LC フィルタの設計と合成の実験

LtAct を利用して素子値を求める

Ver.2026.04.24
Ver.2026.05.15
Ver.2026.06.04
Ver.2026.07.02
Ver.2026.07.16
Ver.2026.07.29
Ver.2026.08.03

三浦 高志

はじめに

「LCフィルタの設計と合成の実験」をダウンロードしていただきまして誠に有り難うございます。
本書では、「LtAct」を利用してLCフィルタを設計・合成する手順を実験しました。

まず、Vectorより公開中の「LtAct」または「ActiveFilter-Design-Schematics」を用いて伝達関数の係数を求めます。次に、「Sim for DOS」に同梱されている「回路シミュレーション.pdf」で解説されている手順に従ってLCフィルタの各素子値を求めます。
伝達関数の係数から各素子値を求めるために「電卓プログラム Dt.exe」のマクロを利用しました。
「電卓」の使用方法は「アクティブフィルタの設計と合成」も参照してください。
上記ソフトウェアのダウンロードは下記よりお願い致します。
https://www.vector.co.jp/soft/winnt/edu/se521760.html
https://www.vector.co.jp/soft/winnt/edu/se525207.html
https://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an008575.html
Sim for DOS
アクティブフィルタの設計と合成

「LCフィルタの設計と合成の実験」を解凍したフォルダ内にある、「LCフィルタ設計マクロ」をフォルダごと「電卓プログラム Dt.exe」を解凍したフォルダにコピーして下さい。
実験で使用した回路図ファイルなどは、「LCフィルタの設計と合成の実験」を解凍したフォルダ内にある、「LC 実験」に収納してあります。

最初に、「LtAct」を使って楕円関数2次ローパスフィルタを設計して伝達関数の係数ファイルを出力しました。次に「sim.exe」を起動して「LC2次ローパス・フィルター」の回路図を入力して係数行列を作成しました。これを「Maple」に貼り付けて素子名による伝達関数を計算して、素子名に数値を代入して最終的に素子値を求めました。

「LC 実験」→「基本回路図」に入っている「LC2-ellip-Rin-50-base.asc」を「LtSpice」で開き、各素子に計算された素子値を入力してファイル名を変更して保存後、周波数特性を確認しました。
L1, L2, C1, C2, および R0 の素子値を入力してシミュレーションを開始すると、設計したフィルターの周波数特性を確認できます。「信号源のインピーダンス」が 0 の場合の周波数特性は、「LC2-ellip-1KHz-xs-3-Rin-0.asc」によって確認できます。

2 次から 11 次までの LC フィルタの素子値を計算するマクロを作成しました。
付録として、「LC フィルタ マクロで作成した回路図と周波数特性」を追加しました。

目次

はじめに 1
目次 2
LC フィルターの基本回路図 8
減衰量の一覧表 8
2 次フィルター 9
設計の手順 9
楕円関数ローパスフィルター用 12
逆チェビシェフローパスフィルター用 13
3 次フィルター 14
楕円関数･逆チェビシェフローパスフィルター用 14
表から素子値を計算する時の基本回路図 15
4 次フィルター 16
楕円関数･逆チェビシェフローパスフィルター用 16
表から素子値を計算する時の基本回路図 18
5 次フィルター 19
表から素子値を計算する時の基本回路図 19
7 次フィルター 20
表から素子値を計算する時の基本回路図 20
9 次フィルター 21
表から素子値を計算する時の基本回路図 21
11 次フィルター 22
表から素子値を計算する時の基本回路図 22
2 次の LC フィルタの設計 23
設計例 2-1 2 次楕円関数ローパスフィルター 23
マクロ「lc2in1khz」の内容 28
マクロ「LC2Cal」の内容 28
数式について 28
マクロ「LC2Calinv」の内容 29
設計例 2-2 2 次逆チェビシェフローパスフィルター 29
マクロ「LC2Calinv」の内容 32
マクロ「lc2invchev」の内容 33
マクロ「LC2Calinv」の内容 33
数式について 33
設計例 2-3　2 次楕円関数ローパスフィルター　2 34

目次

まとめ　2 次楕円関数ローパスフィルター 37
信号源インピーダンスの影響を確認する 45
3 次の LC フィルタの設計 47
設計例 3-1 3 次楕円関数ローパスフィルター 48
数式について 50
設計例 3-2 3 楕円関数ローパスフィルター 51
設計例 3-3 3 次逆チェビシェフローパスフィルター 52
まとめ 3 次楕円関数ローパスフィルター 54
3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　1 62
伝達関数 62
インピーダンス関数 63
未知の変数 k を決定する。 65
手順をマクロとしてまとめる 66
3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　2 68
伝達関数 68
4 次の LC フィルタの設計 71
設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター 71
数式について 76
設計例 1-2　4 次楕円関数ローパスフィルター 81
設計例 1-3　4 次逆チェビシェフ･ローパスフィルター 83
4 次の LC フィルタの設計 2 84
設計例 2-1　4 次楕円関数ローパスフィルター 86
設計例 2-2　4 次楕円関数ローパスフィルター 88
設計例 2-3　4 次楕円関数ローパスフィルター 89
設計例 2-4　4 逆チェビシェフ･ローパスフィルター 90
設計例 2-5　4 逆チェビシェフ･ローパスフィルター 92
表を使ってフィルターの素子値を求める 95
「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する 98
3 次フィルター 99
マクロ　「LCn3Atp0p09Xs2p0Amin23」 100
マクロ　「LCn3Atp0p09Xs3p07Amin36」 103
マクロ　「LCn3Atp0p09Xs3p628Amin40」 103
4 次フィルター 104
5 次フィルター 109
マクロ　「LCn5Atp0p01Xs2p559Amin61」 110
マクロ　「LCn5Atp0p01Xs2p0Amin49」 110

目次

マクロ 「LCn5Atp0p01Xs1p49Amin33」 110
7 次フィルター 111
マクロ 「LCn7Atp0p1Xs1p70Amin81」 112
マクロ 「LCn7Atp0p1Xs1p52Amin73」 112
マクロ 「LCn7Atp0p1Xs1p3Amin61」 112
マクロ 「LCn7Atp0p01Xs2p0Amin84」 114
マクロ 「LCn7Atp0p01Xs1p49Amin62」 114
マクロ 「LCn7Atp0p01Xs1p30Amin50」 114
「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める 115
「2 次の LC フィルタの設計」の利用 115
「3 次の LC フィルタの設計」の利用 118
「4 次の LC フィルタの設計 2」の利用 122
フィルターの素子値を求める 126
3 次フィルターの素子値を求める 126
5 次フィルターの素子値を求める 129
7 次フィルターの素子値を求める 130
2 次フィルターの素子値を求める 132
3 次フィルターの素子値を求める 133
4 次フィルターの素子値を求める 134
電卓用のマクロを増やして、整理する 135
3 次 ρ=1% (atp=0.0004dB) 135
3 次 ρ=5% (atp=0.0109dB) 136
3 次 ρ=15% (atp=0.0988dB) 137
3 次 ρ=25% (atp=0.28dB) 139
3 次の作成例 141
5 次 ρ=1% (atp=0.0004dB) 142
5 次 ρ=5% (atp=0.0109dB) 143
5 次 ρ=15% (atp=0.0988dB) 145
5 次の作成例 147
7 次 ρ=1% (atp=0.0004dB) 148
7 次 ρ=5% (atp=0.0109dB) 149
7 次 ρ=15% (atp=0.0988dB) 151
7 次の作成例 153
「LtAct」を使用した表形式のマクロ 154
LtAct による 2 次～4 次の作成例 157
「LtAct」を利用したマクロと表を利用したマクロの比較 160

目次

9 次と 11 次のマクロを追加する 162
9 次 ρ=20% (atp=0.1773 dB) 165
9 次の注意点 167
9 次の作成例 168
11 次 ρ=20% (atp=0.1773 dB) 169
11 次の注意点 171
11 次の作成例 172
マクロと基本回路図の格納場所 173
マクロを利用する手順 175
設計例 1 175
設計例 2 179
マクロで作成した回路図を活用する 181
2 次 リプル 0.1dB, Xs=10, Amin=35dB 181
3 次 リプル 0.0004dB, Xs=3.8, Amin=18dB 185
3 次 リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=23dB 186
3 次 リプル 0.1dB Xs=3.8 と Xs=5.7 187
4 次 リプル 0.1dB Xs=2 と Xs=3 188
5 次 リプル 0.1dB Xs=2 と Xs=2.3 189
7 次 リプル 0.1dB Xs=1.3 と Xs=1.5 190
9 次 リプル 0.177dB Xs=1.09 と Xs=1.24 191
11 次 リプル 0.177dB Xs=1.035 と Xs=1.15 192
LC フィルタの設計 表による素子値の決定方法 193
参考文献 193
目次 194
5.1 カタログの概要 197
集計の原則 198
最も簡単な集計 200
ノモグラムを用いたフィルタの複雑度推定 202
正規化 203
注意： 204
表の値 205
極と零点に関する情報 211
要素の値 214
通過帯域におけるインピーダンス 218
5.2 駆動点インピーダンスの実部 221
所定の駆動点インピーダンスを持つ 2 端子ネットワークの設計 222

目次

駆動点インピーダンスの実部のパラメータ 225
2 端子回路の基礎 227
数値例 228
解決策： 228
5.3 ローパスフィルターの設計 229
数値例 1 233
数値例 2 236
注意: 237
5.4 ハイパスフィルタの設計 238
数値例 1 242
数値例 2 244
5.5 LC バンドパスフィルタの設計 247
カタログからの定常状態特性の計算 249
数値例 255
バンドパスフィルタ変換 261
5.6 狭帯域結晶フィルターの設計 265
フィルターネットワーク内の水晶 266
設計の数値例 269
5.7 バンドストップフィルタの設計 275
数値例 1 283
数値例 2 287
注意：ρ 290
3 次から 7 次までの表の例 293
3 次楕円関数 リプル 0.0004dB 相当 293
3 次楕円関数リプル 0.007dB 相当 294
3 次楕円関数リプル 0.1dB 相当 295
4 次楕円関数リプル 0.043dB 相当 297
4 次楕円関数リプル 0.1dB 相当 297
5 次楕円関数 298
5 次楕円関数リプル 0.1dB 相当 299
5 次楕円関数リプル 0.28dB 相当 300
7 次楕円関数 リプル 0.01dB 相当 301
7 次楕円関数 リプル 0.1dB 相当 302
付録 LC フィルタ マクロで作成した回路図と周波数特性 303

目次

LC フィルターの基本回路図

減衰量の一覧表

楕円関数と逆チェビシェフローパスフィルタにおいて、リプルが atp dB、カットオフ周波数の Xs 倍の周波数で最低減衰量に達するとする。
atp は、0.1, 0.5 および 1dB, Xs は、1.2, 1.5, 2 および 2.5。

2 次 楕円関数ローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	1.07	3.21	7.42	11.23
0.5	3.93	8.28	13.92	18.15
1	6.15	11.19	17.10	21.38

2 次 逆チェビシェフローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	0.34	1.09	3.31	6.11
0.5	1.56	3.97	8.44	12.34
1	2.82	6.20	11.36	15.47

3次 楕円関数ローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	6.69	14.85	24.01	30.52
0.5	13.06	21.92	31.19	37.71
1	16.21	25.18	34.45	40.97

3次 逆チェビシェフローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	0.99	4.60	12.24	18.54
0.5	3.69	10.37	19.22	25.68
1	5.84	13.42	22.48	28.94

4次 楕円関数ローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	17.05	29.06	41.45	50.14
0.5	24.17	36.25	48.64	57.33
1	27.42	39.52	51.91	60.60

4次 逆チェビシェフローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	2.69	11.42	23.43	32.09
0.5	7.40	18.35	30.60	39.28
1	10.23	21.58	33.87	42.55

5次 楕円関数ローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	28.30	43.42	58.90	69.77
0.5	35.49	50.61	66.09	76.96
1	38.76	53.87	69.36	80.23

5次 逆チェビシェフローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	5.97	19.50	34.85	45.70
0.5	12.16	26.65	42.04	52.89
1	15.29	29.91	45.31	56.16

7次 楕円関数ローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	50.96	72.13	93.81	109.02
0.5	58.15	79.32	101.00	116.22
1	61.42	85.59	104.27	119.48

7次 逆チェビシェフローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	15.61	36.17	57.72	72.91
0.5	22.71	43.36	64.92	80.11
1	25.96	46.63	68.18	83.37

9次 楕円関数ローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	73.63	100.84	128.72	148.28
0.5	80.82	108.03	135.91	155.47
1	84.09	111.30	139.18	158.74

9次 逆チェビシェフローパスフィルタ

atp dB/Xs	1.20	1.50	2.00	2.50
0.1	26.31	52.89	80.60	100.13
0.5	33.50	60.08	87.79	107.33
1	36.76	63.35	91.06	110.59

