

# I, Qパスを分離した 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器 アーキテクチャ

群馬大学 電気電子工学科

傘昊 早川晃 神宮善敬 和田宏樹

萩原広之 小林和幸 小林春夫

(株) ルネサステクノロジ

松浦達治 矢萩孝一 工藤純也 中根秀夫

# 発表内容

- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
  - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
  - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
  - ◆ 上下経路を分離できる
  - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
  - ◆ 考察:
    - ☞ シミュレーションによる確認
    - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

# 発表内容

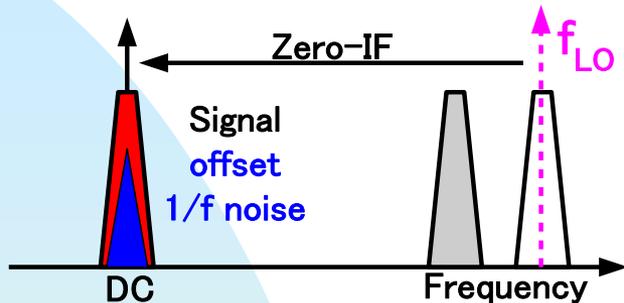
- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
  - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
  - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
  - ◆ 上下経路を分離できる
  - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
  - ◆ 考察:
    - ☞ シミュレーションによる確認
    - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

# 研究目的

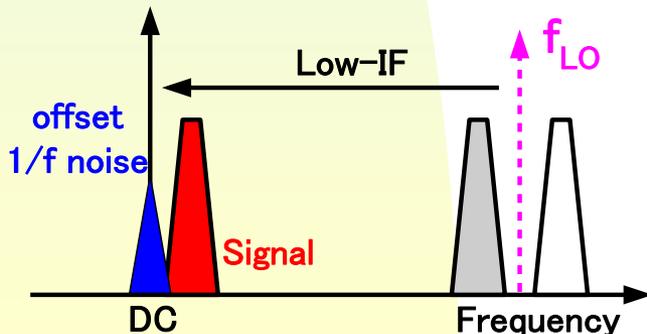
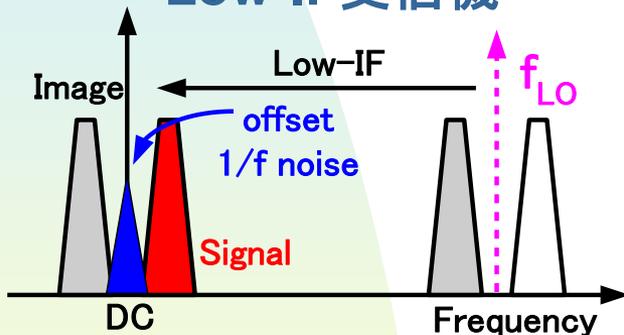
- 携帯電話、無線LAN等RF受信機用ADC
  - 低消費電力化
  - 高精度化
- 目的：  
有効な複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器を開発

# 従来式受信機回路の問題点

## ダイレクト・コンバージョン受信機



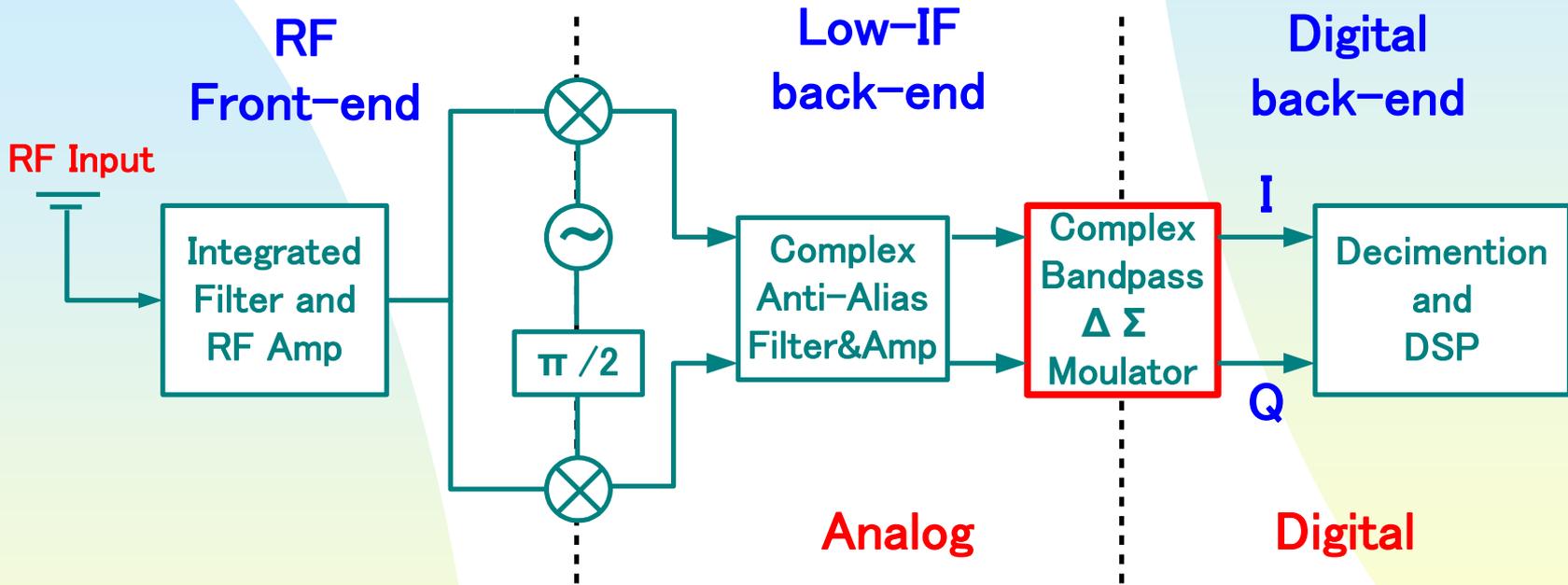
## Low-IF受信機



- RF → ベースバンド
- Zero-IF
  - ⇒ イメージ成分は生じない
- DCオフセット、1/fノイズの影響が大きい。
- RF → Low-IF
- DCオフセット、1/fノイズの影響が小。
- イメージ成分もAD変換
- 消費電力の無駄
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器  
その問題を解決  
Low-IF受信機に有効

# 複素BP $\Delta\Sigma$ AD変調器を用いた低IF受信機

携帯電話、無線LAN、ブルートゥース用

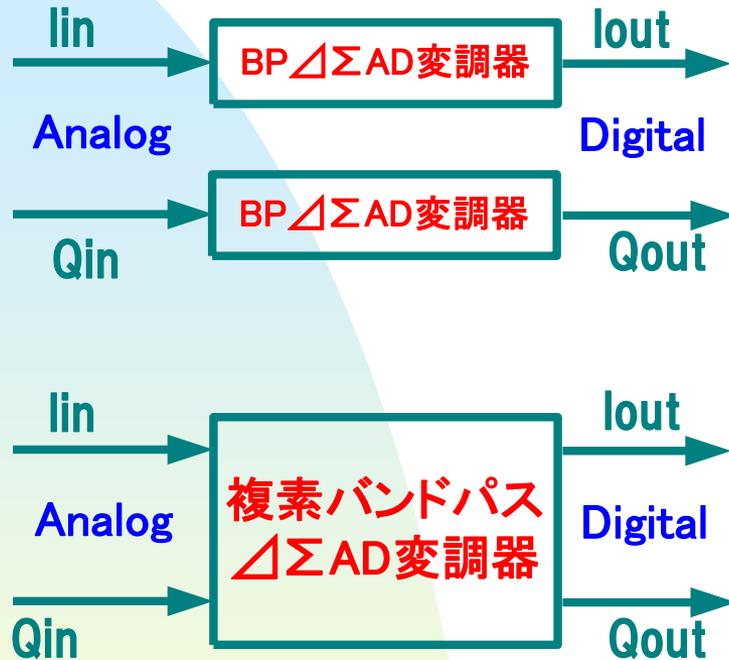


- イメージ成分をAD変換しない
- 低消費電力

# 発表内容

- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
  - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
  - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
  - ◆ 上下経路を分離できる
  - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
  - ◆ 考察:
    - ☞ シミュレーションによる確認
    - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

