

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

小山高専： **小堀康功**、 深谷太詞

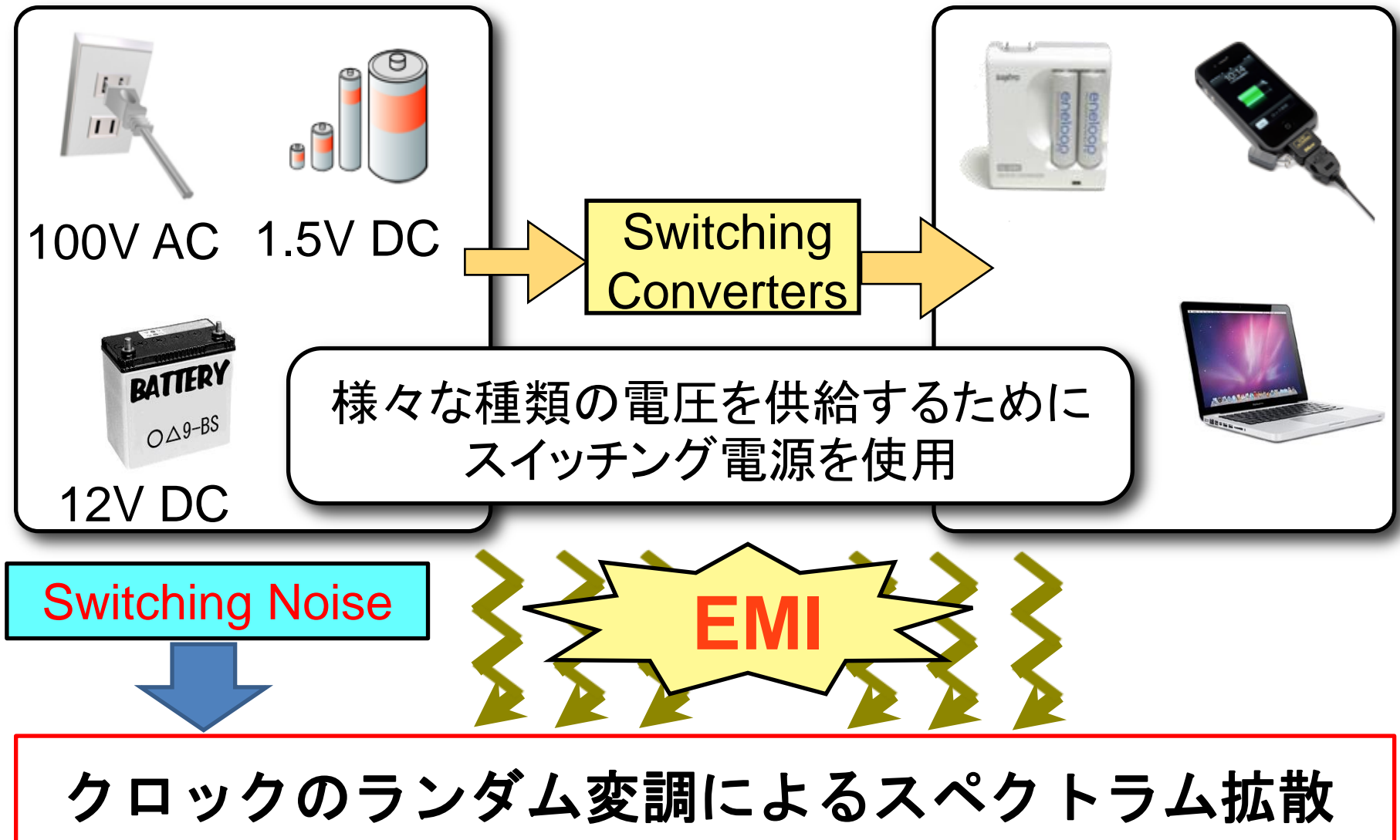
群馬大学： 荒船拓也、須永祥希、白石尚也、
築地伸和、高井伸和、小林春夫

アウトライン

1. 研究背景・目的
2. 擬似アナログ信号によるスペクトラム拡散
 - 2.1 スwitching電源への適用
 - 2.2 シミュレーション結果
3. パルスコーディングによるノッチ特性
 - 3.1 パルスコーディング方式
 - 3.2 シミュレーション結果
4. PWC+PAS方式スペクトラム拡散
 - 4.1 スwitching電源への適用
 - 4.2 シミュレーション結果
5. まとめ

PWC: Pulse Width Coding
PAS: Pseudo Analog Signal

1. 研究背景・目的



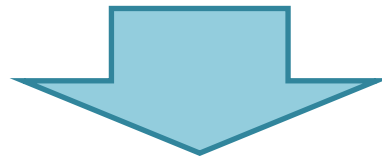
スペクトラム拡散



広範囲にノイズを拡散

★情報通信機器では

受信周波数帯にノイズ拡散は厳禁！



●目的

スペクトラム拡散 (EMI低減)

