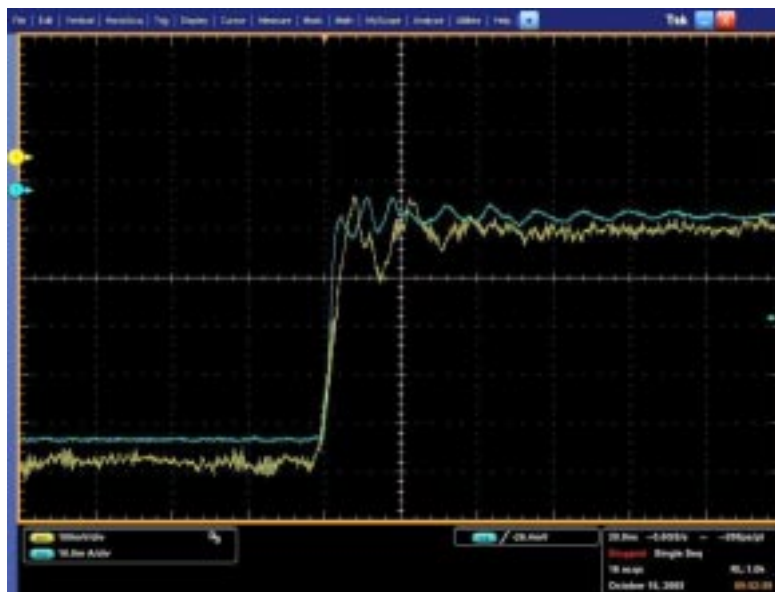
No obstante, el proceso puede ser simplificado en gran manera usando un osciloscopio de fósforo de digital de gran ancho de banda equipado con un dispositivo de 'de-skew' y un software de medida de potencia. Para realizar el ajuste del retardo de propagación entre canales se debe conectar la sonda diferencial de tensión y la sonda de corriente a los puntos de prueba co-



respondientes en el dispositivo de 'de-skew'. El dispositivo de 'de-skew' es alimentado por la salida auxiliar del osciloscopio o por la señal de salida del calibrador de sondas. Si se desea, el dispositivo de 'de-skew' se puede alimentar también por una fuente externa. La capacidad software de análisis para de realizar el 'de-skew' permite configurar automáticamente el osciloscopio y calcular el retardo de propa-

gación causado por las sondas. La función 'de-skew' utiliza el rango de 'de-skew' disponible en el osciloscopio para compensar automáticamente los retardos de propagación. Siguiendo este procedimiento la configuración del test estaría lista para la realización de medidas exactas. Las figuras 3 y 4 muestran las señales de corriente y tensión antes y después del ajuste del retardo de propagación.

Figura 4. La misma señal mostrada en la figura 2 después de una operación automática de 'de-skew'.



Cálculo de las pérdidas de potencia en ciclos de conmutación que no son periódicos

La medición del parámetro de conmutación dinámico es simple si se pone a tierra el emisor o el drenador. Pero, en el caso de tensiones flotantes se deben medir tensiones diferenciales. Para caracterizar y medir exactamente una señal de conmutación diferencial se requiere una sonda diferencial. Una sonda de corriente de efecto 'Hall' permite visualizar la corriente que fluye a través del dispositivo de conmutación sin tener que abrir el circuito. La característica de



software de análisis de potencia calculan automáticamente las pérdidas mínimas, máximas y medias de la potencia, proporcionando una información adicional sobre el dispositivo de conmutación.

Figura 5 Pérdidas de potencia mínimas, máximas y medias durante el tiempo de 'turn-on' en el dispositivo de conmutación.

Análisis de las pérdidas de potencia mientras la carga está cambiando de forma dinámica

En un entorno real las fuentes de alimentación están sometidas continuamente a cargas dinámicas. La figura 6 muestra las pérdidas de potencia que ocurren con los cambios de conmutación debidos a los cambios en la carga. Es muy importante capturar los eventos en los que la carga cambia y caracterizar las pérdidas de conmutación para cerciorarse de que el dispositivo no va sufrir daños en esos casos.

Hoy en día, la mayoría de los diseñadores utilizan osciloscopios con memorias de gran longitud (2MB) y una elevada velocidad de muestreo para capturar eventos con la resolución requerida. Sin embargo, esto presenta el desafío de tener que analizar una cantidad enorme de datos procedentes de los puntos

'de-skew' automático del software de análisis de potencia se utiliza para eliminar el retraso de propagación causado por las puntas de prueba.

