

Trabalho de conclusão de curso  
Universidade Federal de Itajubá - *Campus Theodomiro Carneiro Santiago*  
Instituto de Ciências Tecnológicas - ICT  
Engenharia de Computação

**Circuito digital CMOS para controle do fator de qualidade de um filtro passa banda-ativo sintonizável**

Alef de Oliveira Santos\*, Dean Bicudo Karolak\*, Paulo Márcio Moreira e Silva\*

*\*Universidade Federal de Itajubá - Campus Theodomiro Carneiro Santiago  
Rua Rua Irmã Ivone Drumond, 200 - Distrito Industrial II - 35903-087  
Itabira, Minas Gerais, Brasil*

*E-mail:* [alef\\_santos@unifei.edu.br](mailto:alef_santos@unifei.edu.br), [dean.karolak@unifei.edu.br](mailto:dean.karolak@unifei.edu.br), [paulo.silva@unifei.edu.br](mailto:paulo.silva@unifei.edu.br)

**Resumo**

teste

**Resumo**

teste

**Abstract:**

**Keywords:**

**Resumo:**

**Palavras-Chave:**

## 1 Introdução

Este documento e seu código-fonte são exemplos de referência de uso da classe `abntex2` e do pacote `abntex2cite`. O documento exemplifica a elaboração de publicação periódica científica impressa produzida conforme a ABNT NBR 6022:2018 *Informação e documentação - Artigo em publicação periódica científica - Apresentação*.

A expressão “Modelo canônico” é utilizada para indicar que `abnTeX2` não é modelo específico de nenhuma universidade ou instituição, mas que implementa tão somente os requisitos das normas da ABNT. Uma lista completa das normas observadas

pelo `abnTeX2` é apresentada em Araujo (2015a).

Sinta-se convidado a participar do projeto `abnTeX2`! Acesse o site do projeto em <http://www.abntex.net.br/>. Também fique livre para conhecer, estudar, alterar e redistribuir o trabalho do `abnTeX2`, desde que os arquivos modificados tenham seus nomes alterados e que os créditos sejam dados aos autores originais, nos termos da “The L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X Project Public License”<sup>1</sup>.

Encorajamos que sejam realizadas customizações específicas deste documento. Porém, recomendamos que ao invés de se alterar diretamente os arquivos do `abnTeX2`, distribua-se arquivos com as respectivas customizações. Isso permite que futuras versões do `abnTeX2` não se tornem automaticamente incompatíveis com as customizações promovidas. Consulte Araujo (2015b) para mais informações.

Este exemplo deve ser utilizado como complemento do manual da classe `abntex2` (ARAÚJO, 2015a), dos manuais do pacote `abntex2cite` (ARAÚJO,

---

<sup>1</sup> <http://www.latex-project.org/lppl.txt>

2015d; ARAUJO, 2015e) e do manual da classe memoir (WILSON; MADSEN, 2010). Consulte o Araujo (2015c) para obter exemplos e informações adicionais de uso de abnTeX2 e de L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X.

## 2 Introdução

Este trabalho trata de um sistema eletrônico que recebe e controla o fator de qualidade ( $Q$ ) de um circuito eletrônico ressonante. O circuito proposto utiliza-se de técnicas de computação numérica para controlar o fator de qualidade através de uma corrente de referência injetada no sistema ressonante. Neste trabalho serão realizados circuitos digitais periféricos para a determinação do valor de  $Q$  medido de um filtro passa banda ativo, bem como, um circuito digital para controle e aproximação do  $Q$  desejado. Em relação ao controle e aproximação de  $Q$ , serão comparados os métodos numéricos da Bissecção, Secantes e Secantes com seleção de intervalo implementados. O sistema digital é projetado e implementado em Verilog tendo em mente a posterior fabricação em silício. Para efeitos de estudo e desenvolvimento, este projeto em ASIC utiliza uma tecnologia GPDK de 45nm.

### 2.1 Contexto e justificativa

A caracterização fator de qualidade ( $Q$ ) é um ponto de partida para projetos de circuitos integrados de rádio-frequência de alto desempenho (??). Ele está relacionado com a largura de banda de um filtro passa-banda e, por vezes, os projetistas de filtros necessitam de uma largura de banda estreita (isto é, alto  $Q$ ) e em outras, uma banda maior (baixo  $Q$ ) como ilustra a Figura 1:

Ainda de acordo com ??, o fator  $Q$  também está relacionado com o teorema da máxima transferência de potência em circuitos de RF. Para entregar o máximo de potência de uma fonte para uma carga através de uma rede, um circuito de casamento de impedâncias é usado para alcançar a maior transferência de potência. A Figura 2 ilustra como o  $Q$  interfere na eficiência de um circuito:

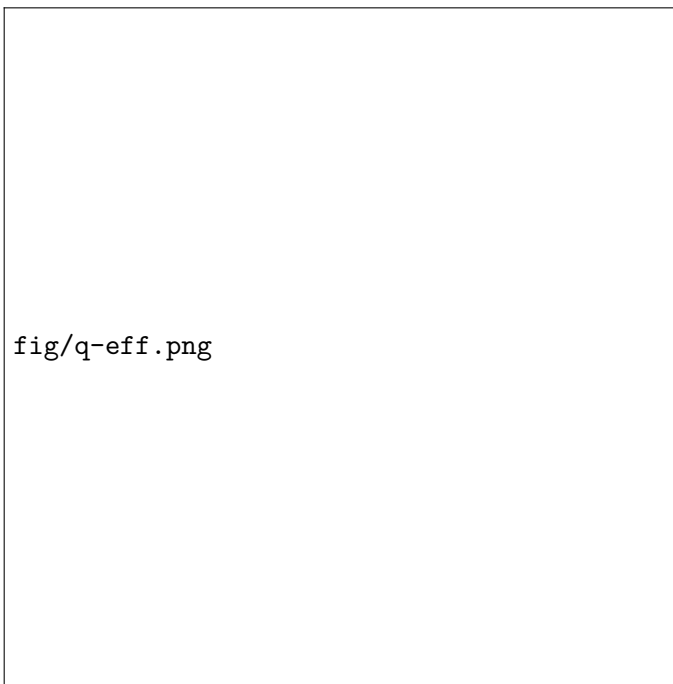
Num circuito com uma carga estática, basta calcular um  $Q$  que realize o casamento de impedâncias para a maior transferência de potência. Num circuito onde a carga é variável, um  $Q$  fixo não fornece o

Figura 1 –  $Q$  versus largura de banda



Fonte: (??)

Figura 2 –  $Q$  versus eficiência



Fonte: (??)

casamento de impedâncias necessário para a máxima transferência de potência em todos os cenários de carregamento, assim reduzindo a eficiência do circuito.

De fato ?? retomam em seu trabalho as proposições de ?? e projetam uma rede de casamentos de impedância baseada no fator de qualidade, onde o mesmo é ajustado a fim de casar impedâncias de rede com uma carga variável. ?? realiza um trabalho com a mesma ideia de controlar o  $Q$  usando outras técnicas para selecionar o valor ótimo.

Desta forma, fica evidente a necessidade de controlar o  $Q$  de um circuito eletrônico, tanto no contexto deste trabalho quanto em outros trabalhos com pouca similaridade, mas com a mesma necessidade de  $Q$  controlável/variável.

Em relação às diferentes implementações de circuitos eletrônicos para controle do  $Q$ , pode-se distingui-los em dois grupos, os circuitos analógicos e os digitais. Os circuitos analógicos têm a vantagem de ser mais simples, mais rápidos, como apresentado em (??). Entretanto, eles não apresentam a mesma versatilidade e configurabilidade proposta por um sistema digital. Já os circuitos digitais, além de mais versáteis, apresentam uma implementação física mais simples com o uso de *standard-cells* para a construção de *layouts*, sendo inclusive, altamente assistidas por ferramentas de EDA pela característica programática. Em conjunto com a maior versatilidade, o circuito digital poderia ser estendido em aplicações onde o controle do  $Q$  deve ter alta precisão, uma vez que o circuito digital pode ser replicado com maior confiabilidade, portabilidade e reprodutibilidade.

Dessa forma, julga-se pertinente projetar este circuito eletrônico digital capaz de controlar o  $Q$ , para que seja possível obter circuitos mais versáteis e com aplicações mais amplas com menor complexidade em projeto analógico, além de promover inovação no desenvolvimento de circuitos para computação numérica.

### 3 Objetivos

Os objetivos principais deste trabalho para o TCC1 são, principalmente o fluxo de front-end, compreendido por:

1. Projetar a arquitetura capaz de controlar o fator de qualidade do circuito;
2. Codificar os blocos do sistema projetado em Verilog;
3. Comparar o desempenho dos métodos de controle prototipados *standalone*;
4. Validar a funcionalidade blocos projetados através de *testbenches* em Verilog/SystemVerilog.

Após finalizado o fluxo de front-end, seleciona-se o método de convergência com melhor desempenho com relação à todo o sistema e inicia-se o processo de verificação do sistema completo seguido do fluxo de back-end no TCC2, compreendido por:

1. Integrar e coordenar a operação dos blocos como um sistema completo;
2. Realizar a síntese lógica em RTL;
3. Simular o circuito sintetizado em RTL e checar a equivalência lógica;
4. Realizar etapas de posicionamento e roteamento;
5. Analisar o consumo;
6. Analisar desempenho do sistema por temporização estática (STA);
7. Construir layout.

### Referências

- ARAUJO, L. C. *A classe abntex2: Modelo canônico de trabalhos acadêmicos brasileiros compatível com as normas ABNT NBR 14724:2011, ABNT NBR 6024:2012 e outras*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.abntex.net.br/>>. Citado na página 1.
- ARAUJO, L. C. *Como customizar o abnTeX2*. 2015. Wiki do abnTeX2. Disponível em: <<https://github.com/abntex/abntex2/wiki/ComoCustomizar>>. Acesso em: 27 abr 2015. Citado na página 1.
- ARAUJO, L. C. *Modelo Canônico de Trabalho Acadêmico com abnTeX2*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.abntex.net.br/>>. Citado na página 2.

ARAUJO, L. C. *O pacote abntex2cite: Estilos bibliográficos compatíveis com a ABNT NBR 6023*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.abntex.net.br/>>. Citado na página 1.

ARAUJO, L. C. *O pacote abntex2cite: tópicos específicos da ABNT NBR 10520:2002 e o estilo bibliográfico alfabético (sistema autor-data)*. [S.l.], 2015. Disponível em: <<http://www.abntex.net.br/>>. Citado na página 1.

WILSON, P.; MADSEN, L. *The Memoir Class for Configurable Typesetting - User Guide*. Normandy Park, WA, 2010. Disponível em: <<http://mirrors.ctan.org/macros/latex/contrib/memoir/memman.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2012. Citado na página 2.