

パルス周期コーディング方式電源の スペクトラム拡散におけるノッチ特性の検討

群馬大学 電子情報数理教育プログラム

小林研究室 修士1年

Manimel wadu Sahan dulara

T171d080@gunma-u.ac.jp



outline

1. 研究背景・概要
2. 従来スペクトラム拡散
3. パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散
 - 従来パルス幅コーディング方式 (PWC)
 - 提案パルス周期コーディング方式 (PCC)
4. 理論解析
5. シミュレーション結果
6. まとめ

PWC: Pulse Width Coding
PCC: Pulse Cycle Coding

outline

1. 研究背景・概要
2. 従来スペクトラム拡散
3. パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散
 - 従来パルス幅コーディング方式 (PWC)
 - 提案パルス周期コーディング方式 (PCC)
4. 理論解析
5. シミュレーション結果
6. まとめ

研究背景

スイッチング電源回路

電力源

電子機器

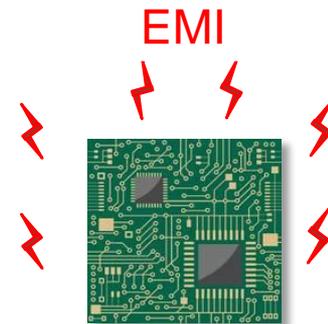


入力電圧を必要な電圧に変換し、安定に供給するための回路

電子回路の複雑化・高密度化に伴い
妨害電磁波(EMI)が問題視



小規模回路でEMIを大幅改善できることから
スペクトラム拡散技術に注目



EMI : Electro-Magnetic Interference(電磁波干渉)

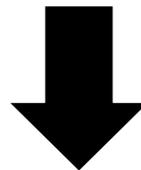
研究目的

目的

ノッチ発生を高い周波数まで**拡張**

提案手法

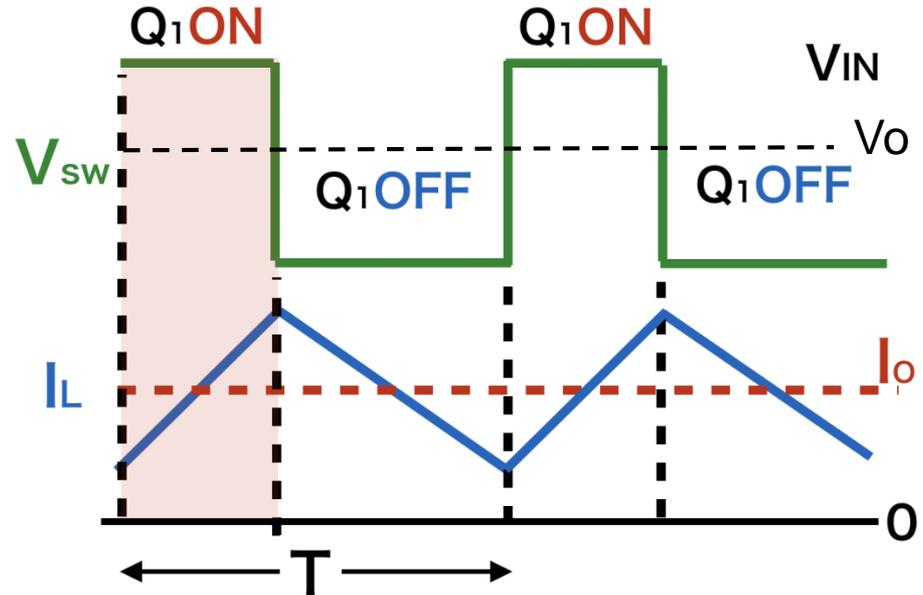
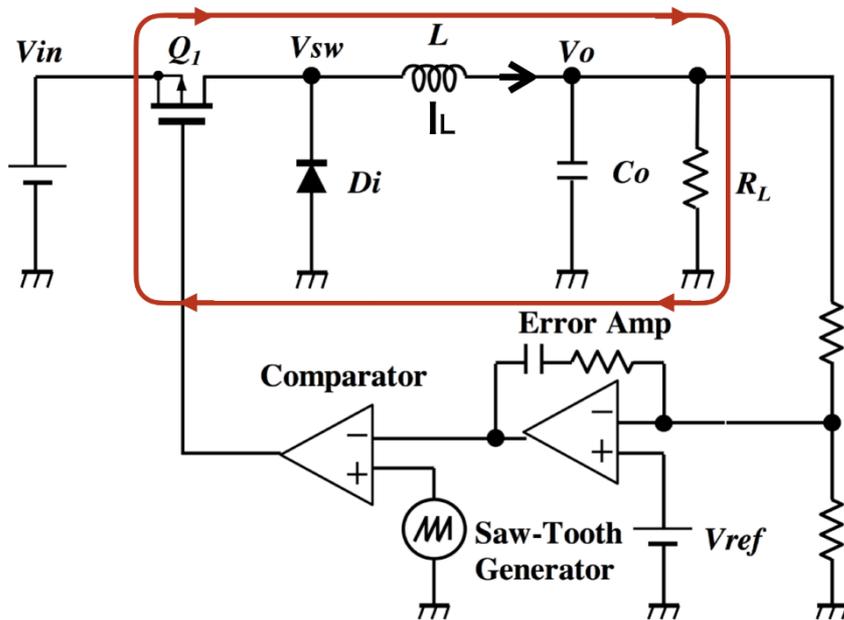
パルス周期コーディング方式を用いた
スペクトラム拡散方式



スイッチング電源回路

スイッチング電源 (Switch ON)

