

Resumen

Titulo. El efecto Barkhausen y sus aplicaciones en las ciencias de materiales.

Autores. **Carbonell Perdomo, Rolando¹ Rodríguez Pérez, Jorge Luis ***

Facultad de Ciencias Naturales ¹ Departamento de Física, Universidad de Oriente
Patricio Lumumba km ½ S/N, Santiago de Cuba, Cuba, Código Postal 90500.

El efecto Barkhausen ocurre durante el proceso de magnetización y desmagnetización de los materiales ferromagnéticos. En este trabajo se han estudiado algunos aspectos del efecto Barkhausen que están presentes en varios materiales ferromagnéticos. Para ello se ha empleado tanto un enfoque experimental como teórico. En particular, se han investigado algunas propiedades de fase de primer orden que tienen lugar en la dinámica de su estudio. Tal dinámica, se observa en numerosas transiciones de fase (efecto Barkhausen en sistemas magnéticos en que los efectos de las fluctuaciones térmicas son muy importantes). El trabajo se estructura básicamente en dos partes. La primera, es una introducción a diversos aspectos generales que son importantes para la comprensión del fenómeno, y la segunda son las aplicaciones más actuales del efecto en la ciencia de materiales.

Título: El “Estimulador Magnético Local (NAK)”, ejemplo de protección legal de los resultados científicos. Derechos exclusivos del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado como titular de este producto.

Lic. Yilian Rodríguez Clavijo

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado(CNEA) Universidad de Oriente. Sede Mella. Ave. Las Américas s/n. CP. 90400 GP. 4078. Santiago de Cuba. Cuba .
E mail: yilian@cnea.uo.edu.cu

Resumen

La Propiedad Intelectual garantiza la protección de los derechos de los creadores a nivel mundial y, contribuye a que se reconozca y se recompense el ingenio de los inventores; estimula además, la creatividad humana, ensancha las fronteras de la ciencia y la tecnología y enriquece el mundo de la literatura y de las artes.

La importancia que ha ido adquiriendo la Propiedad Intelectual, ha conllevado a que en la comunidad científica, se profundice en el conocimiento de esta materia, con el objetivo de promover la cultura al respecto y fomentar la responsabilidad que tiene el científico, en la protección de sus resultados.

El Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado desde su fundación, ha encaminado sus investigaciones hacia el estudio de los campos electromagnéticos en distintas esferas. Muchos son los trabajos realizados, por lo es una necesidad creciente, la protección de los resultados vinculados con el tema.

Uno de los equipos derivados de la actividad científica en el centro, es el “Estimulador Magnético Local (NAK)”. Este producto es un ejemplo de protección por Propiedad Intelectual, es por ello que este trabajo tiene como objetivo, realizar un estudio del proceso de protección de este equipo, así como los derechos exclusivos que le confieren al CNEA esta propiedad, para poder demostrar la importancia que tiene para la actividad científica y comercial, proteger legalmente todos los resultados que se deriven del proceso de investigación en instituciones como la nuestra, y de esta forma contribuir al desarrollo económico del país.

Caracterización magnética de un par de bobinas de Helmholtz para su utilización como sistema generador de campos magnéticos bajos en metrología

Fidel Gilart González
Centro Nacional de Electromagnetismo aplicado
Norberto Fleitas Salazar
Oficina Territorial de Normalización Santiago de Cuba

Resumen:

Se presentan y se analizan los resultados de la caracterización experimental y teórica de un par de bobinas de Helmholtz para su uso como sistema generador de campos magnéticos bajos entre 1 y 100 Gauss como parte de los trabajos que se realizan junto con la Oficina Territorial de Normalización de Santiago de Cuba para el establecimiento en base a la Resonancia Magnética Nuclear del Patrón Nacional de Inducción Magnética de la República de Cuba.

Magnetic Characterization of a Helmholtz Coil for Using as a System for Generation of Low Magnetic Fields in Metrology

Fidel Gilart González
National Center for Applied Electromagnetism
Norberto Fleitas Salazar
Oficina Territorial de Normalización Santiago de Cuba

Abstract:

They are presented and analyzed the results of the experimental and theoretical characterization of a Helmholtz coil for using as a system for generation of low magnetic fields between 1 and 100 Gauss as part of the works that are carried out together with the Territorial Office of Normalization of Santiago de Cuba city for the establishment of the National Standard of Magnetic Induction of the Republic of Cuba on the basis of the Nuclear Magnetic Resonance.

INTRODUCCIÓN

La caracterización magnética de un par de bobinas de Helmholtz para su utilización como sistema de generación de campos magnéticos bajos, entre 1 y 100 Gauss, forma parte de los trabajos que se realizan junto con la Oficina Territorial de Normalización de Santiago de Cuba para el establecimiento en base a la Resonancia Magnética Nuclear del Patrón Nacional de Inducción Magnética de la República de Cuba.

Uno de los patrones primarios de inducción magnética (o también de intensidad de campo) más utilizado en metrología lo constituye un par de bobinas de Helmholtz construido con un devanado de una sola capa de alambre de cobre desnudo enrollado meticulosamente sobre una armazón cilíndrica hueca de cuarzo [1]. El valor de la constante del patrón (del par de bobinas de Helmholtz), es decir el valor de B o de H en el centro del par para una corriente de 1 A se establece mediante el cálculo en base a las dimensiones geométricas medidas de la bobina con un error de cerca de 0.001 %. Al transmitir el valor de esta magnitud (B) a los patrones secundarios el error de reproducibilidad de la magnitud B (o de H) aumenta ligeramente debido al error de medición de la corriente.

En calidad de medidas de B para los patrones secundarios se suelen utilizar imanes permanentes y bobinas de diversas formas y construcciones con devanados de una o de varias capas, por los que se hace circular una corriente de valor conocido. Según las condiciones de régimen térmico las bobinas sin material ferromagnético suelen ser construidas para crear campos como máximo de hasta alrededor de 1 T. Para producir campos más intensos se hace necesario utilizar métodos de enfriamiento especiales o utilizar electroimanes o imanes permanentes. Para la generación de campos muy intensos se usan siempre bobinas superconductoras. En cualquier caso la construcción de las bobinas debe ser tal que sea posible el acceso libre al espacio donde se crea el campo. El parámetro principal de la medida de B es su constante K_B , es decir, el valor de B en el centro del sistema de generación de campo para una corriente I en el devanado de 1 A. K_B debe ser estable en el tiempo, no depender de la intensidad permisible de la corriente I para la medida, tener un coeficiente térmico que no sea significativo y debe garantizar la homogeneidad requerida del campo en el volumen de trabajo dado. K_B se puede determinar del cálculo a partir de las dimensiones geométricas y del número de vueltas o

del experimento. La determinación experimental de K_B se reduce a la medición de la inducción B en el espacio de trabajo de la medida para determinado valor de la corriente.

En la práctica los sistemas de generación de campo magnético que mas se utilizan con objetivos metrológicos son los solenoides huecos cilíndricos largos, los pares de bobinas de Helmholtz, la combinación de varias bobinas cortas de sección transversal circular o rectangular colocadas a determinada distancia una de la otra, así como la combinación de bobinas con devanados enrollados sobre una armazón hueca que tiene forma de elipsoide de revolución. La utilización de uno u otro tipo de medida está dictada principalmente por las exigencias de la homogeneidad del campo, el valor máximo posible alcanzable de la inducción magnética y la comodidad para la experimentación en el espacio de trabajo de la medida.

