

複素バンドパス **$\Delta\Sigma$ AD**変調器用
マルチビット**DAC**非線形性の
ノイズ・シェープ・アルゴリズム

群馬大学 電気電子工学科

傘 昊 小林 春夫 川上 慎也 黒岩 伸幸

Sponsored By STARC

目次

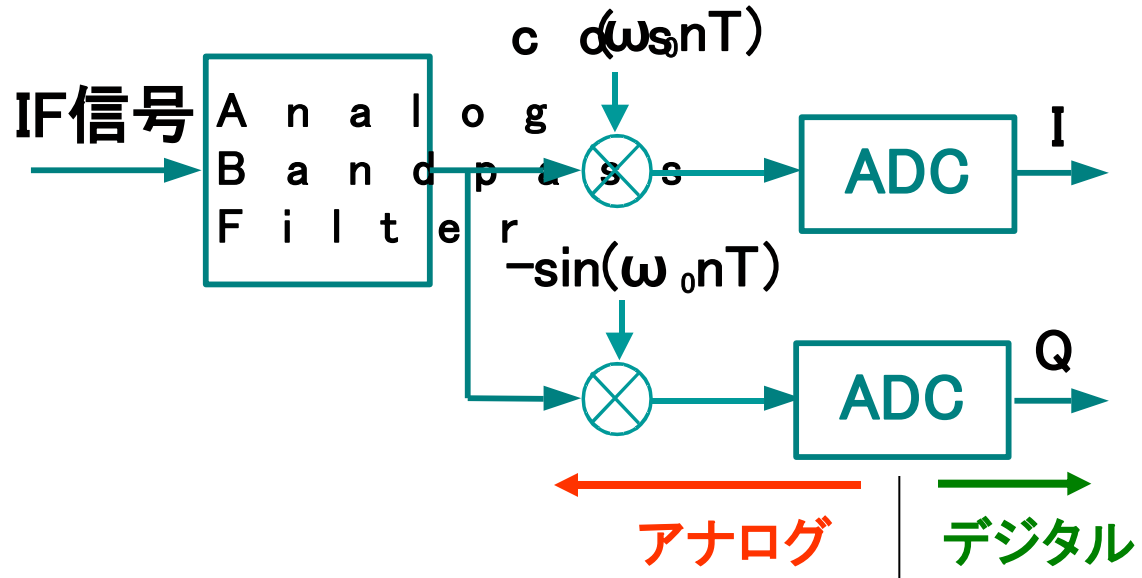
- 📁 バンドパス $\Delta \Sigma$ AD変調器
- 📁 マルチビットDAC非線形性
- 📁 ノイズ・シェープ・アルゴリズム
- 📁 複素BP変調器用ノイズ・シェープ・アルゴリズム
 - 複素バンドパス・ノイズ・シェープの構成案
 - 複素バンドパス・ノイズ・シェープの実現法
 - シミュレーション結果
- 📁 まとめ

● バンドパスΣ Δ AD変調器の開発背景

アプリケーション:

通信システムのRF受信機

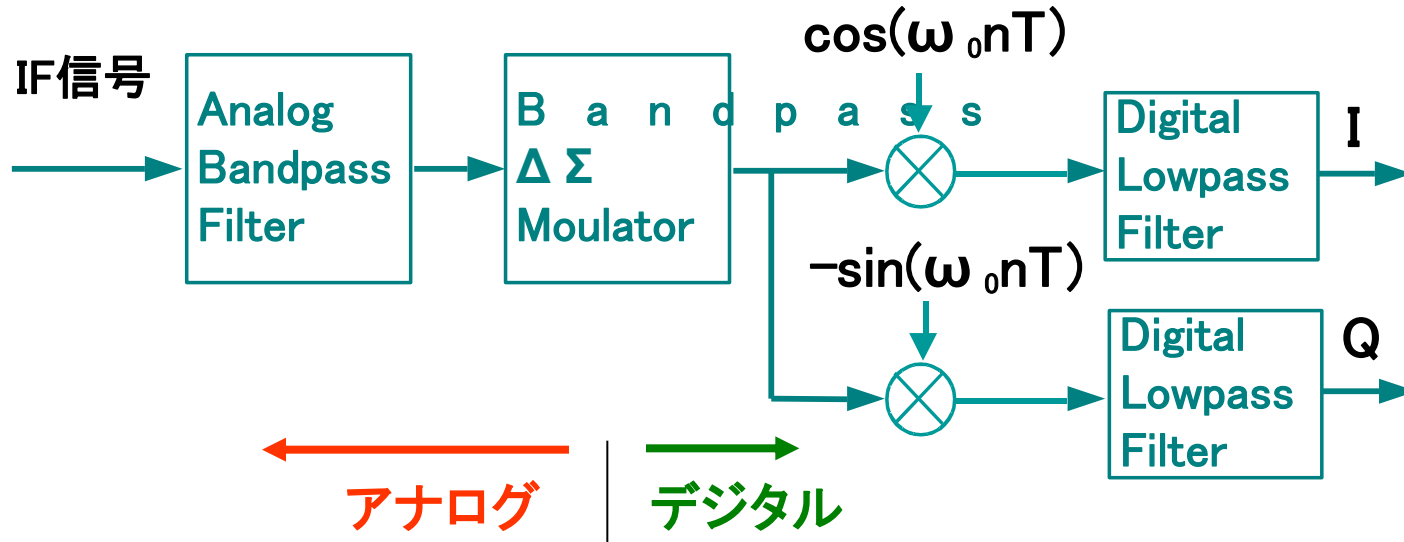
- 携帯電話
- 無線LAN



従来の受信回路の問題点

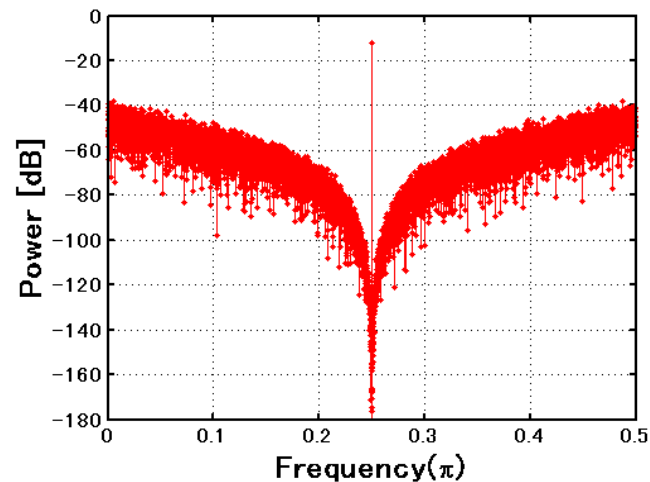
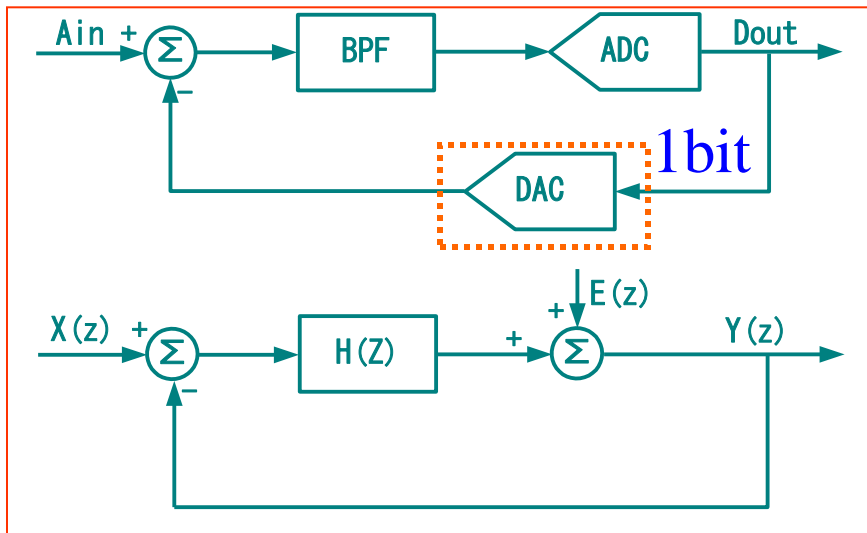
- 複雑なアナログ・バンドパス・フィルタが必要。
- アナログ・ミキサ、LO発振器が必要。
- I、Q経路の mismatchの問題あり。

● バンドパス $\Sigma \Delta$ AD変調器の開発背景



- 📁 アナログ・バンドパス・フィルタが**簡単化**。
- 📁 アナログ・ミキサ、アナログLO発振器が**不要**。
- 📁 デジタルなのでI、Q 経路の**ミスマッチの問題なし**。
- 📁 アナログ回路は**最小限**でよい。
- 📁 デジタル・フィルタが**必要**。

● バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器



● オーバー・サンプリング

◆ $OSR = F_s / (2 \cdot BW)$

● ノイズ・シェーブ

⇒ 高SNRを実現

Noise Shaping

$$Y(z) = \frac{H(z)}{1 + H(z)} \cdot X(z) + \frac{1}{H(z)} \cdot E(z)$$

$H(z) \rightarrow \infty$

$X(z)$

0

● なぜマルチビット?

