

Comparativa de materiales magnéticos en choque en modo común

Artículo cedido por Cemdal



www.cemdal.com



Autor: Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial. Director de la Consultoría CEMDAL. Representante de CFC para España y Portugal. www.cemdal.com fdaura@cemdal.com www.cfcele.com

Hoy en día, la mayoría de los equipos electrónicos usan fuentes de alimentación conmutadas para ser alimentados desde la red eléctrica. Para evitar excesivas emisiones conducidas hacia la red, es necesario diseñar un filtro de red con suficiente atenuación.

En la estructura básica de un filtro de red siempre se usa como mínimo un choque en modo común. Los choques en modo común son inductancias diseñadas específicamente para atenuar las interferencias electromagnéticas (EMI) en modo común. Cuando los choques se colocan en las líneas eléctricas, absorben una parte sustancial de la interferencia desde los kHz hasta los MHz, sin afectar la transferencia de energía de las líneas de alimentación de CA o CC.

Se recomienda el uso de un choque en modo común en los filtros de red y usar en su núcleo distintos tipos de materiales magnéticos como el MnZn o el NiZn como más comunes. Usualmente, cuando el ruido generado se sitúa en la zona más alta de 1 MHz el material correcto es el NiZn. Si el ruido generado está por debajo

de 1 MHz, el material correcto es el MnZn. En los choques en modo común también tiene importancia el modo diferencial debido a las imperfecciones en la simetría de los devanados.

Este artículo compara cuatro tipos de material magnético en el núcleo del choque en modo común. Para ello se miden las emisiones conducidas de una carga consistente en una bombilla de filamento (carga resistiva) con un regulador con triac que hace de generador de interferencias.

El filtro de red

En el diseño de un filtro de red es importante decidir su estructura, los valores de sus componentes, el diseño del circuito impreso y el material del núcleo del choque en modo común. La atenuación del filtro en función de la frecuencia no solo depende de los valores de los componentes. También depende del tipo de dieléctrico y forma constructiva de los condensadores y, en el choque en modo común, del material del núcleo y su forma constructiva.

La figura 1 presenta el esquema de un filtro de red básico con dos condensadores tipo Y (C_y), dos condensadores tipo X (C_x), una resistencia (R) y un choque en modo común ($L1-L2$). Se desea comparar el comportamiento de cuatro tipos de materiales magnéticos. Para ello se han montado cuatro filtros con condensadores $C_x = 680$ nF, condensadores $C_y = 2,2$ nF y $L1=L2 = 1$ mH, salvo en el choque de NiZn que tiene una limitación en el valor de inductancia. En este caso se ha seleccionado un valor de solo 110 μ H. La resistencia solo sirve para descargar los condensadores por razones de seguridad. Así, los choques en modo común del fabricante Würth Elektronik montados en cada uno de los filtros son:

- Filtro 1 = 1 mH , ref. WE-CMBNC 744 801 2501, núcleo de material nanocristalino
- Filtro 2 = 1 mH , ref. WE-ExB 744 844 102, núcleo de MnZn + Núcleo de NiZn
- Filtro 3 = 1 mH , ref. WE-CMB 744 822 301, núcleo de MnZn
- Filtro 4 = 110 μ H , ref. WE-CMBNiZn 744 842 311, núcleo de NiZn

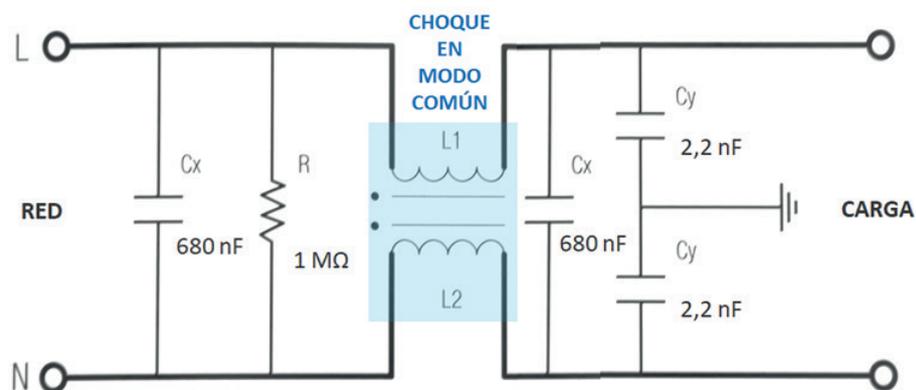


Figura 1. Esquema del filtro de red con los valores iguales para R , C_x , C_y . Valores de $L1 = L2$ de los choques en modo común del fabricante Würth Elektronik para:

Filtro 1 = 1 mH , ref. WE-CMBNC 744 801 2501, núcleo de material nanocristalino

Filtro 2 = 1 mH , ref. WE-ExB 744 844 102, núcleo de MnZn + Núcleo de NiZn

Filtro 3 = 1 mH , ref. WE-CMB 744 822 301, núcleo de MnZn

Filtro 4 = 110 μ H , ref. WE-CMBNiZn 744 842 311, núcleo de NiZn

La figura 2 muestra la fotografía de los cuatro filtros juntos, donde se puede apreciar los distintos choques en modo común junto con el resto de condensadores Cx y Cy de igual valor, respectivamente. Lógicamente debemos aceptar las desviaciones de valor debido a las tolerancias de los componentes.

Comparación de los materiales de los núcleos

En el filtro 1, tenemos un choque Würth Elektronik WE-CMBNC de material nanocristalino. La familia de choques WE-CMBNC usa núcleos nanocristalinos y presenta una atenuación de banda ancha. En comparación con los núcleos convencionales, fabricados otros materiales como el MnZn, los núcleos nanocristalinos tienen 20 veces más permeabilidad. Las EMI a través de la red pueden, por lo tanto, reducirse en el rango de baja frecuencia frecuencia (kHz), donde los núcleos de NiZn y MnZn convencionales tienen poca atenuación. Incluso en rangos de alta frecuencia, se pueden lograr altos niveles de atenuación debido a la baja capacidad parásita de los devanados. En comparación con los núcleos convencionales, la temperatura de Curie es aproximadamente tres veces mayor,

por lo que tiene menos problemas de saturación. El núcleo nanocristalino de muy alta permeabilidad facilita tener valores de inductancia altos y estables a altas temperaturas. Es útil para altas corrientes y buena supresión de EMI de banda ancha, con un rango de frecuencias de 1 kHz a 300 MHz. Tiene un tamaño relativamente pequeño. Las aplicaciones más típicas son: electrónica de potencia, filtros de entrada y salida de líneas de alimentación en CA y CC, supresión de EMI en motores y supresión de EMI en modo común.

En el filtro 2, tenemos un choque Würth Elektronik WE-ExB de doble núcleo: núcleo de MnZn y núcleo de NiZn juntos. Sus pérdidas de inserción tienen un rango de frecuencias más amplio que con un solo núcleo de NiZn o de MnZn. En comparación con los choques compensados, ofrece unas pérdidas de inserción de un 70% mayor en el rango de la baja frecuencia (150 kHz a 4 MHz) y unas pérdidas de inserción del 30% mayor en el rango de alta frecuencia (4 MHz a 30 MHz).

Este choque en modo común es particularmente adecuado para obtener una buena supresión de EMI en un amplio rango de frecuencias (100 kHz a 100 MHz). Es bueno para tener un buen filtrado de emisiones

conducidas y también para pasar las pruebas de inmunidad de transitorios rápidos (EFT). Sus aplicaciones típicas son: filtros de CEM, filtros de red, electrónica de potencia, supresión de EMI en motores y filtros en modo común.

En el filtro 3, tenemos un choque Würth Elektronik WE-CMB de núcleo de material de MnZn, bueno para una alta supresión de EMI asimétricas. Tiene una banda ancha debido a la técnica de devanado de baja capacidad parásita. Soporta alta corriente con tamaños pequeños. Las aplicaciones son: electrónica de potencia, filtro de entrada y salida de línea de alimentación, filtrado de dispositivos sin una conexión a tierra estable, supresión de EMI en motores y supresión de EMI en modo común.

En el filtro 4, tenemos un choque Würth Elektronik WE-CMBNiZn de núcleo con material de NiZn. Como material de níquel-zinc, puede lograr altas tasas de supresión de interferencias asimétricas a frecuencias altas y medias.

Tiene alta estabilidad contra las EMI y las ráfagas. Y una supresión de ruido de hasta 300 MHz. Sus aplicaciones típicas son: electrónica de potencia, filtro de entrada y salida de línea de alimentación optimizado para señales de ráfagas.