# 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器

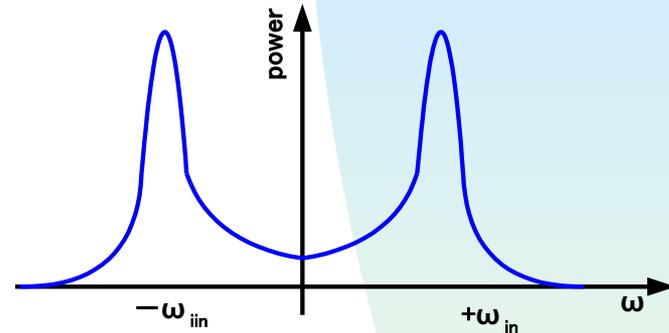


## ■ IとQの2入出力信号

複素アナログ入力信号  $V_{in} = I_{in} + jQ_{in}$

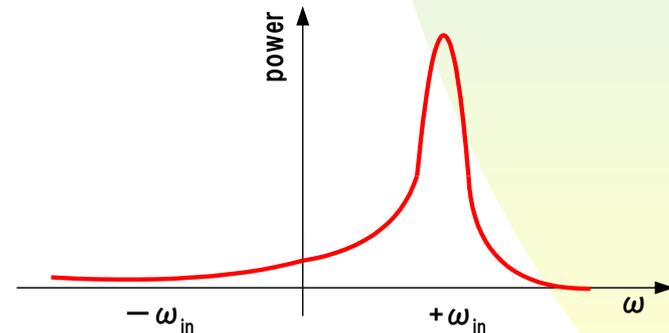
↓ AD変換

複素デジタル出力信号  $V_{out} = I_{out} + jQ_{out}$

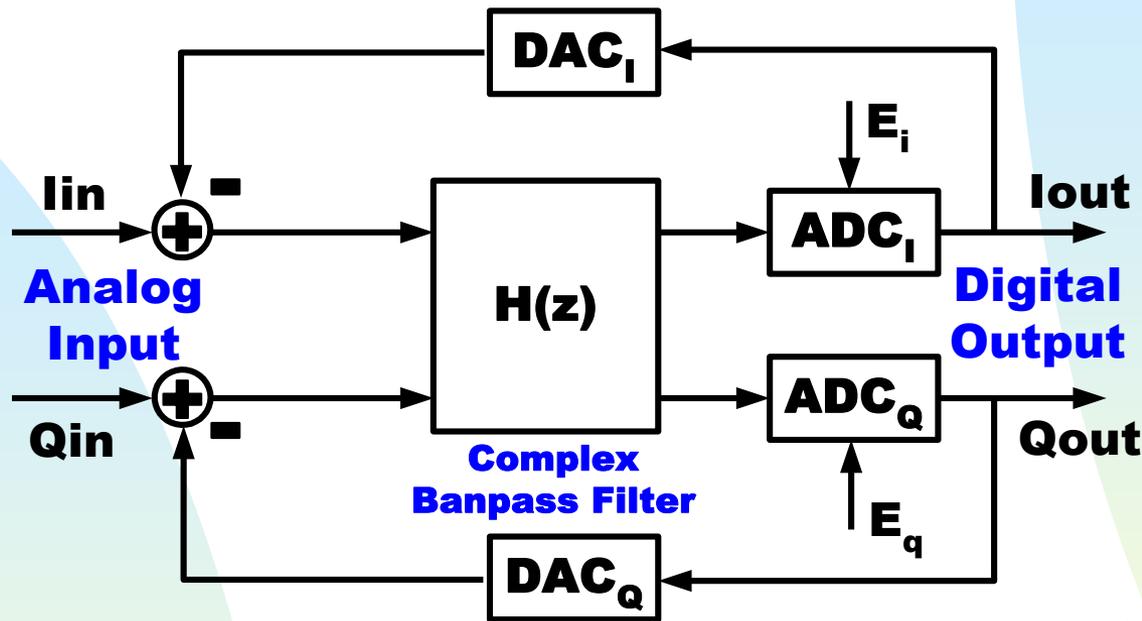


イメージ成分

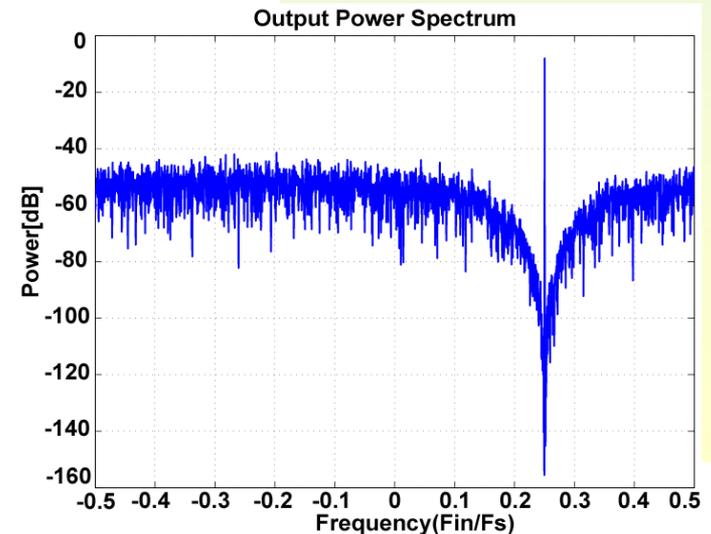
信号成分



# 複素バンドパス $\Delta \Sigma$ AD変調器の構成

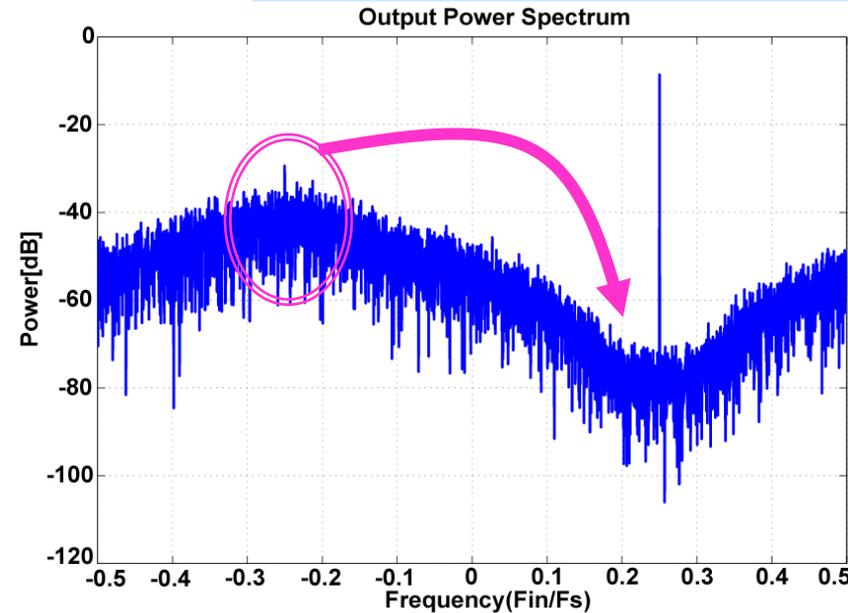
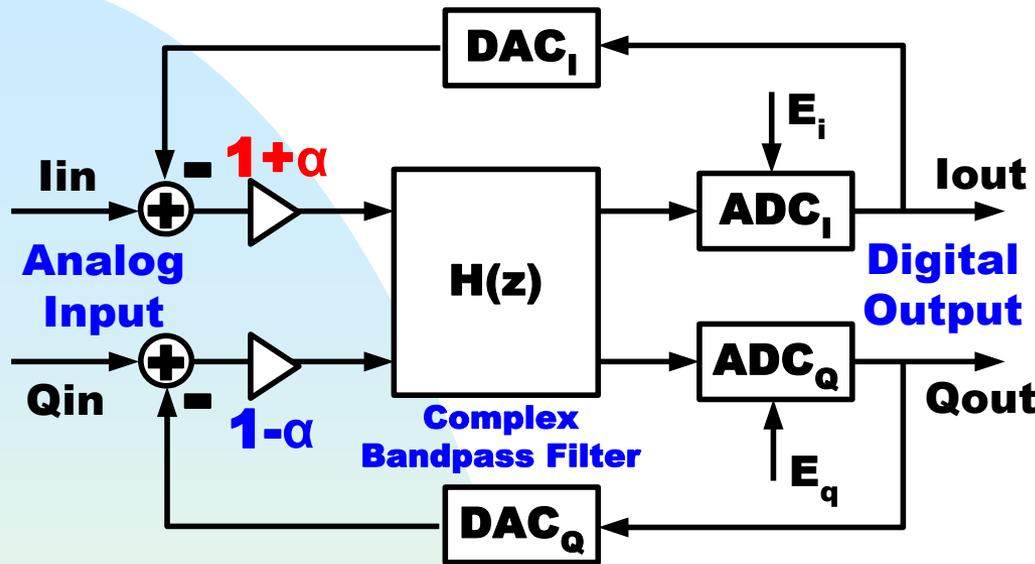


$$I_{out} + jQ_{out} = \frac{H}{1+H} (I_{in} + jQ_{in}) + \frac{1}{1+H} (E_i + jE_q)$$



複素バンドパス・ノイズ・シェーブ

# 複素バンドパス $\Delta \Sigma$ AD変調器のミスマッチ



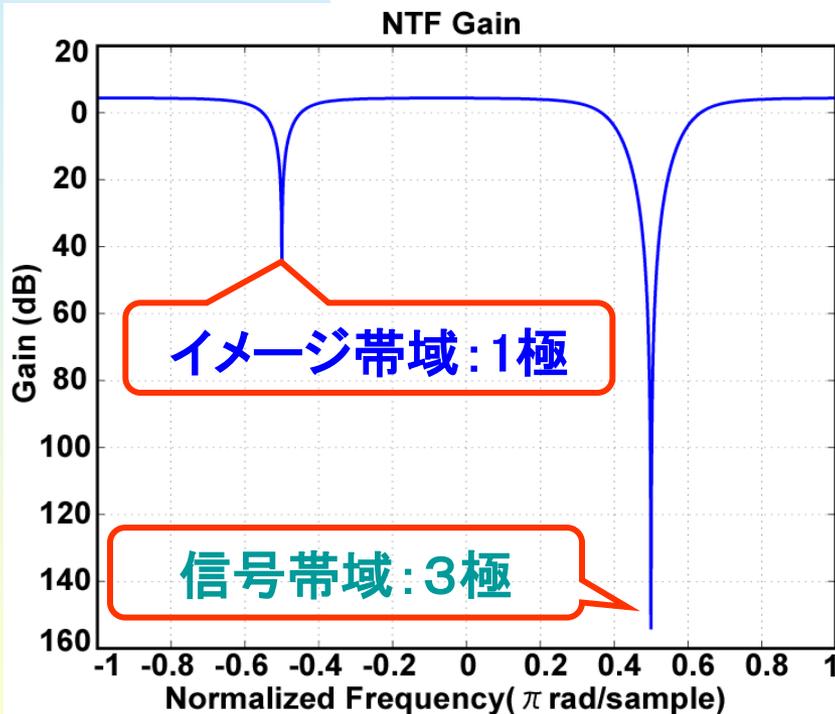
$$I_{out} + jQ_{out} = \frac{H + (1 - \alpha^2)H^2}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (I_{in} + jQ_{in}) + \frac{\alpha H}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (I_{in} - jQ_{in})$$

$$+ \frac{1 + H}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (E_i + jE_q) + \frac{\alpha H}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (E_i - jE_q)$$

I、Qミスマッチ  $\alpha \Rightarrow$  イメージ入力信号、イメージ量子化ノイズ  
 $\Rightarrow$  信号帯域に回り込み  $\Rightarrow$  SNR劣化

# I, Q経路ミスマッチ影響を軽減する手法

S. Jantzi, et al., "Quadrature bandpass  $\Delta\Sigma$  modulator for digital radio,"  
*IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol.32, pp.1935-1949 (Dec. 1997).



イメージ帯域に1つの極を配置



量子化ノイズの回りこみを軽減



SNR劣化を改善

欠点: イメージ帯域に極

回路規模が大

消費電力也大

NTF: ノイズ・トランス・ファンクション

# 発表内容

- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
  - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
  - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
  - ◆ 上下経路を分離できる
  - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
  - ◆ 考察:
    - ☞ シミュレーションによる確認
    - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

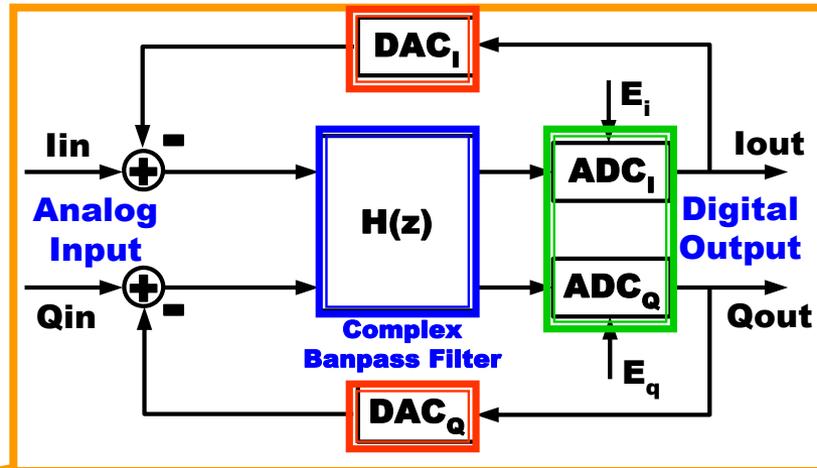
# マルチビット複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の設計

設計の目標： 高精度・低消費電力

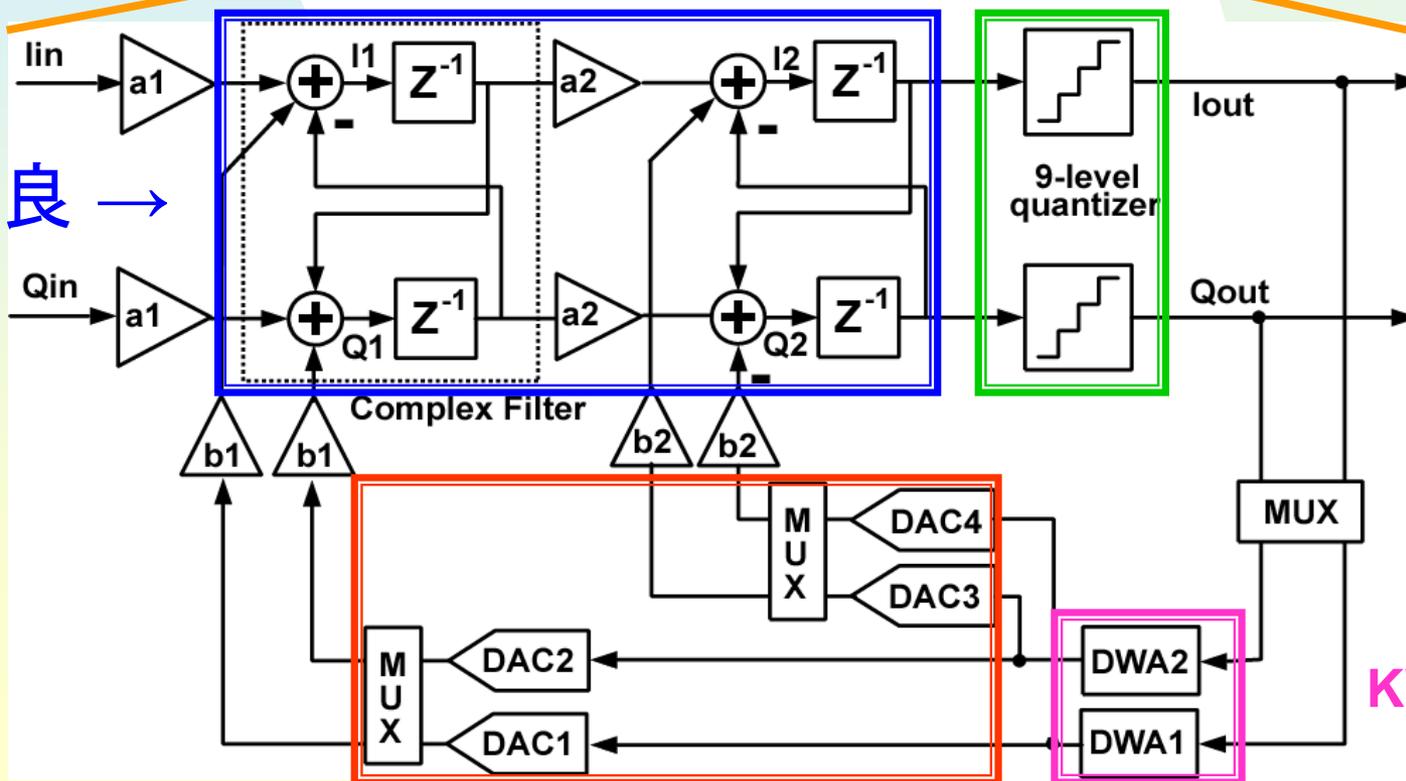
	従来手法	設計
変調器の次数	高次	2次
内部ADC/DAC	1ビット	マルチビット
ミスマッチ対策	イメージ帯域に1次の極	新構成

