

弱反転領域で動作する MOSFET を使った BGR 回路の設計

Design of BGR circuit using MOSFET in weak inversion region

1215045 武内 智哉 (大規模集積回路研究室)

(指導教員 橋 昌良 教授)

1. 概要

基準電源回路は安定した電圧供給が求められる。BGR 回路も基準電源回路の一つであり、電源電圧や環境温度の変動に依存しない固定電圧を生成する。設計 BGR 回路が予期せぬタイミングで停止する現象が実測中に確認された。本研究では BGR 回路の回路停止問題を究明することを目標に設計を行った。

本研究で付加されているスタートアップ回路(SU 回路)に回路停止問題の原因があると考え、提案 SU 回路に変更した。提案 SU 回路は本研究 SU 回路より省電力かつ BGR 回路の駆動状況に合わせて動作するため、BGR 回路への影響の抑制が期待される。

2. ダイオードを使用しない BGR 回路

従来の BGR 回路は、ダイオードを用いて温度依存性のない出力を生成する[1]。本研究では、ダイオードの代わりに弱反転領域で動作する MOSFET が使われている。弱反転領域で動作する MOSFET のドレイン電流 I_D は、ゲート-ソース間電圧 V_{GS} の増加に対して指数関数的な増加をするためダイオードの代わりとして使用できる。また、p 型カレントミラーのゲート電位の安定化を図り、MOSFET Capacitor (MC)が付加されている。さらに、SU 回路を付加して、BGR 回路が駆動しない(電流が流れない)状態で安定することを防いでいる。回路図を図 1 に示す。

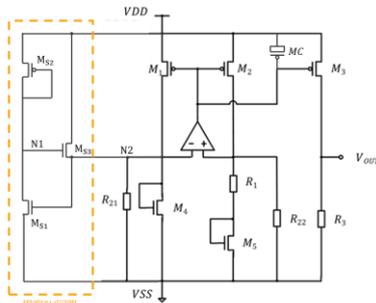


図 1 本研究 BGR 回路

3. 本研究 SU 回路

本研究 SU 回路の回路図を図 2 に示す。本研究 SU 回路は $V_{DD}=0.8V$ 以上で BGR 回路へのバイアス電流出力を停止する。本研究 SU 回路の問題点は V_{DD} 依存動作と出力電流が過大なことである。 $V_{DD}=0.8V$ 以降、出力電流が低下していく際、回路構成上、過渡的に不安定な電流出力変化を起こす可能性がある。同時にオペアンプの反転入力電位も不安定になり、BGR 回路に影響を与える。

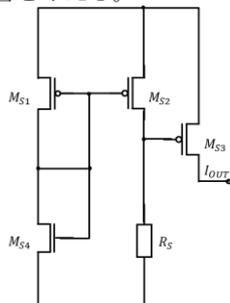


図 2 本研究 SU 回路

4. 提案 SU 回路

提案 SU 回路の回路図を図 3 に示す。BGR 回路の駆動状態を

感知してバイアス電流出力を停止する。設計にあたって文献 [2][3]を参考にした。

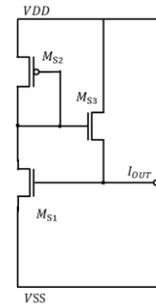


図 3 提案 SU 回路

5. シミュレーション結果

本研究 SU 回路及び本研究 BGR 回路の出力の SIM 結果を図 4、5 に示す。提案 SU 回路及び提案 SU 回路を付加した BGR 回路の出力の SIM 結果を図 6、7 に示す。提案 SU 回路は BGR 回路の起動に合わせて停止するため、BGR 回路の出力への影響が少ない。図 7 には図 5 に見られる出力電圧の歪は見られない。本研究 SU 回路の最大出力電流は最大 $9.7\mu A$ ($V_{DD}=0.8V$)、提案 SU 回路の最大出力電流は $20.6nA$ ($V_{DD}=0.4V$)である。

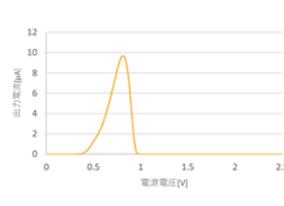


図 4 本研究 SU 回路の出力電流

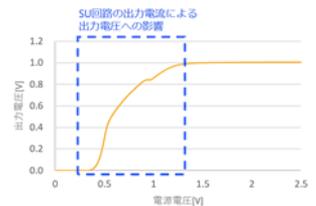


図 5 本研究 BGR 回路の出力電流

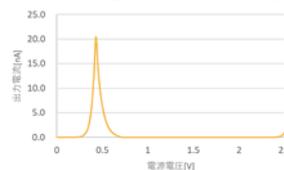


図 6 提案 SU 回路の出力電流

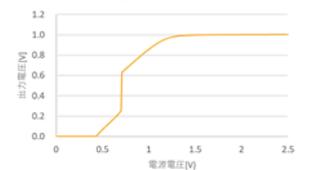


図 7 BGR 回路(提案 SU 回路付加)の出力電流

6. まとめ

BGR 回路が意図せず停止する原因として、付加しているスタートアップ回路(SU 回路)の動作の影響を考えた。本研究の SU 回路の出力電流は、BGR 回路起動時にオペアンプの反転入力端子をバイアスする。この出力電流は最大 $9.7\mu A$ にもなり、不安定な動きをした場合、回路動作に影響を与えかねない。よって、小電流で回路を起動させ、BGR 回路の起動を感知した後 OFF になる SU 回路の付加を提案した。

7. 参考文献

- [1]谷口研二 著、『CMOS アナログ回路入門』,CQ 出版,2015年1月1日第10版発行
- [2] R.Jacob Baker 著,CMOS: Circuit Design, Layout, and Simulation Revised Second Edition, IEEE
- [3] J. Nilsson, J. Borg, J. Johansson, "High-Temperature Characterisation and Analysis of Leakage-Current-Compensated, Low-Power Bandgap Temperature Sensors", Springer, Vol. 93, no 1, pp.137-147, 2017