

氏名	つかはら つね お	
授与学位	東原恒夫	
学位授与年月日	博士(工学)	
学位授与の根拠法規	平成13年9月12日	
研究科, 専攻の名称	学位規則第4条第1項	
学位論文題目	東北大学大学院工学研究科(博士課程)電子工学専攻	
指導教官	広帯域・省電力シリコンRF回路の研究	
論文審査委員	東北大学教授 坪内 和夫	東北大学教授 澤谷 邦男
	主査 東北大学教授 坪内 和夫	
	東北大学教授 安達 文幸	

論文内容要旨

21世紀に入り無線通信システムは各種方式が提案され、今後は放送との垣根もますます小さくなっていくと考えられる。このような状況下では、一つの無線端末(ハードウェア)により、各種のサービスを楽しむ形態が望ましくなってくる。無線回路技術的には低コストなシリコンデバイスを用いたマルチバンドシステム、ソフトウェア無線技術が不可欠になってくる。

本論文は、シリコンデバイスを用いたRF(Radio Frequency)回路の広帯域・省電力化技術に関する成果をまとめたものであり、全体で5章からなる。第1章の序論では研究の背景を明らかにし、第2章ではRF回路の広帯域・省電力化技術について述べ、第3章では高速無線アクセスシステム用のIF回路の高周波化技術について論じ、第4章ではCMOSベースバンド回路の高性能化を議論すると共にCMOSRF回路の基本検討について述べた。第5章の結論では全体をまとめると共に、今後の課題を述べた。

第1章 序論

無線システムの多様化に伴う無線トランシーバの形態を議論し、本研究の背景を明らかにした。ハードウェアからみると、周波数バンドの違う種々のシステムに対応できる「マルチバンドRFトランシーバ」が技術的な解決策となり得ることを示した。このような背景の基に本研究の主題は、低コスト化に適したシリコンデバイス(バイポーラ, CMOS)によるRF回路の広帯域・省電力化の設計手法を確立することで、次世代「マルチバンドRFト

ランシーバ」の実現に向けた礎を構築することに置いた。

第2章 広帯域・省電力 RF 帯直交変復調回路技術

2~5GHz 帯におけるマルチバンド化に適したダイレクトコンバージョン方式の根幹となるバイポーラ RF 帯直交変復調器についての内容である。低電圧動作による省電力化の方針により、従来のダブルバランスミキサの低電圧動作の限界を明確にした後、電流折返し構成のダブルバランスミキサを提案し、2GHz 帯直交変調器／復調器で 2V 以下の低電圧動作を実証した。更に、90° 位相シフタの広帯域化については、位相誤差の自己補正効果を有する新たな 2 通倍手法の原理を提案し、2GHz 以上に渡る広帯域動作が可能なことを 3~5GHz 動作の直交変復調器により実証した。

第3章 高速無線アクセスシステムに適した受信 IF 帯 Log/リミッタンプの高周波化技術

ミリ波等を用いた高速無線アクセスシステム用トランシーバを構成する上で、不可欠な GHz 動作の IF (Intermediate Frequency) 帯受信リミッタンプの高性能化について述べた。従来の差動アンプを単位リミッタンプに用いた構成における位相偏差のメカニズムをまず明らかにした後、位相偏差を補償する回路の提案し、バイポーラプロセスにより試作した多段構成の逐次検出形 Log/リミッタンプにより、2GHz において 7° 以下の低位相偏差、60dB 上の広ダイナミックレンジ性を実証した。

第4章 CMOS アナログベースバンド回路並びに CMOS RF 回路の高性能化

CMOS アナログ回路を議論した。まず、アナログベースバンド回路で不可欠な A/D 変換器のコンパレータについて雑音耐性（特に電源雑音）の観点から論じた。従来回路の限界を述べた後、差動構成をベースにした新たな F/F 形コンパレータを提案し、8bit の A/D 変換器により、従来に比較して一桁以上の電源雑音耐性が改善できることを明らかにした。次に、CMOS RF 回路の基礎検討として、LC タンク回路を用いた折り返し形構成による低電圧・省電力化についての提案を行い、2GHz 帯ミキサにおいて 1V 以下の動作が可能であることをシミュレーションにより示した。

