

Trabalho 2: ENG1421

25/11/2020

Professor: Guilherme Temporão e Alan Kubrusly

Aluno: Rafael Vilela e Gabriel Proença

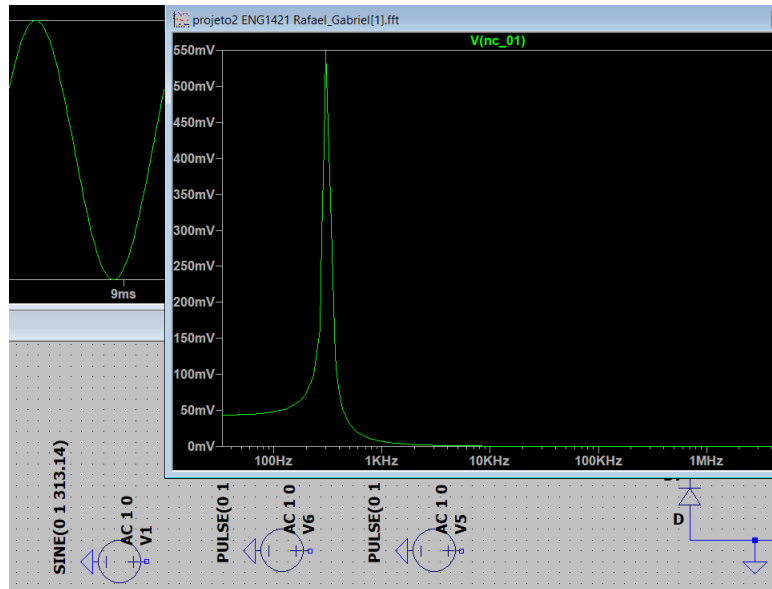
1 Introdução

A função desse circuito é transformar uma onda senoidal de amplitude 1V e frequência 329.63Hz da entrada em ondas quadradas e triangulares de diferentes frequências, com a amplitude de saída próxima da entrada (com uma tolerância de 20%). O circuito também funciona para frequências 5% abaixo ou acima da original. Em uma das saídas a onda será quadrada com frequência igual ao dobro da inicial, na outra saída uma onda triangular com frequência igual 3 vezes a inicial.

Além da fonte de tensão na entrada há 2 fontes DC de 1V e -1V, utilizadas em amplificadores operacionais comparadores. Dentre os filtros que estão no esquemático são utilizados o passa-baixa e o passa-banda, no caso 2 modelos de passa-banda diferentes e o mesmo de passa-baixa utilizado 2 vezes. Além dos filtros e dos comparadores, são utilizados amplificadores operacionais não inversores com um certo ganho e uma ponte retificadora com 4 diodos.

2 Saídas - Onda quadrada e onda triangular

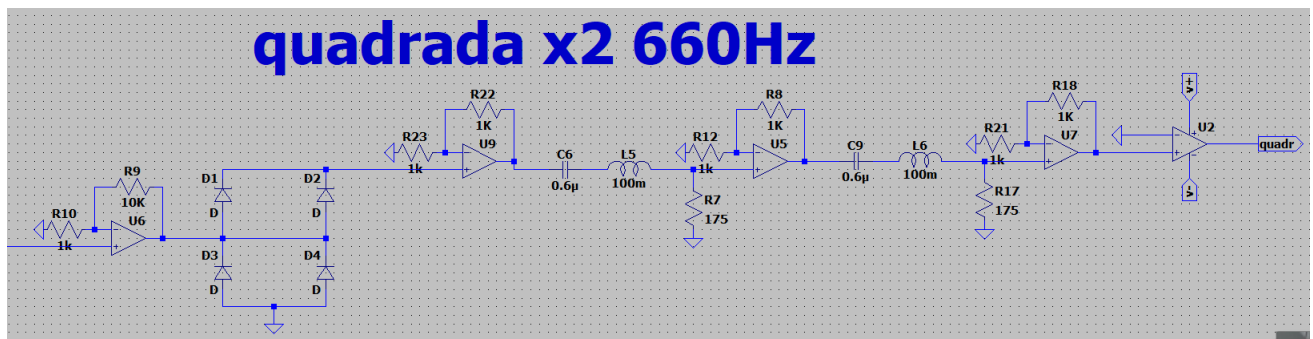
Analisando as componentes de frequência que formam uma onda senoidal de cerca de 330Hz é possível observar, assim como qualquer outro seno, que essa onda fundamental só possui um componente de frequência, portanto é desejável usar outras ondas que possuem harmônicos pares ou ímpares, bastando filtra-los para possuir as ondas com certa frequência desejada.



