

# 温度不感型MOS定電流源と スタートアップ回路の研究

群馬大学工学部電子情報理工学科  
情報通信システム第2 小林研究室  
学部4年 Isam Ebisawa Kuswan

# Outline

---

- 研究背景
- 温度不感型MOS定電流源
- スタートアップ回路
- まとめ

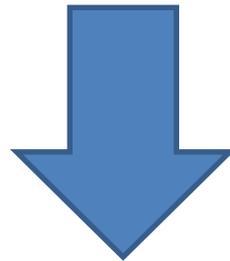
# Outline

---

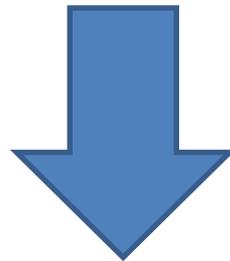
- 研究背景
- 温度不感型MOS定電流源
- スタートアップ回路
- まとめ

# IoT 時代 と電子機器の増加

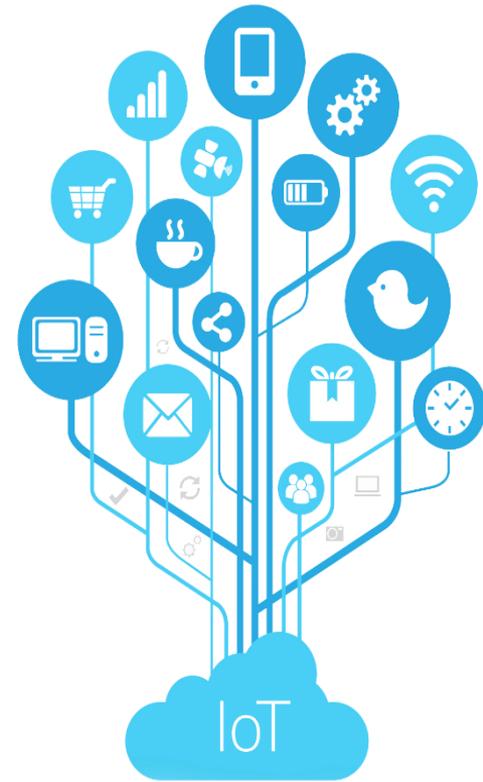
IoT (Internet of Things)



電子機器の需要が増加

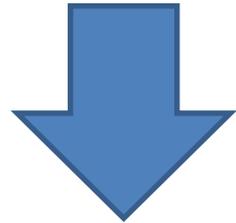


電子機器の信頼性の要求が高まる



# 電子回路における信頼性問題

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



基準電流源



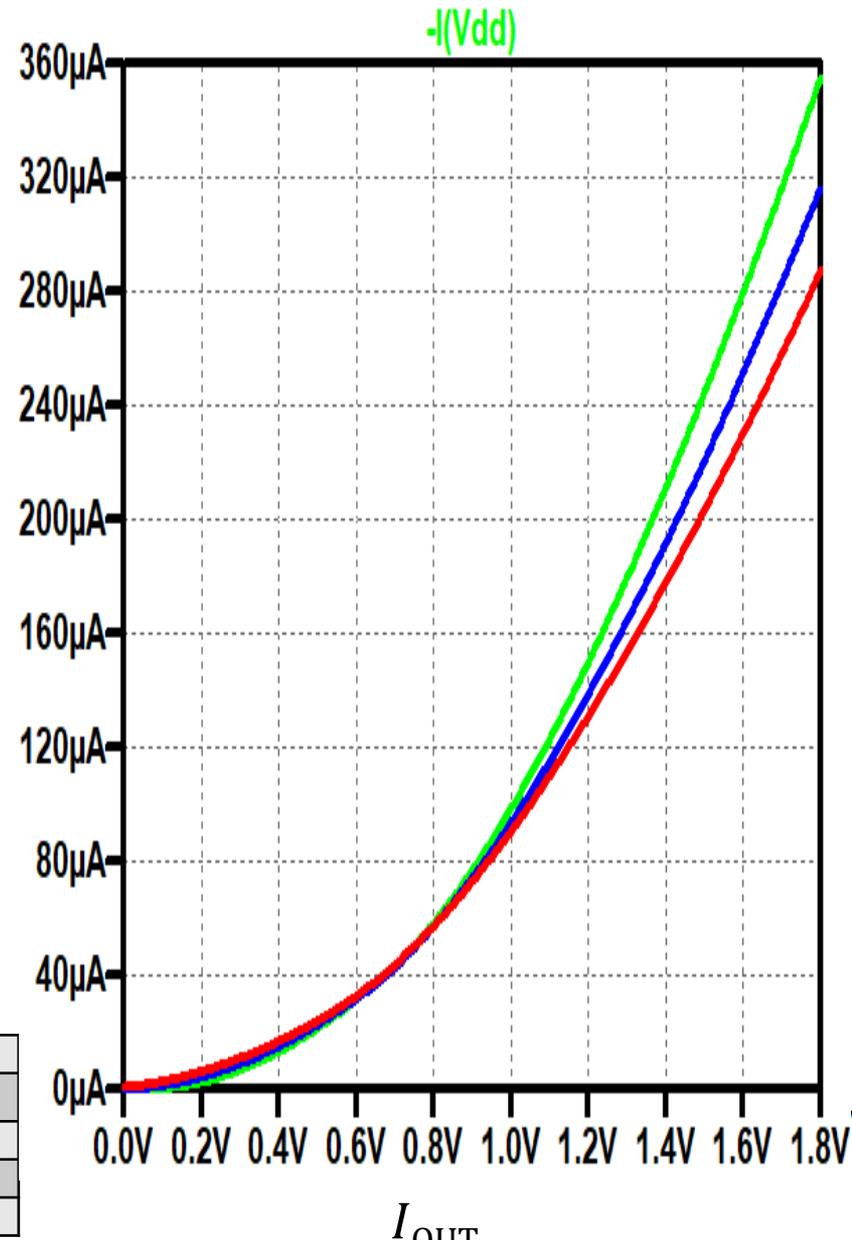
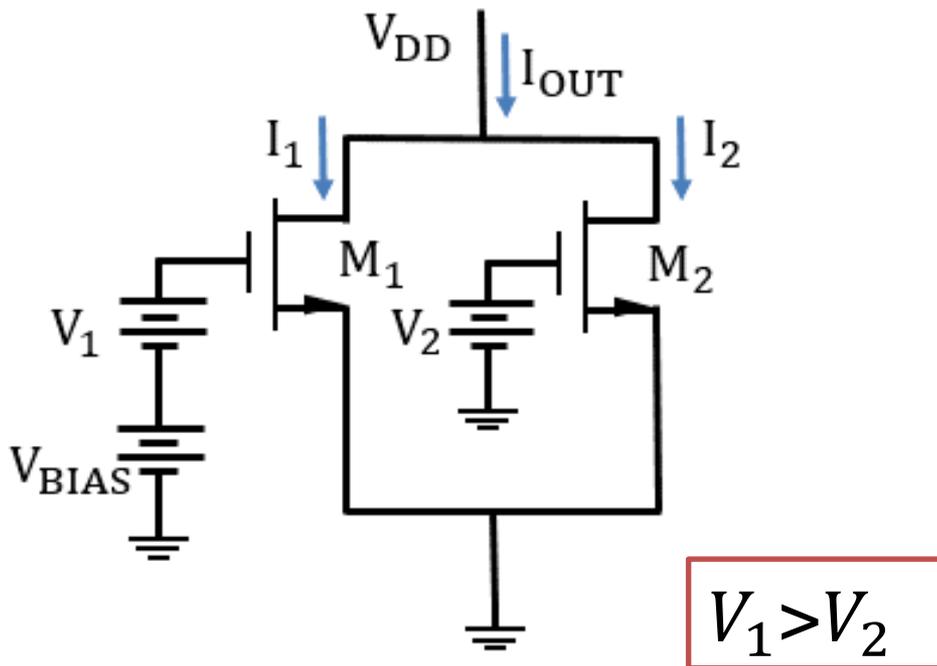
# Outline

