



# Spread Spectrum Clock Generator with Adaptive Band Exclusion

**<sup>1</sup>Ramin Khatami**

<sup>1</sup>Fatemeh Hassani, <sup>1</sup>荒船拓也, <sup>1</sup>小堀康功, <sup>1</sup>小林春夫

<sup>1</sup>小林研究室・群馬大学

# Outline

## I. Background

## II. Principle

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- v. Other Possible Algorithms

## III. Analysis

## IV. Result

## V. Adaptive DTC

## VI. Conclusion

# Outline

## I. Background

## II. Principle

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- v. Other Possible Algorithms

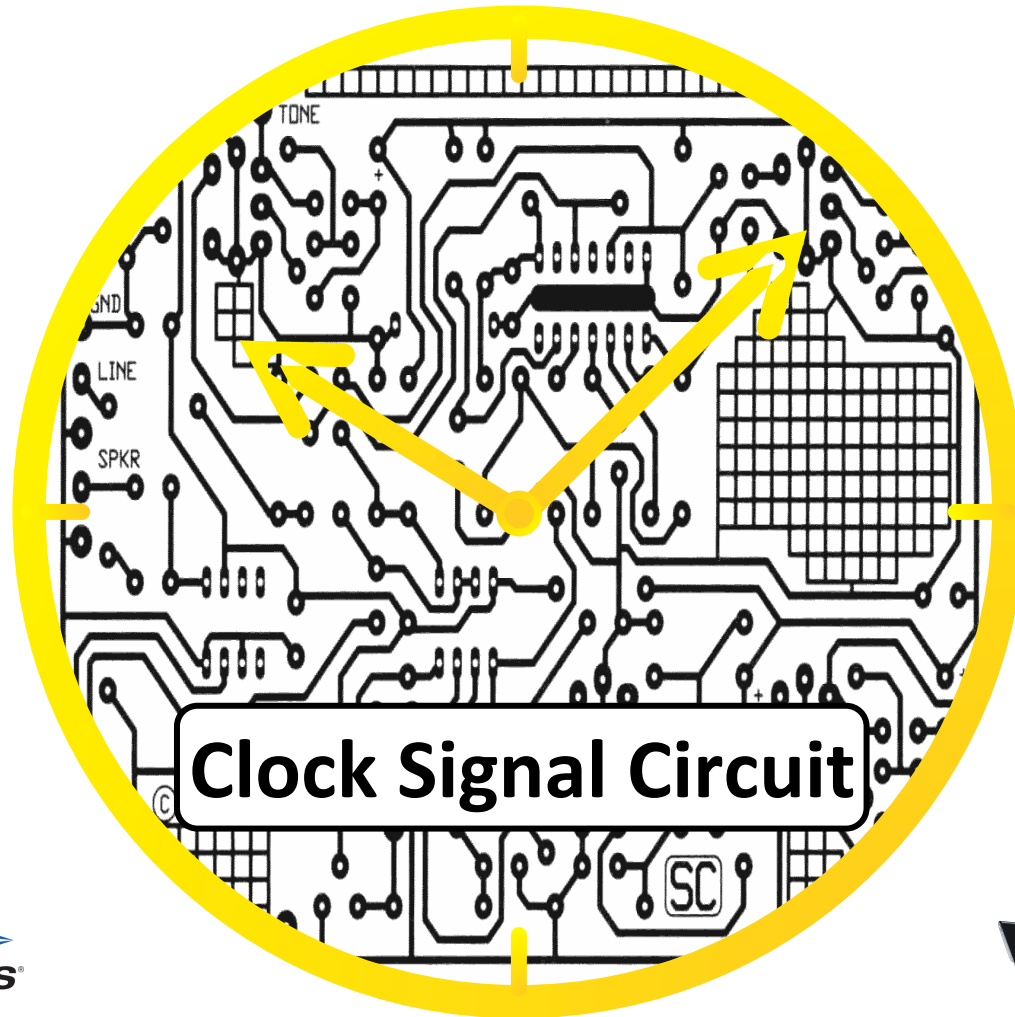
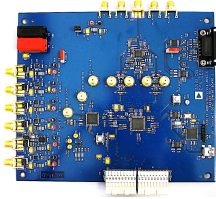
## III. Analysis

## IV. Result

## V. Adaptive DTC

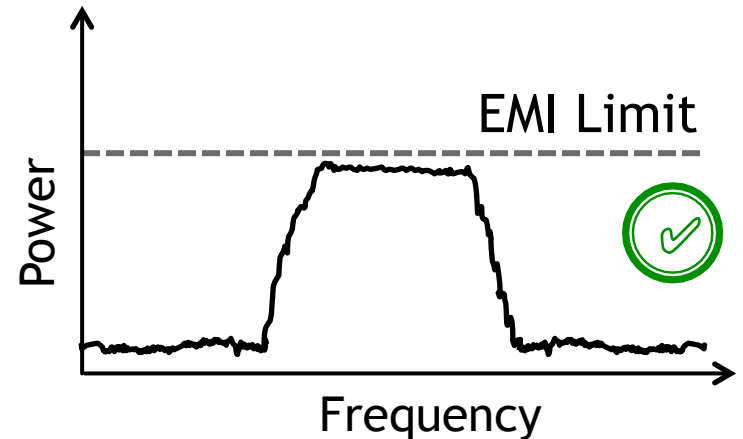
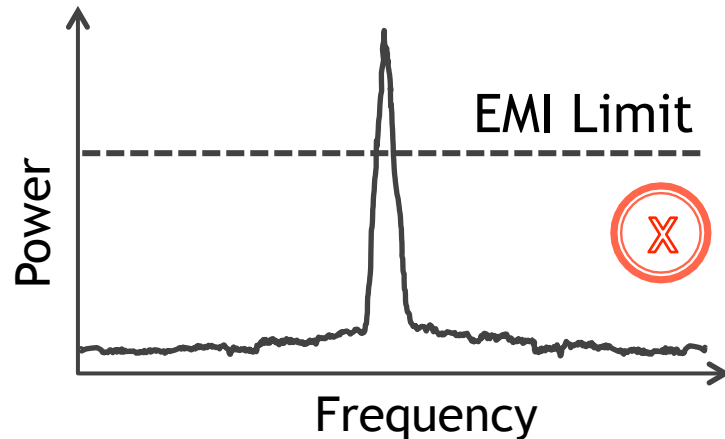
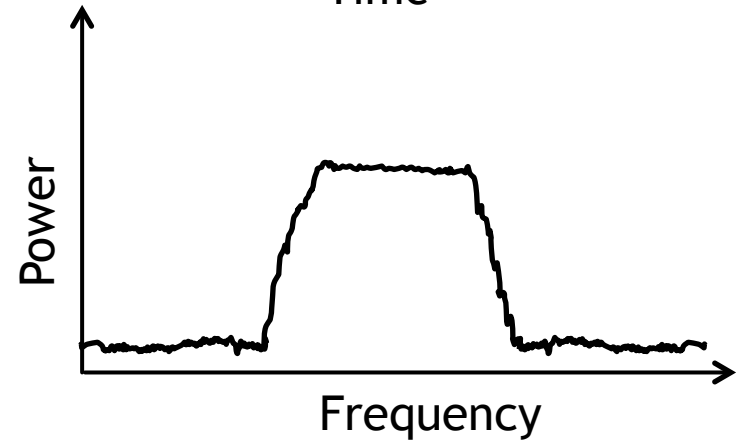
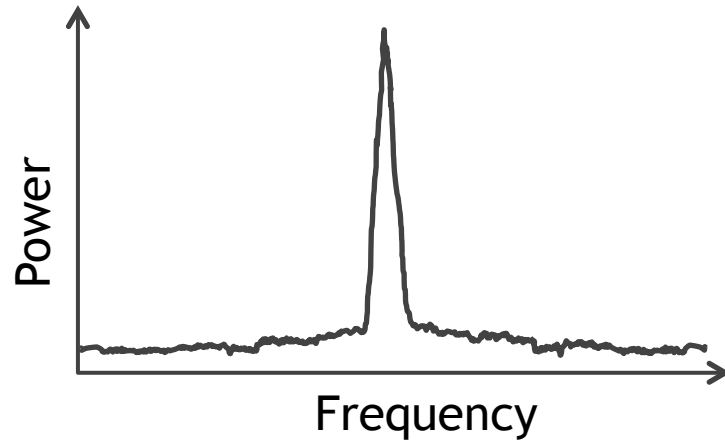
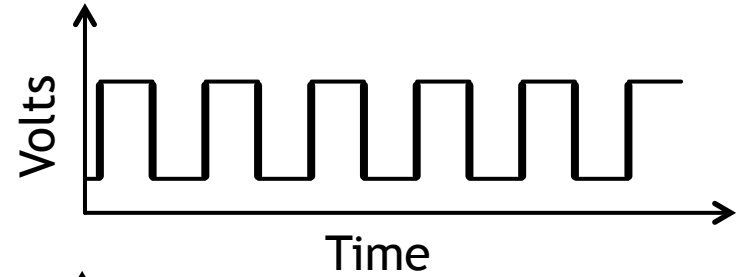
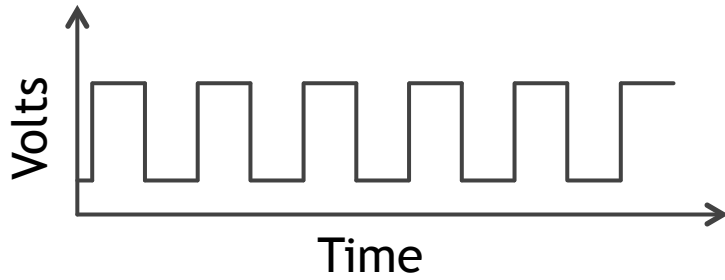
## VI. Conclusion

# Common Object in All Electronic Devices

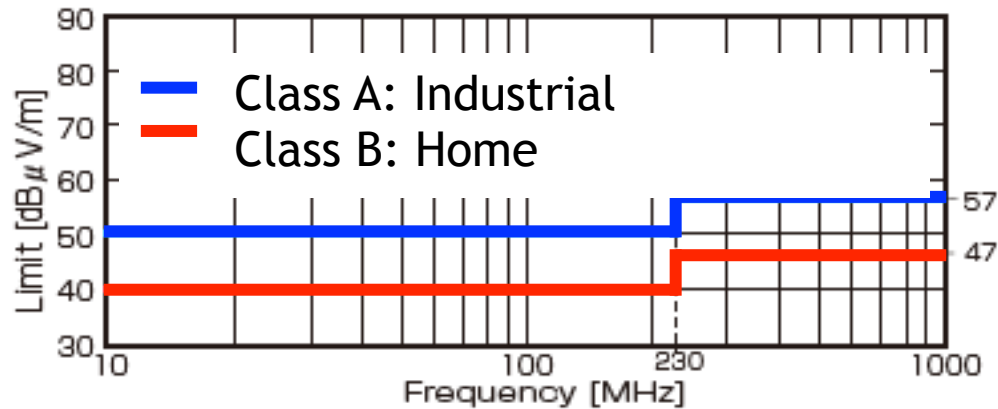


**Clock is everywhere**

# Spread Spectrum Clock Technique



# EMI Problem



EMI Regulation (CISPR22 ) in Japan

Ignoring is Dangerous



Lead to Malfunctioning of devices

Solving is difficult

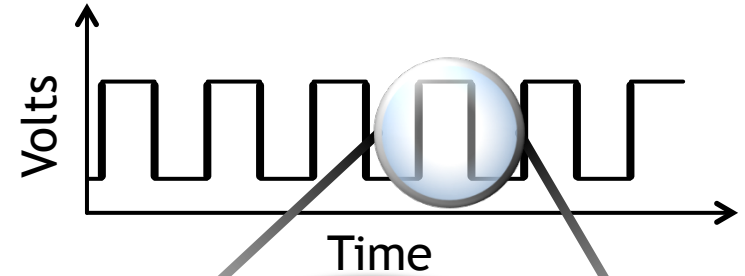
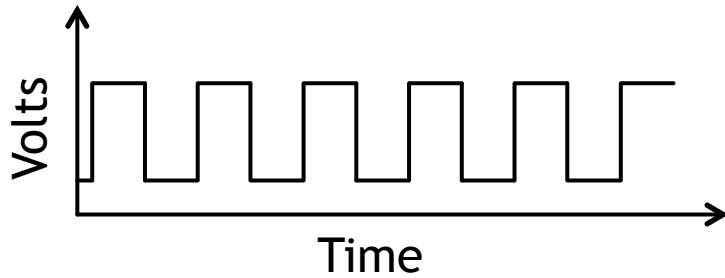


Time Consuming

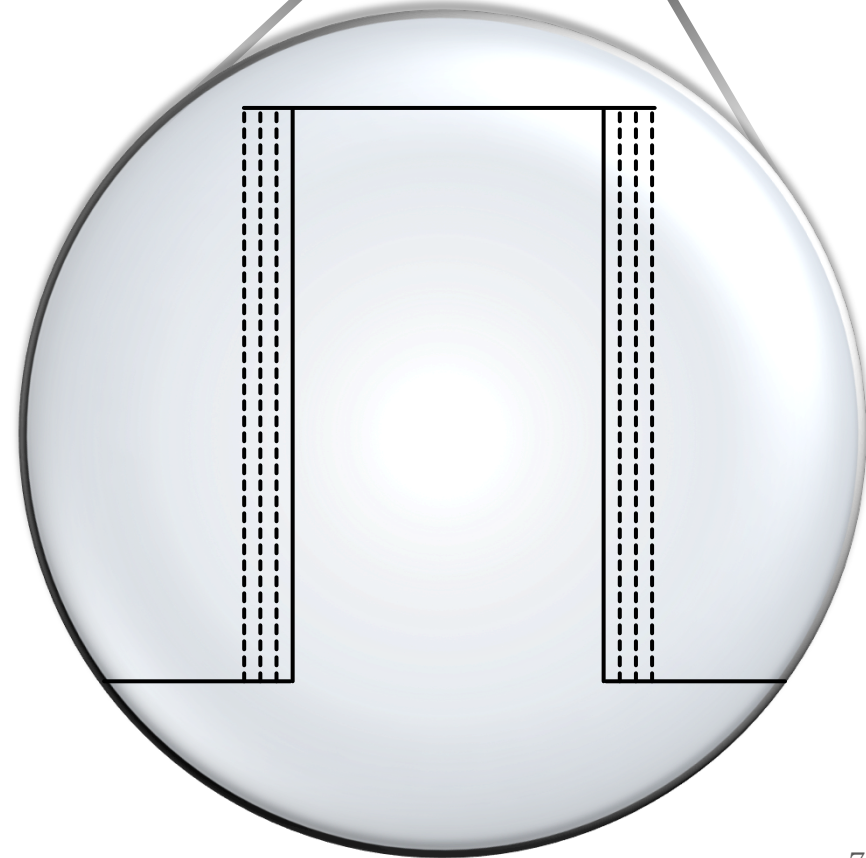


Costly

# SSCG Approach

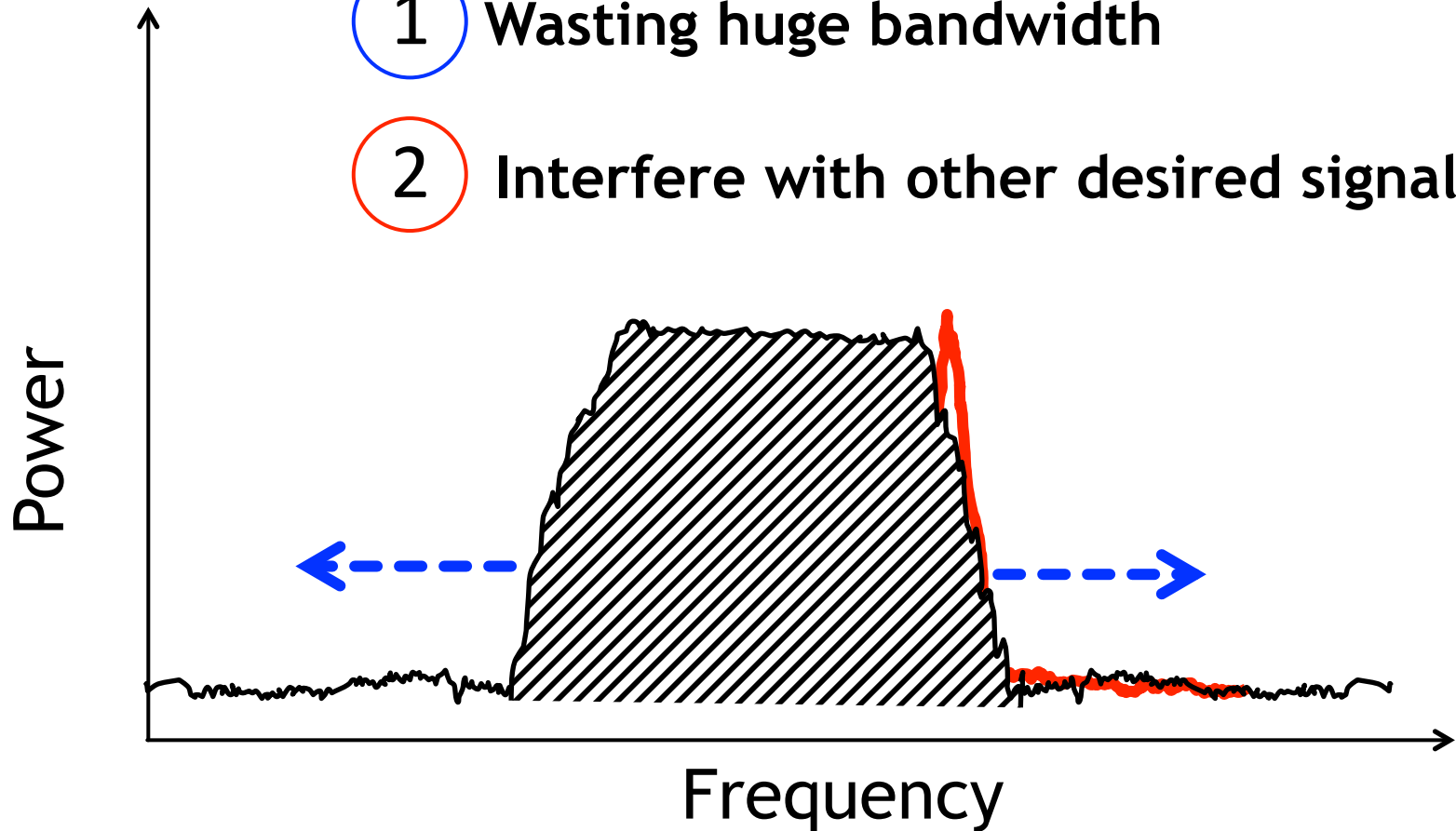


Solving Digital  
Problem By  
Analog  
Approach



# Conventional SSCG Problems

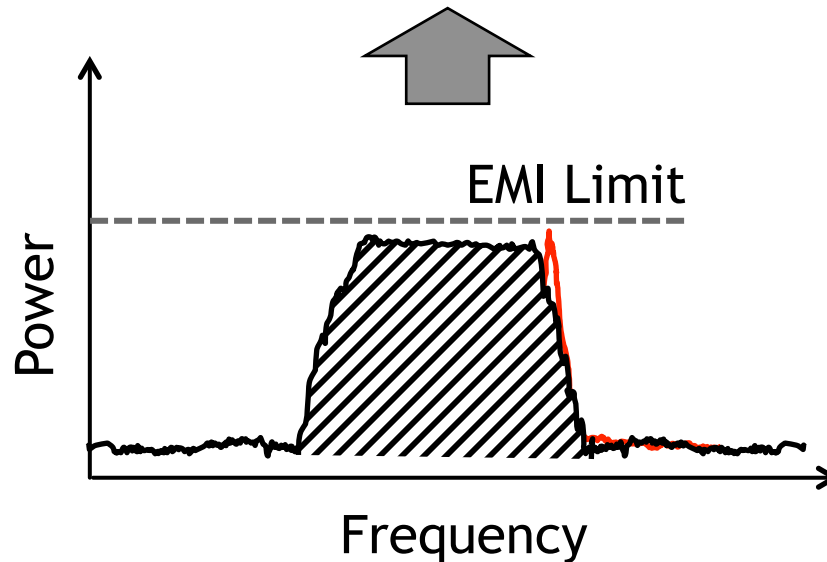
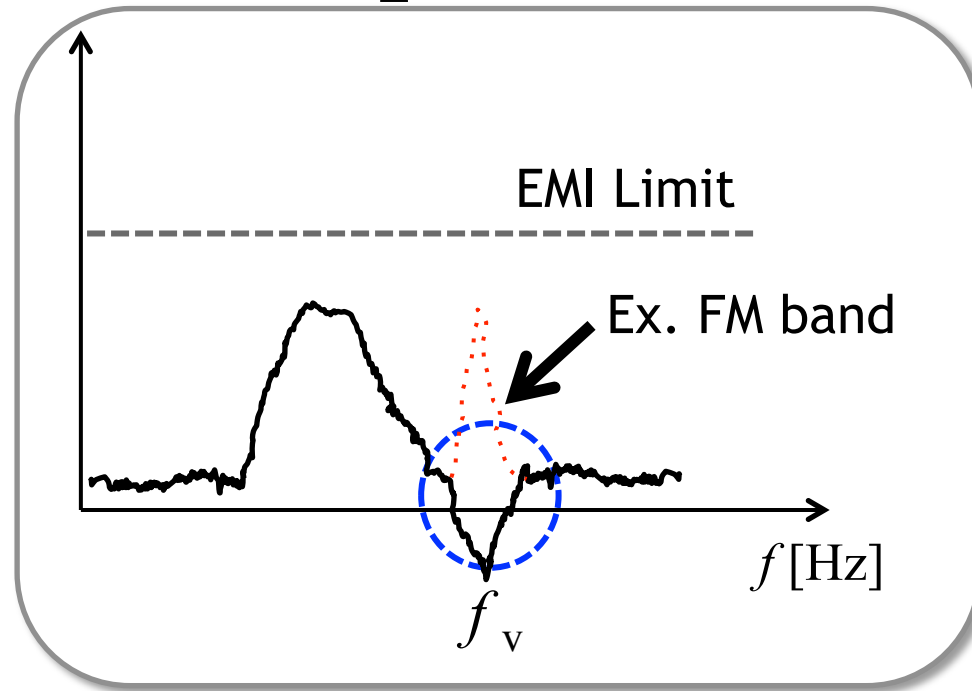
- 1 Wasting huge bandwidth
- 2 Interfere with other desired signals





# Exclusive Noise Spectrum Selection

Our Target:



# Goal

To compete with conventional methods,  
Our method should be:

✓ **Effective**

✓ **Simple**

✓ **Low cost**

# Converters Path

Devices miniaturization, speed, high frequency

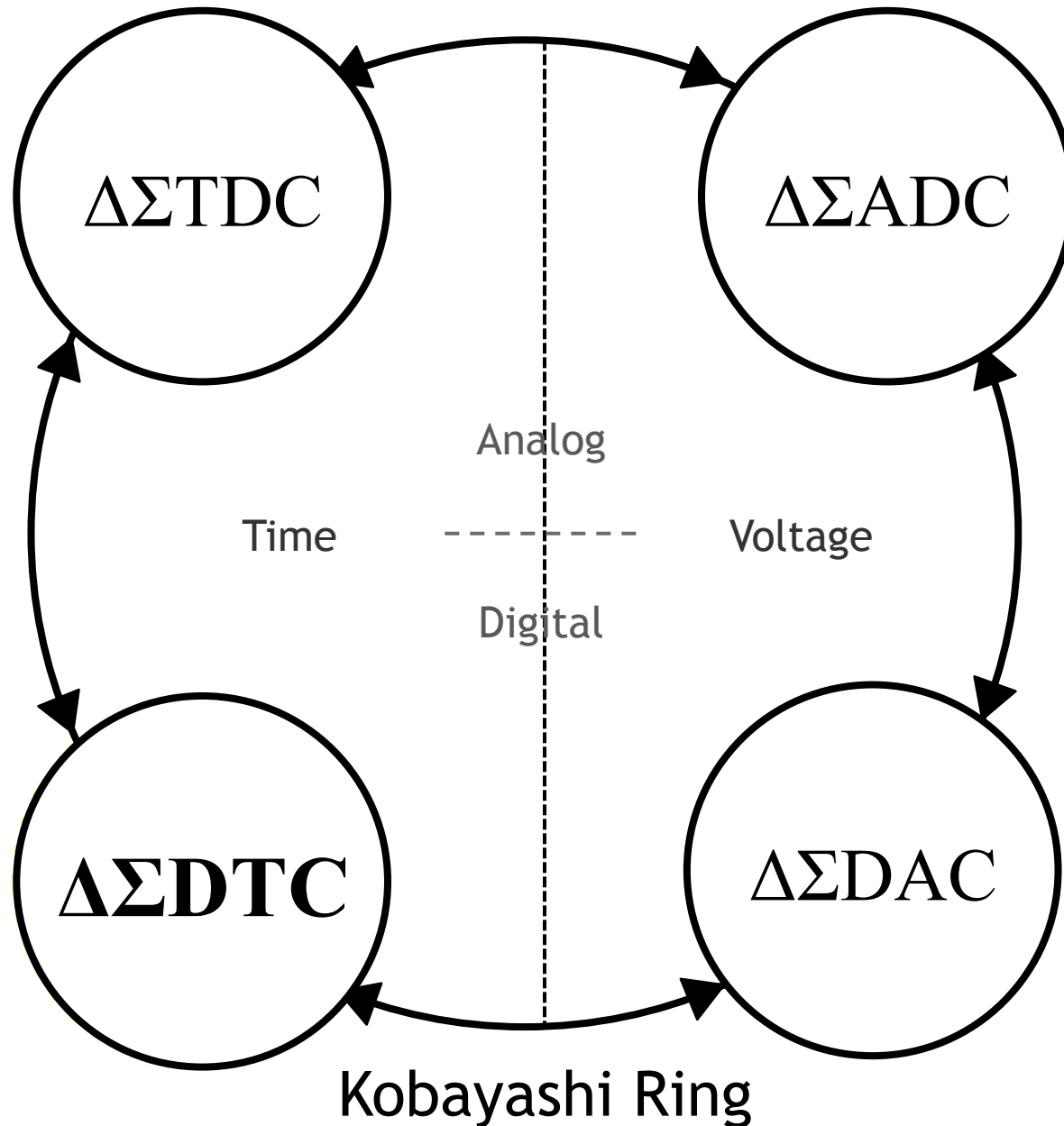
↳ Spreading  $\Delta\Sigma$  oversampling Applications

↳ **Time domain signal processing**

↳ From  $\Delta\Sigma$ ADC to  $\Delta\Sigma$ TDC

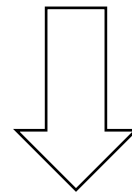
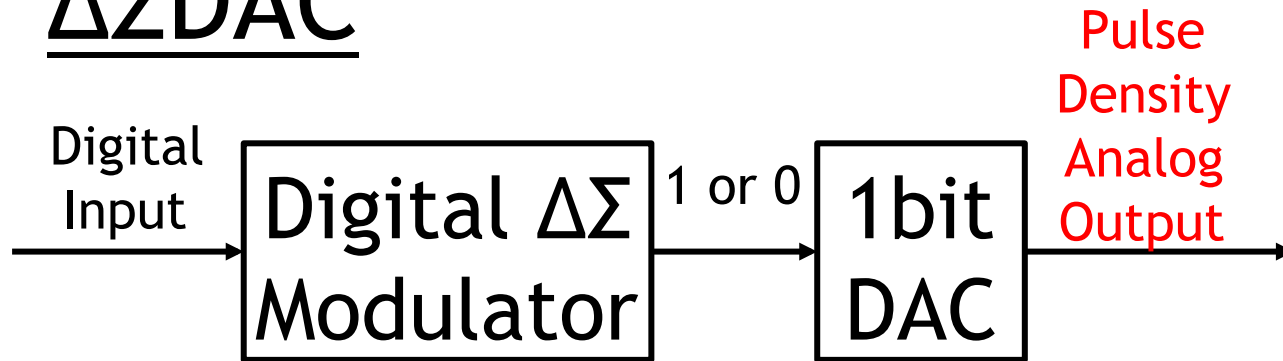
↳ From  $\Delta\Sigma$ DAC to ???

# Time Domain v.s. Voltage Domain



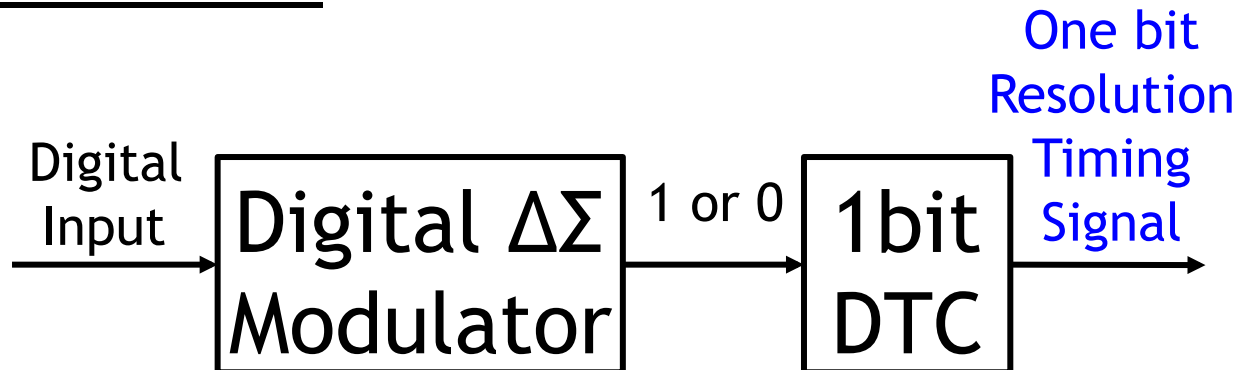
# $\Delta\Sigma$ DAC & $\Delta\Sigma$ DTC Analogy

## $\Delta\Sigma$ DAC



time domain

## $\Delta\Sigma$ DTC



# Outline

I. Background

**II. Principle**

**i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm**

ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

v. Other Possible Algorithms

III. Analysis

IV. Result

V. Adaptive DTC

VI. Conclusion

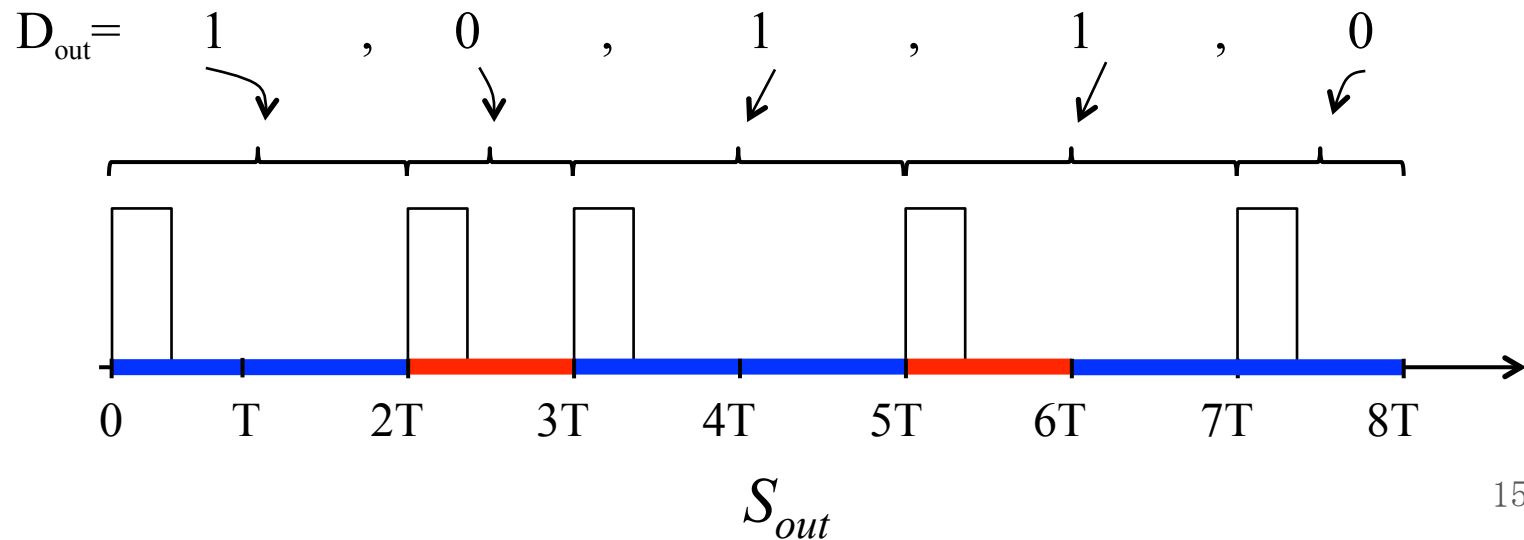
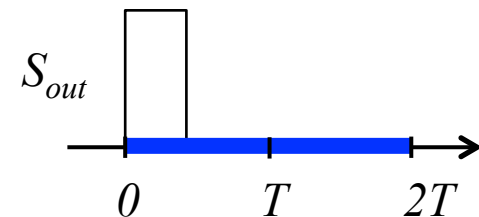
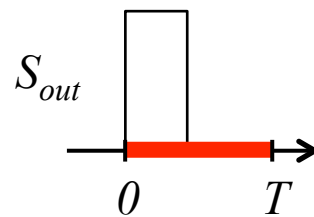
# Pulse Cycle Modulation

■ Output Pulse Cycle Period =  $f(D_{out})$

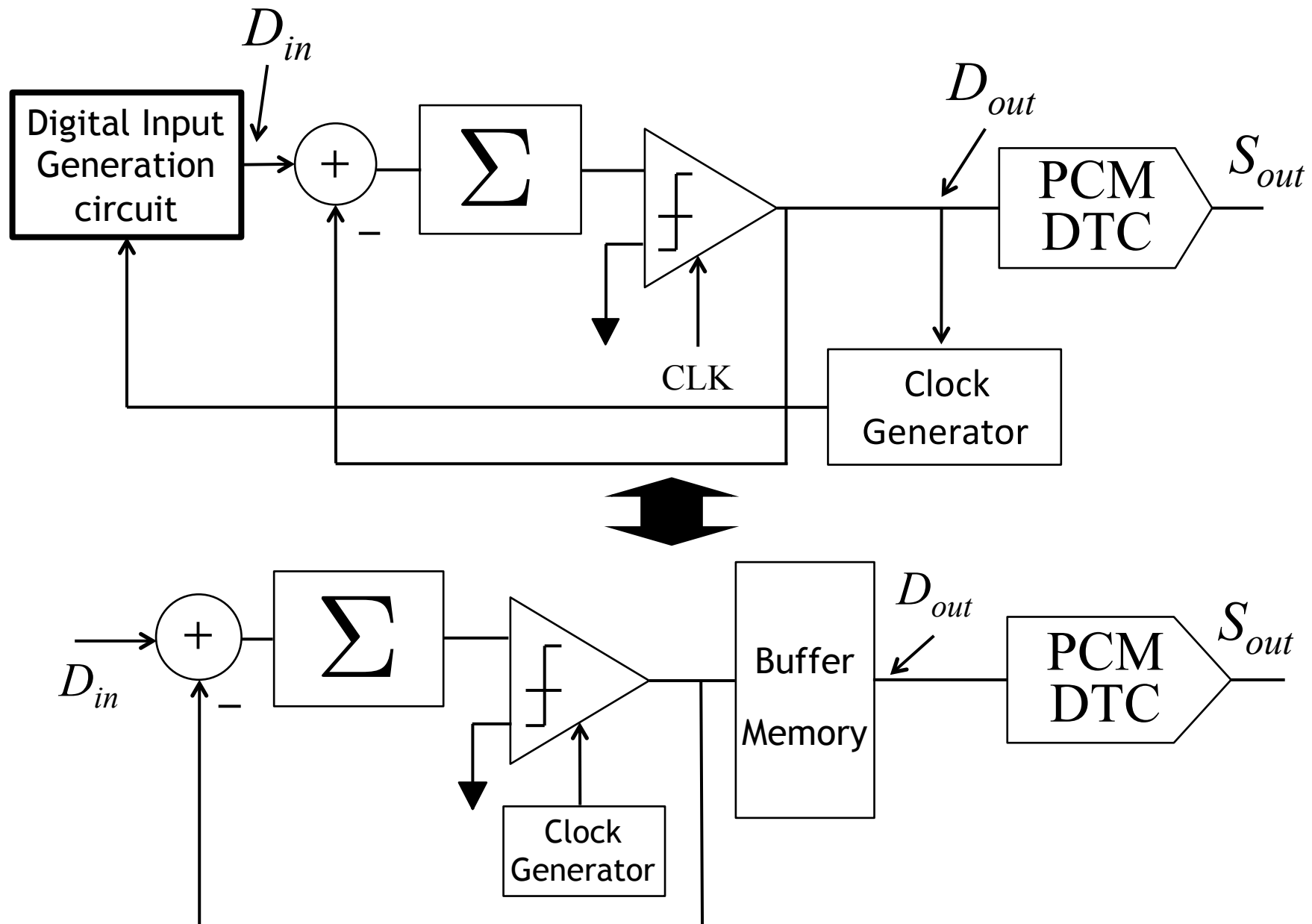
Exa. : ( $D_{out} = 10110$ )

$D_{out} = 0$

$D_{out} = 1$



# PCM $\Delta\Sigma$ DTC – Configuration





# Outline

I. Background

**II. Principle**

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm**
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- v. Other Possible Algorithms

III. Analysis

IV. Result

V. Adaptive DTC

VI. Conclusion

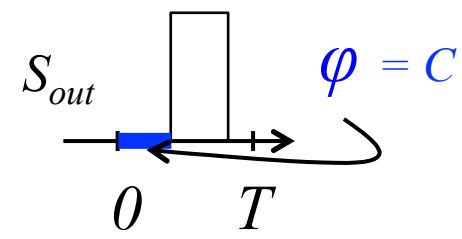
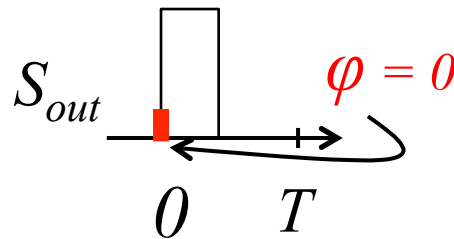
# Pulse Position Modulation

■ Output pulse position (or phase) =  $g(D_{out})$

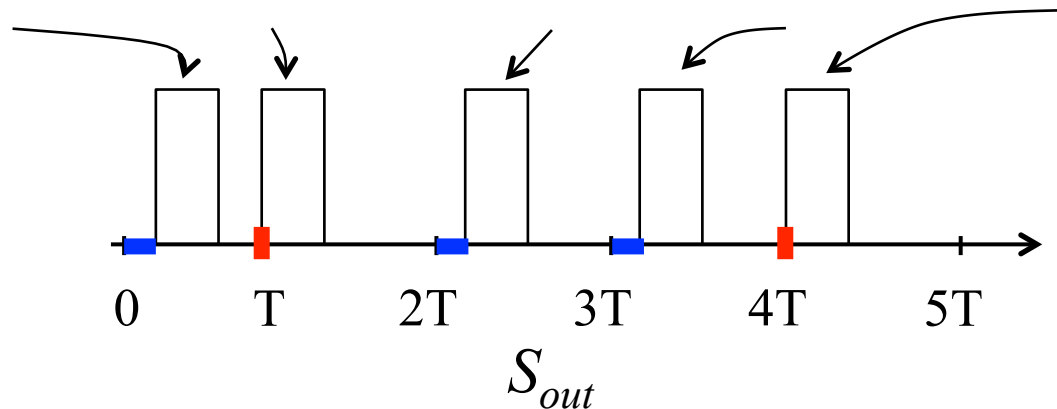
Ex. ( $D=10110$ )

$$D_{out} = 0$$

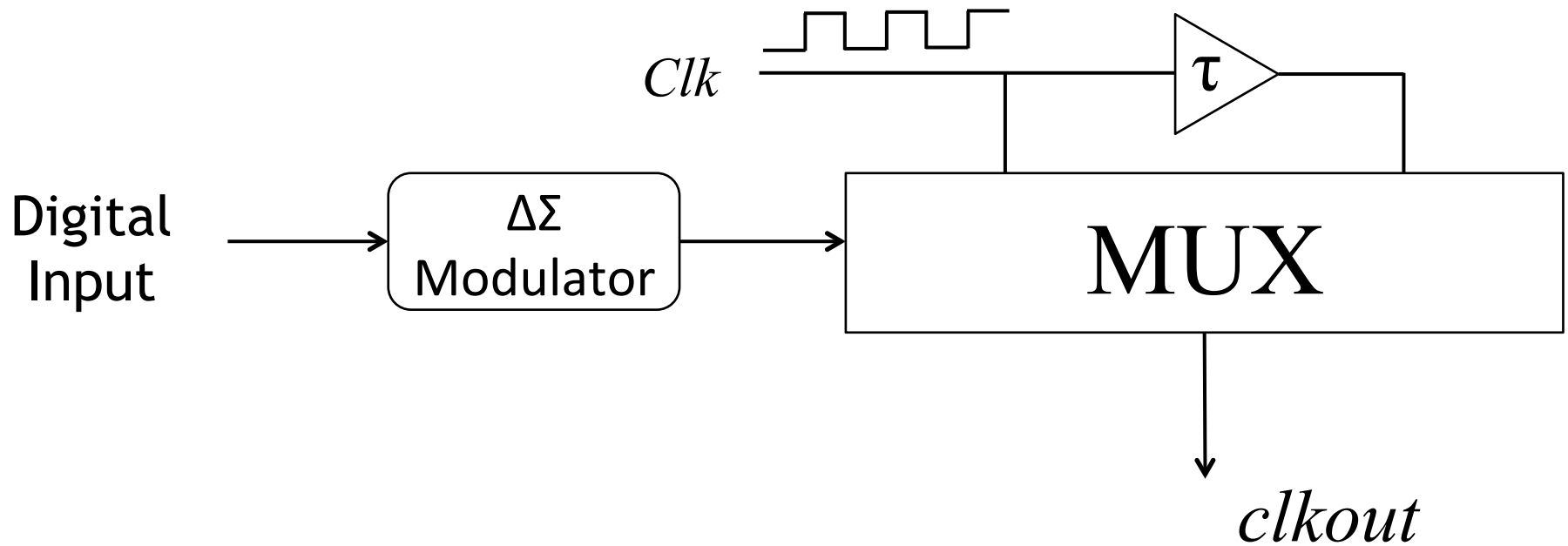
$$D_{out} = 1$$



$D_{out} = 1, 0, 1, 1, 0$



# PPM $\Delta\Sigma$ DTC - Configuration



High Frequency Clock

# Outline

I. Background

**II. Principle**

i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

**iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm**

iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

v. Other Possible Algorithms

III. Analysis

IV. Result

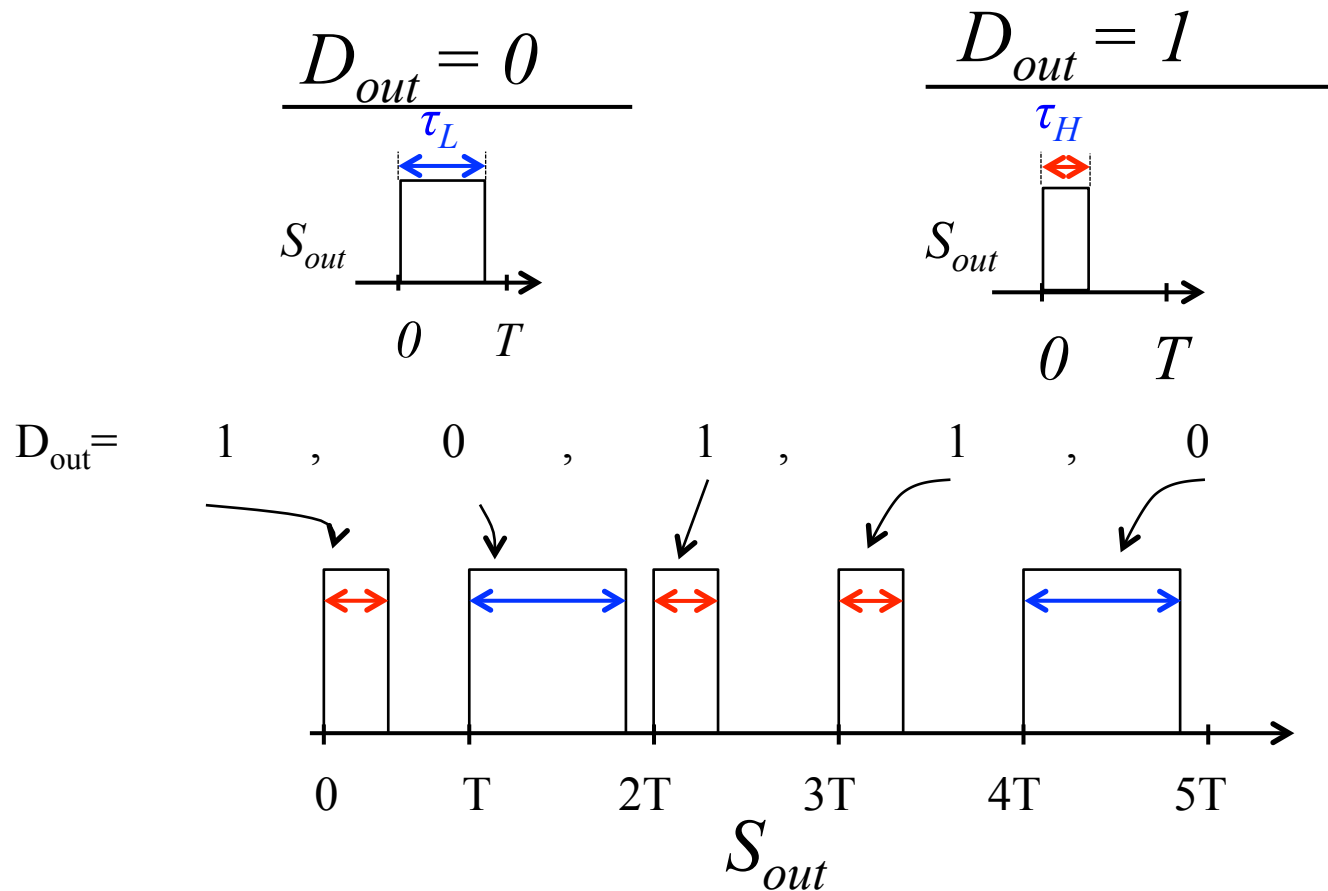
V. Adaptive DTC

VI. Conclusion

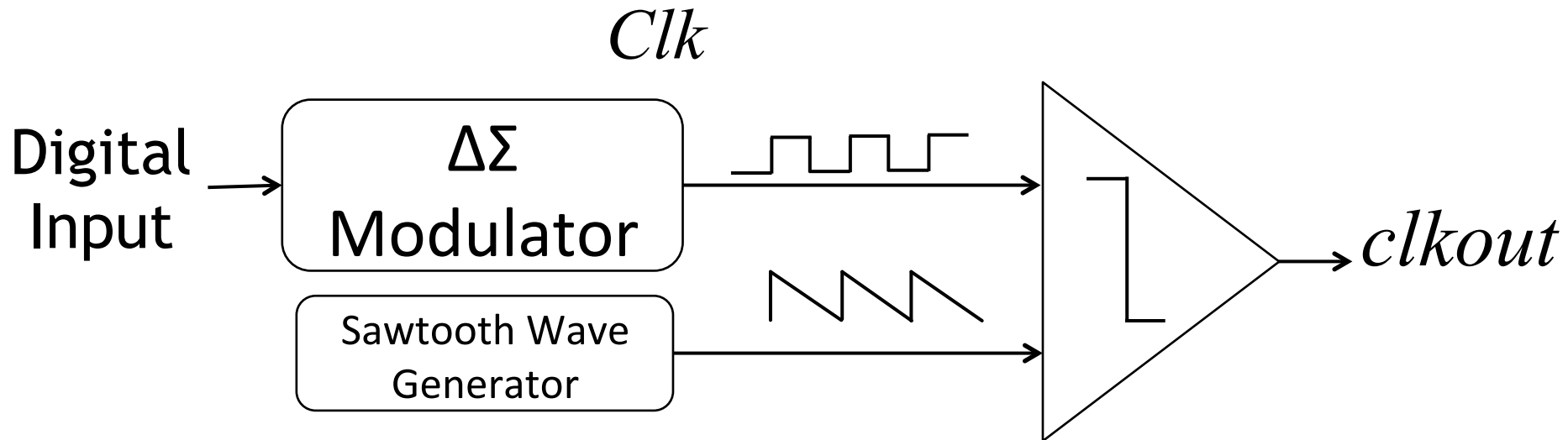
# Pulse Width Modulation

■ Output pulse width =  $h(D_{out})$

Exa. : ( $D_{out} = 10110$ )



# PWM $\Delta\Sigma$ DTC - Configuration



# Outline

I. Background

## II. Principle

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm**
- v. Other Possible Algorithms

III. Analysis

IV. Result

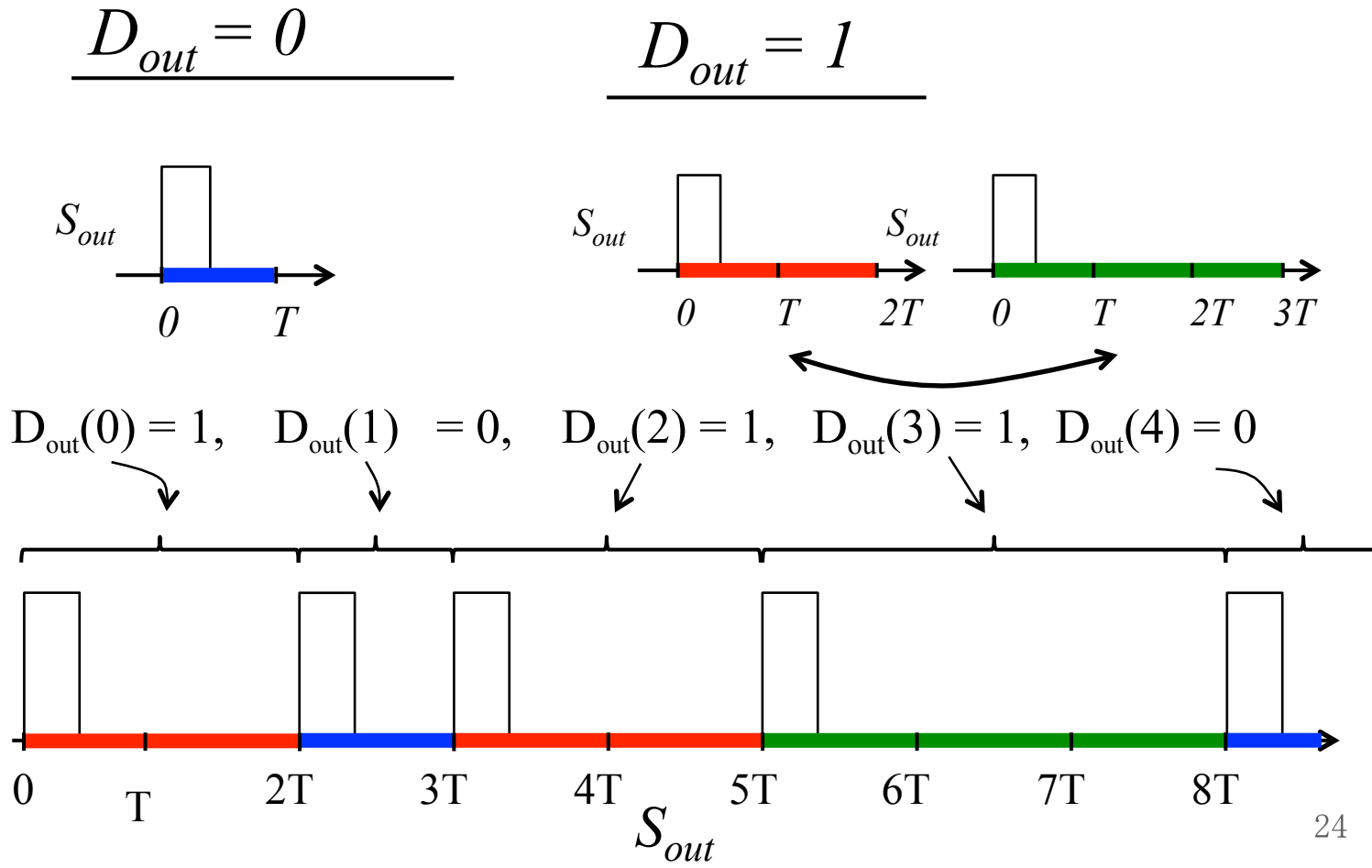
V. Adaptive DTC

VI. Conclusion

# Pseudo Random Jitter

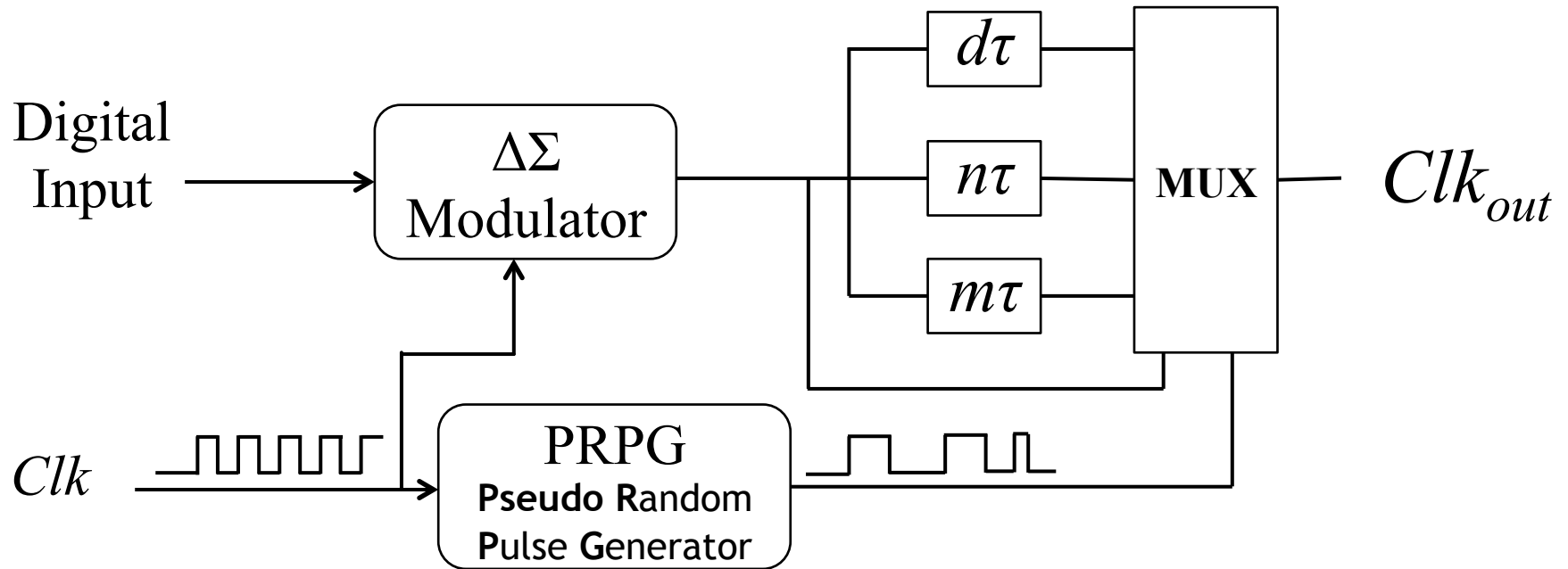
■ Output pulse cycle =  $k(D_{out}, h)$

Exa. : ( $D_{out} = 10110$ )





# PRJ $\Delta\Sigma$ DTC - Configuration



# Outline

I. Background

**II. Principle**

i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm

**v. Other Possible Algorithms**

III. Analysis

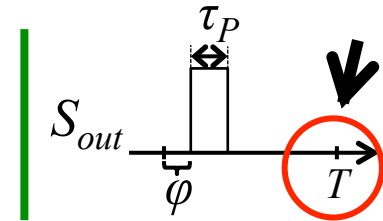
IV. Result

V. Adaptive DTC

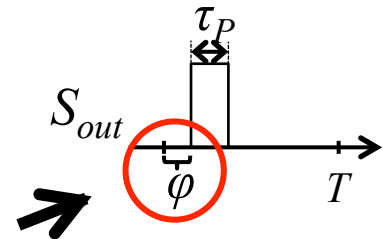
VI. Conclusion

# Compound DTC...

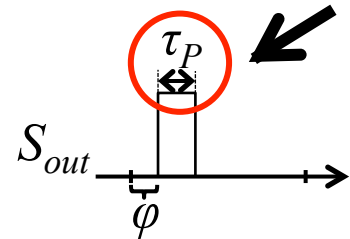
**PCMDTC:** *based on digital Input Alter  $T$*



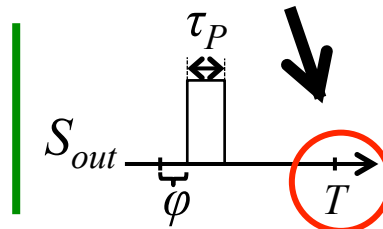
**PPMDTC:** *Alter  $\varphi$*



**PWMDTC:** *Alter  $\tau_p$*



**PRJDTC:** *Alter  $T$  randomly*



**PPCMDTC, PPWMDTC, PPCRJDTC, ...**

# Outline

I. Background

II. Principle

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- v. Other Possible Algorithms

**III. Analysis**

IV. Result

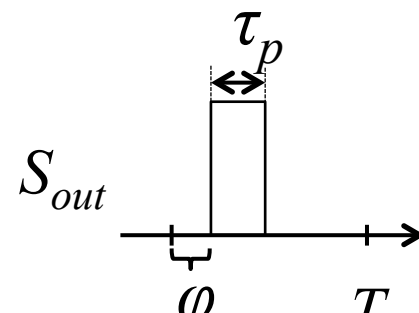
V. Adaptive DTC

VI. Conclusion

# SSGC with Exclusive Noise Spectrum using $\Delta\Sigma$ DTC

## Digital Pulse

$$T_C = 1 \text{ (base)}, T = nT_C, \tau_P = mT_C, \varphi = 2\pi q/n$$



## PCM $\Delta\Sigma$ DTC

$$f_{notch} = \frac{K \times (n_H + n_L)}{2|n_H - n_L|} f_s \quad (1)$$

$$K = |n_H - n_L| - 1, |n_H - n_L| - 2, \dots, 1.$$

$$n_H, n_L = 1, 2, 3, 4, \dots,$$

$$\text{defined as } n_H = T_H/T_C, n_L = T_L/T_C.$$

## PPM $\Delta\Sigma$ DTC

$$f_{notch} = \frac{K}{|q_H - q_L|} f_s \quad (2)$$

$$K = |q_H - q_L| - 1, |q_H - q_L| - 2, \dots, 1.$$

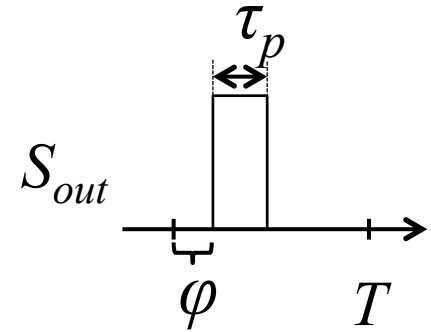
$$q_H, q_L = 1, 2, 3, 4, \dots,$$

$$\text{defined as } q_H = n_H(\phi_H/2\pi), \quad q_L = n_L(\phi_L/2\pi).$$

# SSGC using Delta-Sigma DTC

## Digital Pulse

$$T_C = 1 \text{ (base)}, T = nT_C, \tau_P = mT_C, \varphi = 2\pi q/n$$



## PWMΔΣDTC

$$f_{notch} = \frac{K}{|m_H - m_L|} f_s \quad (3)$$

$$K = |m_H - m_L| - 1, |m_H - m_L| - 2, \dots, 1.$$

$$m_H, m_L = 1, 2, 3, 4, \dots,$$

$$\text{defined as } m_H = \frac{\tau_H}{T_C}, m_L = \frac{\tau_L}{T_C}.$$

## PRJΔΣDTC

$$f_{notch} \simeq K \left( \frac{4n_L + p + q}{4G} \right) f_s \quad (4)$$

$$K = G - 1, G - 2, \dots, 1.$$

$G$  is the greatest common divisor between  $p$  and  $q$

$$p = |n_{H1} - n_L|, q = |n_{H2} - n_L|.$$

# Outline

I. Background

II. Principle

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- v. Other Possible Algorithms

III. Analysis

**IV. Result**

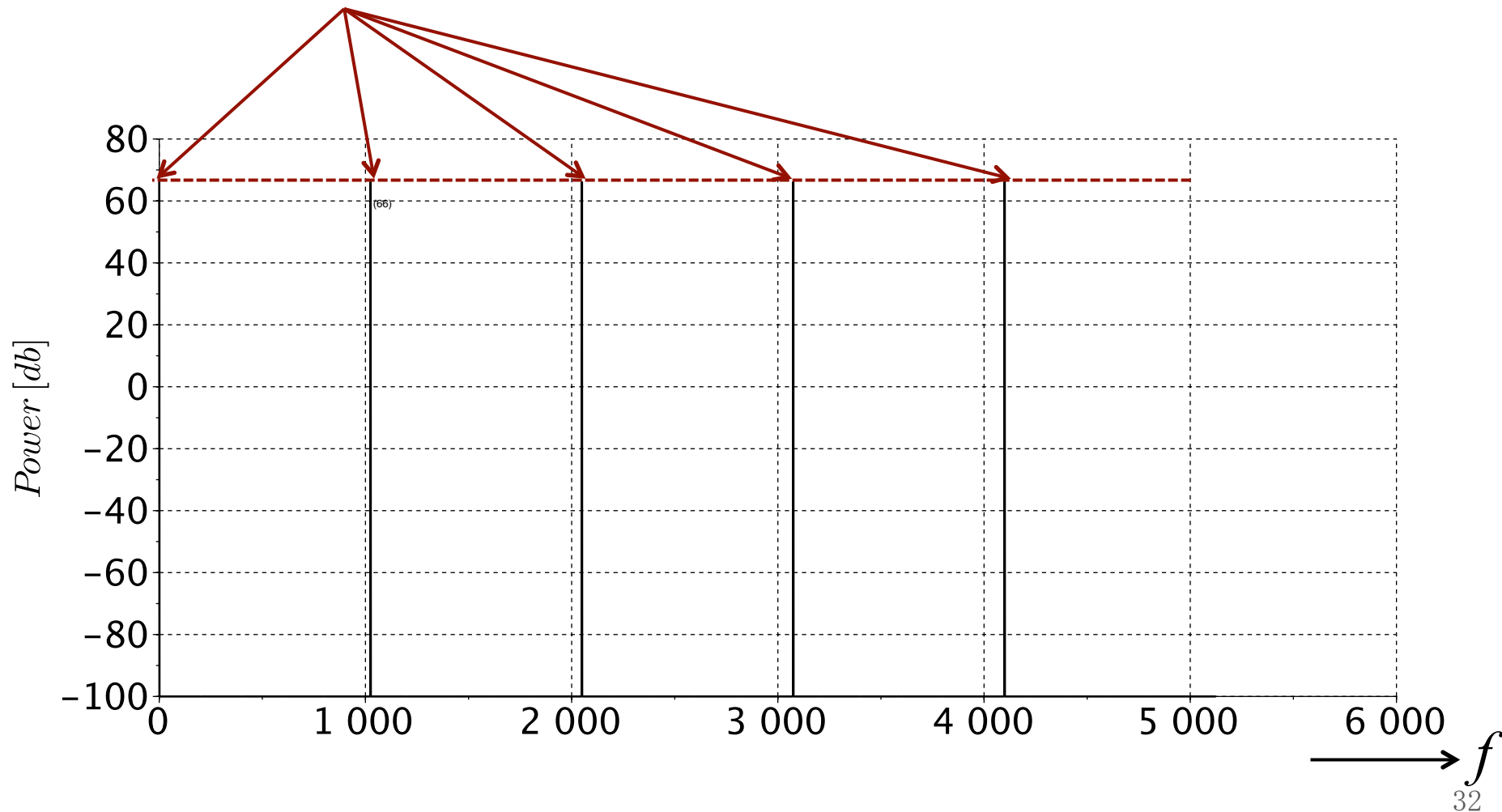
V. Adaptive DTC

VI. Conclusion

# Result • Clock's PSD (**Without DTC**)

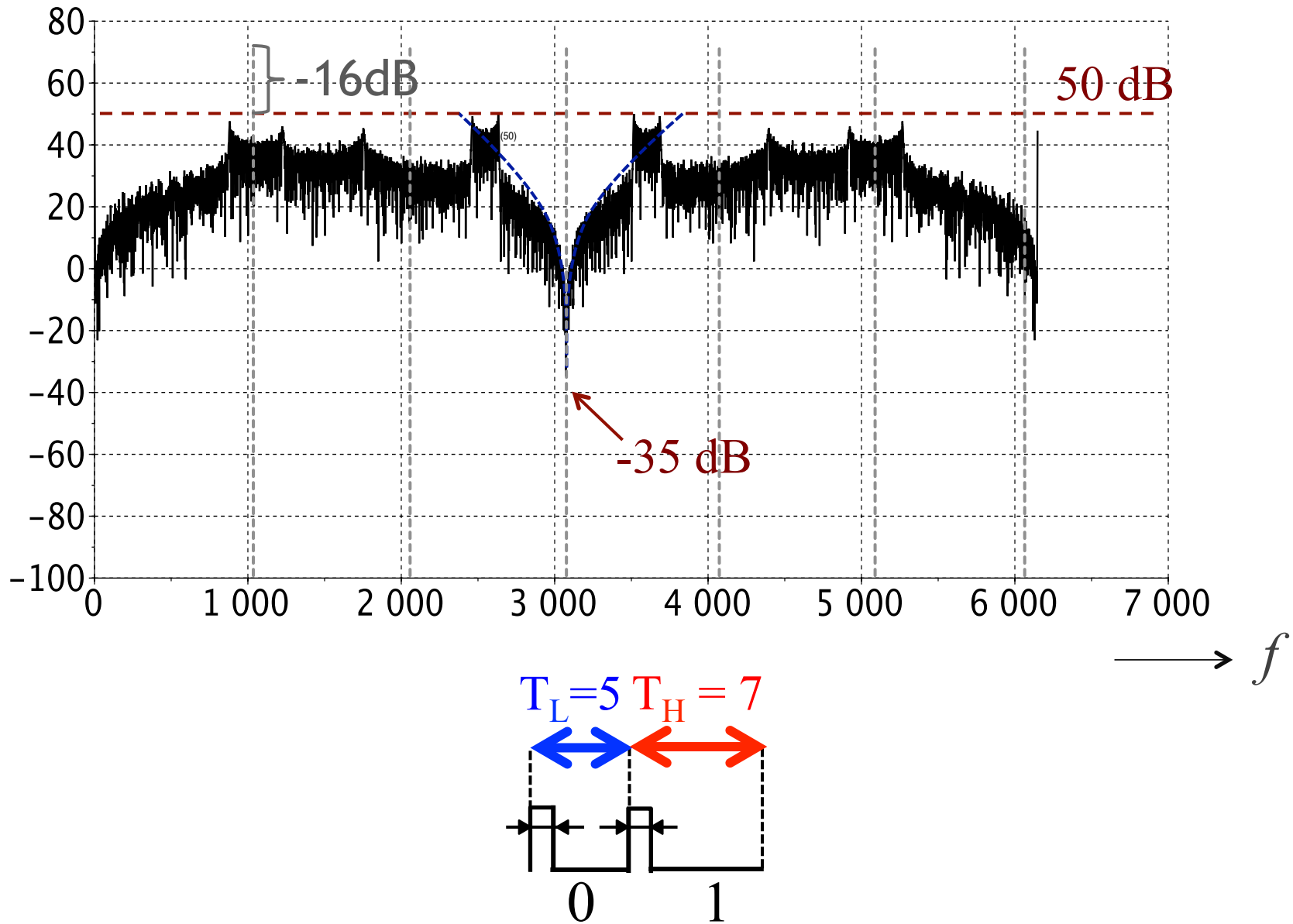
**66 dB**

in Base & in Each  
Clock Harmonics

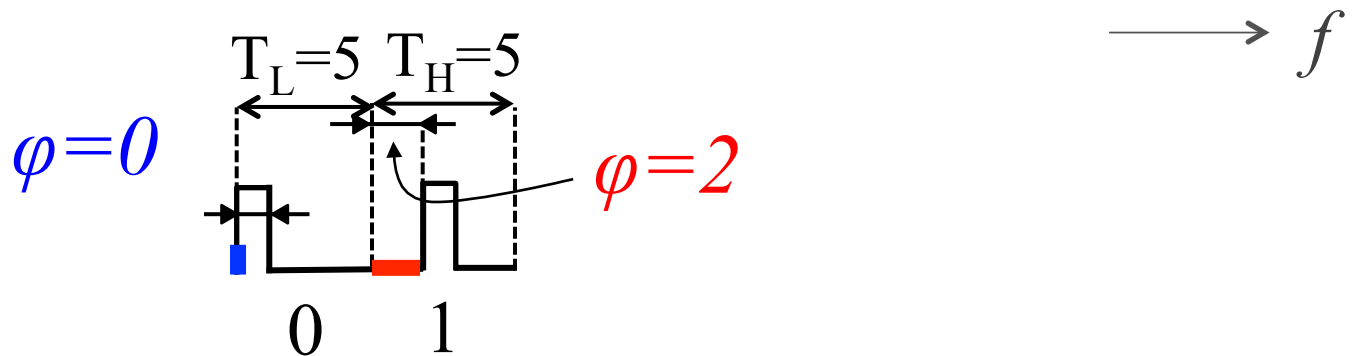
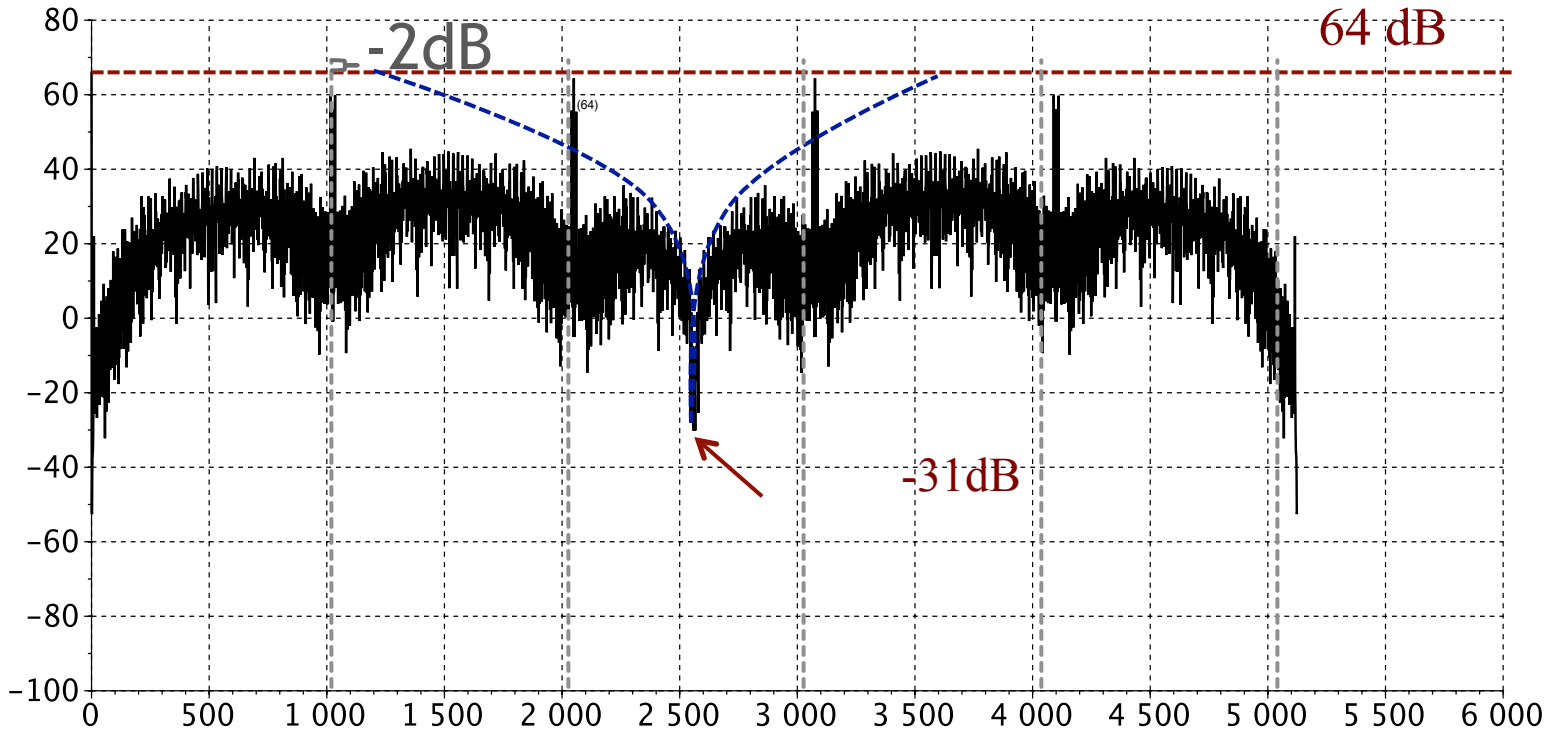




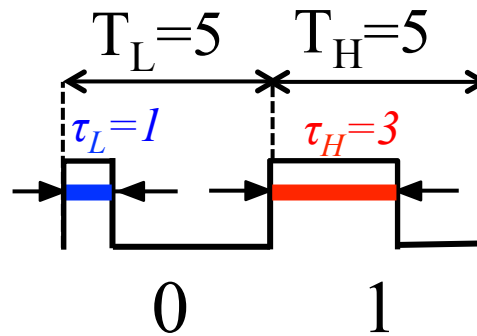
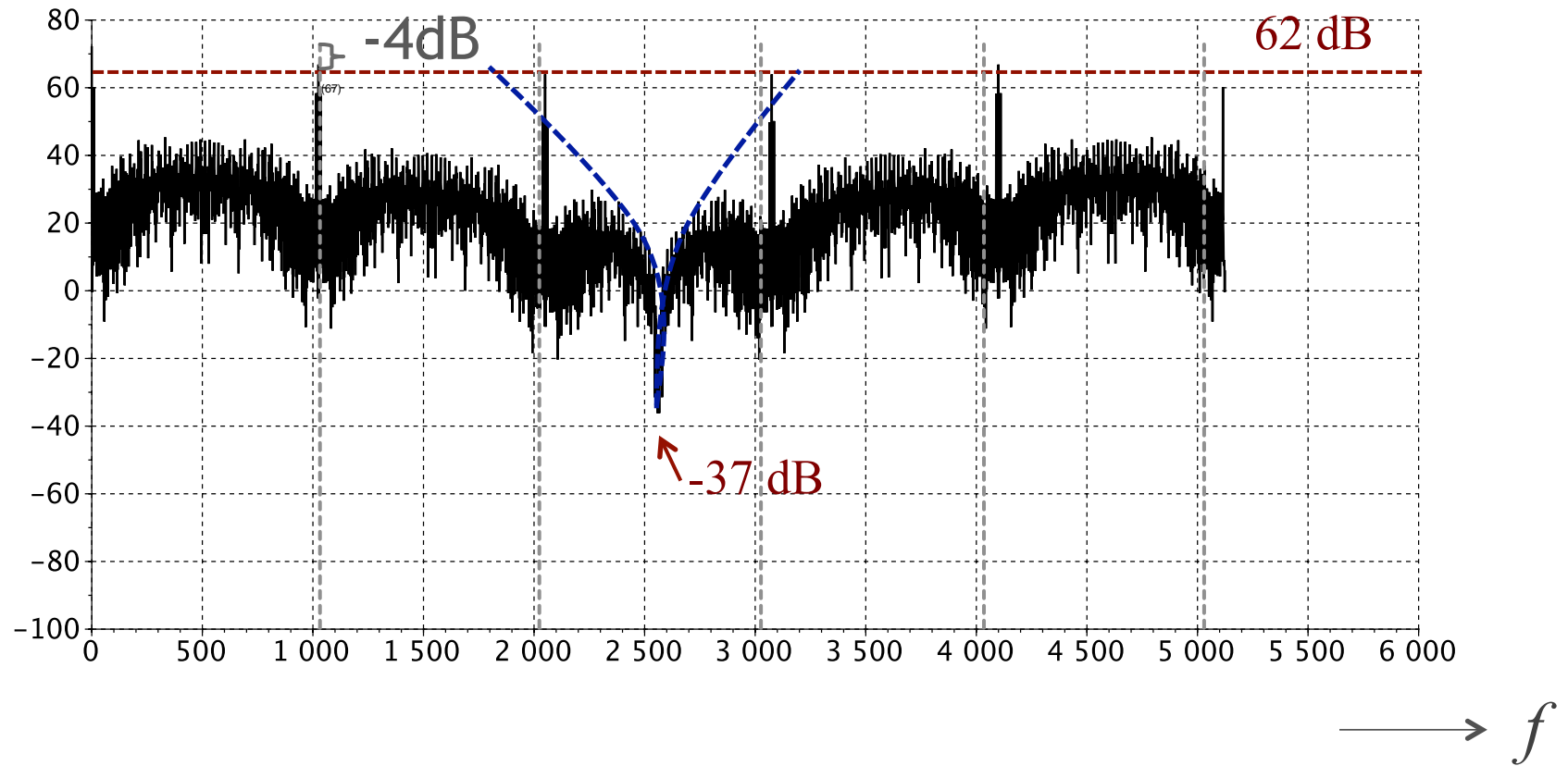
# PCMA $\Delta\Sigma$ DTC



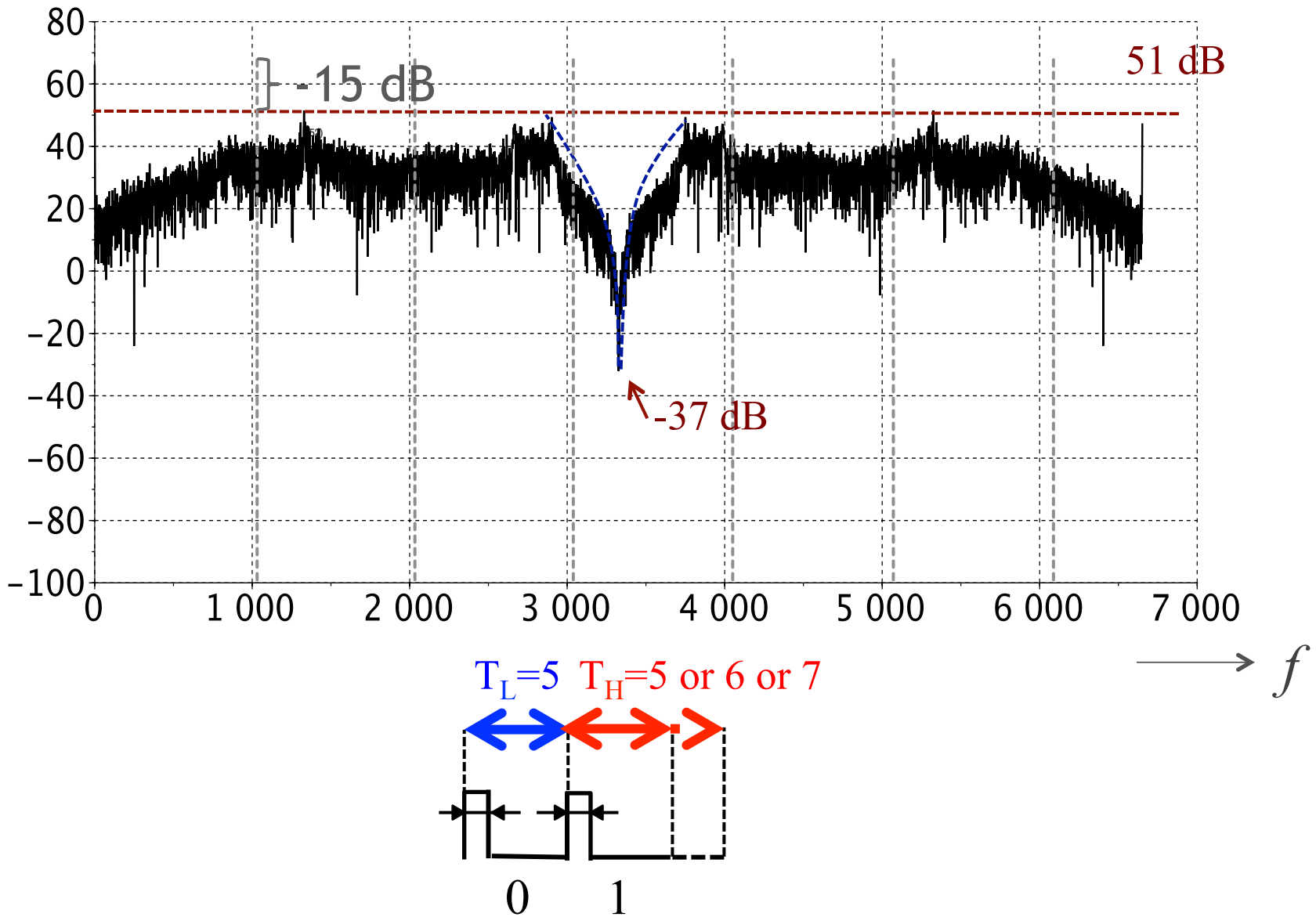
# PPMΔΣDTC



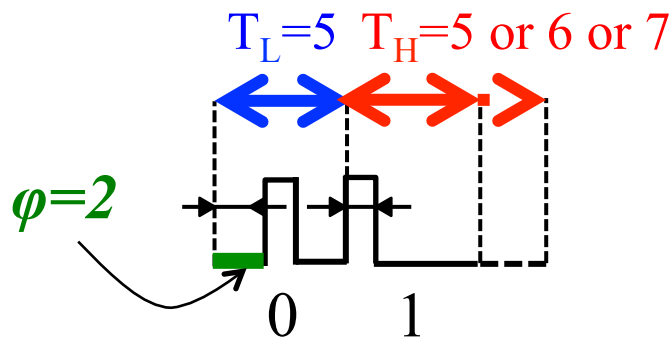
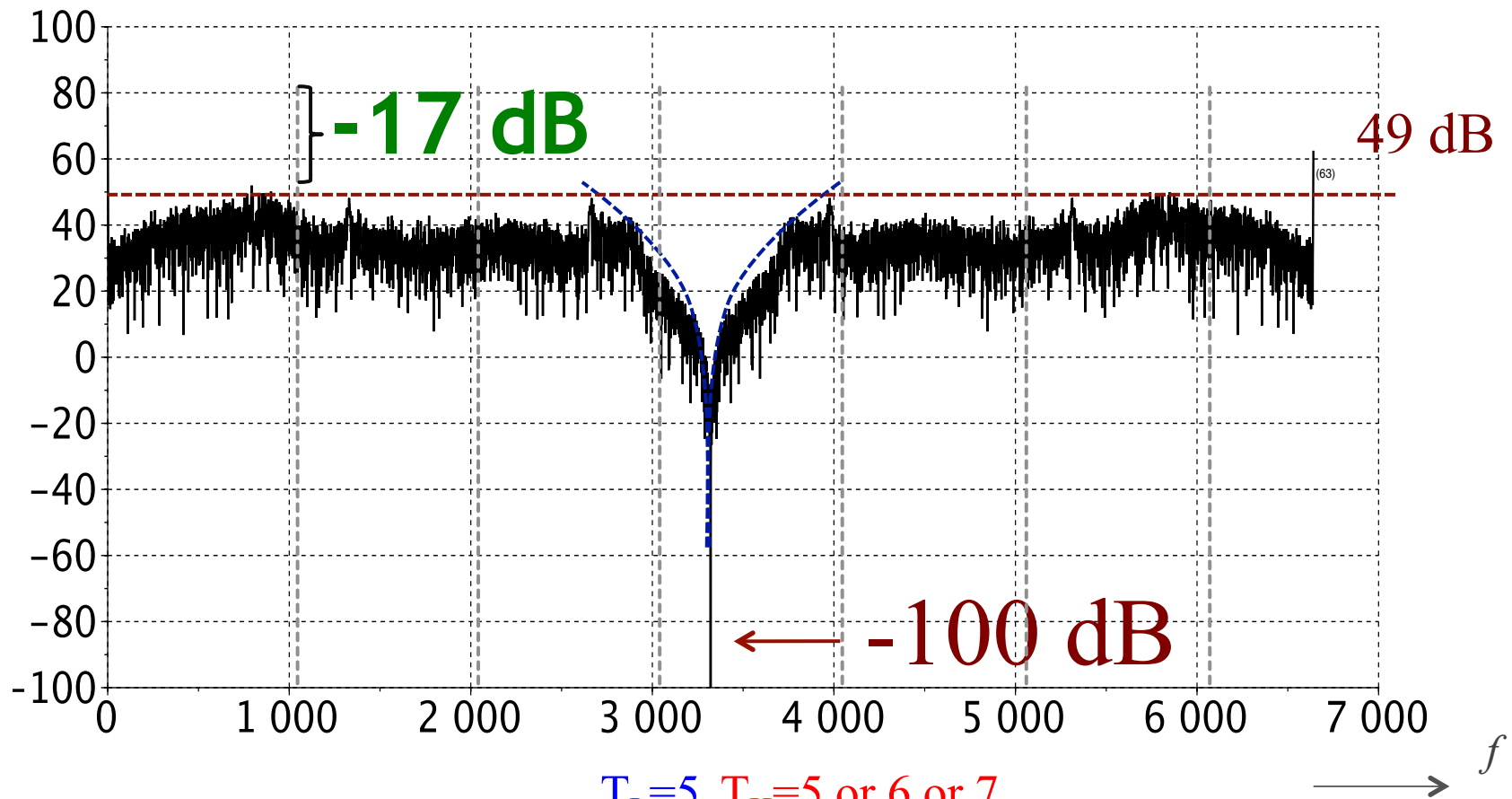
# PWM $\Delta\Sigma$ DTC



# PRJΔΣDTC



# Compound DTC: PRJWP $\Delta\Sigma$ DTC



# Outline

I. Background

II. Principle

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- v. Other Possible Algorithms

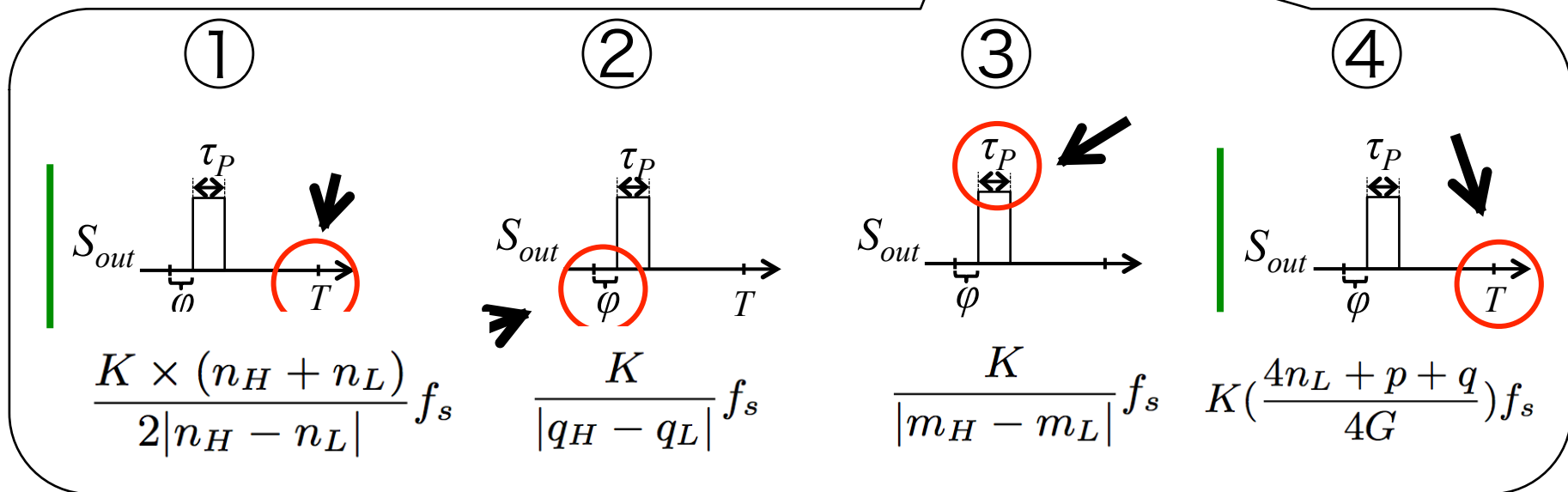
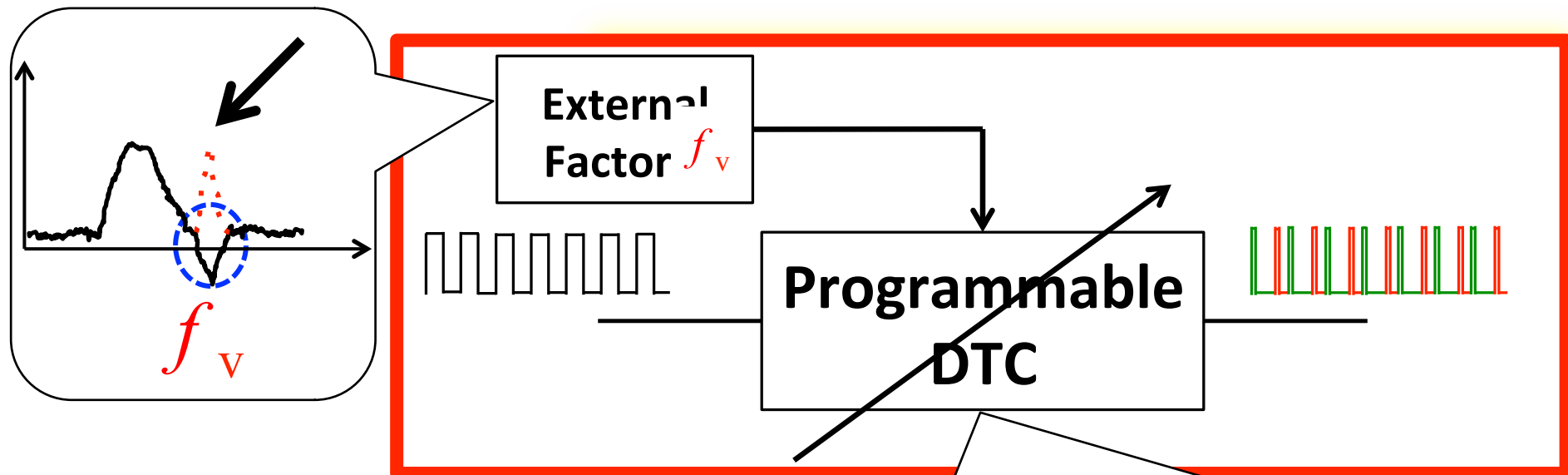
III. Analysis

IV. Result

**V. Adaptive DTC**

VI. Conclusion

# Adaptive DTC



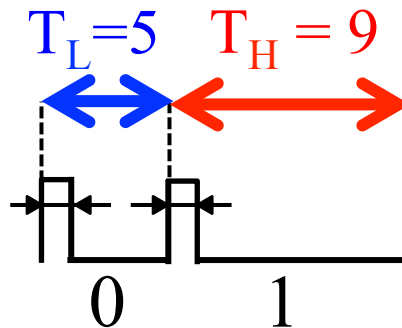
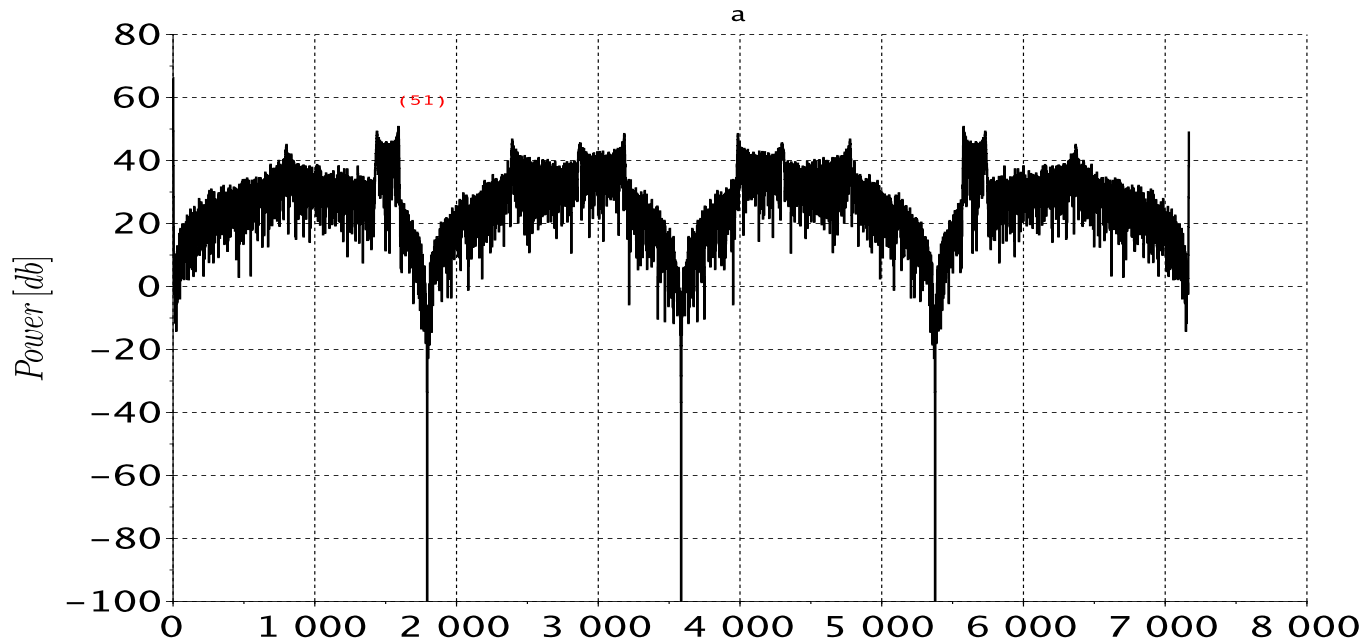
# Adaptive PCM DTC

~1800

~1320

~1280

~1004



→  $f$



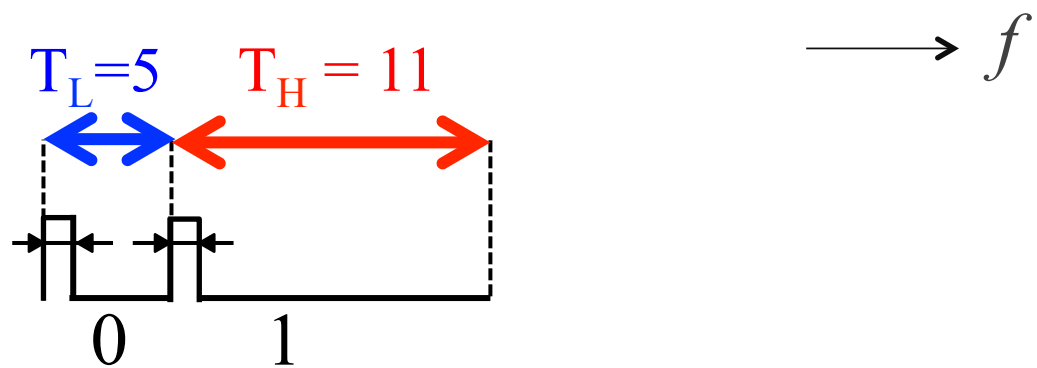
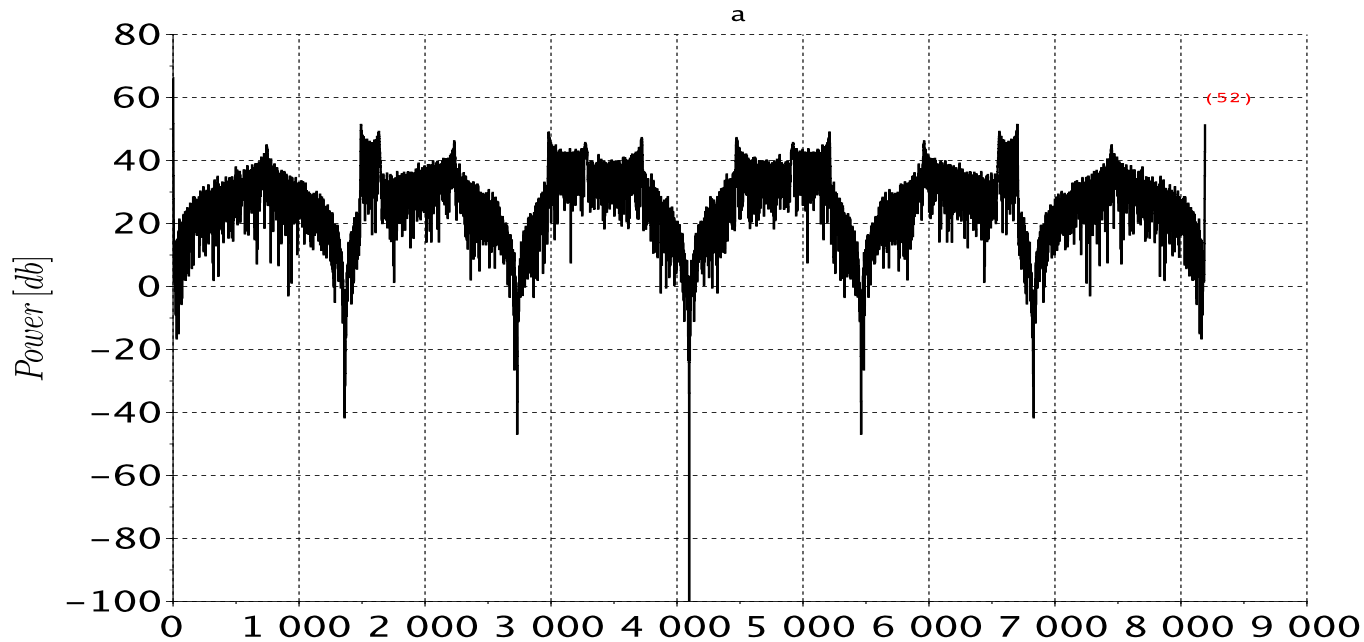
# Adaptive PCM DTC

~1800

~1320

~1280

~1004



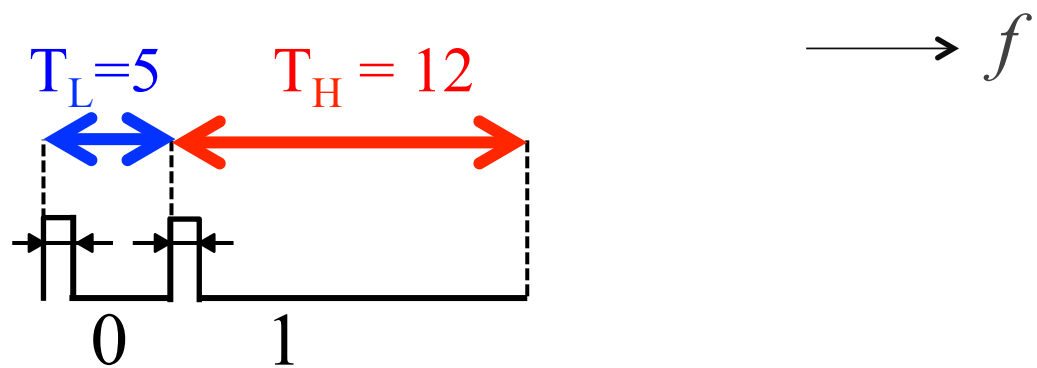
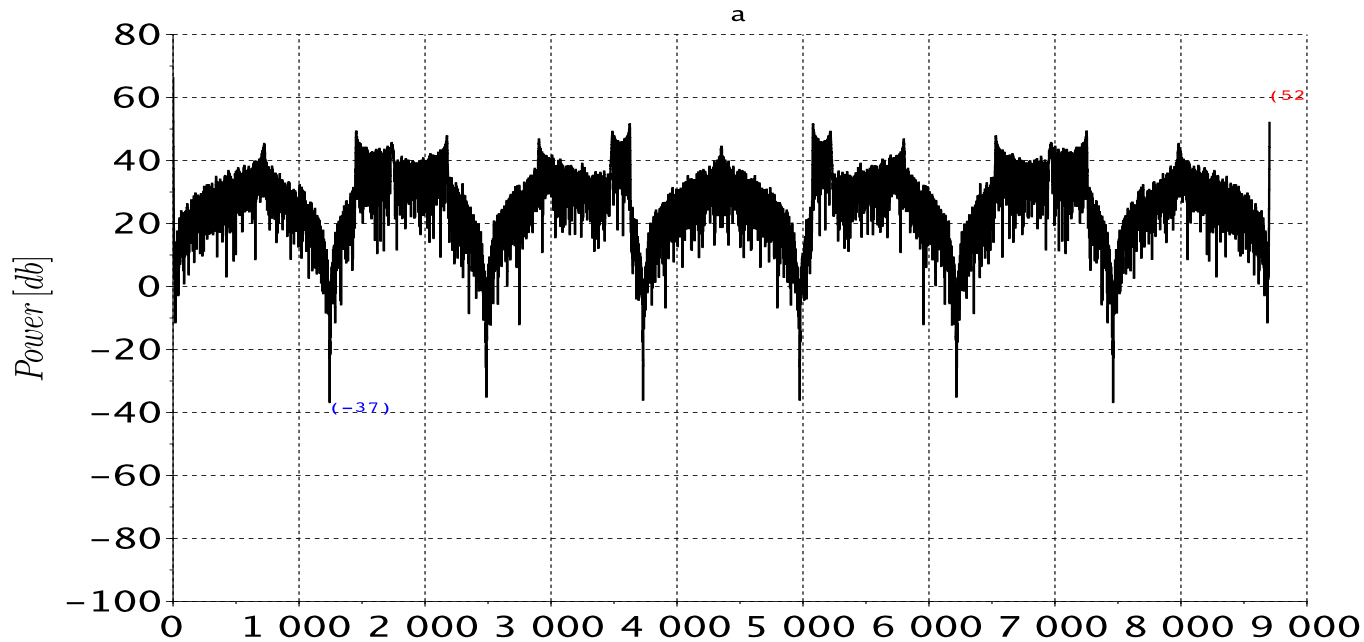
# Adaptive PCM DTC

~1800

~1320

~1280

~1004



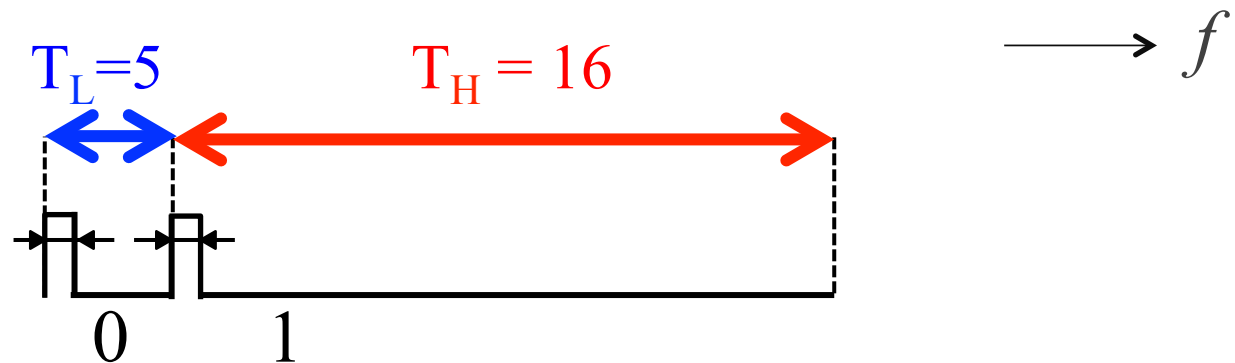
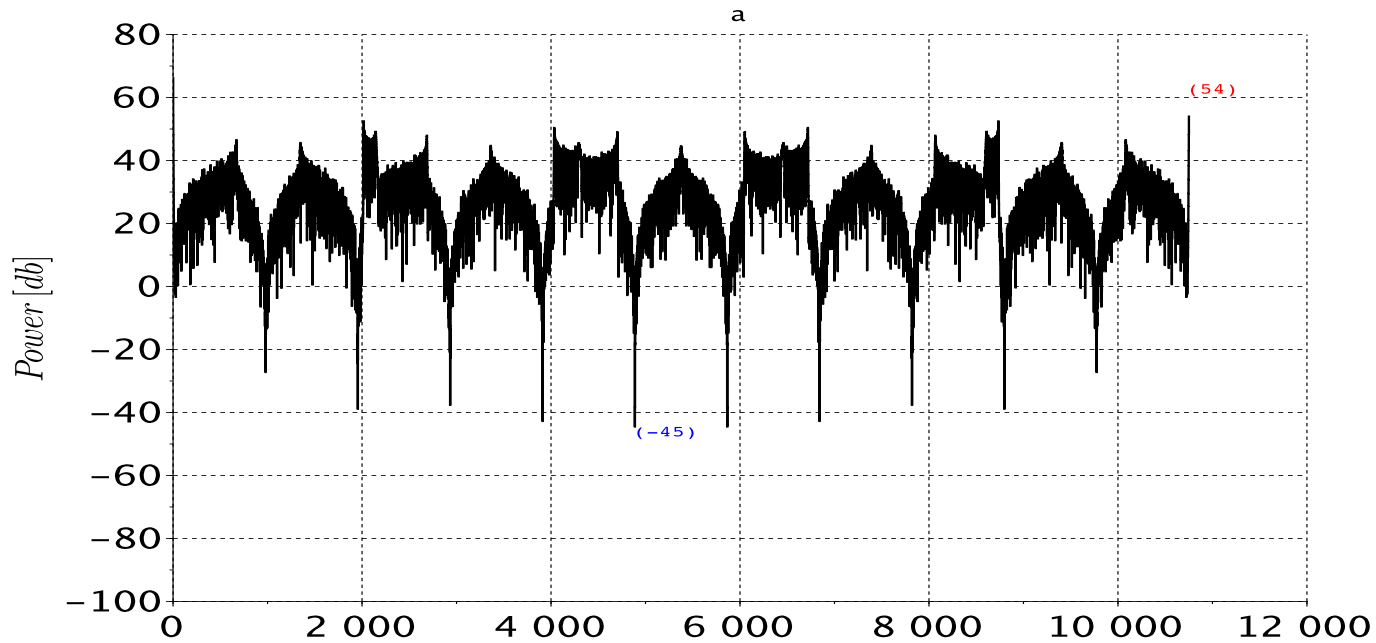
# Adaptive PCM DTC

~1800

~1320

~1280

~1004



# Outline

I. Background

II. Principle

- i. PCM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- ii. PPM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iii. PWM $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- iv. PRJ $\Delta\Sigma$ DTC Algorithm
- v. Other Possible Algorithms

III. Analysis

IV. Result

V. Adaptive DTC

**VI. Conclusion**

# Result

Low Cost

Simplicity

Accuracy

+ Completely Digital Circuit  
+ High Frequency clock

Spread Spectrum Clock Generator With  
(Adaptive) Exclusive Noise Spectrum

**The End** 小林先生ありがとうございました

ご清聴有り難う御座います

Cảm ơn bạn rất nhiều

非常感谢

Thank You Very Much

خیلی ممنون

Muchas gracias

Большое спасибо

Vielen Danken

# 付録・FAQ-1

**Q1.**“本手法はどれくらいのパルスのジッタを耐えられますか？”

**A1.**決めたパルスの半周期より小さければ問題がないと思いますが、調べていないので答えが正しくないかも知れません。調べておきます。

**Q2.**“結論で定格、単純、高精度でいっているのですが、従来のSSCGと比べていないのになぜそういうのですか？”

**A2.**低価格、単純、高精度の特性は、比較的な性質としていって  
る訳ではありません。本回路自体の構造をご覧になるとその結  
論になります。

でも御コメントありがとうございます。

今度従来のSSCGの比較的な性質の加えることも検討させていただきます。

# 付録・FAQ-2

## ■ 2月27日 群馬大学 卒論発表

Q.他の用途は？

A.スイッチング方式電源回路にも検討中

Q.PCMとPPMを比べばどちらのノイズ拡散が良かったですか？

A.用途によります。PCMはノイズのピークをよく削減しましたが他の領域のノイズをそれほど抑えられなかった。それに対し、PPMはノイズをそれほどをピークを削減されていないのですが、全体のノイズパワーを抑えている。

Q.積分器を増やしてもあんまりノイズ拡散効果がないですか？

A.いいえ、全領域ノイズを抑えたので、用途によって考えないと

## ■ 2月28日 宇都宮電気学会

Q. $\Delta\Sigma$ DTC、もしかするとフラクショナルPPMとにっている。0と1に対応するパルスで0を時々マスキングすることで1を作る。

(質問ではなかったのに答えなかったのですが、確かに似ているところがあるのですが、やっていることが明らかに違えんだと思いました。)



# 付録・FAQ-3

■クロックの周期を変えたら、そのクロックで動作している回路が不動作しないですか？例えば $\Delta\Sigma$ PCMDTCの場合クロックの周期を変えるのですがそのクロックの周期でなにかをしているアルゴリズムはどうなるのですか？

●説明（その1）：

提案した手法は、クロックの立ち上がりや立ち下がりの瞬間に敏感な回路（スイッチングデジタル回路など）には使えられません！

$\Delta\Sigma$ DTCでのSSCGのクロック信号はクロック信号をアナログ回路で取り扱うためのクロック信号です。

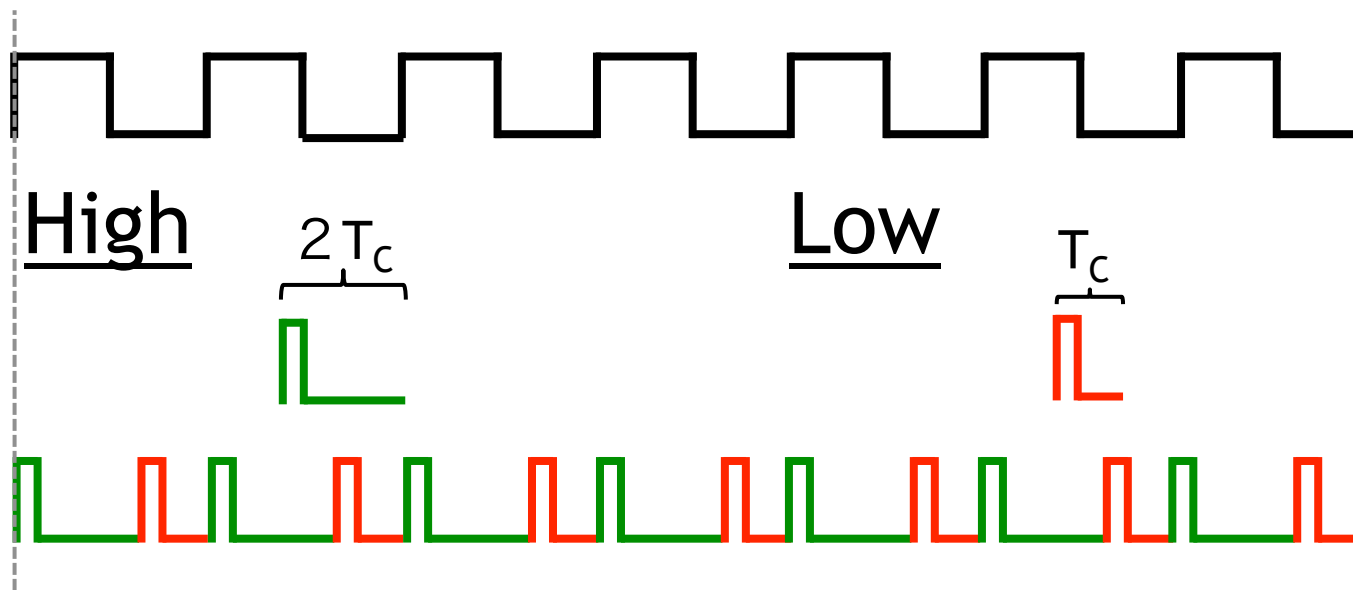
# 付録・FAQ-4

## ●説明（その2）：

用途回路のために $\Delta\Sigma$ DTCから出力されるクロック信号の平均長さが最終的に元クロックの長さと同じになります。

ようするに、 $\Delta\Sigma$ DTCから出力される信号のHighとLowの周期が違ってても（クロック信号のHighとLowの数が同じですので） $\Delta\Sigma$ DTCから出力される信号の平均周期が元クロックの周期と同じになるように設計します。

## Ex.



$$F = f.$$
$$T = 1/f.$$

$$T_c = 1/3f.$$

*3f*をBufferなど  
によって実現

# 付録・FAQ-5

■周波数領域(スペクトラムパワー)を見ると、やっぱりノイズが抑えられて、EMIリミットを超えてないように見えるけれど、一番最初のパルスが現れる時点（変調する前）に、もうノイズが生じてしまうから、パワースペクトラムでパワーを表示することでごまかをして生じているノイズを隠しているのじゃないですか？

●説明：

定義によってパワースペクトラムは信号のパワーを時間で平均化した値を表示します。

一番最初に回路がある周波数を持つパルスを出力したとしてもそのパルスの周波数帯域での信号力（ノイズ）が（定義によって）非常に小さく、周波数帯域で問題にはなりません。そのために国の機関などもデバイスが他のデバイスに悪影響を与えられかを検証するとき、パワースペクトラム参照します。