

Práctica 3: PSD DE SEÑALES ALEATORIAS

DEIBY FERNANDO ARIZA CADENA - 2195590
JUAN MANUEL CARDONA ERAZO - 2195551
BRADLEE ALEJANDRO CASTRO CASTRO - 2204649

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones
Universidad Industrial de Santander

19 de marzo de 2024

Resumen

La práctica de laboratorio se centró en explorar los conceptos de señales aleatorias y la Densidad Espectral de Potencia (PSD) utilizando GNU Radio. La PSD es una herramienta crucial en ingeniería para entender la distribución de energía en una señal respecto a la frecuencia. Los objetivos incluyeron la generación de funciones a partir de bloques de código, la aplicación de combinaciones de bloques de GNU Radio para señales aleatorias, y el análisis de señales provenientes de fuentes del mundo real como cámaras fotográficas y micrófonos. Se discutieron los resultados obtenidos y se resaltó la importancia de la PSD en la ingeniería.

1. Metodología

Equipo necesario: Para llevar a cabo esta práctica de laboratorio, se requieren los siguientes materiales y herramientas:

- Acceso a Git y GitHub a través de la terminal para la gestión del repositorio de código.
- Software GNU Radio instalado en la computadora para la generación y análisis de señales.
- Archivos de configuración y flujogramas proporcionados para la práctica.

Para la primera parte, se abrió una nueva rama perteneciente a la práctica 2 en la cual se hallan las respectivas subramas para cada miembro del grupo de laboratorio. Luego se descargaron los archivos en la estación de cómputo utilizando los comandos previamente aprendidos en prácticas anteriores. Luego, se procedió a crear una nueva carpeta para la práctica 2 en esta rama. Se verificó que la carpeta estuviera dentro del directorio adecuado para que los cambios pudieran ser subidos a GitHub, acto seguido se verificó el funcionamiento del

flujograma propuesto para la práctica mediante el análisis de una señal binaria aleatoria bipolar de forma rectangular.

Para verificar el correcto funcionamiento del flujograma (ítem 4) se realizó el siguiente procedimiento: Para una señal binaria aleatoria bipolar, se obtuvo la forma en el tiempo, la PSD [1] y los parámetros principales (tasa de bits, frecuencia de muestreo, ancho de banda) para los siguientes valores de Sps [2]:

- Para Sps=1
- Para Sps=4
- Para Sps=8
- Para Sps=16

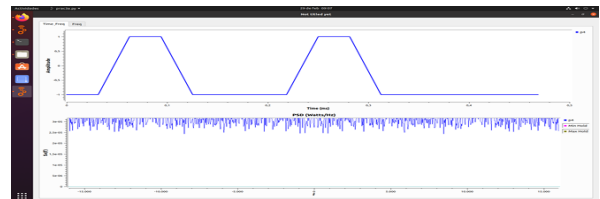


Fig.1. Para Sps = 1

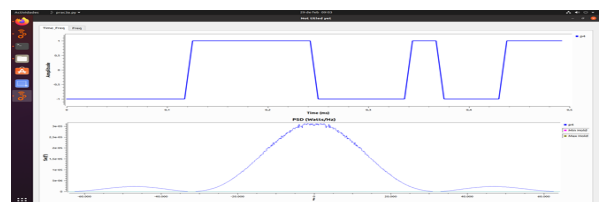


Fig.2. Para Sps = 4

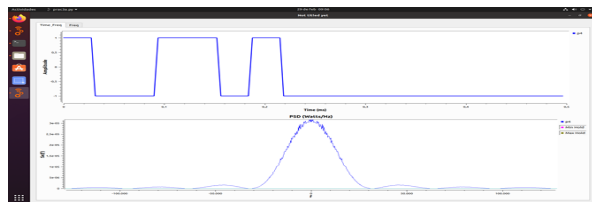


Fig.3. Para Sps = 8

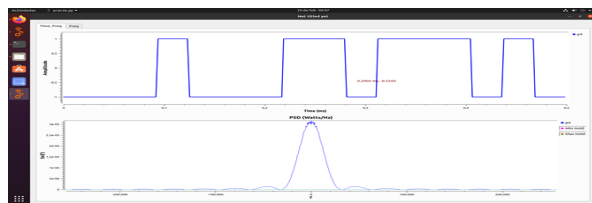


Fig.4. Para Sps = 16

Para la siguiente parte de la práctica (ítem 5), se configuraron las "Virtual Source" de modo que hubo ciertas modificaciones en el flujograma. Se llevaron a cabo varias pruebas para comprobar cómo es el ruido blanco en tiempo y en PSD. A continuación se anexa evidencias de los resultados obtenidos.

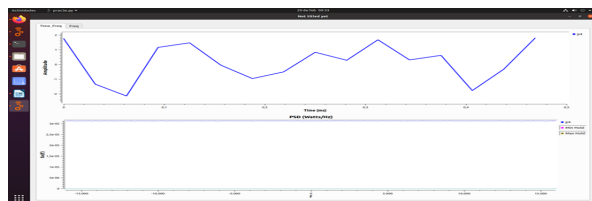


Fig.5. Para Sps = 1

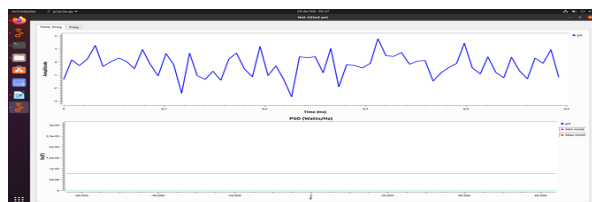


Fig.6. Para Sps = 4

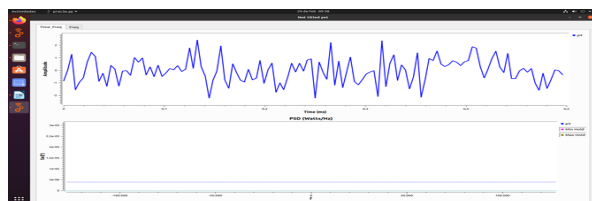


Fig.7. Para Sps = 8

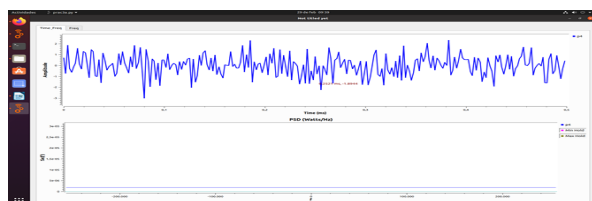


Fig.8. Para Sps = 16

A continuación (ítem 6), se devolvieron los cambios al flujograma realizados en el punto anterior. Luego, en el flujograma utilizado en el punto anterior, se cambiaron los bloques "Random Source" por dos bloques que permiten leer un archivo y extraer los bits. En el bloque "File Source", se configuró el parámetro "File" para que leyera el archivo rana.jpg".

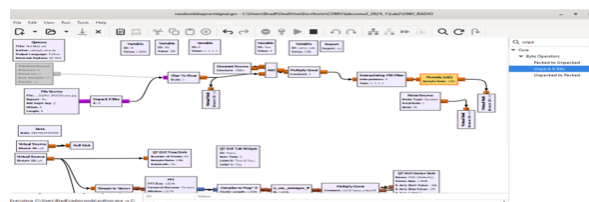


Fig.9. Nuevo flujograma

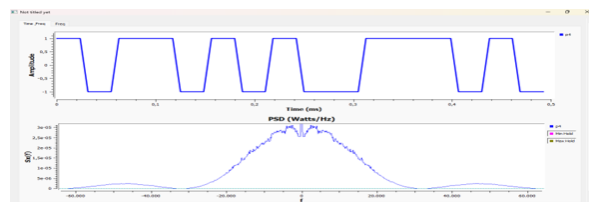


Fig.10. Resultado del nuevo flujograma

Para esta parte de la práctica (ítem 7), se configuró el parámetro "File" del bloque "File Source" para que leyera el archivo "sonido.wav", el cual representa la señal proveniente de un micrófono en el mundo real. Luego, se procedió a realizar los mismos pasos que en el punto anterior (punto 4).

