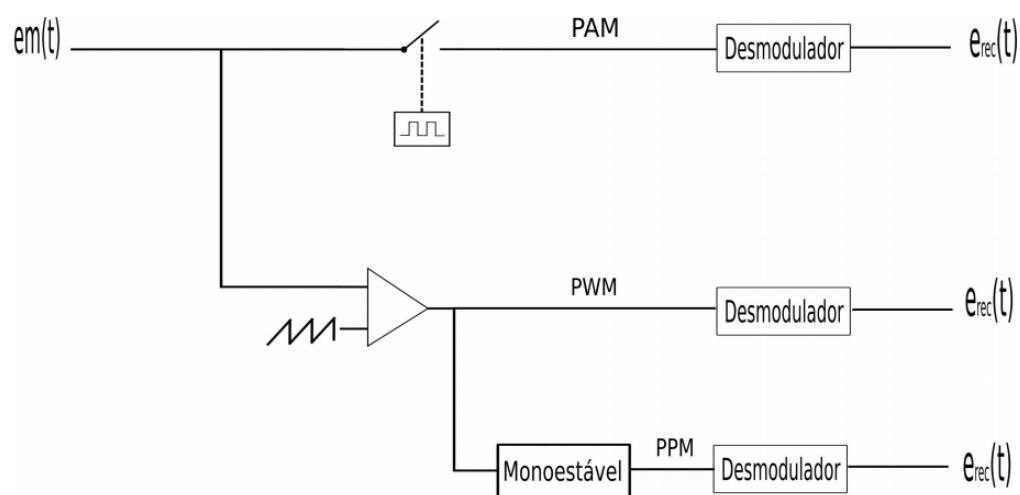


MODULAÇÃO

PAM, PWM E PPM

Relatório



Eduardo Alves Fonseca Queirós

Aluno nº 22653

Guilherme Rodrigues Luís Bastos Müller

Aluno nº 68850

ÍNDICE

Definição do problema 1

Os sinais a utilizar deverão ter as seguintes características: 2

Portadora:	2
Sinal de informação:	2

Introdução 3

Sistema de Comunicação 3

Tipos de Sinais	3
Sinal Analógico	4
Sinal Digital.....	4
Sinal Periódico e Sinal Aperiódico	4
Sinais em Sistemas de Comunicação	5

Modulação de Sinal 5

Necessidade de modulação.....	5
Vantagens da Modulação.....	6

Tipos de Modulação 6

Modulação em Onda Continua.....	6
Modulação por Pulso.....	7

Comunicação Analógica Modulação de Pulso 8

Modulação por amplitude de pulso - PAM.....	8
Modulação por largura o pulso - PWM	9
Modulação por posição do pulso - PPM	10
Comparação entre PAM, PWM e PPM	12

Montagem do Sistema 13

Dados iniciais do Sistema 13

Sinal de Informação 13

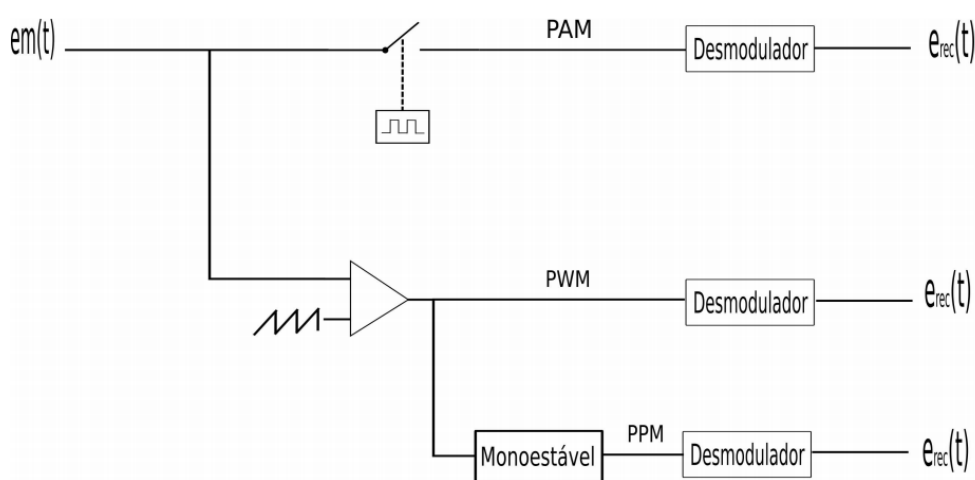
Cálculo das Resistências.....	14
Simulação LTspice.....	15

PAM Modulação por amplitude de pulso 16

Analisando a Datasheet do NE555	16
Simulação LTspice	17
Interruptor Analógico 18	
Analisando a Datasheet do ADG1611	18
Simulação LTspice	19
PAM desModulação por amplitude de pulso 21	
Cálculos passa banda	21
Cálculos Passa-baixo com amplificador	21
PWM Modulação por LARGURA de pulso 23	
Simulação LTspice	25
PWM desModulação por Largura de pulso 27	
Cálculos passa banda	27
Cálculos Passa-baixo com amplificador	27
Simulação LTspice	28
PPM Modulação por Posição Do pulso 29	
Simulação LTspice	30

DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Pretende-se implementem um sistema capaz de modular/desmodular sinais utilizando PAM, PWM, como é ilustrado na figura:



- O sinal PAM deverá ser obtido pelo chaveamento do sinal modulante, utilizando por exemplo um interruptor analógico - HEF4066;
- O sinal PWM deverá ser obtido utilizando um comparador de tensão (por ex. LM311). O sinal de informação é comparado com um sinal triangular.
- O Sinal PPM deverá ser obtido através de um circuito monoestável (NE555) a partir do sinal PWM

Os alunos deverão registrar o funcionamento dos circuitos, assim como efetuar medições que permitam comparar o desempenho dos diferentes circuitos desmoduladores, para diferentes frequências do sinal modulante e para diferentes valores do índice de modulação.

OS SINAIS A UTILIZAR DEVERÃO TER AS SEGUINTE CARACTERÍSTICAS:

Portadora:

- **Frequência da portadora:** 22653Hz
- **Amplitude da portadora:** 3V

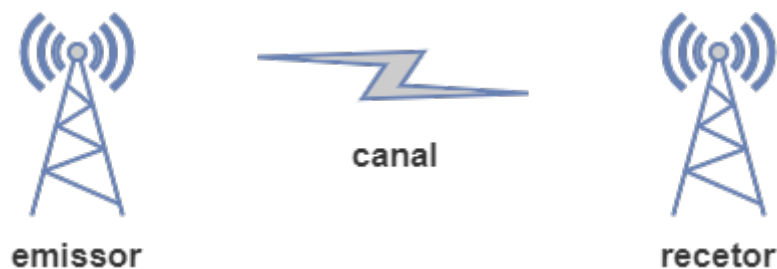
Sinal de informação:

- **Frequência máxima do sinal modulante:** dos 300Hz a 2265.3Hz
- **Amplitude máxima do sinal modulante:** 2V
- **Tipo de sinal:** Sinusoidal

INTRODUÇÃO

SISTEMA DE COMUNICAÇÃO

Qualquer sistema de comunicação é formado por três partes: **emissor**, **canal** e **recetor**



- O **emissor** é a pessoa que envia uma mensagem. Pode ser uma estação de transmissão de onde o sinal é transmitido.
- O **canal** é o meio que os sinais percorrem até chegar ao destino.
- O **recetor** é a pessoa que recebe a mensagem. Pode ser estação de receção onde o sinal transmitido será recuperado.

Tipos de Sinais

Um sinal pode ser visto, como sendo, uma fonte de energia que transmite algumas informações.

Um impulso elétrico ou uma onda eletromagnética que viaja uma distância para transmitir uma mensagem, pode ser chamado de **sinal**.

Dependendo das suas características, os sinais são classificados principalmente em dois tipos: **Analógicos** e **Digitais**.

Sinal Analógico

Pode ser definido como sendo um sinal que varia em uma escala de tempo contínuo. Esse sinal continua a variar em relação ao tempo, de acordo com os valores instantâneos (quantitativos), que o representa.

A comunicação baseada em sinais analógicos e valores analógicos é chamada de **Comunicação Analógica**.

Sinal Digital

Um sinal de natureza discreta pode ser chamado de **Sinal Digital**. Este sinal tem valores individuais, denotados separadamente, que não se baseiam nos valores anteriores, como se fossem derivados naquele instante do tempo.

Os dígitos binários que têm apenas 1s e 0s são denominados de **valores digitais**. Assim, os sinais que representam 1s e 0s também são chamados de **sinais digitais**. A comunicação baseada em sinais digitais e valores digitais é chamada de **Comunicação Digital**.

Sinal Periódico e Sinal Aperiódico

Qualquer sinal analógico ou digital, que repita um padrão ao longo de um período de tempo, é chamado de Sinal Periódico. Este sinal tem padrão que se repete continuamente, sendo assim, fácil de ser assumido ou de ser calculado.

Qualquer sinal analógico ou digital, que não repita o seu padrão num período de tempo é chamado de Sinal Aperiódico. Este sinal tem um padrão contínuo, mas que não se repete. Não sendo assim, tão fácil de ser assumido ou de ser calculado.

Sinais em Sistemas de Comunicação

Em geral, os sinais que são utilizados em sistemas de comunicação são por natureza analógicos, e estes são transmitidos em formato analógico ou convertido em formato digital e depois transmitidos, dependendo da exigência.

Porém, para que um sinal seja transmitido à distância, sem o efeito da interferência externa ou adição de ruído e sem desaparecer, ele deve passar por um processo denominado Modulação.

