

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

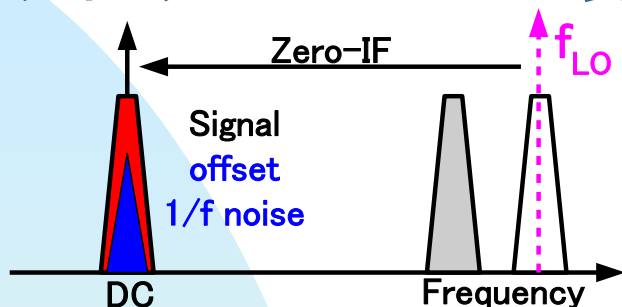
- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
 - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
 - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
 - ◆ 上下経路を分離できる
 - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
 - ◆ 考察:
 - ☞ シミュレーションによる確認
 - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

研究目的

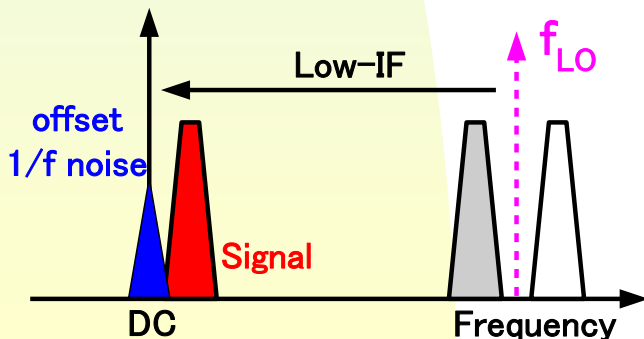
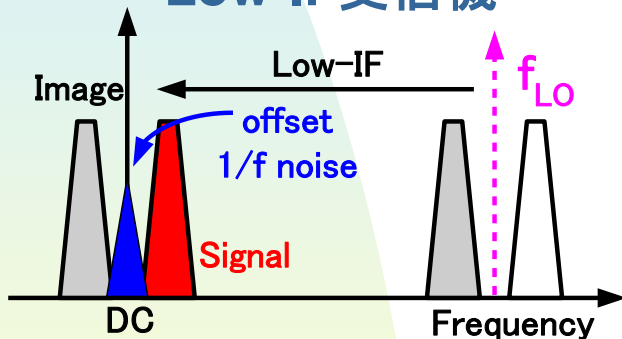
- 携帯電話、無線LAN等RF受信機用ADC
 - 低消費電力化
 - 高精度化
- 目的：
有効な複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器を開発

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



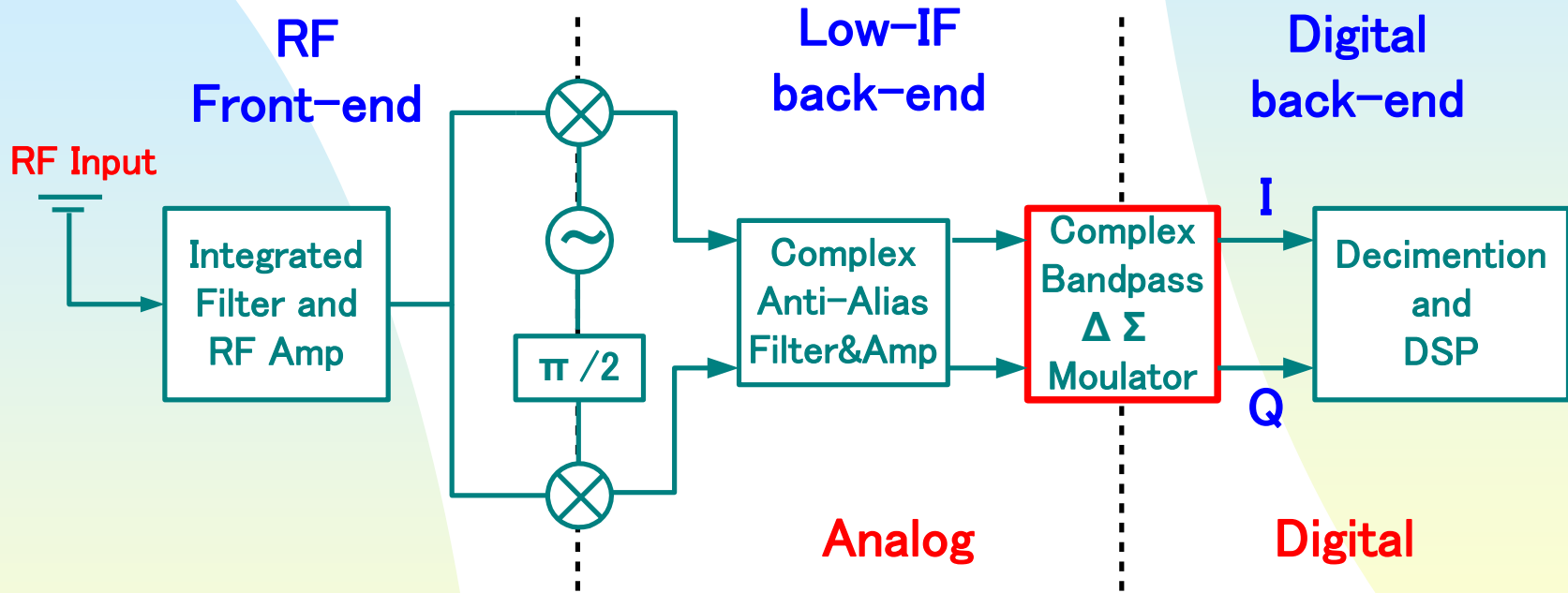
Low-IF受信機



- 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

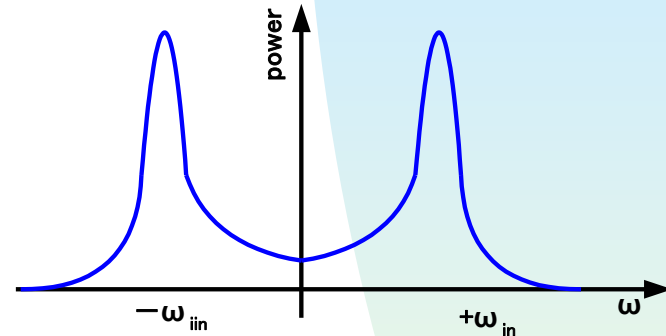
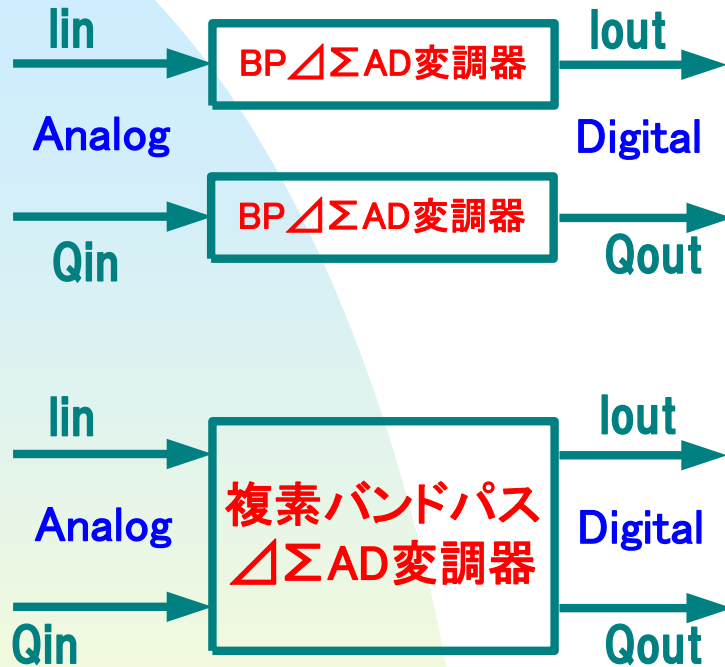


- イメージ成分をAD変換しない
- 低消費電力

発表内容

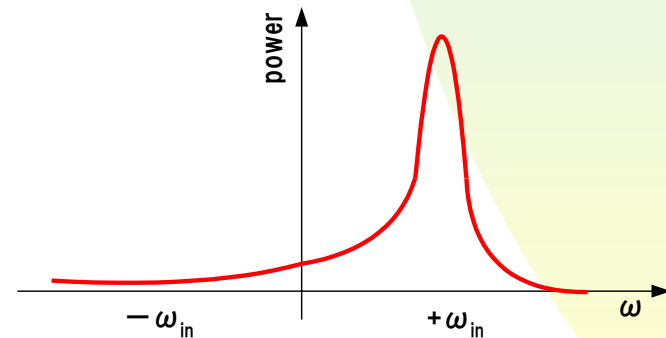
- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
 - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
 - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
 - ◆ 上下経路を分離できる
 - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
 - ◆ 考察:
 - ☞ シミュレーションによる確認
 - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器



