

Generador de RF de alta estabilidad con amplificador para aplicaciones en investigación ionosférica

Jorge D. Bilbao¹, Mariano Fagre¹, Julieta Flomenbaum¹, Marcelo Mitre Muñoz¹, Juan E. Ise¹, José. I. Cangemi¹, Fernando A. Miranda Bonomi¹ y Miguel A. Cabrera¹

(1) Laboratorio de Telecomunicaciones, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología, Universidad Nacional de Tucumán

jbilbao@herrera.unt.edu.ar

fmirandabonomi@facet.unt.edu.ar

mcabrera@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN: Se presenta en este trabajo resultados del diseño y desarrollo de un generador de radio frecuencia (RF) de alta estabilidad con amplificador, en banda de HF, para aplicaciones en investigación ionosférica. El módulo se basa en la experiencia adquirida en el marco de un proyecto de colaboración bilateral por el cual el Laboratorio de Telecomunicaciones (LTC) del Dpto. de Electricidad, Electrónica y Computación (DEEC) de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología (FACET) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT), en colaboración con el Atmospheric Physics Institute de Rep. Checa (API), desplegaron en el territorio de la Provincia de Tucumán y en la ciudad de la Termas de Río Hondo (Santiago del Estero), un sistema de medición Doppler (SD) implementado mediante un radar tipo biestático. El sistema está compuesto por un receptor y tres transmisores en onda continua con generación sintética de frecuencia de alta estabilidad.

Palabras Claves: Amplificador, Doppler, Banda de HF, Radio Frecuencia, Radar

1 INTRODUCCIÓN

Desde el LT se está trabajando en cooperación, a través de un proyecto bilateral, con el Atmospheric Physics Institute (API) de la Rep. Checa en el sentido de la ionósfera terrestre a través de un sistema de transmisión de señales de radio. El sistema transmite, en frecuencias del orden de 4 MHz, desde tres puntos geográficos distantes unos 100 km a un sistema de recepción ubicado dentro del triángulo determinado por las estaciones transmisoras. La medición se basa en la observación y procesamiento del desplazamiento de frecuencia, en la señal recibida de los transmisores balizas, producida por variaciones en las condiciones de propagación entre cada una de las estaciones transmisoras y el receptor, atribuibles a la aparición de ondas de gravedad a alturas de la capa F (Buresova et al, 2007; entre otros).

Como el proyecto contempla el despliegue de instalaciones similares en diversos lugares del mundo, se encaró en el LT el diseño y

construcción de un prototipo de unidad baliza con las siguientes especificaciones:

Tipo de emisión: Onda Continua (CW); frecuencia de operación variable entre 3950 y 4050 MHz, con control digital en saltos de 1 KHz. Introducción de frecuencia mediante botonera. Estabilidad de Frecuencia mejor que 1 ppm en corto plazo y en condiciones normales de laboratorio (Temp. ambiente entre 10-28°C). Potencia de salida: 1 watt (mínimo) en servicio permanente. Impedancia de salida 50 ohm, conector de salida SO-239. Nivel de radiación espuria: Mejor que -50 dBc. Tensión de Alimentación 12 V.

Todo el sistema se controla desde una unidad de control, implementada con un microcontrolador, encargada de facilitar las interfaces con el usuario, lo que permite programar los valores de frecuencia por teclado para su posterior procesamiento, la cual será presentada por la pantalla LCD, indicándose el caso en el cual la frecuencia se encuentre fuera de rango.

