

基準電源回路の設計と評価

橘研究室 1160071 佐竹宏太

1. 研究背景と目的

集積回路には、動作温度や電源電圧などの使用環境の変化に影響を受けない基準電源回路が必要である。本研究では、基準電源回路の一つである BGR (Bandgap Reference) 回路の設計及び評価を行った。

先行研究[1]の BGR 回路はシミュレーションから最大で 11%の誤差があり実用性がない。よって、精度の良い実用性のある基準電源回路の実現のために、本研究の目的はシミュレーション通りの出力電圧の確保とチップばらつきの軽減とした。設計目標ではシミュレーションからの誤差を $\pm 5\%$ 以内とした。

2. ダイオードを使用しない BGR 回路

一般的に、BGR 回路ではダイオードを用いて温度に依存しない出力電圧を生成する[2]。しかし、先行研究[1]からダイオードがシミュレーションで用いられるパラメータと異なり、シミュレーション通りの出力電圧が得られなかったと考えた。そこで、ダイオードの代わりに弱反転領域で動作する MOSFET を用いた BGR 回路を提案する (図 1 に示す)。弱反転領域でのドレイン電流 I_D とゲート-ソース間電圧 V_{GS} の関係 ($I_D - V_{GS}$ 特性) は、ダイオードと同様に指数関数的な特性を持つ[2]。よって、弱反転領域で動作する MOSFET をダイオードの代わりとして利用できると考えた。

図 2 にダイオードを使用しない BGR 回路の測定結果を示す。シミュレーション値からの誤差範囲は -22.4% (chip8) $\sim 9.5\%$ (chip3) となり設計目標を満たさない。

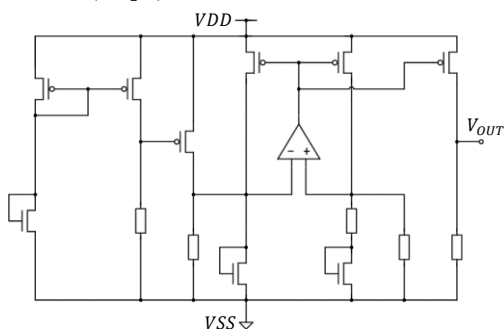
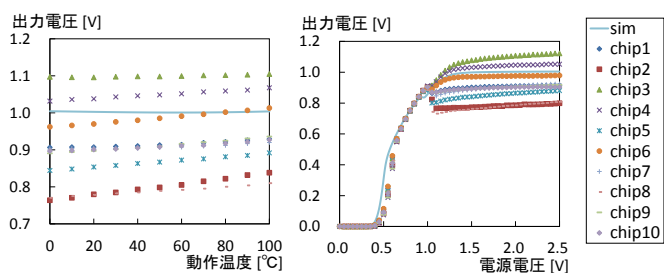


図 1 ダイオードを使用しない BGR 回路



(a)温度特性

(b)電源電圧依存性

図 2 ダイオードを使用しない BGR 回路の測定

3. BGR 回路を組み合わせた基準電源回路

温度特性が上に凸の BGR 回路と下に凸の BGR 回路を組み合わせた構造を持つ、より温度依存性の小さい基準電源回路を提案する (図 3 に示す)。上に凸の温度特性を持つ先行研究[1]の BGR 回路と下に凸の温度特性を持つ弱反転領域で動作する MOSFET を用いた BGR 回路を基準電流源として組み合わせた。

図 4 に BGR 回路を組み合わせた基準電源回路の測定結果を示す。シミュレーション値からの誤差範囲は -18.8% (chip4) $\sim 3.0\%$ (chip1) であり設計目標を満たしていない。しかし、誤差の大きい chip4 を除けば、誤差範囲は $\pm 5\%$ 以内となるため概ね設計目標を達成した。

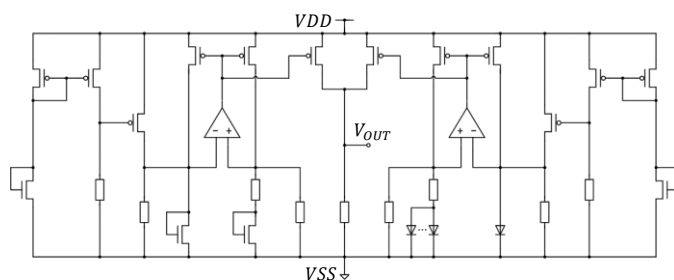
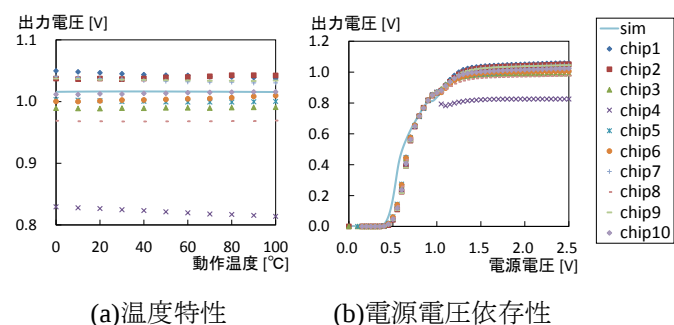


図 3 BGR 回路を組み合わせた基準電源回路



(a)温度特性

(b)電源電圧依存性

図 4 BGR 回路を組み合わせた基準電源回路の測定

4. まとめ

弱反転領域で動作する MOSFET を用いた BGR 回路はシミュレーションからの誤差が大きかった。BGR 回路を組み合わせた基準電源回路はシミュレーションからの誤差が小さく、温度依存性や電源電圧依存性も小さい出力電圧が得られた。

以上より、BGR 回路単体では素子ばらつきの影響が大きく、精度の良い基準電圧を得られない。しかし、2つの BGR 回路を補完的に組み合わせた基準電源回路では素子ばらつきによる影響が軽減され、シミュレーションから近い値を持つ精度の良い出力電圧が得られた。

参考文献

- [1] 山田健太, 橘昌良, "2 段オペアンプを用いたバンドギャップリファレンスの設計と評価", 高知工科大学システム工学群卒業論文, 2014 年
- [2] 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