電流ループ

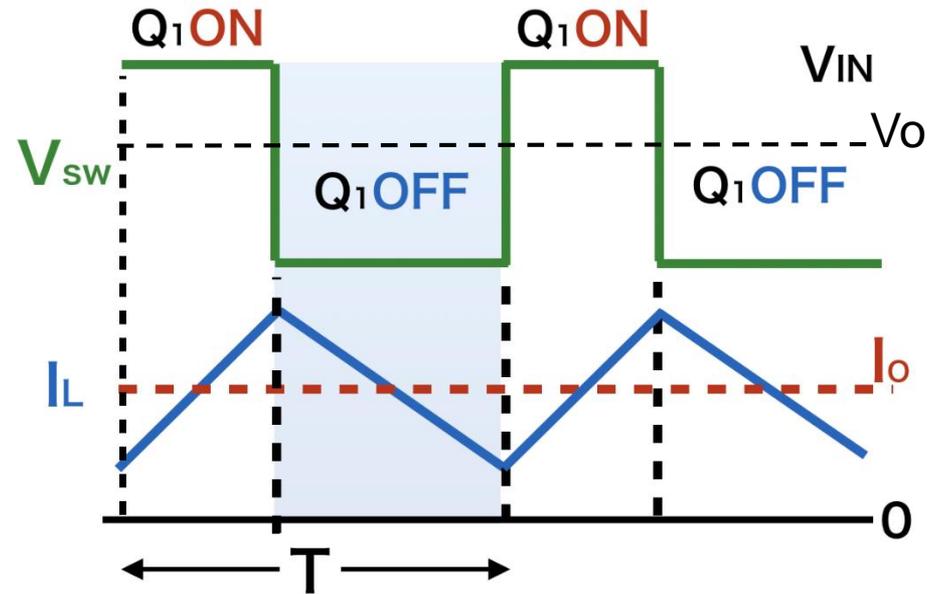
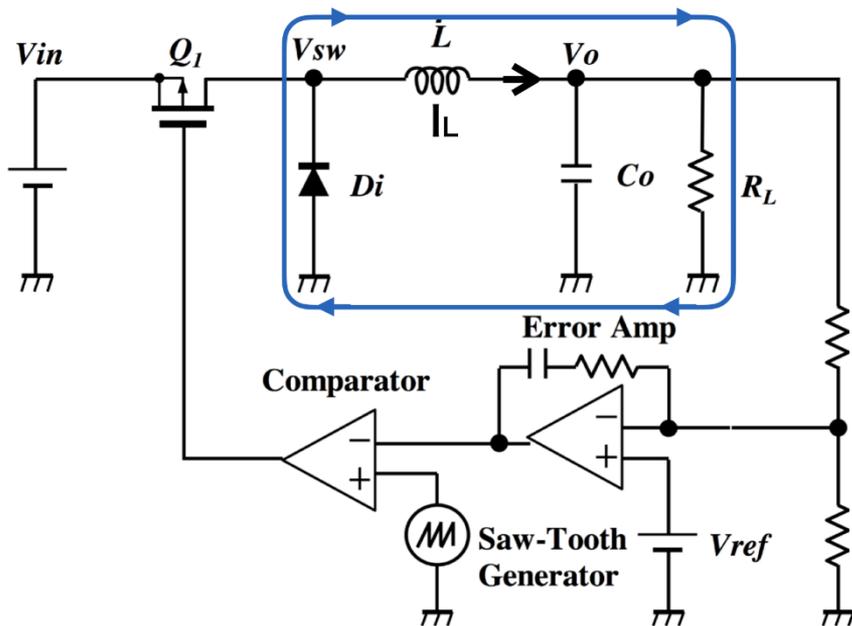


動作

スイッチ ON → 電圧供給 → LCによりチャージ → 出力電圧増加

スイッチング電源 (Switch OFF)

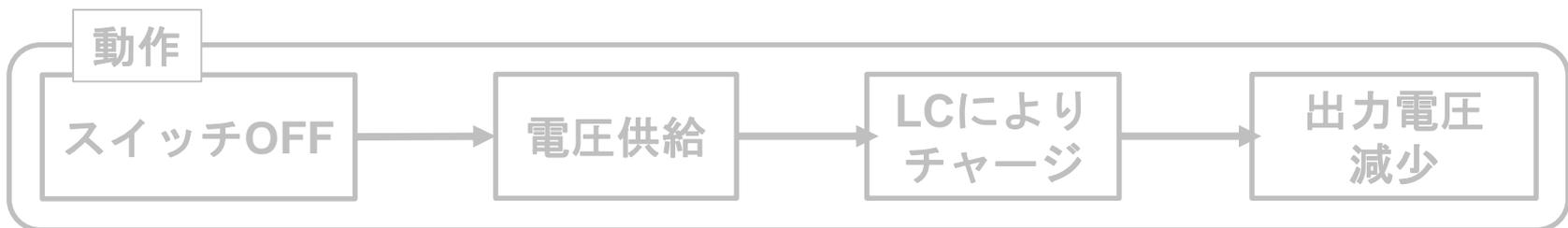
電流ループ



動作

スイッチOFF → 電圧供給 → LCにより
ディスチャージ → 出力電圧
減少

スイッチング電源 (Switch OFF)



outline

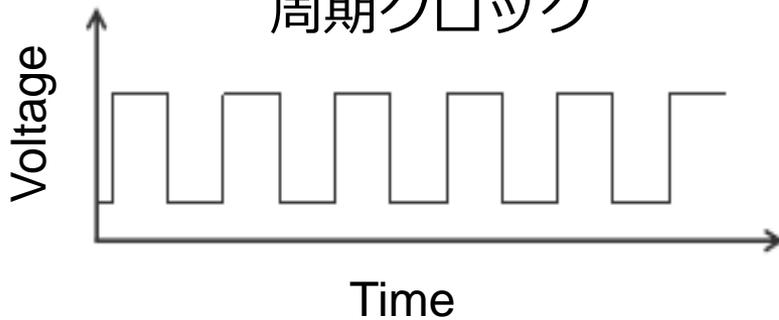
1. 研究背景・概要
2. 従来スペクトラム拡散
3. パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散
 - 従来パルス幅コーディング方式 (PWC)
 - 提案パルス周期コーディング方式 (PCC)
4. 理論解析
5. シミュレーション結果
6. まとめ

