

電流モード制御電源回路設計

群馬大学 工学研究科 電気電子工学専攻

小林研究室
朱秋霖

2014年2月21日

outline

- 研究背景と目的
- 電流モード制御
 - 電圧モード制御と電流モード制御
 - ピーク電流モード制御
 - 電流モード制御降圧電源回路の構成と動作結果
- 電流モード制御SIDO降圧電源
 - 単入力多出力電源回路
 - 単入力多出力電源回路制御方式
 - 2出力電源回路基本構成と動作結果
 - シミュレーションによる確認
- まとめ

outline

● 研究背景と目的

● 電流モード制御

- 電圧モード制御と電流モード制御
- ピーク電流モード制御
- 電流モード制御単出力降圧電源回路の構成と動作結果

● 電流制御SIDO降圧電源

- 単入力多出力電源回路
- 単入力多出力電源回路制御方式
- 2出力電源回路基本構成と動作結果
- シミュレーションによる確認

● まとめ

研究背景



様々電源が必要

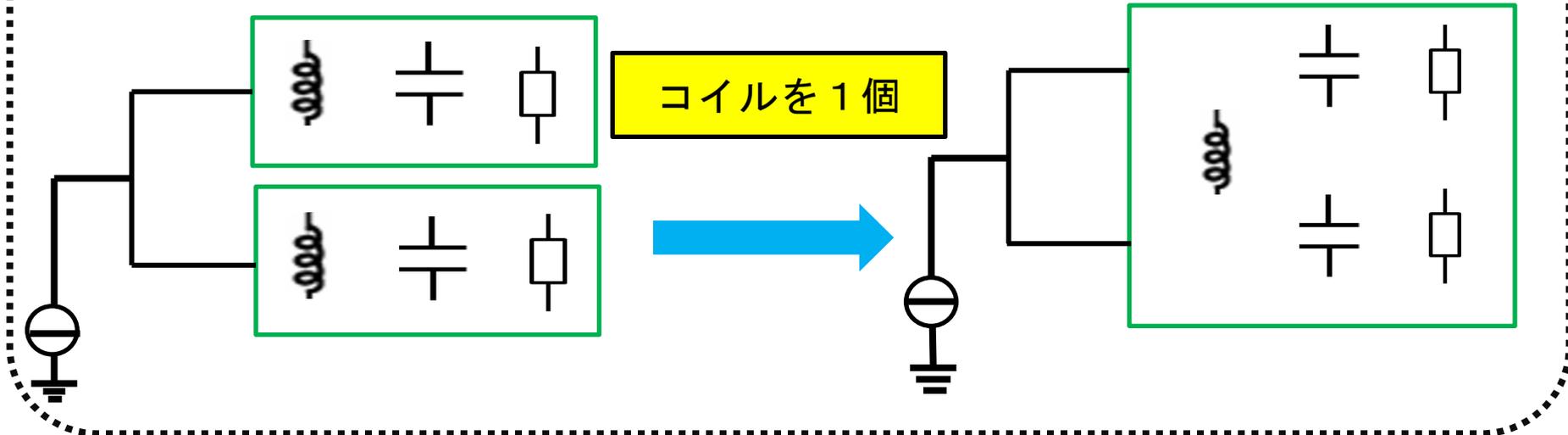
社会要求

- 小型軽量化、性能向上への要求
- 高速応答、省電力化への要求
- インダクタのチップ面積削減への要求



単入力多出力電源回路に
着目

単入力多出力電源回路



研究目的

多入力多出力電源回路

電源回路にコイルを削減

単一インダクタ多出力電源回路(SIMO)

