

擬似 $\Delta\Sigma$ 変調 単一インダクタ 2出力 DC-DC スwitching電源

Single Inductor Dual Output DC-DC Switching Converter with Quasi $\Delta\Sigma$ Modulation

小堀康功 (小山高専)、李慕容、呉澍、趙峰、モハイヤ ニザム (群馬大)、
小田口貴宏、中西功 (AKM テクノロジー)、根本謙治 (AKM)
松田 順一 (旭化成パワーデバイス)
高井伸和、新津葵一、小林春夫 (群馬大)

キーワード : DC-DC 電源, 単一インダクタ・デュアル出力電源, 擬似 $\Delta\Sigma$ 変調

(DC-DC converter, SIDO Converter, Quasi Delta-Sigma Modulation)

1. はじめに

多くの電子機器には多数の 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。Switching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2個の直流電圧を出力するシングルインダクタ・デュアル出力 SIDO 電源が研究されつつある。

ここでは、擬似 $\Delta\Sigma$ 変調方式の SIDO 電源として、降圧形および昇圧形電源をシミュレーション確認したので報告する。

2. 擬似 $\Delta\Sigma$ 変調降圧形 SIDO 電源

2.1 電源構成と基本動作

擬似 $\Delta\Sigma$ 変調方式降圧形 SIDO 電源の構成および動作電流を、図1、図2に示す。出力電圧の高い方を電源1、低い方を電源2とする。図1は電源1の制御時を、図2は電源2の制御時の電流経路であり、図3にこれらの制御信号波形を示す。図1において電源1の制御時、スイッチ S2 は OFF であり、通常の降圧形電源として動作する。次に電源2の制

御時は、スイッチ S2 が常時 ON となり、出力電圧の関係 $V_1 > V_2$ よりダイオード D1 は OFF となる。この結果、電源2は通常の降圧形電源として動作する。したがって、制御対象の選択は、スイッチ S2 の ON/OFF により決定される。

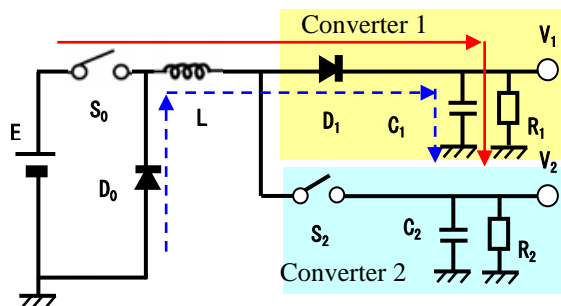


図1 降圧形 SIDO 電源 (電源1制御時)

Fig.1 Buck Converter (Converter 1 Controlled)

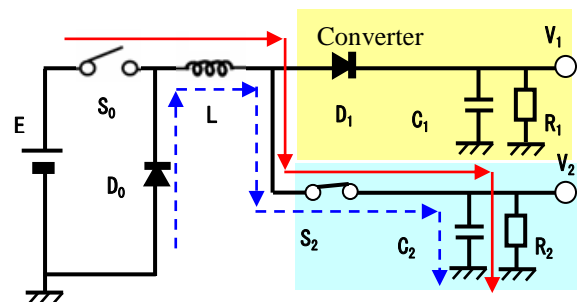


図2 降圧形 SIDO 電源 (電源2制御時)

Fig.2 Buck Converter (Converter 2 Controlled)

