



AHEAD OF WHAT'S POSSIBLE™

アンプとADCとを適切に インターフェースする技法 【後編：キックバックの 抑制とSFDRの向上】

アナログ・デバイセズ株式会社

石井 聡

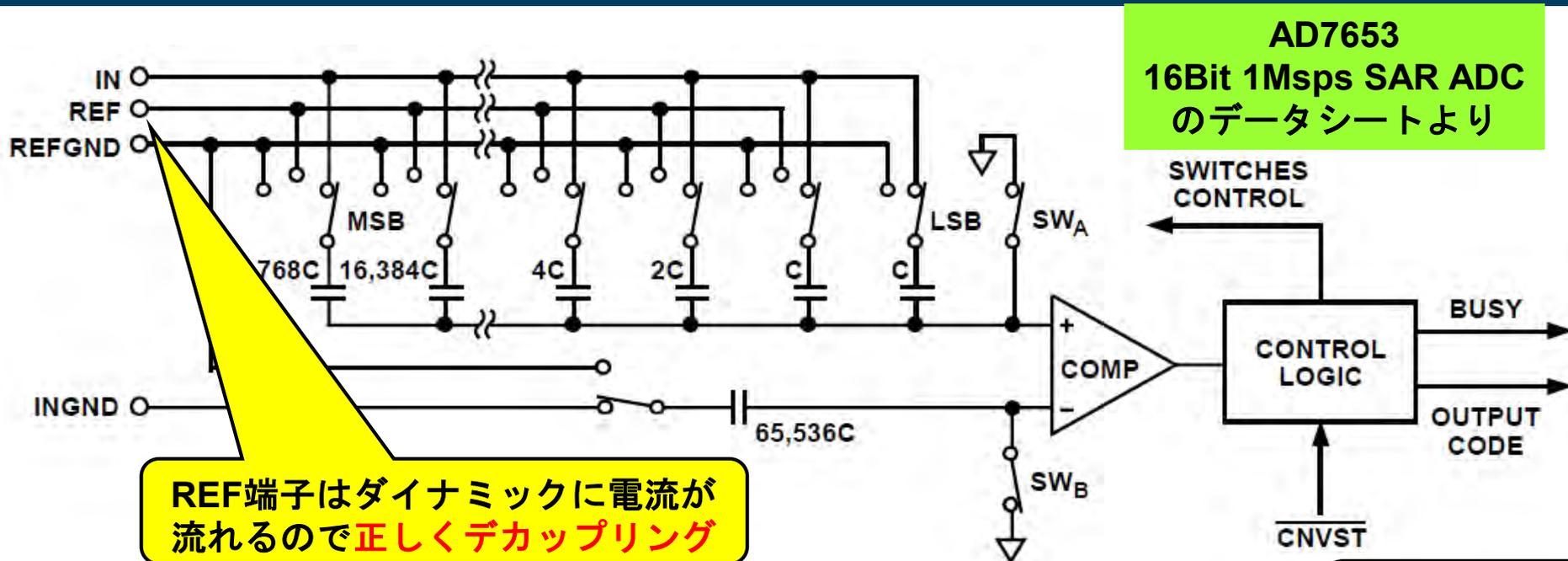


Agenda

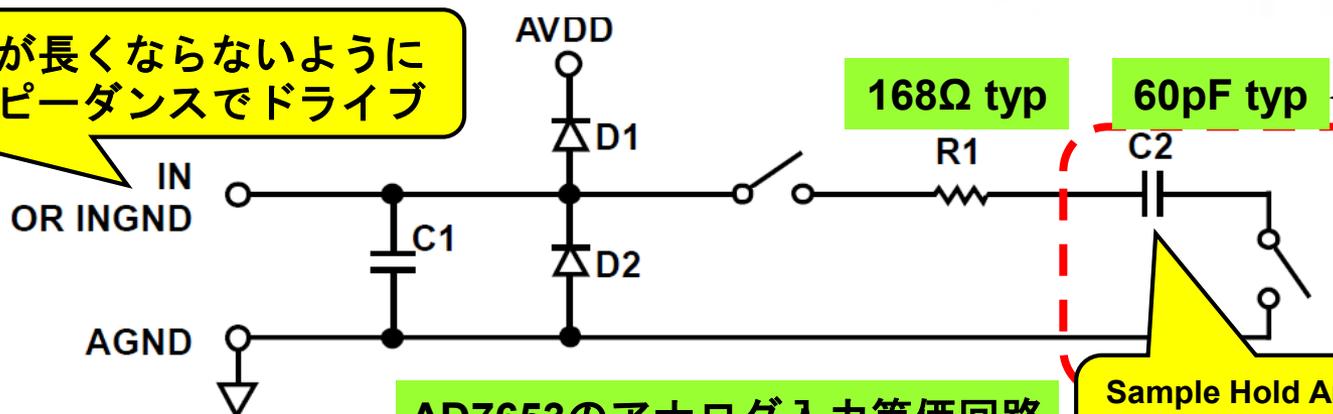
1. ADC入力回路アーキテクチャとドライブするうえでの問題点
2. バッファ無しADCをドライブするADCドライバの考え方と必要性
3. AD変換で生じるエイリアシング
4. 最適なフィルタリングによる最適な信号再生とエイリアシングの除去
5. 数表を用いたフィルタ設計技法
6. フィルタ設計に関する話題
7. ADCで生じるキックバック
8. ADCのキックバック抑制とコンデンサ
9. ADCのドライブとインピーダンスマッチングとフィルタリング
10. まとめと参考文献

