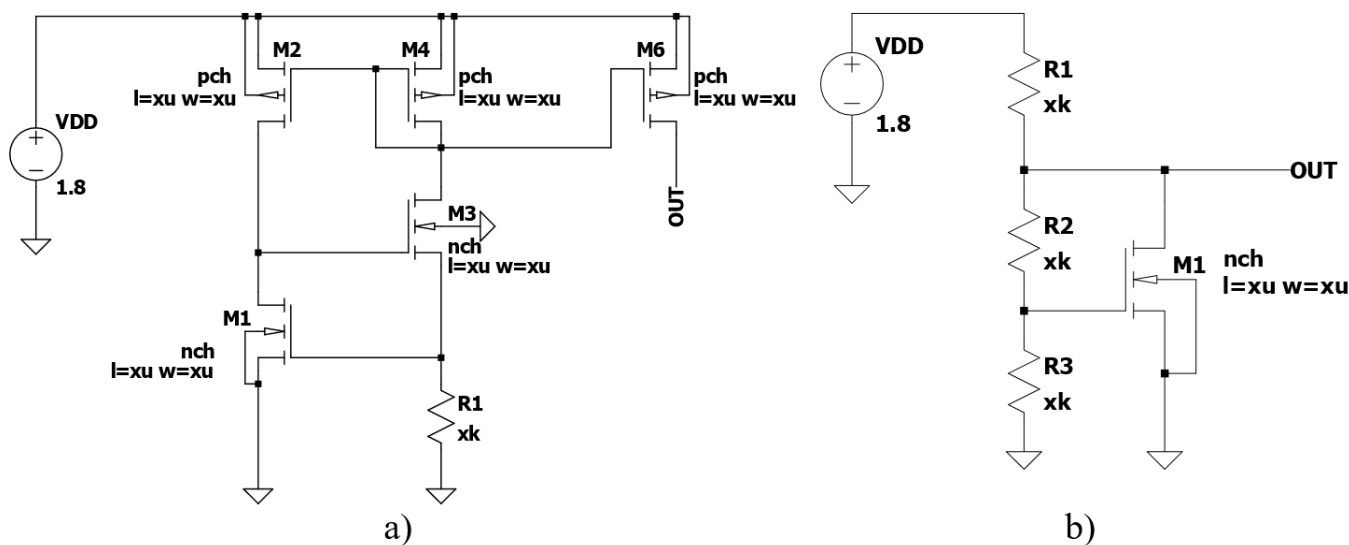


Návrh analogových integrovaných obvodů Ústav mikroelektroniky FEKT VUT v Brně	Jméno Tomáš Vavrinec		ID 240893
	Ročník	Obor MET	Skupina
Název zadání <b>2. Zdroje referenčních proudů a napětí</b>			Č. úlohy <b>3</b>

## ZADÁNÍ ÚLOHY

Simulacemi zjistíte tyto parametry tranzistorů NMOS a PMOS:

1. **Navrhněte proudovou referenci podle obr. 1a)** (bez startovacího obvodu). Předpokládané napětí na výstupu je  $1.2V$  - toto napětí zde připojte v simulaci. Výstupní proud je  $50\mu A$  a proudy v jádru reference jsou  $10\mu A$ . Postupně:
  - (a) vypočítejte parametry všech součástek v obvodu (**P - výpočty ve formátu obecná rovnice, dosazení, výsledek**).
  - (b) proveďte analýzu **.op** - zobrazte si proudy ve větvích a napětí ve všech uzlech (**P - schéma se zvýrazněnými U/I dle předlohy**)
  - (c) a zobrazte si Spice Output log a zkontrolujte parametry polovodičových součástek (**P - printscreen pracovních bodů tranzistorů ze Spice Output Log**)



