

リップルレギュレータ制御方式による単インダクタ 2 出力 DC-DC 電源

立川 将大*, 小堀 康功 (小山高専)
田中 駿祐、築地 伸和、高井 伸和、小林 春夫 (群馬大学)

Single Inductor Dual Output DC-DC converter with Ripple-Based Control

Masahiro Tachikawa*, Yasunori Kobori (National Institute of Technology, Oyama college)

Shunsuke Tanaka, Nobukazu Tsukiji, Nobukazu Takai, Haruo Kobayasi (Gunma University)

Recently, small electronic devices like smartphones have become very popular and their size is smaller and smaller by reducing the number of electronic components. Inductor Dual Output (SIDO) DC-DC switching converters are reported to reduce the number of large inductors which are impossible to be included.

This paper reports the SIDO DC-DC converter with ripple-based control method, which needs no clock nor saw-tooth generator, and its simulation results and experimental results.

キーワード: SIDO 電源、PWM 制御方式、リップルレギュレータ制御方式、三角波

(Keyword : Single Inductor Dual Output, Pulse Width Modulation Control, Ripple-Based Control, Triangular)

1. 初めに

今日、スマートフォンをはじめとする小型電子機器の普及に伴い、電源の小型化が求められている。その方法として特に、インダクタ 1 つで複数出力できる単インダクタ多出力 (Single Inductor Multiple Output) 電源の中でも 2 つの出力の単インダクタ 2 出力 (Single Inductor Dual Output) 電源の研究が盛んに行われている。

本研究では、降圧形・昇圧形それぞれのリップルレギュレータ制御方式 SIDO 電源を降圧形、昇圧形それぞれに適応し、シミュレーション上にて動作の確認を行った。また、降圧形においてテストボード上での実際の回路の動作確認を行い比較・検討を行った。

2. PWM 制御方式 SIDO 電源

図 1 に PWM 制御方式降圧形 SIDO 電源の回路図を示す。メインスイッチ SW の制御は PWM 信号により行われ、サブ電源 2 のスイッチ SW2 は 2 つの電源の誤差電圧比較して得られるセレクト (SEL) 信号により制御される。SEL

信号は SIDO 制御部にて Exclusive 方式により誤差の大きい方を制御するように SEL 信号が制御される。また、サブ電源 1 の出力 V1 をサブ電源の出力 V2 より高く設定することで、サブ電源 1 にスイッチではなくダイオードを接続することにより、SW2 の切り替え時のデッドタイム対策につながる。

2.2 リプル制御方式 SIDO 電源

図 2 にリップル制御方式降圧形電源の回路図を示す。SIDO 制御部は図 1 の SIDO 制御部と同等である。通常、PWM 信号の生成には鋸歯状波が必要であり、そのためのクロック発生回路と鋸歯状波発生回路が必要となる。リップル制御方式では、図 2 のように、インダクタの両端に CR 回路を接続することにより、三角波を自動的に発生させ、これを鋸歯状波の代わりに用いる。よって、鋸歯状波発生回路は必要なくなり、コンデンサと抵抗の 2 つの素子だけで済むので省スペース化へとつながる。CR 時定数を変更するこ

とで容易に制御周波数をかえられるといったメリットも有する。ヒステリシス制御において問題であったノイズに弱く、ヒステリシス幅に依存するといった課題の改善にもつながる。図 2 の回路では、CR 回路のキャパシタ端をサブ電源 1 に固定することにより、サブ電源の切り替えによる三角波の直流レベルの変化を防止している。

