



## 第1章 高域で減衰する フィルタ回路を作るために

# チャレンジ！ ロー・パス・フィルタの設計

川田 章弘  
Akihiro Kawata

### ロー・パス・フィルタが設計できれば フィルタの8割は問題ない

A-Dコンバータ(ADC)の前段や、D-Aコンバータ(DAC)の後段に追加するフィルタ(アンチエイリアシング・フィルタや、スムージング・フィルタ)には、多くの場合、ロー・パス・フィルタ(LPF)が使用されます。

現実には、LPFではなく、バンド・パス・フィルタ(BPF)が使用されることもあります。しかし、**8割はLPFだと思ってもらってよいでしょう**。従って、**LPFが設計できれば、低周波アナログ回路で要求されるフィルタ回路の8割は設計できる**と思います。

また、実際に使われているOPアンプを使ったLPFの8割は、これから説明する**VCVS型や多重帰還型**と呼ばれる回路で実現されています。

つまり、本特集で説明するフィルタ回路の設計手順をマスターすれば、みなさんが必要とする**アクティブ・フィルタ回路の6割は設計できる**ことになります。

アナログ回路入門者であれば、世の中で必要なアクティブ・フィルタ回路の6割が設計できれば十分でしょう。もし、みなさんが、さらに高度なフィルタ回路設計を要求される立場(つまり、電子回路設計のプロ)になった暁には、特集最後の参考文献(p.142)などでさらに知識を深めてください。

特に、本特集では取り扱わないOPアンプを使用したフィルタ回路として有名なのは、周波数依存負性抵抗(FDNR: Frequency Dependent Negative Resistance)回路を使用したLCシミュレーション型アクティブ・フィルタがあります。

FDNR型アクティブ・フィルタ回路は、高次のフィルタを精度良く容易に構成できるたいへん有用なアーキテクチャです。このフィルタ回路の設計方法については、必要に応じて、参考文献(1)(p.142)などを参照してください。

### フィルタの種類

#### ● フィルタとは必要な信号だけを取り出すもの

電子回路で言う**フィルタ(filter)**とは、ノイズなどのいろいろな成分が混ざった信号の中から「必要な信号」だけを取り出すための機能ブロックのことです。

ノイズ成分を含む信号の中から必要な信号だけを取り出す技術にはいろいろなものがあります。具体例を挙げると、自己相関関数を利用してノイズ成分を除去する方法や、ロックイン・アンプに使われているような同期検波によって必要な信号成分を検出する方法などです。

しかし、もっとも古典的な技術は、必要な信号と不必要な信号(ノイズ)を周波数軸上で分けて考え、**信号が含まれている周波数帯域の成分だけを取り出す**という方法でしょう。

そのようなわけで一般に、アナログ回路の分野でフィルタ回路と呼ばれるものは、広い周波数帯域の中からある特定の周波数成分だけを通過させることのできる回路のことを言います。ただし例外的に、振幅を変化させず位相だけを変化させるオール・パス・フィルタ(APF)というフィルタもあります。

#### ● 信号の周波数帯によって実現方法が変わる

周波数を選択するフィルタには、いくつかの実現方法があります。大きく分けると次の三つになります。

##### ▶ 集中定数型フィルタ

代表例は、コイルやコンデンサを使ったLCフィルタや、抵抗やコンデンサを使ったRCフィルタなどです。機械的な振動を利用したものも含めると、AMラジオやFMラジオなどの中間周波数フィルタによく使われているセラミック・フィルタや、通信機器に使われているクリスタル・フィルタなどもあります。

