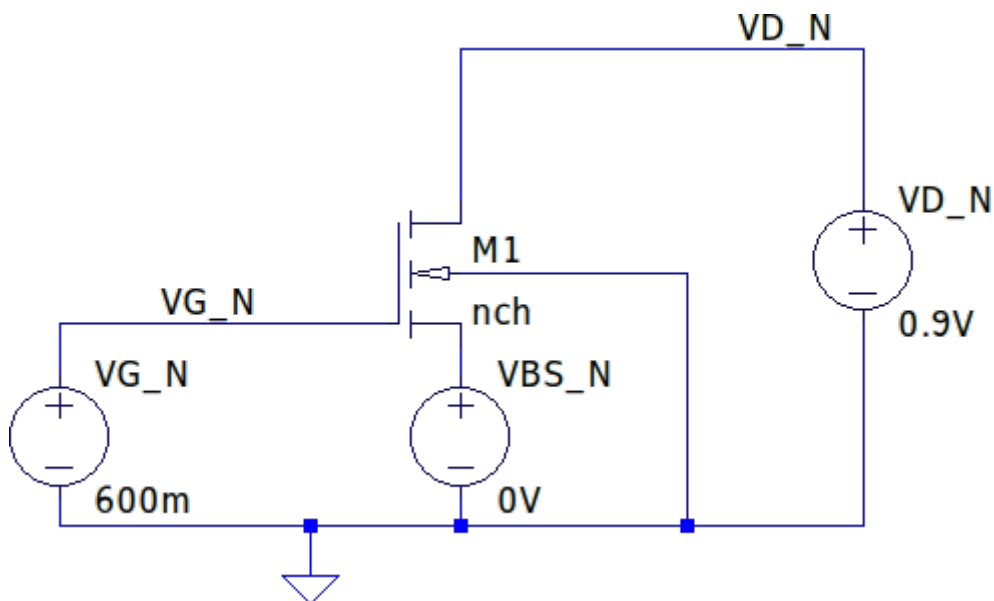


<b>Návrh analogových integrovaných obvodů</b> <b>Ústav mikroelektroniky</b> <b>FEKT VUT v Brně</b>			Jméno <b>Jakub Charvot</b>	ID <b>240844</b>
			Ročník <b>3.</b>	Obor <b>MET</b>
Spolupracoval –	Měřeno dne <b>19.02. 2024</b>	Odevzdáno dne <b>25.02. 2024</b>	Hodnocení	
Název zadání <b>Extrakce parametrů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