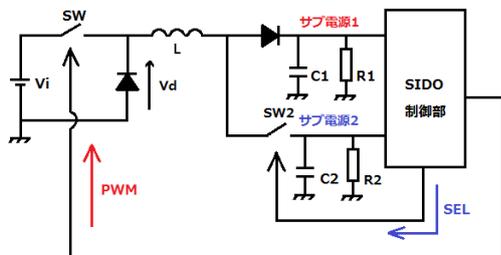


図 1 PWM 制御方式降圧形スイッチング電源

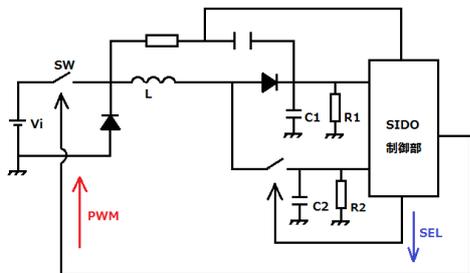


図 2 リプル制御方式降圧形 SIDO 電源

3 シミュレーション結果

3.1 RR 制御方式降圧形 SIDO 電源

表 1 に主な仕様を、図 2 に回路図を示す。シミュレーションソフト SIMPLIS を使用し、この回路のシミュレーションを行った結果を図 3 と図 4 に示す。この回路は CR 回路のキャパシタ側をサブコンバータ V1 に接続することで図 3.2 のように SEL 信号の切換えによる三角波の直流レベルの変動が起こらないようにするためである。

出力リップルは、定常状態では、V1,V2 共に 2 mVpp 以下であり、これは出力電圧の 0.5 % 以下となり、十分な値であるといえる。また、過渡応答特性も共に 10 mVpp 以下と十分に小さい。この時、制御周波数は約 1.4 MHz であり、かなり高速である。

表 1. 降圧形 SIDO 電源の仕様

入力電圧 V_i	10 V
出力電圧 V_1	5.0 V
出力電圧 V_2	4.5 V
インダクタ L	5 μ H
キャパシタ C	470 μ F
負荷電流 $I_{1,2}$	$I_1=I_2=0.2$ A
負荷変動	$I_1=I_2=0.2$ A \rightarrow 0.4 A

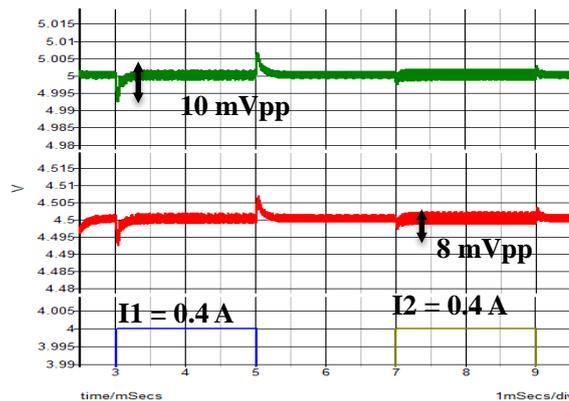


図 3 降圧形出力リップル

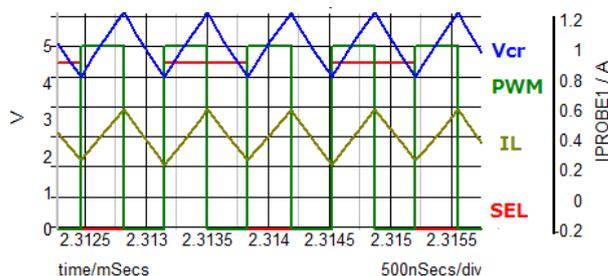


図 4 降圧形主要動作波形

3.2 RR 制御方式昇圧形 SIDO 電源

表 2 に主な仕様、図 5 と図 6 にシミュレーション結果を示す。それ以外の仕様は表 1 と同じとした。

図 4.1 より、定常状態における出力リップルは、降圧形と同じく 2 mVpp と小さく動作は良好であるといえる。過渡応答特性においても共に 3 mVpp と非常に小さくこちらも十分に小さい値となった。

また、図 6 の三角波も問題なく発生しており、降圧形と同様に電源の切り替えによる三角波のレベル変動も起きていないことが分かる。制御周波数は約 1 MHz であり、こちらもかなり高速である。

表 2 昇圧形 SIDO 電源の仕様

入力電圧 V_i	5 V
出力電圧 V_1	5.0 V
出力電圧 V_2	4.5 V
インダクタ L	1 μ H
キャパシタ C	470 μ F
負荷電流 I_1, I_2	$I_1=I_2=0.2$ A
負荷変動	$I_1=I_2=0.2$ A \rightarrow 0.4 A