---

- 研究背景
- 温度不感型MOS定電流源
- スタートアップ回路
- まとめ

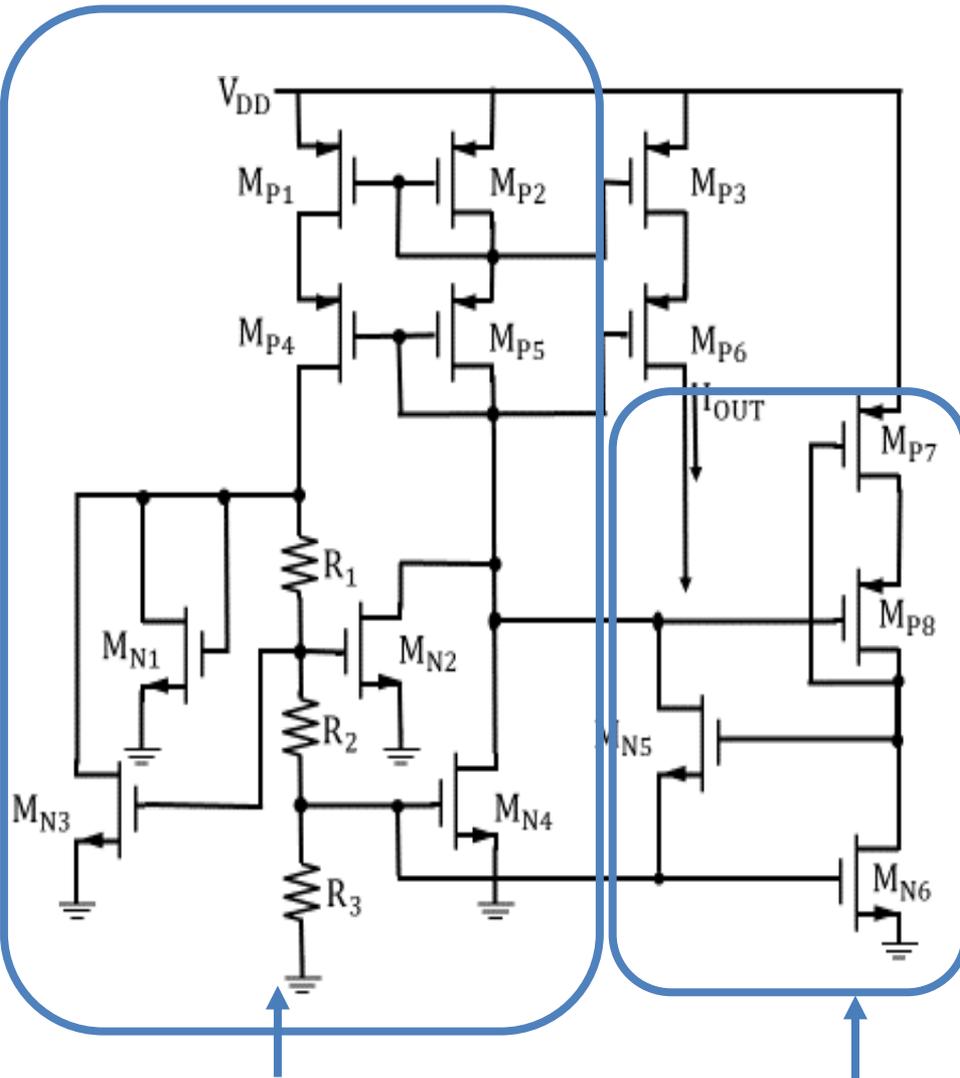
# 回路コンセプト

並列接続している2つのNMOSFETsに異なるゲート電圧を加える



Parameter	Value
$V_1, V_2$	0~1.8[V]
$V_{BIAS}$	0.6[V]
$V_{DD}$	5.0[V]
$M_1, M_2$	$W = 4 [\mu m], L = 2 [\mu m]$

