



Umbral Científico

ISSN: 1692-3375

umbralcientifico@umb.edu.co

Universidad Manuela Beltrán

Colombia

Campos Hernández, German Enrique; Sabogal Alfaro, Guiovanna Paola
Software de simulación de diferentes tipos de modulación de señales de radiofrecuencia sobre fibra
óptica

Umbral Científico, núm. 9, 2006, pp. 76-84

Universidad Manuela Beltrán

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30400909>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



SOFTWARE DE SIMULACION DE DIFERENTES TIPOS DE MODULACION DE SEÑALES DE RADIOFRECUENCIA SOBRE FIBRA OPTICA

German Enrique Campos Hernández¹
Guiovanna Paola Sabogal Alfaro²

Fecha de recepción: Junio 7 de 2006

Fecha de aceptación: Septiembre 6 de 2006

RESUMEN

El siguiente artículo presenta un software desarrollado sobre la plataforma de LabVIEW[®] de la casa National Instruments, el cual genera una librería denominada RoFSim (Simulador de Radio sobre Fibra) basada en Instrumentos Virtuales o VI's para simular un sistema completo de transmisión de señales moduladas en rango de radiofrecuencia sobre un esquema de comunicaciones ópticas (*RoF* o *Radio over Fiber*) que incluyen: el láser transmisor, la fibra óptica y el fotodetector, en un ambiente completamente gráfico. Se presenta su estructura, su multicanalización y su análisis en dominio del tiempo, de la frecuencia, y del espectro óptico.

Palabras Clave: Instrumento virtual, Láser DFB, Fibra óptica monomodo, Fotodetector PIN, Analizador de espectros.

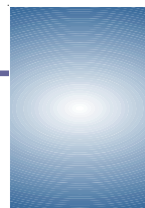
ABSTRACT

This article presents a National Instruments LabVIEW[®] developed software which includes a Virtual Instrument library named RoFSim (Radio over Fiber - SIMulator) for a full transmission radio frequency modulated signals over optical communications scheme simulation including transmission laser, optical fiber, and photodetector, over a fully graphical environment. It presents its structure, multiplexing and time and frequency analysis and optical spectra analysis as well.

Key Words: Virtual instrument, DFB laser, Monomode optical fiber, PIN photodetector, Spectrum analyser

¹ Ingeniero Electrónico y Especialista en Teleinformática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Docente Investigador Grupo de Investigación en Sistemas de Telecomunicaciones, Universidad Manuela Beltrán.

² Ingeniera Electrónica y Especialista en Teleinformática, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Estudiante de Maestría en Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Colombia. Docente investigadora Grupo de investigación en Ingeniería de Software, Universidad Manuela Beltrán.



INTRODUCCION

La revolución de las comunicaciones ópticas continúa sin que se contemple aun la cima en su desarrollo. Las más recientes investigaciones y pruebas de diversos laboratorios y compañías de alta tecnología, han enfocado sus esfuerzos en desarrollar diferentes tecnologías llegando hasta los límites de la electrónica tal y como la conocemos.

Las tecnologías de semiconductores llegan a sus extremos con los esquemas de comunicaciones digitales como SDH y NG-SDH³; DWDM⁴ logra sus avances con base en elementos optoelectrónicos; las fibras mismas han evolucionado cambiando su estructura física; conmutadores ópticos basados en MOEMS⁵ transforman los ADM⁶ “típicos”, la búsqueda de la máxima capacidad de canal parece ser el límite.

Por otro lado, diferentes tecnologías buscan aliarse con el fin de ofrecer “lo mejor de sus mundos” generando “patrones híbridos” los cuales buscan, a su vez, llevar múltiples servicios por la menor cantidad de canales posible.

Partiendo de este caso, las microondas y los enlaces ópticos -dos mundos aparentemente disímiles- generan entre ellos el esquema *RoF* (*Radio over Fiber*), llevando consigo todas las ventajas -y desventajas- de cada uno de ellos. (GHASSEMLOOY, 1995; AMMON, 1997).

El trabajo realizado es una herramienta computacional que facilita el análisis y estudio de dichos sistemas, enfocado principalmente a todas

aquellas personas que deseen conocer este novedoso concepto de comunicaciones ópticas.

