

## Experimento: Oscilador senoidal por ponte de Wien

### 1 Introdução

O presente relatório visa detalhar o experimento laboratorial realizado na disciplina laboratório de circuitos eletrônicos no dia 5 de novembro de 2019 abordando o assunto de oscilador senoidal por ponte de Wien, uma configuração que usar amplificadores operacionais (AMPOPS), mais especificamente os do circuito integrado (CI) LM741, para gerar sinais senoidais.

A prática possui o objetivo de gerar uma onda senoidal através do circuito oscilador por ponte de Wien, primeiramente utilizando um potenciômetro para encontrar o valor aproximado da resistência necessária para oscilação ideal "quase-perfeita" e, em seguida, inserir um controle não linear do ganho que possibilita gerar sinais senoidais na saída. O circuito a ser montado está apresentado na figura 1.

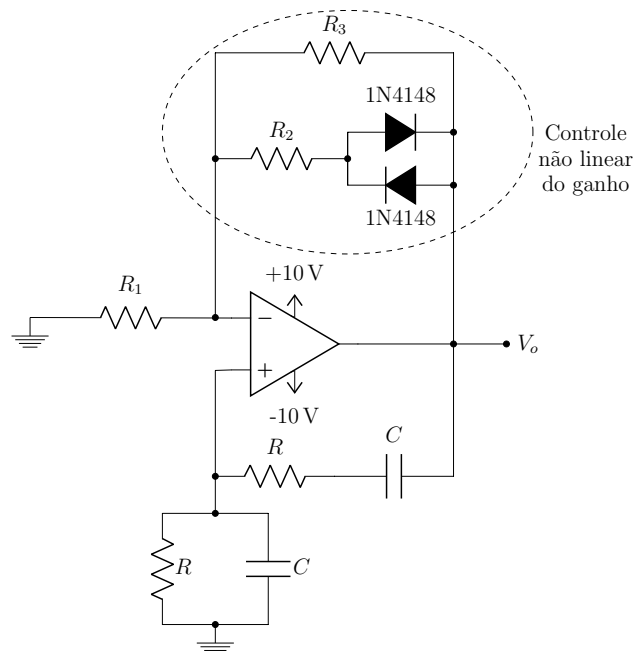


Figura 1: Oscilador por ponte de Wien. Onde:  $R_1 = 10k\Omega$ ,  $R_2 = 47k\Omega$ ,  $R_3 = 22k\Omega$ ,  $R = 15k\Omega$  e  $C = 10nF$

Como circuitos geradores não possuem entradas para sinais externos, foi utilizada apenas a fonte DC para alimentação dos CI's. O osciloscópio foi utilizado para comparar as formas de onda das saídas  $V_{o1}$  e  $V_{o2}$ .

## 2 Análise Teórica

Como o circuito da figura 1 é um circuito oscilador harmônico, substituindo o controle não linear de ganho pelo o potenciômetro de  $50k\Omega$  já conhecendo os pré-requisitos para a geração de senoide, devemos saber a resistência necessária para que o circuito funcione adequadamente. Primeiramente sabemos que o circuito descrito está de acordo com o critério de estabilidade de Barkhausen, logo podemos calcular a frequência de oscilação do sistema.

$$f_o = \frac{1}{2\pi \times R \times C} = \frac{1}{2\pi \times 15 \times 10^3 \times 10 \times 10^{-9}} = 1,061kHz \quad (1)$$

Para encontrar resistência mínima do potenciômetro necessária para a oscilação devemos perceber que essa resistência será no mínimo o dobro da resistência  $R_1$ , logo:

$$R_p = 2R_1 = 20k\Omega \quad (2)$$

Neste caso espera-se na saída uma senoide que para valores de  $R_p$  inferiores a  $20k\Omega$  será atenuada a ganho zero, e para valores maiores que  $20k\Omega$  devemos observar um saturação na amplitude do sinal.

