

## Estabilización en longitud de onda de un laser semiconductor con aplicación en un amplificador de fibra óptica dopada con erbio

J. Camas, G. Anzueto<sup>a</sup>, S. Mendoza<sup>b</sup>, H. Hernández, C. García<sup>c</sup>, R. Vázquez<sup>c</sup>, N. Juárez y W. Torres.

Depto. de Posgrado en Mecatrónica, Inst. Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México;  
jcamas@ittg.edu.mx<sup>†</sup>.

a) Depto. de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Politécnica de Chiapas, México.

b) Facultad de Física y Matemática, Universidad Autónoma de Chiapas, México.

c) Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, México.

<sup>†</sup>autor para la correspondencia

Recibido el 15/04/2009. Aprobado en versión final el 22/03/2010.

**Sumario.** En este trabajo se presenta el diseño electrónico de una fuente de corriente continua (C.C.), que automáticamente controla la temperatura de un láser sintonizable. El cambio de temperatura en el láser se lleva a cabo mediante el control de la C.C. que circula a través de una etapa de enfriamiento en el cual el láser se encuentra ubicado. El láser puede ser sintonizado en un rango de longitud de onda alrededor de 1550 nm. Su aplicación es enfocada en un amplificador de fibra óptica dopada con Erbium (Erbium-Doped Fiber Amplifier, EDFA) en configuración reflectiva de señal.

**Abstract.** In this work, we present a novel electronic design of a DC source, which automatically controls the temperature of a tunable laser. The temperature change in the laser is carried out by the control of DC that circulates through of a cooling stage where the laser is set. The laser can be tuned in a wavelength around 1550 nm. Its application is in Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA) in reflective configuration.

**Palabras clave.** Fiber optics, 42.81.-i, Diode lasers, 42.55.Px, Electronics Circuits, 07.50.EK, 84.30.-r

### 1 Introducción

Los amplificadores de fibra dopadas con tierra rara son de gran interés para una gran variedad de aplicaciones: comunicaciones ópticas, láseres de fibra y sensores. Los iones de tierras raras, tales como Erbium, Neodimio, Tulio, Praseodimio, Yterbio, son los más utilizados para dopar una fibra con el fin de lograr una amplificación en diferentes regiones de longitudes de onda cubriendo la región desde el visible hasta la región del infrarrojo (arriba de 2.8  $\mu\text{m}$ ). El desarrollo de los amplificadores de fibra

generó una búsqueda de sistemas de configuraciones para llevar a cabo el acoplamiento de una fuente de bombeo óptica externa con la señal óptica que se amplifique<sup>1</sup>.

Los amplificadores de fibra dopadas con Erbium (Erbium Doped Fiber Amplifier, EDFA) son comúnmente usados en los sistemas de comunicaciones ópticas debido a su propiedad de amplificación en la región de 1.55  $\mu\text{m}$ , ya que a esta longitud de onda la fibra óptica presenta mínima pérdida por transmisión de una señal, además, presentan mejores cualidades que otros amplificadores dopados con tierra rara.

Al diseñar un EDFA, hay que tener en cuenta el tipo de configuración que se va a utilizar, ya que este depende de la aplicación que se le da. Las configuraciones más comunes son: a) cuando el bombeo óptico se propaga en la misma dirección con la que viaja la señal (bombeo directo), b) cuando el bombeo óptico se propaga en dirección opuesta a la señal (bombeo inverso), c) cuando el bombeo óptico viaja en ambas direcciones (bombeo bidireccional).

El uso de una configuración de reflexión actualmente es una de las más atractivas para obtener una mayor amplificación, aprovechando que la señal viaja a través del mismo EDF dos veces<sup>2-5</sup>. La reflexión puede ser llevada a cabo por medio de varios dispositivos, tales como, rejillas de Bragg de fibra (Fiber Bragg Grating, FBG), espejos de fibra, espejo rotador de Faraday, etc.<sup>6-9</sup> La reflexión en este tipo de configuración puede ser tanto en la señal como en el bombeo.

En el diseño de un EDFA existen factores que pueden degradar el desarrollo del amplificador, y uno de ellos es el ruido de Emisión Espontánea Amplificada (Amplified Spontaneous Emission, ASE). La ASE se genera mediante la desexcitación de los iones de Erblio del estado Metastable a un estado Base.

