

LABORATÓRIO 1 - SIMULAÇÃO SPICE DO TRANSISTOR

Prof. Fernando Gehm Moraes – Revisão: 07/março/2023


Exemplo de ajuda para descrição SPICE

<http://www.seas.upenn.edu/~jan/spice/spice.overview.html>

Login no sistema operacional LINUX

- Todas as atividades de laboratório são executadas em máquinas do grupo GAPH (Grupo de pesquisa de Apoio ao Projeto de Hardware). As máquinas a serem utilizadas são: **kriti** e **paxos** (caso haja problema de acesso à kriti).

ssh -X <grupo>@kriti.inf.pucrs.br -p 8888 (permite acesso também de casa)

 No primeiro acesso será pedida a troca de senha, devendo a mesma ter pelo menos 6 caracteres.

Ao executar o login na conta, o arquivo `.bashrc` executa os seguintes comandos:

```
source /soft64/source_gaph
module load ic mmsim
```

os quais configuram as variáveis de ambiente para o simulador.

Dica para acesso de casa para executar o laboratório

https://fgmoraes.github.io/acesso_krit_XPRA.pdf

Baixar os arquivos abaixo necessários à execução deste laboratório

wget https://fgmoraes.github.io/microel/lab1/lab1.zip ; unzip lab1; cd lab1

- Há 4 arquivos no diretório lab1:

```
lab1
├── ids.sp
├── ids_p.sp
├── tsmc035.mod
└── vds.sp
```

- Os arquivos com sufixo. sp contêm a descrição *spice* do circuito, e o arquivo `tsmc035.mod` define a tecnologia que iremos empregar (0,35 μ m). O arquivo de tecnologia deve estar no mesmo diretório do arquivo contendo as descrições *spice*.

1) SIMULAÇÃO PARA VISUALIZAR IDS EM FUNÇÃO DE VGS

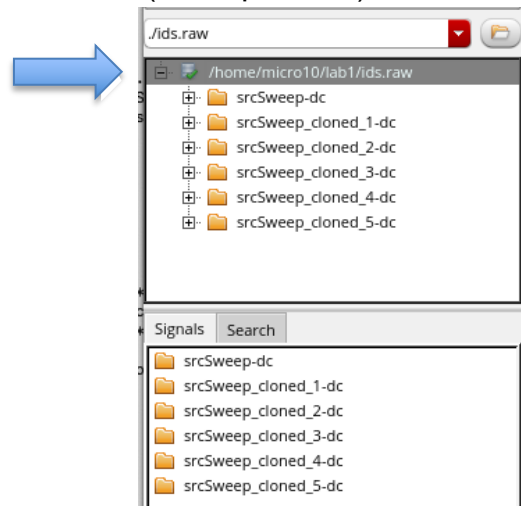
Simular o arquivo **ids.sp**. Para simular executar no terminal o comando:

spectre ids.sp

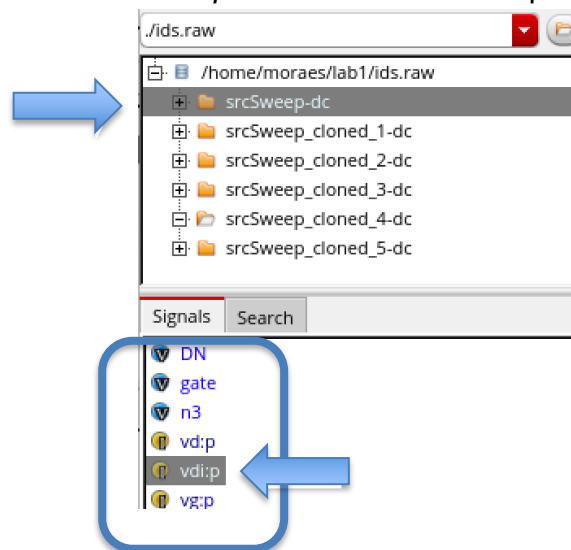
Após a simulação concluir, são impressas as seguintes mensagens:

```
Cadence (R) Virtuoso (R) Spectre (R) Circuit Simulator
Version 15.1.0.257 64bit -- 9 Oct 2015
....
spectre completes with 0 errors, 2 warnings, and 0 notices.
```

- Abrir a interface gráfica: **viva &**
 - **File → Open Results → ids.raw**
 - duplo clique em *ids.raw* (ou clique no +) : abrem os 6 resultados de simulação.



