

連載



センサ計測/電源から  
モータ制御/オーディオ/AI・IoT組み込みマシンまで  
USBマルチ測定器 Analog Discoveryで作る

Research Development

私のR&Dセンタ

第24回 最小分解能0.00001%! 1kHzひずみ率計

[前編] ノッチ・フィルタの設計・製作

遠坂 俊昭 Toshiaki Enzaka

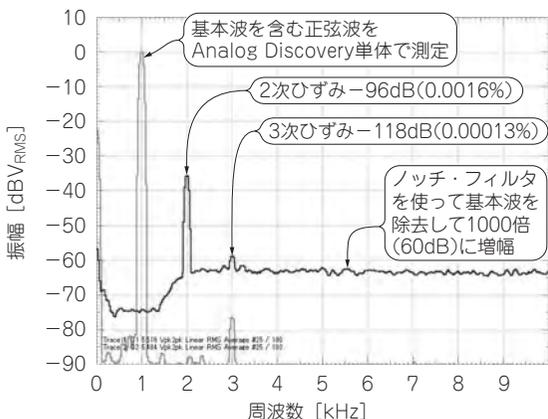


図1 基本波をノッチ・フィルタで除去して増幅すると高調波成分が抽出される

基本波を含む正弦波を Spectrum機能で観察すると、ダイナミック・レンジの限界により高調波がノイズに埋もれてしまう。ノッチ・フィルタで高調波だけを抽出でき、正確なひずみ率計測ができる

正弦波信号源やアンプの性能を示すパラメータの1つにひずみ率があります。理想的な正弦波には基本波以外の高調波は含まれません。しかし実際の信号源から出力された正弦波には、基本波とその高調波が含まれます。高調波の量を示すのがひずみ率で、小さければ小さいほど正弦波に近いです。

この正弦波をスペクトラム・アナライザで観察すると、レベルの高い基本波とレベルの低いいくつかの高調波が見られます。正弦波の品質が良くひずみが少ない場合、高調波成分はとても小さくなり、ノイズに埋もれてしまうこともあります。そのためにダイナミック・レンジの広いスペクトラム・アナライザを使うこともできますが、高価です。

そこでノッチ・フィルタを使って基本波を除去し、高調波を増幅することでひずみ成分を抽出する方法があります。図1に Analog Discovery の Spectrum機能で観察した基本波を含む高調波と、ノッチ・フィルタで基本波を除去して増幅した高調波を示します。基本波を含むスペクトラムでは2次高調波がノイズに埋もれていますが、ノッチ・フィルタを通し

たほうは2次高調波がはっきり観察できます。

本稿では、Analog Discovery と合体させてひずみ率計として使うための、増幅機能付き1kHzノッチ・フィルタの製作と使用法を紹介します。 <編集部>

ひずみ率とは

● アンプの入出力特性が曲がるとひずみが発生する  
アンプや発振器の性能を表す重要なパラメータの1つがひずみ率です。

理想的なアンプであれば入出力特性が完全に直線で、入力波形に対し完全に相似な出力波形が得られます。ところが現実のアンプでは、トランジスタなどの非直線性により入出力特性が曲がり、出力波形が入力波形と相似になりません。これがアンプのひずみです。

ひずみが発生すると入力信号には含まれなかった入力信号周波数の整数倍の周波数成分が付加されます。これが高調波ひずみです。

図2にトランジスタを用いたアンプのシミュレーションを示します。アンプで増幅された波形には高調波が含まれているのが分かります。

● ひずみ率の定義

ひずみ率(DF: Distortion Factor)は純粋な正弦波を入力したとき、出力に現れる基本波に対する高調波ひずみの合成値の割合で、次の式で示されます。

$$DF = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots}}{V_1}$$

$$DF^2 = \frac{V_2^2 + V_3^2 + \dots}{V_1^2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 $V_1$ : 基本波の実効値、 $V_n$ :  $n$ 次高調波の実効値( $n>1$ )

ひずみを計測する際に、出力波形の基本波成分のみを抽出するのは大変です。一般的なひずみ率計(現在ではオーディオ・アナライザと呼ばれる計測器の一部の機能)では、次に示すように全体の波形の実効値に対して、全体の波形から基本波成分を取り除いたひず