

# 任意波形発生器を用いた ADC テスト用低歪み信号発生技術の実験検証

安部 文隆\* 加藤 啓介 小林春夫 (群馬大学)  
新津葵一 (名古屋大学) 小林 修 (STARC)

Low-Distortion Signal Generation Technique for Testing ADCs using Arbitrary Waveform Generator(AWG)  
Fumitaka Abe\*, Keisuke Kato, Kazuyuki Wakabayashi, Haruo Kobayashi (Gunma University)  
Kiichi Niitsu (Nagoya University), Osamu Kobayashi (STARC)

This paper describes low distortion signal generation for ADC linearity testing with Arbitrary Waveform generator (AWG). The AWG consists of DSP (or Waveform memory) and DAC, and the DAC may have some nonlinearities, which make it difficult to generate a very low distortion signal for high-precision ADC testing. Then we report a method to generate a very low distortion two-tone signal using the AWG by changing DSP program, which inter-modulation distortion components suppressed but spurious components around nyquist frequency (far from the signal band) are generated which must be removed by the following analog filter. In this paper we examine the analog filter requirements and we suppressed spurious components with analog filter instrumented in the AWG.

キーワード：ADC 線形性テスト, 低歪み信号, 任意波形発生器,

(Keywords, ADC linearity Testing, Low Distortion signal, Arbitrary Waveform Generator)

## 1. 研究概要

ADC の線形性はシングルトーンや 2 トーン信号を入力し基本波のパワーに対する高調波歪みや相互変調歪みのパワーで評価する。今回は特に 2 トーン信号を用いた場合について検討を行う。2 トーン信号を用いた場合 ADC 出力の 3 次の相互変調歪み(3<sup>rd</sup> order Inter-Modulation Distortion : IM3)を計測することで線形性の評価を行う。テスト信号は任意波形発生器(Arbitrary Waveform Generator : AWG)を用いて発生させるが自身の非線形特性によりテスト信号に IM3 が含まれてしまうことが避けられない。そこで、今回高精度な評価を実現するために AWG の出力に含まれる IM3 を低減する技術を開発した。

## 2. 歪み成分キャンセル基本原理

一般的に信号発生システムには非線形性があるため出力信号に歪み成分を含む。3 次高調波は基本波に対して 3 倍の位相差回転がある。そこで、同一周波数で位相差を  $\pi/3$  とした二信号  $X_0, X_1$  を考え、両者の 3 次高調波  $X'_0, X'_1$  の位相差は  $\pi$  になりキャンセルされる。実際の AWG では 1 サンプル点毎に  $X_0, X_1$  が切り替わる「位相差切り替え信号」を出力させる。下図 1 に従来信号と位相差切り替え信号を示す。ドット●で結んだものが各信号のサンプリング点で、実線で結んだものが波形となる。ここでは、簡単のためにシングルトーン信号の場合を考えたが、2 トーン信号の場合も同様にこの原理を用いてテスト信号に含まれる IM3 をキャンセルすることが可能である(1)-(3)。

ット●で結んだものが各信号のサンプリング点で、実線で結んだものが波形となる。ここでは、簡単のためにシングルトーン信号の場合を考えたが、2 トーン信号の場合も同様にこの原理を用いてテスト信号に含まれる IM3 をキャンセルすることが可能である(1)-(3)。

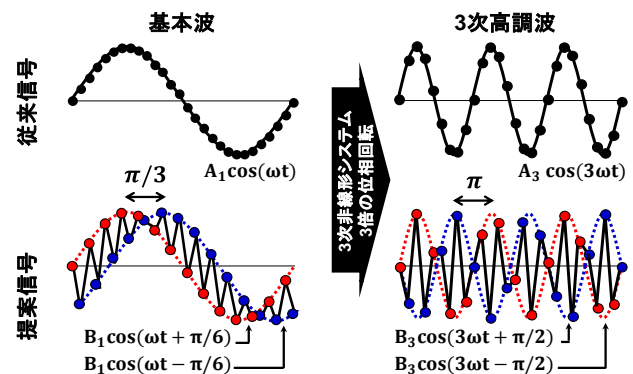


図 1 歪み成分キャンセル原理

Fig.1 Distortion cancellation .

