

BPF とノッチ・フィルタ の設計

川田 章弘 Akihiro Kawata

雑音を除去したり、必要な周波数成分を抽出する作業は、計測に欠かせないアナログ信号処理の基本ですが、これにはフィルタリングの技術が欠かせません。

LPF (Low Pass Filter) と HPF (High Pass Filter) の解説は本誌でもよく見かけますが、BPF とノッチ・フィルタの設計過程を具体的に説明したものは最近あまり見かけません。

本稿では、信号のひずみや雑音特性の計測に欠かせない BPF とノッチ・フィルタを設計し試作をして、その周波数特性を確認しました。実用的な回路に仕上げるためには、高調波ひずみ特性と雑音特性を確認する必要がありますが、これは誌面の都合から別の機会に譲ります。

〈編集部〉

アナログ計測の基本 バンド・パスとノッチ

● 特定の周波数成分について調べたい

BPF は信号を入力すると、特定の帯域の成分だけを通過させるアナログ回路です。

信号源に含まれる単位帯域 (例えば 1 Hz) 当たりの雑音電圧 (雑音電圧密度) を簡易的に測定したり、正弦波信号に含まれる高調波ひずみ成分や広帯域に分布する雑音を

除去したいときに利用されます。

▶ LPF より BPF が良いケース

A-D コンバータの性能を評価する際、信号源の出力を LPF に入力していったん高調波ひずみを除去してから入力することがあります。しかし実際には、LPF より BPF のほうが適しています。信号源には高調波ひずみのほかに $1/f$ 雑音や白色雑音が含まれており、しかも広帯域に分布しています。LPF で除去できるのは白色雑音や分散雑音といった高域成分だけで、低域の $1/f$ 雑音を除去することはできません。

LPF を使用して A-D コンバータの AC 性能を評価すると、低周波雑音のためにデータシートどおりの S/N が得られないこともあります。

● メインの信号以外の成分について調べたい

信号のひずみを測定するときは、基本波を除去して、高調波だけを取り出し、基本波に対する高調波の割合を計算します。高調波ひずみ信号は、基本波信号よりもずっと小さいので、基本波を取り除く必要があるのです。

この基本波を除去するときはノッチ・フィルタを利用します。

*

BPF の機能は、集合写真の中か

ら特定の人物の顔を切り出すトリミング作業に似ています。ノッチ・フィルタの機能は、素敵な人と二人だけで撮った大切な写真から、目障りなものを取り除く作業に似ています。

BPF の設計

■ 試作回路の使い道

● 雑音電圧密度を測定

中心周波数 (f_0) が 1 kHz、通過帯域 (f_{BW}) が 100 Hz のバターワース型 BPF (写真 1) を設計し、試作します。

OP アンプの雑音特性は「雑音電圧密度」と呼ばれる特性で評価できます。これは図 1 のような接続で測定できます。

BPF を使用した雑音電圧密度の測定の原理を図 2 に示します。帯域幅 1 Hz の BPF を使えば、測定

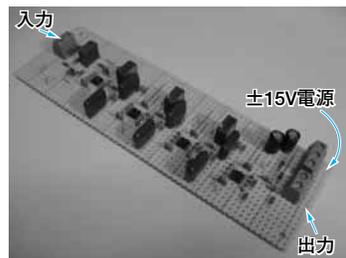


写真 1 試作した BPF
中心周波数 1 kHz、 $Q=10$ 、3 次カスケード型バターワース

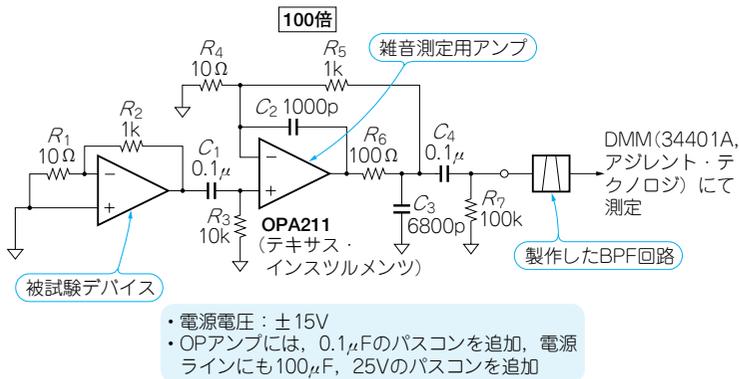


図1 OPアンプの雑音測定に利用できるBPFを設計する

中心周波数1kHz、帯域100HzのBPFを試作して、手持ちのOPアンプの雑音特性を実測してみた。結果は表1を参照

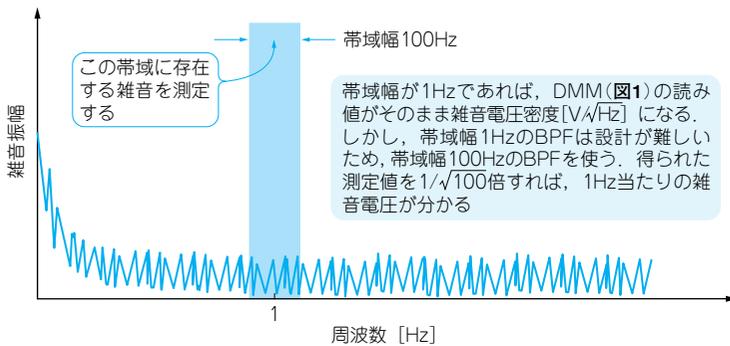


図2 BPFを使った雑音電圧密度の測定原理

値がそのまま雑音電圧密度になります。しかし後述のように、中心周波数1kHzで帯域幅1HzのBPFのQは1000になります。このようなQの高いBPFをOPアンプを使って製作することは困難です。そこで、**帯域幅100HzのBPFを使い、測定値を1/10倍す**

ることで雑音電圧密度値を求めます。

図1では、BPF自体に100倍のゲインを持たせたほか、被測定デバイス(OPアンプ)自体にも100倍、その後段にも100倍のアンプを追加しました。

図3に示すのは、OPA211を使用した100倍アンプのゲイン-周波数特性です。-3dB低域シャ断周波数は162Hzで、-3dB高域

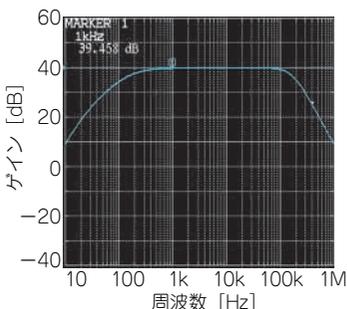


図3 OPアンプの雑音特性を100倍のゲインを持たせてから測る

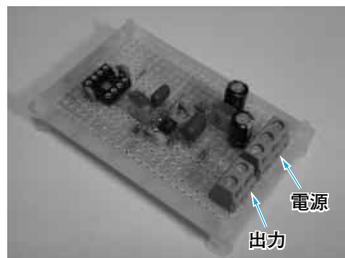


写真2 雑音測定用のプリアンプ

シャ断周波数は166kHzでした。低域シャ断周波数はC₁とC₄で制限されているので、これらのコンデンサの値を大きくすれば低域シャ断周波数を下げることができます。測定は、被測定デバイスの出力端(C₁の手前)からC₄とR₇の接続点(100倍アンプの出力端)で行っています。

測定系全体のゲインは1000000倍です。そのため、被測定デバイスの入力換算雑音電圧密度(ゲイン1倍のときの1Hz当たりの雑音電圧)を算出するときは、BPFの出力電圧を1/10000000(=1/1000000×1/10)倍します。

具体的には、図1のBPFの出力電圧をデジタル・マルチ・メータ(DMM)で測定し、その値を手計算で1/10000000倍すれば、ゲイン1倍のときの1Hz帯域の入力換算雑音電圧密度が分かります。

● 試作したBPFでOPアンプの雑音電圧密度を測定

図1を使って手元にあるOPアンプの1kHzにおける入力換算雑音電圧密度を測定してみました。

製作した図1のアンプ回路を写真2に、アンプとBPFを組み合わせたようすを写真3に示します。

各OPアンプの1kHzにおける入力換算雑音電圧密度の測定結果を表1に示します。測定値は、各OPアンプのデータシートに記載されている値とほぼ同じでした。

■ コモンセンス

● お決まりの表を参照しながら計算を進める

フィルタの周波数特性は、多くのフィルタ関係の文献にある表の値を参考にしながら計算を進めていくと、ほぼ確実に狙い通りに設計できます。表2に示すのは、カ