



Introdução a Microeletrônica

OTIMIZAÇÃO FONTE COMUM COM CARGA ATIVA

MATHEUS FRANCISCO BATISTA MACHADO

Professor:

TIAGO OLIVEIRA WEBERA

1 Parte 1

Buscando compreender melhor o modelo do circuito da Figura 1, de fonte comum com carga ativa, foi montado um modelo de pequenos sinais na figura 2. A fonte I_{ref} fica como um circuito aberto logo não passa corrente no transistor Pmos1 e Pmos2 já que ele se comporta como um espelho de corrente, com isso transformamos o transistor Nmos para modelo de pequenos sinais considerando a resistência do Pmos2 r_{02} e r_{01} do Nmos montamos um modelo de pequenos sinais, para determinar a formula do ganho, como a fonte de tensão se comporta como um curto e o transistor Nmos trocamos por uma fonte de corrente controlada por tensão, mostrado na figura 2

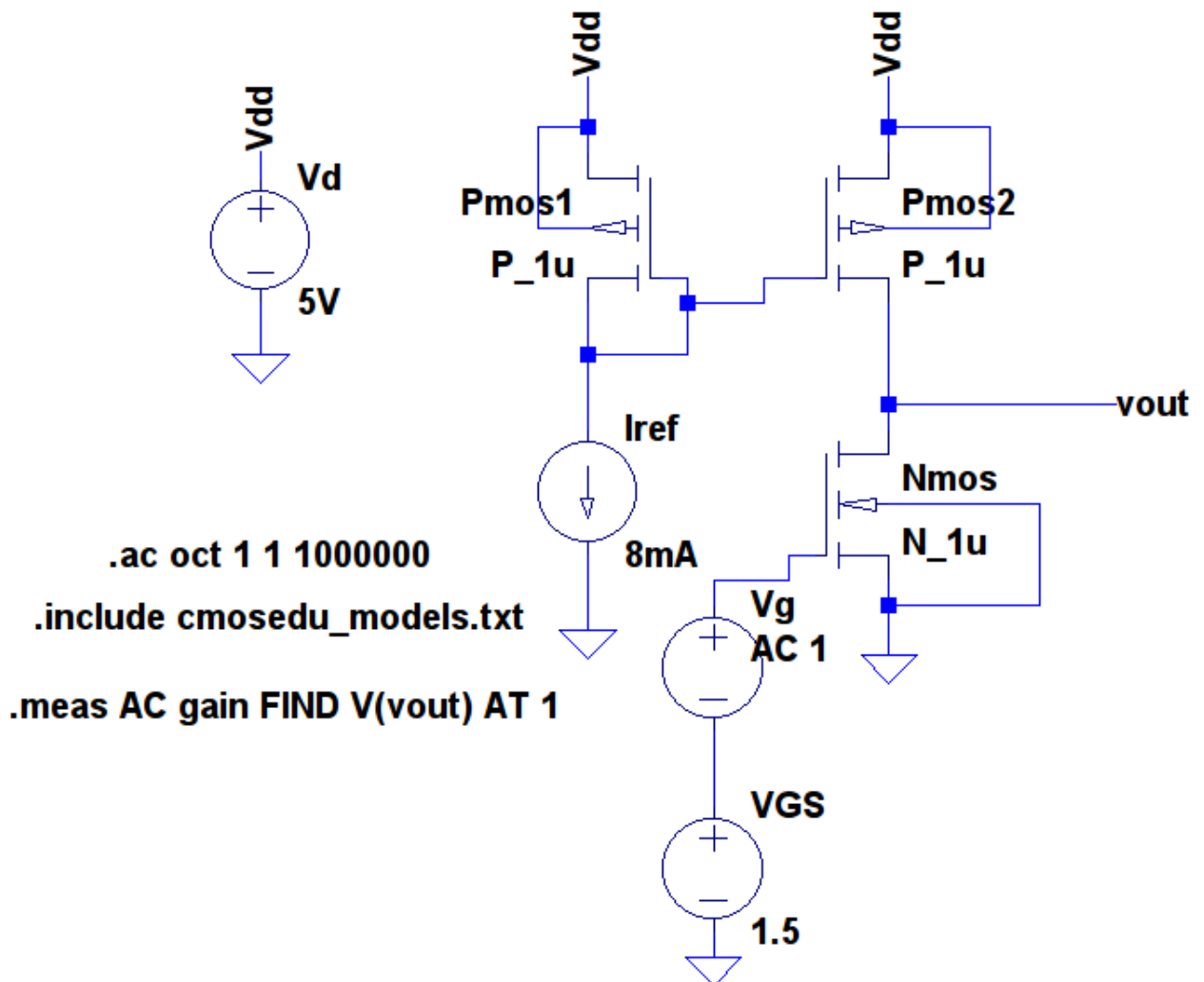


Figure 1: Circuito fonte comum com carga ativa

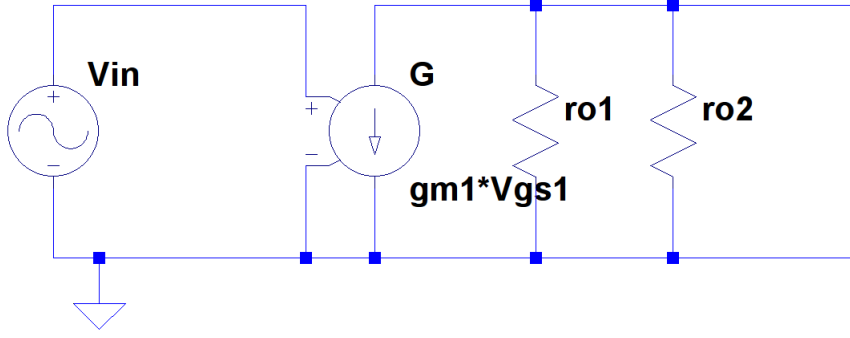


Figure 2: Modelo de pequenos sinais

Dado o modelo de pequenos sinais temos que a formula do ganho é

$$A_v = \frac{V_{in}}{V_{out}} = -g_m(r_{o1} || r_{o2}) \quad (1)$$

2 Parte 2

Para garantir a saturação nos transistores temos uma região de operação onde o V_{ds} do nmos tem que ser $V_{ds} > V_{gs} - V_{th}$ e para o transistor pmos $V_{ds} < V_{gs} - V_{th}$ temos uma região de operação que o V_{ds} tem que estar entre $V_{gs_{nmos}} - V_{th} < V_{ds} < V_{gs_{pmos}} - V_{th}$

3 Parte 3

