

Generador de señales en HF para el desarrollo de una ionosonda

Leonardo J. Navarra
Grupo de Investigación y Desarrollo
en Radiofrecuencia e
Instrumentación
Facultad de Ciencias Astronómicas
y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
Paseo del Bosque s/n B1900FWA
La Plata
lnavarria@fcaglp.unlp.edu.ar
ORCID 0000-0002-1061-4896

Ricardo E. García
Grupo de Investigación y Desarrollo
en Radiofrecuencia e
Instrumentación
Facultad de Ciencias Astronómicas
y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
Paseo del Bosque s/n B1900FWA
La Plata
regarcia@fcaglp.unlp.edu.ar

Guillermo D. Rodríguez
Grupo de Investigación y Desarrollo
en Radiofrecuencia e
Instrumentación
Facultad de Ciencias Astronómicas
y Geofísicas
Universidad Nacional de La Plata
Paseo del Bosque s/n B1900FWA
La Plata
grodriguez@fcaglp.unlp.edu.ar

Resumen— El objetivo del trabajo fue desarrollar un sistema de generación de señales en la banda de HF (alta frecuencia) para ser empleado en una ionosonda de bajo costo (full custom). Se desarrollan aquí los conceptos fundamentales del sondeo remoto, como así también las soluciones de bajo costo implementadas para poder construir un transmisor de frecuencia variable.

Finalmente se mostrará el circuito terminado junto con la solución probada y medida en laboratorio.

Palabras Claves—radiosondeo, generación, diseño, simulación

I. INTRODUCCIÓN

La ionosfera es un plasma que se caracteriza por su perfil de densidad electrónica, el cual se encuentra estratificado debido a una combinación de efectos: la distribución de especies atómicas con la altura y la penetración de agentes ionizantes, tal como muestra la figura 1.

Se denomina plasma al cuarto estado de agregación de la materia, siendo este similar al gaseoso aunque con la particularidad de poseer partículas cargadas eléctricamente y no ende, sin equilibrio electromagnético.

Con estas características, la ionósfera actúa como una capa conductora para las ondas electromagnéticas que inciden en ella y poseen longitudes de onda muy superiores a la distancia media entre las moléculas que la conforman. En términos prácticos, se puede decir que las ondas electromagnéticas (OEM) que poseen frecuencia por debajo de los 30 MHz son reflejadas por la ionósfera, y la magnitud de la frecuencia a la cual suceden

tales reflexiones depende de la densidad electrónica en la misma

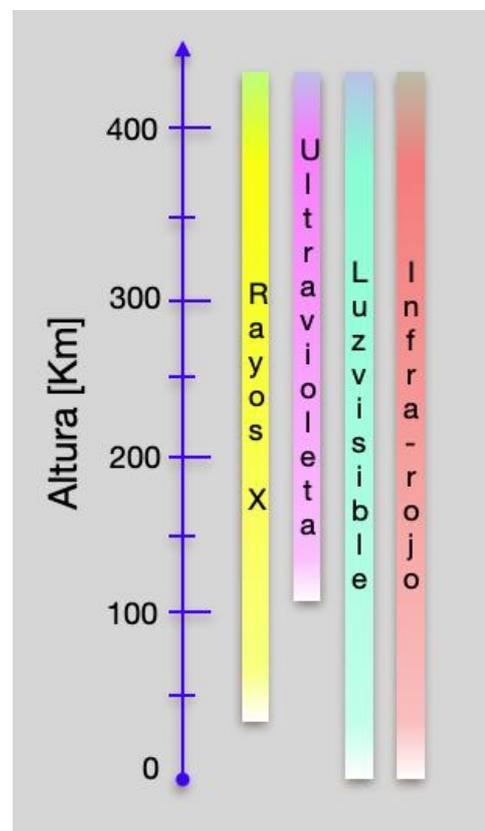


Figura 1: distribución de especies atómicas en función de la altura

II. FUNCIONAMIENTO DE UNA IONOSONDA.

La Ionosonda es un radar que envía pulsos electromagnéticos de diferentes frecuencias hacia la ionosfera, recibe el eco o reflexión de esta onda, midiendo el tiempo de viaje de la onda. A partir de este dato, conocida la frecuencia de los pulsos enviados y asumiendo

la velocidad de propagación, es posible determinar la distribución de la densidad electrónica con la altura

La técnica de sondeo ionosférico comenzó a utilizarse en 1925 con un sistema desarrollado por Breit y Tuve [1] aunque el conocimiento de la reflexión de las OEM en la ionosfera ya era conocido desde años antes.

