

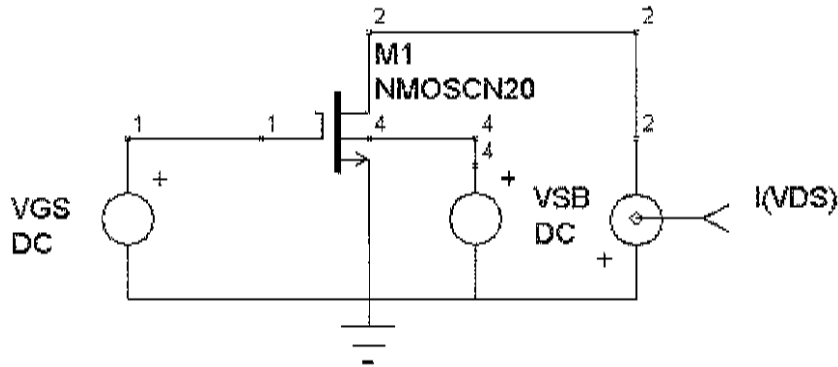
# MICROELECTRÓNICA

## Exercício 4 - Introdução ao SPICE. Modelos para MOSFETS

1. Use o SPICE e o modelo de nível 2 para um transistor canal n na tecnologia CN20 e trace a curvas características de um mosfet com  $W=L=20\ \mu\text{m}$ .

- $I_D$  versus  $V_{GS}$  para  $0 < V_{GS} < 5\ \text{V}$  e  $V_{SB}=0\ \text{V}$  e  $V_{DS}=5\ \text{V}$
- $I_D$  versus  $V_{GS}$  para  $0 < V_{GS} < 5\ \text{V}$  e  $0 < V_{SB} < 5\ \text{V}$  e  $V_{DS}=5\ \text{V}$
- $I_D$  versus  $V_{DS}$  para  $0 < V_{DS} < 5\ \text{V}$  e  $V_{SB}=0\ \text{V}$  e  $0 < V_{GS} < 5\ \text{V}$

Como exemplo, apresenta-se em seguida o programa SPICE que implementa a alínea b)



```
*EXERCICIO4.CIR
```

```
*NETLIST
```

```
VGS 1 0 DC 0
VDS 0 2 DC -5
VSB 4 0 DC 0
M1 2 1 0 4 C20NMOS W=20 L=20
```

```
*STIMULUS
```

```
.DC VGS 0 5 0.20 VSB 0 5 1
```

```
*OUTPUT
```

```
.PRINT DC I(VDS)
```

```
*CN20 MODEL
```

```
* Level 2 model nchan model for CN20
```

```
.MODEL C20NMOS NMOS (LEVEL=2 PHI=0.600000 TOX=4.3500E-08
+ XJ=0.200000U TPG=1
+ VTO=0.8756 DELTA=8.5650E+00 LD=2.3950E-07 KP=4.5494E-05
+ UO=573.1 UEXP=1.5920E-01 UCRIT=5.9160E+04 RSH=1.0310E+01
+ GAMMA=0.4179 NSUB=3.3160E+15 NFS=8.1800E+12 VMAX=6.0280E+04
+ LAMBDA= 2.9330E-02
+ CGDO=2.8518E-10 CGSO=2.8518E-10
+ CGBO=4.0921E-10 CJ=1.0375E-04 MJ=0.6604 CJSW=2.1694E-10
+ MJSW=0.178543 PB=0.800000)
```

```
.END
```

2. Com os dados obtidos na alínea a) do exercício anterior, trace  $\sqrt{I_{DS}}$  versus  $V_{GS}$  para  $0 < V_{GS} < 5V$   $V_{DS} = 5V$  e  $V_{SB} = 0V$ , ajuste uma recta aos dados experimentais na região de *inversão forte* e determine por *extrapolação* a tensão de *threshold* e o parâmetro de transcondutância  $\beta = \frac{KP W}{2 L}$  do transistor:

- Repita a alínea a) do exercício anterior
- abra o ficheiro de saída EXERCICIO4.OUT, obtenha os valores de  $V_{GS}$  e  $I_D$  desse ficheiro e introduza-os numa matriz com o nome "DATA" em MATLAB (por *copy and paste*)
- corra o programa em Matlab anexo (ou outro), que ajusta uma recta utilizando o método dos mínimos quadrados

```
% Parameter extraction in the saturation region
% this matlab script extracts vt and kp from a matrix DATA with
% vgs in the 1st column and id in the second column
% for the model
% Id = 1/2 KP W/L (VGS-VT)^2
% that is equivalent to
% VGS = sqrt(Id)/sqrt(1/2 KP W/L) + VT
% In matrix form this can be written as
% VGS = A * PARAM
% where
%     VGS a column vector with the VGS values
%     A is the regressor matrix
%     param is a column vector with the model parameters

%% extract data from matrix
vgs=DATA(:,1);
id=DATA(:,2);

% plot data
plot(vgs,id,'go')
pause

% plot sqrt(id) versus vgs
plot(vgs, sqrt(id),'go')
pause

%% extract the model parameters

% first make the regressor matrix A
A=[sqrt(id) ones(length(id),1)]
% now make a least squares regression using the matlab operator \
% but only in strong inversion
% (ie, when the curve is almost a straight line)
param=A(8:length(vgs),:)\vgs(8:length(vgs))

% get model parameters
vt=param(2);
disp(['threshold voltage VT = ', num2str(vt) ' Volt'])
beta = 1 / param(1)^2;
% assuming W = L
kp= 2 * beta*1e6;
disp(['transconductance KP = ', num2str(kp) ' uA / V^2'])

% plot the fitted line to check that the model is good!
fit = A * param ;
plot(vgs, sqrt(id),'go',fit,sqrt(id),'y-' )
```