電源回路に実現できる性能

- 1、高性能
- 2、低コスト
- 3、高効率
- 4、小型

電流モード制御電源回路特徴

- 1、**高速**な過渡応答
- 2、**小さい**出力リップル

電流モード制御を用いて

SIMO : Single Inductor Multi Output

outline

● 研究背景と目的

● 電流モード制御

- 電圧モード制御と電流モード制御
- ピーク電流モード制御
- 電流モード制御単出力降圧電源回路の構成と動作結果

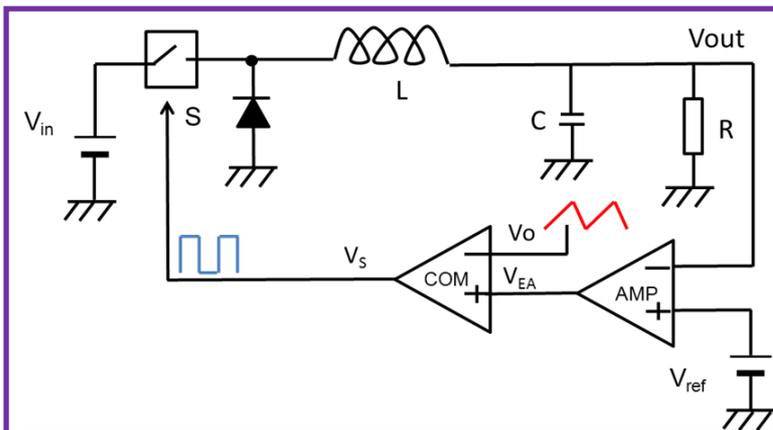
● 電流制御SIDO降圧電源

- 単入力多出力電源回路
- 単入力多出力電源回路制御方式
- 2出力電源回路基本構成と動作結果
- シミュレーションによる確認

● まとめ

電圧モード制御と電流モード制御

電圧モード制御

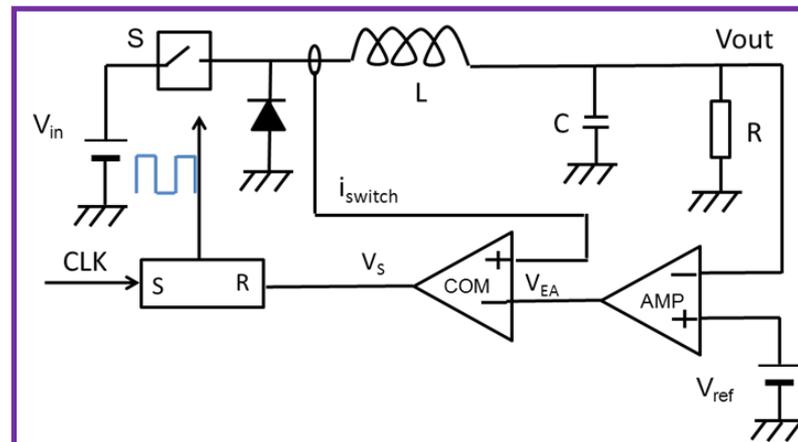


原理：コンバータにフィードバック・ループを介して、出力電圧のみを入力に帰還する

😊： 1. 制御自体が比較的単純
2. EMI耐性が高い

☹️： 1. 位相補償回路が複雑
2. 応答速度が遅い

電流モード制御

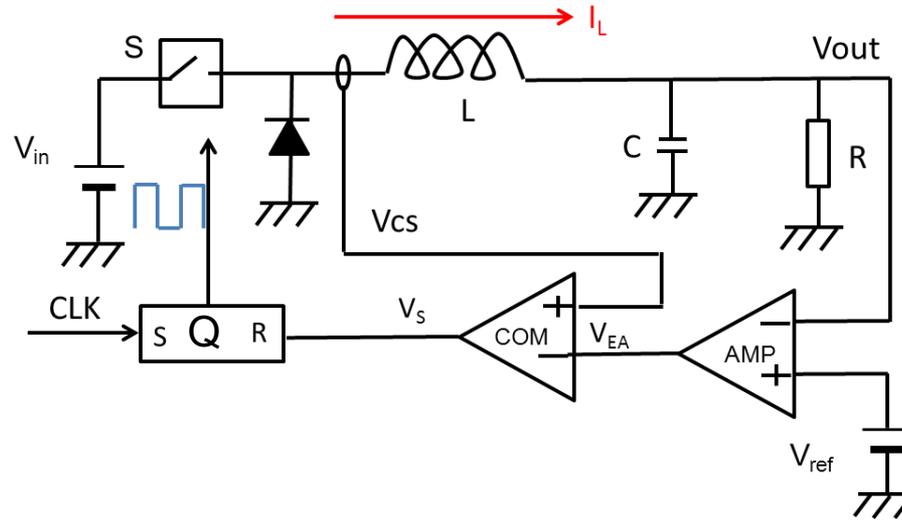


原理：電圧モード制御の制御ループで使う三角波を、電源回路自身のスイッチング電流（インダクタ電流）に置き換える

😊： 1. 位相補償回路が簡単
2. 高速応答

☹️： 制御自体は比較的複雑

ピーク電流モード制御



動作: $V_{EA} > V_{CS}$ の時: S:ON \longrightarrow I_L が増加する。 V_{CS} が上昇する。 V_{EA} が減少する。

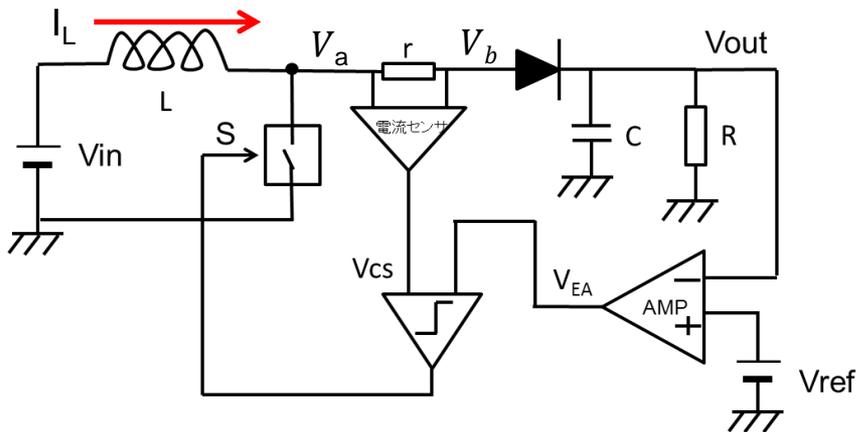
$V_{CS} = V_{EA}$ の時: S:OFF \longrightarrow I_L が減少する。

- ☺: 1. 入力レギュレーションが良い
2. 電流制限が簡単

問題点: インダクタに流れる電流の高精度な検出

ピーク電流モード制御

従来手法

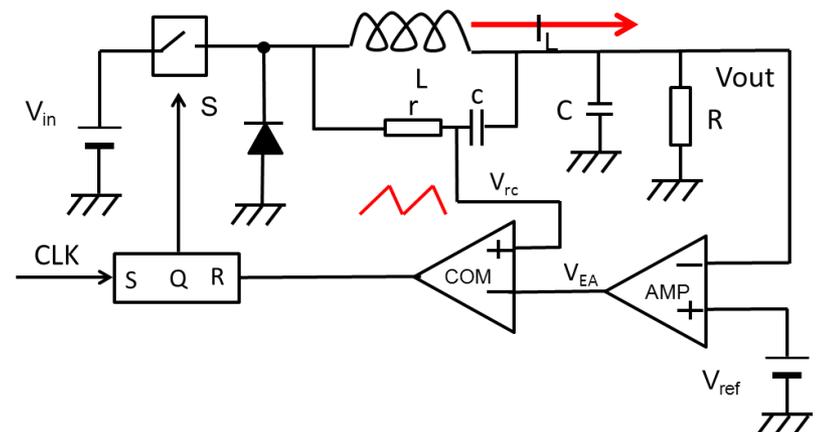


方式：インダクタに小さい抵抗を直列に接続する。

$$\begin{aligned} \because V_{cs} &= I_L \times (V_b - V_a) \\ \therefore I_L \text{波形} &= V_{cs} \text{波形} \end{aligned}$$

- ☹️： 1. 電流信号のランプが浅く、S/N比(信号対雑音比)が劣化。
2. 電流検出用の抵抗の値を高く消費電流が増加、効率が低下

最新提案



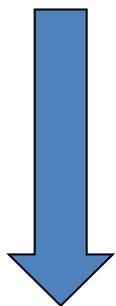
方式：コンバータのインダクタにRC積分回路を並列に接続する。

$$\begin{aligned} \because V_{rc} &= \frac{Ls}{1+RCS} \times I_L + V_{out} \\ \therefore I_L \text{波形} &= V_{cs} \text{波形} \end{aligned}$$