高分解能を達成するために



OSR→高

- サンプル周波数→高
- 変調器回路→高速



フィルタの次数→高

- 安定性の問題
- 回路が複雑

Single-bit

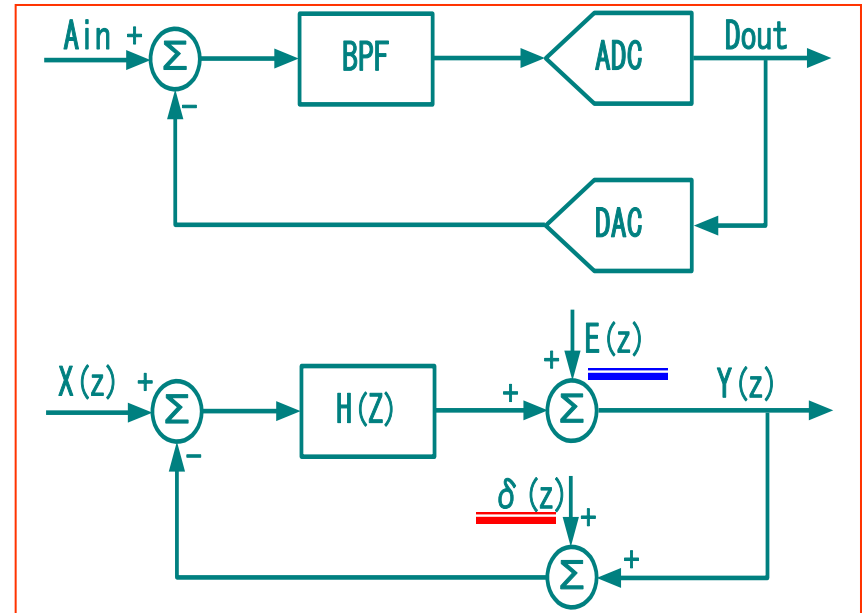
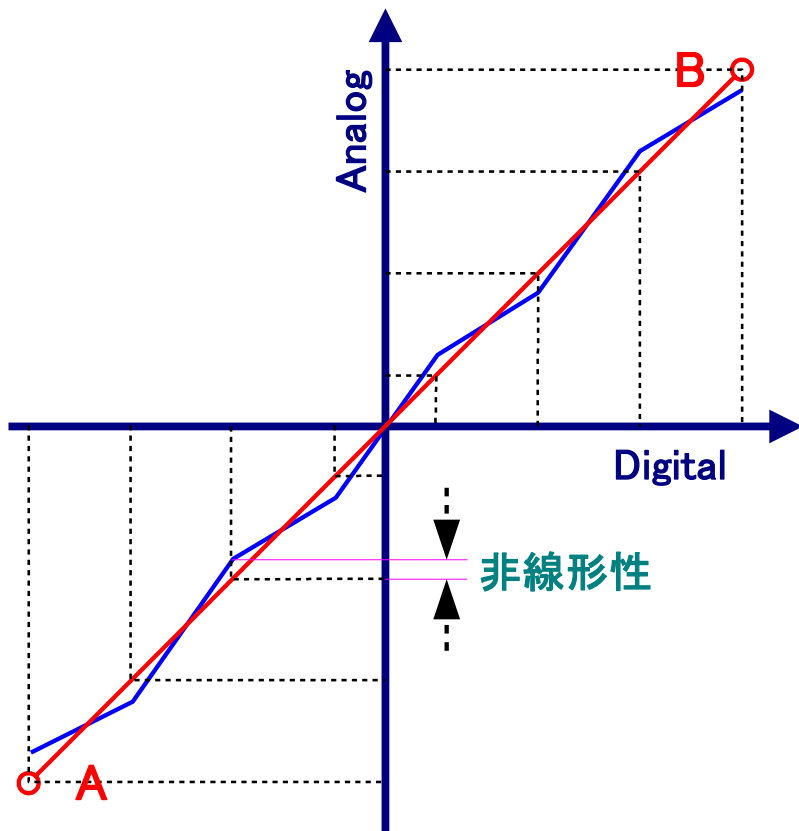
Multi-bit

● 低OSRで高分解能

● 安定性の問題が軽減

Multi-bit DACの非線形性が問題

● マルチビットDACの非線形性



$$Y(z) = \frac{H(z)}{1 + H(z)} \cdot X(z) + \frac{1}{H(z)} \cdot E(z)$$

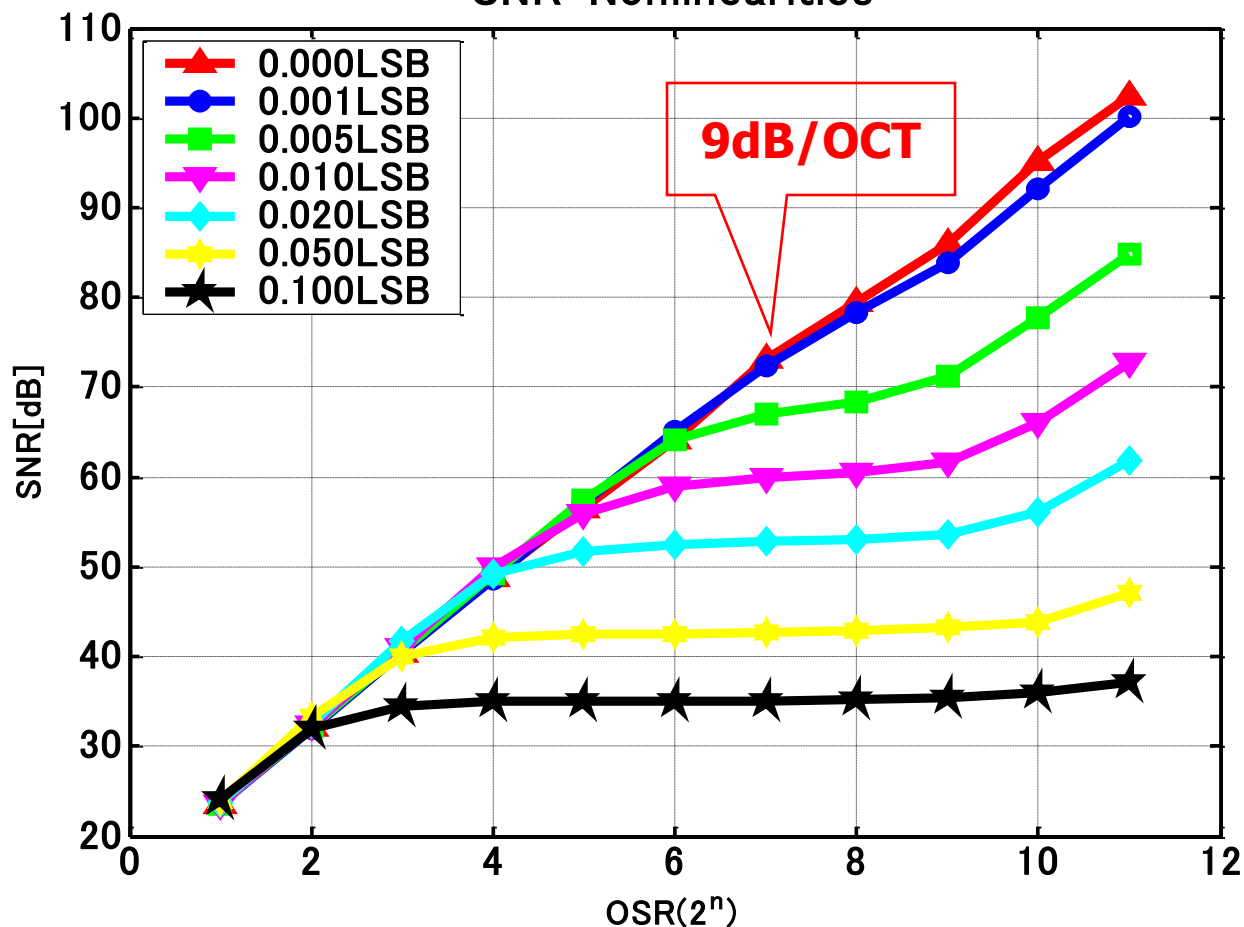
$$Y(z) = \frac{H(z)}{1 + H(z)} \cdot X(z) + \frac{1}{H(z)} \cdot \underline{E(z)} - \underline{\delta(z)}$$

