

アクティブフィルタ設計ツール  
取扱説明書

Filter.exe Ver1. 16  
(C) K.Kawano

## 目次

1. 概要.....	2
2. 用語と記号.....	2
1) フィルタ回路の種類と伝達関数.....	2
2) 算術記号、関数.....	2
3. 伝達関数の算出.....	3
1) フィルタ形式の選択.....	3
2) 振幅特性の選択.....	3
3) 特性パラメータの入力.....	3
4) 伝達関数の算出.....	4
4. 伝達関数の読み込み.....	4
5. 伝達関数の保存.....	5
6. 伝達関数の編集.....	5
7. SallenKey 回路の設計.....	5
8. Biquad 回路の設計.....	6
9. オプション設定.....	6
1) Biquad 回路.....	6
2) SallenKey 回路.....	7
3) 印刷設定.....	7
10. 伝達関数ファイルの書式.....	7
11. 注意事項.....	8

## 1. 概要

希望するフィルタ特性を指定して伝達関数を求め、次に SallenKey 回路と Biquad 回路で実現するための回路定数を算出します。

フィルタの形式は LPF, HPF, BPF, BEF の 4 種類を選択できます。

BPF と BEF は LPF から周波数変換して算出するので、周波数応答は対数軸上で左右対称となります。遮断特性はワグナー・ワグナー (バターワース)、チェビシェフ・ワグナー (通過域チェビシェフ)、ワグナー・チェビシェフ (阻止域チェビシェフ)、チェビシェフ・チェビシェフ (連立チェビシェフ) の 4 種類から選択できます。

伝達関数は手動で任意の値を入力することも出来ます。

回路の素子値は指定した E 系列値の最も近い値を割り当て結果としての伝達関数を表示出力します。

注意)

結果の伝達関数は理想オペアンプを使用した場合の値を算出しています。

GB 積が有限なオペアンプを使用した場合の応答特性は、アナログ・シミュレーション・ソフト等でご確認ください。

## 2. 用語と記号

### 1) フィルタ回路の種類と伝達関数

LPF: 低域通過フィルタ

$$1 \text{ 次: } T(S) = H \cdot (W_a) / (S + W_a)$$

$$2 \text{ 次: } T(S) = H \cdot (W_o^2) / (S^2 + W_o/Q \cdot S + W_o^2)$$

HPF: 高域通過フィルタ

$$1 \text{ 次: } T(S) = H \cdot (S) / (S + W_a)$$

$$2 \text{ 次: } T(S) = H \cdot (S^2) / (S^2 + W_o/Q \cdot S + W_o^2)$$

BPF: 帯域通過フィルタ

$$2 \text{ 次: } T(S) = H \cdot (W_o/q \cdot S) / (S^2 + W_o/Q \cdot S + W_o^2)$$

TZF: 伝送零点フィルタ

2 次:

$$W_o < W_n: T(S) = H \cdot (W_o/W_n)^2 \cdot (S^2 + W_n^2) / (S^2 + W_o/Q \cdot S + W_o^2)$$

$W_o = 0$  のときに利得が H となります。

$$W_o > W_n: T(S) = H \cdot (S^2 + W_n^2) / (S^2 + W_o/Q \cdot S + W_o^2)$$

$W_o = \infty$  のときに利得が H となります。

APF: 全域通過フィルタ

$$1 \text{ 次: } T(S) = H \cdot (S - W_a) / (S + W_a)$$

$$2 \text{ 次: } T(S) = H \cdot (S^2 - W_o/Q \cdot S + W_o^2) / (S^2 + W_o/Q \cdot S + W_o^2)$$

### 2) 算術記号、関数

+, -, \*, / : 加減乗除記号

^ : べき乗記号 ( $X^2 = X * X$ )

Sqrt : 平方根関数

### 3. 伝達関数の算出

#### 1) フィルタ形式の選択

下記のフィルタ形式のどれか1つを選択してマークします。

LPF : 低域通過フィルタ

HPF : 高域通過フィルタ

BPF : 帯域通過フィルタ

BEF : 帯域阻止フィルタ

#### 2) 振幅特性の選択

下記の振幅特性のどれか1つを選択してマークします (通過域-阻止域)。

W-W : ワグナー・ワグナー特性 (バターワース特性)

T-W : チェビシェフ・ワグナー特性

W-T : ワグナー・チェビシェフ特性

T-T : チェビシェフ・チェビシェフ特性 : 連立チェビシェフ

注) ワグナー特性 : 最平坦特性

チェビシェフ特性 : 波状特性

#### 3) 特性パラメータの入力

数値は補助単位付で入力できます。 例) 120k

p:  $10^{-12}$

u:  $10^{-6}$

m:  $10^{-3}$  小文字であること

k:  $10^3$

M:  $10^6$  大文字であること

G:  $10^9$

T:  $10^{12}$

注) m、M以外は大文字小文字を区別しません。

#### a) LPF, HPFの場合

Ap : 通過域リップルを入力します (dB)。

As : 減衰域の減衰量を入力します (dB)。

Ws : 遮断係数を入力します。

LPFの時 :  $W_s = f_s/f_c$

HPFの時 :  $W_s = f_c/f_s$

$f_c$  と  $f_s$  を指定する場合は入力不要。

$f_c$  : 遮断周波数を入力します (Hz)。

$f_s$  を入力した場合は入力不要。

$f_s$  : 阻止域周波数を入力します (Hz)。

fc を入力した場合は入力不要。

b) B P F, B E F の場合

Ap : 通過域リップルを入力します (dB)。

As : 減衰域の減衰量を入力します (dB)。

Ws : 遮断係数を入力します。

$$\text{B P F の時 : } W_s = (f_{s2}-f_{s1})/(f_{c2}-f_{c1}) = (f_{s2}-f_{s1})/f_b$$

$$\text{B E F の時 : } W_s = (f_{c2}-f_{c1})/(f_{s2}-f_{s1}) = f_b/(f_{s2}-f_{s1})$$

fo、fb (または fc1 と fc2) と fs1 または fs2 を指定した場合は入力不要。

fo : 中心周波数を入力します (Hz)。

fc1 と fc2 を指定した場合は入力不要。

fb : 帯域周波数を入力します (Hz)。

fc1 と fc2 を指定した場合は入力不要。

Ws, fo, fb を指定した場合は以降の項目は入力不要です。

fc1 : 通過域の下側周波数を入力します (Hz)。 \* 1

fc2 : 通過域の上側周波数を入力します (Hz)。 \* 1

fs1 : 阻止域の下側周波数を入力します (Hz)。 \* 2

fs2 : 阻止域の上側周波数を入力します (Hz)。 \* 2

\* 1 : fb の代わりに入力できます (fo 指定時)。

$$f_o = \text{Sqrt}(f_{c1} * f_{c2})$$

\* 2 : Ws の代わりに入力できます (fo, fb 指定時)。

$$f_o = \text{Sqrt}(f_{s1} * f_{s2})$$

注意 :

通常はラベルが青色の項目のみ入力すれば伝達関数を計算できます。

参考 :

