

# ANÁLISIS FRECUENCIAL DEL CAMPO ELÉCTRICO QUE RECORRE UN AMPLIFICADOR ÓPTICO SEMICONDUCTOR NO LINEAL DE ONDA PROGRESIVA.

*J.Pont, S.Ruiz-Moreno*  
*Departamento de Teoría de Señal y Comunicación*  
*E.T.S.E.Telecomunicación de Barcelona*  
*Universitat Politècnica de Catalunya*  
*Campus Norte, UPC. Módulo D5, 08080 Barcelona*  
*C/ Sor Eulàlia de Anzizu s/n*  
*telf.: 401 64 43 Fax: 401 64 47 E-mail: linjgf@tsc.upc.es*

## ABSTRACT

The growing use of high speed transmission data, by means of optical fiber, has increased the research of capable devices of amplifying the optical signal. It is detailed in this article how a non-linear model has been developed in order to analyse the behaviour of the electric field inside a travelling wave optical amplifier. It is also shown, several outcomes obtained with distinct input signals.

## 0.INTRODUCCIÓN.

En este artículo se detalla la obtención y aplicación de un modelo que nos permite evaluar el campo eléctrico a la salida de un TWA a partir de la señal incidente a su entrada. Se ha usado, para este fin, la ecuación de onda para el campo eléctrico y la ecuación de ritmo para la densidad de portadores. También se adjuntan diversos resultados provenientes de analizar el amplificador óptico semiconductor cuando éste es atacado por distintos tipos de señales de entrada.

## 1.ECUACIONES FUNDAMENTALES.

Las relaciones que se han usado son la ecuación de onda para el campo eléctrico y la ecuación de ritmo para la densidad de portadores recordadas, a continuación, por comodidad

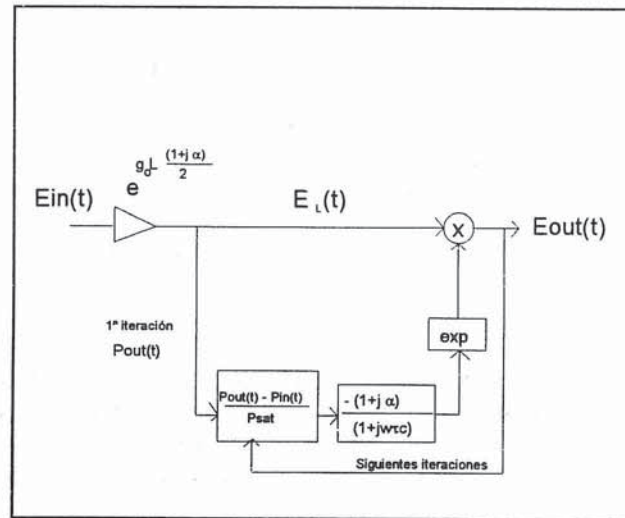
$$\Delta^2 E(z,t) - \frac{n^2}{c^2} \frac{\partial^2 E(z,t)}{\partial t^2} = \frac{I}{\epsilon_0 c^2} \frac{\partial^2 Pol(z,t)}{\partial t^2},$$

$$\frac{\partial}{\partial t} N(z,t) = \frac{I}{qV} - \frac{N(z,t)}{\tau_c} - \frac{I}{Wdhv} \frac{\partial}{\partial z} P(z,t),$$

donde  $\epsilon_0$  es la permitividad eléctrica en el vacío,  $c$  la velocidad de la luz,  $n$  la constante de propagación nominal,  $E(z,t)$  el campo eléctrico en una coordenada  $z$ , en un instante de tiempo  $t$ ,  $Pol(z,t)$  la polarización inducida en el medio -término que nos conlleva no linealidad en las ecuaciones-,  $I$  es la corriente inyectada a la zona activa,  $q$  la carga del electrón,  $h\nu$  la energía del fotón,  $W \cdot d$  el área de la sección del amplificador y  $V$  su volumen,  $\tau_c$  el tiempo de vida medio del conductor en la banda de conducción -debido a recombinaciones no radiativas, espontáneas y de Auger-,  $N(z,t)$  la densidad de portadores en la banda de conducción y  $P(z,t)$  la potencia instantánea de la señal útil.

Operando ambas ecuaciones, teniendo en cuenta que el período óptico es mucho menor que el tiempo de tránsito del fotón a través del amplificador, que a su vez es, también, mucho menor que las variaciones de la envolvente del campo eléctrico, llegamos al modelo iterativo de la fig. 3-1 en el que  $\alpha$  es el factor de confinamiento,  $P_{out}(t)$  la potencia a la salida del TWA,  $P_{SAT}$  el parámetro de saturación,  $F_{tc}$  la operación filtrado paso bajo con función de transferencia  $1/(1+j\omega\tau_c)$ ,  $\omega$  la frecuencia de la envolvente del campo eléctrico,  $E_L(t)$  el campo eléctrico a la salida del amplificador si éste fuera lineal,  $E_{out}(t)$  y  $E_{in}(t)$  las

envolventes de los campos a la salida y a la entrada del TWAO respectivamente,  $g_0$  la ganancia neta del material si el amplificador óptico fuese lineal y  $L$  la longitud del amplificador.