$\delta(z)$ はノイズ・シェープされない。

● DAC非線形性によるSNRの劣化

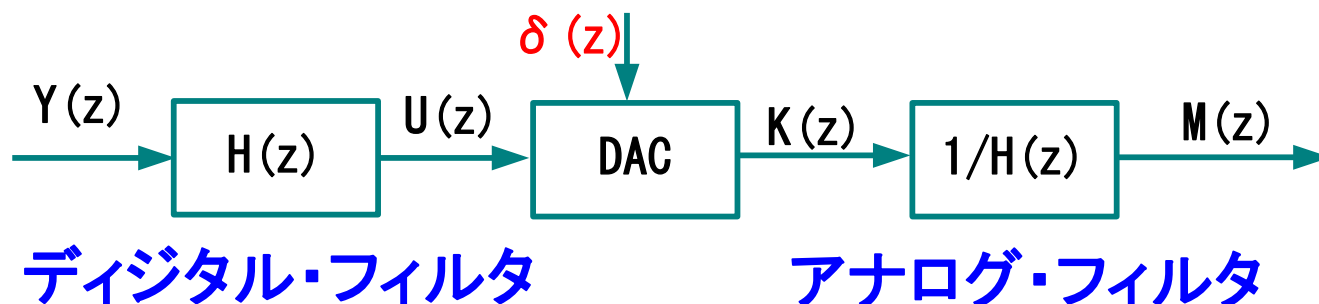
2次バンドパス $\Delta\Sigma$ 変調器のシミュレーション効果

SNR-Nonlinearities



DACの非線形性をノイズ・シェーブするアルゴリズムが必要！

● DAC非線形性のノイズ・シェープ



$$K(z) = H(z) \cdot Y(z) + \delta(z)$$

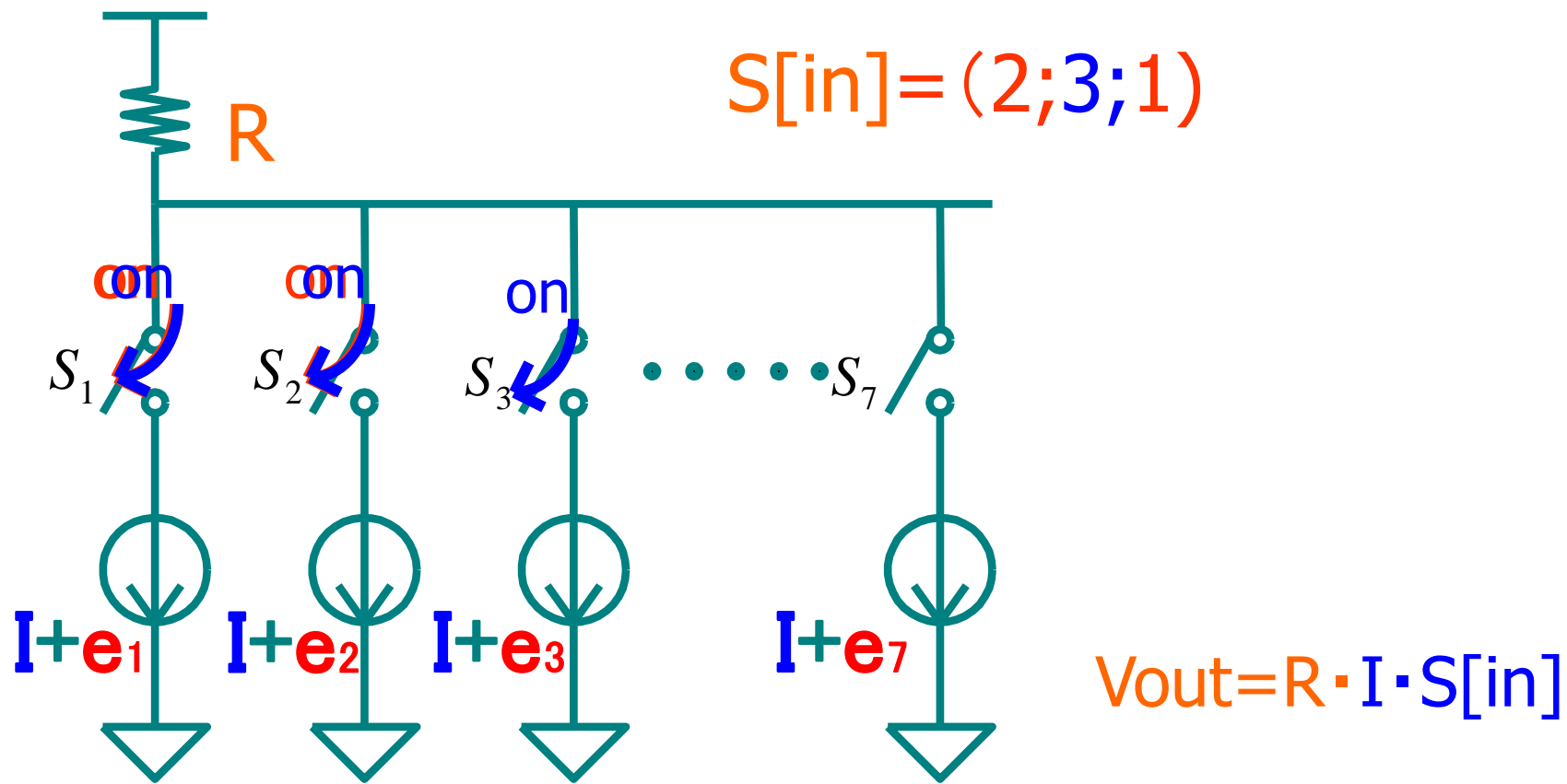
$$M(z) = Y(z) + \frac{1}{H(z)} \cdot \delta(z)$$

Noise Shape

● 問題点:

U(z)はDAC入力レンジ外になりうる

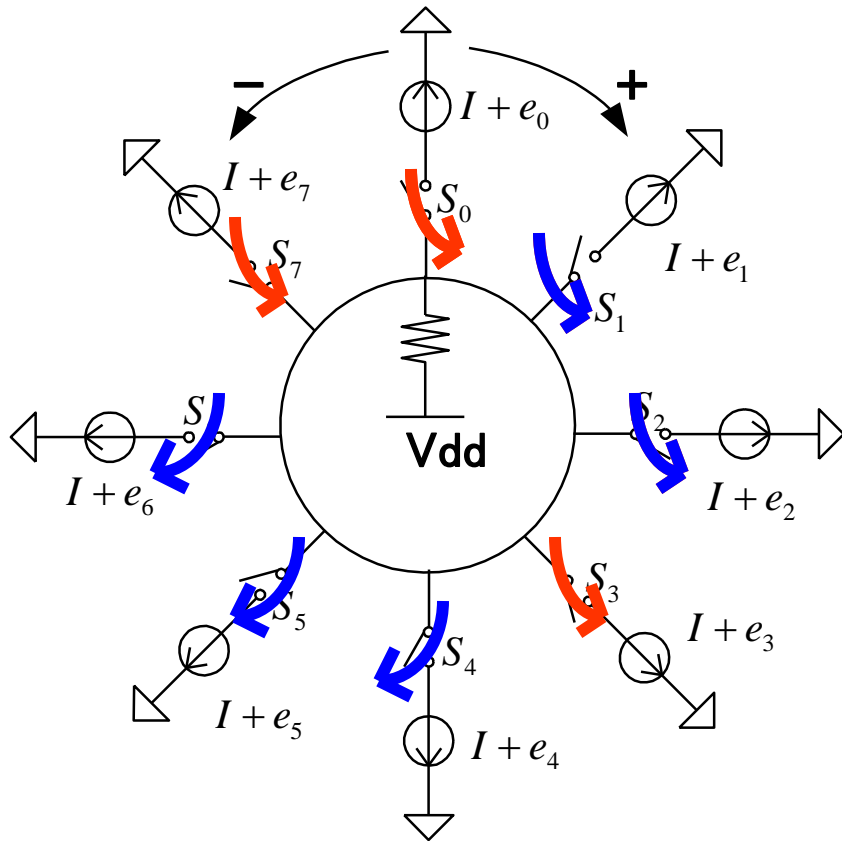
● セグメント・電流セル型DACの非線形性



電流セルのミスマッチ ($e_1, e_2, e_3, \dots, e_7$) がDACの非線形性

● ノイズ・シェープ・アルゴリズム①

- LPエレメント・ロテーション法



$$H(z) = 1/(1 - Z^{-1})$$

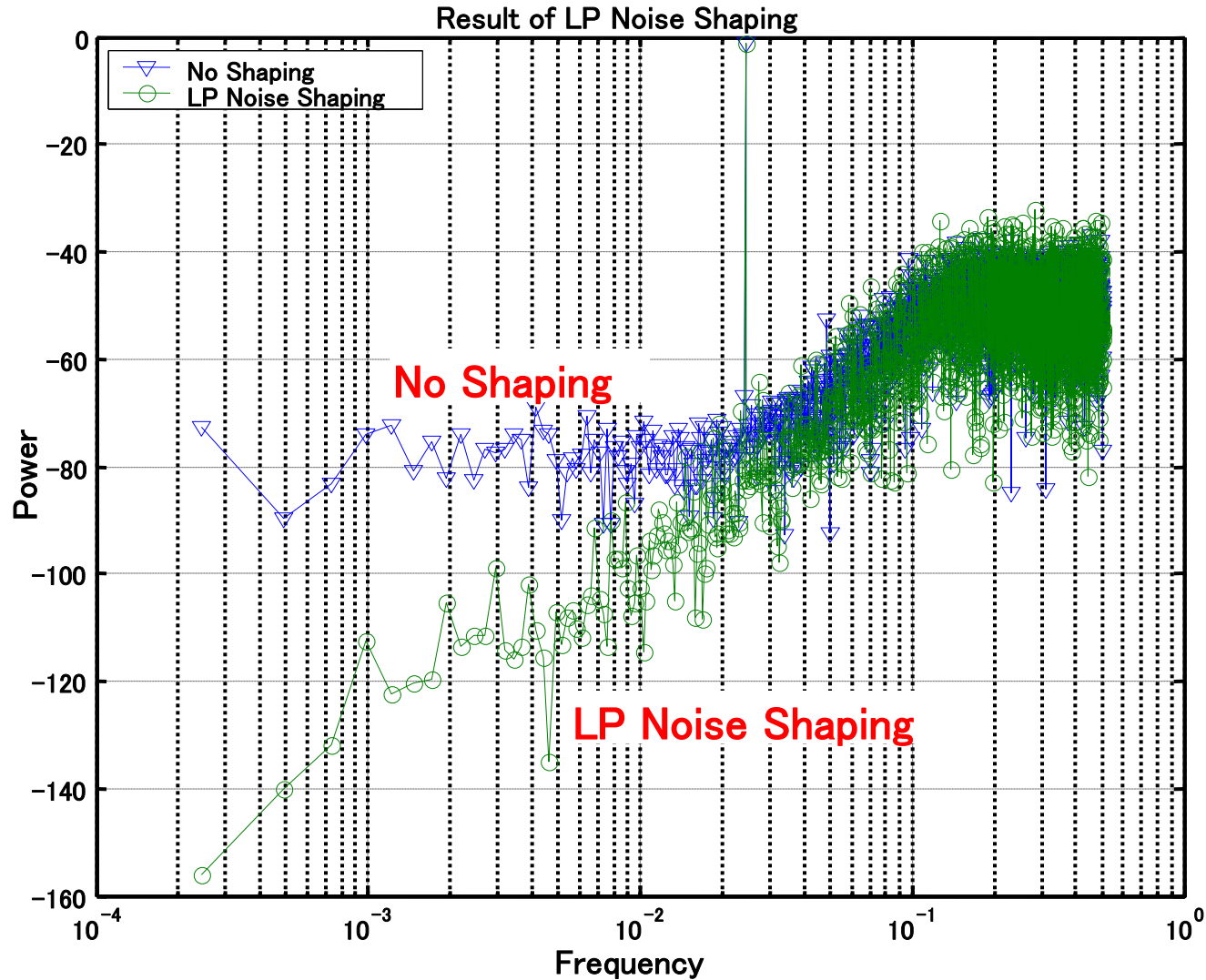
Time

	0	1	2	3	4	5	6	7
4								
3								
2								
2								
5								
7								
1								
5								
4								
8								

