

Reglas de Similitud para modos TE en guías ópticas no lineales

Juan P. Torres y Lluís Torner
Universitat Politècnica de Catalunya
Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions
Apdo. 30002. 08080-Barcelona.

Abstract

We have shown that the stationary properties of TE guided waves in a slab optical waveguide with a nonlinear Kerr-like bounding medium can be described in a compact way by means of the usual normalized effective modal index (b) and a set of only four independent normalized parameters: the well-known normalized thickness (V) and asymmetry measure (a) of the waveguide, the generalized aspect ratio between film and substrate refractive indices and a new guided power measure. Allowed and forbidden regions in the $\{b, V, a\}$ -space in order that a guided solution exists have been recognized and classified. As a further application of the normalized parameters, we focus on the cutoff properties of the TE_0 guided wave.

Introducción

Las Reglas de escala en guías ópticas fueron analizadas por primera vez por Kogelnik y Ramaswamy [1]. Estos autores mostraron que las propiedades de propagación guiada en una guía óptica plana podían describirse de una manera compacta y elegante con sólo tres parámetros: un índice efectivo normalizado (b), un grosor normalizado de la guía (V) y una medida de la asimetría de la guía (a). El primer intento para obtener resultados universales en guías no lineales fue realizado por Chelkowski y Chrostowski [2] para el caso en que el substrato o la cubierta de una guía plana presentan un comportamiento no lineal tipo Kerr. Estos autores usan cuatro parámetros normalizados: b , V , a y un parámetro normalizado relacionado con la potencia transmitida por la guía, b_I . Desafortunadamente b_I depende del

valor del campo eléctrico en la interfase capa guiente-medio no lineal (substrato o cubierta), y por consiguiente, la relación entre la potencia y b_f depende de b . En nuestro planteamiento se evita este inconveniente definiendo un nuevo parámetro normalizado e_s , que depende linealmente de la potencia transmitida por la guía. Así, las relaciones entre los parámetros normalizados y las variables naturales que caracterizan la propagación en la guía no dependen de los primeros. Además, e_s depende directamente de las variables de diseño de la guía, al igual que el resto de variables normalizadas definidas.

Reglas de escala

El tipo de guía que aquí consideramos consiste en una capa guiente de grosor D de un medio ópticamente lineal e índice de refracción n_f , limitada por una cubierta lineal con índice de refracción n_c y un substrato de un material no lineal tipo Kerr con coeficiente de no linealidad n_{2s} e índice de refracción n_s . El análisis formal del problema muestra que las propiedades estacionarias de los modos guiados TE que soporta este tipo de guía se pueden describir por medio de un conjunto de cuatro variables normalizadas independientes: el parámetro de asimetría de la guía y el grosor normalizado

$$a = \frac{n_s^2 - n_c^2}{n_f^2 - n_s^2}, \quad V = \Pi_1 \sqrt{n_f^2 - n_s^2}, \quad (1)$$

un nuevo parámetro normalizado dependiente de la potencia transmitida

$$e_s = 2n_s \Pi_1^2 \Pi_2, \quad (2)$$

y la razón de aspecto generalizada $\delta_n = n_f/n_s$. Estos parámetros determinan el índice efectivo normalizado

$$b = \frac{N^2 - n_s^2}{n_f^2 - n_s^2}, \quad (3)$$

a través de la ecuación de valores propios normalizada. Aquí N es el índice efectivo y $\Pi_1 = k_0 D$ y $\Pi_2 = n_{2s} P/D$, donde k_0 y P son respectivamente el número de onda en el vacío y la potencia total transmitida por la onda guiada, provienen del teorema de Π de Buckingham [3]. Los monomios Π_1 y Π_2 nos permiten reconocer las reglas de similitud que tienen lugar entre estructuras caracterizadas por diferentes conjuntos de parámetros $\{D, k_0, n_{2s}, P\}$, pero igual valor de los monomios Π . Por ejemplo, nos damos cuenta que para un valor dado de Π_1 , mientras mayor es D , mayor es la potencia total guiada que se necesita para obtener el mismo valor del índice efectivo. Por otro lado, de Π_2 se deduce que una variación del coeficiente de no linealidad n_{2s} se compensa exactamente por una variación inversa de la potencia guiada total, P .

Bandas permitidas y prohibidas en el plano $b - V$

Con la utilización de los parámetros normalizados introducidos anteriormente, hemos obtenido curvas universales que muestran las propiedades estacionarias de los modos TE por medio de unas pocas curvas. En el plano $b - V$ hemos reconocido bandas permitidas y prohibidas para la propagación guiada. Lo realmente importante es remarcar que las curvas que separan las diferentes bandas están determinadas sólo por los parámetros V y a . Cuando el medio no lineal es auto-focalizante, las bandas permitidas se subdividen a su vez en tres regiones, que corresponden a los tres tipos de soluciones guiadas para este caso [4]: *Ondas guiadas puras, ondas guiadas con un máximo en el sustrato y ondas de superficie*. Las ondas de superficie ocurren por encima de la línea $b = 1$ en el plano $b - V$ y las curvas en el plano $b - V$ que separan ondas guiadas puras de ondas guiadas con un máximo en el sustrato son de nuevo sólo función de V y a . En las figuras 1 y 2 se muestran las regiones permitidas y prohibidas para una guía asimétrica con $a = 10$, para un sustrato auto-focalizante y auto-desfocalizante, respectivamente.

