

ESTUDO DE TOPOLOGIAS DE AMPLIFICADORES OPERACIONAIS PARA PROJETO AUTOMÁTICO

Michael Douglas C. Da Silva

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa
michael.unipampaee@gmail.com

Arthur Campos de Oliveira

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa
arthuroliveira@alunos.unipampa.edu.br

Lucas Compassi Severo

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa
lucas.severo@unipampa.edu.br

Alessandro Gonçalves Girardi

Professor/Pesquisador do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Pampa
alessandro.girardi@unipampa.edu.br

Resumo. Este trabalho apresenta um estudo comparativo entre topologias de amplificadores operacionais OTA Miller e Telescópico utilizando como metodologia de projeto uma ferramenta de dimensionamento automático de circuitos integrados analógicos baseada em otimização. O projeto de circuitos integrados analógicos tende a ser complexo devido à relação entre as suas especificações e o dimensionamento de seus transistores. Na ferramenta utilizada como metodologia de projeto, estas especificações podem ser restrições ou objetivos dentro do processo de otimização. Assim para avaliar qual topologia é mais indicada para um dado conjunto de especificações sendo estas as restrições ou objetivos de projeto, são feitos dois projetos utilizando as topologias OTA Miller e Telescópico, respectivamente. A comparação foca no comportamento em corrente alternada (CA) dos amplificadores. Para o projeto dos amplificadores foi utilizada a tecnologia da XFAB 0.18 μm . Os resultados mostram que todas as especificações impostas foram atingidas e o consumo de potência dos amplificadores gerados foram os menores possíveis.

Palavras-Chaves: Amplificadores, framework, analógicos.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, o principal responsável pelo avanço tecnológico são os circuitos integrados sendo os melhores aqueles que tiverem a menor potência consumida e o menor tamanho ocupado por ele não interferindo em sua funcionalidade.

A maior parte de um circuito integrado são os circuitos digitais, porém uma parte fundamental e pequena são a dos circuitos analógicos.

O circuito analógico utilizado neste trabalho é o amplificador operacional OTA Miller e o Telescópico. Ambos com poucos transistores e uma grande complexidade para o dimensionamento devido ao alto nível de variáveis livres existentes.

2. FERRAMENTA DE DIMENSIONAMENTO AUTOMÁTICO

Uma das áreas profissionais com maiores oportunidades de trabalhos e projetos de pesquisa é o desenvolvimento de

ferramentas com o objetivo de facilitar a vida do projetista de circuitos integrados. Nestas ferramentas, normalmente são utilizados simuladores elétricos do tipo SPICE provendo informações acerca das soluções encontradas para um dado circuito.

A ferramenta UCAF foi desenvolvida na Universidade Federal do Pampa (SEVERO, 2010). Ela tem por objetivo o dimensionamento de projetos de circuitos analógicos básicos e exploração de espaço buscando se desejado a menor área dentro do chip utilizando para isso algumas técnicas de otimização de inteligência artificial. Estas técnicas se dividem basicamente em busca local e busca global. No primeiro tipo ela passa a buscar soluções próximas à solução inicial do projeto fazendo com que o resultado da otimização esteja fortemente ligado com a solução inicial.

Já no sistema de busca global, o objetivo é buscar por soluções globais utilizando assim técnicas para evitar a parada em valores mínimos locais fazendo com que a solução final não seja tão dependente da solução inicial. (SEVERO, 2010). Dentre os algoritmos utilizados para a otimização que vem demonstrando maior desempenho (MARTENS, 2008) são as técnicas *Simulated Annealing* (SA) e a do Algoritmo Genético (GA, do inglês Genetic Algorithms).

O Algoritmo Genético são heurísticas de otimização não-lineares baseadas na analogia com a teoria de evolução biológica (LINDEN, 2006). Esta heurística é um algoritmo não determinístico que trabalha com um variado grupo de soluções simultaneamente. (SEVERO, 2010).

Neste trabalho foi utilizado o algoritmo *Simulated Annealing* (SA) sendo uma metaheurística de otimização usada para resolver problemas de otimização não lineares (FLOUDAS, 2008).

