

サレンキー・フィルタ

著者: Hank Zumbahlen
アナログ・デバイセス

内容

このミニ・チュートリアルでは 3 種類のサレンキー・フィルタの設計例について説明します。これは、高精度オペアンプ用ディスクリート回路について説明する一連のミニ・チュートリアルの 1 つです。

サレンキー (Sallen-Key) 回路は、電圧制御型電圧源 (Voltage Control Voltage Source: VCVS) としても知られています。この回路は、MIT リンカーン研究所の R. P. Sallen と E. L. Key によって 1955 年に初めて考案されたものです (参考資料参照)。広く使用されているフィルタ回路の 1 つで、その構成を図 1 に示します。

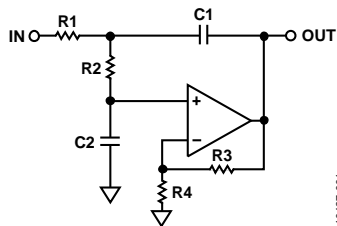


図 1. サレンキー・ローパス・フィルタ

この回路がよく使用される理由の 1 つは、フィルタ性能がオペアンプの性能にほとんど左右されないことです。これは、オペアンプが積分器ではなく増幅器として構成されており、これによってオペアンプの利得帯域幅条件を最小化できるためです。

このことは、定められたオペアンプに対して、他の回路よりも高周波のフィルタを設計できることを意味します。積分器として構成された場合とは異なり、オペアンプのゲイン帯域幅積 (GB 積) がフィルタの性能を制限しないためです。さらに、オペアンプが増幅器として構成されているため、通常の積分器としては構成されることがない電流帰還アンプを使用することが可能です。これによって、フィルタの帯域幅をわずかに広げることができます。フィルタを通過する信号の位相は維持されます (非反転構成)。

この回路構成のもうひとつの利点として、抵抗値の最大と最小の比およびコンデンサ容量値の最大と最小の比 (部品定数の幅) が小さいため、大量生産に向いていることがあげられます。周波数と Q はある程度独立していますが、これらはゲイン・パラメータに非常に敏感です。サレンキー回路の Q は、特に Q が高いセクションでは、部品定数に非常に敏感です。サレンキー・ローパス・フィルタ用の設計式をサレンキー・ローパス・フィルタの設計式のセクションに示します。

サレンキー型フィルタは幅広く使われていますが、部品定数と F_0 および Q との間に相互作用があるため、フィルタの最適化が容易ではないことが大きな欠点です。得られる Q の最大値がそれほど大きくない、という制約もあります。

ローパス・フィルタをハイパス・フィルタに変換するには、周波数を決定する回路のコンデンサと抵抗 (アンプのゲイン調整用抵抗器ではない) を入れ換えるだけです (図 2 参照)。前述のローパス・フィルタに関するフィルタの感度についての問題は、ハイパス・フィルタにも当てはまります。サレンキー・ハイパス・フィルタ用の設計式をサレンキー・ハイパス・フィルタの設計式のセクションに示します。

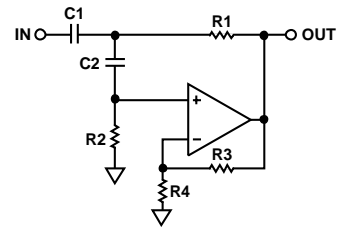


図 2. サレンキー・ハイパス・フィルタ

サレンキー・フィルタをバンドパス・フィルタとして設計する場合 (図 3 参照) には大きな制約があります。 Q 値がフィルタのゲインを決定するので、ローパス・フィルタやハイパス・フィルタの場合とは異なり、ゲインを独立に設定できなくなります。サレンキー・バンドパス・フィルタ用の設計式をサレンキー・バンドパス・フィルタの設計式のセクションに示します。

サレンキー型のノッチ・フィルタも構成できますが、これには好ましくない特性が多数あります。共振周波数、つまりノッチ周波数は、部品同士の相互作用の影響で簡単には調節することができません。

バンドパス・フィルタの場合と同様、このセクションのゲインは他の設計パラメータにより固定され、部品定数、特にコンデンサの定数値は広範囲となります。こうした問題があり、また他に簡単に使用できる回路もあるため、このチュートリアルではノッチ・フィルタは扱いません。

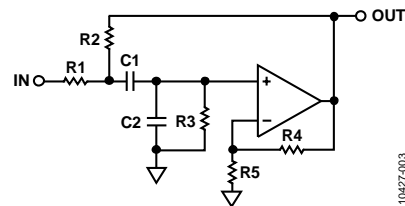


図 3. サレンキー・バンドパス・フィルタ

アナログ・デバイセス社は、提供する情報が正確で信頼できるものであることを期していますが、その情報の利用に関して、あるいは利用によって生じる第三者の特許やその他の権利の侵害に関して一切の責任を負いません。また、アナログ・デバイセス社の特許または特許の権利の使用を明示的または暗示的に許諾するものでもありません。仕様は、予告なく変更される場合があります。本記載の商標および登録商標は、それぞれの所有者の財産です。※日本語版資料は REVISION が古い場合があります。最新の内容については、英語版をご参照ください。
©2018 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