Obr. 1: Proudový zdroj s kaskádovým PZ

2. **Navrhněte napěťovou reference podle obr. 1b.** Požadované výstupní napětí je  $1.2V$ , proudová spotřeba obvodu pak  $50\mu A$ 
  - vypočítejte parametry všech součástek v obvodu (**P - výpočty ve formátu obecná rovnice, dosazení, výsledek**).
  - proveďte analýzu **.op** - zobrazte si proudy ve větvích a napětí ve všech uzlech (**P - schéma se zvýrazněnými U/I dle předlohy**)
  - a zobrazte si Spice Output log a zkontrolujte parametry tranzistoru NMOS (**P - printscreen ze Spice Output Log**)

3. Pro napěťovou referenci z úlohy 2) použijte namísto odporu R1 proudovou referenci z úlohy 1)
- (a) proved'te analýzu **.op** - zobrazte si proudy ve větvích a napětí ve všech uzlech (**P - schéma se zvýrazněnými U/I dle předlohy**)
  - (b) krokujte napájecí napětí a sledujte výstupní referenční napětí. Odečtěte změnu tohoto napětí mezi  $U_{DD} = 1.6V$  a  $U_{DD} = 2V$  (**P - grafický výstup z LTspice s umístěnými kurzory a viditelnou tabulkou s jejich pozicí**)

# 1 Vypracování

## 1.1 Proudová reference

Jako první určíme rozměry použitých tranzistorů. Volím délku kanálu  $L = 2[\mu m]$  jako kompromis mezi velikostí a parametrem  $\lambda$ , která pro  $L = 2\mu m$  nabývá hodnoty  $\lambda = 0.0787698[V^{-1}]$ . Dále musíme zvolit napětí  $U_{OV}$ , které volím s ohledem na rozsah napájecího napětí  $U_{OV} = 0.2[V]$ . Z toho následně můžeme určit šířku kanálu  $W$ , tranzistorů  $M1$  a  $M3$  jako:

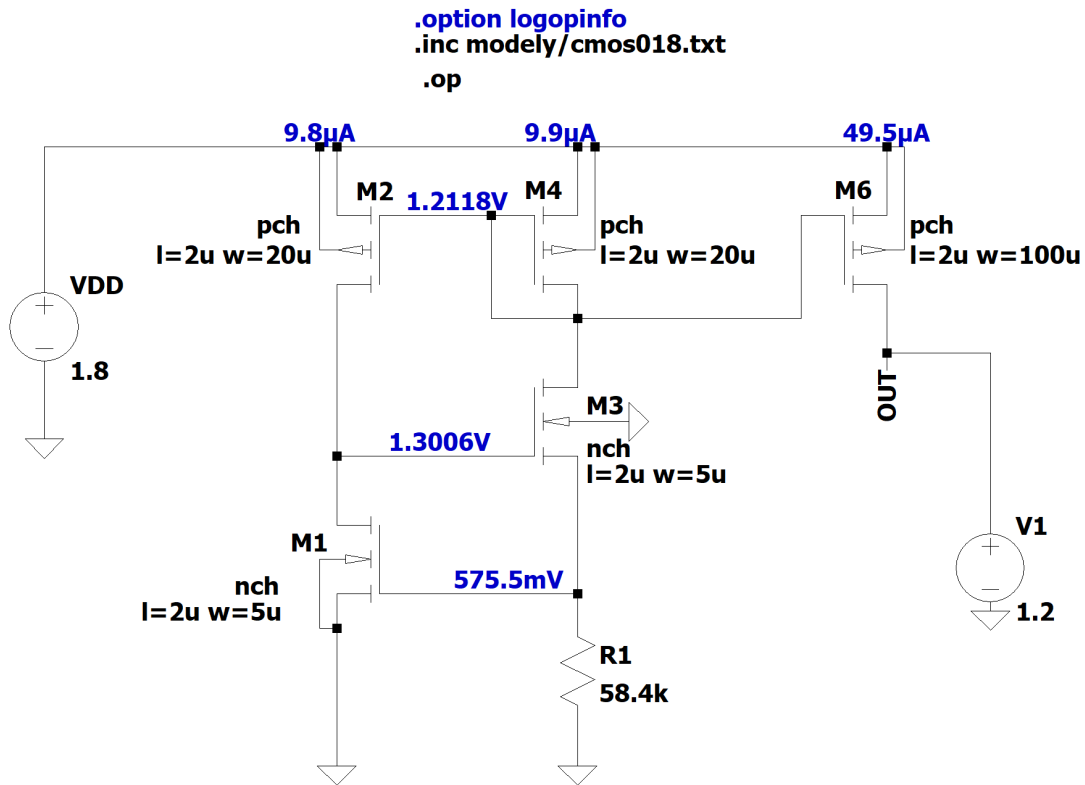
$$W_{M1} = W_{M3} = L \cdot \frac{2 \cdot I_1}{K_P \cdot U_{OV}^2} = 2\mu \cdot \frac{2 \cdot 10\mu}{200\mu \cdot 0.2^2} = 5[\mu m]$$

