

Návrh analogových integrovaných obvodů Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně			Jméno Tomáš Vavrínek	ID 240893
			Ročník	Obor MET
Spolupracoval –	Měřeno dne –	Odevzdáno dne –	Hodnocení	
Název zadání Extrakce parametrů tranzistorů MOSFET ze SPICE modelu				Č. úlohy 1

ZADÁNÍ ÚLOHY

Simulacemi zjistěte tyto parametry tranzistorů NMOS a PMOS:

1. **Transkonduktační parametr K_P**

- Při $I_D = 10 \mu A$

2. **Prahového napětí U_{TH0} pro dvě různé řady rozměrů tranzistorů.**

(a) konstantní poměr $W/L = 5$, kdy $L = 0.18\mu, 0.3\mu, 0.5\mu, 0.8\mu, 1\mu, 2\mu, 3\mu, 5\mu, 10\mu$;
potom: $W = 0.9\mu, 1.5\mu, 2.5\mu, 4\mu, 5\mu, 10\mu, 15\mu, 25\mu, 50\mu$.

(b) různé rozměry: $W/L = 0.22\mu/0.18\mu; 1\mu/0.5\mu; 2\mu/0.5\mu; 2\mu/1\mu; 5\mu/1\mu; 5\mu/2\mu; 10\mu/5\mu; 10\mu/10\mu$.

3. **Závislost prahového napětí U_{TH} na U_{SB}/U_{BS} (bulk efekt)**

- Simulací získejte hodnoty prahového napětí U_{TH} pro napětí U_{BS} (NMOS) resp. U_{SB} (PMOS) v rozsahu $0V$ až $1V$ s krokem $100mV$. $W/L = (5/1)\mu m$

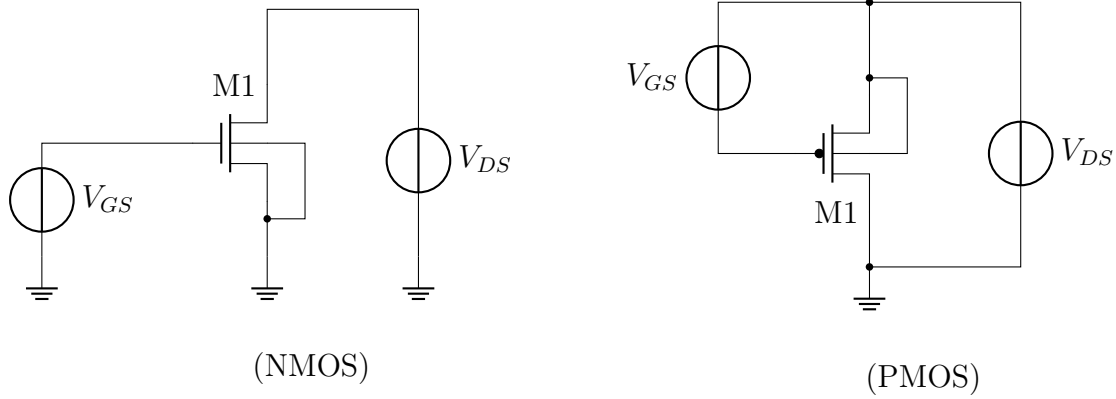
4. **Závislost parametru modulace délky kanálu (λ) na délce kanálu (L)**

- Simulací získejte hodnoty parametru λ pro L v rozmezí $200nm$ až $10\mu m$. $W/L = 5$.

