

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

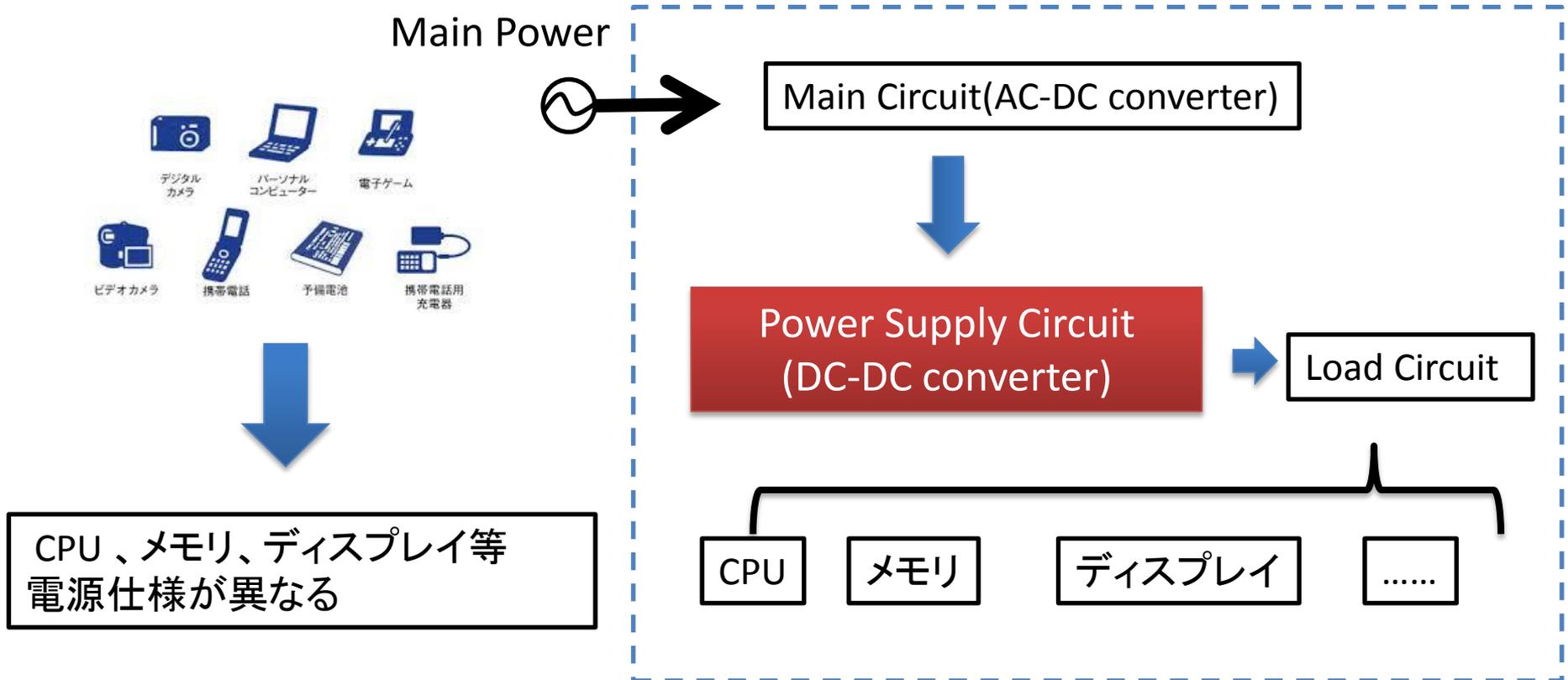
小林研究室

修士2年 李 慕容

アウトライン

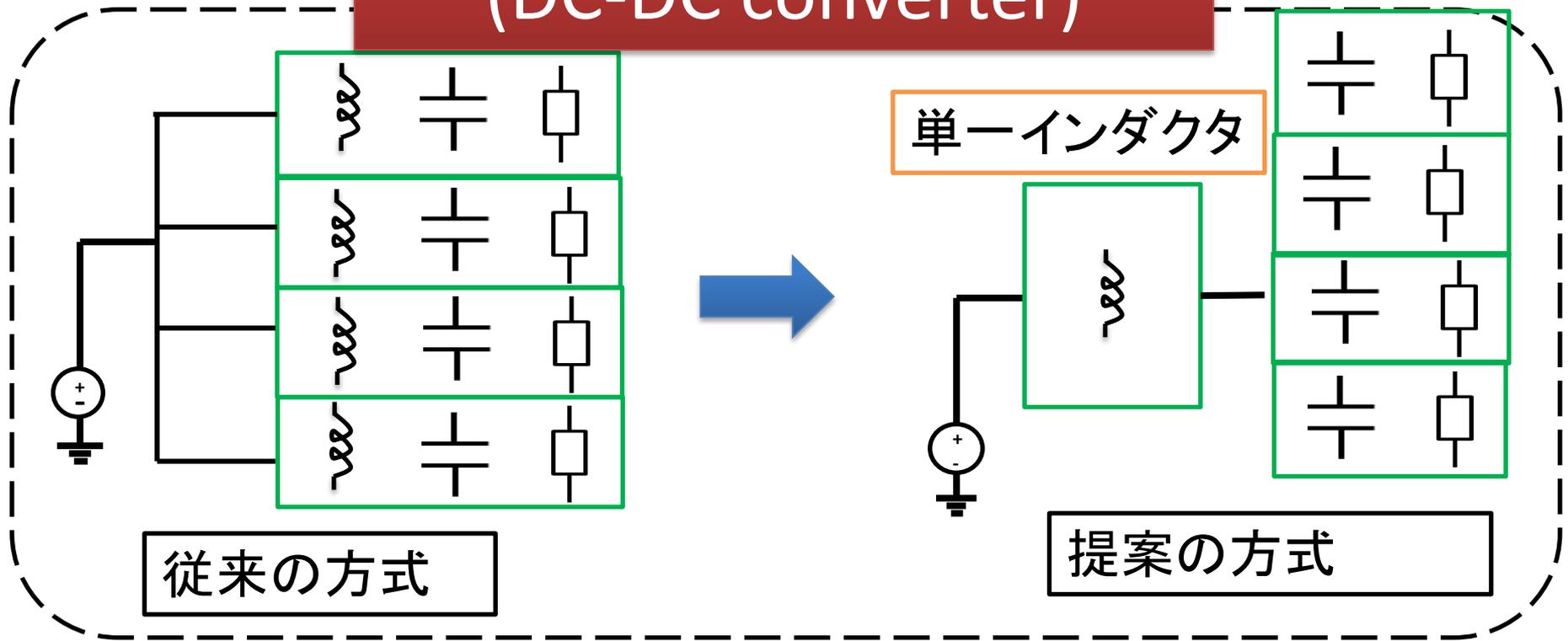
- 研究背景・目的
- 単一インダクタ2出力スイッチング電源(SIDO: Single Inductor Dual-Output)
 - SIDOの降圧-降圧コンバータ
 - SIDOの降圧-降圧電源シミュレーション結果
 - 実装回路結果
- 単一インダクタ4出力スイッチング電源(SIMO: Single Inductor Multi-Output)
 - SIMOの降圧-降圧コンバータ
 - SIMOの降圧-降圧電源シミュレーション結果
 - SIMOの降圧-降圧電源実装試作
- まとめと今後の課題

研究背景



研究目的

Power Supply Circuit (DC-DC converter)



インダクタの減少

コストを減少
体積を減少

提案手法

- 主回路

複数の出力電圧が必要な機器に

- 少量のコンポーネント (スイッチ、ダイオードとコンパレータ)

- 制御回路

- 電流センサを使用せず
- 出力電圧または出力電流の値に依存しない

➤ 2出力スイッチング電源

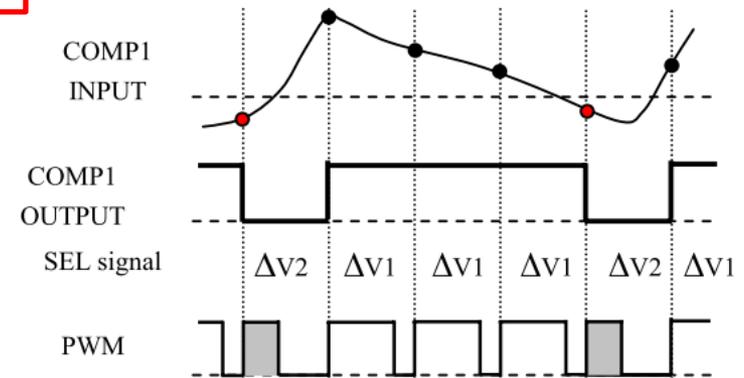
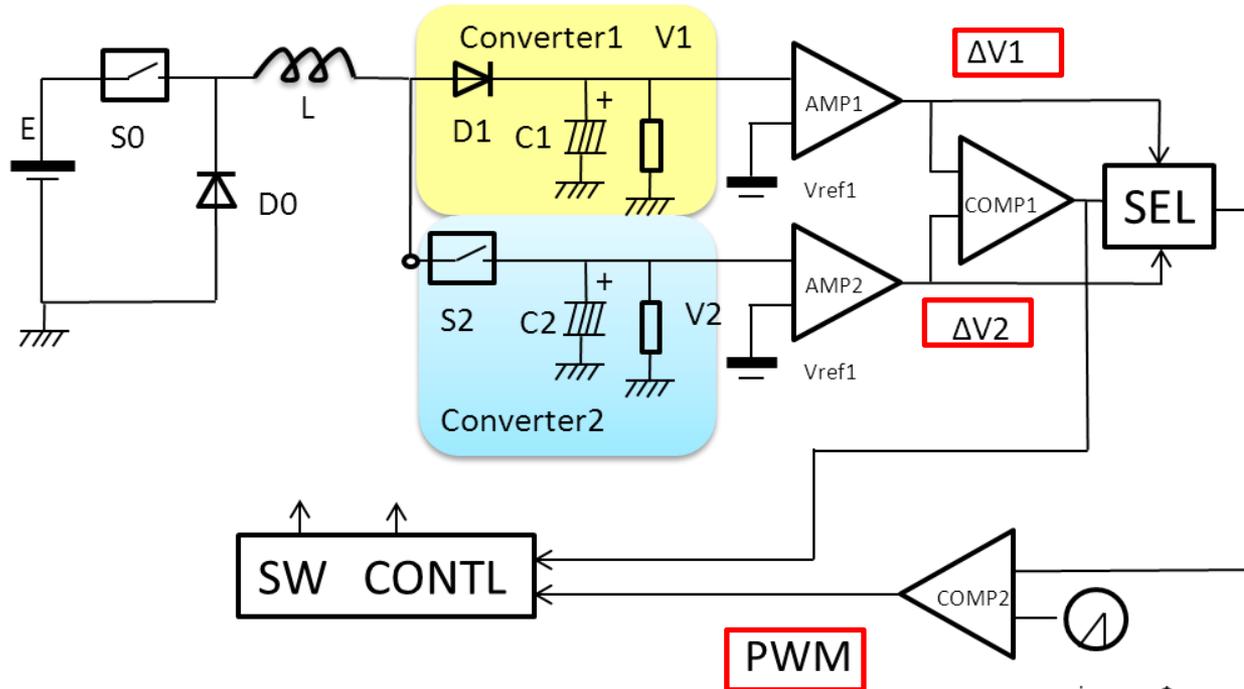
(排他的制御)

- 2つ出力誤差を比較
- 大きい方のサブコンバータを制御

➤ 4出力スイッチング電源

- 4つ出力誤差の大きい方を
選択
- 大きい方のサブコンバータを
制御

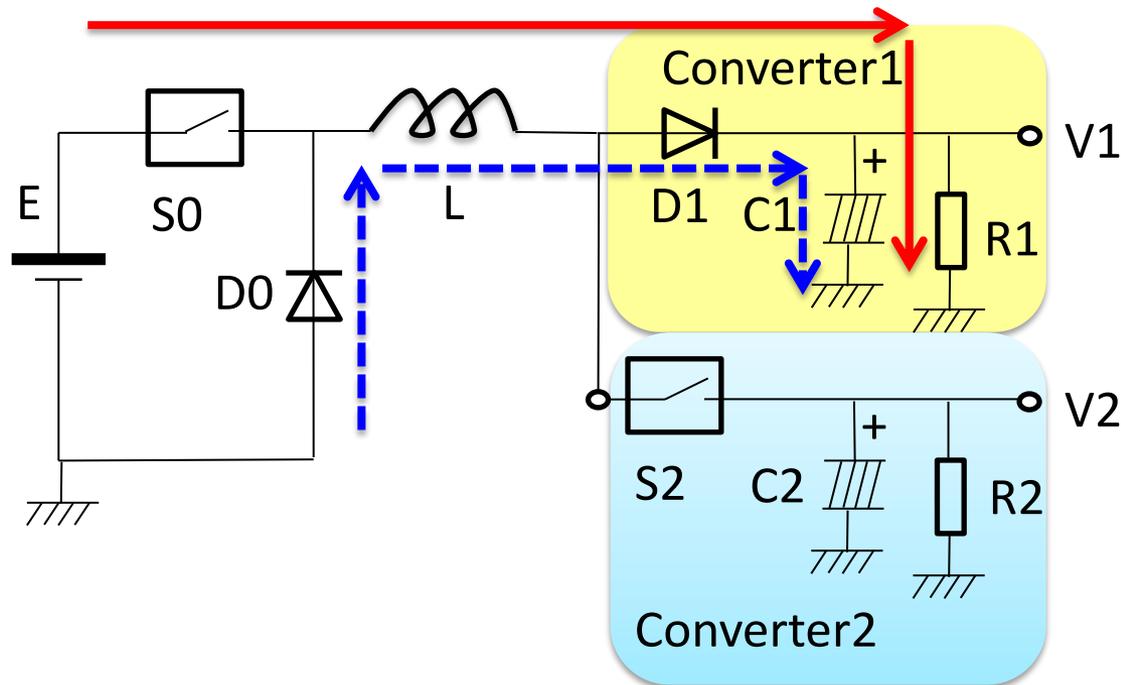
SIDO(SIDO: Single Inductor Dual-Output) 降圧-降圧電源



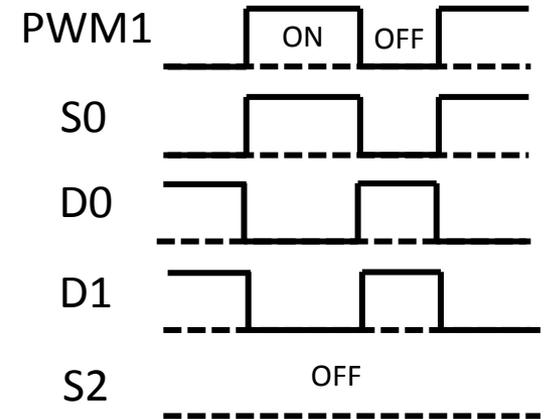
- COMP1 ⇒ 誤差増幅電圧 $\Delta V1$ と $\Delta V2$ を比較
- COMP1 ⇒ HIGH ⇒ コンバータ1制御され ⇒ S2 → OFF
- COMP1 ⇒ LOW ⇒ コンバータ2制御され ⇒ S2 → ON

SIDOの降圧-降圧電源 コンバータ

コンバータ1 制御の時

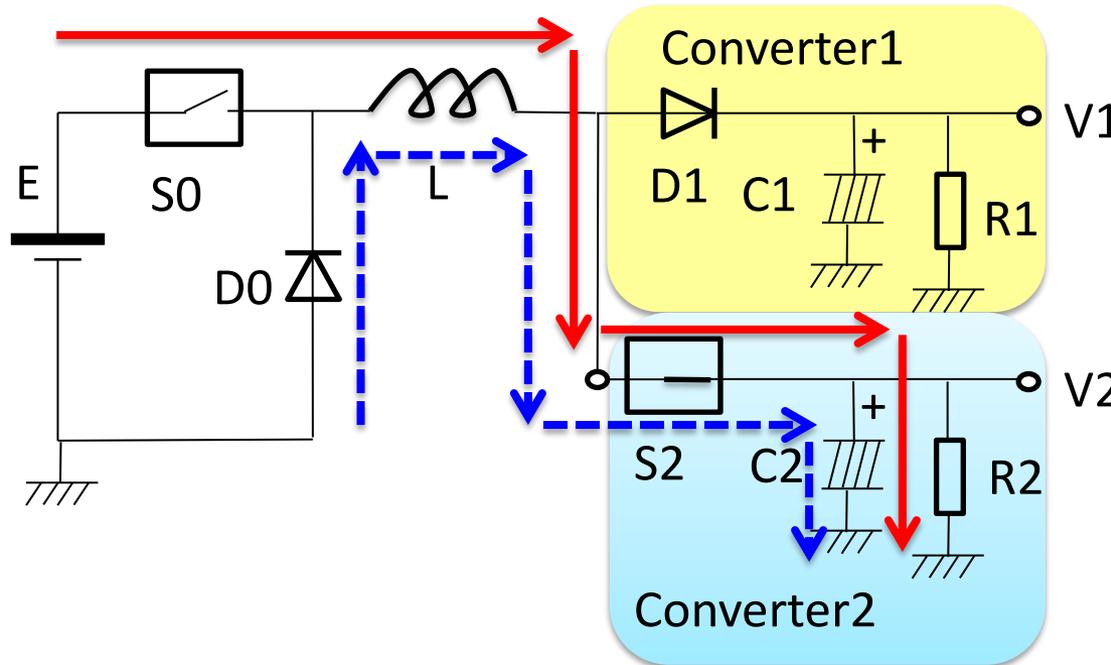


タイミングチャート

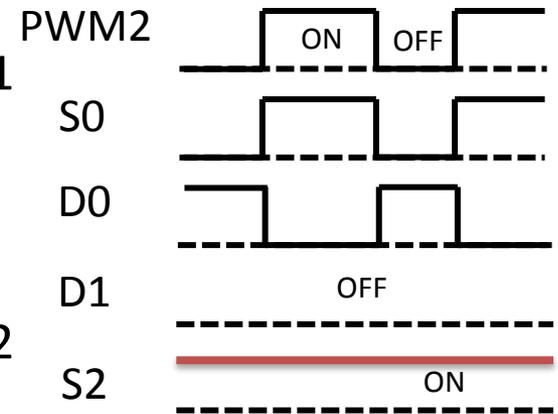


SIDOの降圧-降圧電源 コンバータ

コンバータ2制御の時



タイミングチャート



アウトライン

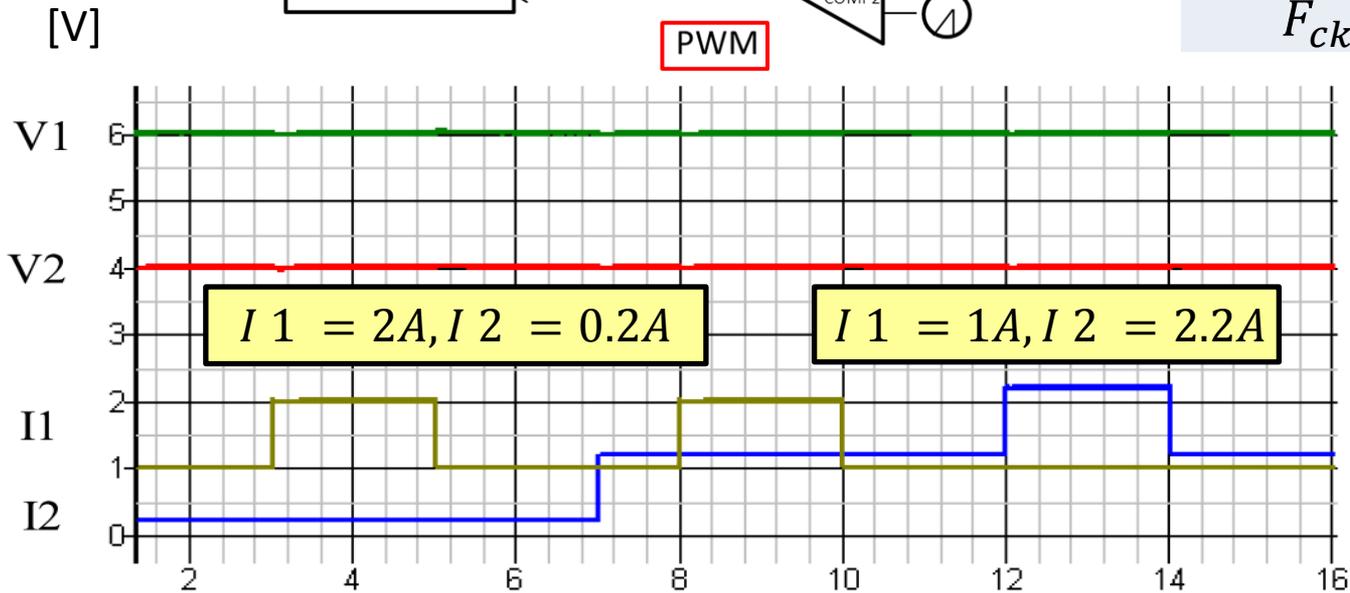
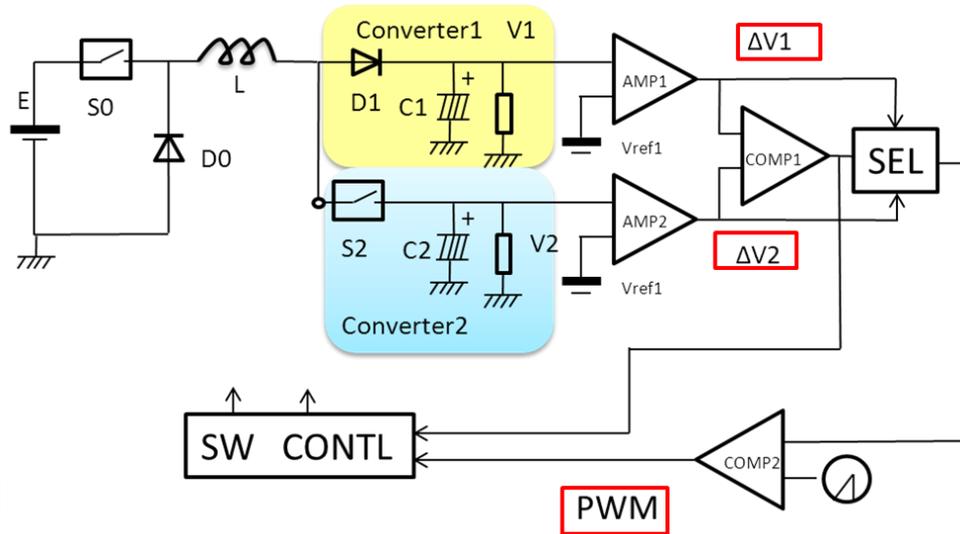
- 研究背景
- 研究目的
- 単一インダクタ2出力スイッチング電源(SIDO: Single Inductor Dual-Output)
 - SIDOの降圧-降圧コンバータ
 - SIDOの降圧-降圧電源シミュレーション結果
 - SIDOの昇圧-昇圧コンバータ
 - SIDOの昇圧-昇圧電源シミュレーション結果
 - 実装回路結果
- 単一インダクタ4出力スイッチング電源(SIMO: Single Inductor Multi-Output)
 - SIMOの降圧-降圧コンバータ
 - SIMOの降圧-降圧電源シミュレーション結果
 - SIMOの降圧-降圧電源実装試作
- まとめと今後の課題

シミュレーション結果

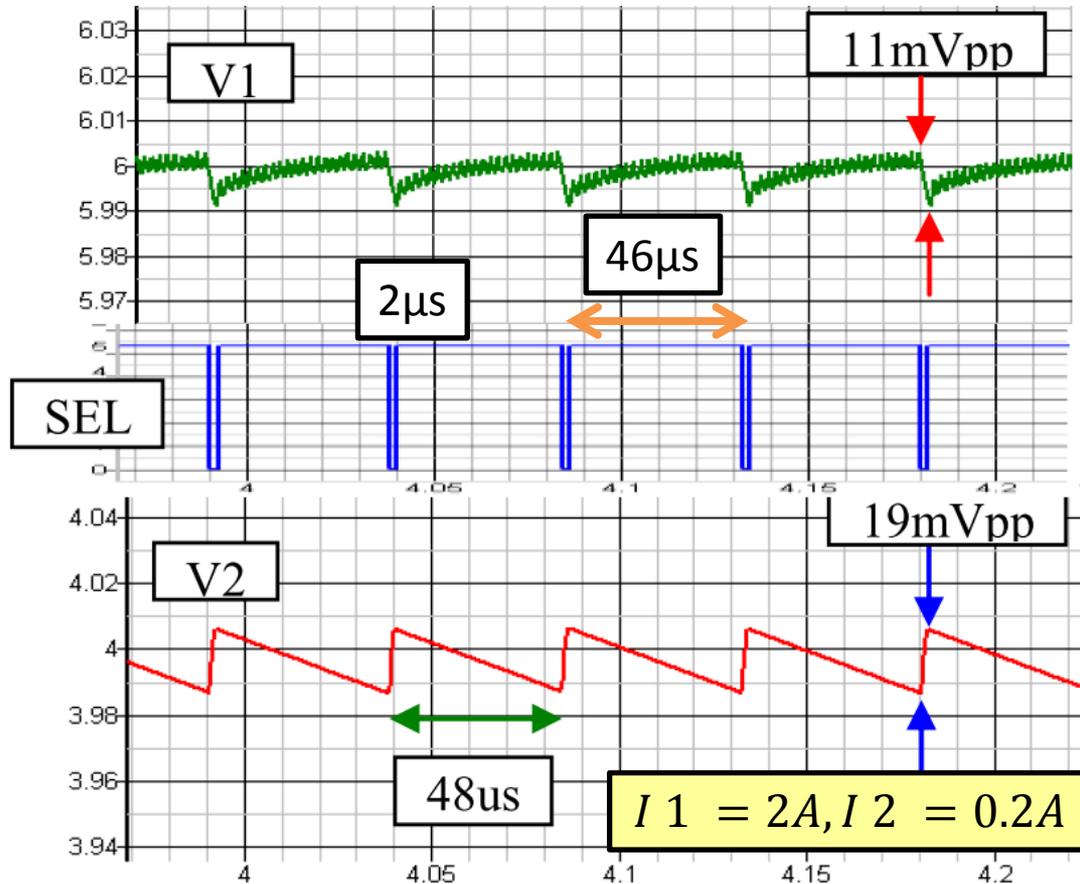
SIDOの降圧-降圧電源V1、V2及びI1、I2

シミュレーションのパラメータ

| Parameter | Value |
|-----------|------------------|
| E | 9V |
| L | $0.5\mu\text{H}$ |
| C | $470\mu\text{F}$ |
| V_1 | 6.0V |
| V_2 | 4.0V |
| F_{ck} | 500kHz |



出力リップル $\Delta V1$ と $\Delta V2$



比率 10×

$$I1 = 2A,$$

$$I2 = 0.2A$$

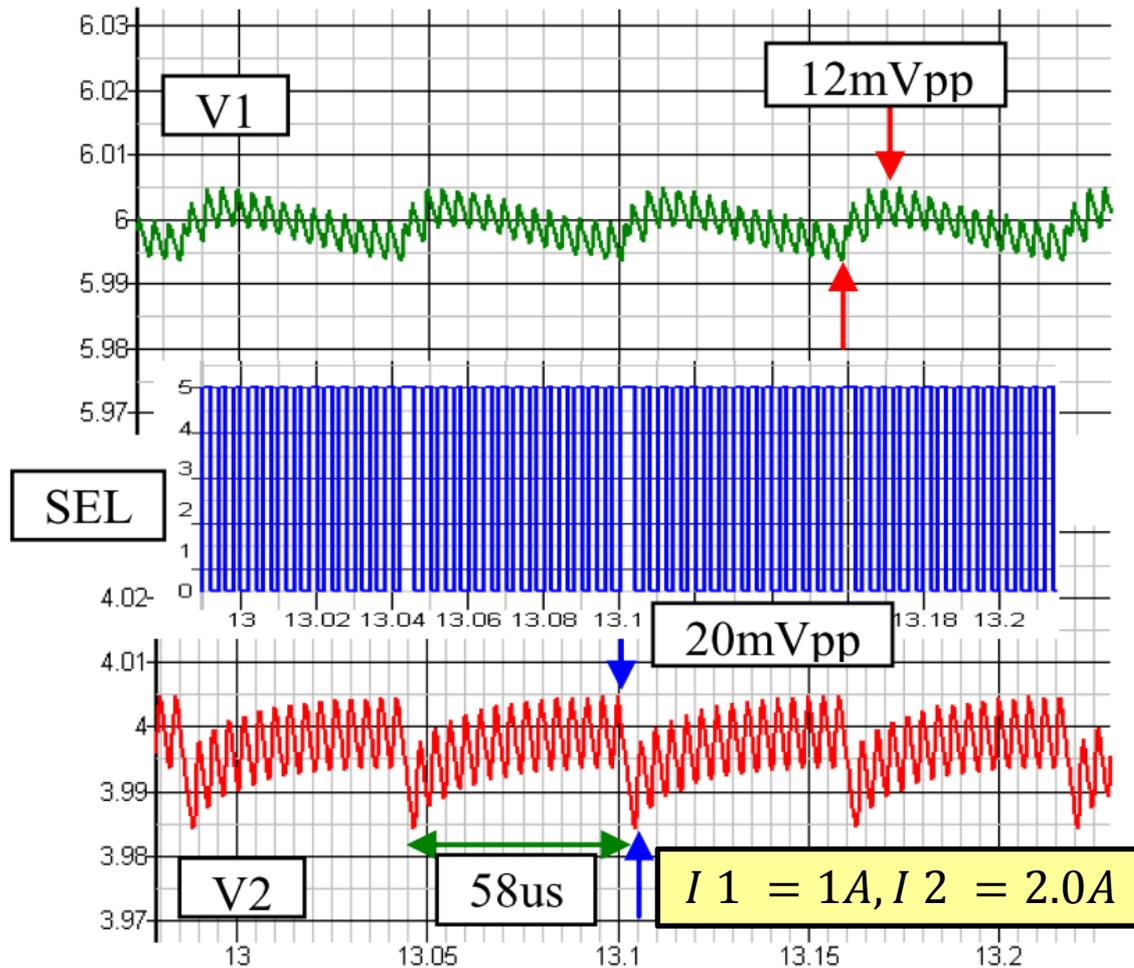
$$\Delta V1 = 11mVpp$$

$$\Delta V2 = 19mVpp$$

$$\Delta V1, \Delta V2$$

$$< 20mVpp$$

出力リップル $\Delta V1$ と $\Delta V2$



比率 $2.0 \times$

$$I1 = 1A,$$

$$I2 = 2.2A$$

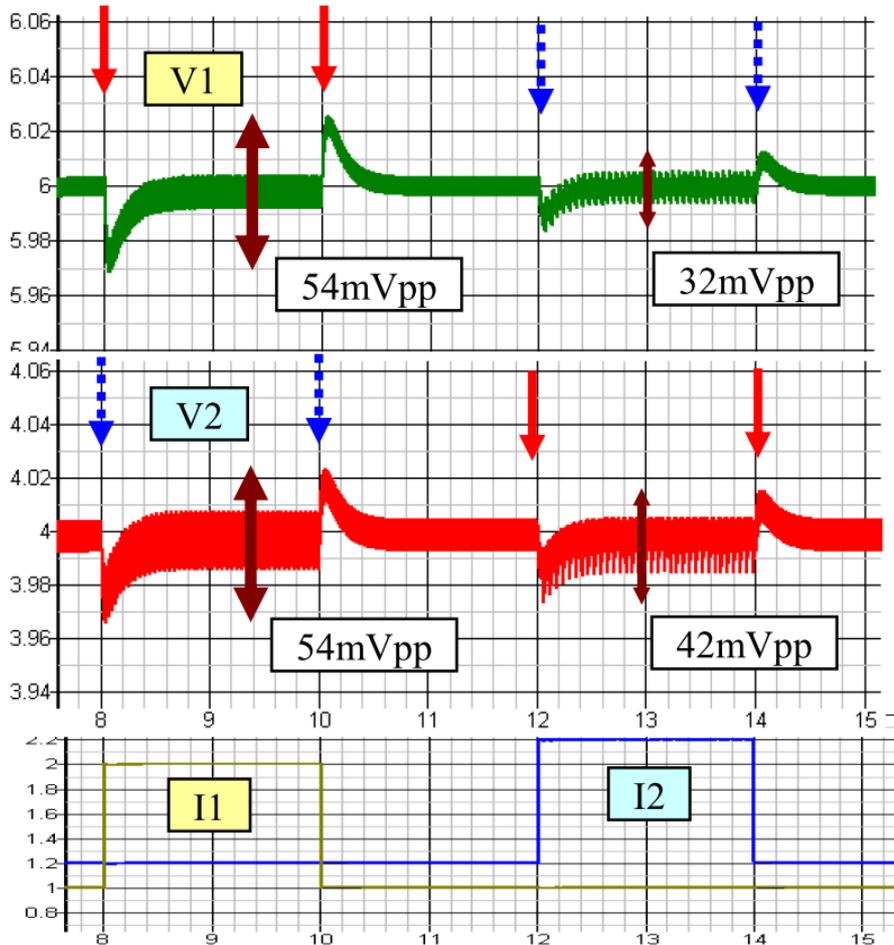
$$\Delta V1 = 12mVpp$$

$$\Delta V2 = 20mVpp$$

$$\Delta V1, \Delta V2$$

$$< 20mVpp$$

負荷変動V1とV2



$I1 = 2A, I2 = 0.2A$ $I1 = 1A, I2 = 2.2A$

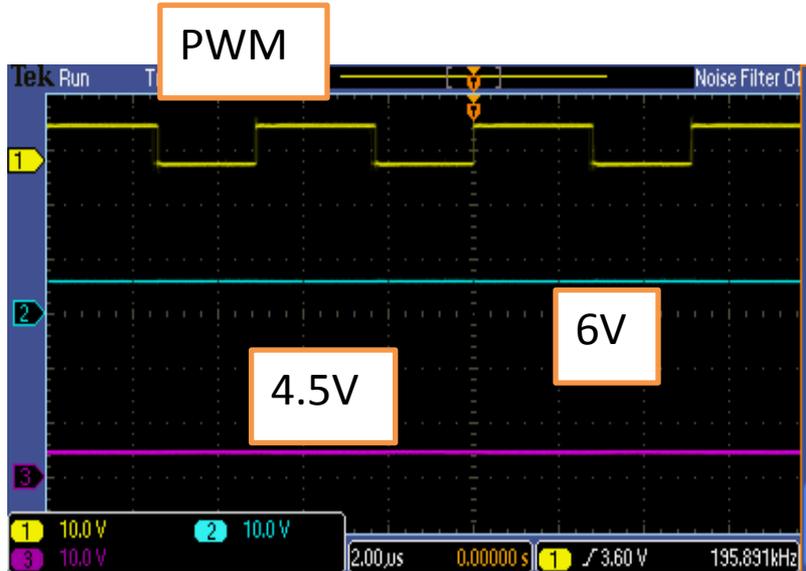
降圧-降圧電源

赤 : セルフレギュレーション: ΔV_{SR}
 青 : クロスレギュレーション: ΔV_{CR}

$$\Delta V_{SR} \cong \Delta V_{CR} < 55mV_{pp}$$

実装回路結果

SIDOの降圧-降圧電源
実装出力の測定結果



実装出力リップルの測定結果



- PWM
- SEL
- $\Delta V1$
- $\Delta V2$

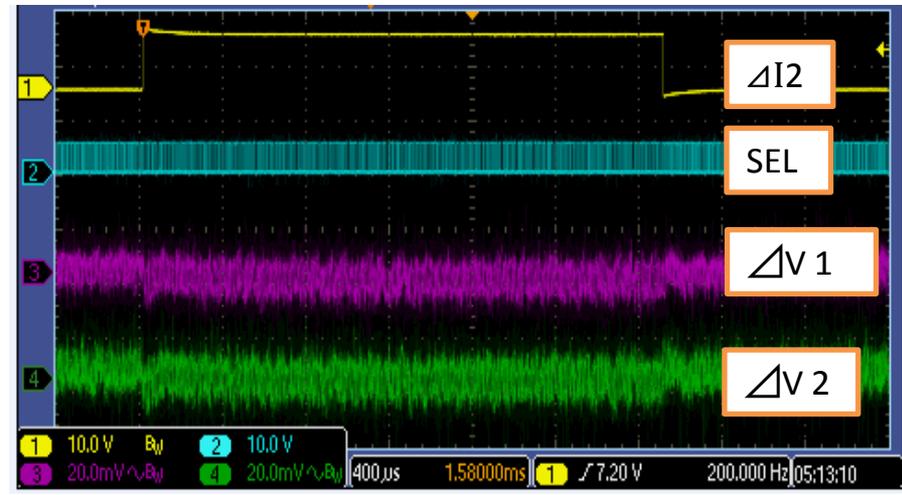
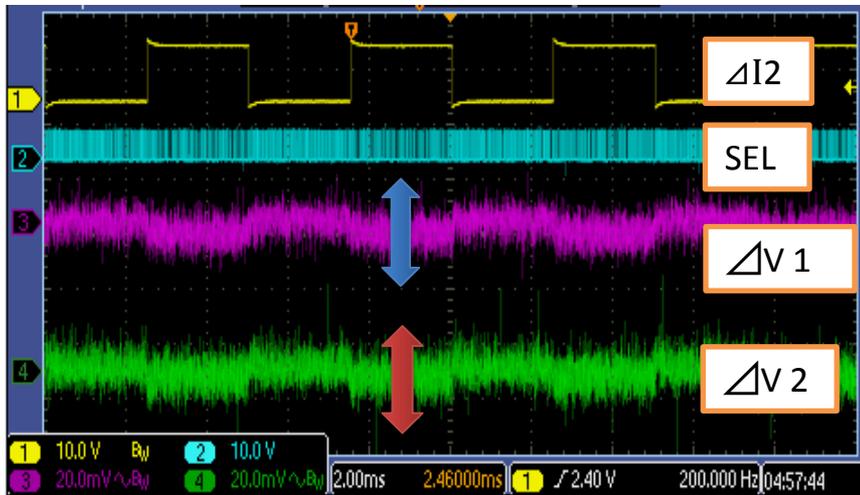
- 2つ出力降圧-降圧コンバータ
実装結果
PWM = 200kHz
出力V1 = 6V
出力V2 = 4.5V

- 2つ出力降圧-降圧コンバータ
出力リップル
実装結果
出力リップル $\Delta V1 \cong 20\text{mVpp}$
出力リップル $\Delta V2 \cong 20\text{mVpp}$

実装回路結果

SIDOの降圧-降圧電源
負荷変更時実装測定の結果

リップル拡大

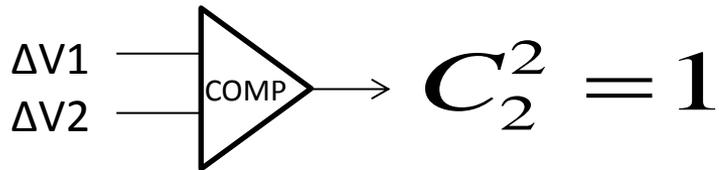


- チャンネル2⇒負荷変動
- 出力 $\Delta V1$ ⇒クロスレギュレーション $\Delta V1 \cong 20\text{mVpp}$
- 出力 $\Delta V2$ ⇒セルフレギュレーション $\Delta V2 \cong 20\text{mVpp}$

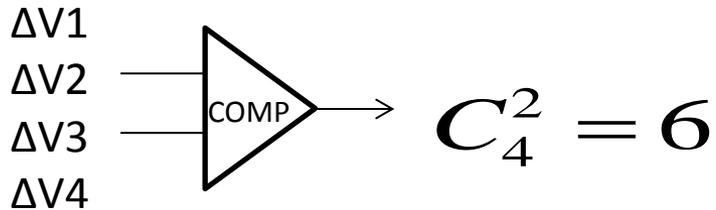
4出力の提案

• 2出力の制御方式

○ 2出力の場合⇒1回の比較



✗ 4出力の場合⇒6回の比較



- 全般比較⇒制御回路複雑
- プラグ・イン方式が不可能

• 4出力提案の制御回路

• ワイヤードOR回路を通し



1回の比較

大きい方を選択

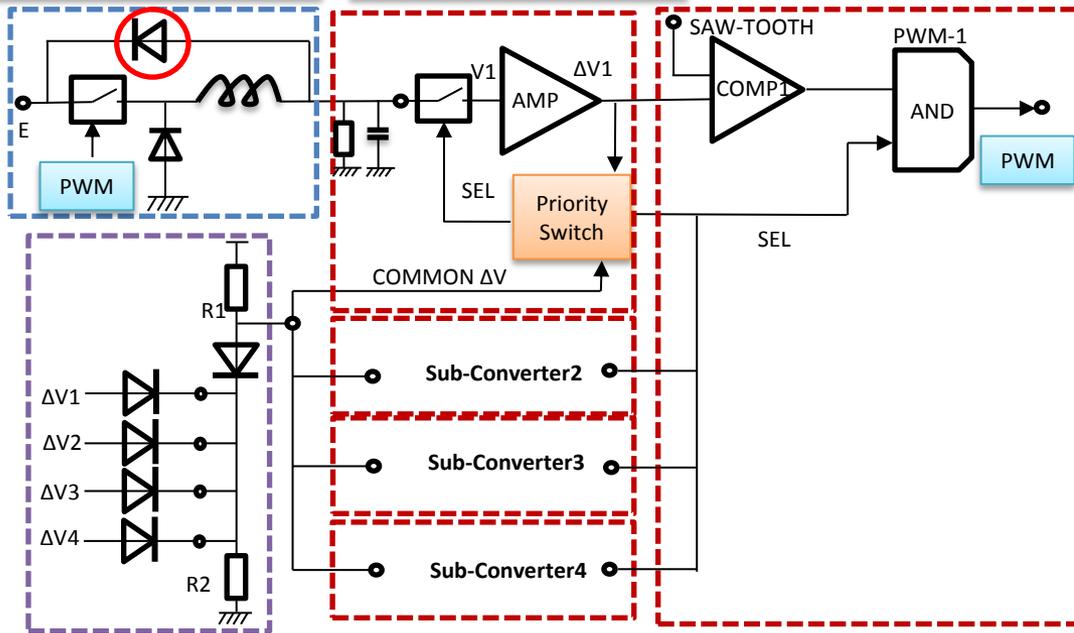
• プラグ・イン方式⇒可能



4出力の提案回路

MAIN Converter

Sub-Converter1



Controller
(Priority Circuit)

$$V_{ref1} > V_{ref2} > V_{ref3} > V_{ref4}$$

構成

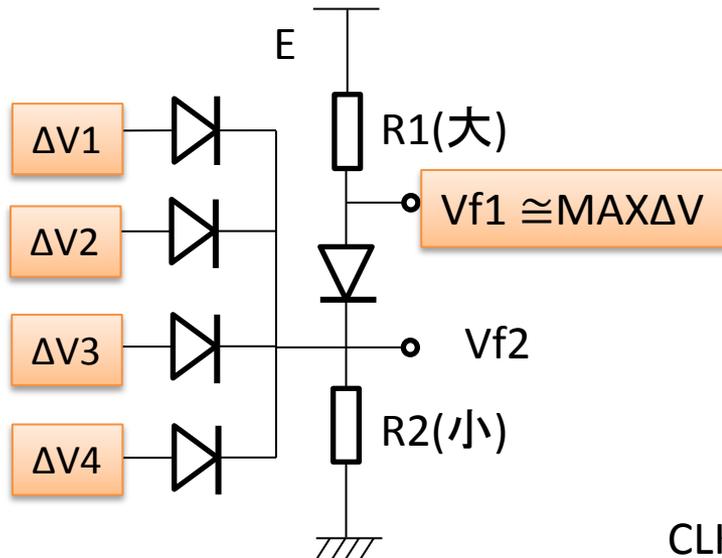
- メインコンバータ
- コントローラ
- 4つサブコンバータ

赤の○⇒回生ダイオード

PWM⇒メインスイッチ
各SEL⇒各コンバータのスイッチ

優先回路と優先スイッチ

ワイアードOR回路
 (優先回路⇒
 最大誤差増幅電圧を選択する)



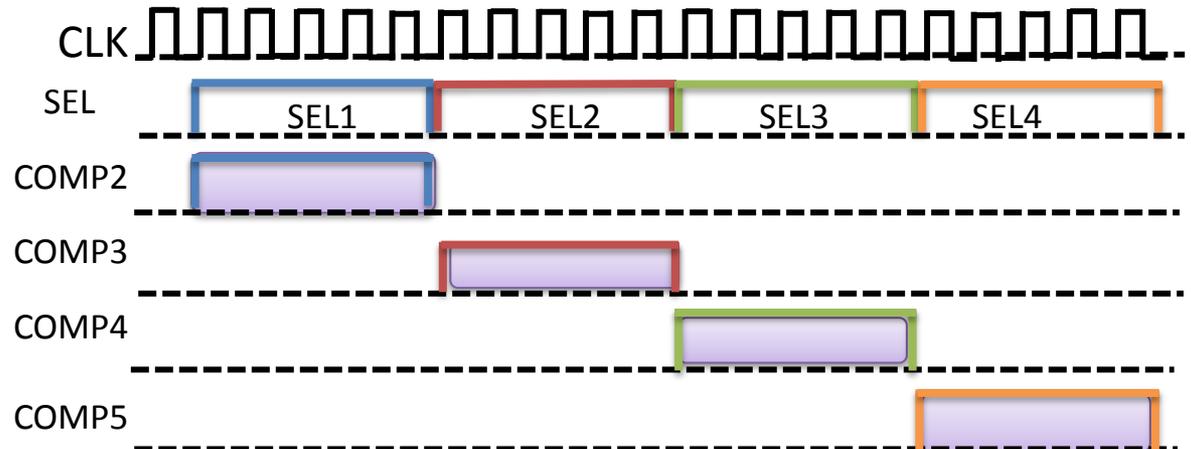
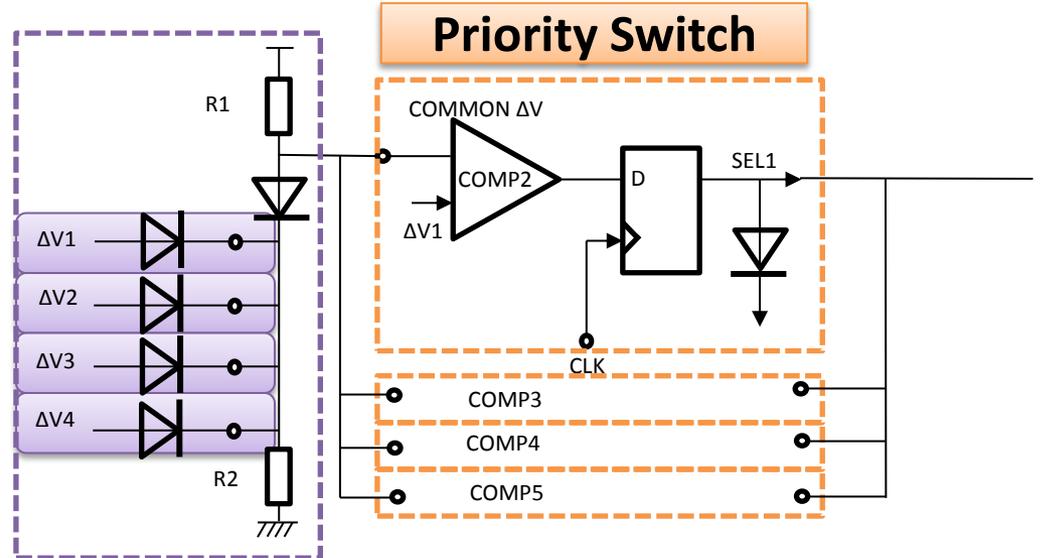
$$\Delta V - 0.7 = Vf2$$

$$Vf2 + 0.7 = Vf1$$

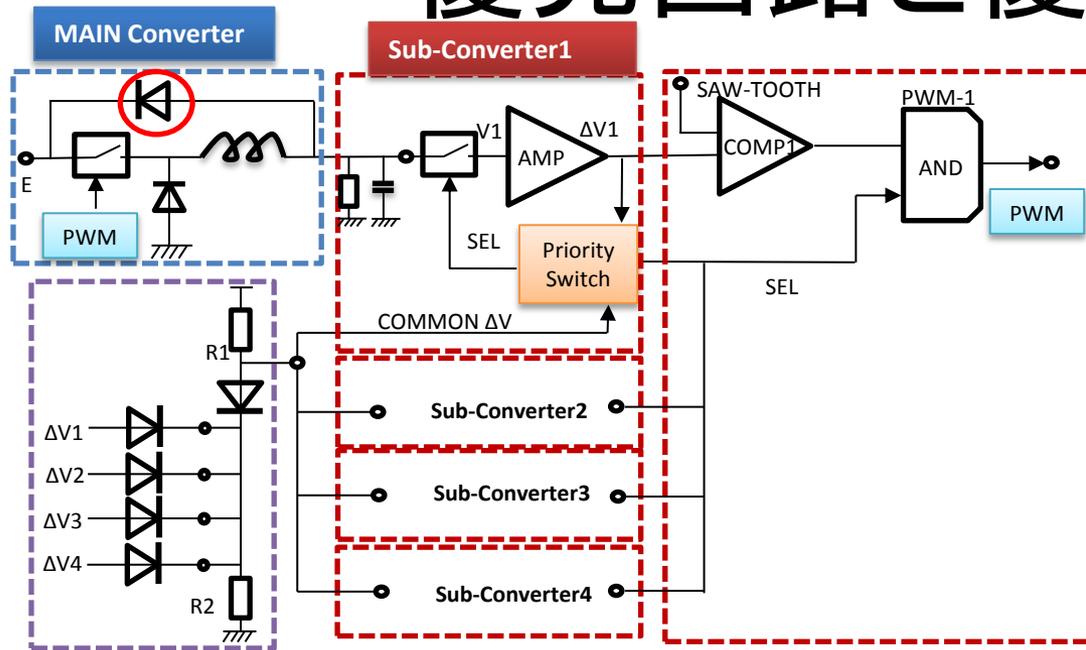


$$\text{MAX}\Delta V = Vf1$$

優先スイッチ⇒誤差最大のサブコンバータを優先制御

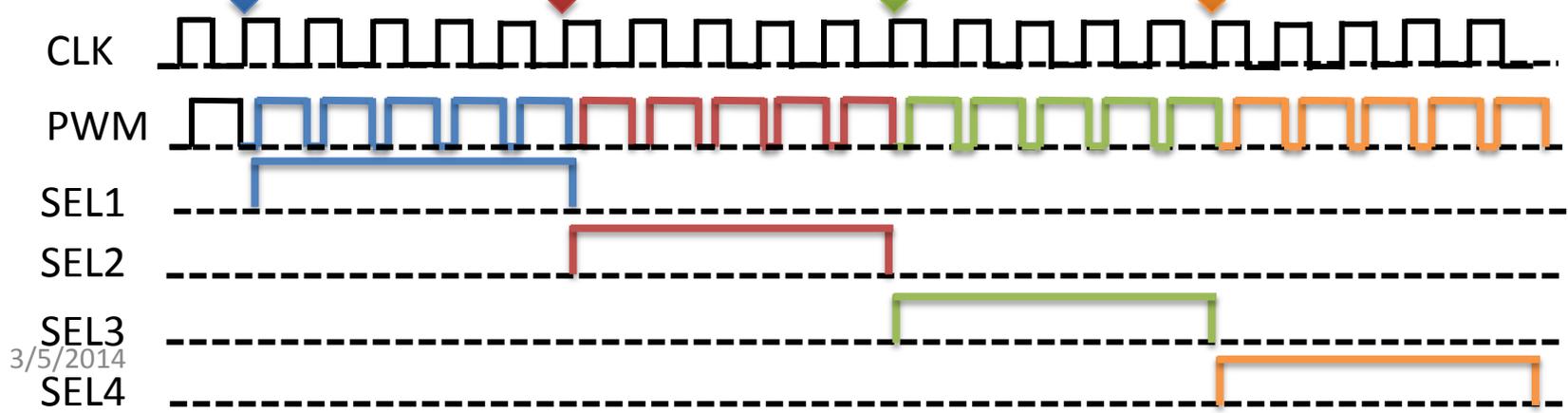


優先回路と優先スイッチ

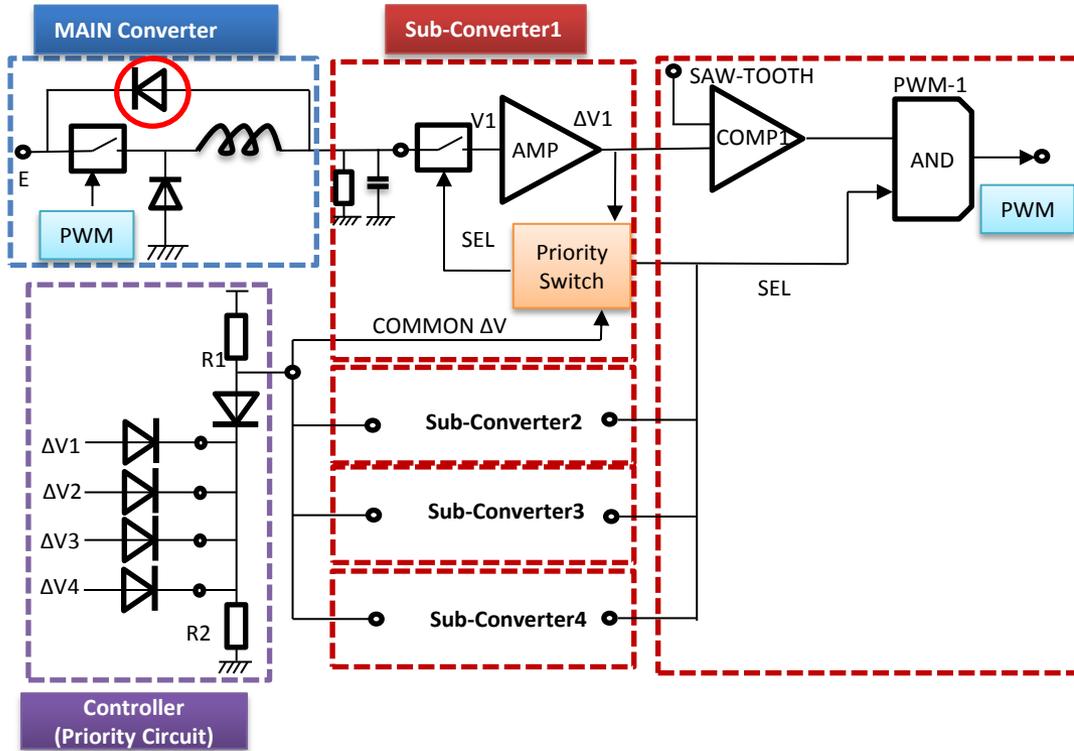


各SEL信号⇒
各スイッチのPWMを生成⇒
各サブコンバータのON/OFF時間を制御

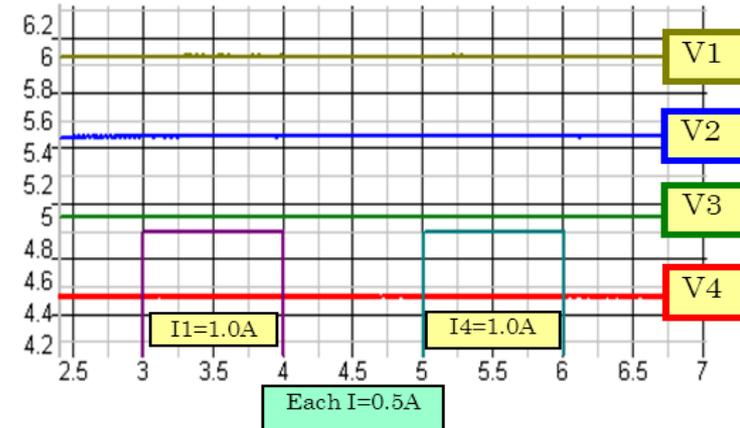
ΔV1選択され
 ΔV2選択され
 ΔV3選択され
 ΔV4選択され



SIMOの降圧-降圧電源 シミュレーション結果

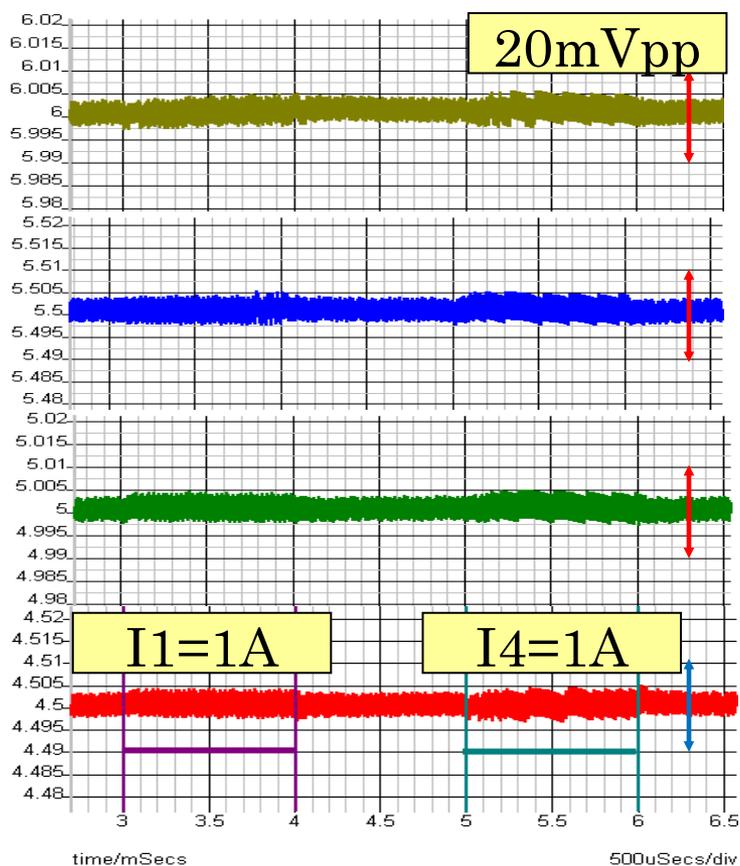


| | |
|-----|--------------|
| E | 10.0V |
| L | 100 μ H |
| C | 1000 μ F |
| Fck | 500kHz |



シミュレーション結果

SIMOの降圧-降圧電源
4つ出力リップル

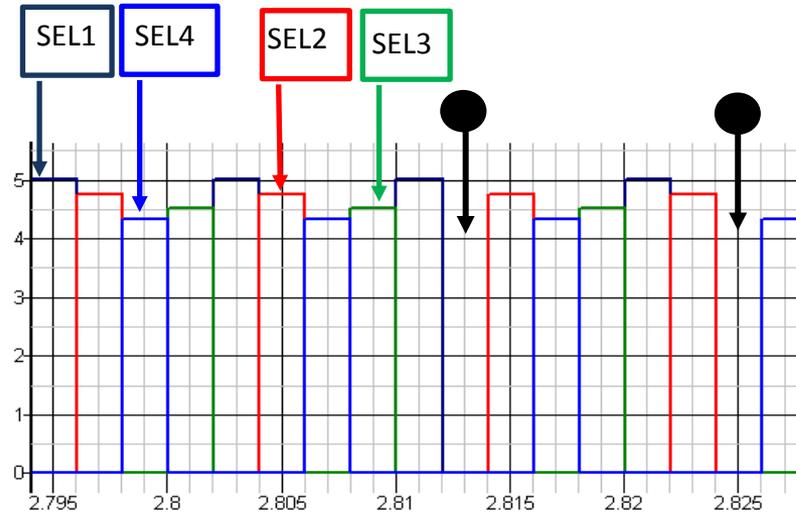


出力V1=6V
出力V2=5.5V
出力V3=5V
出力V4=4.5V

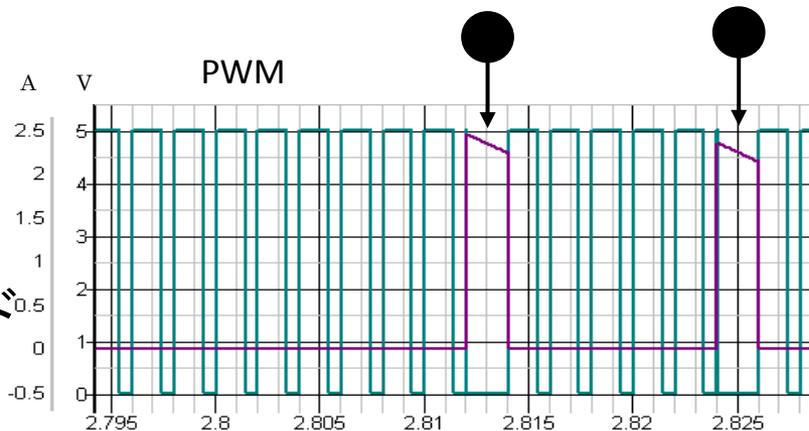
出力のリップル < 10mVpp
セルフレギュレーション
≒クロスレギュレーション
< 5mVpp

シミュレーション結果

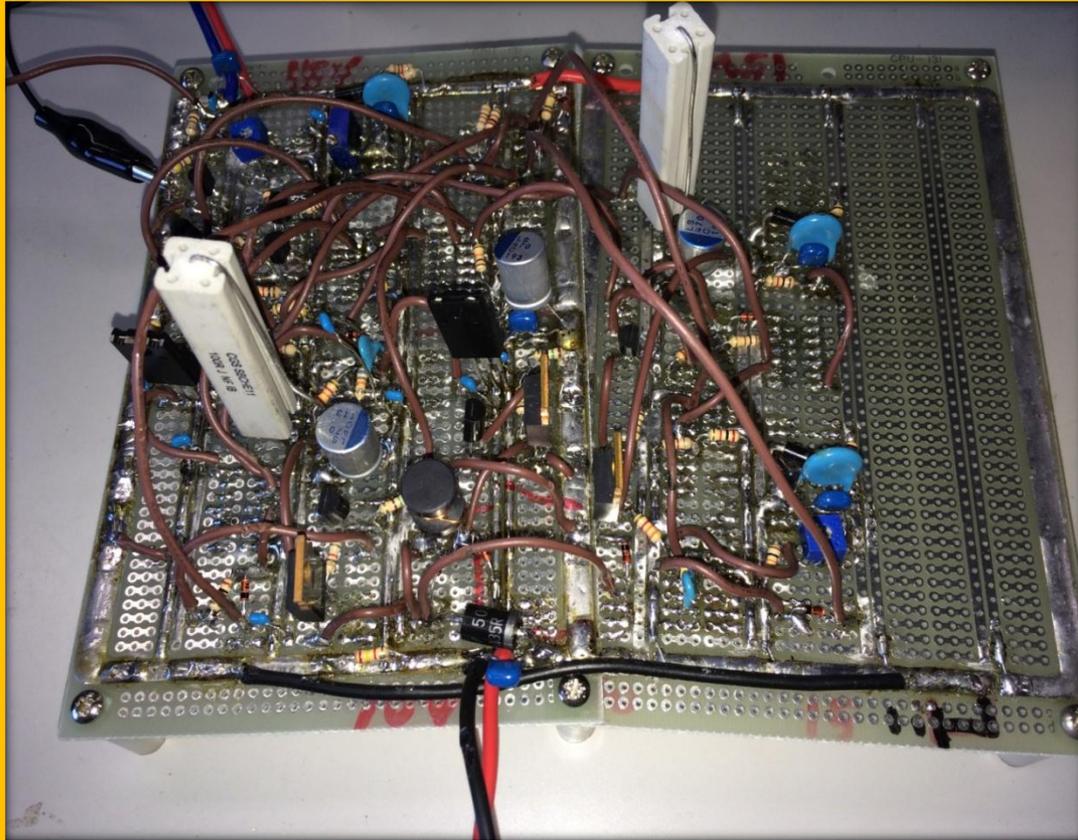
サブコンバータの SEL 信号
各出力電流
 $I1 = I2 = I3 = I4 = 0.5A$



PWM 信号と回生電流
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



実装の試作



| | |
|-----|--------------|
| E | 10.0V |
| V1 | 6V |
| V2 | 5V |
| L | 100 μ H |
| C | 1000 μ F |
| Fck | 500kHz |

2つサブコンバータに目指し
1つコンバータだけ⇒動作確認でき

まとめと今後の課題

- まとめ

本研究はDC-DCコンバータについて、2つ出力である降圧電源の排他的制御を研究した。それに続いて、4出力の降圧電源の制御も提案し、実装で試作した。

- 今後の課題

- 4出力降圧-降圧電源目指しの実装

- 出力の測定
- 負荷変動の測定

ご清聴ありがとうございました