

スイッチング電源における ノッチ特性を有するスペクトラム拡散

Spread Spectrum with Notch Frequency for Switching Converter

小山工業高等専門学校 専攻科 2年
深谷 太詞

目次

1. 研究背景・目的
2. アナログノイズによるスペクトラム拡散
 - 構成
 - シミュレーション結果
3. パルスコーディング方式電源の検討
 - パルス幅コーディングPWC方式によるノッチ特性
 - PWC方式スイッチング電源の構成
4. シミュレーション結果
 - PWC方式のシミュレーション
 - PWC方式+EMI拡散のシミュレーション
5. 実装確認
6. まとめ・今後

1.研究背景・目的

・スイッチング電源の特徴

欠点

- リップル
- **EMI**

利点

- 小型
- 軽量
- 高効率

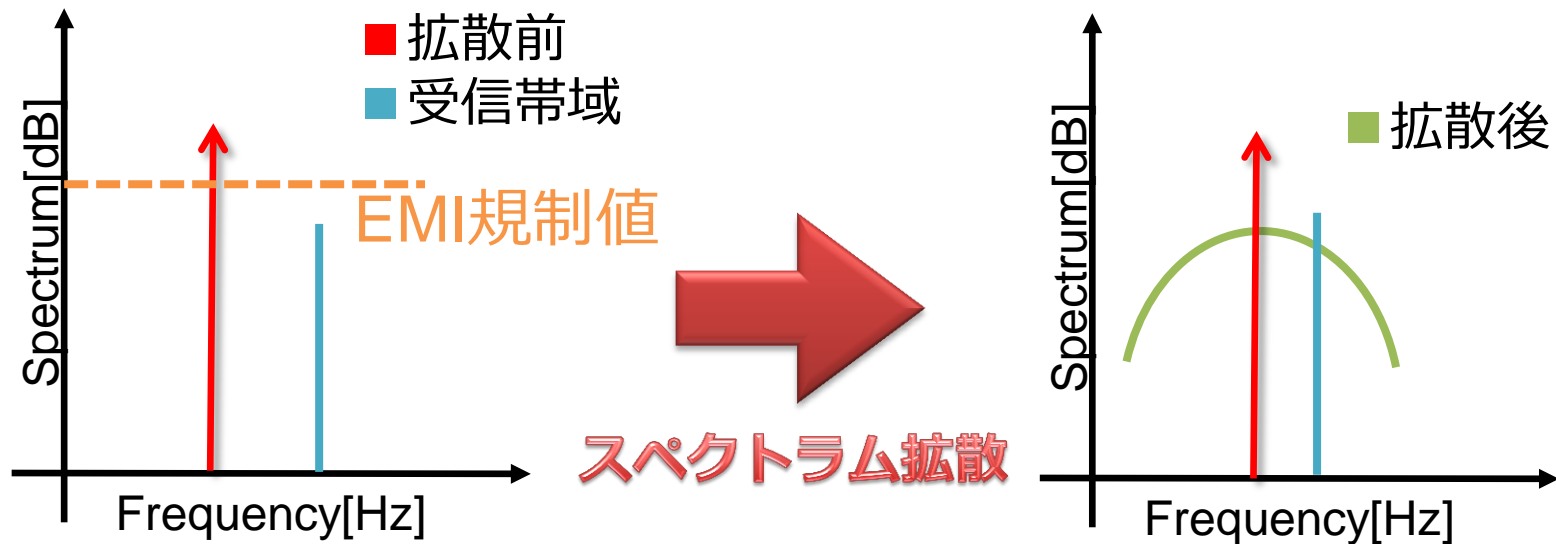
高度化する電子機器へ対応するため