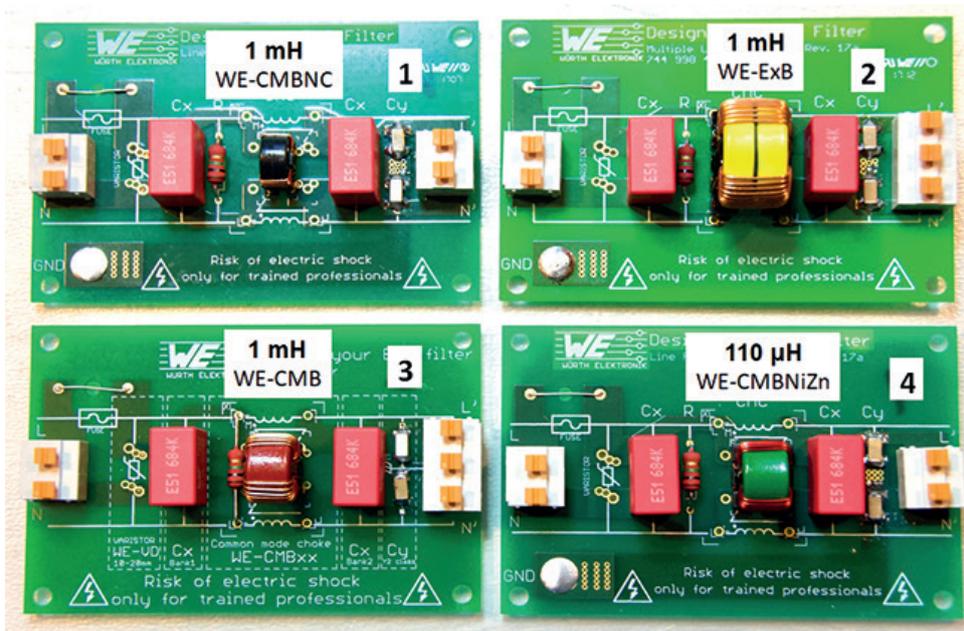


Figura 2. Los cuatro filtros con los cuatro choques en modo común con distinto material magnético en el núcleo.

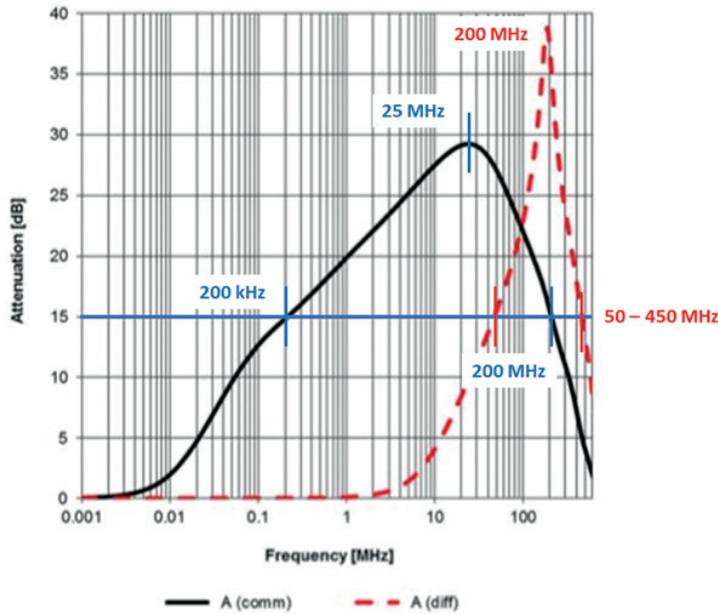


Figura 3. Filtro 1 = 1 mH , ref. Würth Elektronik WE-CMBNC 744 801 2501 , núcleo de material nanocrystalino .

La atenuación de cada choque

Para comparar la atenuación de cada choque en función de la frecuencia de los cuatro choques seleccionados, veamos las curvas de atenuación de cada uno de ellos. La figura 3 muestra la curva de atenuación del choque de 1 mH, WE-CMBNC con núcleo de material nanocrystalino. Si para realizar la comparación establecemos libremente el mismo límite de 15 dB en la gráfica, vemos que este choque tiene un margen de frecuencias de 200 kHz a 200 MHz, con un máximo en 25 MHz en la curva de atenuación en modo común. La curva

de atenuación en modo diferencial está entre 50 y 450 MHz, con un máximo en 200 MHz.