MODULAÇÃO DE SINAL

Para estabelecer uma comunicação confiável, na transmissão de uma mensagem, o sinal de transporte precisa de ter a ajuda de um sinal de alta frequência que não deve afetar as características originais do sinal de mensagem.

As características do sinal da mensagem, se forem alteradas, a mensagem contida nela também é alterada. Portanto, é preciso ter alguns cuidados com o sinal da mensagem. Um sinal de alta frequência pode viajar até uma distância maior, sem se afetado por distúrbios externos.

Recorremos a ajuda desse sinal de alta frequência, que é chamado de **sinal portador**, para transmitir o nosso sinal de amostragem. Esse processo é designado por **Modulação**.

Modulação é o processo de alteração dos parâmetros do sinal portador, de acordo com os valores instantâneos do sinal modulador.

Necessidade de modulação

Os sinais da banda base são incompatíveis para transmissão direta. Para que o sinal consiga percorrer distâncias mais longas, a sua força tem que ser aumentada modulando-se com uma onda

portadora de alta frequência, o que não afeta os parâmetros do sinal modulador.

Vantagens da Modulação

A antena usada para transmissão, tinha que ser muito grande (caso se use antena como emissor), se a modulação não for introduzida. O alcance da comunicação fica limitado porque a onda não pode viajar para uma dada distância sem que sofra distorção.

Algumas vantagens do uso da modulação:

- *O tamanho da antena é reduzido.*
- *Não ocorre mistura de sinal.*
- *O alcance da comunicação aumenta.*
- *Ocorre multiplexagem de sinais.*
- *São permitidos ajustes na largura de banda.*
- *A qualidade da recepção melhora.*

TIPOS DE MODULAÇÃO

Os tipos de modulação podem ser classificados em modulação de Onda Contínua e Modulação de Pulso

Modulação em Onda Contínua

Na modulação de onda contínua, uma onda senoidal de alta frequência é usada como onda portadora. Sendo dividida em modulação de amplitude e ângulo.

- *Se a amplitude da onda portadora de alta frequência for variada de acordo com a amplitude instantânea do sinal modulante, essa técnica é chamada **de Modulação de Amplitude**.*

- Se o ângulo da onda portadora for variado, de acordo com o valor instantâneo do sinal modulante, essa técnica é chamada de **Modulação Angular**.
 - Se a frequência da onda portadora é variada, de acordo com o valor instantâneo do sinal modulante, essa técnica é chamada de **Modulação em Frequência**.
 - Se a fase da onda portadora de alta frequência é variada de acordo com o valor instantâneo do sinal modulante, essa técnica é chamada de **Modulação de Fase**.

Modulação por Pulso

Na modulação por pulso, uma sequência periódica de pulsos retangulares é usada como onda portadora. Sendo esta dividida em modulação analógica e digital.

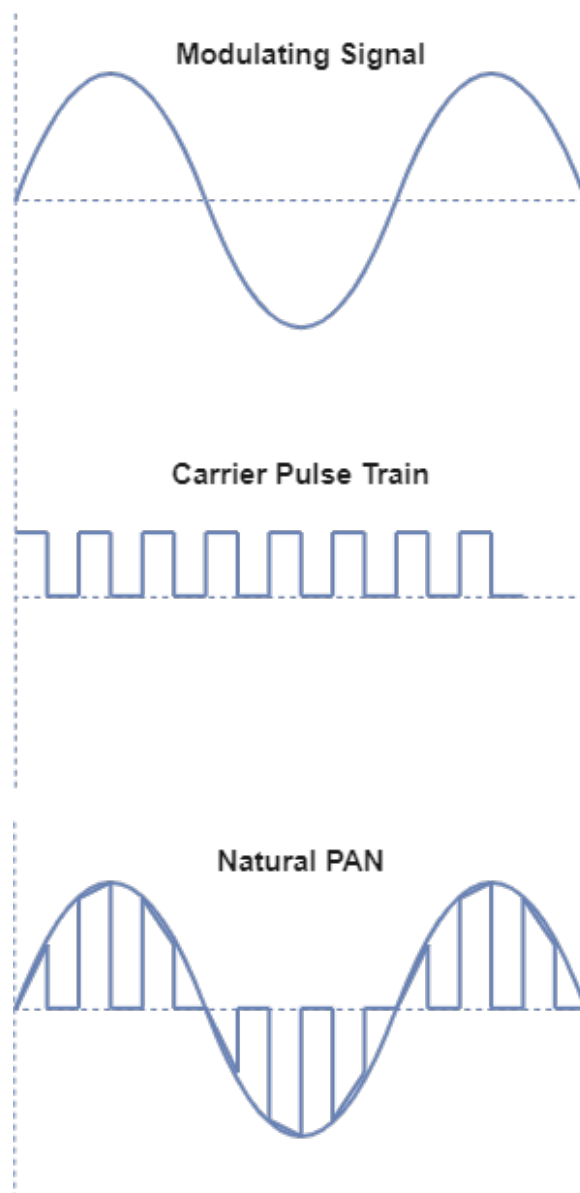
- Na técnica de modulação analógica, se a amplitude, duração ou posição de um pulso é variada pelos valores instantâneos do sinal de modulação de banda base, essa técnica é chamada de: -
 - Modulação de Amplitude de Pulso (PAM)
 - Duração de Pulso / Modulação de Largura (PDM / PWM)
 - Modulação de Posição de Pulso (PPM).
- Na modulação digital é utilizada a Modulação por Código de Pulso (PCM), onde o sinal analógico é convertido em forma digital de 1s e 0s. Como o resultante temos um trem de pulso codificado, isso é chamado de PCM.

COMUNICAÇÃO ANALÓGICA

MODULAÇÃO DE PULSO

Modulação por amplitude de pulso - PAM

Na técnica de Modulação de Amplitude de Pulso (PAM), a amplitude da portadora de pulso varia, que é proporcional à amplitude instantânea do sinal de mensagem.



O sinal modulado por amplitude de pulso seguirá a amplitude do sinal original, à medida que o sinal traça o caminho de toda a onda. No PAM natural, um sinal amostrado na taxa de Nyquist pode ser reconstruído, contornando-o por meio de um filtro passa-baixo (LPF) eficiente com frequência de corte exata.

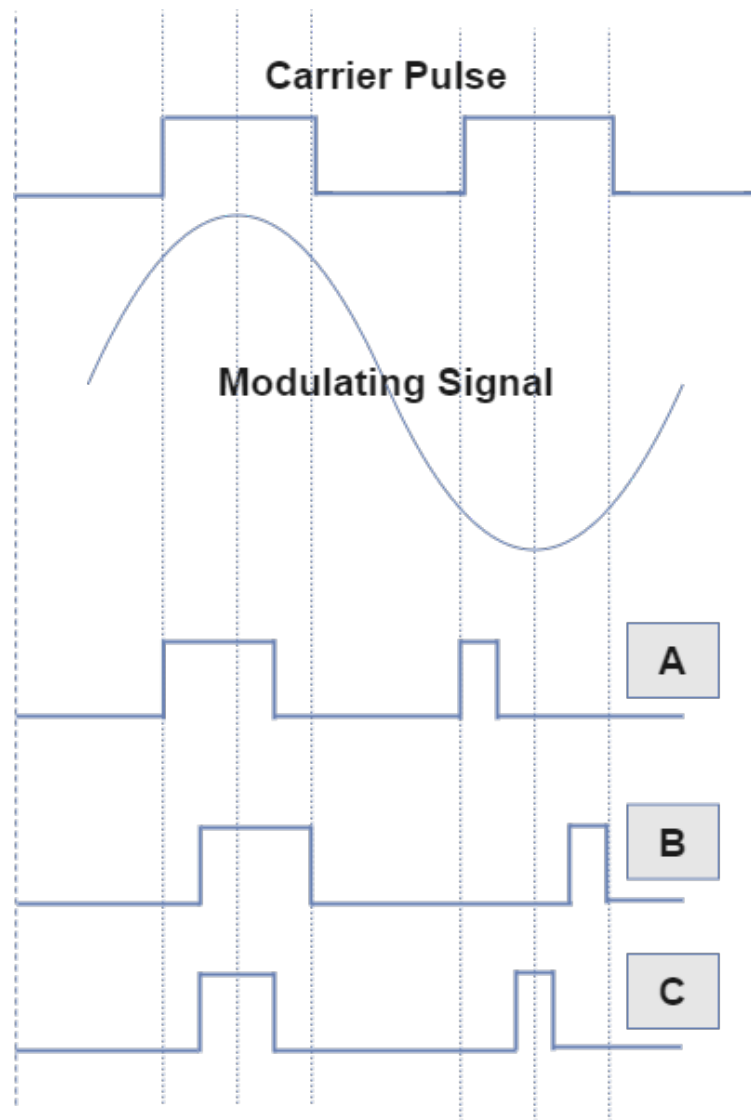
Modulação por largura o pulso - PWM

Na técnica de **Modulação por Largura de Pulso (PWM)** ou **Modulação por Duração de Pulso (PDM)** ou **Modulação por Tempo de Pulso (PTM)**, a largura ou a duração ou o tempo da portadora de pulso varia proporcionalmente à amplitude instantânea do sinal de mensagem.

A largura do pulso varia, mas a amplitude do sinal permanece constante. Os limitadores de amplitude são usados para tornar a amplitude do sinal constante. Esses circuitos cortam a amplitude para um nível desejado e, portanto, o ruído é limitado. Sendo a borda de ataque do pulso constante, a borda de fuga varia de acordo com o sinal de mensagem. A forma de onda para este tipo de PWM é denotada como (a) na figura acima.

