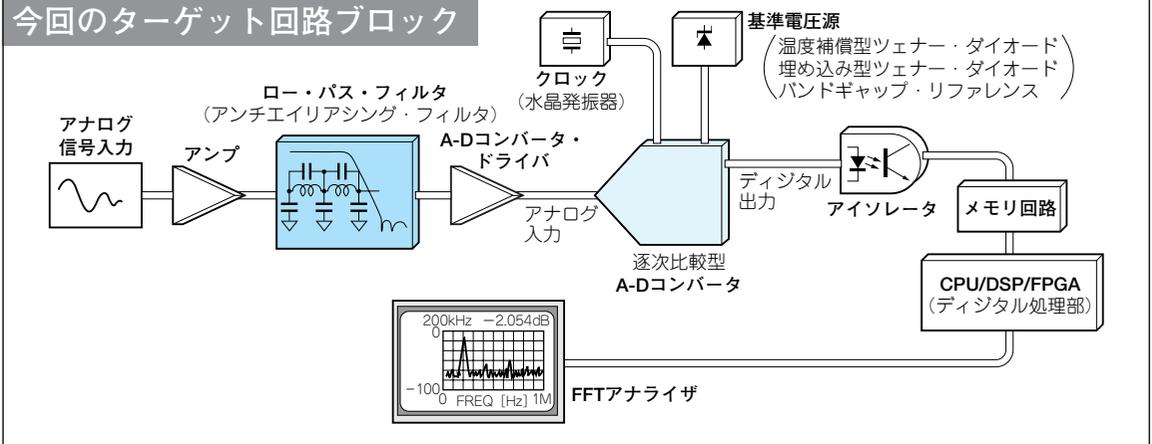


今回のターゲット回路ブロック



分かるようになること

- ・折り返し雑音が発生するようす
- ・アンチエイリアシング・フィルタの仕様の決め方
- ・作りやすい状態変数型と高性能なLCシミュレーション型を使ったアンチエイリアシング・フィルタの設計方法

サンプリングすると 不要な信号が生まれる

● サンプリング周波数が低いと雑音が発生する

連続するアナログ量を瞬時にサンプリングしてデジタル化する場合、基本となるのはナイキストのサンプリング定理です。この定理は、信号の最大周波数に対して、2倍以上の周期でサンプリングしなければ、フィルタで除去できない信号帯域に雑音(折り返し雑音という)が生じることを意味しています。

折り返し雑音とはどんなものなのか、実際の波形で見てみましょう。

● 折り返し雑音が発生する周波数

▶ サンプリング後の波形に見る折り返し雑音

図6-1は、周波数 f_m の入力信号を周波数 f_s でサンプリングした波形です。サンプリング後の周波数が f_m より低く見えています。入力信号に対してサンプリング周波数が2倍未満なので、サンプリング定理より、折り返し雑音が信号領域に発生しているからです。

▶ 折り返し雑音が発生する周波数を紙を折り返してイメージする

図6-1からは、折り返し雑音が発生する周波数が今ひとつ分かりません。

折り返し雑音の周波数は、図6-2のように、横軸に周波数を、縦軸に振幅をとった紙を折り返すことをイメージすることで分かります。この紙の①点をサンプリング周波数 f_s としたとき、 $f_s/2$ の n 倍のサンプリング点をそれぞれの折り返し目として交互に折り返していきます。そして③のように重ね合わせます。

$f_1 = 100 \text{ Hz}$, $f_2 = 1.2 \text{ kHz}$, $f_3 = 2.5 \text{ kHz}$ の、3種類の周波数成分を含む信号を、 $f_s = 2 \text{ kHz}$ でサンプリングするとします。すると③に示すように、 $f_1 = 100 \text{ Hz}$, $f_{2a} = 800 \text{ Hz}$, $f_{3a} = 500 \text{ Hz}$ の周波数の信号成分をサンプリングしてしまいます。 f_{2a} と f_{3a} が折り返し雑音と呼ばれるものなのです。

● オーバー・サンプリング率が小さいSAR型は折り返し雑音への対策が必要

$\Delta\Sigma$ 型A-Dコンバータとは違い、逐次比較型(SAR)では折り返し(エイリアシング)信号への対策が必須です。

正規化 ▶ LCフィルタ設計では整合抵抗 R_0 、カットオフ周波数 f_0 、 Q などの変数が多いので、通常は R_0 と f_0 を1に固定して、そのときのLC値を求めることが多い。このときのLC値を正規化した値と呼ぶ。

