

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：17104

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2017

課題番号：16K18060

研究課題名(和文)人工衛星用数十MHz超小型絶縁電源システムの開発 パワーSOCを目指してー

研究課題名(英文)Development of Several Tens MHz Small Size Isolated Power Supply System for Artificial Satellite

研究代表者

安部 征哉(Abe, Seiya)

九州工業大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：40423488

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人工衛星に用いる超小型・高効率絶縁電源システムの開発を目的とし、パワーSOCを実現する一環として、パワーSOCに適した数十MHzで動作する超小型DC-DCコンバータの回路技術について検討した。具体的には、本研究の要となる空芯インダクタの設計、試作・評価。次に、数十MHz駆動に適したゲート駆動回路の開発。非接触トランスを試作評価し、最後に電源を構築し評価した。プロトタイプ電源の効率評価を行った結果、変換効率65%を達成した。今後、整流方式、スイッチング素子を変更することで80%程度の効率が達成できることをシミュレーションにより確認している。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research is the development of small size and high efficiency isolated power supply system for artificial satellite. Moreover, the design of the air core coil - transformer, several tens MHz gate driver have been investigated to realize several tens MHz small size DC-DC converter. As a result, the efficiency of the prototype power supply have achieved around 65%. From the simulated results, changing the rectification technique and power device will achieve 80% efficiency.

研究分野：スイッチング電源

キーワード：パワーSoC 空芯コイル・トランス 共振コンバータ

1. 研究開始当初の背景

近年、人工衛星の小形軽量化が急速に進んでいる。小型人工衛星はナノサット、ピコサットなどに分類されており、1U (10cm の立方体) から 3U まで規格化されている。この数十センチ立方の体積の中にミッションに合わせた様々なセンサや計測装置、通信装置等が詰め込まれている。人工衛星は、軌道上で動作するためグリッドからの電力供給は不可能であり、太陽光発電、燃料電池、バッテリー等から電力供給される。限られた電力を有効利用するために、電源装置の役割は非常に重要である。一方、種々の装置の一部として電源装置も人工衛星の中に詰め込まれており、体積全体に占める電源装置の割合は 20% 程度とも言われている。

これら電源装置を 1/100 程度小型化することにより、人工衛星のさらなる小型軽量化や高性能化 (より多くの計測・通信装置の搭載) が可能となる。さらに、人工衛星の軽量化により、打ち上げ時の燃料消費も大きく抑えることが可能となる。

2. 研究の目的

電源の究極の小型化の形態は、パワー半導体デバイス、これを駆動制御する回路、受動部品をワンチップに組み込むパワーSOC (図 1) で現在盛んに研究されている [1,2]。しかし、1 台の大容量の電源の超小型化は非常に困難であるため、小容量の電源を超小型化し、直並列接続による大容量化が必要となる。そのためには各電源に絶縁が必要となり、絶縁することによりフレキシブルな直並列電源システムの構成が可能となる。加えて、絶縁することにより電源装置の高信頼化も達成できる。しかし、現在検討されているパワーSOC は全て非絶縁型コンバータであり、絶縁型コンバータの開発事例はない。

本研究では、人工衛星に用いる超小型・高効率絶縁電源システムの開発を目的とし、パワーSOC を実現する一環として、パワーSOC に適した数十 MHz (従来の DC-DC コンバータに比べて一桁程度高いスイッチング周波数) で動作する超小型 DC-DC コンバータの回路技術を確立する。

1. A. Prodic: "High-Performance Mixed Signal Controllers for On-Chip Integrated SMPS" PwrSoc' 10, 2010

2. D. Reusch, J. Strydom, "Evaluation of Gallium Nitride Transistors in High Frequency Resonant and Soft-Switching DC-DC Converters," APEC2014

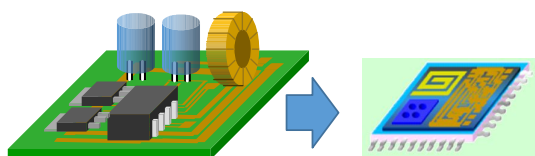


図 1 . パワーSOC の概念図

3. 研究の方法

本研究では、LSI や MEMS 技術によるパワーSoC 作製の前段階として、ボードレベルでの検討を行う。

(1) 空芯インダクタの設計、試作及び評価
薄膜インダクタに使用する磁性体の高効率化は非常に困難であるため、本研究では薄膜インダクタを使わない空芯インダクタを利用する。そのため、空芯インダクタの特性を詳細に把握し設計技術の開発が必要である。従来、空芯コイルを利用するパワーSOC では 100MHz 以上の高周波化が必要となる。LSI 技術を用いて 100MHz を超える周波数でパワーSOC を実現する検討が進んでいるが、やはり高効率化の達成が困難である。本研究ではこの高効率化を実現する。

(2) ゲート駆動回路の設計、試作及び評価
10-30MHz で半導体スイッチング素子を駆動するためのゲート駆動回路の回路技術及び低損失化技術の開発を行う。

(3) 非接触トランスの設計、試作及び評価
パワーSoC 実現のための基礎技術として、空芯インダクタを 2 組用いた非接触構造とし磁性体を使用しないトランスの開発を行う。