GEOMETRÍA DEL PAR DE HELMHOLTZ Y CARACTERÍSTICAS DE SU DEVANADO

En la Fig. 1 se muestra una fotografía del par de Helmholtz empleado y un dibujo de este con las dimensiones mas relevantes las cuales fueron determinadas con un error no mayor que ± 0.1 mm. El devanado de las bobinas se encuentra enrollado sobre dos armazones cilíndricas cortas de plástico PVC fijadas entre sí mediante separadores de plexiglás y atornilladas ambas a una base de madera mediante presillas de aluminio. Cada bobina integrante del par tiene un enrollado de 240 vueltas de alambre de aluminio esmaltado distribuidas uniformemente en 14 capas. El diámetro del alambre con su aislante es de 2.00 ± 0.01 mm y sin este de 1.90 ± 0.01 mm. La resistencia eléctrica de cada enrollado a la corriente directa es de 1.8 Ohm.

CARACTERIZACIÓN MAGNÉTICA DEL PAR DE HELMHOLTZ

La caracterización magnética del par de Helmholtz se realizó experimental y teóricamente. Para las mediciones de la inducción magnética B se utilizó el Gaussímetro Lake Shore Modelo 410-HCAT con Número de Serie 42302, provisto del Sensor Modelo MST-410 con Número de Serie HA2580, el cual ha sido calibrado contra los patrones de Lake Shore Cryotronics Inc. con Certificado de Calibración No. 66073-2 con fecha de emisión 14 de

febrero del 2000. De acuerdo con las especificaciones del fabricante el gaussímetro LakeShore modelo 410 tiene una resolución de 0.1 Gauss en el rango de 200 Gauss, una exactitud en campos de CD de un 2 % de la lectura ± 0.1 % de escala completa a 25 ° C (incluyendo el instrumento, la punta de prueba y la transferencia de calibración. El rango de temperatura abarca desde 0 hasta 50 ° C.

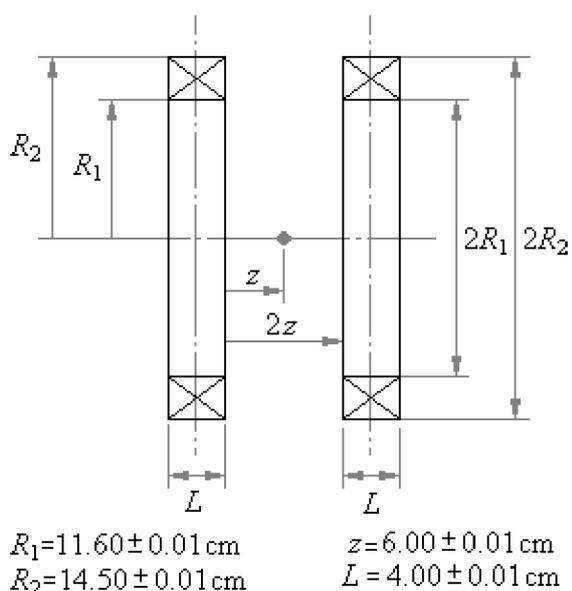


Fig. 1 Par de bobinas de Helmholtz con sus dimensiones mas relevantes y gaussímetro LakeShore modelo 410 provisto de su punta de prueba.

En la Tabla No. 1 se muestran los valores de B medidos en el centro del par a la temperatura ambiente de 25 ± 1 °C y una humedad relativa de 60 ± 1 % para corrientes directas a través del devanado comprendidas entre 0 y 9 ± 0.07 A.

Tabla No.1

I (A)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B_1 (Gauss)	0.1	13.8	28.8	43.2	58.1	72.8	87.5	101.9	117.1	132.0
	± 0.2	± 0.5	± 0.8	± 1.0	± 1.4	± 1.7	± 1.9	± 2.2	± 2.5	± 2.8

La temperatura y la humedad relativa ambientes fueron medidas utilizando un instrumento combinado de la marca Brooklyn mientras que la corriente fue medida utilizando un voltamperímetro de CD de procedencia soviética de la marca M2044. 04.1 y clase de precisión actual 0.5. Ambos instrumentos fueron revisados y calibrados previamente por la Oficina Territorial de Normalización de Santiago de Cuba.

En la Tabla No. 2 se dan los errores máximos cometidos al realizar la medición de la intensidad de la corriente haciendo uso del voltamperímetro M2044. 04.1, los cuales han sido expresados en por ciento (%) del valor leído I(A).

Tabla No. 2

I (A)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
± e (%)	0.75	0.75	0.50	0.95	0.75	0.63	0.54	0.94	0.83

La caracterización teórica del par se realizó utilizando la ecuación que da la inducción magnética en el centro de un par de bobinas de Helmholtz con devanados de varias capas obtenida a partir de la aplicación de la Ley de Biot-Savart-Laplace.

Para la inducción magnética en el eje de una corriente circular (ver Fig. 2) se obtiene:

$$B = \frac{\mu_0 I R^2}{2(z^2 + R^2)^{3/2}} \quad (1)$$

Un solenoide circular con N_1 vueltas apretadas en una sola capa es equivalente a un sistema de N_1 corrientes circulares de un mismo radio sobre un mismo eje. Tomemos un solenoide de radio R y longitud L sobre cuya unidad de longitud se distribuyen n vueltas y por el que circula una corriente I (ver Fig. 3).

El tramo del solenoide circular de longitud dl sobre el cual se distribuyen ndl vueltas se puede examinar como una corriente circular de magnitud $I ndl$. La inducción magnética dB de este campo en un punto p del eje es, usando (1)

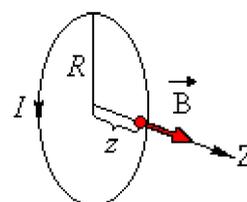


Fig. 2 Corriente circular

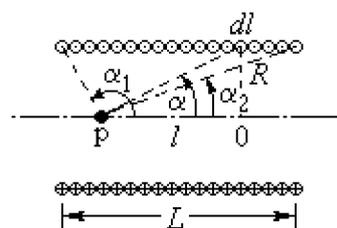


Fig. 3 Solenoide circular

$$dB = \frac{\mu_0 I n d l R^2}{2(l^2 + R^2)^{3/2}} \quad (2)$$

Integrando (2) y teniendo en cuenta que $n = N_1/L$ se obtiene

$$B = \frac{\mu_0 I N_1}{2L} (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$$

Resulta conveniente ubicar el origen de coordenadas 0 en un extremo del solenoide como se muestra en la Fig. 4 y expresar los cosenos de los ángulos α_1 y α_2 en función de la coordenada z y de las dimensiones L y R . En este caso la ecuación para la inducción magnética en el eje del solenoide circular queda de la siguiente manera:

$$B = \frac{\mu_0 N_1 I}{2L} \left[\frac{z+L}{\sqrt{(z+L)^2 + R^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right] \quad (3)$$

