



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA



CENTRO DE TECNOLOGIA E URBANISMO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
2ELE049 - REDES DE TELECOMUNICAÇÕES

**Relatório V - Modulação Delta, Diagrama de Olho e Demodulação em
Banda Passante**

Professor: Jaime Laelson Jacob

Alunos: Ricardo Vertuan Santos

Sérgio Luiz Sambugari Junior

Relatório relativo à disciplina de Redes
de Telecomunicações.

Experimento(s) realizado(s) em:
09/09/2014.

Turma: 1012.

Londrina, 22 de setembro de 2014

Sumário

1	RESUMO	4
2	OBJETIVOS	5
3	TEORIA	6
3.1	Modulação Delta	6
3.1.1	Ruído granular e distorção de inclinação de sobrecarga	6
3.2	Diagrama de olho	7
3.3	Demodulação de sinais digitais em banda passante	7
3.4	Canal AWGN	8
4	METODOLOGIA EXPERIMENTAL	9
4.1	MATERIAIS	9
4.2	MÉTODOS	9
4.2.1	Simulação de modulação Delta	9
4.2.2	Simulação do diagrama de olho	11
4.2.3	Simulação do receptor em banda passante	12
5	RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS	13
5.1	Modulação Delta	13
5.1.1	Gráficos	13
5.1.2	Atraso do Sinal	14
5.2	Modulação Delta: Erro de Quantização	14
5.2.1	Gráficos	14
5.3	Modulação Delta: Distorção de Inclinação de Sobrecarga	15
5.3.1	Gráficos	15
5.4	Modulação Delta: Ruído Granular	15
5.4.1	Gráficos	15
5.5	Simulação do Diagrama de Olho	17
5.5.1	Simulação com Variância 0	17
5.5.2	Simulação com Variância 0.5	18
5.5.3	Simulação com Variância 6	18
5.6	Diagrama de Olho: Redução da Largura de Banda, Jitter e Largura de Banda e Jitter.	19
5.6.1	Jitter de 50%.	19
5.6.2	Jitter de 7.5%	20
5.7	Receptor de Correlação para Sinais Simétricos em Banda Passante	21
5.7.1	Gráficos	21
5.8	Receptor de Correlação para Sinais Assimétricos em Banda Passante	22

5.8.1	Gráficos	22
6	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	25
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

1 RESUMO

Neste relatório será discutido o funcionamento da modulação Delta, capaz de transmitir formas de onda analógicas de maneira digital, com fácil implementação física. Será discutido também o conceito de diagrama de olho, fundamental para avaliar o desempenho de um canal de comunicação. Por fim será visto um receptor em banda passante otimizado, para sinais simétricos e assimétricos.

Palavras-chave: *modulação Delta, erro de quantização, distorção de inclinação de sobrecarga, ruído granular, diagrama de olho, jitter, receptor de correlação.*

2 OBJETIVOS

A atividade relatada neste relatório consistiu em experimentos que permitiram:

- Entender o funcionamento da modulação Delta;
- Simulação de sistema com modulação Delta;
- Simulação de sistema com erros de quantização do tipo ruído granular e distorção de inclinação de sobrecarga para modulação Delta;
- Simulação do diagrama de olho para avaliação de desempenho (*jitter*, largura de banda e distorção do canal);
- Simulação de receptor em banda passante para sinais simétricos e assimétricos.

3 TEORIA

A seguir, serão expostos alguns conceitos utilizados durante o experimento.

3.1 Modulação Delta

A modulação Delta é uma técnica de digitalização de um sinal analógico que consiste em fazer amostragens do sinal e enviar por um canal apenas a indicação se a amostra atual é superior ou inferior à amostra anterior.

De maneira sucinta, ao invés de codificar a amplitude do sinal, codifica a diferença de amplitude para a amostra anterior, indicando se o valor subiu ou desceu. Apesar de provocar distorções, se o sinal analógico for abrupto, é extremamente simples do ponto de vista de implementação.

Este tipo de técnica de modulação é aplicada em cenários de telecomunicações onde a entrega de dados no receptor é mais importante que a qualidade dos dados.

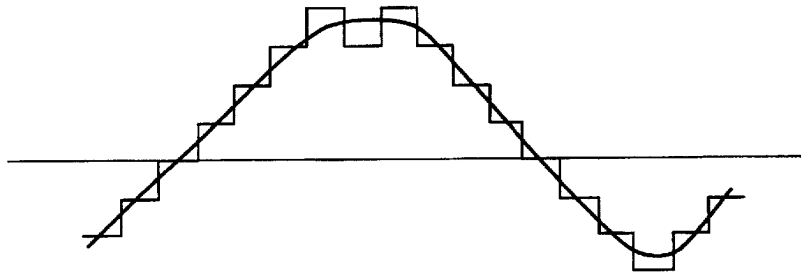


Figura 1 - Exemplo de modulação Delta.

3.1.1 Ruído granular e distorção de inclinação de sobrecarga

O ruído granular na modulação Delta ocorre quando um sinal analógico constante deve ser digitalizado. Mesmo sem variação do sinal, o modulador indica se a amostra é inferior ou superior à anterior, criando uma onda quadrada digital.

A distorção de inclinação de sobrecarga ocorre quando o sinal analógico varia de maneira extremamente brusca, de forma que o modulador não consiga acompanhar tal variação. Esse fenômeno pode ser evitado se:

$$\frac{\delta}{T_S} = \max \left[\frac{\partial m(t)}{\partial t} \right] \quad (1)$$

onde δ é o nível do passo do modulador, T_S é o período de símbolo e $m(t)$ é o sinal analógico a ser modulado.

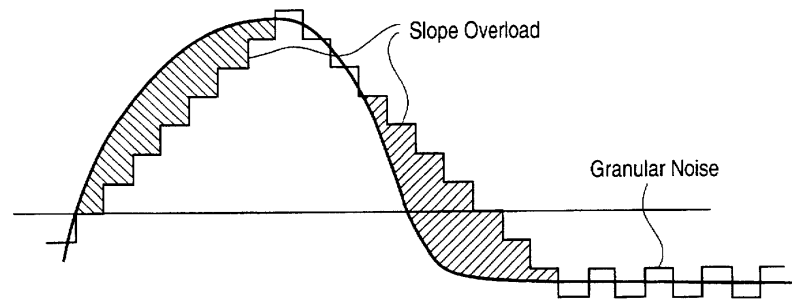


Figura 2 - Exemplo de erros de quantização de ruído granular e distorção de inclinação de sobrecarga para modulação Delta.

3.2 Diagrama de olho

O diagrama de olho, construído no domínio do tempo, permite avaliar o desempenho de um sistema digital através da sobreposição de sinais e visualização da distorção na forma do sinal transmitido.

Com esse recurso é possível obter informações sobre distorção de amplitude, *jitter*, interferência intersimbólica, período de amostragem e largura de banda do sinal.

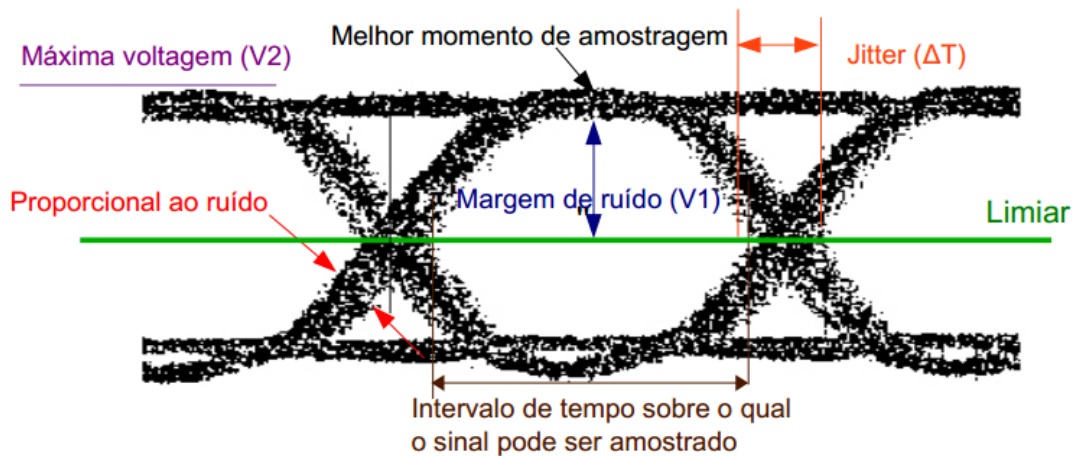


Figura 3 - Diagrama de olho e possíveis parâmetros de avaliação.