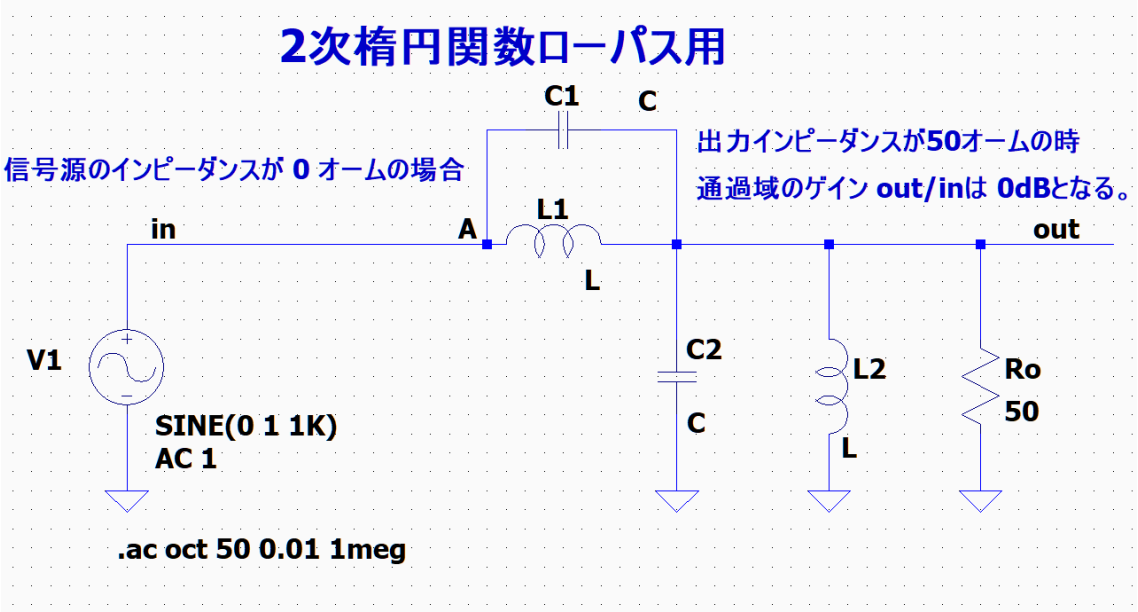
表より、7 次楕円関数ローパスフィルタでは、atp=0.1dB, Xs=1.5 の場合には、カットオフ周波数の 1.5 倍の周波数で最低減衰量 72.13dB が得られることが読み取れる。

LC フィルターの基本回路図

2 次フィルター

設計の手順

LC2-ellip-Rin-0-base.asc



「sim.exe」を起動して「/ipart」で LC2 次ローパスフィルタの回路図を入力して、
「/save」で回路ファイルを作成しました。

@lc2-50:0,1,2
2
0 1 @e @e1 @ 0 1 0 @
0 2 @c @c2 @ 0 1 0 @
0 2 @l @l2 @ 0 1 0 @
0 2 @r @ro @ 0 50 0 @
1 2 @l @l1 @ 0 1 0 @
1 2 @c @c1 @ 0 1 0 @
fnc

LC フィルターの基本回路図

この接続情報を「/conv」で係数行列に変換しました。

```
# Maple 用　係数行列・素子値リスト
restart: with(linalg): with(plots):
siki:=matrix(2,2,0):e:=vector(2,0):
siki[　1,　1] := 1 ;
e[1] := +e1 ;
siki[　2,　1] := -1/s/l1-s*c1 ;
siki[　2,　2] := +s*c2+1/s/l2+1/ro+1/s/l1+s*c1 ;
x:=linsolve(siki,e);
```

これを Maple に貼り付けて、素子値を計算する処理を追加したものは次の通りです。

```
# Maple 用　係数行列・素子値リスト
> restart: with(linalg): with(plots):
> siki:=matrix(2,2,0):e:=vector(2,0):
> siki[　1,　1] := 1 ;
> e[1] := +e1 ;
> siki[　2,　1] := -1/s/l1-s*c1 ;
> siki[　2,　2] := +s*c2+1/s/l2+1/ro+1/s/l1+s*c1 ;
> x:=linsolve(siki,e);
>　#以下の行は、素子値の計算用に追加した
> GG:=simplify(x[2]/e1);
> GA:=(Xc+Xd*s*s)/(Xa+Xb*s+s*s);
> nom:=expand(numer(GG));
> den:=expand(denom(GG));
> C2:=simplify(coeff(den,s,2));
> den1:=simplify(den/C2);
> nom1:=expand(nom/C2);
> simplify(coeff(den1,s,2));
> eq1:=Xa=coeff(den1,s,0);
> eq2:=Xb=coeff(den1,s,1);
> eq4:=Xc=coeff(nom1,s,0);
> eq5:=Xd=simplify(coeff(nom1,s,2));
> solve({eq1,eq2,eq4,eq5},{l1,l2,c1,c2});
>
```

LC フィルターの基本回路図

このプログラムを実行すると。最後の行に素子値が表示されます。

```
> solve({eq1,eq2,eq4,eq5},{l1,l2,c1,c2});
```

$$\{c1 = \frac{Xd}{Xb\ ro},\ l1 = \frac{Xb\ ro}{Xc},\ c2 = -\frac{Xd-1}{Xb\ ro},\ l2 = \frac{Xb\ ro}{Xa-Xc}\}$$

伝達関数の分母・分子を展開して、係数名に Xa, Xb….を使用した場合の素子値です。

$$Xk = \frac{Xc}{Xa}, L1 = \frac{Xb{\cdot}Ro}{Xa{\cdot}Xk}, L2 = \frac{Xb{\cdot}Ro}{Xa{\cdot}(1-Xk)}, C1 = \frac{Xd}{Xb{\cdot}Ro}, C2 = \frac{(1-Xd)}{Xb{\cdot}Ro}$$

LtAct で計算した伝達関数の係数と、変数の関係は次の通りです。

Xa= Pn_1

Xb= Pn_0

Xc= Pn_4

d= Pn_2

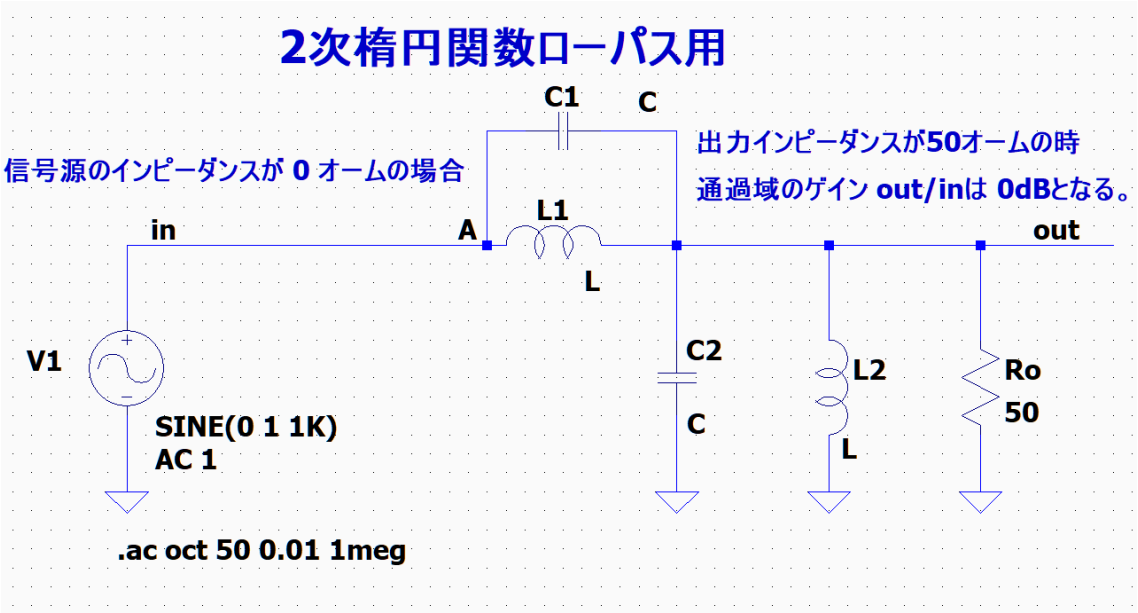
Pn_1, Pn_0,… に実際の数値を代入すると、素子値が求められます。

3 次以上のフィルタの設計も同様の手順で行いました。

LC フィルターの基本回路図

楕円関数ローパスフィルター用

LC2-ellip-Rin-0-base.asc



「LtAct」で求めた伝達関数

$$H = \frac{Pn2 \cdot s^2 + Pn4}{s^2 + Pn0 \cdot s + Pn1}$$

回路図の素子値を計算するために使用する伝達関数

$$H = \frac{c + d \cdot s^2}{a + b \cdot s + s^2}$$

2 つの伝達関数の分子・分母の係数が等しいから、

a= Pn_1

b= Pn_0

c= Pn_4

d= Pn_2

電卓のマクロでは、変数 a, b, c, d はそれぞれ Xa, Xb, Xc, Xd と入力している。

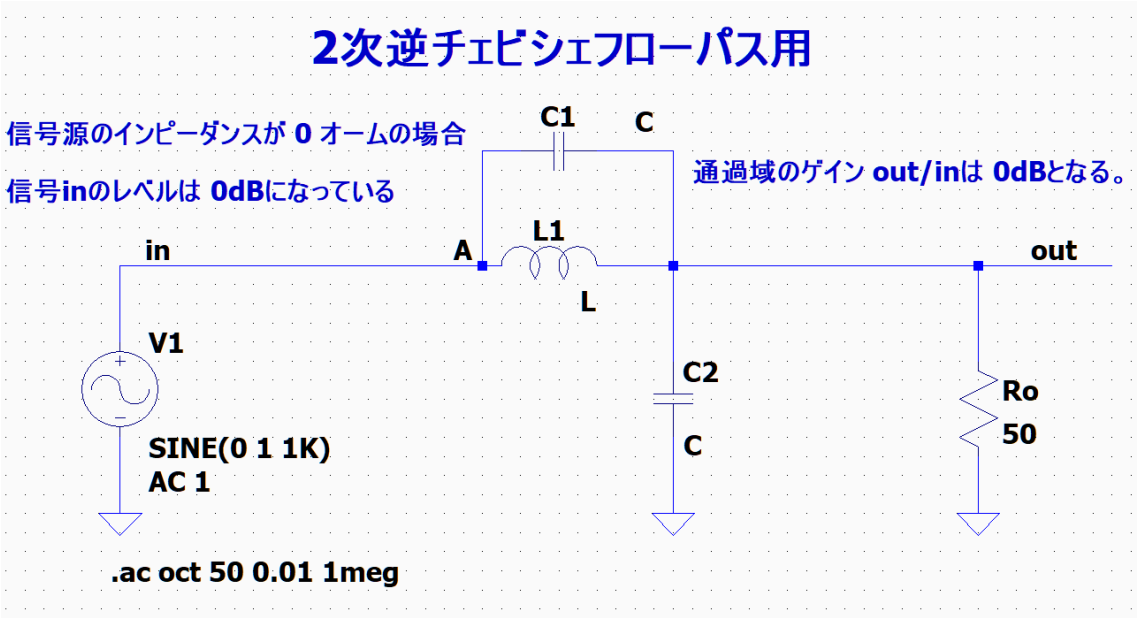
次式により、素子値を求める。

$$Xk = \frac{Xc}{Xa}, L1 = \frac{Xb \cdot Ro}{Xa \cdot Xk}, L2 = \frac{Xb \cdot Ro}{Xa \cdot (1 - Xk)}, C1 = \frac{Xd}{Xb \cdot Ro}, C2 = \frac{(1 - Xd)}{Xb \cdot Ro}$$

LC フィルターの基本回路図

逆チェビシェフローパスフィルター用

LC2-inv-base.asc



逆チェビシェフでは Xk=1 になって $L2 = \frac{Xb \cdot Ro}{Xa \cdot (1-Xk)} = \infty$ になるので L2 を使用しない。