*Fig.1.- Modelo no lineal para el amplificador óptico semiconductor.*

## 2.RESULTADOS OBTENIDOS E INTERPRETACIÓN.

Este modelo ha sido aplicado a distintos tipos de señales de entrada en sistemas con modulación de intensidad con detección directa. Los resultados más relevantes se muestran a continuación:

### a) Campo eléctrico de envolvente constante.

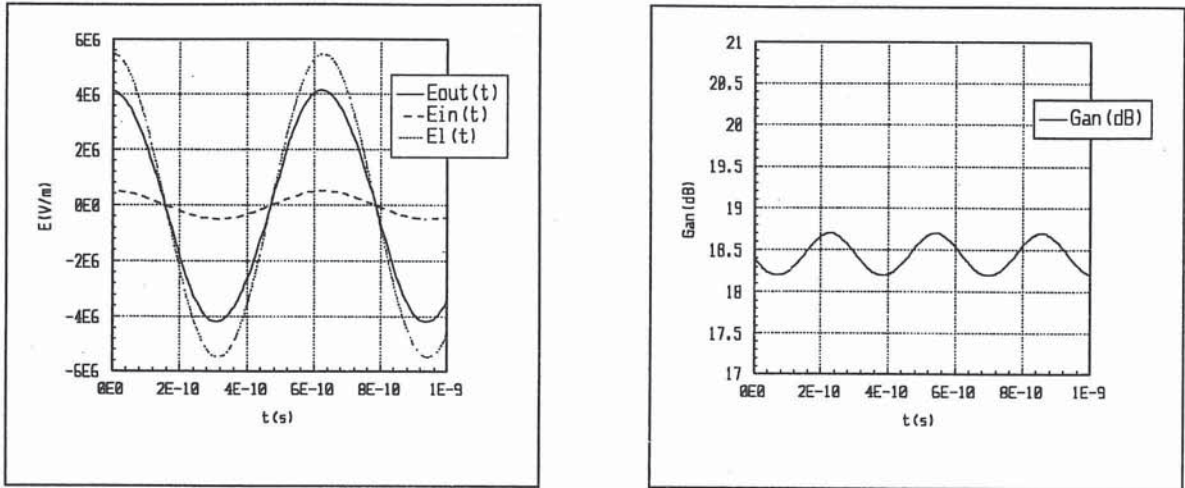
Este caso, si se incrementa la amplitud del campo incidente se produce una separación del régimen lineal, es decir, se provoca una aparición de la saturación.

### b) Señal de envolvente cosenoidal.

En primer lugar, es conveniente resaltar que, para este tipo de entradas al amplificador, la señal resultante se encontrará saturada en los máximos de amplitud de la cosenoide y se comportará casi linealmente en los cruces por cero de la misma.

Por otra parte, la señal resultante de amplificar una senoide, es otra senoide imperfecta, en la que la simetría está ligeramente ladeada hacia la izquierda (figura 2(a)(b)). Esto es debido a que, en los flancos de subida de la senoide de la señal de entrada, la banda de conducción está bastante poblada de portadores (al provenir de un nivel con menos necesidad de inyección) y la ganancia será mayor que si se proviniese de un estado estacionario con el mismo nivel de amplitud (al contrario que en la zona de descenso de la senoide).

Pasando a otro aspecto de este artículo, si se incrementa la frecuencia de la señal sinusoidal y ésta adquiere valores comparables con el inverso del tiempo de vida medio del portador en la banda de conducción, las oscilaciones de la ganancia tienden a su valor medio.



**Fig.2 (a y b).-  $E_{out}(t)$  y ganancia para  $E_{in}=500.000 \cos(10^{10}t)$**   
 $E_{in}$  y  $E_{out}$  son los campos a la salida y entrada respectivamente y  $E_1$  el campo que obtendríamos si el amplificador fuese lineal.

La ganancia depende, pues, tanto de la amplitud del campo eléctrico, como de la frecuencia a la cual actúa.

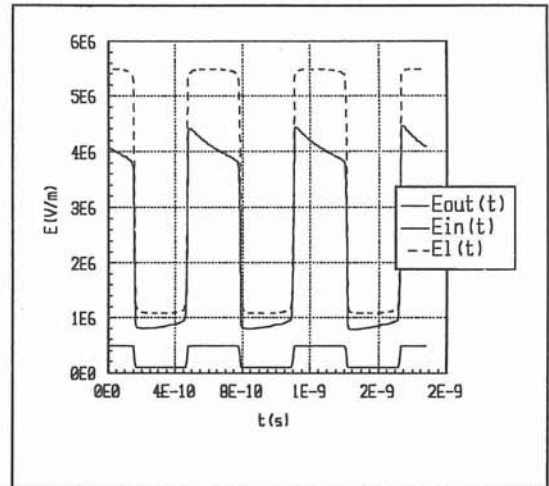
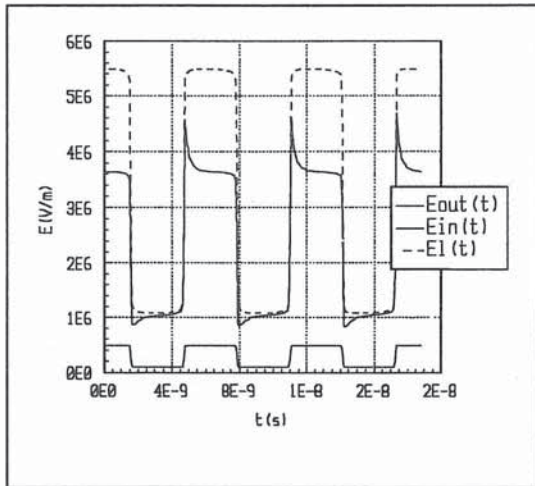
**c) Superposición de dos cosenos como envolvente del campo eléctrico.**

Todos los efectos detallados para la señal cosenoidal se producen de forma equivalente en esta sección. De esta forma, se pone de relevancia, de nuevo, la dependencia entre la ganancia con la amplitud y frecuencia de la señal de entrada.

**d) Tren de pulsos como modulación de portadora óptica.**

Si se incide al amplificador óptico con señales digitales simétricas, de 1's y 0's (fig.3), formadas por pulsos NRZ, la salida tiene dos aspectos interesantes a comentar. El primero de ellos es la observación de un sobreimpulso en los pasos de '0' a '1' que tiende a un valor constante de un nivel menor tras un tiempo de recuperación del medio. El segundo se refiere a unas depresiones después de cada flanco descendente, al pasar de '1' a '0'. Los sobreimpulsos se producen porque, tras un "cero", el flanco ascendente de un '1' encuentra una banda de conducción muy poblada, que se va despoblando a medida que transcurre el tiempo y se mantiene "alto" el nivel de campo eléctrico. Como un nivel de portadores alto equivale a una ganancia alta, las fluctuaciones de  $E_{out}(t)$  siguen a las de portadores, produciéndose el sobreimpulso. En cuanto a la depresión que sobreviene a la llegada de un '0' tras un '1', tiene su origen en el vaciamiento de la banda de conducción sucedido durante los niveles "altos" de señal y en la recuperación, gracias a la corriente de polarización, que tiene lugar cuando el nivel de señal es "bajo".

Es de importancia reseñar que, si aumentamos la velocidad de transmisión, el tiempo de bit estará totalmente ocupado por el sobreimpulso o la depresión (fig. 3-b).



**Fig.3.- Tren de pulsos de amplitud 500.000V/m.**  
 (a) Período del pulso= $\pi 10^{-9}$ s. Velocidad de transmisión  $3.18 \cdot 10^8$  bps.  
 (b) Período del pulso= $\pi 10^{-10}$ s. Velocidad de transmisión  $3.18 \cdot 10^9$  bps.

### 3. CONCLUSIONES.

En este artículo se muestra la estrecha dependencia de la ganancia del amplificador óptico con la amplitud y frecuencia del campo eléctrico de la señal incidente. Así, si la amplitud se incrementa, la saturación del amplificador también se incrementa. Si la frecuencia de la señal aumenta, disminuyen las oscilaciones de la ganancia tendiendo ésta a su valor medio.

En transmisión digital se producen sobreimpulsos y depresiones tras las conmutaciones OFF-ON y ON-OFF, tendiendo éstas a un nivel constante. Si la velocidad de transmisión aumenta la duración de estos sobreimpulsos y depresiones llena completamente el tiempo de bit.

### 4. REFERENCIAS.

- [1] J.Pont & S. Ruiz Moreno & MªJosé Soneira, "Frequency Analysis of a non-linear traveling wave semiconductor optical amplifier", Com.12, SIOE'96 Cardiff.
- [2] Saleh A.A.M.: "Non linear models of travelling-wave optical amplifiers", Electronics Letters, Vol 24, no.14, 1988 pp. 835-837.