

## EXPERIÊNCIA 7: Sinalização PAM duobinário

### 1 – Objetivos:

A partir da obtenção de desempenho dos sistemas PAM duobinários e duobinários modificados identificar aquele que apresenta o melhor desempenho. Obter:

- a) A simulação dos sistemas e os gráficos;
- b) O desempenho BERxSNR para os sistemas PAM duobinários e duobinários modificados, em canal AWGN.

### Sinalização PAM Duobinário

O sistema de comunicação digital PAM sinc binário não apresenta interferência intersimbólica ISI e tem um desempenho teórico máximo da taxa de sinalização. Entretanto a resposta em frequência do canal de comunicação deve ser plano de 0 a  $r_b/2$  Hz para acomodar a transmissão do sinal PAM sinc binário e isto é frequentemente problemático.

O uso do pulso duobinário insere um ISI conhecido cujo efeito pode ser interpretado no receptor de uma maneira determinística. O pulso sinc tem uma amplitude de pico de A em  $t=0$  e cruzamento em zero em  $\pm nT_b (n \neq 0)$  satisfazendo o primeiro critério de Nyquist para não existir ISI. O pulso duobinário tem uma amplitude de A em  $t=0$  e  $t=T_b$  e cruzamento em zero em  $\pm nT_b (n \neq 0,1)$ . O pulso duobinário  $p_{db}(t)$  pode ser gerado pela soma de dois pulsos sinc que são mostrados no tempo por  $T_b$  segundos, como dado pela equação abaixo. Este pulso duobinário satisfaz o segundo critério de Nyquist para não existir ISI.

$$p_{db}(t) = A \text{sinc}(\pi t / T_b) + A \text{sinc}(\pi(t - T_b) / T_b)$$

A magnitude do espectro de tensão  $P_{db}(f)$  deste pulso duobinário é dado por

$$P_{db}(f) = 2AT_b \cos(\pi f T_b) \quad -1/2T_b \leq f \leq 1/2T_b$$

$$P_{db}(f) = 0 \quad \text{outros casos}$$

A densidade espectral de energia bilateral  $E_{db}(f)$  de n pulsos duobinários polar é n times o quadrado da magnitude do espectro de tensão dividido pela resistência de carga  $R_L$  dado pela equação

$$E_{db}(f) = \frac{2nA^2T_b^2}{R_L} \cos^2(\pi f T_b) \quad -1/2T_b \leq f \leq 1/2T_b$$

$$E_{db}(f) = 0 \quad \text{outros casos}$$

A densidade espectral de potência bilateral (PSD)  $PSD_{db}(f)$  é a densidade espectral de energia dividida pelo tempo para transmitir n pulsos PAM duobinários dado pela equação

$$PSD_{db}(f) = \frac{2A^2T_b}{R_L} \cos^2(\pi f T_b) \quad -1/2T_b \leq f \leq 1/2T_b$$

$$PSD_{db}(f) = 0 \quad \text{outros casos}$$

Ao contrário do pulso sinc, o pulso duobinário tem uma resposta em frequência que não é plana e pode-se implementar filtros simples que aproxima-se deste espectro. Entretanto, os pulsos sinc e duobinários requerem um canal de comunicação que tem uma significativa resposta em baixa frequência para 0 Hz. O pulso duobinário modificado  $p_{mdb}(t)$  elimina esta preocupação e é gerado pela diferença de dois pulsos sinc que são mostrados em  $2T_b$  segundos dado pela equação abaixo. O pulso duobinário modificado ainda satisfaz o segundo critério de Nyquist para não haver ISI com uma amplitude  $A$  em  $t=0$  e  $t=T_b$  e cruzamento em zero em  $\pm nT_b (n \neq 0,1)$ .

$$p_{mdb}(t) = A \text{sinc}(\pi t / T_b) - A \text{sinc}(\pi(t - 2T_b) / T_b)$$

A magnitude do espectro de tensão  $P_{mdb}(f)$  deste pulso duobinário modificado é dado por

