

ANÁLISE DE IMPLEMENTAÇÃO DE UM FILTRO ATIVO EM UM CIRCUITO CONDICIONADOR DE SINAIS**IMPLEMENTATION ANALYSIS OF AN ACTIVE FILTER IN A SIGNAL CONDITIONING CIRCUIT****ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN FILTRO ACTIVO EN UN CIRCUITO DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL**

Leandro Paiter¹; Cleidimar Nardi²

¹União de Ensino do Sudoeste do Paraná - leandro.paiter@gmail.com

²União de Ensino do Sudoeste do Paraná - nardi.cleidimar@gmail.com

Resumo: O objetivo deste projeto é o dimensionamento de um circuito condicionador de sinais que pode ser utilizado em conversores CC/CC ou CC/CA, além de outras aplicações. Implementado em placa de circuito impresso, este equipamento tem por objetivo amplificar o sinal a ser analisado e amplificá-lo para níveis de tensão aceitáveis, além de, através da utilização de filtro ativo, atenuar sinais acima de uma frequência a ser especificada para seu uso. Como parâmetro de análise de sua eficácia são observados eventuais erros relacionados aos valores dos componentes calculados e os disponíveis comercialmente.

Palavras-chave: Conversores. Sensores. Amplificadores. Frequência. Filtros.

Abstract: The purpose of this project is to design a signal conditioning circuit that can be used in DC / DC or DC / AC converters, as well as other applications. Implemented on a printed circuit board, this equipment aims to amplify the signal to be analyzed and amplify it to acceptable voltage levels, and, through the use of active filter, attenuate signals above a frequency to be specified for its use. . As a parameter of analysis of its effectiveness, any errors related to the values of the calculated and commercially available components are observed.

Key words: Converters. Sensors Amplifiers Frequency. Filters.

Resumen: El propósito de este proyecto es diseñar un circuito de acondicionamiento de señal que se pueda usar en convertidores de CC / CC o CC / CA, así como en otras aplicaciones. Implementado en una placa de circuito impreso, este equipo apunta a amplificar la señal a analizar y amplificarla a niveles de voltaje aceptables y, mediante el uso de un filtro activo, atenuar las señales por encima de una frecuencia que debe especificarse para su uso. . Como parámetro de análisis de su efectividad, se observan los errores relacionados con los valores de los componentes calculados y disponibles comercialmente.

Palabras llave: Convertidores. Sensores Amplificadores Frecuencia Filtros

1. INTRODUÇÃO

Sensores são importantes ferramentas que auxiliam na aferição de grandezas físicas como temperatura, umidade, pressão, corrente, tensão,

etc (PUHLMANN, 2015). Estes sensores tem a capacidade de transformar grandezas físicas ou químicas em grandezas elétricas (PAITER, 2015). O problema ocorre com relação as condições desse sinal captado, sua linearidade, amplitude, presença de ruídos. Neste artigo será apresentado o projeto e construção de um circuito condicionador de sinais que possui a função de resolver alguns desses problemas, bem como condicionar e trazer esses sinais até os microcontroladores de forma que eles possam ser digitalizados e processados por software posteriormente.

É possível categorizar um condicionamento de sinais em vários tipos, onde é possível destacar: mudança de amplitude; linearização; conversão; isolamento; filtragem e casamento de impedância (FERREIRA, 2013).

Em se tratando da amplitude do sinal, pode-se destacar a utilização de amplificadores operacionais. O amplificador operacional (AOP) é um amplificador diferencial, caracterizando-se por uma saída de elevado ganho com base no sinal de entrada (PERTENCE, 2003). A simbologia do AOP é apresentada conforme figura 1.

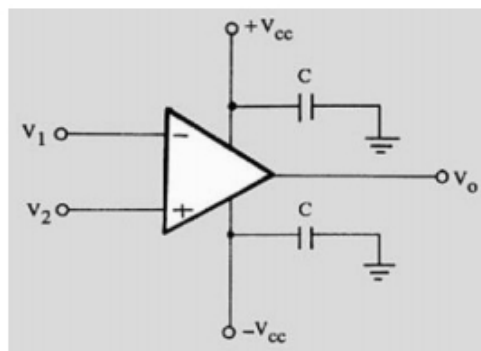


Figura 1 - Ilustração da simbologia do AOP: (a) mais usual
Fonte: Pertence, (2003)

A relação de ganho de tensão de um AOP pode ser definido pela Equação (1), onde o ganho de tensão (A_v) é a relação entre a tensão de saída (V_o) pela tensão de entrada (V_i).

