

# TRABALHO PRÁTICO - 2ª ETAPA - CONDICIONAMENTO DOS SINAIS

Guilherme Rodrigues dos Santos - 2016026973  
Gustavo Guedes de Azevedo Barbosa - 2016097471

2 de Dezembro de 2019

**Resumo:** O objetivo deste trabalho é projetar e simular um gerador de sinais que deve ser capaz de gerar ondas quadradas, triangulares e senoidais em apenas uma saída. Esse gerador deve ter ajuste em escala de frequência e outro ajuste dentro da própria escala. Deve ser possível, também, ajustar a amplitude e a simetria do sinal.

## 1 INTRODUÇÃO

O circuito integrado NE555 foi criado por Hans Camenzind em 1970, momento no qual o engenheiro passava grandes dificuldades financeiras. O CI, apesar de simples, se mostrou extremamente fácil de usar e muito robusto, o que trouxe sua aplicação aos mais diversos circuitos, dado que ele pode operar tanto como oscilador quanto como temporizador.

Um uso frequente do NE555 é na geração de formas de onda triangular e quadrada, para, por exemplo, testar outros circuitos. Neste trabalho, o mesmo uso do CI será feito com a finalidade de construir um gerador de sinais com três opções de forma de onda, quadrada, triangular e senoidal. Além disso, o gerador fornece a possibilidade do usuário alterar a frequência, *offset* e amplitude.

## 2 OBJETIVOS

Neste trabalho, deseja-se criar um gerador de funções a nível de simulação que seja capaz de gerar sinais com forma triangular, senoidal e quadrada com apenas uma saída. Deve-se projetar chaves que selecionem faixas de frequência de 1kHz, 10kHz e 100kHz. Dentro de cada uma dessas faixas, o circuito deve varrer frequências de 20% a 200% da escala. Apenas um potenciômetro deve ser utilizado nesse ajuste para todas as formas de onda.

O gerador deve possuir um potenciômetro que ajuste a amplitude do sinal de 0  $V_{PP}$  a 10 $V_{PP}$ , sendo que todas as formas de onda devem possuir a mesma amplitude na saída. Outro potenciômetro será utilizado para ajuste de *offset* de  $\pm 5V$  e um último para ajuste de simetria. A dis-

torção harmônica total da forma de onda senoidal, na saída do conformador não pode ser superior a 2%.

## 3 CIRCUITO

### 3.1 Geração de ondas triangular e quadrada

Para gerar as formas de onda triangular e quadrada utilizamos como CI base o NE555 de modo a obter os dois sinais com a mesma frequência, mas não mesma amplitude. O motivo da escolha do 555, ao invés de utilizar, por exemplo, um multivibrador com amplificadores operacionais, se deve ao fato de que os operacionais normalmente utilizados não tem um funcionamento satisfatório em altas frequências, sendo o 555 mais indicado para essa aplicação. Segue abaixo na Figura 1 o esquemático do circuito:

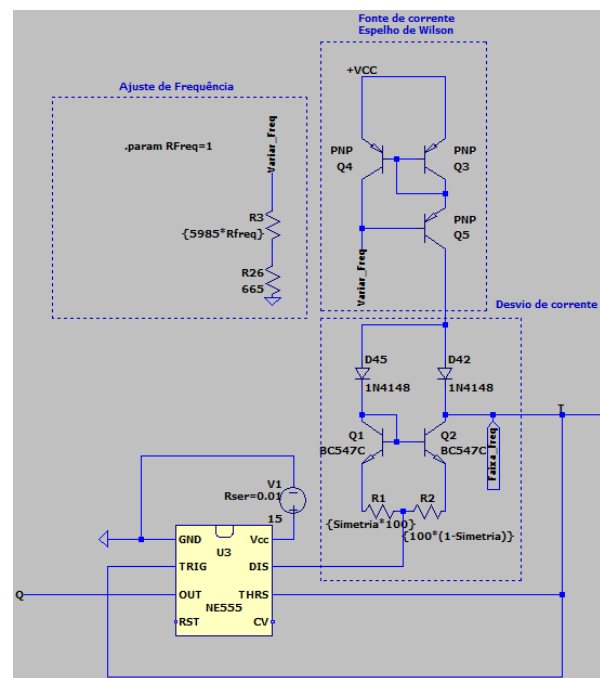


Figura 1: Esquemático do circuito oscilador gerador de onda triangular e quadrada.

