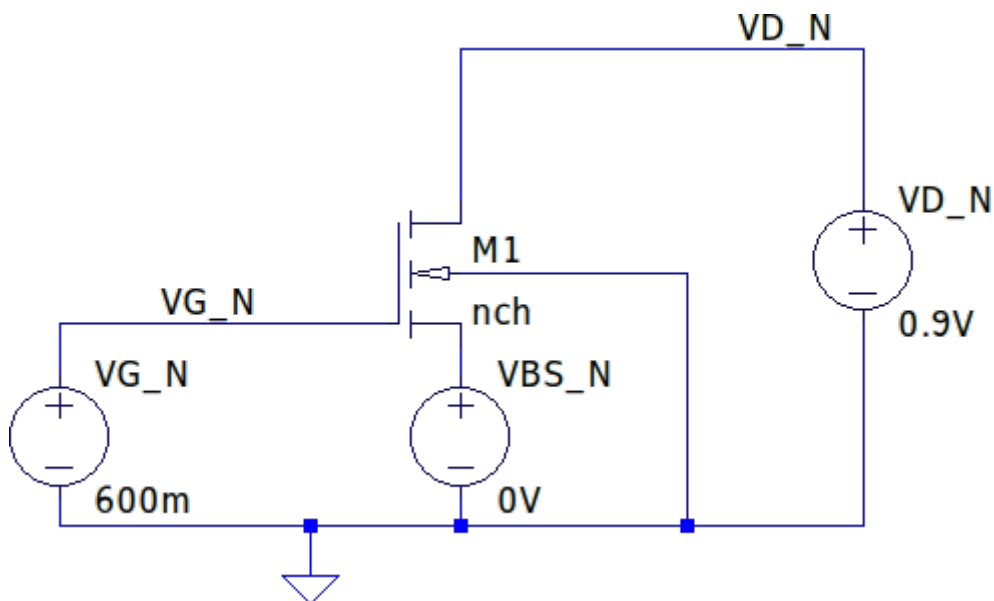


<b>Návrh analogových integrovaných obvodů</b> <b>Ústav mikroelektroniky</b> <b>FEKT VUT v Brně</b>			<b>Jméno</b> <b>Jakub Charvot</b>	<b>ID</b> <b>240844</b>
			<b>Ročník</b> <b>3.</b>	<b>Obor</b> <b>MET</b>
<b>Spolupracoval</b> –	<b>Měřeno dne</b> 19.02. 2024	<b>Odevzdáno dne</b> 25.02. 2024	<b>Hodnocení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

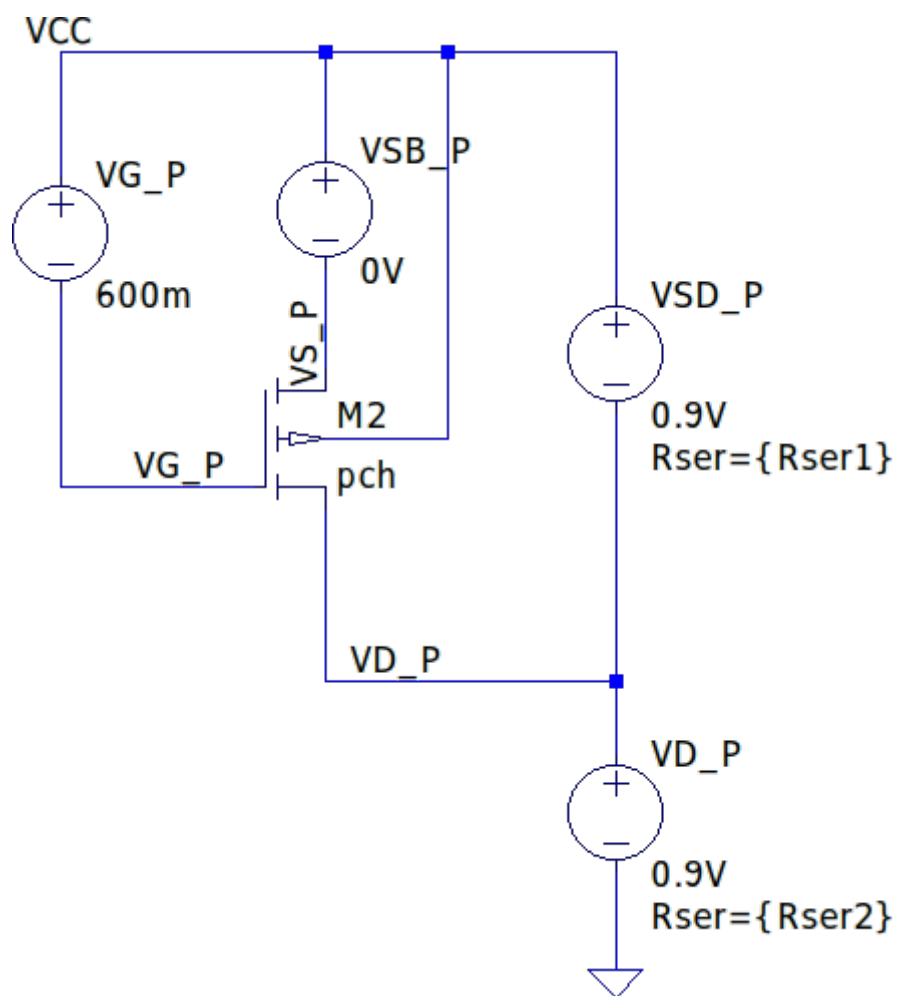
## 1 Vypracování

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.