CONCEPTOS BASICOS SOBRE LOS SISTEMAS DE RADIO SOBRE FIBRA OPTICA

Los sistemas de transmisión de radio sobre fibra están caracterizados por tener elementos del espacio libre y fibra óptica, son hechos para tener un incremento en las redes de telecomunicación actuales y de la próxima década, gracias a su habilidad para proveer beneficios adicionales en una variedad de aplicaciones en sistemas del día de hoy como antenas remotas y estaciones satelitales o en aplicaciones que están en evolución como periféricos móviles o sistemas inalámbricos a una infraestructura de red sobre fibra óptica. Los sistemas de *RoF* proveen una buena sinergia entre el radio y la óptica, y se han diseñado para obtener un eficiente promedio entre estas dos tecnologías. (COX, 2001).

En esencia, los sistemas de *RoF* transmiten por fibra óptica para entregar señales de radio directamente a la base de la antena, tal y como se contempla en la figura 1.

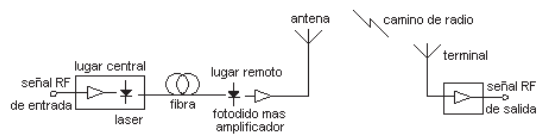


Figura 1. Esquema de un sistema *RoF* sencillo de una vía

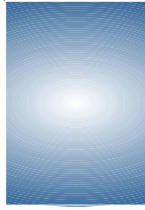
Dependiendo de la aplicación, las señales de radio pueden ser VHF, UHF, microondas u ondas

³ SDH por Jerarquía Digital Síncrona, NG-SDH por Jerarquía Digital Síncrona de Siguiete Generación.

⁴ DWDM por Multicanalización por Longitud de Onda Densa.

⁵ MOEMS por Sistema Micro-óptico- electro-mecánico.

⁶ ADM por multiplexor de extracción-inserción.



milimétricas. La fibra óptica es un medio ideal de transmisión debido a sus bajas pérdidas, alta frecuencia de trabajo y un amplio ancho de banda. Para entregar la señal de radio directamente, el enlace de fibra óptica evita la necesidad de generar la portadora de radio de alta frecuencia a la base de la antena, lo que usualmente es engorroso por no tener (en algunas ocasiones) un acceso fácil y un ambiente adecuado. (DAGLI, 1999).

La principal ventaja de *RoF* es la habilidad de concentrar lo más costoso del equipo de alta frecuencia en un lugar central, permitiendo que el equipo restante que se tenga que instalar en el “lugar distante” sea sencillo, de tamaño reducido, de peso ligero y con bajo consumo de potencia.

Esto da como resultado una estación integra, de fácil mantenimiento y fácil de alimentar en términos de potencia. Por otro lado se incrementa la flexibilidad operacional y el potencial para reutilizar o compartir entre una cantidad determinada de usuarios los servicios implementados. Algo que también es importante es que la frecuencia de radiación puede ser controlada desde un lugar central (lejos de las variaciones de los climas severos que se sufren en algunas bases de antenas) y gracias a esto pueden ser extremadamente estables. (SEEDS, 1996).

APLICACIONES

Algunas de las aplicaciones de esta tecnología son:

- Comunicaciones Satelitales (operación remota de antenas y de estaciones satélite - tierra)
- Redes de comunicación de radio móvil. (CAPMANY, 2004)
- Acceso a banda ancha por radio
- Servicio de Distribución de Video Multipunto (MVDS). (WYANT, 2006).
- Sistemas Móviles de Banda Ancha (MBS)

- Comunicación y control de vehículos
- Radio LAN sobre redes ópticas

Actualmente la principal aplicación práctica de la tecnología de *RoF* proviene del área de las comunicaciones satelitales aunque en los últimos años esta tomando gran importancia en los esquemas de comunicaciones móviles celulares.

COMPONENTES OPTOELECTRONICOS DE ONDAS MILIMETRICAS

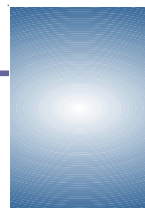
Entre los componentes optoelectrónicos de ondas milimétricas, desarrollados y empleados en diversas aplicaciones de comunicaciones de alta velocidad, se pueden nombrar los siguientes:

1. Fuentes de luz: láser FM, láser Monomodo (como el DFB, DBR, VCSEL, C^3) y el MQW, láser de Modo Dual como el *Fabry-Perot*
2. Moduladores ópticos: de *Mach-Zehnder* y de Electroabsorción
3. Fibra óptica: monomodo según recomendación ITU G.652.
4. Receptores ópticos: de *Edge-Entry* como el PIN y los monolíticos con preamplificación óptica como el APD.

