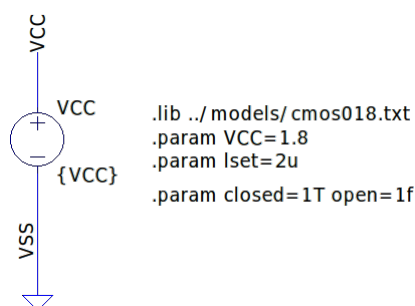


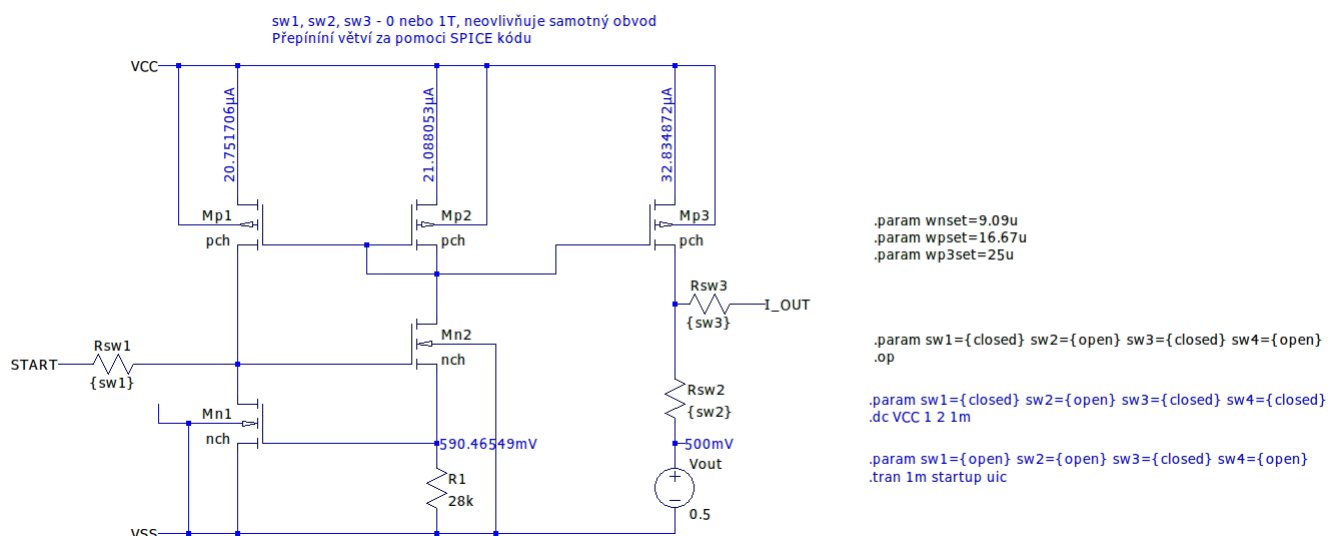
Návrh analogových integrovaných obvodů Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně			Jméno Jakub Charvot	ID 240844
			Ročník 3.	Obor MET
Spolupracoval —	Měřeno dne 19.02. 2024	Odevzdáno dne 25.02. 2024	Hodnocení	
Název zadání Extrakce parametrů tranzistorů MOSFET ze SPICE modelu				Č. úlohy 1