7. ADCで生じるキック バック

逐次比較(SAR型)ADコンバータの入力回路



時定数が長くなるように
低インピーダンスでドライブ



時定数は0.01us
(C2を正しく
充電する必要)

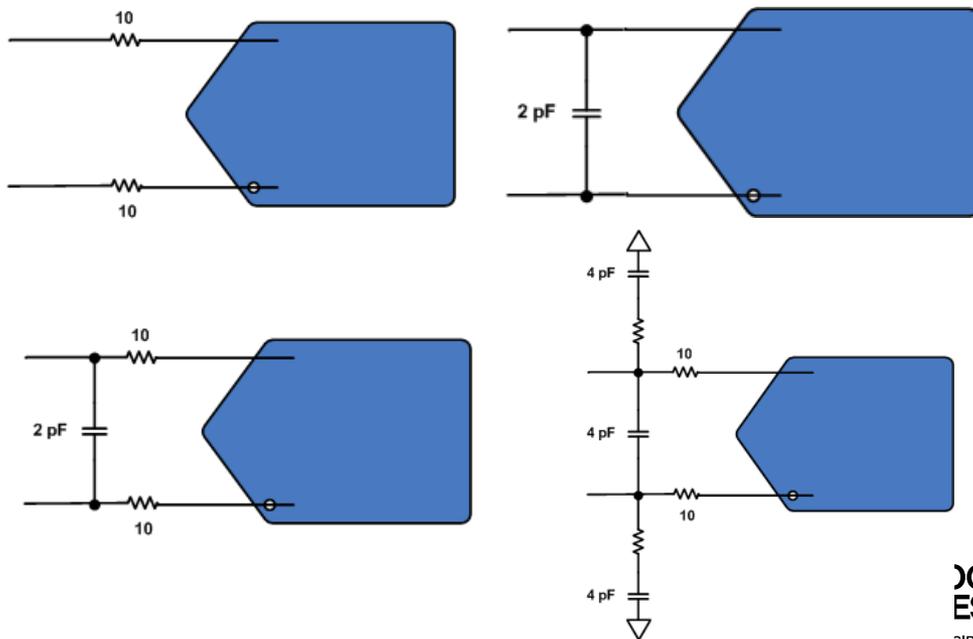
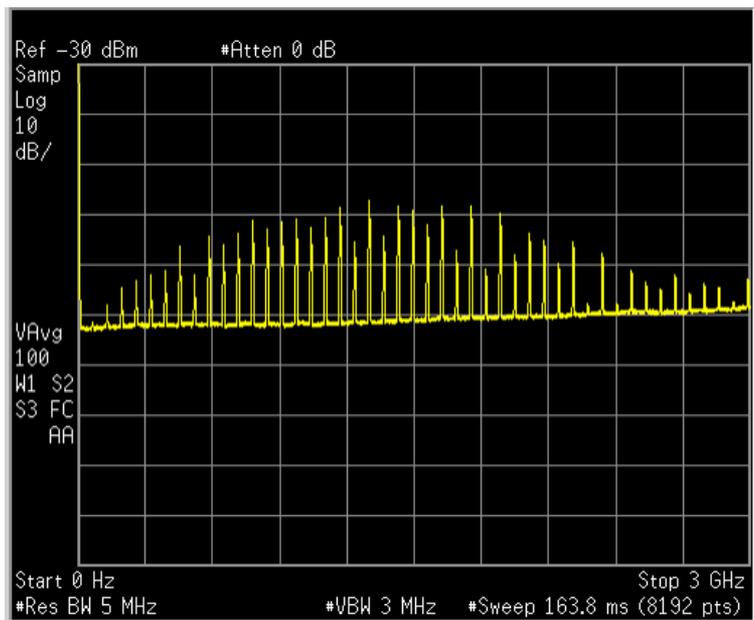
AD7653のアナログ入力等価回路

Sample Hold Amp (SHA)
というよりS-H Capacitor
(コンデンサ)

キックバックの抑制方法

- ▶ スイッチド・キャパシタ回路の充電電流が前段の回路にキックバック（逆流）する。この電流により過渡電圧が生じ、これが入力信号のオフセットになり歪みが発生（SFDRが低下）する
- ▶ セtring時間を十分に取れば、この電流により入力信号に生じる歪みを小さく（SFDRを向上）できる
- ▶ しかし「セtring時間を取る」ことはほぼできない。抑制を考えることになる

