

Evaluación de nuevas topologías de filtros doblemente corrugados en guía de onda

Francisco Javier Clemente Fernández, Antonio Murcia Andreu, Juan Monzó Cabrera,
Juan Luis Pedreño Molina, Antonio José Lozano Guerrero y Alejandro Díaz Morcillo
Grupo de Electromagnetismo y Materia (GEM) - Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT)
Edificio Antiguones, Plaza del Hospital nº1, 30202 Cartagena (Murcia)
Teléfono: +34 968 32 5376 E-mail: francisco.clemente@upct.es

Resumen. En este trabajo se lleva a cabo un estudio de una nueva topología de filtro multimodo en guía de onda para su empleo en hornos industriales de microondas de procesamiento continuo. En particular se estudia una estructura basada en la combinación de postes e iris metálicos mediante el uso de un software comercial de simulación electromagnética y procedimientos de optimización basados en algoritmos genéticos.

1 Introducción

En las aplicaciones de calentamiento dieléctrico por microondas en las que una cinta transportadora atraviesa una cavidad de microondas, se imponen unas grandes aberturas permanentes en las paredes laterales de dicha cavidad a través de las cuales se pueden escapar niveles peligrosos de energía de microondas. El tamaño de estas aberturas está limitado por el tamaño de los objetos que se tratarán en la cavidad, por lo que se encuentra fuera del control del diseñador del sistema de microondas. Para evitar las fugas de energía se deben colocar en las aberturas de la cavidad filtros que reflejen y/o absorban esta energía. Además, estos filtros deben permitir el libre movimiento del producto. En la Fig. 1 se muestra un ejemplo genérico de este tipo de sistemas.

Existen diversos tipos de filtros elimina-banda en guía de onda, como pueden ser stubs cortocircuitados [1], estructuras resonantes [2], [3] o postes metálicos [4]. Centrándose en aplicaciones de calentamiento industrial por microondas, se han propuesto muchas alternativas para solucionar este problema [5]. Una de las más efectivas se basa en filtros corrugados reactivos [6], [7] los cuales reflejan la energía que intenta escapar del aplicador de microondas incrementando a su vez la eficiencia del proceso.

En este trabajo se realiza una continuación a partir de la patente desarrollada en la Universidad Politécnica de Cartagena por el Grupo de Electromagnetismo y Materia, titulada "Filtro multimodo de microondas abierto en tecnología de guía de onda mediante la combinación de postes e iris para hornos de

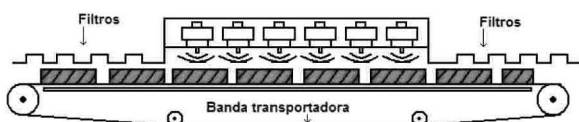


Fig.1. Aplicador de microondas de procesamiento continuo.

calentamiento por microondas" con número de publicación 2337756, en la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM).

La Fig. 2 muestra un ejemplo no restrictivo de la configuración propuesta en dicha patente consistente en una combinación alterna de iris y postes metálicos en la parte superior del filtro, donde (1) es la entrada del filtro en forma de apertura, (2) es la salida del filtro, (3) es el sistema de transporte para los materiales, (4) son los iris metálicos con sus dimensiones optimizadas para un correcto funcionamiento, (5) son las filas de postes metálicos rectangulares, cilíndricos o con otras formas con ciertas dimensiones optimizadas para un correcto funcionamiento, (6) la carcasa metálica con dos aberturas para entrada y salida de materiales que rodea los elementos internos anteriormente citados y (7) es el material procesado.

De esta forma, en este trabajo se plantea una modificación de la topología propuesta en la Fig. 2, cuyo rendimiento es evaluado mediante la herramienta de simulación CST Microwave Studio® [8] en dos escenarios diferenciados: cuando no hay ningún material en el interior del filtro y cuando se coloca una muestra de un material para el que no se obtienen buenos resultados con los filtros corrugados convencionales. Para ello, se han llevado a cabo diversas optimizaciones de los parámetros geométricos del filtro mediante algoritmos genéticos.

