

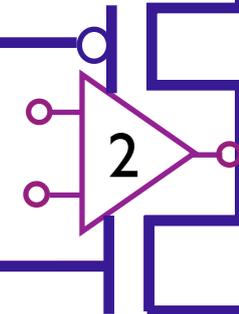
# 擬似アナログ信号を用いたヒステリシス制御方式 降圧型DC-DCコンバータのEMI低減化

群馬大学 工学部 電気電子工学科

学部4年 浅石恒洋

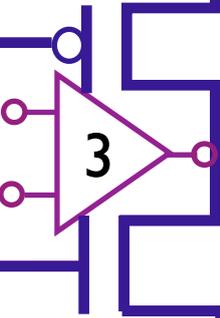
指導教員 高井伸和 准教授

# Outline



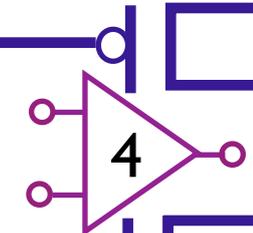
- 研究背景
- ヒステリシス制御電源の概要
- EMI低減の概要
- ヒステリシス制御電源のEMI低減化
- まとめと今後の課題

# Outline

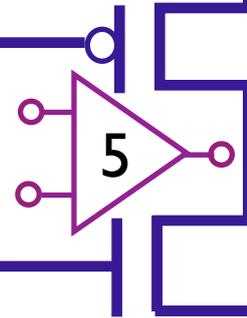


- **研究背景**
- ヒステリシス制御電源の概要
- EMI低減の概要
- ヒステリシス制御電源のEMI低減化
- まとめと今後の課題

# 研究背景



# 研究背景



## 線形制御

電圧モード制御  
電流モード制御

### 特徴

- ・ 小電力にも大電力にも対応可能
- ・ 位相補償が必要
- ・ 固定周波数であることなどによる  
応答速度に限界がある

電源回路の  
制御方式

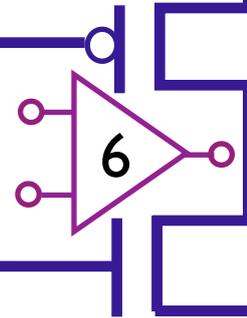
## 非線形制御

ヒステリシス制御

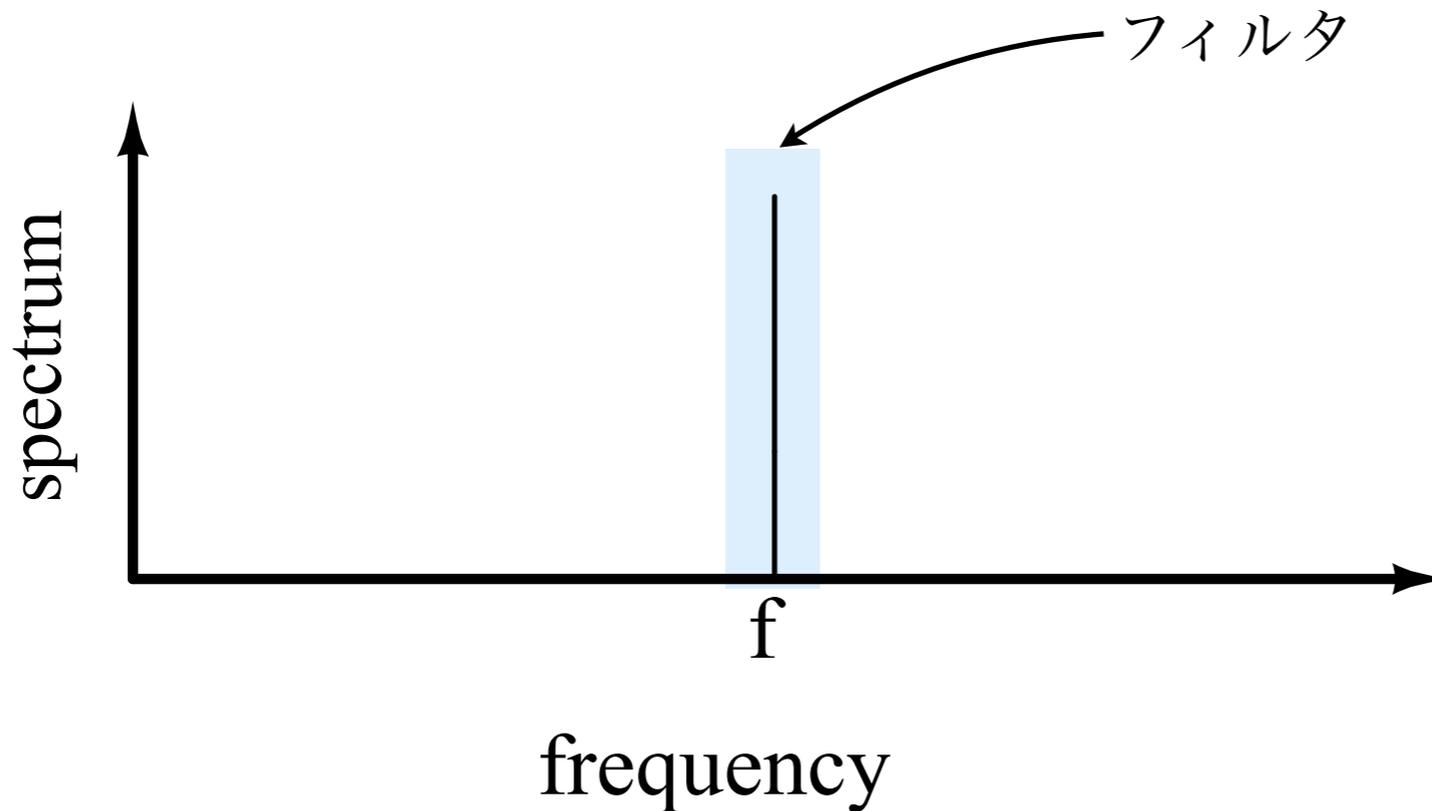
### 特徴

- ・ 応答速度が速い
- ・ 簡単な回路構成で実現できる
- ・ 負荷条件によって動作周波数が  
変動するためEMI対策が困難

# 研究背景

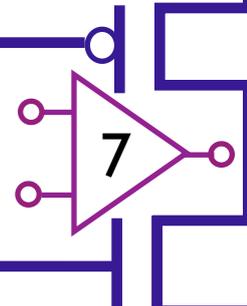


電圧モード制御の場合

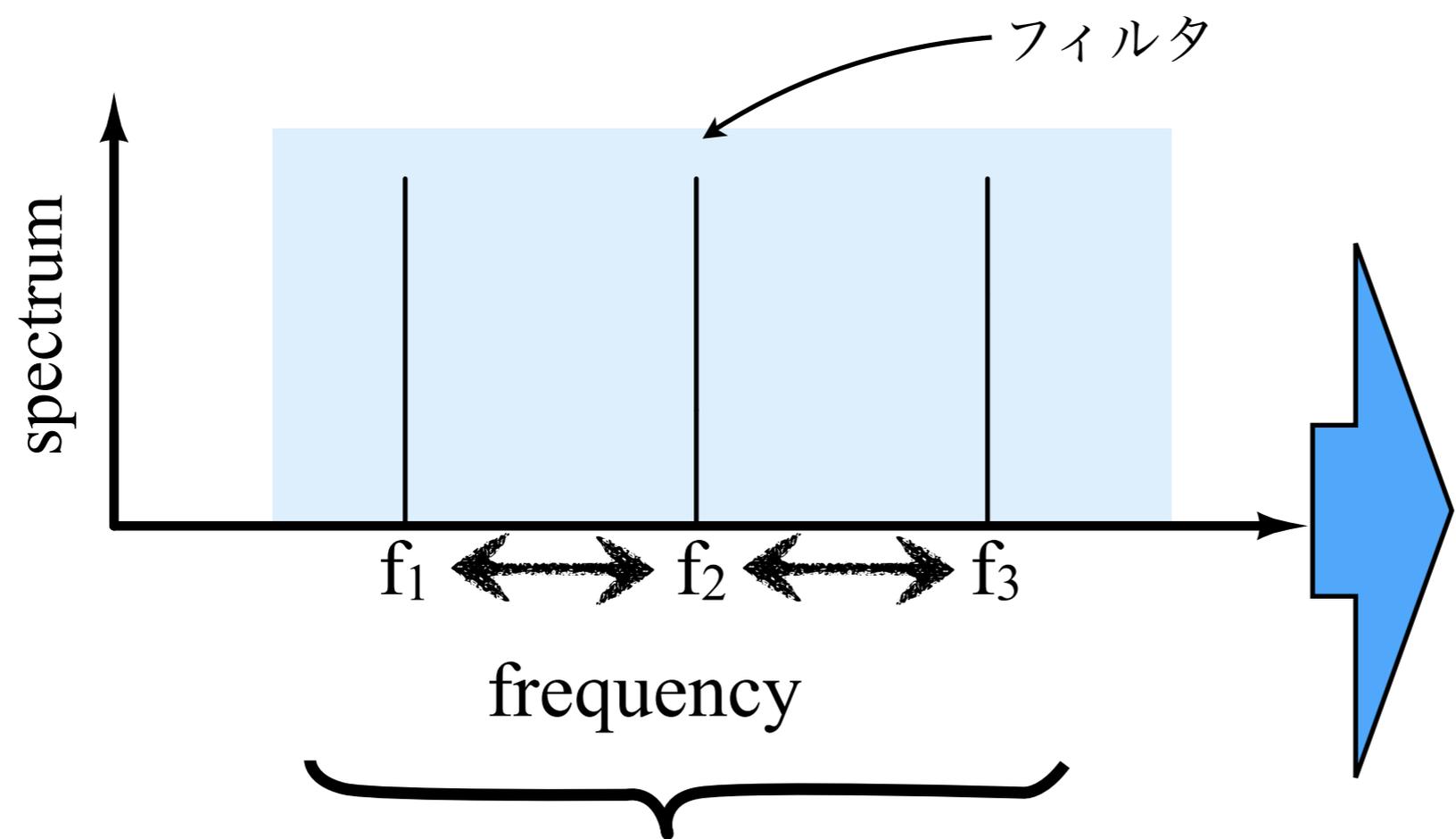


動作周波数が変化しないので  
フィルタをかけることでEMIを低減

# 研究背景



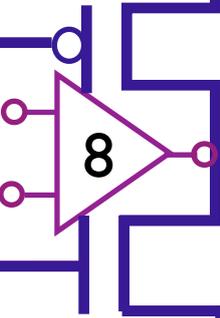
ヒステリシス制御の場合



どんな周波数でも  
スペクトル拡散したい

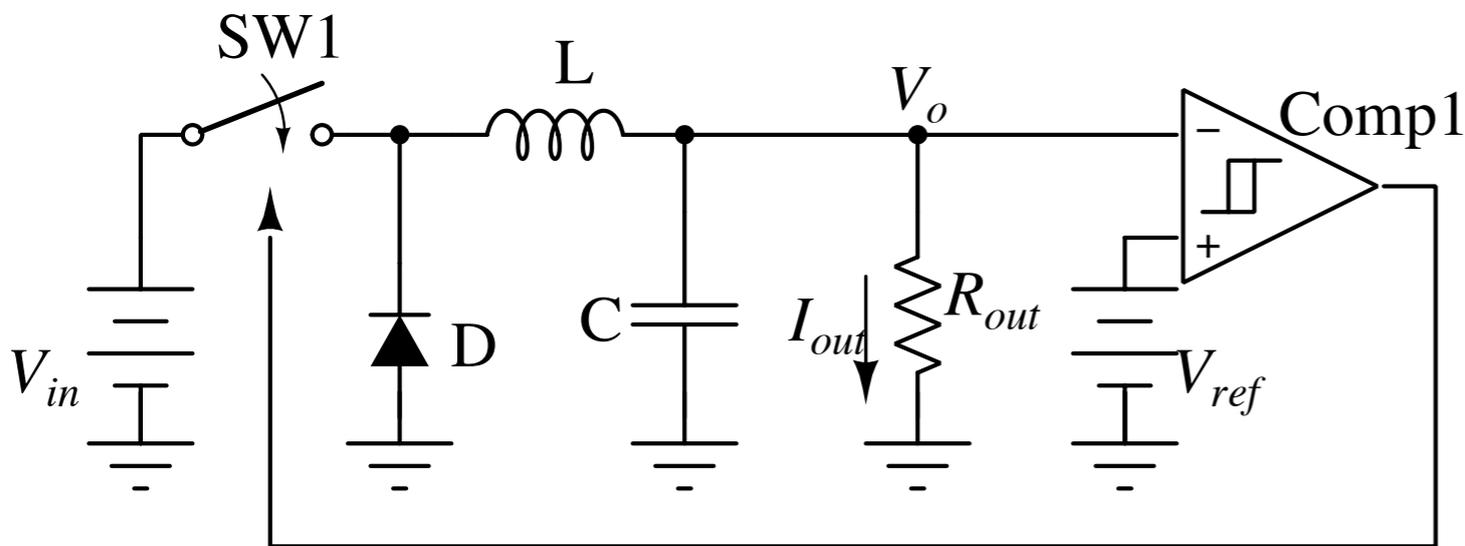
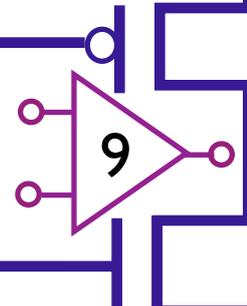
負荷が変動することで  
動作周波数が変化するため  
フィルタでEMI低減ができない

# Outline



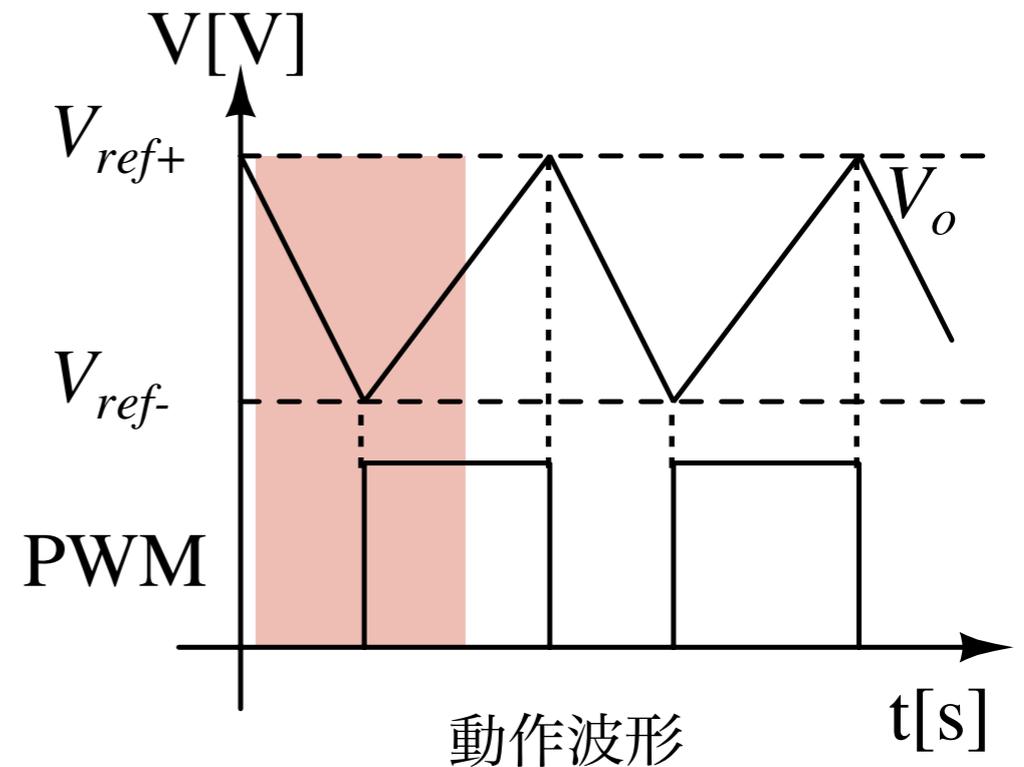
- 研究背景
- **ヒステリシス制御電源の概要**
- EMI低減の概要
- ヒステリシス制御電源のEMI低減化
- まとめと今後の課題

