

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月25日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560357

研究課題名（和文） 次世代情報通信機器用高速応答スイッチング電源の開発

研究課題名（英文） Development of Fast Response Switching Power Supply for Information and Telecommunication System in Next Generation

研究代表者

鍋島 隆（NABESHIMA TAKASHI）

大分大学・工学部・教授

研究者番号：00117201

研究成果の概要（和文）：本研究は、次世代の電子機器用電源に対応した高速応答を有する高効率スイッチング電源の開発を目的とするもので、電力変換部においては従来のスイッチング電源に比べ広い負荷範囲で大きな効率の改善が実現された。また、本研究で提案したヒステリシス PWM 制御回路方式は、従来の制御方式に比べて少ない部品点数でより高速応答化が可能となることを明らかにし、理論解析により設計の指針を示した。更にモバイル端末用電源の回路方式とその制御法についても新たなフィードフォワード制御を提案し、高効率で過渡特性の優れた電源回路を開発した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of the research is to develop the switching power supply with high efficiency and fast transient response. Only by applying a capacitor in series with the switching device, a high efficiency in wide range of the load was realized. A proposed hysteretic PWM method for switching converters provides excellent dynamic performances without increasing control devices and theoretical guideline for designing is also provided. In addition, a high efficiency and fast response converter for mobile power supply were developed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子機器

キーワード：スイッチング電源・高速応答・ヒステリシス制御・フィードフォワード制御

1. 研究開始当初の背景

デジタル情報機器に代表されるように近年の小形高機能電子機器においては、電源の低電圧大電流化が進んできており、またそのダイナミックな電流変動の大きさと速さは年々激しくなっている。このような負

荷に対して、スイッチング電源に要求される仕様は小形、高効率だけでなく、急峻かつ大きな負荷変動に対しても良好な過渡特性、制御特性をもつものが必要とされている。

米国では早くからこの問題を認識し、大学や企業の研究機関で大きなコンソーシアムをつくり、重要な技術開発目標として取り組

んできている。一方、日本ではこの分野で出遅れたため、研究課題として取り組む大学、企業が少なく、結果として情報機器用スイッチング電源の開発におくれを取っているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、次世代の電子機器用電源に対応した高速応答を有するスイッチング電源の開発を目的とするもので、特にスイッチング電源の負荷急変に対する過渡応答特性改善に着目し、

- (1) 電力変換部であるコンバータの高効率化
- (2) 高効率かつ過渡特性の優れたモバイル用電源の開発
- (3) 負荷急変に対し、速応性の優れた制御方式の開発と実用化

について研究開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 電力変換回路：

我々は既に、低インピーダンスのコンデンサのみを用いて2倍の電圧変換比を得ることができる2相式コンバータ回路方式を考案しており、この方式を3相以上の回路に適用した場合の定常特性について、効率まで含めた検討を行う。この他に、モバイル用電源として昇降圧特性が必要とされるコンバータ回路方式と高効率動作を行うための動作条件について実験的に検討する。

(2) 制御方式：

スイッチングコンバータは通常の電圧帰還制御では、急峻な負荷変動に対して良好な制御特性が得られない。そこで別の制御法として、帰還信号を従来の出力電圧からではなく、平滑用インダクタの両端からCとRで構成される簡単な積分回路を用いて取り出しヒステリシスPWM制御を行う手法について、実験と解析の両面から定量的に評価を行う。またこの制御方式の汎用性を向上させるため、インダクタ電圧の代わりにコンパレータ出力の方形波を用いる手法に対も検討を行い、実用性の向上を図る。

4. 研究成果

(1) 多相式コンバータについて：

多相式コンバータにおいて、各相の電流バランスをとるための電流検出回路およびバランス制御回路を不要とする回路方式について詳細な解析と実験を行い、無制御で自動的に各相の電流がバランスするメカニズムを明らかにした。これは回路の簡素化、ローコスト化だけでなく、電源システムの高信頼度化につながる。更に図1に示すように、従来方式に比べてより高い電力変換効率が得