O método utilizado pelo SA é fundamentado pela análise dos princípios

termodinâmicos ao simular o resfriamento de um conjunto de átomos aquecidos, ou recozimento. Este método inicia em um valor qualquer e o laço do algoritmo gera aleatoriamente, a cada iteração, um vizinho da solução atual. Com o valor gerado, verifica-se o valor da função custo. Se este valor for melhor em relação à solução atual do problema, a solução analisada torna-se a solução atual do problema, caso contrário, a solução atual não é alterada. (SEVERO, 2010).

Uma característica importante do método SA é a sua estratégia para evitar a finalização da execução em valores mínimos locais. O método permite que uma solução pior (de acordo com a função objetivo) possa ser aceita como solução atual, dentro de uma probabilidade de aceitação. Isto faz com que se consiga fugir de mínimos locais, pois uma solução inicialmente pior pode levar a regiões em que está o valor ótimo (melhor valor da função objetivo). A probabilidade de aceitar uma solução não-ótima depende da diferença entre a solução atual e a solução gerada (analisada) e de um parâmetro chamado de temperatura, analogia ao sistema termodinâmico. O valor desta probabilidade de aceitação é dado pela Equação (1).

O parâmetro de temperatura (T) começa em um valor máximo e, a partir de certo número de iterações, o seu valor é gradativamente reduzido. Esta redução é dada por uma razão de resfriamento. Logo, percebe-se que a chance de aceitar uma solução não-ótima é reduzida ao longo das iterações. O método termina quando o parâmetro de temperatura chega a um valor próximo de zero e nenhuma solução não-ótima é aceita, ou seja, o sistema termodinâmico torna-se estável. (SEVERO, 2010)

$$P = \frac{1}{1 + e^{\frac{(Custo_analisado - Custo_atual)}{T}}}$$

Para implementação matemática foi utilizado o software Matlab® e para simulação elétrica o HSPICE.

```

Inicialização (solução_atual, Temperatura)
Cálculo do Custo_atual
LOOP
  Estado_novo
  Cálculo do Custo_novo
  IF (custo_atual-custo_novo) ≤ 0 THEN
    Estado_corrente=Estado_novo
  ELSE
    IF P(T) > valor_aleatório(0,1)
  THEN
    --Aceita solução
    Estado_atual=Estado_novo
  ELSE
    --Rejeita solução
  Reduz a temperatura
EXIT IF(critério de parada)
END LOOP
  
```

Figura 1 - Pseudocódigo do algoritmo Simulated Annealing

2.2. Amplificadores Operacionais.

2.2.1. Amplificador OTA Miller

O Amplificador Operacional de Transcondutância (OTA) Miller é composto por um par diferencial de entrada e um espelho de corrente com carga ativa no primeiro estágio. O segundo estágio é composto por um amplificador inversor. Entre o primeiro e o segundo estágio é conectado um capacitor de compensação com o propósito de aumentar a estabilidade do amplificador.

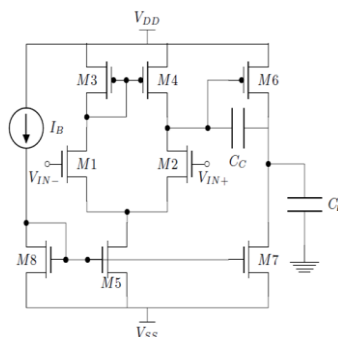


Figura 2. Esquemático do OTA Miller

2.2.2. Amplificador Telescópico

XXV CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA – CRICTE 2013

10 a 13 de setembro de 2013 – Passo Fundo - RS

O amplificador Telescópico, mostrado na Fig. 2 tem como característica espelhos de corrente e cargas em paralelo (cascode) e tem a desvantagem de possuir um output-swing baixo.

Como os outros amplificadores de entrada diferencial, ele possui um par diferencial na entrada, uma saída e o que o diferencia do amplificador Miller é que além das alimentações positivas (VDD) e negativas (VSS), possui mais duas entradas de polarização dos transistores sendo estas a V_{cp} e a V_{cn} .

