

Sensor magnético de dos ejes usando un soporte piezoeléctrico

J. L. PRIETO, C. AROCA, M. C. SÁNCHEZ, E. LÓPEZ, P. SANCHEZ*

Dep.Física de Materiales, Fac. CC.Físicas, U.C.Madrid. 28040-Avda. Complutense S/N

* Dep. Física Aplicada. E.T.S.Ing.Telecomunicación U.P.M. 28040-Avda. Complutense S/N.

Se ha desarrollado un magnetómetro de dos ejes basado en una nueva tecnología que consiste en superponer un material amorfo ferromagnético sobre un soporte piezoeléctrico. Ambos materiales tienen forma de disco y están unidos con un fluido viscoso. Con este tipo de sensores se pretende superar las deficiencias de los "fluxgate" tipo toroidal así como dar una mayor facilidad a la estandarización en la fabricación de estos sensores.

Palabras clave: Magnetómetro de dos ejes.

Two-axis magnetic sensor using a piezoelectric support

We have developed a two axis magnetometer based in the new technology of superimposing a ferromagnetic amorphous material over a piezoelectric support. Both materials are disc shaped and are assembled with a viscous fluid. This kind of sensors try to overcome the deficiencies of the ring core fluxgate magnetometers and at the same time to open the possibility of standarization in the manufacture.

Kye words: Two axis magnetometer.

1. INTRODUCCION

Recientemente han aparecido en el mercado y en la literatura científica dispositivos para la medida de parámetros magnéticos que basan su funcionamiento en la utilización de materiales piezoeléctricos como transductores o como soportes. Algunos ejemplos pueden ser: el magnetómetro de lengüeta vibrante (1), sensor de flujo de pérdidas (2) y los sensores de campo magnético (3-4). Estos dispositivos aprovechan la alta sensibilidad de los materiales ferroeléctricos a las tensiones inducidas por algún agente externo (en estos casos el campo magnético o el material magnético bajo su influencia).

En concreto los sensores de campo magnético con soporte piezoeléctrico basan su funcionamiento en la propiedad magnética llamada magnetostricción (cambio de tamaño en presencia de un campo magnético externo). Cuando un material ferromagnético está sujeto a uno piezoeléctrico, cualquier cambio de tamaño que se produzca en el primero será convertido en una señal eléctrica en el segundo. Así, la presencia de un campo magnético externo puede ser traducida y leída como señal eléctrica.

Se pueden presentar dos modos de operación:

1. El campo magnético produce cambios de tamaño en el material ferromagnético que son transmitidos al piezoeléctrico.

2. El piezoeléctrico induce cambios de tamaño en el ferromagnético y estos en presencia de un campo magnético externo producen en un secundario una f.e.m. de la misma frecuencia que la de excitación piezoeléctrica y de amplitud modulada por la amplitud del campo magnético a medir.

Evidentemente, el punto óptimo de trabajo para obtener la máxima sensibilidad en los dos modos de operación es la resonancia principal del soporte piezoeléctrico (longitudinal en el caso de una barra o radial en el caso de disco). El modo de trabajo más estudiado hasta el momento es el segundo, encontrándose una completa revisión en (5). En este trabajo se ha optado por el segundo modo de operación.

Por otro lado, el desarrollo de sensores de dos ejes tiene mucho interés ya que sólo necesita un único módulo de circuitería para su funcionamiento. Tradicionalmente el más utilizado es el *fluxgate* en forma toroidal (6-7). Este sensor presenta las ventajas de los *fluxgate* lineales (amplio rango dinámico, gran estabilidad y poca potencia consumida), pero necesita de una gran uniformidad en el diámetro del núcleo a lo largo de todo el anillo y en las espiras del primario. Además el factor desimanador (que controla la sensibilidad del dispositivo) es una función de la razón entre los diámetros del anillo y de su sección, por tanto, para obtener una gran sensibilidad es necesario tener unas dimensiones muy poco manejables.

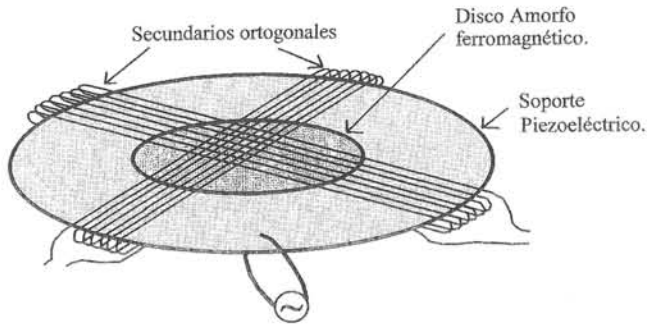


Fig. 1: Representación esquemática del núcleo sensor magnético de dos ejes con soporte piezoeléctrico.

