

電気学会 電子回路研究会 ECT-12-075

2012.10.5 @ 熊本大学

任意波形発生器を用いた低歪み信号発技術 におけるアナログフィルタ性能の検討

群馬大学大学院

○安部文隆 加藤啓介 小林春夫(群馬大学)
小林修(STARC) 高井伸和 新津葵一(群馬大学)

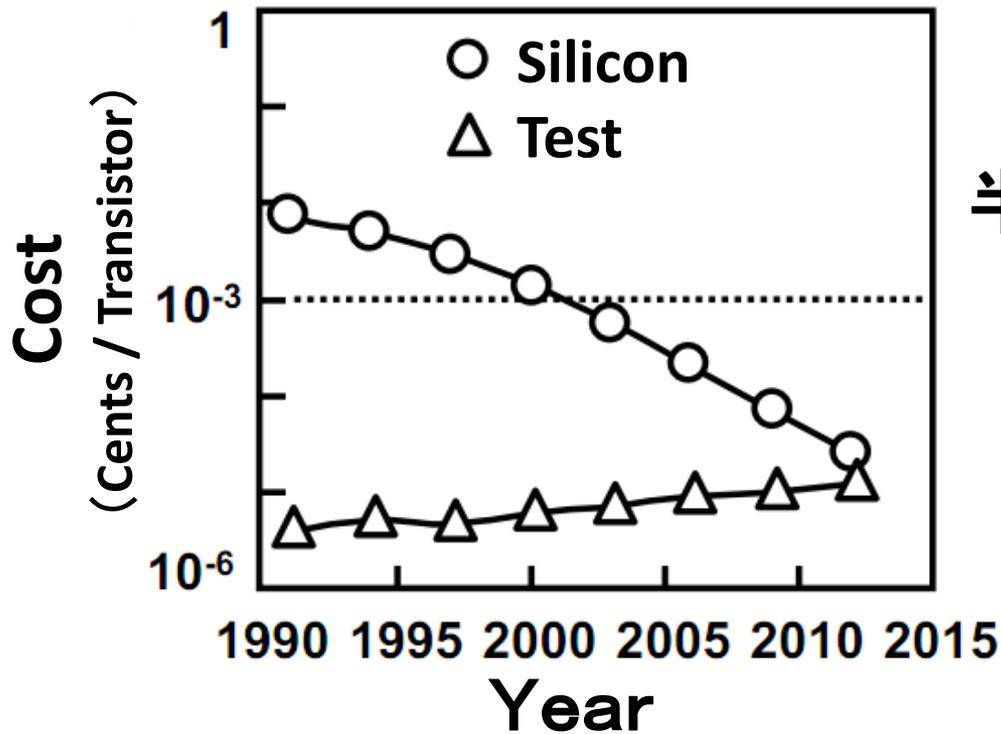
Outline

- **研究背景**
- **本研究の概要**
- **低歪み単一正弦波信号の生成**
- **アナログフィルタ要求性能の検討**
- **まとめ**

Outline

- **研究背景**
- 本研究の概要
- 低歪み単一正弦波信号の生成
- アナログフィルタ要求性能の検討
- まとめ

SoCテストコスト動向



半導体プロセス微細化効果

シリコンコスト：減少

テストコスト：増加

シリコンコストとテストコストの動向
(ITRS 2001)

半導体産業におけるテストコスト削減の要求

Outline

- 研究背景
- **本研究の概要**
- 低歪み単一正弦波信号の生成
- アナログフィルタ要求性能の検討
- まとめ

AWGを用いたADCの線形性テスト

ADC : SoCアナログ部キーコンポーネント

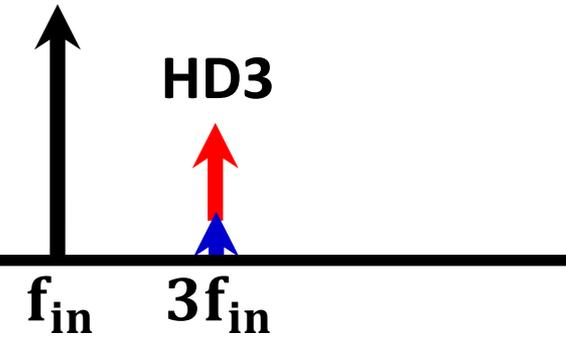
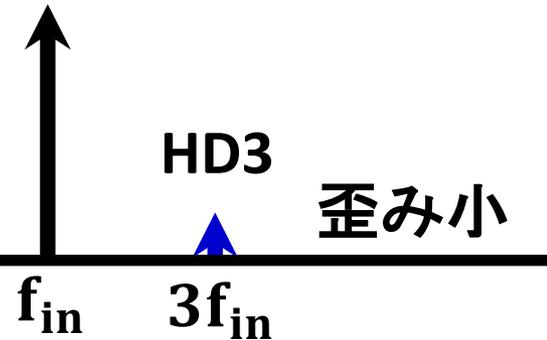
非線形特性

非線形特性

AWG

ADC
DUT

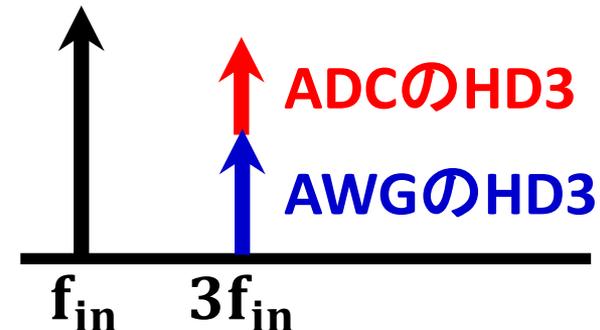
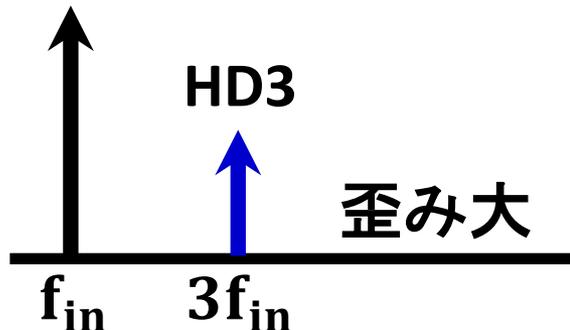
高価格
AWG



コスト
削減

テスト品質劣化

低価格
AWG



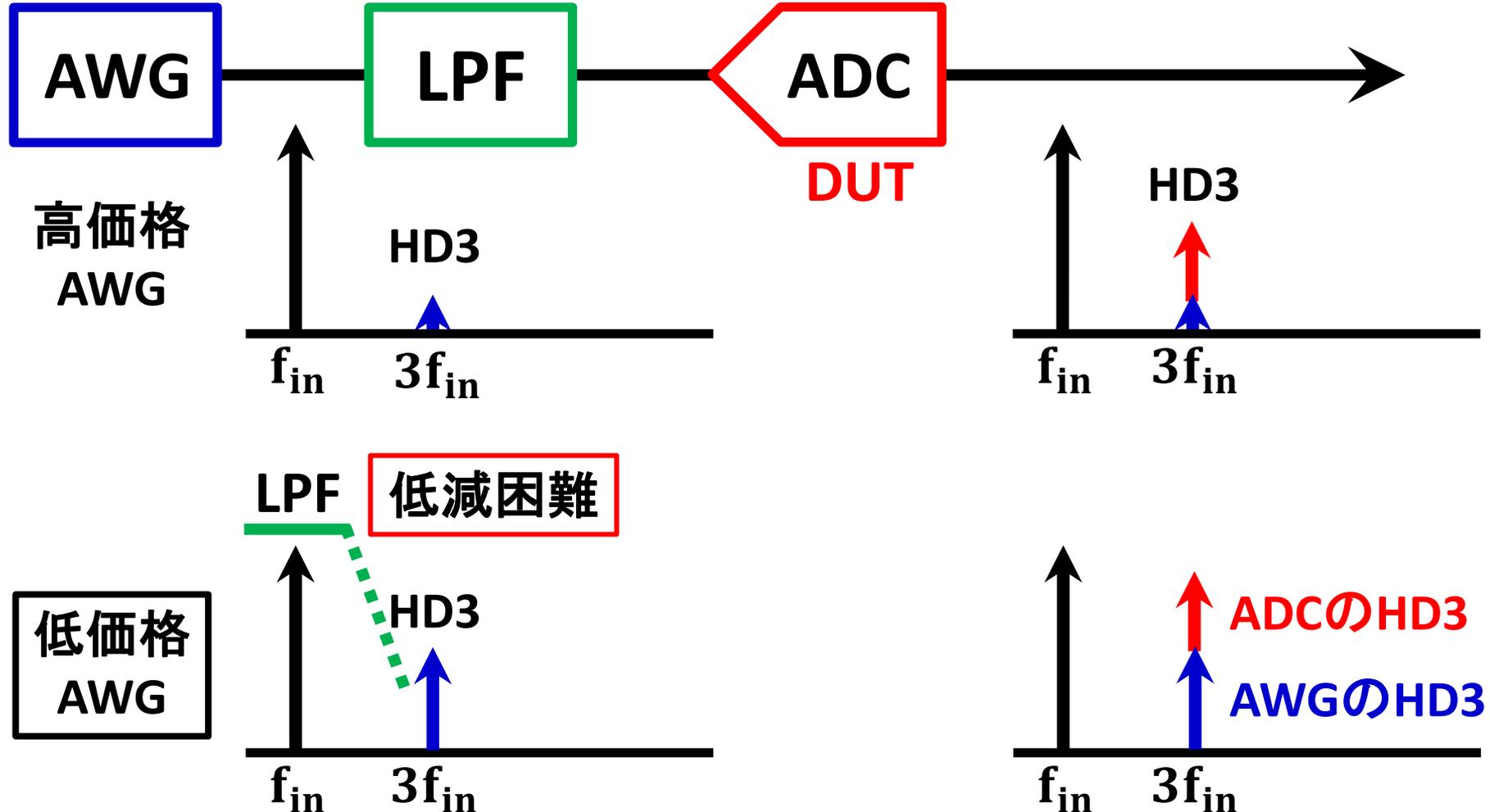
低コストAWGを用いたADCの線形性テスト ^{7/33}

HD3 : 基本波近傍により一般的にフィルタでの低減困難

非線形特性

HD3低減目的

非線形特性



AWG : Arbitrary Waveform Generator

低コストAWGを用いたADCの線形性テスト 8/33

低コスト化のため低価格AWGを使用

非線形特性

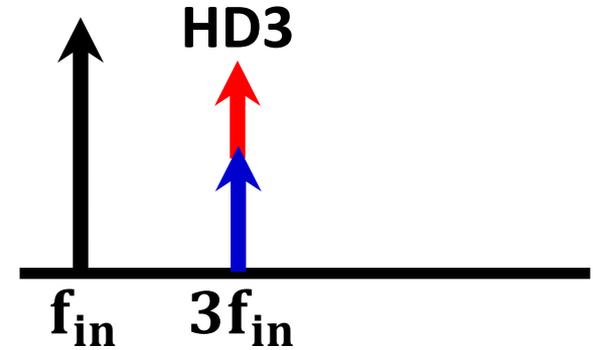
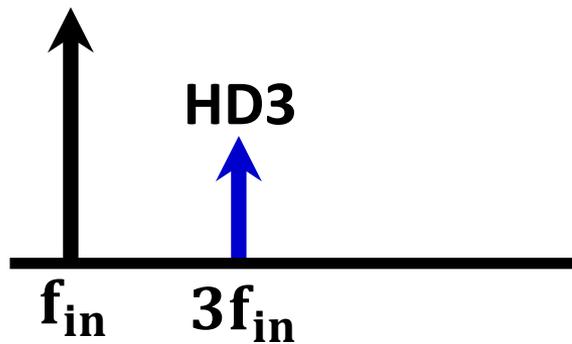
非線形特性

AWG

ADC
DUT

低価格
AWG

プログラム
変更前

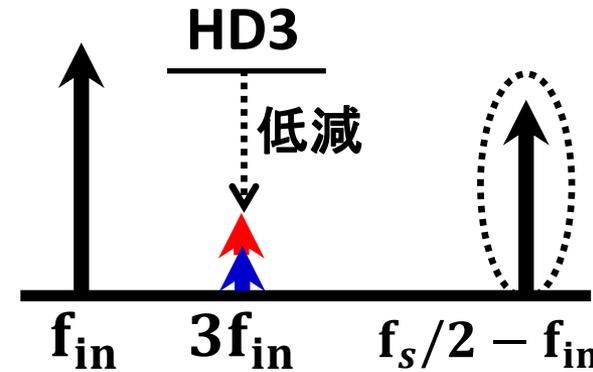
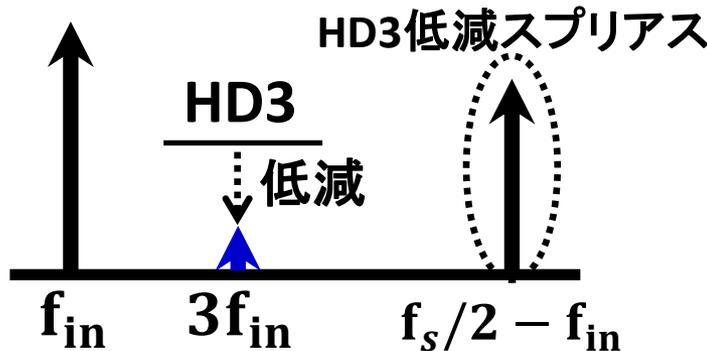


AWG内プログラム変更

ADCの歪みも低減

低価格
AWG

プログラム
変更後



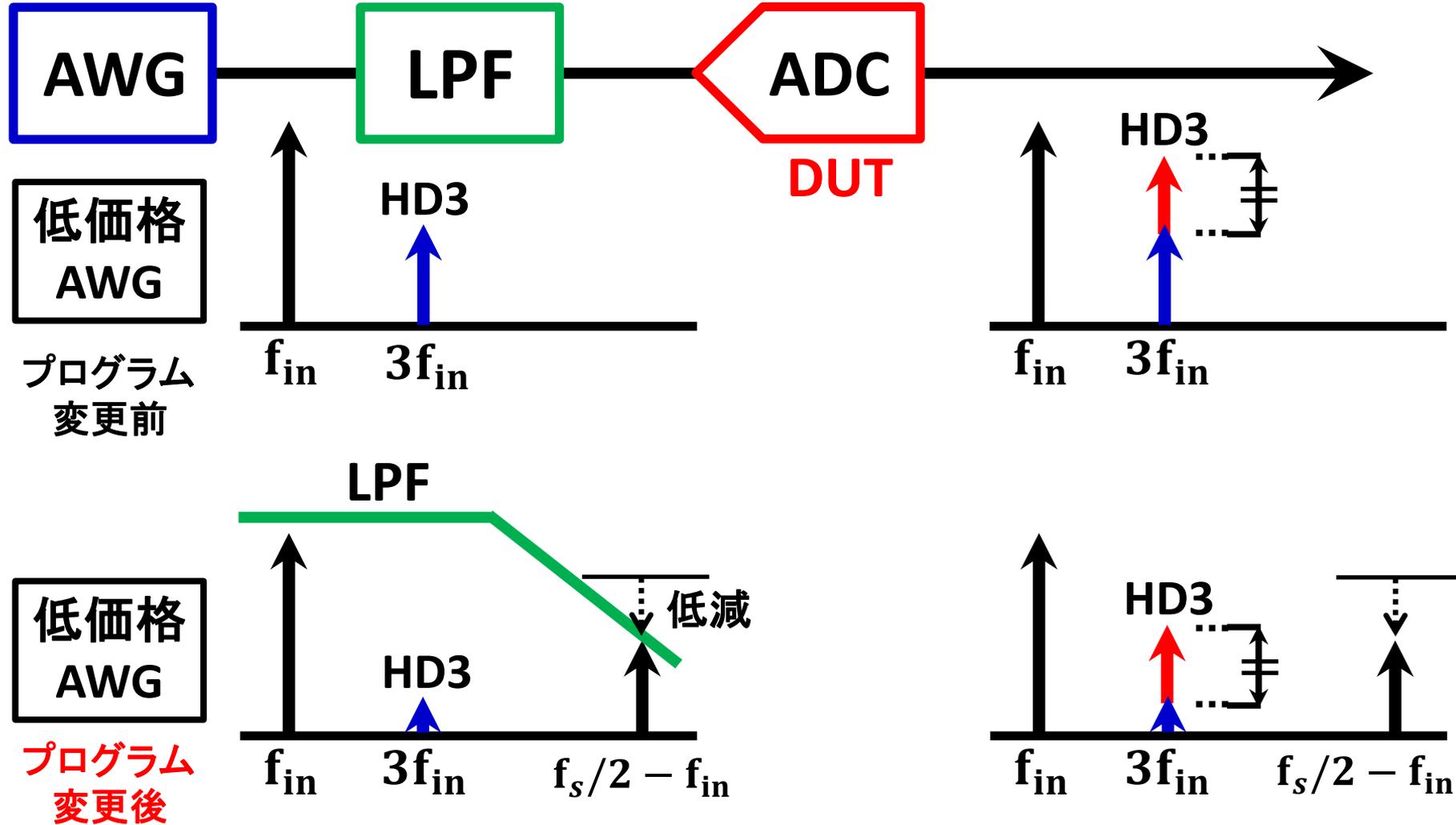
低コストAWGを用いたADCの線形性テスト 9/33

LPFによる発生したスプリアスの処理を検討

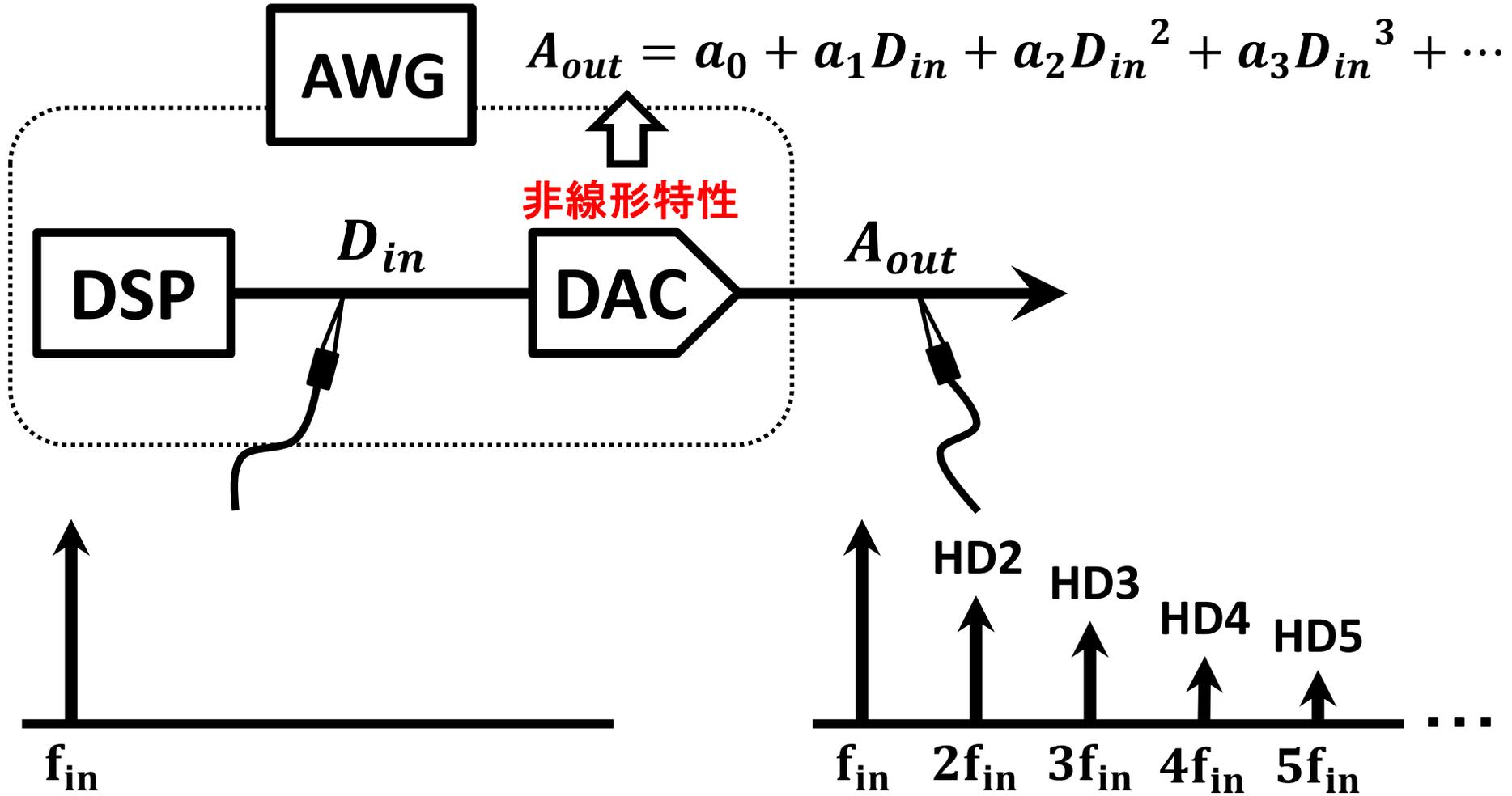
非線形特性

$f_s/2 - f_{in}$ 低減目的

非線形特性

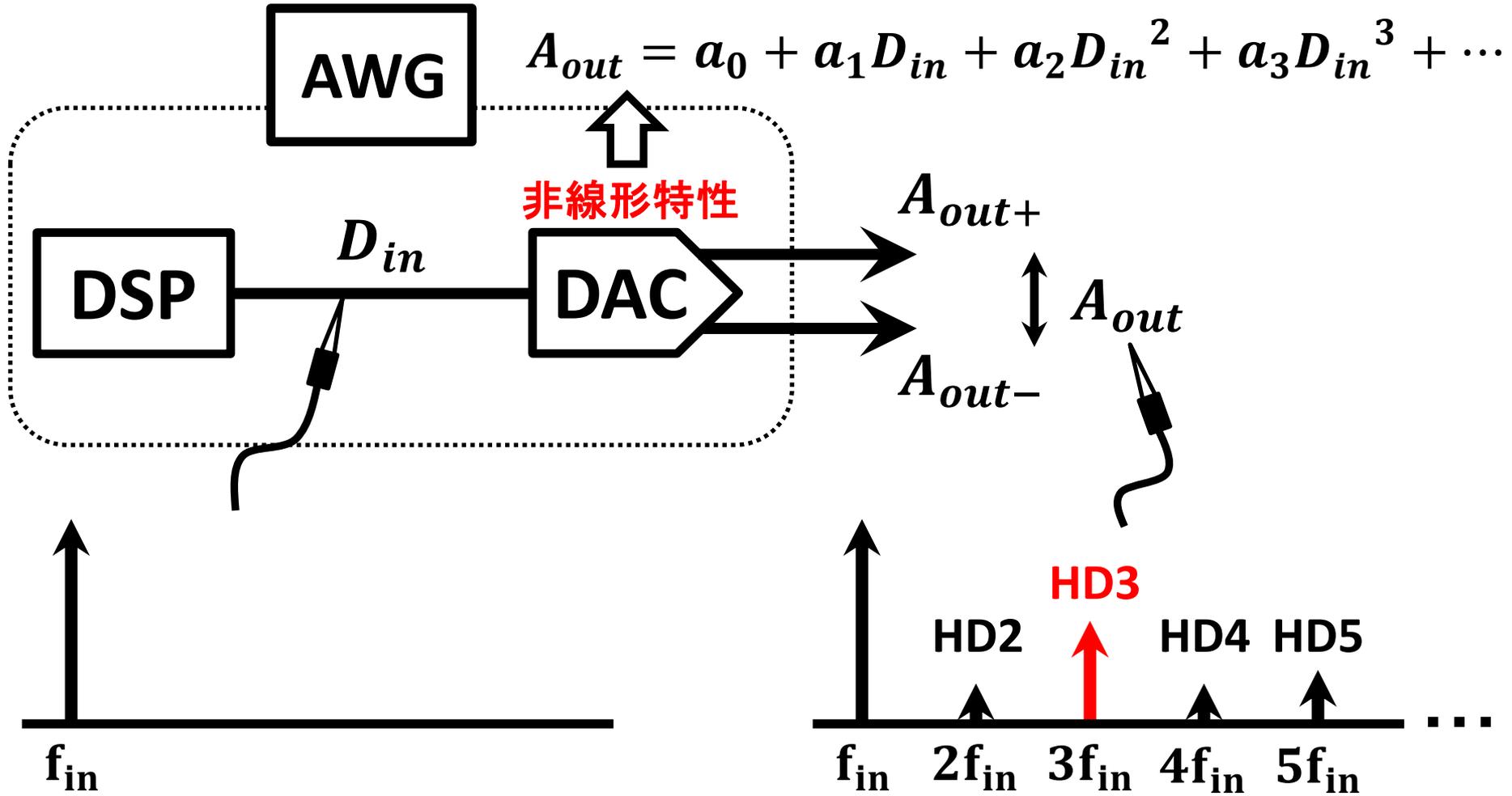


AWGの構成と高調波歪み発生原因



高次高調波歪みほどそのパワーは小さい

なぜ HD3 か？

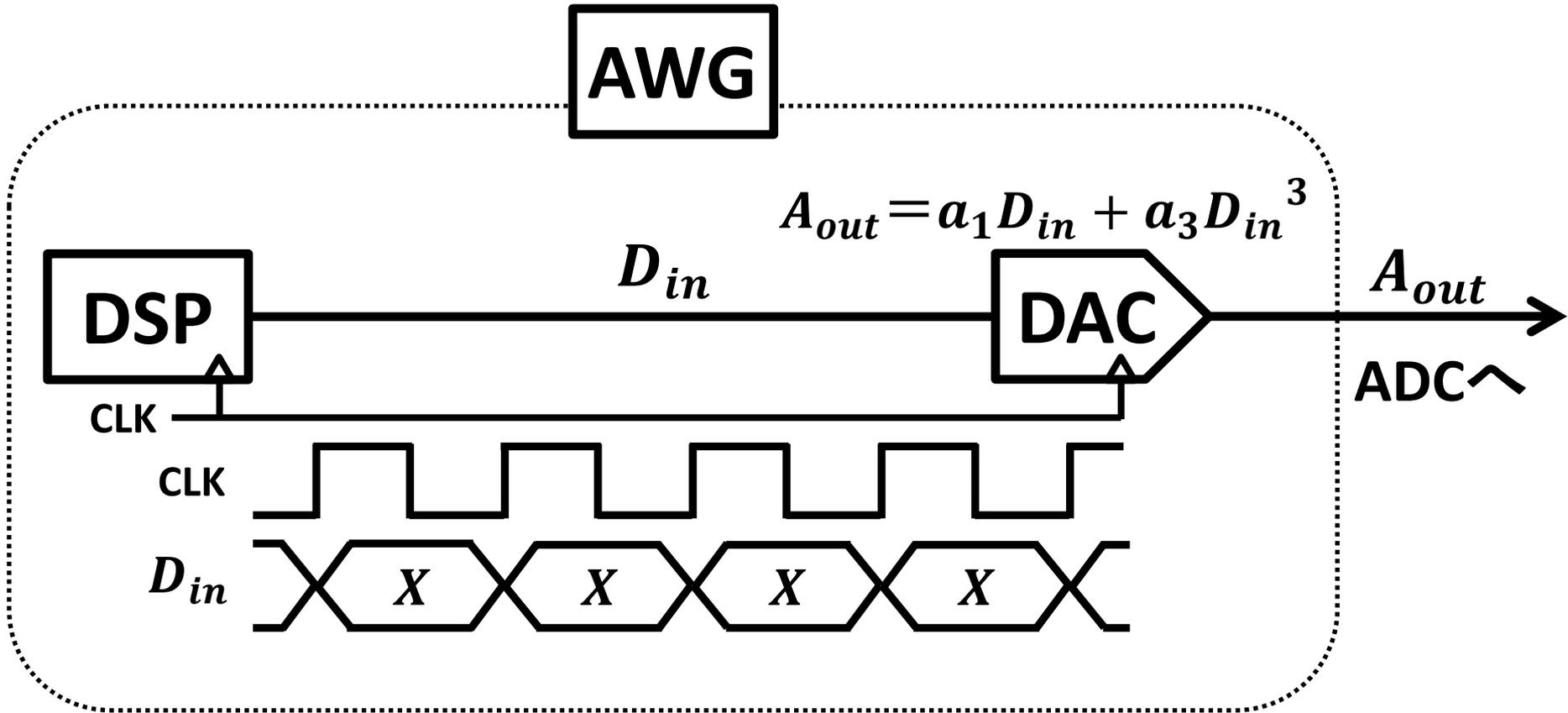


差動構成を考慮した時、最もHD3が問題になることが多い

Outline

- 研究背景
- 本研究の概要
- **低歪み単一正弦波信号の生成**
- アナログフィルタ要求性能の検討
- まとめ

従来信号の生成

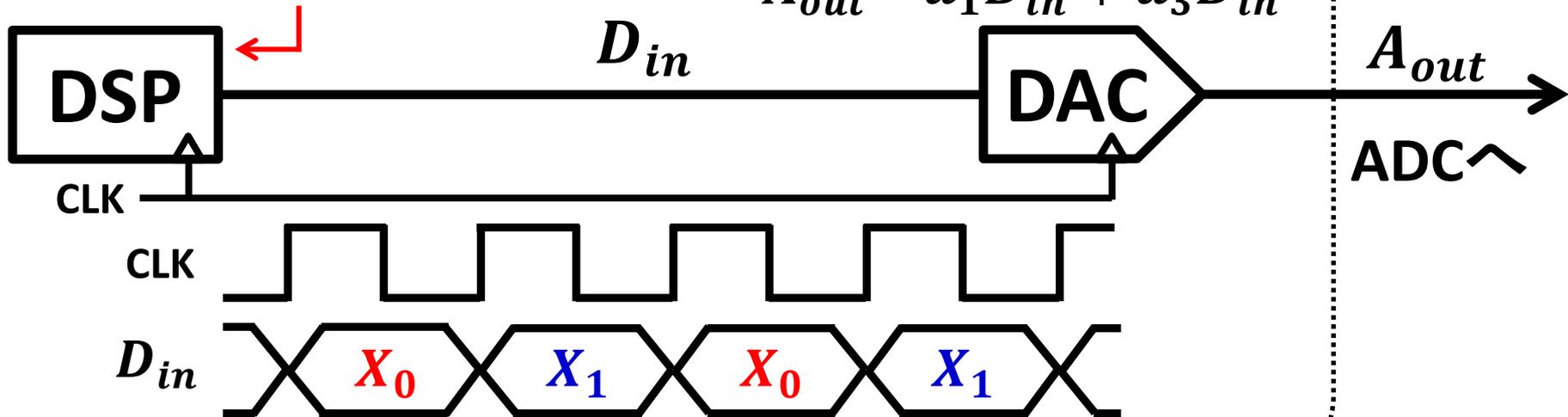


$$D_{in} = X = A \cdot \sin(2\pi f_{in} n T_s)$$

位相差切り替え信号の生成

AWG

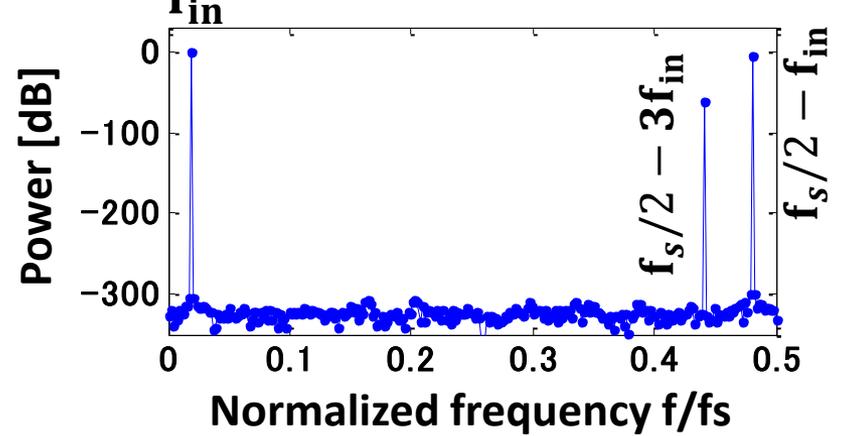
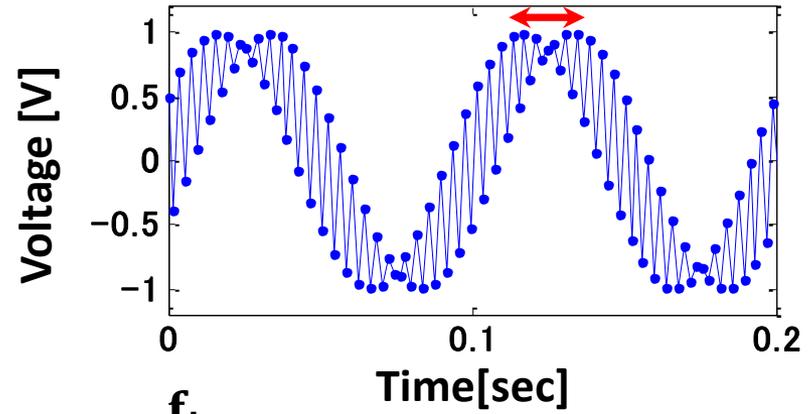
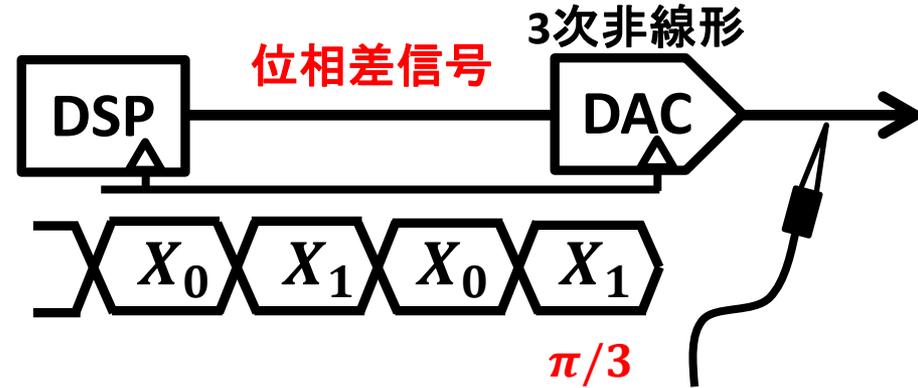
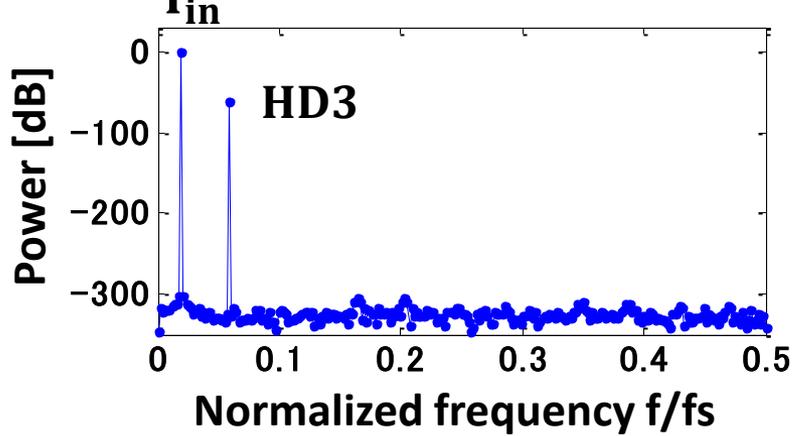
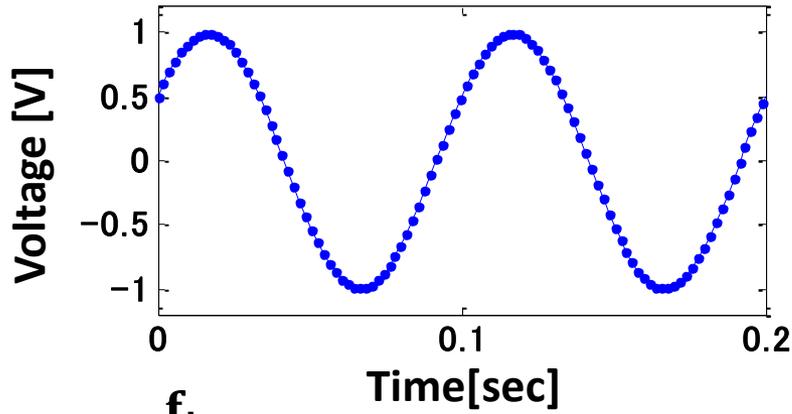
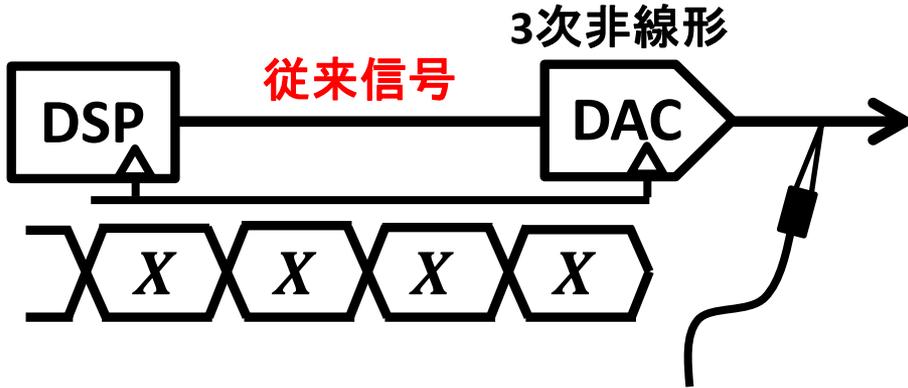
※ DSP部での発生信号を変更



$$A_{out} = a_1 D_{in} + a_3 D_{in}^3$$

$$D_{in} = \begin{cases} X_0 = A \cdot \sin(2\pi f_{in}(2m)T_s) \\ X_1 = A \cdot \sin(2\pi f_{in}(2m+1)T_s + \pi/3) \end{cases}$$

テスト信号の比較



実機検証条件

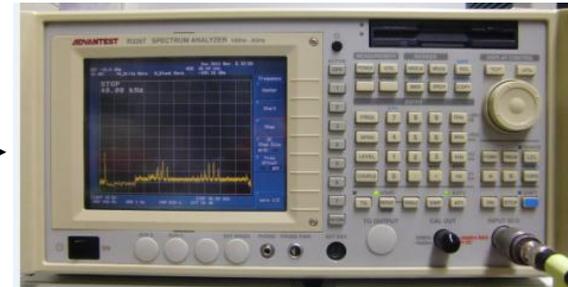
AWG



Agilent 33220A

周波数特性	1 μ Hz~6MHz
分解能	14bits
最高サンプリングレート	50MSa/s

Spectrum analyzer



ADVANTEST R3267

周波数帯域	100Hz~8GHz
RBW	10Hz~30MHz

RBW : Resolution Band Width

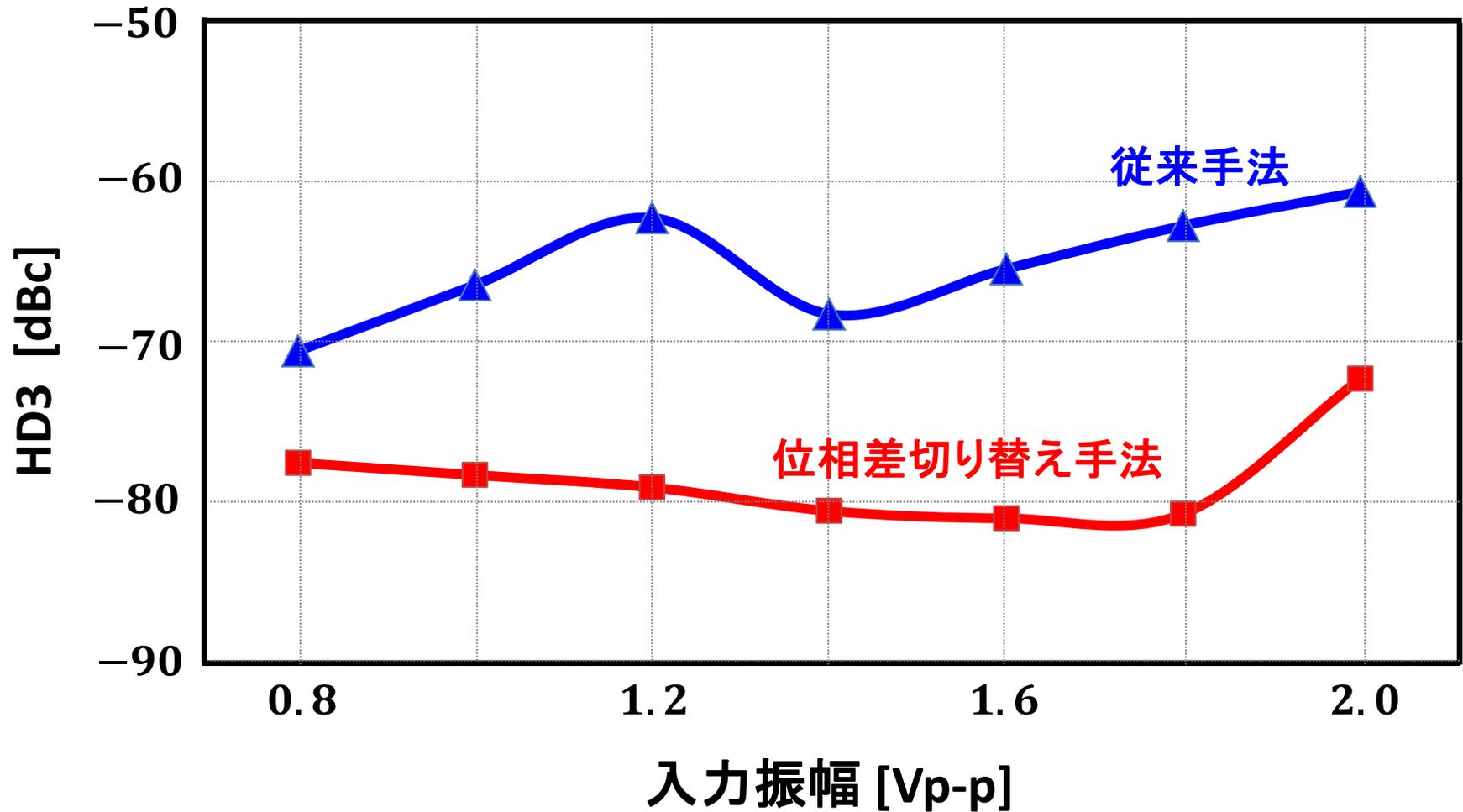
Signal



テスト信号

入力周波数	200kHz
サンプリング周波数	10MSa/s
入力電圧	0.8~2.0V _{pp} (0.2Vstep)
オフセット	0

実機による測定結果

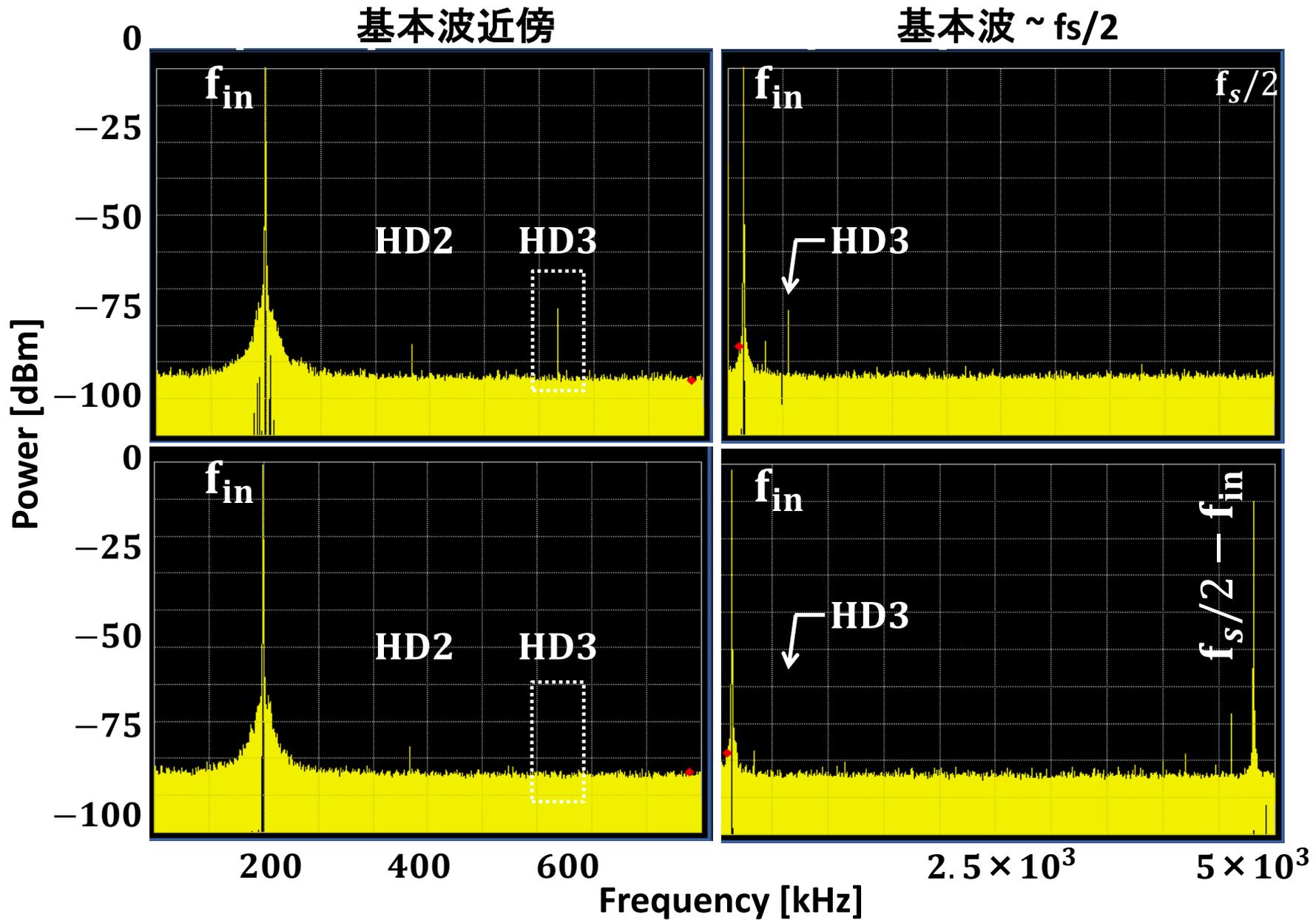


サンプル平均**13.4dB**のHD3パワー減少

測定スペクトル @1.2 Vp-p

従来手法

位相差切り替え手法



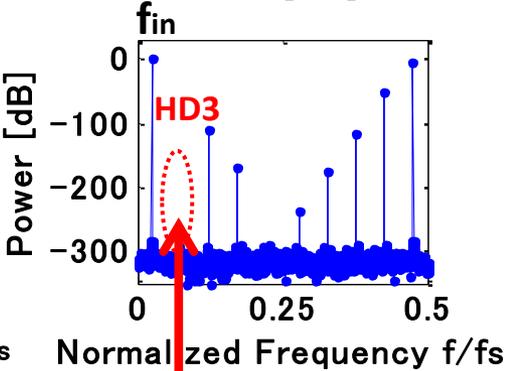
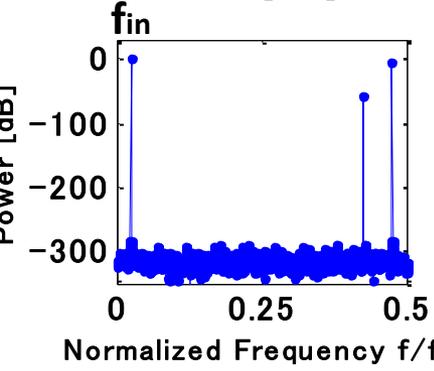
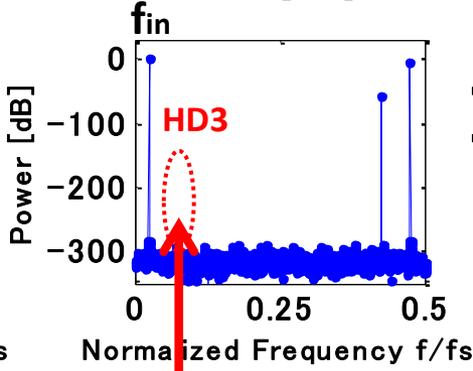
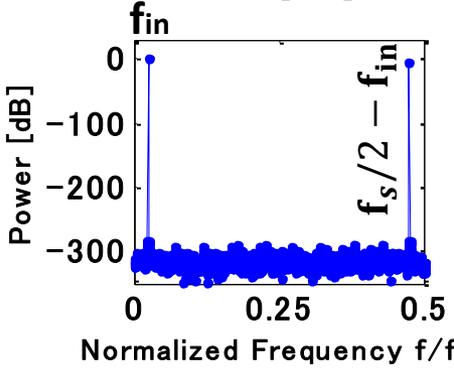
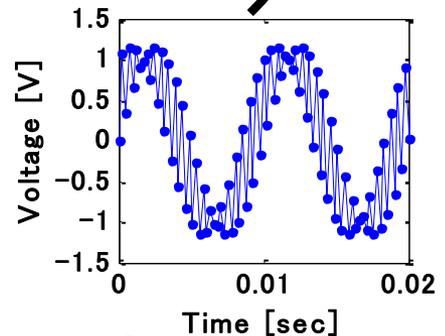
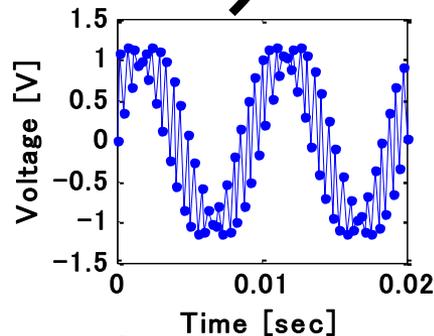
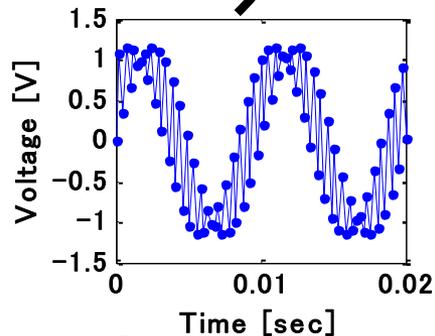
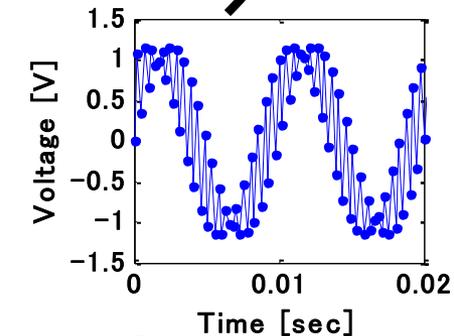
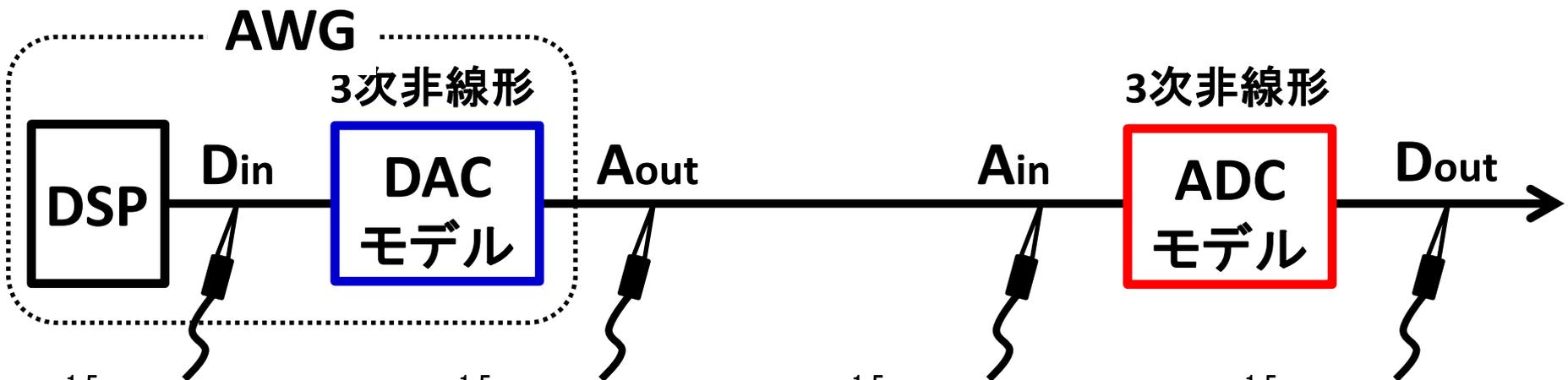
低歪み単一正弦波のまとめ

- AWGによりADCテスト信号を生成
- 位相差が $\pi/3$ 異なる2相信号を1CLK毎に切り替え位相差切り替え信号を生成
- AWGの出力に含まれていたHD3を低減
- AWG内部のプログラム変更のみで実現可能
- ハードウェアの変更不要

Outline

- 研究背景
- 本研究の概要
- 低歪み単一正弦波信号の生成
- **アナログフィルタ要求性能の検討**
- まとめ

アナログフィルタを用いないテスト系



DACのHD3キャンセル

計測したいADCのHD3をキャンセル

アナログフィルタを用いたテスト系

AWG

3次非線形



Din



Aout

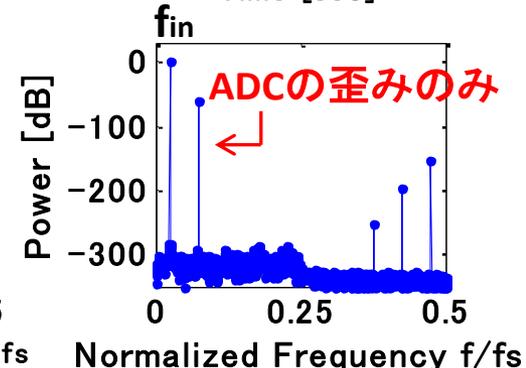
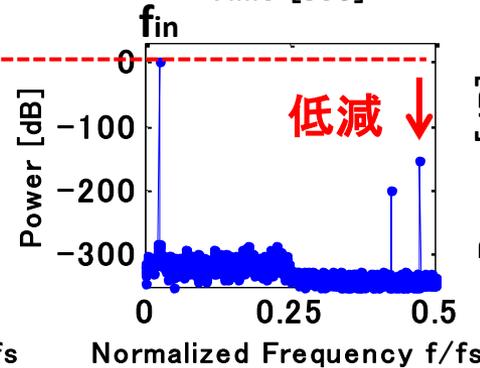
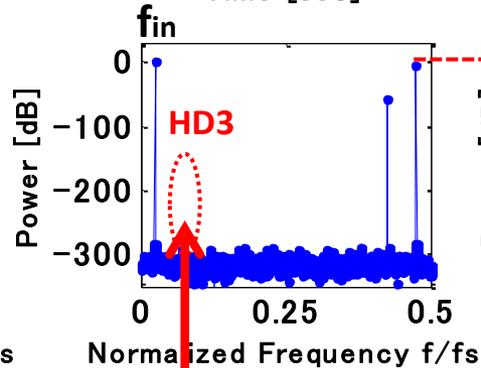
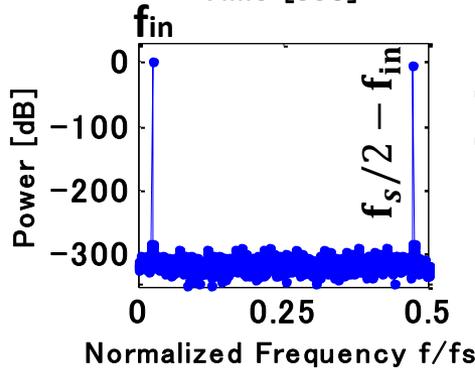
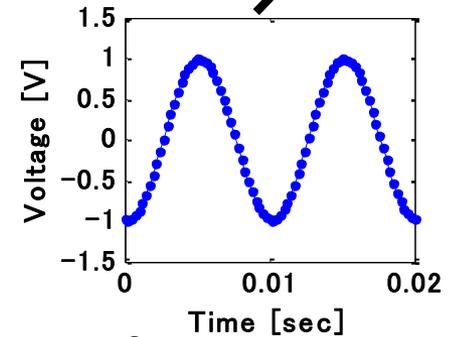
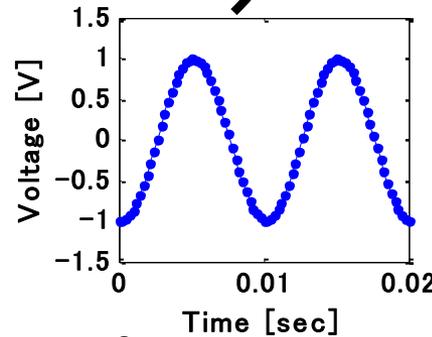
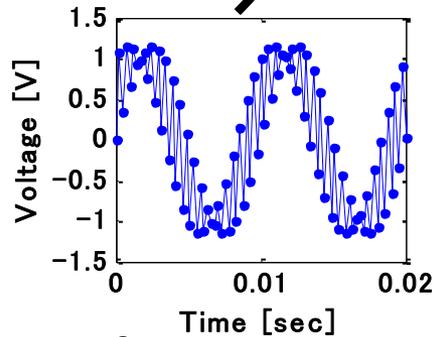
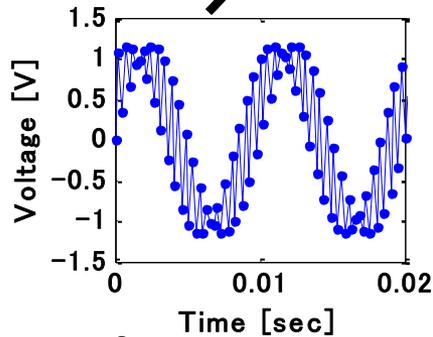


Ain

3次非線形



Dout

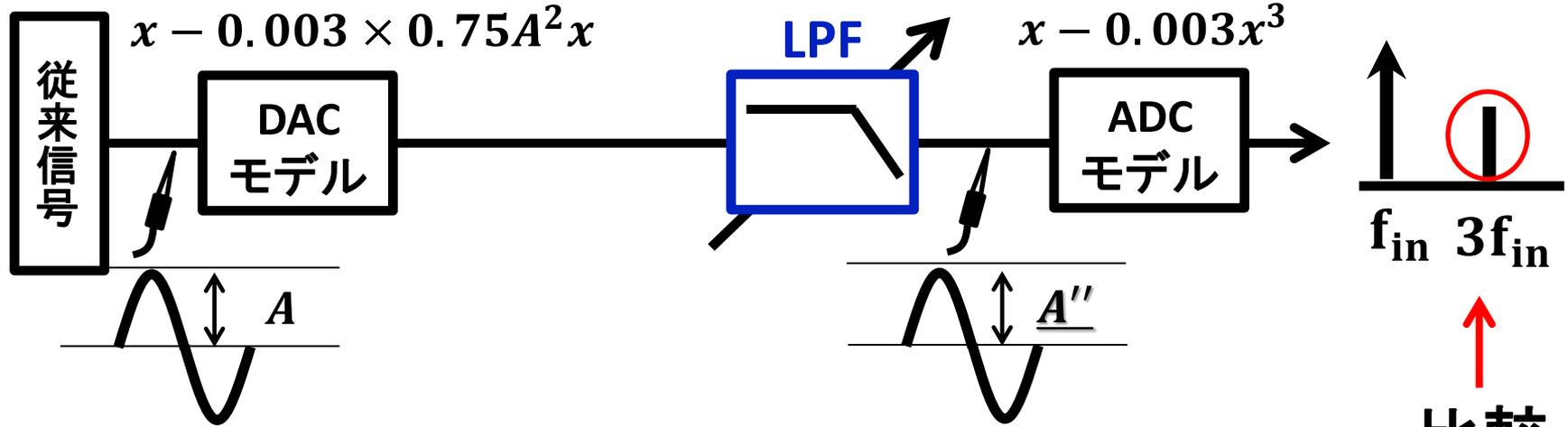


DACのHD3キャンセル

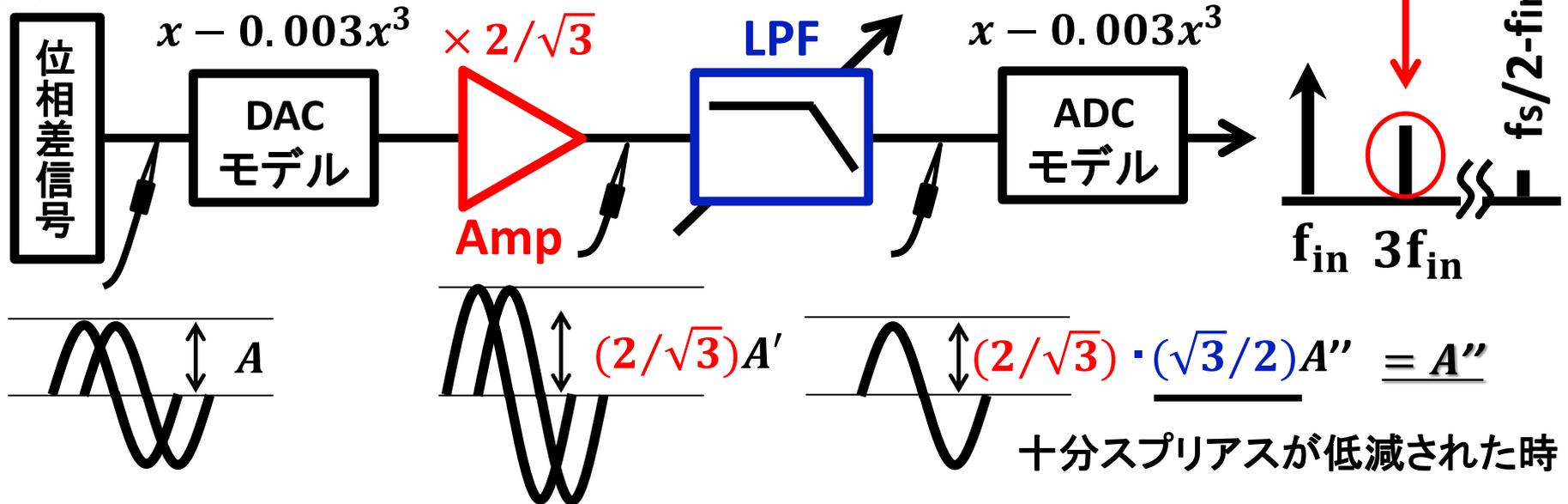
ADCのHD3のみ測定可

MATLAB シミュレーションモデル

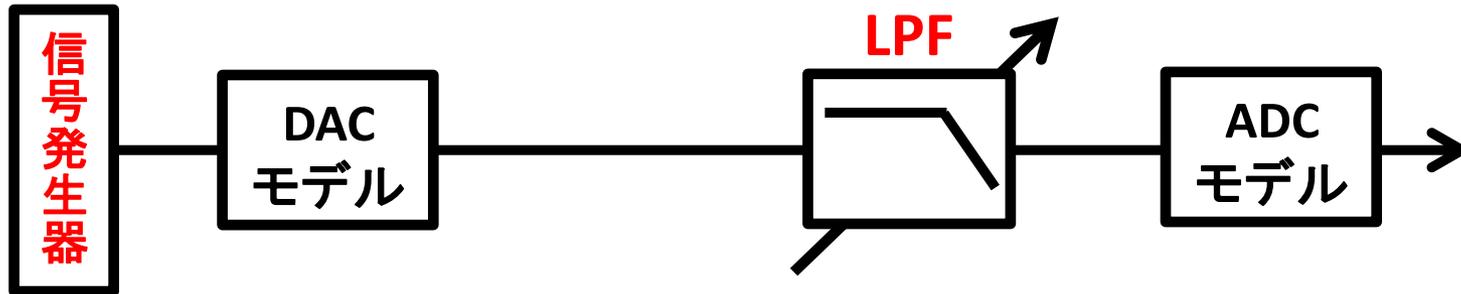
理想的なテスト系



実際のテスト系



シミュレーションパラメータ



信号発生器

従来信号

$$D_{in} : X = A * \cos(\omega_{in} * nT_s)$$

位相差切り替え信号

$$D_{in} \begin{cases} X_0 = A * \cos(2\pi * f_{in} * (2m-1)T_s) \\ X_1 = A * \cos(2\pi * f_{in} * (2m)T_s + \pi/3) \end{cases}$$

サンプリング周波数 $f_s = 4096$

入力周波数 $f_{in} = 23$

信号振幅 $A = 0.6$

LPF

バターワースアナログフィルタ

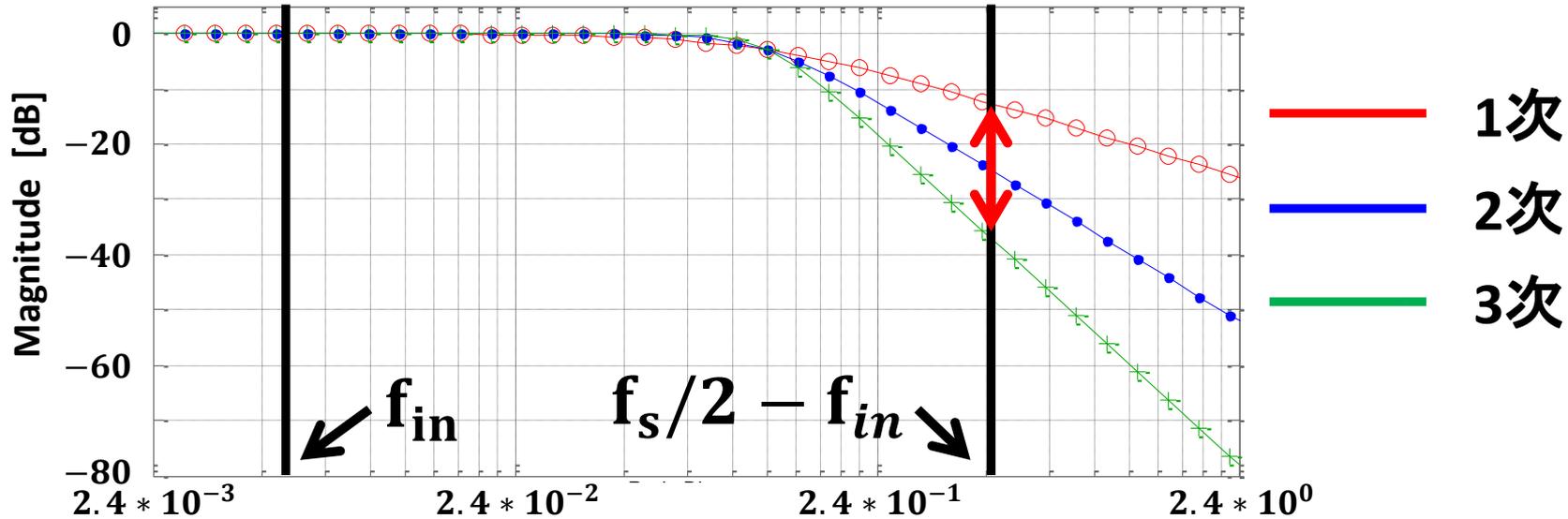
性能調整パラメータ

次数 1 ~ 3 次

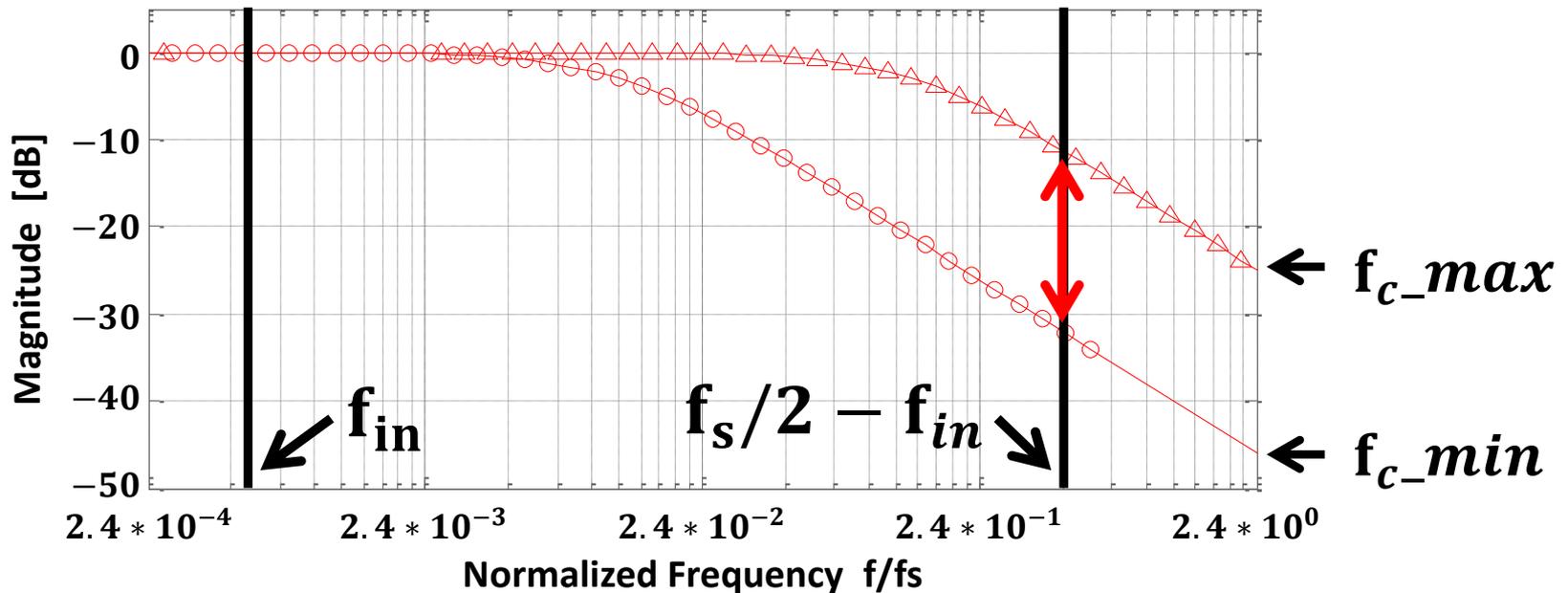
カットオフ周波数 $f_c/f_s : 0.012 \sim 0.14$

フィルタの信号振幅周波数特性

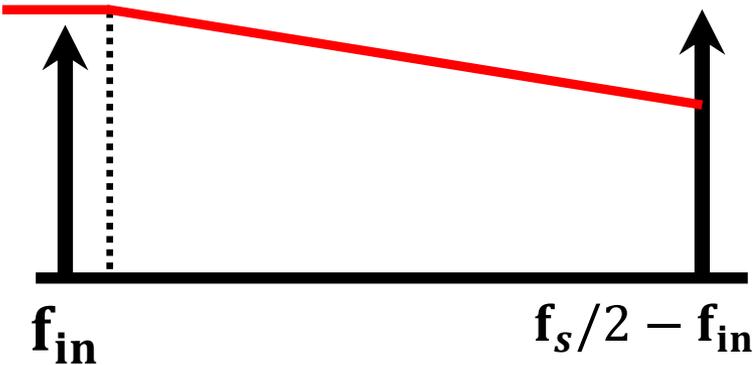
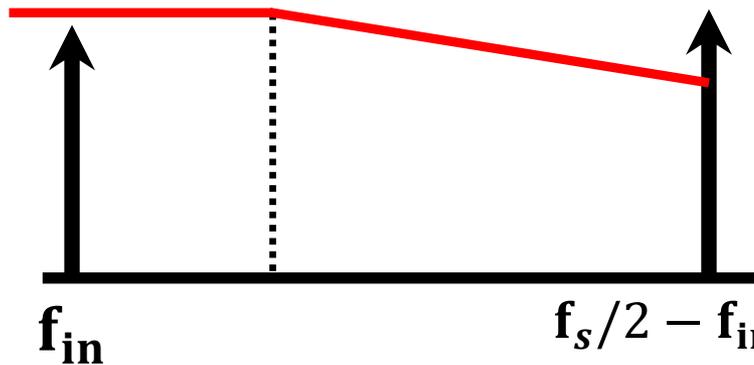
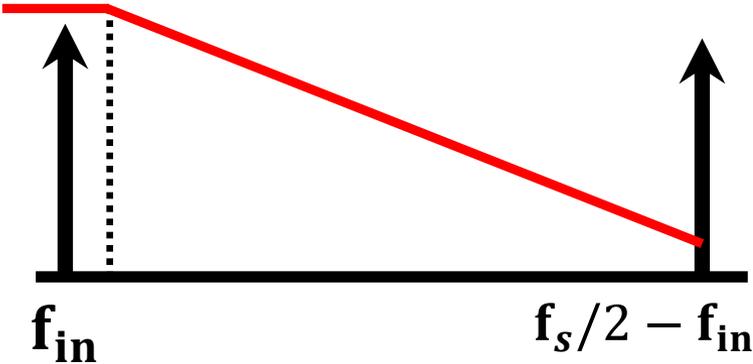
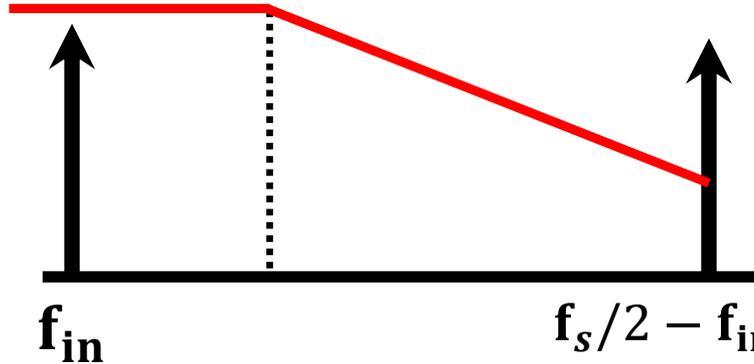
次数の調整



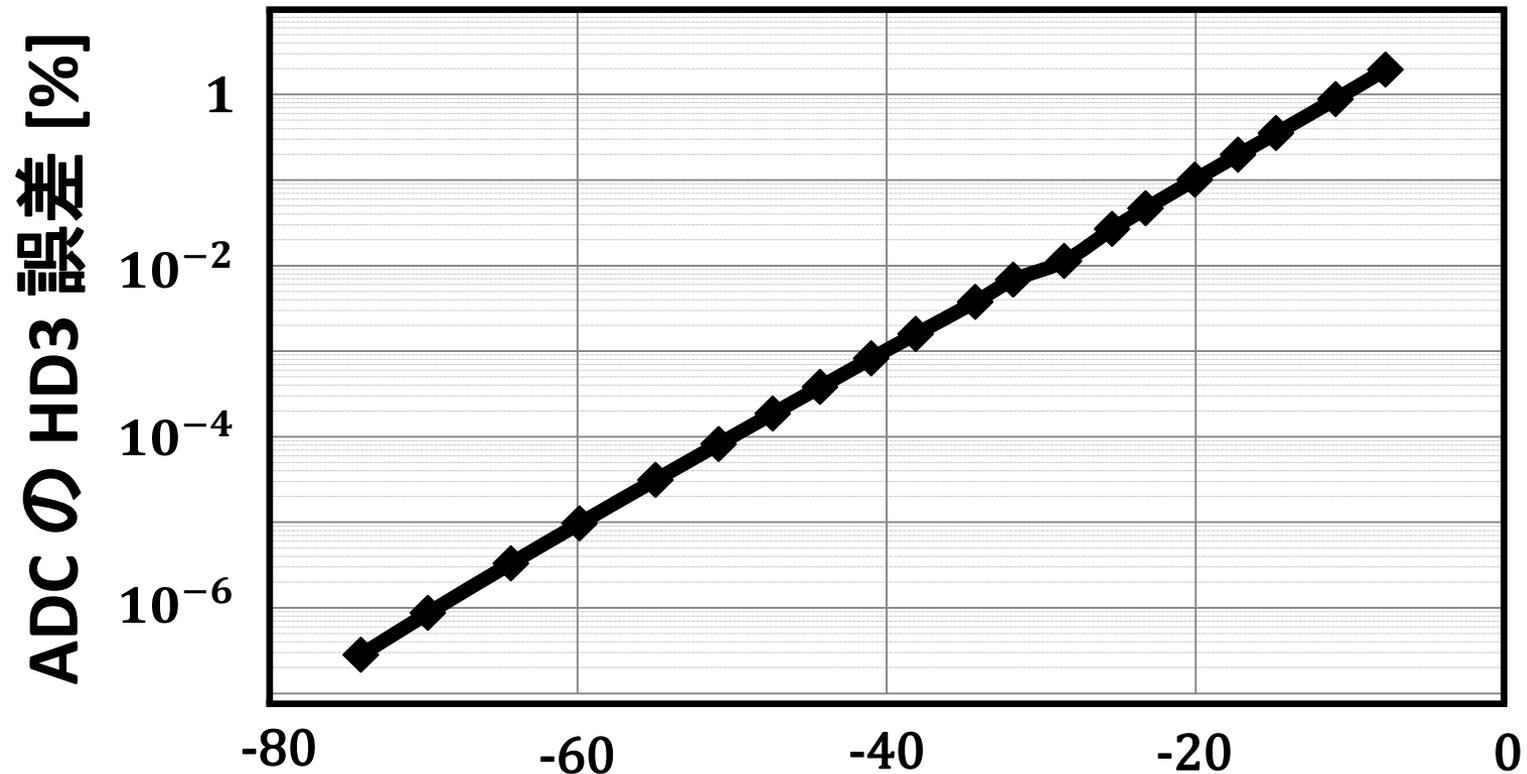
カットオフ周波数の調整



フィルタによるスプリアス低減の様子

	カットオフ周波数 f_{c_min}	カットオフ周波数 f_{c_max}
1次	<p>$f_{c_min}/f_s = 0.012$</p>  <p>The graph shows a red line representing the filter's magnitude response. It is flat at a high level until the cutoff frequency f_{c_min}, indicated by a vertical dashed line. After this point, the magnitude decreases linearly. Two vertical arrows point upwards from the horizontal axis at frequencies f_{in} and $f_s/2 - f_{in}$.</p>	<p>$f_{c_max}/f_s = 0.14$</p>  <p>The graph shows a red line representing the filter's magnitude response. It is flat at a high level until the cutoff frequency f_{c_max}, indicated by a vertical dashed line. After this point, the magnitude decreases linearly. Two vertical arrows point upwards from the horizontal axis at frequencies f_{in} and $f_s/2 - f_{in}$.</p>
3次	<p>$f_{c_min}/f_s = 0.012$</p>  <p>The graph shows a red line representing the filter's magnitude response. It is flat at a high level until the cutoff frequency f_{c_min}, indicated by a vertical dashed line. After this point, the magnitude decreases with a steeper slope than in the 1st order case. Two vertical arrows point upwards from the horizontal axis at frequencies f_{in} and $f_s/2 - f_{in}$.</p>	<p>$f_{c_max}/f_s = 0.13$</p>  <p>The graph shows a red line representing the filter's magnitude response. It is flat at a high level until the cutoff frequency f_{c_max}, indicated by a vertical dashed line. After this point, the magnitude decreases with a steeper slope than in the 1st order case. Two vertical arrows point upwards from the horizontal axis at frequencies f_{in} and $f_s/2 - f_{in}$.</p>

シミュレーション結果

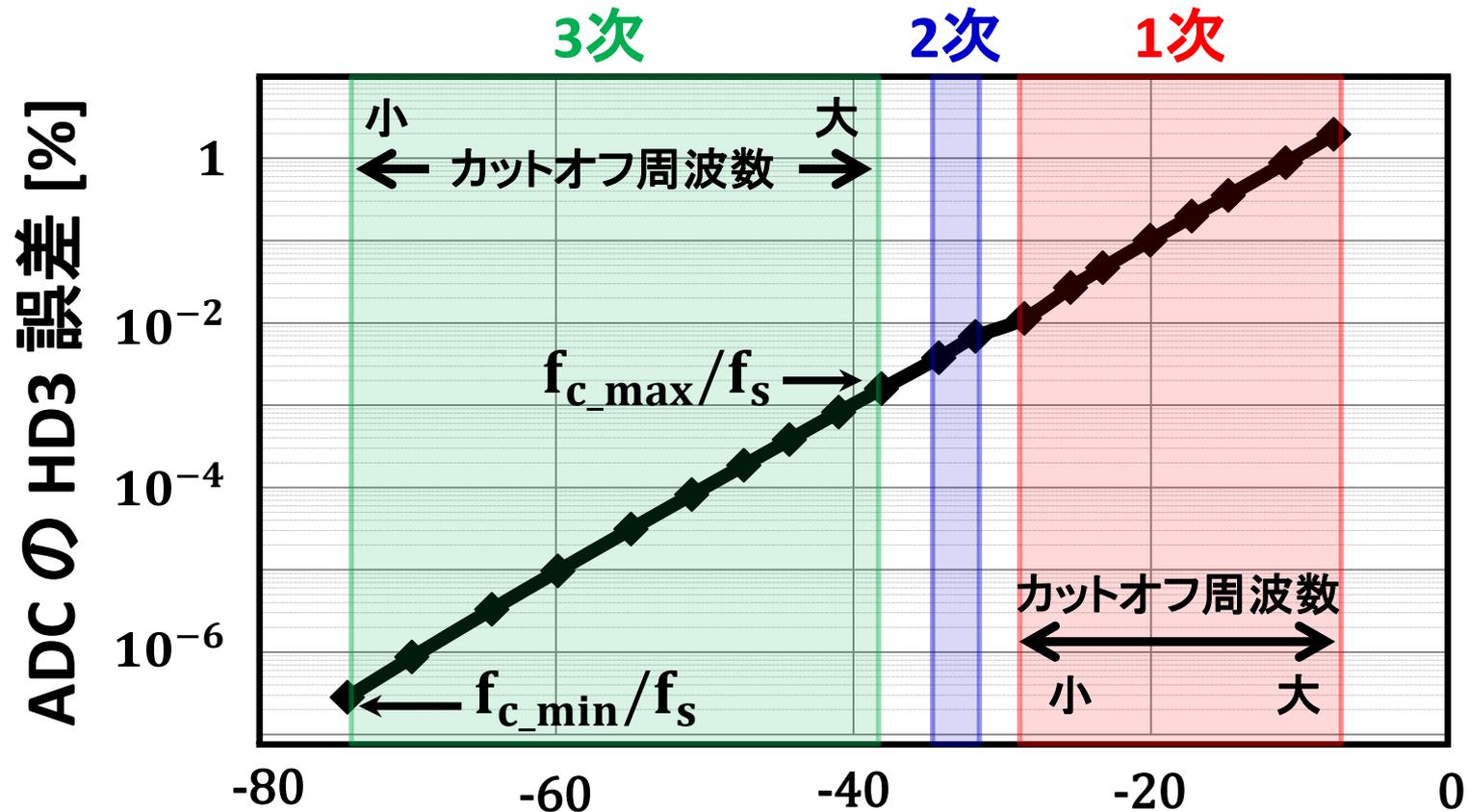


フィルタによる $f_s/2 - f_{in}$ の減衰量 [dB]

$f_s/2 - f_{in}$ 20dB低減 : HD3誤差 0.1 %

$f_s/2 - f_{in}$ 30dB低減 : HD3誤差 0.01 %

使用フィルタ情報

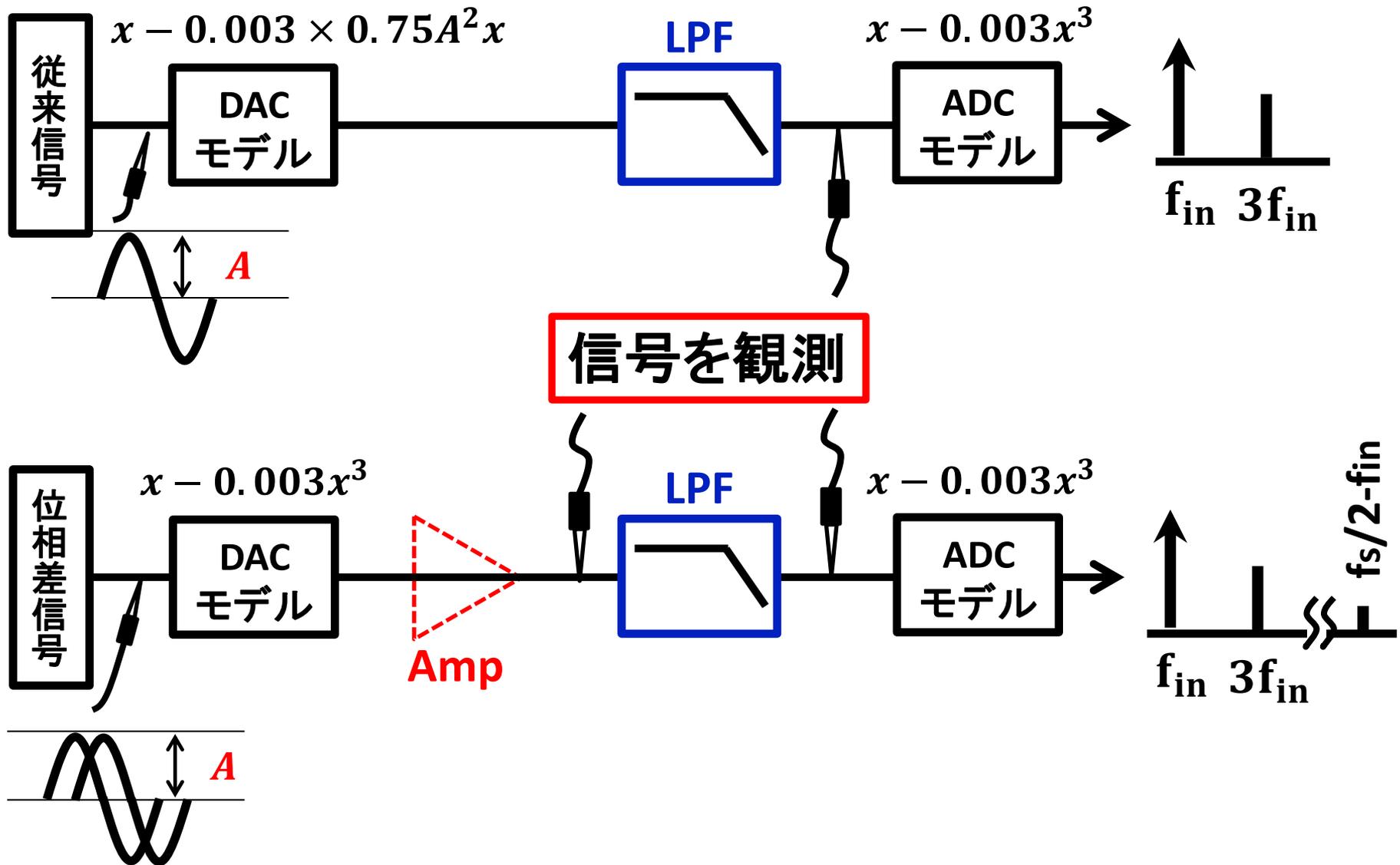


フィルタによる $f_s/2 - f_{in}$ の減衰量 [dB]

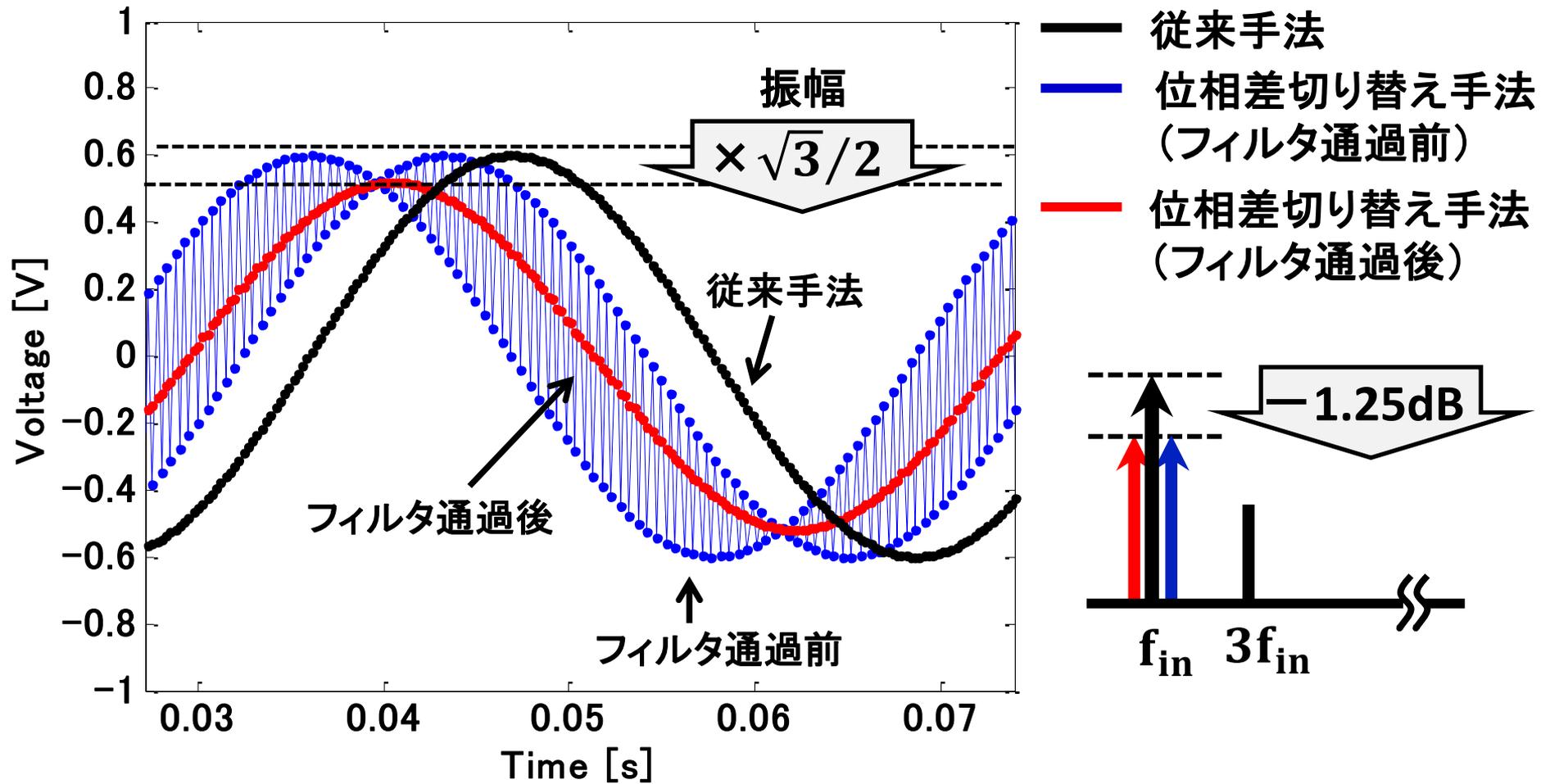
$f_s/2 - f_{in}$ 20dB低減 : HD3誤差 0.1 %

$f_s/2 - f_{in}$ 30dB低減 : HD3誤差 0.01 %

Amp不使用時のシミュレーションモデル 29/33

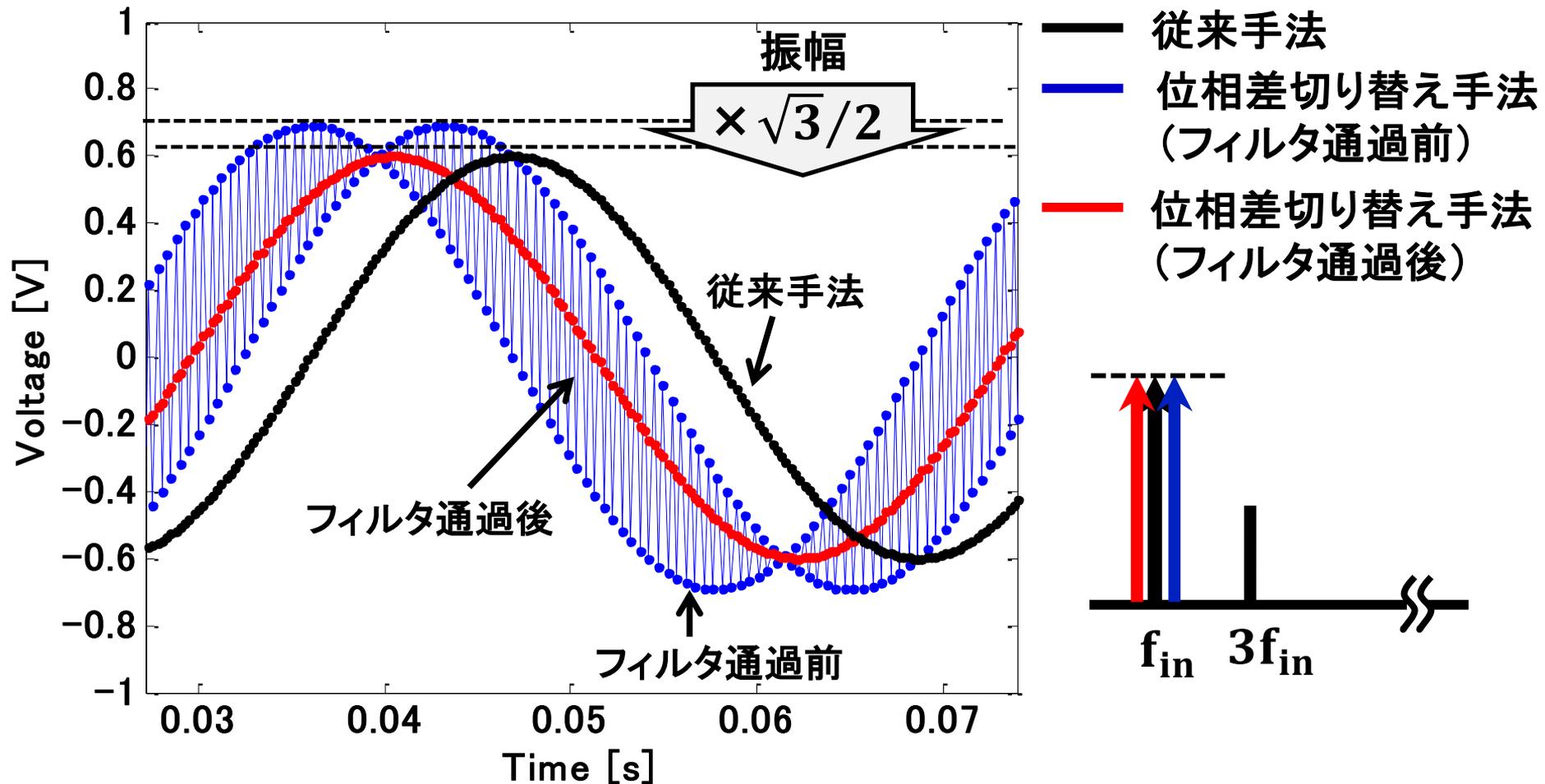


Ampを不使用時の観測信号



従来手法に対して振幅が $\sqrt{3}/2$ 倍減少

Amp使用時の観測信号



位相差切り替え手法での振幅を従来手法に対し $2/\sqrt{3}$ 倍で入力
 → フィルタ通過後の振幅が従来手法と一致

Outline

- 研究背景
- 本研究の概要
- 低歪み単一正弦波信号の生成
- アナログフィルタ要求性能の検討
- まとめ

まとめ

位相差切り替え手法におけるフィルタ要求性能検討

➤ 要求フィルタ性能

$f_s/2 - f_{in}$ 20dB低減 : HD3誤差 0.1 %

$f_s/2 - f_{in}$ 30dB低減 : HD3誤差 0.01 %

➤ フィルタによる振幅減少を考慮した位相差信号の振幅設定

従来手法 D_{in}	位相差切り替え手法 D_{in}
$A \sin(\omega n T_s)$	$(2/\sqrt{3})A \sin(\omega(2m - 1)T_s)$ $(2/\sqrt{3})A \sin(\omega 2m T_s + \pi/3)$

➤ 位相差切り替え手法に要求されるフィルタはHD3を直接カットするフィルタよりも簡単になる

Q & A

Q1 矩形波でもできますか？AWGを使うとかいてあるので。

「長崎大学の武藤先生より」

A1 検討したことがないので分からないが、ADCの動特性試験は正弦波を使用するため正弦波を検討している。

Q2 入力周波数の周波数依存性は？矩形波とか入力したことはあるか？

「崇城大学の萩原先生より」

A2 矩形波は検討したことがない。

位相差切り替え手法は従来正弦波の周波数に対して出力可能周波数は半分になる。その範囲ならば依存性はない。

(矩形波の意図は基本波の整数倍の周波数をもつため

これを入力すれば複数の正弦波を入力したときの様子が
見られるのではと後でコメントを頂いた)

Q & A

Q3 ADCの5,7次に関する影響はどうか？

「東京都市大学の傘先生より」

A3 ADCのモデル中には3次非線形特性しか今回検討していないので分らない。検討します。

(おそらく、従来手法に対して不利になることはない)

Q4 なぜ $\pi/3$ でキャンセル？

フィルタを通すと位相が変化するがその影響は？

「京都大学の学生(D3)の方より」

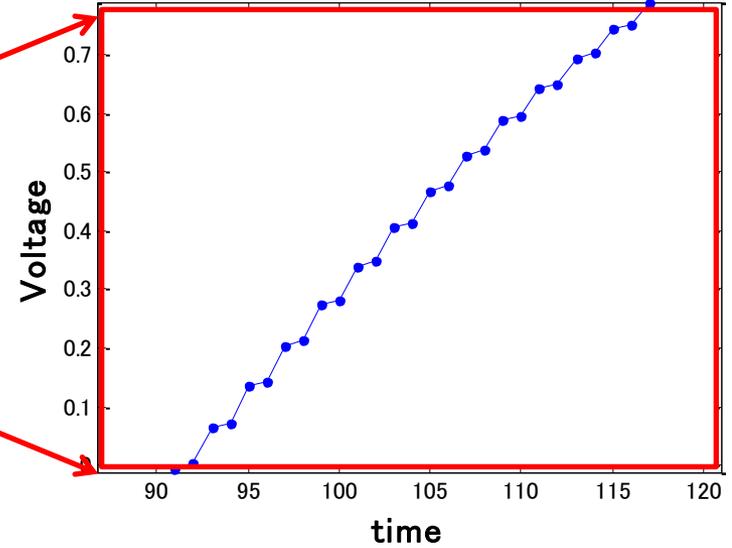
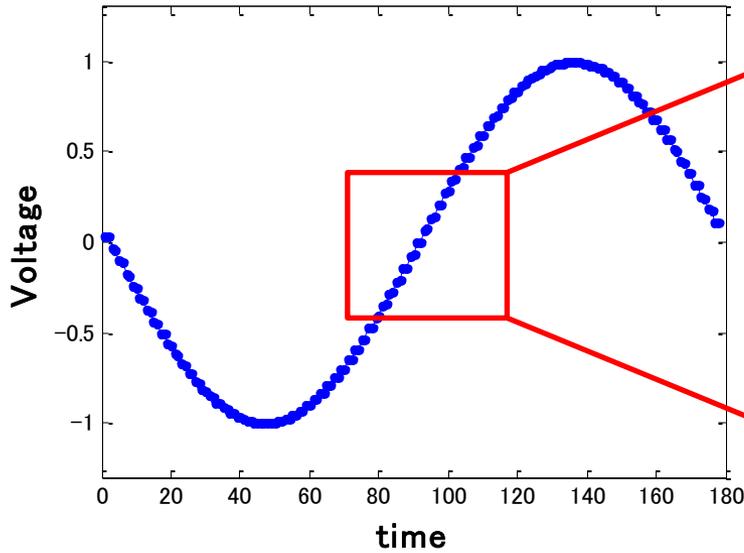
A4 HD3を発生させる3次項は基本波に与えた位相に対して位相が3倍回転するためHD3成分は $(\pi/3)*3=\pi$ の位相差が与えられることになりキャンセルする。

位相差切り替え信号におけるフィルタによる位相回りは詳細には検討できていない。

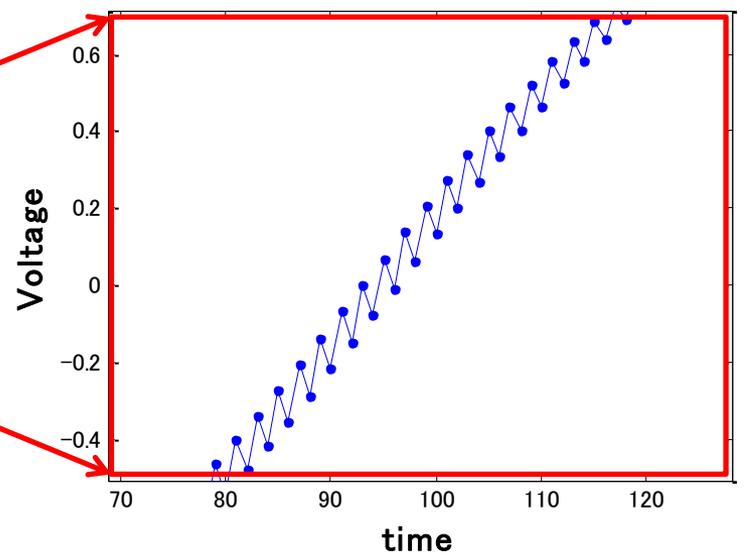
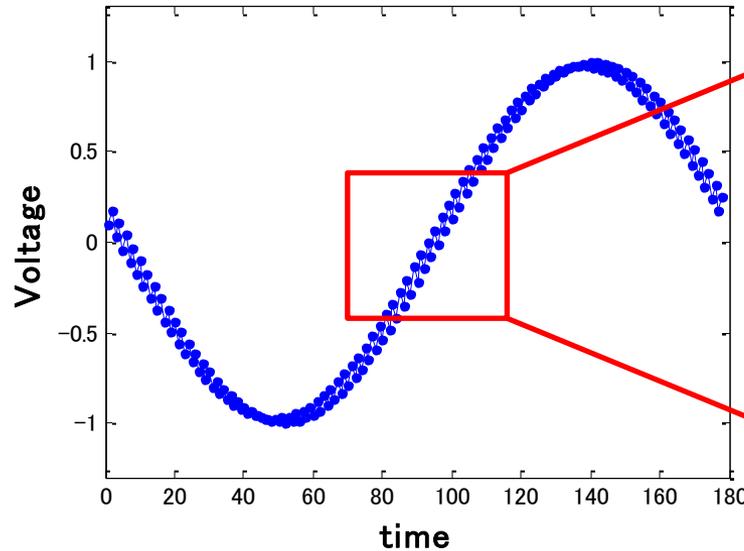
▪ **Appendix**

スプリアス減衰時の時間波形

スプリアス
32dBカット時



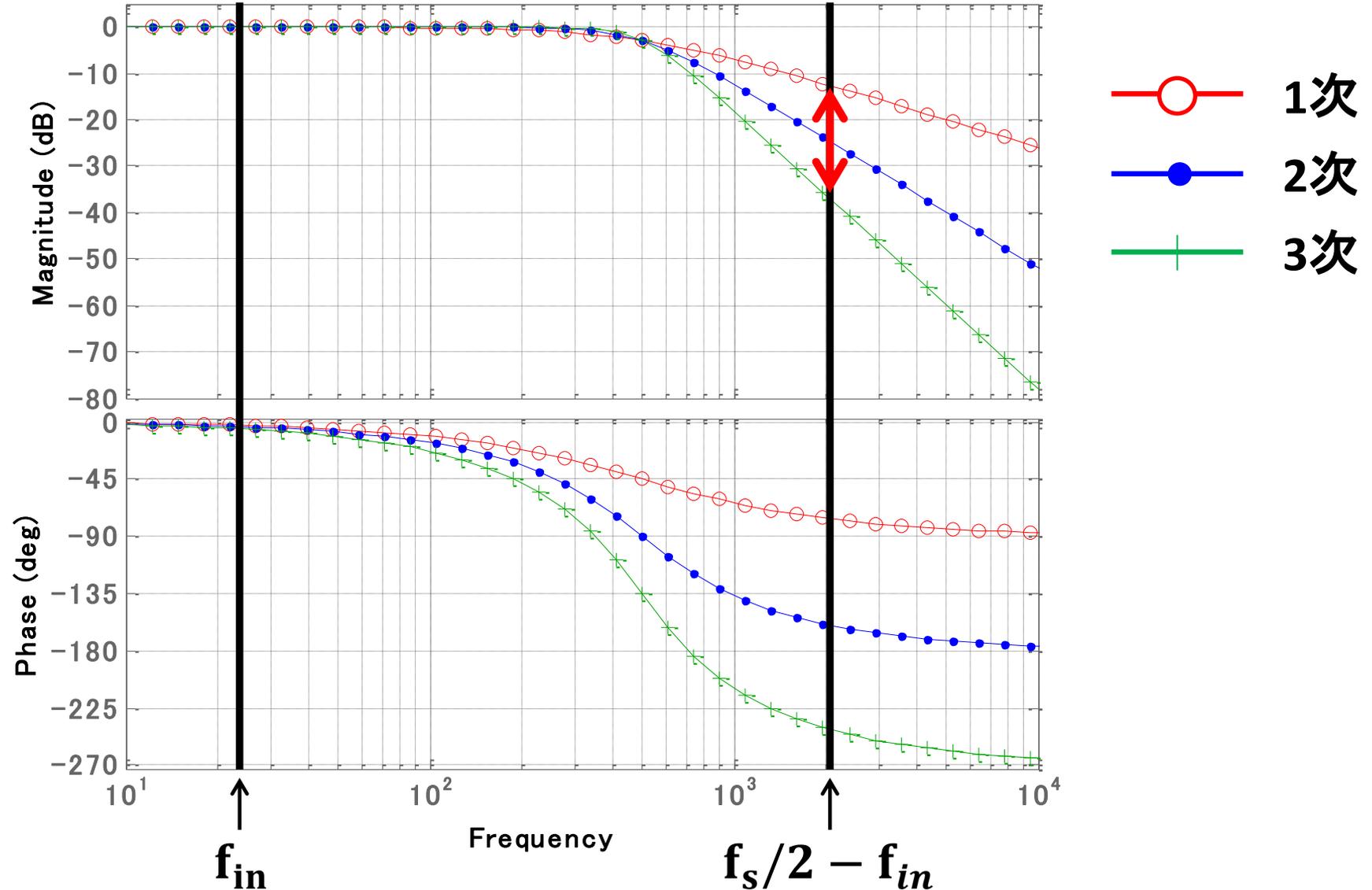
スプリアス
20dBカット



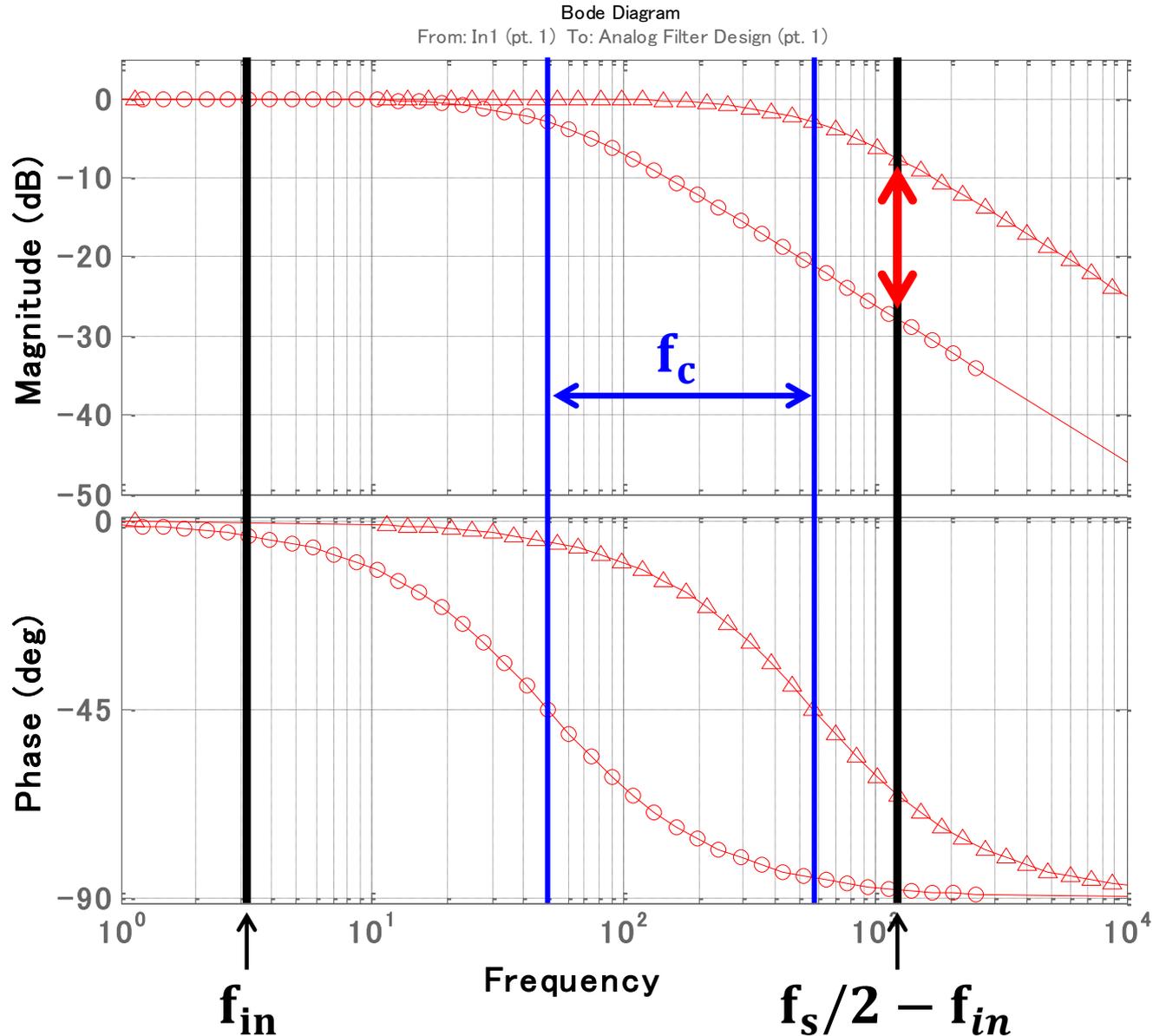
フィルタの次数調整

Bode Diagram

From: In1 (pt. 1) To: Analog Filter Design (pt. 1)



フィルタのカットオフ周波数調整(1次)



カットオフ周波数 f_c

○ 50Hz

△ 570Hz