3.3 Demodulação de sinais digitais em banda passante

A demodulação de sinais digitais em banda passante é, essencialmente, igual a demodulação de sinais digitais em banda base, sendo diferenciado pela portadora que carrega o sinal para altas frequências.

Uma detecção dita coerente necessita da portadora para a demodulação do sinal, que pode ser oriunda do próprio sinal enviado, através de sincronização, ou a partir de um sinal produzido internamente ao demodulador, em fase e em frequência com a portadora da modulação. Já a detecção dita não coerente não necessita da portadora, utilizando-se de diferentes tipos de modulação e demodulação para obtenção do sinal em banda base.

Neste momento, foi utilizado um receptor de correlação ótimo para sinais em banda passante, sendo avaliados sinais simétricos, ou seja, antipodais, com valor de *offset* zero, e sinais assimétricos, com acréscimo de uma tensão DC ao sinal digital.

3.4 Canal AWGN

Ruído gaussiano branco aditivo - AWGN - é o ruído aleatório caracterizado por uma faixa de frequência ampla com relação a um sinal em um canal de comunicação. O ruído branco gaussiano é um ruído simultaneamente branco (aquele em que não há uma correlação com o tempo) e gaussiano combinando as características de ambos.

Um ruído AWGN é caracterizado por suas atribuições estatísticas, tendo como valor de potência o valor da variância associada.

$$\mathbb{E}[x^2] - (\mathbb{E}[x])^2 = \sigma^2. \quad (2)$$

4 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Nesta seção serão descritos os materiais e os métodos utilizados nos experimentos.

4.1 MATERIAIS

Os componentes utilizados durante o experimento foram blocos funcionais presentes no software *SIMULINK*, sendo este parte integrante do software *MATLAB*. O intuito desta ferramenta é a modelagem, simulação e análise de diagramas voltados à área de redes de telecomunicações.

4.2 MÉTODOS

Foram realizadas análises de três sistemas: modulação Delta, diagrama de olho e demodulação em banda passante.

4.2.1 Simulação de modulação Delta

Primeiramente foi simulado um sistema utilizando modulação Delta. O circuito é visto na figura abaixo.

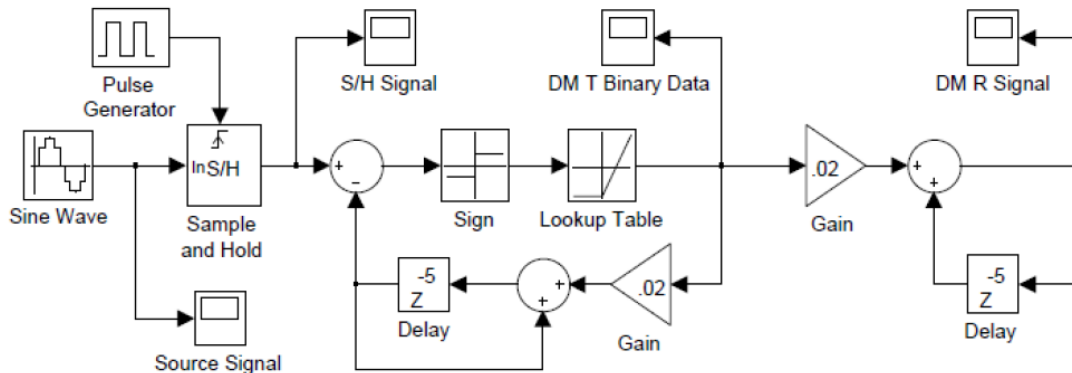


Figura 4 - Circuito completo.

Inicialmente foi simulado o sistema para obtenção do atraso, sendo verificadas as formas de onda nos quatro pontos mostrados, principalmente nos pontos *Source Signal* e *DM R Signal*, onde são vistos o sinal analógico e digitalizado, respectivamente.

Em seguida foram vistos as formas de onda desejadas para três circuitos específicos, todos com modulação Delta: erro de quantização, distorção de inclinação de sobrecarga e ruído granular. Os circuitos são mostrados abaixo.

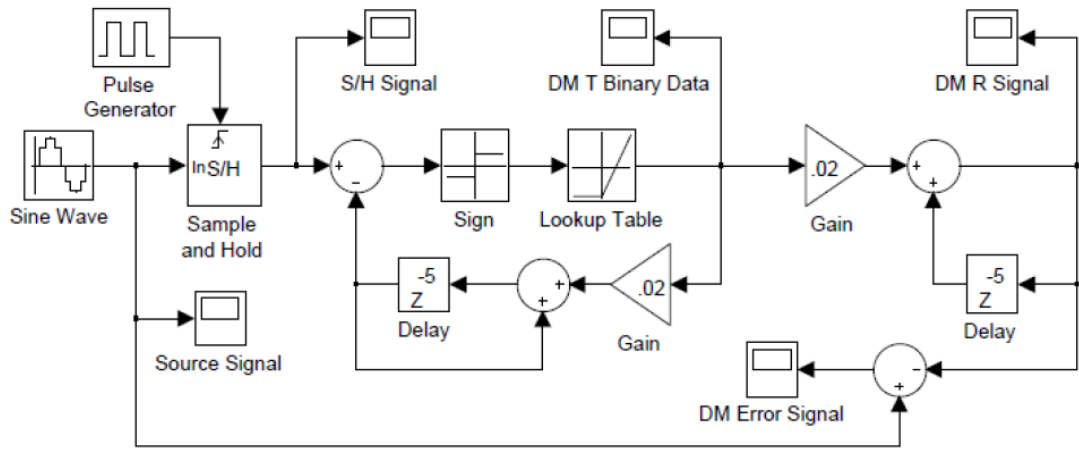


Figura 5 - Circuito para verificação do erro de quantização em modulação Delta.

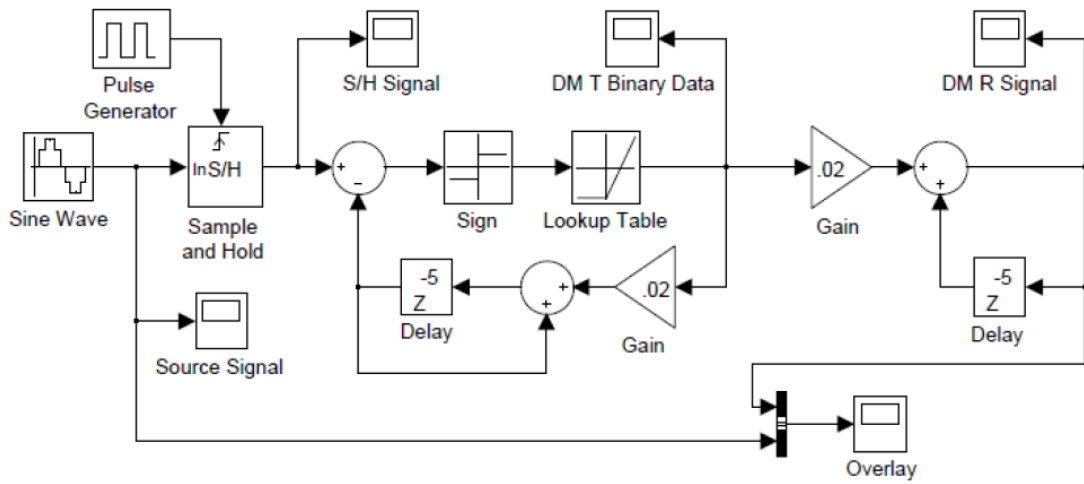


Figura 6 - Circuito para verificação da distorção de inclinação de sobrecarga em modulação Delta.