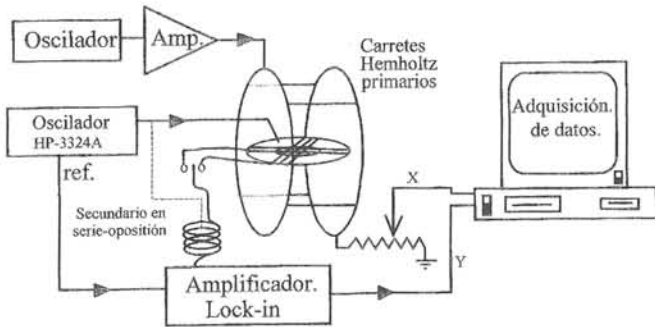


Fig. 2: Montaje completo para la medida de las curvas de la figura 3.

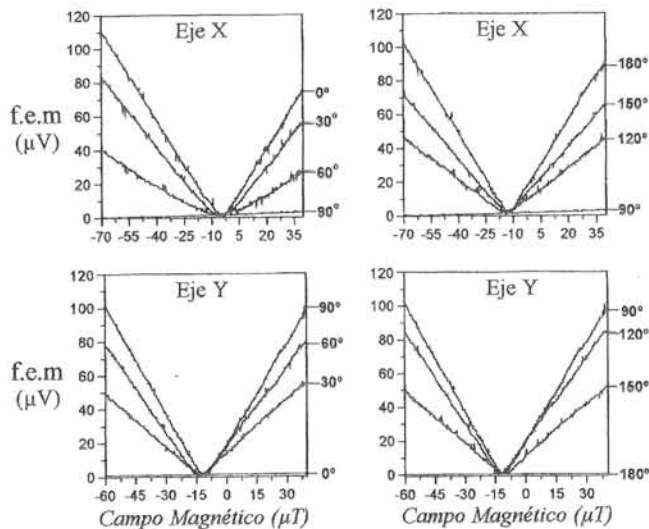


Fig. 3: Curvas de respuesta del sensor para dos ejes ortogonales cuando el campo magnético externo está girando respecto al eje llamado x un ángulo que se representa en el lado derecho de cada gráfica.

Para salvar las carencias de los fluxgate en forma de anillo y aprovechar las ventajas de la actual tecnología de sensores híbridos piezoeléctrico-ferromagnético, hemos desarrollado un nuevo tipo de sensor magnético de dos ejes que une las ventajas de las dos tecnologías.

2. PRINCIPIOS DE OPERACION

El esquema del núcleo sensor está dibujado en la figura 1. El soporte piezoeléctrico es un PZT en forma de disco con 4 cm. de

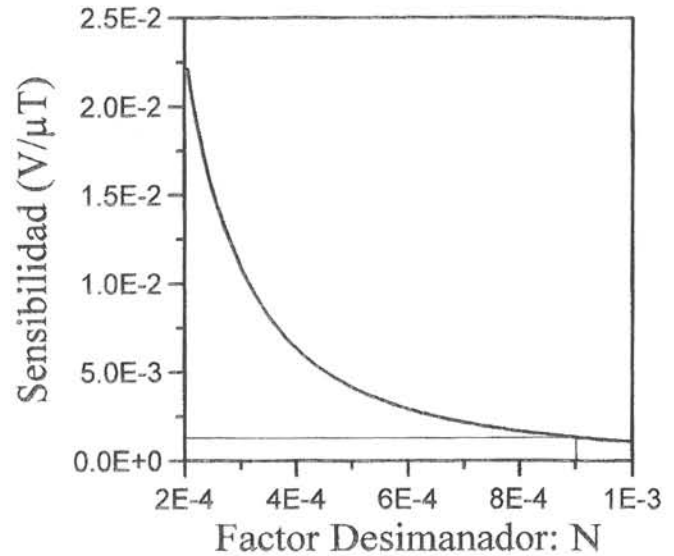


Fig. 4: Sensibilidad del dispositivo frente al factor desimanador. La línea delgada indica nuestro punto de trabajo.

diámetro por 0.36 cm de espesor (suministrado por la American Piezo Ceramics) y el amorfo ferromagnético es otro disco de 2 cm. de diámetro por 20 μm espesor, cortado sin tensiones mecánicas de una cinta de 2605-SC (constante de magnetostricción $\lambda_s=30 \cdot 10^{-6}$) y recocido de manera que el eje de anisotropía sea perpendicular al plano de la muestra. El ferromagnético está pegado con una delgada capa de bálsamo de Canadá al disco piezoeléctrico. Este es un pegamento viscoso que no induce tensiones mecánicas y que transmite las vibraciones piezoeléctricas a la frecuencia de resonancia (62.08 kHz). Arrollados alrededor de este núcleo están dos secundarios ortogonales entre sí de 400 vueltas cada uno.

