



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA MADRE Y MAESTRA –CSTA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LAS INGENIERIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN COMPUTACIÓN Y TELECOMUNICACIONES

Comunicaciones Digitales

CSTI-1850-6235

Trabajo Final

Transmisión de Archivo con Modulación FSK

Enmanuelle Ariel Toribio de los Santos

2007-6332 / 10091016

Santo Domingo, D.N.

Abril, 2024

## Contents

Introducción.....	3
Definición del Esquema FSK.....	4
Aplicaciones y Ventajas.....	5
Características de la señalización.....	5
Diseño del modelo de modulación .....	7
Explicación del modelo por etapas y la configuración principal establecida en el modelo en los bloques principales.....	11
Etapa 1: Fuente de Datos.....	11
Etapa 2: Modulación FSK .....	11
Etapa 3: Canal con Ruido .....	11
Etapa 4: Demodulación FSK .....	11
Etapa 5: Salida y Almacenamiento de Datos .....	12
Conclusiones .....	13
Bibliografía .....	14

## Introducción

La modulación por Desplazamiento de Frecuencia, conocida por sus siglas en inglés como FSK (Frequency-Shift Keying), es una técnica de modulación de frecuencia que se utiliza ampliamente en las comunicaciones digitales. FSK es un método robusto y relativamente simple para transmitir datos digitales a través de un canal de comunicaciones, lo que lo hace ideal para una variedad de aplicaciones, desde la radioafición hasta los sistemas de comunicaciones inalámbricas y las redes de área local inalámbricas (WLANs).

## Definición del Esquema FSK

FSK es un esquema de modulación que transmite información digital mediante cambios discretos en la frecuencia de una onda portadora. En su forma más básica, conocida como modulación binaria por desplazamiento de frecuencia (2-FSK o BFSK), se utilizan dos frecuencias distintas para representar los dos posibles estados binarios (0 y 1) de los datos digitales que se están transmitiendo. La clave del esquema FSK radica en su capacidad para codificar los bits de datos como variaciones en la frecuencia de la señal portadora, lo que lo hace menos susceptible a las interferencias y la distorsión del canal que otras formas de modulación que dependen de la amplitud o la fase.

Durante la transmisión, el transmisor cambia entre estas dos frecuencias predefinidas según los bits de datos que se envían, donde una frecuencia puede representar un '1' y la otra un '0'. El receptor, por su parte, detecta estas variaciones de frecuencia y las decodifica de vuelta a la secuencia original de bits. Este proceso permite la transmisión de datos digitales a través de un medio analógico, como el aire en el caso de las comunicaciones inalámbricas o un cable en las comunicaciones por cable.

## Aplicaciones y Ventajas

FSK se utiliza en una amplia gama de aplicaciones debido a sus varias ventajas. Es inherentemente resistente al ruido y a las interferencias, lo que lo hace adecuado para entornos ruidosos o para la transmisión a larga distancia. Además, la tecnología FSK es relativamente simple de implementar en hardware, lo que reduce los costos y la complejidad de los sistemas de comunicación. Estas características hacen que FSK sea una elección popular en tecnologías como la radio de datos, los sistemas de telemetría, el inicio de sesión automático en redes y en la comunicación entre dispositivos IoT (Internet de las Cosas), donde la eficiencia y la confiabilidad son cruciales.

## Características de la señalización

La señalización FSK (Frequency-Shift Keying) posee varias características distintivas que la hacen adecuada para una amplia gama de aplicaciones en comunicaciones digitales. Aquí se destacan algunas de las principales características de la señalización FSK:

1. **Resistencia al Ruido y a las Interferencias:** Una de las ventajas más significativas de FSK es su robustez frente al ruido y a las interferencias. Al depender de cambios en la frecuencia en lugar de en la amplitud, las señales FSK son menos susceptibles a la degradación causada por el ruido del canal o las interferencias electromagnéticas, lo que permite una recepción más fiable de los datos transmitidos.
2. **Espectro de Frecuencia:** La señalización FSK ocupa un ancho de banda mayor que las técnicas de modulación basadas en la amplitud o la fase para una misma tasa de datos. Esto se debe a la necesidad de separar las frecuencias utilizadas para representar los diferentes símbolos binarios para evitar la ambigüedad en la detección. El diseño del espectro de frecuencia debe considerar el compromiso entre la eficiencia espectral y la robustez del sistema.
3. **Simplicidad de Implementación:** Los transmisores y receptores FSK pueden ser relativamente simples de implementar, lo que los hace atractivos para aplicaciones que requieren baja complejidad y bajo costo. Esta simplicidad viene dada en parte por la naturaleza no coherente de muchos sistemas FSK, donde no es necesario un seguimiento de fase preciso para la demodulación.
4. **Versatilidad:** FSK puede adaptarse a diferentes requisitos de rendimiento y condiciones de operación mediante la modificación de parámetros como la separación de frecuencia y el índice de modulación. Esto permite que FSK sea utilizado en una amplia gama de aplicaciones, desde comunicaciones a baja velocidad y larga distancia hasta sistemas de alta velocidad en entornos controlados.
5. **Compatibilidad con Canales no Ideales:** La señalización FSK es especialmente adecuada para su uso en canales no ideales, incluidos aquellos con respuestas de frecuencia variables o con limitaciones en la transmisión de energía. Esto la hace ideal para aplicaciones inalámbricas, comunicaciones por radio, y otras situaciones donde las condiciones del canal pueden ser desafiantes.

6. **Uso en Sistemas de Múltiples Accesos:** La característica de separación de frecuencia de FSK facilita su uso en sistemas de comunicaciones donde múltiples usuarios necesitan compartir el mismo medio de transmisión, como es el caso de las tecnologías de acceso múltiple por división de frecuencia (FDMA).
7. **Eficiencia en la Potencia:** Para aplicaciones de baja potencia, como dispositivos IoT alimentados por batería, FSK es a menudo una elección preferida debido a su eficiencia en términos de la relación señal a ruido requerida para una tasa de error de bit dada, especialmente en modos de operación no coherentes.

