

“NUEVAS CONSIDERACIONES AL DISEÑO DE CONVERSORES DE MODOS TE_{0m} -TE_{0n}”

*M^a Teresa Ruiz de la Cuesta, Carlos del Río, Ramón Gonzalo y Mario Sorolla
E.T.S.I.I. y Telecomunicación. Universidad Pública de Navarra
Campus Arrosadía s/n. E-31006 Pamplona, España
Tel.: 948 169326 Fax.: 948 169169 e.m.: carlos@upna.es*

ABSTRACT

In this work, the new results of a study about the general Kovalev's coherence principle are presented. As we will show here, despite Kovalev presents the coherence principle as general, only the fundamental case can be considered in order to design a total mode converter. Only when the perturbation period length is equal to the beat length between the two desired modes we will have a total power interaction between these modes.

1.- INTRODUCCIÓN

En aplicaciones de alta potencia a frecuencias milimétricas el uso de guías de onda muy sobredimensionadas es completamente necesario. Por trabajar con estas condiciones, cualquier pequeña deformación de las paredes de la guía de onda puede originar acoplos indeseados. Sin embargo, originar pequeñas deformaciones de forma controlada puede resultar hasta beneficioso para cambiar la estructura de campos según las necesidades que se den a lo largo de la línea de transmisión: minimizar pérdidas, mejorar las características de radiación, etc.

Uno de los componentes basados en pequeñas deformaciones, utilizados en este tipo de aplicaciones con gyrotrones clásicos, son los conversores de modos TE_{0n}-TE₀₁, con el fin de convertir el modo TE_{0n} de salida del gyrotrón en un modo TE₀₁ de guía circular lisa caracterizado por tener mínimas pérdidas [1].

Este tipo de conversores de modos, están basados en el principio de coherencia de Kovalev [2]. Este principio, el autor lo presenta de forma general, introduciendo una variable entera en la formulación, sugiriendo que para cualquier valor de esa variable, también se genera acoplo entre los modos en interacción. Hasta hoy en día, para el diseño de conversores de modos, únicamente se ha trabajado con el caso fundamental, sin entrar en mas consideraciones para casos de orden superior. En esta comunicación, se realiza un estudio de estos casos de orden superior, pudiendo comprobar como en ningún caso, excepto el ya conocido, se produce conversión total entre los modos que interaccionan.

Para la realización de los cálculos se ha utilizado un programa basado en el método de coeficientes acoplados y la integración de las ecuaciones generalizadas del telegrafista [3].

2.- FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Como ya es conocido, mediante el empleo de guías de onda con perturbaciones de simetría axial del radio de la guía de ondas de manera periódica, podemos conseguir conversores altamente eficientes entre los modos TE_{0m} - TE_{0n} de utilidad en alta potencia [4].

Para ello, el periodo geométrico de las distorsiones en la pared, λ_w , y los números de onda no perturbados de los dos modos de interés, β_{0m} y β_{0n} deben satisfacer el principio de coherencia de Kovalev [2], que en su forma completa es:

$$\beta_{0m} - \beta_{0n} = \Delta\beta_{0m0n} = \frac{2\pi}{\lambda_b} = p \frac{2\pi}{\lambda_w} = p\Delta\beta_w \quad (1)$$

donde λ_b es la longitud de onda de batido entre los dos modos en interacción, $\Delta\beta_{0m0n}$ la diferencia de números de onda, p un número entero y $\Delta\beta_w$ la equivalente geométrica. Con este principio de coherencia, Kovalev dice que se producirá acoplo de potencia entre dos modos TE_{0m} y TE_{0n}, siempre que la diferencia de los números de onda de los modos sea múltiplo entero de la equivalente geométrica en el conversor, $\Delta\beta_w$.

Para analizar este principio, suponiendo pequeñas perturbaciones de la guía (bajo acoplo por longitud de onda) y que los modos importantes están relativamente lejos del corte, podemos ignorar las reflexiones y la optimización del coversor se estudiará por la integración de las ecuaciones del telegrafista, llegando a un sistema de ecuaciones diferenciales de la forma:

$$\frac{\partial A_m}{\partial z} = \tau + \sum c_{mn} A_n \quad (2)$$

donde m es distinto de n , y A_m y A_n son las amplitudes complejas de los diferentes modos en consideración, y c_{mn} el coeficiente de acoplo para pequeñas perturbaciones simétricas del radio entre los dos modos TE_{0m} y TE_{0n} , definidos en la referencia [5].

