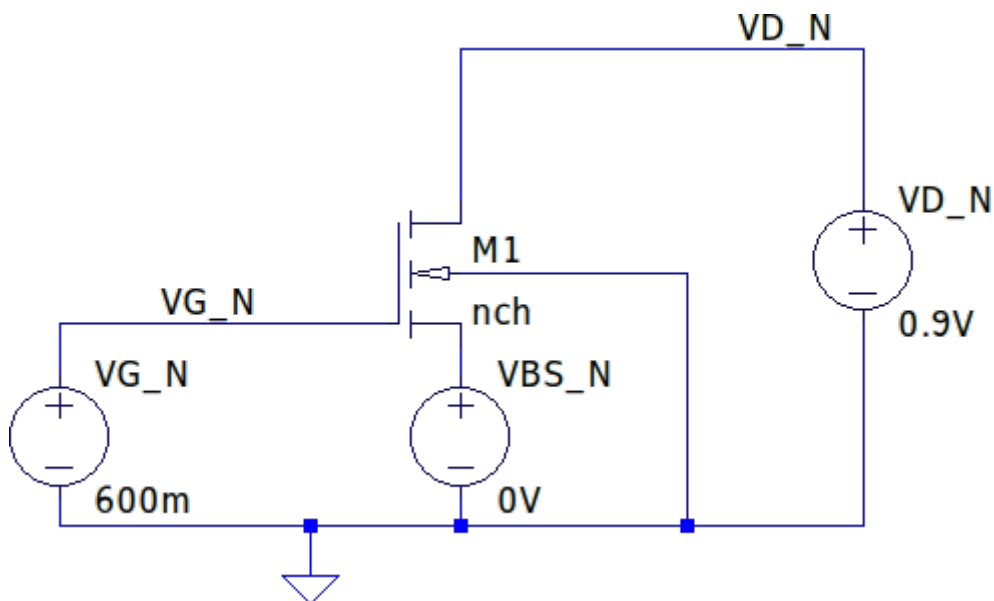


<b>Návrh analogových integrovaných obvodů</b> <b>Ústav mikroelektroniky</b> <b>FEKT VUT v Brně</b>			Jméno <b>Jakub Charvot</b>	ID <b>240844</b>
			Ročník <b>3.</b>	Obor <b>MET</b>
Spolupracoval –	Měřeno dne <b>19.02. 2024</b>	Odevzdáno dne <b>25.02. 2024</b>	Hodnocení	
Název zadání <b>Extrakce parametrů tranzistorů MOSFET ze          SPICE modelu</b>				Č. úlohy <b>1</b>