El producto que se obtiene de un sondeo vertical es el ionograma, el cual se muestra en la figura 2, y donde el eje vertical representa la altura a la cual se produjeron los ecos y el horizontal la frecuencia de la onda incidente (transmitida).

III. GENERACIÓN DE PULSOS

La posibilidad de tener un eco detectable depende de la energía del pulso emitido (el cuál es proporcional a la longitud del pulso). Por otro lado, pulsos más largos atentan contra la resolución del estudio. Como solución a este compromiso, se codificaron los pulsos con N bits empleando modulación BPSK, utilizando luego técnicas de correlación para la detección. Esto posibilita que la resolución solo sea la del tiempo de un bit y no la de todo el pulso

El objetivo de la ionosonda en desarrollo es obtener una resolución de 5 Km. Considerando (ec. 1) que la señal viaja a la velocidad de la luz © y recorre el trayecto (ΔR) dos veces (ida y retorno), podemos determinar un requerimiento de tiempo de bit (T_b) de 33 μs .

$$2 * \Delta R = c * T_b \quad (1)$$

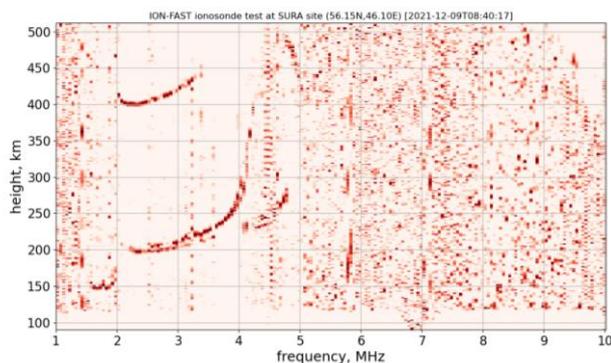


Figura 2: Resultado obtenido del sondeo vertical

Estos tiempos deben contemplar el tiempo del envío del pulso sumado al tiempo en que el sistema tarda en procesar las instrucciones, siendo esto el tiempo total de retardo.

IV. IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA

A. Desarrollo del generador

Para poder generar una señal de alta frecuencia, acorde a las necesidades se empleó el Sintetizador DDS AD9850 disponible en el mercado local. Este equipo posee tecnología DDS (síntesis digital directa), la cual es una técnica utilizada en los sistemas de comunicaciones actuales (inalámbricos, satelitales, etc). Los dispositivos DDS se han convertido en una alternativa cada vez más utilizada a las soluciones analógicas tradicionales de síntesis de frecuencias, debido que ofrecen ventajas de rendimiento, como facilidad de sincronización para obtener señales en cuadratura, otras relaciones de fase entre señales, y una transición de frecuencia más rápida, entre otras.

Los DDS de la firma Analog Devices [2] emplean en cada canal, un convertidor digital-analógico de 10 bits, para obtener un frecuencia estable y controlable. El AD9850 proporciona una resolución de 0.0291 Hz con un reloj de entrada de 125 MHz y un incremento de fase de 11.25° . Posee un comparador de alta velocidad junto con un registro de 40 bits utilizados para programar el control de la frecuencia, la fase y el encendido. Los 40 bits se componen por 32 bits para el control de la frecuencia, 5 bits para el control de fase y los bits restantes para el control del registro.

El AD9850 permite la programación en serie, a través de SDI o de forma paralela, cada una de las formas de programación posee tiempos de respuesta diferentes, lo que es requisito indispensable para los tiempos de sondeo necesarios. Sumado a las características anteriores se debe tener en cuenta el valor de impedancia de salida, que es de $120 k\Omega$, valor que debe tenerse en consideración para acoplar la salida al transmisor.

La tensión de salida del AD9850 [3] es del orden de los milivolts, por lo que se necesita amplificar de forma variable la señal generada para ser enviadas por el transmisor de alta potencia.

Para poder obtener un ajuste fino de la señal de entrada al transmisor de potencia y poder acoplar impedancias, se empleó un amplificador operacional de alta corriente de salida. En esta

aplicación el utilizado fue el AD815 [4] que se caracteriza por soportar hasta 40 V pico a pico de salida con 120 MHz de ancho de banda y 70 ns de retardo para las operaciones demandadas.

