

El lenguaje del ruido

Diseño de Sistemas de Potencia y EMI: Una Panorámica

Por Philip Lioio

Philip Lioio es
Ingeniero de
Aplicaciones de
Vicor Corporation

El ruido electromagnético es omnipresente y es el resultado de corrientes eléctricas, campos magnéticos y campos electromagnéticos. En la práctica, esto significa que el ruido se genera por medio de fenómenos tan naturales como los relámpagos y las erupciones solares, así como por dispositivos eléctricos o electrónicos creados por el hombre, como transmisores de radio y fuentes de alimentación conmutadas. El manejo del ruido en los sistemas electrónicos es una parte importante de todo diseño inicial ya que minimizar el ruido una vez realizado el diseño o una vez construido el prototipo resulta más complicado y caro. Un primer paso para el manejo del ruido pasa por comprender el vocabulario, los orígenes y los efectos del ruido.

En el contexto del diseño de sistemas de potencia, el ruido - a menudo denominado interferencia electromagnética (EMI) o Interferencias de Radiofrecuencia (RFI) - aparece en forma de corrientes no deseadas. Estas corrientes no deseadas degradan las prestaciones de cualquier dispositivo susceptible. Los mecanismos de estas corrientes no deseadas se analizan tanto desde la fuente perturbadora como del receptor susceptible. La compatibilidad electromagnética (EMC) es la capacidad de la fuente y del receptor para funcionar dentro de un entorno electromagnético determinado.

Las corrientes eléctricas que circulan desde la entrada de la fuente de alimentación hacia la fuente de tensión se denominan emisiones conducidas (ver Figura 1). Las emisiones conducidas se generan en la entrada (CA o CC) por el flujo de corriente en un hilo o pista de dos formas: ruido en modo diferencial y ruido en modo común (Figura 2). El ruido en modo diferencial se mide entre dos conductores. El ruido en modo común está presente en cada uno de los conductores de entrada

y se traslada hasta la toma de tierra. Las emisiones conducidas están superpuestas a la corriente de entrada que proporciona la alimentación desde la fuente de tensión (CA o CC). Pueden salir o entrar en la fuente de alimentación.

Si las corrientes salen de la fuente de alimentación y se trasladan a la fuente de tensión de entrada, se las conoce generalmente como emisiones conducidas. Si una corriente con fuente de ruido se superpone a la corriente de entrada y circula hasta entrar en la fuente de alimentación, entonces se conoce como susceptibilidad conducida. En algunas ocasiones se pueden encontrar requisitos para la "susceptibilidad con-

ducida", que es la respuesta de un dispositivo a señales no deseadas aplicadas a los terminales de alimentación. Las especificaciones de susceptibilidad conducida son habituales en las aplicaciones militares.

Otra corriente no deseada, en la etapa de salida, se superpone a la salida de CC que suministra corriente a la/s carga/s: la corriente de rizado de salida. Generalmente, cualquier especificación para ésta se basa en el equipamiento en concreto al que se alimenta y no implica ningún estándar de terceros.

La EMI radiada se refiere a una onda electromagnética que sale o entra en la carcasa que envuelve el producto. Si las ondas electromag-

Figura 1. Interferencias en un equipo electrónico típico

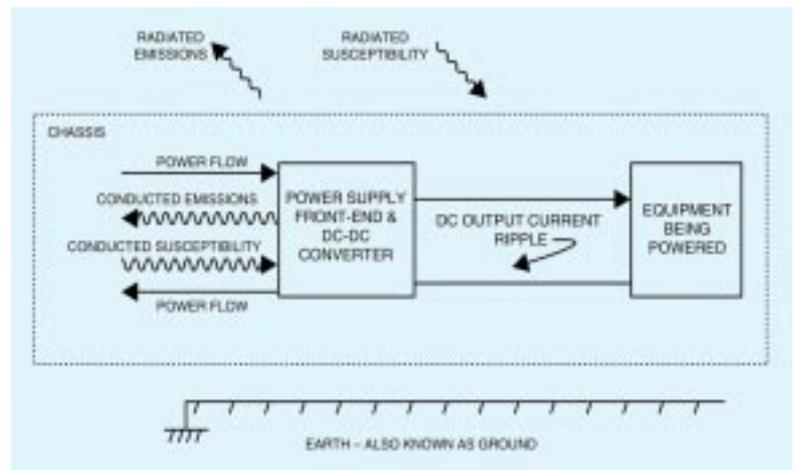
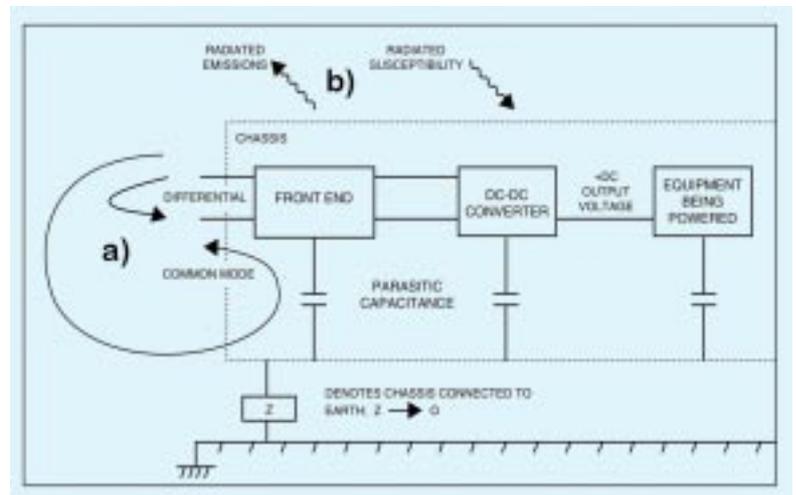


