

RAQ's

Rarely Asked Questions

アナログ・デバイスに寄せられた珍問／難問集より

乗算器とモジュレータ

Q. 乗算器はどうして
モジュレータ(変調器)あるいは
ミキサーとして
使用できないのでしょうか？
同じものではないのですか？

A. ちょっと違います。しかも、その違いが重要です。

乗算器には2つのアナログ入力があり、その2つの振幅の積に比例する1つの出力があります。

$$V_{OUT} = K \times V_{IN1} \times V_{IN2}$$

ここで、Kは1/Vの大きさの定数です。いずれの信号もどちらの入力にも供給できますが、理論的には出力に影響しません。

モジュレータ(またはミキサー)にも2つの入力があります。しかし、信号入力はリニアですが、キャリア入力にはリミット・アンプがあるか、またはアンプで制限される十分な大きな信号でキャリア入力を駆動します。どちらの場合もキャリア信号は矩形波となるため、振幅が十分に大きければ、その値はあまり重要ではなく、ノイズや振幅の変動が出力に現れることもありません。式は以下ようになります。

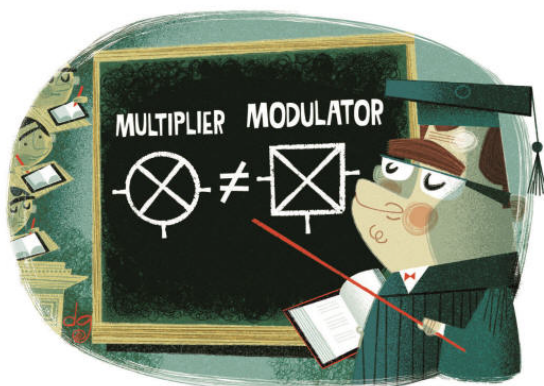
$$V_{OUT} = K \times V_{SIGNAL} \times \text{sgn}(V_{CARRIER})$$

乗算器はアナログ計算に使用します。一例としては、回路内の電力の計算があります。瞬間電圧／電流に比例する信号が乗算器に入力されると、その出力は瞬間電力に比例します。

乗算器は、モジュレータと同様、信号入力の振幅をキャリア入力の信号にエンコードします。しかし、乗算器の場合はモジュレータと違ってキャリア信号振幅の変動も出力に現れます。通信アプリケーションではこの変動はないほうがよいので、モジュレータを使用します。2つのサイン波²を入力する乗算器の簡略式³は次のように表すことができます。

$$V_{OUT}(t) = K/2 \times V_{SIGNAL} \times V_{CARRIER} [\cos(\omega_{SIGNAL} + \omega_{CARRIER})t + \cos(\omega_{SIGNAL} - \omega_{CARRIER})t]$$

モジュレータを簡潔に説明したい場合にも同じ式がよく使用されますが、キャリア信号をクリップして矩形波を生成するということは、奇数次高調波が含まれていることを意味します。矩形波の簡略式は、奇数次高調波のフーリエ



級数となります。

$$V(t) = K[\cos(\omega t) - 1/3\cos(3\omega t) + 1/5\cos(5\omega t) - 1/7\cos(7\omega t) + \dots]$$

これらの奇数次高調波もキャリアで変調されるため、モジュレータの出力には必要な基本波の積とともに奇数次高調波の積が含まれています。

$$V(t) = K[\cos(\omega_{SIGNAL} + \omega_{CARRIER})t + \cos(\omega_{SIGNAL} - \omega_{CARRIER})t - 1/3\{\cos(\omega_{SIGNAL} + 3\omega_{CARRIER})t + \cos(\omega_{SIGNAL} - 3\omega_{CARRIER})t\} + 1/5\{\cos(\omega_{SIGNAL} + 5\omega_{CARRIER})t + \cos(\omega_{SIGNAL} - 5\omega_{CARRIER})t\} - 1/7\{\cos(\omega_{SIGNAL} + 7\omega_{CARRIER})t + \cos(\omega_{SIGNAL} - 7\omega_{CARRIER})t\} + \dots]$$

多くのアプリケーションでは、これらの高調波積をフィルタで除去したり無視したりしますが、モジュレータの機能を正しく説明するにはこれらも考慮に入れる必要があります。高調波積が役に立つこともありますが、基本波積とオーバーラップして予期しない結果を招くこともあります。

このように、乗算器、モジュレータ、ミキサーのどれかを選択するときは、自分が何をしたいのか、またどのデバイスなら誤差を最小限に抑えられるかをあらかじめ検討する必要があります。

参考

¹入力と出力は、デバイスにより電圧または電流です。この例では電圧を用いています。

²これらの式では扱いが簡単なコサインを使用しています。最終的には同じです。

³説明を簡潔にするために、入力と出力の振幅は正規化してあります。



筆者紹介:

James Bryantは、1982年から2009年までアナログ・デバイスの欧州地区アプリケーション・マネージャを担当し、つねに面白いプロジェクトを探求しています。リーズ大学で物理学と哲学の学位を取得し、さらにC.Eng.、Eur.Eng.、MIEE、FBISの資格があります。エンジニアリングに情熱を傾けるかたわら、アマチュア無線家でもあり、コールサインG4CLFを持っています。

その他のRAQについては、

www.analog.com/jp/raqs

をご覧ください。

**ANALOG
DEVICES**

www.analog.com/jp