

EE530

Tercero exercício prático de eletrônica básica

Primeiro Semestre de 2010

PROFESSOR: CELSO

TIAGO CHEDRAOUI SILVA RA: 082941

22 de maio de 2010

1 Transistores MOSFET

Transistores MOSFET são dispositivos de três terminais que podem ser utilizados em aplicações que vão desde amplificação de sinais até o projeto de circuito lógico digitais e de memória. Uma das suas características de funcionamento é o controle de fluxo de corrente em um terceiro terminal devido a aplicação de tensão entre dois terminais.

Utilizando o programa Pspice, definimos um transistor MOSFET com os seguintes parâmetros:

| Parâmetro | Valor |
|-----------|------------------------|
| L | $10\mu m$ |
| W | $100\mu m$ |
| k_p | $100\frac{\mu A}{V^2}$ |
| V_A | 100 V |
| V_{tn} | 1.941 V |
| V_{DS} | 0 até 10 V |
| V_{GS} | 2 até 3.941 V |

Tabela 1.1: Parâmetros MOSFET

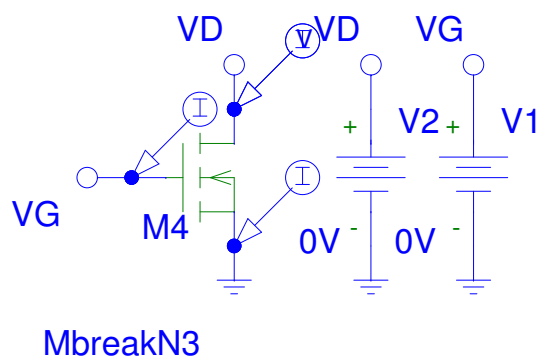


Figura 1.1: Circuito - Transistor MOSFET

Para um MOSFET tipo enriquecimento canal n, existem três características de operação:

- $V_{GS} \leq V_t$:Região de corte
- $V_{GS} \geq V_t$
 - $V_{DS} \leq V_{GS} - V_T$:Região de triodo
 - $V_{DS} \geq V_{GS} - V_T$:Região de saturação

A corrente no dreno será dada por:

- $i_D = K_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_t)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$: Região de triodo
- $i_D = K_n \frac{W}{L} [(V_{GS} - V_t)^2]$: Região de saturação

Obtivemos o seguinte gráfico 1.2 em qual encontramos com a teoria os valores de i_D em relação ao valor de V_{DS} sendo cada curva a variação de V_{GS} . Ajustando a curva de $V_{DS} = V_{GS} - V_t$ obtivemos o gráfico 1.3, que comparado ao gráfico teórico 1.4 apresenta a mesma característica.