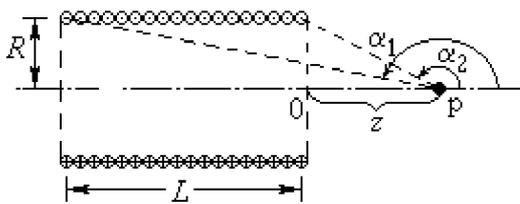


Fig. 4 Solenoide circular. Nuevo sistema de referencia

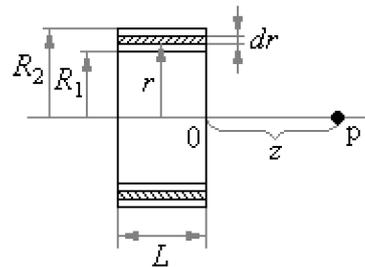


Fig. 5 Solenoide circular de varias capas

Un solenoide circular con varias capas apretadas con densidad $n = N_2/(R_2 - R_1)$ es equivalente a un sistema de N_2 solenoides circulares de un mismo largo L y diferentes radios r sobre un mismo eje. Consideremos uno de ellos de radio r , altura de capa dr y N_1 vueltas apretadas en lo largo de L (ver Fig. 5). La inducción magnética dB de su campo en un punto p del eje es, usando (3)

$$dB = \frac{\mu_0 N_1 I n d r}{2L} \left[\frac{z+L}{\sqrt{(z+L)^2 + R^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \right] \quad (4)$$

Integrando (4) entre $r = R_1$ y $r = R_2$ se obtiene para la inducción magnética B en el eje del solenoide circular de varias capas

$$B = \frac{\mu_0 N_1 N_2 I}{2L(R_2 - R_1)} \ln \frac{\left(\frac{R_2 + \sqrt{R_2^2 + (z+L)^2}}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + (z+L)^2}} \right)^{(z+L)}}{\left(\frac{R_2 + \sqrt{R_2^2 + z^2}}{R_1 + \sqrt{R_1^2 + z^2}} \right)^z} \quad (5)$$

La inducción magnética en el centro de un par de Helmholtz formado por bobinas de varias capas, como el usado en este trabajo, se puede obtener multiplicando por 2 el resultado obtenido al aplicar la ecuación (5). En este caso, usando los valores de las dimensiones mostrados en la Fig. 1 y teniendo en cuenta que para el par bajo estudio $N_1 N_2 = 240$, después de evaluar para $I = 0 \div 9 \pm 0.07$ A, se obtuvieron los valores para la inducción magnética en el centro del par mostrados en la Tabla No. 3.

Tabla No.3

I (A)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
B ₂ (Gauss)	0	14.3	28.7	42.9	57.2	71.5	85.8	100.1	114.4	128.7
		± 0.2	± 0.4	± 0.6	± 0.8	± 1.0	± 1.2	± 1.4	± 1.6	± 1.8

El valor de la constante del par de bobinas de Helmholtz, es decir el valor de K_B en el centro del par para una intensidad de la corriente $I = 1$ A, establecido mediante el cálculo en base a las dimensiones geométricas medidas de la bobina resultó ser igual a

$$K_B = 14.35 \pm 0.01 \text{ Gauss/A} \quad (6)$$

y tiene un error inferior a 0.1 %. Al transmitir el valor de B (o de H) a los patrones secundarios midiendo la intensidad de la corriente I con el voltamperímetro M2044. 04.1 el error de reproducibilidad de B (o de H) aumenta sin sobrepasar el 1.5 %. En este caso el valor de la constante K_B en el centro del par de Helmholtz para una intensidad de la corriente $I = 1 \pm 0.0075$ A resulta ser igual a

$$K_B = 14.3 \pm 0.2 \text{ Gauss/A} \quad (7)$$

como se muestra en la Tabla No 3. Se puede demostrar fácilmente comparando los resultados de la Tabla No 1 con el intervalo de valores para B establecido por la relación (7), que da la constante K_B en las condiciones experimentales, que los resultados de las mediciones de la inducción magnética en el centro del par haciendo uso del gaussímetro Lake Shore 410 se encuentran todos dentro de rango establecido por (7), es decir, se puede inferir que este instrumento mantiene aún válida su calibración.

CONCLUSIONES

Se caracterizó experimental y teóricamente un par de bobinas de Helmholtz para su uso como sistema de generación de campos magnéticos bajos entre 1 y 100 Gauss como parte de los trabajos que se realizan junto con la Oficina Territorial de Normalización de Santiago de Cuba para el establecimiento en base a la Resonancia Magnética Nuclear del Patrón Nacional de la República de Cuba.

REFERENCIAS

1. E. G. Shrankov. **Electric Measurements**. Ed. Visshaya Shkola. Moscow. 1972.

Determinación de las características de un imán permanente a partir de la medición de la inducción magnética sobre los polos en el eje

Fidel Gilart González
Centro Nacional de Electromagnetismo aplicado
e-mail: fgilart@cnea.uo.edu.cu

Resumen:

La medición del momento magnético con un flujómetro y un par de bobinas de Helmholtz es una vía conveniente para caracterizar imanes permanentes. Otros valores tales como la inducción magnética y la intensidad del campo en el punto de operación, la intensidad del campo coercitivo de inducción, la inducción magnética remanente y el máximo producto energético pueden ser derivados del valor del momento medido. Además del valor medido del momento magnético para los cálculos subsiguientes se requiere conocer la permeabilidad de regreso y el coeficiente de permeabilidad del imán bajo prueba. En este trabajo se expone un método que permite determinar todas las características anteriores para imanes cilíndricos, de barra rectangular y toroidales haciendo uso solamente de un gaussímetro para la medición de la inducción magnética sobre los polos en el eje del imán.

Determination of Permanent Magnet Characteristics from the Measurement of the Magnetic Induction on the Poles in the Axis

Fidel Gilart González
National Center for Applied Electromagnetism
e-mail: fgilart@cnea.uo.edu.cu

Abstract:

Measurement of magnetic moment with a fluxmeter and a Helmholtz coil is a convenient way to test permanent magnet materials. Other values such as operating magnetic induction and field strength, the strength of the induction coercive field, the remanent magnetic induction, and maximum energy product can be derived from the measured moment value. In addition to the measured magnetic moment value, recoil permeability and permeance coefficient values for the tested magnet are required for subsequent calculations. In this work a method is exposed that allows to determine all the previous characteristics for cylindrical, rectangular bar and toroidal magnets only making use of a gaussmeter for the measurement of the magnetic induction on the magnet poles in the axis.

Introducción

Los materiales modernos para imanes permanentes de alta coercitividad tienen una curva de desmagnetización con una relación prácticamente lineal entre B y H . Esto significa que ellos regresan al punto B_r si son insertados en un circuito magnético cerrado. El significado práctico de esto es que los imanes hechos con estos materiales pueden ser cargados antes de ser montados sin tener que pagar magnéticamente por ello. Esto es una suerte ya que los montajes grandes y muchos de los arreglos de imanes que se utilizan actualmente serían imposibles de magnetizar después de haber sido montados. Los dispositivos multipolares tales como separadores magnéticos, motores y acoplamientos de torque funcionan mejor si los imanes son casados sobre la base de los datos obtenidos de su medición.

