

Relatório Final de Atividades

**Estudo de Dispositivos Eletrônicos aplicados a problemas de Engenharia
Biomédica
vinculado ao projeto
Estudo, Desenvolvimento e Aplicação de Dispositivos Biônicos na
Engenharia Biomédica**

Nichollas Pavloski

Bolsista CNPq

Técnico Integrado em Eletrônica

Data de ingresso no programa: 08/2017

Profº. Drº. Bertoldo Schneider Junior

Área do Conhecimento: Engenharias

Subárea do Conhecimento: Bioengenharia

CAMPUS CURITIBA, 2018

Programa de Bolsas de Iniciação Científica para o Ensino Médio – PIBIC-EM (CNPq)

Campus Curitiba

Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR

Sede Centro - Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças CEP 80230-901 - Curitiba - PR – Brasil

nichollas@alunos.utfpr.edu.br, fabioks@utfpr.edu.br

Resumo - Biossensores são pequenos aparelhos que utilizam, como elementos de reconhecimento, componentes biológicos, que são ligados a um sistema de detecção, transdução e amplificação do sinal que é gerado na reação

com a substância a ser analisada. O tema estudado na pesquisa foi a questão dos ruídos na amplificação do sinal utilizando um amplificador de transimpedância: um amplificador operacional montado nesta configuração converte uma corrente de entrada em uma tensão de saída. Testes de medida e cálculos teóricos foram feitos para a montagem de um amplificador preciso.

Palavras-chave: Amplificador de transimpedância; Amplificador operacional; Teste de ruído; Biossensores.

Abstract – Biosensors are small devices that use, as recognition elements, biological components, which are connected to a system of detection, transduction and amplification of the signal that is generated in the reaction with the substance to be analyzed. The subject studied was the noise issue on signal amplification using a transimpedance amplifier: an operational amplifier set up like this converts an input current source into an output voltage. Measurement tests and theoretical calculations were done for an assembly of an accurate amplifier.

Keywords – Transimpedance Amplifier; Operational Amplifier; Noise tests; Biosensors.

INTRODUÇÃO

Um amplificador de transimpedância consiste em um amplificador operacional (amp op) na configuração inversor com um resistor e capacitor de *feedback* em paralelo, como mostra a figura 1., com a transimpedância em sensores DC ou frequências baixas sendo igual $V_{out}/I_{in} = R_1$. Devido à alta impedância da fonte de corrente de entrada, existe uma capacitância de entrada e para resolver a desestabilidade causada por isso é usado o capacitor C1. Por causa da existência dessas capacitâncias e as limitações do próprio amplificador, a resposta do amplificador é diminuída de acordo com o aumento da frequência.

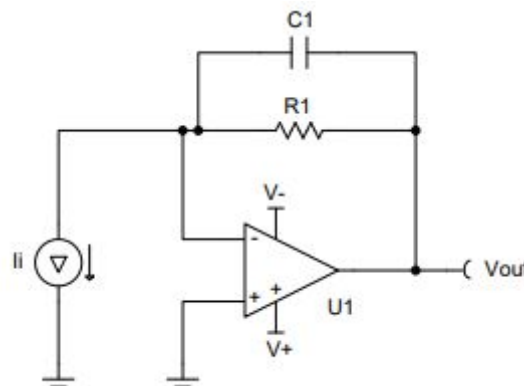


Figura 1. Diagrama generalizado esquematizando o sistema de transimpedância.

O estudo inicial do amplificador, e um dos mais importantes, foi o dos ruídos existentes no amplificador operacional. Para isso, foram realizadas pesquisas sobre os tipos de ruído, atenuação desses, medições e como prevê-los na saída do aparelho. Inicialmente existem dois tipos de ruído: intrínseco, ruídos gerados pelo circuito elétrico, sendo possível calculá-los, e extrínseco, ruídos vindos do ambiente, por fatores externos. Existem cinco tipos de ruídos em circuitos elétricos, que se classificam intrínsecos, por motivos diferentes: *short noise*, do inglês ruído curto/pequeno, é sempre associado com o fluxo de corrente; o módulo é constante não mudando com variações da frequência e não depende da temperatura; *thermal noise*, ruído térmico, é causado pela agitação térmica dos portadores de carga; está presente em todos componentes resistivos passivos e como o short noise tem valor constante, *burst noise* ou *popcorn noise*, ruído pipoca, aparece quando há imperfeições no material semiconductor; é chamado dessa maneira pois em frequências baixas ($< 100\text{Hz}$) faz aqueles

sons de estalo em speakers; *avalanche noise*, ruído avalanche, é visto quando uma junção PN é operada do modo *breakdown* reverso.