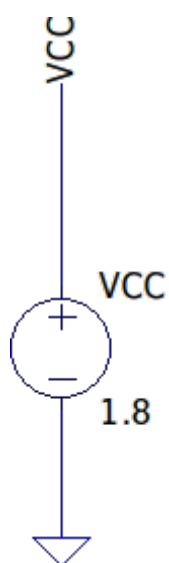
SPICE kód potřebný pro simulace jsem rozdělil do několika bloků (viz Obr. 4) a vždy přepínal mezi komentářem a spustitelným kódem. Díky tomu jsem omezil duplicitní kód a mohl využít obě schémata jednoduše pro všechny tři simulace, vždy s výběrem vhodné kombinace bloků. Bohužel s tímto konceptem možná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

.dcvd 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

.dcvd 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.

## 1.1 Výpočty

Nejprve vypočítám rozměry pro tranzistor  $M_{N1}$ :

$$\frac{W_{N1}}{L} = \frac{2 \cdot I_D}{K P_N \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2}$$

$$\frac{W_{N1}}{L} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{220 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2}$$

$$\frac{W_{N1}}{L} \doteq 4,55$$

Délku  $L$  zvolíme opět  $2 \mu\text{m}$ , tedy  $W_{N1} = 9,09 \mu\text{m}$ . Pro tranzistor  $M_{N2}$  zvolíme stejné rozměry.

Pro tranzistory  $M_{P1}$  a  $M_{P2}$  vypočteme rozměry obdobným způsobem:

$$\frac{W_{P12}}{L} = \frac{2 \cdot I_D}{K P_P \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2}$$

$$\frac{W_{P12}}{L} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2}$$

$$\frac{W_{P12}}{L} \doteq 16,67$$

Pro stejnou délku  $L$  pak vychází  $W_{P12} = 33,33 \mu\text{m}$ .

## 1.2 Minula uloha

$$\frac{W_1}{L_1} \doteq 5,68$$

Pro oba tranzistory zvolíme stejnou délku kanálu  $L_1 = L_2 = 0,2 \mu\text{m}$ , tedy  $W_1 = 1,14 \mu\text{m}$ . Druhý tranzistor má dosáhnout dvakrát vyššího proudu, takže zvolíme  $W_2 = 2,28 \mu\text{m}$

$$R_1 = \frac{U_R}{I_{M1}} = \frac{U_{CC} - U_{GS1}}{I_{M1}} = \frac{U_{CC} - (U_{TH0,1} + U_{OV,1})}{I_{M1}}$$

$$R_1 = \frac{1,8 - (368,024 \cdot 10^{-3} + 0,2)}{25 \cdot 10^{-6}}$$

$$R_1 \doteq 49,28 \text{ k}\Omega$$

$$r_{OUT} = \frac{1}{\lambda \cdot I_{M2}}$$

$$r_{OUT} = \frac{1}{0,044 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}$$

$$r_{OUT} = 454,545 \text{ k}\Omega$$

### 1.2.1 Kaskodové

Pro vstupní větev je stanoven proud  $50\mu\text{A}$ , výpočet rozměrů je proveden obdobným způsobem jako v minulém příkladu:

$$\begin{aligned}\frac{W_3}{L_3} &= \frac{2 \cdot I_{D3}}{K P_P \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2} \\ \frac{W_3}{L_3} &= \frac{2 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2} \\ \frac{W_3}{L_3} &= 41,67\end{aligned}$$

Pro nastavení proudu slouží rezistor  $R_2$ . Jeho hodnota je stanovena na základě úbytku napětí na rezistoru.

$$\begin{aligned}U_{R2} &= U_{CC} - U_{GS1} - U_{GS3} \\ &= U_{CC} - U_{TH0,1} - U_{OV1} - U_{TH,3} - U_{OV3} \\ &= U_{CC} - U_{TH0,1} - U_{TH,3} - 2 \cdot U_{OV1,3} \\ &= 1,8 - 0,4433 - 0,6 - 2 \cdot 0,2 \\ &= 0,3567\text{ V}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}R_2 &= \frac{U_{R1}}{I_{M1}} \\ &= \frac{0,3567}{50 \cdot 10^{-6}} \\ &= 7,134\text{ k}\Omega\end{aligned}$$

$$r_{OUT} = r_{o2} \cdot r_{o4} \cdot g_{m4}$$

## 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.