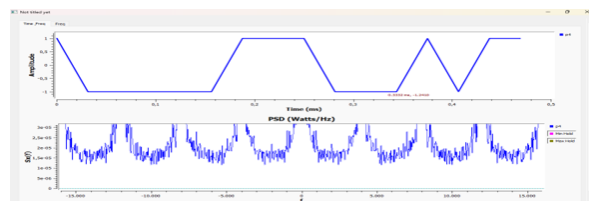


Fig.10. Para Sps = 1

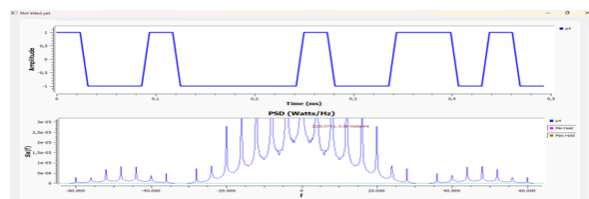


Fig.11. Para Sps = 4

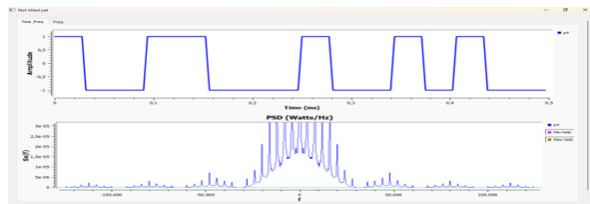


Fig.12. Para Sps = 8

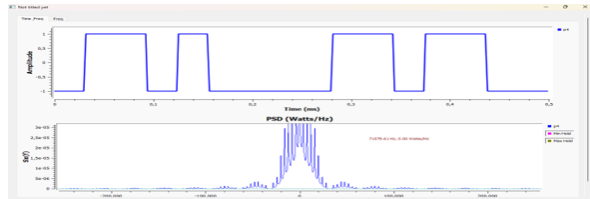


Fig.13. Para Sps = 16

2. Resultados

Comprobación del Funcionamiento del Flujograma

Propuesto: Se llevó a cabo una detallada evaluación del flujograma propuesto para la práctica, centrándose en el análisis de una señal binaria aleatoria bipolar de forma rectangular. A través de diversas pruebas y experimentos realizados con diferentes valores de Samples Per Symbol (SPS), se examinaron tanto la forma temporal de la señal como su Densidad Espectral de Potencia (PSD). Los resultados obtenidos proporcionaron una comprensión profunda del comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones, destacando la influencia del SPS en la representación y la distribución espectral de la señal.

Exploración del Ruido Blanco en Tiempo y en PSD: Se procedió a verificar el comportamiento del ruido blanco tanto en el dominio temporal como en el dominio de la frecuencia. A través de la configuración de las fuentes virtuales en GNU Radio, se realizaron múltiples pruebas para analizar las características fundamentales del ruido blanco. Los datos recopilados y las observaciones realizadas permitieron una evaluación detallada de la naturaleza estocástica del ruido y su distribución espectral.

Efectos de la Fuente del Mundo Real: Cámara Fotográfica y Micrófono:

Se investigó el impacto de utilizar fuentes del mundo real, como una cámara fotográfica y un micrófono, en la señal generada. Mediante la lectura de archivos de imagen y audio, se compararon las características de la señal generada a partir de estas fuentes con las señales aleatorias sintéticas. Los resultados obtenidos proporcionaron una visión significativa sobre cómo las características intrínsecas de las fuentes del mundo

real influyen en las propiedades temporales y espectrales de la señal resultante.

Preguntas de control:

- a. ¿Qué papel juega la siguiente combinación de bloques?

