BPF フィルタ回路シミュレータの使い方　（初版）

2022.3.08　SSaito

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（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

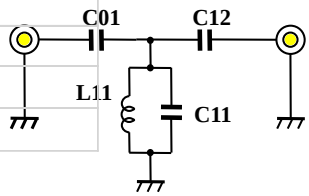
3 素子以上のファイルは読み込みに時間だ掛かります。　なお、2 素子からは何れもチェビシェフ、バターワース、ベッセルに対応可能なシートです。

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 4 部構成で“設定部“、”演算処理部“、“加工グラフ“、“E 系列丸め“、から構成されています。

2-1. 設定部の構成

				1素子_BPF_伝達特性					
ネットアナ設定		規格化定数（表または任意の数を入力する）							
開始周波数	分解能		R	C01	C11	L11	C12	Rl	0dB 基準
0.9	0.0005		1	0.1880	0.8340	0.8340	0.1880	1	0
	step:500	実定数（実回路の数値を計算する）						1	
		Frec	Z0	C01	C11	L11	C12	Rl	
		(MHz)	(Ω)	(PF)	(PF)	(nH)	(PF)	(Ω)	
		100	50	5.984	26.547	66.368	5.984	50.00	



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 素子以降のファイルは非常に重いため、読み込みに時間がかかります。（PC の性能にもよりますが、4 段のシートでは 50～60 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　$0.9+0.0005\times500 = 0.9+0.25=1.15$

この設定で $0.9\sim1.15$　までの周波数特性が表示されます。

より高い周囲波数での特性は分解能 0.0005 を大きく、例えば 0.001 としますと 1.4 まで広くなります

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特性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	Rl	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)	Rl (Ω)
100	50	6.3662	25.465	94.735	6.3662	50.00

この値を設定部の規格化周波数に貼り付ける

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	Rl	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)	Rl (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	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

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 ついて

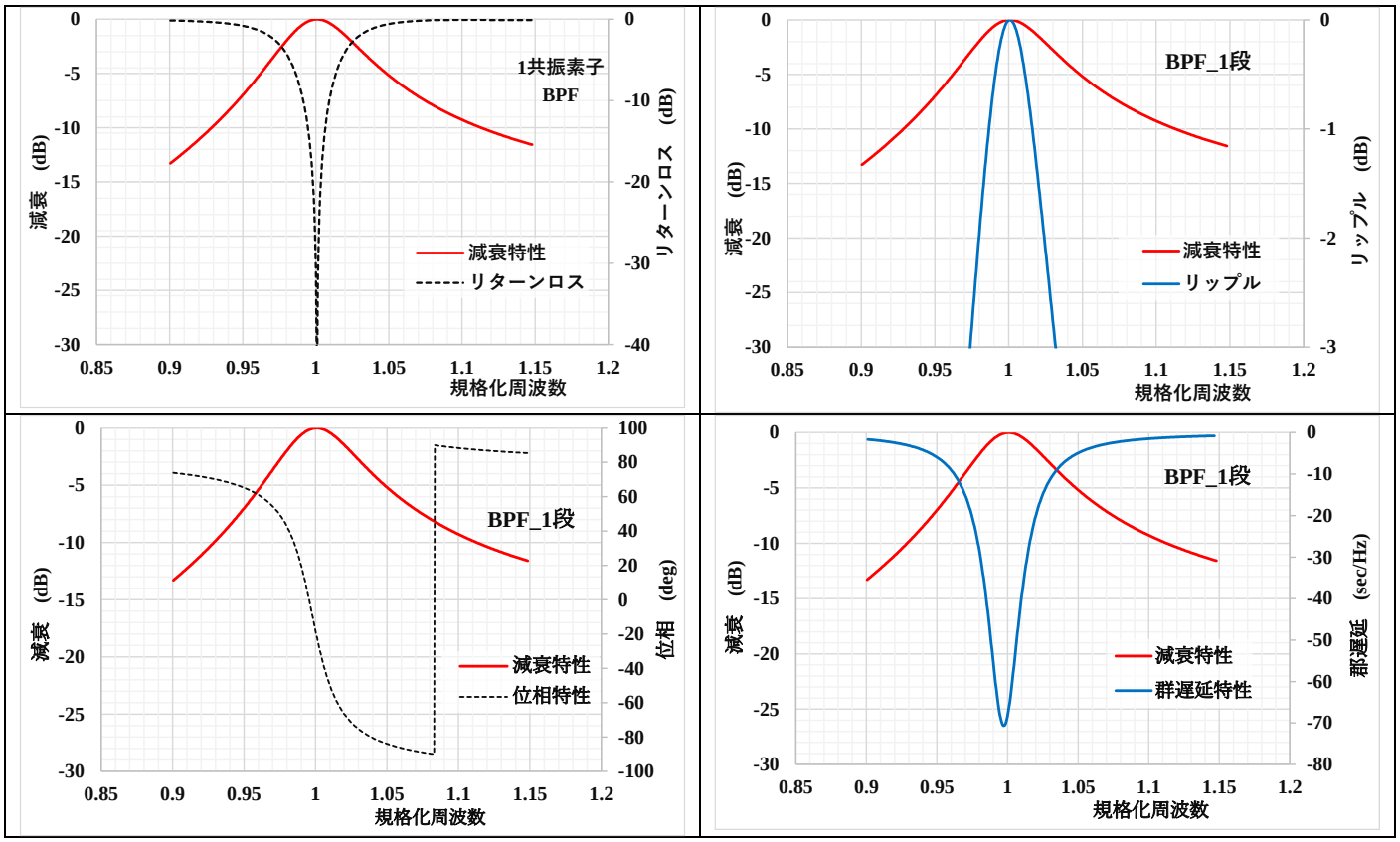
周波数、一点部のみの構成は以下の様になっている。減衰量、位相、入力インピーダンス、リターンロスが計算されます。

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に集約表を作っています。

正確な数値はこちらから読み取ると良いでしょう。

得られた作図の一部を紹介します。

単一共振素子の例を示します



中心周波数の前後で対称にならないのは C 結合にためで（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（実用回路では適さない）。

今回は 5 段まで、全 5 種類のプログラムを準備しました。　業務にお役立てください。

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. 最終 4 端子マトリックスを計算する。
4. 最終 4 端子マトリックスを S マトリックスに変換する
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います。 まず LC 組み　　にマトリックス掛け算を行います。
合わせの小ブロックを縦続接続して、縦続接続するごと

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、

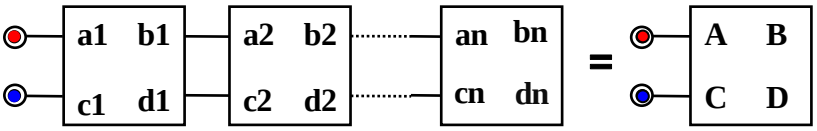


Fig　伝達（ABCD）パラメータ変換

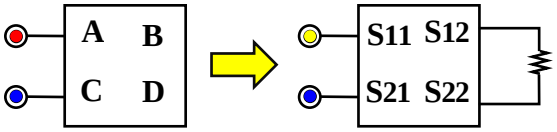


Fig.　ABCDパラメータ　Sパラメータ変換

負荷における最終結果から全体の電気特性が求められる。
最終伝達マトリックス (ABCD) を使って S パラメータを計算すると

伝達（減衰）特性は $S_{21}=\dfrac{2Z_l}{\Delta}$ …… (1)

反射特性は $S11=\dfrac{A\cdot Z_l+B-C\cdot Z_{in}\cdot Z_l-D\cdot Z_{in}}{\Delta}$ …… (2)

ただし $\Delta=A\cdot Z_l+B+C\cdot Z_{in}\cdot Z_l+D\cdot Z_{in}$ …… (3)

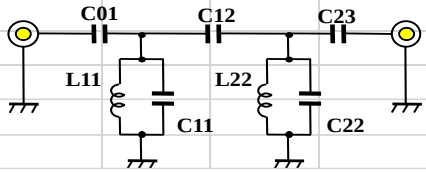
位相は (1) より $\varphi=tan^{-1}\left(-\dfrac{Im(S_{21})}{Re(S_{21})}\right)$ …… (4)

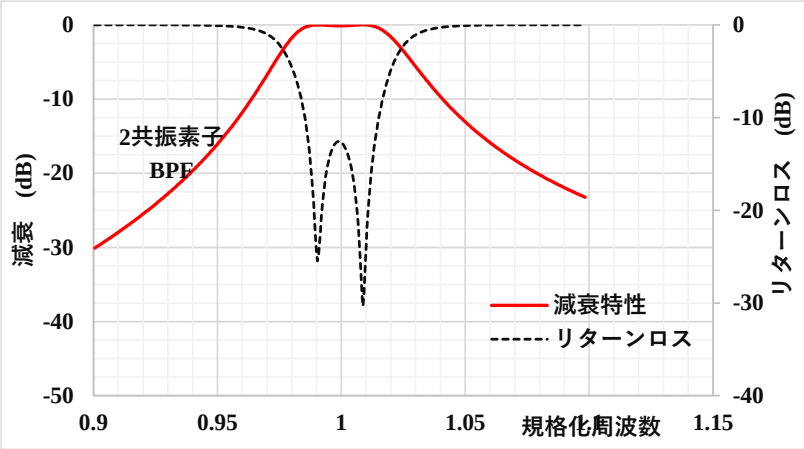
群遅延は(4) より $\tau=\dfrac{d\varphi}{d\omega}$ …… (5)

