

平成 29 年 2 月 2 日

埼玉工業大学大学院工学研究科長殿

学位論文審査委員会

主査 吉澤 浩和 印

副査 巨 東英 印

副査 曹 建庭 印

副査 青木 恭弘 印

副査 松井 章典 印

## 学位（博士）論文及び最終試験の審査結果について（報告）

専攻名：博士後期課程 電子工学専攻

学籍番号： 1222001

院生氏名： 秦 志剛

論文題目： 超低電圧・超低消費電力アナログ集積回路の設計に関する研究

上記の学位（博士）論文について、平成 29 年 2 月 1 日に審査および最終試験を行い、その結果を下記のとおり報告します。

### 記

#### 1 学位論文の内容の要旨

近年の半導体プロセスの微細化が進むにつれて MOS トランジスタの耐圧が低下し、電源電圧が低下している。広く使用されている超ディープサブミクロン及び携帯用電子機器を開発するための集積回路技術、低電圧、低消費電力のアナログ集積回路設計が重要な技術となっている。本研究では 0.5V 程度の超低電源電圧で動作するアナログ集積回路設計として、オペアンプ回路および電流リファレンス回路についての検討を行い、得られた知見をまとめたものである。本論文は 5 章で構成されている。

第 1 章は序論として現状の LSI が低電圧化している現状と本論文で取り上げるオペアンプおよび電流リファレンス回路についての関係を述べた。

第 2 章では本研究に関するアナログ集積回路で用いられる要素技術について説明している。

第3章では0.5V動作のRail-to-Rail オペアンプ回路の構成についての提案を行った。入力段の同相入力電圧範囲を広げるための回路変更と、大きな負荷容量を接続しても位相余裕が下がらないようにするためのクロスカップル出力回路が提案された。クロスカップル出力回路は通常のソース接地回路に比べて、ゲート・ソース間電圧を増やし、トランスコンダクタンスを増やすことで、セカンドポールの位置を高い周波数に移動させることができるため、大きな負荷容量が接続されても、位相余裕を高く保てるという特徴がある。ローム社の0.18  $\mu\text{m}$  CMOS プロセスを用いてICを試作し測定した結果、電源電圧0.5VでDC利得77dB、ユニティゲイン周波数4kHz、位相余裕56度、消費電力70nWという結果が得られた。ユニティゲイン周波数、負荷容量、消費電流を変数として計算する性能指数では既出の論文と比べて最も高い値(1143 MHz  $\cdot$  pF/mA)を得た。

第4章では超低電圧動作の電流リファレンス回路についての提案を行った。抵抗の代わりにMOSトランジスタを用いる従来のbeta multiplier電流リファレンス回路では電源電圧を0.8Vまで下げられることが報告されている。抵抗の代わりに用いるMOSトランジスタのボディ端子を通常の回路ではソース端子に接続するが、本研究ではゲート端子に接続することでボディ・ソース間に順方向バイアス回路が与えられ基板バイアス効果によって、MOSトランジスタのしきい値電圧が下がる。それによって0.8V以下の電源電圧においてもMOSトランジスタを強反転領域で動作させやすくしている。HSPICEシミュレーションの結果では電源電圧0.6Vで2nAのリファレンス電流が得られた。

第5章では結論について述べた。0.5V動作のRail-to-Rail オペアンプおよび0.6V動作の電流リファレンス回路はともに低電圧動作かつ低消費電力での動作が要求される回路に応用が期待される。

## 2 審査意見：

本論文はアナログ集積回路の重要な回路要素であるオペアンプ回路と電流リファレンス回路について、0.5Vないし0.6Vという極めて低い電源電圧で動作させることを試みた。オペアンプについてはICを試作した結果、電源電圧0.5VでDC利得77dB、ユニティゲイン周波数4kHz、消費電力70nWという結果が得られた。電流リファレンス回路についてはシミュレーションで0.6Vの電源電圧で2nAという極めて小さな電流を発生できることが確かめられた。近年需要が高まっている0.5V程度の電源電圧で動作する超低電圧回路への応用、技術発展に寄与するものがある。本審査委員会は平成29年2月1日に論文の最終審査および口頭試問を行った結果、論文については修正を要する箇所が見られるとの意見があり、修正を加えた上で、本論文を博士(工学)の学位論文として合格と判定した。

## 3 学位に付記する専攻分野の名称 (いずれかを○で囲む)

工学

学術

4 学位を授与できるか否かの意見

1) 審査結果（いずれかを○で囲む）

① 学位論文及び最終試験の判定

合格

不合格

2) 意見

本審査委員会は 博士後期課程電子工学専攻 秦志剛（学籍番号 1222001）から申請がなされた論文「超低電圧・超低消費電力アナログ集積回路の設計に関する研究」について審査を行った結果、すでに公開されている英文1編の査読付き学術論文に加えて、現在投稿中の論文に対して掲載受諾の通知が得られることを条件として、全員一致で学位（博士）論文および最終審査を合格と判定し、博士（工学）の学位を授与することが適当であるとの結論に達した。