Evidentemente, entre los dispositivos semiconductores, sus estructuras se diferencian determinando así sus aplicaciones específicas. De esta forma, aunque se emplea en la transmisión de señales ópticas, un láser de estructura DFB no aplica para un sistema WDM. (BHATTACHARYA, 1996; GEOFF, 1999).

DESCRIPCION DEL SOFTWARE RoFSim

A pesar de contar con varias alternativas para el desarrollo del software, finalmente se trabajó sobre



la plataforma LabVIEW[®] 6i de la casa National Instruments, cumpliendo el objetivo de lograr una alta potencialidad en el procesamiento de datos junto con un ambiente gráfico amigable y deductivo, proporcionado por el lenguaje de programación como tal, en el cual se representan los bloques que componen un sistema común de *RoF* (de ahí su nombre). Por otro lado, LabVIEW[®] permite el acople con otros programas de análisis como Matlab[®] o HiQ[®], de forma que soporta la importación de datos a partir una función de comunicación interna que solo es posible con los códigos de Matlab[®] y HiQ[®].

RoFSim aparece dentro del ambiente gráfico de LabVIEW[®] como una librería de usuario tal y como se observa en la siguiente figura.



Figura 2. Iconos de RoFSim como librería de usuario en LABView

Con base en un diagrama de bloques definido que represente un enlace de comunicaciones con radio sobre fibra en un esquema SCM⁷, se empezó a programar en LabVIEW[®] con el fin de estructurar un VI o *Virtual Instrument*, el cual permite ubicar en un solo equipo de cómputo, todo un laboratorio experimental virtual en el que se puedan simular los comportamientos de los diversos componentes que se hayan en un sistema de *RoF*.

Cada parte del sistema de comunicaciones esta simbolizado por un icono de forma tal que su manejo es prácticamente deductivo, tal y como se observa en la figura 3.

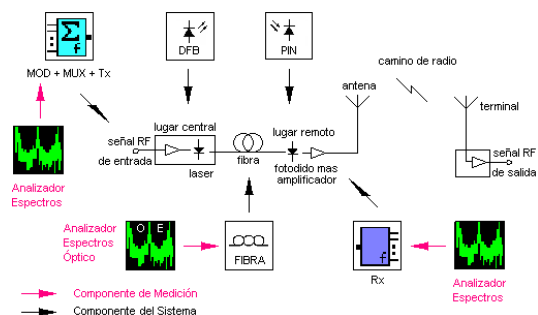


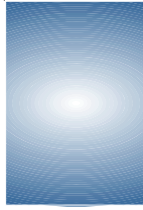
Figura 3. Iconos de RoFSim dentro del esquema RoF

ESQUEMA DEL PROGRAMA

El sistema de simulación se basa en un transmisor y un receptor conectados por medio de una fibra óptica monomodo, representado en la figura 4.

El transmisor se compone de un generador de señales, entre los que se puede escoger el número de canales a visualizar. Cada canal tiene un generador de señales: senoidales, triangulares,

⁷ SCM por Modulación de Sub-portadora



cuadradas y rampa. Cada una de estas señales tiene normalizada su amplitud ($A_M=1$) pero se puede variar la frecuencia con que se genera. Posteriormente, cada uno de los cuales posee la posibilidad de escoger su tipo de modulación (entre ellos: análogo lineal: AM, DSB, VSB; análogo exponencial: FM y PM; modulación híbrida: PWM y PAM; y digital: ASK, FSK, PSK y QAM). También se puede ingresar la frecuencia de portadora a la cual se va a modular.

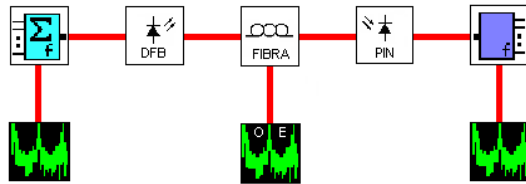


Figura 4. Esquema de simulación de un sistema de RoF en RoFSim

Tal librería ofrece además los visualizadores de espectros de potencia (óptico y eléctrico) y de señales en el dominio del tiempo, por otro lado, éste tiene definidos los bloques de señal modulada y FDM, el láser tipo DFB, la fibra óptica monomodo, y el fotodetector PIN.