- 低い次数： 回路の量が小
- マルチビット：
  - ✦ 安定性が良くなり、最大入力レベルが高くなる
  - ✦ 量子化ノイズが小
  - ✦ アンプのスルーレートの要求が緩和される。
  - ✦ アンプの消費電力小
- ◆ マルチビットDACの非線形性：
  - ✦ 複素DWAアルゴリズムで解決(KWS16で発表)
- イメージ帯域の極不要
  - ◆ ミスマッチ影響の改善策の提案

# 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器のブロック図

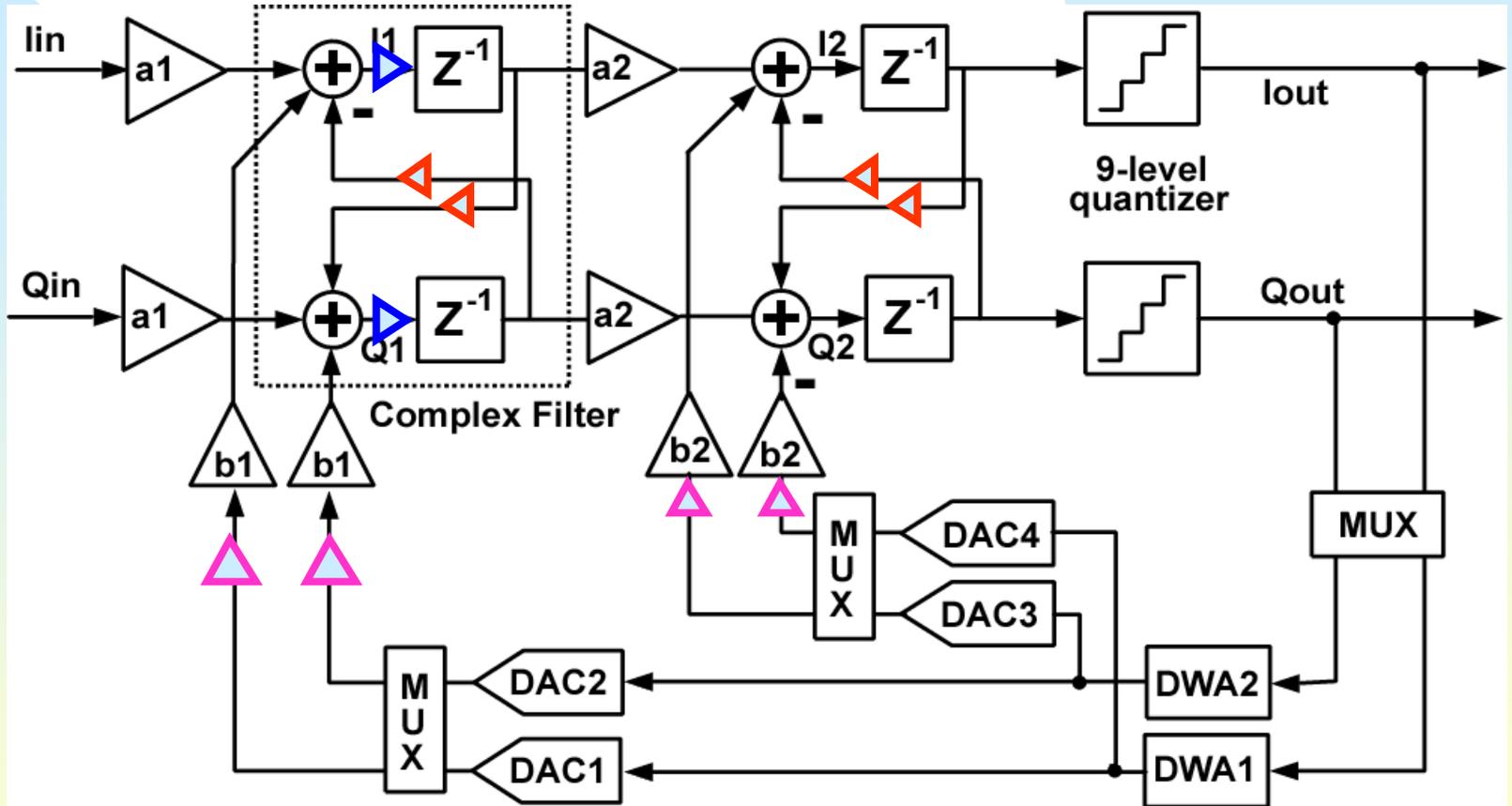


改良 →



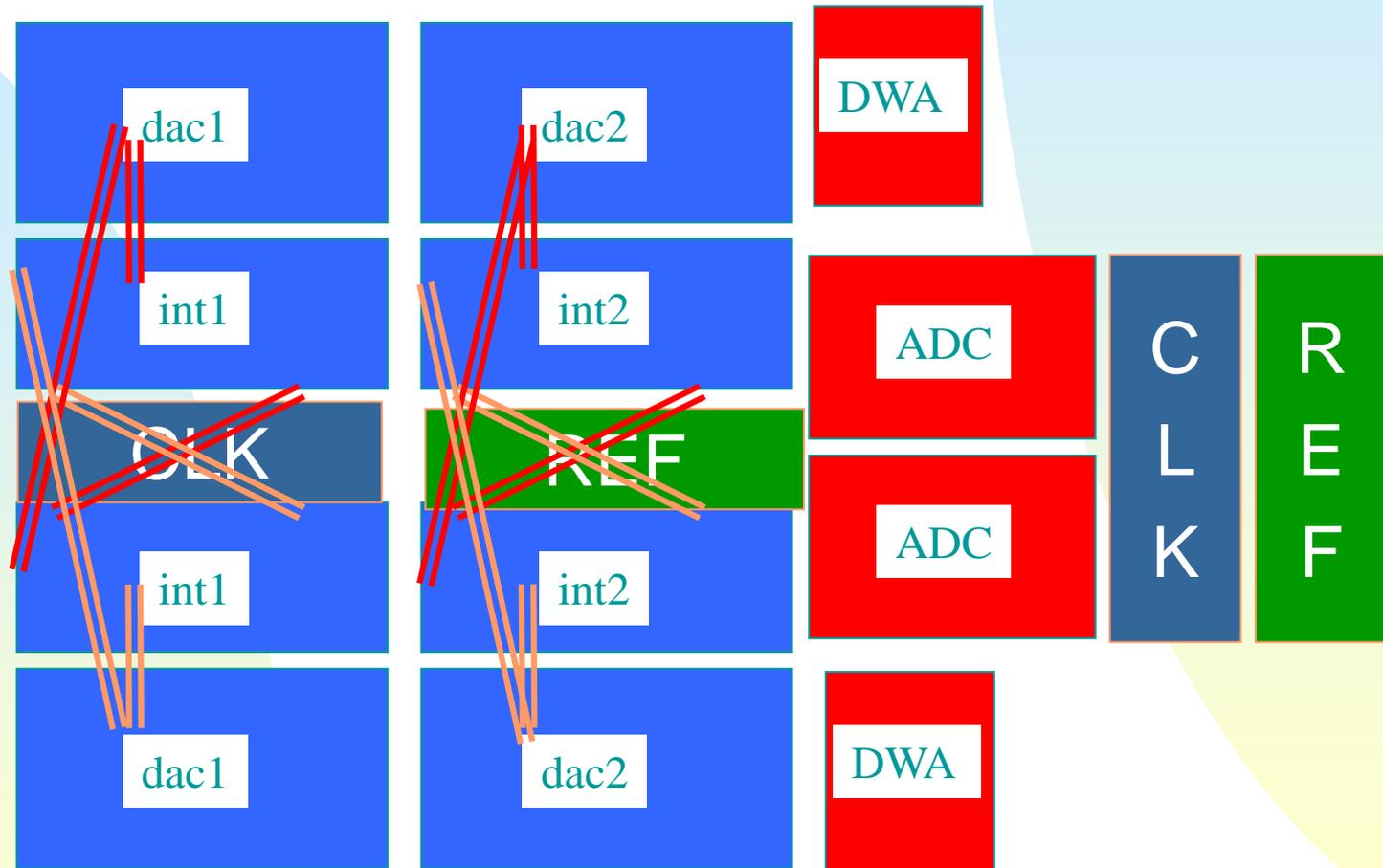
KWS16で発表

# 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器設計上の問題点

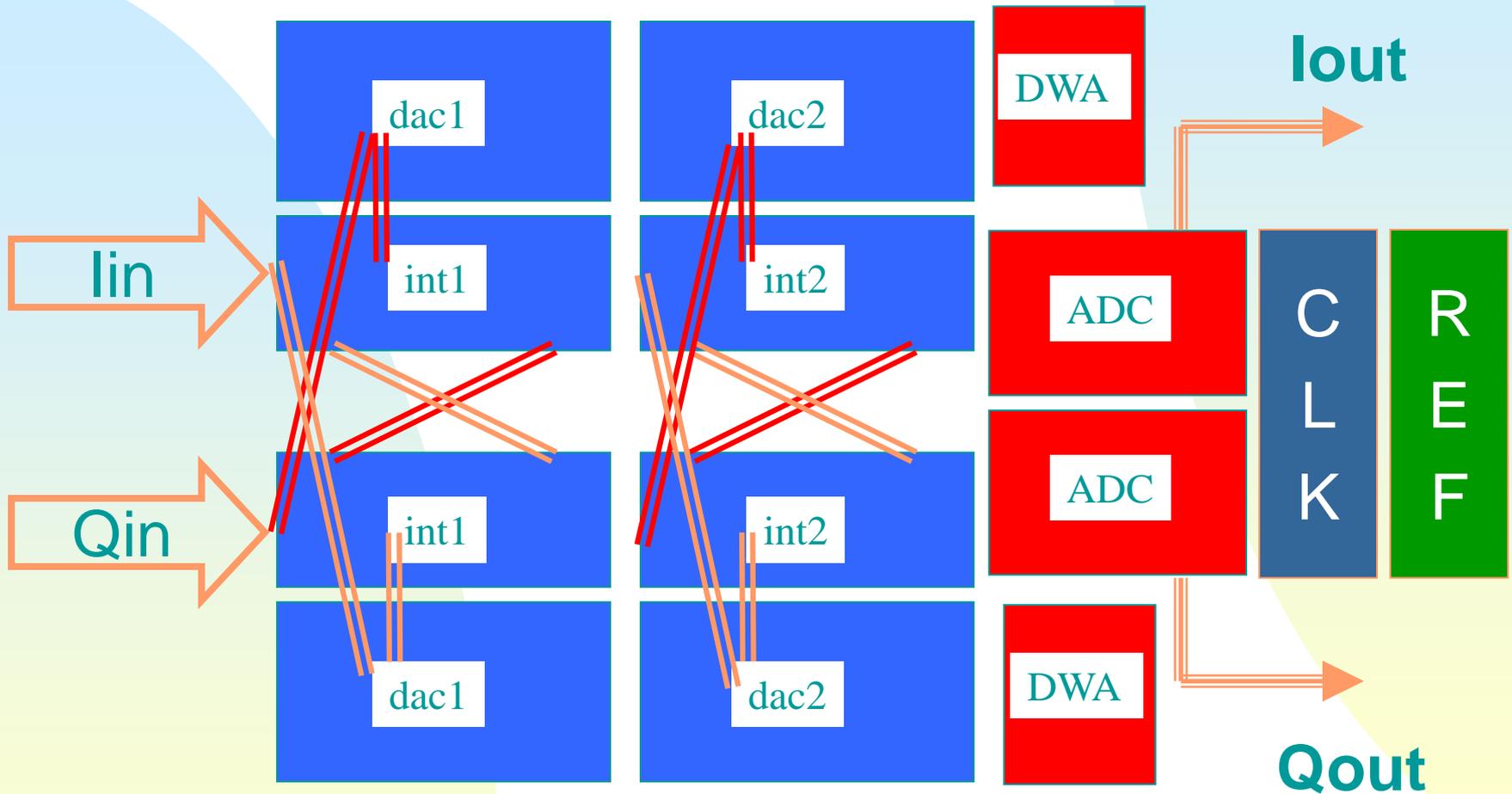


- I、Q経路間ミスマッチの影響
- レイアウト配線が複雑

# チップフロアプラン



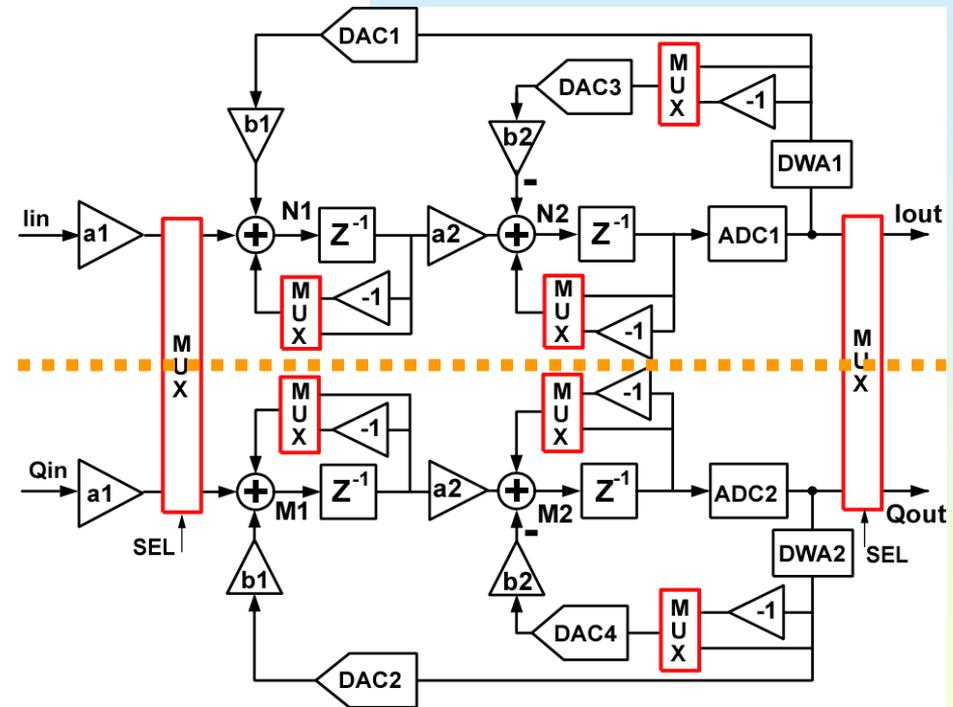
