AMPLIFICADORES DE FIBRA ÓPTICA EN TELECOMUNICACIONES

Erwin A. Martí-Panameño

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas Benemérita Universidad Autónoma de Puebla México

San José, Costa Rica, 9 y 10 de Mayo, 2012



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR DOSC, OUSta Hilda, 5 y 10 de Mayo, 2017 1



Introducción: Optoelectrónica \rightarrow Fotónica

Solitones Ópticos Temporales

Amplificación de solitones

- Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia
- Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea

Láseres Multicavidad

- Acoplado en un punto de láseres de fibra
- Generación sincrónica en tres cavidades



Comunicaciones Ópticas



Figura: Estado al año 2011 del cableado óptico alrededor del mundo (http://www.submarinecablemap.com/)



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN Toan 0030, 0031a mica, 5 y 10 00 mayo, 201 3

Comunicaciones Ópticas



Figura: Cómo nos comunicamos hacia y desde Costa Rica? (http://www.submarinecablemap.com/)



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR DOSE, OUSIA FIICA, 5 y 10 de Mayo, 201 4

Comunicaciones Ópticas



Figura: La alta tecnología también sirve para excluir a regiones. (http://www.submarinecablemap.com/)



RES DE F AMPLIFICADOR

• A las comunicaciones electrónicas les es inherentes una frecuencia portadora ~ 1*GHz*.



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0030, 005ta Filca, 5 y 10 de Mayo, 201 6

- A las comunicaciones electrónicas les es inherentes una frecuencia portadora ~ 1*GHz*.
- Las comunicaciones ópticas se caracterizan por que su frecuencia portadora es de cientos de Terahertz.



VIPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0030, 00314 mila; 5 y 10 de Mayo, 201 6

- A las comunicaciones electrónicas les es inherentes una frecuencia portadora ~ 1GHz.
- Las comunicaciones ópticas se caracterizan por que su frecuencia portadora es de cientos de Terahertz.
- Durante la década de 1980 se instaló el cableado de fibra óptica para instrumentar las comunicaciones ?opticas.
- Década de 1990- La era de la información: Microelectrónica + comunicaciones ?opticas.
- Los Amplificadores ópticos son una pieza clave en el incremento de la capacidad de comunicaciones ópticas



Una manera de evaluar el desarrollo de las comunicaciones ópticas es através del producto de la cantidad de bits trasmitidos por la distancia.

 $[BL] = \mathsf{bits} \times \mathsf{kilómetros}$

Este producto se incrementó varios órdenes de magnitud en las últimos dos décadas: intrínsecamente ligado al cambio en la forma de regenerar las señales.





Figure 1.2: Increase in bit rate-distance product BL during the period 1850-2000. The emergence of a new technology is marked by a solid circle.

Figura: Incremento histórico del producto*BL*. A partir de los años 90 del siglo pasado las comunicaciones ópticas se apoyan en los amplificadores ópticos basados en fibras ópticas (G.P. Agrawal, "Fiber-optic communication systems" JW&S, 4th ed. 2010)



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0036, 003ta filca, 5 y 10 de Mayo, 2012 / 38 Este cambio se basó en la transición de los amplificadores electrónicos a los ópticos:



Este cambio se basó en la transición de los amplificadores electrónicos a los ópticos:

Conversión óptica — corriente eléctrica —- amplificación electrónica — conversión a luz.



Este cambio se basó en la transición de los amplificadores electrónicos a los ópticos:

Conversión óptica — corriente eléctrica —- amplificación electrónica — conversión a luz.

lo que tenemos es:





Figura: Este esquema de amplificación ha permitido razones de bits > 100Gb/s.



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0030, 00314 HICA, 5 y 10 de Mayo, 2012 10 / 38



Figura: Se considera regiones de pérdidas para las fibras < 0.3 db



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0050, 005ta frica, 5 y 10 de Mayo, 2017 11 / 38 Uno de los métodos de codificación de se nales ópticas más perspectivo y ya en marcha es el basado en solitones ópticos temporales.



Una propiedad general de los paquetes de onda electromagnéticos (espaciales y temporales) es que tienden a " expandirse " durante la propagación.