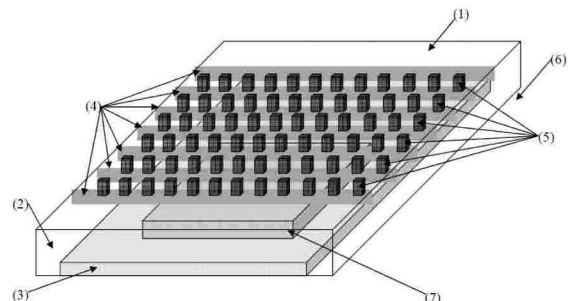


Fig.2. Filtro elimina-banda que combina iris y postes metálicos.

2 Nueva Topología Propuesta

La nueva topología se basa en la introducción de iris y pivotes horizontales a ambos lados de la estructura del filtro, tal como se observa en la Fig. 3. En particular, el filtro simulado se compone de doce filas en dirección del eje x y once filas en dirección del eje z , de pivotes metálicos reactivos. En los laterales se ha incluido una fila de once pivotes metálicos. Además, se han introducido unos iris metálicos entre las filas de pivotes a modo de puerta a través de la cual avanza la muestra.

Los principales parámetros de diseño en este tipo de filtros son el número de pivotes, su longitud y la separación entre los mismos, y la longitud de los iris. La anchura total del filtro suele venir determinada por el tipo de muestra que se desea procesar y no suele ser un parámetro de diseño.

Adicionalmente, se lleva a cabo el estudio de la influencia que estos nuevos elementos tienen sobre la respuesta del filtro, en comparación con la topología de base sin iris ni pivotes laterales.

3 Resultados

3.1 Filtro Vacío

En primer lugar, se ha llevado a cabo la simulación del filtro sin ningún material en su interior. Los parámetros a optimizar son la longitud de los iris verticales, d , la diferencia de longitud entre los iris y los pivotes verticales, dif , y la diferencia de longitud entre los iris y los pivotes horizontales, dif_lat . Los resultados para 12 modos después del procedimiento de optimización se observan en la Fig. 4, donde se obtiene una respuesta típica elimina-banda perfectamente centrada a la frecuencia de interés de 2.45 GHz. El valor de los parámetros óptimos es $d = 8.568$ cm, $dif = -0.062$ cm y $dif_lat = 0.831$ cm. El resto de parámetros geométricos del filtro se muestran en la Tabla 1.

Por otro lado, en la Tabla 2 se recoge una comparativa de los resultados entre la nueva topología y los resultados que se obtienen al eliminar los nuevos elementos introducidos, hasta llegar al filtro de referencia sin pivotes ni iris laterales. Se puede observar que los resultados, aunque no son inaceptables, sí que son ligeramente peores que los del filtro de referencia.

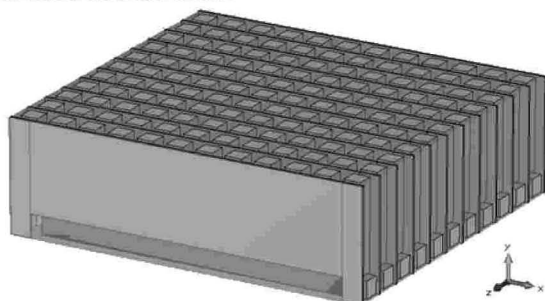


Fig. 3. Nueva topología propuesta.

TABLA 1. PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DEL FILTRO SIMULADO.

Variable	Descripción	Valor (cm)
b	Espaciado entre pivotes	1.26
l	Distancia entre centros de pivotes	2.909
g	Altura de abertura para la muestra	2.2
w	Anchura del filtro	34.908
alt_m	Altura de la muestra	2
d	Altura de iris verticales	Optimizado
dif	Diferencia entre pivotes e iris verticales	Optimizado
dif_lat	Diferencia entre pivotes a iris laterales	Optimizado
$pivotes$	Nº de pivotes $x \times z$	12 x 11
p	Longitud del filtro	32.799
z	Grosor de los iris	0.2
x_min	Anchura de iris laterales	1.954

