

OSCILADOR MICROONDAS DE BAJO RUIDO DE FASE BASADO EN DEFECTED-GROUND STRUCTURES

Ana Menciondo Pereda[†], Tomás Fernández Ibáñez^(‡)

tomas.fernandez@unican.es

[†]Tecnologías de Telecomunicaciones y de la Información
Avda. Los Castros nº 1, 39005 Santander

[‡]Dpto. de Ingeniería de Comunicaciones- E.T.S.I.I.T-Universidad de Cantabria
Avda. Los Castros s/n, 39005 Santander. Cantabria

Abstract- En este artículo se presenta una estructura de oscilador a frecuencia de microondas basado en resonadores microstrip de tipo defected-ground structures. La ventaja fundamental radica en el hecho de que no se utilizan componentes discretos para conseguir el circuito resonante, sino líneas microstrip que, debido a defectos en su plano de masa, consiguen altos valores de factor de calidad y pequeñas dimensiones. Se presentarán datos tanto del proceso de diseño de la estructura microstrip, basado en simuladores electromagnéticos, como del análisis del oscilador y de sus características de ruido de fase. La comparación de dos osciladores a la misma frecuencia, 9 GHz, uno utilizando la estructura propuesta y otro con una estructura convencional, pondrá de manifiesto las mejores prestaciones del primero en términos de ruido de fase.

I. INTRODUCCIÓN

Diferentes investigadores dedican sus esfuerzos a la obtención de estructuras de osciladores a frecuencias de microondas que puedan proporcionar altas frecuencias de oscilación con bajos niveles de ruido de fase. Los principales obstáculos que se encuentran en este proceso de diseño son por un lado la escasez de simuladores que permitan, de forma sencilla, analizar circuitos en alta frecuencia prediciendo el comportamiento en ruido de fase de los mismos. Desde un punto de vista práctico la limitación en los niveles de ruido de fase que pueden lograrse vienen impuestas tanto por el dispositivo activo a utilizar como por el factor de calidad del circuito utilizado como resonador. En este trabajo se presentará un método de diseño de osciladores de microondas a 9 GHz, de bajo ruido de fase basados en resonadores desarrollados utilizando líneas microstrip a las que se han provocado defectos en el plano de masa (defected-ground structures) con objeto de mejorar su factor de calidad y por tanto, el comportamiento en ruido de fase del oscilador que lo contiene. En la etapa de diseño se han utilizado simuladores electromagnéticos con los que simular la estructura microstrip. Los resultados obtenidos de estas simulaciones se han llevado a un simulador circuital en el que se ha desarrollado el oscilador.

II. DEFECTED GROUND STRUCTURES

Las estructuras de tipo “Defected Ground Structures” o “Estructuras con defectos en el plano de masa” (a partir de

ahora DGS) se implementan sobre líneas microstrip en las que mediante diferentes procesos se eliminan zonas del plano de masa bajo la línea [1], [2]. Aunque las posibilidades de diseño con defectos del plano de masa son múltiples y la elección de una u otra así como sus dimensiones afectan en el comportamiento de la línea; en este artículo se utiliza la de forma de tipo “huesos”, como se muestra en la figura 1.

La simulación de este tipo de líneas puede llevarse a cabo mediante el uso de circuitos eléctricos equivalentes, poco precisos en general, o bien mediante el uso de simuladores electromagnéticos. Optando por este último método, utilizando como sustrato de Cu-Clad de grosor 30 mils y constante dieléctrica 2.17. Se diseñó la estructura geométrica 2-D que define la DGS a utilizar en el oscilador. Teniendo en cuenta que la frecuencia de operación será de 10.8 GHz, se hicieron varias pruebas hasta lograr el diseño que, a priori, mostraba mejores prestaciones a dicha frecuencia.