B. Simulación de circuitos

Como su nombre lo indica un simulador es una herramienta para efectuar en forma sistemática cálculos de circuitos eléctricos y electrónicos, de acuerdo con ciertos modelos que en muchos casos el usuario puede modificar o crear. El simulador no reemplaza los conocimientos de los circuitos analizados o de los temas tratados. El usuario del simulador, en este caso el estudiante, debe utilizar su sentido crítico que le permita juzgar sobre la racionalidad o viabilidad de los resultados obtenidos. Debe tenerse presente que el simulador no hace otra cosa que representar con modelos determinados a los componentes de un cierto circuito o sistema, y por ende las soluciones no pueden ir más allá de lo que dichos modelos permiten. [5]

Para verificar el funcionamiento del circuito se empleó el simulador de circuitos LTSPICE¹, provisto por la empresa de tecnología Analog Devices que se caracteriza por ser de distribución libre y gratuita. El simulador se encuentra basado en el software denominado SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) y es el encargado de realizar el funcionamiento del circuito de interés antes de realizar el prototipo de este. Esta posibilidad permite reducir errores, costos y mejorar la performance de cualquier diseño. Este entorno de simulación permite realizar diversos tipos de análisis sobre el circuito y sus componentes: temporal, en frecuencia, determinación del punto de operación de reposo, de Fourier, evaluación de los efectos de ruido, optimización de parámetros, etc.

Para el caso en estudio se utilizará como fuente de señal al AD9850 generando una señal de hasta 10 MHz y que tiene como impedancia de salida en 120 kΩ. En la figura 3 se muestra el circuito construido para adaptar impedancias y niveles. El amplificador AD815 nombrado anteriormente es el encargado de amplificar la

señal proveniente del generador. El resistor Rvar es de valores variables (trimmer) y permite ajustar de forma fina la señal de salida al Resistor de carga Rc, en este caso siendo el modelo de la etapa de potencia de la ionosonda.

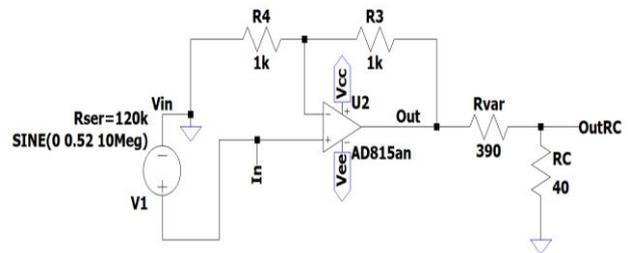


Figura 3: Circuito implementado en simulador

En la figura 4 se puede observar en color rojo la señal de entrada (salida del AD9850),

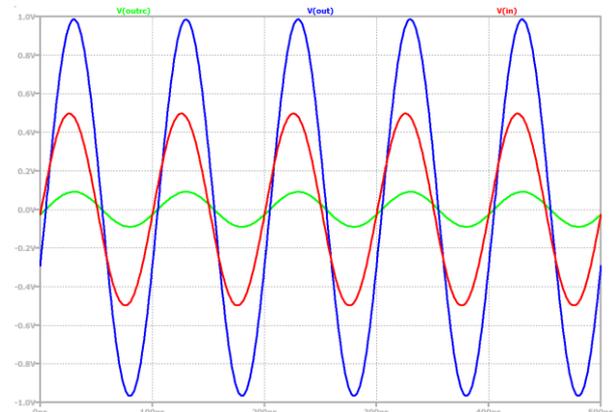


Figura 4: Señales simuladas

en color azul la salida del operacional (amplificación y adaptación de impedancias) y en verde la señal ajustada de entrada al transmisor de potencia.

C. Construcción

Como mencionamos anteriormente el oscilador AD9850 contiene un registro de 40 bits que permite programar el valor de la frecuencia y el valor de la fase. La carga del registro puede ser realizada enviando los datos en modo serie o paralelo. En la figura 5 se muestra la carga de datos en forma paralela, donde cada palabra se encuentra representada por W (0..4).

¹ <https://www.analog.com/en/resources/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>

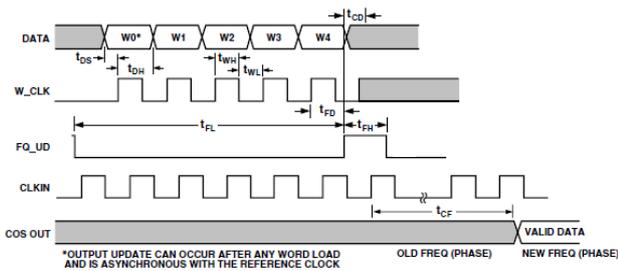


Figura 5: Envío de datos

En modo paralelo, se cargan las cinco palabras (32 bits) y son actualizadas mediante la señal FQ_UD con un único pulso.