Aunque todas las partes involucradas en la manufacturación de los imanes permanentes tienen interés en mantener las variaciones de los parámetros de estos dentro de los límites publicados sobre una base estadística, no nos debe sorprender que los parámetros varíen de un imán a otro y de un lote a otro también. Todo esto justifica la necesidad de la caracterización magnética de los imanes permanentes aún cuando se tengan a mano los parámetros suministrados por el fabricante.

Desarrollo

La medición del momento magnético con un flujómetro y un par de bobinas de Helmholtz es una vía conveniente para caracterizar imanes permanentes [1, 2, 3]. Otros valores tales como la inducción magnética y la intensidad del campo en el punto de operación, la intensidad del campo coercitivo de inducción, la inducción magnética remanente y el máximo producto energético pueden ser derivados del valor del momento medido. Además del valor medido del momento magnético para los cálculos subsiguientes se requiere conocer la permeabilidad de regreso y el coeficiente de permeabilidad del imán bajo prueba. Aunque el método no es tan preciso como cuando se mide con un histeresímetro, el proceso de medición es fácil, los valores obtenidos son útiles y fiables y el costo en equipamiento es sustancialmente menor. Sin embargo el costo en equipamiento se puede reducir aún más si en lugar del flujómetro y del par de bobinas de Helmholtz se utiliza tan solo un gaussímetro para la medición de la inducción magnética sobre los polos en el eje del imán. El método que expondremos a continuación permite obtener resultados prácticamente similares aunque se puede aplicar solo a la caracterización magnética de imanes permanentes de geometría sencilla como los cilíndricos, los de barra rectangular y los toroidales uniformemente magnetizados a lo largo de su eje.

Usando la Ley de Biot-Savart-Laplace que determina la contribución al campo magnético de un elemento de corriente es posible calcular la inducción magnética a lo largo del eje de un imán permanente de geometría sencilla. Lo único que se requiere conocer del imán son sus dimensiones y los valores de B y de H en el punto de operación de este. Esta aproximación equipara los imanes permanentes a solenoides o cintas de corriente que tienen la misma forma. Las ecuaciones así obtenidas constituyen herramientas de trabajo muy útiles para el diseño de dispositivos que usan imanes permanentes.

Para la inducción magnética en el eje de un imán cilíndrico uniformemente magnetizado (Fig. 1) se obtiene: [4]

$$B = \frac{(B_d - \mu_0 H_d)}{2} \left[\frac{z + l_m}{\sqrt{(z + l_m)^2 + r_m^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + r_m^2}} \right] \quad (1)$$

donde B_d y H_d son los valores de B y H en el punto de operación ($B_d \geq 0$, $H_d \leq 0$).

Evaluando la ecuación (1) para $z = 0$ se obtiene el valor de la inducción magnética sobre los polos en el eje:

$$B_p = \frac{(B_d - \mu_0 H_d)}{2} \frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + r_m^2}} \quad (2)$$

La ecuación de la recta de carga de un imán permanente se puede escribir como: [4]

$$\frac{B_d}{H_d} \equiv \mu_d = \mu_0 \frac{(N_H - 1)}{N_H} \quad (3)$$

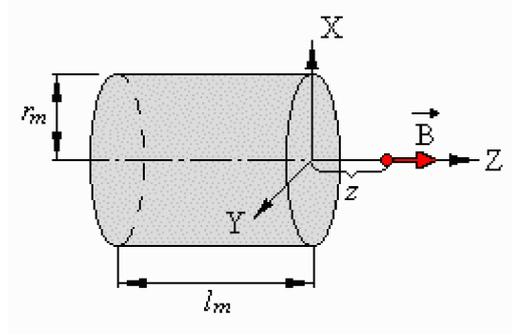


Fig. 1 Imán cilíndrico

donde N_H es el factor de desmagnetización del imán, el cual se puede determinar de sus dimensiones geométricas a partir de la relación de aspecto $\gamma = l_m/d_m$, por ejemplo utilizando curvas para el factor de desmagnetización balístico como las reportadas por Joseph en [5]. La pendiente de la recta de carga (3) es la permeabilidad magnética del punto de operación o coeficiente de permeabilidad del imán μ_d . El sistema formado por las ecuaciones (2) y (3) tiene como solución los siguientes valores para las coordenadas del punto de operación del imán cilíndrico:

$$B_d = 2B_p(1 - N_H) \sqrt{1 + \left(\frac{r_m}{l_m}\right)^2} \quad (4)$$

$$H_d = -\frac{2B_p N_H}{\mu_0} \sqrt{1 + \left(\frac{r_m}{l_m}\right)^2} \quad (5)$$

Para la inducción magnética en el eje de un imán de barra rectangular uniformemente magnetizado (Fig. 2) se obtiene: [4]

$$B = \frac{(B_d - \mu_0 H_d)}{\pi} \left[\left(\text{arsen} \frac{2b(z + l_m)}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4(z + l_m)^2 + a^2)}} + \text{arsen} \frac{2a(z + l_m)}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4(z + l_m)^2 + b^2)}} \right) - \left(\text{arsen} \frac{2bz}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4z^2 + a^2)}} + \text{arsen} \frac{2az}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4z^2 + b^2)}} \right) \right] \quad (6)$$

Al evaluar la ecuación (6) para $z = 0$ se obtiene para la inducción magnética sobre los polos del imán en el eje

$$B_p = \frac{(B_d - \mu_0 H_d)}{\pi} \left(\text{arsen} \frac{2bl_m}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4l_m^2 + a^2)}} + \text{arsen} \frac{2al_m}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4l_m^2 + b^2)}} \right) \quad (7)$$

El sistema formado por las ecuaciones (3) y (7) tiene como solución los siguientes valores para las coordenadas del punto de operación del imán de barra rectangular:

$$B_d = \frac{\pi B_p (1 - N_H)}{\text{arsen} \frac{2bl_m}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4l_m^2 + a^2)}} + \text{arsen} \frac{2al_m}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4l_m^2 + b^2)}}} \quad (8)$$

$$H_d = - \frac{\pi B_p N_H}{\mu_0 \left(\text{arsen} \frac{2bl_m}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4l_m^2 + a^2)}} + \text{arsen} \frac{2al_m}{\sqrt{(a^2 + b^2)(4l_m^2 + b^2)}} \right)} \quad (9)$$

Sustituyendo $b = a$ en (8) y (9) se obtienen las ecuaciones para las coordenadas del punto de operación de un imán de barra cuadrada:

$$B_d = \frac{\pi B_p (1 - N_H)}{2 \text{arsen} \frac{l_m \sqrt{2}}{\sqrt{4l_m^2 + a^2}}} \quad (10)$$

$$H_d = - \frac{\pi B_p N_H}{2 \mu_0 \text{arsen} \frac{l_m \sqrt{2}}{\sqrt{4l_m^2 + a^2}}} \quad (11)$$

Para el imán de barra rectangular o cuadrada la relación de aspecto γ se calcula utilizando el diámetro equivalente definido como:

$$d_m = \sqrt{\frac{4S_m}{\pi}} \quad (12)$$

donde S_m es el área de la sección transversal del imán perpendicular a su longitud l_m .

