

Ondas TE guiadas por medios no lineales saturables

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

Abstract

We show that universal $V - b$ diagrams provide a powerful tool when analysing the stationary properties of the TE waves guided by a thin film bounded by a saturable nonlinear substrate or cladding. Relevant information for device design purposes is summarized on a few diagrams, so general waveguiding properties can be immediately read off from them. Qualitative information concerning both the guided power and the stability of guided waves is also included in the diagrams.

En este trabajo mostramos que las propiedades de las ondas estacionarias con polarización TE guiadas por estructuras dieléctricas planas, formadas por medios ópticamente no lineales, pueden ser descritas de forma muy compacta mediante la utilización de diagramas universales [1]. Estas estructuras juegan un papel crucial en el diseño de dispositivos no lineales de conmutación totalmente óptica, tales como el acoplador direccional no lineal y el acoplador de solitón.

Todos los materiales con propiedades ópticas no lineales muestran saturación del índice de refracción no lineal, así como absorción. Comportamientos fuertemente no lineales han sido demostrados en guías con un substrato de cristal líquido, e.g. MBBA, mientras que regímenes de baja absorción se han conseguido utilizando no linealidades no resonantes en semiconductores. En este caso, no obstante, la saturación limita fuertemente el valor del índice de refracción inducido ópticamente. Aquí suponemos absorciones pequeñas y comportamientos locales. El análisis cubre los medios con respuestas ideales tipo Kerr ($n = n_0 + n_2 I$, siendo n el índice de refracción e I la intensidad del haz), y no linealidades saturables. Los resultados que se presentan corresponden al caso de una guía formada por una capa de un medio lineal rodeada por uno o dos medios no lineales.

Los diagramas que se proponen para el análisis de la propagación de ondas estacionarias no lineales con polarización TE son los denominados planos $V - b$ [2], siendo V la frecuencia o espesor normalizado de la guía y b el índice efectivo normalizado de las soluciones estacionarias. La clave del procedimiento radica en el hecho que, para un muy amplio conjunto de respuestas no lineales, en los mencionados diagramas las regiones permitidas y las prohibidas para la existencia de soluciones estacionarias muestran una distribución universal [3]. Además, las variedades marginales, que separan las zonas permitidas de las prohibidas en el espacio de parámetros, resultan ser independientes de la potencia del haz que se propaga por la guía.

En realidad, estas variedades resultan ser funciones simples de dos parámetros característicos de la estructura: el coeficiente de asimetría de la guía, a , asociado al confinamiento electromagnético del haz para intensidades pequeñas, y

$$\gamma = \frac{\epsilon_{sat}}{n_f^2 - n_s^2}$$

siendo ϵ_{sat} el valor de saturación de la permitividad dieléctrica no lineal, cuyo valor viene determinado por la naturaleza de los medios que forman la guía. El resultado es que, por una parte la información relevante asociada a la propagación estacionaria queda resumida en los diagramas y por otro lado, se obtienen inmediatamente los valores críticos, independientes de la intensidad del haz, de los diferentes parámetros de la guía umbrales para que cada tipo de solución guiada esté permitido. Asimismo, en el plano $V - b$ se incluye también información cualitativa de la potencia guiada por cada tipo de onda. Finalmente, los diagramas contienen también información de la estabilidad de las ondas guiadas, en los casos en que la condición de estabilidad marginal es conocida.

Como aplicación de los diagramas $V - b$, se han analizado los efectos que introducen los fenómenos de saturación en la existencia de ondas de superficie, en la existencia de modos inestables y en la emisión de ondas solitarias desde la guía hacia el material autofocalizante. Los resultados muestran que el parámetro que gobierna la existencia de ondas de superficie es la razón de aspecto generalizada γ [4]. Para $\gamma < 1$ las propiedades típicamente no lineales de los modos estacionarios, como la existencia de ondas guiadas donde la potencia viaja principalmente por fuera de la capa guiante, prácticamente desaparecen, de manera que $\gamma = 1$ separa la región de saturación fuerte, o régimen cuasi-lineal, de la región de saturación débil, o régimen fuertemente no lineal. De la definición de γ se deduce que comportamientos fuertemente no lineales se consiguen con valores grandes del valor de saturación de la permitividad no lineal o bien utilizando guías de onda con saltos de índice muy pequeños.

Por lo que respecta a la existencia de modos inestables, utilizando la expresión $dI/db = 0$ como condición de estabilidad marginal para el modo TE_0 , los resultados

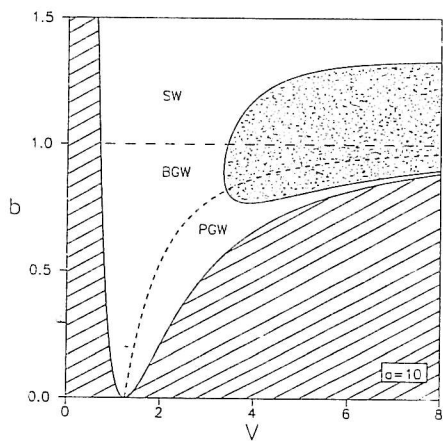


Figura 1: Bandas permitidas (ondas guiadas puras, PGW, ondas con máximo en el substrato, BGW, ondas de superficie, SW) para una guía con substrato no lineal tipo Kerr y cubierta lineal. La zonas rayadas corresponden a zonas prohibidas y las sombreadas a modos inestables.