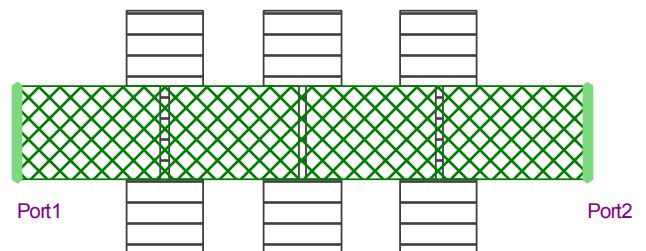


Fig. 1. Trazado de la estructura DGS obtenida a partir de simulaciones electromagnéticas.

Del análisis del layout de DGS presentado en la figura 2, se pueden obtener diferentes resultados; teniendo en cuenta que la idea general del trabajo no es la estructura DGS en sí misma sino un oscilador de bajo ruido de fase, se exportaron los parámetros de scattering obtenidos de forma tal que pudiesen ser utilizados en el simulador circuital que se utilizaría para el diseño del oscilador, Mwoffice™. En la figura 2 se presentan los resultados obtenidos de la simulación de los parámetros S_{21} y S_{11} .

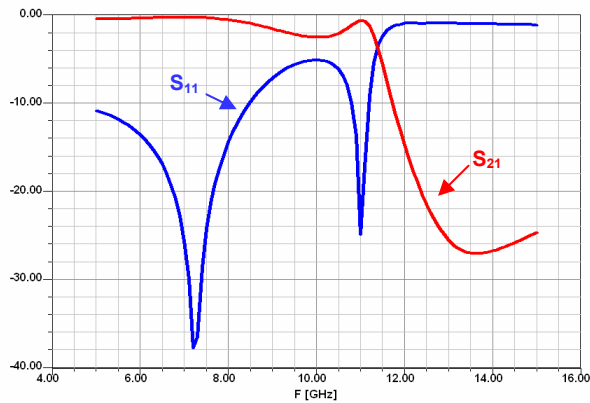


Fig. 2. Resultado de la Simulación Electromagnética de la estructura DGS de la figura 2.

III. DISEÑO DEL OSCILADOR

Una vez obtenido el comportamiento de la estructura DGS que constituye el circuito resonante, se procedió a atacar el problema del diseño del oscilador. Como dispositivo activo se ha tomado el NEC3210S01, de NEC. Los análisis llevados a cabo en la fase de diseño se centraron por una parte en predecir y ajustar la frecuencia de oscilación del oscilador completo, incluyendo niveles de potencia de salida y contenido armónico y por otra en intentar simularlos niveles de ruido de fase del mismo. Decir que para establecer un criterio de comparación y poner de manifiesto las ventajas, en términos de ruido de fase, de la estructura basada en DGS se diseñaron dos osciladores a la misma frecuencia, uno con estructura DGS y el otro con un resonador microstrip convencional.

A. Análisis del Oscilador: Frecuencia de Oscilación

El proceso de diseño se basó en el análisis de osciladores basado en el método de la línea de dispositivo [3]; este se basa en suponer que se tiene un elemento de resistencia negativa del que queremos obtener la impedancia de carga óptima para trabajar a una frecuencia particular, la idea general consiste en variar el valor de la impedancia de carga hasta conseguir la frecuencia deseada y entonces se observa el valor de la potencia de salida a la frecuencia de oscilación. Esta frecuencia deseada puede ser obtenida para multitud de valores de impedancia, pero solo uno proporciona máxima potencia a la salida.

La impedancia variable se puede modelar a partir de una fuente de tensión variable junto a una impedancia constante (de valor tal que no haga oscilar al circuito). La tensión que proporciona la fuente se aplica a un elemento de resistencia negativa de tal forma que al variar el nivel de potencia varíe también la impedancia. A medida que la impedancia cambia, la carga efectiva y la potencia entregada a la carga se pueden medir con un reflectómetro o un medidor de potencia. Los resultados obtenidos solo son aplicables a la frecuencia de trabajo lo que obliga a fijar la frecuencia de oscilación al principio del proceso.