## 3. AWG を用いた低歪み 2 トーン信号発生技術

AWG は主に DSP と DAC により構成され、主に DAC の非線形性により出力信号に歪み成分が発生する。図 2 に従来信号及び低歪み信号を実現する位相差切り替え信号を示す。

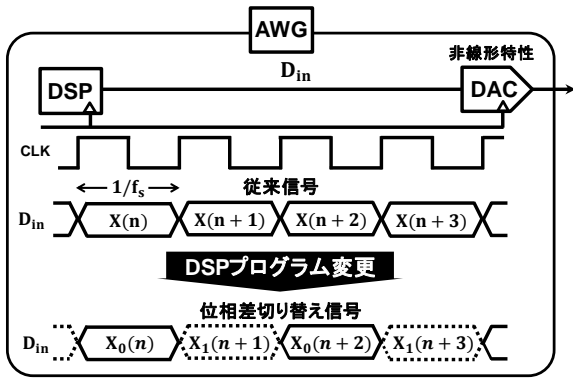


図2 従来信号、位相差切り替え信号の生成

Fig.2 Conventional and Phase switching signal generation

位相差切り替え信号は DSP プログラムの書き換えにより実現可能であるため、ハードウェアの変更を行わずに実現ができる。図2の両信号を Agilent 社の AWG,33220A により発生させた時の出力信号を図3に示す。なお、この時の信号パラメータは  $A=0.9V$ ,  $f_1 = 30kHz$ ,  $f_2 = 50kHz$ ,  $f_s = 10MHz$  である。

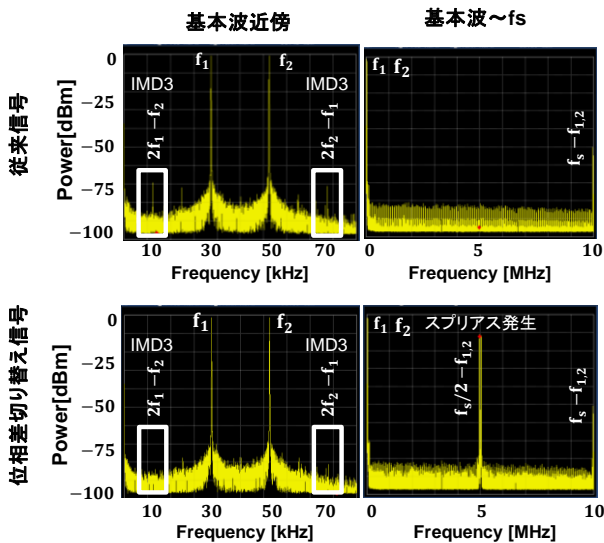


図3 従来信号と位相差切り替え信号の AWG 出力

Fig.3 Conventional and Phase switching signal using AWG

図3から問題となる  $IM3(2f_1 - f_2, 2f_2 - f_1)$  が低減されていることが確認できる。この時 9.8dB の  $IM3$  低減効果が得られた。一方、信号をサンプリング周波数  $f_s$  で切り替えるためナイキスト周波数  $f_s/2$  近傍にスプリアス成分 ( $f_s/2 - f_1, f_s/2 - f_2$ ) が発生する。言い換えれば、このスプリアス成分により  $IM3$  を低減させている。しかし、ADC 入力信号にスプリアスが含まれると不都合が生じる(後述)ため、ADC 入力前段で低減させる必要がある。なお、従来信号では不要信号  $IM3$  が基