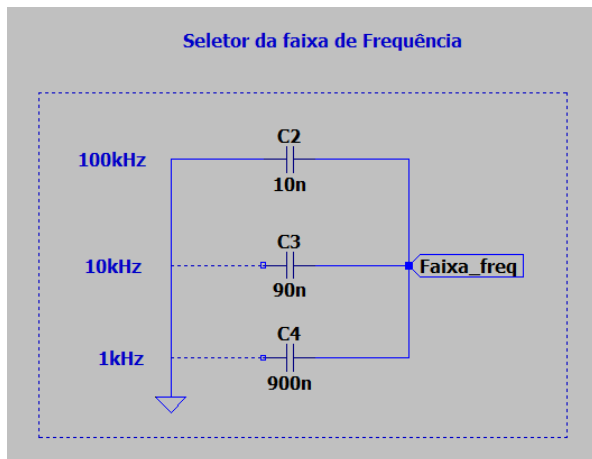


Figura 2: Esquemático dos capacitores ligados ao label "Faixa\_freq".

Neste circuito foi utilizado um espelho de Wilson como fonte de corrente. Supondo que o capacitor indicado pelo rótulo *Faixa\_freq* está descarregado, o pino *Discharge* do 555 está aberto e a saída está em nível baixo, portanto o espelho formado por Q1 e Q2 não está em funcionamento, assim o capacitor carrega com corrente constante gerada pela fonte. Quando o capacitor chega até a tensão de  $2V_{CC}/3$ , o *Discharge* curto-circuita até em relação ao terra e a saída vai para nível lógico alto, de modo que o diodo D42 não está conduzindo, pois o capacitor está com a tensão de  $2V_{CC}/3$  nos seus terminais, mas o D45 está conduzindo e a corrente da fonte passa por Q1, que força a passar a mesma corrente por Q2. Como a corrente não pode vir a partir de D42, ela vem apenas do capacitor que é descarregado com a mesma corrente que foi carregado. A partir de então o estado de recarregar o capacitor é obtido ao alcançar  $V_{CC}/3$ . Para ajustar a simetria desequilibramos o par diferencial, fazendo com que o capacitor descarregue com um tempo menor ou maior, sendo controlado pelo parâmetro "Simetria" do potenciômetro representado por R1 e R2.

Assim temos uma onda triangular na saída do capacitor, identificada com o label "T", com tensões variando de 5V a 10V e uma onda quadrada na saída do 555, identificada com o label "Q", com tensões variando de 0 a 15V. O que gera a necessidade de ajustar o *offset* dessas ondas para ficarem centradas em zero e um ajuste de ganho para ficarem com tensões iguais.

Como esse circuito varia de acordo com o ciclo de carga do capacitor, temos que a frequência é dada por  $3I/(2CV_{CC})$ , sendo I a corrente fornecida pela fonte de corrente e C a capacitância vista pelo label "Faixa\_Freq". Assim, para variar a faixa de frequência fizemos 3 capacitores em paralelo, onde C3 e C4 podem ser ligados pela chave ou não. Deixando apenas C2 o circuito opera na escala de 100kHz; deixando C2 e C3, o circuito opera na escala de 10kHz e deixando todos ligados opera

na escala de 1kHz. Os capacitores ligados no label "Faixa\_Freq" estão mostrados na Figura 2.

Dentro das escalas, a frequência é variada alterando a corrente fornecida pela fonte, que se altera devido a variação do potenciômetro representado por R3. R3 e R26 foram projetados para que quando R3 for zero a frequência seja a menor possível dentro da escala e que quando R3 estiver no seu máximo a frequência esteja no máximo possível da escala.

### 3.2 Conformador

O circuito conformador possui um comportamento peculiar, uma vez que sua função é transformar uma forma de onda triangular em uma senooidal. Para realizar tal função, o conformador conta com um conjunto par de diodos e outro conjunto par e simétrico de resistores. Os diodos têm duas funções, a de trabalhar como chaves, que são ativadas quando a tensão de entrada chega a certos níveis, e a de introduzir uma não linearidade, para retirar a descontinuidade nos picos da onda triangular de entrada. Já os resistores tem a função de definir esses níveis e limitar a corrente que passa pelo circuito.

Um parâmetro importante do circuito conformador é a quantidade de distorção harmônica da onda resultante em relação à uma senoide ideal. O cálculo desse parâmetro é feito utilizando a função ".four" do LTSpice e, de acordo com as especificações do projeto, não deve ultrapassar os 2%. O projeto desse circuito é feito definindo-se, previamente, o número de *breakpoints* e, posteriormente, a posição desses *breakpoints*. A decisão sobre a quantidade está associada ao quanto deseja-se diminuir a distorção harmônica total (THD), porém, de acordo com a literatura e experiência do professor, um total de três *breakpoints* é o suficiente para realizar uma distorção inferior aos 2%.

