

# 排他的制御を用いた単一インダクタ 4 出力 DC-DC スイッチング電源

## Single-Inductor Four-Output Switching Converter using Exclusive Control Method

李慕容\*,小堀康功,趙峰,吳澍, Zachary Nosker, 小林春夫, 高井伸和 (群馬大学)

Murong Li\*, Yasunori Kobori, Feng Zhao, Shu Wu, Zachary Nosker,  
Haruo Kobayashi, Nobukazu Takai (Gunma University)

キーワード : DC-DC コンバータ, スイッチングコンバータ, 単一インダクタ, 4 出力, 排他的制御

Keywords: DC-DC converter; switching converter; single inductor; four output; exclusive control

### 1. はじめに

電子機械には多数の DC 電源が設けられ、小型・軽量・省電力化に向けて研究開発が進められている。スイッチング電源ではインダクタの占める割合も大きく、その削減手法として 1 個のインダクタにより多数の直流電圧を出力するシングルインダクタ・マルチ出力 (Single-Inductor Multiple-Output : SIMO) 電源が研究報告されつつある [1-5]。SIMO 電源では、制御頻度が低下して、応答特性が劣化する。また、負荷変動によるクロスレギュレーションも重要課題である。

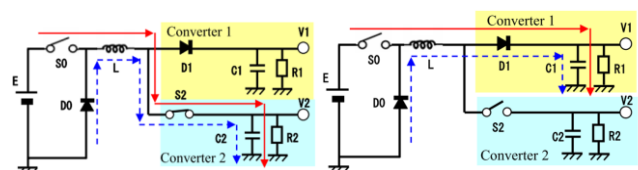
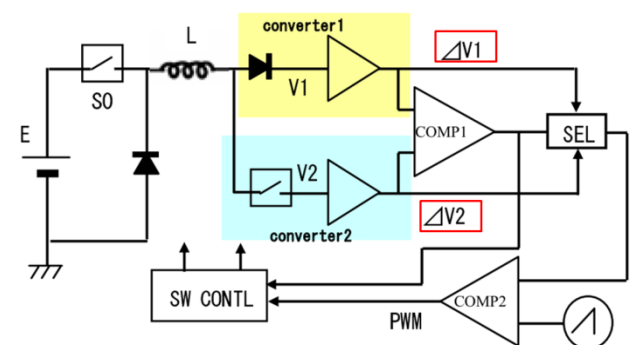
本報告では、4 出力の電圧や負荷電流に依存しない SIMO 電源の新しい制御方法を提案する。まず、SIDO 降圧形電源の基本原則とシミュレーション結果を報告する。次に、4 出力 SIMO 降圧形電源の構成・動作原理とシミュレーションを紹介する。

### 2. SIDO 降圧形コンバータ

#### 2.1 SIDO 電源の構成と基本動作

従来の 2 出力 SIDO 降圧型電源の構成と動作原理を図 1 に、動作波形を図 2 に示す。赤色の実線はインダクタの充電電流を、青色破線は放電電流の流れを示す。メインスイッチ S0 は PWM 信号で制御され、サブコンバータ 1・2 の制御切換えはサブコンバータ 2 内のスイッチで操作される。制御対象の選択には、各サブコン

バータの誤差増幅電圧を比較して決定する。



(1) 電源 1 制御時

(2) 電源 2 制御時

図 1 降圧形 SIDO 電源の構成

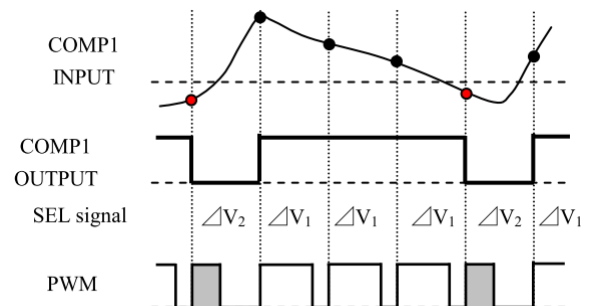


図2 降圧形 SIDO 電源の波形図

## 2.2 SIDO 電源のシミュレーション結果

シミュレーション時の主なパラメータとして、 $V_i=9.0V$ 、 $L=0.5\mu H$ 、 $C=470\mu F$  である。出力  $V_1$ 、 $V_2$  と SEL 信号のシミュレーション結果を図3に示す。ここでは、出力電流比を10倍に選定している。

$I_1=2.0A$ 、 $I_2=0.2A$  の時、出力リップル  $\Delta V_1$  と  $\Delta V_2$  は0.5%以下の  $\Delta V_1=11mV_{pp}$ 、 $\Delta V_2=19mV_{pp}$  である。

