



群馬大学

卒業研究

高周波信号発生器の研究

群馬大学工学部電気電子工学科

通信処理システム第二研究室

学籍番号 99305023

大槻 純

指導教官 小林春夫 教授



発表内容

1. 問題設定
2. I,Q経路ミスマッチによるSFDR劣化
3. ダイナミックエレメントマッチングによる
SFDR向上手法の提案
4. まとめ

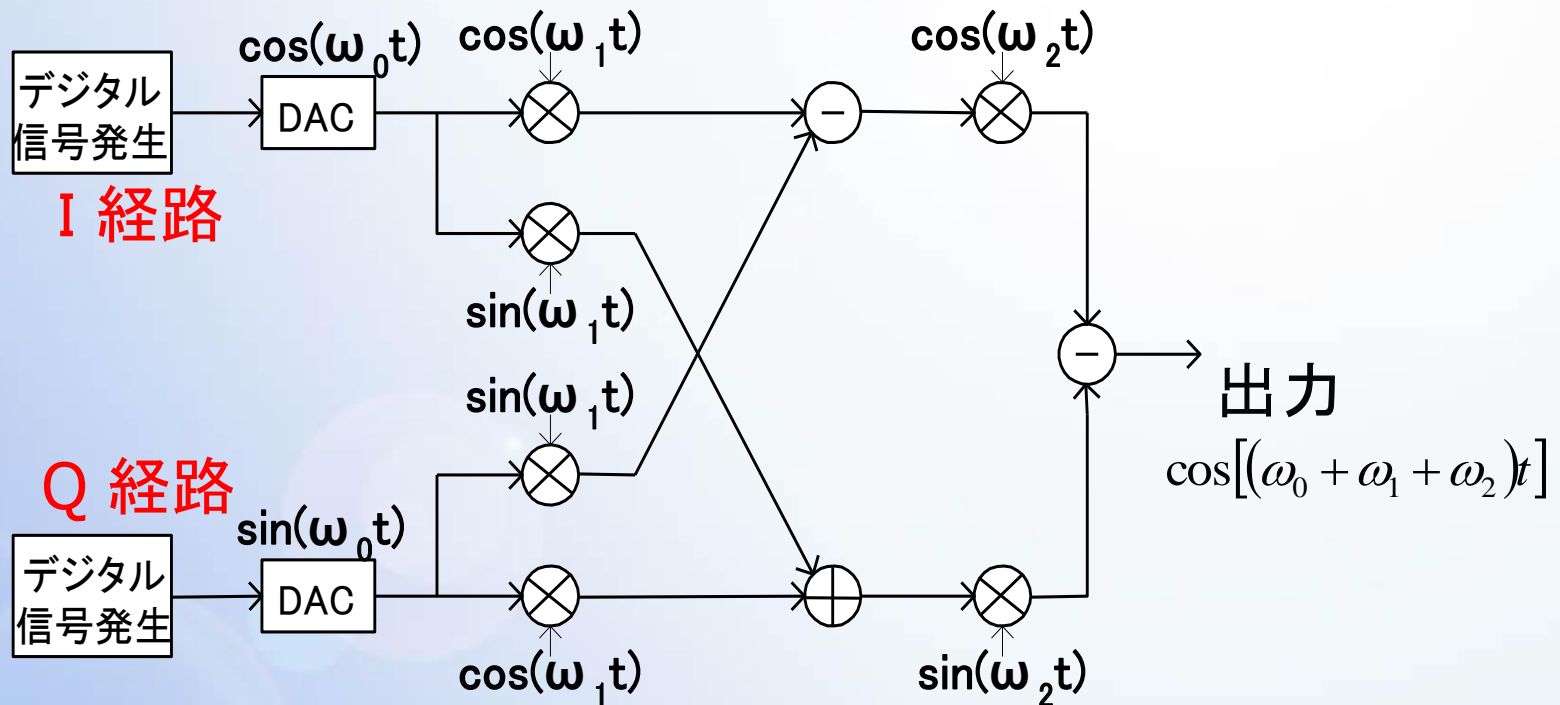


群馬大学

問題設定

携帯電話の送信部、 計測器の任意波形発生器の構成


2ステップ・トランスミッター・アーキテクチャ



- I, Q 経路 (例. 2ch DAC 特性) ミスマッチを調べる。
- ミスマッチの影響を軽減する手法を提案し、効果を確認する。
 - 一 理論計算、MATLAB/Simulinkによるシミュレーションを用いる。



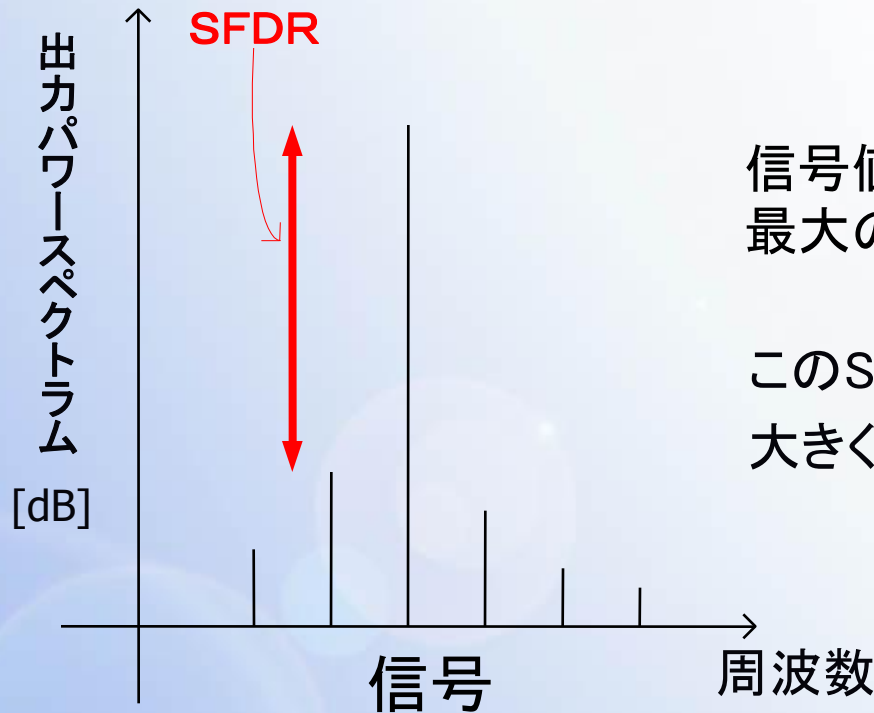
送信機、任意波形発生器 のI,Q経路のミスマッチ

- 2ch DAC, ミキサー、LOを用いて
ベースバンド信号を高周波信号に変調。
- I, Q 経路ミスマッチによりミラー信号が
発生される。  SFDR劣化
- I, Q 経路間のダイナミック・エレメント・
マッチング法によりミラー信号を周波数領域で
拡散する手法を提案。



信号発生器の周波数領域性能指標

SFDR (Spurious Free Dynamic Range)



信号値パワーと
最大のスプリアス・パワーとの比

このSFDRの値ができるだけ
大きくなるように設計する。

- 性能指標としてEVM(Error Vector Magnitude)も用いられる。

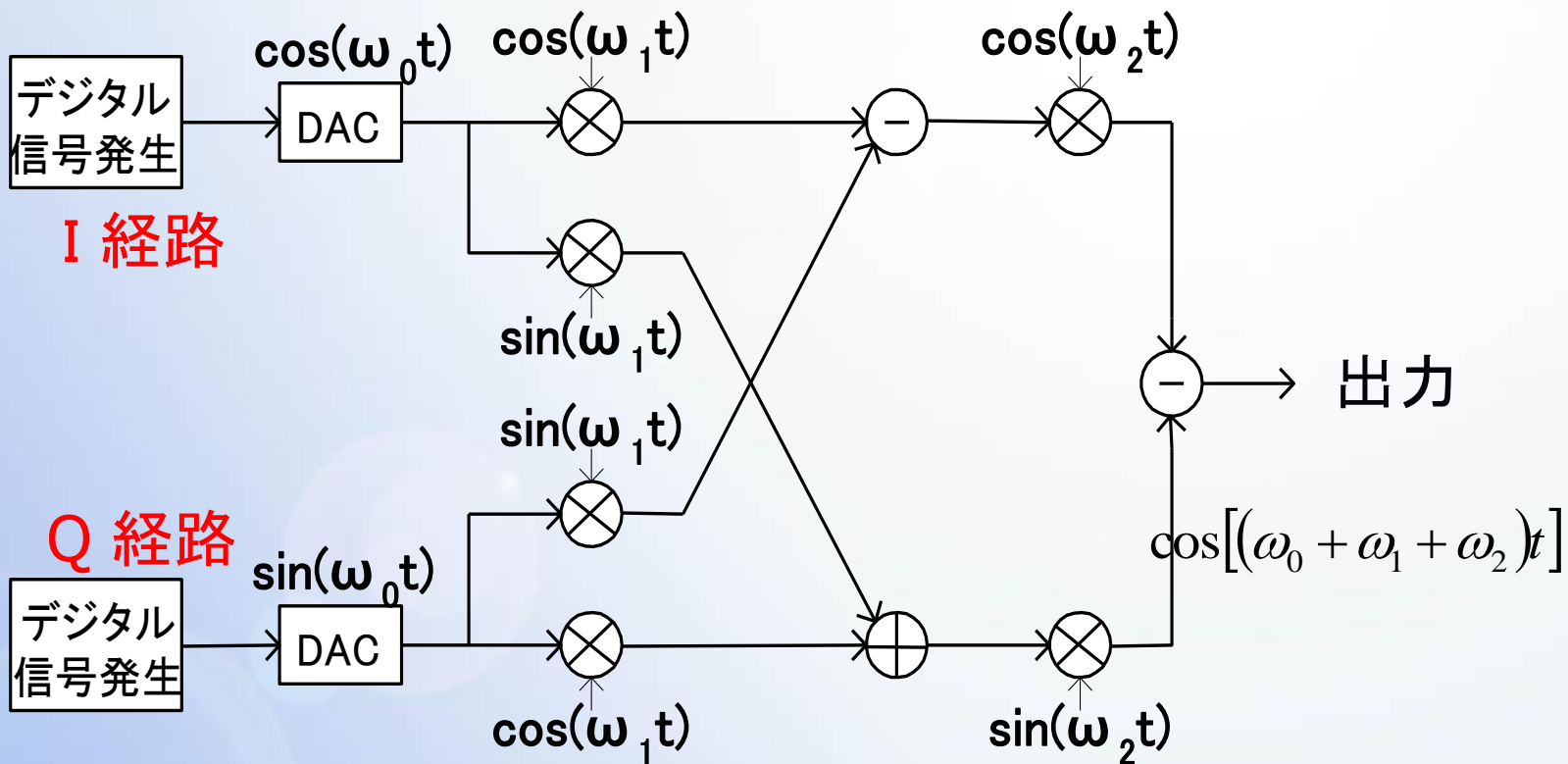


群馬大学

I,Q経路ミスマッチによるSFDR劣化



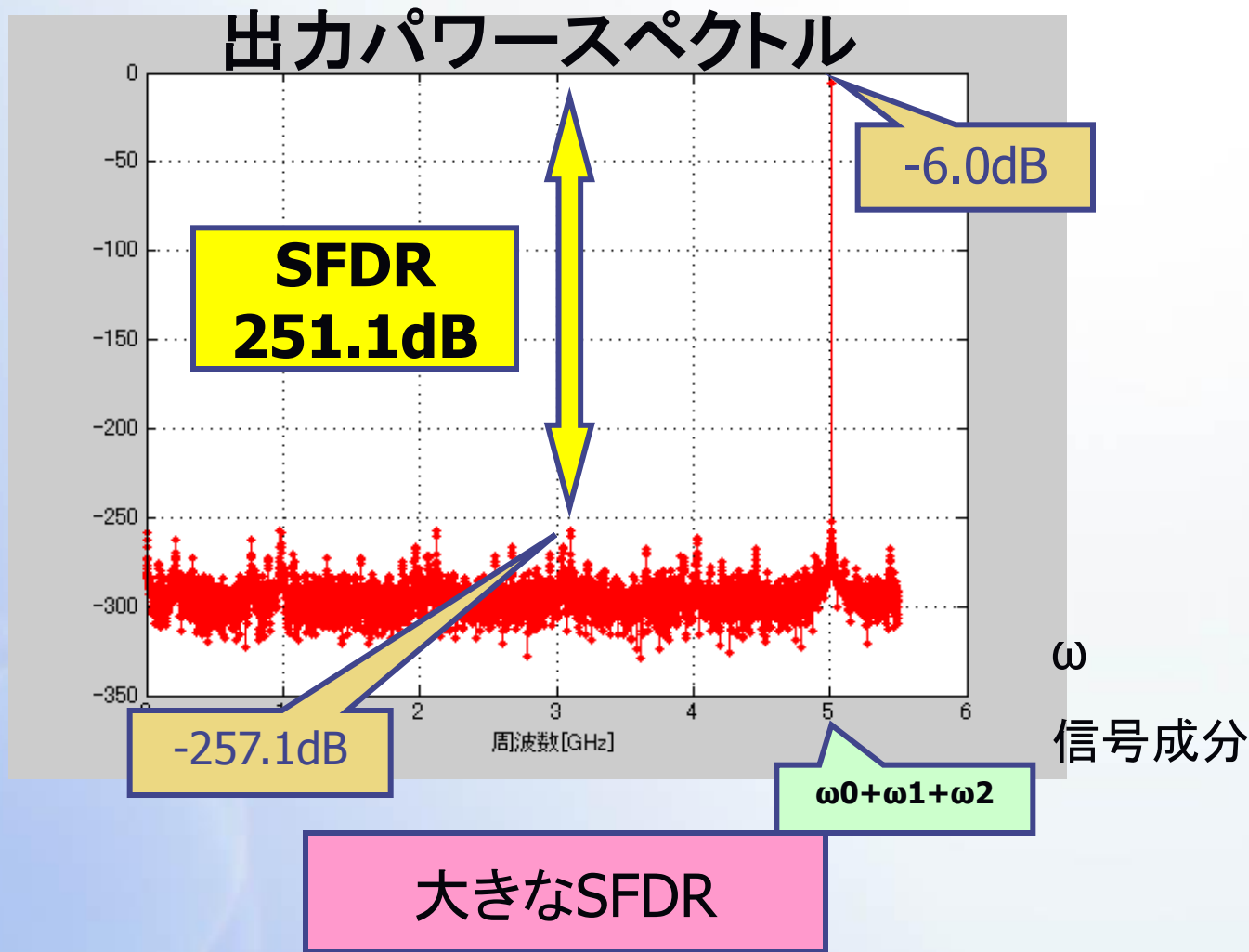
ミスマッチがない場合



$$\frac{\omega_0}{2\pi} = 10\text{MHz} \quad \frac{\omega_1}{2\pi} = 1\text{GHz} \quad \frac{\omega_2}{2\pi} = 4\text{GHz}$$



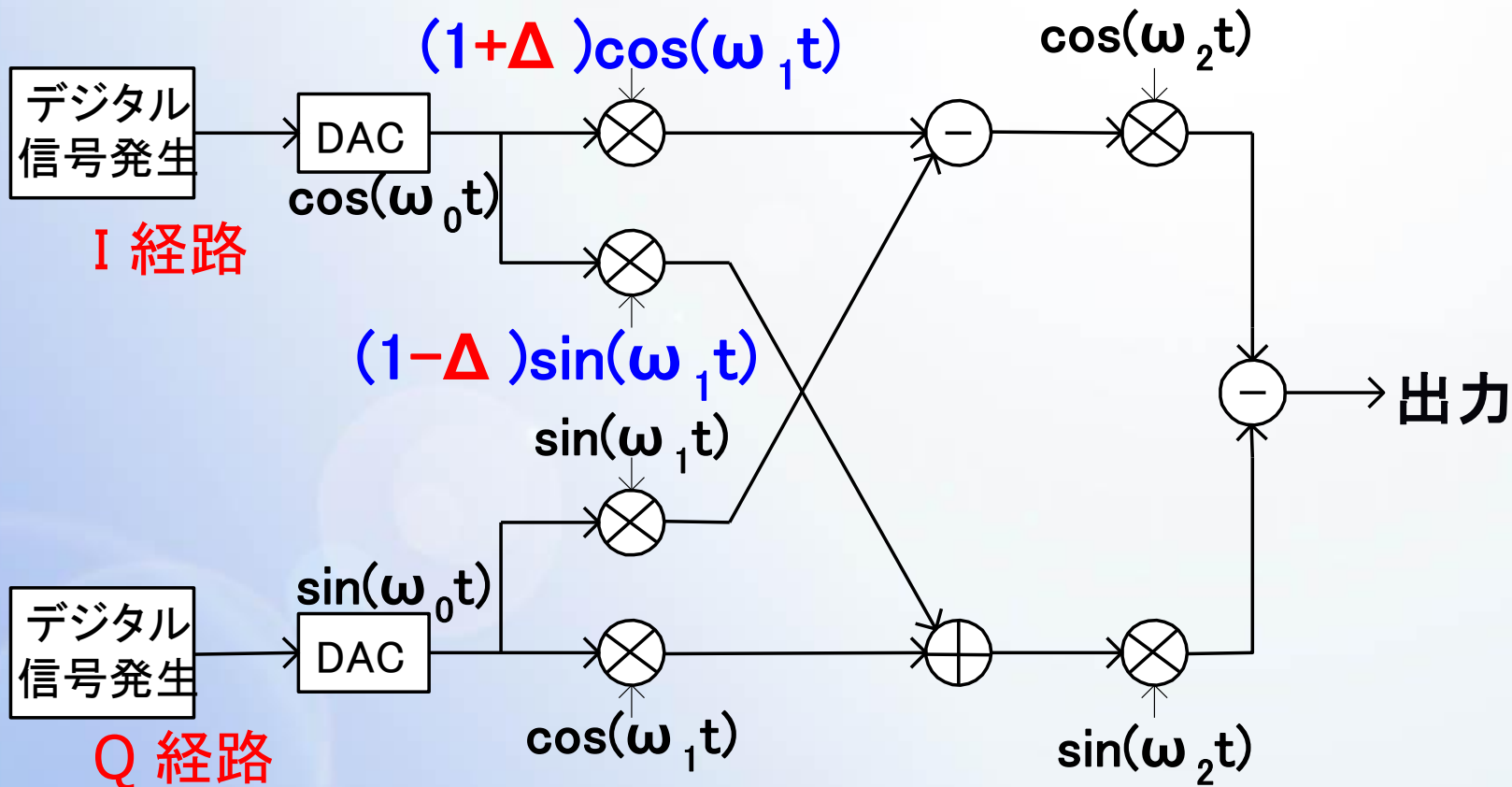
ミスマッチがない場合の出カスペクトル



理想計算結果とSimulinkによるシミュレーション結果は一致



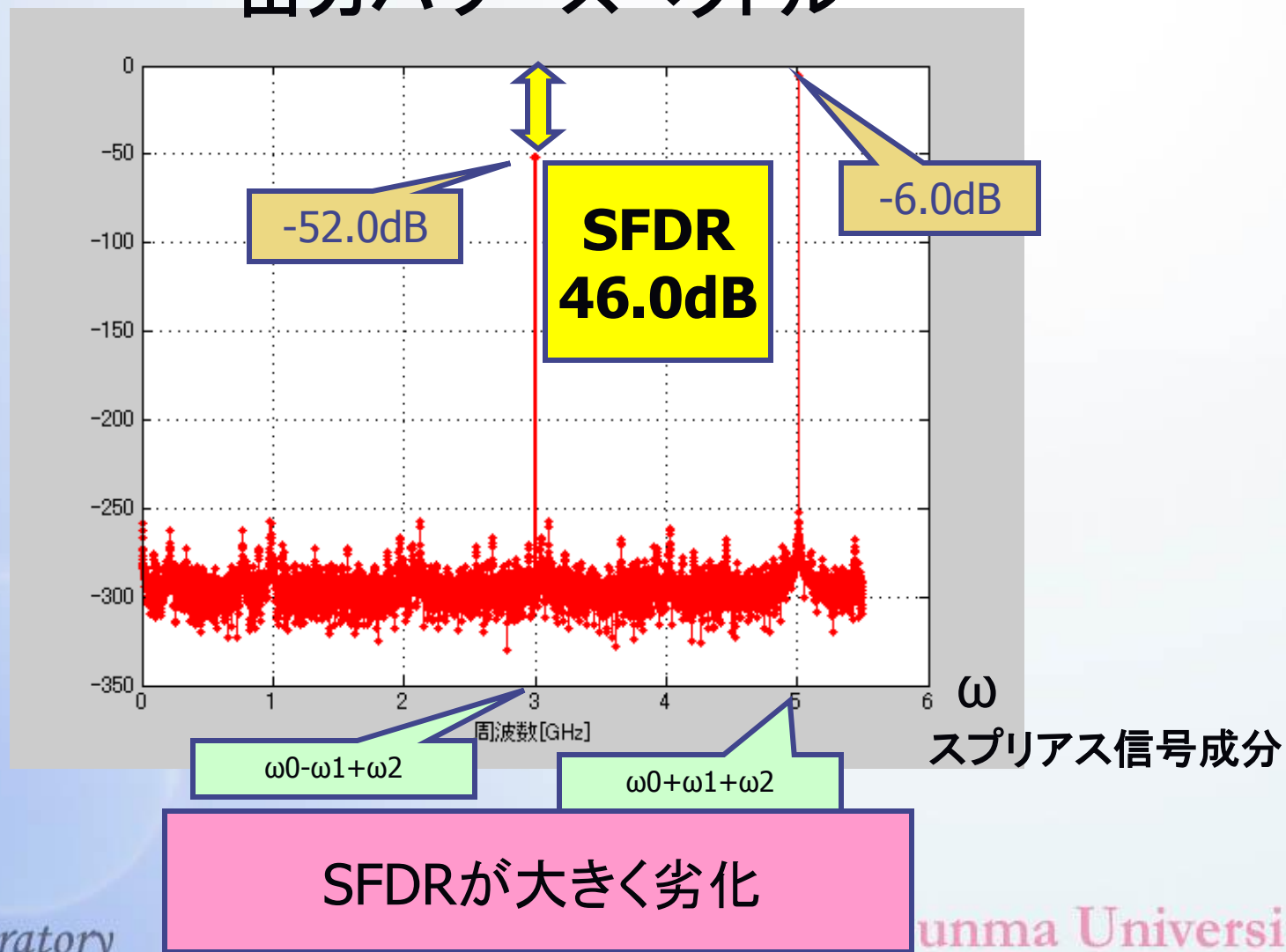
一段目のLOのゲインミスマッチ



$\Delta = 0.01$

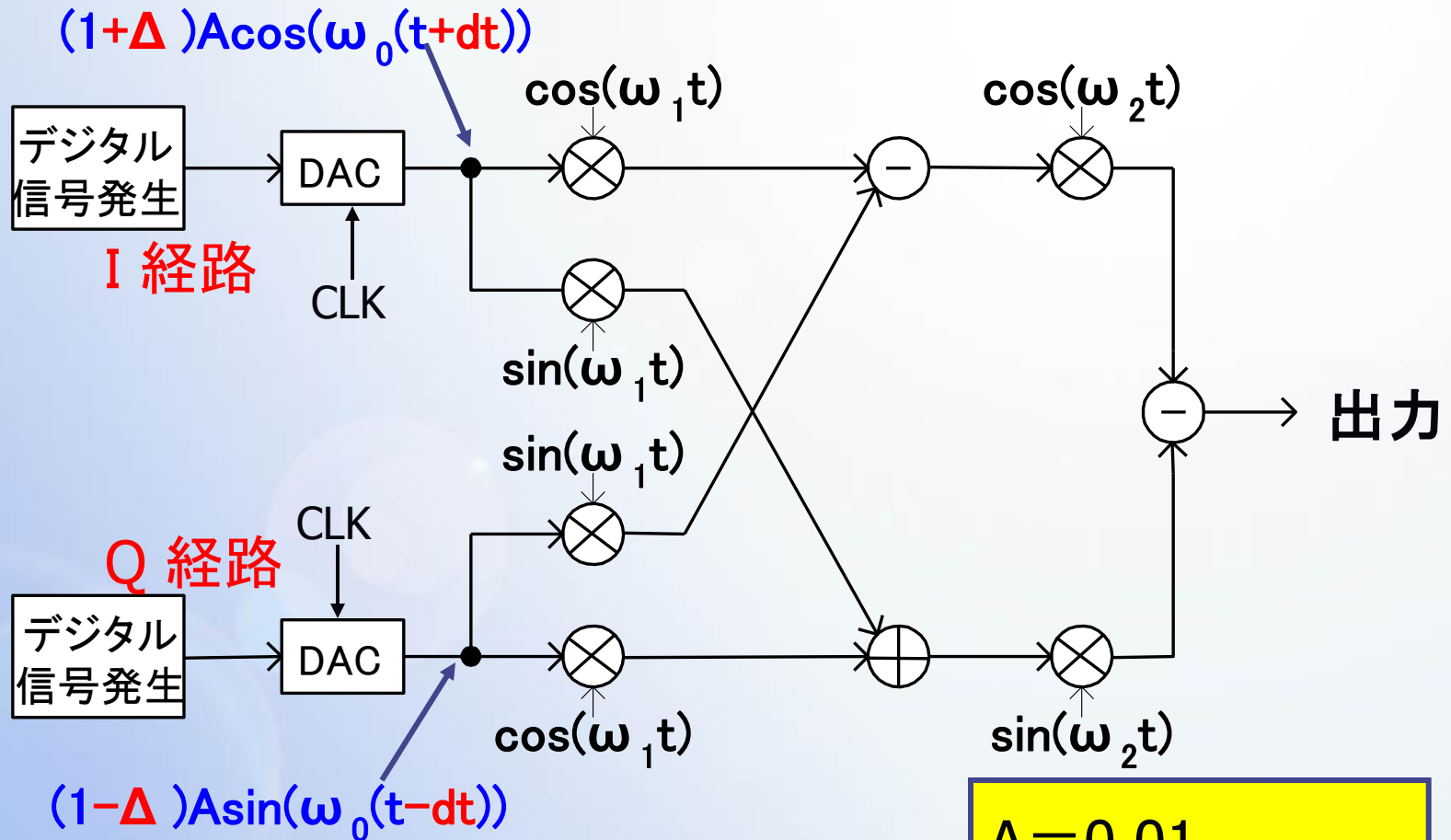
一段目のLOのゲインミスマッチの場合 の出力

出力パワースペクトル





DACのゲイン, タイミング・ミスマッチ



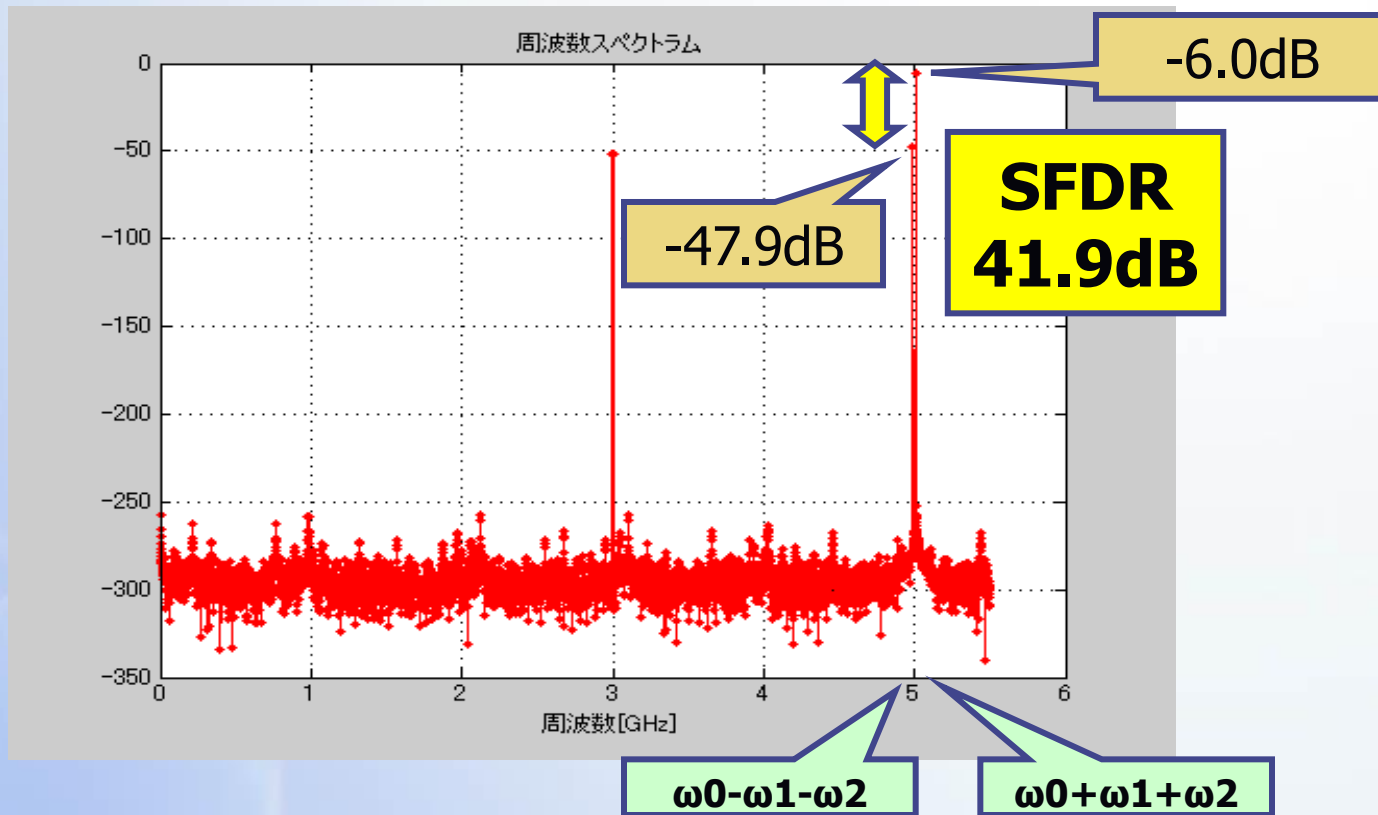
$$\Delta = 0.01$$

$$\omega_0 dt = 6.28 \times 10^{-3}$$



DACのゲイン・タイミング・ミスマッチ

出力パワースペクトル

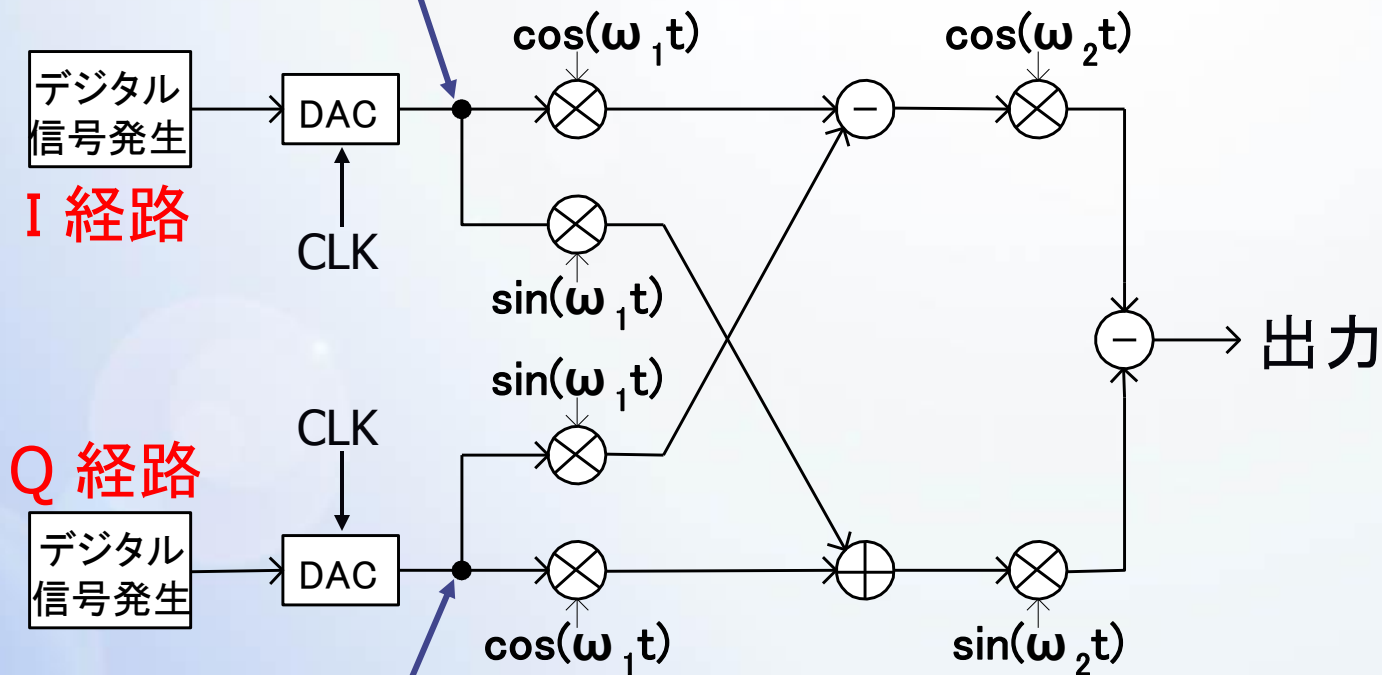


SFDRが大きく劣化



DACのゲイン,二次歪,三次歪・タイミング ミスマッチ

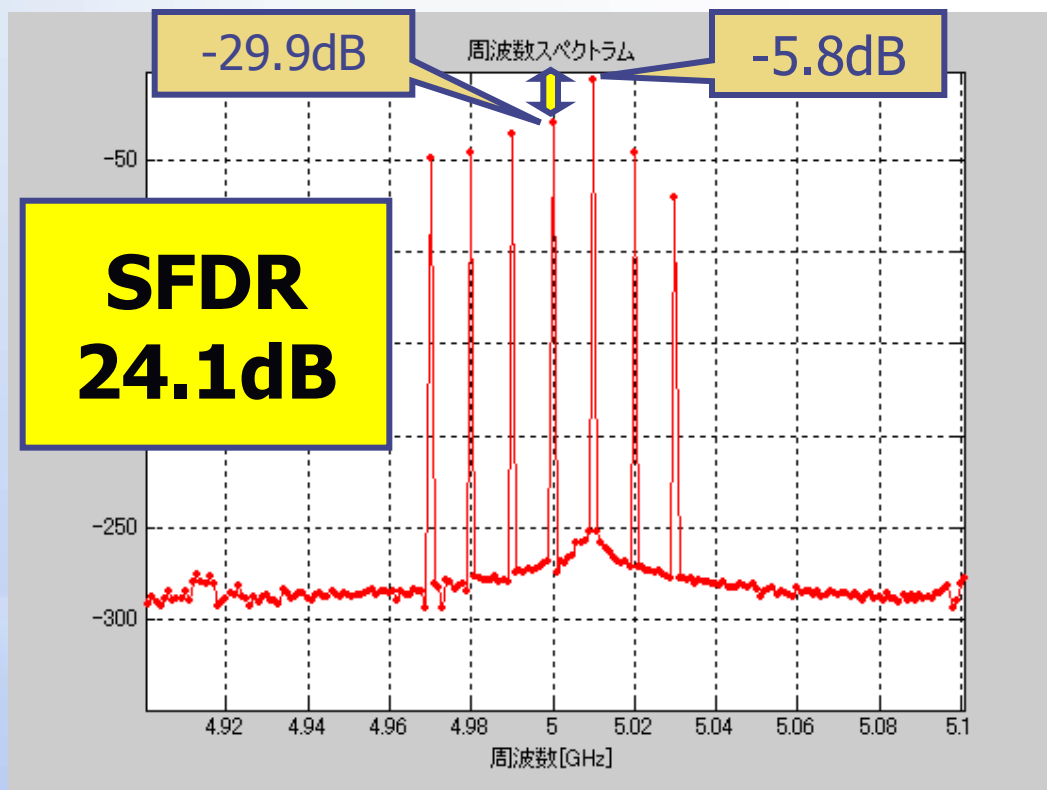
$$a_0 + a_1 \cos(\omega_0(t+dt)) + a_2 \cos^2(\omega_0(t+dt)) + a_3 \cos^3(\omega_0(t+dt))$$



$$b_0 + b_1 \sin(\omega_0(t-dt)) + b_2 \sin^2(\omega_0(t-dt)) + b_3 \sin^3(\omega_0(t-dt))$$

DACのゲイン,二次歪,三次歪・タイミング ミスマッチ

出力パワースペクトル



多くのスプリアスが発生！

SFDRが大きく劣化

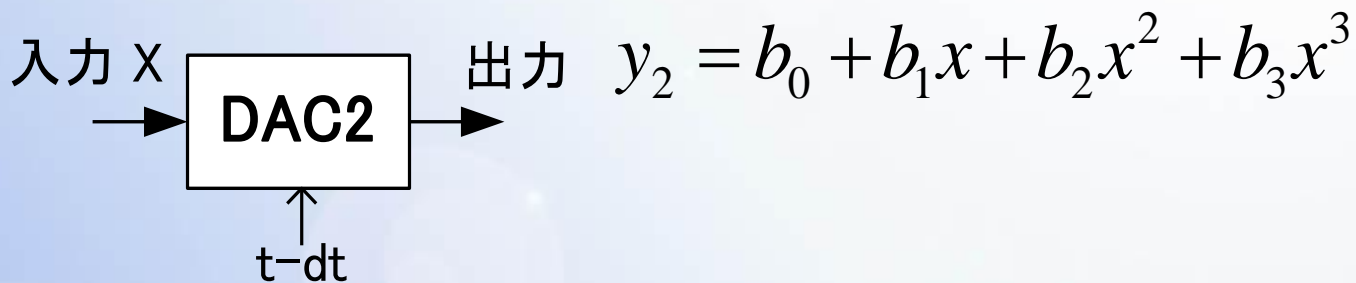
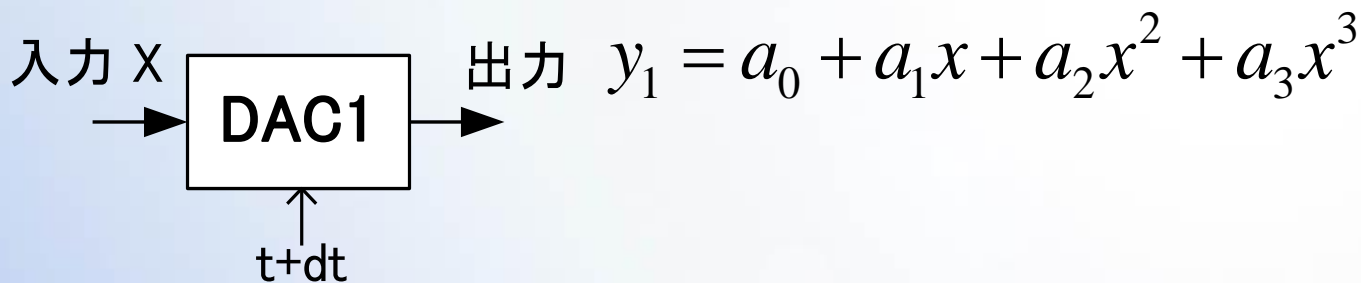


群馬大学

ダイナミック・エレメント・マッチング によるSFDR向上手法の提案



2ch DA変換器の入出力特性ミスマッチ

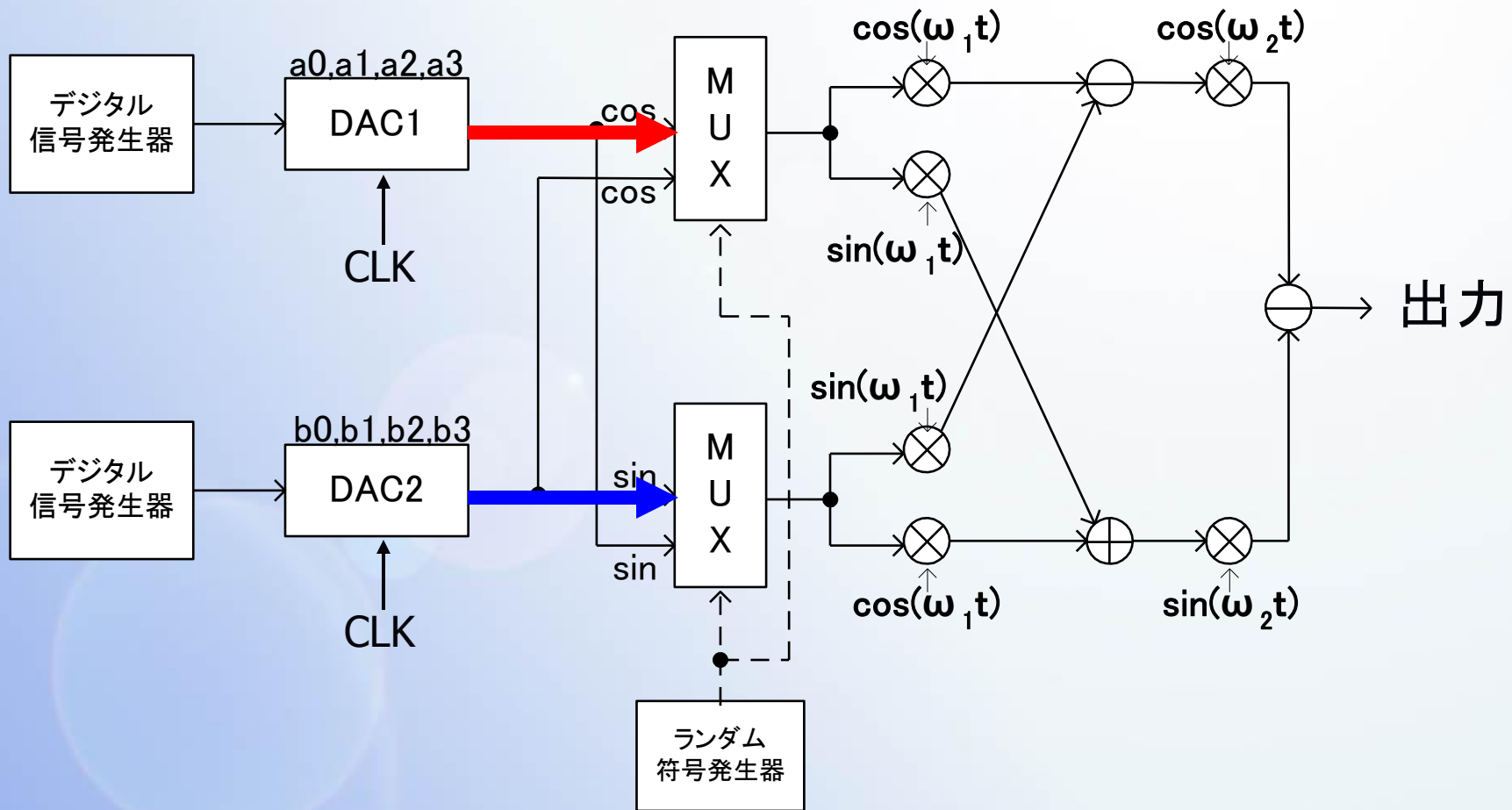


オフセット $a_0 \neq b_0$, ゲイン $a_1 \neq b_1$

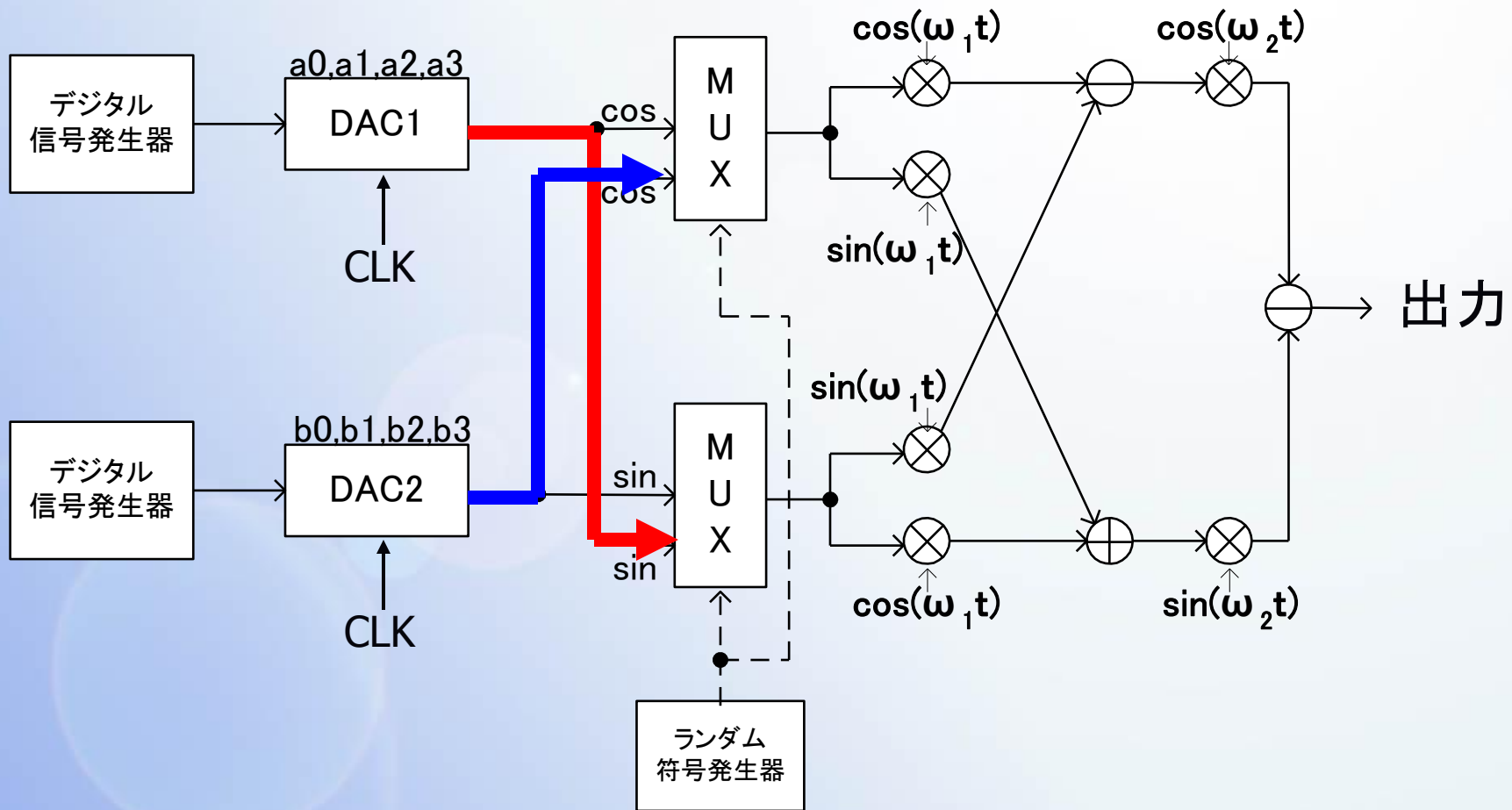
二次歪 $a_2 \neq b_2$, 三次歪 $a_3 \neq b_3$

タイミングエラー $dt \neq 0$

2ch DAC に対しダイナミック・エレメント・マッチングを用いた回路の提案

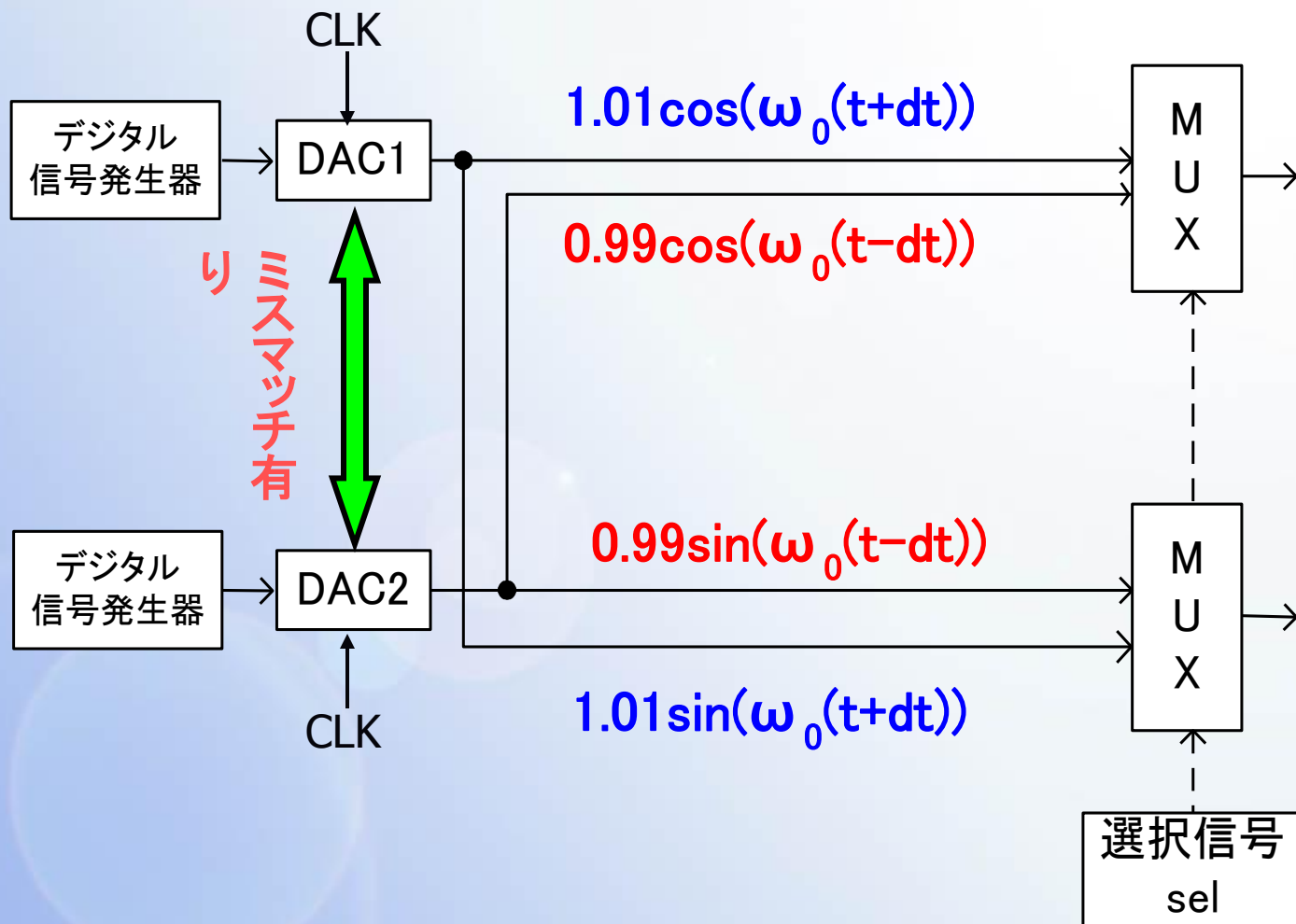


2ch DAC に対しダイナミック・エレメント・マッチングを用いた回路の提案





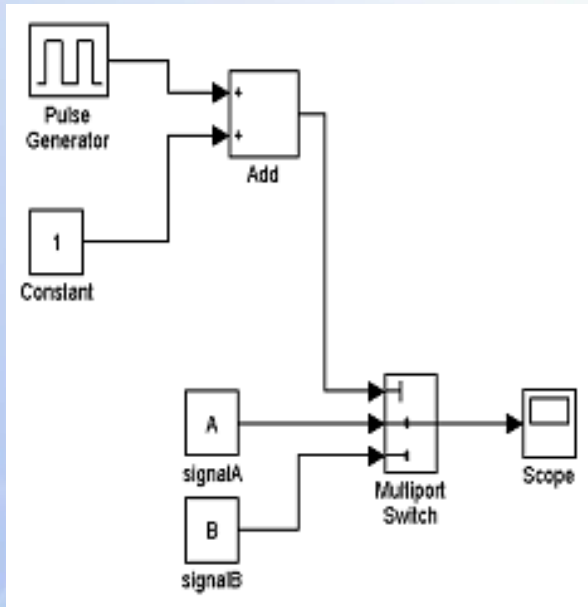
DACのゲイン・タイミング・ミスマッチの場合を用いる





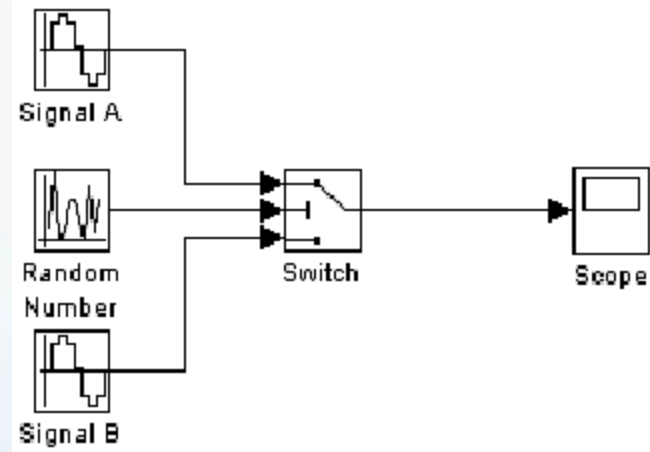
Simulink でのMUXの実現

● 1サイクル毎に切り換える場合



- ◆ 制御信号が1→Aの信号
2→Bの信号

● 擬似ランダムに切り換える場合

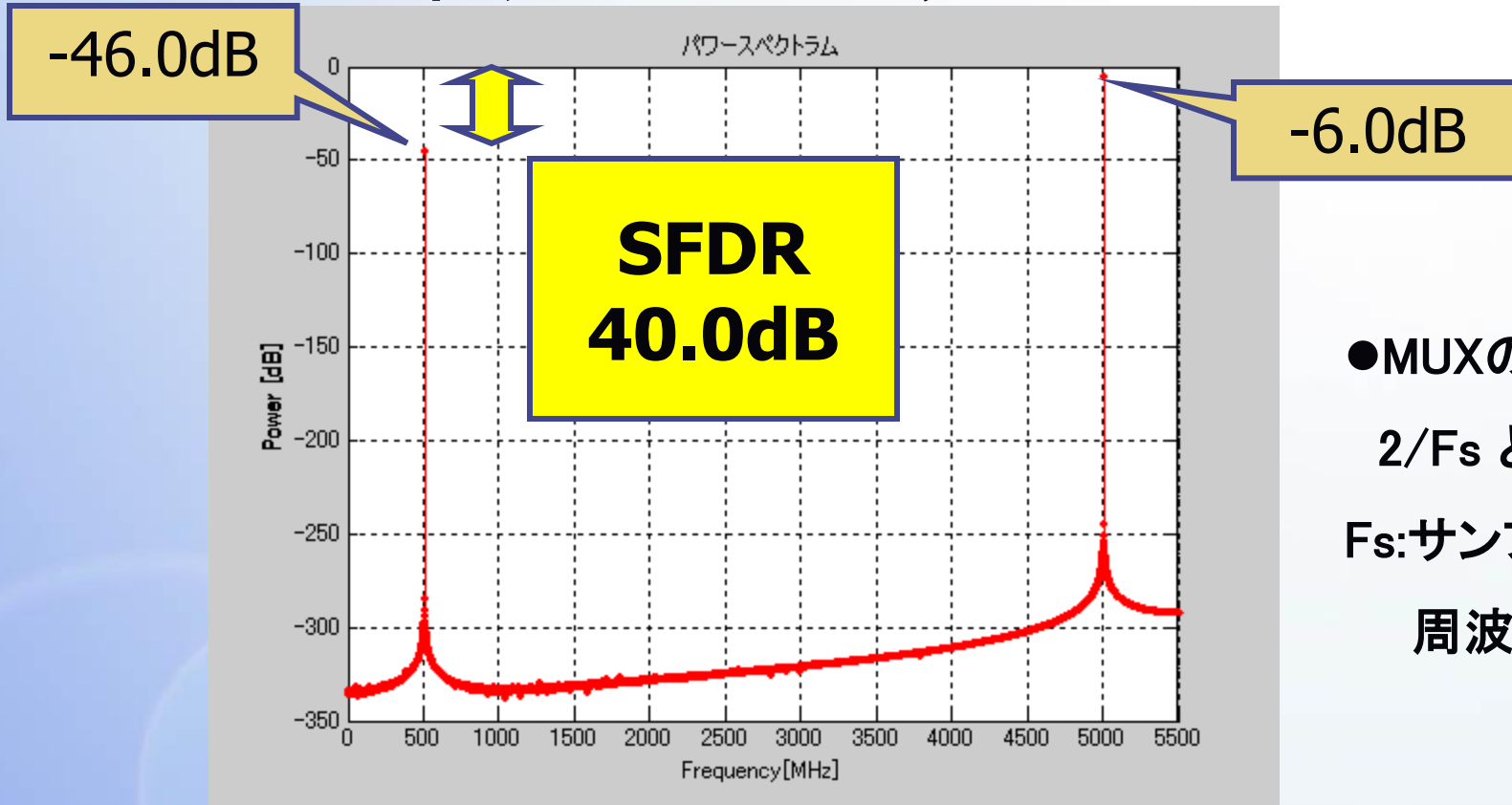


- ◆ ランダム信号の平均値0
分散1とした。
- ◆ スイッチでは0以上→Aの信号
0未満→Bの信号



1サイクル毎にMUXを切り換える場合

出力パワースペクトル



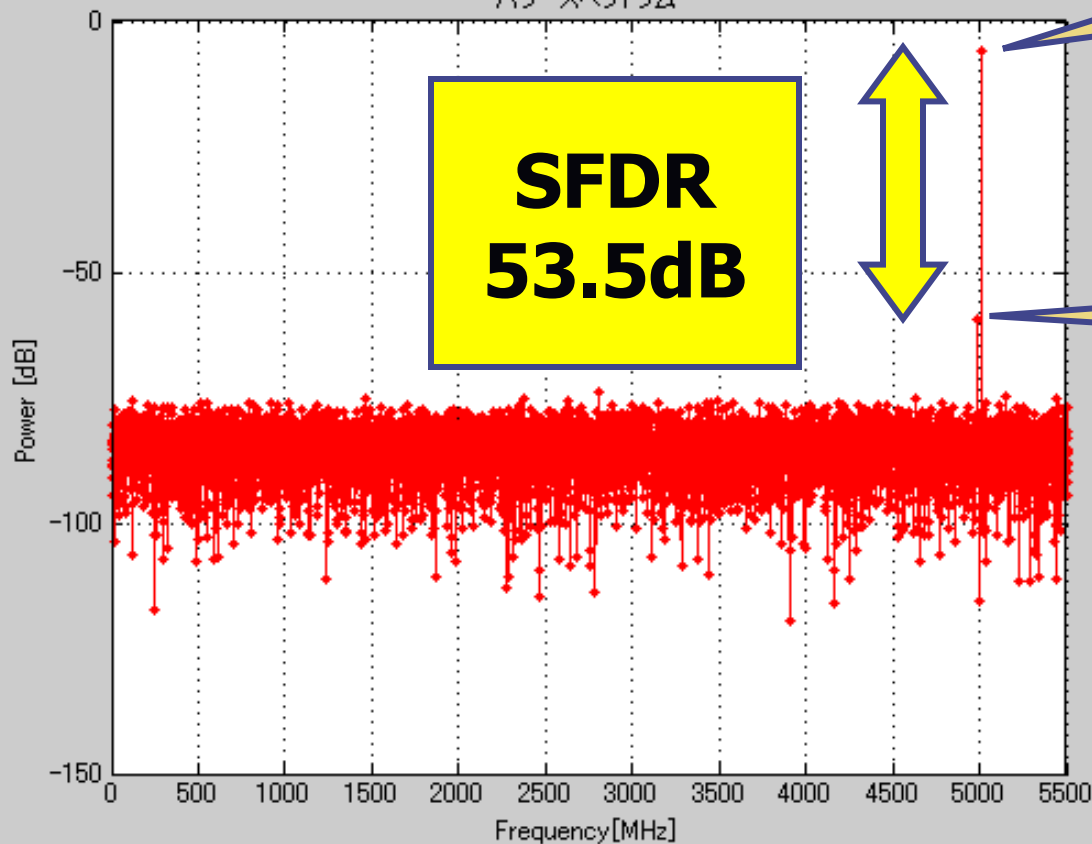
SFDRは改善しない



擬似ランダムにMUXを切り換える場合

出力パワースペクトル

パワースペクトラム



SFDRが11.6dB向上



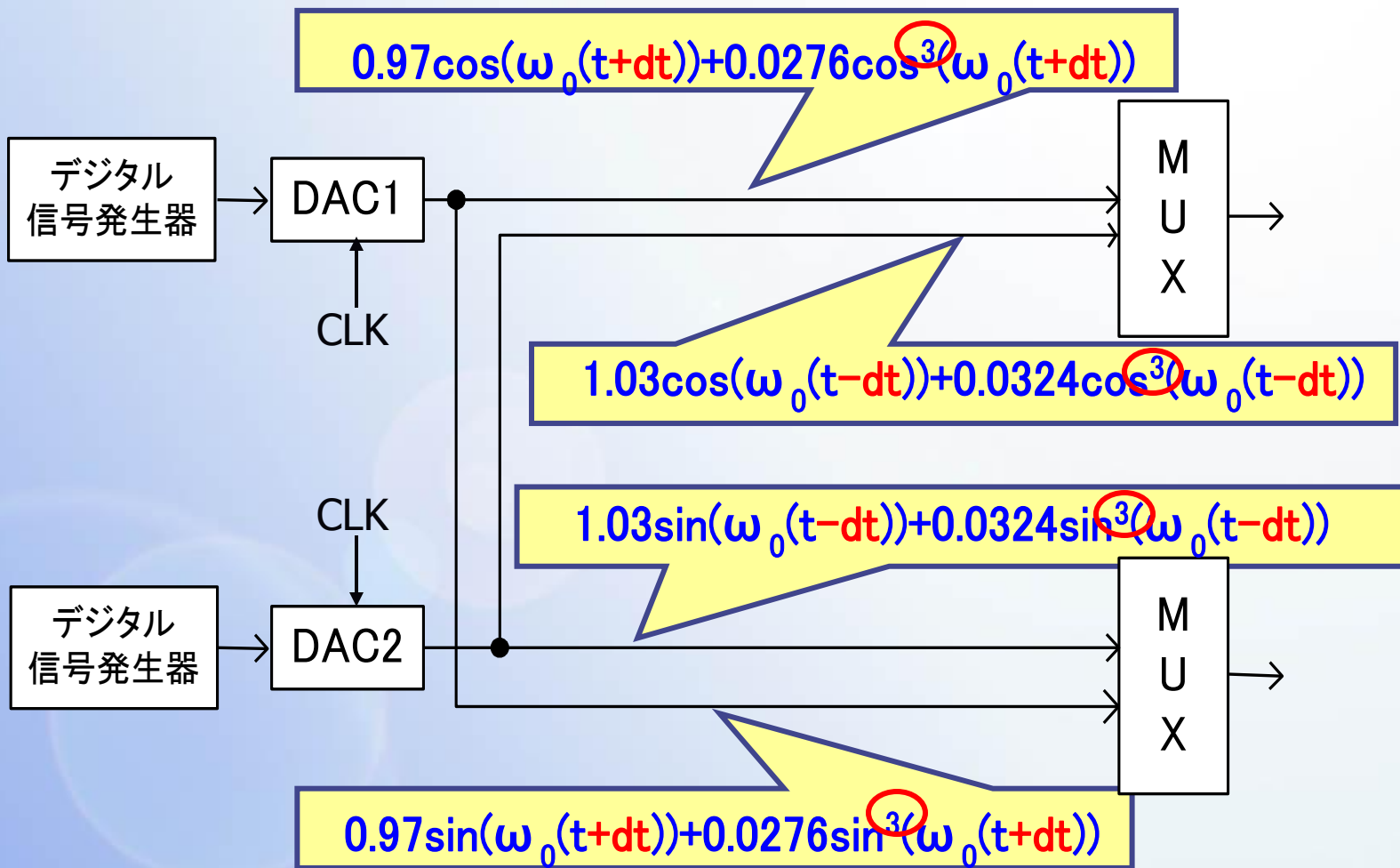
提案手法の効果

- DACのゲイン・タイミング・ミスマッチの場合
SFDR = 41.9dB
- 1サイクル毎に切り換えるMUX SFDR = 40.0dB
- 擬似ランダムで切り換えるMUX SFDR = 53.5dB

MUXを擬似ランダムに切り換えることでSFDRは大きく向上



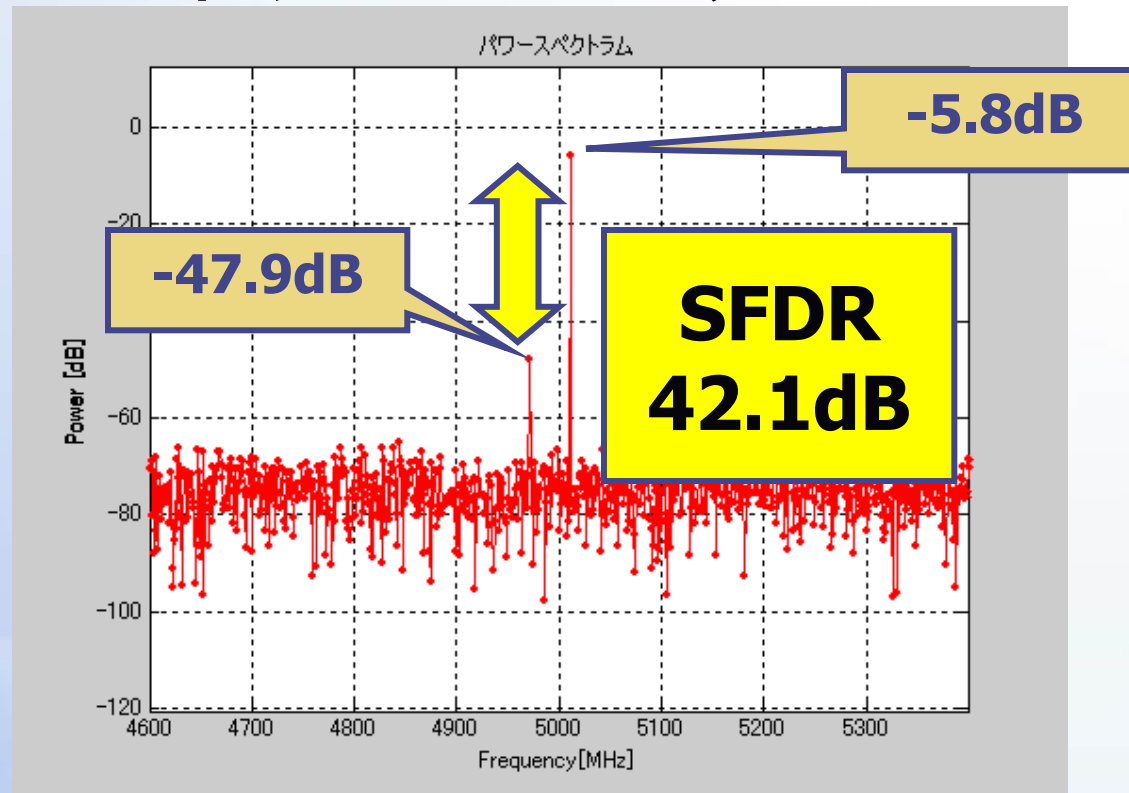
DACのゲイン,三次歪,タイミング・ミスマッチの場合





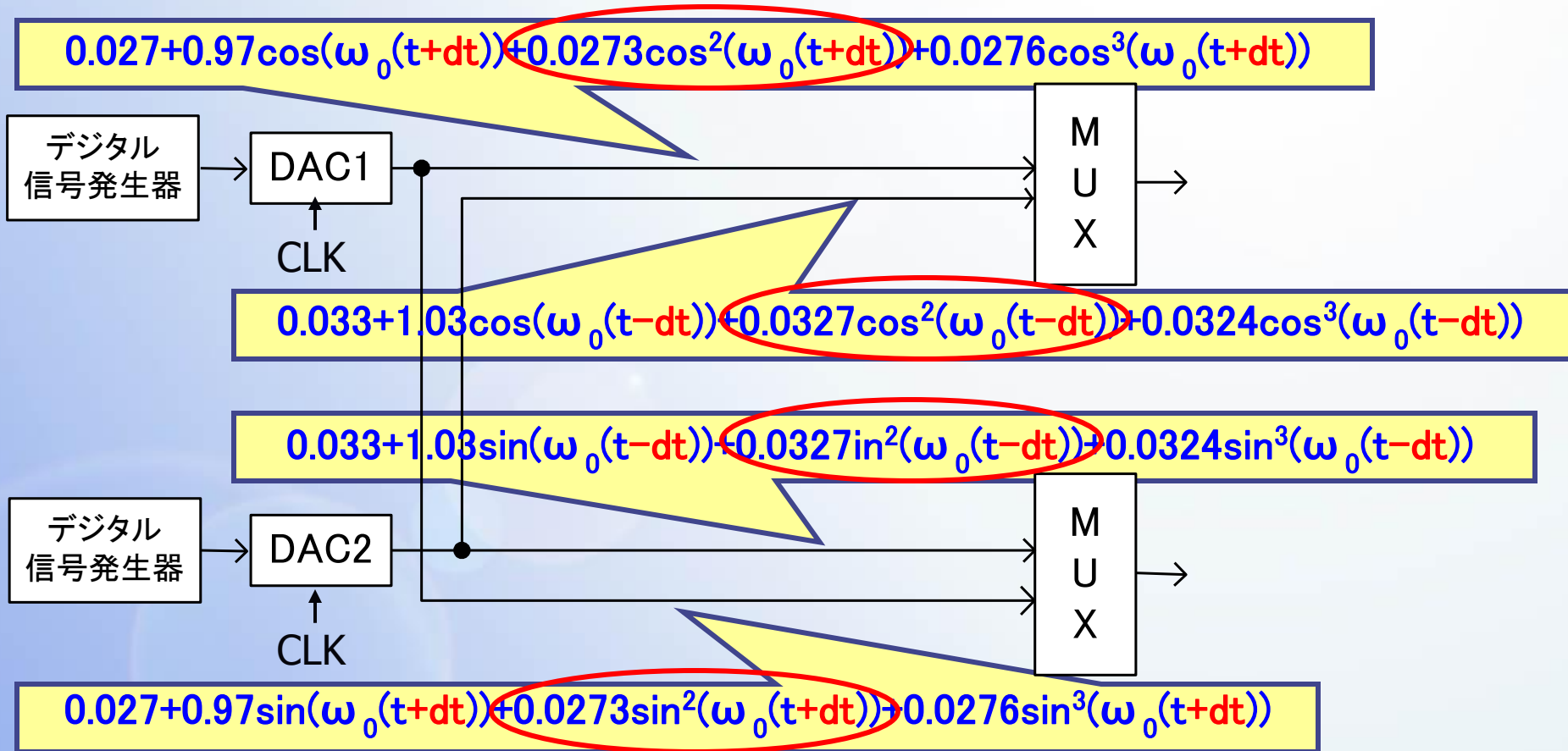
DACのゲイン,三次歪,タイミング・ミスマッチ の場合

出力パワースペクトル



提案手法でSFDRが18.0dB向上

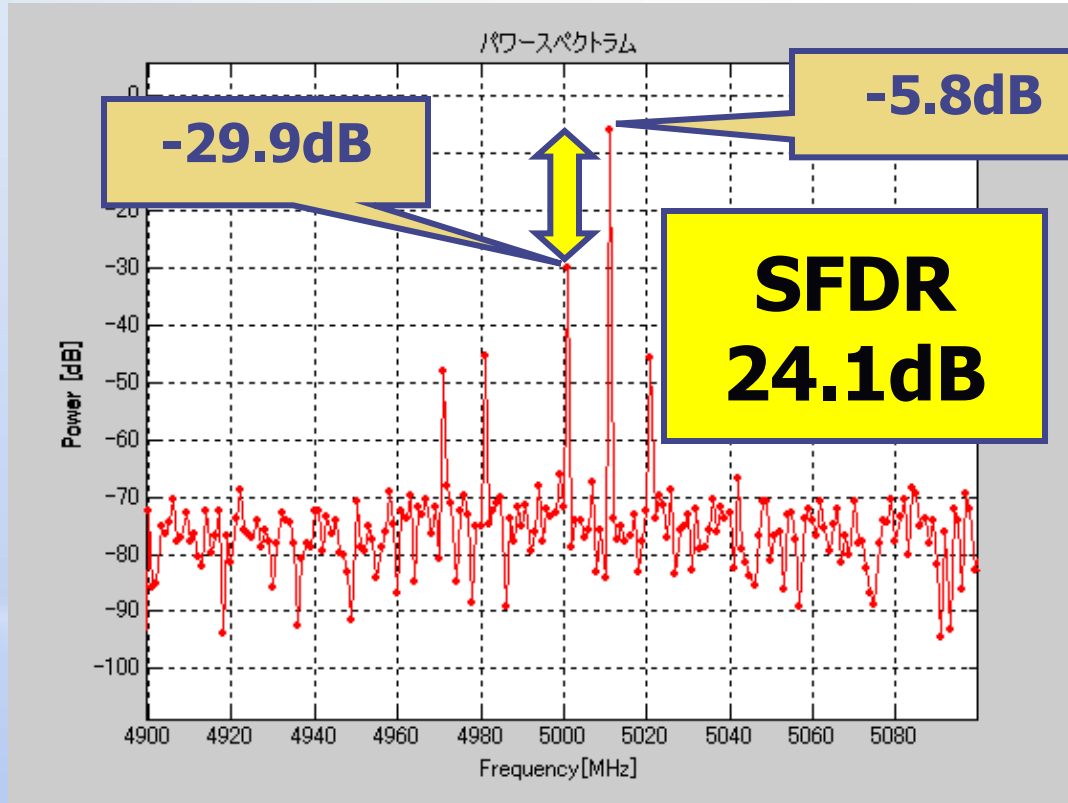
二次歪のミスマッチも加えた場合





二次歪のミスマッチも加えた場合

出力パワースペクトル



SFDRは改善しない



差動出力DAC

差動回路の場合

$$V_{sig} = V_{sig+} - V_{sig-}$$

ここで、 $V_{sig+} = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3$

$V_{sig-} = a_0 + a_1(-x) + a_2(-x)^2 + a_3(-x)^3$ とおくと、

$$V_{sig+} - V_{sig-} = 2a_1x + 2a_3x^3 \text{ となる。}$$

二次歪は差動構成でキャンセルされる。

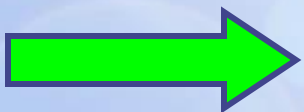
三次歪が主要歪



まとめ

2ステップ構成の送信機・任意波形発生器で

- I, Q経路ミスマッチによるスプリアス発生を確認
- ダイナミックエレメントマッチングにより
- ✓ I, QDACのゲイン、三次歪、タイミングミスマッチによりSFDR劣化が改善
- ✓ 二次歪の影響は改善できない



差動出力DACを用いれば二次歪なし

提案手法の有効性が示された



各パラメータの設定値

1~4までの測定において、
各値を次のように設定した。

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \cong 10\text{MHz}$$

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} \cong 1\text{GHz}$$

$$f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi} \cong 4\text{GHz}$$

$$dt = 100\text{pt}$$

$$\Delta = 1\% \cong 0.01$$

$$A = 1$$

$$a_0 = 0.027$$

$$a_1 = 0.97$$

$$a_2 = 0.0273$$

$$a_3 = 0.0276$$

$$b_0 = 0.033$$

$$b_1 = 1.03$$

$$b_2 = 0.0327$$

$$b_3 = 0.0324$$