## Diseño del modelo de modulación

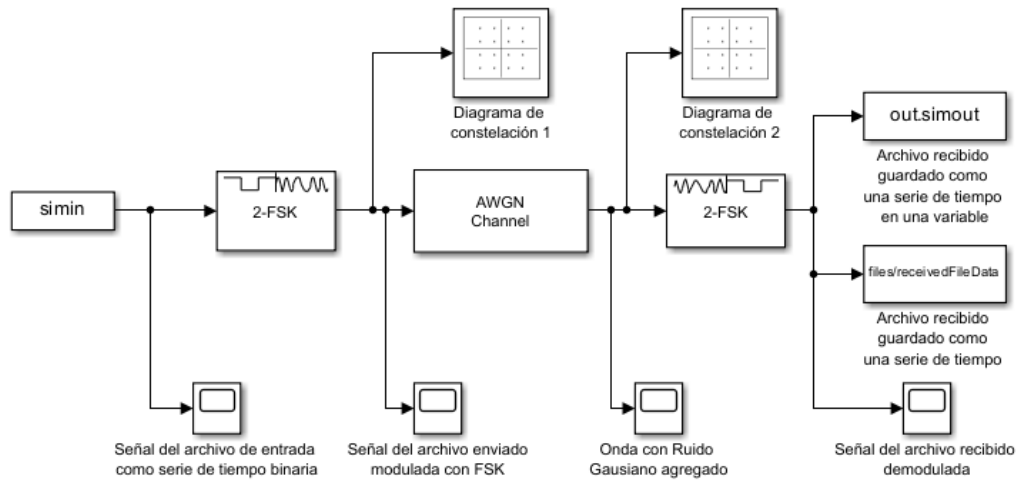


Figura 1 Diagrama de sistema de modulación y demodulación FSK

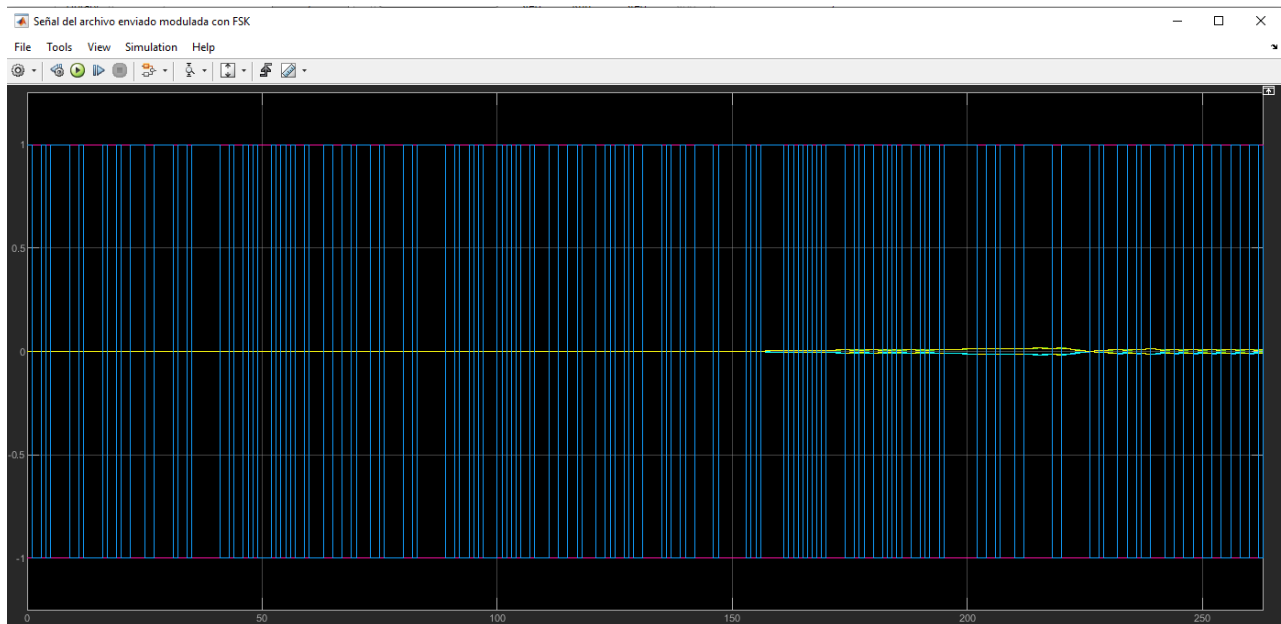


Figura 2 Señal modulada

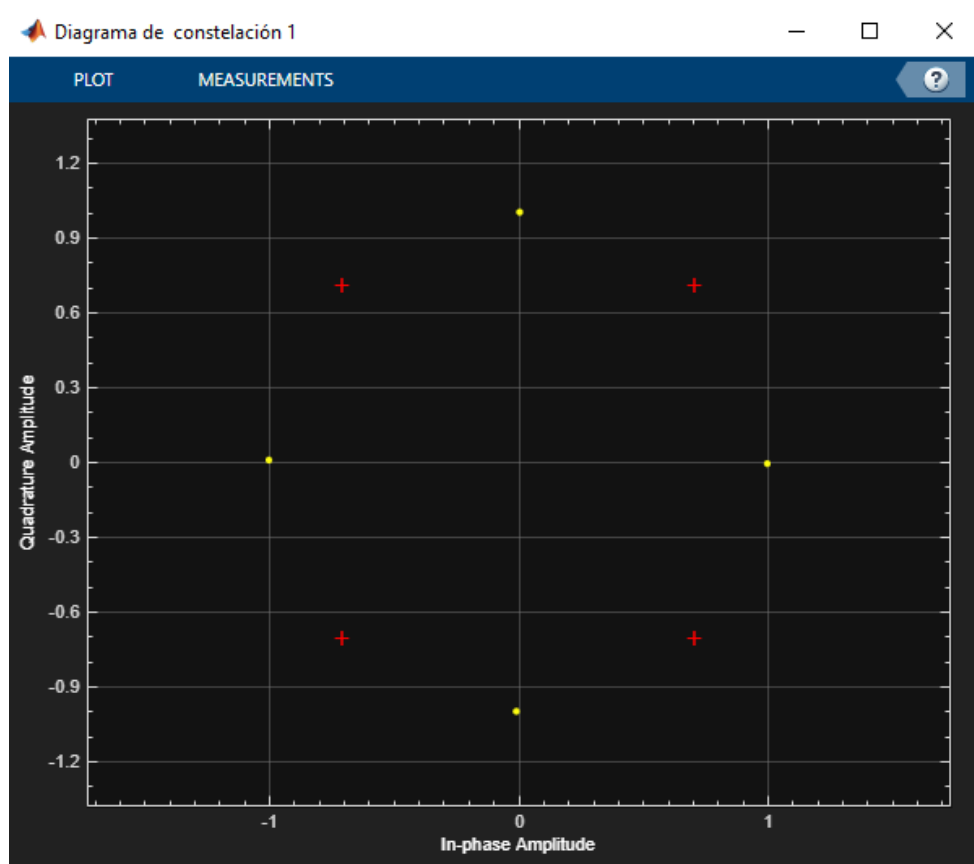


Figura 3 Diagrama de constelación de la señal modulada

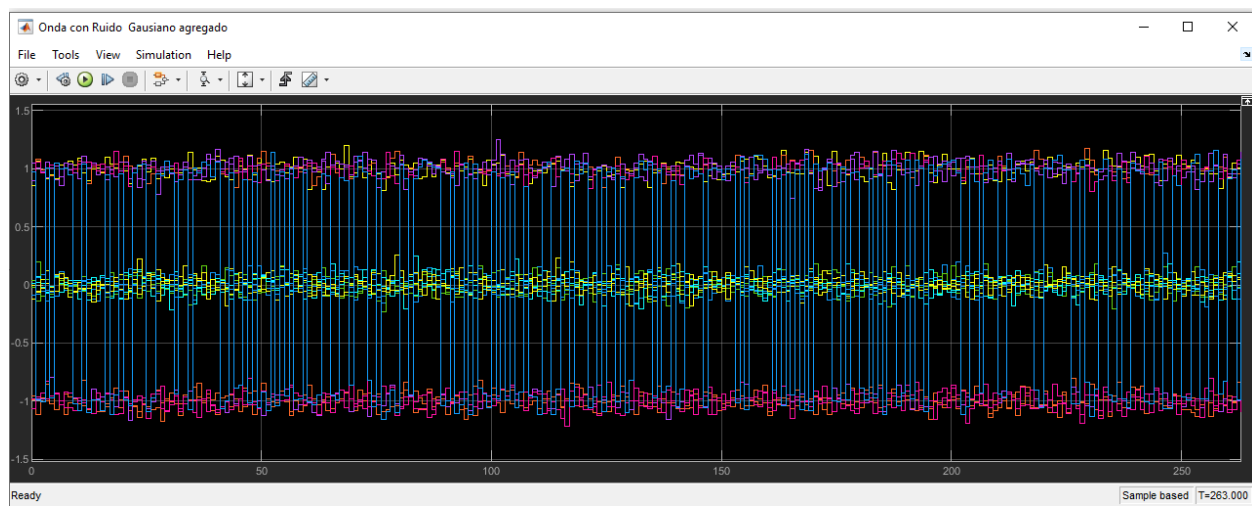


Figura 4 Señal con ruido gaussiano agregado



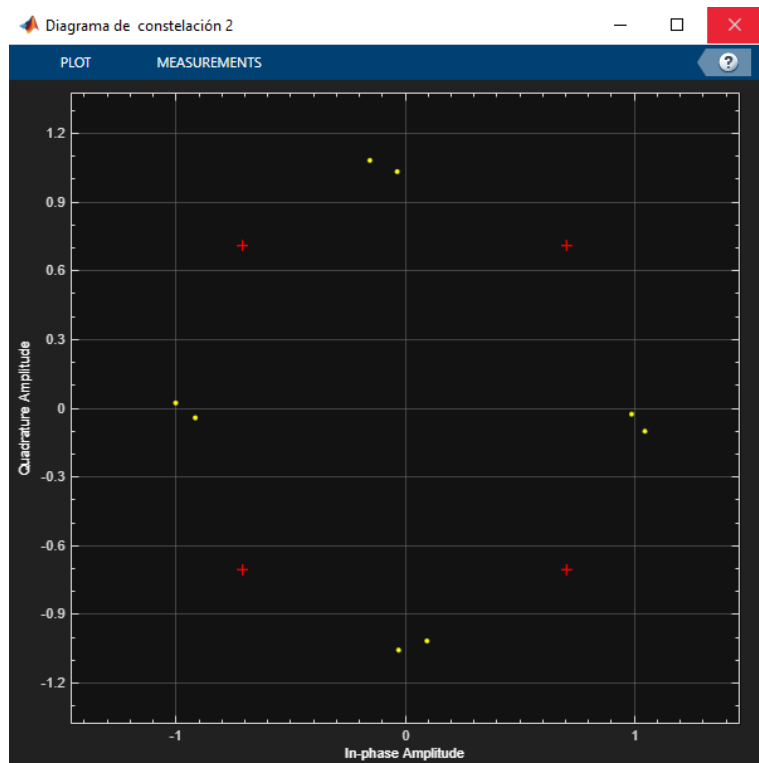


Figura 5 Diagrama de constelación con ruido

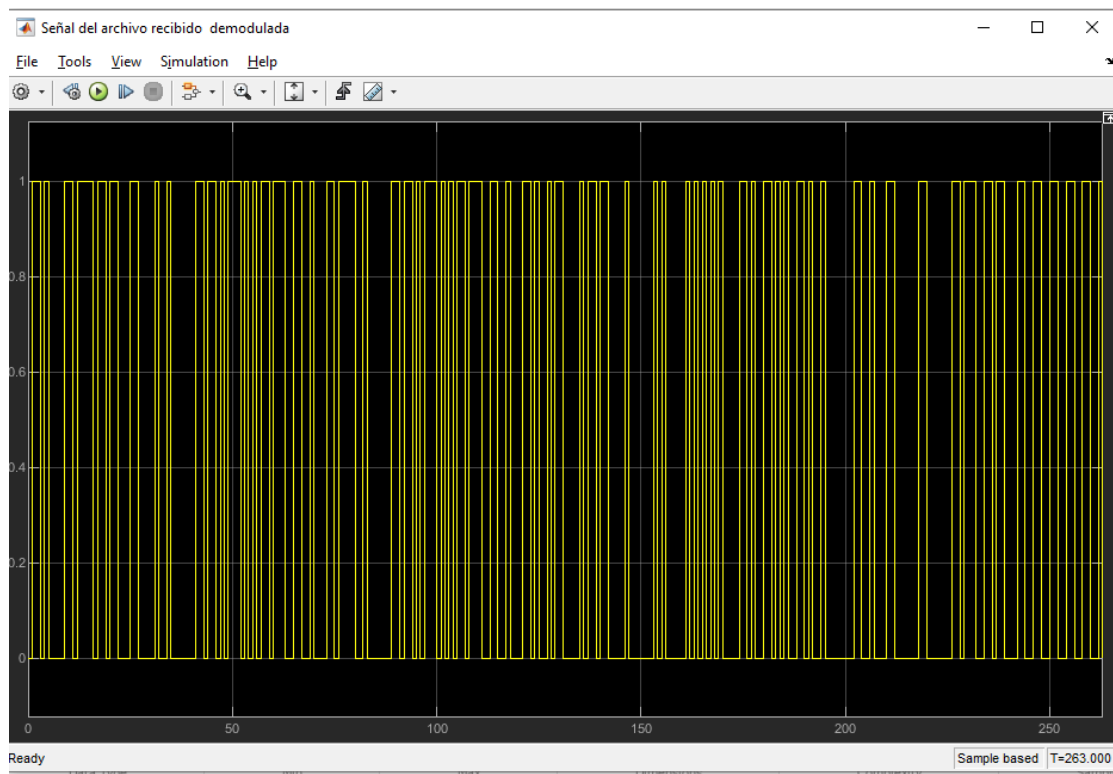


Figura 6 Señal demodulada

Haciendo pruebas cambiando el valor del Signal Noise Ratio (SNR) en el AWGN, al especificar  $1e-8$  el ruido es tan alto que el archivo enviado llega con datos erróneos.

