



第3章 遮断特性の急峻な フィルタ回路を作るために

チェビシェフ型 ロー・パス・フィルタの設計

川田 章弘
Akihiro Kawata

● 急峻なフィルタが必要なら最初にチェビシェフ型を検討する

チェビシェフLPFは、アクティブLPFとして簡単に実現できる減衰傾度の急峻なフィルタです。

フィルタ回路のゲインが減衰する傾き(減衰傾度)が急峻なフィルタが必要になった場合は、まずチェビシェフ型を検討しましょう。なぜなら、このLPFは、表1を使うことで、今までのLPFと同じように簡単に設計できるからです。

エリプティック(連立チェビシェフ)型LPFも減衰傾度が急峻なフィルタとして使われます。しかし、エリプティックLPFをOPアンプで構成しようとすると回路規模が大きくなりがちです。そのため、私はコイルとコンデンサを使用したLC構成のエリプティックLPFしか設計したことがありません。そこで、本特集ではエリプティックLPFの設計方法については割愛します。もし設計しなければならない場合は、特集最後の参考文献(3)などに付属の設計ソフトウェアを

使用すると便利です。

ここで、エリプティック型が説明されていないことで不安に感じる方もいるかもしれません。しかし、安心してください。ほとんどの場合、チェビシェフLPFで十分です。まれに、通過帯域と減衰域の周波数がとても近く、減衰量も十分に確保したい場合にエリプティック型が必要になる程度です。

ところで、チェビシェフ型は、通過帯域内リップルの大きさによって f_n と Q_n が変化します。表に無い通過帯域内リップルのフィルタを設計するには、すでに紹介した設計ツールFilterProや、特集最後の参考文献(3)に付属のソフトウェアなどを使用すると良いでしょう。

チェビシェフ5次LPFの設計例

● 仕様を決める

設計するフィルタの仕様は以下のとおりとします。

- 通過帯域：DC ~ 22 kHz

表1⁽¹⁾ チェビシェフLPFの正規化表

ここに挙げたのは2例だけだが、フィルタの専門書には許容リップルの異なる多数の表が掲載されている

次数	f_n	Q_n
4次	f_1 0.78926	Q_1 0.61880
	f_2 1.15327	Q_2 2.18293
5次	f_1 0.53891	Q_1 0.5
	f_2 0.79745	Q_2 0.91452
	f_3 1.09313	Q_3 3.28201
6次	f_1 0.51319	Q_1 0.59946
	f_2 0.83449	Q_2 1.33157
	f_3 1.06273	Q_3 4.63290
7次	f_1 0.37678	Q_1 0.5
	f_2 0.57464	Q_2 0.84640
	f_3 0.86788	Q_3 1.84721
	f_4 1.04520	Q_4 6.23324
8次	f_1 0.38159	Q_1 0.59318
	f_2 0.64514	Q_2 1.18296
	f_3 0.89381	Q_3 2.45282
	f_4 1.03416	Q_4 8.08190

(a) リプル0.1 dB

次数	f_n	Q_n
4次	f_1 0.59700	Q_1 0.70511
	f_2 1.03127	Q_2 2.94055
5次	f_1 0.36232	Q_1 0.5
	f_2 0.69048	Q_2 1.17781
	f_3 1.01773	Q_3 4.54496
6次	f_1 0.39623	Q_1 0.68364
	f_2 0.76812	Q_2 1.81038
	f_3 1.01145	Q_3 6.51285
7次	f_1 0.25617	Q_1 0.5
	f_2 0.50386	Q_2 1.09155
	f_3 0.82273	Q_3 2.57555
	f_4 1.00802	Q_4 8.84180
8次	f_1 0.29674	Q_1 0.67657
	f_2 0.59887	Q_2 1.61068
	f_3 0.86101	Q_3 3.46567
	f_4 1.00595	Q_4 11.5308

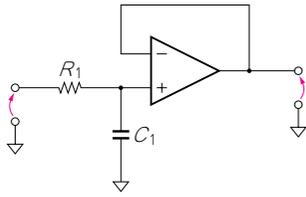
(b) リプル0.5 dB

表1から

$$f_1 = 0.53891, Q_1 = 0.5$$

である。

$Q = 0.5$ なので、RC1次LPFを設計する。



設計式

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

■ ステップ1: R_1 を決める
10 kΩに仮決定する。

■ ステップ2: C_1 を決める

$$f_c = f_n f_0 \\ \approx 0.53891 \times 22 \times 10^3 \\ \approx 11.9 \text{ kHz}$$

従って、

$$C_1 \approx \frac{1}{2\pi \times 11.9 \times 10^3 \times 10 \times 10^3} \\ \approx 1.34 \text{ nF}$$

E12系列で丸めて、

$$C_1 = 1200 \text{ pF}$$

とする。

■ ステップ3: R_1 を再計算する

$$R_1 = \frac{1}{2\pi f_c C_1} \\ \approx \frac{1}{2\pi \times 11.9 \times 10^3 \times 1.2 \times 10^{-9}} \\ \approx 11.1 \text{ k}\Omega$$

E24系列で丸めて、

$$R_1 = 11 \text{ k}\Omega$$

とする。

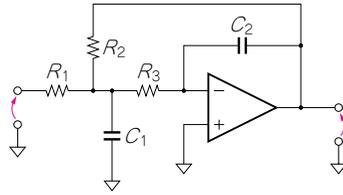
(a) 1段目の設計

表1から

$$f_2 = 0.79745, Q_2 = 0.91452$$

である。

ここで、下記の2次LPFの定数を決める。



設計式

$$R_f = R_1 = R_2 = R_3$$

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

$$C_1 = 3QC_f$$

$$C_2 = \frac{C_f}{3Q}$$

■ ステップ1: $R_f = R_1 = R_2 = R_3$ を決める
10 kΩに仮決定する。

■ ステップ2: C_1, C_2 を決める

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

ここで

$$f_c \approx 0.79745 \times 22 \times 10^3 \\ \approx 17.5 \text{ kHz}$$

とすると、

$$C_f \approx \frac{1}{2\pi \times 17.5 \times 10^3 \times 10 \times 10^3} \\ \approx 909 \text{ pF}$$

よって

$$C_1 = 3QC_f \\ \approx 3 \times 0.91452 \times 909 \times 10^{-12} \\ \approx 2.49 \text{ nF}$$

E12系列で丸めて、

$$C_1 = 2700 \text{ pF}$$

とする。ここで C_f を再計算すると、

$$C_f = \frac{C_1}{3Q} \\ \approx \frac{2.7 \times 10^{-9}}{3 \times 0.91452} \approx 984 \text{ pF}$$

この C_f で C_2 を計算すると、

$$C_2 = \frac{C_f}{3Q} \\ \approx \frac{984 \times 10^{-12}}{3 \times 0.91452} \approx 359 \text{ pF}$$

E12系列で丸めて、

$$C_2 = 330 \text{ pF}$$

とする。

■ ステップ3: $R_f = R_1 = R_2 = R_3$ を再計算する

$$C_f = \sqrt{C_1 C_2} \\ \approx \sqrt{2.7 \times 10^{-9} \times 330 \times 10^{-12}} \\ \approx 944 \text{ pF}$$

この C_f により R_f を計算すると

$$R_f = \frac{1}{2\pi f_c C_f} \\ \approx \frac{1}{2\pi \times 17.5 \times 10^3 \times 944 \times 10^{-12}} \\ \approx 9.63 \text{ k}\Omega$$

E24系列で丸めて、

$$R_f = R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

とする(仮決定した値と同じ)。

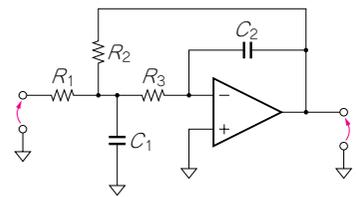
(b) 2段目の設計

表1から

$$f_3 = 1.09313, Q_3 = 3.28201$$

である。

ここで、(b)と同様に下記の2次LPFの定数を決める。



設計式

$$R_f = R_1 = R_2 = R_3$$

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

$$C_1 = 3QC_f$$

$$C_2 = \frac{C_f}{3Q}$$

■ ステップ1: $R_f = R_1 = R_2 = R_3$ を決める
10 kΩに仮決定する。

■ ステップ2: C_1, C_2 を決める

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

ここで

$$f_c \approx 1.09313 \times 22 \times 10^3 \\ \approx 24.0 \text{ kHz}$$

とすると、

$$C_f \approx \frac{1}{2\pi \times 24.0 \times 10^3 \times 10 \times 10^3} \\ \approx 663 \text{ pF}$$

よって

$$C_1 = 3QC_f \\ \approx 3 \times 3.28201 \times 663 \times 10^{-12} \\ \approx 6.52 \text{ nF}$$

E12系列で丸めて、

$$C_1 = 6800 \text{ pF}$$

とする。ここで C_f を再計算すると、

$$C_f = \frac{C_1}{3Q} \\ \approx \frac{6.8 \times 10^{-9}}{3 \times 3.28201} = 691 \text{ pF}$$

この C_f で C_2 を計算すると、

$$C_2 = \frac{C_f}{3Q} \\ \approx \frac{691 \times 10^{-12}}{3 \times 3.28201} \approx 70.2 \text{ pF}$$

E12系列で丸めて、

$$C_2 = 68 \text{ pF}$$

とする。

■ ステップ3: $R_f = R_1 = R_2 = R_3$ を再計算する

$$C_f = \sqrt{C_1 C_2} \\ \approx \sqrt{6.8 \times 10^{-9} \times 68 \times 10^{-12}} \\ = 680 \text{ pF}$$

この C_f で R_f を計算すると、

$$R_f = \frac{1}{2\pi f_c C_f} \\ \approx \frac{1}{2\pi \times 24.0 \times 10^3 \times 680 \times 10^{-12}} \\ \approx 9.75 \text{ k}\Omega$$

E24系列で丸めて、

$$R_f = R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$$

とする(仮決定した値と同じ)。

(c) 3段目の設計

図1 5次チェビシェフLPFの定数設計