

# ZVS-PWM方式ソフトスイッチング による単インダクタ2出力電源

○小堀 康功・内藤 直也(小山高専)  
築地 伸和, 呉 澍, シャイフル・N・モーヤ,  
高井 伸和, 小林 春夫(群馬大)

# アウトライン

## 1. 従来形スイッチング電源

1-1 従来形単出力電源

1-2 従来形SIDO電源

## 2. ZVS-PWM方式 単出力電源

2-1 ZVS-PWM方式電源の概要

2-2 シミュレーション結果

## 3. ZVS-PWM方式降圧形 SIDO電源

3-1 SIDO電源の検討

3-2 シミュレーション結果

3-3 実装化回路の検討

## 4. 単出力電源の実装評価

## 5. まとめ

- \* ZVS : Zero-Voltage Switching
- \* PWM : Pulse Width Modulation
- \* SIDO : Single-Inductor Dual-Output

# ●電源の課題:

- 1) 低コスト化: 回路・部品の削減
- 2) 高機能化: 低リップル・高効率化

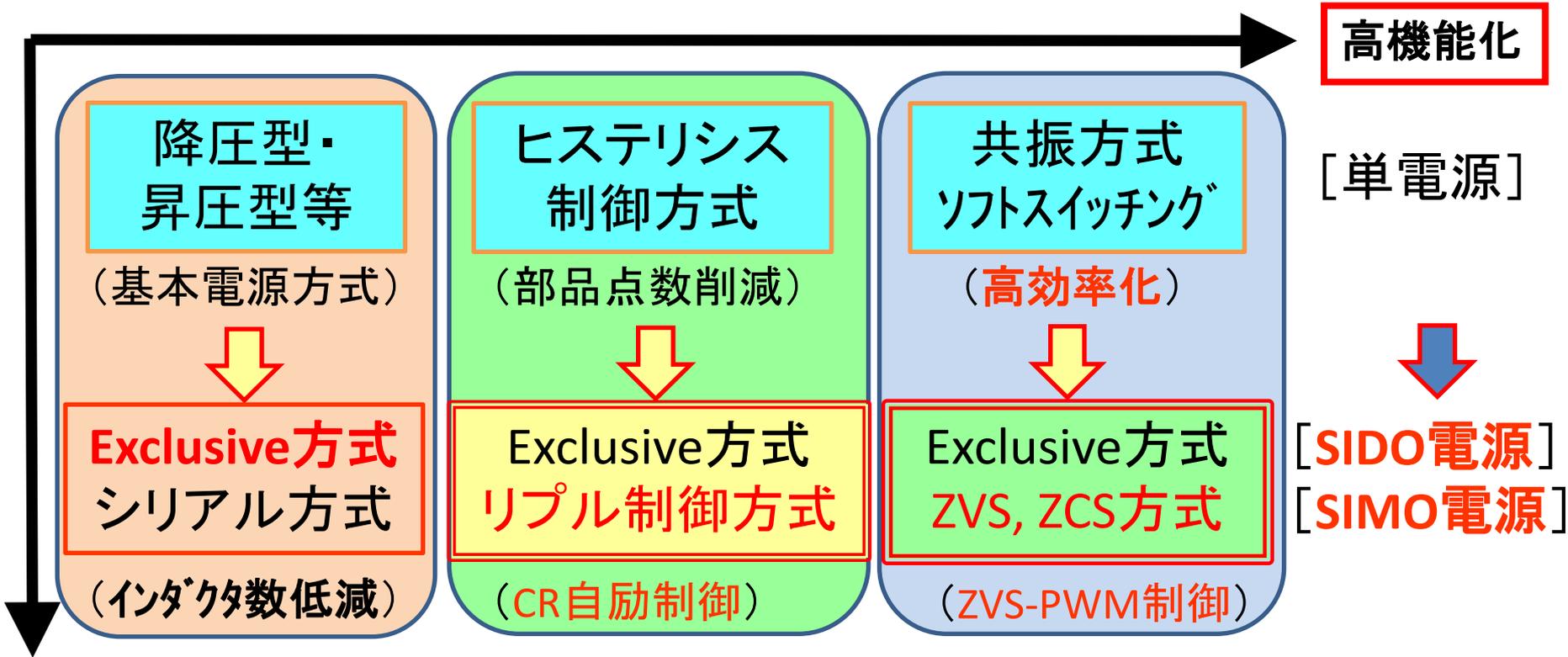


図1.スイッチング電源の開発動向

- \* ZCS: Zero Current Switching
- \* SIMO: Single Inductor Multi Output

# アウトライン

## 1. 従来形スイッチング電源

1-1 従来形単出力電源

1-2 従来形SIDO電源

## 2. ZVS-PWM方式 単出力電源

2-1 ZVS-PWM方式電源の概要

2-2 シミュレーション結果

## 3. ZVS-PWM方式降圧形 SIDO電源

3-1 SIDO電源の検討

3-2 シミュレーション結果

3-3 実装化回路の検討

## 4. 単出力電源の実装評価

## 5. まとめ

- \* ZVS : Zero-Voltage Switching
- \* PWM : Pulse Width Modulation
- \* SIDO : Single-Inductor Dual-Output

# 1. 従来形スイッチング電源

## 1-1 従来形単出力電源

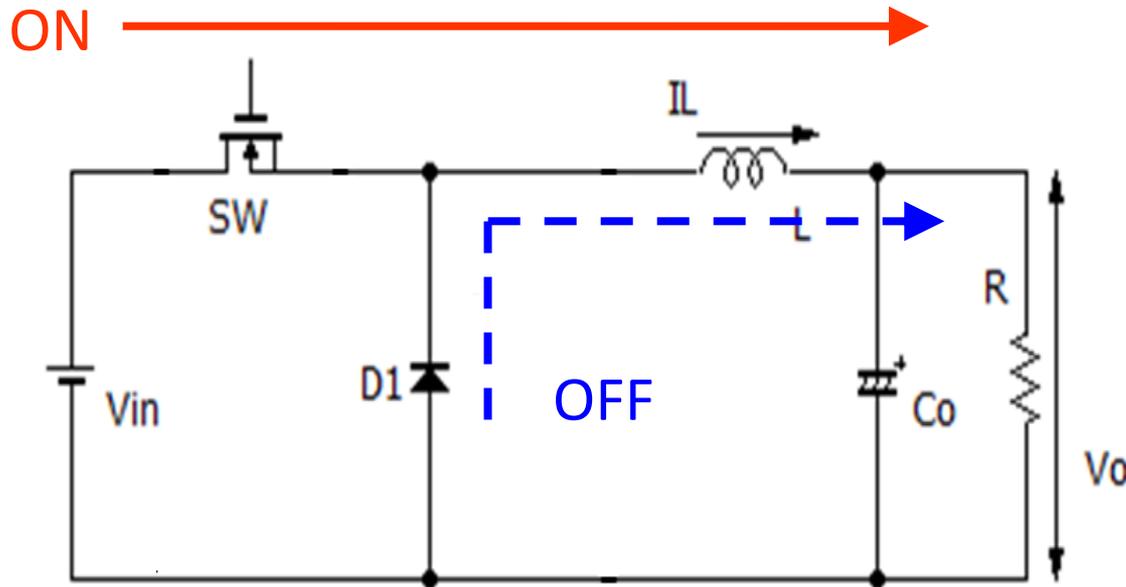


図2 降圧型電源の構成

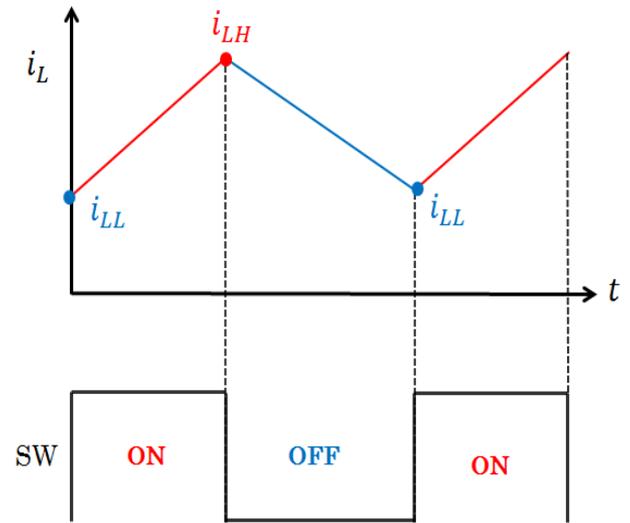
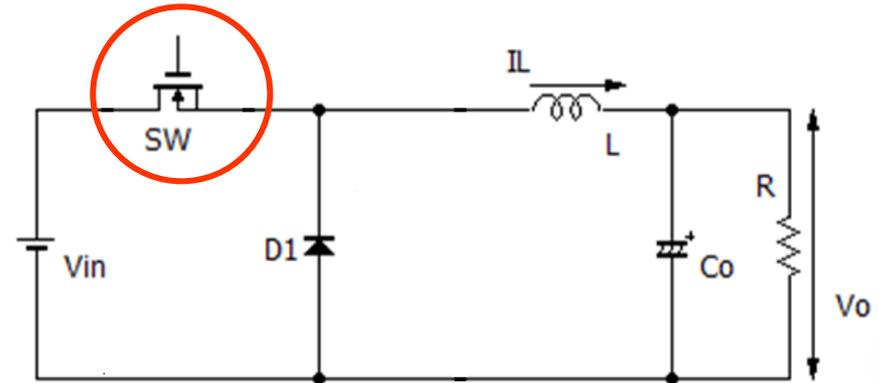


図3 主要波形

# 1. 従来形スイッチング電源

## ● スwitchングロス



ターンオン時損失

$$\Delta P_{on} = \frac{1}{6} VI \frac{\Delta T_{on}}{T} \text{ [W]}$$

ターンオフ時損失

$$\Delta P_{off} = \frac{1}{6} VI \frac{\Delta T_{off}}{T} \text{ [W]}$$

スイッチング損失

$$\Delta P = \Delta P_{on} + \Delta P_{off}$$

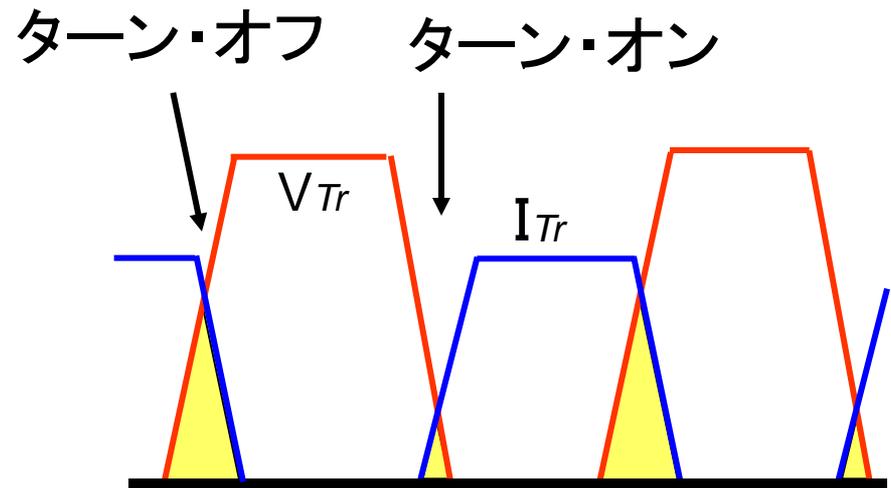


図4. スwitchングロス

# 1. 従来形スイッチング電源

## 1-2 従来形SIDO電源 (Exclusive 制御方式)

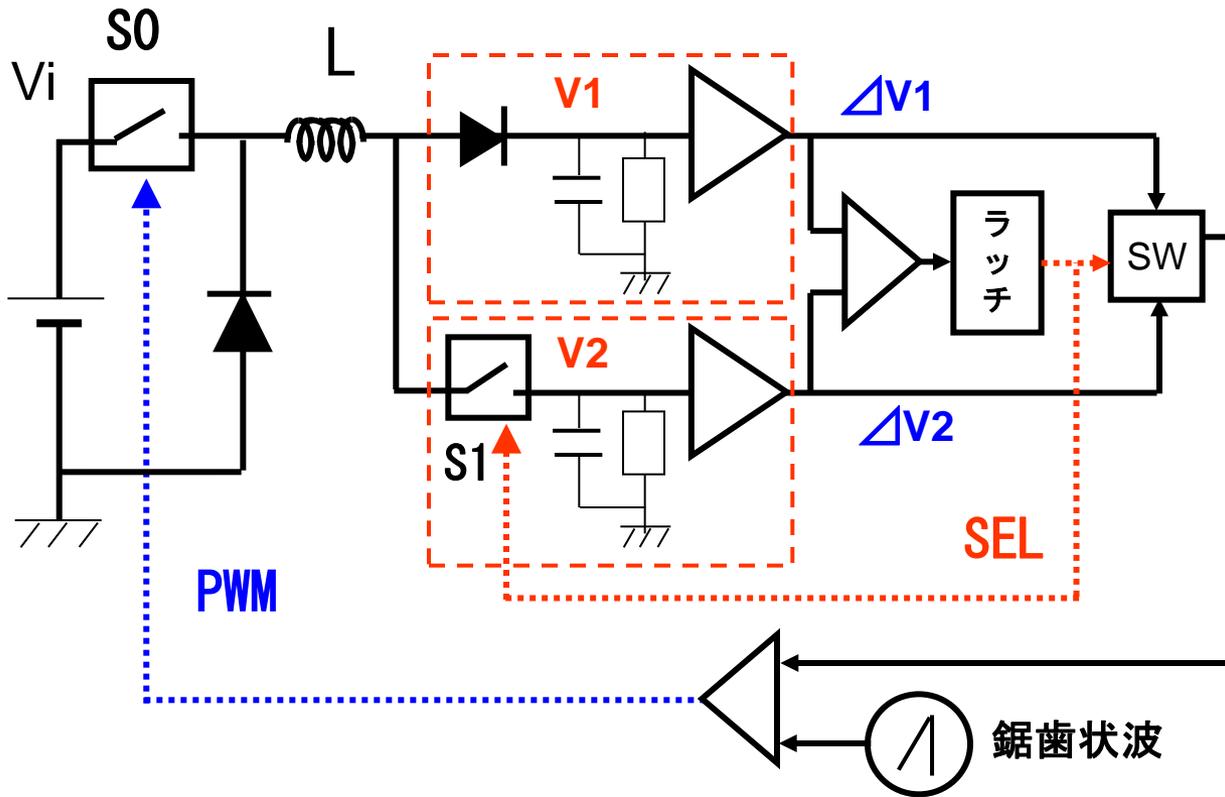


図5 降圧型SIDO電源の構成

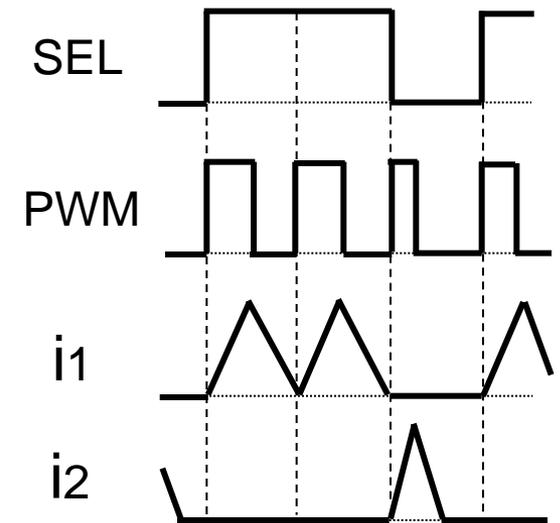


図6 主要波形

## 2. ZVS-PWM 単出力電源

### 2-1 ZVS-PWM方式降圧形電源の概要

#### ● 基本構成

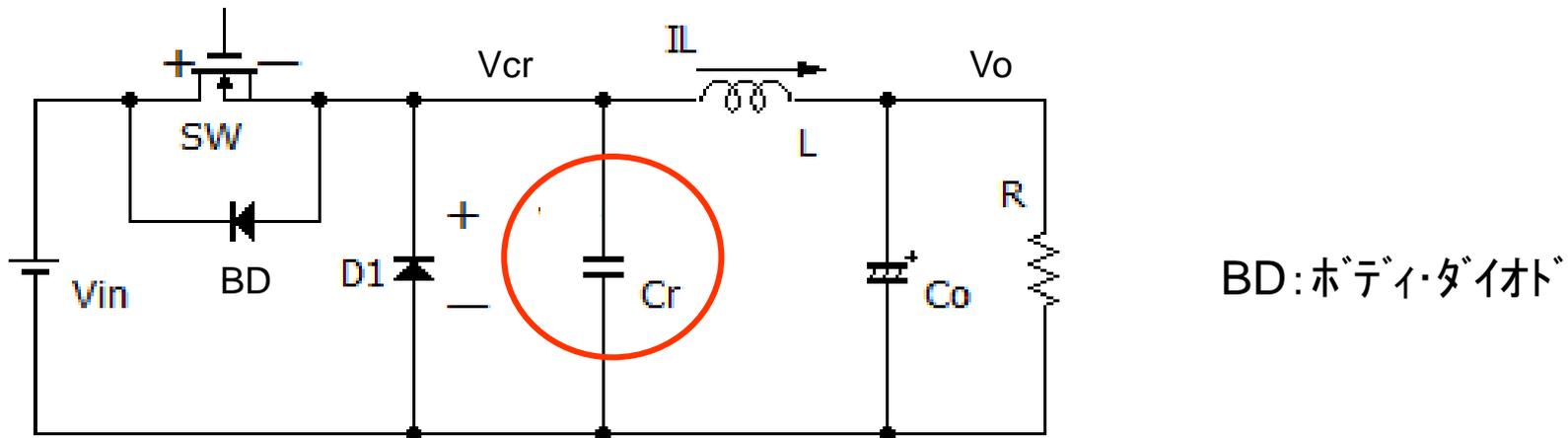


図7 ZVS-PWM電源

★インダクタ電流は  
双方向に流れる

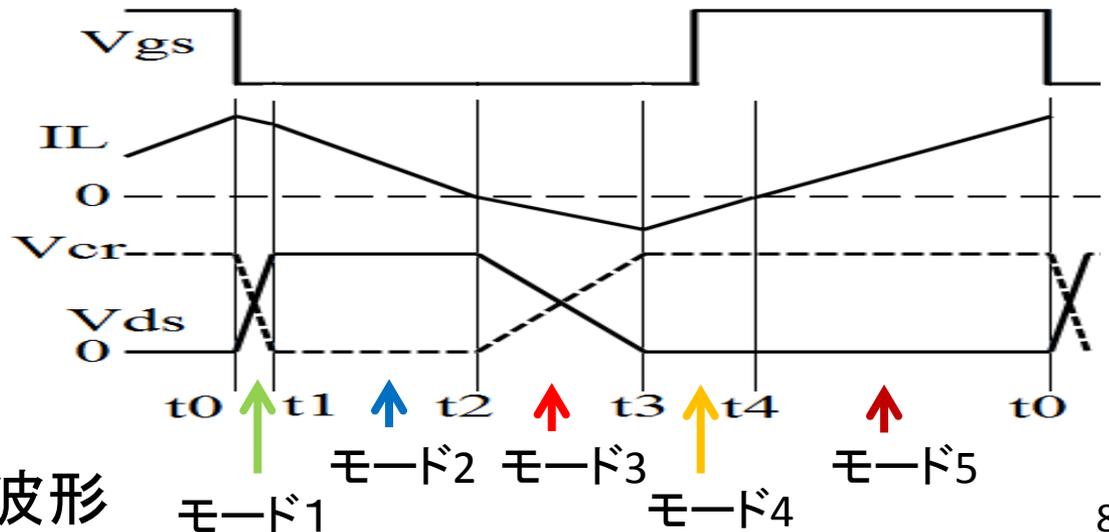


図8 主要部の波形

## 2. ZVS-PWM 単出力電源

### ● 動作原理

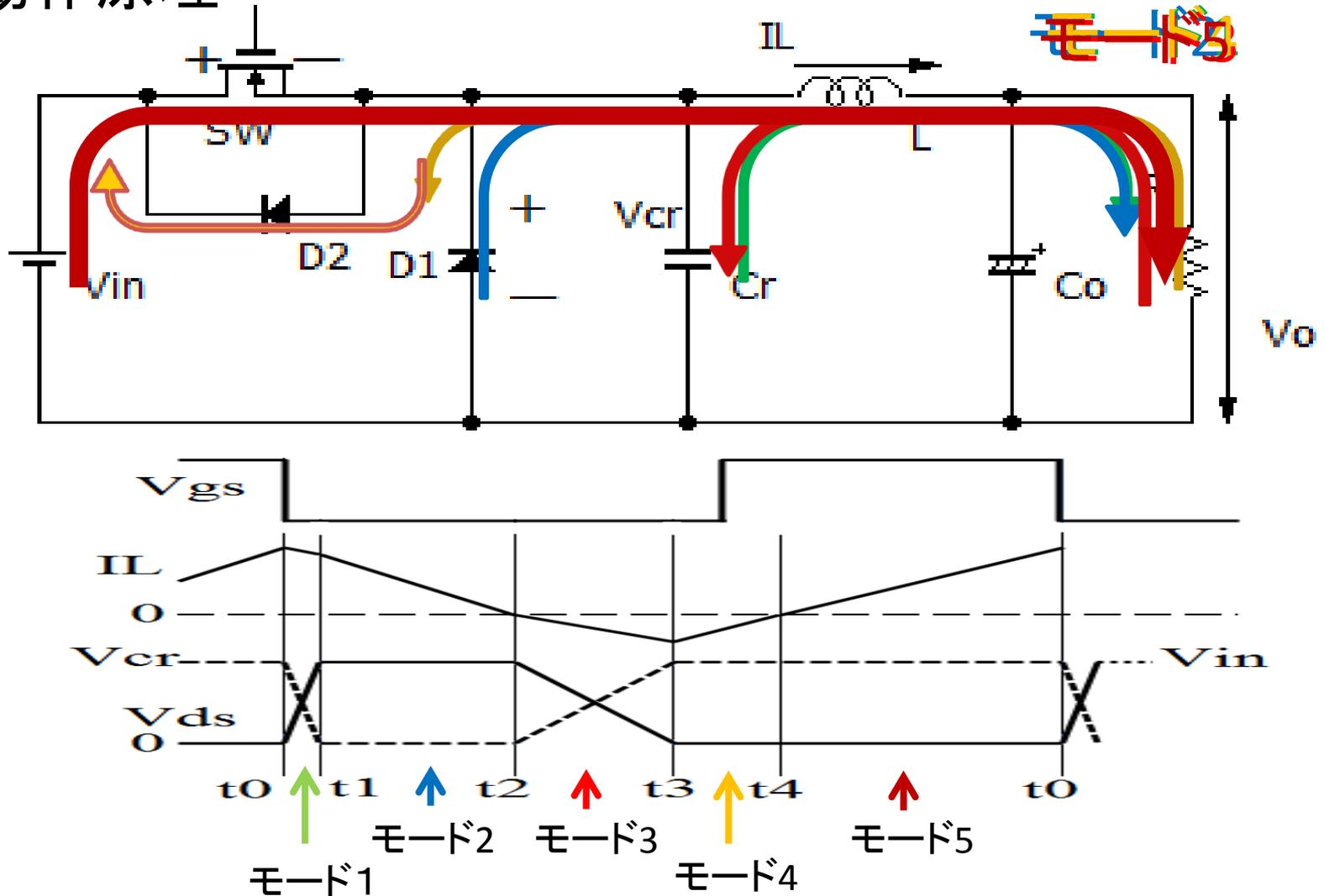


図9 動作説明図

# アウトライン

## 1. 従来形スイッチング電源

1-1 従来形単出力電源

1-2 従来形SIDO電源

## 2. ZVS-PWM方式 単出力電源

2-1 ZVS-PWM方式電源の概要

2-2 シミュレーション結果

## 3. ZVS-PWM方式降圧形 SIDO電源

3-1 SIDO電源の検討

3-2 シミュレーション結果

3-3 実装化回路の検討

## 4. 単出力電源の実装評価

## 5. まとめ

- \* ZVS : Zero-Voltage Switching
- \* PWM : Pulse Width Modulation
- \* SIDO : Single-Inductor Dual-Output

## 2. ZVS-PWM 単出力電源

### ● 動作原理 (スイッチの制御)

ON 制御 :  $V_c > V_i \Rightarrow \text{COMP2}$ で比較  $\Rightarrow$  PWM同期化

OFF制御 : PWM制御 :  $\Delta V$ と鋸歯状波の比較

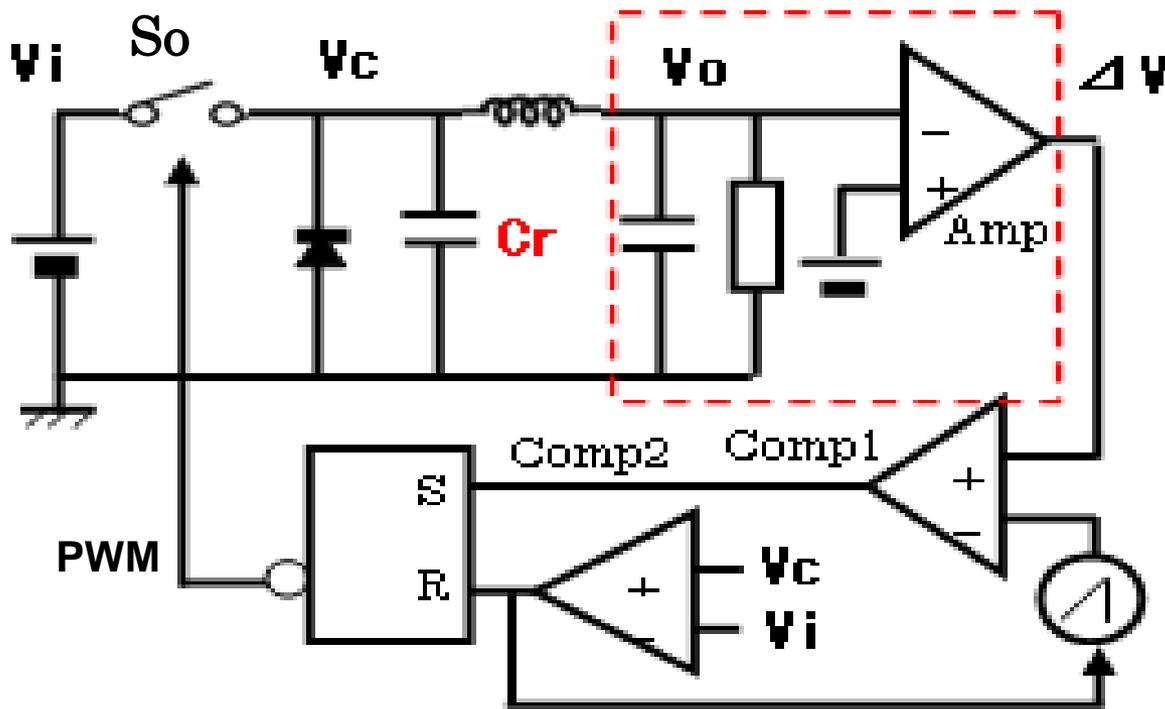


図10 ZVS-PWM電源の制御回路

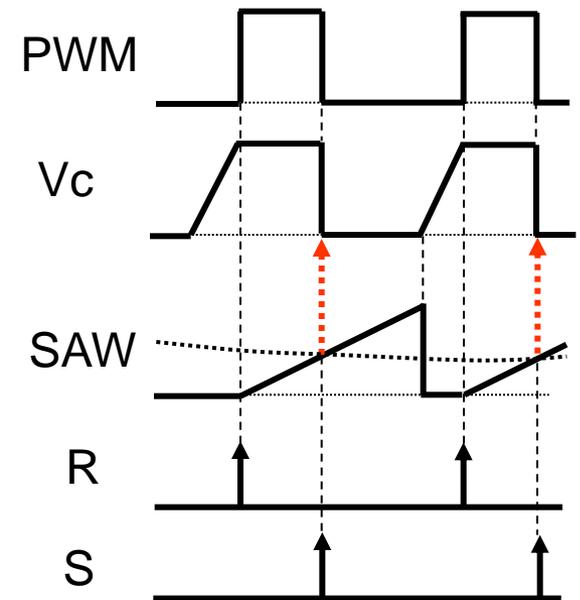


図11 主要部波形

## 2-2 シミュレーション結果

### ● 共振波形

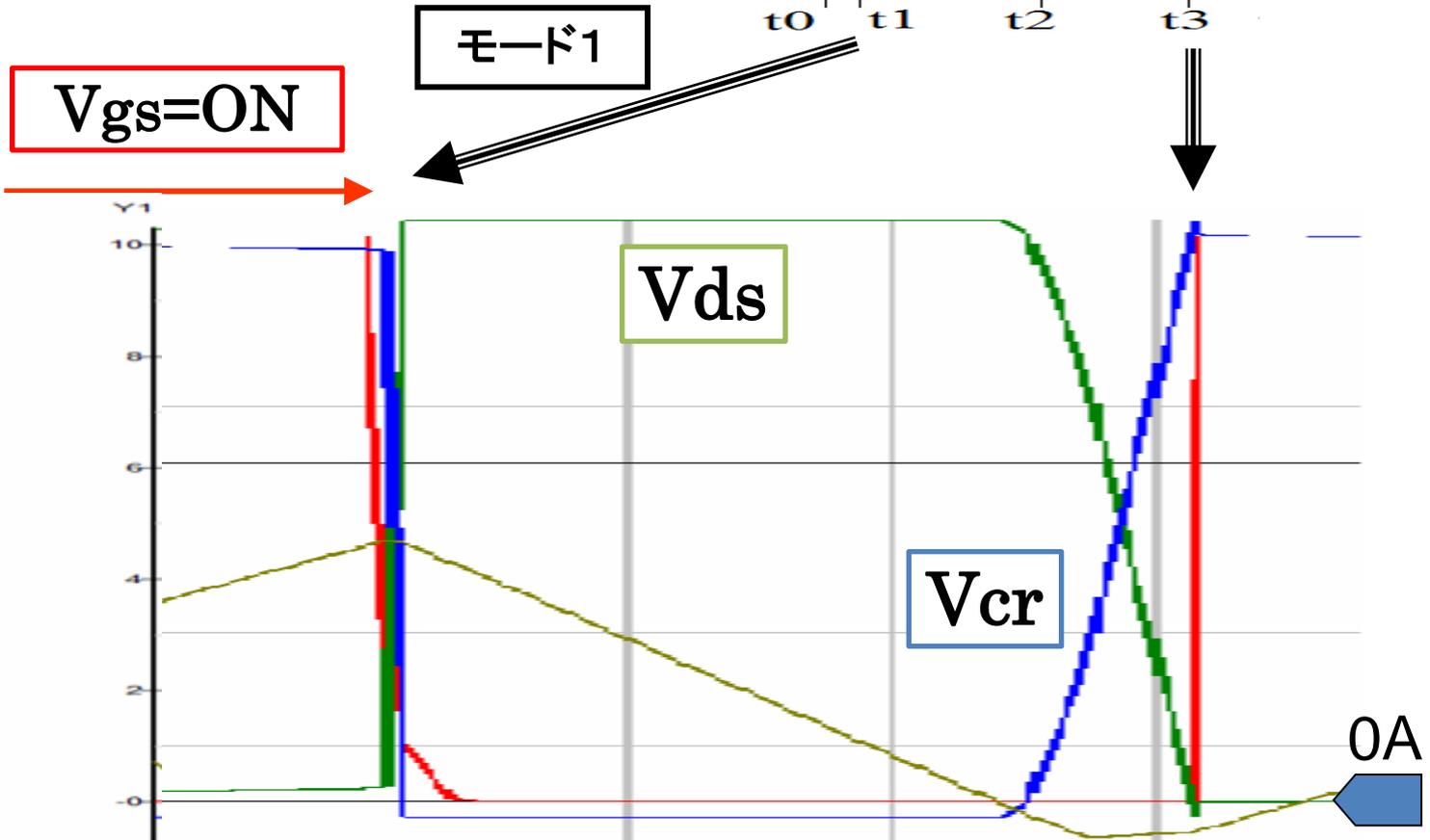
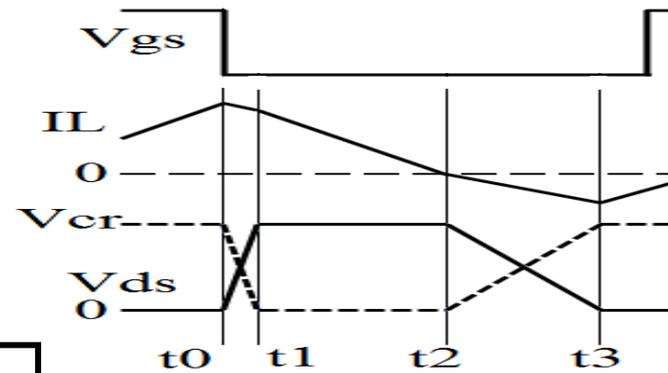


図12 ZVS-PWM 共振波形(シミュレーション)

# ●シミュレーション結果(出カリップル)

条件:

$V_i=10V$ ,  $V_{out}=6.0V$   
 $I_o=0.6A/1.2A$ ,  $L=10\mu H$ ,  
 $C_r=10nF$ ,  $C=1000\mu F$

結果:

定常リップル  $< 2mV_{pp}$  @  $I_o=0.6A$   
シュート  $< \pm 15mV$  @  $I_o=0.6/1.2A$

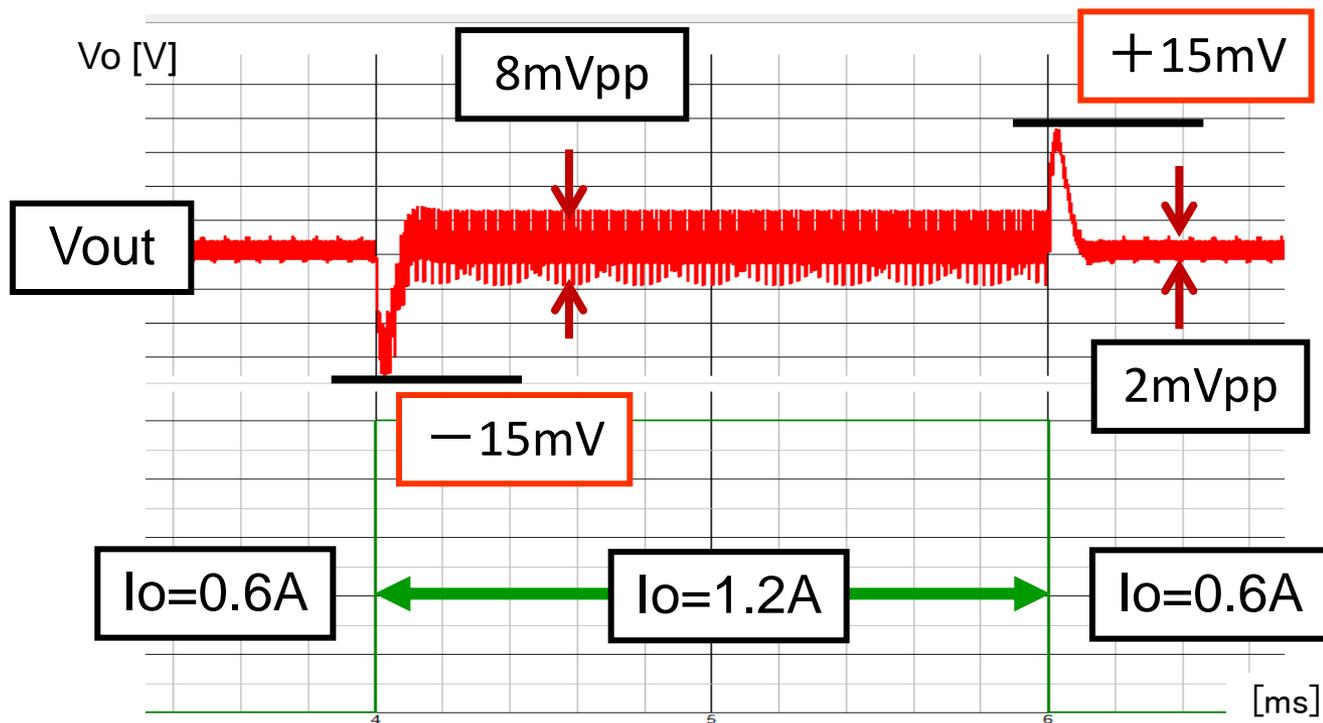


図13 過渡応答特性(シミュレーション)

# ●シミュレーション結果（効率比較）

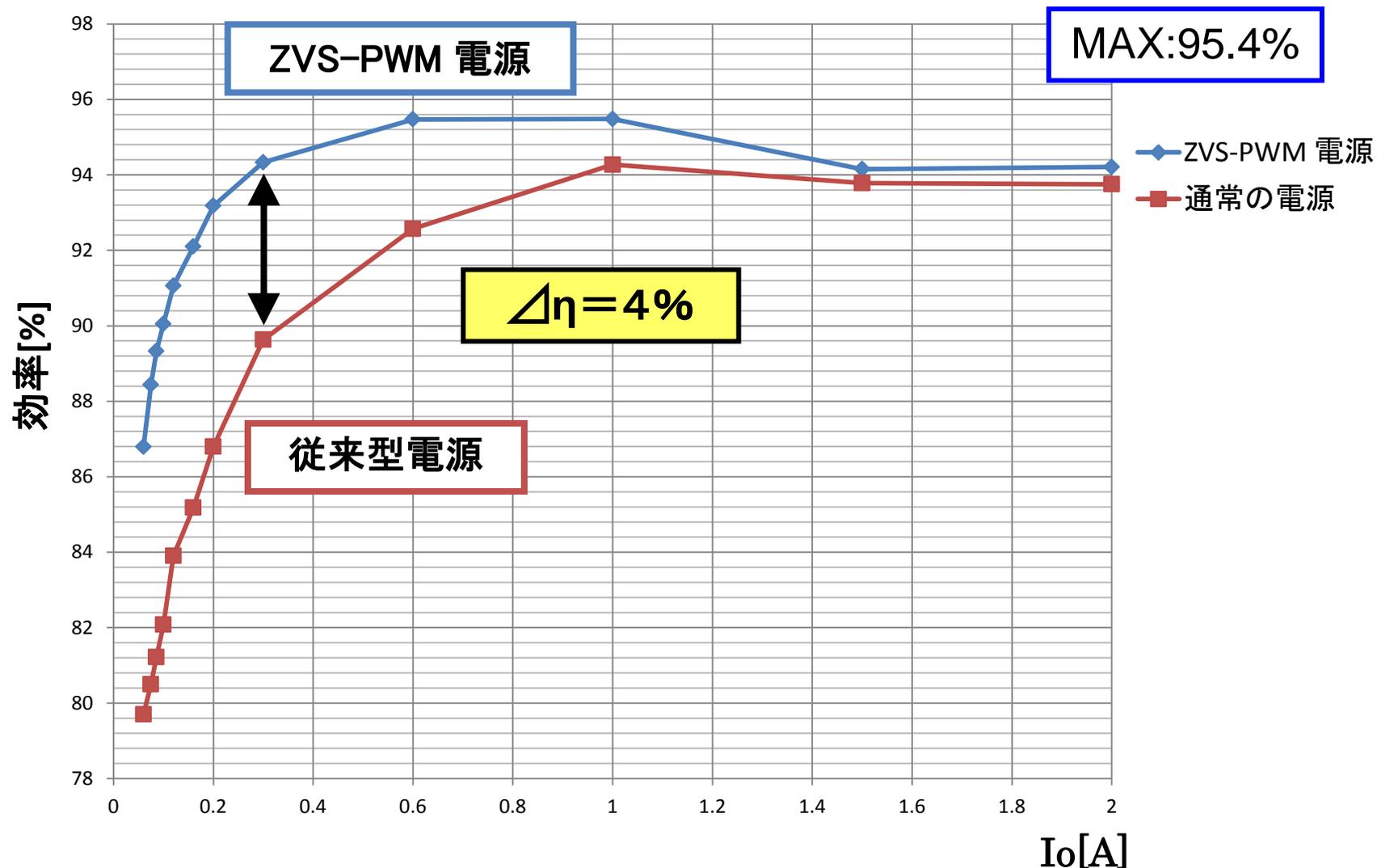


図14.出力電流 対 効率 比較

# アウトライン

## 1. 従来形スイッチング電源

1-1 従来形単出力電源

1-2 従来形SIDO電源

## 2. ZVS-PWM方式 単出力電源

2-1 ZVS-PWM方式電源の概要

2-2 シミュレーション結果

## 3. ZVS-PWM方式降圧形 SIDO電源

3-1 SIDO電源の検討

3-2 シミュレーション結果

3-3 実装化回路の検討

## 4. 単出力電源の実装評価

## 5. まとめ

- \* ZVS : Zero-Voltage Switching
- \* PWM : Pulse Width Modulation
- \* SIDO : Single-Inductor Dual-Output

# 3. ZVS-PWM方式降圧形SIDO電源

## 3-1 SIDO電源の検討

### ● Exclusive 降圧形SIDO

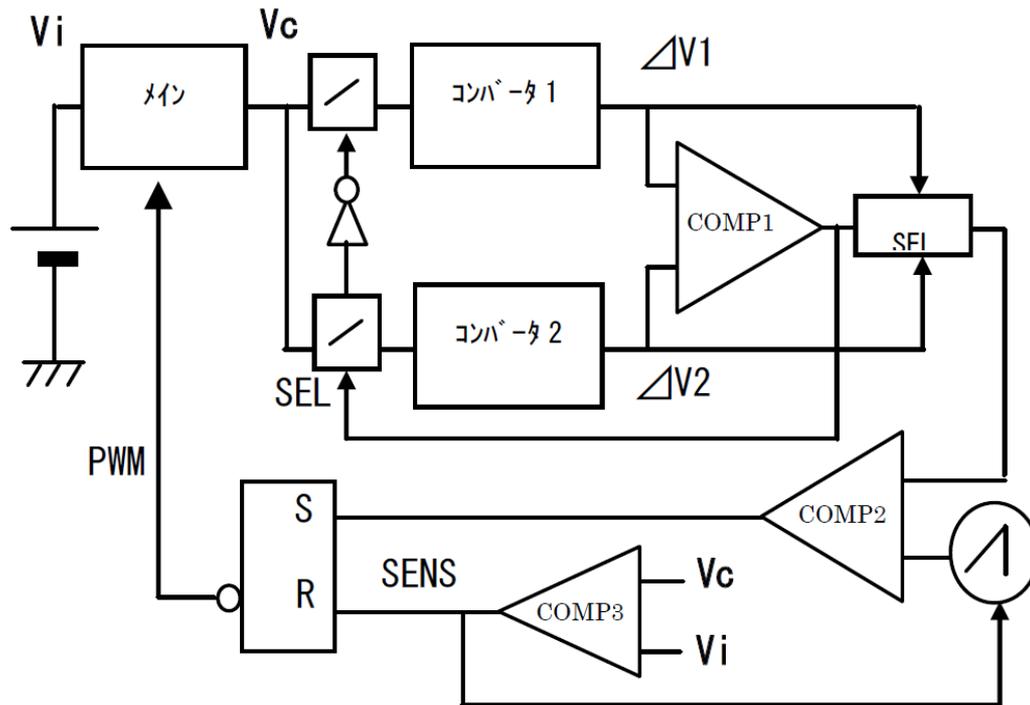


図15. ZVS-PWM SIDO電源

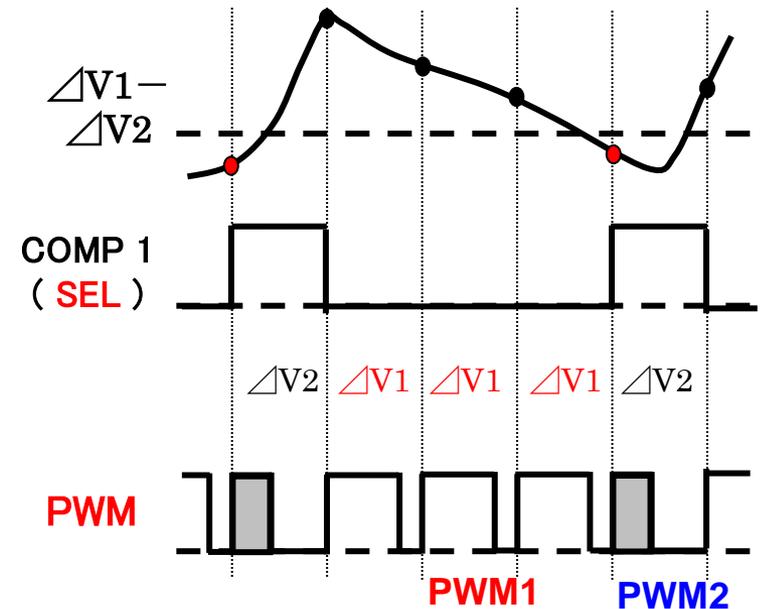


図16. Exclusive制御 16

## 3-2 シミュレーション結果

### ● 主要部の波形

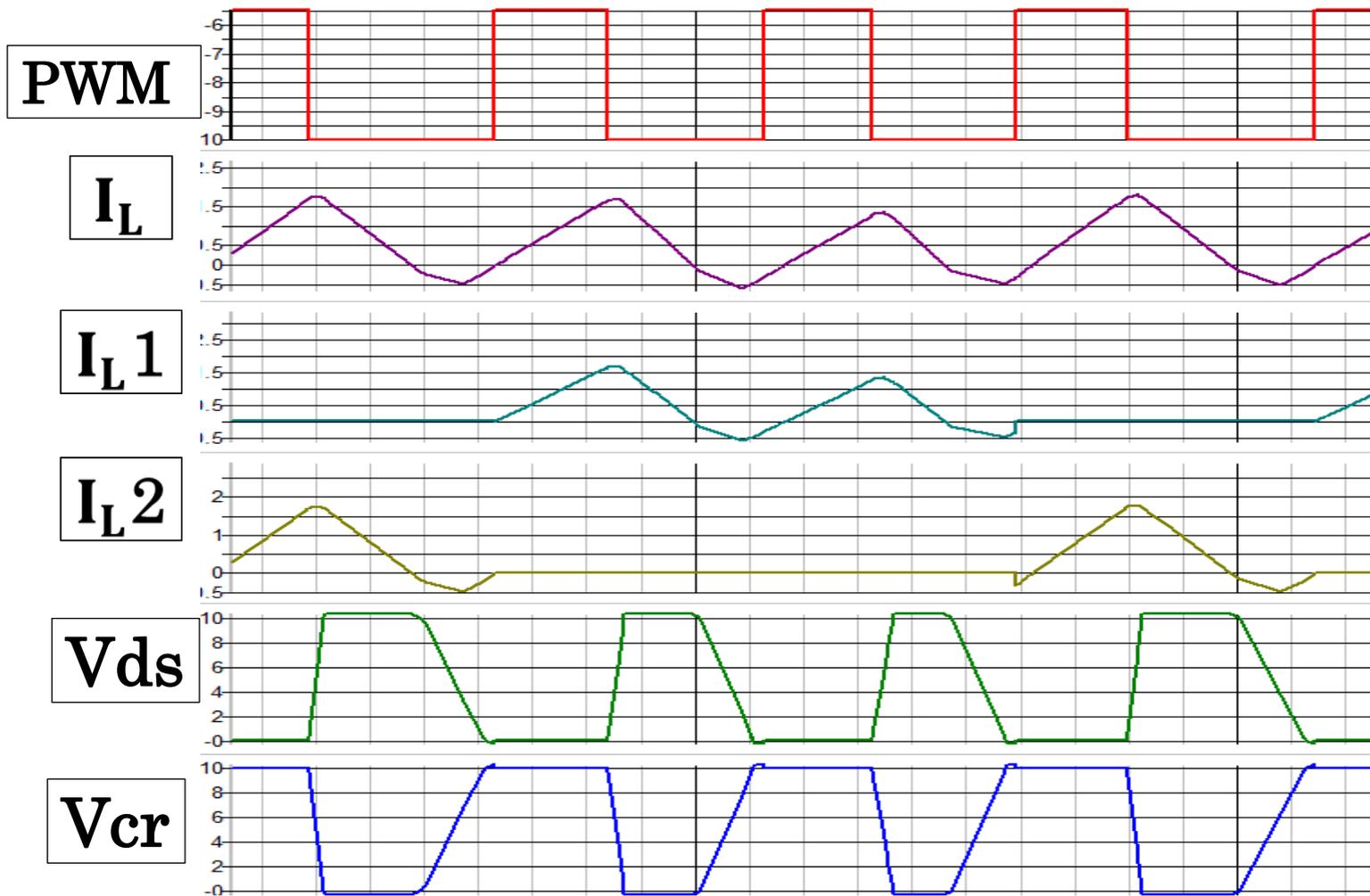


図17. SIDO電源 シミュレーション波形

# ●リップル波形

条件:

$V_i=10V \Rightarrow V_1=6V, V_2=5V$   
 $I_o=0.55A/1.1A, L=10\mu H,$   
 $C_r=10nF, C=1000\mu F$

結果:

定常リップル  $< 4mV_{pp}$  @  $I_o=0.55A$   
シュート  $< \pm 25mV$  @  $I_o=0.55/1.1A$

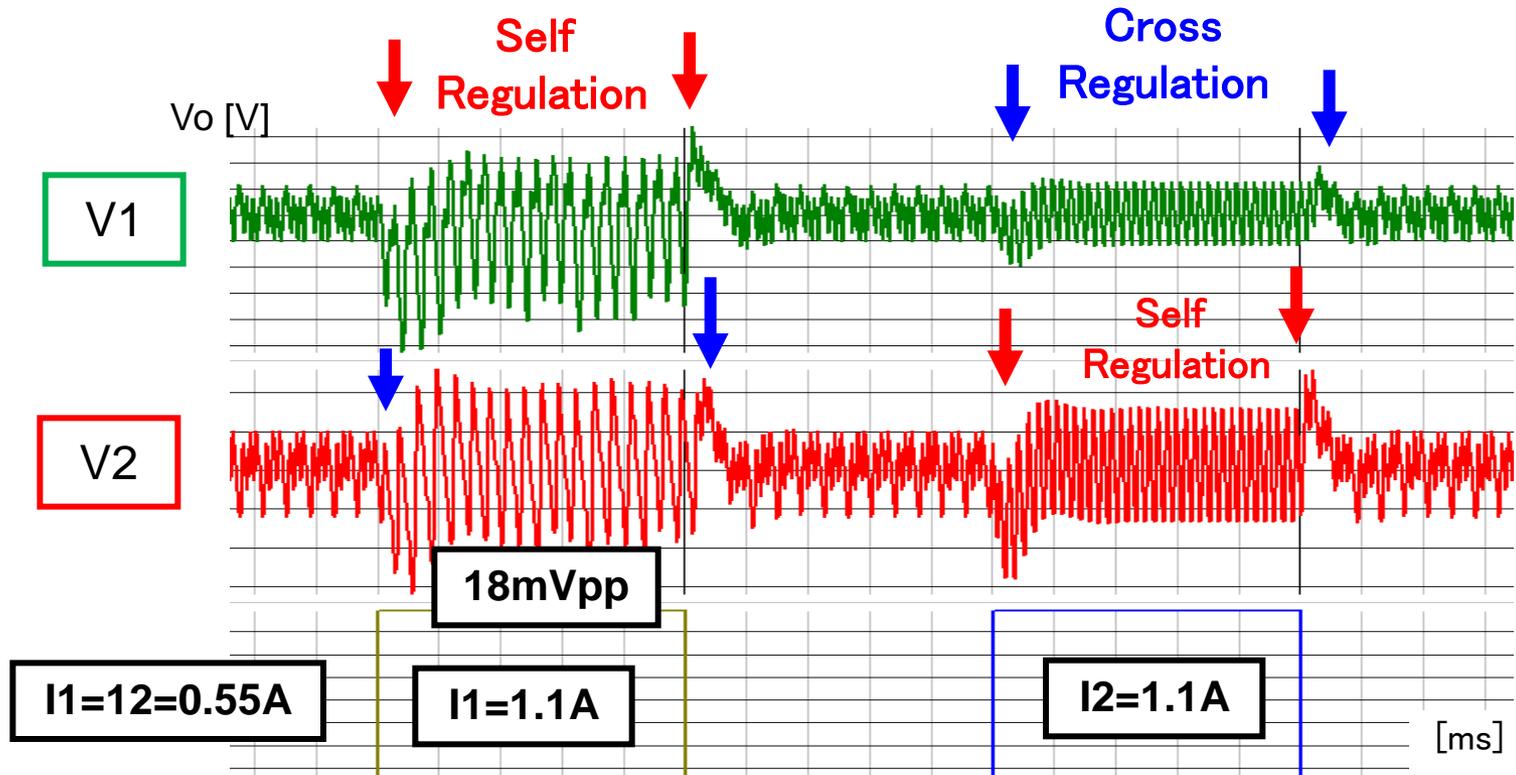


図18. SIDO電源 出カリプル(過渡応答)

# ●SIDOシミュレーション結果(効率比較)

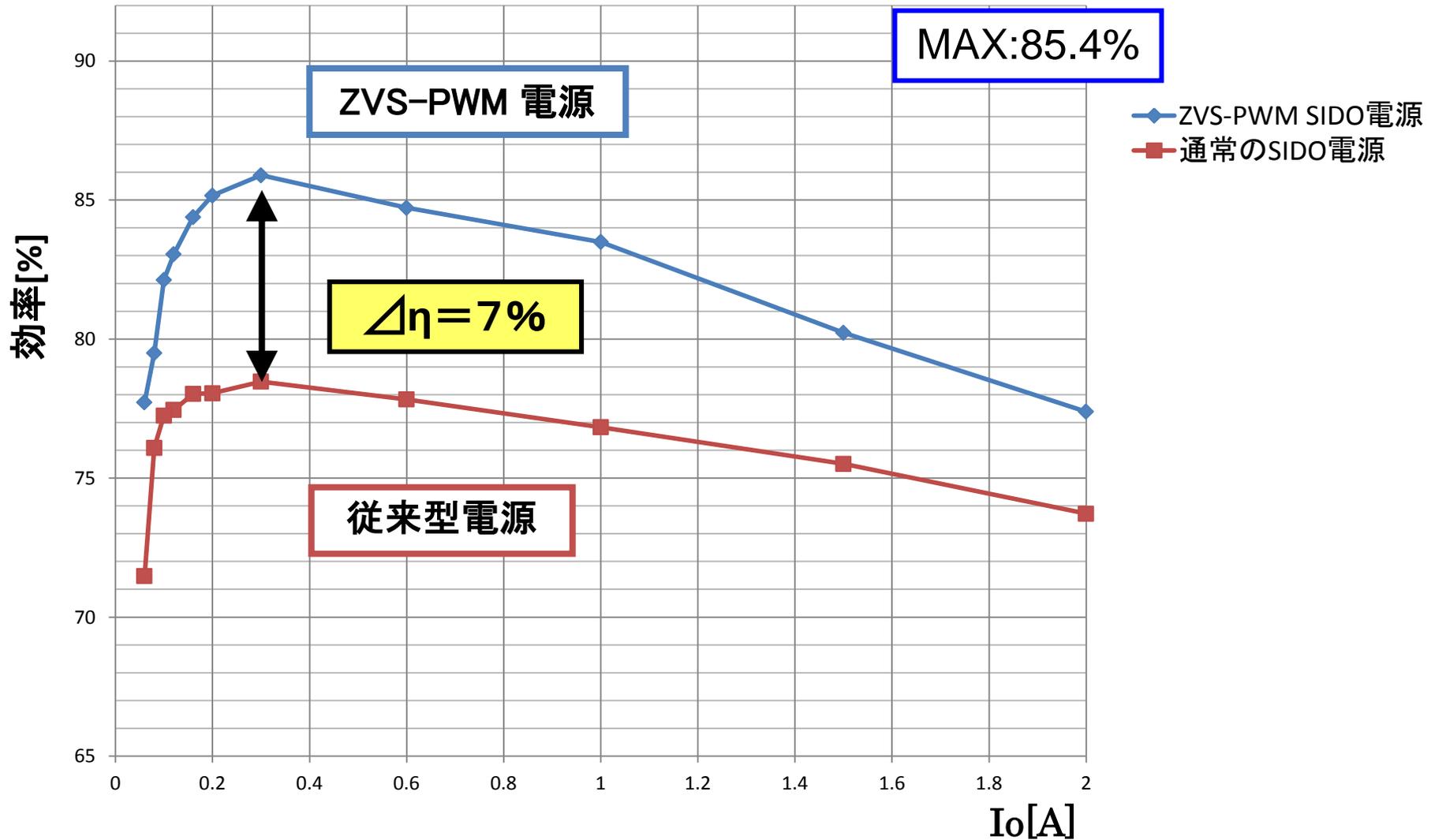


図19 SIDO電源の出力電流 対 効率 比較

### 3-3 実装回路の検討(シミュレーション)

[課題] MOSFETによるSW構成 ⇒ ボディダイオードの影響

- ・ SW2のMOSFET:ON時 ⇒ MOSFET1のボディダイオードを介して短絡電流が流れる！ ( $V1 > V2$ )

[対策1] SW1:ダイオードで対応 ⇒ SEL信号でSW2をON/OFF

- ・ 電源1の共振時:SW2のボディダイオードで共振動作

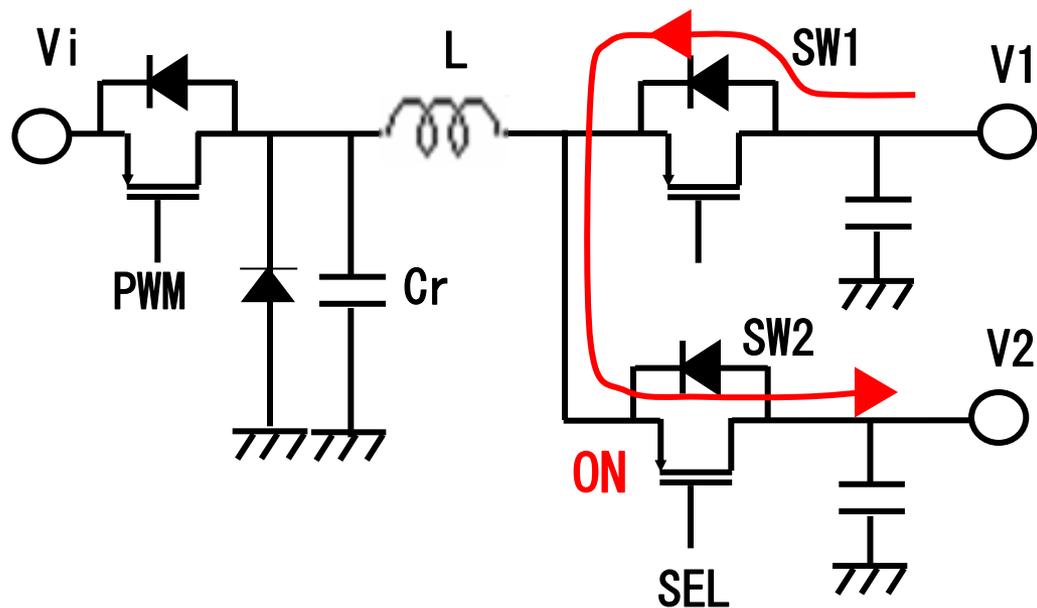


図20 実装回路時の課題1

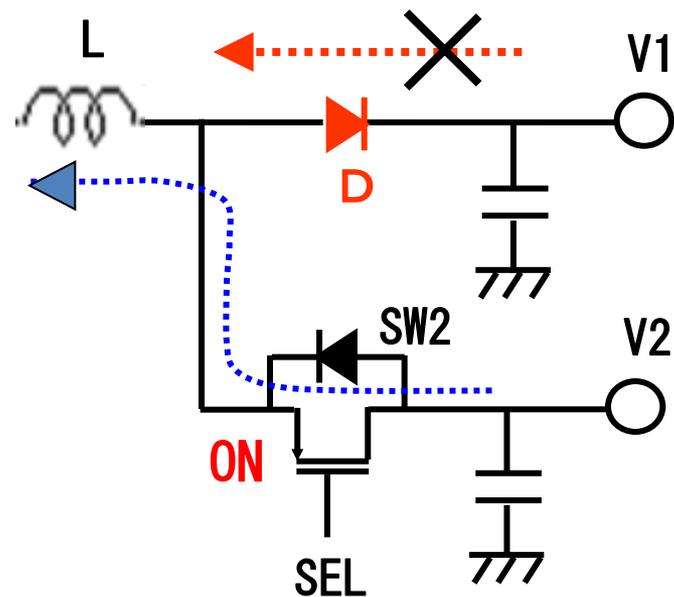


図21 対策案1

### 3-3 実装回路の検討(シミュレーション)

[対策2]ボディダイオードを未使用 (効率改善)

⇒ 逆電流共振時、全て電源2をONで対応

- ・ ロジック回路で容易に制御(↑黄色矢印部分)

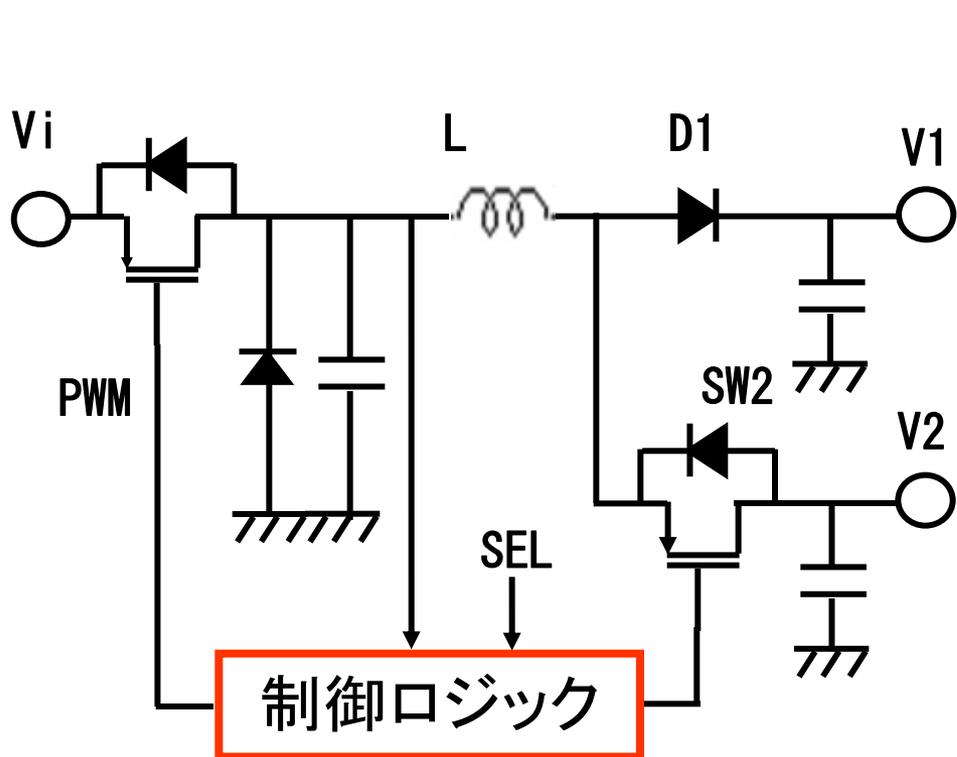


図22 実装時の対策案2

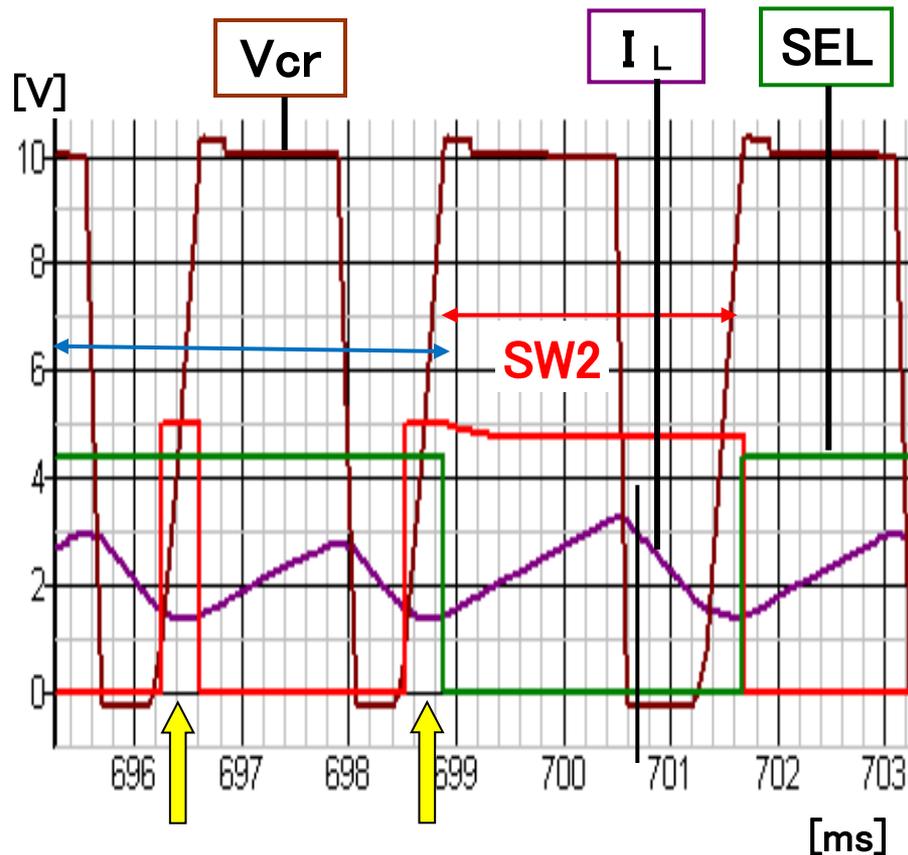


図23 シミュレーション波形

# アウトライン

1. 従来形スイッチング電源
  - 1-1 従来形単出力電源
  - 1-2 従来形SIDO電源
2. ZVS-PWM方式 単出力電源
  - 2-1 ZVS-PWM方式電源の概要
  - 2-2 シミュレーション結果
3. ZVS-PWM方式降圧形 SIDO電源
  - 3-1 SIDO電源の検討
  - 3-2 シミュレーション結果
  - 3-3 実装化回路の検討
4. 単出力電源の実装評価
5. まとめ

## 4. 単出力電源の実装評価

### ● 降圧型ZVS-PWM 単出力電源 実装回路

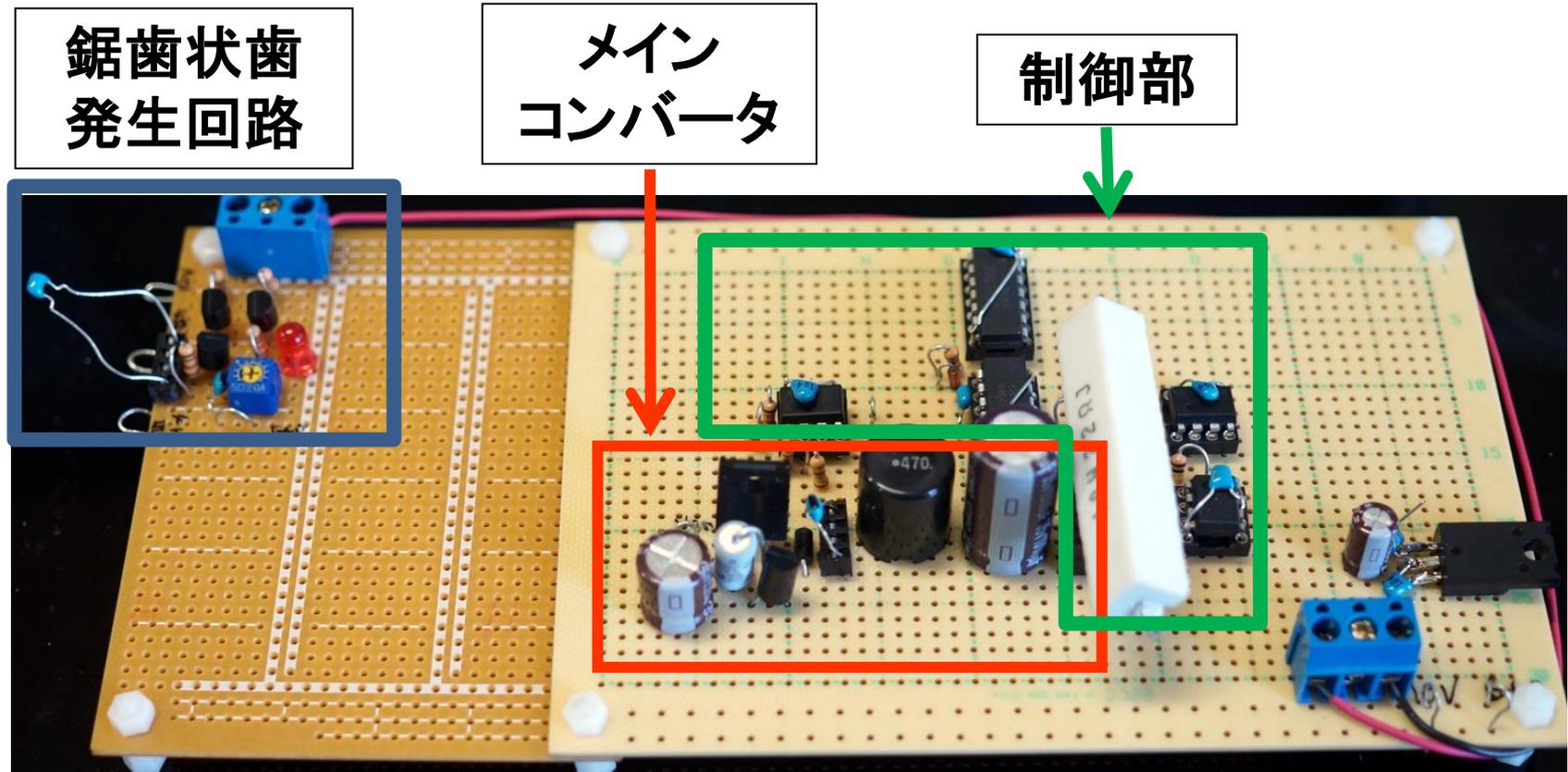


図24 単出力電源実装回路

# ● 単出力電源 実測波形

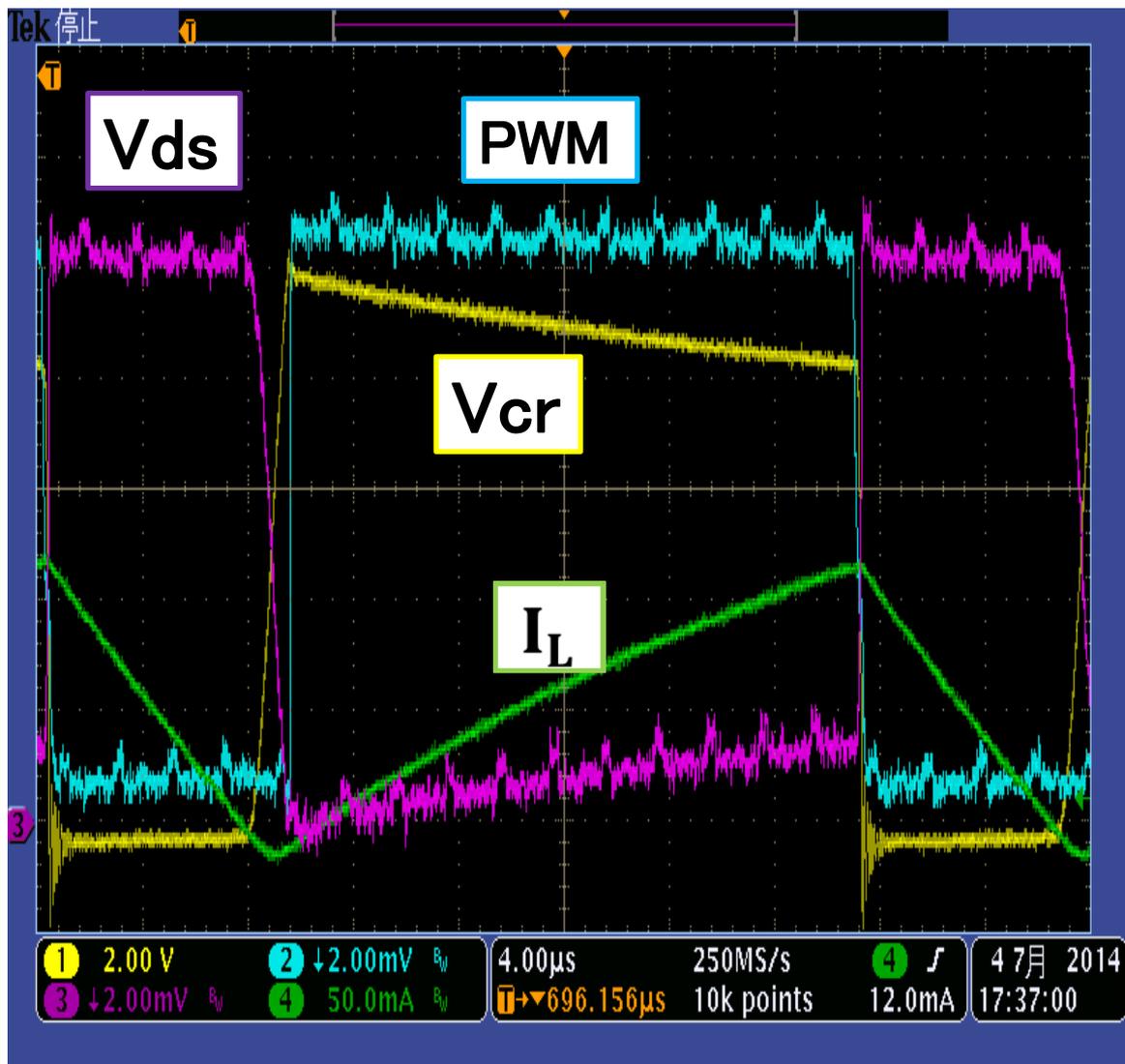
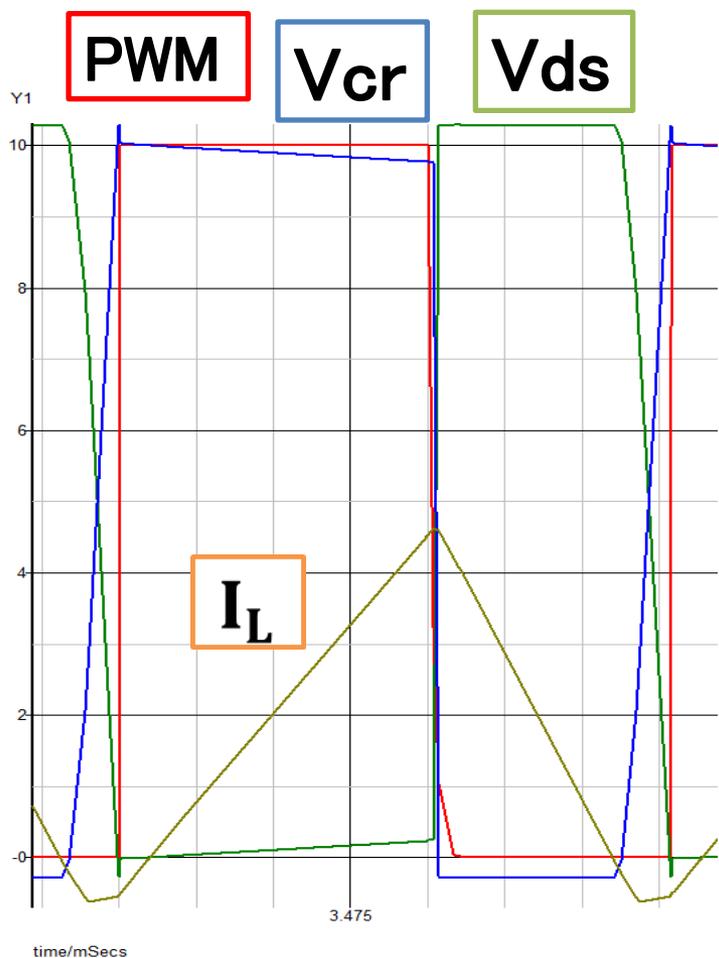


図25 共振部実測波形

# 5. まとめ

● ZVS-PWM方式降圧形電源を検討し、  
SIDOへの適応により以下の結果を得た

1. ZVS-PWM 単出力電源 シミュレーション  
定常リップル  $< 2\text{mVpp}$  @ $I_o=0.6\text{A}$   
過渡応答  $< \pm 15\text{mV}$  @ $I_o=0.6/1.2\text{A}$

2. ZVS-PWM SIDO電源 シミュレーション  
定常リップル  $< 4\text{mVpp}$  @ $I_o=0.55\text{A}$   
過渡応答  $< \pm 25\text{mV}$  @ $I_o=0.55/1.1\text{A}$

3. 実装化への対応

課題: サブ電源制御用MOSFETのボディダイオードの悪影響

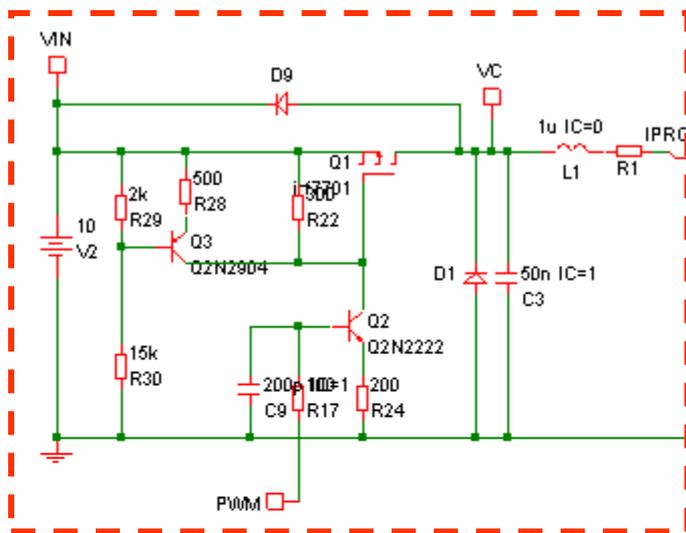
対策: ① SW1のダイオード化で、共振時SW2のBD利用

② ロジック制御回路により、共振時SW2をON制御

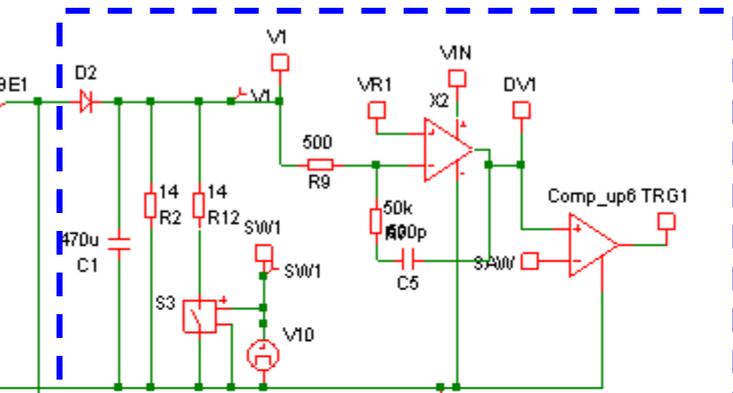
4. 単出力電源 実装確認

# ● 参考: SIDO電源 実装対策回路 (SIMPLIS)

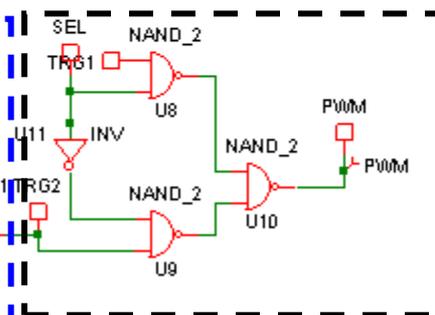
## メイン・パワーステージ



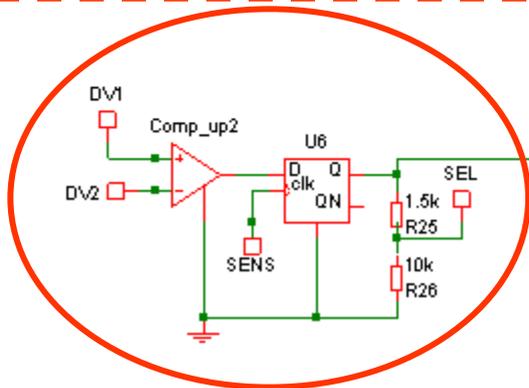
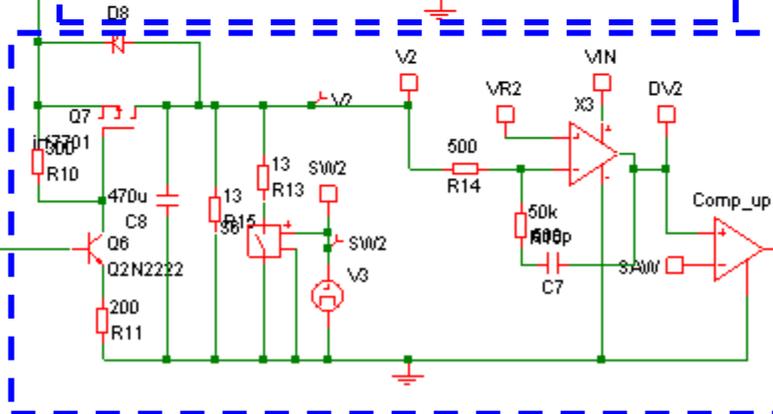
## サブコンバータ1



## PWMセレクト



## サブコンバータ2



SW2コントロール回路

