

Investigaciones teóricas sobre el efecto Faraday en cavidades Fabry-Perot de fibra óptica con perturbaciones

J.L. Arce Diego, D. Pereda, M. Lomer, J.M. López Higuera

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

Tel. +34-942-201545, Fax. +34-942-201873, e-mail: jlarce@teisa.unican.es.

Abstract: The influence of the intrinsic linear birefringence and/or the external reciprocal perturbations on the free spectral range of a reflective fiber Fabry-Perot for magnetic field sensing with a conventional or a Faraday rotator mirror are analysed and discussed.

1. Introducción

Diversos autores han estudiado el empleo de cavidades Fabry-Perot en transmisión con el fin de medir el efecto Faraday, ya que un resonador Fabry-Perot de fibra mejora la sensibilidad a dicho efecto magneto-óptico [1,2]. Sin embargo, salvo trabajos previos realizados por Kim y colaboradores, la aplicación de los resonadores Fabry-Perot en configuración reflectiva no ha sido aun analizada en detalle [3,4,5].

En esta comunicación, se presenta un estudio de los efectos que las anisotropías extrínsecas y/o intrínsecas producen sobre el rango espectral libre (REL) de estos dispositivos, interrogados en reflexión, con un espejo convencional (EC) o un espejo rotador de Faraday (ERF) en uno de sus extremos. Mediante el cálculo de los modos de polarización propios (MdPP), y de sus valores propios (frecuencias propias), las características espectrales de los mencionados dispositivos son evaluados.

2. Modelo teórico

Empleando el cálculo de Jones, la matriz de Jones del resonador Fabry-Perot propuesto en la Fig. 1 interrogado en reflexión puede calcularse para un camino de ida y vuelta. La salida debe satisfacer la condición de resonancia, de manera que la radiación óptica debe de retornar en fase y con el mismo estado de polarización (EdP) tras recorrer un camino completo en la cavidad. Estos requisitos conducen a una ecuación de autovalores cuyas soluciones proporcionan dos EdP propios mutuamente ortogonales (vectores propios), en general MdPP elípticos, con sus respectivas frecuencias propias (valores propios). Calculados los citados parámetros, de interés para el análisis de la estructura, como los índices de refracción para los MdPP son diferentes, aparecerán dos frecuencias de resonancia diferentes, así como un nuevo espaciado para sus modos longitudinales [6]. El REL, típico de una cavidad Fabry-Perot isótropa, puede entonces dividirse en dos subrangos que están definidos generalmente para las cavidades anisótropas como:

$$\Delta v_1 = c/(2nd\pi) \eta/2; \quad \Delta v_2 = \Delta v - \Delta v_1$$

donde $\Delta v = c/(2nd)$, d es la longitud del camino óptico, n es el índice de refracción de la cavidad,

$\eta/2$ es el desfase entre los MdPP de la cavidad tras un paso simple debido a las anisotropías del medio y a la configuración particular.

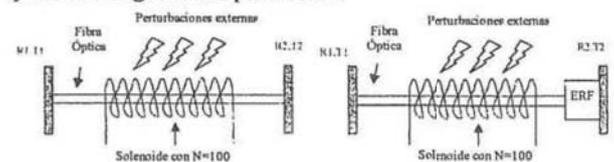


Fig. 1. Las dos configuraciones reflectivas Fabry-Perot analizadas: a) con dos espejos convencionales, b) con un espejo convencional y un espejo rotador de Faraday.

3. Simulaciones y resultados

Se analizan dos configuraciones diferentes de resonadores FP de fibra en reflexión. La primera incluye un EC ($R_2=1$), Fig. 1a), y la segunda un ERF, Fig. 1b). En ambos casos se ha supuesto que la fibra óptica de la cavidad tiene una birrefringencia lineal intrínseca $b=4.4$ rad/m y una birrefringencia circular reciproca de $G=30.1$ rad/m. Mediante la variación de la corriente eléctrica que circula por el solenoide, se puede controlar el REL de los mencionados resonadores.

3.1 Cavidad Fabry-Perot con espejo convencional

La interrogación en reflexión de esta estructura ($R_2=1$) mejora la sensibilidad y la fineza de estas cavidades Fabry-Perot, respecto a las interrogadas en transmisión con $R_2 < 1$, y solamente necesitan acceso a uno de los extremos del dispositivo [6]. La influencia de la corriente eléctrica o el campo magnético sobre la separación de las frecuencias propias (de resonancia) de los dos MdPP ha sido analizada. Los mínimos de la función de transferencia se subdividen en dos como consecuencia de la exposición de la cavidad a campos magnéticos. La diferencia entre ambas frecuencias resultantes puede definirse en términos de los valores propios de la cavidad, y en este caso son

$$\lambda_{1,2} = \exp(\pm j\eta), \quad \eta = -2 \frac{G}{(G^2 + (b/2)^2)} VTN$$

La separación frecuencial Δv_1 , está representada en la Fig. 2 como una función del campo magnético aplicado para diferentes valores de la birrefringencia de la fibra. A medida que aumenta

la birrefringencia lineal las curvas son menos lineales y su pendiente es menos pronunciada. Para un campo magnético aplicado de 3.5kG, y en ausencia de birrefringencia lineal en la fibra, el REL varía entre 0 y 600 KHz, aumentando con la birrefringencia lineal de la fibra.