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} \quad (1)$$

É possível ainda, através da equação (2) converter os dados encontrados em (1) para decibéis.

$$A_v(dB) = 20 * \log \frac{V_o}{V_i} \quad (2)$$

Um fator que deve ser levado em consideração é a presença de ruídos que podem aparecer nos terminais do dispositivo amplificador operacional. De acordo com Pertence, (2003), para realizar esta correção é sugerido a inserção de capacitores da ordem de 100nF entre o GND e o pino do CI onde se aplica a alimentação. “Os capacitores atuam como capacitores de passagem para correntes parasitas normalmente de alta frequência produzidas ao longo dos condutores entre a fonte de alimentação e o circuito (PERTENCE, 2003)”.

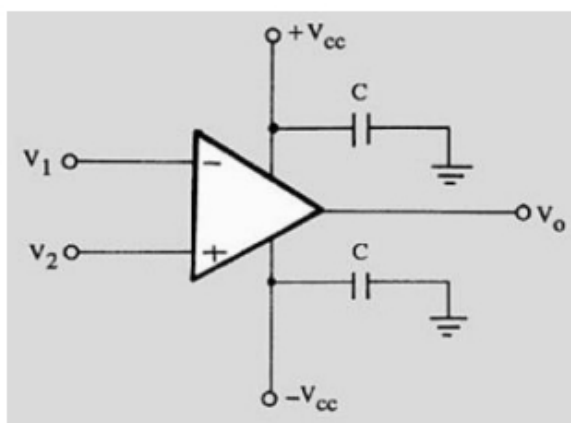


Figura 1 - Configuração de capacitores utilizados na proteção contra
Fonte: Pertence, (2003)

Existem diferentes formas de polarização do circuito amplificador operacional, neste projeto especificamente será utilizado o circuito amplificador operacional com realimentação negativa de instrumentação. Esse circuito é composto por dois amplificadores não inversores na parte inicial que recebe os sinais V1 e V2, e tem a característica de apresentar o sinal amplificado em fase com o sinal de entrada (NARDI, 2016). Na próxima etapa temos um amplificador diferencial que permite que se obtenha na saída a amplificação da diferença dos sinais de entrada do AOP. Equacionando este circuito, obtemos a tensão de saída de acordo com a equação (3).

$$V_o = (V_2 - V_1) \quad (3)$$

Outra aplicação importante do amplificador operacional é o circuito seguidor de tensão apresentado na figura 4. Devido sua alta impedância de entrada e baixa impedância de saída possibilita o casamento de impedância. Este circuito possui ganho unitário, e sinal de saída em fase com o de entrada.

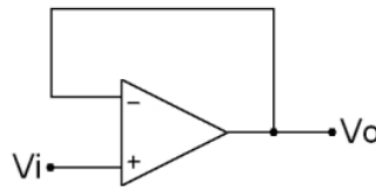


Figura 4 - Circuito seguidor de tensão
Fonte: Amorin, (2010)

Outro parâmetro do condicionamento de sinais é a filtragem do sinal recebido dos sensores ou transdutores. “Um filtro elétrico é um quadripolo capaz de atenuar determinadas frequências do espectro do sinal de entrada e permitir a passagem das demais” (PERTENCE, 2003). O filtro implementado para o projeto é o passa baixas (PB), que permite a passagem de frequências que estejam abaixo da frequência de corte (f_c), as frequências superiores são atenuadas. Por definição, na frequência de corte o ganho sempre decai $-3,01\text{dB}$ em relação ao ganho máximo (NARDI, 2016). Considerando agora o aspecto de classificação de um filtro no que diz respeito a sua função-resposta, um dos mais comuns é o Butterworth, em que as curvas obtidas não apresentam nenhum tipo de ondulação, observado na figura 5.