イメージ成分

信号成分



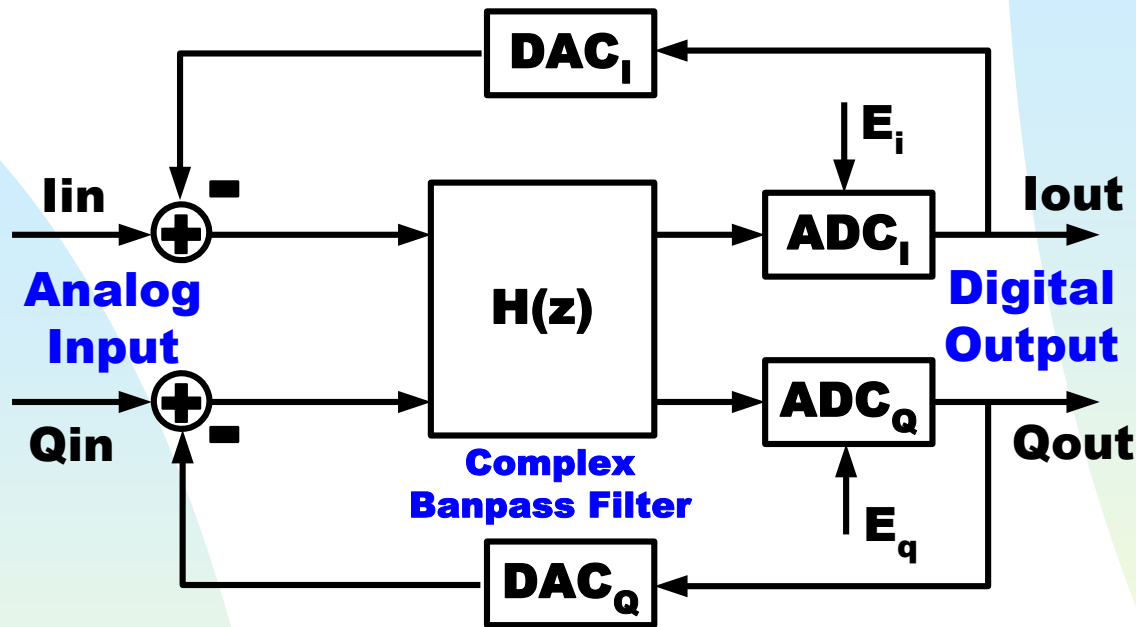
■ IとQの2入出力信号

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

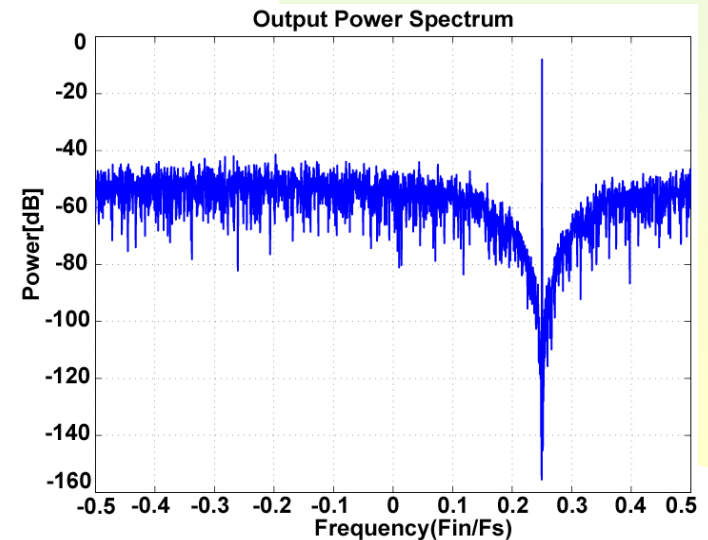
↓ AD変換

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

複素バンドパス $\Delta \Sigma$ AD変調器の構成

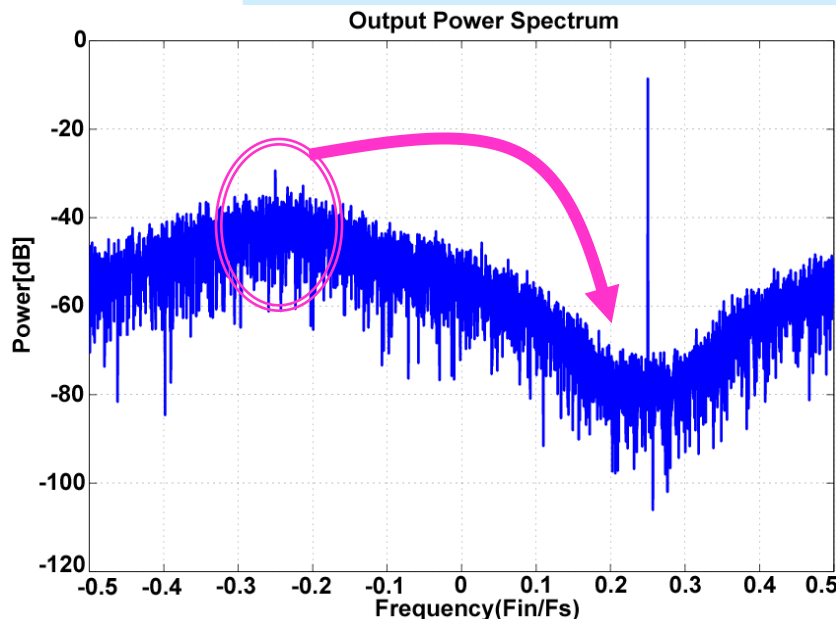
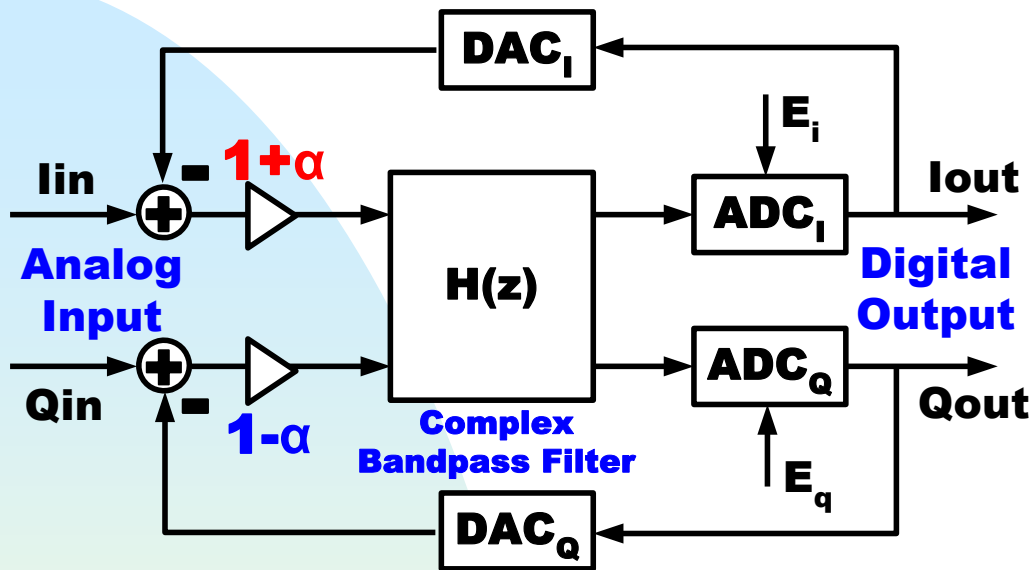


$$I_{out} + jQ_{out} = \frac{H}{1+H} (I_{in} + jQ_{in}) + \frac{1}{1+H} (E_i + jE_q)$$



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

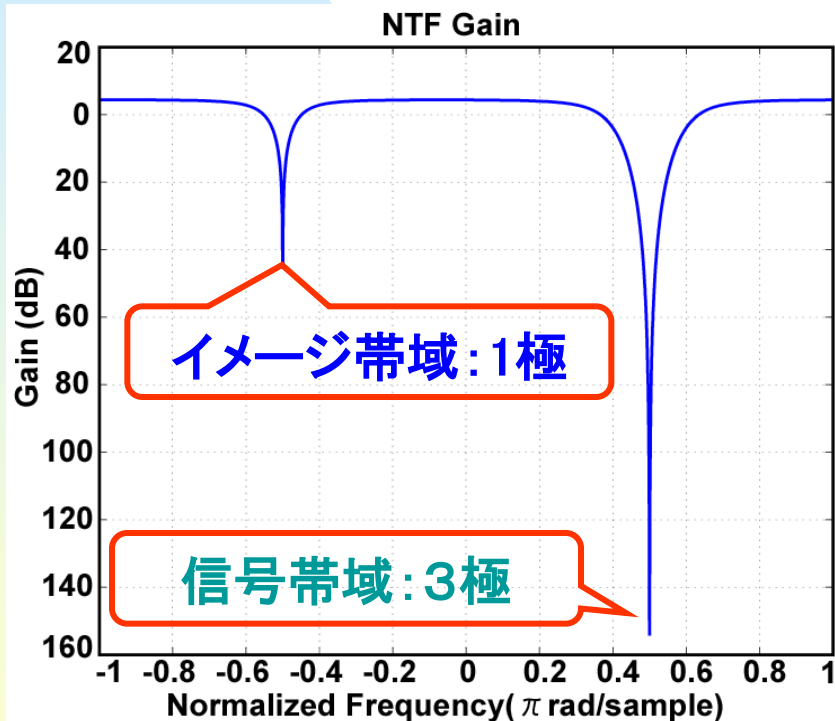


$$\begin{aligned}
 I_{out} + jQ_{out} = & \frac{H + (1 - \alpha^2)H^2}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (I_{in} + jQ_{in}) + \frac{\alpha H}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (I_{in} - jQ_{in}) \\
 & + \frac{1 + H}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (E_i + jE_q) + \frac{\alpha H}{1 + 2H + (1 - \alpha^2)H^2} (E_i - jE_q)
 \end{aligned}$$

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

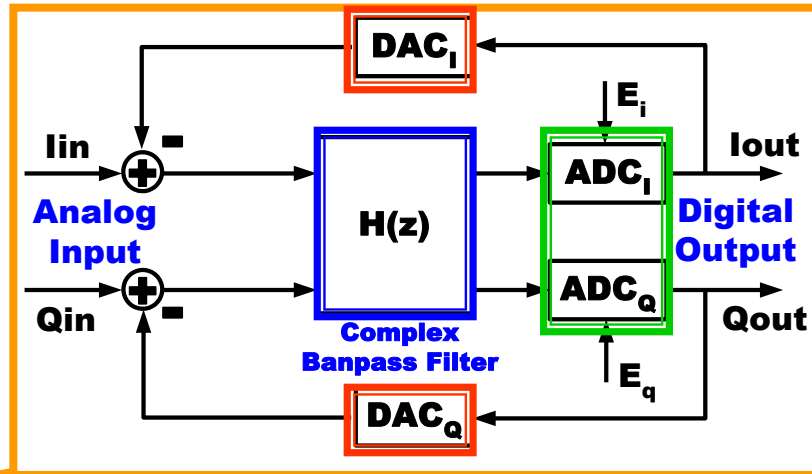
マルチビット複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の設計

設計の目標： 高精度・低消費電力

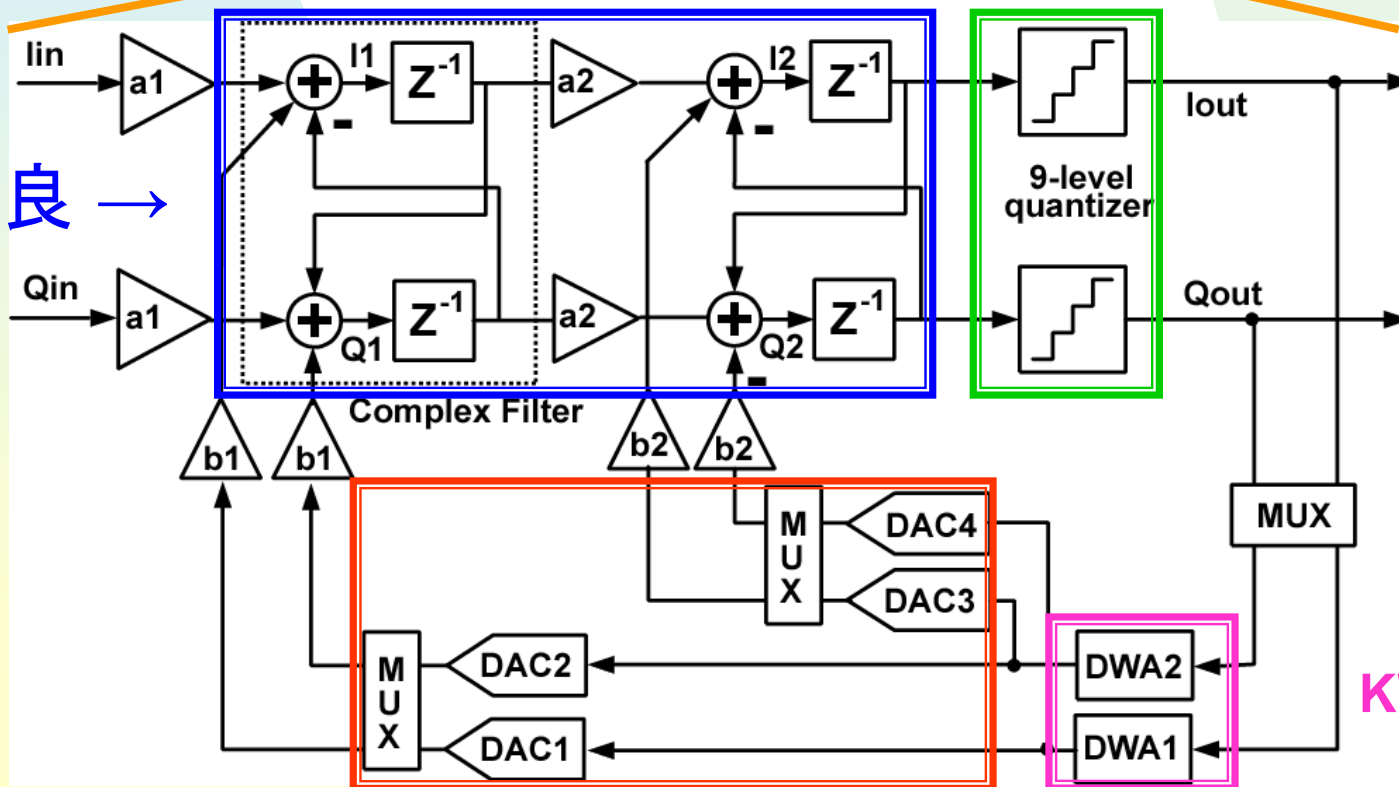
	従来手法	設計
変調器の次数	高次	2次
内部ADC/DAC	1ビット	マルチビット
ミスマッチ対策	イメージ帯域に1次の極	新構成