O projeto do ponto em que esses *breakpoints* ocorrem também afeta o THD. Para realizar um bom projeto, o primeiro ponto é calculado para o momento em que a diferença entre a senoide e o seu próprio argumento, em radianos, é um valor notável. O valor de  $30^\circ$  é uma boa alternativa. Os outros valores escolhidos se basearam em certa experiência e em métodos empíricos, que partiram da visualização das formas de ondas para verificar os pontos em que havia forte divergência. Os pontos escolhidos foram de  $65^\circ$  e  $85^\circ$ . O resultado do conformador está ilustrado a seguir.

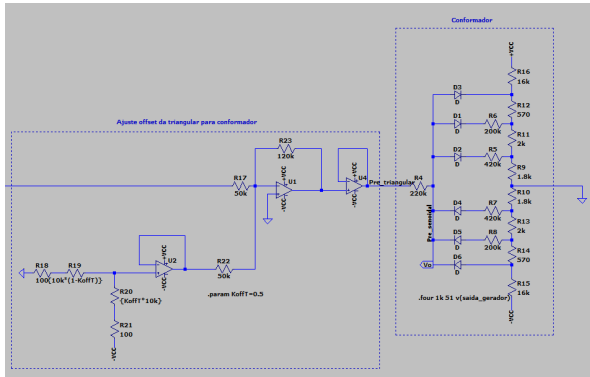


Figura 3: Esquemático do circuito conformador.

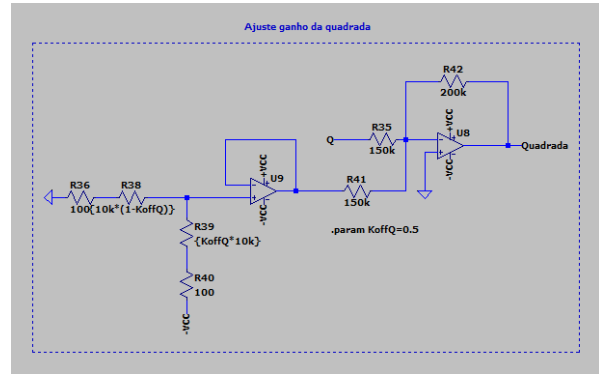


Figura 5: Esquemático do circuito para ajuste da onda quadrada.

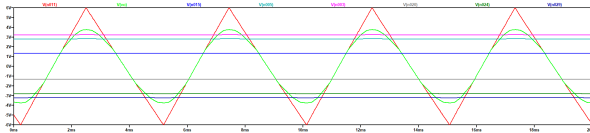


Figura 4: Sinal de entrada, sinal de saída e *break-points* do conformador.

### 3.3 Ajustes das ondas

Após ter gerado todas as três formas de onda, é necessário configurar para que todas tenham a mesma amplitude de  $20V_{PP}$ , centradas em zero. Como cada uma tem valores diferentes de amplitude e centro, um circuito específico foi criado para cada. Decidimos escolher a tensão como  $20V_{PP}$  e não  $10V_{PP}$  de uma vez por não termos atentado a essa especificação neste ponto do projeto, posteriormente utilizamos um divisor de tensão para obter esses níveis de tensão.

#### 3.3.1 Ajuste da onda Quadrada

A onda quadrada, inicialmente, tem tensões variando de 0V a 15V, como dito anteriormente. Projetamos então um *offset* de -7,5V e um ganho de 4/3. Colocamos o *Buffer* U9 para que a soma do *offset* não interferisse na geração da onda quadrada. Para gera o ganho foi utilizado um amplificador não inversor.

O esquemático do circuito usado para ajustar a onda quadrada segue abaixo na Figura 5:

#### 3.3.2 Ajuste da onda Triangular

A onda triangular já tinha passado por processamentos para entrar no circuito do conformador, assim, não foi necessário ajustar seu *offset*, apenas fornecer o ganho. O *Buffer* U11 foi colocado para não interferir no circuito do conformador com efeito de carga. A onda estava com amplitude de  $12V_{PP}$ , portanto foi utilizado um amplificador inversor com ganho de 5/3.

O esquemático do circuito utilizado para ajustar a onda triangular segue abaixo na Figura 6:

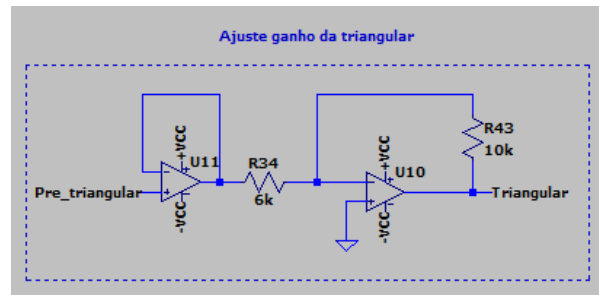


Figura 6: Esquemático do circuito para ajuste da onda triangular.