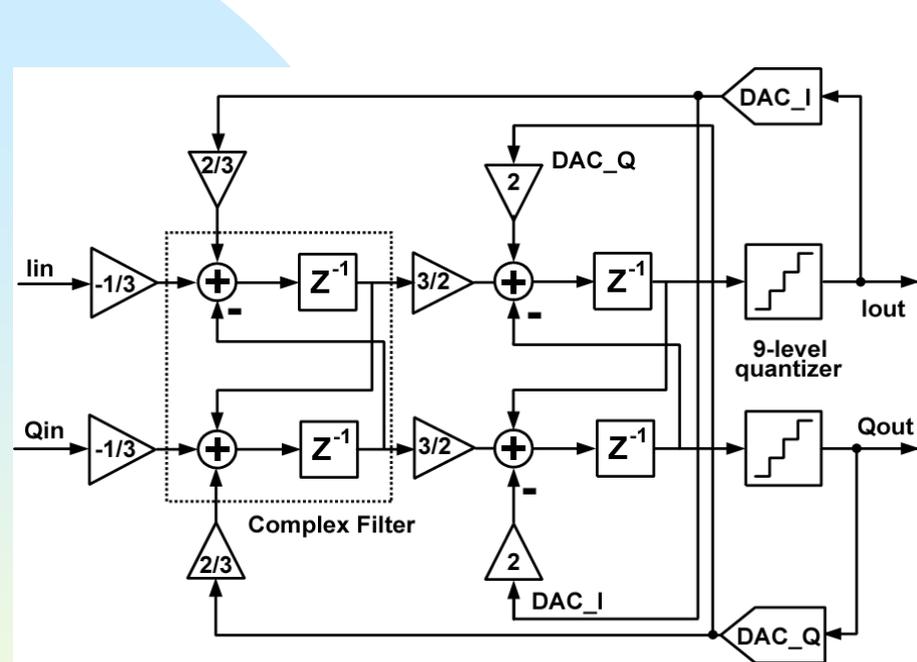
# チップのフロアプラン



# 発表内容

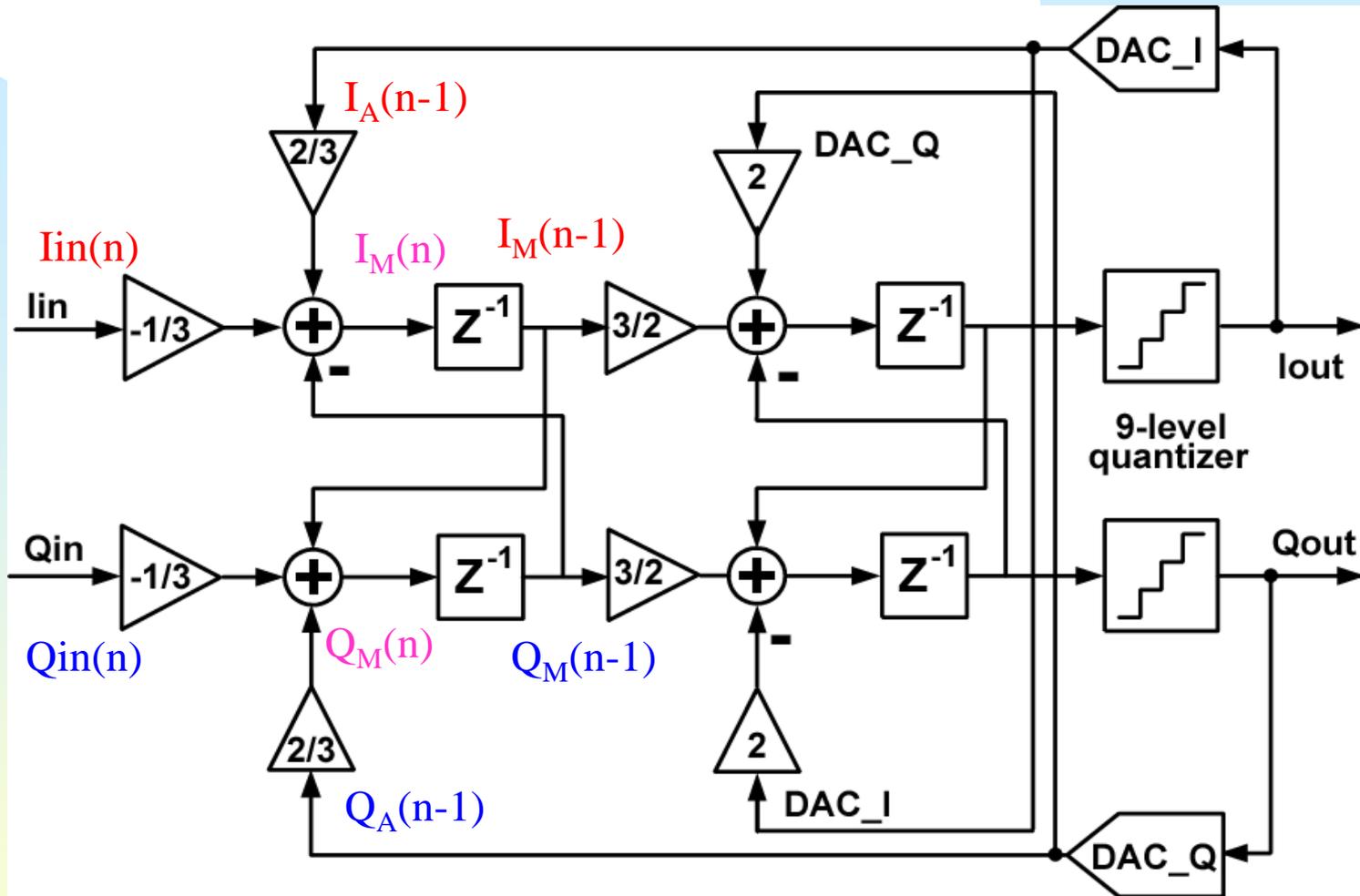
- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
  - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
  - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
  - ◆ 上下経路を分離できる
  - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
  - ◆ 考察:
    - ☞ シミュレーションによる確認
    - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

# 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器アーキテクチャの提案



- MUXを用いて、I、Q信号は上下の経路を交互的に使用  
I、Q経路間 mismatch の影響を軽減
- 上下経路間のクロスする部分がないため、レイアウト配線が簡単