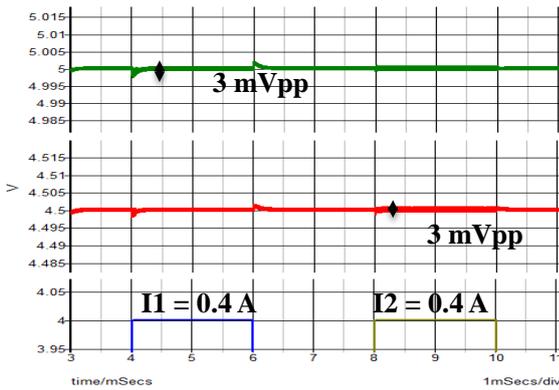


図 5 昇圧形出力リップル

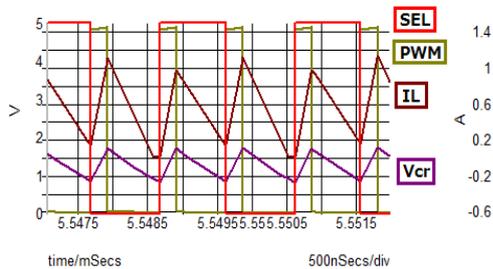


図 6 昇圧形主要動作波

4. 実測結果 (降圧形)

4.1 概要

シミュレーション上で動作した回路を実際に組んでテストボード上での動作確認を行った。回路図は図 2 と基本構成は同じであるが、スイッチ部には P 型 MOS-FET を使用する。

4.2 主要動作波形

図 7 に動作波形を示す。PWM 信号に同期して三角波 V_{cr} が発生していることが図よりわかる。また、SEL 信号の切り換えによる直流レベルの変動はなく、動作は安定している。

4.3 過渡応答特性

図 8 に負荷電流 $I_2=0.2$ A \rightarrow 0.4 A に変化させた時の過渡応答特性を示す。図では定常状態でもリップルが 100 mVpp 以上と大きい。しかし、図 9 のリップル拡大図にみられるように、主要ノイズは PWM 信号に同期したスパイクノイズである。このノイズを除いた出力リップルは、共に約 40 mVpp である。シミュレーション結果と比較すると約 4 倍の大きさであるが、制御周波数は約 250 kHz と 1/4 に低くなっている。降圧形電源では、出力リップルは制御周波数の 2 乗に反比例することより、概ね性能は得られていると考えられる。また、過渡応答時のオーバー/アンダーシュートは計測できないほど小さく、高速応答性を確認できた。

4.4 出力電流

図 9、図 10 に出力電流の波形を示す。SEL 信号は Hi の時、電流 I_2 が流れ、電流 I_1 は流れない。SEL が Low の時電流 I_1 が流れ、電流 I_2 は流れない。SEL 信号は D-FF の反転出力から出力しているため、この結果からサブ電源の切り替えは正常に行われていると考える。

5. まとめ

降圧形、昇圧形リップルレギュレータ制御方式について、シミュレーションより動作、性能を確認した。負荷電流 $I_1=I_2=0.2$ A において、定常出力リップルは共に 2 mVpp 以下、0.4/0.2 A の過渡応答では、オーバー/アンダーシュートは降圧形、昇圧形共に ± 10 mV 以下であった。また、制御周波数は共に 1 MHz 以上と高速であった。

降圧形 SIDO の実装検討して、 $I_1=I_2=0.2$ A の定常出力リップルは 40 mVpp、 $I_2=0.4/0.2$ A の過渡応答では、オーバー/アンダーシュートは非常に小さいのが確認できた。この時、制御周波数は 250 kHz とシミュレーションほどではないが高速動作であった。

なお、スパイクノイズに関しては、GND 周りに注意し、メイン電源やオペアンプの電源-GND 間や基準電圧源にパスコンをつけたが、除去できなかった。今後、ユニバーサル基板やプリント配線によるノイズ低減が必要である。