# 提案回路



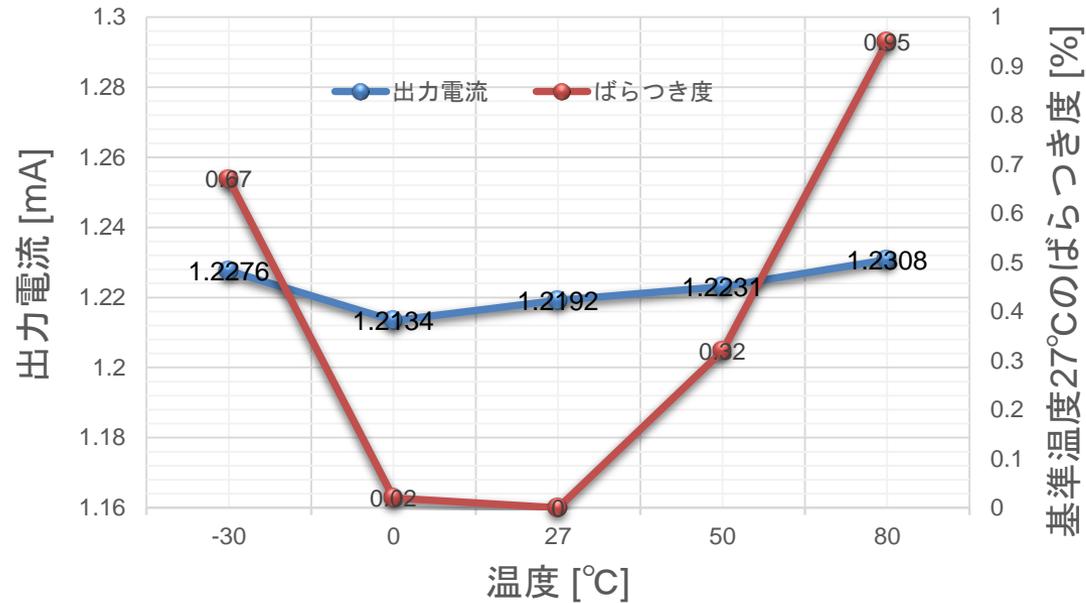
温度不感MOS定電流源

スタートアップ回路

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

# Simulation results

## シミュレーション結果



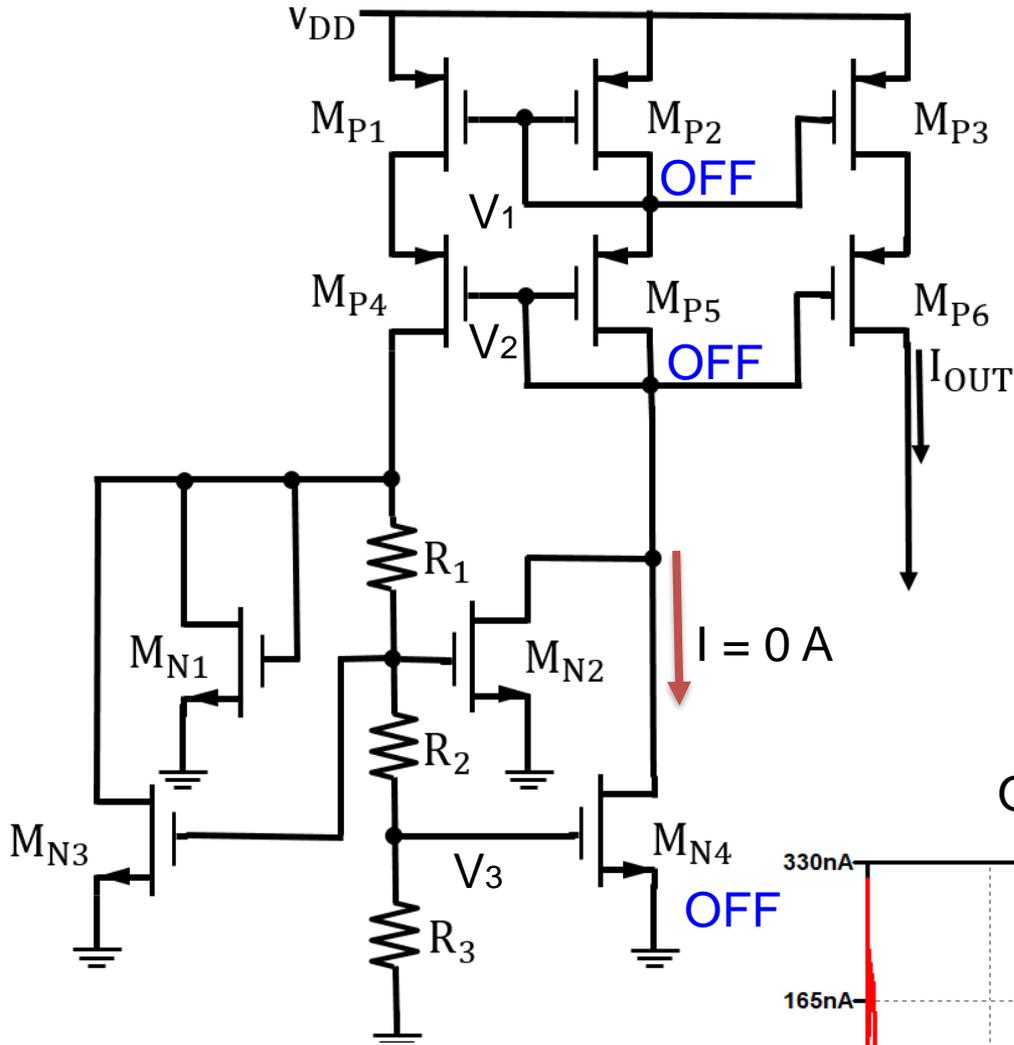
温度 [°C]	出力電流[mA]	バラツキ度[%]
-30	1.2276	0.687
0	1.2194	0.017
27	1.2192	0
50	1.2231	0.319
80	1.2308	0.953