# 従来式複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号

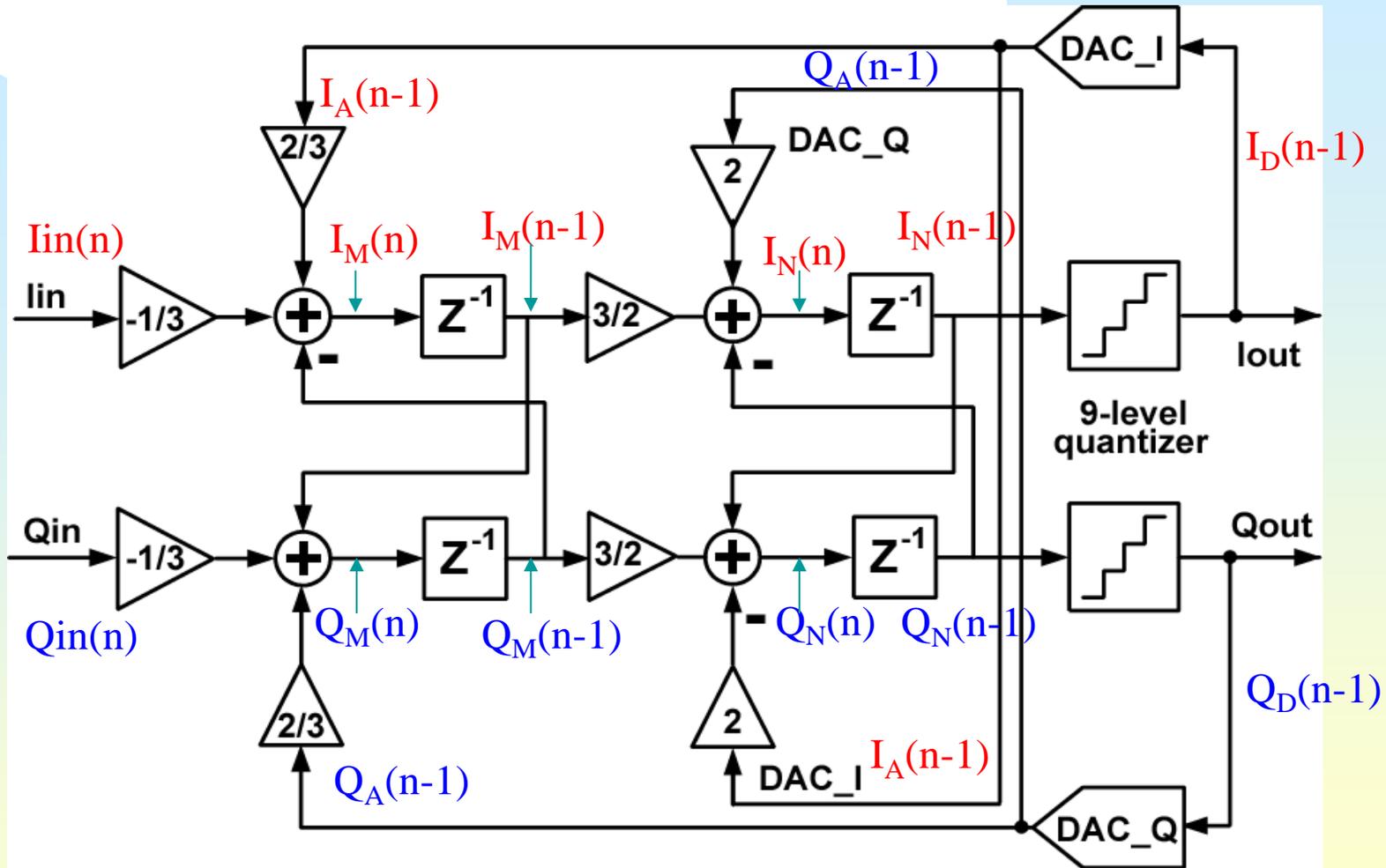


$$I_M(n) = \text{lin}(n) + I_A(n-1) - Q_M(n-1)$$

$$Q_M(n) = \text{Qin}(n) + Q_A(n-1) + I_M(n-1)$$



# 従来式複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号



$$I_M(n) = \text{lin}(n) + I_A(n-1) - Q_M(n-1)$$

$$I_N(n) = I_M(n-1) + Q_A(n-1) - Q_N(n-1)$$

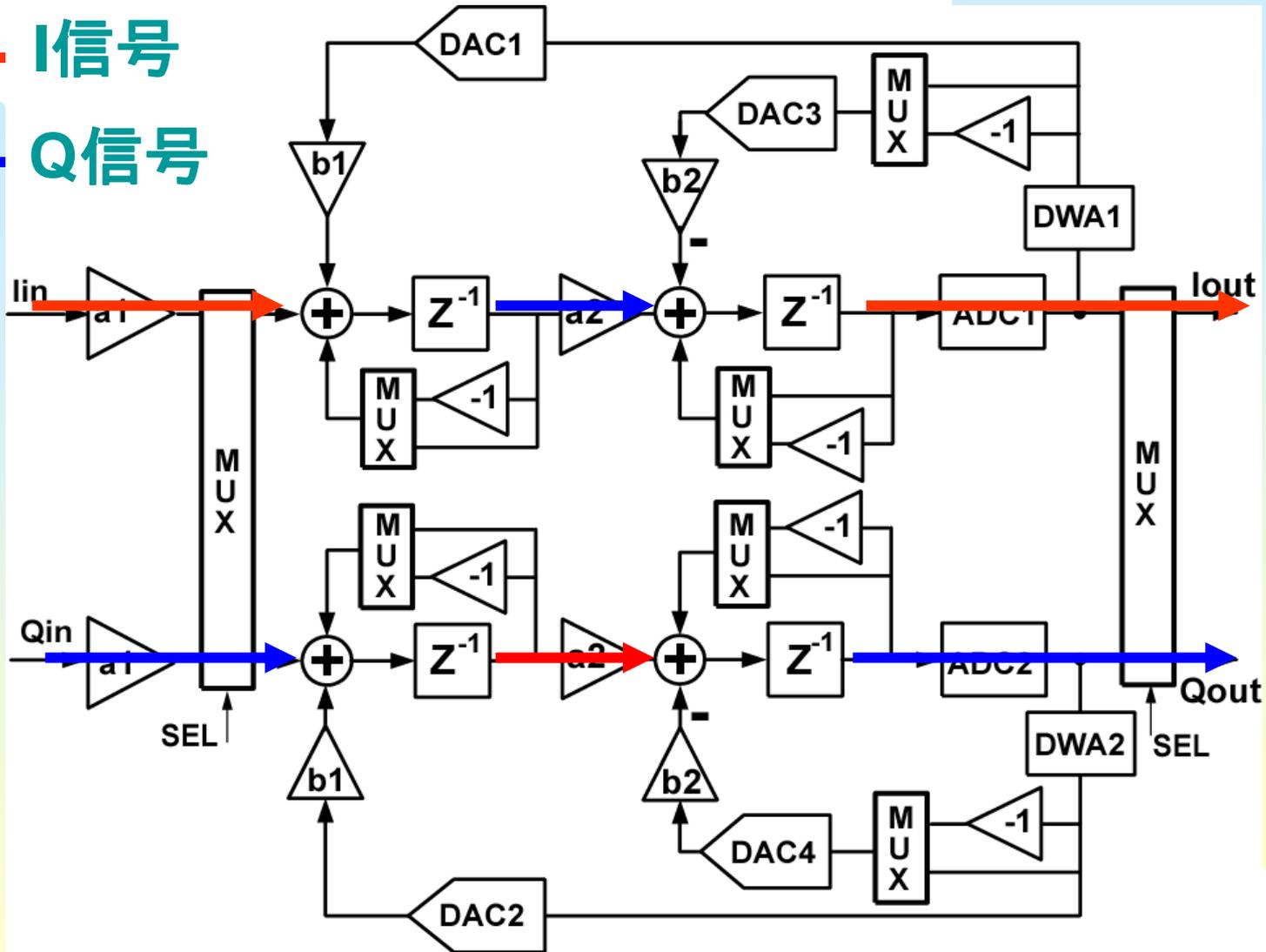
$$Q_M(n) = \text{Qin}(n) + Q_A(n-1) + I_M(n-1)$$

