

IMPLEMENTACION DEL MODELO DE UN MULTIPLEXOR BASADO EN EL AWG EN UN ENTORNO DE SIMULACION COSSAP

Albert Rafel, Jesús Roldán, Daniel Sanz, Gabriel Junyent
Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones. Grupo de Comunicaciones Ópticas.
E.T.S.I. Telecomunicación -
Universitat Politècnica de Catalunya
Campus Nord, D4-S108, 08034 Barcelona
Tlf: 93 - 401 71 79, Fax: 93 - 401 72 00, e-mail: rpa@biell.tsc.upc.es

ABSTRACT

A model of an $N \times N$ wavelength multiplexer, based on an arrayed waveguide grating, is presented. Its transmission characteristics have been found by means of simulations and hence the model has been validated since the results are in concordance with that experimentally attained by H. Takahashi. An application of such a device is also presented as is an $M \times M$ optical cross-connect.

1. INTRODUCCION

Las redes ópticas con división en longitud de onda (WDM) exigen la utilización de componentes que puedan manejar señales multiplexadas en longitud de onda a nivel óptico, sin necesidad de realizar conversión optoelectrónica. Uno de los componentes esenciales para ello es un multiplexor en longitud de onda. Esta función la pueden desarrollar los filtros basados en array de grating de guías de onda (AWG) [1], [2]. Debido a la importancia de estos componentes, es necesaria su incorporación a las librerías de componentes de los sistemas integrados de simulación de sistemas de transmisión. De esta forma, se pueden realizar simulaciones de nuevos circuitos que incluyan este componente, y así evaluar sus prestaciones.

Tomando como referencia el AWG desarrollado en los laboratorios de sistemas de transmisión de NTT (Nippon Telegraph and Telephone), implementamos el modelo matemático en el entorno de simulación de sistemas de comunicación COSSAP de la firma CADIS GmbH.

Como ejemplo de aplicación de este modelo, presentamos un sistema de interconexión de 4x4 fibras ópticas con ocho canales multiplexados en longitud de onda en cada fibra.

2. FUNCIONAMIENTO DE UN MULTIPLEXOR AWG

Los multiplexores basados en AWG son capaces de multiplexar N^2 canales repartidos en N canales WDM en cada una de sus N entradas. Su arquitectura se basa en dos cavidades (slabs), similares a acopladores en estrella, situadas a la entrada y salida del array de guías de onda. Dicho array es un conjunto de guías de onda cuyas longitudes difieren un valor constante ΔL , provocando una diferencia de fase en cada uno de los haces que se propagan por ellas. Este hecho provoca que el frente de onda varíe con la longitud de onda; de esta forma, la luz difractada en las cavidades de entrada y salida se concentra alrededor de ciertas direcciones que satisfacen la ecuación de grating [2], [3]: son el haz principal y los "haces fantasma" indeseados. Dichos haces fantasma tendrán menor valor cuanto mayor sea la relación w/d , esto es, el tamaño normalizado del haz a -3dB (spot size) [4]. El haz principal tendrá una dirección diferente según sea la frecuencia óptica, luego tendremos una dependencia con la frecuencia lo que nos permitirá hacer el multiplexado.

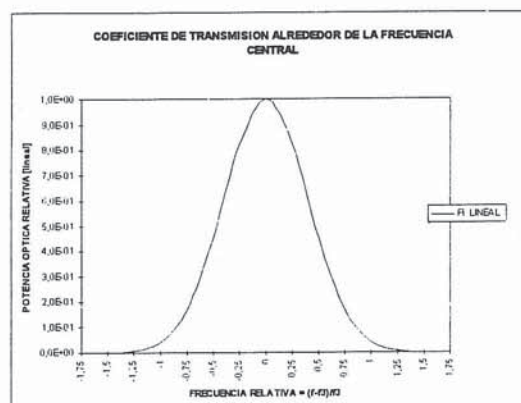


Figura 1

La función de transferencia se puede aproximar por una función gaussiana:

$$P(\delta f) = \exp \{ - 2[\pi \cdot (w_0/d) \cdot (\delta f/\Delta f)]^2 \} \quad (1)$$

donde:

- δf = Desviación respecto a la frecuencia de paso.
- Δf = Espaciado entre frecuencias (canales) adyacentes.
- w_0/d = tamaño normalizado del haz a -3dB

La relación de crosstalk se define como la relación entre la potencia de paso $P(0)=1$ y la potencia del haz de la frecuencia adyacente: $P(1) = P(\delta f) = \exp \{ - 2 \cdot [\pi \cdot (w_0/d)]^2 \}$.

