

RESPUESTA ÓPTICA UTILIZANDO UN INTERFERÓMETRO DE SAGNAC

Gladys Adriana Quintero Rojas^{*†}

**Universidad de Antioquia, calle 67 #53-108, of. 5-337, Medellín, Colombia,*

Recibido 01 Marzo 2010; aceptado 03 Junio 2010
Disponible en línea: 25 Junio 2010

Resumen: Se estudió la potencia de salida en un Interferómetro de Sagnac como función del cambio de la polarización de las señales ópticas contrapropagantes. Con la inclusión, en la configuración interferométrica, de una fibra óptica con una no linealidad de segundo orden inducida mediante un proceso electro-térmico, se midió la potencia de salida como una función de la variación de la tensión externa aplicada a dicho dispositivo. Fuera del interferómetro un haz infrarrojo, 1064nm, fue acoplado a la fibra polarizada y la conversión de potencia infrarroja a potencia de segundo armónico generado fue estudiada con la fibra sometida a diferentes voltajes. *Copyright © 2009 UPB.*

Palabras clave: Controlador de Polarización, Voltaje, Interferómetro Sagnac.

Abstract: The output power was studied as a function of the change of the polarization of the clockwise and the counter clockwise optical signals in a Sagnac Interferometer. With the inclusion of a fiber, with a second-order non-linearity induced, by an electro-thermal process, in the interferometric configuration, the output power was measured as a function of changes in the external applied tension to this device. Outside the interferometer an infrared, 1064nm beam was coupled to the poled fiber and the conversion of infrared power to second harmonic generated power was studied with the fiber under different voltages.

Keywords: Polarization Controller, Voltage, Sagnac Interferometer

1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda de sistemas de redes ópticas de alta velocidad, ha conducido a una amplia investigación de componentes ópticos a fibra. Estabilidad y alto umbral de daño de los dispositivos a fibra prevén sistemas más rápidos con alta capacidad y baja pérdida.

La respuesta óptica de señales sometidas a un controlador de polarización inicialmente y a sucesivos voltajes aplicados a través de los electrodos internos de una fibra especial polarizada electro-térmicamente en una segunda

etapa de la experiencia, fue estudiada utilizando un Interferómetro de Sagnac basado en fibra, ISF, el cual tiene la ventaja de eliminar fluctuaciones térmicas y mecánicas las cuales afectan por igual a las ondas contrapropagantes, asegurar longitudes de recorridos iguales y combinar potencias ópticas iguales en un acoplador a fibra.

Se adoptó el modelo que describe la inducción de una no linealidad de segundo orden efectiva como debida a un efecto de tercer orden por un campo eléctrico muy intenso, $\sim 10^8 \text{V/m}$, grabado en la muestra durante el proceso electro-térmico, $\chi_{ef}^{(2)} \sim$

[†] Autor al que se dirige la correspondencia:
Tel.(+574) 2195630 - 3128012841
E-mail:gquinte@fisica.udea.edu.co (Gladys Adriana Quintero Rojas)

$\chi^{(3)}E_g$, (Myers *et al.*1991; Triques *et al.* 2003) lo que permite generar, a su vez, una variación en el índice de refracción. Se consideró que la inclusión en el interferómetro de un dispositivo con tales características sometido a diferentes voltajes, modificaría la trayectoria óptica de las señales contrapropagantes generando un cambio de fase y ofreciendo como resultado diferentes niveles de interferencia, traducidos en potencia a la salida del interferómetro lo que se podría explorar como una llave óptica. Trabajos recientes muestran que dicho tratamiento puede convertir un segmento de fibra óptica en un modulador electro-óptico (Long *et al.* 1999; Myrén *et al.* 2005; Tarasenko y Margulis 2007).

Con el fin de estudiar la respuesta óptica del dispositivo fuera del interferómetro, se midió la potencia media del segundo armónico generado (SHG del inglés *Second Harmonic Generated*), tras acoplarle un haz infrarrojo, 1064nm, mientras era sometido simultáneamente a alta tensión.

2. MONTAJE EXPERIMENTAL

La fuente de bombeo era un láser DFB @1550nm (DFB del inglés *Distributed Feedback*) de baja potencia, 0.166mW, acoplador 50:50 con dos puertos de salida con fibras de 2.7m de longitud, formando una trayectoria cerrada en forma de anillo. La señal óptica era dividida en el acoplador en dos haces que se contrapropagaban coherentemente en el anillo.