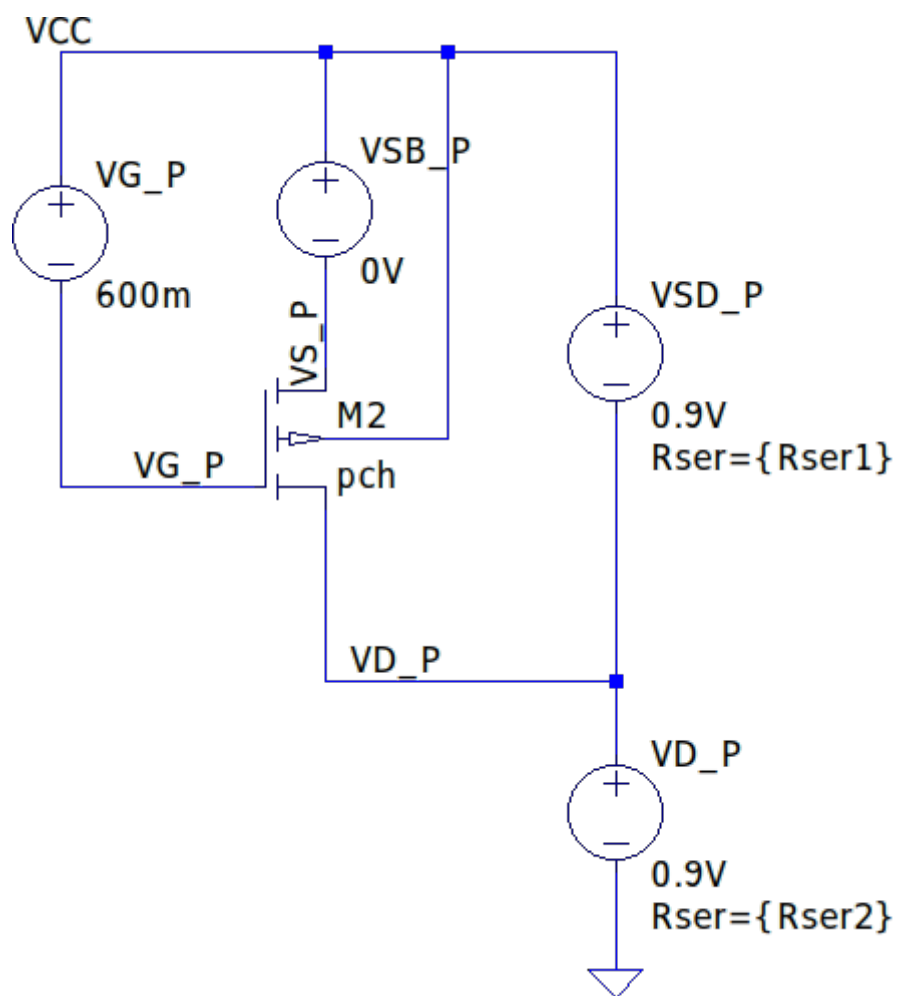
## 1 Vypracování

Pro provedení všech simulací jsem použil dvě zapojení, jedno pro tranzistor typu NMOS (viz Obr. 1), druhé pak pro typ PMOS (Obr. 2). Napájecí uzly jsem definoval pro obě zapojení stejně, jako je vidět na třetím schématu na Obr. 3.

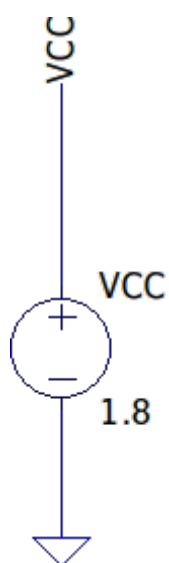
SPICE kód potřebný pro simulace jsem rozdělil do několika bloků (viz Obr. 4) a vždy přepínal mezi komentářem a spustitelným kódem. Díky tomu jsem omezil duplicitní kód a mohl využít obě schémata jednoduše pro všechny tři simulace, vždy s výběrem vhodné kombinace bloků. Bohužel s tímto konceptem možná drobně klesá přehlednost.



Obr. 1: Zapojení s tranzistorem NMOS.



Obr. 2: Zapojení s tranzistorem PMOS.



Obr. 3: Definice uzlů napájení pro zbylé obvody.

```

.lib ../models/cmos018.txt
;

NMOS .dc VG_N 0 1.2 1m          PMOS .dc VG_P 0 1.2 1m

1.1.1
.param lset=0.18u wset='5*lset'
.param Rser1=0 Rser2=1G

.STEP param lset list 0.18u, 0.3u, 0.5u, 0.8u, 1u, 2u, 3u, 5u, 10u

.meas DC UTHo_N FIND V(VG_N) WHEN Id(M1)=100n*wset/lset
.meas DC UTHo_P FIND V(VG_P) WHEN Id(M2)=100n*wset/lset

1.2 NMOS
.param lset=1u wset=30u
.param Rser1=0 Rser2=1G

.STEP VBS_N 0 500m 50m

.meas DC UTH_N FIND V(VG_N) WHEN Id(M1)=100n*wset/lset

1.1.2
.param wset=table(n, 1,0.22u, 2,1u, 3,2u, 4,2u, 5,5u, 6,5u, 7,10u, 8,10u, 9,40u)
.param lset=table(n, 1,0.18u, 2,0.5u, 3,0.5u, 4,1u, 5,1u, 6,2u, 7,5u, 8,10u, 9,10u)
.param Rser1=0 Rser2=1G

.step param n 1 9 1

.meas DC UTHo_N FIND V(VG_N) WHEN Id(M1)=100n*wset/lset
.meas DC UTHo_P FIND V(VG_P) WHEN Id(M2)=100n*wset/lset

1.2 PMOS
.param lset=1u wset=30u
.param Rser1=0 Rser2=1G

.STEP VSB_P 0 500m 50m

.meas DC UTH_P FIND V(VG_P) WHEN Id(M2)=100n*wset/lset

1.3
NMOS
.dg VD_N 0 1.8 1m

.param lset=1u wset=5*lset
.param Rser1=1G Rser2=0

.STEP PARAM lset 0.2u 10u 0.1u
.meas DC ID1_N FIND Id(M1) WHEN V(VD_N)=0.5
.meas DC ID2_N FIND Id(M1) WHEN V(VD_N)=1.3
.meas DC ID0_N FIND Id(M1) WHEN V(VD_N)=0.9
.meas rout param (1.3-0.5)/(ID2_N-ID1_N)
.meas lambda param 1/(ID0_N*rout)

PMOS
.dg VD_P 0 1.8 1m

.param lset=1u wset=5*lset
.param Rser1=1G Rser2=0

.STEP PARAM lset 0.2u 10u 0.1u
.meas DC ID1_P FIND Id(M2) WHEN V(VD_P)=0.5
.meas DC ID2_P FIND Id(M2) WHEN V(VD_P)=1.3
.meas DC ID0_P FIND Id(M2) WHEN V(VD_P)=0.9
.meas rout param (1.3-0.5)/(ID1_P-ID2_P)
.meas lambda param 1/(ID0_P*rout)