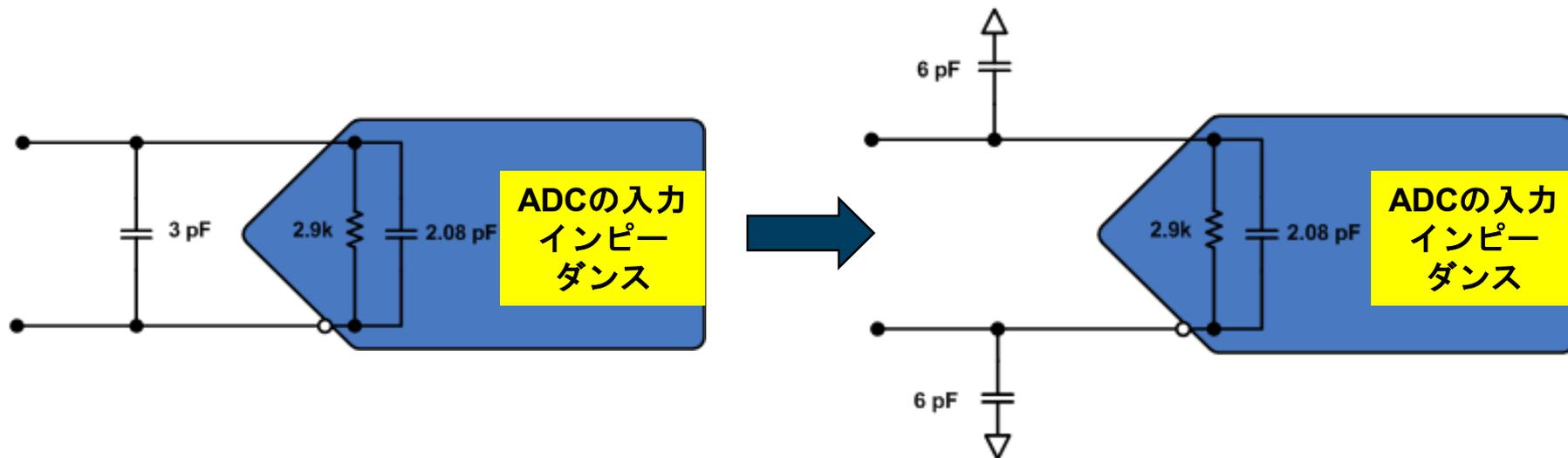
抑制方法にはいろいろなトポロジーが考えられる



8. ADCのキックバック抑制 とコンデンサ

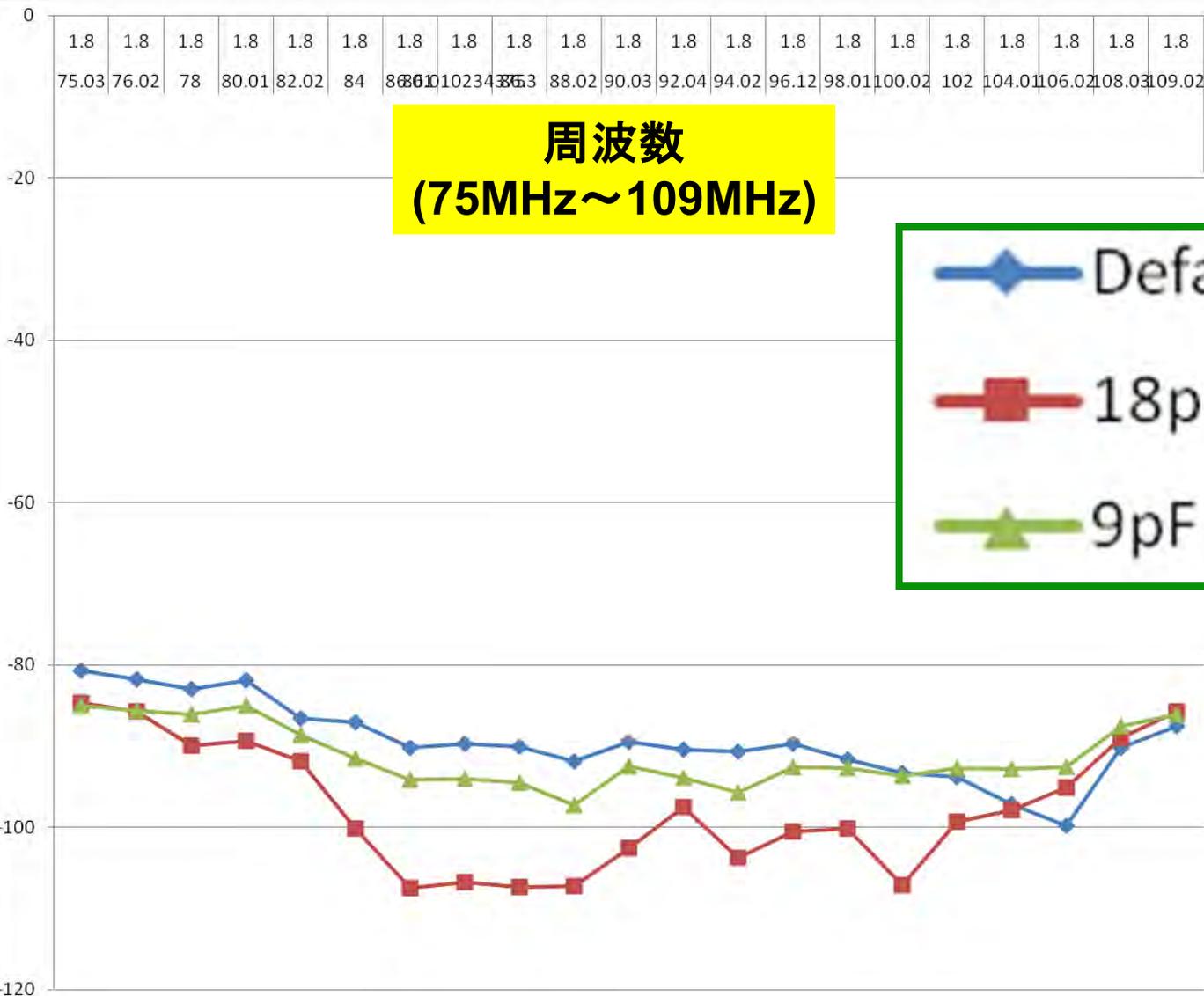
キックバック抑制と同相モード・コンデンサ

- ▶ 通常SFDRは2次歪と3次歪が支配的
- ▶ シングルエンド回路の2次歪、3次歪はドライバ自身からも生じる