2.1. Caracterización del acoplador

Para caracterizar el acoplador con una corriente máxima del láser 15.0mA y potencia 0.059mW, se realizaron mediciones de potencia óptica en tres puertos de salida del acoplador ver Fig. 2. Potencia de entrada: -8.2dBm ó 0.151mW- 100%, potencia en el puerto 1: -11.5dBm ó 0.0707mW - 46.72%, potencia en el puerto 2: -11.6dBm ó 0.0691mW - 45.76%, potencia en el puerto 3 (salida): -29dBm ó 1.259×10^{-3} mW- 0.83%).

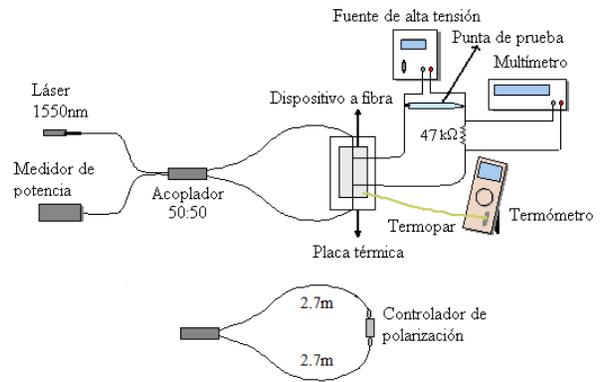


Fig. 1. Interferómetro de Sagnac.

3. PRIMERA FASE DE LA EXPERIENCIA

3.1. Controlador de polarización

Inicialmente fue utilizado un controlador de polarización, inmerso en la configuración, basado en un mecanismo de presión para modificar la intensidad de la señal a la salida del interferómetro ver Fig. 1. Se aplicaba presión a una pequeña región de la fibra, produciendo birrefringencia lineal, con el eje lento paralelo a la dirección de la presión. La variación del retardo entre el eje lento y el eje rápido de 0 a 2π , alteraba la fase relativa entre las señales. La interferencia que ocurría en el acoplador podía ser constructiva o destructiva dependiendo del trayecto óptico y del control de la polarización. Las variaciones en la polarización traducidas en potencia óptica a la salida del acoplador, eran registradas en el medidor de potencia. La potencia de salida, varió de 75% de la potencia de entrada a 0,5%, siendo posible bloquear casi completamente la señal óptica de salida. Este experimento mostró la dependencia de la interferencia de las ondas, en el acoplador, del control de la polarización, indicando la viabilidad de desarrollar una llave óptica para la intensidad, controlando la polarización de las ondas que se propagan en un interferómetro. Ya fueron obtenidos interesantes resultados induciendo birrefringencia para controlar la señal transmitida en un anillo reflector a fibra (Mortimore, 1988)

3.2. Variación de la polarización de las ondas

El controlador de polarización posicionado en el interferómetro, poseía un tornillo (perilla) que al ser rotado aplicaba presión a una pequeña región de la fibra produciendo birrefringencia lineal. La rotación de dicha perilla permitía la variación del retardo entre el eje lento y el eje rápido lo que alteraba la fase relativa entre las señales en sentido anti-horario y en sentido horario. La señal de salida fue medida, entonces, como una función de la variación de la polarización inducida a cada giro de $\pi/2$ de la perilla del controlador. El valor máximo de la potencia de la señal transmitida fue de -9.0dBm ó 0.126mW, este valor correspondió a 75.90% de la potencia de la señal de entrada, -7.8dBm equivalente a 0,166mW, y el valor mínimo de la potencia de la señal transmitida fue -34.4dBm ó 3.63×10^{-4} mW valor estimado como el 0.21% de la potencia de entrada; la razón de extinción fue 25.4dBm ó $2,88 \times 10^{-3}$ mW, ver [Fig. 3](#).

3.3. Discusión de los resultados

El comportamiento observado en este experimento concordó con las características de un atenuador óptico variable en un sistema de fibra, dicho dispositivo puede ser ajustado para cambiar la atenuación del mismo. Esta herramienta óptica es usada, generalmente, para probar el desempeño de tales sistemas. La clave para usar este montaje interferométrico como el dispositivo considerado, es conocer como controlar el estado de polarización de las ondas lo que implica conocer indirectamente como controlar la interferencia de las mismas en el acoplador. De la interferencia constructiva se infiere una atenuación mínima y de la destructiva una atenuación máxima. De esta manera si la interferencia puede ser controlada la atenuación de la potencia óptica también puede serlo.

