

# Trabalho - Otimização de Amplificador de 2 Estágios

Prof. Tiago Oliveira Weber

2017

## 1 Objetivos

### 1.1 Objetivo Geral

- Compreender o funcionamento de um amplificador MOS de 2 estágios.
- Utilizar otimização aplicada ao amplificador MOS de 2 estágios;

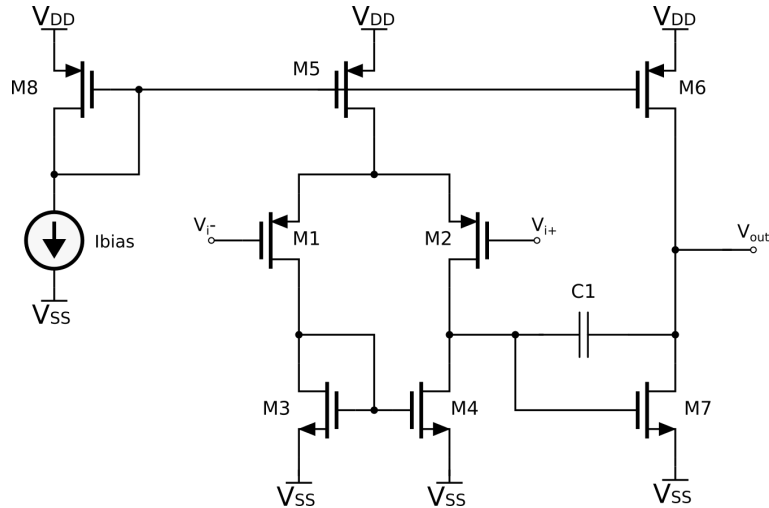
### 1.2 Objetivos Parciais

- Estudar o circuito do amplificador MOS de 2 estágios.
- Fazer medida automática de ganho e frequência de ganho unitário do circuito em simulação AC;
- Otimizar o circuito para máximo ganho garantindo que, na resposta final, os transistores estejam em saturação;
- Otimizar o circuito para maximizar ganho e frequência de ganho unitário, garantindo que, na resposta final, os transistores estejam em saturação e que a margem de fase seja maior que 60°.
- Avaliar solução final.

## 2 Descrição

Os modelos de transistor utilizados para este trabalho são o modelo  $N\_1u$  e  $P\_1u$  (modelo de canal longo) e estão disponíveis em [www.cmosedu.com](http://www.cmosedu.com) (arquivo *cmosedu\_models.txt*). Este trabalho envolverá o uso do simulador

elétrico LTspice, ngspice ou qualquer outro que seja capaz de trabalhar com os modelos utilizados. Para as análises, considere o circuito de 2 estágios (mostrado na figura a seguir).



Para nossos testes, considere que é  $V_{DD} = 2,5V$  e  $V_{SS} = -2,5V$ . A conexão do terminal de corpo (*bulk*) do transistor NMOS é feita para o terra; a conexão do terminal de corpo (*bulk*) dos transistores PMOS são feitas para seu terminal mais positivo.

Para as medidas AC, considere que ambas entradas estejam com nível DC=0 e que  $v_{in+}$  esteja sendo estimulada por uma fonte AC com amplitude de 1V. Na saída do amplificador, adicione uma capacitância de 1 pF entre o nó de saída e o terra.

## 2.1 Parte 1

Faça o modelo de pequenos sinais do circuito e defina qual é a equação do ganho.

## 2.2 Parte 2

Defina qual é a tensão máxima e mínima que a saída pode assumir de forma a garantir que os transistores do estágio de saída continuem em saturação. Discuta os resultados.

Defina qual é a tensão máxima e mínima que a **entrada em modo comum** pode assumir de forma a garantir que os transistores de entrada continuem em saturação. Discuta os resultados.

## 2.3 Parte 3

Otimize o circuito para maximizar o ganho. O algoritmo de otimização utilizado fica a critério do aluno. Mostrar a resposta final e comprová-la em simulação. Mostrar também o gráfico do resultado da função custo pelo número de iterações.

Garanta que, na resposta final, todos os transistores estejam em na região de saturação. Discutir os resultados.

- variáveis de entrada: o número de variáveis de entrada vai depender da estratégia adotada, conforme mencionado em aula.
- valores mínimos das variáveis de entrada

$$L_{NMIN} = L_{PMIN} = 1,5\mu m; W_{NMIN} = W_{PMIN} = 3\mu m; I_{REFMIN} = 100 \text{ nA}; \\ C_{cMIN} = 0.1 \text{ pF};$$

- valores máximos das variáveis de entrada

$$L_{NMAX} = L_{PMAX} = 50\mu m; W_{NMAX} = W_{PMAX} = 50\mu m; I_{REFMAX} = 100\mu A; \\ C_{cMAX} = 5\text{pF};$$

- Medições:
  - Ganho em baixa frequência (em medida do LTSPICE, medir em  $\text{freq} = 1$ );
  - verificar saturação dos transistores (opcional durante a otimização, mas fazê-lo pelo menos na resposta final de forma manual)
- Objetivo: maximizar o ganho;
- Como fazer a função custo: quanto maior o ganho, menor o resultado da função. Fica a critério do aluno como fazer esta função.
- Critério de parada do algoritmo: a critério do aluno;

## 2.4 Parte 4

Utilizando como referência a equação do ganho, substitua os valores pelos obtidos via simulação (transcondutâncias e resistências de saída) e veja se os resultados são compatíveis. Discuta os resultados.

## 2.5 Parte 5

Ref faça o passo 3, com as seguintes modificações:

- otimizar para maximizar **frequência de ganho unitário** e **ganho DC** simultaneamente;
- garantir que a resposta final tenha todos os transistores saturados e que tenha **margem de fase** superior a  $60^\circ$ ;

O custo referente a frequência de ganho unitário de 10 MHz deve ser igual ao custo referente ao ganho DC de 80 dB. Faça uma função custo agregativa destes dois objetivos para obter o custo total. Discuta os resultados.