A partir de estas ecuaciones y teniendo en cuenta las expresiones de los coeficientes de acoplo, para el caso fundamental (caso $p=1$ de la ecuación 1), podemos llegar a establecer una relación entre la amplitud óptima de perturbación y el número de periodos de perturbación necesarios para obtener una conversión total:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{2N |c_{[0m][0n]}|} \quad (3)$$

Resulta importante notar que cuando el número de periodos a introducir N es mayor, la perturbación necesaria para obtener la conversión, ε_0 , es menor.

Para poder realizar un estudio concreto del efecto de acoplo entre dos modos, se ha obtenido por un modelo simplificado que únicamente tiene en cuenta esos dos modos, ya que la presencia de otros modos, podría enmascarar los posibles efectos de acoplo, por la presencia de efectos resonantes [6]. Este modelo simplificado no es en absoluto un modelo realista, pero será un modelo que nos permitirá aislar los fenómenos de acoplo que se produzcan como consecuencia de una perturbación que tiene una u otra relación con los números de onda de los modos en interacción.

3.- ESTUDIO REALIZADO

El caso fundamental ($p=1$) del principio de coherencia de Kovalev está sobradamente comprobado, ya que gran parte de los convertidores actualmente fabricados se diseñan para este caso y se obtienen eficiencias de conversión del orden del 100%, como puede comprobarse, en múltiples referencias, entre otras [1], [3] y [4].

En este trabajo vamos a comprobar la validez del principio de coherencia (1) para los casos superiores ($p>1$) en el diseño de convertidores de modos, con vistas a controlar todas las posibles causas de acoplos a modos espúrios que puedan existir en el interior del un convertidor, y así poder preveer los efectos e intentar contrarestarlos.

Los resultados obtenidos en este trabajo se centran en el caso de una perturbación sinusoidal simple, de la forma:

$$a(z) = a_0 \left(1 - \varepsilon_0 \cos(\Delta\beta_b z) \right) \quad (4)$$

siendo $\Delta\beta_b$ la diferencia entre los números de onda de los modos deseados ($\Delta\beta_{0m0n}$).

Se han analizado dos convertidores diferentes, pudiendo comprobar como los resultados coinciden, por lo que podemos suponer generales. Los convertidores analizados son los diseñados con un diámetro medio de 44.45 mm y de 27.79 mm., con frecuencias de trabajo de 28 y 53.2 GHz respectivamente.

El estudio ha consistido en perturbar una estructura de guía de onda con diferentes funciones periódicas, y observar la conversión producida para cada caso concreto, dependiendo de la relación entre el periodo de la perturbación introducida, λ_w , y la longitud de batido de los modos bajo estudio, λ_b .

4.- RESULTADOS DE LA COMPROBACIÓN

Los resultados finales se pueden observar en la figura 1, obtenida para un caso ideal en que se consideran únicamente los coeficientes de acoplo entre los modos deseados. La figura 1 corresponde con un convertidor de 44.45 mm. de diámetro, trabajando a una frecuencia de 28GHz. Los resultados con el convertidor de 27.79 mm. a 53.2 GHz. son exactamente iguales.

Así, podemos observar, como únicamente para el caso $p=1$ obtenemos una conversión total de potencia entre los modos en interacción. En cambio, a medida que nos alejamos de este valor, el acoplo entre modos disminuye considerablemente. El pico que se forma entorno al caso fundamental ($p=1$), se va estrechando a medida que disminuye la amplitud óptima de perturbación, es decir, aumenta el número de periodos de la pared del convertidor. La relación entre el número de periodos y la amplitud de la perturbación, se ha utilizado la fórmula 3, obtenida para el caso fundamental.