「LtAct」で求めた伝達関数

$$H = \frac{Pn2 \cdot s^2 + Pn4}{s^2 + Pn0 \cdot s + Pn1}$$

回路図の素子値を計算するために使用する伝達関数

$$H = \frac{c + d \cdot s^2}{a + b \cdot s + s^2}$$

2 つの伝達関数の分子・分母の係数が等しいから、

a= Pn_1

b= Pn_0

c= Pn_4

d= Pn_2

電卓のマクロでは、変数 a, b, c, d はそれぞれ Xa, Xb, Xc, Xd と入力している。

次式により、素子値を求める。

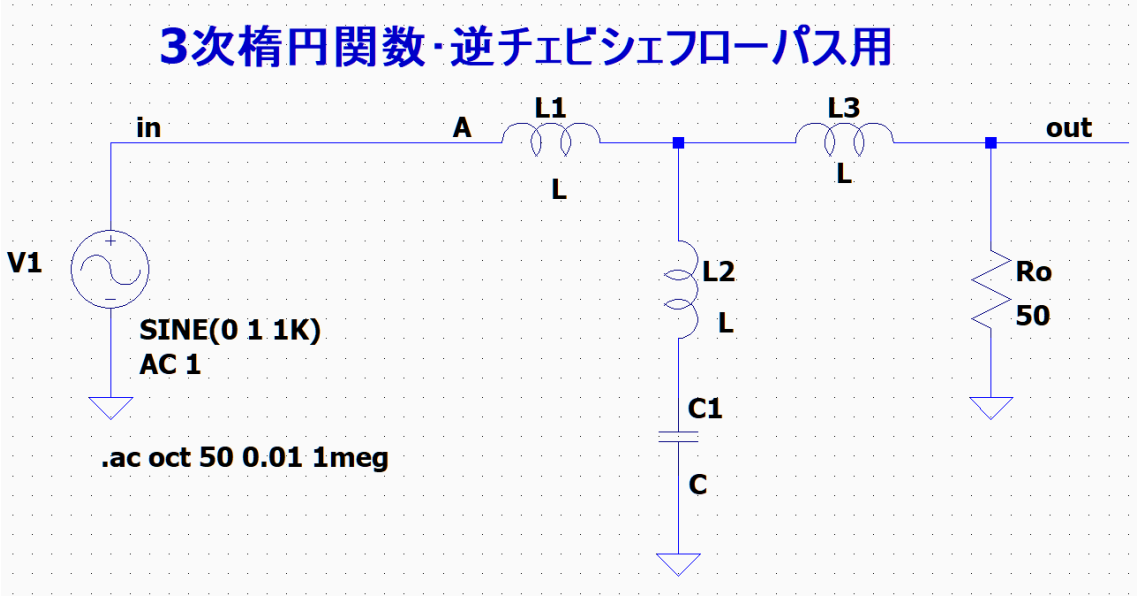
$$Xk = \frac{Xc}{Xa}, L1 = \frac{Xb \cdot Ro}{Xa \cdot Xk}, C1 = \frac{Xd}{Xb \cdot Ro}, C2 = \frac{(1-Xd)}{Xb \cdot Ro}$$

LC フィルターの基本回路図

3 次フィルター

楕円関数･逆チェビシェフローパスフィルター用

LC3-ellip-Rin-0-base.asc



「LtAct」で求めた伝達関数

$$H = \frac{P2}{s+P0} \cdot \frac{Pn2 \cdot s^2 + Pn4}{s^2 + Pn0 \cdot s + Pn1}$$

回路図の素子値を計算するために使用する伝達関数

$$H = \frac{d + e \cdot s^2}{a + b \cdot s + c \cdot s^2 + s^3}$$

2 つの伝達関数の分子・分母の係数が等しいから、

$$d = P0 \cdot Pn1, e = Pn2 \cdot P0, a = P0 \cdot Pn1, b = Pn1 + Pn0 \cdot P0, c = Pn0 + P0$$

$$k = \frac{Ro \cdot (a - b \cdot e)}{a \cdot (c - e)}, l = \frac{Ro \cdot (b \cdot c - a)}{c - e}, m = \frac{e}{a}, n = \frac{(c-e)^2}{Ro \cdot (b \cdot c - a)}$$

次式により、素子値を求める。

$$L1 = \frac{Xl}{Xa}, L2 = \frac{Xm}{Xn}, L3 = Xk, C1 = Xn$$

素子値を伝達関数の係数で表すと、

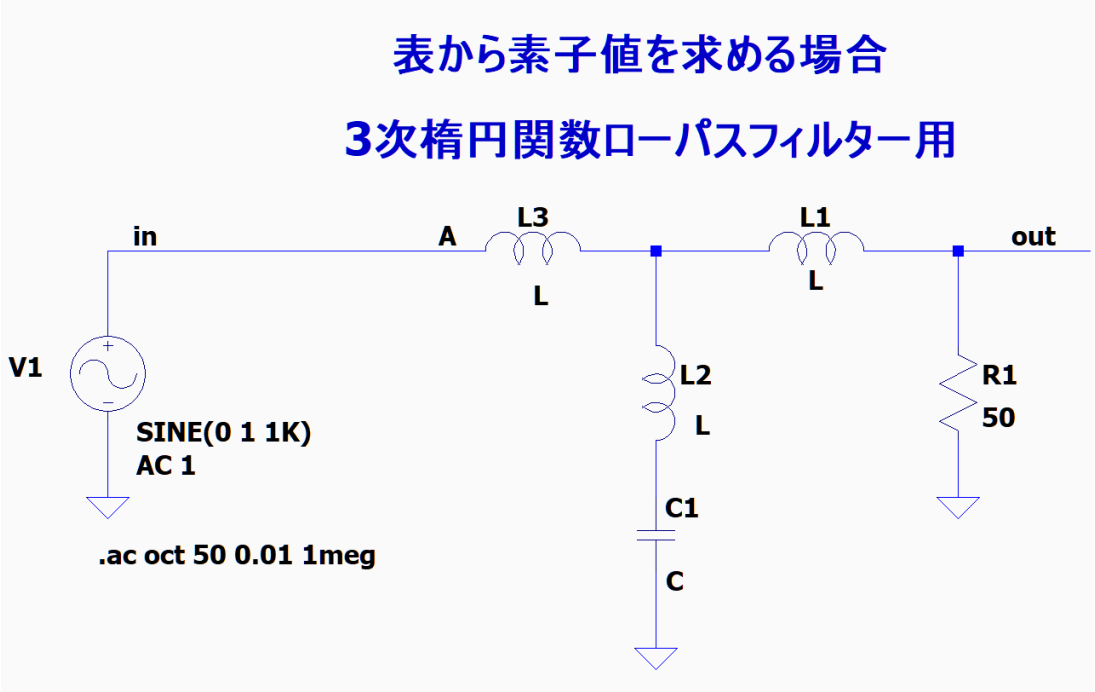
$$L1 = \frac{R1 \cdot (a - b \cdot c)}{a \cdot (e - c)}, \; L2 = \frac{R1 \cdot e \cdot (a - b \cdot c)}{a \cdot (e - c)^2}, \; L3 = \frac{R1 \cdot (a - b \cdot e)}{a \cdot (e - c)}, \; C1 = \frac{(e-c)^2}{R1 \cdot (a - b \cdot c)}$$

電卓のマクロでは、変数 a, b, c, d はそれぞれ Xa, Xb, Xc, Xd と入力している。

LC フィルターの基本回路図

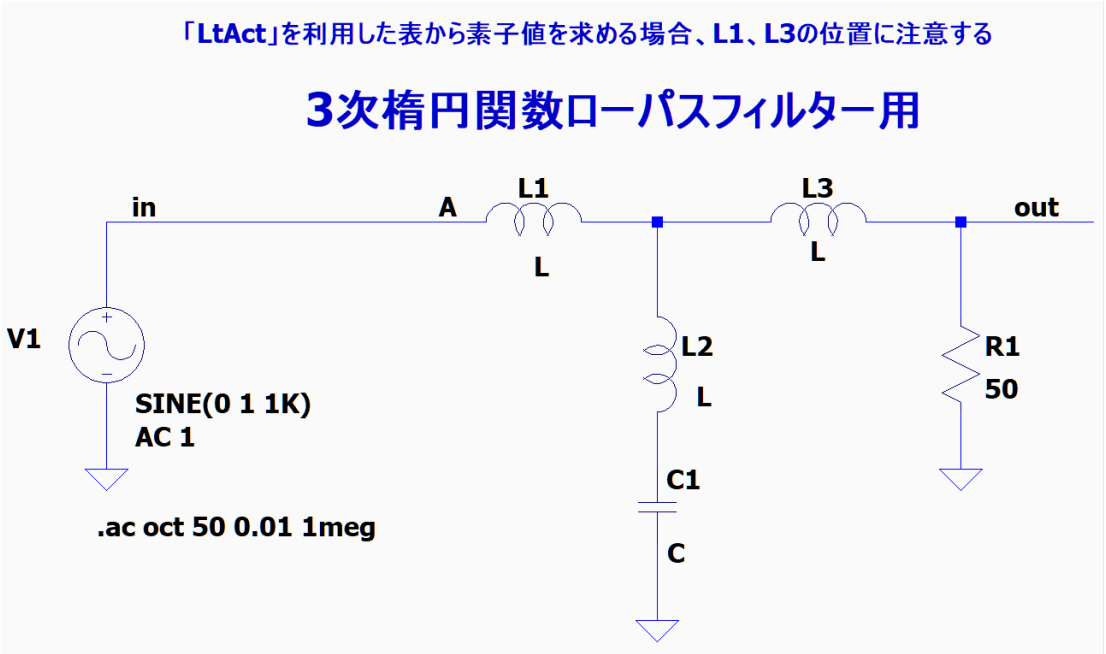
表から素子値を計算する時の基本回路図

LC3-ellip.asc



「LtAct」を利用した、表形式で素子値を求める場合の基本回路図。

LC3-ellip-LtAct.asc

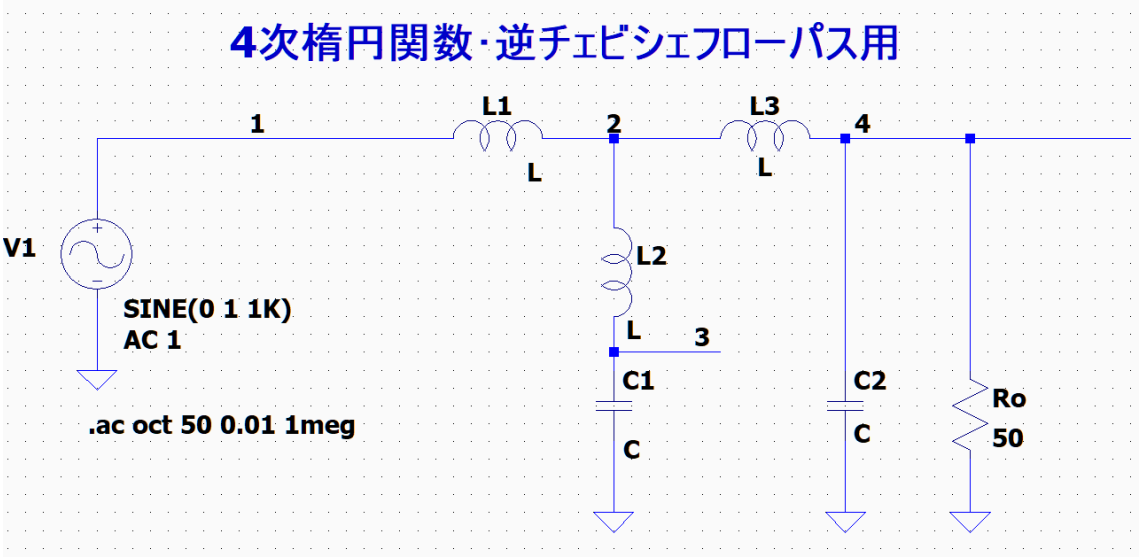


LC フィルターの基本回路図

4 次フィルター

楕円関数･逆チェビシェフローパスフィルター用

LC4-ellip-Rin-0-base.asc



「LtAct」で求めた伝達関数

$$H = \frac{Pn12 \cdot s^2 + Pn14}{s^2 + Pn10 \cdot s + Pn11} \cdot \frac{Pn22 \cdot s^2 + Pn24}{s^2 + Pn20 \cdot s + Pn21}$$

回路図の素子値を計算するために使用する伝達関数

$$H = \frac{e + f \cdot s^2 + g \cdot s^4}{a + b \cdot s + c \cdot s^2 + d \cdot s^3 + s^4}$$

入力用マクロ　LC4in

ro=50;Pn10=1.8922 K;Pn11=41.9488 Meg;Pn12=60.8174 m;Pn14=58.1689 Meg;Pn20=5.5578 K;Pn21=16.1987 Meg;Pn22=60.8174 m;Pn24=11.0283 Meg;Xa=Pn11*Pn21;Xb=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;Xc=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;Xd=Pn20+Pn10;Xe=Pn14*Pn24;Xf=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;Xg=Pn12*Pn22;$LC4cal;

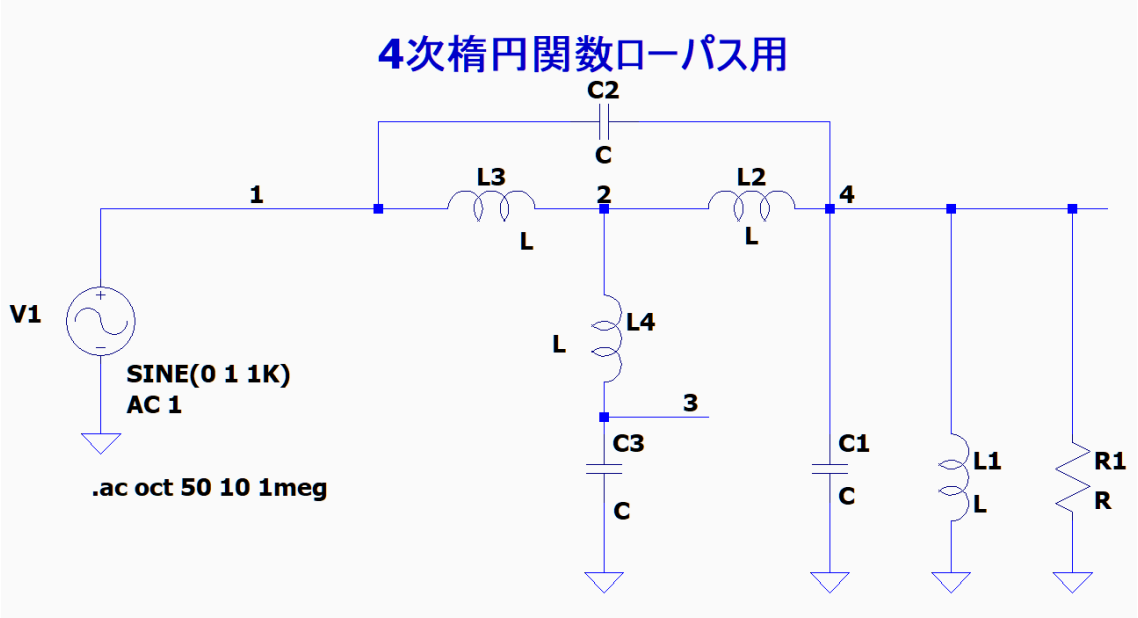
計算用マクロ　LC4cal

Xb2=Xb*Xb;Xd2=Xd*Xd;Qrd=ro*Xd;Q1=-Xd*Xc*Xb+Xb2+Xd2*Xa;Q2=Xd*Xf-Xc*Xd+Xb;Q3=-Xb*Xf+Xd*Xa;L1=ro*Q1/(Xa*Q2);L2=-Qrd*Xf*Q1/(Xa*Q2*Q2);L3=-Qrd*Q3/(Xa*Q2);C1=-Q2*Q2/(Qrd*Q1);C2=1/Qrd;

仕様の減衰性能が得られない。

LC フィルターの基本回路図

LC4-2-ellip.asc



入力用マクロ $LC42in

r1=50;Pn10=2.1819 K;Pn11=49.663 Meg;Pn12=0.1877;Pn14=89.6455 Meg;Pn20=8.7806 K;Pn21=34.301 Meg;Pn22=0.1877;Pn24=18.7863 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

計算用マクロ

$LC42cal

k1=(1-d4)/(n3*r1);k2=n2-k1*n1*r1;k3=1-k1*n3*r1;k4=k3/(n3*r1);k5=k2-k4*n1*r1;k6=(n0-d0)/n1;k7=n0-k6*n1;k8=k5-k6*n3;k9=n1*(d4*n1*n1-d2*n1*n3+d0*n3*n3)*r1/(d0*(n1*n1*(d4-1)+n1*n3*(n2-d2)+n3*n3*(d0-n0)));$LC422cal

$LC422cal

k10=n1*r1-k9*k7;k11=n3*r1-k9*k8;k12=k7/k10;k13=k8-k12*k11;L1=R1/k6;L2=k9;L3=1/k12;L4=k11/K13;C1=k1;C2=k4;C3=k13/k10;

