

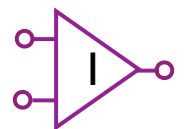
適応PWM方式SIDO電源回路の静特性

©白石尚也 小堀康功 堺昂浩

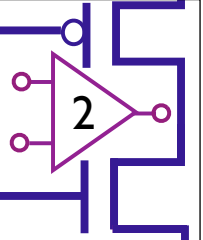
金谷浩太郎 田中駿祐 高井伸和 小林春夫 (群馬大学)

群馬大学 工学部 電気電子工学科

情報通信システム第2研究室

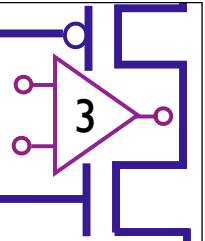


OUTLINE



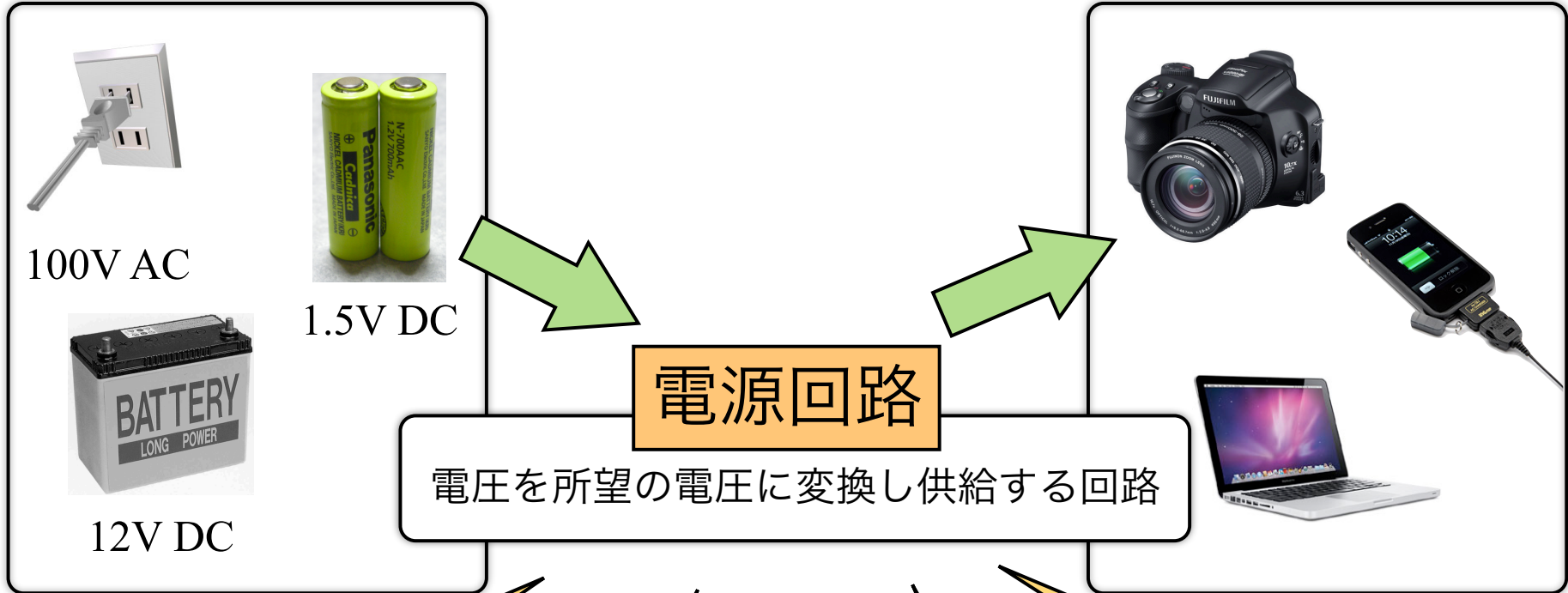
- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM制御方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

OUTLINE



- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM制御方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

研究背景



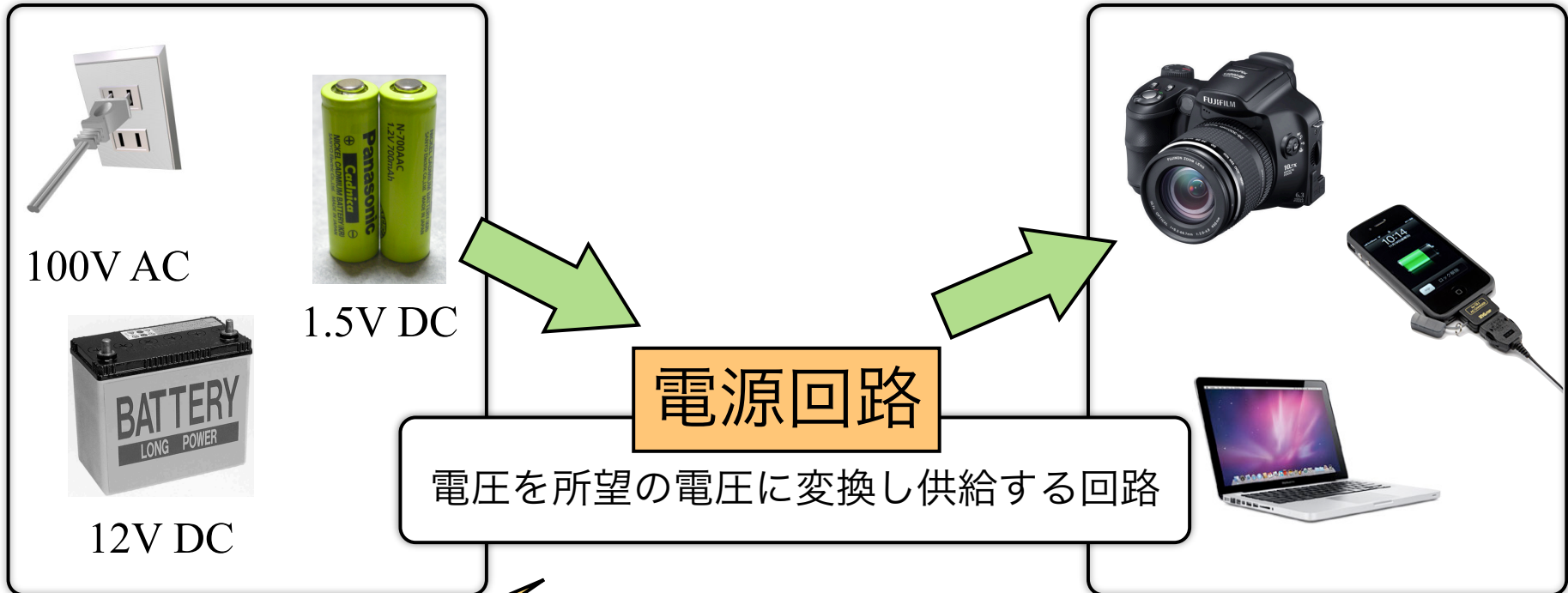
DC-DCコンバータ
直流入力直流出力

AC-DCコンバータ
交流入力直流出力

AC-ACコンバータ
交流入力交流出力

DC-ACコンバータ
直流入力交流出力

研究背景



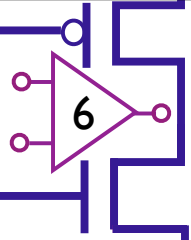
DC-DCコンバータ
直流入力直流出力

電子機器内に多数使用されている

性能や効率に大きく関わってくる

重要

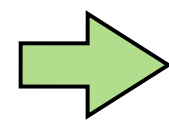
研究背景



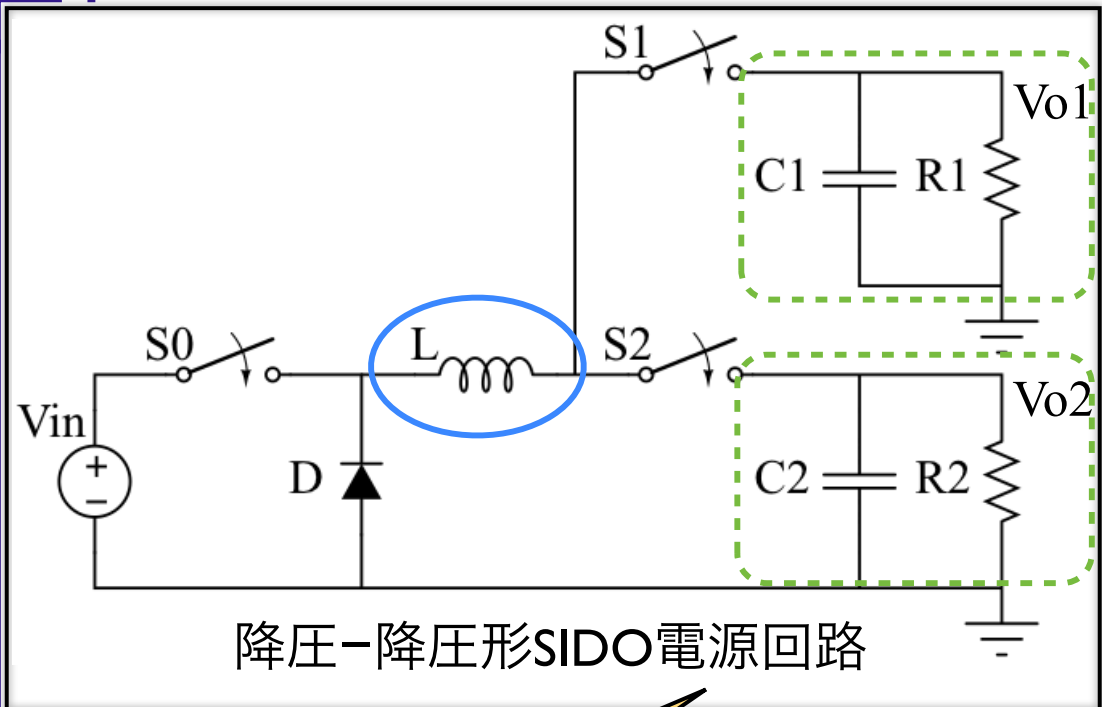
SIDOとは・・・

Single Inductor Dual Outputの略
単一インダクタ 2出力電源回路

出力2つに対し
インダクタが1つ



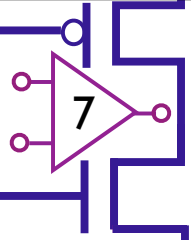
小型化



降圧-降圧形SIDO電源回路

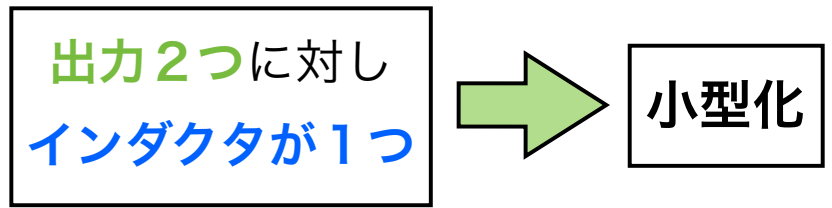
DC-DCコンバータ
直流入力直流出力

研究背景

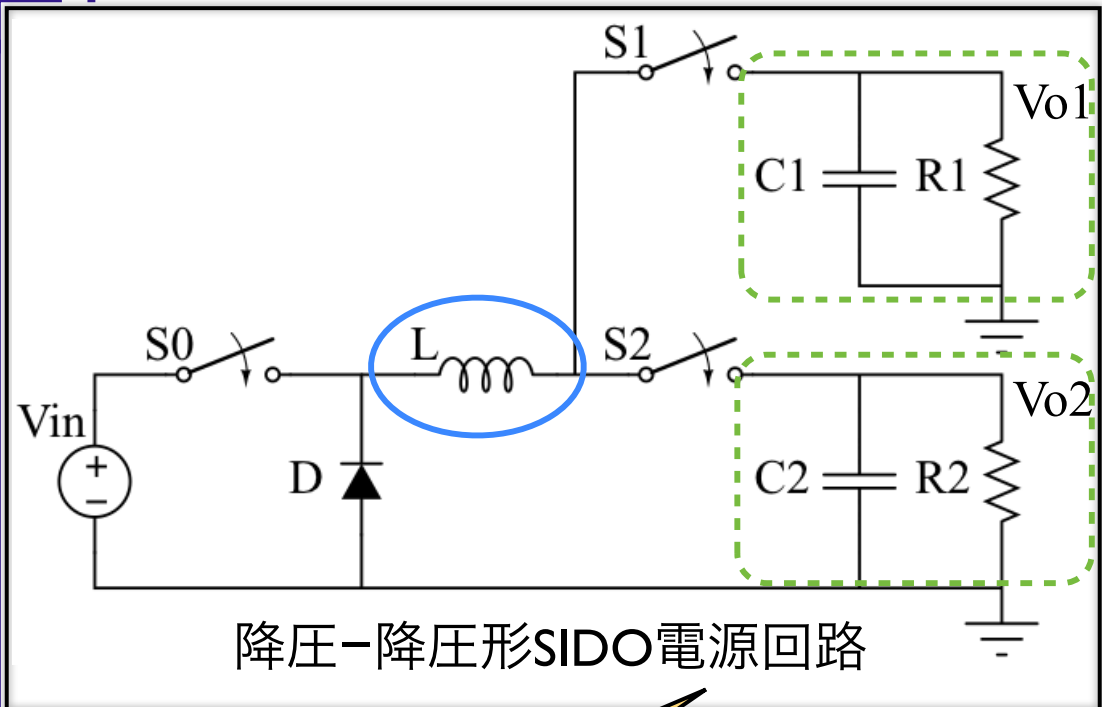


SIDOとは・・・

Single Inductor Dual Outputの略
単一インダクタ2出力電源回路



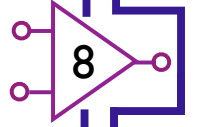
適応PWM制御方式



降圧-降圧形SIDO電源回路

DC-DCコンバータ
直流入力直流出力

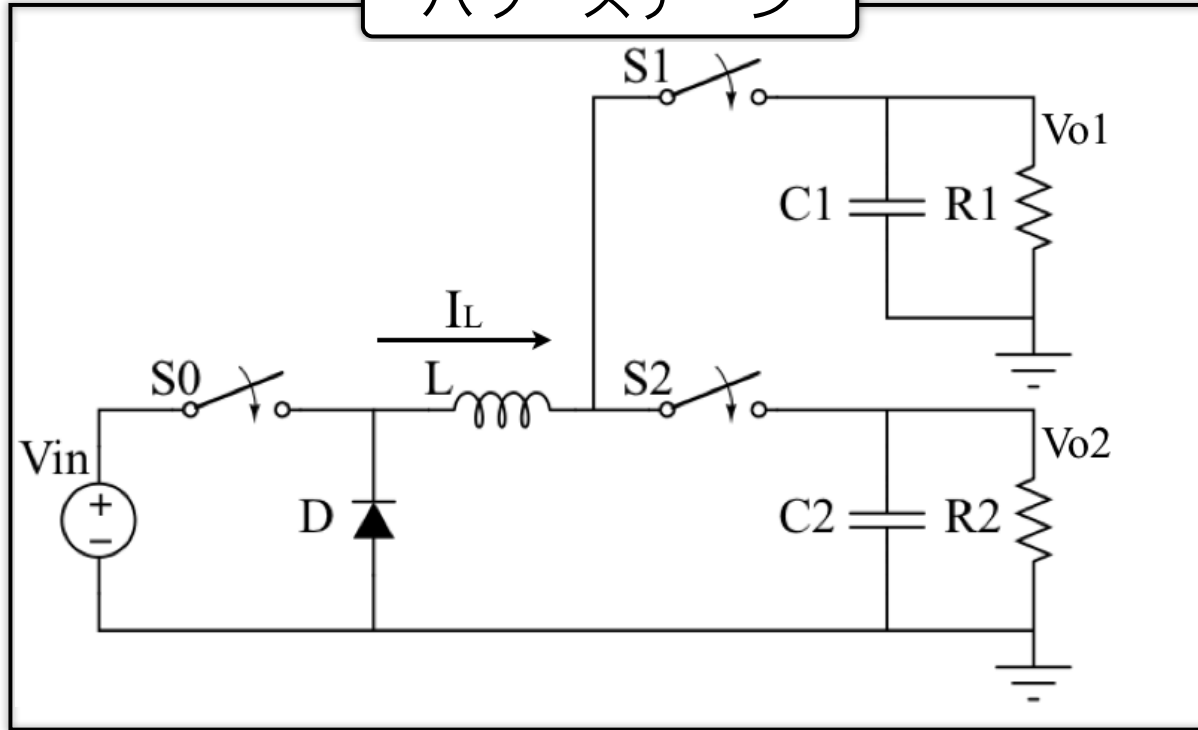
OUTLINE



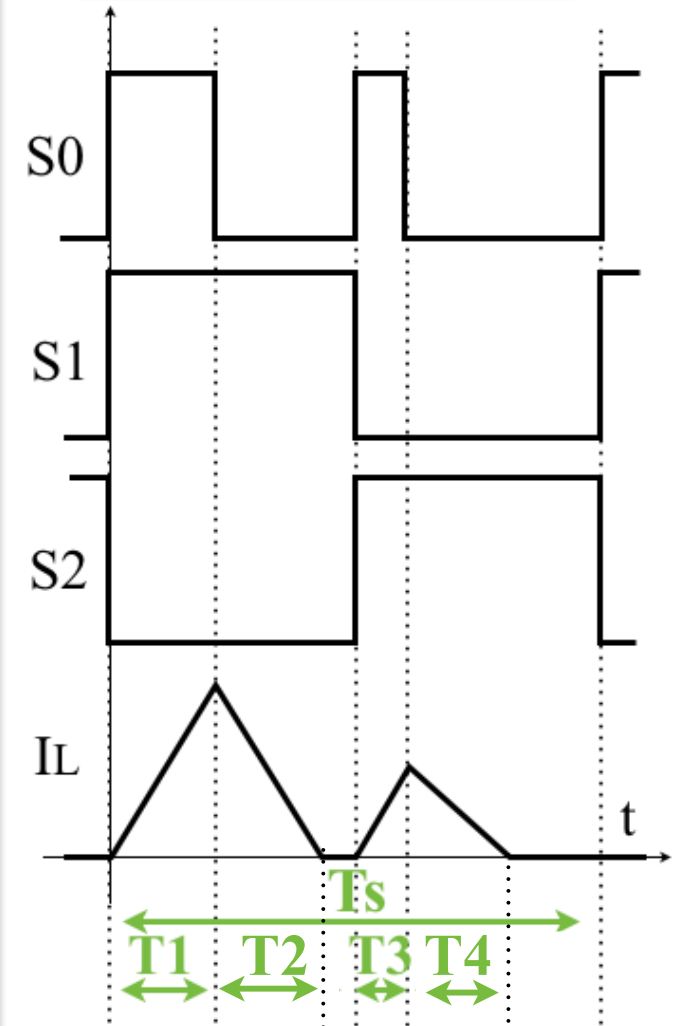
- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM制御方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

基本的な降圧-降圧SIDO電源回路

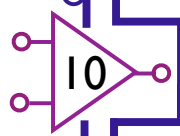
パワーステージ



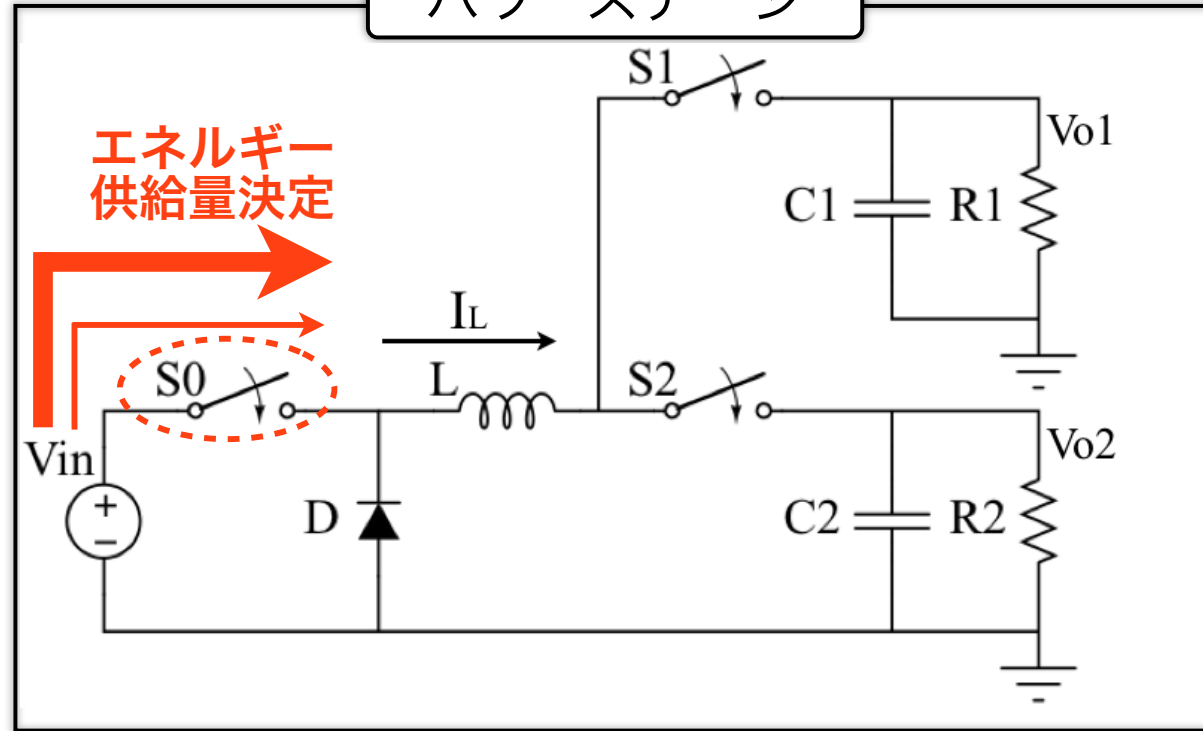
タイミングチャート



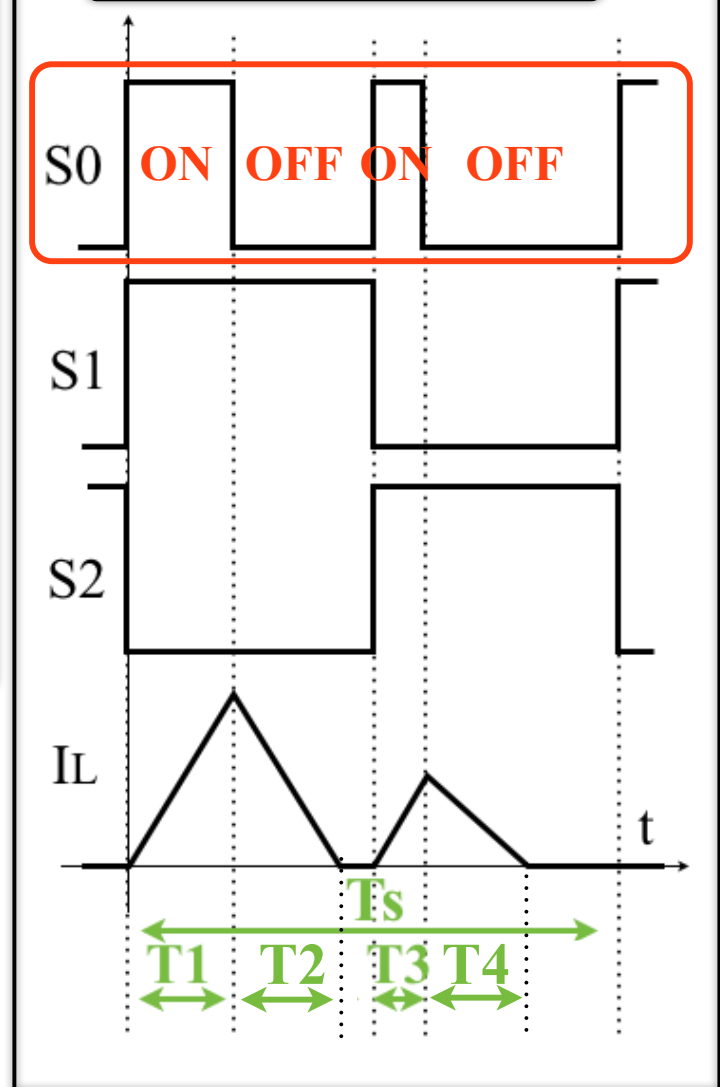
基本的な降圧-降圧SIDO電源回路



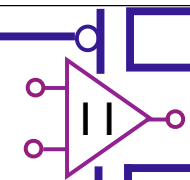
パワーステージ



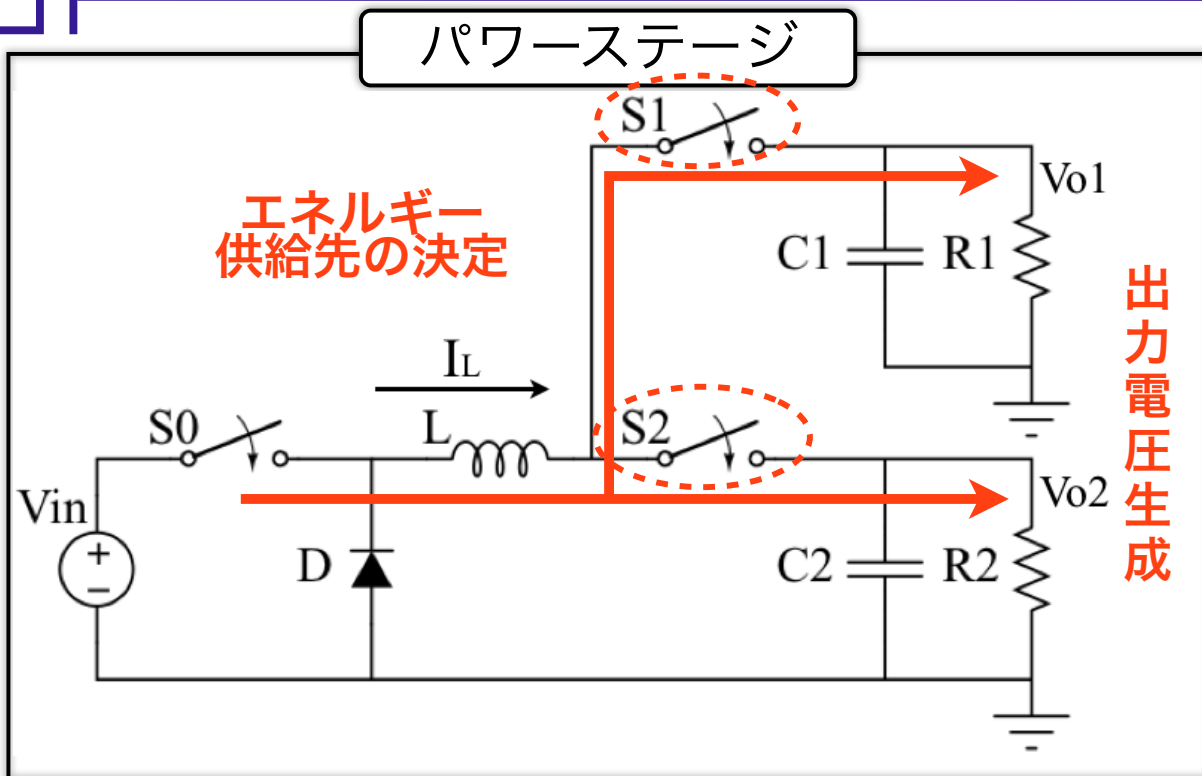
タイミングチャート



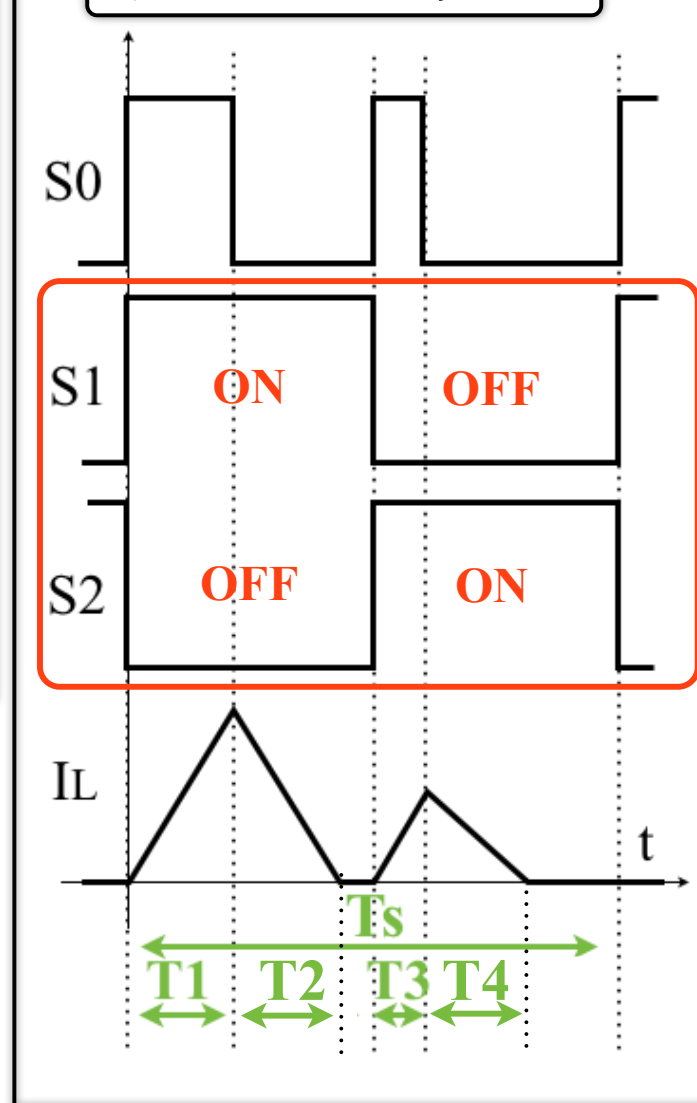
基本的な降圧-降圧SIDO電源回路



パワーステージ

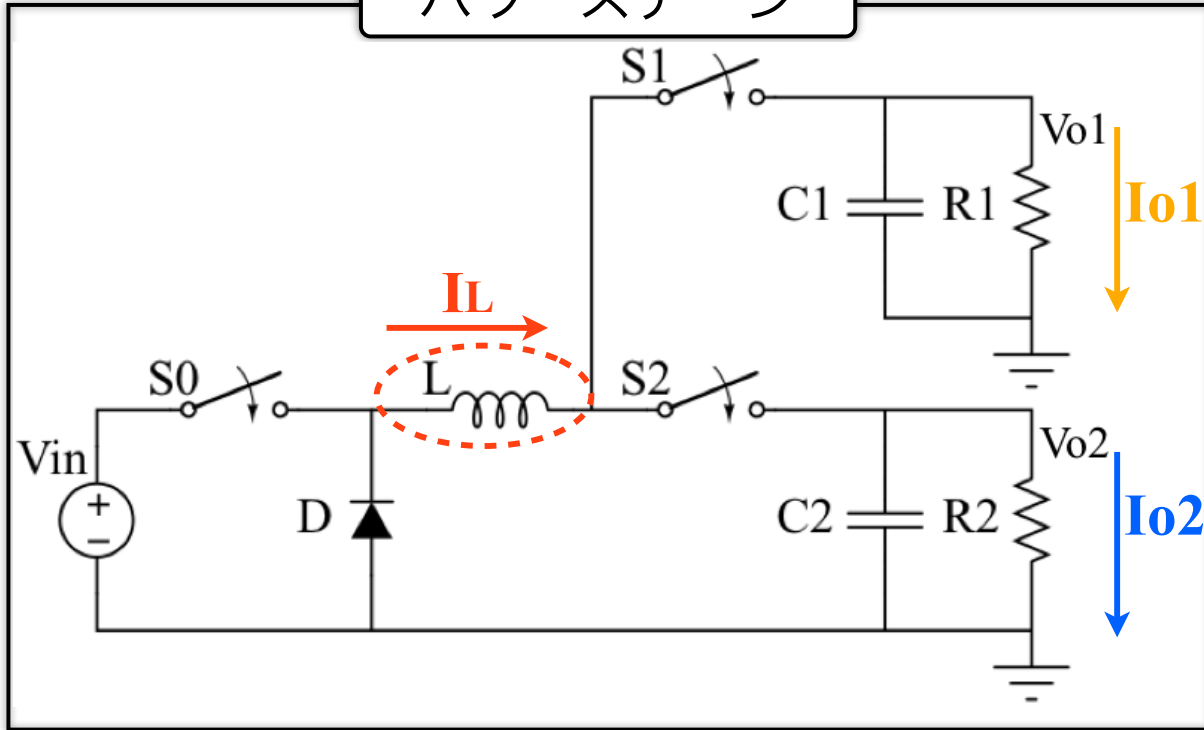


タイミングチャート

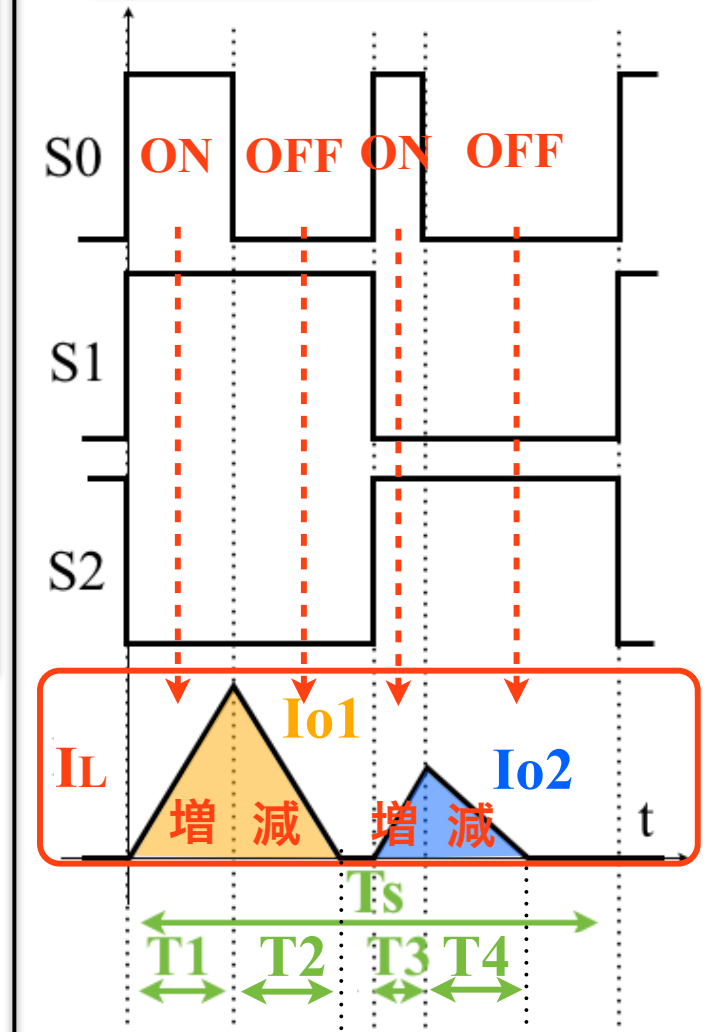


基本的な降圧-降圧SIDO電源回路

パワーステージ

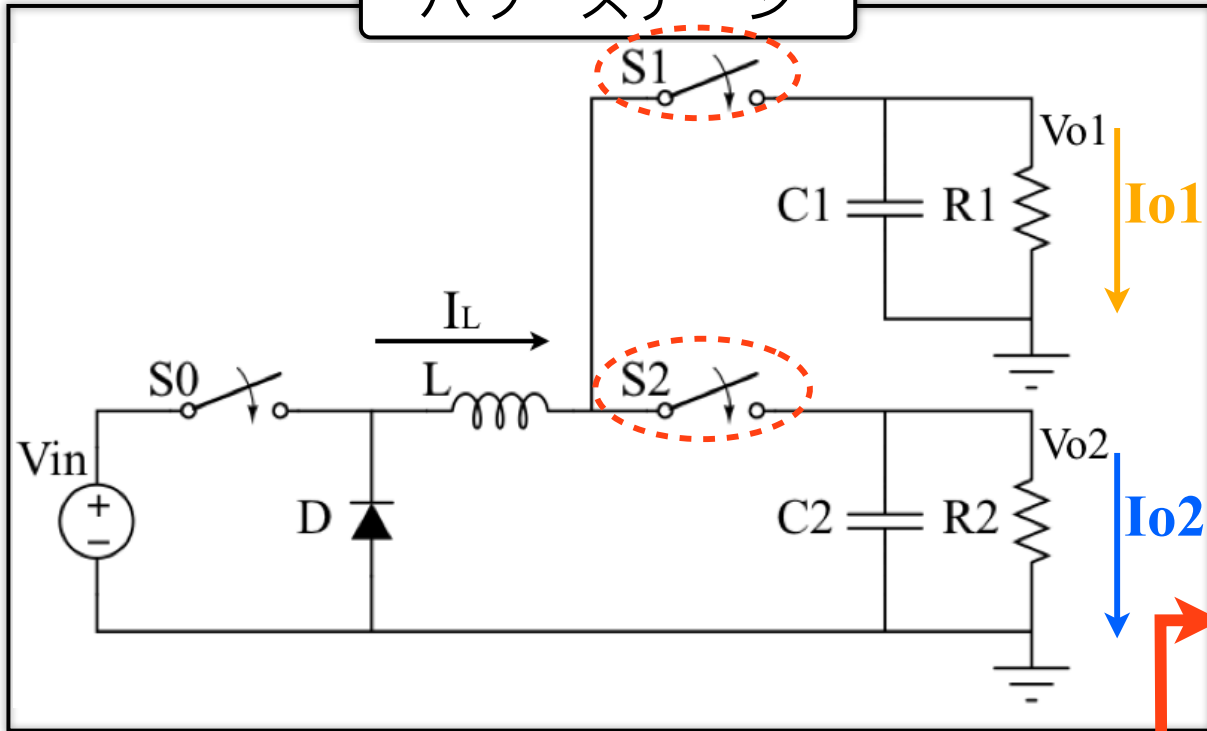


タイミングチャート

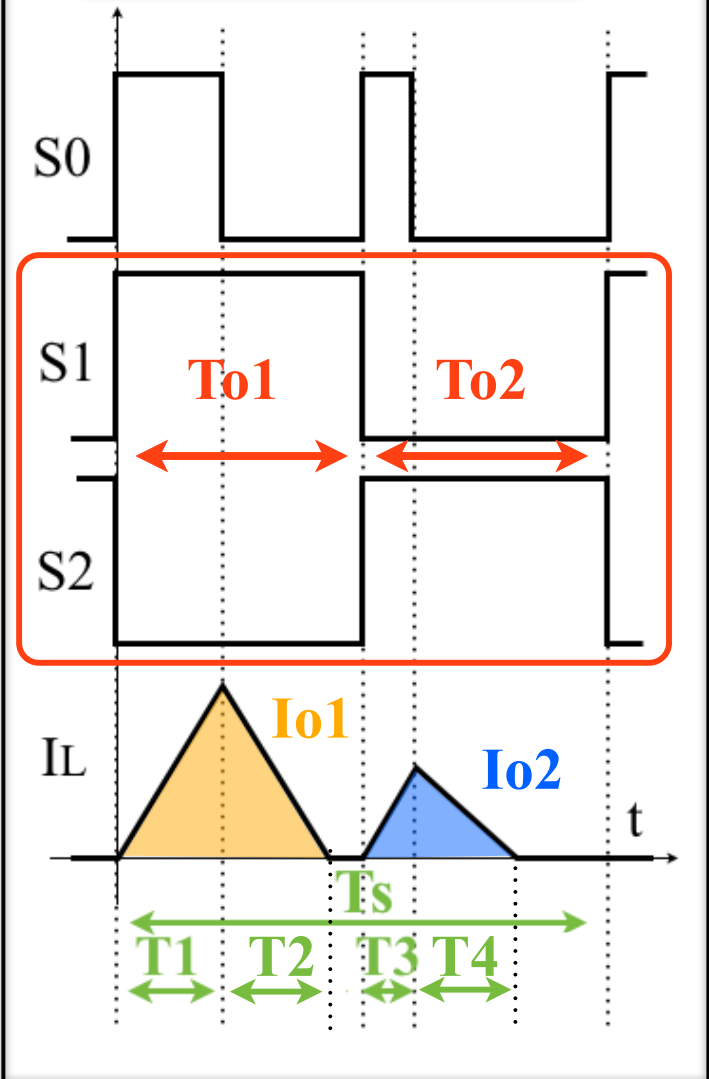


従来制御方式(制御時間比率固定)

パワーステージ

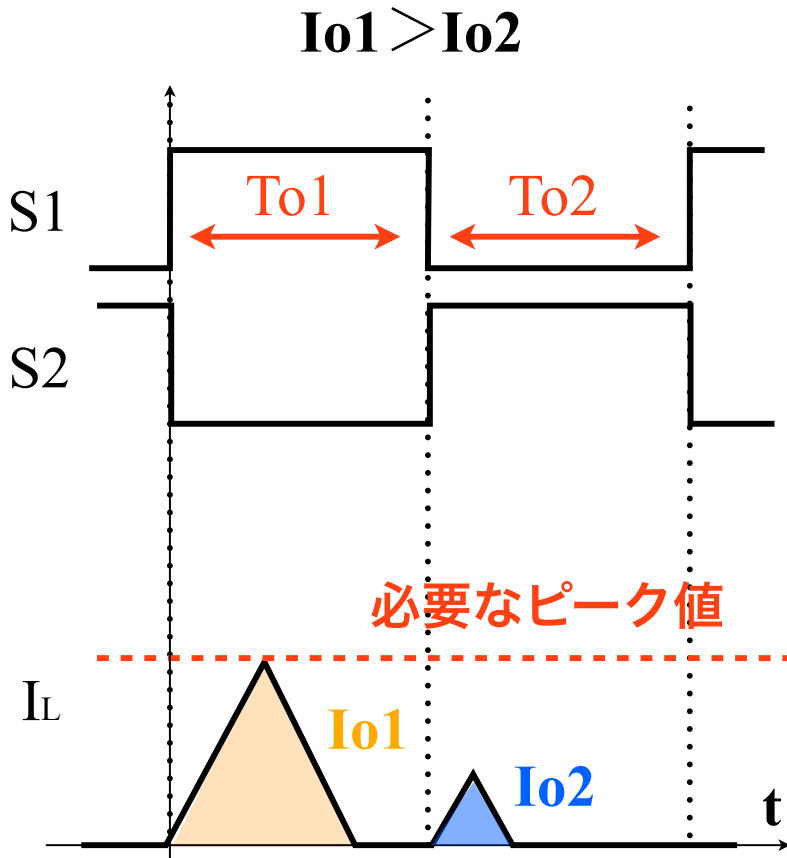


タイミングチャート



両出力の制御時間比率 $T_{o1} : T_{o2}$ が固定

従来制御方式(制御時間比率固定)の問題点



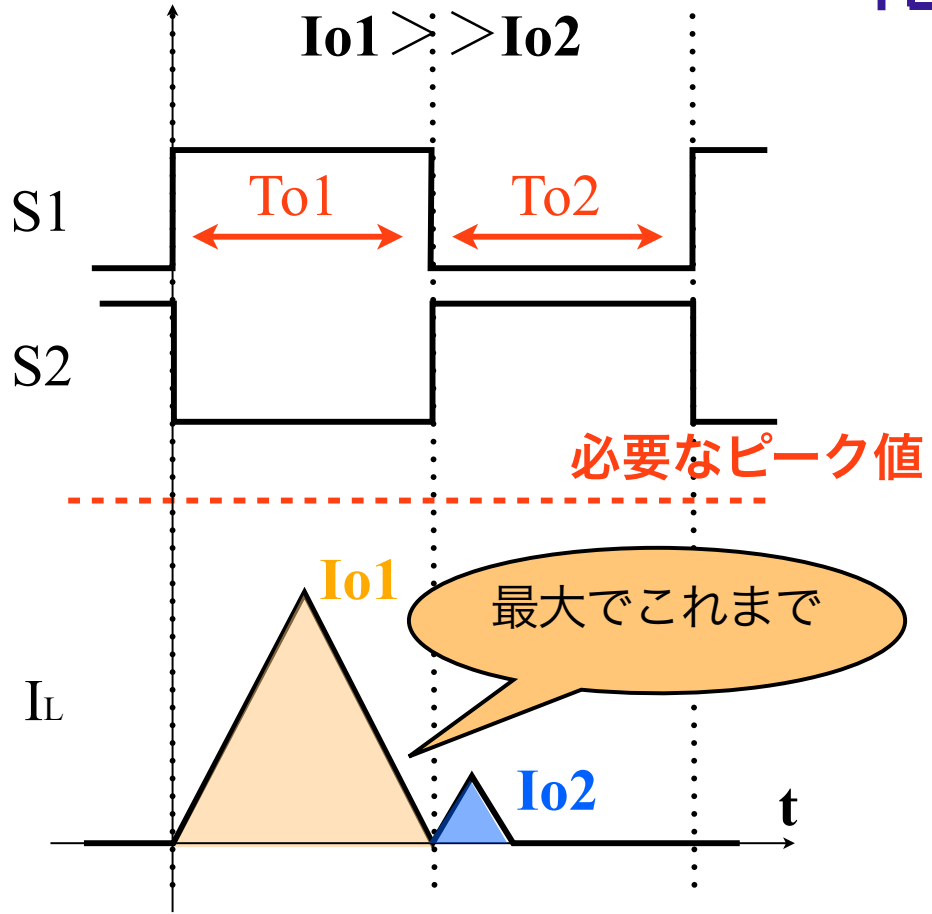
$$I_L = \frac{V_{in} - V_o}{L} t$$

増加の傾き

$$I_L = -\frac{V_o}{L} t$$

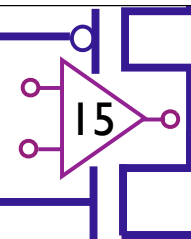
減少の傾き

→ 一定



大きな負荷電流比
対応できない

適応PWM制御方式

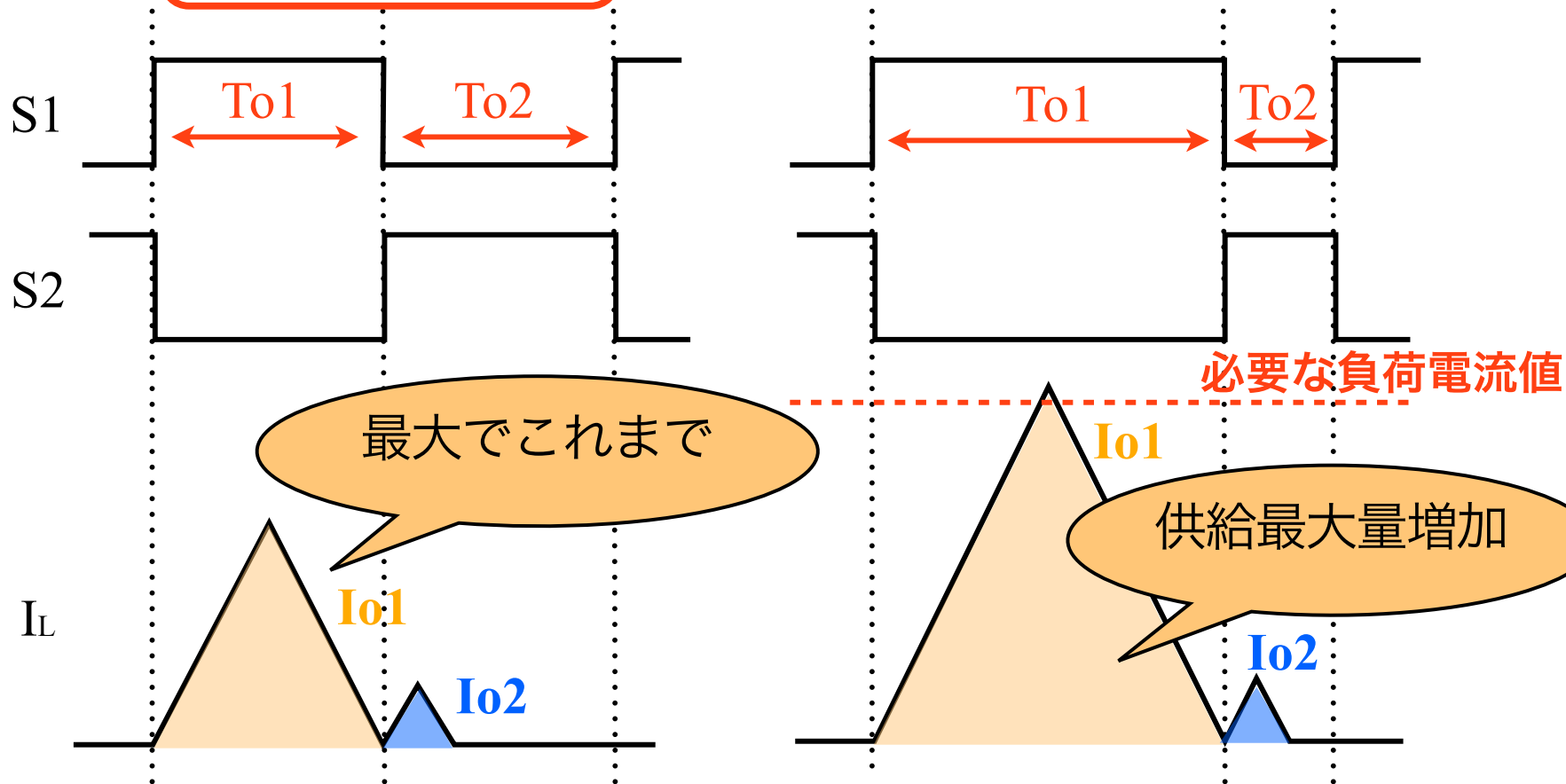


従来

制御時間比率固定

提案

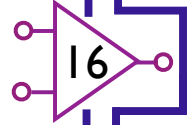
制御時間比率を変動



大きな負荷電流比
対応できない

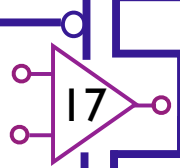
大きな負荷電流比への
対応が可能

OUTLINE

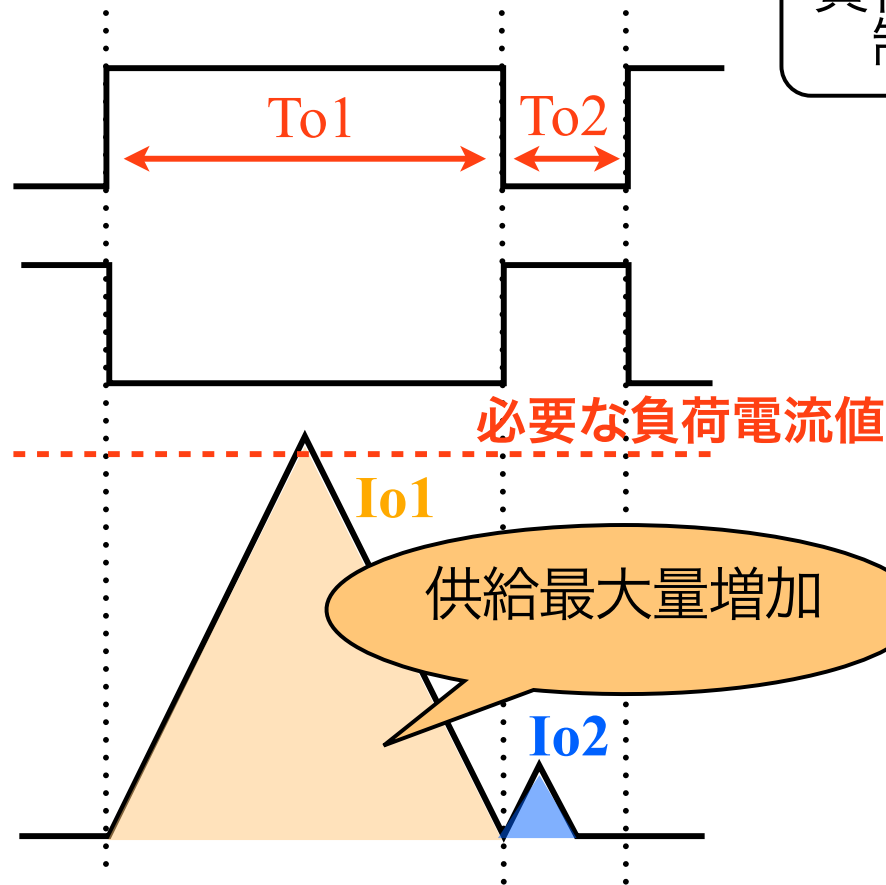


- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路
従来の制御方式の問題点
- **適応PWM制御方式**
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

制御時比率決定方法



制御時間比率を変動

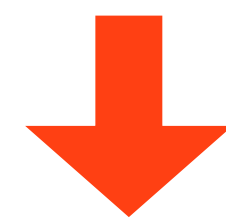


負荷電流の多い方に
制御時間が必要

負荷電流量不足な
状態では
目標出力値との
誤差が大きくなる



制御比率決定方法
出力の誤差電圧比と制御時間比率が
 $\Delta Vo1 : \Delta Vo2 = To1 : To2$
となるように負帰還制御を行う

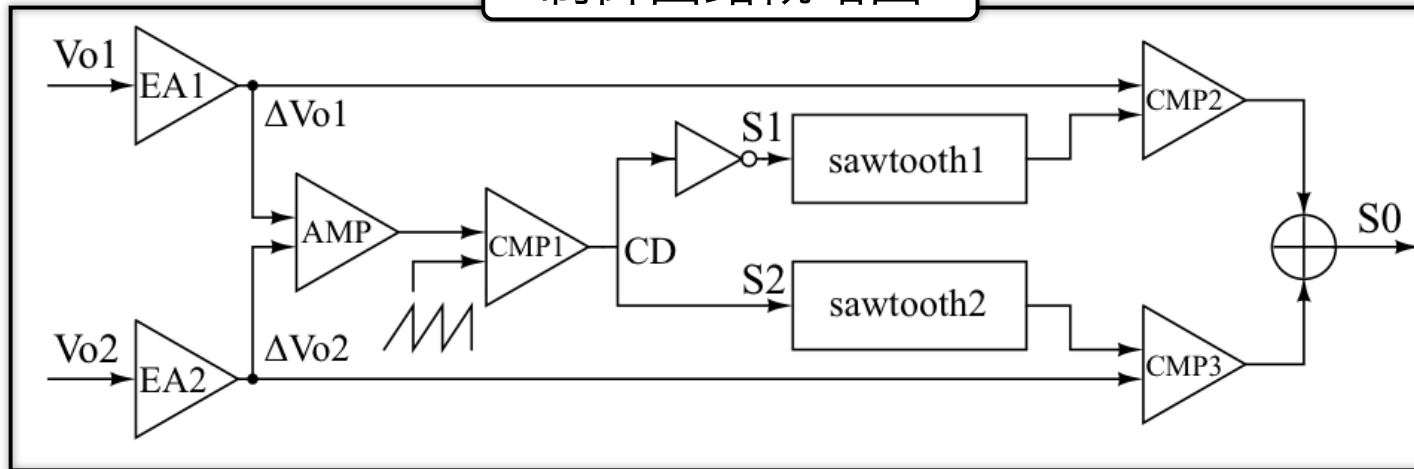


大きな負荷電流比への
対応が可能

適応PWM制御方式

適応PWM制御方式

制御回路概略図

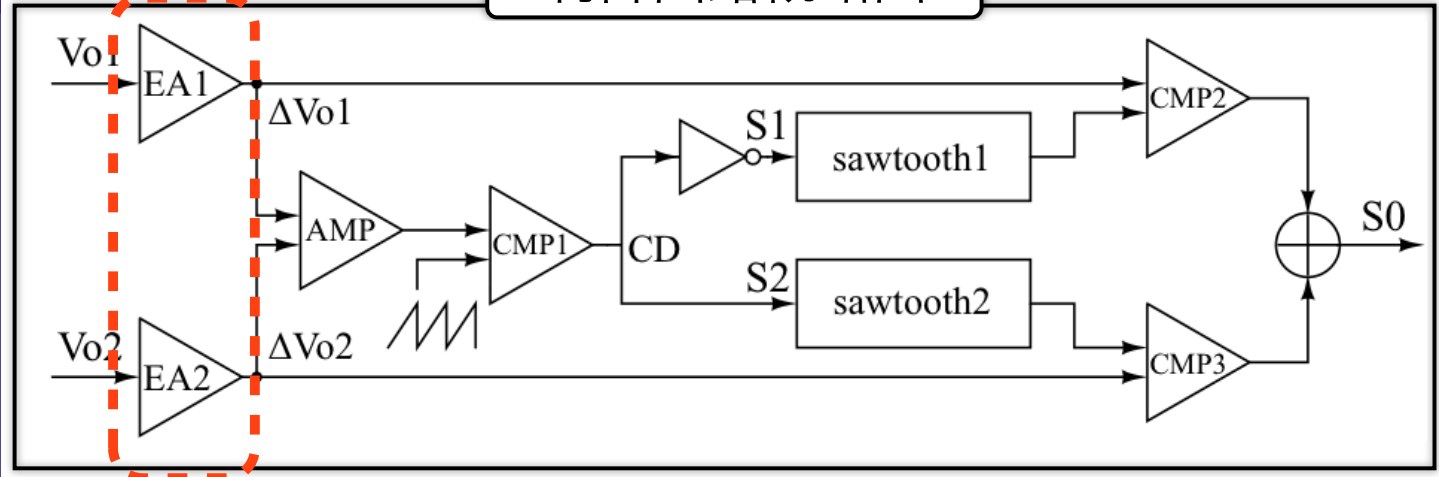


適応PWM制御の流れ

- ①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ を検出
- ② $\Delta V_{o1}:\Delta V_{o2}=T_{o1}:T_{o2}$ となるような制御信号(CD信号)を生成
- ③生成したCD信号に合わせたノコギリ波を生成
- ④生成したノコギリ波と誤差電圧 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成

適応PWM制御方式

制御回路概略図

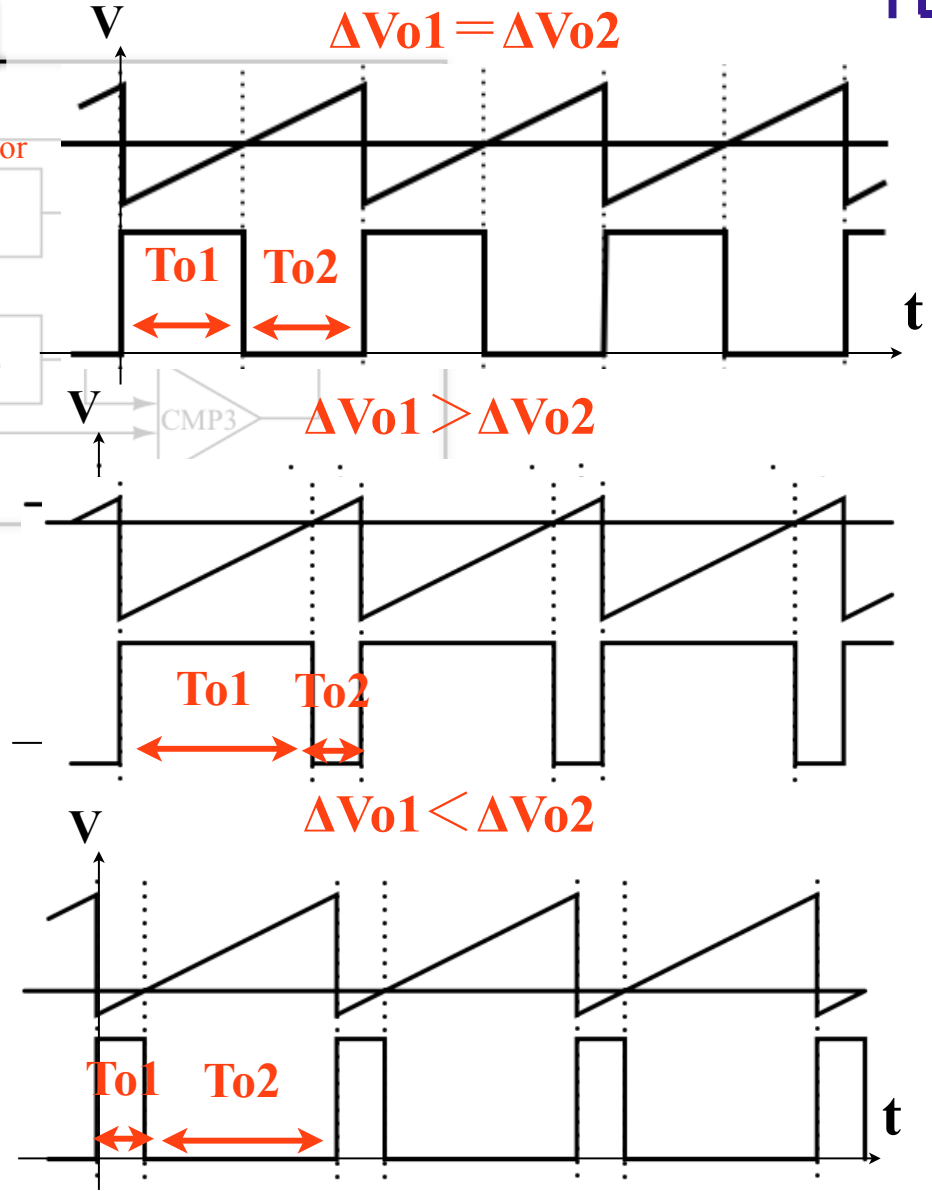
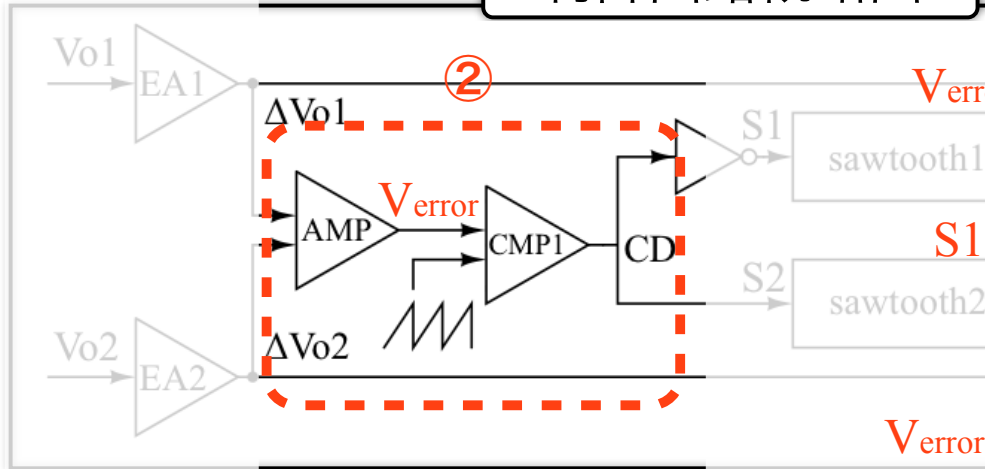


適応PWM制御の流れ

- ①それぞれの出力誤差 ΔV_{o1} , ΔV_{o2} を検出
- ② $\Delta V_{o1}:\Delta V_{o2}=T_{o1}:T_{o2}$ となるような制御信号(CD信号)を生成
- ③生成したCD信号に合わせたノコギリ波を生成
- ④生成したノコギリ波と誤差電圧 ΔV_{o1} , ΔV_{o2} からPWM信号を生成

適応PWM制御方式

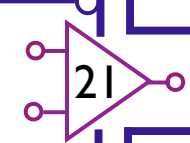
制御回路概略図



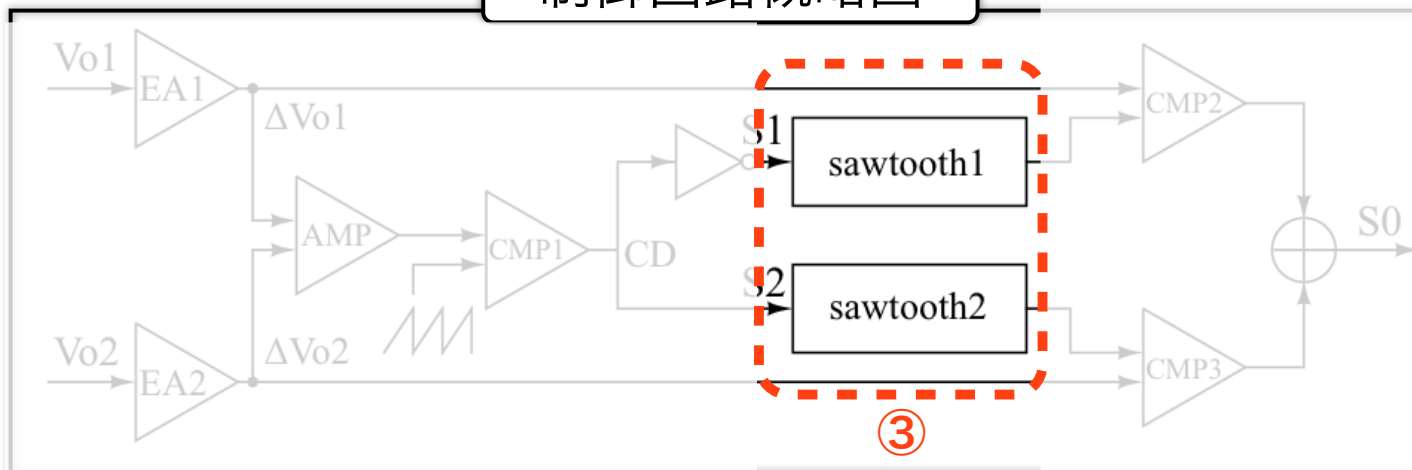
適応PWM制御の流れ

- ①それぞれの出力誤差 $\Delta Vo1, \Delta Vo2$ を検出
- ② $\Delta Vo1 : \Delta Vo2 = To1 : To2$ となるような制御信号(CD信号)を生成
- ③生成したCD信号に合わせたノコギリ波を生成
- ④生成したノコギリ波と誤差電圧 $\Delta Vo1, \Delta Vo2$ からPWM信号を生成

適応PWM制御方式



制御回路概略図



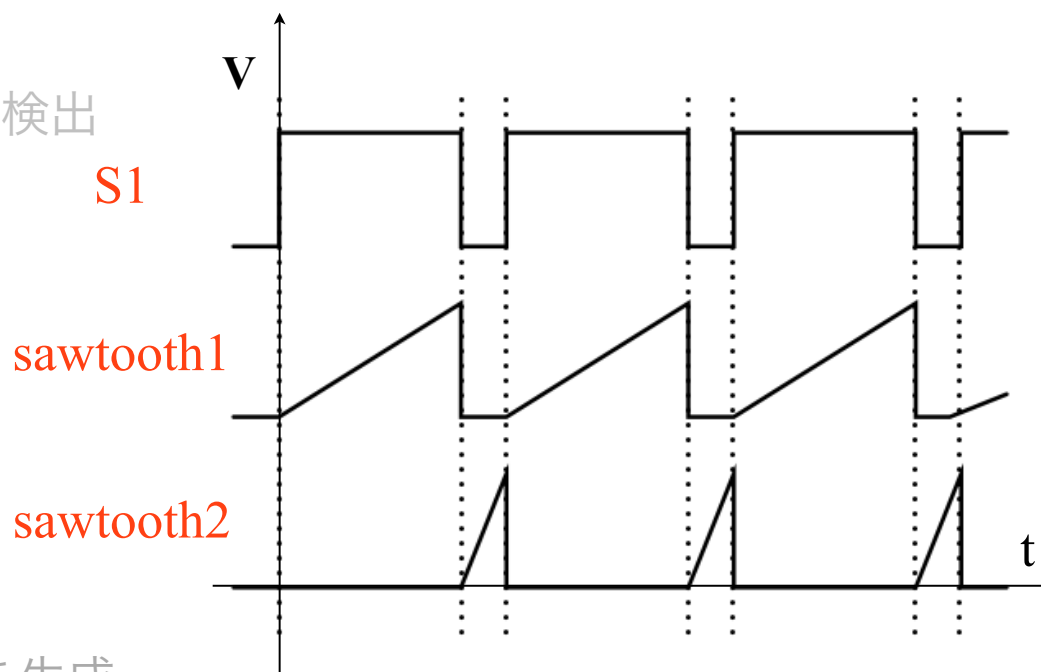
適応PWM制御の流れ

①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ を検出

② $\Delta V_{o1}:\Delta V_{o2}=T_{o1}:T_{o2}$ となるような
制御信号(CD信号)を生成

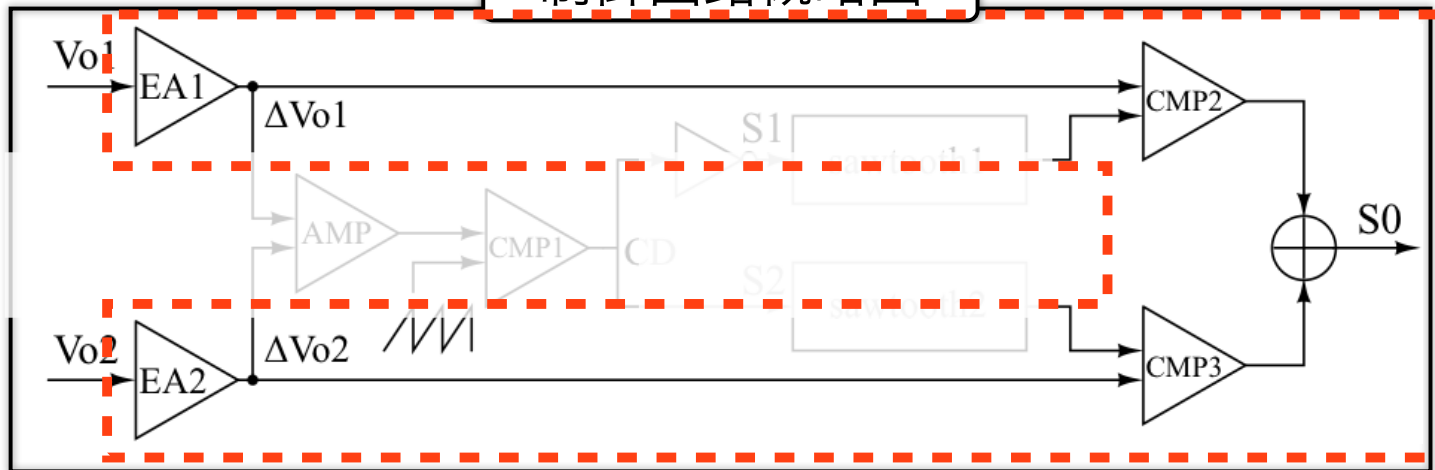
③生成したCD信号に合わせた
ノコギリ波を生成

④生成したノコギリ波と
誤差電圧 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成



適応PWM制御方式

制御回路概略図



④

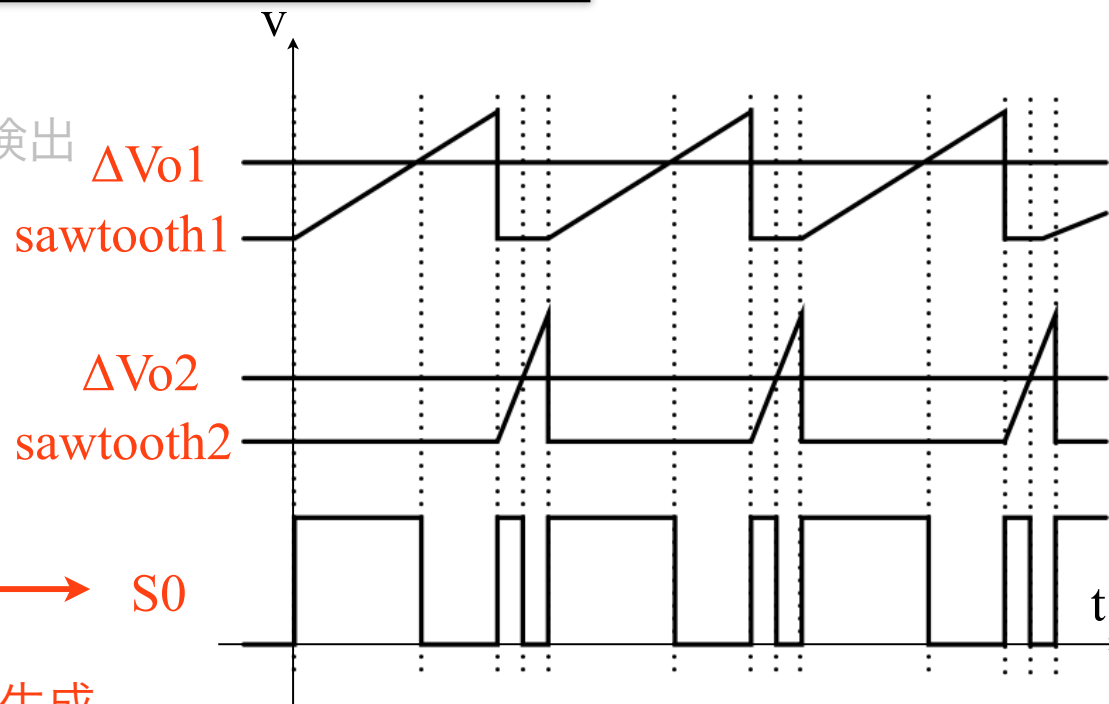
適応PWM制御の流れ

①それぞれの出力誤差 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ を検出

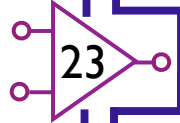
② $\Delta V_{o1} : \Delta V_{o2} = T_{o1} : T_{o2}$ となるような
制御信号(CD信号)を生成

③生成したCD信号に合わせた
ノコギリ波を生成

④生成したノコギリ波と
誤差電圧 $\Delta V_{o1}, \Delta V_{o2}$ からPWM信号を生成



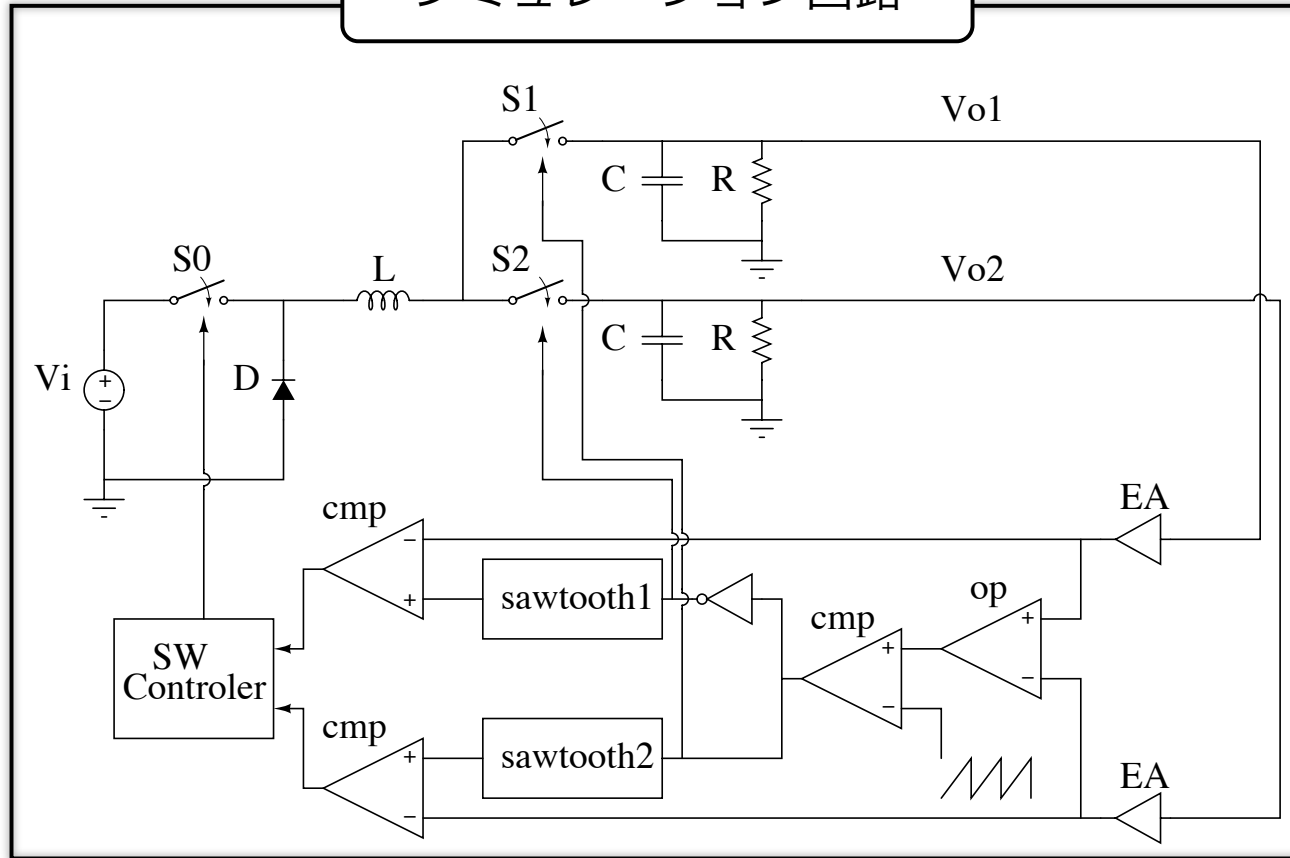
OUTLINE



- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路
従来 of 制御方式の問題点
- 適応PWM方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

シミュレーション(提案制御方式)

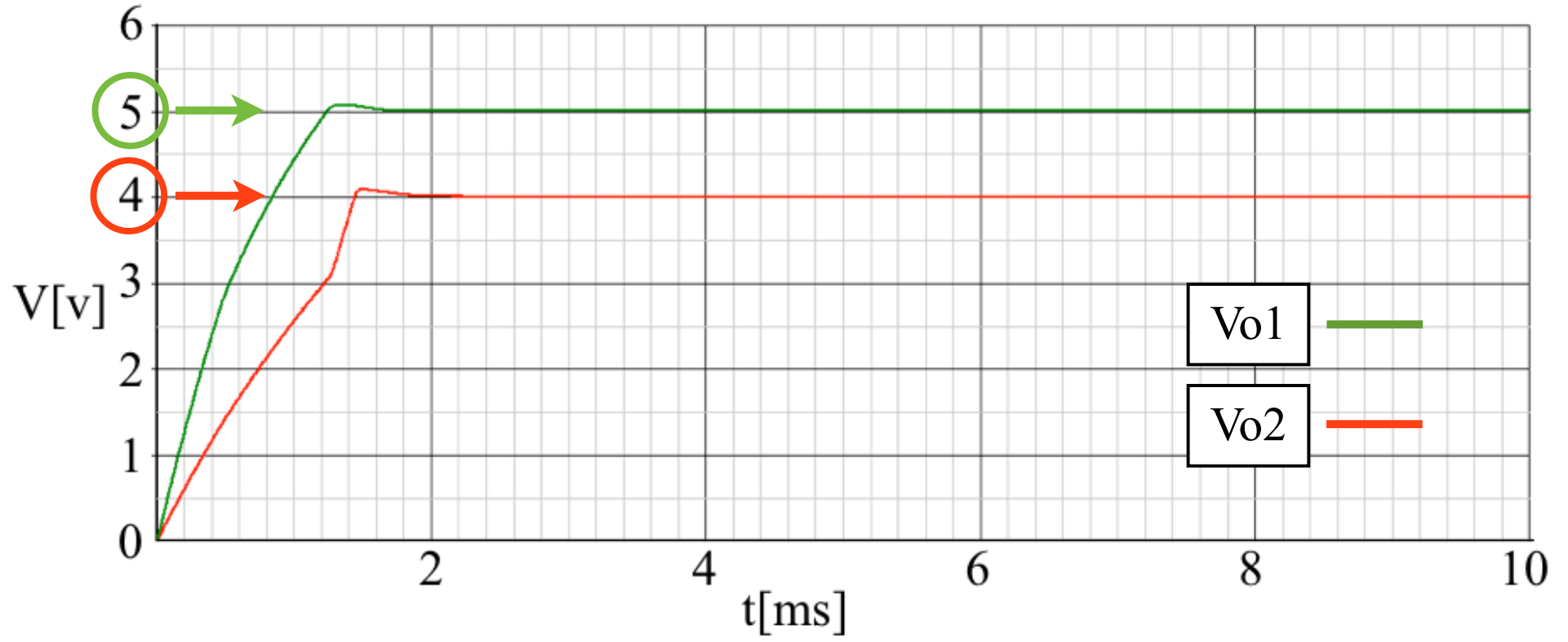
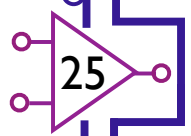
シミュレーション回路



シミュレーション条件

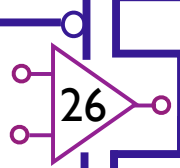
入力電圧 V_{in}	10V
出力電圧 V_{o1}	5V
出力電圧 V_{o2}	4V
負荷電流 I_{o1}	0.1A
負荷電流 I_{o2}	0.1A
インダクタ L	2 μ H
出力容量 C	400 μ F
動作周波数 f	200kHz

出力電圧



出力電圧波形

シミュレーション



2出力の負荷電流比を1:1から広げていき
どの範囲まで動作するか検証した

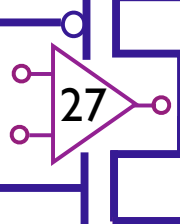


I_{o2} を固定し
 I_{o1} を増加させていく

シミュレーション条件

入力電圧 V_{in}	10V
出力電圧 V_{o1}	5V
出力電圧 V_{o2}	4V
負荷電流 I_{o1}	
負荷電流 I_{o2}	
インダクタ L	2 μ H
出力容量 C	400 μ F
動作周波数 f	200kHz

シミュレーション



2出力の負荷電流比を1:1から広げていき
どの範囲まで動作するか検証した

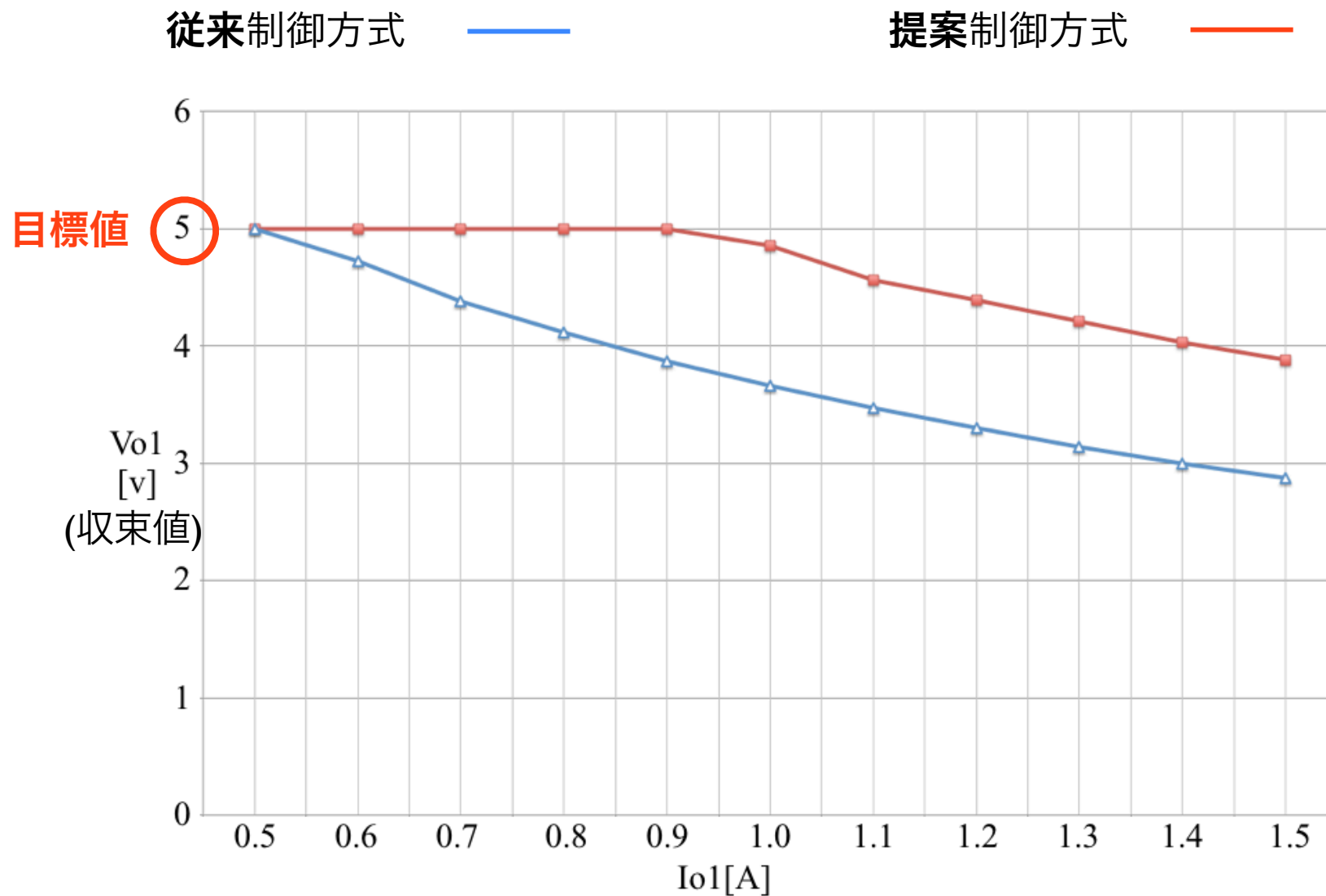


I_{o2}を固定し
I_{o1}を増加させていく

シミュレーション条件

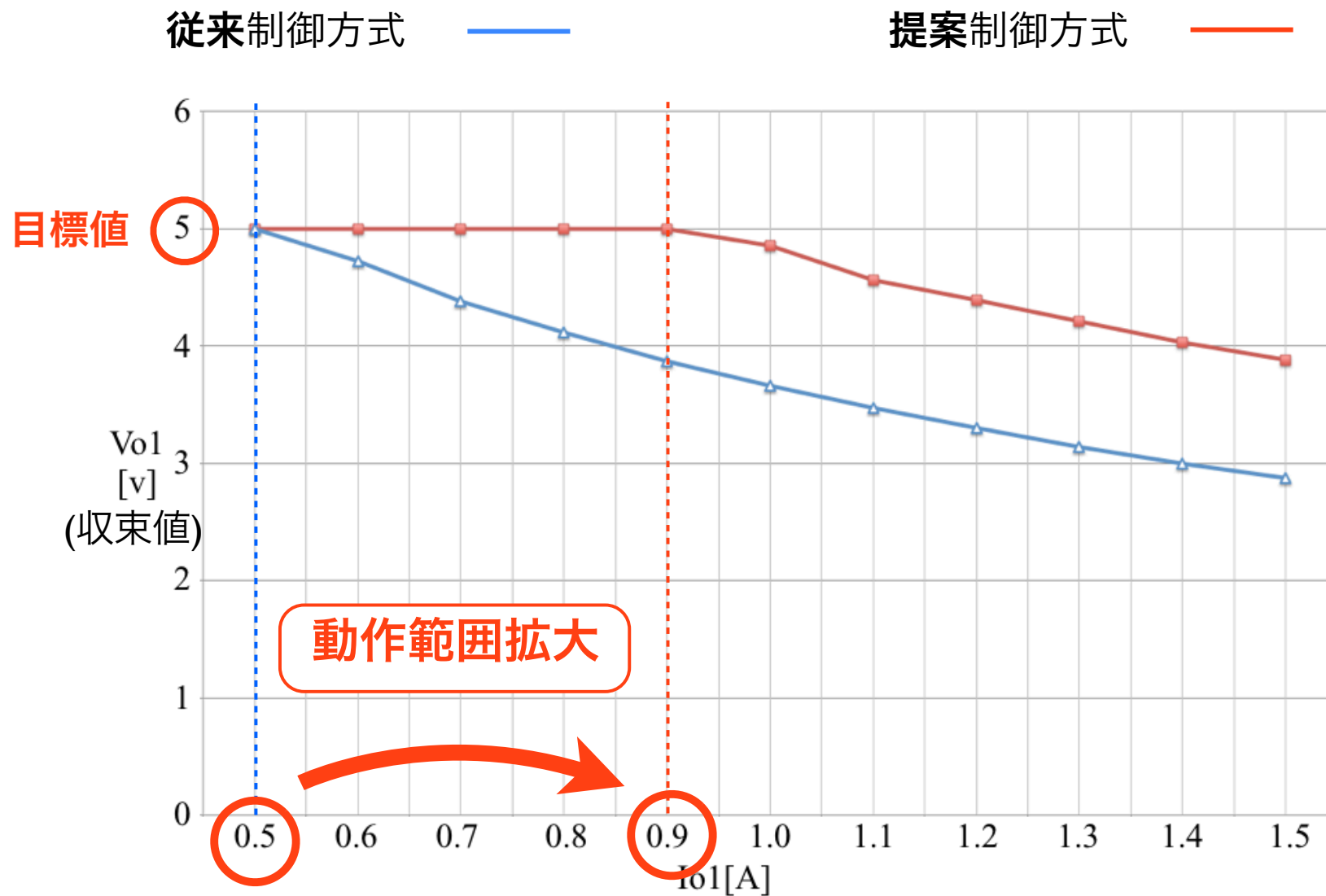
入力電圧V _{in}	10V
出力電圧V _{o1}	5V
出力電圧V _{o2}	4V
負荷電流I _{o1}	0.5A
負荷電流I _{o2}	0.5A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

シミュレーション結果($I_{o2}=0.5A$)



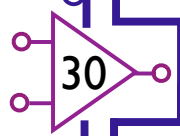
負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

シミュレーション結果($I_{o2}=0.5A$)



負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

シミュレーション



2出力の負荷電流比を1:1から広げていき
どの範囲まで動作するか検証した

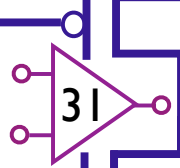


I_{o2}を固定し
I_{o1}を増加させていく

シミュレーション条件

入力電圧V _{in}	10V
出力電圧V _{o1}	5V
出力電圧V _{o2}	4V
負荷電流I _{o1}	0.1A
負荷電流I _{o2}	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

理論値計算



制御時間比率
To1:To2=1:1固定における
Io1の最大値を求める

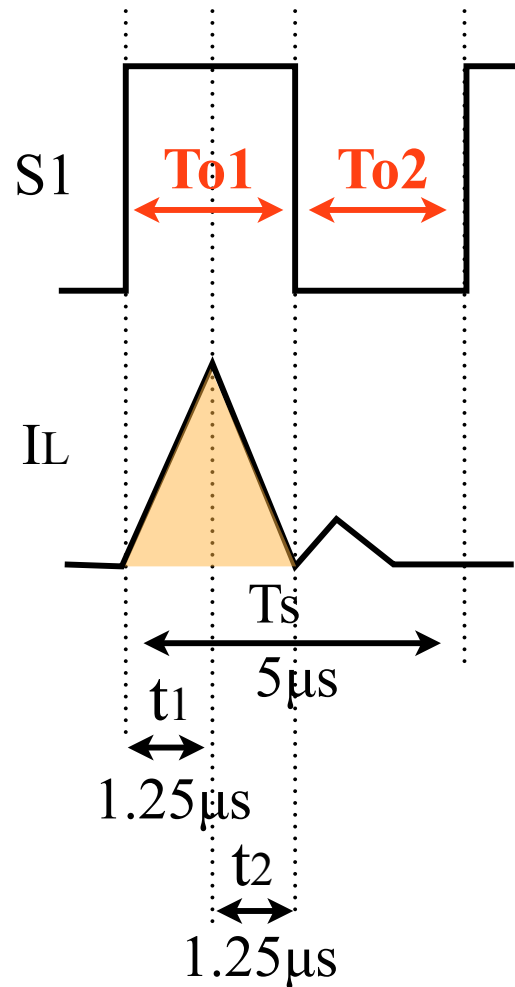
$$I_L = \int_0^{\frac{T_{o1}}{2}} \frac{V_{in} - V_o}{L} t dt \times 2$$

$$\cong 4.0[\mu A]$$

$$I_{o1} = \frac{I_L}{T_s}$$

$$= \frac{4.0\mu}{5\mu}$$

$$= 0.8[A]$$

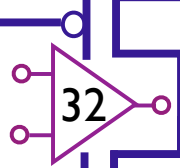


シミュレーション条件

入力電圧Vin	10V
出力電圧Vo1	5V
出力電圧Vo2	4V
負荷電流Io1	0.1A
負荷電流Io2	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

↓
周期Ts = 5μs

理論値計算



提案制御方式における
Io1の最大値を求める

まずIo2=0.1Aを供給するための
最低限必要とする時間を算出

$$I_{o2} = \frac{\int_0^{\frac{4}{10}T_{o2}} \frac{V_{in}-V_o}{L} t dt + \int_0^{\frac{6}{10}T_{o2}} \frac{V_o}{L} t dt}{T_s} = 0.1A$$

$$T_{o2} \cong 0.9[\mu s]$$

シミュレーション条件

入力電圧Vin	10V
出力電圧Vo1	5V
出力電圧Vo2	4V
負荷電流Io1	0.1A
負荷電流Io2	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz



周期Ts = 5μs

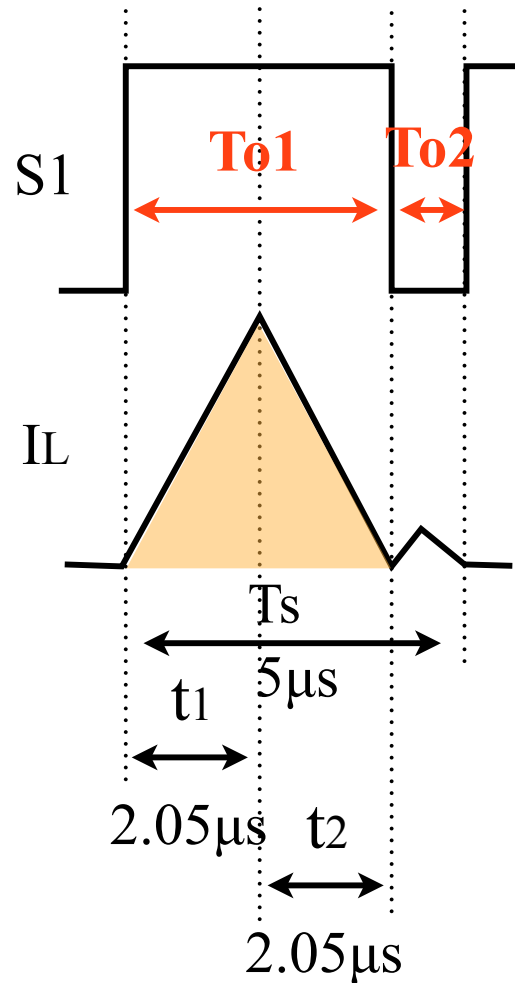
理論値計算

提案制御方式における
Io1の最大値を求める

$$T_{o1} = T_s - T_{o1} = 4.1[\mu s]$$

$$I_L = \int_0^{T_{o1}} \frac{V_{in} - V_o}{L} t dt \times 2$$
$$\cong 10[\mu A]$$

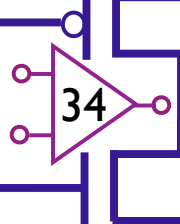
$$I_{o1} = \frac{I_L}{T_s}$$
$$= 2[A]$$



シミュレーション条件	
入力電圧Vin	10V
出力電圧Vo1	5V
出力電圧Vo2	4V
負荷電流Io1	0.1A
負荷電流Io2	0.1A
インダクタL	2μH
出力容量C	400μF
動作周波数f	200kHz

↓
周期 $T_s = 5\mu s$

理論値計算



計算結果

従来制御方式
 $I_{o1} = 0.8[A]$ まで動作

提案制御方式
 $I_{o1} = 2.0[A]$ まで動作

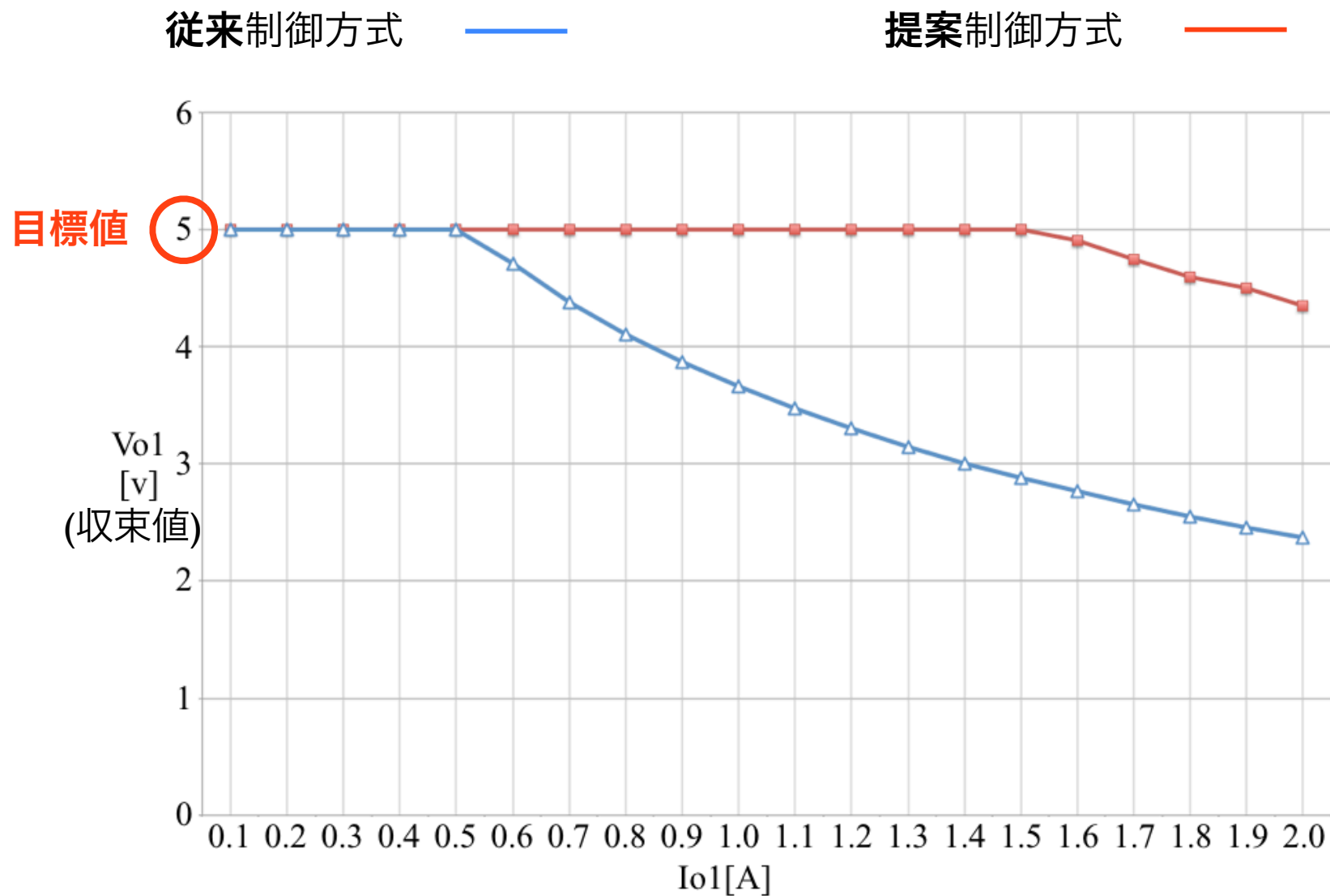
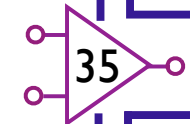
シミュレーション条件

入力電圧 V_{in}	10V
出力電圧 V_{o1}	5V
出力電圧 V_{o2}	4V
負荷電流 I_{o1}	0.1A
負荷電流 I_{o2}	0.1A
インダクタ L	2 μ H
出力容量 C	400 μ F
動作周波数 f	200kHz



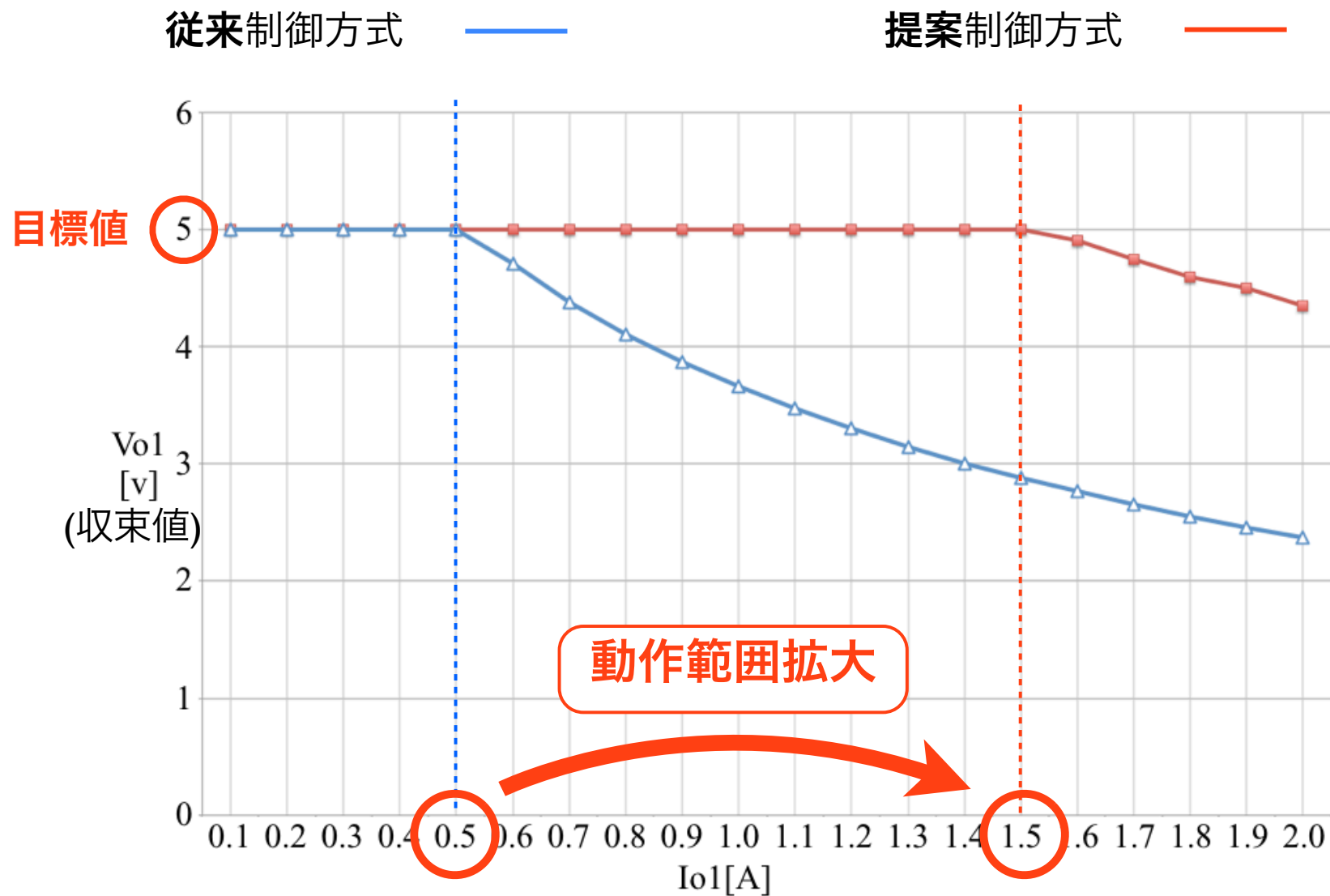
周期 $T_s = 5\mu s$

シミュレーション結果($I_{o2}=0.1A$)



負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

シミュレーション結果($I_{o2}=0.1A$)



負荷電流比増加における動作範囲の検証結果

シミュレーション結果

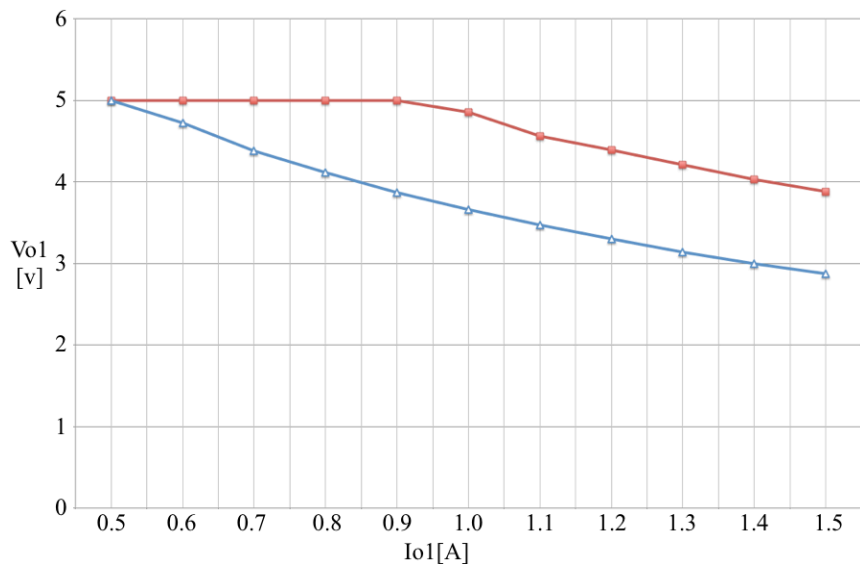
従来制御方式



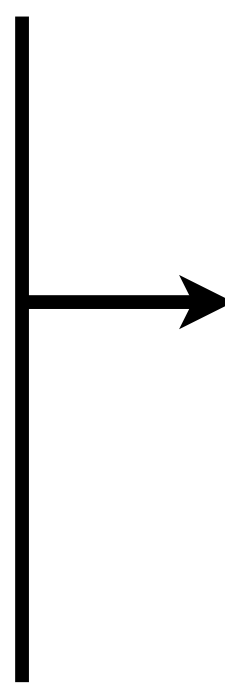
提案制御方式



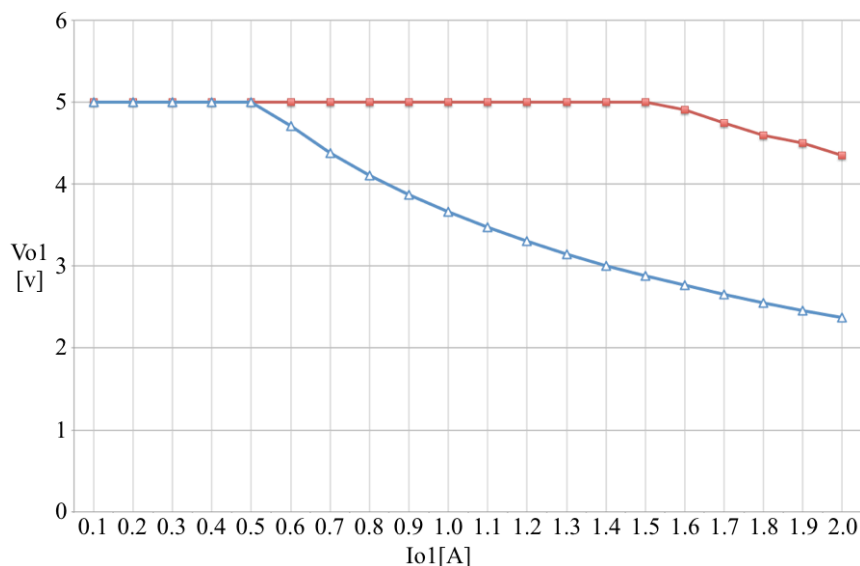
提案制御方式



Io2=0.5Aの場合 Io1=0.9Aまで動作

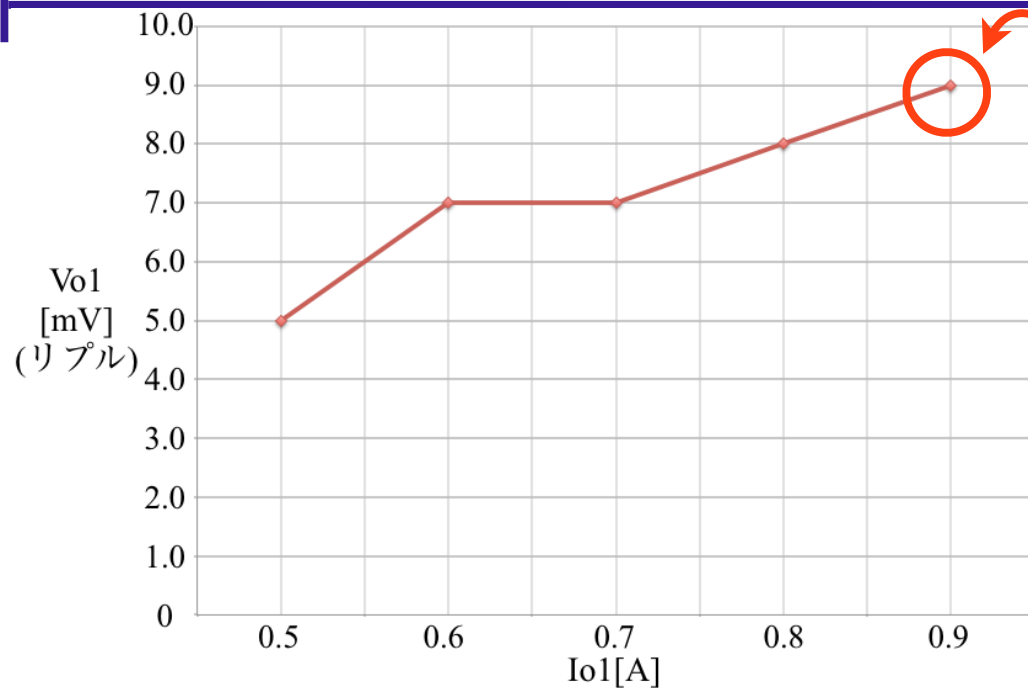
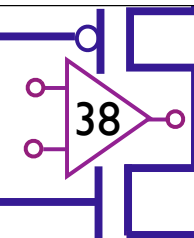


Io2の値が大きくなると
Io1の範囲はせばまる

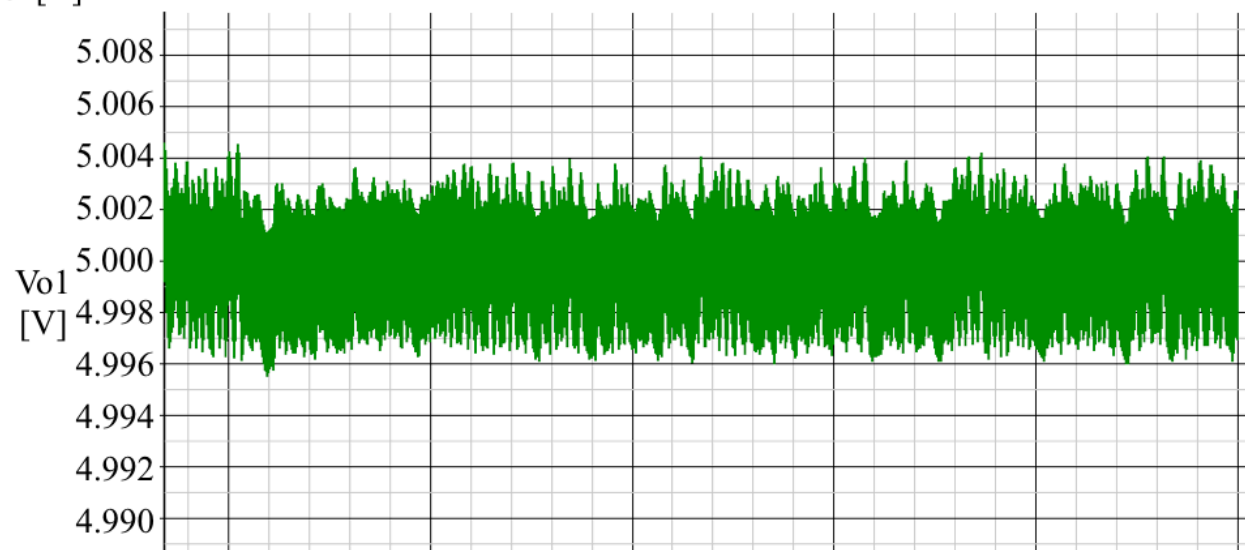


Io2=0.1Aの場合 Io1=1.5Aまで動作

出力リップル特性($I_{o2}=0.5A$)

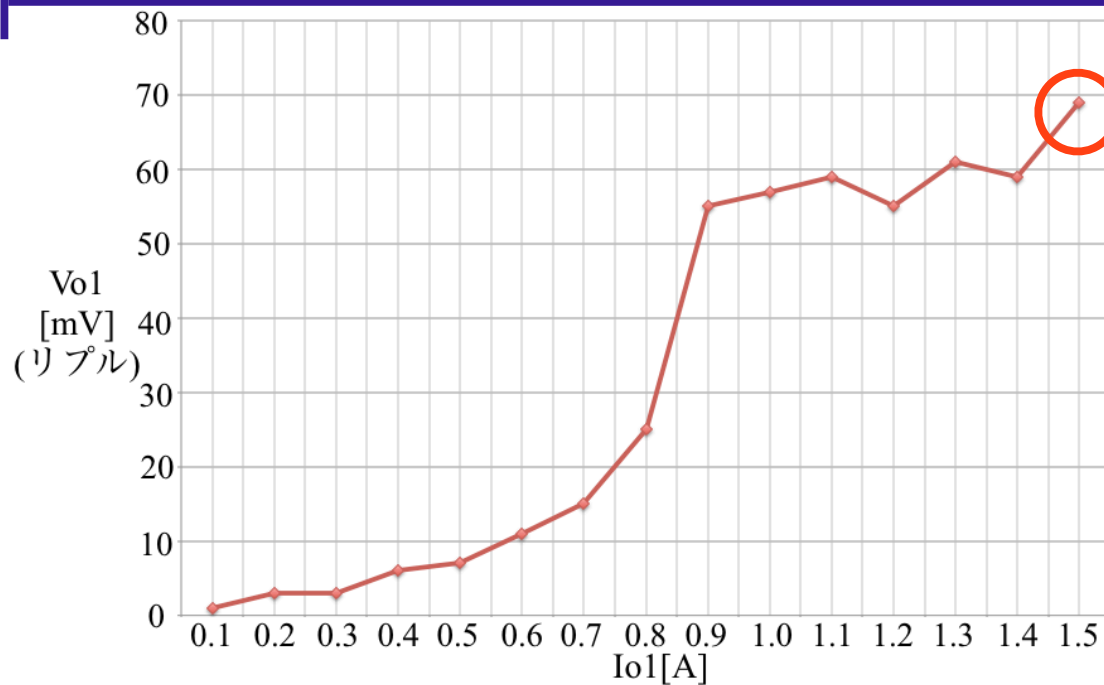
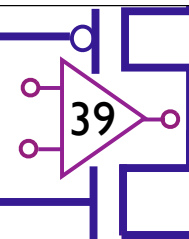


出力5Vに対し
1%以下



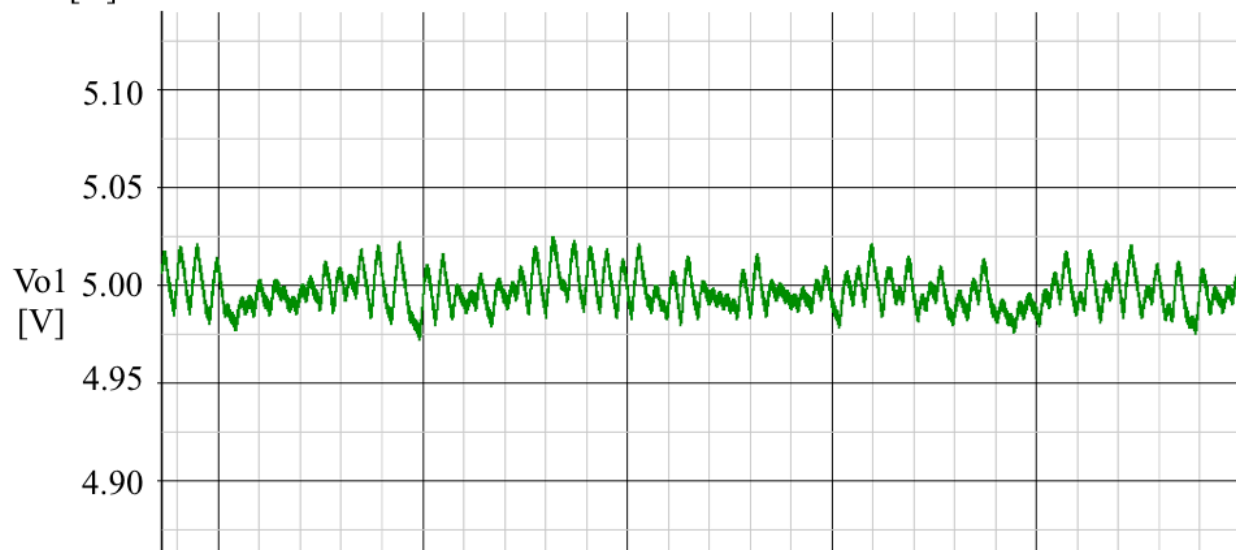
$I_{o1}=0.9[A]$ の時の V_{o1} 波形

出力リップル特性($I_{o2}=0.1A$)



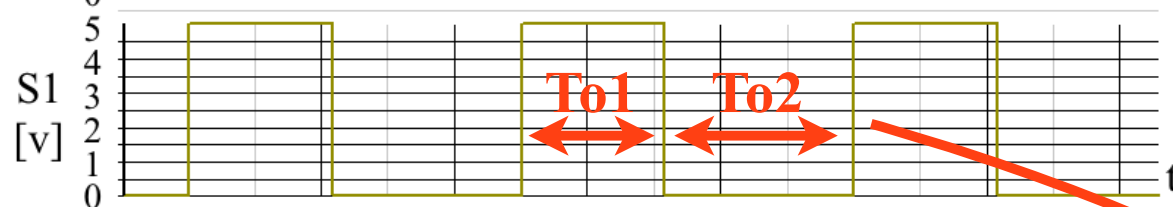
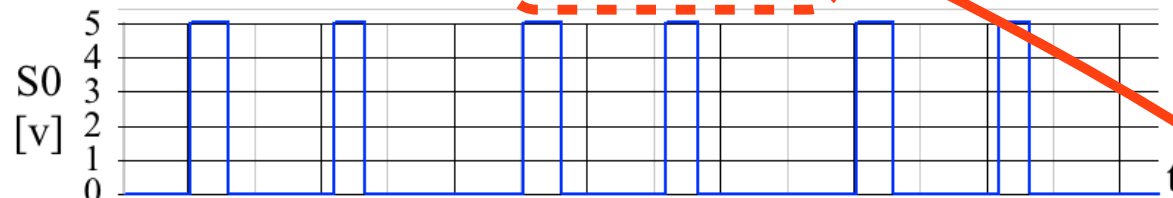
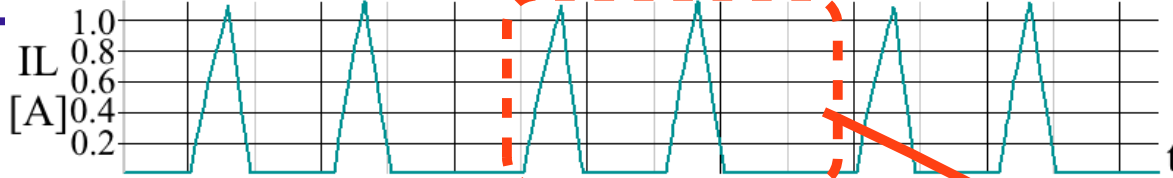
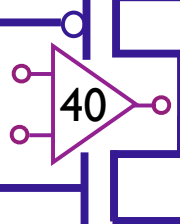
出力5Vに対し
1.5%程度

制御時間比率の変動による
波形の不安定化

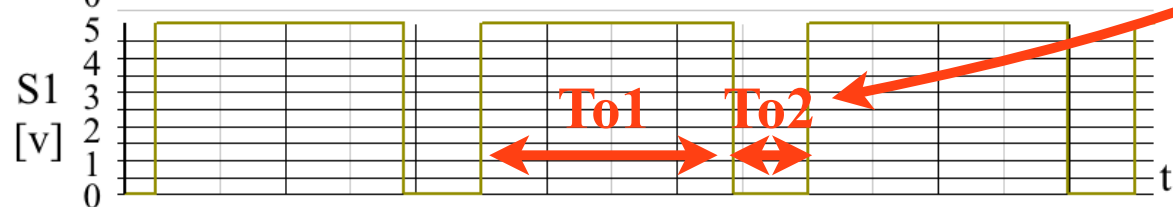
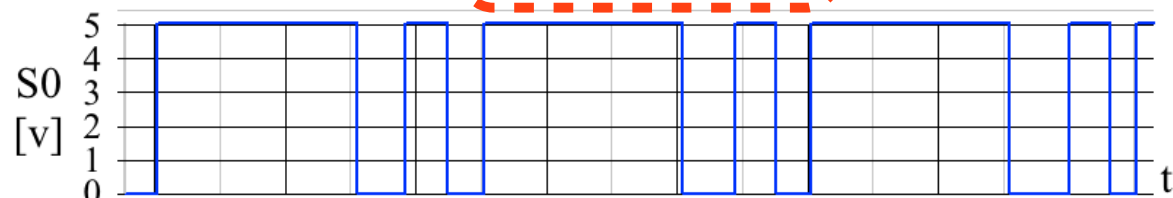
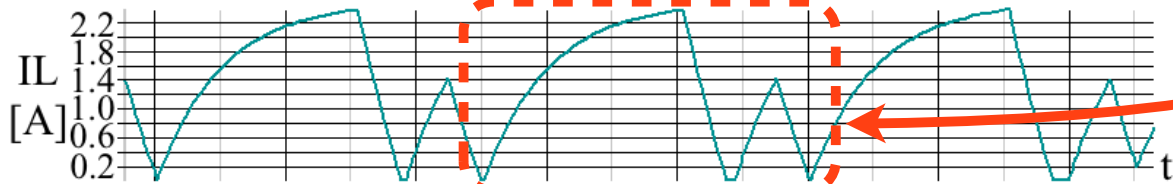


$I_{o1}=1.5[A]$ の時の V_{o1} 波形

制御時間比率 変化の様子 各スイッチ信号とインダクタ電流波形



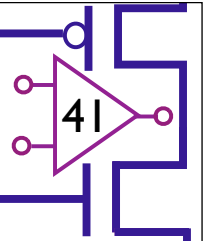
$I_{o1}=0.1A, I_{o2}=0.1A$



$I_{o1}=1.5A, I_{o2}=0.1A$

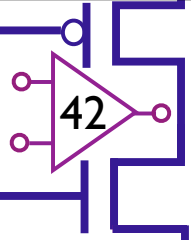
制御時間比率が変動し
供給量を増加させている

OUTLINE



- 研究背景
- 基本的な降圧-降圧SIDO電源回路
従来制御方式の問題点
- 適応PWM方式
- シミュレーション
- まとめと今後の課題

まとめと今後の課題



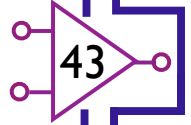
まとめ

- 降圧-降圧形SIDO電源回路において新しい制御方法適応PWM制御方式を提案
- 負荷電流比を増加させていったときの動作範囲を3倍に拡大することを実現。
従来制御方式 $I_{o1}:I_{o2}=0.5A:0.1A$ ⇒ 提案制御方式 $I_{o1}:I_{o2}=1.5A:0.1A$

今後の課題

- 更なる動作範囲の拡大
- 昇圧形、昇降圧形電源回路への応用
- 実装回路の検討

Q&A



- ①周波数を変えて改善を加えることはできないの？
- ②周波数低いとレギュレーション、レスポンスわるくなる？
- ③Verrorの変位のタイミングはいつ？
出力誤差をみてるの？