$$Q_N(n) = Q_M(n-1) + I_A(n-1) - I_N(n-1)$$

# 提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(1)

I信号

Q信号

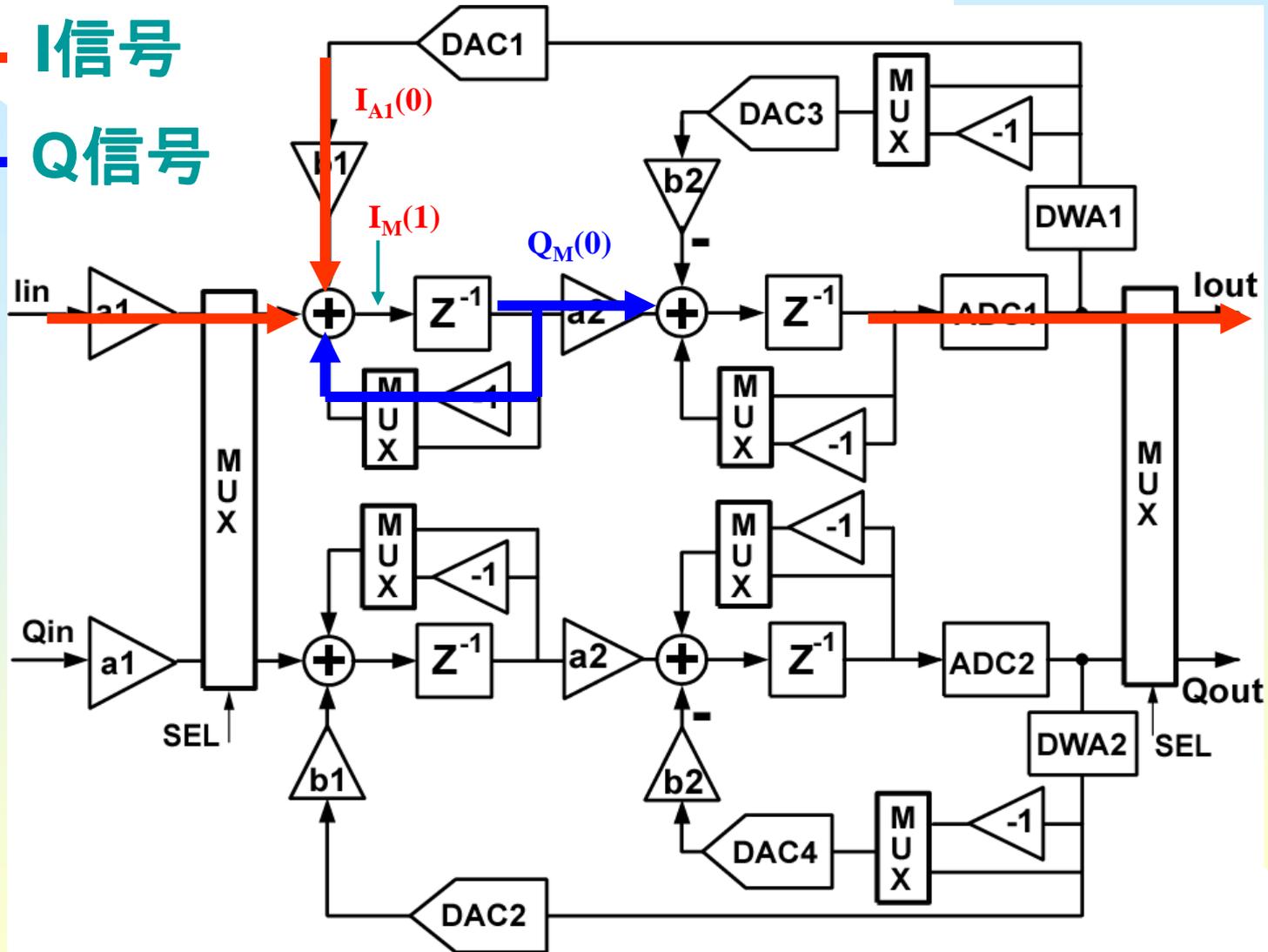




# 提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(1)

I信号

Q信号

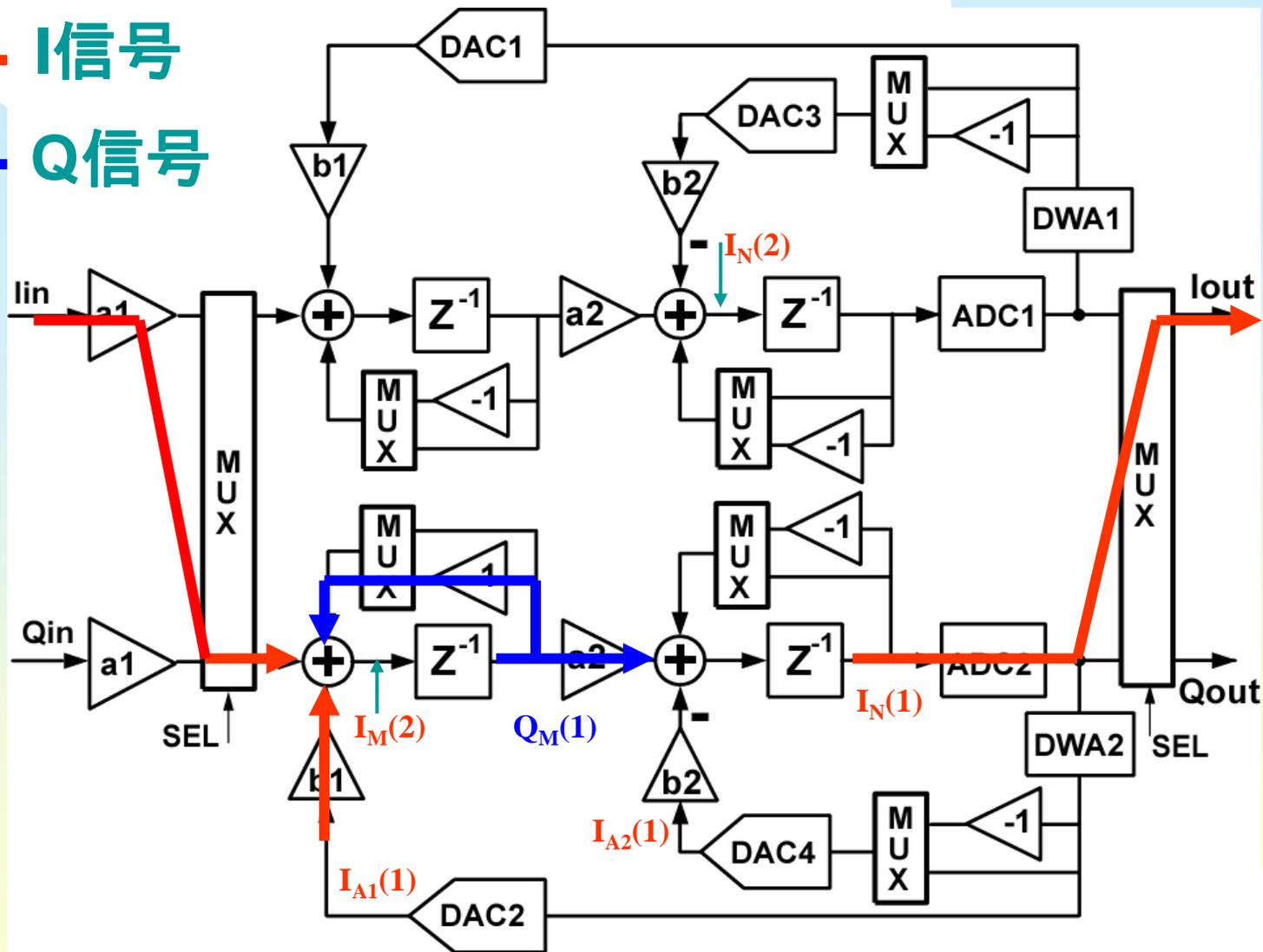


$$I_M(1) = I_{in}(1) + I_{A1}(0) - Q_M(0)$$

# 提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(2)

I信号

Q信号

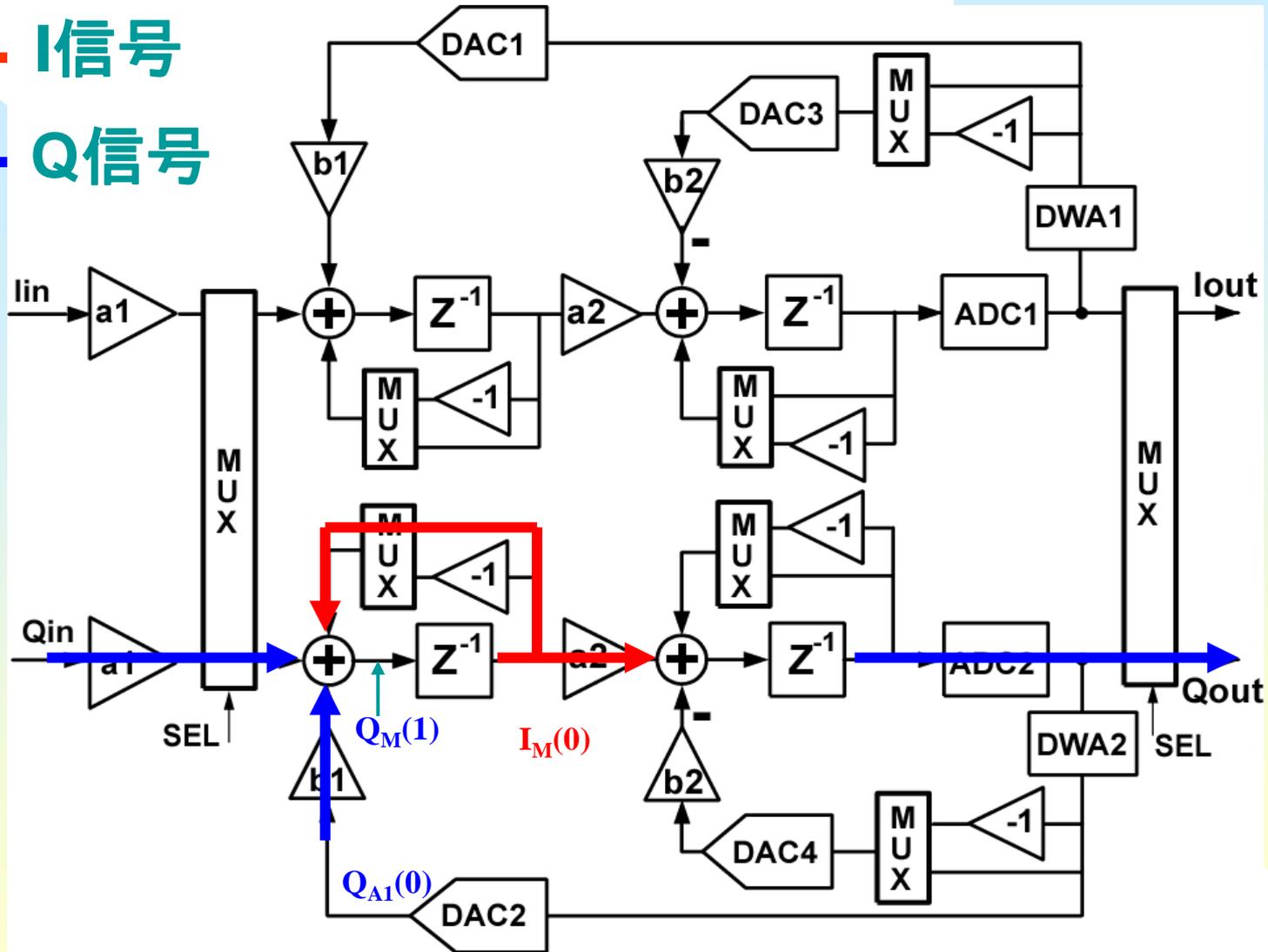


$$I_M(2) = I_{in}(2) + I_{A1}(1) - Q_M(1)$$

# 提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(1)

I信号

Q信号

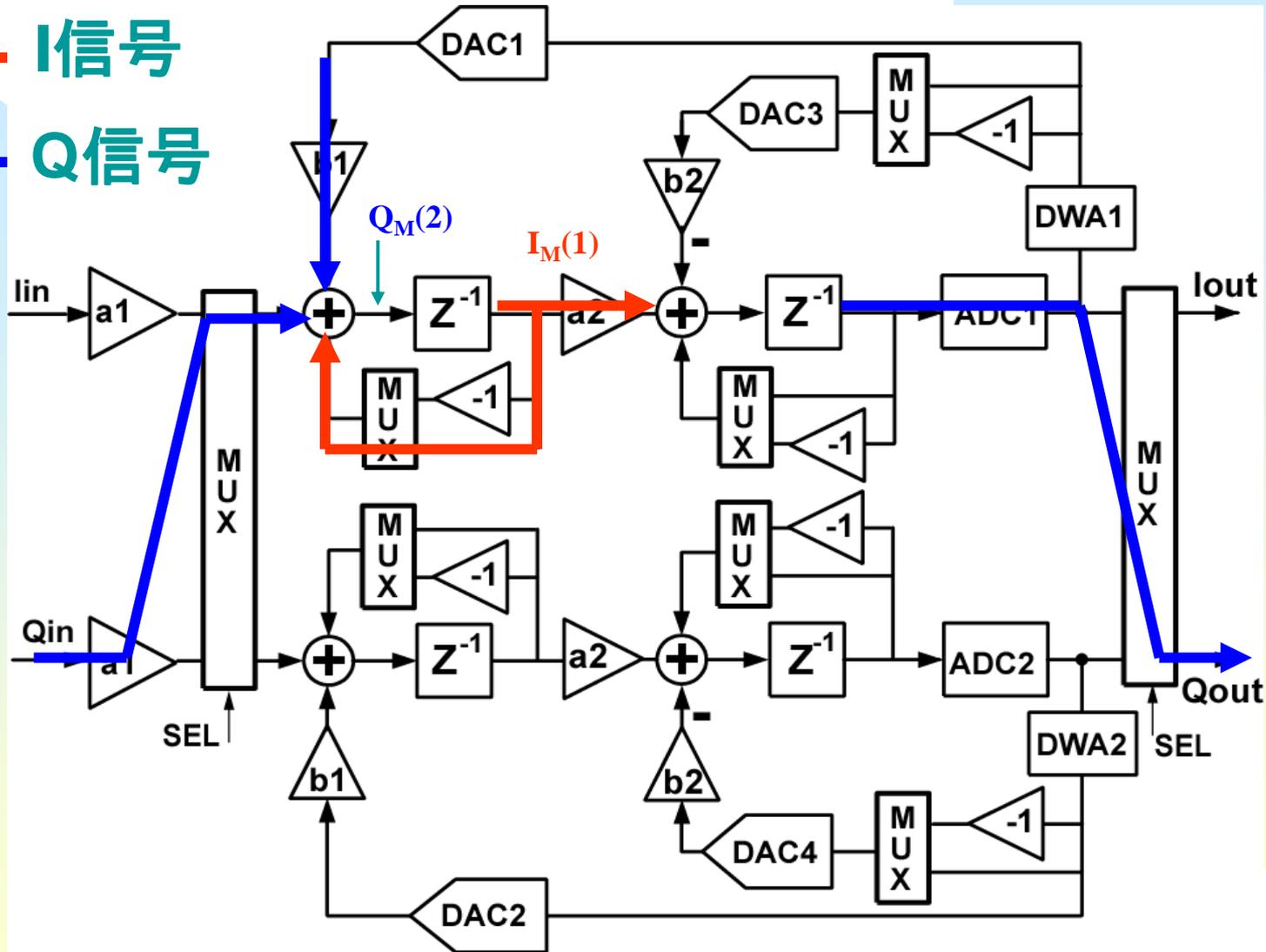


$$Q_M(1) = Q_{in}(1) + Q_{A1}(0) + I_M(0)$$