La figura 4 muestra el efecto de atenuación de la unión de dos núcleos de distintos materiales (MnZn + NiZn), compartiendo los dos devanados del choque. Se aprecia un efecto de superposición, obteniendo una ampliación del margen de frecuencias.

La figura 5 muestra la curva de atenuación del choque de 1 mH, ExB, con doble núcleo de MnZn más NiZn. Para la comparación establecemos el mismo límite de 15 dB en la gráfica. Vemos que este choque tiene un margen de frecuencias de 80 kHz a

50 MHz con un máximo en los 2 MHz en la curva de atenuación en modo común. La curva de atenuación en modo diferencial está entre 4,2 y 140 MHz, con un máximo en 20 MHz.

La figura 6 muestra la curva de atenuación del choque 1 mH, WE-CMB, con núcleo de núcleo de MnZn. Para la comparación establecemos el mismo límite de 15 dB en la gráfica. Vemos que este choque tiene un margen de frecuencias de 80 kHz a 70 MHz con un máximo en 1,8 MHz en la curva de atenuación en modo común. La curva de atenuación en modo diferencial está entre 18 y 100 MHz, con un máximo en 45 MHz.

La figura 7 muestra la curva de atenuación del choque de 110 μ H, WE-CMBNiZn, con núcleo de núcleo de NiZn. Para la comparación establecemos el mismo límite de 15 dB en la gráfica. Vemos que este choque tiene un margen de frecuencias de 590 kHz a 150 MHz con un máximo en 1,8 MHz en la curva de atenuación en modo común. La curva de atenuación en modo diferencial está entre 16 y 260 MHz, con un máximo en 71 MHz.

Para tener una mejor visibilidad de la comparativa, la figura 8 muestra una gráfica que resume los parámetros frecuenciales de los cuatro núcleos, tanto en modo común como en modo diferencial. Los resultados finales de las mediciones de las emisiones conducidas dependen también de la estructura del esquema del filtro y de los valores de los condensadores C_x y C_y , como se ha dicho al principio.

Las medidas de emisiones conducidas

Para la realización de las mediciones, en los cuatro filtros se aplica la misma carga formada por una bombilla de filamento controlada con un regulador de fase con triac (figura 9(a)). El elemento que realmente genera el ruido es el regulador. El regulador es de bajo costo, con un filtro interno con poca atenuación, insuficiente para poder superar correctamente la norma CISPR32. Por tanto, al añadir un filtro externo se añade atenuación al filtro interno y contribuye a tener emisiones conducidas por debajo de los límites de la norma. Para medir las emisiones conducidas, se usa una Red de Estabiliza-

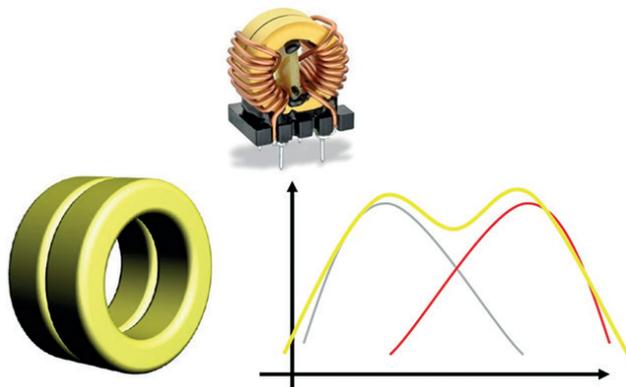


Figura 4. Filtro 2: Doble núcleo, serie WE-ExB: núcleo de MnZn + Núcleo de NiZn.

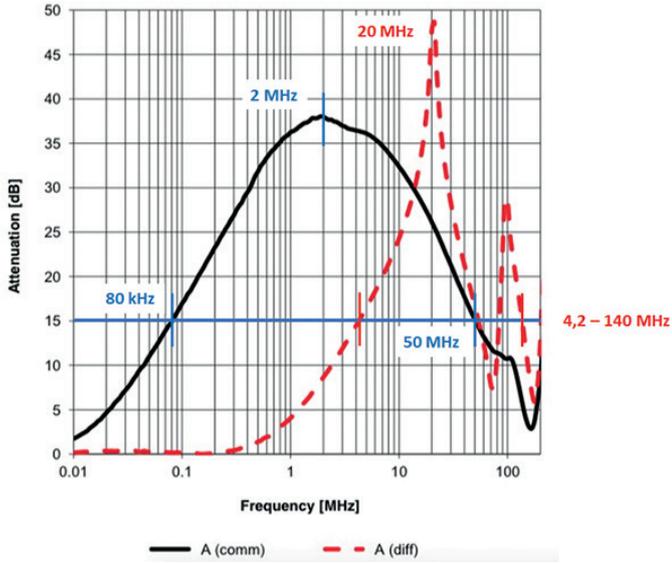


Figura 5. Filtro 2 = 1 mH , ref. Würth Elektronik WE-ExB 744 844 102, núcleo de MnZn + Núcleo de NiZn.

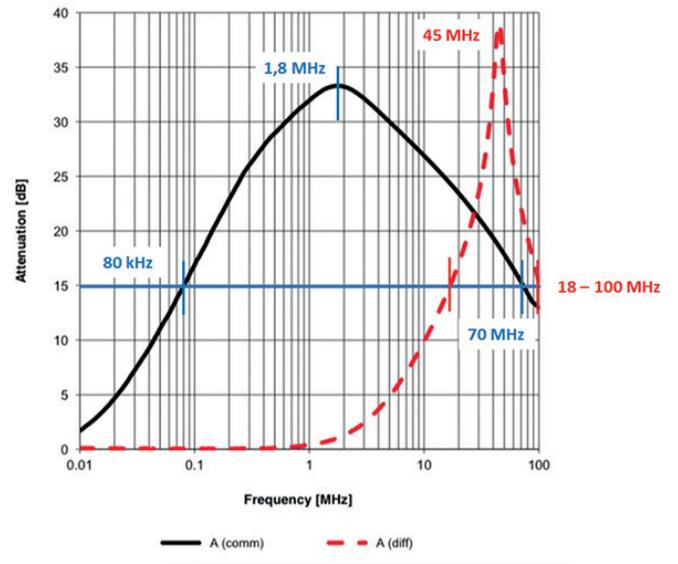


Figura 6. Filtro 3 = 1 mH , ref. Würth Elektronik WE-CMB 744 822 301, núcleo de MnZn.

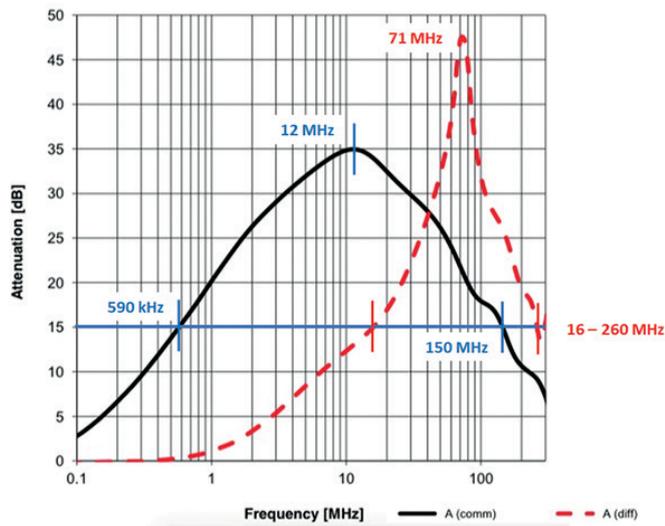


Figura 7. Filtro 4: 110 μ H , ref. Würth Elektronik WE-CMBNiZn 744 842 311, núcleo de NiZn.

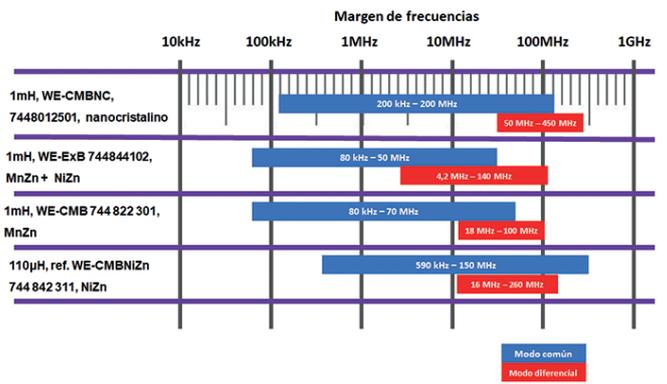


Figura 8. Comparación márgenes de frecuencia de cada choque en modo común.

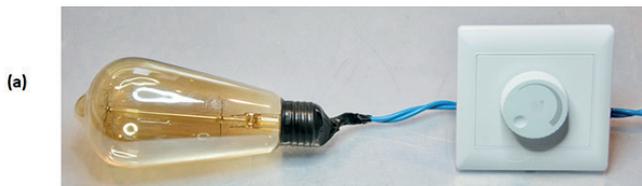


Figura 9. (a) carga formada por una bombilla de filamento controlada con un regulador con triac (b) Red de Estabilización de Impedancia de Línea (LISN)

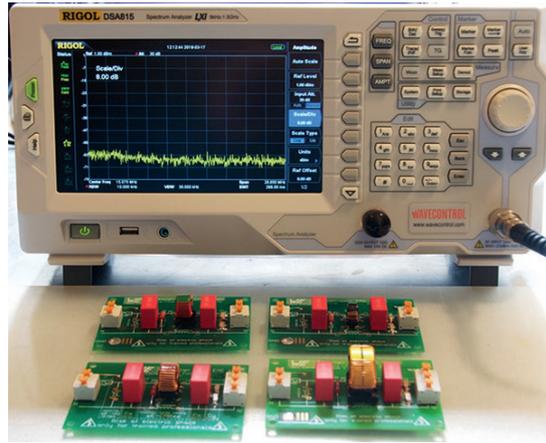


Figura 10. Analizador de espectros con los cuatro filtros delante.

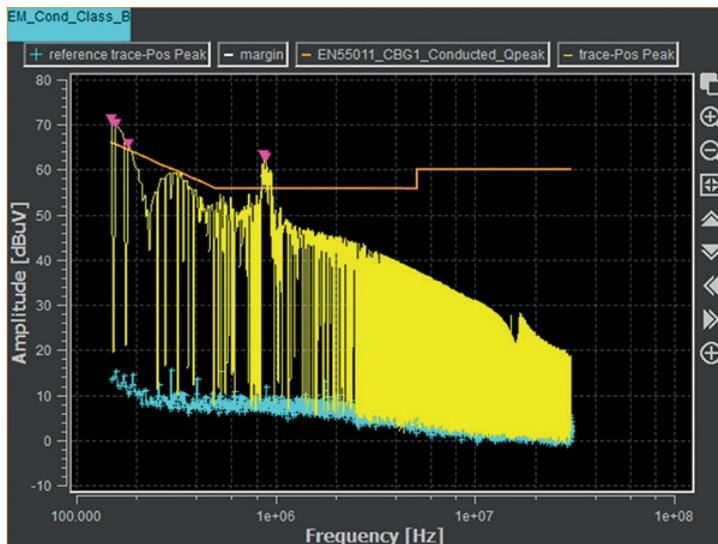


Figura 11. Medida de las emisiones conducidas del regulador con el filtro interno original. Límites clase B. Ruido de fondo en color azul.

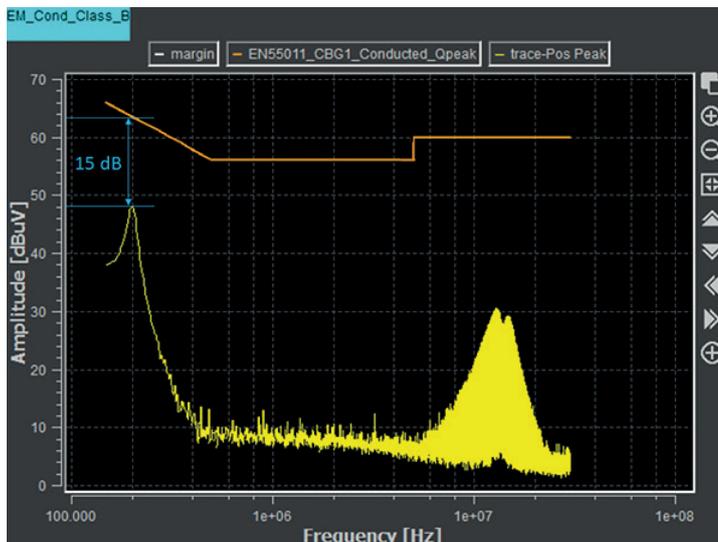


Figura 12. Resultados filtro 1, 1 mH, CMBNC, núcleo de material nanocrystalino.

ción de Impedancia de Línea (LISN). La LISN usada se muestra en la figura 9(b). Las mediciones de emisiones conducidas se realizan en el rango de frecuencia de 150 kHz - 30 MHz, según la norma CISPR 32, con los límites permitidos para un producto doméstico (Clase B).