Substituindo o potenciômetro pelo o bloco de controle não linear de ganho, o comportamento do circuito é um pouco diferente devido a presença dos diodos. Primeiramente devemos supor que os diodos D1 e D2 estão em corte, logo não passa corrente em  $R_3$ , teremos na saída então:

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \times V^+ \quad (3)$$

onde:  $|A| = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$

Como  $R_2$  é  $47k\Omega$  ou seja um pouco maior que  $2R_1$ , temos que  $|A| > 3$ . Neste caso:

$$V^+ = V^- = \frac{V_o}{1 + \frac{R_2}{R_1}} \approx \frac{V_o}{3} \quad (4)$$

Também não haverá corrente em  $R_2$ , portanto:

A tensão entre o paralelo dos diodos  $V_x$  será igual  $V^-$ , logo:

$$V_x = V^- = \frac{V_o}{3} \quad (5)$$

- D1 irá conduzir para:

$$\begin{aligned} V_o - V_x &> 0,7 \\ V_o - \frac{V_o}{3} &> 0,7 \\ V_o &> 1,05V \end{aligned} \quad (6)$$

- De forma semelhante, D2 irá conduzir para:

$$V_o < -1,05V \quad (7)$$

Dessa forma a Amplitude pico a pico ( $A_{pp}$ ) será:

$$A_{pp} = 2,10 V_{pp} \quad (8)$$

Desta forma, devemos notar na saída  $V_o$  uma senoide com frequência de oscilação  $f_o$  e  $A_{pp}$ . Porém percebe-se que na prática considerar que a tensão de limiar do diodo 0,7V é uma aproximação grosseira, essa discussão será melhor trabalhada na próxima seção, como poderemos ver a seguir.

### 3 Resultados e discussão

Para encontrar todos os resultados necessários para comprovar a teoria, a prática foi dividida em algumas etapas, sendo elas:

- Inicialmente foi montado o circuito da figura 1 substituindo o controle não linear do ganho por um potenciômetro de  $50k\Omega$ , ajustando-o de tal forma que tentasse garantir uma senoide de 1V de pico na saída do circuito;
- Medir a resistência do potenciômetro que garante o circuito no limiar de sustentação de oscilações;

- Por fim o controle não linear foi repostado no lugar do potenciômetro e a forma de onda e a frequência do sinal de saída foi verificado.

Antes de montar o circuito, os valores máximo e mínimo de resistência do potenciômetro foi medida, encontrando uma valor máximo de  $52.28k\Omega$  e um valor mínimo de  $10.74\Omega$ .

Ao tentar ajustar o potenciômetro de forma a garantir uma senoide de 1V de pico, observou-se a impossibilidade de obter tal forma de onda, como já esperada pelas relações 6 e 7 obtidas na análise teórica.

Ao aumentar muito a resistência do potenciômetro observou-se que a forma de onda saturava-se, indicando instabilidade nos polos da função de transferência de malha fechada (figura 2). Enquanto que ao diminuir a resistência do potenciômetro, chegava-se a um ponto em que as oscilações não se sustentavam devido à existência de oscilações amortecidas (figura 3). O valor de resistência ajustado no potenciômetro que garantiu oscilações sustentadas foi cerca de  $19.552k\Omega$ , cerca do dobro do valor de resistência do resistor  $R_1$  da figura 1 (figura 4) e com frequência de 996Hz, próxima do valor teórico encontrado em 1.

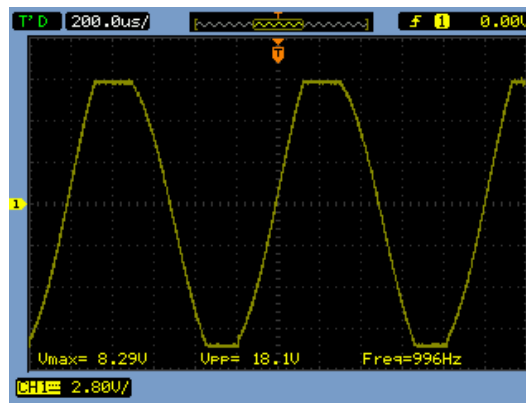


Figura 2: Oscilações instáveis. Observa-se que a forma de onda está sendo deformada pela saturação.

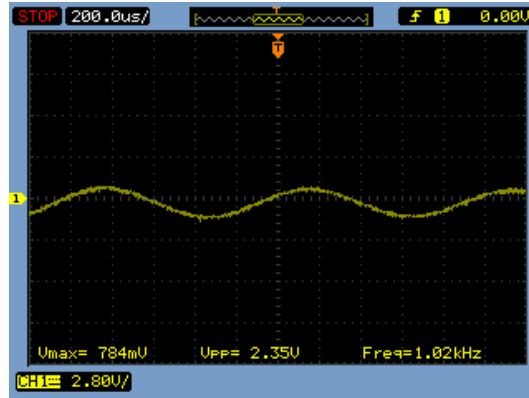


Figura 3: Oscilações amortecidas. A senoide que antes existia foi totalmente amortecida (observa-se nas medições do osciloscópio a medição da amplitude da senoide que instantes infinitesimais atrás estava ali).