Una de las características más remarcables de las guías de onda en las que el sustrato o la cubierta presentan una no linealidad tipo Kerr es la existencia de potencias umbral para la existencia de propagación guiada [5]. Para un medio auto-focalizante este umbral de potencia proviene del hecho que si el grosor normalizado de la guía es menor que el correspondiente valor de corte para la guía lineal, hay un valor mínimo de la potencia por debajo del cual no es posible la propagación guiada. Por tanto, a diferencia de lo que sucede en una guía lineal, hay un valor mínimo de b por encima del cual hay soluciones guiadas. Este comportamiento puede observarse en la figura 1. Por otro lado, para un material auto-desfocalizante hay un límite máximo para la potencia guiada permitida, como puede verse en la figura 2. Usando parámetros normalizados, ambos umbrales de potencia se obtienen de manera inmediata.

Discusión

De la figura 1 concluimos que, para el caso en que el sustrato es auto-focalizante, el valor del grosor normalizado de la guía V determina por sí mismo los diferentes tipos de soluciones que están permitidas para una guía particular [6]. Si V es mayor que el valor de corte del grosor normalizado de la guía lineal (bajas potencias) $V_{L,cutoff} = m\pi + \tan^{-1} \sqrt{a}$, los tres tipos de soluciones (ondas de superficie, ondas guiadas con un máximo en el sustrato y ondas guiadas puras) son posibles, de manera que la existencia de un tipo particular depende de los valores de ϵ_s y δ_n y de las condiciones de excitación. Sin embargo, si $V < V_{L,cutoff}$ las soluciones guiadas puras ya no son posibles. Hay aún otro valor característico del grosor normalizado

$$V_{cs} = 1 - \frac{1}{\sqrt{1+a}}. \quad (4)$$

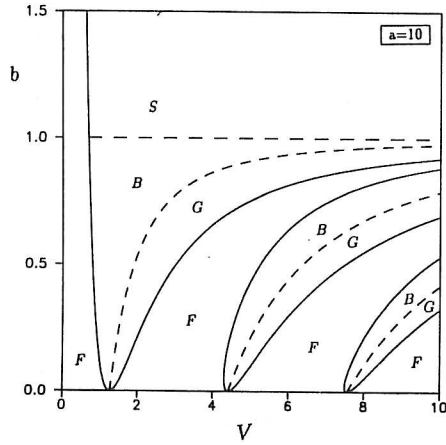


Figura 1: Bandas permitidas (ondas guiadas puras, G, ondas guiadas con un máximo en el sustrato, B, y ondas de superficie, S) y prohibidas (F) en el plano $b - V$ cuando el sustrato es auto-focalizante.

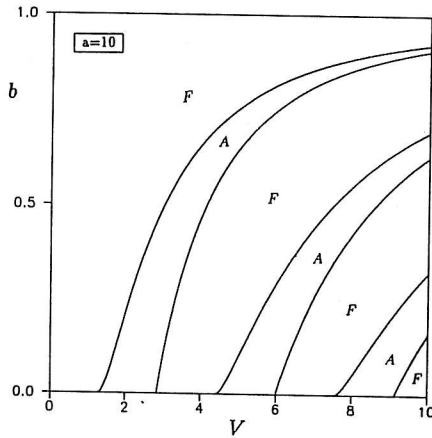


Figura 2: Bandas permitidas (A) y prohibidas (F) en el plano $b - V$ cuando el sustrato es auto-desfocalizante.

Por debajo de V_{cs} tanto las ondas guiadas puras como las ondas guiadas con un máximo en el sustrato no son posibles y sólo están permitidas las ondas de superficie. Hay que destacar que tanto V_{cs} como $V_{L,cutoff}$ dependen sólomente del parámetro de asimetría de la guía y ambos se anulan para una guía perfectamente simétrica ($a = 0$).

Al considerar medios auto-desfocalizantes aparece otro valor crítico del grosor normalizado de la guía que sólo depende de a

$$V_{cd} = (m + 1)\pi - \tan^{-1} \frac{1}{\sqrt{a}} \quad (5)$$

Para valores de V en el intervalo $V_{cd} > V > V_{L,cutoff}$, hay un valor máximo de la potencia que permite propagación guiada, pero para $V > V_{cd}$ la potencia total guiada puede alcanzar cualquier valor.

Referencias

- [1] H. Kogelnik and V. Ramaswamy, *Appl. Opt.*, **13** (1974) 1857.
- [2] S. Chelkowski and J. Chrostowski, *Appl. Opt.*, **26** (1987) 3681.
- [3] E. Buckingham, *Phys. Rev.*, **4** (1914) 345.
- [4] A.D. Boardman and P. Egan, *IEEE J. Quantum Electron.*, **QE-21** (1985) 1701.
- [5] G.I. Stegeman and C.T. Seaton, *J. Appl. Phys.*, **58** (1985) R57.
- [6] L. Torner, J.P. Torres and F. Dios, enviado a *IEEE J. Quantum Electron.*, (1991)