

CARACTERIZACION DEL RUIDO DE FASE DE OSCILADORES
SINTETIZADOS CON TECNICAS PLL

F. Torres J. Bará E. Artal A. Porta
Depto. de Teoría de la Señal -Grupo AMR- ETSIT Barcelona UPC

1.-INTRODUCCION

El diseño de osciladores con altas prestaciones en cuanto a estabilidad y pureza espectral está cobrando una gran importancia, debido fundamentalmente, a la necesidad de aumentar la sensibilidad y selectividad de los sistemas de comunicaciones en unas bandas de frecuencia cada vez más saturadas.

La estabilidad de un oscilador a frecuencia de microondas se consigue mediante la sincronización con lazos PLL a una referencia de baja frecuencia y alta estabilidad. El grupo AMR viene realizando una intensa actividad en dicha área (osciladores para las estaciones terrenas de los proyectos OPEX, TMS-7 y CODE-VSAT), presentadas en sucesivas comunicaciones de ésta y anteriores reuniones.

En cuanto a la pureza espectral, el grupo AMR, dentro del proyecto CICYT n.TIC/481/1 "Sincronización de señales de microondas y ondas milimétricas. Caracterización y aplicaciones", está iniciando actividades con el objetivo de establecer las técnicas y la tecnología necesaria para abordar el diseño de osciladores de microondas con el mínimo ruido de fase posible en condiciones diferentes de sincronización (referencia próxima o remota, CW o pulsada) hasta 75 GHz. En esta comunicación se presentan las tareas que el grupo AMR está iniciando en el área de la optimización de osciladores PLL con bajo ruido de fase. Se presentarán también resultados preliminares de los osciladores de la estación terrena CODE-VSAT.

2.- REVISION DEL CONCEPTO DE RUIDO DE FASE

La estabilidad en frecuencia de un oscilador puede definirse como el grado en que genera una misma frecuencia a través de un determinado periodo de tiempo. La señal producida por un oscilador real, sin considerar fluctuaciones de amplitud, puede modelarse como:

$$v(t) = V_0 \sin[\omega_0 t + \phi(t)] \quad \phi(t): \text{fluctuación de fase}$$

Cuando $\phi(t)$ es una señal aleatoria (ruido flicker, shot, térmico..), se denomina ruido de fase. En este caso, la representación más fundamental de la función aleatoria $\phi(t)$ es su estadística en el dominio frecuencial $S\phi(f)$: la densidad espectral de fluctuaciones de fase, definida como la transformada de Fourier de la autocorrelación de $\phi(t)$ [1],[2].

La señal $\phi(t)$ se obtiene demodulando convenientemente la señal $v(t)$. La figura 1.b muestra el esquema de un demodulador básico, que permite obtener $S\phi(f)$ a partir de la magnitud asociada $\mathcal{L}(f)$, (potencia en una banda lateral (BW=1 Hz)/ potencia total de la señal). $\mathcal{L}(f)$ se determina fácilmente a partir de la señal obtenida en un analizador de espectros, y se relaciona fácilmente con $S\phi(f)$ cuando $\Delta\phi_m \ll 1$ rad [1]:

$$\mathcal{L}(f) = \frac{\text{Potencia banda lateral (BW=1 Hz)}}{\text{Potencia total de la señal}} = \frac{1}{2} S_{\phi}(f)$$

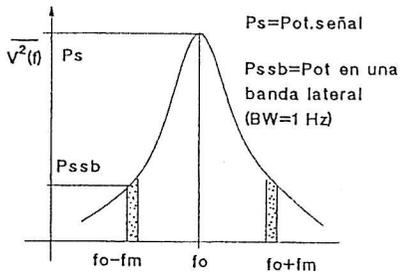


Fig.1.a Espectro de potencia promediado de $v(t)$

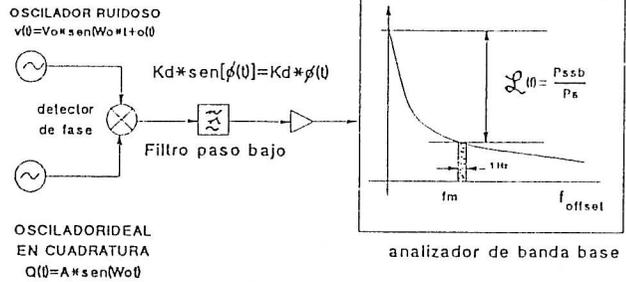


Fig.1.b Demodulador básico

Al tratar con ruido de fase es conveniente tener presentes las siguientes definiciones:

-Ruido de fase total o absoluto: Es el ruido de fase presente a la salida de un sistema u oscilador fundamental, y por tanto engloba la contribución de todas las distintas fuentes de ruido existentes.