Existem três tipos de PWM.

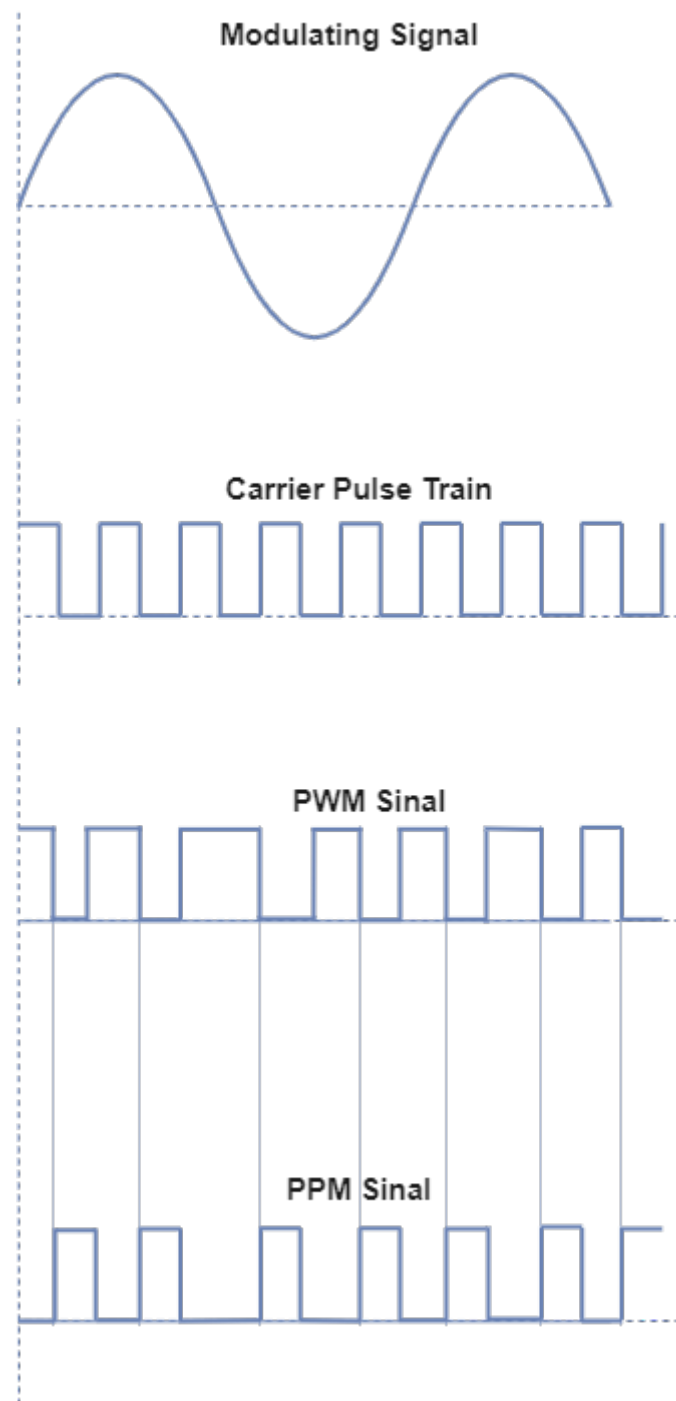
- *Sendo a borda de ataque do pulso constante, a borda de fuga varia de acordo com o sinal de mensagem. A forma de onda representada por A.*
- *Sendo a borda posterior do pulso constante, a borda dianteira varia de acordo com o sinal de mensagem. A forma de onda representada por B.*
- *Sendo o centro do pulso constante, a borda de ataque e a borda de fuga variam de acordo com o sinal de mensagem. A forma de onda representada por C.*



Modulação por posição do pulso - PPM

A Modulação de Posição de Pulso (PPM) é um esquema de modulação analógica em que a amplitude e a largura dos pulsos são mantidas constantes, enquanto a posição de cada pulso, com referência à posição de um pulso de referência, varia de acordo com o valor amostrado instantâneo de o sinal de mensagem.

O transmissor deve enviar pulsos de sincronização (ou simplesmente pulsos de sincronização) para manter o transmissor e o recetor em sincronia. Esses pulsos de sincronização ajudam a manter a posição dos pulsos. As figuras a seguir explicam a modulação da posição de pulso.



A modulação da posição de pulso é feita de acordo com o sinal modulado por largura de pulso. Cada borda posterior do sinal modulado por largura de pulso se torna o ponto de partida para pulsos no sinal PPM. Portanto, a posição desses pulsos é proporcional à largura dos pulsos PWM.

Vantagem

Como a amplitude e a largura são constantes, a potência manuseada também é constante.

Desvantagem

A sincronização entre o transmissor e o recetor é imprescindível.

Comparação entre PAM, PWM e PPM

PAM	PWM	PPM
A amplitude é variada	A largura é variada	A posição é variada
A largura de banda depende da largura do pulso	A largura de banda depende do tempo de elevação do pulso	A largura de banda depende do tempo de elevação do pulso
A largura de banda depende da largura do pulso	A largura de banda depende do tempo de elevação do pulso	A energia do transmissor instantâneo permanece constante com a largura dos pulsos
A complexidade do sistema é alta	A complexidade do sistema é baixa	A complexidade do sistema é baixa
A interferência de ruído é alta	A interferência de ruído é baixa	A interferência de ruído é baixa
É semelhante à modulação de amplitude	É semelhante à modulação de frequência	É semelhante à modulação de fase

MONTAGEM DO SISTEMA

Com vista facilitar a elaboração do sistema vou dividir o mesmo em várias partes, seguindo a seguinte ordem:

- Sinal de informação
- Modelação
 - PAM
 - PWM
 - PPM
- Desmodulação
 - PAM
 - PWM
 - PPM

DADOS INICIAIS DO SISTEMA

Sinal de informação:

- **Frequência máxima do sinal modulante:** dos 300Hz a 2265.3Hz
- **Amplitude máxima do sinal modulante:** 2V
- **Tipo de sinal:** Sinusoidal

Portadora:

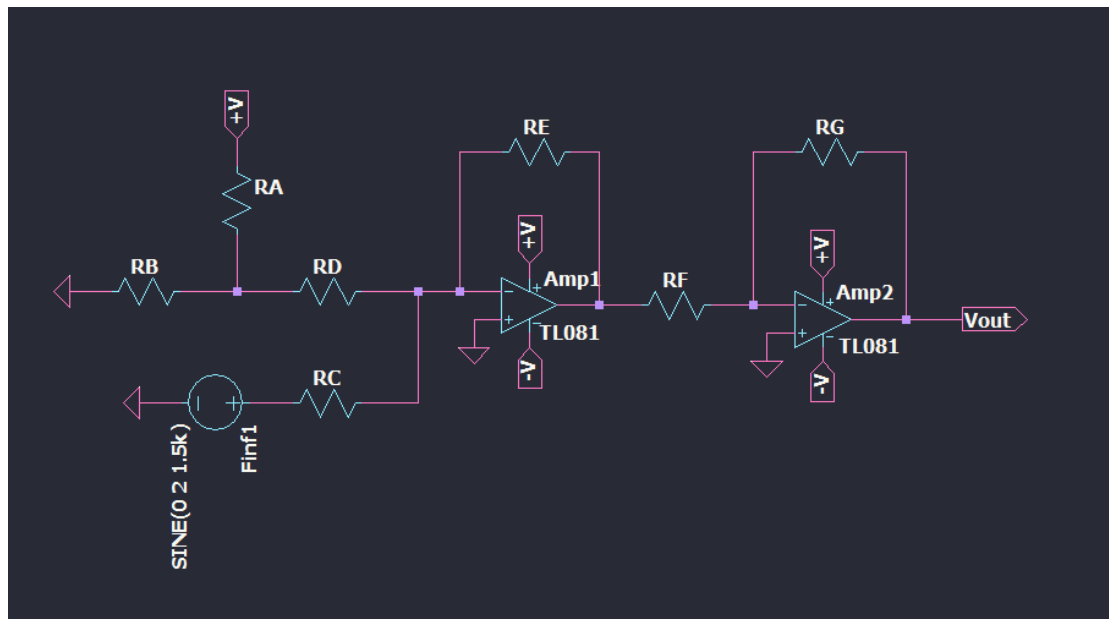
- **Frequência da portadora:** 22.653KHz
- **Amplitude da portadora:** 3V

SINAL DE INFORMAÇÃO

O primeiro passo é gerar um sinal de informação e somar a este uma componente continua.

Para realizar o somador vamos recorrer a de dois Ampop's TL081 e a um divisor resistivo, como representado no esquema a seguir.

Como o ganho do TL081 é negativo, vamos ter que usar dois em serie para que o sinal seja positivo.



Cálculo das Resistências

$$EDC + e_m > 0$$

$$EDC = 3V \text{ e } V_{cc} = 12V$$

$$V_{Ra} = \frac{R_a}{R_a + R_b} V_{cc}$$

Para garantir $EDC = 3V$

Considerando $R_B = 1K$

$$R_A = 3$$

Para garantir $I_{R_A} \approx I_{R_B}$ o valor de R_D tem muito superior ao de R_B .