られることを解析と実験により示した。また、制御性においては時比率の制御範囲に制限ができることを明らかにし、詳細な定常解析を行うことにより設計の指針を与えた。

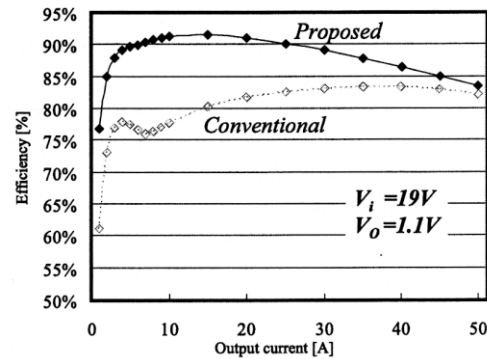


図1 3相コンバータの電力効率

(2) 軽負荷時の高効率化について：

一般にスイッチングコンバータは軽負荷時には電力用半導体素子のスイッチング損失が顕わになるため効率が低下する。特に軽負荷時間の長い機器では電源効率の低い条件での動作となり、省電力化の点で問題となる。本研究ではこの問題を解決する1つの手法として、軽負荷時には電力用半導体素子の代わりドライバICをスイッチ素子として動作させるハイブリッド方式を提案した。その結果、図2に示すように軽負荷時の効率が10%~30%以上改善された。

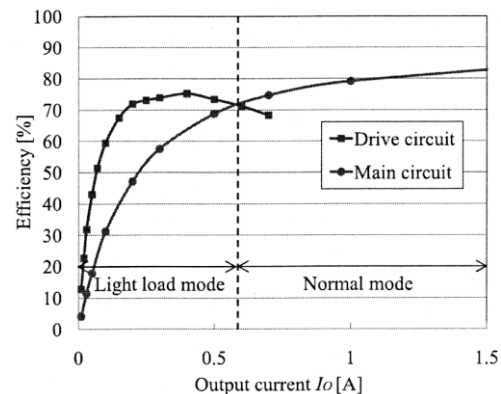


図2 Hブリッジコンバータの電力効率

(3) モバイル端末用電源の高効率化：

モバイル端末用電源として近年利用されるようになってきたHブリッジ形昇降圧コンバータの高効率動作の検討と、広範囲な入力電圧に対してシームレスな電圧制御を行わせるためのフィードフォワード制御方式の適用について検討を行った。その結果、昇圧ブロックの時比率を常に最小とするフィードフォワード制御を昇圧ブロックに施し、出力電圧は降圧ブロックをフィードバック制御する手法により、広い入力電圧範囲に対して高効率のコンバータが実現できることが

明らかにされた (図3)。

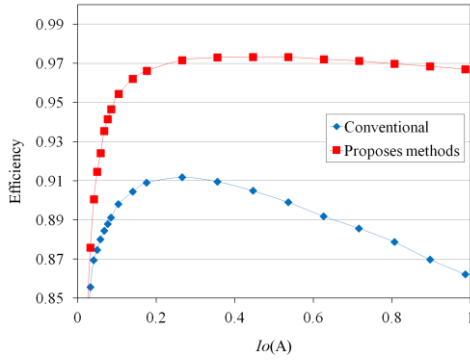


図3 Hブリッジコンバータの電力効率

(4) ヒステリシス PWM 制御について：

ヒステリシス制御は本来ロバストでしかも微分制御特性をもつため、高速応答に適した制御手法であるが、実際の応用においては高速応答性と高スイッチング周波数の両立は困難を伴う。これは電力変換回路で発生するスイッチングノイズにより誤動作が起きやすくなることに起因しており、実装等の影響も大きく関与してくる。そこで図4に示すように、ヒステリシスを生成する回路に小さなキャパシタを用いてスイッチのターン・オン、ターン・オフ直後のヒステリシス幅を過渡的に大きくとる回路方式を提案した。これにより、優れた過渡応答特性を有しながら従来の5倍程度のスイッチング周波数で安定な動作と優れた過渡応答特性を実現するヒステリシス PWM 制御が可能となった(図5)。また詳細な回路解析を行うことにより、制御回路の主要パラメータを決定するための設計指針を与えた。なお、本制御方式は自励形の動作となるため、スイッチング周波数は動作条件や回路パラメータの影響を大きく受ける。そこで外部からのクロックパルスに同期する簡単な回路方式についても提案し、その動作を実験的に検証することにより有用性を明らかにした。

