

LTspice モデルに 2次の フィルター要素が追加された

LTspiceのComponent Library に2次のフィルター要素が追加された（2/21/2020）。

モデル&シンボルが格納されているフォルダーは[Special Functions]の中で、フィルターの種類は、All Pass、Band Pass、ComplexZero、High Pass、Low Pass、Notch・・・の6種類である。

このドキュメントでは、多くのユーザーにとってなじみ深い（・・・と考えられる）Low Pass Filter 要素について、サレンキー・フィルターと比較しながら解説する。

— SANKYOSHA — FAE : Michio Shibuya — 2020/03/15・・・渋谷道雄 —

2ndOrderLowpass の基本

回路図の中に理想的なフィルター要素を配置するには、[Component]（ホット・キー[F2]）で選択ボックスを開き、[Special Functions]のサブフォルダーから、[2ndOrderLowpass]をクリックし（下・左の図）、[OK]をクリックして、回路図中に配置する。

下・右の図の回路に示したように、今回リリースされたフィルター要素のうちのLow-Passフィルターを回路図中に置き、AC解析を試すための電源（AC=1に設定）と暫定的な負荷抵抗をつないだ。

この要素に設定するパラメータは、以下の3つである。

f0 : カット・オフ周波数

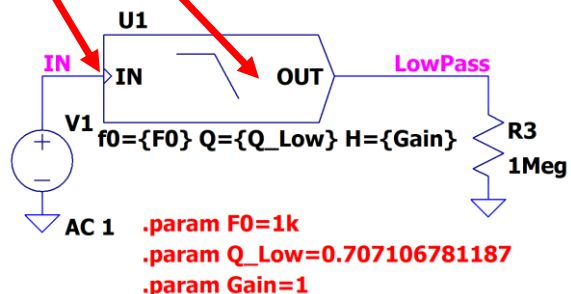
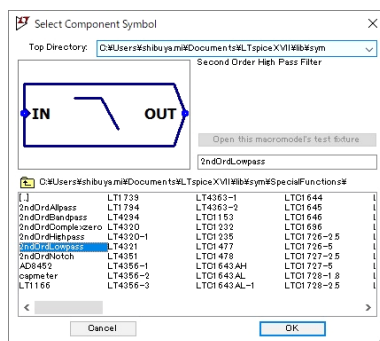
Q : Q値

H : パス・バンドの利得

入力インピーダンスは ∞ （無限大）と考えてよい

出力（内部）抵抗=0.1 Ω
この値の意味は判然としない。

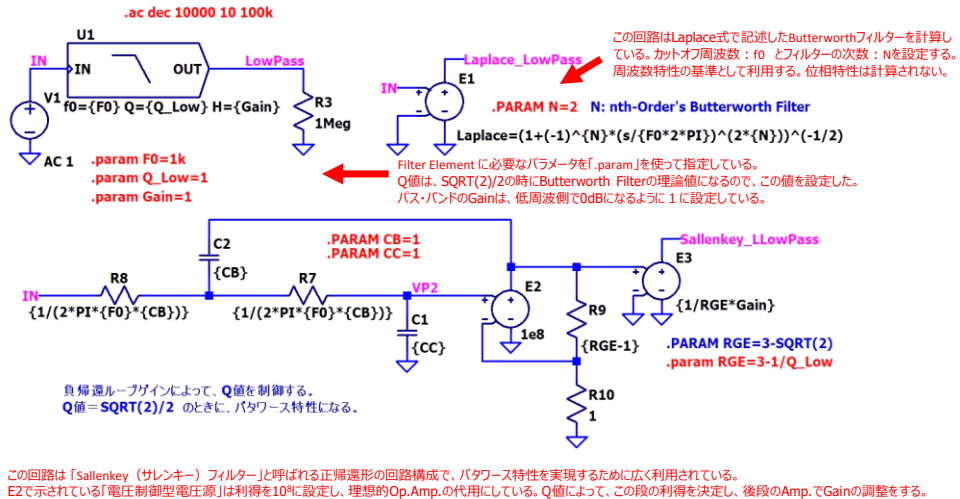
.ac dec 10000 10 100k



— SANKYOSHA — FAE : Michio Shibuya —

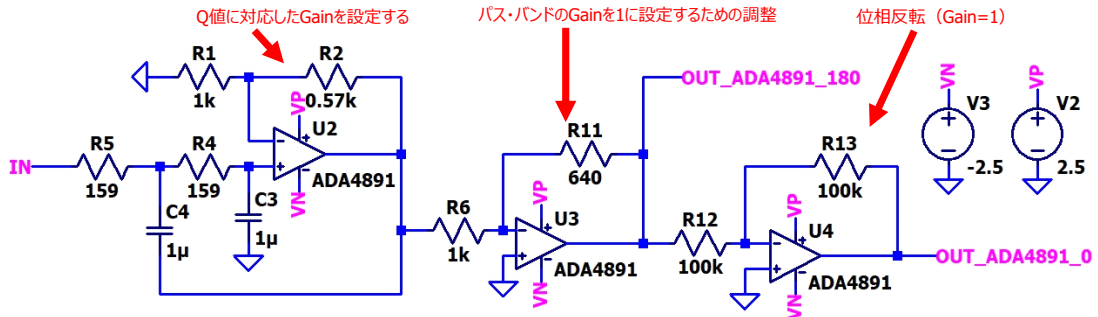
簡単な例題で評価してみる（１）

Filter Element (2ndOrderLowpass) v.s. Sallenkey_Butterworth_Lowpass



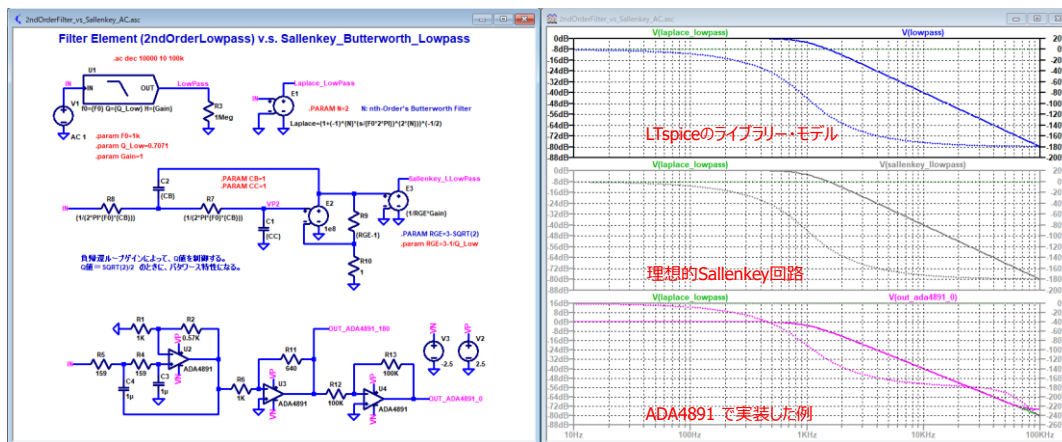
簡単な例題で評価してみる（２）

サレンキー・フィルタを実際のOp.Amp.で実現した回路例を下図に示す。1段目（U2）でサレンキー・フィルタを構成し（Q値が理想的パワース特性になるように利得を設定している）、2段目（U3）でパス・バンドの利得が0dBになるようにGainを調整し、最終段（U4）U4でGain=1の反転増幅器を入れて位相を180°反転している。



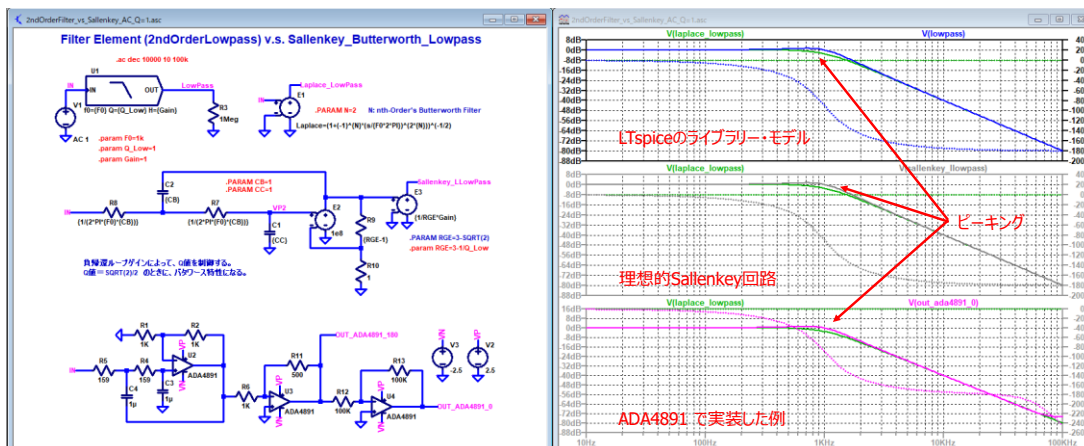
簡単な例題の比較評価結果（1）

以上に紹介した3つのフィルター（LTspiceのライブラリー・モデル、理想的サレンキー・フィルター、Op.Amp.による実装）について、回路構成を見てきた。ここで、それらのシミュレーション結果を比較してみる。3つのグラフを重ねて表示して、それらが重なっていることを示す方法もあるが、ここでは参照モデルとして用意したLaplace式によるButterworth特性と重ねてみた。



簡単な例題の比較評価結果（2）

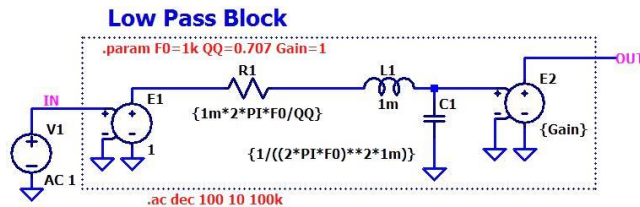
前頁のシミュレーションのパラメータのうち、Q値を1に設定し、シミュレーションしたもの。F0付近で、Gainが3dBくらいピーキングしていることが読み取れる。この場合も、3つの参考回路のシミュレーション結果が、よく一致していることが、Laplace式による参照グラフの曲線とよく一致していることがわかる。



R-L-C直列回路の2次フィルター

2次のフィルターといえば、もっともよく知られた回路構成は「RLC直列回路」で構成するものである。その例を、LTspiceのライブラリーにあるモデルと比較してみる。フィルターのF0とQ値は下記の計算式で与えられる。例題回路ではLの値を1mHに固定して計算している。

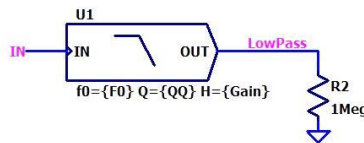
まず、AC解析で周波数特性を比較する。



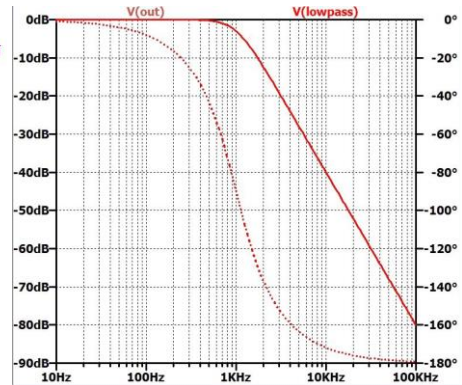
$$F_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$R = \frac{1}{Q}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

L、C、RのF0とQの関係式

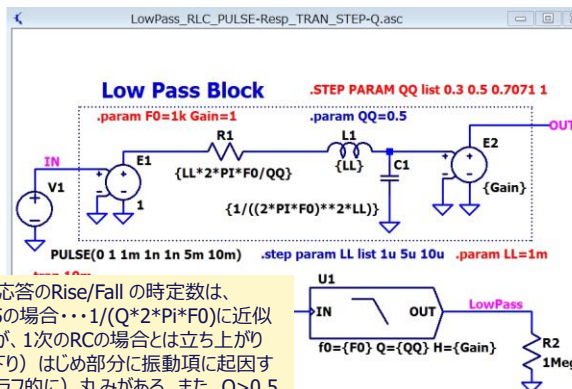


2つの出力のプロットは重なっている

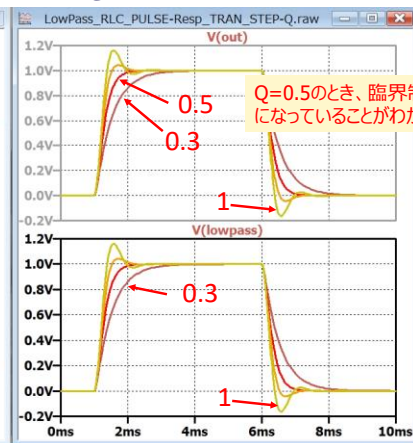


2次フィルターのパルス入力過渡応答

2次Low Pass Filter に、パルスを入力し、その出力波形を観測する、立ち上がりの速さやリングングの状況は、F0とQに依存する。



パルス応答のRise/Fallの時定数は、 $Q < 0.5$ の場合... $1/(Q \cdot 2\pi \cdot F_0)$ に近似できるが、1次のRCの場合とは立ち上がり（立下り）ははじめ部分に振動項に起因する（グラフ的に）丸みがある。また、 $Q > 0.5$ では共振による振動項があるため、この時定数を波形と比較することは困難になる。



Qを0.3,0.5,0.7071,1でシミュレーションした。