スペクトラム拡散

パルスのパラメータ(パルス幅・位相等)を変調することで**EMIを低減**

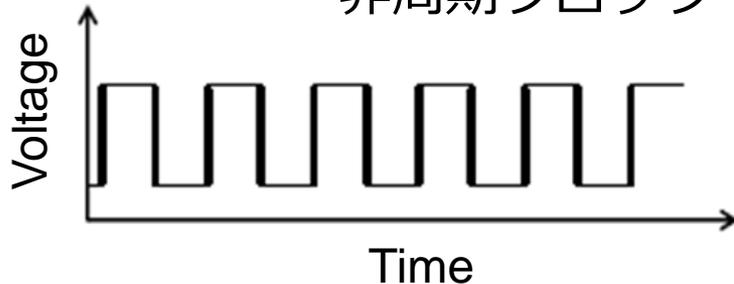
時間軸

周期クロック



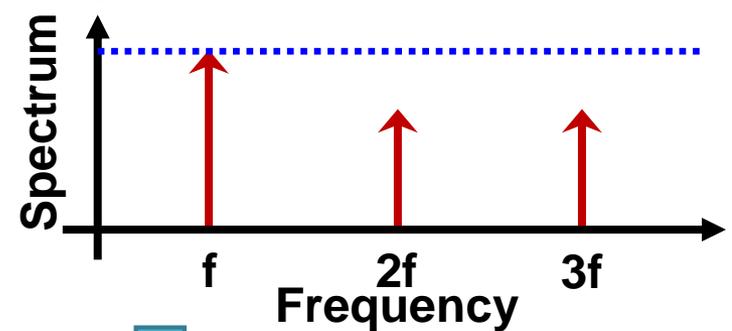
ランダム位相変調

非周期クロック



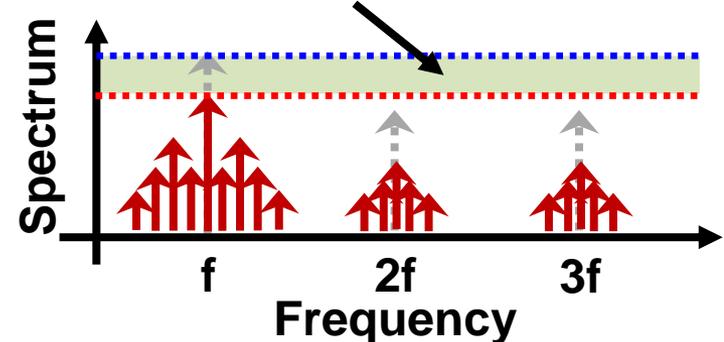
周波数軸

基本周波数及び高調波にピーク

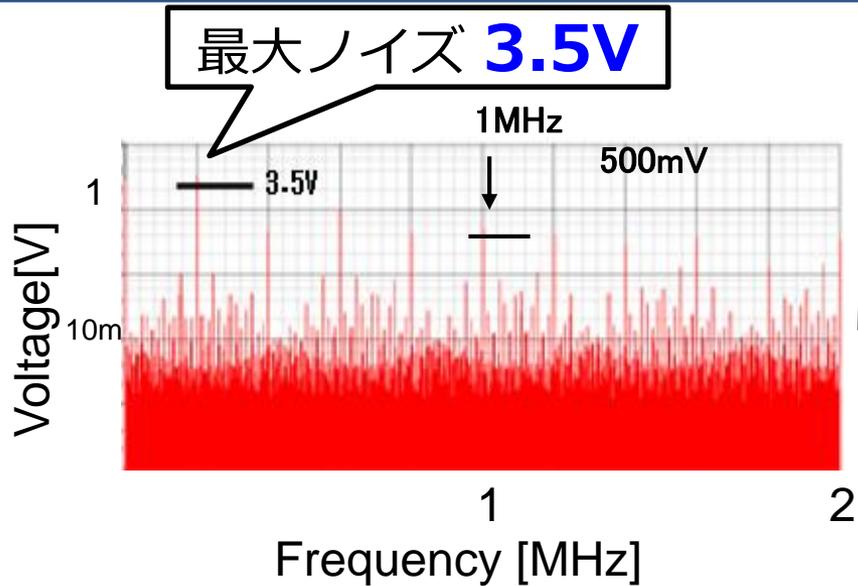


EMIノイズが拡散

EMIピークが低減



従来のスペクトラム拡散の効果

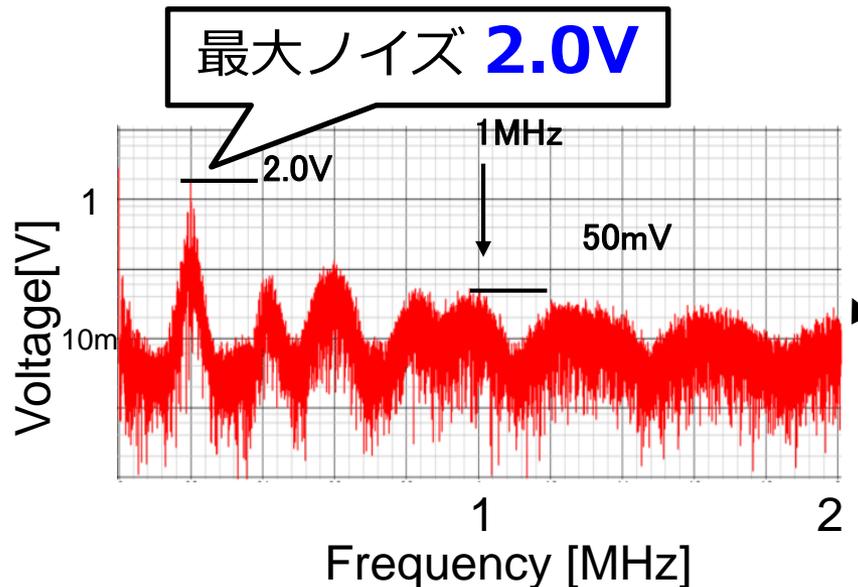


一般的なPWM型電源

基本周波数及び
高調波にノイズが集中

スペクトラム拡散 **なし**

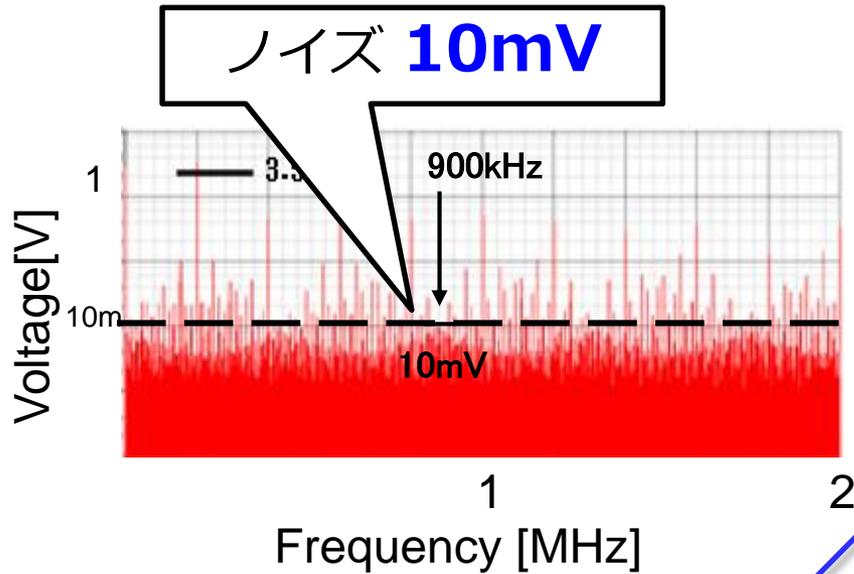
スペクトラム拡散電源



EMIピークの低減を確認

スペクトラム拡散 **あり**

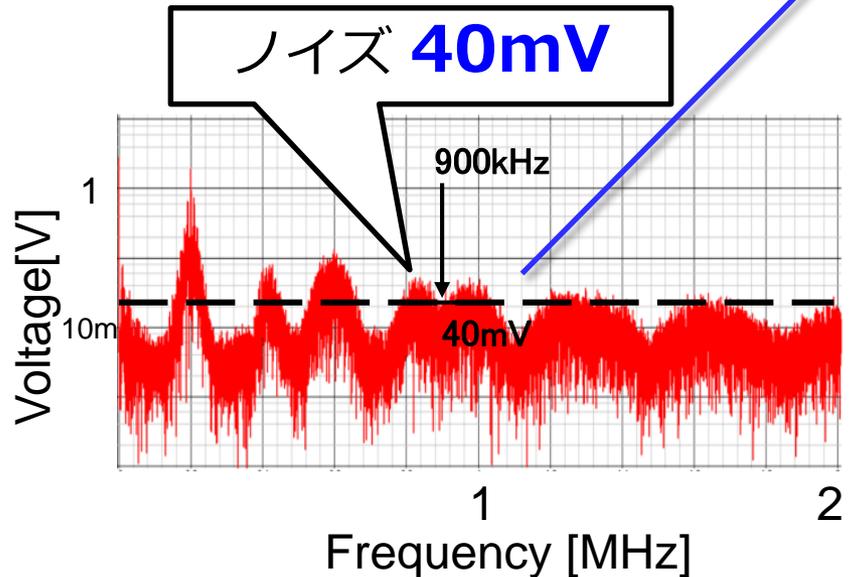
従来スペクトラム拡散の問題点



一般的なPWM型電源

基本周波数及び
高調波にノイズが集中

拡散によるノイズが集中



スペクトラム拡散電源

EMIピークの低減を確認

Problem