SNR = 20	SNR = 1e-8
<div>receivedFile.txt ✕ +</div> <div>hola mundo mundial PUCMM 20076332</div>	<div>receivedFile.txt ✕ +</div> <div>hola mundo mōndmal PUBMM 200w6332</div>

## Explicación del modelo por etapas y la configuración principal establecida en el modelo en los bloques principales.

### Etapa 1: Fuente de Datos

La señal de entrada al modulador FSK proviene de un vector de bits que representan la información a transmitir que viene del archivo files/fileToSend.txt

### Etapa 2: Modulación FSK

El bloque 2-FSK es un modulador M-FSK Baseband configurado para 2-FSK, lo que significa que está configurado para la modulación binaria de desplazamiento de frecuencia. Las configuraciones clave para este bloque son:

**M-ary number:** 2, indicando la modulación binaria (dos frecuencias distintas para dos estados binarios).

**Input type:** Integer, lo que significa que acepta enteros como entrada.

**Frequency separation:** 100 Hz, que es la diferencia entre las dos frecuencias utilizadas para representar '0' y '1'.

**Samples per symbol:** 8, lo que implica que cada bit se muestrea 8 veces antes de la conversión de frecuencia.

**Output data type:** single, indicando que la salida es de tipo de datos de punto flotante de precisión simple.

Este bloque convierte la secuencia de entrada en una señal FSK donde la presencia de '1' o '0' se indica mediante el cambio de frecuencia de la señal portadora.

