

Práctica 3: De Radiofrecuencia a la Envoltente Compleja (GNURADIO)

Natalia Estefanía Cruz Castillo - 2214536

Oscar Andrés Meza Ortíz - 2202341

Valeria de los Ángeles Sarmiento Clavijo - 2202326

https://github.com/ValeriaS57/CommunicationsII_2024_2_B1_ONV/tree/Practica_3/Practica_3

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

18 de noviembre de 2024

Abstract

This practical deals with the analysis and processing of radio frequency (RF) signals by converting them to complex envelope (CE) using GNU Radio. The focus is on OOK, BPSK and FSK digital modulations, exploring their representations in both RF and CE in the time, frequency and constellation domain. The efficiency of the complex envelope in simplifying calculations and algorithms is highlighted, facilitating the identification of key events in the signals.

1 Introducción

En las comunicaciones modernas la modulación de señales juega un papel fundamental para garantizar la transmisión de información a través de diferentes medios. Por ello es necesario comprender las diferencias entre la modulación en radiofrecuencia (RF) y la representación en envoltente compleja (EC).

Por lo anterior se define que radiofrecuencia (RF) se refiere a la modulación que ocurre en la gama de frecuencias dentro del espectro electromagnético utilizadas para la transmisión de señales [1]. Mientras que, la envoltente compleja (EC) es una representación matemática que descompone una señal modulada en sus componentes en banda base (señales I y Q), lo que facilita su análisis y procesamiento al reducir la complejidad de las operaciones involucradas[2].

Este enfoque permite explorar cómo diferentes esquemas de modulación digital, como OOK, BPSK y FSK, se comportan en estas dos representaciones. Entender la relación entre RF y EC es crucial, ya que esta última ofrece ventajas significativas en términos de eficiencia y claridad en la interpretación de fenómenos como los

cambios de fase y frecuencia en una señal.

2 Procedimiento

Para la práctica 3 se abre una nueva rama en Github. Luego se crea un directorio llamado Practica_3, donde habrá dos sub carpetas, GNURadio e Informe (para ir reportando los resultados). En GNU Radio se abre RF EC ook.grc, este archivo se encuentra en: [enlace](#).

Primero, se implementa el flujograma del enlace anterior para verificar el funcionamiento de una señal OOK tanto en versión RF como en EC (Envoltente Compleja). Para esto, se utiliza una secuencia de bloques en GNU Radio de la Fig.1

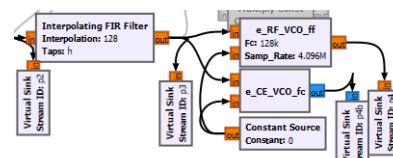


Fig. 1: Bloques para la representación de una señal OOK

Con base lo anterior se realizó un análisis del comportamiento de la señal en ambas versiones con diferentes frecuencias para posteriormente describir sus diferencias.

6. Comprender a fondo el funcionamiento tanto del bloque e_RF_VCO_ff como el bloque e_CE_VCO_fc es fundamental porque estos se encargan de la creación de las señales banda pasante, y banda base, por ende se debe tener presentes como interactúan las señales de entrada con la ecuación implícita en cada bloque, para predecir una salida y no cometer errores. Estos

bloques, al estar programados en Python, permiten adicionar mensajes de ayuda para comprender los puntos claves del bloque.

A continuación se presenta cada "Help" de los bloques mencionados, dividiéndose en entradas, parámetros y recomendaciones:

```

1 This block is a RFVCO and works as follows:
2 Inputs:
3 1) The first input named A (input_items[0])
   controls the amplitude of the output
   signal.
4 2) The second input named Q (Q=input_items
   [1]) is responsible for varying the
   phase of the signal.
5 Parameters:
6 - The default values for the carrier
   frequency (fc) and sampling rate (
   samp_rate) are 128 kHz and 320 kHz,
   respectively.
7 Recommendations:
8 1) Special care should be taken with fc and
   samp_rate to avoid aliasing. The
   samp_rate should be at least twice the
   carrier frequency.
9 2) Both inputs should have the same length.
   Very large numbers should be avoided
   to prevent distortion.