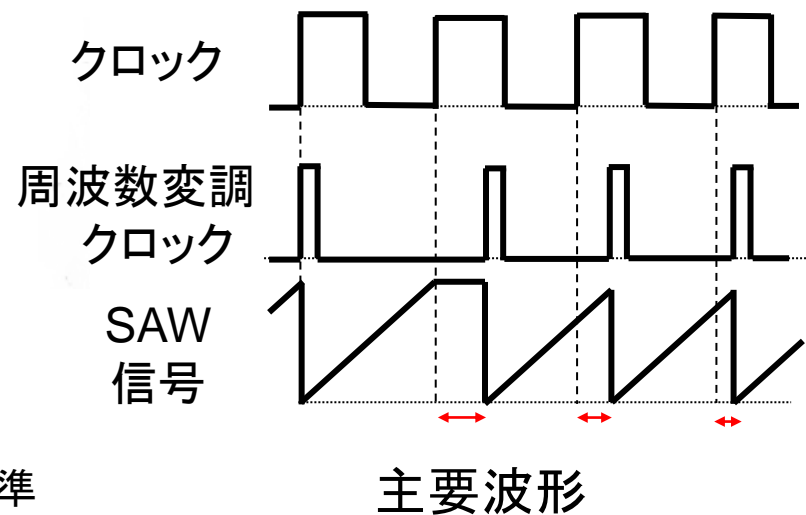
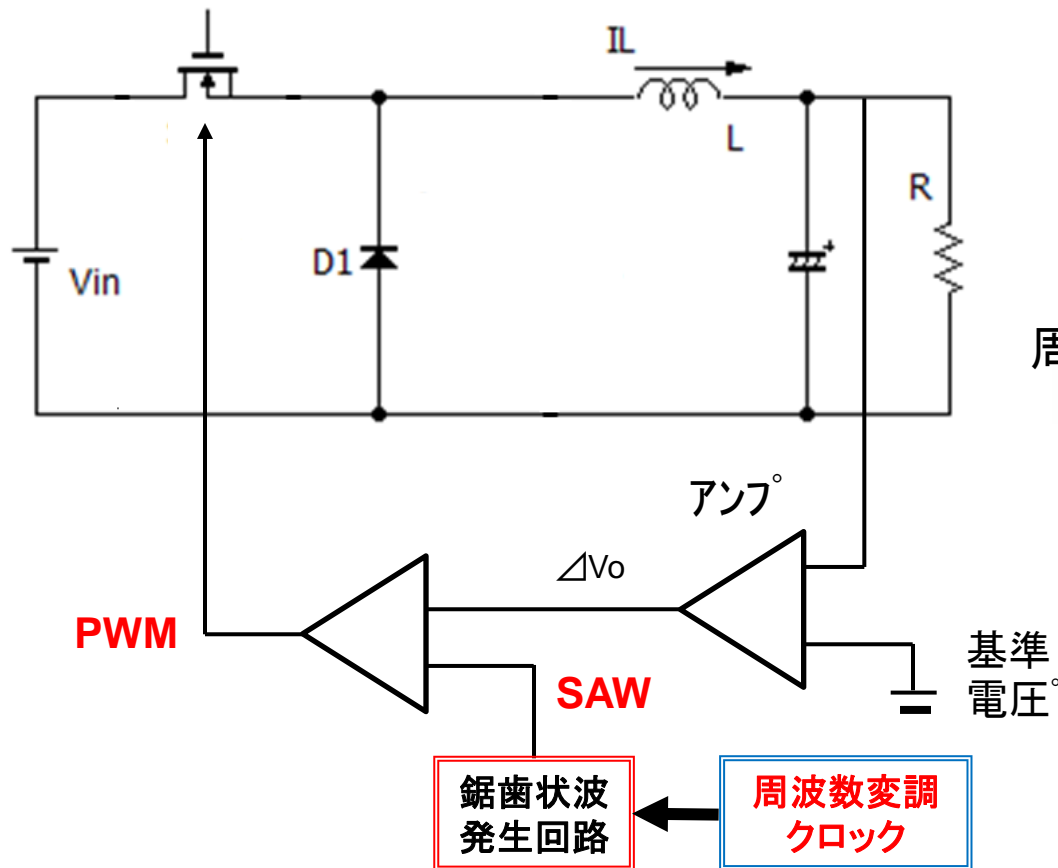
+

受信周波数にノッチ特性

2. 擬似アナログ信号によるスペクトラム拡散

2.1 スイッチング電源への適用

● 降圧形スイッチング電源＋スペクトラム拡散



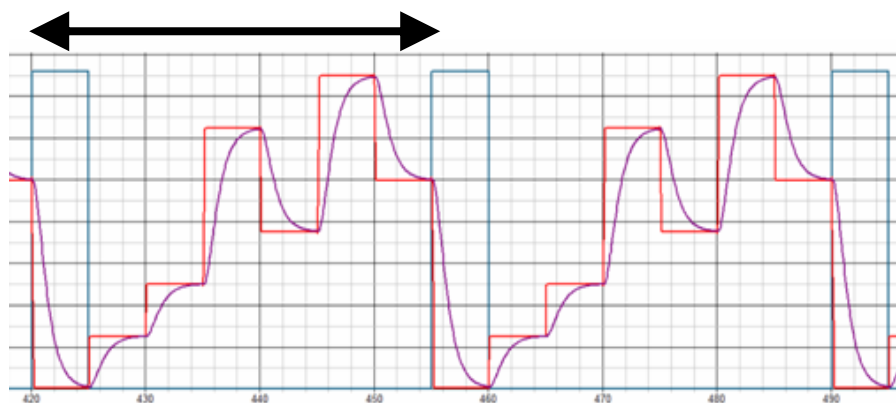
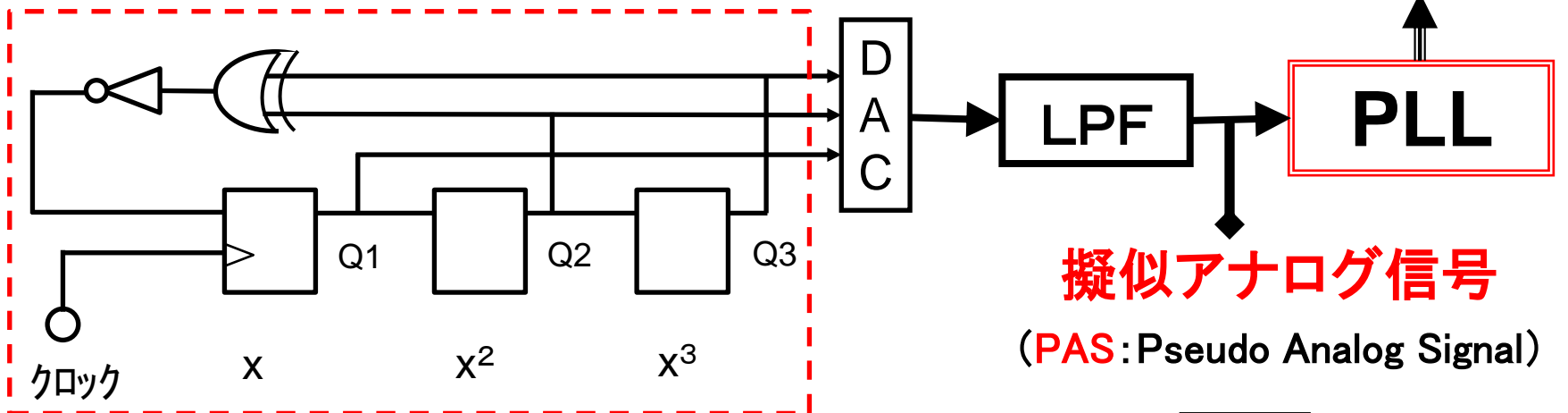
PWM: Pulse Width Modulation
SAW: Saw-Tooth : 鋸歯状波

