

## DESARROLLO DE SISTEMAS OPTICOS COHERENTES A 2,5 GBIT/S

A. Aguilar. Alcatel SESA. Centro de Investigación. Madrid.  
G. Junyent. E.T.S.I. de Telecomunicación. UPC. Barcelona.

### ABSTRACT

The paper is concerning to a R&D project to develop Optical Coherent Systems working at 2.5 Gbit/s data speed and 1.55  $\mu\text{m}$  operating wavelength. Three are the main phases in the project plan: the Lab Model system, built using mostly commercially available subsystems; the Terminal Prototype built using hybrid circuits and installed into a rack; and the Coherent Demonstrator, incorporating the techniques used on multipoint applications.

### INTRODUCCION

Los sistemas de transmisión basados en la detección coherente ofrecen ventajas significativas en comparación con los sistemas convencionales, basados en la detección directa:

\* La mejora de la sensibilidad del receptor permite una mayor distancia entre repetidores, lo que es importante para los enlaces en aplicaciones punto a punto.

\* El aprovechamiento máximo de la capacidad de información de la fibra óptica, utilizando técnicas de multiplexación por división de frecuencia óptica conjuntamente con transmisores y receptores sintonizables, abre grandes expectativas para las futuras redes de naturaleza multicanal o aplicaciones multipunto.

Como contrapartida, los sistemas coherentes requieren componentes y subsistemas trabajando en condiciones críticas de funcionamiento. El diodo láser del transmisor y del oscilador local han de ser controlados de forma precisa para producir una radiación luminosa con una longitud de onda muy estable y una anchura de línea espectral muy estrecha. El receptor óptico aumenta en complejidad debido a que requiere una gran anchura de banda.

Para que dichos sistemas sean competitivos desde un punto de vista económico, se requiere un alto nivel de integración óptica, electroóptica y electrónica.

## PLAN DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es la adquisición de las tecnologías para el desarrollo de los Sistemas Ópticos Coherentes de alta velocidad a través de la materialización práctica de sistemas de transmisión para aplicaciones punto a punto y multipunto, operando a velocidades de multigigabits.

El proyecto se ha definido en diferentes fases. En primer lugar se ha desarrollado un Modelo de Laboratorio, que se describe en este artículo. Está formado por equipos y subsistemas comercialmente disponibles en catálogo, subsistemas desarrollados bajo especificaciones y por circuitos híbridos realizados para dicho propósito. Con el Modelo de Laboratorio se pretende demostrar la viabilidad técnica del sistema de transmisión definido y disponer de un banco de pruebas para experimentar con los subsistemas definitivos antes de su instalación en el Prototipo.

El Prototipo consistirá en un Equipo Terminal de Línea (transmisor y receptor), cuyos elementos irán instalados en un bastidor según una práctica de equipo normalizada y dispondrá de las correspondientes fuentes de alimentación, alarmas y puntos de prueba.

Finalmente, se pretende el desarrollo de un Demostrador de Técnicas Coherentes en donde se demostrarán las técnicas básicas de las redes multicanal: multiplexación de frecuencias próximas, referencia de frecuencia óptica absoluta, amplificación óptica y sintonización óptica de canales.

Este proyecto, encuadrado en el marco del Plan Nacional de Investigación, está financiado por Alcatel Standard Eléctrica y en él participan el Centro de Investigación y la Ingeniería de Transmisión de Alcatel Standard Eléctrica y los siguientes Grupos de las ETSI de Telecomunicación: Grupo de Comunicaciones Ópticas de Barcelona (UPC), Grupo de Microondas y Radar de Madrid (UPM) y Grupo de Sistemas Fotónicos de Madrid (UPM).

A continuación se describen las características más importantes del Modelo de Laboratorio y los resultados obtenidos hasta la fecha.

### TRANSMISOR OPTICO

El transmisor óptico convierte la señal digital eléctrica de entrada, a una velocidad de 2,488 Gbit/s, en una señal óptica modulada en frecuencia según el formato CPFSK (Continuous Phase Frequency Shift Keying). El diagrama de bloques del transmisor se representa en la Figura 1.