#### 3.3.3 Ajuste da onda Senoidal

A onda senoidal já foi gerada no conformador centrada em zero e estava com amplitude de  $8V_{PP}$ , assim foi usado o *Buffer* U13 para eliminar o efeito de carga na geração e um amplificador não-inversor com ganho de 8/3.

O esquemático do circuito utilizado para ajustar a onda senoidal segue abaixo na Figura 6:

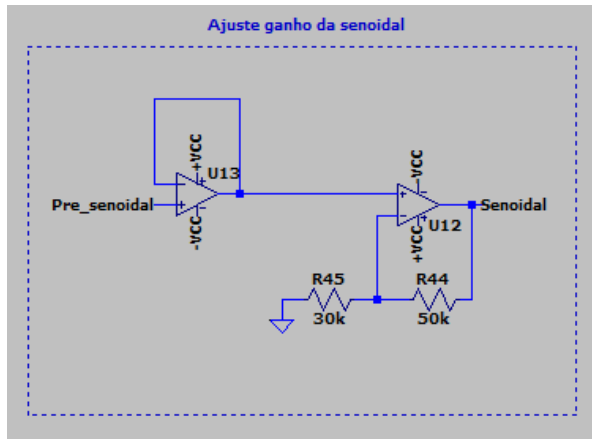


Figura 7: Esquema do circuito para ajuste da onda senoidal.

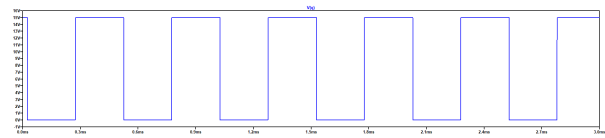


Figura 9: Saída de onda quadrada na saída do NE555.

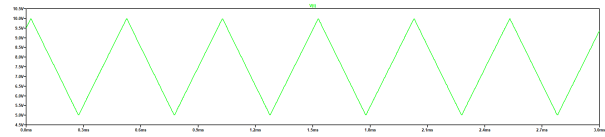


Figura 10: Saída de onda triangular no circuito do NE555.

### 3.4 Circuito de saída

O circuito de saída possui uma interface que multiplexa a forma de onda de saída, para selecionar entre os três possíveis sinais. Além disso, ele possui um potenciômetro responsável por atenuar a forma de onda, para que seja possível escolher entre uma faixa de tensões de  $0V_{PP}$  a  $10V_{PP}$ . Um divisor resistivo tem a função de dividir a forma de onda de  $20V_{PP}$  por dois, para limitar os valores à faixa proposta na especificação do trabalho. Também nesse estágio, está presente o circuito que adiciona tensão contínua ao sinal de saída, para realizar o *offset*. Por fim, um inversor é responsável por manter a fase das formas de ondas geradas internamente com a forma de onda que será disponibilizada no terminal de saída.

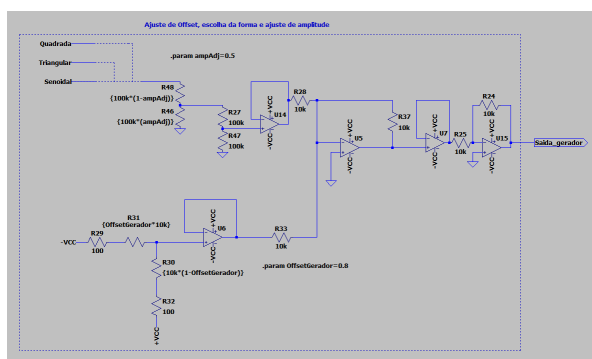


Figura 8: Esquema do circuito de saída.

A Figura 11 mostra todas as formas de onda ao mesmo tempo após o ajuste das ondas:

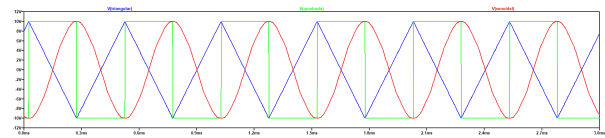


Figura 11: Formas de onda triangular, senoidal e quadrada normalizadas para  $10V_{PP}$ .

Da Figura 12 a Figura 15 temos o sinal da onda triangular na saída final do gerador com amplitude de  $5V_{PP}$  para as frequências de 200Hz, 2kHz, 20kHz e 200kHz.

