



第5章 A-D/D-Aコンバータの能力を 100%引き出すために

ロー・パス・フィルタの設計

★実験に必要な測定器：デジタル・マルチ・メータ、
低周波発振器
★あると便利な測定器：ネットワーク・アナライザ

川田 章弘
Akihiro Kawata

イントロダクションの図1で見たとおり、A-Dコンバータ(ADC)の前やD-Aコンバータ(DAC)の後ろにはロー・パス・フィルタが必要になります。

● **A-Dコンバータの前に必要なフィルタを製作する**
A-Dコンバータでは、**折り返し**という $f_s/2$ 以上の信号が $f_s/2$ 以下に現れる現象(後述)が起こります。この折り返しを防ぐためにロー・パス・フィルタが必要で、このフィルタを**アンチ・エイリアス・フィルタ**と言います。

本章では、アンチ・エイリアス・フィルタの設計を通して、ロー・パス・フィルタ設計の基本について学んでいきます。

● フィルタの理論については解説しない

本章ではフィルタ理論を説明するわけにはいきません。なぜなら、フィルタ理論は高等数学を抜きに語れないからです。高等数学を使ってしまえば、本特集の趣旨である「アナログ回路入門」を逸脱してしまいそうです。後述しますが、今回は設計ソフトを使った設計法を紹介します。

なお、複素平面とラプラス変換された伝達関数に抵抗感がなく、極と零点が何のことがわかれば、基本的に独習できます。もし興味があるならば、参考文献(p.184)を参照してください。

現在市販されている本では、参考文献(1)がアクティブ・フィルタ関連の良書だと思います。また、設計プログラムを自作しようと思う人は、文献(2)が参考になるでしょう。やっぱり日本語の文献が良いと思う人は、文献(3)が実際のフィルタ設計を行ううえで参考になると思います。ぜひ読んでみてください。

アナログとデジタルの変換には ロー・パス・フィルタが必要

● 折り返しとは何か

ADCでアナログ信号をサンプリングすると、サンプリング周波数 f_s の1/2以上の周波数の信号が $f_s/2$ 以下の周波数に現れてきます。この $f_s/2$ の周波数を**ナイキスト周波数**と言います。

図5-1に、折り返しがどのように生じるかを示しました。**サンプリングすることによって、 f_s の両サイドにナイキスト周波数までの信号のイメージ(影像)が生じます。**この目的としていないイメージ成分がナイキスト周波数内に現れてきます。つまり、サンプリングとは、無限の周波数成分をもつアナログ信号をナイキスト周波数までの帯域内に制限して観測している、と考えることもできます。

折り返しがどのように生じるかについては、図5-1(b)のように考えるとわかりやすいでしょう。 $f_s/2 \times n$ ($n=1, 2, 3, \dots$)の周波数で、パタパタとスペクトラム平面を折り畳むような感覚です。この図でわかりにくいと思う場合は、OHPシートなどで実際に図5-1(b)のような「パタパタ折り返し体験シート」を作り、スペクトラム平面を折り畳んでみると良いでしょう。

● D-Aコンバータの後ろにもフィルタが必要

DACの後ろのフィルタは、DACで必ず生じるイメージ成分を取り除くために必要になります。サンプリング・データをDACでアナログ信号に復元すると、サンプリング周波数(クロック周波数)を中心とした、図5-2に示すようなイメージ成分が出てきます。図5-1の折り返しとちょうど逆の関係です。この不要な成分を除去するために、やはりロー・パス・フィ

Keywords

ロー・パス・フィルタ、A-Dコンバータ、D-Aコンバータ、折り返し、アンチ・エイリアス・フィルタ、イメージ成分、ナイキスト周波数、バターワース、ベッセル、チェビシェフ、逆チェビシェフ、エリプティック、FilterPro、SNR、ゲイン誤差、GBW、金属皮膜抵抗、ポリプロピレン・フィルム・コンデンサ、アンダー・サンプリング、多重帰還形、VCVS型、E系列