Este método se basa en que la potencia entregada por el elemento de resistencia negativa fuera de la oscilación es la

misma que la del elemento oscilando si el voltaje en sus extremos es el mismo.

Aplicando el método descrito, con el circuito implementado en el simulador Mwooffice™, se diseñaron los dos osciladores, uno basado en DGS y otro convencional. La frecuencia de oscilación buscada en ambos casos fue de 10.8 GHz. En las figuras 3 y 4 se muestran los resultados obtenidos en términos de potencia de salida, para ambos osciladores.

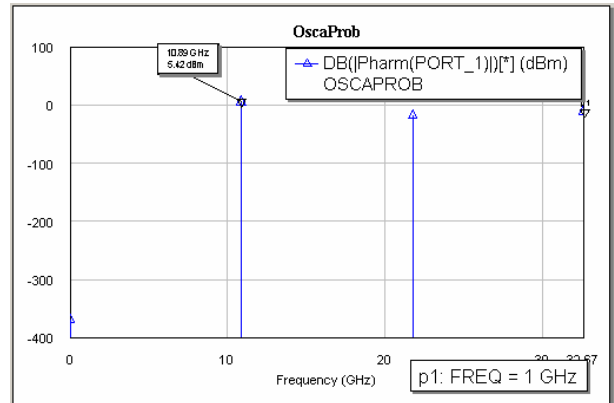


Fig. 3. Simulación de la potencia de salida del oscilador basado en DGS.

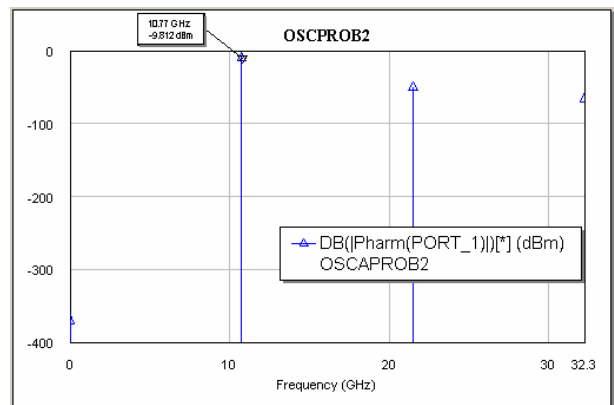


Fig. 4. Simulación de la potencia de salida del oscilador con resonador microstrip convencional.

A partir de los ajustes realizados en el proceso de simulación, llegaron a definirse totalmente los trazados de las líneas que constituyen ambos osciladores, el circuito final para el oscilador con DGS se muestra en la figura 5.

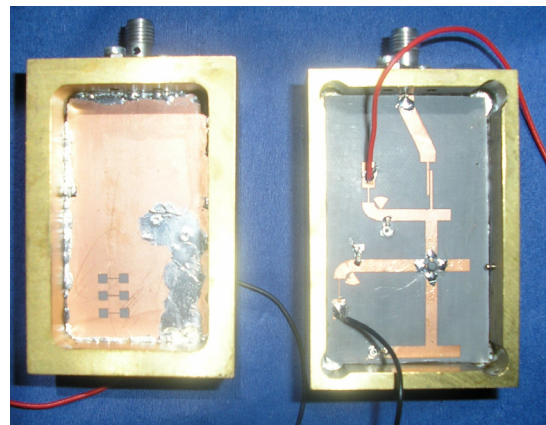


Fig. 5. Vistas superior e inferior del oscilador a 10.8 GHz con DGS.

En la figura 6, se muestra la vista superior del oscilador con resonador microstrip convencional (el plano de masa no presenta ninguna irregularidad, razón por la cual se omite su vista).