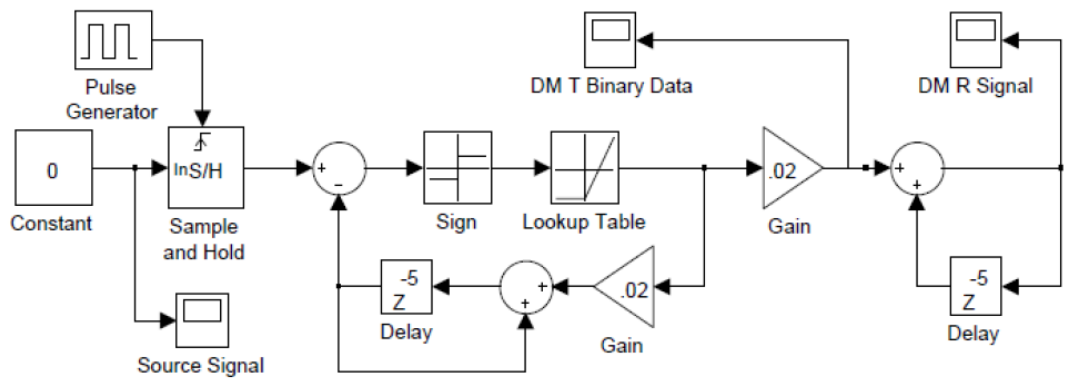


Figura 7 - Circuito para verificação do ruído granular em modulação Delta.

Foram avaliadas as formas de onda em todos os pontos mostrados nas figuras 5, 6 e 7, observando os efeitos já mencionados.

4.2.2 Simulação do diagrama de olho

Neste momento foi feita simulação para obtenção do diagrama de olho de um sistema de comunicação digital. O bloco para a simulação é visto abaixo.

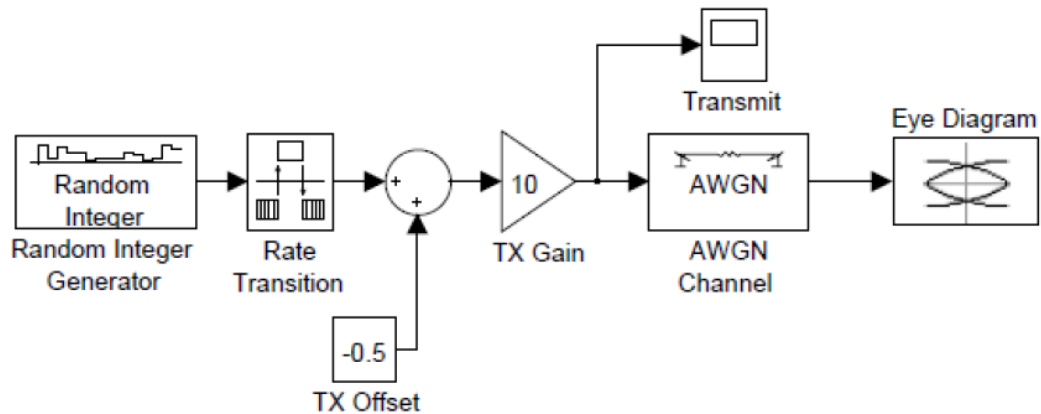


Figura 8 - Circuito completo.

Foi feita a simulação para obtenção do diagrama de olho de um sinal binário polar, para diferentes valores de ruído, indicados pela sua variância, ou seja, sua potência: 0 [V^2], 0,5 [V^2] e 6 [V^2].

Em seguida foi simulado um circuito para verificação de alguns parâmetros visualizados pelo diagrama de olho: redução da largura de banda, *jitter* e redução da largura de banda e *jitter*, simultaneamente. O circuito é visto abaixo.

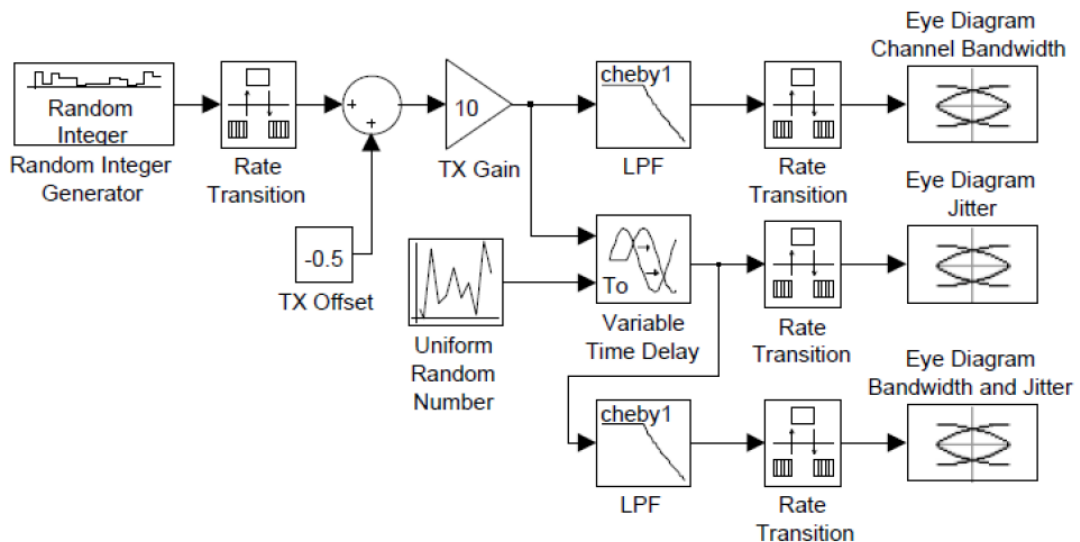


Figura 9 - Circuito para verificação da redução da largura de banda, *jitter* e redução da largura de banda e *jitter*.

A última coluna de blocos, à direita, são os três blocos responsáveis pela análise dos parâmetros mencionados. Foram feitas simulações para *jitter* de 50 [%] e 7,5 [%].

4.2.3 Simulação do receptor em banda passante

Por fim, foi realizada a simulação de um receptor de sinais digitais em banda passante. Foram considerados dois casos, sinais digitais simétricos e assimétricos. Os circuitos são vistos nas figuras abaixo.

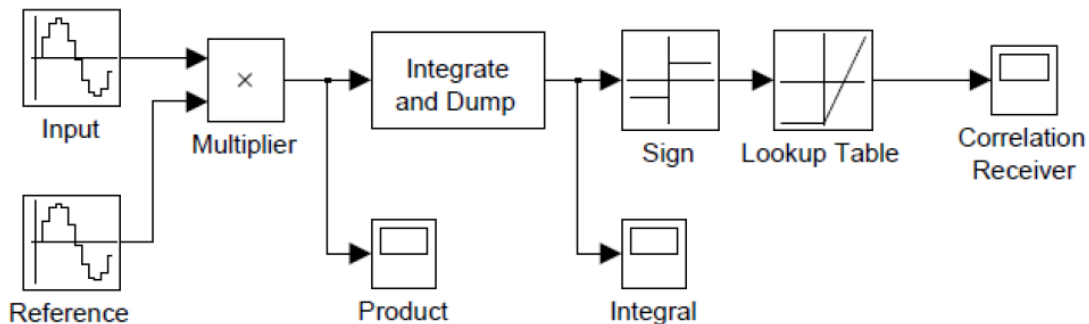


Figura 10 - Circuito para recepção de sinais digitais simétricos em banda passante.