```

Fig. 2: Help e_RF_VCO_ff

```

1 This block is a CE VCO or baseband VCO and
   works as following:
2 Baseband Signal Formation Aid
3 Inputs:
4 1) We have the first input named A (
   input_items[0]) which controls the
   amplitude of the output signal.
5 2) The second input named Q (Q=input_items
   [1]) is responsible for varying the
   phase for the complex exponential.
6 Parameters:
7 In this case we will not have additional
   parameters like fc or samp_rate.
8 Recommendations:
9 1) Both the first and the second input
   should have the same length.
10 2) Do not add high values for amplitude or
   radical variations so that Q does not
   generate unwanted spectral components.
11 unwanted spectral components

```

Fig. 3: Help e_CE_VCO_fc

7. Para adaptar el diagrama de flujo a la modulación BPSK en versiones RF y EC, se activa el bloque "multiply const" con una constante de π y se ajusta el bloque "constant source" a un valor de 1, como se muestra en la Figura 4.

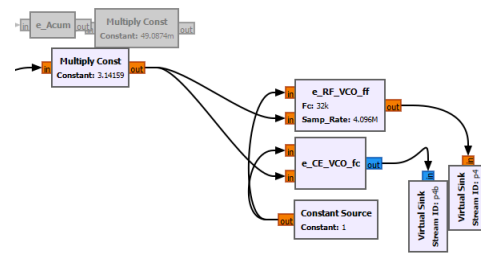


Fig. 4: Bloques GNURadio para modulación BPSK.

3 Resultados

Con la implementación de la señal OOK (ver Fig. 5) se observó que su versión EC no se ve afectada aunque se varió la frecuencia de la portadora. Por lo tanto, se puede inducir que respecto a su versión RF se diferencia en que la frecuencia de la portadora influye en la modulación y transmisión de la señal en la banda de radiofrecuencia mientras que la EC no, debido a que sus componentes en fase (I) y en cuadratura (Q) varían entre (0,0) y (1,0) respectivamente como se observa en su diagrama de constelaciones sin importar la frecuencia.

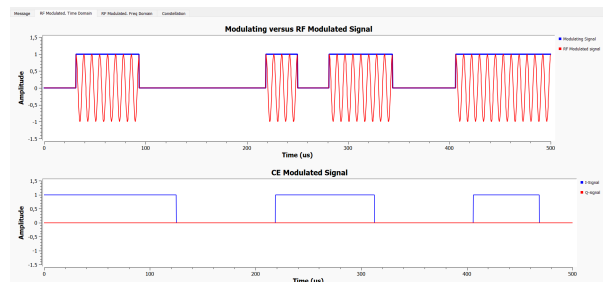


Fig. 5: Señal OOK en RF como en EC para una frecuencia de la portadora de 128 [kHz]

7. Las pruebas hechas fueron con dos portadoras inicialmente con una frecuencia de 32000Hz y luego de 128000Hz, estos valores fueron tomados en base a la tasa de bits que es de 32000bps.

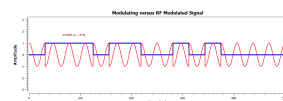


Fig. 6: RF Time Domain Carrier=32000.

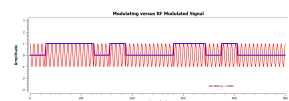


Fig. 7: RF Time Domain Carrier=128000.

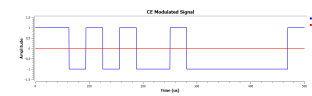


Fig. 8: CE Time Domain

La diferencia que existe entre un modulador BPSK en

versión RF y uno en versión EC, la señal RF se ve como una onda senoidal que varía según los cambios de fase de la señal I (Figura6). La señal modulada en EC es una onda cuadrada, lo que corresponde a la modulación de amplitud (Figura8), en vez de ser una onda senoidal como en RF.

8. En los casos de la modulación FSK la frecuencia de la portadora se varía, pero la desviación de frecuencias se mantiene constante, y luego realizamos lo contrario donde se tendría la frecuencia de la portadora constante, pero se varía la desviación de frecuencias.

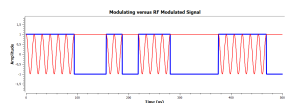


Fig. 9: RF carrier=32K
Dev=32k

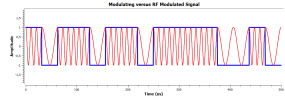


Fig. 11: RF carrier=64k
Dev=32k

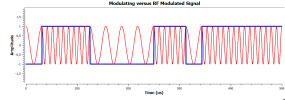


Fig. 13: RF carrier=32k
Dev=64k

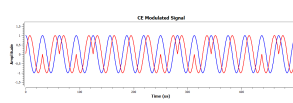


Fig. 10: EC carrier=32k
Dev=32k

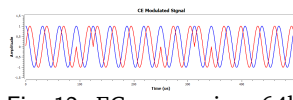


Fig. 12: EC carrier=64k
Dev=32k

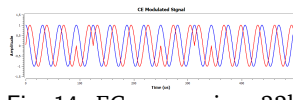


Fig. 14: EC carrier=32k
Dev=64k

En el caso de la modulación FSK, es necesario tener dos frecuencias representando el "0" y el "1" de la señal digital. Para la versión RF, el bloque e_RF_VCO_ff genera la señal modulada utilizando la fórmula:

$$y = A \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{f_c \cdot n}{\text{samp_rate}} + Q\right) \quad (1)$$

