

BUS HÍBRIDO DE SENSORES POR FIBRA CON AMPLIFICACIÓN ÓPTICA

B. Vizoso, I.R. Matías, M. López-Amo, M.A. Muriel, J.M. López Higuera^(*)

Dpto. de Tecnología Fotónica

E.T.S.I. Telecomunicación

Ciudad Universitaria. 28040-Madrid

^(*)Dpto. de Electrónica

E.T.S.I. Telecomunicación

Universidad de Cantabria. Avda de los Castros. Santander

Abstract

Before the apparition of the optical amplifiers, one of the traditional problems of the use of bus structures in the optical passive networks was the limited number of nodes could be supported. In this work, a passive optical network is presented where conventional data can share the same optical fiber with data from sensors of temperature, luminosity, humidity, etc. A double amplified recirculating ring structure is used not only for amplifying but for equalizing and filtering the signals coming from optoelectronics units attached to fiber couplers carrying the sensors information.

1.- Introducción

Las estructuras recirculantes amplificadas han sido analizadas ampliamente [1] [2] y su capacidad para el desarrollo de funciones en el procesamiento de señal, tales como filtrado, generación de pulsos de trenes, convolución y memoria, ha sido ya probada. Con las estructuras recirculantes dobles amplificadas (ERDA) se puede conseguir un mayor grado de flexibilidad [3] y de este modo, por ejemplo, obtener diferentes espectros de frecuencia en donde se pueda predeterminar amplitudes relativas entre máximos y mínimos, así como la posición de éstos.

En este trabajo se ha diseñado una ERDA para un bus de fibra óptica para sensores. Esta red presenta como peculiaridad añadida la utilización simultánea de fibra monomodo y multimodo, así como fuentes luminosas en las tres ventanas de comunicaciones. En cualquier caso, una de las tres longitudes de onda empleadas podría dedicarse a datos y la otra a otro tipo de tráfico de señales como video, telefonía, control, etc., dejando una de ellas para los datos propios provenientes de sensores, incrementando de esta forma el grado de integración de diferentes tipos de datos por un mismo soporte físico - la fibra óptica- muy importante en entornos relacionados con edificios inteligentes [4].

2.- Estructuras recirculantes dobles amplificadas

La figura 1 representa una ERDA, que se ha empleado para filtrar, equalizar y amplificar las diferentes portadoras eléctricas que transportan la información de los distintos sensores.

Considerando un análisis incoherente y teniendo en cuenta que es un sistema lineal con respecto a la intensidad óptica, se puede obtener la función de transferencia sin más que aplicar las ecuaciones de los acopladores direccionales y las condiciones de anillo impuestas en cada bucle. De este modo se obtiene la siguiente función de transferencia:

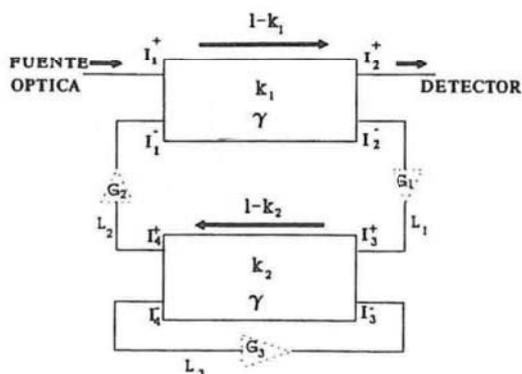


Figura 1. Configuración de una ERDA introduciendo fibra dopada con Erbio en L_1 , L_2 ó L_3 .

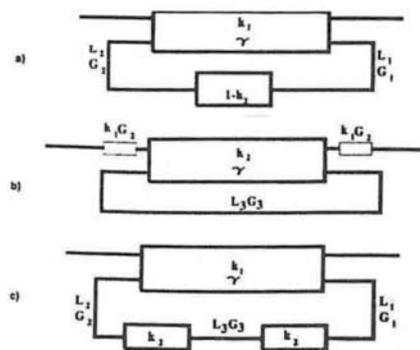


Figura 2. Separación de una ERDA en 3 estructuras simples.

$$H(\Omega) = (1 - \gamma_1)(1 - k_1) + \frac{(1 - \gamma_1)^2 k_1^2 A S_1 S_2}{1 - (1 - \gamma_1)(1 - K_1) A S_1 S_2} \quad (1)$$

con:

$$S_i = G_i 10^{-\left(\frac{\alpha l_{pi}}{10}\right)} e^{j\alpha \tau_i} \quad (2)$$

$$A = (1 - \gamma_2) \frac{(1 - k_2) + (1 - \gamma_2)(2k_2 - 1)S_3}{1 - (1 - \gamma_2)(1 - k_2)S_3} \quad (3)$$

en donde:

- Ω es la frecuencia eléctrica que modula la portadora óptica.
- γ_i, k_i son las pérdidas fraccionales y la relación de acoplo respectivamente, de los acopladores direccionales ($i=1$ se refiere al acoplador número 1 e $i=2$ al acoplador 2).
- l_{pi} es la longitud de la fibra en cada uno de los bucles.
- α es la atenuación de la fibra.
- G_1, G_2 y G_3 son las ganancias que se introducen en cada uno de los tres bucles.
- τ_i representa el retardo en el tiempo de propagación que se originan en cada bucle i . Estos retardos vienen dados por la expresión: $\tau_i = \frac{n \cdot (l_{pi} + l)}{c}$, donde l es la longitud de la fibra, c es la velocidad de la luz en el vacío y n es el índice de refracción de la fibra óptica.

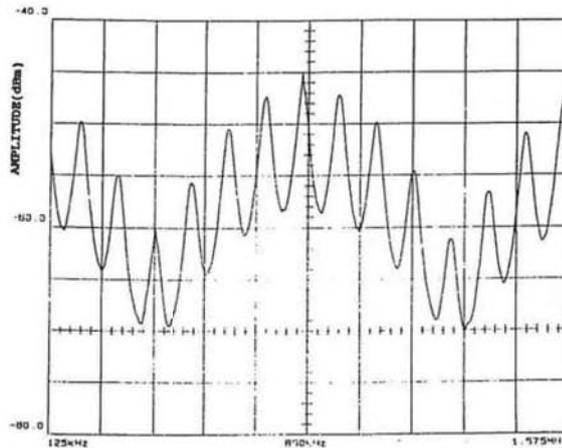


Figura 3. Función de transferencia de una ERDA obtenida en un analizador de R.F.

La función de transferencia es una señal periódica con máximos y mínimos como puede verse en la figura 3, obtenida del analizador de espectros de R.F. Un método para calcular estos máximos y mínimos es dividir el sistema en tres anillos simples independientes[5] como se muestra en la figura 2. Si se opera así, los máximos y mínimos de la función de transferencia global estarán comprendidos en el conjunto de los siguientes valores:

$$f_{\text{máx}} = \left\{ N_1 \cdot \left(\frac{1}{\tau_1 + \tau_2} \right) \right\} \cup \left\{ N_2 \cdot \left(\frac{1}{\tau_3} \right) \right\} \cup \left\{ N_3 \cdot \left(\frac{1}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} \right) \right\} \quad (4)$$

$$f_{\text{mín}} = \left\{ \left(\frac{1}{2} + N_1 \right) \cdot \left(\frac{1}{\tau_1 + \tau_2} \right) \right\} \cup \left\{ \left(\frac{1}{2} + N_2 \right) \cdot \left(\frac{1}{\tau_3} \right) \right\} \cup \left\{ \left(\frac{1}{2} + N_3 \right) \cdot \left(\frac{1}{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3} \right) \right\} \quad (5)$$

en donde N_1, N_2 y N_3 son enteros y cada uno de los corchetes representa la contribución de cada anillo simple en que se ha dividido la ERDA.

3.- Aplicación de la estructura recirculante a un bus híbrido de fibra óptica

Como es bien sabido, las técnicas de división en longitud de onda (WDM) se emplean habitualmente para incrementar el número de elementos multiplexados en una red. En este trabajo, se presenta una red (figura 4) en donde se utilizan las tres ventanas de comunicaciones ópticas y en donde las señales de los sensores que vienen transportadas a 1550 nm son amplificadas y ecualizadas usando este tipo de estructuras ERDA. El bus se ha construido con una sección de 2Km de fibra óptica monomodo, una sección de 2 Km. de fibra óptica multimodo, 6 acopladores con relaciones de acoplo del 10%, un WDM 1300/1550 nm, una ERDA, como se muestra en la figura 1, y elementos sensores.

Las subportadoras eléctricas ($f_1=1144$ KHz, $f_2=1040$ KHz, $f_3=870$ KHz, $f_4=705$ KHz, $f_5=602$ KHz, $f_6=520$ KHz) están moduladas en FM por cada una de las señales que contienen la información de los sensores, y que ocupan un ancho de banda de aproximadamente 2kHz. A su vez, estas subportadoras eléctricas moduladas en FM van montadas sobre una portadora óptica, de modo que cada subportadora eléctrica representa un sensor. De esta forma f_1 y f_2 modulan un láser a 1550 nm, f_3 un láser a 1300 nm y f_4 , f_5 y f_6 modulan un LED de 820 nm.

