

BPF フィルタ回路シミュレータの使い方 (初版)

2022.06.06

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ある。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、BPF フィルタについて Excel を使って数値処理を順々に行って「労力は PC に任せて」処理します。特に **BPF はエレメント数が多く** 本方法が有効です。

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 (Excel シート) を作りました。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。

- ・ 単一共振素子
 - ・ 2 素子チェビシェフ BPF
 - ・ 3 素子チェビシェフ BPF
 - ・ 4 素子チェビシェフ BPF
- (2 素子からは何れもチェビシェフ、バターワース、ベッセル対応可能なシートです)

2. 使い方の手順

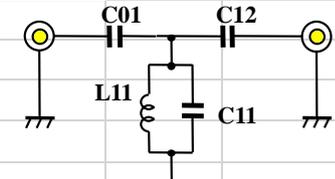
一最も簡単な単一共振素子を例にとって説明します。各フィルタの構成は 2 部構成で“設定部と”演算処理

部“から構成されています。

2-1. 設定部の構成

負荷 R_L が変わった時の基準点(dB)

ネットアナ設定		規格化定数							1素子_BPF_伝達特性
開始周波数	分解能	R	$C01$	$C11$	$L11$	$C12$	R_L	0dB 基準	
0.9	0.0005	1	0.1760	0.8240	0.8540	0.1816	0.5	-3.521825	
step:500		実定数							
Freq (MHz)	Z_0 (Ω)	$C01$ (PF)	$C11$ (PF)	$L11$ (nH)	$C12$ (PF)	R_L (Ω)			
100	50	5.602	26.229	67.959	5.781	25.00			



2-2.規格化定数

枠の部分に入力が可能です LC 値と負荷インピーダンス (通常は 1) 表または任意に力できますが、他のセルはいじれません。これは 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。また同時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、回路を組む時のインダ

クタやキャパシタの値が求められます。なお、3 段以降のファイルは非常に重いので、読み込みに時間がかかります。

(PC の性能にもよりますが、5 段のシートでは **30 ~40 秒**を要します)

2-3 ネットアナ設定

スキャン開始周波数と分解能 (ステップ 500 ないし 1000) を設定できます。図の設定では

掃引周波数は $0.9 + 0.0005 \times 500 = 0.9 + 0.25 = 1.15$ この設定で 0.9 ~ 1.15 までの周波数特性が表示されます。高い周波数での特性は分解能を荒くして観測します

2-4. E 系列丸め処理

電子回路では LC 部品の定数が E 系列でしか供給されません。それゆえ、E 系列で丸めた場合の統制が

わかるようにしました。丸め値を規格化 LC 値に変換する Excel シートを追加しました。

1素子_BPF_伝達特性																						
規格化定数 (LC 値を図表から、または任意に入力する)																						
	R	C01	C11	L11	C12	RI	0dB 基準															
	1	0.20000	0.80000	0.84000	0.20000	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)	C01 (PF)	C11 (PF)	L11 (nH)	C12 (PF)	RI (Ω)																
100	50	6.3662	25.465	94.735	6.3662	50.00																
E 系列変換																						
E 系列に丸めた場合の規格化定数																						
Zx	C01	C11	L11	C12	RI	0dB 基準																
1	0.1948	0.8482	8.7448	0.1948	1	0																
E 系列に丸めた場合の実定数																						
Frec (MHz)	Z0 (Ω)	C01 (PF)	C11 (PF)	L11 (nH)	C12 (PF)	RI (Ω)																
100	50	6.2	27	9.1	6.2	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	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1	5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.1

この値を設定部の規格化周波数に貼り付ける

3. 演算処理部の構成

演算処理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、外部から外部いじれない様、保護されています。 C 結合単一共振