3. SIMULAÇÕES

As simulações utilizadas foram no domínio da frequência (regime AC) onde foi determinada uma variação de frequência de 1 Hz até 1GHz.

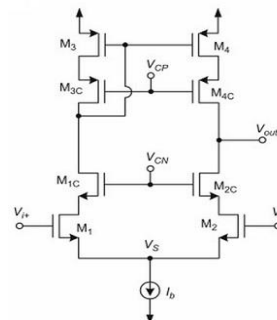


Figura 3. Esquemático do Amplificador Telescópico

A ferramenta precisa de valores iniciais dando o início ao dimensionamento. Estes valores são pré-definidos fazendo com que o algoritmo busque uma solução final em torno do valor determinado pelo projetista.

O ganho (A_v) do amplificador e o Produto Ganho-faixa (GBW) são medidos com o amplificador em malha aberta onde a frequência é variada gerando assim o diagrama de bode.

O ponto onde a curva começa a decair será o ganho (A_{v0}) e a frequência onde a tensão é nula é denominada GBW.

A taxa de rejeição de modo-comum (CMRR) é dada pela razão da tensão de modo comum pela tensão de saída. Essa especificação representa a capacidade do amplificador de rejeitar a tensão de modo-comum da entrada devido as não idealidades do amplificador.

Como o CMRR, a taxa de rejeição da fonte de alimentação (PSRR) indica a capacidade do amplificador de rejeitar os ruídos vindos das fontes de alimentação. (OLIVEIRA, A.C., 2013)

A potência consumida foi determinada pelo projetista para ser a mínima possível fazendo assim com que a ferramenta faça todo o dimensionamento dos transistores até gerar um amplificador com suas especificações próximas às especificações iniciais.

Tabela 1. Resultados dos amplificadores e as especificações geradas

Especificações	Valores Requeridos	Telescópico	OTA Miller
Av0 (dB)	≥ 60	77.557	65.63
GBW (MHz)	≥ 2	2.032	3.394
CMRR (dB)	≥ 70	87.147	72.85
PSRR+ (dB)	≥ 70	77.567	73.96
PSRR- (dB)	≥ 70	Inf	71.61
Pot (μW)	Minimizar	1.36	429.3

4. CONCLUSÕES

Os valores requeridos foram alcançados pela ferramenta, ou seja, dois amplificadores operacionais diferentes foram projetados segundo as especificações impostas pelo projetista.

Ambos os amplificadores mantiveram as suas especificações acima das impostas pelo projetista.

Pode ser observado que o amplificador Telescópico possui um consumo de potência menor em relação ao OTA Miller e o seu

desempenho é menor em relação ao amplificador Telescópico.

Depois dos dimensionamentos realizados, pode-se concluir que a ferramenta cumpriu com os objetivos requeridos e obteve sucesso no dimensionamento dos amplificadores mantendo os seus valores acima dos requeridos e a potência supostamente consumida a menor possível.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer ao subsídio fornecido pela agência brasileira de pesquisa CNPq pelo suporte neste trabalho.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

SEVERO, L. C. **Um Framework para o Dimensionamento Automático de Blocos Analógicos Básicos Integrados**. Trabalho de conclusão de curso. Curso de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Pampa – Campus Alegrete. Alegrete, RS. 2010. 46.47,49 p.

LINDEN, R., **Algoritmos Genéticos – Uma importante ferramenta da inteligência artificial**, Brasport, Rio de Janeiro, 2006.

MARTENS, E, GIELEN, G. G, **Classification of analog synthesis tools based on their architecture selection mechanisms**, VLSI Journal Integration, Vol 41 Issue 2, February, 2008.

FLOUDAS, C. A., PARDALOS, P.M., **Encyclopedia of Optimization**, Springer, Segunda Edição, 2008.

OLIVEIRA, A. C.; SEVERO, L. C.; GIRARDI, A. G. . **Parallel Characterization of Operational Amplifiers for Acceleration of Design Optimization**. In: 28th South Symposium on Microelectronics, 2013, Porto Alegre - RS. SIM 2013, 2013.