

# 排他的制御を用いた単一インダクタ 2出力DC-DCスイッチング電源

小堀康功, 李慕容, 呉澍, 趙峰,  
朱秋霖, Shaiful Nizam Mohyar (群馬大学)  
小田口貴宏, 中西功, 根本謙治 (AKMテクノロジー)  
松田 順一 (旭化成パワーデバイス)  
高井伸和, 小林春夫 (群馬大学)

# アウトライン

- 研究背景
  - DC-DC変換回路の原理と特徴
  - 研究目的
- 提案降圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- 提案昇圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- まとめ

# アウトライン

## ➤ 研究背景

- DC-DC変換回路の原理と特徴
- 研究目的

## ➤ 提案降圧型SIDO電源

- 電源構成と基本動作
- シミュレーション結果

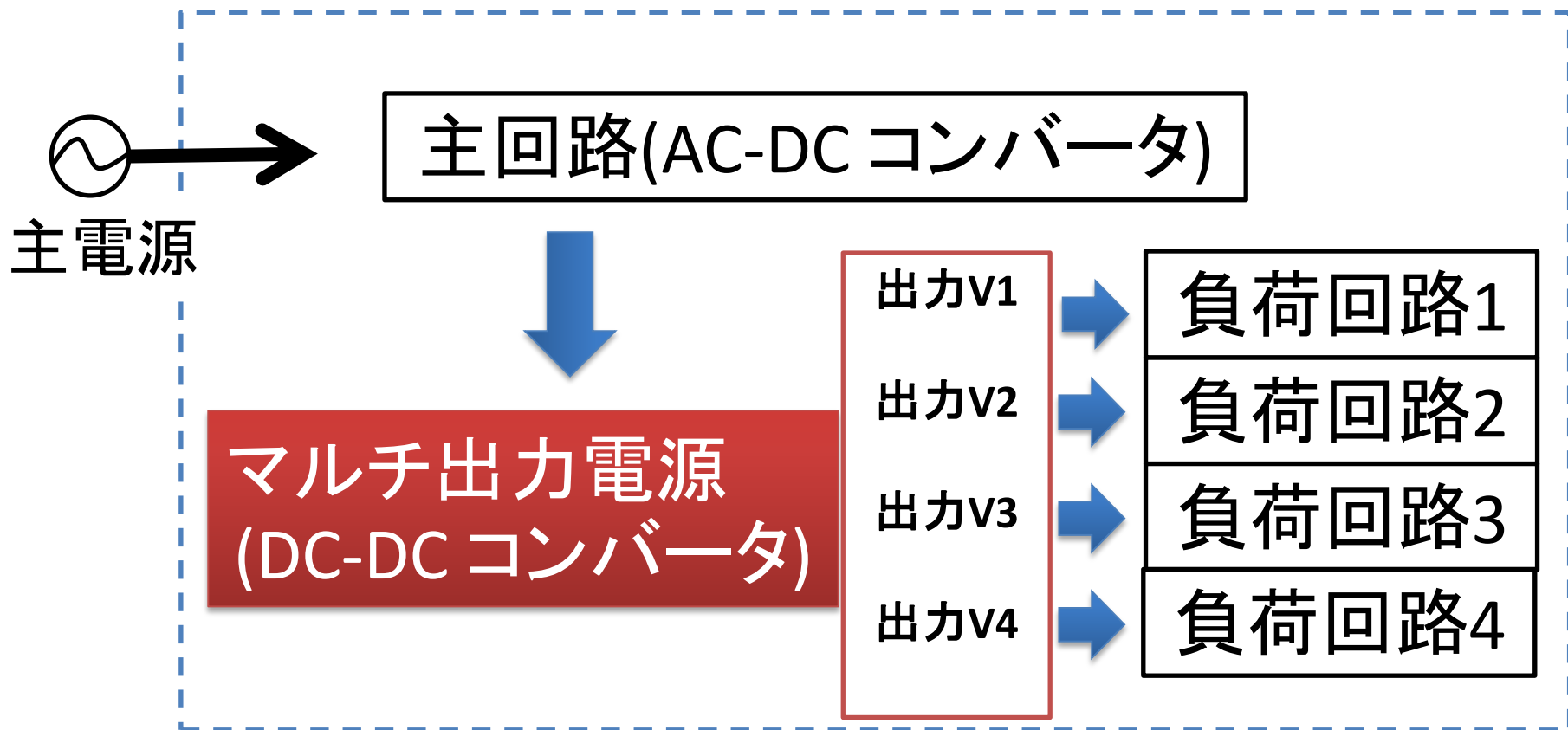
## ➤ 提案昇圧型SIDO電源

- 電源構成と基本動作
- シミュレーション結果

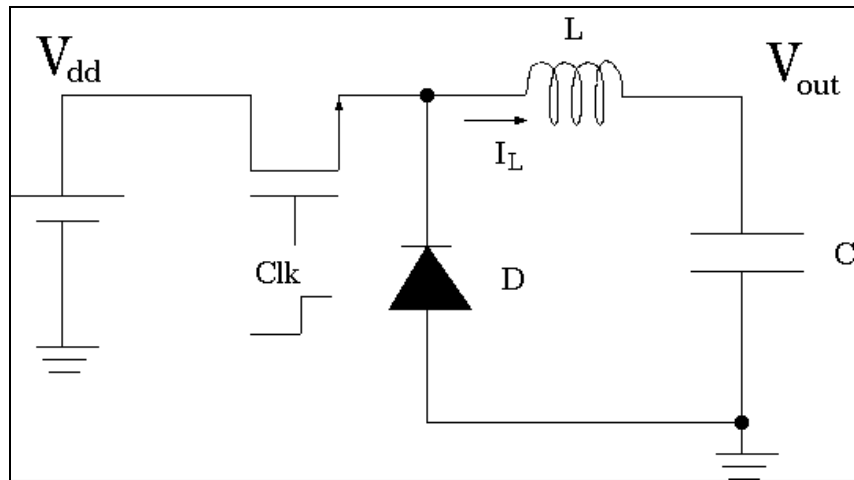
## ➤ まとめ

# 研究背景

携帯、大型機械等はDCマルチ出力電源



# DC-DC変換回路の原理と特徴(1)



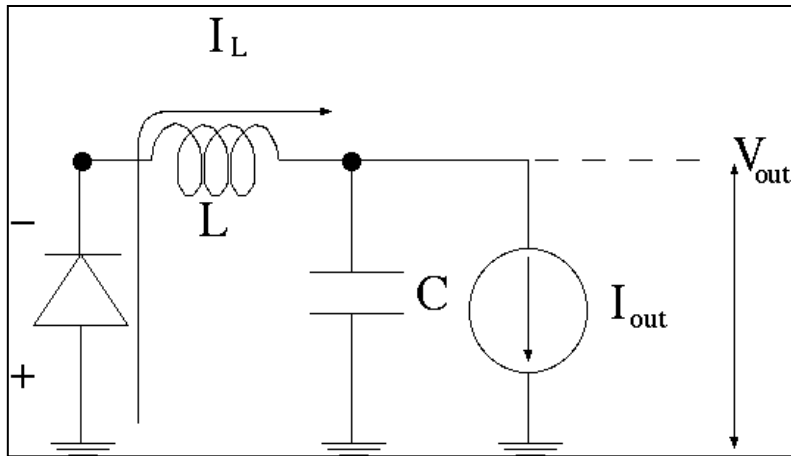
◆ Clk=ONのとき

$$\Delta I_L = \frac{V_{dd} - V_{out}}{L} \cdot T_{on}$$

◆ Clk=OFFのとき

$$\Delta I_L = -\frac{V_{out}}{L} \cdot T_{off}$$

# DC-DC変換回路の原理と特徴(1)



◆ CLK=ONのとき

$$\Delta I_L = \frac{V_{dd} - V_{out}}{L} \cdot T_{on}$$

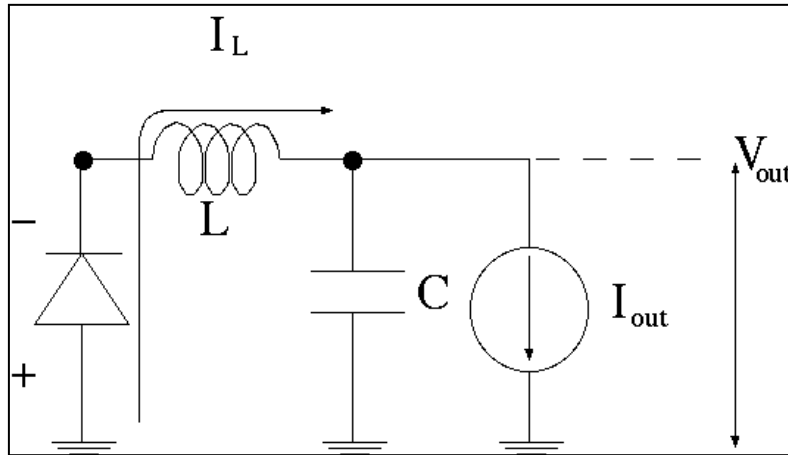
ONのときの電流の変化量 = OFFのときの電流の変化量

$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T} \cdot V_{dd}$$

T; クロック周期

出力電圧はクロックデューティ(比率)によって決定

# DC-DC変換回路の原理と特徴(1)



◆ Clk=OFFのとき

$$\Delta I_L = -\frac{V_{out}}{L} \cdot T_{off}$$

ONのときの電流の変化量 = OFFのときの電流の変化量

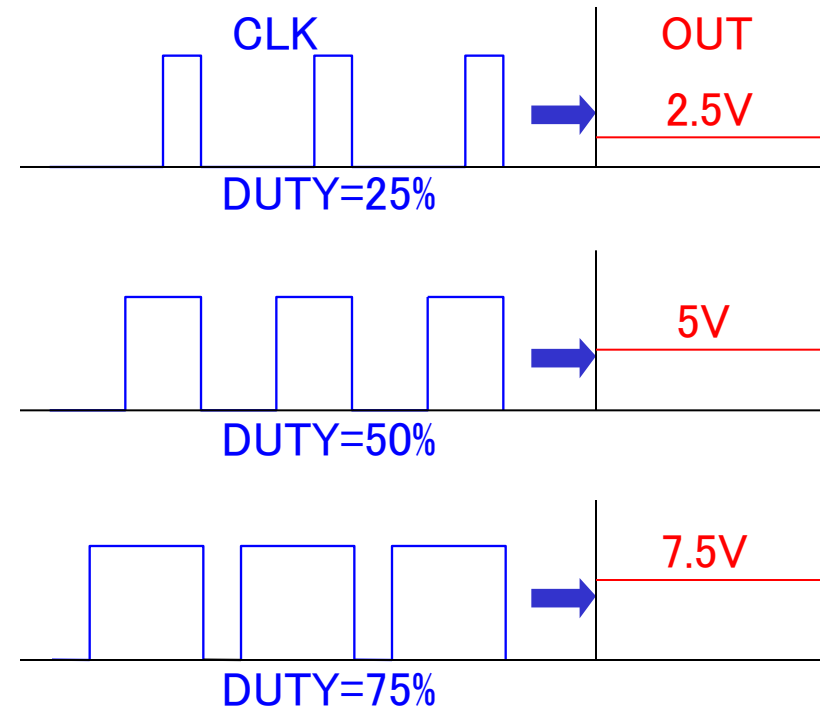
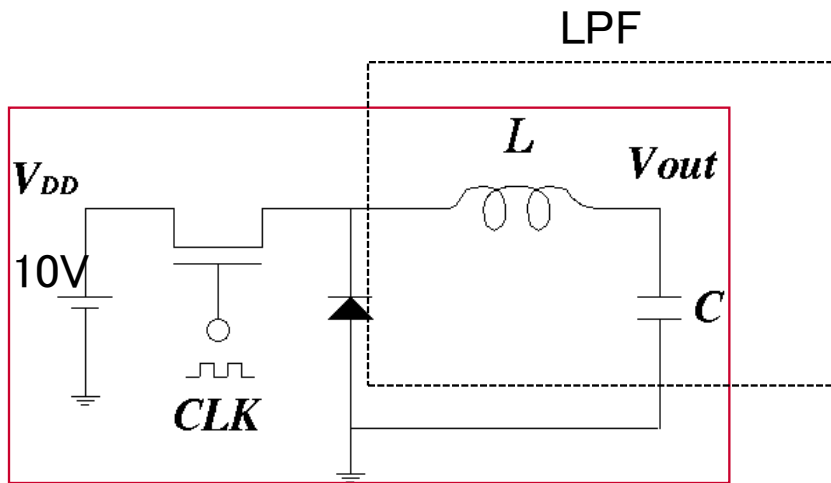
$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T} \cdot V_{dd}$$

T; クロック周期

出力電圧はクロックデューティ(比率)によって決定

# DC-DC変換回路の原理と特徴(2)

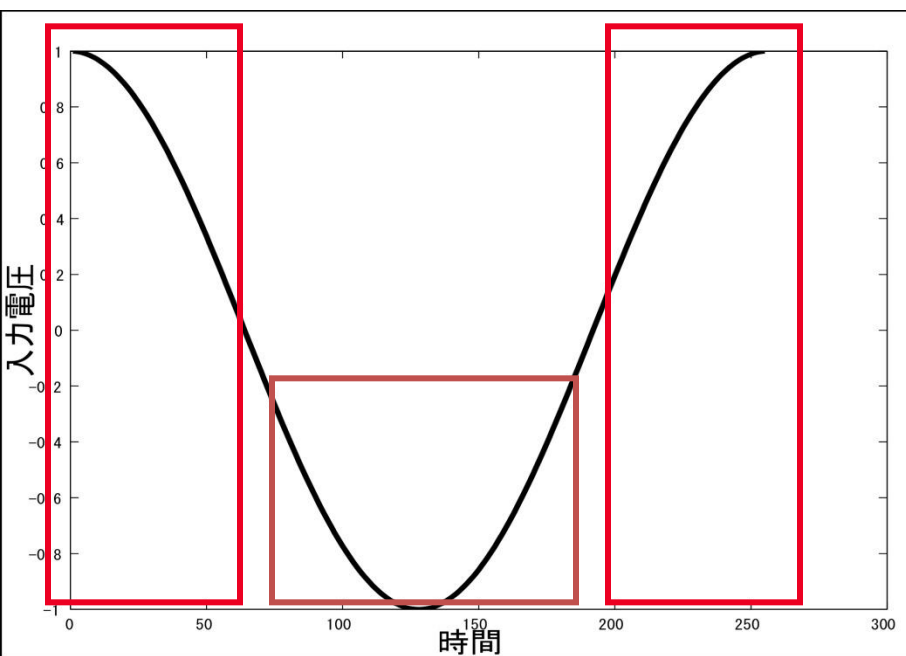
- ・入力電源電圧 $V_{DD}$
- ・CLKでスイッチング
- ・LCローパス・フィルタ(LPF)で平滑化
- ・出力電源電圧 $V_{out}$



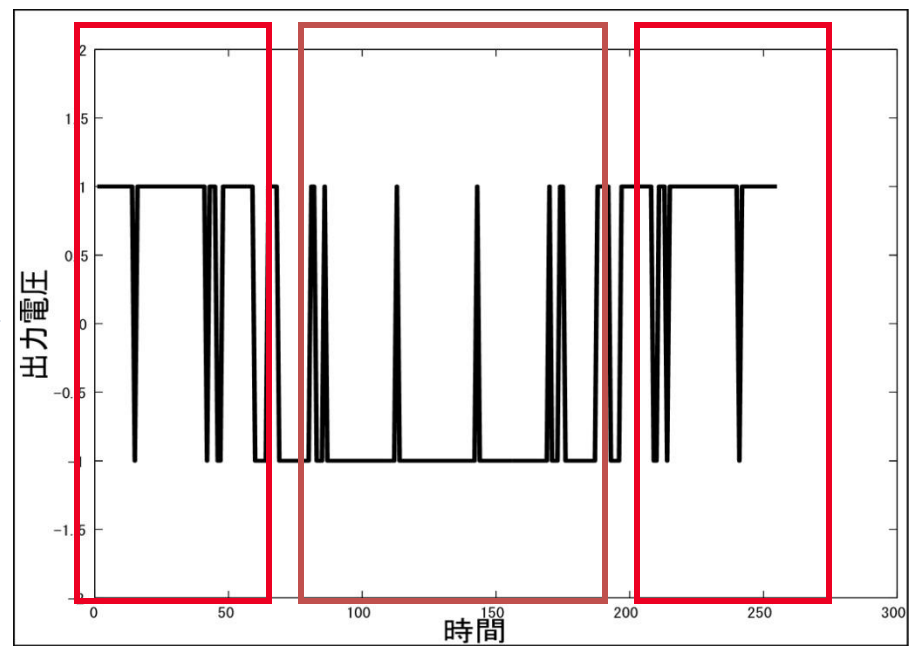


# PWM(パルス幅変調)制御方式

DC-DC電源回路の  
駆動クロックデューティ(比率)を変調

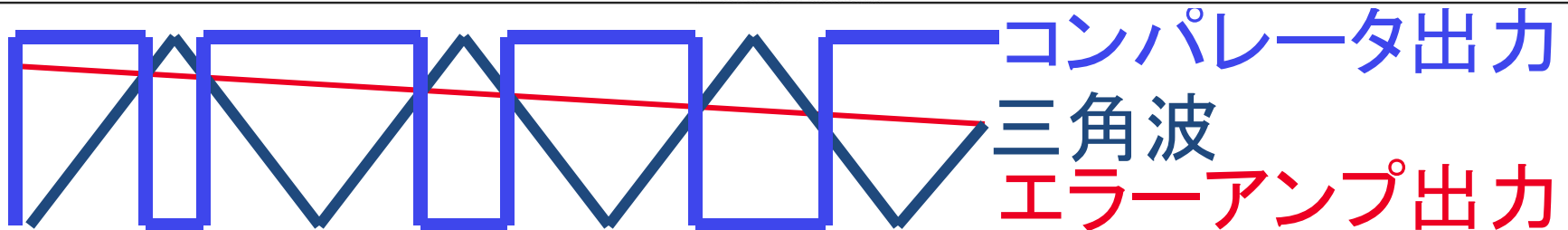
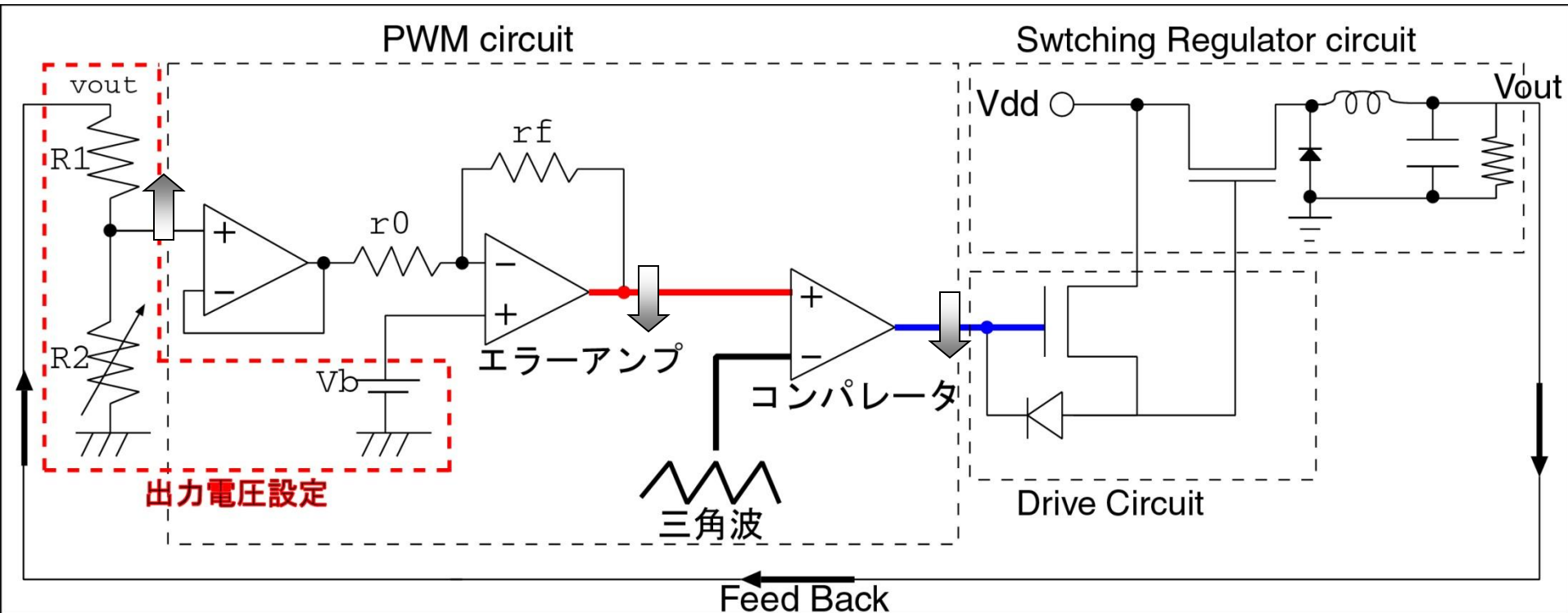


PWM入力信号



PWM出力信号

# PWM制御方式を用いたDC-DC変換回路

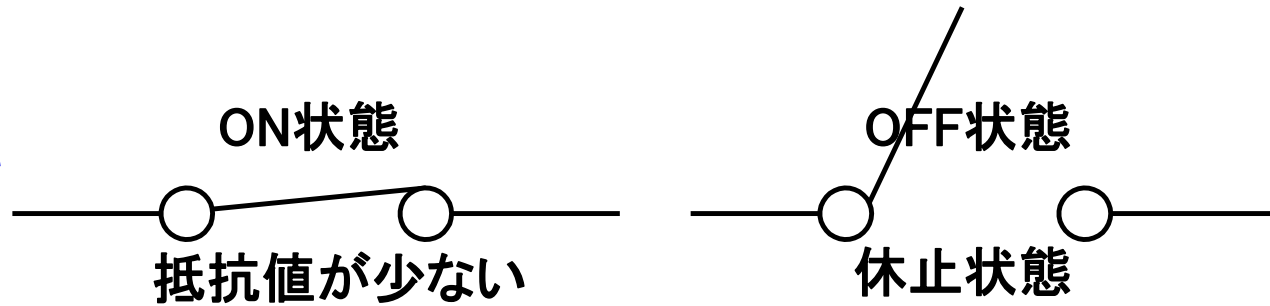


# PWM制御の特徴

## メリット

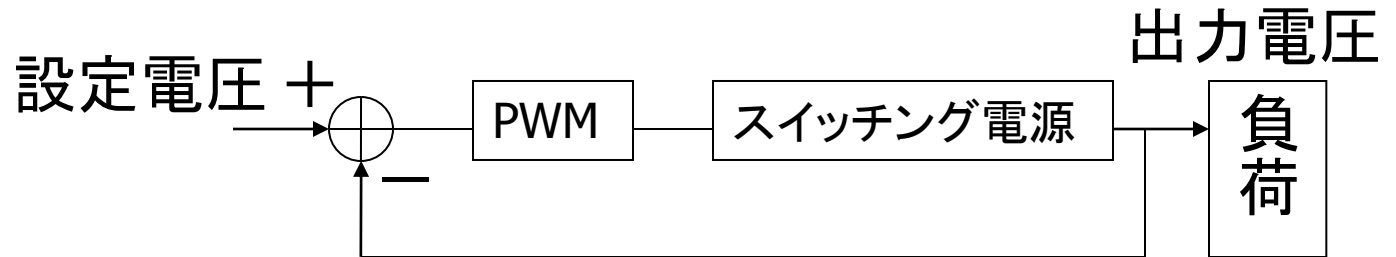
- スイッチでON/OFF

⇒ 電力効率が良い



- 帰還制御

⇒ 負荷によらず出力電圧が安定



## デメリット

- 電源周波数に同期
- 矩形波を発生



高調波ノイズが特定周波数に集中  
高調波ノイズが大きい

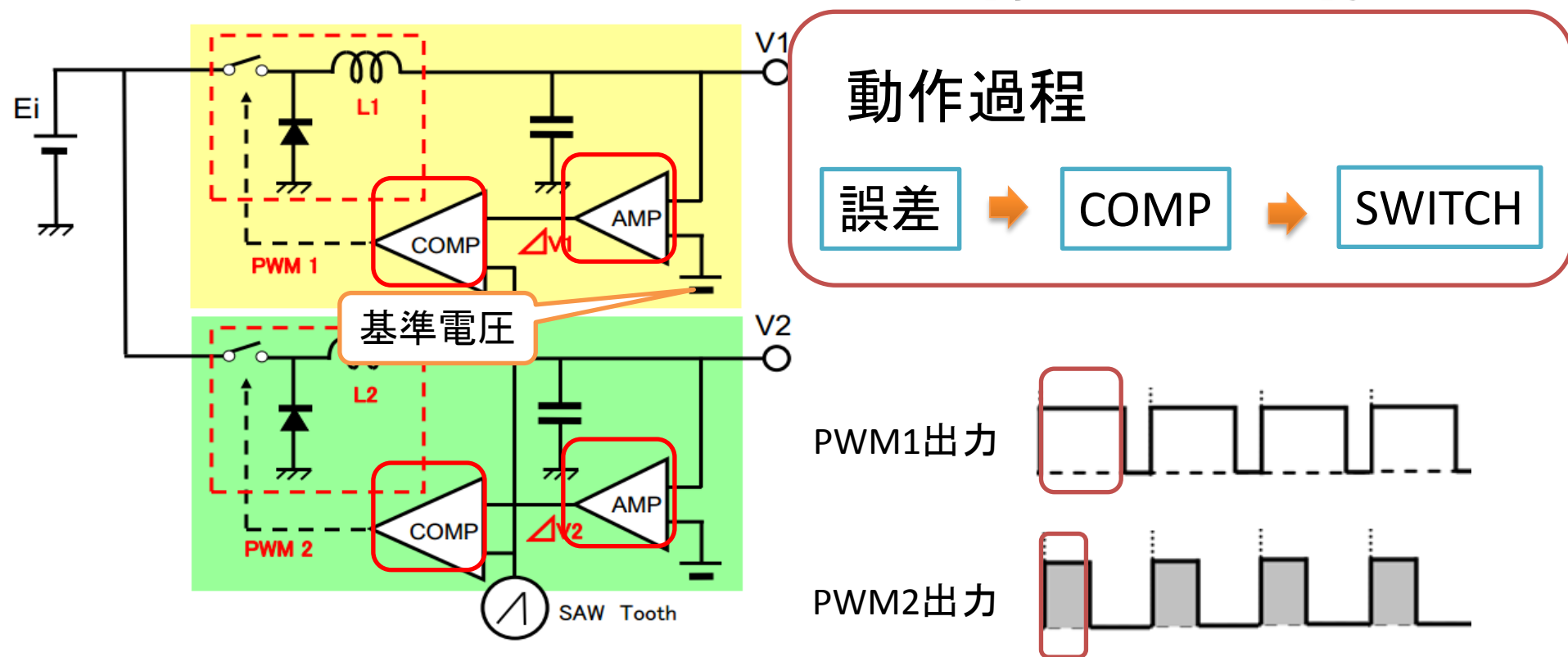
# スイッチング電源の特徴

- メリット
  - 高効率
  - 出力電圧が連続可変
  - 大電流出力
- デメリット
  - 外付けコイルが必要(小型化が困難)
  - ノイズが大きい

# 研究背景

## 従来構成例：降圧コンバータ

各出力に一つのインダクタと制御回路が付く



2出力DC-DC降圧コンバータ

# アウトライン

## ➤ 研究背景

- DC-DC変換回路の原理と特徴
- 研究目的

## ➤ 提案降圧型SIDO電源

- 電源構成と基本動作
- シミュレーション結果

## ➤ 提案昇圧型SIDO電源

- 電源構成と基本動作
- シミュレーション結果

## ➤ まとめ

# 研究目的

- 単インダクタ2出力DC-DCコンバータ
  - 単一入力 2出力 (SIDO) : Single Inductor Dual Output
- シンプルで低コストの制御法の開発
  - 1周期、選択された出力にのみ電流供給 (CH1/CH2)

# アウトライン

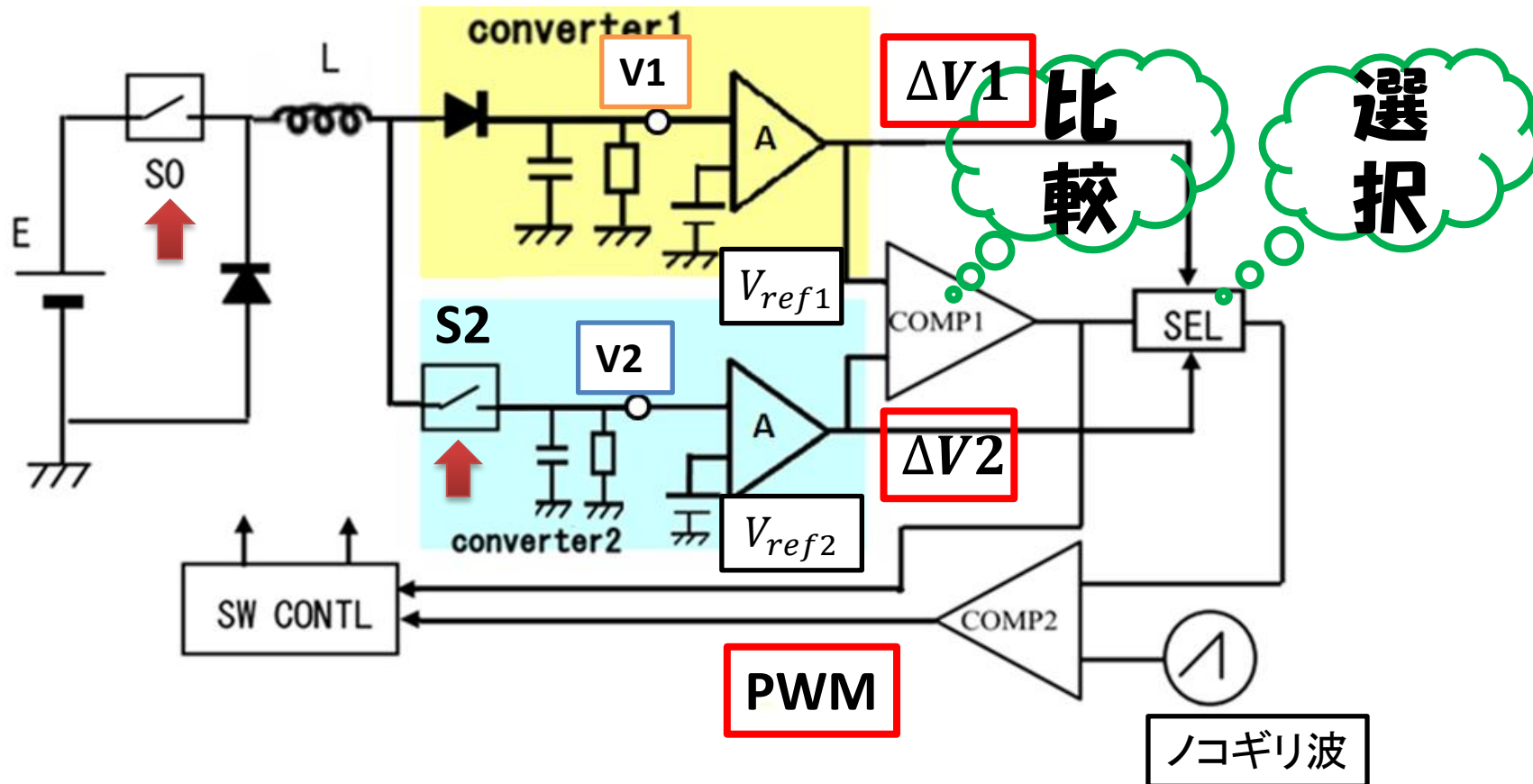
- 研究背景
  - DC-DC変換回路の原理と特徴
  - 研究目的
- 提案降圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- 提案昇圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- まとめ



# 降压型電源構成

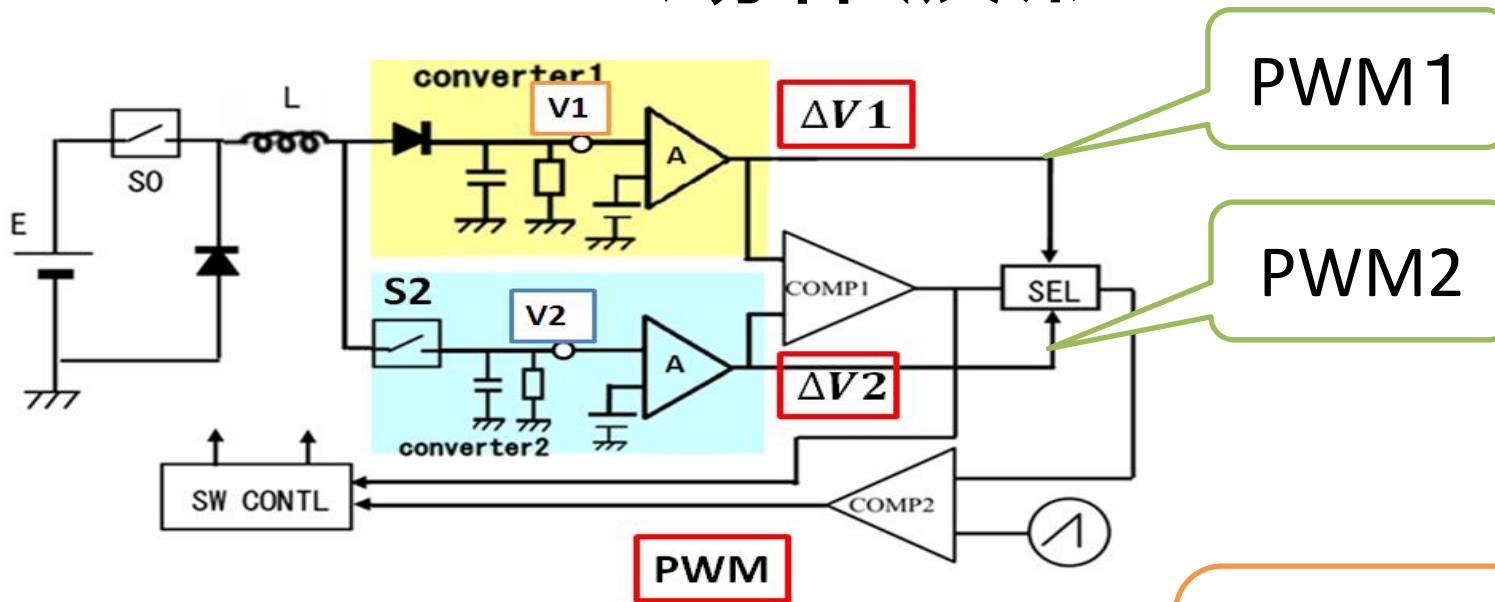
降压型電源：入力 > 出力

基準電圧  $V_{ref1} > V_{ref2}$



提案降压型SIDO電源の構成

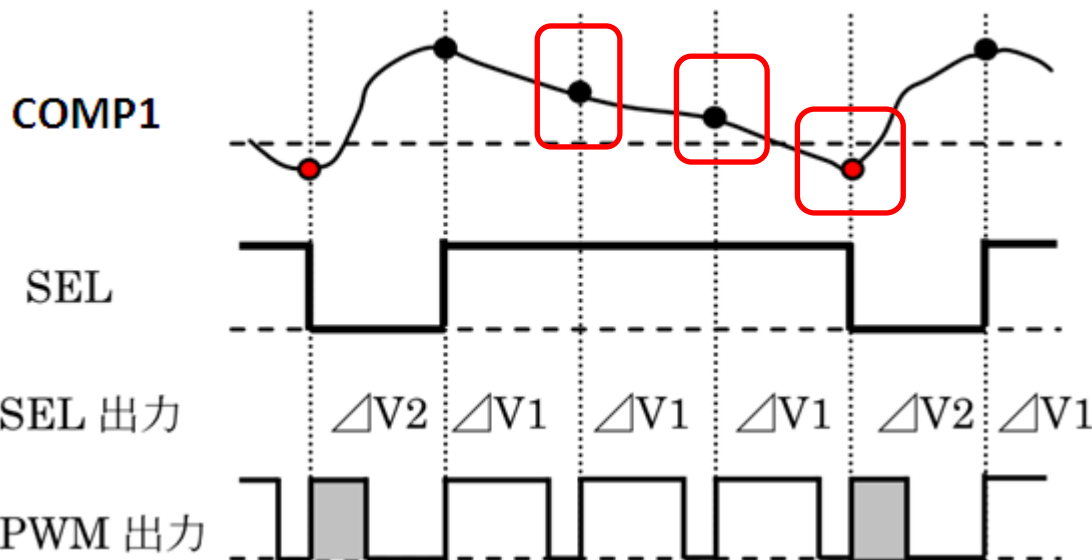
# 動作波形



PWM 1

PWM 2

PWM



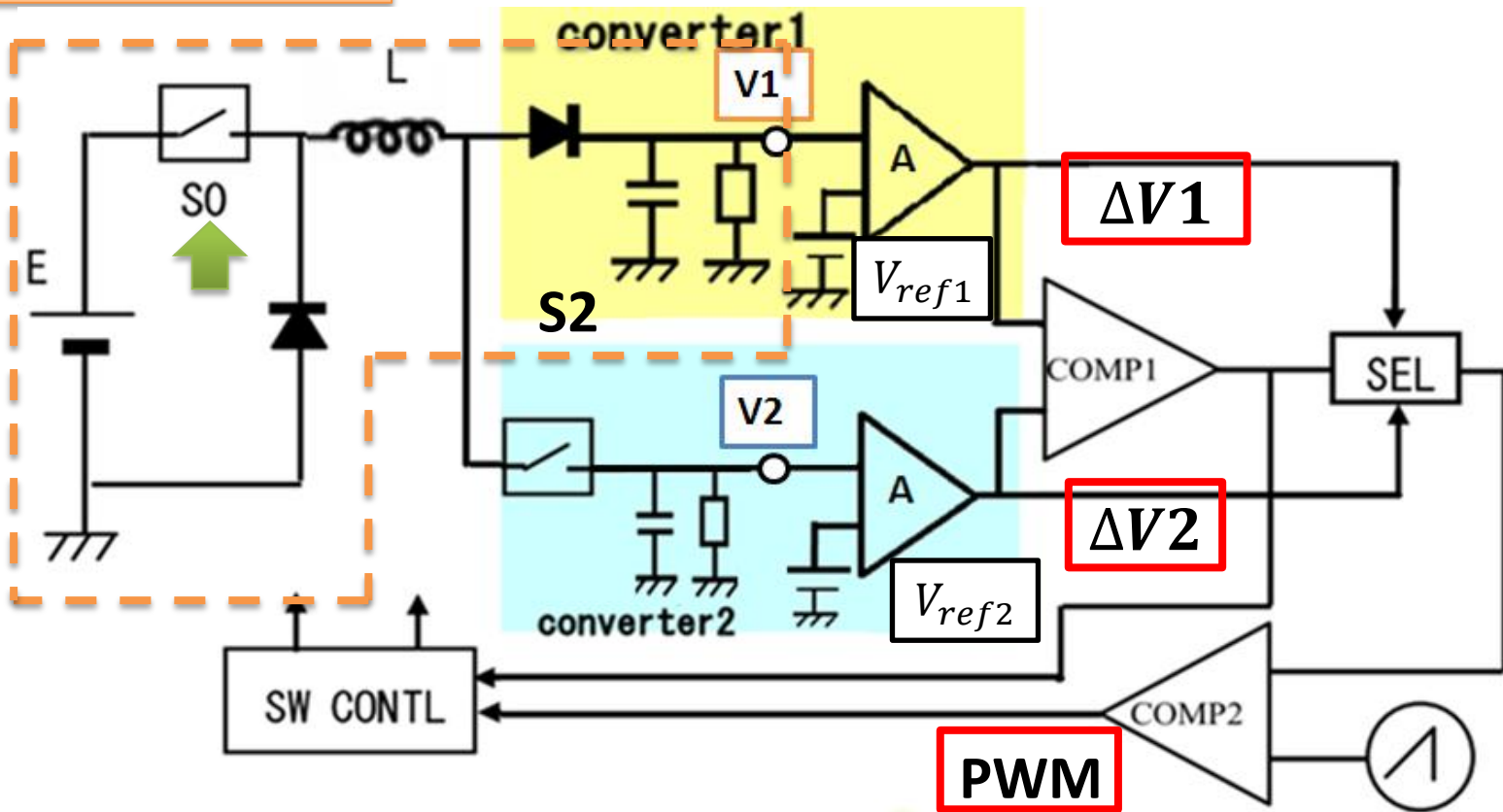
$\Delta V1 > \Delta V2$ :  
 COMP1  $\Rightarrow$  HIGH  
 SEL  $\Rightarrow$  コンバータ1

$\Delta V1 < \Delta V2$ :  
 COMP1  $\Rightarrow$  LOW  
 SEL  $\Rightarrow$  コンバータ2

# 降圧型電源コンバータ1制御時

$\Delta V1 > \Delta V2$

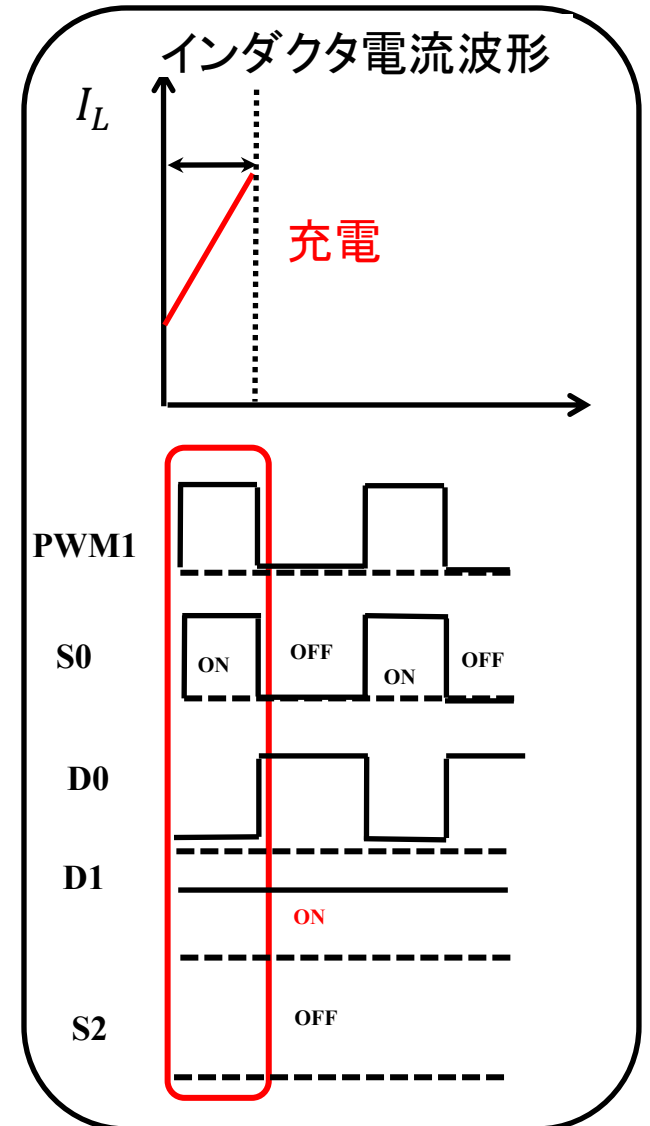
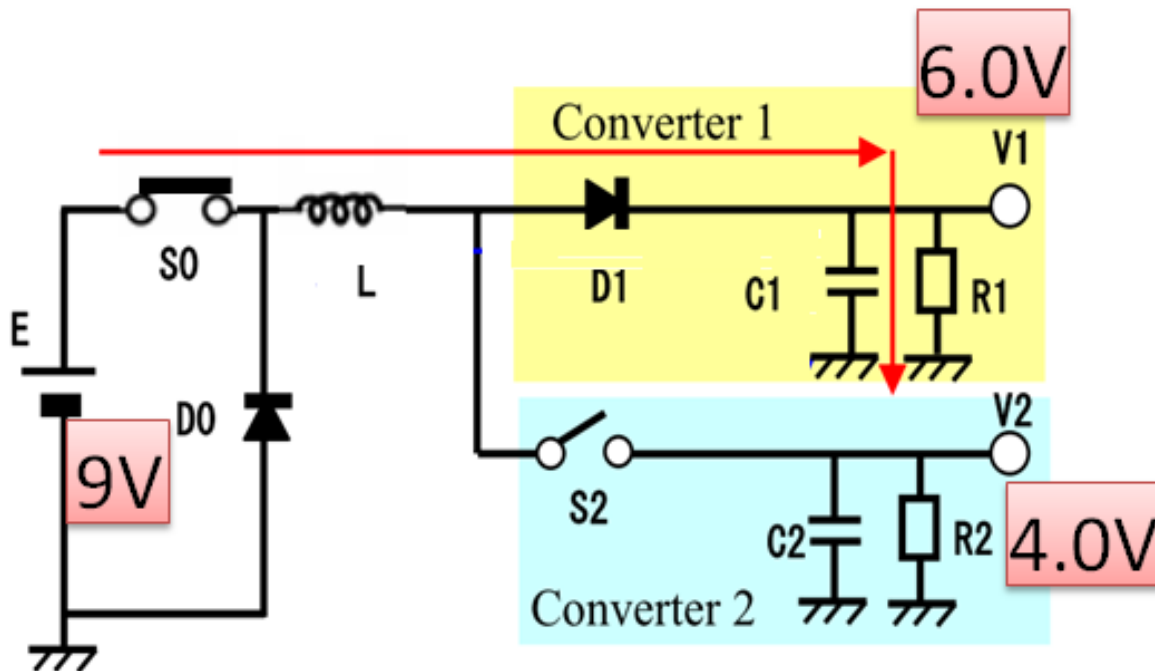
基準電圧  $V_{ref1} > V_{ref2}$



コンバータ1制御

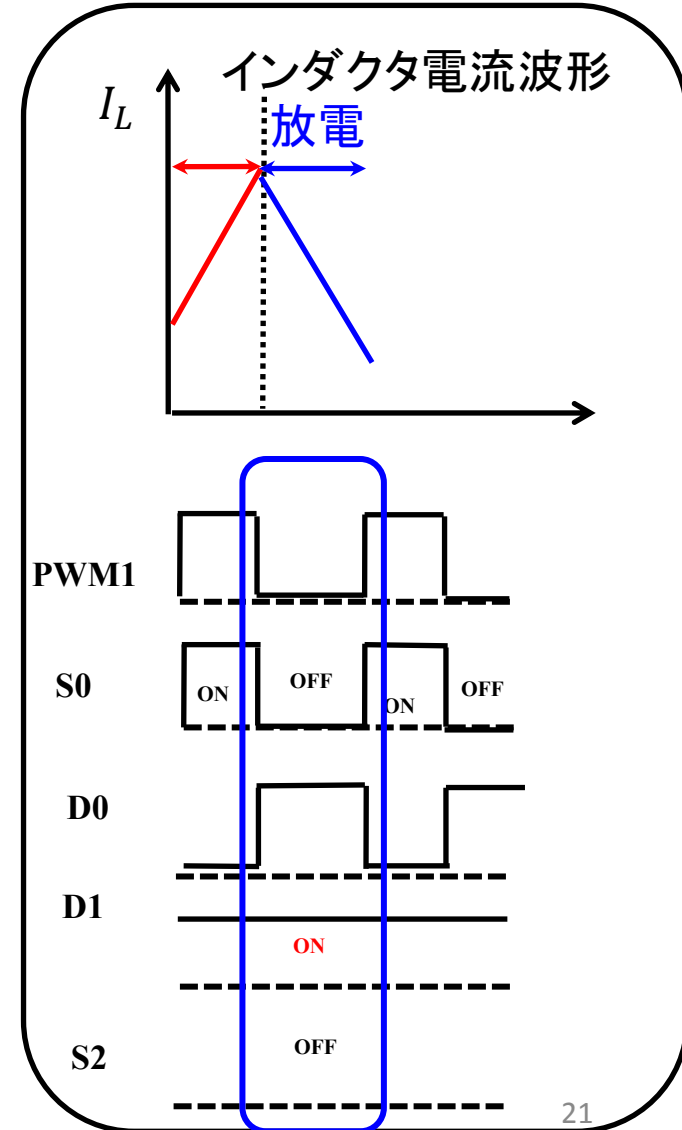
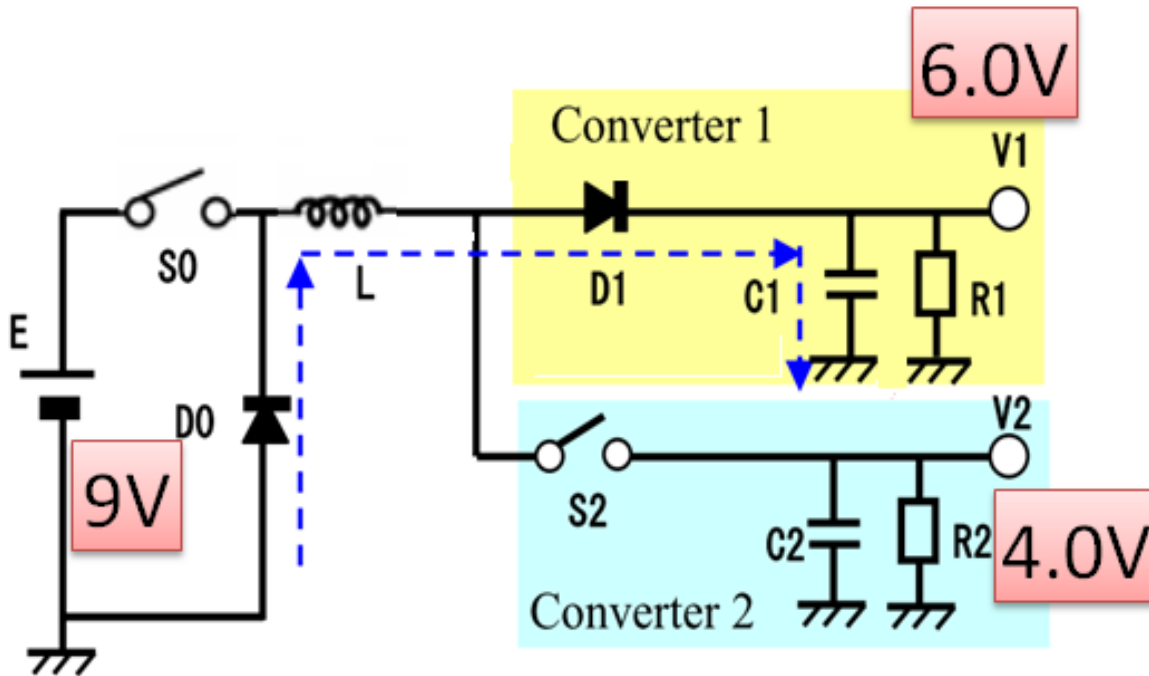
# 降圧型電源コンバータ1制御時 回路動作

Converter 1 control



# 降压型電源コンバータ1制御時 回路動作

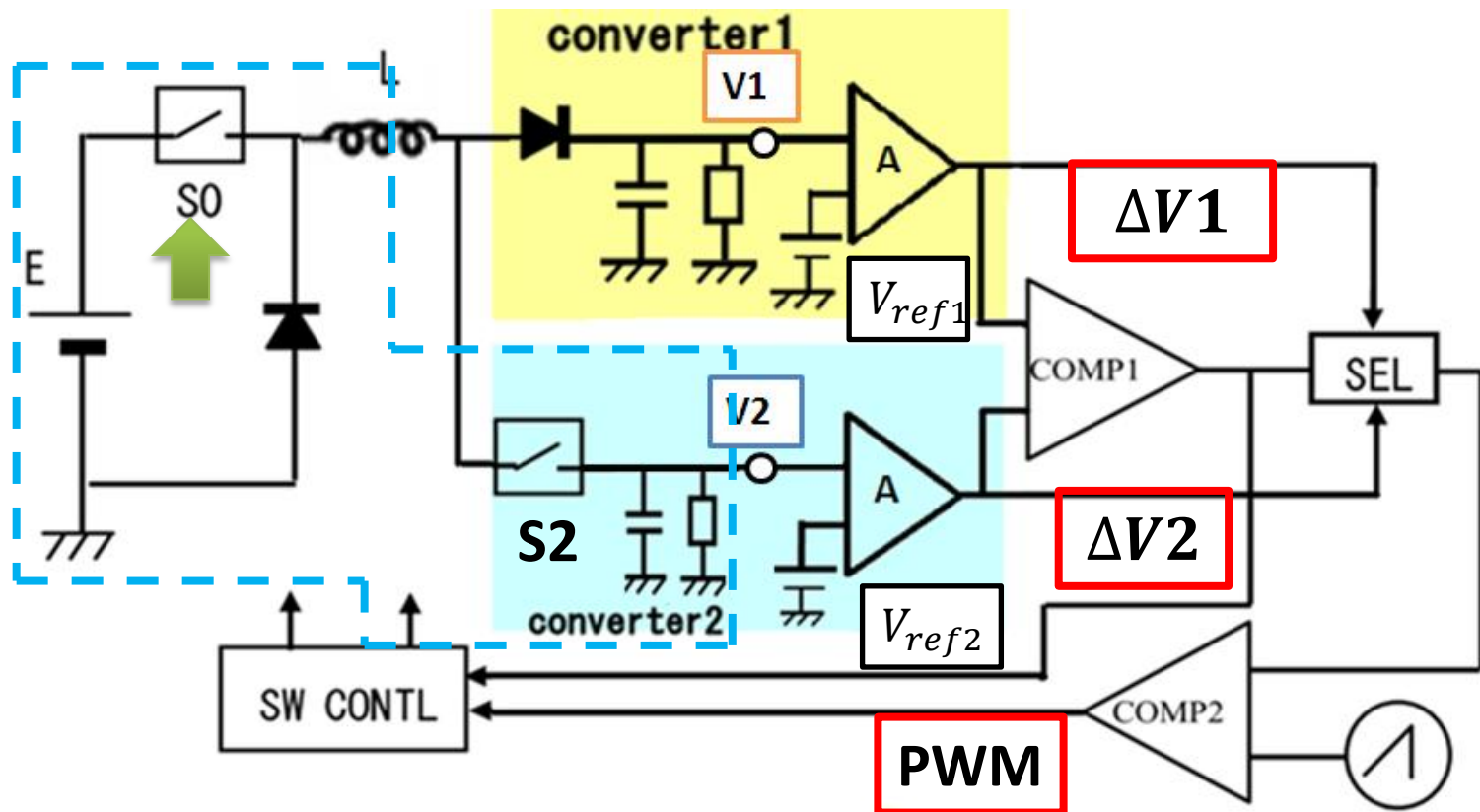
Converter 1 control



# 降圧型電源コンバータ2制御時

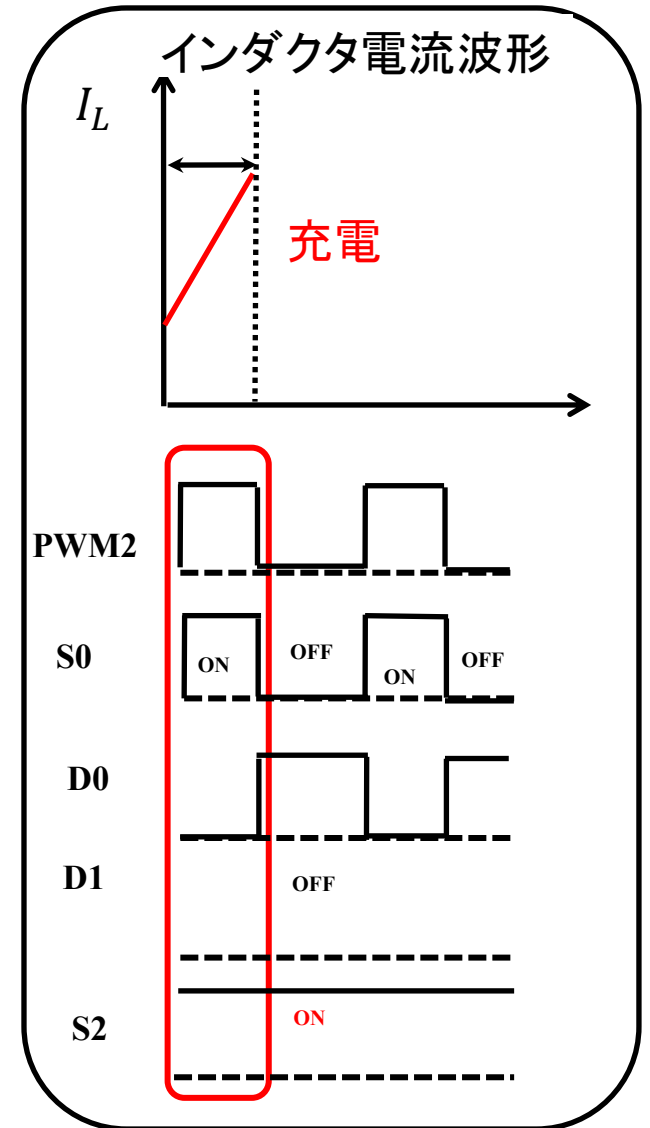
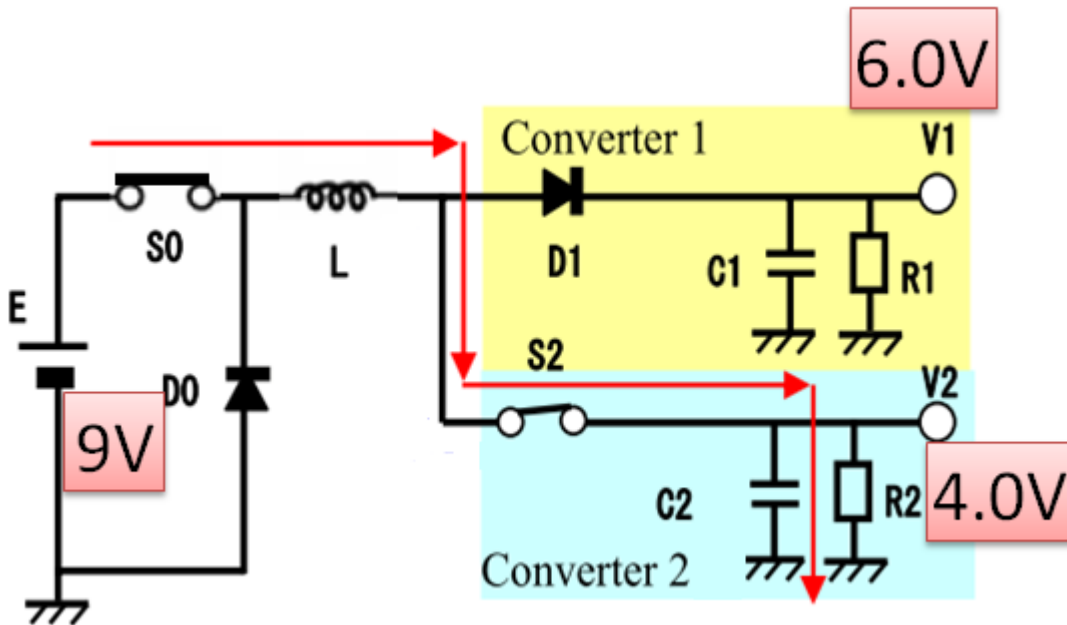
$$\Delta V2 > \Delta V1$$

基準電圧  $V_{ref1} > V_{ref2}$



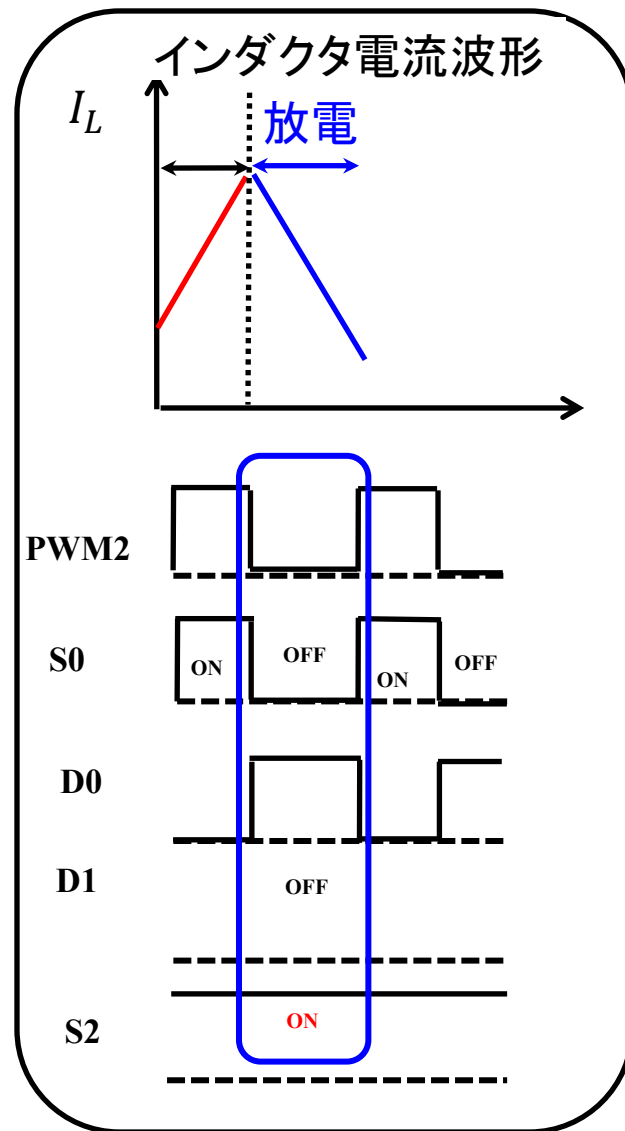
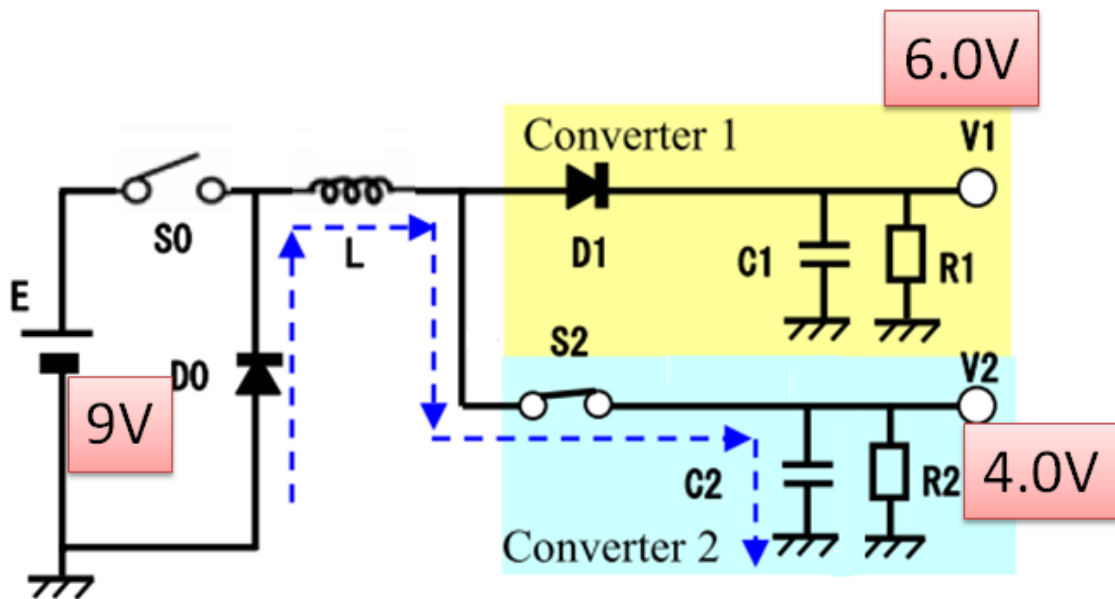
# 降压型電源コンバータ2制御時 回路動作

Converter 2 control



# 降圧型電源コンバータ2制御時 回路動作

Converter 2 control

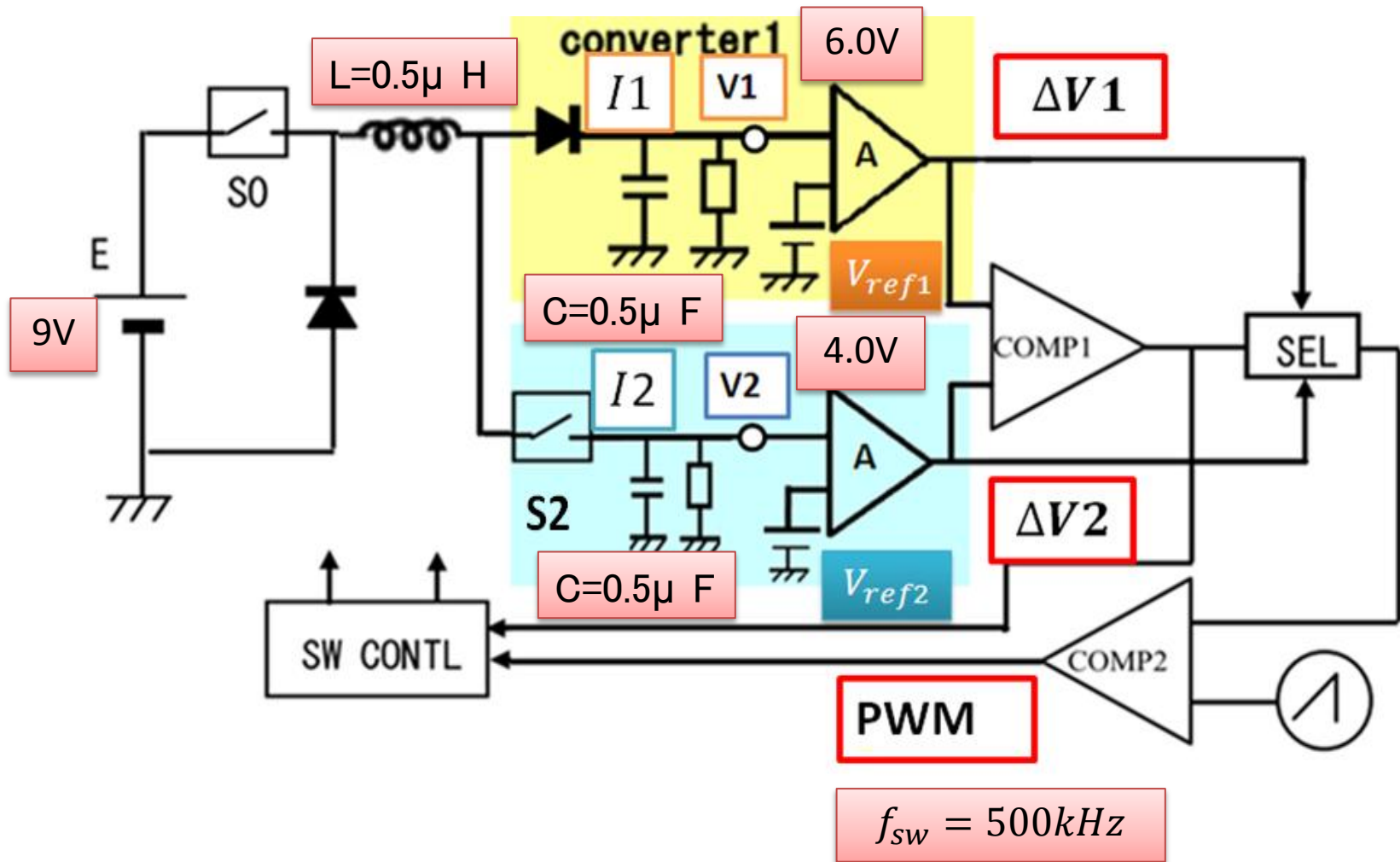




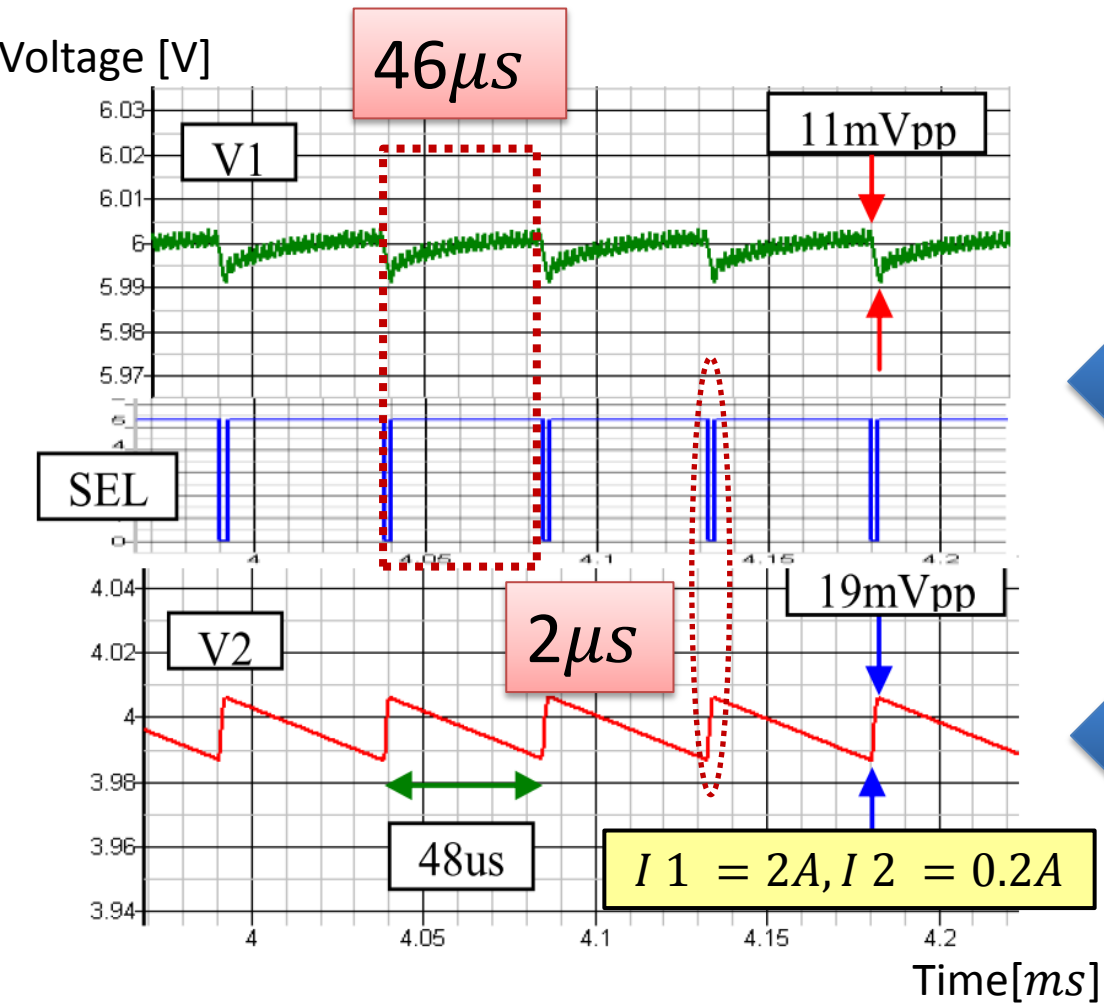
# アウトライン

- 研究背景
  - DC-DC変換回路の原理と特徴
  - 研究目的
- 提案降圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- 提案昇圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- まとめ

# 降圧型パラメータ



# 出力電圧リップル(ケース1)



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

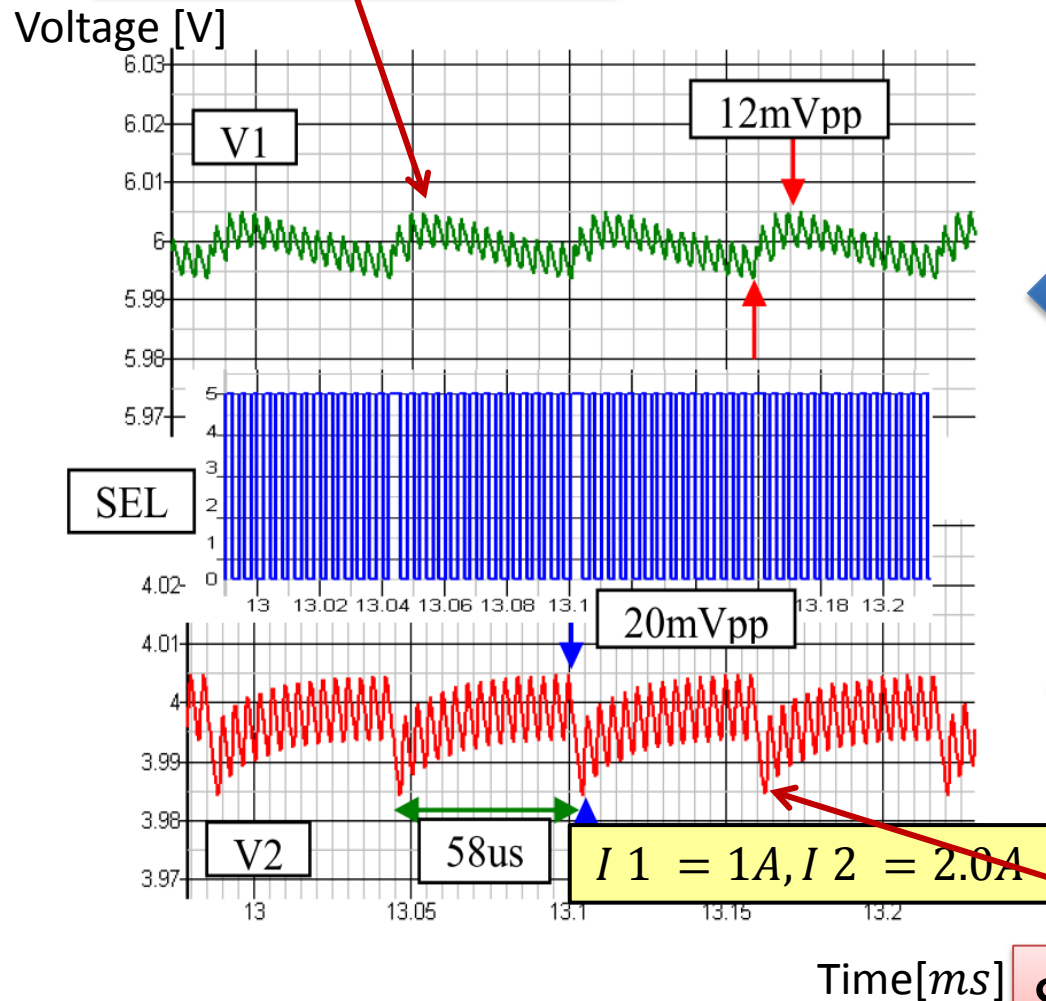
$$\Delta V1 = 11mV_{pp}$$

$$\Delta V2 = 19mV_{pp}$$

$$\Delta V1, \Delta V2 < 0.5\%V_o$$

# 出力電圧リップル(ケース2)

SEL → High : V1



$$I_1 = 1A,$$
$$I_2 = 2.2A$$

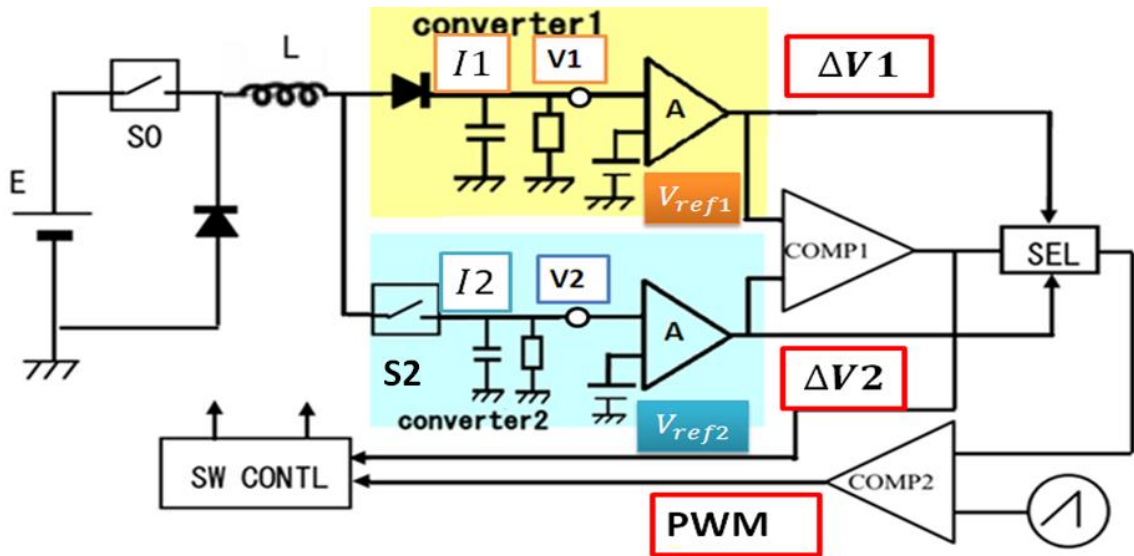
$$\Delta V_1 = 12mV_{pp}$$

$$\Delta V_2 = 20mV_{pp}$$

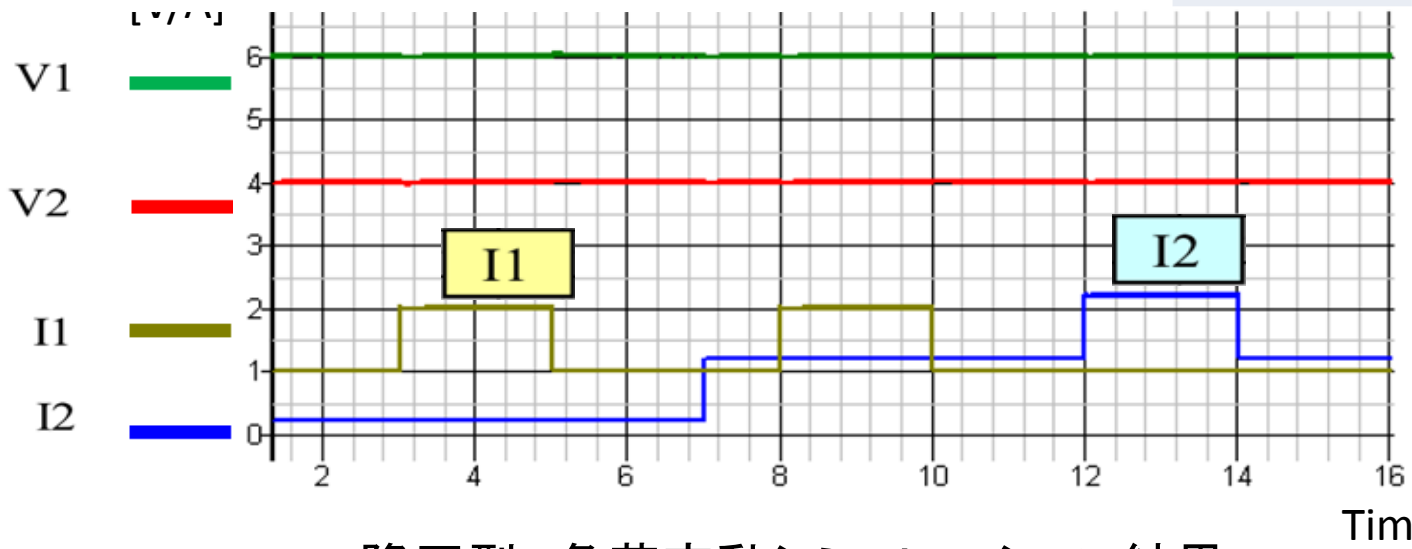
$$\Delta V_1, \Delta V_2 < 0.5\%V_o$$

SEL → Low : V2

# 負荷変動シミュレーション結果

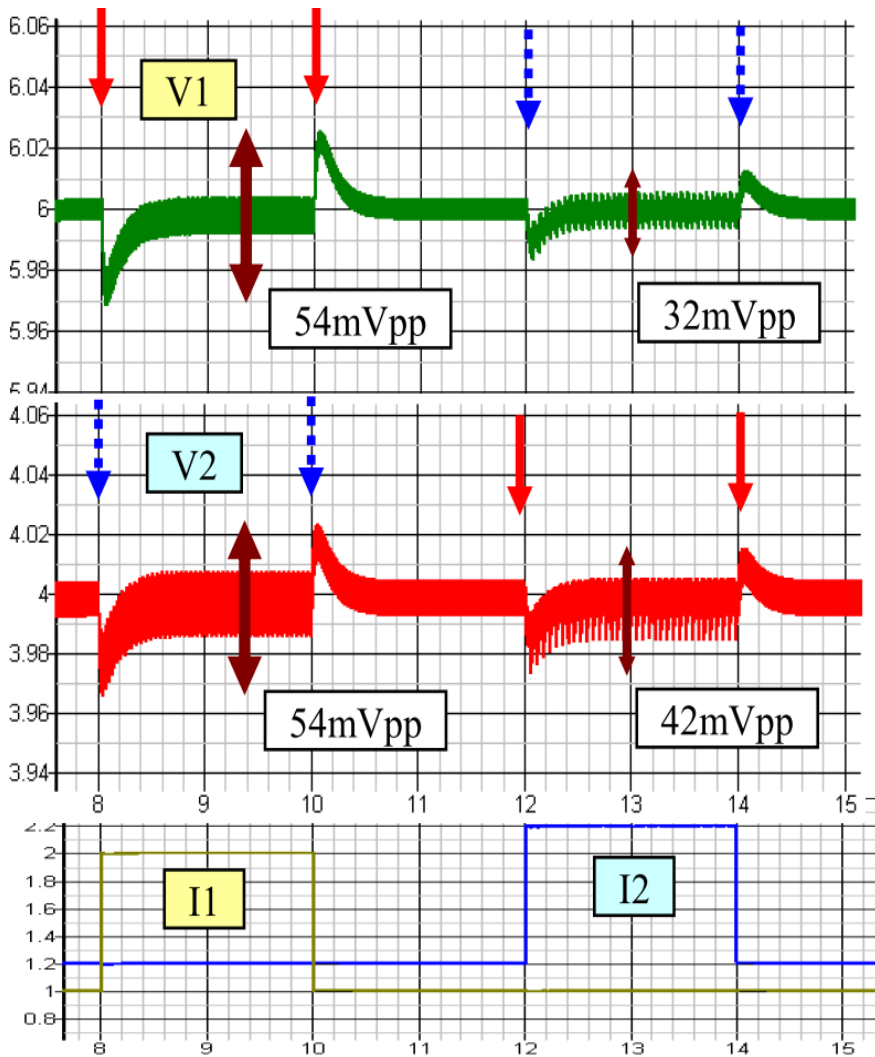


Parameter	Value
E	9.0V
V <sub>1</sub>	6.0V
V <sub>2</sub>	4.0V
L	0.5 $\mu$ H
C	470 $\mu$ F
F <sub>PWM</sub>	500KHz



降圧型 負荷変動シミュレーション結果

# 負荷変動レギュレーション特性



降圧型コンバータ

赤↓:セルフレギュレーション  $\Delta V_{SR}$

青↓:クロスレギュレーション  $\Delta V_{CR}$

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

降圧型 負荷変動レギュレーション特性

# アウトライン

- 研究背景
  - DC-DC変換回路の原理と特徴
  - 研究目的
- 提案降圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- 提案昇圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- まとめ

# 昇圧型電源構成と基本動作

昇圧型電源：入力<出力

基準電圧  $V_{ref1} > V_{ref2}$

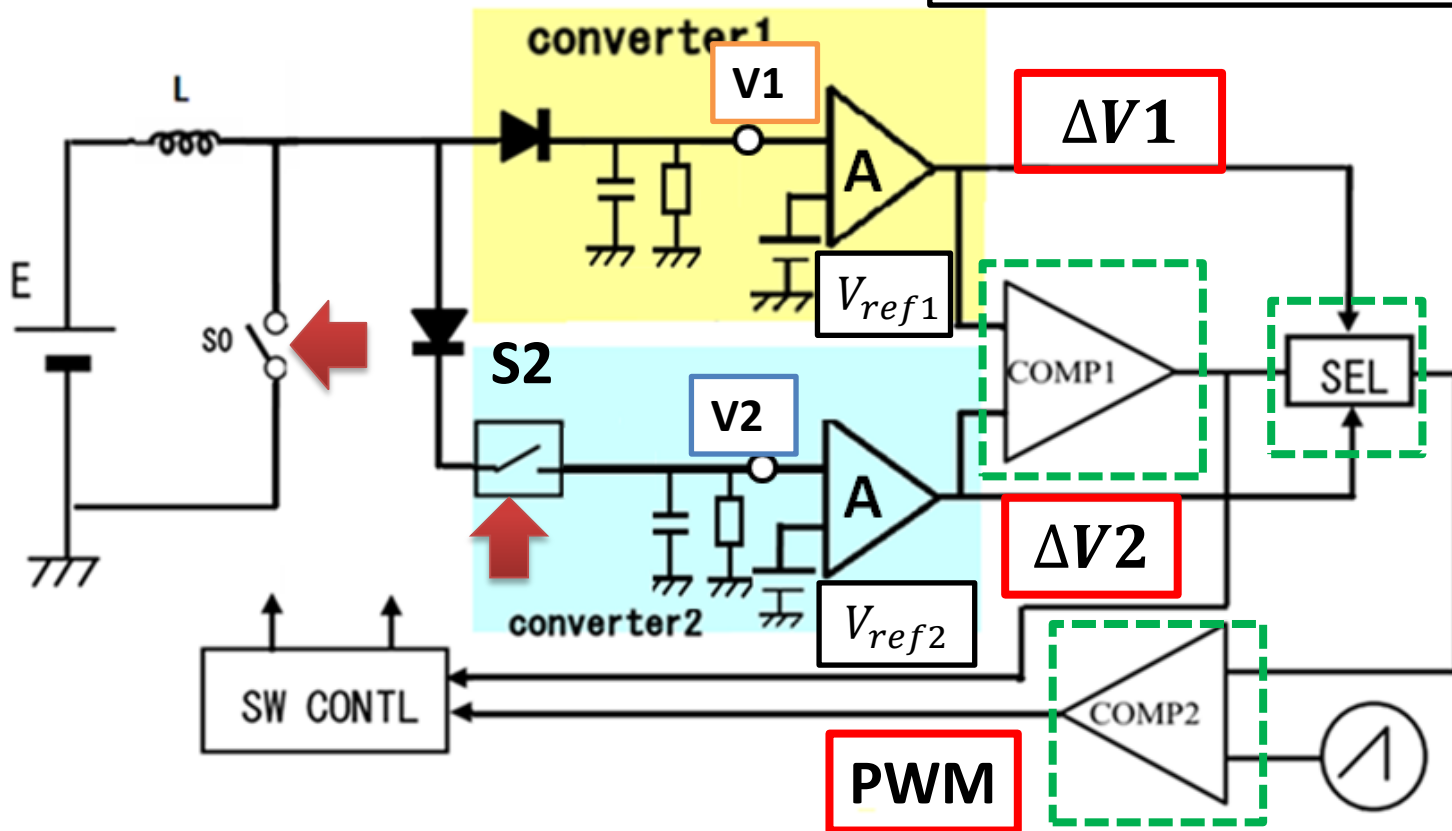


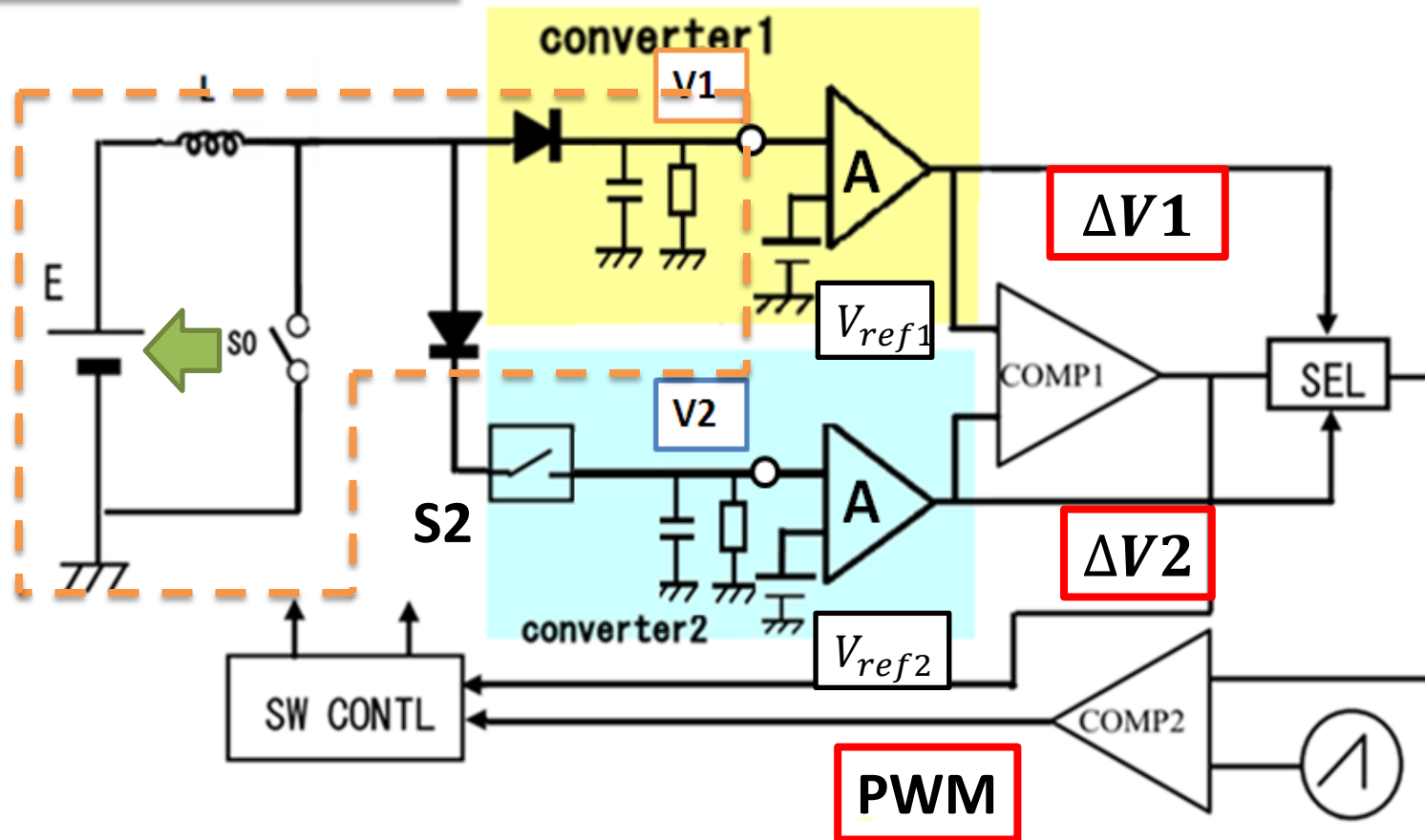
図11 提案した昇圧型SIDO電源構成



# 昇圧型電源コンバータ1制御時

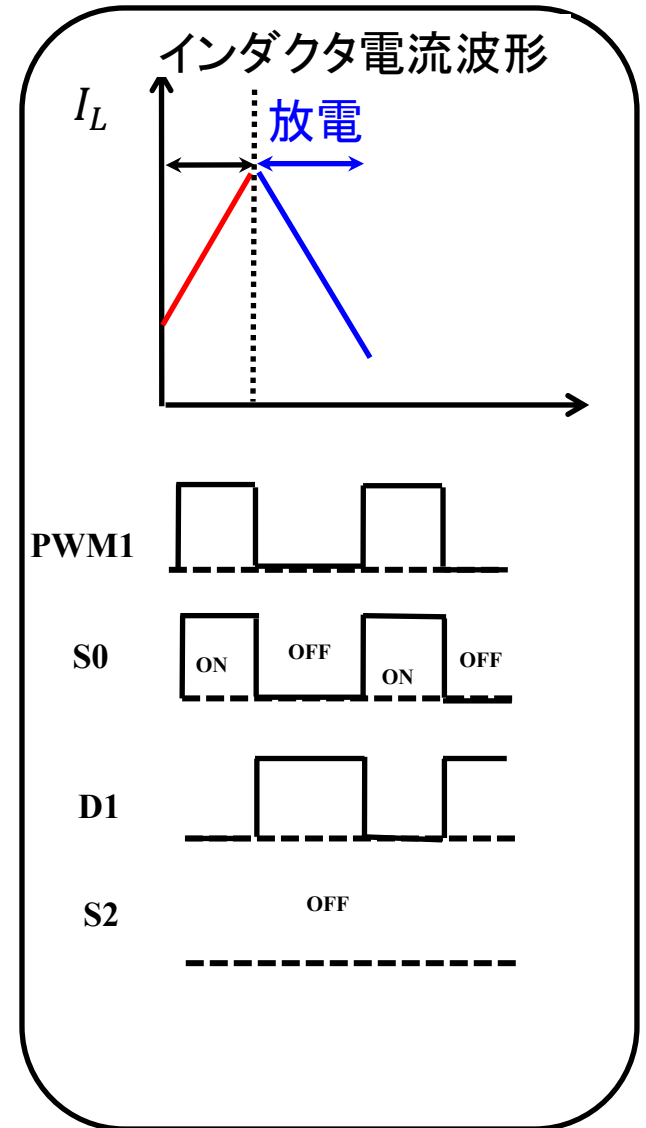
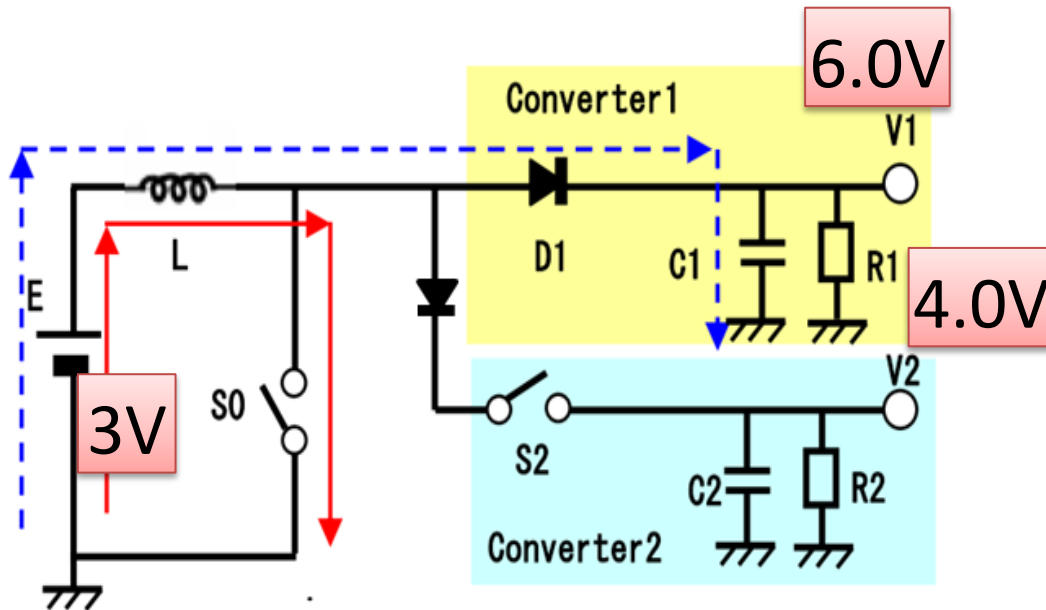
$$\Delta V1 > \Delta V2$$

基準電圧  $V_{ref1} > V_{ref2}$



# 昇圧型電源コンバータ1制御時回路動作

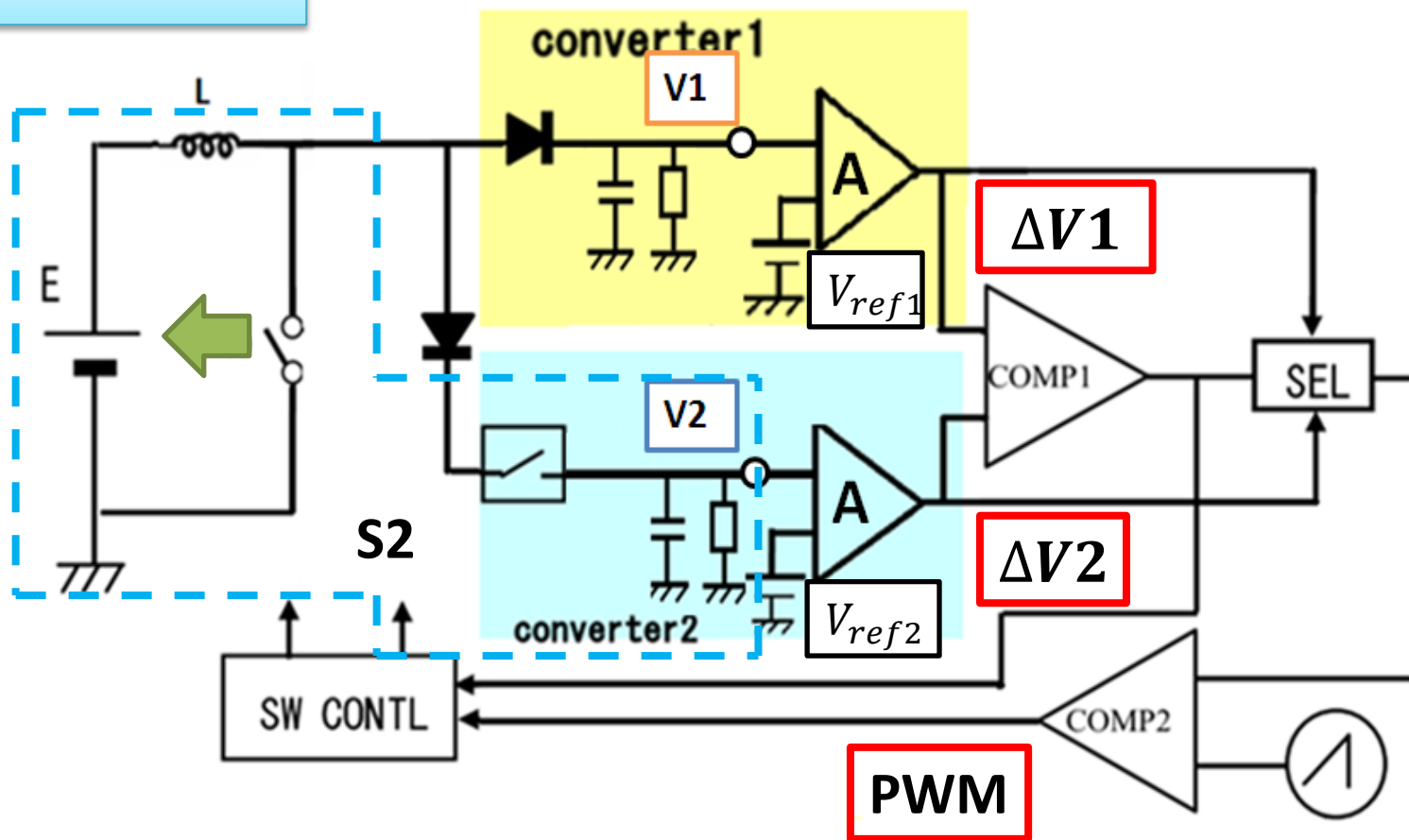
Converter 1 control



# 昇圧型電源コンバータ2制御時

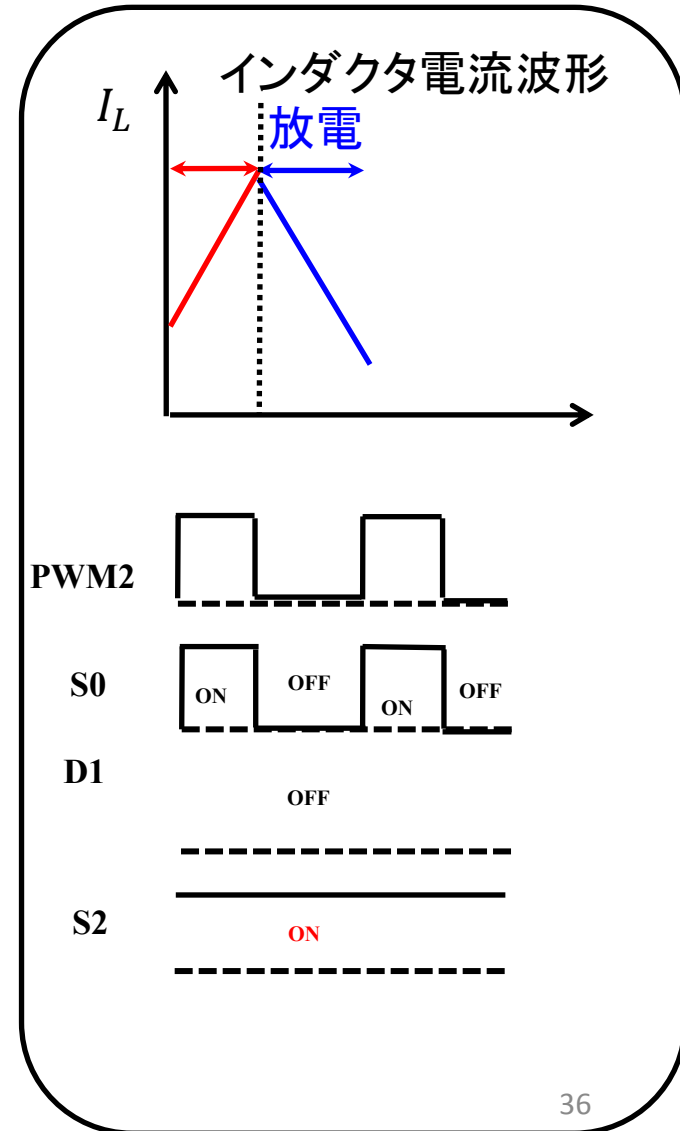
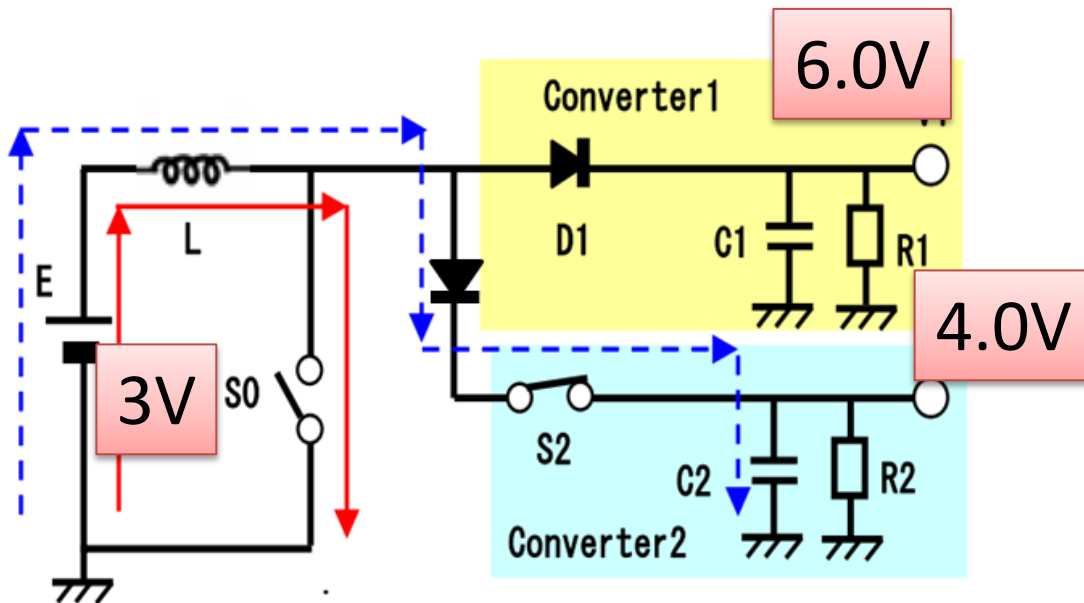
基準電圧  $V_{ref1} > V_{ref2}$

$\Delta V2 > \Delta V1$



# 昇圧型電源コンバータ2制御時回路動作

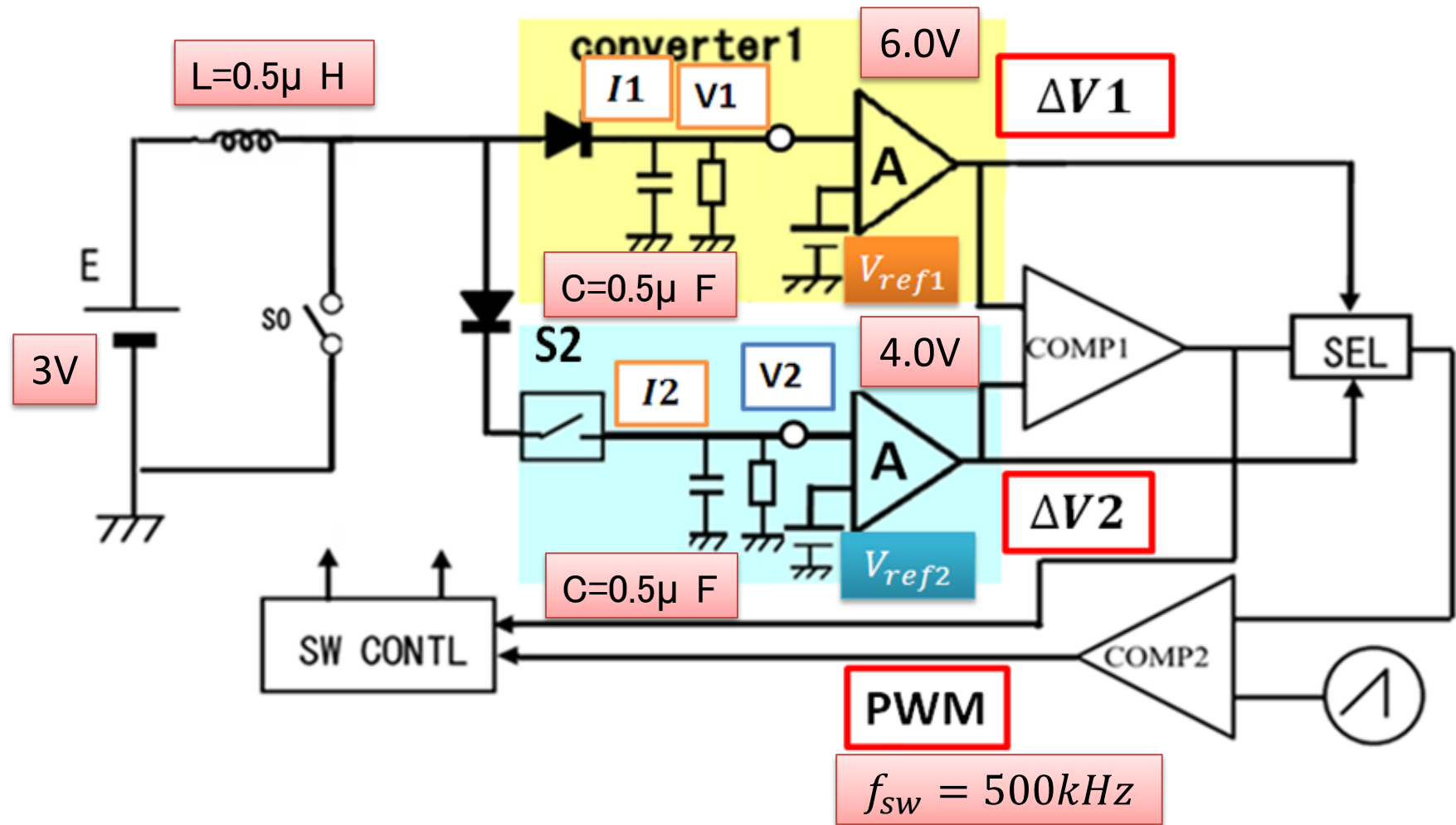
Converter 2 control



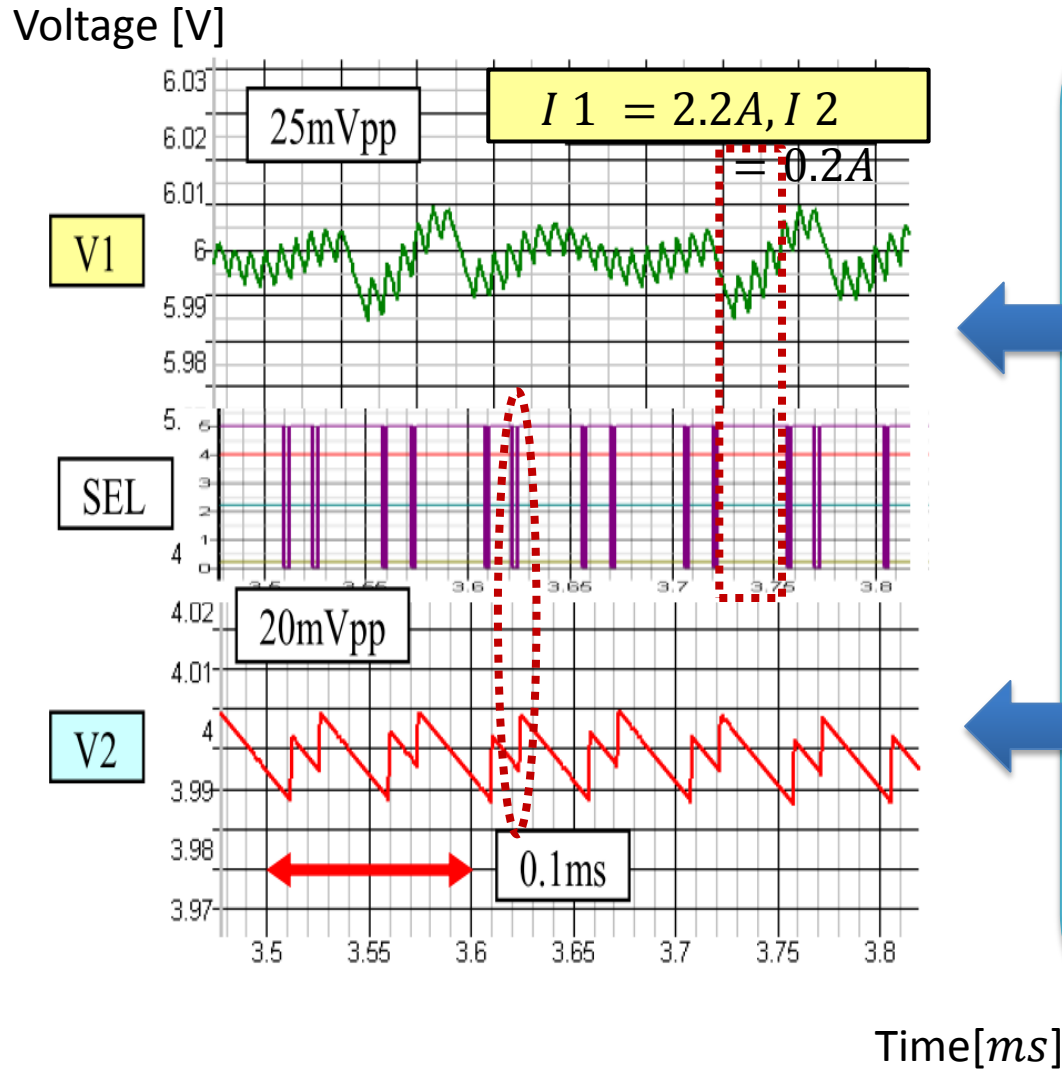
# アウトライン

- 研究背景
  - DC-DC変換回路の原理と特徴
  - 研究目的
- 提案降圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- **提案昇圧型SIDO電源**
  - 電源構成と基本動作
  - **シミュレーション結果**
- まとめ

# 昇圧型パラメータ



# 出力電圧リップル(ケース1)



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

$$\Delta V1 = 25mV_{pp}$$

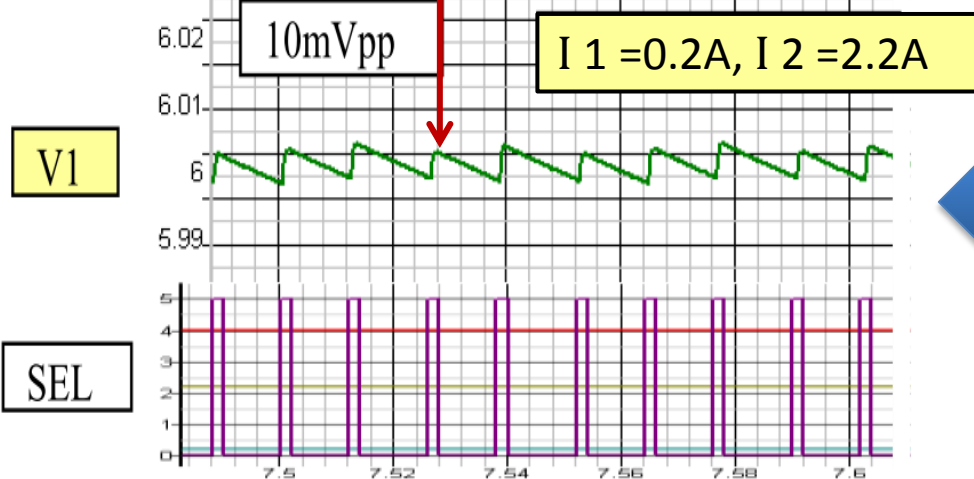
$$\Delta V2 = 20mV_{pp}$$

$$\Delta V1, \Delta V2 < 0.4\%V_o$$

# 出力電圧リップル(ケース2)

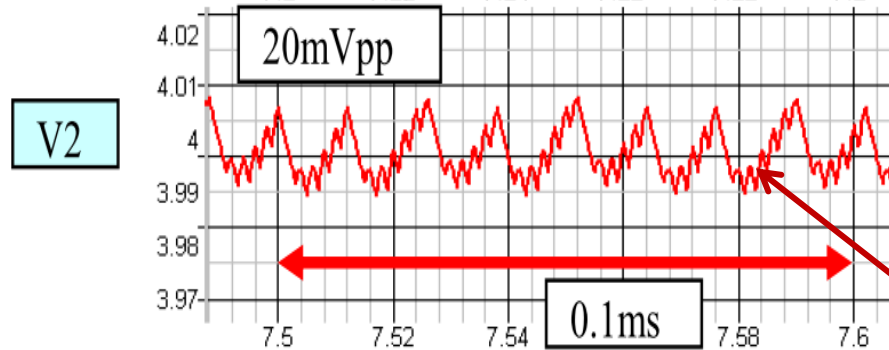
SEL → High : V1

Voltage [V]



$$I_1 = 0.2A,$$
$$I_2 = 2.2A$$

$$\Delta V_1 = 10mV_{pp}$$



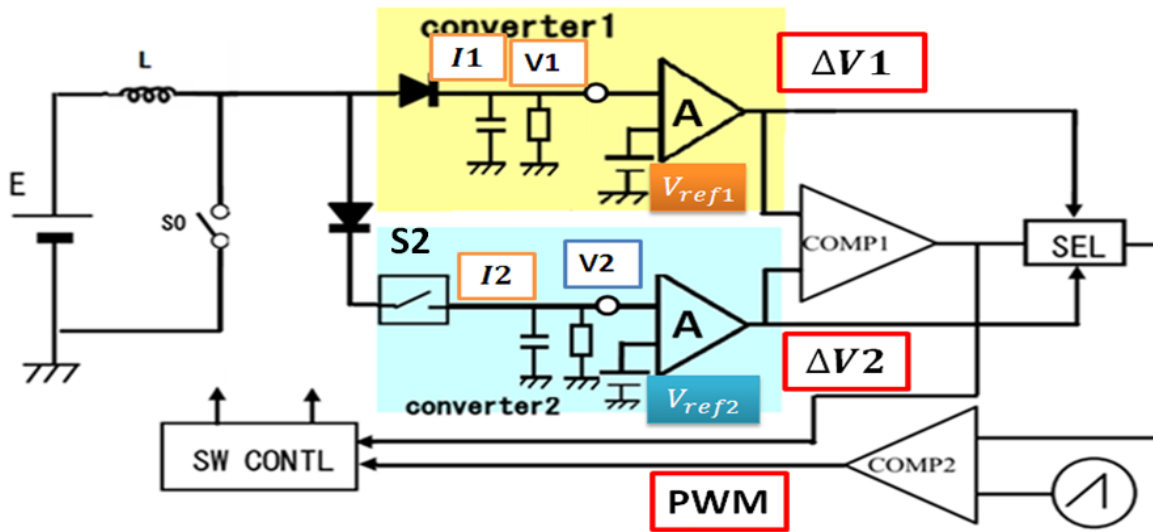
$$\Delta V_2 = 20mV_{pp}$$

$$\Delta V_1, \Delta V_2 < 0.4\%V_o$$

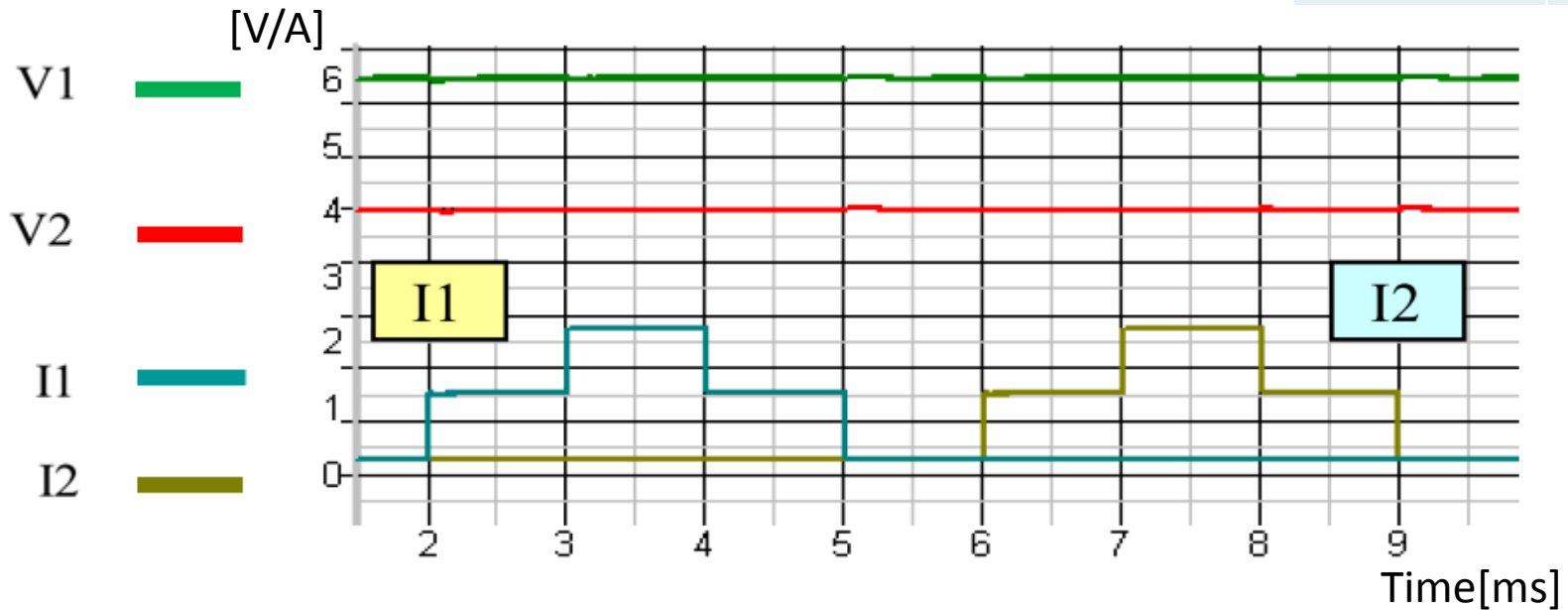
SEL → Low : V2



# 昇圧型パラメータ



Parameter	Value
E	3.0V
V <sub>1</sub>	6.0V
V <sub>2</sub>	4.0V
L	0.5μH
C	470μF
F <sub>PWM</sub>	500KHz



# 負荷変動シミュレーション結果

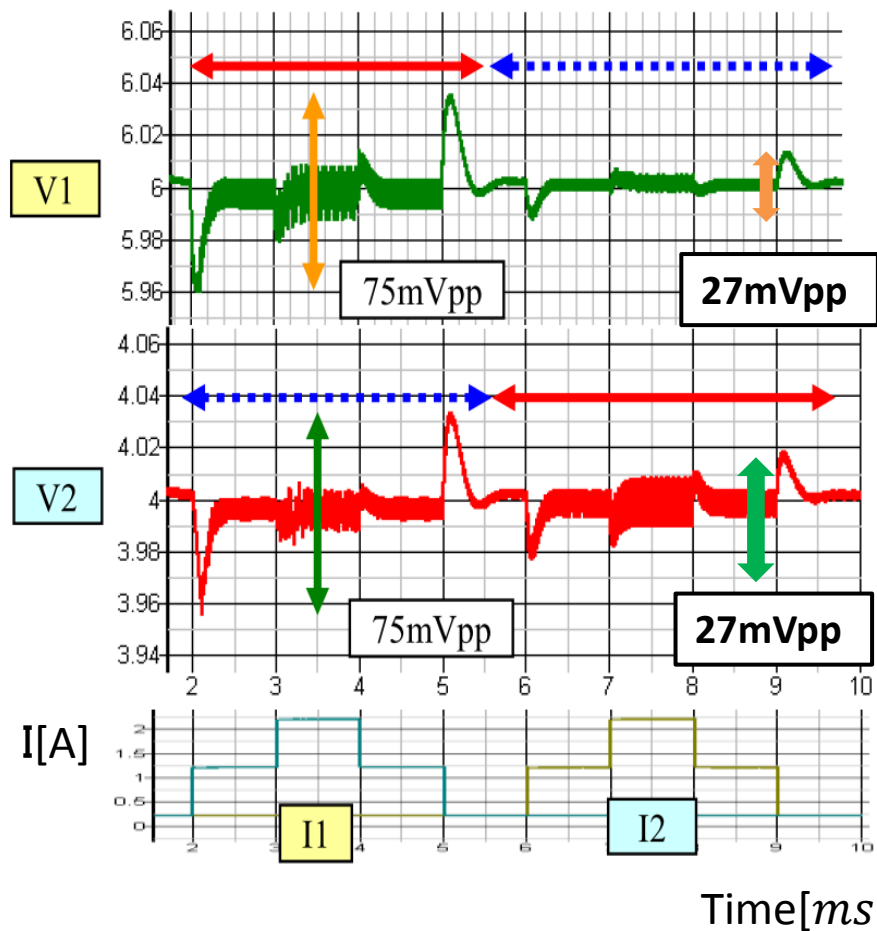
## 昇圧型コンバータ

赤⇔:セルフレギュレーション  $\Delta V_{SR}$

青⇔:クロスレギュレーション  $\Delta V_{CR}$

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

Voltage [V]



昇圧型 負荷変動レギュレーション特性

# アウトライン

- 研究背景
  - DC-DC変換回路の原理と特徴
  - 研究目的
- 提案降圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- 提案昇圧型SIDO電源
  - 電源構成と基本動作
  - シミュレーション結果
- まとめ

# まとめ

- 降/昇圧単インダクタ2出力DC-DCコンバータ  
制御法の提案
  - シンプル制御
  - 低コスト制御
- シミュレーションより動作と性能の確認

ご清聴ありがとうございました

# 附録

Q&A

# 質問

- 1、出力を2つに設定している理由は？
  - マルチ出力が必要。
- 2、1つの出力を考えるより2つの出力を考える良いところは？
  - 同じ時期に違う電圧を提供することができる。
- 3、P20.電流 $I_1$ は変化したんだけど、電流源などで変化させた？  
なぜ6Vの基準電圧を使わずで、コンバータで6Vを変化する？
  - スイッチを通して、抵抗を並列接続する。スイッチ⇒ON,負荷が減少し、電流が増大する。
  - 基準電圧は比較するために、力率を満足するより電圧の確率に注目している。望ましい力率を提供することが困難になる。また、負荷の変動と共に、回路の温度が変化する。基準電圧は温度の変化に対して、変動を行うことがある。  
(自分出考える)
- 4、P32.左3V,右6V、なぜ電流は3Vの電流から6Vの出力に流れる。
  - インダクタの放電のため、ON⇒電荷がたまる。OFF⇒電荷放電。

- 5、P11.従来手法より、今回提案した回路の新しいところ。

P15~16、AMPを2つ、COMPを2つ、部品は少なくなっていないじゃない？従来手法に比べて、どの部分が良いですか？

- インダクタの数減少するため、面積とコストが低減する。また、一周期で、選択された出力のみ電流を供給すること。
- インダクタの減らすのが目的⇒制御が難しくなる。



- 6、PWM電源は高周波出るので、最後の部分はLOW PASSフィルタを付けるのはカンセイの電源だと思う。どこまでDC-DC電源です？Filterを含めたほうが良いと思う。
- 7、Vref1とVref2を作る方法。
- 8、PWM一個しか使っていない。もし負荷が変動した時、変動が大きいじゃない？だから、消費電力を含めてなど全体的に評価するのは必要。
- 9、出力は3つ4つにしたい場、簡単にできる？
- 10、今回の回路の出力は使用者に自由に変わりますか？（例えば、基準電圧を変えるとき、出力もそのVrefになりますか？）
- 11、出力電圧はどこまで自由に変わられる？（例えば、負荷電流が大きいとき。）

- 12、今回の回路の出力は使用者に自由に変われますか？（例えば、基準電圧を変えるとき、出力もそのVrefになれますか？）
- 13、出力電圧はどこまで自由に変われる？（例えば、負荷電流が大きいとき。）
- 14、PWMのDuty比制御の問題について。例えばDuty比は1の時、ずっと6Vに充電する？
  - フィードバックにより、誤差が少なく時、Dutyも小さくなる。ずっと充電することはありません。