

クロックレス電源のマルチフェーズ化と EMIノイズ低減方式

熊軼† 浅石 恒洋 三木 夏子 孫 逸菲
築地 伸和 小堀 康功 小林 春夫

群馬大学大学院 理工学府
小林研究室 修士二年生



目的

- サーバープロセス用スイッチング電源の開発
- 高速応答
 - 大電流

取り組み

- 固定オン時間制御
- マルチフェーズ

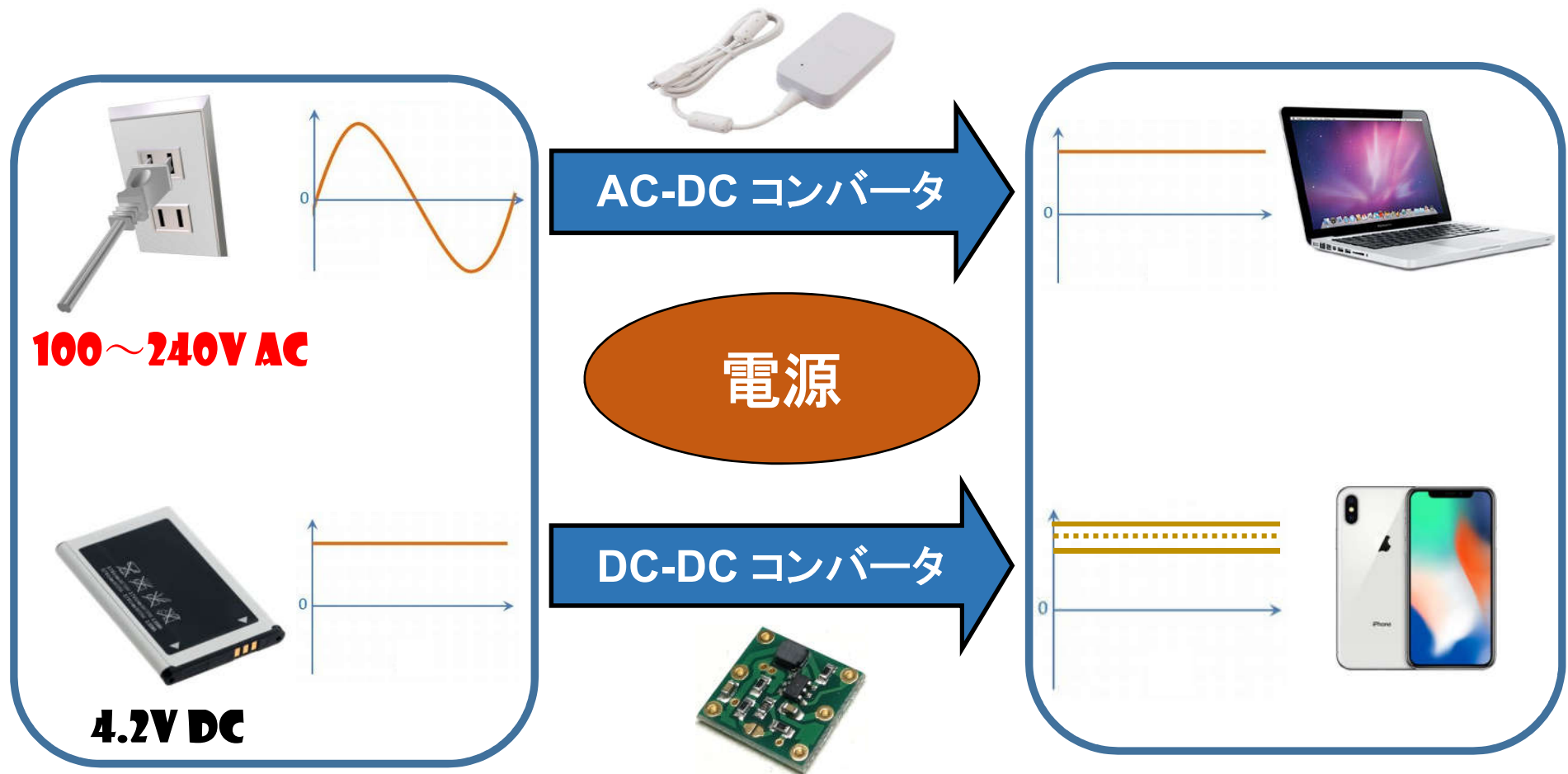
目次

- 背景
- 固定オン時間制御
- 鋸歯状波回路による四相コンバータソリューション
- シミュレーション結果
- 一巡伝達関数特性検討
- 固定オン時間PM変調によるEMI低減
- 結論

目次

- **背景**
- 固定オン時間制御
- 鋸歯状波回路による四相コンバータソリューション
- シミュレーション結果
- 一巡伝達関数特性検討
- 固定オン時間PM変調によるEMI低減
- 結論

電源とは

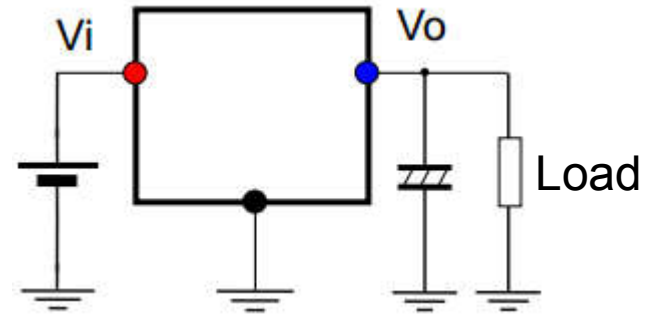


電子機器に適切な電圧を供給するためにどこでも電源が要求されている

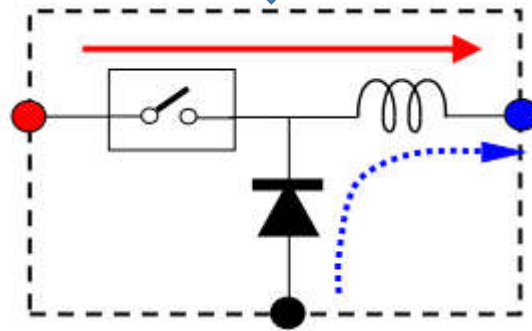
DC-DCコンバータの分類



DC-DC コンバータ

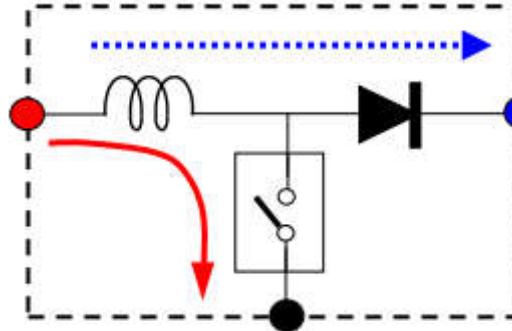


基本構成



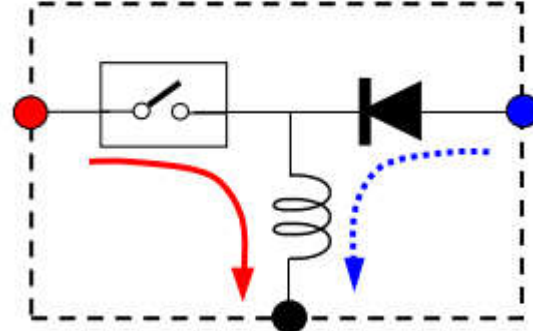
降圧 Buck

$$V_{in} > V_o$$



昇圧 Boost

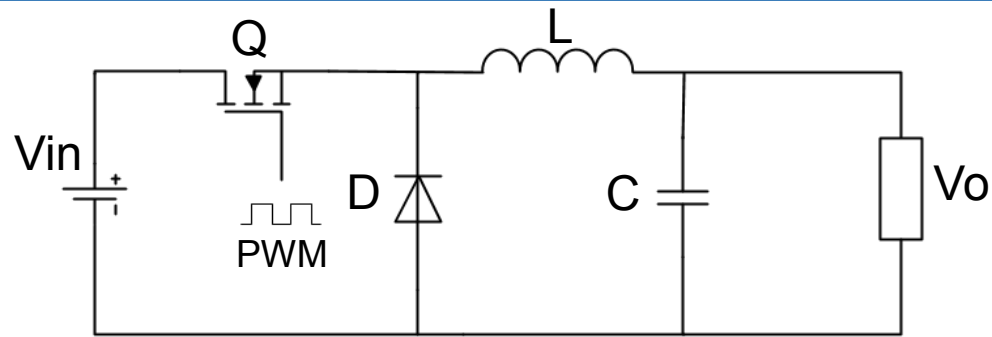
$$V_{in} < V_o$$



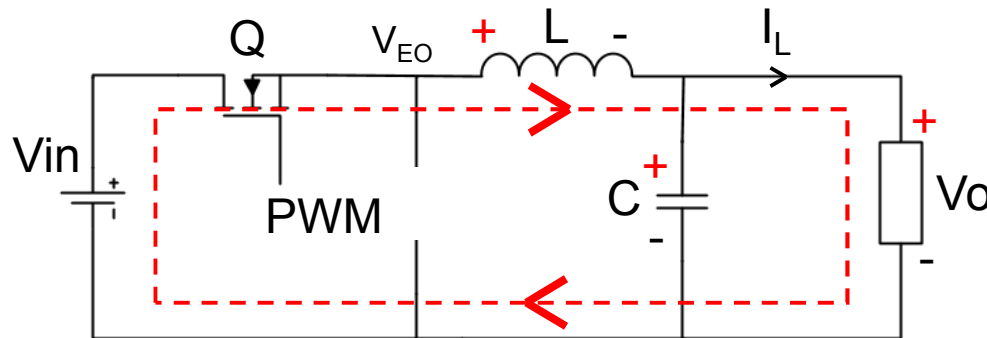
昇降圧 Buck-Boost

$$V_{in} \cong V_o$$

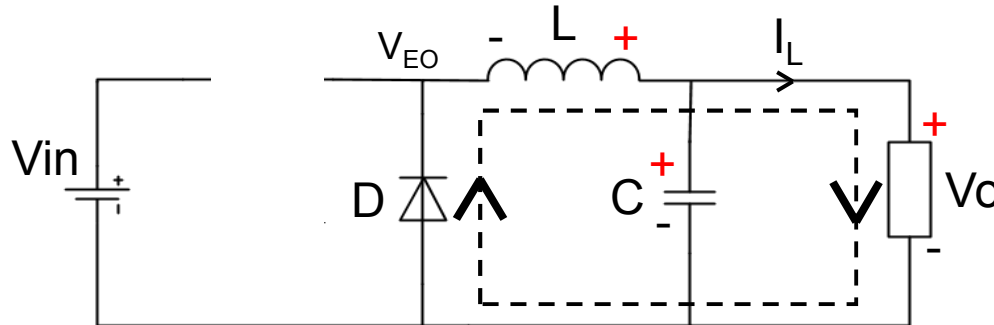
Buck コンバータの動作



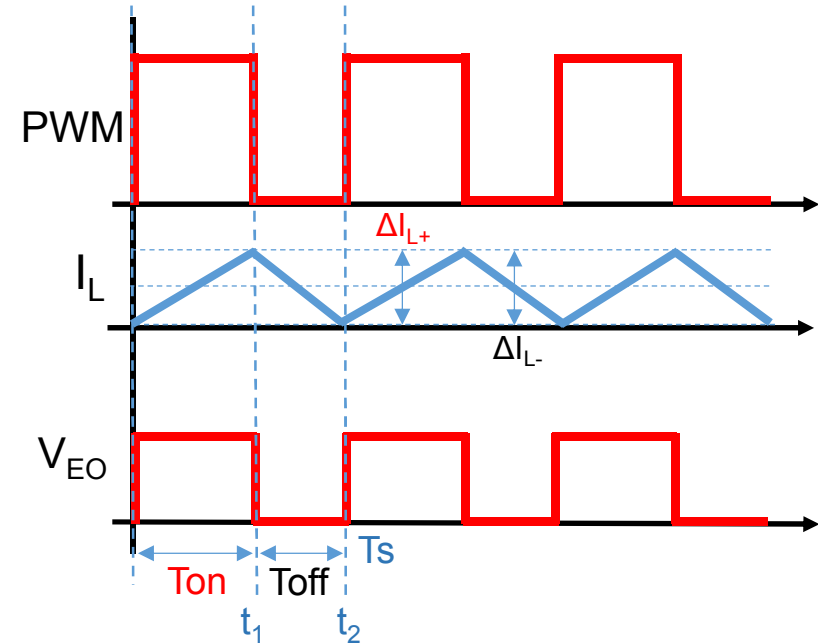
Buck コンバータ



On 期間: Q on D off



Off 期間: Q off D on



On 期間

$$V_{L_ton} = V_{in} - V_o = L \cdot (\Delta i_{L+} / \Delta t_{on})$$

Off 期間

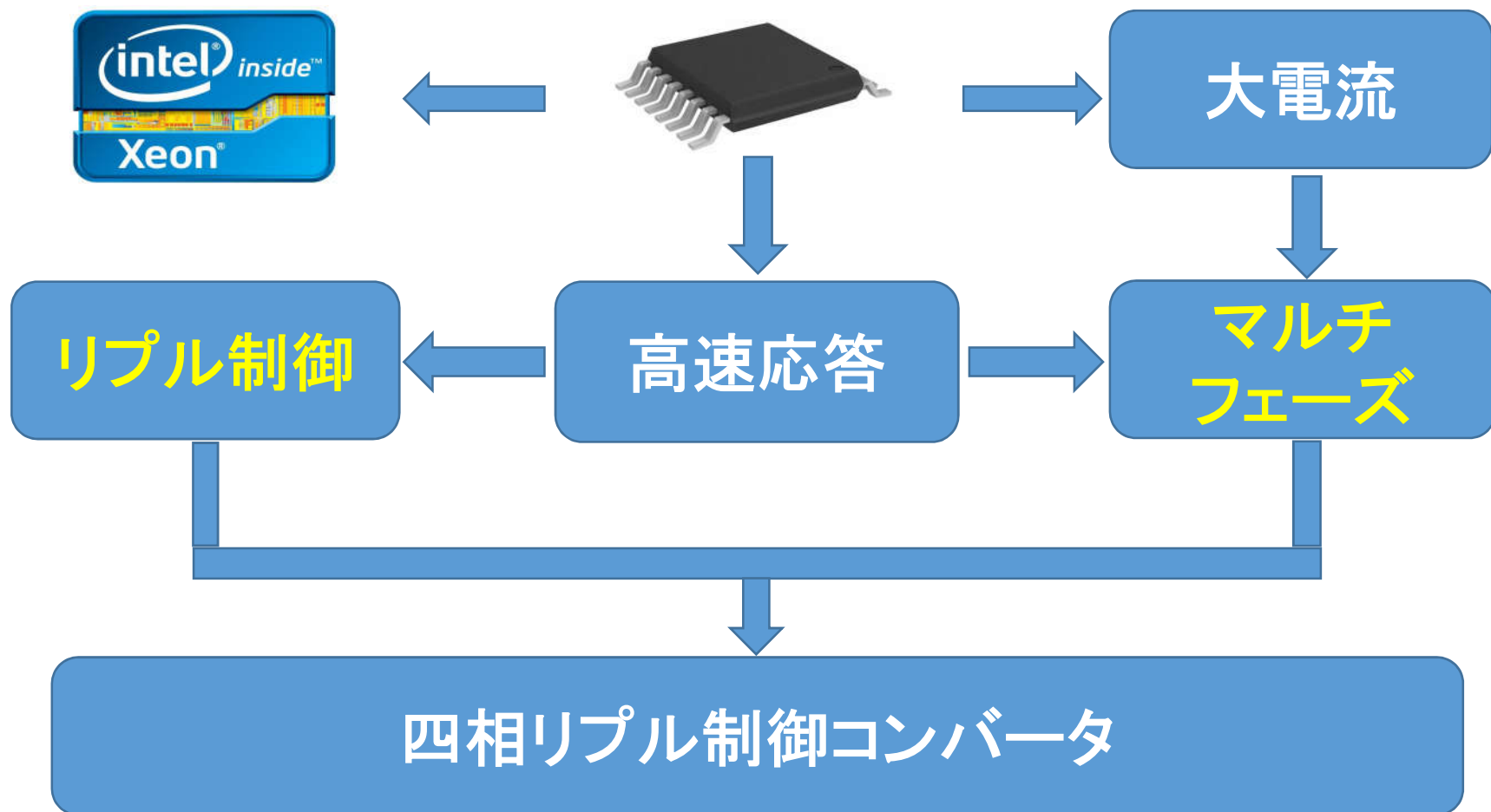
$$V_{L_toff} = -V_o = L \cdot (\Delta i_{L-} / \Delta t_{off})$$

電圧-時間バランス $\Delta i_{L+} = \Delta i_{L-}$

$$V_o = V_{in} \frac{T_{on}}{T_s}$$

サーバープロセス用電源の要求

DC input	DC output	Max. output current	Max. output current step	Max. output current slew rate
12V	1.5V	120A	100A/us	930A/us



目次

- 背景
- **固定オン時間制御**
- 鋸歯状波回路による四相コンバータソリューション
- シミュレーション結果
- 一巡伝達関数特性検討
- 固定オン時間PM変調によるEMI低減
- 結論

固定オン時間制御の利点

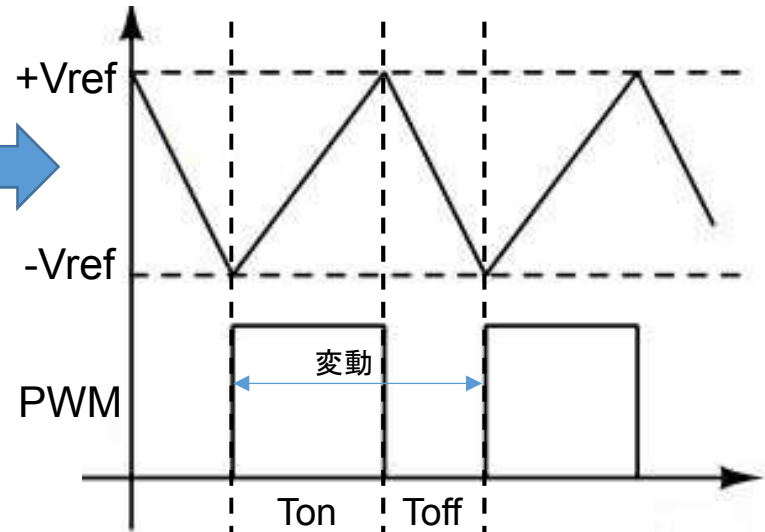
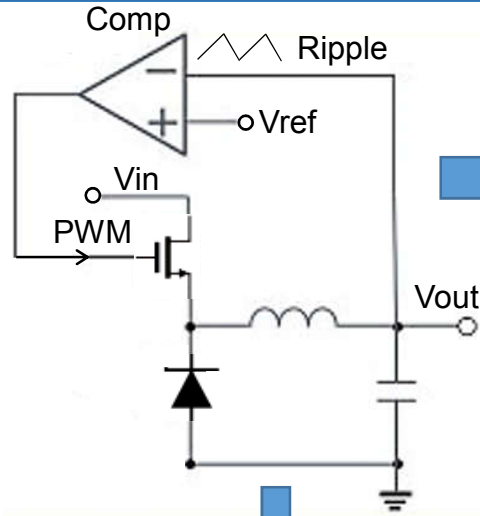
リップル制御

ヒステリシス
ウィンドウ制御

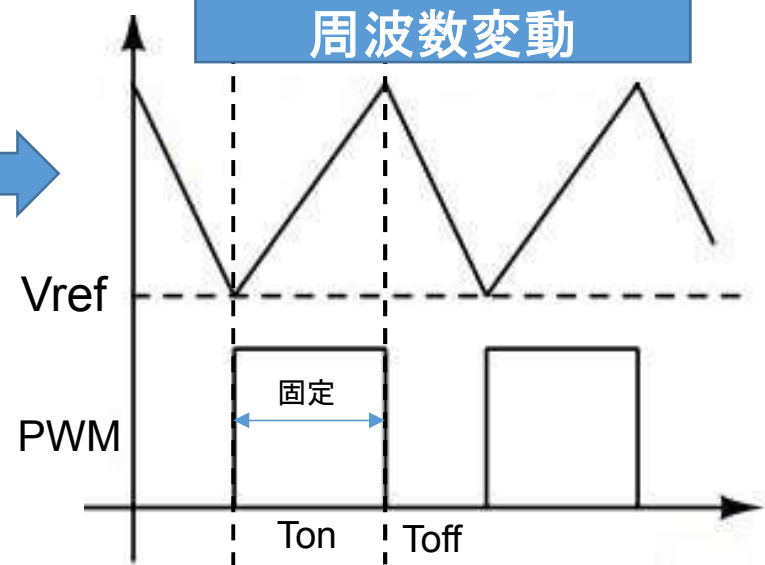
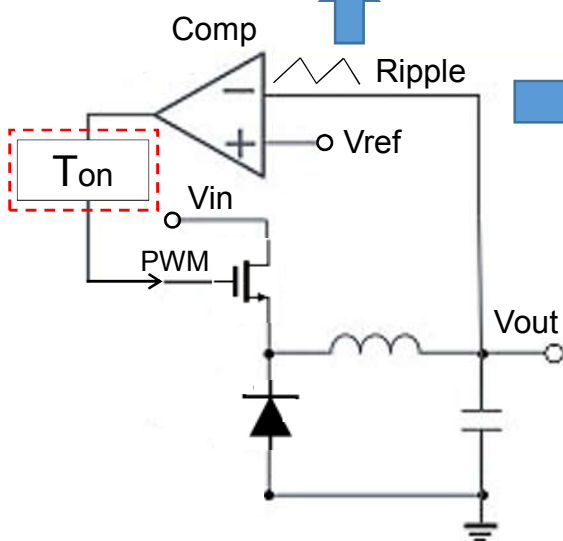
超高速応答

固定オン時間制御

$$f_{sw} = \frac{V_o}{V_{in} \cdot T_{on}}$$



位相補償なし

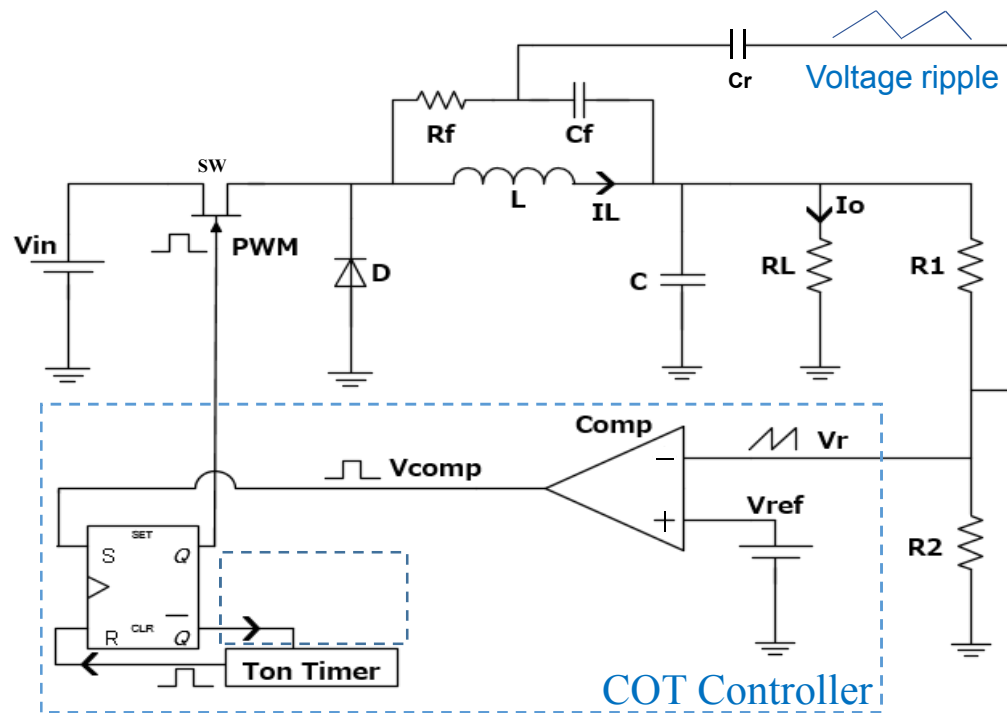


負荷変動による
周波数変動

周波数安定

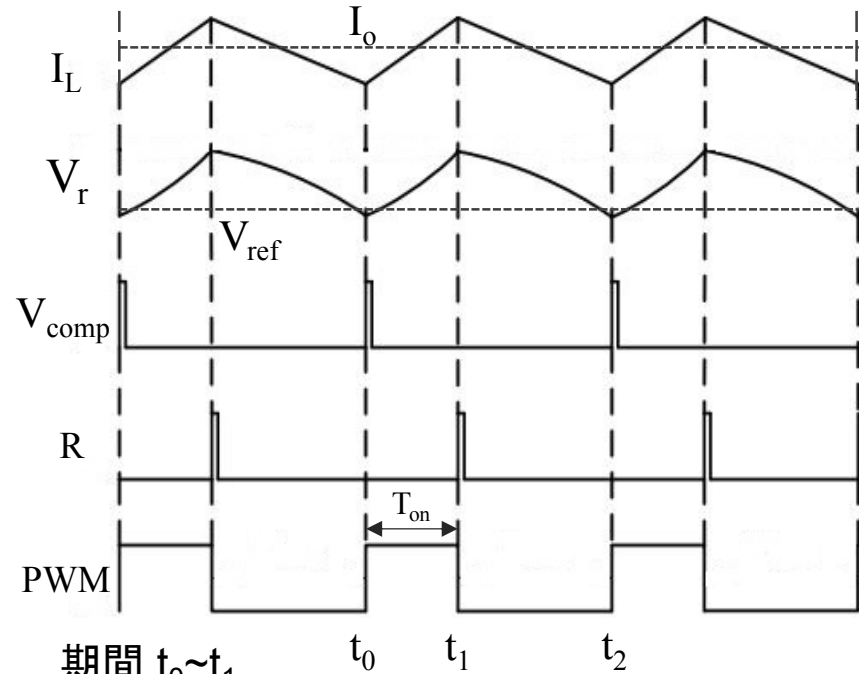
固定オン時間制御の動作

提案した固定オン時間制御コンバータ



外部クロックなし

動作波形



期間 $t_0 \sim t_1$

- ① V_r は V_{ref} に達すると、 V_{comp} が発生する
- ② RS flip-flop が V_{comp} で起動する
- ③ PWMがLからHに転じ、タイマー T_{on} が起動する
- ④タイマー T_{on} が計時完了
- ⑤ RS flip-flop がリセットする
- ⑥ PWMがHからLに転じる

期間 $t_1 \sim t_2$

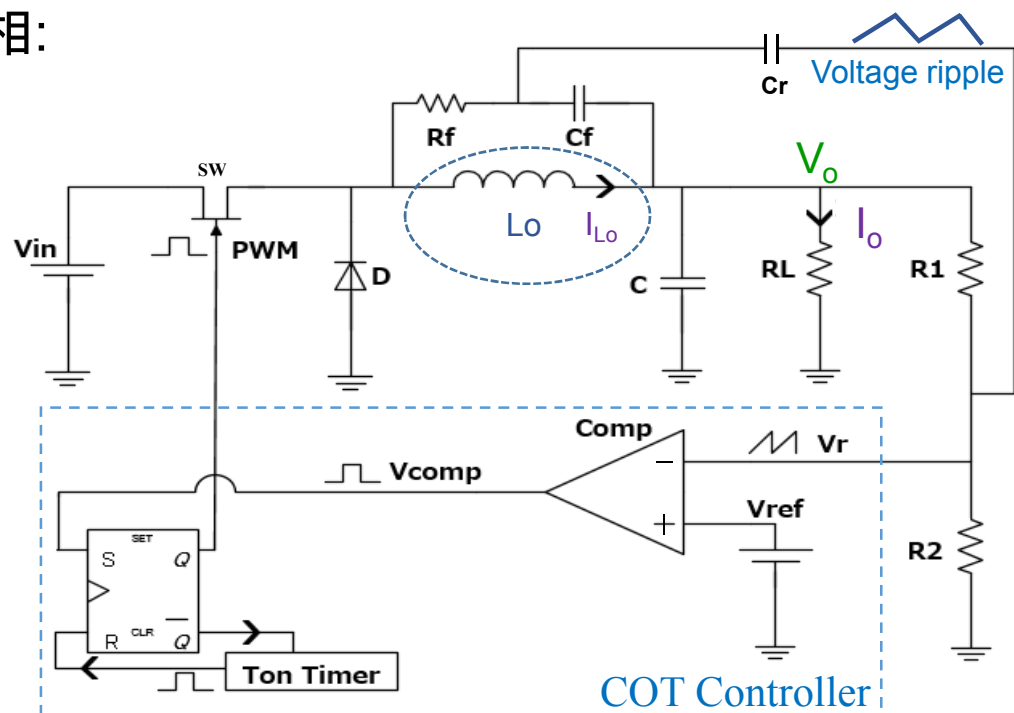
- ⑦ PWMは次のサイクルまでLに維持する

目次

- 背景
- 固定オン時間制御
- 鋸歯状波回路による四相コンバータソリューション
- シミュレーション結果
- 一巡伝達関数特性検討
- 固定オン時間PM変調によるEMI低減
- 結論

単相コンバータのデメリット

単相:

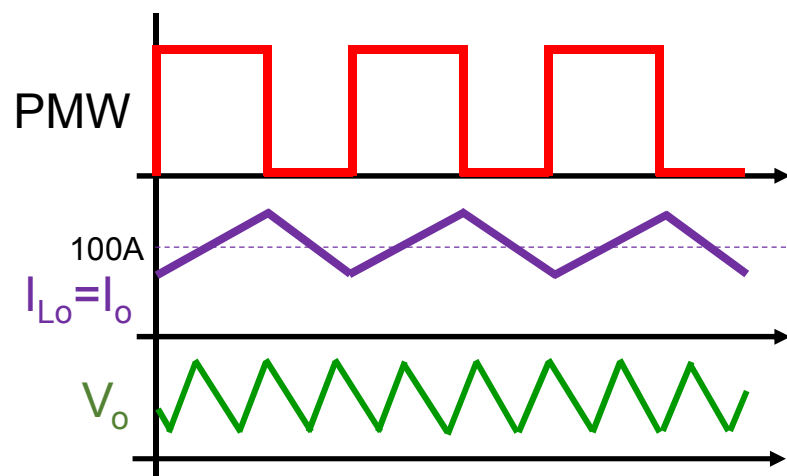


1相構成:

一回路で出力電流全て流す必要あり、回路素子への負担大



L_0 のサイズがおおきくなる

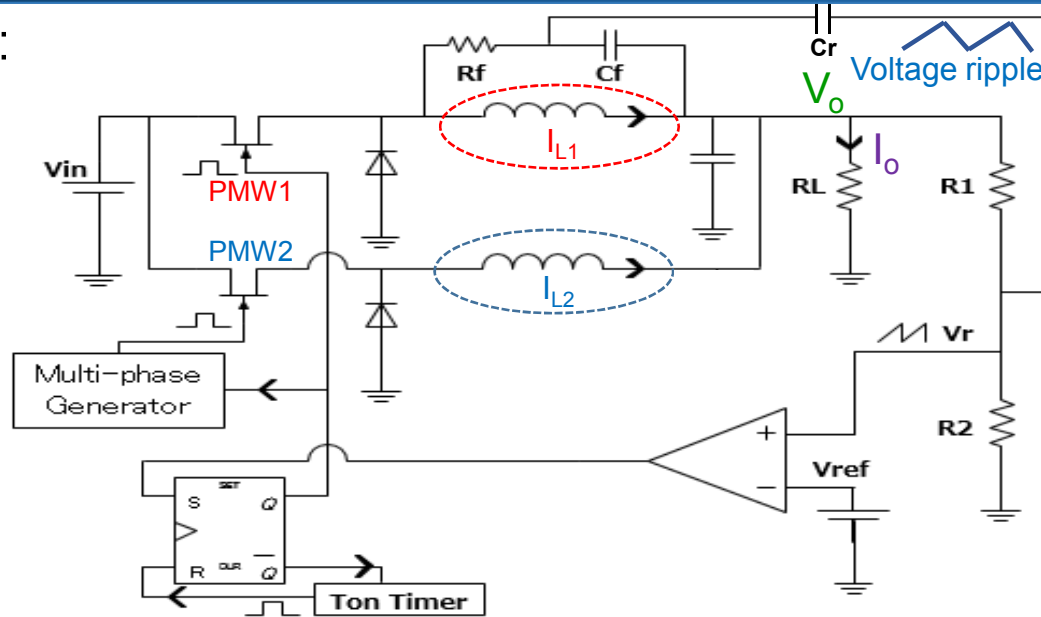


L_0 を流している
大負荷電流



マルチフェーズコンバータのメリット

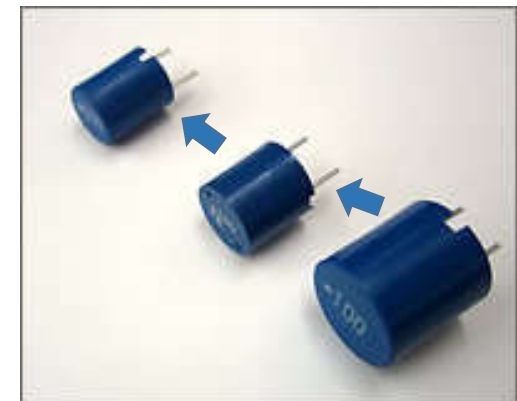
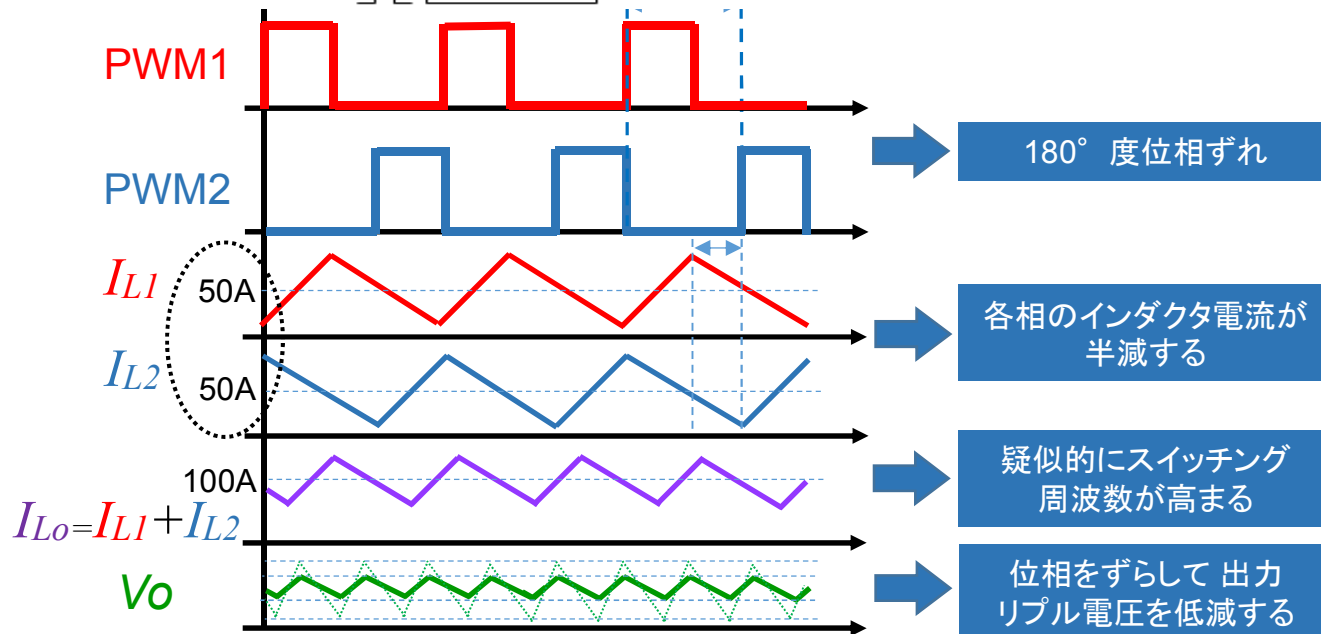
2相:



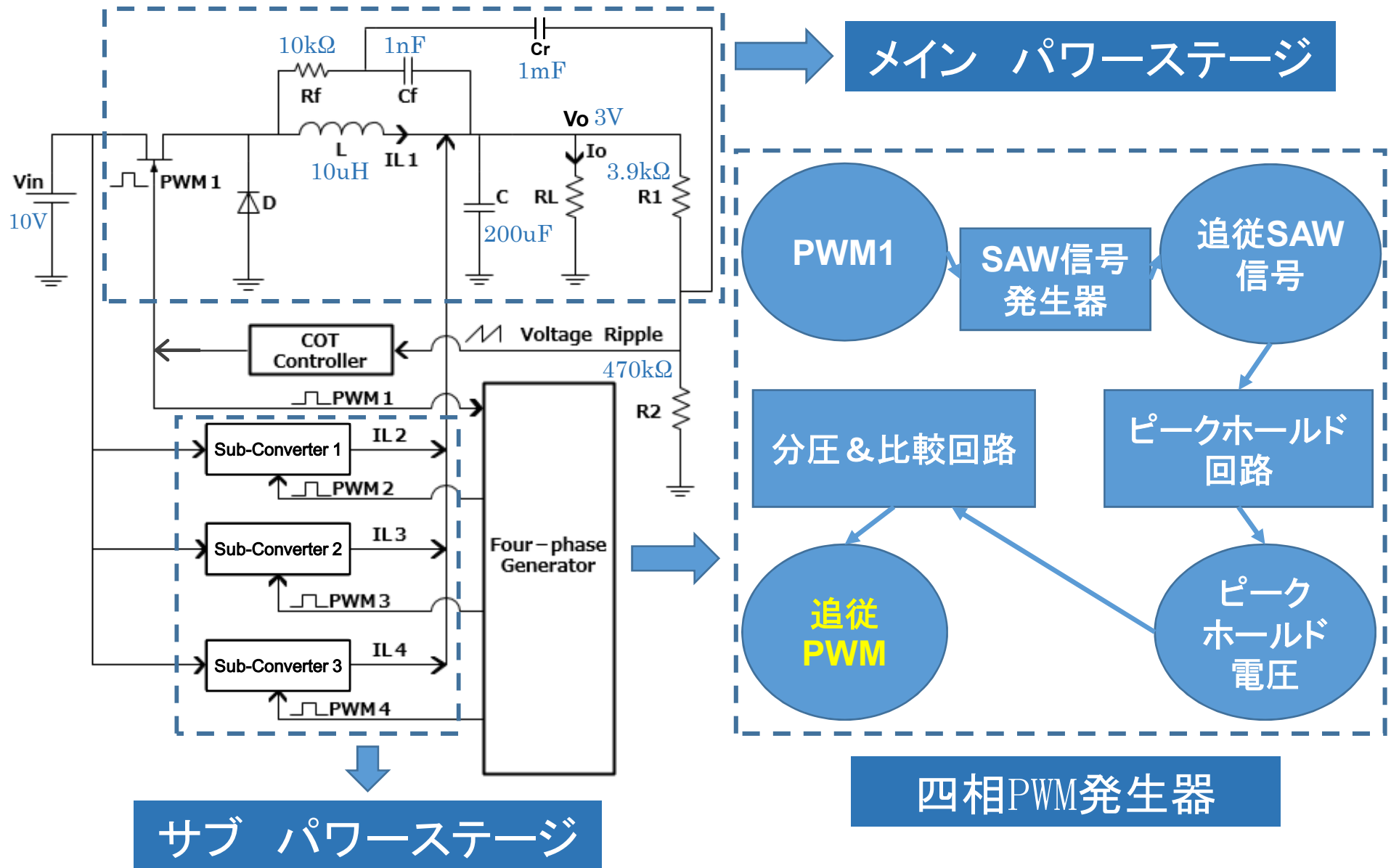
PWM1に追従する
PWM2を、クロック
なしで求めるには
工夫が必要

2相構成:
二回路で出力電流を半分
ずつ負担し、素子を小型化

L1 と L2 のサイズが
小さくなる

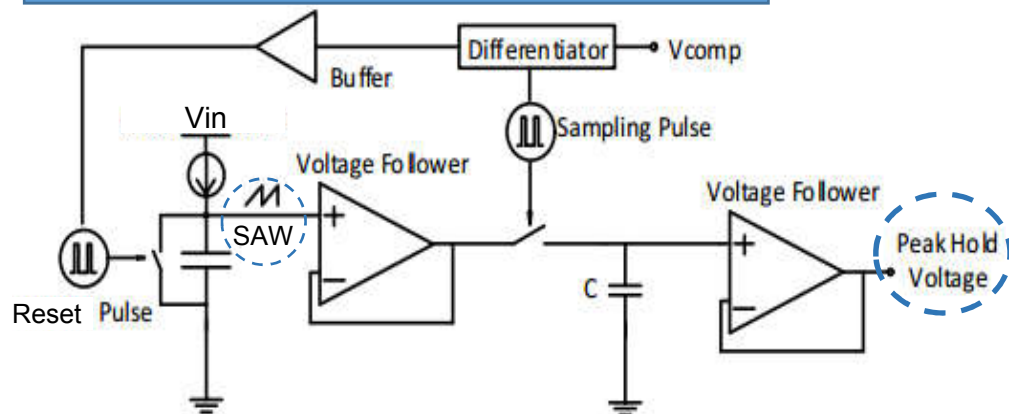


提案した四相コンバータの構成

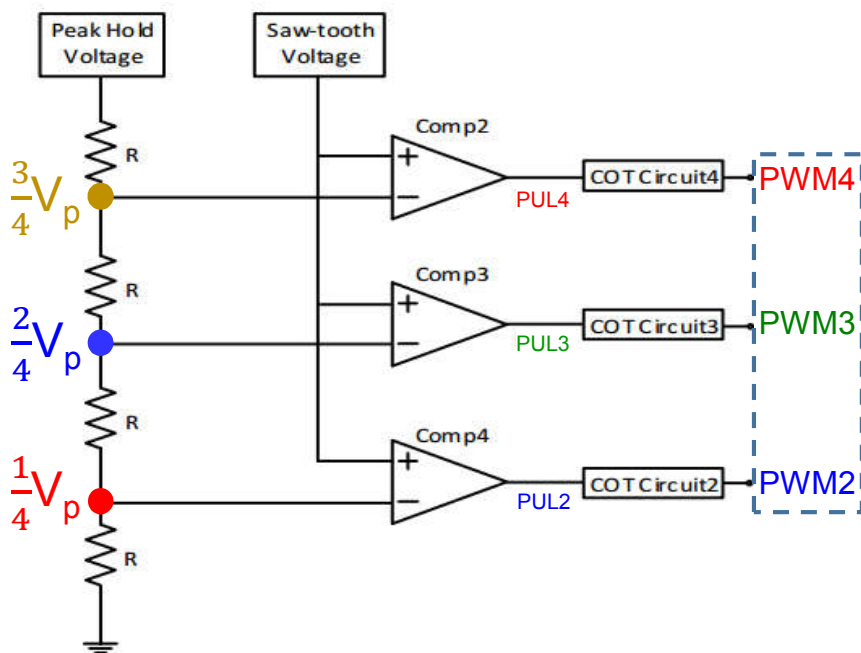


四相PWMの生成

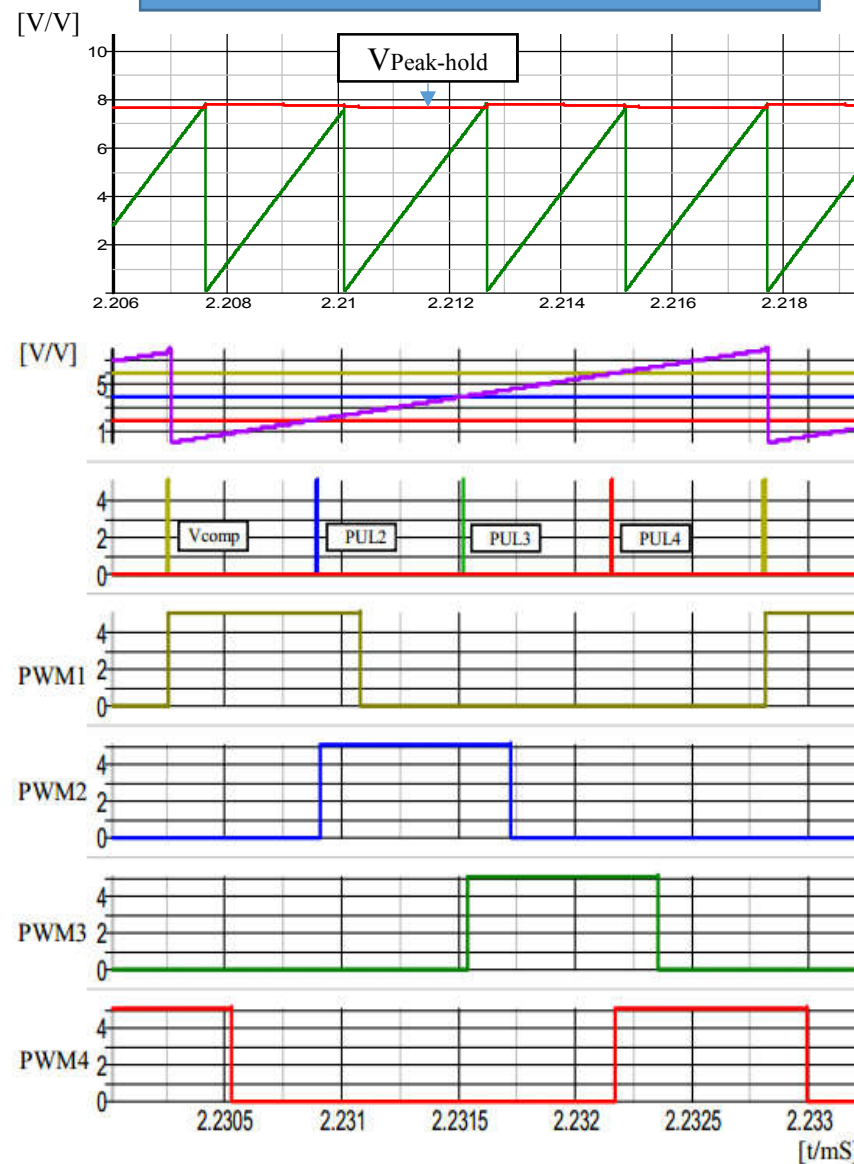
SAW 発生器& ピークホールド回路



分圧&比較回路



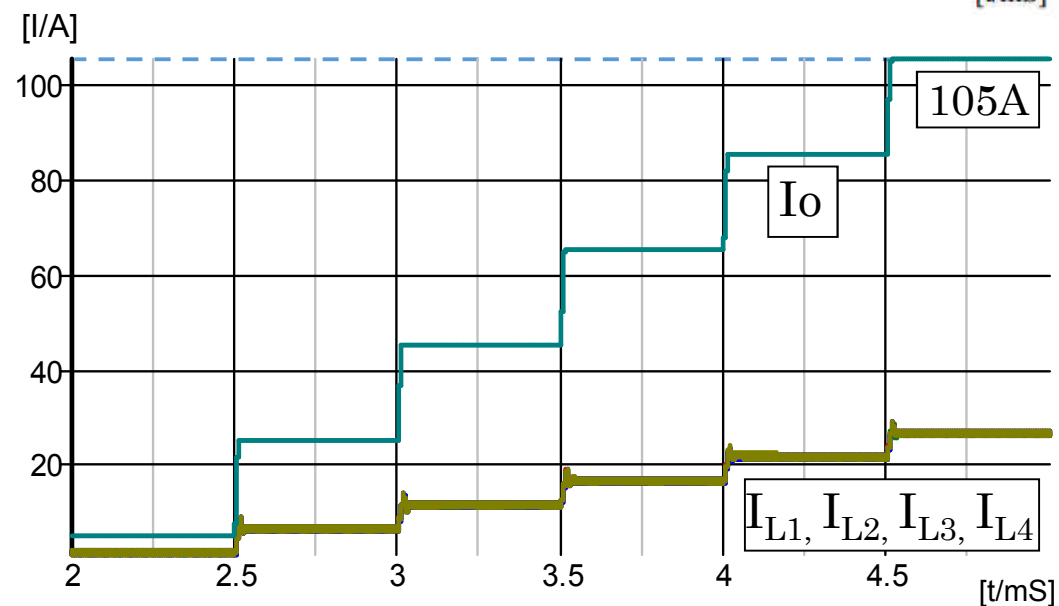
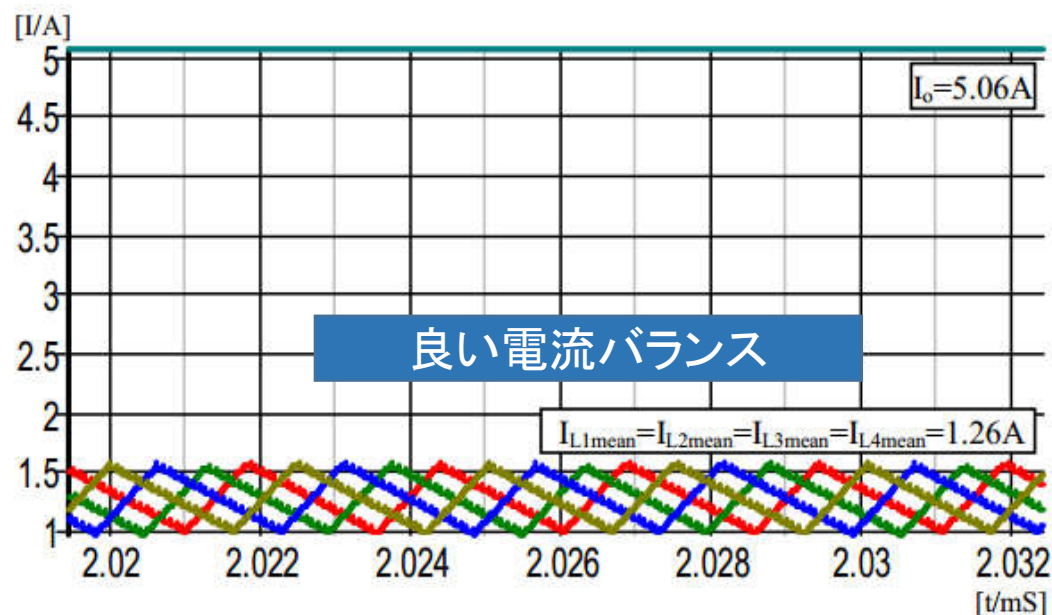
動作波形



目次

- 背景
- 固定オン時間制御
- 鋸歯状波回路による四相コンバータソリューション
- **シミュレーション結果**
 - 一巡伝達関数特性検討
 - 固定オン時間PM変調によるEMI低減
- 結論

電流バランス



電流バランスばらつき ΔI_L

$$\Delta I_L = |I_L - I_o/4|$$

$$\delta = \Delta I_L / (I_o/4) \times 100\%$$

$I_o = 5.06A$ の場合

$$I_{L1} = I_{L2} = I_{L3} = I_{L4} = 1.26A$$

$$\Delta I_{L1} = I_{L1} - I_o/4$$

$$= |1.26 - 5.06/4| = 0.005A$$

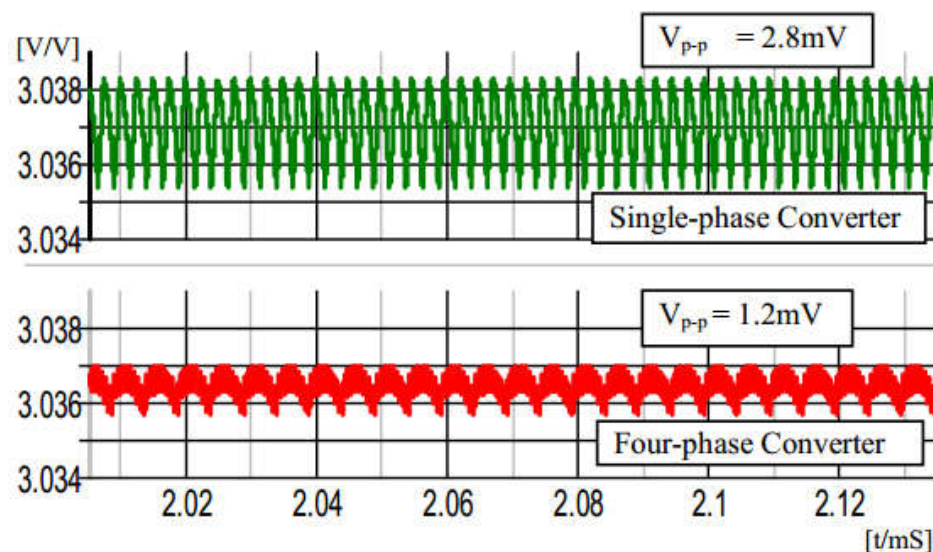
$$\delta = 0.005 / (5.06/4) \times 100\%$$

$$= 0.39\%$$

大負荷電流を確認

過渡応答期間でも
良い電流バランス

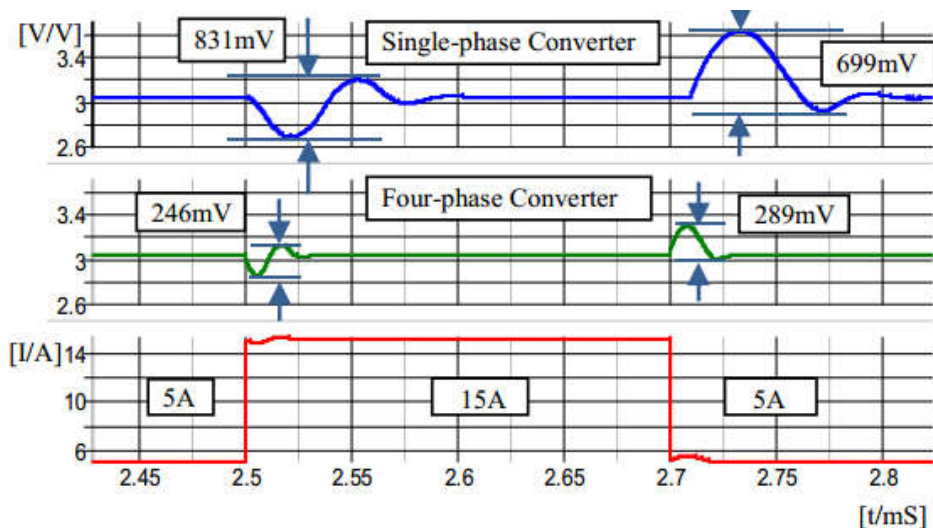
過渡応答の比較



$V_{out} : 3\text{V}$

静的状態特性

	リップル振幅	リップル割合
出力電圧	57%減少 2.8mV⇒1.2mV	1%以下



$I_{load} : 5\text{A} \rightarrow 10\text{A} \rightarrow 5\text{A}$

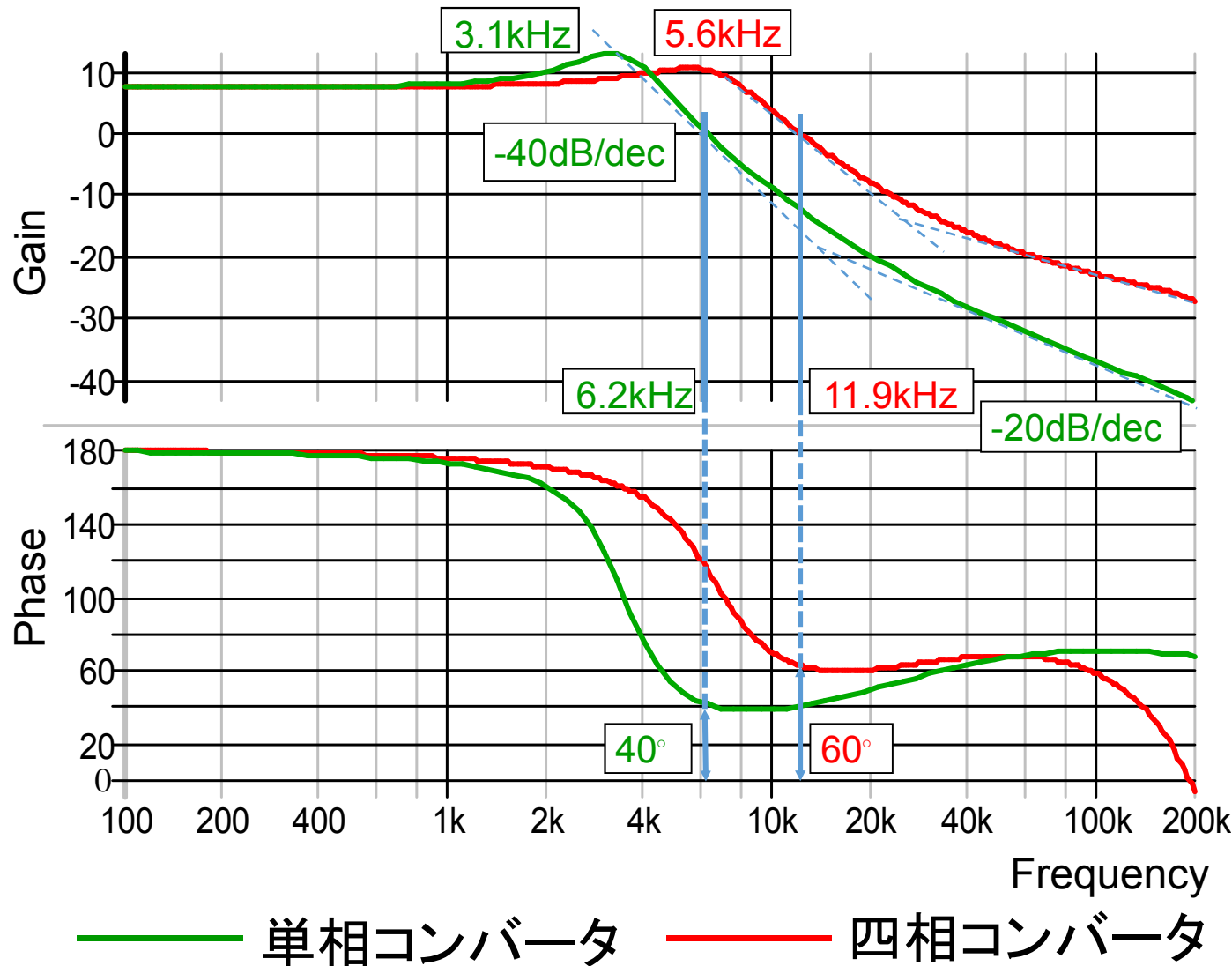
動的状態特性

過渡応答	アンダーシュート	オーバーシュート
変動振幅	70%減少 831mV ⇒ 246mV	59%減少 699mV ⇒ 289mV
リカバリ時間	75%減少 104us ⇒ 30us	80%減少 123us ⇒ 27us

目次

- 背景
- 固定オン時間制御
- 鋸歯状波回路による四相コンバータソリューション
- シミュレーション結果
- **一巡伝達関数特性検討**
- 固定オン時間PM変調によるEMI低減
- 結論

一巡伝達関数特性検討



单相コンバータ

パワーステージ数:
1個

LC共振周波数:

$$F_1 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

四相コンバータ

パワーステージ数:
4個(並列)

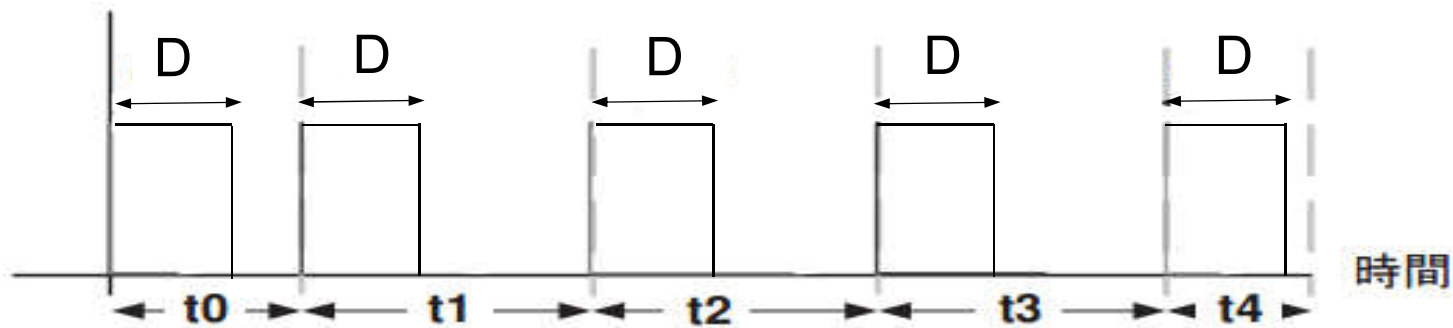
LC共振周波数:

$$F_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{\frac{1}{4}LC}} = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}} = 2F_1$$

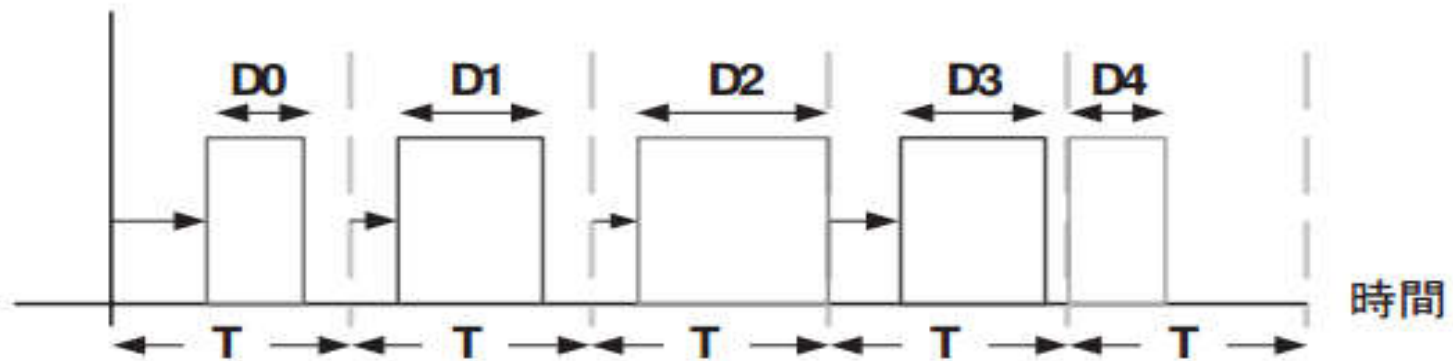
目次

- 背景
- 固定オン時間制御
- 鋸歯状波回路による四相コンバータソリューション
- シミュレーション結果
- 一巡伝達関数特性検討
- **固定オン時間PM変調によるEMI低減**
- 結論

EMI低減方式の概要

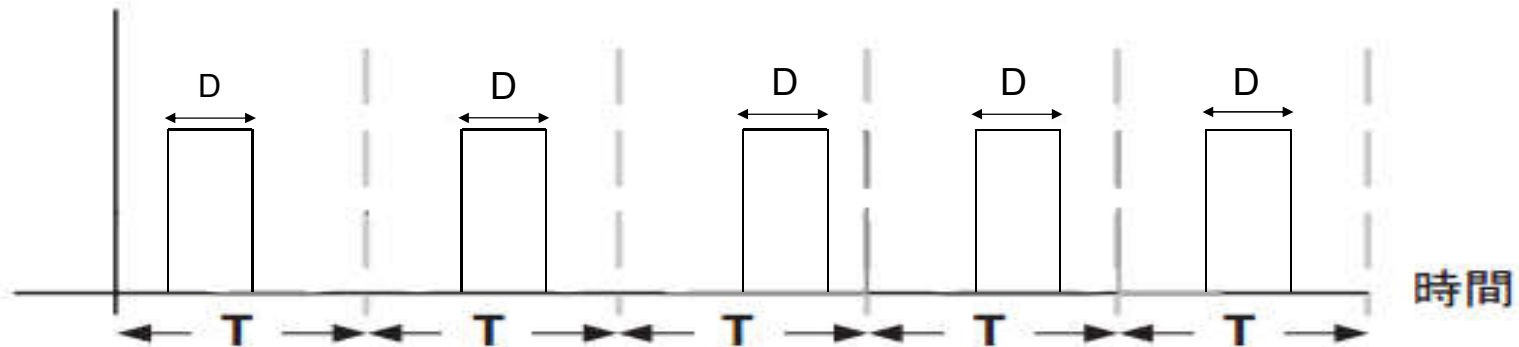


パルス周波数変調方式: パルス幅、位相 一定
周波数 微小変化

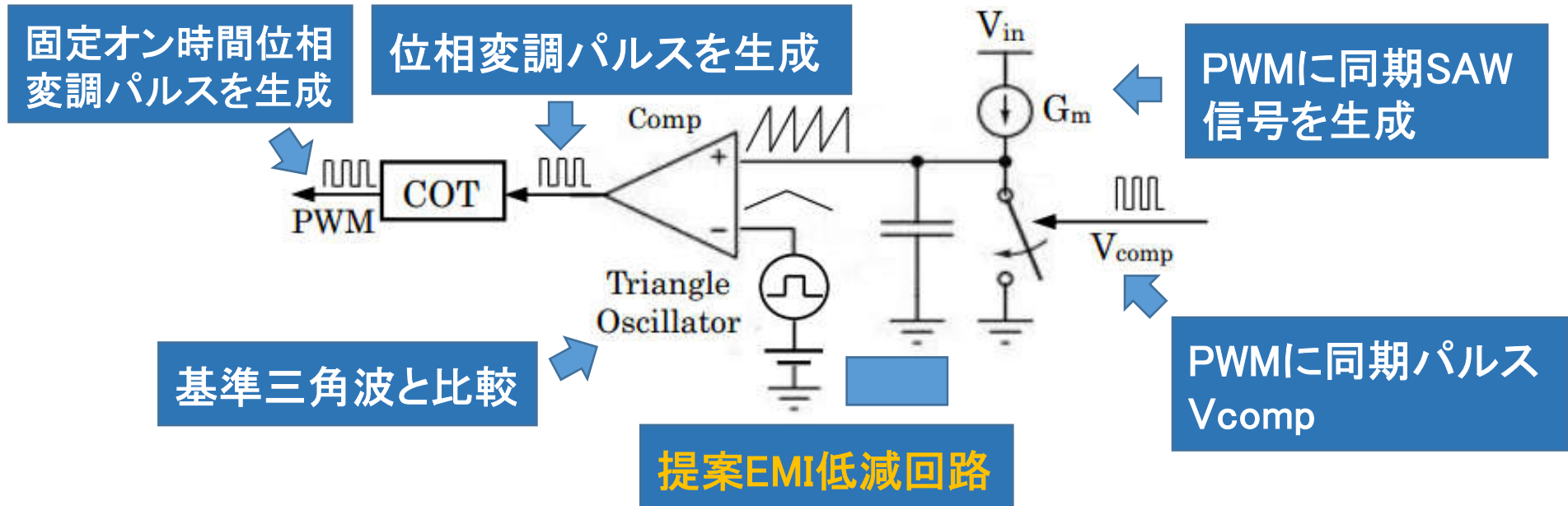


パルス位相変調方式: パルス周波数 一定
パルス幅、位相 微小変化

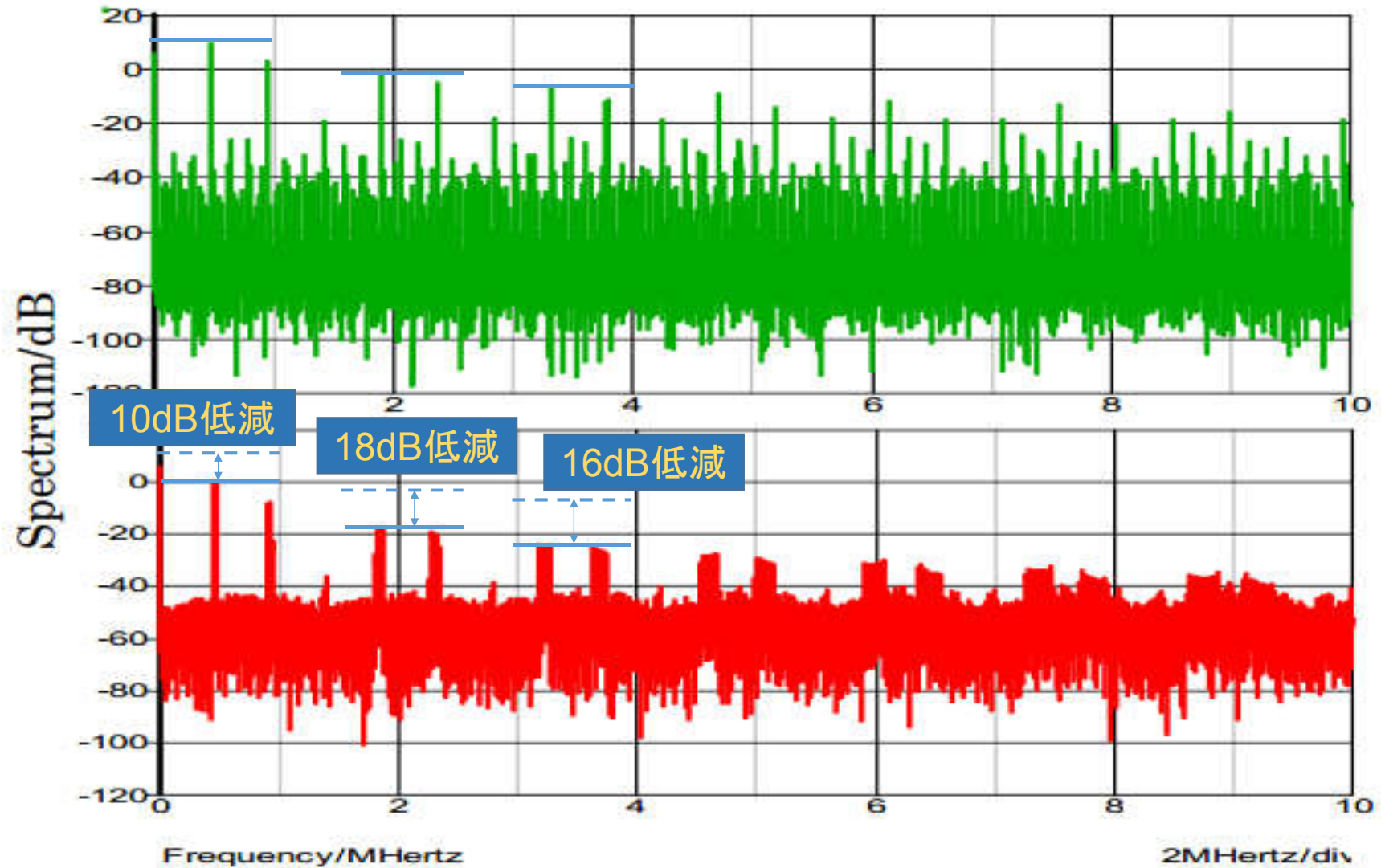
提案するEMI低減方式



固定オン時間パルス位相変調方式: パルス幅、周波数 一定
パルス位相 微小変化

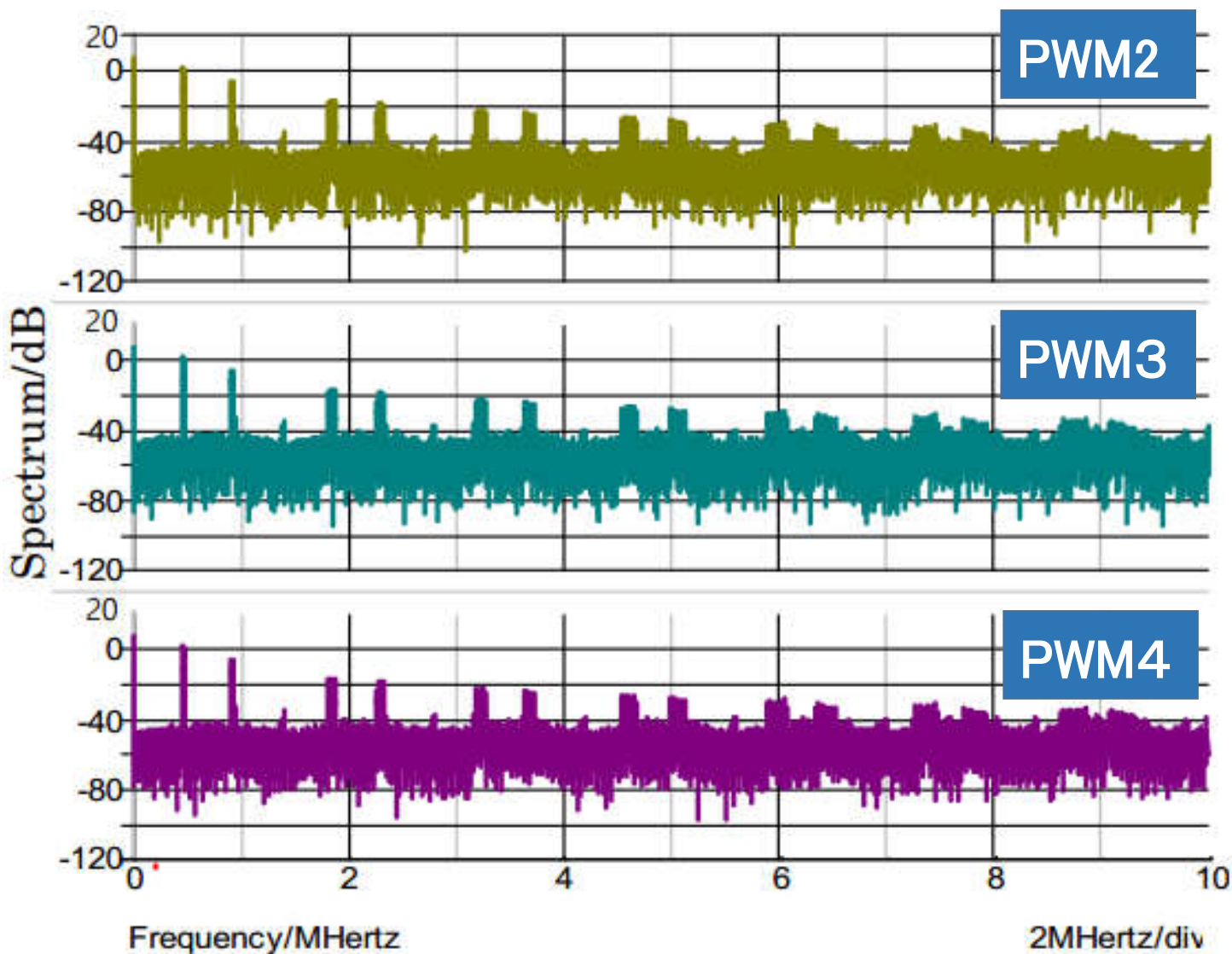


PWM1のスペクトラム拡散効果



上:EMI低減無 下:EMI低減あり

四相PWMのスペクトラム拡散効果



四相PWMのスペクトラム拡散が同期

結論

- 固定オン時間制御四相コンバータを提案した
- クロックなしで四相PWM信号を生成した
- 良い電流バランス、低出力電圧リップル、大負荷電流、高速応答を実現した
- 単相と四相の一巡伝達関数も比較し、四相化するとゼロクロス周波数が高くなって、高速応答が可能になるということが分かる
- 四相COT制御電源の EMI 低減化を実現した、PWM1 のスペクトラム拡散を行うと、四相の PWM のスペクトラム状態が同期になるということが分かった

ご清聴ありがとうございました

学而不思則罔
思而不学則殆



Q&A

① 大電流を実現するにはスイッチング周波数を上げれば同じ効果が得られるのではないですか。

大電流のスイッチングトランジスタが高周波でスイッチしづらいので、マルチフェーズにより、大電流を実現しやすい。

② マルチフェーズコンバータのパワーステージを足せば足すほど、より大きな電流値を実現することができますね。そうすると、他の欠点が全然ないですか。

欠点は回路素子の数が多くて、生産コストが高くなり、発熱も増加する。

③ パルス周波数変調とパルス位相変調また提案した固定オン時間位相変調パルスはそれぞれの欠点と利点は何ですか。

パルス幅変調

利点：出力電圧のリプル成分を小さくできることと、負荷変動に対する応答性能を高められることの二つがあげられる。

欠点：消費電力が大きいことである。

パルス位相変調

利点：消費電力を低く抑えられることが挙げられる。周波数を低くすればするほど消費電力は小さくなる。

欠点：出力電圧のリプル成分は大きくなってしまふ。さらに、負荷変動に対する応答性能は劣化してしまふ。