- ▶ **同相モード用コンデンサ**をグラウンドに接続（シングルエンドに相当する）すれば、**同相モードのキックバック**に対してフィルタを形成でき、同相モード歪みを低減できる
- ▶ 同相モードと差動モードのフィルタリングはどちらも重要



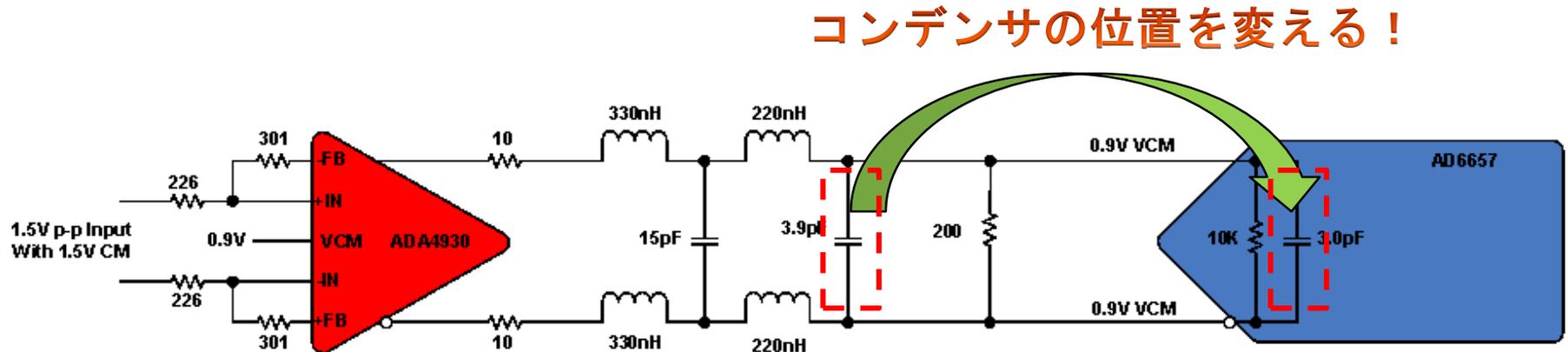
差動モード／同相モード・コンデンサの比較 SFDRが改善するようす

SFDR [dB]



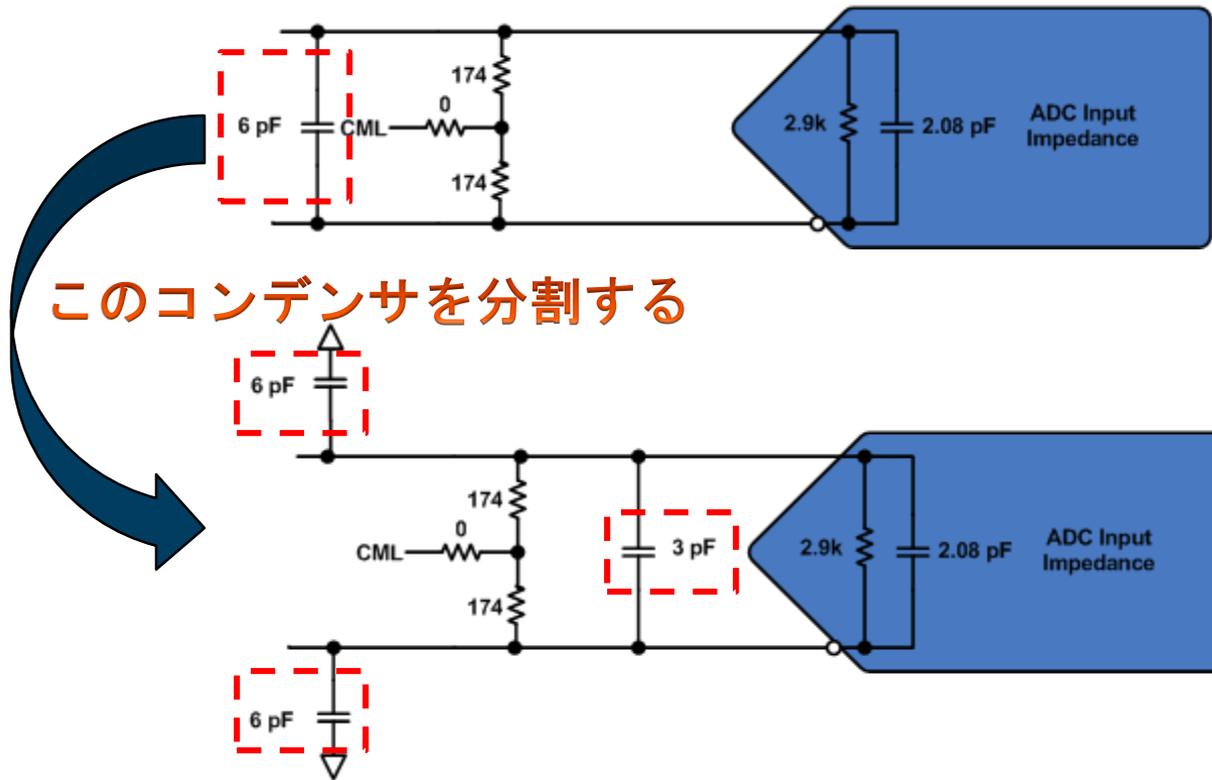
【具体的な設計方法】コンデンサの位置変更

- ▶ キックバックを抑制するために、差動モード用コンデンサはADCのAin+ Ain-端子のすぐそばに配置する
 - これにより（キックバックの差動成分歪みによる）SFDR特性を向上できる
- ▶ コンデンサを挿入する位置は周波数特性に何ら影響しない



【具体的な設計方法】 コンデンサの分割配置

- ▶ キックバック抑制をしながら、差動モード・同相モードのフィルタリングも行える、「使える」テクニック

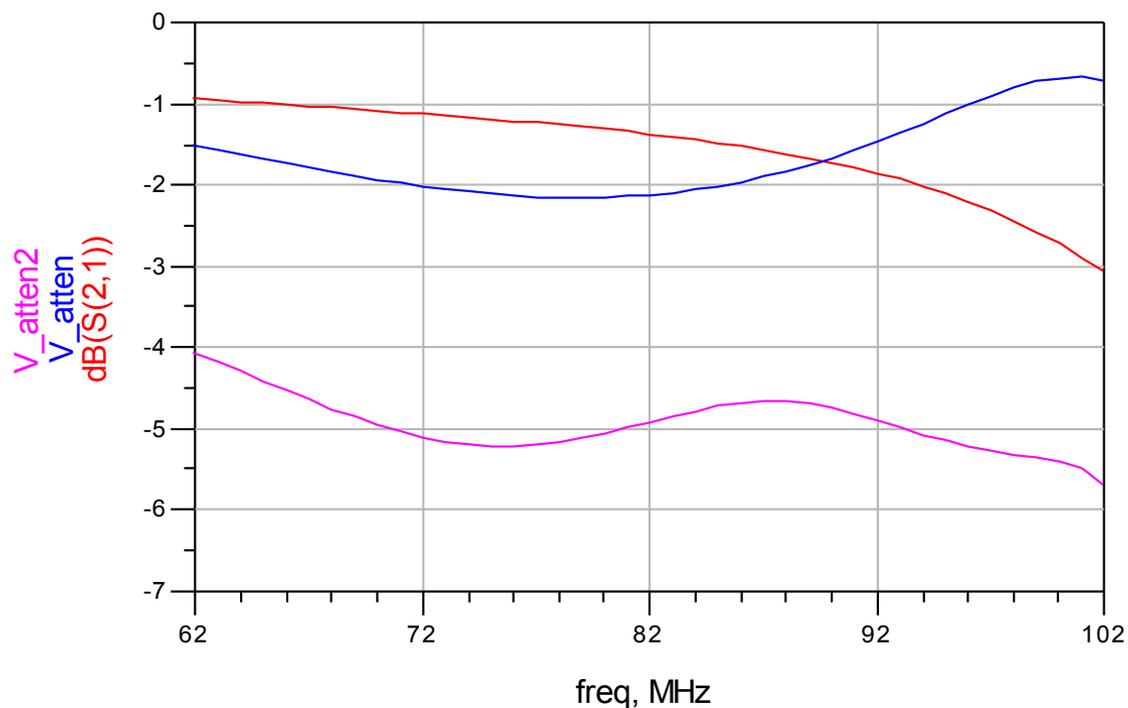


9. ADCのドライブとインピーダンスマッチングとフィルタリング

インピーダンス・マッチング

- ▶ アンプやADCは電圧制御素子なので、インピーダンスマッチング（最大電力伝達）がいつでも重要というわけではない
- ▶ 電圧の振幅値が最重要

Passband Zoom



インピーダンスが
ミスマッチである
場合はパスバンド
での電圧特性が
うねる（図のよう
に違いがでてくる）

狭帯域用途では共振を応用

- ▶ 狭帯域で使用する場合、ADC入力容量と共振するインダクタを配置することも可能
 - これによりアンプからは（その周波数で）純抵抗負荷に見える
- ▶ 並列共振タンク回路は共振周波数 F_r では「オープン」に見える
- ▶ 中心周波数 $F_c = F_r$ として

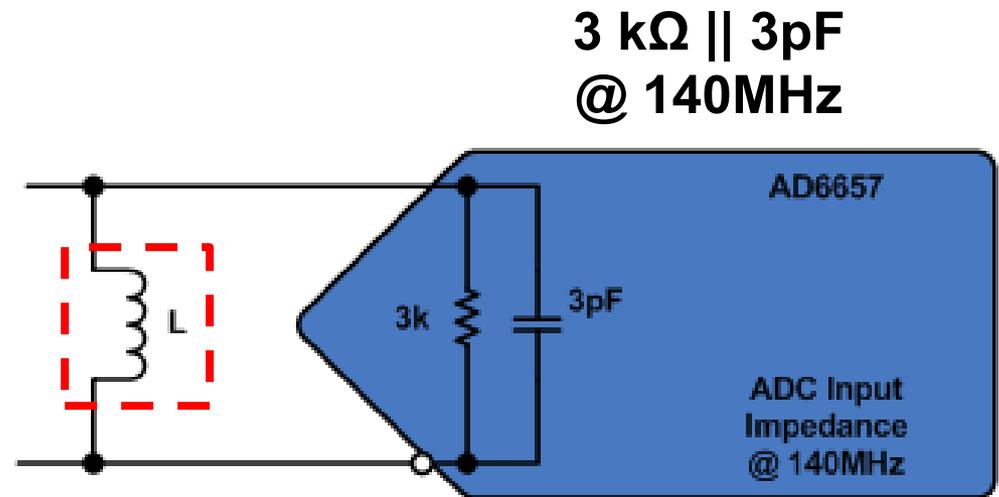
$F_c = 140\text{MHz}$ の周波数で

$$X_C = X_L$$

$$1/(2\pi fC) = 2\pi fL$$

これから L を求めると

$$L = 431\text{nH}$$

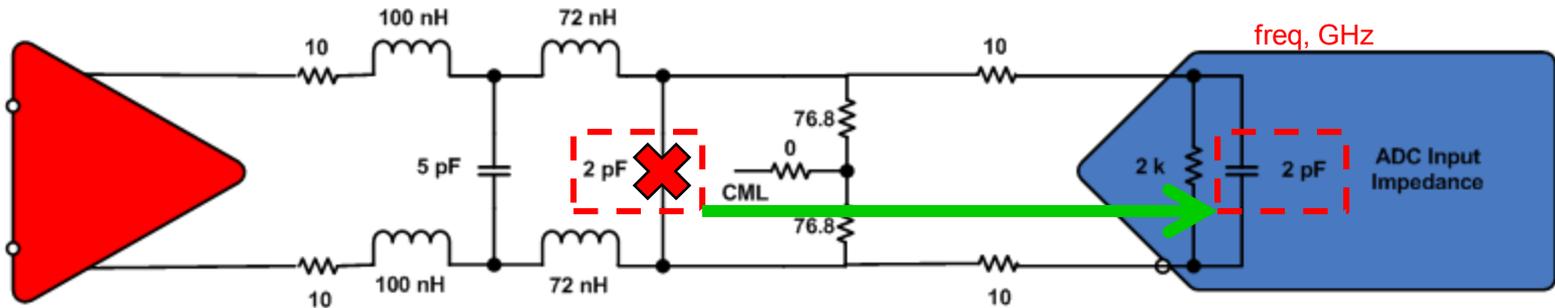
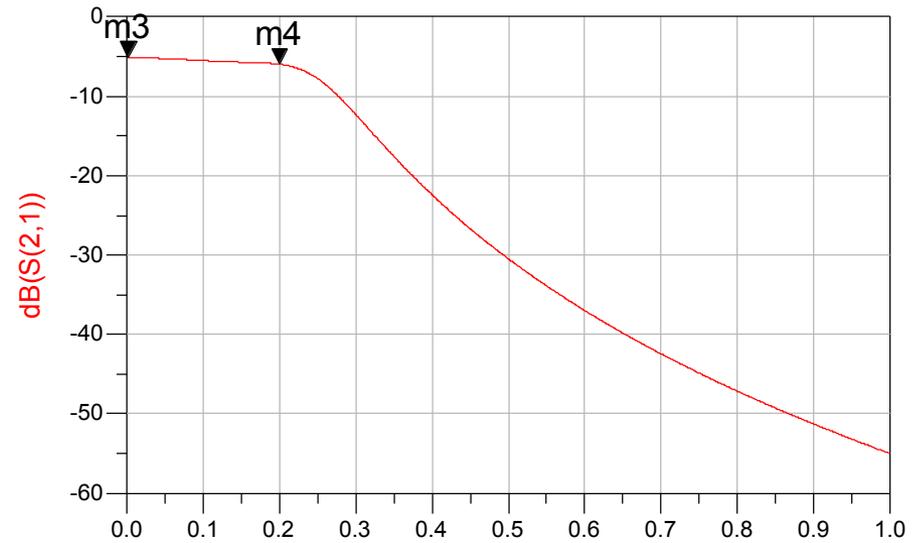