降圧形スイッチング電源の構成

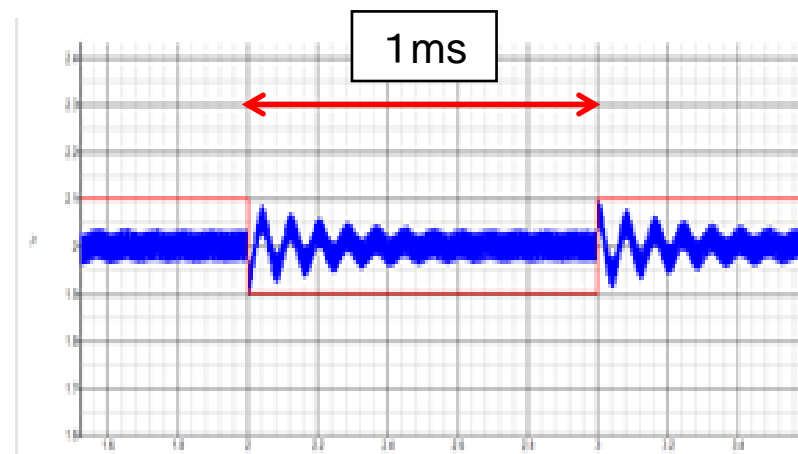
2. 擬似アナログ信号によるスペクトラム拡散

● 周波数変調クロック発生回路

➤ 3ビットM系列回路 + PLL回路



擬似アナログ信号PAS波形



PLL回路の応答特性

2. 擬似アナログ信号によるスペクトラム拡散

2.2 シミュレーション結果

● スペクトラム拡散

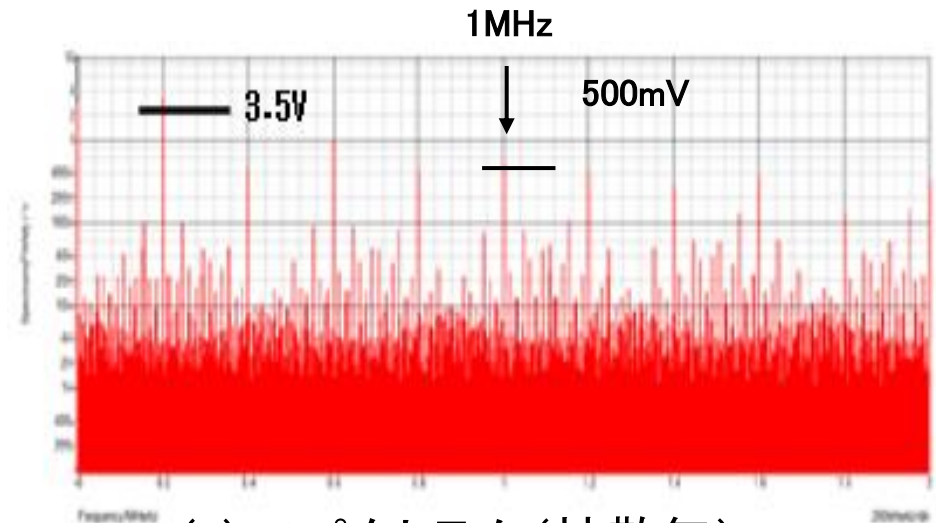
PWM信号のスペクトラム

- ・ クロック周波数：
 $F_{ck} = 200 \text{ kHz}$
- ・ EMI低減：
-2.4 dB (-1.5V)
- ・ 高調波成分 [1 MHz]
-10 dB

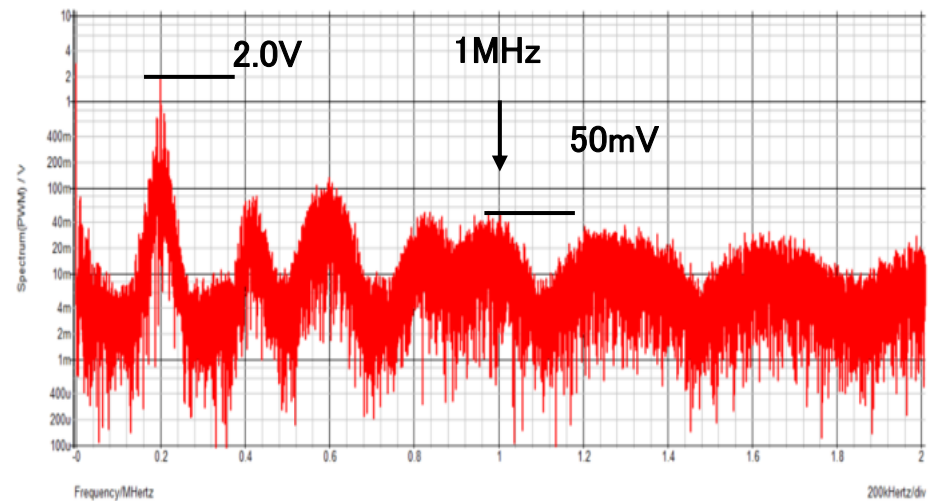


★ 幅広い周波数に拡散
レベル > 10mV

* 受信周波数帯への拡散



(a) スペクトラム (拡散無)



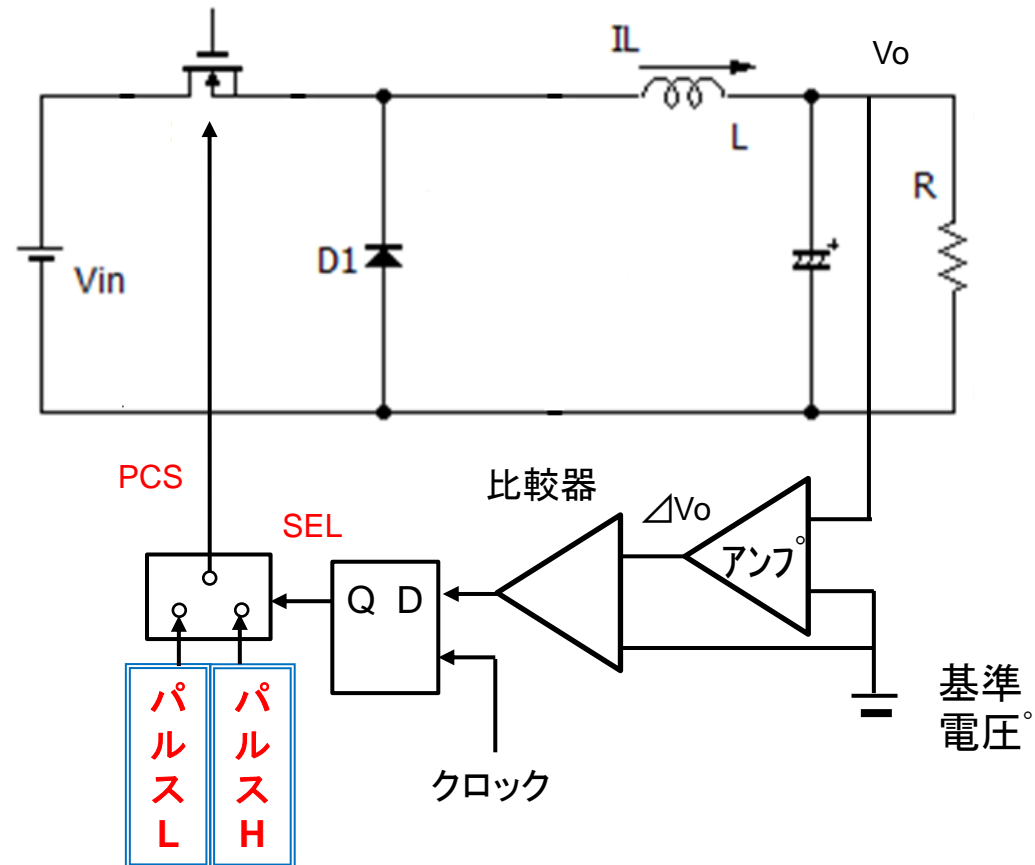
(b) スペクトラム拡散時

3. パルスコーディングによるノッチ特性

3.1 パルスコーディング方式

* 電源におけるパルスコーディング制御方式

- 誤差電圧を2値化
⇒ **SEL**信号発生
- 2種のパルスを選択
⇒ **PCS**発生
(パルス・コーディング信号)
- パルスのデューティD:
 $D_H > D_O > D_L$
ただし $V_O \doteq V_O / V_i$



SEL: Select 信号
PCS: Pulse Coding Signal

パルスコーディング制御電源の構成

3. パルスコーディングによるノッチ特性

* パルスコーディング手法 :

- a) パルス幅コーディング : PWC (Pulse Width Coding)
- b) パルス周期コーディング : PCC (Pulse Cycle Coding)

PWC : パルス周期一定

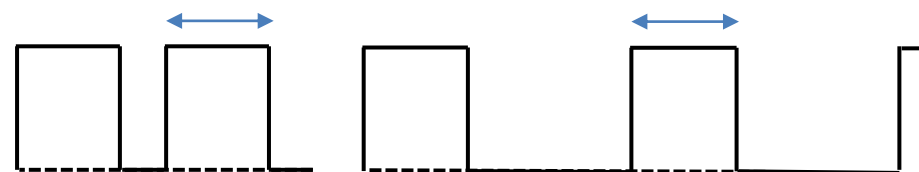
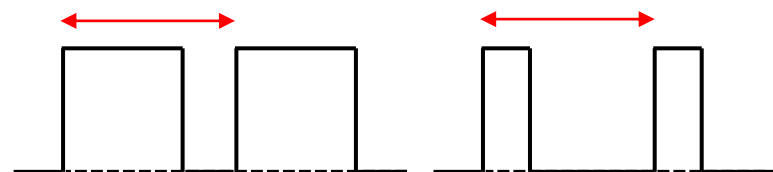
PCC : パルス幅一定

パルスH

パルスL

パルスH

パルスL



SEL

PCS

a) パルス幅コーディング

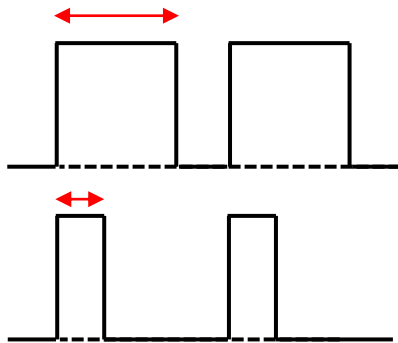
b) パルス周期コーディング

3. パルスコーディングによるノッチ特性

* ノッチ周波数の実験式：

a) **PWC**方式

- ・ 条件：パルス周期一定 T 、パルス幅 W_H 、 W_L



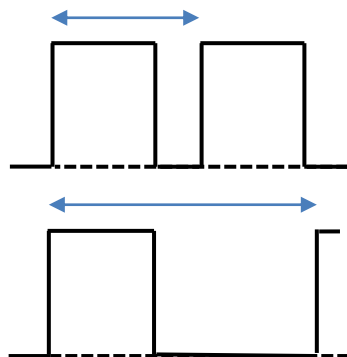
● ノッチ周波数： $F_n = K / |W_H - W_L|$ [Hz]

周期 T に依存しない

(ロー・パルス幅の差 とも言える)

b) **PCC**方式

- ・ 条件：パルス幅一定 W 、パルス周期 T_S 、 T_L



● ノッチ周波数： $F_n = K / |T_S - T_L|$ [Hz]

パルス幅 W に依存しない

(ロー・パルス幅の差 とも言える)

3. パルスコーディングによるノッチ特性

3.2 シミュレーション結果

1) PWC方式

* パルス条件:

$$W_H = 1.6 \text{ us}, W_L = 0.3 \text{ us}$$

$$T = 2.0 \text{ us} (F=500\text{kHz})$$

* ノッチ周波数:

$$F_n = k / (1.6\text{u} - 0.3\text{u})$$

$$= 770 \text{ kHz}, 1,540 \text{ kHz}$$

2) PCC方式

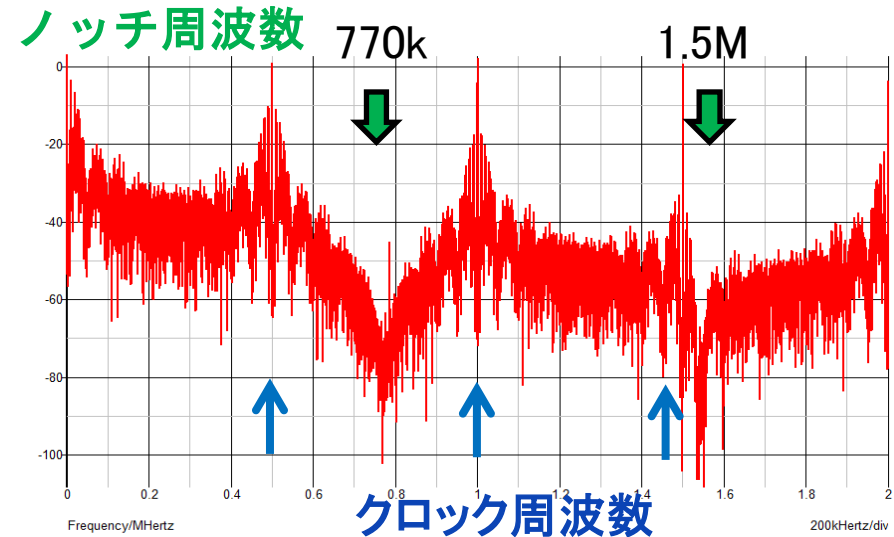
* パルス条件: $W = 0.2 \text{ us}$

$$T_s = 0.3 \text{ us}, T_L = 1.6 \text{ us}$$

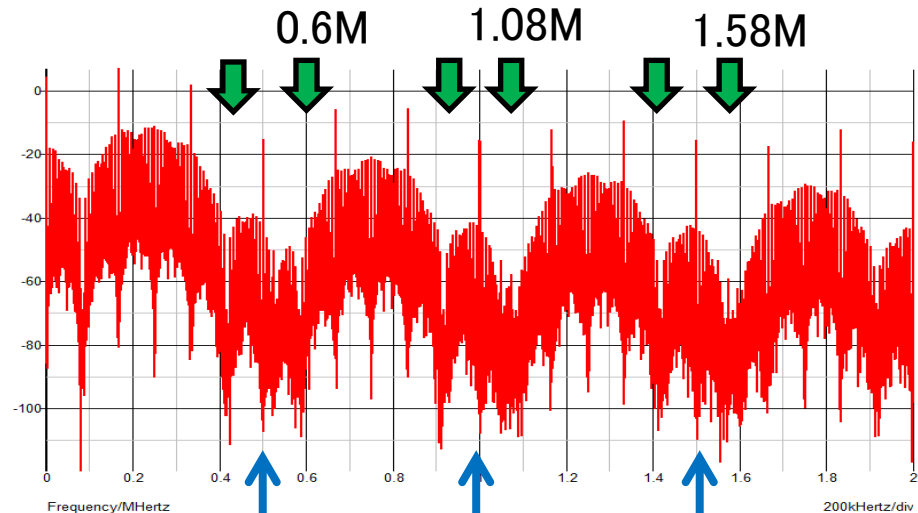
* ノッチ周波数:

$$F_n = 770 \text{ kHz}, 1,540 \text{ kHz}$$

条件により様子に変化 [解析中]



1) PWC制御時のスペクトラム



2) PCC制御時のスペクトラム

3. パルスコーディングによるノッチ特性

3.3 実装結果

●PWC方式のみ

1) パルス条件:

$$W_H = 4.8 \text{ us}, W_L = 1.2 \text{ us}$$

$$T = 6.25 \text{ us} (F=160\text{kHz})$$

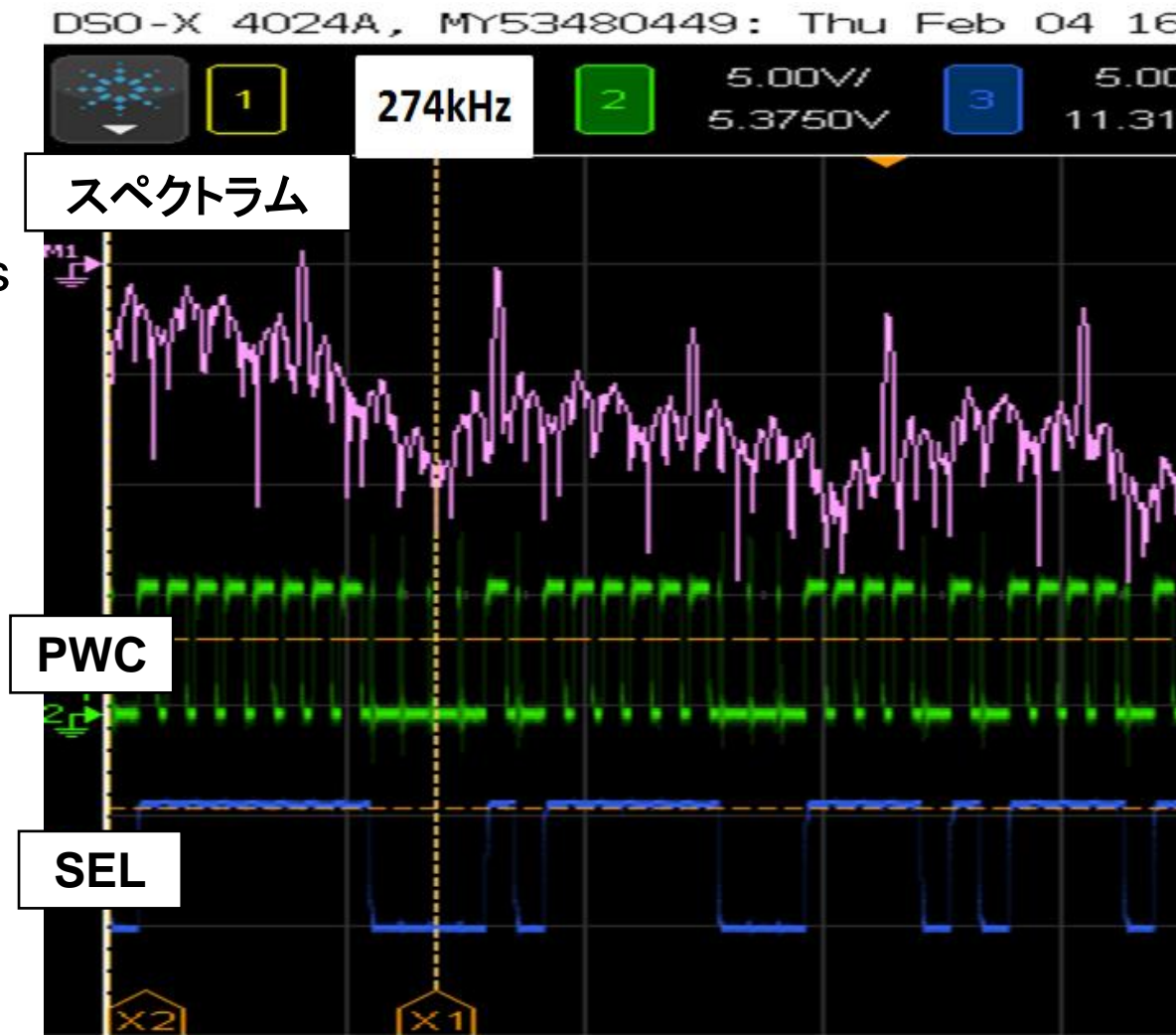
* ノッチ周波数:

$$F_n = 1 / (4.8\text{u} - 1.2\text{u})$$

$$= 278 \text{ kHz}$$

$$(\doteq 274 \text{ kHz})$$

【第1 - 第2 クロック間】



PWC制御時のスペクトラム(1)

3. パルスコーディングによるノッチ特性

3.3 実装結果

● **PWC**方式のみ

2) パルス条件:

$$W_H = 4.1 \text{ us}, W_L = 1.2 \text{ us}$$

$$T = 6.25 \text{ us} (F=160\text{kHz})$$

* ノッチ周波数:

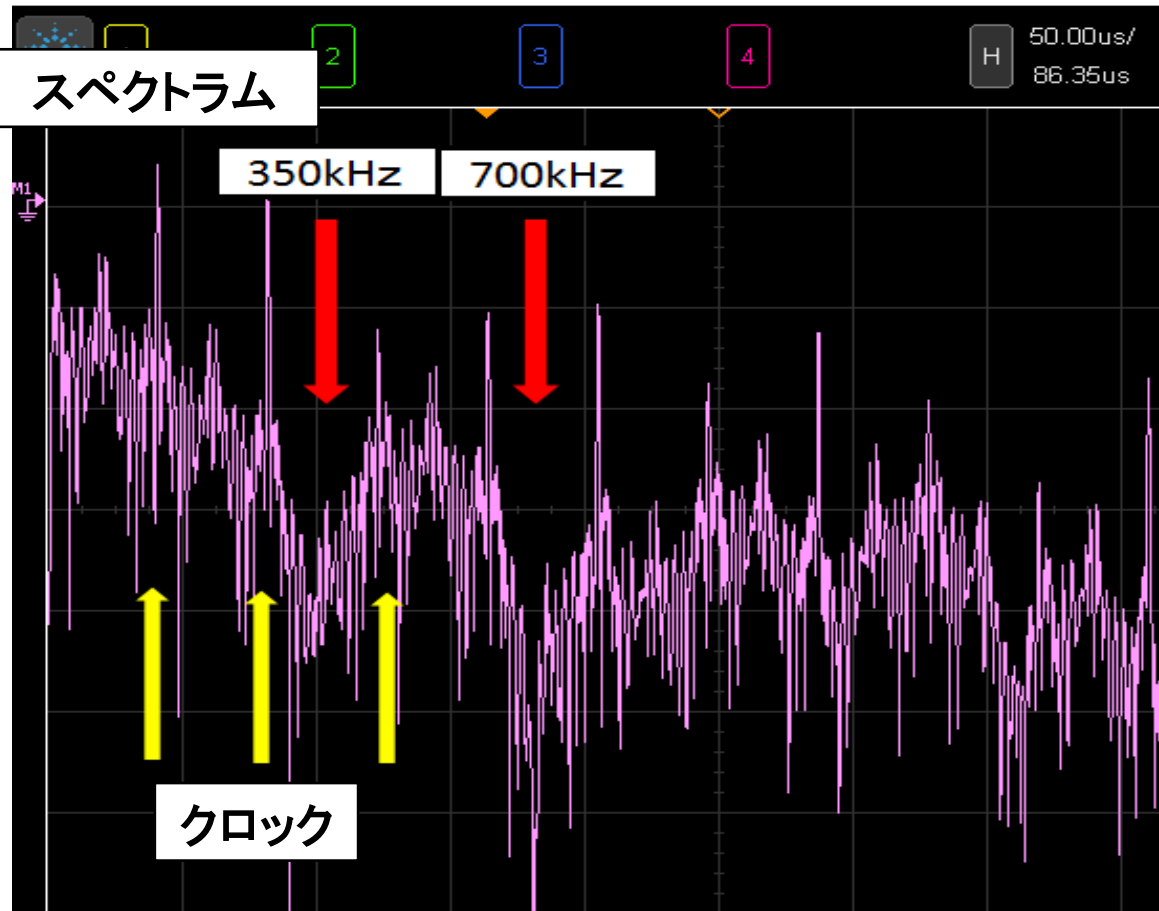
$$F_n = k / (4.1\text{u} - 1.2\text{u})$$

$$= 345, 690 \text{ kHz}$$

【第2 - 第3 クロック間】

【第4 - 第5 クロック間】

DSO-X 4024A, MY53480449: Thu Feb 04 16:10:05 2016



PWC制御時のスペクトラム(2)

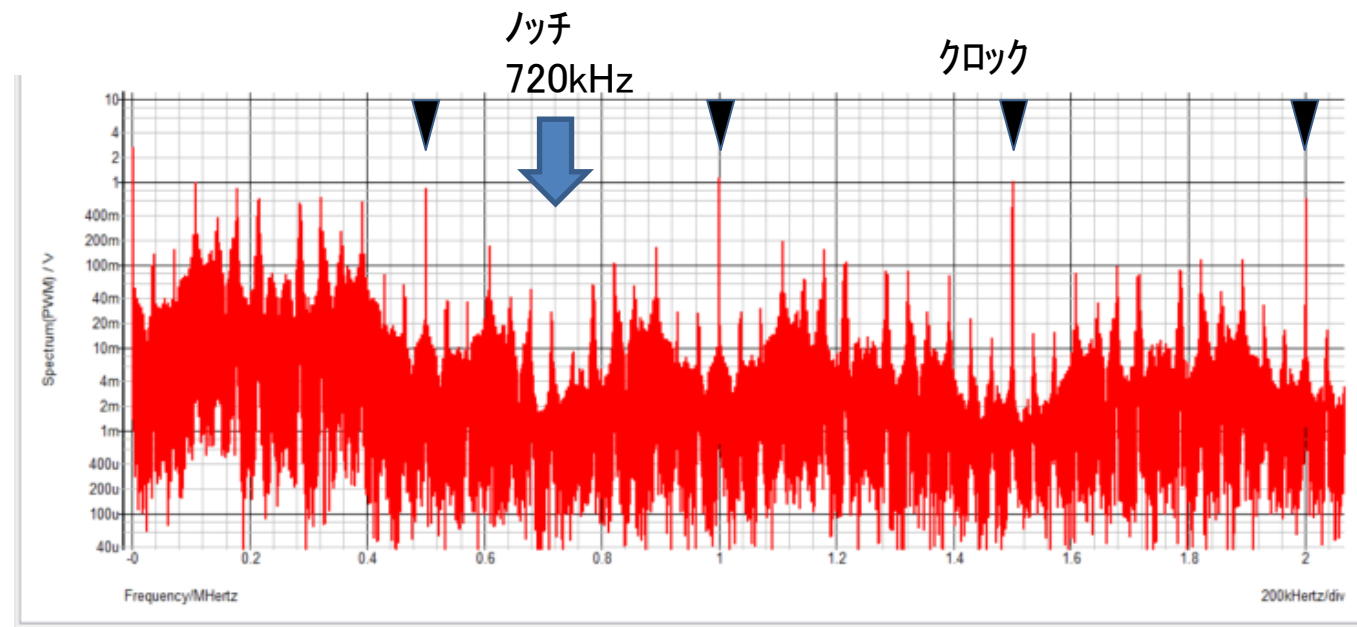
3. パルスコーディングによるノッチ特性

★EMI低減の検討

- 擬似アナログ信号PAS方式 : -2.4 dB 程度
- パルス幅コーディングPWC方式 : EMI低減効果は小さい

★ノッチ特性の検討

- ノッチ帯域内に不要な線スペクトラム
PWC方式+PAS方式 ⇒ 大幅なEMI低減+明確なノッチ特性

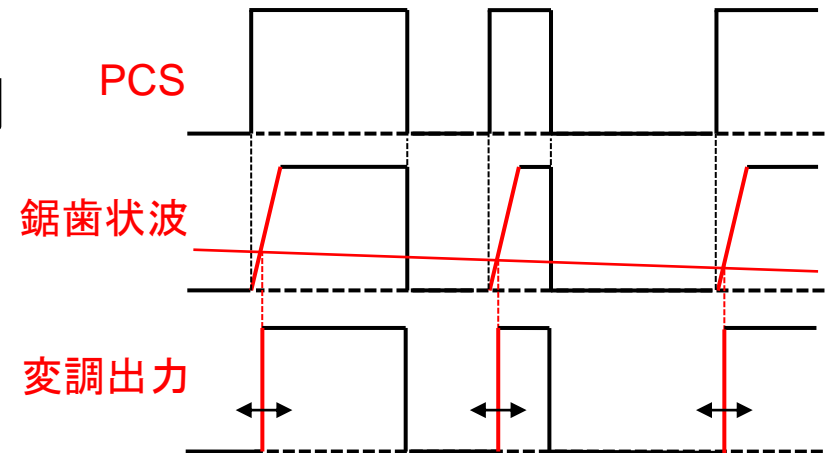


4. PWC+PAS方式スペクトラム拡散

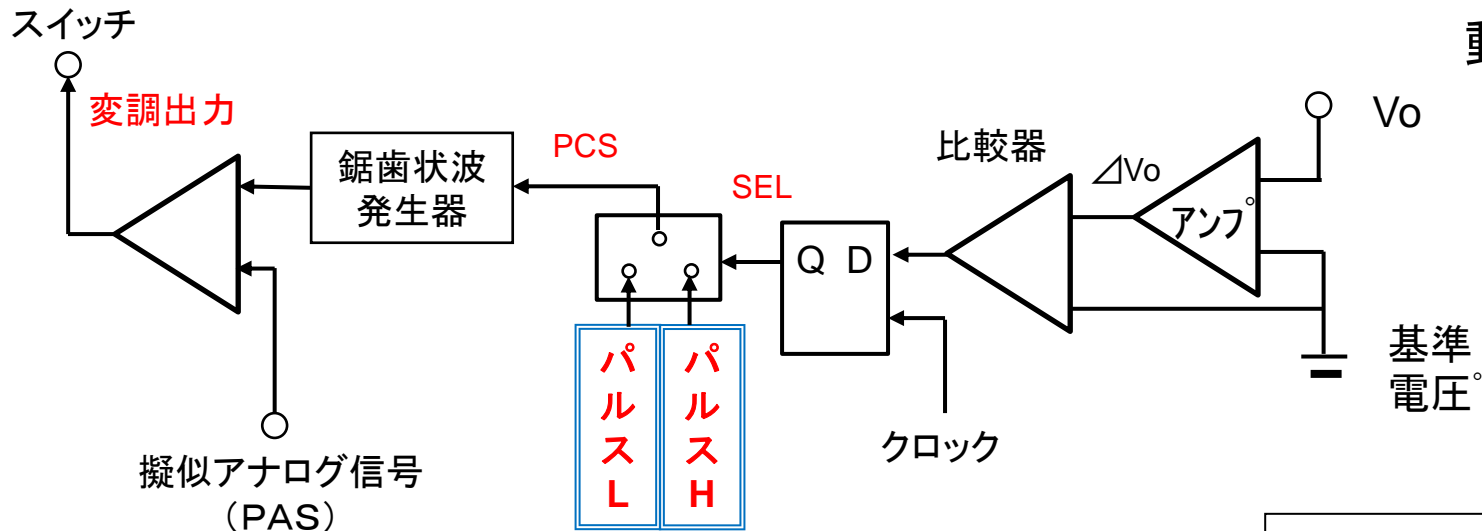
4.1 スイッチング電源への適用

* PWC方式電源にPAS方式を適用

- ・ PCSより、鋸歯状波を発生
- ・ PASと比較



動作波形



パルスコーディング制御電源の構成

PWC: Pulse Width Coding
 PAS: Pseudo Analog Signal
 PCS: Pulse Coding Signal

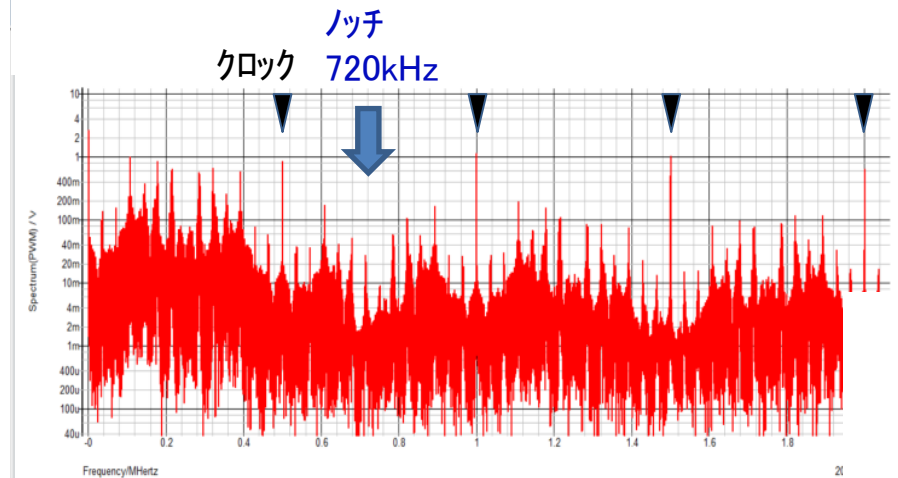
4. PWC+PAS方式スペクトラム拡散

4.2 シミュレーション結果

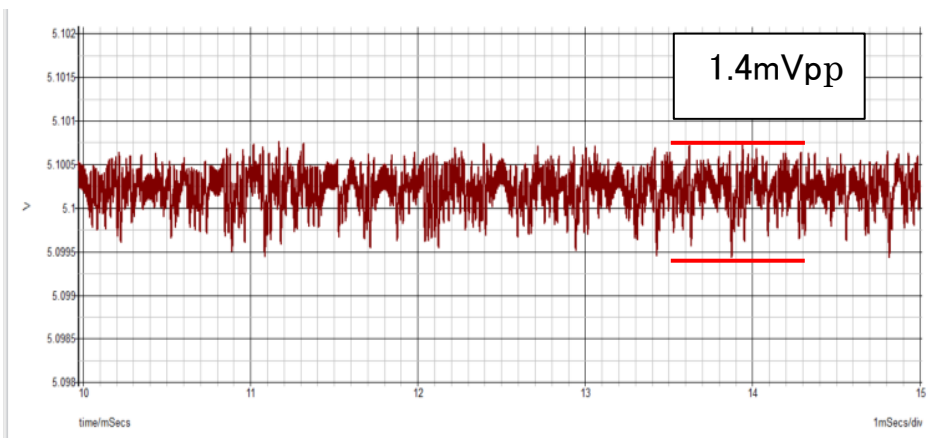
* スペクトラム低減

- メインクロック : -7.3 dB
- ノッチ周波数 : 720 kHz
帯域幅 : ± 40 kHz
- 不要な線スペクトラム削除

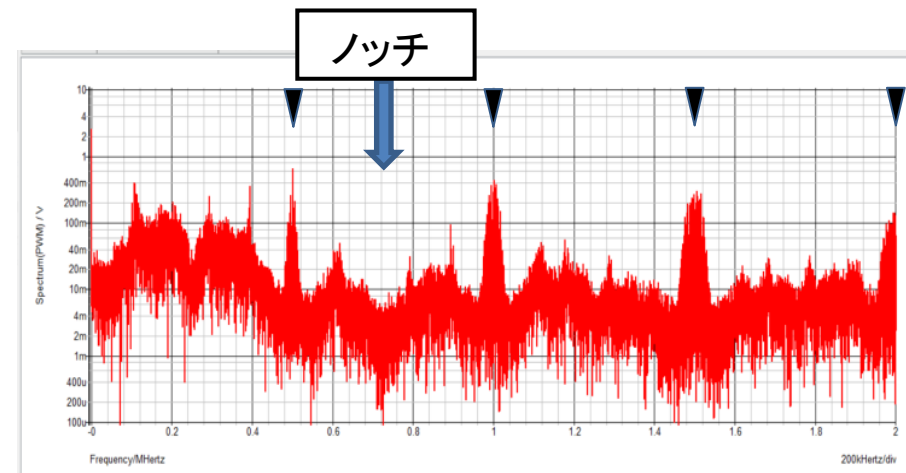
* 出力電圧リップル : 1.4 mVpp



PWCのみによるスペクトラム拡散



出力電圧リップル



PWC+PASによるスペクトラム拡散

5. まとめ

スイッチング電源のスペクトラム拡散

1. 疑義アナログ信号PAS手法によるスペクトラム拡散
 - ・メインクロックの低減: -7.3 dB (-2.85V)
2. パルス幅コーディングPWC手法によるスペクトラム拡散
 - ・ノッチ周波数の確認: $F_n = k / |W_H - W_L|$
 - ・ $W_H = 1.6 \text{ us}$, $W_L = 0.3 \text{ us}$, $T = 200 \text{ us}$ ($F = 500\text{kHz}$) のとき
ノッチ周波数: $F_n = 770 \text{ kHz}$, $1,540 \text{ kHz}$ を確認
3. PWC+PAS 手法によるスペクトラム拡散
 - ・EMI低減: クロック(500kHz) -7.3dB
 - ・ノッチ特性: $F_n = 720 \pm 40 \text{ kHz}$
 - ・ノッチ帯域内に不要な線スペクトラム無し

ご静聴

ありがとうございました