Una vez modulada la señal, el usuario también puede escoger la frecuencia intermedia a la cual ingresará la señal al FDM. Finalmente se visualizarán las señales moduladas y las provenientes del FDM casi de forma simultánea. Las restricciones que ocurren en la visualización de las señales en el programa, las generan las frecuencias portadora e intermedia, ya que estas son proporcionales a la cantidad de muestras procesadas por el computador y que cumplen con la siguiente ecuación:

$$F_s = (2 \times F_c) + BW$$

donde:

F_s = frecuencia de las muestras a procesar,
 F_c = frecuencia de portadora o la frecuencia intermedia,
 BW = ancho de banda estimado del esquema de modulación empleado para cada canal.

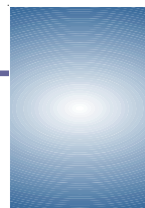
El siguiente elemento del sistema es el láser DFB, tal y como se muestra en la figura 5, el cual cuenta como entrada la señal de RF compuesta y su salida es la señal de luz modulada IM-DD⁸ (LETAIEF, 1997). Este bloque presenta parámetros tales como la eficiencia diferencial, la longitud de onda y el factor de confinamiento del láser.



Figura 5. VI para el módulo del láser DFB

Similares parámetros muestra el fotodetector PIN, el cual se encarga de convertir la señal contenida en el dominio óptico al dominio eléctrico nuevamente. Entre el láser y el fotodetector se encuentra entonces la fibra óptica monomodo, la cual se rige por la recomendación G.652 de la ITU para estandarizar todos sus parámetros geométricos, ópticos y de transmisión.

⁸ IM-DD por Modulación de Intensidad de Detección Directa



A continuación se muestra en la figura 6, la pantalla de trabajo o instrumento virtual desarrollado en el software para el módulo de transmisión (generación de señal y modulación, junto con su visualización).

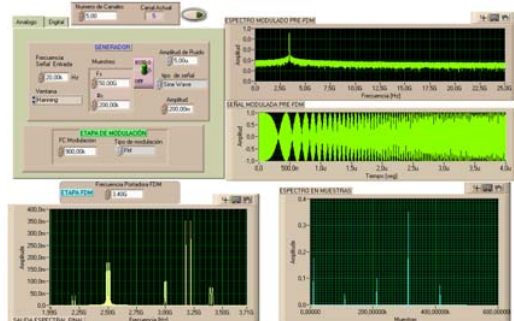


Figura 6. VI para el módulo Transmisor

COMPOSICIÓN DEL SOFTWARE

Dado el ambiente gráfico de LabVIEW®, estos VI's se generan por medio de elementos icónicos, los cuales también permiten aceptar código de Matlab®, generando algunas funciones o cálculos matemáticos mas complejos como la FFT, que se observa en la figura 7, empleado para generar las respuestas espectrales de los diferentes elementos del sistema.

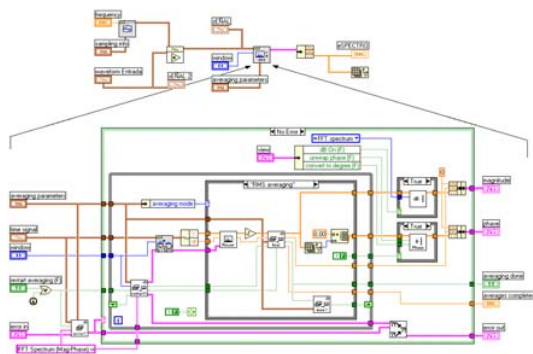


Figura 7. Código gráfico del módulo FFT para el VI Analizador de Espectros

Tales iconos manejan en sus diferentes entradas, discriminaciones numéricas como enteros, reales o complejos según sea el caso y los propósitos de cada icono, reflejando su naturaleza en el modo de *Context Help*, mostrado en la figura 8. (LETAIEF, 1997).

