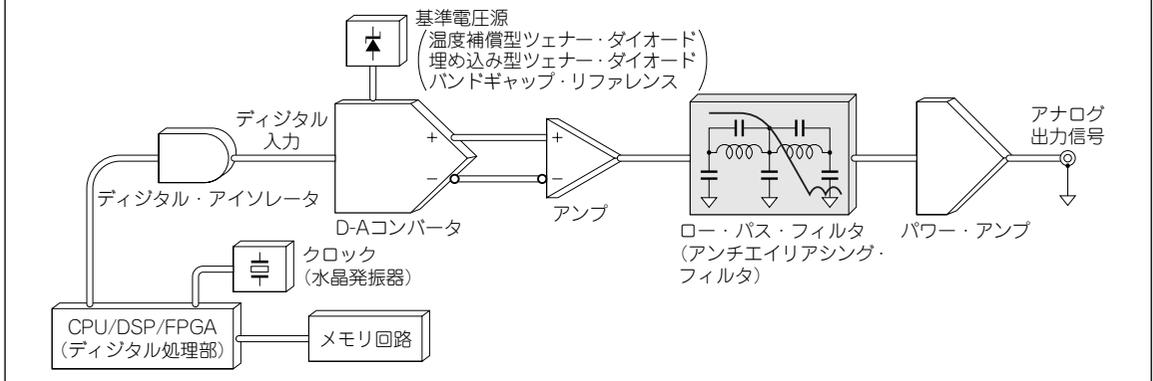


今回のターゲット回路ブロック



分かるようになること

- D-Aコンバータで発生するエイリアシングのようす
- D-Aコンバータ出力とSINC関数
- D-Aコンバータ用アンチエイリアシング・フィルタの作り方

一般的にはA-Dコンバータに比べてD-Aコンバータは安価でしかも動作が簡単なことから、初心者でも比較的とっつきやすいように思われがちです。

しかし、D-AコンバータICの性能を100%引き出そうと思ったら、けっこう難しいことに気がつきます。やってみないと分からないのがアナログ回路の世界です。

筆者が駆け出しの頃は8ビットのD-Aコンバータでもけっこう高価でしたので、それなりに気を使って設計していたのですが、最近では24ビット分解能のものまで市販されています。しかも昔では考えられなかったような低価格です。変換レートも、10 ksp/s程度だったものが今では1 Gsp/sを越えるものまであ

ります。

筆者の若い頃よりICの性能が桁外れに向上したと感じていますが、今の若い技術者にとってもD-Aコンバータ回路を設計することはやはり高いハードルなのかもしれません。

今回は、そのハードルが少しでも低くなるように、D-Aコンバータの特性を引き出すために必要な知識を解説します。

D-Aコンバータでも誤差原因となる折り返しが発生する

折り返し誤差についてはA-Dコンバータで説明しましたが、D-Aコンバータがサンプリング・システムである以上、D-Aコンバータでも折り返し誤差は発生します。

ただ、A-Dコンバータで発生する折り返し誤差とは若干違うので、わかりやすく説明できるように図13-1のような実験回路を作ってみました。

図13-1のAD7569(アナログ・デバイス)は8ビット、200 kHzの周波数帯域をもつトラック&ホールド付きのA-Dコンバータと、8ビットのD-Aコンバータを内蔵しています。図13-1の実験では、初めにA-Dコンバータで入力(サイン波)信号をデジタル変換して、そのデジタル信号をD-Aコンバータに入力して、再度アナログ電圧に変換しています。

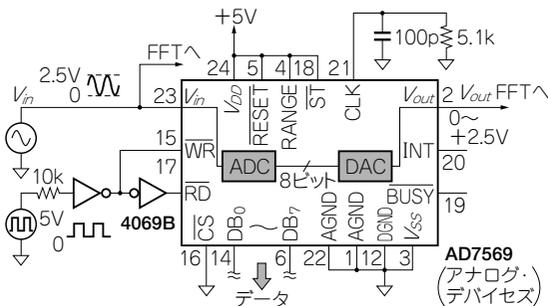


図13-1 D-Aコンバータの折り返しを見るための実験回路
A-D変換したデータを再度D-A変換してその出力を見る

このD-Aコンバータの出力信号をFFTアナライザで解析することによって、折り返し誤差を観測することになります。

● D-Aコンバータの出力波形をオシロスコープで見る

最初に、D-Aコンバータの出力波形を見てみましょう。図13-2にD-Aコンバータのオシロスコープ波形を示します。この例では、サンプリング周波数 $f_S = 44.1$ kHz、信号周波数 $f_{in} = 500$ Hzです。