Input of DAC

● ノイズ・シェープ・アルゴリズム①

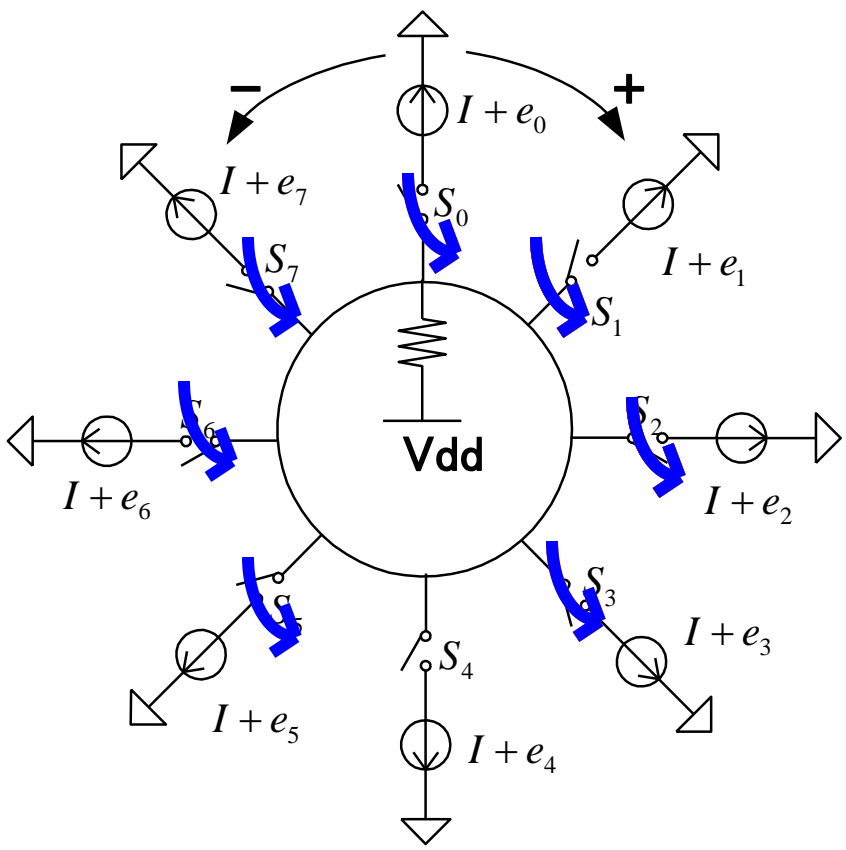
- LPエレメント・ロテーション法の結果



● ノイズ・シェープ・アルゴリズム②

- HPエレメント・ロテーション法

$$H(z) = 1 + Z^{-1}$$



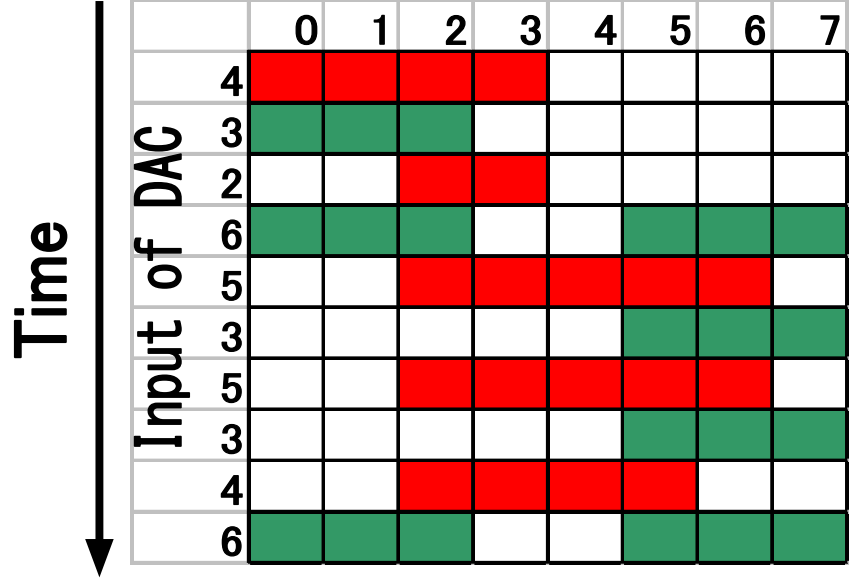
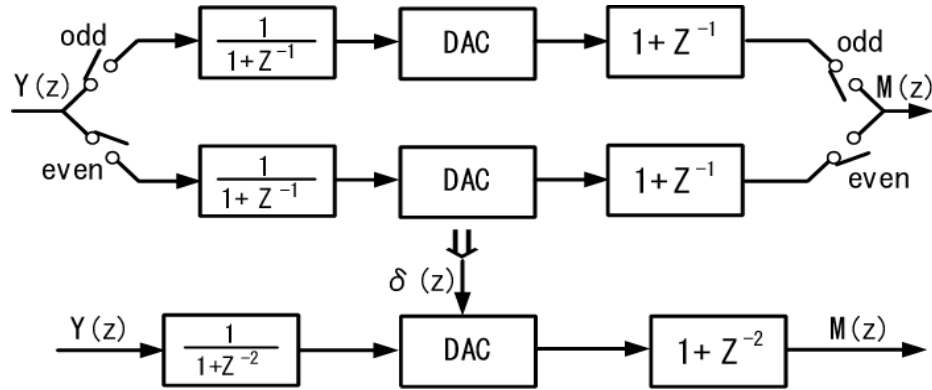
Time ↓

	0	1	2	3	4	5	6	7
4								
3								
2								
6								
5								
3								
5								
3								
4								
6								

● ノイズ・シェープ・アルゴリズム③

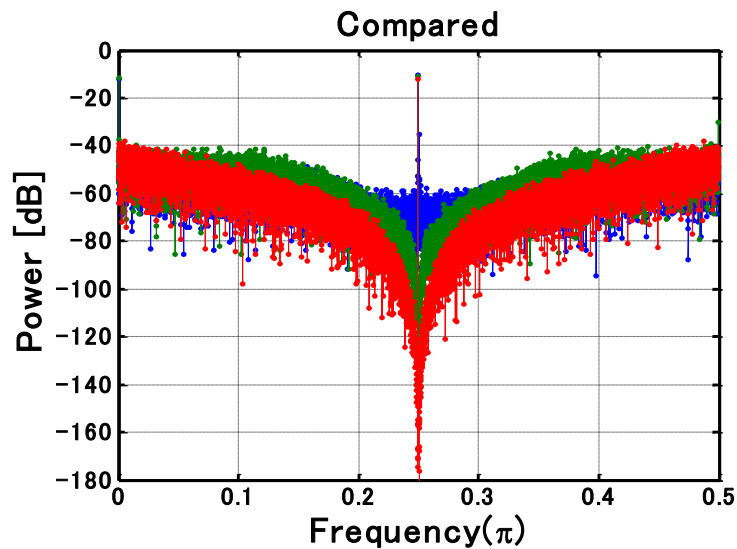
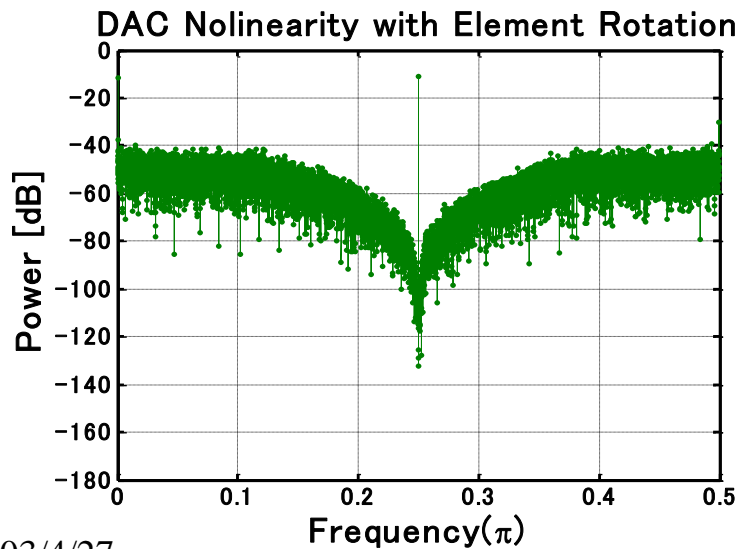
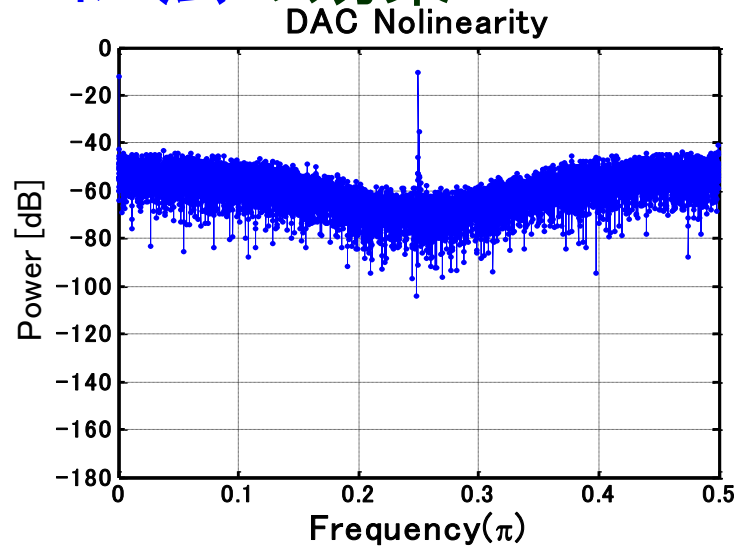
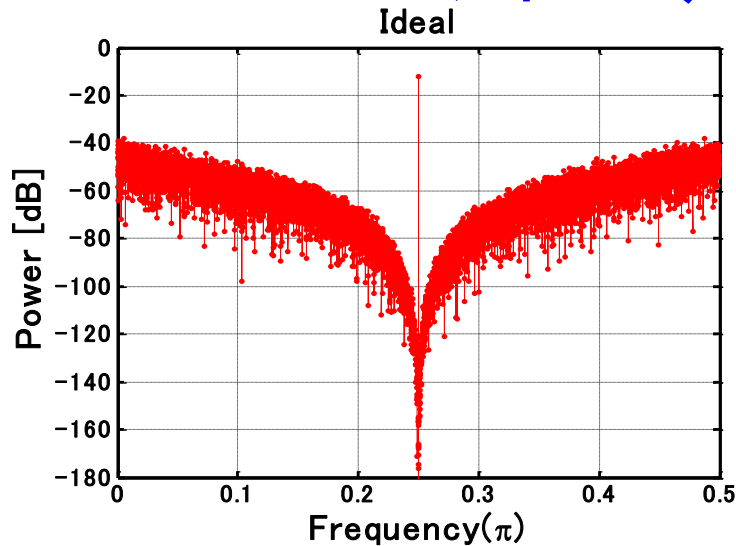
- BPエレメント・ロテーション法