(1)

Fourier - Seno

2.1 Onda Quadrada



(2)

Circuito para a onda quadrada

Primeiro a onda senoidal será retificada pela ponte (retificador) formada pelos 4 diodos dispostos, de tal forma que somente um sentido da corrente (na qual sua tensão é positiva) passa. Isso é desejável porque o seno retificado (completamente ou não) possui várias componentes, que são múltiplas de 2. Analisando as componentes de frequência de uma onda de cerca de 330Hz, através da Transformada de Fourier (na verdade, a FFT) é possível confirmar essa afirmativa:



Fourier - Seno retificado

Após essa etapa a onda passará por 2 filtros passa-banda RLC, com ganhos de tensão entre eles, porque a intenção é que a saída após esse processo de filtragem seja a mais próxima possível de um seno. Nesse caso bastou realizar esse processo em 2 filtros. Por fim esse seno resultante é comparado com 0V em um comparador, saindo 1V caso a tensão do seno seja positiva, -1V caso o contrário. Com isso a onda quadrada resultante possuirá metade do período, dobro da frequência, da onda original. Se o sinal de entrada for $0.95f_0$, a saída será $1.9f_0$ por exemplo.

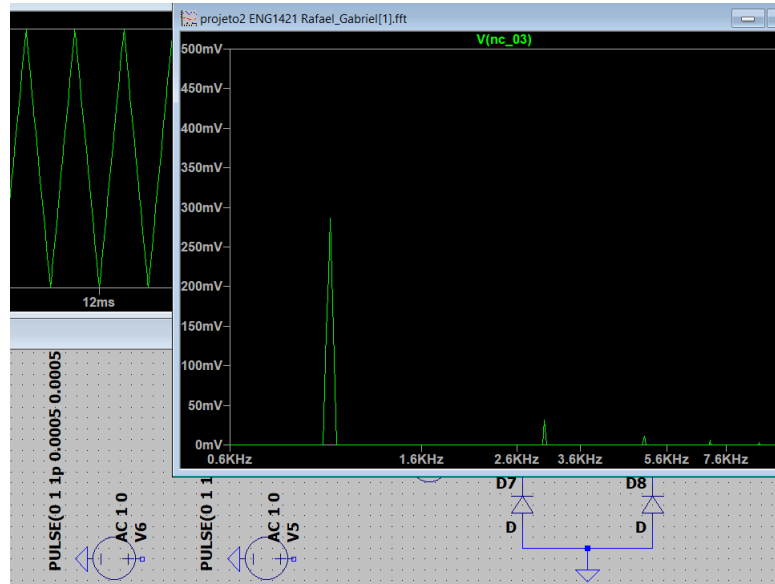
2.2 Onda triangular



Onda senoidal para triangular

Primeiro a onda senoidal será comparada com 0V, de tal forma que quando ela for positiva a saída do amplificador será 1V, quando ela for negativa a saída será -1V, formando uma onda

quadrada. Após essa etapa a onda resultante passará por um filtro passa-baixa, porque como a frequência de corte dele (explicada no próximo capítulo) é muito menor que a da onda, o mesmo agirá como um integrador, transformando a onda quadrada em triangular, com mesma frequência. Isso é desejável porque a onda triangular possui várias componentes, que são múltiplas ímpares da primeira. Analisando as componentes de frequência de uma onda de cerca de 660Hz, através da Transformada de Fourier (na verdade, a FFT) é possível confirmar essa afirmativa:



(5)