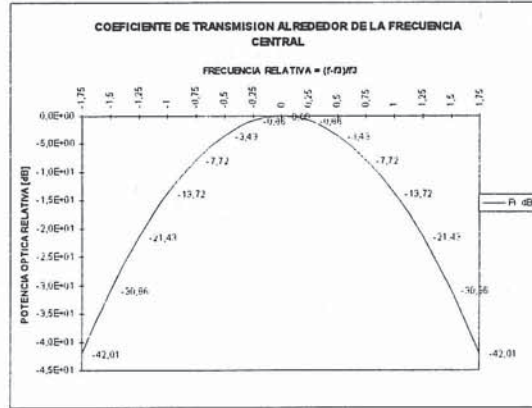


Figura 2

Las frecuencias de paso para cada relación Entrada/Salida se muestran en el figura 2. Observamos como serían necesarias más de N frecuencias para poder realizar el multiplexado. Sin embargo, se puede aprovechar una de las grandes ventajas del AWG: su periodicidad. Efectivamente, el AWG tiene una función de transferencia periódica que se repite cada cierta frecuencia, llamada FSR (Rango de Frecuencia Libre). De esta manera, el AWG responde de igual forma a la frecuencia f y a las frecuencias $f \pm \text{FSR}$. Si escogemos $\text{FSR} = N \cdot \Delta f$, nuestra función de transferencia será igual para la frecuencia f_k y para la frecuencia $f_{k \pm N}$. De esta forma, sólo necesitaremos N frecuencias para multiplexar N^2 canales (Figura 3) [4].

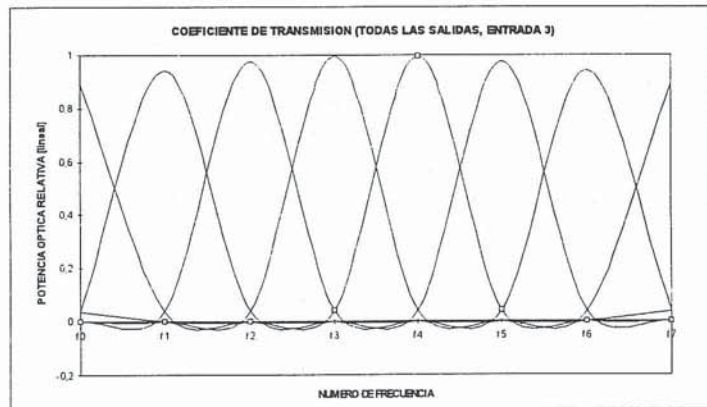


Figura 3

3. IMPLEMENTACION EN BLOQUES DEL AWG

La principal función a implementar es la función descrita en (1). Esta función nos da los valores relativos que tendrá la frecuencia de paso, $P(0)=1$, así como los de las frecuencias adyacentes (crosstalk), $P(1)$, $P(2)$, etc. El valor del parámetro w_0/d en nuestro modelo es configurable, pudiendo modificarse según sea el del AWG con el que se quiera trabajar.

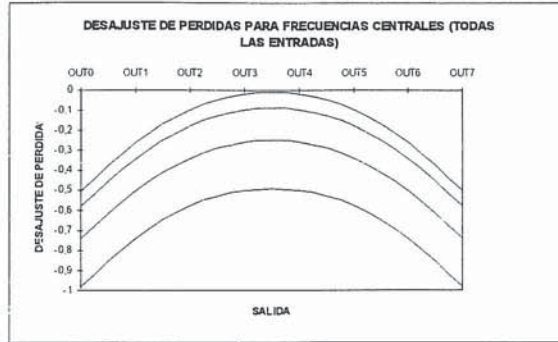


Figura 4

La siguiente función a implementar es la función de pérdidas. Éstas incluyen las pérdidas comunes y el desajuste de pérdidas. Las pérdidas comunes se deben principalmente a que la eficiencia de difracción no es la unidad, por lo que se pierde potencia en haces secundarios (haces "fantasma"). Esta eficiencia se define como la relación entre la potencia del haz principal respecto a la suma de las potencias de los haces secundarios. Como que esta eficiencia no es la misma, sino que depende del ángulo del haz principal (y, por tanto, de la frecuencia), se produce un desajuste de pérdidas; es decir, la atenuación que sufre un haz es diferente para los diferentes pares entrada/salida (Figura 4). Otras pérdidas adicionales serían las de acoplo entre las cavidades de entrada y salida con el array de guías de onda, así como el desacoplo de las fibras de entrada con las entradas y salidas. Sin embargo, éstas pérdidas adicionales no han sido implementadas, pues se ha considerado que no son intrínsecas al AWG. Si se necesitaran tomar en cuenta, bastaría sumar estas pérdidas.

El siguiente paso, es determinar las frecuencias de paso para cada par Entrada/Salida, así como las atenuaciones que sufren cada una de las frecuencias indeseadas. Ello se consigue multiplicando la función de transferencia por la de pérdidas, y centrando esta nueva función en la frecuencia de paso correspondiente. Cada una de las salidas se obtendrá multiplicando el valor de la potencia de cada uno de los canales de entrada por este coeficiente de transmisión.