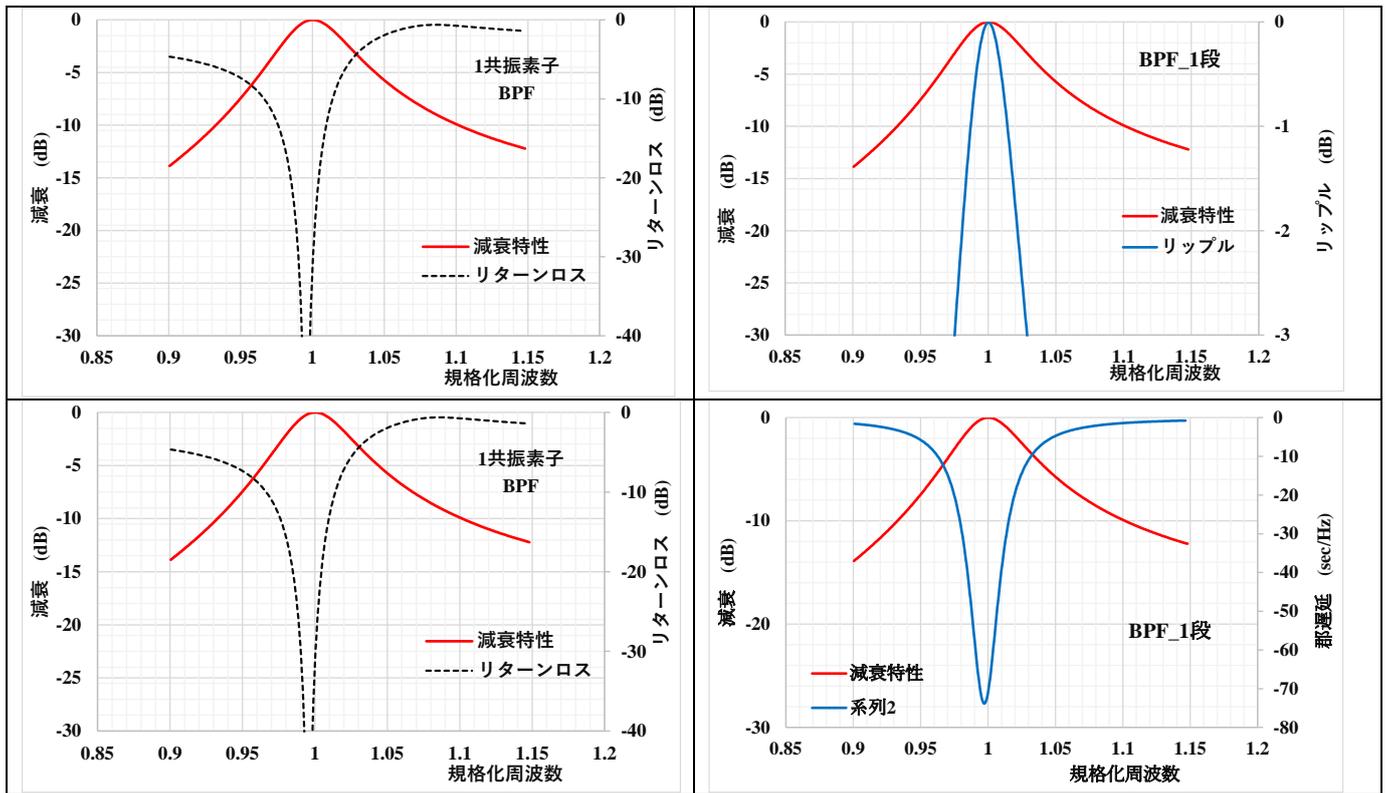
単一共振素子_BPF						
ω	ATT(dB)	φ	ATT(dB)	τ1	τ1_Trim	RL(dB)
0.9	-16.154					
0.901	-16.099	82.1233		-47.73879		-4.697952
0.901	-16.04349	82.099393		-48.19394	-0.841143	-4.712679
0.902	-15.98808	82.075296		-48.65632	-0.849213	-4.727552
0.902	-15.93247	82.050968		-49.12605	-0.857411	-4.742574
0.903	-15.87666	82.026405		-49.60332	-0.865741	-4.757747
0.903	-15.82064	82.001604		-50.08826	-0.874205	-4.773073
0.904	-15.76442	81.976559		-50.58106	-0.882806	-4.788555
0.904	-15.70799	81.951269		-51.08188	-0.891547	-4.804195
0.905	-15.65135	81.925728		-51.59089	-0.900431	-4.819997
0.905	-15.59449	81.899932		-52.10828	-0.909461	-4.835964

BPF について周波数、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。

この操作を数千点行い、これを基にフィルタ特性の特性図を得るため、集約表を作っています。左の表は集約表の一部分です。

正確な数値はこちらから読み取ると良いでしょう。

得られた作図の一部を紹介します。



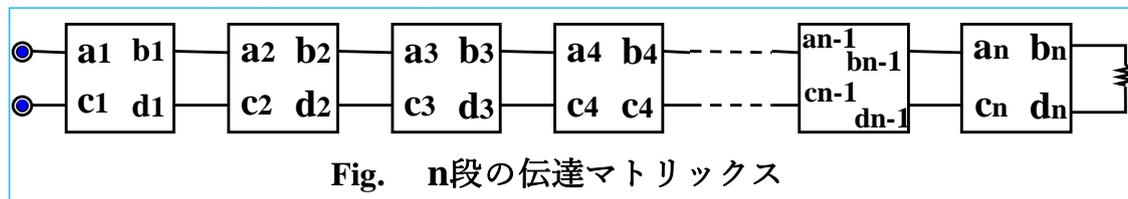
中心周波数の前後で対称にならないのはC結合のため（結合Cと共振Cで制限される）、LPF⇒BPF変換ならば対称となる（実用回路には適