En este trabajo se presenta la estabilización de la longitud de onda de un láser semiconductor DFB (Distributed Feedback) que puede ser sintonizado alrededor de 1550 nm. La sintonización de este láser se lleva a cabo haciendo circular una corriente continua en un enfriador y este a su vez ejerce un cambio de temperatura en el láser semiconductor. Sin embargo, el objetivo de estabilizar la longitud de onda del láser es debido a que en el EDFA se encuentra una rejilla de Bragg que refleja la señal. La amplificación obtenida por el amplificador es de 2500 veces la señal de entrada, es decir, 33 dB con una potencia de bombeo de 25 mW. Cabe mencionar, que el circuito propuesto es un diseño confiable y muy robusto, además, la facilidad de conseguir los componentes electrónicos, es muy barato para su construcción.

## 2 Arreglo experimental

En la figura 1 se presenta una configuración de un amplificador de fibra óptica dopada con Erblio en configuración reflectiva. La reflexión es llevada a cabo solo en la señal a amplificar. La señal que viaja por ella se amplifica dos veces, uno cuando viaja por primera vez en la Fibra Dopada con Erblio (Erbium Doped Fiber, EDF) y la segunda vez, cuando es reflejada al final de la EDF. La reflexión de la señal, es llevada a cabo con una rejilla de Bragg. La rejilla de Bragg, aparte de que refleja la señal, elimina el ruido de emisión espontánea amplificada que se propaga con la señal hasta la salida del amplificador. La rejilla de Bragg refleja la longitud de onda central, dejando pasar el espectro de longitud de onda que no coincide con esta longitud de onda. El láser que genera la señal óptica es un láser DFB (Distributed Feedback). El cambio en longitud de onda se hace mediante el cambio

de temperatura en el láser. La longitud de onda de emisión que se genera en este láser debe de coincidir con la longitud de onda de la rejilla de Bragg, en caso contrario, no habrá señal en la salida del amplificador. Este láser tiene una etapa de enfriamiento, para que se lleve a cabo la sintonización en longitud de onda.

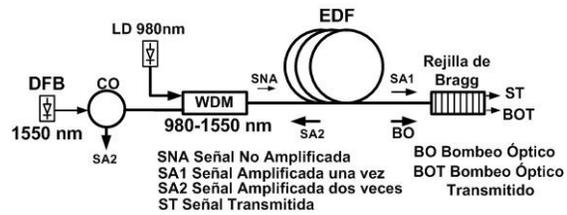


Figura 1. EDFA en configuración reflectiva de señal

En el amplificador se utilizó 10 m de fibra dopada con Erblio con una concentración de 1000 ppm. La longitud de onda central de la rejilla de Bragg es de 1549.1 nm con 100 % de reflexión. El láser que se utilizó fue un láser DFB sintonizable alrededor de 1550 nm, modelo ML976H6F. El enfriador tiene un termistor integrado que a 12 k $\Omega$ , corresponde una temperatura de 26 °C en el enfriador y una longitud de onda de emisión del láser de 1551 nm. Para obtener una longitud de onda de 1549.1 nm, se le hace circular una corriente de tal manera que en el termistor tenga un valor en su resistencia de 16 k $\Omega$ , que corresponde a una temperatura de 13 °C. En la figura 2, se muestra un esquema del enfriador en el cual el láser DFB está incorporado. El modelo del enfriador que se utilizó es el TCLDM9 de la compañía THORLABS.



Figura 2. Enfriador

## 3 Diseño del control automático de temperatura

El diseño de esta fuente consta de una conversión de corriente alterna (ca) a una corriente directa (cd), además, proporciona un voltaje de cd regulado.

Dentro del diseño, existe un circuito de control que provoca el cambio de voltaje en la salida del regulador LM317, en función del cambio de la resistencia del termistor del enfriador (figura 3).

El circuito de control contiene el termistor, además, también se encuentran comparadores de voltaje y una red de divisores de voltaje.