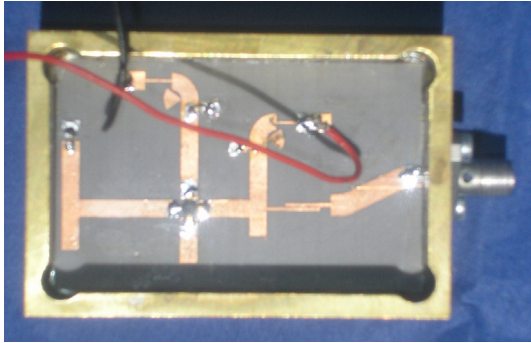


Fig. 6. Vista superior del oscilador a 10.8 GHz con resonador microstrip convencional.

B. Análisis del Oscilador: Ruido de Fase

Utilizando el mismo simulador, se procedió a simular el comportamiento en ruido de fase de los dos osciladores construidos. Para llevar a cabo este tipo de simulación Mwoffice™ implementa un análisis específico, OSCNOISE, en la que definiendo el intervalo frecuencial con respecto a la portadora en el cual se quiere simular el comportamiento en ruido de fase es posible calcular la densidad espectral de potencia de ruido de fase en las proximidades de la frecuencia de oscilación; en el caso que nos ocupa, la figura 7 muestra los resultados obtenidos de la simulación en ruido de fase del oscilador con DGS y sin ella.

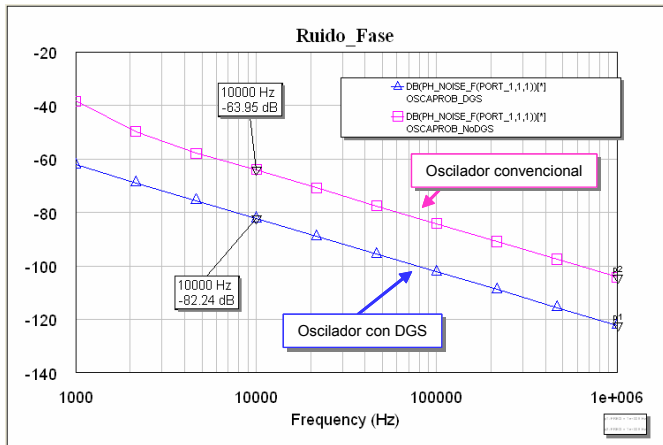


Fig. 7. Comparación simulaciones de ruido de fase para el oscilador con líneas microstrip DGS (triángulos) y convencionales (cuadros).

Para explicar los resultados obtenidos en la figura 7, puede recurrirse a un modelo simple de ruido de fase en osciladores como es la fórmula de Leeson [4].

$$S_{nO}(\omega) = S_{\theta}(\omega) \cdot \left(1 + \frac{\omega_0^2}{4 \cdot Q^2 \cdot \omega^2} \right) \quad (1)$$

La expresión (1) muestra como el ruido de fase del oscilador depende directamente del ruido del dispositivo activo, S_{θ} y de forma inversamente proporcional del factor de calidad del circuito resonante, Q . Puesto que del estudio bibliográfico de

las estructuras DGS una de las conclusiones fundamentales que se obtiene es que estas presentan valores del factor de calidad superiores a las líneas microstrip convencionales, parece lógico esperar que el valor del ruido de fase, según (1) sea inferior en estructuras de osciladores que utilicen las primeras, como se aprecia en la figura 7.

IV. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Con los dos osciladores montados, se procedió a realizar la caracterización de los mismos con objeto de comparar las prestaciones de ambos en términos de frecuencia de oscilación y, principalmente, de ruido de fase. Así en la figura 8 se muestra la medida de los armónicos fundamental y segundo para el oscilador construido con el resonador DGS. En la figura 9 lo que aparece es la misma medida anterior pero en este caso para el oscilador en la que el resonador se ha implementado con una estructura de líneas microstrip convencional. Como puede apreciarse, el nivel de potencia segundo armónico es superior en la estructura sin DGS, aún siendo inferior el nivel de potencia correspondiente al armónico fundamental; esto puede darnos idea de que el circuito resonante de la estructura con DGS es más selectivo que el resonador convencional microstrip.

