

Modulador ASK a 60 GHz en fin-line

J. de Mora, I. Corbella
E.T.S.I. de Telecomunicación de Barcelona, U.P.C.
Dpto. Teoría de la Señal y Comunicaciones. Grupo A.M.R.
Apdo. 30.002, 08080 Barcelona
Telf. (93) 401 68 49

Abstract

This paper describes the design and construction of a 60 GHz PIN-Switch. It reviews the way two diodes (or more than two) improve both the insertion loss and the isolation, and shows the results of the measurements that have been made once built. This study belongs to a project for an indoor communication system at 60 GHz.

Introducción

El enorme crecimiento actual de las comunicaciones móviles en todo el mundo, así como el previsible incremento del número de servicios y de la calidad de estos, implica la necesidad de buscar nuevas frecuencias. Especial interés pueden tener las milimétricas por estar en fase de experimentación (y por lo tanto sin asignar), y por el gran ancho de banda que permitirían.

El grupo AMR se decantó por las comunicaciones móviles en interiores, menos estudiadas, y en concreto por la posible aplicación de los 60 GHz, frecuencia de absorción del oxígeno, para este tipo de sistemas. La ventaja aportada por los 60 GHz sería precisamente su corto alcance, permitiendo una gran reutilización de canales en un sistema celular.

Un objetivo básico al iniciar el estudio de la banda cercana a los 60 GHz consiste en adquirir la experiencia tecnológica necesaria para construir subsistemas a frecuencias milimétricas, y en nuestro caso en banda V (50-75 GHz).

Se decidió empezar realizando un Modulador ASK, como primer subsistema a 60 GHz a construir en el departamento, por su menor complejidad.

Tecnología

A frecuencias milimétricas la línea de transmisión óptima es la guía de ondas, por

sus bajas pérdidas, sin embargo la mecanización precisa que requiere, así como la dificultad para incorporar elementos activos empuja a considerar otras alternativas.

En lo que respecta a la microstrip, que es la línea más habitual en microondas, a frecuencias tan elevadas como los 60 GHz en principio presentará unas pérdidas importantes, por lo que tampoco parece muy adecuada.

Finalmente, como compromiso entre estos dos tipos de líneas enunciadas, se decidió hacer un diseño en fin-line, que nació en su día para combinar la facilidad de construcción de la microstrip y evitar sus problemas de radiación a frecuencias milimétricas.

La fin-line es una estructura de tecnología cuasi-plana: el circuito se diseña en una slot-line con procedimientos fotolitográficos usados en microstrip, y posteriormente se introduce en el plano E de una guía rectangular.

Modulador ASK en fin-line

La implementación de un modulador ASK (es decir un conmutador) en fin-line es muy sencilla. Basta con colocar un diodo PIN en derivación en la fin-line para controlar la potencia de RF que pasa, según la corriente de polarización del diodo.

Para entender el funcionamiento básico de este conmutador, basta con saber que si polarizamos el diodo en directa, resultará ser un cortocircuito para la RF, que no pasará (estado OFF); en cambio, si lo polarizamos en inversa, la RF verá un circuito abierto y se transmitirá en su casi totalidad (estado ON).

De esta manera, utilizando como señal de control la que polariza el diodo podemos alternar dos estados posibles: corte y transmisión.

Este tipo de modulador, en el que el estado OFF se consigue ofreciendo una impedancia muy baja (asimilable a un cortocircuito) de tal manera que la señal de RF se refleja, es lo que se denomina un modulador por reflexión. Esto significa que deberá ir precedido normalmente por un aislador para evitar problemas de desadaptación.

Elección del PIN

El modulador descrito se puede modelar como una línea de transmisión (la fin-line, cuyas características se han determinado con un programa específico para fin-lines de ranura estrecha [1]), con una impedancia en paralelo intercalada en la línea, de valor variable (el diodo PIN).

Para elegir el diodo PIN adecuado se busca que la resistencia que presenta en polarización directa sea pequeña (del orden de algunos ohmios); y sobre todo que la capacidad en inversa (básicamente la capacidad de la unión, C_j) sea suficientemente baja para poder considerarla un circuito abierto a la frecuencia de interés (los 60 GHz). Esto supone usar diodos beam-lead con capacidades menores que 0,03 pF. Concretamente se ha utilizado el MA/COM 4P800.

Mejora de prestaciones con más de un diodo

Dado que las prestaciones alcanzables con un solo diodo no resultaban suficientemente buenas, se decidió usar dos en cascada. De esta manera no solo se consigue mejorar el aislamiento, como con dos conmutadores en cascada, sino que se demuestra que también se consigue mejorar las pérdidas de inserción [2], al constituirse el circuito con dos diodos como una red de adaptación clásica: el doble sintonizador.