第5章 結論

論文全体をまとめると共に、本研究をベースに今後の無線システムのハード形態を展望した。Bluetooth等のローエンドシステムにはRF System On a Chip (SOC)が適しており、ハイエンドのマルチバンドシステムには、アンテナ、フィルタ等の受動部品も搭載可能なRF System In a Package (SIP)が適していることを述べた。最後に、ソフトウェア無線機の課題(A/D変換器の高精度・高速化, RF回路の広帯域化等)を述べた。

論文審査結果の要旨

21世紀に入り無線通信システムとして各種の方式が提案され、今後は放送との垣根もますます小さくなっていくものと考えられる。このような状況下では、一つの無線端末（ハードウェア）により、各種のサービスを楽しむ形態が望ましい。また、無線回路技術の立場からは、低コストなシリコンデバイスを用いたマルチバンドシステム、ソフトウェア無線技術が不可欠になってくる。

本論文は、ソフトウェア無線技術へ向けて、シリコンデバイスを用いた GHz 帯における RF (Radio Frequency) 回路の広帯域・省電力化を図ることを目的として、RF 帯直交変復調器、リミッタアンプ、コンパレータ及びミキサ回路の LSI を開発した成果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、2~5GHz 帯のマルチバンド化に適したダイレクトコンバージョン方式の根幹となるバイポーラ RF 帯直交変復調器について述べている。低電圧動作により省電力化を図るために、まず従来のダブルバランスドミキサの低電圧動作の限界を明確にした後、電流折返し構成のダブルバランスドミキサを提案し、2GHz 帯直交変復調器／復調器で 2V 以下の低電圧動作を実証した。また、90° 位相シフタの広帯域化については、位相誤差の自己補正効果を有する新たな 2 通倍手法の原理を提案し、2GHz 以上に亘る広帯域動作が可能であることを 3~5GHz で動作する直交変復調器の試作により実証した。この成果は、広帯域動作、低消費電力動作を両立する技術であり、GHz 帯無線通信技術にとって実用上極めて重要な成果である。

第 3 章では、ミリ波帯を用いた高速無線アクセスシステム用トランシーバを構成する上で、不可欠な GHz 動作の IF (Intermediate Frequency) 帯受信リミッタアンプの高性能化について述べている。まず、単位リミッタアンプとして従来の差動アンプを用いた構成における位相偏差のメカニズムを明らかにした後、位相偏差を補償する回路を提案し、バイポーラプロセスにより多段構成の逐次検出形 Log/リミッタアンプを試作して、2GHz において 7° 以下の低位相偏差、60dB 以上の広ダイナミックレンジ性を実証した。これは、GHz 帯無線装置の受信特性を飛躍的に向上させる技術であり、極めて有用である。

第 4 章では、CMOS アナログ回路について述べている。まず、アナログベースバンド回路に不可欠な A/D 変換器のコンパレータについて、雑音耐性（特に電源雑音）の観点から従来の回路の限界を述べている。また、差動構成をベースにした新たなフリップフロップ形コンパレータを提案し、8bit の A/D 変換器により、従来に比較して一桁以上電源雑音耐性を改善できることを明らかにしている。次に、CMOS RF 回路の基礎検討として、LC タンク回路を用いた折り返し形構成による RF 回路の低電圧・省電力化についての提案を行い、2GHz 帯ミキサにおいて 1V 以下の動作が可能であることをシミュレーションにより示した。これらの成果は、低消費電力動作に不可欠である CMOS 回路の重要性を示すとともにこれを実用化したもので、今後の無線回路技術の発展に極めて有用となる成果である。

第 5 章は結論である。

以上要するに本論文は、GHz 帯における無線回路を安価で安定なシリコンを用いて実現することにより、広帯域かつ省電力動作の RF デバイス LSI の設計技術を確立するとともに、ソフトウェア無線技術の基礎へ向けた将来の無線回路技術の指針を与えたもので、無線通信工学、集積回路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。