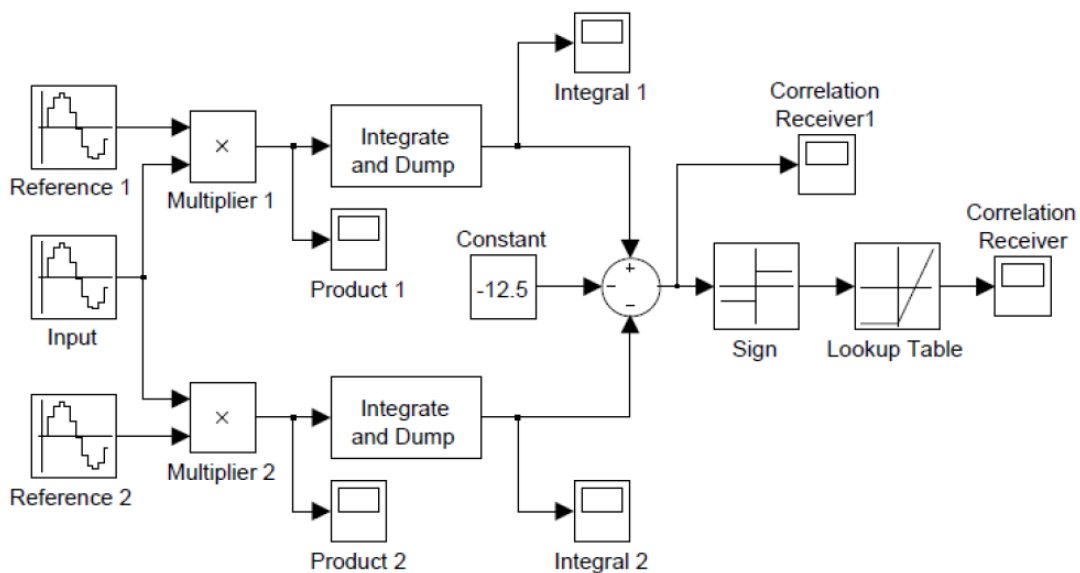


Figura 11 - Circuito para recepção de sinais digitais assimétricos em banda passante.

Novamente, foram avaliadas as formas de onda nos pontos indicados nas figuras 10 e 11, sendo feitas as devidas considerações.

Os resultados e consequentes observações são descritas nas seções subsequentes.

5 RESULTADOS E ANÁLISE DE DADOS

Nesta seção serão apresentados e discutidos os resultados obtidos pelas simulações realizadas.

5.1 Modulação Delta

5.1.1 Gráficos

Seguem os gráficos dos pontos pedidos.

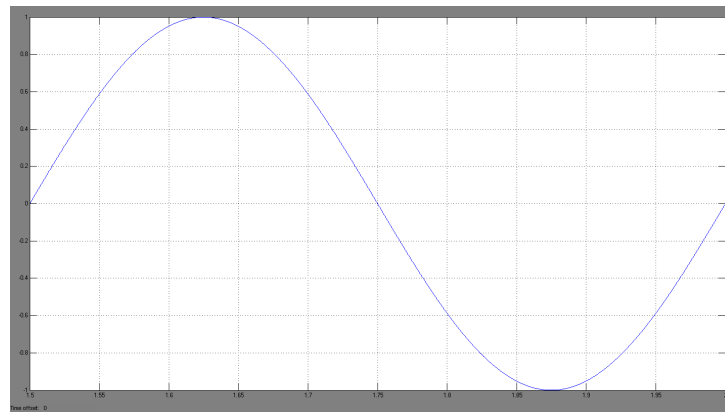


Figura 12 - Ponto Source Signal.

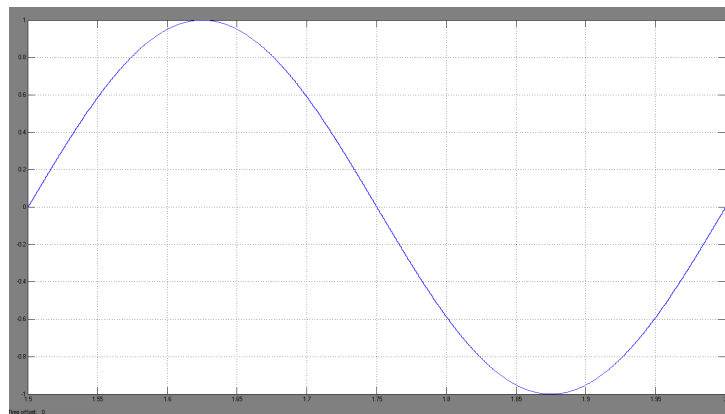


Figura 13 - Ponto S/H Signal.

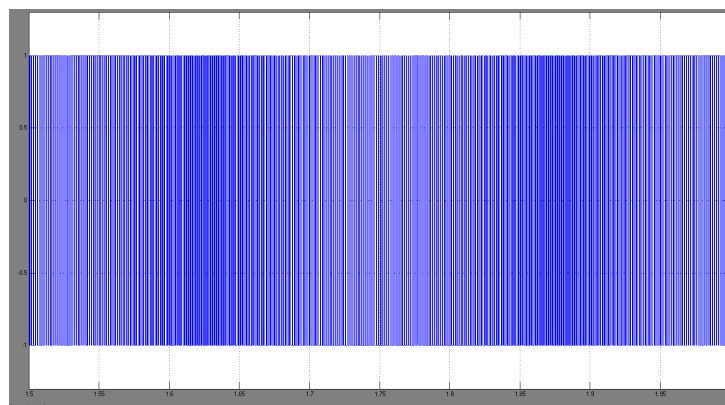


Figura 14 - Ponto DM T Binary Data.

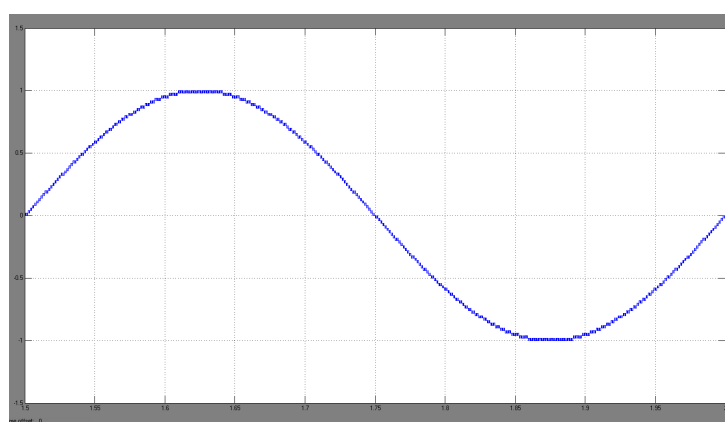


Figura 15 - Ponto DM R Signal.

5.1.2 Atraso do Sinal

Pela análise dos sinal transmitido na figura 12 e na figura 15 vemos que não há atraso em relação aos sinais.

5.2 Modulação Delta: Erro de Quantização

5.2.1 Gráficos

Os gráficos nos pontos *Source Signal*, *S/H Signal*, *DM T Binary Data* e *DM R Signal* são iguais aos mostrados na seção anterior. O único gráfico diferente é o no ponto *DM Error Signal*.

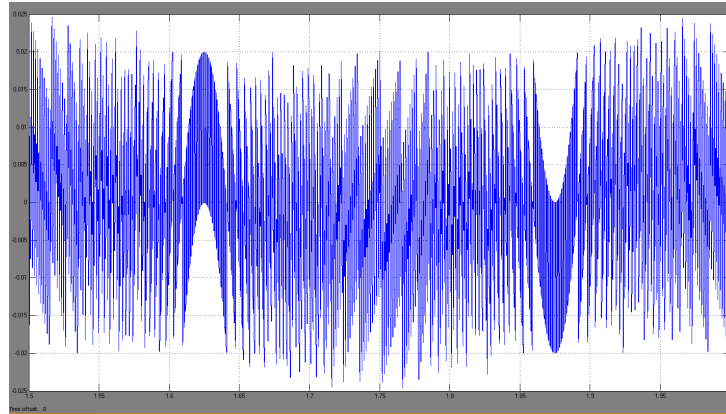


Figura 16 - Ponto DM Error Signal.