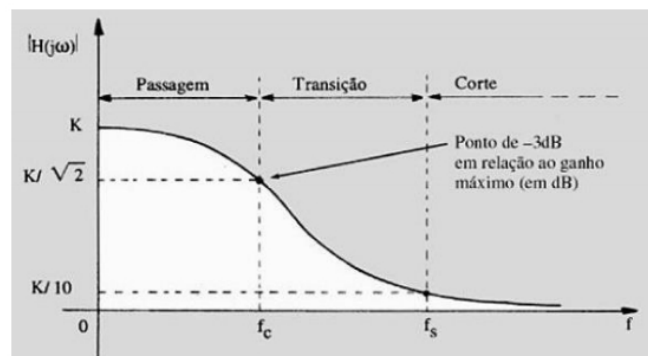


Figura 5 - Curva de resposta de um filtro PB no domínio da frequência
Fonte: Pertence, (2003)

A taxa de atenuação (TA) do filtro passa baixa descrito anteriormente, é dada pela equação 4, onde n é a ordem do filtro e K o ganho do filtro.

$$TA = n * 20 \log(K) \quad (4)$$

Existem inúmeras estruturas de implementação para filtros ativos, sendo a abordada para este projeto a estrutura de fonte de tensão controlada por tensão - VCVS (NARDI, 2016). A estrutura de um filtro PB Butterworth de segunda ordem, utilizando estrutura VCVS está

representada na Figura 6.

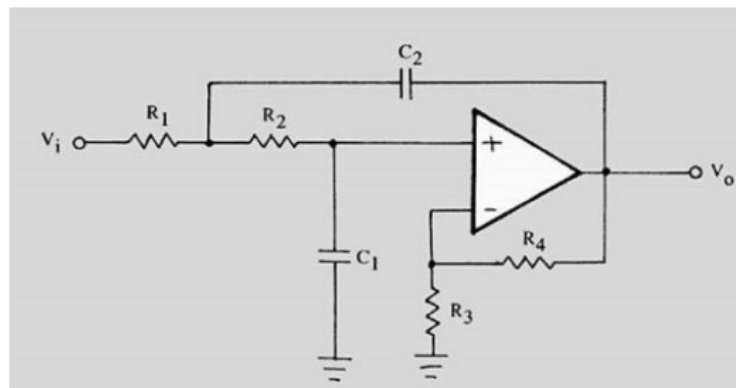


Figura 6 - Estrutura de filtro PB de segunda ordem, VCVS.
Fonte: Pertence, (2003)

As equações de projeto para esse filtro são as seguintes são descritas em (5), (6), (7), (8) e (9).

$$K = 1 + \frac{R4}{R3} \quad (5)$$

$$C2 = \frac{10}{fc} \mu F \quad (6)$$

$$C1 \leq \frac{(a|2+4b(K-1))C2}{4b} \quad (7)$$

$$R1 = \frac{2}{\square} \quad (8)$$

$$R2 = \frac{1}{bC1C2R1W\frac{2}{c}} \quad (9)$$

Os parâmetros a e b são obtidos por tabelas específicas para estes projetos sendo que a determinação dos valores de projeto segue a ordem na qual as equações foram inseridas (THEDE, 2004).

2. MÉTODO

O projeto em questão, apresentado na figura 7, é composto pelo circuito de leitura de dados, um filtro Butterworth de segunda ordem VCVS e um amplificador de ganho unitário para casamento de impedâncias, além do acréscimo de capacitores nas portas de alimentação e de um circuito limitador com diodo zener para proteção.