-Ruido de fase residual o añadido: Es el ruido de fase presente a la salida de un bipuerto, independientemente del ruido existente a su entrada. Permite caracterizar un bipuerto en cuanto a ruido de fase (multiplicativo) del mismo modo que su factor de ruido F lo caracteriza en cuanto a ruido aditivo

-Ruido de fase dominante: Considerando que todas las fuentes de ruido existentes en el sistema son independientes, la potencia de ruido total a la salida será la suma de la potencia de cada una de ellas.

$$L_{tot}(f) = \sum 10^{L_i(f)/10}$$

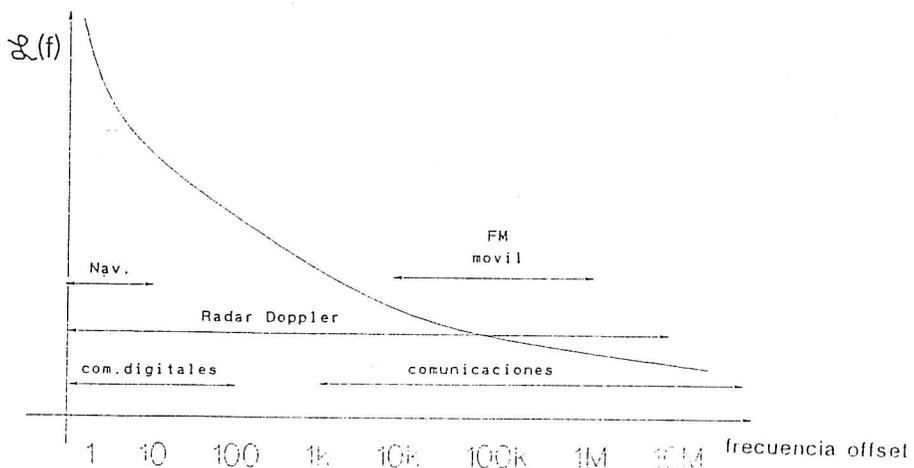


figura 2. Aplicaciones en las cuales el ruido de fase es de interés

Si una de las contribuciones $\mathcal{L}_i(f)$ es mayor en 6 dB que cualquiera de las demás en un determinado rango de frecuencias offset, se puede considerar igual al ruido de fase total y se denomina RUIDO DE FASE DOMINANTE pues dará la forma de la curva $\mathcal{L}_{tot}(f)$ en dicho tramo de frecuencias offset.

La importancia del ruido de fase en un oscilador dependerá de cual sea su área de aplicación. La figura 2 muestra los rangos de frecuencias offset para distintas aplicaciones, en las cuales el ruido de fase debe ser convenientemente tratado, bien porque limita la sensibilidad del sistema (radar, comunicaciones..) o por su impacto en el BER (ruido de fase cercano a la portadora en comunicaciones digitales).

3. SISTEMA DE MEDIDA Y ACTIVIDADES EN CURSO

El sistema de medida disponible en el laboratorio del grupo AMR está basado en el sistema HP3048A, que permite la realización de medidas semiautomáticas con las siguientes características [3]:

- MARGEN DE FRECUENCIAS: 5 MHz - 40 GHz
- MARGEN DE FRECUENCIAS OFFSET: 0.01 Hz - 40 MHz
- PRECISION DE LA MEDIDA: 2 - 3 dB (según margen de frecuencia)

Actualmente se está trabajando en la puesta a punto del sistema de medida, así como en la posibilidad de aumentar el margen de frecuencias hasta 75 GHz.

El sistema permite diferentes métodos de medida según las características de estabilidad, potencia disponible y nivel de ruido esperado del oscilador, así como la realización de medidas de ruido de fase residual. La diferencia fundamental entre los distintos métodos es el modo en que se efectúa la demodulación de la señal (fig.3). En general el ruido de fase medido contendrá la contribución de todos los elementos que integran el sistema de medida, cuyo nivel puede ser muy similar al del dispositivo que se intenta medir. Así, el método elegido deberá garantizar que el ruido introducido por el dispositivo a medir sea ruido de fase dominante.