1 Vypracování

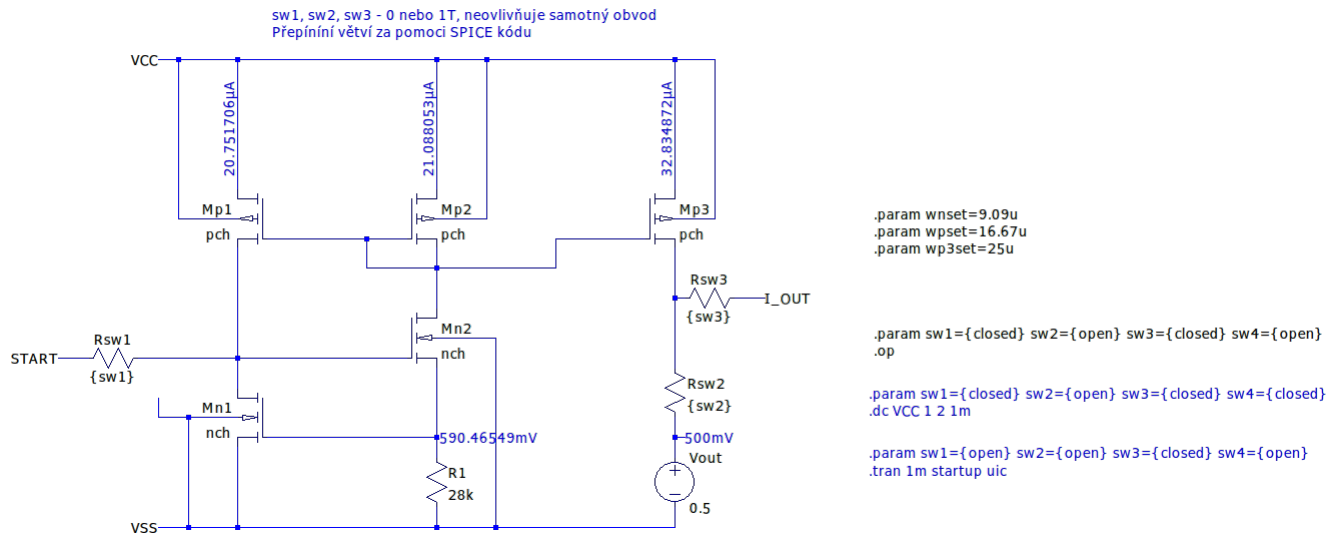


Obr. 1: Společná část SPICE kódu a napájecí zdroj.

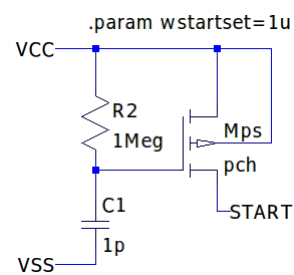
1.1 Zdroj referenčního proudu



Obr. 2: Proudová reference, analýza OP.



Obr. 3: Proudová reference, analýza OP – C2 vnutí prac. bod.



Obr. 4: Startovací obvod.

1.1.1 Ruční návrh

Nejprve vypočítám rozměry pro tranzistor M_{N1} :

$$\begin{aligned}\frac{W_{N1}}{L} &= \frac{2 \cdot I_D}{K P_N \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2} \\ \frac{W_{N1}}{L} &= \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{220 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2} \\ \frac{W_{N1}}{L} &\doteq 4,55\end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned}\frac{W_{P12}}{L} &= \frac{2 \cdot I_D}{K P_P \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2} \\ \frac{W_{P12}}{L} &= \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2} \\ \frac{W_{P12}}{L} &\doteq 16,67\end{aligned}$$

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

Dále je potřeba stanovit hodnotu odporu R_1 , úbytek napětí na něm odpovídá napětí napětí U_{GS} pro tranzistor M_{N1} :

$$\begin{aligned}R_1 &= \frac{U_{R1}}{I_{R1}} \\ &= \frac{U_{GS,M1}}{I_{M,N2}} \\ &= \frac{U_{TH0,N1} + U_{OV,N1}}{I_{M,N2}} \\ &= \frac{360 \cdot 10^{-3} + 0,2}{20 \cdot 10^{-6}} \\ &= 28\text{ k}\Omega\end{aligned}$$

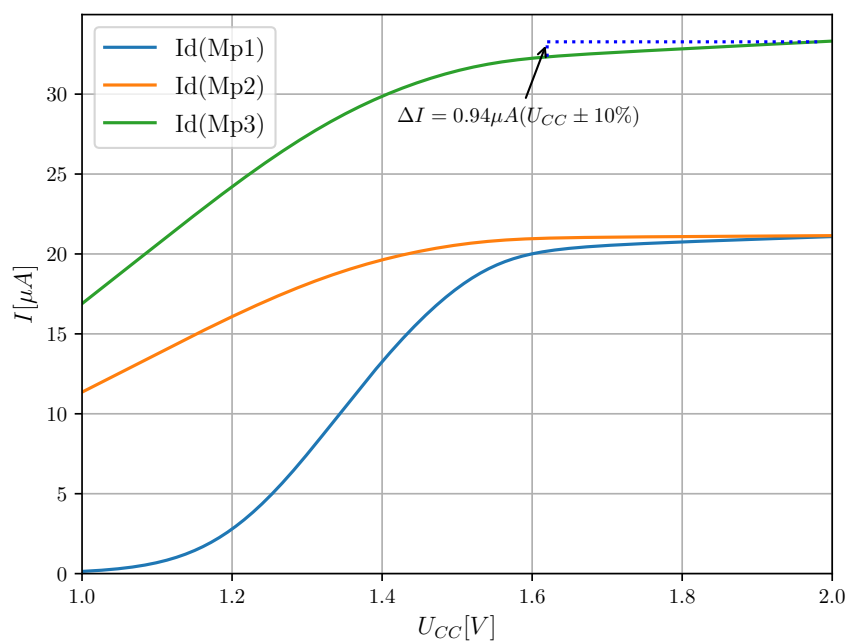
Pro výstupní větev je požadován jiný proud, upravíme tedy rozměry tranzistoru M_{P3} :

$$\begin{aligned}W_{P3} &= \frac{3}{2} \cdot W_{P2} \\ &= \frac{3}{2} \cdot 16,67 \\ &= 25\mu\text{m}\end{aligned}$$