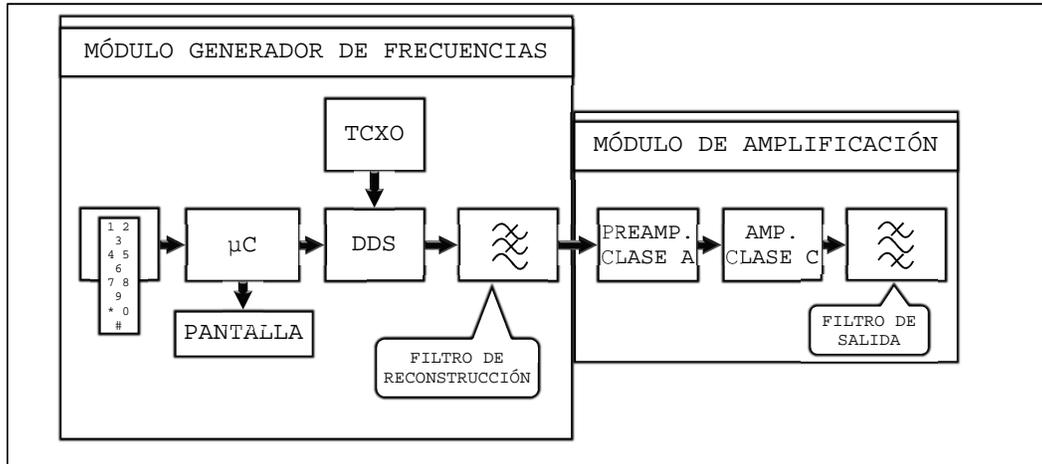


Figura 1: Diagrama general del equipo

Se solicitó también que el diseño eléctrico y mecánico sea fácilmente reproducible mediante la utilización de componentes electrónicos no críticos y que el sistema de control admita modificaciones para optimizar su funcionamiento en situaciones particulares.

El diseño, construcción, mediciones y puesta a punto de la unidad fue encarado por dos estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica como proyecto final de graduación.

La unidad consta de un módulo generador de frecuencias y un módulo de transmisión. Lo que permite la optimización del diseño de cada una de las etapas, para un ajuste final una vez construido cada uno de estos módulos y vinculados entre sí. Esto se logró haciendo la división que se puede apreciar en la Fig. 1.

Se decidió como criterio de diseño comenzar con el módulo amplificador de potencia y en una secuencia hacia "atrás".

2 MÓDULO DE AMPLIFICACIÓN

Dados los requerimientos de potencia del sistema a construir, se optó por la elección de un Amplificador tipo Clase C (ARRL, 2000; Bilbao, 2006; Terman, 1953; Krauss, 1984). La elección del transistor de potencia se hizo en función de la disponibilidad en el mercado local. Se utilizó un transistor bipolar (2SC1969) (Mitsubishi, 2000) que, de acuerdo a su hoja de datos, a 27MHz muestra una ganancia de potencia de 16 dB. Al no disponer de datos de funcionamiento en el rango de frecuencias establecido en el proyecto, a partir de mediciones en CC y suposiciones razonables, se hizo un modelo SPICE con el que se pudo estimar, mediante una simulación de balance armónico (HB) parámetros de

funcionamiento del amplificador, como sus impedancias de entrada y salida, consumo, rendimiento, etc. Con los datos obtenidos se encaró el diseño inicial del circuito y por sucesivas mediciones y modificaciones a la topología de base, se llegó al circuito final para ésta etapa indicado en la Fig. 2. Para las Redes de Adaptación tanto de entrada como de salida se optó por hacer uso de lo que se conoce como Redes de 3 elementos, configuración que permite lograr valores de inductores del orden de los μH

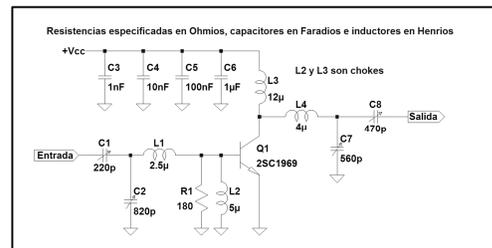


Figura 2: Amplificador de potencia

(lo que simplifica su construcción) y capacitores cuyos valores no superan 1 [nF] (evitando el incremento de pérdidas al utilizar elementos de capacidades superiores).

2.1 Red de Adaptación de Entrada

$R = 50 \Omega$ (Impedancia de Salida Generador de Señales utilizado para hacer las pruebas)

$r = 5 \Omega$ (Impedancia de entrada estimada por simulación HB del Transistor)

2.2 Red Adaptación de Salida

$R = 50 \Omega$ (Impedancia de entrada de antena)
 $r = 15 \Omega$ (Impedancia de carga del transistor, estimada por simulación HB)

2.3 Ajuste

Las redes de adaptación se ajustaron hasta obtener alrededor de 1.5 watts de salida con el mejor rendimiento posible. Resultados obtenidos:

Pot. de salida : 1.45w (31,6 dBm)
Pot. de entrada : 0.08 w (19dBm)
Pot. disipada : 2.2w ($V_{cc}=12v$., $I_{cc}=180mA$)
Rendimiento : 67%
Ganancia de potencia: 12,6 dB

3 MÓDULO PREAMPLIFICADOR

Se estimó que la señal disponible del excitador sería, alrededor de 60mv rms sobre 50Ω (-11 dBm), fue necesario el diseño e implementación de una etapa preamplificadora de 30 dB de ganancia. Esto se hizo utilizando una etapa con un transistor 2N3866 (Philips, 1998), operando en clase A. Después de explorar distintas alternativas para implementar la topología a utilizar, sobre todo en el acoplamiento inter-etapa, se decidió utilizar un acoplamiento inductivo con un transformador toroidal. A ésta decisión se llegó considerando los resultados obtenidos en eficiencia de acoplamiento, facilidad de ajuste, minimización de componentes y pureza espectral.

De manera que ubicando estas dos etapas en cascada, se obtiene finalmente el circuito de final queda como se observa en la Fig. 3, donde se incluye un filtro pasa bajos (Chebychev de orden 5) para reducir el contenido armónico de la señal de salida a las especificaciones solicitadas.

4 GENERADOR DE FRECUENCIAS

Para su diseño se optó por utilizar como elemento principal un DDS (Direct Digital Synthesis) AD9850 (Analog Devices, 2004) utilizando como referencia un oscilador del tipo TCXO, el cual satisface las especificaciones de estabilidad de frecuencia mejor que 1ppm en corto plazo y en condiciones normales de laboratorio. La frecuencia de salida está determinada por las palabras suministradas mediante un microcontrolador PIC 16F873A (Microchip Tech, 2003), pudiendo ser elegida por el usuario a través de un teclado numérico respetando el rango de trabajo especificado (3950 a 4050 kHz) y visualizada en una pantalla LCD de 2x16 caracteres. Debido a la naturaleza de la señal de salida del DDS fue necesario implementar un filtro anti-alias, de esta manera la señal queda acondicionada para ser introducida en la etapa amplificadora previamente desarrollada.

4.1 Descripción del dispositivo DDS utilizado

En la actualidad la forma más rápida y eficiente de generar frecuencias es a través de los

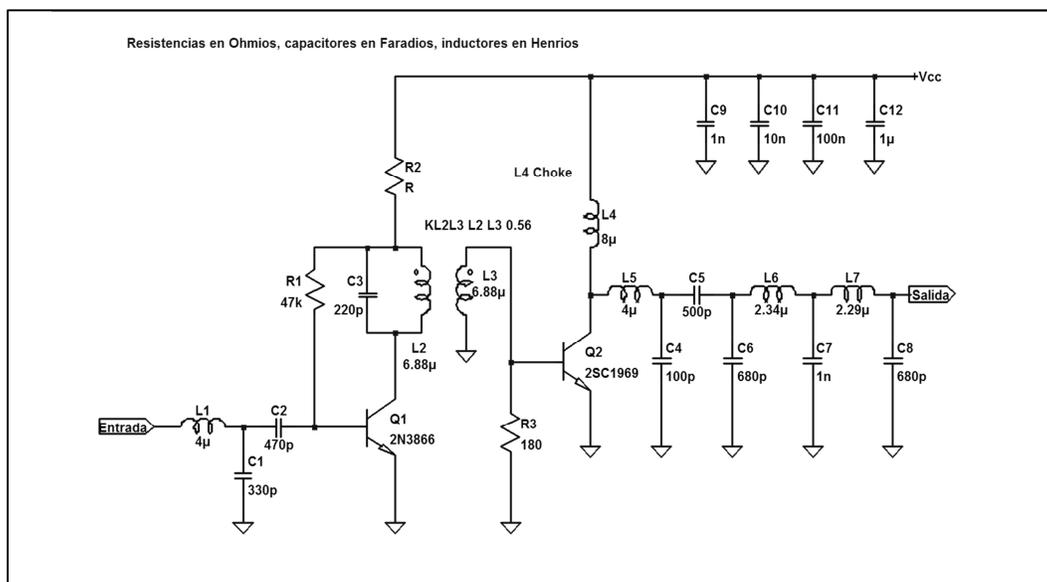


Figura 3: Preamplificador, amplificador de potencia y filtro de salida

denominados DDS (Direct Digital Synthesis).