Una propiedad general de los paquetes de onda electromagnéticos (espaciales y temporales) es que tienden a "expandirse " durante la propagación. La explicación es sencilla: cada una de las diferentes componentes espectrales del paquete de onda viaja a su propia velocidad.

Dispersión: ensanchamiento temporal del pulso.

Difracción: ensanchamiento transversal del haz.



Propagación dispersiva de pulsos luminosos



Figura: Sin pérdidas la propagación dispersiva, produce que el pulso se ensanche. Espectralmente se reduce su ancho.



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR dose, costa filca, 5 y to de mayo, 201 14 / 38 Sin embargo, pulsos luminosos intensos producen la automodulación de fase y el pulso tiende a comprimirse temporalmente debido al enrriquecimiento espectral.



Propagación no lineal de pulsos luminosos



Figura:



Erwin A. Martí-Panameño (BUAP)

AIVI 16

/ 38

Balance de los efectos no lineales y dispersivos



Figura: Solitón



Erwin A. Martí-Panameño (BUAP)

AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR OSSE, OUSIA FIICA, 5 y 10 de Mayo, 2012 17 / 38

Comportamiento similar a una partícula.



Figura: Colisión de solitones



Erwin A. Martí-Panameño (BUAP)

AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0030, 00314 HICA, 5 y 10 00 Mayo, 2011 18 / 38 El modelo matemático para el estudio de la propagación y amplificación no lineal quedo definido ayer:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Psi}{\partial \tau^2} + (1 - \beta) |\Psi|^2 \Psi + \beta Q \Psi + \frac{G}{2} P$$

$$\mu^2 \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + 2\mu \delta \frac{\partial Q}{\partial t} + Q = |\Psi|^2.$$

$$\frac{T_2^i}{\tau_0}\frac{\partial P}{\partial t} + P(1+iT_2^i\Delta\omega) = i\Psi$$



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TSan 0036, Costa nica, 5 y 10 de mayo, 2012 19 / 38 Como paquetes de onda los solitones son elementos que pueden ser amplificados en diferentes tipos de condiciones. Veamos dos casos:

 Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia.



Como paquetes de onda los solitones son elementos que pueden ser amplificados en diferentes tipos de condiciones. Veamos dos casos:

- Amplificación en fibras ópticas con perfiles periódicos de alta ganancia.
- Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea.



Investigación

Revista Mexicana de Física 41, No. 1 (1995) 72-84

Soliton solutions in optical fiber devices possessing periodical high gain profiles

V.A. VYSLOUKH*, M. TORRES-CISNEROS, J.J. SÁNCHEZ-MONDRAGÓN, E. MARTÍ-PANAMEÑO AND G.E. TORRES-CISNEROS[†] Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica Apartado postal 51; 72000 Puebla, Puebla, México

Recibido el 4 de mayo de 1994; aceptado el 21 de octubre de 1994

AusTRACT. We study the behavior of optical pulses propagating in optical fibers possessing periodical gain profiles which do not statify the adiabatic amplification conditions. We demonstrate that it is possible to obtain first and higher order soliton solutions, and we predict their final asymptotic amplitudes and wilds as well as some of their transient characteristics. These predictions agree with results of numerical simulations and allow to describe the global behavior of optical fiber devices that use periodical gain profiles, such as high gain doped fiber amplifiers.

Figura: Altos perfiles de Amplificación



VIPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR DOSC, OUSta Hica, 5 y 10 de Mayo, 201





Figura: Altos perfiles de Amplificación



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR dose, obsid filea, 5 y 10 de Mayo, 201 22 / 38



FIGURE 5. Temporal behavior of an initial first order soliton as it propagates through a fiber possessing the periodical gain profile of Fig. 1b with $g_0 = 1$ and $L = Z_0/2$. The total propagation distance is 32L, and each curve is taken at the distance interval of 2L.

Figura: Altos perfiles de Amplificación



23 / 38



FIGURE 8. Spatial traces of (a) the energy, (b) the peak intensity, and (c) the width of a pulse propagating through a fiber possessing the periodical gain profile of Fig. 1b, with $g_0 = -2$ and $L = Z_0/4$. The theoretically predicted parameters are indicated by the corresponding horizontal lines.