- 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

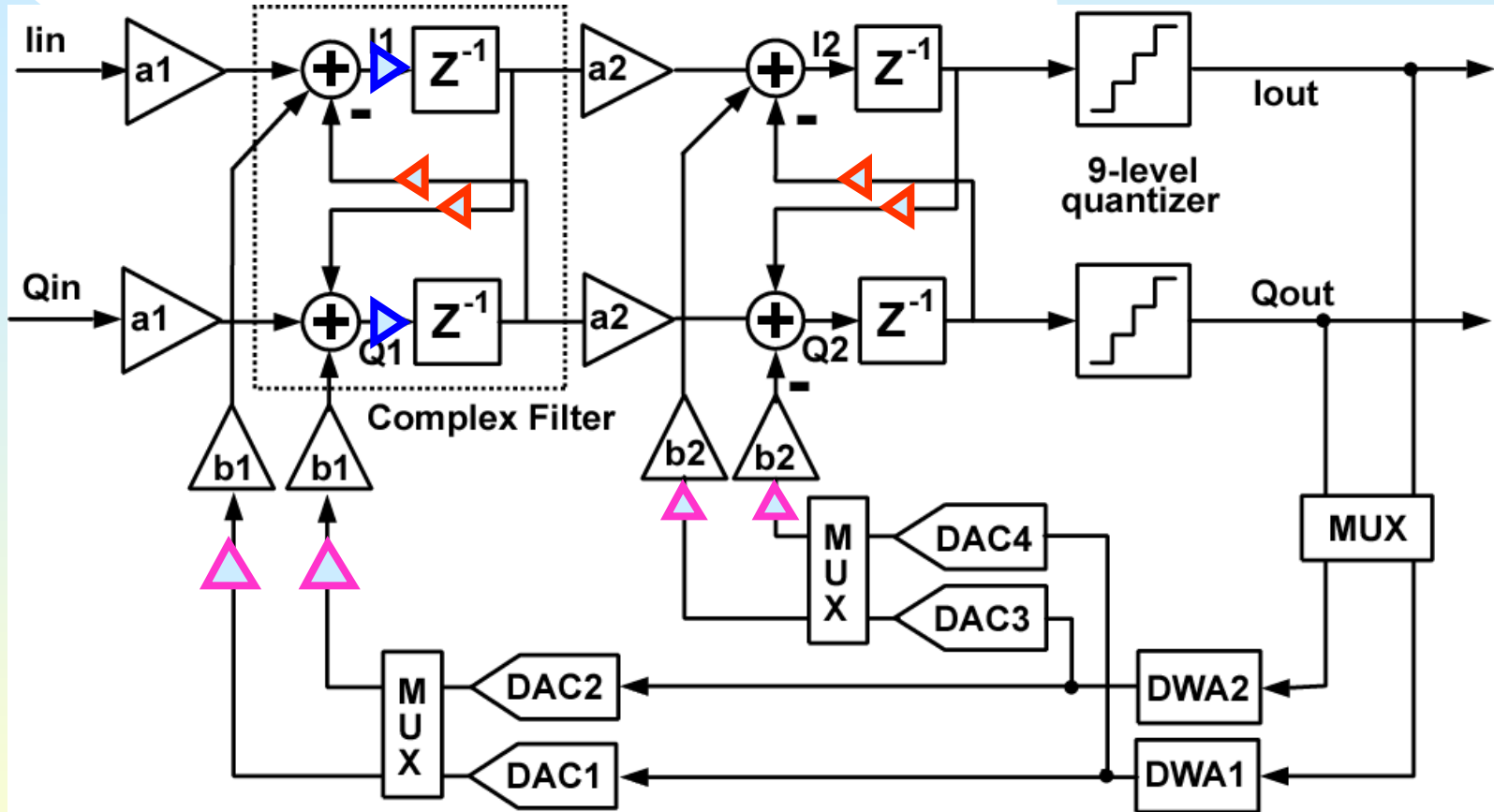


改良 →



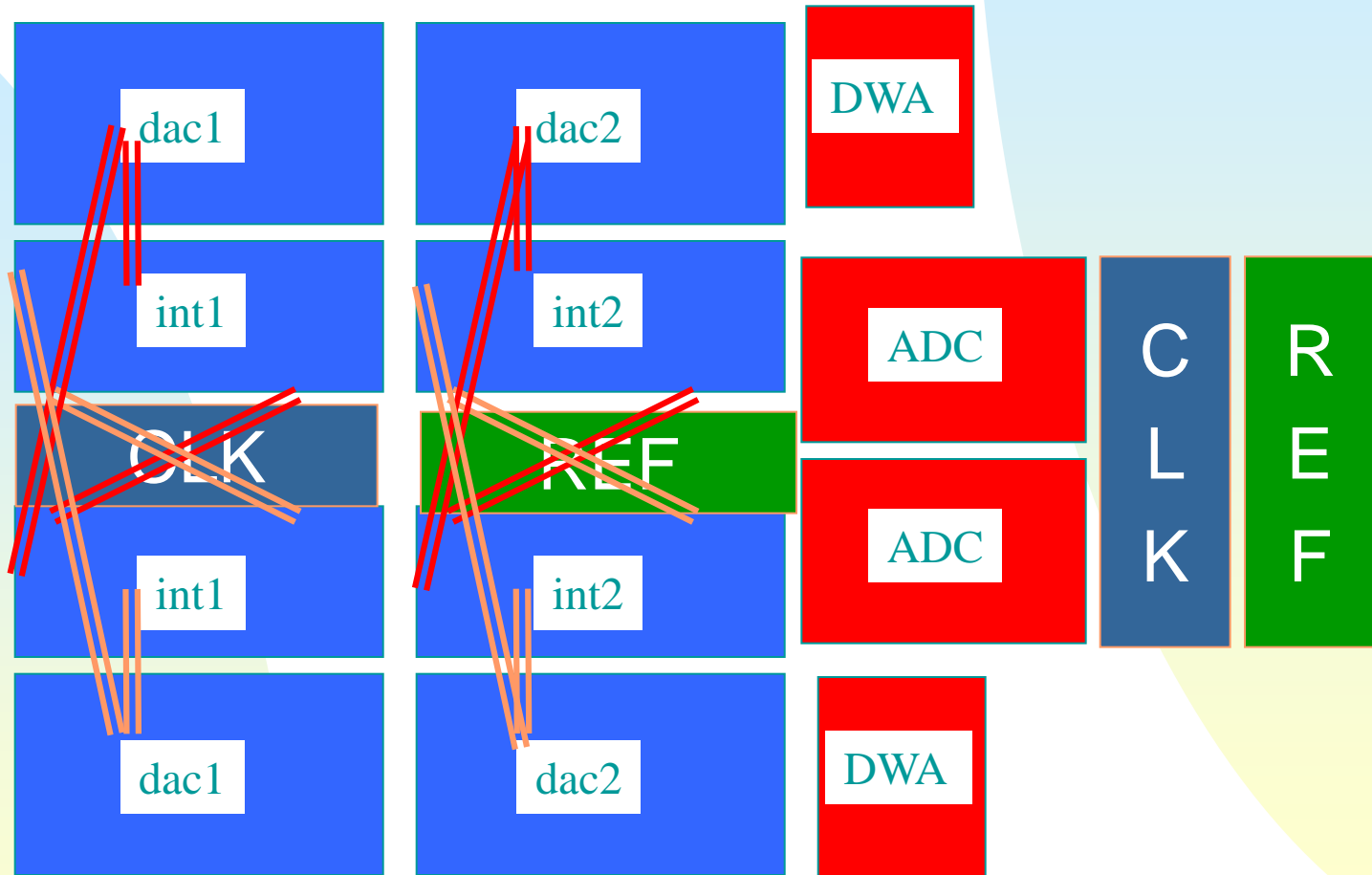
KWS16で発表

複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器設計上の問題点

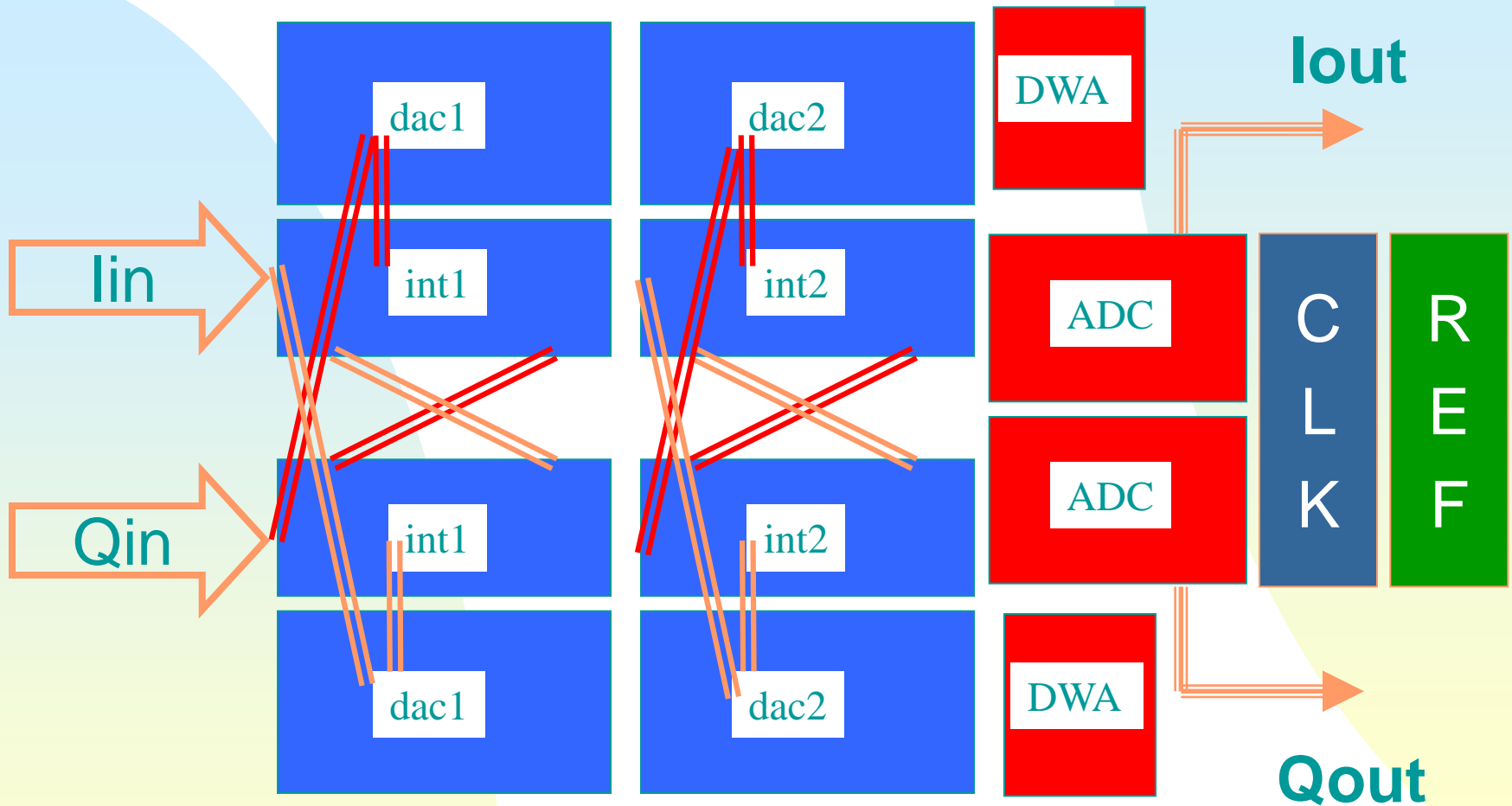


- I、Q経路間ミスマッチの影響
- レイアウト配線が複雑

チップフロアプラン



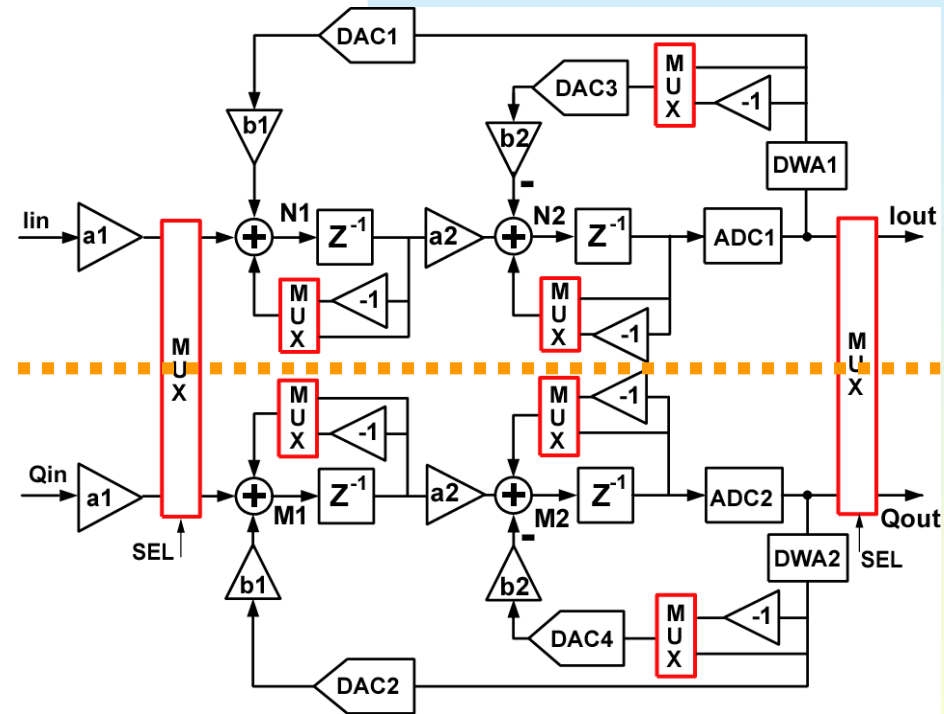
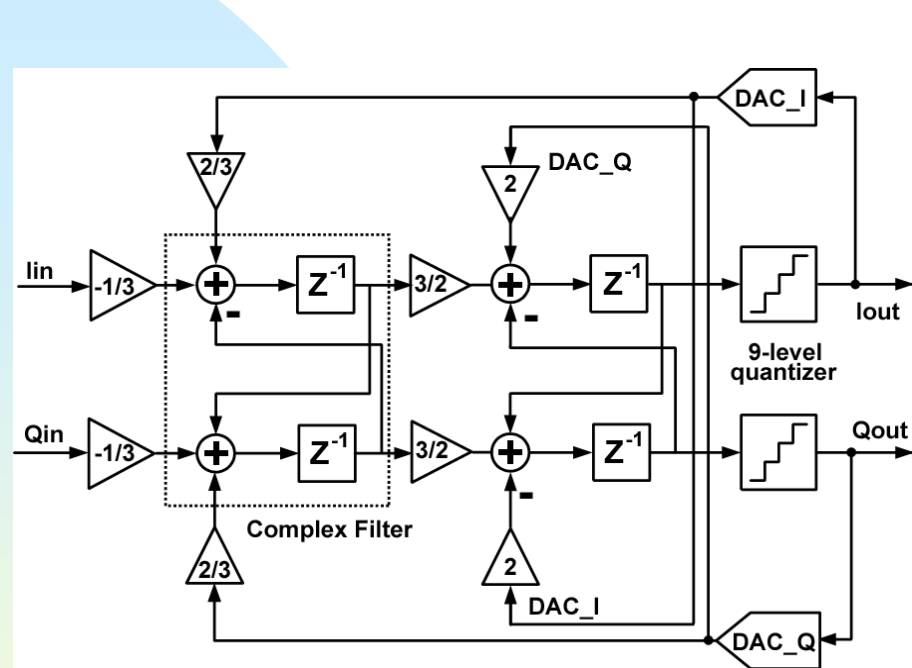
チップのフロアプラン



発表内容

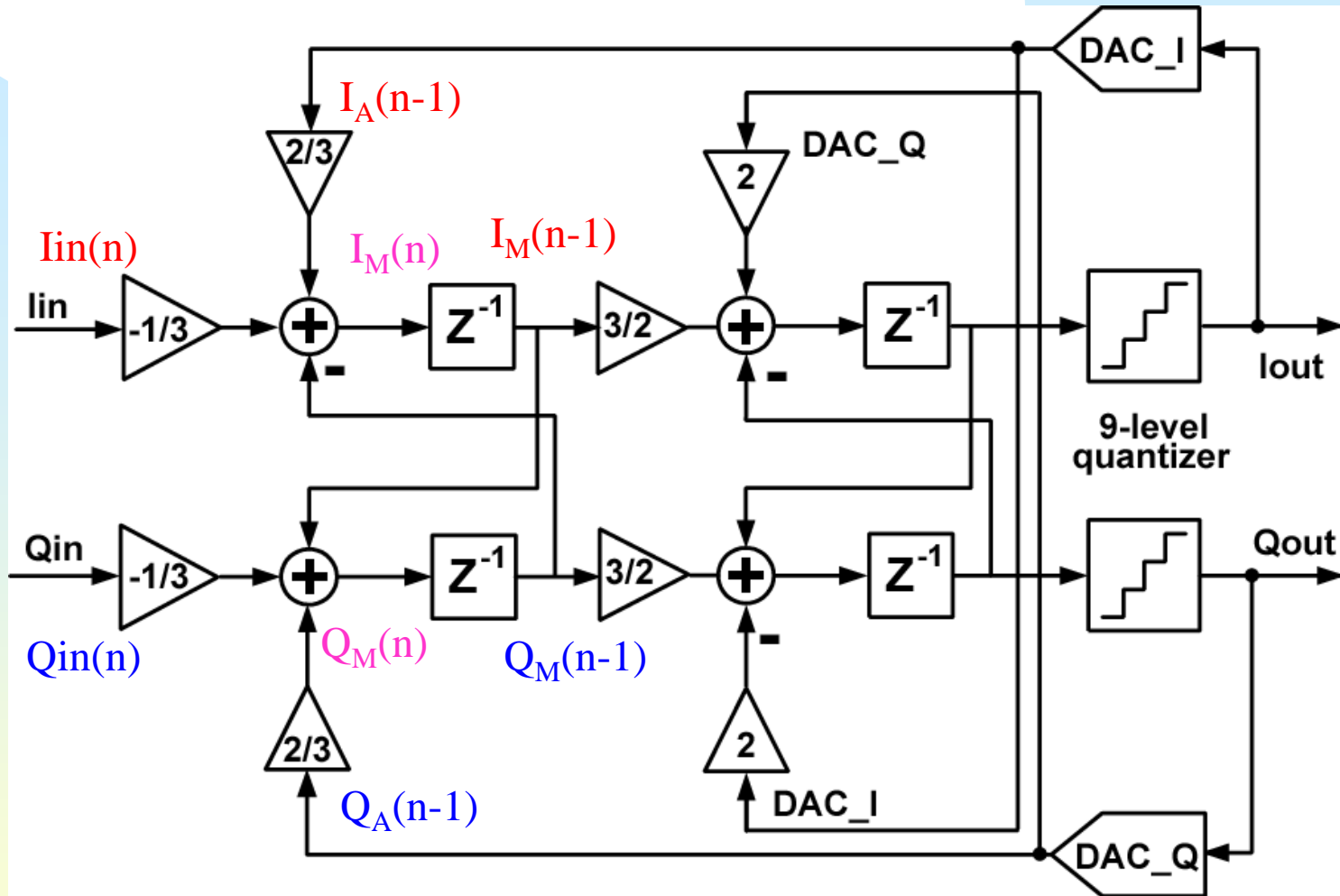