obdobně určíme rozměry tranzistorů  $M2$  a  $M4$  jako:

$$W_{M2} = W_{M4} = L \cdot \frac{2 \cdot I_1}{K_P \cdot U_{OV}^2} = 2\mu \cdot \frac{2 \cdot 10\mu}{50\mu \cdot 0.2^2} = 20[\mu m]$$

Z čehož snadno určíme  $W_{M6}$  jako:

$$W_{M6} = W_{M2} \cdot \frac{I_2}{I_1} = 20\mu \cdot \frac{50\mu}{10\mu} = 100[\mu m]$$
$$r_1 = \frac{U_{TH-M1} + U_{OV-M1}}{I_1} = \frac{0.384 + 0.2}{10\mu} = 58.4[k\Omega]$$



Obr. 2: Zobrazení napětí a proudu ve schématu

Name:	m3	m1	m2	m4	m6
Model:	nch	nch	pch	pch	pch
Id:	9.85e-06	9.78e-06	-9.78e-06	-9.85e-06	-4.95e-05
Vgs:	7.25e-01	5.75e-01	-5.88e-01	-5.88e-01	-5.88e-01
Vds:	6.36e-01	1.30e+00	-4.99e-01	-5.88e-01	-6.00e-01
Vbs:	-5.75e-01	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Vth:	5.44e-01	3.80e-01	-4.05e-01	-4.04e-01	-4.04e-01
Vdsat:	1.59e-01	1.52e-01	-1.56e-01	-1.56e-01	-1.57e-01
Gm:	1.06e-04	1.04e-04	9.92e-05	9.98e-05	5.01e-04
Gds:	2.08e-07	4.54e-07	8.41e-07	8.24e-07	4.12e-06
Gmb	2.43e-05	1.48e-04	3.14e-05	3.16e-05	1.60e-04
Cbd:	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Cbs:	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Cgsov:	3.50e-15	3.50e-15	1.37e-14	1.37e-14	6.85e-14
Cgdov:	3.48e-15	3.48e-15	1.38e-14	1.38e-14	6.88e-14
Cgbov:	1.98e-18	1.98e-18	1.96e-18	1.96e-18	1.96e-18
dQgdVgb:	7.33e-14	7.51e-14	2.95e-13	2.94e-13	1.47e-12
dQgdVdb:	-3.51e-15	-3.35e-15	-1.34e-14	-1.33e-14	-6.66e-14
dQgdVsb:	-6.60e-14	-1.23e-13	-2.69e-13	-2.69e-13	-1.34e-12
dQddVgb:	-3.11e-14	-3.10e-14	-1.23e-13	-1.23e-13	-6.16e-13
dQddVdb:	3.50e-15	3.40e-15	1.36e-14	1.35e-14	6.77e-14
dQddVsb:	3.44e-14	6.87e-14	1.45e-13	1.45e-13	7.26e-13
dQbdVgb:	-1.12e-14	-1.30e-14	-4.80e-14	-4.81e-14	-2.39e-13
dQbdVdb:	-1.76e-17	1.87e-17	-8.58e-17	-1.30e-17	-2.80e-17
dQbdVsb:	-6.26e-15	-1.76e-14	-3.54e-14	-3.53e-14	-1.79e-13