$$P_{mdb}(f) = 2AT_b \sin(\pi f T_b) \quad -1/2T_b \leq f \leq 1/2T_b$$

$$P_{mdb}(f) = 0 \quad \text{outros casos}$$

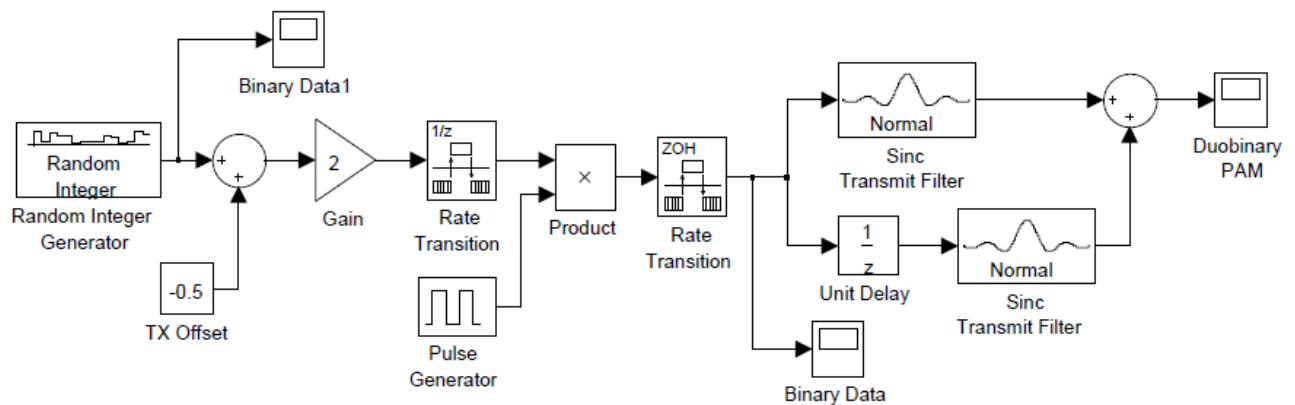
Com um desenvolvimento similar ao pró pulso PAM duobinário, o  $PSD_{mdb}(f)$  bilateral do pulso PAM duobinário modificado é dado pela equação

$$PSD_{mdb}(f) = \frac{2A^2 T_b}{R_L} \sin^2(\pi f T_b) \quad -1/2T_b \leq f \leq 1/2T_b$$

$$PSD_{mdb}(f) = 0 \quad \text{outros casos}$$

O pulso duobinário modificado  $PSD_{mdb}(f)$  tem uma resposta em frequência nula em 0 Hz. O espectro também não é plano e pode-se implementar filtros, sem utilizar um filtro com uma resposta com impulso sinc.

## 2 – Simulação do PAM Duobinário



### 2.1 – Descrição dos blocos

**A – Random Integer Generator** – Communications blockset; Comm Sources

PARÂMETROS: - M-ary number: 2; Initial seed: randseed; Sample time: 1e-3; Output data type: double.

**B – Sum** – Simulink blockset; Math Operations

**PARÂMETROS:** - Main: Icon shape: rectangular; List of signs: I++; Sample time (-1 for inherited): -1.

**C – Constant** – Simulink blockset; Source

**PARÂMETROS:** - Main: Constant value: -0.5; [x] Interpret vector parameters as 1-D; Sample time: inf.

**D – Gain** – Simulink blockset; Math Operations

**PARÂMETROS:** - Main: Gain: 2; Multiplication: Element-wise( $k \cdot u$ ); Sample time (-1 for inherited): -1.

**E – Rate Transition** – Simulink Blockset; Signal Attributes

**PARÂMETROS:** [x] Ensure data .....; [x] Ensure deterministic...; Initial Conditions: 0; Output port sample time options: Specify; Output port Sample time: 2e-5.

**F – Pulse Generator** – Simulink Blockset; Sources

**PARÂMETROS:** Pulse type: Time based; Time (t): Use simulation time; Amplitude: 1; Period (secs): 1e-3; Pulse Width(% of period): 2; Phase Delay(s): 0; [x] Interpret vector parameters as 1-D.

**G – Product Block** – Simulink Blockset; Math Operations.

**PARÂMETROS:** Main: Number of inputs:2; Multiplication: Element-wise; Sample time: -1.

**H – Rate Transition** – Simulink Blockset; Signal Attributes

**PARÂMETROS:** [x] Ensure data .....; [x] Ensure deterministic...; Initial Conditions: 0; Output port sample time options: Specify; Output port Sample time: 1e-3.

**I – Raised Cosine Transmitter Filter** – Communication Blockset; Comm Filters

**PARÂMETROS:** Main: Filter type: Normal; Group delay (number of symbols): 4; Rollof factor (0 to 1): 0; Upsampling factor (N): 50; Input processing: Inherited (this choi.....); Rate options: Allow multirate processing; Filter gain: User-specified; Linear amplitude filter gain: 5.