Em virtude de otimizar o circuito elétrico é utilizado o programa do MATLAB com o algoritmo de otimização de partículas ou Particle Swarm . Com objetivo de maximizar o ganho, modificando apenas as variáveis de entrada $V_{in}, W_N, L_N, W_P, I_{ref}$

O algoritmo de Particle Swarm otimiza o problema iterativamente buscando melhorar a solução de cada indivíduo, inicialmente criar uma solução inicial chamada de colônia inicial, assim vai atualizando o vetor de velocidade para cada partícula, atualiza a posição de cada partícula verifica o critério de parada, com isso a cada iteração buscando diminuir o custo e aumentar o ganho para nosso problema.

Dado os algoritmos de otimização foi trabalhado com os limites de entradas

$$1 < V_{in} < 5$$

$$3\mu < W_N < 100\mu$$

$$1.5\mu < L_N < 20\mu$$

$$3\mu < W_P < 100\mu$$

$$1.5\mu < L_P < 20\mu$$

$$1\mu < I_{ref} < 200\mu$$

Nos codigos de função custo e escrever netlist foram utilizados do circuito anterior, sendo que apenas foi modificado nossa função custo utilizando $-5 * meas$, também algumas modificações no write netlist devido este circuito contém mais variáveis de entrada, como o objetivo é de minimização, isto implica quando mais negativo for o ganho mais longe estamos de nosso melhor ganho, visto isso multiplicamos o ganho por um fator negativo com intuito de negar o valor, assim quando mais positivo o ganho melhor será a função custo (mais negativa). Para o circuito acima o ganho ótimo foi de **44dB**, representado por uma otimização PSO de 100 indivíduos e 1000 iterações e 150 iterações de pattern search. A convergência da resposta pode ser observada na figura 3.