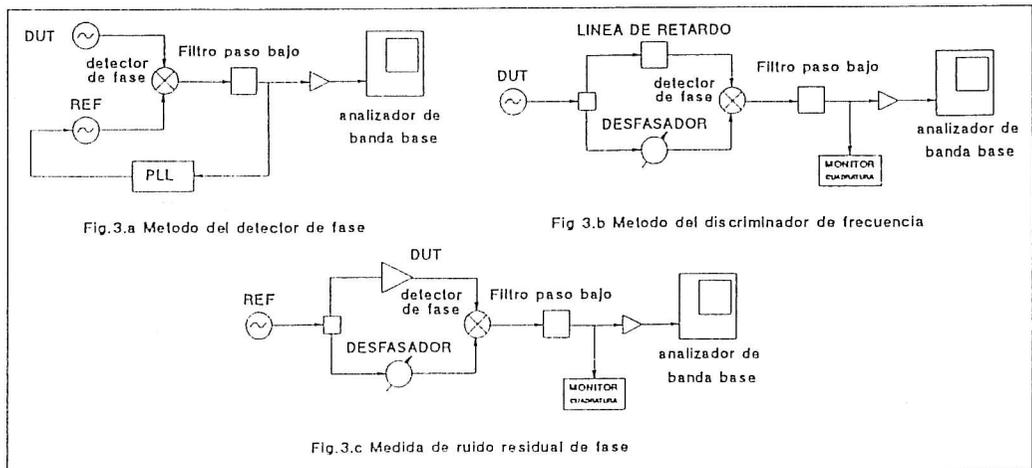


Figura 3. Distintos métodos de medida del ruido de fase

Características de los métodos de medida:

Detector de fase	discriminador de frecuencias	ruido residual
alta sensibilidad	baja sensibilidad	alta sensibilidad
DUT muy estable	DUT inestable	DUT: bipuerto

Las actividades que está iniciando el grupo con el objetivo de optimizar el ruido de fase de los osciladores sintetizados, son:

-Puesta a punto del sistema de medida. Comprende su sistematización, así como la evaluación de las posibles causas de error.

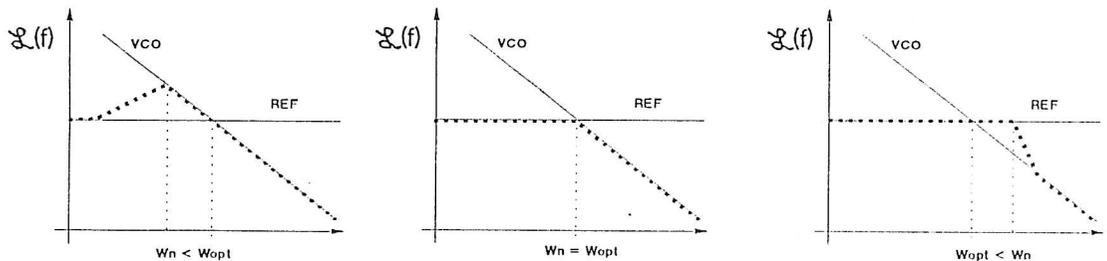
-Medida sistemática del $\mathcal{L}(f)$ de los distintos subsistemas que integran un PLL y desarrollo de modelos de ruido de fase para los mismos.

-Desarrollo de CAD para evaluar el ruido de fase de un sistema a partir del $\mathcal{L}(f)$ de los subsistemas que lo integran.

-Desarrollo de técnicas de reducción de ruido de fase.

4.- APLICACION A LOS OSCILADORES DE LA ESTACION CODE-VSAT

El desarrollo de osciladores sintetizados con técnicas PLL de bajo ruido requiere el conocimiento de cada uno de los subsistemas que integran los lazos multiplicadores. El caso más sencillo es el de un oscilador enganchado a una referencia mediante un simple lazo con un divisor de frecuencia por N. Es bien conocido que el ruido de fase a la salida del sistema seguirá al ruido de la referencia, aumentado en $20\log(N)$, dentro del ancho de banda del PLL, y al ruido del VCO en oscilación libre fuera de él.