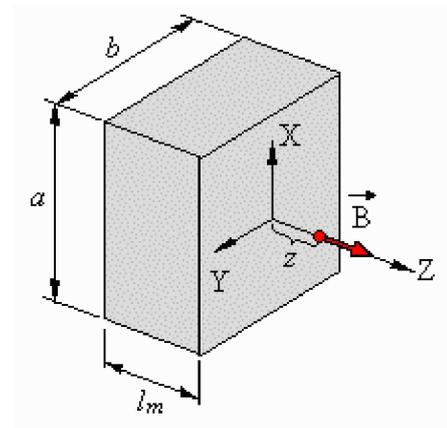


Fig. 2 Imán de barra rectangular

Para la inducción magnética en el eje de un imán toroidal uniformemente magnetizado (Fig. 3) se obtiene: [4]

$$B = \frac{(B_d - \mu_0 H_d)}{2} \left[\begin{array}{l} \left(\frac{z + l_m}{\sqrt{(z + l_m)^2 + r_m^2}} - \frac{z + l_m}{\sqrt{(z + l_m)^2 + R_m^2}} \right) \\ - \left(\frac{z}{\sqrt{z^2 + r_m^2}} - \frac{z}{\sqrt{z^2 + R_m^2}} \right) \end{array} \right] \quad (13)$$

Al evaluar la ecuación (13) para $z = 0$ se obtiene para la inducción magnética sobre los polos del imán en el eje

$$B_p = \frac{(B_d - \mu_0 H_d)}{2} \left(\frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + r_m^2}} - \frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + R_m^2}} \right) \quad (14)$$

El sistema formado por las ecuaciones (3) y (14) tiene como solución los siguientes valores para las coordenadas del punto de operación del imán toroidal:

$$B_d = \frac{2B_p(1 - N_H)}{\frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + r_m^2}} - \frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + R_m^2}}} \quad (15)$$

$$H_d = - \frac{2B_p N_H}{\mu_0 \left(\frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + r_m^2}} - \frac{l_m}{\sqrt{l_m^2 + R_m^2}} \right)} \quad (16)$$

Para el imán toroidal la relación de aspecto γ se calcula también haciendo uso de la ecuación (12) para el diámetro equivalente.

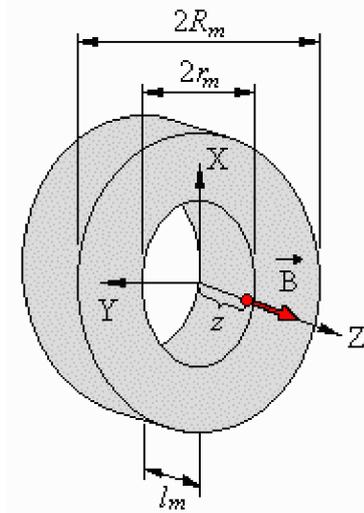


Fig. 3 Imán toroidal

Los imanes cerámicos y de tierras raras tienen curvas de desmagnetización (B, H) con un tramo aproximadamente recto por encima del codo (Fig. 4). Si el punto de operación se encuentra en esa región, como de costumbre, la permeabilidad magnética de regreso μ_r se puede calcular a partir de la relación

$$\mu_r = \frac{B_r - B_d}{-H_d} \quad (17)$$

De (17) se puede determinar la inducción magnética remanente del material del imán conociendo las coordenadas del punto de operación (B_d , H_d) de este y la permeabilidad magnética de regreso, es decir

$$B_r = B_d - \mu_r H_d \quad (18)$$

Si la curva de desmagnetización (B , H) del material del imán tiene un codo despreciable, como en la Fig. 4, entonces ella se puede aproximar con suficiente exactitud mediante una línea recta. En este caso la intensidad del campo coercitivo de inducción H_{CB} se puede determinar usando la relación

$$H_{CB} \approx \frac{B_r}{\mu_r} \quad (19)$$

Multiplicando por B_d ambos miembros en la ecuación (18) se obtiene para el producto $B_d H_d$ la expresión:

$$-B_d H_d = \frac{B_r B_d - B_d^2}{\mu_r} \quad (20)$$

Derivando (20) con relación a B_d e igualando a cero el resultado se obtiene que para este tipo de material el producto $B_d H_d$ es máximo cuando

$$B_d = \frac{B_r}{2} \quad (21)$$

Sustituyendo (21) en (20) se obtiene para el máximo producto energético la expresión:

$$(-B_d H_d)_{\max} = \frac{B_r^2}{4\mu_r} \quad (22)$$

Todos los parámetros del imán han sido derivados de la inducción magnética B_p medida sobre los polos, en el eje, usando las dimensiones geométricas y el factor de desmagnetización N_H del imán (o bien el coeficiente de permeabilidad μ_d) y la permeabilidad de regreso μ_r del material. El factor de desmagnetización o el coeficiente de permeabilidad se determina, como es usual, mediante el cálculo a partir de la geometría del imán. La permeabilidad de regreso se encuentra en los datos publicados por el fabricante del material. El coeficiente de permeabilidad μ_d se puede determinar también haciendo uso de la siguiente relación: [3]

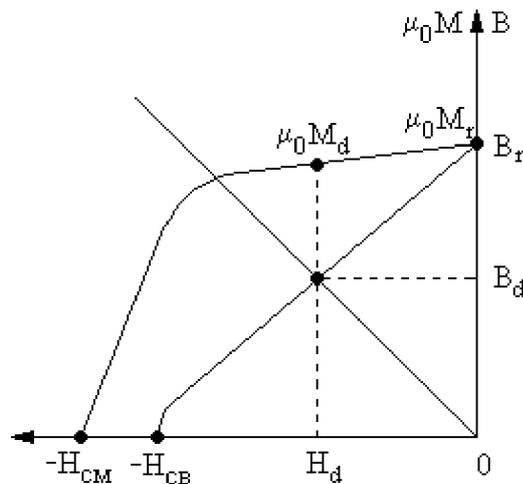


Fig. 4 Curvas de desmagnetización (B , H) y ($\mu_0 M$, H) características de los imanes de alta coercitividad

$$\mu_d = -\mu_0 \frac{kl_m}{S_m} \sqrt{\frac{\pi S}{2}} \quad (23)$$

donde $k = 1$ para los imanes cerámicos y los de tierras raras (imanes de alta coercitividad) y $k = 0.7$ para los imanes de la aleación Alnico. S es el área de la superficie del imán.

Los parámetros magnéticos que determinan las coordenadas (B, H) del punto de operación, es decir B_d y H_d , calculados a partir del método del gaussímetro propuesto aquí, tienen una exactitud aceptable y son reproducibles cuando la inducción magnética B_p sobre los polos, en el eje, se determina promediando las mediciones realizadas con el gaussímetro sobre los dos polos del imán. Los parámetros magnéticos determinados haciendo uso de las ecuaciones (18), (19) y (22) pueden tener una exactitud aceptable y ser reproducibles solo cuando el imán ha sido cargado hasta la saturación y el punto de operación se encuentra por encima del codo de la curva de desmagnetización (B, H). La intensidad del campo coercitivo de inducción (19) requiere además que la curva de desmagnetización (B, H) del material tenga un codo despreciable. Los parámetros obtenidos con el método del gaussímetro, lo mismo que los obtenidos con el método del par de bobinas de Helmholtz y el flujómetro, pueden ser más reproducibles que los obtenidos con un permeámetro debido a la formación en este de pequeños entrehierros de aire entre las piezas polares y los extremos de la muestra. A pesar de estar limitado solo a la caracterización de imanes de geometría sencilla suponiendo además que estos están uniformemente magnetizados y que el método no es tan preciso como cuando se mide con un histeresímetro, el proceso de medición es fácil, los valores obtenidos son útiles y fiables y el costo en equipamiento es sustancialmente menor, incluso inferior al del método del flujómetro y el par de bobinas de Helmholtz ampliamente utilizado.