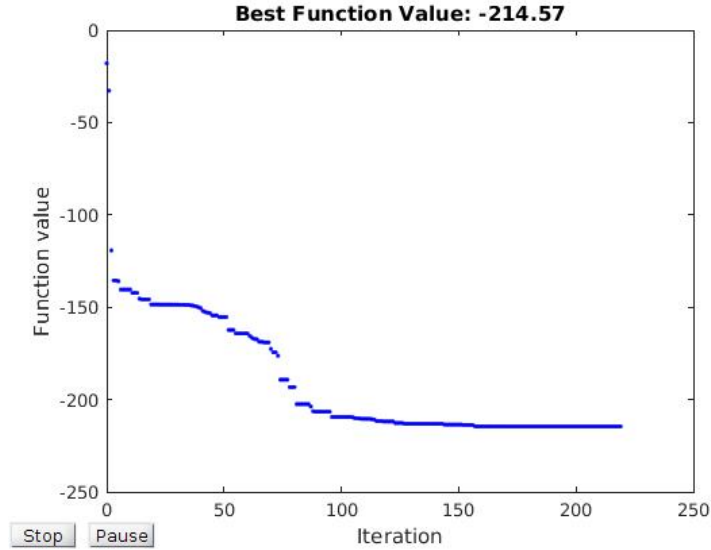


Figure 3: Gráfico de custo

Porém particle swarm foi interrompido na iteração 200, pois o algoritmo não estava mais conseguindo mais otimizar o circuito. Nosso valor da função custo foi de -214,57. Os valores encontrados na otimização foram $V_{inDC} = 1.000063W_n = 17.501335\mu L_n = 1.500000\mu W_p = 3.000000\mu L_p = 19.995640\mu I_{ref} = 32.129\mu$ Com isso podemos observar na figura 5 o transistor Pmos2 tem sua formula de saturação como $V_{ds} < V_{gs} - V_{th}$ e o modelo Nmos $V_{ds} > V_{gs} - V_{th}$, dado que $V_{ds} = 1.4122383V$ temos $V_{th} = 0.8$, assim Nmos esta em saturação $1.412 > 1.00063 - 0.8$ e para o Pmos2 temos que $V_{ds} = -5 - 1.4122383 = -6.4122383$ Temos que V_{gs} do Pmos2 é igual $V_{gs} = -5 + 0.27329 = -4.72671$ Assim temos que o V_{ds} do Pmos2 e $-6.4122383 < -4.72671 - 0.8$ também garantimos a saturação.

