



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Faculdade de Engenharia



Programa de Graduação em Engenharia da Computação

LAB1 – Simulação Spice do Transistor

Micro2: Maiki Buffet e Marcelo Pereira

Professor: Fernando Gehm Moraes

Porto Alegre

Março, 2017

1) Simulação para visualizar I_{ds} em função de V_{gs} :

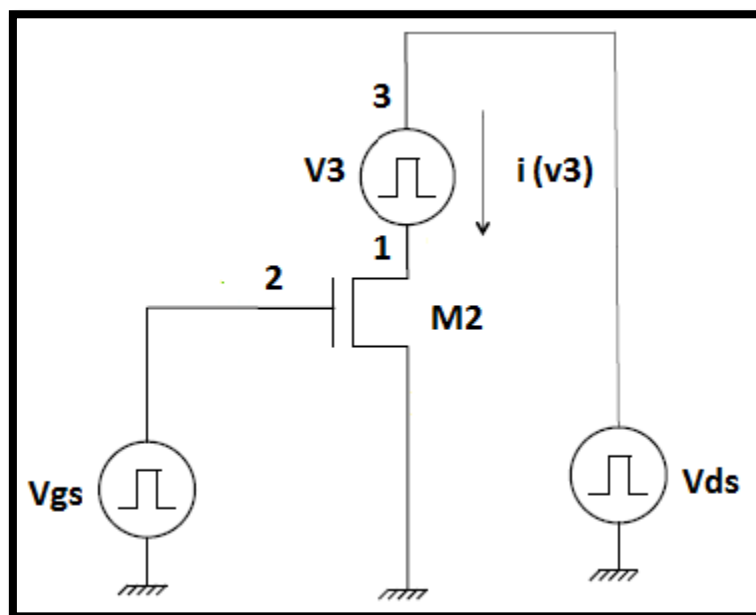
1. Qual o objetivo desta simulação?

Compreender o funcionamento de um transistor para cada um dos 5 níveis de tensão V_{gs} e verificar as zonas de saturação, corte e linear.

2. Desenhe o circuito elétrico equivalente do circuito 'ids.sp', com os labels dos nodos.

De acordo com o arquivo ids.sp:

- Transistor MOS tipo N;
- V3 entre nodos 3 e 1 (Dreno) e Vds entre 3 e 0 (Source). Dessa forma concluímos que V3 e Vds estão diretamente conectados ao nodo 3, além do Vgs entre os nodos 2 (Gate) e 0 (Source);
- Vth0 (Tensão de Threshold) igual a 0.5048265 V;

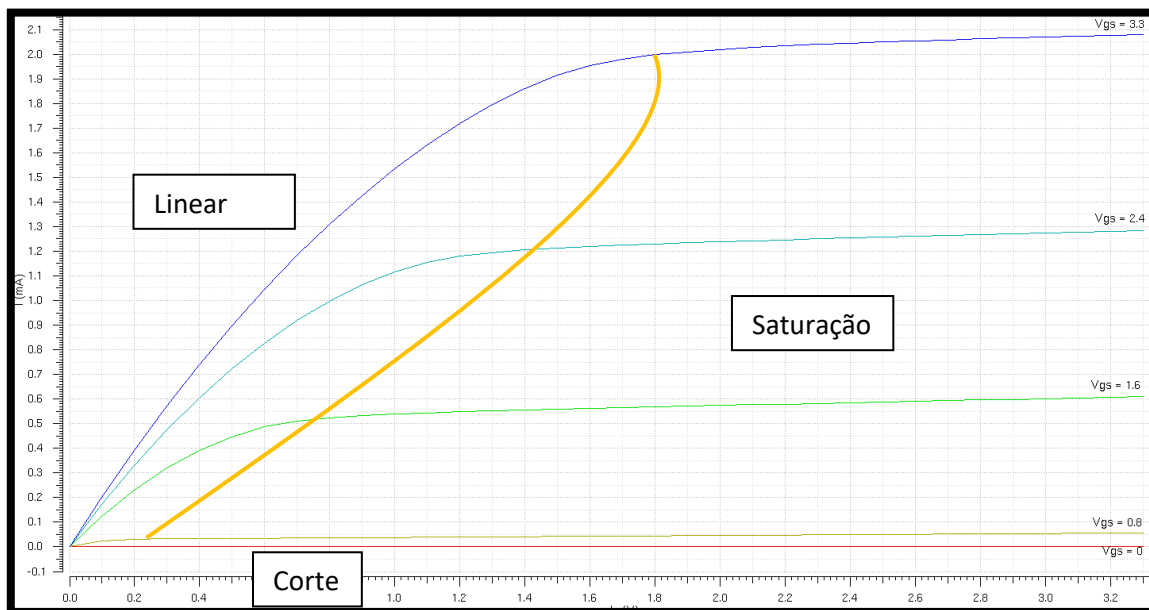


3. No relatório plotar a curva de simulação e identificar as regiões de transistor cortado, linear e saturado nas curvas.