- duplo clique em *srcSweep-dc* – abre os sinais que podemos visualizar.



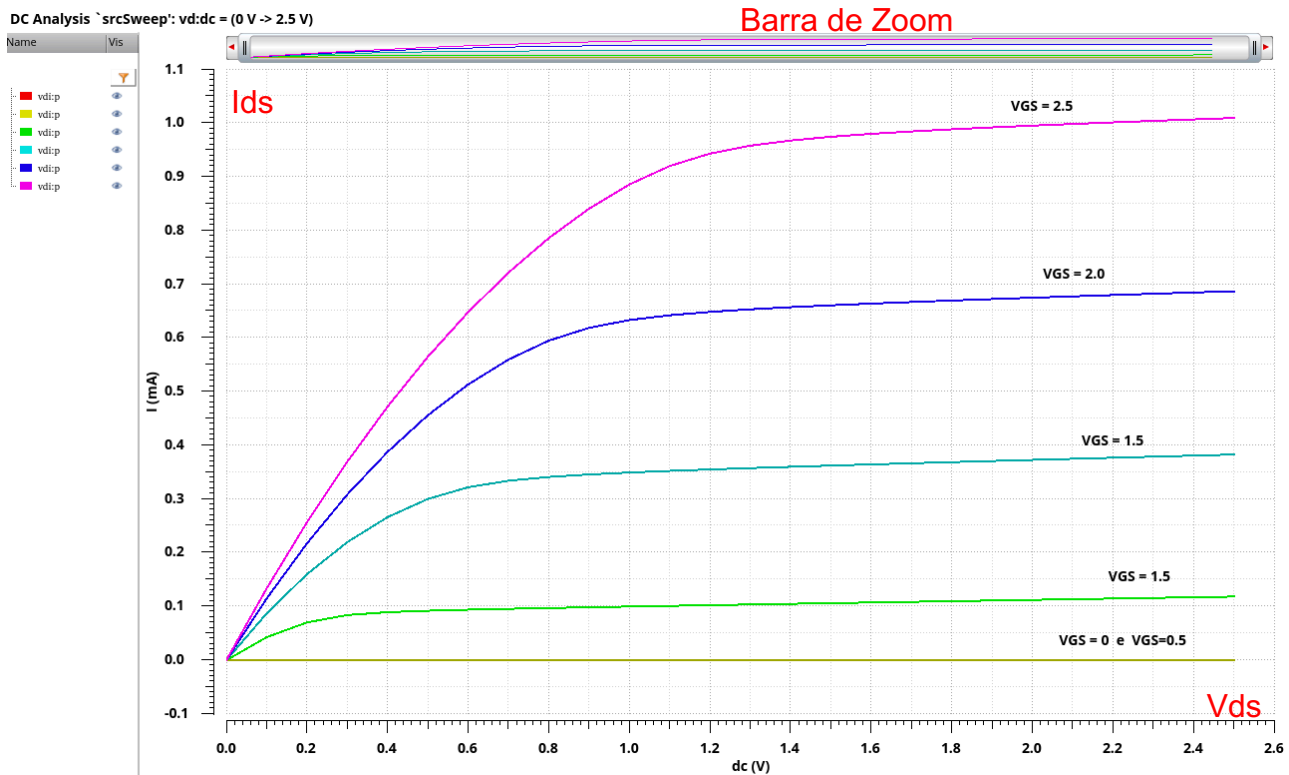
- Duplo clique em **i(vdi:p)** para abrir a corrente sobre o transistor (corrente sobre a fonte auxiliar – *vdi*, plotando diretamente sobre *vd* a corrente fica invertida). Esta primeira curva obtida corresponde ao IDS da simulação com VGS=0 (em negrito abaixo). Depois selecione *srcSweep_cloned_1-dc* e duplo clique em **i(vdi:p)**. Repita o processo para as 6 correntes. Olhar o arquivo SPICE. A tensão aplicada ao *gate* varia de 0.5 V a 2.5 V. Dado que o *source* está conectado à *gnd*, *vg* =Vgs, neste exemplo.

```

vg gate 0 dc 0
.alter
vg gate 0 dc 0.5
.alter
vg gate 0 dc 1.0
.alter
vg gate 0 dc 1.5
.alter
vg gate 0 dc 2.0
.alter
vg gate 0 dc 2.5
.END

```

O resultado obtido é o apresentado abaixo. (usei **File → Window Properties** para trocar a cor de fundo). **Inserir labels** com **graph → add label**.