# Outline

---

- 研究背景
- 回路のコンセプト
- 温度不感型MOS定電流源
- **スタートアップ回路**
- まとめ

# スタートアップ回路の必要性



$$V_1, V_2 \doteq V_{DD}$$

$$V_3 \doteq 0 V$$

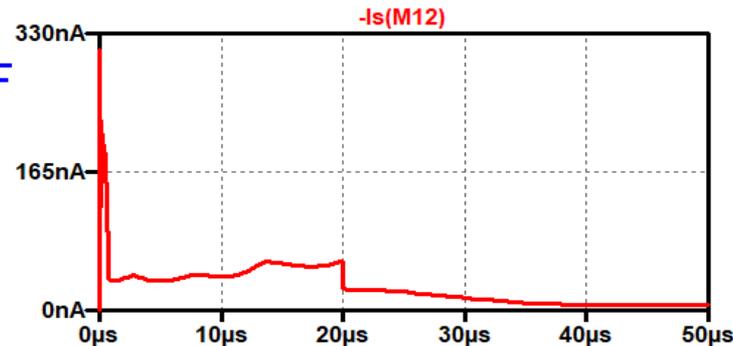


回路は起動しない



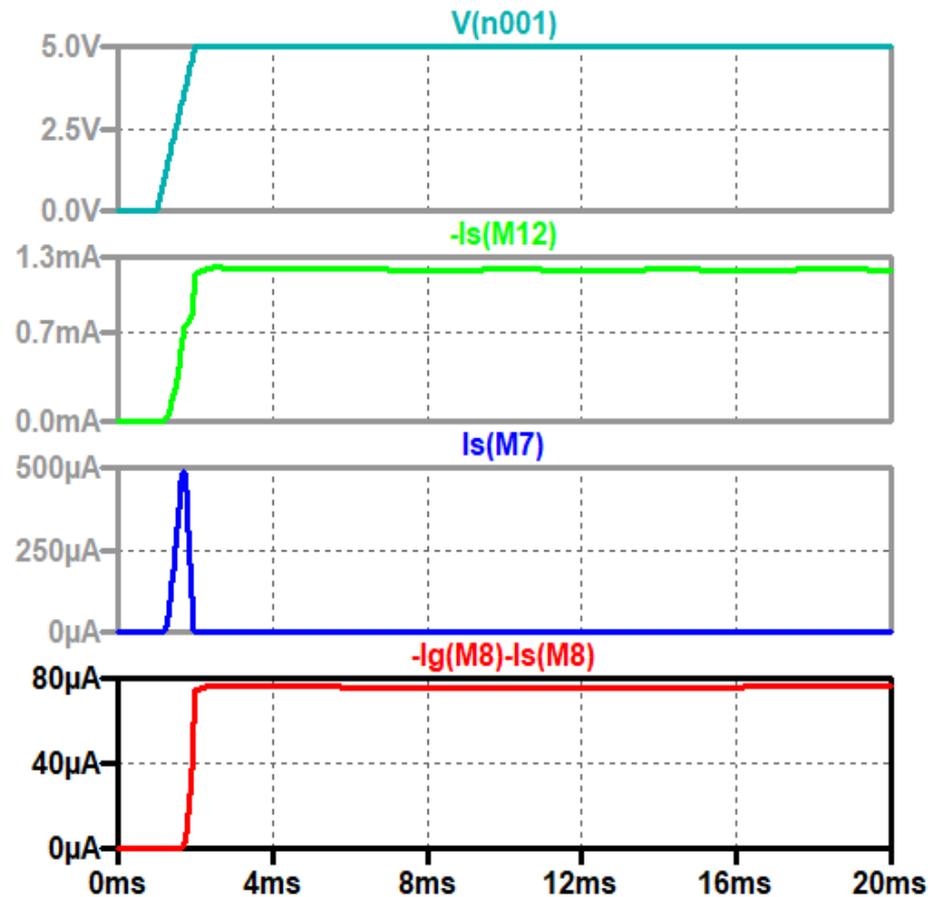
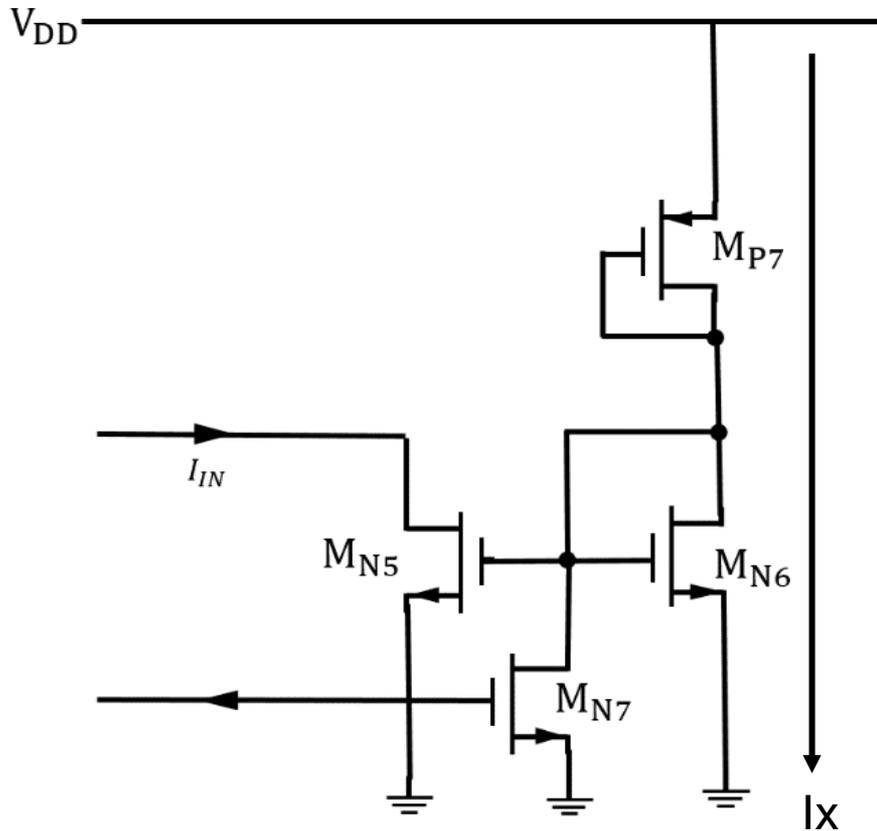
スタートアップ回路が必要

Output current



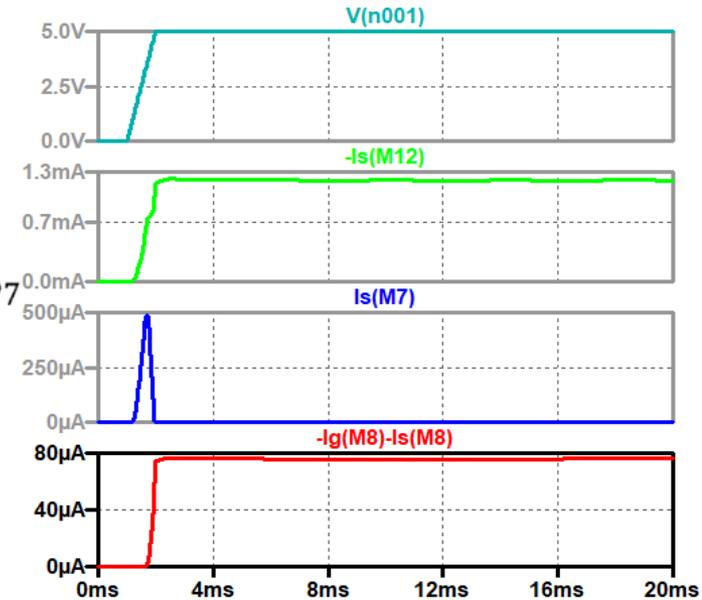
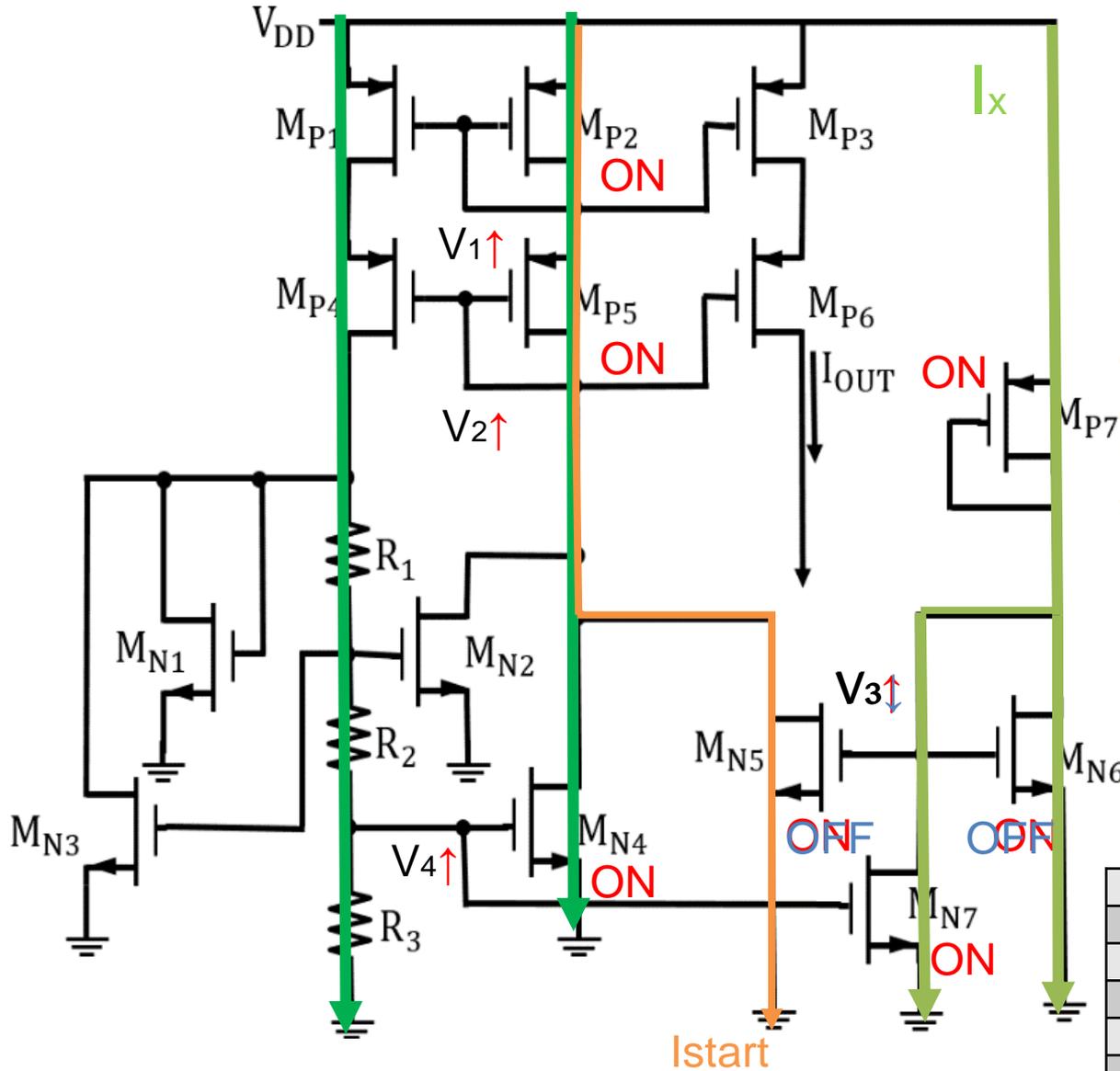
$$I_{OUT} \doteq 0 A$$

