

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007 ～ 2008

課題番号：19760199

研究課題名（和文） 情報通信機器用スイッチング電源システム

研究課題名（英文） A Switching Power Supply System for IT Applications

研究代表者

西嶋 仁浩（NISHIJIMA KIMIHIRO）

大分大学・工学部・助教

研究者番号：50363544

研究成果の概要：ノートパソコンのマイクロプロセッサ用電源として考案した新しい3相式降圧形コンバータを試作し、従来の3相式降圧型コンバータとの比較検討を行った。また、考案方式に適した駆動回路の提案も行った。その結果、特に軽負荷時において10%程度の電力効率が改善されることが分かった。また、改良型の電源方式については共同研究企業と特許出願済みであり、現在、実用化に向けた検討を行っている。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
19年度	2,400,000	0	2,400,000
20年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,200,000	240,000	3,440,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 電力工学・電気機器工学

キーワード：パワーエレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

パソコンに搭載されるマイクロプロセッサの高性能化・高速化に伴って、マイクロプロセッサ用電源の設計は難易度を増している。これに対し、現在のマイクロプロセッサには、単体の電源ではなく、図1に示す様に、複数個（3～5個）の電源を並列接続し、タイミングをずらして駆動させるという多相方式が用いられているが、マイクロプロセッサの高性能化が加速的に進む中、この方式において数年後のマイクロプロセッサに対

応させることは容易ではない。高性能のマイクロプロセッサは、パソコンに利用されるだけでなく、インターネットサーバー、デジタルハイビジョンTV、ハードディスクレコーダ、動画を含めた移動体通信機器など様々な民生用機器にも利用されているので、これらの機器の心臓部にあたる電源システムが不安定なものであってはならないし、IT機器による消費電力拡大を阻止するためには、電源の電力効率もできるだけ高めていかなくてはならない。

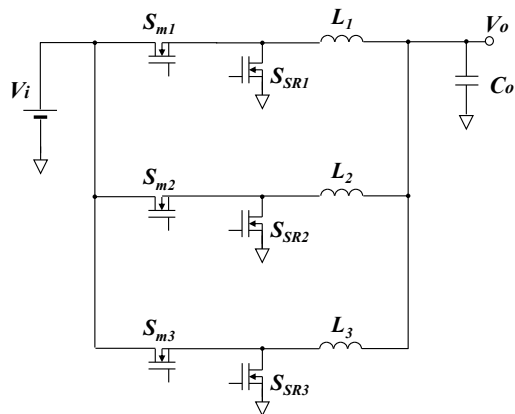


図1 従来の多相式電源（3相の場合）

2. 研究の目的

前述の背景を受け、本研究では、図2に示す新しい多相式電源方式（特開 2006-223088）を3相式の場合について検討する。以下にその目的を示す。

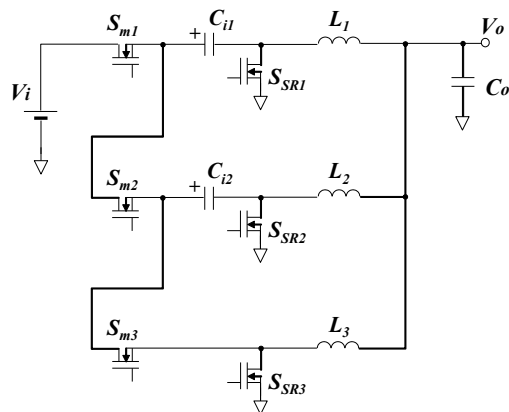


図2 考案した多相式電源（3相の場合）

『次世代のマイクロプロセッサ規格に対応する3相式電源の試作』

1年後のマイクロプロセッサは、 $1000A/\mu s$ を越える急速な電流変化が起こると報告されているため、手作りの試作機では評価に限界がある。そこで、市販商品のように多層基板を用いた試作機を設計し評価を行う。