# ヒステリシス制御電源の概要



従来のヒステリシス制御降圧型電源

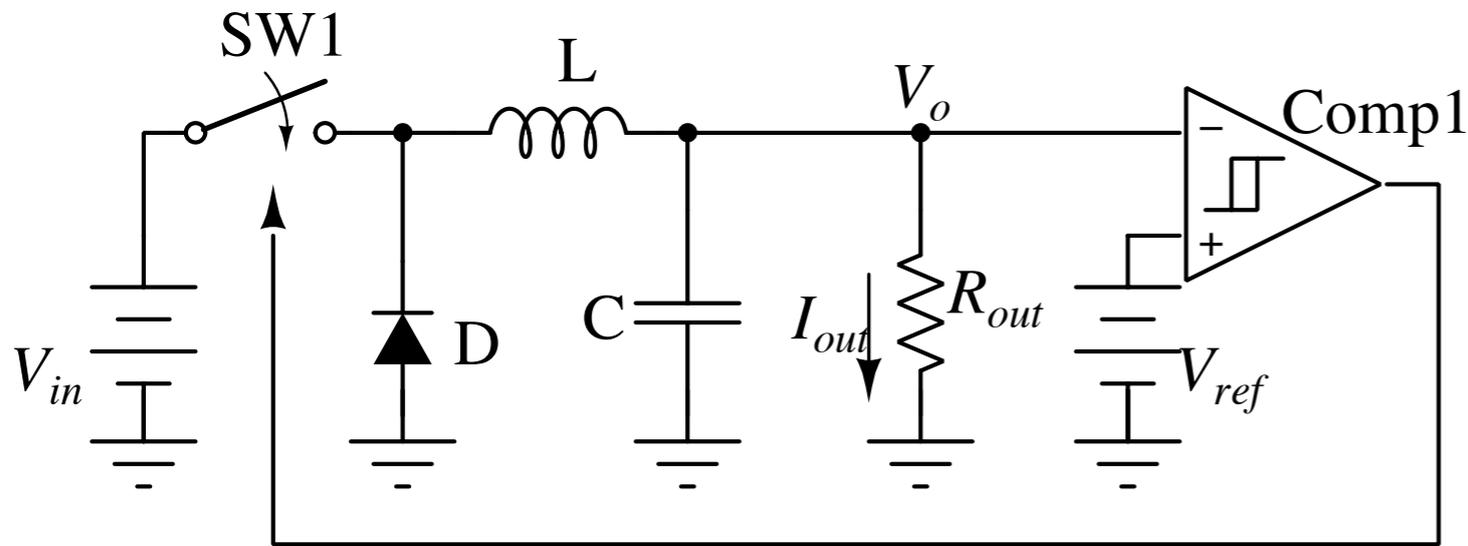
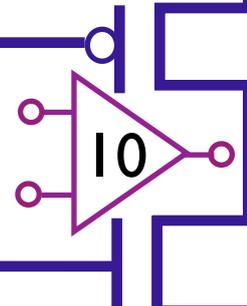
PWM  
Lo→Hi



## 状態1

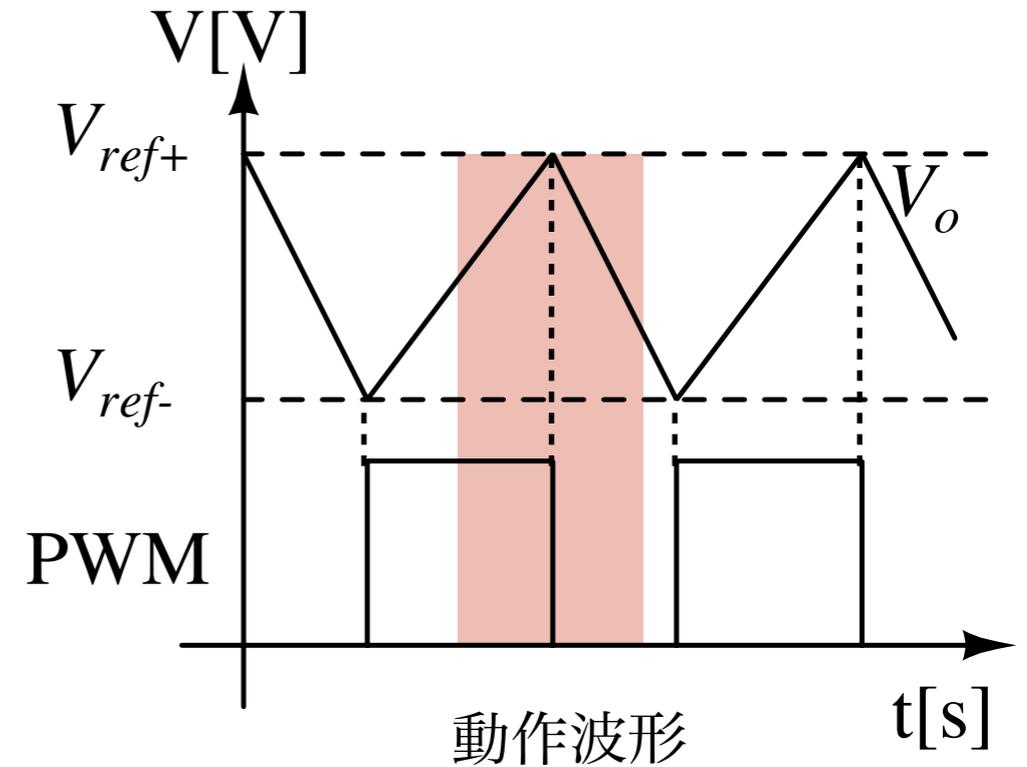
- PWM=Lo , SW1=OFF  $\Rightarrow$   $V_o$ が減少
- $V_o < V_{ref-} \Rightarrow$  PWM=Hi , SW1=ON  $\Rightarrow$   $V_o$ が上昇

# ヒステリシス制御電源の概要



従来のヒステリシス制御降圧型電源

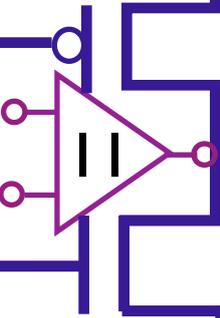
PWM  
Hi→Lo



## 状態2

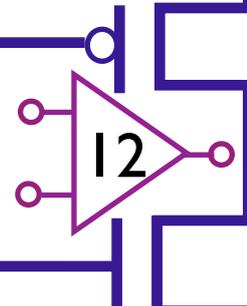
- $V_o > V_{ref+} \Rightarrow \text{PWM}=\text{Lo}$  ,  $\text{SW1}=\text{OFF} \Rightarrow V_o$ が減少  
以上の動作を繰り返す

# Outline



- 研究背景
- ヒステリシス制御電源の概要
- **EMI低減の概要**
- ヒステリシス制御電源のEMI低減化
- まとめと今後の課題

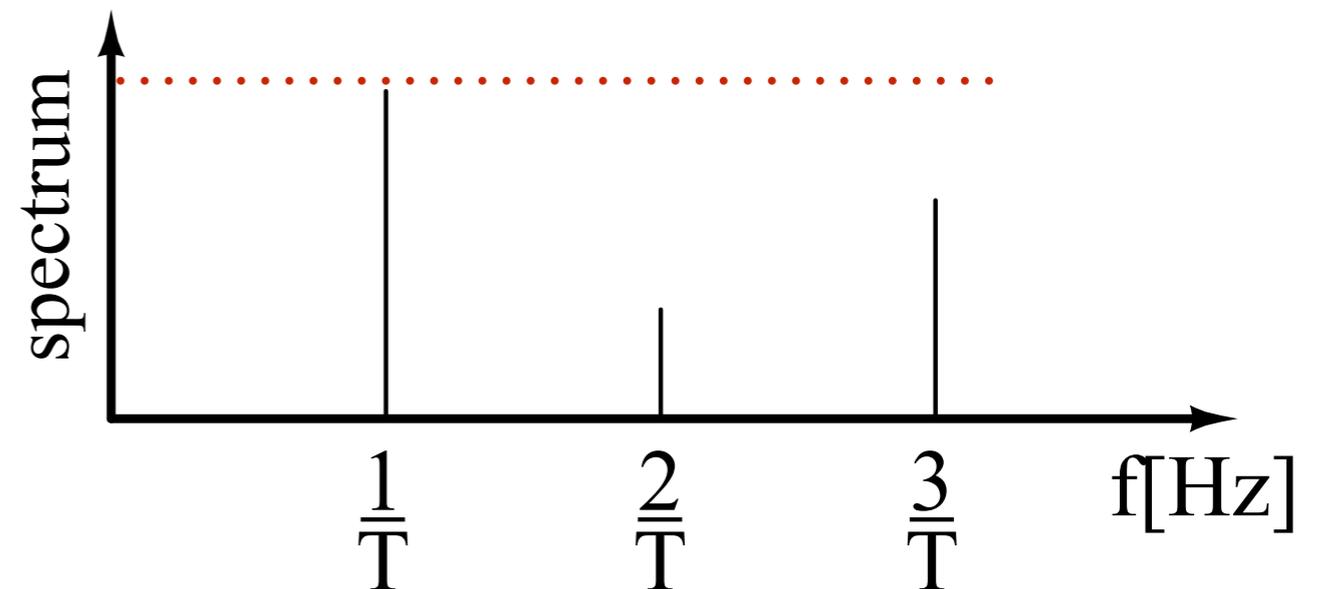
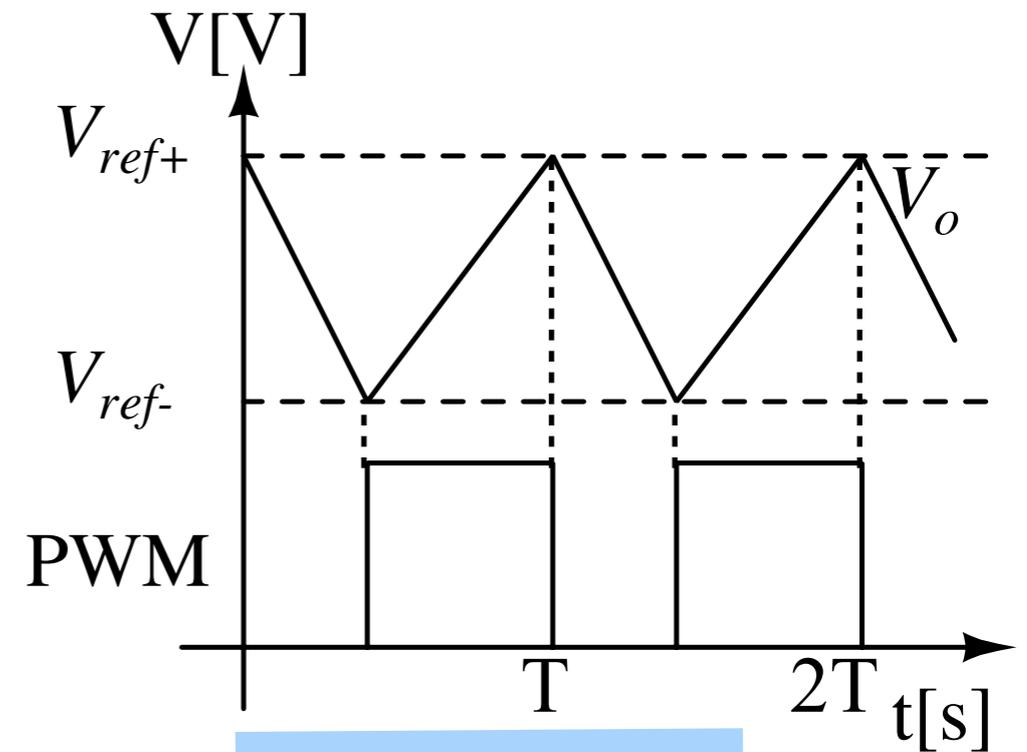
# EMI発生の原因