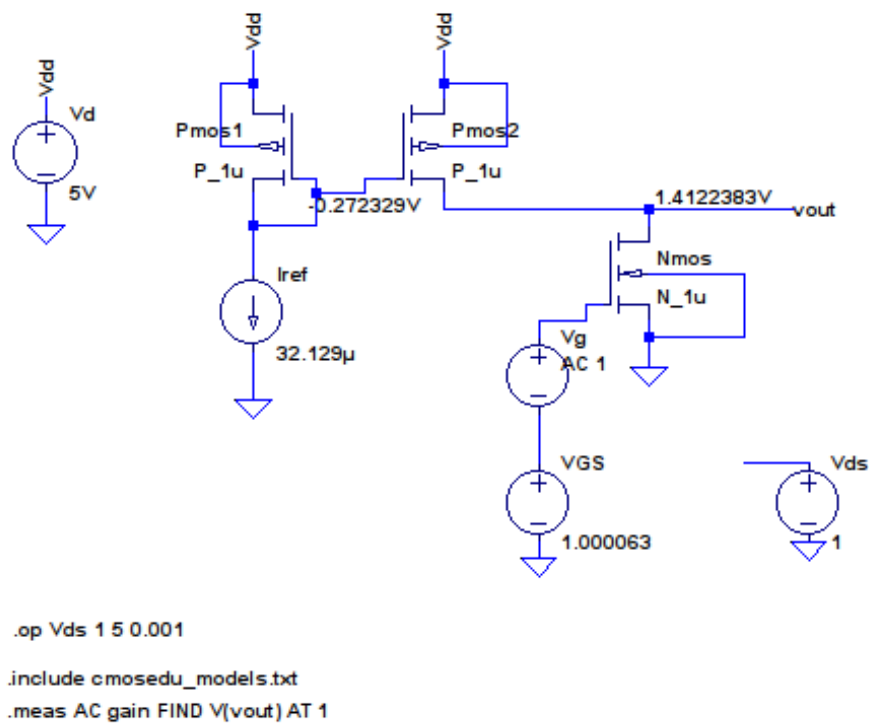
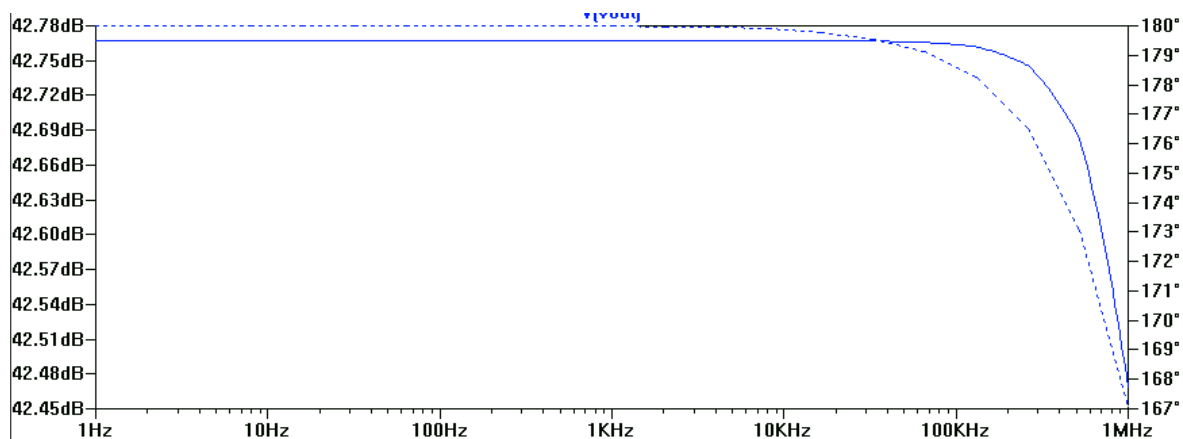


Figure 5: Circuito elétrico

4 Parte 4

Dado a solução encontrada foi feita uma varredura separada nos transistores, Nmos e Pmos e plotado a curva de I_d - V_{ds} para o V_{gs} obtido. Para o transistor Nmos foi esta representado na figura 6 que ao analisarmos para o v_{ds} encontrado percebemos que o valor da corrente encontrada para o $V_{ds} = 1.4122V$ é o valor da nossa corrente aproximadamente $I_{ref} = 32.029\mu$, com isso fizemos uma pequena variação em V_{ds} como mostra as figuras 7 e 8.

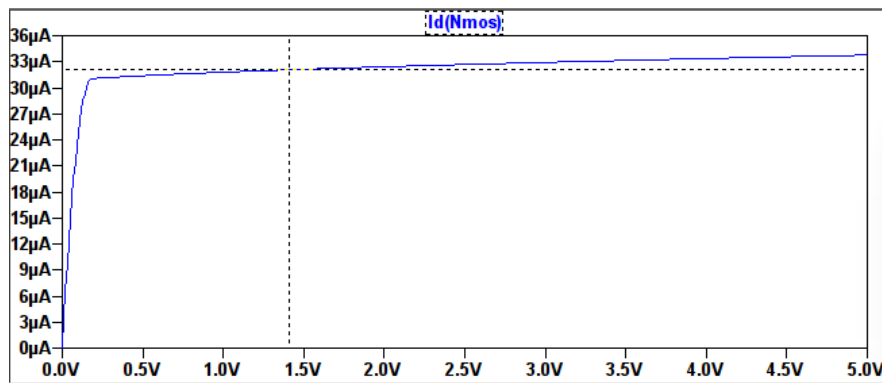


Figure 6: Curva I_d - V_{ds} para Nmos

Foi realizado uma pequena variação para frente em V_{ds}

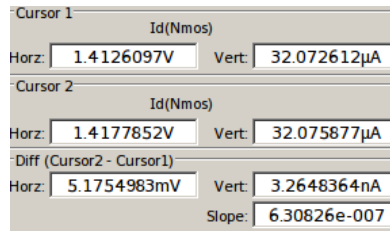


Figure 7: Pequena variação para V_{ds} para frente

Assim temos uma variação de $\Delta_{v_{ds}} = 5.1754983mV$ e $\Delta_{i_{ref}} = 3,2648364nA$. Com isso temos uma resistência incremental de aproximadamente $r_{o1} = 1585224.39287\Omega$

O mesmo procedimento foi realizado para o transistor Pmos na figura 8 esta o gráfico de i_d - v_{ds} , também observamos o mesmo valor na corrente.