- 😊： 抵抗の損失がない、効率高い
☹️： 1. インダクタ巻線の電圧を直接積分する必要があり、補助巻線を設ける工夫が必要となる

電流モード制御単出力降圧電源回路

エラーアンプにより
基準電圧との誤差を増幅

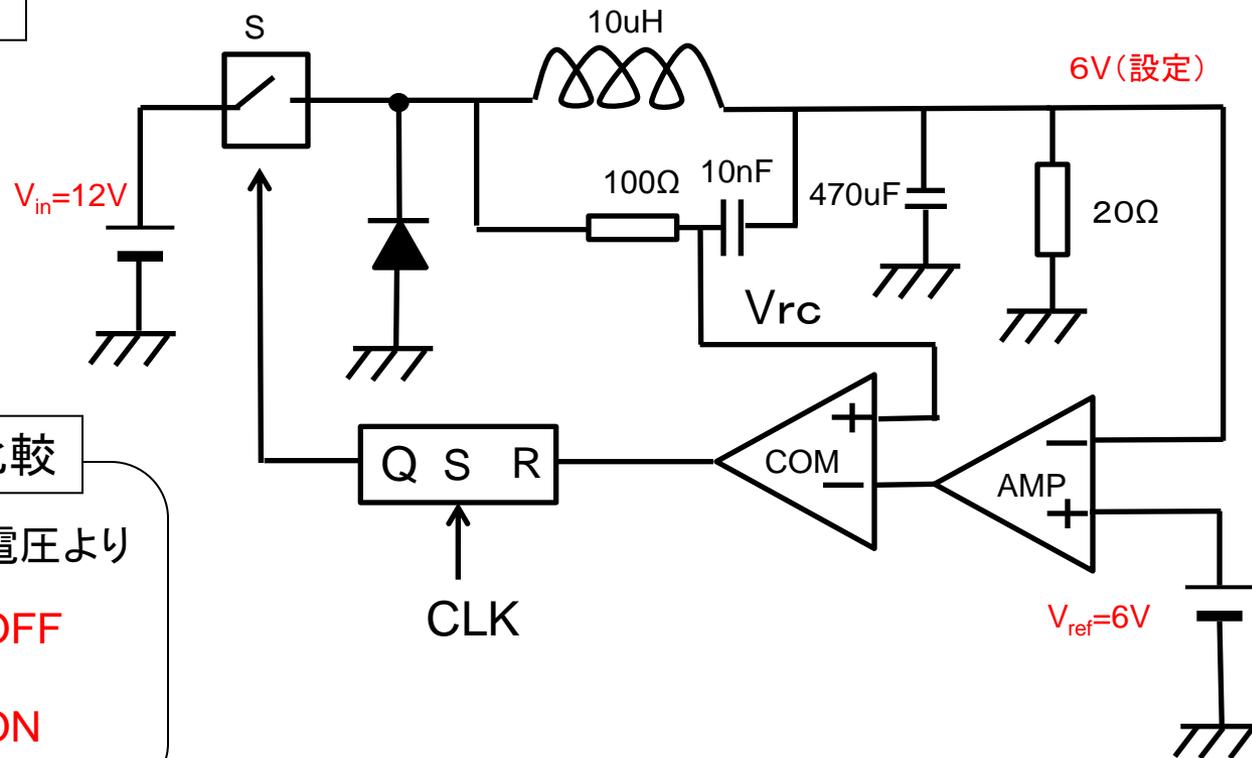


コンパレータによる電圧比較

誤差電圧がRCにコンデンサVrc電圧より

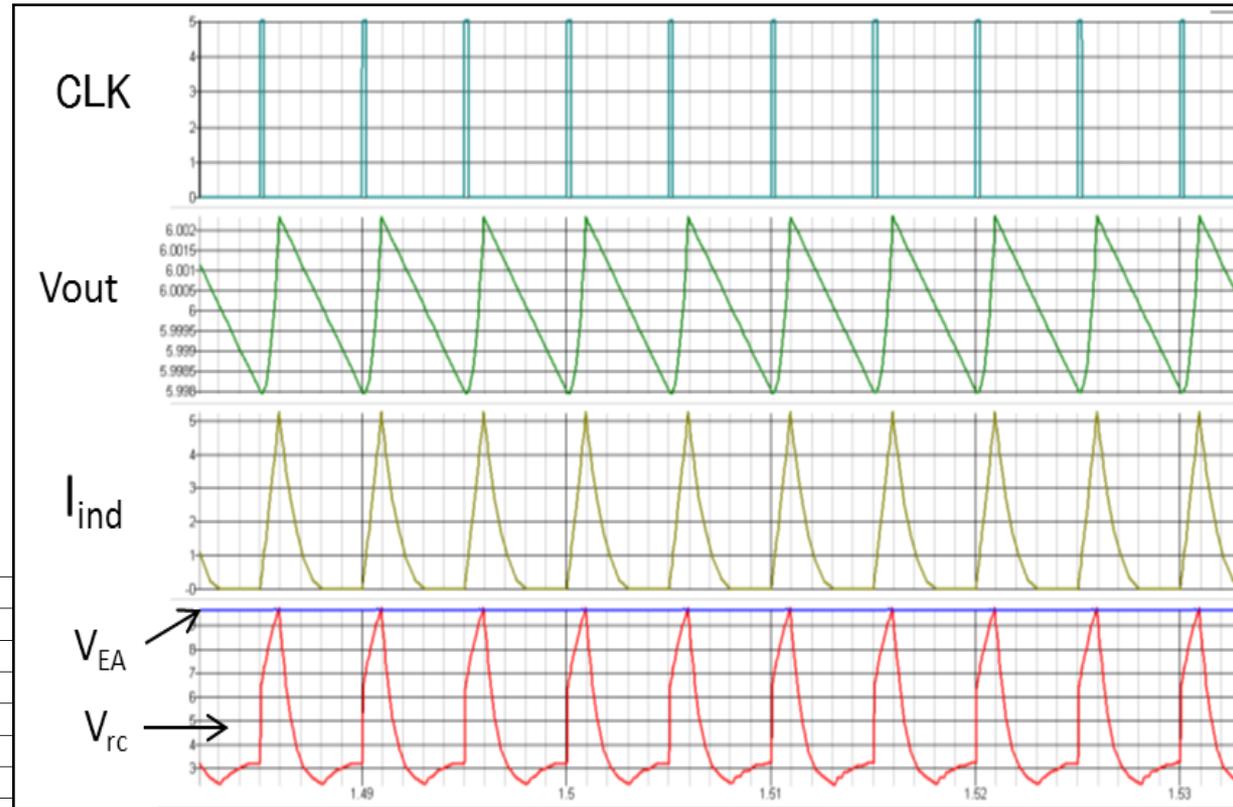
低 → スイッチをOFF

高 → スイッチをON



シミュレーション(定常状態)

parameter	value
f	200KHZ
Vin	12V
Vout	6V
L	1 μ H
C	470 μ F
c	10nF
r	100



緑: コイル電流

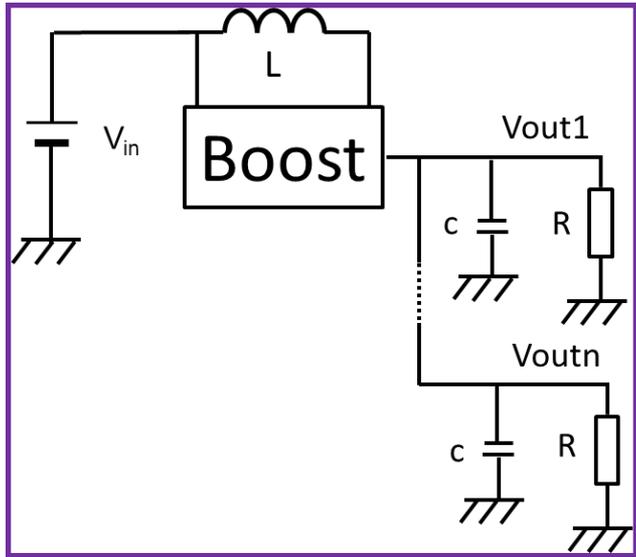
赤: 出力電圧 (6V)

outline

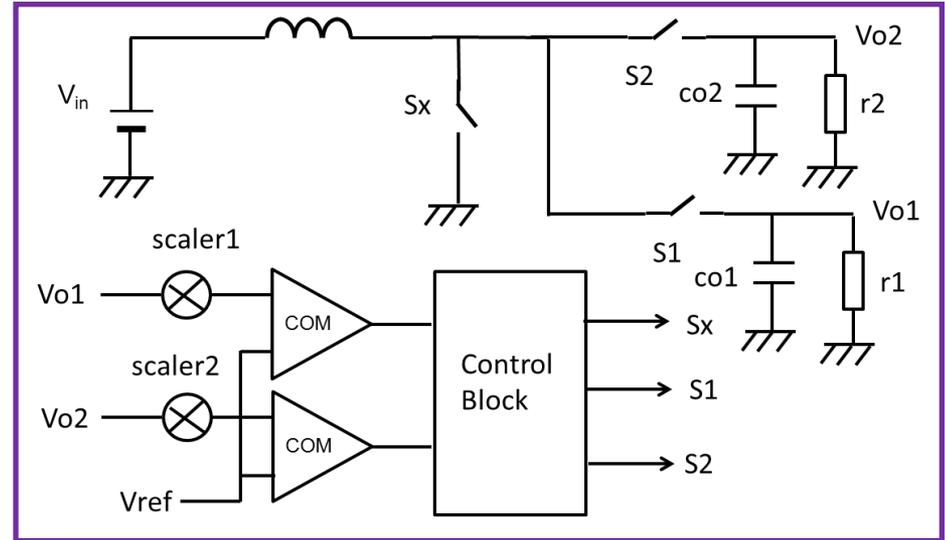
- 研究背景と目的
- 電流モード制御
 - 電圧モード制御と電流モード制御
 - ピーク電流モード制御
 - 電流モード制御単出力降圧電源回路の構成と動作結果
- 電流モード制御SIDO降圧電源
 - 単入力多出力電源回路
 - 単入力多出力電源回路制御方式
 - 2出力電源回路基本構成と動作結果
 - シミュレーションによる確認
- まとめ

