

# Procesamiento de señal visualizado sobre un espectrograma.

Paz, Martín E.<sup>1</sup>, Friedrich, Guillermo.<sup>2</sup>, Galasso, Christian L.<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Cátedra de Técnicas Digitales III, <sup>3</sup>Cátedra de Teoría de Circuitos II,  
Departamento de Ingeniería Electrónica  
Facultad Regional Bahía Blanca  
Universidad Tecnológica Nacional.  
Bahía Blanca - Argentina

<sup>1</sup>pazmartin35@gmail.com, <sup>2</sup>gfried@frbb.utn.edu.ar, <sup>3</sup>christian\_galasso81@yahoo.com.ar

**Resumen**—En el presente trabajo se describe la implementación de un espectrograma digital sobre un sistema embebido, para la visualización de los efectos de aplicar filtros digitales y FFT sobre una señal. Se implementa el uso de un sistema operativo FreeRTOS como administrador de recursos del microcontrolador, y para el correcto funcionamiento del equipo.

**Palabras claves** — sistema embebido; espectrograma; filtro digital; FFT; sistema operativo.

## I. INTRODUCCION

El espectrograma es una herramienta de representación que se utiliza para el análisis de una señal eléctrica, de comunicación o audiovisual. Consiste en tomar una determinada cantidad de muestras por medio de una ventana temporal, para luego realizar el cálculo del contenido espectral de las muestras por medio de una FFT (*Fast Fourier Transformation – Transformada Rápida de Fourier*) [1], representando los resultados en una gráfica de tres dimensiones (frecuencia, tiempo y amplitud). Seguidamente, la ventana temporal se desplaza a lo largo del tiempo de la señal y se toman una nueva cantidad de muestras, repitiendo el ciclo de cálculo y graficando los resultados. La suma de las representaciones de la FFT obtenidas, aportan información en el dominio de la frecuencia sobre la variación de la energía y la frecuencia de la señal en función del tiempo.

La FFT es un algoritmo eficiente que permite reducir el costo computacional al realizar un análisis en el dominio frecuencial de una señal mediante DFT (*Discrete Fourier Transform – Transformada Discreta de Fourier*).

En este proyecto también se utilizan filtros digitales de tipo IIR (*Infinite Impulse Response – Respuesta Infinita al Impulso*) y FIR (*Finite Impulse Response – Respuesta Finita al Impulso*) [2] pudiendo elegir entre: filtro pasa bajo o pasa alto de tipo IIR o FIR, a fin de comparar su funcionamiento, graficando los resultados a través del espectrograma.

## II. IMPLEMENTACIÓN

El microcontrolador utilizado es el STM32F407VG, el cual trabaja a 168 MHz. Los periféricos del microcontrolador utilizados son: conversores ADC de 12 bits y velocidad de conversión de hasta 1 Mhz., FSMC (*Flexible Static Memory*

*Controller – Control de Memoria Estática Flexible*) para el control de una pantalla TFT de 7 pulgadas, I2C para la configuración y comunicación con el controlador de la pantalla táctil capacitiva, y SPI para el almacenamiento de las capturas de pantalla en una memoria SD en formato bmp.

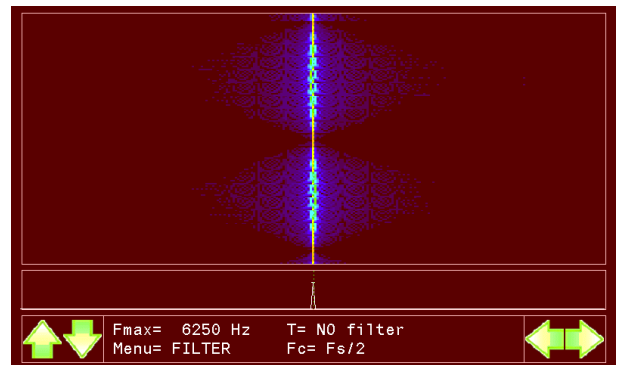


Fig. 1 – Captura de pantalla del espectrograma.