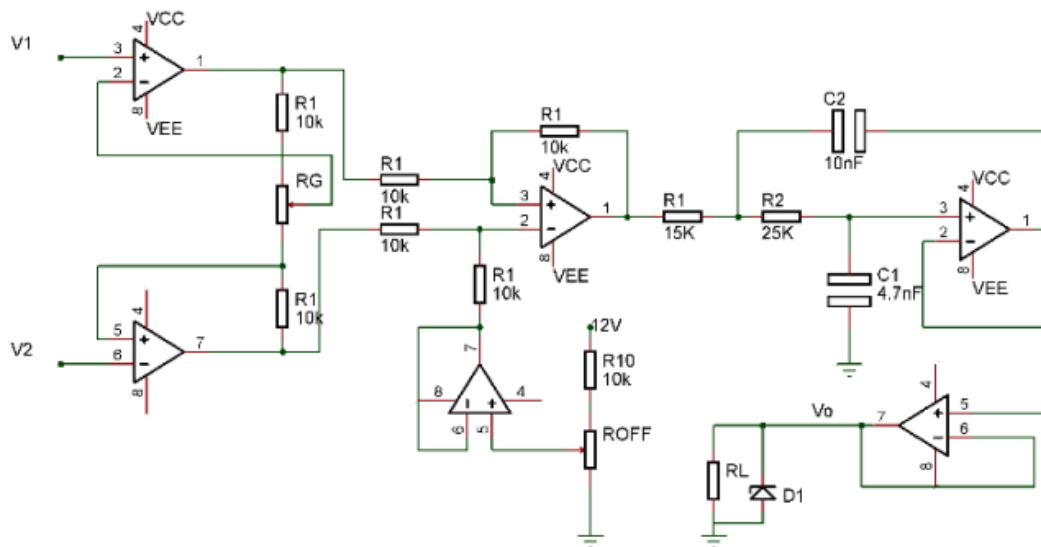


Figura 7 - Circuito condicionador de sinais implementado
Fonte: Autoria Própria

Como parâmetros determinados para o projeto, temos que a máxima diferença de potencial de entrada será de $\pm 2V$ ($V2 - V1 = \pm 2V$). A tensão de alimentação VCC e VEE dos AOPs será de $\pm 12V$. Sendo assim, a tensão máxima de saída igual a 5V (V_o) e a mínima igual a 0V. Dessa forma determinamos o ganho máximo do circuito, que é definido pela maior tensão de entrada que resulta na maior tensão de saída.

$$A_v = \frac{5}{2} = \frac{V_o}{(V2 - V1)} = 2,5 \text{ V}$$

Foi determinado um valor arbitrário para R1 igual a 10K, e definido o RG, que é um potenciômetro utilizado para ajuste de ganho, através da equação (3).

$$2,5 = \left(1 + \frac{2 * 10 * 10^3}{RG} \right)$$

$$RG = 13,33 \text{ K}\Omega$$

A tensão de offset é inserida para minimizar a atenuação que ocorre na etapa de filtragem, na frequência de corte onde o ganho decai $-3,01\text{dB}$ ou terá magnitude de $K/\sqrt{2}$. Portanto o ganho atenuado será de $K = 2,5/\sqrt{2} = 1,77$, que gera na saída tensão $V_o = 3,53V$, e dessa forma a tensão de compensação $V_{off} = 5 - 3,53 = 1,46V$, que será regulada pelo potenciômetro Roff. Por fim é obtido por divisor de tensão a resistência Roff igual a 1390 Ω . O filtro utilizado é um passa baixas Butterworth, de

segunda ordem utilizando estrutura VCVS, com frequência de corte igual a 1200Hz.

Considerando um ganho unitário $K = 1$, o resistor R3 se tornará um circuito aberto, enquanto o R4 será um curto-circuito. Dessa forma começamos calculando o capacitor C2 pela equação (6).

$$C2 = \frac{10}{1200} \mu F = 8,33nF$$

Em valores comerciais o valor utilizado de C2 será de 10nF. Calcula-se C1 através da equação 7, e utilizando os parâmetros tabelados $a=\sqrt{2}$ e $b=1$, de acordo com a tabela fornecida por (PERTENCE, 2003) (WINDNER, 2002).

$$C1 \leq \frac{\sqrt{2^2+4*1(-1)}10*10^9}{4*1} \leq 5nF$$

Em valores comerciais $C1 = 4,7nF$. Utilizando a Equação 8, calculamos R1.

$$R1 = \frac{2}{\square}$$

$$R1 = 15K\Omega$$

Sendo por fim utilizado a equação 9 para determinar R2:

$$R2 = \frac{1}{4,7n * 10n * 15k * (2\pi 1200)^2} \cong 25k\Omega$$

3. RESULTADOS

Com o auxílio de um osciloscópio, gerador de sinais e fonte de tensão ajustável, o circuito condicionador de sinais foi testado. Tomando os resultados para o filtro, variou-se a frequência observando as variações no sinal de saída, com o objetivo de observar a frequência de corte baseado na frequência em que o ganho atinge o valor de $K/\sqrt{2}$. Inicialmente inserindo tensão de $V_i = 2V_{pp}$, sendo esperado uma tensão de saída de $5V_{pp}$.