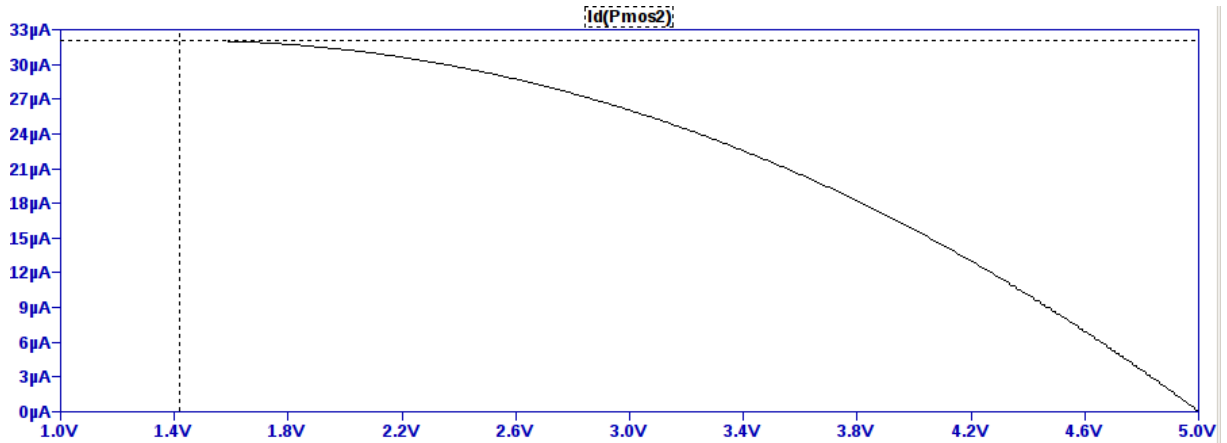


Figure 8: Curva Id-Vds

Com objetivo de calcular a resistência incremental fizemos uma pequena variação e chegamos pela figura 9 que $r_{o2} = 22066494,7938\Omega$ devido a curva de Id(pmos2) percebemos que o valor da resistência vai dar negativo no entanto temos que considerar a convenção passiva assim dando um valor positivo

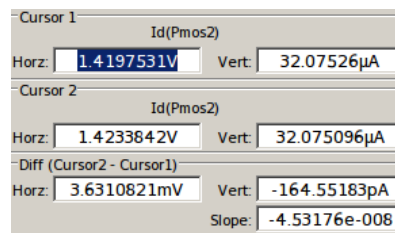


Figure 9: Variação em Vds do Pmos

Podemos perceber que ao plotar as duas curvas temos para o mesmo ponto $V_{ds} = 1.41V$, O valor da corrente igual para os dois como esperado