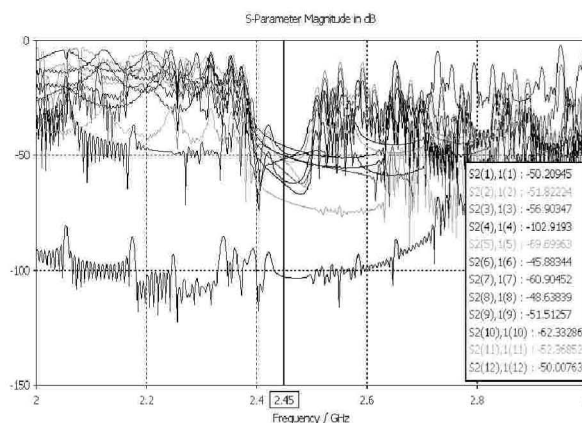


Fig. 4. $|S_{21}|$ en dB para 12 modos cuando el filtro está vacío.

TABLA 2. RESUMEN DE RESULTADOS EN DB PARA LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES CUANDO EL FILTRO ESTÁ VACÍO.

Modo	Con iris y pivotes laterales	Sin iris laterales	Sin pivotes laterales	Sin iris ni pivotes laterales
TE ₁₀	-50.209	-54.699	-50.9164	-50.792
TE ₂₀	-51.822	-51.597	-51.5565	-61.696
TE ₃₀	-56.903	-55.624	-56.7602	-46.215
TE ₀₁	-102.9192	-141.108	-101.549	-217.539
TE ₁₁	-69.690	-70.463	-70.2833	-70.460
TM ₁₁	-45.883	-46.340	-46.6816	-46.481
TE ₂₁	-60.9045	-61.657	-62.4161	-71.992
TM ₂₁	-48.6384	-48.171	-47.4922	-58.044
TE ₄₀	-51.512	-55.779	-51.7714	-51.710
TE ₃₁	-62.337	-61.622	-62.0941	-51.888
TM ₃₁	-52.368	-51.871	-51.8963	-43.095
TE ₅₀	-50.007	-47.698	-50.6363	-45.918
Atenuación Media	-58.599	-62.219	-58.6711	-67.985

3.2 Filtro con un Material en su Interior

Una vez comprobado el correcto funcionamiento del filtro en vacío, se introduce un material cuya permitividad eléctrica es de $\epsilon_r = 9 - j0.15$. Por simulaciones y medidas anteriores, se ha comprobado que dicho valor supone un problema para los filtros doblemente corrugados tradicionales como el que se estudia en [7]. En la Fig. 5 se muestran los resultados para 12 modos después de aplicar la optimización con algoritmos genéticos, donde se puede observar que si bien no se obtiene una respuesta elimina-banda muy clara, sí que se consiguen buenos niveles de atenuación para varios modos, en cualquier caso

mejores que los que se consiguen con filtros tradicionales. El valor de los parámetros óptimos es $d = 8.802$ cm, $dif = 0.025$ cm y $dif_lat = 1.246$ cm. El resto de parámetros geométricos del filtro son nuevamente los que aparecen en la Tabla 1.

En la Tabla 3 se comparan los resultados obtenidos con los que se obtienen al eliminar los elementos que se han introducido en la nueva tipología. Se puede observar que la diferencia no es apenas significativa. En cualquier caso, tampoco se consiguen mejorar los resultados obtenidos con la topología de referencia.

4 Conclusiones

En este trabajo se ha propuesto un nuevo diseño de filtro de microondas doblemente corrugado con iris. Tomando como referencia la estructura patentada, se han introducido además corrugaciones e iris en los laterales del filtro intentando cumplir el propósito de reducir al máximo posible la energía que pueda salir del filtro a la frecuencia de trabajo de 2.45 GHz. Se han realizado una serie de optimizaciones de algunos parámetros geométricos del filtro para obtener los mejores resultados posibles.

De esta manera, se ha comprobado que se trata de un tipo de filtros cuyo comportamiento presenta una completa dependencia de la aplicación para la que fueron diseñados. Por ello, un filtro que sea óptimo

para un tipo de material determinado, no tendrá por qué serlo para otro. Es decir, se debe diseñar un filtro distinto para cada material que se desee procesar en un horno industrial de microondas.

Además, cabe destacar que los resultados obtenidos no han sido completamente satisfactorios, ya que los niveles de atenuación del filtro no mejoran los que se consiguen con el filtro de referencia.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado bajo una beca predoctoral Séneca con referencia 12425/FPI/09 y bajo el proyecto con referencia 11689/PI/09, ambos de la Fundación Séneca, Agencia de Ciencia y Tecnología de la Región de Murcia.