『マイクロプロセッサ用電源の評価システムの構築』

マイクロプロセッサは、駆動電圧1V以下、

最大電流 100A 以上、電流変化 $1000A/\mu s$ 以上、といった特殊な条件で動作しているため、マイクロプロセッサの動作環境を模擬的に作り出すことの出来る評価システムを構築する。

『新方式の評価』

従来の多相方式と考案する3相方式を上記評価システムにより評価し、新方式が次世代のマイクロプロセッサ用電源に適していることを定量的に明らかにする。

3. 研究の方法

『19年度 多層基板を用いた試作機の作成と、高精度な測定システムの構築』

新方式については、手作りによる試作機の検討、及び、解析やシミュレーションによる原理的な有効性の確認を進めており、その成果は国内外の学会で随時発表を行っている。しかし、手作りによる試作機と一般的な測定機器では、実際のマイクロプロセッサ用電源の仕様に合わせた測定評価が出来ないため、新方式の有効性を十分に示せない。そこで、19年度は、新方式を多層基板によって作成し、高精度な測定システムを用いて評価検討を行う。

『20年度 解析やシミュレーションを含めた最適設計』

20年度では、研究中の新方式を実用化レベルまで高める。マイクロプロセッサ用電源は、部品や配線の寄生成分の影響を非常に受けやすいため、回路部品の選定や回路のレイアウトの仕方によっても、特性が大きく異なってくる。そこで、詳細な回路解析やシミュレーションを行い、実験結果と照らし合わせることで、多層基板の最適なレイアウトを導き出し、電源の潜在能力を最大限に引き出す。また、現在、未発表の電源方式も複数あるので、上記、高精度測定解析システムを用いて実験検討を行う。

これらの作業から得られた成果は、随時論文にまとめ、国内外の学会で発表する予定である。

4. 研究成果

『研究の主な成果』

本事業の『研究目的』と『自己評価結果』を表1に示すが、申請書の予定通りに実施され、十分な研究成果が得られた。

3相式電源の評価試験については、ノートパソコンの動作環境を想定した。試作機の回路パラメータを表2に示す。

図3に出力平滑コンデンサ C_o の電流リップルを示す。新方式は従来方式に比べてリップルを40%削減できるので、MPU用電源の様に大電流を出力する用途に有利である。図4に、電圧変換率に対する電流リップルの削減率を示す。ノートPCのように19Vから1.1Vに降圧する条件下(降圧比5.8%)では、従来の5相方式と同等のリップル削減率が得られる。

図5、図6に、スイッチ素子のドレイン・ソース間電圧波形を示す。従来方式では、どのスイッチも電源電圧と同じ19Vでスイッチングしているが、これに対し、新方式では、ボトムスイッチ S_{SR1} , S_{SR2} , S_{SR3} とトップスイッチ S_{m1} が6.3V、すなわち、電源電圧の3分の1の電圧でスイッチングしている。また、トップスイッチ S_{m2} , S_{m3} は凸形の波形であるが、これらのスイッチもスイッチング時の電圧は6.3Vである。このようにスイッチング時の電圧が低減されることにより、新方式は電力効率を改善することができる。

図7、図8に、ACアダプタモード、及び、バッテリーモードにおける電力効率を示すが、どちらの条件下においても、軽負荷時の電力効率が5%~10%程度改善できている。パソコンは一般的に稼働時間の8割ほどがアイドル状態及びスリープモードで動作しているので、軽負荷領域で高効率を実現できる新方式は、パソコン用電源に適しているといえる。

図9に、スイッチ素子のオン時間にばらつきをもたせた時のインダクタ電流波形を示す。従来方式では、オン時間が1%ずれただけで各相の電流が大幅にばらついているのに対し、新方式では、ほとんどばらつきがみられていない。したがって、新方式は、従来方式の様に、電流のバランスをとるための複雑な制御が不要となる。

表1 研究成果

研究目的	研究成果	自己評価
3相式電源の試作	研究室では、2相基板による試作を行い、評価結果をジャーナル等にまとめた。また、現在、 <u>多層基板による試作を共同研究企業と進めている。</u>	○
評価システムの構築	本助成金により周波数特性分析器を購入し、LSI用電子負荷、高速オシロスコープ等を組み合わせることによって、マイクロプロセッサ用電源の測定環境を構築した。	○
考案方式の評価	図3~図9の実験結果から分かるように、 <u>従来方式に比べて、高い性能が得られることが確認された。</u>	○

