

パワーエレクトロニクス工学論

11. 追加技術

11-1 デジタル制御電源

11-2 カップルド・インダクタ多相電源

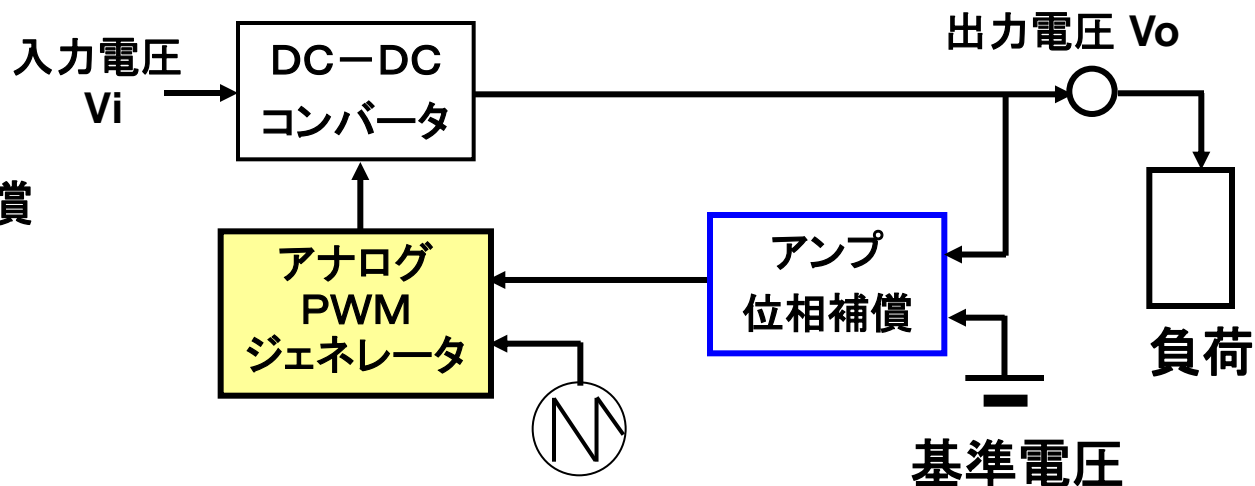
11.1 デジタル制御電源

* デジタル電源: コントロール部分もデジタル化

(1) アナログ制御とデジタル制御の構成比較

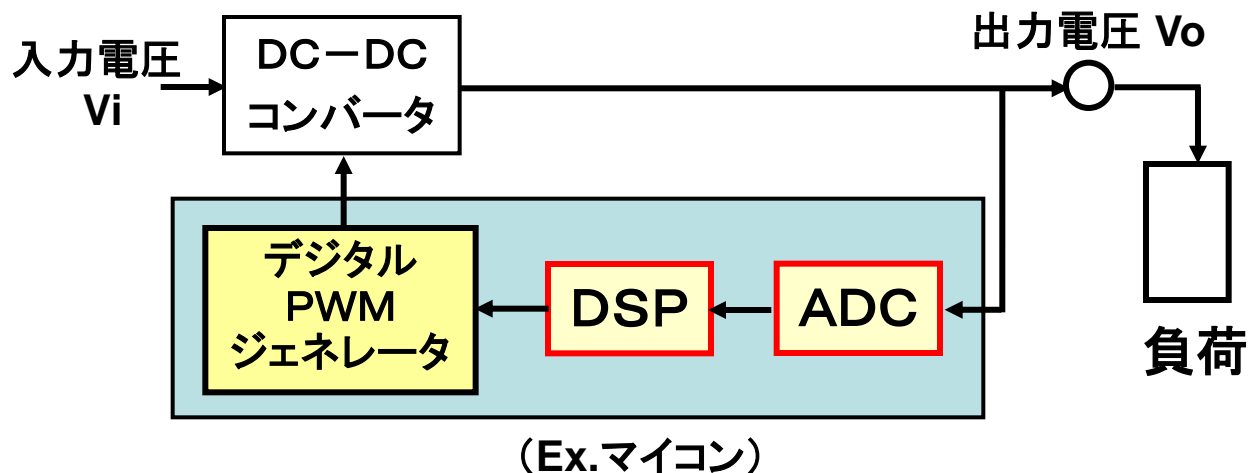
【アナログ制御方式】

- ・電圧電流帰還による
OPアンプによる位相補償
- ・アナログPWM制御



【デジタル制御方式】

- ・電圧電流のADCによる
デジタル化と演算処理
- ・デジタルPWM制御



(2) アナログ制御とデジタル制御の比較

* **アナログ制御**: 単機能・変更困難だが、高速応答・高精度制御

* **デジタル制御**: 応答性・精度は劣るが、性能改善・多機能化

	アナログ制御	デジタル制御
制御性 :	単純制御	複雑制御
制御精度 :	高精度制御	PWM: 低分解能
応答性 :	高速応答	演算遅延
機能性 :	単純機能	特性改善・多機能
利用度 :	機種限定	高汎用性(電源の共通化)
変更 :	困難	プログラム変更
開発期間 :	長時間(IC開発・選択)	短時間(ソフト開発・入替)
信頼性 :	温度・経年変化有	自動修正・推測・ロバスト性
消費電力 :	小さい	やや大きい(高速DSP)
外部IF :	通常無	通信・監視・トラブル対策
ICコスト :	安い(専用IC)	高い(DSP)・・・システムコスト?

サーバ用電源はアナログ制御、家電用電源はデジタル制御

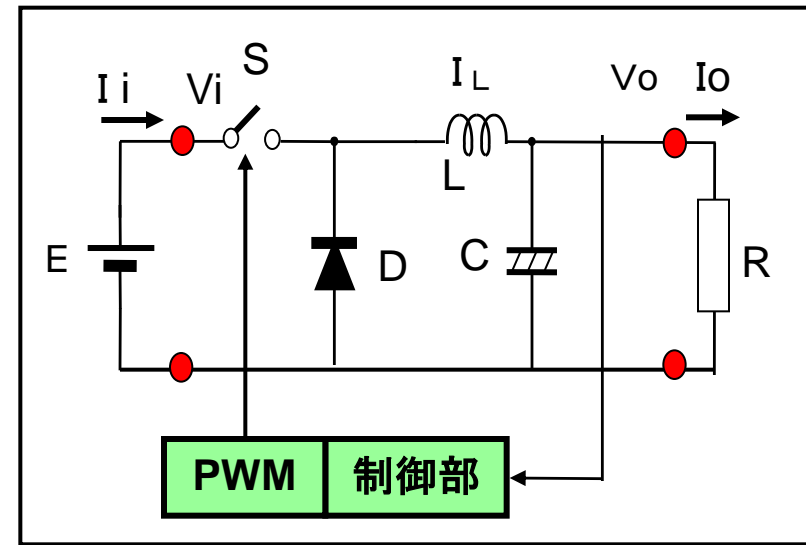
(3) 電源のデジタル制御化

● デジタル制御の基本

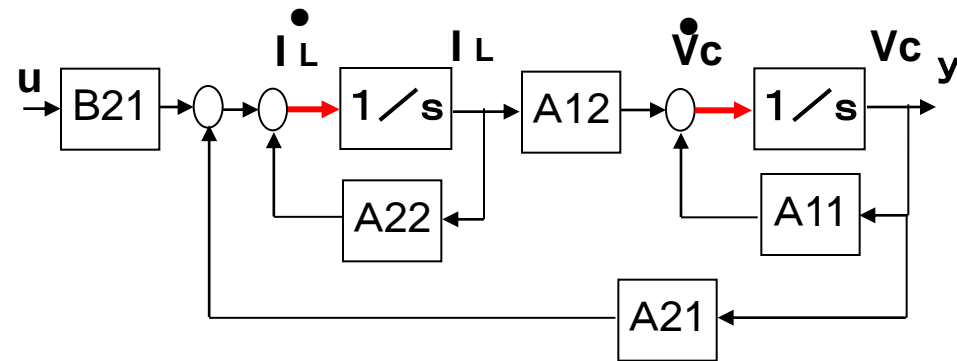
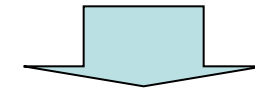
- ・単にアナログ制御をデジタル化しても、必ず性能劣化
- ・デジタル特有の性能・機能の実現
 - 素子ばらつき対策・・・ロバスト性
 - 応答特性の改善・・・2自由度制御

● 電源のモデル化

- ・回路図を式で表現・・・状態方程式
- ・コイル電流、コンデンサ電圧に着目
- ・状態方程式をブロック図で表現



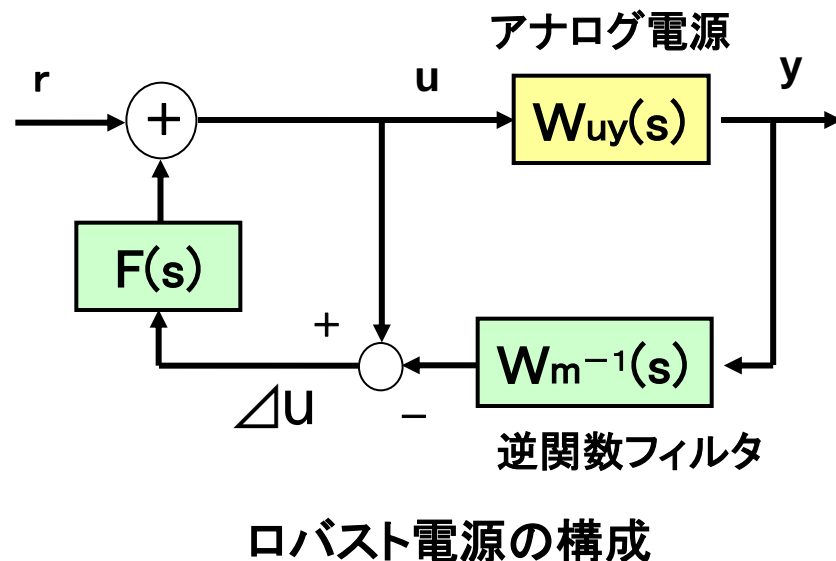
アナログ回路の電源構成



電源部のモデル化

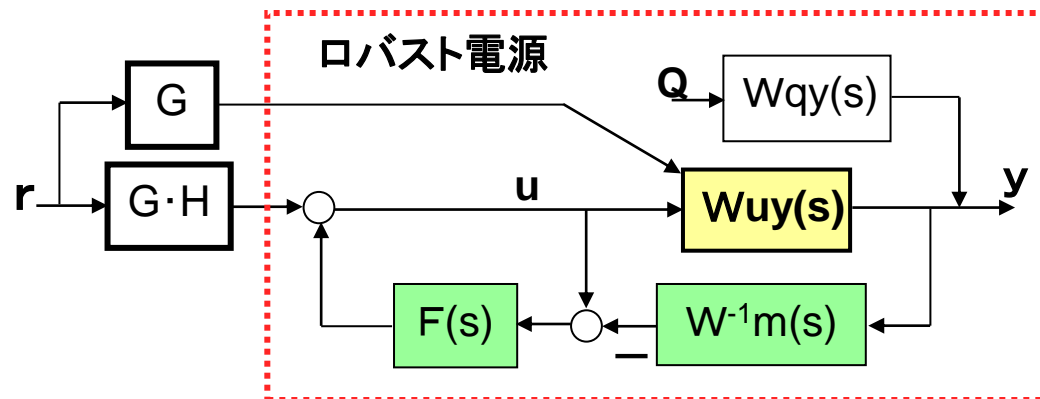
●ロバスト・フィルタ

- ・目的: **素子バラツキへの強さ**
⇒ LC値や負荷が変化しても性能安定
- ・アナログ電源の特性変化を検知
- ・電源出力を逆変換して、誤差比較
△u を検出・・・=0 ならOK
- ・△u=0 となるように、フィードバック



●2自由度制御

- ・目的: **応答特性の改善**
⇒ リプル無の高速負荷応答
- ・安定性とは別に、
応答特性改善回路を追加
- ・他のノイズ応答特性も改善



(4) デジタル制御電源のシミュレーション波形

黄：アナログ電源， 桃：デジタル電源

(A) 2自由度による特性改善

●ステップ応答 ($V_c=2.5V$)

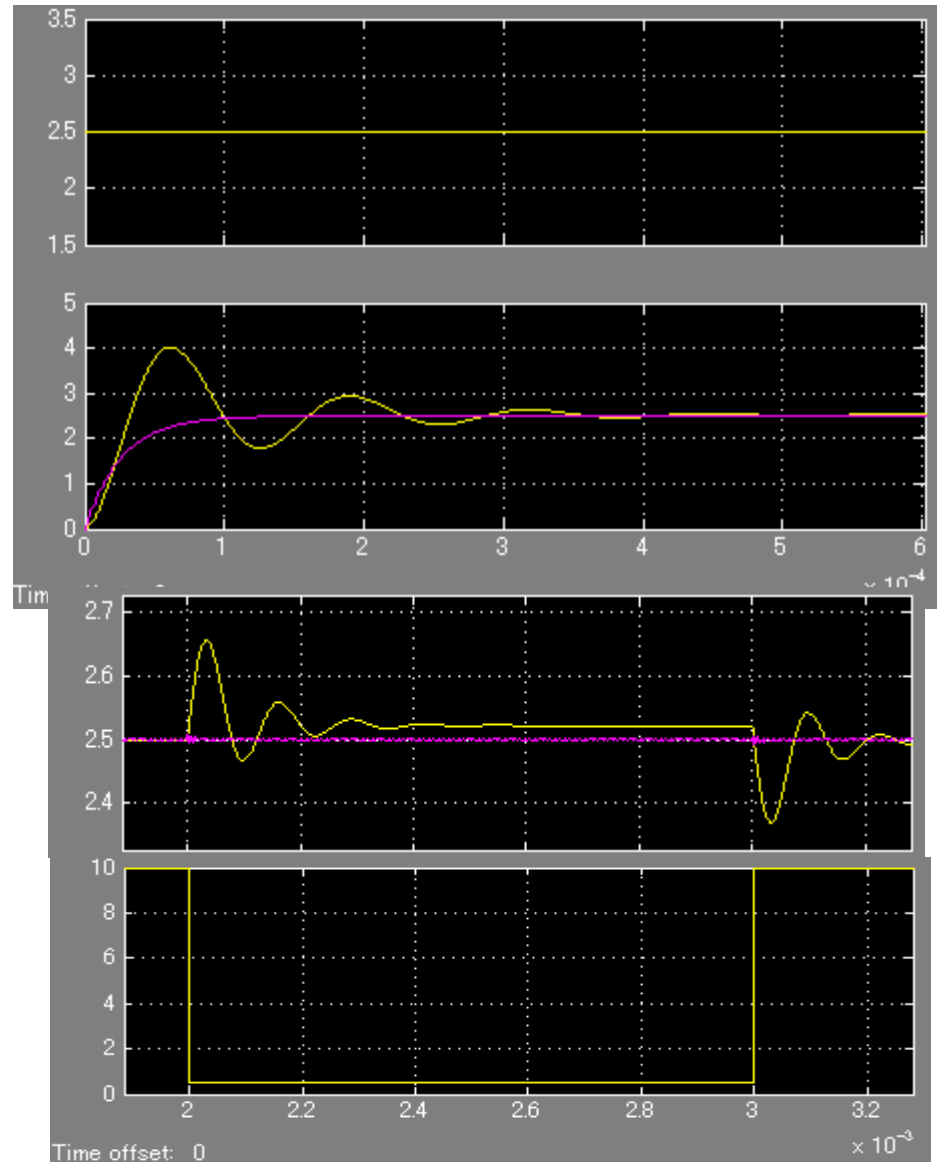
アナログ電源
制定時間 $\approx 0.5ms$

デジタル電源
制定時間 $\approx 0.1ms$

●負荷変動応答 ($\Delta I_o=5A$)

アナログ電源
 $\Delta V=270mV_{pp}$

デジタル電源
 $\Delta V=14mV_{pp}$



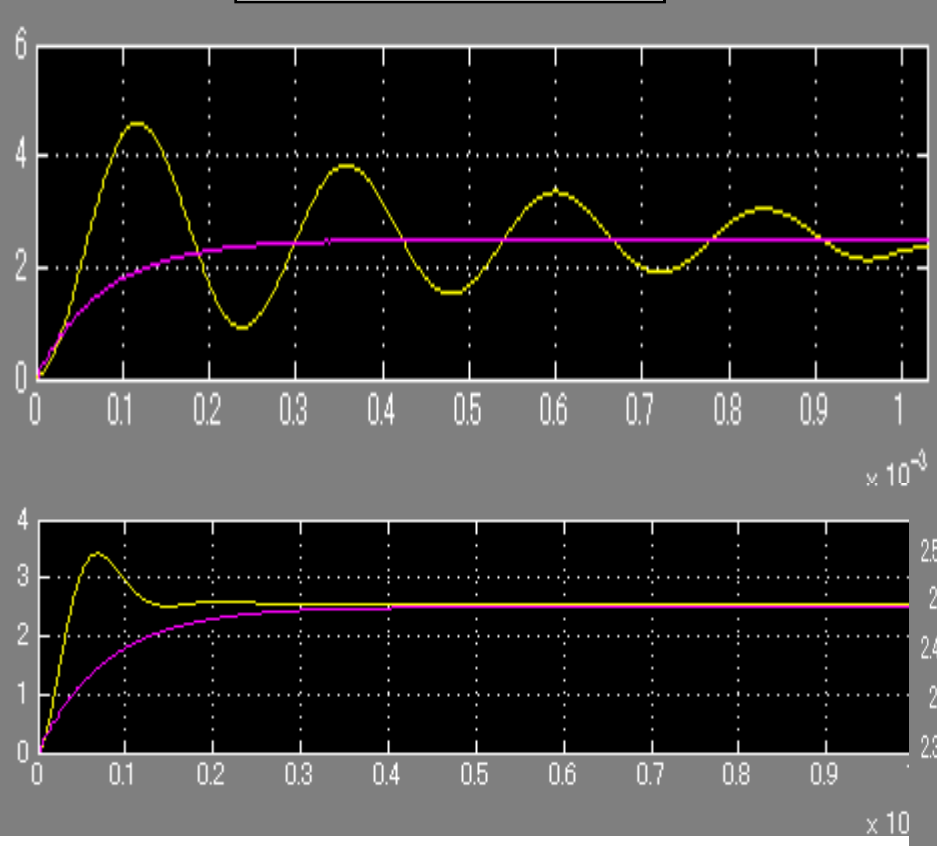
(B)ロバスト制御による特性改善

●Lのばらつきに対する応答特性

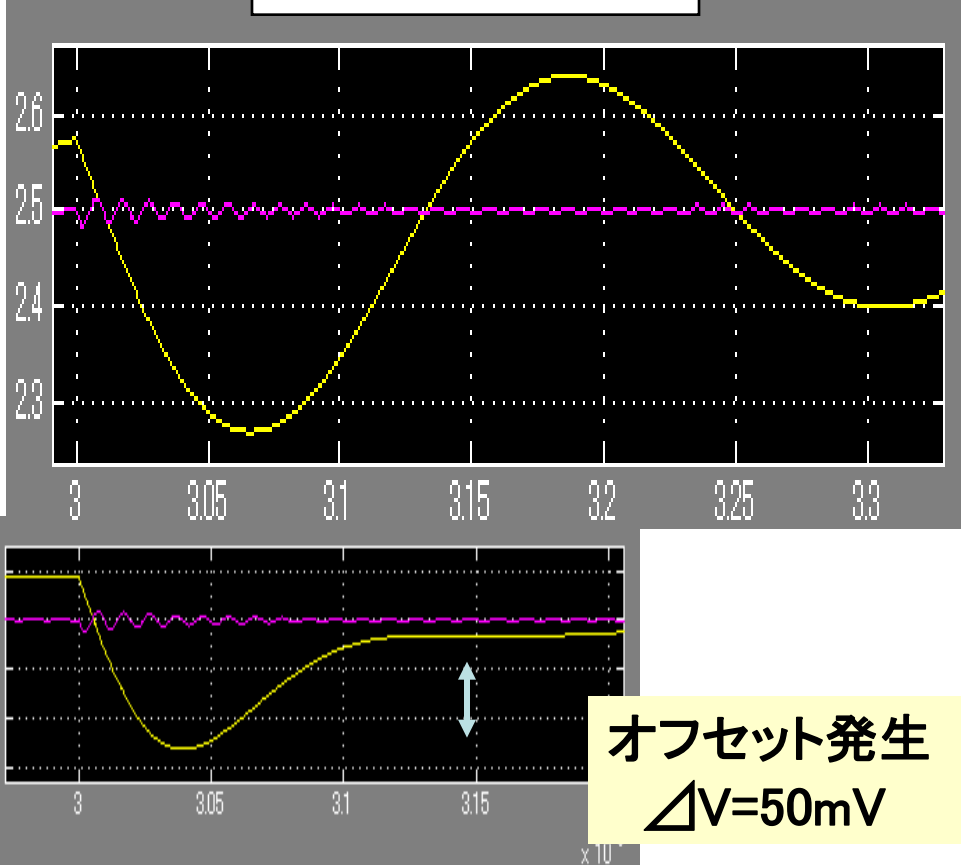
- * デジタル電源(紫): 特性変化なし
- * アナログ電源(黄): 特性は大きく変化

▪ 上: $L=L_0/3$
▪ 下: $L=L_0*3$

立上り特性



負荷変動応答



オフセット発生
 $\Delta V=50\text{mV}$

11.2 カップルド・インダクタ技術

(1) 従来 多相スイッチング電源の概要 (ex. サーバー)

● 4相スイッチング電源の構成と動作

* 目的: リプルの改善と高速負荷応答 (高速ダイナミック・ロード・レギュレーション)

* 構成: 1個の出力コンデンサを、4個の降圧形スイッチング電源で駆動
MOSFET駆動PWMの位相は、90度ずつシフト

* 特徴: リプルの低減

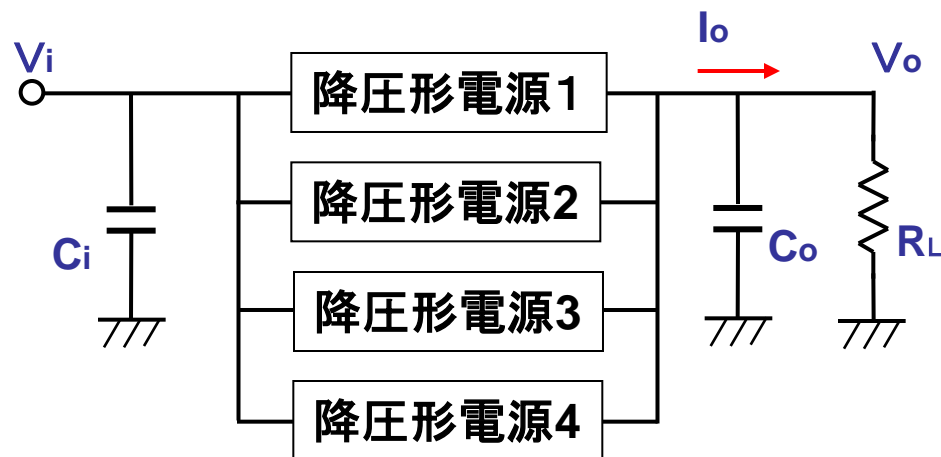
⇒ 電流 $1/4$

周波数4倍

(Cの効果4倍)

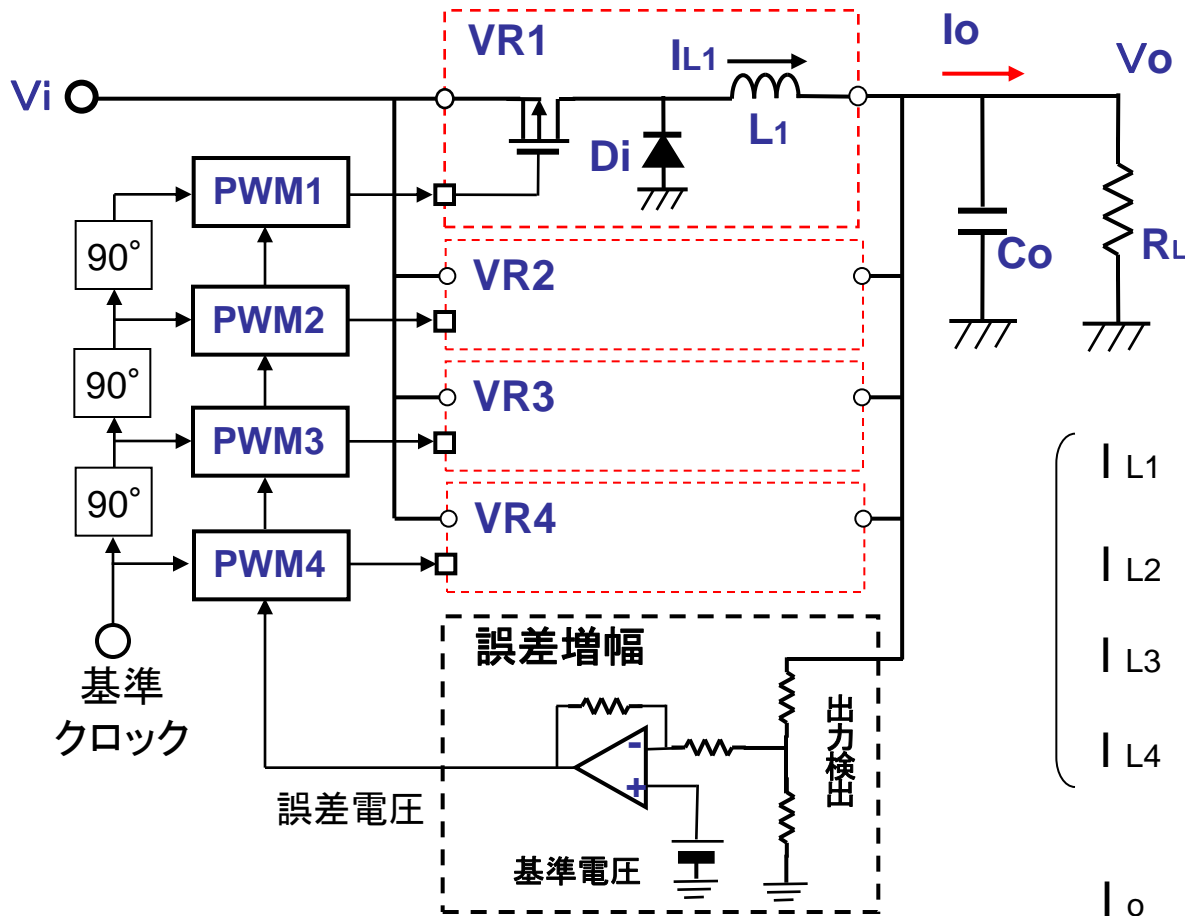
帯域の拡大

半導体、Lの増加

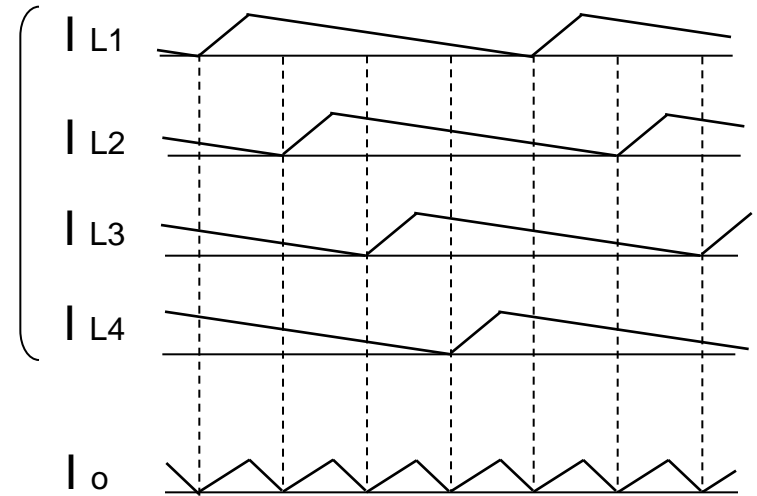


多相スイッチング電源

●従来4相電源の回路構成と動作波形



4相降圧形スイッチング電源



各コイル電流と出力電流波形

(2)カップルド・インダクタ： 多相電源の原理

●カップルド・インダクタの構成と動作（2相電源で説明）

* 背景：電源の理想特性・・・負荷電流変化と時次定数(LC)

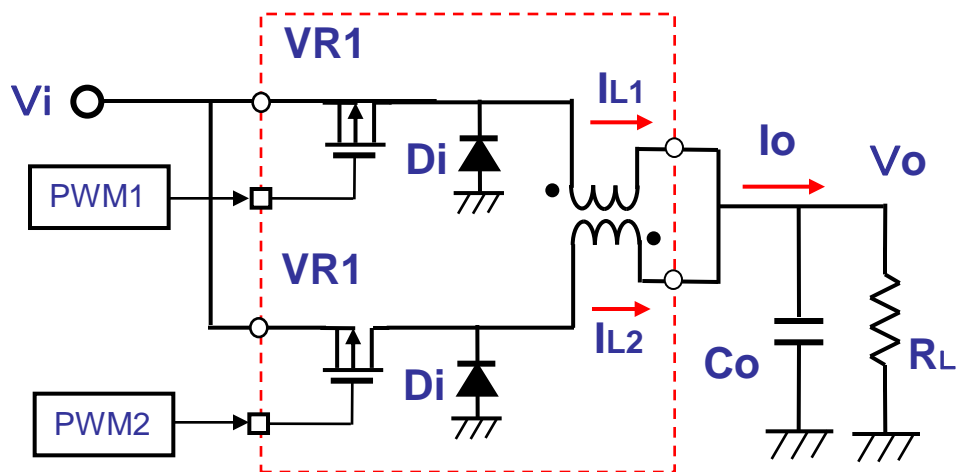
定常状態では、LC値を大きくすれば、リップル低減

過度状態では、LC値を小さくすれば、速度応答

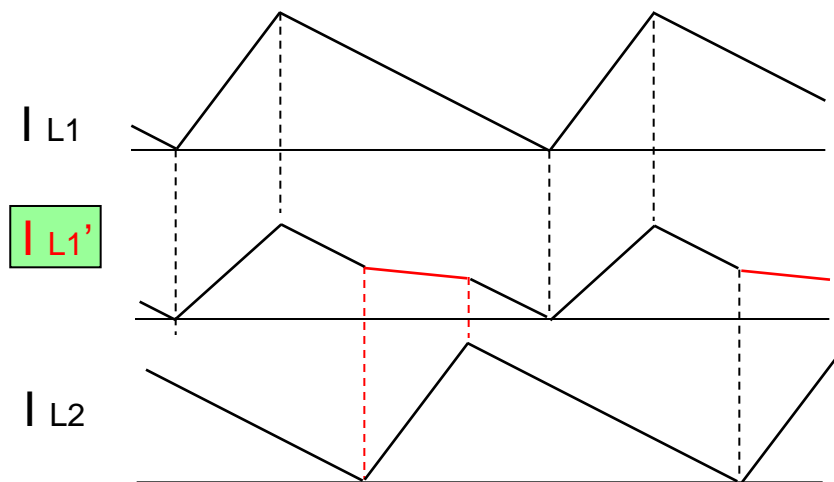
* 構成：2つの電源のインダクタンスをカップリングさせる(結合係数 k)

一方のコイル電流が増加すれば、他方の電流も増加

⇒ 電流波形が変化して、リップルが低減



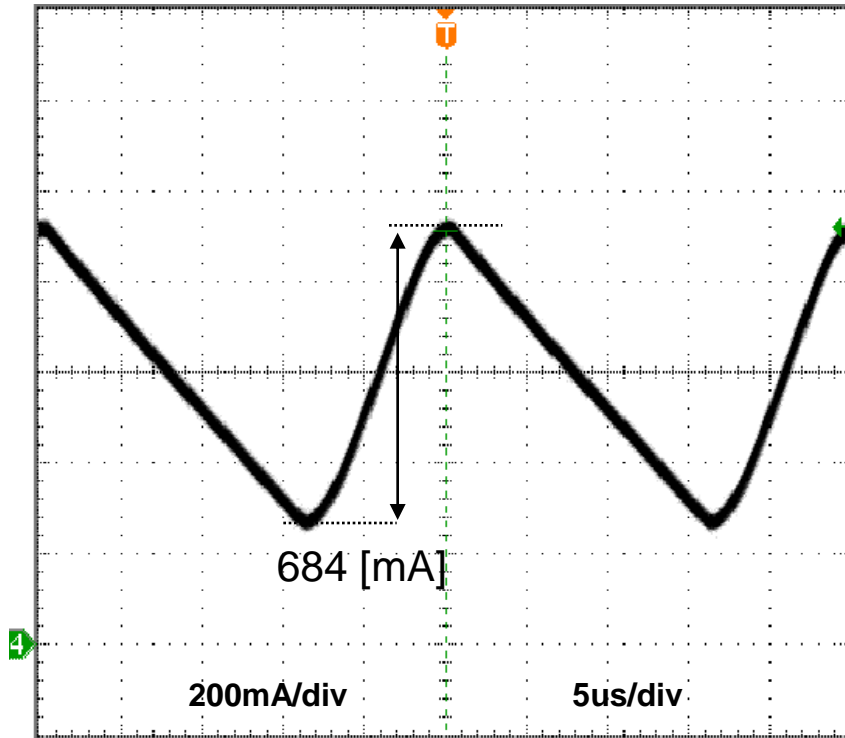
2相カップルド・インダクタ電源



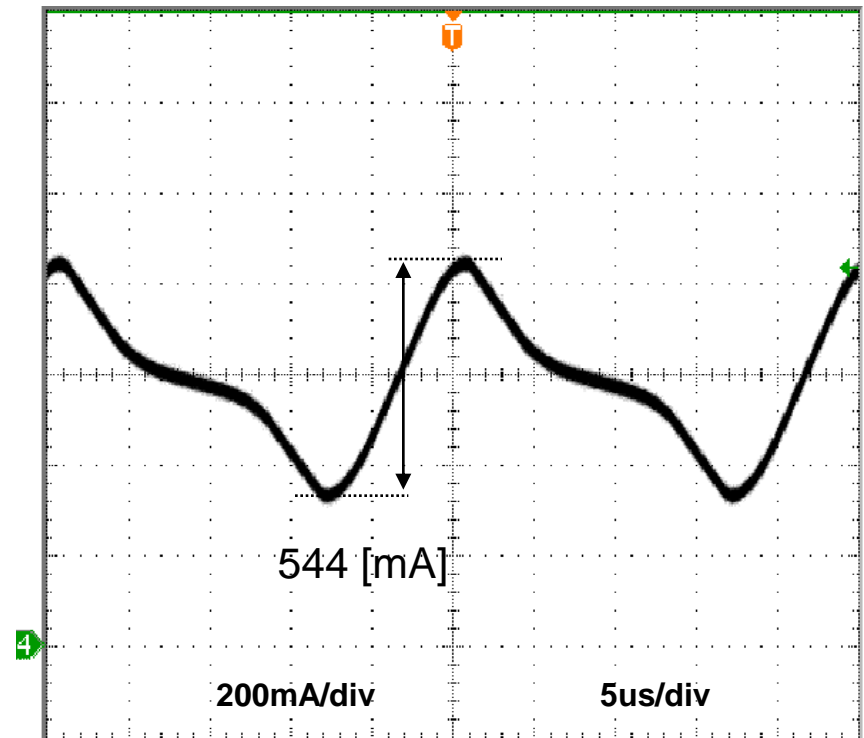
カップルド・インダクタの効果

●カップルド・インダクタによる実測波形（2相電源）

*リプル低減率： 20.5%（結合係数： $k=-0.2$ の場合）



Uncoupled



Coupled $k=-0.2$

従来コイル電流 とカップルド・インダクタの各相電流波形

★ 以上で 本講義を終了します。
14回に渡る長い講義に
ご静聴 ありがとうございました。

恩田、小堀