5.3 Modulação Delta: Distorção de Inclinação de Sobrecarga

5.3.1 Gráficos

Os gráficos nos pontos *Source Signal*, *S/H Signal*, *DM T Binary Data* e *DM R Signal* são iguais aos mostrados na seção anterior. O único gráfico diferente é o no ponto *Overlay*.

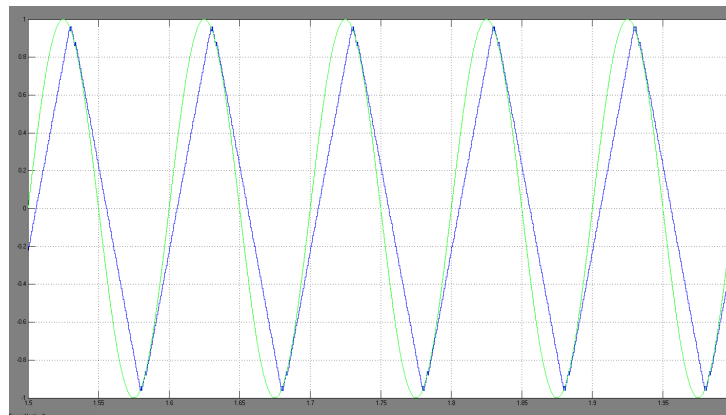


Figura 17 - Ponto Overlay.

5.4 Modulação Delta: Ruído Granular

5.4.1 Gráficos

Seguem os gráficos nos pontos indicados.

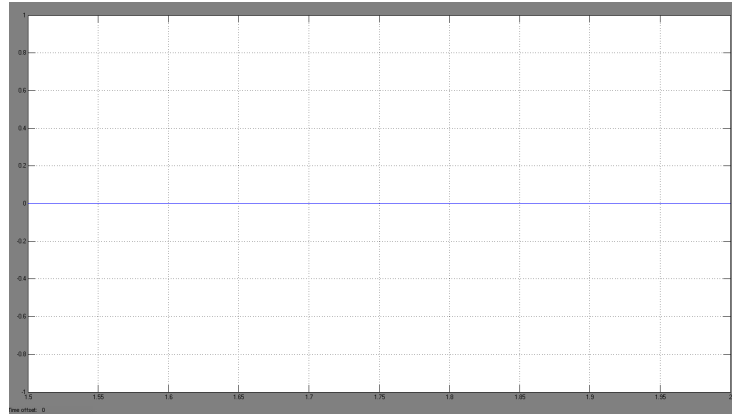


Figura 18 - Ponto Source Signal.

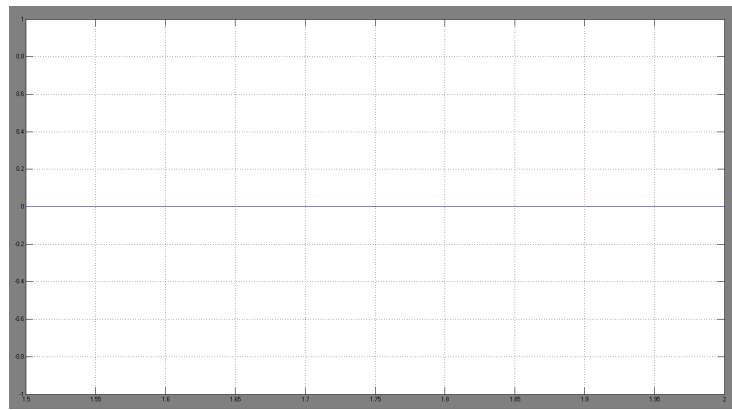


Figura 19 - Ponto S/H Signal.

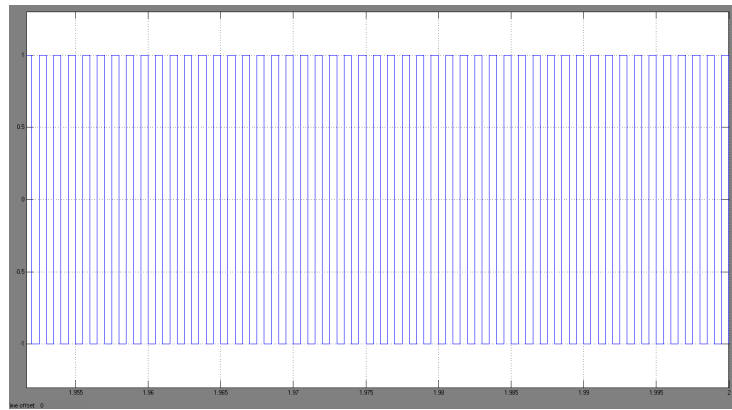


Figura 20 - Ponto DM T Binary Data.

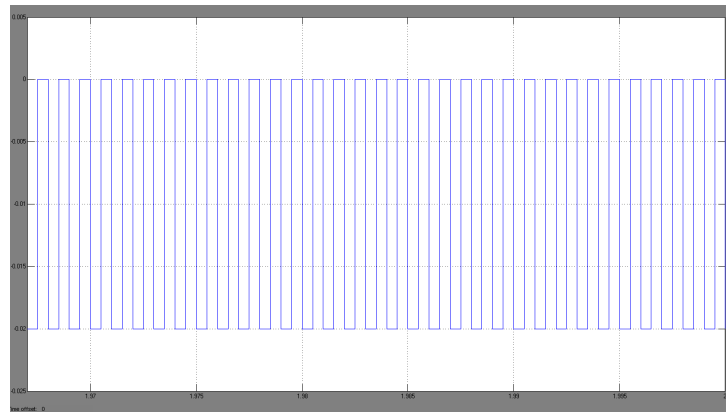


Figura 21 - Ponto DM R Signal.

5.5 Simulação do Diagrama de Olho

5.5.1 Simulação com Variância 0

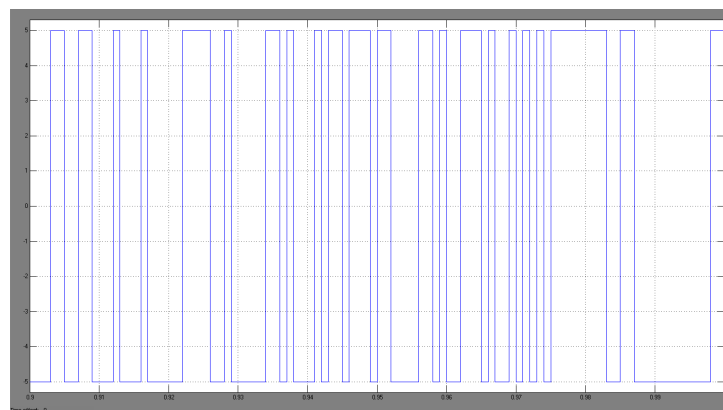


Figura 22 - Ponto Transmit.

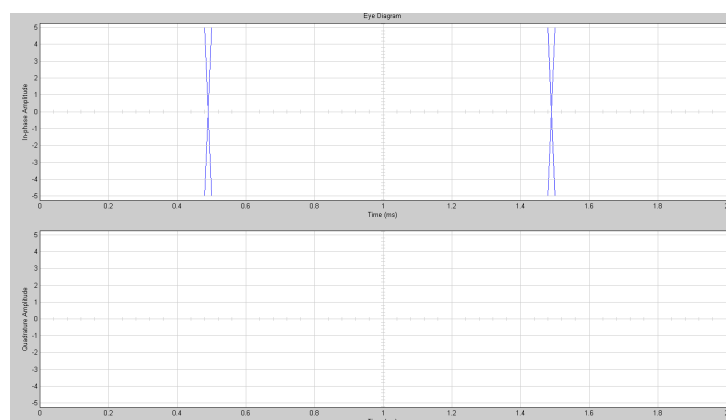


Figura 23 - Ponto Eye Diagram.