(4) プロトタイプ DC-DC コンバータの試作及び評価

プロトタイプコンバータ電源システム (図 2) を試作・評価しパワーSOC への適用可能性を実証する。

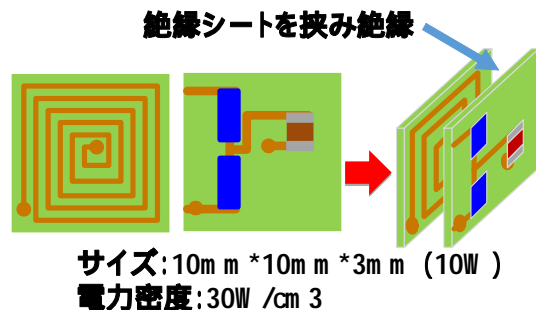


図 2. 本研究の絶縁型パワーSoC 電源システム

4. 研究成果

本研究では、人工衛星に用いる超小型・高効率絶縁電源システムの開発を目的とし、パワーSOC を実現する一環として、パワーSOC に適した数十 MHz で動作する超小型 DC-DC コンバータの回路技術について検討した。具体的には、本研究の要となる空芯インダクタの設計、試作・評価。次に、数十 MHz 駆動に適したゲート駆動回路の開発。非接触トランスを試作評価し、最後に電源を構築し評価した。また、LSI や MEMS 技術によるパワーSoC 作製の前段階として、PCB レベルでの検討を行なった。空芯インダクタは HFSS による電磁界シミュレーションを主にインダクタンス及び交流等価抵抗について詳細に議論し、試作インダクタ (図 3) の評価を行った。その結果、シミュレーションと実測の良好な一致が

確認でき、それらのデータを基に回路シミュレーションモデルを作成した。また、ゲート駆動回路については、30-50MHz で動作可能な駆動 IC(図 4) の試作を行い、良好な動作特性を確認した。インダクタと同様に回路シミュレーションモデルを構築している。更に、非接触トランスを構築し電磁界シミュレーションによりその特性を確認した。非接触トランスを用いた絶縁型 DC-DC コンバータの回路方式には電流共振(図 5) を採用し特性評価を行った。プロトタイプ電源の効率評価を行った結果、変換効率が 35%程度と高効率化が課題となった。損失分析を行った結果、トランス(インダクタ)での損失が全損失の 70% を占めていることが明らかになった。電磁界シミュレーションにより損失原因が高周波化に伴う表皮・近接効果による交流抵抗の著しい増加であることが明らかになったため、トランスの設計を見直しパターン厚・幅の最適化を行った結果変換効率が 65%まで改善した(図 6)。今後、整流方式、スイッチング素子を変更することで 80%程度の効率が達成できることをシミュレーションにより確認している。

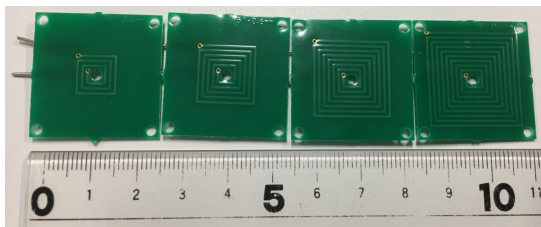


図 3 . 試作インダクタ

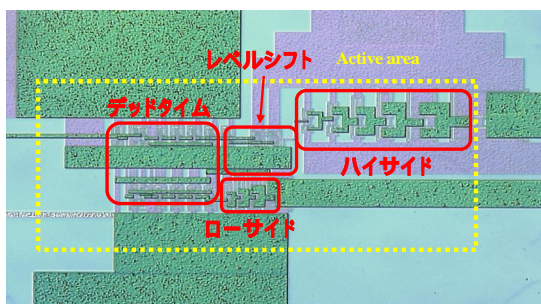


図 4 . 試作ゲートドライバの顕微鏡写真

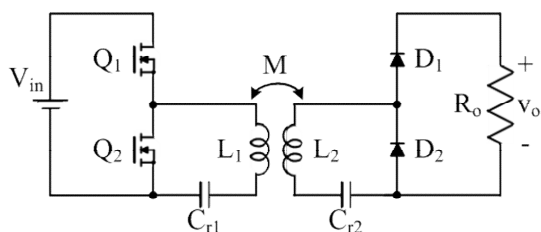


図 5 . 電流共振コンバータ

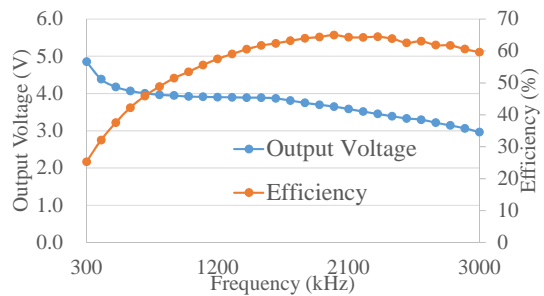


図 6 . 試作電源の効率特性

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

1. 皆尺寺、松本、安部、 「空芯トランスを用いた電流共振型コンバータの特性評価」 電子情報通信学会・エネルギー技術専門委員会、2017
2. T. Akagi, S. Miyano, S. Abe, S. Matsumoto, “ A Silicon Based Multi-Tens MHz Gate Driver IC for GaN Power Devices,” IEEE APEC, 2017
3. S. Abe, T. Akagi, S. Matsumoto, “ Evaluation of On-Chip Inductor and Transformer for Isolated Power-SoC,” International Workshop on Power Supply on Chip (PwrSoC), 2016

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：
 種類：
 番号：
 出願年月日：
 国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：
 発明者：
 権利者：

種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安部 征哉 (Seiya Abe)
九州工業大学・大学院工学研究院・准教授
研究者番号：40423488

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()