Conclusiones

La caracterización magnética de imanes permanentes de geometría sencilla a partir de la medición de la inducción magnética sobre los polos, en el eje, haciendo uso de un gaussímetro como único equipo de medición, es una vía conveniente de bajo costo para garantizar un desempeño consecuente y balanceado de los imanes.

Referencias

1. Rollin J. Parker. **Permanent Magnet Guidelines**. Magnetic Material Producers Association. Chicago. Illinois. December 1998.
2. **Measuring Permanent Magnet Characteristics with a Fluxmeter and Helmholtz Coil**. Application Note. Lake Shore Cryotronics, Inc., October 2000.
3. Richard E. Stelter. **Low Cost Method For Magnet Testing**. Technology Information. Dexter Magnetic Technologies. June 1993.
4. F. Gilart. **Los Imanes Permanentes y su Punto de Operación**. Monografía. CNEA. Santiago de Cuba. 2005.
5. R. I. Joseph. J. Applied Physics. 37: 4639. 1966.

Diseño Experimental de la Instalación de Campos Bajos del Patrón Nacional de Inducción Magnética de la República de Cuba

Alcibíades Lara Lafargue^{1,3}, Norberto Fleitas Salazar², José. A. Tabares. Matos², Miriam Marañon Cardonne³, José Castillo Bonne³, Fidel Gilart González³

1 Dpto. de Física. Universidad de Oriente.

2 Oficina Territorial de Normalización

3 Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado

Resumen

Los campos magnéticos bajos, desde ordenes superiores al menos 10 veces el campo magnético terrestre 0.45 Gauss ($45\mu\text{Tesla}$) a 300 Gauss (0.03Tesla), son el objeto de esta etapa de trabajo, la cual tiene como papel fundamental garantizar la conservación y transmisión de la unidad de medida con trazabilidad a otros patrones nacionales e internacionales de tiempo y frecuencia ó de corriente eléctrica. El objetivo de este trabajo fue determinar el equipamiento necesario y definir la trazabilidad así como los métodos y procedimientos de medición del Patrón Nacional de Inducción Magnética de la República de Cuba en Campos Bajos. El resultado es el diseño experimental de dicha instalación que permitirá garantizar la calidad de las mediciones magnéticas en el territorio nacional.

Valoración de los errores en la medición del tiempo de relajación espin-retículo en el Relaxómetro Universal Giromag® 02.

Fernández García Adolfo, Lores Guevara Manuel, Fontela Cabrales Yuniór y Cabal Mirabal Carlos.

Centro de Biofísica Médica. Universidad de Oriente.

Resumen:

El empleo de los valores absolutos del tiempo de relajación espin-retículo (T1) en la medicina y otras ramas tecnológicas como la geología y la producción de cementos es una realidad. Es por ello que resulta imprescindible determinar las posibles fuentes de errores en las mediciones de dicho parámetro. En este trabajo se evalúa teórica y experimentalmente las fuentes de errores en la medición del T1 en el Relaxómetro Universal Giromag® 02 y se presenta metodológicamente cómo se puede realizar dichas evaluaciones. Se encontraron las condiciones experimentales y de cálculo que garantizan que el error sistemático no sea mayor del 5% reportado para dicha técnica.

Palabras claves: Tiempo de relajación espin-retículo, ancho de pulso, homogeneidad, relajación.

Título:

Análisis de Dispersión Lateral en una Guía de Onda de Placas Planas Paralelas usando el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo

Área Temática:

1._ Campo Electromagnético en la Industria

Autores:

M. en C. Alberto Manuel Benavides Cruz. (contacto)
Universidad Veracruzana
Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones
México
email: abenavides@gmail.com; abenavides@uv.mx

Ing. Celia María Calderón Ramón
Universidad Veracruzana
Facultad de Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones
México
email: celiacalderon@gmail.com

Dr. Jorge R. Sosa Pedroza
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Politécnico Nacional
email: jsosa@ipn.mx
México

Dr. Mauro Enciso Aguilar
Sección de Estudios de Posgrado e Investigación
Instituto Politécnico Nacional
email: menciso@ipn.mx
México

RESUMEN

En este trabajo se utiliza el electromagnetismo computacional para analizar la dispersión lateral en una guía de onda de placas planas paralelas, alimentadas por un monopolo, empleando el método de diferencias finitas en el dominio del tiempo (DFDT). Puesto que no hay una referencia práctica para el diseño cuando existe un radiador entre las placas, el objetivo consiste entonces en determinar la razón de forma óptima que confine la mayor cantidad de energía dentro de la guía.

Para realizar la simulación, se implementa en código Fortran una región de cálculo tridimensional determinada por un escalonado espacio-temporal dado por las condiciones de estabilidad numéricas y se resuelven las ecuaciones de Maxwell expresadas en diferencia finita central; en esta misma región de cálculo se representa la guía de placas paralelas discretizada en celdas cúbicas regulares así como las fuentes numéricas y las condiciones de frontera de absorción, que son las que delimitan la región de cálculo y absorben las ondas numéricas incidentes, evitando que existan reflexiones indeseables.

Se obtienen resultados para una guía de placas planas paralelas operando en el modo fundamental, a una frecuencia de 6 GHz, con una separación de placas de 1cm, 2 cm y 3 cm. En cada caso se obtienen los componentes rectangulares de cada campo y se muestran gráficamente los campos electromagnéticos presentes, así como también los patrones de dispersión correspondientes.

**ESTUDIO DEL CIRCUITO MAGNETICO EN MAGNETIZADORES PARA COMBUSTIBLE
UTILIZANDO EL METODO DE ELEMENTOS FINITOS EN 2D**

**Douglas Deás Yero, Aristides Berenguer Maurant, Monica Berenguer Ungaro,
José Joaquín Tristán Moncada, ¹Oslirio Martínez**

Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA,)-UO, ¹CCE, Pinar del Río.

Resumen: En este trabajo se realiza un estudio de las diferentes configuraciones de campo posible en el circuito magnético de los magnetizadores para combustible desarrollados en el CCE de Pinar del Río. Estos equipos emplean imanes permanentes de Neodimio-Hierro-Boro de alto campo con el objetivo tratar magnéticamente el combustible en los motores diesel de los ómnibus Yutong y en camiones. Dadas las características de estos motores se hace necesario la instalación de magnetizadores sobre tuberías ferromagnéticas y diamagnéticas lo cual conlleva a un estudio para analizar el efecto que sobre los niveles de campo magnético ejercen las características de los materiales empleados y las diferentes configuraciones posibles. Este estudio se realiza empleando la técnica de elementos finitos en dos dimensiones (MEF-2D) obteniéndose las cartas de campo y las curvas de inducción magnética para cada modelo propuesto permitiendo así realizar un análisis comparativo y obtener las condiciones óptimas necesarias para un tratamiento efectivo.