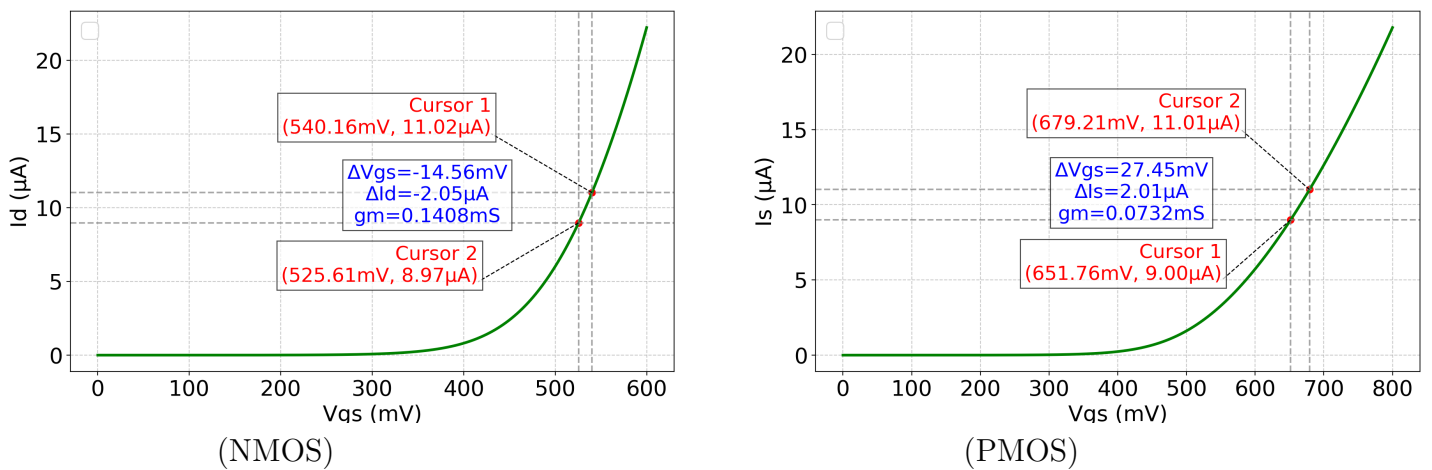
Výstupem do elearningu bude soubor pdf s přehledně zpracovatelnými parametry v tabulkách.

1 Vypracování

1.1 Transkonduktační parametr KP



Obr. 1: Zapojení pro určení U_{TH0} pro tranzistor NMOS a PMOS



Obr. 2: Závislost proudu tranzistorem NMOS i PMOS na napětí V_{GS}

Z uvedených kurzoru přímo vidíme strmost g_m , $140.8\mu S$ pro NMOS a $73.2\mu S$ pro PMOS. Mužeme tedy spočítat transkonduktační parametr KP jako:

$$KP = \frac{g_m^2 \cdot L}{2 \cdot |I_D| \cdot W}$$

Tedy pro NMOS:

$$KP_N = \frac{g_{m-N}^2 \cdot L}{2 \cdot |I_{D-N}| \cdot W} = \frac{(140.8\mu)^2 \cdot 1\mu}{2 \cdot 10\mu \cdot 5\mu} = 198.2\mu AV^{-2} \cong 200\mu AV^{-2}$$

A PMOS:

$$KP_P = \frac{g_{m-P}^2 \cdot L}{2 \cdot |I_{D-P}| \cdot W} = \frac{(73.2\mu)^2 \cdot 1\mu}{2 \cdot 10\mu \cdot 5\mu} = 53.6\mu AV^{-2} \cong 50\mu AV^{-2}$$

1.2 Prahové napětí U_{TH0}

1.2.1 Prahové napětí U_{TH} při konstantním poměru $W/L = 5$

```
1 .lib modely/cmos018.txt
2 .STEP param ltab ltab 0.18u, 0.3u, 0.5u, 0.8u, 1u, 2u, 3u, 5u, 10u
3 .param wtab = 5*ltab
4 .DC VGS 0.1 0.6 1m
5 .MEAS DC UTH FIND V(VG) WHEN Id(M1)=1e-7*{Wtab/Ltab} ; Pro NMOS
6 .MEAS DC UTH FIND '1.8-V(VG)' WHEN Is(M1)=1e-7*{Wtab/Ltab}; Pro PMOS
```

Listing 1: Použitý kod simulace při konstantním poměru $W/L = 5$ pro NMOS

$L[\mu m]$	$U_{TH}[V]$
0.18	0.387049
0.3	0.41657
0.5	0.407158
0.8	0.387258
1	0.379089
2	0.363292
3	0.35885
5	0.355575
10	0.352901

Obr. 3: (NMOS)

$L[\mu m]$	U_{TH}
0.18	0.450782
0.3	0.449915
0.5	0.446555
0.8	0.439249
1	0.435497
2	0.426509
3	0.423538
5	0.421494
10	0.420673

