

Laboratorio Comunicaciones Digitales III

Paolo Genta

0..1. Introducción

En este laboratorio se estudiaron dos tipos de modulación digital pasabanda: OOK (On-Off Keying) y FSK (Frequency Shift Keying). Estas formas de modulación permiten transmitir información digital utilizando señales analógicas moduladas en una portadora de frecuencia. Este tipo de técnicas son fundamentales en sistemas de comunicaciones modernas como radio digital, redes de datos inalámbricas y sistemas embebidos de bajo consumo.

El objetivo principal del laboratorio fue entender el principio de funcionamiento de estas modulaciones y analizar su comportamiento espectral mediante la obtención de la envolvente compleja de la señal. Se utilizaron herramientas de simulación en MATLAB para generar y analizar las señales, con el fin de observar cómo se comportan bajo diferentes parámetros y condiciones de transmisión.

Además, se buscó comparar los resultados teóricos con los obtenidos en la simulación, identificando la relación entre los parámetros del sistema y el ancho de banda ocupado por cada tipo de modulación. Esto permite valorar qué tan eficientes son estas modulaciones en términos del uso del espectro y la robustez frente a interferencias.

0..2. Metodología

Se utilizó MATLAB para simular un sistema de transmisión digital binaria, siguiendo los siguientes pasos generales:

1. Se generó una secuencia aleatoria de bits (0s y 1s), representando una fuente de información binaria.
2. Estos bits se convirtieron en una señal en banda base mediante una codificación unipolar en el caso de OOK y polar en el caso de FSK.
3. Se aplicó la modulación respectiva:
 - Para OOK, se multiplicó la señal binaria por una portadora sinusoidal para los bits '1', y se apagó la portadora para los bits '0'.
 - Para FSK, se asignó una frecuencia diferente a cada bit, generando una señal sinusoidal a 9 kHz para los '0' y a 11 kHz para los '1'.
4. Se extrajo la envolvente compleja de la señal modulada utilizando la transformada de Hilbert, lo que permitió observar cómo varía la amplitud y fase de la señal modulada en el tiempo.
5. Finalmente, se calculó y graficó la transformada de Fourier de la envolvente para observar el comportamiento espectral.

Los parámetros utilizados en la simulación fueron:

- Tasa de bits: $R_b = 1000$ bps
- Frecuencia de muestreo: $f_s = 100$ kHz
- Frecuencias para FSK: $f_1 = 9$ kHz, $f_2 = 11$ kHz
- Frecuencia portadora para OOK: $f_c = 10$ kHz
- Longitud de la secuencia binaria: 100 bits

0..3. Resultados y Análisis

0..3.1. Modulación OOK

La modulación OOK (On-Off Keying) consiste en enviar una portadora cuando el bit es 1 y no transmitir nada cuando el bit es 0. Es una de las formas más simples de modulación digital y resulta muy eficiente en términos energéticos, aunque puede ser vulnerable al ruido.

La señal generada muestra una forma de onda en la que los intervalos correspondientes a los bits '1' contienen una sinusoidal de 10 kHz, mientras que los bits '0' generan secciones planas (sin portadora). Esta señal fue posteriormente analizada usando la transformada de Hilbert para obtener su envolvente compleja.

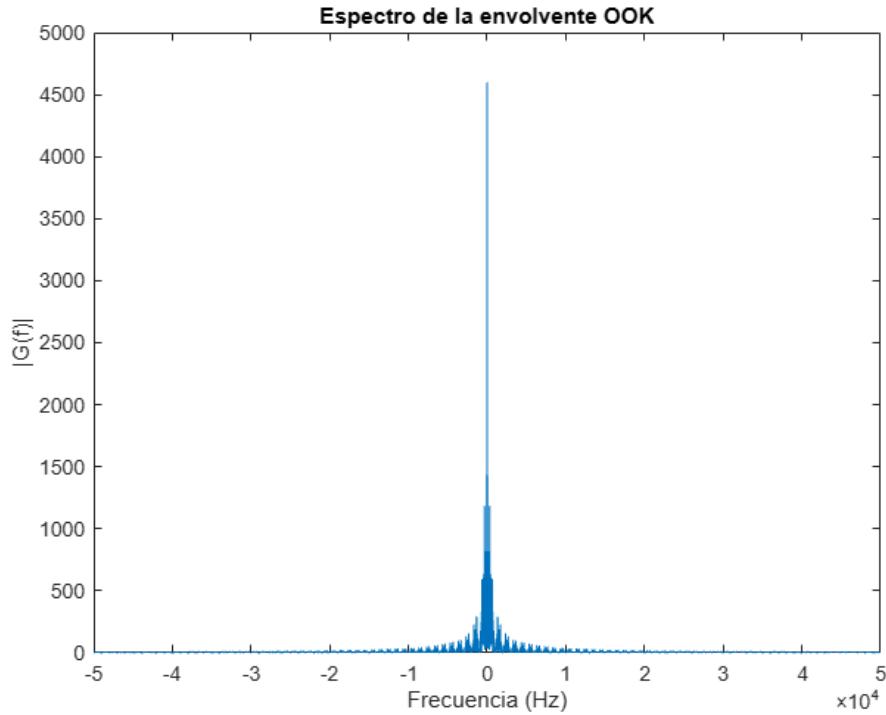


Figura 1: Espectro de la envolvente compleja OOK

En el espectro de la envolvente OOK se observa una concentración de energía en torno a la frecuencia portadora de 10 kHz, con un ancho de banda que se extiende aproximadamente desde 9.5 a 10.5 kHz. Este ancho de banda corresponde a la tasa de bits del sistema, ya que $R_b = 1$ kHz, lo cual coincide con lo esperado teóricamente.

0..3.2. Modulación FSK

La modulación FSK (Frequency Shift Keying) utiliza distintas frecuencias portadoras para representar los bits 0 y 1. En esta simulación, se utilizaron 9 kHz para el bit 0 y 11 kHz para el bit 1.

La señal generada tiene una transición suave entre las dos frecuencias a medida que los bits cambian de valor. Esto se traduce en un espectro más ancho que el de la OOK, ya que se están utilizando dos bandas alrededor de cada una de las portadoras.

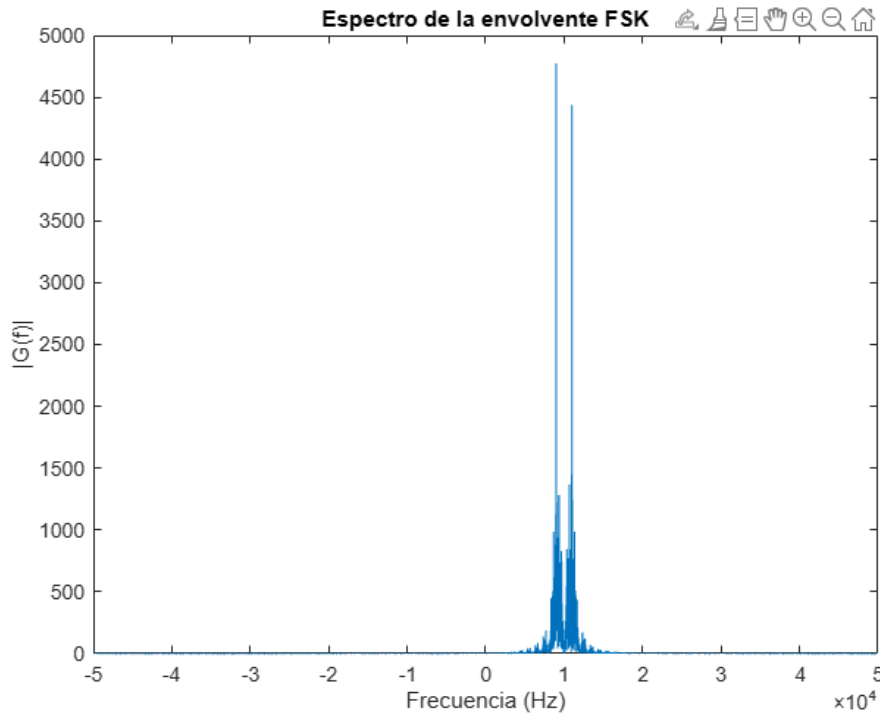


Figura 2: Espectro de la envolvente compleja FSK

El espectro muestra dos picos bien definidos centrados en 9 kHz y 11 kHz. El ancho de banda total observado fue aproximadamente de 4 a 5 kHz, lo cual se ajusta al cálculo teórico:

$$BW_{FSK} = 2 \cdot \Delta f + R_b = 2 \cdot (11\text{kHz} - 9\text{kHz}) + 1\text{kHz} = 5 \text{ kHz}$$

Esto confirma que el espectro generado por la modulación FSK se comporta como lo predice la teoría.

0..4. Conclusiones

Este laboratorio permitió comprender el funcionamiento de dos técnicas de modulación digital pasabanda, OOK y FSK, mediante simulaciones realizadas en MATLAB. A través de la generación, modulación y análisis espectral de las señales, se pudo observar cómo se comportan estas técnicas bajo condiciones ideales.

En el caso de OOK, se comprobó que el ancho de banda está determinado por la tasa de bits, con un espectro concentrado alrededor de la portadora. La ventaja de OOK es su simplicidad y eficiencia energética, aunque presenta mayor susceptibilidad al ruido.

En el caso de FSK, se observó que el uso de dos frecuencias distintas aumenta el ancho de banda necesario para la transmisión, pero permite mayor robustez frente a interferencias y ruido. El espectro de FSK presentó dos picos bien definidos que corresponden a las dos frecuencias asignadas.

La extracción de la envolvente compleja mediante la transformada de Hilbert fue clave para representar correctamente las señales moduladas y su espectro. Asimismo, el uso de MATLAB como herramienta de simulación facilitó la visualización y análisis de los resultados.

Finalmente, se concluye que los resultados obtenidos se alinean con las predicciones teóricas y permiten consolidar los conceptos de modulación digital pasabanda en entornos de simulación.

1.. Anexos

Repositorio GitHub en donde se encuentran todos los códigos utilizados

Aquí está el repositorio: https://github.com/PaolooG/Lab03_CD.git