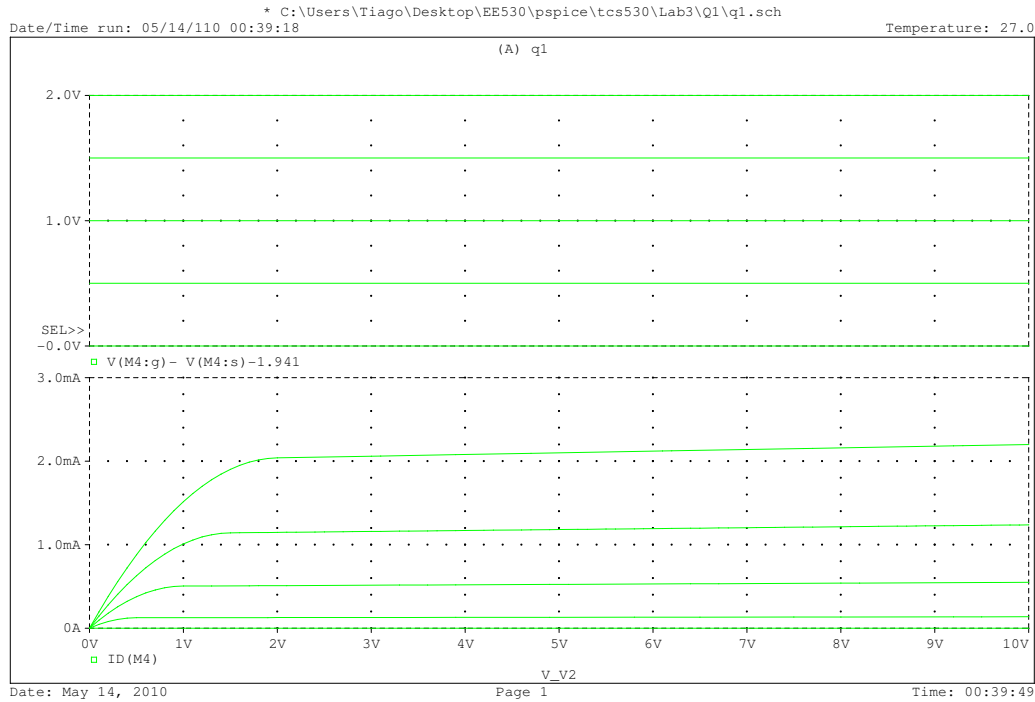


Figura 1.2: Valor de V_{DS} separando região de triodo e saturação para cada curva do gráfico $I_D \times V_{DS}$

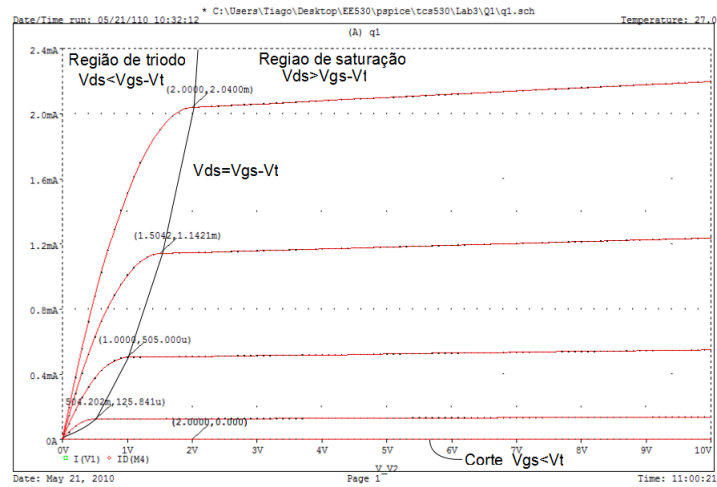


Figura 1.3: Aproximação da curva $V_{DS} = V_{GS} - V_t$

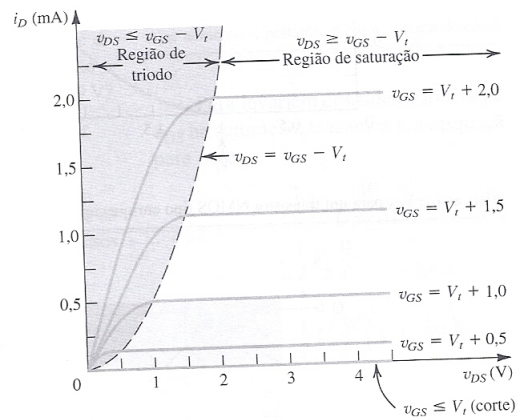


Figura 1.4: Gráfico teórico

2 Amplificador fonte comum (FC)

Modelos de amplificador operacional baseados na tecnologia MOSFET, são amplamente utilizados na indústria eletrônica. Existindo três tipos de amplificadores que usam transistores MOSFET:

- Fonte comum
- Porta comum
- Dreno comum

Sendo o amplificador fonte comum (ou fonte aterrada) a mais empregada (ver circuito 2.1).

Através do circuito podemos escrever que: $\frac{V_{gs}}{V_{sig}} = \frac{R_G}{R_G + R_{sig}}$, $V_o = -g_m v_{gs} (R_D \parallel r_o \parallel R_L)$. Normalmente, escolhe-se $R_G \gg R_{sig}$, tal que $\frac{V_{gs}}{V_{sig}} = 1$, e portanto: $A_v = \frac{V_o}{V_{sig}} = -g_m v_{gs} (R_D \parallel r_o \parallel R_L)$.

A resistência de entrada é dada por R_G .

Para obter a resistência de saída, eliminamos a resistência de carga (R_L), colocamos uma fonte de tensão na saída e curto-circuitamos a entrada do amplificador. Resultando, nesse caso, em $R_{out} = R_D \parallel r_o$.