- 研究目的
- 複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器
- 問題点
 - ◆ I,Q経路間のミスマッチによる性能劣化
 - ◆ 複雑なレイアウト
- 新しい変調器アーキテクチャの提案
 - ◆ 上下経路を分離できる
 - ◆ 変調器内部キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング
 - ◆ 考察:
 - ☞ シミュレーションによる確認
 - ☞ レイアウトの簡単化
- まとめ

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く、レイアウト配線が簡単

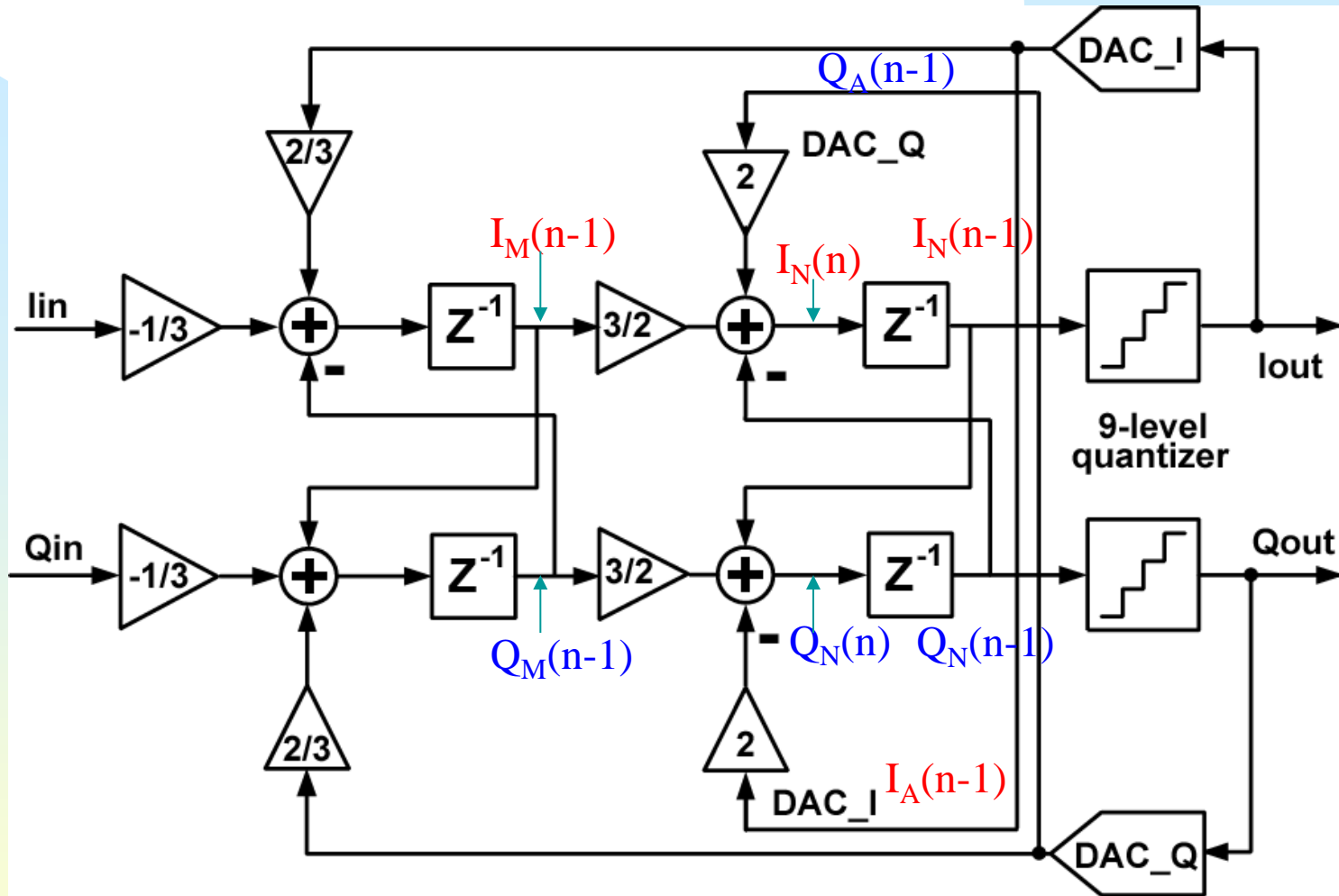
従来式複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号



