

# Representador de Forma de Onda PCM (*Pulse Code Modulation*) - *Delay Modulation*

Arivanilton dos Santos Araujo Júnior e Rodolfo Bolconte Donato

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba

Campus Campina Grande

E-mail: arivanilton.junior@academico.ifpb.edu.br e rodolfobolconte@ieee.org

**Resumo**—No presente artigo encontra-se o desenvolvimento de um representador de formas de onda *PCM* (Modulação por Código de Pulso), apresentando o conceito deste tipo de modulação e também uma das formas de Codificação em Fase, a *Delay Modulation* ou Codificação de Miller. O representador foi inteiramente desenvolvido em *Python* e não se limita apenas a forma de onda *Delay Modulation*, abrangendo também as demais formas de onda *PCM* de acordo com suas quatro categorias.

**Index Terms**—*PCM, Delay Modulation, Miller's Codification.*

## I. DEFININDO A MODULAÇÃO POR CÓDIGO DE PULSO

Uma grande parte dos sinais de informações que são processados em uma rede de telecomunicações são sinais analógicos, tal como por exemplo o sinal produzido pelo microfone do aparelho telefônico. Para realizar o processamento digital destes sinais, é necessário convertê-los para um formato digital. [1]

A técnica mais conhecida e utilizada para realizar a conversão de um sinal analógico em digital é a modulação por código de pulso, abreviadamente como *PCM* (*Pulse Code Modulation*). A técnica *PCM* foi patenteada, em 1939, por Alec Reeves, quando era engenheiro da *International Telephone & Telegraph* na França. [1]

A modulação *PCM* consiste basicamente de três operações separadas: amostragem, quantização e codificação. Na técnica *PCM*, a informação analógica é inicialmente medida em intervalos regulares de tempo; em seguida, os valores obtidos são aproximados para um dos níveis de referência estabelecidos, e finalmente o valor aproximado é codificado em uma sequência de bits (pulsos). [1]

Existem diversos modos de medir a amplitude das amostras, dando origem a diversas formas de modulação por pulso:

- Na Modulação por Amplitude de Pulso (*PAM*), o sinal de informação é regularmente amostrado em determinados

intervalos de tempo, e o valor das amostras é transmitido através de pulsos cuja amplitude é proporcional ao valor do sinal de informação no instante de amostragem;

- A amplitude da amostra pode ser também convertida em uma variação da largura de um pulso, resultando na Modulação por Largura de Pulso (*PWM*);
- Pode ser definida também através da variação da posição do pulso no tempo, resultando na Modulação por Posição de Pulso (*PPM*).

Nas modulações *PAM*, *PWM* e *PPM*, a informação contida nos pulsos na forma de amplitude, largura ou posição do pulso é diretamente afetada pelo ruído introduzido no sinal quando este é transmitido, sendo que nestes casos não se pode remover o ruído através da regeneração do sinal. [1]

Na técnica de Modulação por Código de Pulso (*PCM*), a amplitude de cada amostra de sinal é representada por um código de vários bits, sendo cada bit transmitido através de um pulso. Como cada amostra precisa ser transmitida através de vários pulsos, os mesmos precisam ter sua largura reduzida, aumentando consequentemente a banda passante de canal necessária. No *PCM*, as deformações na largura e amplitude do pulso passam a ser irrelevantes desde que se possa distinguir claramente a presença e ausência de um pulso. O ruído introduzido durante a transmissão do sinal não é cumulativo, pois ele pode ser removido através de um processo chamado de regeneração, de modo que a qualidade do sinal *PCM* depende somente do processo de geração do sinal, e não do meio onde o sinal é transmitido. Vale ressaltar que pelo fato de o *PCM* ser um sinal digital, a informação contida na "palavra" *PCM* não sofre atenuação. [1]

## II. MODULAÇÃO POR CÓDIGO DE PULSO - *Delay Modulation*

Esta codificação, também conhecida como Codificação de Miller, tem como objetivo manter uma sincronização facilitada sem aumentar a largura de banda, sendo aplicada em modems digitais para adequar o sinal à transmissão em linhas físicas e também é muito utilizada em transmissões de rádio. [2]

Ocorre da seguinte forma: para o bit '1' realiza-se uma transição no meio do intervalo significativo do bit, para o bit '0' realiza-se uma transição no fim do intervalo significativo do bit, se o próximo bit for '0'; se o próximo bit for '1', nenhuma transição é realizada no final do seu intervalo significativo. Observa-se que ocorre uma transição no centro do bit, quando ele for '1', e uma transição entre dois bits '0' consecutivos. [2]

O código Miller também é naturalmente diferencial, imune a inversões de polaridade, pois os bits da mensagem são naturalmente codificados em termos de transições, e não em termos de níveis absolutos.