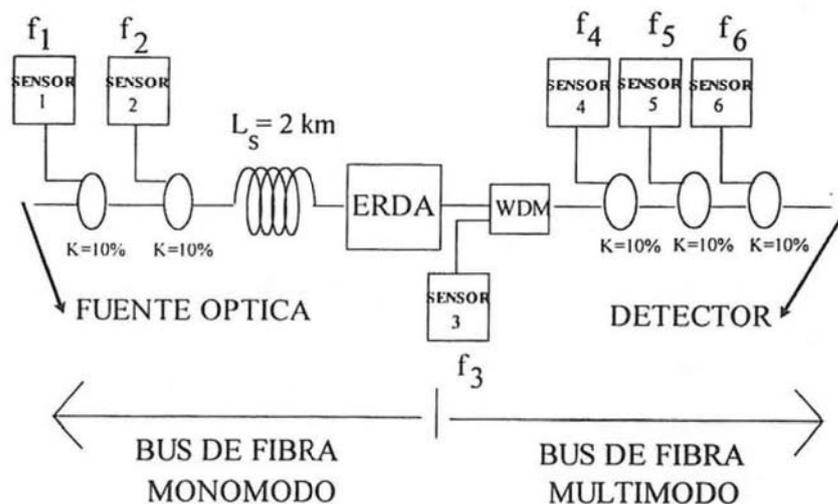


Figura 4. Red híbrida de fibra óptica para sensores con utilización de técnicas WDM y ERDA.

Las señales con este ancho de banda tan pequeño, no necesitarían modular láseres en segunda y tercera ventana, sino que podrían modular LEDs y de este modo reducir costes; pero para amplificar las señales de los sensores más alejados del controlador central usando la ERDA, es necesario que estén en 1550 nm. La señal que modula un láser de 1.3 μm , en este caso concreto se corresponde con el sensor número 3, pero podría ser una señal de datos proveniente de una red de área local, por ejemplo.

La ERDA introducida al final de la sección de fibra monomodo se utiliza para amplificar las señales en tercera ventana. Por tanto una respuesta en frecuencia con máximos localizados $N \cdot 104$ KHz con $N=0,1,2, \dots$ sería adecuada (máximos a 1040 MHz y 1144 MHz pueden conseguirse con $N=10$ y 11 respectivamente). La amplitud del máximo localizado en 1040 MHz debe ser mayor que el localizado a 1144 MHz para ecualizar ambas señales (ver figura 5).

Teniendo en cuenta que tan solo se insertan dos señales en esta estructura, un periodo con dos máximos diferentes es suficiente. Se ha elegido un periodo de 832 kHz ($N=8$) con ocho máximos, pero podría ser menor, dependiendo de cada asignación particular de frecuencias que se quiera utilizar.

Considerando $n=1.44$, $k_1=0.81$, $k_2=0.3$, $G_1=G_2=1$, $G_3=1.65$, $\alpha_1=\alpha_2=\alpha_3=0.0003$ dB/m, $\gamma_1=\gamma_2=0.05$. y utilizando el método propuesto [5], la longitud de los bucles de fibra deben ser de $l_1=248.5$ m, $l_2=2$ m y $l_3=2002$ m. La función de transferencia experimental que se obtiene es la representada en la figura 3. El máximo que se observa a 832 KHz indica que la periodicidad de $H(\Omega)$ es la esperada.

En la figura 5 se pueden apreciar las señales que llegan al receptor de los diferentes sensores cuando no se usa una estructura tipo ERDA. En ella se observa la señal del sensor 1 está aproximadamente 5 dBs por encima de la señal del sensor 2.