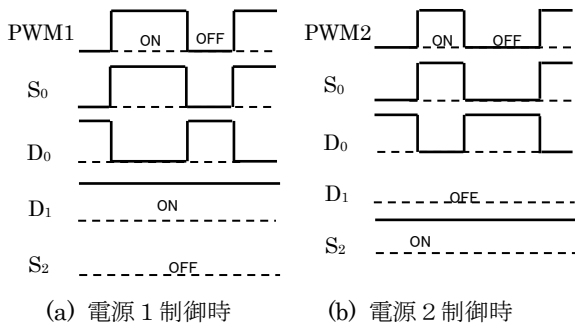


図 3 降圧形電源のタイミングチャート

Fig.3 Timing Chart of Buck Converter

図 4 に降圧形 SIDO 電源のシミュレーション回路を、図 5 に動作波形を示す。図 4 において、2つの電源出力の誤差電圧は、誤差電圧増幅器 AMP により増幅され、比較器 COMP に入力され比較される。この出力を保持して、電源選択信号 SEL となる。ここで出力電圧の関係 $V_1 > V_2$ より、スイッチ S1 を制御することにより、ダイオードが ON/OFF して電源が選択される。なお、PWM 信号は SEL 信号で選択され、スイッチ S0 を制御する。

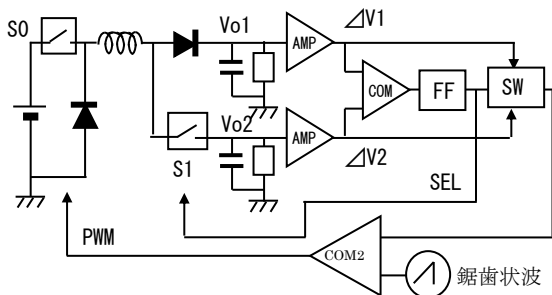


図 4 降圧形 SIDO 電源の構成

Fig.4 Construction of SIDO Buck Converter

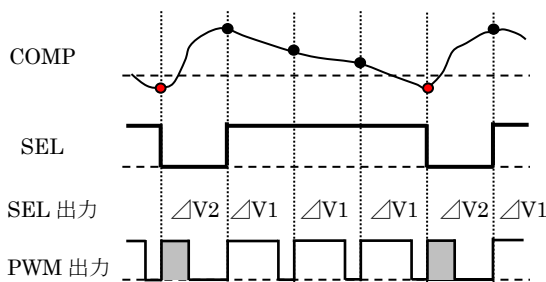


図 5 降圧形 SIDO 電源の動作波形図

Fig.4 Waveforms of SIDO Buck Converter

表 1 降圧形電源のパラメータ

Table 1. Parameters of Buck Converter

E	9.0 V
L	0.5 μ H
C	470 μ F
V_1	6.0 V
V_2	4.0 V
Fck	500 kHz

2.2 降圧形シミュレーション結果

表 1 にシミュレーション時の主なパラメータを、図 6 にインダクタ電流と出力電圧リップル ΔV_o を示す。入力電圧 $V_i=9V$ に対して、出力電圧を $V_{o1}=6V$ 、 $V_{o2}=4V$ 、負荷電流を $I_{o1}=2.0A$ 、 $I_{o2}=0.1A$ に設定した。この場合、電源 1 への電流供給期間が長くなり、制御比率は 23:1 となっている。また出力電圧リップルは $\Delta V_o < 25mV_{pp}$ とやや大きい。

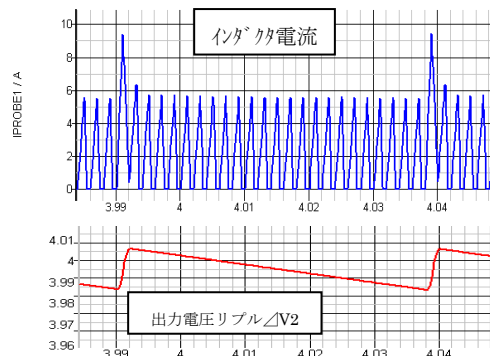


図 6 シミュレーション結果 (定常時)

Fig. 6. Simulation Result

次に、負荷電流変化時の、セルフ (ロード) / クロス・レギュレーションのシミュレーション結果を図 7 ~ 図 10 に示す。ここでは負荷電流を $I_1=2.0/1.0A$ 、 $I_2=0.2/1.2/2.2A$ と変化させた。図 7 は全体の出力電圧 / 負荷電流波形、図 8 は負荷電流比が $\times 10$ ($I_1=2.0A$ 、 $I_2=0.2A$)、図 9 は電流比 $\times 0.45$ ($I_1=1.0A$ 、