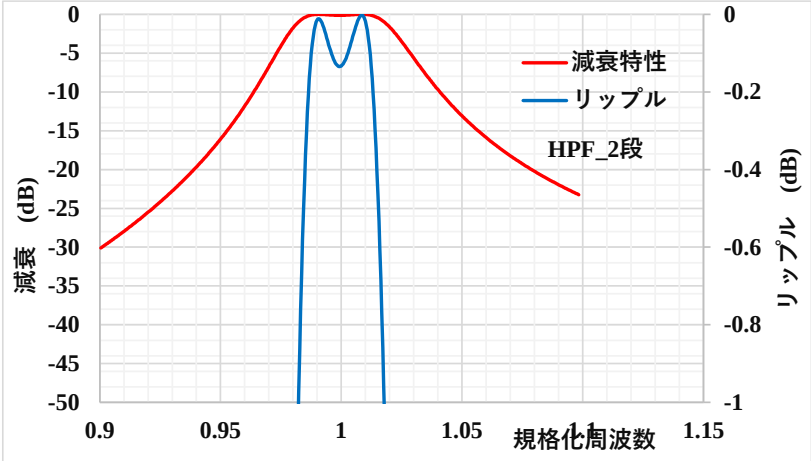
4. 多段共振素子の結果を紹介する

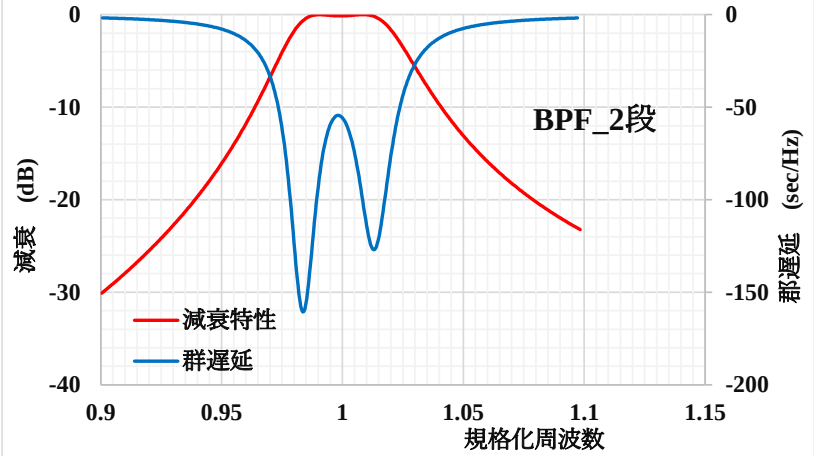
2素子_BPF_伝達特性

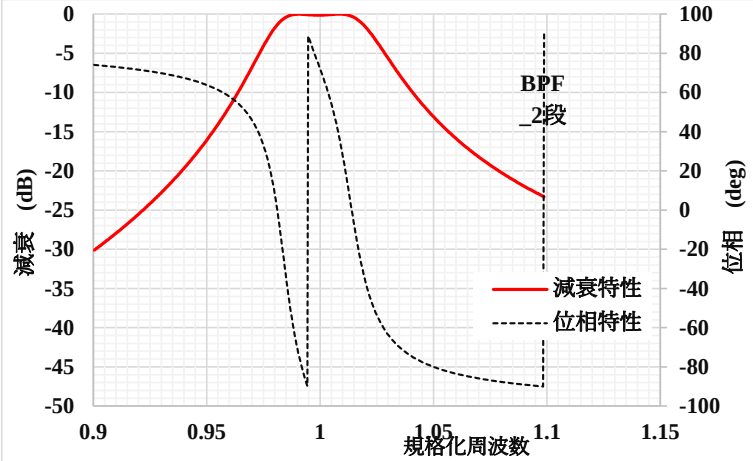
ネットアナ設定		規格化定数										
開始周波数	分解能		R	C01	C11	L11	C12	C22	L22	C23	Rl	0dB 基準
0.9	0.0004		1	0.1790	0.9890	0.8340	0.0407	0.9610	0.8340	0.1790	1	0
	step:500	実定数		0.179	0.98	0.835	0.0407	0.95	0.832	0.179		
		Frec (MHz)	Z0 (Ω)	C01 (PF)	C11 (PF)	L11 (nH)	C12 (PF)	C22 (PF)	L22 (nH)	C23 (PF)	Rl (Ω)	
		100	50	5.70	31.48	66.37	1.30	30.59	66.37	5.70	50.00	











3素子_BPF シミュレーション（チェビシェフ　_バターワース_ベッセル　対応）

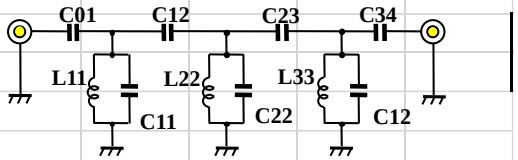
Strt	Res.
0.9	0.0002

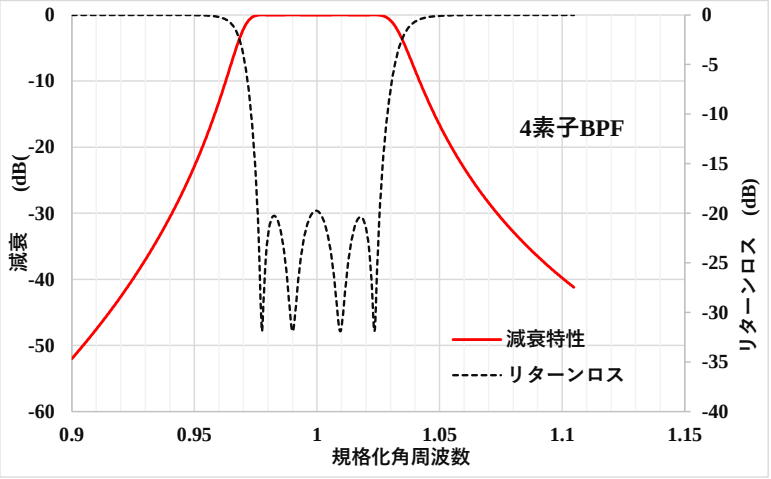
規格化定数入力欄

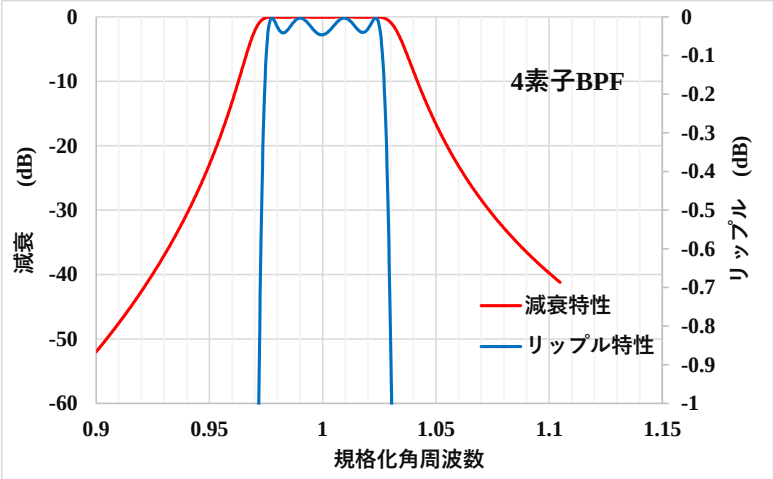
C01	C11	L11	C12	C22	L22	C23	C33	L33	C34	Rload	0dB 基準
0.2010	0.6583	1.1055	0.0543	1.8995	0.4985	0.0543	0.6583	1.1055	0.2010	1	0

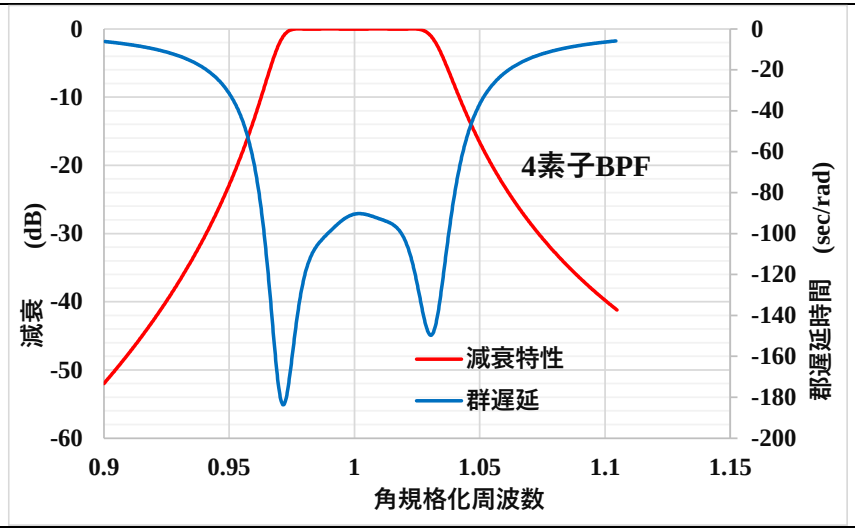
実周波数におけるLC値（自動計算）

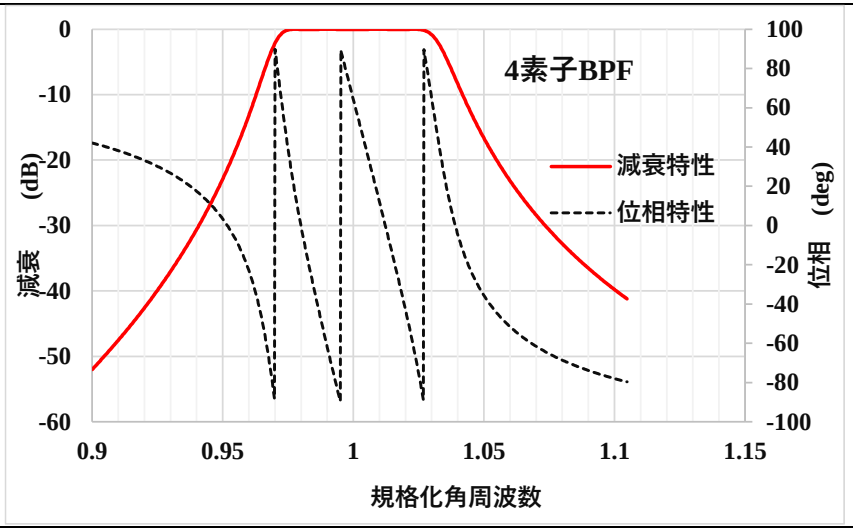
Frec (MHz)	Z 0 (Ω)	C0.1 (PF)	C11 (PF)	L11 (nH)	C12 (PF)	C22 (PF)	L22 (nH)	C23 (PF)	C33 (PF)	L33 (nH)	C34 (PF)	Rload (Ω)
100	50	6.398	20.954	87.973	1.727	60.461	39.668	1.727	20.954	87.973	6.398	50
			1.17E+08			1.03E+08			1.17E+08			











最後に各ファイルには加工可能なシートを配置しました。こちらはタイトルや軸の設定を自由に変えられます。報告書などの作成に利用してください

以上です。