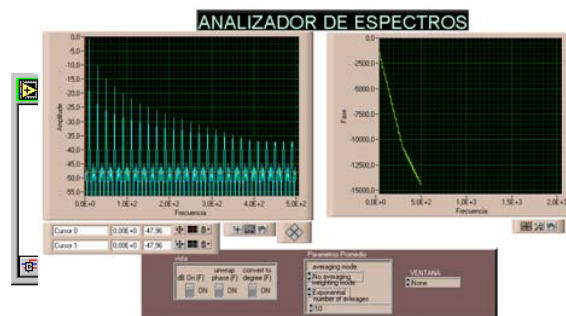


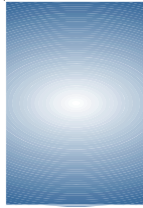
Figura 8. Señales generadas por el Analizador de Espectros del RoFSim y su correspondiente *Context Help*

RESULTADOS

A Nivel Teórico

Aunque la teoría de las comunicaciones ópticas es interesante, no deja de ser extensa y en ciertos momentos bastante complicada, teniendo en cuenta el modelamiento de elementos de múltiples variables y generalmente de respuestas no lineales tanto en sus espectros eléctrico como óptico. (PALAIS, 1998).

De acuerdo con la investigación realizada, los sistemas de RoF poseen un horizonte de trabajo muy interesante, tanto en el área de investigación y tecnología de punta, como en el gran número de aplicaciones para los cuales el *RoF* es más que una solución.



A Nivel Práctico

El software como herramienta puede despejar las eventuales dudas e incertidumbres que un sistema complejo como estos puede mostrar, sin embargo no se puede tomar como un software de alto desempeño tipo CAD ya que ello implica una mayor profundización en la generación y depuración de los modelos de simulación.

Dado que se emplean datos reales tanto para los modelos parametrizados como para las señales a analizar, la cantidad de operaciones por segundo que las funciones matemáticas deben procesar es directamente proporcional al número de canales que el usuario desee ingresar al programa e igualmente proporcional con la frecuencia de todas las señales periódicas que el usuario desee simular.

Se ha establecido que escogiendo un FDM con más de 12 canales, con frecuencias del orden de los 500 kHz en las frecuencias de las señales moduladas, y superiores a los 200 MHz para las frecuencias intermedias, un equipo básico con un procesador Athlon de AMD de 1,2 GHz y 256MB de RAM -tomando que el buffer de memoria esté libre al menos un 85% - tarda entre 4 y 7 minutos.

Típicamente, las potencias de desempeño de los diferentes procesadores no son linealmente proporcionales entre las diferentes velocidades de estos, e incluso, varían según el fabricante. Por eso no se asegura un patrón de tiempo de procesamiento de la información por el software. Solo se tiene la certeza que las operaciones se hacen de la manera más sencilla, matemáticamente hablando, al emplear algoritmos como la FFT para el análisis de datos en el dominio de la frecuencia, tal y como se muestra en la figura 9.

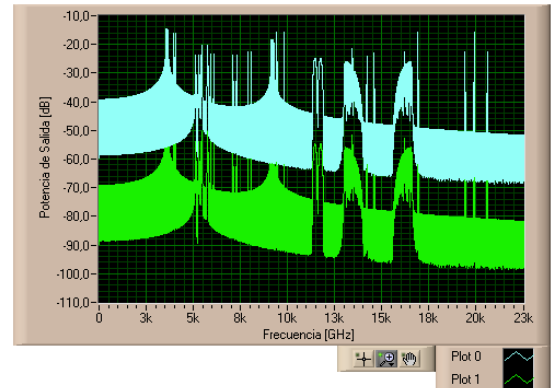


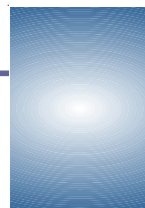
Figura 9. Respuesta del esquema de comunicaciones empleando FFT en un analizador de espectros para 4 canales de FDM en ASK, VSB, FM y AM (de izq. a der.) cuya entrada está en cian y su salida en verde

El desarrollo del software se enfocó de manera tal que los códigos fuente pudiesen ser modificados sin ningún problema por cualquier usuario que tenga nociones intermedias en el manejo de la programación gráfica.

De esta forma, los códigos fuente se dejan abiertos a todas aquellas personas que deseen y puedan detallarlo y/o complementarlo con los demás elementos y parámetros que se necesiten.