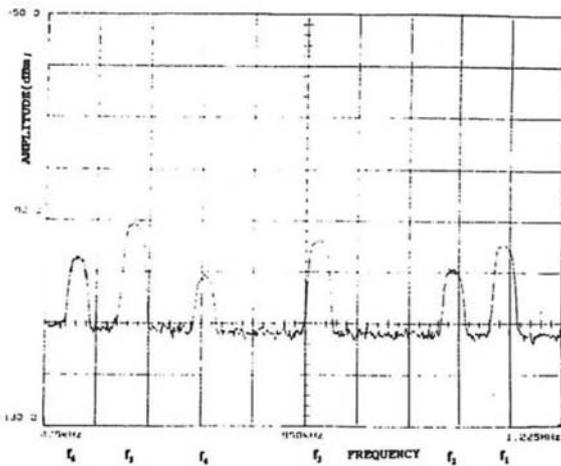


Figura 5. Salida del bus de la figura 4 sin ERDA

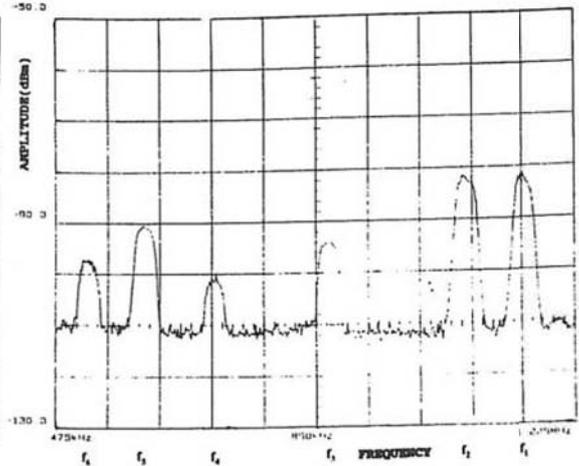


Figura 6. Señal en el detector con ERDA.

Una vez insertada la ERDA se obtiene el espectro representado en la figura 6, en donde las dos señales 1 y 2 se amplifican y ecualizan, manteniendo inalteradas el resto de las señales.

4.- Conclusiones

En este trabajo se ha demostrado la flexibilidad de diseño de las estructuras recirculantes dobles amplificadas para obtener diferentes funciones de transferencia. Además se ha aplicado este tipo de estructuras para filtrar, ecualizar y amplificar señales provenientes de sensores insertadas en un bus de fibra óptica. En este tipo de redes de sensores, la posición que han de ocupar cada uno de ellos dentro de la red variará en función del parámetro a medir, y por tanto habrá señales que se reciban con gran nivel de potencia y sin embargo otras sufrirán una atenuación muy severa. Para solventar este tipo de problemas se ha utilizado previamente amplificación distribuida, con las desventajas que ello conlleva. Con el procedimiento propuesto en este trabajo, se centraliza la amplificación cerca del controlador con funciones añadidas de ecualización y filtrado.

Esta es una solución al problema de hibridación de redes de sensores sobre redes de datos. Así, se podría aprovechar la fibra óptica ya instalada en un edificio como red de área local para superponer redes de sensores. De esta forma, y sin necesidad de nuevos tendidos, se conseguiría aprovechar más la capacidad de la fibra controlando parámetros ambientales como luz, temperatura, humedad, etc., imprescindibles en entornos de edificios inteligentes [4] [6].

5.- Agradecimientos

Deseamos manifestar nuestro agradecimiento a la entidad CICYT por la concesión del proyecto TIC-92-00520C02, que ha hecho posible la realización de este trabajo.

6.- Referencias

- [1] B. Vizoso, C. Vázquez, R. Civera, M. López-Amo and M. Muriel. *Amplified Fiber Optic Recirculating Delay Lines*, IEEE J. of Lighthwave Tech. V.12 n.2 pp.294-305. Feb 1994
- [2] C. Vázquez, B. Vizoso, M. López-Amo and M. Muriel. *Single and Double Recirculating Delay Lines as Fibre Optics Filters*, Electronics Letters V.28 n.11 pp.1017-1019. May 1992.
- [3] C. Vázquez, R. Civera, M. López-Amo and M. Muriel. *Analysis of Double-Parallel Amplified Recirculating Optical Delay Lines*, Applied Optics V.33 n.6 pp.1015-1021 Feb.1994.
- [4] I. Matías, A. Sánchez, J.A. Rodrigo, J.M. López Higuera, and M. López-Amo. *Integración de Sensores por Fibra Óptica para Edificios Inteligentes*. pp. 222-227. URSI 94. Gran Canaria.
- [5] B. Vizoso, I. Matías, M. López-Amo y J.M. López Higuera. *Design and Application of Double Amplified Recirculating Ring Structure for Hybrid Fiber Buses*. Optical & Quantum elect. 1995.
- [6] M. López-Amo y otros. *Integración de Sensores en Redes de Área Local por Fibra Óptica para Edificios Inteligentes*. V Jornadas de Tecnología Electrónica. Santander, 1993.