$I_2=2.2A$) の状態でのリップル波形である。

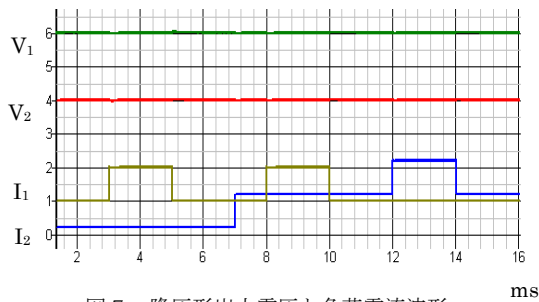


図7 降圧形出力電圧と負荷電流波形

Fig. 7. Output Voltage Ripple & Current

図8は図6と等しい条件で、SEL信号と出力リップル ΔV_1 、 ΔV_2 を同時に示す。電源2が非選択時は、負荷電流により比例的に電圧が低下する。またSEL比はコンデンサが等しい場合、ほぼ負荷電流比に依存する。

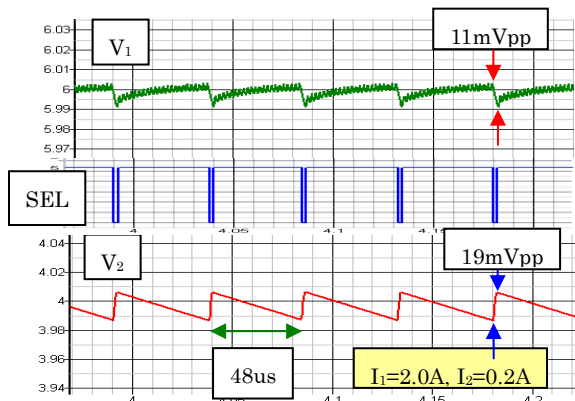


図8 出力電圧リップル (ケース1)

Fig. 8. Output Voltage Ripple (Case 1)

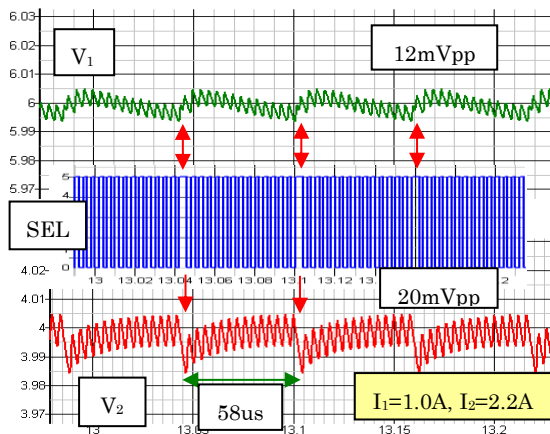


図9 出力電圧リップル (ケース2)

Fig. 9. Output Voltage Ripple (Case 2)

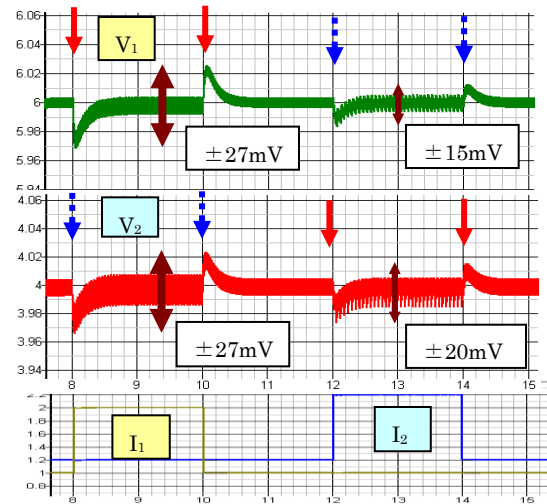


図10 降圧形レギュレーション特性

Fig. 10. Characteristics of Self/Cross Regulation

図10は、負荷変動時のセルフ・レギュレーションおよびクロス・レギュレーションを示す。動作原理的に、両電源のリップル(シュート)はほぼ等しくなり、 $\Delta I_o=1A$ 時、 $\Delta V_o=274mV$ とやや大きい。