Obr. 3: Pracovní bod tranzistorů

## 1.2 Napěťová reference

Jako první určíme rozměry použitých tranzistorů. Volím délku kanálu  $L = 2[\mu m]$  jako kompromis mezi velikostí a parametrem  $\lambda$ , která pro  $L = 2\mu m$  nabývá hodnoty  $\lambda = 0.0787698[V^{-1}]$ . Dále musíme zvolit napětí  $U_{OV}$ , které volím  $U_{OV} = 0.5[V]$  jelikož pracovní napětí mám jasně dané, větší pracovní rozsah tak nepotřebuji a radši použiji menší tranzistor. Z toho následně můžeme určit šířku kanálu  $W$  jako:

$$W = L \cdot \frac{2 \cdot I_T}{K_P \cdot U_{OV}^2} = 2\mu \cdot \frac{2 \cdot 40\mu}{200\mu \cdot 0.5^2} = 3.2[\mu m]$$

Dále určíme společný odpor rezistorů  $r_2$  a  $r_3$  jako:

$$r_{2,3} = \frac{U_{OUT}}{I_1 - I_2} = \frac{1.2}{50\mu - 50\mu} = 120[k\Omega]$$

Z čehož můžeme určit  $r_3$  jako:

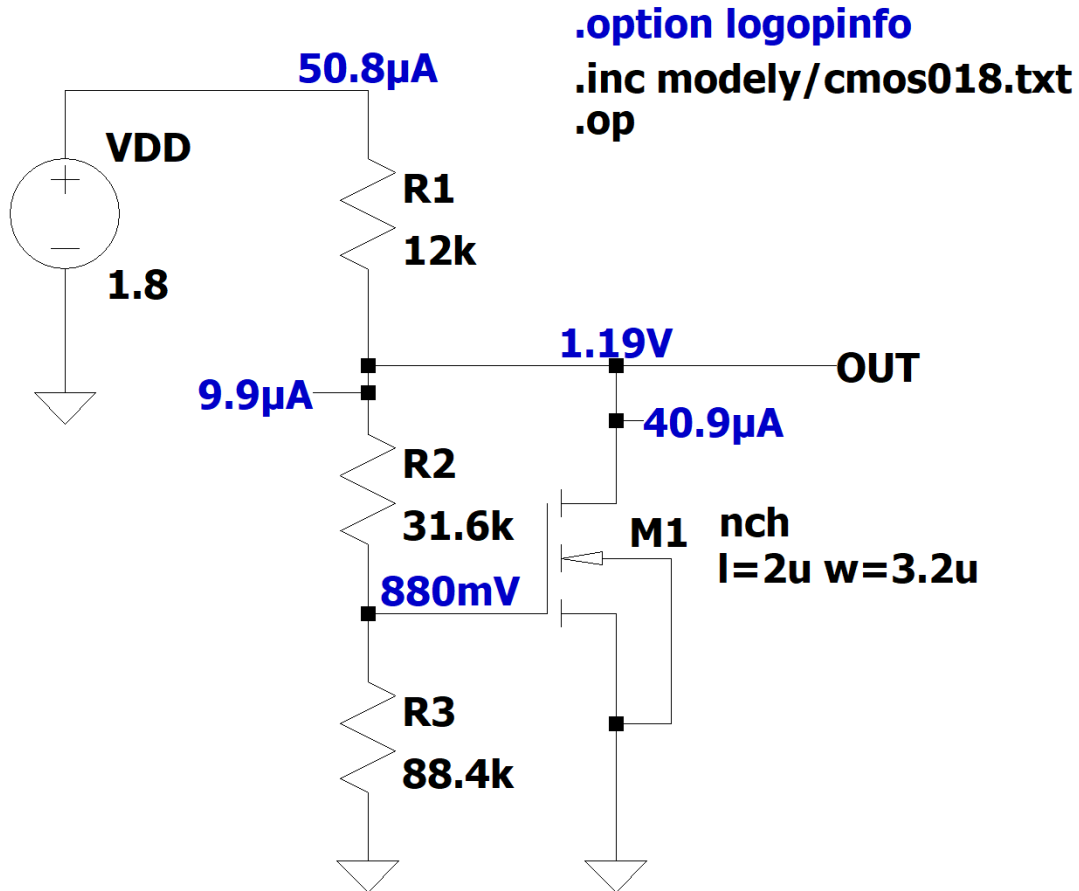
$$r_3 = \frac{U_{TH} + U_{OV}}{U_{OUT}} \cdot r_{2,3} = \frac{0.384 + 0.5}{1.2} \cdot 120 \cdot 10^3 = 88.4[k\Omega]$$