**J – Unit Delay** – Simulink blockset; Math Operations

**PARÂMETROS:** - Main: Initial conditions: 0; Input processing: Inherited; Sample time (-1 for inherited): -1.

**K – Raised Cosine Transmitter Filter** – Communication Blockset; Comm Filters

**PARÂMETROS:** Main: Filter type: Normal; Group delay (number of symbols): 4; Rollof factor (0 to 1): 0; Upsampling factor (N): 50; Input processing: Inherited (this choi.....); Rate options: Allow multirate processing; Filter gain: User-specified; Linear amplitude filter gain: 5 (ou  $(5) \cdot \text{rcfiltgaincompat}(\text{gcbh})$  novas versões).

**L – Sum** – Simulink blockset; Math Operations

**PARÂMETROS:** - Main: Icon shape: round; List of signs: I++; Sample time (-1 for inherited): -1.

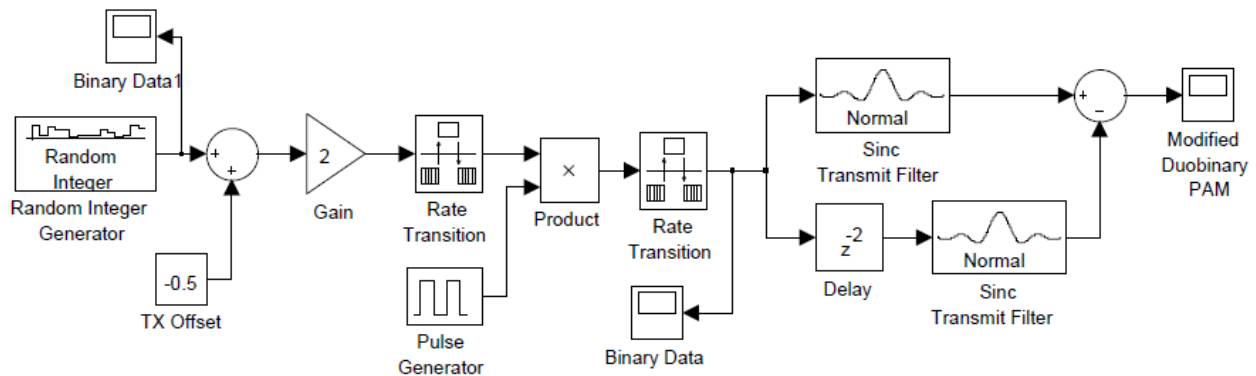
## **2-2 – Simulações**

Configuration Parameters: Start time: 0; Stop time: 0.05; ; Type: Fixed-step; Solver: ode3; Fixed-step size: 2e-5; Periodic sample time constraint: Unconstrained; Tasking mode for periodic sample times: Auto.

### 2.3 – Gráficos a serem obtidos:

1 – Nos pontos onde possui o osciloscópio. Explicar o seu funcionamento através da comparação entre gráficos.

## 3 – Simulação do PAM Duobinário Modificado



### 3.1 – Descrição dos blocos

**A – Delay** – Signal Processing blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: - Input processing: Inherited; Delay units: Samples; Delay (samples): 2; Initial conditions: 0; Reset port: None.

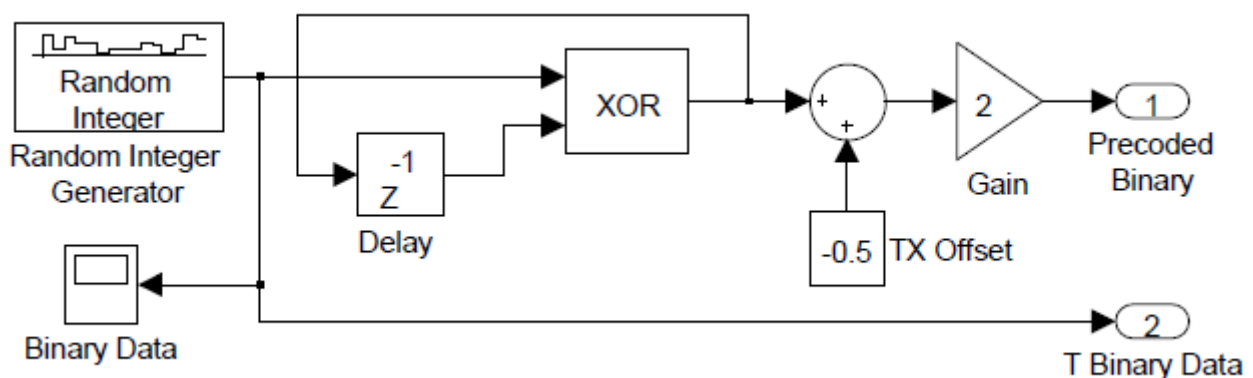
**B – Sum** – Simulink blockset; Math Operations

PARÂMETROS: - Main: Icon shape: round; List of signs: I+; Sample time (-1 for inherited): -1.

