

Técnicas de Eliminação de *Offset* Aplicadas à Instrumentação Biomédica

Lucas F. Cardoso, Ernano Arrais Junior, Náthalee C. A. Lima

Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) – Pau dos Ferros/RN – Brasil

Laboratório de Análise de Sinais Biomédicos (LASBIO)

lucas.cardosoec@hotmail.com, ernano.arrais@ufersa.edu.br,
nathalee.almeida@ufersa.edu.br

Abstract. *This paper presents some of the displacement reduction / elimination techniques, something that can be found in operational amplifiers. This work is an important one of the operational amplifiers in applications such as biomedical instrumentation that uses electrical signals from the human body for the analysis and development of instruments that help in the medical field without diagnosis of patients and detection of pathologies. However, by small signal signals, any external interference or from the amplifier itself, such as the offset, can impair a reading of such signals. With this, the study of techniques becomes necessary.*

Resumo. *Este artigo apresenta algumas das técnicas de redução/eliminação do Offset, algo indesejável e presente em amplificadores operacionais. Aborda-se neste trabalho a importância dos amplificadores operacionais em aplicações como a instrumentação biomédica que utiliza de sinais elétricos oriundos do corpo humano para análise e desenvolvimento de instrumentos que auxiliem profissionais da área médica no diagnóstico e detecção de patologias. Entretanto, por se tratarem de baixa amplitude e frequência qualquer interferência externa ou oriunda do próprio amplificador, como o Offset, pode prejudicar a leitura de tais sinais. Com isso, o estudo de técnicas torna-se necessário.*

Palavras-Chaves: *Offset, Amplificadores, Instrumentação*

1. Introdução

No que se refere à análise de sinais biomédicos, por se tratarem de sinais de baixa amplitude e frequência, interferências causadas por meios externos tais como ruídos ocasionados pelos equipamentos ou por sinais de músculos nas proximidades, torna o processamento de sinais mais complexo. Devido a tais problemas, viu-se a necessidade em se utilizar amplificadores de biopotenciais, que são circuitos eletrônicos capazes de amplificar os potenciais produzidos pelas células do corpo, assim como rejeitar as interferências inerentes do processo de medição, cujo objetivo é elevar as tensões para níveis adequados a seu processamento e/ou armazenamento, onde tais potenciais são captados por eletrodos posicionados sob o tecido biológico [Cardoso 2010].

A utilização de amplificadores deu-se pelo fato de que idealmente o mesmo possui características peculiares, dentre elas podemos citar [Sedra & Smith 2007]:

- Impedância de entrada infinita;
- Impedância de saída nula;
- Ganho em malha aberta infinito;
- Rejeição em modo comum infinito;
- Largura de faixa de resposta em frequência infinitas.

Dessa forma, os sinais oriundos no processo de medição podem ser mais puros e exatos, resultando na análise e desenvolvimento de sistemas mais precisos. Entretanto, a produção de amplificadores ideais se faz impossível, pois no processo de fabricação e empacotamento o mesmo está sujeito a descasamento entre os componentes internos a eles [Razavi 2010]. Consequentemente, os amplificadores possuem um conjunto de limitações bem como imperfeições como ganho finito, impedância de entrada finita, impedância de saída diferente de zero, e imperfeições que para análise de sinais em baixa frequência podem influenciar negativamente como a tensão de desvio (*Offset*) que é o foco deste trabalho.

Desse modo, para solucionar tais problemas, um estudo bibliográfico foi realizado a fim de identificar algumas das técnicas para redução de *Offset* bem como realizar uma análise comparativa entre elas com o objetivo de verificar qual técnica se destaca, especificando suas vantagens e desvantagens.