$r_2$  pak určíme jednoduše jako:

$$r_2 = r_{2,3} - r_3 = 120 \cdot 10^3 - 88.4 \cdot 10^3 = 31.6[k\Omega]$$

Nakonec určíme odpor  $r_1$  jako:

$$r_1 = \frac{U_{CC} - U_{OUT}}{I_{1,2}} = \frac{1.8 - 1.2}{50\mu} = 12[k\Omega]$$



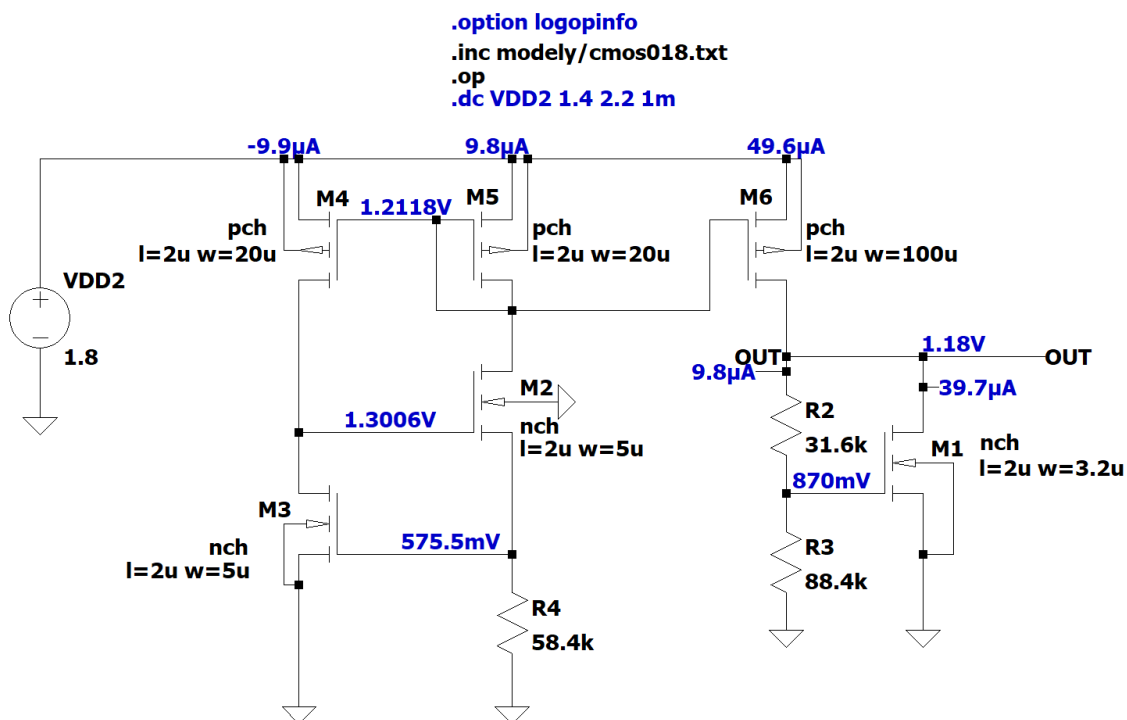
Obr. 4: Zobrazení napětí a proudu ve schématu