# スタートアップ回路1



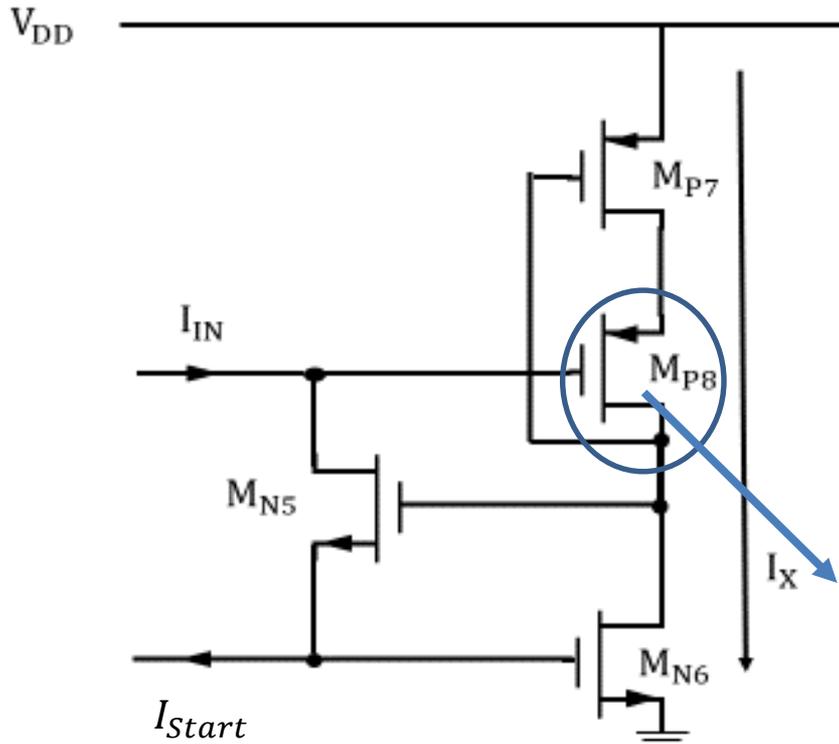
Parameter	Value
$M_{P7}$	$W = 1 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$M_{N5}$	$W = 4 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$M_{N6}$	$W = 0.1 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$M_{N7}$	$W = 30 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$V_{DD}$	5 [V]

# スタートアップ回路1の回路図

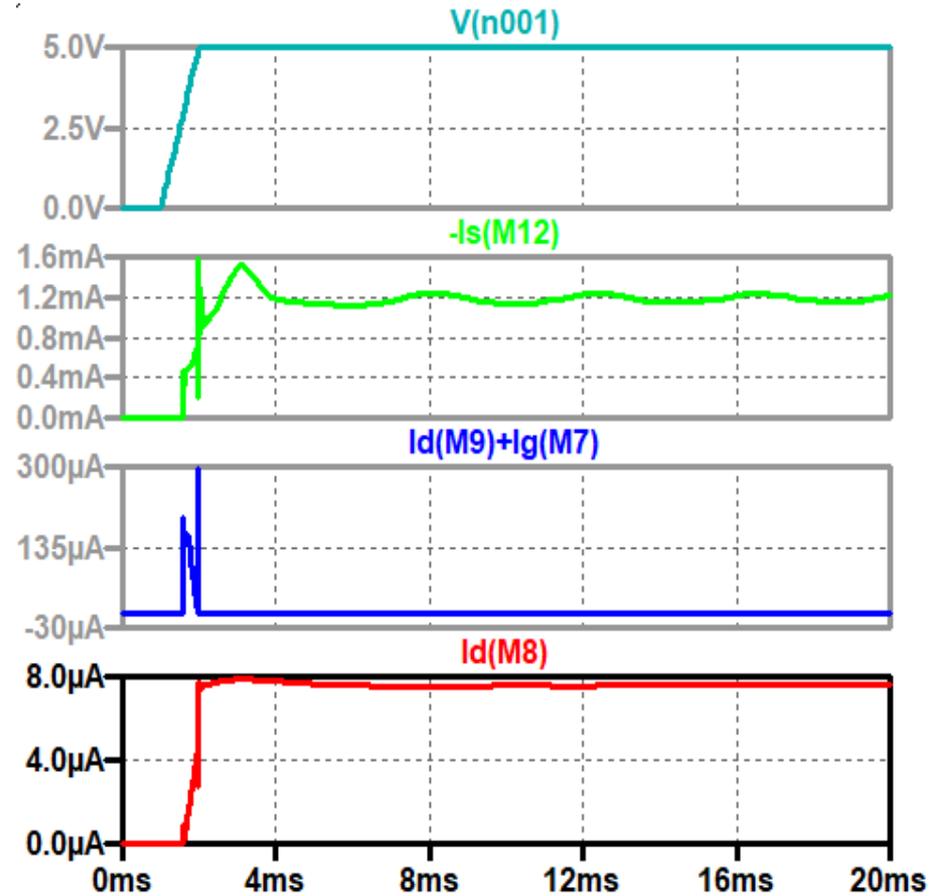


Parameter	Value
$M_{P7}$	$W = 1 [\mu\text{m}], L = 2 [\mu\text{m}]$
$M_{N5}$	$W = 4[\mu\text{m}], L = 2 [\mu\text{m}]$
$M_{N6}$	$W = 0.5[\mu\text{m}], L = 2 [\mu\text{m}]$
$M_{N7}$	$W = 30 [\mu\text{m}], L = 2 [\mu\text{m}]$
$V_{DD}$	5 [V]