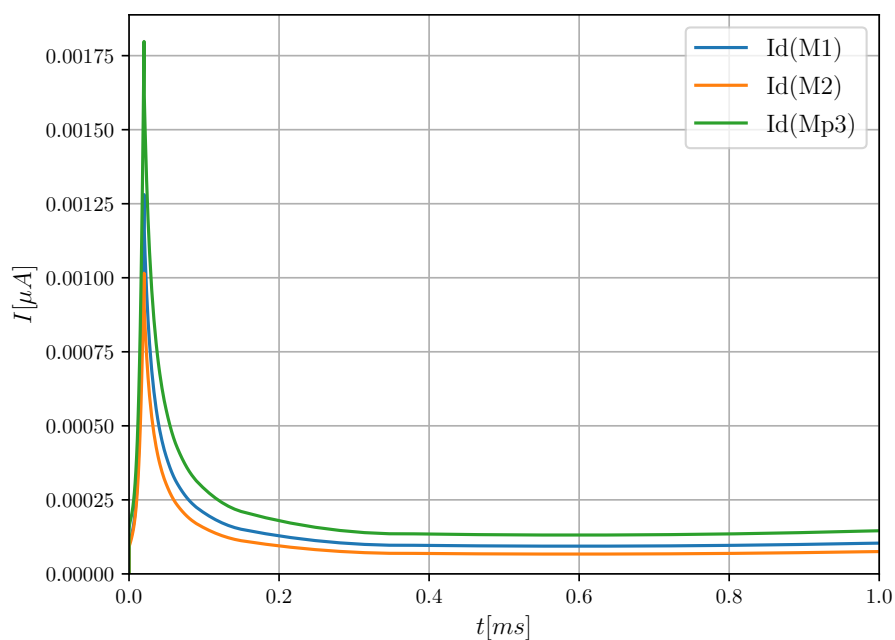
Výstupní odpor zapojení je dán tranzistorem M_{P3} :

$$r_{OUT} = \frac{1}{\lambda I_{MP3}} = \frac{1}{0,08 \cdot 30 \cdot 10^{-6}} = 416,67\text{ k}\Omega$$

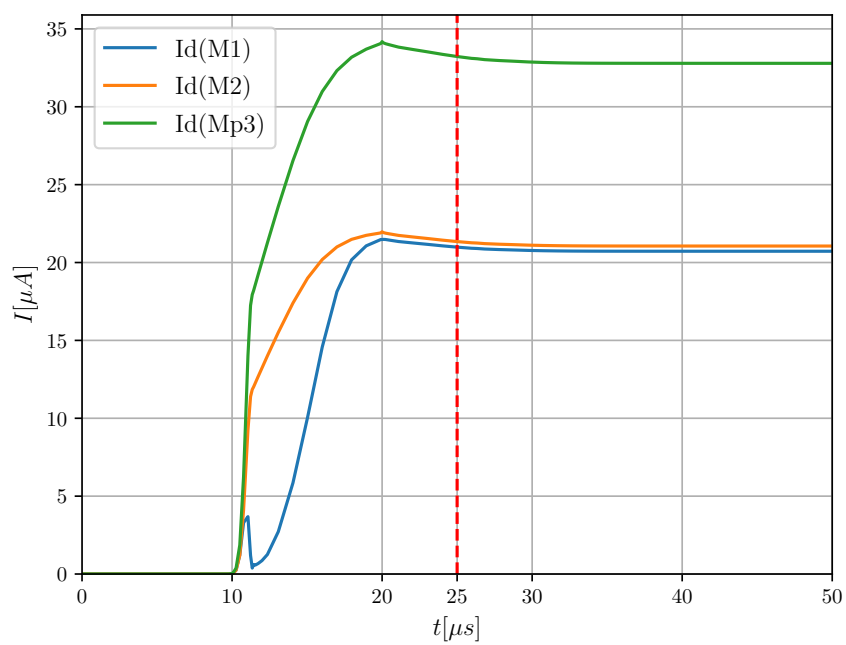
1.1.2 Simulace



Obr. 5: Závislost proudů v obvodu na změně napájecího napětí.