Podemos observar 5 curvas no gráfico:

- $V_{gs} = 0$ V, transistor na região de corte;
- $V_{gs} = 0.8$ V, transistor na região de corte;
- $V_{gs} = 1.6$ V, transistor na região linear e de saturação;
- $V_{gs} = 2.4$ V, transistor na região linear e de saturação;
- $V_{gs} = 3.3$ V, transistor na região linear e de saturação.

Nas duas primeiras curvas o transistor está na região de corte devido à baixa tensão do circuito. Nas demais o transistor conduz, pois $V_{gs} > V_{th0}$.

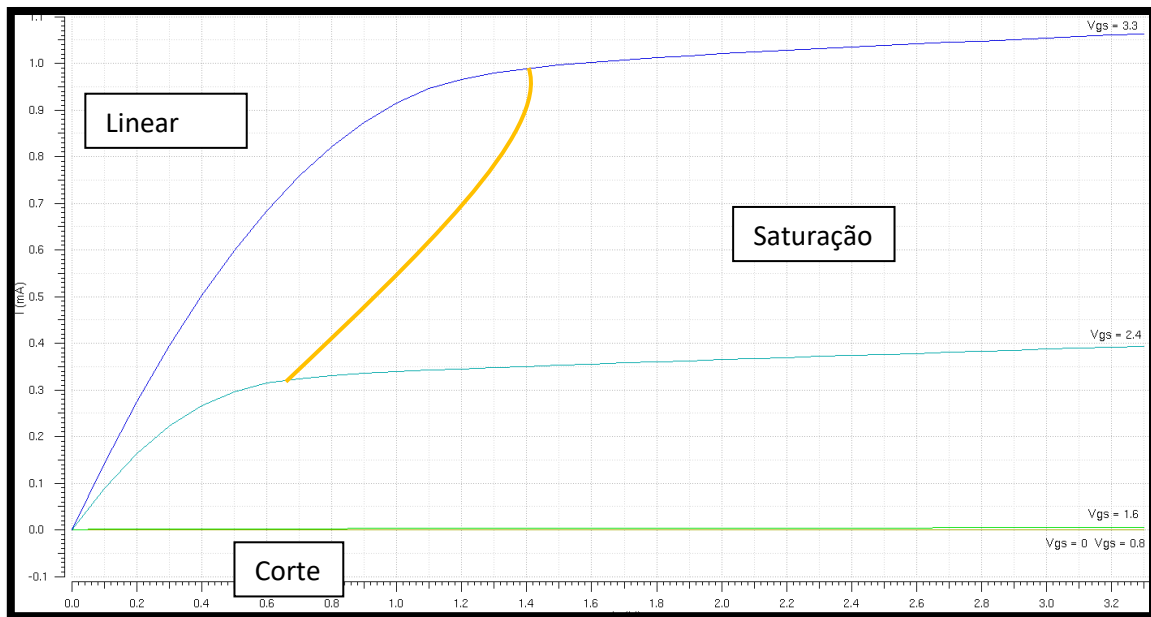


4. Altere de tensão de Threshold do transistor N para 1.5 V, simule novamente e explique o novo comportamento das curvas. No relatório plotar esta curva, identificando as regiões de operação. Compare com a simulação original, explicando as principais diferenças observadas.

