



第4章 低域で減衰するフィルタ回路を作るために

バターワース型ハイ・パス・フィルタの設計

川田 章弘
Akihiro Kawata

低域で信号を減衰させたいときに、**ハイ・パス・フィルタ (HPF)**が使用されます。なお、私自身はACカップリング程度のHPFを除き、専用のHPFの必要に迫られたことがありません。

本章では、第1章で設計したLPFと同じ遮断周波数と次数で**バターワース型HPF**の設計過程を確認します。

実験については、LPFの場合と同様に多重帰還型HPFについてだけ行います。

バターワース5次HPFの設計例

● **基本になるVCVS型2次HPFと5次HPFの作り方**
図1にVCVS型の2次HPF回路を示します。LPFと同様、この形が基本になります。1次HPFと2次HPFを組み合わせると、図2のようになります。

● **LPFを設計したときと同じ表が使える**

設計には、第1章のLPFと同じ正規化表を使います。ただし、設計周波数 f_n には、表の値の逆数を使用します。各段の設計過程を示したものを図3に示します。

● **部品の選び方**

受動部品の選び方はLPFと同じです。OPアンプについても、LPFと同様にGB積と各段のQに注目してOPアンプを選びます。必要なGB積を求める式もLPFのときと同じ式が使用できます。ただし、 f_{Cn} を求める式がLPFの場合は、

$$f_{Cn} = f_n \times f_0$$

ただし、 f_n は表から読み取ったスケーリング係数、

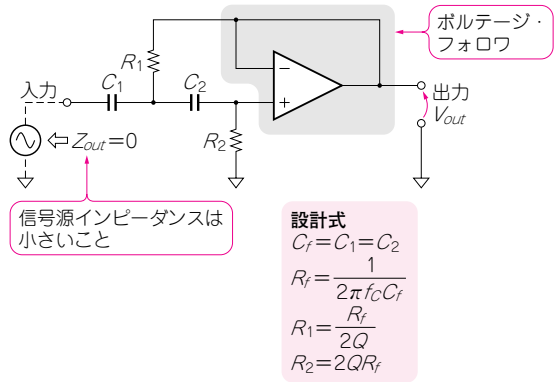


図1 高次のフィルタを作る場合でも基本となる2次のVCVS型HPF

信号源インピーダンスが小さいことが条件になる

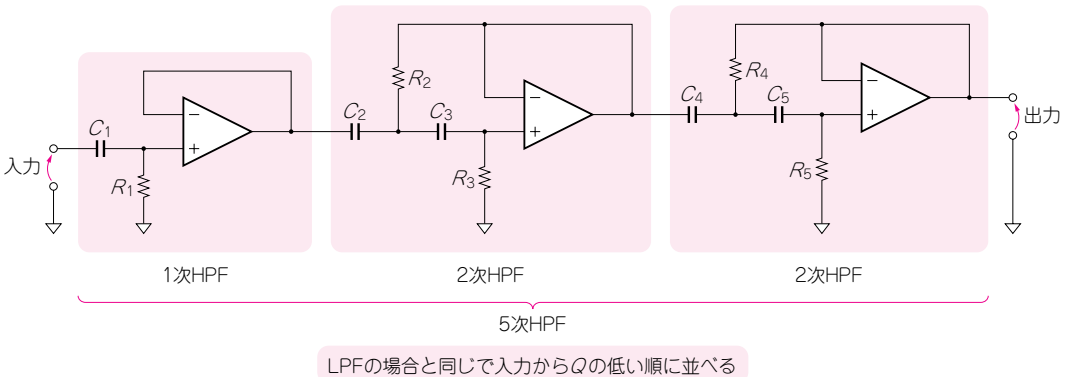
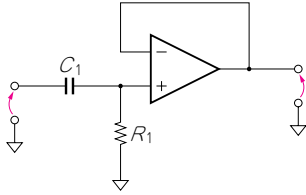


図2 5次HPFを設計してみよう
5次のフィルタは1次と2次の組み合わせに分解できる

表1から

$$f_1 : \frac{1}{1.0}, Q_1 : 0.5$$

である。従ってRC 1次HPFを設計する。



上記の回路のシャ断周波数 f_c は

$$f_c = \frac{1}{2\pi C_1 R_1}$$

となる。

■ ステップ1: R_1 を決める

LPFでの考察と同様に入力インピーダンスを考慮して決める。

ここでは、
 $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$
に仮決定する。

■ ステップ2: C_1 を決める

$$C_1 = \frac{1}{2\pi f_c R_1}$$

を計算する。

ここで、5次HPFの設計周波数 f_0 は、20 kHzなので

$$\begin{aligned} f_c &= f_1 f_0 \\ &= \frac{1}{1.0} \times 20 \times 10^3 \\ &= 20 \text{ kHz} \end{aligned}$$

よって、

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{1}{2\pi \times 20 \times 10^3 \times 10 \times 10^3} \\ &= 796 \text{ pF} \end{aligned}$$

E12系列で丸めて、

$$C_1 = 820 \text{ pF}$$

とする。

■ ステップ3: R_1 を再計算する

ここで R_1 の値を再計算する。

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{1}{2\pi f_c C_1} \\ &= \frac{1}{2\pi \times 20 \times 10^3 \times 820 \times 10^{-12}} \\ &= 9.7 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

E24系列で丸めて

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

とする (仮決定した値と同じ)。

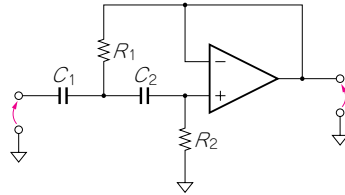
(a) 1段目の設計

表1から

$$f_2 : \frac{1}{1.0}, Q_2 : 0.618034$$

である。

ここで、下記の2次HPFの定数を決める。



設計式

$$C_f = C_1 = C_2$$

$$R_f = \frac{1}{2\pi f_c C_f}$$

$$R_1 = \frac{R_f}{2Q}$$

$$R_2 = 2QR_f$$

■ ステップ1: C_f を決める

$R_f = 10 \text{ k}\Omega$ とすると

$$C_f = \frac{1}{2\pi f_c R_f}$$

から、 $C_f = 820 \text{ pF}$ となるので

$$C_f = C_1 = C_2 = 820 \text{ pF}$$

に仮決定する。

■ ステップ2: R_1, R_2 を決める

$$R_f = \frac{1}{2\pi f_c C_f}$$

ここで、**表1の f_2 の逆数**

$$f_c = \frac{1}{1.0} \times 20 \times 10^3 = 20 \text{ kHz}$$

とすると、

$$\begin{aligned} R_f &= \frac{1}{2\pi \times 20 \times 10^3 \times 820 \times 10^{-12}} \\ &= 9.7 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

よって

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_f}{2Q} \\ &= \frac{9.7 \times 10^3}{2 \times 0.618034} = 7.85 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

E24系列で丸めて、

$$R_1 = 7.5 \text{ k}\Omega$$

とする。

ここで、 R_f を再計算すると、

$$\begin{aligned} R_f &= 2QR_f \\ &= 2 \times 0.618034 \times 7.5 \times 10^3 \\ &= 9.27 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

この R_f で R_2 を計算すると、

$$\begin{aligned} R_2 &= 2QR_f \\ &= 2 \times 0.618034 \times 9.27 \times 10^3 \\ &= 11.5 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

E24系列で丸めて

$$R_2 = 11 \text{ k}\Omega$$

とする。

※LPFと異なり、 C_1, C_2 の再計算は行わない。この理由は、抵抗と比較してコンデンサの容量は種類が少ないためである。誤差が大きくなりそうときは、抵抗値を調整する。

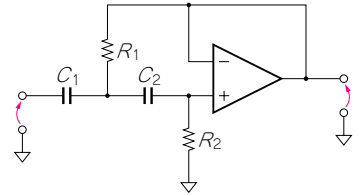
(b) 2段目の設計

表1から

$$f_3 : \frac{1}{1.0}, Q_3 : 1.618034$$

である。

ここで、(b)と同様に下記の2次HPFの定数を決める。



設計式

$$C_f = C_1 = C_2$$

$$R_f = \frac{1}{2\pi f_c C_f}$$

$$R_1 = \frac{R_f}{2Q}$$

$$R_2 = 2QR_f$$

■ ステップ1: C_f を決める

R_1, R_2 が小さすぎたり大きすぎたりしないように決める。具体的には数k~数十kΩ程度となるように決める。

ここで (b)での R_1, R_2 の値が妥当であることから、次式により C_f を決める。

$$\begin{aligned} C_f &= \frac{Q_3}{Q_2} \cdot C_{f2} \\ &= \frac{1.618034}{0.618034} \times 820 \times 10^{-12} \\ &= 2.15 \text{ nF} \end{aligned}$$

従って

$$C_f = C_1 = C_2 = 2200 \text{ pF}$$

とする。

■ ステップ2: R_1, R_2 を決める

$$R_f = \frac{1}{2\pi f_c C_f}$$

ここで、**表1の f_3 の逆数**

$$\begin{aligned} f_c &= \frac{1}{1.0} \times 20 \times 10^3 \\ &= 20 \text{ kHz} \end{aligned}$$

とすると、

$$\begin{aligned} R_f &= \frac{1}{2\pi \times 20 \times 10^3 \times 2.2 \times 10^{-9}} \\ &= 3.62 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

よって

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_f}{2Q} \\ &= \frac{3.62 \times 10^3}{2 \times 1.618034} \\ &= 1.12 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

E24系列で丸めて、

$$R_1 = 1.1 \text{ k}\Omega$$

とする。

丸め誤差は小さいので、そのまま R_2 を計算すると、

$$\begin{aligned} R_2 &= 2QR_f \\ &= 2 \times 1.618034 \times 3.62 \times 10^3 \\ &= 11.7 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

E24系列で丸めて、

$$R_2 = 12 \text{ k}\Omega$$

とする。

(c) 3段目の設計

図3 VCVS型5次HPFの設計手順 (表1は第1章の表1を指す)