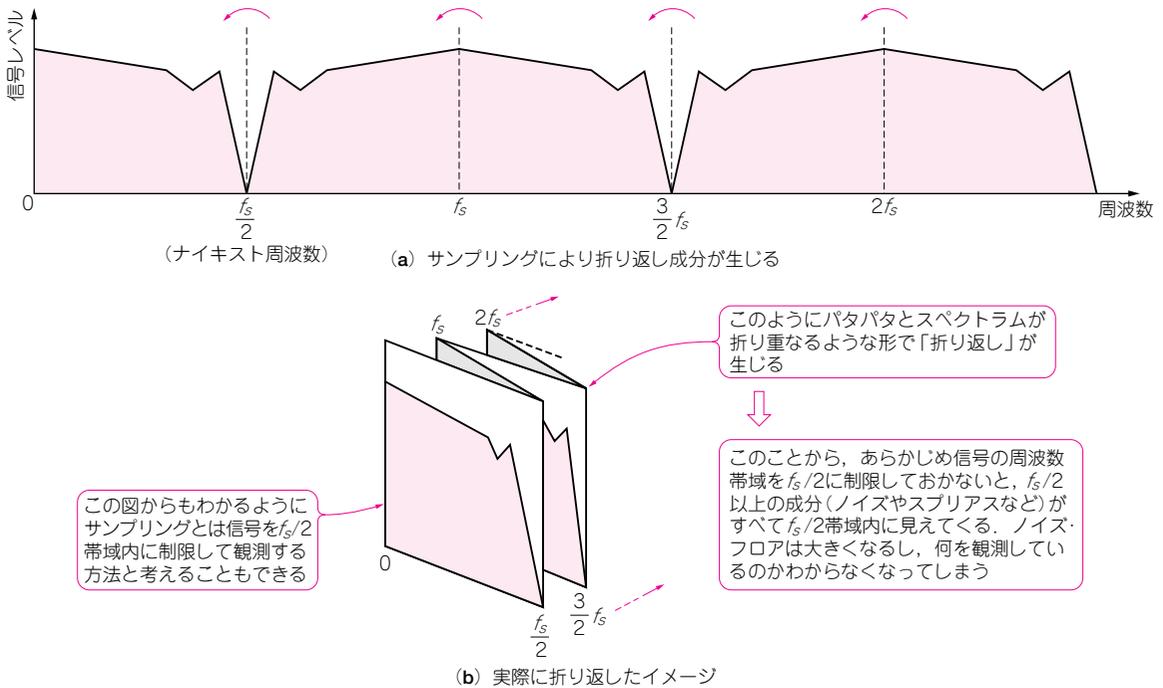


図5-1 A-Dコンバータで発生する折り返しを感覚的にとらえる

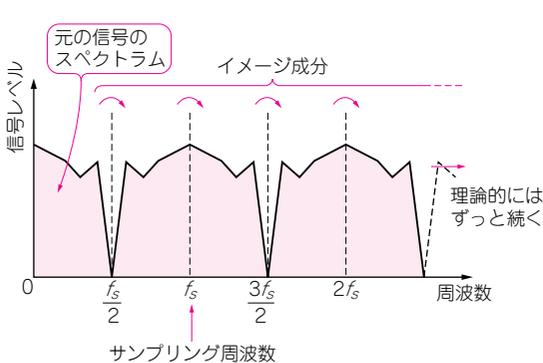


図5-2 D-Aコンバータではイメージ成分が発生する

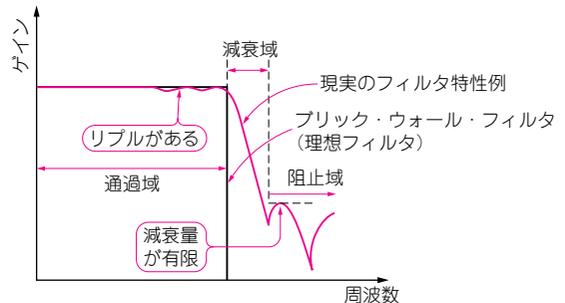


図5-3 理想フィルタと現実のフィルタ特性

現実のフィルタは、通過域にリプルがあったり、減衰域があったり、阻止域の減衰量が有限だったりする

ルタが必要になります。

ロー・パス・フィルタの種類

ロー・パス・フィルタを設計する前に、簡単にロー・パス・フィルタについて勉強しておきましょう。

理想的なロー・パス・フィルタとは、図5-3に示したようにカットオフ周波数でゲインが0倍になるブリック・ウォール特性のフィルタです。しかし、このようなフィルタをOPアンプを使って作ることはできないため、一般には、減衰域(遷移域)が存在するフィルタを作ることになります。

この減衰域の傾きを**減衰傾度**といい、dB/oct.や、dB/dec.といった単位で表示されます。

ブリック・ウォール・フィルタのような理想的なフィルタを作ることができないため、用途に応じていくつかのフィルタ・タイプを使い分けます。代表的なフィルタには、次の五つがあります。これらのフィルタの名前は、フィルタに使われている伝達関数の名前に由来するものです。名前を覚えるよりも、それぞれの特徴を知っておくほうが大切です。ただ、アナログ回路技術者との会話に困らないためにも、名前と特徴を一致させて覚えておくと良いでしょう。

▶ パターワース・フィルタ

通過域のゲイン特性がもっとも平たんで、1次につき-6 dB/oct.の減衰傾度が得られます。したがって、特に特性要求が厳しくないところで汎用として使われます。