



17 LPF と HPF の設計

馬場 清太郎
Seitaro Baba

はじめに

前回説明したように、すべてのフィルタの基本形は LPF であり、ほかのフィルタは LPF を基準に変数を変換するだけで設計できます。そこで、今回は LPF の設計法を詳しく説明します。

フィルタを設計するには、要求仕様からフィルタの周波数特性を決定し、その特性を満足する伝達関数を求めます。続いて、入出力特性がその伝達関数と一致する回路を作り、特性を実測して確認すれば設計は終了します。

というと、何か難しそうな感じがしますが、実際にはこんな面倒なことはせず、フィルタ関係の文献に載っている定数表などを参照します。すでに伝達関数が求められている数種類のフィルタ特性があり、この伝達関数を元に、すでに定数を算出した表(正規化されたもの)が作られています。この表から定数を引用して簡単な変換操作を施すだけです。

今回は、この簡単で実用的な設計手法を紹介しましょう。

実際に使用する部品は理想的でないで、理想状態からのずれが、フィルタ特性に与える影響を見積もる

必要があります。以前はこれらの計算も面倒でしたが、現在では電子回路用のシミュレーション・ツールで簡単に行えます。

LPF の設計手順

■ 手順その①～周波数特性を選ぶ～

● とりあえずバターワース特性

入力信号のなかから必要な周波数の信号を取り出し、不要な周波数の信号(ノイズ)をしゃ断するには、

- ①通過域が平坦で誤差が少ない
- ②減衰域のしゃ断特性が急峻で減衰量大きい
- ③信号波形のひずみが少ない

というフィルタを作ればよいわけです。しかし、全部を満足させようとすると、高次のフィルタが必要になり部品点数が増えます。

まず、図 17-1 に示すように、LPF の周波数特性を三つのブロックに分けます。どの領域が一番重要なかを決め、これだけは譲れないという必要最小限の特性を選びます。

よく使用される周波数特性には以下の 4 種類あり、その正規化テーブルは多くの書物に掲載されています。

- ①バターワース特性
- ②ベッセル特性
- ③チェビシェフ特性
- ④連立チェビシェフ特性

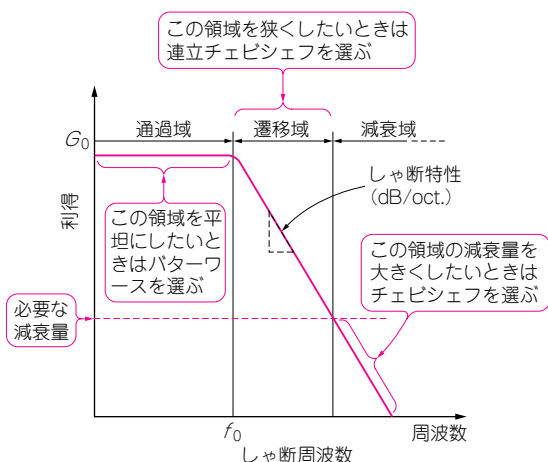
図 17-2 に、各周波数特性の利得と遅延特性の特徴を示します。どの部分の特性を重視したらよいかわからないときは、まずバターワース特性を選択するのが、フィルタ設計の定石です。問題があったらほかの特性に変更します。

▶ バターワース特性

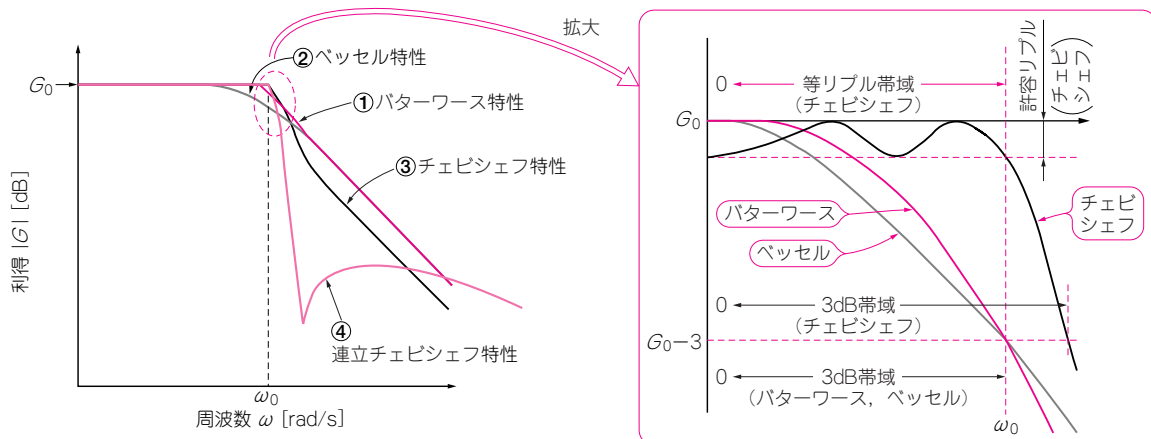
最大振幅平坦型とも呼びます。

通過域の平坦性を重視する場合に選択します。減衰域のしゃ断特性はあまり良くなく、伝送波形も少しひずみます。図 17-2(a) に示すように、利得周波数

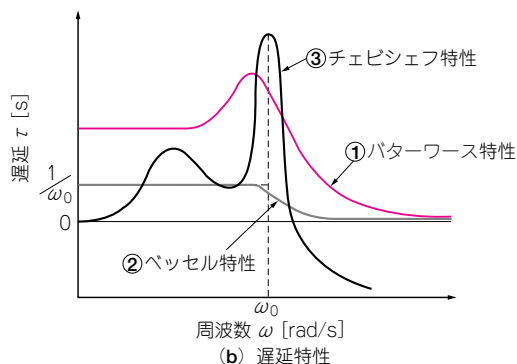
〈図 17-1〉 LPF の周波数特性は三つのブロックに分けて考える



〈図17-2〉LPFの四つの周波数特性



(a) 利得特性



(b) 遅延特性

特性に盛り上がりがなく最もフラットな特性を示します。2次LPFでは、 $Q = 1/\sqrt{2}$ です。

n 次LPFの利得周波数特性は、

$$|G| = G_0 / \sqrt{1 + (\omega/\omega_0)^{2n}}$$

で表されます。上式からわかるように、 $\omega = \omega_0$ のときの利得は約-3dB($=1/\sqrt{2}$)です。バターワース特性と呼ばれる理由は、バターワース氏(Butterworth)によって理論的にまとめられたからです。

▶ ベッセル特性

最大遅延平たん型とも呼びます。

伝送波形のひずみを重視する場合に選択します。伝送波形のひずみは最小になりますが、通過域の平たん性、減衰域のシャ断特性とも良くありません。利得の通過域、減衰域の特性、減衰傾度ともほかのフィルタに比べて劣っています。

ただし、図17-2(b)に示すように、通過域での遅延特性が平たんです。2次LPFでは、 $Q = 1/\sqrt{3}$ です。ベッセル特性と呼ばれる理由は、伝達関数の分母が、ベッセル関数になっているからです。

▶ チェビシェフ特性

振幅波状特性とも呼びます。減衰域のシャ断特性を重視する場合に選択します。減衰域の利得低下率はバ

ターワースやベッセルに比べて優れています。

図17-2(a)に示すように、通過域の利得特性は波打っていて誤差が多く、平たんではありません。また、伝送波形のひずみも大きくなります。

図17-2(b)の例は4次の特性です。このように、許容リプル・レベルや次数を変えると遅延特性が大幅に変化するので、遅延特性を問題にするような信号には利用できません。

チェビシェフ特性と呼ばれる理由は、伝達関数の分母が、チェビシェフ多項式になっているからです。

▶ 連立チェビシェフ特性

エリプティック(楕円関数)特性とも呼びます。遷移域を最小にしたい場合に選択します。

通過域は波打っていて誤差が多く、平たんではありません。減衰域も波打っていてチェビシェフ特性よりも減衰特性は悪化します。伝送波形のひずみも大きくなります。

減衰域の利得低下率は最も大きく、遷移域は最小になります。エリプティック特性と呼ばれる理由は、楕円関数を応用しているからです。

■ 手順その②～回路方式と定数を決める

● 必要とするシャ断特性から次数を決定する

連立チェビシェフ特性以外を選択する場合は、遷移域のシャ断特性から次数を決定します。

n 次のLPFの場合、シャ断周波数 f_0 から離れた周波数領域でのシャ断特性は $-n \times 6 \text{ dB/oct.}$ になります。次数は必要最小限にとどめます。

● 回路方式を選択する…コスト重視ならサレン・キー型

次数が低い場合は、後述のサレン・キー型が最も安価です。高調波ひずみ率を重視するときは、多重帰還型を使います。高周波ノイズが多い場合は、奇数次サ