$$f_o = \text{Sqrt}(f_{c1} * f_{c2}) = \text{Sqrt}(f_{s1} * f_{s2})$$

$$f_{c1} = f_o^2 / f_{c2} \quad f_{c2} = f_o^2 / f_{c1}$$

$$f_{s1} = f_o^2 / f_{s2} \quad f_{s2} = f_o^2 / f_{s1}$$

#### 4) 伝達関数の算出

「伝達関数計算」 ボタンをクリックすると伝達関数を計算して、結果を下側のメモエリヤに表示します。

伝達関数は最大 30 ステージで 60 次までに制限されます。

#### 4. 伝達関数の読み込み

「ファイル」 → 「伝達関数ファイル読み込み」 であらかじめ保存してある伝達関数データを読み込みます。  
CSV ファイルのドラッグ&ドロップも可能です。

## 5. 伝達関数の保存

「ファイル」→「伝達関数ファイル保存」で現在の伝達関数をファイルに保存します。

## 6. 伝達関数の編集

「ファイル」→「伝達関数の編集」で計算または読み込み済みの伝達関数の修正や、新規作成が可能です。

データ欄のダブルクリックで修正ダイアログが開きます。

## 7. SallenKey 回路の設計

伝達関数を計算するかファイルから読み込む、または手動入力の後「SallenKey」ボタンをクリックすると回路定数を計算します。

最初に伝達関数の指定値、回路定数、結果の伝達関数をテキストで表示します。

上部中央のアップダウンボタンをクリックして個々のステージのデータと回路図を表示し、定数の調整を行うことができます。

素子値を入力した場合は「Enter」キーを入力するか「再計算」ボタンをクリックすると定数を再計算します。

「r、d」の値は伝送零点回路(TZF)の C4, R4 および H に影響します。

$$R4 = 2 * R1 / r$$

$$C4 = C1 * d / 2$$

$$(fo / fn)^2 = (1 + r) / (1 + d)$$

注意：

単一の増幅器を使用する SallenKey 回路では回路のゲインを任意に設定することが出来ません。

このため伝達関数の H パラメータは入力値と無関係になります。

フィルタ全体のゲインや飽和対策、ダイナミックレンジの確保については別途配慮が必要になります。

但し、BPF については指定値通りのゲイン設計が可能です (Hadj チェックボックスで指定)。

### 伝送零点回路(TZF)の注意点

#### 1. Q の下限について

fo と fn の比、および r または d の値によって実現できる Q の下限が定まります。

実現できない Q の場合は、結果の Q 値の末尾に「!」を付加します。

fo と fn の比に対する Q の下限値 (r または d が 1 の時)

fo と fn の比	Q の下限
1. 0 1	0. 9 7
1. 1	0. 8 9 1
1. 2	0. 8 3 3
1. 5	0. 6 6 6
2. 0	0. 4 9 7

4. 0	0. 2 5 0
5. 0	0. 2
1 0. 0	0. 1

r または d に対する Q の下限値 (fo と fn の比が 1.5 の時)

r または d	Q の下限
0. 1	1. 0 4 4
0. 2	0. 9 0 8
0. 5	0. 7 6 6
1. 0	0. 6 6 6
2. 0	0. 5 8 1
5. 0	0. 5 1 4
1 0. 0	0. 4 8 9