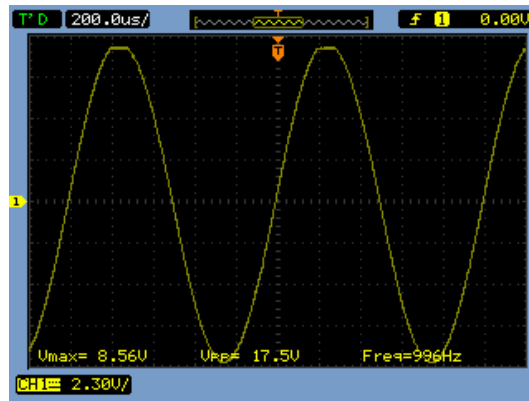


Figura 4: Senoide sustentada.

Com o controle não linear do ganho posto no lugar do potenciômetro e trocando  $R_2$  do circuito da figura 1 por um resistor de valor de  $100k\Omega$ , observou-se a forma de onda da figura 5.

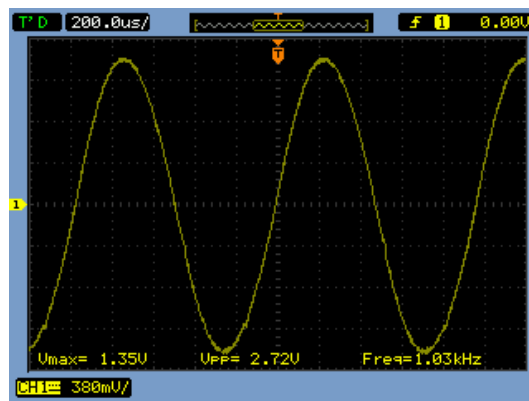


Figura 5: Oscilador operando com controle não linear do ganho.

Observa-se que a amplitude não é como a esperada na prática, sendo a amplitude pico-a-pico encontrada de 2.72V e a teórica de 2.1V. Isso se deve, pois na teoria é considerado que a queda de tensão sobre os diodos é de 0.7V, enquanto que na prática esse valor pode variar.

A estratégia utilizada para alterar o resistor de  $47k\Omega$  por um de  $100k\Omega$  foi observando que o paralelo de uma resistência série do resistor  $R_2$  com os diodos e o resistor  $R_3$  deve gerar uma resistência duas vezes maior que a do resistor  $R_1$ , ou seja  $20k\Omega$  para garantir o critério de Barkhausen. Dessa forma encontra-se que a resistência série, antes mencionada deve ser de  $220k\Omega$ .

Considerando-se a equação da corrente do diodo 10 com a tensão térmica de  $V_t = 26mV$ , a corrente de saturação  $I_S = 1.25 \times 10^{-14}A$  e tensão de operação do diodo em cerca de  $V_D = 0.5V$ .

$$I_D = I_S(e^{\frac{V_D}{V_t}} - 1) = 2.81\mu A \quad (9)$$

Logo a resistência de um diodo polarizado diretamente será:

$$R_D = \frac{V_D}{I_D} = 177k\Omega \quad (10)$$

Assim para garantir o critério de Barkhausen associou-se o diodo com um resistor de  $100k\Omega$ .

Aproximando a tensão do diodo para cerca de 0.7V obtém-se uma corrente de  $6.15mA$  e uma resistência de  $113k\Omega$ , implicando em uma diferença significativa, devido a influência da exponencial.

## 4 Conclusões

A prática permitiu compreender o circuito oscilador, uma categoria de circuitos geradores utilizando amplificadores operacionais, de modo a gerar uma onda triangular a partir do ruído térmico.

Apesar das dificuldades teóricas oriundas da complexidade teórica do circuito, a prática foi executada sem mais problemas, permitindo comprovar a teoria a partir dos resultados práticos.

A importância desse tipo de circuito oscilador harmônico se reflete por toda a engenharia elétrica, sondando diversas aplicações, que vão desde a modulação na engenharia de telecomunicações até a geração de uma referência em um sistema de controle.