Obr. 4: (PMOS)

Obr. 5: Simulované U_{TH} při konstantním poměru $W/L = 5$ pro NMOS i PMOS

1.2.2 Prahové napětí U_{TH} při různém poměru W/L

```

1  .lib modely/cmos018.txt
2  .param Wtab=table(n, 1,0.22u, 2,1u, 3,2u, 4,2u, 5,5u, 6,5u, 7,10u,
    8,10u, 9,40u)
3  .param Ltab=table(n, 1,0.18u, 2,0.5u, 3,0.5u, 4,1u, 5,1u, 6,2u, 7,5u
    , 8,10u, 9,10u)
4  .step param n 1 9 1
5  .meas DC UTH FIND V(VG) WHEN Id(M1)=1e-7*Wtab/Ltab ; Pro NMOS
6  .meas DC UTH FIND '1.5-V(VG)' WHEN Is(M1)=1e-7*Wtab/Ltab; Pro PMOS
7  .dc VGS 0 1 1m

```

Listing 2: Použitý kod simulace při různém poměru W/L pro NMOS

$L[\mu m]$	$W[\mu m]$	$U_{TH}[V]$
0.18	0.22	0.397662
0.5	1	0.435475
0.5	2	0.406836
1	2	0.409012
1	5	0.369573
2	5	0.383619
5	10	0.385731
10	10	0.414982
10	40	0.352903

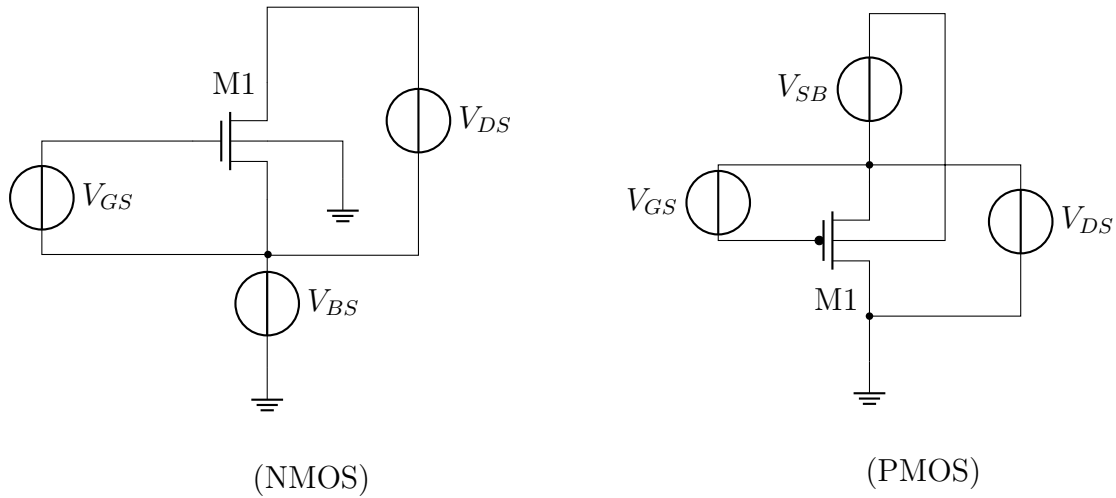
Obr. 6: (NMOS)

$L[\mu m]$	$W[\mu m]$	$U_{TH}[V]$
0.18	0.22	0.450451
0.5	1	0.478466
0.5	2	0.445964
1	2	0.471502
1	5	0.424565
2	5	0.451127
5	10	0.458776
10	10	0.50177
10	40	0.420697

Obr. 7: (PMOS)