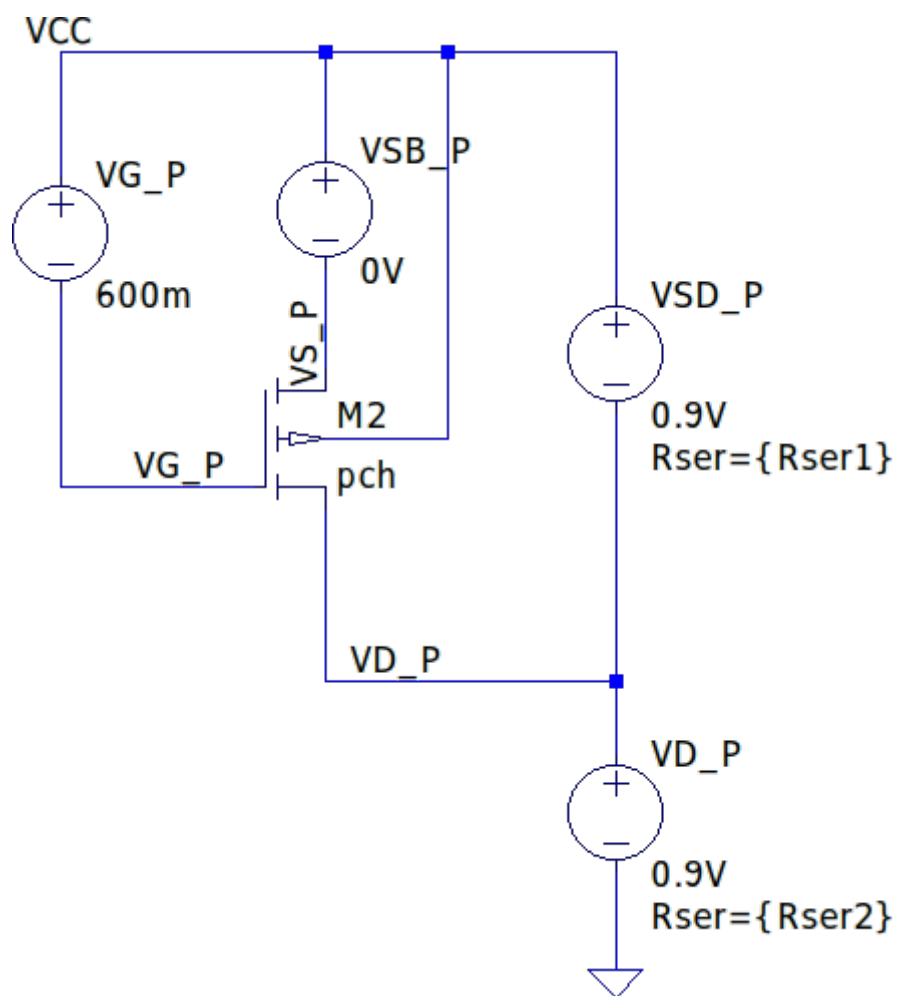
## 1 Vypracování

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.

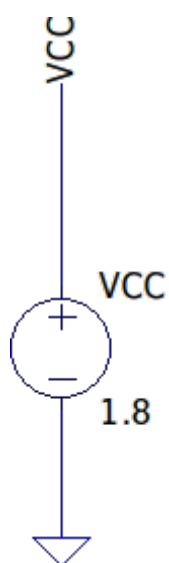
SPICE kód potřebný pro simulace jsem rozdělil do několika bloků (viz Obr. 4) a vždy přepínal mezi komentářem a spustitelným kódem. Díky tomu jsem omezil duplicitní kód a mohl využít obě schémata jednoduše pro všechny tři simulace, vždy s výběrem vhodné kombinace bloků. Bohužel s tímto konceptem možná 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
.dc 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
.dc 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 $U_{TH0}$

```

50 Measurement: utho_n
51
52 step» v(vg_n)»at
53
54 1» 0.417456» 0.417456
55
56 2» 0.43441»0.43441
57
58 3» 0.418739» 0.418739
59
60 4» 0.396187» 0.396187
61
62 5» 0.386941» 0.386941
63
64 6» 0.368024» 0.368024
65
66 7» 0.362038» 0.362038
67
68 8» 0.357358» 0.357358
69
70 9» 0.353717» 0.353717
71

```

Obr. 5: Ukázka SPICE output log.

```

54 Measurement: utho_p
55
56 step» v(vg_p)»at
57
58 1» 1.32926»0.470742
59
60 2» 1.33485»0.465151
61
62 3» 1.3419» 0.458103
63
64 4» 1.35183»0.448168
65
66 5» 1.3566» 0.443399
67
68 6» 1.36797»0.432027
69
70 7» 1.37193»0.428072
71
72 8» 1.37495»0.425053
73
74 9» 1.37687»0.423131
75

```

Obr. 6: Ukázka SPICE output log.

```

50 Measurement: utho_n
51
52 step» v(vg_n)»at
53
54 1» 0.3822» 0.3822
55
56 2» 0.417049» 0.417049
57
58 3» 0.418458» 0.418458
59
60 4» 0.38664»0.38664
61
62 5» 0.386941» 0.386941
63
64 6» 0.368009» 0.368009
65
66 7» 0.357377» 0.357377
67
68 8» 0.353754» 0.353754
69
70 9» 0.35372»0.35372
71