# スタートアップ回路2

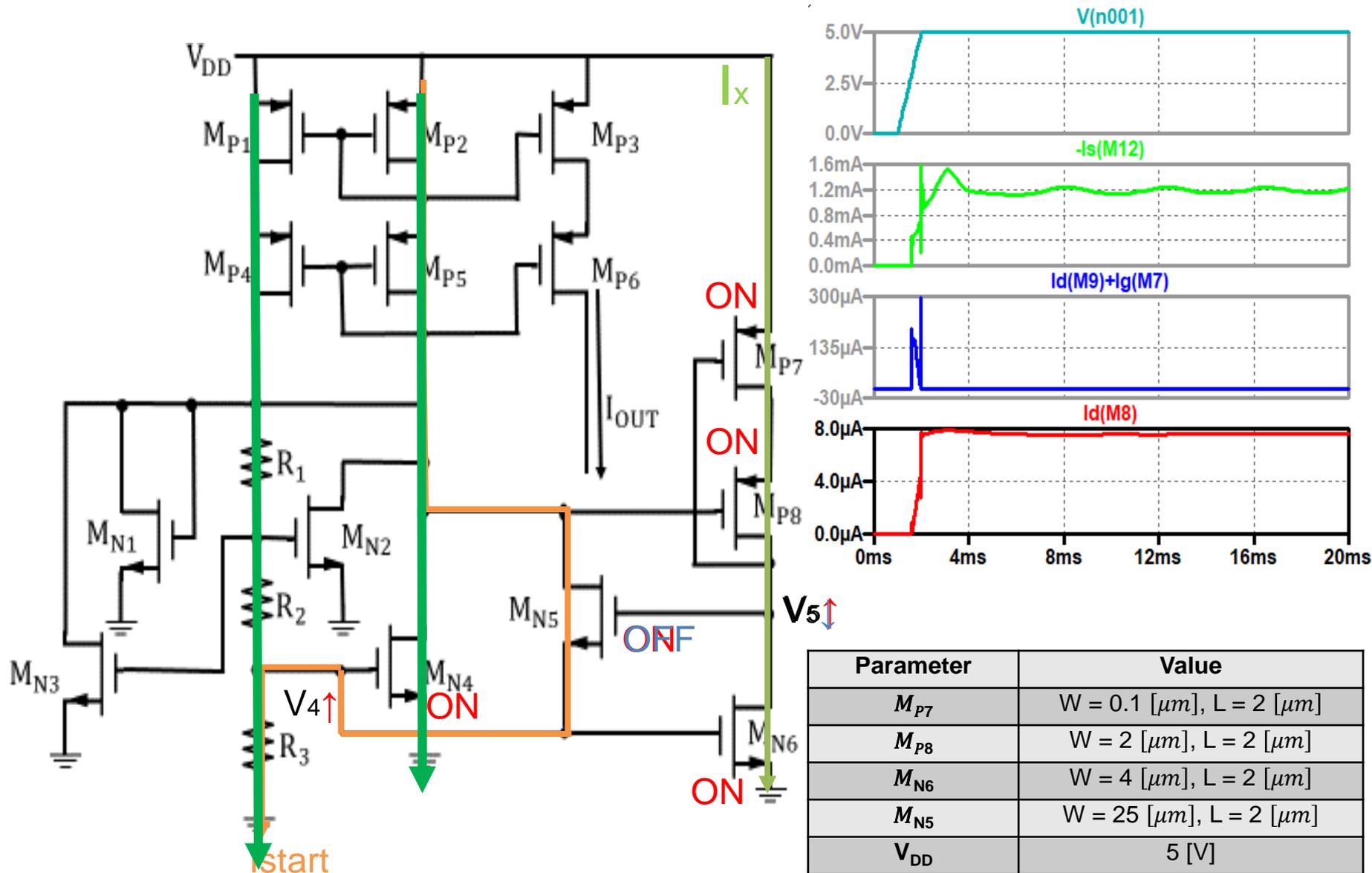


動作電流制限素子

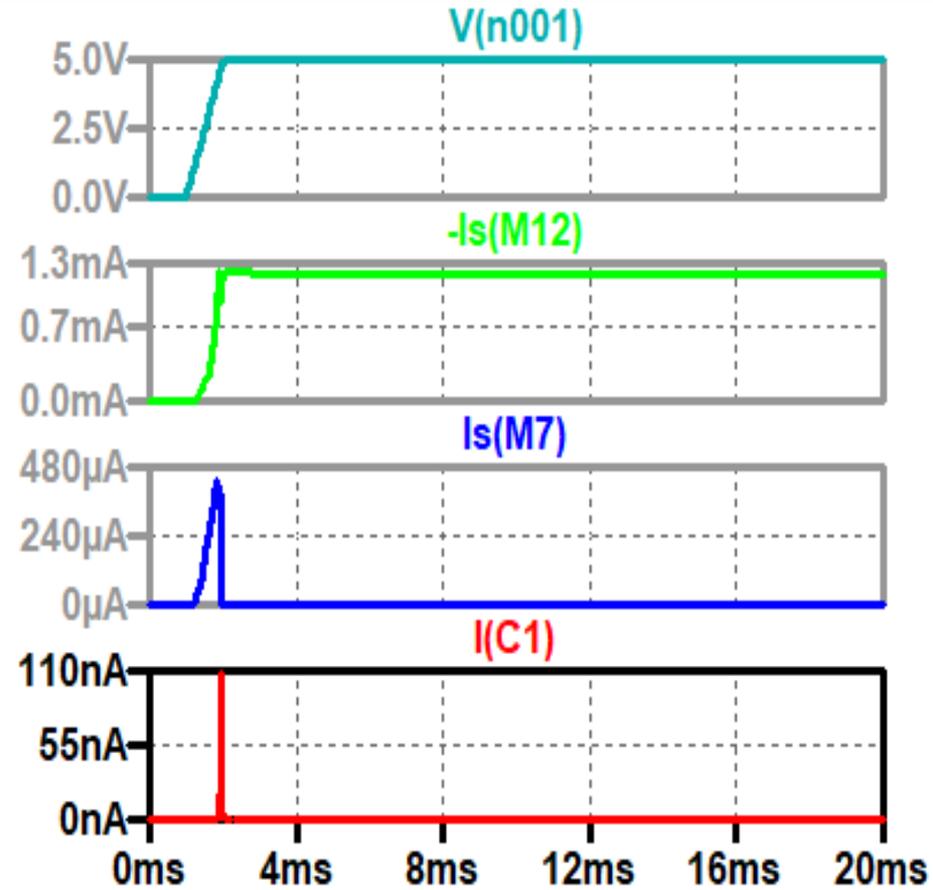
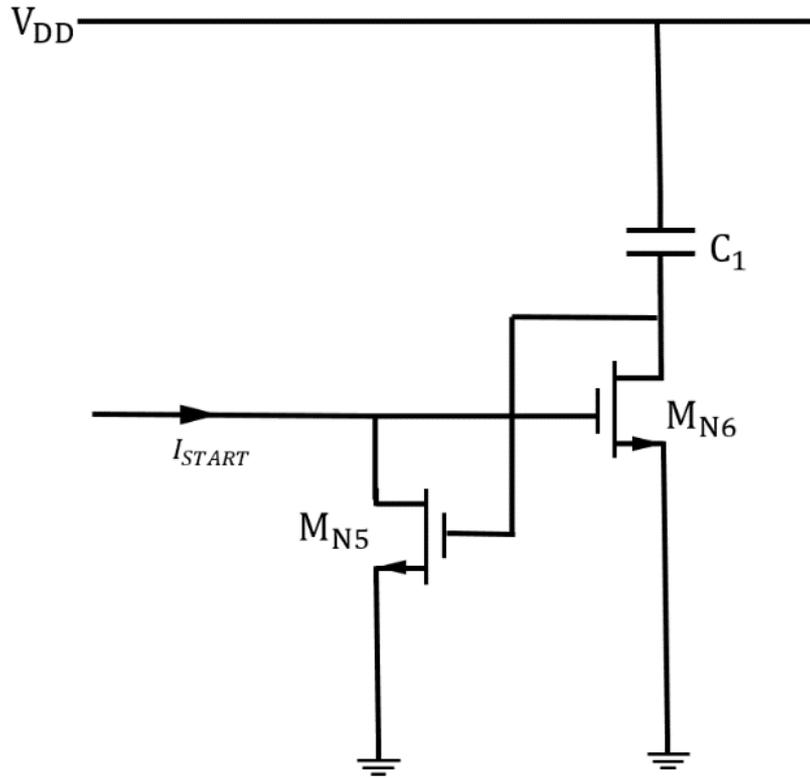


