

バンドパス $\Delta \Sigma$ AD変調器への FIR DAC適用の検討

Nengvang Lengkhong*, 魏 江林,

片山 翔吾, 沙 磊, 桑名 杏奈(群馬大学)

永沼 和文, 篠井 潔, 斉藤 潤一(アルプスアルパイン(株))

小林 春夫(群馬大学)

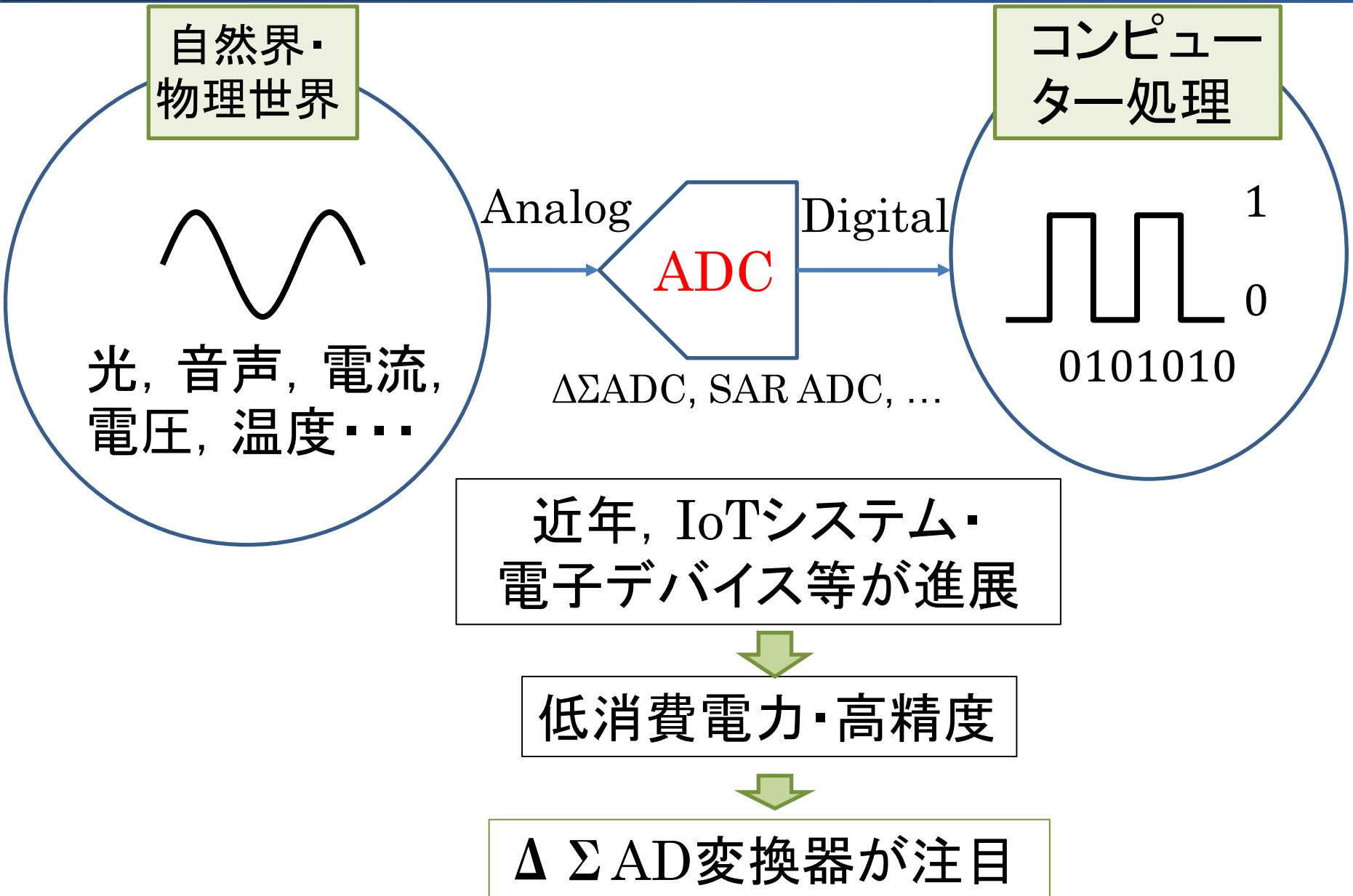
目次

- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる性能比較
- まとめと今後の課題

発表内容

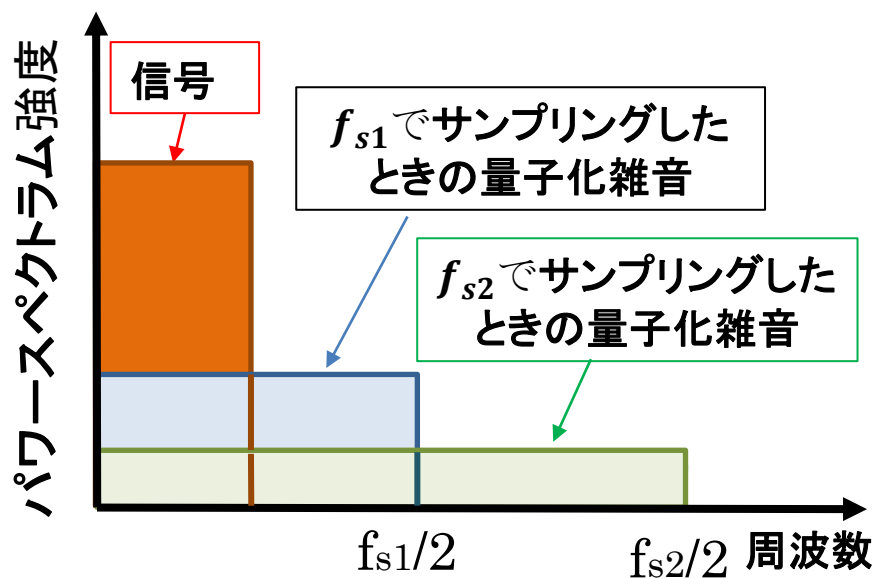
- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる性能比較
- まとめと今後の課題