単入力多出力電源回路

従来手法



最近提案



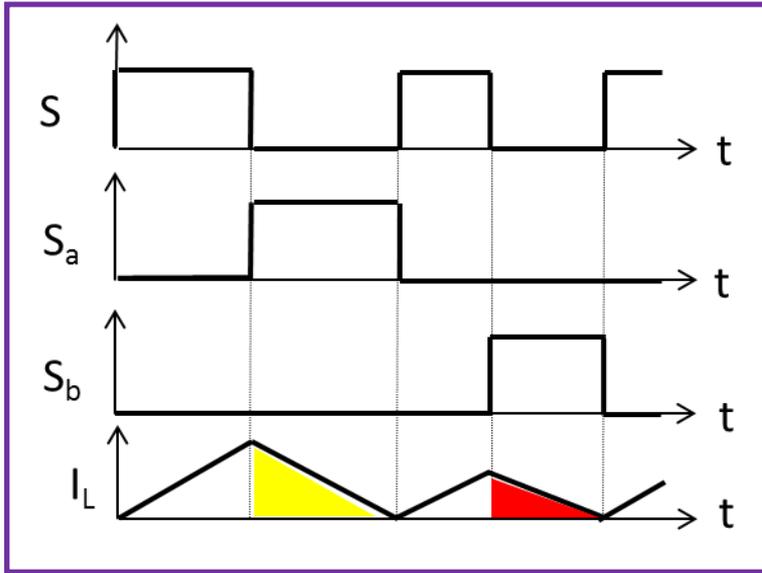
😊: 1.設計が簡単
2. 低出力リップル

😞: 1. 効率が低い

😊: 1.効率が低い

😞: 1.設計が複雑

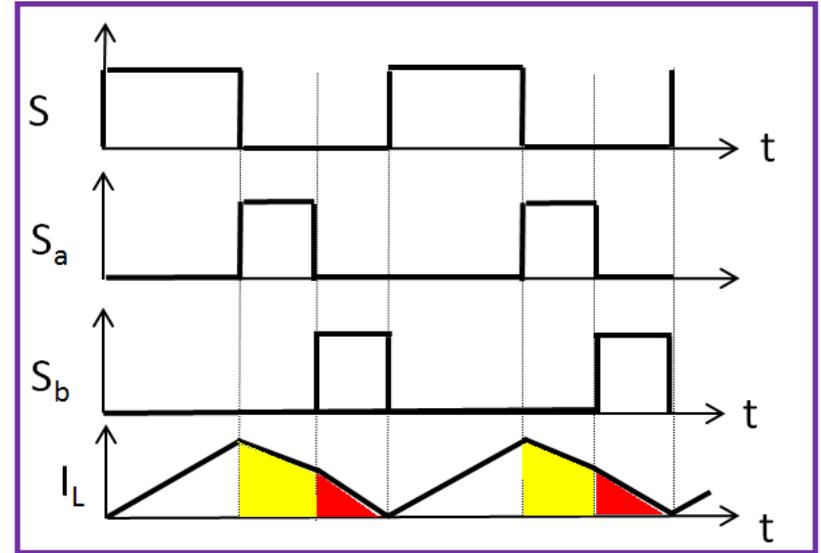
SIDO電源回路制御方式



動作: インダクタを充電し、放電する時に電源1にエネルギーを分配する。次にインダクタを再び充電し、放電する時に電源2にエネルギー分配する。

😊: クロス・レギュレーションが良い

☹️: 安定電圧までかかる時間が長い



動作: インダクタを充電し、放電する時に二つ電源にそれぞれにエネルギーを分配する。

😊: 安定電圧までかかる時間が短い

☹️: クロス・レギュレーションが悪い

SIDO降圧電源回路(提案)

