

通信系のミキサ

図7-1のようなミキサは周波数変換のために無線機には欠かせないものです。当然、デジタル無線機を設計する場合にも重要な信号処理です。しかし、アナログ・ミキサとは異なり、理想的な掛け算器によりミキサの実現が可能です。そのためアナログでは避けられない困った問題、非線形特性によるさまざまなスプリアスや信号の飛び込みなどを考えなくてもよくなります。

また実信号はスペクトルで表すと、基本的に周波数ゼロを中心にプラスとマイナスの対称な二つの周波数成分をもつことはすでに説明しました。アナログ・ミキサの場合には、図7-1のようにこの中心ゼロを局部発振器の周波数 f_c に平行移動する動作をします。したがって、ミキサで新たに変換された信号は、キャリアを中心として上下に二つのスペクトルがどうしても発生してしまいます。そのため、ミキサの出力には必要な信号だけを取り出すフィルタが必要です。一方デジタルの場合は、複素信号(解析信号)を使うことによりデジタル・ミキサで変換された信号は一つの信号とす

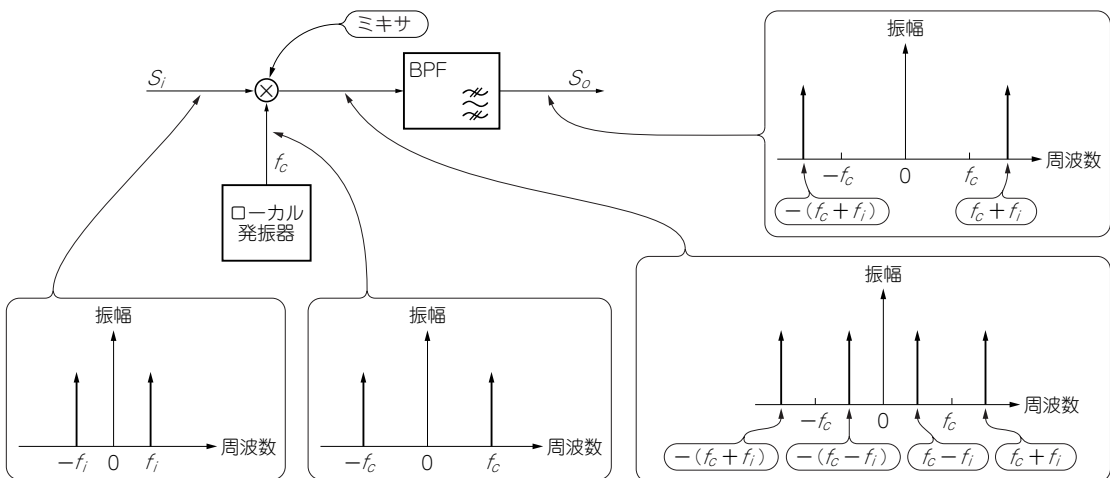


図7-1 周波数変換とミキサ

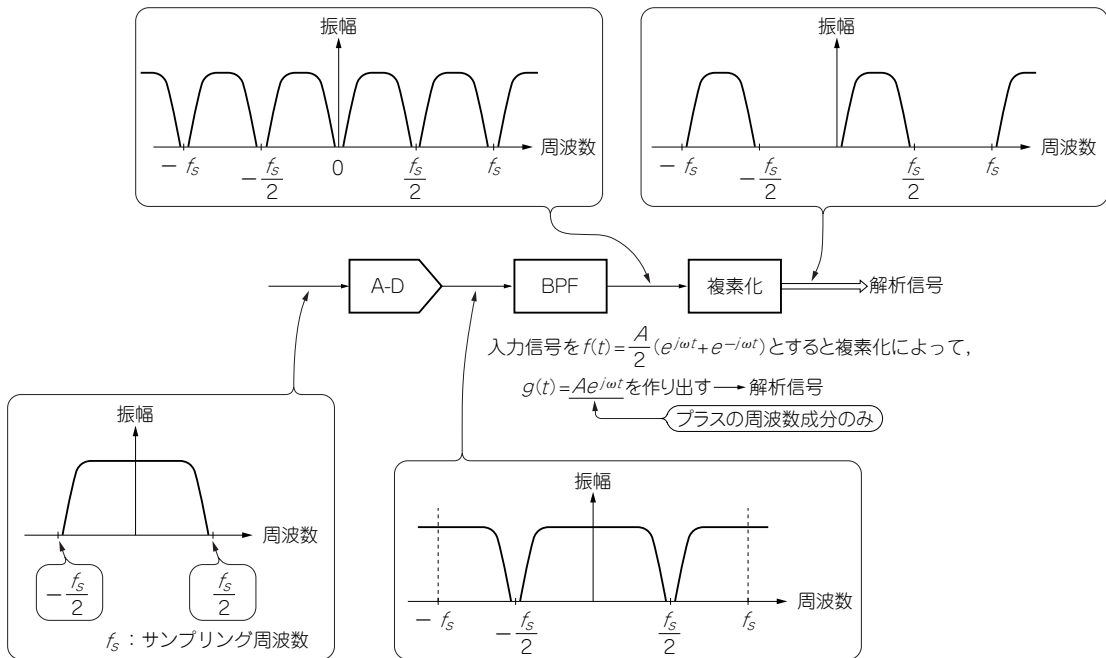


図7-2 A-D変換された実信号

ることが可能となり、フィルタが必要なくなります。

デジタル信号処理の場合、スプリアスなどの多くの問題はA-D/D-A変換器で発生します。デジタル信号処理の間は、すべてひずみのない理想的な計算処理なので、設計段階のシミュレーションですべて特性が把握できます。アナログのミキサの問題は、そのままA-D/D-A変換器の性能に引き継がれた形です。

7-1 実信号の複素表現

実信号をA-D変換器で取り込んだ直後のデジタル信号は、図7-2のような信号をしています。複素数で表した場合、プラス/マイナスの共役複素信号の合成として表せます。もし単一周波数の正弦波信号だとすると、すでに説明したように二つの共役複素正弦波の合成です。

デジタル・ミキサでは入力信号としては、このような信号から図7-2のような片側だけを抜き出した複素数の信号を使います。そのため、まずは実信号の複素化が必要です。そこで、図7-3に示すような、パス・バンド複素化とベース・バンド複素化の二つの方法を使って信号の変換を行います。一方のパス・バンド複素化では直交復調を行い、もう一方のベース・バンド複素化ではヒルベルト変換を使います。

スペクトルの周波数成分がプラスもしくはマイナスだけの単一信号は、複素数ですから実際の世

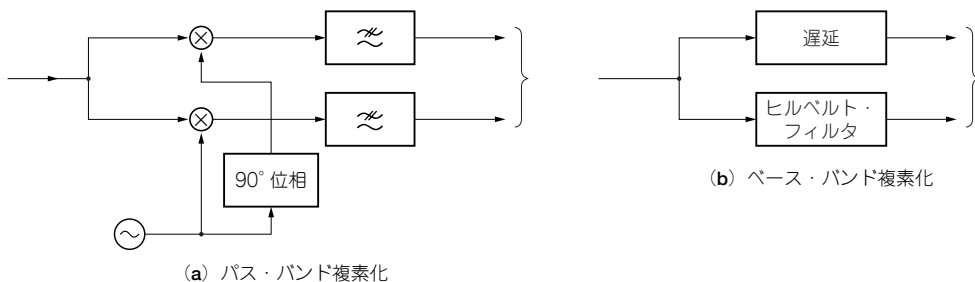


図7-3 信号の複素化

の中には存在しません。信号表現として使われる、実際の信号には存在しない複素数の虚数の成分は、目に見ることができない仮想信号だからです。そのために、実信号は必ず共役複素数のスペクトルのペアとならなければなりません。しかし、デジタル信号処理の中では単なる数値計算の世界ですから、虚数を含んでもまったく不都合はありません。そこでこの複素信号のことを実信号と分ける意味で、解析信号と呼んでいます。この抽象的な解析信号は、デジタル信号処理の中で使うととても便利で、高度な信号処理の実現が可能になり応用が広がります。

7-2 複素ミキサとNCO

ミキサには図7-1のような局部発振器(ローカル発振器)が欠かせません。連続的な決められた周波数の正弦波を発生させます。ただし、デジタル・ミキサでは多くの入力信号は、複素化された解析信号です。そのため、ローカル発振器の出力もまた複素正弦波となります。

アナログ・ミキサのローカル発振器のスペクトルは、共役複素数からなる $\pm\omega_c$ 二つのスペクトル成分からなります。一方、複素正弦波は $+\omega_c$ もしくは $-\omega_c$ の単一スペクトルになります。したがって、解析信号を単一周波数 ω とすると、複素ミキサの計算式は、

$$re^{j\omega t} \times e^{j\omega_c t} = re^{j(\omega + \omega_c)t}$$

と簡単な掛け算の式になり、出力は実数のミキサとは違って ω_c によって周波数変換された単一の信号しか出てこないことがよくわかると思います。

アナログ・ミキサのローカル周波数を下げていき、信号の周波数成分よりも低い周波数にした場合には、不都合が発生します。図7-4のようにマイナス側の周波数スペクトル成分は周波数ゼロのところで、ローカル周波数より高い周波数成分の折り返しが発生し、プラス側の周波数成分と干渉を起こしてしまいます。そのためアナログ・ミキサの場合は、ローカル周波数は少なくとも信号周波数成分の中央値より高くする必要があります。

しかし、解析信号を使う複素ミキサの場合はプラスとマイナスの周波数成分をはっきりと区別できます。そのためこのような問題は発生しません。図7-5のようにローカル周波数をマイナスの周波数にしたとします。そのローカル周波数の絶対値より高い周波数成分の信号は、実数のミキサでしたらずで折り返しが発生しますが、解析信号の場合はゼロを突き抜けて単にマイナスの周波数成