Parameter	Value
$M_{P7}$	$W = 0.1 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$M_{P8}$	$W = 2 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$M_{N6}$	$W = 4 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$M_{N5}$	$W = 25 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$V_{DD}$	5 [V]

# スタートアップ回路2

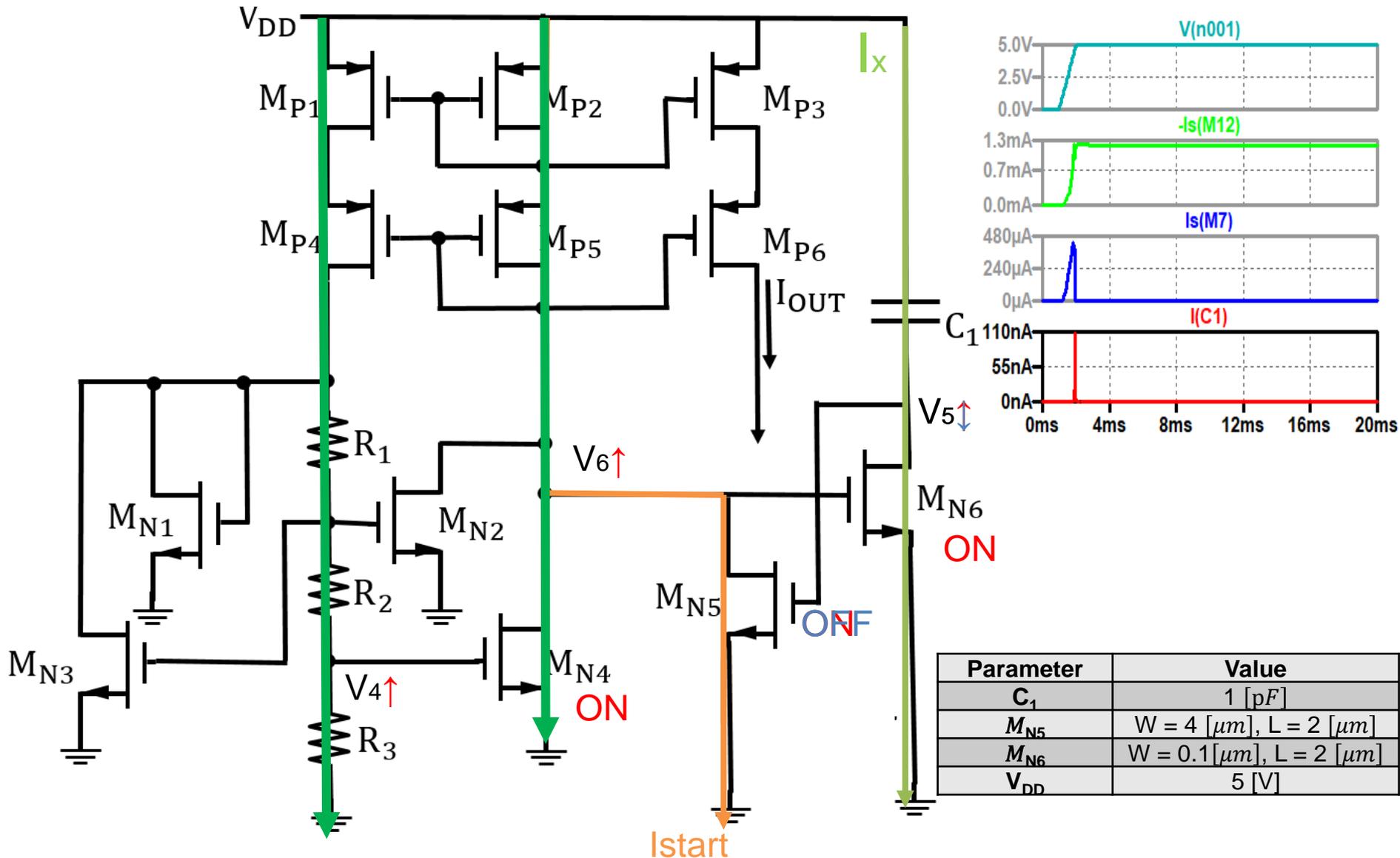


# スタートアップ回路3



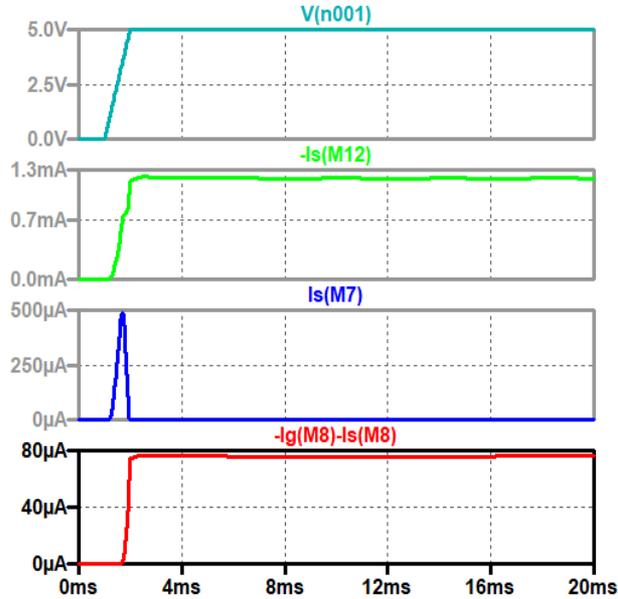
Parameter	Value
$C_1$	1 [pF]
$M_{N5}$	$W = 4 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$M_{N6}$	$W = 0.1 [\mu m], L = 2 [\mu m]$
$V_{DD}$	5 [V]