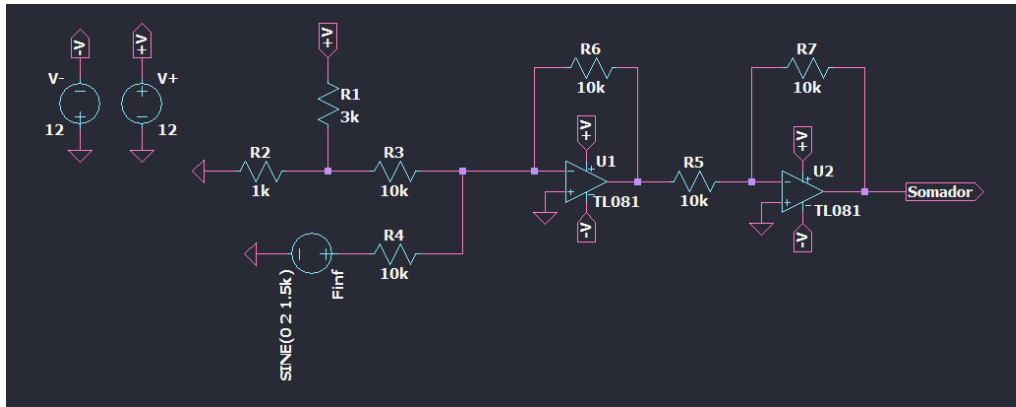
Optei optar por: $R_D = 10K$

Para que o ganho dos ampop's não afete a amplitude da frequência

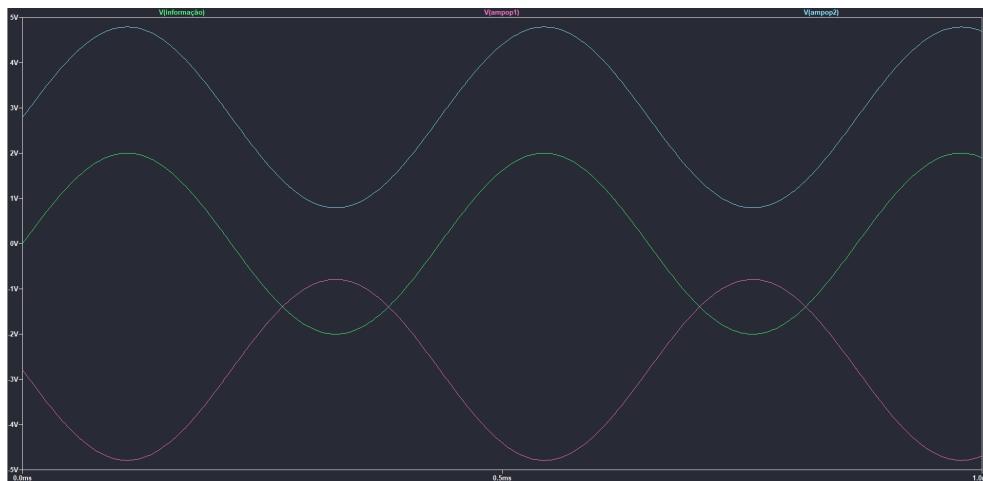
$$V_o = -\frac{V_i}{V_f} R_f \Leftrightarrow \frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} = -1$$

$$R_C = R_D = R_E = R_F = R_G = 10K$$

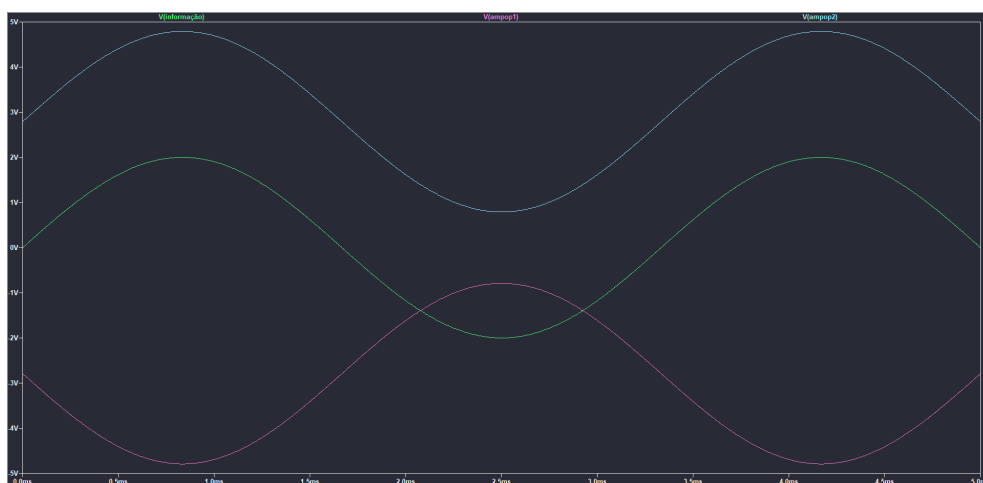
Simulação LTspice



Sinal de Informação – 2.3KHz



Sinal de Informação – 300Hz

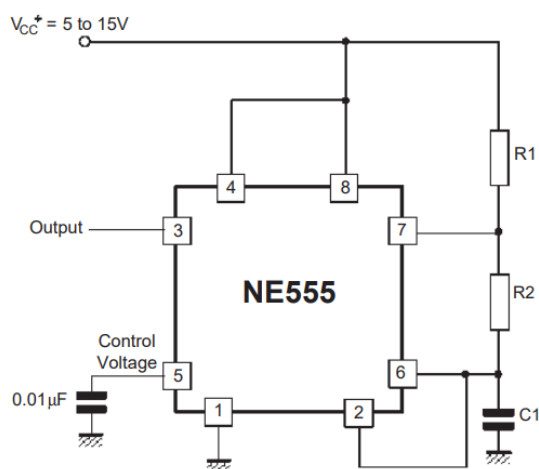


PAM MODULAÇÃO POR AMPLITUDE DE PULSO

Para a PAM precisamos de gerar uma onda quadrada contante (trem de pulsos).

Optei por usar um NE555 em configuração Astável e com um duty cycle próximo do 50%.

Analizando a Datasheet do NE555



Como pretendo usar um duty cycle próximo de 50%, facilita se R_1 for muito pequeno.

Optei por usar $R_1 = 1K$

$$I_{off} \lll 100nA \rightarrow R_1 = 1k$$

$$R_2 \gg R_1 \rightarrow D \approx 50\%$$

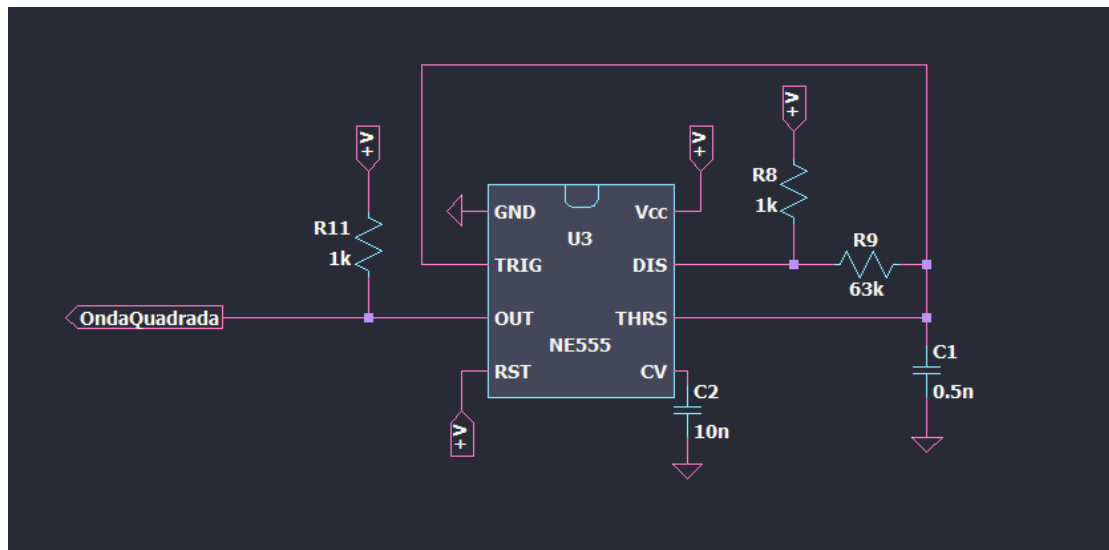
$$R_2 > 47K \text{ para um } D > 0.49$$

$$f = \frac{1.44}{(R_1 + R_2)C_1} \Leftrightarrow 22.653k = \frac{1.44}{(1k + 2 \times 47)C} \Leftrightarrow C = 6,70 \times 10^{-7}$$