Para el caso del envío de datos en modo serie (fig. 6), los datos se actualizan con una subida de pulso en la señal FQ_UD (frequency update) con una demora de 40 ciclos de reloj para la actualización.

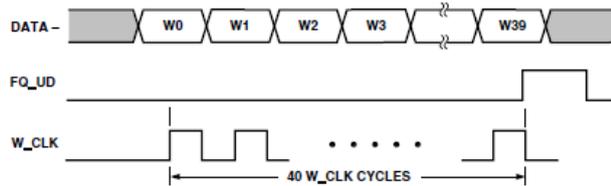


Figura 6: Carga de datos en modo serie

En la figura 7 se muestra la placa de desarrollo utilizada HCSR08 que contiene el AD9850 junto con un oscilador de 125 MHz, además de un potenciómetro para regular el ciclo de trabajo de la onda rectangular.

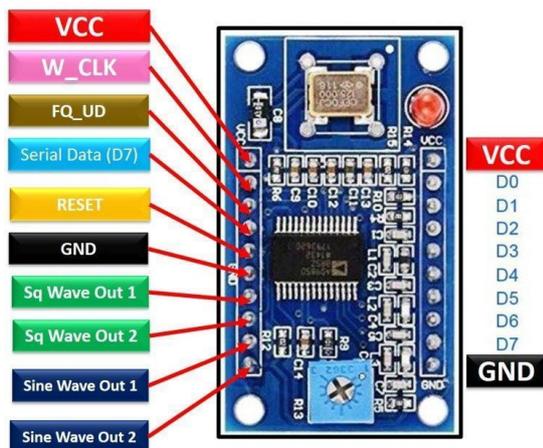


Figura 7: Pinout placa de desarrollo HC-SR08

Evaluando las opciones para poder realizar el control de la placa, se decidió utilizar un dispositivo de la plataforma Arduino®. En una primera etapa de desarrollo del proyecto se optó

por realizar la carga de datos en formato serie utilizando Arduino UNO, a través de un pin digital pero el tiempo logrado para la carga de bits no cumplía con la resolución deseada necesaria por el tiempo de generación de pulsos, ya que entre ciclos de carga se midió un tiempo de retraso de 700 microsegundos (μ s). Este resultado implicaba una resolución mínima de 105 Km, muy distante de la pretendida. Como segunda opción se probó utilizar el puerto I²C (SPI) que logró reducir los tiempos hasta 38 microsegundos (μ s) arrojando como resultado unos 6 kilómetros de resolución, tiempo que se encuentra al límite del objetivo buscado. Finalmente se optó utilizar el Arduino MEGA que posee tres puertos paralelos disponibles de 8 bits para ser programados. Utilizando esta configuración, se posibilita llevar los tiempos de carga a tan solo 1,17 microsegundos (μ s), pudiendo de esta forma poder modificar los cambios de bit BPSK en los 33 (μ s) de objetivo. En el apartado siguiente se muestra un extracto del código de programación para la carga de los datos.

```
PORTC = B10000000; // FQ_UD = high; w_clk = low
PORTC = B00000000; // FQ_UD = low; w_clk = low
```

```
PORTA = 0x00; // DDS W0
PORTC = B00000001; // w_clk
PORTC = B00000000; // w_clk
```

```
PORTA = 0x14; // DDS W1
PORTC = B00000001; // w_clk
PORTC = B00000000; // w_clk
```

```
PORTA = 0x71; // DDS W2
PORTC = B00000001; // w_clk
PORTC = B00000000; // w_clk
```

```
PORTA = 0xC3; // DDS W3
PORTC = B00000001; // w_clk
PORTC = B00000000; // w_clk
```

```
PORTA = 0xC0; // DDS W4
PORTC = B00000001; // w_clk
PORTC = B00000000; // w_clk
```

```
PORTC = B10000000; // FQ_UD High; w_clk = low
```

Figura 8: extracto de código de programación

Como se comentó anteriormente, para poder lograr la adaptación de impedancias y niveles se utilizó un AD815an con lo que se diseñó (fig 9) la tarjeta electrónica en el software Altium® y luego el montaje de componentes (fig. 10)