Fourier - onda triangular

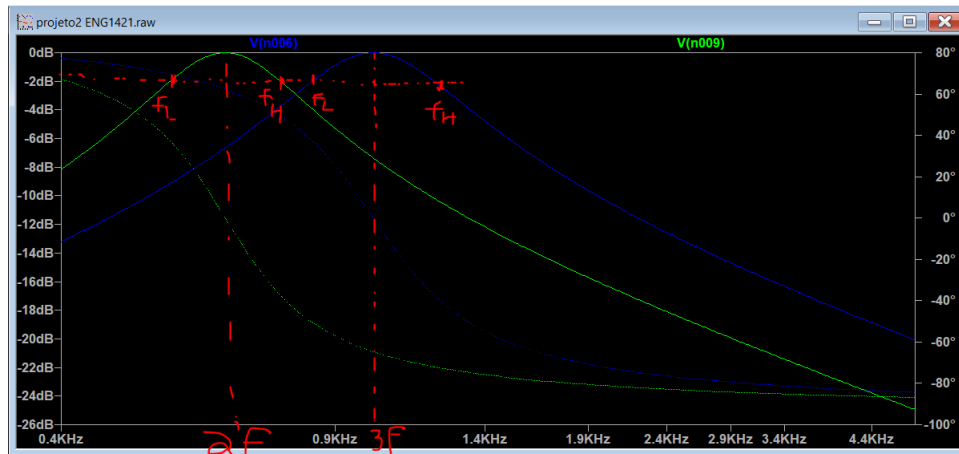
Após essa etapa a onda passará por uma cadeia de 5 filtros passa-banda RLC série, com ganhos em tensão entre eles. Essa quantidade é necessária para que na saída o seno seja o mais próximo do ideal, porque se não, mesmo com a frequência certa, a amplitude das ondas triangulares iriam variar significativamente entre si. Depois desse processo a onda resultante (seno) é transformada de volta para quadrada através de um comparador, por fim ela passa por um passa-banda RC idêntico ao do começo, para transforma-lá enfim em uma onda triangular com a frequência triplicada. Como último passo há um ganho nela, para ter uma amplitude de cerca de 1V.

3 Filtro

O filtro passa banda será o principal filtro utilizado, permitindo a passagem de um múltiplo do harmônico original, com margem de tolerância para outras frequências, de modo que através desse filtro é possível conseguir a frequência específica do enunciado e retirar frequências indesejadas

tanto acima quanto abaixo.

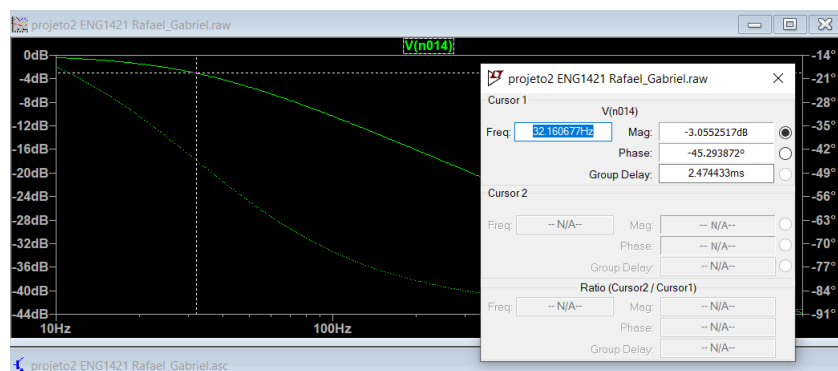
Pelo Diagrama de Bode, que mostra a resposta em frequência em dB, $20 \cdot \log(H(j\omega))$, em função da frequência, é possível ver as diferentes curvas para cada filtro passa-banda implementado. Eles possuem sua frequência de pico próxima de $2f$ e $3f$, com uma banda passante o suficiente para pequenas alterações na fonte senoidal.



(6)

Resposta em frequência do RLC (há uma curva em azul escuro)

O filtro passa-baixa implementado através de um circuito RC possui frequência de corte de cerca de 30Hz, propositalmente baixa o suficiente - em relação a fonte de entrada - para funcionar como um integrador de onda triangular, produzindo em sua saída uma onda triangular com mesmo período que a entrada. O filtro foi formulado como um circuito RC série, com saída de tensão no resistor.

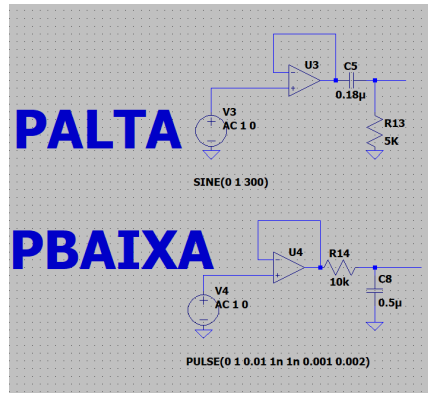


(7)

Resposta em frequência do RC (há uma curva em azul escuro)

3.1 Filtro passa-baixa

Para se ter um filtro passa-baixa, basta fazer a função de transferência da saída de tensão em um capacitor em um circuito RC série. No circuito dado temos:



(8)

Filtro

Temos um filtro de primeira ordem, passa-baixas, na qual a função de transferência da tensão no capacitor é dada por :

$$\frac{\frac{1}{CR}}{s + \frac{1}{CR}}$$

Substituindo os valores de RC para o filtro do circuito:

$$\frac{200}{j\omega + 200}$$

3.2 Filtro passa-banda

Ao passar a onda senoidal por um filtro passa banda é possível projetar o circuito para que somente um certo harmônico, um múltiplo inteiro da frequência inicial, por exemplo o dobro ou o triplo, continue e outros harmônicos sejam filtrados.