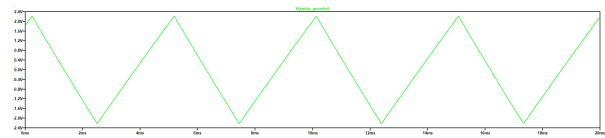


Figura 12: Saída de onda final com forma triangular  $5V_{PP}$  e frequência de 200Hz.

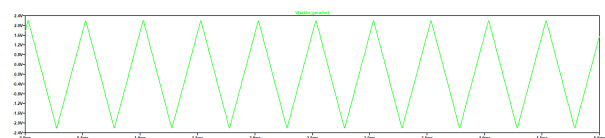


Figura 13: Saída de onda final com forma triangular  $5V_{PP}$  e frequência de 2kHz.

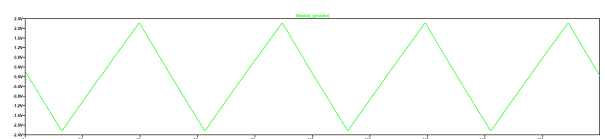


Figura 14: Saída de onda final com forma triangular  $5V_{PP}$  e frequência de 20kHz.

## 4 Resultados

Abaixo nas Figuras 9 e 10 podemos observar a saída das ondas triangular(T) e quadrada(Q) do circuito com o NE555 mostrado na Figura 1:

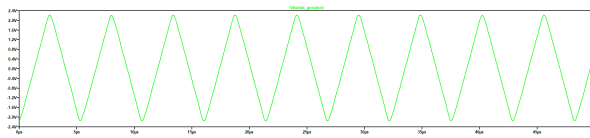


Figura 15: Saída de onda final com forma triangular  $5V_{PP}$  e frequência de 200kHz.

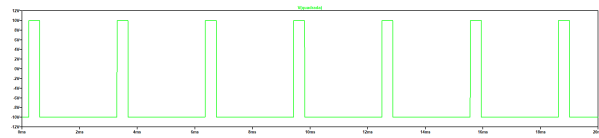


Figura 18: Forma de onda quadrada com desvio de simetria normalizada para  $10V_{PP}$ .

O THD e a forma de onda para uma onda senoidal de 1kHz na saída do gerador seguem abaixo na Figura 16:

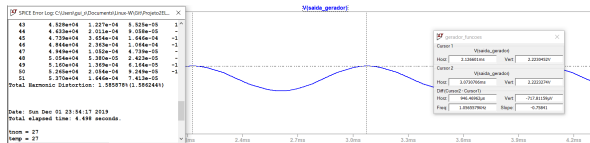


Figura 16: THD e forma de onda para 1kHz na saída do gerador

Como é possível observar o THD está em 1,58%, o que é bem abaixo dos 2% desejados inicialmente.

As Figuras 17, 18 e 19 mostram as formas de onda com assimetria após o ajuste das ondas, com a amplitude normalizada para  $5V_{PP}$ .

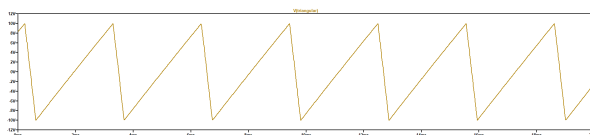


Figura 17: Forma de onda triangular com desvio de simetria normalizada para  $10V_{PP}$ .

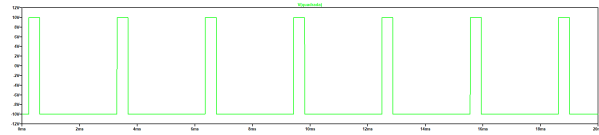


Figura 19: Forma de onda senoidal com desvio de simetria normalizada para  $10V_{PP}$ .

## 5 CONCLUSÃO

Ao longo deste trabalho foi necessário desenvolver os conceitos sobre osciladores, para que fosse possível construir um protótipo de um gerador de sinais. Esse desenvolvimento contribuiu para o aprendizado e trouxe maior maturidade para lidar com circuitos osciladores. As técnicas para alterar parâmetros das formas de onda, como por exemplo o uso das fontes de corrente para carregar um capacitor em rampa e o conformador, para transformar uma onda triangular em uma onda senoidal, se tornaram mais claras e contribuíram para aumentar a maturidade para lidar com não linearidade em circuitos eletrônicos. Após o trabalho teórico de conta e da montagem do protótipo no software LTSpice, o gerador de sinais funcionou conforme o esperado e com todos os parâmetros de acordo com a especificação passada pelo professor.

O esquemático do circuito pode ser encontrado no repositório criado para o desenvolvimento colaborativo este projeto, <https://github.com/guilhas-cpu/Projeto2ELT2>.