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

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

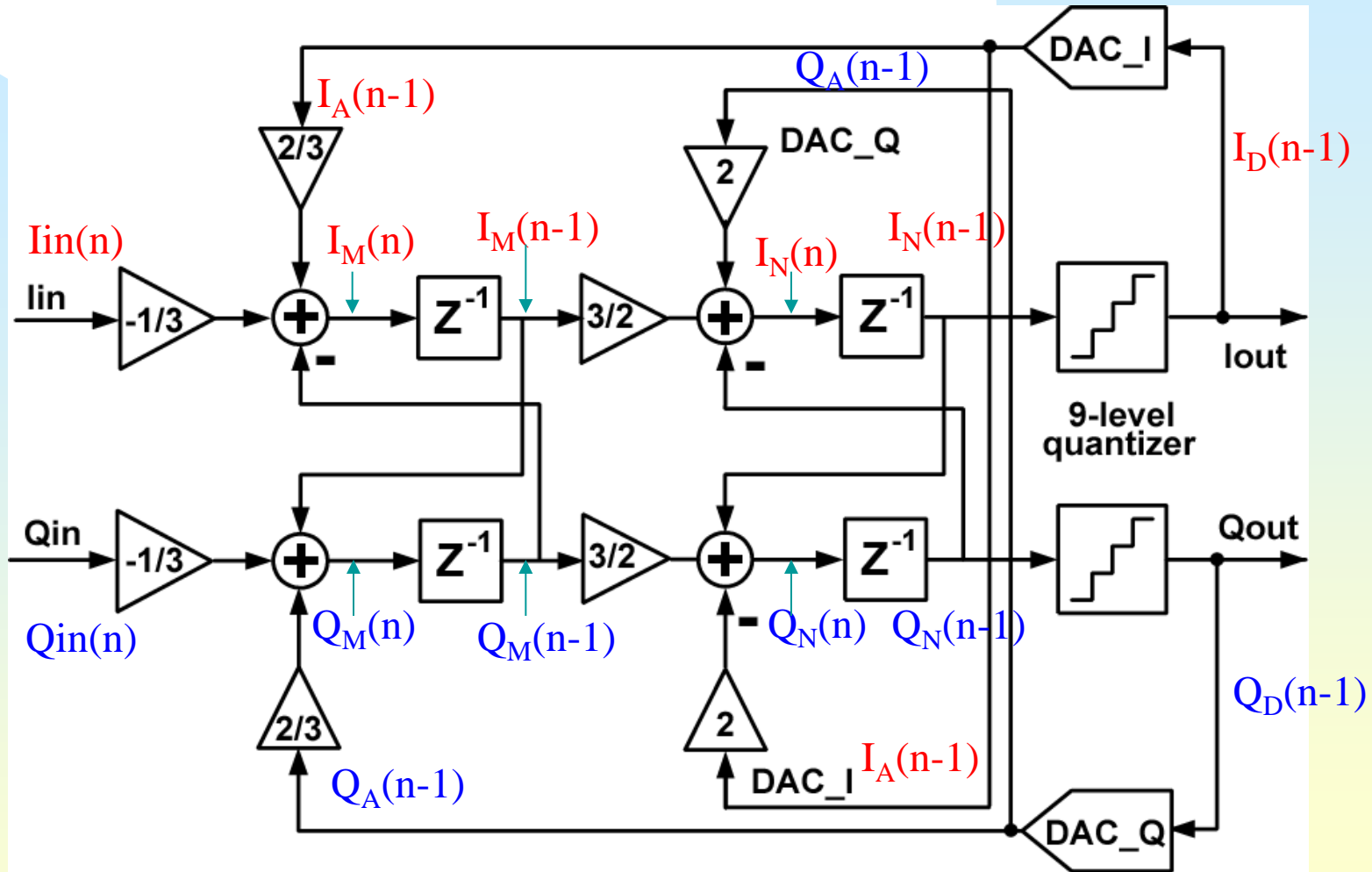
従来式複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号



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

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

従来式複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号



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

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

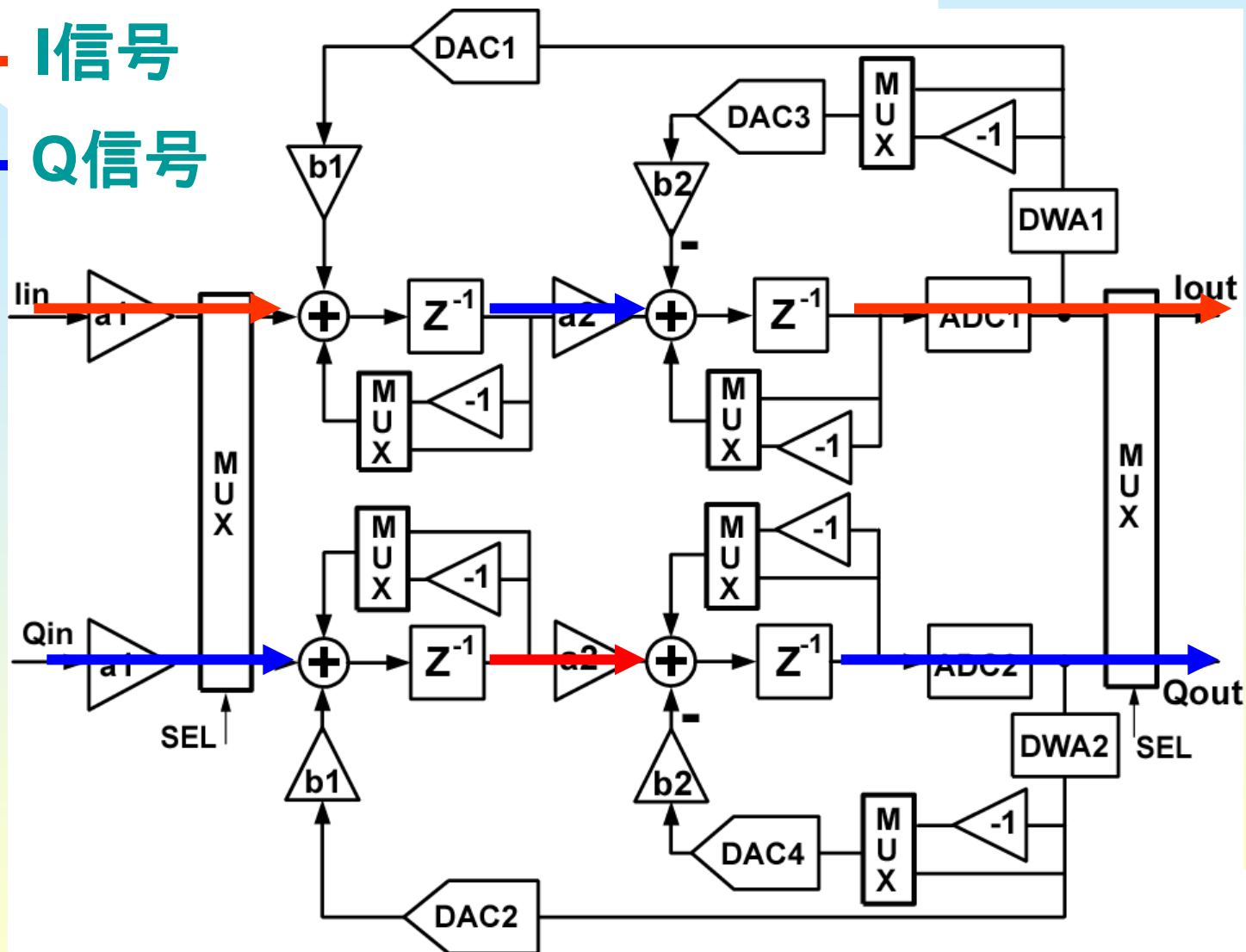
$$Q_M(n) = \text{Qin}(n) + Q_A(n-1) + I_M(n-1)$$

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

提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(1)

I信号

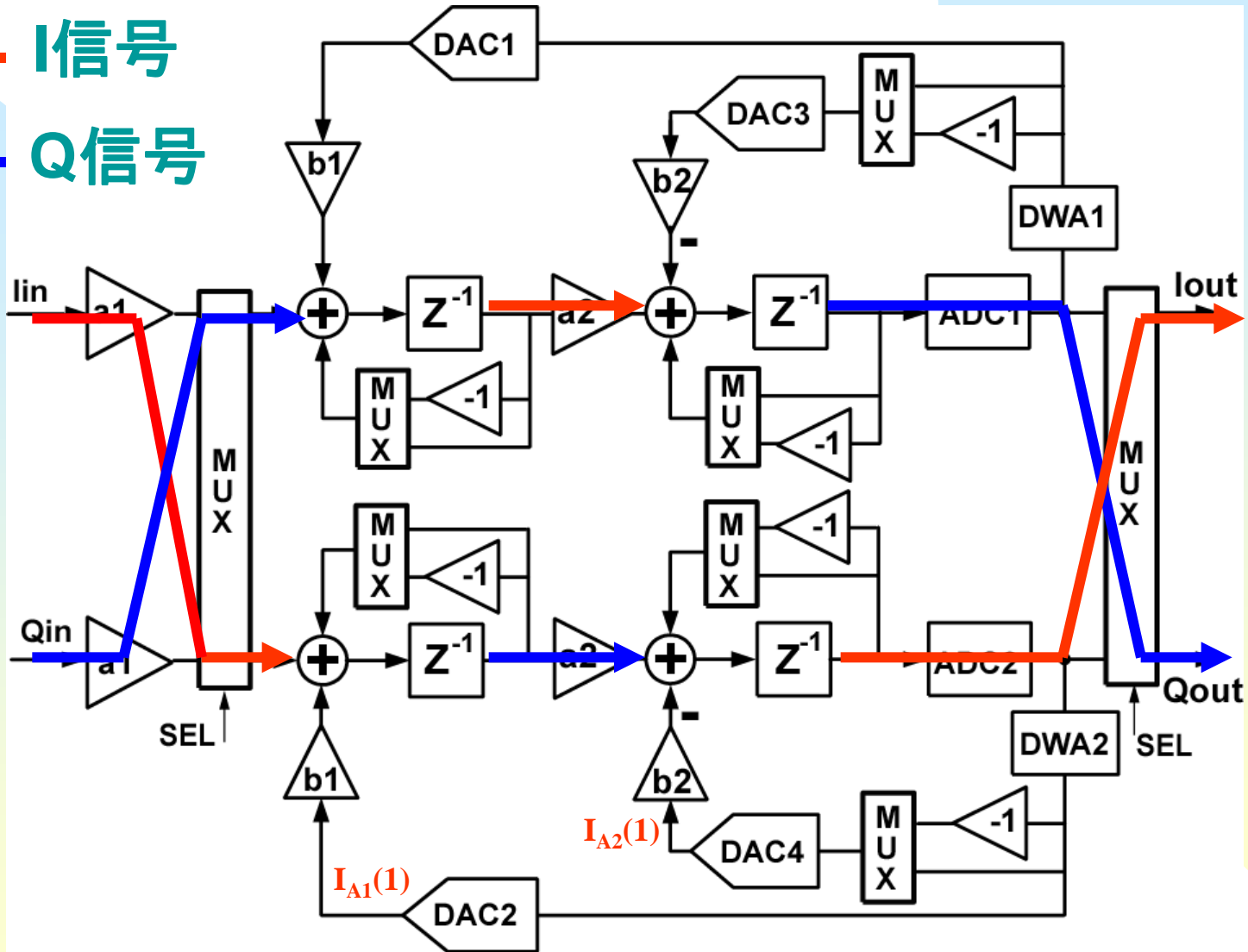
Q信号



提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(2)

I信号

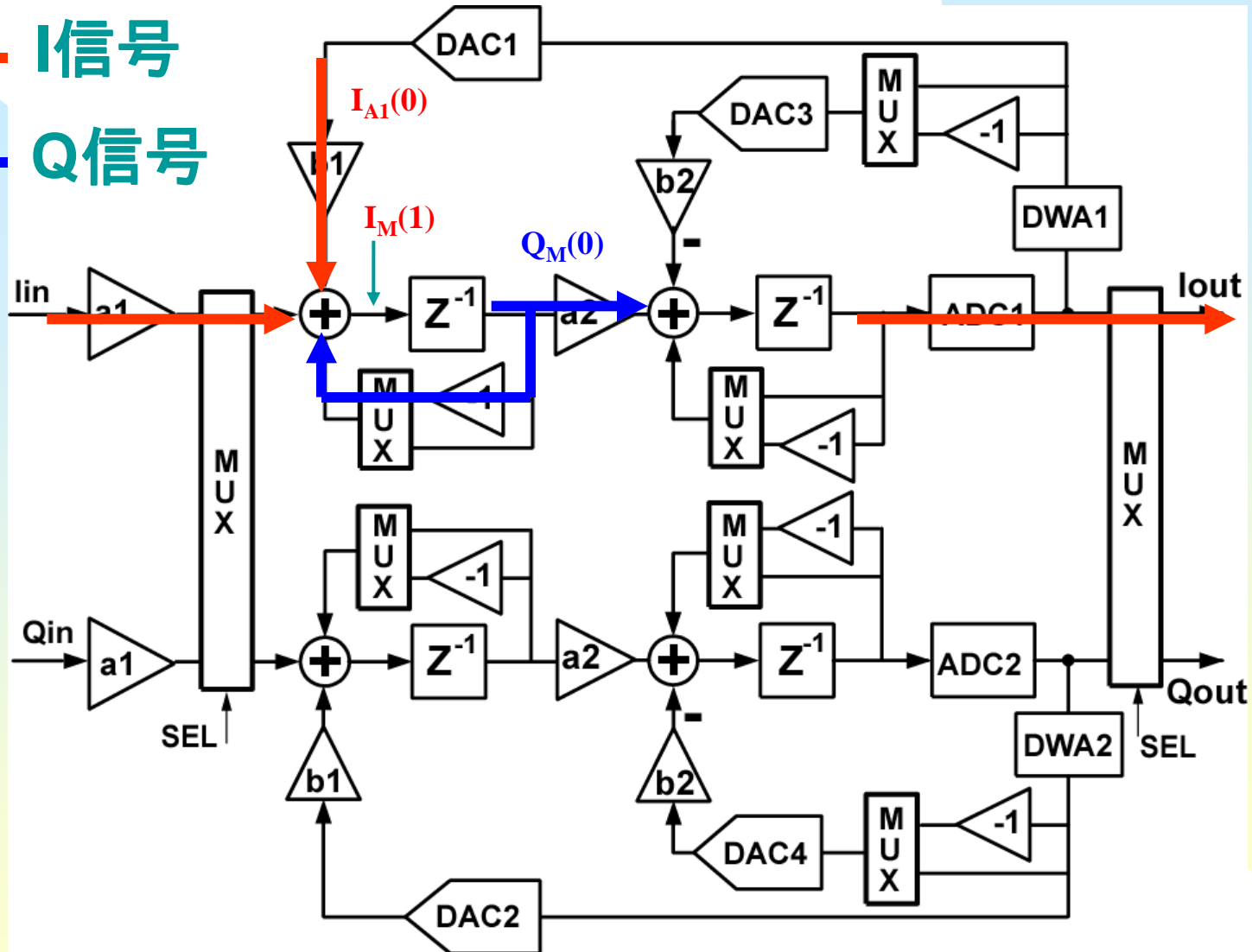
Q信号



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

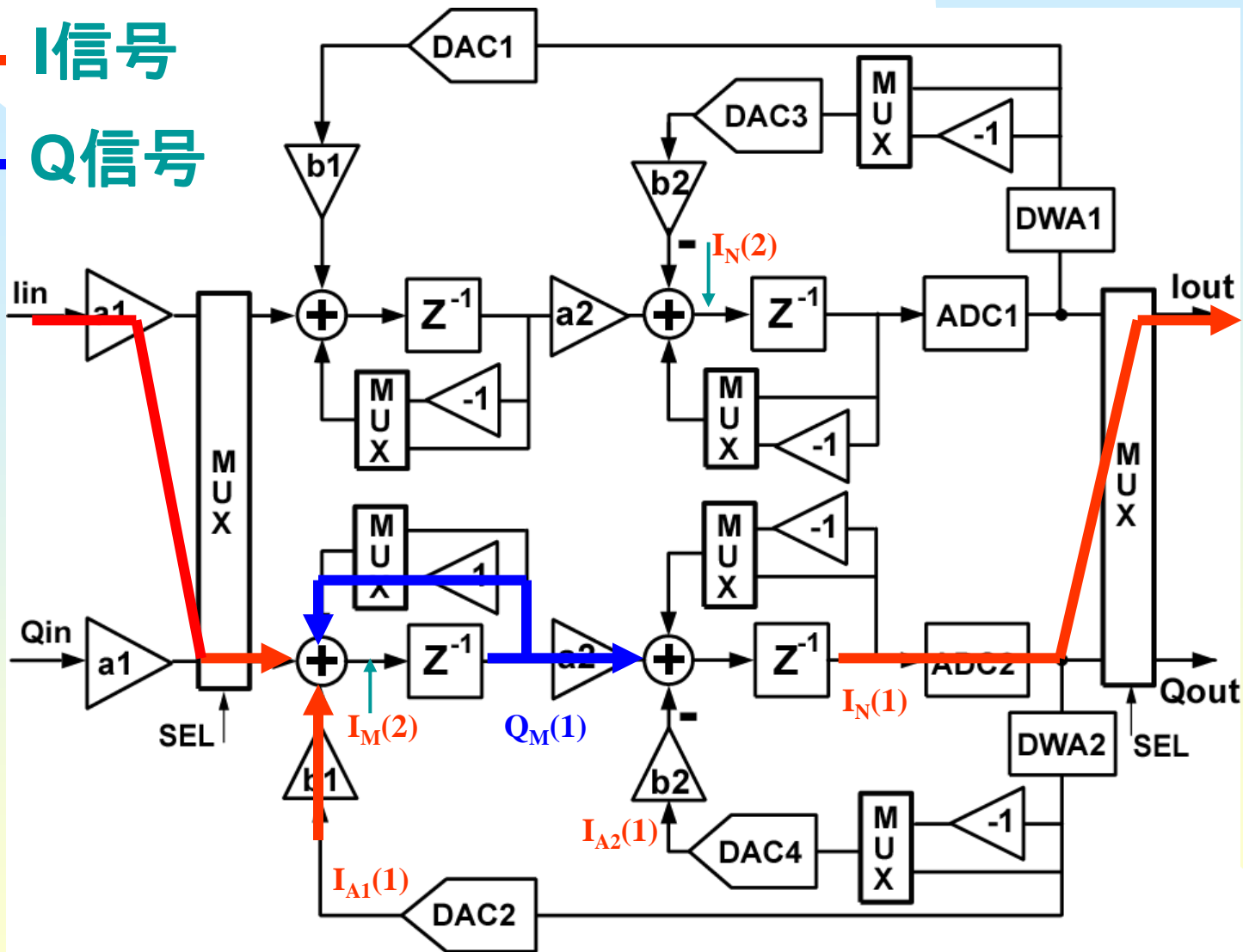


$$I_M(1) = I_{in}(1) + I_{A1}(0) - Q_M(0)$$

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

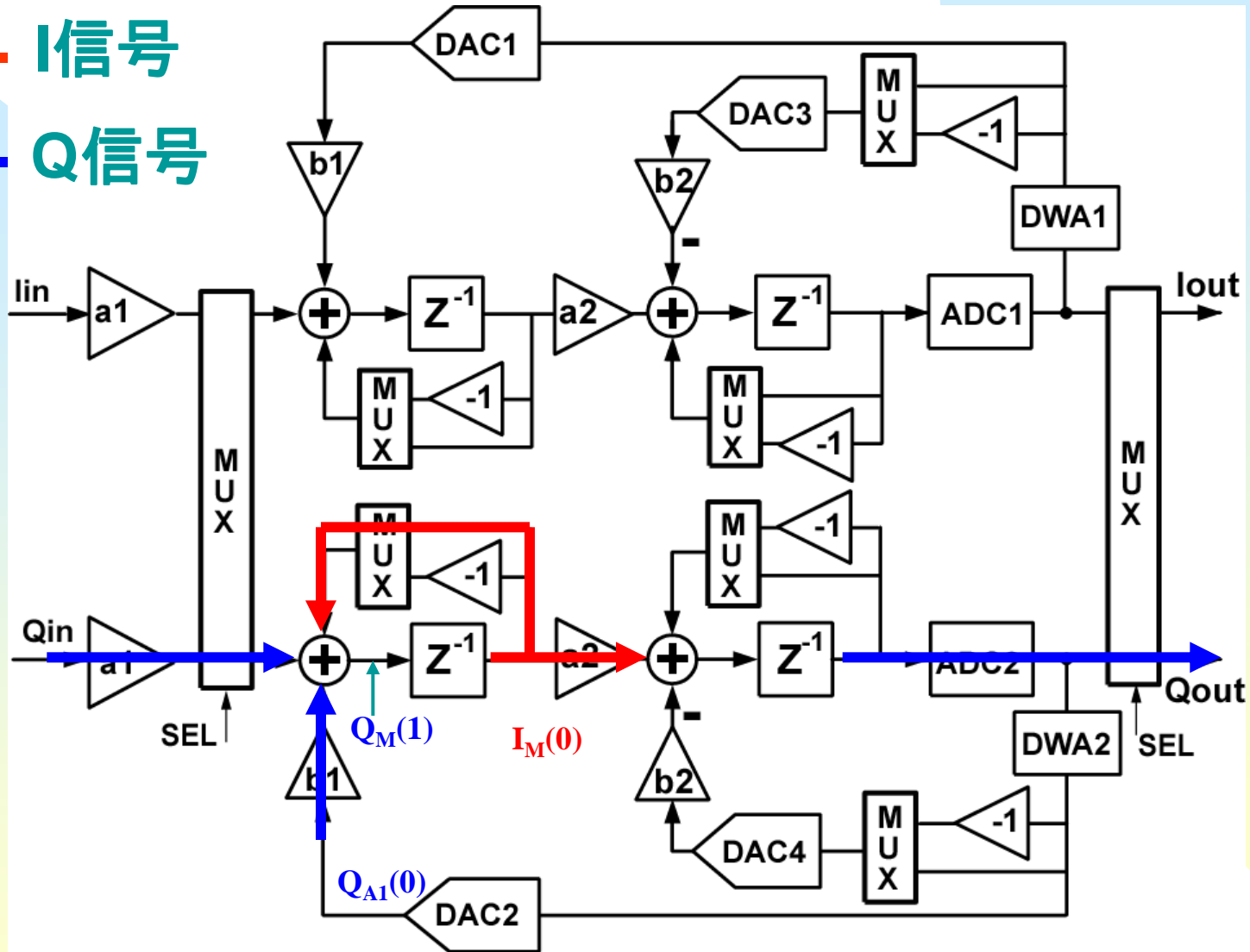


$$I_M(2) = I_{in}(2) + I_{A1}(1) - Q_M(1)$$

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

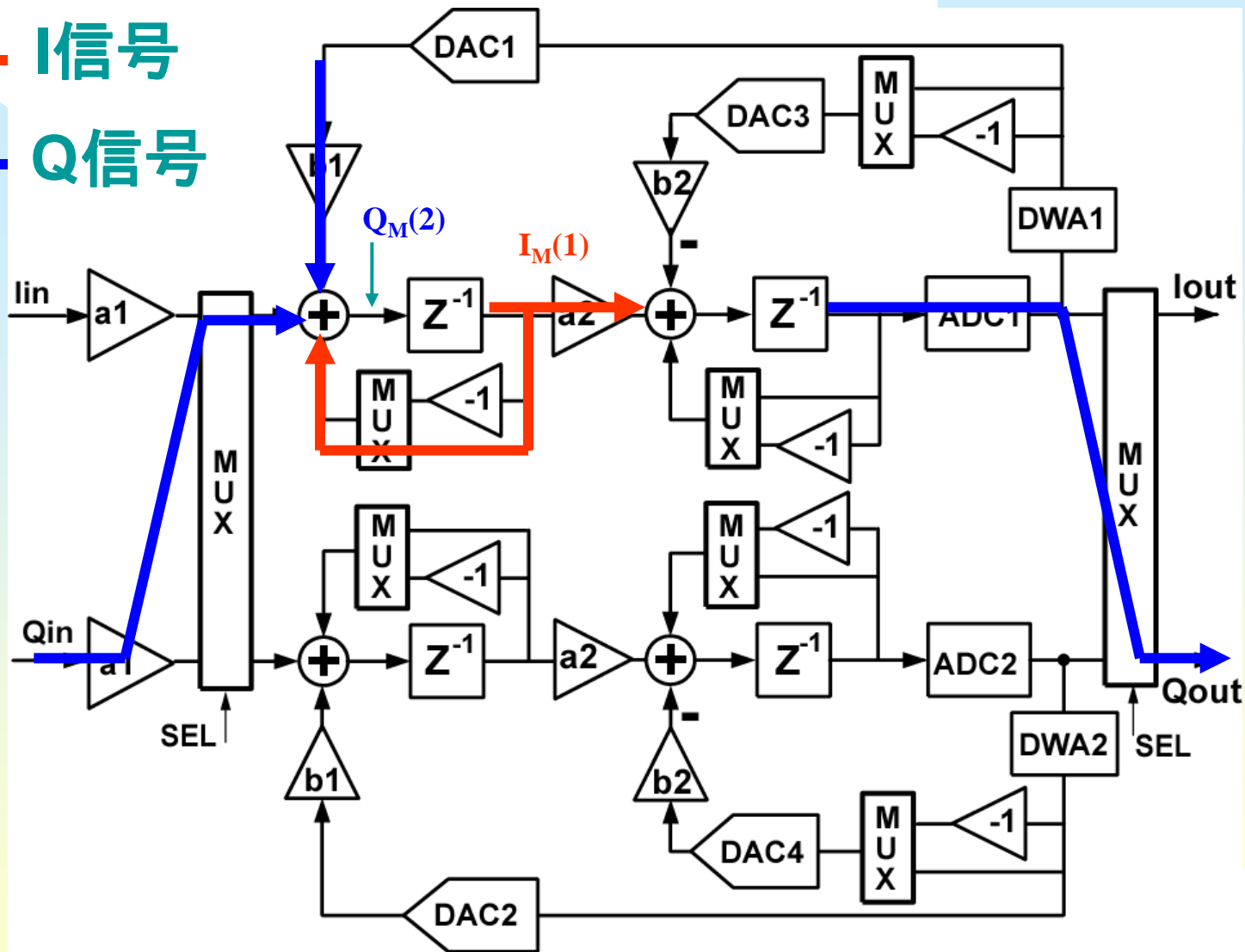


$$Q_M(1) = Q_{in}(1) + Q_{A1}(0) + I_M(0)$$

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

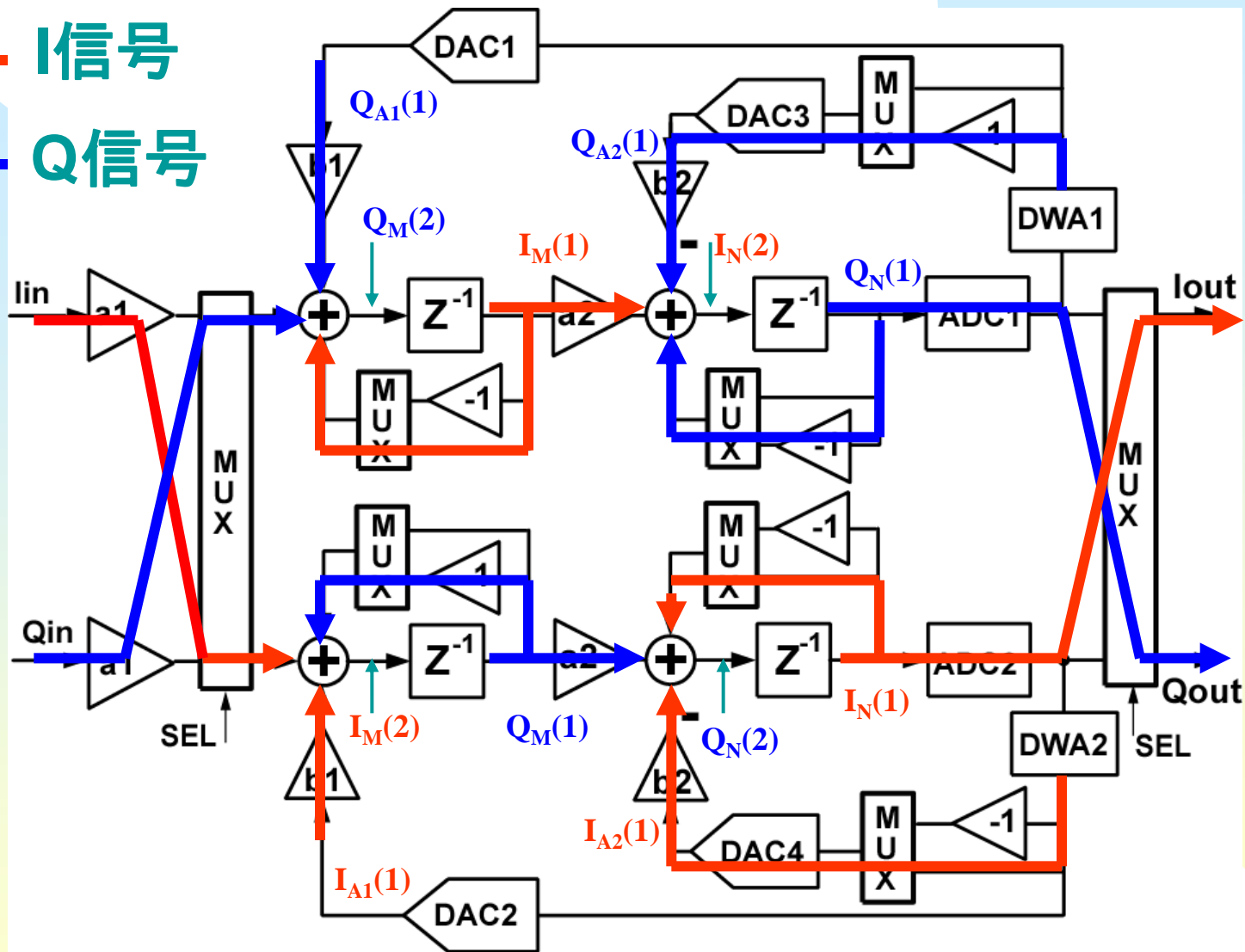


$$Q_M(2) = Q_{in}(2) + Q_{A1}(1) + I_M(1)$$

提案複素バンドパス $\Delta\Sigma$ AD変調器の信号(2)

I信号

Q信号



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

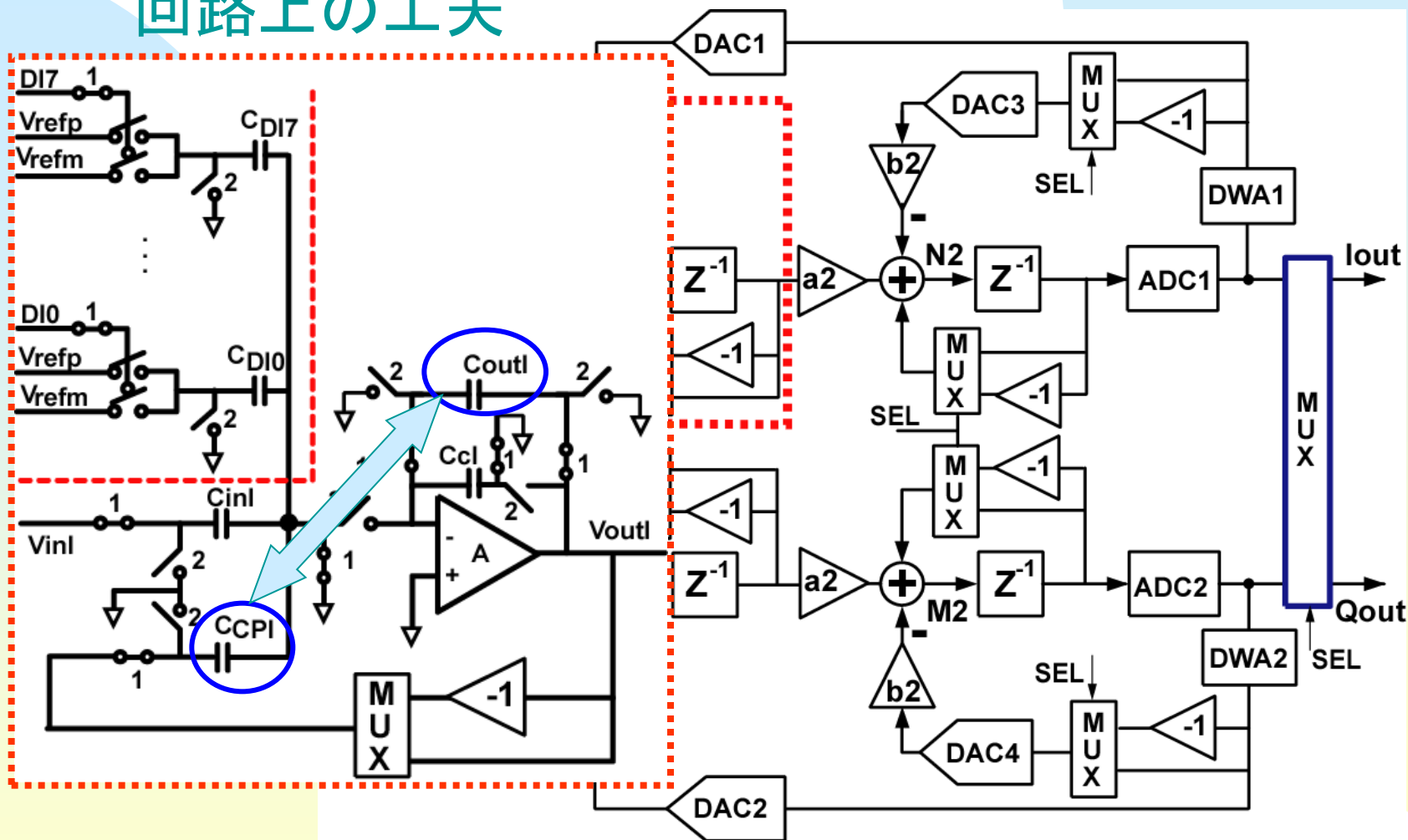
$$Q_M(2) = Q_{in}(2) + Q_{A1}(1) + I_M(1)$$