Conforme a Figura 8, a tensão V_i medida no osciloscópio foi de $2,32V_{pp}$, e a tensão V_o foi igual a $5,2V_{pp}$, medida com frequência de 100Hz. Portanto a frequência de corte f_c se dará quando V_o atingir amplitude igual a $3,67V$.

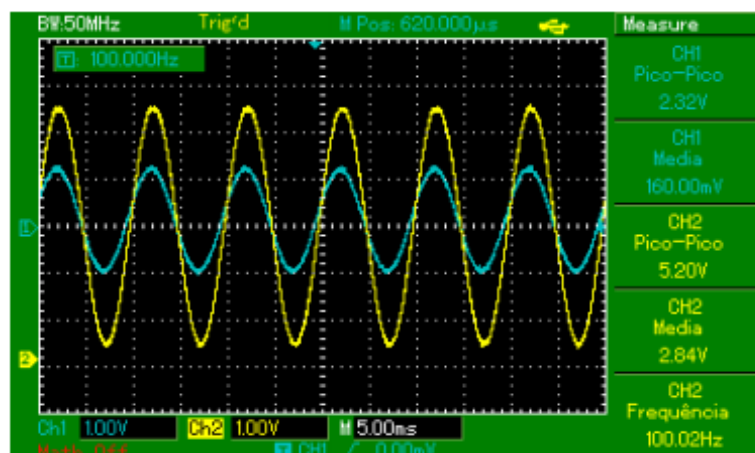


Figura 8 - Sinal de entrada (canal 1) e sinal de saída (canal 2) frequência de 100Hz
Fonte: Autoria Própria

Como observado nas figuras 9 e 10, em que o canal 1 do osciloscópio é V_i e o canal 2 é V_o , a frequência de corte obtida para o circuito é de aproximadamente 800Hz. De acordo com a figura 11 que analisa os sinais de entrada e saída na frequência de corte projetada para o circuito igual a 1200Hz, notamos que o sinal já possui grande atenuação com relação ao que era esperado, já tendo atenuado da amplitude calculada para a frequência de corte em 1,35V.

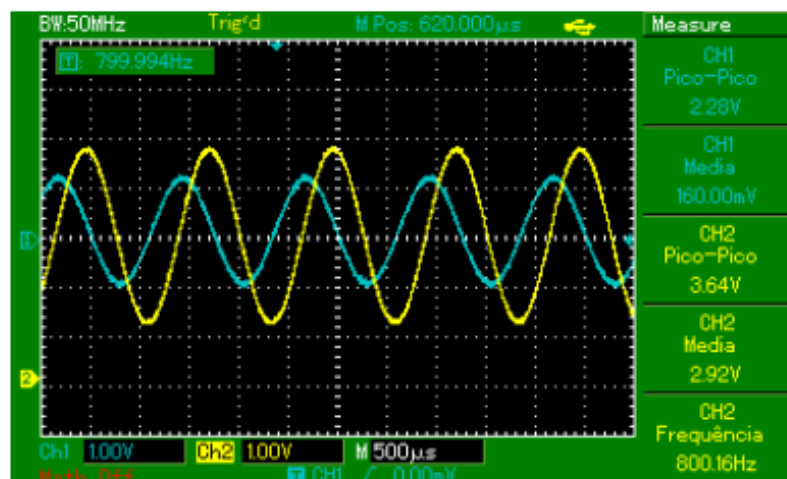


Figura 2 - Sinal de entrada (canal 1) e sinal de saída (canal 2) - frequência de 800Hz
Fonte: Autoria Própria