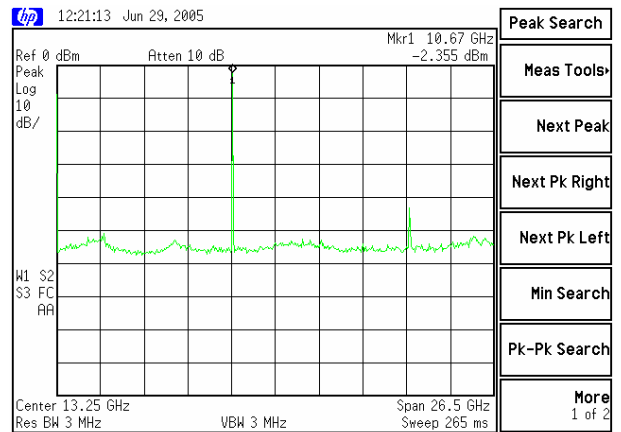


Fig. 8. Medida de los armónicos fundamental y segundo para el Oscilador con estructura DGS.

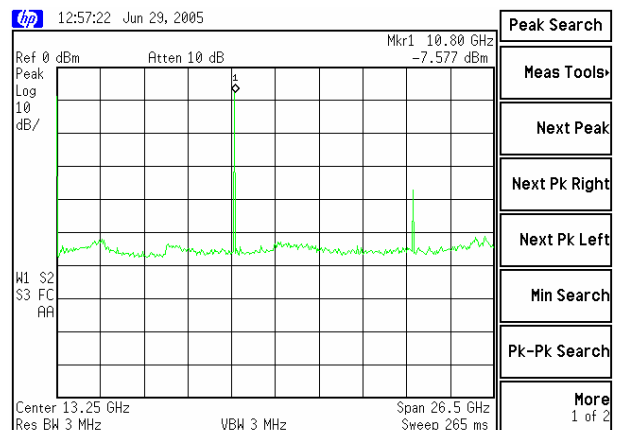


Fig. 9. Medida de los armónicos fundamental y segundo para el Oscilador con estructura microstrip convencional.

Puesto que el objetivo marcado en este trabajo era la reducción del nivel de ruido de fase con respecto a estructuras convencionales, se procedió a realizar la medida del comportamiento en ruido de fase de ambas estructuras. Así en la figura 10 se representa la medida realizada sobre el

oscilador implementado con un resonador basado en una estructura DGS (figura 5). De la misma forma, la figura 10 representa la evolución del ruido de fase para el oscilador construido con un resonador convencional microstrip (figura 6).