El modulador del láser opera de manera que adapta los niveles de la señal de entrada y proporciona la corriente de modulación. Esta corriente variable, de varios mA de amplitud, se superpone a la corriente de polarización ( $I_b$ ) constante, que sirve para fijar las condiciones de funcionamiento del láser en un punto de

trabajo muy por encima de su corriente umbral (2-3 I<sub>th</sub>). Aprovechando la característica FM (GHz/mA) de los diodos láser, mediante la cual se produce una desviación de frecuencia óptica con la variación de la corriente de excitación, a la salida del láser se produce la señal óptica con la modulación requerida.

El circuito modulador incorpora un integrado de AsGa con una respuesta en frecuencia medida de hasta 5 GHz y una VSWR de entrada de menos de 2:1 en toda la banda. La Figura 2 muestra el diagrama de ojos a la salida de dicho modulador, correspondiente a una secuencia pseudoaleatoria.

El módulo láser incorpora un diodo láser DFB y una serie de elementos para el control del mismo: un fotodiodo para detectar y controlar su potencia de salida, un termistor y una enfriador termoeléctrico (TEC) para medir y controlar su temperatura de funcionamiento y un aislador óptico para atenuar (30 dB) las reflexiones de la luz producidas en el medio de transmisión.

La anchura espectral del diodo láser, excitado al doble de la corriente umbral (I<sub>th</sub>), es de 10 MHz, siendo I<sub>th</sub>= 27,1 mA a 25 °C. La longitud de onda de pico, 1,5481 μm, (I<sub>b</sub>=50 mA, T=25 °C) varía con I<sub>b</sub> y T como 0,260 GHz/mA y 13,7 GHz/°C, respectivamente. Se ha estimado que el control de temperatura del TEC tiene que proporcionar una temperatura de trabajo estable dentro de 0,01 °C y que la corriente de modulación para producir una desviación de frecuencia de 1,25 GHz es alrededor de 5 mA.

#### RECEPTOR OPTICO

La Figura 3 muestra el diagrama de bloques del receptor definido para el Modelo de Laboratorio, basada en una configuración balanceada.

Mediante un acoplador 2x2 de fibra óptica y con una razón de acoplamiento de 50/50 %, la señal CPFSK transmitida a través de la fibra óptica se mezcla con la procedente del Oscilador Local (OL) en sendos fotodetectores apareados y se convierte al dominio eléctrico. La diferencia de ambas fotocorrientes proporciona la señal de frecuencia intermedia (FI) que posteriormente se amplifica, se demodula y, finalmente, se regenera, resultando a la salida del receptor una señal digital de idénticas características que la señal de entrada al transmissor.

Para utilizar dispositivos RF comerciales en el margen de 2 a 8 GHz, se ha elegido, en principio, una FI de 4,355 GHz.

Los fotodetectores de InGaAs tienen una responsividad de 0,65 A/W (-7 V), una corriente de oscuridad de 20 pA, una anchura de banda de 18 GHz y un rizado de +/-0,3 dB en la banda de interés.

La diferencia entre las fotocorrientes generadas por ambos fotodetectores a la salida de un acoplador híbrido de 180 pasa a través de la etapa de FI, consistente en un Pre-Amplificador y un Módulo FI, que incorpora un filtro y un control automático de ganancia (CAG).

El Pre-Amplificador es un amplificador comercial de 50 ohmios y bajo ruido, basado en FETs de AsGa. El Modulo FI ha sido desarrollado, bajo especificaciones, con módulos comunes de RF y consiste en una cadena formada por un primer amplificador, un filtro, un atenuador variable y un segundo amplificador. La Figura 4 muestra la respuesta en frecuencia de la etapa de FI.

En la siguiente etapa, la señal FI se demodula y se convierte en una señal en banda base. El demodulador consiste en un divisor de potencia, una línea de retardo (402 ps) y un mezclador doblemente balanceado.

La señal en banda base se procesa de forma convencional para obtener la señal digital a 2,488 Gbit/s. Es decir, la señal pasa a través de un amplificador, un filtro y, finalmente, un regenerador de datos. Las frecuencias de corte a -3 dB definidas en esta etapa son 0,5 MHz y 1,5 GHz.