4. SEGUNDA FASE DE LA EXPERIENCIA

4.1. Dispositivo a fibra

Se cambió el control de polarización por un segmento de fibra especial, ~10cm, polarizada electrotérmicamente ver [Fig. 1](#). Se esperaba que este dispositivo controlara la intensidad de la señal de salida una vez sometido a sucesivos voltajes. Utilizando un láser He-Ne, 632.8nm, se optimizó la calidad del empalme del dispositivo a la fibra monomodo del interferómetro obteniéndose una pérdida de 0.02dB.

4.2. Fibras utilizadas

La técnica electrotérmica fue aplicada a dos fibras especiales, ACREO, dopadas con germanio, de 125.0 μ m de diámetro, con dos huecos donde fueron insertados electrodos. El núcleo de una de las fibras tenía un diámetro de 10.0 μ m, el de cada hueco era de 30.0 μ m y la distancia entre los huecos era de 18.0 μ m. El núcleo de la otra fibra era de 4.3 μ m, el de cada hueco era de 27.0 μ m; la distancia entre el núcleo y el hueco más cercano era de 4.0 μ m, borde a borde, y del más lejano era 14.0 μ m; la distancia entre los huecos era 18.3 μ m; esta fibra tenía una pérdida de 2.5 dB/cm con metal y de 0.4 dB/m sin metal en los huecos y la diferencia de índice entre el núcleo y el recubrimiento (*cladding*) era de 0.015.

4.3. Electroodos utilizados

La aleación metálica utilizada como electrodo para la fibra con núcleo de 10.0 μ m fue bismuto 57 % - estaño 43%, con temperatura de fusión de 137°C por debajo de la temperatura de polarización electrotérmica, 280°C, lo cual implicó que durante dicho proceso los electrodos insertados, mediante un mecanismo especial, permanecieran en estado líquido. Para hacer el contacto de los electrodos con la fuente, mediante alambres finos de cobre y tinta conductora, la fibra fue lijada utilizando una máquina de pulimento que dejaba expuestos los electrodos en dos puntos opuestos separados aproximadamente 5cm.

A la fibra con núcleo de $4.3\mu\text{m}$ le fueron insertados hilos finos sólidos de tungsteno cubiertos en oro plateado (*solid Gold plated Tungsten wires*) de $20\mu\text{m}$ de diámetro, densidad $1.2\text{mg} / 200\text{mm}$, resistividad 0.055Ω y punto de fusión 3410°C por lo que permanecieron sólidos durante el proceso electrotérmico. Los hilos fueron introducidos manualmente por dos puntos opuestos lijados de la fibra, separados aproximadamente 5cm .

Los extremos de ambas fibras quedaron libres de metal para el posterior empalme en la configuración interferométrica.

4.4. Polarización electrotérmica

El proceso de polarización fue efectuado en ambos casos con la fibra, posicionada en el montaje interferométrico, a una temperatura media de 280°C , la temperatura osciló entre 275°C y 284°C , suministrada por una placa térmica, *hot plate*, envuelta con cinta teflón sobre la cual era colocada una lámina de *soda lime* sobre la que reposaba la fibra. A esta temperatura fue aplicada una tensión de 2.0kV a los electrodos del dispositivo. El tiempo de polarización fue 60.0min . La placa térmica fue desconectada después del tiempo de polarización previsto y la tensión aplicada permaneció hasta que el sistema alcanzó la temperatura de 30°C .

4.5. Resultados y discusión

Luego del proceso electrotérmico fue acoplado un haz 1550nm , a uno de los puertos de entrada, simultáneamente se aplicó tensión en los electrodos del dispositivo variándola desde 0.0kV hasta 2.5kV . La potencia de la señal a la salida del acoplador fue monitoreada para cada valor de la tensión aplicada y los cambios esperados en la potencia de salida, fueron difíciles de detectar debido a los valores tan bajos y cercanos.

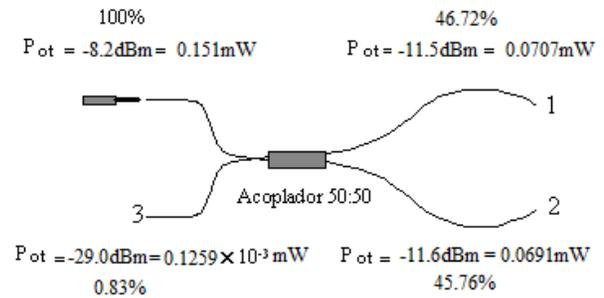


Fig. 2. Caracterización del acoplador

Se esperaban cambios en la polarización de las ondas contrapropagantes, ante la presencia de un campo interno grabado en la fibra especial y de un campo externo dc aplicado sucesivamente, cada vez que se variaba la tensión aplicada, que ofrecerían como resultado diferentes niveles de interferencia a la salida del ISF ya que este hecho podía ser explorado de tal forma que el dispositivo a fibra funcionara como un atenuador óptico variable, que a su vez podría ser usado como una llave óptica, abriendo y cerrando dependiendo del valor de la tensión aplicada a la fibra óptica.