Para um estudo mais aprofundado sobre ruídos, foram realizados cálculos teóricos explicados em uma sequência de vídeos sobre amplificadores operacionais que a empresa Texas Instruments [3] disponibilizou *online*; também adotamos certos métodos de medida para diminuir os ruídos, como montar o circuito na matriz de contatos em suas extremidades e utilizar o mínimo número de *jumper*s. As medições feitas foram apenas em amplificadores operacionais disponíveis para venda próxima ao laboratório, então as especificações não são para baixos ruídos, apenas para dominarmos a questão das medições e cálculos dos ruídos.

Na figura 2 mostra o circuito de um amplificador quando se considera os ruídos dos componentes.

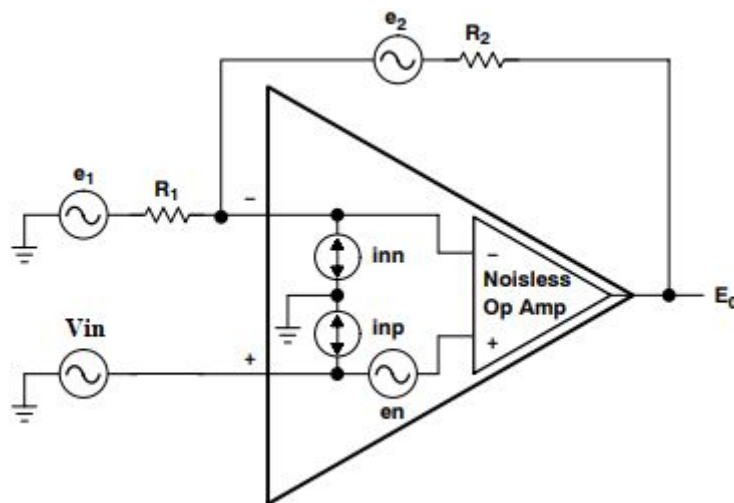


Figura 2. Modelo esquemático do amplificador operacional com ruídos, usado para análise destes.

METODOLOGIA

Para a aprendizagem do bolsista foi adotado um método que consistia o entendimento dos conceitos teóricos, como a leitura de alguns artigos científicos e apresentação e visualização de seminários de um determinado assunto e com o conhecimento adquirido executar a aplicação em algum projeto. Alguns alunos tiveram seu próprio projeto para executar e outros trabalharam juntos para desenvolver algo. Alguns projetos foram independentes, apenas para a aprendizagem, e outros para a aplicação em um projeto maior, todos eles instruídos pelo orientador do respectivo participante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a decisão de quais amplificadores operacionais seriam a melhor opção para testes de ruídos, observando em seus *datasheets* os valores do produto de ganho de largura de banda (GBP – *gain-bandwidth product*), densidade de espectro do ruído de tensão, que pode variar com a frequência, e a densidade do ruído de corrente, realizamos testes para averiguar se os cálculos teóricos estavam próximos dos valores medidos no osciloscópio. Abaixo segue algumas imagens do sinal de ruído dos amplificadores e seus respectivos valores teóricos. É importante destacar que ajustamos um ganho com valor elevado ($1 + R_2/R_1 \geq 1.000$) para

observar o ruído na saída com um pico maior, ou seja, o osciloscópio mede mais precisamente os valores do que mensuraria se tivéssemos arranjado o ganho com valores baixos ($1 + R_2/R_1 \leq 100$).

As tabelas 1 e 2, assim como as figuras 3 e 4, mostram o resultado de dois testes em amplificadores operacionais (LF356N e TL071). Algumas defasagens em valores são causadas, provavelmente, por interferências que podiam existir no ambiente, assim como os ruídos extrínsecos.

Tabela 1. Valores teóricos calculados para o amplificador LF356N.