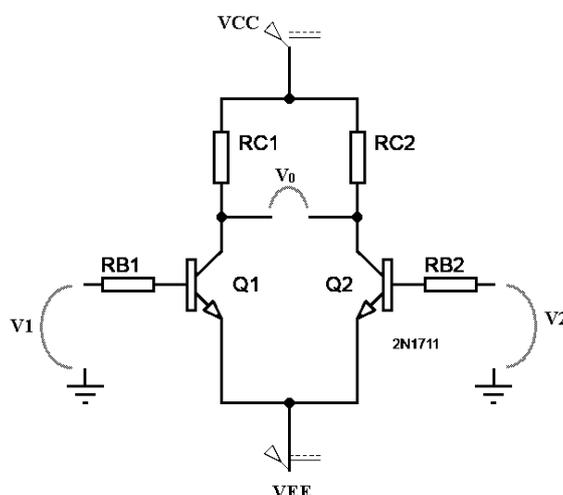
Este artigo está organizado da seguinte forma: Na seção 2, são apresentadas as topologias aplicadas para eliminação/redução do *offset*. Na seção 3, é apresentada a análise comparativa entre as técnicas discutidas na seção 2 e finalmente, na seção 4 são apresentadas as conclusões do trabalho.

2. Técnicas de Eliminação/Redução de *Offset*

2.1. *Offset*

Tensão de *Offset* ou tensão deslocamento é o termo utilizado quando ao aterrarmos ambas as entradas, inversora e não inversora, em nosso amplificador, o mesmo apresenta uma tensão na saída, geralmente causada por descasamento de transistores no estágio diferencial do amplificador operacional, que idealmente deveriam ser idênticos, resultando em um desbalanceamento das correntes no circuito [Pertence 2015].

Na Figura 1, é mostrado um circuito de amplificador diferencial básico presente internamente em um amplificador operacional, cuja característica principal consiste em dar ganhos muito grandes, quando os sinais de entrada tiverem polaridades opostas, quando comparados ao ganho a entradas iguais [Boylestad 2005]. Considerando os transistores Q_1 e Q_2 idênticos e os resistores $R_{C1} = R_{C2}$ assim como as tensões $V_1 = V_2$, observa-se que a saída V_o , idealmente é igual a 0. Entretanto, se ocorrer qualquer descasamento entre esses transistores, um desbalanceamento é ocasionado devido a diferença entre V_{BE1} e V_{BE2} , cujo o modulo da diferença chamamos de *Offset*.



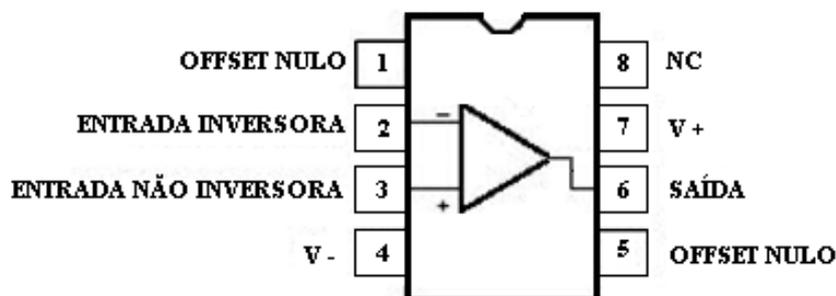
Fonte: Autor
 Figura 1. Amplificador diferencial

Como vimos anteriormente, existe uma tensão V_0 mesmo com ambas entradas aterradas, que chamamos de *Offset* (desequilíbrio) de saída. Já se dividirmos a tensão de saída pelo ganho do amplificador, obtemos a tensão de *Offset* de entrada. [Sedra & Smith 2007]. Assim, em circuitos cuja precisão é algo importante, tal deslocamento pode se tornar um problema. Para resolvermos esse problema, alguns métodos, para eliminação/redução de *Offset* serão discutidas posteriormente dentre eles temos:

- Cancelamentos pelos pinos de *Offset*
- Circuito Resistivo Externo
- *Auto-zeroing*
 - *Auto-zeroing* com armazenamento de *Offset* de saída
 - *Auto-zeroing* com armazenamento de *Offset* de entrada
- *Chopper Stabilization*

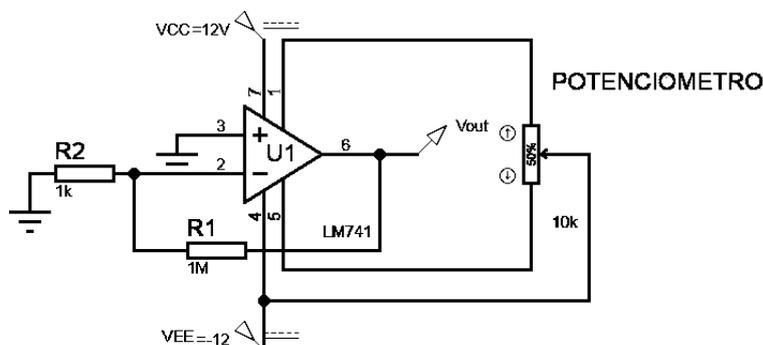
2.2. Cancelamento pelos pinos de *Offset*

Alguns amplificadores operacionais, como o LM741, ver figura 2, são providos de dois terminais adicionais, pinos 1 e 5, nas quais um circuito pode ser conectado para zerar a tensão cc de saída ocasionada pelo *Offset*, [Sedra & Smith 2007].



Fonte: Autor
 Figura 2. LM741

É comum acoplarmos um potenciômetro de 10 k Ω conectadas aos pinos de *Offset* do amplificador e o terminal central do potenciômetro é conectado a um dos pinos de alimentação do amplificador como mostrado na Figura 3. O cancelamento se dá pelo fato que ao conectarmos o potenciômetro, o mesmo estará conectado a entrada diferencial e com isso é possível balancear as correntes de coletor e conseqüentemente igualar as tensões V_{BE1} e V_{BE2} .



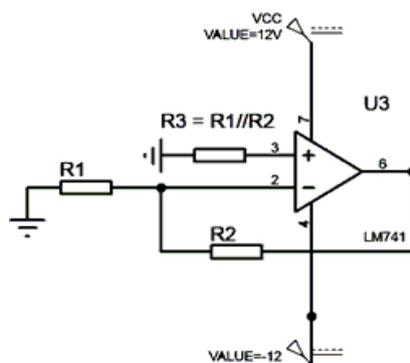
Fonte: Autor

Figura 3. Cancelamento de *Offset* pelos Pinos *OFFSET NULL*

Entretanto, algumas considerações devem ser levadas em conta, dentre elas o fato que nem todos os amplificadores possuem pinos para regulagem do *Offset*, como é o caso do LM307, sendo necessário acoplar um circuito externo, bem como fato de colocarmos um potenciômetro pode não ser suficiente para eliminar as tensões de *offset*, visto que tal tensão pode ser ocasionada por outros fatores como temperatura, descasamento dos valores de β que é um parâmetro intrínseco ao componente.

2.3. Circuito Resistivo Externo

Similarmente as tensões de *Offset*, é comum ocorrer nos amplificadores o que chamamos de correntes de *Offset* que se dá pela diferença entre as correntes de polarização de entrada existentes entre as entradas de sinal, V_+ e V_- , necessárias para o amplificador operar. Entretanto, as correntes de *Offset* podem ser corrigidas introduzindo uma resistência em série com o terminal da entrada não-inversora, cujo valor equivale ao paralelo das resistências da entrada inversora, [Sedra & Smith, 2007], ver Figura 4.



Fonte: Autor

Figura 4. Redução *Offset* por R_3

Teoricamente, a redução realizada por uma balanceamento externo é interessante, entretanto ajustar a resistência de R_3 de modo que a mesma seja o paralelo de R_1 e R_2 não é uma tarefa simples por se tratarem de componentes não ideais. Além do que, como citado anteriormente, descasamentos internos ao componente podem ocorrer gerando um *Offset* indesejável na saída.

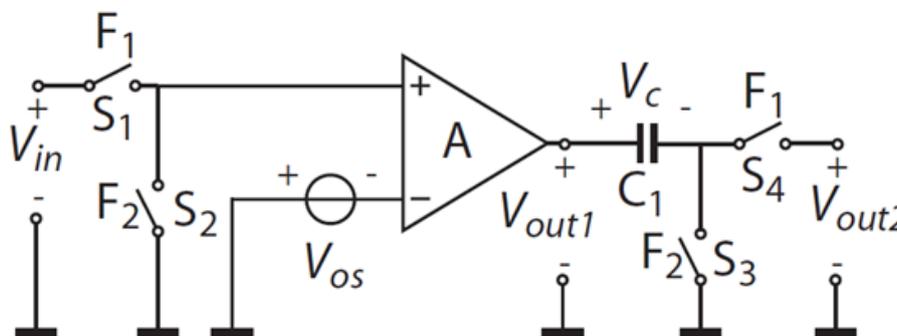
2.4. Auto-zeroing

Um das formas de se bloquear um componente *cc* de um sinal para compensar o *Offset* é utilizar uma técnica conhecida como *Auto-zeroing* (auto-zeragem) que consiste em acoplar um capacitor para armazenar o sinal de *Offset* e eliminá-lo, na qual podemos analisar esta topologia em dois momentos: uma fase de amostragem, auto-zero, na qual o *Offset* de um sistema é medido e armazenado no capacitor, e uma fase de sinal em que o sinal é amplificado e o *Offset* armazenado anteriormente é subtraído do sinal [Witte, Makinwa and Huijsing 2009]

De acordo com [Wu, Rong 2012] existem três topologias básicas para *Auto-zeroing* das quais duas delas consistem em armazenar o *Offset* de saída, de entrada e cancelamento de *Offset* de malha fechada usando um amplificador auxiliar, onde as duas primeiras serão abordadas nesse artigo.

2.4.1 Armazenamento de *offset* na saída

Para exemplificar, vamos analisar o circuito da figura 5, mostrada abaixo, também chamado cancelamento de deslocamento de malha aberta, que pode ser analisada em dois momentos, a fase de amostragem F_2 e a fase de sinal F_1 [Witte, Makinwa and Huijsing 2009].



Fonte: [Witte, Makinwa and Huijsing 2009].

Figura 5. *Auto-zeroing*

Na fase de amostragem F_2 , as chaves S_2 e S_3 são fechadas, enquanto as chaves S_1 e S_4 são abertas. Dessa forma, a tensão sobre o capacitor pode ser expressa como o ganho do circuito, A , multiplicado pela tensão de entrada, neste caso a tensão de *Offset*, V_{os} , ou seja:

$$V_c = V_{out1} = A \cdot V_{os} \quad (2.1)$$

Na fase de sinal F_1 , as chaves S_2 e S_3 são abertas, enquanto as chaves S_1 e S_4 são fechadas. Dessa forma, a saída V_{out2} é dada por:

$$V_{out1} = (V_{os} + V_{in}) * A \text{ e } V_{out2} = V_{out1} - V_c \quad (2.2)$$

$$V_{out2} = V_{os} * A + V_{in} * A - A * V_{os} \quad (2.3)$$

$$V_{out2} = V_{in} * A \quad (2.4)$$

2.4.2 Armazenamento de *offset* na entrada

Semelhantemente ao caso anterior, temos um circuito de *Auto-zeroing*, entretanto o capacitor foi acoplado na entrada inversora do amplificador. Dessa forma, vamos analisar o circuito mostrado na Figura 6, em dois momentos, a fase de sinal e a fase de amostragem [Witte, Makinwa and Huijsing 2009].

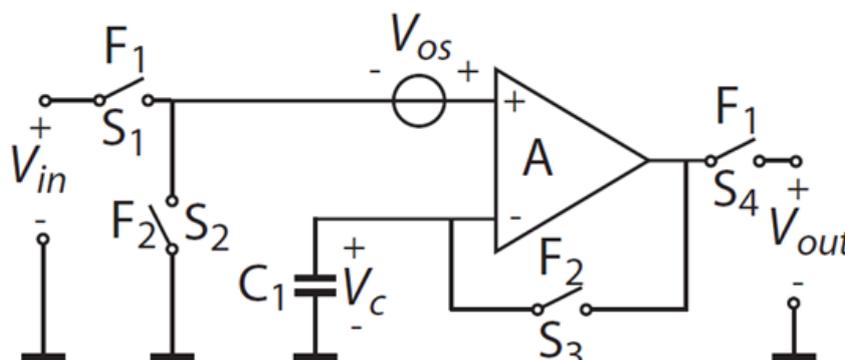


Figura 6. Armazenamento do Offset na entrada
Fonte: [Witte, Makinwa and Huijsing 2009].