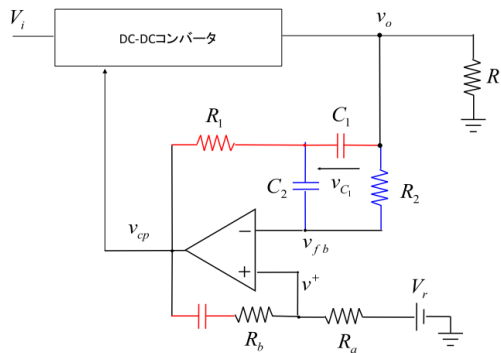


図4 新しいヒステリシス PWM 制御回路

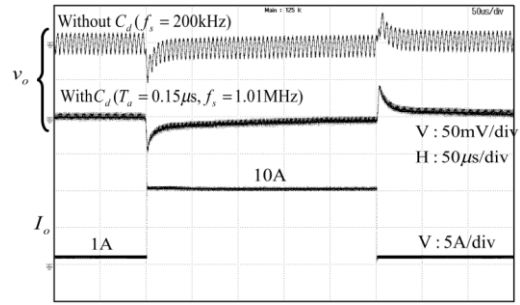


図5 負荷電流ステップ変化に対する過渡応答

以上、本研究により得られた低電圧大電流用コンバータ回路方式は従来の方式に比べ効率の点で大きく改善され、各種電子機器の低消費電力化に大きく寄与するものである。また、本研究で提案したヒステリシス PWM 制御回路方式は、従来の制御方式に比べて少ない部品点数でより高速応答化を可能とするもので、今後の制御方式の主流となる可能性を秘めていると考えられる。

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 M. Takahashi, K. Nishijima, M. Nagao, T. Sato, T. Nabeshima, A Hybrid Converter for Improving Efficiency at Light Load Region, 電気学会論文誌 D 産業応用部門, Vol.13, No. 8, 2011, pp.1007-1012
- ② 林旻, 鍋島隆, 佐藤輝被, 西嶋仁浩, DC-DC コンバータにおける汎用的なヒステリシス PWM 制御回路と高周波化について, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J93-B, No. 12, 2010, pp.1585-1592
- ③ 阿部孔介, 西嶋仁浩, 原田耕介, 鍋島隆, 佐藤輝被, 多相式高降圧コンバータの定常特性, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, Vol. J93-B, No. 3, 2010, pp. 553-563

[学会発表] (計5件)

- ① T. Watanebe, T. Nabeshima, T. Sato, K. Nishijima, Buck-Boost Converter Controlled by Hysteretic PWM Method with Input Voltage Feedforward, INTELEC 2011
- ② K. Okura, T. Nabeshima, T. Sato, K. Nishijima, H. Yajima, High Efficiency Operation for H-Bridge DC-DC Converter, ECCA Asia 2011
- ③ M. Lin, T. Zaitso, T. Sato, T. Nabeshima, Frequency Domain Analysis of Fixed On-Time with Bottom Detection Control for Buck Converter, IECON 2010
- ④ M. Lin, T. Sato, T. Nabeshima, K.

Nishijima, A Robust Hysteretic PWM Control Method for Switching Converters, INTELEC 2009

- ⑤ M. Lin, K. Nishijima, T. Sato, T. Nabeshima, A Derivative PWM Control Method with Constant Switching Frequency, EPE 2009

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

○取得状況 (計0件)

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鍋島 隆 (NABESHIMA TAKASHI)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：00117201

(2) 研究分担者

佐藤 輝被 (SATO TERUKAZU)

大分大学・工学部・准教授

研究者番号：10187213

(3) 連携研究者

なし