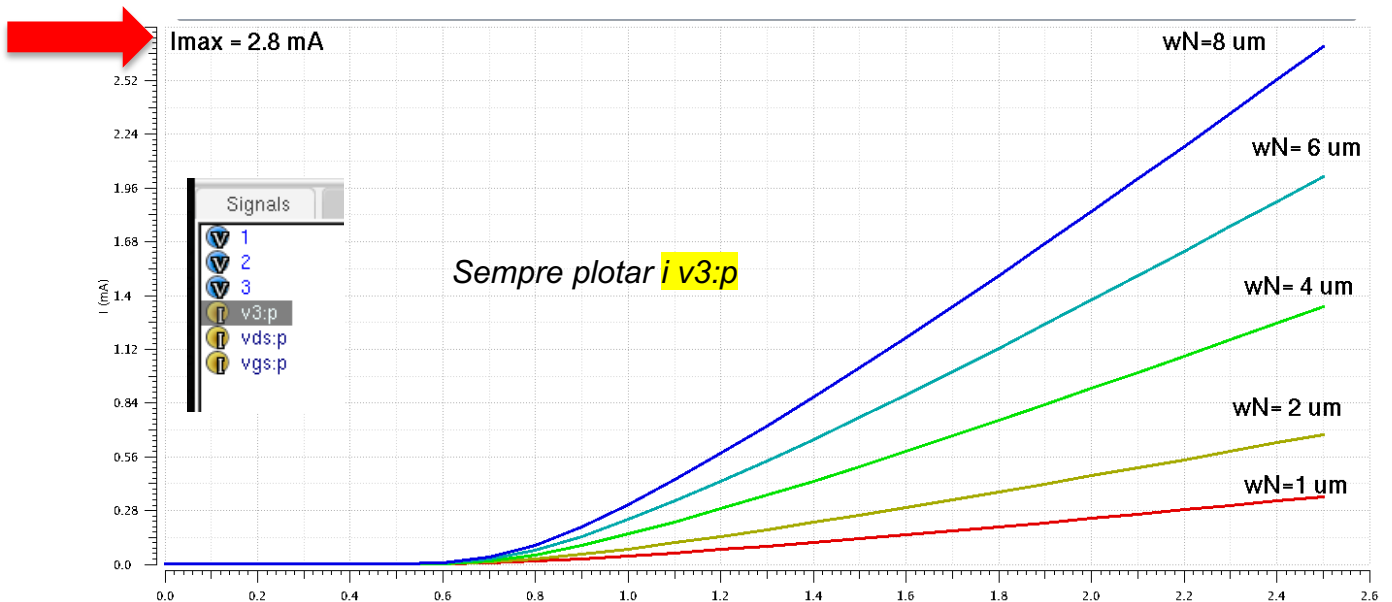
Observar que no eixo x temos V_{DS} variando de 0 a 2.5 volts, e no eixo y a corrente I_{DS} . Cada simulação é dada por uma cor.

RESPONDA NO RELATÓRIO:

- [1,0 pt] Qual o objetivo desta simulação?
- [1,0 pt] Desenhe o circuito elétrico equivalente do circuito 'ids.sp', com os *labels* dos nodos (**consultar** as lâminas da aula). O nome dos nodos não é necessariamente os mesmos das lâminas.
- [1,0 pt] No relatório plotar a curva de simulação (figura acima) e identificar as regiões de transistor cortado, linear e saturado nas curvas.
- [1,0 pt] Altere de tensão de *threshold* do transistor N para 1.5 V (alterar no arquivo tsmc035.mod o parâmetro VTH0 do transistor N), **simule novamente**, e explique o novo comportamento das curvas. No relatório mostrar as curvas, identificando as regiões de operação. Compare com a simulação original, **explicando** as principais diferenças observadas. **Ao final da simulação retorne o VTH0 para o valor original.**
- [1,0 pt] **Simular** o arquivo **ids_p.sp** (transistor P sendo avaliado). Apresentar as formas de onda, plotando $i(vdi:p)$ e inserindo o valor de V_{GS} (diferença de potencial entre o *gate* e o *source*) na forma de *label* sobre as curvas, e **explicar** o comportamento do circuito. Observar que o *source* está conectado em vcc (2,5 V), logo, quando $V_G=0$, $V_{GS} = -2,5V$.