# 提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(2)

I信号

Q信号

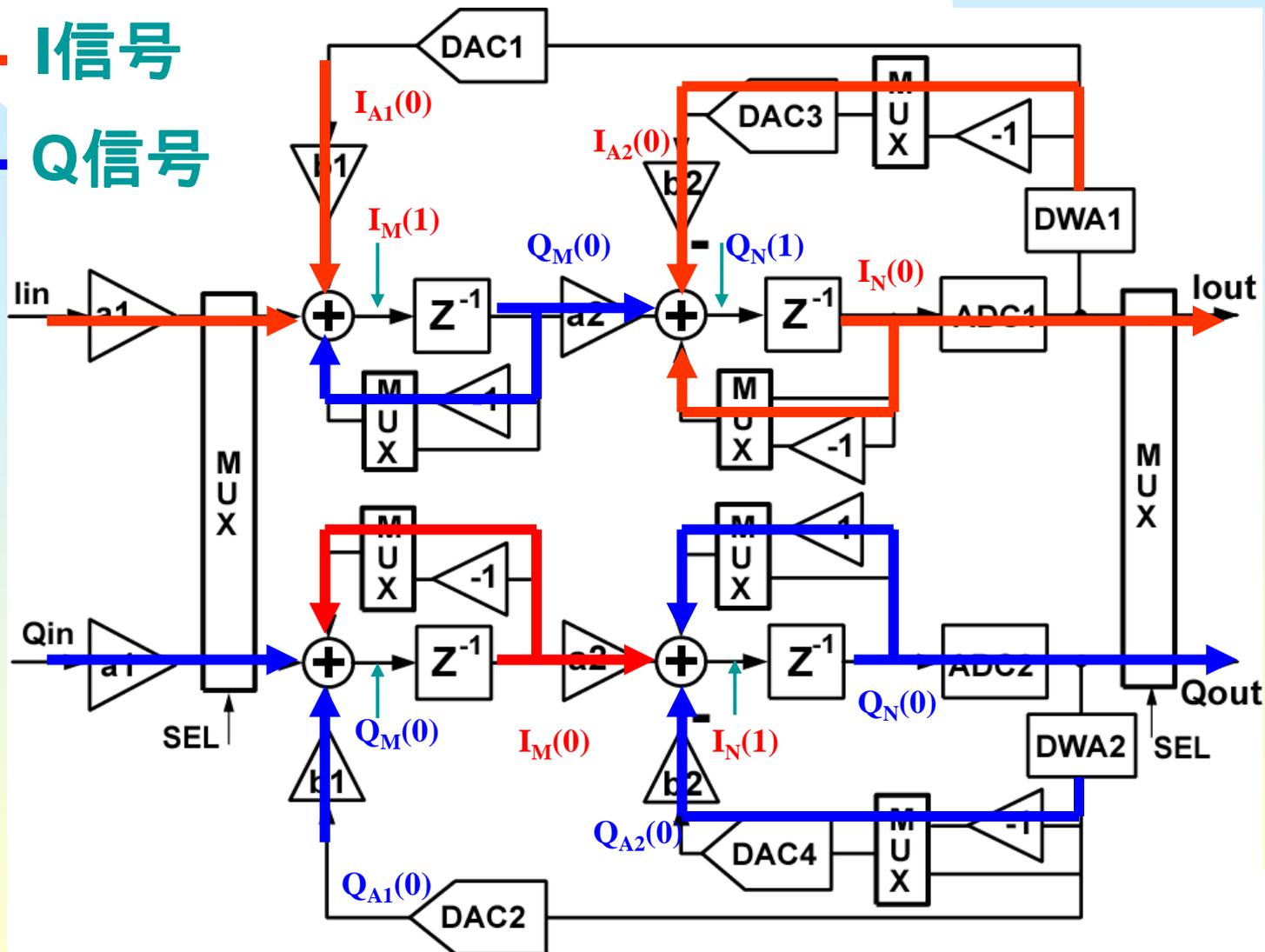


$$Q_M(2) = Q_{in}(2) + Q_{A1}(1) + I_M(1)$$

# 提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(1)

I信号

Q信号



$$I_M(1) = I_{in}(1) + I_{A1}(0) - Q_M(0)$$

$$Q_M(1) = Q_{in}(1) + Q_{A1}(0) + I_M(0)$$

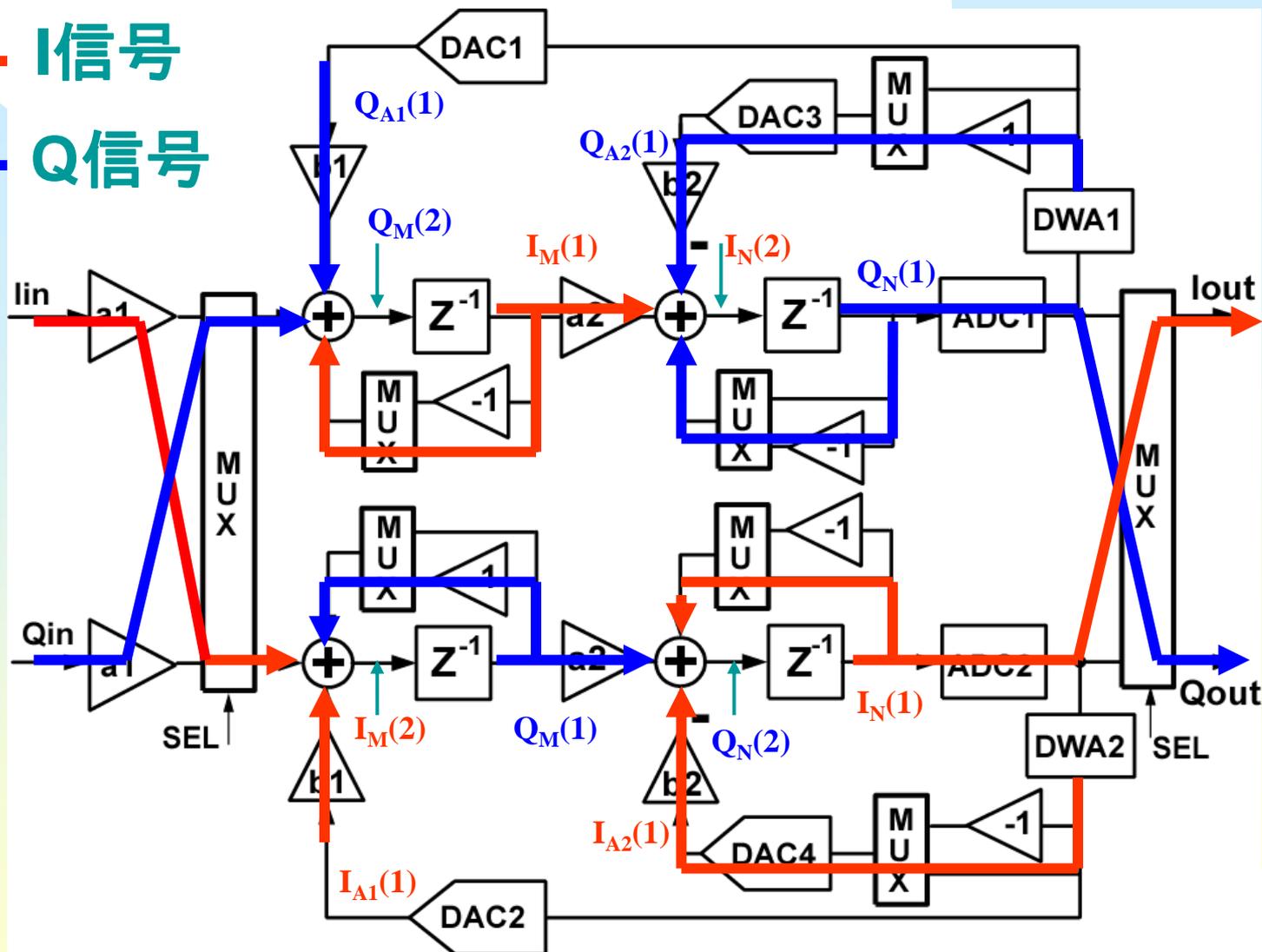
$$I_N(1) = I_M(0) + Q_{A2}(0) - Q_N(0)$$

$$Q_N(1) = Q_M(0) + I_{A2}(0) + I_N(0)$$

# 提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(2)

I信号

Q信号



$$I_M(2) = I_{in}(2) + I_{A1}(1) - Q_M(1)$$

$$Q_M(2) = Q_{in}(2) + Q_{A1}(1) + I_M(1)$$

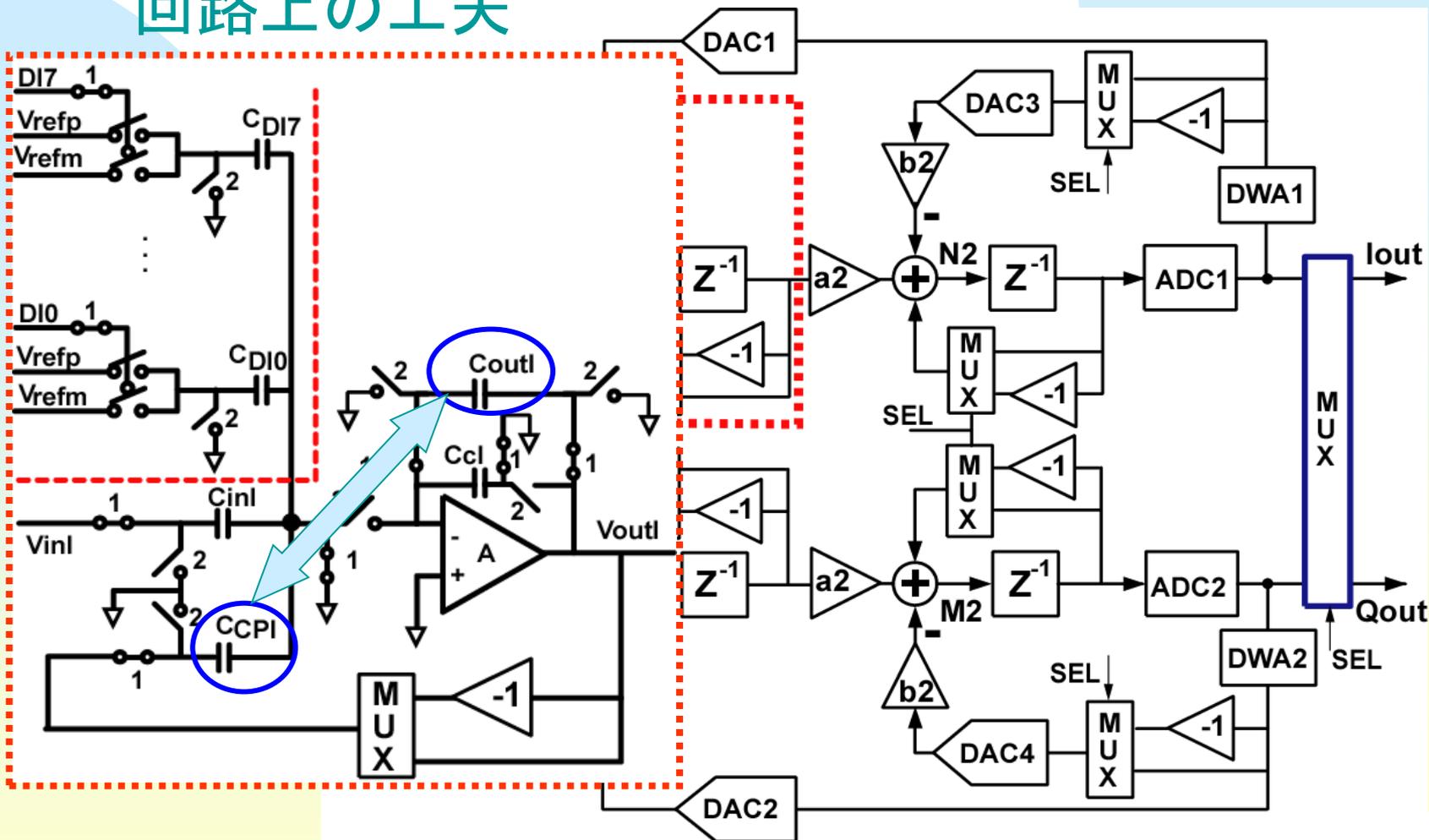
$$I_N(2) = I_M(1) + Q_{A2}(1) - Q_N(1)$$