4.6. Fuera del interferómetro

En vista de la dificultad para encontrar cambios medibles en la potencia de salida, se partió a la verificación de la polarización electrotérmica de las fibras mediante la técnica del Segundo Armónico Generado. Fuera del interferómetro fueron acoplados en cada fibra, 100mW de radiación infrarroja (1064nm) de un láser Nd:YAG *Q-switched mode locked*, un objetivo de 3mm de distancia focal colocado entre el final de la fibra y el fotodetector de silicio posibilitó la llegada de los haces paralelos entre sí, directo al área de detección del fotodetector. La potencia media del SHG, P_{SHG} , en la fibra con electrodos de BiSn fue de 0.086nW , valor muy bajo, en la fibra fue observado un color verde durante breves intervalos de tiempo y en la fibra con electrodos de tungsteno fue de 0.37nW .

Para conocer la respuesta óptica al variar la tensión aplicada a los electrodos a la vez que se le acoplaba el haz infrarrojo, se seleccionó la fibra con electrodos de tungsteno cubiertos de oro plateado y fueron acoplados 150.0mW, el medidor de potencia registró una P_{SHG} de 1.4nW. La tensión aplicada fue variada y se observó que a medida que esta aumentaba la P_{SHG} disminuía, ver [Tabla 1](#).

Tabla 1. Variación de la potencia media del SHG

V(kV)	P_{SHG} (nW)
0.0	1.4
0.6	1.2
1.0	0.5
1.3	0.4
1.4	0.3
1.5	0.2
1.7	0.06
1.8	0.05
1.9	0.04
2.5	0.04

Después de apagar la fuente de alta tensión, transcurrió algún tiempo, ~ 30min, para que la P_{SHG} alcanzara el valor obtenido inicialmente antes de aplicar tensión. En otro intento, algunos valores de la P_{SHG} alcanzados en diferentes tiempos posteriores al apagar la fuente de alta tensión son mostrados en la [Tabla 2](#).

Tabla 2. Respuesta óptica en tiempos posteriores a la desconexión de la fuente de alta tensión

P_{SHG} (nW)	T(min)
0.07	0.5
0.4	1.0
0.5	2.0
0.9	9.0
1.0	19.0

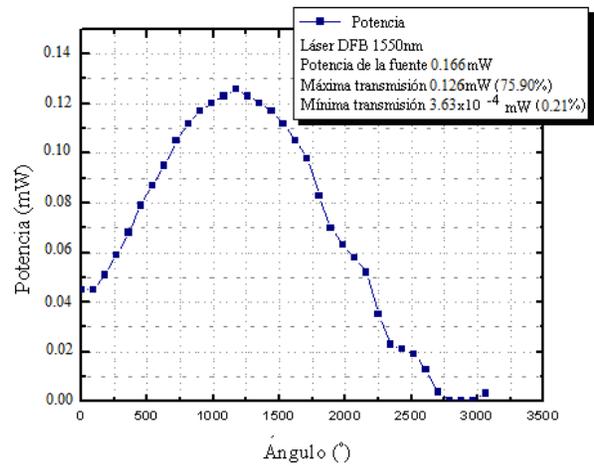


Fig. 3. Potencia vs ángulo de rotación del controlador de polarización.

Para este caso, la P_{SHG} se quedó oscilando entre 0.9nW y 1.0nW. Solo alcanzó su valor inicial después de 30 min de apagar la fuente. Buscando una respuesta a este comportamiento se observó a la salida de la fibra, en el montaje, que la radiación había cambiado de dirección, a pesar de que el sistema había sido alineado correctamente antes de aplicar la tensión. Fue hecho un ajuste en la salida de la fibra y fue obtenido de nuevo el valor de 1.4nW. Después de varias pruebas se notó que al encender y apagar la fuente se presentaban cambios en la dirección de la radiación a la salida de la fibra y por eso disminuía la P_{SHG} . Al hacer un ajuste en la salida del sistema, la potencia aumentaba.