本波近傍に発生するのに対し、位相差切り替え信号は不要信号が基本波から十分離れたナイキスト周波数近傍に発生するため、フィルタによる低減はより容易である。

#### 4. スプリアス低減量と計測精度の依存性

従来信号、位相差切り替え信号、理想的な信号を用いた ADC テストの様子を下図4に示す。

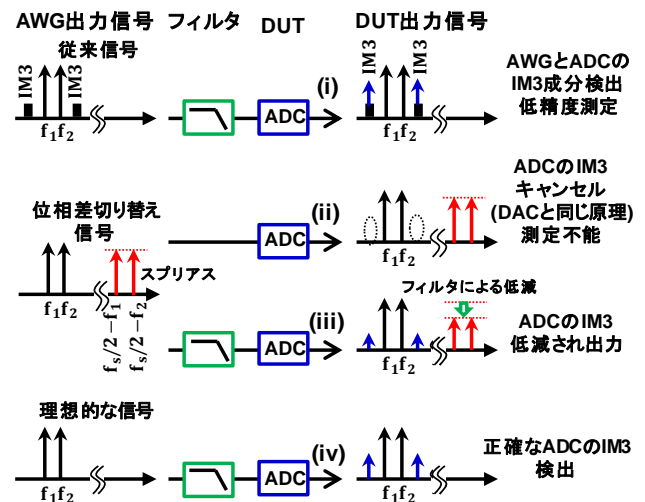


図4 従来信号、位相差切り替え信号、理想的なテスト信号による ADC テストの様子

Fig.4 ADC test model by using Conventional, Phase Switching, Ideal test signal

まず、(i)の従来信号の場合、ADC 出力信号には ADC の  $IM3$  に AWG の  $IM3$  が加わる分、テスト精度が劣化する。一方、(ii)の位相差切り替え信号では AWG の  $IM3$  は現れないが、AWG の 3 次歪み成分をキャンセルするスプリアスがそのまま ADC へ入力されている。そのため、本来発生するはずの ADC の  $IM3$  がキャンセルされてしまうため  $IM3$  の計測そのものができなくなってしまう。(iii)はフィルタによるスプリアス成分低減での問題回避を示している。ここで低減量が不十分だと ADC の  $IM3$  の本来値からのズレが大きくなり測定精度が低下する。そのため、スプリアスを十分低下させることが必要になる。(iv)は基本波のみの理想的な信号をテスト信号による、ADC 出力の正確な  $IM3$  測定を示している。

(iv)の  $IM3$  に対する (iii)の  $IM3$  パワーの差分(誤差)とスプリアスの低減量との関係をシミュレーションにより求めた結果を下図5に示す。図5では横軸にスプリアスの低減量、縦軸は(iv)に対する (iii)の  $IM3$  の誤差である。下図5から、スプリアスを 20dB 低減した時の  $IM3$  誤差は約 0.1%、更に

30dB程度低減させた時の誤差は約0.01抑えられることが分かる。

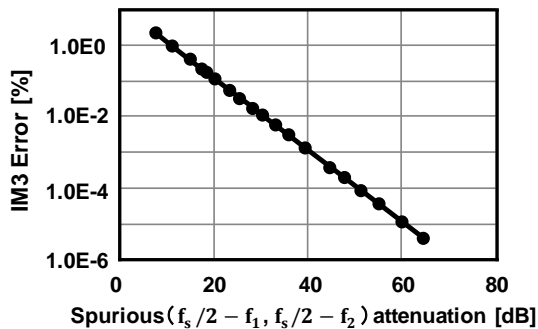


図5 IM3 誤差におけるスプリアス依存性  
Fig.5 Spurious independence of IM3 error

### 5. フィルタによるスプリアスの除去

実際にフィルタを用いて信号を切り替えたことにより発生したスプリアスを低減する。今回用いた AWG には DAC 後段に7次線形位相低域通過フィルタが内臓されているためこのフィルタを用いてスプリアスの低減を行った。下図 6~8 は AWG の出力結果である。