楕円関数では仕様の減衰性能が得られる。

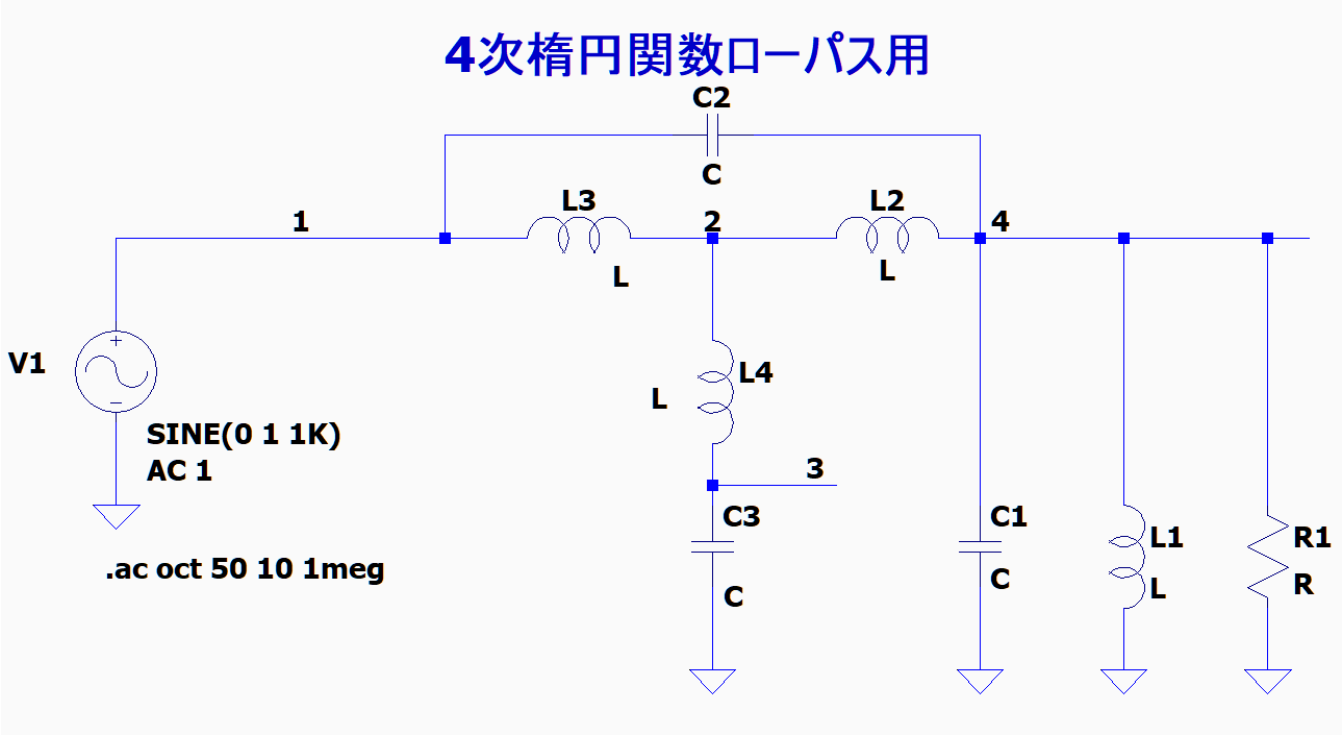
逆チェビシェフは入力マクロに工夫が必要。

Pn14 を Pn11 の 99%位の値に、Pn24 を Pn21 の 99%位の値に変更する。

LC フィルターの基本回路図

表から素子値を計算する時の基本回路図

LC4-LtAct-ellip.asc

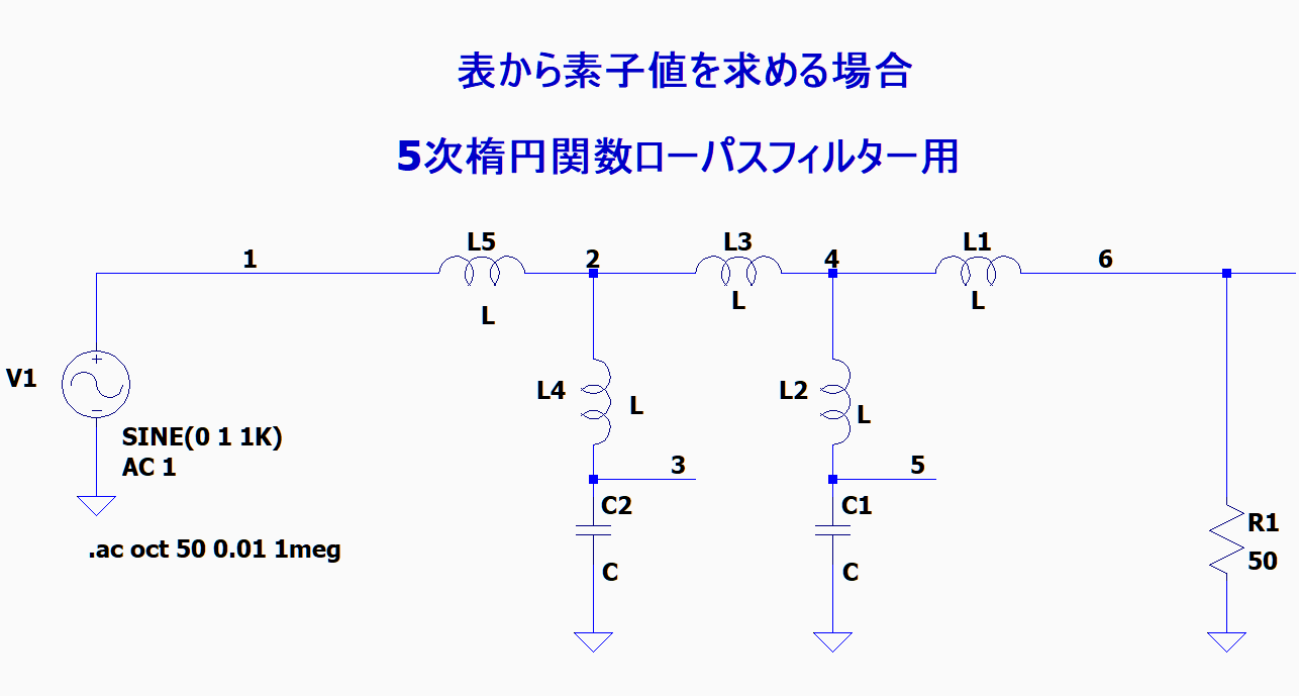


LC フィルターの基本回路図

5 次フィルター

表から素子値を計算する時の基本回路図

LC5-ellip-base.asc

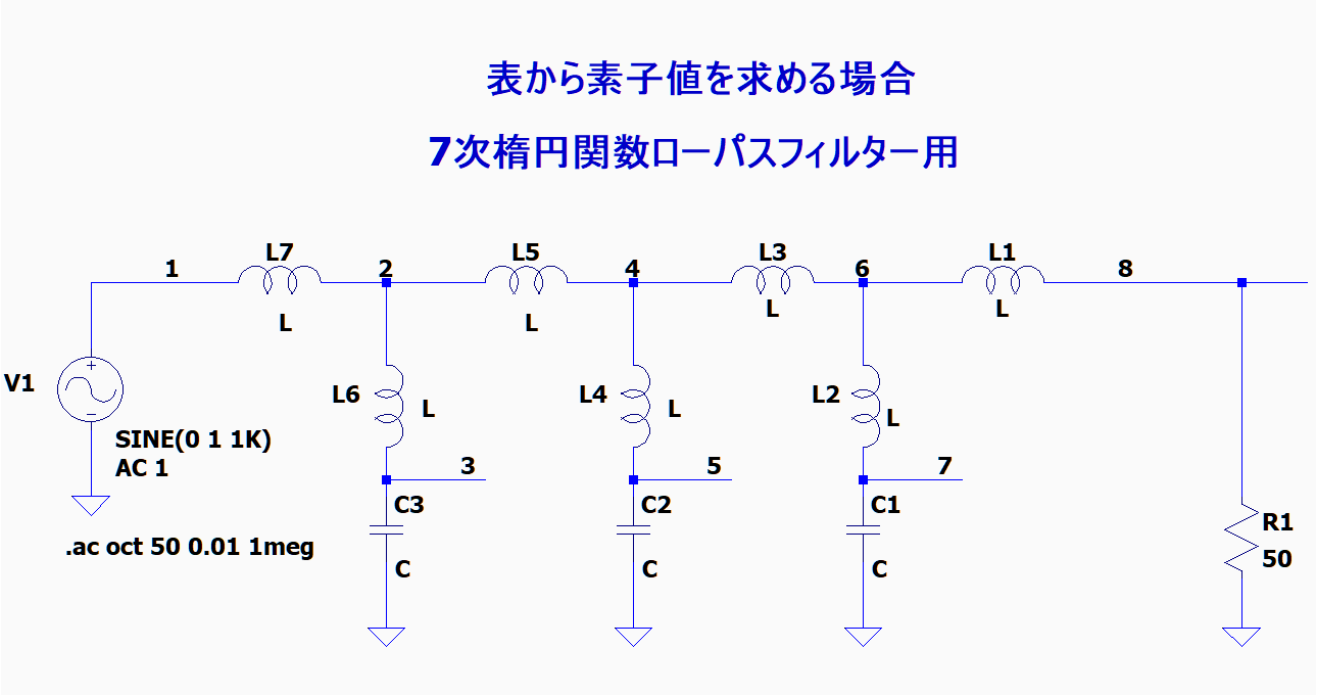


LC フィルターの基本回路図

7 次フィルター

表から素子値を計算する時の基本回路図

LC7-ellip-base.asc

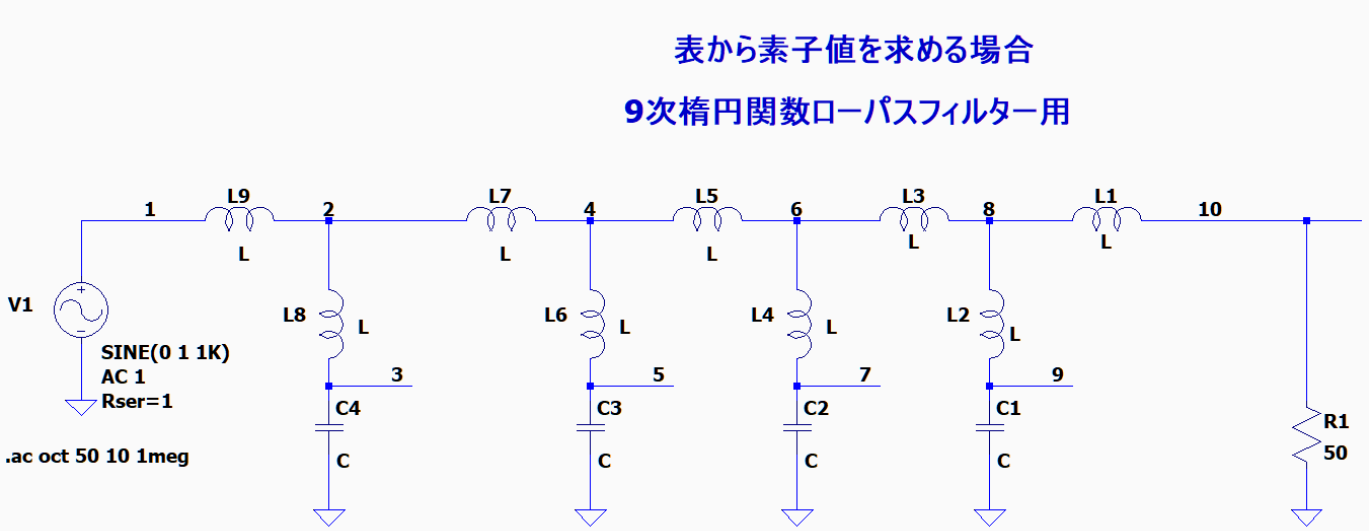


LC フィルターの基本回路図

9 次フィルター

表から素子値を計算する時の基本回路図

LC9-ellip-base.asc

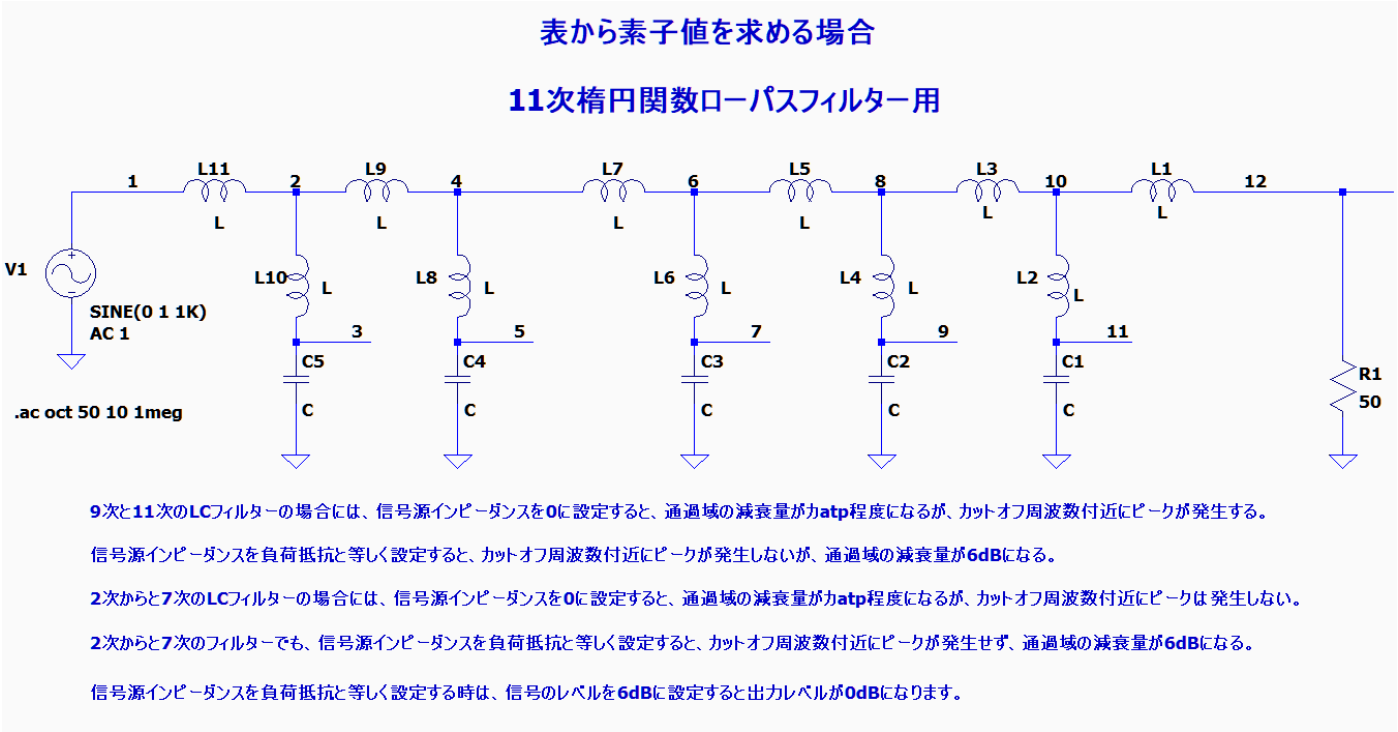


LC フィルターの基本回路図

11 次フィルター

表から素子値を計算する時の基本回路図

LC11-ellip-base.asc



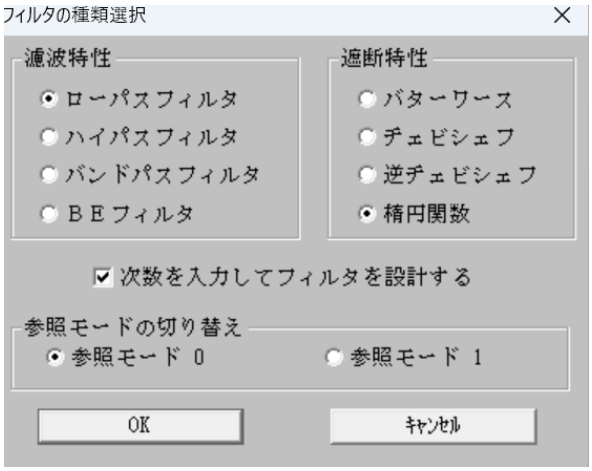
２次の LC フィルタの設計

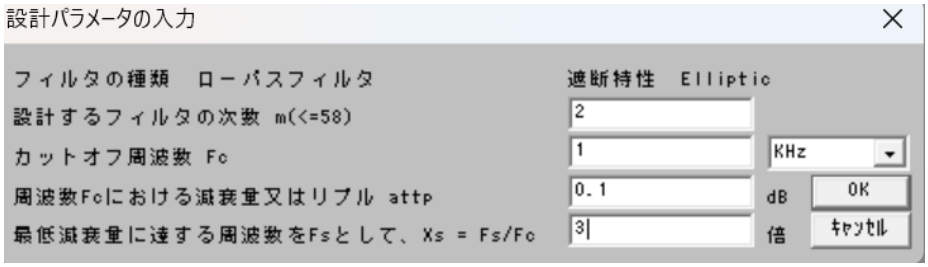
楕円関数または逆チェビシェフの伝達関数は次式で表されるとする。

$$H = \frac{c+d\cdot s^2}{a+b\cdot s+s^2} \qquad (1\text{-}1)$$

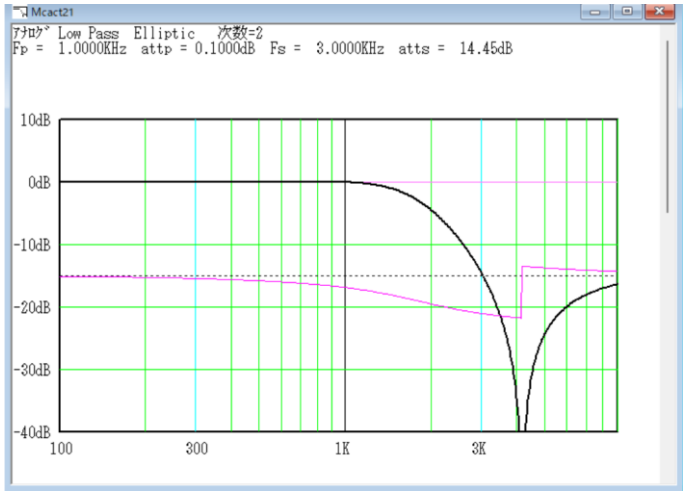
設計例 2-1 2 次楕円関数ローパスフィルター

「LtAct」でカットオフ周波数が 1KHz、リプルが 0.1dB、最低減衰量に達する周波数が 3KHz となる 2 次楕円関数ローパスフィルターを設計します。



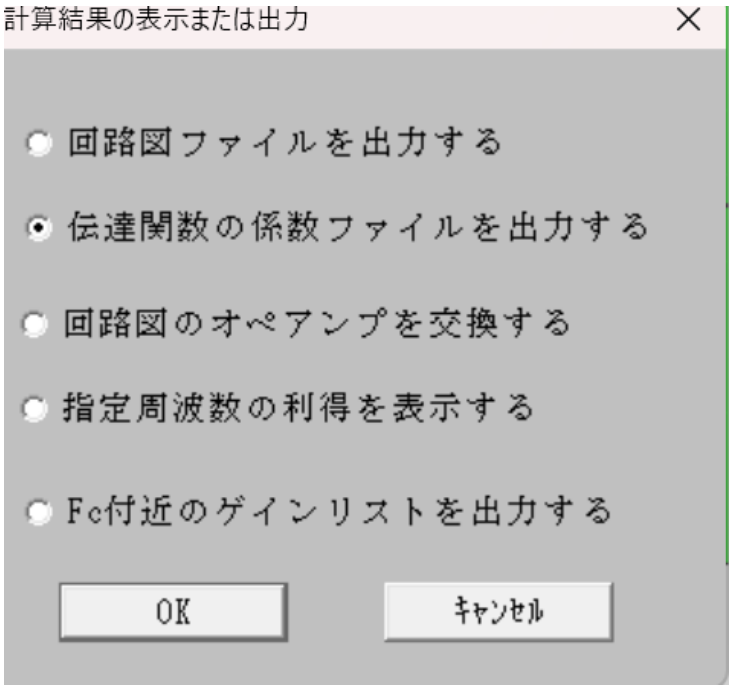


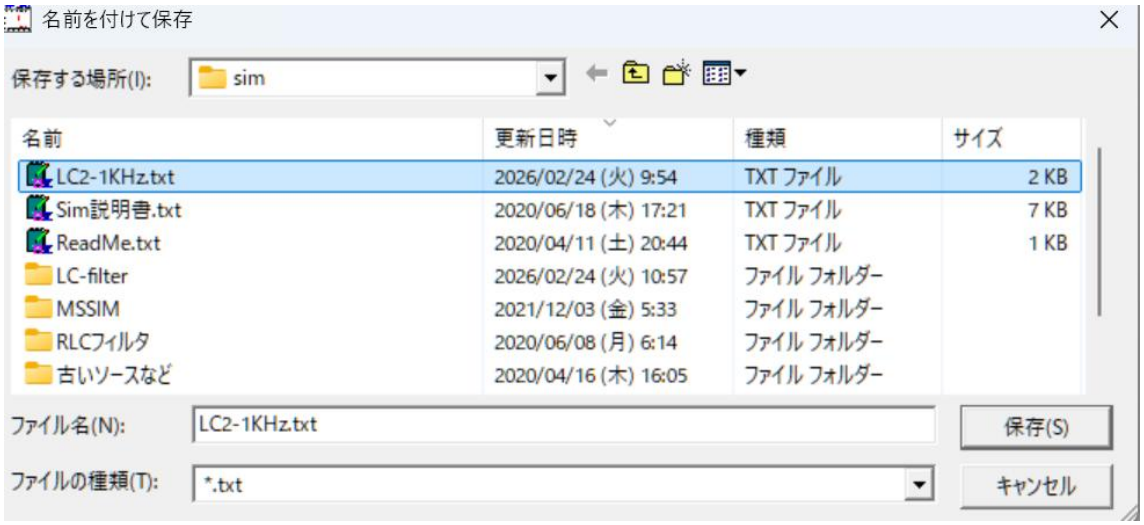
これにより、下図の周波数特性のフィルターが設計できました。



２次の LC フィルタの設計

次に、このフィルターの伝達関数の係数ファイルを出力します。





２次の LC フィルタの設計

次のように伝達関数の係数が確認できます。

++++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Elliptic　次数=2

Fp =　1.0000KHz　attp = 0.1000dB　Fs =　3.0000KHz　atts =　14.45dB

２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s^2 + Pn_0 * s + Pn_1} \qquad (1\text{-}2)$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	13.2587K	132.2468Meg	0.1894	0	130.7330Meg