Donde f_c es la frecuencia de la portadora, A es la amplitud y Q es la fase modulada. Para la versión EC, el bloque e_CE_VCO_fc tiene una lógica similar, pero la salida será una señal banda base con las frecuencias de las portadoras correspondientes.

Para observar un menor solapamiento en el espectro de la frecuencia primero se planteo variar parámetros como la frecuencia portadora y desviación de frecuencia según su definición teórica. La "Carrier Frequency" define la frecuencia central de la señal portadora, desplazando el espectro de la señal modulada hacia zonas mucho mas alejadas de los 0 Hz, cuando sus valores son altos. En su contraparte la "Desviation Frequency regula el ancho de banda de la señal modulada ya que crea una desviación con respecto a la frecuencia portadora, es por ello que

valores pequeños no permiten que la señal "CE" en espectro no se acerque tanto a la señal "RF". Si se mantienen valores razonables simétricos podremos tener una solapamiento de menor o mayor grado.

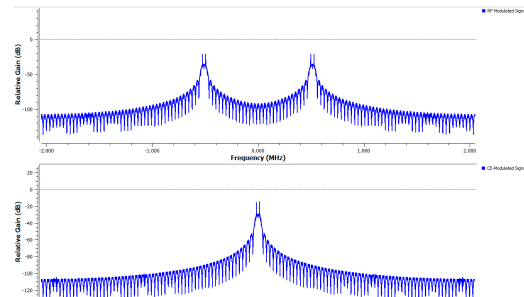


Fig. 15: Carrier Fc = 512kHz y Desviation Fc = 16kHz

Se evitan frecuencias que no sean múltiplos debido a que se pueden generar distorsiones o resonancias. Se aclara igualmente que llega a ser mas costoso implementar estos sistemas debido a que la tecnología en cuestión debe ser mas robusta para detectar cambios en la fase del mensaje.

9. Posterior al análisis de la frecuencias en la señal FSK se utilizo los diagramas de constelaciones para estudiar y conocer los posible estados de las señal modulada correspondiente a las diferentes combinaciones de amplitud y fase.[3]

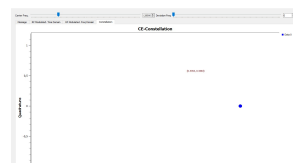


Fig. 16: Constelación de una señal FSK con
Fs= 128 [kHz] y
Fd=0 [Hz]



Fig. 17: Constelación de una señal FSK con
Fs= 128 [kHz] y
Fd=4 [kHz]



Fig. 18: Constelación de una señal FSK con
Fs= 128[kHz] y
Fd=16 [kHz]

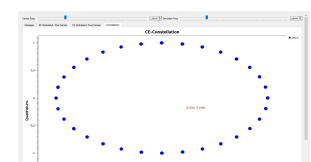


Fig. 19: Constelación de una señal FSK con
Fs= 128 [kHz] y
Fd=128 [kHz]

En el caso de la Fig.16 si fd=0 la señal modulada sera

una señal senoidal de amplitud 1 donde no hay distinción del mensaje porque no hay variación de frecuencia, y cuya constelación solo se encontrara en el punto (1,0), mientras que la Fig.17 la constelación varía por los diferentes cuadrantes formando lo que podría ser un círculo, pero más lento que en el caso de la Fig.18 que muestra la variación de de fase y cuadratura formando una circunferencia total donde no sé puede distinguir muy bien la ubicación de cada punto, caso contrario de la Fig.19 donde $f_d=f_s$ lo que implica puntos distribuidos uniformemente en un círculo completo, lo que representa un cambio de fase más evidente.