Obr. 8: Simulované U_{TH} při proměnném poměru W/L pro NMOS i PMOS

1.3 Závislost prahového napětí U_{TH} na napětí bulku



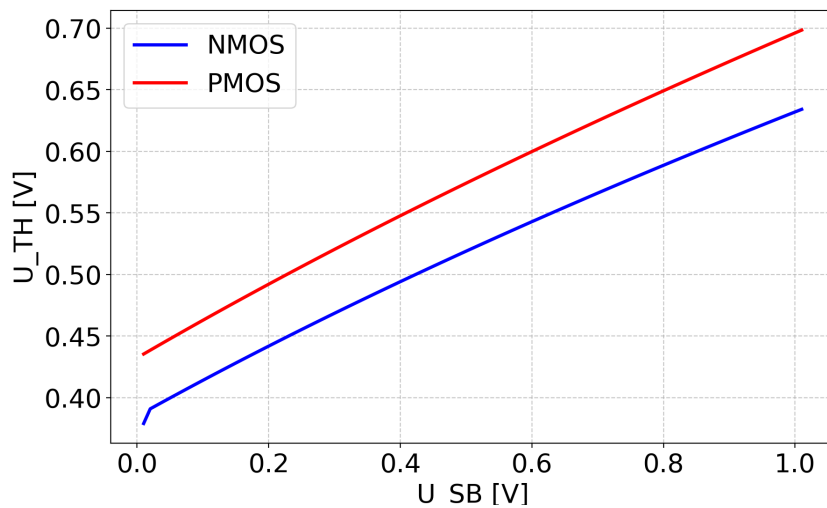
Obr. 9: Zapojení pro určení závislosti U_{TH} na napětí bulku pro tranzistor NMOS a PMOS

```

1 .lib modely/cmos018.txt
2 .STEP VSB 0 1 10m
3 .DC VGS 0 1 1m
4 .MEAS DC UTH FIND 'V(VG)-V(SB)' WHEN Id(M1)=500n ; Pro NMOS
5 .MEAS DC UTH FIND '1.8-V(VG)' WHEN Is(M1)=500n ; Pro PMOS

```

Listing 3: Kod simulace pro určení závislosti U_{TH} na napětí bulku, pro NMOS



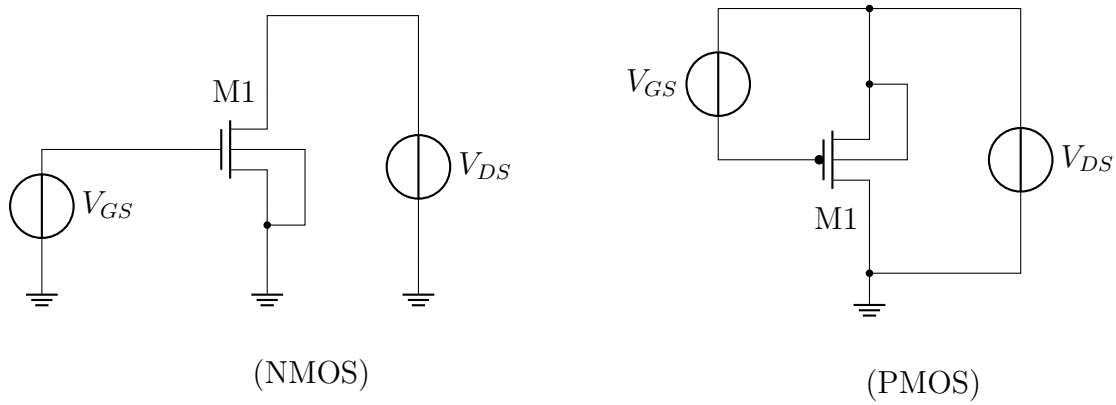
Obr. 10: Závislost proudu tranzistorem NMOS i PMOS na napětí V_{GS}

Z grafu je patrné, že U_{TH} je na napětí U_{SB} závislé zhruba lineárně.

V_{SB} [V]	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
NMOS [V]	0.441924	0.455382	0.468576	0.49423	0.518991
PMOS [V]	0.492198	0.506443	0.520438	0.547734	0.574181