A função de transferência de um circuito passa-banda RLC com saída no resistor é:

$$\frac{2\xi\omega_n S}{S^2 + 2\xi\omega_n S + \omega_n^2}$$

Além disso temos que:

$$\xi = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}}$$

e:

$$\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$

3.2.1 Passa-banda - saída onda quadrada

Substituindo valores temos que ξ :

$$\xi = \frac{175}{2} \sqrt{\frac{0.6 \cdot 10^{-6}}{0.1}}$$

$$\xi = 0.21433$$

Além disso, $\omega_n = \frac{1}{\sqrt{LC}}$:

$$\omega_n = \frac{1}{0.1 \cdot 0.6 \cdot 10^{-6}}$$

$$\omega_n = 4082 \text{ rad/s}$$

substituindo os valores temos que a função de transferência é:

$$\frac{1750j\omega}{(j\omega)^2 + 1750j\omega + 16666666.6}$$

Além disso aplicamos o passa-banda novamente para filtrarmos ainda mais e conseguir um seno menos distorcido, com essa frequência (harmônico) específica.

3.2.2 Passa-banda - saída onda triangular

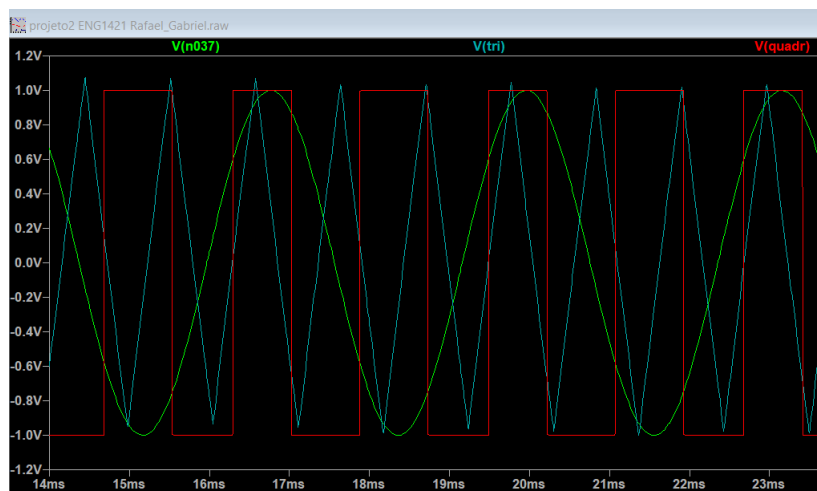
Para onda triangular utilizamos o mesmo raciocínio de filtro passa-banda, entretanto, os valores são diferentes. Realizando as devidas substituições temos que:

$$\frac{3000j\omega}{(j\omega)^2 + 3000j\omega + 40000000}$$

4 Conclusão

Esse circuito cumpre o seu papel, já que a banda de passagem do filtro passa banda permite que o harmônico da frequência original passe, com a banda de passagem comportando também os valores para os casos 5% acima ou abaixo dessa original. Caso a frequência de entrada fosse outra bem maior ou menor boa parte do circuito poderia ficar idêntica, porém os valores dos filtros dev-eriam ser alterados, além de eventualmente o ganho nos amplificadores.

Idealmente a amplitude de saída não deveria ser alterada, porém sempre vai ter uma atenuação pelo fato de ele ser um filtro real. É possível ver no Diagrama de Bode, que mostra sua resposta em frequência, que na banda de passagem nem sempre o ganho é próximo de 1 (0dB), porém pelo projeto o ganho dos filtros passa-banda não são menores que 0.8 (-1.9dB), entretanto são necessários amplificadores pelo fato de ser uma cadeia de filtros para o sinal ficar mais próximo de um seno, antes de mudar para uma onda quadrada ou triangular com a frequência desejada.



(9)

Resultado final das ondas