周波数によっては
ノイズが増加

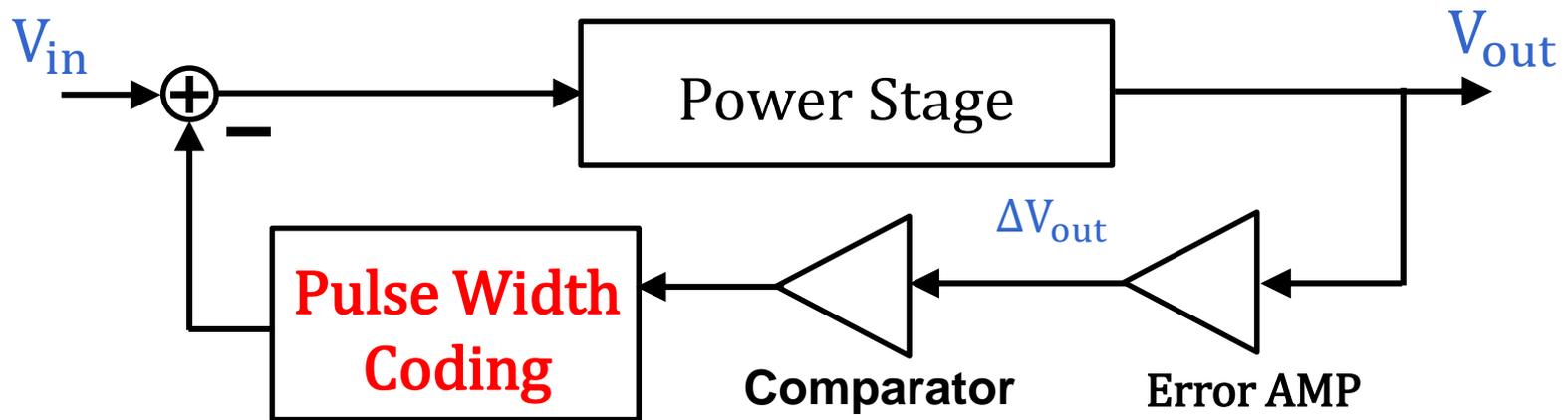
outline

1. 研究背景・概要
2. 従来スペクトラム拡散
3. パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散
 - 従来パルス幅コーディング方式 (PWC)
 - 提案パルス周期コーディング方式 (PCC)
4. 理論解析
5. シミュレーション結果
6. まとめ

パルスコーディング方式

周期的なクロックを**離散変調**

⇒基本周波数に集中した**電磁ノイズ**を**拡散低減**

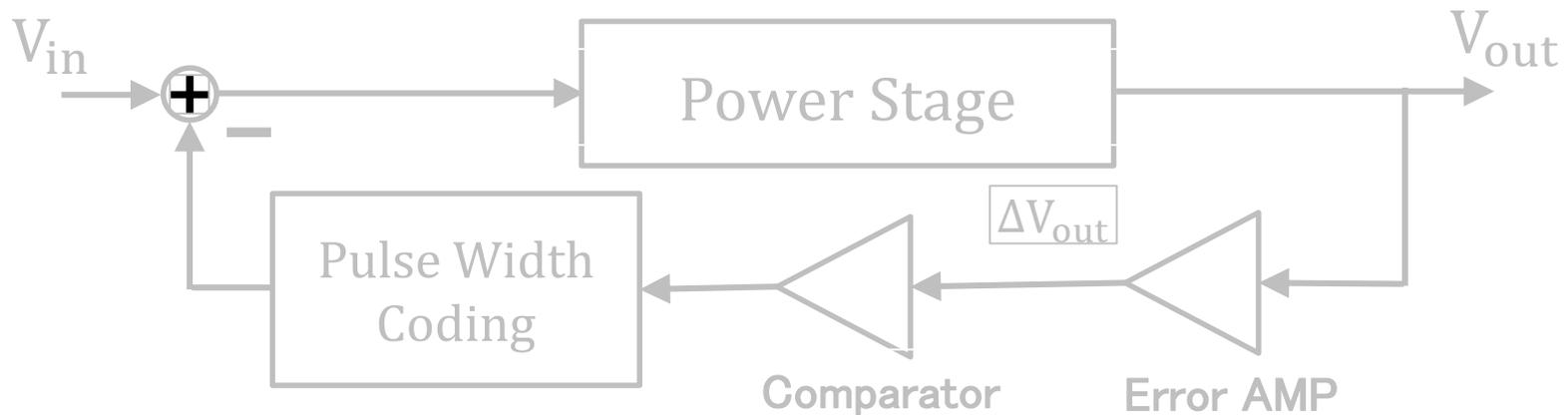


PWM回路を**コーディング回路**に変更

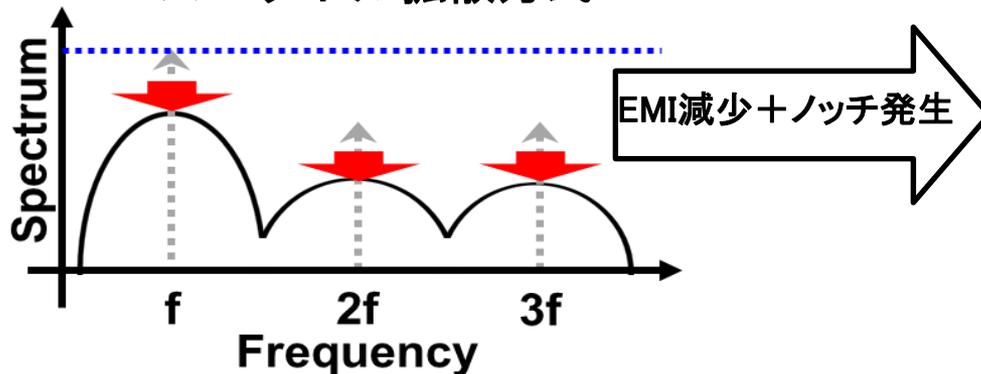
パルスコーディング方式

周期的なクロックを離散変調

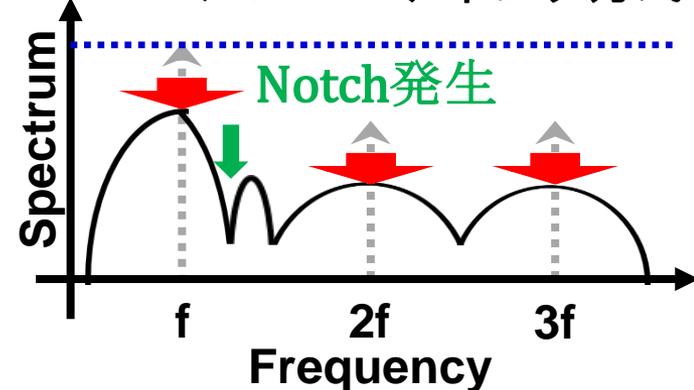
⇒基本周波数に集中した電磁ノイズを拡散低減



スペクトル拡散方式



パルスコーディング方式



パルスコーディング方式の手順

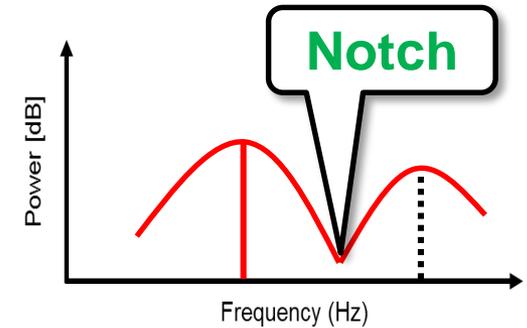
パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散

↓
アナログ変調使用

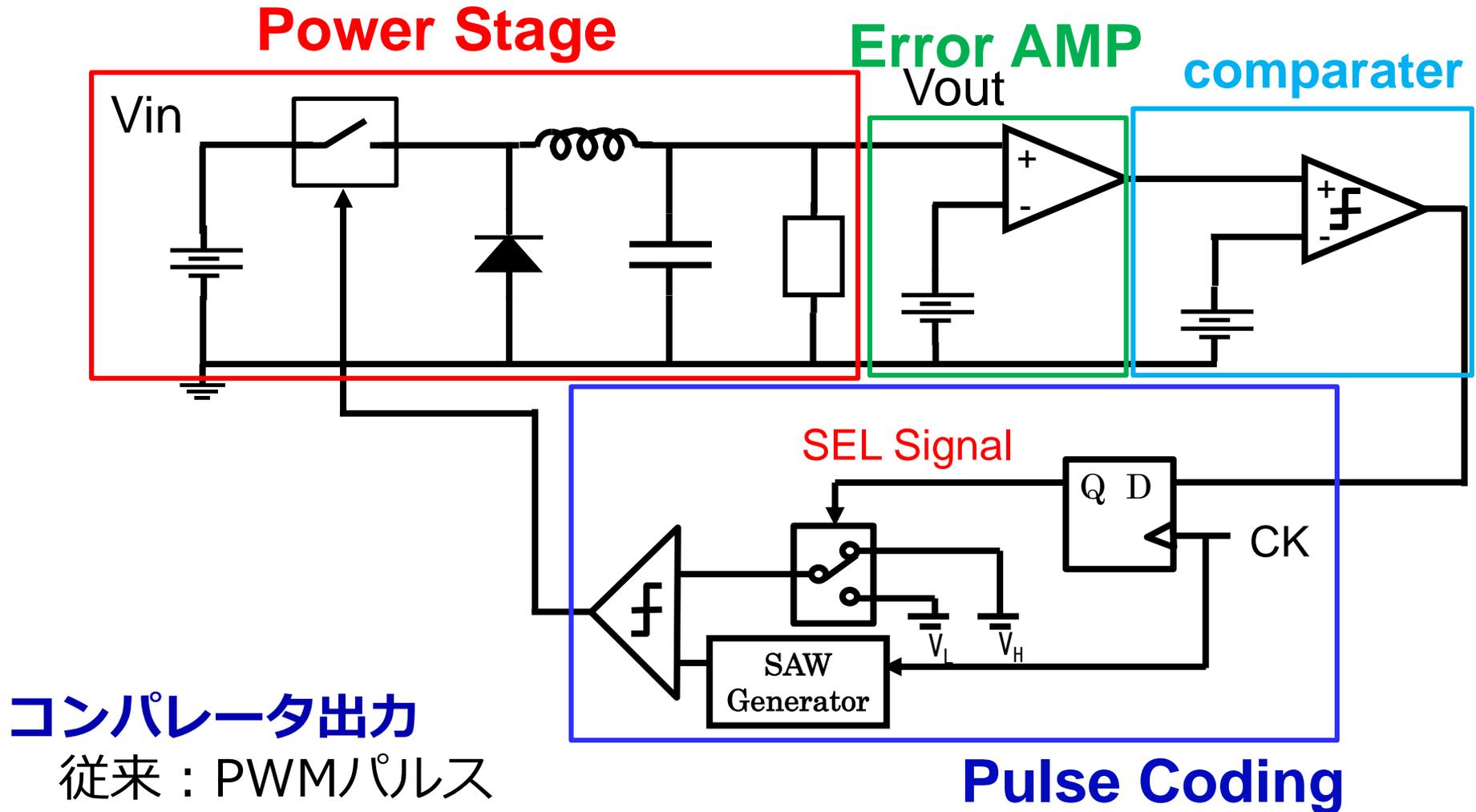
ノイズが特定周波数(離散的)に拡散

↓
狙った周波数にノッチ特性を発生させる

↓
EMIの低減



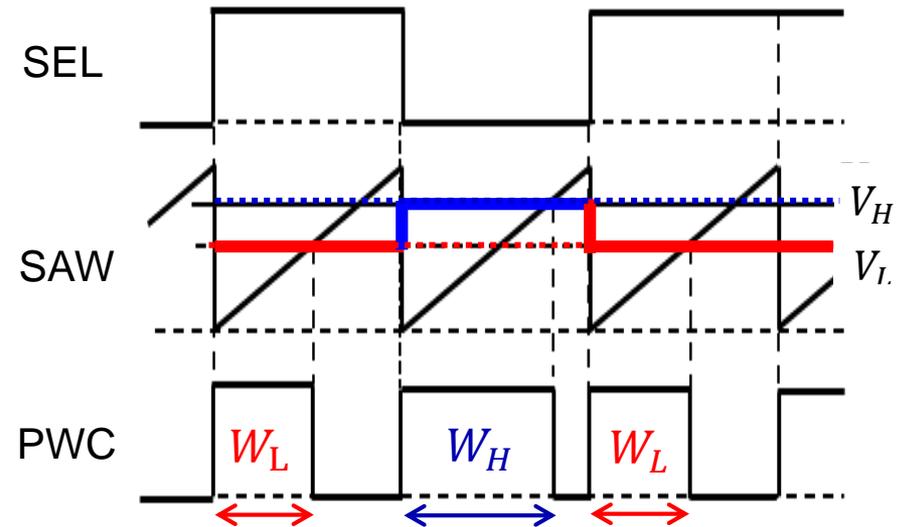
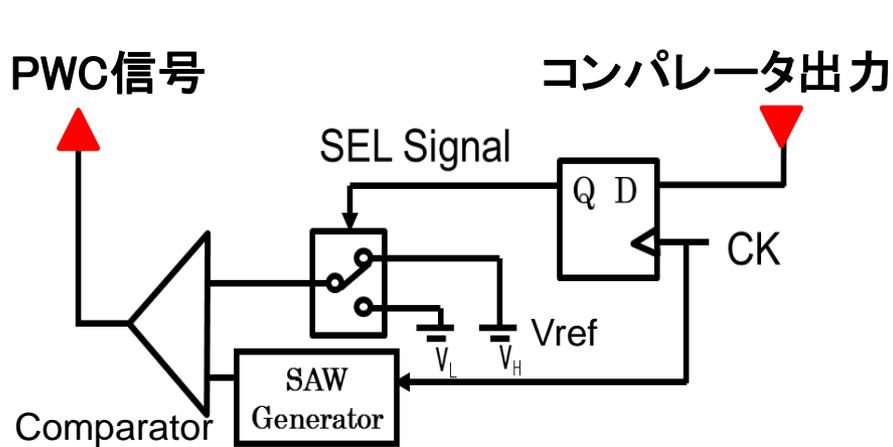
パルスコーディング方式回路構成



従来:パルス幅コーディング方式(PWC方式)

入力のH/Lに対応して**長短**2種類**幅**のパルスを生成する回路

PWC回路



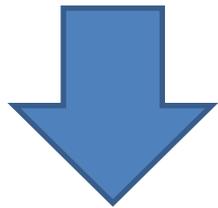
- ① SELがHigh
- ② 基準電圧が V_L を選択
- ③ Comparatorで幅が短いパルスを生成

- ① SELがLow
- ② 基準電圧が V_H を選択
- ③ Comparatorで幅が長いパルスを生成

従来:パルス幅コーディング方式(PWC方式)

- スペクトラムを載せる

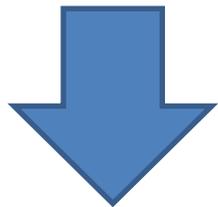
ノッチ特性の高調波周波数が、10MHz程度のスペクトラム



周波数によってはノイズが増加

- **従来**: AM放送 (~50MHz) までカバーする

PWC方式でノッチ周波数が、10MHz (**AM放送**) 程度



- **狙い**: FM放送 (~200MHz) までカバーする

パルスコーディング方式を検討

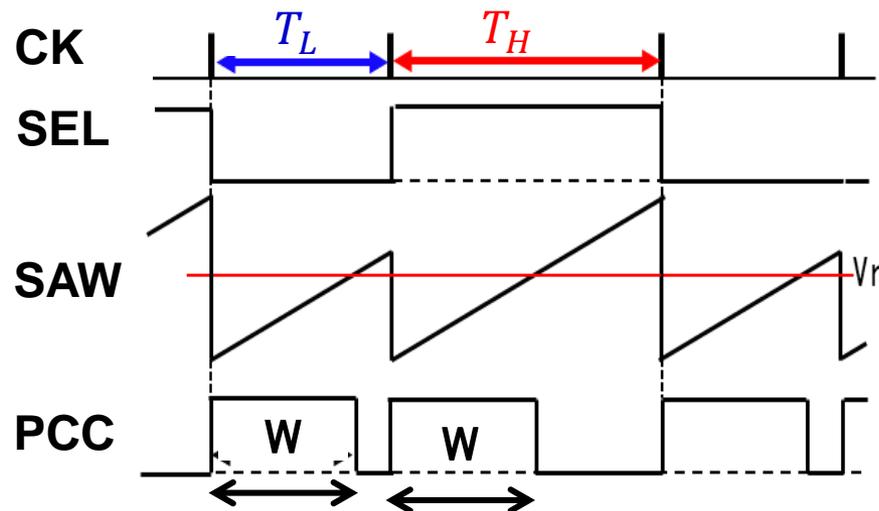
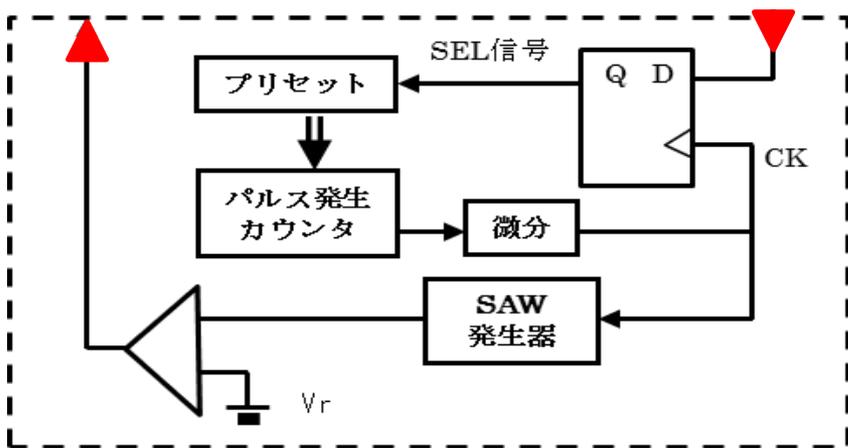
PCC方式のノッチ周波数を、200MHz (**FM放送**) まで拡大

提案：パルス周期コーディング方式(PCC方式)

入力のH/Lに対応して**長短2種類周期**のパルスを生成する回路

PCC回路

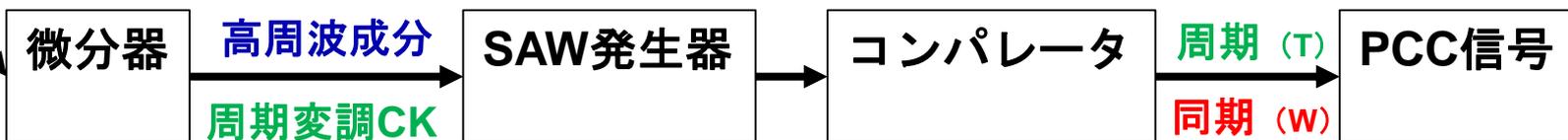
PCC信号 コンパレータ出力



SEL信号

$$\frac{W}{T_H} < D_0 < \frac{W}{T_L}$$

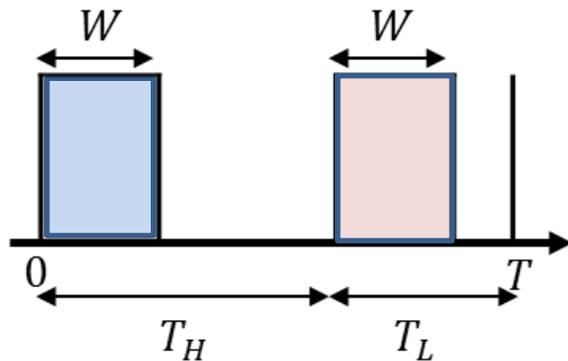
D_0 : Duty
 T_H, T_L : 周期
 w : 同期



outline

1. 研究背景・概要
2. 従来スペクトラム拡散
3. パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散
 - 従来パルス幅コーディング方式 (PWC)
 - 提案パルス周期コーディング方式 (PCC)
- 4. 理論解析**
5. シミュレーション結果
6. まとめ

PCC方式の理論解析



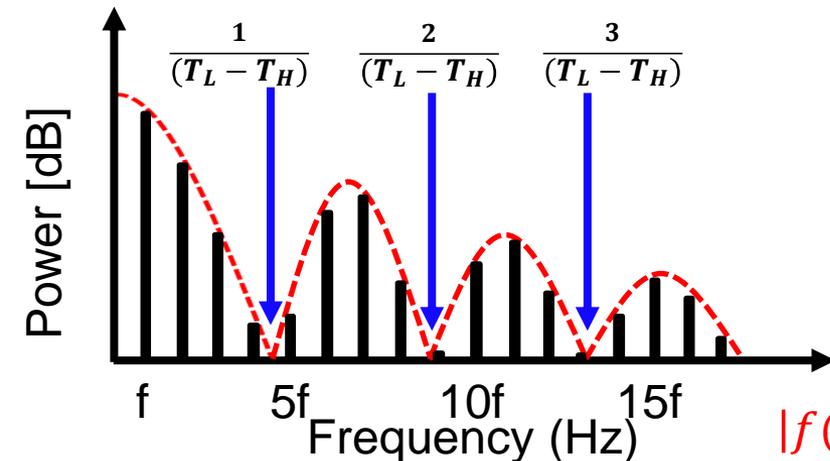
$$\begin{aligned}
 f(\omega) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \\
 &= \int_0^W e^{-j\omega t} dt + \int_{T_H}^{T_H+W} e^{-j\omega t} dt \\
 &= -\frac{1}{j\omega} \{ \cos(\omega W_H) - j\sin(\omega W_L) \\
 &\quad - \cos(\omega W_L) + j\sin(\omega W_L) \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f(\omega) &= \frac{1}{\omega} \{ j \cos(\omega T_L) + \sin(\omega T_L) \\
 &\quad - j \cos(\omega(T_L - W)) - \sin(\omega(T_L - W)) \\
 &\quad - j \cos(\omega T_H) - \sin(\omega T_H) \\
 &\quad + j \cos(\omega(T_H - W)) + \sin(\omega(T_H - W)) \}
 \end{aligned}$$

$$|f(\omega)| = (T_H - T_L) \left| \text{sinc} \left\{ (T_H - T_L) \frac{\omega}{2} \right\} \right| \left| \sin \left\{ W \frac{\omega}{2} \right\} \right|$$

$$f_{notch 1} = \frac{N}{(T_L - T_H)} \quad f_{notch 2} = \frac{M}{W} \quad [N, M \text{ は自然数}]$$

W : パルス幅 T_L, T_H : 周期幅



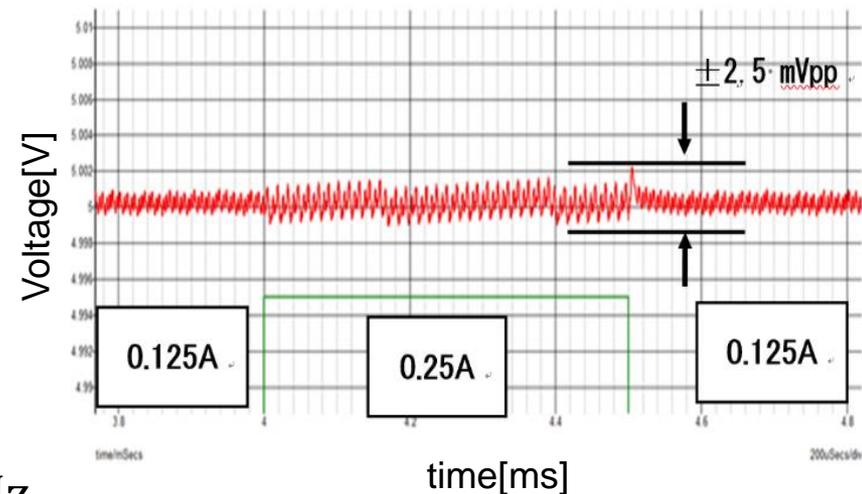
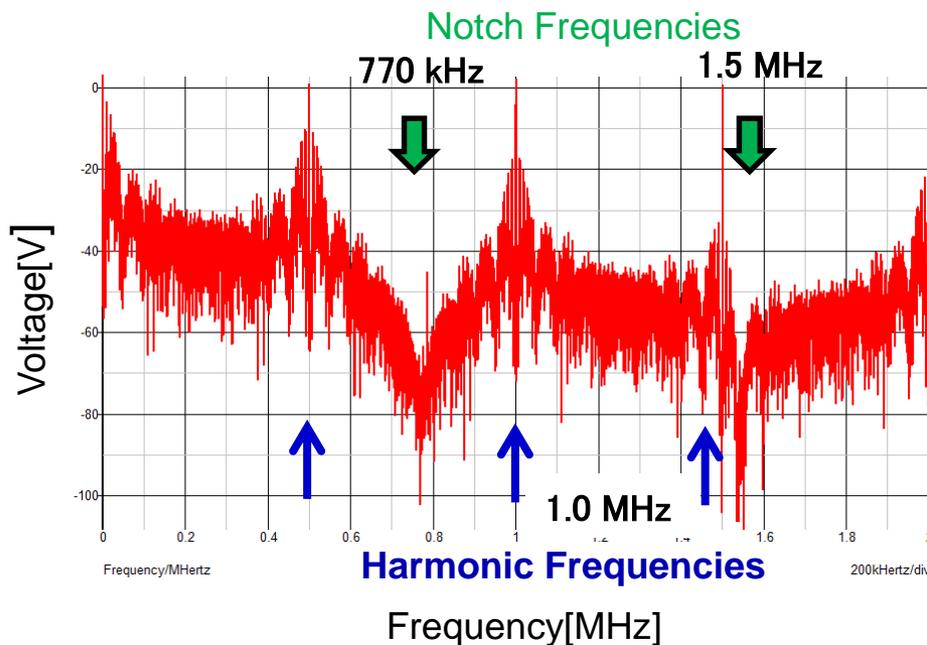
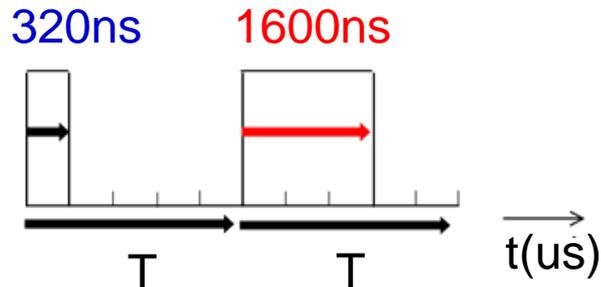
outline

1. 研究背景・概要
2. 従来スペクトラム拡散
3. パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散
 - 従来パルス幅コーディング方式 (PWC)
 - 提案パルス周期コーディング方式 (PCC)
4. 理論解析
5. シミュレーション結果
6. まとめ

従来:PWC方式シミュレーション

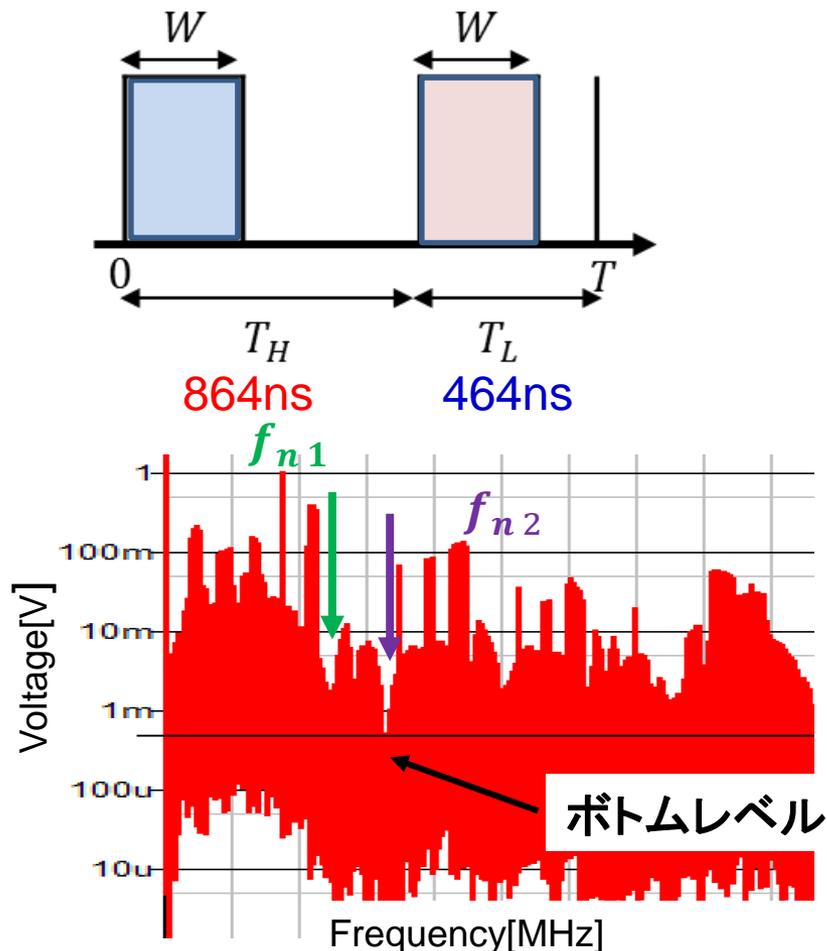
パラメータ

入力電圧E	10.0V
出力電圧 V_0	5.0V
出力電流 I_0	0.25A
インダクタンスL	200uH
キャパシタンス C_0	470uF
クロック数 f_{ck}	500kHz



$$f_{\text{notch}} \cong K \times \frac{1}{(1.6\mu - 0.3\mu)} = 770\text{kHz}, 1.5\text{MHz}$$

提案: PCC方式シミュレーション



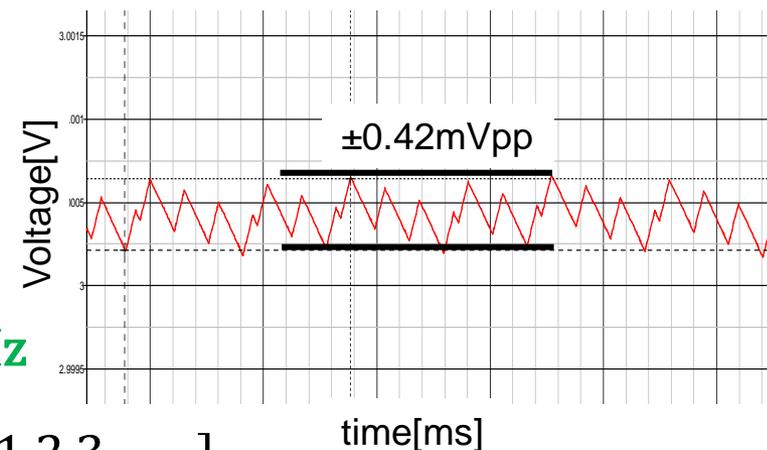
$$f_{notch\ 1} = \frac{N}{|T_H - T_L|} = \frac{N}{(864ns - 464ns)} = 2.5\text{MHz}$$

$$f_{notch\ 2} = \frac{M}{W} = \frac{M}{305ns} = 3.3\text{MHz}$$

[M=1,2,3,.....]

パラメータ

入力電圧E	10.0V
出力電圧 V_0	3.0V
出力電流 I_0	0.5A
インダクタンスL	100uH
キャパシタンス C_0	470uF
クロック数 f_{ck}	500kHz
パルス幅W	305ns



コーディング方式の比較

● PWC方式

$$f_{notch 1} = \frac{N}{(W_L - W_H)} = \frac{N}{(1600ns - 300ns)} = 770kHz, 1.5MHz$$

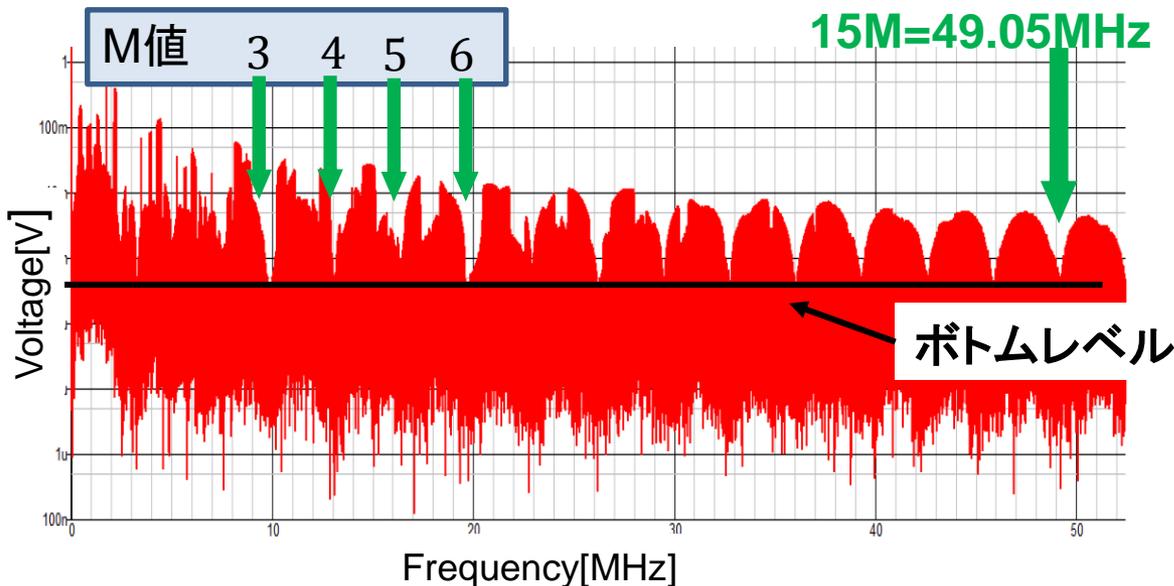
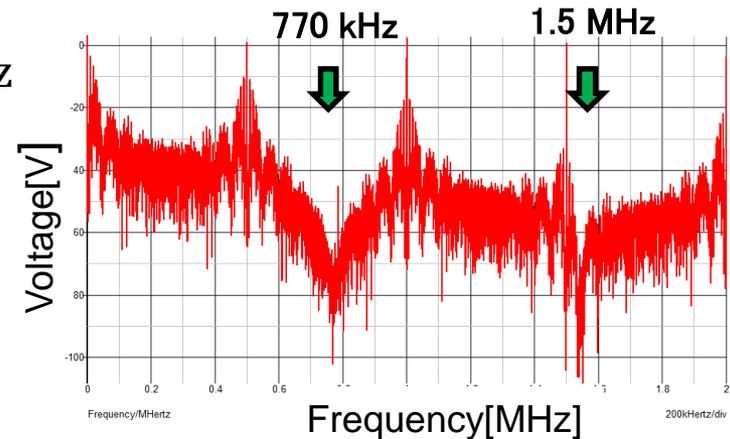
● PCC方式

($N = 1, 2, 3, \dots$)

$$f_{notch 1} = \frac{N}{(T_L - T_H)} = \frac{N}{(864ns - 464ns)} = 2.5MHz$$

$$f_{notch 2} = \frac{M}{W} = \frac{M}{305ns} = 3.3MHz$$

PWC方式



M値	$f_{notch 2}$
3	9.9MHz
4	13.2MHz
5	16.5MHz
6	19.8MHz
⋮	⋮
15	49.05MHz

outline

1. 研究背景・概要
2. 従来スペクトラム拡散
3. パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散
 - 従来パルス幅コーディング方式 (PWC)
 - 提案パルス周期コーディング方式 (PCC)
4. 理論解析
5. シミュレーション結果
6. まとめ

まとめと今後の課題

まとめ

従来: パルスコーディングを用いたスペクトラム拡散

- ①狙った周波数にノッチ特性を発生させる
- ②EMIの低減できる拡散ノイズの制御可能
ただしAMラジオ帯域まで対応

今回: シミュレーションにより、ノッチ周波数を確認

- ①パルス周期コーディングにより50MHz以上もノッチ発生
- ②15倍 ($M=15$) 高調波 (49MHz) でもボトムレベルは3倍 ($M=3$) 高調波と同じ
(FMラジオ帯域まで伸びると思われる)