

PROJETO DE UM AMPLIFICADOR DE TRANSIMPEDÂNCIA DE BAIXO RUÍDO PARA APLICAÇÕES ÓPTOELETRÔNICAS

Kaue Felipe Morcelles¹, Volney Coelho Vincence²

¹ Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica CCT - bolsista do PROBIC/UDESC

² Orientador, Departamento de Engenharia Elétrica CCT – volney.vincence@udesc.br

Palavras-chave: transimpedância, ruído, optoeletrônica.

Este projeto tem como objetivo o estudo de amplificadores de transimpedância (TIA) com foco no ruído gerado pelo sistema e o desenvolvimento e simulação em PSPICE de um TIA CMOS de baixíssimo ruído e banda na faixa de unidades a dezenas de MHz, com aplicação em um receptor óptico utilizando fibras LPG (*Large Period Grating*) para equalização do canal de comunicação e, posteriormente, sensores de temperatura e pressão. A transimpedância oferecida deverá ser na faixa de unidades a dezenas de milhares de Ohms. A justificativa destas especificações reside nas aplicações de LPGs como sensores de temperatura e deformação, que operam com sinais de frequências relativamente baixas, onde o ruído é um fator de extrema importância para a sensibilidade do sistema. Altas transimpedâncias também reduzem a necessidade de estágios posteriores de ganho de tensão no detector. O projeto do TIA consistiu em duas etapas principais: revisão bibliográfica do sistema geral, *design* da estrutura e simulação do circuito em PSPICE interpretando e otimizando os resultados obtidos.

Primeiramente realizou-se estudo referente aos principais dispositivos ópticos utilizados em sistemas de comunicação/sensoriamento focando nos princípios físicos de funcionamento, principais parâmetros e especificações do fabricante de lasers, fibras ópticas LPG e fotodiodos. Sabendo que a potência máxima do laser é de 1,5mW, que a LPG opera na detecção de borda e que a sensibilidade do fotodiodo é de 0,95A/W foi possível estimar a corrente de entrada do TIA como um sinal analógico com nível máximo de aproximadamente 1,43mA e *offset* dependente do posicionamento do laser na borda da LPG. Além disso, foi possível modelar o circuito do fotodiodo, que consiste em uma fonte de corrente com uma capacitância em paralelo de 0,6pF. Após este estudo foram analisadas as figuras de mérito mais importantes de sinais aleatórios para melhor caracterização do ruído térmico e *flicker*, predominantes no escopo deste trabalho possibilitando análise do nível de ruído gerado por um sistema eletrônico, além da compreensão dos diversos métodos para sua redução, como dimensionamento inteligente, cancelamento de ruído térmico e modulação *chopper*. Posteriormente foi realizada a revisão de topologias básicas e avançadas de TIA's, como a configuração porta-comum, cascode regulado, *current-conveyor* e inversor com realimentação negativa, sendo a última a topologia utilizada neste projeto.

Este amplificador foi projetado com dois estágios CMOS de alto ganho de tensão para aumentar a linearidade de malha fechada, e um estágio inversor de ganho unitário para manter a realimentação negativa no sistema. Além disso, o par CMOS de cada estágio possibilita o dobro de transcondutância para uma mesma corrente de polarização, otimizando a potência consumida. Três circuitos de mesma configuração foram projetados. A Fig.1 mostra a topologia básica dimensionada como o Circuito 1, com o resistor de realimentação e o modelo de pequenos sinais