Ruido de fase de un PLL en función de su frecuencia natural W_n

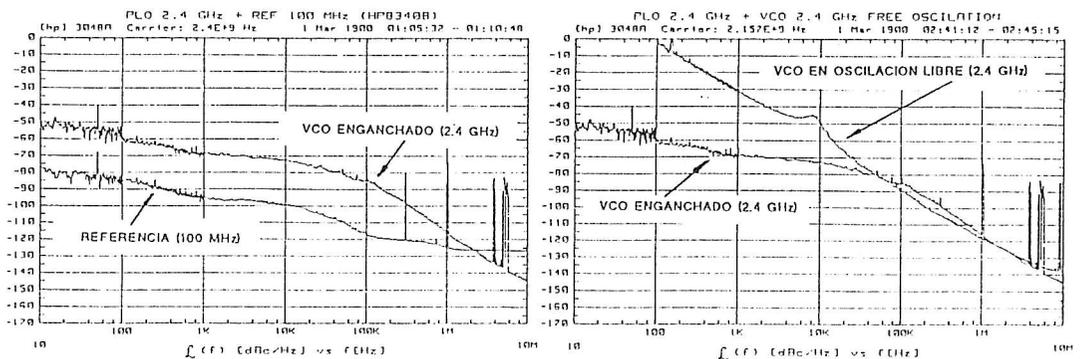


figura 4. OL a 2.4 GHz de la estación CODE-VSAT con $\mathcal{L}(f)$ mínimo

La figura 4 (parte superior) muestra como para el ancho de banda del filtro del PLL debe elegirse la frecuencia en que el ruido del VCO y el correspondiente a la referencia intersecan, si se quiere un diseño para ruido mínimo. Así, es del todo necesario disponer de la medida de $\mathcal{L}(f)$ tanto para la referencia, como para el VCO en oscilación libre.

La figura 4 (parte inferior) muestra un oscilador sintetizado a 2.4 GHz siguiendo dicha técnica. El ancho de banda del PLL se ha elegido de 100 KHz, observandose como para frecuencias menores el ruido de fase sigue a la referencia, mientras que para frecuencias mayores sigue al VCO en oscilación libre.

La posibilidad de efectuar medidas a frecuencias elevadas permite contrastar los diseños realizados con las especificaciones exigidas a los mismos. La figura 5 muestra el ruido de fase del oscilador de 18 GHz de la estación CODE-VSAT realizada por el grupo AMR, junto a las especificaciones exigidas por la Agencia Europea del Espacio.

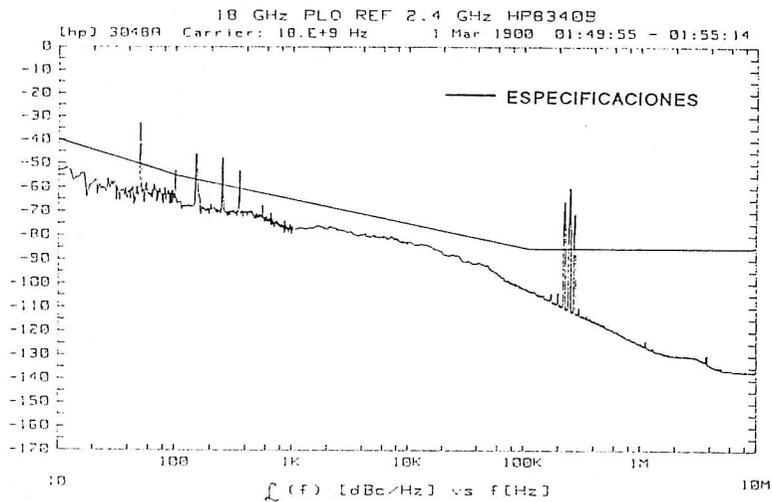


figura 5. Ruido de fase del oscilador CODE-VSAT a 18 GHz

5 CONCLUSION

En esta comunicación, tras una breve introducción al concepto de ruido de fase y su importancia en los sistemas de comunicaciones, se han presentado las diversas áreas de actividad que el grupo AMR está llevando a cabo sobre el tema, dentro del proyecto CICYT n.TIC/481/1. Se han presentado también, los resultados preliminares concernientes al diseño de los osciladores de una estación CODE-VSAT, a la espera de mostrar los resultados definitivos en la exposición de la comunicación.

referencias

- [1] "Phase Noise in Signal Sources" W.P.Robins
IEE TELECOMMUNICATIONS SERIES 9.1982
- [2] "Probabilidad, variables aleatorias y procesos estocásticos"
A.Papoulis Editorial Universitaria. Barcelona 1980
- [3] HP Application Notes on HP3048A Phase Noise Measurement System