La característica llamada 'switching loss' (pérdidas de conmutación) incluida en el software calcula automáticamente la forma de onda de la potencia y mide los valores mínimo, máximo y medio de las pérdidas de potencia en el dispositivo de conmutación de acuerdo con los datos adquiridos. Los cálculos sobre dichos datos se presentan a continuación como pérdidas de 'turn on', pérdidas de 'turn off' y pérdidas de potencia, según se indica en la figura 5. Éstos datos son útiles para analizar la disipación de la potencia en el dispositivo. Conociendo las pérdidas de 'turn on' y 'turn off' el usuario puede ajustar las tensiones y las transiciones de la corriente para reducir las pérdidas de potencia.

Cuando ocurren cambios en el valor de la carga, el lazo de control de la fuente de alimentación conmutada cambia la frecuencia de conmutación para controlar la carga de la salida. La figura 6 muestra una forma de onda de potencia cuando

la carga sufre cambios. Se debe advertir que las pérdidas de potencia en el dispositivo de conmutación también cambian cuando se cambia de carga. La forma de onda de potencia resultante no será de naturaleza periódica.

El análisis de una forma de onda de potencia de características no periódicas puede ser una tarea aburrida. Sin embargo, las capacidades avanzadas de medida del



Figura 6. Pérdidas de potencia mínimas, máximas y medias durante un cambio en la carga

Figura 7. Resultado de la utilización del 'HiPower Finder'. Se muestra la forma de onda de potencia en el dispositivo de conmutación cuando la carga cambia.



donde existen pérdidas de conmutación. La característica 'HiPower Finder' del software de análisis de potencia elimina este desafío de análisis de los datos capturados con memorias de gran longitud. En la figura 7 se muestra un resultado típico, mientras que en la figura 8 se va un paso más lejos mostrando un resumen del número de eventos de conmutación y de las pérdidas de conmutación máximas y mínimas obtenidos a partir de los datos adquiridos. De esa forma resulta posible ver los puntos con las pérdidas de conmutación deseadas seleccionando un rango particular de interés. Todo lo que el usuario tiene que hacer es elegir el punto del interés dentro del rango y pedir el buscador 'HiPower Finder' que lo localice a partir de los datos almacenados en la gran memoria de registro. El cursor se ligará al área solicitada. Cuando se localiza el punto deseado se puede utilizar el software para realizar un zoom alrededor de la localización de cursor y así ver la actividad más detalladamente. Esto último, combinado con la capacidad de medida de las pérdidas de conmutación previamente mencionadas permite analizar rápi-

damente y con eficacia la disipación de la potencia en el dispositivo de conmutación.

Cálculo de las pérdidas en el núcleo del dispositivo magnético

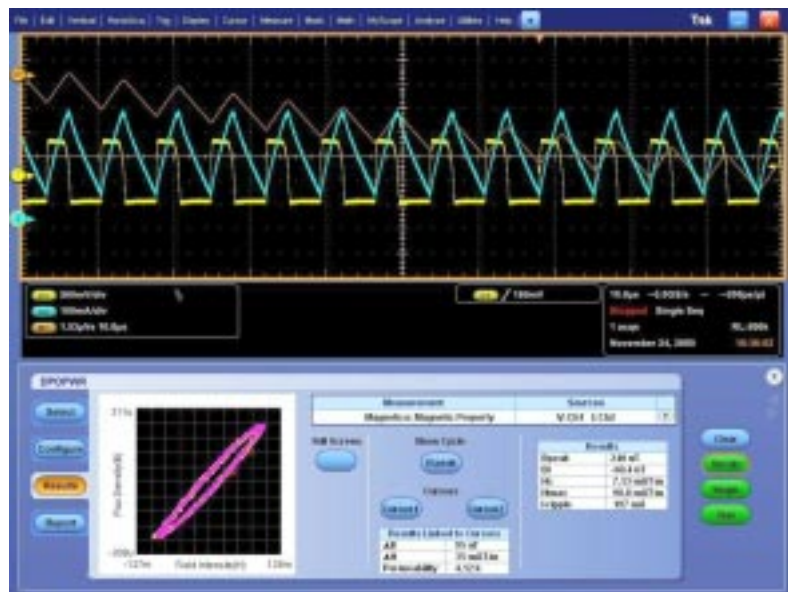
Otro lugar donde se puede reducir la disipación de la potencia es en el área del núcleo magnético. En