研究背景

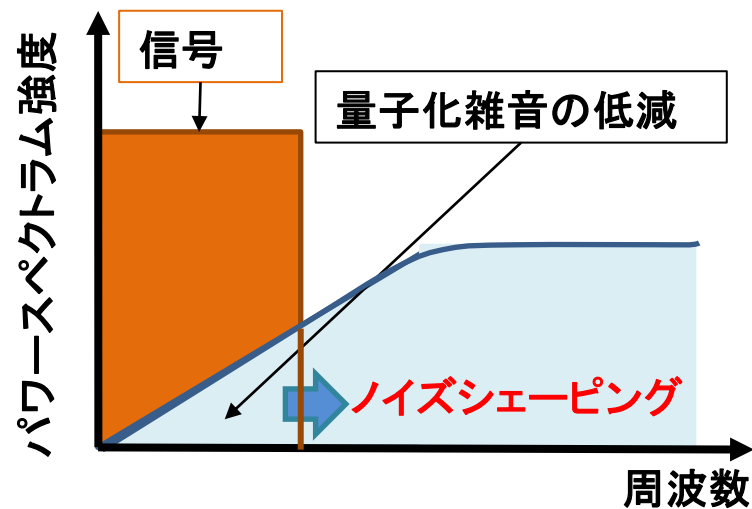


研究背景 なぜ $\Delta \Sigma$ AD変換器

- ✓ 回路規模が小さい
- ✓ 低消費電力
- ✓ 高分解能・高精度・広ダイナミックレンジ



オーバーサンプリング



ノイズシェーピング

研究目的

目的: 3次バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器に
FIR DACの適用を検討する。



- AD変換の精度向上
- 広信号帯域

応用分野:

センサインタフェース応用

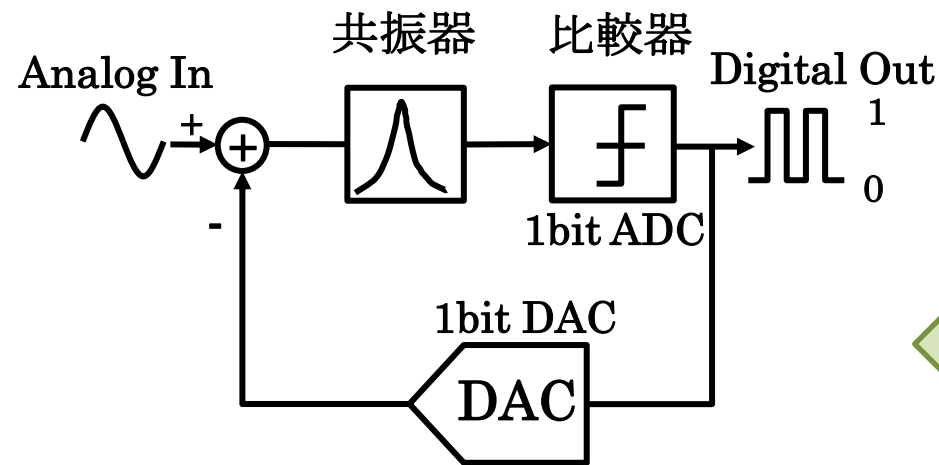
FIR DAC特徴:

原理的に線形

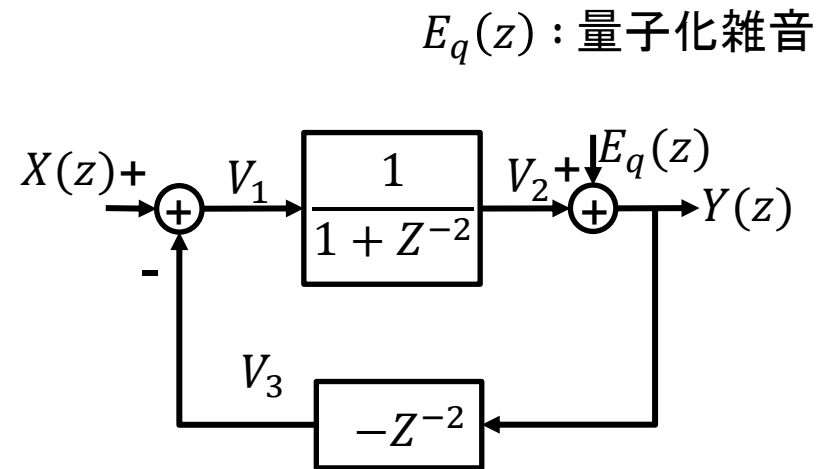
発表内容

- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる性能比較
- まとめと今後の課題

1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器



1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器の構成



1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器のZ領域伝達関数

伝達関数は

$$\begin{aligned} \therefore Y(z) &= X(z) + (1 + z^{-2})E_q(z) \\ &= STF \cdot X(z) + NTF \cdot E_q(z) \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

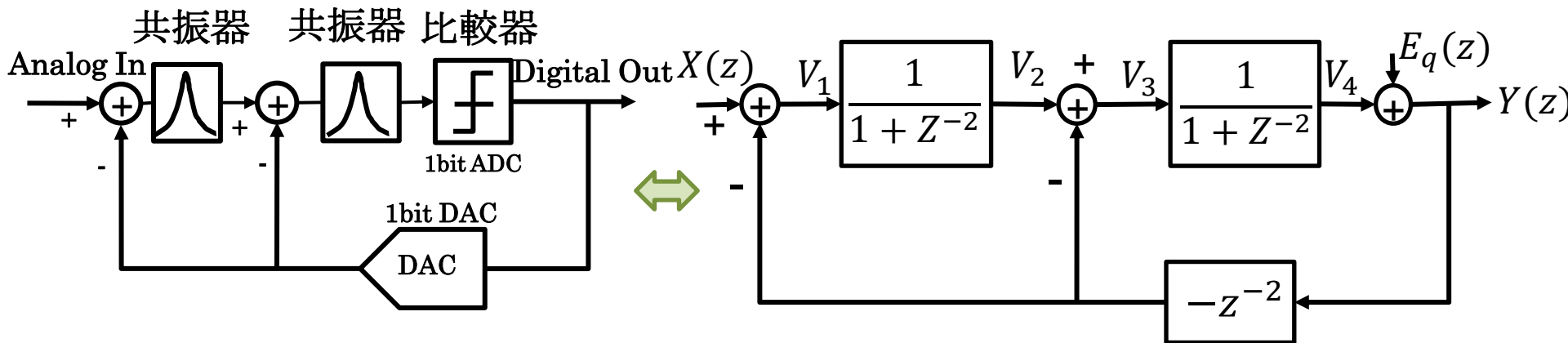
□ 信号伝達関数 : *Signal Transfer Funtion*

$$STF = 1$$

□ 雑音伝達関数: *Noise Transfer Funtion*

$$NTF = 1 + z^{-2} : \text{1次ノイズシェーピング}$$

2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器



2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器の構成

2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器のZ領域伝達関数

伝達関数:

$$\therefore Y(z) = X(z) + (1 + z^{-2})^2 \cdot E_q(z) \dots \dots \dots (2)$$

□ 信号伝達関数: Signal Transfer Function

$$STF = 1$$

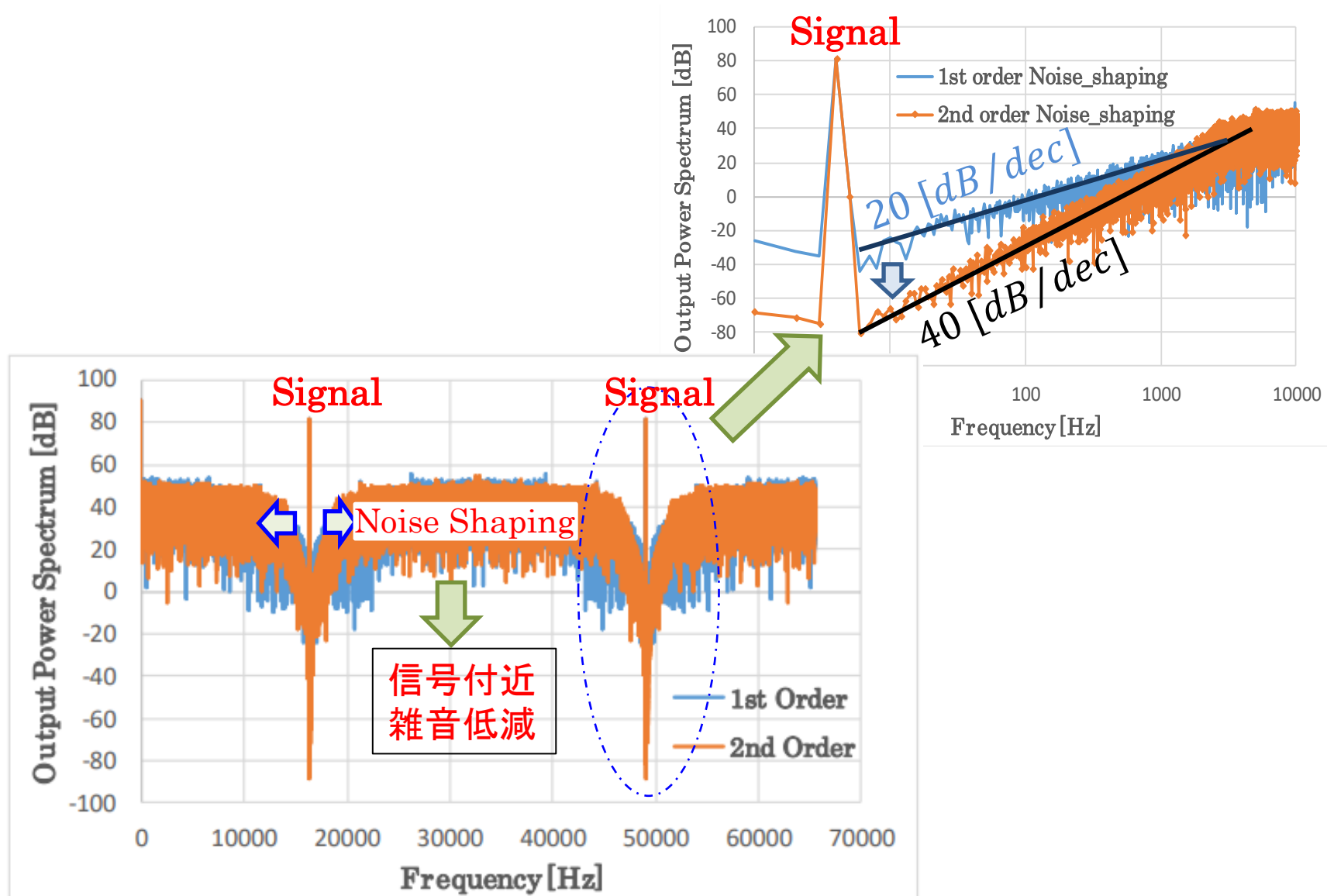
□ 雑音伝達関数: Noise Transfer Function

$$NTF = (1 + z^{-2})^2 : \text{2次ノイズシェーピング}$$

発表内容

- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる両者の性能比較
- まとめと今後の課題

1次, 2次 $\Delta\Sigma$ AD変調器ノイズシェーピング比較



1次, 2次出力パワースペクトラム

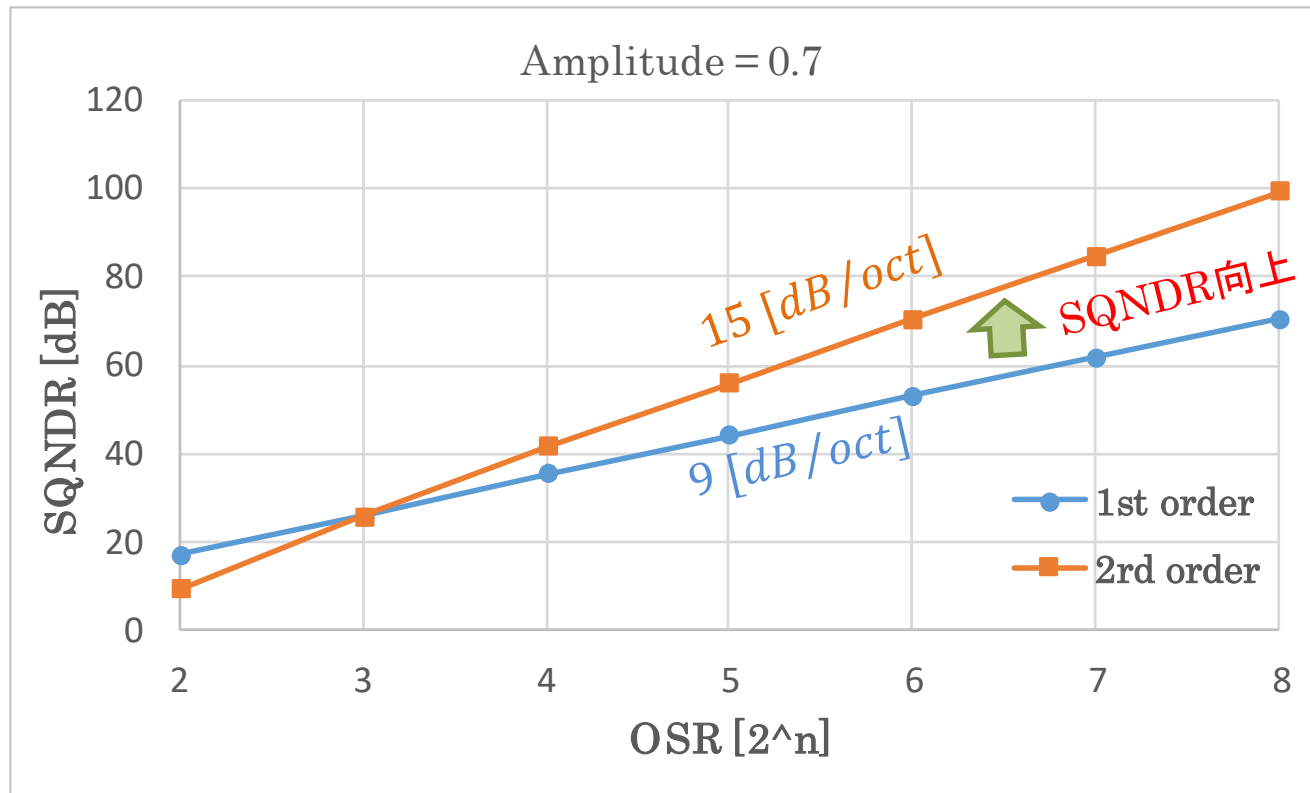
OSR-SQNR特性

- Over Sampling Rate(OSR):

$$OSR = \frac{f_s}{2 \cdot BW}, \quad BW: \text{信号帯域}$$

- Signal to [Quantization Noise + Distortion] Ratio (SQNR):

$$SQNR = 20 \cdot \log \frac{\text{Signal Power}}{\sum [\text{Noise} + \text{Distortion}] \text{ Power}}$$

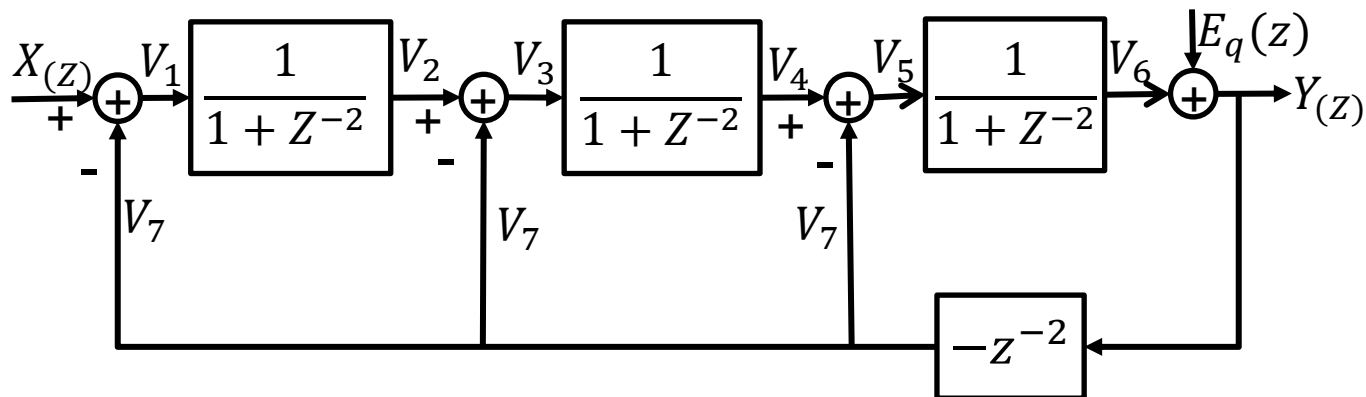
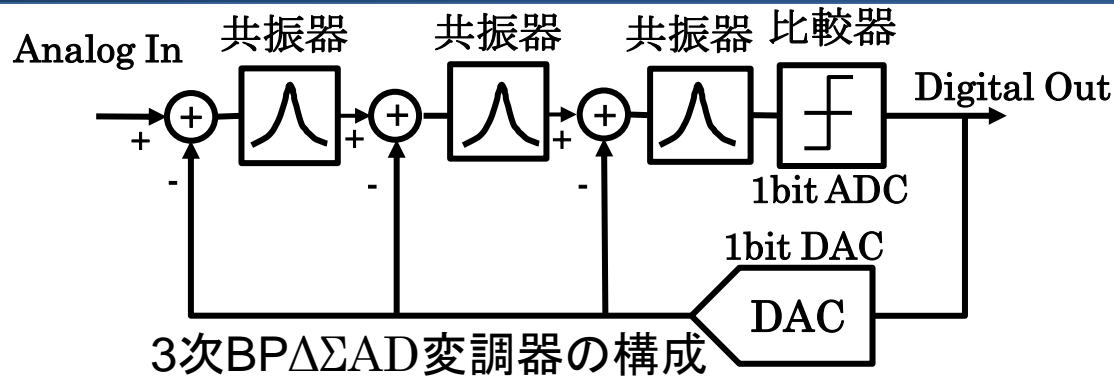


OSR-SQNR特性

発表内容

- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- **3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器**
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる両者の性能比較
- まとめと今後の課題

3次バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器



伝達関数:

$$\therefore Y(z) = X(z) + (1 + z^{-2})^3 E_q(z) \dots \dots \dots (3)$$

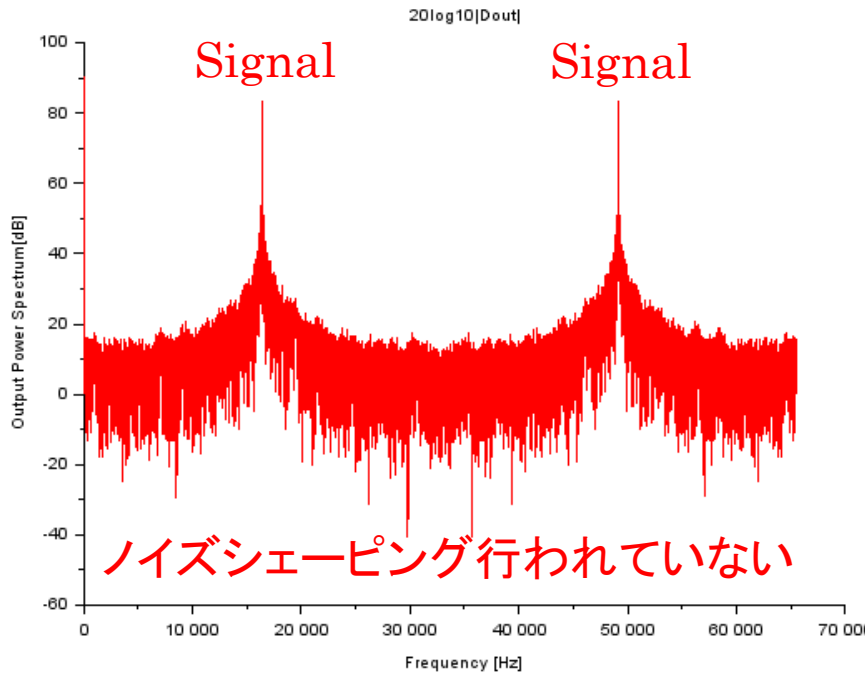
□ 信号伝達関数: Signal Transfer Function

$$STF = 1$$

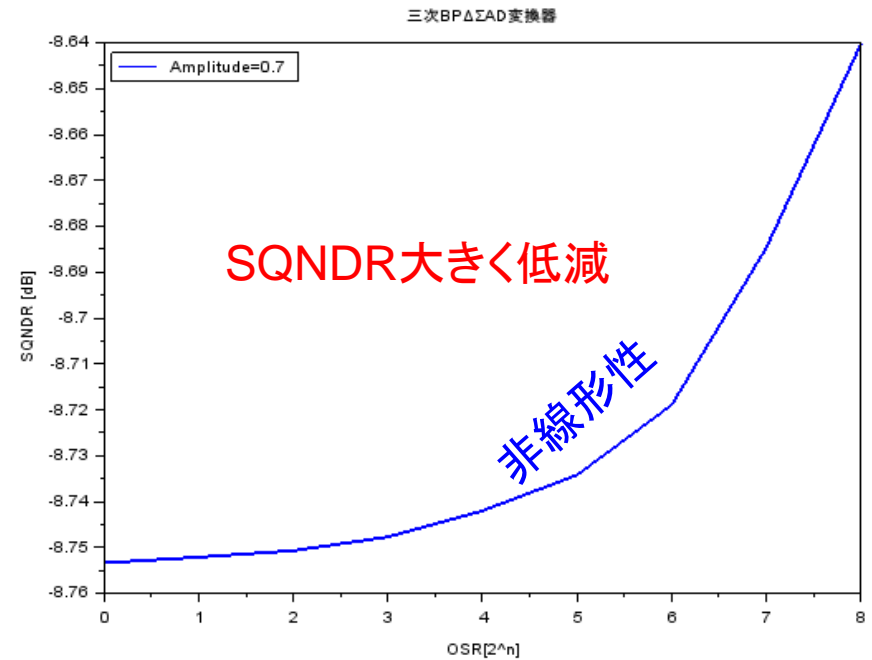
□ 雑音伝達関数: Noise Transfer Function

$$NTF = (1 + z^{-2})^3 : \text{3次ノイズシェーピング}$$

シミュレーション結果



出力パワースペクトラム



OSR-SQNDR特性

変調器が不安定なシミュレーション結果

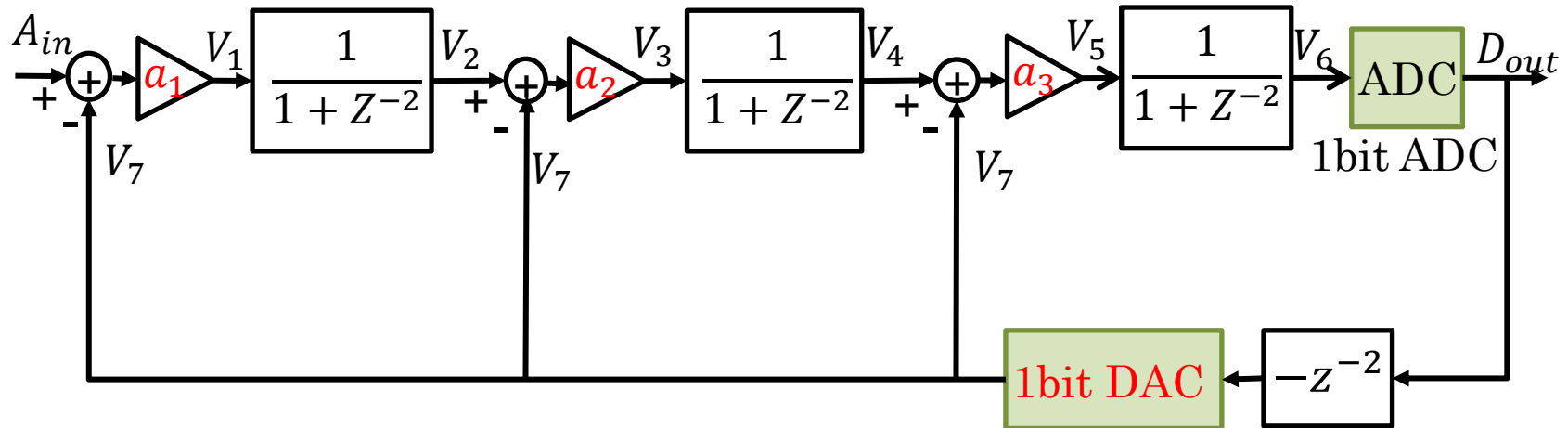
発表内容

- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる両者の性能比較
- まとめと今後の課題

3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器1bit DAC

安定化の方法:

各共振器の前に1より小さいゲイン係数で調整



安定化するためのシミュレーションより求めた係数

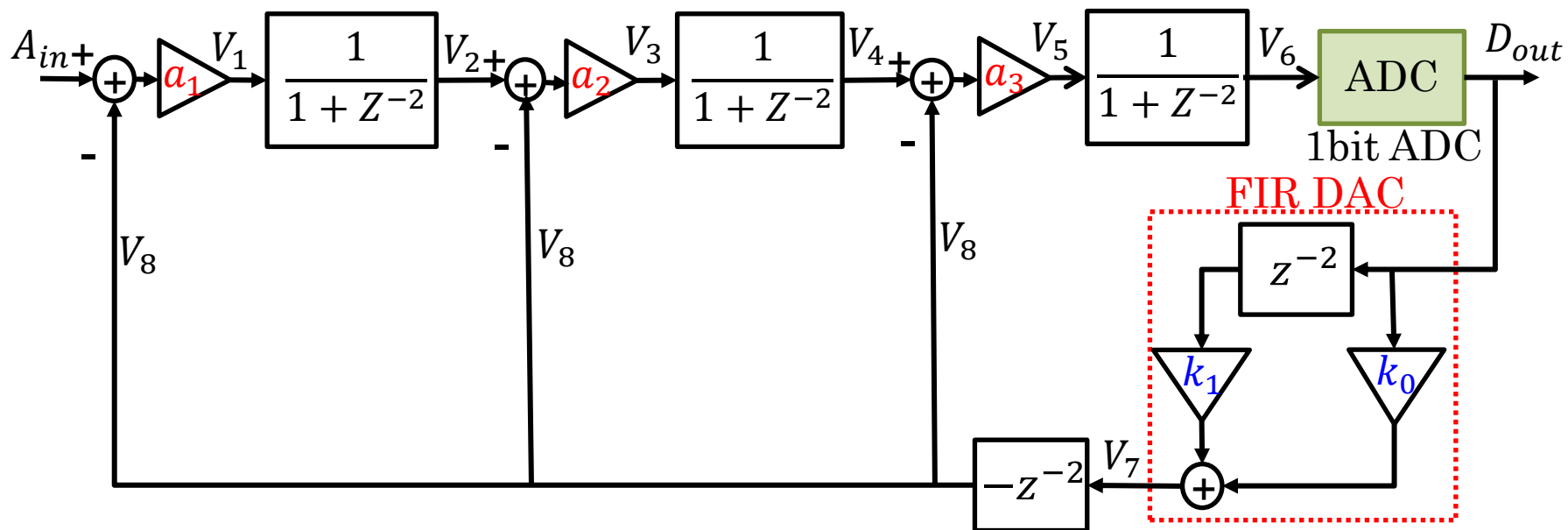
係数	1bit DAC
a_1	0.25
a_2	0.40
a_3	5.00

内部ADCは1bitであるため、 a_3 は正の値であれば、影響なし

発表内容

- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる両者の性能比較
- まとめと今後の課題

3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器FIR DAC



安定化するためのシミュレーションで求めた係数

検討FIR DACの式は次に定義

$$v_7(n) = k_0 D_{out}(n) + k_1 D_{out}(n-2) \dots (4)$$

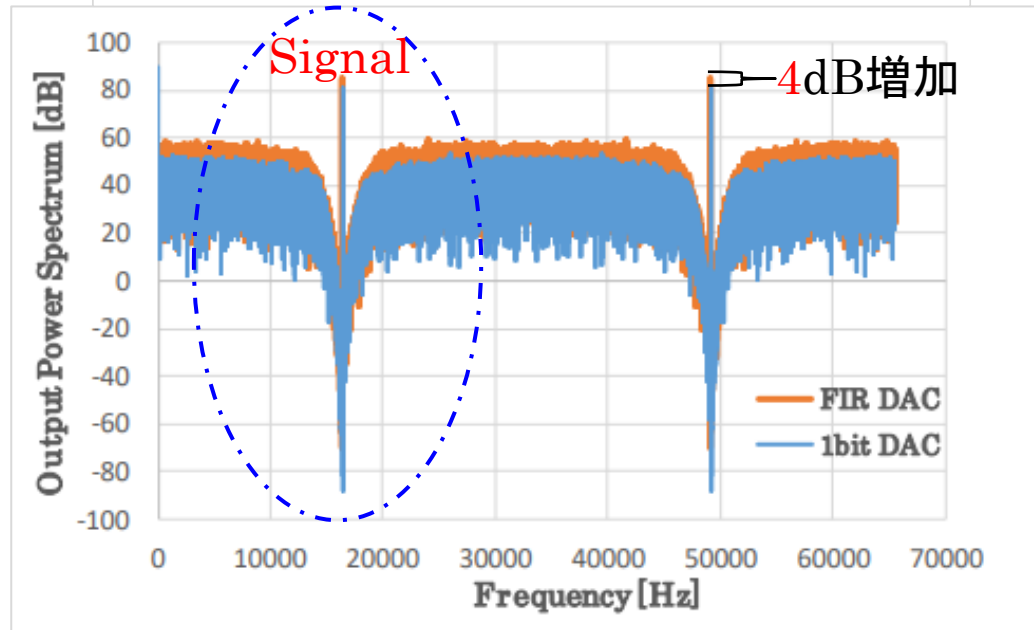
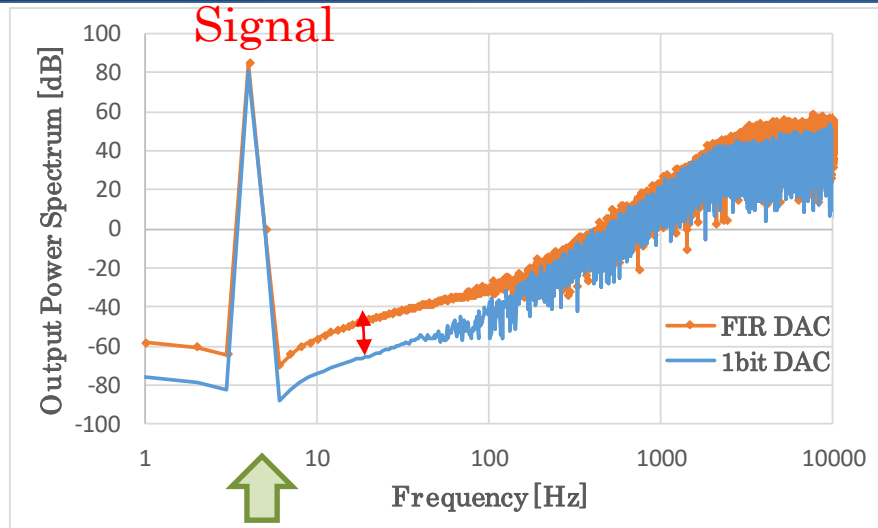
提案FIR DACは2ビット分解能。
よって、安定性に寄与できる。

係数	FIR DAC
a_1	0.30
a_2	0.45
a_3	5.00
k_0	1.20
k_1	-0.10

発表内容

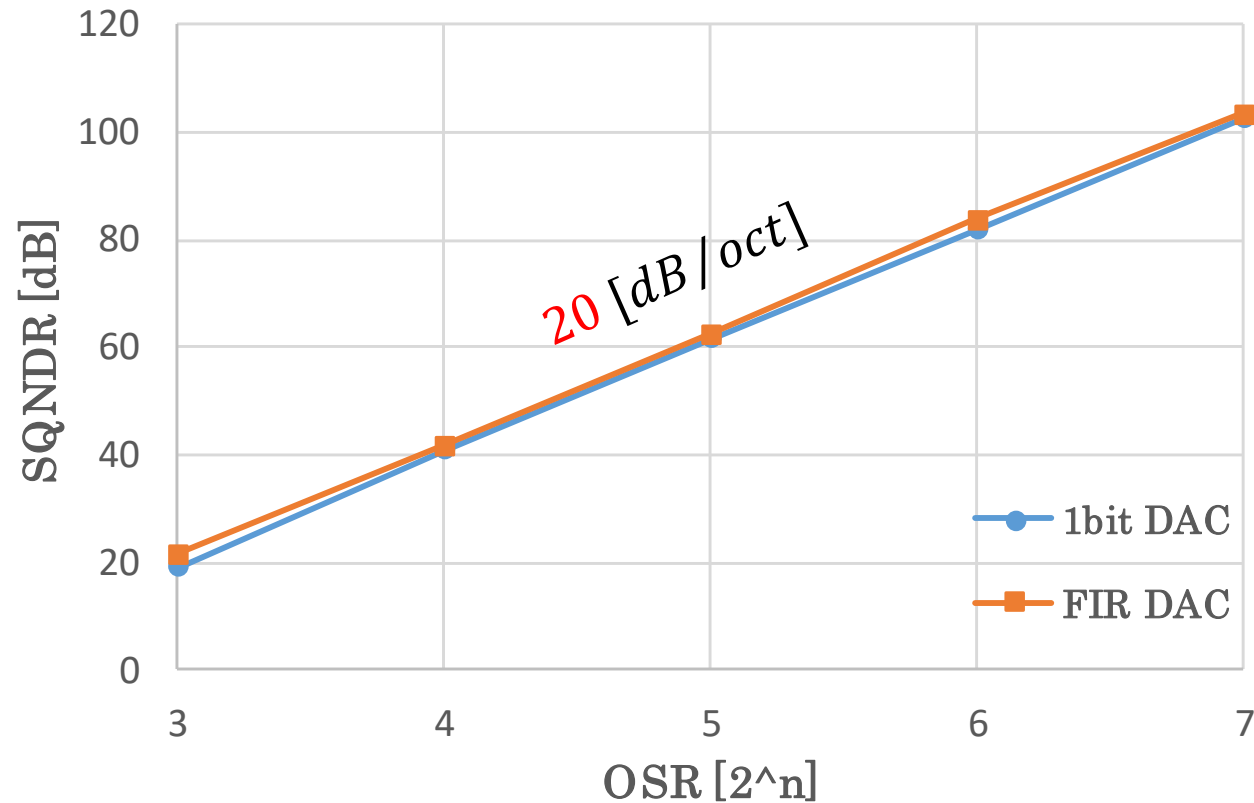
- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる性能比較
- まとめと今後の課題