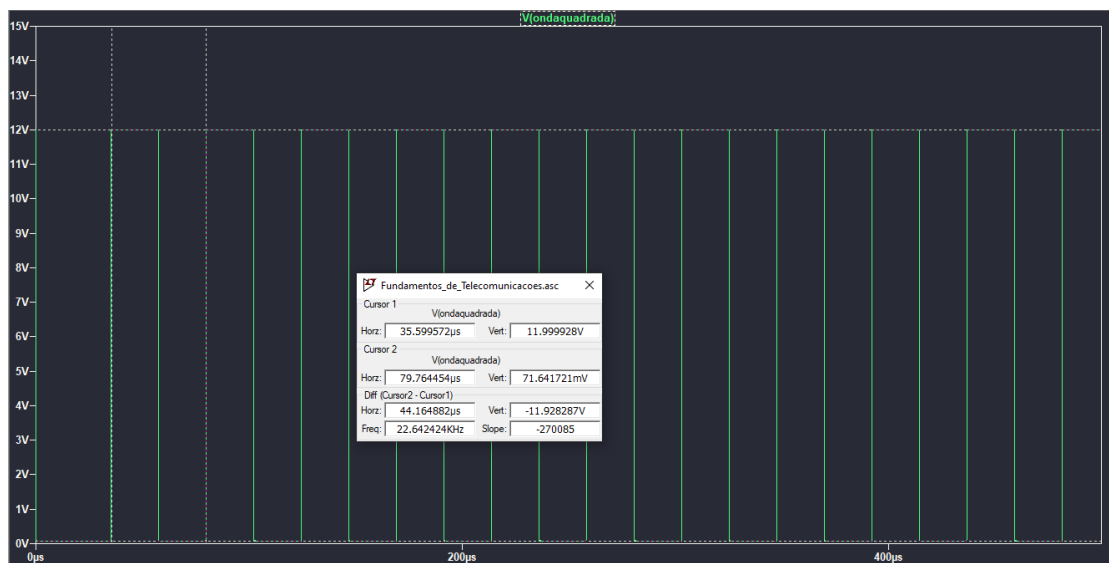
Optei por usar:

$$C = 0.5nF \text{ e } R_2 = 63k$$

Simulação LTspice



Onda Quadrada Obtida



Obtive uma frequência de 22.642KHz que é $\approx 22.653kHz$

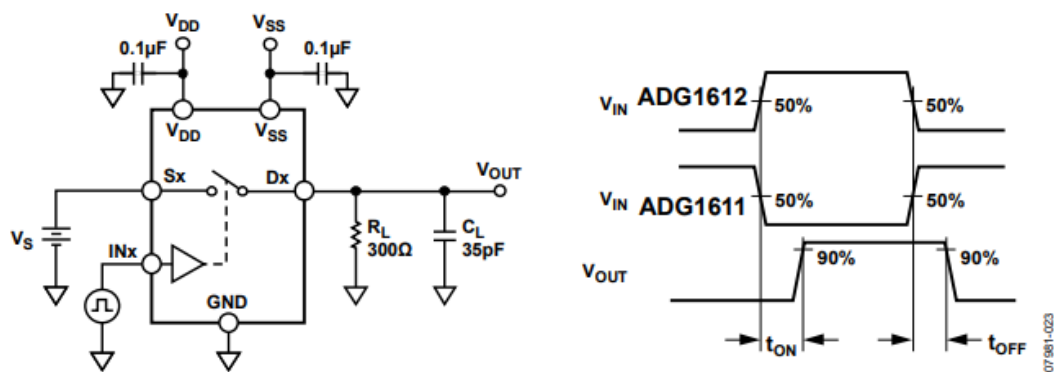
INTERRUPTOR ANALÓGICO

Neste módulo era para se ter usado o HEF4066, no entanto não encontrei um modelo que funciona-se no LTspice, optei por usar o ADG1611 como alternativa.

Analizando a Datasheet do ADG1611

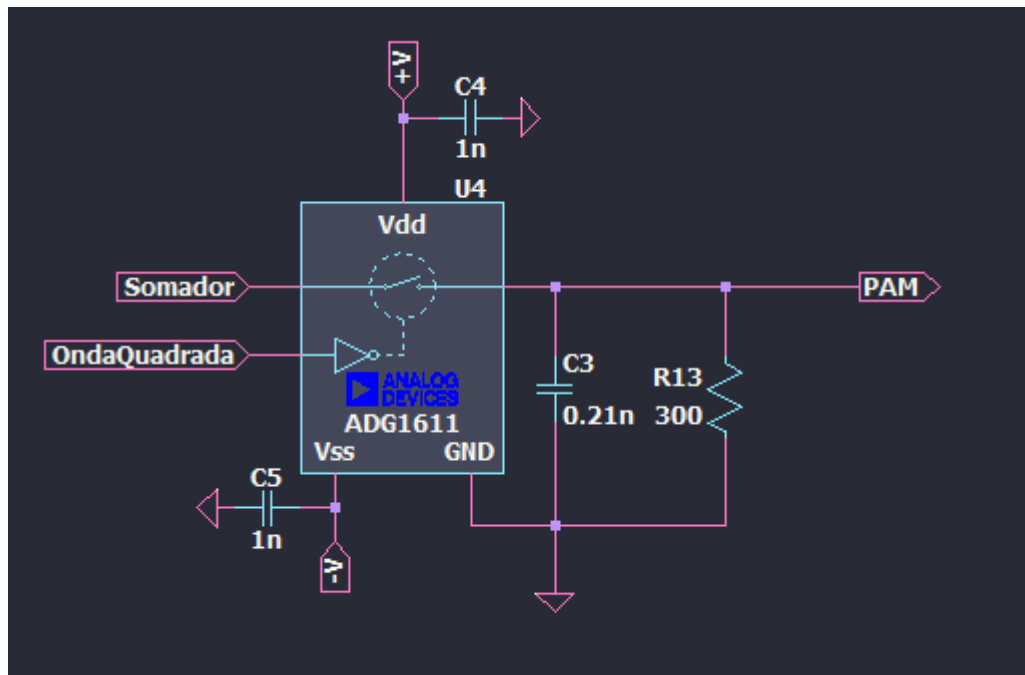
Analizando a Datasheet do ADG1611 podemos encontrar alguns circuitos exemplo.

Usei como base para a minha solução o seguinte circuito:



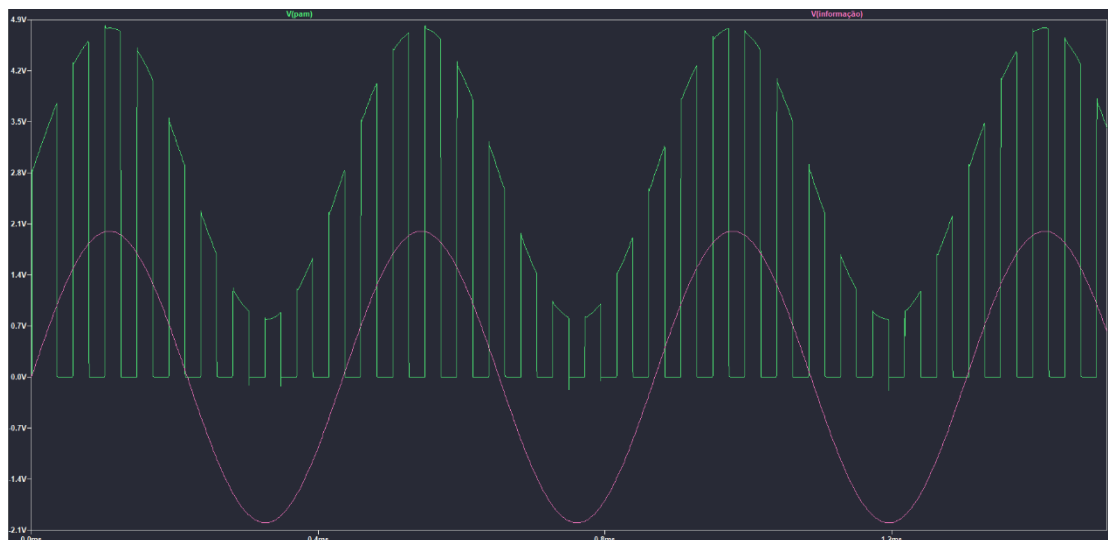
Usei o $C_L = 0.21nF$ para reduzir um pouco mais o ruído.

Simulação LTspice



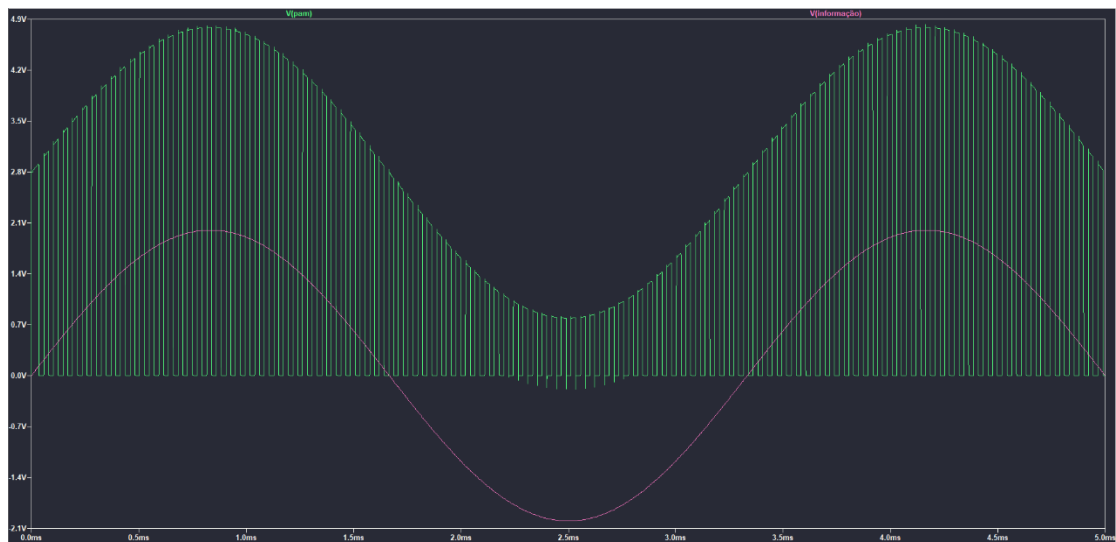
PAM

Sinal de Informação: 2.3kHz



PAM

Sinal de Informação: 300Hz



PAM DESMODULAÇÃO POR AMPLITUDE DE PULSO

Para realizar a desmodulação do PAM podemos usar um detetor de envoltente.