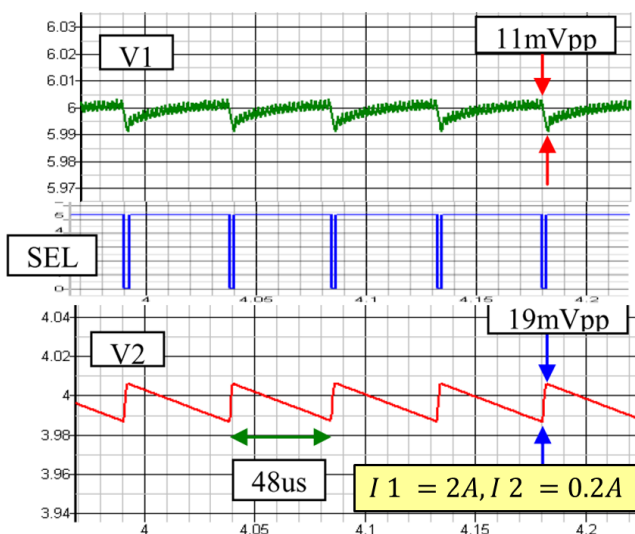


図3 出力電圧リップル（電流比 ×10）

## 3 提案 SIMO 降圧形コンバータ

### 3.1 4出力 SIMO コンバータの構成

提案する4出力 SIMO コンバータのシミュレーション回路を図4に示す。このコンバータは、メインコンバータ、共通のコントローラと4つのサブコンバータで構成される。

メインコンバータは、インダクタ、メインスイッチ、フリーホイールダイオードと回生ダイオードで構成されている。メインスイッチはパルス幅変調 (PWM) 信号によって制御される。PWM 信号は各サブコンバータよりダイオードを介して供給され、したがって全ての PWM 信号の中より最も広い PWM 信号を選択し、メインスイッチを制御する。すべてのサブスイッチが OFF モード

の場合には、回生ダイオード(図4の赤丸)が導通して、インダクタ電流を電源に回生する。

共通のコントローラは、鋸歯状信号、クロック信号と共通比較電圧で構成されている。共通比較電圧は図5に示すように、各サブコンバータの誤差増幅電圧よりダイオードを介して OR 回路とし、最大誤差増幅電圧を取り出す。この共通比較電圧を各サブコンバータに供給する。

各サブコンバータの構成は図6に示すように、入力ダイオード、サブスイッチ、出力コンデンサ、負荷抵抗器(図示せず)、誤差電圧アンプ、PWM 発生器 (COMP1)、AND ゲート及び優先スイッチから構成されている。共通コントローラからの共通比較電圧と内部の誤差増幅電圧とを比較することにより、選択されるサブコンバータか否かを決定しラッチする。なお、同時に複数のサブコンバータが選択されても、入力部のダイオードにより低電圧のサブコンバータが優先的に制御される。

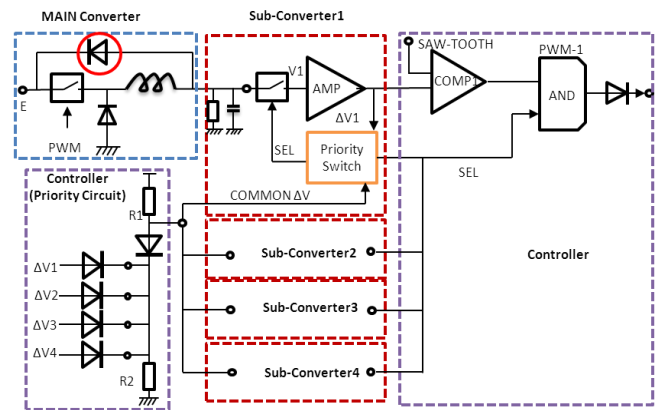


図4 SIMO コンバータの構成

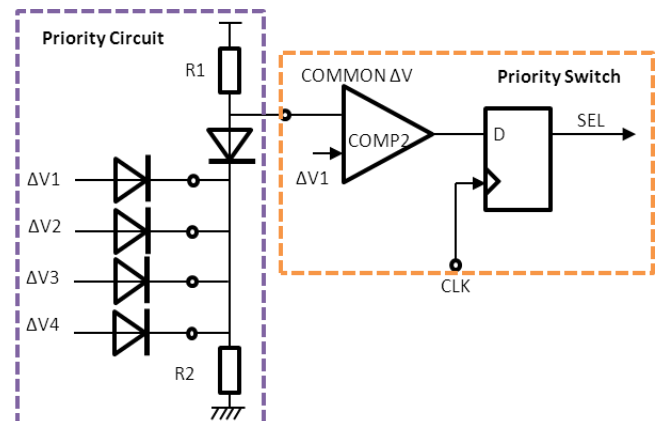


図5 優先回路と優先スイッチの構成

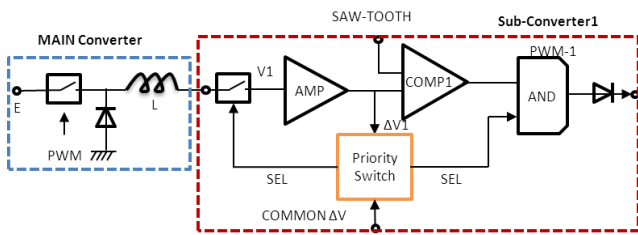


図6 メインコンバータとサブ・コンバータの構成

### 3.2. SIMO コンバータのシミュレーション結果

使用したパラメータを表1に、シミュレーション結果を図7に示す。出力電圧は、 $V1=6.0V$ 、 $V2=5.5V$ 、 $V3=5.0$ と $V4=4.5V$ である。各出力電流は、定常状態で $0.5A$ であり、 $I1$ または $I2$ を $1.0A$ に変化させてレギュレーション特性を確認する。

図8は各サブコンバータの出力電圧リップルであり、いずれも $10mVpp$ 未満である。また、セルフレギュレーションやクロスレギュレーションは $5mVpp$ 未満であり、非常に良い特性である。

Table 1: 提案コンバータのシミュレーションパラメータ

E	10.0V
L	$100\mu H$
C	$1000\mu F$
Fck	500kHz

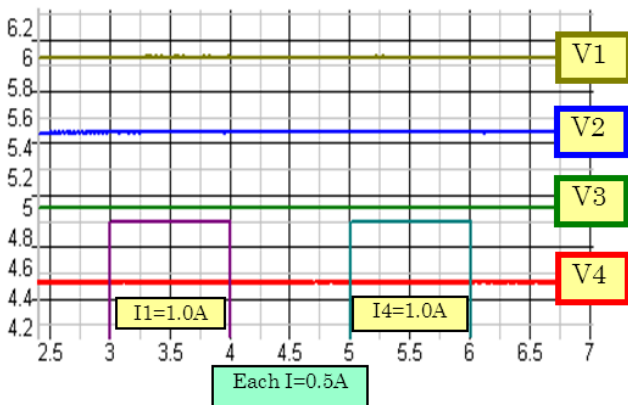


図7 SIMO コンバータのシミュレーション結果

ここで図9に、各サブコンバータの制御状況を、

各出力電流が $0.5A$ の時のSEL信号を拡大して示す。SEL信号の順序は一定ではなく、単一のSEL信号が同時に表示される。すべてのSEL信号がLOWの場合(図9の黒丸●の部分)、インダクタ電流は回生ダイオードを通して入力電圧源に戻される。この状態を図10により、メインスイッチのPWM制御信号と回生電流で示す。黒丸●の部分では、PWM信号がlowでいずれのサブコンバータも選択されていない。この結果、回生電流が流れていること理解される。

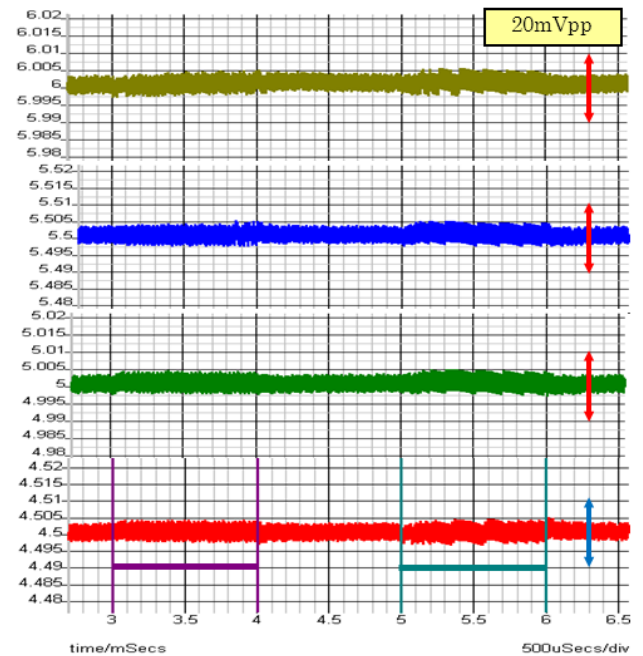


図8 SIMO コンバータの出力リップル

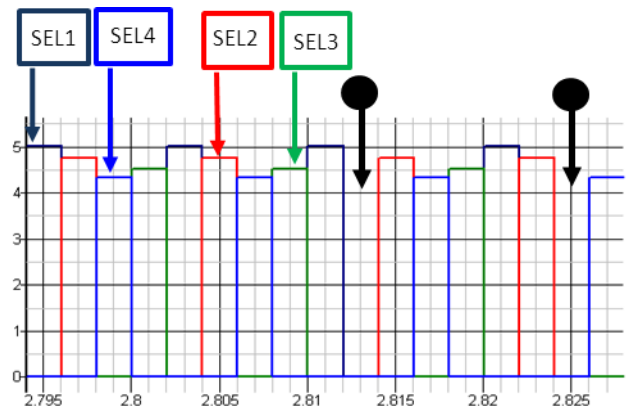


図9 サブコンバータのSEL信号

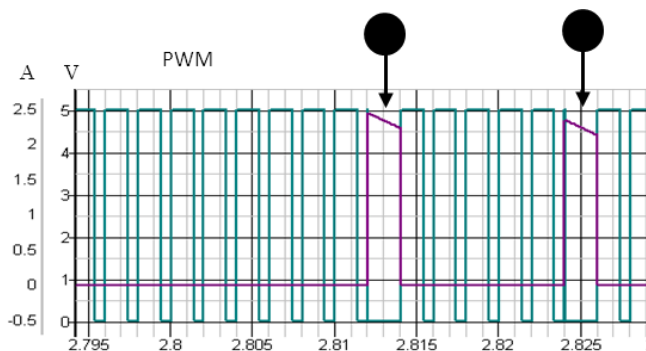


図 10 PWM 信号と回生電流

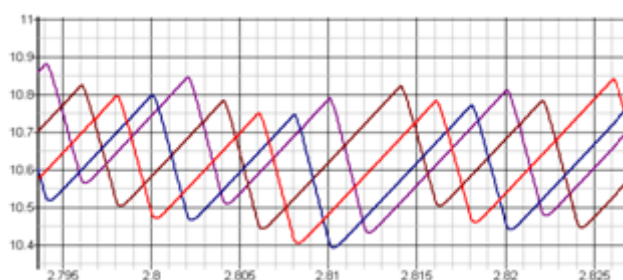


図 11 各サブコンバータの誤差電圧

以上のような SIMO コンバータの制御方式では、各サブコンバータの誤差増幅電圧を比較して制御対象のサブコンバータを選択する。この結果、各サブコンバータの誤差増幅電圧は、図 11 に示すように最大電圧はほぼ一致していることが理解される。

#### 4 まとめ

4 出力の SIMO 降圧形コンバータを提案し、シミュレーションにより動作確認した。出力電圧や負荷電流に依存しない、プラグイン型の新しい制御方式の SIMO コンバータである。シミュレーションの結果、各負荷電流が  $I_o=0.5A$  の時、出力電圧リップルは約  $10mV_{pp}$  である。また、負荷電流変動が  $\Delta I_o=0.5A$  の時、セルフレギュレーションやクロスレギュレーションは  $5mV$  未満と良好である。現在提案構成の回路試作を行っており、実験でも検証していきたい。

#### 参考文献

- [1] H. Iwase, T. Okada, T. Nagashima, T. Takagi, Y. Kobori, K. Takai, H. Kobayashi, et al, "Realization of Low-Power Control Method for SIDO DC-DC Converter," IEEJ Technical Meeting of Electronic Circuits, ECT-12-037, Yokohama (Mar. 2011).
- [2] K. Takahashi, H. Yokoo, S. Miwa, H. Iwase, K. Murakami, N. Takai, H. Kobayashi, et al. "Single Inductor DC-DC Converter With Bipolar Outputs Using Charge Pump," IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, Kuala Lumpur, Malaysia (Dec. 2010)
- [3] Y.Kobori, Q. Zhu, M.Li, F. Zhao, Z. Nosker, K. Takai, H.Kobayashi, et al. "Single Inductor Dual Output DC-DC Converter Design with Exclusive Control," IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, Kaohsiung, Taiwan (Dec. 2012)
- [4] Y. Kobori, F. Zhao, Q. Li, M. Li, S. Wu, Z. Nosker, S. N. Mohyar, N. Takai, H. Kobayashi, T. Odaguchi, I. Nakanishi, K. Ueda, J. Matsuda, "Single Inductor Dual Output Switching Converter using Exclusive Control Method," IEEE International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Devices, Istanbul, Turkey (May 2013).
- [5] Y. Kobori, S. Tanaka, T. Nagashima, T. Sakai, K. Kaneya, S. Todoroki, Z. Nosker, N. Takai, H. Kobayashi, T. Odaguchi, I. Nakanishi, K. Ueda, J. Matsuda, "High-Speed Response Single Inductor Multi Output DC-DC Converter with Hysteresis Control," 1st Annual International Conference on Power, Energy and Electrical Engineering, Singapore (Aug. 2013).