5.5.2 Simulação com Variância 0.5

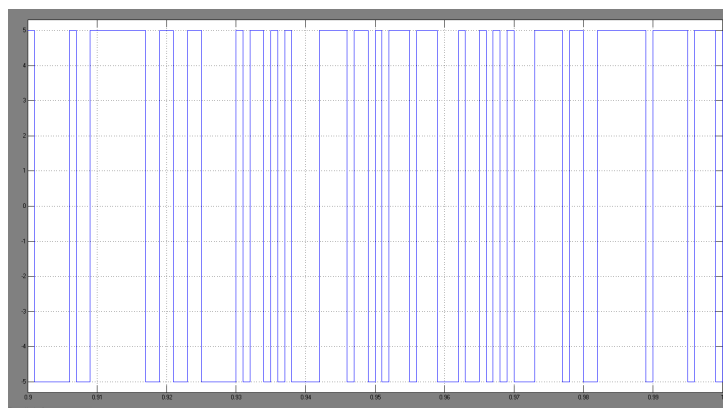


Figura 24 - Ponto Transmit.

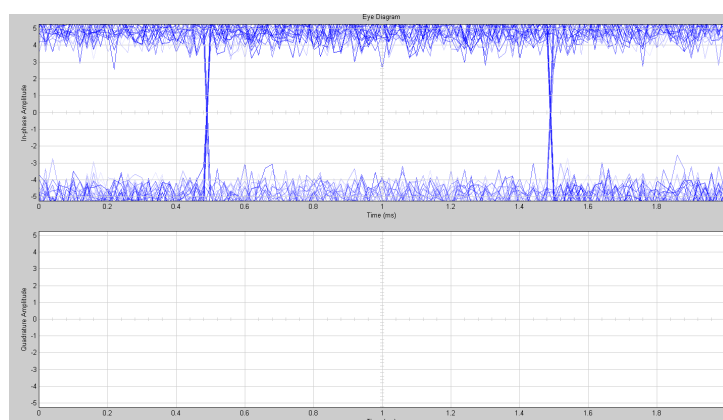


Figura 25 - Ponto Eye Diagram.

5.5.3 Simulação com Variância 6

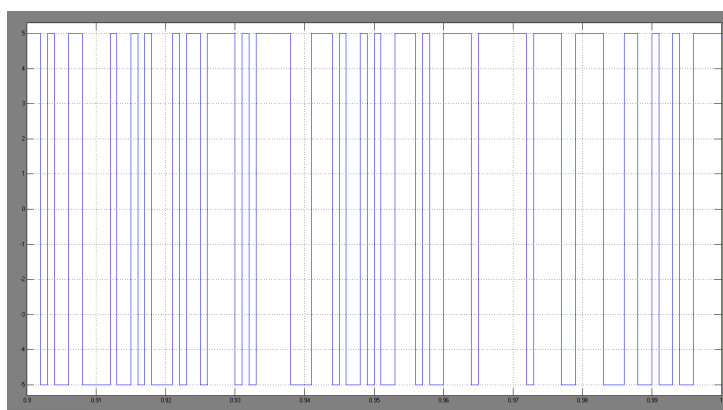


Figura 26 - Ponto Transmit.

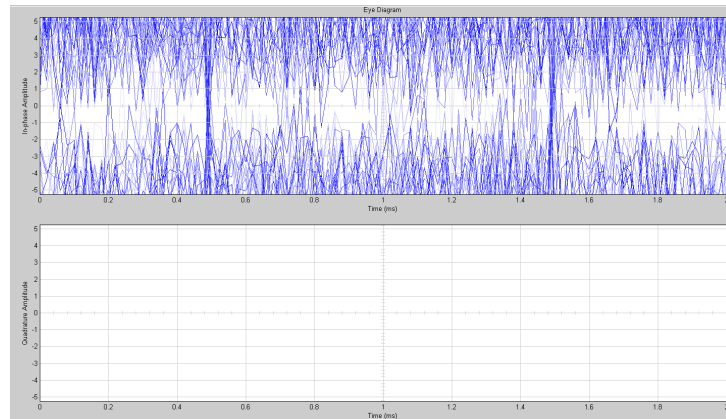


Figura 27 - Ponto Eye Diagram.

5.6 Diagrama de Olho: Redução da Largura de Banda, Jitter e Largura de Banda e Jitter.

5.6.1 Jitter de 50%.

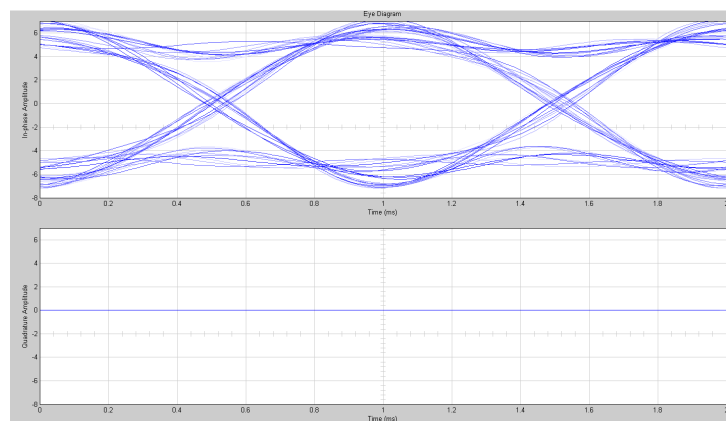


Figura 28 - Ponto Eye Diagram Channel Bandwidth.

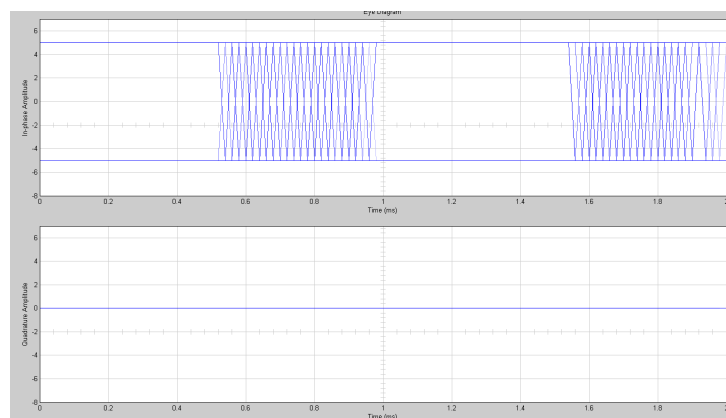


Figura 29 - Ponto Eye Diagram Jitter.

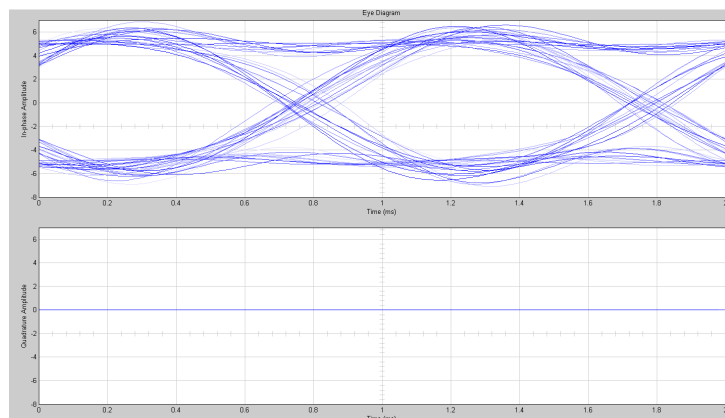


Figura 30 - Ponto Eye Diagram Channel Bandwidth and Jitter.