3. 擬似 $\Delta\Sigma$ 変調昇圧形SIDO電源

3.1 昇圧形SIDO電源の構成と基本動作

図11、12に昇圧型電源の構成と動作電流を、図13に制御信号を示す。スイッチ S_2 のON/OFFにより、制御電源が選択される。

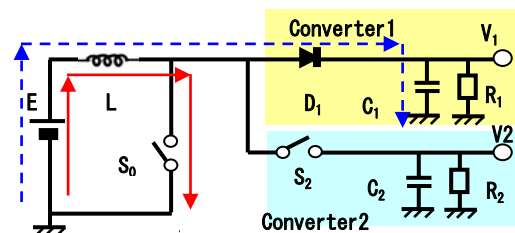


図11 昇圧形SIDO電源 (電源1制御時)

Fig.11 Boost Converter (Converter 1 Controlled)

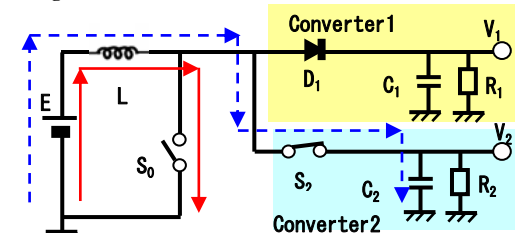


図12 昇圧形SIDO電源 (電源2制御時)

Fig.12 Boost Converter (Converter 2 Controlled)

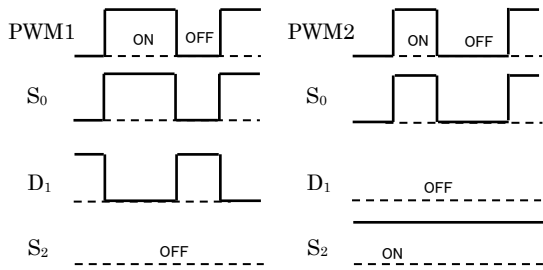


図 13 昇圧形電源の動作波形

Fig. 14 Waveform of Boost Converter

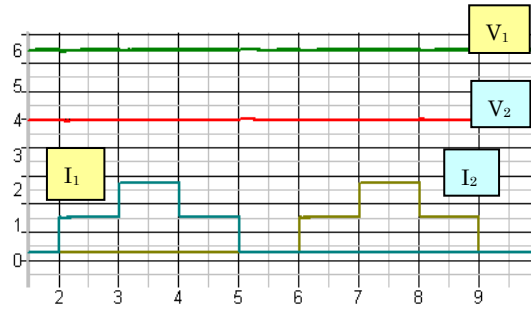


図 14 昇圧形シミュレーション結果

Fig. 14 Simulation Result of Boost Converter

表 2 昇圧形電源のパラメータ

Table 2. Parameters of Boost Converter

E	3.0 V
L	0.5 μ H
C	470 μ F
V ₁	6.0 V
V ₂	4.0 V
Fck	500 kHz

3.2 昇圧形電源のシミュレーション結果

表 2 に昇圧形 SIDO 電源のパラメータを、図 14 にシミュレーション結果を示す。負荷電流は各々 $I_o=0.2/1.2/2.2A$ と切替えている。図 15~17 に、各負荷電流時のリプル波形とレギュレーション特性を示す。図 15、16 では、負荷電流比を $\times 10$ 倍とした場合の出力リプルと SEL 信号を示す。電圧リプルは、いずれも 20mVpp 程度だが、ケース 1 における電源 1 のリプル波形がやや大きい。

一方、図 17 におけるレギュレーション特性では、電源 2 のセルフ・レギュレーションが 35mV とやや大きく、電源 2 のクロス・レギュレーションも同程度である。

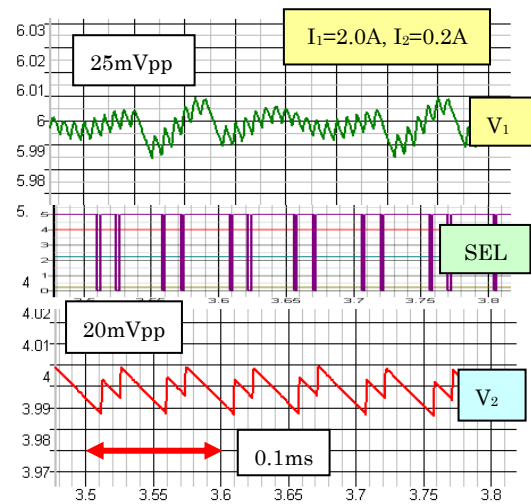


図 15 出力電圧リプル (ケース 1)

Fig. 15 Output Voltage Ripple (Case 1)

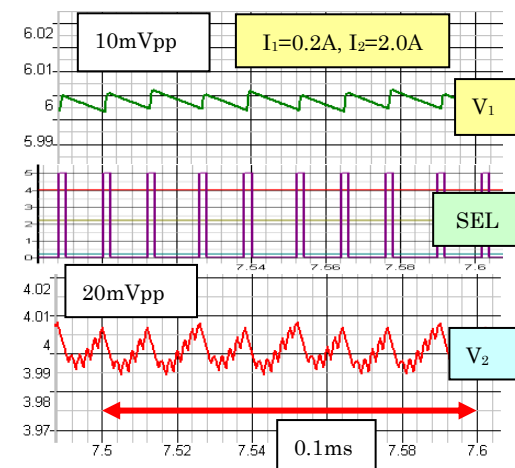


図 16 出力電圧リプル (ケース 2)

Fig. 16 Output Voltage Ripple (Case 2)

- 1) 津志田健吾, 他 13 名, "単一インダクタンス 2 出力 DC-DC コンバータの検討", 第 22 回 回路とシステム軽井沢ワークショップ (2010,4)
- 2) 小堀康功, 他 10 名, "単一インダクタンス 2 出力 DC-DC コンバータにおける新制御方式" 電気学会栃木群馬支部大会(2012.2)
- 3) Kobori, et,al, "Single Inductor Dual Output DC-DC Converter Design with Exclusive Control", APCCAS (2012,12)

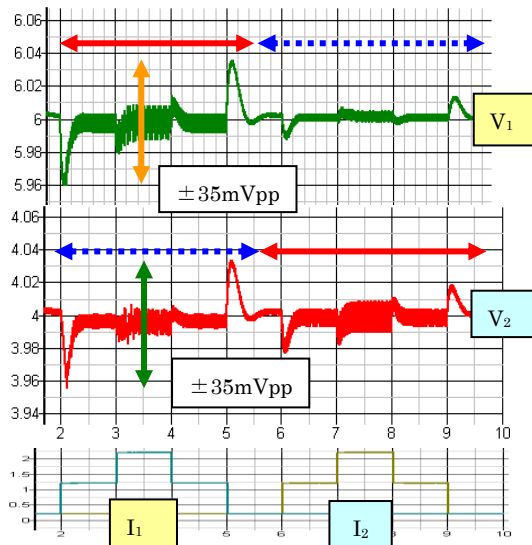


図 17 昇圧形レギュレーション特性

Fig. 17. Characteristics of Self/Cross Regulation

4. まとめ

単インダクタ 2 出力 DC-DC コンバータにおいて、擬似 $\Delta\Sigma$ 変調方式による降圧形および昇圧形 SIDO 電源をシミュレーションにより確認した。本方式の原理は、両電圧誤差を比較して次の周期の制御対象電源を選定して優先的に PWM 制御する。従来構成への追加回路は非常に少なく、コンパレータ 1 個とロジック回路のみである。

シミュレーション結果でのセルフ/クロス・レギュレーションは、負荷電流変化 $\Delta I_o = \pm 1.0A$ に対して降圧形電源で $\Delta V_o = \pm 27mV$ 、昇圧形電源で $\Delta V_o = \pm 35mV$ を確認した。