表2 3相式電源回路パラメータ

Parameters	Value
Input Voltage V_i	11.6V, 14.4V, 16.8V : (Battery mode) 19V : (AC adaptor mode)
Output Voltage V_o	0.8V : (Battery mode) 1.1V : (AC adaptor mode)
Switching Frequency f_{SW}	3MHz (1MHz/Phase)
Maximum Load Current I_o	25A: (Battery mode) 50A: (AC adaptor mode)
Filter Inductances L_1, L_2, L_3	0.18 μ H
Filter Capacitance C_o	1500 μ F (Ceramic 100 μ F \times 15)
Capacitor C_{11}, C_{12}	22 μ F
Main Switches S_{m1}, S_{m2}, S_{m3}	RJK0305DPB (RENESAS)
Synchronous Rectifier Switches S_{R1}, S_{R2}, S_{R3}	RJK0301DPB (RENESAS)

図10に、時比率(トップスイッチのオン時間の割合)に対する出力電圧の伝達特性を示す。新方式は、従来方式に比べて直流ゲインが6dB下がることを除けば似通った伝達特性であるので、従来方式と同じ制御方式を利用することができる。

図11に、新方式のトップスイッチを駆動するための新しいドライブ回路を示す。新方式では、従来のドライブ回路を用いてトップスイッチを駆動することが困難であったが、ダイオード D_1 , D_2 , D_3 の接続位置を変えるだけでこの問題を解決した。