La figura 1 muestra una captura de pantalla de la GUI (*Graphical User Interface – Interfaz Gráfica de Usuario*), la cual se puede separar en tres ventanas: ventana inferior – donde se encuentra el menú de usuario junto con los botones de selección, ventana central – donde se grafica la FFT de la señal de entrada (analyzer de espectro), y ventana superior – donde se registra el histograma de la FFT (función principal del Espectrómetro).

La librería utilizada para el algoritmo de FFT [3] pertenece a la firma STMicroelectronics. Este algoritmo se encarga de convertir la señal muestreada en tiempo a frecuencia permitiendo visualizar su componente espectral. Una variable importante al configurar este algoritmo es la cantidad de datos que se van a utilizar, ya que de esto depende la resolución del espectro.

```
arm_rfft_init_f32(&S,      &S_CFFT,      FFT_LENGTH,
ifftFlag, doBitReverse);

arm_rfft_f32(&S, FFT_DATA_IN, FFT_CMPLX_DATA);

arm_cmplx_mag_f32(FFT_CMPLX_DATA,      FFT_MAG_DATA,
FFT_LENGTH);
```

Debido a la naturaleza del algoritmo para realizar la transformada, los datos en el arreglo FFT\_MAG\_DATA

(resultados de la conversión) se encuentran reflejados, siendo útiles  $FFT\_LENGTH/2$ . El algoritmo se configuró para trabajar con  $FFT\_LENGTH$  igual a 512 datos, y frecuencia de muestreo configurable.

$R$  es la resolución de la FFT,  $F_S$  es la frecuencia de muestreo y  $F_N$  es la frecuencia de Nyquist, que aparece como  $F_{MAX}$  en la figura 1 indicando la máxima frecuencia que se puede visualizar en el espectrograma, y puede ser modificada por el usuario dentro de una gama de valores establecidos. Como los datos útiles son  $FFT\_LENGTH/2$ , la resolución se puede calcular de la siguiente manera:

$$R = \frac{F_S}{FFT\_LENGTH} = \frac{F_S}{512} \quad (1)$$

En la ventana superior, el inicio del historial es en la parte inferior de la ventana, avanzando hacia la parte superior repitiendo el proceso y sobre escribiendo los datos anteriores. El desplazamiento del eje temporal, para graficar una nueva trama de datos, se realiza con un período de 30 ms otorgando un historial de 10 segundos del comportamiento de la señal de entrada al instrumento.

El filtro digital IIR se diseñó a partir de una configuración de tipo *Butterworth*, resultando en un filtro de orden 5, mientras que el FIR se realizó con un diseño de enventanado *Rectangular* obteniéndose un filtro de orden 23. Como el filtro FIR presentó una notable oscilación antes y después de la zona de corte, se procedió a cambiar la ventana por una de *Hamming* resultando en un filtro de orden 79.

FreeRTOS [4] es el sistema operativo encargado de administrar los recursos del microcontrolador. Está configurado para trabajar en tiempo real y para crear 3 tareas con distintos niveles de prioridad (0, 1 y 2), dándole mayor prioridad al menú de usuario para un mejor funcionamiento del instrumento.

### III. ENSAYOS REALIZADOS

Se realizaron ensayos con diferentes tipos de señales, tales como: senoidal de tono puro con frecuencia fija y frecuencia variable, y amplitud modulada con modulación al 30% y 90%. El instrumento utilizado para generar señal es un Keysight 33500B, configurando la señal senoidal con 1V de pico para todas las señales utilizadas.