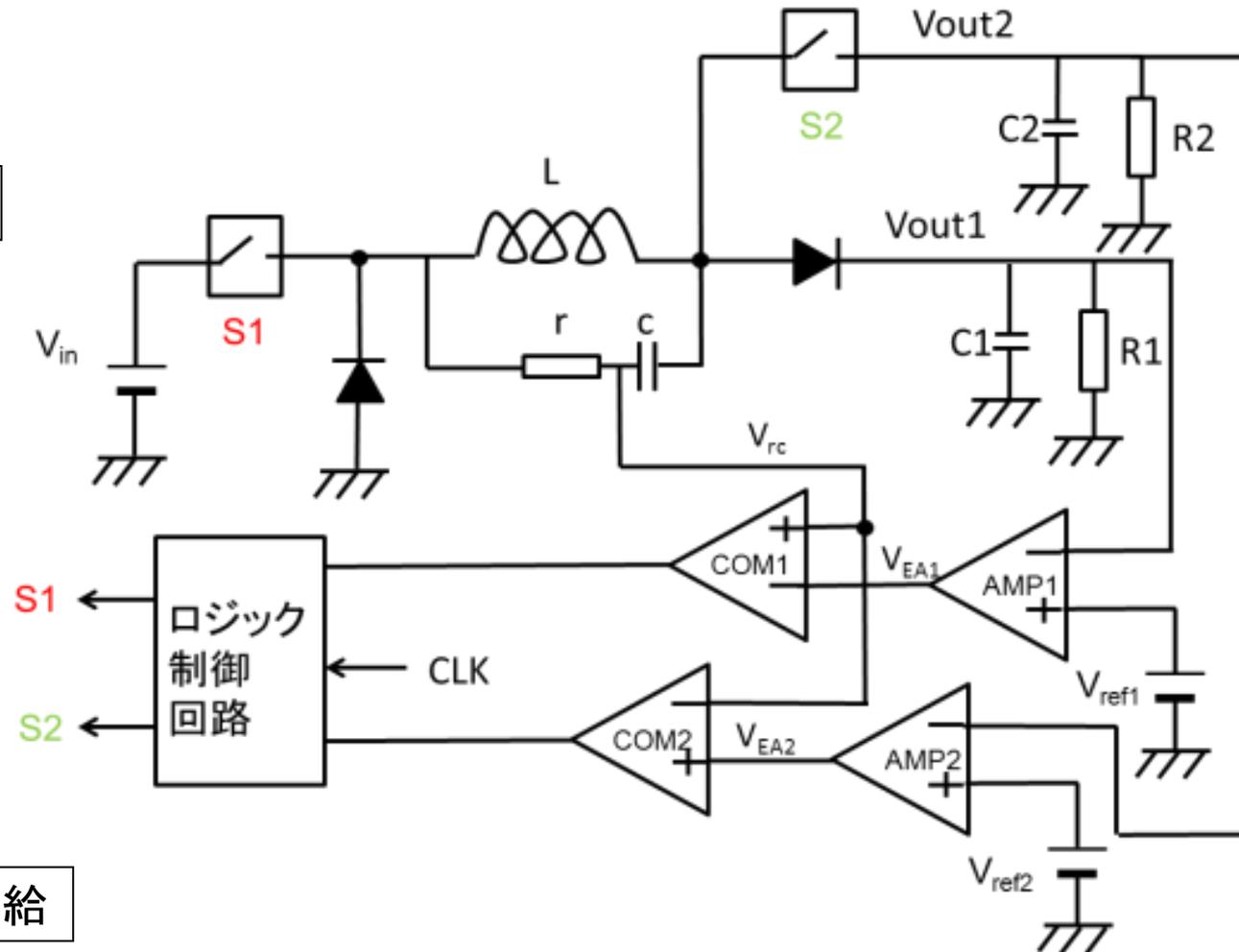
誤差とコイル両端電圧比較



スイッチの制御信号



出力2は先にエネルギーを供給



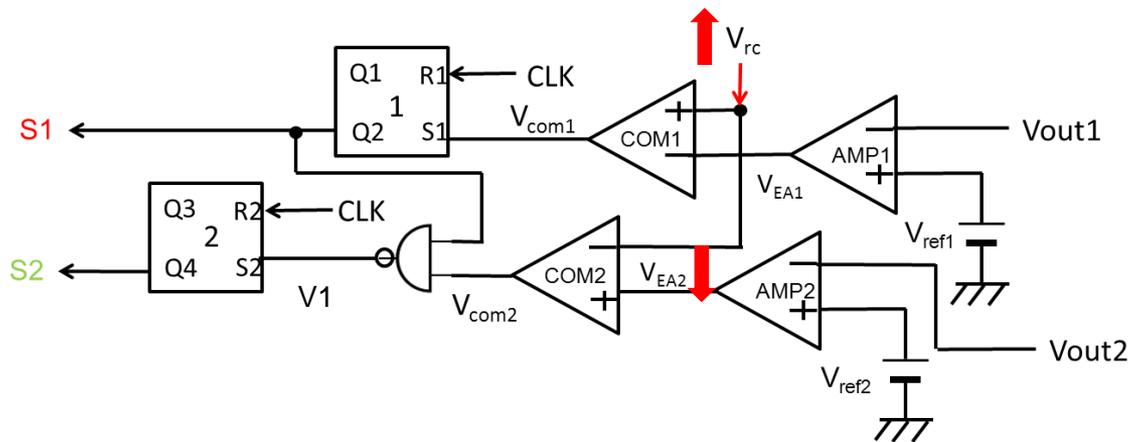
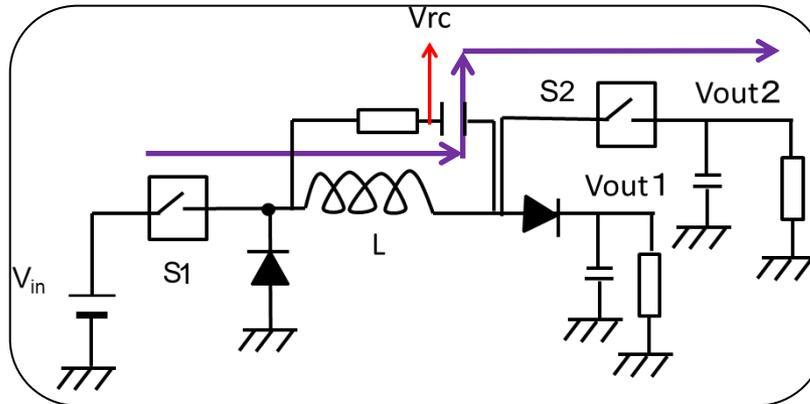
SIDO降圧電源回路(動作原理)

ステップ1

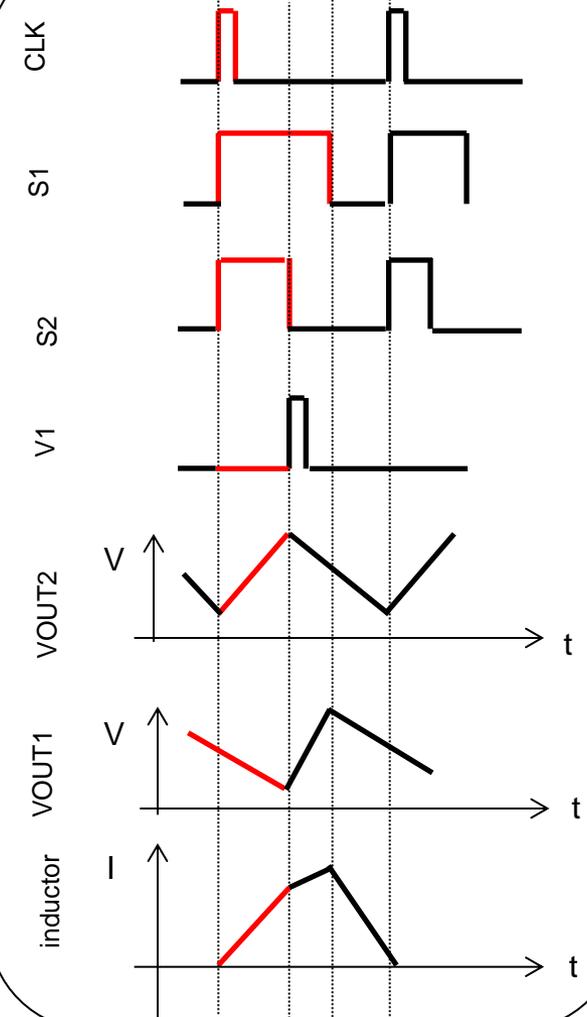
S1: ON, S2: ON



VOUT2を充電



タイミングチャート



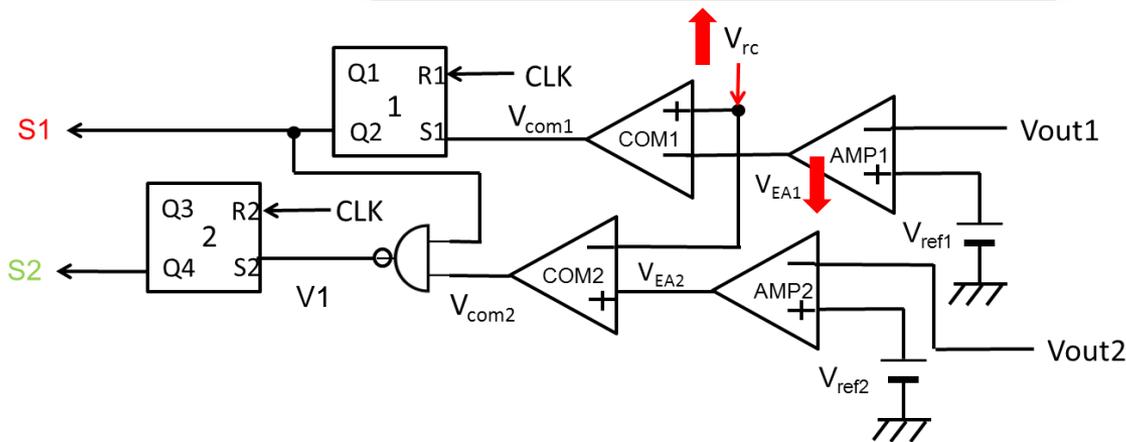
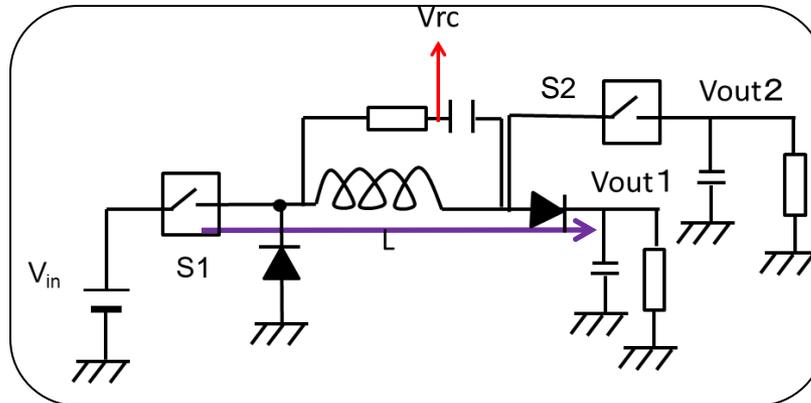
SIDO降圧電源回路(動作原理)