Un problema a tener en cuenta en este tipo de sensores es el acoplo capacitivo entre la señal de excitación piezoeléctrica y los secundarios. Este acoplo produce un ruido a la frecuencia de resonancia, que es la frecuencia de medida, y por tanto no se puede discriminar de la señal magnética real en el lock-in. Para minimizar este problema se han tomado dos medidas: la primera consiste en aislar con una doble capa metálica, conectada a tierra, el núcleo sensor de los secundarios y la segunda es poner otro secundario en serie oposición con el secundario de medida, con una fuente de ruido a la misma frecuencia de trabajo en su interior, de manera que se cancelen todas las señales salvo la propiamente magnética. Todo el sistema de detección está expuesto en la figura 2.

Las curvas de respuesta del sensor se muestran en la figura 3. En ella se puede apreciar la medida de la sensibilidad del sensor para dos ejes ortogonales (llamados x e y) cuando el campo externo aplicado está girando con respecto al eje perpendicular al secundario de medida un ángulo que figura a la derecha de cada gráfica. La sensibilidad máxima exhibida por el sensor (cuando el campo es paralelo al eje del secundario de medida) es de 1.7 μT/μV. En este tipo de sensor, como en el fluxgate tipo toroidal, la sensibilidad viene controlada principalmente por el factor desimanador del amorfo ferromagnético. Cálculos realizados con el programa *Mathematica* muestran una sensibilidad en función del factor desimanador que sigue la curva de la figura 4. El factor desimanador de un disco magnético de las características del usado es del orden de $9 \cdot 10^{-4}$. Con este dato y a la vista de la gráfica de la figura 4 el valor teórico de la sensibilidad para el primer armóni-

co es del orden de $1 \text{ mV}/\mu\text{T}$, que es un valor considerablemente mayor que el medido experimentalmente. Esta diferencia es atribuida a una transmisión poco uniforme de la vibración piezoeléctrica a través del pegamento viscoso. En consecuencia para mejorar considerablemente la sensibilidad de este dispositivo hay que aumentar el tamaño del disco ferromagnético (para disminuir el factor desimanador) y mejorar el acoplo mecánico a través del pegamento de unión.

El valor mínimo de campo detectable en cualquier dirección se consigue mediante un análisis de Fourier de la señal del secundario. El mínimo pico detectable a las frecuencias de campo magnético externo cuasicontinuas (del orden de milihertzios), para los parámetros utilizados en nuestras medidas, es del orden de 50 nT . Realizando las mejoras mencionadas del factor desimanador y del acoplo mecánico, estimamos que se podrían llegar a medir campos del orden de unos pocos picoteslas.

Ventajas adicionales a las expuestas son el bajo consumo de la unidad (en nuestro caso $32,5 \mu\text{W}$) y el hecho de que la frecuencia del campo magnético que se puede medir es mayor que la de los sensores tipo fluxgate, ya que la portadora tiene una frecuencia más alta.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo ha sido parcialmente subvencionado por CICYT el Ministerio de Educación, TAP92-0851 y MAT93-0322. ♦

BIBLIOGRAFIA

1. P.J. Flanders «An alternating-gradient magnetometer». *J.Appl. Phys* 63 (8) 3940-3945 (1988).
2. D.J. Newcombe, X.G. Jiang, W.B.Taylor and F.P. Ottensmeyer «A small sensitive magnetometer for measurement of fringing fields near magnetic sectors». *Meas. Sci. Technol.* 5. 1355-1358 (1994).
3. M. D. Mermelstein «Magnetoelastic amorphous metal fluxgate magnetometer». *Elec. Lett.* 22 (10) 525-526 (1986).
4. A. Pantinakis, D.A. Jackson «High-sensitivity low-frequency magnetometer using magnetostrictive primary sensing and piezoelectric signal recovery». *Elec. Lett.* 22 (14) 737-738 (1986).
5. M.D. Mermelstein «A magnetoelastic metallic glass low-frequency magnetometer». *IEEE Tans. Mag.* 28 (1) 36-56 (1992).
6. W.A. Geyger. «The ring cor magnetometer- A new type of second harmonic fluxgate magnetometer» *AIEE Trans.* 81 65-63 (1965).
7. M.H. Acuña «Fluxgate magnetometer for outer planets exploration» *IEEE Trans. Mag.* MAG-10 519-523 (1974).