さない）。今回は4段まで、全4種類のプログラムを準備しました。仕事や趣味で、回路検討にお使いいただけると幸いです。

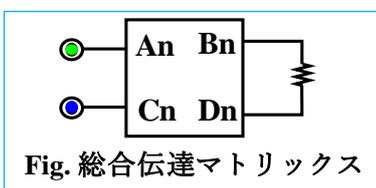
3. 計算法の手順

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

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

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

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。

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

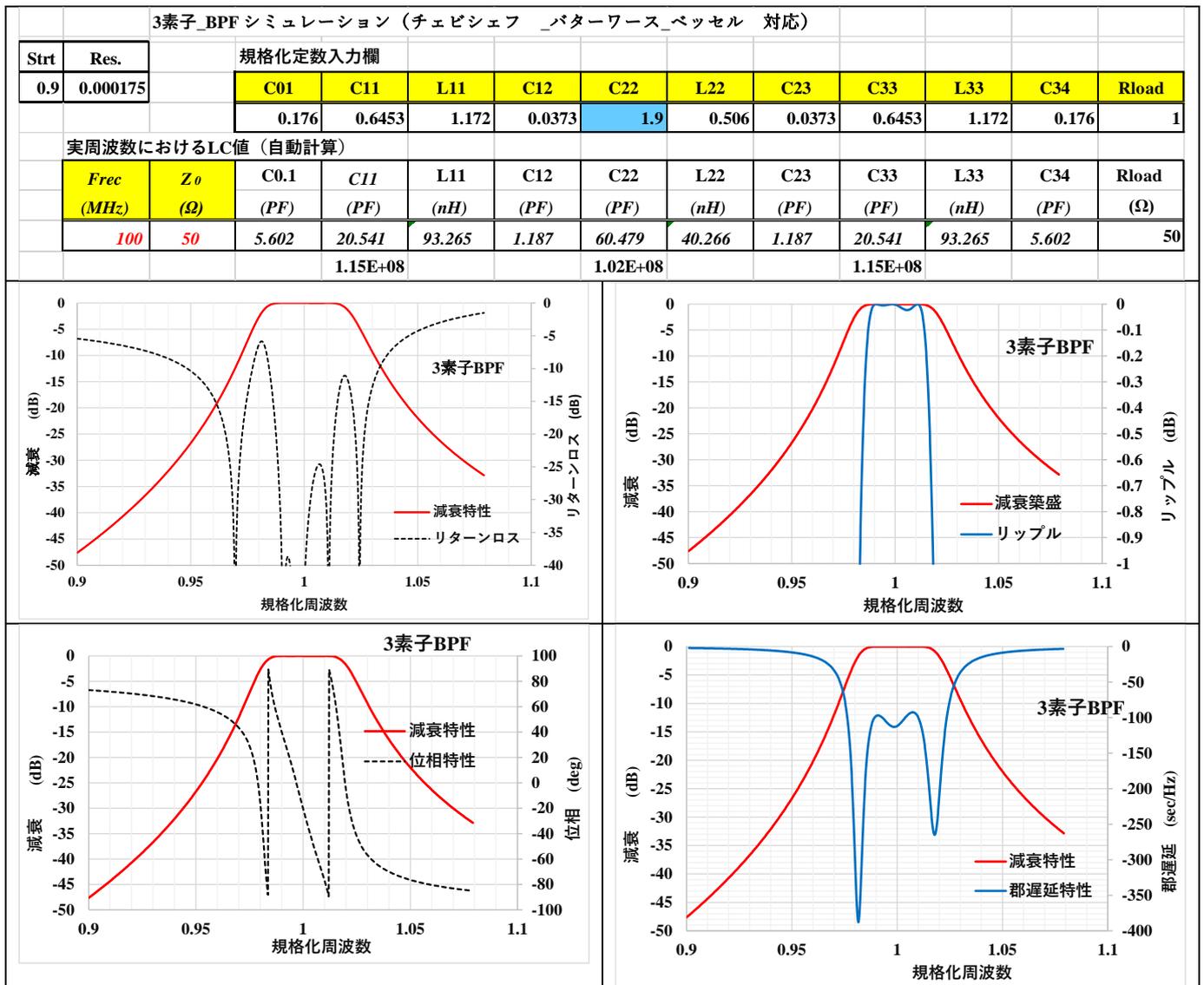
$$\text{リターンロス (絶対値)} : |\Gamma| = \frac{|1 - Z_{in}|}{|1 + Z_{in}|} \quad \dots\dots\dots (4)$$

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

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

4. 多段共振素子の結果を紹介する

広い通過帯域と翁減衰が必要な場合に用いる



以上