Tabulka 1: U_{TH} pro různá napětí bulku

1.4 Závislost modulační délky kanálu (λ) na délce kanálu (L)



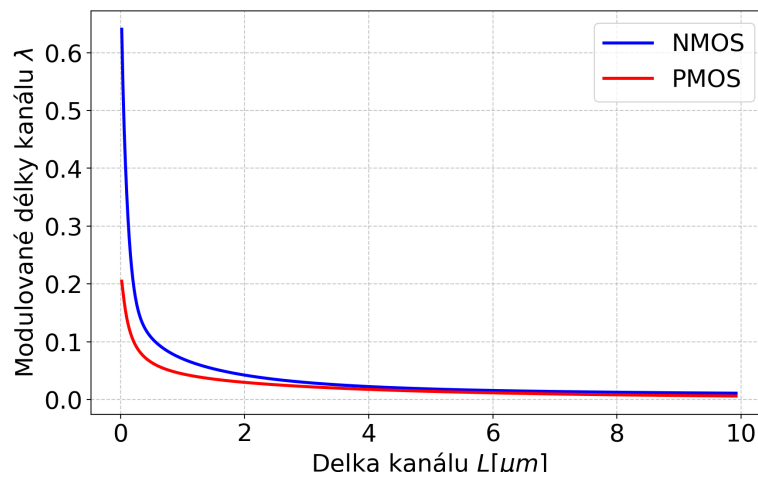
Obr. 11: Zapojení pro určení závislosti modulační délky kanálu λ na délce kanálu L

```

1 .lib cmos018.txt
2 .step param lset 0.1u 10u 0.02u
3 .param wset=5*lset
4 .meas DC ID1 FIND Id(M1) WHEN V(VD)=0.5
5 .meas DC ID2 FIND Id(M1) WHEN V(VD)=1.3
6 .meas DC ID0 FIND Id(M1) WHEN V(VD)=0.9
7 .meas rout param (1.3-0.5)/(ID2-ID1)
8 .meas lambda param 1/(ID0*rout)
9 .dc UDS 0.5 1.3 10m

```

Listing 4: Kod simulace použití pro získání závislosti modulační délky kanálu λ na délce kanálu L



Obr. 12: Závislost parametru λ na délce kanálu L při poměru $W/L = 5$

$L[\mu m]$	0.5	0.8	1	1.2	2	5
NMOS $\lambda[V^{-1}]$	0.122001	0.0879154	0.0754561	0.0662601	0.0441692	0.018685
PMOS $\lambda[V^{-1}]$	0.0722841	0.0537329	0.0470051	0.0421748	0.0307284	0.0144616

Tabulka 2: λ pro různé délky kanálu L

2 Závěr

$L[\mu m]$	$U_{TH0}[V]$
0.18	0.387049
0.3	0.41657
0.5	0.407158
0.8	0.387258
1	0.379089
2	0.363292
3	0.35885
5	0.355575
10	0.352901

(NMOS)

$L[\mu m]$	$U_{TH0}[V]$
0.18	0.450782
0.3	0.449915
0.5	0.446555
0.8	0.439249
1	0.435497
2	0.426509
3	0.423538
5	0.421494
10	0.420673

(PMOS)

Tabulka 1: Výsledky simulace při konstantním poměru $W/L = 5$

$L[\mu m]$	$W[\mu m]$	$U_{TH0}[V]$
0.18	0.22	0.397662
0.5	1	0.435475
0.5	2	0.406836
1	2	0.409012
1	5	0.369573
2	5	0.383619
5	10	0.385731
10	10	0.414982
10	40	0.352903

(NMOS)

$L[\mu m]$	$W[\mu m]$	$U_{TH0}[V]$
0.18	0.22	0.450451
0.5	1	0.478466
0.5	2	0.445964
1	2	0.471502
1	5	0.424565
2	5	0.451127
5	10	0.458776
10	10	0.50177
10	40	0.420697

(PMOS)

Tabulka 2: Výsledky simulace při různém poměru $W/L = 5$

$V_{SB}[V]$	0.2	0.25	0.3	0.4	0.5
NMOS [V]	0.441924	0.455382	0.468576	0.49423	0.518991
PMOS [V]	0.492198	0.506443	0.520438	0.547734	0.574181

Tabulka 3: U_{TH} pro různá napětí bulku

$L[\mu m]$	0.5	0.8	1	1.2	2	5
NMOS $\lambda[V^{-1}]$	0.122001	0.0879154	0.0754561	0.0662601	0.0441692	0.018685
PMOS $\lambda[V^{-1}]$	0.0722841	0.0537329	0.0470051	0.0421748	0.0307284	0.0144616

Tabulka 4: λ pro různé délky kanálu L