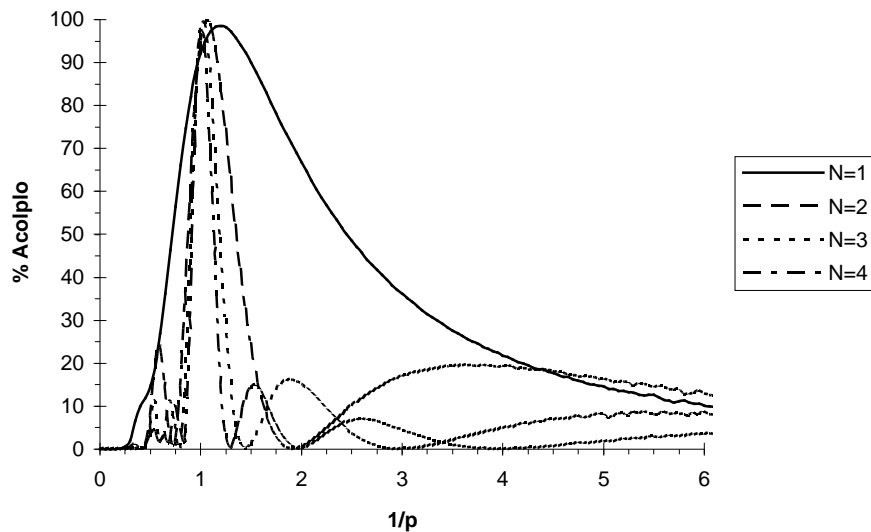


Figura 1.- Porcentaje de acoplamiento entre los modos TE_{01} y TE_{02} (caso ideal sin acoplos a otros modos) para diferentes valores de p , siendo p el número entero utilizado por Kovalev en el principio de coherencia (ecuación 1), trabajando a 28GHz., con un diámetro de guía de 44.45 mm.

El programa utilizado en este estudio se basa, como ya hemos mencionado, en la teoría de modos acoplados y la integración de las ecuaciones del telegrafista, aplicando ciertas condiciones para simplificar la resolución de los sistemas de ecuaciones diferenciales resultantes. Estas condiciones imponen una serie de limitaciones a la fiabilidad de los resultados obtenidos. Así los resultados son más fiables para amplitudes de perturbación pequeñas (por lo que podremos despreciar los efectos de las reflexiones) y a frecuencias lejos del corte. Es por ello que en algunos puntos se han comprobado los resultados con códigos basados en Scattering Matrix.

5.- CONCLUSIONES

Como puede observarse, aunque el principio de coherencia de Kovalev es válido en cuanto a que se produce cierto acoplamiento de potencia entre modos para casos de orden superior, no es útil en la práctica para el diseño de convertidores de modos, ya que los valores de eficiencia para los casos de orden superior disminuyen drásticamente.

Esto significa que para el diseño de convertidores de modos $TE_{0m} - TE_{0n}$ en los que se llegue a tener la transferencia total de potencia únicamente es válido el caso fundamental ($p=1$). No obstante, pese a que el estudio es ideal, nos puede dar una idea de los mecanismos de acoplamiento que existen en un convertidor determinado, e incluso poder prever y corregir los acoplos que se puedan producir como consecuencia de ser una estructura multimodo, y que pueden existir varios modos con diferentes relaciones entre el periodo geométrico de la perturbación, y la longitud de batido.

6.- REFERENCIAS

- [1] Sorolla, M. and Thumm, M., 1989. "Design of $TE_{02} - TE_{01}$ mode converters in oversized circular waveguides at 28 and 53.2 GHz for 200 kw". Proceedings of the Conference on Microwaves and Optoelectronics (MIOP '89), Sindelfingen, Contributed Paper P6.
- [2] Kovalev, N.F. et al. "Wave transformation in a multimode waveguide with corrugated walls". Radio Phys. Quantum Electronics. Izvestiya VUZ. Radiofizika, Vol. 11, nº5, pp 783-786, 1968.
- [3] Del Río, C. "Elaboración de una herramienta CAD para el estudio y diseño de convertidores de modos en guía circular sobredimensionada para aplicaciones a frecuencias de ondas milimétricas". Proyecto Fin de Carrera, 1993. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Electrónica e Informática de La Salle.
- [4] Sorolla, M. "Contribución al estudio y diseño de componentes en guía de onda sobredimensionada para aplicaciones de muy alta potencia a frecuencias milimétricas". Tesis Doctoral. Director: Dr. Jesús M. Rebollar. E.T.S.I. Telecomunicación de Madrid. U.P.M. Julio 1991.
- [5] Thumm, M. and Li, H. "Mode coupling in corrugated waveguide with varying wall impedance and diameter change". Int. J. Electronics 1991, Vol. 71, nº 5, pp 827-844.
- [6] Del Río, C., Net, J.M., Padullés, J., Sancho, T., Sorolla, M., Thumm, M. and Wien, A. "Unwanted resonances in oversized rippled-wall mode converters". Int. J. Electronics, 1994, Vol 77, nº 6, pp 1101-1111.