

INFORME PREVIO LABORATORIO V MODULACIÓN FSK

1) OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

- ❖ Comprender los fundamentos teóricos de la modulación digital por desplazamiento de frecuencia (FSK).
- ❖ Implementar en MATLAB una simulación completa de FSK binaria (BFSK): modulación, canal con ruido AWGN y demodulación coherente e incoherente.
- ❖ Analizar espectros, señales temporales, constelaciones y tasas de error.
- ❖ Construir en Simulink un sistema FSK equivalente al de MATLAB, comparar resultados y validar el desempeño.

2) Preguntas

- a. ¿Qué es FSK y en qué se diferencia de PSK y ASK?
- b. ¿Cuál es la expresión matemática de FSK binaria (BFSK)?
- c. ¿Qué condición deben cumplir las frecuencias $f_0 f_0$ y $f_1 f_1$ para que BFSK sea ortogonal?
- d. ¿Qué es la FSK no-coherente?
- e. ¿Cuál es la probabilidad de error teórica de BFSK coherente en AWGN?
- f. ¿Cuál es el ancho de banda aproximado de FSK?
- g. ¿Por qué se usa FSK en sistemas de baja potencia como RFID y comunicaciones IoT?

3) Requisitos de software

MATLAB (Signal Processing y Communications Toolbox) + Simulink (DSP/Comms blocks).

4) Simulación en Matlab

Código MATLAB – Modulación BFSK

```
clc; clear; close all;

% Parámetros
N = 1000; % número de bits
Rb = 1000; % tasa de bits (bits/seg)
Tb = 1/Rb; % tiempo de bit
Fs = 100*Rb; % frecuencia de muestreo
t = 0:1/Fs:Tb-1/Fs;

% Frecuencias BFSK ortogonales
f0 = 2000;
f1 = 2000 + Rb/2; % condición de ortogonalidad
```

```

% Generar bits aleatorios
bits = randi([0 1], 1, N);

% Señales portadoras
s0 = cos(2*pi*f0*t);
s1 = cos(2*pi*f1*t);

% Modulación BFSK
x = [];
for k = 1:N
    if bits(k)==0
        x = [x s0];
    else
        x = [x s1];
    end
end

% Graficar señal modulada
figure; plot(x(1:2000));
title('Señal BFSK (primeros bits)');
xlabel('Muestras'); ylabel('Amplitud');

```

Canal AWGN + Demodulación coherente

```

EbN0_dB = 0:2:12;
BER = zeros(size(EbN0_dB));

for i = 1:length(EbN0_dB)
    % Ruido AWGN
    y = awgn(x, EbN0_dB(i), 'measured');

    y_reshaped = reshape(y, length(t), N);

    % Correladores
    corr0 = sum(y_reshaped .* s0', 1);
    corr1 = sum(y_reshaped .* s1', 1);

    % Decisión
    bits_hat = corr1 > corr0;

    % Cálculo de BER
    BER(i) = sum(bits ~= bits_hat) / N;
end

% Curva BER
figure;
semilogy(EbN0_dB, BER, '-o');
grid on;
title('Curva BER de BFSK coherente');
xlabel('Eb/N0 (dB)')
ylabel('BER')

```

Demodulación No Coherente (detector de energía)

```

% Detector no coherente BFSK
energy0 = sum(y_reshaped.^2 .* (s0.^2'));
energy1 = sum(y_reshaped.^2 .* (s1.^2'));

```

```

bits_hat_nc = energy1 > energy0;

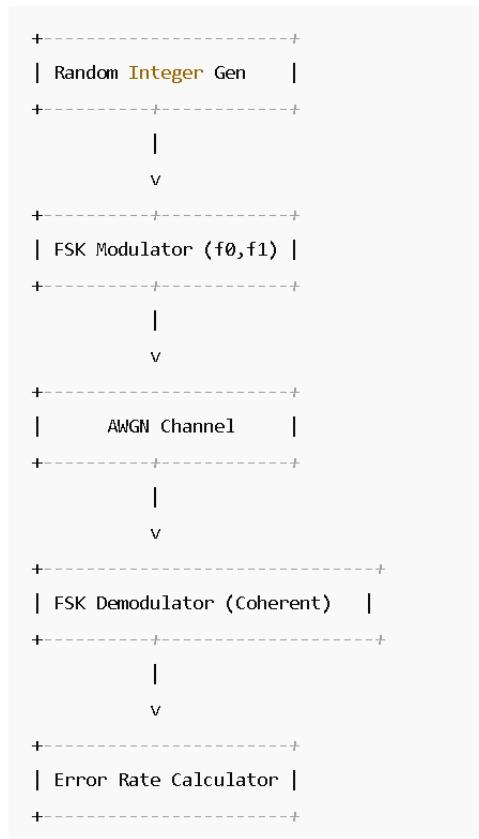
BER_nc = sum(bits ~= bits_hat_nc)/N;
disp(['BER no coherente: ', num2str(BER_nc)]);

```

5) Simulación en Simulink

La simulación debe contener los siguientes bloques:

- ✓ **Random Integer Generator** → bits
- ✓ **FSK Modulator Baseband**
- ✓ **AWGN Channel**
- ✓ **FSK Demodulator Baseband**
- ✓ **Error Rate Calculation**
- ✓ **Scope** para observar la señal en tiempo
- ✓ **Spectrum Analyzer** para ver el espectro



6) Resultados esperados

- La señal BFSK mostrará saltos entre dos frecuencias.
- En presencia de ruido, la forma de onda será distorsionada pero **detectable**.

- La curva de BER caerá exponencialmente conforme aumenta el SNR.
- La demodulación coherente tendrá menor BER que la no coherente.
- El espectro presentará dos lóbulos centrados en f_0 y f_1 .

7) Análisis y conclusiones

- a) ¿Cómo varía la tasa de error de bits (BER) de un sistema FSK conforme aumenta el nivel de ruido en el canal?
- b) ¿En qué rango aproximado de valores de E_b/N_0 la modulación FSK deja de ser eficiente en términos de BER, comparada con esquemas como PSK o QAM?
- c) ¿Cuáles son las principales ventajas y desventajas de la modulación FSK respecto a ASK y PSK, considerando robustez frente al ruido, eficiencia espectral y requisitos de potencia?
- d) ¿Qué relación existe entre el espaciamiento de frecuencias (Δf), el ancho de banda total y la velocidad de transmisión en sistemas FSK?
- e) ¿Qué técnicas podrían aplicarse para mejorar la resistencia al ruido y la eficiencia de detección en un sistema basado en FSK?