集中定数型フィルタは**数十kHzの低周波から数百MHzの高周波まで**幅広く使われています。

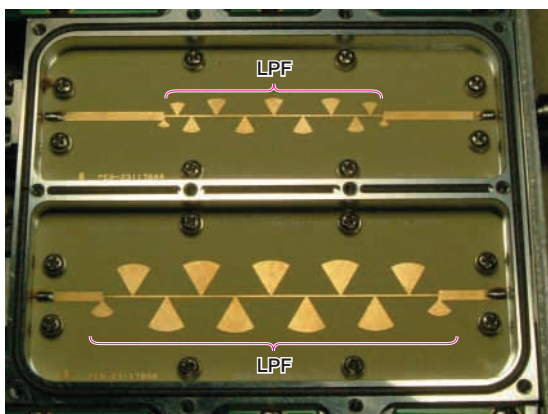


写真1<sup>(5)</sup> 分布定数型フィルタの例  
上: 6 GHz LPF, 下: 3 GHz LPF

### ▶ 分布定数型フィルタ

代表例はマイクロストリップ線路を利用したものでしょう。本誌の読者のなかには、もしかするとなじみのないフィルタだと感じる人がいるかもしれませんが、写真1にマイクロ波フィルタの例を示しておきました。パターンが細くなっているところがコイルの働きをしていて、扇形のところ（ラジアル・スタブと言う）がコンデンサや直列共振回路の働きをするようになっていきます。

このようなフィルタが使われるのは数GHz以上の周波数帯域です。数GHzの周波数帯で使われるフィルタには、このほかにも表面弾性波を利用したSAW (Surface Acoustic Wave) フィルタや誘電体共振器を使った誘電体フィルタ、そしてYIG (Yttrium Iron Garnet) フィルタなどがあります。

ちなみに、低位相雑音特性が必要な高性能スペクトラム・アナライザの局部発振器には、このYIGを使用したYTO (YIG Tuned Oscillator) が使用されています。

### ▶ アクティブ・フィルタ

アクティブ・フィルタの代表例は、OPアンプやトランジスタを使ったものでしょう。使用される周波数帯域は、直流～数MHzです。

## フィルタ回路を設計するための基礎知識

ここで、アナログ回路の知識がない人（または忘れた人）のために、フィルタ回路を設計するにあたっての最低限必要な知識をごく簡単に復習しておきます。

アナログ回路屋でもないのに、アナログ・フィルタ回路が必要になったら…とても困ると思います。もし、周りにアナログ回路屋がいればしめたものです。頼めば設計してくれるかもしれません。

さて、下記の問題は、私が社会人2年生のときに作

成したフィルタ回路に関する新入社員研修用の問題の一つです。

問：自分が配属された部署で、同期のA君に「ちょっと、10 kHzのロー・パス・フィルタを作ってくれないか?」と頼まれました。あなたは、このA君からの情報だけで、設計することができるかどうか考えてみてください。また、あなたなら、他人にフィルタの設計を依頼するとき、最低限どういった情報（仕様）を伝えるか答えてください。

### ● 周波数特性を表現しよう

すぐに回答できた人は、以降の説明は不要でしょう。分からなかった人は、まず、図1を見てください。

ロー・パス・フィルタ (LPF)、ハイ・パス・フィルタ (HPF)、バンド・パス・フィルタ (BPF)、そしてバンド・エリミネーション・フィルタ (BEF) の周波数特性が示されています。

さらに図を詳しく見ると、 $f_c$ 、 $A_c$ 、 $f_s$ 、 $A_s$ といったパラメータが記入されていることに気が付くと思います。この、通過域のコーナ周波数 $f_c$ とその点でのゲイン $A_c$ 、そして阻止域のエッジ周波数 $f_s$ とその点でのゲイン（減衰量） $A_s$ というのが、フィルタ仕様を伝えるうえでの最低限の情報になります。

フィルタの仕様を伝えるときは、まず最初に図1のような特性図を描いて、フィルタに必要な周波数特性を大まかに伝えるようにします。

### ● 通過させる信号の素性

図1の周波数特性を伝えることは、まず第一にやらなくてはならないことですが、それ以外にも伝えることがあります。それは、フィルタを通過させる信号の素性です。

例えば、パルス信号など、時間軸で観測したときの波形そのものが重要な場合はそのことを伝えなくてはなりません。正弦波信号の高調波ひずみの除去がメインならそう伝えます。

もし、デジタル変調のかかった広帯域信号を通過させるなら、その変調方式や変調帯域幅、そして必要なEVM (Error Vector Magnitude) を伝えておくといいでしょう。群遅延特性の仕様まで伝えることができれば最適です。

### ● 入出力インピーダンスも伝えよう

要求される仕様によっては、LCフィルタで実現しなければならぬ可能性もあります。従って、入出力インピーダンスの仕様も必要になります。もし、LCフィルタを使ってもよいけれど、入力が高インピーダンスで出力は低インピーダンスでなければ困るというのなら、フィルタの入出力にバッファ・アンプを入れ