



16 アクティブ・フィルタの基本動作と周波数特性

馬場 清太郎

Seitaro Baba

● はじめに

入力信号のなかから、必要な周波数成分を取り出すフィルタリングは、増幅と並んでアナログ信号処理の基本の一つです。

フィルタリング処理を実現するフィルタ回路には、OPアンプなどの能動(アクティブ)素子を使ったアクティブ・フィルタとインダクタやコンデンサなどの受動部品で構成したパッシブ・フィルタがあります。

今月と来月は、OPアンプを使った各種のアクティブ・フィルタの動作や周波数特性を理解し、希望の仕様のフィルタを設計する方法を紹介します。今月は、

- なぜ、パッシブ・フィルタでなくアクティブ・フィルタを取り上げるのか？
- フィルタ設計時にさけては通れない「伝達関数と周波数特性との関係」を理解する

という二つのテーマに絞って解説します。

フィルタの解説はどうしても数式が多くなりがちになります。ここでもいくつか数式を示しました。しかし、嫌いだからといって敬遠せずに、伝達関数を使って周波数特性を描いて、いろんなフィルタの特徴を理解してください。この手法は、フィルタだけでなく、負帰還回路の設計にも必ず役に立ちます。

なお最近、アクティブ・フィルタというと「高調波電流規制(IEC61000-3-2)」から電力用のアクティブ・フィルタを思い浮かべる人も多くなりましたが、ここで取り上げるのは信号用のアクティブ・フィルタです。

なぜアクティブ・フィルタか？

■ 小型、軽量、高性能と 3拍子そろっている

● パッシブ・フィルタの泣き所であるインダクタを 抵抗と能動素子で実現

希望の周波数特性をもつフィルタを設計するときは、パッシブ・フィルタの場合もアクティブ・フィルタの

場合も、まず入力信号と出力信号の関係を表す関数を求めます。この関数を伝達関数と呼びます。

次に、この伝達関数が見す周波数特性を実際の回路で実現します。以前は、能動素子の性能が良くなかったので、インダクタとコンデンサによるパッシブ・フィルタがよく使われていました。

しかし特に低周波において、

- インダクタの形状や重量が大きくなる
- インダクタの入手性が悪い
- インダクタが磁束をまき散らす
- インダクタのインダクタンスが磁束密度で変動する

など、インダクタに関わる種々の問題に直面します。

アクティブ・フィルタは、抵抗と能動素子でこのインダクタを置き換えた、軽くてコンパクトで高性能なフィルタです。もちろん、アクティブ・フィルタも良いことばかりではなく、次のような欠点があります。

- 直流電源がないと能動素子が動作しない
- 抵抗が熱雑音を発生する
- OPアンプなどの能動素子は高周波の特性が良くない
- 正帰還で高いQを実現しているため、高精度なコンデンサおよび抵抗と高性能なアンプを使用しないと発振することがある
- 正帰還は負帰還と逆に回路の雑音が増大する

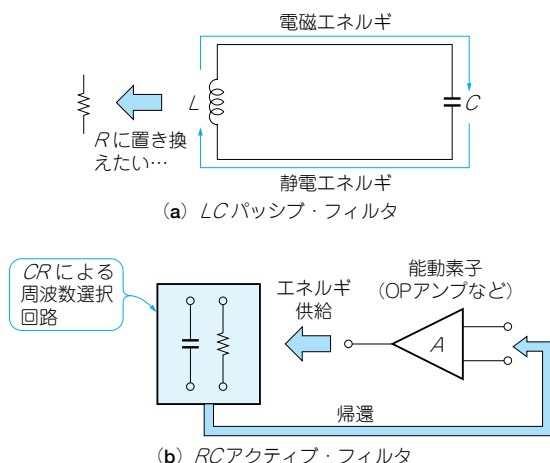
高周波では、受動素子が小型になることと、能動素子の特性が劣化することから、ほとんどがパッシブ・フィルタ⁽¹⁾です。つまり、仕様に合わせてアクティブ・フィルタとパッシブ・フィルタを選択する必要があります。