Name:	m1
Model:	nch
Id:	4.09e-05
Vgs:	8.77e-01
Vds:	1.19e+00
Vbs:	0.00e+00
Vth:	3.81e-01
Vdsat:	3.63e-01
Gm:	1.61e-04
Gds:	8.42e-07
Gmb	2.14e-04
Cbd:	0.00e+00
Cbs:	0.00e+00
Cgsov:	2.24e-15
Cgdov:	2.22e-15
Cgbov:	1.98e-18
dQgdVgb:	4.80e-14
dQgdVdb:	-2.15e-15
dQgdVsb:	-7.67e-14
dQddVgb:	-1.99e-14
dQddVdb:	2.18e-15
dQddVsb:	4.23e-14
dQbdVgb:	-8.17e-15
dQbdVdb:	6.17e-18
dQbdVsb:	-1.02e-14

Obr. 5: Pracovní bod tranzistoru

### 1.3 Napěťová reference s proudovým zdrojem

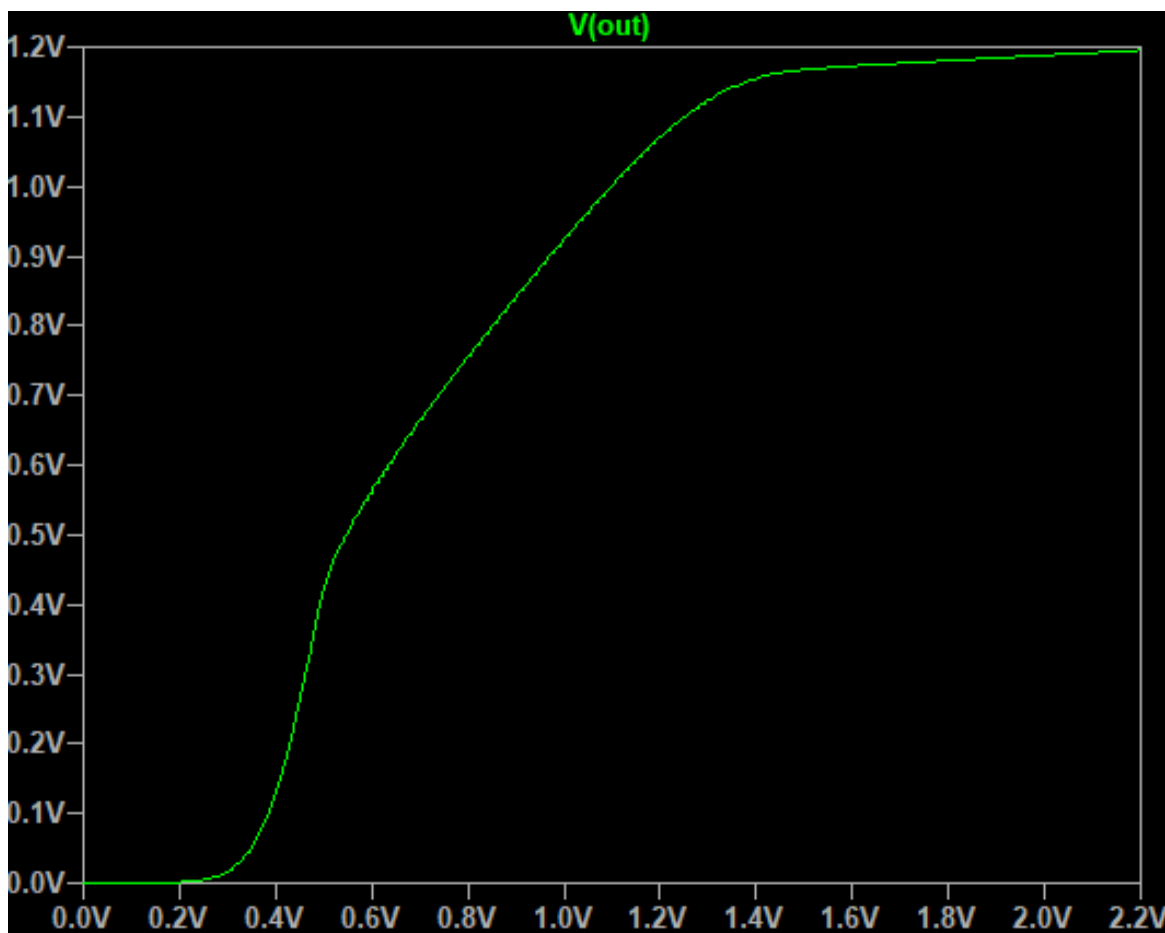
V předchozím příkladě napěťové reference sloužil odpor  $r_1$  jako proudový zdroj. Protože jde jen o rezistor nebude to dvakrát přesný proudový zdroj a proto ho nyní nahradíme proudovým zdrojem z předcházejícího příkladu. Hodnoty všech prvků zůstávají zachovány a výsledkem je tedy následující schéma.



Obr. 6: Zobrazení napětí a proudu ve schématu

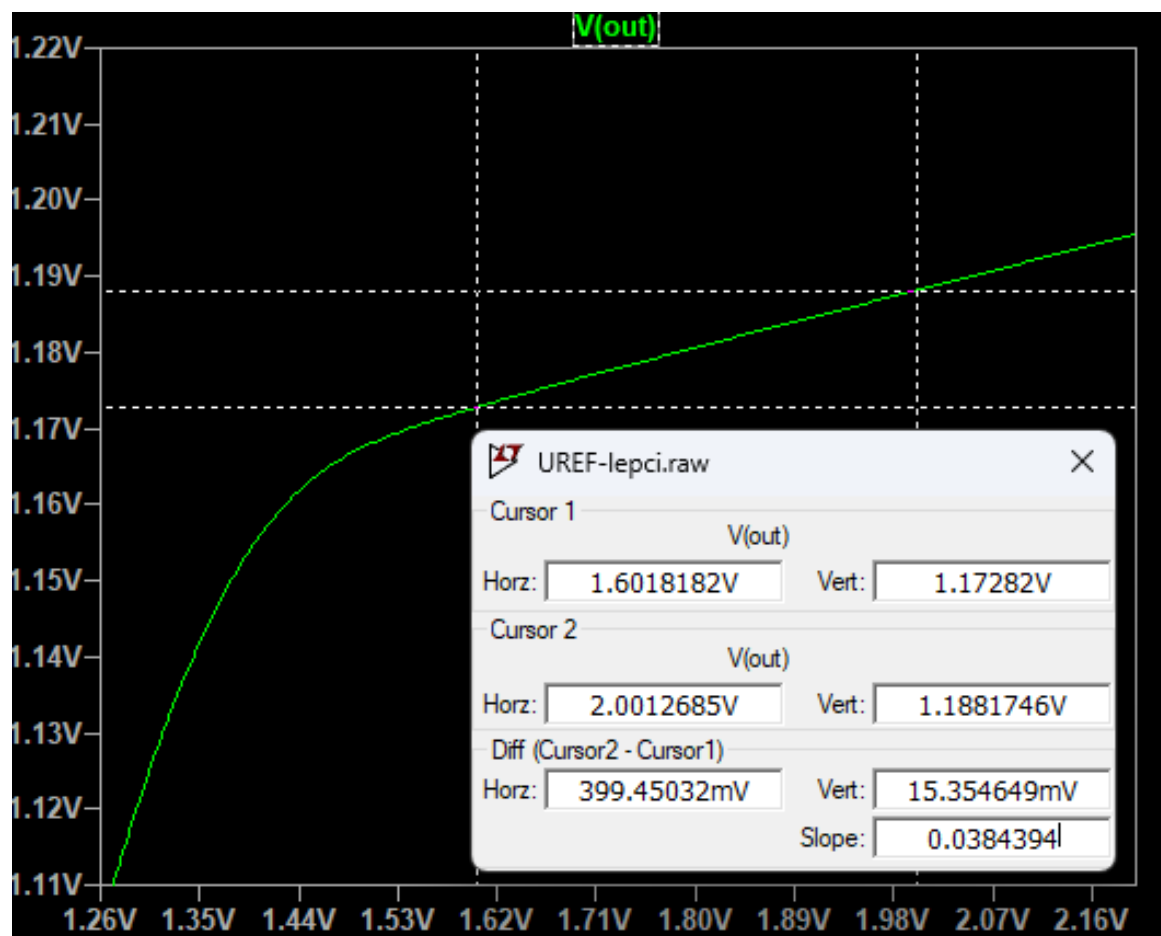
Name:	m1	m2	m3	m4	m5
Model:	nch	nch	nch	pch	pch
Id:	3.97e-05	9.85e-06	9.78e-06	-9.78e-06	-9.85e-06
Vgs:	8.70e-01	7.25e-01	5.75e-01	-5.88e-01	-5.88e-01
Vds:	1.18e+00	6.36e-01	1.30e+00	-4.99e-01	-5.88e-01
Vbs:	0.00e+00	-5.75e-01	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Vth:	3.81e-01	5.44e-01	3.80e-01	-4.05e-01	-4.04e-01
Vdsat:	3.58e-01	1.59e-01	1.52e-01	-1.56e-01	-1.56e-01
Gm:	1.58e-04	1.06e-04	1.04e-04	9.92e-05	9.98e-05
Gds:	8.28e-07	2.08e-07	4.54e-07	8.41e-07	8.24e-07
Gmb:	2.10e-04	2.43e-05	1.48e-04	3.14e-05	3.16e-05
Cbd:	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Cbs:	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00