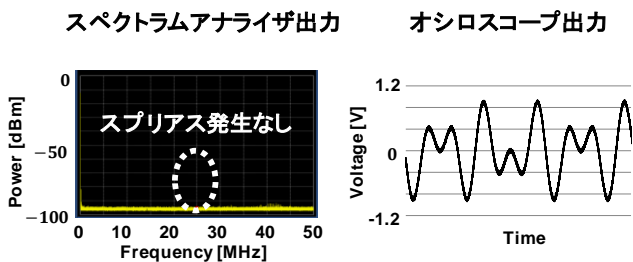


図6 従来信号@  $f_s = 50\text{MHz}$ ,  $A=0.9\text{V}$

Fig.6 Conventional signal @  $f_s = 50\text{MHz}$ ,  $A=0.9\text{V}$

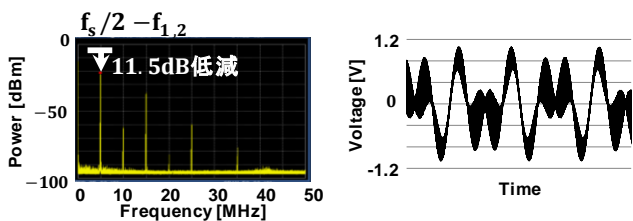


図7 位相差切り替え信号@  $f_s = 10\text{MHz}$ ,  $A=1.04\text{V}$

Fig.7 Phase Switching signal @  $f_s = 10\text{MHz}$ ,  $A=1.04\text{V}$

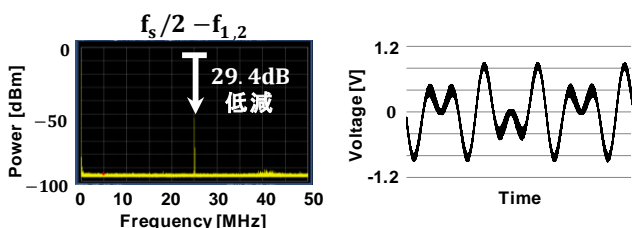


図8 位相差切り替え信号@  $f_s = 50\text{MHz}$ ,  $A=1.04\text{V}$

Fig.8 Phase Switching signal @  $f_s = 50\text{MHz}$ ,  $A=1.04\text{V}$

図6の従来信号ではスプリアスの発生はない。図7,8では、信号を切り替えたことによるスプリアス成分がそれぞれ5MHz、25MHz(ナイキスト周波数)近傍に発生している。この時の内臓フィルタによるスプリアスの低減量はそれぞれ11.5dB、29.4dBである。

時間波形に関して図6に対し図7では信号の切り替えによるスプリアスの影響がまだ大きく残っていることが確認できる。この時スプリアスの低減量は不十分である。一方、図8ではスプリアスが更に低減されており、時間波形を図6と比較すると信号の切り替えの様子が多少残っているものの図7からは大きく改善されていることが確認できる。図8の条件でADCを測定した場合、IM3測定誤差は図5から0.01%程度見込まれる。

### 6. まとめと今後の課題

AWGを用いたADCテスト用低歪2トーン信号発生技術を提案し、その歪み低減効果を実機検証した。本手法はDSPプログラム変更のみで対応可能であるためハードウェアの変更は不要である。プログラムの変更に伴い、ナイキスト周波数近傍にスプリアス成分が発生するが、この成分は30dB程度低減することでADCのIM3検出時の誤差は0.01%程度に抑えられる。今回、AWG内部のアンチエイリアシングフィルタを用いて、29.4dBのスプリアス成分低減が確認できた。今回の例のように内臓フィルタにより30dB程度以上の信号切り替えのスプリアスを低減することが可能な場合、外部フィルタの付加は必要ない(目標測定精度による)と考えている。今後は、この位相差切り替え信号によるADCの線形性測定を行い、効果を検証する。

### 文 献

- (1) 安部文隆, 加藤啓介, 若林和行, 小林修, 小林春夫, 新津葵「インターリーブを用いた低歪み2トーン信号発生技術」電気学会電子回路研究会, ECT-11-084, 長崎(2011年10月20日)
- (2) Keisuke Kato, Fumitaka Abe, Kazuyuki Wakabayashi, Takafumi Yamada, Haruo Kobayashi, Osamu Kobayashi, Kiichi Niitsu IEEE international Mixed-Signals, Sensors, and systems Test Workshop, Taipei, Taiwan (May 2012)
- (3) Keisuke Kato, Fumitaka Abe, Kazuyuki Wakabayashi, Chuan GAO, Takafumi Yamada, Haruo Kobayashi, Osamu Kobayashi, Kiichi Niitsu "Two tone signal generation for communication application ADC testing" The 21<sup>st</sup> IEEE Asian test symposium, Niigata, Japan (Nov 2012)