

Estudio de materiales metálicos y magnéticos como sistemas de blindaje ante la incidencia de campos magnéticos cercanos de baja frecuencia

Study materials such as metallic and magnetic shielding systems to the incidence of magnetic fields near the low frequency

MARIO A. RODRÍGUEZ B.

Maestro en Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, 2002. Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia, 1998. Su experiencia laboral incluye el Laboratorio de Ensayos Industriales de la Universidad Nacional de Colombia (LABE), coinvestigador en el Grupo de Investigación en Protecciones y Sisemas de Puesta a Tierra (GIPYT) de la misma universidad. Actualmente es Profesor Asistente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá– Colombia. Dirige del Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética-CEM y participa como investigador en las áreas de diseño y construcción de equipos de pruebas de compatibilidad electromagnética, medidas en alta tensión y sistemas de blindaje contra campos electromagnéticos. Correo electrónico: marodriguezb@udistrital.edu.co

ALEJANDRO SÁNCHEZ S.

Candidato al título de Maestro en Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia. Ingeniero Electricista de la Universidad Nacional de Colombia, 2000. Su experiencia laboral incluye la Empresa de distribución y comercialización de energía eléctrica de Bogotá CODENSA S.A., en calidad de contratista y la Cervecería BAVARIA S.A., en calidad de contratista. Actualmente, es Profesor Asistente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá–Colombia. Forma parte del Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética (CEM) y participa como investigador en las áreas de diseño y construcción de equipos de pruebas de compatibilidad electromagnética, medidas en alta tensión y sistemas de blindaje contra campos electromagnéticos. Correo electrónico: asanchezs@udistrital.edu.co

Clasificación del artículo: reflexión (recreaciones)

Fecha de recepción: 18 de agosto de 2009

Fecha de aceptación: 27 de noviembre de 2009

Palabras claves: Compatibilidad electromagnética, efectividad del blindaje, campos magnéticos cercanos.

Keywords: Electromagnetic compatibility, shielding effectiveness of magnetic fields nearby.

RESUMEN

El estudio de materiales metálicos y magnéticos como sistemas de blindaje contra campos electromagnéticos es uno de los principales temas que aborda la compatibilidad electromagnética. En Colombia, se han realizado pocos estudios teórico experimentales en esta área. Por tanto, el Grupo de Investigación en Compatibilidad Electromagnética de la Universidad Distrital Francisco José Caldas (CEM), se propuso como uno de sus objetivos desarrollar el estudio teórico experimental de blindajes contra campos electromagnéticos cercanos y lejanos, de baja y alta frecuencia. El presente artículo muestra los resultados del estudio experimental sobre la efectividad del blindaje que ofrecen dos materiales específicos, aluminio y hierro con diferentes espesores, ante la incidencia de campos magnéticos cercanos de baja frecuencia.

ABSTRACT

The study of magnetic materials such as metal and shielding systems against electromagnetic fields is one of the main issues addressed by the EMC. In Colombia, there have been few theoretical studies - experimental in this area. Therefore, the research group in EMC at the University Distrital Francisco José de Caldas - (CEM), was proposed as one of its objectives to develop the theoretical and experimental study of shielding against electromagnetic fields near and far, low and high frequency. This article shows the results of experimental study on the shielding effectiveness of two specific materials offered, aluminum and steel with different thicknesses, with the incidence of magnetic fields near the low frequency.

* * *

1. Introducción

Desde la perspectiva de la compatibilidad electromagnética, todos los equipos eléctricos y electrónicos son susceptibles en mayor o menor medida a interferencias electromagnéticas, que pueden ser de tipo radiado, inducido o conducido. Dentro de las fuentes de interferencia más comunes se encuentran las descargas eléctricas atmosféricas, señales de baja frecuencia del sistema de potencia y señales de alta frecuencia de sistemas de comunicación. La teoría electromagnética ofrece herramientas para el modelamiento de estos fenómenos de acoplamiento electromagnético y la forma de atenuarlos o eliminarlos. Ott [3] define la efectividad del blindaje (S), a partir de las ecuaciones (1) y (2):

$$S = 20\text{Log} \frac{E_0}{E_1} \quad (1)$$

$$S = 20\text{Log} \frac{H_0}{H_1} \quad (2)$$

Donde:

S : Efectividad del blindaje [dB].

E_0 : Intensidad de campo eléctrico incidente

E_1 : Intensidad de campo eléctrico transmitido

H_0 : intensidad de campo magnético incidente

H_1 : intensidad de campo magnético transmitido

Para el caso particular de campo electromagnético lejano, la efectividad del blindaje está definida por tres términos: pérdidas por reflexión, pérdidas por absorción y otros efectos debidos a múltiples reflexiones y transmisiones. En la ecuación (3) se muestra la contribución de cada una de las componentes a la efectividad del blindaje:

$$S = R + A + M \quad (3)$$

Donde:

S : Efectividad del blindaje [dB].