スイッチング電源は不可欠



スイッチングに起因するEMIの低減

1.研究背景・目的

- EMI低減手法
 - 周辺帯域にエネルギーを拡散



課題

受信帯域にノイズ拡散

1.研究背景・目的

• 従来のEMI低減方法の問題

– 無線機器の受信帯域(AM)にノイズを拡散してしまう

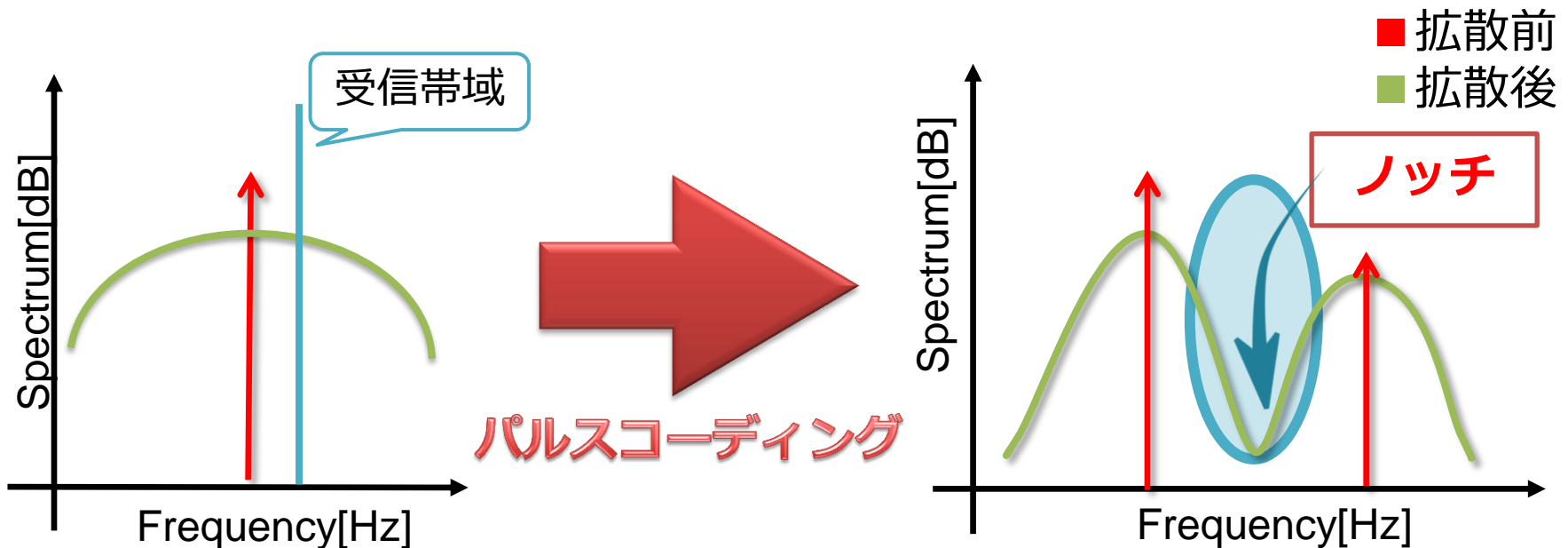


図1. 従来方式によるスペクトラム

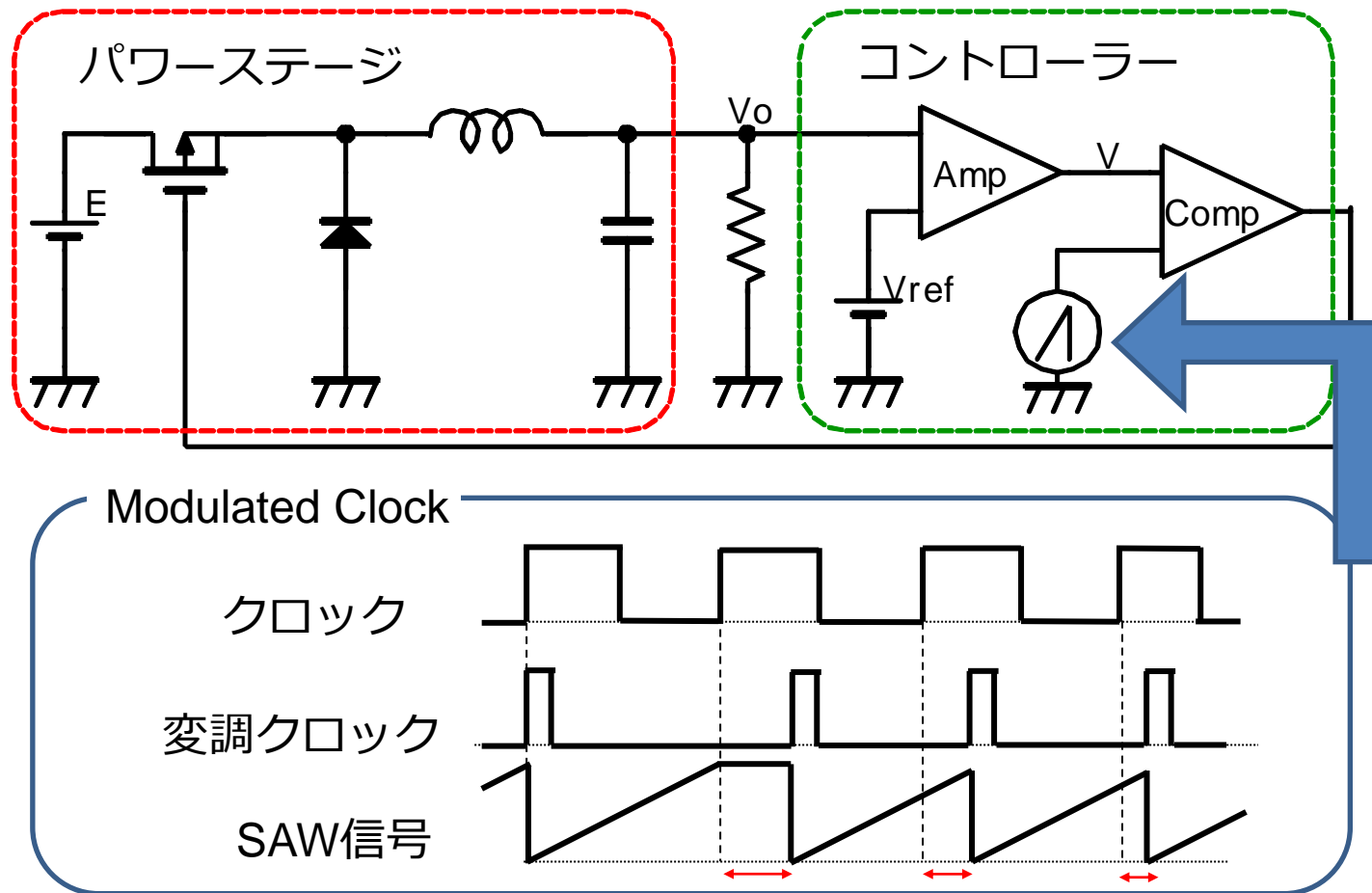
図2.パルスコーディングによる
ノッチ特性

目的

受信帯域を避けてノイズを拡散

2. アナログノイズによるスペクトラム拡散

• 回路方式



制御クロックを変動 ⇒ スペクトル拡散

2. アナログノイズによるスペクトラム拡散

- アナログノイズ方式の回路構成

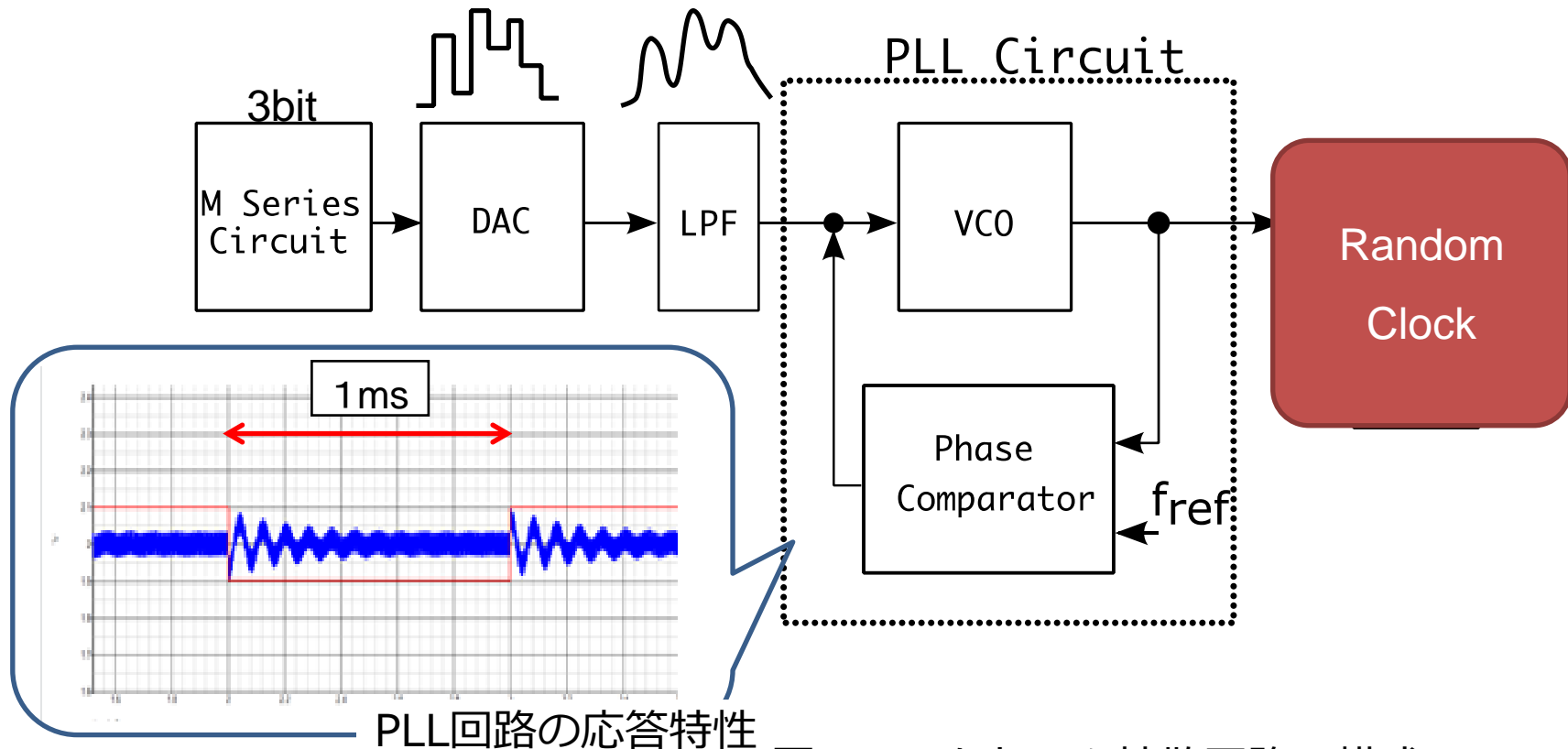


