

温度に依存しないMOS定電流源の安定性解析とスタートアップ回路

山本 颯馬, Isam Ebisawa Kuswan, 阿部 優大, 井田 貴士, 柴崎 有祈子, 築地 伸和 (群馬大学)



鈴木 彰, 轟 祐吉, 柿木 利彦, 小野 信任, 三浦 一広 ((株)ジーダット)

桑名 杏奈, 小林 春夫 (群馬大学)



1. 研究背景

電子回路での信頼性問題

PVT変動に依らず安定な動作

- Process(プロセス)
- Voltage(電源電圧)
- Temperature(温度)

定電流源

周囲環境に依らず
回路に一定の電流源を供給

アナログIC内で一つは必要

基準電流源

北極星

今回

温度変動にロバストな定電流源

2. MOSの温度特性

MOS FET電流式での温度特性

$$I_d = \frac{W}{L} \mu C_{ox} \left[(V_{GS} - V_{th}) V_{DS} - \frac{1}{2} V_{DS}^2 \right]$$
$$I_d = \frac{W}{2L} \mu C_{ox} (V_{GS} - V_{th})^2 (1 - \lambda V_{DS})$$

μ : 移動度

$$\mu = \mu_0 (T/T_0)^{-1.5}$$

温度: 高

電流(I_d): 減少

ϕ_B : 内蔵電位
 n_i : NMOS FETの真性キャリア密度

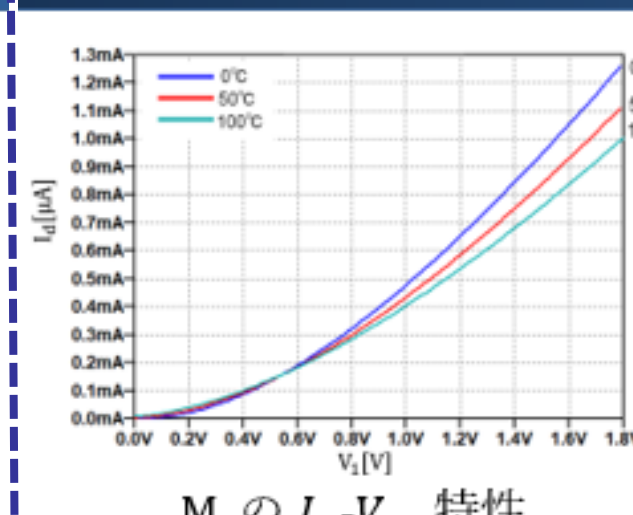
V_{th} : 閾値

$$V_{th} = \frac{\sqrt{2qN_A\epsilon_{Si}(2\phi_B)}}{C_{ox}} + 2\phi_B + V_{FB}$$
$$\phi_B = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right), \quad n_i = N \exp \left(-\frac{\epsilon_g}{2k_B T} \right)$$
$$\frac{dV_{th}}{dT} = -1 \sim -3 \text{ [mV/}^\circ\text{C]}$$

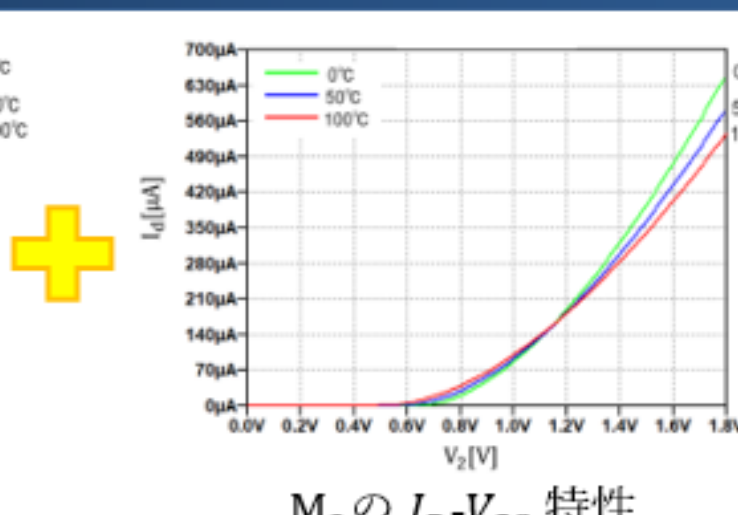
温度: 高

閾値(V_{th}): 低下

温度に依存しないMOS定電流源の提案



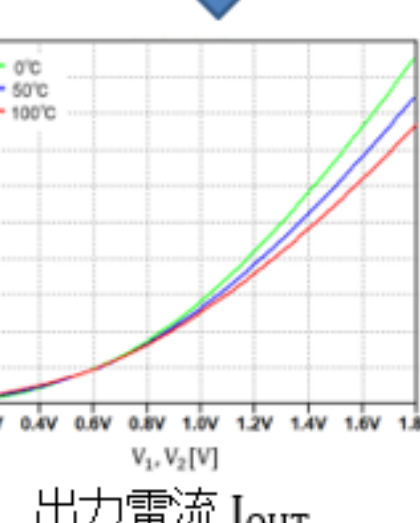
M1の I_D - V_{GS} 特性



M2の I_D - V_{GS} 特性

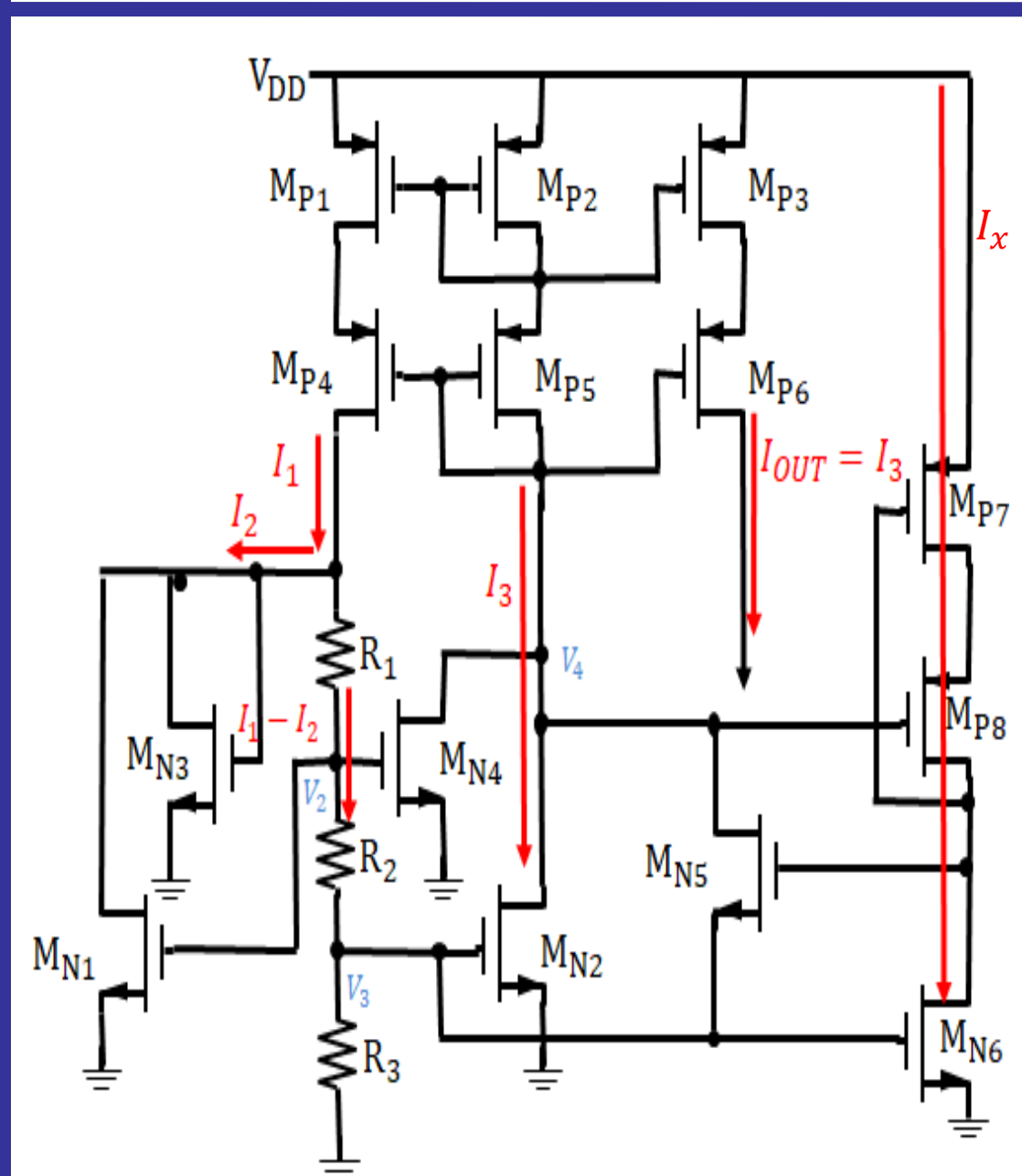
提案回路コンセプト
2つのMOSゲートに
異なるバイアス電圧
を与える

Parameter	Value
V_{BIAS}	0.6 V
V_{L1}, V_{L2}	0 ~ 1.8 V
V_{DD}	5.0 V
M_1, M_2	$W=20 \mu\text{m}, L=2.0 \mu\text{m}$



出力電流 I_{OUT}

温度に依存しないMOS定電流源回路



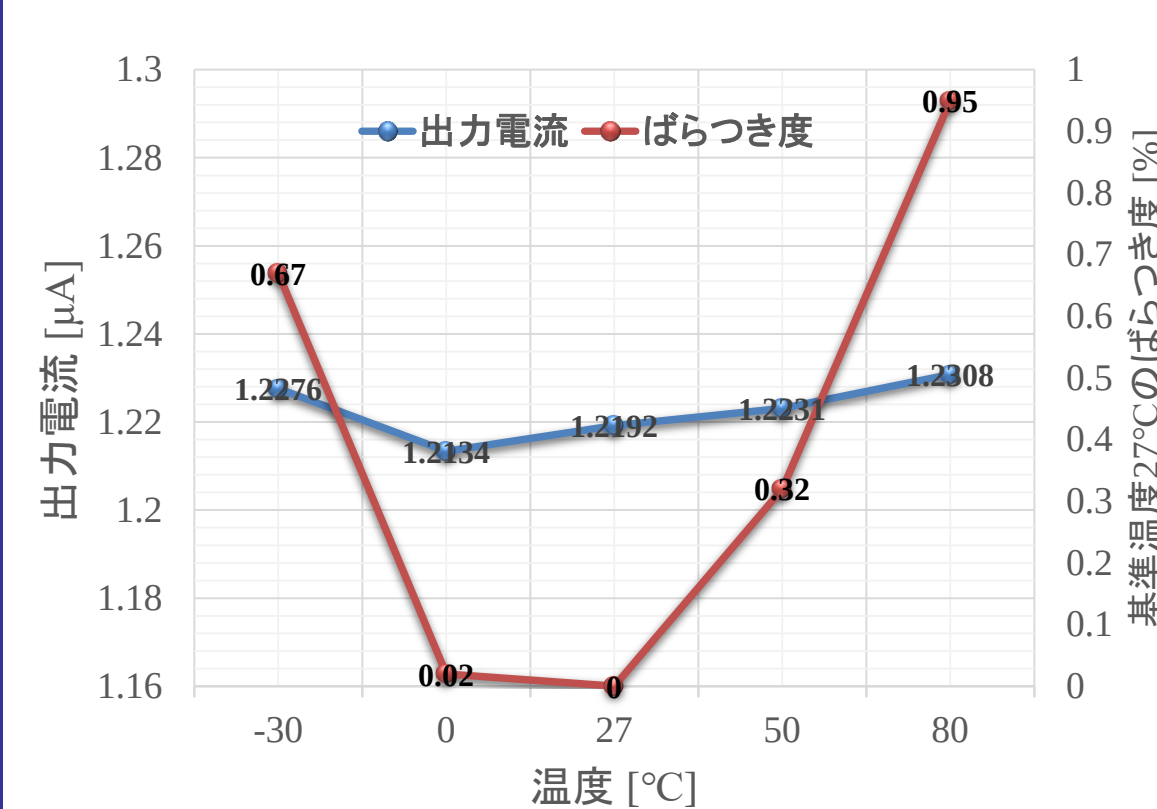
Parameter	Value
$M_{P1} \sim M_{P6}$	$W = 800 \text{ } [\mu\text{m}]$ $L = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$
M_{N1}, M_{N3}, M_{P7}	$W = 0.1 \text{ } [\mu\text{m}]$ $L = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$
M_{P8}	$W = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$ $L = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$
M_{N6}	$W = 4 \text{ } [\mu\text{m}]$ $L = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$
M_{N2}	$W = 200 \text{ } [\mu\text{m}]$ $L = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$
M_{N5}	$W = 25 \text{ } [\mu\text{m}]$ $L = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$
M_{N4}	$W = 20 \text{ } [\mu\text{m}]$ $L = 2 \text{ } [\mu\text{m}]$
R_1	5000 $[\Omega]$
R_2	1610 $[\Omega]$
R_3	1500 $[\Omega]$
V_{DD}	5 [V]

4. シミュレーション結果とデザイン

Feedback process

シミュレーション結果: I_{OUT}

出力電流のばらつきを1%以下に抑えた

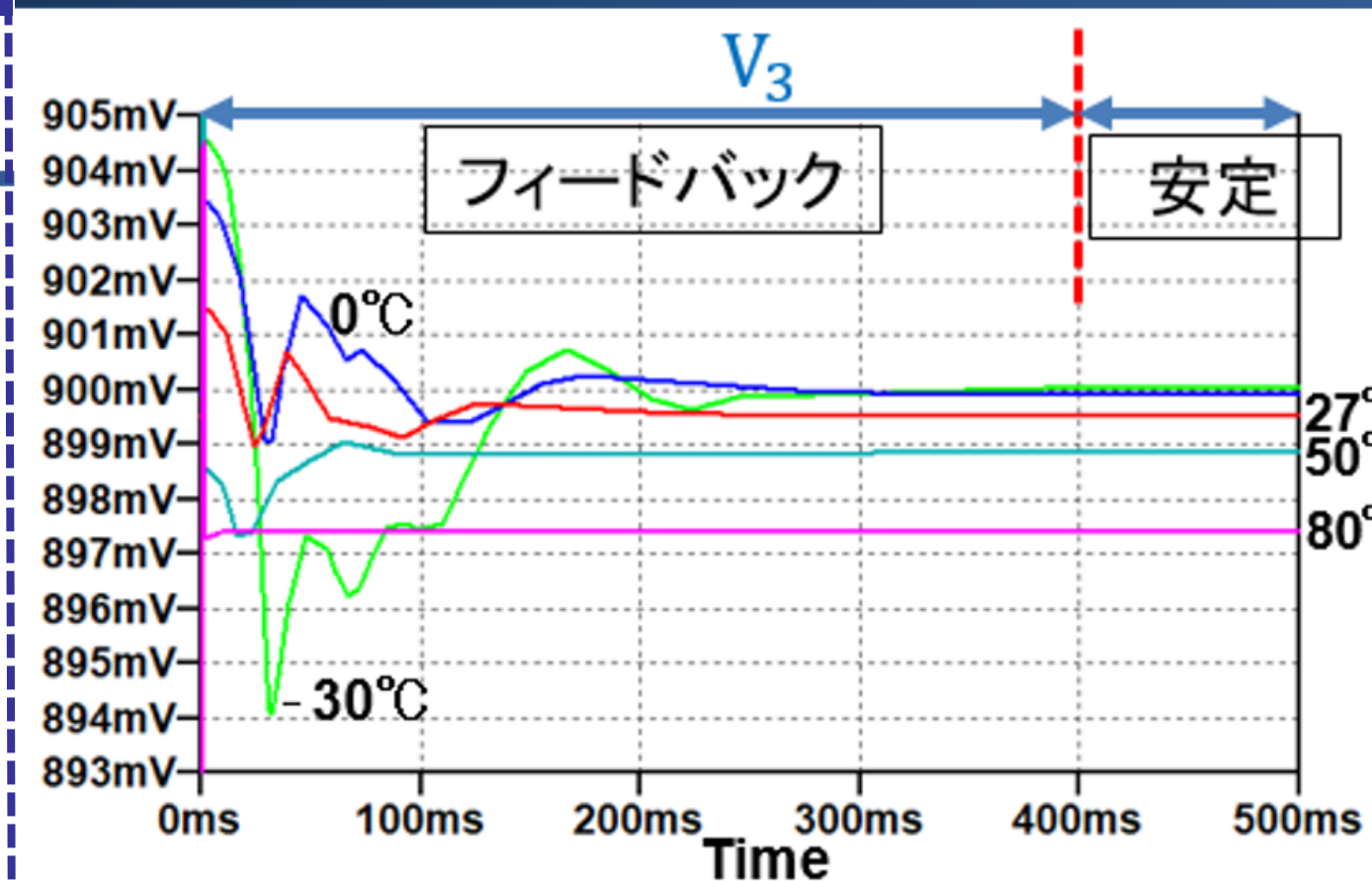


-30°C ~ 80°Cまで温度解析

誤差の計算式(基準温度27°C)

$$\left| \frac{I_{OUT}(27^\circ\text{C}) - I_{OUT}(\text{比較温度})}{I_{OUT}(27^\circ\text{C})} \right| * 100 [\%]$$

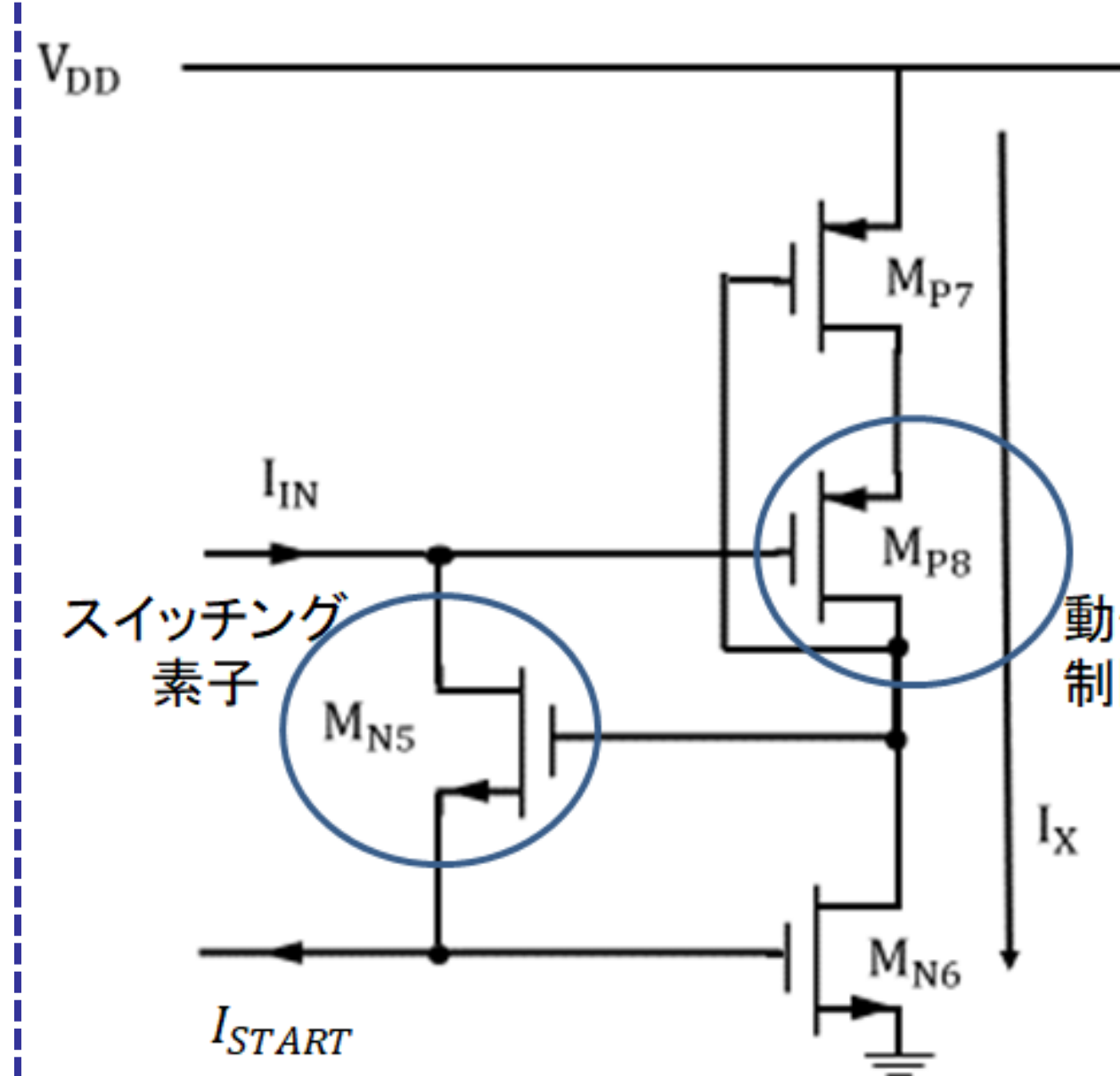
V_3 のフィードバック過程



V_3 : 最終的に約0.9Vに安定

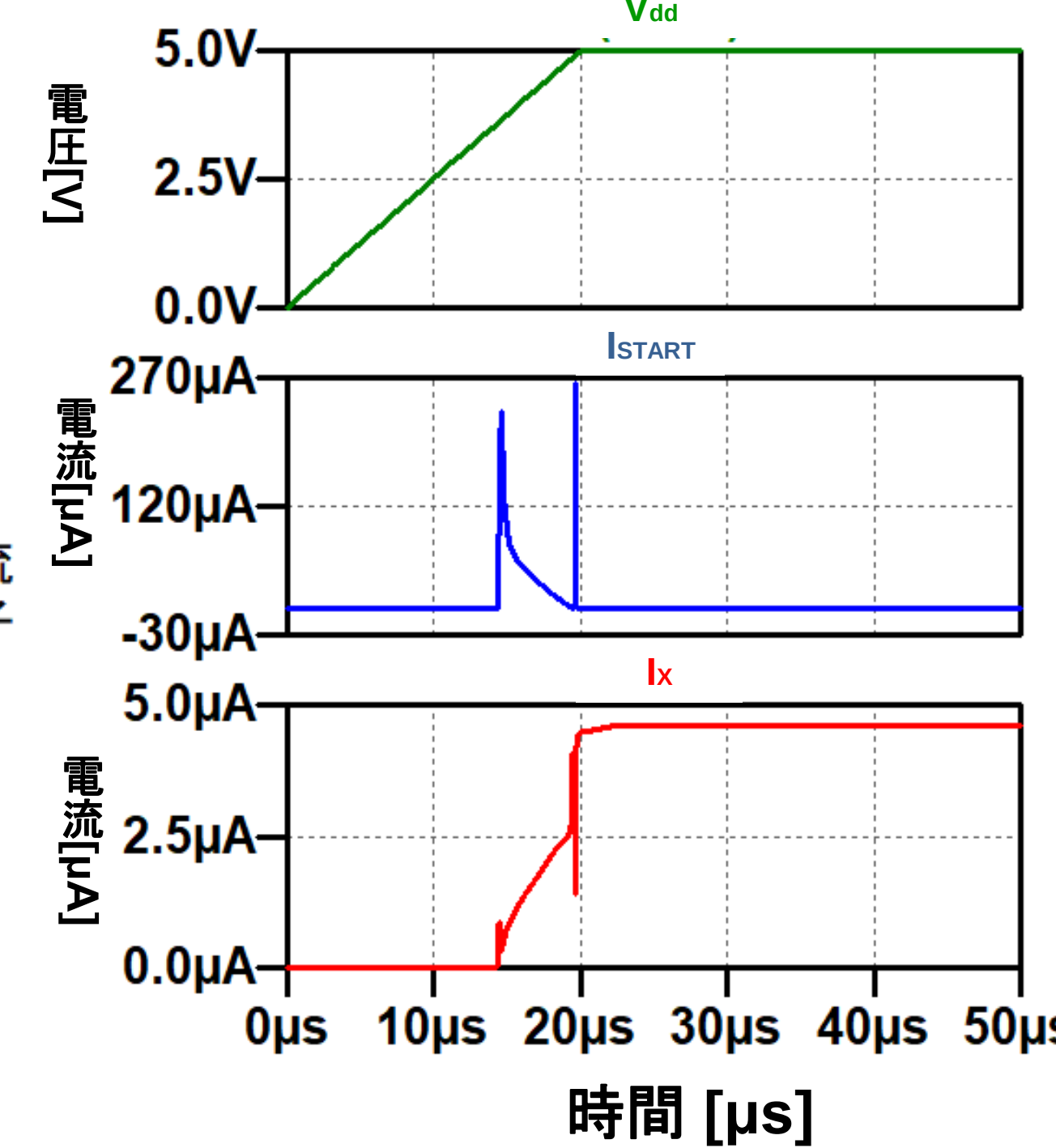
回路に電流が安定して
流れ続けるための V_3 の
条件を調べる

Startup 回路



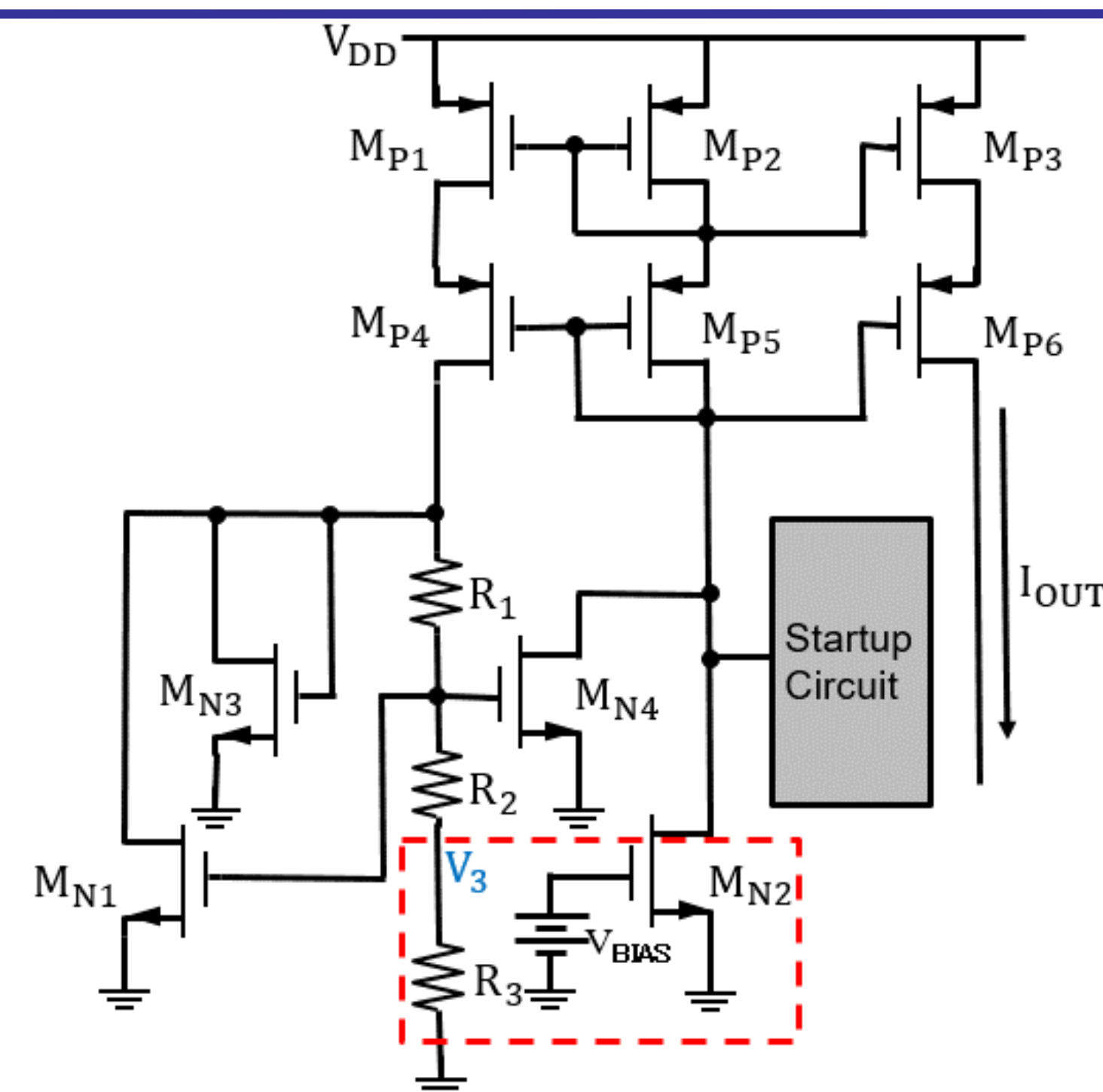
0sから50μsで時間解析

シミュレーション結果



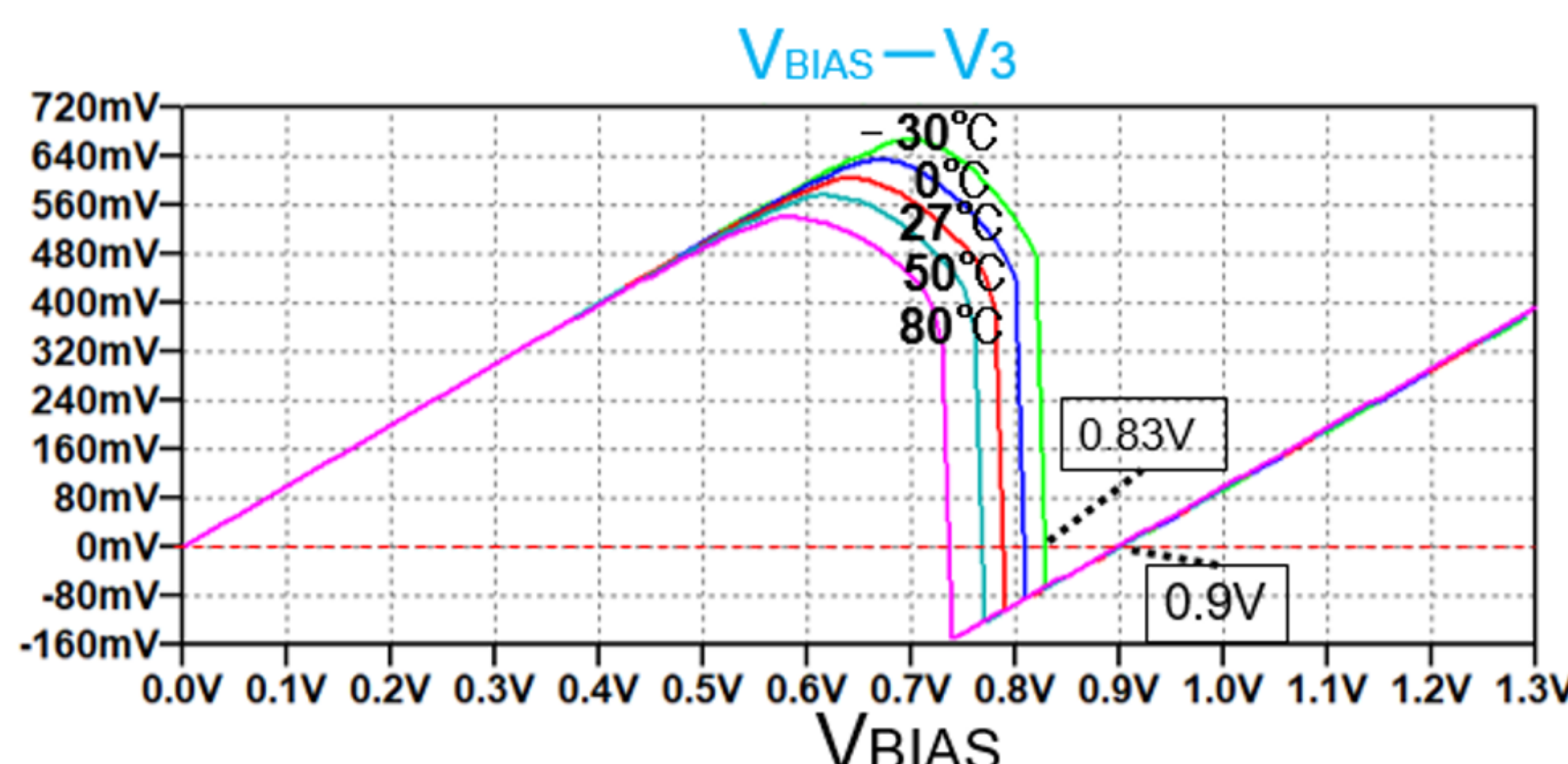
5. シミュレーションにおける検証

バイアス電圧の生成



DC 解析 V_{BIAS} : 0V ~ 5V

シミュレーション結果 (V_{BIAS} と V_3 の差)



(提案回路において)
 $V_{BIAS} - V_3 > 0$: V_3 が M_{N2} のゲート電圧↓
 $V_{BIAS} - V_3 < 0$: V_3 が M_{N2} のゲート電圧↑

V_{BIAS} と V_3 の大きさが2回逆転⇒安定

6. まとめ

-温度に依存しないMOS定電流源

- SPICEシミュレーションで提案回路の動作と安定性を示した

-スタートアップ回路

- SPICEシミュレーションでスタートアップ回路の動作とそれぞれの役割を示した

- 今後の課題

- 電源電圧の変動の影響が少なくなるように回路を改善
- MOS定電流源が起動後、スタートアップ回路における I_x を流さずに動作を停止させる