

令和元年度卒業研究発表会

情報通信システム分野

2020年2月20日(木)

群馬大学 (総合研究棟5階 502教室)

2020年2月20日(木)

温度に依存しないMOS定電流源の 動作と安定性解析の研究

群馬大学 理工学部 電子情報理工学科

小林研究室

4年 山本 颯馬

OUTLINE

- 研究目的
- MOS FET の温度特性
- 自己バイアスを用いた、
温度に依存しないMOS定電流源回路提案
- シミュレーションによる提案回路の動作と安定性検証
- まとめ

OUTLINE

- 研究目的
- MOS FET の温度特性
- 自己バイアスを用いた、
温度に依存しないMOS定電流源回路提案
- シミュレーションによる提案回路の動作と安定性検証
- まとめ

研究目的

電子回路における信頼性の問題

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



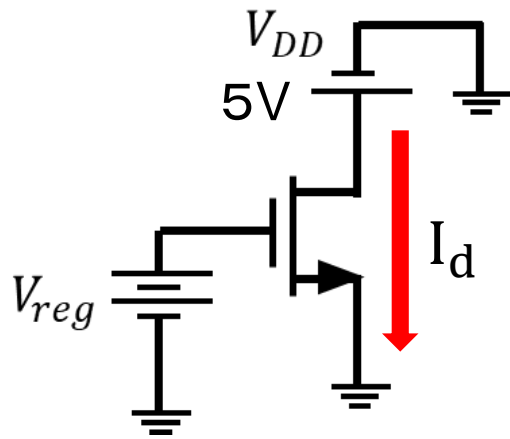
今回

温度に依存しない定電流源

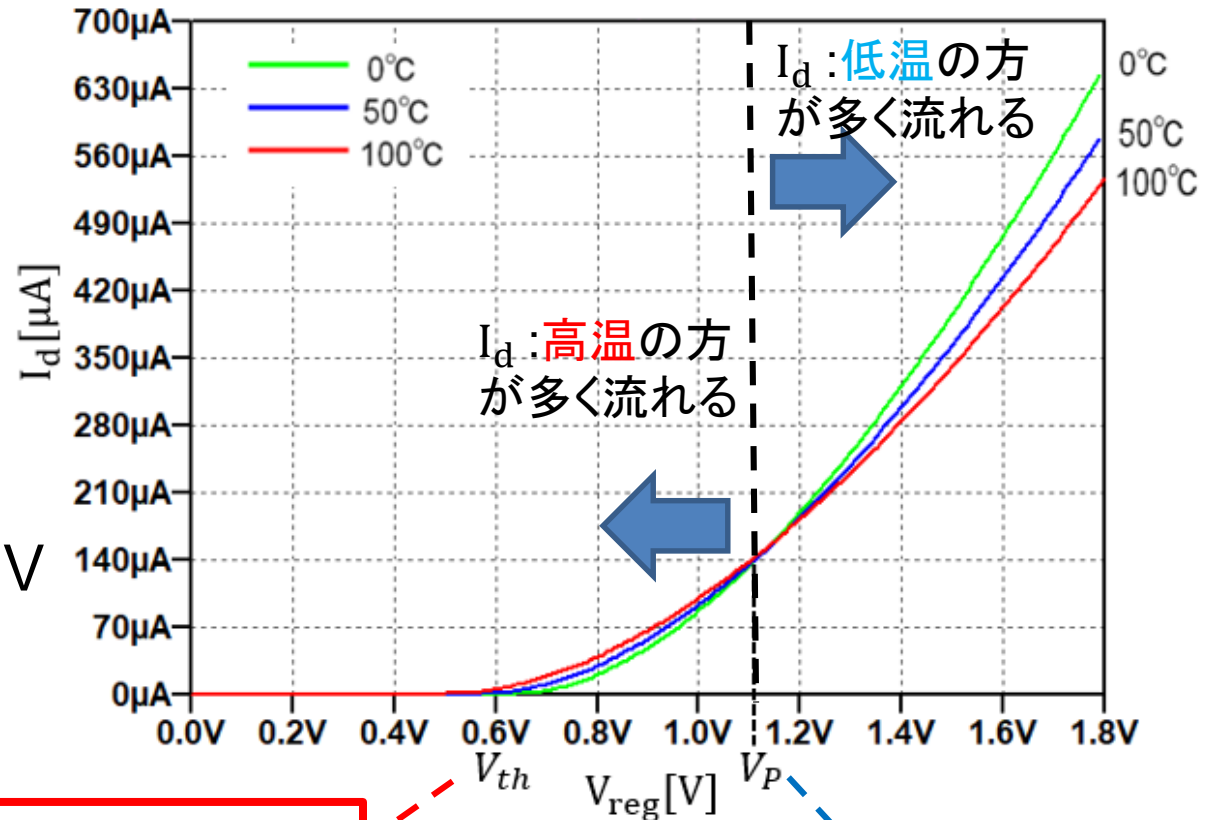
OUTLINE

- 研究目的
- MOS FET の温度特性
- 自己バイアスを用いた、
温度に依存しないMOS定電流源回路提案
- シミュレーションによる提案回路の動作と安定性検証
- まとめ

MOS FETの温度特性



DC解析 $V_{reg} : 0 \sim 1.8V$



閾値 $V_{th} : 0.6V$

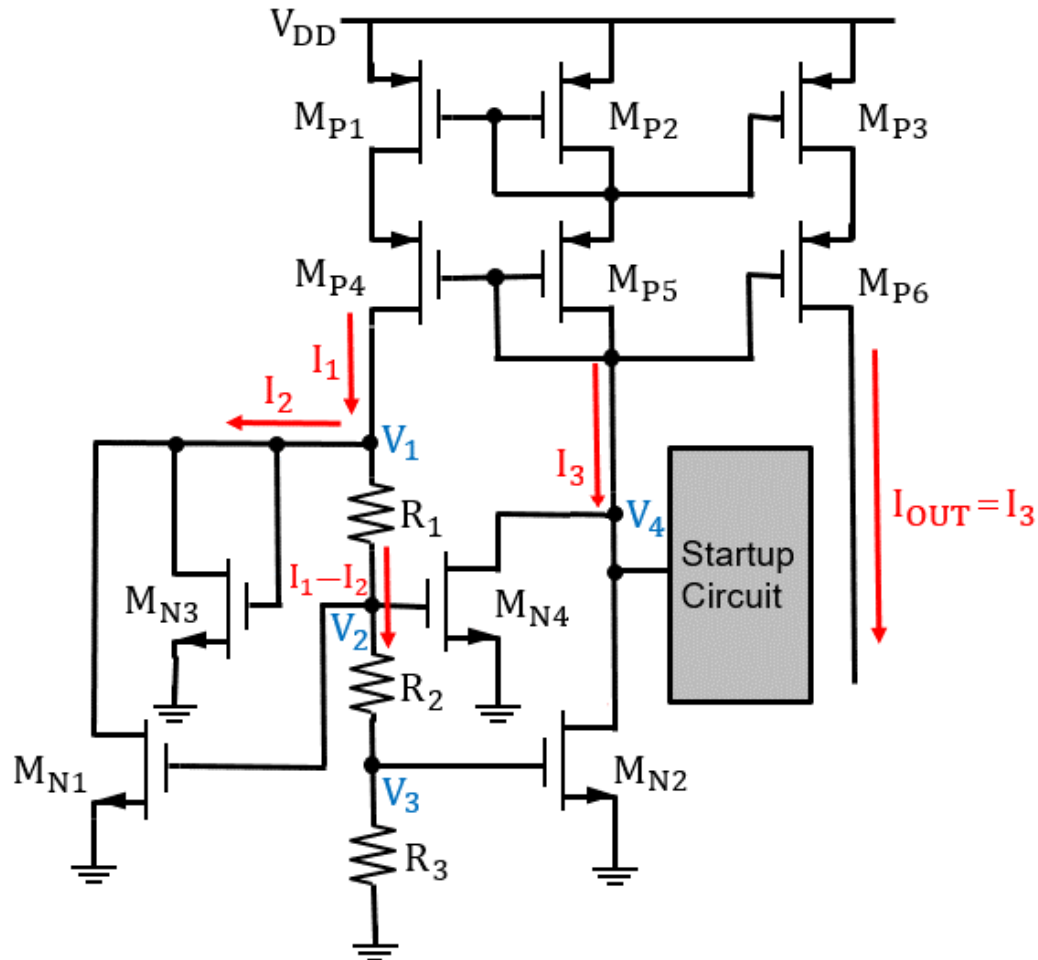
電流が温度に依存しないゲート電圧

MOS FET:オンセミコンダクタ0.25μmプロセス

OUTLINE

- 研究目的
- MOS FET の温度特性
- 自己バイアスを用いた、
温度に依存しないMOS定電流源回路の提案
- シミュレーションによる提案回路の動作と安定性検証
- まとめ

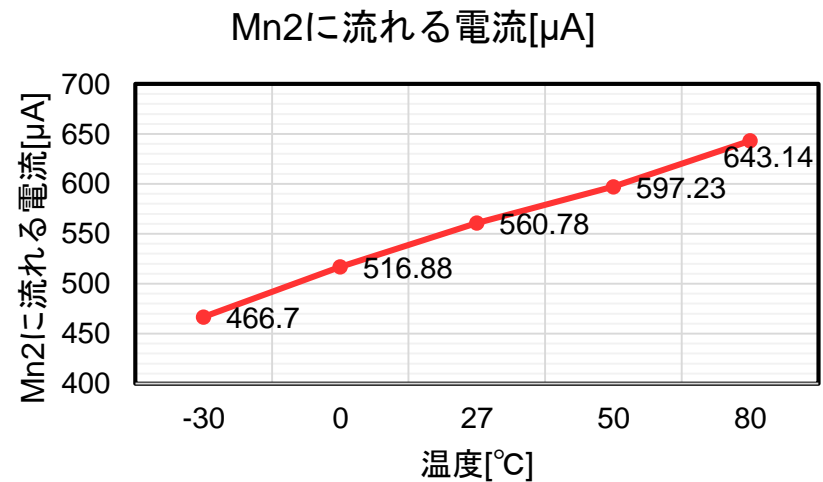
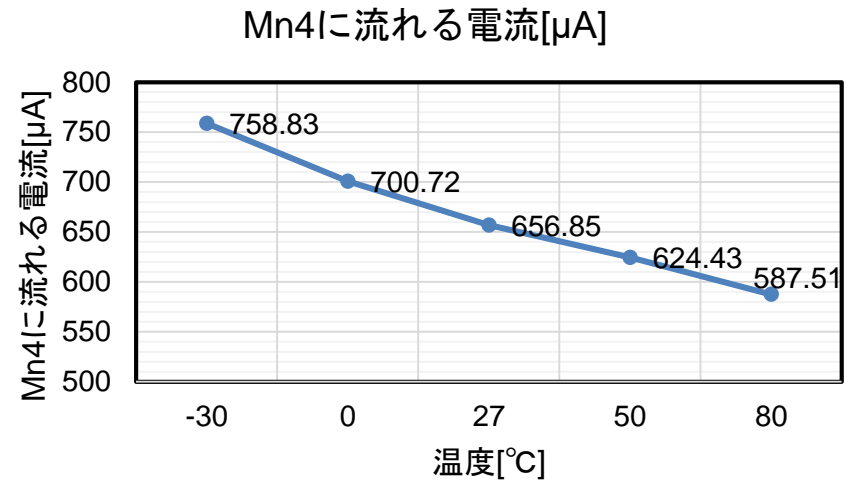
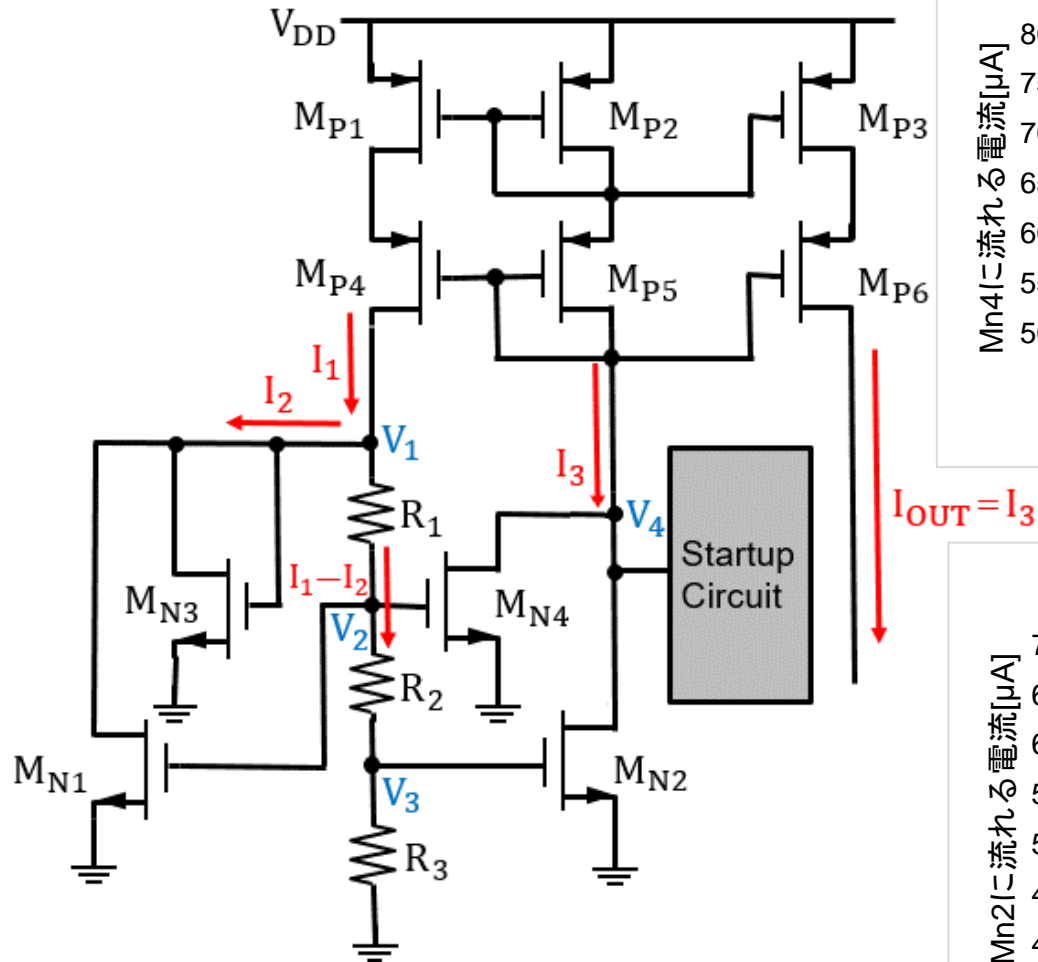
提案回路のシミュレーション条件



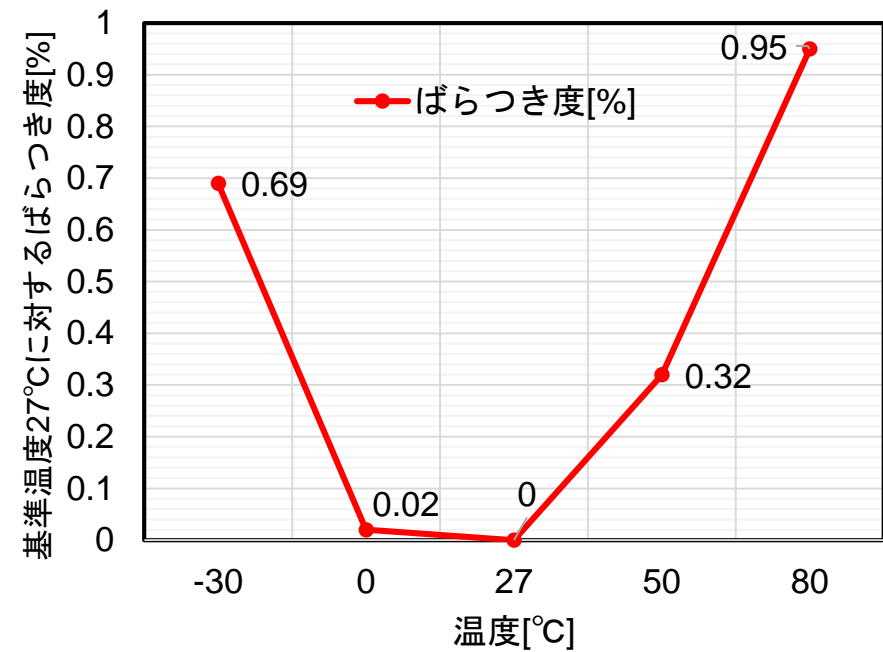
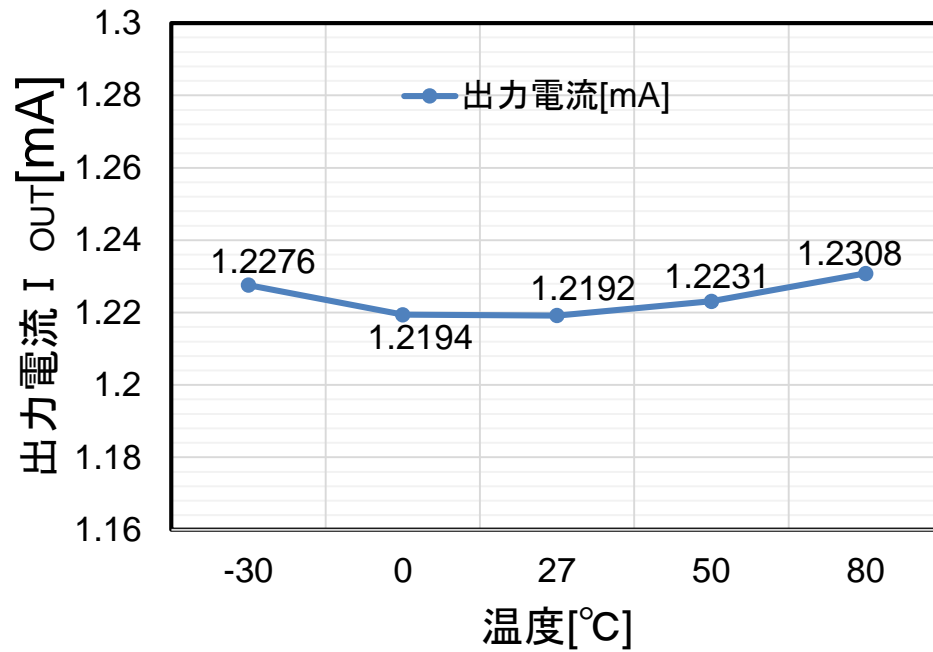
シミュレーション条件

Parameter	Value
$M_{P1} \sim M_{P6}$	W=800 um, L=2.0 um
M_{N1}, M_{N3}	W=0.1 um, L=2.0 um
M_{N2}	W=200 um, L=2.0 um
M_{N4}	W=20 um, L=2.0 um
R_1	5k Ω
R_2	1.61 k Ω
R_3	1.5k Ω
V_{DD}	5.0 V

M_{N4} 、 M_{N2} に流れる電流



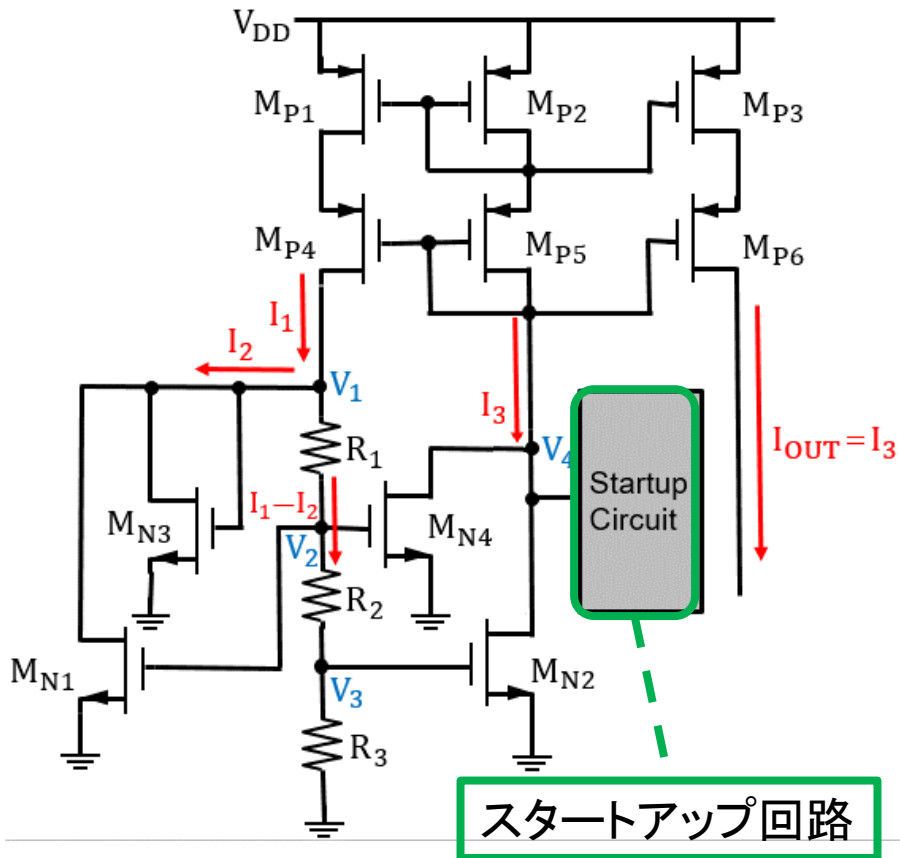
出力電流 I_{OUT} と各温度での誤差



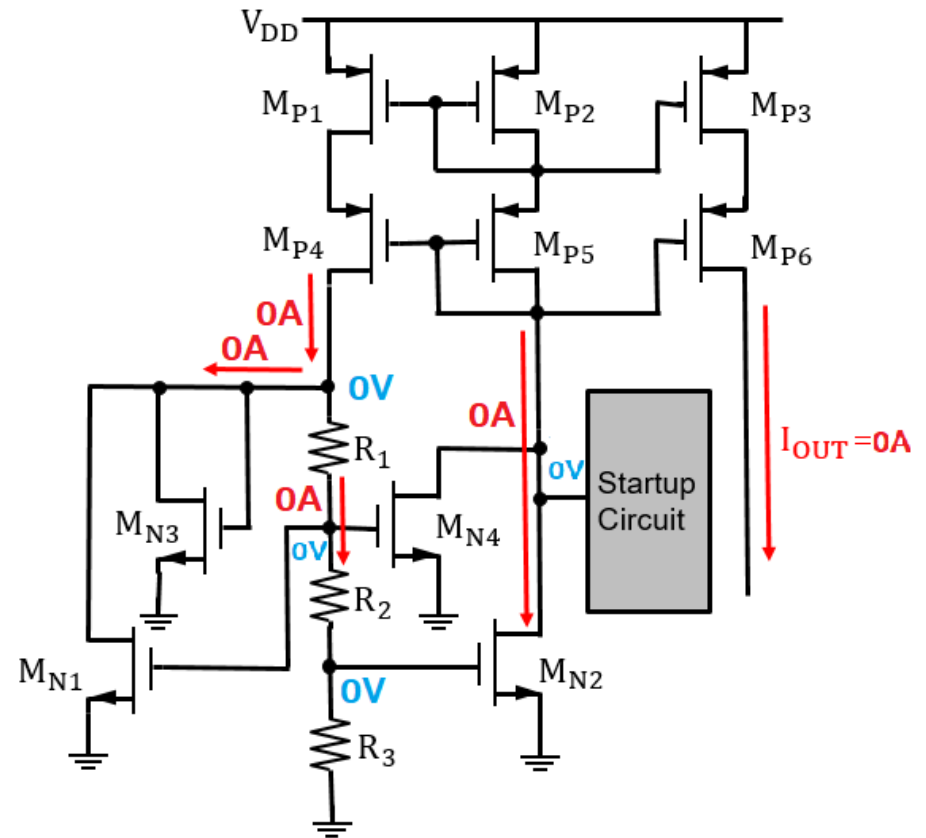
OUTLINE

- 研究目的
- MOS FET の温度特性
- 自己バイアスを用いた、
温度に依存しないMOS定電流源回路提案
- シミュレーションによる提案回路の動作と安定性検証
- まとめ

提案回路の2種類の状態



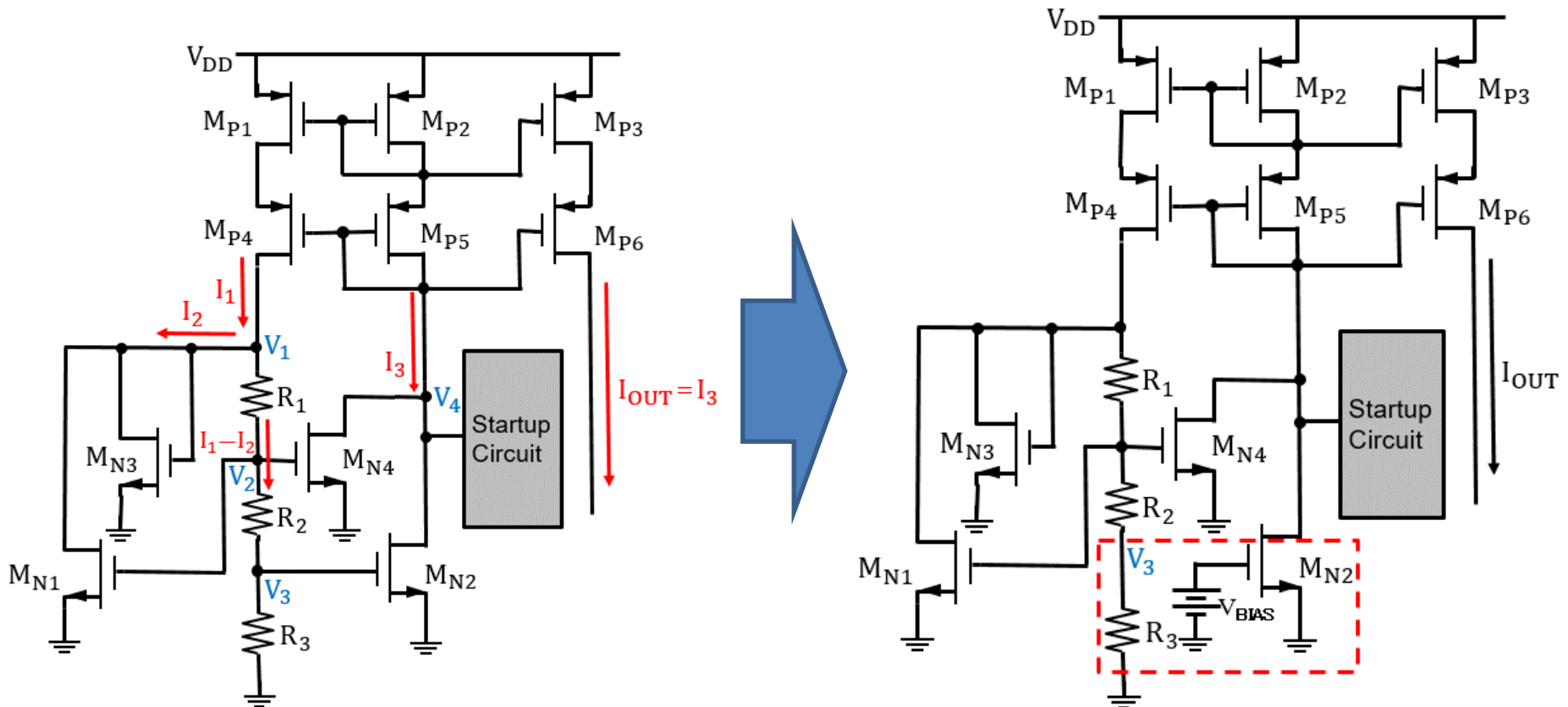
電流が流れる状態



今回

回路に電流が安定して流れるための
条件を調べる

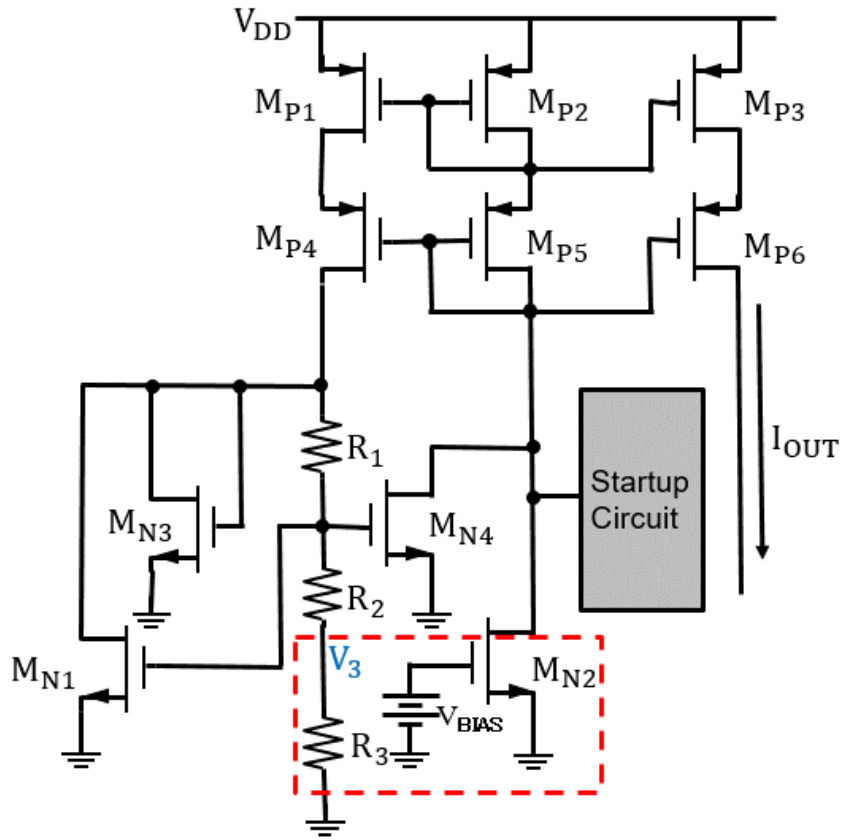
フィードバックループ切断



閉ループ切断、図9に回路変更

V_{BIAS} と V_3 の差 ($V_{BIAS} - V_3$) を調べる

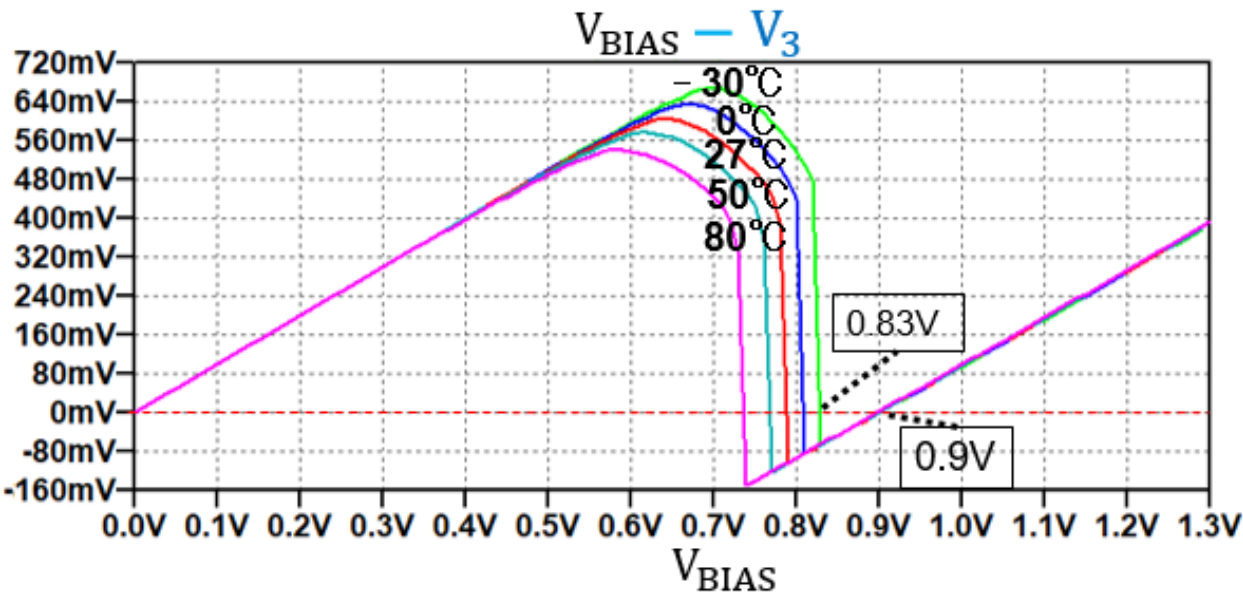
$R_1 = 5.0\text{k}\Omega$ でシミュレーション



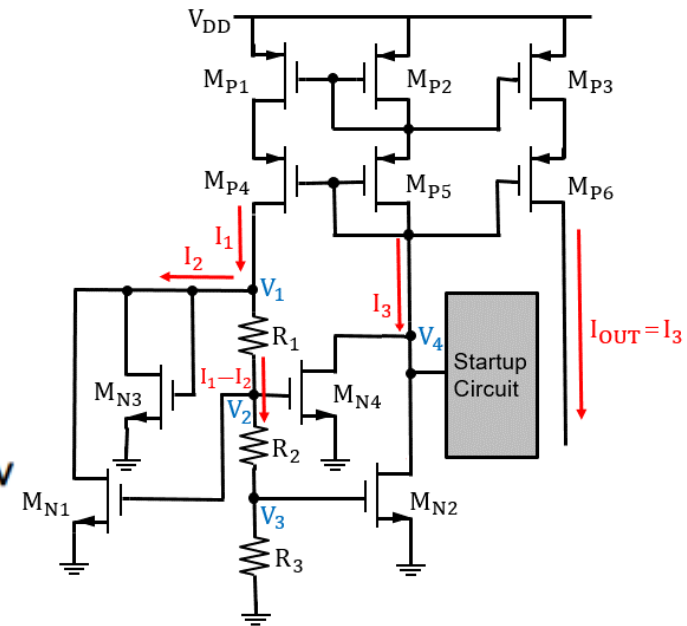
シミュレーション条件

Parameter	Value
$M_{P1} \sim M_{P6}$	W=800 um, L=2.0 um
M_{N1}, M_{N3}	W=0.1 um, L=2.0 um
M_{N2}	W=200 um, L=2.0 um
M_{N4}	W=20 um, L=2.0 um
R_1	5.0 kΩ
R_2	1.61 k Ω
R_3	1.5 k Ω
V_{DD}	5.0 V

提案回路における動作



V_{BIAS} と V_3 の差 ($V_{BIAS} - V_3$)



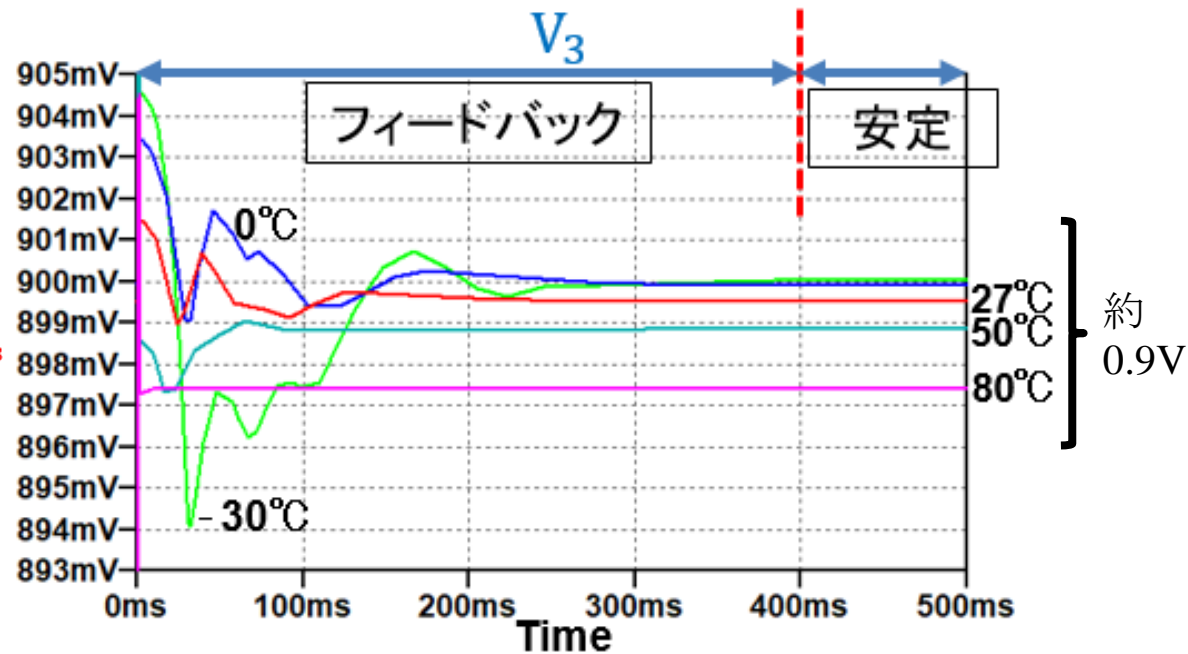
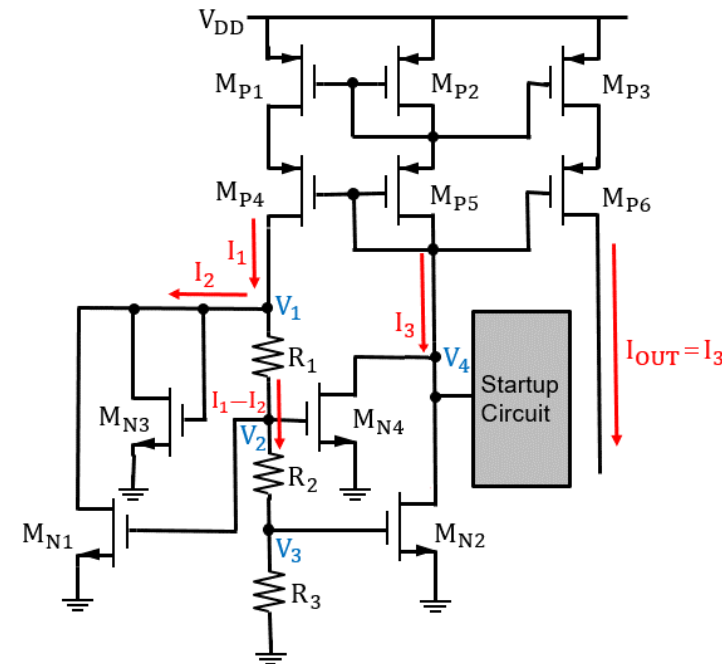
例: -30°C のとき

$V_{BIAS} - V_3$ が負 ($V_{BIAS}: 0.83\text{V} \sim 0.9\text{V}$): V_3 が M_{N2} のゲート電圧 \uparrow

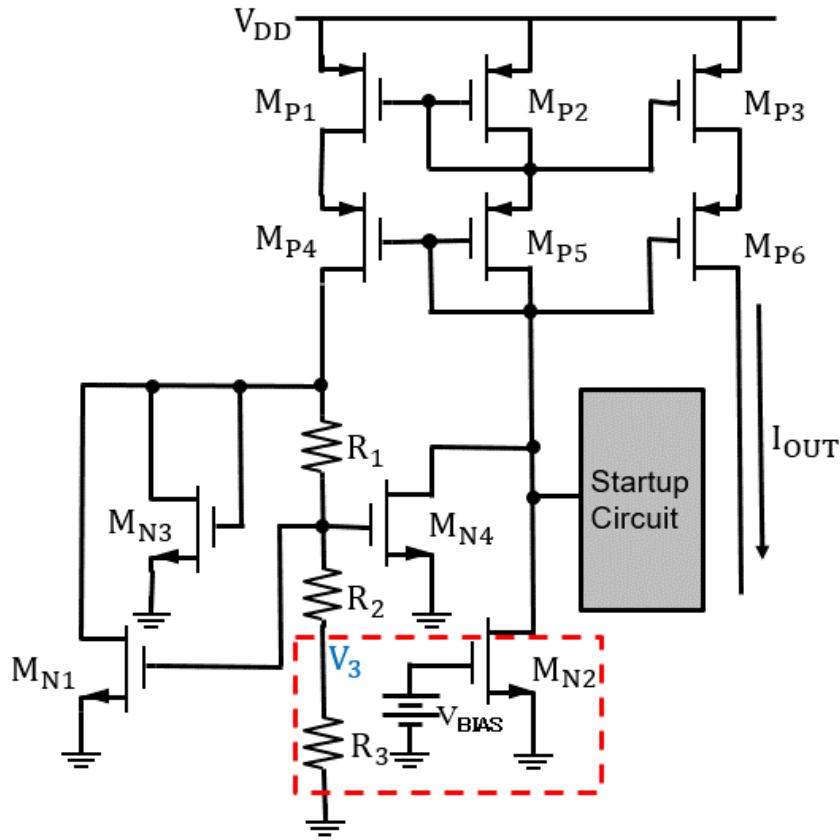
$V_{BIAS} - V_3$ が正 ($V_{BIAS}: 0.9\text{V}$ 以上) : V_3 が M_{N2} のゲート電圧 \downarrow

(提案回路において)

V_3 のフィードバック過程



R_1 の抵抗値変更



シミュレーション条件

Parameter	Value
$M_{P1} \sim M_{P6}$	W=800 um, L=2.0 um
M_{N1}, M_{N3}	W=0.1 um, L=2.0 um
M_{N2}	W=200 um, L=2.0 um
M_{N4}	W=20 um, L=2.0 um
R_1	7.5k Ω 、7.0k Ω 、6.5k Ω 、6.0k Ω
R_2	1.61 k Ω
R_3	1.5 k Ω
V_{DD}	5.0 V

$R_1 = 7.5\text{k}\Omega$ 、 $7.0\text{k}\Omega$ 、 $6.5\text{k}\Omega$ 、 $6.0\text{k}\Omega$
でそれぞれシミュレーション

$R_1 = 7.5k\Omega$ 、 $7.0k\Omega$ 、 $6.5k\Omega$ 、 $6.0k\Omega$ のとき

R_1

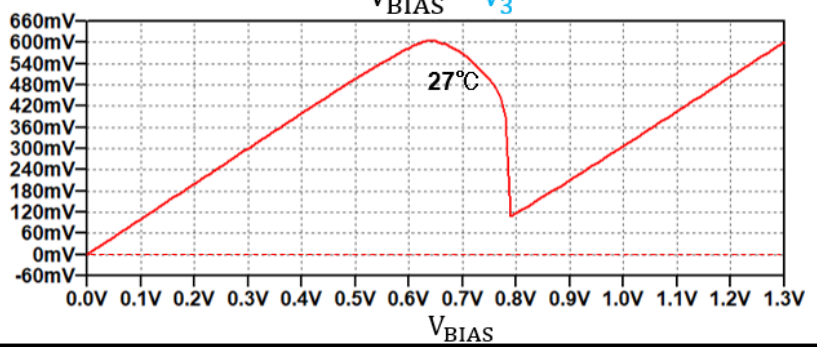
V_{BIAS} と V_3 の大きさの関係

同条件で提案回路に電流が流れるか

7.5kΩ
7.0kΩ
6.5kΩ

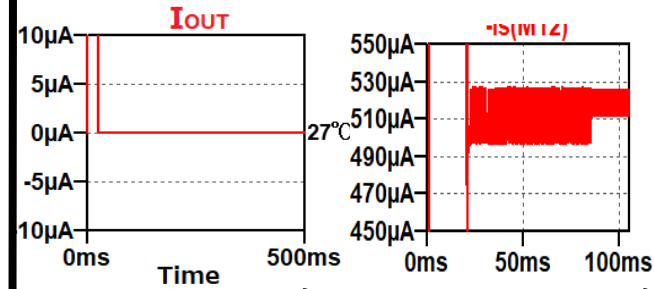
$V_{BIAS} - V_3$ が常に正 (逆転しない)

例: $R_1 = 7.5k\Omega$ 時



流れない ($7.5k\Omega$ 、 $7.0k\Omega$)
または不安定 ($6.5k\Omega$)

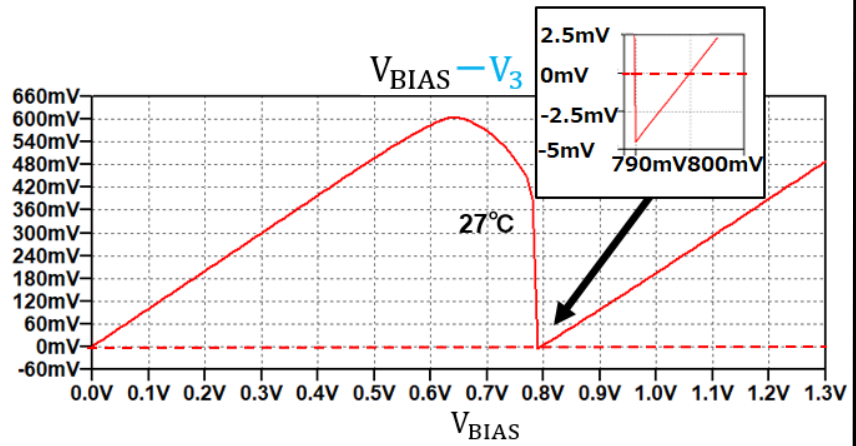
例:



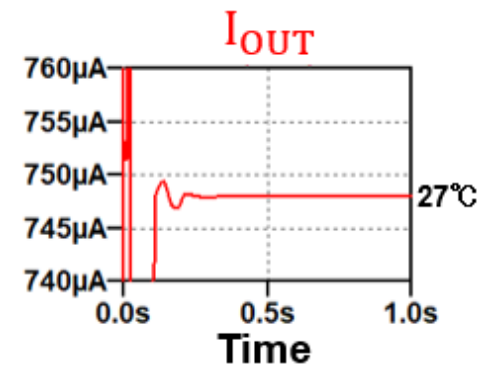
$R_1 = 7.5k\Omega$ 時 $R_1 = 6.5k\Omega$ 時

6.0kΩ

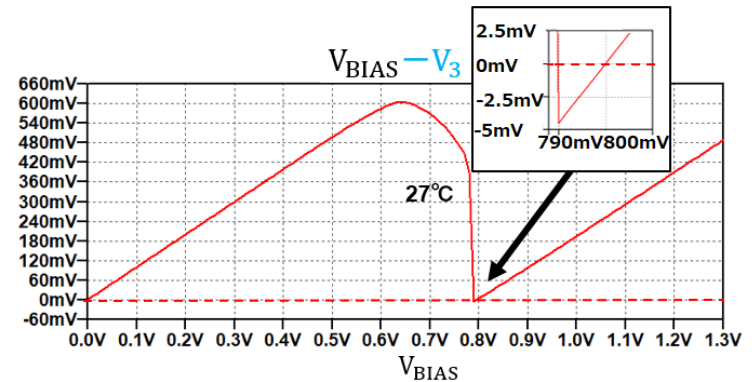
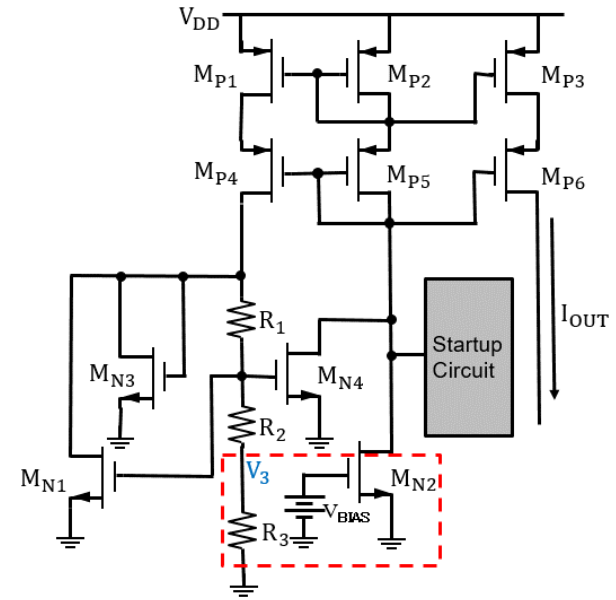
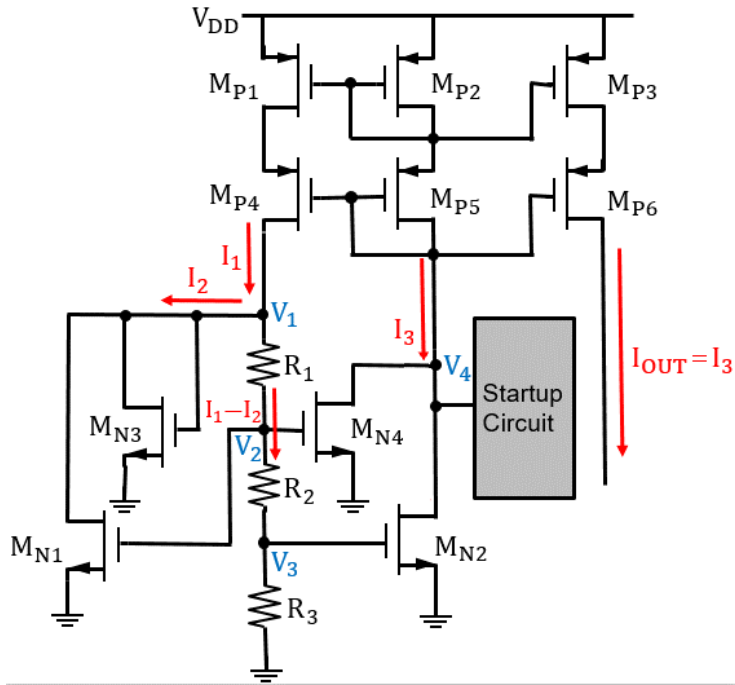
V_{BIAS} と V_3 の大きさが2回逆転



流れる



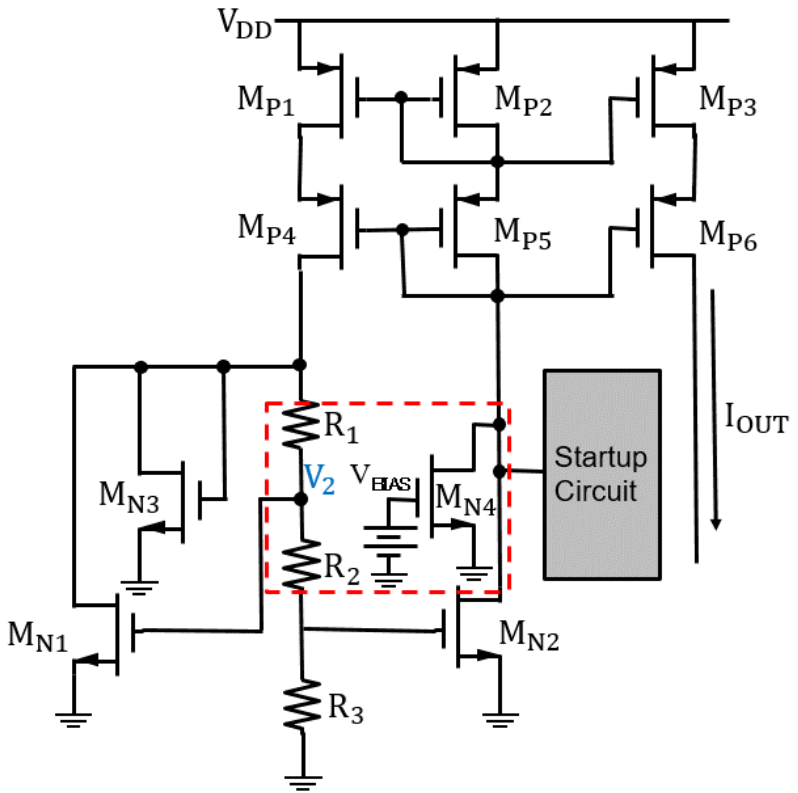
提案回路の安定条件



DC 解析 V_{BIAS}

V_{BIAS} と V_3 の大きさが2回逆転 \Rightarrow 回路安定

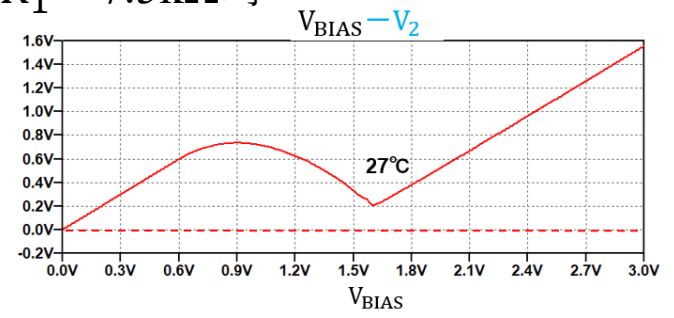
提案回路のM_{N4}のゲートを切った場合



R₁ = 7.5kΩ, 7.0kΩ, 6.5kΩ時

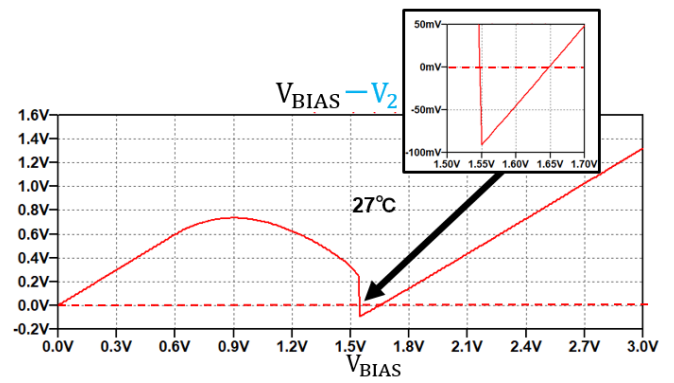
V_{BIAS} - V₂が常に正(逆転しない)

例: R₁ = 7.5kΩ時



R₁ = 6.0kΩ時

V_{BIAS} と V₂の大きさが2回逆転



OUTLINE

- 研究目的
- MOS FET の温度特性
- 自己バイアスを用いた、
温度に依存しないMOS定電流源回路提案
- シミュレーションによる提案回路の動作と安定性検証
- まとめ

まとめ

- まとめ
 - 自己バイアスを用いることにより、提案回路においてMOS FETの温度特性をキャンセルできることを確認した。
 - LTspiceシミュレーションによって提案回路の動作と安定して動作する条件について検証を行った。
- 今後の課題
 - 電源電圧の変動の影響を調べる。

参考文献

- [1] 上野憲一 廣瀬哲也 浅井哲也 雨宮好仁 「MOSFETのしきい値電圧を参照した基準電圧源回路」, 電子情報通信学会技術研究報告ICD (2007年7月).
- [2] T. Abe, H. Tanimoto, S. Yoshizawa, "A Simple Current Reference with Low Sensitivity to Supply Voltage and Temperature", 24th International Conference "Mixed Design of Integrated Circuits and Systems, Bydgoszcz, Poland (Aug. 2017)
- [3] C. Yoo, J. Park, "CMOS current reference with supply and temperature compensation", Electronics Letters, Vol.43, Issue.25 pp. 1422 - 1424 (Dec. 2007)
- [4] R. J. Baker, CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation, Third Edition, Wiley (July, 2010).
- [5] 井田貴士, 築地伸和, 小林春夫 「温度変動に依存しない MOS 定電流源の検討」, 第 8 回 電気学会東京支部 栃木・群馬支所 合同研究発表会, (2018年3月).
- [6] S. Yamamoto, I. E. Kuswan, Y. Abe, T. Ida, Y. Shibasaki, A. Kuwana, H. Kobayashi, A. Suzuki, Y. Todoroki, T. Kakinoki, N. Ono, K. Miura, "Stability Analysis of Temperature-Insensitive MOS Reference Current Source Circuit" 5th Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems (TJCAS2019), Nikko, Tochigi, Japan (Aug. 2019)

研究実績

[1] Souma Yamamoto, Isam Ebisawa kuswan, Yudai Abe, Takashi Ida, Yukiko Shibasaki, Anna Kuwana, Haruo Kobayashi (Gunma Univ.), Akira Suzuki, Yukichi Todoroki, Toshihiko Kakigi, Nobuto Ono, Kazuhiro Miura (JEDAT)

"Stability Analysis of Temperature-Insensitive MOS Reference Current Source Circuit"

5th Taiwan and Japan Conference on Circuits and Systems (TJCAS 2019 at Nikko) ,Nikko, Tochigi, Japan, August 19-21, 2019 Poster Presentation

[2] 山本颯馬, Isam Ebisawa Kuswan, 阿部優大, 柴崎有祈子, 井田貴士, 築地伸和, 桑名杏奈, 小林春夫, 鈴木彰, 轟祐吉, 柿木利彦, 小野信任, 三浦一広
「温度に依存しないMOS定電流源の動作と安定性解析」

電気学会 電子回路研究会, ECT-019-114, 日本大学 理工学部
駿河台校舎タワー・スコラ (2019年12月19日)

MOS FETのパラメータ

*

* Long channel models from CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation,

* Level=3 models VDD=5V, see CMOSedu.com

*

```
.MODEL N_1u NMOS LEVEL = 3
+ TOX = 200E-10      NSUB = 1E17      GAMMA = 0.5
+ PHI = 0.7          VTO = 0.60      DELTA = 3.0
+ UO = 650           ETA = 3.0E-6     THETA = 0.1
+ KP = 120E-6        VMAX = 1E5       KAPPA = 0.3
+ RSH = 0            NFS = 1E12       TPG = 1
+ XJ = 500E-9        LD = 100E-9
+ CGDO = 200E-12     CGSO = 200E-12     CGBO = 1E-10
+ CJ = 400E-6        PB = 1          MJ = 0.5
+ CJSW = 300E-12    MJSW = 0.5
```

```
.MODEL P_1u PMOS LEVEL = 3
+ TOX = 200E-10      NSUB = 1E17      GAMMA = 0.6
+ PHI = 0.7          VTO = -0.6     DELTA = 0.1
+ UO = 250           ETA = 0          THETA = 0.1
+ KP = 40E-6         VMAX = 5E4       KAPPA = 1
+ RSH = 0            NFS = 1E12       TPG = -1
+ XJ = 500E-9        LD = 100E-9
+ CGDO = 200E-12     CGSO = 200E-12     CGBO = 1E-10
+ CJ = 400E-6        PB = 1          MJ = 0.5
+ CJSW = 300E-12    MJSW = 0.5
```

受けた質問・回答

Q.この提案回路は、安定ではない場合、
 どのような状態なのか。

A.流れる電流が不安定になる。また、スタートアップ後に流れない状態は安定状態であるが、回路の動作としては望ましくない。

Q.シミュレーションではMOSのモデルは
 0.25 μm のプロセスを使っているという
 ことだが、提案回路では $W=0.1\mu\text{m}$ のMOS
 が使われており、このプロセスを下回っ
 ているので再検討した方がよい。

A.検討いたします。

Q. V_3 の値が200msくらいまで変動しているが、
 変動している時間の長さは問題ないのか。
 デジタルシステムでは0.2秒は長いので問題
 が生じる可能性があるのではないのか。

A.考慮していませんでした。影響含め今後
 検討いたします。