Fc=　1.8303KHz　Fc ゲイン= -　3.1834 dB　Q =　0.8673　GB 積 =158.7470KHz

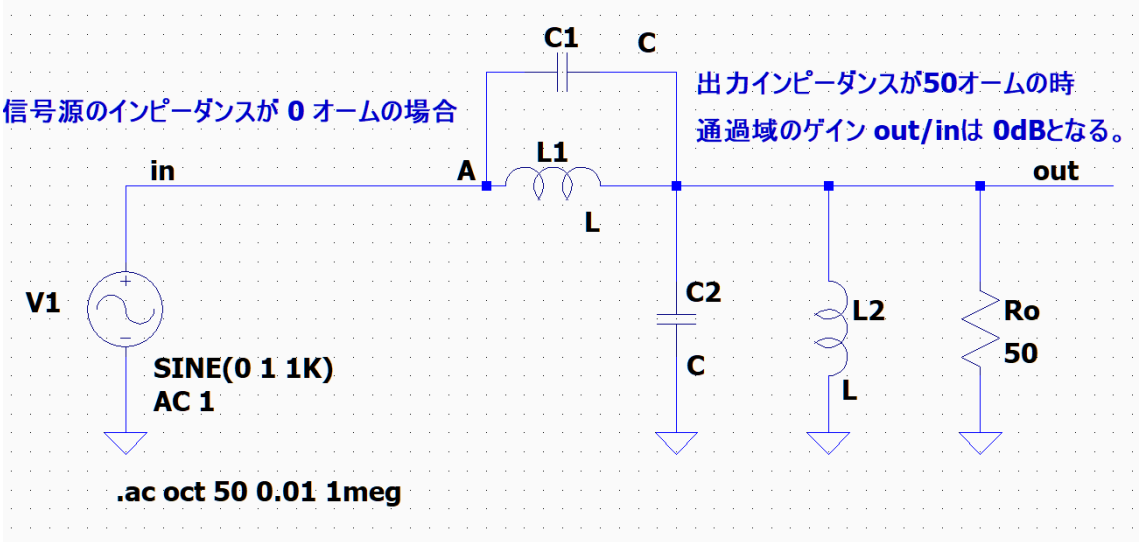
$$H = \frac{c+d\cdot s^2}{a+b\cdot s+s^2} \qquad (1\text{-}1)$$

式（1-１）と式（1-２）より、

a= Pn_1=132.2468 Meg, b= Pn_0=13.2587 K, c= Pn_4=130.7330 Meg, d= Pn_2=0.1894

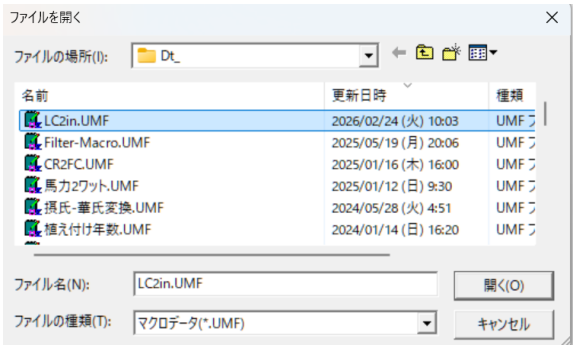
伝達関数の係数を素子値に変換する

$$Xk = \frac{Xc}{Xa}, L1 = \frac{Xb\cdot Ro}{Xa\cdot Xk}, L2 = \frac{Xb\cdot Ro}{Xa\cdot(1-Xk)}, C1 = \frac{Xd}{Xb\cdot Ro}, C2 = \frac{(1-Xd)}{Xb\cdot Ro}$$

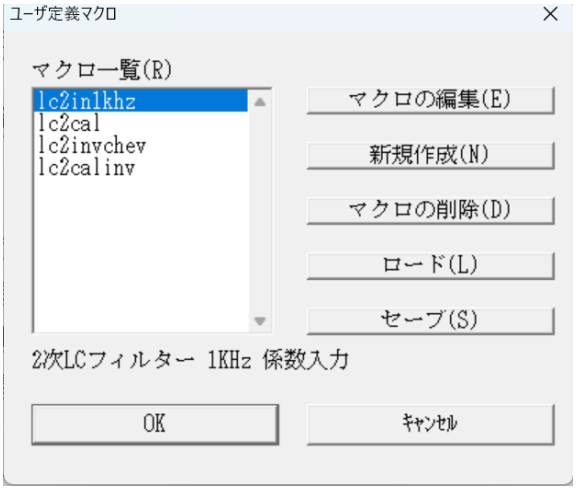


２次の LC フィルタの設計

「電卓プログラム Dt.exe」を起動して、「マクロ」→「マクロ一覧」→「ロード」



LC2in.UMF を開きます。



lc2in1khz を選択して、「OK」を押します。

「return」を押すと、素子値が計算されます。

電卓の「変数」を押します。



２次の LC フィルタの設計

「変数一覧」より、「l1」をクリックすると、「変数の値」に「5.070907881e-003」が表示されます。他の素子値も同様にして、

l1=5.070907881e-003

l2 = 0.4379277315

c1=2.856992013e-007

c2=1.222744311e-006

これらの素子値を素子値の単位を付けて少数点以下 3 桁程度で表わすと、

l1=5.071 m

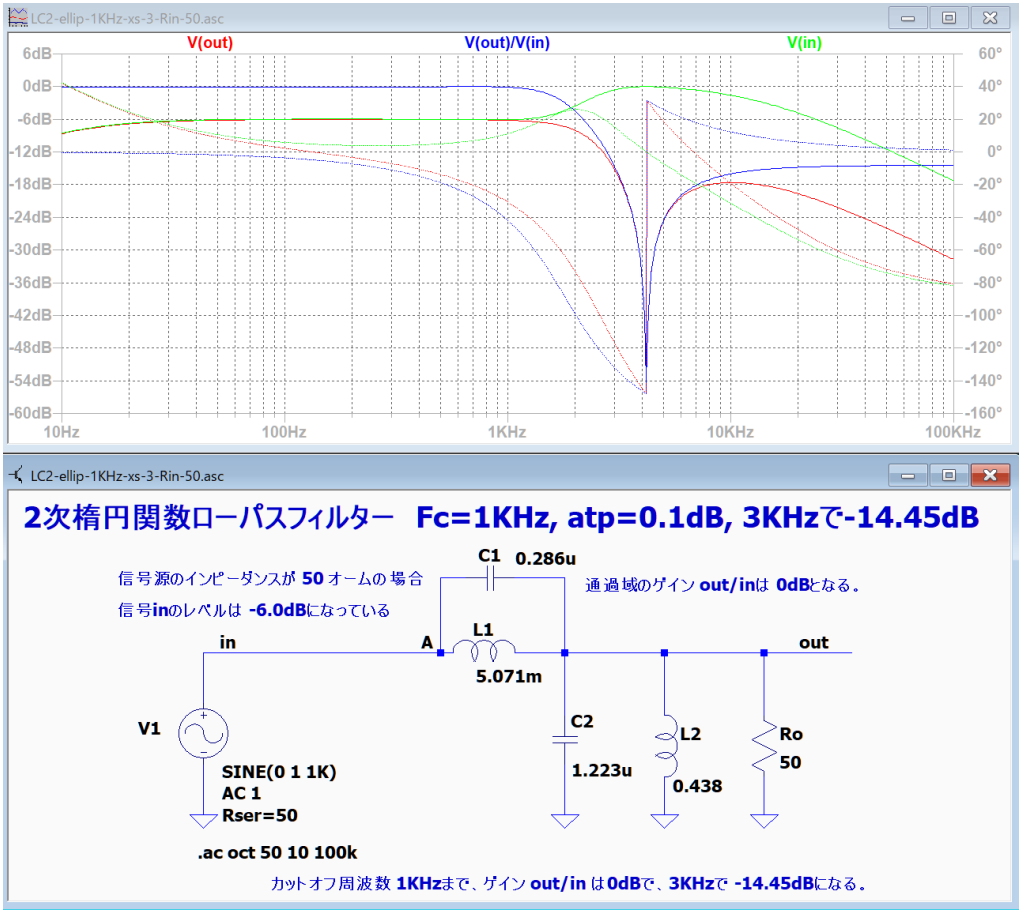
l2 = 0.438

c1=0.286 u

c2=1.223 u

となるので、回路図に入力して、ファイル名を変更して保存します。

周波数特性のグラフ（LC2-ellip-1KHz-xs-3-Rin-50.asc）



設計仕様通りの周波数特性と最低減衰量が得られた。

回路図の信号源のインピーダンスを 50 オームに設定したので、out のレベルは -6dB になりますが、青色の Vout/Vin では 0dB になります。

２次の LC フィルタの設計

マクロ「lc2in1khz」の内容

f=1 K;Ri=50;Ro=50;Xa=132.2468 Meg;Xb=13.2587 K;Xc=130.7330 Meg;
Xd=0.1894;$LC2Cal

f=1 K;Ri=50;　　カットオフ周波数が 1KHz で、信号源インピーダンスが 50 であることを表わします。素子値の計算には使いません。後で、このマクロで作成されるフィルターのカットオフ周波数を確認するためです。

Ro=50;　　フィルターの出力インピーダンスを表わします。変更可能。

Xa=132.2468 Meg;　　数式（１）の変数 a を Xa と表しています。

Xb=13.2587 K;　　数式（１）の変数 b を Xb と表しています。

Xc=130.7330 Meg;　　数式（１）の変数 c を Xc と表しています。

Xd=0.1894;　　数式（１）の変数 d を Xd と表しています。

$LC2Cal　　マクロ LC2Cal を呼び出して、素子値を計算します。

マクロ「LC2Cal」の内容

Xk=Xc/Xa;L1=Xb*Ro/(Xa*Xk);L2=Xb*Ro/(Xa*(1-Xk));C1=Xd/(Xb*Ro);
C2=(1-Xd)/(Xb*Ro)

通常の数式で表すと、次のようになります。

$$Xk = \frac{Xc}{Xa}, L1 = \frac{Xb \cdot Ro}{Xa \cdot Xk}, L2 = \frac{Xb \cdot Ro}{Xa \cdot (1-Xk)}, C1 = \frac{Xd}{Xb \cdot Ro}, C2 = \frac{(1-Xd)}{Xb \cdot Ro} \qquad (1\text{-}3)$$

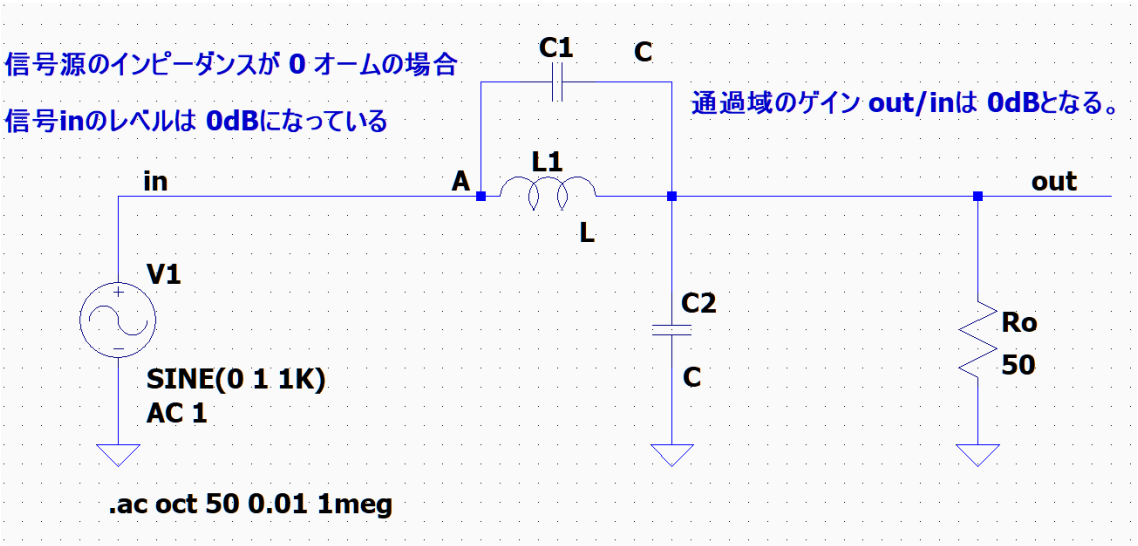
数式について

楕円関数フィルター用の式（1-1）から（1-3）は、「Sim for DOS」に同梱されている「回路シミュレーション.pdf」の p99（p15）から p102（p18）を利用しました。

逆チェビシェフローパスフィルターの場合には、Xk=1 になって L2=∞となるため、L2 を削除して回路図「LC2-inv-base.asc」と別のマクロを使用します。