4 Respuestas preguntas de control

- I. **Generar la versión paso-bandas (señal RF) de una modulación ha obligado a usar un valor muy alto para SPS. ¿Cómo se sabría que el valor elegido es apropiado o suficientemente alto?**
El valor de SPS es importante porque se utiliza para determinar el valor de `samp_rate`, el cual es uno de los parámetros que se ingresan al bloque `e_CE_VCO_fc`. Si este valor no se elige correctamente, podría afectar negativamente la señal RF, ya que no contaría con una cantidad suficiente de muestras por símbolo. Una forma de asegurar que el valor de `samp_rate` es el adecuado es mediante el uso de GNURadio, ya que este entorno no permite ver las modulaciones si el valor no es lo suficientemente alto.
- II. **¿Qué pasaría si el bloque “Multiply Const” que se activa para la modulación BPSK se configura con el valor 1, ¿es lo mismo que quitarlo?**
Cuando se configura el bloque "Multiply Const" con un valor de 1 en la modulación BPSK, el comportamiento es que simplemente se multiplica la señal de entrada por 1. Esto significa que la señal no se modificará en amplitud ni en fase, es como si no se aplicara ningún cambio. Es decir, es lo mismo poner ese valor en 1 como quitar el bloque.
- III. **¿Cómo se puede deducir la fórmula que hay dentro del bloque “Multiply Const” que se activa para la modulación FSK?** Se deduce de la ecuación general de una señal modulada en FSK:

$$s[n] = \cos\left(\frac{2\pi f_c * n}{f_s} + \frac{2\pi * f_d \sum b(k)}{f_s}\right) \quad (2)$$

Como consecuencia, ese bloque corresponde al segundo termino del argumento de coseno que se encarga de la variación de la fase para su respectiva modulación.

IV. **¿Por qué el bloque “Constant Source” se configura como cero para la modulación OOK pero no para la BPSK y la FSK?** Es debido a que para la modulación OOK el valor de la cuadratura es 0, ya que no tiene fase en la portadora y solo se enciende y se apaga variando su amplitud, mientras que para la BPSK y la FSK si ocurren diferentes variaciones en las fases según cada caso.

V. **¿Por qué razón en el caso de la Modulación OOK la señal modulante entra por la primera entrada (la superior) de los VCO a diferencia de la BPSK y FSK que entra por la segunda entrada (la inferior) de los VCO?**

Porque en el caso de la modulación OOK la señal modulante corresponde a la amplitud (A) de la señal portadora la cual se encuentra en la primera entrada, mientras que en BPSK y FSK corresponde es a la variación de la fase (Q) que se encuentra en la segunda entrada, tal como se observa en la ecuación (3) de la señal modulada.

$$y = A \cos\left(\frac{2\pi * f_c * n}{f_s} + Q\right) \quad (3)$$

VI. **Para el caso de la Modulación BPSK, sería posible reubicar el bloque “Interpolating FIR Filter para que quede inmediatamente antes de los VCO”** Si en el diagrama de bloques de la modulación BPSK se cambia de posición el bloque "Interpolating FIR Filter" para que quede inmediatamente antes de los VCO puede seguir funcionando pero el segundo bloque "Multiply const" puede provocar ruido en el espectro, debido a que el mensaje se desfaza en amplitud en comparación a la portadora, siendo mucho mas alta. Las ampliaciones antes de cualquier filtro deben ser supervisadas para que no ocasionen problemas de transmisión.

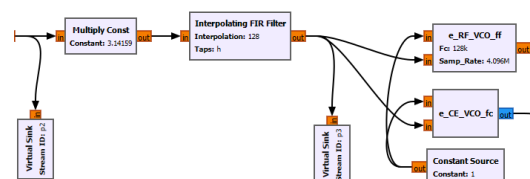


Fig. 20: Filtro interpolación para BPSK antes de VCO

VII. **Para el caso de la Modulación FSK, sería posible reubicar el bloque “Interpolating FIR Filter para que quede inmediatamente antes de los VCO”** Para la modulación FSK no sería posible tener un

buen funcionamiento del sistema si se cambia de posición el bloque "Interpolating FIR Filter", debido a que el bloque acumulador provoca que el mensaje se pierda (suma continuamente del mensaje) y en su defecto no se propaga la información, es por ello que el bloque acumulador debe estar después del Filtro de interpolación. Igualmente se debe tener cuidado con el segundo bloque de Multiplicación constante, ya que no solo perjudicaría al filtro sino al acumulador, porque al estar antes de este provoca serias distorsiones o aumentos progresivos de la señal.