$$H(z) = 1 + Z^{-2}$$

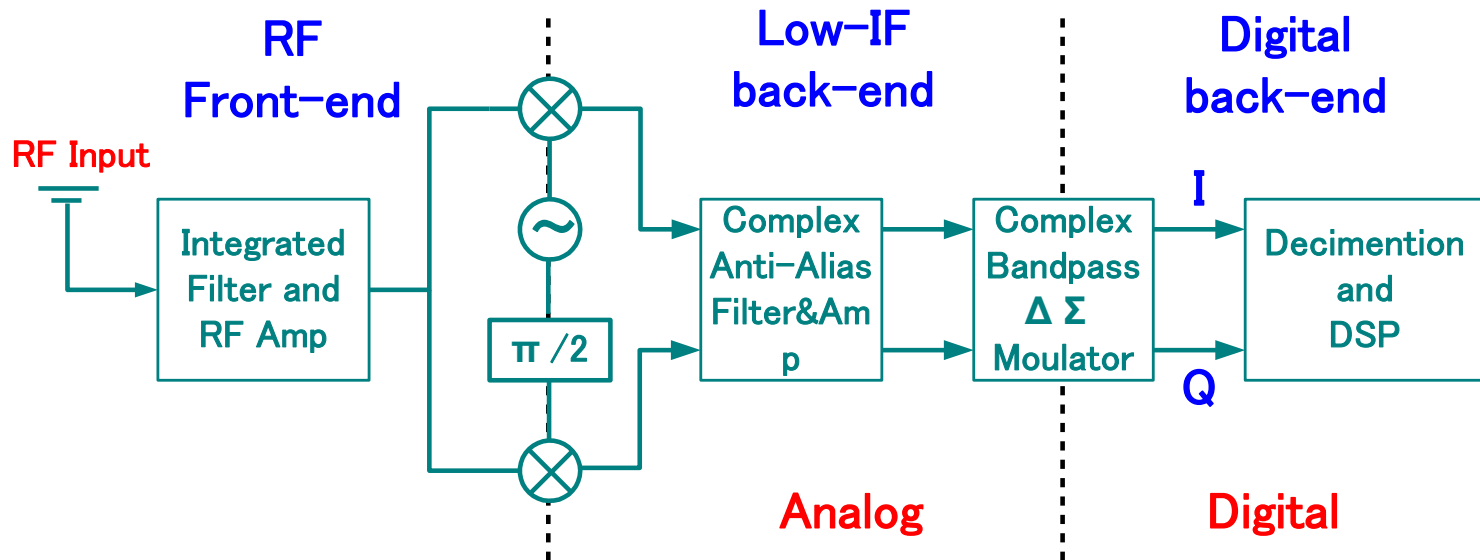


HPの2CHインターリーブでBPを実現

● ノイズ・シェープ・アルゴリズム - BPエレメント・ロテーション法の効果



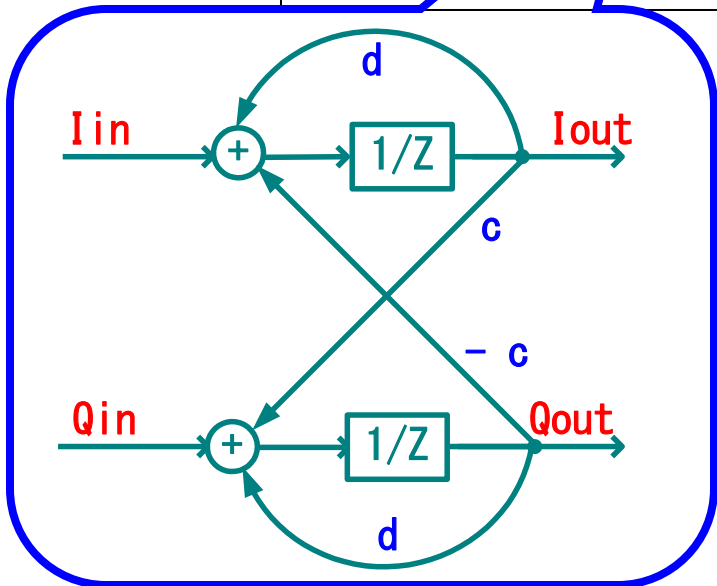
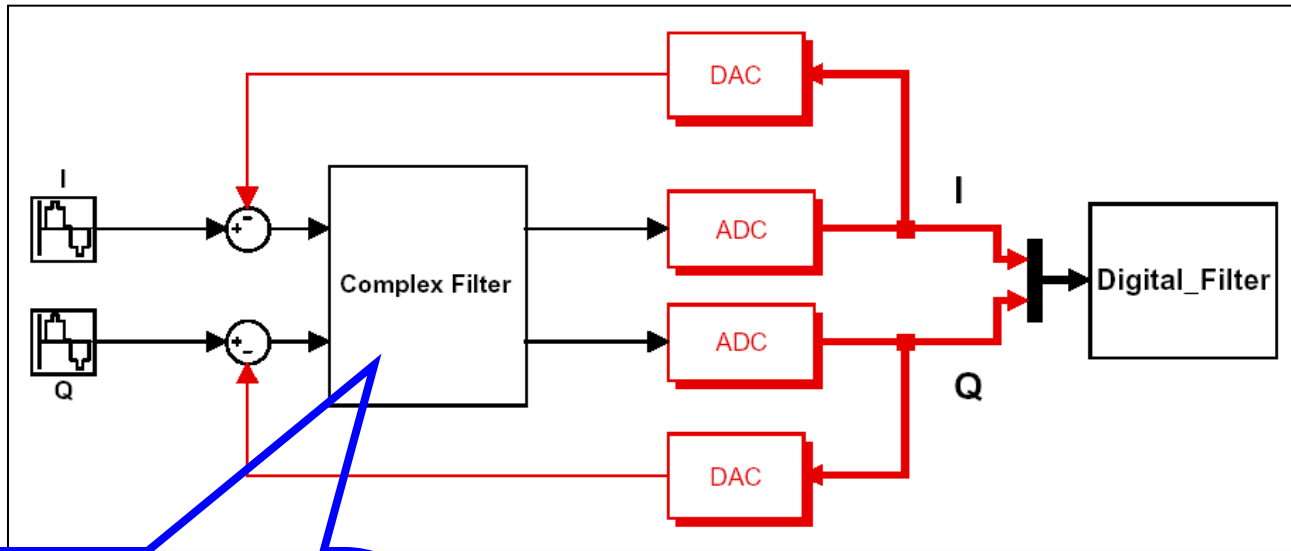
● 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器を用いる受信機



特徴

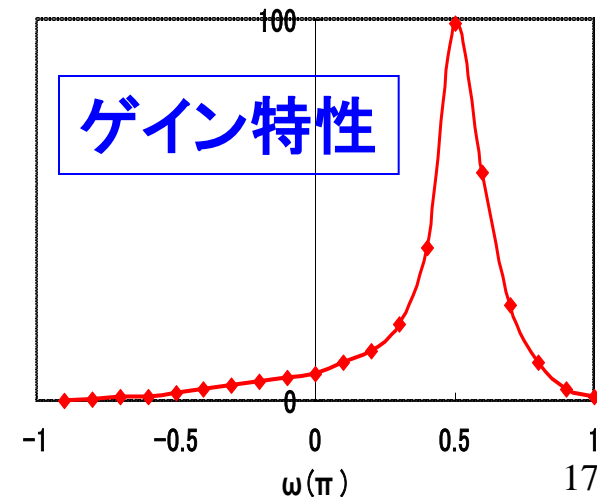
- I,Qパスの mismatches の影響が低減
- 2つの実BP変調器に比べ
 - 同じ回路量で高性能

● 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器

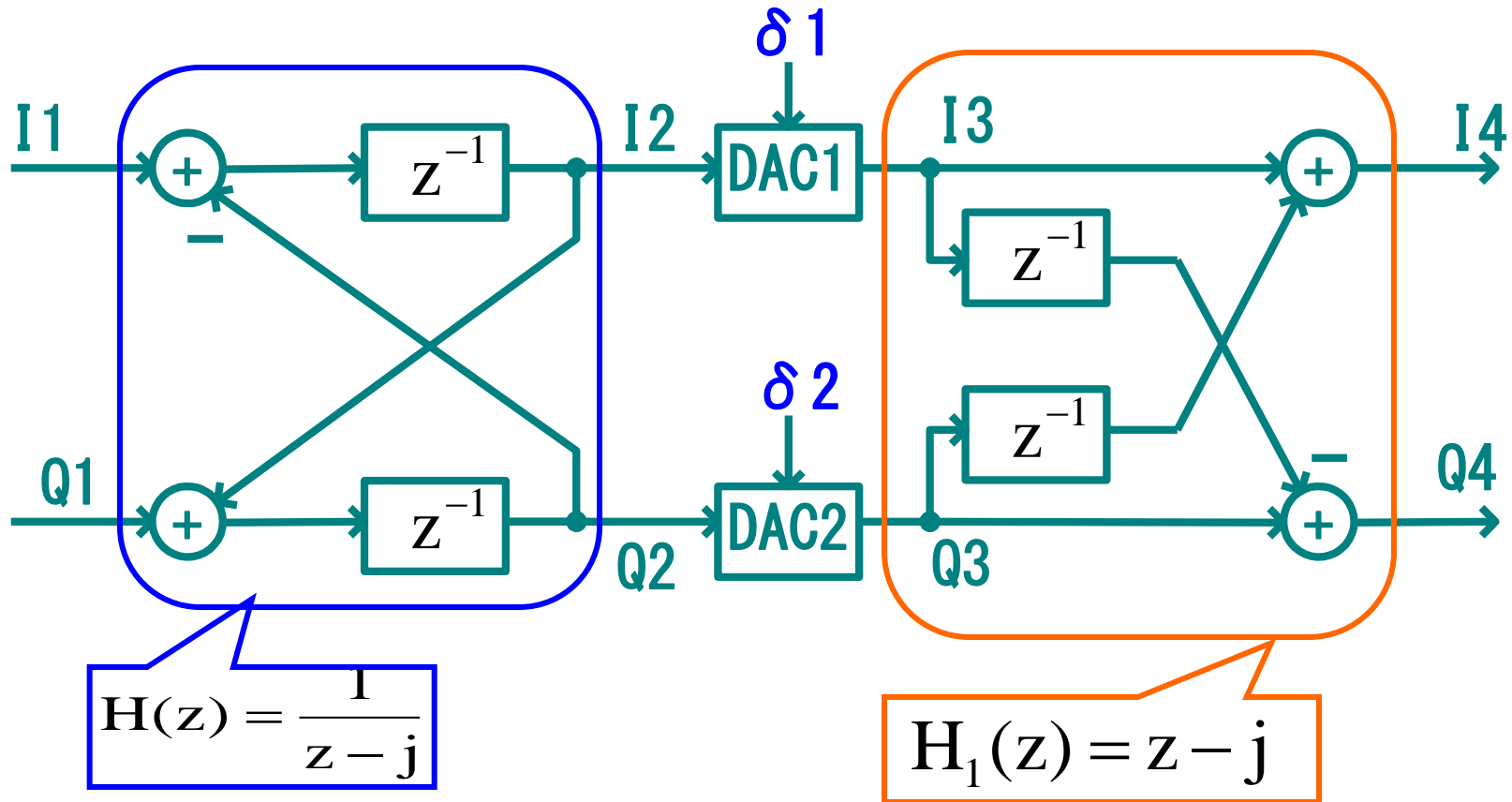


$$H(z) = \frac{Y_{I,Q}(z)}{X_{I,Q}(z)}$$

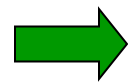
$$= \frac{1}{z - (d + jc)}$$



● 複素バンドパス・ノイズ・シェーブ

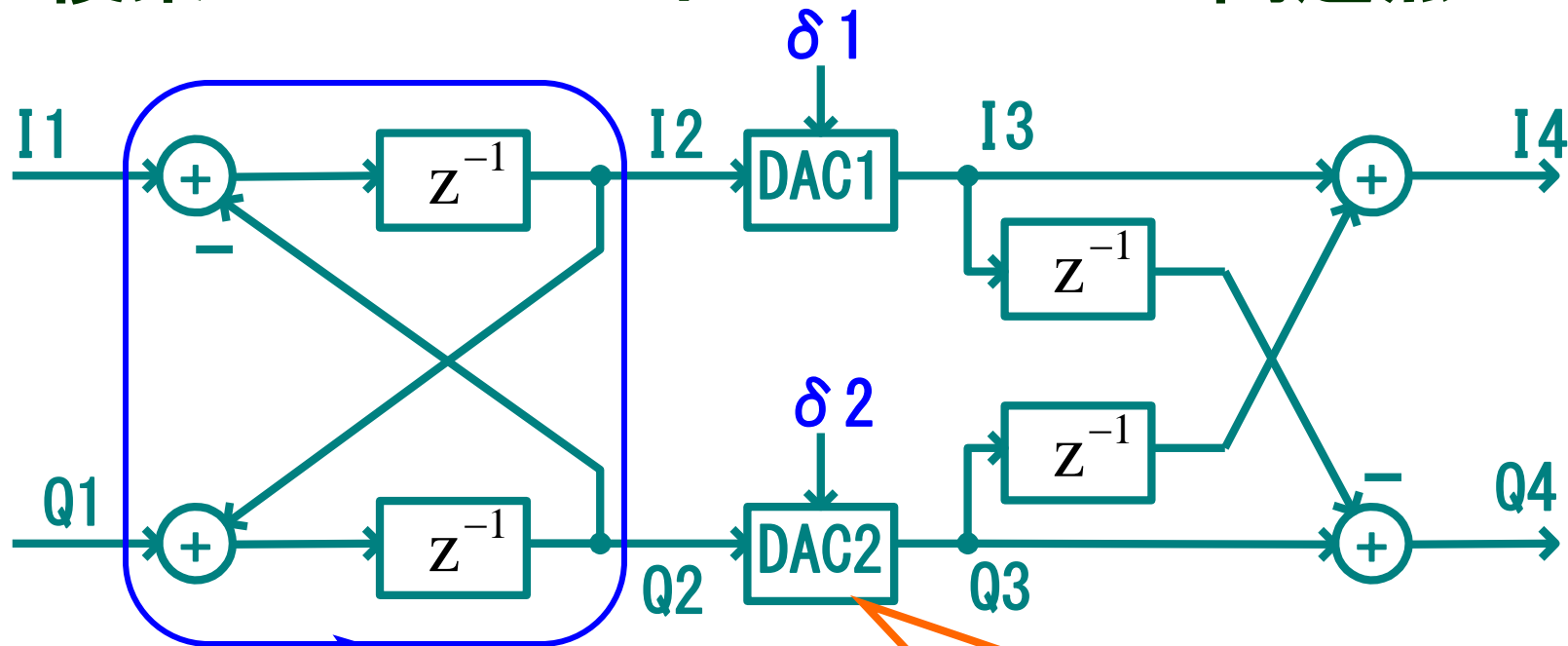


$$I_4(z) + j \cdot Q_4(z) = [I_1(z) + j \cdot Q_1(z)] + \frac{1}{H(z)} \cdot \underline{\underline{[\delta_1(z) + j \cdot \delta_2(z)]}}$$



$\delta(z)$ を複素でノイズ・シェーブ

● 複素バンドパスノイズ・シェープの問題点



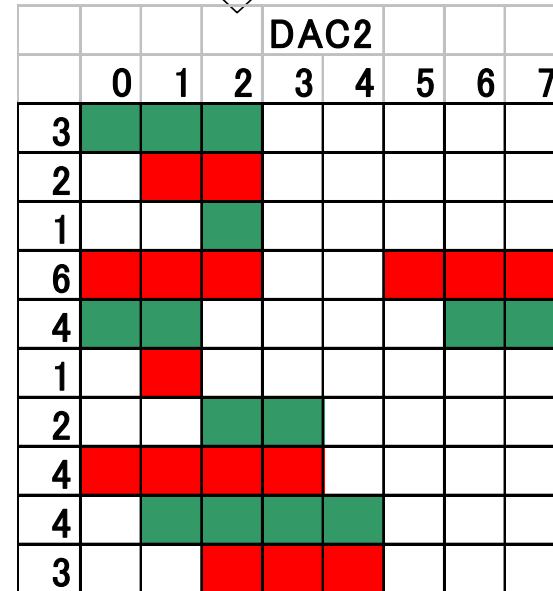
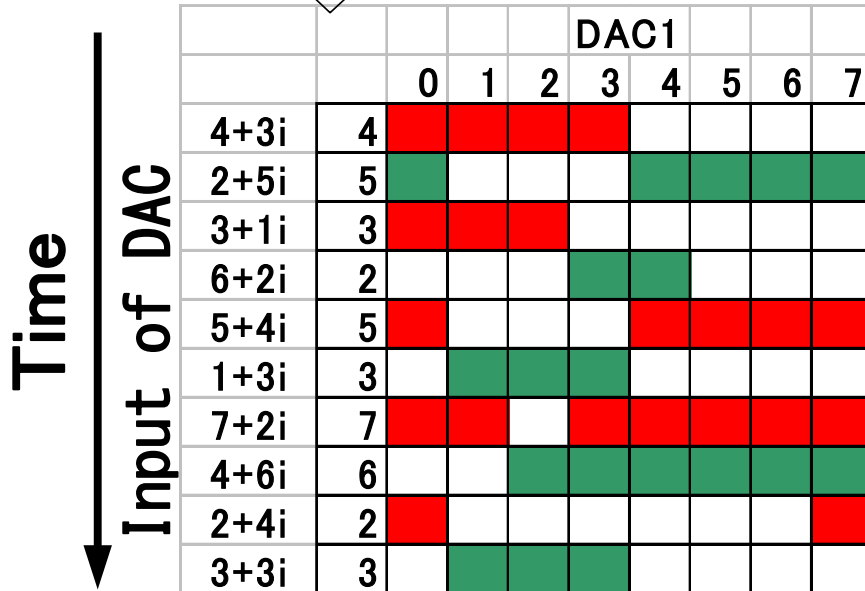
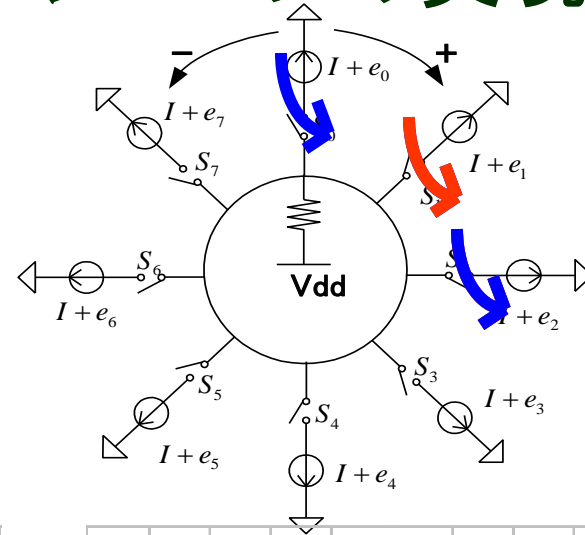
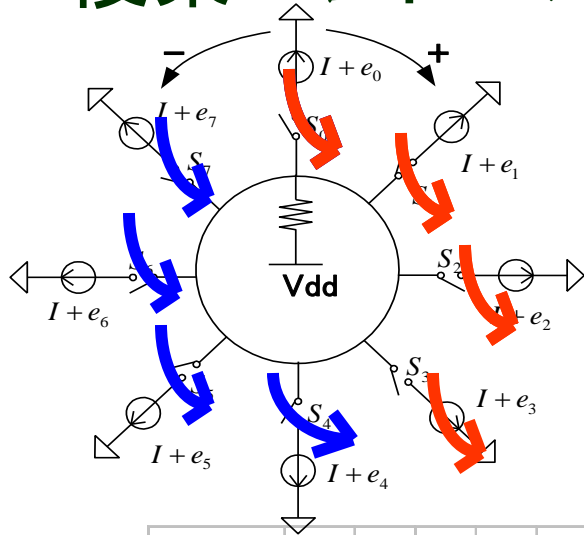
$$\underline{I_2(n+1) = I_1(n) - Q_2(n)}$$