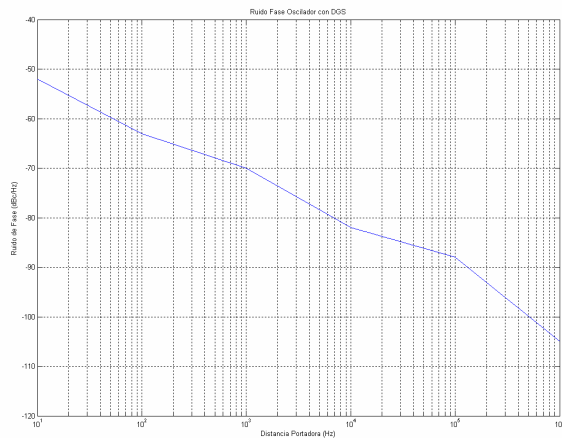


Fig. 10. Medidas de ruido de fase del oscilador con DGS

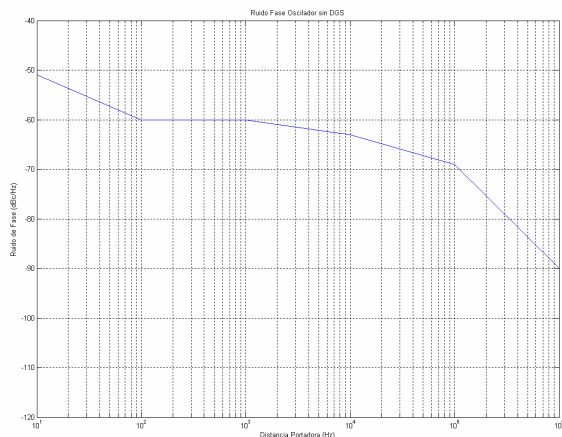


Fig. 11. Medidas de ruido de fase del oscilador con DGS

De la comparación de las gráficas 10 y 11 se puede comprobar como aunque para frecuencias cercanas a la portadora el ruido de fase tiene prácticamente el mismo nivel de potencia, a medida que nos alejamos en frecuencia de la portadora la diferencia entre ambos niveles va aumentando progresivamente llegando a ser de unos 10 dB a 100Hz de la portadora, y alcanzando los 20dB de separación a 1KHz de distancia de la portadora, lo que es una buena mejora con respecto a los resultados que se pueden obtener con estructuras convencionales. Estos resultados, además, coinciden con los encontrados en la bibliografía permitiendo validez las simulaciones de ruido de fase realizadas con el programa de simulación Mwooffice™.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha presentado una estructura de oscilador basado en líneas microstrip basadas en “Defected Ground Structures”, con objeto de mejorar las prestaciones de ruido de fase que es posible obtener con respecto a otras estructuras de osciladores. Esta mejora se logra merced al mayor valor del factor de calidad que presentan las

estructuras de tipo DGS frente a los resonadores construidos con líneas microstrip convencionales.

Se ha presentado un método que combina simulaciones electromagnéticas para el análisis de la estructura DGS con otras de tipo circuital, línea de dispositivo, para la simulación de la frecuencia de oscilación y del ruido de fase. Con todo, es posible realizar diseños de osciladores a frecuencias de microondas que mejoran considerablemente las prestaciones del oscilador desarrollado, en términos de ruido de fase, con respecto a estructuras en las que el resonador se implementa mediante líneas microstrip sin defectos en el plano de masa.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren hacer público su agradecimiento a los siguientes proyectos, dentro de los cuales se han obtenido los resultados presentados en este artículo:

- NoE TARGET (IST program of the EU under contract IST-1-707893-NOE).

- TEC2005-07985-C03-01, Ministerio de Educación y Ciencia.

REFERENCIAS

- [1] “An equivalent circuit and modeling method for defected ground structures and its application to the design of microwave circuits” JUN-SEOK PARK. Kookmin University. Seoul, Korea. Reprinted with permission of MICROWAVE JOURNAL® from the November 2003 issue. ©2003 Horizon House Publications, Inc.
- [2] “A Design of the Low-Pass Filter Using the Novel Microstrip Defected Ground Structure” Dal Ahn, Member, IEEE, Jun-Seok Park, Associate Member, IEEE, Chul-Soo Kim, Student Member, IEEE, Juno Kim, Student Member, IEEE, Yongxi Qian, Member, IEEE, and Tatsuo Itoh, IEEE transactions on microwave theory and techniques, vol. 49, no. 1, January 2001.
- [3] Mwooffice User’s Manual
- [4] “A simple model of feedback oscillator noise spectrum”. Leeson, D. B., Proceedings of the IEEE, February 1966 , pp. 329-330.
- [5] “A Novel Defected Ground Structure for an Active Device Mounting and Its Application to a Microwave Oscillator”.Jun-Seok Park, Associate Member, IEEE, and Myeong-Sub Jung, Student Member, IEEE., IEEE microwave and wireless components letters, vol. 14, no. 5, May 2004.