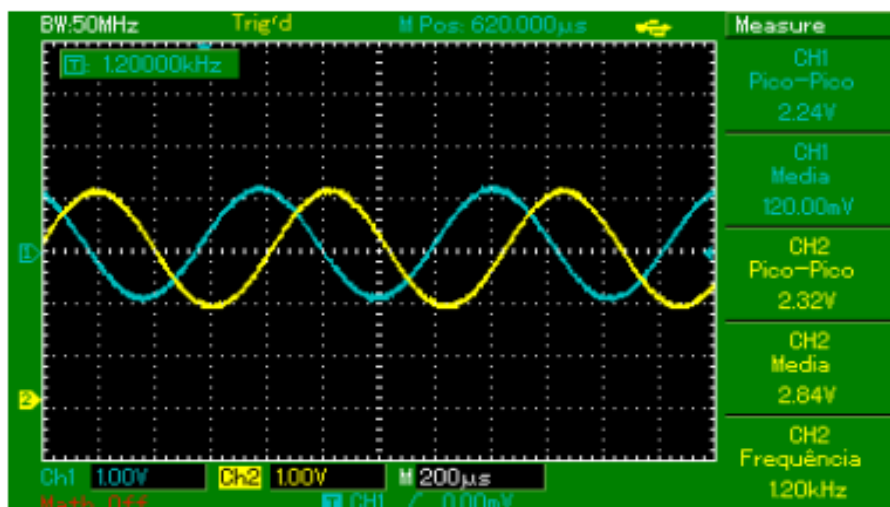


Figura 3 - Sinal de entrada (canal 1) e sinal de saída (canal 2) - frequência de 1200Hz

Fonte: Aatoria Própria

O ganho do circuito também foi testado analisando as tensões de entrada e de saída medidas no canal 1 e 2 do osciloscópio respectivamente. Observando a diferença entre as amplitudes dos sinais de entrada e saída, nota-se a presença de ganho no circuito com um valor aproximado de $AV = 2.6$. Ainda pode-se observar que a tensão de entrada V_i medida no canal 1 está centralizada em relação ao seu eixo. Já a tensão de saída medida no canal 2 está deslocada positivamente com relação ao seu eixo, indicando a presença de um sinal CC, como esperado devido a introdução da tensão de offset.

4. CONCLUSÃO

O projeto do circuito condicionador de sinais funcionou de forma parcialmente esperada onde o circuito de filtro PB observou-se que os resultados não condizem com o esperado, onde a frequência de corte atua antes do projetado, dessa forma o sinal começa a atenuar antes também isso podendo ser explicado pelos valores dos componentes não serem utilizados os calculados e sim os comerciais disponíveis mais próximos.

O amplificador de instrumentação funcionou de acordo como esperado, tanto na função de amplificar a tensão pelo fator projetado, quanto na função de inserir uma parcela CC ao sinal com a tensão de offset, visando compensar a atenuação do sinal sofrida próximo a frequência de corte no filtro.

REFERENCIAS

AMORIM, Carlos A. P., e Marcelo WENDLING. Amplificadores Operacionais. Prod. UNESP. Guaratinguetá, 2010.

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. 11^a. ed. São Paulo: Pearson Education, 2013.

FERREIRA, Elnatan Chagas. Curso IE-763 Sensores, Condicionamento e Aquisição de Dados. Campinas, São Paulo, 2013.

NARDI, C. **Dimensionamento de Filtros passivos para conversores estáticos de energia**. Pato Branco: [s.n.], 2016. 162 p.

PAITER, L. **Sensor para análise das características físico-químicas de óleo de soja por meio da constante dielétrica**. [S.l.]: [s.n.], 2015. 88 p.

PERTENCE, A. J. Eletônica Analógica: Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos. 6^a. ed. Porto Alegre: Bookman, 2003.

Puhlmann, Henrique Frank. "Trazendo o mundo real para dentro do processador - Condicionamento de sinais analógicos." Embarcados, 18 de 12 de 2015: 1-2.

THEDE, L. **Practical Analog and Digital Filter Design**. [S.l.]: Artech House, INC, 2004. 267 p.

WINDER, S. **Analog and Digital Filter Design**. 2^a. ed. [S.l.]: NEWNES, 2002. 450 p.