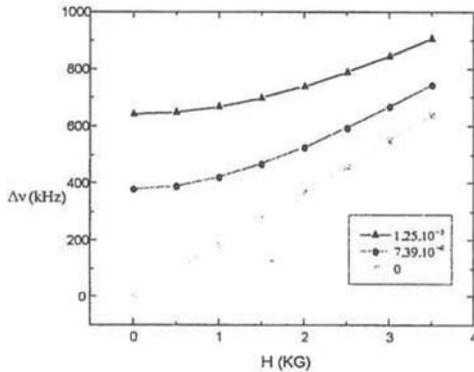


Fig. 2. Evolución de la separación frecuencial Δv en función del campo magnético aplicado para tres valores de la birrefringencia lineal en la fibra.

La Fig. 3 muestra la separación frecuencial entre los dos MdPP en función de la corriente eléctrica aplicada. Siendo la variación de las separaciones frecuenciales Δv_1 y Δv_2 , es lineal y del orden de 0.48 kHz/A.

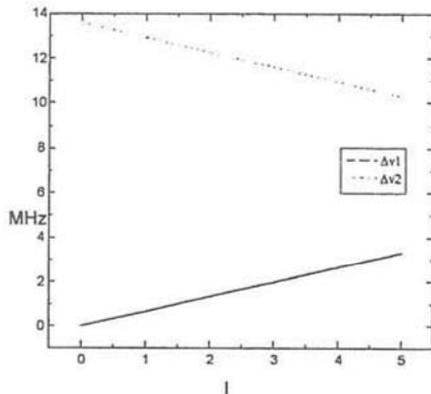


Fig. 3. Variación de la separación frecuencial entre los modos propios de polarización de una cavidad Fabry-Perot empleando un espejo convencional ($R=1$) en función de la corriente eléctrica para $N = 100$.

3.2. Cavidad Fabry-Perot con ERF

En este caso uno de los reflectores de la cavidad es un ERF. Siguiendo el método ya comentado los valores propios de esta estructura están dados por:

$$\lambda_{1,2} = \exp(\pm j\eta), \quad \eta = \cos^{-1}(-2VNI)$$

donde V es la constante de Verdet, I es la corriente eléctrica y N es el número de vueltas del solenoide. Siendo el retardo de fase entre ambos MdPP después de un paso doble por la cavidad independiente de las birrefringencias recíprocas. En la Fig. 4, se puede observar, que la separación espectral entre los mínimos de la reflectividad puede controlarse mediante el efecto Faraday. En

este caso la variación de los dos gaps de frecuencia Δv_1 y Δv_2 es lineal y del orden de 0.75 kHz/A. Además, se puede deducir que en esta configuración, con un ERF, la sensibilidad de corriente es independiente de la birrefringencia recíproca, extrínseca o intrínseca, de la fibra óptica en la cavidad.

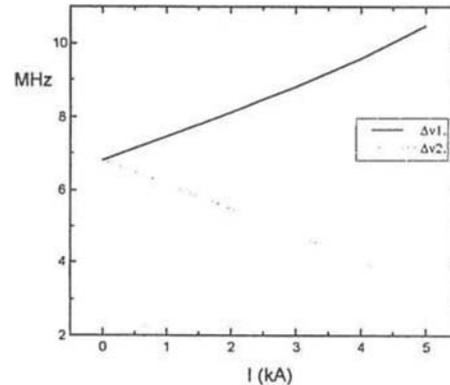


Fig. 4. Variación de la separación frecuencial entre modos de resonancia de la cavidad Fabry-Perot con un espejo rotador de Faraday en función de la corriente eléctrica para $N = 100$.

4. Conclusiones

Un análisis de la influencia de las perturbaciones recíprocas sobre un resonador Fabry-Perot de fibra, para la medida de campos magnéticos y corrientes eléctricas, en configuración reflectiva, se ha llevado a cabo. Dos clases de espejos uno convencional y otro espejo rotador de Faraday se han utilizado. Además, para un solenoide con $N=100$, y una fibra óptica en la cavidad con una birrefringencia lineal de $b=4.4$ rad/m y una birrefringencia circular de $G=30.1$ rad/m la variación de las dos separaciones frecuenciales Δv_1 y Δv_2 es lineal y del orden de 0.48 kHz/A y 0.75 kHz/A. Para un espejo convencional y un ERF, respectivamente. Estas cavidades Fabry-Perot de fibra interrogadas en reflexión presentan mejores características que las transmisivas cuando se emplean como filtros ópticos o sensores basados en el efecto Faraday.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido soportado por el proyecto CICYT TIC'98-0397-C03-02.

Referencias

- [1] J. Stone, R.M. Jopson, L.W. Stulz, and S. J. Licht, Electronics Letters, Vol. 26, No. 13, pp.849-851, 1990.
- [2] H. Y. Ling, J. Opt. Soc. Am. A, Vol.11, No.2, pp. 754-758, 1994.
- [3] H.Y. Kim, B.K. Kim, S.H. Yun, and B. Y. Kim, Optics Letters, Vol. 20, No. 16, pp. 1713-1715, 1995.
- [4] J. S. Park, S.H. Yun, and B. Y. Kim, Optic Letters, Vol. 21, No. 14, pp. 1029-1031, 1996.
- [5] H.K. Kim, S.K. Kim, H.G. Park, and B. Y. Kim, Optics Letters, Vol. 18, No. 4, pp. 317-319, 1993.
- [6] Arce-Diego J.L., Cobo, A., Pereda, D., López-Higuera, J.M., aceptado en Photonics, Proceedings of SPIE, Praga, 1999.