```

Obr. 4: Všechny použité bloky SPICE kódy.

L [ $\mu\text{m}$ ]	W/L	$U_{TH0N}$ [mV]	$U_{TH0P}$ [mV]
0,18	5	417,456	470,74
0,3	5	434,41	465,15
0,5	5	418,739	458,1
0,8	5	396,187	448,17
1	5	386,941	443,4
2	5	368,024	432,03
3	5	362,038	428,07
5	5	357,358	425,05
10	5	353,717	423,13

Tabulka 1: Prahové napětí podle 1.1.1.

W [ $\mu\text{m}$ ]	L [ $\mu\text{m}$ ]	W/L	$U_{TH0N}$ [mV]	$U_{TH0P}$ [mV]
0,22	0,18	1,22	382,2	407,52
1	0,5	2	417,049	454,45
2	0,5	4	418,458	457,55
2	1	2	386,64	443,06
5	1	5	386,941	443,4
5	2	2,5	368,009	432,23
10	5	2	357,377	425,29
10	10	1	353,754	423,48
40	10	4	353,72	423,16

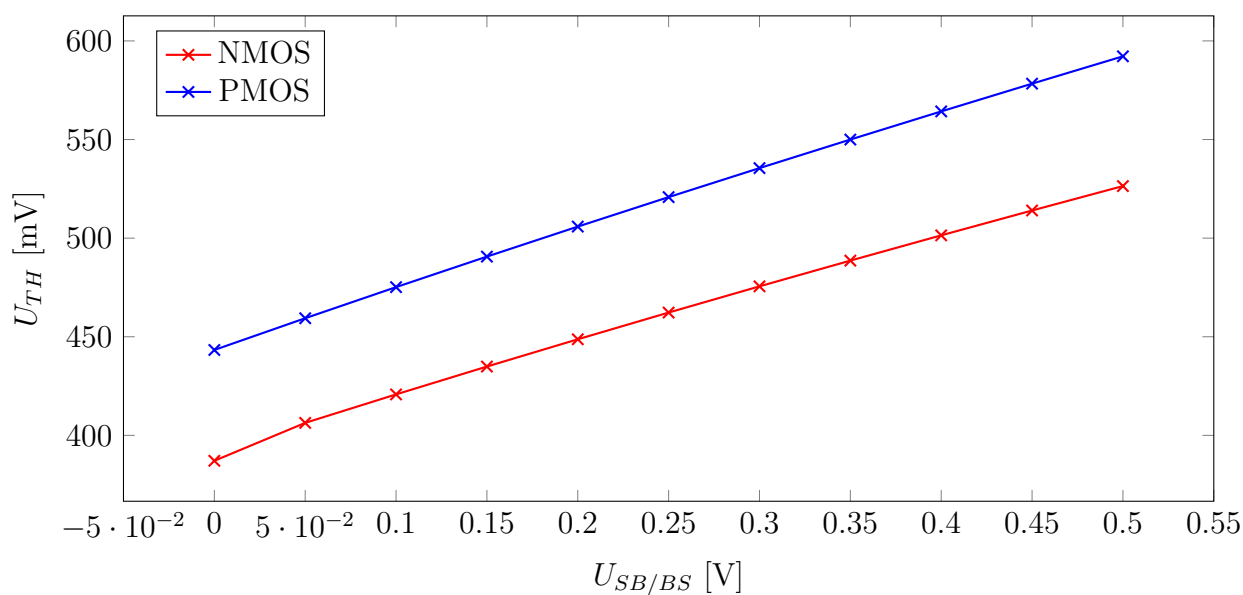
Tabulka 2: Prahové napětí podle 1.1.2.