ステップ2

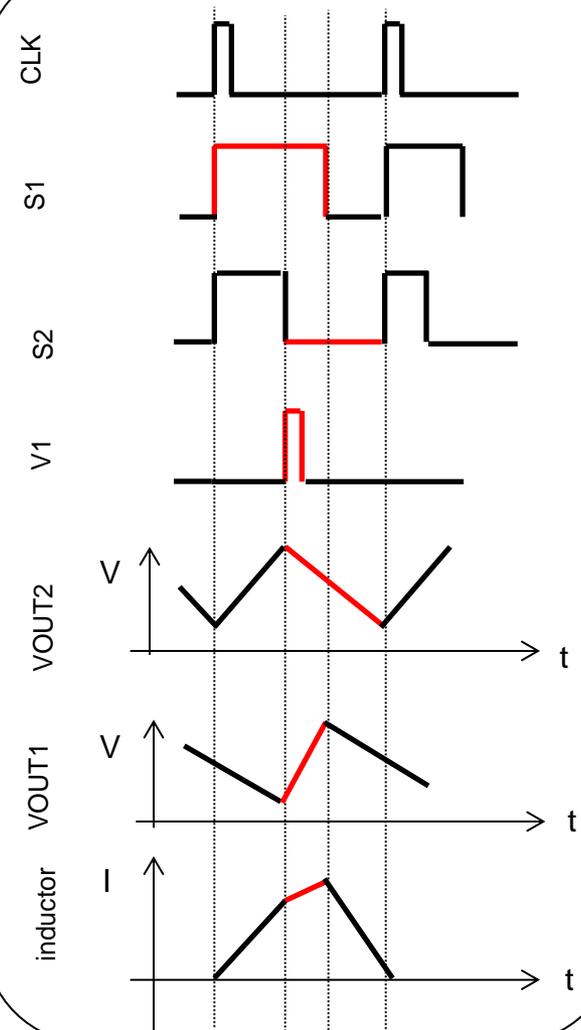
S1: ON, S2: OFF



VOUT1を充電



タイミングチャート



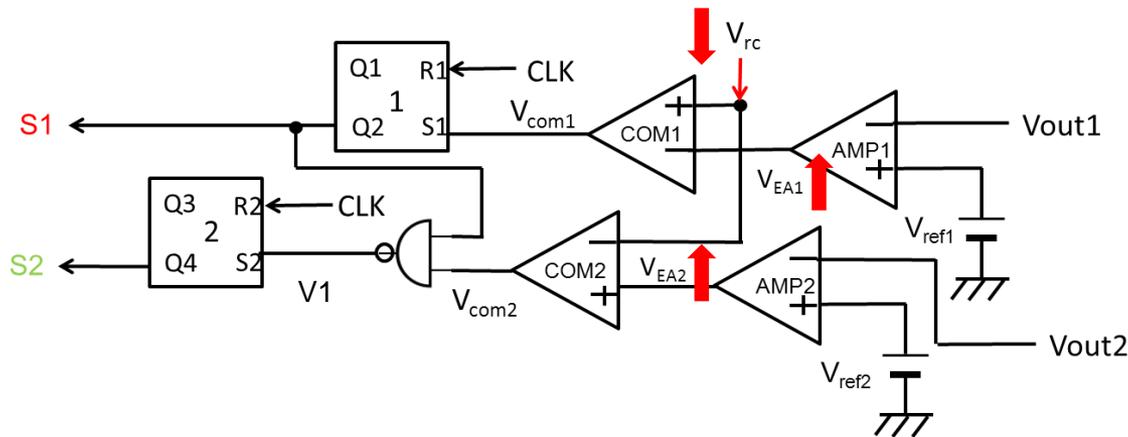
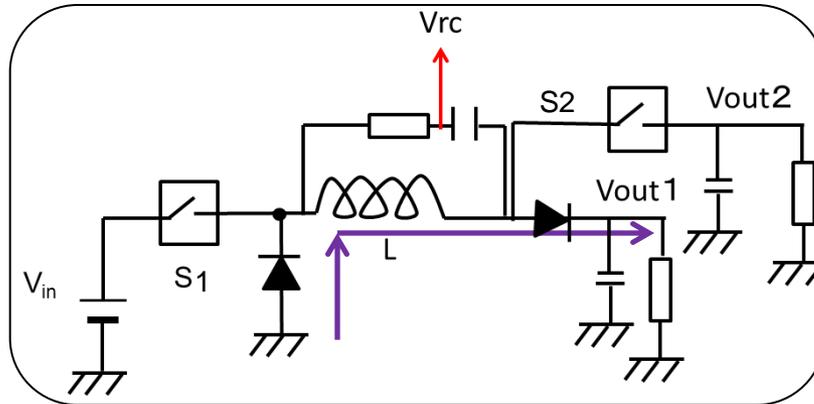
SIDO降圧電源回路(動作原理)

ステップ3

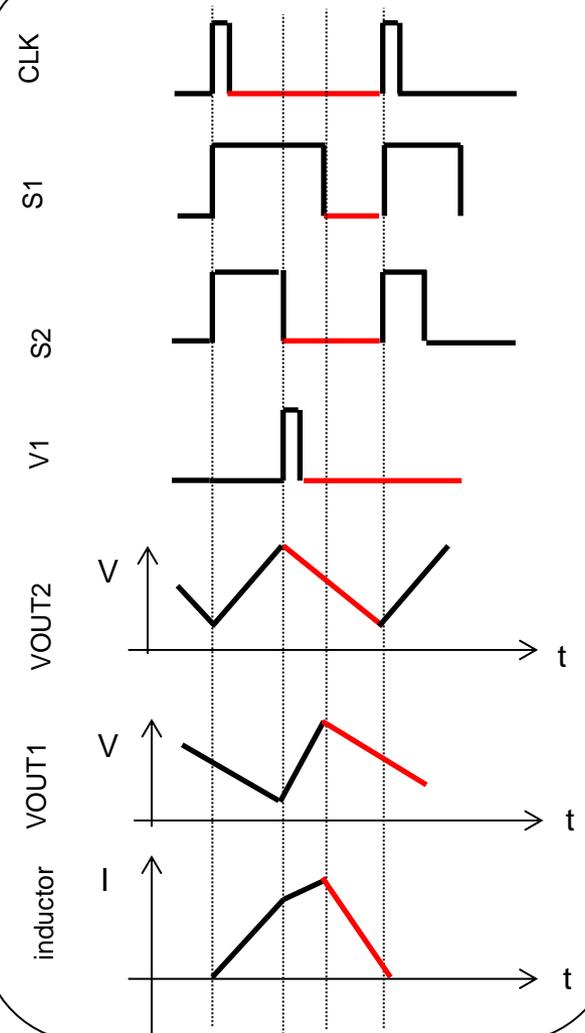
S1: OFF, S2: OFF



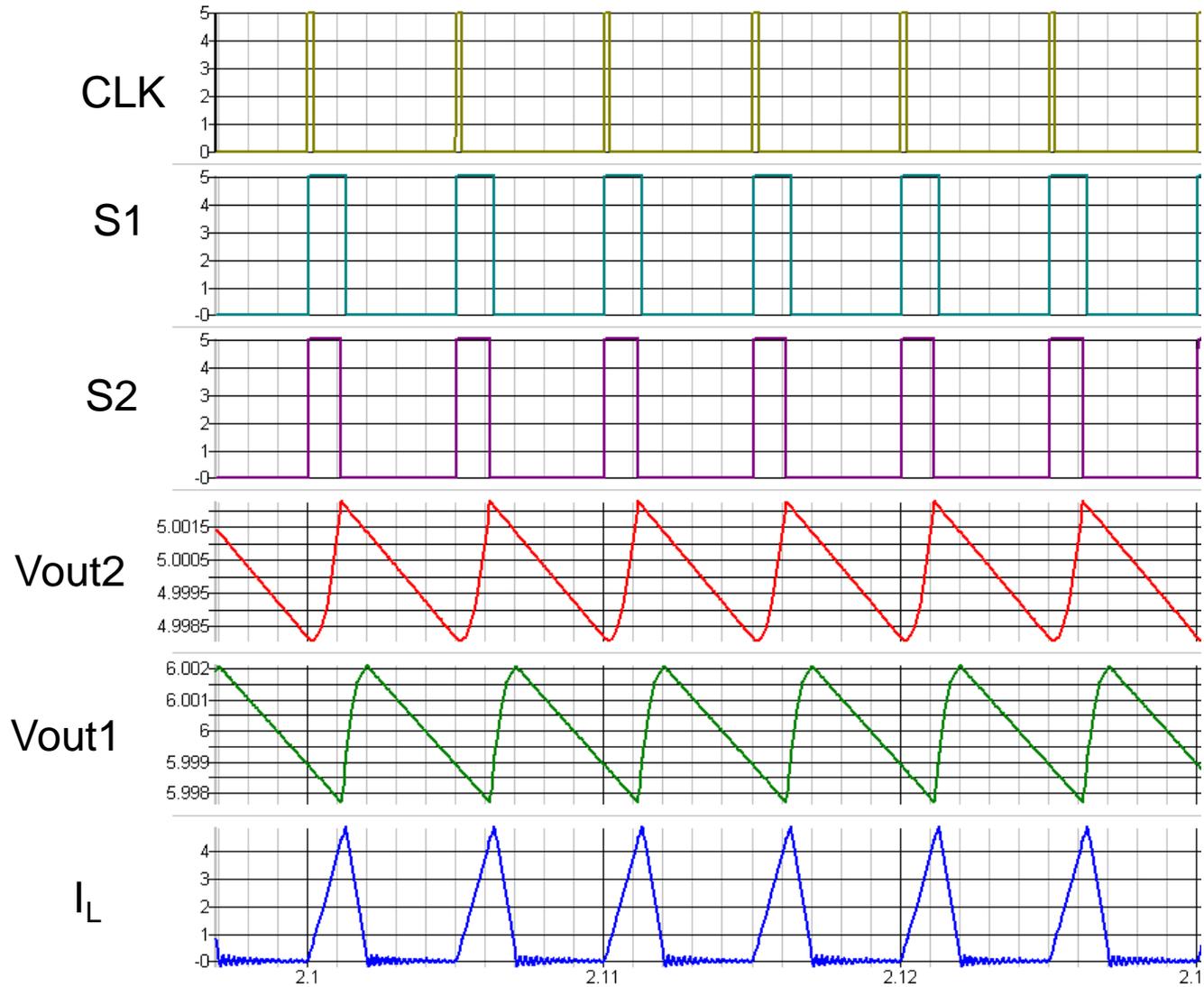
コイルを放電



タイミングチャート



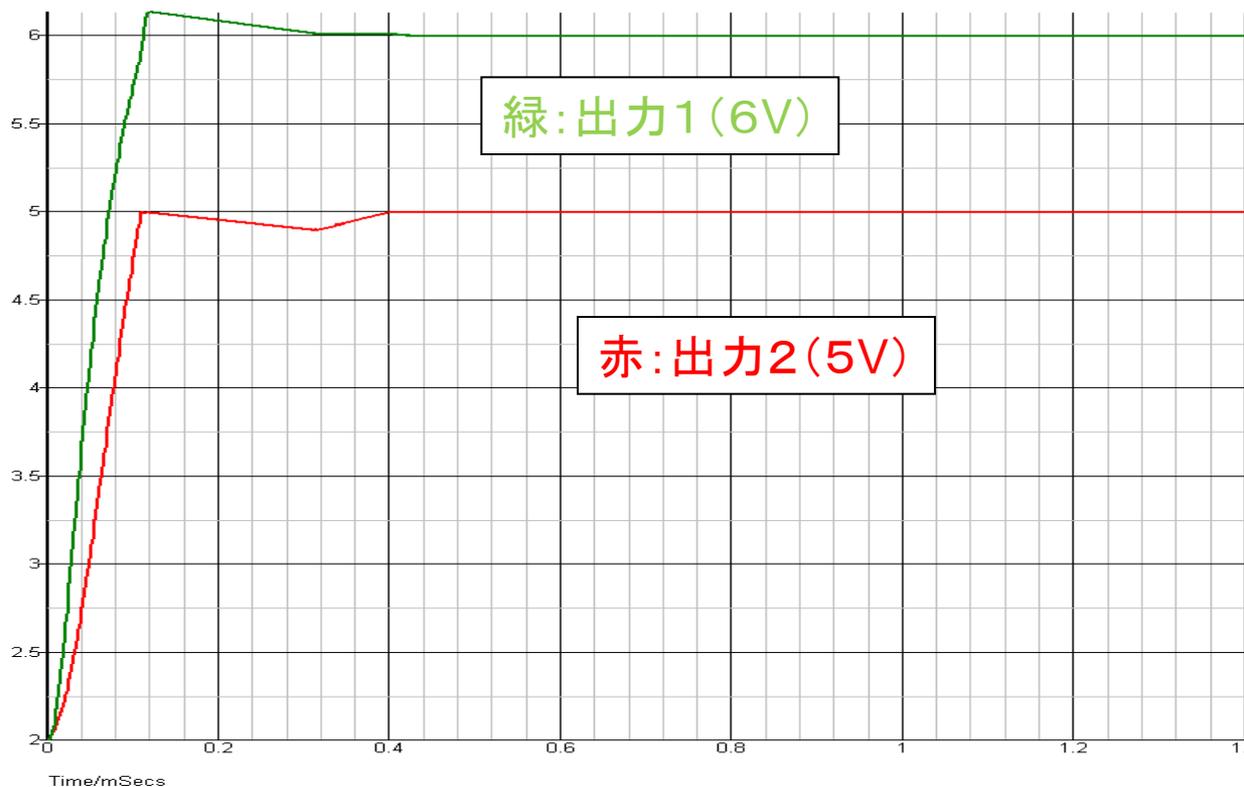
シミュレーション(定常状態)



シミュレーション(定常状態)

シミュレーション条件

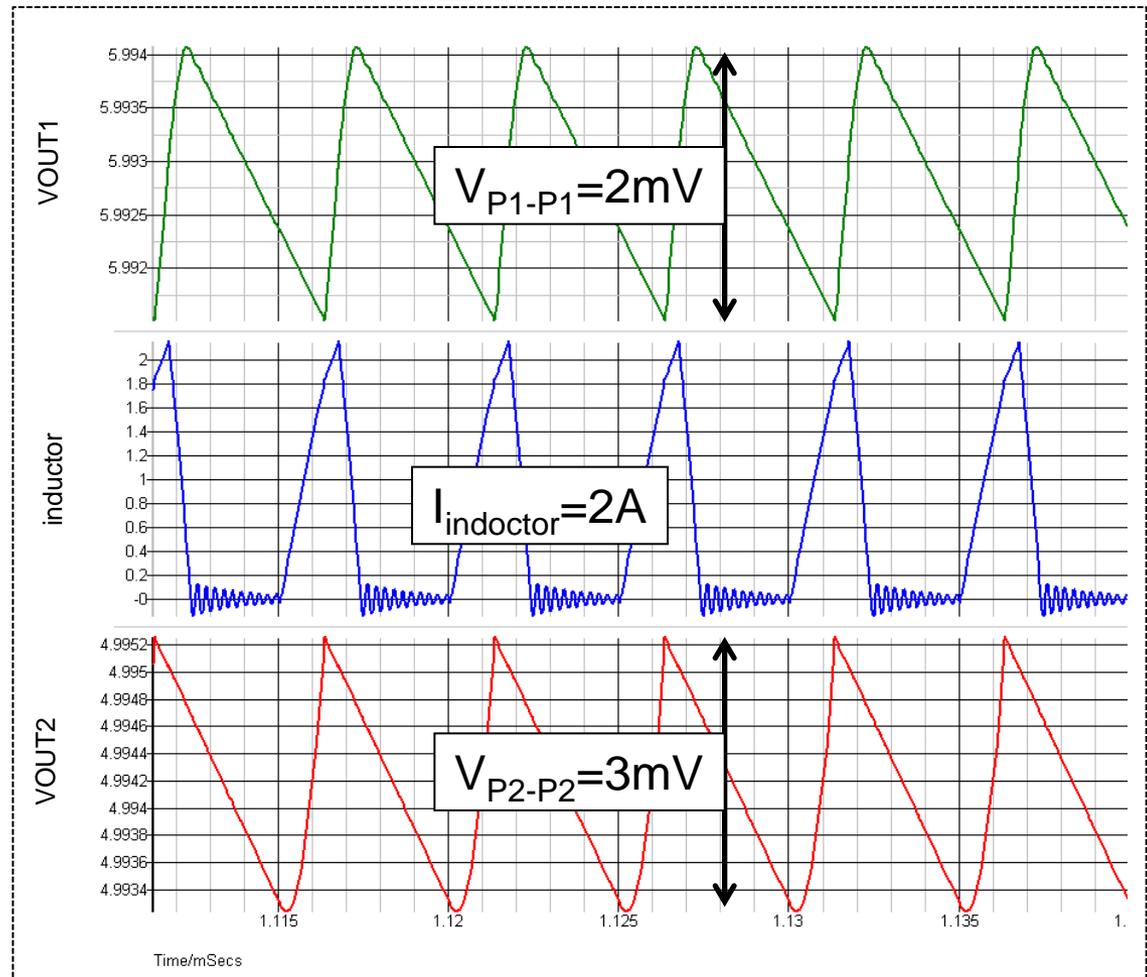
入力:9V
インダクタ:1uH
出力容量:470uF
負荷:20Ω
スイッチ周波数:200KHZ
スイッチ寄生抵抗:10mΩ
出力1設定:6V
出力2設定:5V



結論: 設定通りに出力動作

シミュレーション(定常状態)

負荷1電流=負荷2電流
=250mA



結論: 低出力電圧リップルを実現

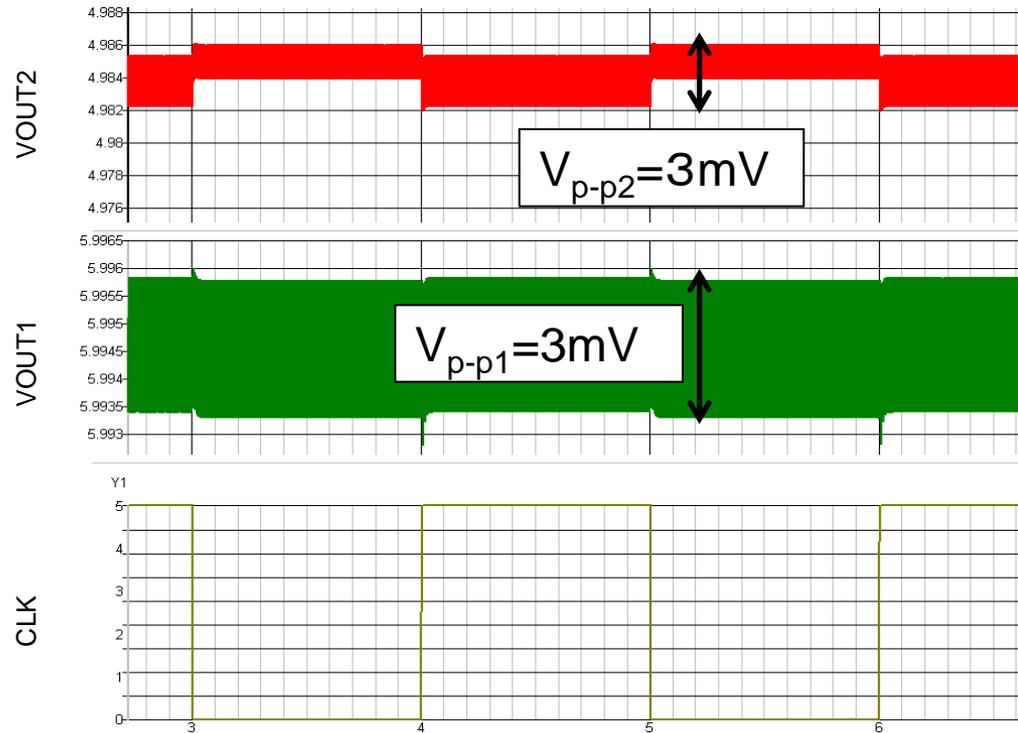
シミュレーション(負荷変動)

出力電圧2に負荷変動

負荷変動

0.25A → 0.5A

出力1へ影響が少ない



結論: クロスレギュレーションが良い

outline

● 研究背景と目的

● 電流モード制御

- 電圧モード制御と電流モード制御
- ピーク電流モード制御
- 電流モード制御単出力降圧電源回路の構成と動作結果

● 電流制御SIDO降圧電源

- 単入力多出力電源回路
- 単入力多出力電源回路制御方式
- 2出力電源回路基本構成と動作結果
- シミュレーションによる確認

● まとめ

まとめ

単一インダクタ2出力DC-DCコンバータの新制御方式

- コイル両端電圧と誤差電圧の比較によるスイッチの制御信号を決定
- シミュレーション結果
 - 定常リップル小
 - 良好なセルフ/クロス・レギュレーション
- 回路が簡単