

Transductor magneto-óptico de volumen para la medida de corrientes eléctricas

J.L.Arce Diego*, D.Pereda Cubián*, M.A.Muriel**, R. Lopez Ruisanchez*, F. Madruga Saavedra*, J.M.Lopez Higuera*

*Grupo de Ingeniería Fotónica. Dto. TEISA. Universidad de Cantabria. Avda. Los Castros s/n. 39005 Santander, Spain

**Dto. Tecnología Fotónica. Universidad Politécnica de Madrid. 28040 Madrid, Spain

Un sensor magneto-óptico de medida de corriente (MOCT) es un dispositivo capaz de medir la integral del campo magnético a lo largo de un camino cerrado alrededor de un conductor, de tal manera que puede determinar la corriente que circula por este conductor.

Los sensores ópticos presentan ventajas sobre los métodos convencionales. Están compuestos de materiales dieléctricos que permiten el aislamiento en presencia de campos eléctricos, poseen una respuesta lineal en un gran rango dinámico, su estructura es pasiva y no aparecen los efectos de saturación e histéresis. Además, son más ligeros y pequeños, pudiendo incluso ser portátiles y usarse en distintos conductores. Los sensores ópticos son los más idóneos para medir corrientes en lugares de elevada contaminación electromagnética.

Los sensores ópticos de medida de corriente se basan en el efecto Faraday, que es una propiedad por la cual el plano de polarización de una luz linealmente polarizada gira en presencia de un campo magnético paralelo a ésta, siendo este giro proporcional a la integral del campo magnético, y por lo tanto, a la corriente que circula por el conductor. Se pueden distinguir entre sensores todo-fibra y sensores de óptica de volumen. Los primeros presentan los problemas respecto a los segundos de un valor bajo de la constante de Verdet y una alta birrefringencia lineal. En este trabajo se propone un sensor óptico de volumen que utiliza un espejo interno para aumentar la sensibilidad frente a la corriente y reducir el efecto de la temperatura, que afecta a la birrefringencia lineal, en un cristal de BSO ($\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$) [1].

A la hora de diseñar un dispositivo óptico de volumen para la medida de corrientes, basado en el efecto Faraday, se ha de determinar el material más adecuado para su realización. La rotación del plano de polarización de un haz de luz linealmente polarizado debido al efecto Faraday es directamente proporcional a la constante de Verdet (V): $F = B \cdot V$. Donde B es el campo magnético (Teslas) y F es la rotación del plano de polarización por unidad de longitud (rad/mm).

Por lo tanto, se han de utilizar materiales con un alto valor de la constante de Verdet. Los materiales ferromagnéticos, como el YIG, presentan una constante de Verdet muy elevada, pero con el inconveniente de que es fuertemente dependiente de la temperatura, junto con la aparición de efectos como saturación e histéresis y dependencia de la geometría de las propiedades magneto-ópticas. El BSO es un cristal diamagnético con una constante de Verdet elevada y poco dependiente de la temperatura. A cambio, presenta actividad óptica, que afecta a la evaluación del efecto Faraday.

Dentro de las geometrías posibles, se ha elegido la cuadrada (Fig. 1) [2], basada en las reflexiones en cuadratura [3], con lo que no es necesario que las reflexiones se produzcan con el ángulo crítico y no afectan al estado de polarización. Si por el conductor circula una corriente I , el campo creado por esa corriente es: $B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$, donde μ_0 es la permeabilidad magnética del vacío, r

es la distancia al conductor. Al colocar un espejo el haz luminoso recorre dos veces el camino óptico, una en cada sentido. Por tanto, al ser el efecto Faraday no recíproco la sensibilidad aumenta, pero se minimiza el efecto de la birrefringencia lineal, que es dependiente de la temperatura, así como de la

birrefringencia circular. La entrada al sensor se encuentra linealmente polarizada en la dirección del eje y. La salida se hace pasar un divisor de haz polarizado de forma que se descompone en dos campos ortogonales que dan lugar a dos intensidades ópticas I_1 e I_2 . Mediante el cálculo de Jones y empleando el método polarimétrico clásico de detección que elimina las fluctuaciones de la fuente y para una orientación concreta del divisor de haz polarizado, se obtiene la salida:

$$S(F, G) = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} = -2 \cdot \left[\frac{2(G+F)}{p} \cos\left(\frac{qL}{2}\right) \sin\left(\frac{pL}{2}\right) - \frac{2(G-F)}{q} \sin\left(\frac{qL}{2}\right) \cos\left(\frac{pL}{2}\right) \right] \\ \times \left(\frac{\beta^2 - 4G^2 + 4F^2}{pq} \sin\left(\frac{qL}{2}\right) \sin\left(\frac{pL}{2}\right) - \cos\left(\frac{qL}{2}\right) \cos\left(\frac{pL}{2}\right) \right) \\ - \left\{ \left[\beta \left(\frac{1}{p} \cos\left(\frac{qL}{2}\right) \sin\left(\frac{pL}{2}\right) + \frac{1}{q} \sin\left(\frac{qL}{2}\right) \cos\left(\frac{pL}{2}\right) \right) \right]^2 - \left(2G \frac{2\beta}{pq} \sin\left(\frac{qL}{2}\right) \sin\left(\frac{pL}{2}\right) \right)^2 \right\} \\ p = (\beta^2 + 4(G+F)^2)^{1/2} \\ q = (\beta^2 + 4(G-F)^2)^{1/2}$$

donde F es el efecto Faraday inducido por la corriente, G es la actividad óptica del BSO, β es la birrefringencia lineal total y L es la longitud del camino óptico sin reflexión en el espejo. Cuando $G \gg \beta$, la expresión anterior se puede aproximar por: $S(F) \approx \sin(4FL)$

Se realizaron simulaciones del dispositivo para una longitud de onda de 830 nm. De esta forma, la constante de Verdet del BSO es $3.2 \cdot 10^{-2}$ rad/mmT y su actividad óptica 0.192 rad/mm. El diseño del sensor se hizo para una anchura de 100 mm, de forma que el camino óptico L es 400 mm.

La figura 2 muestra la señal de salida del dispositivo como función de la corriente y de la birefringencia lineal. Los rangos elegidos para la simulación fueron de 0 a 30 KA para la corriente y de 0 a 0.01 rad/mm para la birefringencia lineal. Este valor corresponde a un cristal BSO típico de calidad media a 80° C, por lo que el rango de variación simulado corresponde a unos 100° C. La figura muestra una señal ya procesada, de forma sinusoidal muy poco afectada por la birrefringencia lineal. Por lo tanto, la influencia de la temperatura en el transductor ha sido reducida.

Reconocimientos: Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto CICYT TIC95-0631-C04-01.

- [1] C.M.M. van den Tempel, App.Opt.(32),25, 4869, (1993).
- [2] S.Donati, V.Annovazzi-Lodi and T.Tambosso, IEE Proc.(135), 372, (1988).
- [3] M Born and E.Wolf, "Principles of Optics", Fifth Edition, Pergamon Press, 1975.

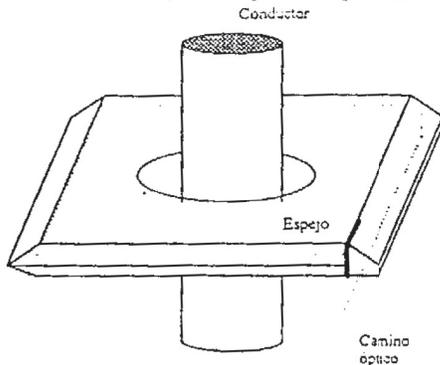


Fig.1

Sensor óptico de corriente con espejo interno

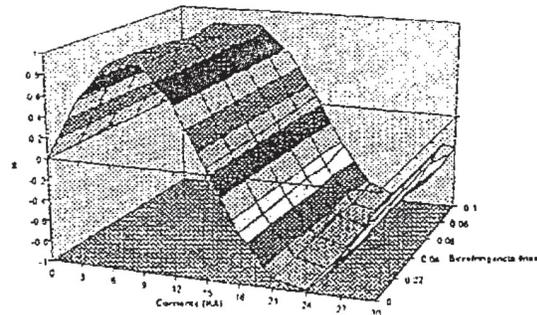


Fig. 2

Señal de salida del dispositivo de la figura 1