Na fase de amostragem F_2 , as chaves S_2 e S_3 são fechadas, enquanto as chaves S_1 e S_4 são abertas. Dessa forma, a tensão sobre o capacitor pode ser expressa como um circuito RC, cuja função de transferência pode ser dada por:

$$V_c = \frac{A}{A+1} \cdot V_{os} \quad (2.5)$$

Na fase de sinal F_1 , as chaves S_2 e S_3 são abertas, enquanto as chaves S_1 e S_4 são fechadas. Dessa forma, a saída V_{out2} é dada por:

$$V_{out} = (V_{in} + V_{os} - V_c) * A \quad (2.6)$$

$$V_{out} = \left(V_{in} + V_{os} - \frac{A}{A+1} \cdot V_{os} \right) * A \quad (2.7)$$

$$V_{out} = \left(V_{in} + -\frac{1}{A+1} * V_{os} \right) * A \quad (2.8)$$

Assim, analisando a equação acima, notamos que quanto maior o ganho dado ao circuito, maior será a diferença entre o sinal de entrada e o circuito. Entretanto, alguns problemas podem surgir advindos dessa topologia, principalmente pelo uso da tecnologia CMOS, que é referência quando se pensa em projetar circuitos analógicos, que por ser mais econômico, permite a integração de processamento de sinal digital de baixa potência viabilizando a realização de sistemas de sinais mistos complexos [Witte, Makinwa and Huijsing 2009].

Entretanto, pela utilização de tecnologia MOS, no chaveamento, ocorre uma injeção de carga da capacitância, $-Q_{inj}$ e $+Q_{inj}$, ao abrir e fechar chaves respectivamente, influenciando em um aumento de *Offset* residual, entretanto isso pode ser solucionado aumentando a capacitância em ambos os casos.

2.5. Estabilização Chopper

Diferentemente da auto zeragem, mostrada anteriormente onde acoplávamos um capacitor para capturar os deslocamentos, a estabilização *Chopper* tem como finalidades colocar o sinal de interesse e o *Offset* para diferentes frequências e filtradas de modo que a saída do sistema seja apenas o sinal desejado [Witte, Makinwa and Huijsing 2009].

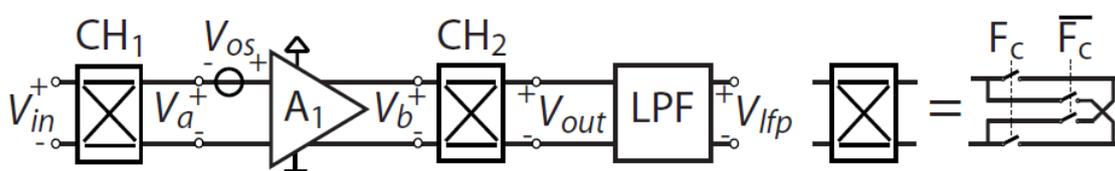


Figura 7. Circuito Chopper
Fonte: [Witte, Makinwa and Huijsing 2009].

A Estabilização Chopper, mostrada na Figura 7, pode ser analisada em 4 estágios. O primeiro estágio, CH1, consiste apenas em modular o sinal de entrada de forma a ficar com uma frequência mais alta. No segundo estágio, A1, o sinal modulado é amplificado, onde na saída do amplificador teremos o sinal modulado e o deslocamento. No terceiro estágio, CH2, é feita a demodulação do sinal e a modulação do ruído presente. No quarto estágio, LPF, consistem apenas em um filtro passa baixa que filtra sinal, cuja saída será o sinal desejado amplificado.