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

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

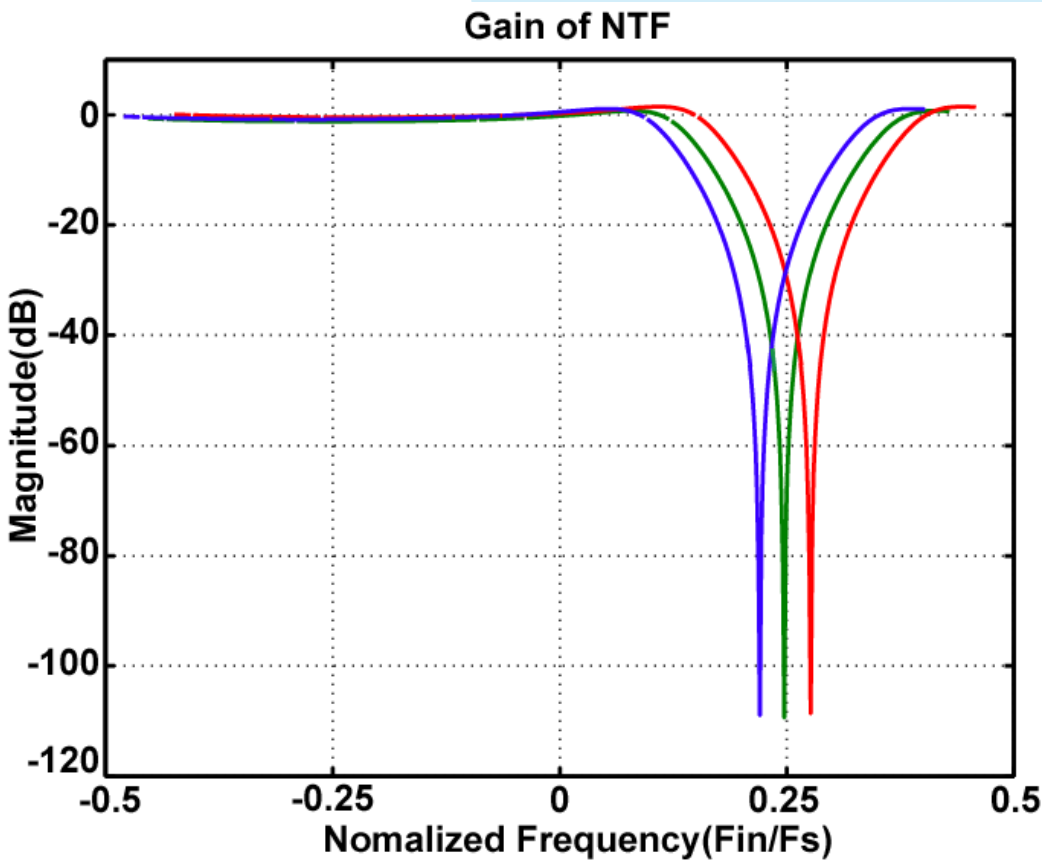
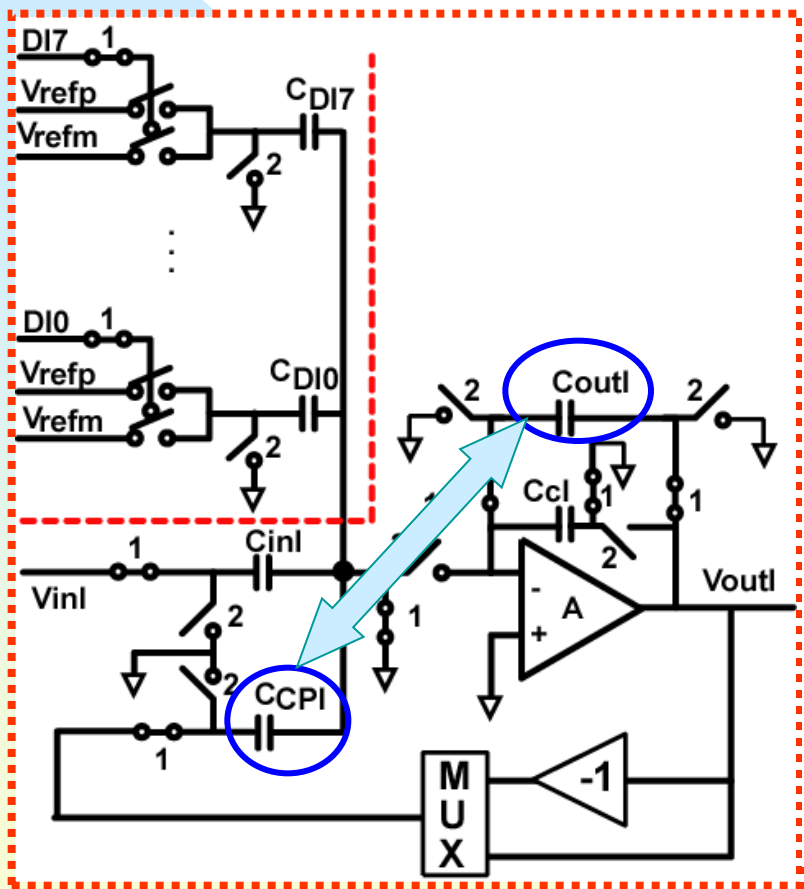
キャパシタのダイナミック・エレメント・マッチング

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

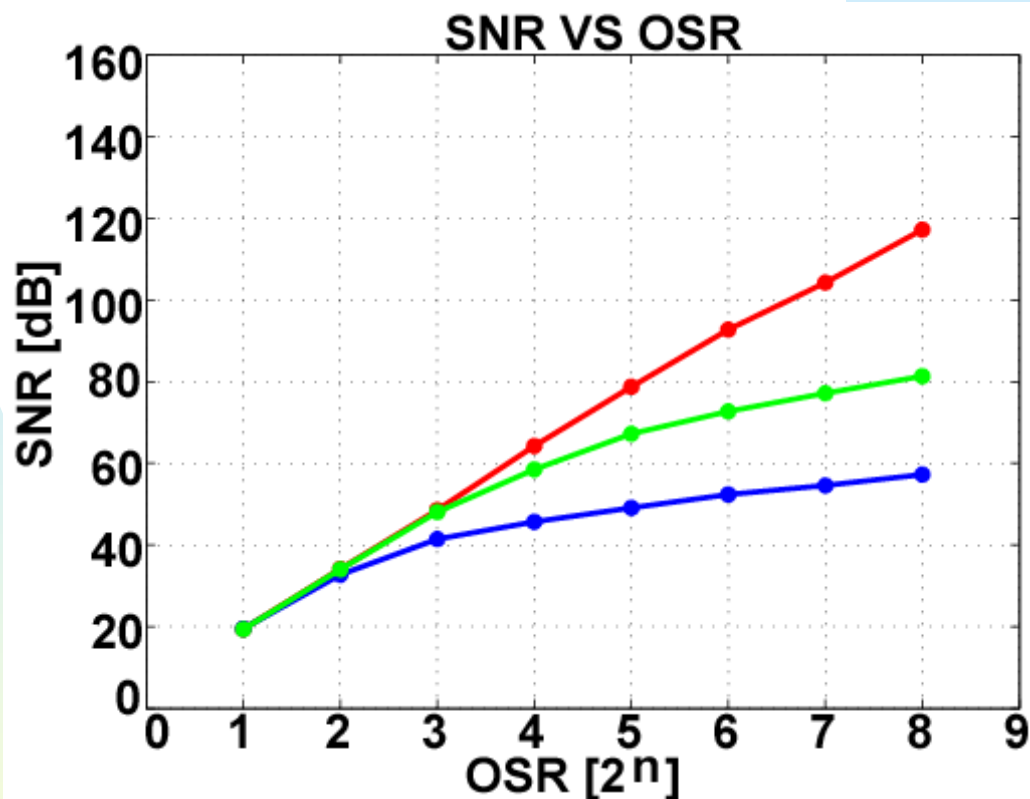


C_{cp1} と C_{out1} をCLK毎に交換し、
容量のミスマッチによる影響を軽減

極:
$$Z = \frac{C_{CPI}}{C_{OUTI}} j$$

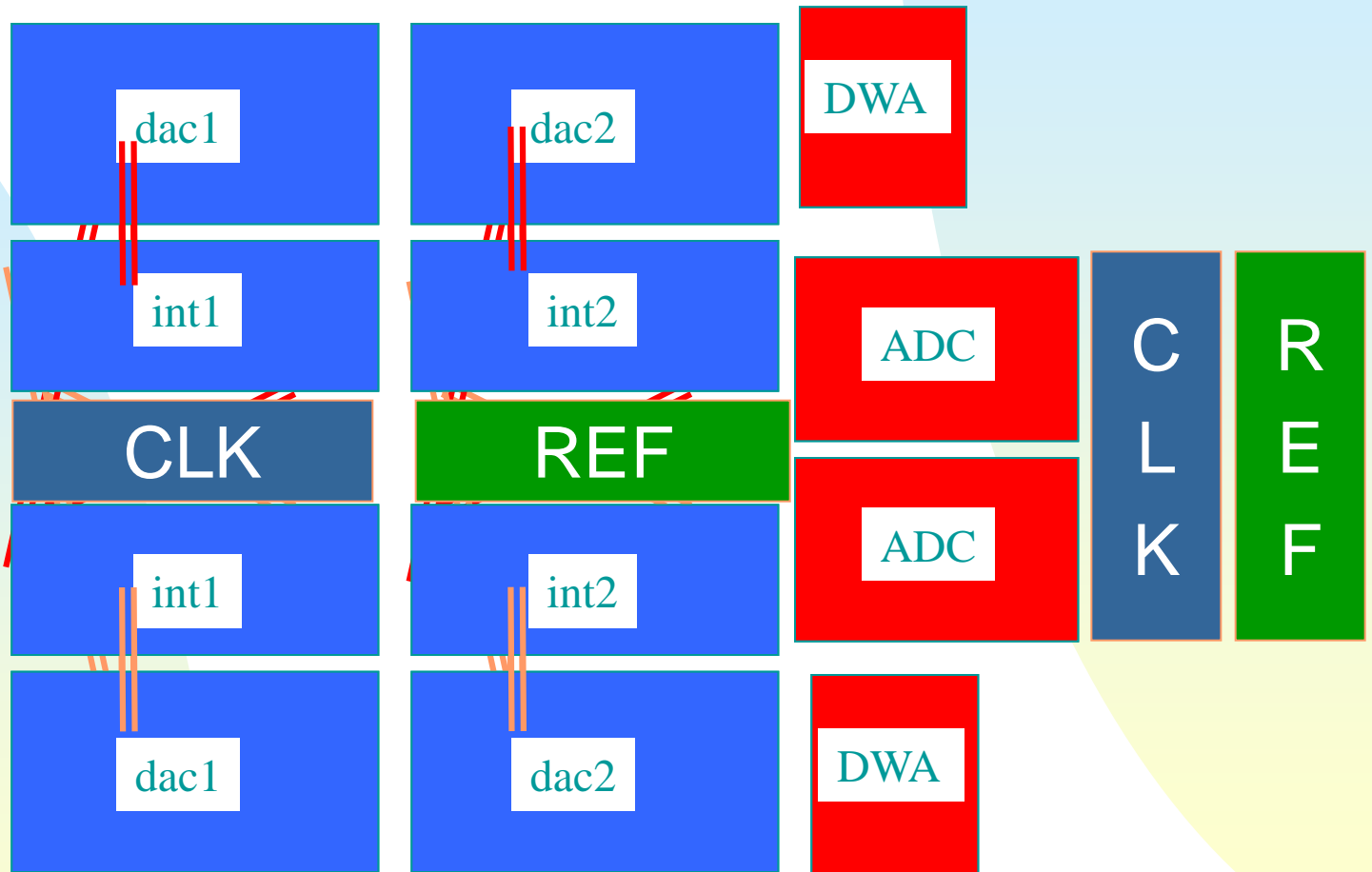
考察

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。