

フィルタ回路シミュレータの使い方 (初版)

2022.6.03~

1. 経緯

一般的にフィルタ特性の評価には伝達特性方程式を求める方法が採られている。しかし、次数(素子数)が高くなると方程式が急激に複雑となり、正確に計算するのは困難です。筆者は5次連立チェビシェフフィルタに挑戦したが、大変な労力を要した。今回、Excel を使って数値処理を順々に行って

「労力はPCに任せて！」減衰量、通過位相、群遅延時間、RL(リターンロス)を求めるプログラム(シート)を作りました。

本ソフトにより本格的なフィルタを簡単に設計・解析することができます。今回の内容は以下のものです。使い難い点などをご指摘ください。

- ・ 3次連立チェビシェフフィルタ..... (LPF, HPF)
- ・ 3次連立チェビシェフ+1素子フィルタ..... (LPF, HPF)
- ・ 5次連立チェビシェフフィルタ..... (LPF, HPF)
- ・ 7次連立チェビシェフフィルタ..... (LPF, HPF)
- ・ 9次LC_LPF フィルタ..... (チェビシェフ、バターワース、ベッセル対応)

2. 使い方の手順

各フィルタの構成は2部構成で“設定部”、“演算処理部”と“E系列丸め”から構成されています。

2-1. 設定部の構成

負荷RLが変わった時の基準点

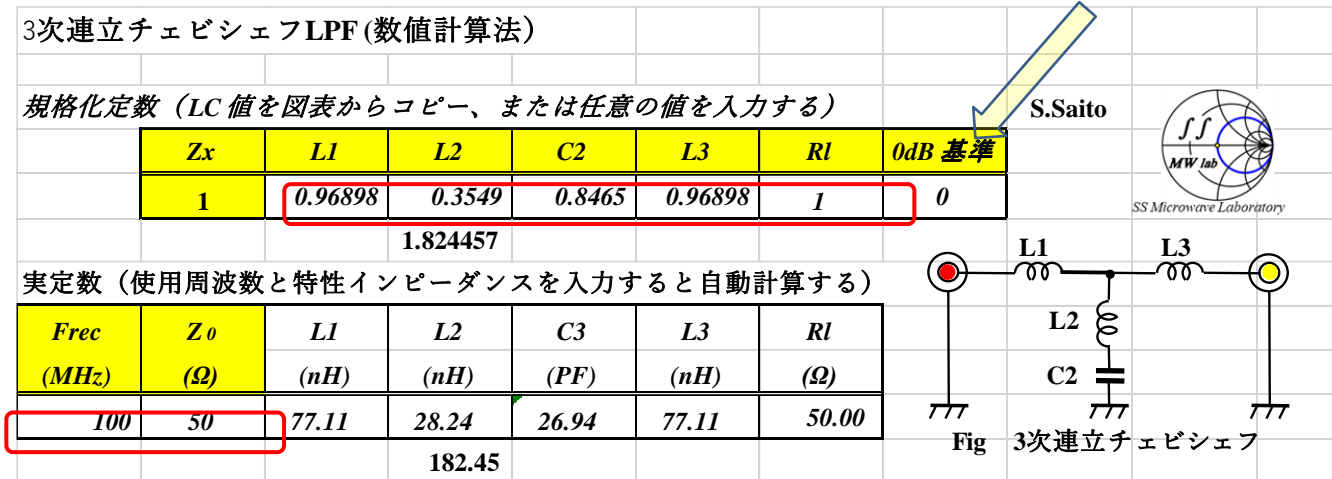
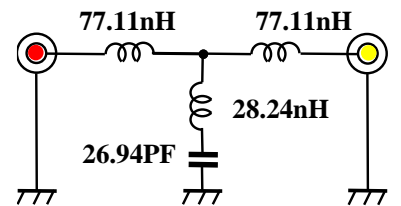


Fig.1 設定部の構成とその回路 (T-Type 連立チェビシェフ LPF)

図枠の部分に設計定数の入力をおこないます、するとフィルタ特性が各グラフに描かれます。

簡単に製作できます。

LC 値は表または負荷インピーダンスを入力できますが、他のセルはいじれません。下段の枠に使用周波数と回路負荷インピーダンスを入力しますと、実際の回路を組む際のインダクタやキャパシタの値が求められます。実定数を参考に回路を組めば使用周波数におけるフィルタが



また、ここでは規格化定数に任意の数値を入力できますので、LC 値や負荷インピーダンスがバラツいた場合の特性変化も解析できます。

2-2. 演算処理部の構成

演算処理部は膨大な量の複素マトリックス計算を行い、最終的にフィルタ特性の基本要素をすべてk 離散します。この部分は敏感なため、外部から触れない様、保護されています。 3次連立チェビシ