El Regenerador de Datos, que incluye el recuperador de reloj, se está realizando en dos versiones. Una consiste en una placa formada por elementos pasivos tales como un doblador de frecuencia, un filtro SAW y un circuito de decisión. La otra, basada en la técnica PLL, consiste en un circuito híbrido comercial formado por dos circuitos integrados: uno, de AsGa, que contiene un circuito de decisión y la parte de alta velocidad del bucle de enganche de fase y frecuencia, y el otro es un bipolar de Si que contiene un filtro y un circuito de adquisición.

El Oscilador Local es un láser de cavidad externa con una anchura espectral de línea de 100 kHz y unos márgenes de sintonía manual y electrónico de 40 nm y 0,2 nm, respectivamente. El Control de Longitud de Onda se realiza mediante un circuito de realimentación que actúa sobre el margen de sintonía de manera que sigue las posibles variaciones de la longitud de onda del láser emisor para mantener la frecuencia intermedia constante.

Cambios en las propiedades ópticas de las fibras, debido a condiciones ambientales externas, inducen birrefringencias en las fibras ópticas monomodo convencionales, produciendo lentas variaciones del estado de polarización de la luz transmitida en el extremo del receptor. Como resultado, se producen fluctuaciones de la sensibilidad del receptor que llega a afectar significativamente al margen de potencia del sistema. Para evitar este fenómeno, se dispone del Controlador de Polarización Externo, por medio del cual, el estado de polarización de la luz del OL se adapta al de la luz de la señal transmitida.

El problema de la polarización se resolverá en el Prototipo mediante un receptor de diversidad de polarización, que incorpora un acoplador óptico híbrido que adapta automáticamente los estados de polarización de las señales luminosas que llegan a los fotodetectores. Esto lleva consigo la duplicación de la cadena de detección y de frecuencia intermedia.

**CONCLUSION**

Se han descrito los objetivos principales del proyecto y los resultados técnicos obtenidos hasta la fecha.

Se está ensamblando el Modelo de Laboratorio compuesto de subsistemas electrónicos y módulos optoelectrónicos comerciales que han sido adaptados para este propósito. En paralelo se está desarrollando un Prototipo de Terminal de Línea que estará formado por circuitos híbridos montados en tarjetas enchufables que irán instaladas en un bastidor normalizado.

**FIGURAS**

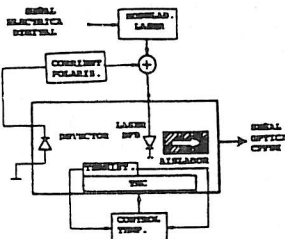


FIG. 1.- ESQUEMA DEL TRANSMISOR CPDR

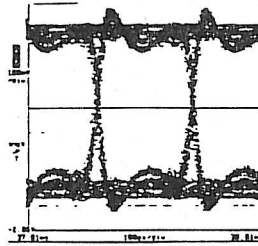


FIG. 2.- Diagrama de ojo a la salida del modulador.

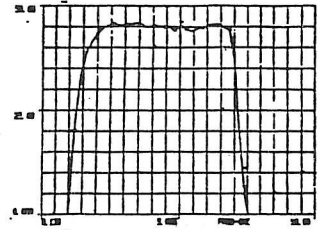


FIG. 4.- Respuesta en frecuencia de la etapa FI.

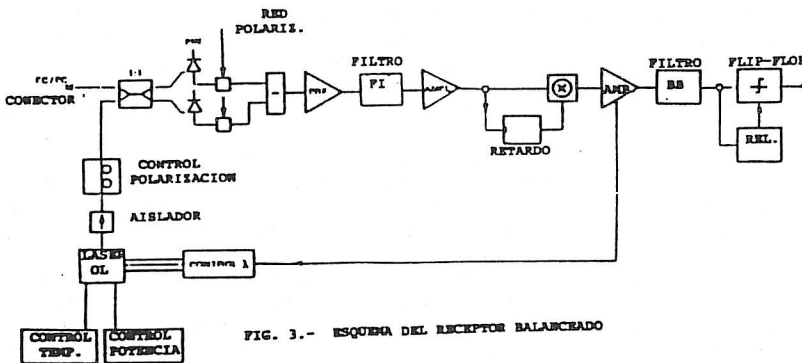


FIG. 3.- ESQUEMA DEL RECEPTOR BALANCEADO