

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2016 (prorrogado a 2017)

MEMORIA DEL PROYECTO Nº SV-16-GIJÓN-1-09

1. DATOS DEL PROYECTO

Título: Magnetómetro FORC automatizado de alta precisión

Investigador/a/es responsable/es: José Carlos Martínez García

Tfno: 985.18.20.79

E-mail: jcmg@uniovi.es

Otros investigadores: José Ángel García Díaz y Francisco Javier Carrizo Medina

Empresas o instituciones colaboradoras: FELEMAMG, S.L.

2. MEMORIA DESCRIPTIVA DEL PROYECTO

2.1 Resumen ejecutivo

La caracterización de los materiales magnéticos pasa tradicionalmente por la medida de su ciclo de histéresis, del que se derivan la remanencia, la coercitividad y la energía disipada en el proceso de magnetización. Sin embargo, en los últimos años se ha venido desarrollando una técnica de caracterización que permite estudiar además las interacciones magnéticas internas (especialmente interesante en el caso de los materiales heterogéneos), y que busca obtener propiedades intrínsecas completas del material, tales como distribuciones de tensiones, defectos estructurales, etc. Se trata del conocido como *análisis FORC* de la muestra. La información experimental necesaria para la realización de este análisis consiste en medir un gran número de curvas de imanación de primer orden (*First Order Reversal Curves, FORC*) que recorran el interior del ciclo de histéresis, proporcionando de este modo información sobre estos estados magnéticos del material, que el ciclo mayor no permite estudiar.

Esta información es de gran interés para todo tipo de aplicaciones basadas en el uso de materiales magnéticos (registro magnético, imanes permanentes de aplicación industrial, imanes permanentes para rotores de motores eléctricos, etc.) pero, por otro lado, son muy pocos los laboratorios que permiten este tipo de análisis. En consecuencia, la automatización de un magnetómetro para análisis FORC convertiría al laboratorio IDeMM de la Universidad de Oviedo y a la ciudad de Gijón en una referencia en el ámbito de la caracterización de materiales magnéticos.

Los objetivos específicos del proyecto propuesto son, por tanto, el diseño de un magnetómetro inductivo para la medida de curvas de magnetización de materiales magnéticos y su automatización para la medida de ciclos de histéresis y curvas FORC mediante una aplicación LabView(R) que controle desde el ordenador todos los equipos del sistema.

Puesto que el equipo solicitante tiene experiencia tanto en la medida de FORC como en la interpretación de los resultados de dichas medidas, avalada por un considerable número de publicaciones en este campo, el resultado esperable al final del proyecto es la puesta en funcionamiento del Magnetómetro FORC automatizado de alta precisión en el laboratorio IDeMM del campus de Gijón de la Universidad de Oviedo, hacia finales del año 2016.

2.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Los objetivos iniciales del proyecto pueden esquematizarse en los siguientes puntos:

1. Diseño del magnetómetro FORC inductivo
2. Elaboración de los elementos básicos (bobinados, cableado y filtros)
3. Interconexión con los equipos de señal y medida
4. Desarrollo del software LabView de control automatizado
5. Puesta en marcha del equipo

En proyecto puede considerarse actualmente completamente finalizado, con las matizaciones que se indican en el apartado siguiente.

2.3 Tareas realizadas

A lo largo del tiempo que dedicó al proyecto, la estudiante Cristina Muñoz Gómez fue realizando todas las tareas previstas, a saber: elaboración de los elementos básicos del magnetómetro (cableado, bobinado y filtros) así como su caracterización eléctrica (medidas de impedancia) y magnética (medida del campo por unidad de intensidad en el interior del circuito primario); e interconexión de los equipos de señal y medida, entre sí y a través del computador de control, de acuerdo con el diseño realizado por el equipo de investigación. La última fase, consistente en el desarrollo del software de control automatizado y la puesta en marcha del equipo también fue realizado de forma satisfactoria por Cristina Muñoz, aunque surgieron algunos problemas relacionados con la idoneidad del equipamiento adquirido para la función deseada.

Como se indicaba en la solicitud inicial del proyecto, el sistema experimental tradicional de un magnetómetro inductivo es el que se esquematiza en la Fig. 1: la señal de campo magnético es producida por un generador de funciones y amplificado por una fuente bipolar que alimenta el arrollamiento solenoidal primario. La señal de campo es medida a través de una resistencia de medida. El bobinado secundario y la muestra magnética situada en su interior producen una fuerza electromotriz (FEM) inducida.

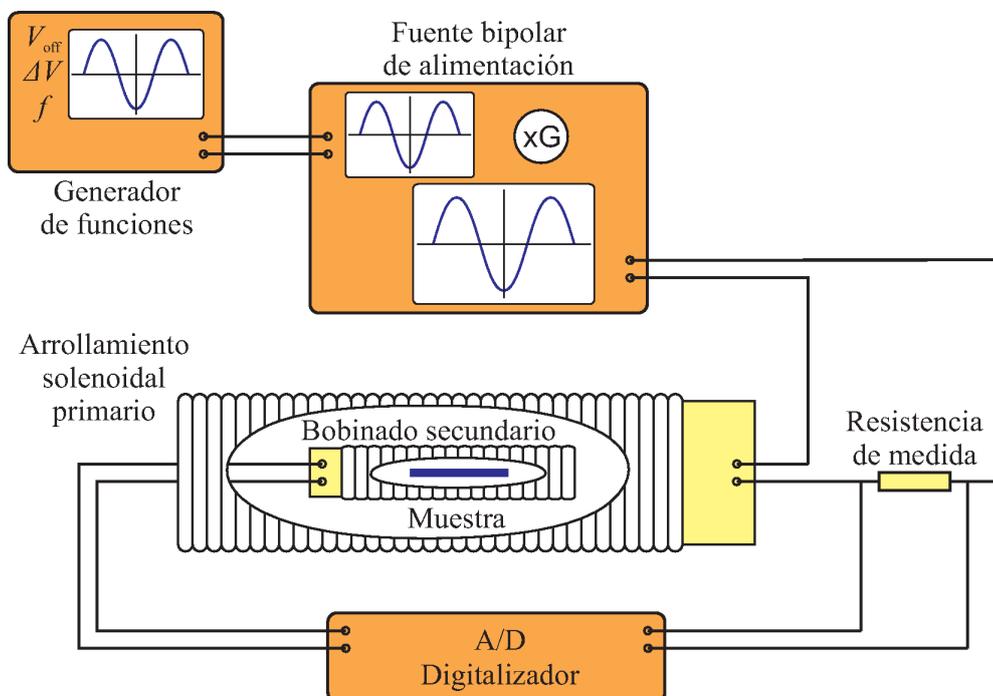


Fig. 1: Esquema de un magnetómetro de inducción tradicional

La señal de campo y la FEM inducida se llevan a un digitalizador y son leídas desde él por un ordenador que procede al tratamiento de la información para la obtención del ciclo de histéresis.

Sin embargo, el uso de una resistencia de medida suele provocar problemas de calentamiento del sistema y los consiguientes errores en la medida del campo. Para corregir este problema, el presente proyecto sustituyó el digitalizador analógico/digital por un analizador de potencia que mide directamente la intensidad de corriente en el primario sin necesidad de utilizar una resistencia de medida. Para este fin se adquirió el analizador de potencia PPA510 de la marca *Newtons4th*.

2.4 Resultados obtenidos

Si bien el sistema funcionó correctamente, algunas de las características del equipo adquirido (concretamente su diseño para funcionar a altas frecuencias y la utilización interna de sólo 50 coeficientes de la transformada de Fourier de las señales adquiridas) han dado un resultado no del todo satisfactorio, lo que deja abierta la puerta a la modificación del sistema para sustituir este equipo por otro más adecuado para el tipo de medidas a realizar.

2.5 Trabajos o necesidades futuras

Quedan pendientes, por tanto, el estudio y evaluación de los posibles equipos destinados a la adquisición simultánea de medidas de voltajes y corrientes en el rango de utilización. En particular, corrientes de hasta 5 A de intensidad y frecuencias desde DC hasta frecuencias del orden del kHz. Obviamente, el software de control deberá ser adaptado al nuevo equipamiento, aunque dicha tarea se prevé sencilla y rápida.