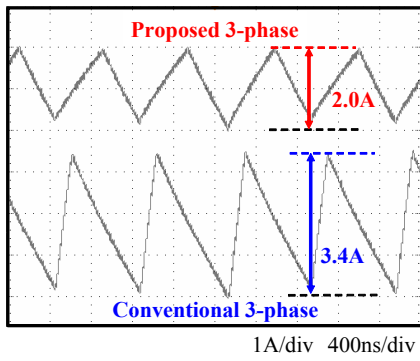


図3 出力平滑コンデンサの電流リップル

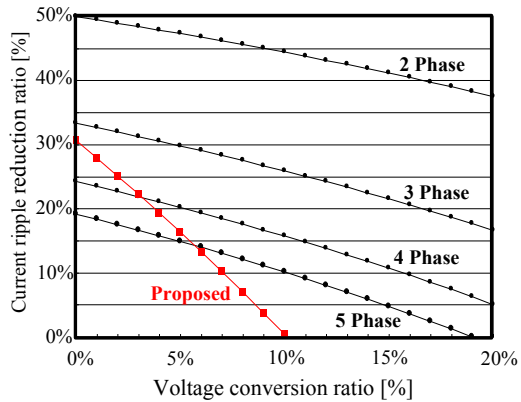


図4 電圧変換率に対するリップル削減率

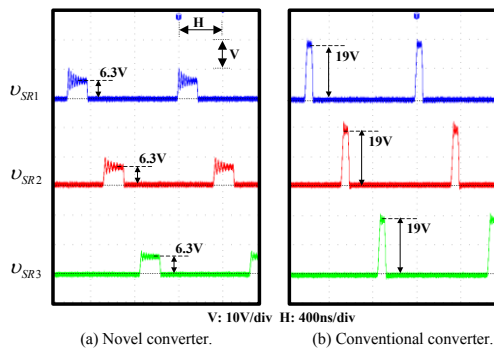


図5 ボトムスイッチの電圧波形

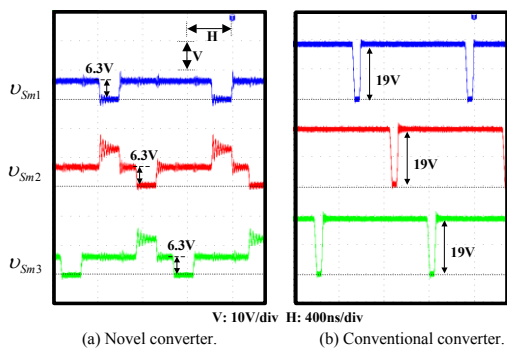


図6 トップスイッチの電圧波形

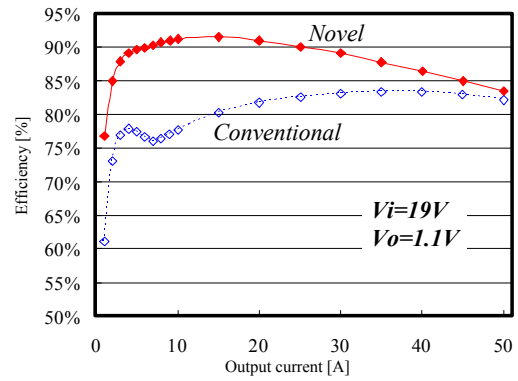


図7 ACアダプタモードの効率

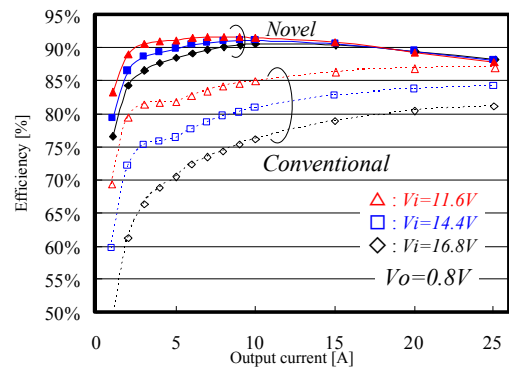


図8 バッテリーモードの効率

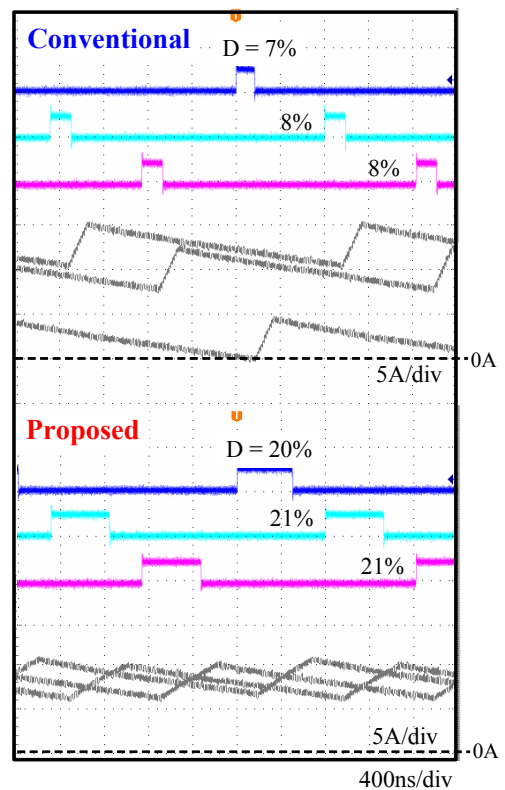


図9 インダクタ電流波形

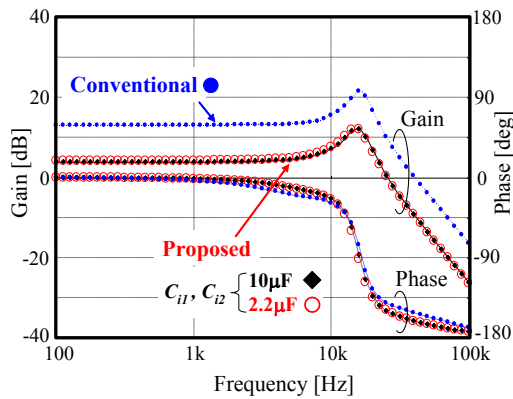


図 10 時比率に対する出力電圧の伝達特性

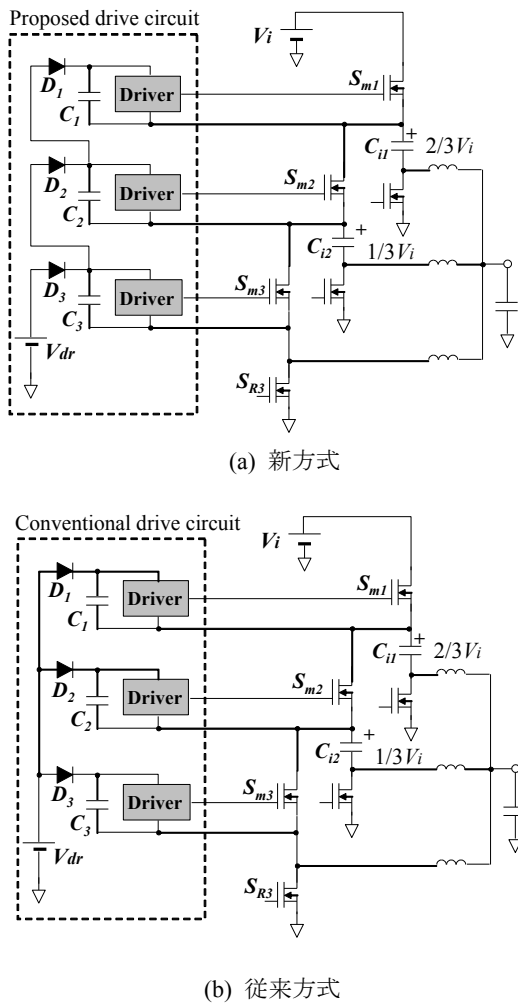


図 11 トップスイッチの駆動回路

『国内外における位置づけとインパクト』

コンデンサを追加した多相式電源は、高効率化をめざす世界的にみても新たな発想の電源回路であり、現在、共同研究企業との実用化に向けた試作検討も進めている。

『今後の展望』

特許出願済みの応用回路についても、実用化に向けた試作評価を進め、2～3年後を目途に種々のIT機器の省エネ化・小型軽量化を目指す。

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 3件)

① 著者名：阿部孔介，西嶋仁浩
(他 3名，2番目)
 標題：多相式高降圧コンバータ
 雑誌名：電子情報通信学会
 和文論文誌 (分冊：B)
 査読の有無：有
 受付番号：2009JBP3012 (条件付き採録)
 判定日：2009年4月10日

② 著者名：阿部孔介，西嶋仁浩