### 3.2 – Gráficos a serem obtidos:

1 – Nos pontos onde possui o osciloscópio. Explicar o seu funcionamento através da comparação entre gráficos.

## 4 – Sinais Duobinários Precodificados



Os valores dos dados polares binários recebidos ( $\pm 1$ )  $c_i$  para os sinais PAM sinc duobinários é dado por

$$c_i = d_i - c_{i-1}$$

Para esta equação os sinais PAM sinc duobinários de 3 níveis detectados é  $d_i = \pm 2, 0$ . Entretanto o valor correto ( $\pm 1$ ) para os dado polar binário detectado  $c_i$  requer que os valores detectados atuais  $d_i$  e o valor anterior imediatamente estimado  $c_{i-1}$  sejam sem erros. O processo para a recepção de dados polares da equação anterior é conhecido como decisor por realimentação. Entretanto, uma desvantagem do decisor por realimentação é que uma vez uma decisão errada é feita por  $d_i$ , o erro se propaga. A técnica para evitar essa propagação do erro é o uso do precodificador no transmissor PAM sinc duobinário com dado pela equação

$$f_i = a_i \oplus f_{i-1}$$

O símbolo  $\oplus$  representa a adição módulo dois binário ( $0+1=1+0=1$  e  $0+0=1+1=0$ ) ou operação OU exclusivo (XOR). O dado de entrada binário unipolar (0, 1) é  $a_i$  e a saída precodificada binária unipolar é  $f_i$ .

#### 4.1 – Descrição dos blocos

##### A – Random Integer Generator – Communications blockset; Comm Sources

PARÂMETROS: - M-ary number: 2; Initial seed: randseed; Sample time: 1e-3; Output data type: boolean.

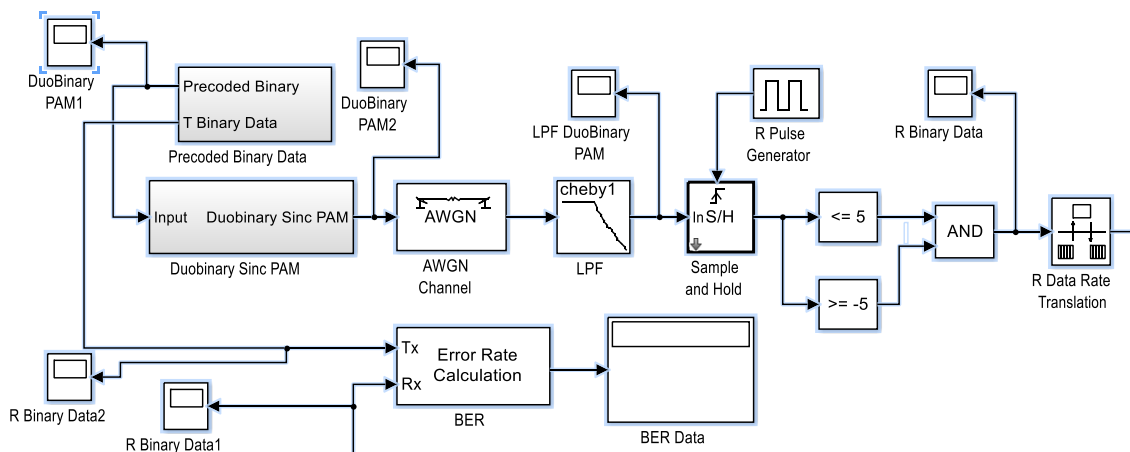
##### B – Integer Delay – Signal Processing blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: - Number of delays: 1; Input processing: Inherited; Initial conditions: 0.0; Sample time: -1.

##### C – Logical Operator – Simulink blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Main: Operator: XOR; Number of input ports: 2; Icon shape: rectangular; Sample time (-1 for inherited): -1. Signal Attributes: Output data type: Boolean.