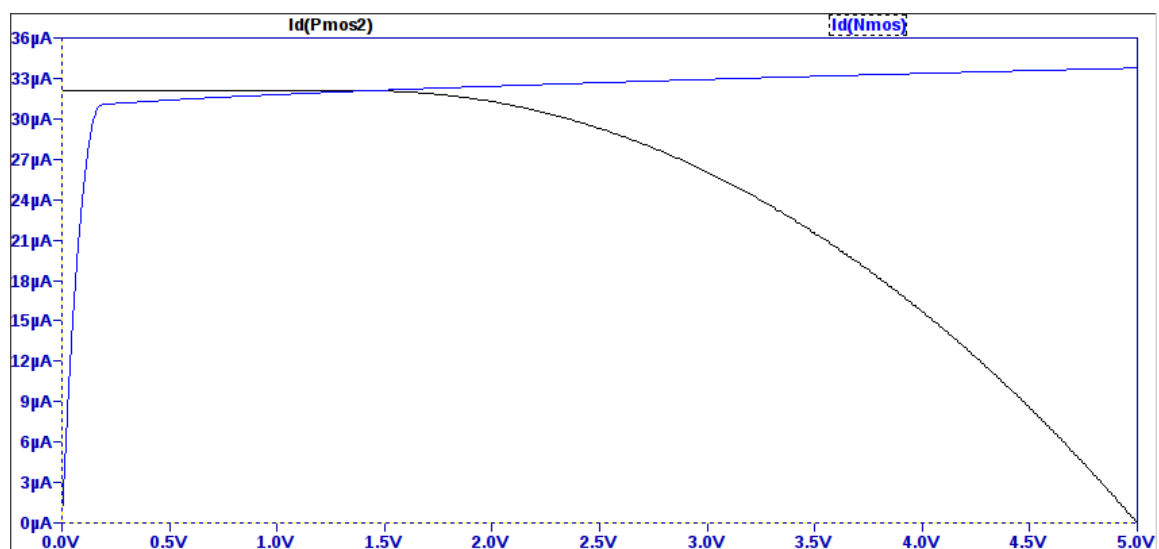


Figure 10: Curva Id-Vds para os dois transistores

5 Parte 5

Dado a formula do ganho $Av = gm(r_{o1}||r_{o2})$ na parte 4 encontramos as resistências incrementais, com isso iremos calcular o ganho. Primeiro fazemos as resistências paralelas.

$$\frac{r_{o1} * r_{o2}}{r_{o1} + r_{o2}} = \frac{3.49803458123E13}{23651719.1867} = 1478976.87843\Omega \quad (2)$$

Dado isso temos que encontrar a transcondutancia que é igual $gm = 279.98867\mu\Omega^{-1}$

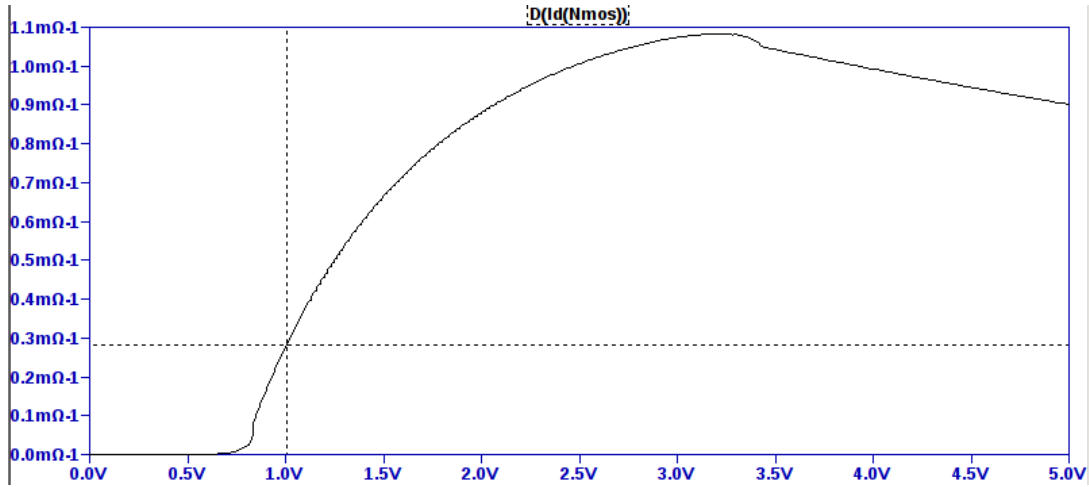


Figure 11: Gráfico de transcondutancia para V_{gs} encontrado em simulação

Substituindo na formula do ganho temos que $Av = 279.98867\mu\Omega^{-1} * 1478976.87843\Omega = 414.096769152$ Aplicando a formula do $20 * \log_{10}(Av)$ temos um ganho de $52dB$, aproximadamente $8dB$ a mais que meu ganho encontrado no otimizador. Após perceber que o ganho estava diferente foi testado no Ngspice os valores encontrados na otimização e não houve mais a diferença de $8dB$ ou seja o ganho do circuito foi de $52dB$