Total noise input (Vrms)	$3,37 \times 10^{-6} \text{V}$
Total noise input (Vpp)	$2,02 \times 10^{-5} \text{V}$
Total noise output (Vrms)	$3,37 \times 10^{-3} \text{V}$
Total noise output (Vpp)	$2,02 \times 10^{-2} \text{V}$

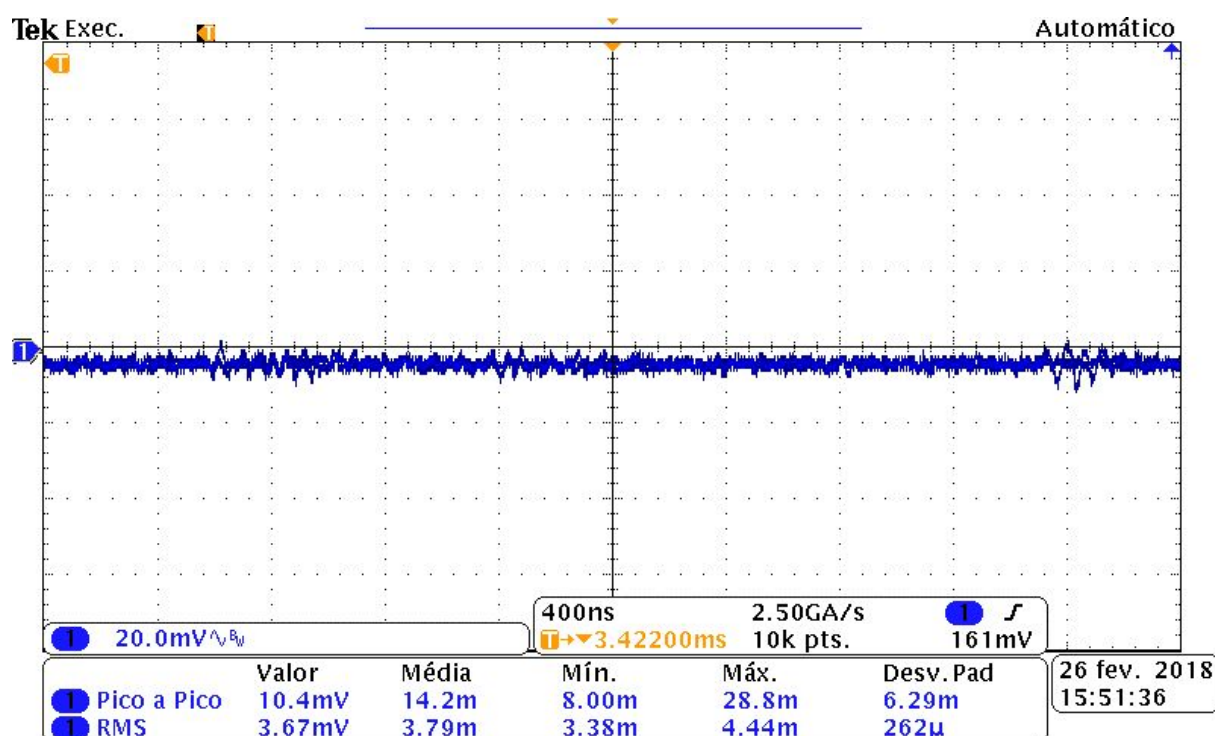


Figura 3. Valores medidos pelo osciloscópio na saída do amplificador LF356N, como mostra a configuração exibida na figura 2.

Outro amplificador que os cálculos mostraram eficácia e precisão foi o TL071, como mostra a tabela 2 e figura 4. Vale observar que neste teste o ganho foi de aproximadamente de $1 + R_2/R_1 \geq 10.000$.

Tabela 2. Valores teóricos calculados para o amplificador TL071.

Total noise input (Vrms)	$3,89 \times 10^{-6} \text{V}$
Total noise input (Vpp)	$2,34 \times 10^{-5} \text{V}$
Total noise output (Vrms)	$3,89 \times 10^{-2} \text{V}$
Total noise output (Vpp)	$2,02 \times 10^{-1} \text{V}$

