

氏名	たにぐち えいじ 谷口 英司
授与学位	博士(工学)
学位授与年月日	平成22年3月25日
学位授与の根拠法規	学位規則第4条第1項
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科(博士課程)電気・通信工学専攻
学位論文題目	移動体通信用受信アナログRFフロントエンド回路に関する研究
指導教員	東北大学教授 坪内 和夫
論文審査委員	主査 東北大学教授 坪内 和夫 東北大学教授 澤谷 邦男 東北大学教授 高木 直

論文内容要旨

本論文では、移動体通信用端末の受信機にアナログRFフロントエンドにおいて、ユーザの利便性向上のため、端末の待ち受け時間の伸長や小形・低コスト化を図ることを目的として、低雑音増幅器の小形化、低消費電力化および高飽和化、直交ミキサの小形化、低消費電力化、低LO電力化およびSi系プロセスを用いたダイレクトコンバージョン方式特有の課題に対して行った研究成果を示した。

第1章では、移動体通信用端末における受信機に適用するIC向けの半導体プロセス、受信機方式およびRFフロントエンド構成について、Si系プロセスを用いたダイレクトコンバージョン方式によるアナログRFフロントエンド構成の適用が、受信機の小形・低コスト化および低消費電力を実現するために必須であることを述べた。技術的な要件として、低雑音増幅器において低消費電力化と高飽和化を同時に得ることと、ミキサにおいてSi系プロセスに小形に集積でき、低消費電力動作が可能な回路構成の実現と、ダイレクトコンバージョン方式特有の課題であるDCオフセットやLO(局部発振器)自己検波雑音を解決するためのLO波周波数選択が重要であることを述べた。

第2章では、低雑音増幅器において、移動体通信のうち送受信を同時に行うFDDシステムに適用するための課題として、小形・低消費電力化と同時に高飽和化が必要であることを示した上で、設計の上で特に重要となるベースバイアスフィード回路の構成について述べた。低雑音増幅器への適用時におけるサイズや飽和特性について従来のバイアスフィード回路の問題点について示した上で、抵抗

バイアスフィード回路とダイオードバイアスフィード回路を組み合わせたデュアルバイアスフィード回路を提案した。本バイアスフィード回路は、Si 系プロセスで小形に集積可能であり、低雑音増幅器に適用するにあたり雑音指数の劣化を最小限に抑えつつ、低消費電力動作と同時に高飽和特性が得られるものである。提案する回路の動作原理を解析式により示し、高飽和特性が得られることを検証した。2GHz 帯で SiGe プロセスを用いて試作を行い、従来構成である抵抗バイアスフィード回路を適用した低雑音増幅器と同等の消費電力および小信号特性にて、飽和特性およびひずみ特性が 5dB 以上改善することを確認した。

第 3 章では、ダイレクトコンバージョン方式特有の DC オフセットや LO 自己検波雑音といった問題に対して有効な構成である、受信 RF 信号の 1/2 の周波数の LO 波で動作する受信機用 IC において、Si 系プロセスでの集積化に関する課題について述べ、低 LO 電力で動作するトランジスタを用いたアクティブミキサとして、偶高調波形 CECCTP (Common Emitter Common Collector Transistor Pair) バランスミキサを提案した。本ミキサはバランス構成とすることでダイレクトコンバージョン方式において課題となる LO 波成分および 2 次ひずみ成分が原理的に抑圧可能であるとともに、従来の APDP (Anti-Parallel Diode Pair) を用いたパッシブミキサに比べて低 LO 電力で動作し、Si 系プロセスでの集積化に適したものである。解析式を用いて動作原理と周波数応答を示すとともに、SiGe プロセスを用いて 2GHz 帯にて試作を行い、従来の APDP を用いたパッシブミキサと比較し、LO 電力を 8dB 低減できるとともに、変換利得 8.8dB, NF 14.9dB, IIP3 -4.1dBm, IIP2 42.3dBm の良好な性能が得られ、提案構成の有効性を確認した。