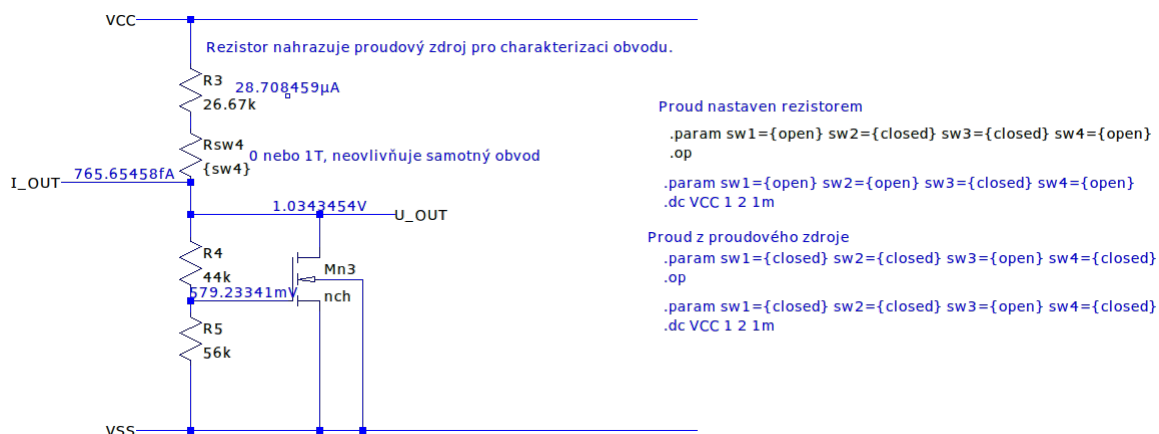


Obr. 6: Časová analýza zapojení bez startovacího obvodu (sw1=closed).

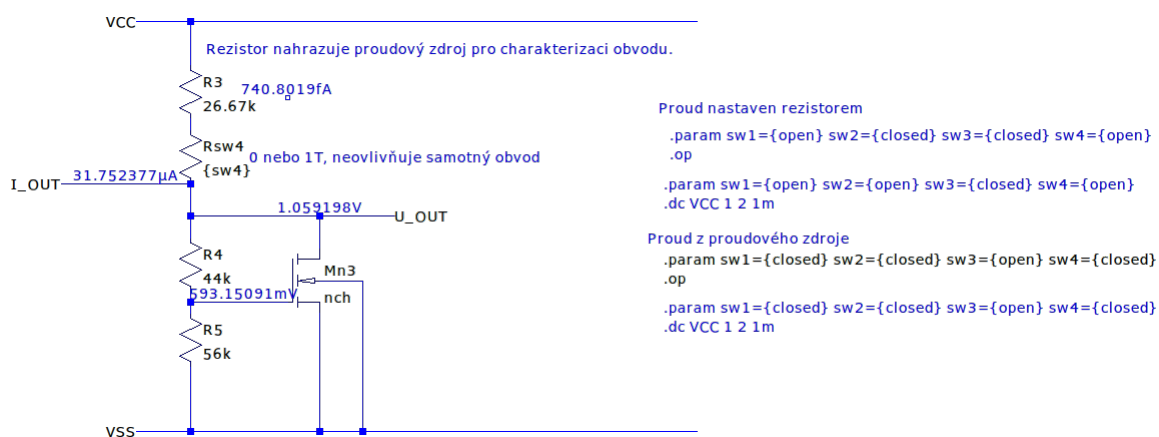


Obr. 7: Časová analýza zapojení se startovacím obvodem (sw1=open).

1.2 Zdroj referenčního napětí



Obr. 8: Napěťová reference, analýza OP – proud přes rezistor.



Obr. 9: Napěťová reference, analýza OP – proud z proud. reference.

1.2.1 Ruční návrh

Proud z proudového zdroje se rozdělí do dvou větví, tranzistorem necháme procházet větší část, konkrétně $20\text{ }\mu\text{A}$, pro jeho rozměry pak platí: Nejprve vypočítám rozměry pro tranzistor M_{N3} :

$$\frac{W_{N3}}{L} = \frac{2 \cdot I_D}{K P_N \cdot (U_{GS} - U_{TH})^2}$$
$$\frac{W_{N3}}{L} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-6}}{220 \cdot 10^{-6} \cdot (0,2)^2}$$

$$\frac{W_{N3}}{L} \doteq 4,55$$

Délku L zvolíme opět $2\text{ }\mu\text{m}$, tedy $W_{N3} = 9,09\text{ }\mu\text{m}$.

