

# 通信機器用スイッチング電源に用いる ノッチ特性を有するスペクトラム拡散技術

荒船 拓也、小堀 康功、須永 祥希、王 太峰\*  
築地 伸和、高井 伸和、小林 春夫(群馬大学)

# アウトライン

- 1.研究背景・目的
- 2.スイッチングコンバータとスペクトラム拡散
  - 2-1.DC-DCコンバータ
  - 2-2.従来方式スペクトラム拡散
- 3.パルス幅コーディング方式電源の検討
  - 3-1.パルス幅コーディング(PWC)方式
  - 3-2.PWC方式スイッチング電源の構成
  - 3-3.PWC方式スイッチング電源のシミュレーション結果
- 4.パルス幅コーディング方式電源の実装結果
- 5.まとめ

# • 1. 研究背景



クロックによる  
電カスイッチング

不要輻射ノイズ



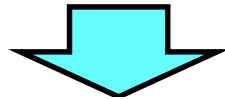
EMI: Electro-Magnetic Interference

# • 1. 研究目的

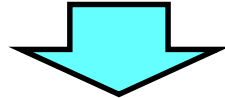
## ● EMIの低減方法: クロックのランダムな変調

パルス位相変調 (Pulse Phase Modulation: PPM)

パルス周波数変調 (Pulse Frequency Modulation: PFM)



全帯域にノイズを拡散



ノイズ禁止帯に拡散 (ex. ラジオ周波数)



新アルゴリズム:

- ・パルスコーディング手法によるスペクトラム拡散
- ・**ノッチ特性**を任意の周波数に発生可能

(ノッチ特性: ノイズレベルの非常に小さい帯域特性)

# アウトライン

1.研究背景・目的

2.スイッチングコンバータとスペクトラム拡散

2-1.DC-DCコンバータ

2-2.従来方式スペクトラム拡散

3.パルス幅コーディング方式電源の検討

3-1.パルス幅コーディング(PWC)方式

3-2.PWC方式スイッチング電源の構成

3-3.PWC方式スイッチング電源のシミュレーション結果

4.パルス幅コーディング方式電源の実装結果

5.まとめ

# ・2. スイッチングコンバータとスペクトラム拡散

## 2-1 DC-DCコンバータ

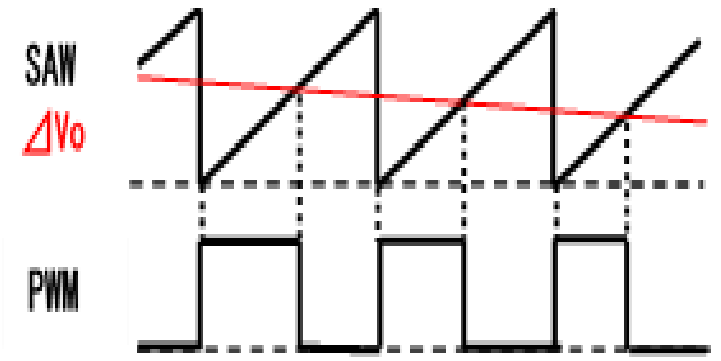
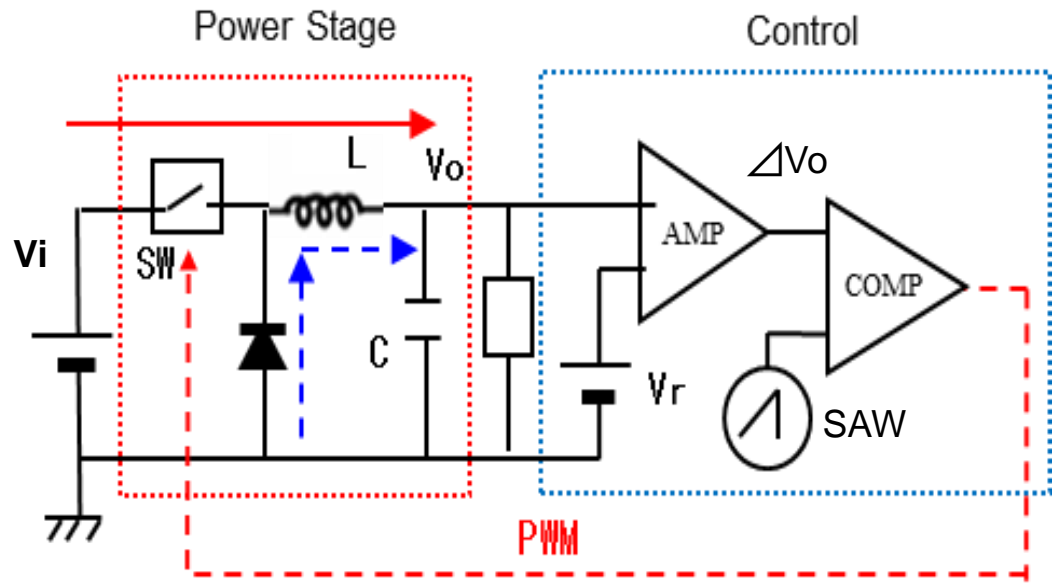


図1 降圧型スイッチング電源の構成

図2 制御部での主要信号波形

出力電圧：

$$V_0 = D \times V_i$$

- (1) 大電力のスイッチング→大きなEMIノイズ

# ・2. スイッチングコンバータとスペクトラム拡散

## 2-2 従来方式スペクトラム拡散

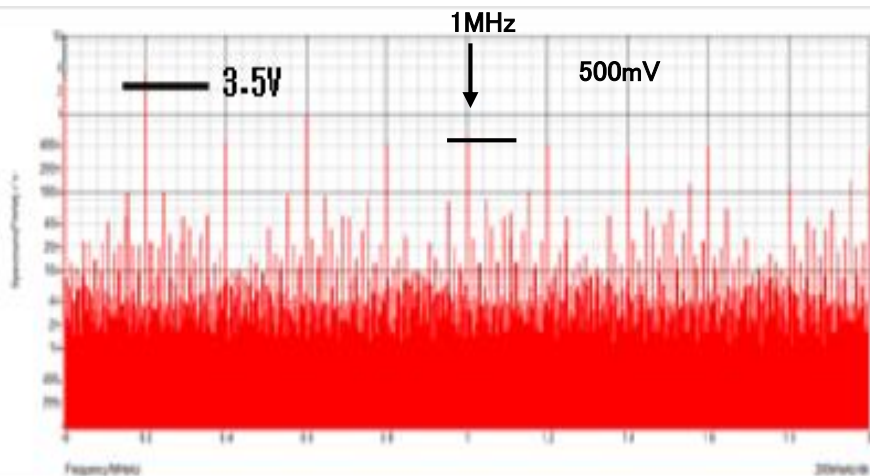


図3 スペクトラム拡散無し

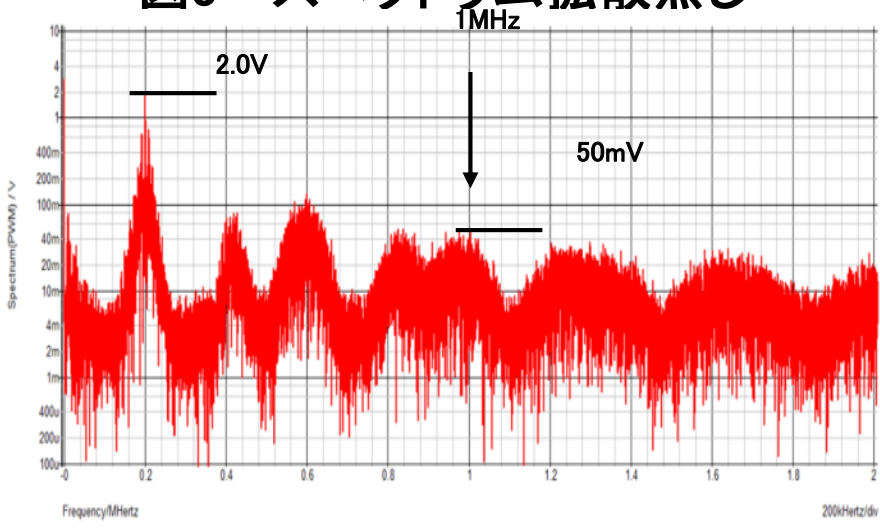
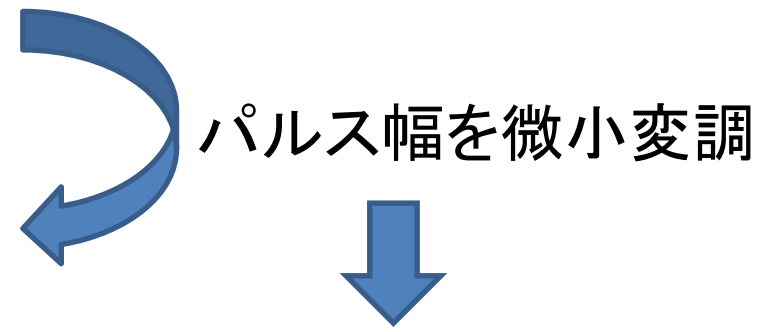


図4 スペクトラム拡散有り

- ★PWM信号のスペクトラム
- 基本周波数( 200kHz )



パルス幅を微小変調

クロック成分は1.5Vの低減

- ◆課題
- 全帯域にノイズ拡散

# アウトライン

1.研究背景・目的

2.スイッチングコンバータとスペクトラム拡散

2-1.DC-DCコンバータ

2-2.従来方式スペクトラム拡散

**3.パルス幅コーディング方式電源の検討**

3-1.パルス幅コーディング(PWC)方式

3-2.PWC方式スイッチング電源の構成

3-3.PWC方式スイッチング電源のシミュレーション結果

4.パルス幅コーディング方式電源の実装結果

5.まとめ



# ・3.パルス幅コーディング方式電源の検討

## 3-1 パルス幅コーディング(PWC)方式

### ●PWC(Pulse Width Coding)方式

出力電圧誤差をH/L2値へ変換

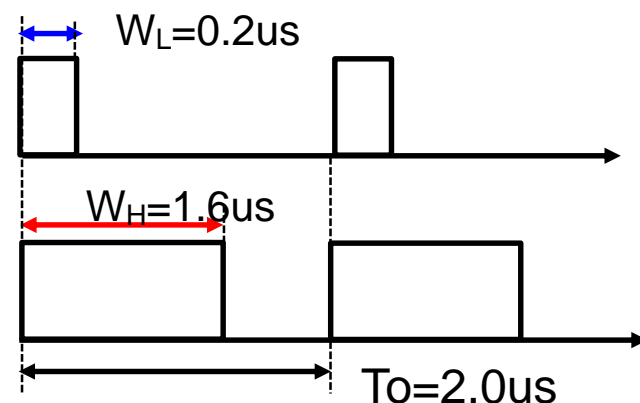
⇒ パルス幅の長短を切換え制御出力電圧を安定化

#### ノッチ発生式

$$Fn = N / (W_H - W_L)$$

$W_L$ ; 短いパルス幅  
 $W_H$ ; 長いパルス幅  
 $T$ ; パルス周期  
 $N$ ; 自然数  
 $Fn$ ; ノッチ周波数

例



- ノッチ周波数はパルス幅にのみ依存
- パルス幅の調整により, ノッチ周波数を任意に設定可能
- 周期Tは無関係

# ・3.パルス幅コーディング方式電源の検討

## 3-2 PWC方式スイッチング電源の構成

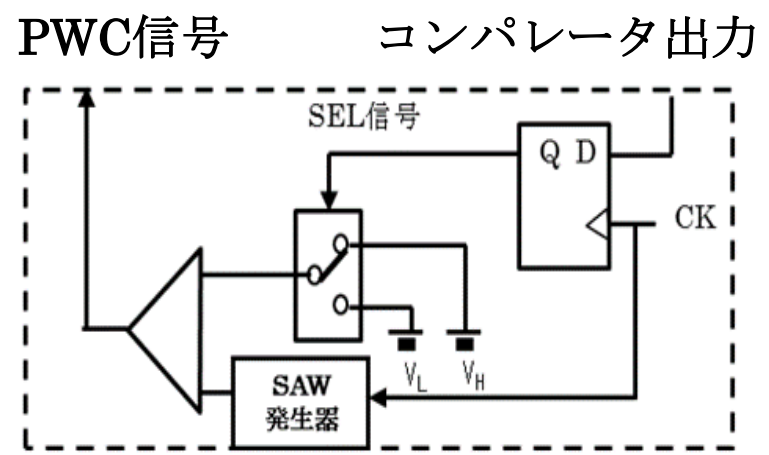
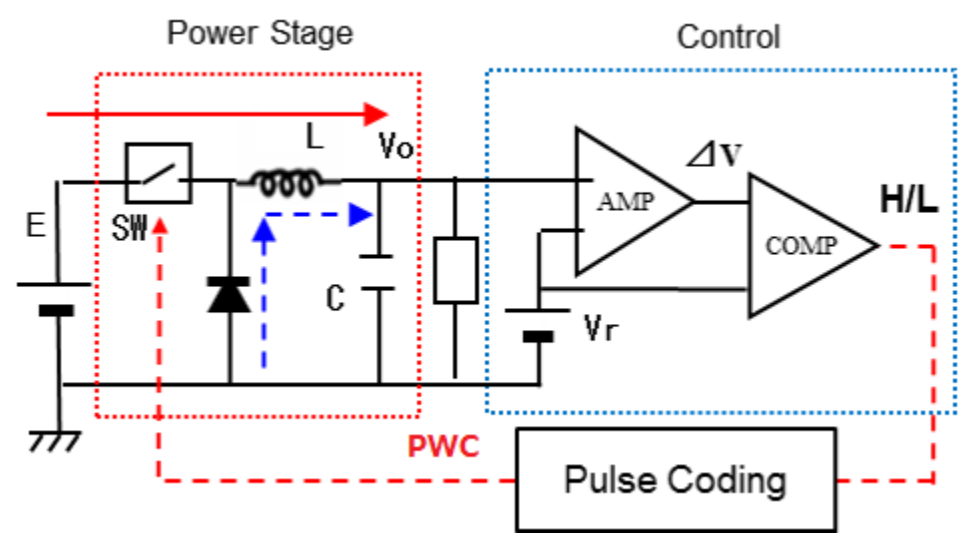
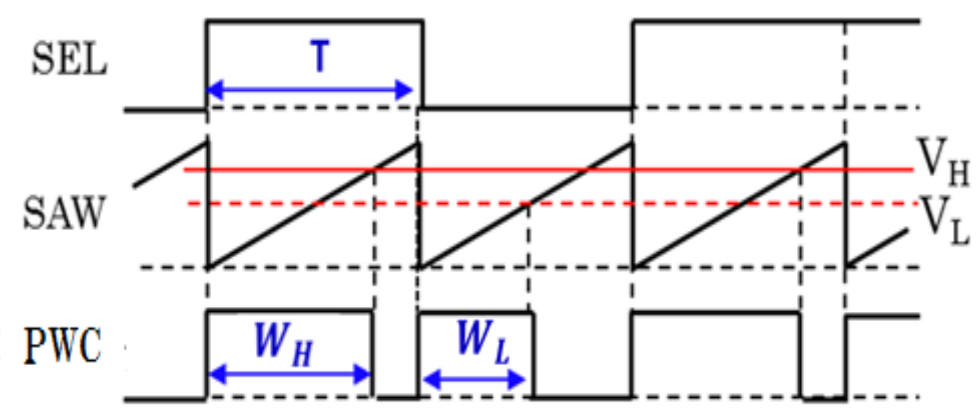


図5 パルスコーディング方式スイッチング電源 図6：PWC方式のパルスコーディング部



出力電圧を安定制御するため  
PWCパルスのDuty ( $D_L, D_H$ )

$$D_L < D_0 < D_H \quad (3)$$

$$D_0 \cong V_0/V_i \quad (\text{降圧型電源}) \quad (4)$$

図7：PWC方式SW電源の主要信号波形

# • 3.パルス幅コーディング方式電源の検討

## 3-3 PWCスイッチング電源のシミュレーション結果

表1 シミュレーション回路のパラメータ値

入力電圧 $V_i$	出力電圧 $V_0$	出力電流 $I_0$	L
10.0V	5.0V	0.25A	200uH
$C_0$	クロック $f_{ck}$	Coding幅1	Coding幅2
470uF	500kHz	1.6us	0.3us

実験式(2)よりノッチ周波数は

$$Fn = \frac{N}{W_H - W_L} = \frac{N}{1.6us - 3.0us} = 769kHz, 1.54MHz, \dots$$

# • 3.パルス幅コーディング方式電源の検討

## 3-3 PWCスイッチング電源のシミュレーション結果

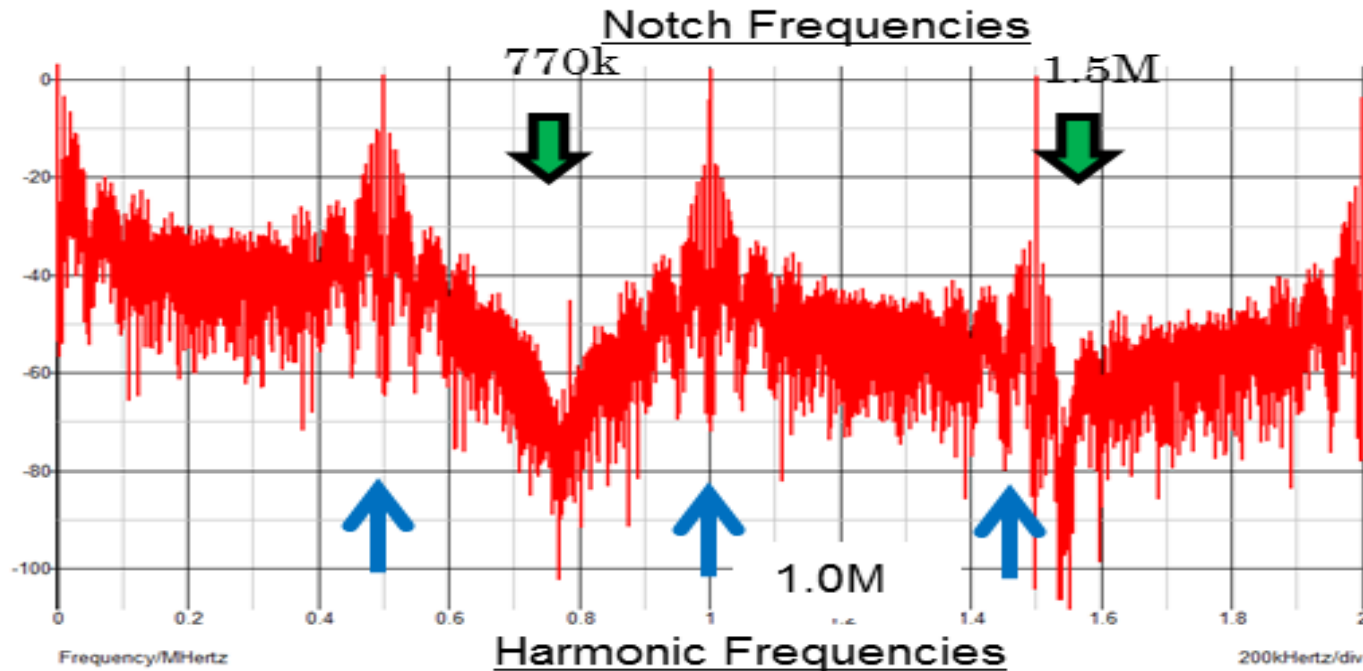


図8:PWC方式のスイッチ駆動信号スペクトラム (クロック周波数;500kHz)

上図よりノッチ周波数は

$$Fn = 770kHz, 1.5MHz, \dots$$

**実験式により算出した値とほぼ一致**

# • 3.パルス幅コーディング方式電源の検討

## 3-3 PWCスイッチング電源のシミュレーション結果

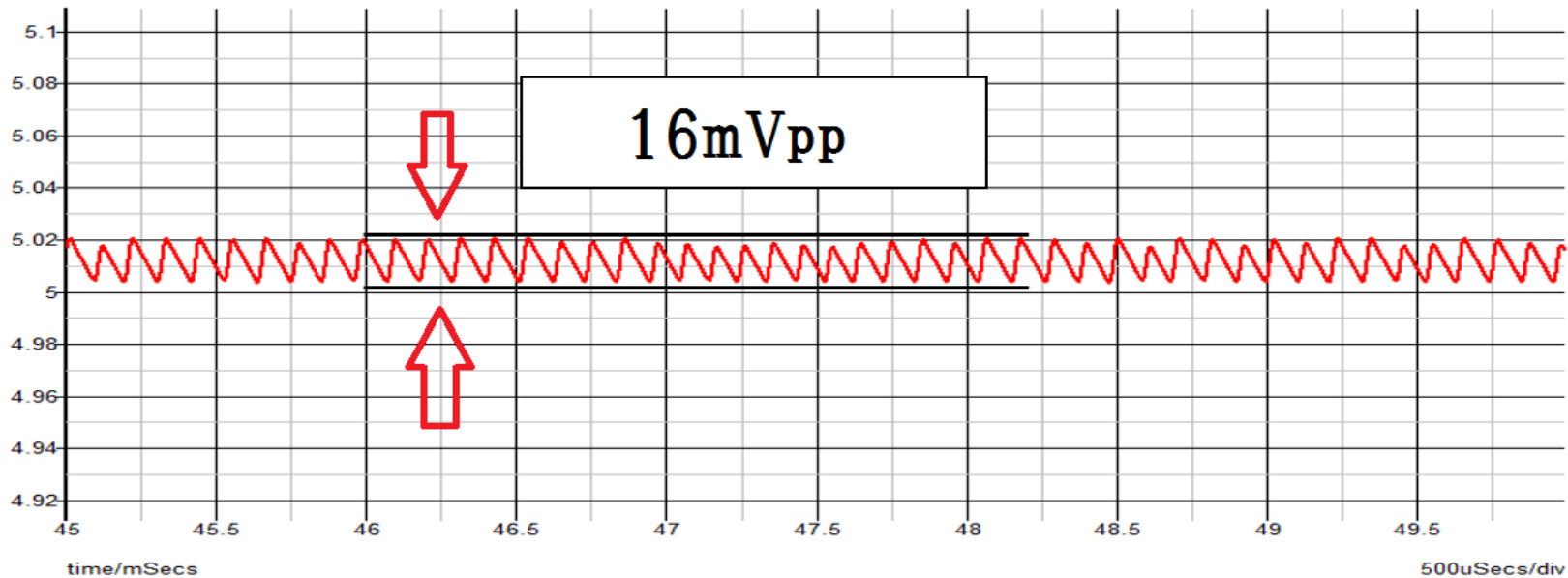


図9:PWC方式SW電源の出力電圧 $V_o$ のリップル波形

電圧リップル:  $16\text{mVpp}$  ( $\pm 0.16\%$ )

出力電圧に対するリップルは小さく、安定した出力

# アウトライン

- 1.研究背景・目的
- 2.スイッチングコンバータとスペクトラム拡散
  - 2-1.DC-DCコンバータ
  - 2-2.従来方式スペクトラム拡散
- 3.パルス幅コーディング方式電源の検討
  - 3-1.パルス幅コーディング(PWC)方式
  - 3-2.PWC方式スイッチング電源の構成
  - 3-3.PWC方式スイッチング電源のシミュレーション結果
- 4.パルス幅コーディング方式電源の実装結果**
- 5.まとめ

# ・4.パルス幅コーディング方式電源の実装結果



図10: 実機でのPWC制御波形とそのスペクトラム

パルス幅

$$W_H = 5.0 \text{ us}, \quad W_L = 1.3 \text{ us}, \quad T \doteq 6.2 \text{ us} \quad (160 \text{ kHz})$$

$$\text{ノッチ周波数: } F_n = 1 / (5.0 - 1.3) \text{ us} = 270 \text{ kHz} \quad \text{実験式と一致}$$

★ノッチは、クロックと第1高調波の間に発生

# ・4.パルスコーディング方式電源の実機

## ●パルス幅

$$W_H = 4.0 \text{ us}, W_L = 1.1 \text{ us}, T \doteq 6.2 \text{ us} \text{ (160 kHz)}$$

## ●ノッチ周波数: $F_n = 1 / (4.0 - 1.1) \text{ us} = 345 \text{ kHz}$ **実験式と一致**

★ノッチは、第1高調波と第2高調波の間に発生

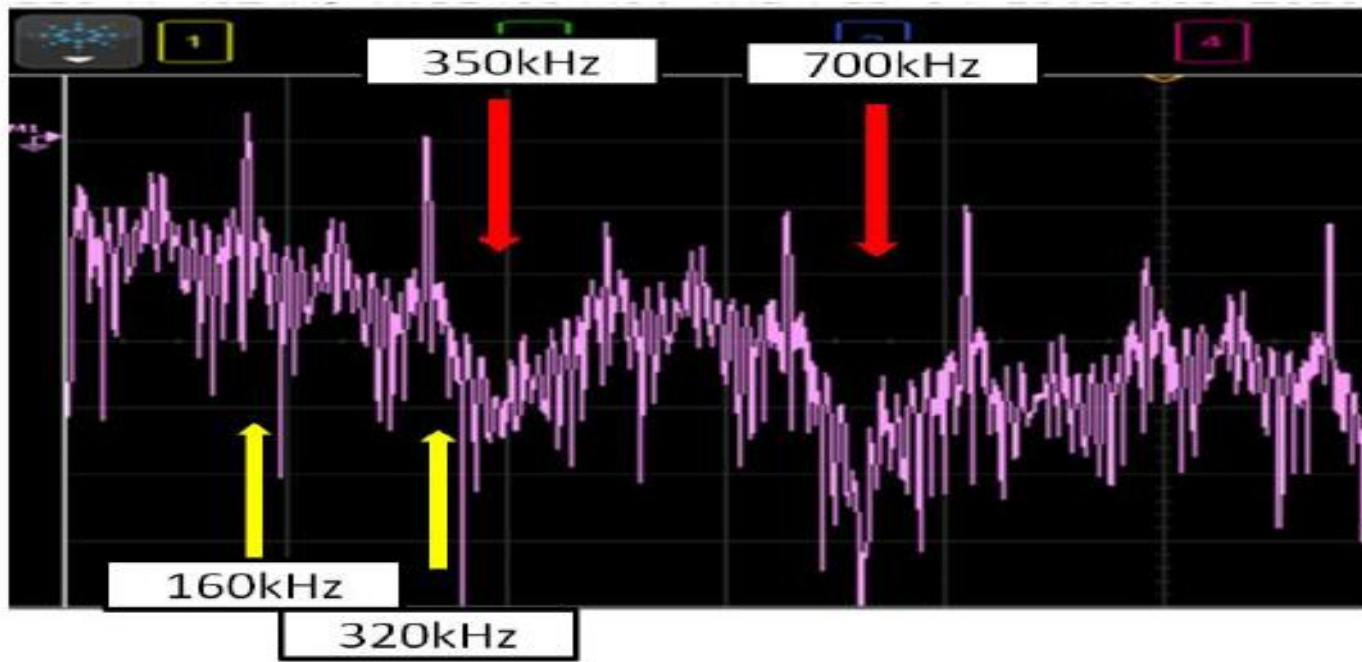


図11：実機でのPWCのスペクトラム  
(クロック周波数160kHz)



# ・4.パルスコーディング方式電源の実機

クロック周波数 = **420kHz** ← **高周波化**

●パルス幅:  $W_H = 2.0 \text{ us}$ ,  $W_L = 1.0 \text{ us}$ ,  $T \doteq 2.3 \text{ us}$  (420 kHz)

●ノッチ周波数:  $F_n = 1 / (2.0 - 1.0) \text{ us} = \mathbf{1.0 \text{ MHz}}$  **実験式と一致**

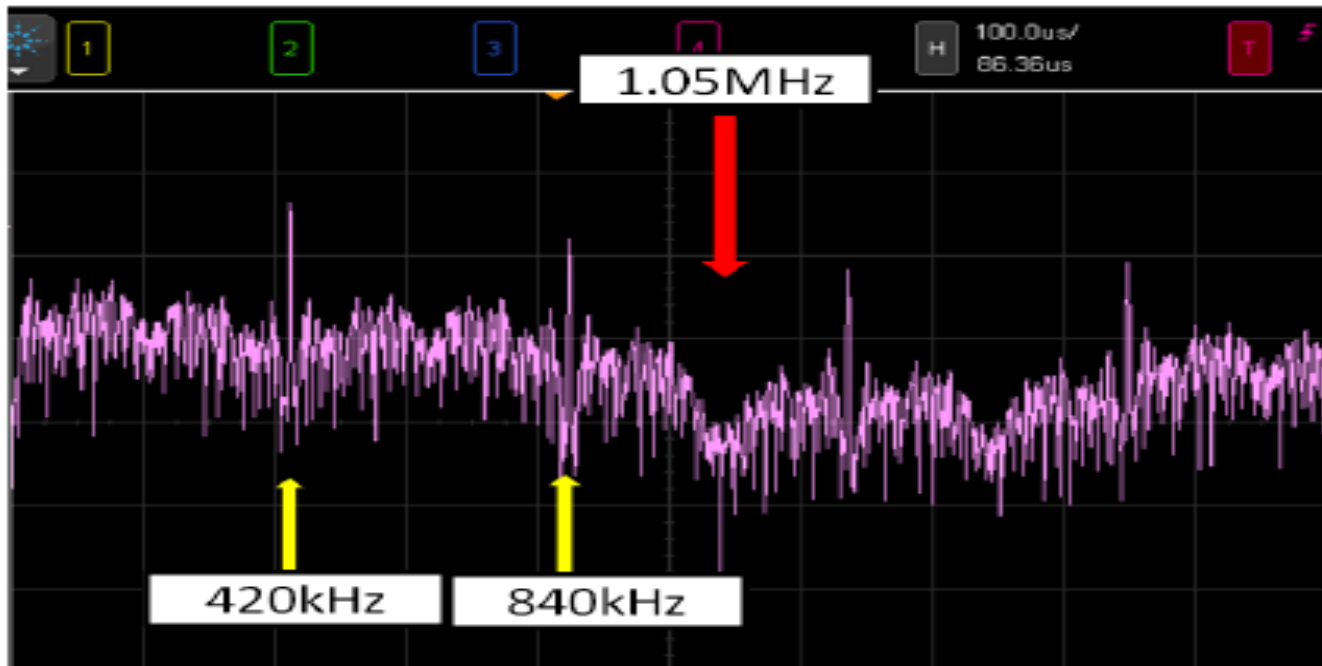


図12：実機でのPWCのスペクトラム  
(クロック周波数420kHz)

# アウトライン

1. 研究背景・目的
2. スイッチングコンバータとスペクトラム拡散
  - 2-1. DC-DCコンバータ
  - 2-2. 従来方式スペクトラム拡散
3. パルス幅コーディング方式電源の検討
  - 3-1. パルス幅コーディング(PWC)方式
  - 3-2. PWC方式スイッチング電源の構成
  - 3-3. PWC方式スイッチング電源のシミュレーション結果
4. パルス幅コーディング方式電源の実装結果
5. まとめ

## • 5.まとめ

1) パルス幅コーディング方式を降圧形電源に適用

\* ノッチ周波数の実験式の導出

\* シミュレーションにより、ノッチ周波数と実験式の一致

2) 電源実装により任意周波数にノッチ発生を確認

	WH	WL	実測Fn	(実験式Fn)	
A)	5.0 us	1.3 us	270 kHz	(274 kHz)	一致
B)	4.0 us	1.1 us	345 kHz	(350 kHz)	一致
C)	2.0 us	1.0 us	1.0 MHz	(1.05 MHz)	一致

\* 実装でもノッチ周波数と実験式の一致を確認

ご 静 聴

ありがとうございました。

# Q&A

Q. 今回の特徴は2つのパルスを発生させ、その差でノッチを発生できるのか？

A. そのような認識で良いと思います。

Q. これは任意的に発生できるということで良いのでしょうか？

A. はい。

Q. ノッチの幅はどの程度あるのですか？

A. ある程度幅を持って発生します。