Na realização do nosso trabalho optamos por usar na entrada do desmodulador, um filtro passa banda, eliminando logo à partida uma parte das frequências que são identificadas como sendo ruído. De seguida optamos por usar “filtro ativo passa-baixo com um amplificador operacional inversor” a fim de obter um sinal de informação mais próximo possível do original.

Cálculos passa banda

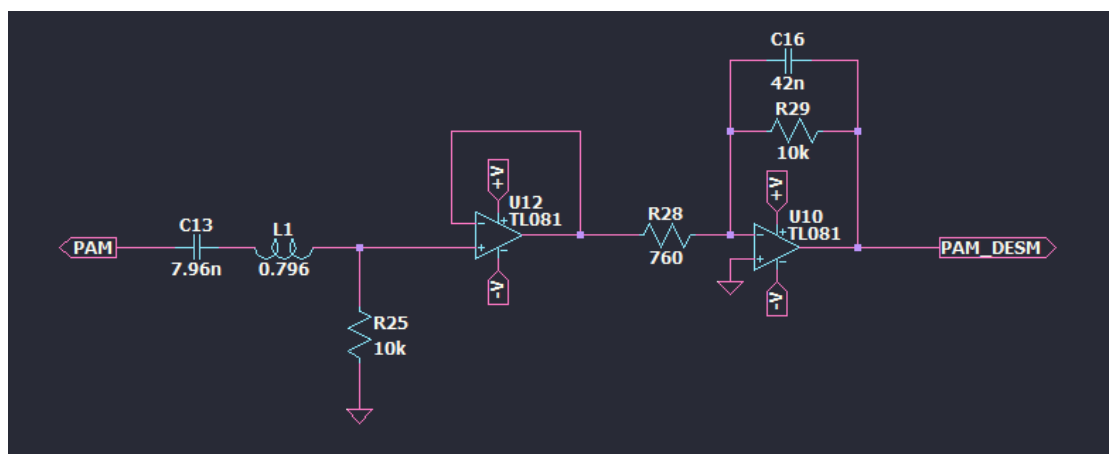
$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \sqrt{L \times C}}$$

$$Largura_{banda} = \frac{1}{2 \times \pi \times RC}$$

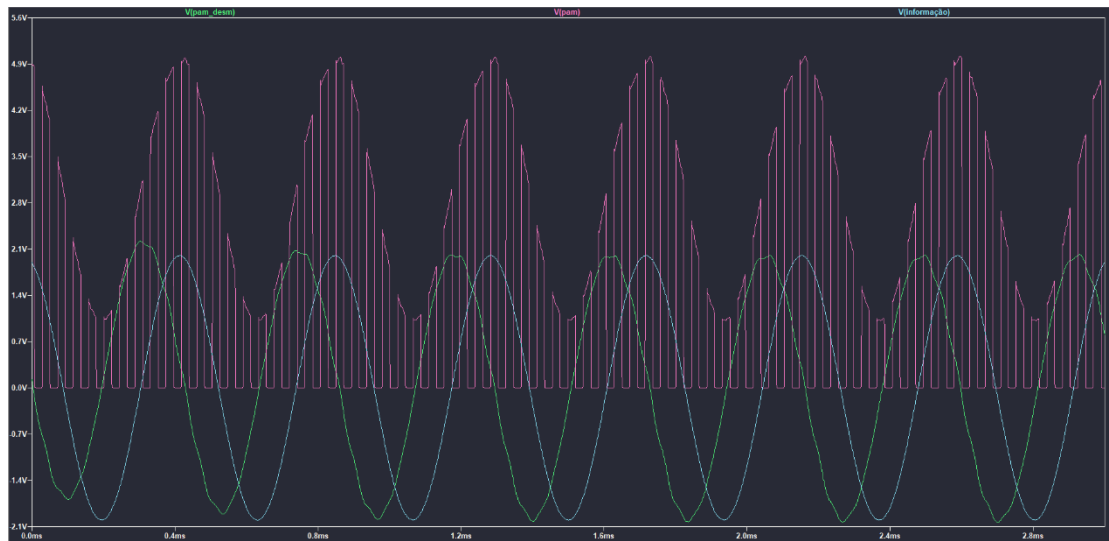
Cálculos Passa-baixo com amplificador

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times RC}$$

$$Ganho = -\frac{R_2}{R_1}$$



Após os cálculos e pequenos ajustes feitos no LTSpice chegámos aos resultados mostrados no circuito anterior.

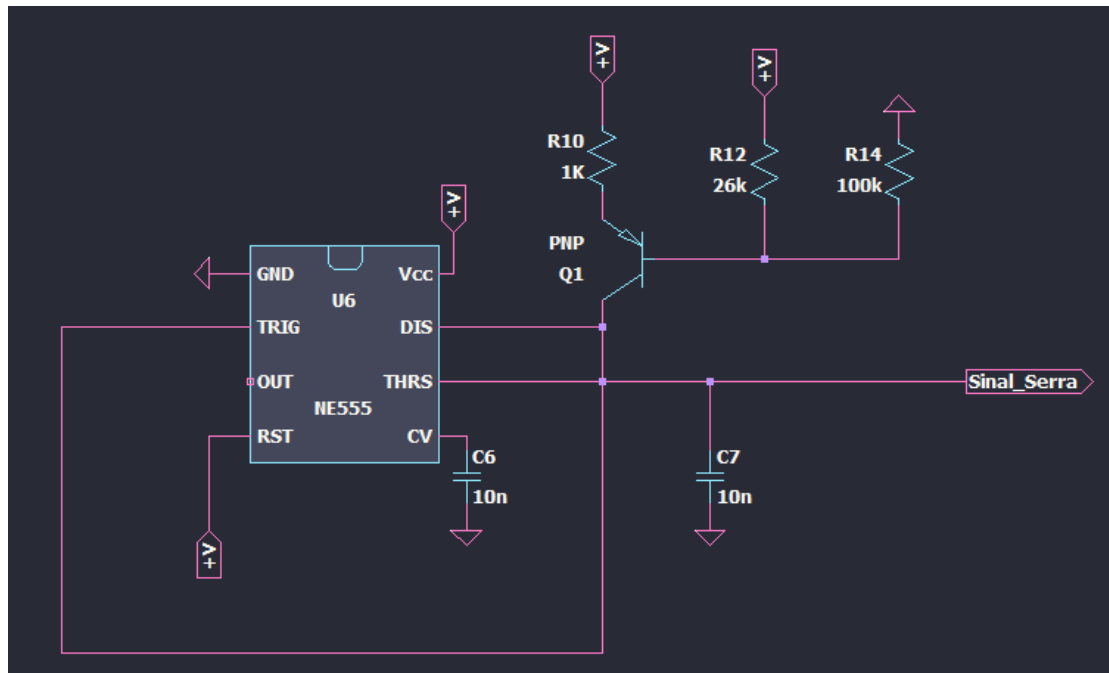


Obtivemos a seguinte saída da desmodulação PAM.

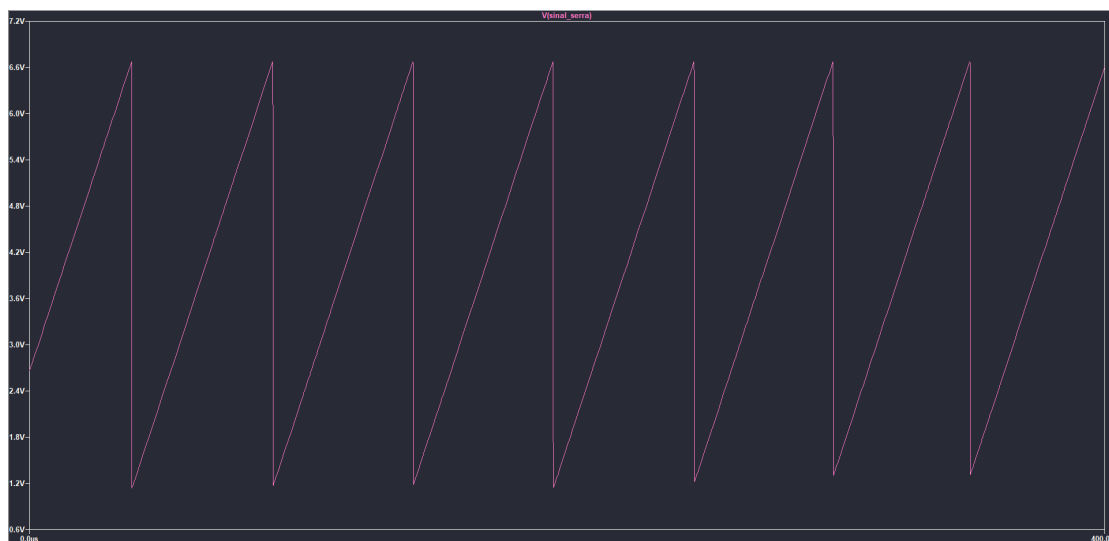
PWM MODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO

Para a PWM precisamos de gerar uma onda dente de serra constante ("rampa").