ェフフィルタについて周波数、計算一点部のみの構成は以下の様になっている。減衰量、位相、入力インピーダンス、リターンロスが計算されます。

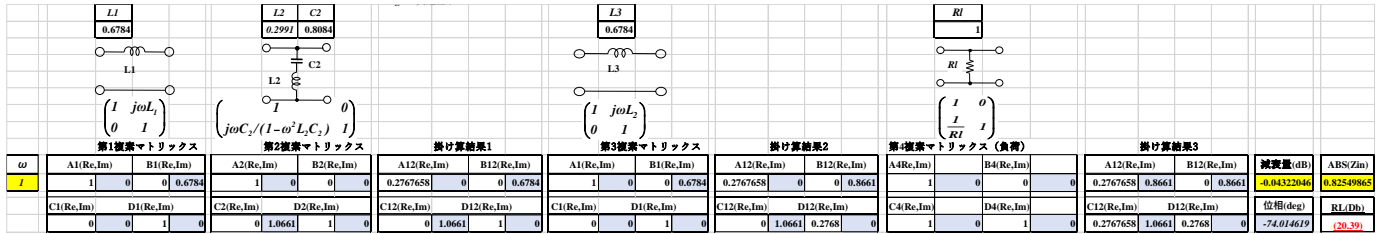


Fig.2 演算処理部、Excel シートの一区分

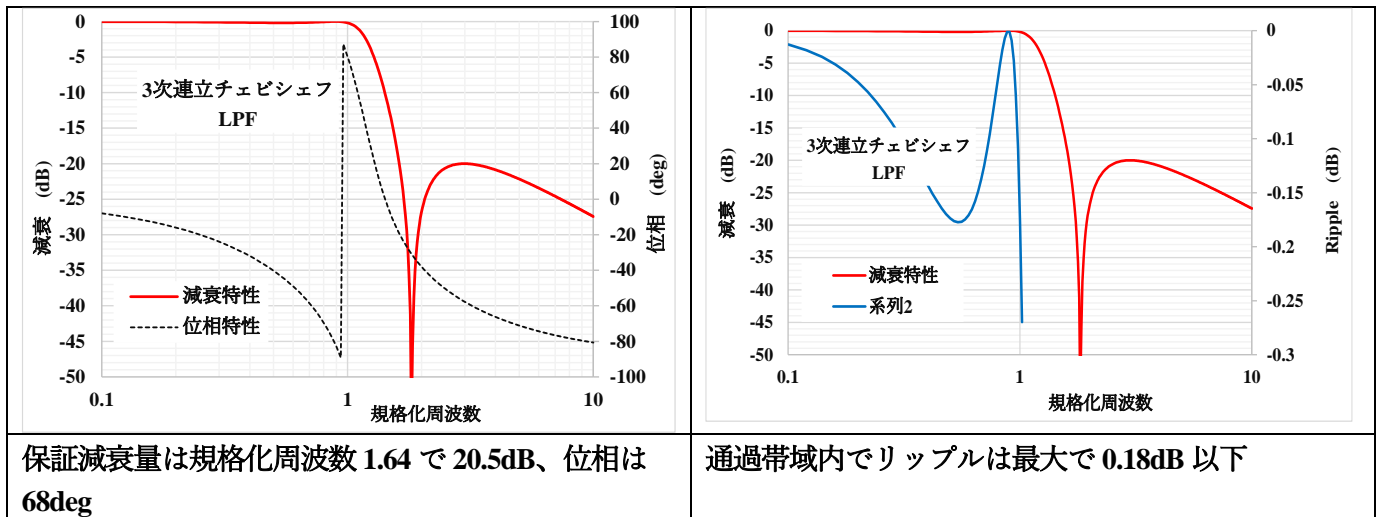
この操作を数千点行い、各周波数帯の値を算出します。
これを基にフィルタ特性の特性図を得るために集約表を設けています。

表1 フィルタ特性の集約表 (1部分のみ掲載)