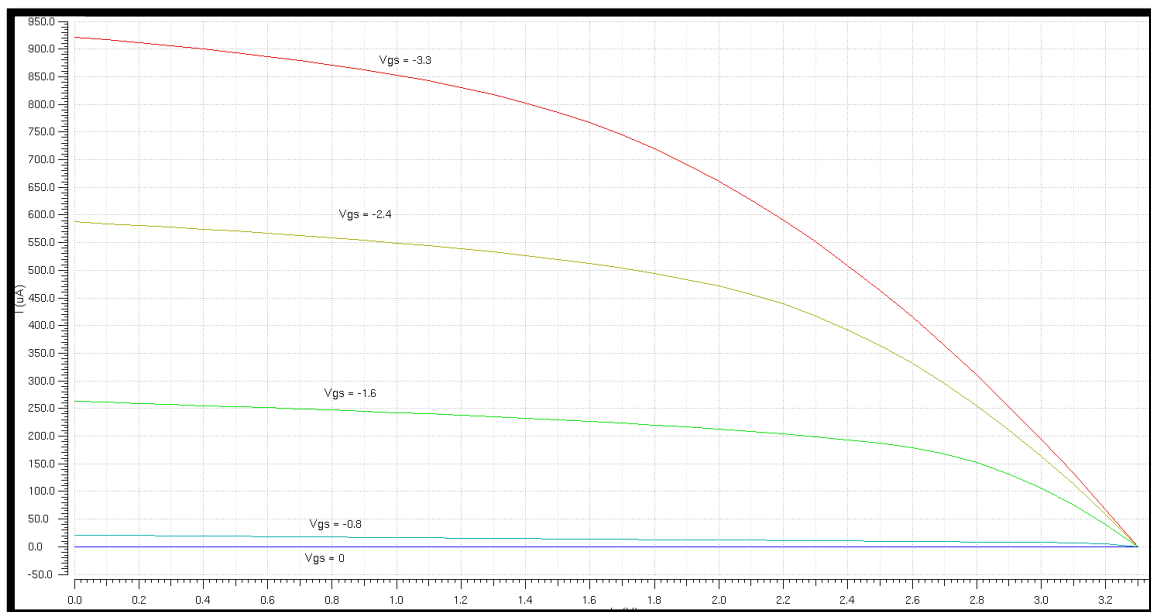
Podemos observar 5 curvas no gráfico:

- i. $V_{gs} = 0$ V, transistor na região de corte;
- ii. $V_{gs} = 0.8$ V, transistor na região de corte;
- iii. $V_{gs} = 1.6$ V, transistor na região de corte;
- iv. $V_{gs} = 2.4$ V, transistor na região linear e de saturação;
- v. $V_{gs} = 3.3$ V, transistor na região linear e de saturação.

Nas três primeiras curvas o transistor está na região de corte devido à baixa tensão do circuito. Nas demais o transistor conduz, pois $V_{gs} > V_{th0}$. Como V_{th} é maior, a sua diferença em relação a V_{gs} é menor, e por isto, a corrente diminui.



5. Simular o arquivo `ids_p.sp` (transistor P sendo avaliado). Apresentar as formas de onda, com os labels de V_{gs} , e explicar o comportamento do circuito.