Odporovou větví tedy prochází proud $I_R = 10\text{ }\mu\text{A}$, který na rezistoru R_5 tvoří úbytek napětí rovný napětí U_{GS} tranzistoru. Pro hodnoty rezistorů platí:

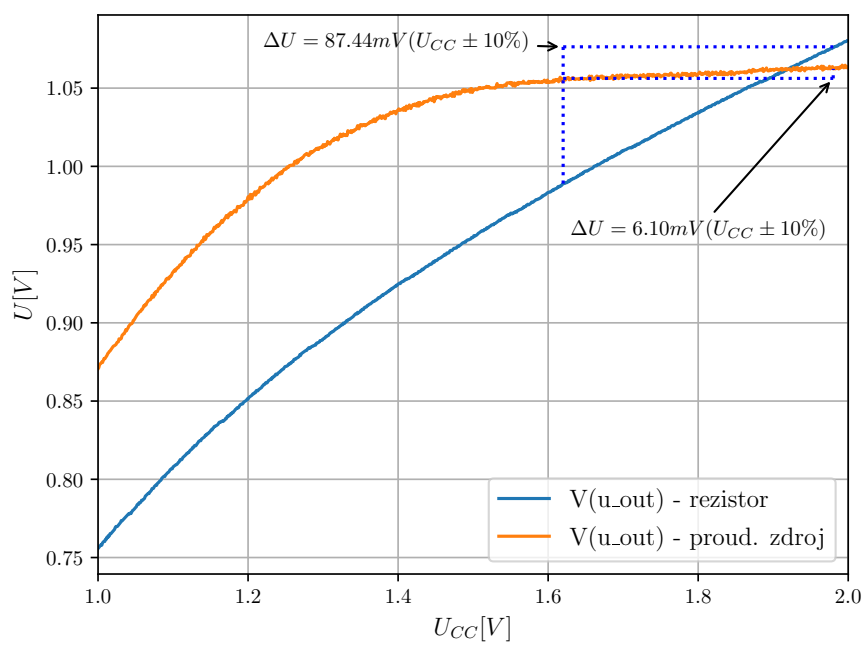
$$R_5 = \frac{U_{R5}}{I_R}$$
$$= \frac{U_{GS,MN3}}{I_R}$$
$$= \frac{U_{TH0,N3} + U_{OV,N3}}{I_R}$$
$$= \frac{360 \cdot 10^{-3} + 0,2}{10 \cdot 10^{-6}}$$
$$= 56\text{ k}\Omega$$

$$R_4 = \frac{U_{REF}}{I_R} - R_1$$
$$= \frac{1}{10 \cdot 10^{-6}} - 56 \cdot 10^3$$
$$= 44\text{ k}\Omega$$

Pro nastavení proudu použijeme rezistor R_3 :

$$R_3 = \frac{U_{CC} - U_{REF}}{30 \cdot 10^{-6}}$$
$$= \frac{1,8 - 1}{30 \cdot 10^{-6}}$$
$$= 26,67\text{ k}\Omega$$

1.2.2 Simulace



Obr. 10: Časová analýza – srovnání výstupů napěťové reference.

2 Závěr

V první části úlohy šlo o vytvoření proudové reference nezávislé na napájecím napětí, na Obr. 5 lze vidět, že zcela nezávislá není, ale výstupní proud je podstatně stabilnější než v předchozí úloze.

Abychom spolehlivě zajistili dosažení správného pracovního bodu, je potřeba připojit tzv. startovací obvod, pro zvolené hodnoty součástek dojde k dosažení prac. bodu v čase přibližně 25 μs po připojení napájení (viz Obr. 7).

Ve druhé části úlohy jsme vytvářeli jednoduchou napěťovou referenci, ta ke své funkci potřebuje proudový zdroj. Nakolik bude napěťová reference nezávislá na změně napájecího napětí záleží zejména na kvalitě použitého proudového zdroje. Jednoduchý rezistor není příliš vhodný (z hlediska nezávislosti výstupu) a je vhodné jako vstup využít např. námi vytvořenou proudovou referenci. Porovnání obou scénářů se nachází na Obr. 10.

Co se týče mého způsobu "spínání" částí obvodu za pomoci rezistorů s malou resp. velkou hodnotou odporu, která principiálně neovlivní dané zapojení, nemohu říci, že by se metoda osvědčila. V několika simulacích jsem musel od tohoto způsobu upustit, protože SPICE se zřejmě pro některé uzly dostával k hodnotám příliš malým a pracoval velmi neefektivně nebo simulace nekonvergovala vůbec, pro příště tedy budu muset zvolit jiný způsob.