La combinación de "Constant Source" y "Add" ajusta el nivel de una señal sumando un valor constante, y "Multiply Const" cambia su amplitud.

- b. ¿Qué papel juega el bloque "Interpolating FIR Filter", ¿cómo funciona?

"Interpolating FIR Filter" aumenta la tasa de muestras por interpolación, aplicando un filtro FIR para definir la respuesta en frecuencia deseada.

- 1. ¿Por qué el parámetro "Interpolation" en el bloque vale "SPS" y qué pasa si se coloca otro valor?

"Interpolation" como "SPS" indica el número de muestras por símbolo. Cambiar este valor modifica la tasa de muestras y el ancho de banda de la señal.

- 2. Si tuviese que analizar la señal en p3, ¿qué cambios realizaría en la instrumentación (esquema de GNU Radio)?

Para analizar la señal en p3, se ajustarían los parámetros de la instrumentación para coincidir con la tasa de muestras en p3.

- 3. ¿Qué fórmula permite conocer el ancho de banda de la señal en p4 si se conoce Rb y Sps?

El ancho de banda en p4 es el producto de Rb por Sps.

- 4. ¿Qué fórmula permite conocer la frecuencia de muestreo en p3, si se conoce la frecuencia de muestreo en p4 y Sps?

La frecuencia de muestreo en p3 es la frecuencia de muestreo en p4 dividida por Sps.

- c. ¿Por qué razón la PSD de las señales binarias que provienen de una señal de audio es diferente a la que proviene de una foto siendo ellas igualmente señales binarias bipolares de forma rectangular?

La PSD de señales binarias varía por las características estadísticas y espectrales distintas entre audio e imágenes.

- d. ¿Qué papel juega el bloque Throttle?

Throttle regula la velocidad de procesamiento de los datos para evitar el uso excesivo de CPU.

- e. ¿Qué pasaría con la PSD si no se hace la conversión a señal bipolar, sino que la señal binaria en p4 solo tiene valores de 0 ó 1 en lugar de -1 ó 1?

Con valores de 0 y 1, la PSD mostraría menos energía en frecuencias negativas.

- f. Se supone que el ruido blanco tiene un ancho de banda infinito, ¿coincide esto con lo observado en GNU Radio?, ¿por qué?

En GNU Radio, el ruido blanco tiene un ancho de banda limitado por la frecuencia de muestreo y la resolución del sistema.

- g. Se supone que una señal binaria aleatoria de forma rectangular tiene un ancho de banda infinito, ¿coincide esto con lo observado en GNU Radio y por qué?

En GNU Radio, el ancho de banda de una señal binaria rectangular está limitado por la frecuencia de muestreo.

- h. ¿Qué fórmula podría ayudar a calcular el número de lóbulos de la PSD de señal binaria aleatoria de forma rectangular cuando se conoce la frecuencia de muestreo y Sps?

Nota: el lóbulo de la mitad se cuenta como dos porque tiene el doble de ancho que los demás. El número de lóbulos principales en la PSD es igual al número de Sps.

- i. ¿Cómo se calcula todo el rango de frecuencias que ocupa el espectro cuando se conoce Rb y Sps?

El rango total de frecuencias que ocupa el espectro es Rb multiplicado por Sps.

- j. ¿Cómo se calcula la resolución espectral del analizador de espectros, cuando se conoce N y la frecuencia de muestreo?

La resolución espectral se obtiene dividiendo la frecuencia de muestreo por N.

- k. ¿Qué pasaría si en el bloque "Unpack K Bits" se configura el parámetro K como 16?

Configurando K como 16, cada muestra de entrada se desempaqueta en 16 bits, aumentando la cantidad de datos procesados.

- l. ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la entrada del bloque "Unpack K Bits" si conoce el número de lóbulos de la PSD y el ancho de banda de la señal?

La frecuencia de muestreo a la entrada de "Unpack K Bits" se calcularía a partir del ancho de banda y el número de lóbulos en la PSD.