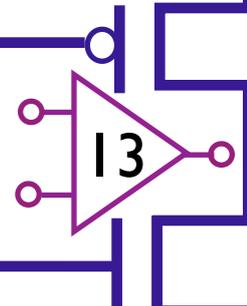
PWM信号によって電源回路を制御

PWM周波数が一定のため  
スペクトルが集中

PWM周波数での線スペクトルが発生



# EMI低減の概要

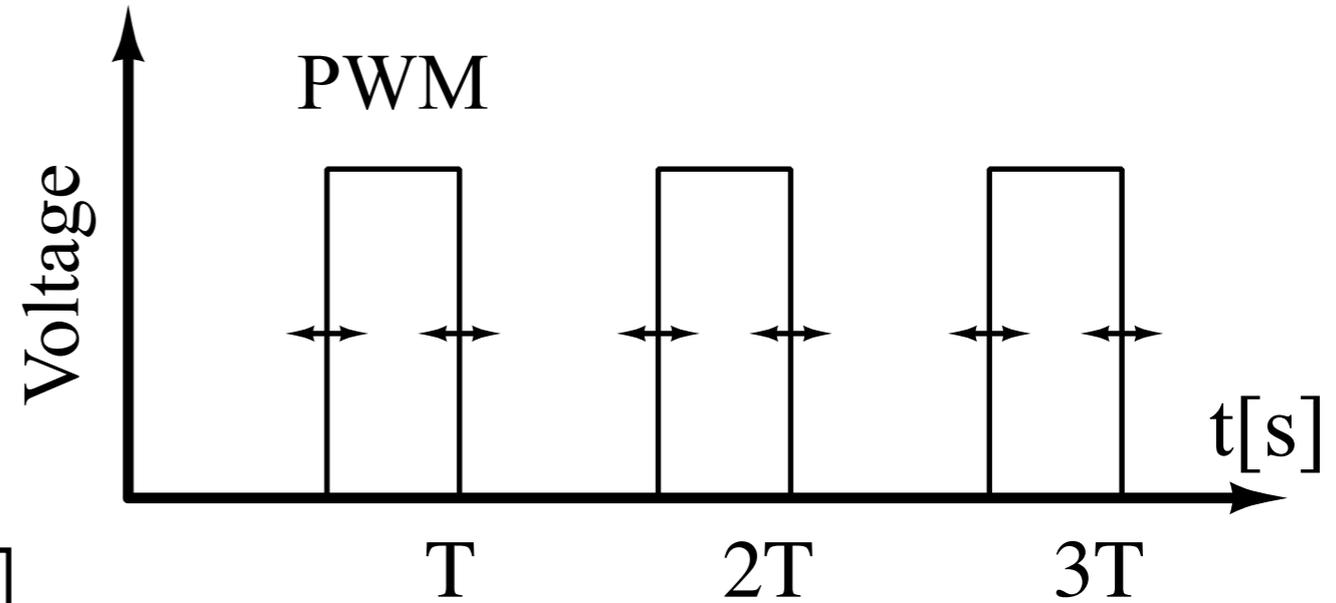


PWM信号を位相変調

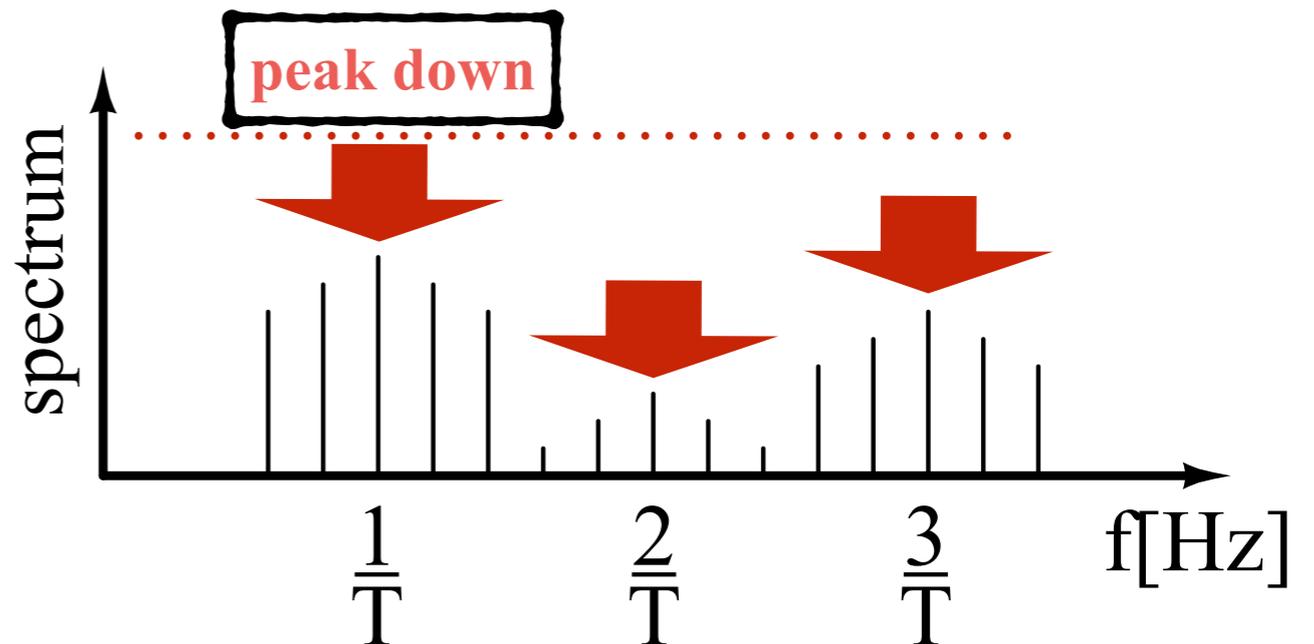
特定周波数にあった線スペクトルが  
周辺周波数に分散

スペクトルが拡散

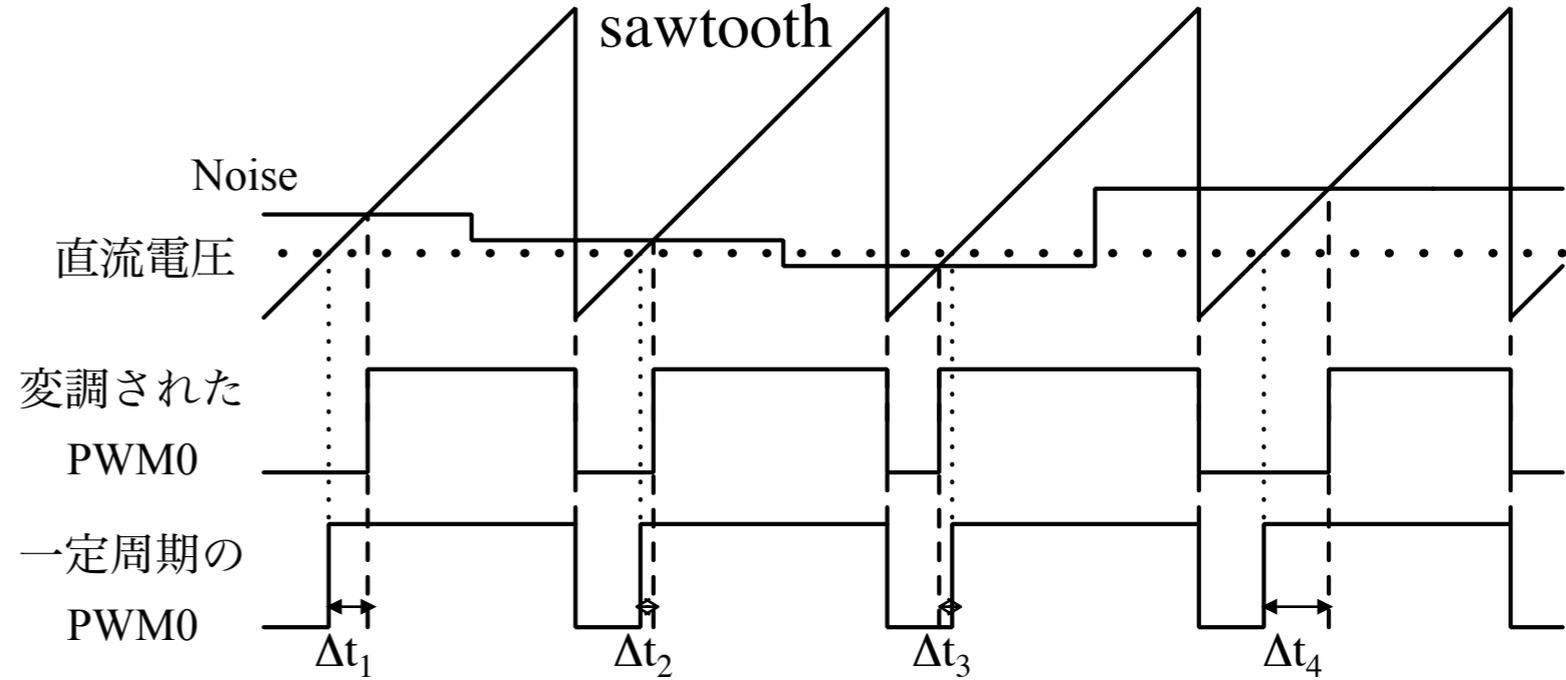
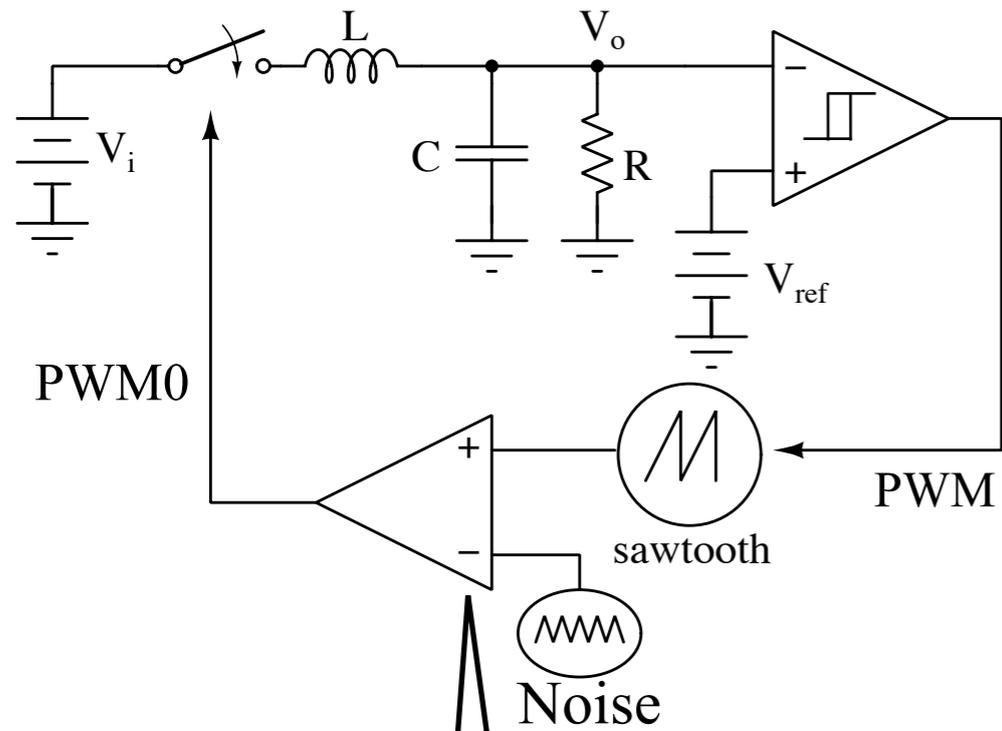
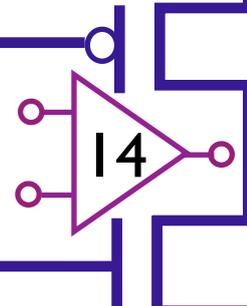
※スペクトルの合計は変わらない



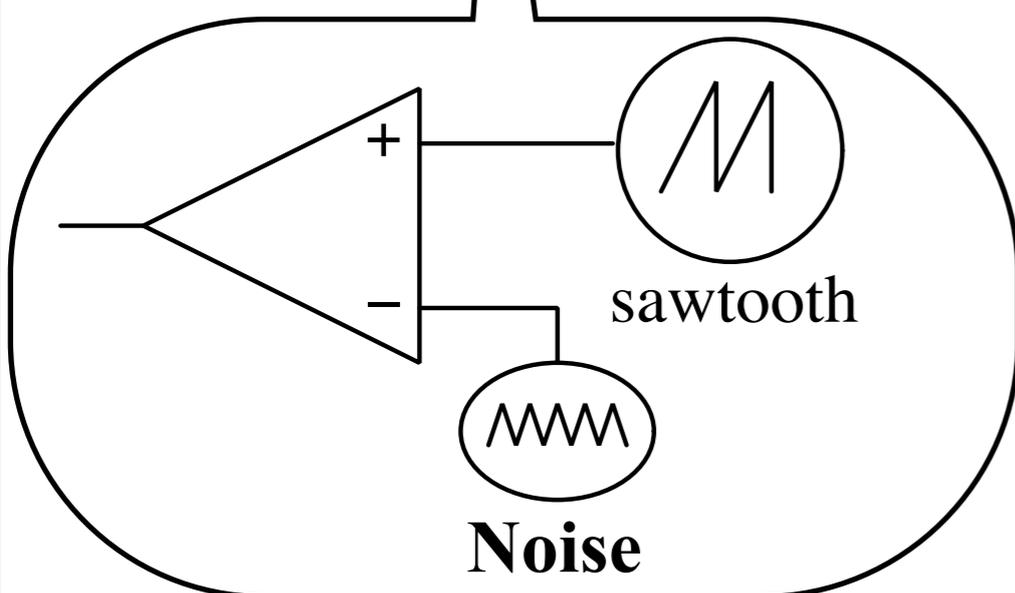
PWMをFFT



# EMI低減の方法



PWMの位相変調の波形図

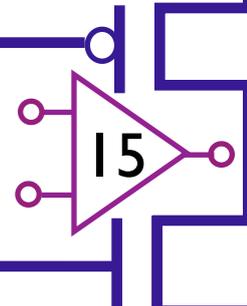


ノコギリ波と外乱を比較

周期ごとにPWM0の立上がりりが変化

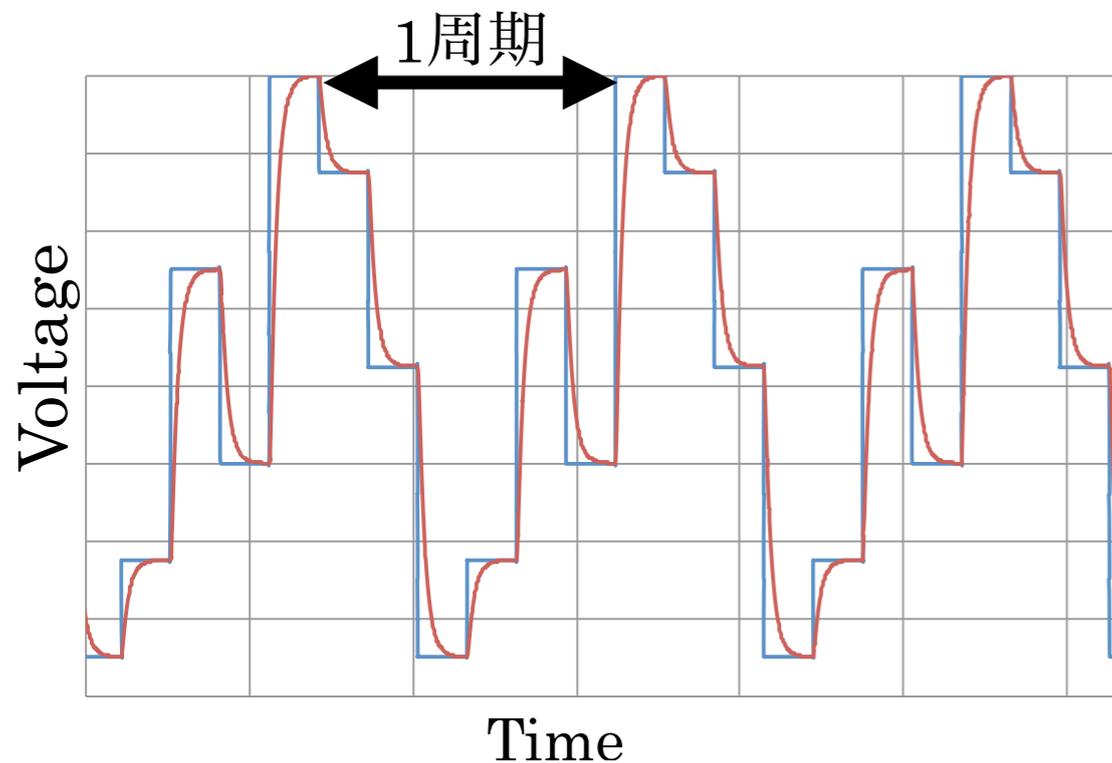
PWMを位相変調

# 使用する外乱

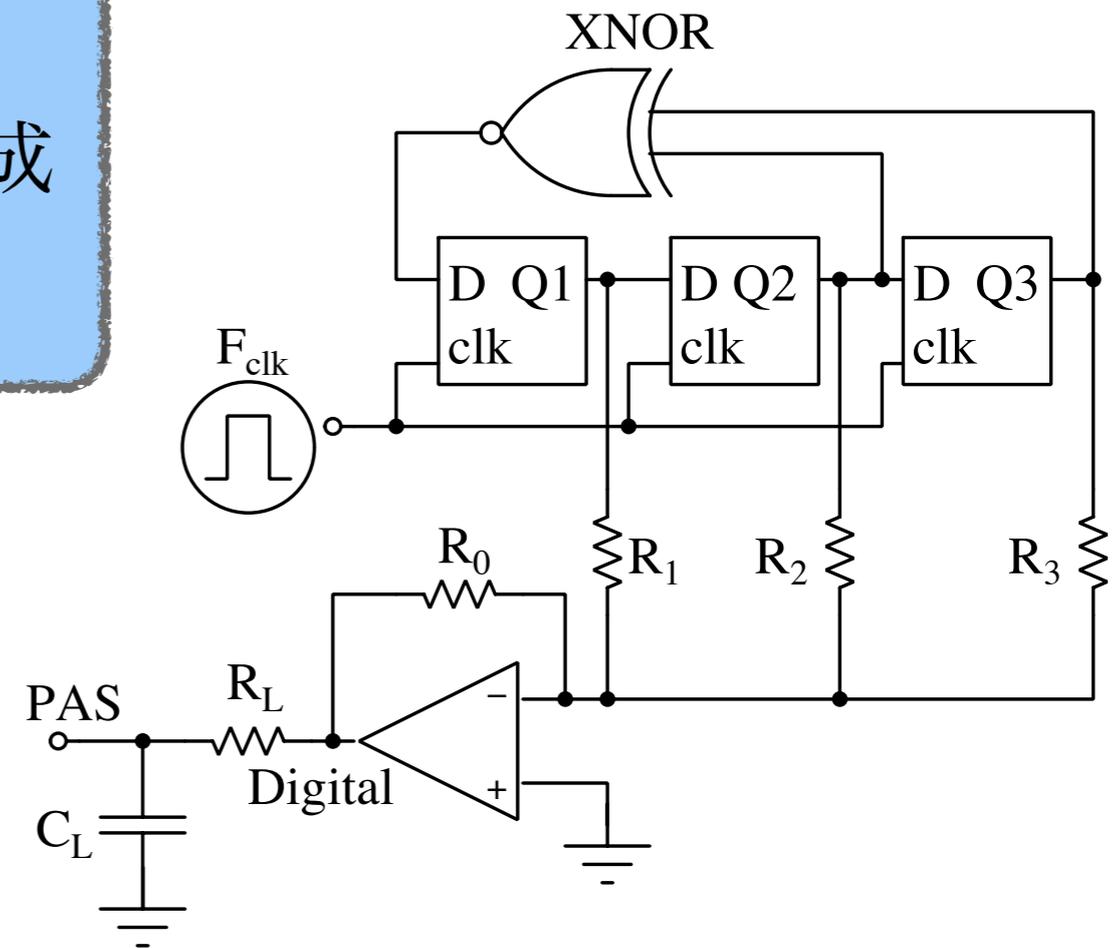


M系列回路によるランダムノイズの発生 ⇒ PWMを変調

- 3bitシフトカウンタによって1周期に7個のデジタル信号を発生
- LPFにより **擬似アナログ信号** を生成  
(Pseudo Analog Signal : PAS)

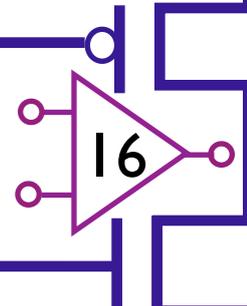


デジタル信号と擬似アナログ信号

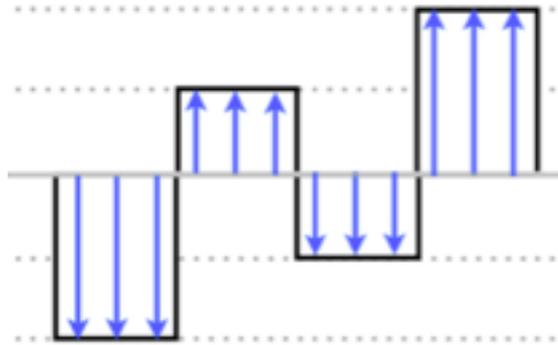


線形帰還シフトレジスタ  
Linear feedback shift register

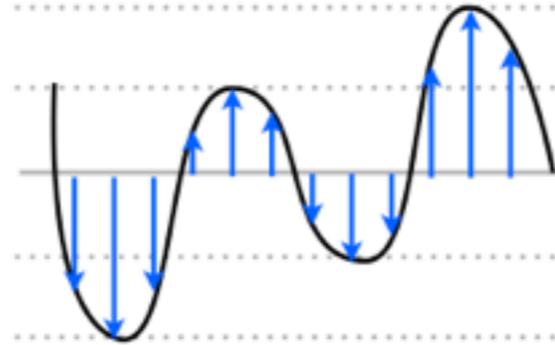
# 使用するノイズ



デジタル信号

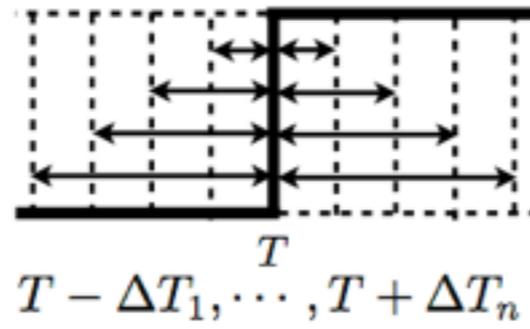
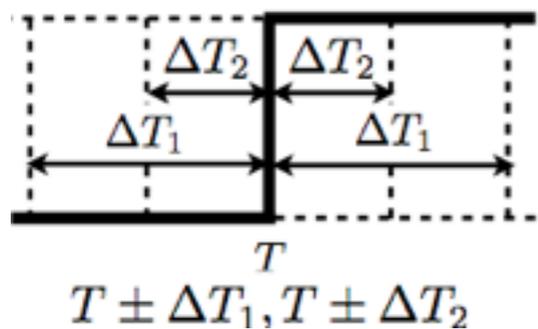


アナログ信号

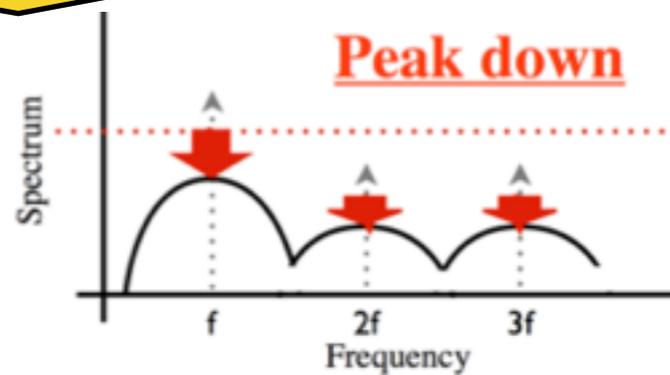
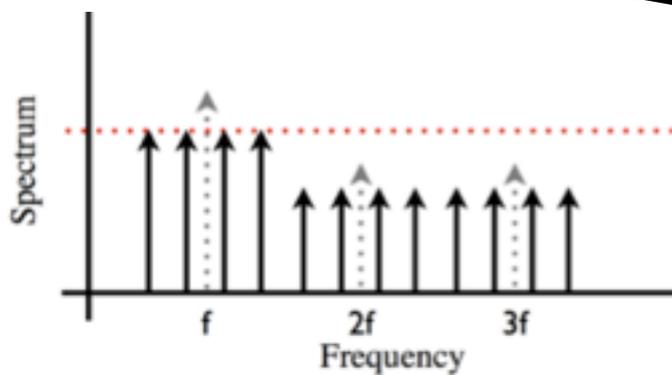


アナログ信号は無限の電圧レベルを持つ

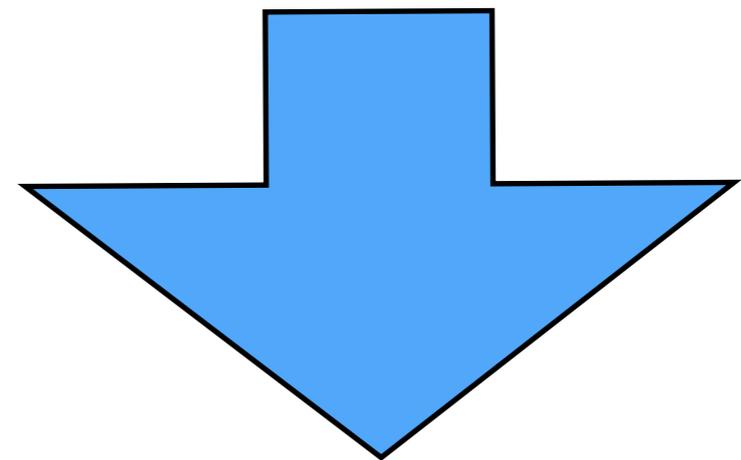
PWMに適用



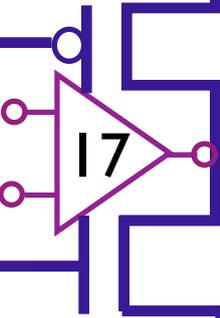
Fast Fourier Transform



スペクトルが大きく拡散

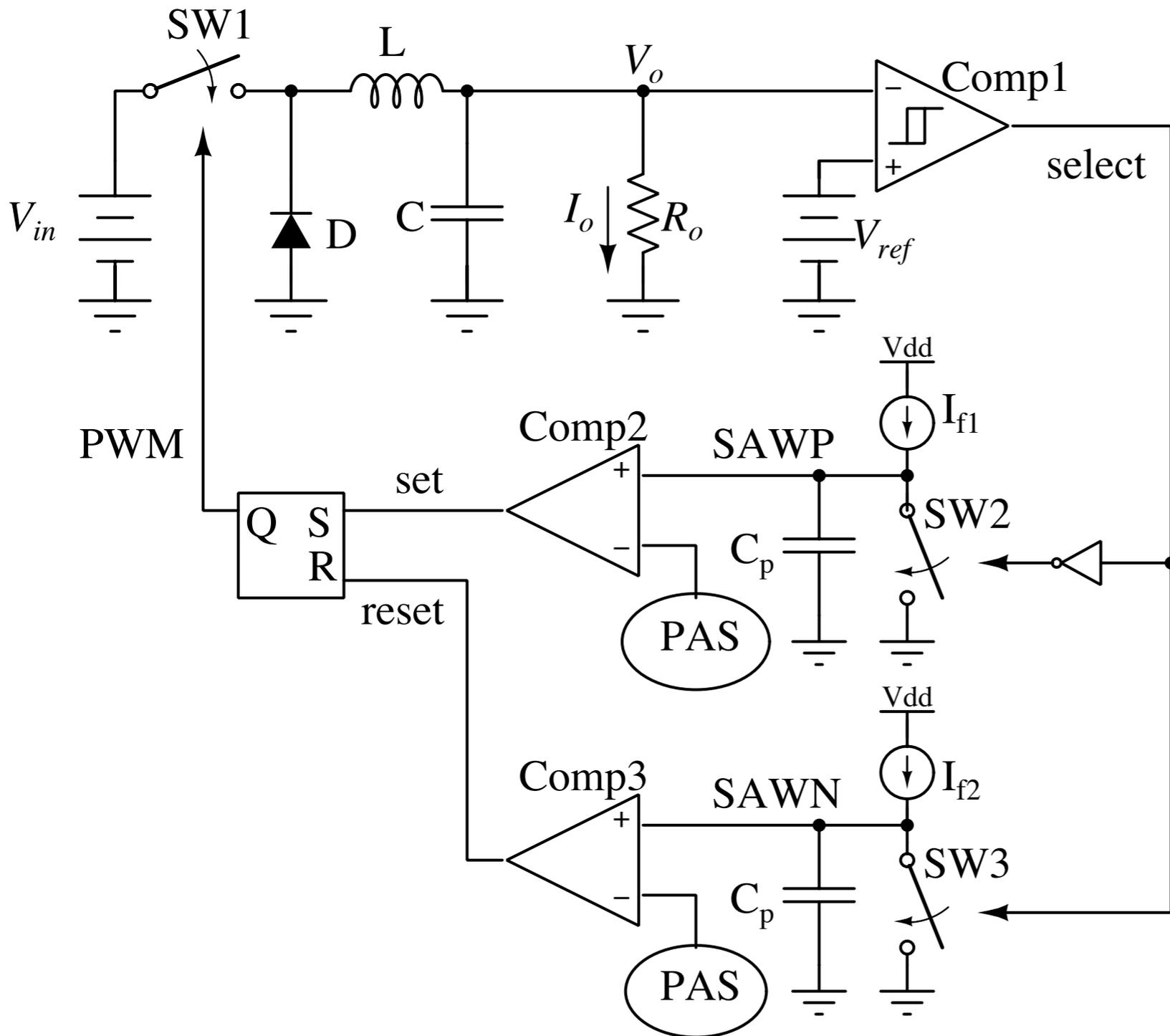
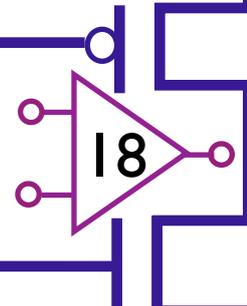


# Outline



- 研究背景
- ヒステリシス制御電源の概要
- EMI低減の概要
- ヒステリシス制御電源のEMI低減化
- まとめと今後の課題

# 提案するヒステリシス制御

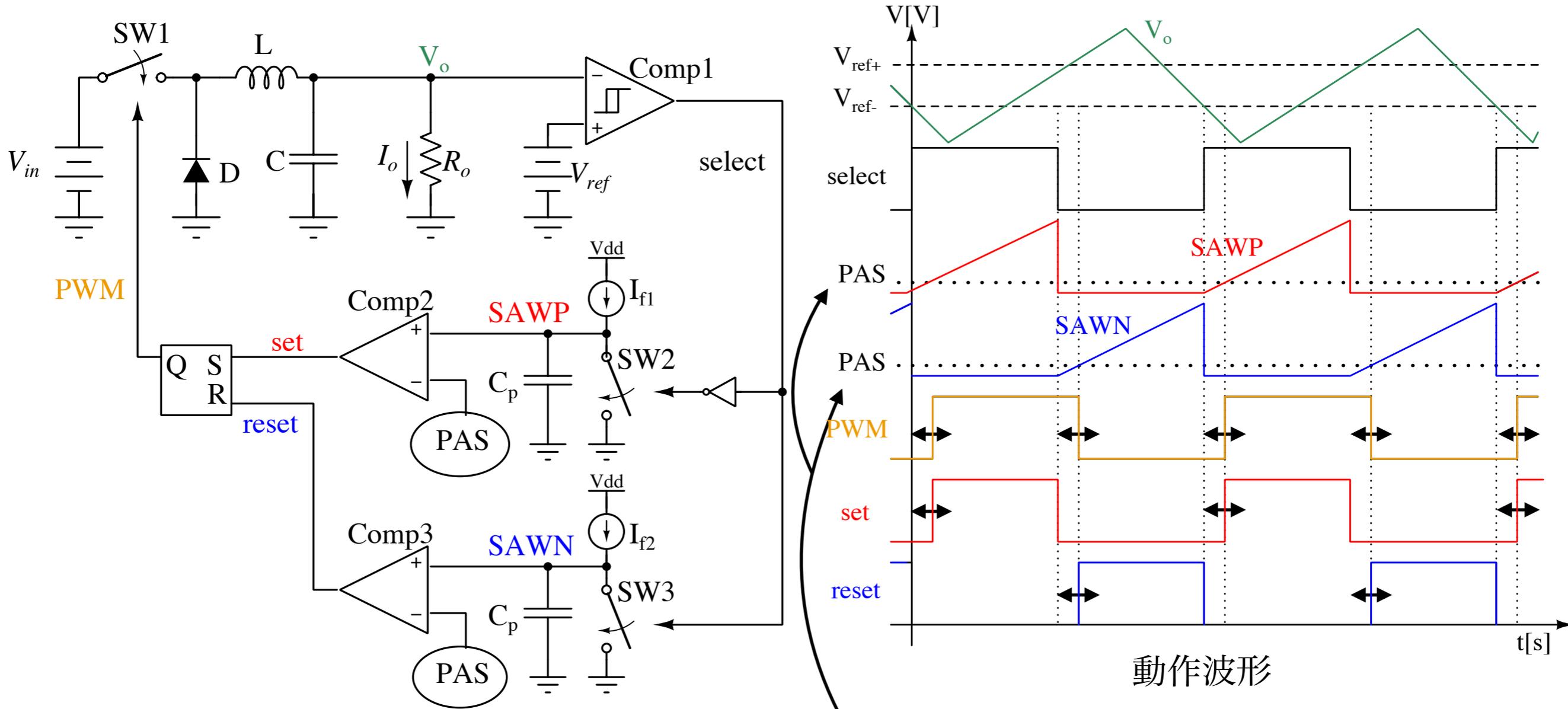


◎パラメータ

入力電圧	10V
出力電圧	5V
インダクタL	18uH
出力容量C	66uF
ヒステリシスの幅	2mV

位相変調を加えたヒステリシス制御降圧型電源

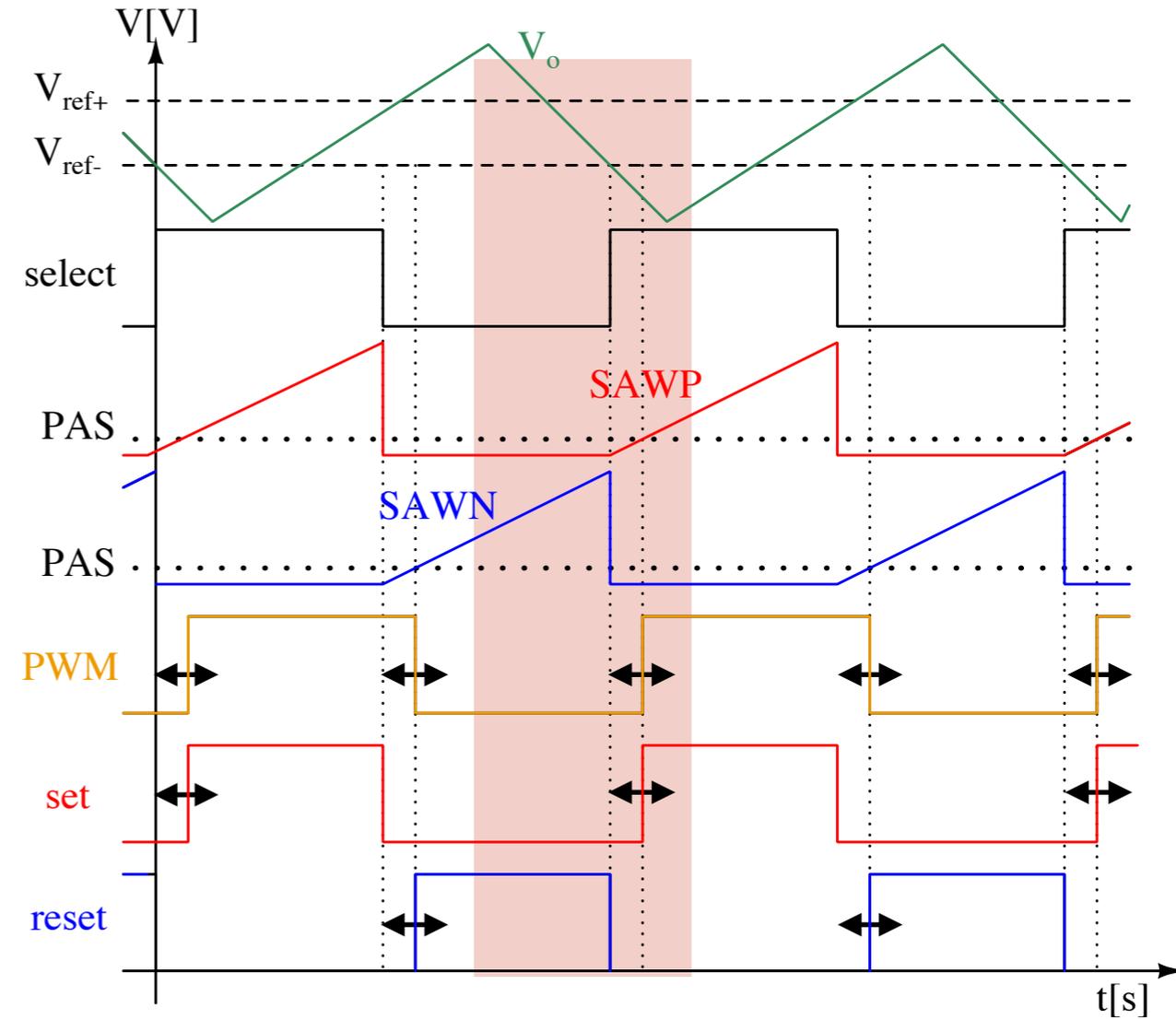
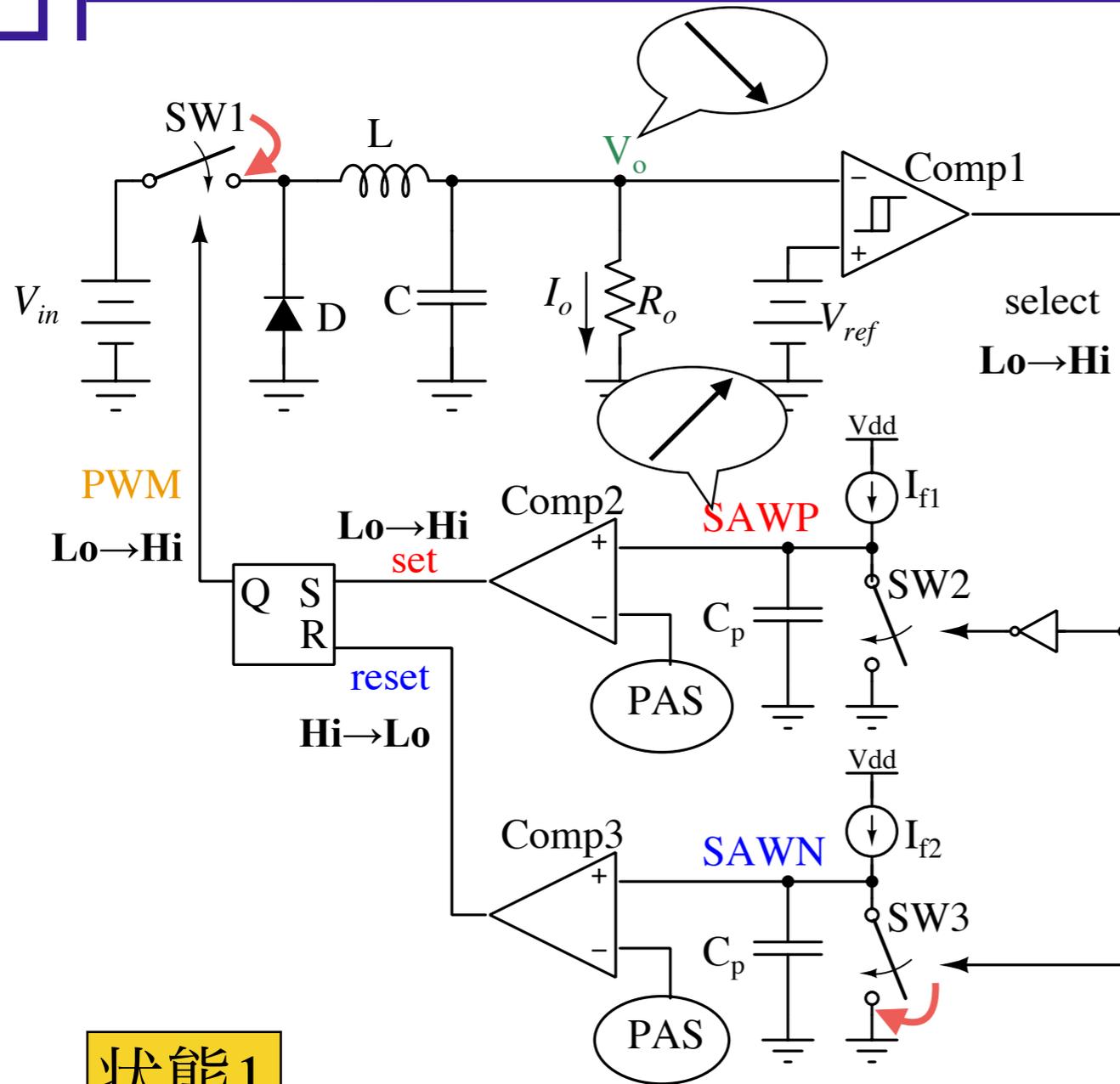
# 提案方式の動作波形



位相変調を加えたヒステリシス制御降圧型電源

実際は電圧が変動している

# 提案方式の動作波形



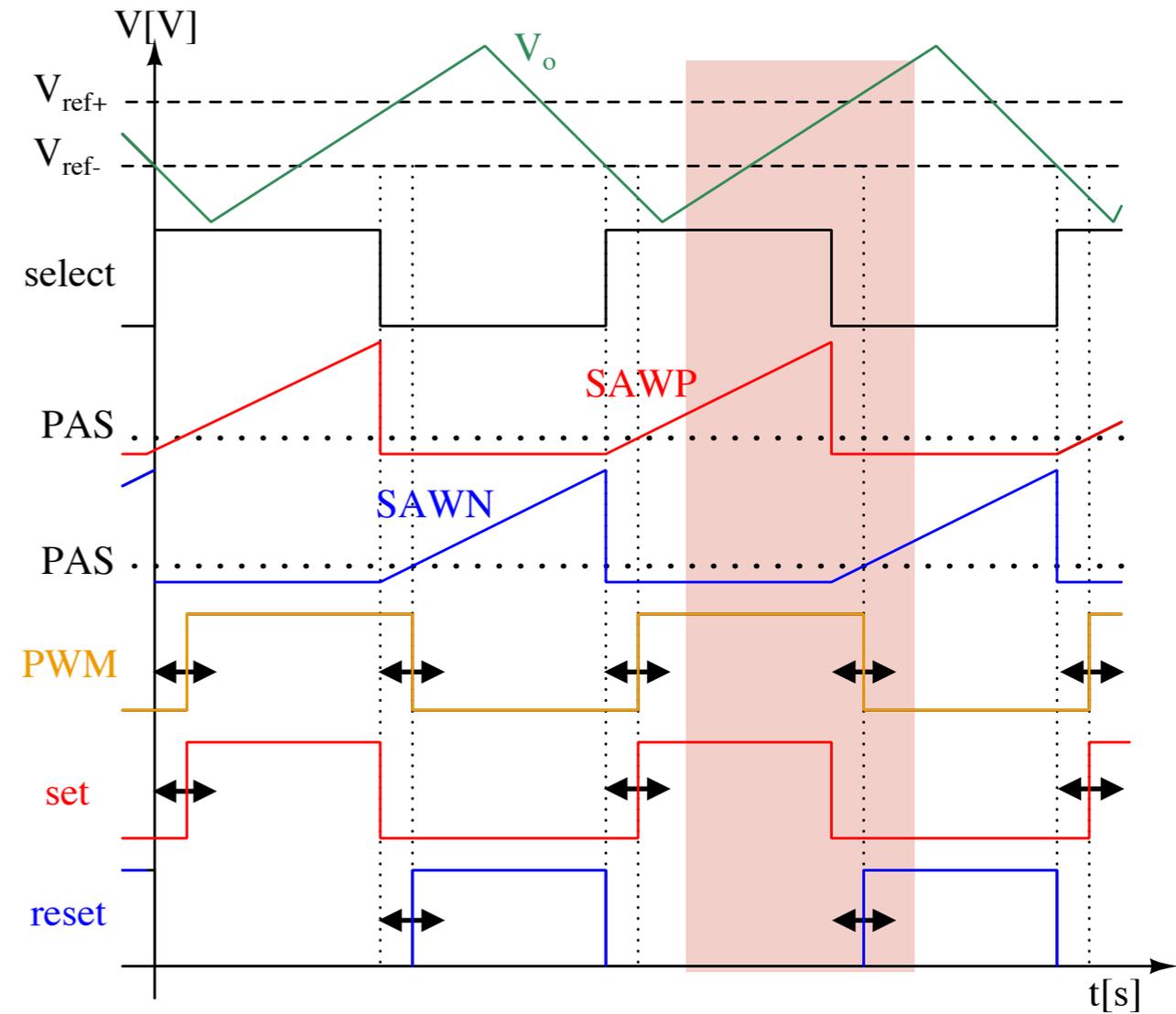
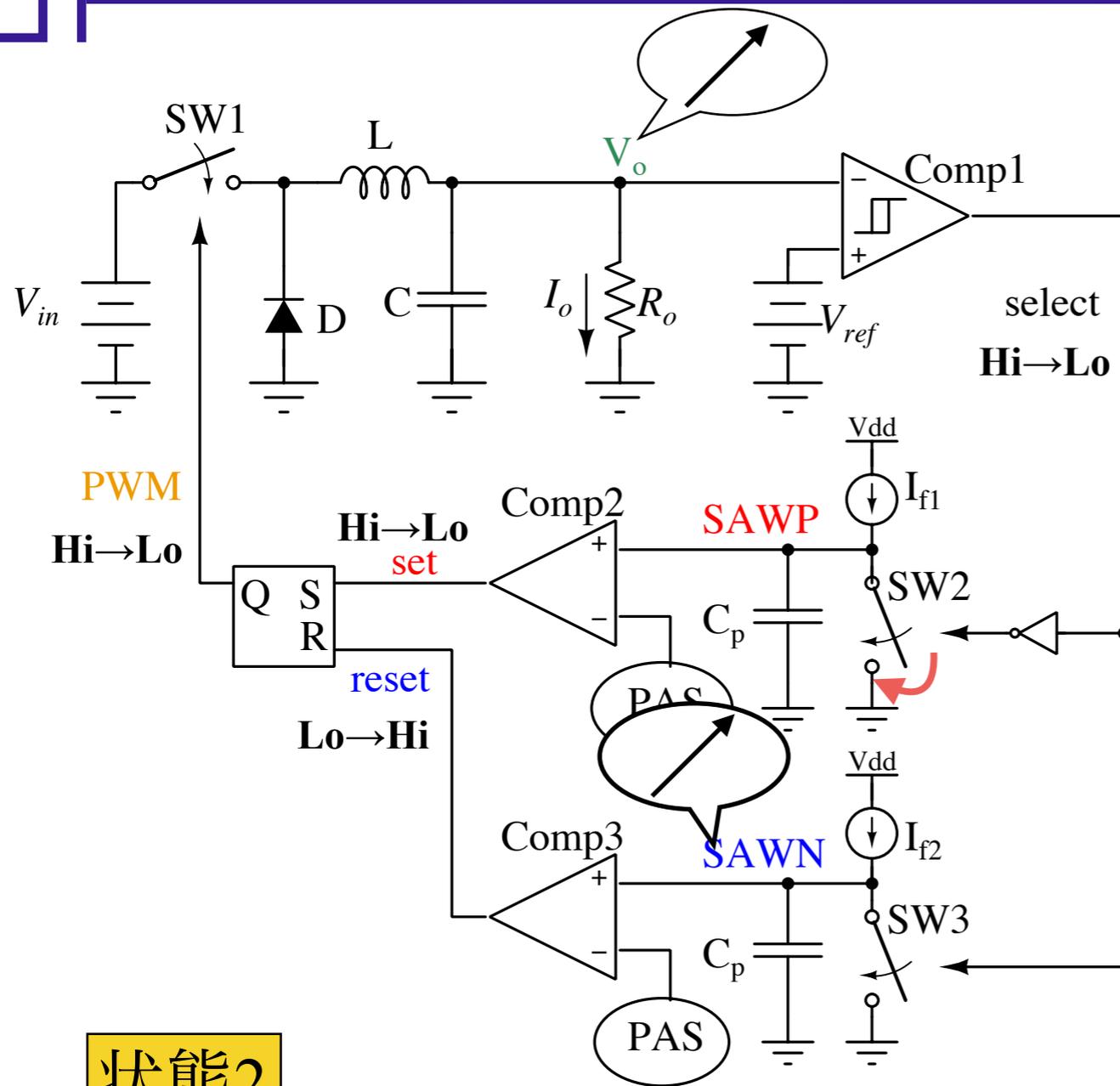
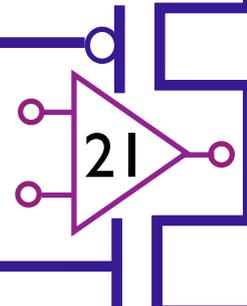
状態1

PWM=Lo  $\Rightarrow$  Voは減少

$V_o < V_{ref-} \Rightarrow$  select=Hi, SW2=OFF, SW3=ON  $\Rightarrow$  SAWPは上昇, SAWN=0

SAWP > PAS  $\Rightarrow$  PWM=Hi **PWMの立ち上がりが位相変調**

# 提案方式の動作波形



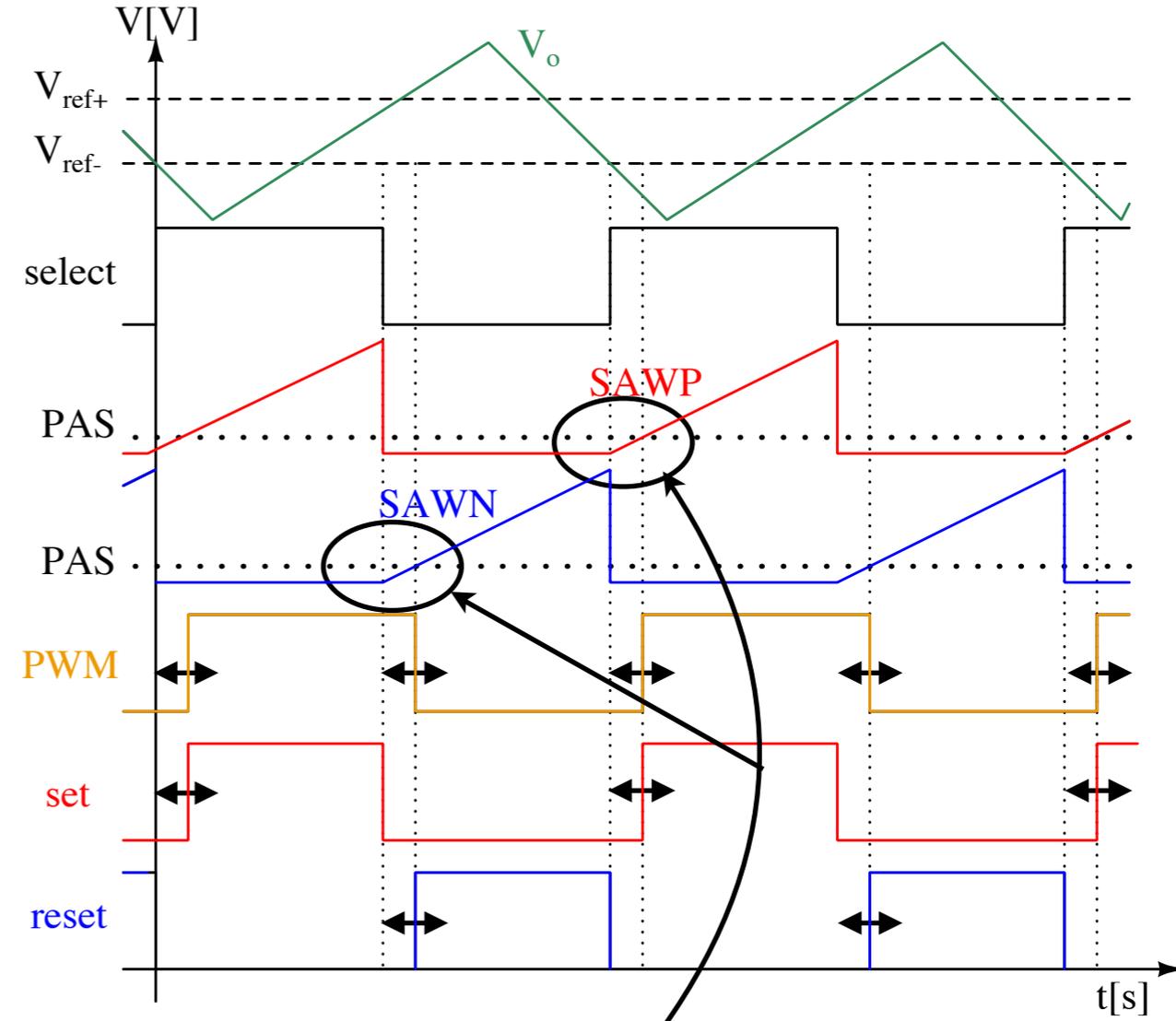
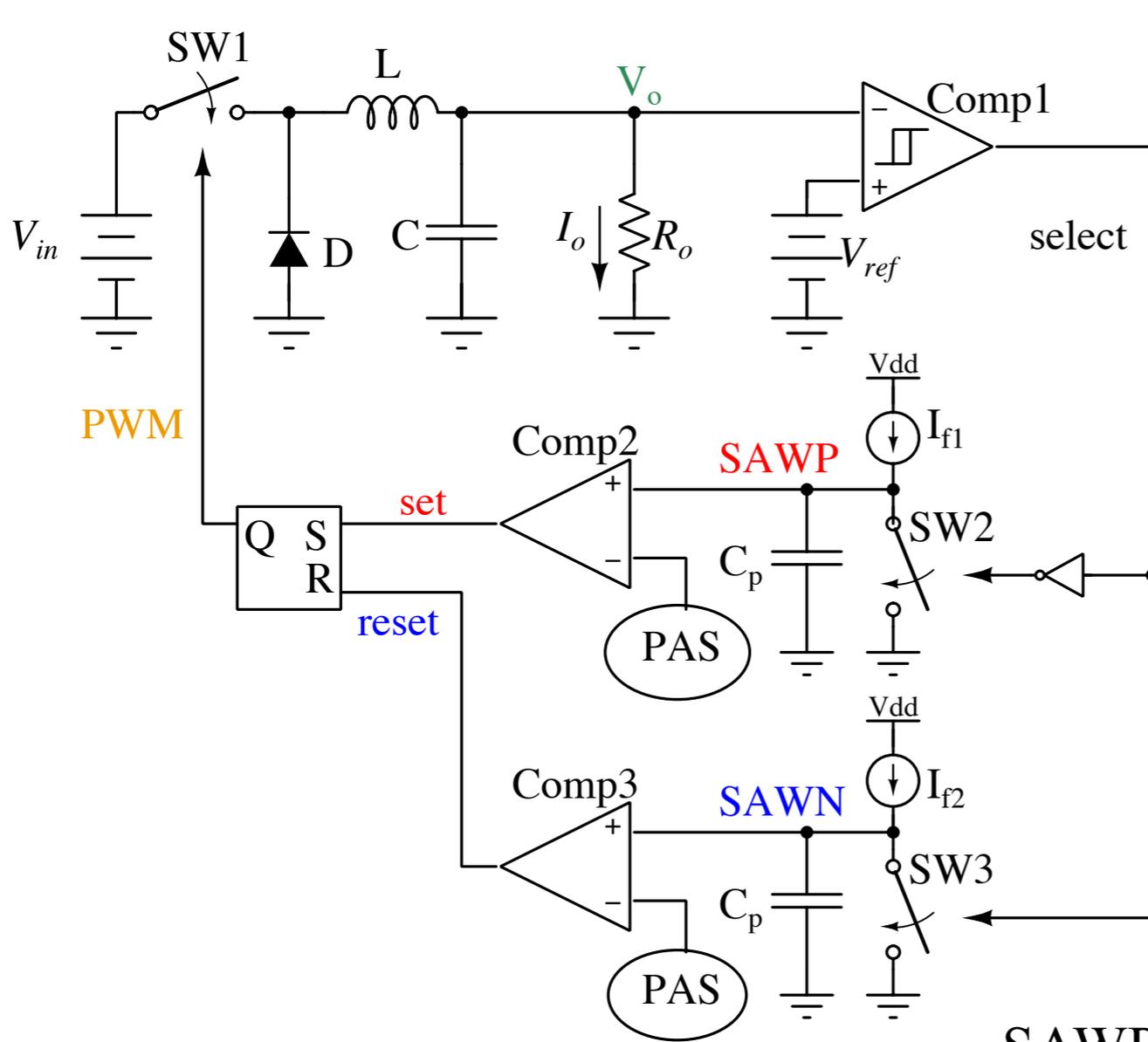
状態2

PWM=Hi  $\Rightarrow$   $V_o$ は上昇

$V_o > V_{ref+} \Rightarrow$  select=Lo, SW2=ON, SW3=OFF  $\Rightarrow$  SAWP=0, SAWNは上昇

SAWN > PAS  $\Rightarrow$  PWM=Lo    PWMの立ち下がりが位相変調

# 提案方式の動作波形

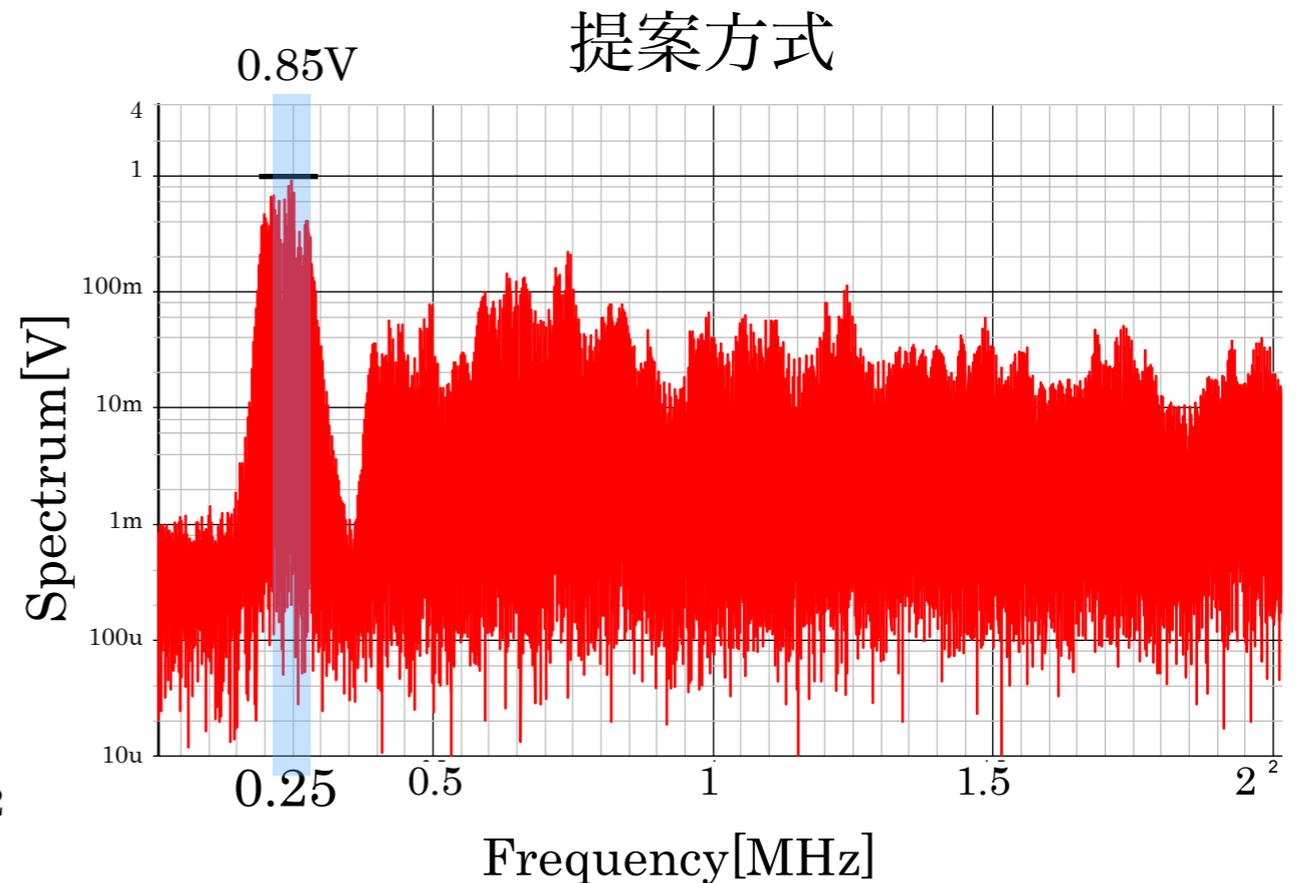
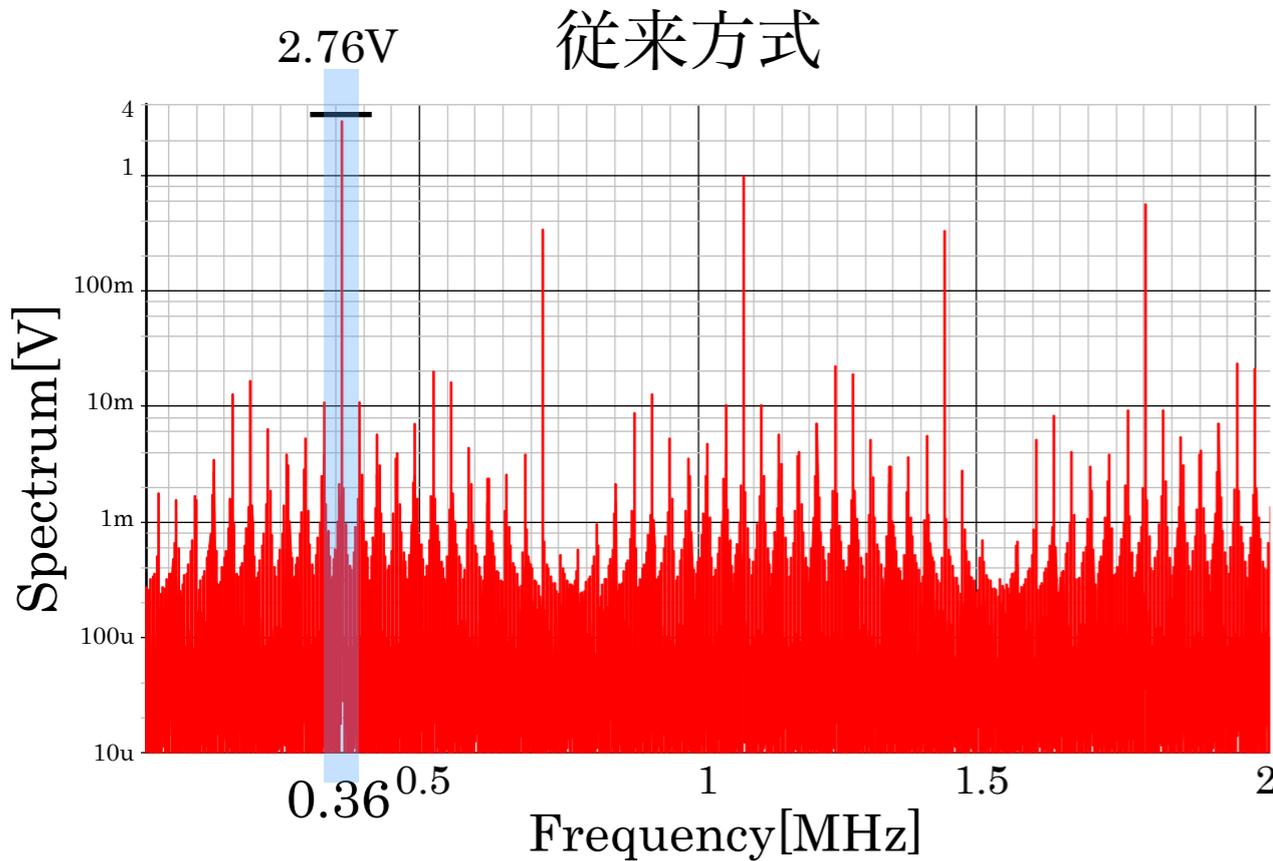


SAWP or SAWNとPASを比較するのに時間が必要



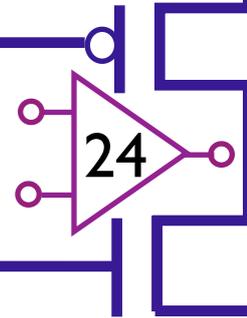
# PWMのスペクトル比較

動作周波数360kHzのとき



いずれの周波数でもスペクトルの低減を確認

# PWMのスペクトル比較



従来方式と提案方式のスペクトルの比較

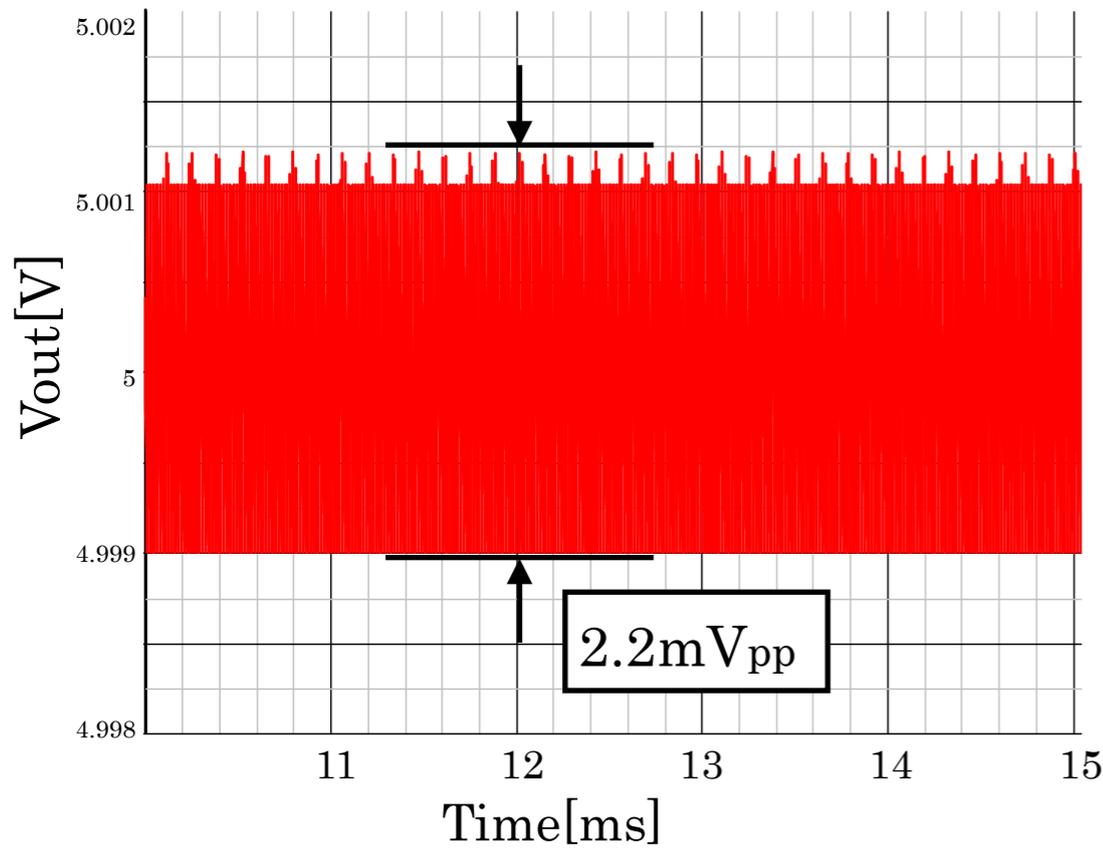
従来方式	スペクトル	0.50V	1.77V	2.76V
	PWM周波数	70kHz	270kHz	360kHz
提案方式	スペクトル	0.27V	0.68V	0.85V
	PWM周波数	50kHz	220kHz	250kHz
スペクトル 減少率		46%	62%	69%

いずれの周波数でもスペクトルが大きく拡散

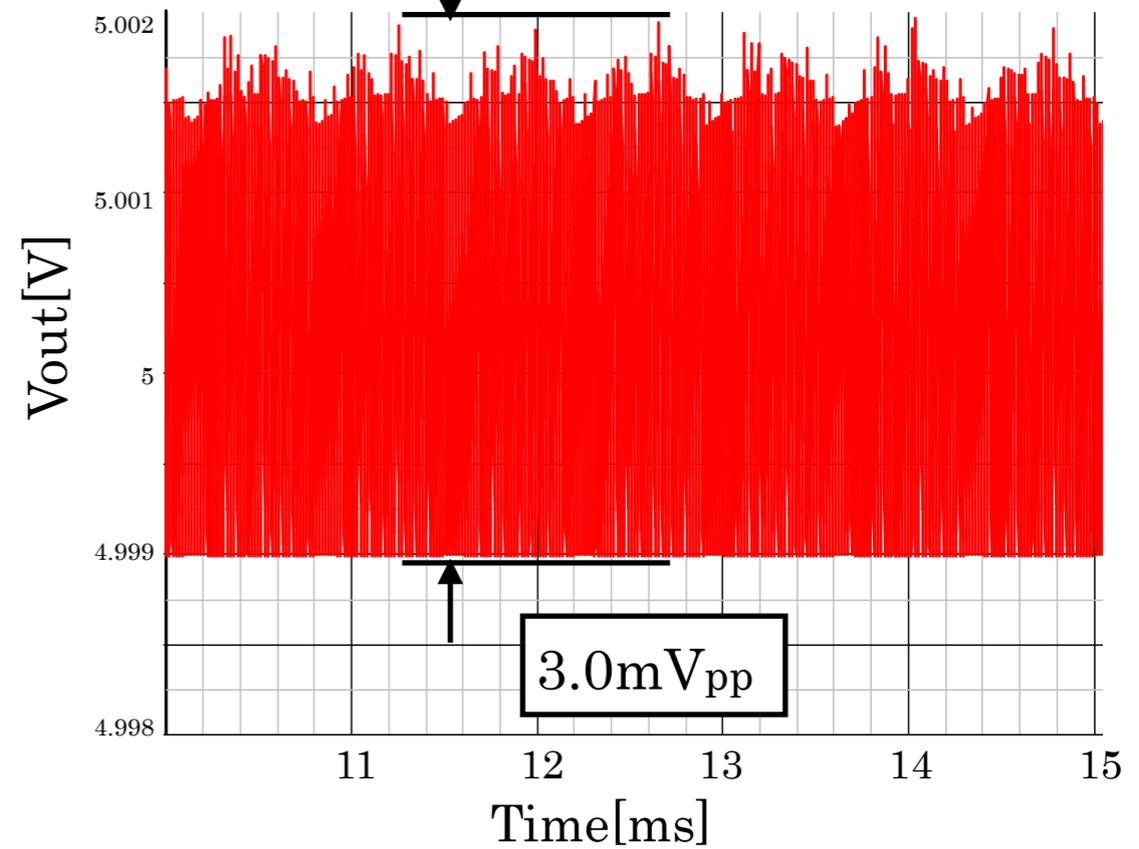
# 出力電圧 $V_o$ のリップル比較

動作周波数70kHzのとき

従来方式



提案方式



2.2mV<sub>pp</sub>

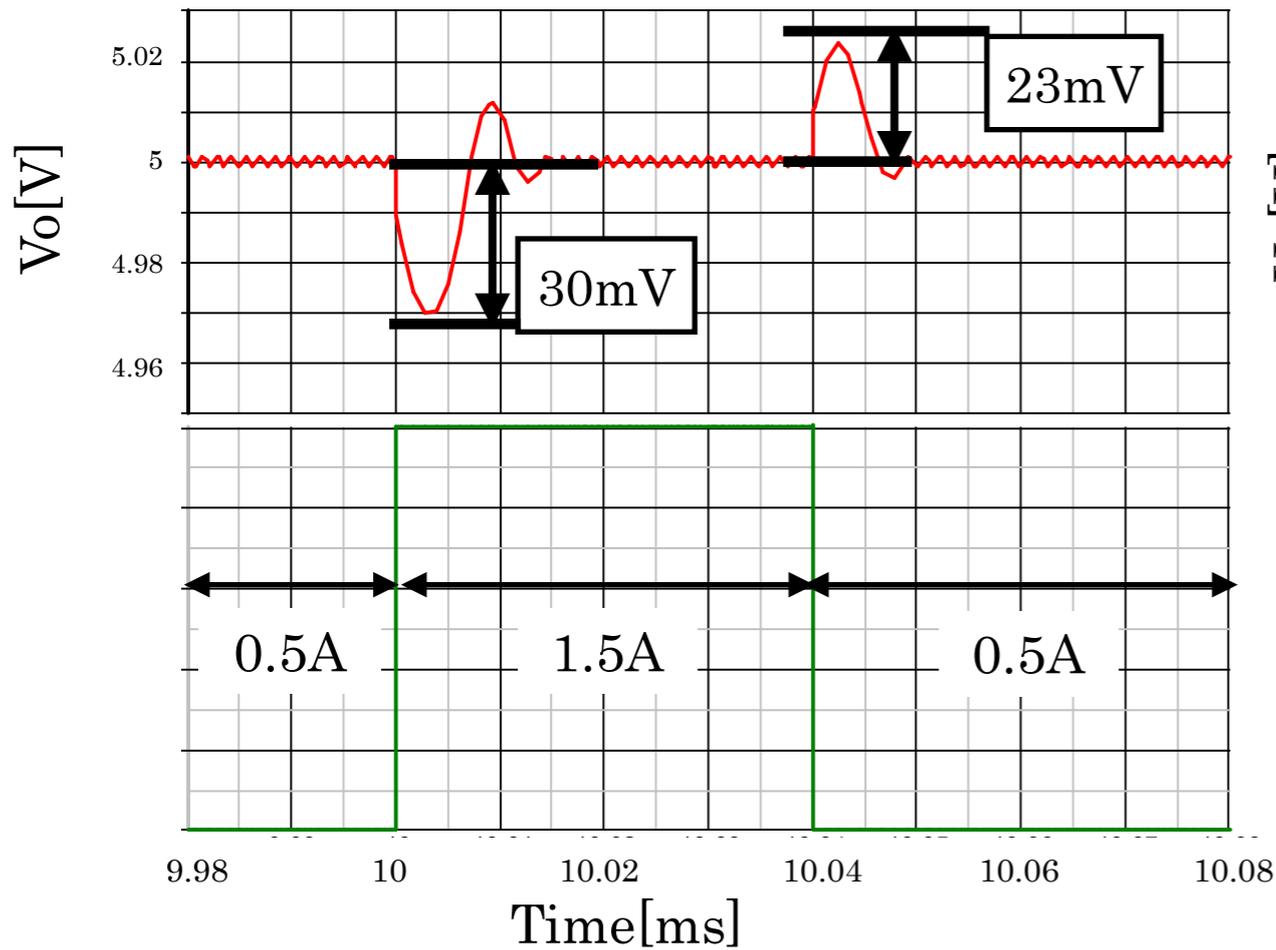
3.0mV<sub>pp</sub>

0.8mV増

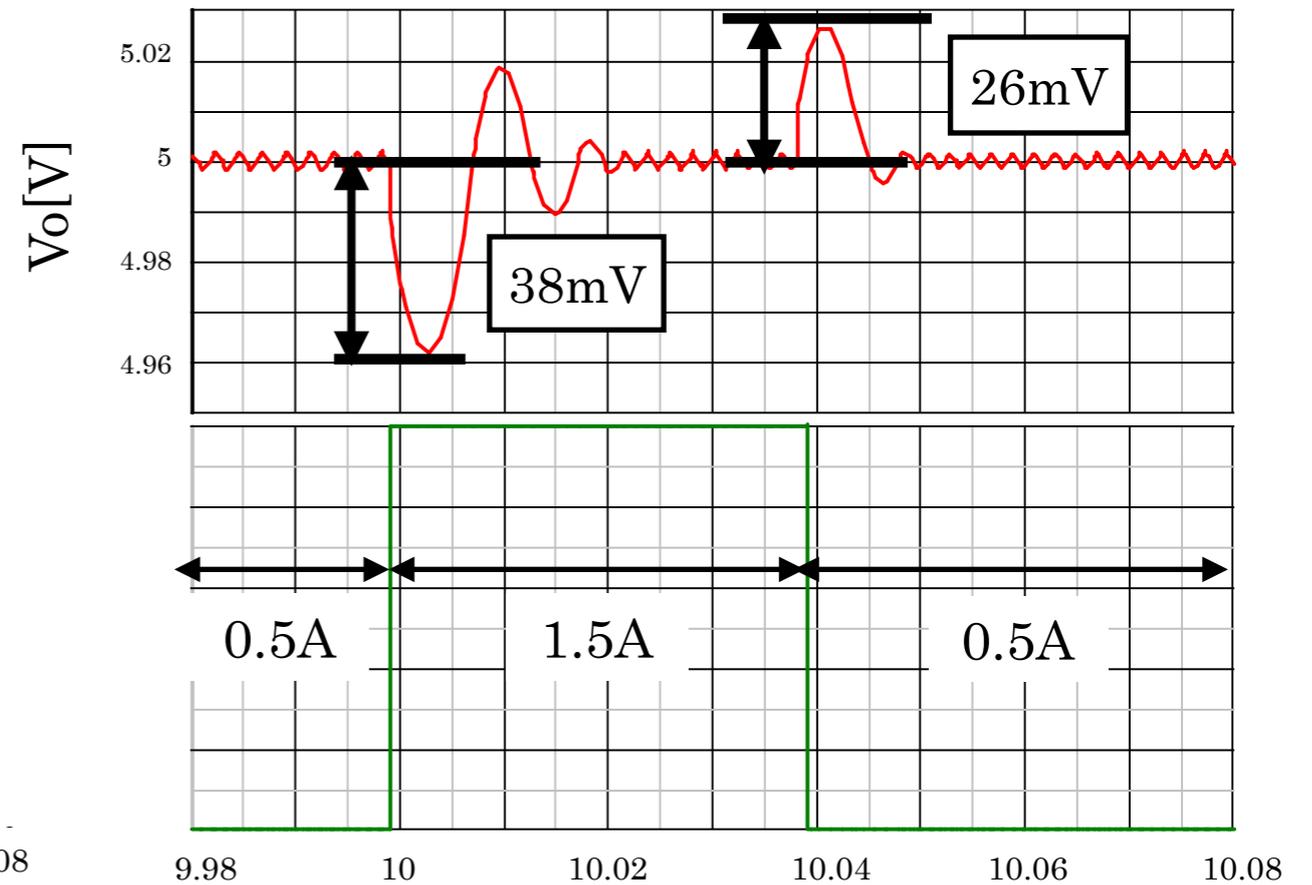
3mVは出力電圧 $V_o$ の0.06%であり十分小さい

# 負荷変動時のVo

従来方式



提案方式



アンダーシュート :

30mV



38mV

オーバーシュート :

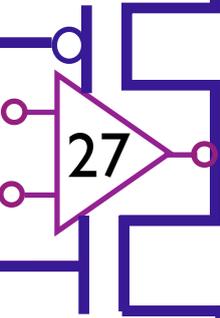
23mV



26mV

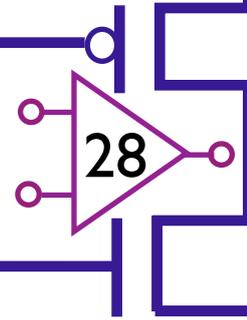
シュートは出力電圧の0.76%

# Outline



- 研究背景
- ヒステリシス制御電源の概要
- EMI低減の概要
- ヒステリシス制御電源のEMI低減化
- まとめと今後の課題

# まとめと今後の課題



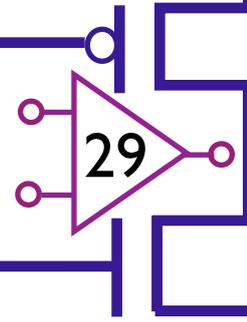
## まとめ

- 擬似アナログ信号を用いたヒステリシス制御方式降圧型DC-DCコンバータについて提案
- 70~360kHzの動作周波数で46%~69%のスペクトル拡散が確認できた
- リップルは出力電圧に比べ十分小さかった

## 今後の課題

- スペクトルの拡散量とリップルの関係を調べ、最適な変調の方法を探す
- PASの周期を長くすることでさらなるスペクトルの拡散をする。

# 質問



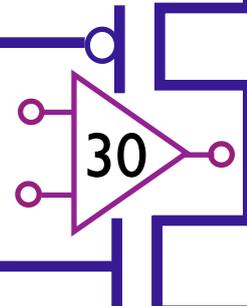
Q1.従来と提案で周波数違うけどあわせた方がいいんじゃないの  
また、周波数が違う理由は？

A1.ヒステリシスの幅を変えるなどして検討しようと思います

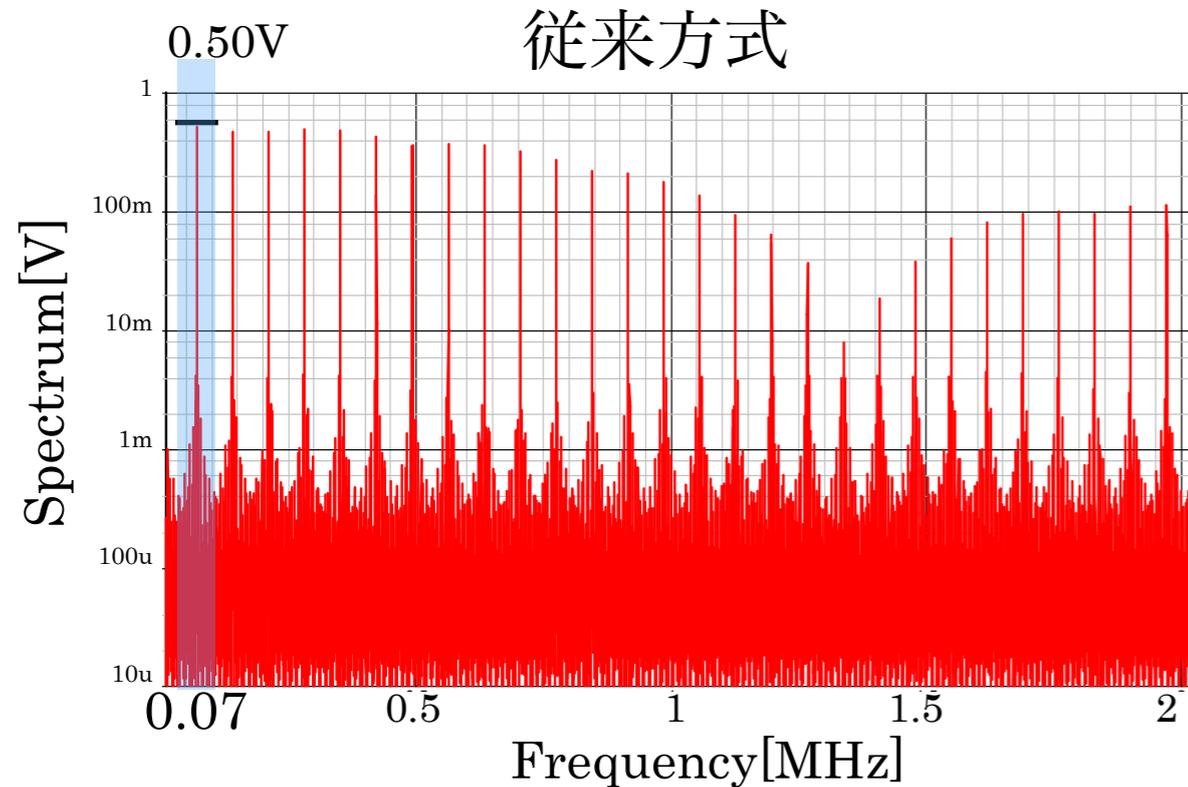
Q2.効率はどうなの？

A2.効率は検討していませんでした。検討します。

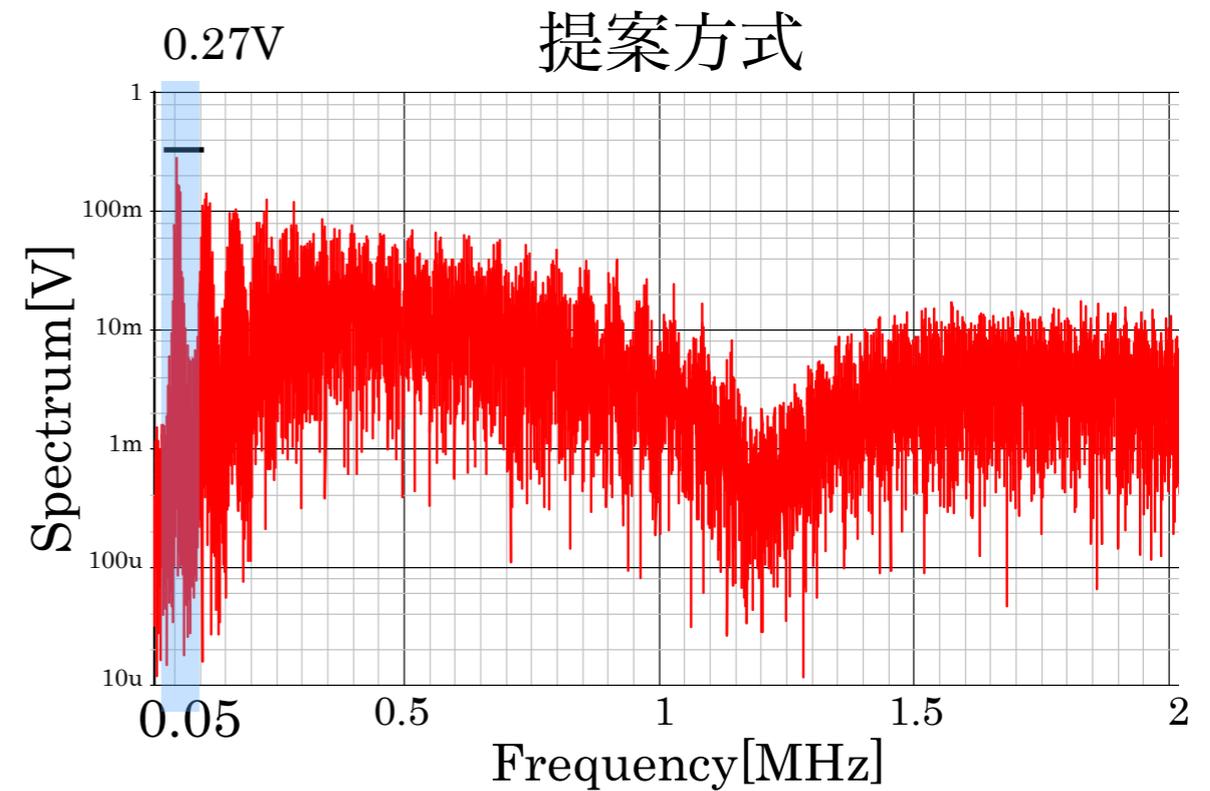
# PWMのスペクトル比較



PWM周波数70kHzのとき



従来方式のPWMをFFTした結果

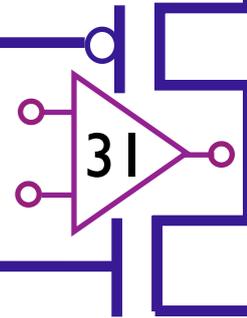


提案方式のPWMをFFTした結果

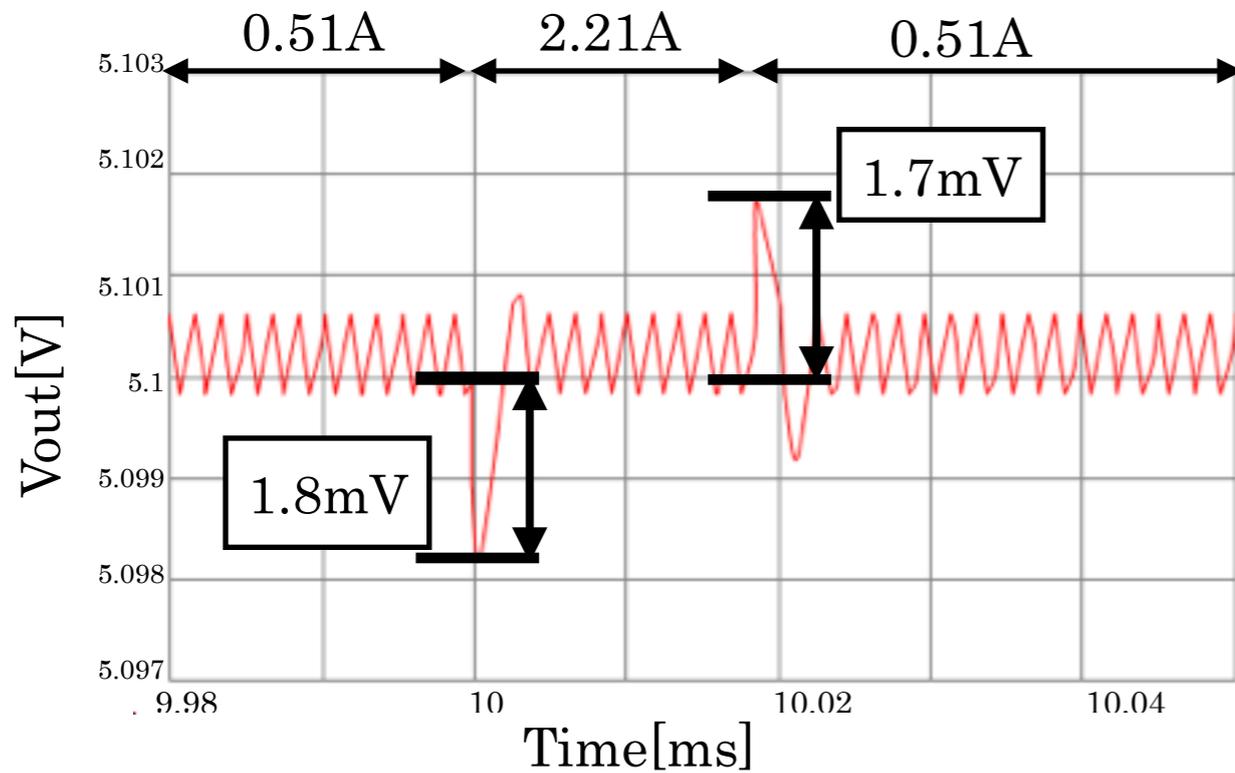


擬似アナログ信号の適用でスペクトルの大幅な減少を確認

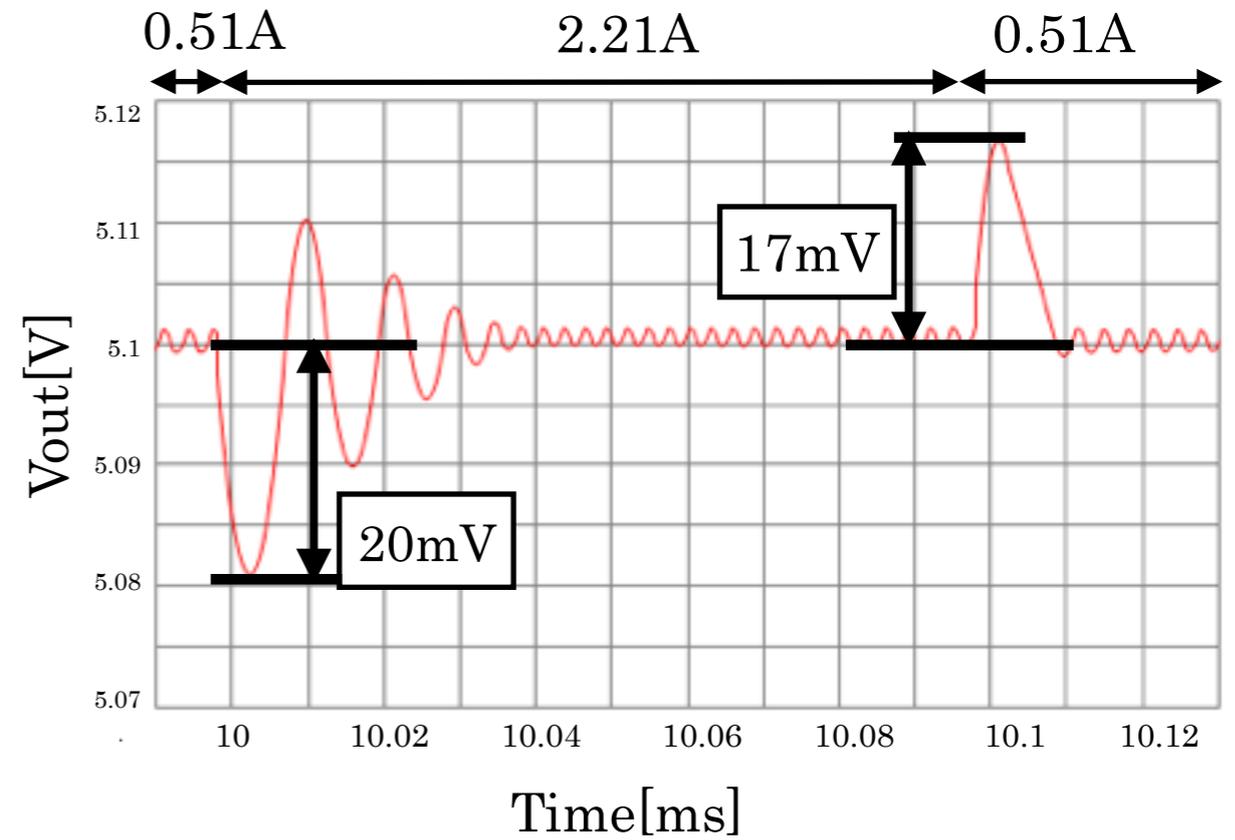
# 負荷変動時のVout



従来方式



提案方式



アンダーシュート :

1.7mV



17mV

オーバーシュート :

1.8mV



20mV

シュートは出力電圧の0.4%以内