```

Obr. 7: Ukázka SPICE output log.

```

54 Measurement: utho_p
55
56 step» v(vg_p)»at
57
58 1» 1.39248»0.407517
59
60 2» 1.34555»0.454446
61
62 3» 1.34245»0.457553
63
64 4» 1.35694»0.443062
65
66 5» 1.3566» 0.443399
67
68 6» 1.36777»0.432227
69
70 7» 1.37471»0.425288
71
72 8» 1.37652»0.423483
73
74 9» 1.37684»0.423156
75

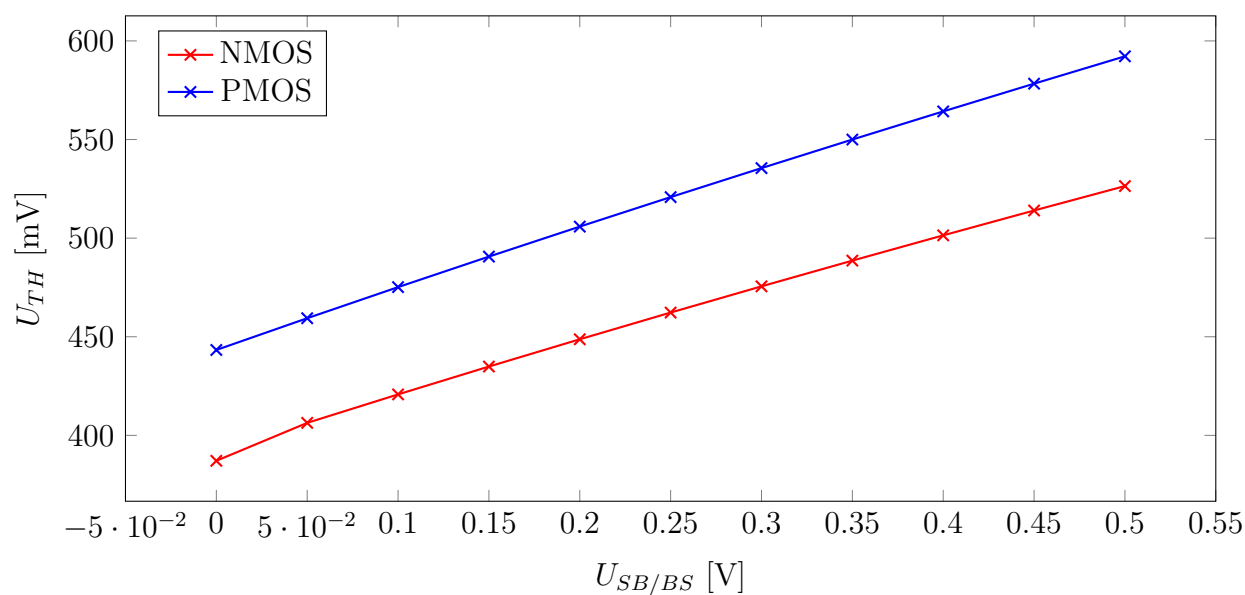
```

Obr. 8: Ukázka SPICE output log.

$U_{SB}$ [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

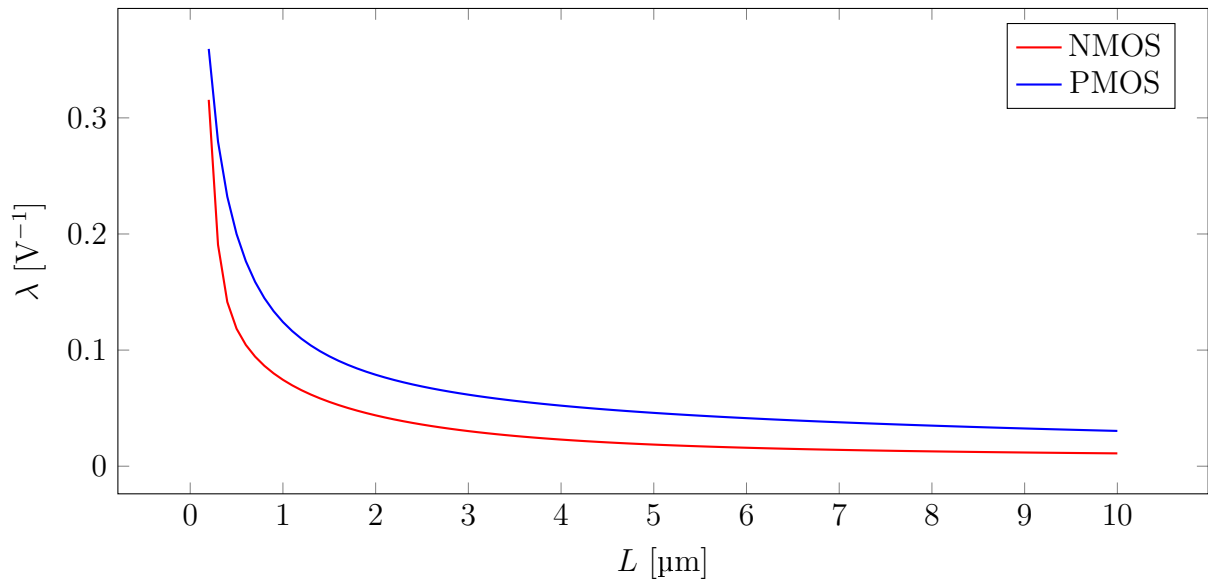


Obr. 9: Závislost prahového napětí  $U_{THN/P}$  na napětí na bulku.

$L$ [ $\mu\text{m}$ ]	$\lambda_{NMOS}$ [ $\text{V}^{-1}$ ]	$\lambda_{PMOS}$ [ $\text{V}^{-1}$ ]
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. 10: 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.