

第2章 フィルタ&発振回路

2-1: 二大アクティブ・ローパス・フィルタ サレン・キー型と多重帰還型の使い分け

LPFを少ない部品点数で作りたいです。フィルタ設計の経験はありません。まずは定番で試してみたいのですが、どんな回路があるのでしょうか？

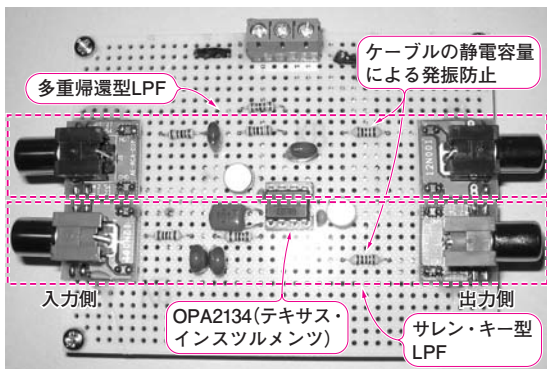


写真1 フィルタの特性を比較するときOPアンプのばらつきが出ないように、一つのICで実装している

アクティブLPF(Low Pass Filter)で定番の図1のサレン・キー型と図2の多重帰還型の回路を紹介します。これらが定番となった理由として、共通の特徴を四つ挙げられます。

- 理由1: 部品点数が少ないアクティブ・フィルタ
- 理由2: 古い回路でノウハウが良く知られている
- 理由3: CRの定数計算が簡単
- 理由4: カスケード接続で高次のフィルタを構成できる

写真1に、サレン・キー型と多重帰還型の二つのLPFを実装した基板を示します。

● **[Good answer]** 部品点数が少ないサレン・キー型
サレン・キー型LPFは、開発者のR.P.Sallen氏とE.L.Key氏の名前がついたLPFです。その特徴は次の通りです。

- 2個のRと2個のCと1個の能動素子(真空管, トランジスタ, OPアンプなど)の計5個の部品で構成できる
- 幅広いクオリティ・ファクタQ(0.5~100程度)を実現できる2次のフィルタである
- 回路がシンプルで、CとRを交換すればHPF(High Pass Filter)になる
- 周波数特性がCのばらつきに敏感

Qは、共振回路の選択度(またはクオリティ・ファクタ)を表すパラメータです。2次のフィルタでのQは、カットオフ周波数におけるゲインを、通過域のゲイン

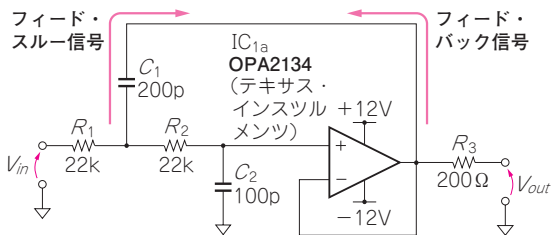


図1 サレン・キー型LPFの基本構成

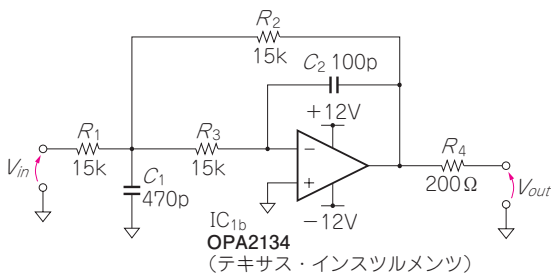


図2 多重帰還型LPFの基本構成

で割ることで計算できます。

● **[Good answer]** 高域までしっかり減衰する多重帰還型

▶サレン・キー型

図1のサレン・キー型フィルタの動作を具体的に説明します。OPアンプはゲイン1倍のボルテージ・フォロワです。このアンプと、2個のRおよび2個のCでLPFを構成します。

$R_1 = R_2 = R$ としたとき、カットオフ周波数 f_0 と、クオリティ・ファクタQは以下の式で計算できます。

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R\sqrt{C_1 C_2}} \text{ [Hz]} \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \dots\dots\dots (2)$$

$R_1 = R_2 = R = 22 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 200 \text{ pF}$, $C_2 = 100 \text{ pF}$ を代入すると、次のように求まります。

$$f_0 = 51.18 \text{ kHz}, Q = 0.707$$

図3は実測した周波数特性です。カットオフ周波数より高い周波数のゲインは-40 dB/decで減衰していますが、2M~10MHzでは約-60dB一定です。これはサレン・キー型LPFに特有の重大な欠点です。OPアンプに正帰還をかける C_1 を介して、図1に示すように入力から出力にフィード・スルーする信号があるのが原因です。

低い周波数では、OPアンプの出力インピーダンスは非常に小さいので、無視できます。高い周波数では、OPアンプの出力インピーダンス Z_O が増大するので、出力に流入信号電流 $\times Z_O$ の電圧が発生します。

対策として、前段に適当なRC型LPFを挿入すれば、