図4. スペクトラム拡散回路の構成

f_{ref} を中心に周波数をランダムに変調

2. アナログノイズによるスペクトラム拡散

• EMI拡散によるスペクトラム

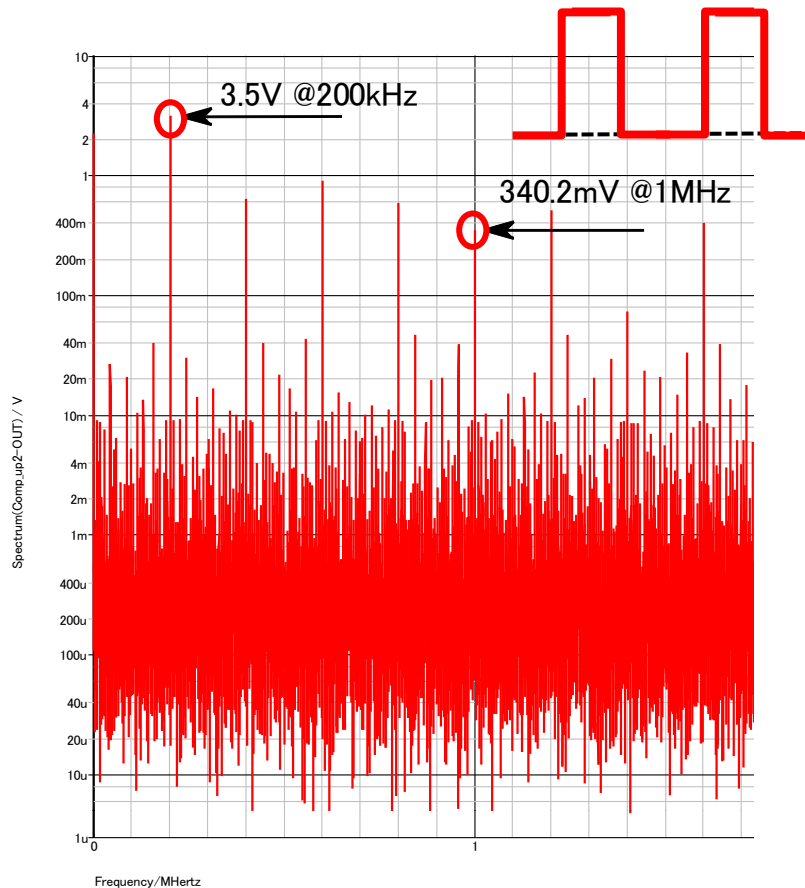


図4.適用前のスペクトラム

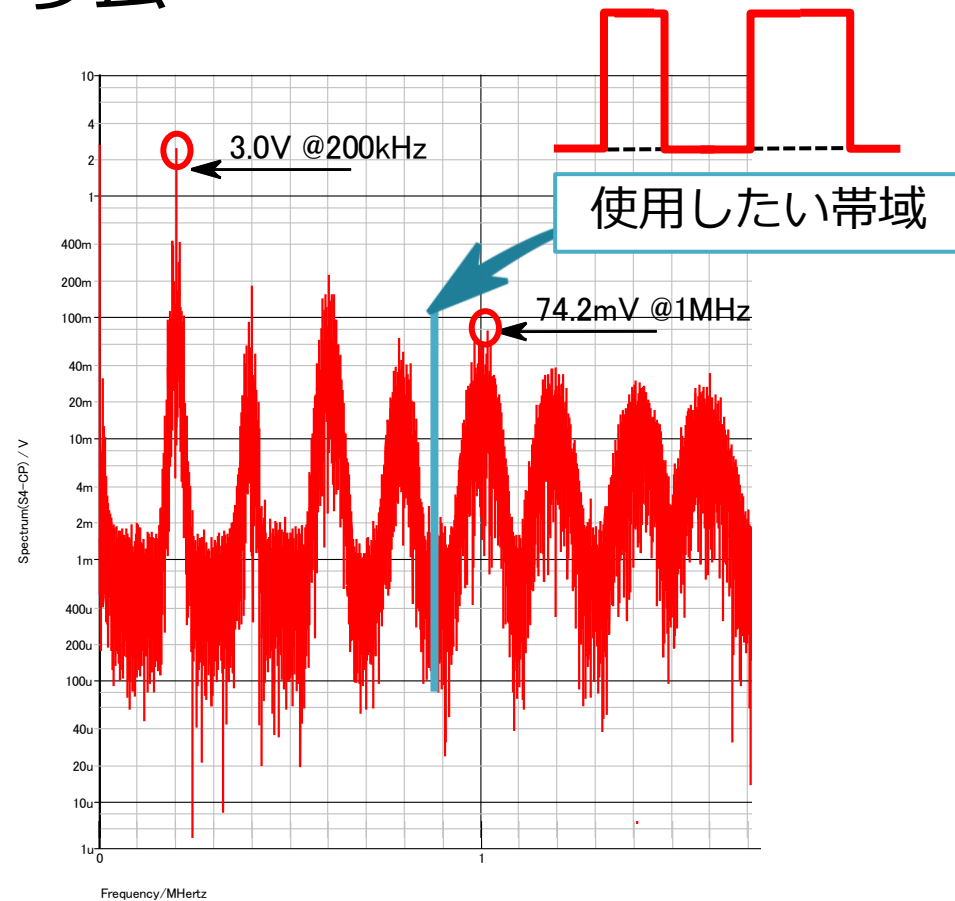


図5.適用後のスペクトラム

拡散による〇〇ノイズ増加

3.パルスコーディング

- パルス幅コーディング方式によるノッチ特性

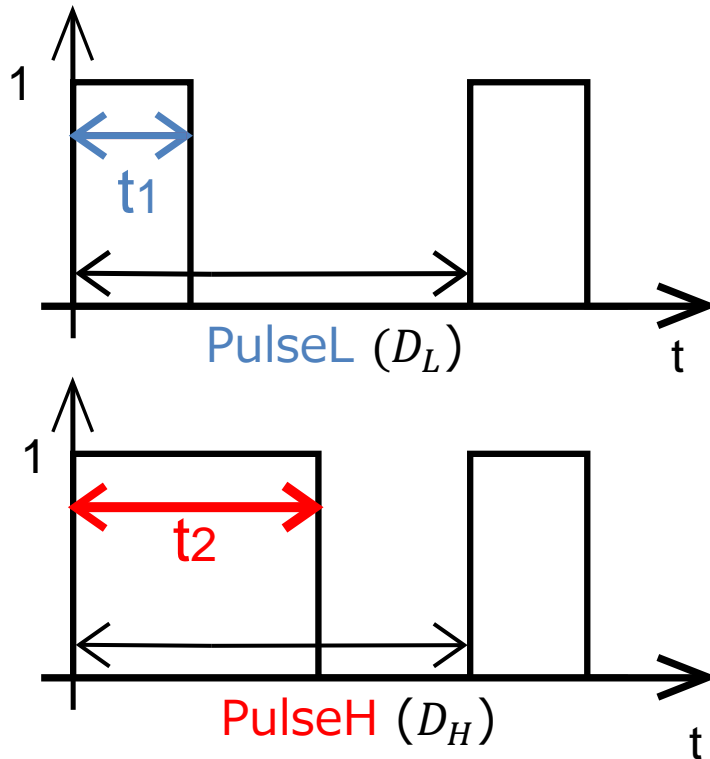


図6:PWCのパルス

ノッチ生成実験式

$$f_{notch} = \frac{N}{t_2 - t_1}$$

t_2 : パルス幅(デューティ大) [s]

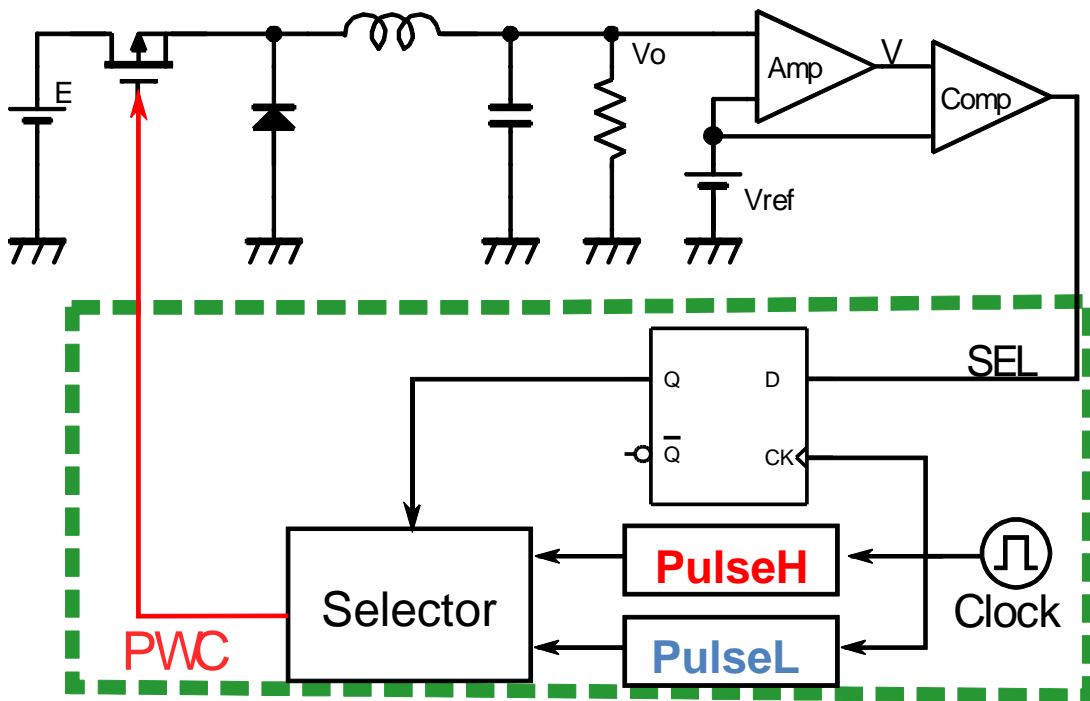
t_1 : パルス幅(デューティ小) [s]