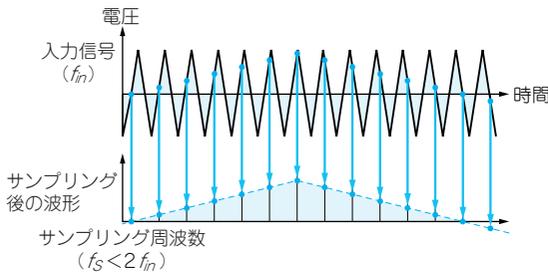


図6-1 入力信号に対してサンプリング周波数が2倍未満だと元の波形と形状が異なる波形に変換されてしまう
サンプリング後の波形は入力信号よりも周波数が低い

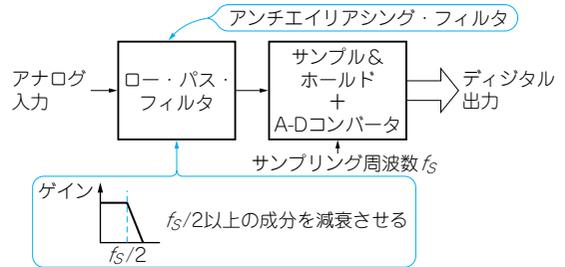


図6-3 ロー・パス・フィルタで $f_s/2$ 以上の周波数の信号を減衰させて信号帯域に折り返し雑音が発生しないように除去しておく
折り返し雑音の除去が目的のロー・パス・フィルタは、アンチエイリアシング・フィルタという

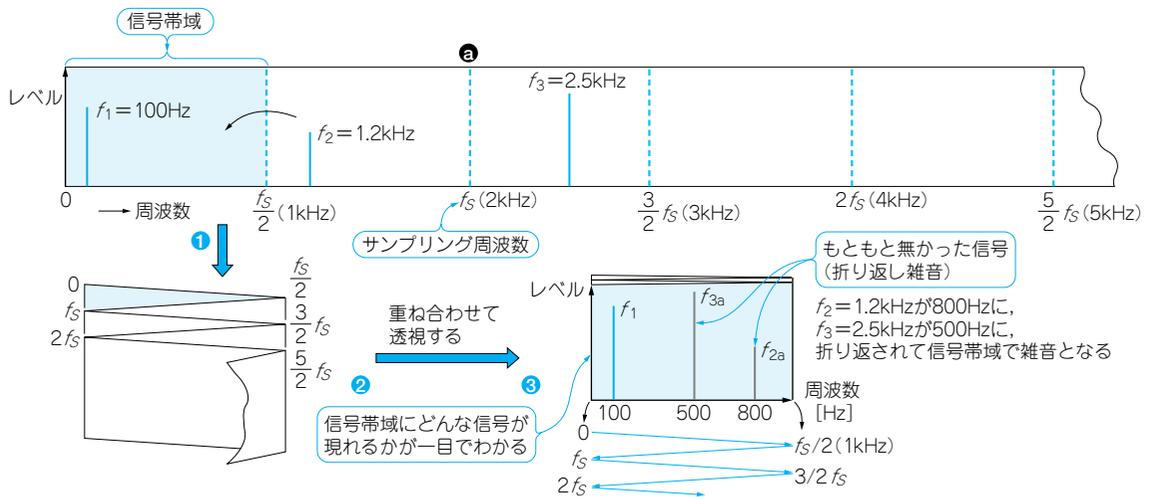


図6-2 信号帯域に折り返し雑音が発生するようすは紙を使うと分かりやすい
サンプリング周波数 $f_s = 2 \text{ kHz}$ の例

$\Delta\Sigma$ 型は、SNRを確保するため、入力信号の数千倍以上と高い周波数でのサンプリング、すなわちオーバー・サンプリングをする必要があります。このため、折り返し雑音が信号帯域に発生することはほとんどありません。

SAR型A-Dコンバータは、SNRの確保にオーバー・サンプリングが不要です。SAR型は $\Delta\Sigma$ 型に比べてオーバー・サンプリング率が小さいため、入力信号とサンプリング周波数が比較的近く、折り返し雑音が信号帯域に発生しやすくなります。したがって、 $\Delta\Sigma$ 型とは違い、SAR型では信号領域への折り返し雑音の対策が必要なのです。

ただし、オーバー・サンプリングはすべてのA-DコンバータでSNR改善に有効な方法です。最近ではSAR型でもオーバー・サンプリングを採用し分解能を24ビットまで高めたAD7766(アナログ・デバイス)などの製品も登場してきました。

● アンチエイリアシング・フィルタで折り返し雑音を除去

図6-2の f_{2a} と f_{3a} は本来の周波数成分とは違ったものなので、いわゆる雑音になります。そのため、折り返し雑音や折り返しひずみ、エイリアシング・エラーなどと言う場合もあります。

信号をサンプリングする場合は $f_s/2$ 以上の周波数成分を減衰しなければ、信号帯域に折り返し雑音が発生してしまいます。このため、図6-3のようにロー・パス・フィルタを使って、A-D変換の前に、 $f_s/2$ 以上の周波数成分を減衰させておきます。この折り返し雑音が発生させる可能性のある信号をあらかじめ除去する用途のロー・パス・フィルタをアンチエイリアシング・フィルタと呼んでいます。

$f_s/2$ の周波数以上で無限大の減衰特性をもつフィルタが理想ですが、フィルタの次数がとて大きく、現実的ではありません。一般的にはサンプリング周波数を最大入力周波数の2倍以上に設定し、アナログ・フ