3. Resultados e Discussões

Dentre as topologias citadas observa-se alguns problemas advindos delas. Ao analisar a redução pelos pinos de *Offset* nos deparamos que nem todos os Amplificadores operacionais possuem tais pinos, o que impossibilitaria a implementação em qualquer amplificador. O circuito resistivo interno reduz o *Offset* sem eliminá-lo o que torna-se um problema se considerarmos que na análise de sinais de baixa frequência o mesmo pode interferir nas leituras.

Duas técnicas que se destacam são a Estabilização Chopper e Auto-zeroing principalmente pelo fato das duas serem técnicas onde o deslocamento ou ruído pode ser eliminado. A Tabela 1, apresenta a comparação entre as topologias estudadas e por quem foi proposta [Pessatti 2002].

Tabela 1. Comparação Auto-zeroing e Chopper

Topologias	Proposta	Elimina <i>Offset</i>	Implementável com qualquer AMPOP	Possibilidade e de Ganho elevado	Injeção de carga Residual
Pinos <i>Offset</i>	Texas Instruments	✓		✓	
Circuitos Resistivo	Sedra		✓	✓	
Auto-zeroing saída	R.Poujois et al (1976)	✓	✓	✓	✓
Auto-zeroing entrada	R.Poujois et al (1976)	✓	✓	✓	✓
Chopper Stabilization	E.A.Goldberg (1950)	✓	✓		

Fonte: Autor

4. Conclusão

Técnicas de eliminação de *Offset* pelos pinos presentes no amplificador podem ser eficientes, porém nem todos os amplificadores operacionais possuem tais pinos, assim como um circuito resistivo externo não é eficiente quando se trabalha com sistemas de alta precisão o que pode ser uma desvantagem em ambos os casos. Entretanto, as técnicas de autozeragem e chopper ambas são eficientes na eliminação do *Offset* e com base nos casos e sinais a serem analisados é que podemos definir qual melhor escolha tendo em vista que, os Choppers são uma boa escolha para aplicações de baixa potência e baixa frequência (<100 Hz) [Moghim 2011], além de ser um método escolhido se o sistema é em tempo contínuo assim como também de o ruído ser de banda base baixa [Enz & Temes 1996], enquanto os amplificadores auto-zero são melhores para aplicações de banda larga, porém os mesmos injetam uma carga residual, que pode ser corrigida aumentando o tamanho da capacitância, que para circuitos integrados pode ser uma desvantagem.

Futuramente pretende-se analisar diferentes técnicas de eliminação de *Offset*, como cancelamento de *Offset* de malha fechada usando um amplificador auxiliar citada anteriormente e técnicas que complementem a junção *Shooper Stabilization* e *Auto-zeroing* bem como propor técnicas com o conhecimento adquirido, com intuito de obter melhores resultados através de simulações e por fim acoplar ao amplificador de instrumentação.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) pelo suporte financeiro e ao Laboratório de Análise de Sinais Biomédicos (LASBIO) da UFERSA pelo suporte ao longo do trabalho.

Referencias

- A. Sedra, K. Smith. (2007), *Microeletrônica*, Pearson Prentice Hall, 5ª edição.
- C.C. Enz, G.C. Temes. (1996), “Circuit techniques for reducing the effects of op-amp imperfections: autozeroing, correlated double sampling, and chopper stabilization”, *Proceedings of the IEEE*, pp. 1584–1614, Nov.
- Cardoso, Adriano Silva Vale. (2010), *Instrumentação e Metodologias de Medição de Biopotenciais*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Pessatti, Murilo Pilon et al. (2002), *Amplificador do tipo auto-zero contínuo integrado em tecnologia CMOS*.
- Pertence jr, Antonio. (2015), *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos-8*. Bookman.
- Razavi, Behzad. (2010), *Fundamentos de microeletrônica*, Rio de Janeiro: LTC.
- Witte, F., Makinwa, K.A.A. and Huijsing, J. (2009), *Dynamic offset compensated CMOS amplifiers*. Springer Science & Business Media.
- Wu, Rong, Johan H. Huijsing, and Kofi AA Makinwa. (2012), *Precision instrumentation amplifiers and read-out integrated circuits*. Springer Science & Business Media.