2.6 Divulgación de los resultados (publicaciones, artículos, ponencias...)

Nuestro grupo de investigación ha seguido desarrollando sus trabajos sobre caracterización FORC de materiales magnéticos, lo que en el periodo de tiempo inicial (el año de solicitud del proyecto) dio lugar a dos publicaciones, y dos conferencias invitadas y un póster en congresos internacionales, que se detallan a continuación y en los que se hizo referencia al IUTA en los agradecimientos:

- M. Rivas, J.C. Martínez-García, P. Gorria. *Visualizing decoupling in nanocrystalline alloys: a FORC-temperature analysis* J. Magn. Magn. Mater. **400** (2016) 315–320.
- J.C. Martínez-García, M. Rivas, J.A. García. *FORC analysis of ferro-ferromagnetic exchange bias in nanocrystalline ribbons* Physica B **486** (2016) 84–87.
- M. Rivas, J.C. Martínez-García, *Application of FORC analysis to soft magnetic systems: random noise and smoothing effects* (Ponencia invitada). 13th Joint MMM-Intermag Conference, San Diego (CA), USA (10/01/2016)
- J.C. Martínez-García, P. Gorria, M. Rivas, *FORC temperature evolution analysis of multiphase soft magnetic ribbons* (Póster). 13th Joint MMM-Intermag Conference, San Diego (CA), USA (10/01/2016)
- M. Rivas, J.C. Martínez-García, *FORC technique: differential analysis versus smoothing* (Ponencia invitada). 2nd Annual FORC Workshop, New Orleans M-Intermag Conference, San Diego (CA), USA (30/10/2016)

Además, el trabajo desarrollado en la parte final del Proyecto dio lugar a una publicación adicional en la que se incluyó como autora a la estudiante Cristina Muñoz Gómez, y a dos pósters, uno en un congreso internacional y otro en uno nacional. Obviamente, en todos los casos se hizo mención en los agradecimientos al IUTA. Se detallan a continuación las contribuciones mencionadas:

- J.C. Martínez-García, M. Rivas. *Magnetómetro FORC para materiales magnéticos blandos* (Póster). XXXVI Biennial Meeting of the Real Sociedad Española de Física. Simposium Materiales magnéticos y aplicaciones (CEMAG), Santiago de Compostela 17-21 de julio de 2017.
- J.C. Martínez-García, M. Rivas. *Fourier-based construction of FORC diagrams for soft magnetic materials* (Póster). 23rd Soft Magnetic Materials Conference, Sevilla (Spain) 10-13 september 2017.
- M. Rivas, P. Gorria, C. Muñoz-Gómez, J.C. Martínez-García *Quasistatic AC FORC Measurements for Soft Magnetic Materials and Their Differential Interpretation IEEE Transactions on Magnetics* **43**, NO. 11 (2017) 2003606.

3. MEMORIA ECONÓMICA

Financiación		Personal	Inventariable	Fungible	Otros gastos
IUTA	SV-16-GIJÓN-1-09.	4000			
Otras fuentes	Proyecto: FC-15-GRUPIN14-037		4000	1000	500
Estudiante con ayuda a la investigación	Nombre	Cristina Muñoz Gómez			
	Tareas	Participación en todas las actividades planificadas en el proyecto			
	Período	Hasta la finalización del proyecto (31/12/2017)			

4. OTROS PROYECTOS Y CONTRATOS CON FINANCIACIÓN EXTERNA

Título del proyecto/contrato	MATERIALES MAGNÉTICOS AVANZADOS
Referencia	FC-15-GRUPIN14-037
Investigador/a/es principal/es	Jesús Ángel Blanco
Equipo investigador	Montserrat Rivas, José Carlos Martínez, Laura Elbaile, José Ángel García, Pedro Gorria, Rosario Díaz, Carmen Piqué, Belén Fernández, Javier Carrizo
Periodo de vigencia	2015-17
Entidad financiadora	Principado de Asturias
Cantidad subvencionada	150 000 €