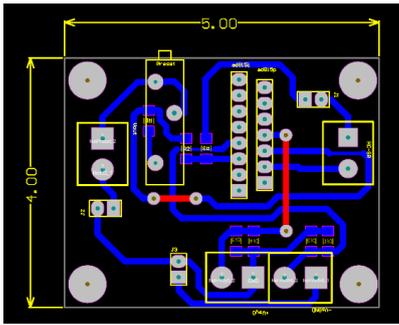


Figura 9: diseño de la tarjeta para amplificador

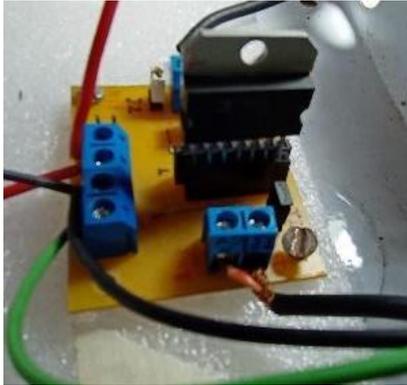


Figura 10: Montaje final de componentes

D. Prueba

Para realizar las pruebas de funcionamiento se realizaron varios barridos de frecuencia y se analizaron tanto las señales de entrada del oscilador como las señales de salida del amplificador operacional. De manera conjunta se controlaron los tiempos de los pulsos para mantener la resolución requerida.

En la figura 11 se muestran las señales generadas por la placa de desarrollo HC-SR08 comandada por Arduino. Las señales son valores de frecuencia distintos y poseen diferentes amplitudes.

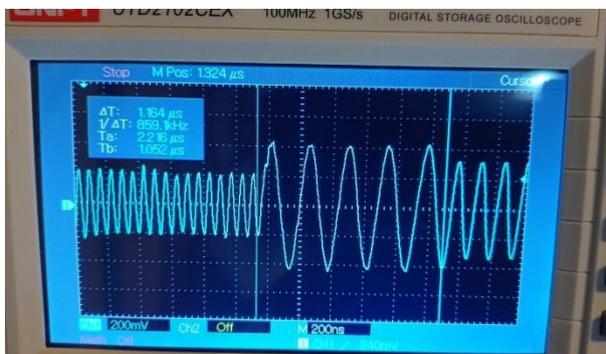


Figura 11: Generación de señales

En la figura 12 se observan los prototipos interconectados para el ensayo

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

En esta etapa del trabajo se ha logrado implementar un sistema que permite generar códigos con modulación BPSK, de largo y ancho de bit programable, para distintas frecuencias en la banda de HF. Los parámetros son seleccionables por el usuario, en forma sencilla y eficaz, para ser transmitidos por la etapa de potencia.

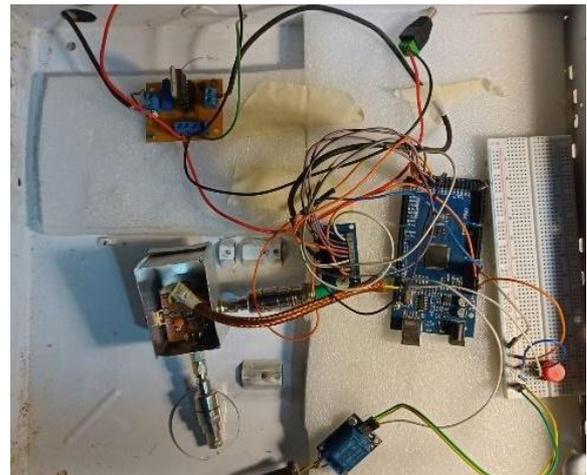


Figura 12: Montaje de componentes en la caja

Cómo línea de trabajo futura se puede mencionar que se está desarrollando el sistema de recepción para poder concluir con el proceso completo de radiosondeo de la ionósfera.

REFERENCIAS

[1]G. BREIT AND M. A. TUVE, "A TEST OF THE EXISTENCE OF THE CONDUCTING LAYER," PHYS. REV., VOL. 28, NO. 3, PP. 554–575, SEP. 1926, DOI: 10.1103/PHYSREV.28.554.

[2]<https://www.analog.com/en/index.html>

[3]<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad9850.pdf>

[4]<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ad815.pdf>

[5] NAVARRIA, L. J. (2023). LABORATORIO VIRTUAL DE ELECTRÓNICA BÁSICA PARA ALUMNOS UNIVERSITARIOS DENTRO DE AULA EXTENDIDA (DOCTORAL DISSERTATION, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA).