

LLC電流共振コンバータの スペクトラム拡散EMI低減時のリップル抑制

群馬大学大学院 理工学府 電子情報部門
片山 翔吾^{*}, 小堀 康功, 桑名 杏奈, 小林 春夫
^{*} t15304906@gunma-u.ac.jp

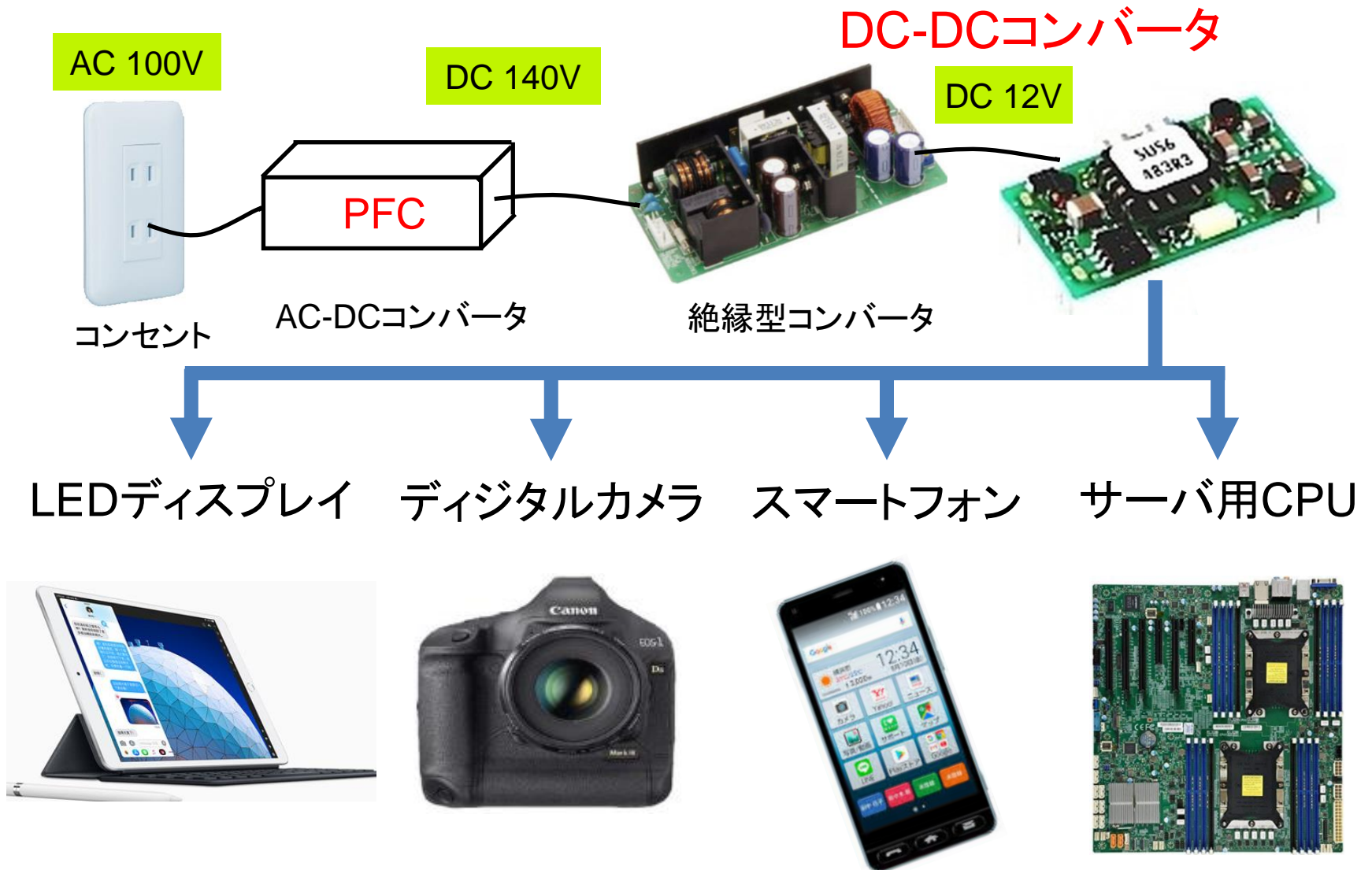
Outline

1. 研究目的
2. LLC電流共振コンバータ
3. スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減
4. 電圧リップル増加抑制手法
5. シミュレーション検証
6. まとめ

Outline

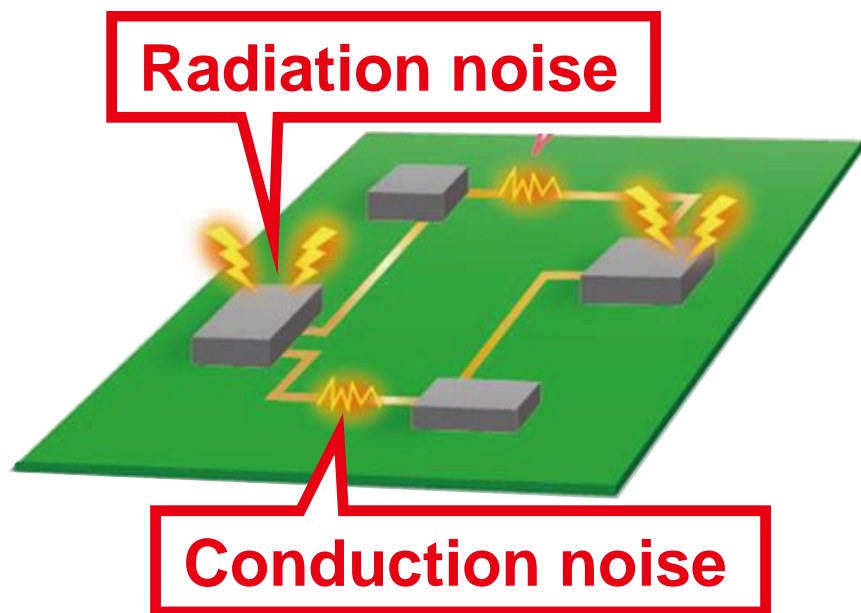
1. 研究目的
2. LLC電流共振コンバータ
3. スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減
4. 電圧リップル増加抑制手法
5. シミュレーション検証
6. まとめ

研究背景

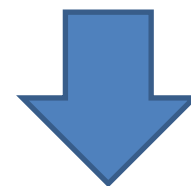


PFC: Power Factor Correction

スイッチング電源におけるEMIノイズ



出力電流: **増加**
スイッチング周波数: **上昇**



スイッチング電源回路で
EMIノイズが発生

EMI: Electro-Magnetic Interference

従来のEMIノイズ低減手法

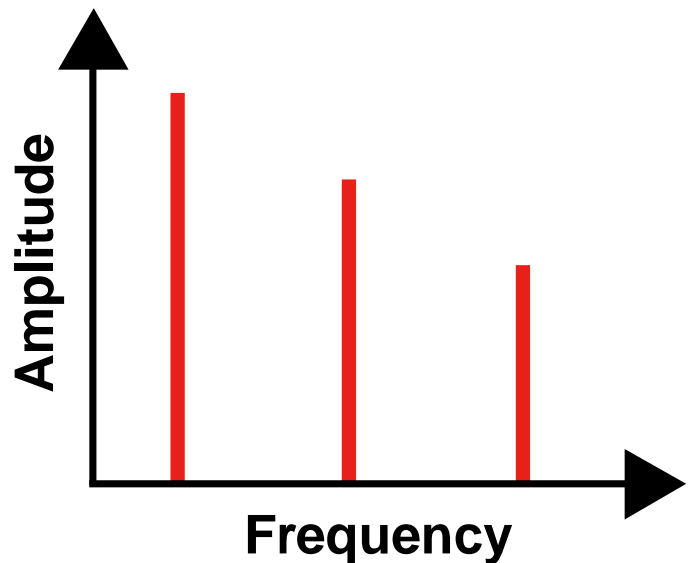
アナログフィルタ
シールドケース



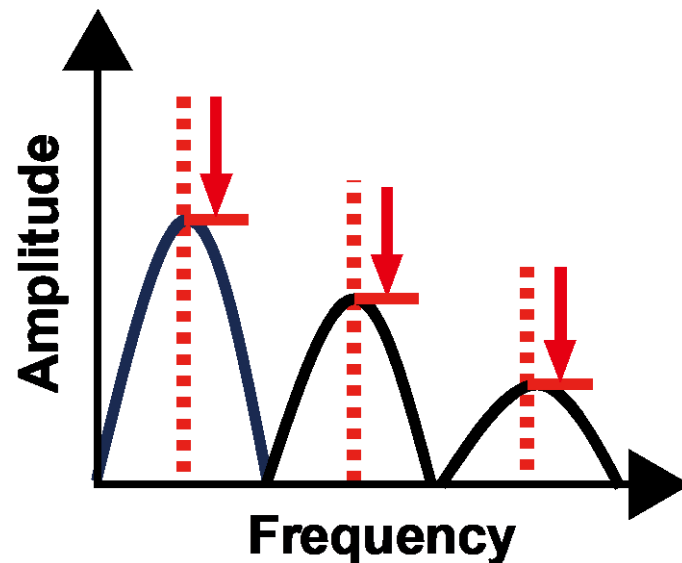
回路サイズ: 大
コスト: 高

スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減

スペクトラム拡散



Without spreading

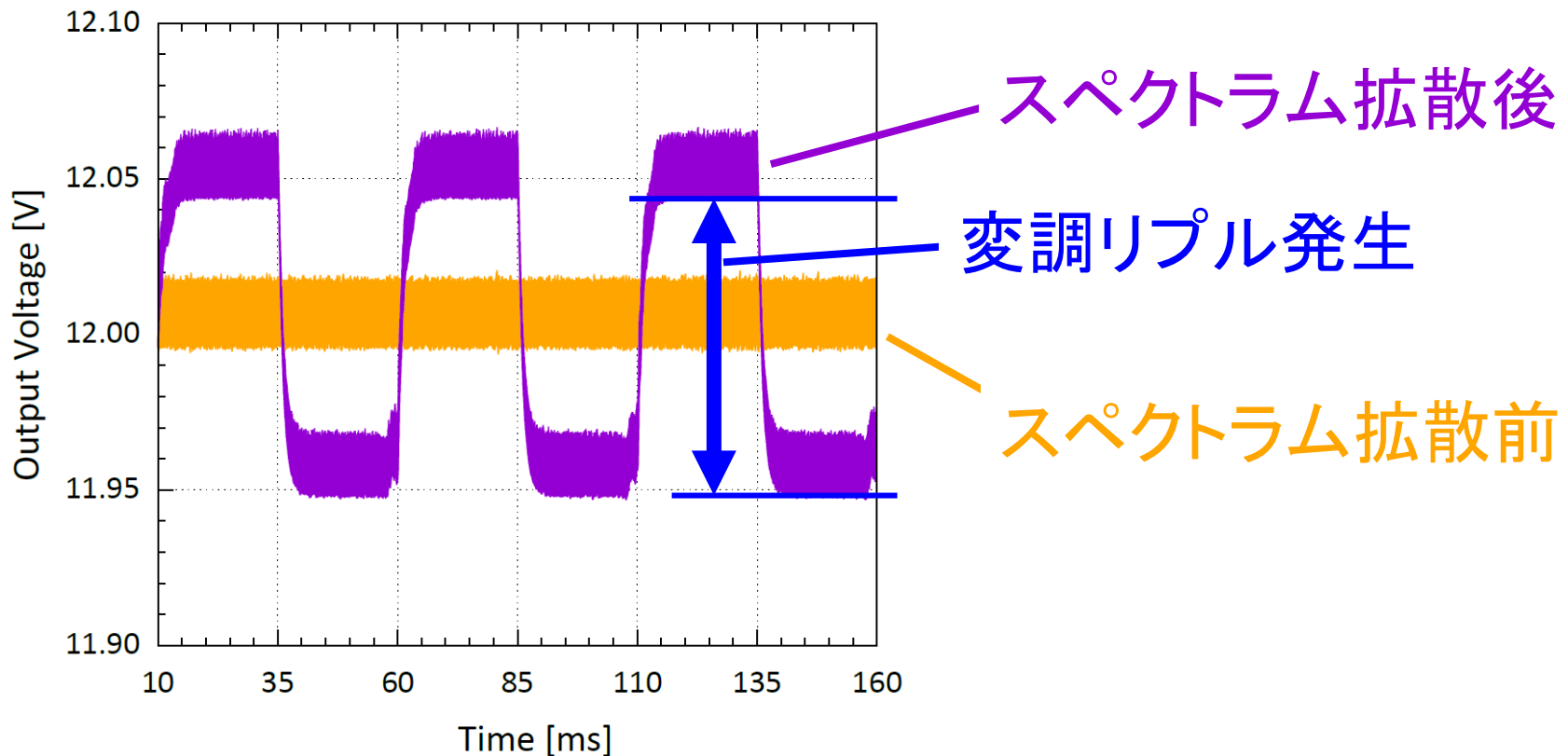


With spreading

スイッチング周波数を変調

ノイズスペクトラムのピーク ➡ 低減

スペクトラム拡散の問題点

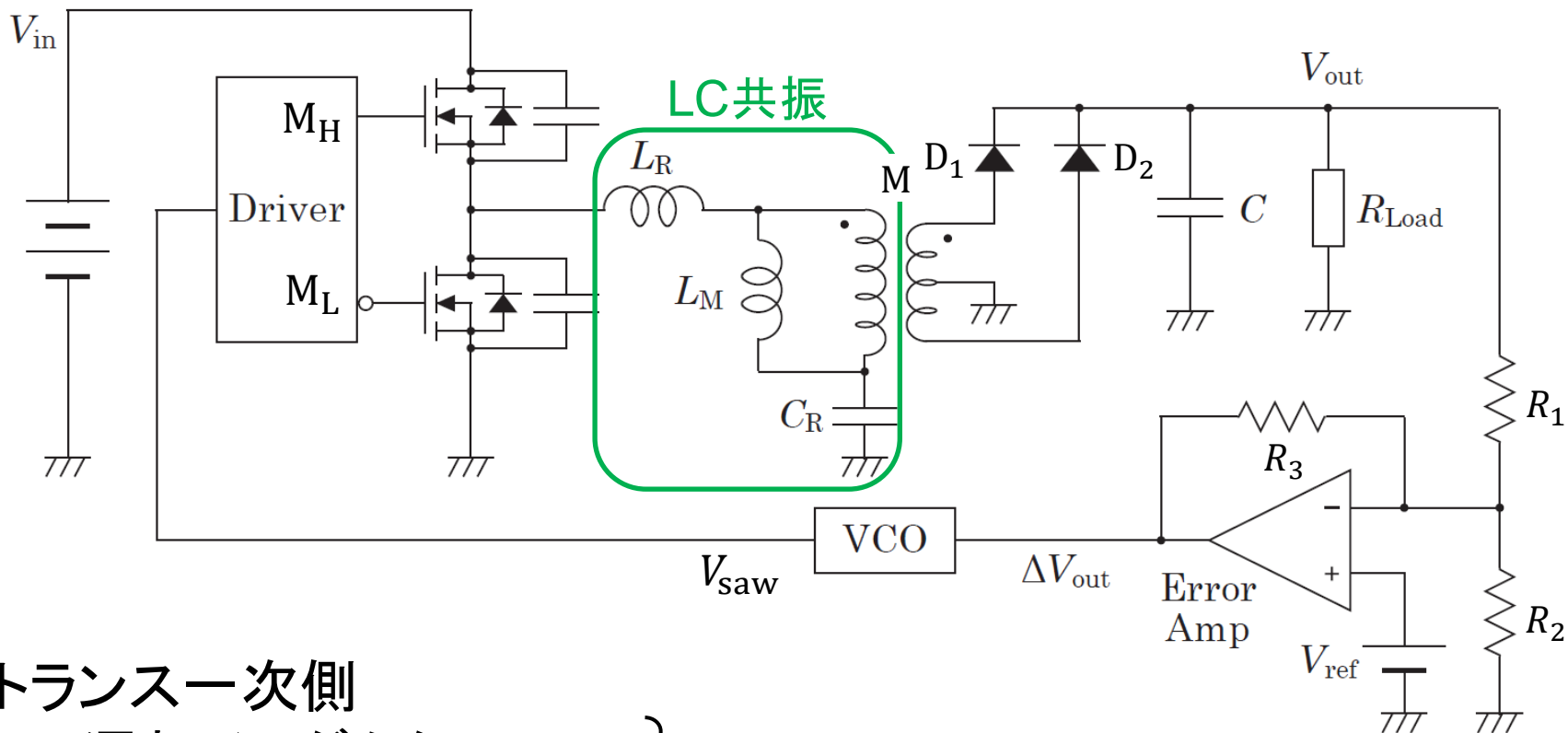


スイッチング周波数を変調
出力電圧リップル ➡ 増大
本研究では抑制手法を検討

Outline

1. 研究目的
2. LLC電流共振コンバータ
3. スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減
4. 電圧リップル増加抑制手法
5. シミュレーション検証
6. まとめ

LLC電流共振コンバーター 回路構成



トランス一次側

漏れインダクタンス L_R
 励磁インダクタンス L_M
 共振用コンデンサ C_R

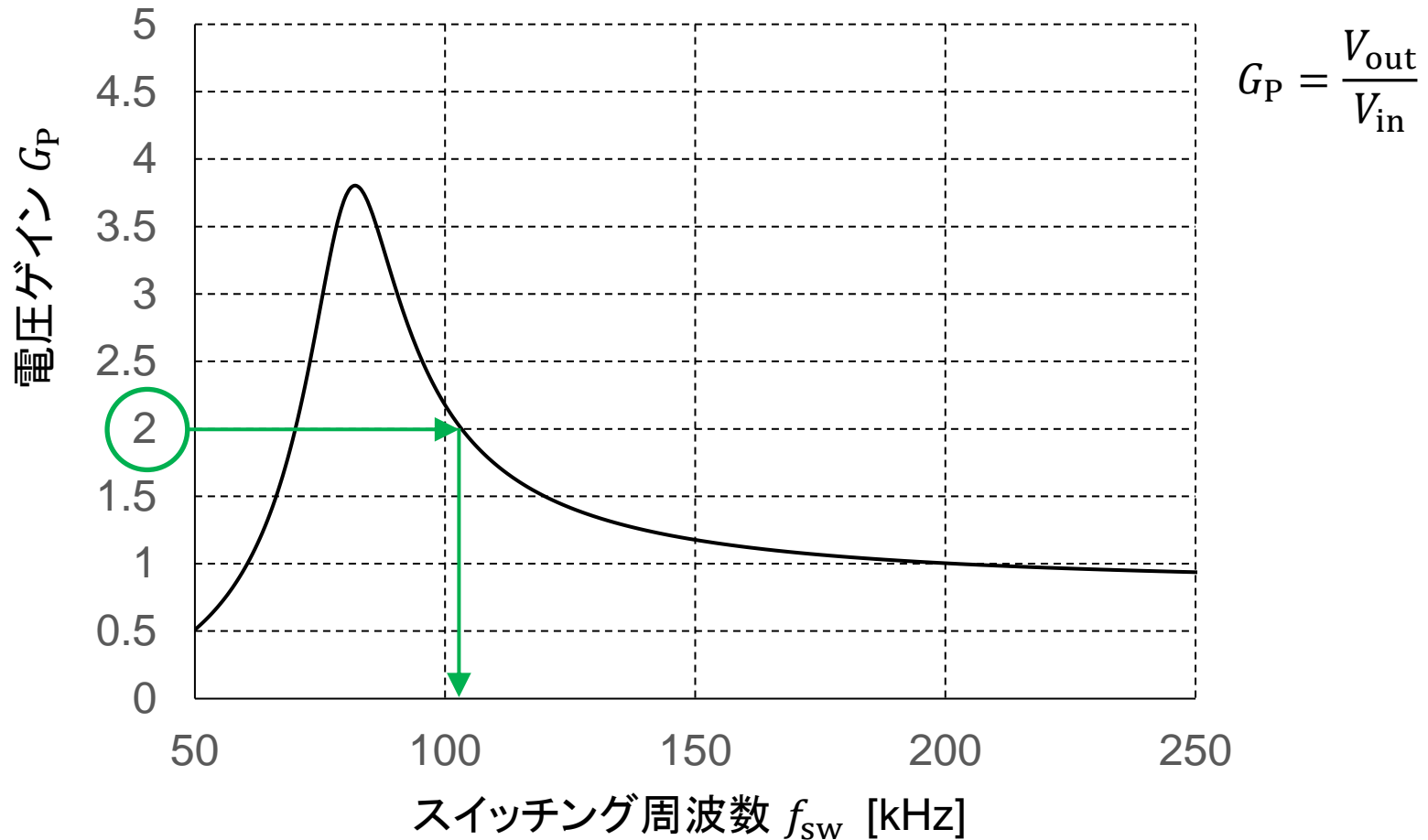
LC共振



電流波形: 正弦波状
 EMIノイズ比較的小さい
 サーバ, 大型テレビに使用

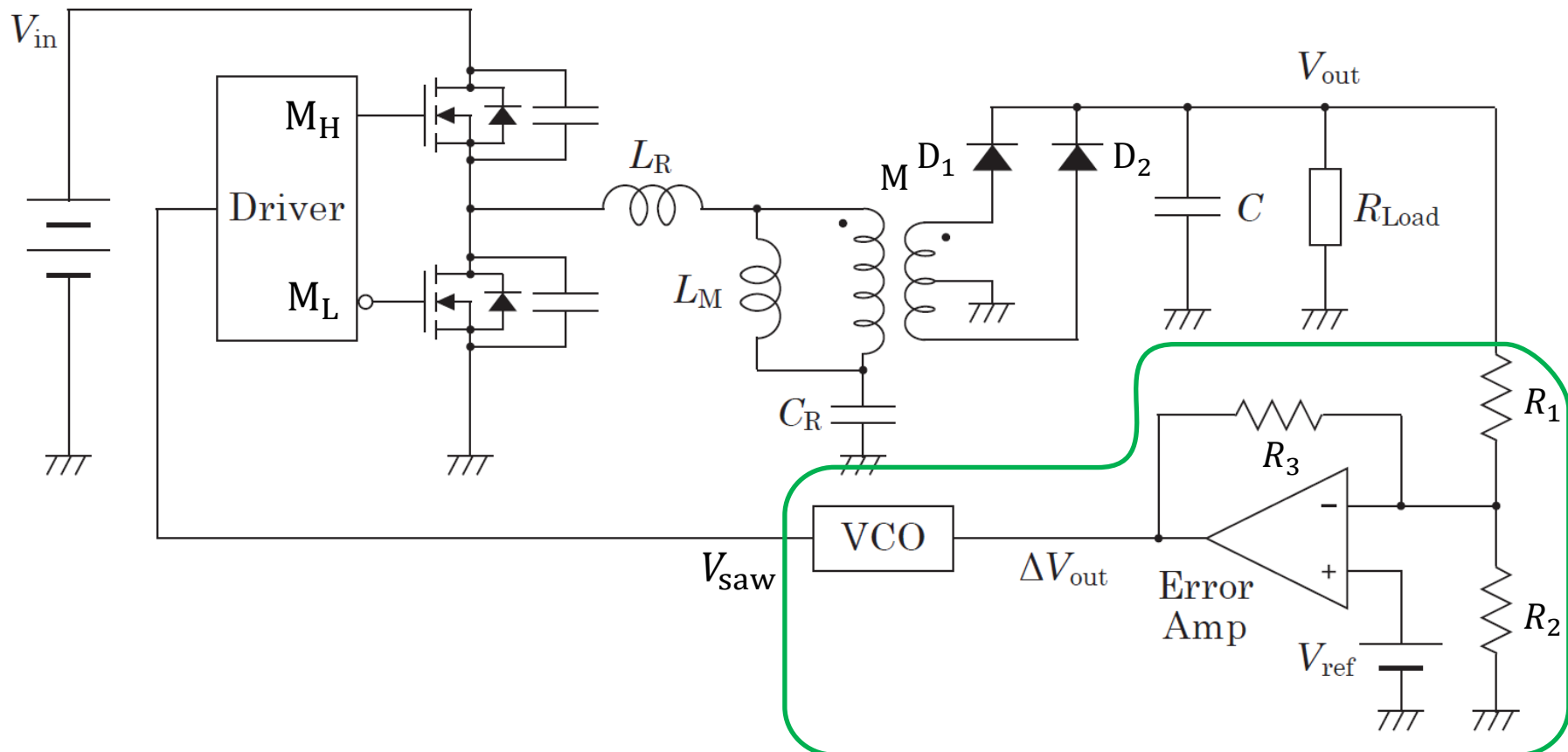
スペクトラム拡散により さらにEMIノイズを低減

LLC電流共振コンバーター 出力電圧制御



所望の出力電圧となる電圧ゲイン G_P ➡ スwitching周波数 f_{sw}

LLC電流共振コンバーター 制御回路



所望の出力電圧となる電圧ゲイン G_P ➡ スイッチング周波数 f_{sw}

フィードバック制御: エラーアンプ出力をVCOに入力

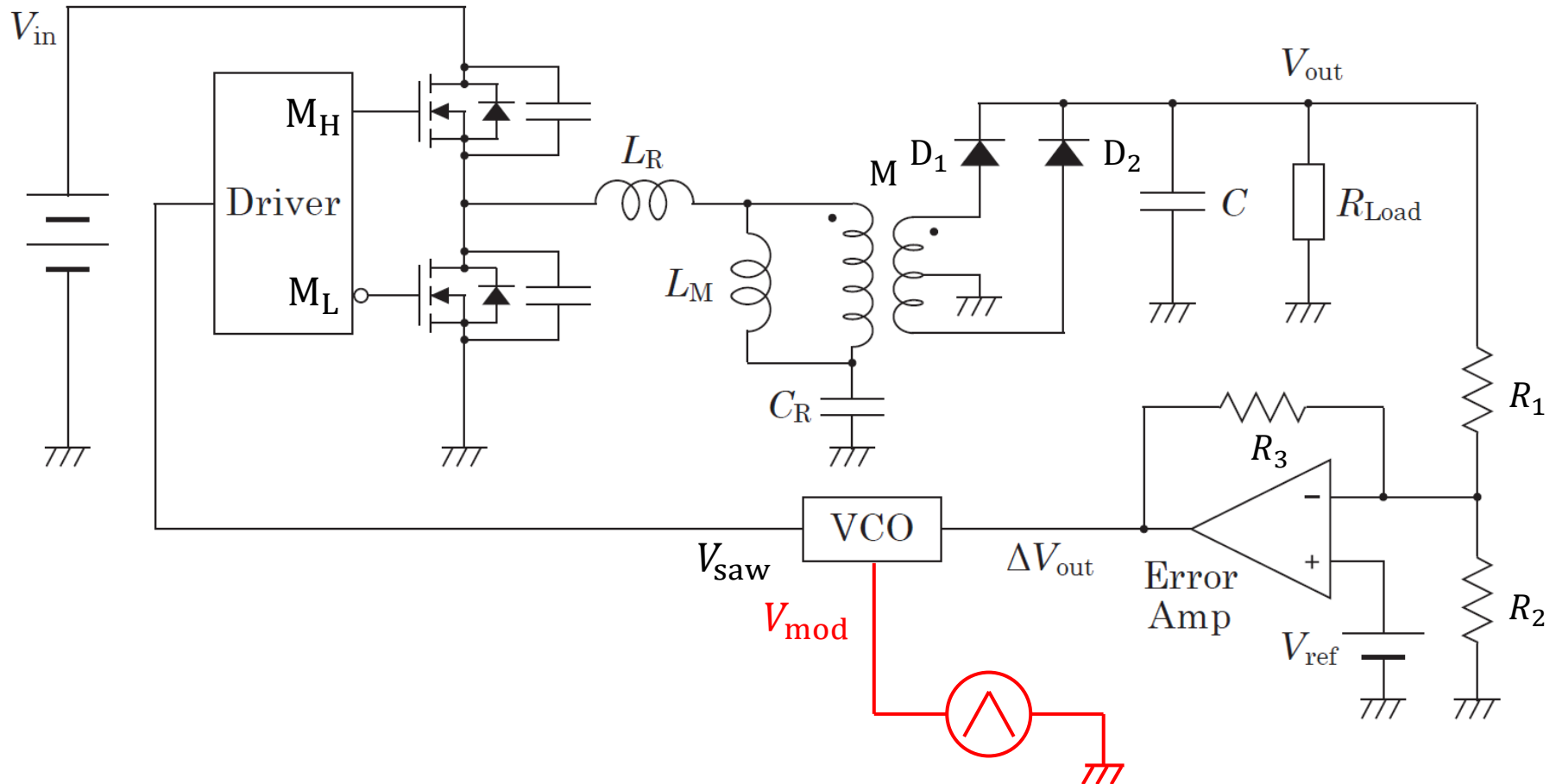
外部クロックなし

VCO: Voltage Control Oscillator

Outline

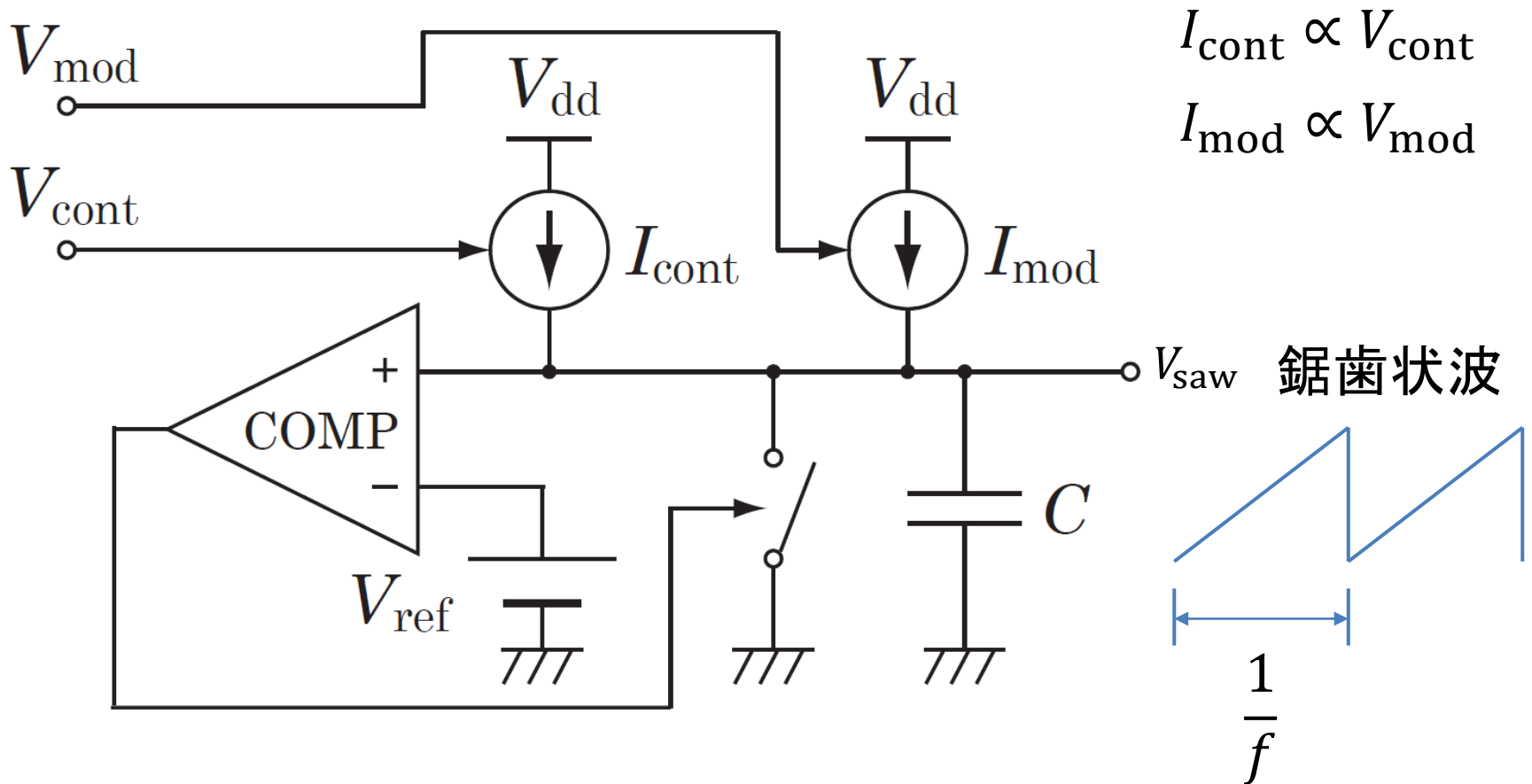
1. 研究目的
2. LLC電流共振コンバータ
3. スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減
4. 電圧リップル増加抑制手法
5. シミュレーション検証
6. まとめ

LLC電流共振コンバーターのスペクトラム拡散



VCOに三角波を入力
 ΔV_{out} による周波数から変調

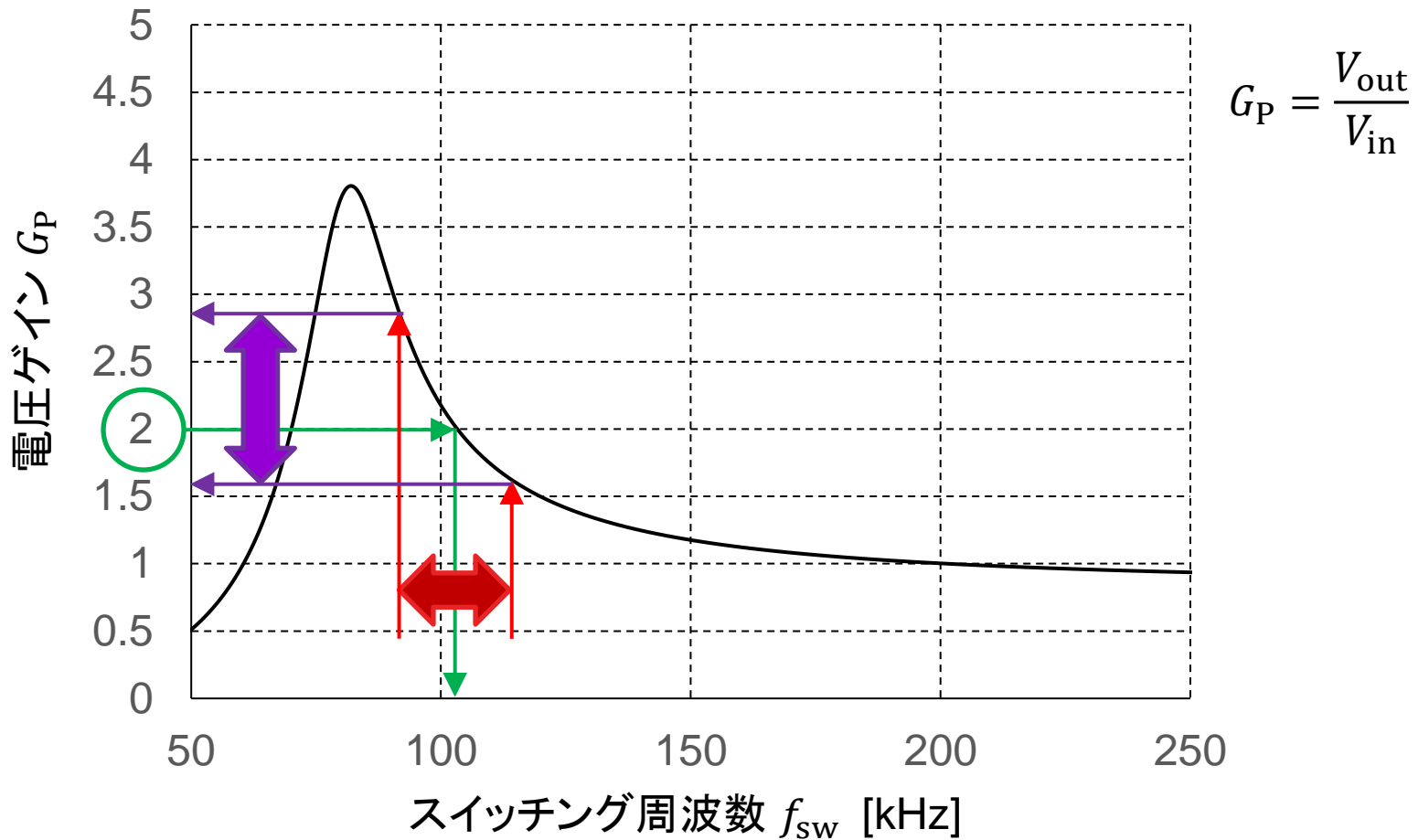
VCOの構成



鋸歯状波の周波数

$$f \propto V_{\text{cont}} + V_{\text{mod}}$$

スペクトラム拡散による出力電圧リップル



$$G_P = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

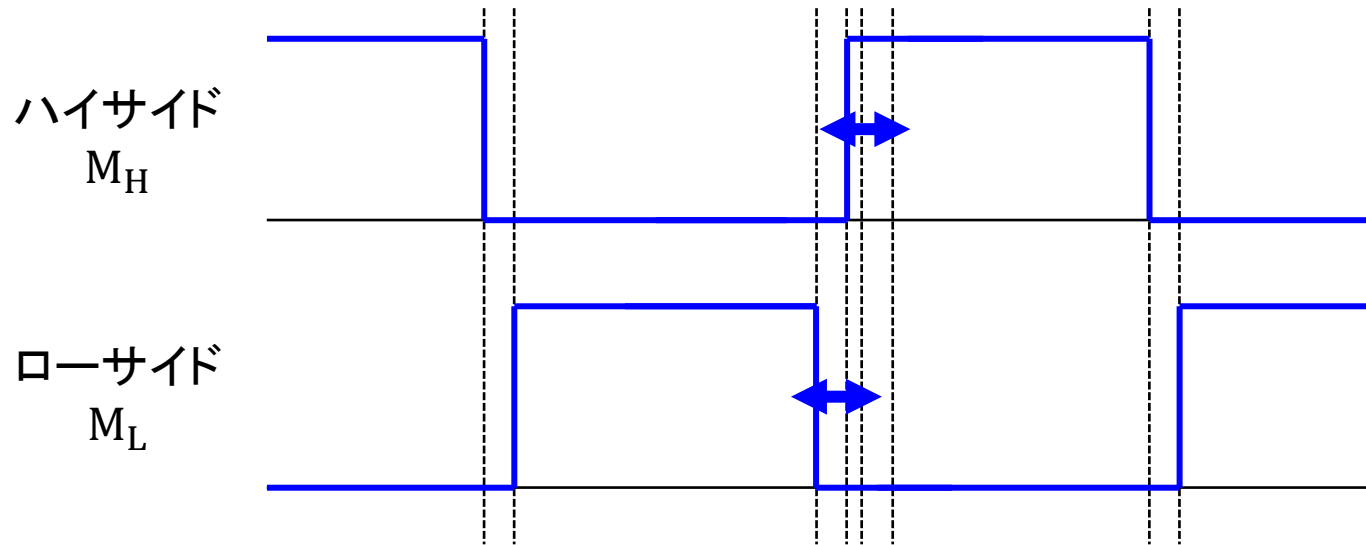
スイッチング周波数 f_{sw} を変調 ➡ 出力電圧も変調される

出力電圧変調: 出力電圧リップル

Outline

1. 研究目的
2. LLC電流共振コンバータ
3. スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減
4. 電圧リップル増加抑制手法
5. シミュレーション検証
6. まとめ

従来検討のリプル補正: デューティー比補正

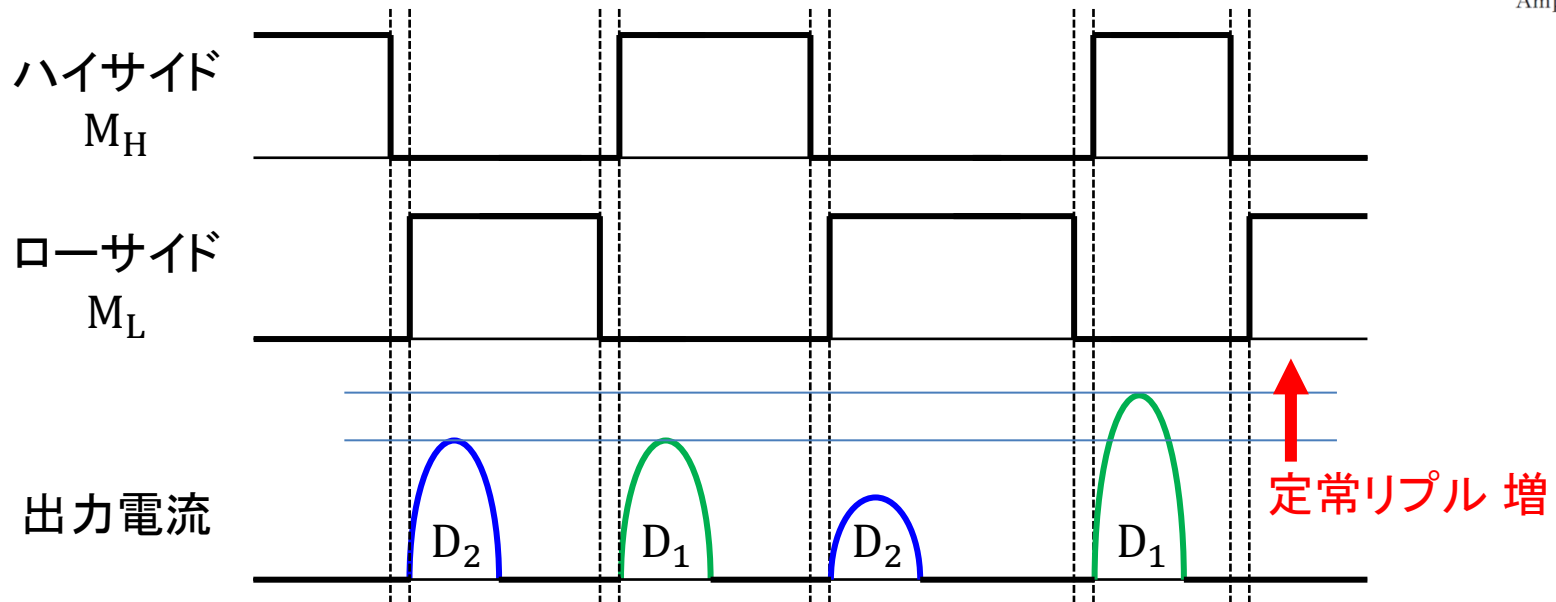
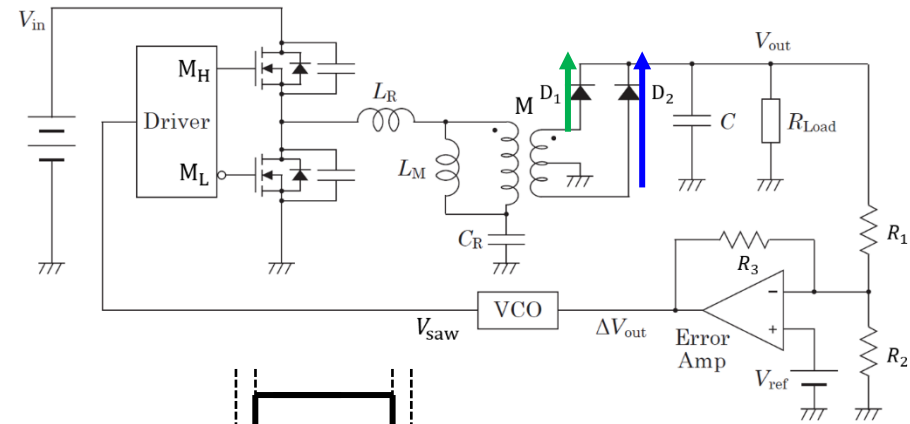


従来検討:

スイッチング周波数 f_{sw} の変調と同時にデューティー比も変調
電圧ゲインを一定化

$$\text{デューティー比: } \frac{\text{ハイサイドのオン時間}}{\text{スイッチング周期}}$$

デューティ比補正の問題点



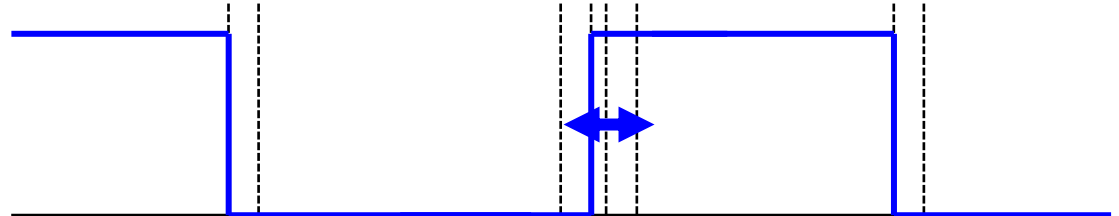
出力電流振幅: D_1 側, D_2 側 バランス変化
 定常リップル増 \rightarrow リプル抑制効果 低

提案リップル補正: デッドタイム補正

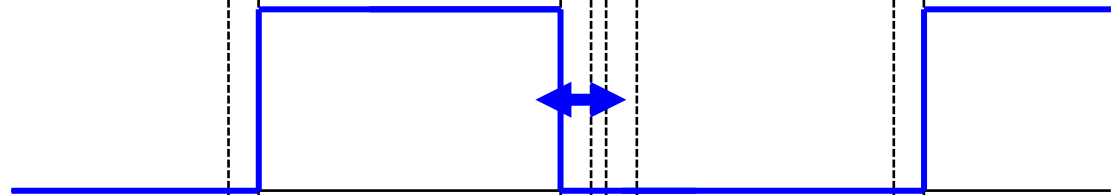
従来検討:

デューティー比補正

ハイサイド M_H



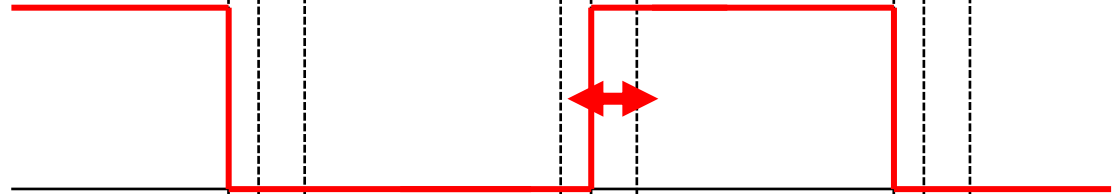
ローサイド M_L



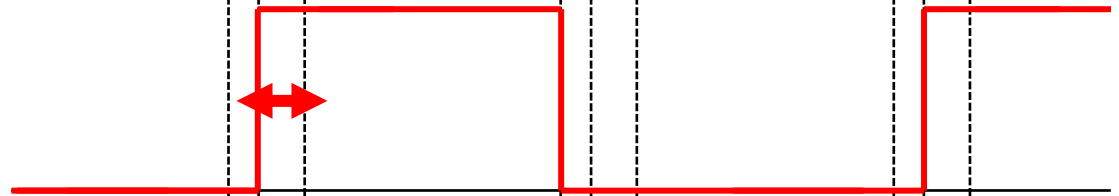
本検討:

デッドタイム補正

ハイサイド M_H



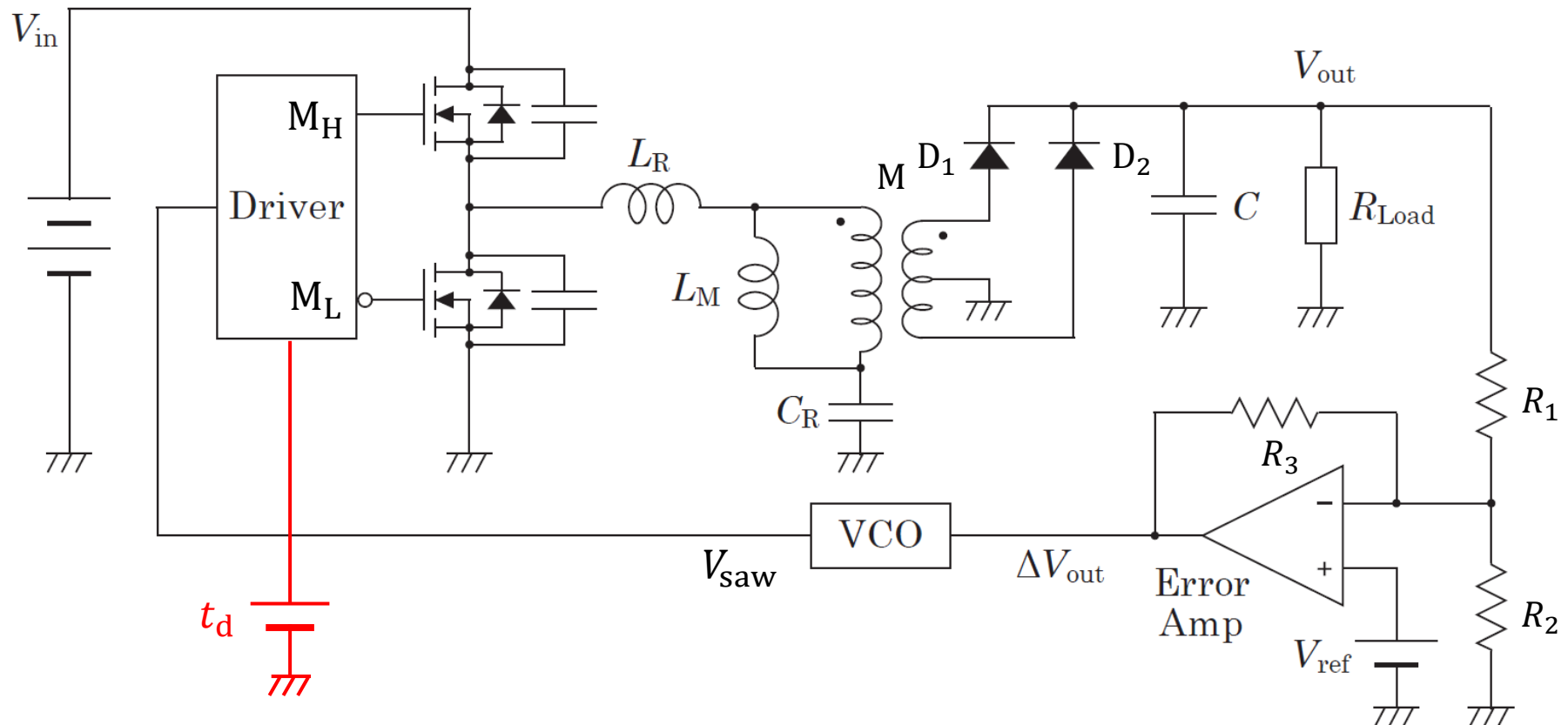
ローサイド M_L



デッドタイム:

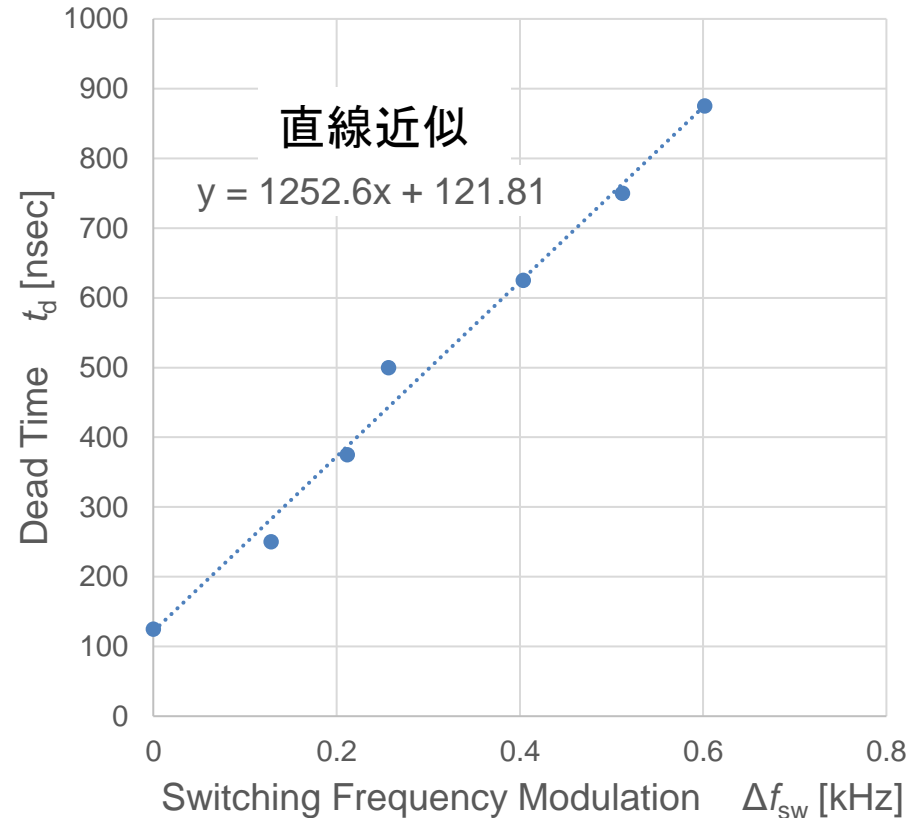
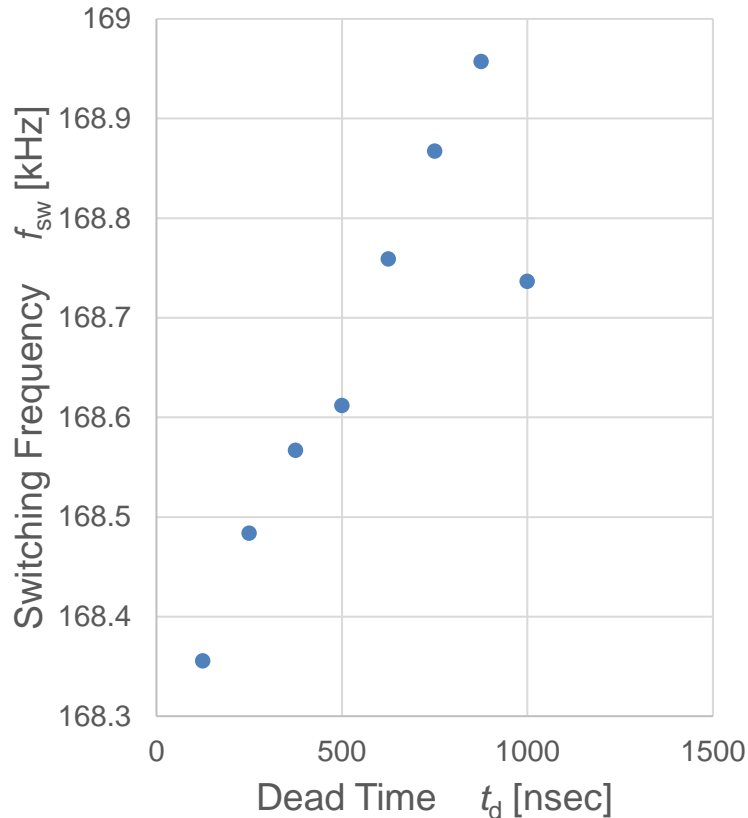
HS・LS一方がOFFになってから
他方がONになるまでの時間

デッドタイム補正関数の生成シミュレーション



デッドタイムをパラメータとしてシミュレーション
定常状態における ΔV_{out} からSW周波数を得る

デッドタイム補正関数



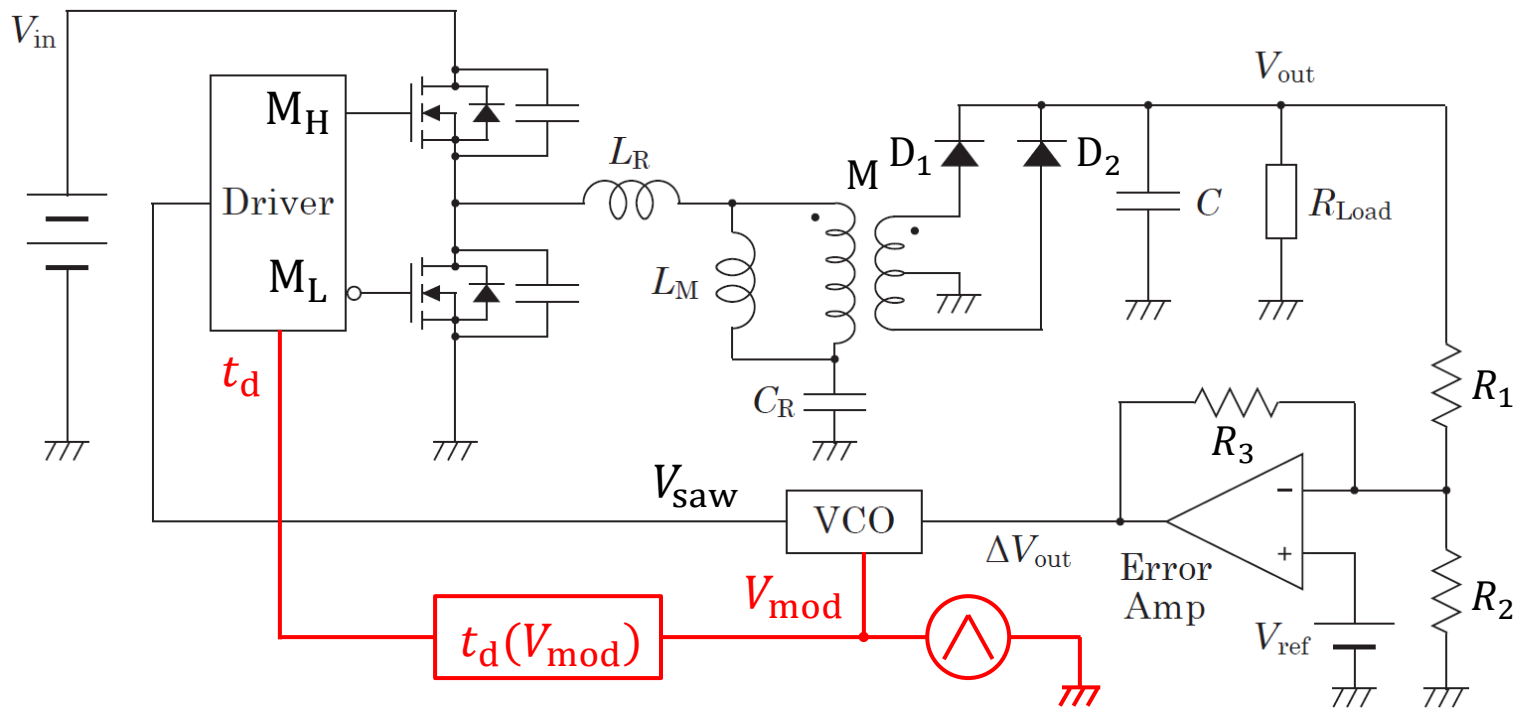
デッドタイム最短時からのSW周波数変化: 周波数変調値 Δf_{sw}
 $\Delta f_{sw} - t_d$ 特性を直線近似 ➡ **デッドタイム補正関数**

$$t_d = 1252.6\Delta f_{sw} + 121.81 \quad [\text{nsec}]$$

Outline

1. 研究目的
2. LLC電流共振コンバータ
3. スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減
4. 電圧リップル増加抑制手法
5. シミュレーション検証
6. まとめ

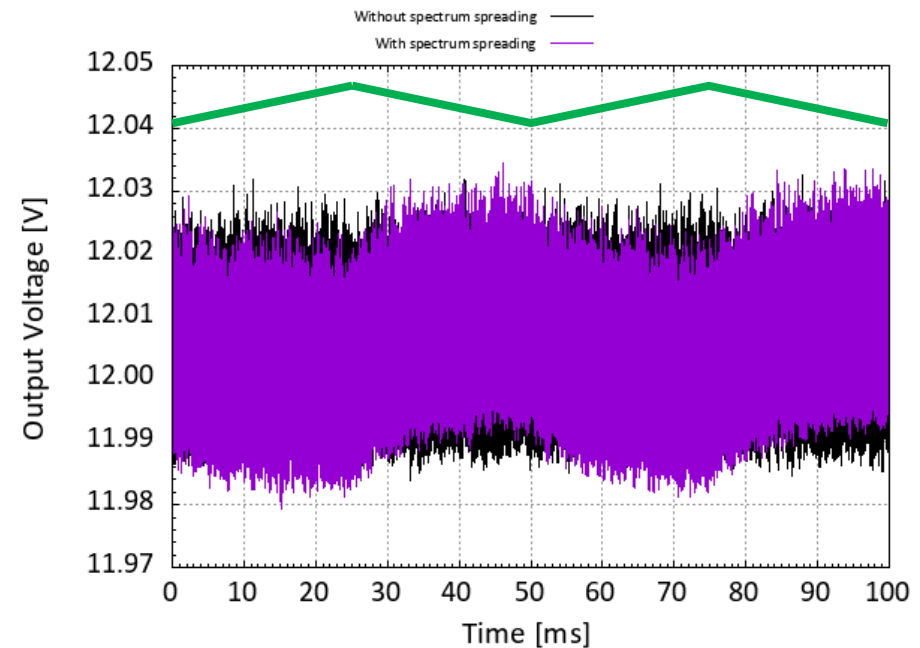
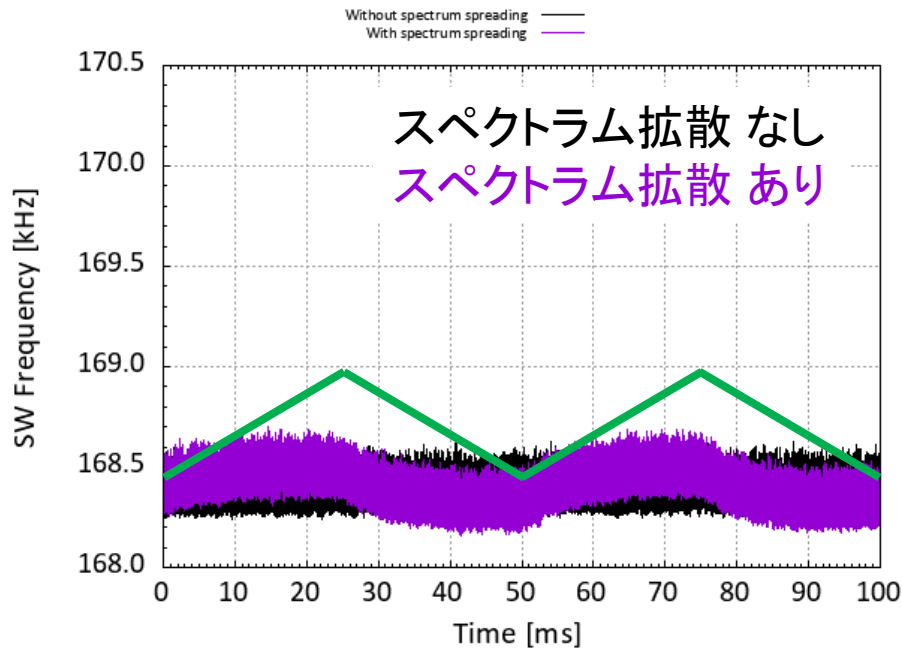
シミュレーション回路



パラメータ	設定値	パラメータ	設定値
入力電圧 V_{in}	400 V DC	励磁インダクタンス L_M	250 μ H
出力電圧 V_{out}	12 V	漏れインダクタンス L_R	48 μ H
負荷抵抗 R_{Load}	6 Ω	共振用コンデンサ C_R	13 nF
		トランス巻数比	12 : 1

シミュレーション結果 (スペクトラム拡散)

スペクトラム拡散時の変調信号: 0 V – 0.5 V 三角波
変調感度: 1 kHz/V ➡ 目標: 500Hz



スイッチング周波数変調幅: 170 Hz

出力電圧リップル: スペクトラム拡散 なし 40 mV

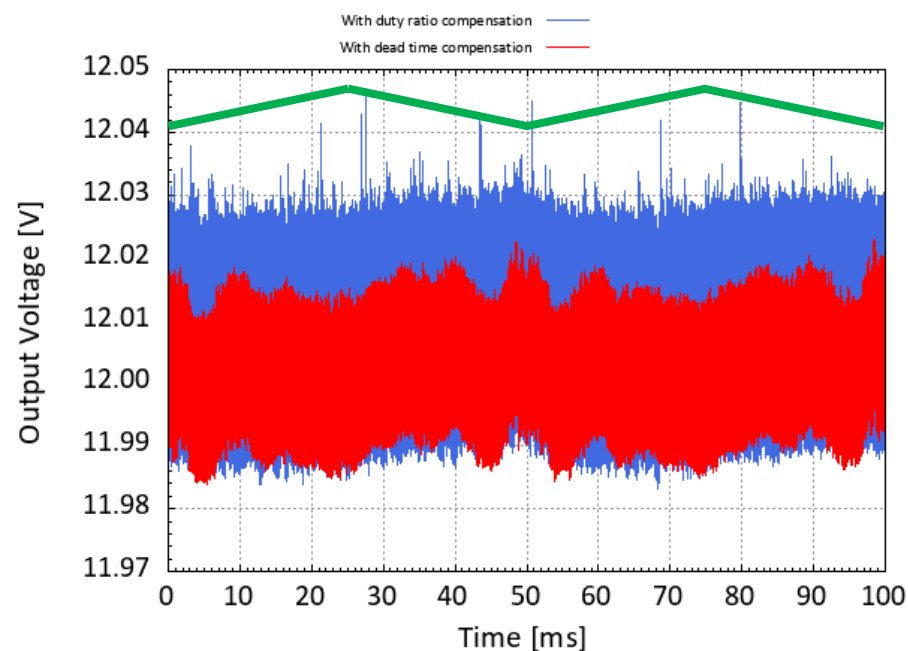
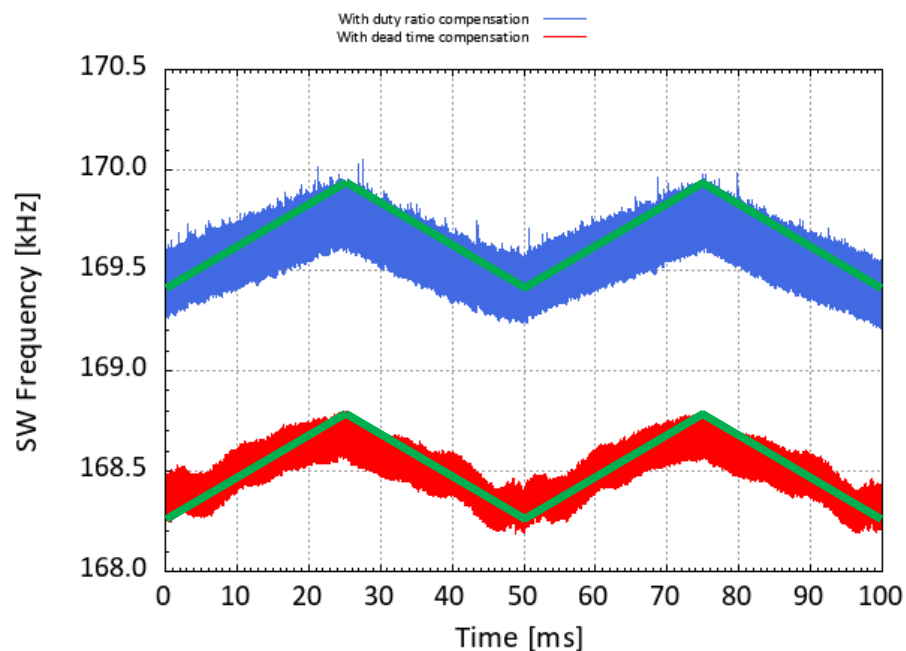
スペクトラム拡散 あり 48 mV

スペクトラム拡散: リプル増加

シミュレーション結果 (リップル補正)

変調信号: 0 V – 0.5 V 三角波
 変調感度: 1 kHz/V ➡ 目標: 500Hz

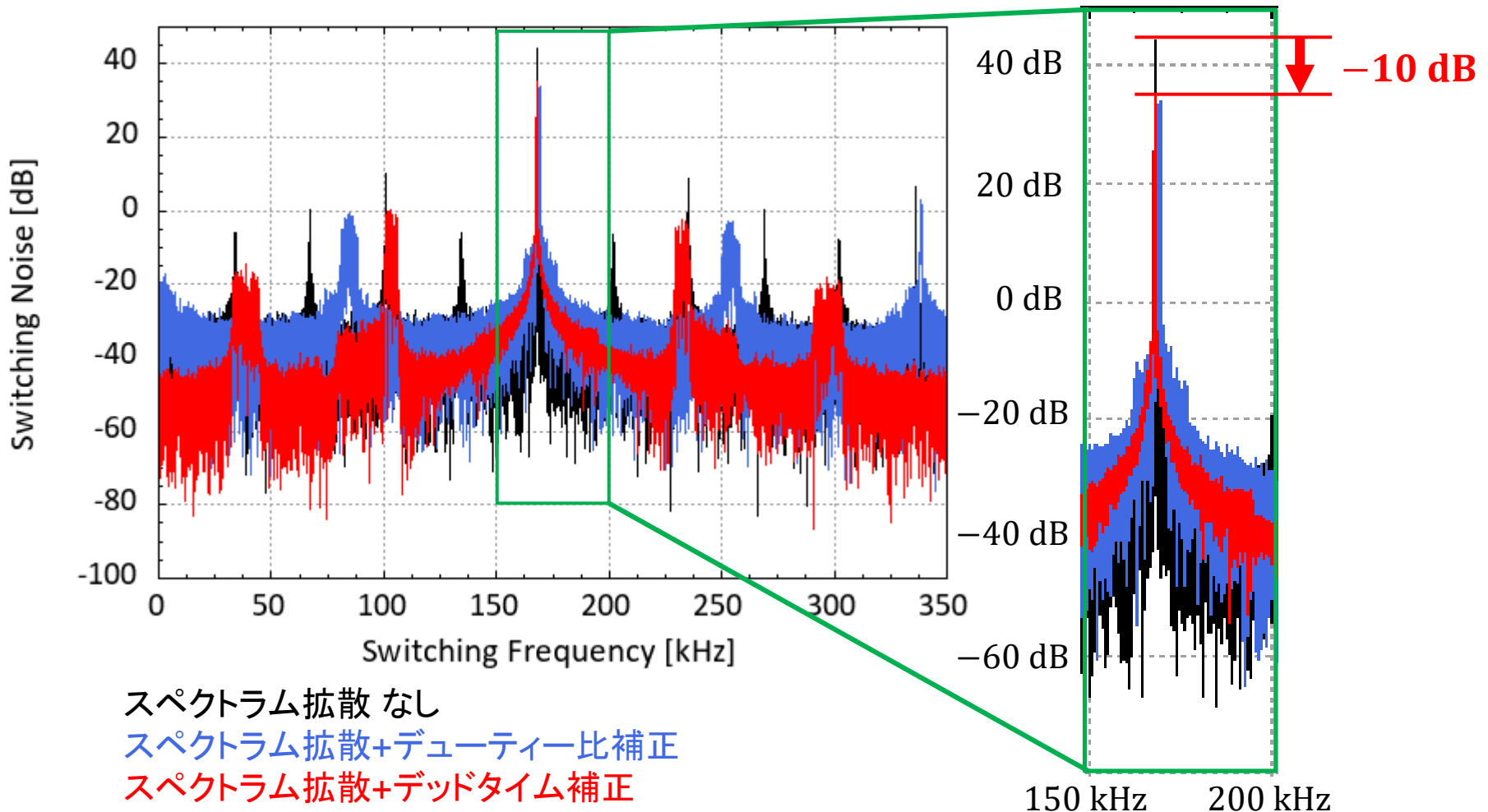
スペクトラム拡散
 +デューティー比補正
 +デッドタイム補正



スイッチング周波数変調幅: 400 Hz
 出力電圧リップル: デューティー比補正 44 mV
 デッドタイム補正 36 mV

デッドタイム補正: よりリップル低減

シミュレーション結果 (ノイズスペクトラム)



スイッチングノイズ: **-10 dB**

デューティ比補正と同等のノイズ低減効果

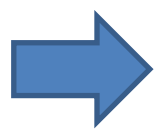
Outline

1. 研究目的
2. LLC電流共振コンバータ
3. スペクトラム拡散によるEMIノイズ低減
4. 電圧リップル増加抑制手法
5. シミュレーション検証
6. まとめ

まとめ

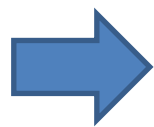
スペクトラム拡散により
LLC電流共振コンバータのEMIノイズを低減

◆スペクトラム拡散による
電圧リップル増加の抑制手法を検討



従来検討: デューティ比補正
本検討での提案: **デッドタイム補正**

◆シミュレーション検証



スイッチングノイズ: **-10 dB**
電圧リップル: **スペクトラム拡散のみ 48 mV**
デューティ比補正 44 mV
デッドタイム補正 36 mV

今後の課題

◆補正可能なSW周波数変調値が小さい(D補正の1/10)

➡ 補正可能なSW周波数変調値の拡大を検討

◆シミュレーションによりデッドタイム補正関数を生成

➡ 理論式による補正関数の導出を検討

◆負荷一定の条件でシミュレーション

➡ 負荷変動時のリップル補正効果を検証

◆シミュレーション中心の検討

➡ 実装回路による検証を行う
制御回路: アナログ

ご清聴ありがとうございました

Q & A

- 小野 晋也 様 (東光高岳)
Q. ノイズピークが下がる代わりに
ノイズの帯域が広がっている
外部にフィルタを付けず
単体での使用を想定しているか?
A. 最終的には外部フィルタなしでの使用を目指す
- 後藤 先生 (宇都宮大学)
Q. 電圧リップルは理想的にはどの程度まで下げるか?
A. 10mV以内を目指す
- Q. 何W程度の電源を想定?
A. 100 W – 200 W (大型テレビ)