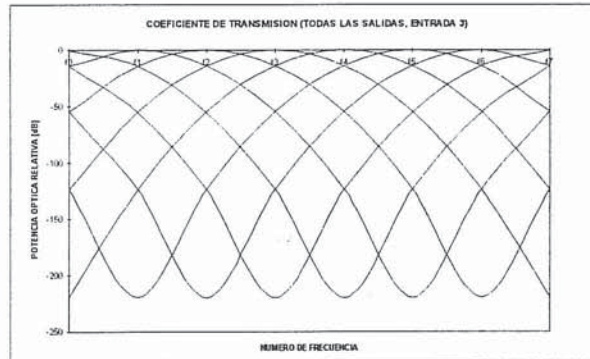


Figura 5

4. VALIDACION DEL MODELO

A partir del modelo matemático así implementado, efectuamos simulaciones sobre un AWG de 8x8 para medir su correcto funcionamiento. Se han tomado 8 frecuencias para los canales de entrada equiespaciadas: $f_0 \dots f_7$, donde la frecuencia central es $f_3=193$ THz (1546 nm). La distribución de frecuencias de paso se diseñó de forma que la frecuencia $f_{(j+k+5 \bmod 8)}$ se encaminara de la entrada I_j a la salida O_k . Como el número de entradas es par ($N=8$), no existe un puerto de entrada central, pues se hallaría situado entre I_3 e I_4 , por tanto, cualquiera de estas dos entradas puede tomarse como la menos desfavorable.

Respecto a los parámetros del AWG, tomamos $w_0/d=0.4$, y como valores de pérdidas, una eficiencia central $\eta = 85\%$ (0.8dB) y un coeficiente de desajuste de pérdidas $\beta=0.04$. A partir de estos valores, efectuamos medidas de crosstalk (Figura 1), comprobamos el correcto funcionamiento del multiplexado, obteniendo el espectro de transmisión (Figura 5). A partir de él, y tomando los máximos de transmisión, obtenemos la función de desajuste de pérdidas (Figura 6). Los resultados obtenidos son concordantes con los valores obtenidos experimentalmente por H.Takahashi [4]. La comparación de todos estos resultados nos permite la validación del modelo.



Figura 6

5. CONMUTADOR MxM EN LONGITUD DE ONDA OPTICA BASADO EN EL AWG

La inclusión del modelo del AWG en librerías de paquetes de simulación de sistemas de transmisión permite realizar evaluaciones previas de circuitos que contengan este componente. Un ejemplo podría ser el conmutador que aquí proponemos.

Este conmutador permite realizar la conmutación entre M canales con la misma longitud de onda de las señales multiplexadas en longitud de onda de cada uno de los AWGs. En total, podemos conmutar NxM canales a la vez, donde N es el número de entradas y salidas del AWG i M el número de fibras ópticas.

Su arquitectura básica se basa en M AWGs, N MxM conmutadores "cross-bar" (SW), y M acopladores (C). En la figura 7 se tiene un ejemplo con N=8 que son el número de canales en cada fibra.

La conmutación se realiza de la siguiente manera: cada uno de los AWGs demultiplexa la señal de entrada en sus canales, de forma que en cada una de las salidas del AWG se obtiene un canal diferente, ordenado en orden ascendente. Los canales de igual longitud de onda procedentes de los diferentes AWGs se dirigen a un mismo conmutador, el cual reconduce cada entrada a su salida correspondiente según la orden de control aplicada. Posteriormente, las salidas de los conmutadores con cada uno de los canales se multiplexan mediante acopladores, volviéndose a obtener M señales multiplexadas en longitud de onda.

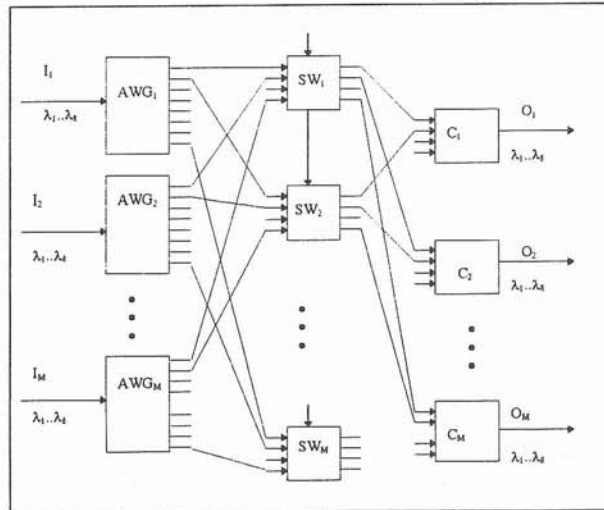


Figura 7

6. REFERENCIAS

- [1] C.Dragone, "An NxN optical multiplexer using a planar arrangement of two star couplers" IEEE Photonics Technology Letters, Sept. 1991
- [2] H.Takahashi et al. "Wavelength multiplexer based on SiO₂Ta₂O₅ arrayed waveguide grating" IEEE Journal of Lightwave Technology, June 1994.
- [3] H.Takahashi et al. "Transmission characteristics of arrayed waveguide NxN wavelength multiplexer" IEEE Journal of Lightwave Technology, March 1995.
- [4] O.Ishida et al. "Loss-imbalance equalization in arrayed waveguide multiplexer cascades" IEEE Journal of Lightwave Technology, June 1995.