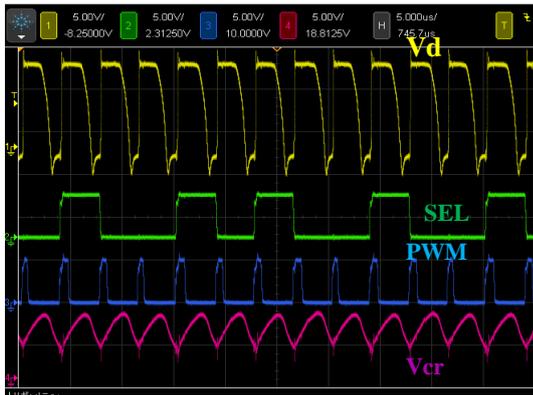


図 7 主要動作波形

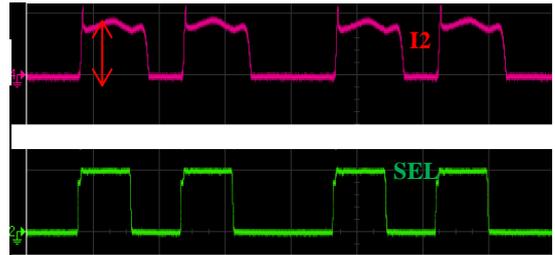


図 11 出力電流 I2

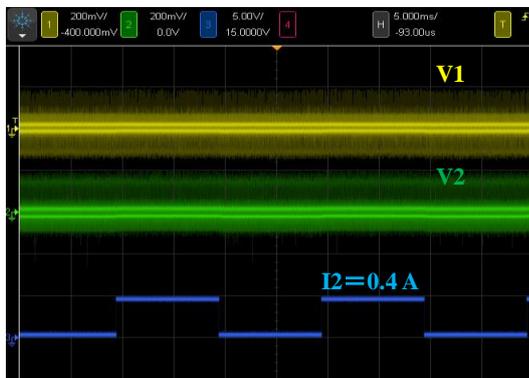


図 8 過渡応答特性

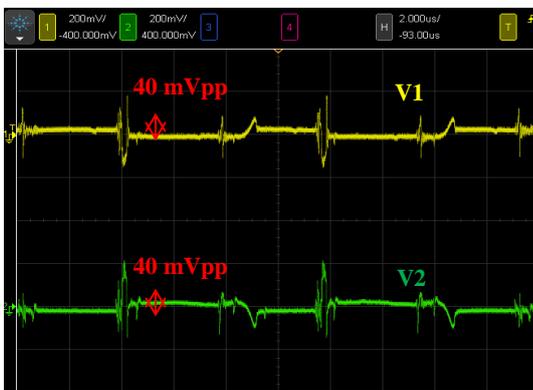


図 9 出力リップル (拡大図)

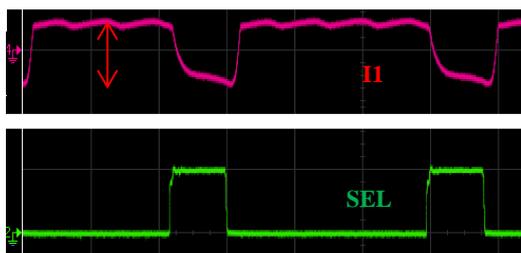


図 10 出力電流 I1

文 献

- 1) Yasunori Kobori, et. al, "Single Inductor Dual Output DC-DC Converter Design with Exclusive Control," Asia Pacific Conference on Circuits And Systems, pp.436-439 (2012,12)
- 2) Yasunori Kobori, et. al, "Single Inductor Dual Output DC-DC Converter using Exclusive Control Method", IEEE POWERREng, No.151 (2013,5)
- 3) T.Nabeshima, et.al, " Analysis and Design Considerations of a Buck Converter with a Hysteretic PWM Controller," IEEE Power Electronics Specialists Conference, pp.1711-1716 (2004,6)