出力パワースペクトラム



出力パワースペクトラム

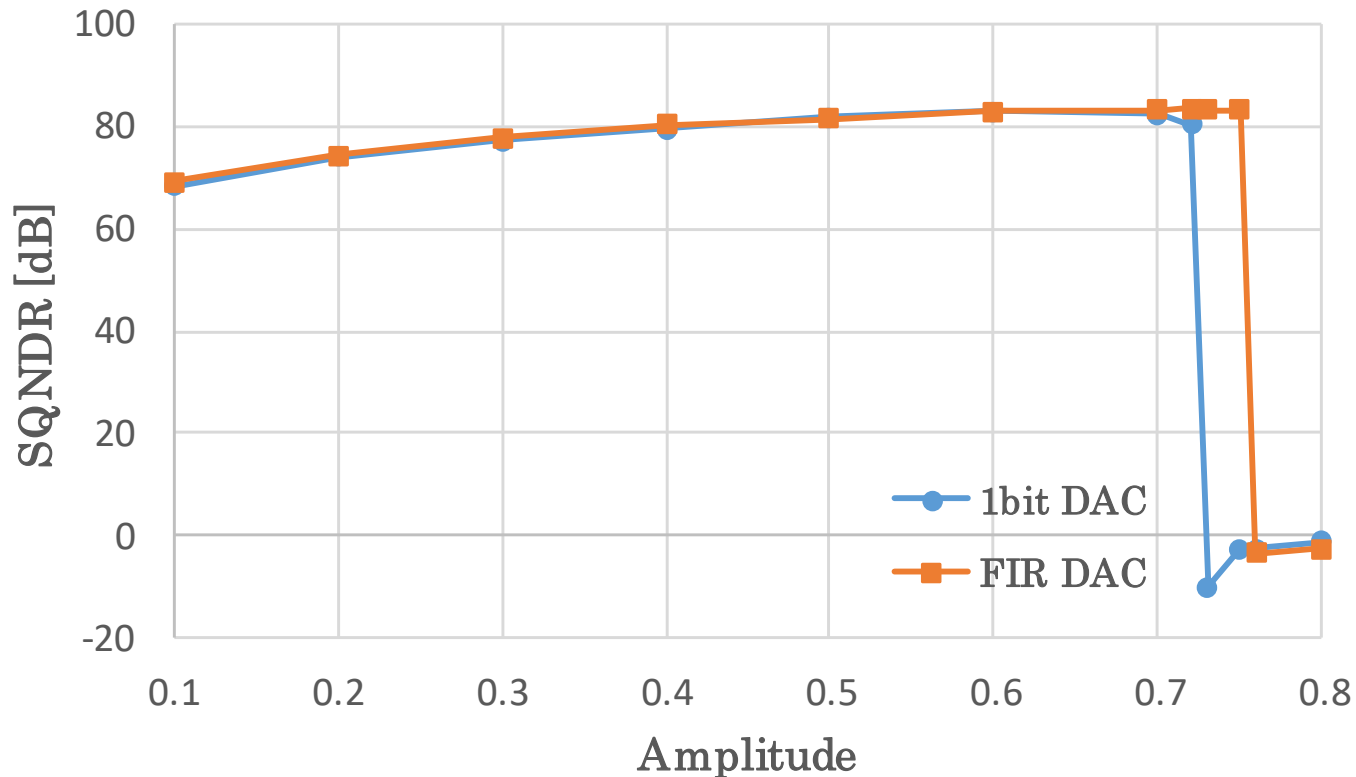
OSR-SQNDR特性比較



振幅 $A=0.7$ の時の、OSR-SQNDR特性

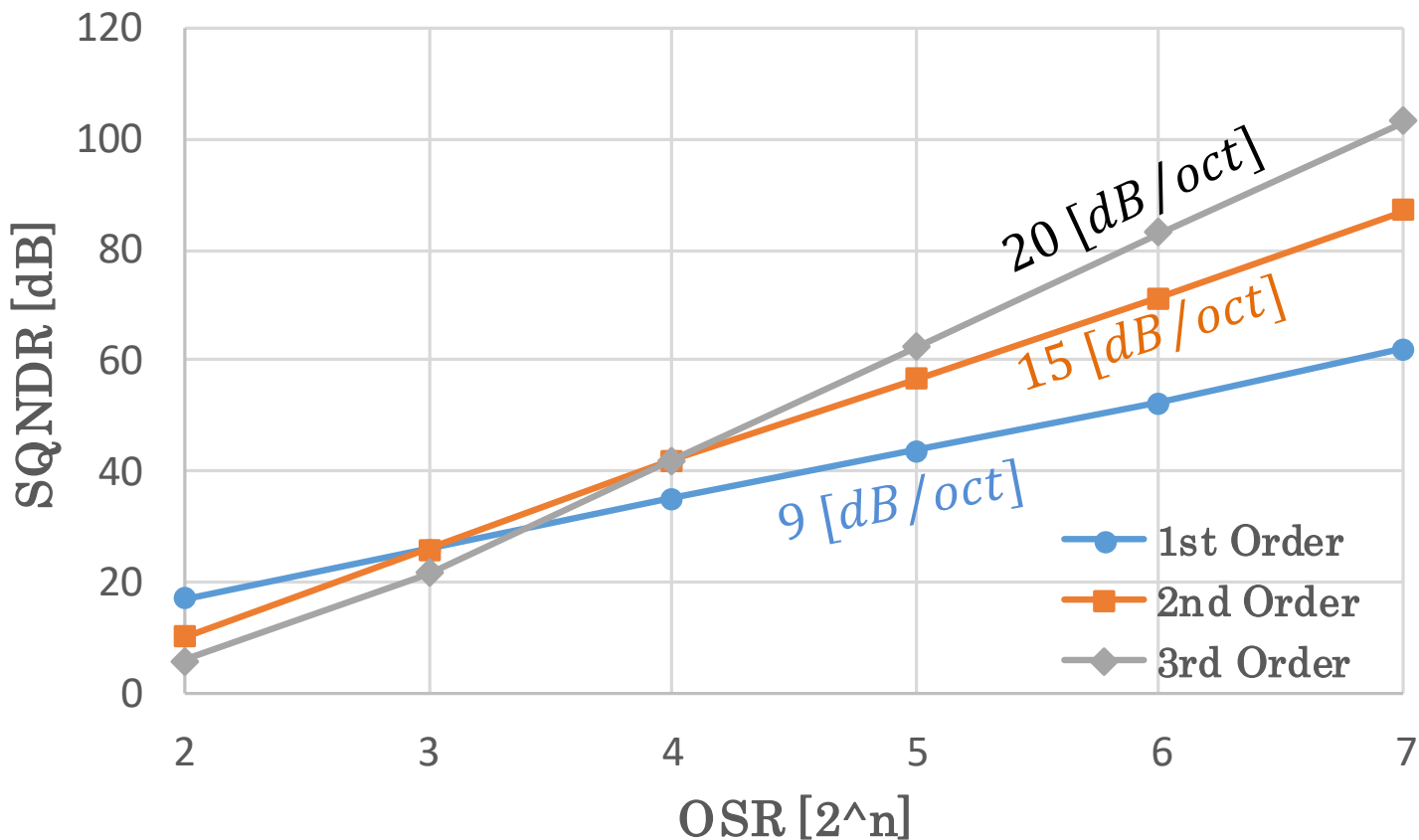
各振幅に対するSQNDR特性

OSR=2⁶の時、入力正弦波の振幅を0.1～限界まで変化させた時のSQNDR特性図



入力正弦波の各振幅におけるSQNDR特性

1次, 2次, 3次BP $\Delta \Sigma$ AD変調器のOSR-SNR特性



検討FIR DACを用いた時の, 1次, 2次, 3次 $\Delta \Sigma$ AD変調器のOSR-SQNDR特性

発表内容

- 研究背景及び目的
- 1次, 2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・2次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる動作確認
- 3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・1bit DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・検討FIR DACを用いた3次BP $\Delta\Sigma$ AD変調器
 - ・シミュレーションによる両者の性能比較
- まとめと今後の課題

まとめ

- ✓ 3次BP Δ Σ AD変調器にFIR DAC使用 シミュレーション検討した。
- ✓ 1bit DAC使用時より安定性が良好
 - ➡ 利得スケーリング係数を少し大きくできる。

係数	1 bit DAC	FIR DAC
a_1	0.20	0.30
a_2	0.40	0.45
a_3	5.00	5.00
k_0		1.20
k_1		-0.10

- ✓ FIR DAC使用時のSQNDRは1bit DACより同等以上
 - ➡ シミュレーションで検証した。

今後の課題

➤ SQNDR向上のための

FIR DACの最適な次数と係数を見出す

$$v_7(n) = k_0 D_{out}(n) + k_1 D_{out}(n - 2) + \dots$$

➤ 連続時間 $\Delta\Sigma$ AD変調器への適用検討

➡ 低消費電力化・クロックジッタ影響の低減化

Q & A

1. シミュレーションは何を使った？

Scilabというソフトを用いた.

2. 係数 a_1, a_2, a_3 はどのように決めた？

手動で設定して, 係数をいろいろな値を変えながら, シミュレーションを行った. その中から最も良いSQNDRを見つけ出す.

3. 3次 $\Delta\Sigma$ AD変調器が不安定になったら、どうなる？

不安定になると, 信号近傍はノイズシェーピングを行わず, SQNDRが大きく低減する. その結果, OSR-SQNDR特性は非線形性になる.

不安定になる理由としては, アナログ入力がゆっくりと増加することにつれて, 量子化器(積分器)が飽和する点がある.