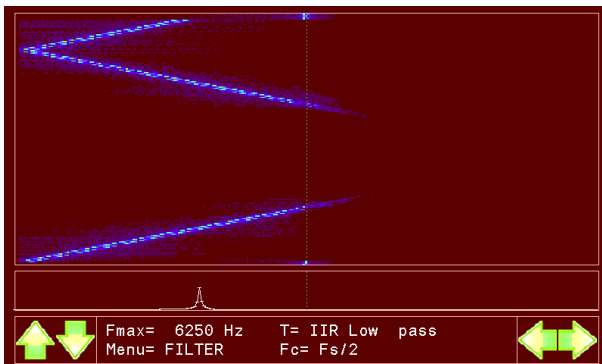


Fig. 2 – Captura de pantalla del espectrograma

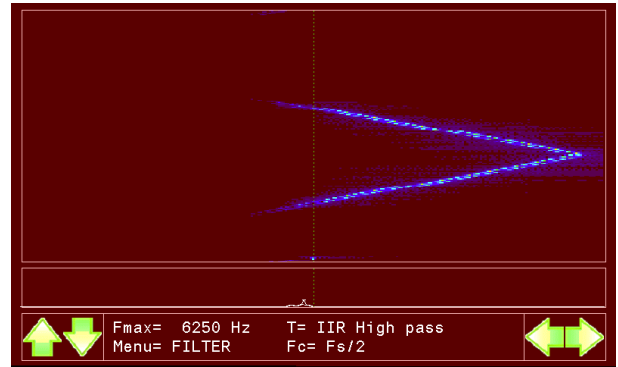


Fig. 3 – Captura de pantalla del espectrograma

En la figura 2 y 3 se observa el espectrograma de una señal senoidal que atraviesa dos filtros digitales tipo IIR: pasa bajo y pasa alto, aplicados a la mitad de la frecuencia de muestreo. La señal de entrada es senoidal con incremento y decremento lineal de su frecuencia desde 100 Hz hasta 6 kHz.

### IV. CONCLUSIONES

Cuando la señal de entrada posee una frecuencia igual a un múltiplo de la resolución de la FFT, se puede apreciar un único pico en el analizador de espectro, y una línea fina y continua en el espectrograma. Cuando no coinciden las frecuencias, se produce un derramamiento o leakage de la señal, resultando en picos extendidos a las señales vecinas con amplitud reducida a la real. Este fenómeno se puede apreciar en la figura 1, donde la frecuencia de la señal oscila entre 3120 Hz y 3130 Hz. En el espectrograma se aprecian tramos del historial donde se visualiza una línea fina y continua, periodo donde la señal está a una frecuencia de 3125 Hz, y tramos del historial donde la línea es gruesa, de menor amplitud, y que se extiende a los datos vecinos del arreglo, que en este caso son los extremos de la oscilación.

Una opción para mejorar el fenómeno de derramamiento es aumentar el valor de  $FFT\_LENGTH$ , permitiendo una mejor discriminación de la señal en el analizador de espectro, a costa de aumentar el tiempo de cálculo para el procesamiento de la señal, y en un aumento de la memoria requerida.

Modificar la frecuencia de muestreo, manteniendo  $FFT\_LENGTH$  constante, y visualizando una parte del arreglo en la pantalla.

Otra opción es la aplicación de un bloque de enventanado, es decir multiplicar los valores de la señal de entrada por una función ventana para disminuir en derramamiento espectral, utilizando ventanas Hamming, Hanning o Blackman, para luego realizar la FFT.

## V. REFERENCIAS

- [1]. Samir S. Soliman, “Señales y Sistemas continuos y discretos”, segunda edición, Madrid 1999, ISBN: 84-8322-154-3.
- [2]. Steven W. Smith, “The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing”, Segunda edicion, California 1999, ISBN 0-9660176-6-8.
- [3]. DSP library. Disponible en:  
[http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user\\_manual/b1/01/3b/ab/75/ef/4d/91/CD00144074.pdf/files/CD00144074.pdf/jcr:content/translations/en.CD00144074.pdf](http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/user_manual/b1/01/3b/ab/75/ef/4d/91/CD00144074.pdf/files/CD00144074.pdf/jcr:content/translations/en.CD00144074.pdf)
- [4]. FreeRTOS open source licensing. 22 de diciembre de 2017. – Disponible en  
<https://www.freertos.org/a00114.html>