サレンキー・ローパス・フィルタの設計式

$$\frac{+H \times \omega_0^2}{s^2 + \alpha \times \omega_0 \times s + \omega_0^2}$$

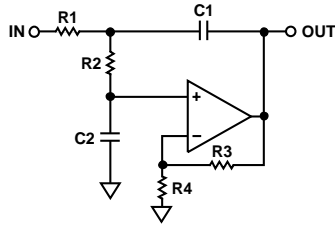


図 4.

10427-004

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{H \times \frac{1}{R1 \times R2 \times C1 \times C2}}{s^2 + s \times \left[\left(\frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} \right) \frac{1}{C1} + \frac{(1-H)}{R2 \times C2} \right] + \frac{1}{R1 \times R2 \times C1 \times C2}}$$

フィルタを設計するには、C1 と R3 を選択します。これによって、次のように各値が定まります。

$$k = 2 \times \pi \times F_0 \times C1$$

$$R4 = R3 / (H - 1)$$

$$m = \frac{\alpha^2}{4} + (H - 1)$$

$$C2 = m \times C1$$

$$R1 = 2 / (\alpha \times k)$$

$$R2 = (\alpha/2) \times m \times K$$

サレンキー・ハイパス・フィルタの設計式

$$\frac{+H \times s^2}{s^2 + \alpha \times \omega_0 \times s + \omega_0^2}$$

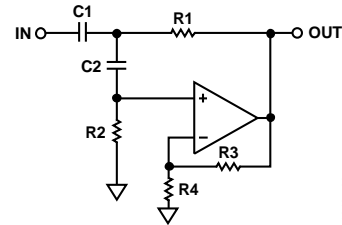


図 5.

10427-005

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{H \times s^2}{s^2 + s \times \left[\frac{C2 + \frac{C1}{R2} + (1-H) \times \frac{C2}{R1}}{C1 \times C2} \right] + \frac{1}{R1 \times R2 \times C1 \times C2}}$$

フィルタを設計するには、C1 と R3 を選択します。これによって、次のように各値が定まります。

$$k = 2 \times \pi \times F_0 \times C1$$

$$C2 = C1$$

$$R1 = \frac{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + (H - 1)}}{4 \times k}$$

$$R2 = \frac{4}{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + (H - 1)}} + \frac{1}{k}$$

$$R4 = R3 / (H - 1)$$

サレンキー・バンドパス・フィルタの設計式

$$\frac{+H \times \omega_0 \times s}{s^2 + \alpha \times \omega_0 \times s + \omega_0^2}$$

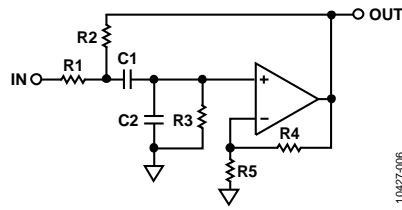


図 6.

$$\frac{V_O}{V_{IN}} = \frac{H \times s \times \frac{1}{R1 \times C2}}{s^2 + s \times \left[\frac{\frac{C1}{R3} + \frac{(C1+C2)}{R1} + \frac{C2}{R2} + \frac{C1}{R2} \times (1-H)}{C1 \times C2} \right] + \frac{1}{R3 \times C1 \times C2} \times \left(\frac{R1+R2}{R1 \times R2} \right)}$$

フィルタを設計するには、C1 と R4 を選択します。

これによって、次のように各値が定まります。

$$k = 2 \times \pi \times F_0 \times C1$$

$$R5 = R4 / (H - 1)$$

$$C2 = \frac{1}{2} \times C1$$

$$R1 = 2/k$$

$$R2 = 2 / (3 \times k)$$

$$R3 = 4/k$$

$$H = \frac{1}{3} \times \left(6.5 - \frac{1}{Q} \right)$$

参考資料

Sallen, R. P. and E. L. Key, 1955. "A Practical Method of Designing RC Active Filters." *IRE Transactions on Circuit Theory*, Vol. CT-2, 74-85.

Zumbahlen, Hank, editor, 2008. *Linear Circuit Design Handbook*, Newnes, ISBN 978-0-7506-8703-4.

改訂履歴

2/16—Rev. A to Rev. B
Changes to Sallen-Key Band-Pass Design Equations Section2

7/12—Rev. 0 to Rev. A
Changes to Statements following Equations.....2

3/12—Revision 0: Initial Version