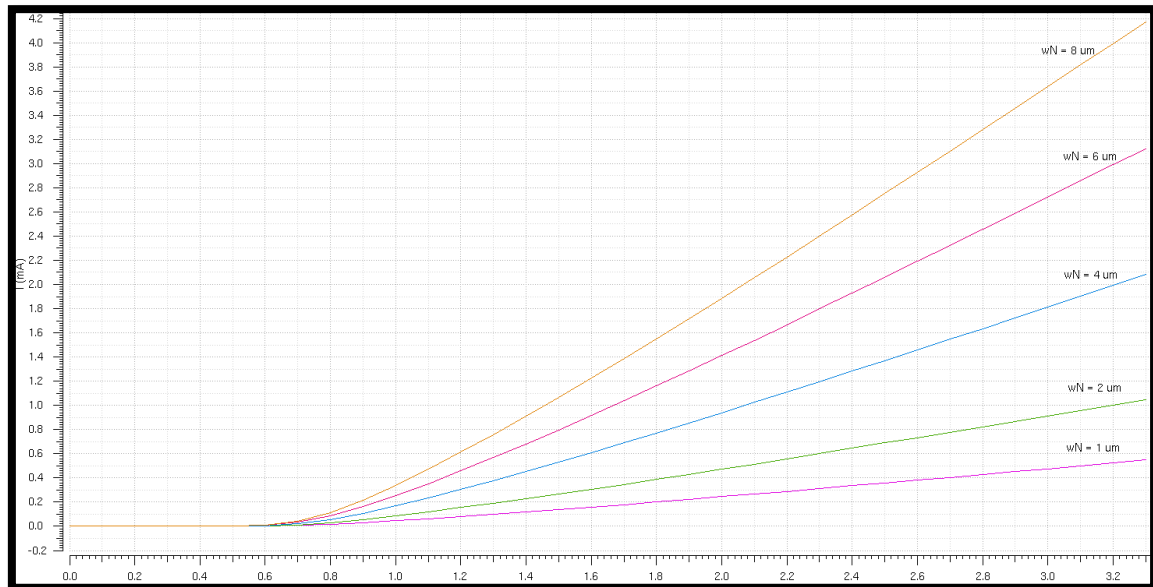


Podemos observar que nesta simulação, o transistor do tipo P, tem comportamento oposto ao do tipo N. Quando a tensão no Gate é 0, a corrente que passa entre Source e Dreno é maior, e quanto mais próxima a tensão do Gate de V_{cc} , menor será a corrente que passara pelo canal.

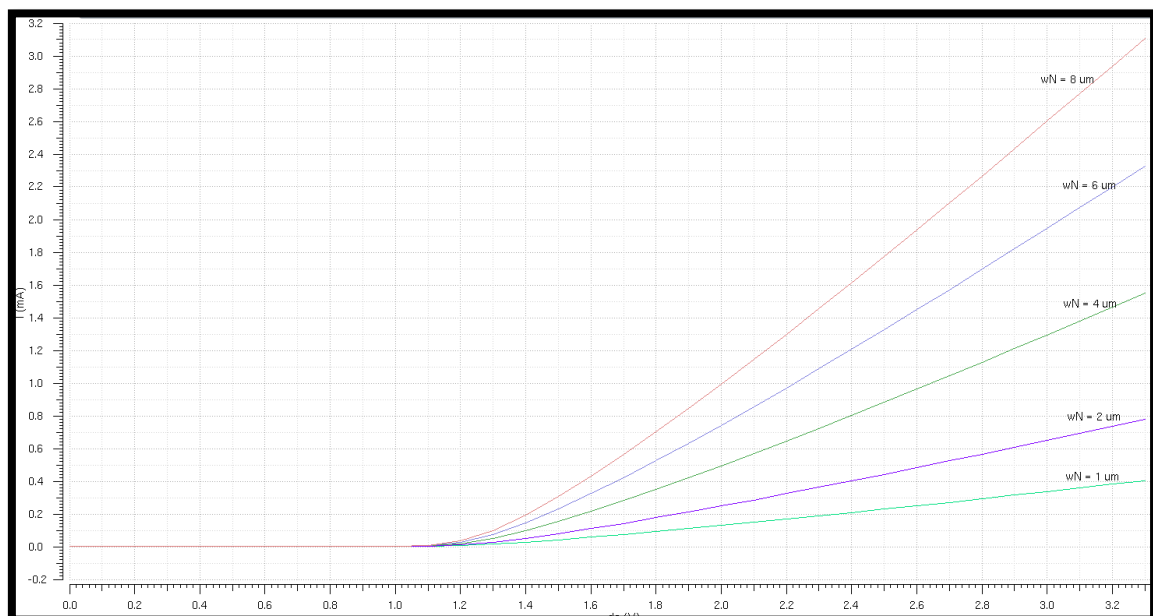
2) Simulação para visualizar I_{ds} em função do dimensionamento do transistor:

1. Variar individualmente os seguintes parâmetros do arquivo de tecnologia para obter o transistor N:

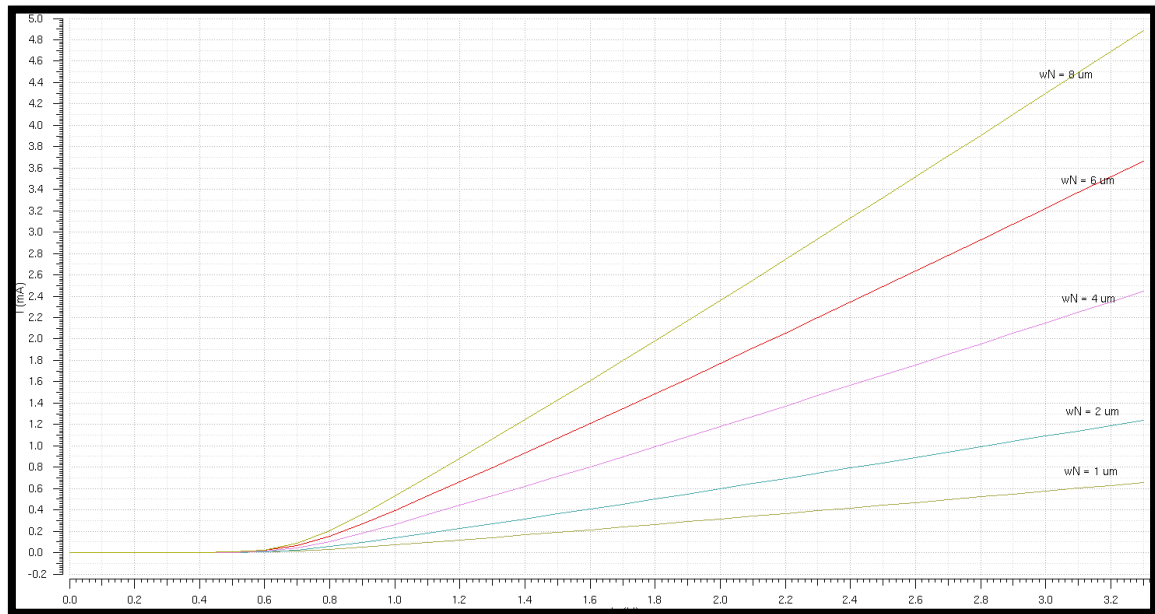
i. Padrão:



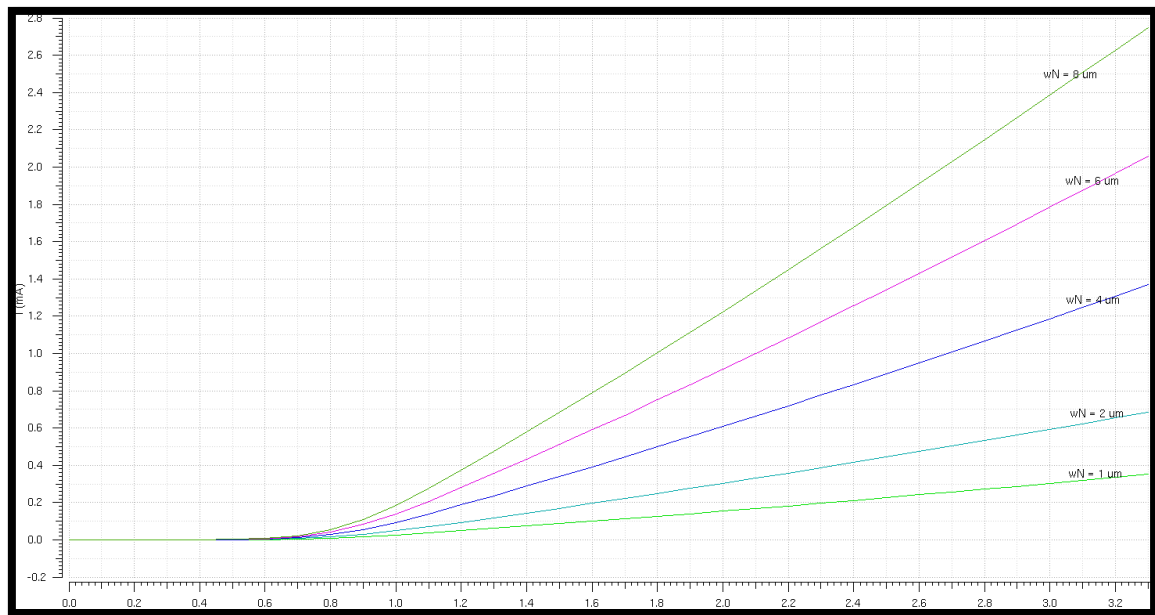
ii. Tensão de Threshold – V_{th0} (1.009653):



iii. Mobilidade – U0 (831.7141276):



iv. Espessura do oxido – Tox (1.54E-8):