(他 3名，2番目)
 標題：A Novel Three-Phase Buck Converter with Bootstrap Driver Circuit
 雑誌名：Proceedings of IEEE 38th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC'07)
 査読の有無：有
 発行年，ページ：2007年，pp. 1864-pp. 1871

③ 著者名：阿部孔介，西嶋仁浩
(他 3名，2番目)
 標題：A Novel Multi-Phase Buck Converter for Lap-top PC
 雑誌名：Proceedings of The Fourth Power Convention Conference (PCC'07)
 査読の有無：有
 発行年，ページ：2007年，pp. 885-pp. 891

[学会発表] (計 4件)

① 発表者名：西嶋仁浩
 標題：低電圧大電流出力に適したDC-DCコンバータ
 学会名：テクノフロンティア2008
 スイッチング電源技術シンポジウム
 発表年月日：2008年4月17日
 発表場所：千葉

②発表者名：西嶋仁浩

標題：各種低電圧大電流電源の現状と課題

学会名：次世代エネルギーエレクトロニクス研究会

発表年月日：2007年5月25日

発表場所：東京

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1件）

名称：DC-DCコンバータ

発明者：西嶋仁浩, 阿部孔介

権利者：大分大学

日立コンピュータ機器（株）

種類：特許願

番号：特願 2008-324543

出願日：平成 20 年 12 月 19 日

国内・国外の別：国内

6. 研究組織

『研究の主な成果』

(1) 研究代表者名：

西嶋 仁浩 (KIMIHIRO NISHIJIMA)

大分大学・工学部・助教

研究者番号：50363544

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし