

パワーエレクトロニクス工学論

10. 各種シングル・インダクタ デュアル・アウトプット(SIDO)電源

10-1 降圧形・昇圧形SIDO電源

10-2 リプル制御SIDO電源

10-3 ZVS-PWM制御SIDO電源

10-4 ソフトスイッチングSIDO電源

SIDO: Single Inductor Dual Output

10.1 降圧形・昇圧形SIDO電源

(1) SIDO電源の概要

- 電源構成:

- * 小型軽量化: 集積化困難な部品の削減
- * 対象部品: トランス、インダクタ、電解コンデンサ

- 目的・特徴:

- * 一つのコイルで、複数の電圧を出力
 - ・メリット : パワー・インダクタの削減 ⇒ 小型軽量化
 - ・デメリット: 効率の低下、複雑な制御回路

- SIMO電源の種類:

- * 大電力SIDO電源: 降圧形—Exclusive制御
- * 小電力SIDO電源: 降圧・昇圧形—シリアル・Exclusive制御
- * 小電力SIMO電源: 降圧形—Exclusive制御(4出力)

SISO: Single Inductor **Single** Output
SIDO: Single Inductor **Dual** Output
SIMO: Single Inductor **Multiple** Output

(2) Exclusive制御 SIDO電源

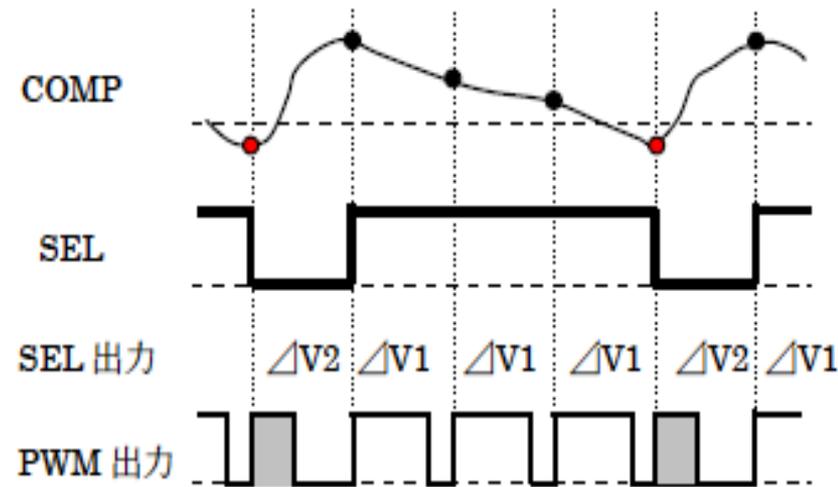
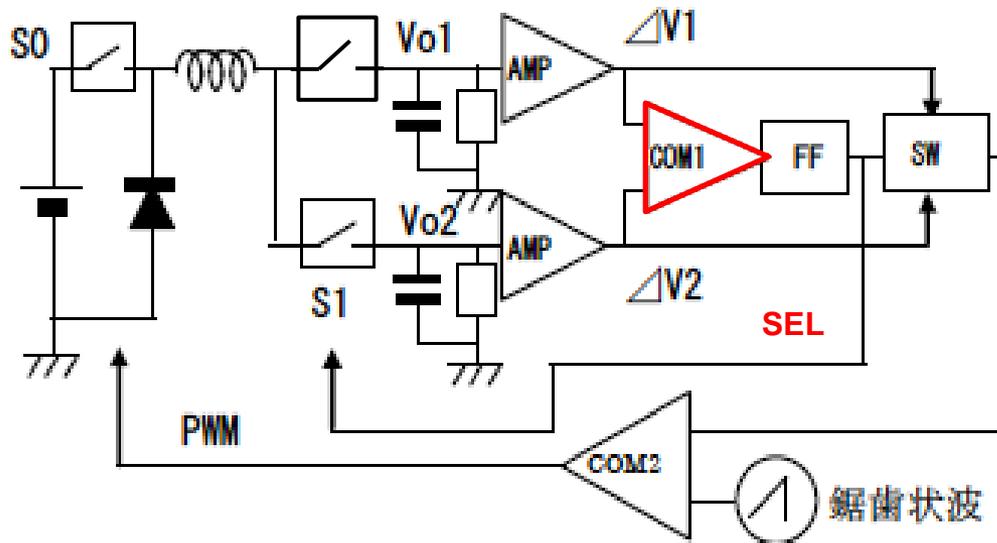
1) Exclusive 制御方式

●回路構成(降圧形SIDO電源)

- * 2つのSIDO電源を並列合成 ⇒ メインSW・L・Diの一式を削除
- * サブ電源入力部に、サブSWを挿入
- * 追加コンパレータによる、周期毎の制御対象の選択: SEL信号

●基本動作: 周期毎に誤差比較

- * 増幅誤差電圧を比較し、誤差の一番大きいサブ電源を選択(Exclusive制御)
- * サブSWのいずれかを選択ONにより、エネルギーの切換え供給



Exclusive制御 降圧形SIDO電源案

タイミング・チャート

●課題 ($V1 > V2$ とする)

* MOSによるSWでは、ボディダイオードBD があり、逆電圧時に導通する
 ⇒ サブ電源2を制御時に、**サブSW1のBD が導通**: NG

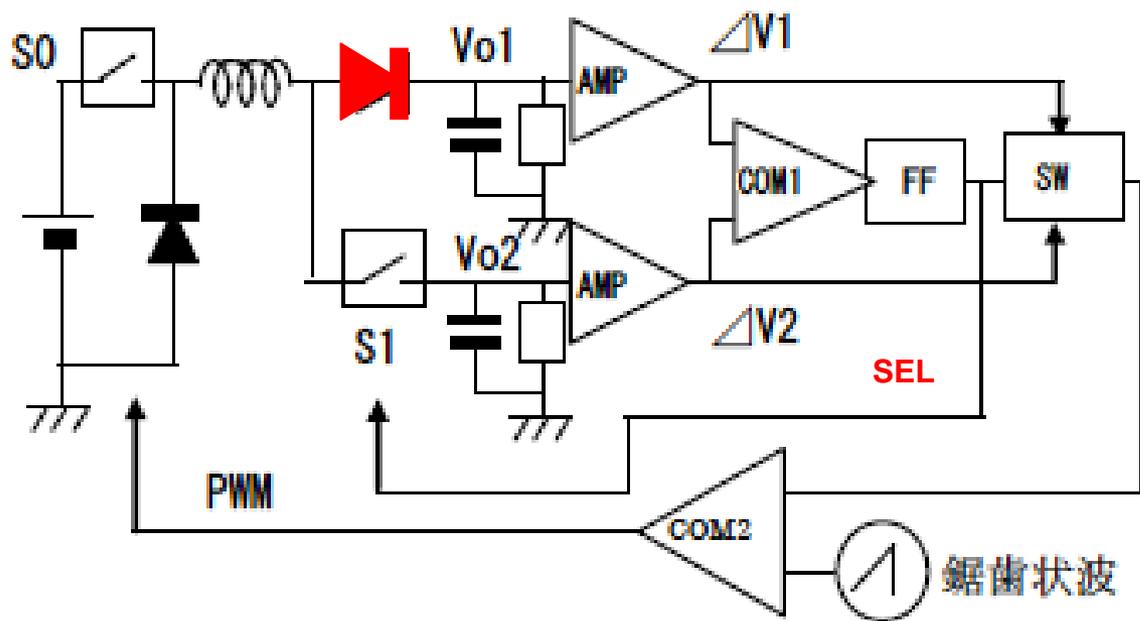
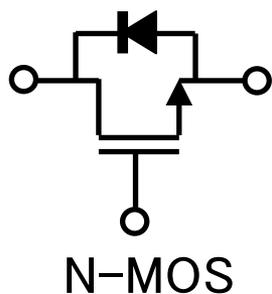
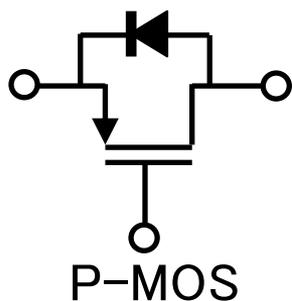
* 電源1の制御時は、サブSW2=OFFで問題無し

●対策: $V1 > V2$ に設定すると

* **サブSW1 ⇒ ダイオードに変動**

* サブ電源の選択は、**サブSW2の制御のみ**で実現可能

* 電源1の制御: サブSW=OFF、 電源2の制御: サブSW=ON



Exclusive制御 降圧形SIDO電源

2) 降圧形SIDO電源

●シミュレーション結果

* 回路条件:

$V_i=9.0V$, $V_1=6.0V$, $V_2=4.0V$,
 $I_1=2.1/1.0A$, $I_2=2.2/1.2A$,
 $F=200\text{ kHz}$

* 出力電圧リップル: $\Delta V_o=20\text{ mVpp}$ ・リップル波形は、互いに逆位相

* 過渡応答特性:

オーバー/アンダー・シュート

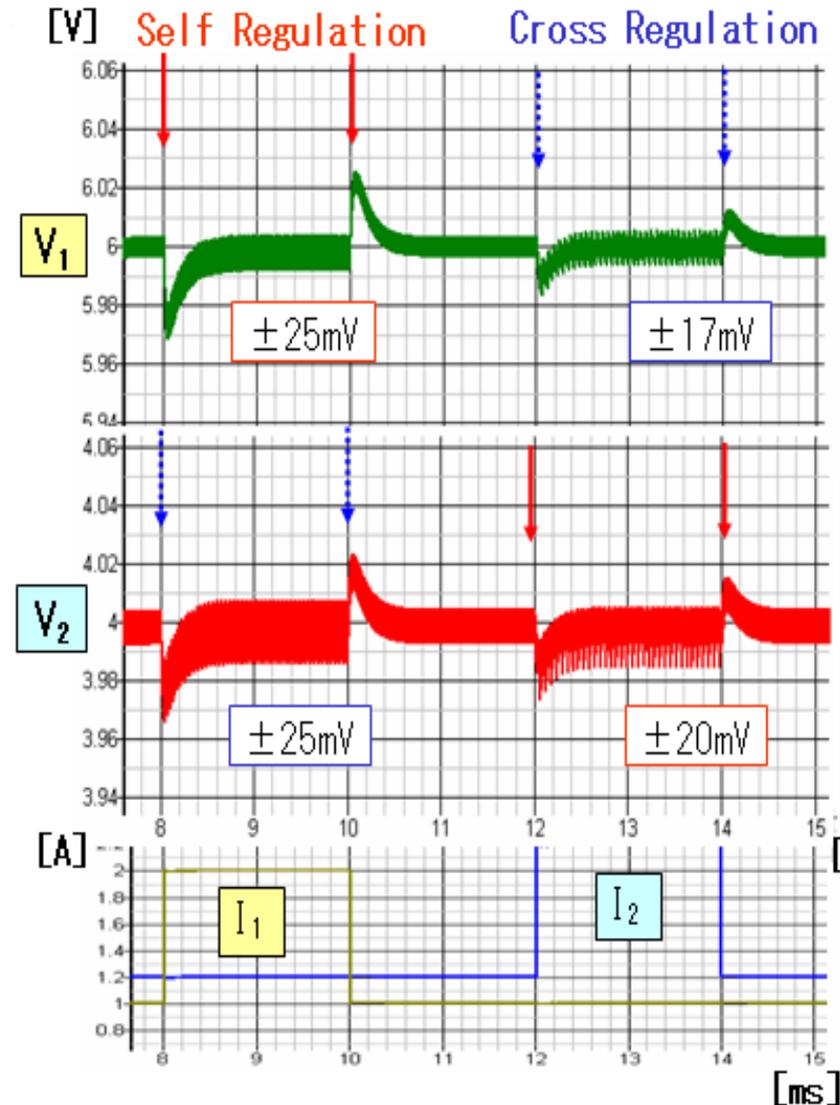
$\Delta V=\pm 25\text{ mV}$ @ $\Delta I_o=1.0A$

・クロス・レギュレーション:

相手の電流変化に対する自己電圧変化

・セルフ・レギュレーション;

自分の電流変化に対する自己電圧変化



降圧形SIDOシミュレーション結果

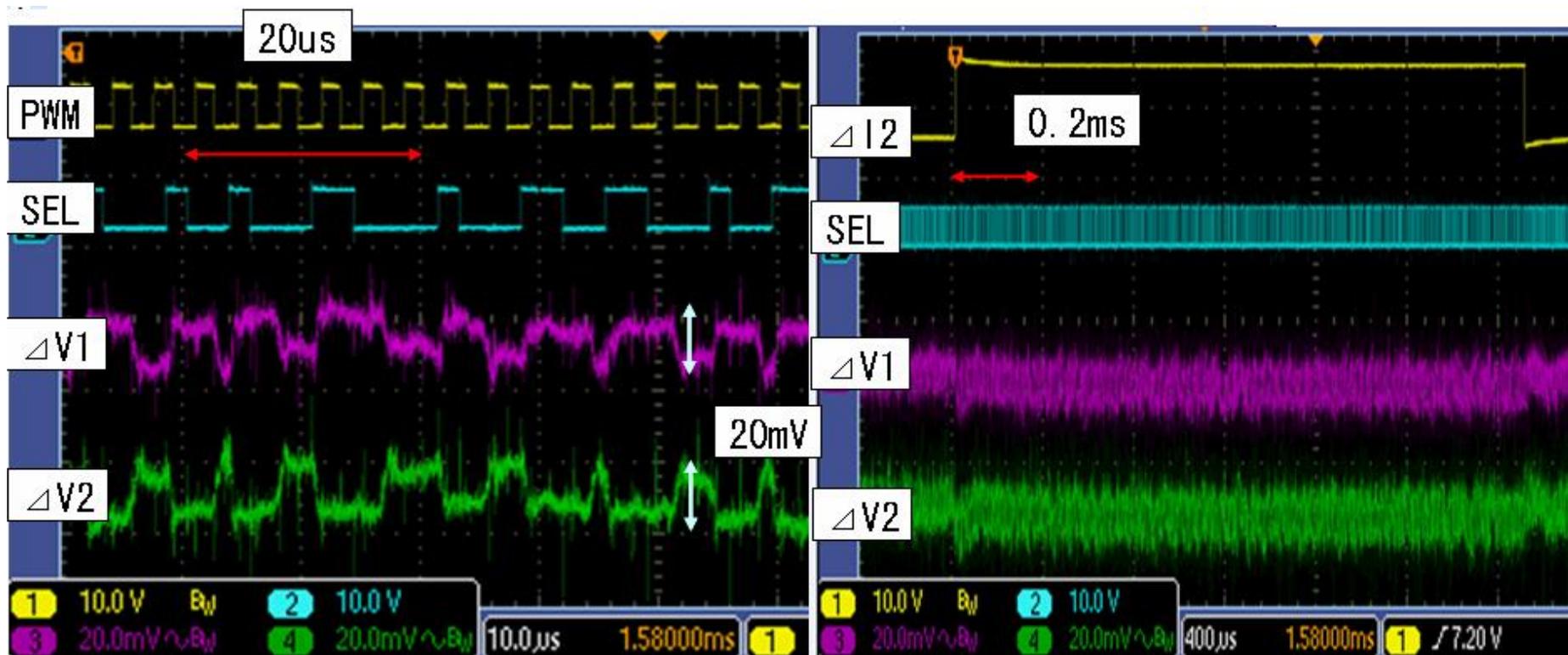
●実装波形

* 回路条件:

$V_i=9.0V$, $V_1=6.0V$, $V_2=4.0V$, $I_1=2.1/1.0A$, $I_2=2.2/1.2A$, $F=200\text{ kHz}$

* 出力電圧リップル: $\Delta V_o=20\text{ mVpp}$

* 過渡応答特性: オーバー・シュート $\Delta V < \pm 10\text{ mV}$ @ $\Delta I_2 = \pm 1.0\text{ A}$



シミュレーション結果(定常リップル)

シミュレーション結果(過渡応答)

3) 昇圧形SIDO電源

●構成・動作：基本は降圧形と同様

S1と直列にDi 必要 ∵ S1のボディDiにより、逆電流

●回路条件：

* $V_i=3.0V$, $V_1=6.0V$, $V_2=4.0V$,

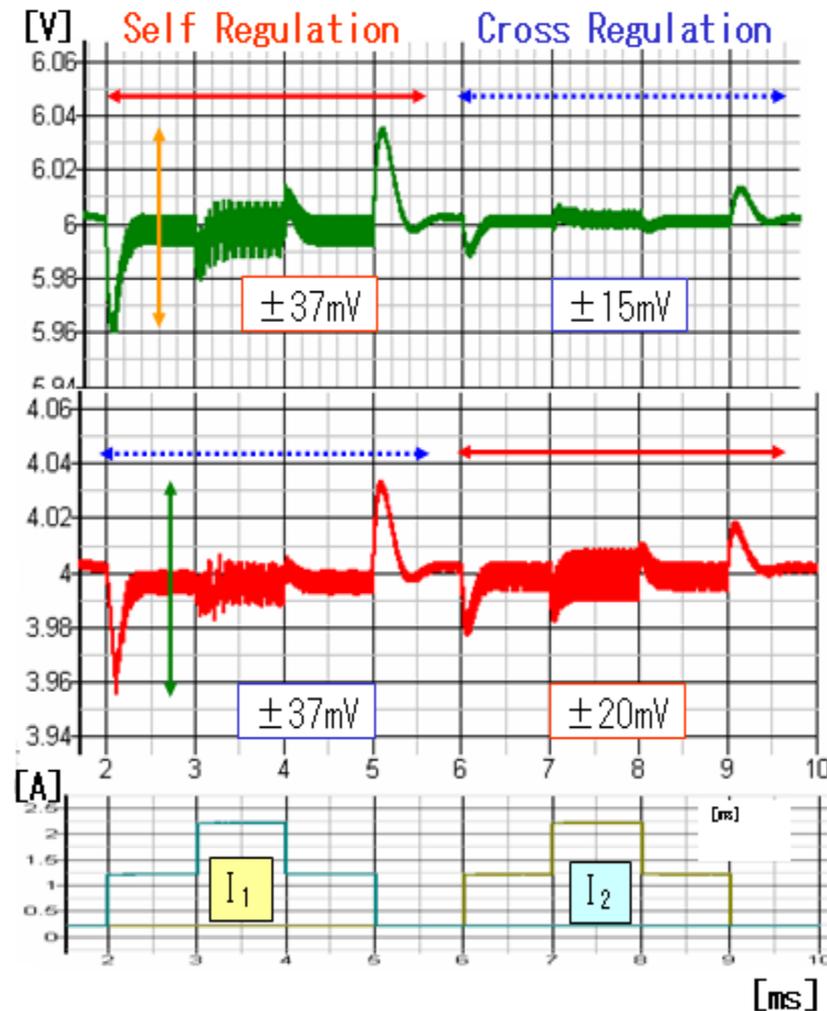
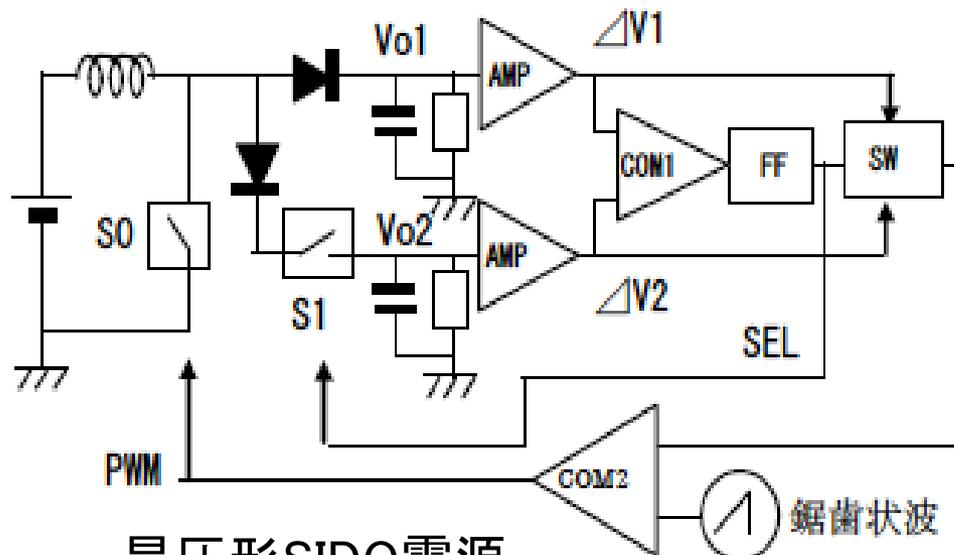
$I_1=I_2=0.2/1.2/2.2 A$

$L=5\mu H$, $C=470\mu F$, $F_{ck}=500kHz$

* 選択SW1のON/OFFにより、
エネルギーを切換え供給

* $V_1 > V_2$ に設定

SW1=ON時、サブ電源のDi=OFF



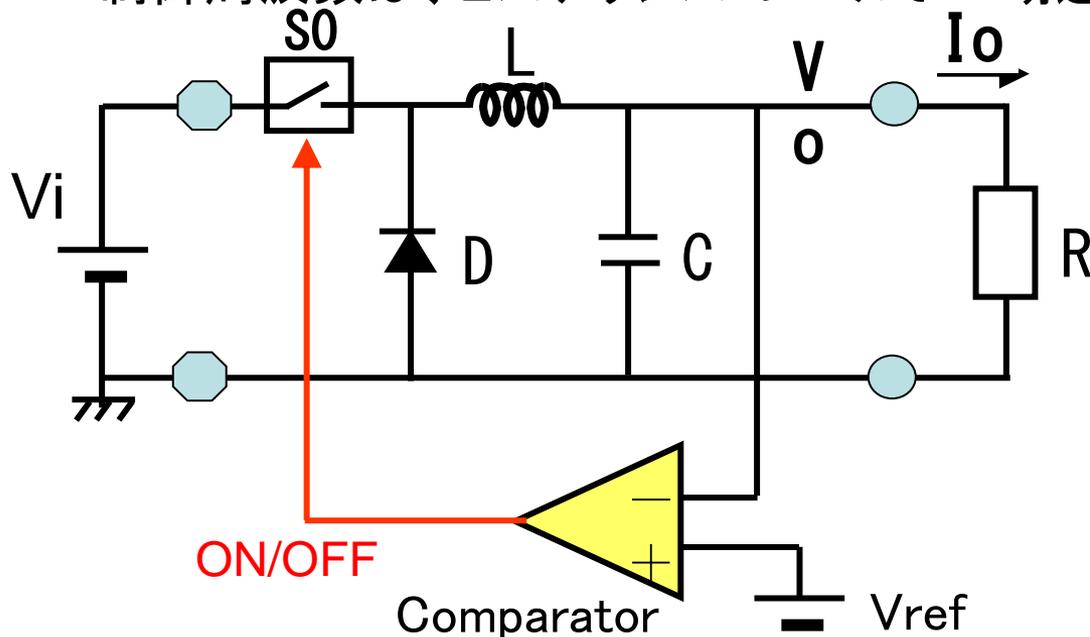
昇圧形SIDOシミュレーション結果

10.2 リプル制御SISO電源

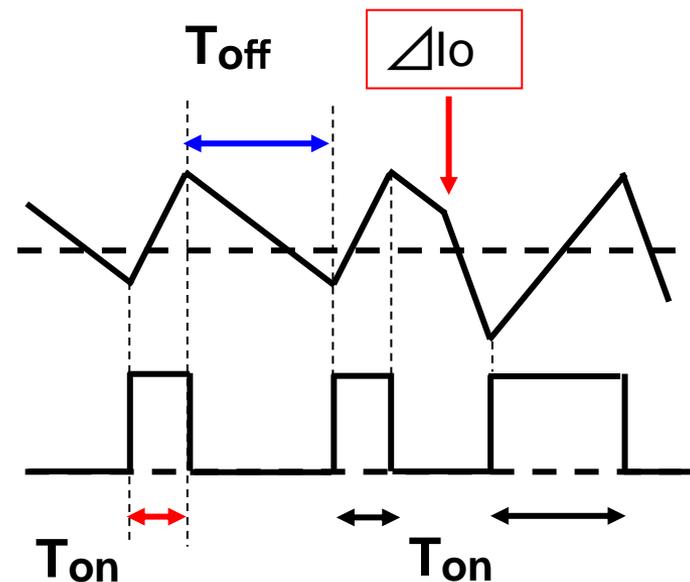
(1) 降圧形リプル制御SISO電源 (別名:ヒステリシス制御電源)

●回路構成(降圧形SISO電源)

- * 出力電圧 V_o と基準電圧 V_r を直接比較
⇒ コンパレータ出力でメインSWを制御
- * 通常、コンパレータに、わずかなヒステリシス(シュミット・トリガ)を施す
- * 制御周波数は、ヒステリシス・レベルと周期遅延に依存。1MHz以上の高速制御



降圧形リプル制御SISO電源



タイミング・チャート

●シミュレーション結果

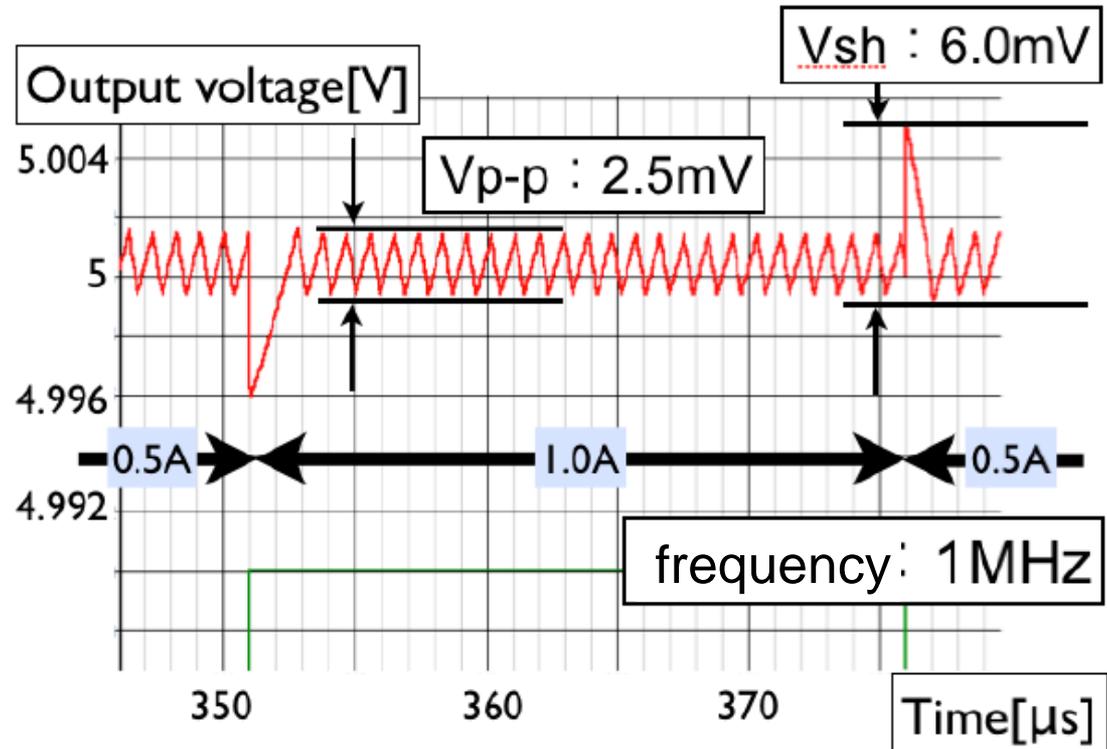
* 条件: $V_i=9.0V$, $V_o=5.0V$, $I_o=1.0/0.5 A$, $L=10\mu H$, $C_o=470\mu F$

⇒ コンパレータ出力でメインSWを制御

* 結果: 定常リップル: $\Delta V_o=2.5mV_{pp}$

制御周波数; $F_{op} \doteq 1MHz$

過渡応答: オーバーシュート = $\pm 6 mV @ \Delta I_o = \pm 0.5 A$



降圧形リップル制御SISO シミュレーション結果

(2) 降圧形リップル制御SIDO電源

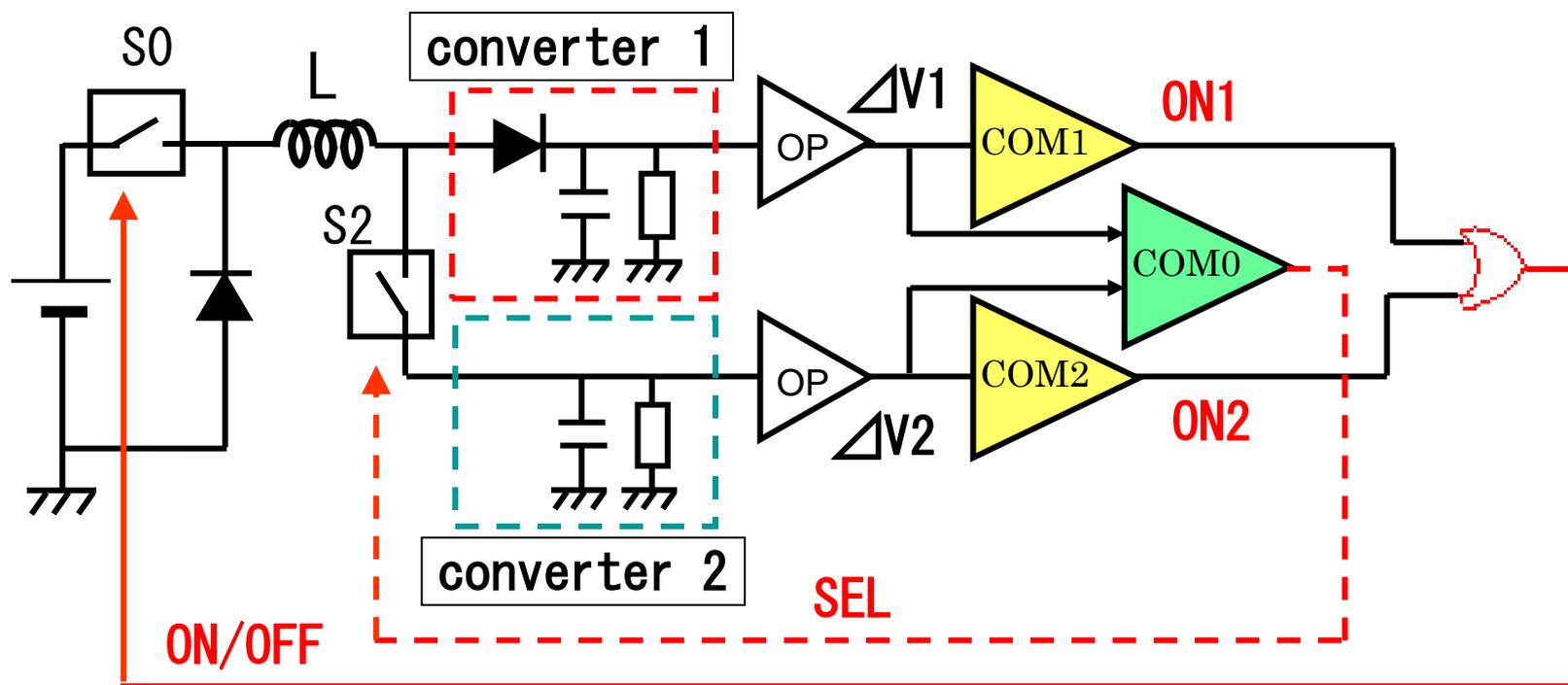
●回路構成

* 基本的に Exclusive制御方式

⇒ オペアンプによる 誤差増幅電圧 ΔV_o を発生⇒ ΔV_o の比較でSEL発生

* メインSWの制御方式: 2つのコンパレータ出力 ON1/ON2 のOR出力で制御

∴ 誤差の大きい電源が、ONパルス幅も広い



降圧形リップル制御 SIDO電源

● シミュレーション結果 (降圧形SIDO電源)

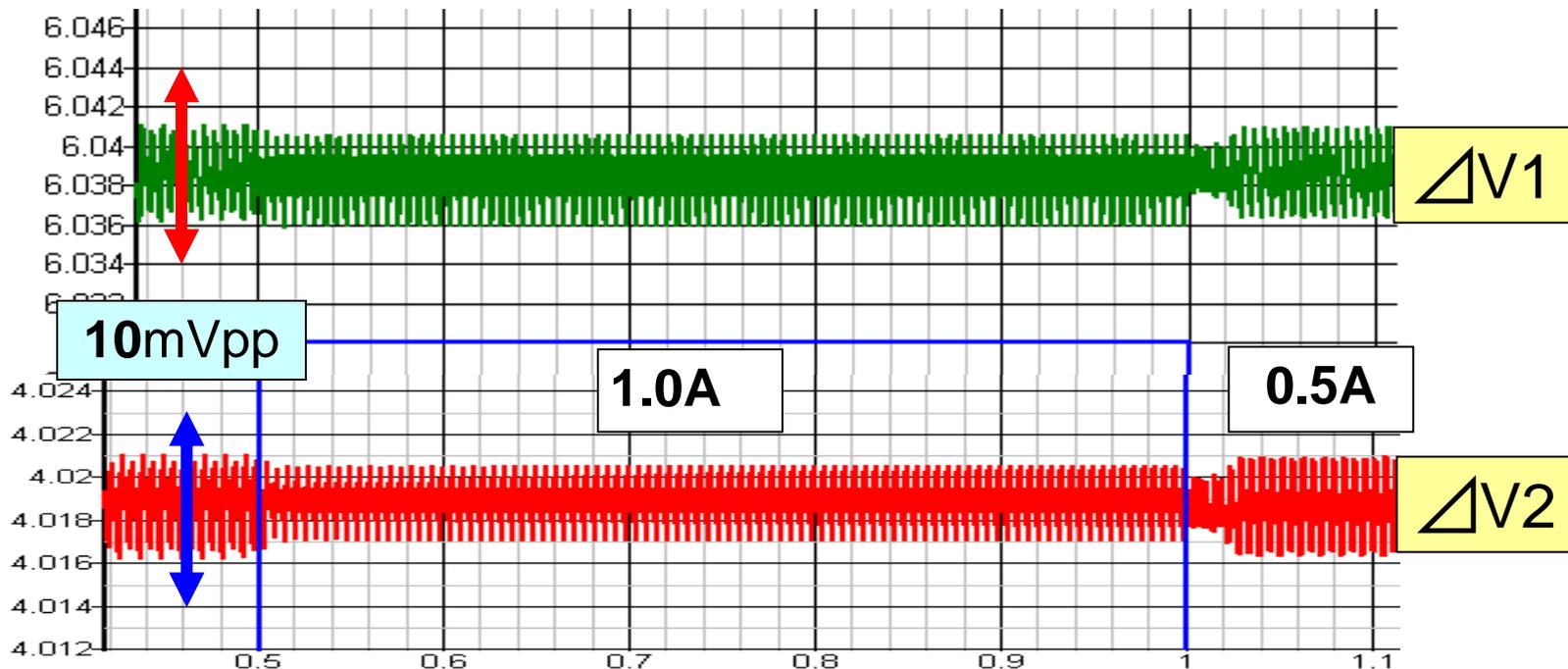
* 条件: $V_i=9.0V$, $V_{o1}=6.0V$, $V_{o2}=4.0V$, $I_{o1}=1.0/0.5A$, $I_{o2}=0.5A$

$L=0.5 \mu H$, $C_o=470 \mu F$

⇒ コンパレータ出力でメインSWを制御

* 結果: 定常リップル: $\Delta V_o < 10 \text{ mVpp}$

・ 過渡応答: オーバーシュート $\approx 0 \text{ mV}$ @ $\Delta I_{o1} = \pm 0.5 \text{ A}$



降圧形リップル制御SIDO電源のシミュレーション結果

(3) 昇圧形リップル制御SIDO電源

●回路構成: 基本部分は 降圧形と同様

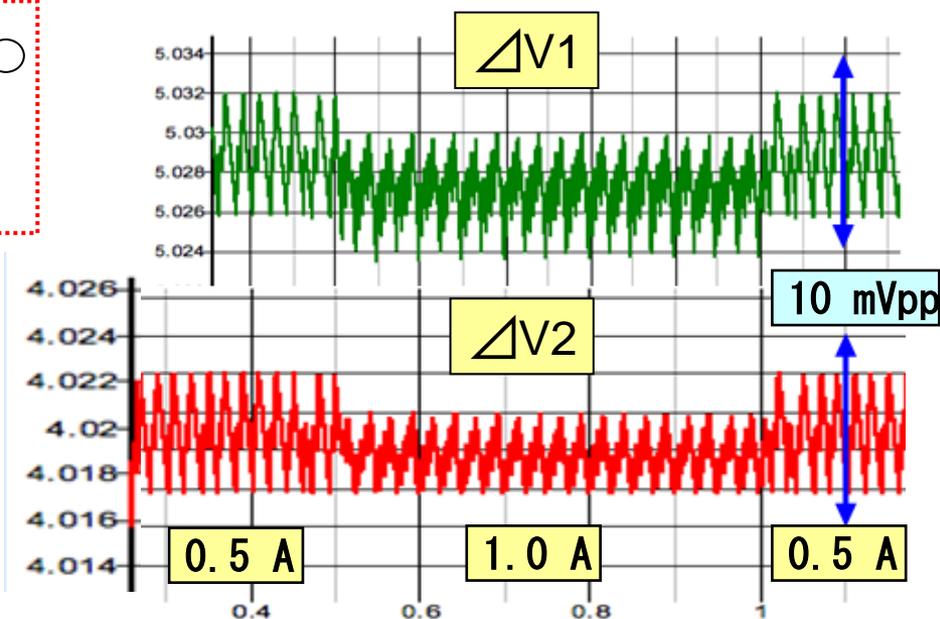
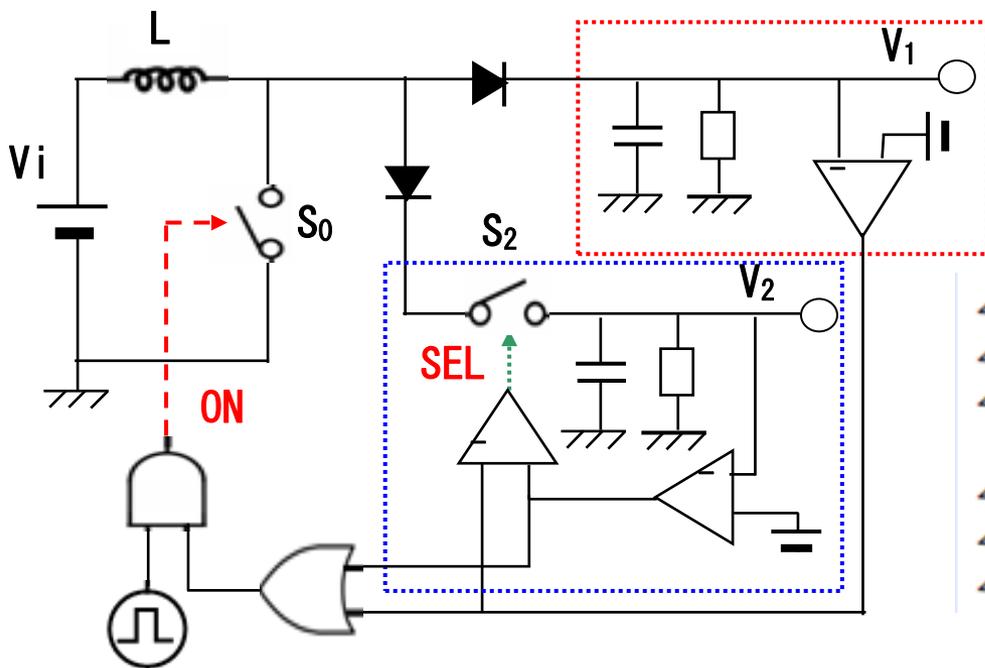
* メインSWの制御方式: 起動特性の補償回路が必要

●シミュレーション結果

* 条件: $V_i=3.0V$, $V_1=5.0V$, $V_2=4.0V$, $I_o=1.0/0.5 A$

* 定常リップル: $\Delta V_o < 10 mV_{pp}$ @ $I_o=1.0/0.5A$

過渡応答: オーバーシュート $< \pm 5 mV$ @ $\Delta I_o = \pm 0.5 A$



昇圧形リップル制御 SIDO電源

昇圧形シミュレーション結果

10.3 ZVS-PWM制御SISO電源

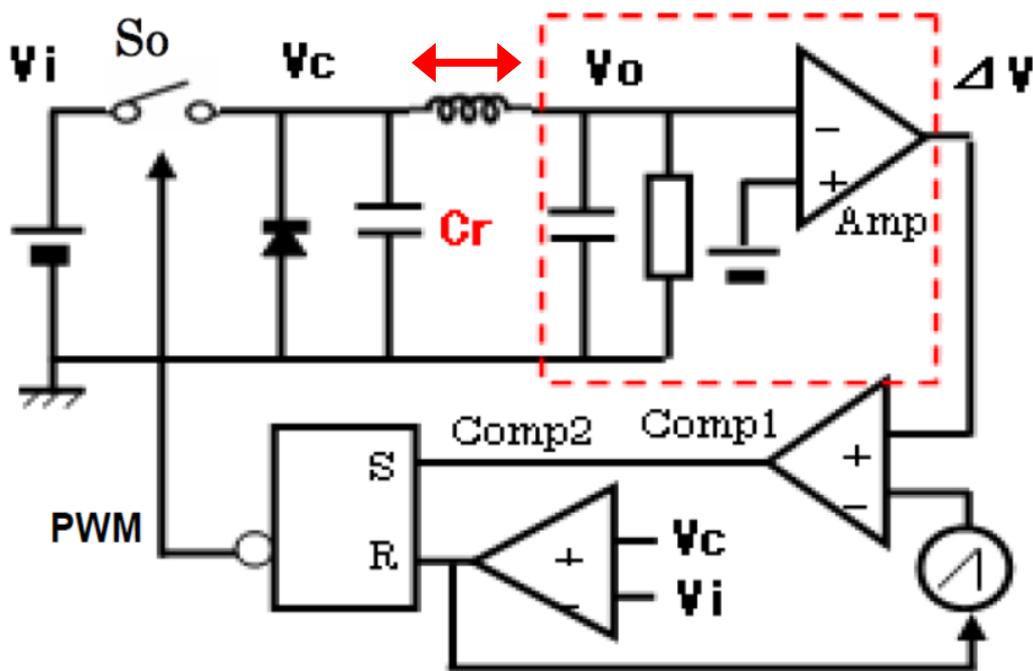
(1) 降圧形ZVS-PWM制御SISO電源[再掲:9章にて説明済み]

●回路構成(降圧形SISO電源):条件 $V_i < 2V_o$

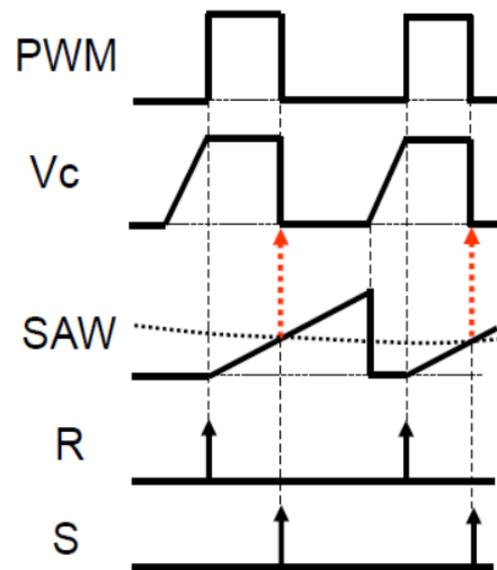
* 還流ダイオードに並列に 共振コンデンサ

* $V_i = V_c$ で、SWをON \Rightarrow ZVS (Zero Voltage Switching)

* 共振時、 I_L は両方向に流れる(C_r の充電が必要)



降圧形ZVS-PWM制御 SISO電源



タイミング・チャート

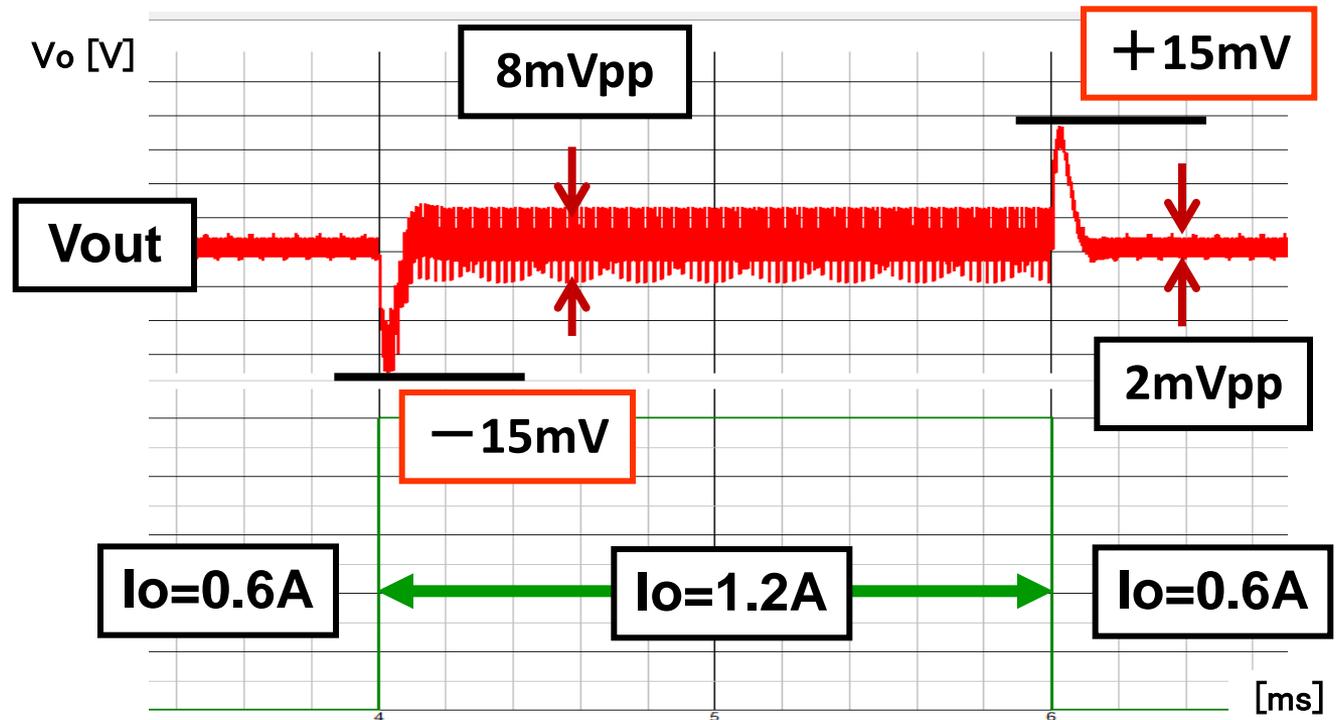
● シミュレーション結果 (9章の再掲)

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 $< 2mV_{pp}$ @ $I_o=0.6A$
過渡応答 $< \pm 15mV$ @ $I_o=0.6/1.2A$



出力リップル・過渡応答特性

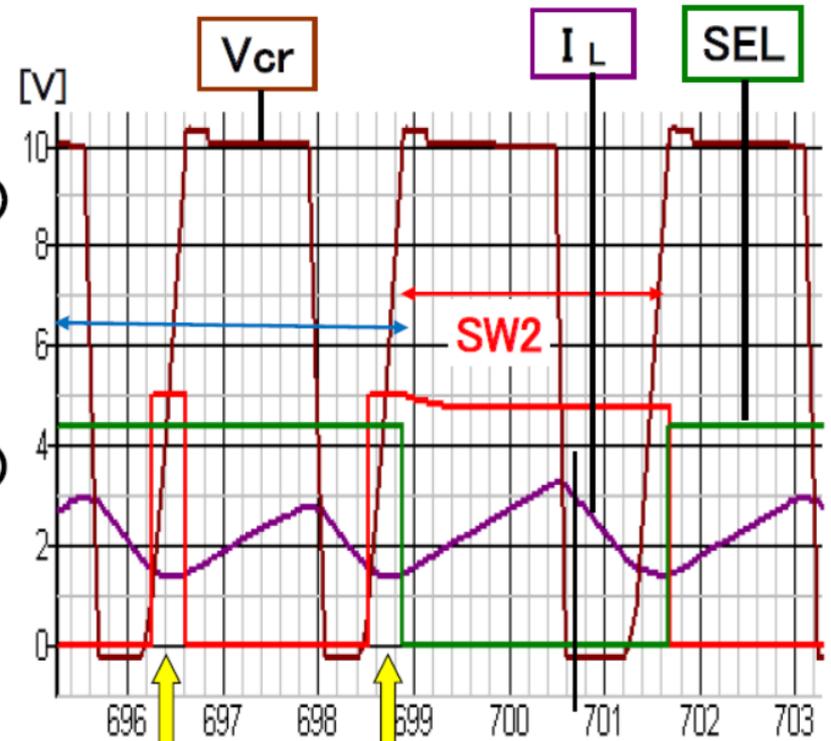
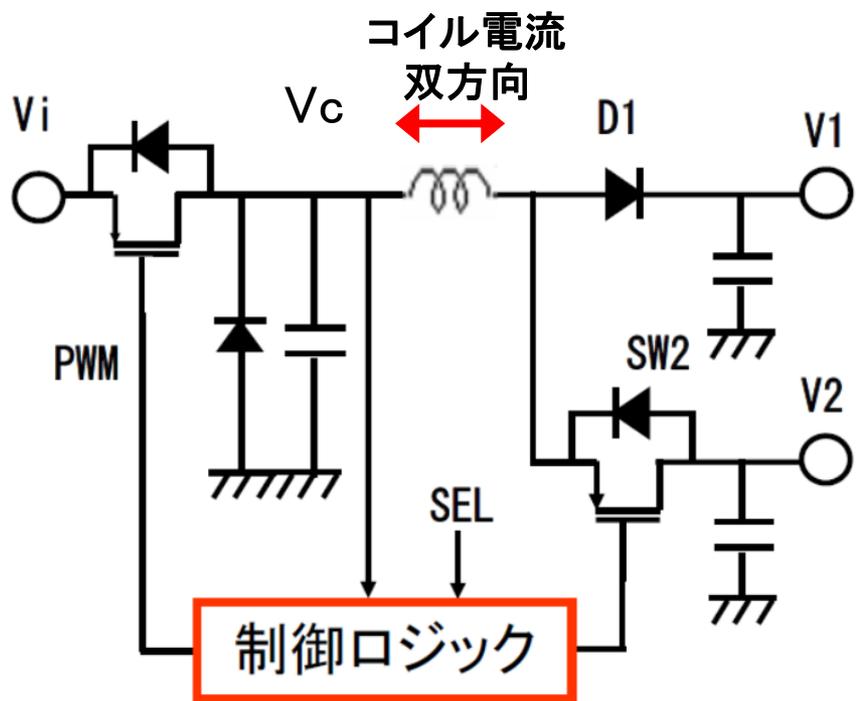
(2) 降圧形ZVS-PWM制御SIDO電源

●回路構成(サブSWの構成)

* ハイ側電源にDi、ロー側電源にMOS SW を挿入 ⇒ **ハイ側電源は共振不可**

【対策】共振電流は、全てロー側電源より ボディ・ダイオードを介して供給

* 条件: $V1 > V2$ に設定



ZVS-PWM制御SIDO電源

タイミング・チャート

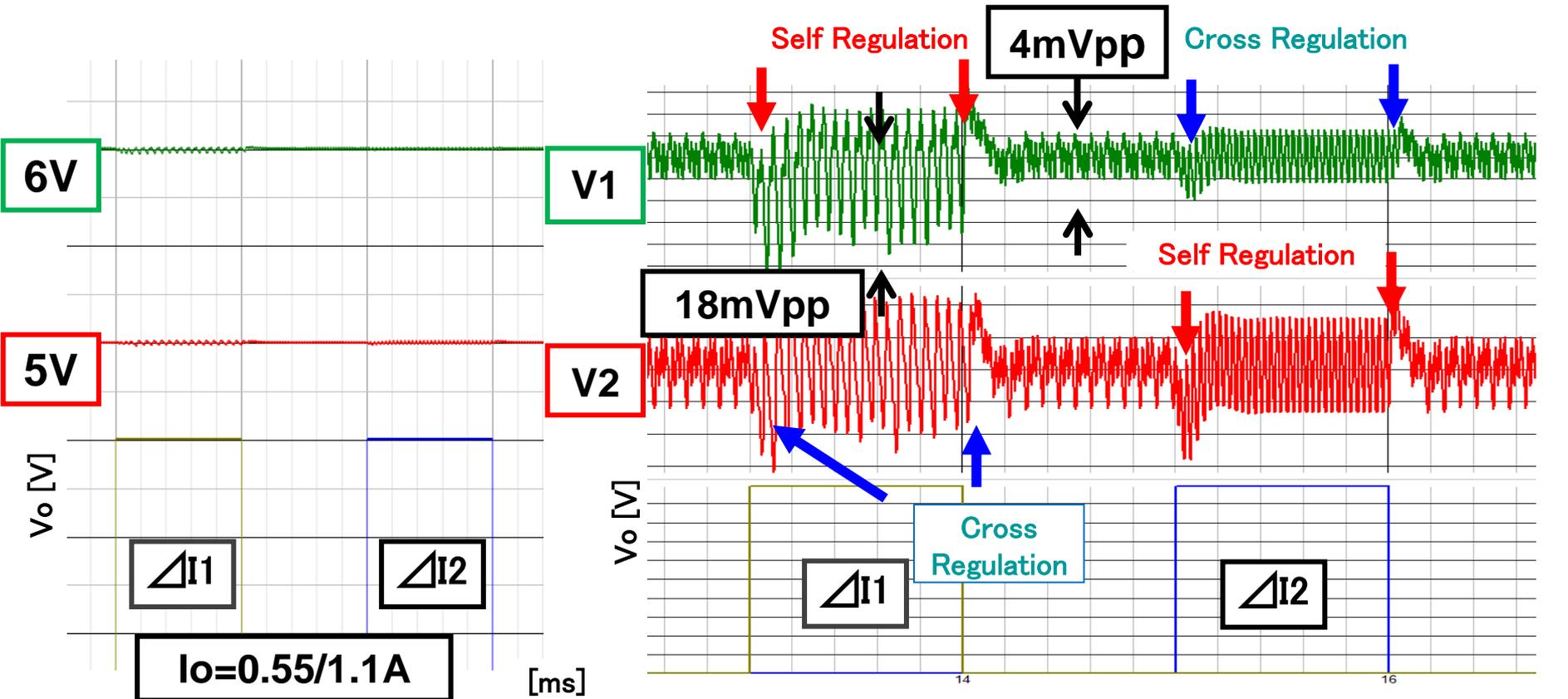
●シミュレーション結果(降圧形SISO電源)

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 : $< \pm 25mV$ @ $I_o=0.55/1.1A$

動作周波数: $91.4kHz$ @ $I_o=0.55A, 53.1kHz$ @ $I_o=1.2A$



ZVS-PWM SIDO 過渡応答特性

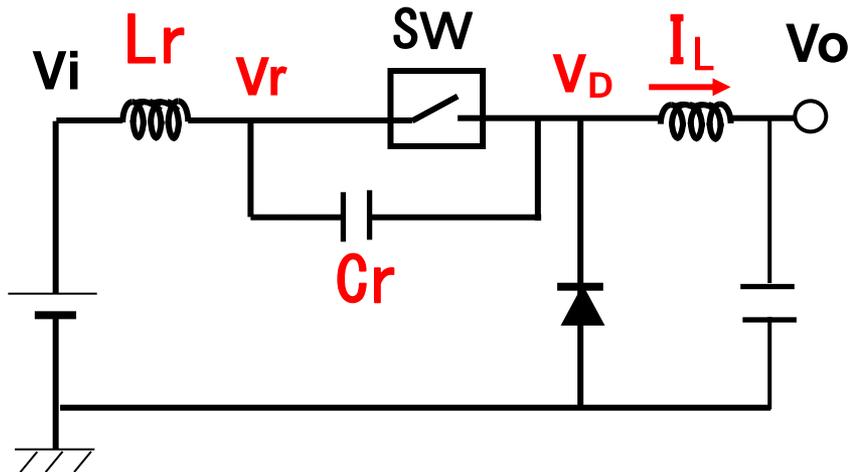
[ms]

10.4 ソフトスイッチングSISO電源

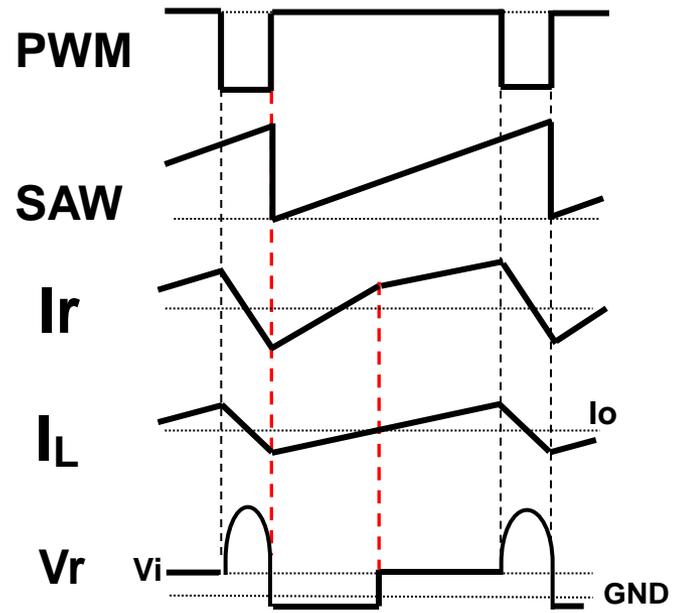
(1) 電圧共振型SISO電源[再掲:9章にて説明済み]

●半波型降圧SISO電源

- * メインSWと直列に L_r 、並列に C_r を接続
- * 共振電圧 V_r は、正側に高電圧に共振
- * $V_r=V_i$ 時に、SW=ON



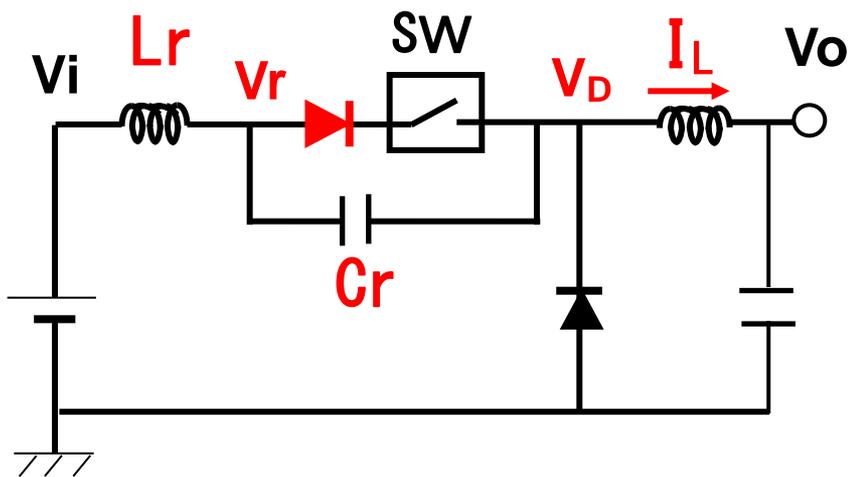
半波型共振SISO電源



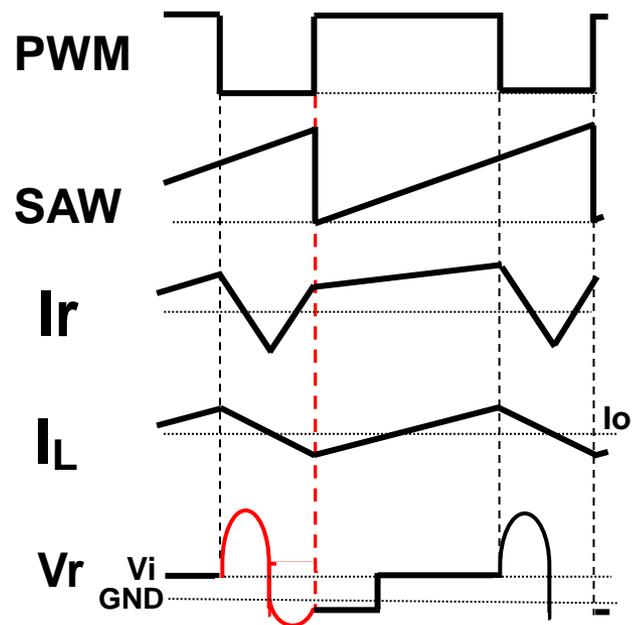
タイミング・チャート

●全波型降圧SISO電源

- * メインSWと直列に L_r 、並列に C_r を接続
- * 共振電圧 V_r は、正側に高電圧に共振後、負側にも同程度に共振
- * 負電位から $V_r = V_D$ に戻った時点で、SW=ON



全波型共振SISO電源



タイミング・チャート

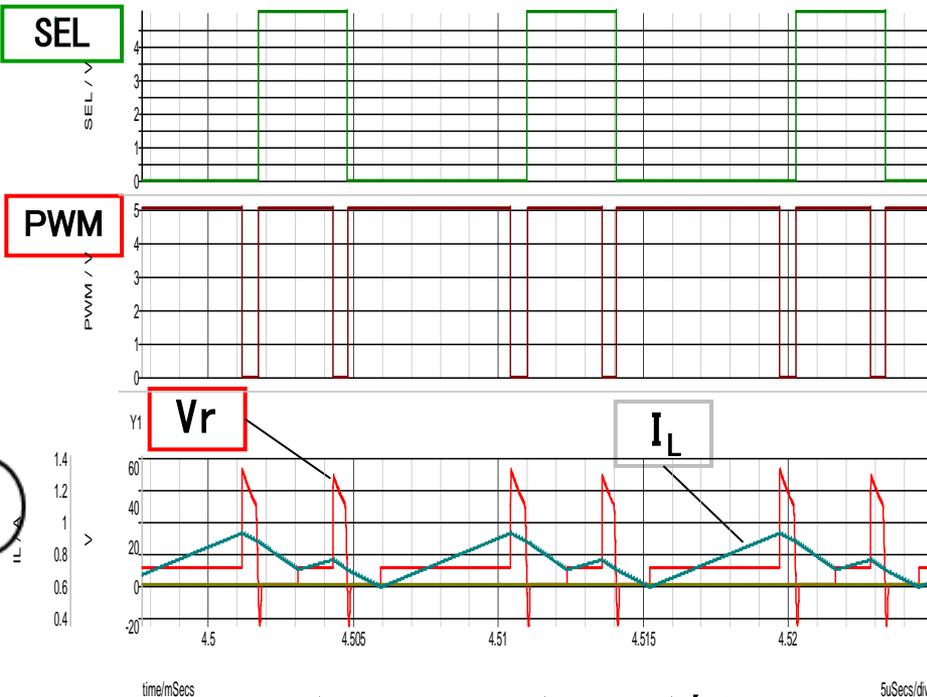
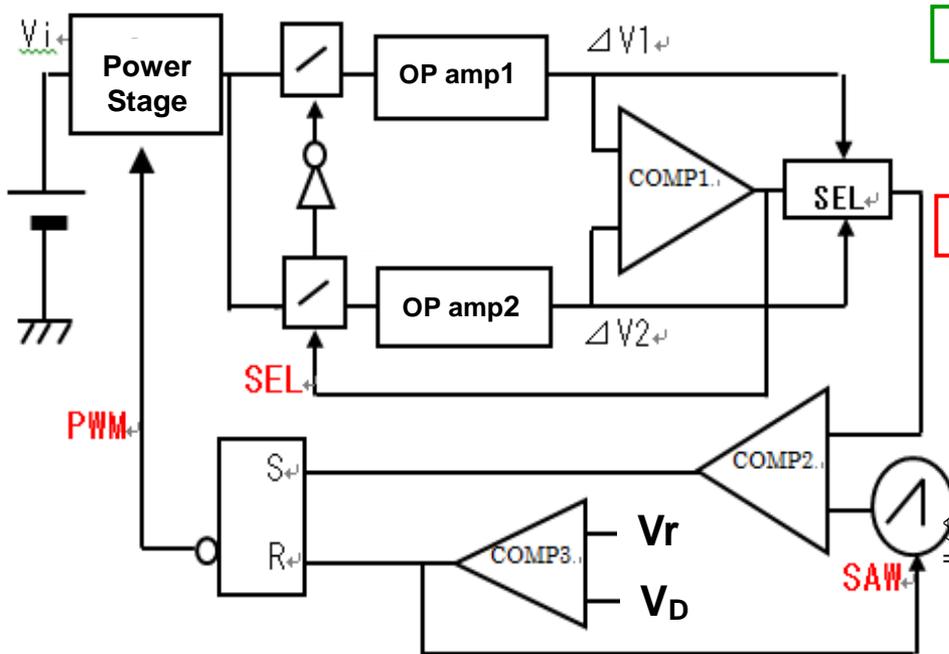
(2) 電圧共振型SIDO電源(降圧型)

(A)回路構成: ZVS-PWM制御電源と同様の構成

- ・サブ電源1の入力部に、ダイオードを挿入
- ・サブ電源2の入力部に、MOSスイッチを挿入

(B)動作:

$V_r = V_D$ のタイミングで、SEL・SAW信号を発生



電圧共振型降圧 SIDO電源

シミュレーション波形

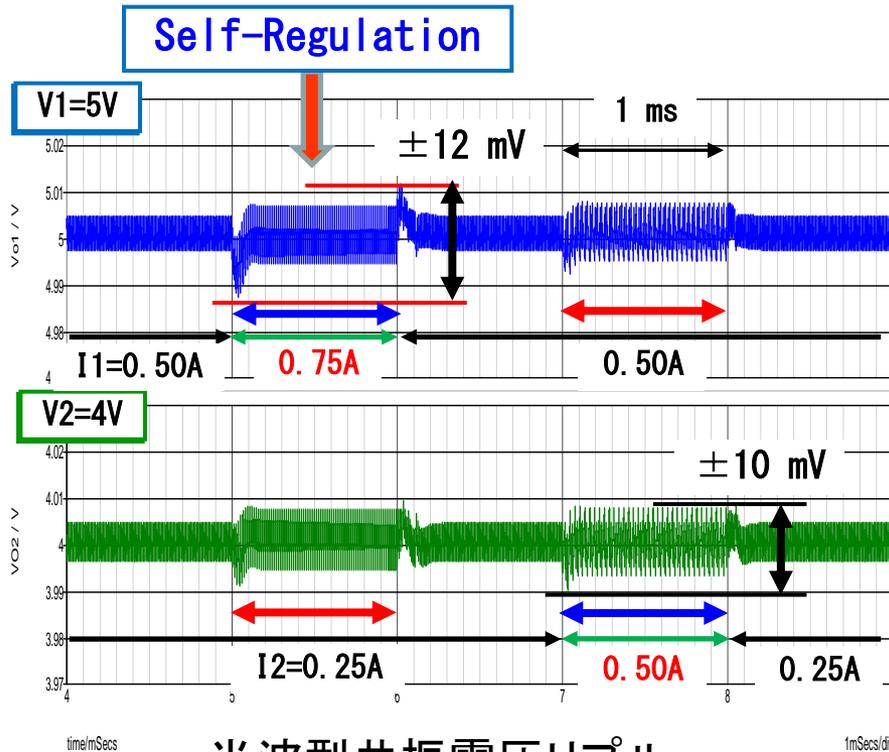
(C)シミュレーション結果(出力電圧リップル)

* 定常出力電圧リップル:

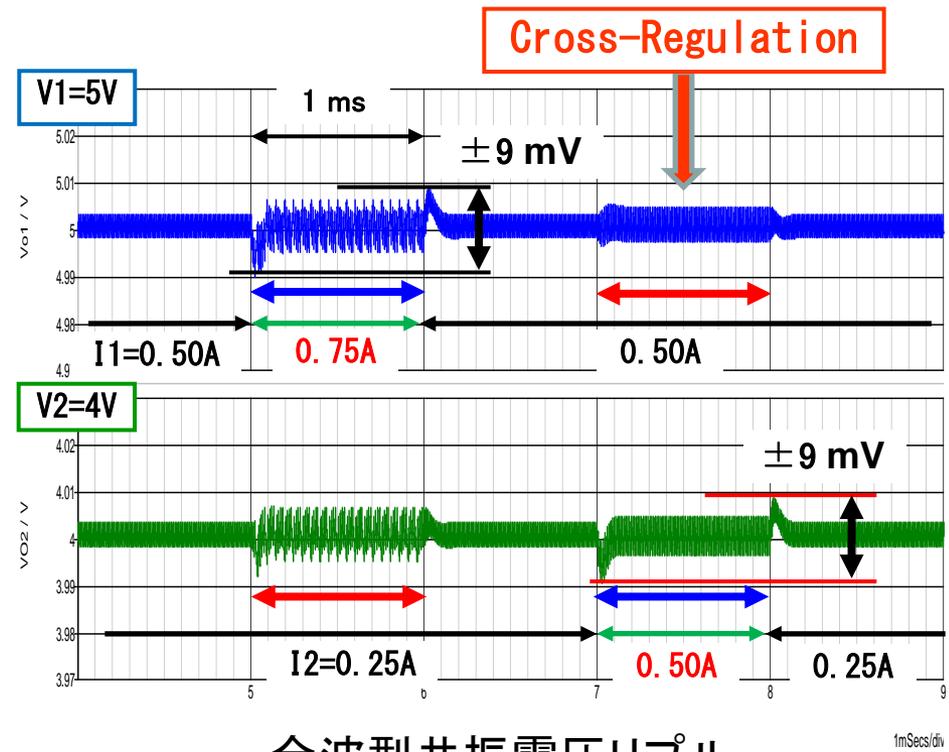
・ $\Delta V_o < 5\text{mVpp}$ ($< 0.2\%$) @ $I_o = 0.75\text{A}$

* クロス/セルフ・レギュレーション(オーバー/アンダー・シュート)

・ $\Delta V \doteq \pm 12\text{mV}$ ($\doteq 0.25\%$) @ $\Delta I_o = 0.25\text{A}$



半波型共振電圧リップル



全波型共振電圧リップル