Referencias

- [1] R. Levy, "Compact waveguide bandstop filters for wide stopbands," *Microwave Symposium Digest, 2009. MTT '09. IEEE MTT-S International*, pp. 1245-1248, Jun. 2009.
- [2] C. A. W. Vale, P. Meyer, K. D. Palmer, "A design procedure for bandstop filters in waveguides supporting multiple propagating modes," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 48, no. 12, pp. 2496-2503, Dec. 2000.
- [3] P. Meyer, C. A. Vale, W. Steyn, "On the design of waveguide devices using multiple propagating modes," *Telecommunications in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Service, 2003. TELSIS 2003*. vol.1, pp. 329-336, Oct. 2003.
- [4] R. Gesche, N. Lochel, "Two cylindrical obstacles in a rectangular waveguide-resonances and filter applications," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 37, no. 6, pp. 962-968, Jun. 1989.
- [5] A. C. Metaxas and R. J. Meredith, *Industrial Microwave Heating*. Stevenage, U.K.: Peregrinus, 1988.
- [6] A. L. Vankoughnett and J. G. Dunn, "Doubly corrugated chokes for microwave heating systems," *J. Microwave Power*, vol. 8, no. 1, pp. 101-110, Jan. 1973.
- [7] P. Soto, V. E. Boria, J. M. Catalá-Civera, N. Chouaib, M. Guglielmi, and B. Gimeno, "Analysis, design, and experimental verification of microwave filters for safety issues in open-ended waveguide systems," *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 48, no. 11, pp. 2133-2140, Nov. 2000.
- [8] <http://www.cst.com>

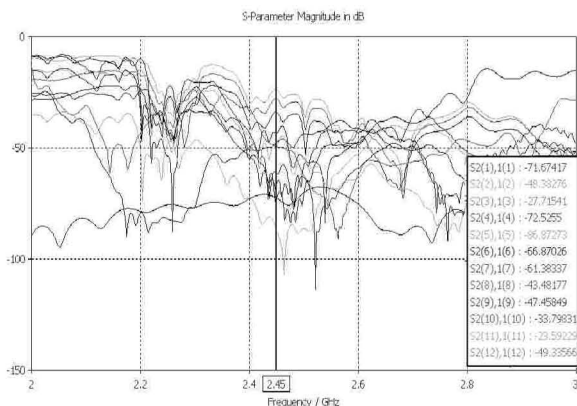


Fig. 5. $|S_{21}|$ en dB para 12 modos cuando se introduce un material de permitividad $\epsilon_r = 9 - j0.15$.

TABLA 3. RESUMEN DE RESULTADOS EN dB PARA LAS DIFERENTES CONFIGURACIONES CUANDO SE INTRODUCE UN MATERIAL DE PERMITIVIDAD $\epsilon_r = 9 - j0.15$.

Modo	Con iris y pivotes laterales	Sin iris laterales	Sin iris ni pivotes laterales	Sin iris ni pivotes laterales
TE ₁₀	-71.6741	-64.4896	-65.9581	-75.1790
TE ₂₀	-48.3827	-48.5699	-46.6583	-47.6264
TE ₃₀	-27.7154	-31.4127	-30.9948	-27.6569
TE ₀₁	-72.5255	-73.7180	-73.2293	-74.5366
TE ₁₁	-86.8727	-81.0953	-86.6075	-84.4034
TM ₁₁	-66.8702	-64.9542	-66.3381	-68.1389
TE ₂₁	-61.3833	-63.0038	-59.5770	-61.1585
TM ₂₁	-43.4817	-43.6361	-42.5137	-43.4685
TE ₄₀	-47.4584	-47.7243	-49.6306	-50.4617
TE ₃₁	-33.7983	-38.0925	-37.2293	-33.3270
TM ₃₁	-23.5922	-26.7435	-26.1851	-23.4696
TE ₅₀	-49.3356	-49.9203	-47.6502	-51.2121
Atenuación Media	-52.7575	-52.7800	-52.7143	-53.3865