※キックバックによるSFDR歪み対策をする場合は、差動モードのコンデンサ C_2 を追加し、 $C_1 + C_2$ で L 共振にしてみる

ADCをフィルタの一部として活用する

- ▶ 高周波、かつ高負荷インピの場合、フィルタ設計におけるコンデンサは非常に小容量になりがち
- ▶ ADC入力容量をフィルタの1素子として活用もできる

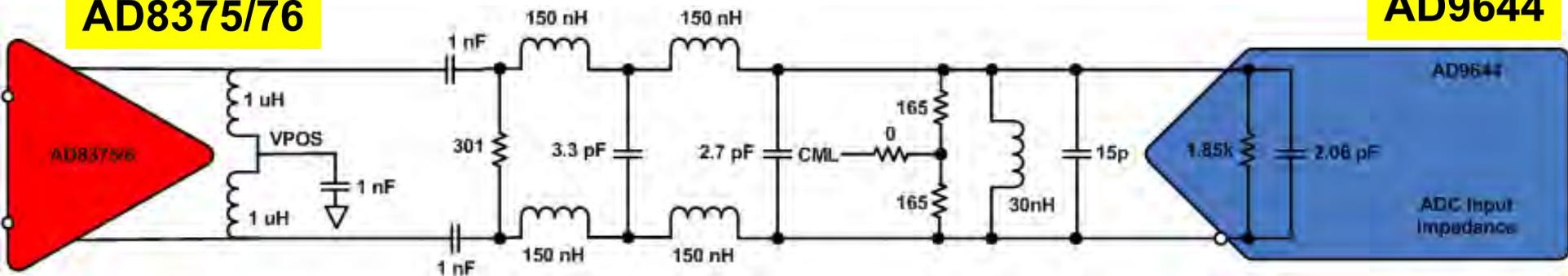
m3 freq=2.000MHz dB(S(2,1))=-5.135	m4 freq=200.0MHz dB(S(2,1))=-5.961
------------------------------------------	------------------------------------------



高度な設計の一例：High Z_{OUT} のアンプの場合

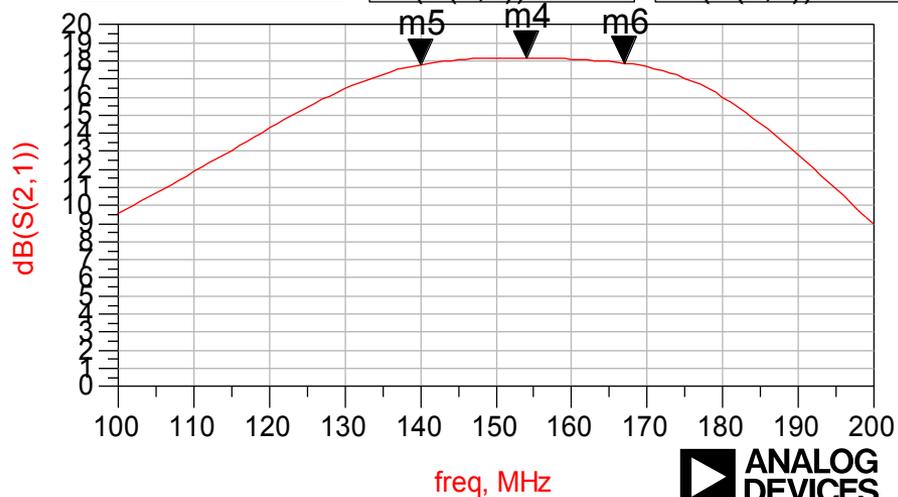
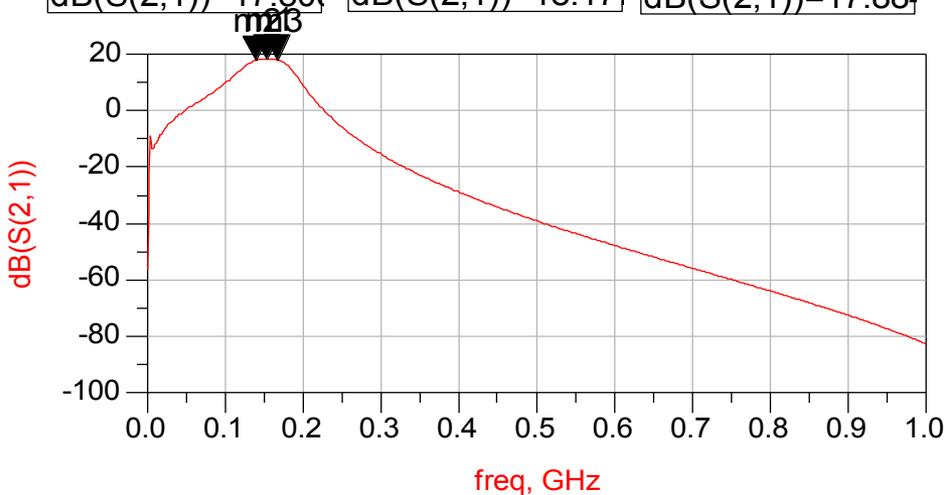
AD8375/76