Al utilizar dos diodos PIN en cascada el parámetro adicional que aparece respecto a un solo diodo es la separación L entre estos (Fig.1), que habrá que determinar de tal forma que el comportamiento del modulador sea óptimo.

Basándose en curvas de diseño de conmutadores [2], se pueden hacer algunas afirmaciones generales sobre las variables a optimizar.

El aislamiento óptimo (máximo) siempre se conseguirá para un espaciado de $\lambda/4$, y es poco sensible a las variaciones del espaciado. En cambio, la separación que minimiza las pérdidas de inserción depende fuertemente tanto de C_j como de la frecuencia; pero en cualquier caso va disminuyendo al aumentar la frecuencia.

En definitiva, nos hemos preocupado simplemente de optimizar las pérdidas de inserción (estado ON del conmutador), lo que hemos realizado empleando dos métodos. El primer método consiste en conseguir una red adaptada (el circuito obtenido es un doble sintonizador), de tal manera que teóricamente se podrían anular completamente las pérdidas de inserción, y se puede conseguir simplemente con una carta de Smith.

El segundo método es una simulación por ordenador, mediante el MDS (Microwave Design System), que permite analizar circuitos de microondas con elementos activos (los diodos PIN en nuestro caso), definidos mediante sus circuitos equivalentes (Fig.2).

Ambos métodos coincidieron perfectamente, resultando una distancia entre los dos diodos de 0,55 mm.

Realización práctica

Se ha construido el circuito en slot-line a partir de una máscara, usando técnicas fotolitográficas habituales, empleando el sustrato Cuclad 217.

Como transición de fin-line a guía se emplean tapers exponenciales de $1,5\lambda$ de longitud que se han conseguido con un programa desarrollado en el departamento, dejando una zona intermedia uniforme de algo más de los 0,55 mm mínimos.

El ancho de la ranura se ha tomado de 0,1 mm, en el límite de tolerancia del laboratorio. Se ha utilizado como guía una caja de Meier [3] mecanizada de forma muy precisa y con algunas adaptaciones destinadas a facilitar la precisión en la inserción de la slot-line y a un mejor acabado incluyendo el conector de polarización. Se ha de emplear un aislante para evitar que ambas aletas estén cortocircuitadas por la caja (Fig.3).

Respuesta del modulador construído

Para caracterizar el modulador se ha empleado como fuente un oscilador a 60 GHz capaz de proporcionar unos 15 dBm de salida, y un detector en banda V de gran sensibilidad, además de algunos subsistemas adicionales en banda V.

Las medidas modulando en continua han sido:

$$\begin{array}{ll} \text{Pérdidas de inserción} & \text{IL} = 1,7 \text{ dB} \\ \text{Aislamiento} & \text{ISOL} = 14,2 \text{ dB} \end{array}$$

De esta manera se consigue una profundidad de modulación de unos 12,5 dB, comparable a otros moduladores del mismo tipo en fin-line a frecuencias inferiores [4], y no muy lejana de las características de moduladores comerciales en esta banda.

También se han hecho unas primeras medidas en conmutación, con un analizador de espectros, puesto que el detector disponible no parece permitir un gran ancho de banda de post-detección, estimando de esta forma que la modulación máxima sería del orden de 100 MHz.

Conclusiones

Sobre la gráfica de la respuesta (Fig. 4), se comprueba que el modulador dispone de dos estados claros, con unas pérdidas de inserción en ON de 1,7 dB, y un aislamiento en OFF de algo más de 14 dB, lo que lo hace apto para una modulación ASK binaria. Sin embargo, polarizando en la zona intermedia se consigue un atenuador variable dentro de esos márgenes de atenuación.

Como alternativas para mejorar el aislamiento, que sería la característica más crítica, habría que utilizar otros PIN con una resistencia R_b menor, aumentar el número de diodos, y en todo caso probar con algún aislante resistivo a frecuencias milimétricas para evitar propagaciones de modos parásitos.

En cualquier caso, se ha comprobado la realizabilidad a frecuencias tan elevadas como los 60 GHz, de un modulador ASK sencillo con unas prestaciones suficientes, usando una estructura fin-line.

Referencias

- [1] A. Moliner. "Recepció de senyals a 20 i 30 GHz emesos des de satèl.lit. Disseny de mescladors de radiofreqüència". PFC, 1988. ETSETB.
- [2] MA/COM. "PIN Diode Switch Design", pp. 13-29.
- [3] P.J. Meier. "Integrated Fin-Line Millimeter Components". IEEE Trans. on MTT, vol.22, pp. 1209-1215, Dec. 74.
- [4] X. Cardús. "Subsistemes per a un Emissor-Receptor AM a 36 GHz". Proyecto Final de Carrera, 1989. ETSETB.
- [5] J. de Mora. "Subsistemas de Comunicaciones a 60 GHz". Proyecto Final de Carrera. Grupo A.M.R. ETSETB.