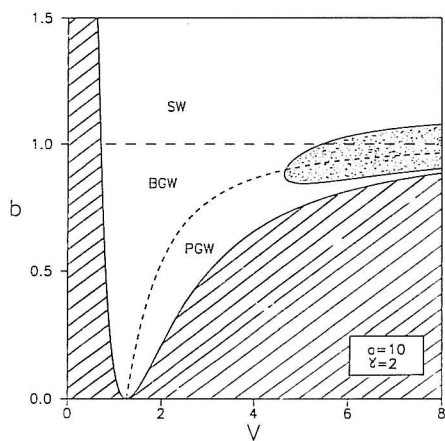


Figura 2: Diagrama $V - b$ para un substrato que presenta saturación.

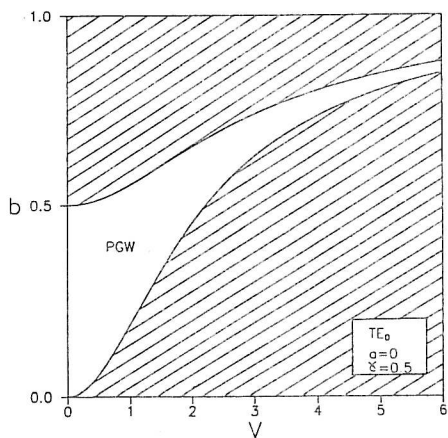


Figura 3: Bandas permitidas y prohibidas para el modo TE_0 para una guía simétrica donde el substrato y la cubierta son no lineales y presentan una fuerte saturación.

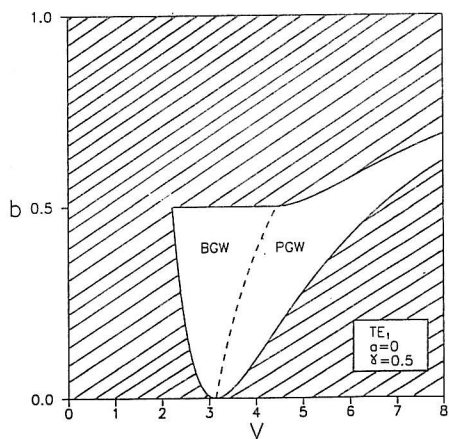


Figura 4: Diagrama $V - b$ para el modo TE_1 .

muestran que los fenómenos de saturación limitan fuertemente la región correspondiente a los modos inestables en el espacio de parámetros. Se encuentra que para una guía con sustrato no lineal tipo Kerr y $a = 10$, las soluciones inestables ocurren para $V > 3.35$ (Fig 1), mientras que para $\gamma = 2$, la región de inestabilidad empieza en $V = 4.64$ (Fig 2). La misma conclusión aplica a las condiciones de emisión de ondas solitarias (en medios ideales Kerr, a través de solitones), ya que esta condición está directamente relacionada con la existencia de zonas de inestabilidad.

Por otro lado, en el caso de una estructura simétrica formada por los dos medios no lineales con respuesta saturable que rodean la capa guiante, se obtienen que la condición de propagación monomodal es $V < V_{cutoff}$, donde

$$V_{cutoff} = \frac{1}{\sqrt{1-\gamma}} \left(\pi - 2 \tan^{-1} \sqrt{\frac{\gamma}{1-\gamma}} \right)$$

Este valor debe ser comparado con $V = \pi$, que es el valor correspondiente a una guía lineal. Este es el valor que se obtiene de hacer $\gamma \rightarrow 0$ en la anterior ecuación, lo que equivale a analizar una guía lineal. Entre el valor lineal de corte del modo TE_1 y V_{cutoff} la guía es monomodo por debajo de una potencia umbral, mayor a medida que nos alejamos del valor lineal de corte. Para un valor dado de V , esta potencia umbral crece para valores de saturación cada vez más grandes, por lo que para medios tipo Kerr presenta un mínimo. En la figuras 3 y 4 se representan las zonas permitidas para los modos TE_0 y TE_1 para una guía con materiales con valores pequeños del valor de saturación de la permitividad no lineal.

Referencias

- [1] J.P. Torres y L. Torner "Reglas de Similitud Para Modos TE en Guías Ópticas No lineales," *Actas del VI Simposum Nacional de la U.R.S.I.*, Cáceres, Septiembre 1991, vol. 2, (1991) 1066.
- [2] H. Kogelnik y V. Ramaswamy, "Scaling Rules for Thin-Film Optical Waveguides," *Appl. Opt.*, vol. 13, (1974) 1857.
- [3] L. Torner y J.P. Torres, "Similarity rules for nonlinear Kerr-like slab optical waveguides," *IEEE J. Quantum Electronics*, vol. QE-28, (1992) 1571.
- [4] J.P. Torres y L. Torner, "Universal Diagrams For TE Waves Guided by Thin Films Bounded by Saturable Nonlinear Media," enviado a *IEEE J. Quantum Electronics*.