CONCLUSIONES

Como tal, las comunicaciones ópticas poseen ciertos dispositivos que se caracterizan tanto las particulares condiciones ópticas como eléctricas con las cuales son fabricados, generando una serie de alteraciones no lineales que solo pueden analizar por complejos



planteamientos matemáticos, y que son evidentes en el desempeño de este tipo de sistemas de telecomunicaciones.

Por otro lado, las comunicaciones ópticas ofrecen como ningún otro sistema, la capacidad necesaria para el envío de datos sin importar su ancho de banda, teniendo en cuenta el constante crecimiento de los servicios telemáticos unidos a la incesante demanda de equipos que ofrezcan versatilidad y movilidad.

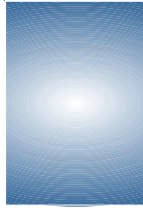
En este punto aparece el software RoFSIM como una herramienta sencilla que puede ser empleada para propósitos particularmente académicos en el ámbito de las comunicaciones ópticas, pero que puede ser susceptiblemente mejorada dada su naturaleza de librería de LabVIEW[®], así como la ventaja de poder ser readaptada o aumentada sin mayores inconvenientes según se desee.

Entre sus aplicaciones, RoFSIM podría incluir las

variantes de la tecnología de la Óptica de Espacio Libre (FSO) u óptica inalámbrica, la cual representa los enlaces ópticos inalámbricos punto a punto, en cuyo caso habría que insertar los iconos y la matemática de la física óptica, ausentes en este desarrollo.

De igual forma, y con el actual desarrollo de procesadores más complejos, como los de procesadores duales, o inclusive en pequeños *grids*, el tiempo de procesamiento se reduciría, permitiendo sobrepasar las limitantes encontradas en las pruebas iniciales del software.

Quedaría abierta, finalmente, la posibilidad de madurar el desarrollo del software así como los algoritmos de cálculo y simulación para poder generar respuestas más eficientes; por otro lado, existe la opción de crear un archivo ejecutable de forma tal que el software se pueda liberar de la plataforma de LabVIEW[®] sobre la cual se ejecuta actualmente.



BIBLIOGRAFIA

- AGRAWALD, Govind. Nonlinear Fiber Optics. Prentice Hall, New Jersey. 2003
- AMMON, Yariv. Optical Electronics in Modern Communications. Oxford university Press, Oxford, 1997.
- BHATTACHARYA, Pallab. Semiconductor Optoelectronics Devices. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J. 1996.
- CAPMANY, José, FRAILE-PELÁEZ, Javier, y MARTÍ, Javier. Fundamentos de Comunicaciones Ópticas. Síntesis, Madrid, 2004.
- COX, Charles y ACKERMAN, Edward. RF Fiber-Optic Link Performance. En: IEEE Microwave Magazine. Vol. 2, no. 4; diciembre 200; p 50-58.
- DAGLI, N. Wide bandwidth lasers and modulators for RF photonics. En : IEEE Transactions on Microwave Theory Tech. Vol. 47, julio 1999; p 1151-1171.
- GEOFF, Lewis. Communications Systems Engineers Choices. Focal Press, Washington, 1999.
- GHASSEMLOOY, Zabihollah, WILSON, B., y DARWAZEH, I. Analogue Optical Fibre Communications. The Institution of Electrical Engineers, Londres, 1995.
- KEISER, Gerd. Optical Fiber Communications. McGraw-Hill International Edition, Singapur, 2000.
- LabVIEW USER MANUAL. National Instruments Corporate. Austin, 2001.
- LETAIEF, B. et al. Computer aided modeling, analysis and design of communication links. En : IEEE Journal on Selected Areas in Communications. Vol. 15, No. 4. mayo 1997.
- PALAIS, Joseph. Fiber Optic Communications. Prentice Hall, 1998.
- SAUTER E.G. Nonlinear Optics. Willey Series in Microwave and Optical Engineering. Kay Chang Series, Boston, 2002.
- SEEDS. Albert. Optical transmission of microwaves. En: The Review of Radio Science. Oxford University Press, 1996; pp 335-360.
- WYANT, James C. et al. The Photonics Design & Applications Handbook. Laurin Publishing Company, 2006.