$$\underline{Q_2(n+1) = I_2(n) + Q_1(n)}$$

$I_2 < 0$, $Q_2 > FS$ になり得る

DACの入カレンジ
0~FS

● 複素バンドパスノイズ・シェープの実現法



■ I出力

■ Q出力

- 提案する複素バンドパスノイズ・シェープアルゴリズムの特徴

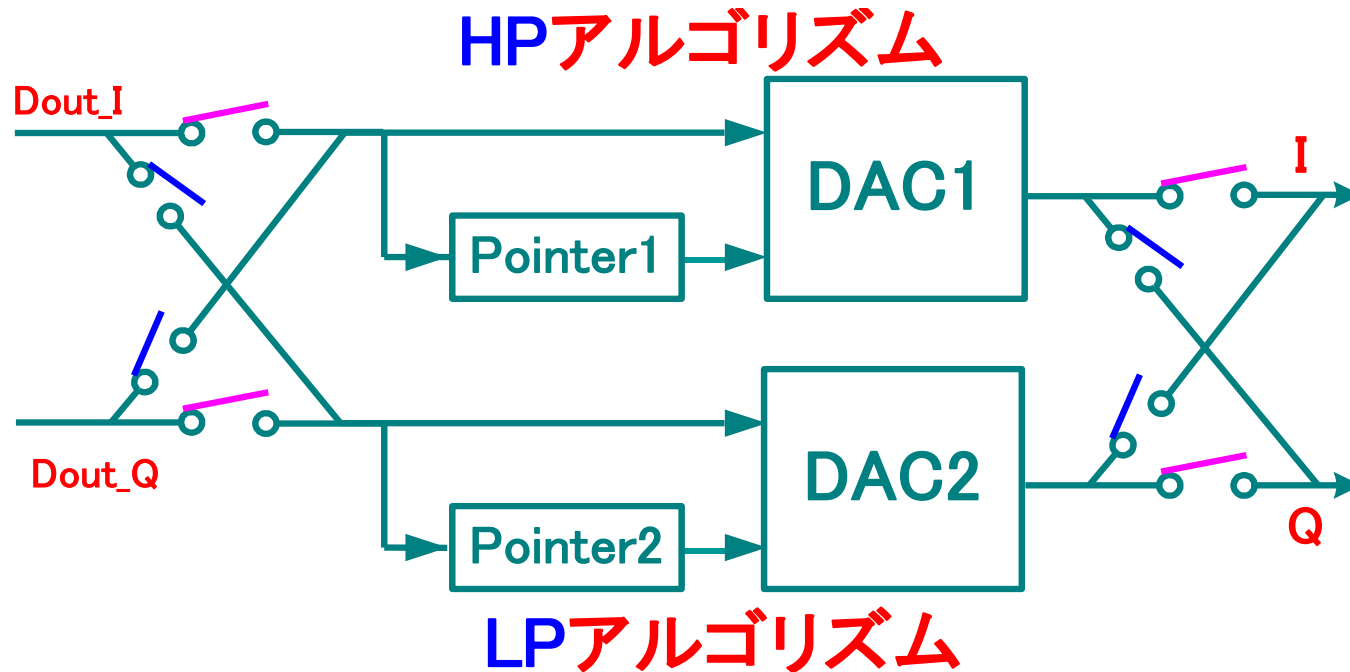
-  IとQパスのDAC1、2を交互に動作

-  IはHP、QはLPアルゴリズムを適用

-  エlement・ロテションで

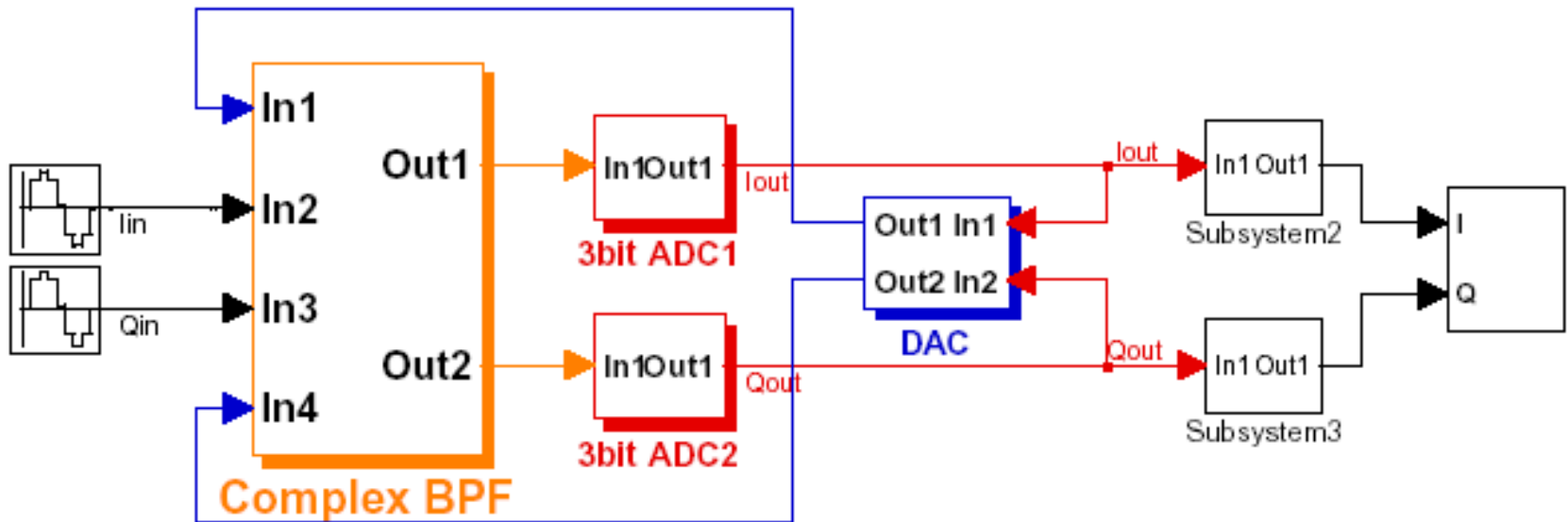
デジタル・フィルタとアナログ・フィルタの両方を等価的に実現する

● 複素ノイズ・シェープDACのアーキテクチャ



- 📖 バンドパス $\Delta \Sigma$ ADCのDAC部分にPointerを加える
- 📖 2ChのDACはMultiplexorにより、交互動作
 - Multi_bit DACの非線形性の影響を抑える
 - ⇒ 全体のSNRを上げる
- 📖 Digital手法でAnalog回路性能を改善