#### 5 – Desempenho para o PAM Duobinário em um Receptor Simples no Canal AWGN.



Os dados transmitidos (0, 1) binários unipolar  $a_i$  é estimado pelo receptor de dados polar ( $\pm 1$ ) binário  $c_i$ , que assume-se ser livre de erros e deste modo equivalente aos dados polares binários transmitidos  $b_i$  dado pela equação

$$y(iT_b) = A(c_i + c_{i-1}) = A(b_i + b_{i-1}) \text{ desde que } b_i = 2f_i - 1$$

$$y(iT_b) = 2A(f_i + f_{i-1}) - 2A$$

$$y(iT_b) = 2A(a_i \oplus f_{i-1} + f_{i-1} - 1)$$

Ou

$$y(iT_b) = 0 \quad \text{se } a_i = 1$$

$$y(iT_b) = \pm 2A \quad \text{se } a_i = 0$$

A estimativa do dado binário unipolar transmitido  $a_i$  é acompanhado pela regra de decisão simples da equação acima, onde a amplitude  $A=5$  V para transmitir PAM sinc duobinário dado pelas equações

$$\text{Se } |y(iT_b)| < 5V \text{ então } a_i = 1$$

$$\text{Se } |y(iT_b)| > 5V \text{ então } a_i = 0$$

## 5.1 – Descrição dos blocos

### A – AWGN – Communications Blockset; Channels

PARÂMETROS: Input processing: Inherited; Initial seed: randseed; Mode: Variance from mask; Variance: 200.

### B - Analog Filter Design – Signal Processing Blockset; Filters Designs

PARÂMETROS: Design method: Chebyshev I; Filter type: Lowpass; Filter order: 9; Passband edge frequency (rad/s):  $2\pi \cdot 600$ ; Passband ripple in dB: 0.1.

### C – Sample and Hold – Signal Processing Blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: Trigger type: Rising edge; Initial condition: 0.

### D – Pulse Generator – Simulink Blockset; Sources

PARÂMETROS: Pulse type: Time based; Time (t): Use simulation time; Amplitude: 1; Period (secs):  $1e-3$ ; Pulse Width(% of period): 2; Phase Delay(s): 0; [x] Interpret vector parameters as 1-D.

### E – Compare to Constant – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator:  $\leq$ ; Constant value: 5; Output data type mode: Boolean.

### F – Compare to Constant – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator:  $\geq$ ; Constant value: -5; Output data type mode: Boolean.

### G – Logical Operator – Simulink blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Main: Operator: AND; Number of input ports: 2; Icon shape: rectangular; Sample time (-1 for inherited): -1. Signal Attributes: Output data type: Boolean.

#### **H – Rate Transition** – Simulink Blockset; Signal Attributes

PARÂMETROS: [x] Ensure data .....; [x] Ensure deterministic...; Initial Conditions: 0; Output port sample time options: Specify; Output port Sample time: 1e-3.

#### **I – Error Rate Calculation** – Communications Blockset – Comm Sinks

PARÂMETROS: Receive Delay: 8; Computation delay: 1; Computation mode: Entire frame; Output data: Port.

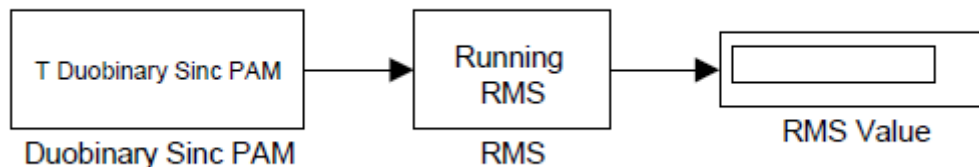
### **5-2 – Simulações**

Configuration Parameters: Start time: 0; Stop time: 10.008; ; Type: Fixed-step; Solver: ode3; Fixed-step size: 2e-5; Periodic sample time constraint: Unconstrained; Tasking mode for periodic sample times: Auto.

#### **5.3 – Gráficos a serem obtidos:**

- 1 – Nos pontos onde possui o osciloscópio. Explicar o seu funcionamento através da comparação entre gráficos.
- 2 – Verificar o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido.
- 3 – Plotar o gráfico BERxSNR com um LPF (9 polos Chebyshev, 0,1 dB de ripple, freq. Corte de 600 Hz) em um sistema de comunicação digital PAM sinc duobinário precodificado com potência do sinal normalizada  $\approx 50,6$  W.