4.1.1 Ventajas

Presentan una excelente resolución de frecuencia, con ajustes de frecuencia de salida y fase del orden de los Micro-Hertz y Sub-Grados respectivamente.

Son muy flexibles, pueden ser fácilmente modulados.

La tecnología digital DDS elimina la necesidad de ajustes manuales debidos a variaciones causadas por envejecimiento de componentes y cambios de temperatura necesarios en equipos analógicos.

Su interfaz de control digital facilita un entorno donde los sistemas pueden ser comandados a distancia y optimizados minuciosamente mediante el uso de microcontroladores.

4.1.2 Limitaciones

Se utilizan métodos de muestreo, por lo cual están sometidos a la teoría de muestreo formulada por Nyquist. Por lo tanto, la máxima frecuencia utilizable se encuentra en el orden del 45% de la frecuencia del reloj de referencia.

4.1.3 Principio de Funcionamiento

Se basa en una técnica que propone el uso de bloques de procesamiento de datos digitales como medio para generar una señal de salida de frecuencia y fase ajustables utilizando como referencia una frecuencia fija. Esta frecuencia de referencia es dividida por un factor de escala conformado por una palabra binaria ajustable proporcionada por la etapa de control a la cual

llamaremos M que se aplica a la entrada del dispositivo. La longitud de M es $N=32$ bits en el caso del dispositivo elegido. Este procedimiento le permite al DDS proporcionar una frecuencia de salida de alta resolución, la cual se encuentra determinada por la frecuencia del reloj de referencia dividida en $2N$. Por lo tanto, para la generación de frecuencias se requiere del cálculo de la palabra binaria M , la cual es obtenida a partir del valor de frecuencia deseado introducido y enviada hacia el DDS mediante el uso de un microcontrolador.

4.1.4 Arquitectura del DDS

En la Fig. 4 podemos observar los elementos básicos que conforman la arquitectura de un DDS los cuales se detallan a continuación:

Un reloj de referencia que genera la frecuencia empleada en el muestreo y para sincronizar las operaciones a ser realizadas por el sistema (será detallado más adelante). Un acumulador de fase que compara la frecuencia del reloj con la frecuencia que se desea generar, impresa en la palabra binaria de sintonía. Se trata de un dispositivo que realiza operaciones aritméticas sencillas. Un convertor de fase en amplitud también llamado "lookup table" (LUT) que suele ser una "sin/cos ROM" donde se realizan las operaciones de conversión mencionadas. El convertor digital-analógico (DAC) utilizado para convertir la onda muestreada, a la salida de la memoria, en una onda escalonada analógica (Analog Devices, 1999).