5.6.2 Jitter de 7.5%

Reduzindo o parâmetro *Maximum* no *Uniform Random Number*, reduz-se o *Jitter* para 7.5%.

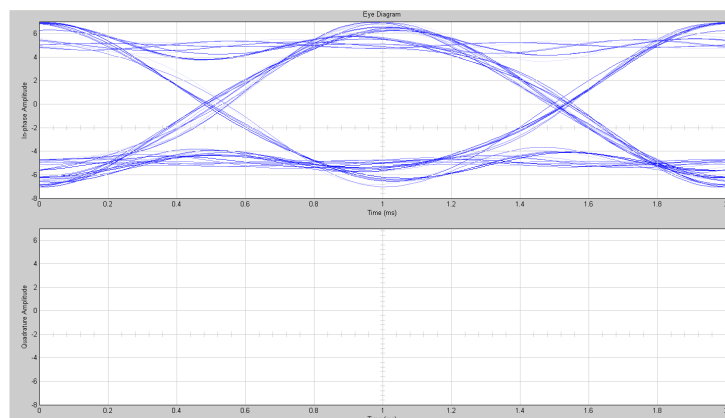


Figura 31 - Ponto Eye Diagram Channel Bandwidth.

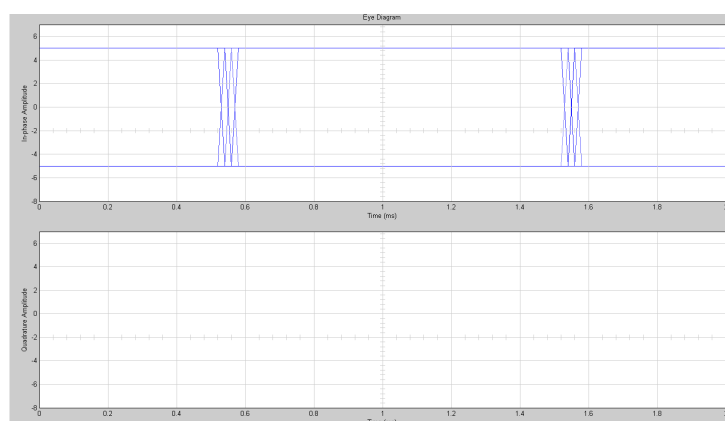


Figura 32 - Ponto Eye Diagram Jitter.

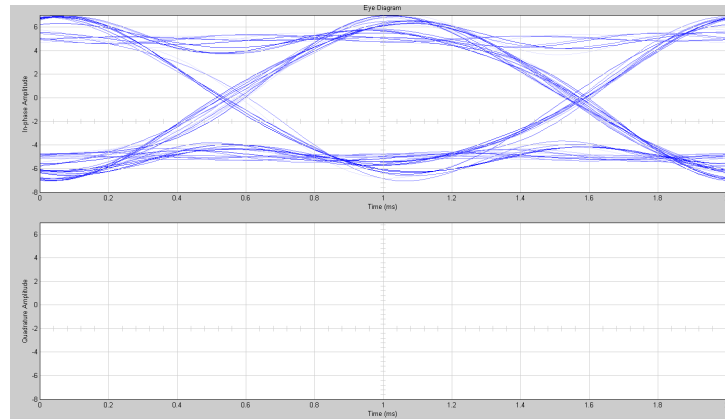


Figura 33 - Ponto Eye Diagram Channel Bandwidth and Jitter.

5.7 Receptor de Correlação para Sinais Simétricos em Banda Passante

5.7.1 Gráficos

Seguem os gráficos nos pontos indicados.

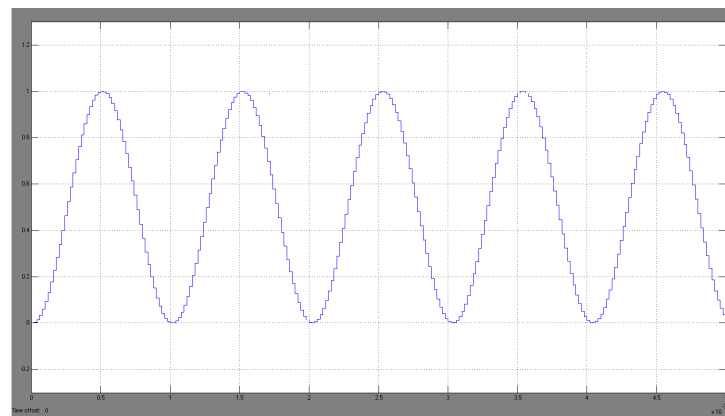


Figura 34 - Ponto Product.

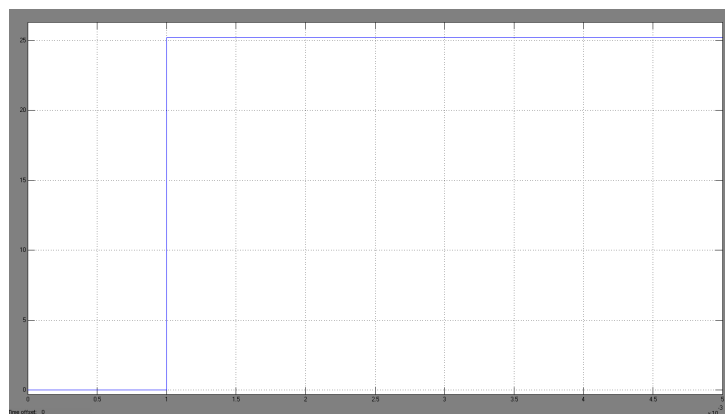


Figura 35 - Ponto Integral.

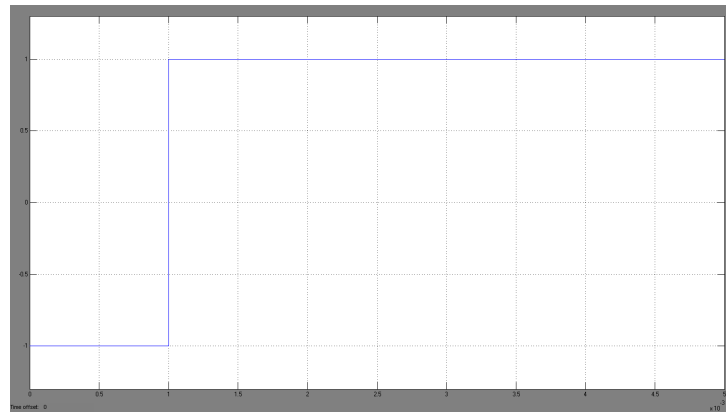


Figura 36 - Ponto Correlation Receiver.

5.8 Receptor de Correlação para Sinais Assimétricos em Banda Passante

5.8.1 Gráficos

Seguem os gráficos nos pontos indicados.

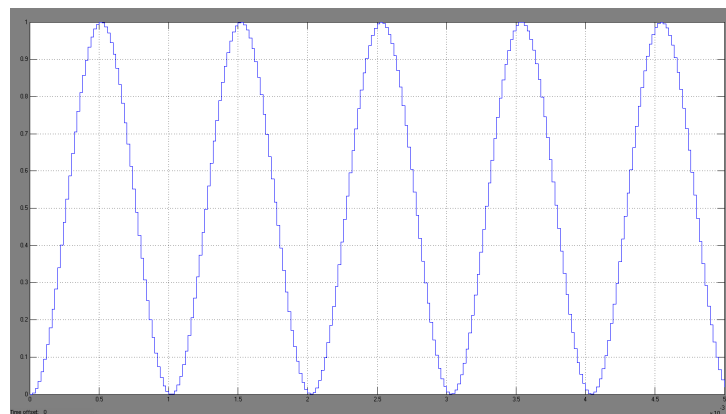


Figura 37 - Ponto Product1.