Figura: Altos perfiles de Amplificación



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR dose, obsid frida, 5 y 10 de mayo, 201 24 / 38

Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea

OPTICAL FIBER TECHNOLOGY 2, 143-148 (1996) ARTICLE NO. 0016

Femtosecond Soliton Amplification in an Er-Doped Fiber Amplifier with Inhomogeneously Broadened Line

E. MARTÍ-PANAMEÑO*

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Apdo. Postal 1704, 72001 Puebla, Mexico

V. A. VYSLOUKH, M. TORRES+CISNEROS, AND J. J. SÁNCHEZ-MONDRAGÓN

Instituto Nacional de Astrofísica, Optica y Electrónica, Tonantzintla, Mexico

AND

G. E. TORRES-CISNEROS

Facultad de Ingeniería Mecánica, Eléctrica y Electrónica, Universidad de Guanajuato, Mexico

Received September 5, 1995; revised January 5, 1996

Figura: Amplificación de solitones fs



10 25 / 38

Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea



FIG. 1. Temporal (a) and spectral (b) evolution of the soliton pulse in an amplifier with BL. The graphs were obtained by numerical integration of Eqs. (1), (2), and (6) with the initial control Eq. (29). Parameters: $G = 4, L_F = 2.5$, $\Omega_0 = 0, \sigma = 4.25, \gamma_d = 1, \mu = 0.125, \delta = 0.28$.



FIG. 2. Dependence of the output soliton form factors on the amplification coefficient G for both kinds of broadening mechanisms: BL (1) and HBL (2). Parameters: $GL_F = 1$, $\mu = 0.125$, $\delta = 0.28$; IBL $-\sigma = 4.25$, $\gamma_A = 1$; IBL $-\gamma_P = 0.2$.

fact may be attributed to the difference of the lines shapes and to the higher order perturbation effects.

We also considered the carrier frequency shift in dependence on the amplification parameter G. These results are presented the amplification in the broadening mechanisms the self-frequency shift is approximately the same. The output value of $\Omega_{c}(L_F)$ in creases with decreasing of G because the product GL_F was fixed and for a long fiber the Raman self-frequency shift is more pronounced.

In the next series of computer simulations we studied the dependence of the output form factor on the initial soliton frequency Ω_{0} . These results are presented in Fig. 4. From this figure one can conclude that IBL amplifier is more effective than HBL noe. Maximum value of the output form factor is reached at $\Omega_{0}\simeq 1.5,$ i.e., when the initial carrier frequency of the soli-

-CTP

Figura: Amplificación de solitones fs

Erwin A. Martí-Panameño (BUAP)

IPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0030, 003ta filca, 9 y 10 de Mayo, 2012 26 / 38

Amplificación de solitones fs en componentes con línea inhomogénea



FIG. 4. Output soliton form factors as functions of the initial frequency detuning Ω_0 for both kinds of broadening mechanisms: IBL (1) and HBL (2). Parameters: $G = 0.1, L_F = 10, \mu = 0.125, \delta = 0.28; IBL - \sigma = 4.25, \gamma_a = 1;$ IBL - $\gamma_a = 0.2$.

FIG. 5. Output soliton self-frequency shifts $\delta\Omega_{\gamma}$ as functions of the initial frequency detuning Ω_0 for both kinds of broadening mechanisms: IBL (1) and HBL (2). Parameters: G = 0.1, $L_F = 10$, $\mu = 0.125$, $\delta = 0.28$; IBL $-\sigma_0 = 4.25$, $\lambda_{\gamma} = 1$; IBL $-\gamma_0 = 0.2$.

Figura: Amplificación de solitones fs



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR dose, obsta hida, 5 y 10 de Mayo, 2012 27 / 38 El trabajo en el área de amplificadores ópticos, es un trabajo con un muy reducido margen para Universidades sin contacto con la industria. Por esto suspendimos el trabajo en amplificadores y nos concentramos en láseres de dise nos y propiedades particulares. Estos son los láseres multicavidad.



MPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TSan 6556, OSSIA HICA, 5 y 10 de Mayo, 201

Estos sistemas láser son:

• Acoplado en un punto de láseres de fibra.



Estos sistemas láser son:

- Acoplado en un punto de láseres de fibra.
- Generación sincrónica en tres cavidades. (Experimento)

Detengámonos brevemente en estos resultados.





Optics Communications 191 (2001) 323-332 Synchronous mode-locking in multichannel fiber laser systems

L.C. Gómez-Pavón *, E. Martí-Panameño

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Apdo. Postal 1704, 72001 Puebla, Mexico Received 7 December 2000; received in revised form 25 January 2001; accepted 16 February 2001

Abstract

Based on the numerical experiment techniques, we report the synchronous pulse generation in multichannel fiber laser systems. The laser arrays under study are conformed by two up to seven nonlinearly coupled doped fibers, separately pumped. Due to the nonlinear interaction between evanescent waves of the active modulated radiation in one of the fibers and the radiation in all other ones, the system achieves the time synchronization - in all channels - of the pulse generation. The characterization of these systems as well as the effect of symmetry breaking on the pulse characteristics are carried out. © 2001 Published by Elsevier Science B.V.

Figura: Amarre de modos sincrónico



30 / 38

OPTICS COMMUNICATIONS

www.elsevier.com/locate/optcom



Figura: Amarre de modos sincrónico



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN Tour dose, obsid filida, 5 y 10 de mayo, 20 n 31 / 38



Fig. 4. Evolution of laser radiation when the channels are coupled for (a) central channel and (b) one of the surrounding channels in the fiber laser systems for $L_{f} = 10$ m and $L_{g} = 2$ cm.

Figura: Amarre de modos sincrónico



32 / 38





Fig. 5. Pulse parameters evolution as function of the cavity round trip for (a) central channel and (b) one of the surrounding channels, line 1 denotes - FWHM, 2 - pulse peak intensity and 3 - energy. Fiber laser systems parameters are as in Eq. (4).

Erwin A. Martí-Panameño (BUAP)

AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN Toan dosc, Oosta Hida, 5 y 10 de mayo, 201 33 / 38



Fig. 7. (a) Pulse peak intensity and (b) FWHM as a function of the pump intensity line 1 denotes - two channels; 2 - four channels; and 3 - seven channels fiber laser systems.

Figura: Amarre de modos sincrónico



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR OSC, COSta Hica, 5 y 10 de Mayo, 2011 34 / 38

Synchronous Pulse Generation in an Array of Three Er³⁺ Doped Fiber Lasers

L. C. Gómez-Pavón¹, E. Martí-Panameño², A. Luis-Ramos¹, R. Parada-Alfonso³, J. G. Ortega-Mendoza²

¹ Facultad de Ciencias de la Electrónica, ² Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, San Claudio y 18 Sur, Edif. 109A-CU, San Manuel, Puebla, México.
³ Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Instituto Politécnico Nacional, Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Edif. 5, 3er Piso, Distrito Federal, México.



MPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR DOSE, OUSta HICA, 9 y 10 de Mayo, 2017 35

Generación sincrónica en tres cavidades



Fig. 1. Experimental setup of a multicavity fiber laser system. PL-Pump laser (980nm), WDM-Wavelength division multiplexing coupler (980nm/1550nm), Er³⁺-Erbium doped fiber, OI-Optical isolator, VC-Variable ratio coupler, OC-Optical coupler, AM-Amplitude modulator, C1-Modulated cavity, C2 and C3-Neighbor cavities.



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0030, 00314 HICA, 5 y 10 00 Mayo, 2011 36 / 38

Generación sincrónica en tres cavidades



Fig. 2. Oscilloscope trace of the temporal pulse emission for a C1-modulated cavity, with C2 and C3 as neighbor cavities.



AMPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUR 0030, 00314 HICA, 5 y 10 00 Mayo, 2017 37 / 38

Generación sincrónica en tres cavidades



Fig. 4. The output spectrum of each one of the cavities in the array for: (a) uncoupled cavities and (b) coupled cavities in the synchronous regime.



Erwin A. Martí-Panameño (BUAP)

AMPLIF ES 38

/ 38

Las componentes fotónicas basadas en fibra óptica representan interesantes objetos de estudios relativamente baratos. Con éstos es posible desarrollar tanto investigación como innovación.



IPLIFICADORES DE FIBRA OPTICA EN TOUSE, OUSta Hilda, 5 y 10 de Mayo, 2017 39