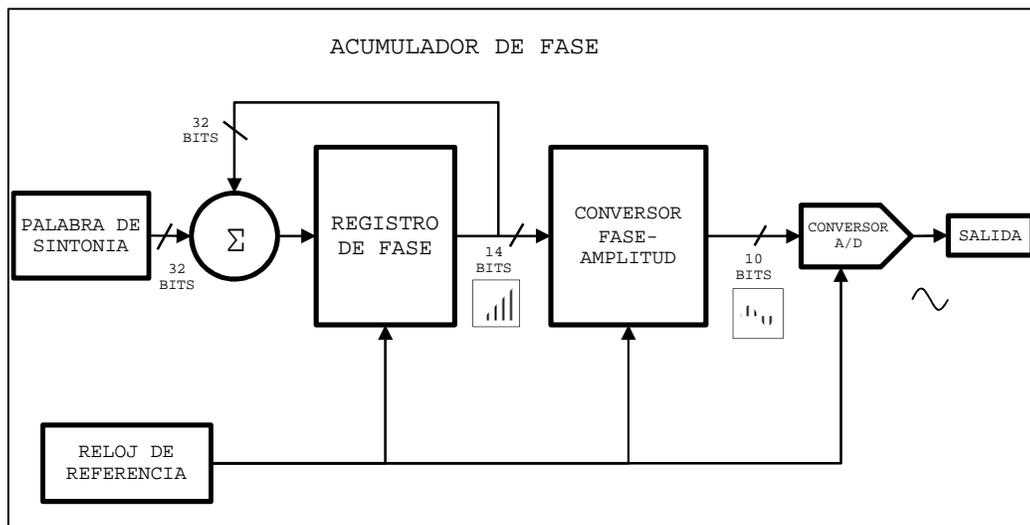


Figura 4: Arquitectura DDS

4.2 TCXO- Características principales

Debido a los requisitos propuestos en relación a la estabilidad de frecuencia se consideró necesario el empleo de un oscilador del tipo TCXO (Oscilador Compensado en Temperatura), que se encarga de ajustar la frecuencia de salida de manera que la misma no sea afectada por variaciones de temperatura. Para conseguirlo, el elemento principal dentro de un TCXO es en realidad un VCXO (Oscilador controlado por tensión), el cual se encuentra conectado a un circuito que detecta la temperatura y la transforma en una pequeña tensión de corrección. Cabe destacar, que los TCXO son ampliamente utilizados en aplicaciones que requieren fuentes de frecuencias precisas. Siendo menos costosos y más pequeños que los OCXO ofreciéndonos una muy buena relación calidad-precio. El mismo será utilizado como frecuencia de referencia del DDS.

Especificaciones TCXO

SMD TCXO 2.5x2.0x0.8MM 7L Series

Fabricante: TXC

Temperature Stability: $\pm 0.5\text{ppm}$

Operating Temperature Range: $-30^{\circ}\text{C} - 85^{\circ}\text{C}$

Supply Voltage: $1.8\text{V} \sim 3.3\text{V}$

Voltage Control Function Available

Frecuency: 13.369MHz

Clipped Sinewave Output Voltage: 0.8 Vpp

PIC 16F877A

Este dispositivo fue elegido de manera que logre satisfacer la cantidad de puertos necesarios para llevar a cabo las interfaces con el usuario deseadas, dejando abierta la posibilidad de que el alcance del proyecto pueda ser ampliado, ya sea para comunicarse con una PC o con un módulo GPS en caso de que sea necesario.

5 CONCLUSIONES

Se ha diseñado y desarrollado un Generador de portadora de RF y un amplificador para aplicaciones en sensado remoto por ondas de radio en onda continua. El sistema es programable, permitiendo el ajuste de frecuencia de acuerdo a las necesidades de operación del sistema Doppler. Se ha logrado la generación de portadora de RF en el orden de 4000 kHz con estabilidad del orden de 1ppm y valores verificados de medición de potencia, sobre carga adaptada, de $1,25\text{ W}$. Niveles de radiación de espurias mejor a -50 dBc .

6 REFERENCIAS

Analog Devices, *A Technical Tutorial on Digital Signal Synthesis*, Analog Devices Inc., USA, 1999.

Analog Devices, *CMOS, 125 MHz Complete DDS Synthesizer AD9850*, Analog Devices Inc., USA, 2004.

A.R.R.L, *A.R.R.L. Radio Amateur's Handbook 2000*, A.R.R.L, USA, 2000.

Bilbao J., *Apuntes de Electrónica de Comunicaciones I*, Tucumán, 2006.

Buresova, D.; Krasnov, V.; Drobzheva, Ya.; Lastovicka, J.; Chum, J.; and Hruska, F.; Assessing the quality of ionogram interpretation using the HF Doppler Technique, *Annales Geophysicae*, vol 25, 895-904, pp2007.

Krauss, H.L. & C.W. Bostian, *Estado Sólido en Ingeniería de Radiocomunicación*, Limusa, Mx, 1984.

Mitsubishi Electric, *NPN Epitaxial Planar Type 2SC1969, Mitsubishi RF Power Transistor*, Mitsubishi Electric, Japan, 2000.

Microchip Technology, *PIC16F87XA Data Sheet*, Microchip Technology Inc, USA, 2003.

Philips Semiconductors, *RF transmitting transistor and power amplifier fundamentals, Power Amplifier Design*, Philips Semiconductors, Netherlands, 1998.

Philips Semiconductors, *Silicon Planar Epitaxial Overlay Transistor 2N3866*, Philips Semiconductors, Netherlands, 1998.

Terman, F.E., *Electronic and Radio Engineering*, Mc. G. Hill, NY, 1953.