El circuito LM317 es un regulador de voltaje variable, es decir, mediante un potenciómetro se cambia el voltaje de salida regulado. Entre la terminal de salida y la terminal de ajuste de este regulador, siempre hay una diferencia de voltaje de 1.2 V. Por lo que el mínimo voltaje que se obtiene con este regulador es de 1.2 V. El voltaje regula-

do de salida es entonces:

$$V_r = 1.2 + V \quad (1)$$

donde,  $V_r$  es el voltaje regulado de salida y  $V$  es el voltaje en el potenciómetro y se puede determinar mediante la ley de Ohm.

El capacitor  $c_4$  elimina los problemas causados por la existencia de terminales largas entre el rectificador y el LM317 y  $c_5$  elimina las pequeñas variaciones de voltaje que existen cuando el potenciómetro varía su resistencia.

La resistencia  $R$  es de 10 k $\Omega$  al 1 % de precisión y  $P$  es una Resistencia Variable Multivuelta de Precisión (RVMP) de 20 k $\Omega$ , todos del mismo valor. El termistor en la figura 4, debe de estar en un valor de resistencia en la cual la longitud de onda del láser DFB debe de coincidir con la longitud de onda de la rejilla de Bragg. La resistencia del termistor se encuentra en un rango de 15.9 k $\Omega$  y 17.1 k $\Omega$ , y es el rango donde la rejilla de Bragg presenta máxima reflexión. Con esta variación de resistencia se tiene una variación de temperatura de 0.3  $^{\circ}\text{C}$ . De acuerdo a esto, las RVMP tienen valores de resistencia de 15.9 k $\Omega$ , 16.1 k $\Omega$ , 16.4 k $\Omega$ , 16.7 k $\Omega$ , 16.9 k $\Omega$ , 17.1 k $\Omega$ , cubriendo el rango en el cual se tiene la máxima reflexión. Cuando el termistor cambia su valor de resistencia, genera un cambio de voltaje en el punto  $g$  de la red de la figura 4.

En los puntos  $a-f$  se encuentran los voltajes de referencia que son conectados a un comparador de voltaje. Los valores puestos en las RVMP obedecen a que es el rango de resistencia del termistor en el cual la longitud de onda del láser coincide con la longitud de onda de la rejilla de Bragg.

El LM339 es un circuito integrado que contiene cuatro comparadores de voltaje de precisión independientes que han sido diseñados especialmente para ser comparadores de voltaje flexibles. El máximo voltaje de alimentación es de  $\pm 18$  volts. Fueron diseñados específicamente para operar con alimentación de voltaje positiva.

Las terminales de entrada son diferenciales ( $E_d$ ), es decir, si  $E_d$  es (+) el interruptor de salida estará abierto y si  $E_d$  es (-) el interruptor de salida estará cerrado. La salida de los voltajes de referencia van conectados a la entrada positiva de los comparadores y el voltaje que se genera en el termistor va conectado a la entrada negativa.

Debido a que son una red de 6 divisores de voltaje, se necesitan 6 comparadores de voltaje, ya que con ello se obtiene una mayor sensibilidad en el cambio de corriente en el transistor  $Q_1$  de la figura 3. Cada una de las salidas de los comparadores son conectados a la base de los transistores que se muestran en la figura 5.

La resistencia  $R_x$  es la que hace que el voltaje regulado de salida del LM317 sea máximo cuando todos los transistores se encuentran desactivados y por lo tanto habrá una corriente máxima de colector a emisor del transistor  $Q_1$  que circulará por el enfriador.

Cuando un transistor es activado, la resistencia  $R_x$  se pone en paralelo con la resistencia de emisor del transistor que se activó y por consiguiente el LM317 experimentará una reducción en su voltaje de salida.

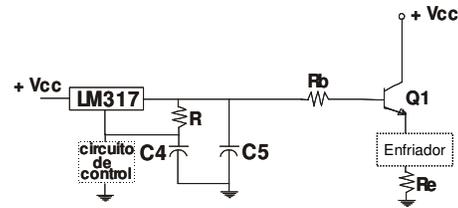


Figura 3. Circuito que alimenta al enfriador

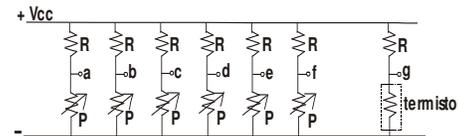


Figura 4. Red de resistencias en paralelo con el termistor.