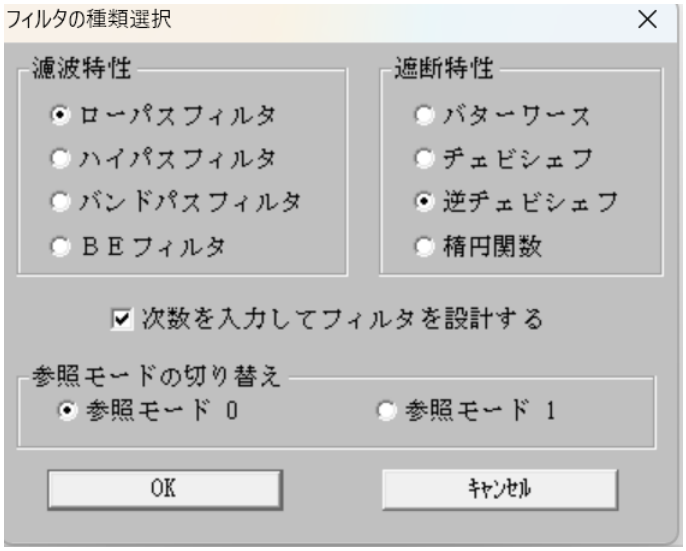
マクロ「LC2Calinv」の内容

Xk=Xc/Xa;L1=Xb*Ro/(Xa*Xk);C1=Xd/(Xb*Ro);C2=(1-Xd)/(Xb*Ro)

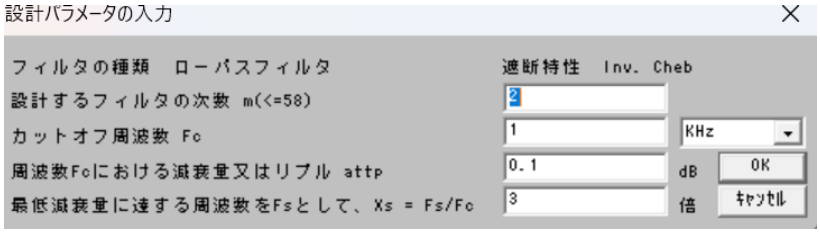


設計例 2-2 2 次逆チェビシェフローパスフィルター

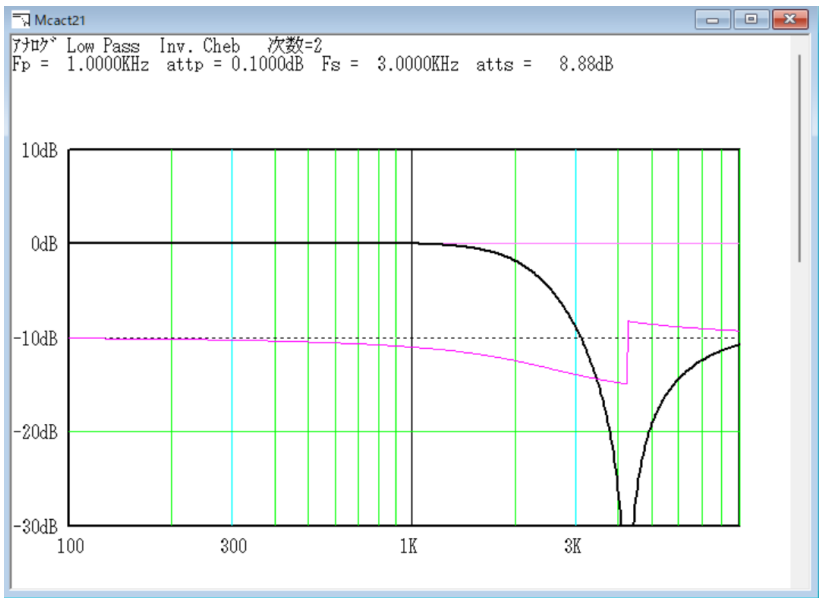
「LtAct」でカットオフ周波数が 1KHz、リプルが 0.1dB、最低減衰量に達する周波数が 3KHz となる逆チェビシェフローパスフィルターを設計します。



２次の LC フィルタの設計



これにより、下図の周波数特性のフィルターが設計できました。



次に、このフィルターの伝達関数の係数ファイルを出力します。

++++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Inv. Cheb　次数=2

Fp =　1.0000KHz　attp = 0.1000dB　Fs =　3.0000KHz　atts =　8.88dB

２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s^2 + Pn_0 * s + Pn_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	18.0916K	255.5615Meg	0.3596	0	255.5615Meg

Fc=　2.5443KHz　Fc ゲイン= -　4.9460 dB　Q =　0.8836　GB 積 =224.8224KHz

設計例 2-2 2 次逆チェビシェフローパスフィルター

２次の LC フィルタの設計

$$H = \frac{c+d\cdot s^2}{a+b\cdot s+s^2} \qquad (1\text{-}1)$$

$$Hn = \frac{Pn_2 * s\text{^}2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s\text{^}2 + Pn_0 * s + Pn_1} \qquad (1\text{-}2)$$

式（１）と式（２）より、

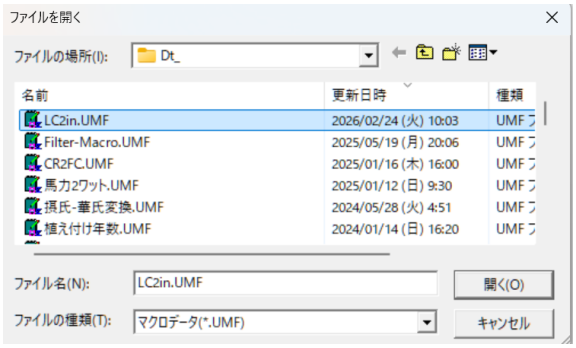
a= Pn_1=255.5615 Meg, b= Pn_0=18.0916 K, c= Pn_4=255.5615 Meg, d= Pn_2=0.3596

となります。

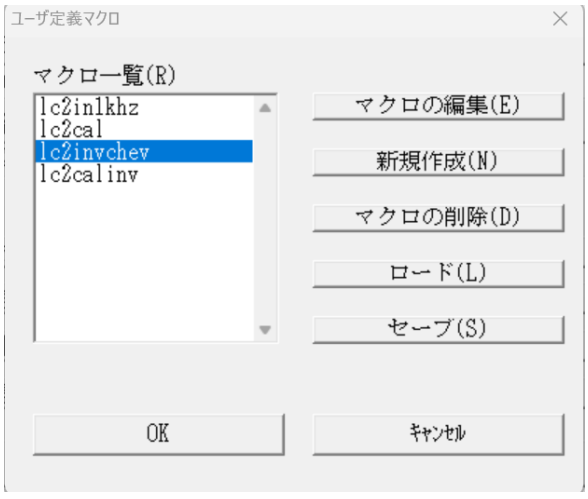
a=c なので、マクロでは Xa=Xc となります。

これらの係数から、下の回路図の素子値を決定します。

「電卓プログラム Dt.exe」を起動して、「マクロ」→「マクロ一覧」→「ロード」



LC2in.UMF を開きます。



lc2invchev を選択して、「OK」を押します。

「return」を押すと、素子値が計算されます。

設計例 2-2 2 次逆チェビシェフローパスフィルター

２次の LC フィルタの設計

l1=3.540 m

c1=0.398 u

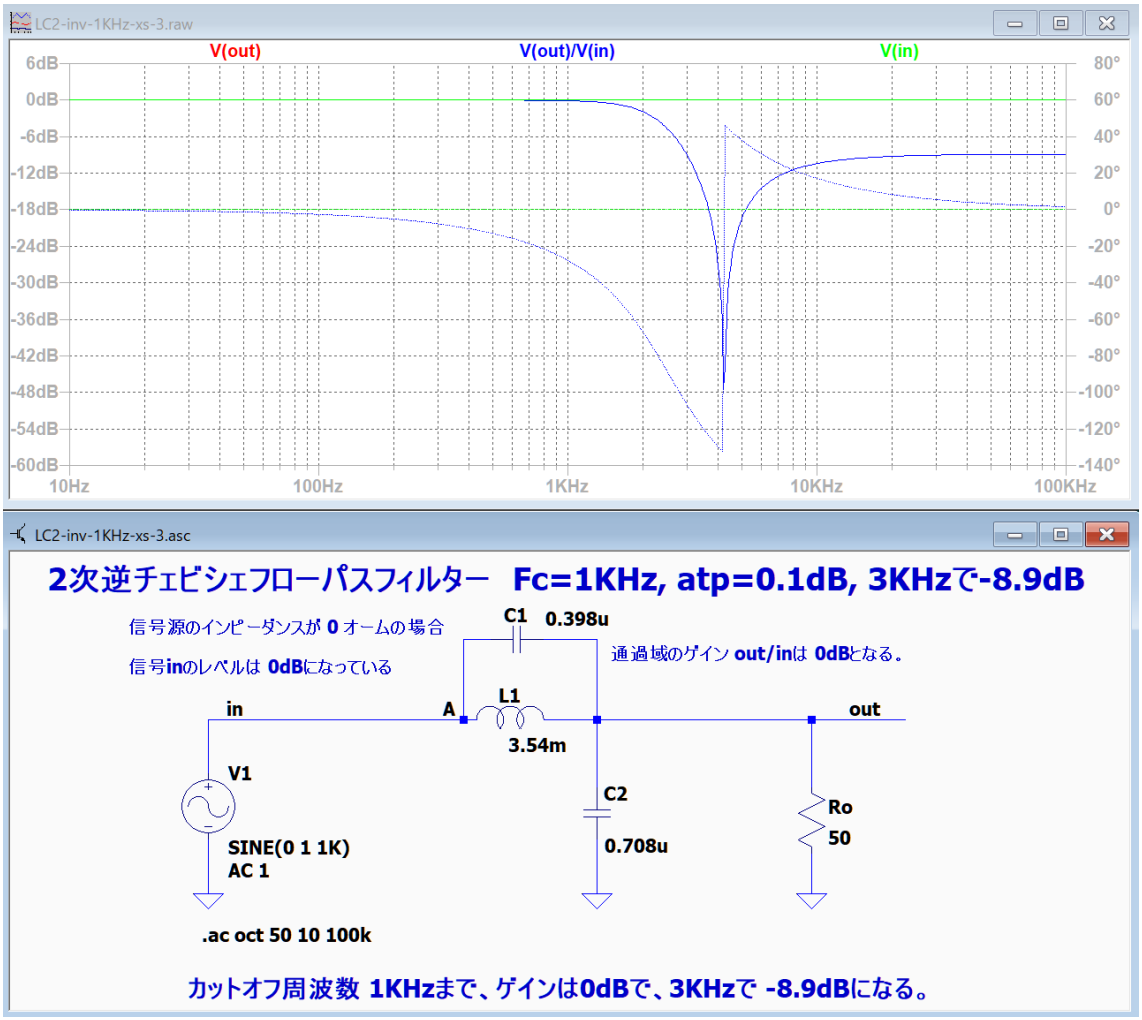
c2=0.708 u

となるので回路図に入力して「LC2-invchev-1KHz-xs-3.asc」に変更して保存します。

マクロ「LC2Calinv」の内容

Xk=Xc/Xa;L1=Xb*Ro/(Xa*Xk);C1=Xd/(Xb*Ro);C2=(1-Xd)/(Xb*Ro)

周波数特性のグラフ（「LC2-inv-1KHz-xs-3.asc」）



設計仕様通りの周波数特性と最低減衰量が得られた。

２次の LC フィルタの設計

マクロ「lc2invchev」の内容

f=1 K;Ri=50;Ro=50;Xa=255.5615 Meg;Xb=18.0916 K;Xc=255.5615 Meg;
Xd=0.3596;$LC2Calinv

f=1 K;Ri=50;　　カットオフ周波数が 1KHz で、信号源インピーダンスが 50 であることを表わします。素子値の計算には使いません。後で、このマクロで作成されるフィルターのカットオフ周波数を確認するためです。

Ro=50;　　フィルターの出力インピーダンスを表わします。変更可能。

Xa=255.5615 Meg;　　数式（１）の変数 a を Xa と表しています。

Xb=18.0916 K;　　数式（１）の変数 b を Xb と表しています。

Xc=255.5615 Meg;　　数式（１）の変数 c を Xc と表しています。

Xd=0.3596;　　数式（１）の変数 d を Xd と表しています。

$LC2Calinv　　マクロ LC2Calinv を呼び出して、素子値を計算します。

マクロ「LC2Calinv」の内容

Xk=Xc/Xa;L1=Xb*Ro/(Xa*Xk);C1=Xd/(Xb*Ro);C2=(1-Xd)/(Xb*Ro)

通常の数式で表すと、次のようになります。

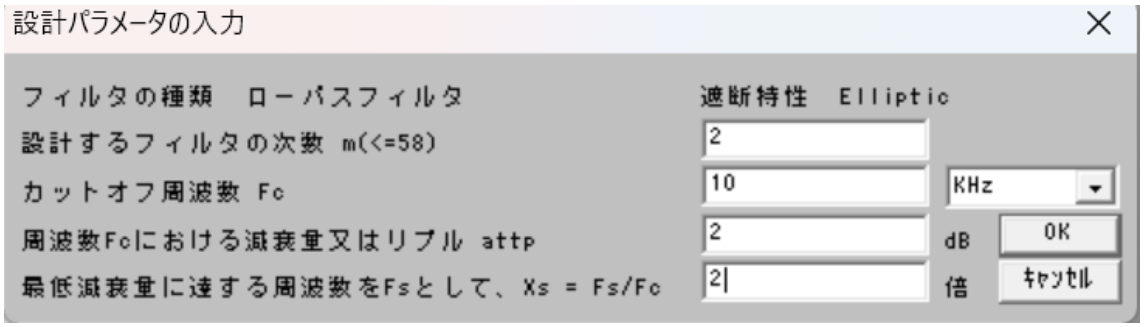
$$Xk = \frac{Xc}{Xa}, L1 = \frac{Xb \cdot Ro}{Xa \cdot Xk}, C1 = \frac{Xd}{Xb \cdot Ro}, C2 = \frac{(1-Xd)}{Xb \cdot Ro} \qquad (1\text{-}4)$$