# スタートアップ回路3の回路図

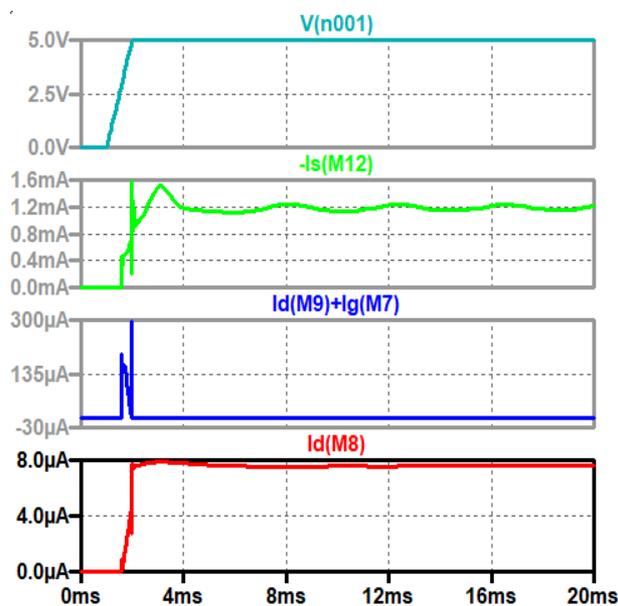


# それぞれのスタートアップ回路の比較

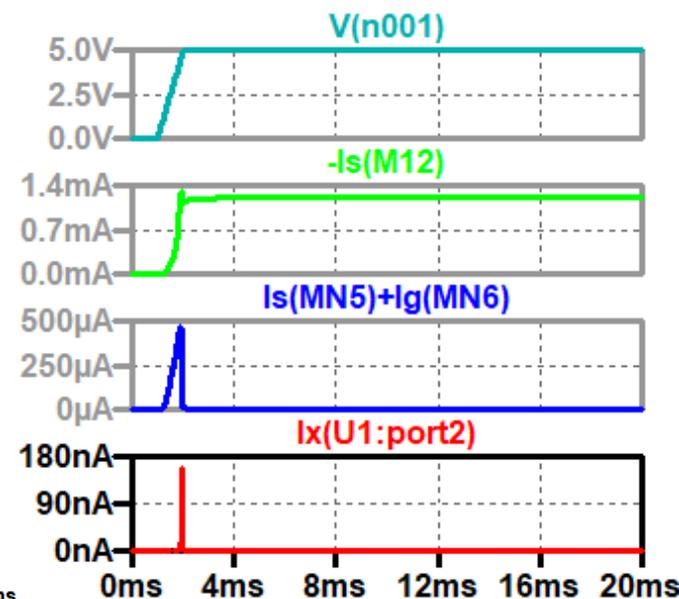
27°Cの時



スタートアップ回路1



スタートアップ回路2



スタートアップ回路3

スタートアップ回路の種類	スタートアップ回路1	スタートアップ回路2	スタートアップ回路3
消費電力	Fair	Good	Excellent

# Outline

---

- 研究背景
- 回路のコンセプト
- 温度不感型MOS定電流源
- スタートアップ回路
- **まとめ**

# Conclusion

- 温度不感型MOS定電流とそのスタートアップ回路を示した。
- スタートアップ回路にコンデンサーを用いることで動作電流を減らし消費電力を抑えることを示した。
- MOSや抵抗のサイズ値をうまく設定することで温度不感性を達成することができた

# References

- [1] K Ueno, T. Hirose, T. Asai, Y. Amemiya, “CMOS Voltage Reference Based on Threshold Voltage of a MOSFET”, ***International Conference on Solid-State Devices and Materials***, Tsukuba (2007).
- [2] C. Yoo, J. Park “CMOS Current Reference with Supply and Temperature Compensation”, ***Electronics Letters***, vol. 43, no.25, pp.1422-1424 (Dec. 2007).
- [3] H. Ikeda, K. Takakubo, H. Takakubo, “Drain Current Zero-Temperature-Coefficient Point for CMOS Temperature Voltage Converter Operating in Strong Inversion”, ***IEICE Trans. Fundamentals***, Vol. E87-A, No. 2, pp.370-275 (Feb. 2004).
- [4] T. Kajita, Startup Circuit U.S. Patent No. 9,960,762
- [5] T.Ida, “High performance time digital and temperature insensitive MOS constant current source”, Gunma University, 2018, Master’s thesis
- [6] ON Semiconductor’s 0.25 $\mu$ m BCD process technology  
(<https://www.onsemi.jp/PowerSolutions/content.do?id=16683>)
- [7] R. JACOB BAKER “CMOS Circuit Design, Layout, and Simulation, Third Edition”  
([http://cmosedu.com/cmos1/cmosedu\\_models.txt](http://cmosedu.com/cmos1/cmosedu_models.txt))
- [8] Q.A.Khan, S.K.Wadhwa, K.Misri, “Low Power Startup Circuit for Voltage and Current Reference with Zero Stady State Current”, ***International Symposium on Low Power Electronics and Design***, Seoul (2003).
- [9] 村田製作所 コンデンサーGCH1555C1H1R0CE01  
(<https://psearch.jp.murata.com/capacitor/product/GCH1555C1H1R0CE01%23.html>)

# 研究業績

- 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"
- [Isam Ebisawa Kuswan](#), Souma Yamamoto, Yudai Abe, Takashi Ida, Yukiko Shibasaki, Anna Kuwana, Haruo Kobayashi (Gunma Univ.), Akira Suzuki, Yukichi Todoroki, Toshihiko Kakinoki, Nobuto Ono, Kazuhiro Miura (JEDAT)  
"Temperature-Insensitive MOS Reference Current Source Circuit and its Startup Circuit"
- 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定電流源の安定性解析とスタートアップ回路」  
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)

# Q&A

Q: コンデンサーを入れて電流をカットするのは自分のアイデアか？

A: いいえ、多くの論文を参考にして今回の回路に合うように変更を加えました

Q: この考え方は他のスタートアップ回路にも適用できるのか？

A: はい、可能だと思います。

Q: 容量の大きさは問題ないのか？

A: 寄生容量を考慮して決めれば大丈夫です。

Q: 村田製作所のコンデンサーモデルには複雑な式が書いてあったのか？

A: はい。LTSPICEに初期搭載されているコンデンサーモデルではシミュレーションできなかったため、今回は村田製作所さんのモデルをお借りしました。

Q: Vddは理想的にパッと立ち上がるものとしてシミュレーションをしているのか？

A: はい。立ち上がり時間を100msとしてシミュレーションを進めています。

Q: 立ち上がり時間に関する依存性はないのか？

A: 立ち上がり時間の依存性については今回調べていませんが、依存性はあると思います。