### Etapa 3: Canal con Ruido

El canal AWGN introduce ruido en la señal modulada. Está configurado con un SNR (relación señal a ruido) de 20 dB, que es una medida de cuánto más fuerte es la señal que el ruido. Un SNR de 20 dB es bastante alto, lo que indica que la señal es bastante clara en comparación con el nivel de ruido.

### Etapa 4: Demodulación FSK

El bloque 2-FSK en el lado derecho del diagrama es un demodulador M-FSK Baseband. Está configurado para coincidir con el modulador con las siguientes configuraciones:

**M-ary number:** 2, para la demodulación binaria.

**Output type:** Integer, por lo que la salida será una secuencia de enteros.

**Frequency separation:** 100 Hz, para corresponder con el modulador.

**Samples per symbol:** 8, indicando que la tasa de muestreo para la demodulación debe coincidir con la modulación.

Este bloque recupera la secuencia de bits original a partir de la señal FSK recibida, que ahora incluye el ruido AWGN.

## Etapa 5: Salida y Almacenamiento de Datos

La señal demodulada se almacena en dos formas:

- **outsimout** guarda la señal demodulada como una serie de tiempo en una variable dentro del espacio de trabajo de MATLAB.
- **files/receivedFileData** guarda la señal demodulada como un archivo en el sistema de archivos, probablemente como datos binarios que representan la secuencia original de bits.

## Conclusiones

En este proyecto hemos construido un sistema de comunicación digital completo utilizando la modulación por desplazamiento de frecuencia (Frequency-Shift Keying, FSK) con una configuración binaria (BFSK), que es efectiva para transmitir datos digitales a través de un canal con ruido aditivo blanco gaussiano (AWGN).

El uso de un SNR de 20 dB en el canal AWGN muestra que FSK puede ser efectivo en entornos con un nivel significativo de ruido, ya que un SNR de 20 dB indica una calidad de señal clara en comparación con el ruido. Esto confirma que la modulación FSK es adecuada para canales con ruido, una de sus ventajas conocidas.

Con 8 muestras por símbolo, el sistema está configurado para proporcionar suficiente resolución en la señal para una demodulación efectiva, permitiendo que el demodulador diferencie con precisión entre las dos frecuencias utilizadas en la señalización BFSK, incluso en presencia de ruido.

La correspondencia en la configuración entre el modulador y el demodulador, incluyendo el número  $M$ , la separación de frecuencia y las muestras por símbolo, es crítica para el éxito de la comunicación. La consistencia de la configuración asegura que la señal pueda ser demodulada correctamente y que la integridad de los datos se mantenga a través de la transmisión.

Los diagramas de constelación ofrecen una herramienta visual valiosa para entender el efecto del ruido en la señal modulada. La dispersión de los puntos de constelación después del canal AWGN proporciona una indicación clara del grado de perturbación introducido por el ruido, permitiendo a los diseñadores del sistema evaluar la calidad de la señal y la efectividad de la demodulación.

Este modelo representa un escenario realista para los sistemas de comunicación digital donde la simplicidad y la robustez son deseables. El BFSK con ruido AWGN es un escenario común en las comunicaciones inalámbricas y este modelo podría extenderse o adaptarse para estudiar otros sistemas y condiciones de canal.

## Bibliografía

- [1] Goldsmith, A. (2005). Wireless Communications. Cambridge University Press.
- [2] Rappaport, T. S. (2002). Wireless Communications: Principles and Practice. Prentice Hall.
- [3] Tse, D., & Viswanath, P. (2005). Fundamentals of Wireless Communication. Cambridge University Press.
- [4] Proakis, J. G., & Salehi, M. (2008). Digital Communications. McGraw-Hill.
- [5] M-FSK Modulator Baseband  
<https://la.mathworks.com/help/comm/ref/mfskmodulatorbaseband.html>
- [6] M-FSK Demodulator Baseband  
<https://la.mathworks.com/help/comm/ref/mfskdemodulatorbaseband.html>
- [7] AWGN Channel <https://la.mathworks.com/help/comm/ug/awgn-channel.html>