Figura 2. a) Indica las vías de corriente para las emisiones conducidas en modo diferencial y común, b) indica las emisiones radiadas que salen o entran en el chasis



néticas salen de la carcasa, se denominan emisiones radiadas. Si las ondas electromagnéticas se imponen sobre el producto, se denominan susceptibilidad radiada. La susceptibilidad radiada es la respuesta del equipamiento a la radiación no deseada aplicada a la carcasa.

Existe un cuarto tipo de corriente de ruido, pero generalmente no se especifica dado que no es visible para el usuario final del equipamiento. Cuando la entrada es una tensión CA, la rectificación para crear un nivel de CC necesita condensadores para almacenar energía. El nivel de CC en los condensadores tendrá un nivel de rizado de CA superpuesto sobre ellos. Esta "tensión de rizado" dependerá del valor de la capacidad, de la frecuencia de línea y del nivel de potencia, entre otros factores. Es raro que se incluya entre las especificaciones de un producto. Este rizado (para una tensión monofásica, es igual al doble de la frecuencia de línea) podría ser un componente medible añadido al rizado de la tensión de salida de la frecuencia de conmutación del convertidor CC/CC.

Los tres tipos de ruido están originados por dispositivos que se conectan y desconectan. Tras la entrada CA, tiene lugar la rectificación en la etapa de entrada para establecer un nivel CC. La rectificación corre a cargo de diodos con la capacidad de alimentación de salida del diodo. Los diodos se conectan y desconectan con cada ciclo CA. Cuando los diodos pasan a corte, lo hacen en menos de $1 \mu\text{s}$, creando así corrientes de conmutación, no sólo a múltiplos de la frecuencia de línea sino también del orden de MHz. Estas corrientes circularán de vuelta hacia la entrada CA, creando así parte del espectro de emisiones conducidas.

Existen elementos de conmutación adicionales en el/los convertidor/es CC/CC que pueda haber a continuación. Suele tratarse de MOSFET de conmutación en el lado del primario del convertidor y diodos

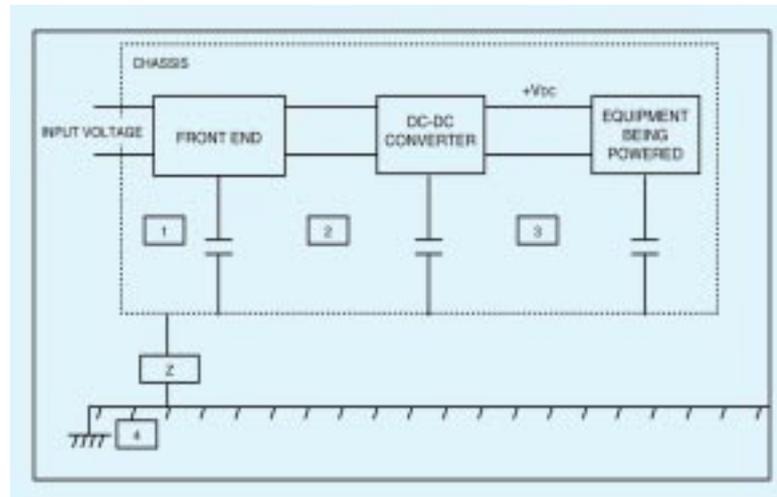


Figura 3. Conexión a masa

rectificadores (o MOSFET) en el lado del secundario. Los dispositivos conmutarán típicamente en menos de 20 ns. Las frecuencias de las corrientes pueden llegar a ser fácilmente de hasta 30 MHz. Ésta es la frecuencia máxima especificada en los estándares comerciales para medir interferencia conducida.

Si se incluye también la circuitería de corrección del factor de potencia (PFC) en la etapa de entrada, habrá corrientes adicionales debido a los MOSFET y diodos de conmutación de la circuitería PFC.

La/s salida/s CC también tendrán corrientes de alta frecuencia que se dirijan hacia la carga. Las corrientes que vuelven hacia la entrada así como las corrientes que van hacia la carga pueden hallar muchas vías de conducción debido a la capacidad parásita interna de la fuente de alimentación y al propio equipamiento. Con los dispositivos conmutando a las velocidades indicadas, cualquier par de hilos en paralelo, montajes mecánicos o montaje de componentes generará una capacidad parásita y ofrecerán una vía de conducción a las corrientes de alta frecuencia, incluso si la capacidad es de tan sólo unos pocos picroFarads.