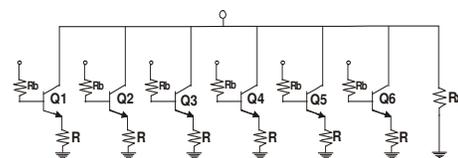


Figura 5. Transistores en paralelo.

Conforme el voltaje del termistor vaya cambiando, los voltajes en la entrada (-) también cambiarán y por lo tanto activarán la salida del comparador e irán por consiguiendo activando los transistores  $Q_1-Q_6$ .

El enfriador es específicamente una montura que controla la temperatura de un diodo láser, la cual, puede ser operada con una gran precisión en el control de temperatura y así poder seleccionar la longitud de onda de un láser sintonizable. Este enfriador tiene la particularidad de que los diodos láseres pueden ser fácilmente montados en él.

## 4 Conclusiones

Se ha presentado paso a paso el diseño de un circuito que controla automáticamente un enfriador mediante el control de la corriente continua que circula por él. El diseño presentado es fácil de construir, es confiable y barato en su construcción, ya que puede ser construido a base de componentes electrónicos que se encuentran comúnmente en tiendas comerciales electrónicas. La ventaja al utilizarlo en un EDFA en configuración reflectiva, es que es fácilmente incorporable a un arreglo de fibra óptica. La amplificación obtenida por el amplificador es de 2500 veces la señal de entrada con 25 mW en la potencia de bombeo. El ruido de ASE máximo es de 1 mW a una potencia de bombeo de 25 mW.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), al COCYTECH y al Gobierno del Es-

tado por el apoyo otorgado.

## Referencias

1. Ryoza Yamauchi, "Erbium Doped Fiber Amplifiers for 1.55  $\mu\text{m}$  Band and their Key Technologies", *Optoelectronics Devices and Technologies* vol. 10, No 1, pp. 39-54, Marzo 1995.
2. T.C. Liang, N.J. Cheng, and S.C. Hung, "Gain Enhancement in L-Band Gain-Flattened EDFA Using a Reflective-Type Structure", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 37, no. 5, June 5, 2003, pags. 393-395.
3. S.W. Harun, P.Poopalan, and H. Ahmad, "Gain Enhancement in L Band EDFA Through a Double Pass Technique", *IEEE Photonics Letter*, vol. 14, 2002, pags. 295-297.
4. S.W. Harun, N. Tamchek, and Ahmad, "Gain Clamped L-Band EDFA Using a Fiber Bragg Grating in Two Stage Configuration", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 37, no. 4, May 20, 2003, pags. 265-266.
5. S.W. Harun, N. Tamchek, P. Poopalan, and Ahmad, "Gain Improvement in L-Band EDFA Using Unpumped EDF in Double Pass System", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 36, no. 3, February 5 2003, pags. 154-156.
6. Hongyun Meng, Yange Liu, Weiqing Gao, Hao Zhang, Shuzhong Yuan, and Xiaoyi Dong, "Reflection L-Band Erbium-Doped Fiber Amplifier-Based on a Fiber Loop Mirror", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 36, no. 6, March 20 2003, pags. 501-503.
7. Qinghe Mao, John W.Y. Lit, "Amplification Enhancement of L Band Erbium-Doped Fiber Amplifiers by Reflection Scheme", *Optics Communication*, no. 201, January 1 2002, pags. 61-69.
8. Balakrishnan Sridhar, Steven P.Bastien, and Harish R.D. Sunak, "Erbium Doped Fiber Power Amplifiers with Pump Reflecting Mirrors in the 800 nm Band", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 4, no. 8, August 1992, pags. 917-919.
9. Joon Tae Ahn, Min-Yong jeon, Kyong Hon Kim, "Two-Stage Reflective-Type Erbium-Doped Fiber Amplifier With Enhanced Noise Figure Characteristics", *Optics Communication*, vol. 197, 15 september 2001, pags. 121-125.
10. J. L. Camas-Anzueto, E. A. Kuzin, R. Téllez, B. Ibarra E., G. Beltrán, "Caracterización de un Amplificador de Fibra Óptica Dopada con Erblio con Pulsos en Función del Tiempo", *Revista Mexicana de Física*, Vol. 50, no. 1, febrero 2004, págs. 60-63.