Otras observaciones mostraron que al hacer el ajuste, al final de la fibra, con la fuente aun encendida sucedía lo contrario de lo que venía ocurriendo. Uno de los casos fue el siguiente: Después de acoplar 200mW de potencia media de un haz infrarrojo, la P_{SHG} registrada en el detector fue de 2.8nW. Después de aplicar una tensión de 1.0kV disminuyó a 0.4nW; con la fuente aun encendida se hizo el ajuste a la salida de la fibra y la P_{SHG} alcanzó el valor de 2.5nW, cuando la fuente fue desconectada disminuyó en vez de aumentar como venía sucediendo, llegando a un valor de 1.0nW después de algunos minutos y cuando la fuente fue encendida de nuevo, alcanzó el valor de 2.8nW inmediatamente. Con el propósito de optimizar

las observaciones, un programa en LabVIEW fue utilizado para la adquisición de los datos de potencia media correspondientes a la generación de segundo armónico y para la obtención del tiempo de respuesta del sistema, a través de una placa de la National Instrument. En este intento fueron acoplados 200mW de un haz infrarrojo, 1064nm, de 750mW de potencia. Se midió el tiempo de retardo para la respuesta óptica teniendo en cuenta que se hicieron ajustes con la fuente apagada, ver Fig. 4.

5. CONCLUSIONES

Estos resultados muestran que el solo encendido y apagado de la fuente además de influir en el estado de polarización de las ondas que se propagan en el ISF, generan una variación en la dirección de la señal de salida debida a la birrefringencia inducida por la aplicación de sucesivos campos que se suman a su vez al campo grabado en la fibra. Dicho campo torna al dispositivo en un modulador electroóptico lineal, característica que favorece cambios de fase, de las señales que se propagan en direcciones contrarias en el interferómetro, proporcionales a la variación del voltaje suministrado. Bajo esta perspectiva, es viable el estudio cuidadoso de los voltajes óptimos que generarían interferencia constructiva y destructiva y que darían lugar a la obtención de una llave óptica y posiblemente al desarrollo de un atenuador óptico variable.

AGRADECIMIENTO

“La responsabilidad científica de este trabajo es solamente del autor”.

Se agradece a la M.Sc. Sully Milena Mejía Quintero por su colaboración en las mediciones.

REFERENCIAS

- Long, X.-, S. R. J. Brueck, y M. L. Minden (2000). A High-Speed Poled All-Fiber Switch. En: *Bragg Gratings, Photosensitivity, and Poling in Glass Waveguides*. **33**:355-359. OSA Trends in Optics and Photonics Series
- Mortimore, D. B. (1988). Fiber Loop Reflectors. *Journal of Lightwave Technology*, **6**:1217-1224.
- Myers, R. A., N. Muckherjee y S. R. J. Brueck (1991). Large second-order nonlinearity in

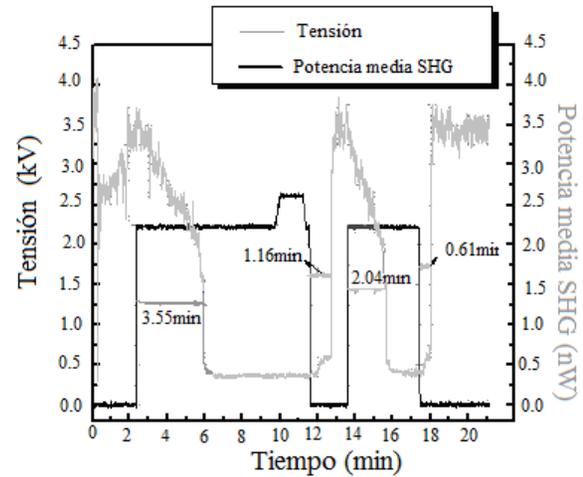


Fig. 4. Respuesta de la potencia óptica cuando la fuente es encendida y cuando es apagada.

poled fused silica. *Optics Letters*, **16**: 1732-1734.

Myrén Li. J., W. Margulis, B. Ortega, D. Pastor, J. Capmany, M. Belmonte y V. Pruneri (2005). Systems measurements of 2x2 poled fiber switch. *IEEE Photonics Technology Letters*, **17**: 2571-2573.

Tarasenko, O. y W. Margulis (2007). Electro-optical modulation in a Sagnac interferometer. *Optics Letters*, **32**:1356-1358.

Triques, A. L. C., I. C. S. Carvalho, M. F. Moreira, H. R. Carvalho, R. Fischer, B. Lesche y W. Margulis. Time evolution of depletion region in poled silica. *Applied Physics Letters*, **82**: 2948-2951.

SOBRE LOS AUTORES

Autor

Profesora de la Universidad de Antioquia. Ph.D en Física. Área de interés investigativo: Óptica y Fotónica.