Obter a potência do sinal conforme abaixo:



#### **A – RMS** – Signal Processing Blockset; Statistics

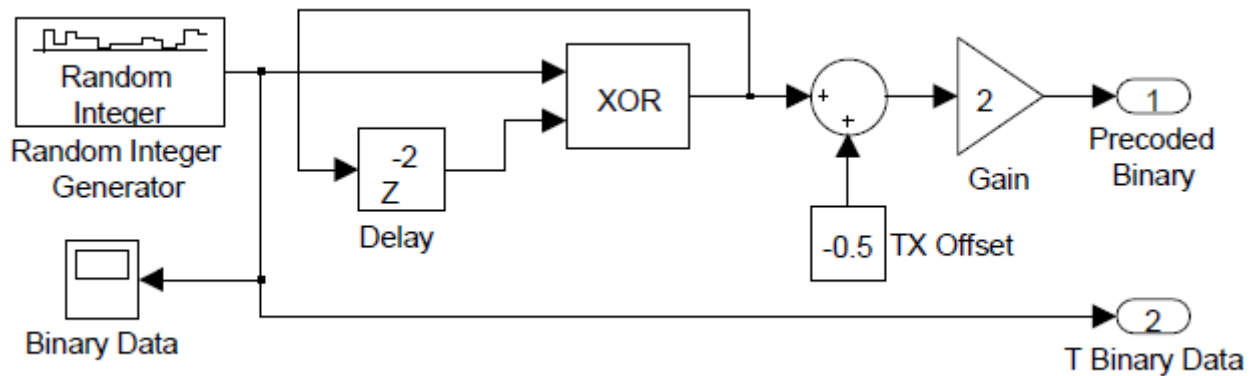
PARÂMETROS: [x] Running RMS; Input processing: Inherited; Reset port: None.

### **Simulações**

Configuration Parameters: Start time: 0; Stop time: 10; ; Type: Fixed-step; Solver: ode3; Fixed-step size: 2e-5; Periodic sample time constraint: Unconstrained; Tasking mode for periodic sample times: Auto.

SNR (dB)	AWGN $\sigma^2$ (V <sup>2</sup> )	BER
7,04	10	0
	50	
	100	
	200	$2,43 \times 10^{-2}$
	300	
	400	
	500	

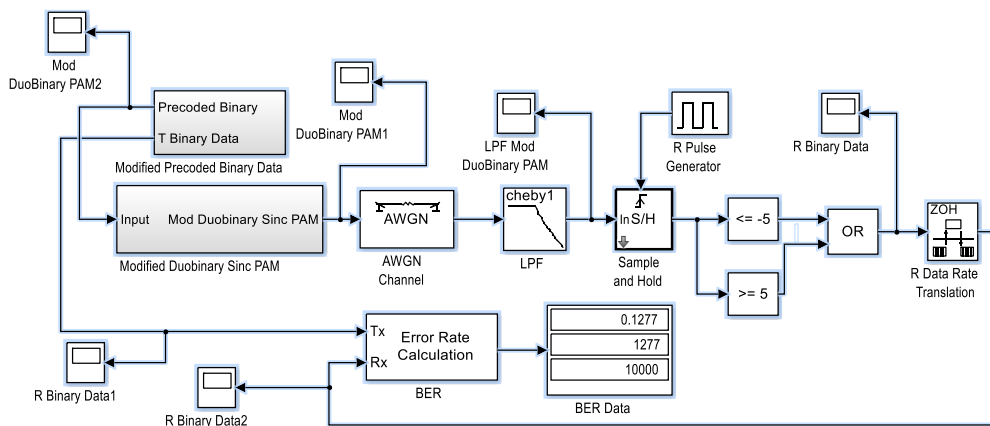
## 6 – Sinais Duobinários Precodificados Modificados



### A – Integer Delay – Signal Processing blockset; Signal Operations

PARÂMETROS: - Number of delays: 2; Input processing: Inherited; Initial conditions: 0.0; Sample time: -1.

