

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	IoTデバイスにおける低電力電源回路技術の研究
Title(English)	Study on Low Power Management Technology for IoT Devices
著者(和文)	中本裕之
Author(English)	Hiroyuki Nakamoto
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10882号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:益 一哉,伊藤 浩之,松澤 昭,高木 茂孝,岡田 健一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10882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

系・コース：工学院 電気電子 系 Department of, Graduate major in 電気電子 コース	申請学位 (専攻分野)：博士 (工学) Academic Degree Requested Doctor of
学生氏名：中本 裕之 Student's Name	指導教員 (主)：益 一哉 教授 Academic Supervisor(main)
	指導教員 (副)：伊藤浩之 准教授 Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本研究では、ネットワークに繋がる膨大な IoT (Internet of Things) デバイスにおいて、ハーベスタや無線のエネルギーを用いることにより電池交換不要化・小型薄型化するための電源設計技術に関する研究を行った。時間や場所により大きく変動する環境エネルギーを安定な DC 電圧に変換し、nW の電力制御技術・低電力回路設計技術を駆使することで、電池交換不要なデバイスが実現できる。本論文で論述する低電力電源回路技術は、多くのデバイスを用いて 1 つ電力制御の価値ある IoT システムを実現する上で欠かせないキーテクノロジーである。以下に本研究で得られた成果をまとめる。

2 章では、無線や振動発電の AC 信号から DC 信号に整流する回路技術について論じた。入力寄生容量を低減して受電側の等価並列抵抗を最大化し、リーダ・ライタから最大の電圧振幅を受け入れる構成を提案した。アンテナとの最終的なインピーダンスマッチングは、整流器の入力から後段回路を見た時の等価抵抗が、アンテナ抵抗と同等の値となるように設計して CMOS 整流器を構成した。提案の整流器の電力変換効率は実測で 36.6% に達し、従来効率の 2 倍以上の性能を達成した。RFID やハーベスタ等の小さな電力リソースを用いる場合には、高い入力振幅を得る本提案手法が有効であることを示した。また、入力寄生容量を低減して AC-DC 変換を構成する本設計論をパワーアンプの出力段に設けられるパワーディテクタに応用し、性能向上を実証した。

3 章では低電圧かつ広範囲な入力電圧に対応する DC-DC コンバータの設計技術について論じた。トランジスタの閾値以下の入力電圧では自力で起動できなかった昇圧コンバータに対し、トランス型発振器を用いて低電圧起動をアシストし、耐圧コントロールを行う Cold-Start 回路を付加することで、入力電圧 60mV からの昇圧動作が実現できることを示した。また、Cold-Start 回路の後段に配置した昇圧スイッチングコンバータが起動した後に Cold-Start 回路をパワーダウソする制御により、高効率動作を維持しつつ、入力動作範囲を拡大することができた。対応可能な入力電圧は 60mV~3V であり、世界最高クラスの性能を示す昇圧コンバータを実現した。

4 章では、ハーベスタで IoT デバイスを駆動させるために必要な電力制御技術について論じた。無線通信モジュールの外部に、電源監視・制御を行う電力制御回路を搭載することで、光発電のハーベスタを用いた電池交換不要なバッテリーフリービーコンが実現できることを示した。既存の市販製品では実現できていない、非常階段や工場の廊下などの 50lx の低照度での起動・動作を達成した。小型薄型で、建物や環境に設置することも人が装着することも可能にする本技術は、製品にも採用された。また本技術は、センサや二次電池の取り付け、Low Power Wide Area (LPWA) 等の新しい無線方式への対応やカスタマイズが容易に可能になるため、IoT の様々な現場の要求に的確・早急に応えることができる。チップ外部の電源回路設計により構成した IoT デバイスは、無線の技適認証取得が不要であり、また、2 週間程度での試作が可能であるため、IoT システムを実験的に導入する初期段階からキーデバイスとなることが期待できる。

各章で論述した技術を選択・融合することにより、無線や振動、光や熱の AC を含む全てのハーベスタからの信号を所望の DC 電源電圧に変換して取り扱うこと、及び、生成した電力を適切に制御することが可能となり、ほぼ全ての領域のハーベスタに対する設計対応を可能にした。カバーできていないのは、浮遊電波からエネルギーを得る RF ハーベスタであるが、この技術を確立するには、微小の AC 信号を整流する回路的なアプローチに加え、電波を集中的に得るアンテナ技術が必要になると考えている。

本論文では、少量多品種の IoT デバイスを様々な現場に導入していくには、回路の長所、特性をよく理解し、役割を分担して各々の機能を組み合わせる柔軟性が必要であることを述べた。特に、用途に応じてカスタマイズが必要となる電力制御回路を、チップ外で設計する手法が有効となることを述べた。外付け部品を用いたアシスト回路や電力制御回路により、昇圧 IC や無線センサノードの性能がエンハンスできることを実証し、この設計手法が有効であることを示した。

以上、本論文では、IoT デバイスにおける低電力電源回路技術の研究についてまとめた。各章で述べた各々の回路設計技術、電力制御技術は、開発時点において世界最高クラスの性能を達成した効果的な技術であり、かつ、製品にも採用されている実用的な技術である。これらの研究成果は、様々なフィールドの IoT デバイスとして応用可能であり、その基本的なデバイス設計全般に関与する技術である。

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 1 copy 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).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース：	工学院 電気電子 系
Department of, Graduate major in	電気電子 コース
学生氏名：	中本 裕之
Student's Name	Hiroyuki Nakamoto

申請学位 (専攻分野)：	博士 (工学)
Academic Degree Requested	Doctor of
指導教員 (主)：	益 一哉 教授
Academic Supervisor(main)	Kazuya Masu
指導教員 (副)：	伊藤浩之 准教授
Academic Supervisor(sub)	Hiroyuki Ito

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis presents low power management technology for IoT (Internet of Things) devices to eliminate the need of charging or replacing batteries for a huge number of devices and achieve a battery-free operation using energy harvesters. A battery-free device can be realized by converting harvested energy into a stable DC voltage, and by developing nano-watt power management technology. Three key technologies are necessary for this realization. Detailed summary is described below.

In chapter 2, a circuit technology of an AD-DC converter is discussed. Especially a design method of a rectifier which generates power from RF signals is described. In order to receive a large AC voltage, it is important to reduce input parasitic capacitance of the rectifier. The measured power conversion efficiency of the proposed rectifier was 36.6% at 4 meter distance from a Reader/Writer, and the efficiency showed two times higher than the conventional one. This design theory could also be applied to a power detector (commercialized) for handling RF signals.

Chapter 3 describes a design technology of a DC-DC converter which started up from a low input voltage (tens of mV) and operated over a wide voltage range. Since a transistor could not operate by itself at voltages below its threshold, a Cold-Start circuit with a transformer-based oscillator is proposed to assist low-voltage startup for a boost converter. The measured input-voltage range of the proposed boost converter was from 60 mV to 3 V; it indicated that the converter was applicable to fluctuating power generated from harvesters.

In chapter 4, a power management technology that intermittently controls IoT devices with nano-watt power consumption is described. A compact battery-free beacon that operates with photovoltaic cells at only 50 lx is realized. The proposed power management circuit, which is designed outside an RF module, can be customized in accordance with each specific IoT field without the need for obtaining a new Technical Regulations Conformity Certification.

By selecting and merging the techniques discussed in each chapter, it is possible to convert both AC and DC signals output from all harvesters. It became possible to properly manage the generated power, making design suitable for harvesters in almost all fields.

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 1 copy 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).