AD9644

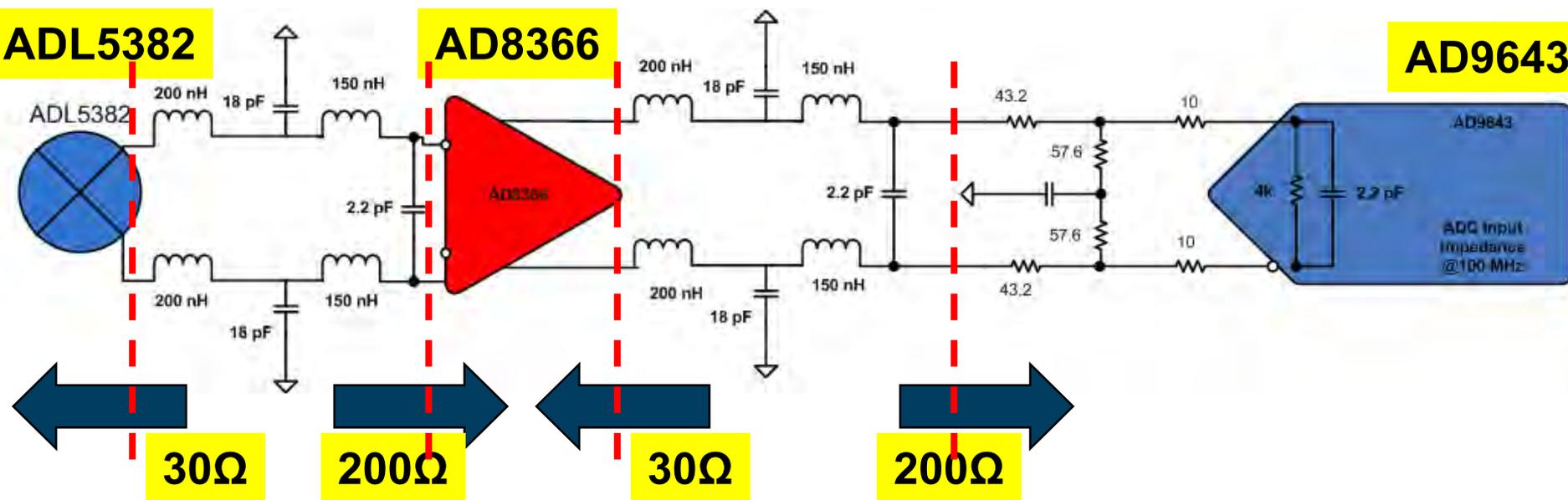


m2 freq=140.0MHz dB(S(2,1))=17.80	m1 freq=154.0MHz dB(S(2,1))=18.17	m3 freq=167.0MHz dB(S(2,1))=17.88
-----------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------------------------

m5 freq=140.0MHz dB(S(2,1))=17.80	m4 freq=154.0MHz dB(S(2,1))=18.17	m6 freq=167.0MHz dB(S(2,1))=17.88
-----------------------------------------	-----------------------------------------	-----------------------------------------



高度な設計の一例： Z_{IN} , Z_{OUT} をうまく選んで設計を再利用する



- ◆ フィルタ設計の全ては「 R_S と R_L 」で決まる
 - ◆ 繰り返し同じ R_S と R_L で段間を設計すれば ①フィルタ設計の再利用が可能 ②ストップバンドの除去量を2倍にできる
- ◆ アンプを途中に挟み、フィルタ2個にして次数を減らせば
 - ◆ Qの高い（高次の）フィルタを設計せずとも、高い除去比、BPFでの応答が実現できる
 - ◆ Qの高い（高次の）フィルタでは、Sw-Cap ADCのキックバックにより共振の振動が生じ、問題になることがある

10. まとめと参考文献

まとめ

- ▶ キックバック抑制のため対策回路を用意する
 - 歪みが**低減**できる（SFDRが改善）
 - 帯域幅が**制限**される（高い周波数でのドライブが難しくなる）
- ▶ 同相モード・コンデンサの付加
 - 対グラウンドへの同相モードのキックバック電流の経路を付加できる
 - アンプで発生する2次歪や3次歪をフィルタリングできる
- ▶ コンデンサの位置変更
 - 差動モード用コンデンサをAin端子直近に配置すればSFDRも改善できる
- ▶ コンデンサの分割配置
- ▶ 狭帯域用途では共振を応用
- ▶ ADC入力容量をフィルタの一部として活用する

参考文献

- ▶ AN-742 スイッチド・キャパシタADCの周波数領域応答
http://www.analog.com/media/jp/technical-documentation/application-notes/AN-742_jp.pdf
- ▶ AN-742 Frequency Domain Response of Switched-Capacitor ADCs
<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/AN-742.pdf>
- ▶ AN-827: 共振方式によるアンプとスイッチド・キャパシタADCのインターフェース
http://www.analog.com/media/jp/technical-documentation/application-notes/AN-827_jp.pdf
- ▶ AN-827 A Resonant Approach to Interfacing Amplifiers to Switched-Capacitor ADCs
http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/application-notes/577685821057469457705578853404381574892535191189340957AN_827_0.pdf
- ▶ Rob Reeder, Transformer-Coupled Front-End for Wideband A/D Converters, Analog Dialogue, Vol. 39-04, Apr. 2005
<http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/39-04/transformer.pdf>
- ▶ Alan Walsh, Front-End Amplifier and RC Filter Design for a Precision SAR Analog-to-Digital Converter, Analog Dialogue, Vol. 46-12, Dec. 2012
http://www.analog.com/library/analogDialogue/archives/46-12/sar_front_end.pdf

