



## 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5回 D-Aコンバータ用スムージング・フィルタと出力レベル調整機能の追加  
ひずみを0.1%から0.01%に改善!

遠坂 俊昭 Toshiaki Enzaka

今回は, Analog Discoveryの出力にLCローパス・フィルタとアッテネータを挿入して, 波形生成機能 Wavegenの全高調波ひずみを改善します。

一般的にファンクション・ジェネレータは発生できる波形の種類や機能が多彩です。オーディオ帯域での全高調波ひずみ(*THD*: Total Harmonic Distortion)は0.2%程度のもが多く, 最新のファンクション・ジェネレータ33500Bシリーズ(キーサイト・テクノロジー)でも0.04%です。

ひずみの要因は内部で発生したデジタル・データをD-Aコンバータでアナログ波形に変換するときの量子化誤差とクロック漏れによる雑音の混入です。オーディオ帯専用の発振器に比べて周波数帯域が広く, その分雑音が多くなり, *THD*を悪化させてしまいます。

Analog DiscoveryはD-Aコンバータが14ビットで高分解能ということもあり, フィルタが入りません。写真1に示すフィルタとアッテネータを追加することにより, 出力電圧100 mV<sub>RMS</sub>, 周波数1 kHz時の*THD*を1/10(約0.01%)に低減できます。

### LCローパス・フィルタの製作

- 雑音は周波数帯域幅の平方根に比例して増加する抵抗から発生する原理的な雑音は熱雑音  $V_N$  と呼ばれます。  $V_N$  は周波数スペクトルが平坦で次式により求められます。

$$V_N = \sqrt{4kTRB} [V_{RMS}]$$

ただし,  $k$ : ボルツマン定数 ( $1.38 \times 10^{-23}$ ) [J/K],  
 $T$ : 絶対温度 [K],  $R$ : 抵抗値 [ $\Omega$ ],  $B$ : 周波数帯域幅 [Hz]

OPアンプなどで発生する雑音も中域では, スペクトルが平坦で周波数の帯域幅の平方根に比例した雑音量になります。

同じ雑音密度(1 Hz当たりの雑音電圧)のOPアンプでも高域遮断周波数10 kHzと1 MHzでは周波数が100倍異なります。したがって10 kHz帯域に比べ1 MHz

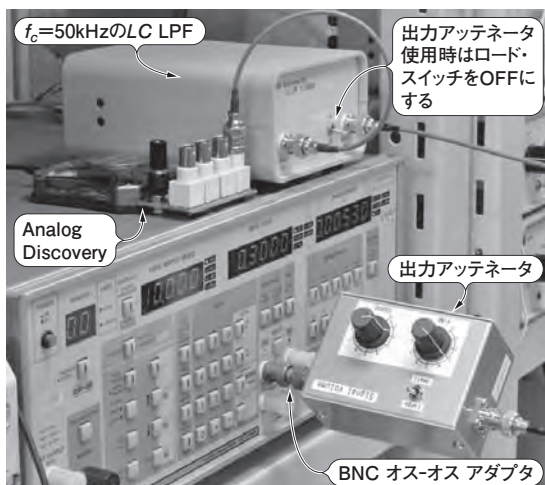


写真1 LCローパス・フィルタと出力アッテネータを製作して Analog Discoveryの波形生成機能 Wavegenのひずみを改善するケーブル容量の影響を少なくするため, 出力アッテネータはひずみ率計またはパワー・アンプの直前に設置する

帯域では, 雑音電圧が10倍増加します。

Analog Discoveryでは前回説明したように波形出力のD-A変換後のOPアンプ増幅器で発生する雑音により, *THD*が悪化します。このため出力にフィルタを挿入して周波数の帯域幅を狭くすれば*THD*を改善できます。

周波数帯域を制限するアナログ・フィルタには, コイルとコンデンサで構成するパッシブ・タイプのLCフィルタとOPアンプを使用したアクティブ・フィルタがあります。ここでは個人レベルで試作できるLCフィルタの設計と製作を行います。

- LCフィルタ用コイルを作る

昔は低周波でもLCフィルタが用いられていました。壺型フェライト・コアなどが販売されていましたが今ではほとんどが製造中止になり, 簡単には入手できません。

フェライト・コアを使用するとコイルの巻き数が少