- m. ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la salida del bloque "Unpack K Bits" si conoce la frecuencia de muestreo a la entrada?

La frecuencia de muestreo a la salida de "Unpack K Bits" es la frecuencia de muestreo a la entrada multiplicada por K.

- n. ¿Cómo calcularía la frecuencia de muestreo a la salida del bloque "Char to Float" si conoce la frecuencia de muestreo a la entrada?

La frecuencia de muestreo a la salida de "Char to Float" sería la misma que a la entrada.

- o. ¿Para qué caso de Sps la PSD de una señal binaria aleatoria bipolar es similar a la PSD de ruido blanco?

Cuando Sps es suficientemente alto, la PSD de una señal binaria bipolar se asemeja a la de ruido blanco.

- p. ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h, si desea que los bits en la señal binaria aleatoria tomen la forma de dientes de sierra?

Se ajustaría "h" con valores que incrementen y disminuyan linealmente para representar un diente de sierra en cada período de bit.

- q. ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h, si desea que la señal binaria aleatoria tenga codificación de línea Unipolar RZ?

Se configuraría "h" como [1, 1, 0, 0] para Unipolar RZ, representando un pulso alto seguido de un nivel bajo.

- r. ¿Qué cambios mínimos haría al flujograma, manipulando principalmente h, si desea que la señal binaria aleatoria tenga codificación de línea Manchester NRZ?

Se configuraría "h" para reflejar transiciones en cada bit para Manchester NRZ, como [0, 1, 0, -1].

- s. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal OOK?

Se cambiaría "h" para representar pulsos para '1's y ausencia de pulso para '0's en OOK, usando [1, 1, 1, 1] y [0, 0, 0, 0] respectivamente.

- t. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal BPSK?

Para BPSK, se agregaría un bloque modulador BPSK tras el filtro, sin modificar "h".

- u. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de señal ASK?

Se ajustaría "h" para diferenciar las amplitudes de '1's y '0's y se configurarían la interpolación y la tasa de muestreo para ASK.

- v. ¿Qué cambios mínimos haría en el flujograma, aprovechando h y el FIR Interpolating Filter para que la señal binaria tenga la forma de los latidos del corazón?

Se modificaría "h" para que coincida con la forma de un pulso cardíaco y se ajustaría el filtro para interpolar la señal correctamente.

Los resultados experimentales recopilados en esta práctica de laboratorio brindan una comprensión profunda de los conceptos fundamentales de señales aleatorias y su análisis espectral. Estos hallazgos son fundamentales para el diseño y la implementación de sistemas de comunicación digital en una amplia gama de aplicaciones prácticas.

3. Análisis de Resultados

Ítem 5: Al realizar las observaciones requeridas en el ítem 5, se observa que la señal obtenida a la hora de comprobar el funcionamiento del flujograma propuesto para la práctica (**ítem 4**), denominada "Señal Cuadrada", exhibe una onda cuadrada con transiciones abruptas entre niveles altos y bajos. Esta característica genera componentes de alta frecuencia en la señal, reflejados en los lóbulos simétricos presentes en su PSD. Estos lóbulos son típicos de los armónicos de una señal cuadrada y se deben a las transiciones abruptas entre los niveles de la onda.

Por otro lado, la señal obtenida al momento de configurar las "Virtual Source" de manera que el bloque de arriba (debajo del bloque instrumentos) diga p4 y el bloque de abajo diga p5 (**ítem 5**), denominada "Señal Irregular", exhibe una naturaleza irregular y una PSD casi plana. La falta de picos distintivos en la PSD indica una distribución más uniforme de la energía en todas las frecuencias, característica de señales con contenido espectral más amplio y menos regularidad en la forma de on-

da. Este comportamiento es similar al del ruido o a una señal modulada compleja.

