

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	広帯域アナログベースバンド回路技術の研究
Title(English)	A Study of Wide Bandwidth Analog Baseband Circuit Techniques
著者(和文)	金子徹
Author(English)	Tohru Kaneko
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10798号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:松澤 昭,岡田 健一,益 一哉,高木 茂孝,伊藤 浩之,飯塚 哲也,宮原 正也
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10798号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻: Department of	電子物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野): Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名: Student's Name	金子 徹		指導教員 (主): Academic Supervisor(main)	松澤 昭 教授	
			指導教員 (副): Academic Supervisor (sub)	岡田 健一 准教授	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年、無線端末の普及やクラウドサービスの普及に伴い、通信データ容量の増加が問題となっており、高速な無線通信の需要が高まっている。無線通信の高速化のためには、受信機回路に用いられるアナログベースバンドの広帯域と、Signal to Noise and Distortion Ratio (SNDR) の改善が求められる。アナログベースバンド回路の大部分は増幅器によって構成されているため、フィルタや A/D 変換器などの構成のみならず、それらを構成する増幅器の検討が必要である。本研究では、アナログベースバンド回路の一形態である連続時間型  $\Delta \Sigma$  A/D 変換器と 60GHz 帯ミリ波向け広帯域フィルタを中心に、そこに用いる広帯域増幅器の検討を行った。

従来、アナログベースバンド回路の大部分はオペアンプを用いた負帰還増幅回路で構成されていた。

負帰還増幅回路ではオペアンプの利得によって良好な線形性が実現される。しかしながら、オペアンプの寄生容量による極が帯域を制限し、線形性を保つことができる帯域は 200MHz を下回ってしまう。この問題により、オペアンプを用いた負帰還増幅回路は広帯域な用途において、負帰還のメリットを十分に享受できない。

一方、グローバルな帰還を持たないオープンループアンプ (Gm セル) は広帯域化に適しているが、線形性が課題である。そこで線形性を改善するために、増幅器内部で完結する局所的な負帰還を持つ高線形オープンループアンプが重要な回路技術となっている。代表的な構成として、ソースデジェネレーションや Flipped Voltage Follower (FVF) などがある。特に FVF 構造では、トランジスタの固有利得を含む高い開ループ利得を、1GHz 程度の帯域まで維持することが可能であり、広帯域な用途でも線形性を保つことができる。オープンループアンプよりも更に高い帯域で使用される広帯域増幅器として、電流増幅器が知られている。電流増幅器では入力インピーダンスの低減のために FVF 構造などの局所的な負帰還が用いられ、オープンループアンプと同程度の SNDR が期待できる。ただし、これらの広帯域増幅器は線形性の改善に寄与する負帰還の利得が、消費電力に依存するという欠点を持つ。アナログベースバンド回路の性能改善のためには、消費電力の増加を伴わない線形性改善手法が求められる。

連続時間型  $\Delta \Sigma$  A/D 変換器は LTE/LTE-A などの高速無線通信に用いられる A/D 変換器であり、アナログベースバンド回路の構成を簡略化できるため、関連する研究が盛んに行われている。この A/D 変換器では位相特性に優れる Gm-C フィルタの適用が望ましいが、Gm セルの歪が A/D 変換器の SNDR を劣化させるという課題があった。そこで本研究では、線形性を高める局所的な負帰還にカスコードトポロジを応用した新規回路を提案し、A/D 変換器への応用を行った。提案 Gm セルは従来回路に対して、線形性を表す指標である 3rd Order Input Intercept Point (IIP3) を 8dB 改善し、低消費電力な Gm セルでも A/D 変換器の SNDR 劣化を防ぐことを可能にした。提案回路を採用した A/D 変換器は 20MHz の帯域を持ち、72.4dB の良好な SNDR をわずか 6.8mW の低消費電力で実現した。

60GHz 帯ミリ波向けのフィルタには、1GHz の広帯域と約 40dB の良好な SNDR が必要である。

従来用いられていた Gm-C フィルタは寄生容量の影響で広帯域化に限界があり、ソースフォロワフィルタはカットオフ周波数付近で線形性が急激に劣化し、高い SNDR の実現が困難である。そこで本研究では、電流増幅器を用いた電流型フィルタを検討した。電流型フィルタは寄生容量や出力抵抗の影響が小さいため、広帯域化に適しているが、入力インピーダンスの変動が線形性を劣化させてしまう。そこで局所的な負帰還による低入力インピーダンス技術に、相補入力化を適用し、インピーダンス変動を抑制した新規電流増幅器を提案した。提案電流増幅器は従来回路と比較して、増幅器単体の SNDR を 5.5dB 改善した。提案回路を用いて 1GHz 帯域を持つ 4 次のフィルタを設計したところ、256QAM に対応可能な 40.8dB を越える SNDR を、わずか 13mW で達成した。SNDR に対する電力効率は、他の研究と比較して最も良好な値を記録した。

今後の課題として、A/D 変換器やフィルタなどの更なる広帯域化が必要となる。また、スケーリングによる低電源電圧化に対応したアーキテクチャに関する検討も必要である。

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	電子物理工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	( 工学 )
学生氏名 : Student's Name	金子 徹		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	松澤 昭 教授	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	岡田 健一 准教授	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words )

Recently, an increase in communication traffic has become an object of public concern. To realize high speed wireless communication, enhancing linearity of a wide bandwidth amplifier is needed because analog baseband circuits consist of the amplifiers. In this dissertation, wide bandwidth amplifiers are discussed for continuous-time  $\Delta\Sigma$  analog-to-digital convertor (CT  $\Delta\Sigma$  ADC) and a wide bandwidth low pass filter (LPF) used in high-data-rate wireless communication receivers.

A negative feedback technique is a key technique for achieving good linearity in amplifiers. However, bandwidth of a negative feedback amplifier with a high gain op-amp is limited to 200MHz due to its parasitic capacitors. On the other hand, open-loop amplifiers (Gm-cell and current amplifier) with a local feedback loop can be applied to systems having a bandwidth of 1GHz or more. But, the open-loop amplifier requires high power consumption for good linearity. In order to improve its performance, a linearity improvement method without additional power consumption is required.

A CT  $\Delta\Sigma$  ADC for an LTE receiver needs a wide bandwidth amplifier such as a Gm-cell to improve phase margin and power consumption of the ADC. But, nonlinearity of the Gm-cell deteriorates SNDR of ADC. To address this issued, a high linearity Gm-cell using a local feedback with a cascode topology is proposed. The Gm-cell has the feedback gain enhanced by the cascode topology. As a result, IIP3 of the Gm-cell is improved by 8dB with the same power consumption. A 20MHz-bandwidth CT  $\Delta\Sigma$  ADC employing the proposed Gm-cells achieves SNDR of 72.4dB with power consumption of 6.8mW.

In 60GHz wireless communication, a 1GHz-bandwidth LPF is used for antialiasing. A current mode filter is suitable for the application, but low and constant input impedance of its current amplifier is needed for high linearity. In order to solve this issue, a current amplifier with complementary input is proposed. Its input impedance is suppressed by its local feedback and kept constant by push-pull operation. A 1GHz-bandwidth 4th-order LPF using the proposed current amplifiers achieves SNDR of 40.8dB with power consumption of 13mW.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).