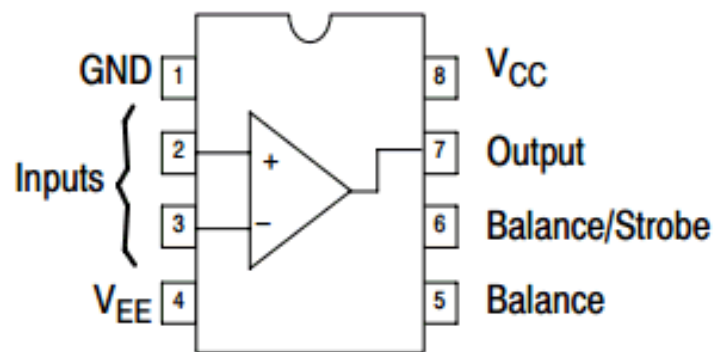
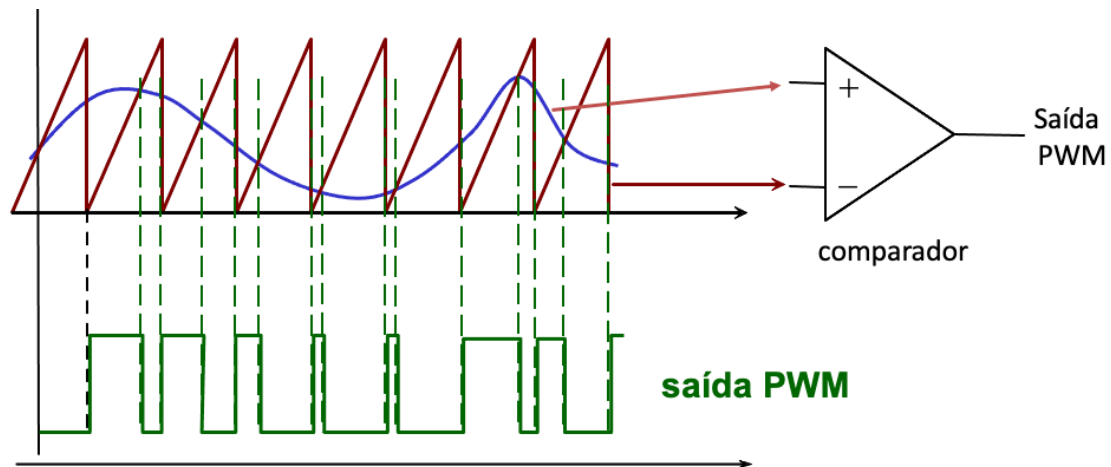
Optámos por usar um NE555 para gerar esse sinal utilizando o seguinte circuito.



De onde obtivemos o seguinte sinal de saída:



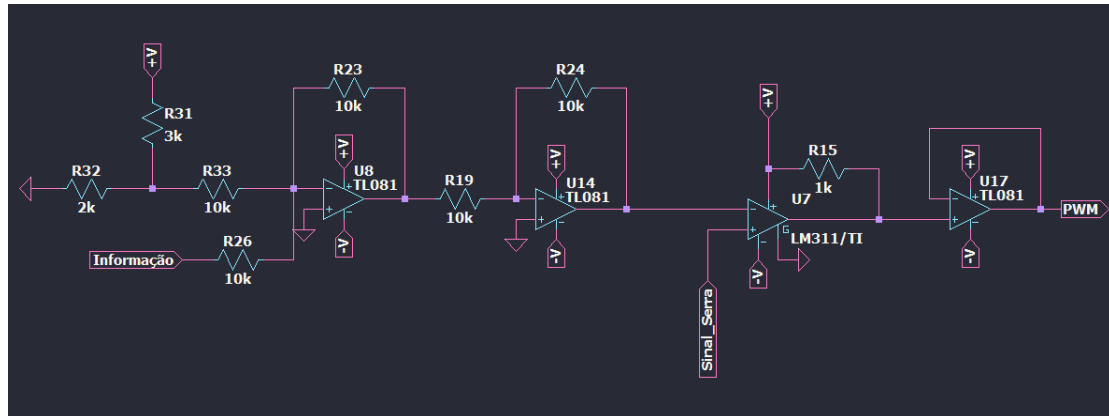
De seguida necessitámos de um ampop para comparar a onda dente de serra com o sinal de informação, utilizámos o LM311:



Na entrada positiva do comparador foi aplicado sinal modulante e na negativa uma onda dente de serra. Conforma a diferença entre as duas tensões é positiva ou negativa na saída do comparador teremos uma tensão positiva ou nula.

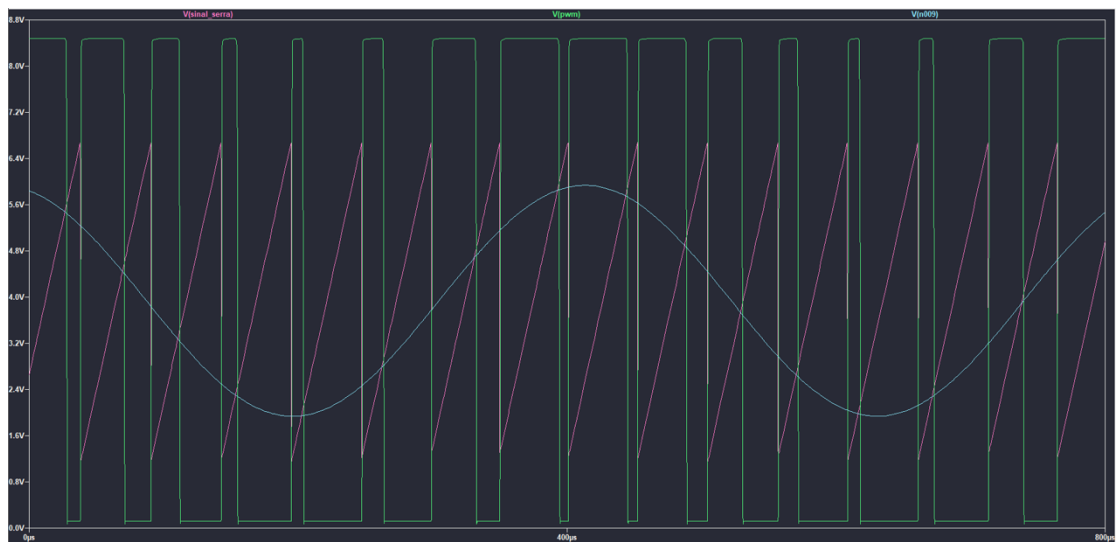
Podemos verificar que os pulsos de saída apresentam larguras diferentes pois a comparação é feita em pontos diferentes de cada rampa.

Simulação LTspice



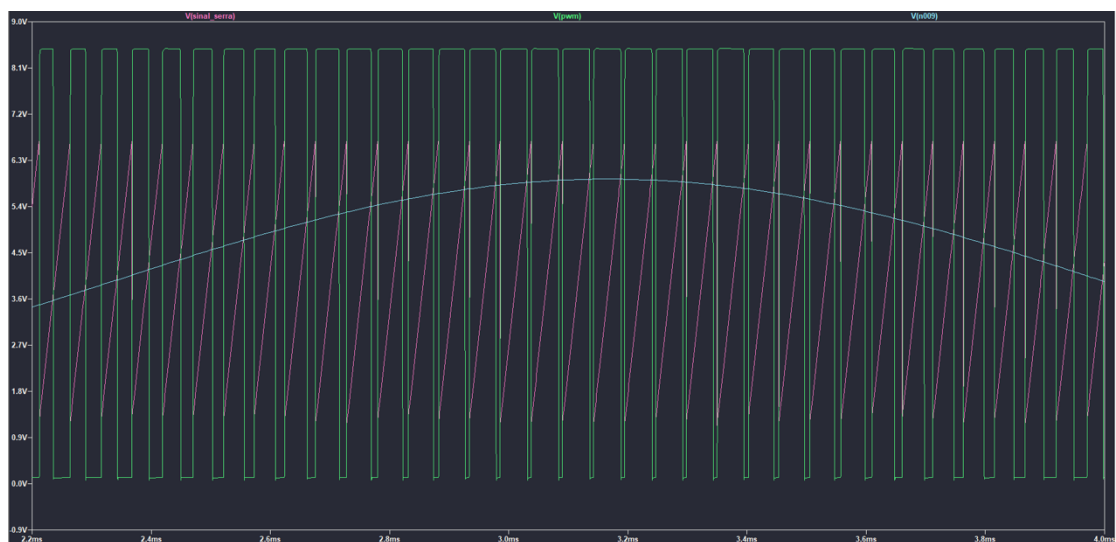
PWM

Sinal de Informação: 2.3kHz



PWM

Sinal de Informação: 300Hz



PWM

DESMODULAÇÃO POR LARGURA DE PULSO

Para realizarmos a desmodulação de um sinal PWM podemos usar um integrador (filtro passa-baixas).

Na realização do nosso trabalho optamos por usar na entrada do desmodulador, um filtro passa banda, eliminando logo à partida uma parte das frequências que são identificadas como sendo ruído. De seguida optamos por usar “filtro ativo passa-baixo com um amplificador operacional inversor” a fim de obter um sinal de informação mais próximo possível do original.