N : 自然数

ノッチ生成帯域は、パルスの幅によって決定

3.パルスコーディング

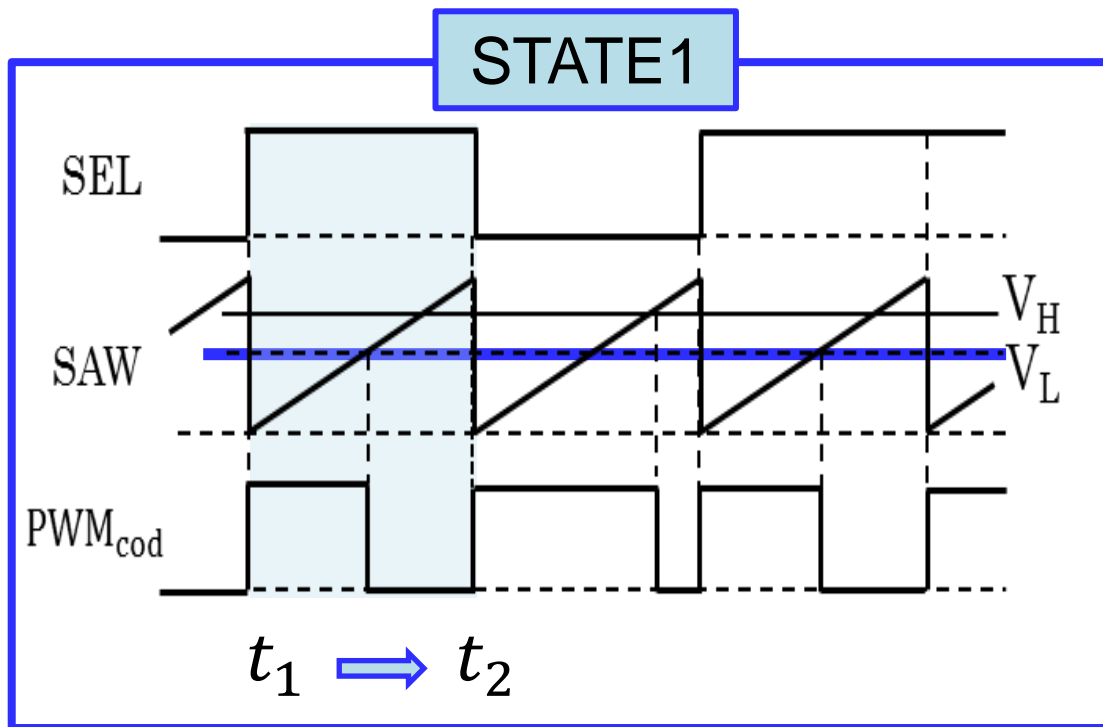
• PWC方式スイッチング電源の構成



- 誤差電圧を2値化
⇒ **SEL**信号発生
- 2種のパルスを選択
⇒ **PWC**発生
- パルスのデューティD：
 $D_H > D_0 > D_L$

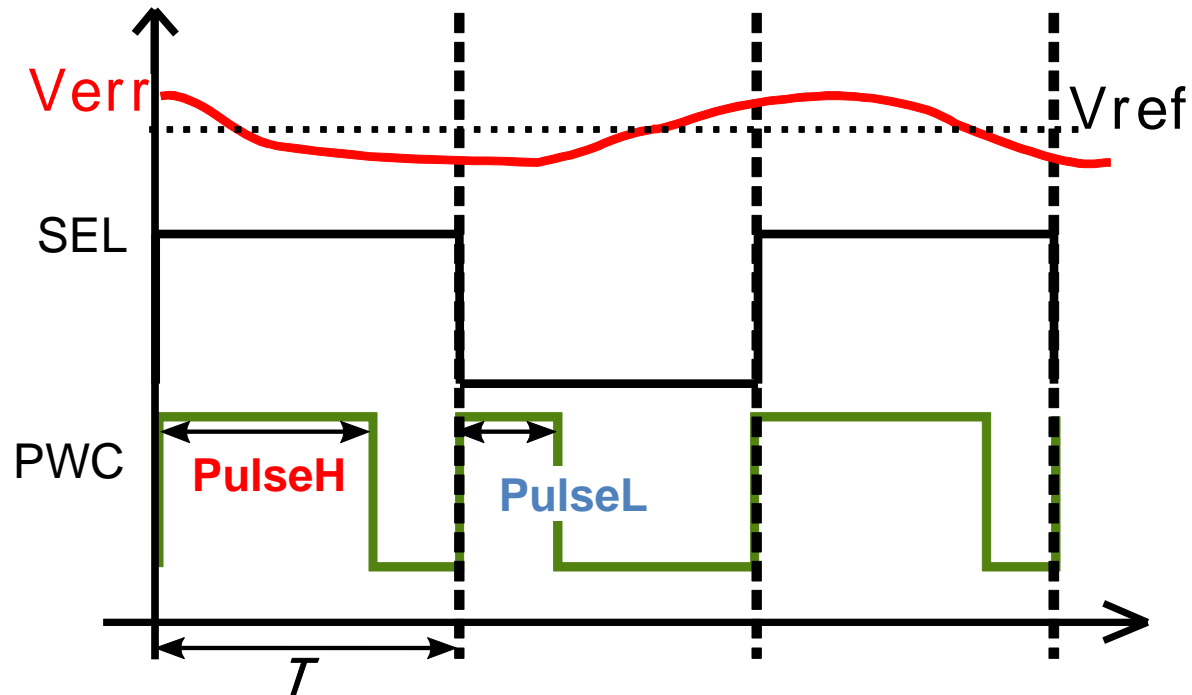
3.パルスコーディング

- パルス生成



3.パルスコーディング

- PWC方式スイッチング電源の構成



誤差電圧に応じ 2 種のパルスを切り換える

4.シミュレーション結果

• PWC方式のシミュレーション

$$f_{notch} = \frac{n}{t_2 - t_1} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Notch Frequencies

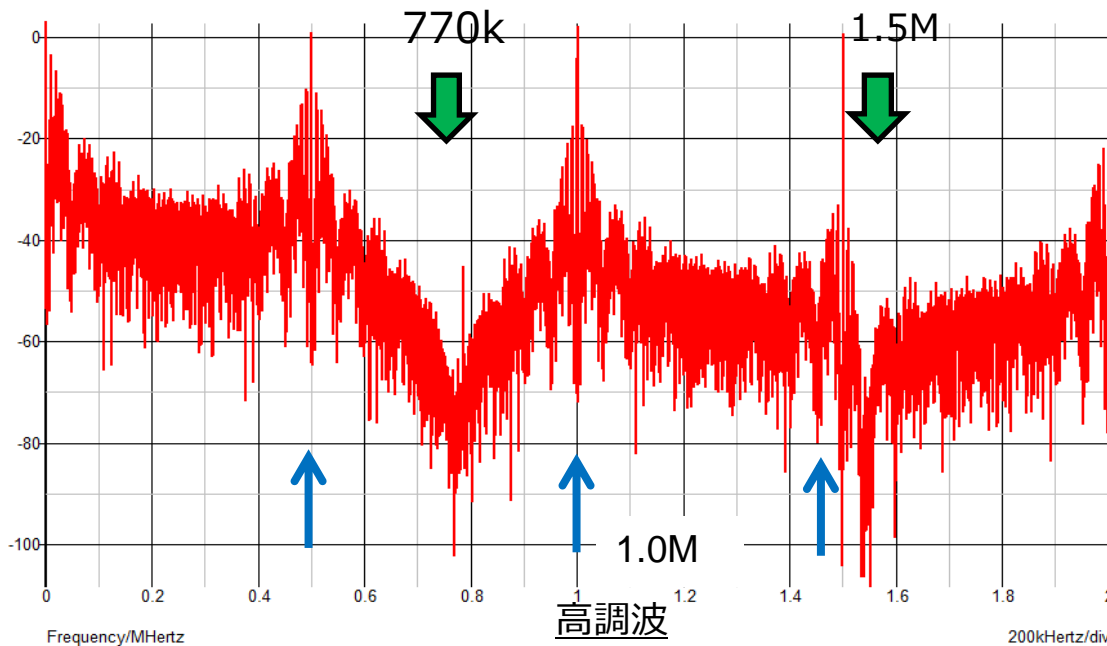


表1:シミュレーション条件

出力電圧	5.0 V
W_H	1.6 μ s
W_L	0.3 μ s
ノッチ周波数	769 kHz

図8:PWCにおけるスペクトラム

ノッチの生成を確認

4.シミュレーション結果

- (PWC+EMI拡散) のスペクトラム

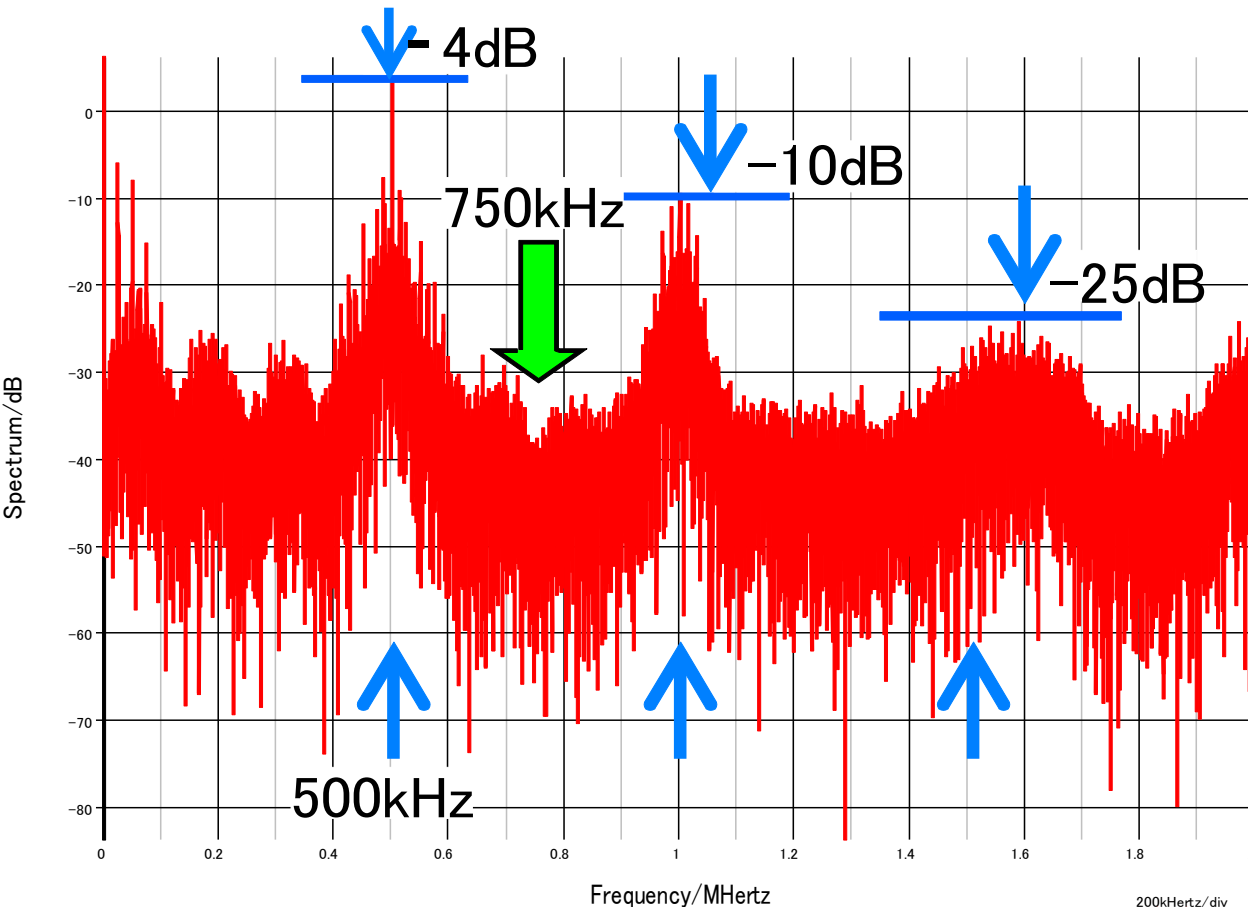


表4:シミュレーション条件

出力電圧	5.0 V
W_H	1.6 μ s
W_L	0.3 μ s
ノッチ周波数	769 kHz

図11:PWC+スペクトラム拡散
におけるスペクトラム

線スペクトラムの低減
ピークレベルの減少

3.パルスコーディング

- パルス幅コーディング方式によるノッチ特性

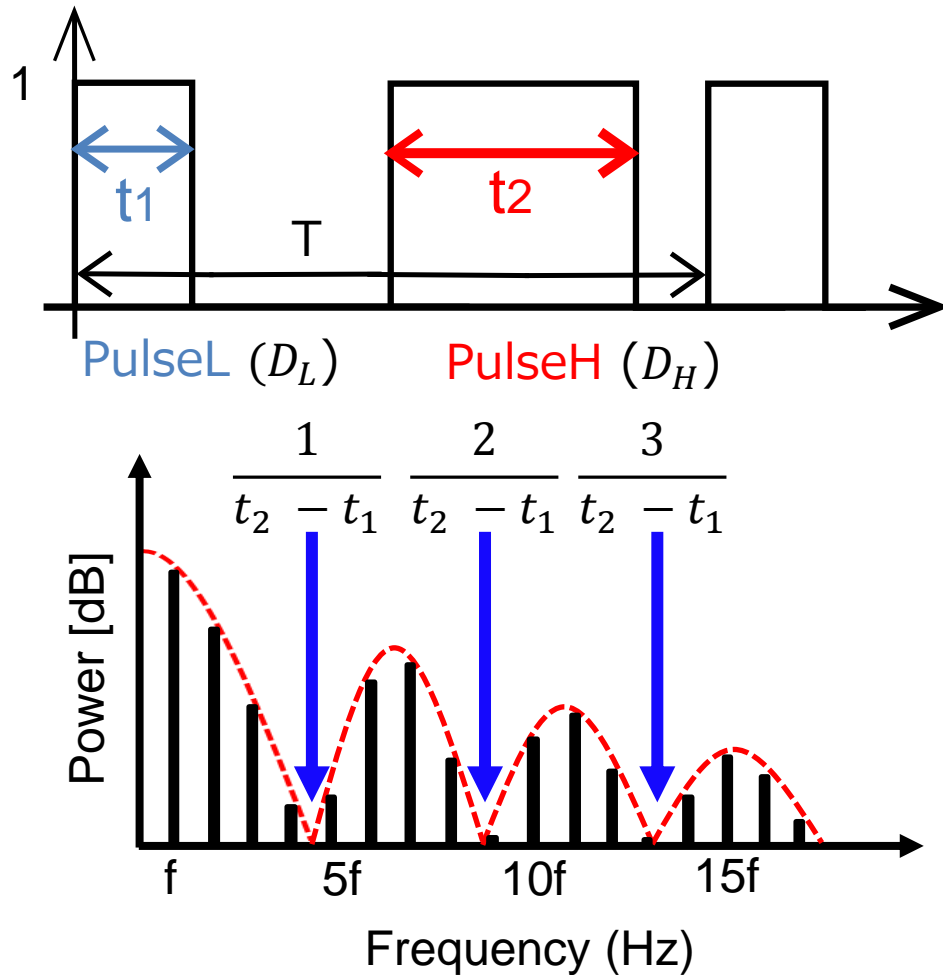


図6.式(1)によるスペクトラム

$$\begin{aligned}
 f(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \\
 &= \int_0^{\tau_1} e^{-j\omega t} dt + \int_{T/2}^{\tau_2+T/2} e^{-j\omega t} dt \\
 &= -\frac{1}{j\omega} \{ \cos(\omega\tau_1) - j\sin(\omega\tau_1) \\
 &\quad - \cos(\omega\tau_2) + j\sin(\omega\tau_2) \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 |f(\omega)| &= \frac{1}{\omega} \sqrt{2 - 2\cos(\omega\tau_1 - \omega\tau_2)} \\
 &= \frac{1}{\omega} \sqrt{4\sin^2\{(\omega\tau_2 - \omega\tau_1)/2\}} \\
 &= \frac{(\tau_2 - \tau_1)\sin\{\omega(\tau_2 - \tau_1)/2\}}{\omega(\tau_2 - \tau_1)/2} \\
 &= (\tau_2 - \tau_1)\text{sinc}\{\omega(\tau_2 - \tau_1)/2\}
 \end{aligned}$$

5.PWC方式実装結果

• 実測スペクトラム1

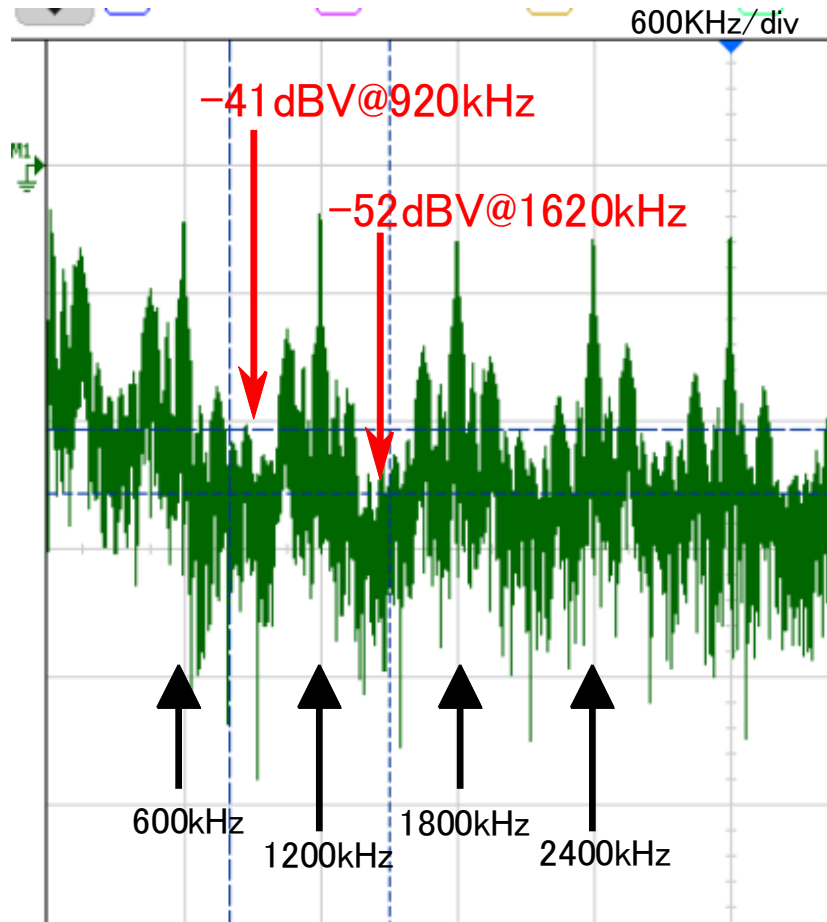


図12.実装回路によるスペクトル

表1.

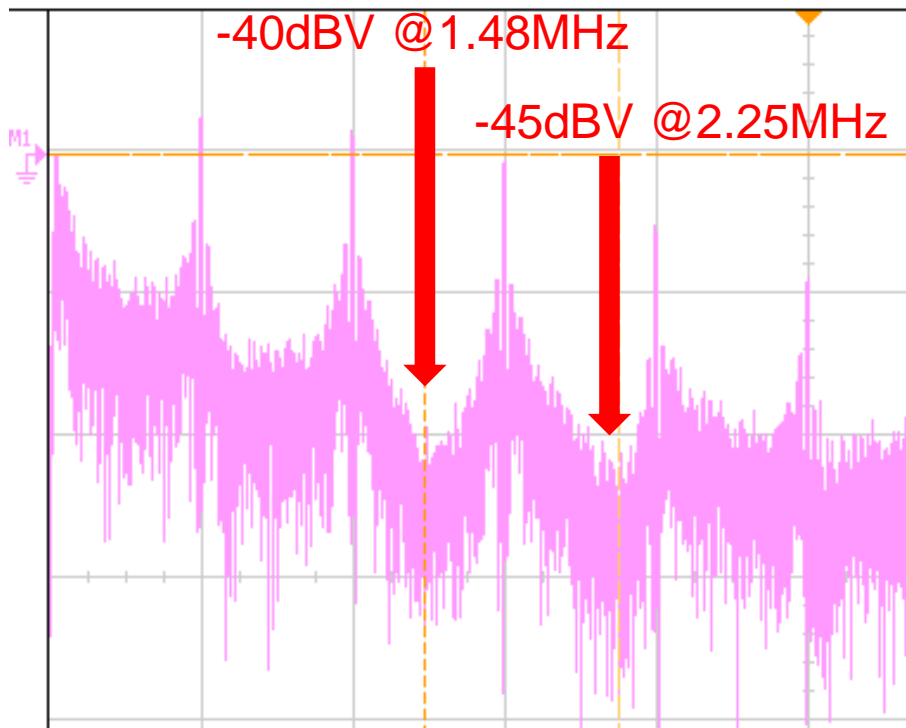
入力電圧 E	出力電圧 Vo	出力電流 Io
10 V	5 V	330 mA /530mA
周期	パルス幅 t1	パルス幅 t2
1.67μs	0.40μs	1.46 μs
L	C	負荷変動周期
100μH	610μF	0.02ms

$$f_{notch} = 943 \text{ kHz}, 1.9\text{MHz} \dots$$

理論値にノッチの生成を確認

5.PWC方式実装結果

• 実測スペクトラム2



入力電圧 E	出力電圧 Vo	出力電流 Io
10 V	5 V	330 mA /530mA
周期	パルス幅 t1	パルス幅 t2
1.67μs	0 s	1.32 μs
L	C	
100μH	610μF	

図13 実測スペクトラム

$$f_{notch} = 758 \text{ kHz}, 1.5 \text{ MHz}, 2.3 \text{ MHz} \dots$$

条件により高次ノッチのみ確認
⇒今後解析

5.実装結果

- リップル・過渡応答特性

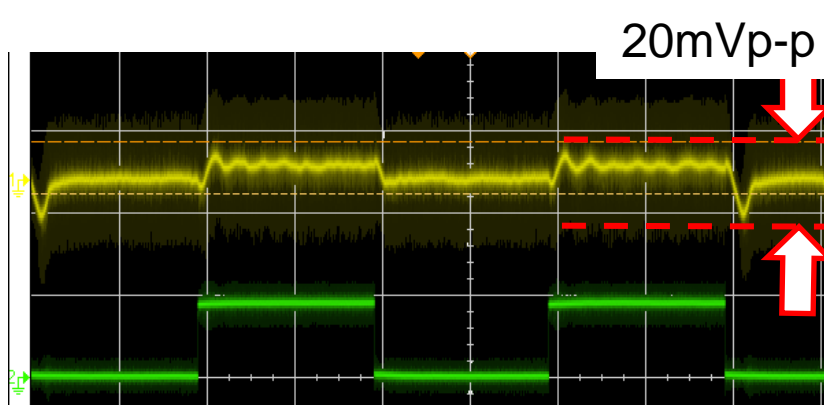


図14.実装回路による過渡応答特性
($I_{\Delta} = 200\text{mA}$ @500Hz)

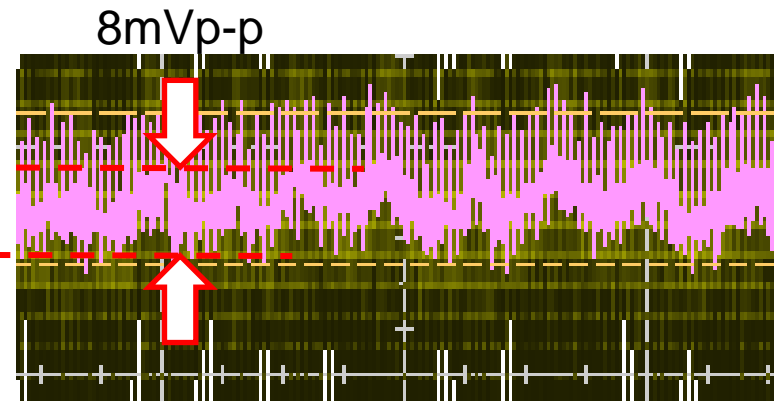


図15.実装回路による過渡応答特性
(2.0MHzで帯域制限)

PWM方式と同程度の特性

5.まとめ・今後

- まとめ

- 実装にて理論式によるノッチの生成を確認

$$f_{notch} = \frac{n}{W_H - W_L}$$

$f_{notch} = 758 \text{ kHz}, 1.5 \text{ MHz}, 2.3 \text{ MHz} \dots$
 $f_{notch} = 943 \text{ kHz}, 1.9 \text{ MHz} \dots$

- スペクトラム拡散を適用

- -10dBV のピークレベル低減かつ、ノッチ生成
 - ノッチ内の線スペクトラム低減

5.まとめ・今後

- 今後
 - ノッチ生成帯域の高周波化(FM対応)
 - 深いノッチの生成条件の解明
 - 実装回路へのEMI拡散適用
 - クロックレス電源への適用検討

目次

1. 研究背景・目的

2. 提案手法

1. アナログノイズによるスペクトラム拡散

2. ノッチ生成方式

1. PWC

2. PCC

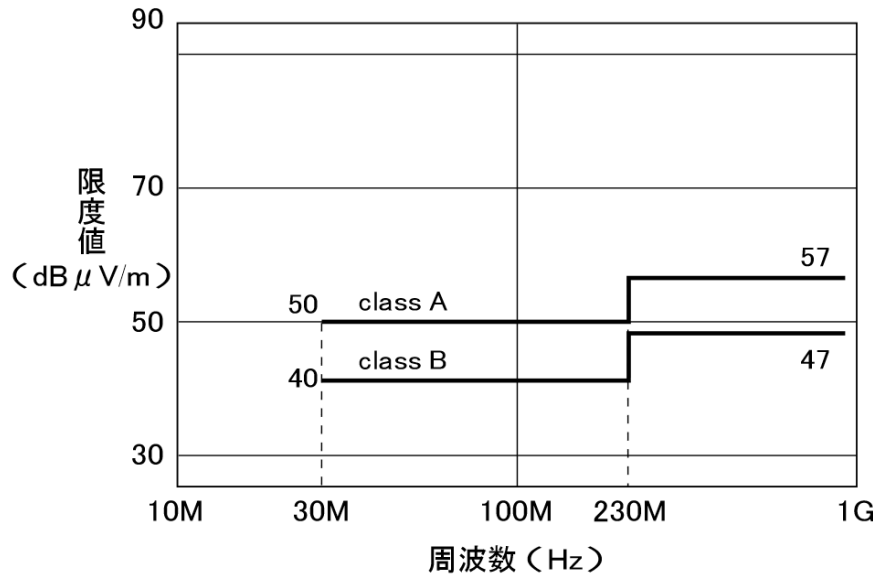
3. PWCC

3. シミュレーション結果

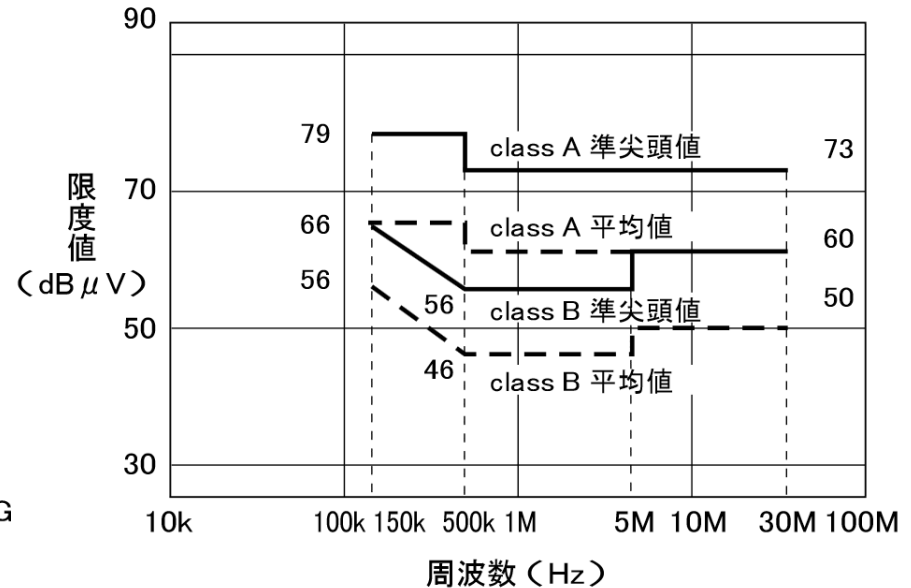
4. まとめ・今後

Appendix

• EMI規制



放射雑音



雑音端子電圧

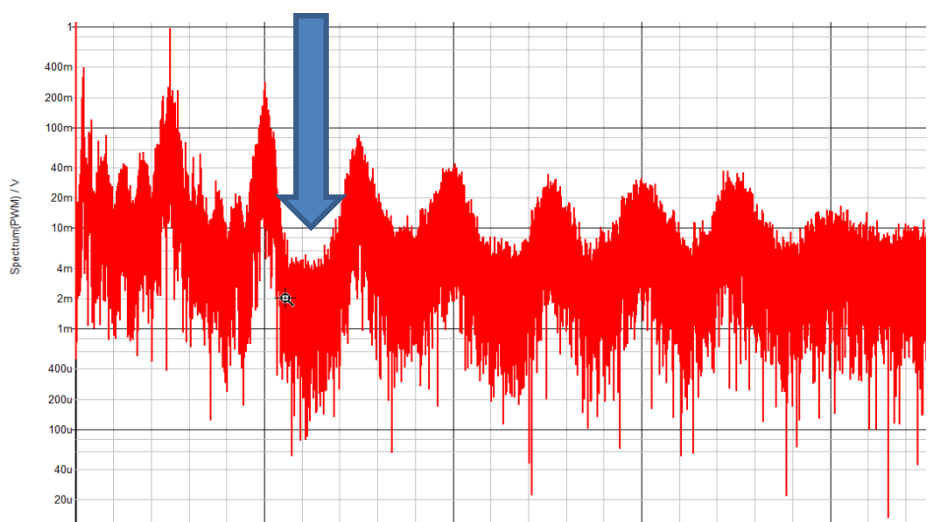
CISPR (国際無線障害特別委員会) 22/EN55022の限度値

日本でもVCCIとして自主規制されている。

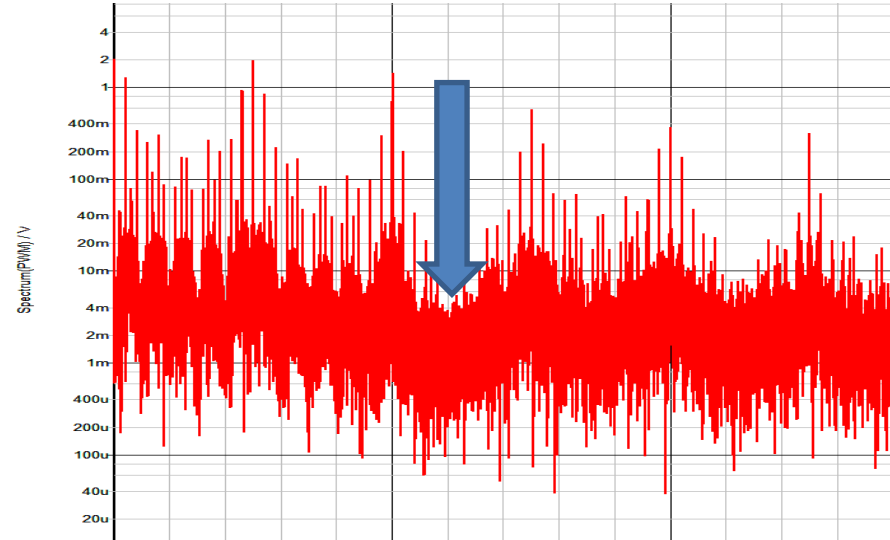


Appendix

- PLLフィルタ特性がノッチに与える影響



28KHz



7.234KHz

カットオフ周波数	Vrip-p	ノッチ
7.234KHz	8.99mV	生成されたが不十分でピークが目立つ
28KHz	10.04mV	生成された

App.PWMコーディング回路（動作1）

①基準＞出力のとき

SEL信号はHigh
 V_L を選択



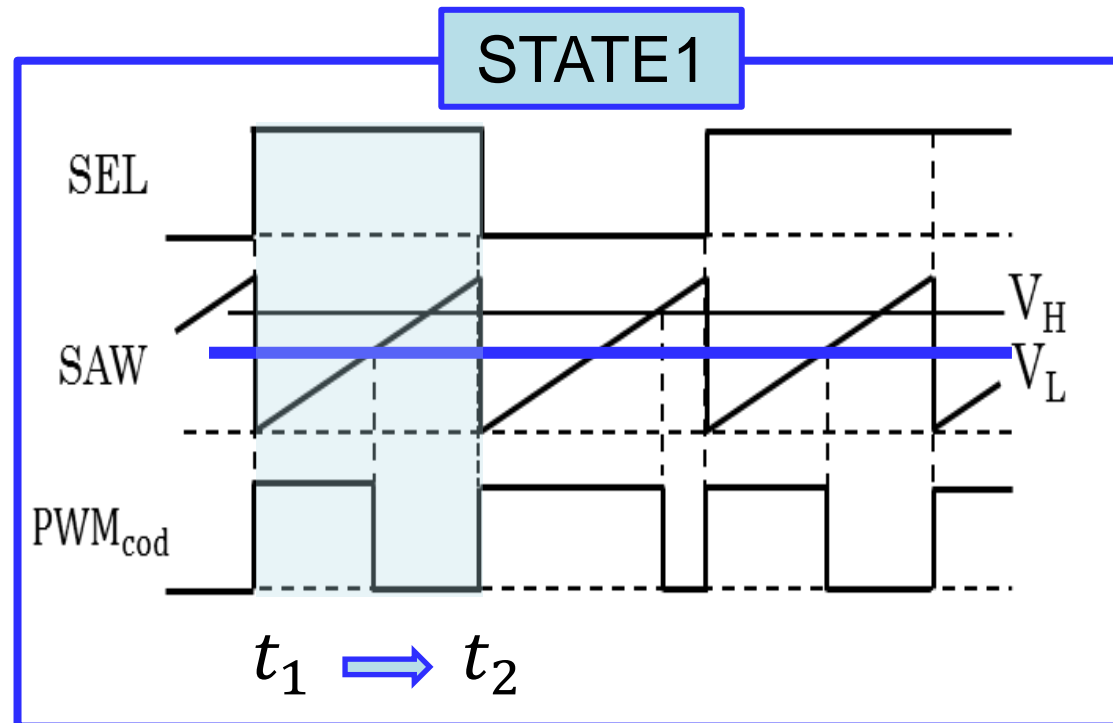
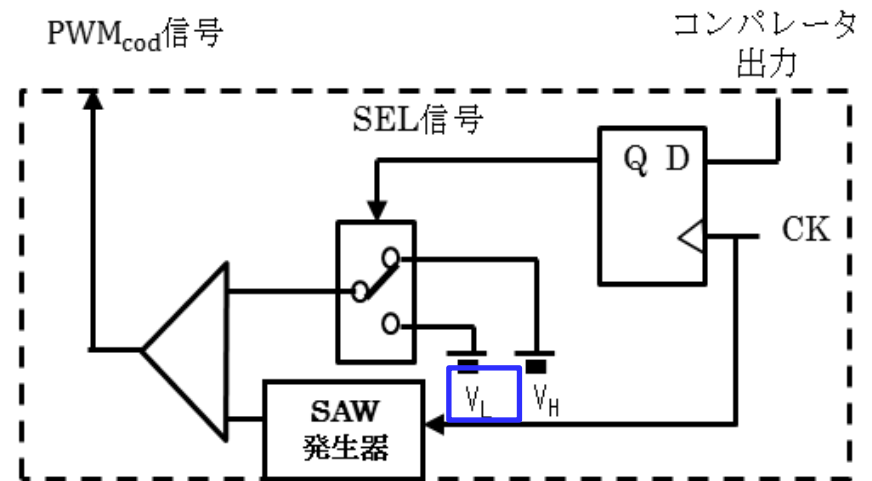
V_L と鋸歯状波とを比較



Duty Ratio : 小



周期全体の出力電圧 : 減少



App.PWMコーディング回路（動作2）

②基準＞出力のとき

SEL信号はLow
 V_H を選択



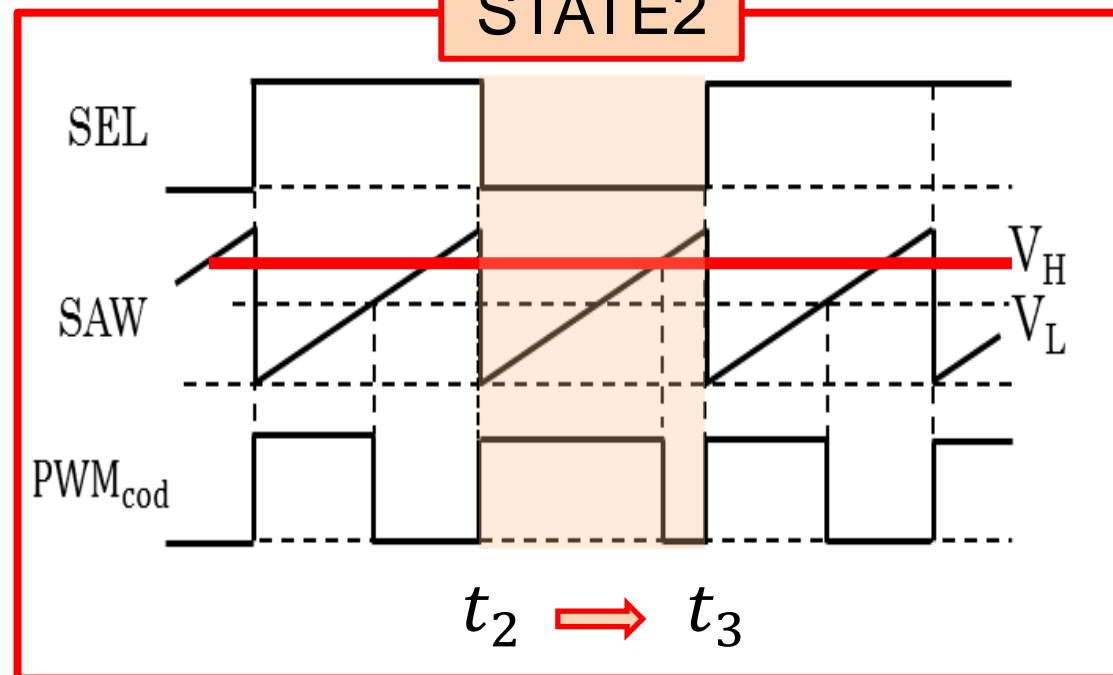
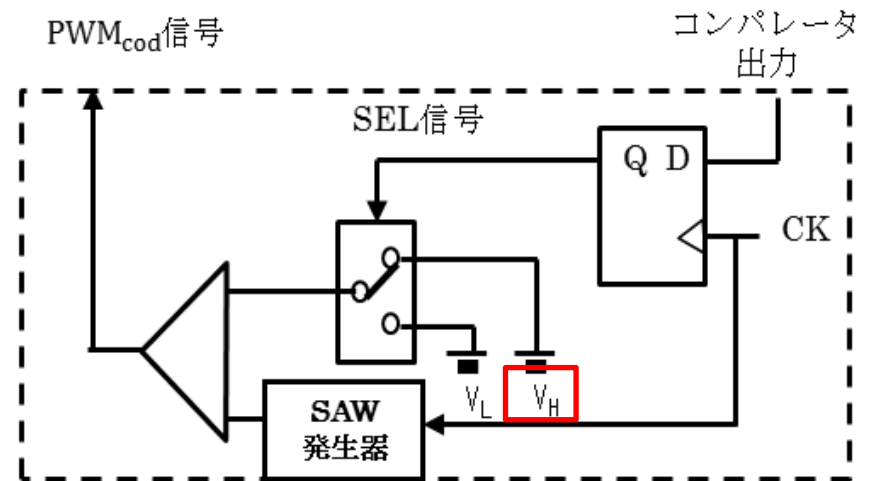
V_H と鋸歯状波とを比較



Duty Ratio : 大



周期全体の出力電圧 : 増大



App.PWMコーディング回路（動作3）

③基準＞出力のとき

SEL信号はHigh
 V_L を選択



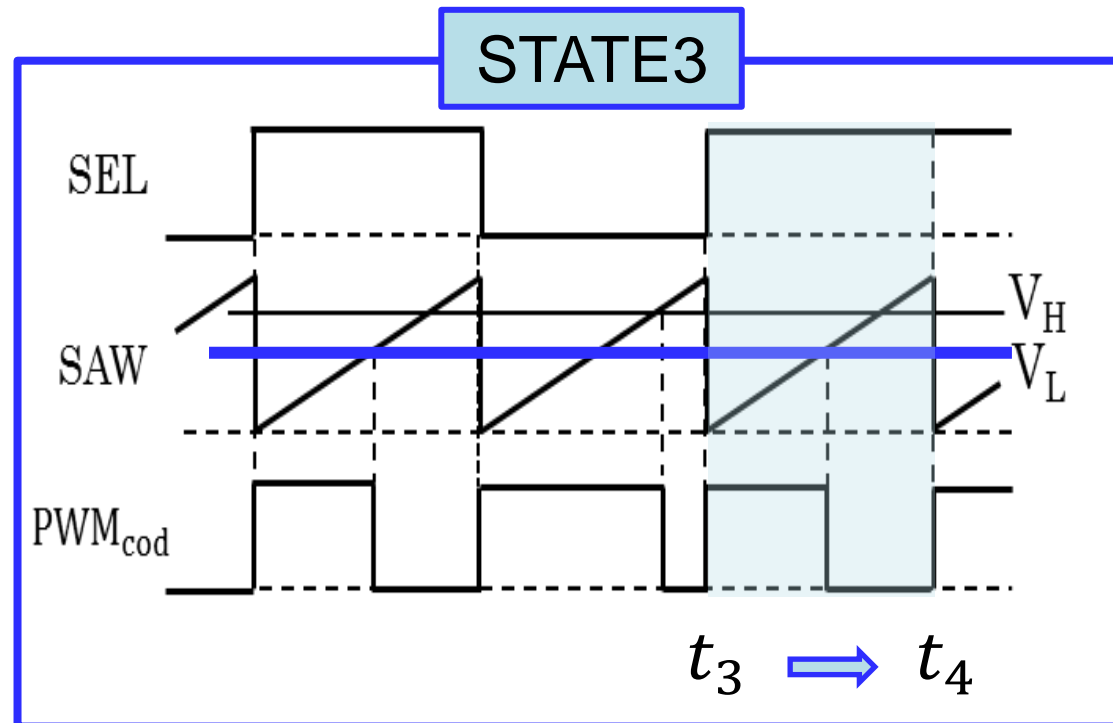
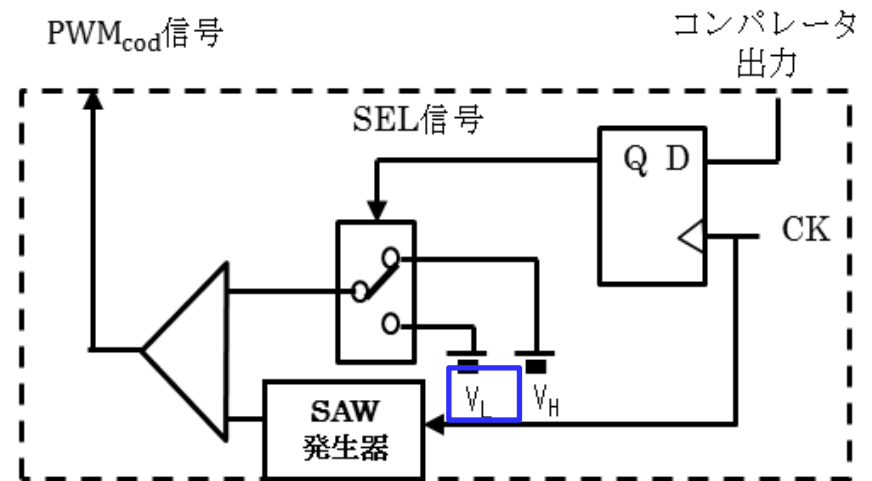
V_L と鋸歯状波とを比較



Duty Ratio : 小



周期全体の出力電圧 : 減少



2.1パルスコーディング方式