R : Pérdidas por reflexión [dB].

A : Pérdidas por absorción [dB].

M : Efectos adicionales debidos a múltiples reflexiones y transmisiones [dB].

En el caso del campo electromagnético cercano, la geometría de los campos eléctrico y magnético es más compleja que la utilizada para el campo electromagnético lejano en el cual el análisis realizado considera los campos eléctrico y magnético como ondas planas. Por tanto, las ecuaciones utilizadas en el cálculo de la efectividad del blindaje mediante las ecuaciones especificadas para el caso de campo lejano son aproximaciones del comportamiento real del campo electromagnético cercano [2]. Para el caso particular del campo magnético cercano de baja frecuencia, se encuentra que las pérdidas por reflexión R y absorción A son muy pequeñas. En consecuencia, Clayton [2] plantea dos métodos para la atenuación del campo magnético cercano de baja frecuencia. El primero consiste en rodear la región que se pretende blindar con materiales de alta permeabilidad, a fin de generar caminos de baja reluctancia para el flujo magnético. El segundo consiste en ubicar anillos conductores en cortocircuito en la región que se pretende blindar. El objetivo es que se generen corrientes circulantes en los anillos, las cuales generarán un campo magnético que interactúa con el campo magnético incidente reduciendo el campo magnético en la región blindada. El presente artículo muestra los resultados experimentales sobre la efectividad de blindaje que ofrecen blindajes de aluminio y hierro, con una de las configuraciones geométricas propuestas por Clayton [2], ante la incidencia de campos magnéticos cercanos de baja frecuencia (60Hz).

2. Circuito de prueba

Se construyó una fuente de campo magnético, partiendo de una estructura formada por un solenoide largo con núcleo de aire. La relación longitud-

diámetro (l/d) es aproximadamente igual a 10. El solenoide se alimentó con una fuente de corriente alterna de 60Hz, filtrada mediante un circuito resonante en paralelo, a fin de eliminar el contenido armónico de la fuente. La teoría electromagnética [1] permite calcular la densidad de flujo magnético generado en el centro de un solenoide largo con núcleo de aire, a partir de la ecuación (4):

$$B = \frac{\mu_0 i n}{l} \quad (4)$$

Donde:

B : Densidad de flujo magnético en el interior del solenoide [T]

μ_0 : Permeabilidad del aire[H/m]

i : Corriente que circula a través del conductor que forma el solenoide [A].

n : Número de vueltas del solenoide.

l : Longitud del solenoide.

Las dimensiones del solenoide construido con 2100 vueltas de conductor de cobre No. 24AWG son: diámetro 16,2cm y longitud de 1,47m. Las densidades de flujo magnético generadas por la fuente de interferencia construida, están un rango entre 2,5mT y 5mT. Para lograr estas densidades de flujo magnético, se inyectó corriente alterna al solenoide con valores eficaces entre 1A y 2A. La medición del campo magnético en el interior del solenoide se realizó mediante sensores de efecto Hall, referencia A1302, con ancho de banda de 23kHz y sensibilidad 13V/T.

Se construyeron dos sistemas de blindaje. El primero, en configuración geométrica plana, consistió en láminas cuadradas de 5cm de lado, construidas en aluminio y hierro "Cold Rolled" con espesores de 0,5mm, 1mm y 1,5mm. El segundo, en configuración geométrica cúbica, consistió en cajas cúbicas de 10cm de lado, construidas en aluminio y hierro "Cold Rolled" con espesores de 0,5mm, 1mm y 1,5mm. El esquema del circuito de prueba y el montaje experimental se muestran en las figuras 1 y 2.

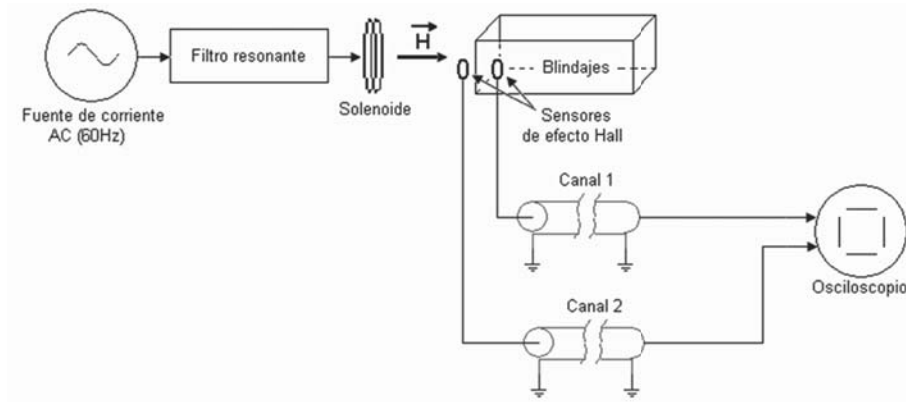


Figura 1. Esquema del circuito de prueba.



Figura 2. Montaje experimental.

3. Montaje experimental

3.1. Calibración del sensor de efecto Hall

Para calibrar el sensor de efecto Hall se construyó un solenoide de 300 vueltas y relación l/d igual a 20. El proceso de calibración se realizó con fuentes de corriente continua y alterna sinusoidal a 60Hz. Los resultados en la sensibilidad tuvieron una diferencia porcentual máxima del 1%, con respecto al valor de sensibilidad proporcionado en

el catálogo del fabricante.

3.2. Procedimiento experimental para determinar la efectividad de blindaje

Una vez construida la fuente de interferencia, se procedió a introducir los sistemas de blindaje, láminas y cajas cúbicas, dentro de la fuente de interferencia. Para determinar la efectividad de blindaje, se ubicaron dos sensores de efecto Hall, uno antes del blindaje y otro después del blindaje en el caso de las láminas, o dentro del blindaje

en el caso de las cajas cúbicas. Posteriormente, se tomaron los registros simultáneos de las señales proporcionadas por los sensores de efecto Hall. El registro se efectuó con un osciloscopio digital con ancho de banda 100MHz.

4. Resultado

4.1. Blindaje de configuración geométrica plana (láminas)

De acuerdo con los cálculos de efectividad de blindaje realizados por Clayton y Ott [2],[3], los blindajes en forma de lámina con materiales metálicos y magnéticos ofrecen una efectividad de blindaje muy baja. Para comprobar esa información, se implementaron blindajes de forma plana con los materiales y espesores definidos. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: se encontró una efectividad de blindaje de 0dB aproximadamente, para todos los materiales y espesores definidos. En la figura 3 se muestran los registros obtenidos para el blindaje de aluminio con espesor 0,5mm. En la figura 4 se muestran los registros obtenidos para el blindaje de hierro con espesor 0,5mm. La tabla 1 resume los resultados de efectividad de blindaje para los blindajes de configuración plana para los tipos y espesores de material definidos.

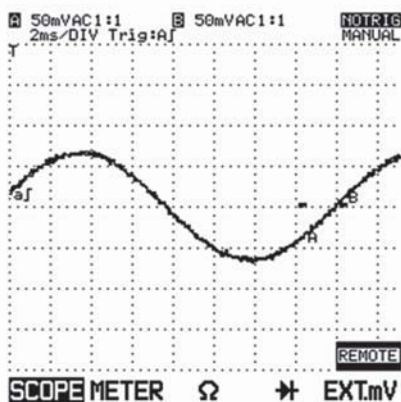


Figura 3. Registros del sensor ubicado antes del blindaje (A) y después del blindaje (B), para lámina de aluminio con espesor de 0,5mm y densidad de flujo magnético de 5mT.

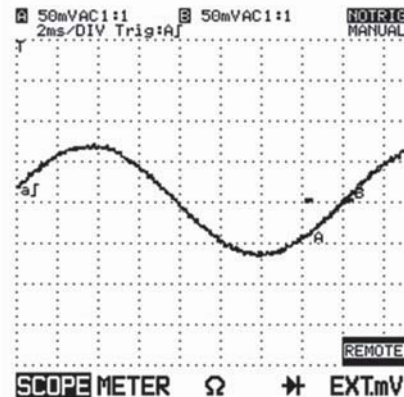


Figura 4. Registros del sensor ubicado antes del blindaje (A) y después del blindaje (B), para lámina de hierro con espesor de 0.5mm y densidad de flujo magnético de 5mT.

5. Blindaje de configuración geométrica cúbica (cajas)

Dada la baja efectividad de blindaje ofrecida por los blindajes en forma de láminas en baja frecuencia, Clayton y Ott [2],[3] proponen utilizar un blindaje que encierre completamente la región donde se pretende evaluar la efectividad del blindaje. Por tanto, se implementaron blindajes de forma cúbica con los materiales y espesores definidos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: los blindajes de aluminio y cobre, para todos los espesores, ofrecieron una efectividad de blindaje de 0dB aproximadamente. En la figura 5 se muestran los registros obtenidos para el blindaje de aluminio con espesor de 0,5mm. Por otro lado, los blindajes de hierro ofrecieron altas efectividades de blindaje. En las figuras 6 a 8 se muestran los registros obtenidos para los blindajes de hierro en todos los espesores. La tabla 2 resume los resultados de efectividad del blindaje para los blindajes de configuración cúbica para los tipos y espesores de material definidos.

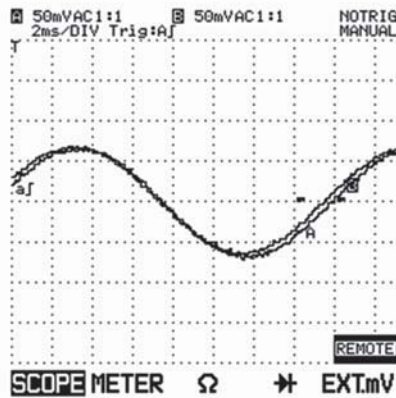


Figura 5. Registros del sensor ubicado antes del blindaje (A) y dentro del blindaje (B), para caja cúbica de Aluminio con espesor de 0.5mm y densidad de flujo magnético de 5mT.

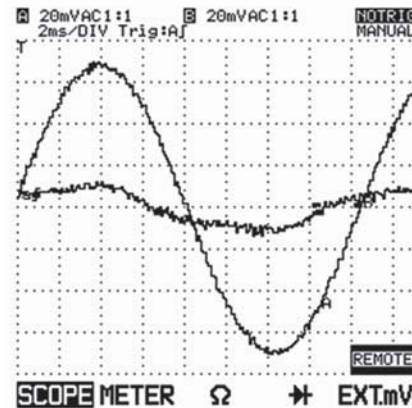


Figura 6. Registros del sensor ubicado antes del blindaje (A) y dentro del blindaje (B), para caja cúbica de hierro con espesor de 0.5mm y densidad de flujo magnético de 5mT.

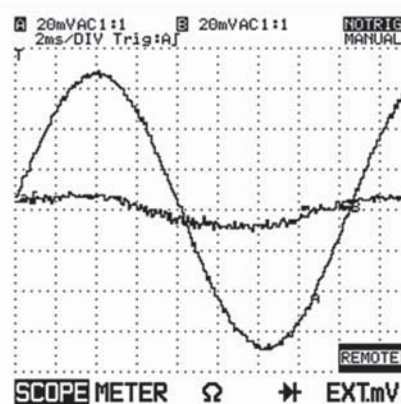


Figura 7. Registros del sensor ubicado antes del blindaje (A) y dentro del blindaje (B), para caja cúbica de hierro con espesor de 0.5mm y densidad de flujo magnético de 5mT.

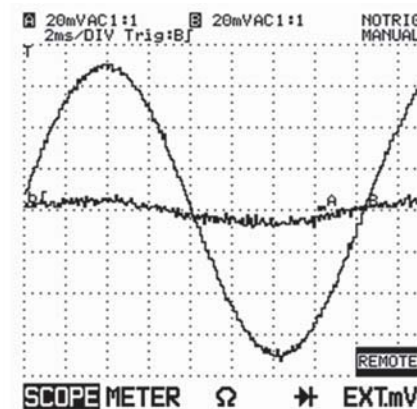


Figura 8. Registros del sensor ubicado antes del blindaje (B) y dentro del blindaje (A), para caja cúbica de hierro con espesor de 1.5mm y densidad de flujo magnético de 5mT.

6. Conclusiones

El uso de materiales metálicos, en los espesores especificados, como sistemas de blindaje contra campos magnéticos de baja frecuencia no es adecuado, porque su efectividad de blindaje es prácticamente nula.

Los materiales magnéticos ofrecen un excelente comportamiento como blindaje contra campos magnéticos de baja frecuencia, en comparación

con los materiales metálicos, dado que su efectividad de blindaje es muy alto. Esta conclusión, no se debe generalizar, porque los materiales magnéticos pueden presentar saturación, por tanto, la efectividad de blindaje puede reducirse.

La efectividad de blindaje de campos magnéticos cercanos de baja frecuencia, en el caso del hierro es mayor, en la medida que se aumente el espesor del blindaje.

Se comprobaron los presupuestos teóricos en cuanto a la baja efectividad de blindaje de los materiales metálicos y magnéticos en forma de lámina. Por lo tanto, si se pretende blindar un sistema

que actúe como víctima o fuente, contra campo magnético cercano de baja frecuencia, debe encerrarse totalmente la región con materiales magnéticos de alta permeabilidad.

Referencias

- [1] W. Hayt, and J. Buck, “Engineering electromagnetics”. 7th Ed. Mc Graw Hill, New York, 2005, p. 322-347.
- [2] R.P. Clayton. “Introduction to electromagnetic compatibility”. 2nd Ed. Wiley, New York, 2006, p. 713-752.
- [3] H.W. Ott. “Noise reduction techniques in electronic systems”. 2nd Ed. Wiley, New York 1988.