Cálculos passa banda

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \sqrt{L \times C}}$$

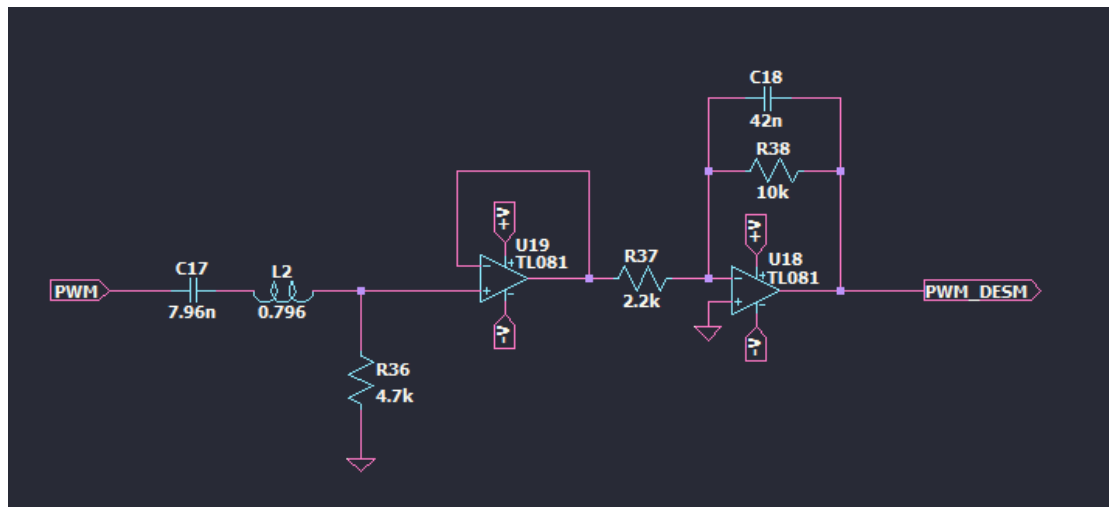
$$Largura_{banda} = \frac{1}{2 \times \pi \times RC}$$

Cálculos Passa-baixo com amplificador

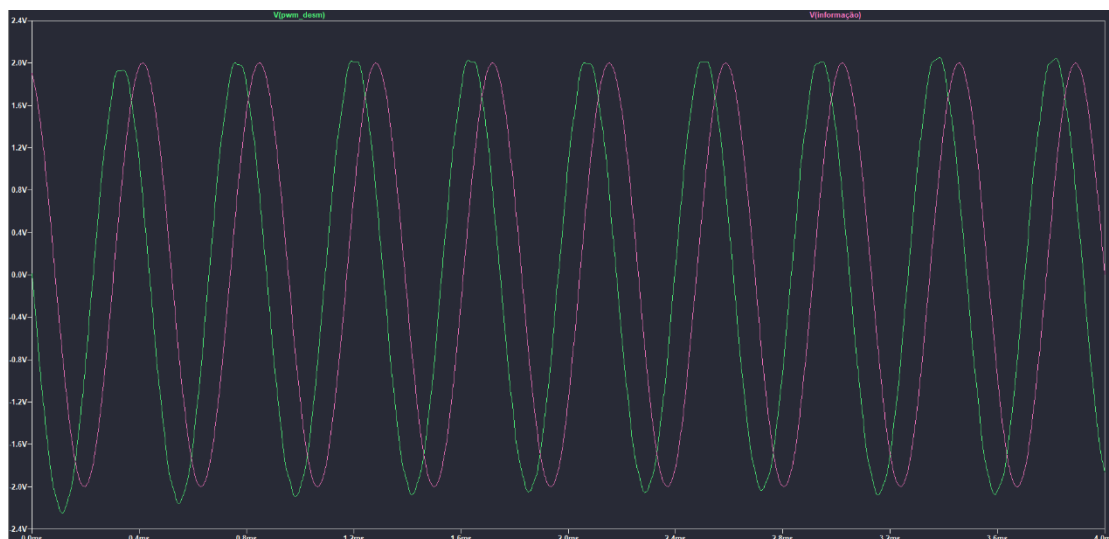
$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times RC}$$

$$Ganho = -\frac{R_2}{R_1}$$

Simulação LTspice



Após os cálculos e pequenos ajustes feitos no LTSpice chegámos aos resultados mostrados no circuito anterior.



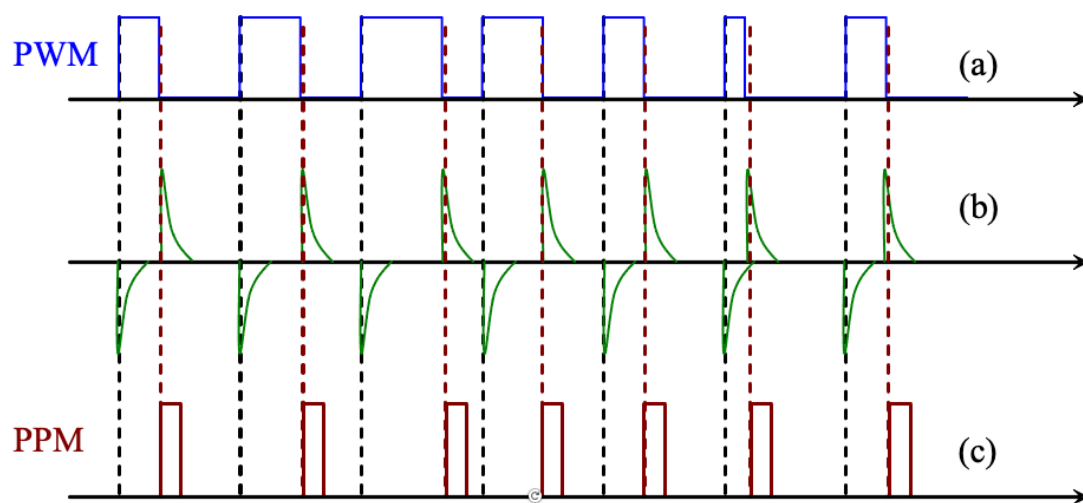
Obtivemos a seguinte saída da desmodulação PWM.

PPM MODULAÇÃO POR POSIÇÃO DO PULSO

A modulação PPM é obtida diferenciando e invertendo os pulsos PWM.

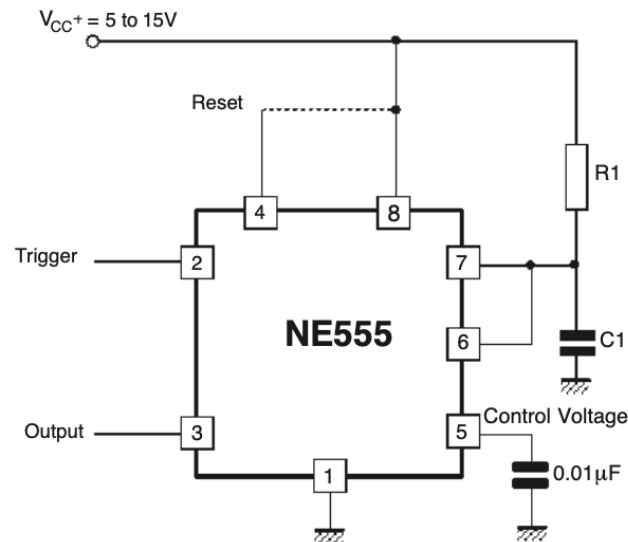
A posição dos pulsos é variável e proporcional ao sinal modulante original. Os pulsos apresentam largura fixa.

Se conseguirmos gerar um pulso suficientemente pequeno conseguimos uma economia de potência em relação ao sistema PWM.

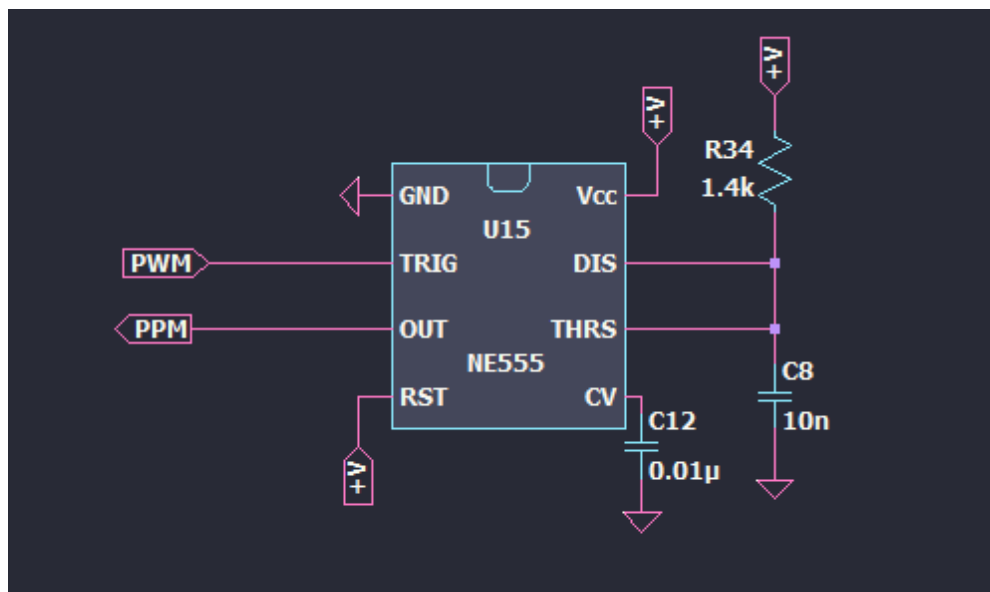


Simulação LTspice

Para realizar a modulação PPM usamos um NE555 em configuração monoestável



O circuito dispara em um sinal de entrada negativo quando o nível atinge $\frac{1}{3} V_{CC}$. Uma vez acionado, o circuito permanece neste estado até que o tempo definido tenha decorrido, mesmo que seja acionado novamente durante este intervalo. A duração do estado HIGH de saída é dada por $t = 1,1 R_1 C_1$.



Projetamos o circuito para um impulso de $15\mu s$ mas infelizmente por mais que tenhamos tentado perceber a causa o sinal obtido não ia ao encontro do que era esperado. Mesmo após a correção proposta pelo professor não conseguimos obter o desejado.

Vamos tentar resolver o problema antes da apresentação.