### III. IMPLEMENTAÇÃO DO *PCM - Delay Modulation*

O representador de forma de onda PCM foi desenvolvido inteiramente em Python, versão 3, em que foram utilizadas as seguintes bibliotecas: Tkinter (criação de interfaces gráficas), Functools (manipulação de funções), Matplotlib (desenvolvimento de gráficos) e Numpy (cálculos científicos).

Apesar do presente trabalho abordar somente a forma de onda *PCM - Delay Modulation*, no representador foram colocados outros tipos de PCM de acordo com suas categorias:

- NRZ: NRZ-L, NRZ-M e NRZ-S;
- RZ: Unipolar RZ, Bipolar RZ, RZ-AMI;
- Codificação em Fase: Bi Phase L, Bi Phase M e Bi Phase S;
- Multi-Nível Binário: Dicode NRZ e Dicode RZ.

A interface do representador é simples e de fácil interpretação (Figura 1), no canto superior esquerdo se encontra o menu, com uma caixa de entrada de valores (local para entrar com a sequência de bits a serem convertidos) e embaixo da mesma estão todas as opções de forma de onda PCM do representador, só escolher uma que em seguida - se a sequência de bits for válida - um gráfico com a forma de onda será apresentado do lado direito do menu.

Para a representação gráfica de formas de ondas quadradas, não foi encontrada nenhuma forma destinada somente a este tipo nas bibliotecas gráficas de Python, por este motivo foi aproveitado a função *plot()* da biblioteca Matplotlib que cria

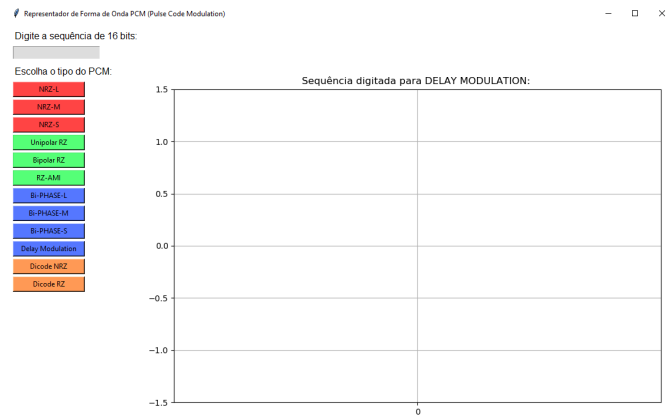


Figura 1: Interface inicial do representador de Forma de Onda PCM desenvolvido.

um gráfico de marcadores e linhas. Foi utilizado um conceito de taxa de amostragem para cada bit da sequência a ser representada, recebendo 20 amostras (marcadores) cada bit, sendo esta a quantidade mínima encontrada para uma melhor representação da onda quadrada nas telas dos computadores.

Na Figura 2 é possível ver o gráfico criado com a forma de onda PCM - Delay Modulation para a sequência de 16 bits: 1101000110111001.

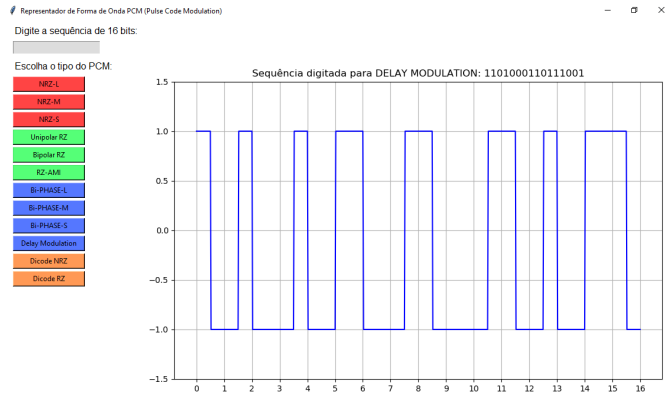


Figura 2: Forma de Onda PCM Delay Modulation para a Sequência de 16 bits inserida.

Todo o código-fonte do representador pode ser encontrado e estudado no GitHub, através do endereço [https://github.com/rodolfobolconte/representador\\_pcm](https://github.com/rodolfobolconte/representador_pcm).

### REFERÊNCIAS

- [1] E. UNED/SJ, "Curso de Telefonia Digital."
- [2] J. R. Orlando Júnior, Hugo Vinagre, "Codificação e Modulação."