3次連立チェビシエフ_集約表						
ω	ATT(dB)	ϕ	ATT(dB)	τ_1	τ_1_Trim	RL(dB)
1E-04	-3E-10	-0.0047				-182.9427
0.1	-0.0003	-4.6797	-0.00032	-46.86637	-0.817972	-63.05556
0.12	-0.00046	-5.617005	-0.00046	-46.90466	-0.818641	-59.93842
0.14	-0.000618	-6.555098	-0.00062	-46.94959	-0.819425	-57.32015
0.16	-0.000795	-7.49409	-0.00079	-47.00131	-0.820328	-55.06974
0.18	-0.000989	-8.434116	-0.00099	-47.05995	-0.821351	-53.10282
0.2	-0.001197	-9.375315	-0.0012	-47.12568	-0.822498	-51.36187
0.22	-0.001417	-10.31783	-0.00142	-47.19867	-0.823772	-49.80601
0.24	-0.001646	-11.2618	-0.00165	-47.27913	-0.825176	-48.40515
0.26	-0.00188	-12.20738	-0.00188	-47.36727	-0.826715	-47.13659
0.28	-0.002117	-13.15473	-0.00212	-47.46332	-0.828391	-45.98286
0.3	-0.002353	-14.104	-0.00235	-47.56756	-0.830211	-44.93022

減衰量 (リップル)、位相回転、群遅延時間、リターンロス (反射損失で整合の判定を表す) 表は規格化周波数 ω が0.1~0.3迄ですが、実物は10まで0.02刻みで処理しています。 正確な数値はこちらから読み取ると良いでしょう。

得られたシミュレーション描画の一部を紹介します。



2-3. E 系列丸め処理

実際の電子回路を組む場合、回路部品の規格は E 系列で規格化されているため、正確に一致するものは手に入りません。厳密な特性を要求するのではなく、手軽に回路を組む場合は E 系列で丸めた値で組みます。この時、どの程度の偏差が生じるかを確認することができます。丸め処理の

シートを開くと、E 系列変換評価の図が現れます。上部 2 段の欄は設定部のものと同じです。4 段目の E 系列で丸めた場合の欄に 2 段目の実定数に近い値を E 系列表から選択し入力します。E 系列で丸めた場合の欄に新たなフィルタ規格化定数が表示されます。

E系列変換評価							
規格化定数 (LC 値を図表からコピー、または任意の値を入力する)							
Zx	L1	L2	C2	L3	R1	0dB 基準	
1	0.96898	0.3549	0.8465	0.96898	1	0	
実定数 (使用周波数と特性インピーダンスを入力すると自動計算する)							
Frec (MHz)	Z0 (Ω)	L1 (nH)	L2 (nH)	C3 (PF)	L3 (nH)	R1 (Ω)	
100	50	77.11	28.24	37.60	77.11	50.00	
E系列変換							
E 系列に丸めた場合の規格化定数 (自動的に計算される)							
Zx	L1	L2	C2	L3	R1	0dB 基準	
1	0.703717	0.27646	0.816179	0.703717	1	0	
E 系列に丸めた場合の実定数							
Frec (MHz)	Z0 (Ω)	L1 (nH)	L2 (nH)	C3 (PF)	L3 (nH)	R1 (Ω)	
100	50	56.00	22.00	39.00	56.00	50.00	
E12系列							
1	1.2	1.5	1.8	2.2	2.7	3.3	3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
E24系列							
1	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	2	2.2 2.4 2.7 3 8.2
3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2 6.8 7.5 8.2 9.1

Fig 3次連立チェビシェフ LPF最終回路

この値を設定部のLC値に挿入、誤差の解析を行う

E 系列の中から近

この値を設定部の規格化定数に再入力しますと、丸め処理後のフィルタ特性が得られます。これか

ら丸めたフィルタ特性が問題ないかを確認しま

これを E 系列で丸めた時のフィルタ特性次ようになります。

E 系列で丸めた時のフィルタ特性

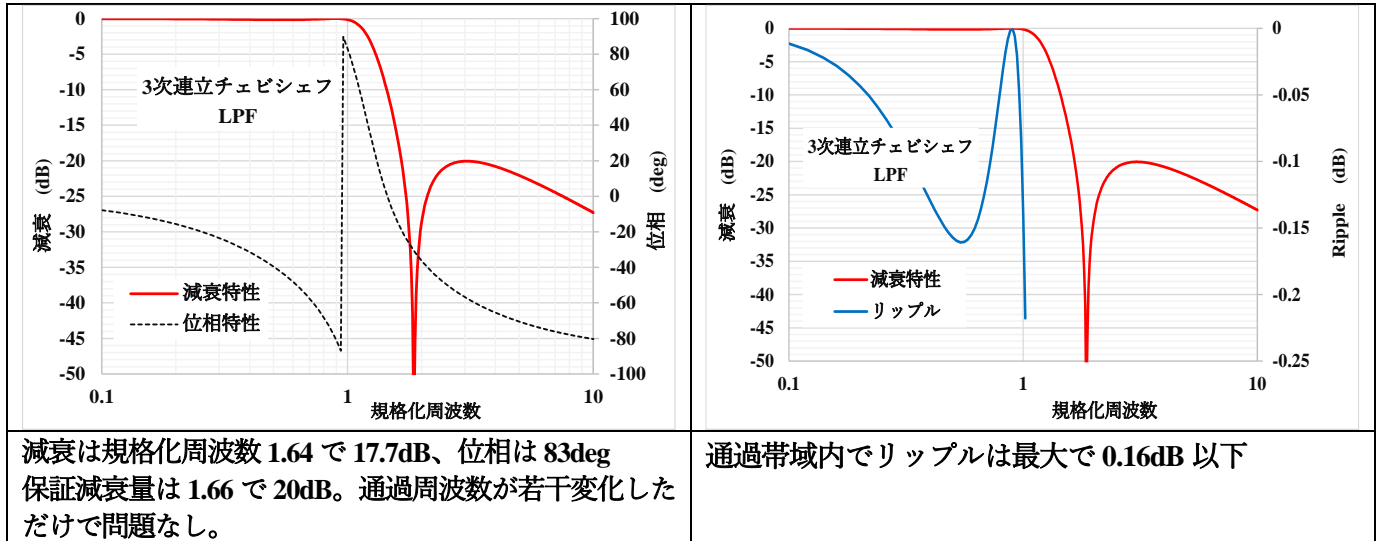


Fig. E 系列で丸めた時のフィルタ特性

この他リターンロス（反射損失）および群遅延特性も準備しています。

今回は 3 次と 5 次までの LPF を提供します、
作業にお役立てください。

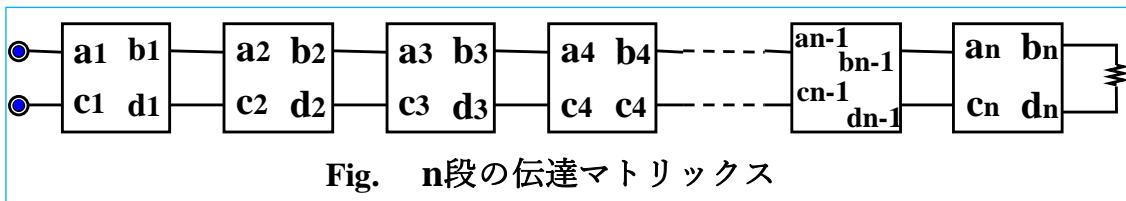
（3 次から 9 次までの HPF と LPF のプログラムが
出来ています。必要に応じてご相談ください）

3. 計算法の手順

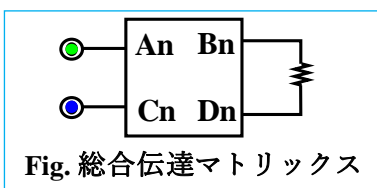
1. 回路素子または分布線路の一部の 4 端子マトリックス(ABCD)を決定する
2. 必要な段数のマトリックスを縦続接続する。
3. 負荷インピーダンスを含んだ 4 端子マトリックスを計算する。
4. 求めるパラメータを求める
5. 各マトリックス演算を Excel に落とし込む

図で表すと以下の様になってます。まず LC 組み合わせの小ブロックを縦続接続して、縦続接続

するごとにマトリックス掛け算を行います。



掛け算を繰り返すと、各マトリックスにおける計算結果が得られ、負荷における最終結果が全体の電気特性が求められる。



最終マトリックスから

$$\begin{pmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1/Z_l & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

(1)式から LC フィルタの基本要素がすべて計算されます。

$$\text{減衰量 (伝達特性)} : H = \frac{1}{A+B/Zl} = \frac{Zl}{A \cdot Zl + B} \quad \dots\dots\dots (2)$$

単位信号源インピーダンスを考慮すると

$$H = \frac{1+Zl}{Zl} \cdot \frac{Zl}{A \cdot Zl + B} = \frac{1+Zl}{A \cdot Zl + B} \quad \dots\dots\dots (2')$$

入力インピーダンスから反射率を求めリターンロスを計算します。

$$\text{入力インピーダンス} : Z_{in} = \frac{A}{C} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{リターンロス (絶対値)} : |\Gamma| = \frac{|1-Z_{in}|}{|1+Z_{in}|} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{位相は (1) より} \quad \varphi = \tan^{-1} \left(-\frac{\text{Im}(A)}{\text{Re}(A)} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{群遅延時間は(5) より} \quad \tau = \frac{d\varphi}{d\omega} \quad \dots\dots\dots (6)$$

なお通過帯域外でのリターンロスの値ですが、

(4) 式は絶対値を取っているため数値としては出てきますが実際には 100%反射と考えてください
(数値は虚数と思われます)。

Excel の詳細なコーディングは演算処理部の関数
をご参照ください。

以上です。