この図より、D-Aコンバータの出力波形はサンプリング周期 0.023 ms ごとにステップ状に変化していることがわかります。

もちろん、入力信号であるサイン波にはこのようなステップはなく、きれいなサイン波信号です。

● D-Aコンバータ出力をFFTで解析する

次に、D-Aコンバータの出力をFFTアナライザで解析してみました。その結果を図13-3に示します。

入力信号の周波数は $f_{in} = 2$ kHz、サンプリング周波数は $f_S = 44.1$ kHzとしました。

図13-3を見ると左端の2 kHz(基本波)のスペクトルのほかに、真ん中に2本(Ⓐ, Ⓑ)と右側に2本(Ⓒ, Ⓓ)のスペクトルが見えます。もちろん、サイン波入力信号は図のように左端の2 kHz(基本波)のみです。

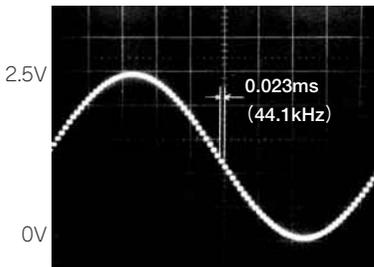


図13-2⁽¹⁾ D-Aコンバータ出力の波形
サンプリング周期 0.023 ms のたびに電圧が階段状に変化する

したがって、入力信号とD-Aコンバータ出力信号を比較すると、Ⓐ~Ⓓのスプリアス成分が違っていることがわかります。これがD-Aコンバータで発生した折り返し誤差です。

各スプリアス成分は、

$$(f_S \pm f_{in}), (2f_S \pm f_{in}), \dots, (nf_S \pm f_{in}) \dots (13-1)$$

の周波数に発生します。

したがって、図13-3のⒶ~Ⓓのスプリアスは、式(13-1)より、Ⓐ: $44.1 - 2 = 42.1$ kHz, Ⓑ: $44.1 + 2 = 46.1$ kHz, Ⓒ: $2 \times 44.1 - 2 = 86.2$ kHz, Ⓓ: $2 \times 44.1 + 2 = 90.2$ kHzに発生しています。

図13-4は、入力信号を10 kHzにした場合です。やはりスプリアス成分Ⓐ~Ⓓが見えます。Ⓐ~Ⓓは式(13-1)より、それぞれ34.1 kHz, 54.1 kHz, 78.2 kHz, 98.2 kHzの周波数と計算できます。

これらの図では4本のスプリアス成分しか見えていませんが、これは使用したFFTアナライザが100 kHzまでしか測定できないためです。サンプリング周波数を下げると、図13-5のように多くのスプリアスが見えてきます。

このようなD-Aコンバータでも折り返し誤差を除去しなければいけません。このためには、図13-6のようにアナログ回路のロー・パス・フィルタ(LPF)が使用されます。このフィルタには、A-Dコンバー

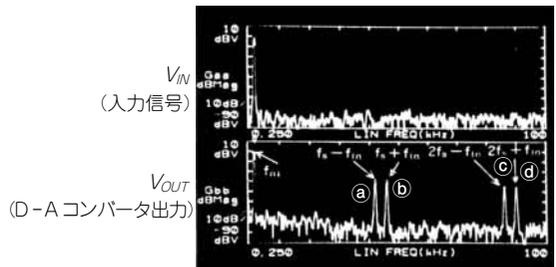


図13-3⁽¹⁾ D-Aコンバータ出力のスペクトラム
(入力信号周波数2 kHz, サンプリング周波数44.1 kHz)
出力には、入力信号以外の周波数成分であるスプリアスが現れている

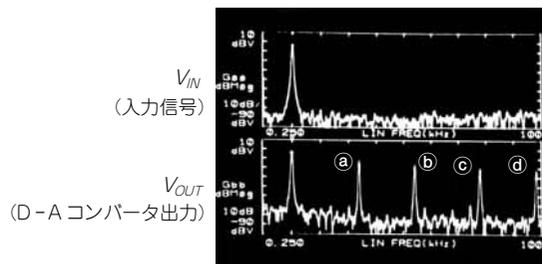


図13-4⁽¹⁾ D-Aコンバータ出力のスペクトラム
(入力信号周波数10 kHz, サンプリング周波数44.1 kHz)
入力信号の周波数を変えるとスプリアスの周波数も変わる

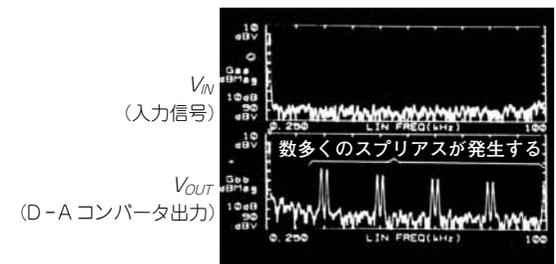


図13-5⁽¹⁾ D-Aコンバータ出力のスペクトラム
(入力信号1 kHz, サンプリング周波数22 kHz)
サンプリング周波数を下げれば、周波数の高いほうにスプリアスが出続けることを確認できる