## 7 – Desempenho para o PAM Duobinário Modificado em um Receptor Simples no Canal AWGN.



O transmissor PAM sinc duobinário modificado, o canal de comunicação e o receptor PAM simples são similares ao do sistema de comunicação PAM sinc duobinário precodificado. O binário unipolar (0, 1) dos dados transmitidos  $a_i$  é novamente estimado pelos dados polares ( $\pm 1$ ) binários recebidos  $c_i$  assume-se sem erros e equivalente aos dados polares binários transmitidos  $b_i$  como dado pela equação



$$y(iT_b) = A(c_i + c_{i-2}) = A(b_i + b_{i-2}) \text{ desde que } b_i = 2f_i - 1$$

$$y(iT_b) = 2A(f_i + f_{i-2})$$

$$y(iT_b) = 2A(a_i \oplus f_{i-1} - f_{i-2})$$

$$y(iT_b) = 2A(a_i \oplus a_{i-1} \oplus f_{i-2} - f_{i-2})$$

Ou

$$y(iT_b) = 0 \quad \text{se } a_i = 0$$

$$y(iT_b) = \pm 2A \quad \text{se } a_i = 1$$

A estimativa do dado binário unipolar transmitido  $a_i$  é novamente efetuado com regra de decisão simples, onde a amplitude  $A=5$  V para o transmissor PAM sinc duobinário modificado é dado pelas equações

$$\text{Se } |y(iT_b)| < 5V \text{ então } a_i = 0$$

$$\text{Se } |y(iT_b)| > 5V \text{ então } a_i = 1$$

## 7.1 – Descrição dos blocos

**A – Compare to Constant** – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator: <=; Constant value: -5; Output data type mode: Boolean.

**B – Compare to Constant** – Simulink Blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Operator: >=; Constant value: 5; Output data type mode: Boolean.

**C – Logical Operator** – Simulink blockset; Logic and Bitwise Operations

PARÂMETROS: Main: Operator: OR; Number of input ports: 2; Icon shape: rectangular; Sample time (-1 for inherited): -1. Signal Attributes: Output data type: Boolean.

**D – Error Rate Calculation** – Communications Blockset – Comm Sinks

PARÂMETROS: Receive Delay: 8; Computation delay: 2; Computation mode: Entire frame; Output data: Port.

## 7-2 – Simulações

Configuration Parameters: Start time: 0; Stop time: 10.009; ; Type: Fixed-step; Solver: ode3; Fixed-step size: 2e-5; Periodic sample time constraint: Unconstrained; Tasking mode for periodic sample times: Auto.

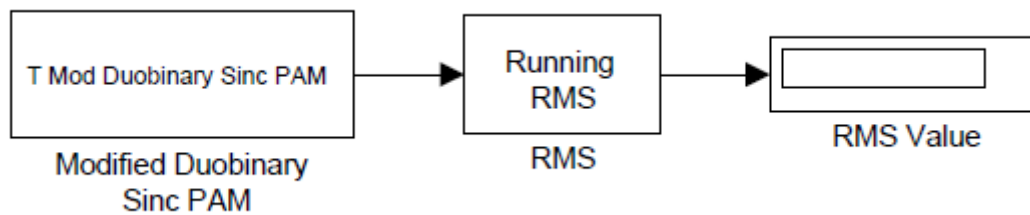
## 7.3 – Gráficos a serem obtidos:

1 – Nos pontos onde possui o osciloscópio. Explicar o funcionamento.

2 – Verificar o atraso no sinal recebido em relação ao transmitido.

3 – Plotar o gráfico BERxSNR com um LPF (9 polos Chebyshev, 0,1 dB de ripple, freq. Corte de 600 Hz) em um sistema de comunicação digital PAM sinc duobinário precodificado com potência do sinal normalizada  $\approx 50,2$  W.

Obter a potência do sinal conforme abaixo:



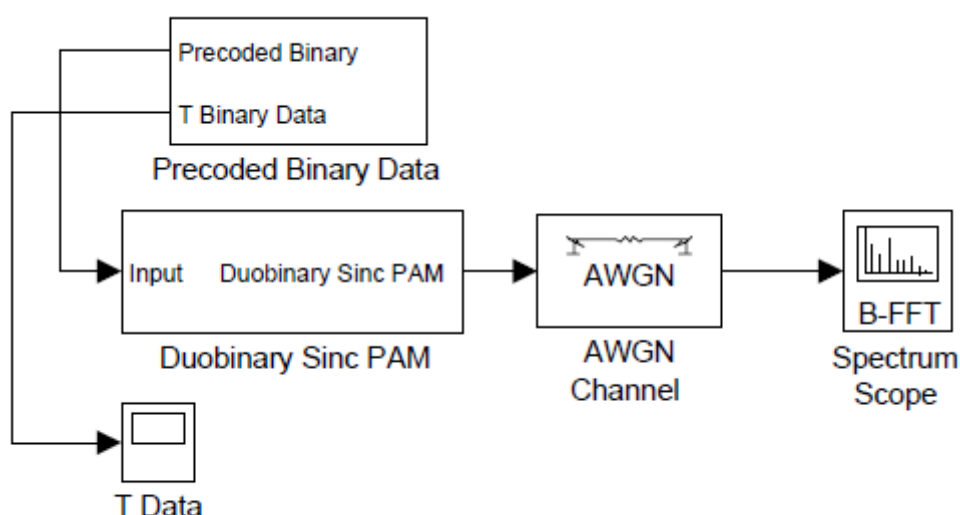
## Simulações

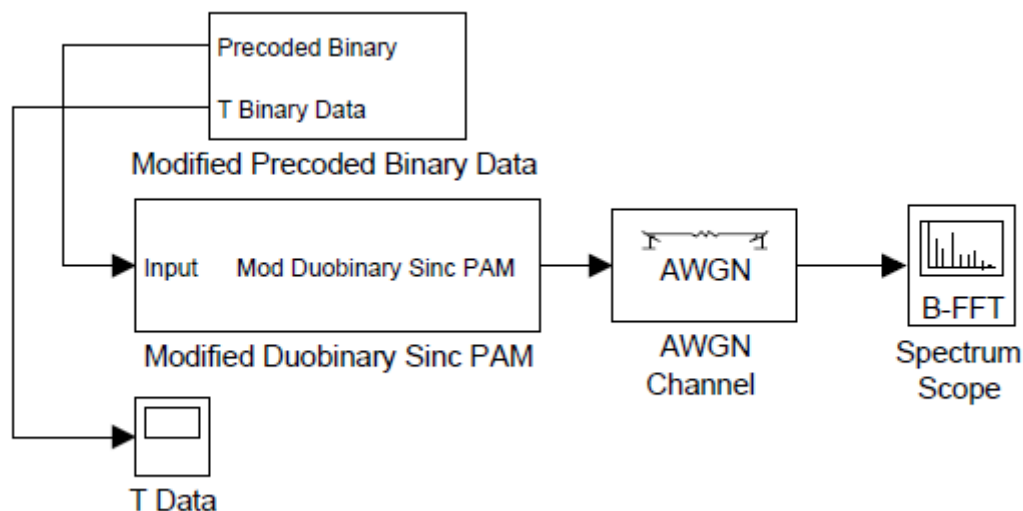
Configuration Parameters: Start time: 0; Stop time: 10; ; Type: Fixed-step; Solver: ode3; Fixed-step size: 2e-5; Periodic sample time constraint: Unconstrained; Tasking mode for periodic sample times: Auto.

SNR (dB)	AWGN $\sigma^2$ (V <sup>2</sup> )	BER
7,01	10	0
	50	
	100	$5,8 \times 10^{-3}$
	200	
	300	
	400	
	500	

4 – Fazer, em um mesmo gráfico, a BERxSNR dos itens 5 e 7 e comentar os resultados obtidos.

## 8 – Densidade Espectral de Potência (PSD) dos PAM Duobinários





## 8.1 – Descrição dos blocos

### A – Spectrum Scope – Signal Processing Blockset; Signal Processing Sinks

PARÂMETROS: Scope Properties: Spectrum units: dBW/Hertz; Spectrum type: One-sided; [x] Buffer input; Buffer size: 262144; Buffer overlap: 0; Treat Mx1and ....: M channels; Window: Boxcar; [x] Specify FFT length; Number of spectral averages: 1; FFT length: 262144. Axis Properties: [x] Inherit sample....; Frequency display offset (Hz): 0; Frequency display limits: Auto; MinimumY-limit: -100; Maximum Y-limit: 10; Y-Axis label: Power Spectrum dB.

## 8.2 - Simulações

Configuration Parameters: Start time: 0; Stop time: 5.24288; ; Type: Fixed-step; Solver: ode3; Fixed-step size: 2e-5; Periodic sample time constraint: Unconstrained; Tasking mode for periodic sample times: Auto.

## 8.3 – Gráficos a serem obtidos:

1 – Nos pontos onde possui o Spectrum Scope. Visualizar a obtenção do primeiro zero.