Titulo: Analysis of magnetic interactions in ordered Fe nanowire arrays
Autores: E.P. Hernández*, S.M. Rezende*, D.R. Cornejo**, A. Azevedo*.

*Departamento de Física Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

**Instituto de Física USP, São Paulo, Brasil

Summary

Patterned nanowire structures have recently been intensively studied due their potential application in high density recording media and microelectromechanical systems¹. One simple and inexpensive method to obtain self-organized array of nanowires is using anodized alumina membranes as templates. These templates can be homogeneously filled with magnetic elements such as Fe using a well controlled electrodeposition process. In the last years, first-order reversal curves (FORC) analysis has been proposed as an efficient phenomenological method for the characterization of interactions in diverse ferromagnetic systems². In this work, was applied the FORC analysis in order to studying the magnetizing-demagnetizing processes of self-assembled Fe nanowire structures. The FORC distributions were experimentally obtained for samples of ordered Fe nanowire arrays with different aspect ratio and, consequently, different intensity of magnetic interactions. Incorporating the reversible magnetization component and using a typical moving Preisach model, a qualitative physical interpretation of the information contains in the FORC diagrams was carried out.

Keywords: nanowires, FORC diagrams, Preisach model, magnetic interactions

Apellidos=Padron Hernández

Nombre=Eduardo

Dirección=Rua Carlos Pereira Falcão 743. Apto 802

Ciudad=Recife-Pe

Pais=Brasil

Código=51021-350

Teléfono=55-81-34663149

Email=ephp4@yahoo.com

Poster=Si

Título:

“Análisis de las interferencias electromagnéticas de un láser de nitrógeno.”

*Francisco Javier Díaz Santos
fdiazs@ipn.mx

Roberto Linares Y Miranda
rlinaresy@ipn.mx
Instituto Politécnico Nacional

Área Temática:

1 Campo Electromagnético en la Industria.

- **Compatibilidad Electromagnética.**

4 Campo Electromagnético y Medio Ambiente.

- **Contaminación Electromagnética**

Resumen:

Un láser de nitrógeno de configuración Blumlein es una fuente de interferencias no intencionales para el medio donde se utiliza, debido a que su mecanismo de excitación se realiza por medio de descargas eléctricas de alta tensión (kV) y corta duración (ns), utilizando un interruptor de chispa (Spark Gap), además de la descarga que ocurre dentro de la cámara del láser a través de electrodos transversales.

Los pulsos generados por las descargas para producir la radiación láser, son de alta energía y se propagan de forma radiada y conducida, los cuales pueden dañar o modificar el comportamiento de aparatos, instrumentos o dispositivos cercanos al láser.

En este trabajo se presenta un análisis en el dominio del tiempo y de la frecuencia de las interferencias electromagnéticas (EMI) conducidas y radiadas, que genera el láser de nitrógeno de configuración Blumlein. Las mediciones que se presentan son In-Situ, considerando el medio de propagación (paredes del laboratorio, etc.); con el objetivo de proponer técnicas de blindaje y filtros para mitigar las EMI de este tipo de láseres, para que cumplan la norma internacional del CISPR 11 en la cual se contemplan equipos de este tipo.

Área Temática: Compatibilidad Electromagnética.

COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA DE BALASTROS
ELECTRÓNICOS.

Dr. Roberto Linares y Miranda y Gustavo Garcia Rivero (Contacto)

IPN SEPI-ESIME

(rlinaresy@ipn.mx, gustgar7810@hotmail.com)

La utilización de balastros electrónicos con lámparas de descarga de alta intensidad en la iluminación de áreas abiertas, recintos amplios y áreas públicas; ha tenido mucha aceptación por los beneficios y ventajas sobre los balastros electromagnéticos, sin embargo; se tiene la problemática de su compatibilidad electromagnética, ya que en su funcionamiento utiliza una señal pulsante del orden de KVolts y frecuencias del orden de KHz; con esto, los armónicos provoca emisiones radiadas y conducidas, afectando a otros aparatos y sistemas.

Actualmente no se tiene alguna norma específica para este tipo de balastros, debido a su reciente incorporación a la industria.

En este trabajo; se realiza un estudio de la compatibilidad electromagnética de balastros electrónicos que se tienen en México, con el objetivo de mostrar la problemática y aportar información para la realización de normas.

Con las mediciones obtenidas hasta el momento; se ha observado interferencias por emisiones radiadas con un nivel alto en el rango de frecuencias de 30MHz-300MHz, afectando a los servicios de Radio difusión y televisión abierta principalmente, esta interferencias se pudo confirmar colocando un receptor de audio y televisión a 3mts del balastro.

Las mediciones se realizan en una cámara semi-anecoica y en lugares de aplicación de los balastros; para el rango de frecuencias de 30MHz-300MHz se utilizó una antena biónica y un receptor de ruido (EMI). Los métodos de medición y límites están basados en las normas CISPR 15 y CISPR 11, que son normas generales.

SPATIAL DIVERSITY ANALYSIS IN MULTIPATH ENVIRONMENTS FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS

S. Ricardo Meneses G., Roberto Linares y M.
Instituto Politécnico Nacional

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Campus Zacatenco
U.P.A.L.M. Edif. Z, Acc 3, 3er. Piso, Col. Lindavista, C. P. 07738, México, D. F.
rmeneseg@ipn.mx, rlinaresy@ipn.mx

AREA TEMATICA

1 Campo Electromagnético en la Industria: Compatibilidad Electromagnética

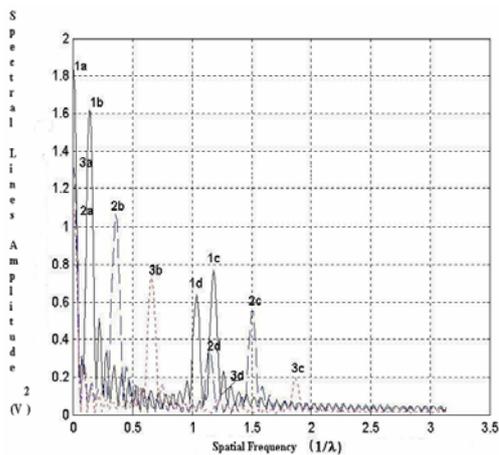
ABSTRACT

This work describes the spatial diversity estimation in multipath electromagnetic environment using an antenna with two elements, a loop antenna and a capacitor. The angle of arrival (AOA) of the electromagnetic signals to the antenna and the correlation coefficients are used, in order to compute the spatial diversity. The AOA's to the antenna, allow us to identify the electromagnetic field components, and the dominant component, to find the best receiving conditions for the wireless communication systems.