La figura 10 muestra el analizador de espectros usado, con los cuatro filtros a comparar delante.

Aunque el filtro de red también puede afectar en las emisiones radiadas a partir de los 30 MHz, junto a otros aspectos del diseño como el cableado, el nivel de blindaje de la envolvente del equipo, etc, para centrar el problema, en la comparación aquí propuesta nos vamos a centrar en las emisiones conducidas entre 150 kHz y 30 MHz.

Las emisiones conducidas se han realizado fuera de una jaula de Faraday, en un entorno electromagnéticamente tranquilo. Por ello es conveniente primero asegurarse de que el ruido de fondo es suficientemente bajo y queda alejado del límite establecido por la norma. En la figura 11, la medida en color azul es el ruido de fondo. La misma figura muestra la medida de las emisiones conducidas del regulador sin el filtro externo, con la carga de la bombilla de filamento y con el control en una posición fija de referencia, intocable durante todo el proceso de medición de los cuatro filtros externos.

Los límites de la norma CISPR32, clase B, mostrados en las figuras que presentan las mediciones son: 150 - 500 kHz, 66 dB μ V decreciendo linealmente con el logaritmo de la frecuencia hasta 56 dB μ V, 500 kHz - 5 MHz, 56 dB μ V y 5 MHz - 30 MHz, 60 dB μ V.

Como se aprecia, el ruido generado por el regulador supera el límite en varios picos por debajo de los 200 kHz y en otros picos entre 800 kHz y 1 MHz, con un nivel de emisiones rozando el límite en el margen entre 150 kHz y 1 MHz.

Sería conveniente tener un nivel de emisiones con un mínimo de 5 dB por debajo del límite y sería recomendable tener un mínimo de 10 dB por debajo del límite. En estas circunstancias, es evidente la necesidad de añadir un filtro externo para obtener más atenuación, para poder seguir la recomendación anterior.

Los resultados de las medidas de emisiones de los filtros

Las figuras 12 a 15 muestran los resultados de las medidas de las emisiones conducidas del regulador con cada uno de los cuatro filtros. Los cuatro filtros clarísimamente aportan la suficiente atenuación para cumplir con la norma CISPR32. En todo el margen de frecuencias, los cuatro filtros cumplen con la recomendación propuesta de tener el ruido con un mínimo de 10 dB por debajo del límite. En los cuatro filtros, se mide un conjunto de emisiones entre los 5 MHz y los 25 MHz, que tiene un máximo de 30-32 dB μ V, con suficiente diferencia hasta llegar al límite (diferencia de unos 28-30 dB).

En el filtro 1, en la figura 12, en los 200 kHz el pico queda a 15 dB por debajo del límite, cumpliendo con la recomendación de los 10 dB. En el filtro 2, en la figura 13, en los 150 kHz el pico queda a 33 dB por debajo del límite. En el filtro 3, en la figura 14, en los 150 kHz el pico queda a 29 dB por debajo del límite. Por último, en el filtro 4, en la figura 15, en los 230 kHz, el pico queda a 27 dB por debajo del límite.

Comparando los resultados, el mejor filtro es el filtro 2 con el choque de doble núcleo. El filtro 4, a pesar de solo tener un choque de 110 μ H tiene buenos resultados. Es evidente que cada filtro se debe adaptar al tipo de ruido que se necesita atenuar. No se puede aplicar un conjunto igual de reglas de diseño de filtros para todos los tipos de EMI. Cada tipo de EMI necesita ser analizado y adaptar el filtro de forma conveniente en valores y en materiales. El final del proceso de diseño siempre debe terminar con

unas mediciones para comprobar que los resultados son los adecuados para no superar los límites de las normas.

Conclusión

Se han comparado cuatro tipos de materiales en cuatro núcleos de choques en modo común, manteniendo respectivamente los valores de los condensadores C_x y C_y iguales. Se han presentado los resultados de las mediciones de las emisiones conducidas de los cuatro filtros. Si bien es cierto que cada material presenta una mayor efectividad en un rango de frecuencias distinto, estas diferencias no resultan del todo apreciables en las medidas realizadas.