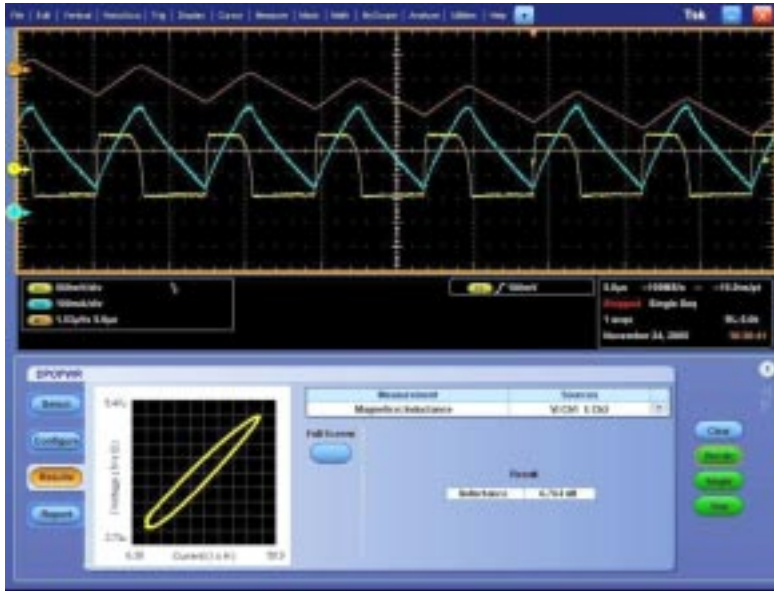
los esquemas típicos de circuitos CA/CC y CC/CC, el inductor y el transformador son los otros componentes que disipan potencia, afectando esto por lo tanto a la eficiencia energética y provocando una posible elevación continua y descontrolada de la temperatura.

Los inductores se prueban típicamente mediante un medidor LCR que produce una señal sinusoidal. En una fuente de alimentación conmutada los inductores están sometidos a señales de alta tensión y corrientes de gran intensidad que no son sinusoidales. Consecuentemente, los diseñadores de fuentes de alimentación necesitan supervisar el comportamiento del inductor o del transformador en una fuente de alimentación viva; ya que, la prueba con un medidor LCR podría no reflejar el escenario de la vida real.

El método más eficaz de supervisar el comportamiento del núcleo es a través de la curva B-H, la cual revela rápidamente el comportamiento del inductor en una fuente de alimentación. El software de análisis de potencia permite un análisis rápido de la curva B-H mediante un osciloscopio sin necesidad de

Figura 8. Utilización del 'HiPower Finder' y el zoom del osciloscopio para un análisis más profundo.





utilizar herramientas costosas y dedicadas.

El inductor y el transformador tendrán un comportamiento diferente durante el tiempo de 'turn-on' y los estados estables de la fuente de alimentación. En el pasado, para ver y analizar las características de las curvas B-H, los diseñadores tenían primero que adquirir las señales y después realizar un análisis adicional en el PC. El software del osciloscopio permite ahora que el análisis de la curva B-H

pueda ser realizado directamente en el osciloscopio, proporcionando una visión instantánea del comportamiento del inductor según como se indica en la figura 9.

Esta capacidad de análisis magnético mide también automáticamente las pérdidas de potencia y el valor del inductor de una fuente de alimentación en el mundo real. Para deducir las pérdidas en el núcleo del inductor o del transformador, todo lo que se tiene que hacer es medir las pérdidas de potencia en el

primario y en el secundario. La diferencia entre estos resultados es la pérdida de potencia en el núcleo. Por otro lado, bajo condiciones de trabajo sin carga, las pérdidas de potencia en el primario son iguales a las pérdidas totales en el secundario, incluyendo las pérdidas en el núcleo. Estas medidas pueden revelar información sobre el área donde se produce la disipación de la potencia.

Figura 9. Dibujo instantáneo de la curva B-H correspondiente a la forma de onda adquirida. Se muestra la conexión con el cursor.

Conclusión

Dentro de las características clave del software de medida y análisis de potencia descritas en este artículo se incluyen: la capacidad de medir las pérdidas de potencia en el dispositivo de conmutación, la capacidad de búsqueda del 'HiPower Finder' y el análisis de las curvas B-H; todas ellas proporcionan las herramientas necesarias para hacer medidas rápidas en fuentes de alimentación conmutadas. Cuando se utiliza un osciloscopio de fósforo digital, el software permite que los usuarios localicen rápidamente las áreas de interés donde existe disipación de potencia y la visualización del comportamiento de la disipación de potencia en una situación dinámica.