● Matlabによるシミュレーション



📁 シミュレーション条件

- **4次複素BPF**
- **3bit ADC&DAC**

📁 **理想DAC(ケース1)**

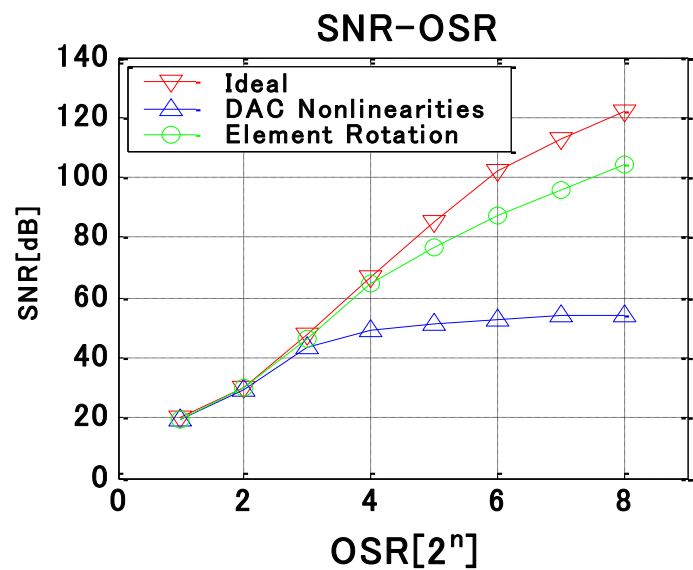
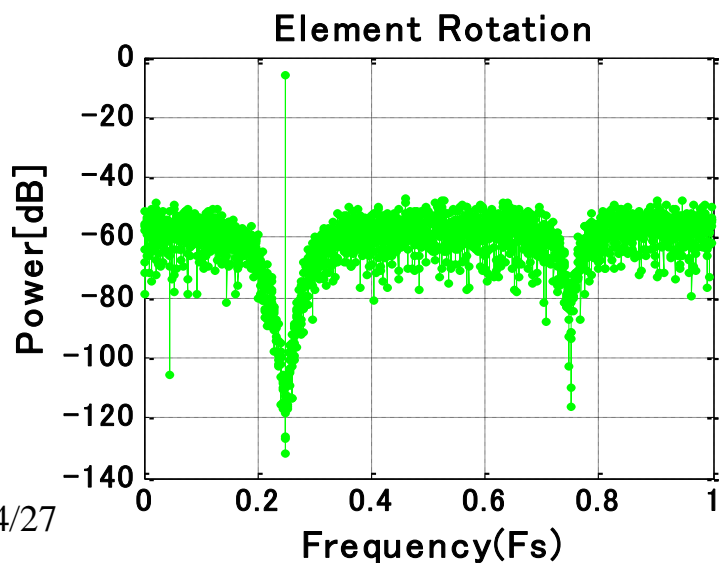
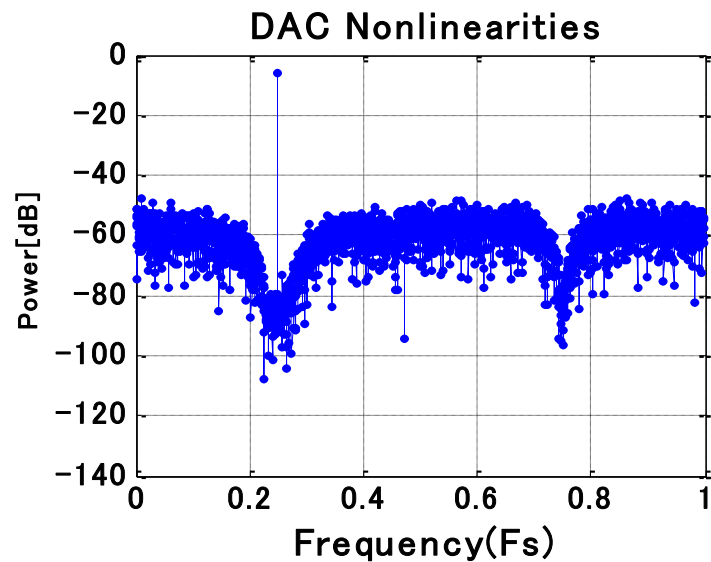
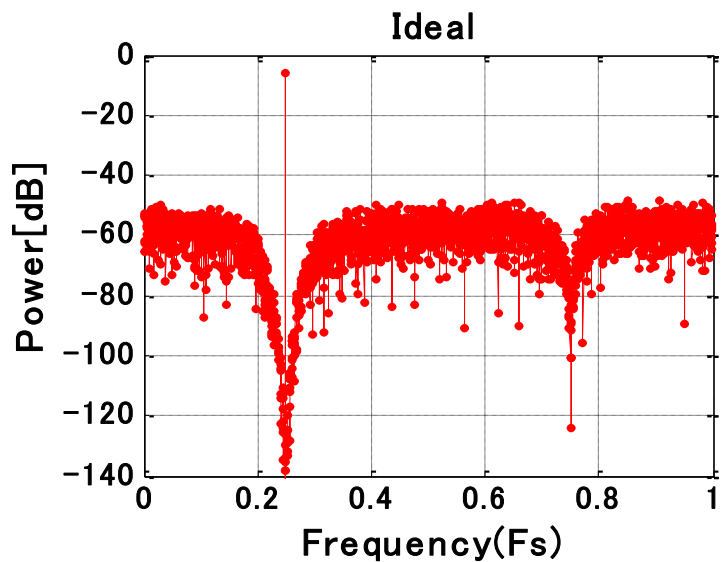
📁 **非線形性があるDAC**

エレメント・ロテーションなし(ケース2)

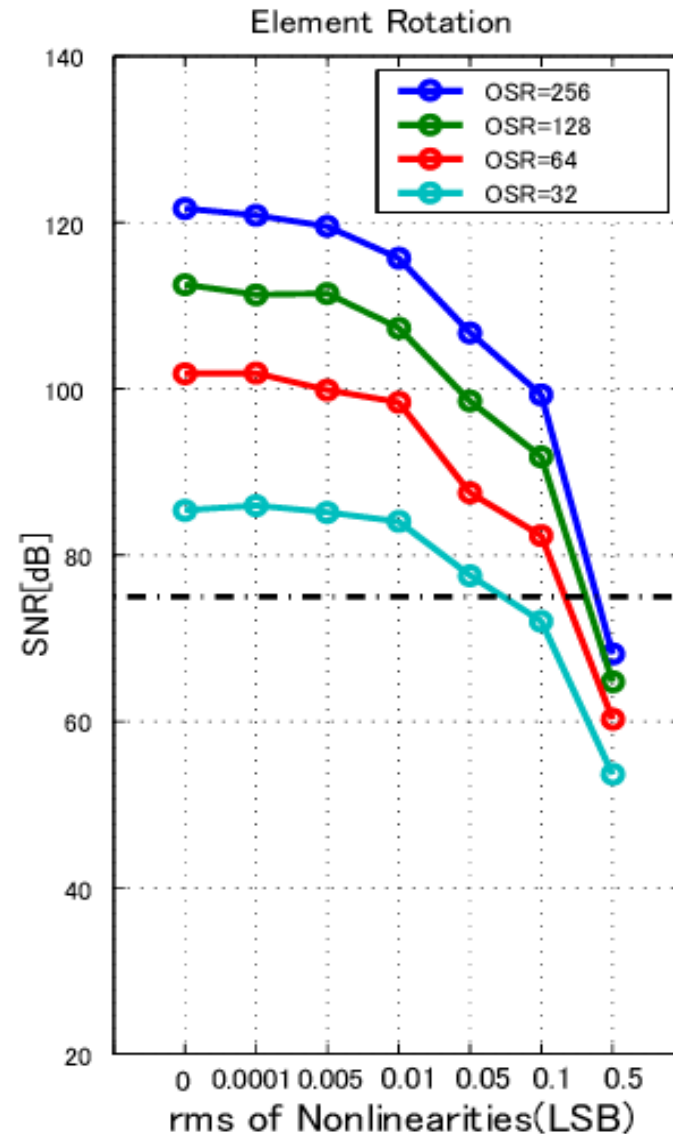
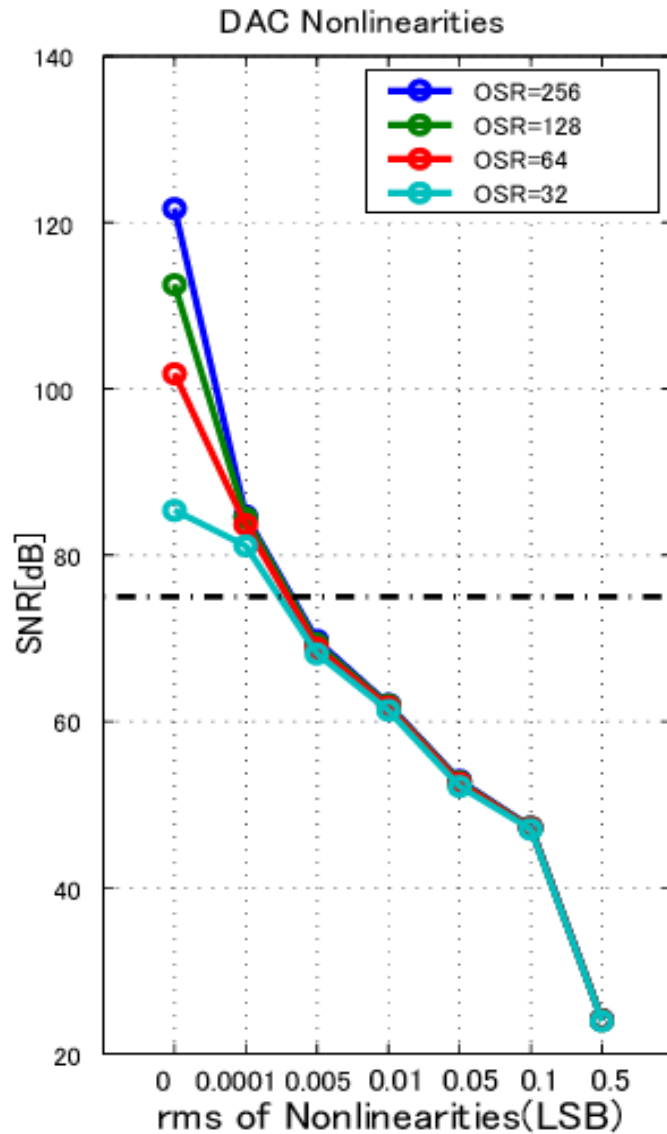
エレメント・ロテーションあり(ケース3)

● シミュレーション結果ーノイズ・シェープ効果

4次複素BP $\Delta\Sigma$ 変調器



● シミュレーション結果—SNRの改善効果



● まとめ

- 📁 新しいアルゴリズムを提案した
 - 複数バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器用
 - マルチビットDACの非線形性をノイズ・シェーブ
 - 2つDACの特性のミスマッチもキャンセルできる
デジタル手法でアナログ特性を改善
- 📁 シミュレーションによる有効性を確認した
 - SNRの向上
- 📁 今後の課題
 - 高精度バンドパス $\Delta\Sigma$ 変調器の実現