## 1.1 Prahové napětí $U_{TH0}$

$U_{SB}$ [V]	$U_{THN}$ [mV]	$U_{THP}$ [mV]
0	387,106	443,3
0,05	406,335	459,39
0,1	420,771	475,16
0,15	434,894	490,64
0,2	448,718	505,85
0,25	462,268	520,8
0,3	475,556	535,506
0,35	488,6	549,989
0,4	501,413	564,254
0,45	514,011	578,318
0,5	526,4	592,191

Tabulka 3: Prahové napětí podle 1.2.

## 1.2 Závislost prahového napětí $U_{TH}$ na napětí bulku

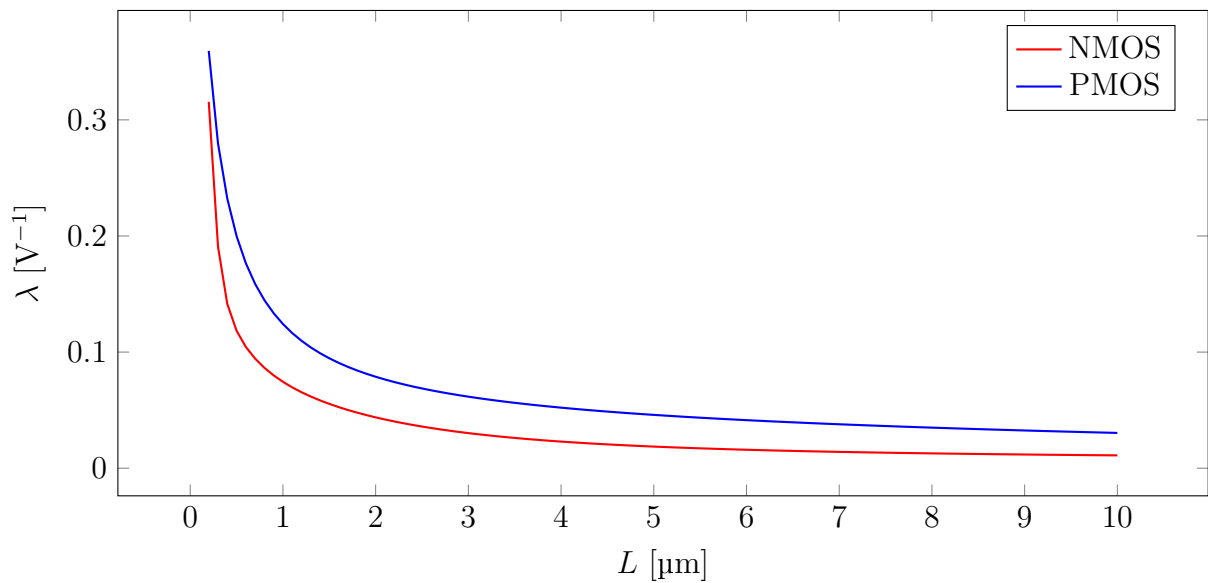


Obr. 5: Závislost prahového napětí  $U_{THN/P}$  na napětí na bulku.

$L$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\lambda_{NMOS}$ [ $\text{V}^{-1}$ ]	$\lambda_{PMOS}$ [ $\text{V}^{-1}$ ]
0,50	0,118405	0,199965
0,80	0,0864604	0,144768
1,00	0,0744184	0,124192
1,20	0,0654639	0,109762
2,00	0,0437895	0,0787697
5,00	0,0186175	0,0459268

Tabulka 4: Vypočítané hodnoty modulace délky kanálu dle 1.3.

### 1.3 Závislost modulace délky kanálu ( $\lambda$ ) na délce kanálu $L$



Obr. 6: Závislost modulace délky kanálu na délce kanálu.

## 2 Závěr

V první části úlohy jsme stanovovali prahové napětí tranzistoru při zachování konstantního poměru délky a šířky kanálu. Z výsledků je vidět, že pro rostoucí délku kanálu prahové napětí klesá. V další podúloze jsme měnili poměr  $W/L$ , z čehož vyplynulo, že šířka kanálu  $W$  nemá na prahové napětí významný vliv, podstatnější je délka.

Ve druhé části úlohy jsme neovlivňovali délku ani šířku kanálu, ale připojovali jsme napětí na bulk, tedy substrát tranzistoru, čímž jsme simulovali tzv. Body efekt. S nárůstem napětí na bulk roste také prahové napětí tranzistoru.

V poslední části jsme počítali modulaci délky kanálu v závislosti na samotné délce kanálu. U obou typů tranzistorů s rostoucí délkou tranzistoru tento efekt klesá.