$$Q_N(2) = Q_M(1) + I_{A2}(1) + I_N(1)$$



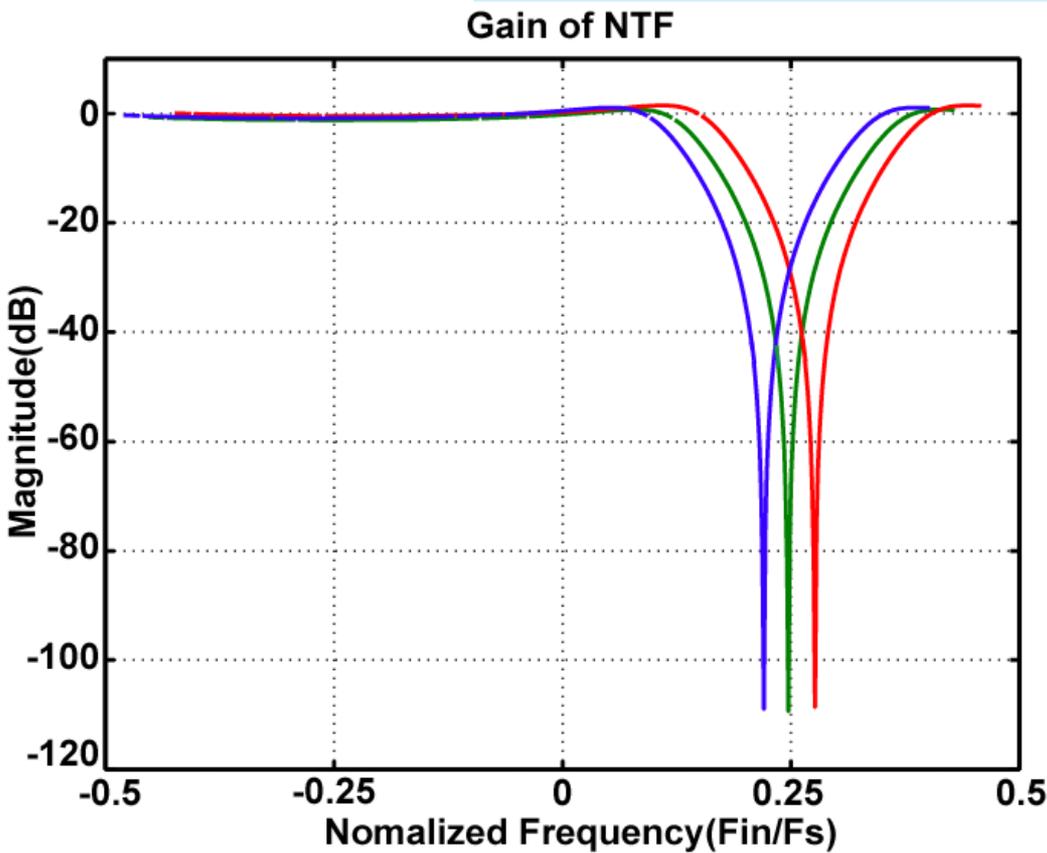
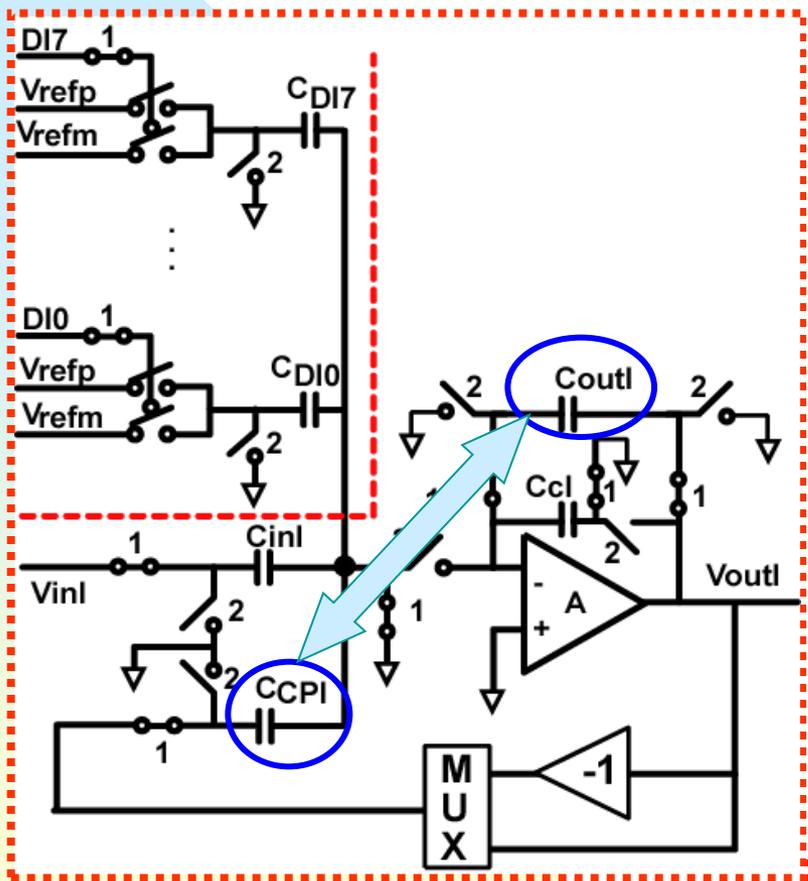
# キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング

## 回路上の工夫



# キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング

## 回路上の工夫

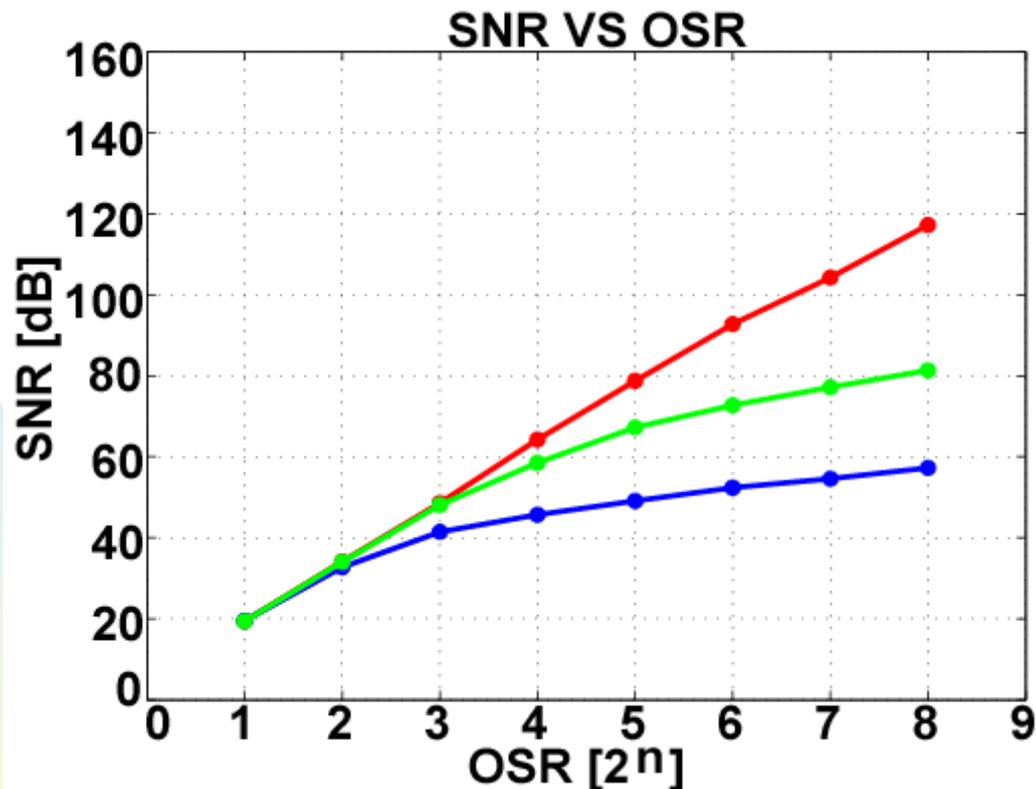


$C_{cp1}$ と $C_{out1}$ をCLK毎に交換し、  
容量のミスマッチによる影響を軽減

極: 
$$Z = \frac{C_{CPI}}{C_{OUTI}} j$$

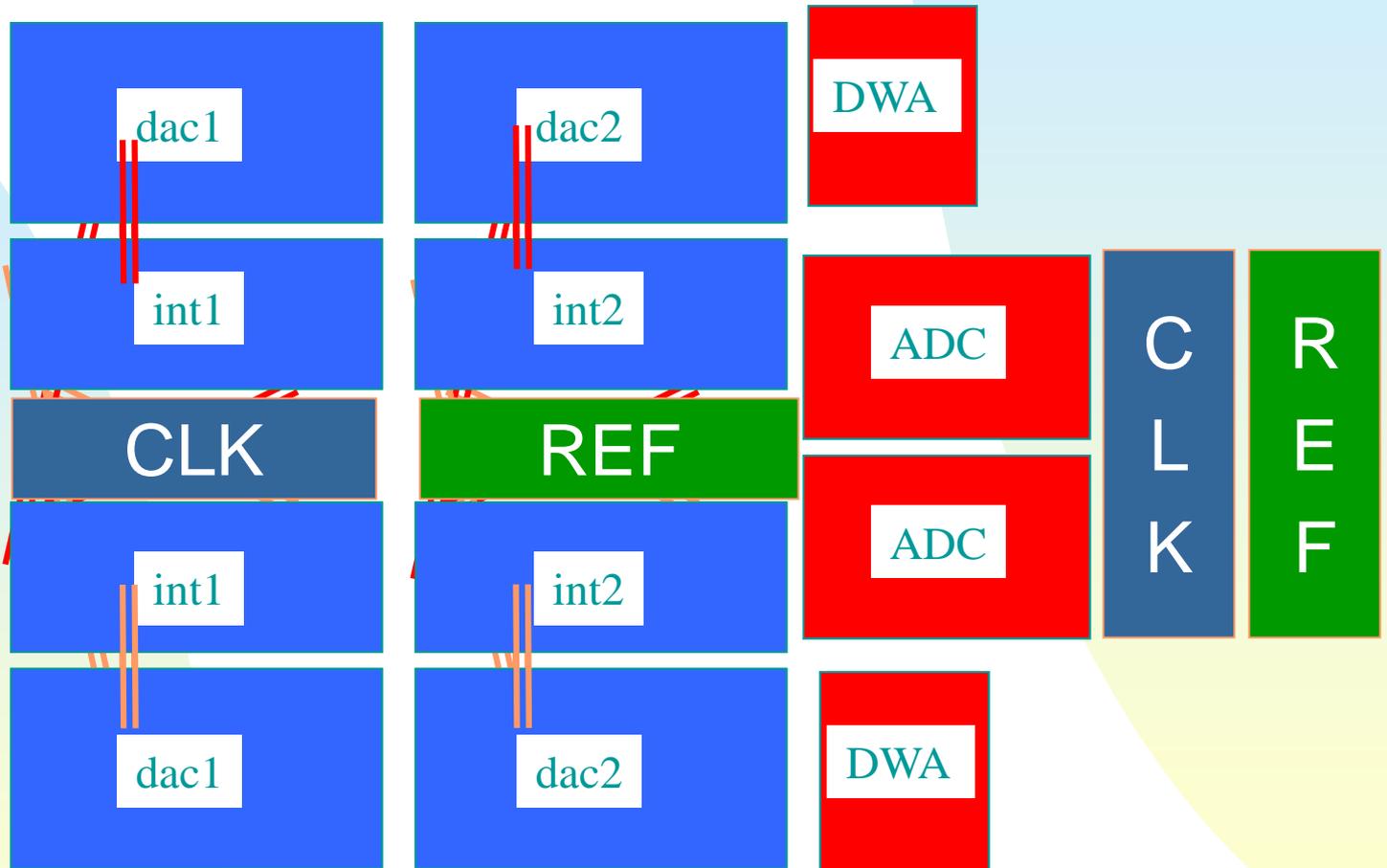
# 考察

# シミュレーションによるミスマッチ影響軽減効果の確認



- 👉 従来構成 (提案構成) 上下経路間のミスマッチ: なし
- 👉 従来構成 " あり
- 👉 提案構成 " あり

# チップフロアプラン



# まとめ

- 新しい複素BPDSMのアーキテクチャを提案した。
  - ◆ 上下経路間ミスマッチの影響を軽減
  - ◆ 複素フィルタ内部クロス不要
    - ☞ 上下経路は完全に分離できる構成
    - ☞ レイアウトが配線が簡潔
- MATLABによるシミュレーションで提案手法をでは、経路間ミスマッチの影響を軽減できることを確認した。