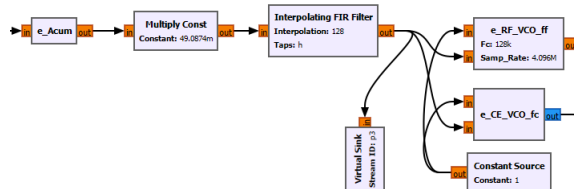


Fig. 21: Filtro interpolación para FSK antes de VCO

11. Continuación preguntas de control:

a. Con base a los bloques propuestos se realizaron las modificaciones que se observan en la Fig. 22 para obtener una señal modulada que varíe tanto en amplitud como en fase, tal como se observa en la gráfica contenida en la Fig. 23

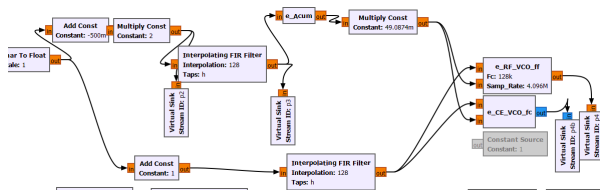


Fig. 22: Modificaciones realizadas en el flujo para obtener una señal que varíe en frecuencia y magnitud.

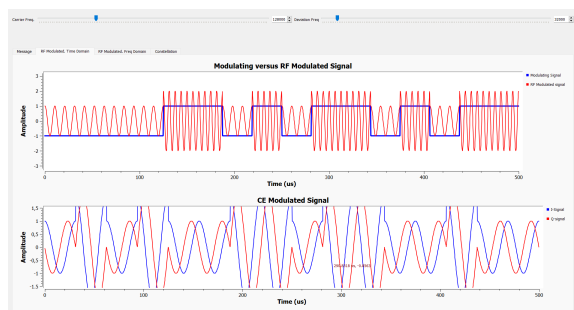


Fig. 23: Gráfica en RF y EC de una señal que varíe en frecuencia y magnitud.

b. En este caso posible calcular el máximo de la frecuencia portadora, mediante la simulación, ya que llegara un punto en el que las señales de interés se superpongan, lo cual dificulta la de modulación a la hora de recibir la señal y la frecuencia de portadora sera la máxima.

c. Si se mantiene el diagrama de flujo por defecto para la modulación FSK, no será posible generar únicamente la envolvente compleja (EC). Esto se debe a que, independientemente de cuánto se ajuste la desviación de frecuencia, el mensaje siempre podrá representarse, lo que impide observar con precisión la envolvente compleja. Para lograr visualizarla correctamente, sería necesario reducir la desviación de frecuencia a cero, indicando que no se podría calcular un máximo para la desviación de frecuencia para cumplir el requerimiento.

d. La SPS es un parámetro que depende de diversos factores, como la tasa de símbolos por muestra deseada, la tasa de bits, la modulación utiliza que en este caso es BPSK. Es necesario mas información sobre estos aspectos para calcular el valor mínimo de SPS que garantice una generación eficiente de la versión en RF. Sin embargo es importante tener en cuenta que la SPS generalmente se selecciona teniendo en cuenta el ancho de banda del sistema y los requisitos de rendimiento específicos del sistema de comunicación.

5 Conclusiones

- Se pudo apreciar la diferencia en el comportamiento de diferentes modulaciones digitales, a la hora de tener señales en banda-base y pasa-banda tales como lo son las conversiones RF-EC o viceversa, donde se observo que la representación en RF de una señal modulada requiere frecuencias portadoras altas y mayor procesamiento, mientras que la versión EC simplifica el análisis, especialmente en dominios como las constelaciones y el espectro.
- En los sistemas a de modulación, los parámetros de la frecuencia portadora y la desviación de frecuencia son cruciales para controlar el comportamiento espectral de la señal modulada. Para evitar distorsiones y resonancias no deseadas, se recomienda evitar frecuencia que no sean múltiplos. Sin embargo, estos controles de precisión en los parámetros de demanda tecnologías mas avanzadas y robustas, lo que incrementa los costos de implementación al requerir sistemas capaces de detectar cambios sutiles en la fase del mensaje.
- Es de suma importancia la ubicación estratégica de los



bloques como lo son el filtros de interpolación y multiplicadores constantes, ya que su posiciones pueden afectar a favor o en contra de la señal modulada. Lo que se debe evitar a toda costa es bloques de magnitudes antes del filtro de interpolación.

References

[1] A. O. Hero, "Telecommunications media," 2024, accessed: 2024-11-17. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/topic/>

telecommunications-media

[2] Editor, "Envolvente compleja: Implementación," 2024, accessed: 2024-11-17. [Online]. Available: <https://electroagenda.com/es/envolvente-compleja-implementacion/>

[3] AcademiaLab, "Diagrama de constelación," 2024, accessed: 2024-11-17. [Online]. Available: <https://academia-lab.com/enciclopedia/diagrama-de-constelacion/>