do fotodiodo, simulado em PSPICE 16.6, utilizando modelo BSIM3v3 do MOSFET de canal 0,35 μm . No Circuito 1 o capacitor de 50pF na saída estabiliza o pico de ressonância inerente do circuito, introduzido pelas capacitâncias internas do TIA, agindo como indutor ativo, ressonando com a capacitância de entrada. Os resultados encontram-se na tabela da Fig 2. Para $R_f = 1\text{k}\Omega$ a faixa linear possibilita aplicação com detecção na borda na maior parte do vale das LPGs especificadas, atendendo aos requisitos de projeto. A potência consumida pelo circuito ainda é alta, portanto projetou-se o Circuito 2, de mesma topologia, porém com alimentação de 2V para redução do consumo. Para manter a faixa linear a razão de aspecto dos estágios amplificadores é alterada para 10 $\mu\text{m}/0.35\mu\text{m}$ e 30 $\mu\text{m}/0.35\mu\text{m}$, $R_f=400\Omega$ e $C_{out}=100\text{pF}$. Os resultados se encontram na tabela da Fig 2. Nota-se que o circuito é mais ruidoso e o ganho é menor que a metade do primeiro circuito, porém isto é causa da redução de R_f , ou seja, se for projetado com $R_f=1\text{k}\Omega$ o ruído será menor e o ganho maior, porém perde-se faixa linear. Para aplicações em baixíssimas frequências o ruído *flicker* torna-se muito mais significativo que o térmico. Almejando a redução deste ruído aumentou-se o comprimento de canal do primeiro estágio de ganho para 1,05 μm , mantendo-se a razão de aspecto. Como houve a necessidade de maior compensação para atingir estabilidade ($C_{out}=1000\text{pF}$) ocorreu perda da banda, como mostra os resultados do 'Circuito 3' na Fig 2. Além disso, em todos os três circuitos, é possível operar com transimpedâncias maiores utilizando um segundo capacitor em paralelo à realimentação para manter a estabilidade. Esta outra compensação permite reduzir o tamanho dos capacitores.

Os TIAs projetados atenderam as especificações da proposta inicial, sendo possível utilizá-los como primeiro estágio em um CI receptor, dependendo a aplicação que se almeja, após um projeto de leiaute adequado. Em trabalhos futuros pretende-se aplicar a técnica de cancelamento de ruído no circuito, cuja viabilidade em TIA's foi demonstrada por esta pesquisa em um trabalho publicado no CRICTE 2016, além de projetar o leiaute e integrar o circuito para realização de testes de bancadas, obtendo resultados práticos.

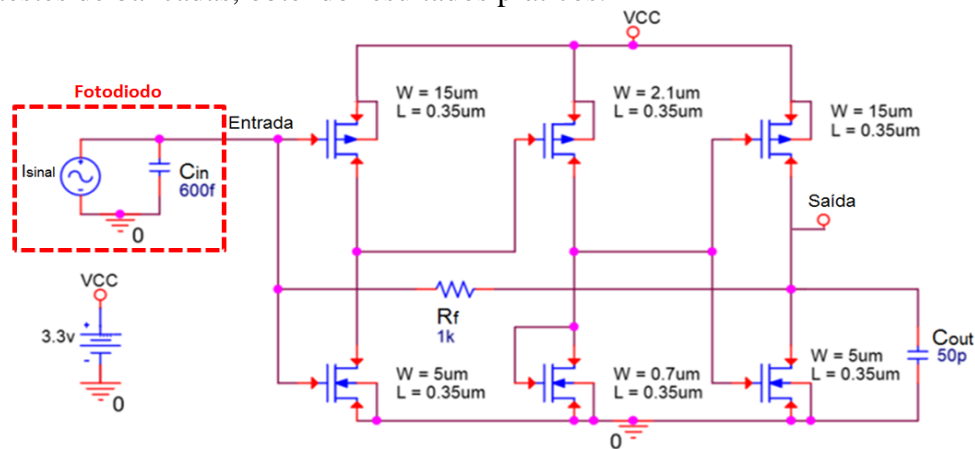


Fig. 1: Amplificador de transimpedância com dimensionamento do Circuito 1.

TIA	VCC	Ganho	Banda	Ruído total	Nível de <i>flicker</i> em 1uHz	Faixa linear	Potência
Circuito 1	3,3V	0,97k Ω	171,5MHz	87,5nArms	9,92 $\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\pm 1\text{mA}$	5,4mW
Circuito 2	2V	381,6 Ω	137,3MHz	133,4nArms	14,6 $\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\pm 1\text{mA}$	1,2mW
Circuito 3	2V	396,1 Ω	55,1MHz	67,4nArms	3,7 $\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\pm 1\text{mA}$	1,2mW
Circuito 2*	2V	0,98k Ω	117,8MHz	62,6nArms	5,7 $\mu\text{A}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\pm 0,7\text{mA}$	1,2mW

* $R_f=1\text{k}\Omega$

Fig. 2: Tabela de resultados obtidos.