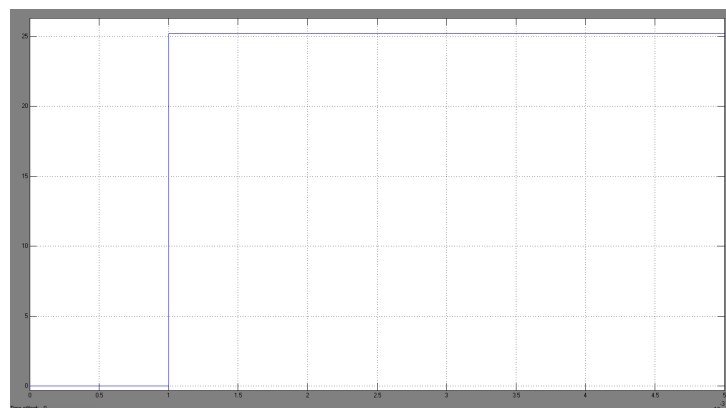


Figura 38 - Ponto Integral1.

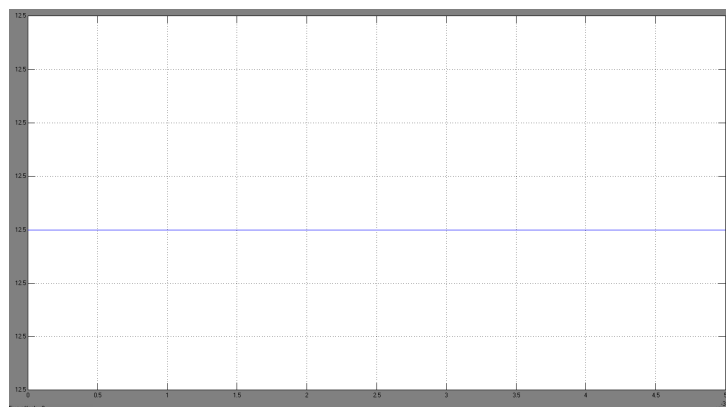


Figura 39 - Ponto Correlation Receiver1.

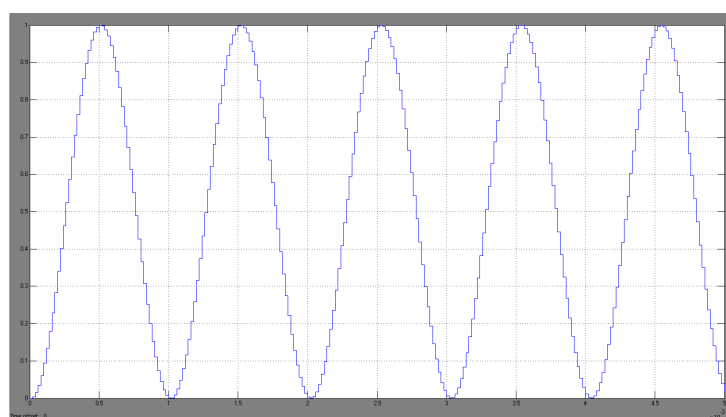


Figura 40 - Ponto Product1.

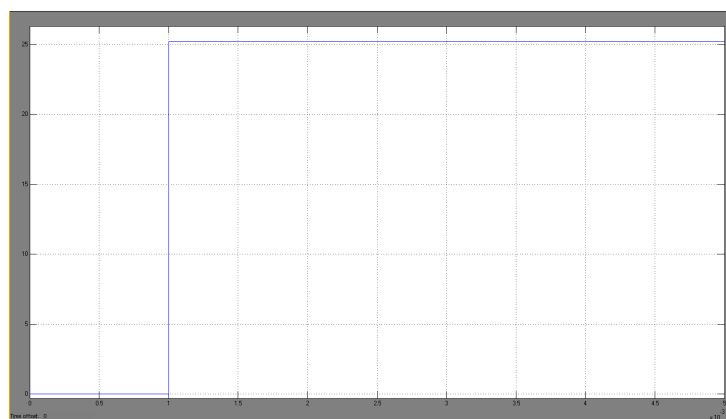


Figura 41 - Ponto Integral2.

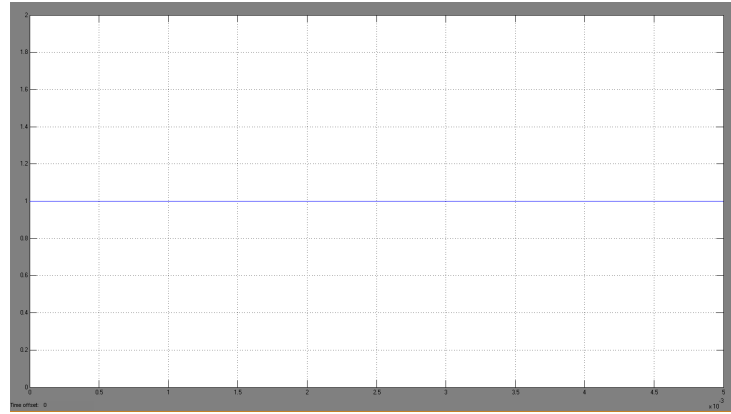


Figura 42 - Ponto Correlation Receiver.

6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Com relação a modulação Delta, dada a necessidade de coerência entre os sinais no emissor e no receptor, a comparação não é realizada sobre o sinal original, mas sobre o sinal de saída quantificado, o único existente no receptor.

Uma das suas limitações é que para ser efetiva, a modulação Delta geralmente requer uma taxa de amostragem bem superior a frequência de *Nyquist*, da ordem de 5 vezes a taxa mínima, e que o sinal a emitir evolua lentamente. Este fato pode ser comprovado quando avaliou-se a taxa de distorção do sinal, onde aumentou-se a frequência do sinal de entrada e verificou-se que o sinal quantizado não era semelhante ao sinal de entrada, tendo em vista que o sinal de entrada mudava de valores muito rapidamente e o circuito não era capaz de reproduzir tais variações no sinal quantizado.

Outro tipo de limitação para este tipo de modulação é com relação ao erro de quantização. Para os sinais quantizados existem níveis pré definidos de valores, e dessa forma o sinal de entrada amostrado precisa se adequar em algum destes valores pré definidos de forma que o valor do sinal é arredondado para um destes valores. Este arredondamento do sinal gera uma pequena distorção no sinal. Para sinais de entrada periódicos este erro também é periódico, como pode ser visto.

Com relação ao diagrama de olho, podemos facilmente analisar um canal de comunicação em relação a potência de ruído presente neste canal. Quanto ‘mais fechado’ estiver a abertura de olho do canal, maior a potência do ruído presente neste canal.

A taxa na qual o olho se fecha, quando o instante de amostragem varia, isto é, proporcional à inclinação dos lados do diagrama de olho, determina a sensibilidade do sistema a erros de temporização. A probabilidade de ocorrência deste tipo de erro aumenta à medida que a inclinação torna-se mais acentuada. Tal fato pôde ser comprovado quando analisou-se a sensibilidade do sistema às 3 potências de ruído. Quanto maior a variância do ruído, mais fechado estava o ‘olho’ do canal.

Com relação aos receptores de correlação verificou-se que estes funcionaram como esperado. Após um intervalo de 50 amostras, ou 1 [ms], o sinal no ponto receptor de correlação assumia o valor de 1, mostrando que o circuito era capaz de identificar o sinal de entrada. Este procedimento foi repedido para os caso simétricos e assimétricos. No caso assimétrico o circuito apresentou o mesmo funcionamento, após 50 amostras do circuito era capaz de identificar o sinal de entrada.

Referências

- [1] J. L. Jacob, *Notas de aula - Redes de Telecomunicações*. 2014.
- [2] T. Abrão, *Notas de aula - Processamento de sinais*. 2009.
- [3] T. Abrão, *Notas de aula - Princípios de Comunicação*. 2002.