2) SIMULAÇÃO PARA VISUALIZAR IDS EM FUNÇÃO DO DIMENSIONAMENTO DO TRANSISTOR

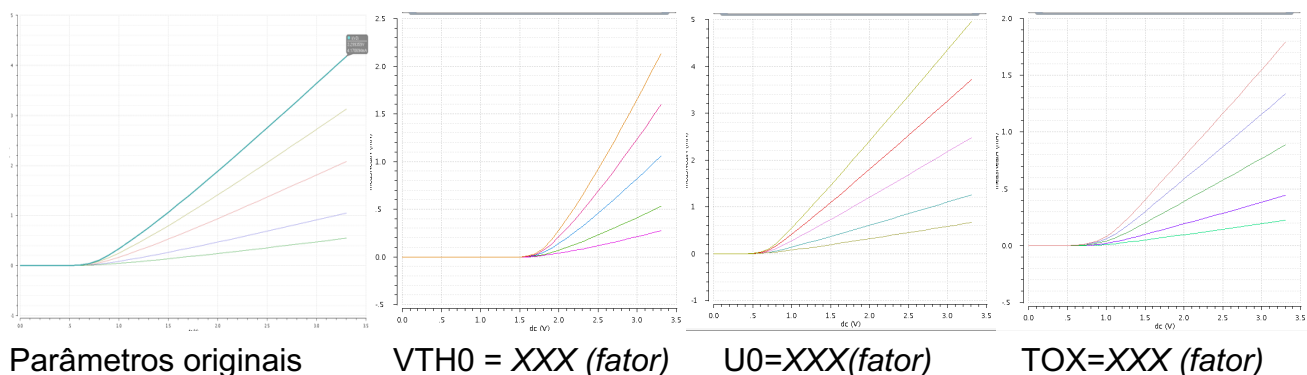
- **Simular o arquivo vds.sp.** Esta simulação aplica uma tensão no *gate* (VGS, eixo x), que varia de 0 a 2.5 volts, para 5 condições de W (largura de canal). Plotar a corrente $i(v3:p)$. A variação da largura do transistor N gera o seguinte comportamento:



Observar na simulação o momento em que o transistor começa a conduzir, e o efeito do tamanho do transistor na corrente. Observar que o W não influi na tensão de *threshold* na corrente I_{ds} , pois este é um parâmetro da tecnologia.

RESPOSTA NO RELATÓRIO:

6. [0,5 pt] Obtenha a gráfico acima, a partir da simulação do arquivo **vds.sp**.
7. [1,5 pt] Variar (**individualmente**) os seguintes parâmetros do arquivo de tecnologia, para o transistor N. Pode-se multiplicar ou dividir por um dado valor (por exemplo 4) cada parâmetro do arquivo de tecnologia.
 - tensão de threshold - **VTH0** (alterar VTH0 para novo valor)
 - mobilidade - **U0** (alterar U0 para novo valor, e voltar ao VTH0 original)
 - espessura do óxido – **TOX** (alterar TOX para novo valor, e voltar ao U0 original)



Apresentar o gráfico das quatro simulações, cada uma variando um dado parâmetro. Adicionar um título no gráfico, indicando o parâmetro alterado, por exemplo: “**U0= 1245 (*3)**” (mobilidade multiplicada por três). **Além de inserir os labels de W nas 4 simulações, inserir label com a corrente máxima, como acima (Imax=2.8 mA).**

8. [1,5 pt] Relacionar as variações de corrente I_{ds} acima com a equação de corrente do transistor MOS, explicando os comportamentos observados na questão ‘7’ com a equação. Apresentar no relatório a equação de corrente utilizada, e a referência de onde ela foi obtida. **Consultar o livro texto, ou outro livro de microeletrônica.**
9. [1,0 pt] Comente no arquivo vds.sp o transistor N (acrescentando um ‘*’ no início da linha) e acrescente um transistor P como abaixo:

*M1 ...

M2 dreno gate 0 vds pmos I=0.35e-6 W=wtr AD=4.0P AS=4.0P PD=6.0U PS=6.0U

Plote a curva para o transistor P, e explique o comportamento observado. Porque entre 1.8V e 2.5V não há corrente?

10. [0,5 pt] Qual a relação de mobilidade entre o transistor N e o transistor P? Esta relação é dada pela relação U0 dos transistores. O que indica esta relação de mobilidade? **Consultar o livro texto, ou outro livro de microeletrônica.**

FIM DO LABORATÓRIO 1