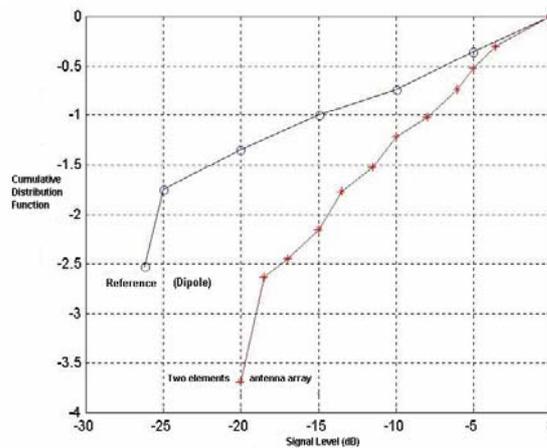
Experimentation and results

The experimental tests were made using a dipole antenna in an opened area on asphalt (zero conductivity and dielectric constant equal 2.68). The distance between the transmitting antenna and the receiving antenna was 6 meters, at 475 MHz. The reflecting surface was an aluminum plane of 3.40 x 1.20 meters, placed behind the receiving antenna.

The antennas were separated 0.16 meters or $1/4 \lambda$ from the asphalt, taking into account the Fresnel Theory in order to minimize the reflections at the horizontal plane. The measurements were made using a spectrum analyzer with an incident angle range of $\alpha = -\pi/2$ to $+\pi/2$, and an inclination angle $\theta = 0^0$, the signal polarization angle range $\Psi = -\pi$ to $+\pi$, and the distance receiving plane - antenna in the range $d = 0.1$ m to 0.75 m.



Spatial Spectrum



Cumulative Distribution Function

Titulo: "Diseño de una cama magnética imanes permanentes".

Autores: Leonardo Mesa Torres, Luis¹ Bergues Cabrales, Miriam¹ Marañon Cardone, Sergio² Sánchez, Orlando³ Calderin Medina.

Resumen:

Unas de las aplicaciones del campo electromagnético en la medicina es el tratamiento de diferentes patologías. El objetivo general de este trabajo es realizar el diseño , evaluación y simulación de diferentes variantes de estimuladores magnéticos regionales; para finalmente proponer la que demuestre ser la mas valiosa, comercializable y versátil desde el punto de vista de diseño mecánico para tratar diversas patologías, en diferentes posiciones del sistema magnético. Se realizó el cálculo de diferentes configuraciones de sistema magnético a imanes permanentes y de tres variantes de diseño mecánico en diferentes posiciones. A partir de los resultados se seleccionó la variante de diseño mecánico de accionamiento hidráulico porque permite el desplazamiento del sistema magnético a la distancia que desee el usuario sin afectar la homogeneidad del campo magnético. Se concluye que este diseño es versátil, adecuado y factible para la construcción de la primera cama magnética a imanes permanentes.

PREDICCIÓN DE EMISIONES RADIADAS DE LA TECNOLOGÍA BPL.

A. Rangel Merino, R. Linares y Miranda, J. L. López Bonilla

Sección de Estudios de Posgrado (SEPI),

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME),

Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Unidad Profesional “Adolfo López Mateos”, Av. IPN, Col. Lindavista, Edif. Z

Resumen.

El reciente despliegue de la tecnología de comunicación de banda ancha que utiliza como medio de comunicación las líneas de distribución de energía eléctrica (BPL), ha provocado airadas protestas principalmente de las asociaciones de radio-aficionados, el argumento de estos grupos es que las radiaciones de las líneas interfieren con su banda. Hasta el momento no existe un método sencillo y confiable con el cual se puedan evaluar las emisiones en la zona de campo lejano de las líneas de energía operando con BPL. Este documento propone un método para evaluar las emisiones de campo lejano a partir de mediciones de campo cercano. El método se basa en el registro de emisiones en un contorno bien definido dentro del volumen de la zona de campo cercano, con ellas y las expresiones generales de campo para dipolos elementales se construye un modelo que reproduce punto a punto las medidas previas. Si el modelo que consiste de un conjunto de dipolos elementales genera, por el teorema de superposición, el mismo patrón de radiación en la zona de campo cercano entonces con el mismo modelo es posible calcular las emisiones de campo lejano, incluyendo las condiciones de óptica geométrica y de onda-superficial de Norton para mayor exactitud. Sin embargo, para llegar a este modelo, es necesario resolver el problema electromagnético inverso en un espacio multidimensional altamente no lineal, por lo que se recurre a la utilización de la técnica numérica conocida como algoritmo genético.

E-mail: arangelm@ipn.mx, rlinaresy@ipn.mx

Estudio de la propagación electromagnética en medios guiados no homogéneos mediante el Método de las Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo.

José Ricardo García-Olivo, Mauro Enciso-Aguilar, José López-Bonilla,
Marco Acevedo-Mosqueda, Jorge Sosa-Pedroza

Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Sección de Estudios de Posgrado e Investigación.

Unidad Profesional "Adolfo López Mateos" Edif. Z-4 3er Piso, Laboratorio de Radiocomunicaciones, Gustavo A. Madero, CP 07738,
México, D.F.

e-mail:mencisoa@ipn.mx

Resumen

El estudio de la propagación en medios guiados no homogéneos de ondas electromagnéticas mediante el método de las diferencias finitas en el dominio del tiempo (MDFDT) permite apreciar de manera clara, entre otras cosas, los efectos de la propagación asociados a los cambios en las propiedades materiales del medio. Estudiamos algunos casos de guías de onda estratificadas alimentadas con radiadores directivos, en las cuales se propaga una onda plana y se busca el máximo confinamiento de la señal para lograr su transmisión íntegra. Las ecuaciones de Maxwell que gobiernan la propagación son discretizadas para aplicar el MDFDT, considerando las condiciones de estabilidad necesarias tanto en espacio como en el tiempo. Este problema también plantea el uso de condiciones de frontera de absorción para limitar el área de análisis; de esta forma proponen distintas formas de guía. De manera general, se plantea el análisis por el MDFDT como un método explícito para analizar fenómenos electromagnéticos en medios no homogéneos y de formas irregulares. Este análisis se podría utilizar en la resolución de problemas de interacción electromagnéticas con materiales de distinta índole, como por ejemplo con materiales orgánicos para aplicaciones médicas.

CAMPO DE RADIACIÓN DE UNA GUÍA DE ONDA RANURADA USANDO EL MDFDT

JORGE SOSA, MANUEL BENAVIDES, JAFETH A. ALONSO

Una guía de onda rectangular es un conductor hueco en el que se propaga una onda EM, la distribución de campo en la guía se obtiene de la solución de las ecuaciones de Maxwell, aplicando condiciones de frontera en las paredes. Las ranuras en guías de onda se han usado desde hace tiempo como antenas ya que parte de la energía en el interior es radiada hacia fuera de las paredes, pero en el interior de la guía existe una modificación del campo por la discontinuidad que representa la ranura.

Este trabajo muestra las características de radiación de una guía de onda ranurada, que soporta un modo de propagación transversal eléctrico TE_{10} , usando el Método de Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (MDFDT).

El MDFDT implica la solución de las Ecuaciones de Maxwell dentro de la guía, convirtiendo las ecuaciones diferenciales en ecuaciones de diferencias, resolviéndolas por procedimientos computacionales. El método simplifica el análisis, en comparación con el procedimiento analítico, ya que éste implica la formación de campos multimodales para satisfacer las nuevas condiciones de frontera en la pared ranurada.

Los resultados que se presentan se refieren a la aplicación del MDFDT en una guía de onda con una ranura en la pared superior, que opera a una frecuencia de operación de 6 Ghz., alimentando la guía por medio de un monopolo de un cuarto de longitud de onda y determinando el campo en diferentes posiciones sobre las paredes de la guía.