

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Low-Power and Small-Area RF Transceiver Front-End with Direct Antenna Interface
著者(和文)	SunZheng
Author(English)	Zheng Sun
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12005号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岡田 健一,高木 茂孝,廣川 二郎,徳田 崇,伊藤 浩之,飯塚 哲也
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12005号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	Sun Zheng	
		氏名	職名	氏名	職名
論文審査 審査員	主査	岡田 健一	教授	伊藤 浩之	准教授
	審査員	高木 茂孝	教授	飯塚 哲也	東京大学 准教授
		廣川 二郎	教授		
		徳田 崇	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は“Low-Power and Small-Area RF Transceiver Front-End with Direct Antenna Interface (直接アンテナ接続を可能とする低消費電力かつ小面積な無線送受信機フロントエンド)”と題し、英文四章からなっている。

第一章“Introduction (序論)”では、Internet-of-Things (IoT)のアプリケーションについて調査を行い、IoT で利用される無線技術について、短距離のものから長距離のものまで広範に調査した結果をまとめている。特にスマートフォンを中心に普及が進んでいる Bluetooth Low Energy (BLE)技術について、産業的技術要求および学術的な研究課題について詳細に論じている。BLE 規格では周波数変調を用いるため、局部発振器により変調を行う。システム設計の観点から局部発振器に求められる帯域内外の位相雑音特性およびスプリアス特性の要求性能を算出し、回路面積や消費電力についてのトレードオフがあることを示している。また、BLE 規格では定包絡線変調を用いるため、電力増幅器を飽和状態で利用する。そのため、非線形性による二次および三次の高調波成分の抑圧が必要であり、また、送受信でのアンテナ共有が必要であることから、整合回路部分の面積が大きくなることを課題として挙げている。最後に、これらの課題に対する具体的な解決方法の指針と本論文全体の構成について説明し、本章を締めくくっている。

第二章“Ultra-Low-Power Transformer-based LC-VCO (超低消費電力トランス型 LC-VCO)”では、局部発振器に用いる LC 型電圧制御発振器 (VCO: Voltage Controlled Oscillator)について、詳細な位相雑音解析を通して、低消費電力かつ低位相雑音な VCO を小面積で実現する方法について提案している。まず、本章ではインダクタを用いる従来の VCO の動作原理と性能トレードオフについて詳述し、トランスを用いることで少ない電流でも電圧振幅の増大が可能であることを示している。さらなる小面積化のため、トランスとトランジスタ回路部分を積層する方式について検討し、配線によるシールド層を設けることで、位相雑音性能と小面積化の両立が可能であることを示している。また、自己バイアスにより VCO の電源感度を緩和できる回路構成を提案している。65nm CMOS プロセス技術により提案型 VCO を試作し、2.6GHz の発振周波数において、0.1mW の低消費電力動作を実現している。VCO の性能評価指標 (FoM: Figure of Merit)において、従来方式では 0.4mW 以下になると著しく性能が低下していたが、提案方式では 0.1mW の消費電力においても-193dBc/Hz の非常に良好な FoM を達成している。

第三章“Bluetooth Low Energy Transceiver with Direct Antenna Interface (直接アンテナ接続を可能とする Bluetooth Low Energy 無線機)”では、送受信の増幅器をスイッチ等を介さずに直接アンテナに接続することが可能な回路方式を提案し、その有効性について実験結果も踏まえて詳述している。従来方式では、アンテナ共有のために、電力増幅器と低雑音増幅器を切り替えるスイッチが必要であり、その挿入損失や整合回路部分による面積増大が問題であった。提案回路方式では、低雑音増幅器をシングルエンド方式とし、電力増幅器を差動方式とすることで、低雑音増幅器の整合回路の一部を電力増幅器の整合回路として用いることで、アンテナ共有を可能としている。65nm CMOS プロセス技術による試作機において、送信時に 5.4mW、受信時に 2.3mW の低消費電力動作を実現している。従来報告されている中で消費電力の一番小さい無線機のチップ面積は 1.64mm²であったが、提案方式では同じ消費電力で 0.85mm²の面積であり、大幅な小面積化を達成している。

第四章“Conclusion and Future Works (結論と展望)”では、本論文で得られた成果をまとめ、今後の研究の展望として、リング発振器を用いる小面積化の可能性や、電源回路との協調動作について論じ、本論文を締めくくっている。

以上を要するに、本論文は無線送受信機で用いられるインダクタによる専有面積をできる限り最小化しつつ、無線機としての必要性能を満たした上で低消費電力化を実現する回路構成について論じたもので、学術上、産業上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文が博士(学術)の学位論文として、十分に価値あるものと認める。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。