注意：

Q の下限値は E 系列値のランク設定等で変化します。

## 2. 素子値の広がりについて

fo と fn の比が大きい場合は素子値の広がりが大きくなり、アンプのゲインも大きな値を必要とします。

広帯域の BPF は LPF と HPF の組み合わせに置き換えるなどの配慮が必要になります。

## 3. 3 次のフィルタへの置換

奇数次の LPF と HPF の場合は初段の 1 次と 2 次を 3 次のフィルタへ置換すればオペアンプを節約できます。

## 8. Biquad 回路の設計

伝達関数を計算するかファイルから読み込む、または手動入力の後「Biquad」ボタンをクリックすると回路定数を計算します。

最初に伝達関数の指定値、回路定数、結果の伝達関数をテキストで表示します。

上部中央のアップダウンボタンをクリックして個々のステージのデータと回路図を表示し、定数の調整を行うことができます。

素子値を入力した場合は「Enter」キーを入力するか「再計算」ボタンをクリックすると定数を再計算します。

## 9. オプション設定

「オプション」→「オプション設定」でオプション設定画面が表示されます。

E 一列値の初期値や素子インピーダンスは設計時に個々のステージ毎に再設定できます。

### 1) Biquad 回路

E 一列値の初期値

抵抗とコンデンサに適用する E 系列の値を設定します。

設計条件

素子インピーダンス

fo に於ける主コンデンサのインピーダンスを指定します。

## 2) SallenKey 回路

E 一列値の初期値

抵抗とコンデンサに適用する E 系列の値を設定します。

設計条件

素子インピーダンス

fo に於ける主コンデンサのインピーダンスを指定します。

T Z F 回路の r、d 初期値

伝送零点回路 (T Z F) の C 4, R 4 および H に影響します。

$$R4 = 2 * R1 / r$$

$$C4 = C1 * d / 2$$

$$(fo / fn)^2 = (1 + r) / (1 + d) \text{ となります。}$$

L P F, H P F の利得を 1 にする

チェックするとオペアンプのゲインを 1 として C1 と C2 の比で Q を定めます。

チェックを外すとゲインで Q を定めます。

Hadj チェックボックス

チェックするとデフォルトで BPF の場合ゲインを指定値に合わせます。

## 3) 印刷設定

左側マージン

印刷用紙の左端のマージンを mm で指定します。

上部マージン

印刷用紙の上端のマージンを mm で指定します。

## 10. 伝達関数ファイルの書式

伝達関数ファイルは CSV 形式なので、テキストエディタや Excel など編集作成が可能です。

伝達関数ファイルの例

Order, Rtype, Ftype, fo | fc, fb, n, Ap, As, Ws

Type, H, fo | fa, Q, fn

4, 4, 1, 1000, 0, 2, 0.5, 36.2512526026698, 1.5

6, 1, 686.912628725173, 0.746611061190002, 3478.40617429894

6, 1, 1029.78159217881, 4.038840104742, 1592.34198972343

伝達関数ファイルの構成

### 1. コメント

先頭行から続く 1 項目が数字で無い行はコメントとして無視します。

### 2. 特性データ

最初の 1 行はフィルタの特性や次数などを表します。

データの内容。

1) 伝達関数の次数

2) フィルタ特性

1:W-W, 2:T-W, 3:W-T, 4:T-T, 5: Bessel

3) フィルタ形式

1:LPF, 2:HPF, 3:BPF, 4:BEF, 5: Equalizer, 6: Normalized LPF

4)  $f_o$  または  $f_c$  (Hz)

5)  $f_b$  (Hz)

6) 次行からのデータ数

7)  $A_p$  (dB)

8)  $A_s$  (dB)

9)  $W_s$

### 3. 伝達関数データ

各ステージ毎の伝達関数データを表します。

データの内容。

1) 回路タイプ

1:1次LPF, 2: 1次HPF, 3:2次LPF, 4: 2次HPF, 5: 2次BPF, 6: 2次TZF, 7: 1次APF,  
8: 2次APF

2) H

3)  $f_o$  または  $f_c$  (Hz)

4) Q

5)  $f_n$  (Hz)

## 1 1. 注意事項

1. Sallenkey回路は高Qの実現には向いていません。

Biquad回路は高Qも安定に実現できるが、必要なオペアンプ数が多くかつ広帯域のオペアンプを必要とします。

2. Sallenkey回路では利得(H)を任意に設定できません。

レポートの「H diff」で設計値との差を表示するので注意すること。

3. 伝送零点を持つSallenkey回路の入力端は容量性になります。

前段のオペアンプが容量性負荷で発振しないように数十 $\Omega$ の直列抵抗の挿入が必要になる場合があります。

4. 回路素子の誤差による影響について。

高次のフィルタや高Qの場合は部品のバラツキなどで特性が大きく乱れることがあります。

必要な場合はシミュレーションによる確認を行ってください。

5. オペアンプの帯域幅について。

高Q、高周波数になるほどオペアンプのゲインと帯域幅が要求されます。

必要な場合はシミュレーションによる確認を行ってください。

ユニティゲイン帯域幅 $f_u$ (Hz)の目安(Qの誤差を  $dQ(\%)$  に抑える場合)。

Sallenkey回路

$K=1$  の場合  $f_u \geq f_o * Q / dQ * 100$

$K=3-1/Q$  の場合  $f_u \geq f_o / dQ * 450$

Biquad回路

$f_u \geq f_o * Q / dQ * 400$

6. ダイナミック・レンジに注意。

伝達関数は低Qの区間から高Qの順に出力されているため、この順序で縦続接続すればLPF, HPFでは区間途中でのオーバードライブは生じません。

BPF, BEFについてはオーバードライブする周波数域が生じるので注意すること。

Biquad回路のBPF, BEF

オーバードライブのおおよその目安は最大Hの1/2 (通常最終段の H に対し $20 * \log(H/2)$  dB 以下)。

Sallenkey回路のBPF

HadjチェックボックスがOffの場合は各段のゲインが1より大きくなるので中間段でのクリップは生じない。

この場合は $R1=R2=R3$ となるがトータルゲインが過大になることがあるので注意すること。

HadjチェックボックスがOnの場合はゲインを指定値に合わせます ( $R1 < R2 < R3$  となります)。

この場合伝達関数のHを修正して初段でゲインを落とし、終段でゲインを上げるにより飽和を防止できます。

Sallenkey回路のBEF

トータルゲインが1以下になるため最大振幅を出力できない (前段で飽和してしまう)。

必要に応じて終段にアンプを追加すること。