Existen también inductancias parásitas debidas al cableado de las pistas en la placa de circuito impre-

so. Todas las longitudes de los terminales son inductivas y contribuirán a generar saltos (tensiones) que hallarán asimismo vías de conducción capacitivas.

Dado que las corrientes en el cableado de entrada y de salida varían a lo largo del tiempo, generan ondas electromagnéticas. Esta interferencia radiada podría ocasionar efectos no deseables en la circuitería o en el equipamiento cercanos. Las especificaciones de test europeas y de la FCC miden esta interferencia con una combinación de antena / receptor a una distancia de 10 metros. Una correcta conexión a masa minimizará los efectos de todas las fuentes de ruido proporcionando a las corrientes una vía de baja impedancia hacia tierra. Existen cuatro ubicaciones en un sistema de potencia a las que hay que prestar atención en este sentido. Véase la Figura 3. Tanto si la entrada es CA o CC, los puntos 1, 2, 3 y 4 no son lo mismo. La entrada y la salida de la etapa de entrada (puntos 1 y 2) tendrán potenciales distintos debido a la resistencia de interconexión y a los componentes inductivos utilizados para el filtrado. La entrada y la salida del convertidor CC/CC (puntos 2 y 3) serán distintos debido a la utilización de un transformador de aislamiento.

Generalmente, tan sólo el chasis (punto 4) está conectado a masa (tierra). La conexión a masa del chasis es mejor cuando $Z \rightarrow 0$. Podría resultar útil observar un diagrama de bloques del sistema y decidir por qué vías es más probable que circulen las corrientes de ruido de alta frecuencia a partir de cómo se seleccionen estos puntos y de cómo se realicen sus conexiones.

Utilizando $Z = 0$, cualquier corriente de ruido hacia el chasis acabará circulando hacia tierra. Éste es el principal objetivo.

Un ejemplo de vía alternativa no deseable sería el de las corrientes de ruido que se trasladen desde la etapa de entrada hacia el equipamiento al que se suministra alimentación, ocasionando así un cambio en su comportamiento. Asimismo, al llevar a cabo las pruebas de conformidad EMI, es deseable que *todas* las corrientes de ruido vayan a tierra y no al equipamiento medido, dado que ello afectaría a las medidas de ruido en modo diferencial y en modo común.

La conformidad de las emisiones conducidas y radiadas suele ser un requisito dentro de las especificaciones de terceros. Véase la Figura 4. Las emisiones conducidas cuentan con tres conjuntos de especificaciones vigentes: FCC parte 15, Nivel A o nivel B en EE.UU.; EN 55022, nivel A o Nivel B en Europa; y MIL-STD-461 para aplicaciones militares. Obsérvense en la Figura 4 las diferencias en bajas frecuencias. FCC empieza en 450 kHz y EN 55022 empieza en 150 kHz. MIL STD 461, que no se ilustra, empieza en 10 kHz para CE 102.

Es una buena idea que el diseñador verifique los niveles de revisión de las especificaciones de interés y las establezca para cualquier especificación.

Se utilizan dos procedimientos de medida para emisiones conducidas: cuasi pico y promedio. Los límites de la especificación para cada uno se indican como parte de la especificación EN 55022. Podrían ser necesarias una o ambas medidas. Finalmente, existen dos niveles mos-

trados para las especificaciones FCC y EN: el Nivel B, si resulta necesario, precisa una atenuación adicional en comparación con el nivel A.

La tensión de rizado de salida se indica generalmente como un porcentaje de la tensión de salida y se expresa en milivolts pico a pico. Una amplitud del ancho de banda de 20 MHz es la práctica estándar para la medida de este parámetro.

La radiación electromagnética emana generalmente del cable de entrada y/o de salida. Esto se debe a que los cables están expuestos. La fuente de alimentación y la electrónica que se encuentra dentro del encapsulado contendrá, muy probablemente, ondas electromagnéticas atenuadas antes de salir de la carcasa.

Bibliografía Seleccionada sobre EMI

- *Controlling Radiated Emissions by Design*, Michael Mardiguian, Van Nostrand Reinhold, 1992
- *EDN's Designer's Guide to Electronic Compatibility*, Daryl D. Gerke and William D. Kimmel, Cahners Publications (suplemento de EDN magazine), January 1994
- *EMC for Product Designers*, Tim Williams, Butterworth-Heinemann Ltd., 1992
- EU standard 55022 (CISPR22)
- FCC, Part 15, Level A or Level B
- *MIL-HDBK-241B, Design Guide for Electromagnetic Interference (EMI) Reduction in Power Supplies*, 1983
- *MIL-STD-461E, Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Emissions and Susceptibility*, 1999
- *Noise Reduction Techniques in Electronic Systems*, Henry W. Ott, John Wiley & Sons, 1988
- *Printed Circuit Board Design Techniques for EMC Compliance, 2nd Edition*, Mark Montrose, IEEE Press, 2000

Figura 4. Límites de las emisiones conducidas – método LISN