Cgsov:	2.24e-15	3.50e-15	3.50e-15	1.37e-14	1.37e-14
Cgdov:	2.22e-15	3.48e-15	3.48e-15	1.38e-14	1.38e-14
Cgbov:	1.98e-18	1.98e-18	1.98e-18	1.96e-18	1.96e-18
dQgdVgb:	4.80e-14	7.33e-14	7.51e-14	2.95e-13	2.94e-13
dQgdVdb:	-2.15e-15	-3.51e-15	-3.35e-15	-1.34e-14	-1.33e-14
dQgdVsb:	-7.64e-14	-6.60e-14	-1.23e-13	-2.69e-13	-2.69e-13
dQddVgb:	-1.99e-14	-3.11e-14	-3.10e-14	-1.23e-13	-1.23e-13
dQddVdb:	2.18e-15	3.50e-15	3.40e-15	1.36e-14	1.35e-14
dQddVsb:	4.22e-14	3.44e-14	6.87e-14	1.45e-13	1.45e-13
dQbdVgb:	-8.17e-15	-1.12e-14	-1.30e-14	-4.80e-14	-4.81e-14
dQbdVdb:	6.14e-18	-1.76e-17	1.87e-17	-8.58e-17	-1.30e-17
dQbdVsb:	-1.02e-14	-6.26e-15	-1.76e-14	-3.54e-14	-3.53e-14

Obr. 7: Pracovní bod tranzistoru



Obr. 8: Zobrazení napětí a proudu ve schématu





Obr. 9: Pracovní bod tranzistoru