Debemos considerar que estos filtros se han comparado con un regulador de fase con triac, un tipo de generador de ruido muy característico que genera un espectro donde se aprecian los armónicos de una frecuencia fundamental. Sabemos que, atacando esta frecuencia fundamental atenuaremos sus armónicos. Por tanto, para una caracterización más detallada de los anchos de banda se podría cambiar la fuente de ruido por una fuente de ruido blanco, cuyas emisiones son uniformes en todas las frecuencias.

Agradecimientos

Agradezco toda la ayuda recibida en forma de documentación, componentes y consejos de Würth Elektronik, en especial de Juan Miguel del Pino, FAE (Field Applications Engineer) en Würth Elektronik España y de Ismael Molina, PM (Product Manager) de Würth Elektronik Alemania. Sin esta ayuda, este artículo no se hubiera podido escribir. 🙏

REFERENCIAS

- Fraidoon Mazda, "Power Electronics Handbook", 3rd Edition, Newnes, 1997
- Francesc Daura Luna, "El choque en modo común y las EMI", Revista Española de Electrónica, Marzo 2015
- Digikey & Würth Elektronik, "Common Mode Power-Line Chokes"
- Lorandt Foelkel, "Using common mode chokes is not a kind of magic", Interference Technology Guide
- Ranjith Bramanpalli & Steffen Schulze, "Filtros de Entrada: la clave para una validación exitosa de EMC", Würth Elektronik eiSos, Conventronic nro. 158, Febrero 2018

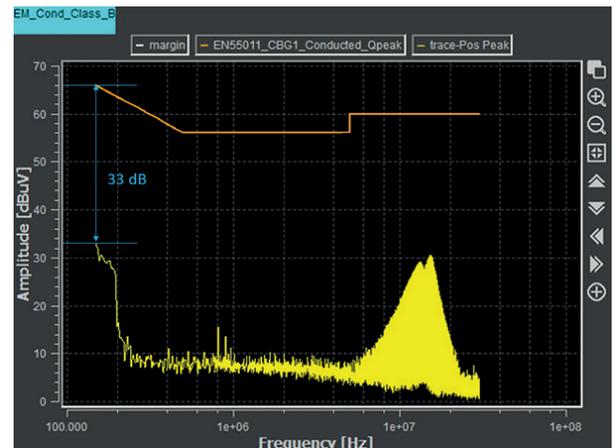


Figura 13. Resultados filtro 2, 1 mH, ExB, núcleo de MnZn + NiZn.

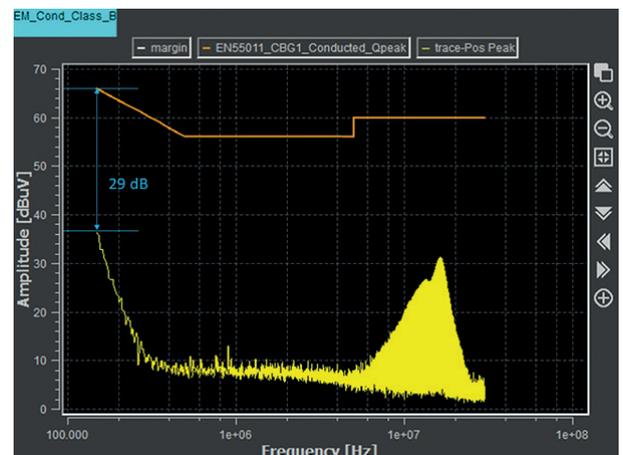


Figura 14. Resultados filtro 3, 1 mH, CMB, núcleo de MnZn.

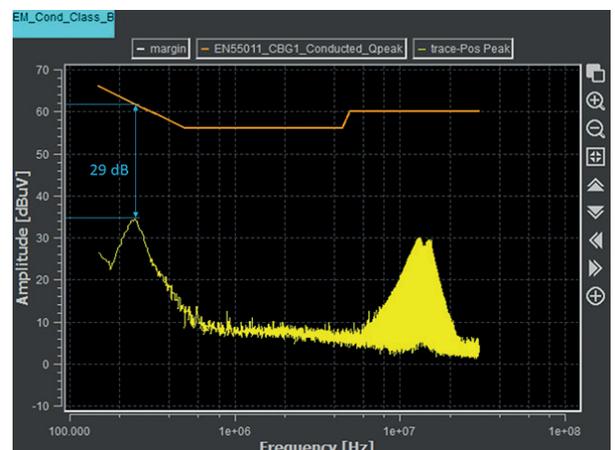


Figura 15. Resultados filtro 4, 110 μ H, CMBNiZn, núcleo de NiZn.