Ítem 6: Al realizar las modificaciones correspondientes al flujograma propuestas en el ítem 6 se puede llegar al siguiente análisis:

Las señales obtenidas en la comprobación del funcionamiento del flujograma propuesto para la práctica (**ítem 4**) y las señales obtenidas en el flujograma en el cual se reemplaza el bloque "Random Source" por los bloques necesarios para leer un archivo y extraer los bits (**ítem 6**), muestran ondas cuadradas, que son señales periódicas con armónicos definidos en sus PSD. Esto significa que estas señales tienen componentes espectrales bien definidos y concentrados en frecuencias específicas, lo que es típico de señales periódicas como las ondas cuadradas.

En contraste, la Figura señal obtenida al momento de configurar las "Virtual Source" de manera que el bloque de arriba (debajo del bloque instrumentos) diga p4 y el bloque de abajo diga p5 (**ítem 5**), exhibe una señal irregular y aperiódica, lo que se refleja en una PSD casi plana. Este tipo de PSD plana es característica de señales ruidosas o de banda ancha, donde la energía está distribuida de manera más uniforme en todo el espectro de frecuencia, en lugar de estar concentrada en frecuencias específicas como en las señales periódicas.

Las diferencias entre las PSDs de las señales obtenidas en los **ítems 4 y 5** frente a la señal obtenida en el **ítem 5** resaltan cómo varía la distribución de energía en el espectro dependiendo del tipo de señal. Mientras que las señales periódicas como las ondas cuadradas tienen energía concentrada en frecuencias específicas, las señales irregulares o ruidosas tienen una distribución más uniforme de energía en el espectro. Esto muestra cómo las características de la señal afectan la forma de su PSD y la distribución de energía en el dominio de la frecuencia.

Ítem 7: Al momento de comprobar lo que pasa con la señal en tiempo y frecuencia cuando los bits provienen de una fuente del mundo real siendo este el caso de un micrófono, se obtiene lo siguiente:

En relación con las anteriores señales, en este momento del experimento se obtiene una señal cuadrada. Sin embargo, su PSD difiere significativamente de las otras al presentar numerosos picos a lo largo del espectro de frecuencias. Esto sugiere que la señal tiene un patrón periódico más complejo o que el filtrado aplicado a la señal es distinto, permitiendo la presencia de más armónicos y, por tanto, un espectro más rico en frecuencias, indicando diferencias en la tasa de bits, la frecuencia de

muestreo o en la configuración del filtrado aplicado a la señal.

4. Conclusiones

- Desafíos en la configuración de flujogramas: Configurar flujogramas en GNU Radio presentó desafíos, especialmente al seleccionar y ajustar parámetros como la tasa de símbolos por segundo (SPS). Estos desafíos subrayaron la necesidad de comprender en profundidad el funcionamiento de cada componente y su impacto en el sistema general.
- Relevancia de la PSD: La práctica resaltó la importancia crítica de la Densidad Espectral de Potencia (PSD) en el análisis de señales. La PSD proporciona información vital sobre la distribución de energía en una señal en función de la frecuencia, lo que es fundamental para diseñar y optimizar sistemas de comunicación.
- Dominio de GNU Radio: A través de la manipulación de señales aleatorias en GNU Radio, se adquirieron habilidades prácticas para generar, modi-

ficar y analizar señales digitales. Esta experiencia resultó valiosa para comprender cómo se aplican los conceptos teóricos en un entorno de laboratorio real.

- Diferencias entre señales simuladas y reales: Se observaron discrepancias significativas entre las características de las señales binarias simuladas y aquellas obtenidas de fuentes del mundo real, como cámaras fotográficas y micrófonos. Este contraste destacó la importancia de considerar la naturaleza de las señales en aplicaciones prácticas y cómo pueden variar según su origen.

Referencias

- [1] "Práctica 3: Psd de señales aleatorias." [Online]. Available: <https://polaridad.es/que-es-la-psd-densidad-espectral-de-potencia-y-como-calcularla>
- [2] "Práctica 3: Frecuencia de muestreo." [Online]. Available: <https://multisononline.com/blog/de-analogico-a-digital-frecuencia-de-muestreo-y-tasa-de-bits-n2>