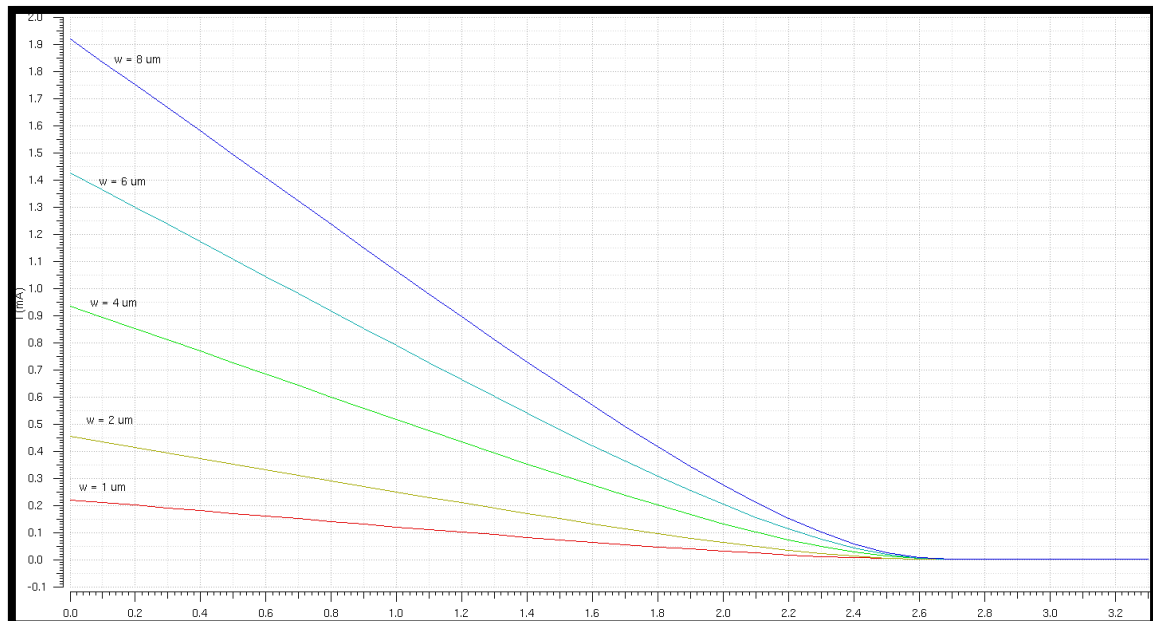
2. Relacionar esta variação com a corrente I_{ds} . Dizer o porquê de a corrente aumentar ou diminuir. Apresentar a equação de corrente para I_{ds} e verificar se está de acordo.

- i. **V_{th0}**: Com a tensão de Threshold alterada para o dobro, pode-se observar que a passagem de corrente se iniciou a partir deste novo valor. Além disso, a corrente I_{ds} diminuiu devido ao fato de que com uma maior tensão de Threshold a diferença entre V_{ds} e V_{gs} é menor.
- ii. **U₀**: Quando dobramos o valor da mobilidade, acabamos aumentando a passagem de corrente pelo canal. Isto se deve ao fato de que a mobilidade é diretamente proporcional a intensidade do campo elétrico.
- iii. **Tox**: Ao dobrarmos a espessura do óxido, a corrente que passa pelo canal diminuiu. Tenso isto em mente, pode-se observar que a corrente I_{ds} é inversamente proporcional a espessura do óxido.
- iv. **Modelo de primeira ordem para a corrente I_{ds}** :

$$I_{ds} = \begin{cases} 0 & V_{gs} < V_t & \text{Corte} \\ \beta \left(V_{gs} - V_t - \frac{V_{ds}}{2} \right) V_{ds} & V_{ds} < V_{dsat} & \text{Linear} \\ \frac{\beta}{2} (V_{gs} - V_t)^2 & V_{ds} > V_{dsat} & \text{Saturação} \end{cases}$$

$$\beta = \mu C_{ox} \frac{W}{L}$$

3. Comente no arquivo vds.sp o transistor N e acrescente um transistor P. Plote a curva para o transistor P e explique o comportamento observado.



Devido ao comportamento da resposta transiente, observamos que se trata de um transistor PMOS. Logo, como neste tipo de transistor é necessário que a tensão V_{gs} seja maior que a tensão V_{ds} , quando aumentamos a tensão de Threshold, diminuimos a corrente que passa pelo canal.

4. Qual a relação de mobilidade entre o transistor N e o transistor P? Esta relação é dada pela relação U_0 dos transistores. O que indica esta relação de mobilidade?

A relação de mobilidade entre os transistores N e P é de aproximadamente 2,8. Isso significa que o transistor N é 2,8 vezes mais rápido que o transistor P. Quanto maior a mobilidade, mais rápido o transistor irá passar do modo cortado para saturado.