Para o circuito utilizamos os seguintes dados:

| Dados | Valores | Dados | Valores |
|-----------|---------------|-----------|-------------------------|
| R_L | 100K Ω | λ | 0,01 |
| V_{DD} | 10 V | k_p | 100 $\frac{\mu A}{V^2}$ |
| V_{SS} | -10 V | W | 100 μm |
| V_{SIG} | 0.1V | L | 10 μm |
| C_{c2} | 100nF | V_{to} | 1.941 V |
| C_{c2} | 100nF | V_A | 100 V |
| C_S | 100nF | | |
| R_{SIG} | 100 Ω | | |

(a)

(b)

Tabela 2.1: Valores iniciais

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = 51,52 K\Omega$$

Como queremos que I_D seja igual a 1.941 mA e que V_d (tensão no dreno) seja igual a 4,0V , fazendo uma análise DC do circuito temos que $V_{DD} - V_D = I_D * R_D$, $R_D = \frac{(10-4)*1000}{1.941} = 3,091 K\Omega$. Escolhemos $R_G = 1M\Omega$ de forma que $R_G \gg R_{sig}$.

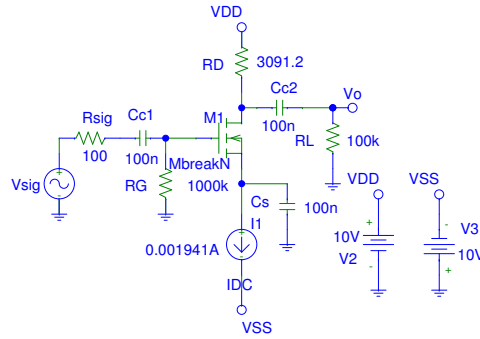
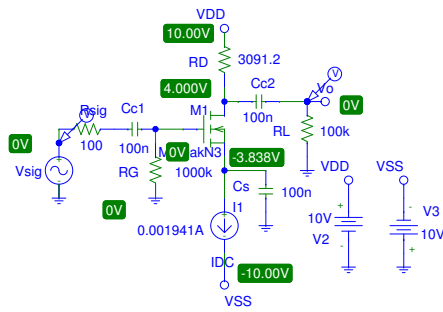
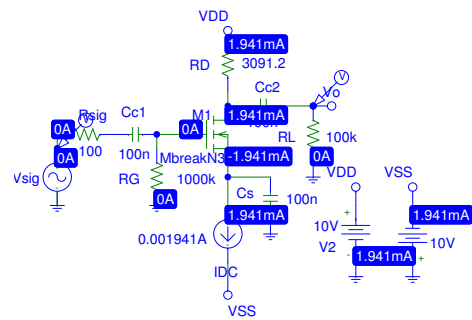


Figura 2.1: Circuito amplificador fonte comum

Realizando a análise de polarização do circuito obtivemos $I_D = 1.941mA$ e $V_d = 4,0V$, como queríamos.



(a) Voltagem - análise de polarização



(b) Corrente - análise de polarização

Para o cálculo de g_m , temos que $g_m = K_n \frac{W}{L} [(V_{GS} - V_t) = 0,0001 * (0 - (-3,838) - 1,941)] = 1,897m\frac{A}{V}$. E $A_v = \frac{V_0}{V_{sig}} = -g_m v_{gs} (R_D \parallel r_o \parallel R_L) = -5,37\frac{V}{V}$ e $G_m = \frac{R_G}{R_G - R_{sig}} A_v = -5,374$.

Conforme o calculado no pspice em valores absolutos, o aumento do circuito foi de -5,8 que comparado a -5,37 é um valor 10% menor em módulo.

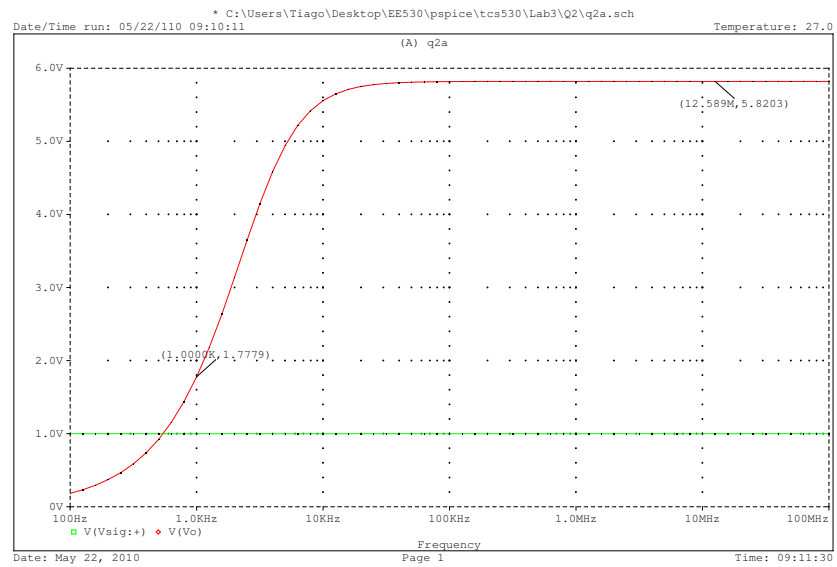


Figura 2.2: Função de transferência

3 Inversor lógico digital CMOS

O inversor básico utiliza dois transistores MOSFETS (ver figura 3.1) sendo um com um canal n e outro com canal p, o corpo de cada dispositivo está conectado à sua fonte, assim nenhum efeito de corpo será considerado.

Devemos considerar que quando V_i estiver em nível lógico 0 o circuito atuará conforme a figura 3.2a e quando estiver em nível lógico 1 atuará conforme a figura 3.2b. Ou seja, quando a entrada for 0V a saída será V_{DD} e quando a entrada for V_{DD} a saída será 0.

O nosso circuito confirma tal característica pelo gráfico 3.4, no qual apresenta valor V_{DD} quando a entrada é zero, e 0 quando a entrada é V_{DD} .

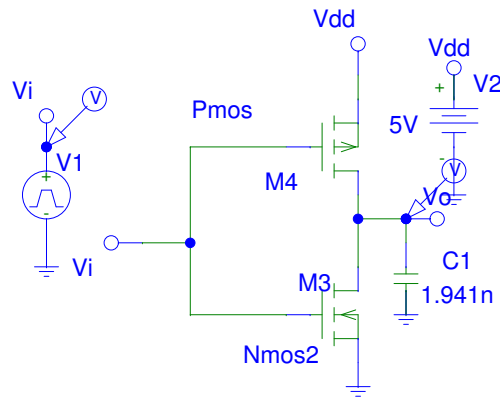
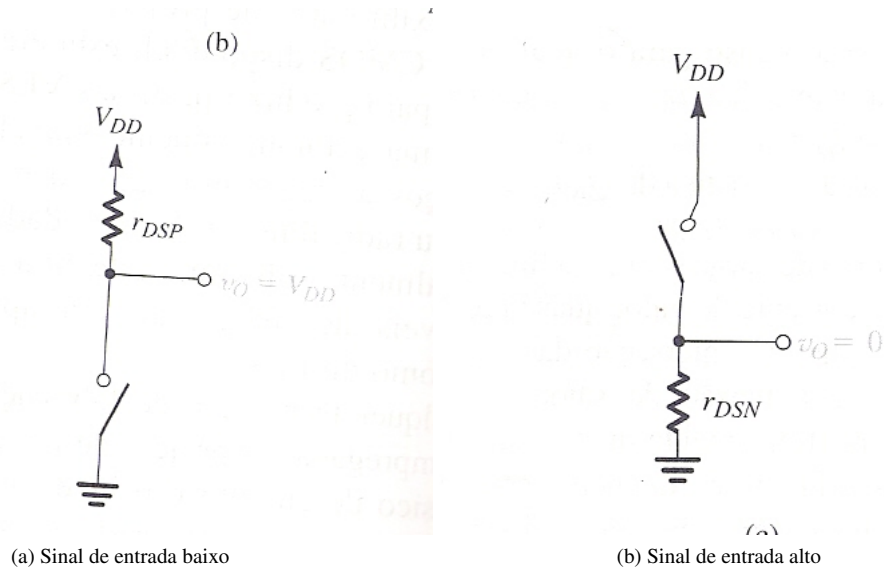


Figura 3.1: Circuito inversor lógico



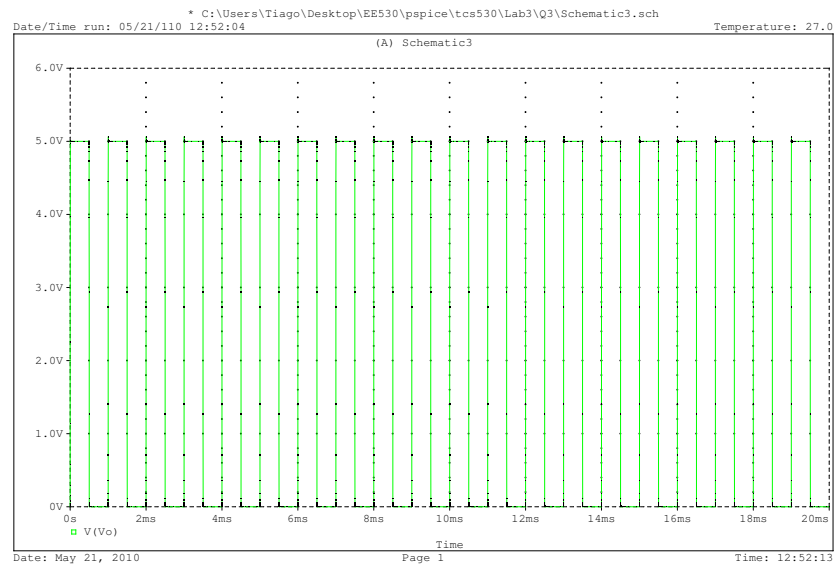


Figura 3.2: Tensão de saída do circuito

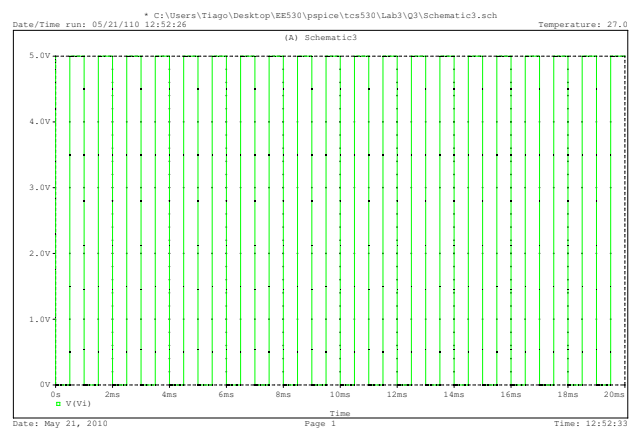


Figura 3.3: Tensão de entrada do circuito

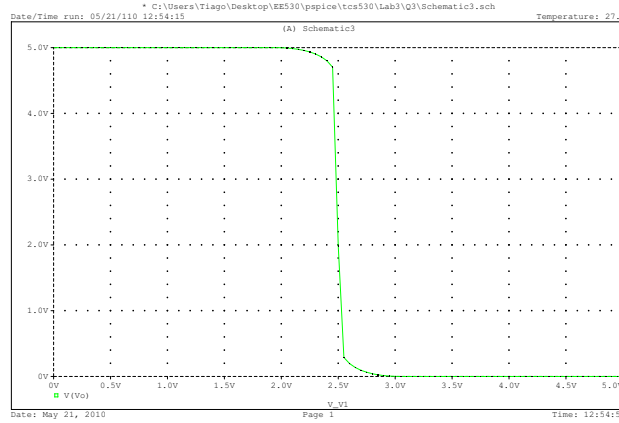


Figura 3.4: Voltagem de saída para transição de entrada alta para baixa.

Quando o inversor é chaveado (QN e QP estarão conduzindo, $V_{in} < v_i < V_{dd} - |V_{tp}|$), flui corrente pela associação em série dos transistores CMOS (vide figura 3.5). O pico da figura ocorre quando $V_{th} = v_i = v_o = \frac{V_{dd}}{2}$. Essa corrente gera a dissipação de energia no ciclo completo dada por CV_{DD}^2 .

Pois, quando a saída do inversor variar de $V_c = V_{DD}$ para $V_c = 0$, a energia armazenada no capacitor varia de $\int \delta EC = \int C_V \delta V_C$ ou seja:

$$\Delta EC = \frac{-CV_{DD}^2}{2}$$

Assim, toda esta energia é dissipada em QN.

Por outro lado, quando a saída variar de $V_c = 0$ a $V_c = V_{DD}$, a energia do capacitor varia

$$\Delta EC = \frac{CV_{DD}^2}{2}$$

Como o capacitor se carrega, toda a energia vem da fonte de alimentação através de QP. Assim, a energia retirada da fonte é dada por:

$$\Delta EC = CV_{DD}^2$$

Assim, como a energia no capacitor no final do período é de $\frac{CV_{DD}^2}{2}$, $\frac{CV_{DD}^2}{2}$ foi dissipada em QP. A dissipação total é CV_{DD}^2 .