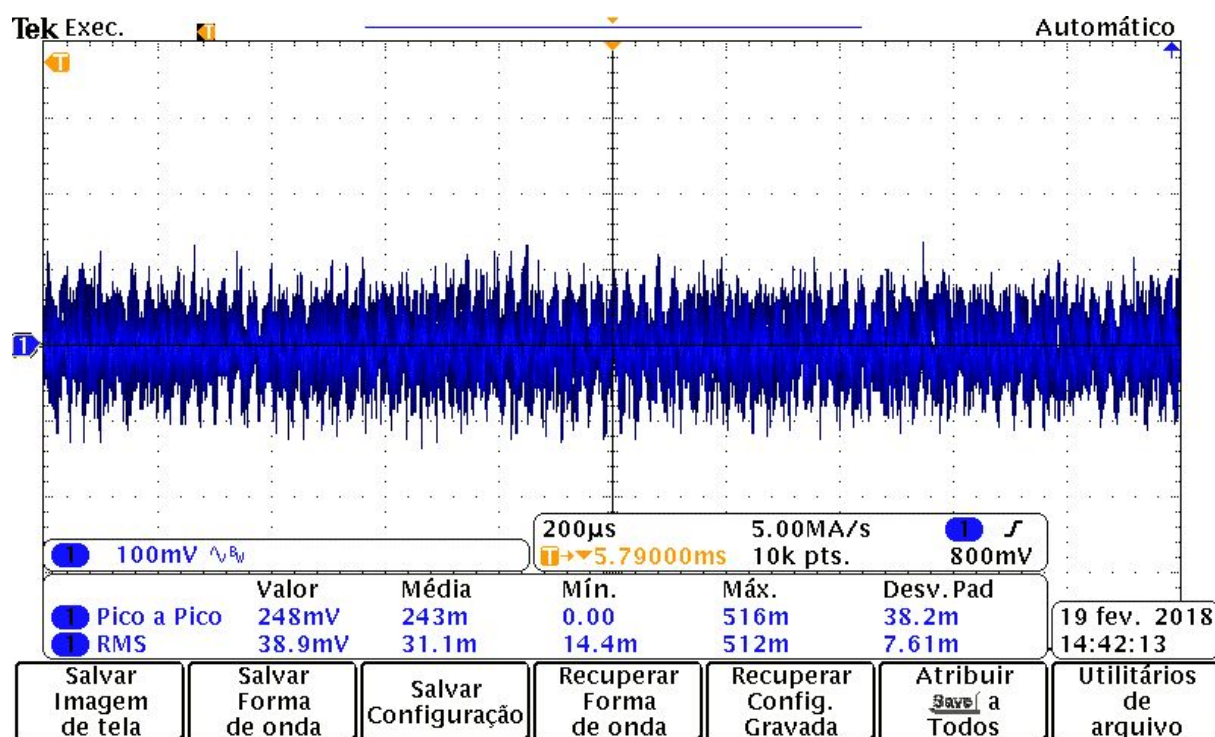


Figura 4. Valores medidos pelo osciloscópio na saída do amplificador TL071, como mostra a configuração exibida na figura 2.

CONCLUSÕES

Após muitas pesquisas realizadas sobre ruídos e amplificadores de transimpedância, foi decidido realizar a montagem do projeto utilizando o amp op LMP7721 [4], da empresa Texas Instruments, devido às suas específicas características para um projeto de transimpedância, por exemplo uma baixa densidade de espectro do ruído de tensão/corrente, além do sistema *guard* que o circuito integrado possui na entrada não-inversora do amp op, ou seja, qualquer interferência que possa atingir a entrada, na verdade, irá atingir o sistema *guard*.

O projeto já foi publicado anteriormente pela empresa de semicondutores National Semiconductor [5] e foi estabelecido este pelo custo-benefício e facilidade da montagem da placa.

Apesar do projeto do amplificador de transimpedância estar encaminhado, ainda é necessário desenvolver a parte final: o conversor DAC (*digital-to-analog converter*). Consiste na parte microcontrolada do projeto e alguns estudos foram feitos para isto, visando qual seria a melhor opção para um amplificador de transimpedância, que possui correntes de entrada com valores baixíssimos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, o Prof.º Dr.º Fábio Kurt Schneider pela oportunidade de participação dessa experiência no programa.

Agradeço o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro e concessão de bolsas.

Agradeço o aluno de Engenharia Eletrônica João Paulo Istchuk pelo trabalho que desenvolvemos juntos e pela experiência.

REFERÊNCIAS

- [1] TEXAS INSTRUMENTS, Transimpedance Amplifier Circuit, 2018. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/an/sboa268/sboa268.pdf>>. Acesso em: 12 agosto 2018.
- [2] TEXAS INSTRUMENTS, Noise Analysis In Operational Amplifiers Circuits, 2007. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/an/slva043b/slva043b.pdf>>. Acesso em: 17 agosto 2018.
- [3] TEXAS INSTRUMENTS, TI Precision Labs – Op Amps: Noise 3, 2015. Disponível em: <<https://training.ti.com/ti-precision-labs-op-amps-noise-3?cu=14685>>. Acesso em: 18 agosto 2018.
- [4] TEXAS INSTRUMENTS, LMP7721 3-Femtoampere Input Bias Current Precision Amplifier, 2014. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp7721.pdf>>. Acesso em: 19 agosto 2018.
- [5] NATIONAL SEMICONDUCTOR, LMP7721 Multi-Function Evaluation Board User's Guide, 2010. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ug/snou004/snou004.pdf>>. Acesso em: 19 agosto 2018.