

第4章 FFTアナライザやデジタルIF方式スペアナの動作原理を知る

新時代のスペクトラム・アナライザ

小室 貴紀
Takanori Komuro

この章では、新しい技術が導入されたスペクトラム・アナライザについて解説します。

実は基本的であるか新しいかは、私の勝手な解釈によるものです。とりあえず、アナログ回路が多用され、IF段以降が狭帯域でローカル発振器の周波数を掃引するタイプのスーパー・ヘテロダイン方式のスペクトラム・アナライザを「基本的」として、デジタル信号処理を多用したものを「新しい」と定義しました。

具体的には、新しいスペクトラム・アナライザとは、「FFTアナライザ」と「デジタルIF方式スペクトラム・アナライザ」を意味します。これらの話に入る前に、A-Dコンバータを使ったデータ収集システムとFFTを含むデジタル信号処理について説明しておきます。

データ収集システムの基礎

■ ADC によるデータ収集システム

図1は、A-Dコンバータ(ADC)を使ったデータ収集システムの基本的なブロック図です。

入力信号は、アンプやアッテネータで振幅を整えられ、不要な周波数成分を取り除くためのアナログ・フィルタに導かれ、その後ADCでデジタル・データに変換されます。

変換後のデジタル・データは信号処理されます

が、処理内容やADCの変換スピードによっては、一度高速のメモリにデータを蓄える場合もあります。

さらに実際のデータ収集システムには、直接信号が流れていく経路とは別に、ADCにクロックを供給する回路や、基準となる電圧を与える回路、さらには全体の動作を制御する部分なども備わっています。

この構成は、最近のスペクトラム・アナライザはもちろん、それ以外でもよく見かけるものです。

デジタル・オシロスコープなどの測定器だけではなく、各種のセンサからの信号を処理する装置やオーディオ機器、ビデオ機器、携帯電話のベースバンド回路など、扱う信号の周波数範囲や信号処理の内容は千差万別ですが、皆よく似た構成となっています。

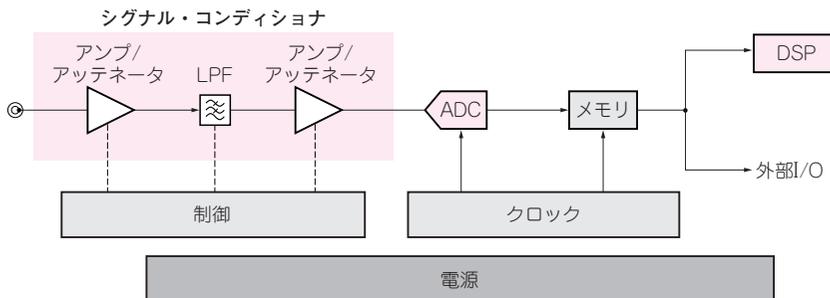
■ ADC

図1の構成で、もっとも重要な要素はA-Dコンバータ(ADC)でしょう。

ADCはクロックにしたがって、入力のアナログ電圧をデジタル・データに変換する機能があります。このADCの動作を理解するのに重要なパラメータとして、変換時間と分解能があります。

変換時間は、A-D変換を完了するのに必要となる最小の時間、またはその逆数としての変換レートで表されます。それぞれ単位で表現すれば“sec”または“sps”(sample per second)です。

多くのADCでは、入力されるクロックごとに変換



〈図1〉 A-Dコンバータを使ったデータ収集システムの基本的なブロック図

が行われるので、変換レートとクロック周波数は等しい値をとります。そのためADCの変換時間を表すのに、そのクロック周波数を使って“Hz”を単位とすることもあります。

ただし、オーバ・サンプリングADCのように、クロック周波数と変換レートが等しくないADCも存在するので、注意が必要です。当然ながら、変換レートの値の大きなADCほど、短時間に大量のデータを処理できるので、高性能なADCであるといえます。

また、分解能は通常「ビット」を単位として表現します。12ビットのADCは、入力電圧を2の12乗(=4096)の段階として表現できます。この数字が大きいほど、細かい変化も的確に表現できるわけですから、より性能の良いADCということができます。

さて、図2はADCの変換方式とその性能を大まかにまとめてみたものです。横軸をsps単位の変換レート、縦軸をビット単位の分解能として表現しています。図の右上ほど高性能なADCであるといえます。

■ シグナル・コンディショナ

図1のブロック図で、ADCよりも前の部分を「シグナル・コンディショナ」と呼ぶことがあります。

ADCは、入力電圧として受け入れられる範囲が決まっているので、その限られた範囲にうまく入力信号を収めることが、シグナル・コンディショナ部分の役割といえます。通常のシグナル・コンディショナは、全帯域に渡ってゲインを調整するアンプやアッテネータと、特定の周波数帯域の信号を減衰させるアナログ・フィルタからなります。

ADCの入力電圧範囲は、特別なトリックを使わない限りADCの電源電圧を越えることはありません。現在主流となっているCMOSのADCでは、大体1V程度でしょう。これを越えるような電圧を入力すると、

ADCは変換不能となり、オーバーレンジ信号だけを出力します。この状態では入力電圧が多少変化しても、ADCはオーバーレンジ状態のまま、出力にはまったく反映されません。

では、ADCに入力する信号が十分に小さければよいかというと、それも正しくありません。極端に信号が小さければ、入力信号がノイズに埋もれてしまうことは容易に理解できるでしょう。また、入力信号が小さすぎる場合は、ADCの利用効率から見ても問題があります。1Vの信号を4096段階で評価できるADC(12ビットADC)があったとします。これに0.01Vの信号を入れた場合には、40段階程度しか利用できないことになり、細かな変化を検出できなくなるわけです。

このように、ADCの入力電圧範囲にあわせて、入力信号の振幅を調整するのがアンプやアッテネータの役割です。

■ アナログ・フィルタ

ADCが扱う入力信号の周波数範囲を適切に設定するのが、アナログ・フィルタの役割です。

● 目的の信号だけを取り出す

図3を見てください。今、1MHzの小振幅の信号を精密に評価したいときに、10MHzの大振幅の信号も重畳している状態を考えます。この場合は、1MHzを通して10MHzを通さない(正確には減衰させる)フィルタ、例えば遮断周波数が3MHzのLPFLow Pass Filterを使って1MHzの信号だけを取り出し、さらにADCの入力電圧範囲にあわせて適切に増幅すれば、正確に評価できることとなります。

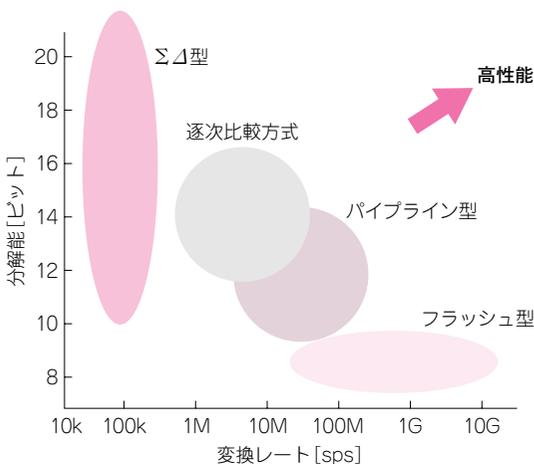
● 直流に交流信号が重畳している場合

さて、入力信号に直流が載っている場合はどうでしょうか？ 図4は1Vの直流に0.1Vの交流信号が重畳している状態です。このうち交流信号成分だけを精密に評価する方法として、以下のような方法が考えられます。

- (1)入力アッテネータによって0~2Vの電圧を評価できるレンジに設定する。[図4(a)]
- (2)HPFHigh Pass Filterを使って直流分を取り除き、交流分だけに対して適切に増幅する。[図4(b)]
- (3)重畳している直流分と同じ電圧を発生させることができる電圧源と、入力からその電圧を差し引くための回路を用意して、直流分を取り除き、その後で適切に増幅して、注目している交流成分だけを精度よくA-D変換する。[図4(b)]

ここにあげた方法には、いずれも長所と短所があり、すべての場合に最良という方法は存在しません。

例えば(1)の方法は、交流に対してはADCの持つ分解能を有効に割り振ることはできませんが、直流分と交流分を同時に評価できます。



〈図2〉ADCの変換方式と性能マップ