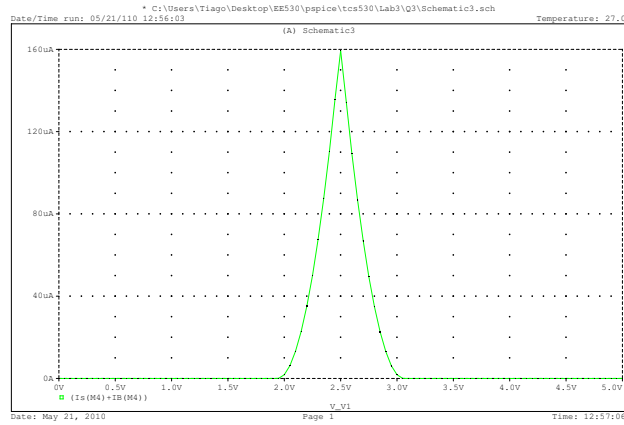


Figura 3.5: Corrente na bateria enquanto variação na tensão de entrada

Para t próximo a 0, a corrente de bateria se comporta conforme o gráfico 3.6, assim a área do gráfico é numericamente igual a carga fornecida pela bateria. Portanto, aproximando a figura a um triângulo $Q = \int i \delta t = \frac{\Delta t * i}{2} = \frac{4\mu * 4,8m}{2} = 9,7nC$, que corresponde a $Q = C * V_{DD} = 1,941n * 5 = 9,7nC$.

Logo, a energia fornecida pela bateria durante o carregamento do capacitor vale $4,8 * 10^{-08}J$.

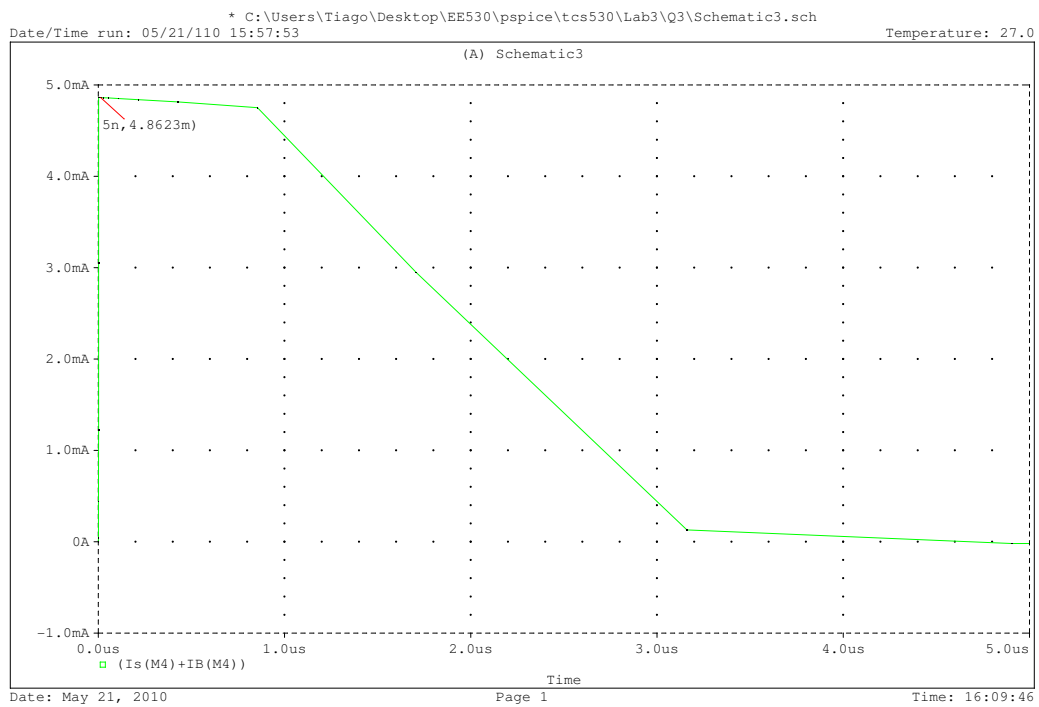


Figura 3.6: Corrente fornecida pela bateria em t proximo a zero