第 4 章では、ダイレクトコンバージョン方式を適用した受信機用直交ミキサにおいて、DC オフセットや LO 自己検波雑音といった本方式特有の課題に加えて、将来のマルチモード/マルチバンド通信への対応において直交ミキサに要求される小形・低消費電力化および広帯域特性の実現という課題について述べ、受信 RF 信号の 2 倍の周波数の LO 波で直接動作するカレントリユース構成を用いた自己分周形直交ミキサを提案した。本ミキサは、分周器を LO スイッチング回路に用いることにより、2 倍の LO 波周波数で直接動作するとともに、分周器と RF 信号用増幅器の DC 電流経路を共通にしたカレントリユース構成とすることで、小形・低消費電力化および広帯域特性を実現するものである。提案した直交ミキサの回路構成および動作原理について示すとともに、SiGe プロセスを用い

て2GHzおよび5GHz帯にて試作および特性評価を行った。試作したICのミキサ回路部分のサイズは0.22mm×0.31mmと、直交ミキサとして非常に小形であるとともに、2GHz帯にて変換利得20.6dB、NF 11.9dB、EVM 5%以下の良好な性能が、直交ミキサとして15mWという非常に少ない低消費電力で得られた。あわせて5GHz帯での直交ミキサとしての動作確認を行い、本構成が小形・低消費電力かつ広帯域動作が可能であることを示した。

第5章では、本研究で得られた成果について述べるとともに、第3.9世代や第4世代といった移動体通信の将来アプリケーションや、ソフトウェア無線などの様々な周波数帯、変調方式及び伝送速度の通信アプリケーションを一つの端末でシームレスに利用できる、本格的なマルチモード/マルチバンド通信の実現に向けて、RFフロントエンド構成と、送受信機ICについての今後の展望について述べた。

論文審査結果の要旨

移動体通信において、シームレスでより利便性の高いマルチモード/マルチバンド通信の実現に向けて、端末の小形・低コスト化及び低消費電力化を図ることがこれまで以上に重要視されている。この中において、受信アナログ RF フロントエンドは端末用受信機におけるキーデバイスであり、小形・低コスト化及び低消費電力化が強く要求されている。本論文は、Si 系プロセスを用いた移動体通信用受信アナログ RF フロントエンド回路として、低雑音増幅器及びミクサの小形・低コスト化及び低消費電力化を目的とする研究をまとめたものであり、全文 5 章よりなる。

第 1 章は序論である。

第 2 章では、SiGe プロセスを用いた低雑音増幅器において、小形・低消費電力動作であると同時に高飽和特性を得ることを目的としたデュアルバイアスフィード回路を提案し、その有効性を明らかにしている。本構成は、IC 内で小形に集積できるとともに、移動体通信用端末における待ち受け時のアイドル電流は増加させずに、送信漏洩波などの大信号レベルの妨害波が入力した時のみ、自動的にバイアスフィード回路を切り替えることで高飽和特性を得るものであり、2 GHz 帯での試作によって、従来の構成に比べて同等の消費電力で飽和特性及びひずみ特性を 5 dB 以上改善できることを実証している。この回路は W-CDMA 携帯端末の製品に搭載されており、移動体通信用端末へ適用する受信機用 IC の技術として、極めて重要な成果である。

第 3 章では、移動体通信用ダイレクトコンバージョン受信機 IC において、DC オフセット等のダイレクトコンバージョン方式特有の課題解決に有効な偶高調波ミクサについて述べている。IC の小形・低コスト化を図る上で必須である Si 系プロセスに適した構成として、トランジスタペアを用いたアクティブミクサに着目して検討し、LO 電力低減と利得特性の観点から従来のダイオードミクサに対する優位性を示している。さらに SiGe プロセスを用いた 2 GHz 帯での試作によってその有用性を示しており、小形・低コストな移動体通信用の受信機 IC を実現する技術として、極めて高く評価される。

第 4 章では、受信 RF 信号の 2 倍の周波数の LO 波を用いた直交ミクサにおいて、小形化、低消費電力化及び広帯域化を目的とした自己分周型直交ミクサを提案し、その有効性を明らかにしている。本ミクサは、分周器を直接 LO スイッチング回路として使い、RF 増幅器と DC 電流経路を共通化するカレントリユース構成とするもので、特に移動体通信用ダイレクトコンバージョン受信機 IC を実現する上で、極めて有用な技術である。2 GHz 帯及び 5 GHz 帯での SiGe プロセスを用いた試作によって小形化、低消費電力化及び広帯域化について実証した成果は高く評価される。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、小形・低コスト及び低消費電力の移動体通信用低雑音増幅器及びミクサを提案し、その有効性を示したもので、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（工学）の学位論文として合格と認める。