パッシブ・フィルタをアクティブ・ フィルタに置き換える実験

● パッシブ・フィルタとアクティブ・フィルタの動作イメージ

図16-1(a)に示すように、パッシブ・フィルタの基本であるLC共振回路は、Cに蓄積される静電エネ

〈図16-1〉パッシブ・フィルタとアクティブ・フィルタの動作イメージ



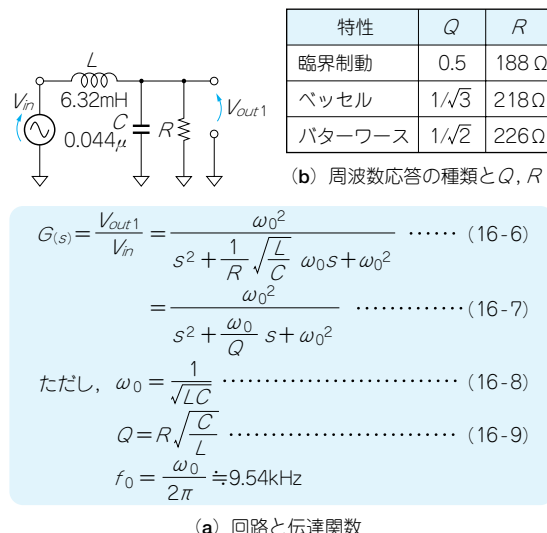
ルギとLに蓄積される電磁エネルギーが半サイクルごとに相互に行き来します。

回路の損失は、LとCに寄生するわずかな抵抗分によって生じるので、図16-2からわかるように高いQ、つまり選択度が得られます。

ここで、パッシブ・フィルタの弱点であるLをRに置換することを考えてみます。すると、半サイクルの間にCに蓄積されたエネルギーは、次の半サイクルでその1/2がRで消費されてしまい、0.5以上のQが得られません。

そこで、図16-1(b)に示すように、能動素子によってRの損失を補って高いQを実現します。これがアクティブ・フィルタの動作原理です。

〈図16-3〉LCのパッシブ・フィルタ…Lを抵抗と能動素子に置き換えるには？

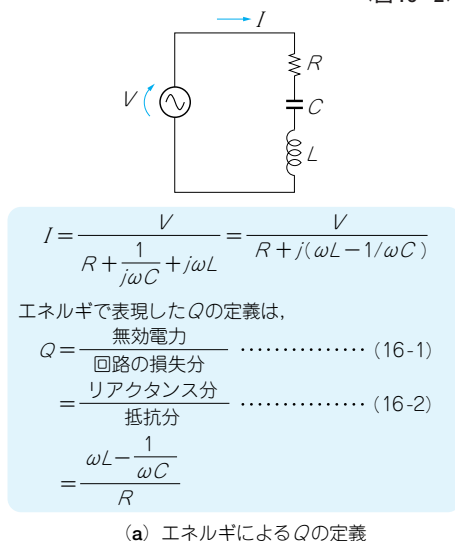


● LCのパッシブLPFを2段のRC1次遅れ回路＋正帰還で実現する

図16-3に示すのは、インダクタ、コンデンサ、抵抗を使った簡単なLCのパッシブ・フィルタです。LC直列共振回路に損失(R)を付加しており、Rが小さいほど損失が増加してQが低下します。

式(16-7)は連載第12回の式(12-9)と同じ形ですから、この回路は、直流と低域を通過させ、高域を阻止するフィルタということがわかります。この特性をもつフィルタを低域通過フィルタまたはLPF(Low Pass Filter)といいます。

〈図16-2〉選択度Qの定義



選択度によるQの定義は、

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f} = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \dots (16-3)$$

ただし、

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots (16-4)$$

$$= \frac{\omega_0}{2\pi} \dots (16-5)$$

式(16-3)のQと式(16-1)のQは等しい