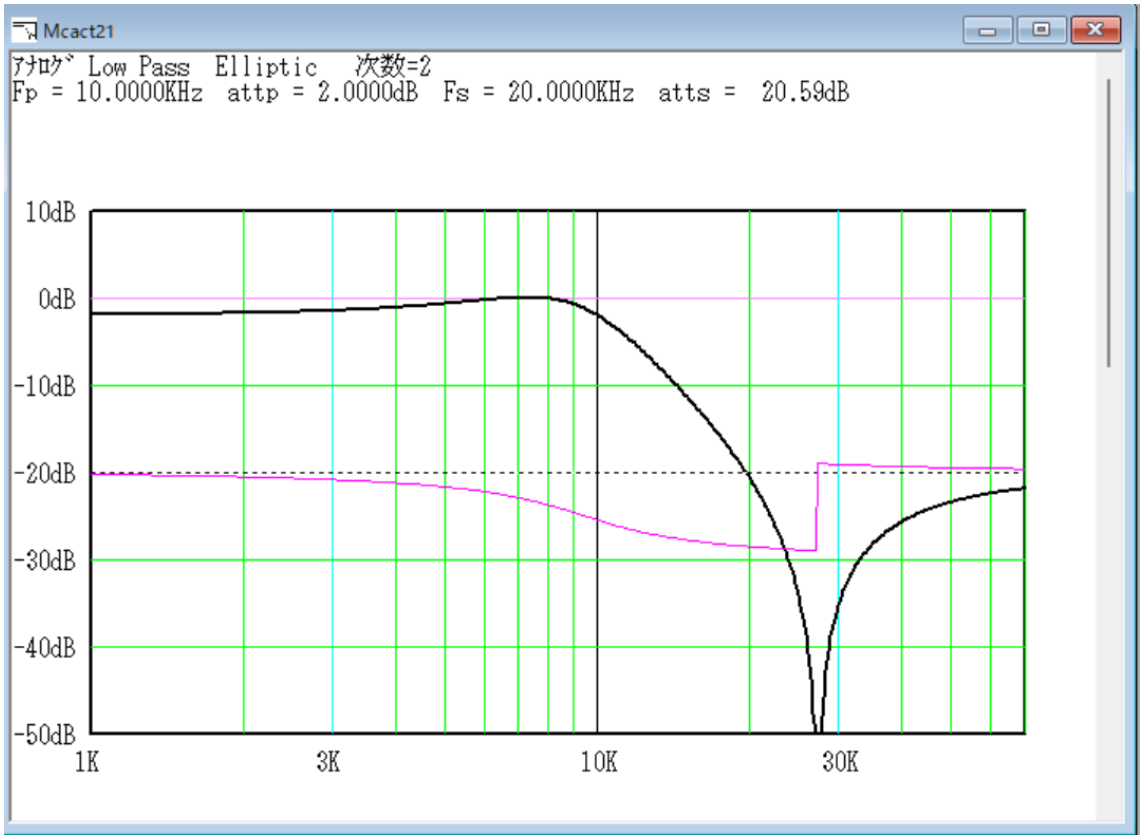
数式について

逆チェビシェフフィルター用の式（1-1）から（1-4）は、「Sim for DOS」に同梱されている「回路シミュレーション.pdf」の p103（p19）から p104（p20）を利用しました。

設計例 2-3　２次楕円関数ローパスフィルター　２

「LtAct」でカットオフ周波数が 10KHz、リプルが 2dB、最低減衰量に達する周波数が 20KHz となる楕円関数ローパスフィルターを設計します。





２次の LC フィルタの設計

++++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Elliptic　次数=2

Fp = 10.0000KHz　attp = 2.0000dB　Fs = 20.0000KHz　atts =　20.59dB

２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s^2 + Pn_0 * s + Pn_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	47.1756K	3.4674G	93.4676m	0	2.7542G

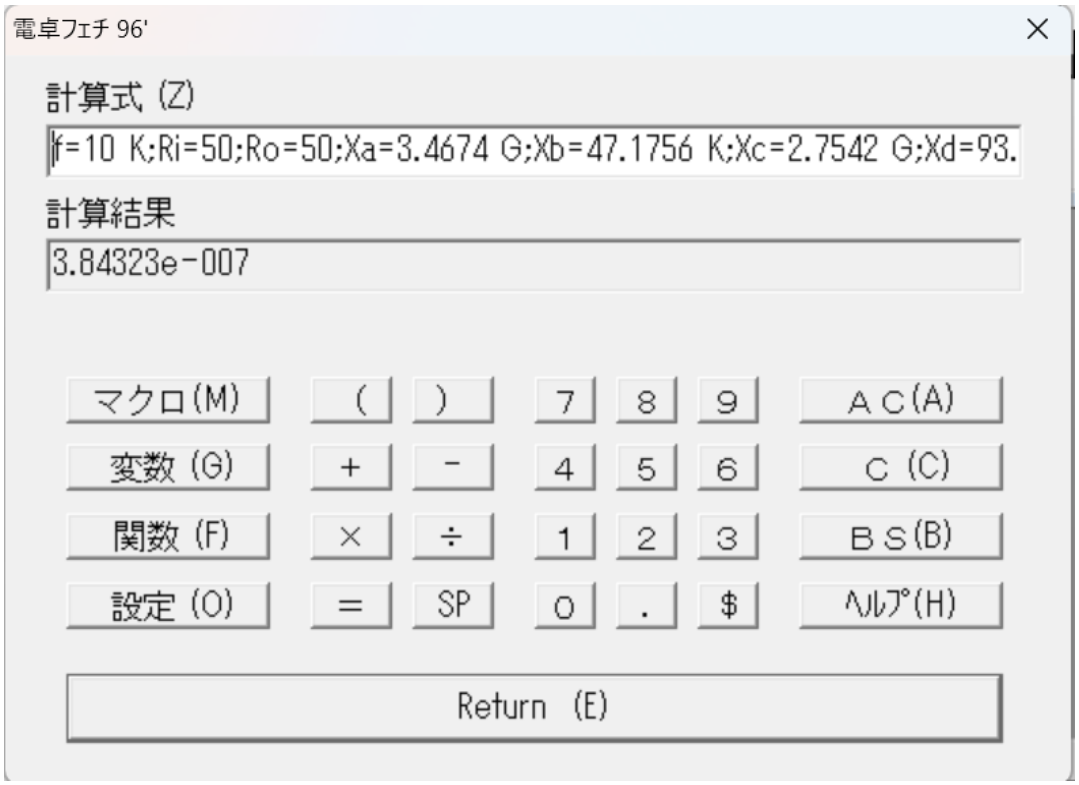
Fc=　9.3717KHz　Fc ゲイン= -　1.1617 dB　Q =　1.2482　GB 積= 1.1698MegHz

マクロ「lc2in1khz」の係数を変更する。

f=1 K;Ri=50;Ro=50;Xa=3.4674 G;Xb=47.1756 K;Xc=2.7542 G;Xd=93.4676 m;$LC2Cal

テキストエディタにコピーしてから変更すると楽です。

変更したマクロを、電卓の入力ラインに貼り付けて、「return」を押す。

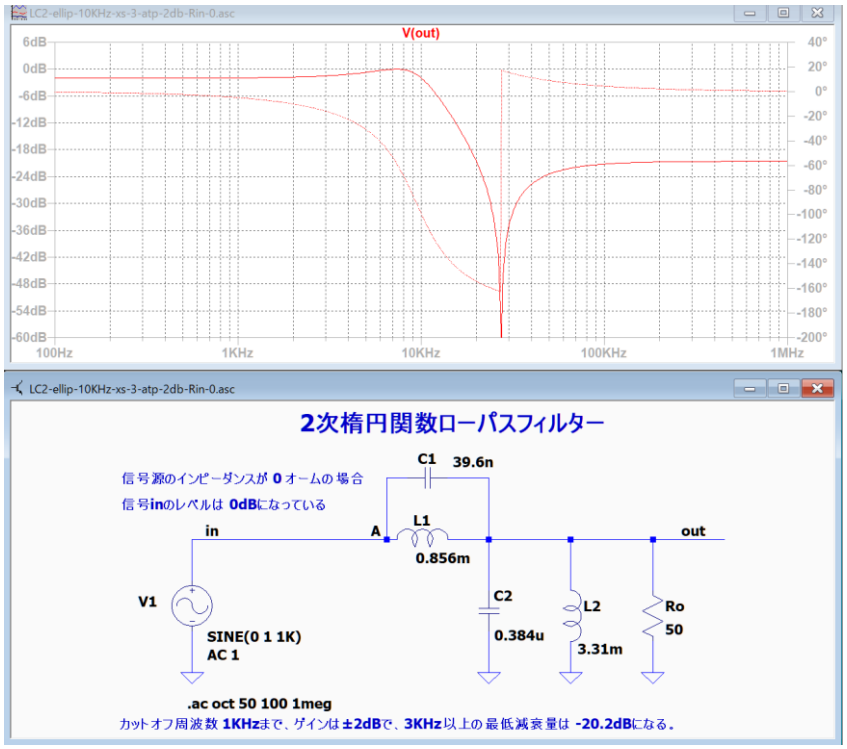


２次の LC フィルタの設計

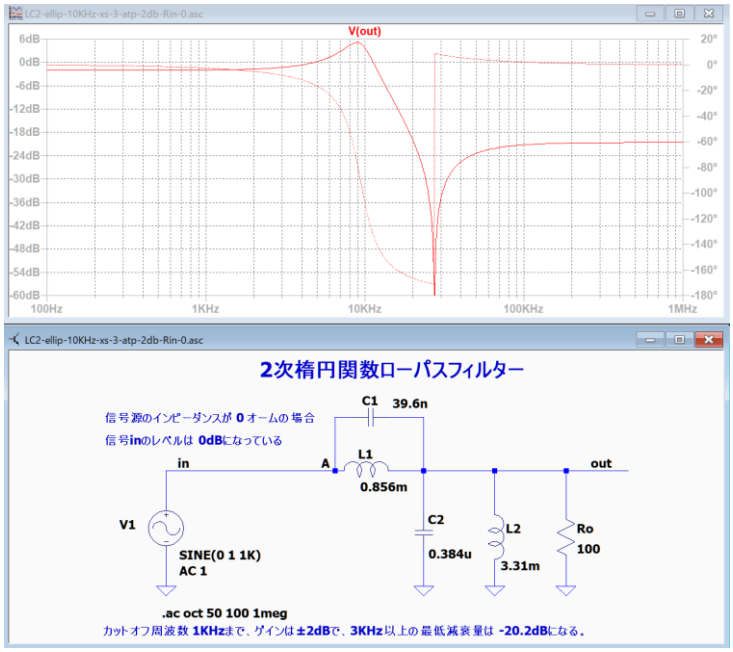
l1= 0.856 m, l2 = 3.310 m, c1=39.6 n, c2=0.384 u

となるので、回路図に入力して、ファイル名を変更して保存します。

LC2-ellip-10KHz-xs-3-atp-2db-Rin-0.asc



インピーダンスマッチングがずれている(Ro=50 → 100)と周波数特性が乱れます。

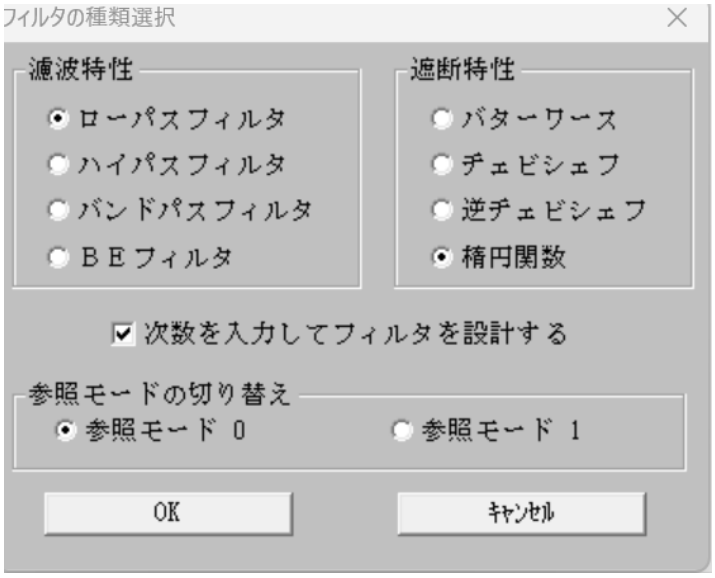


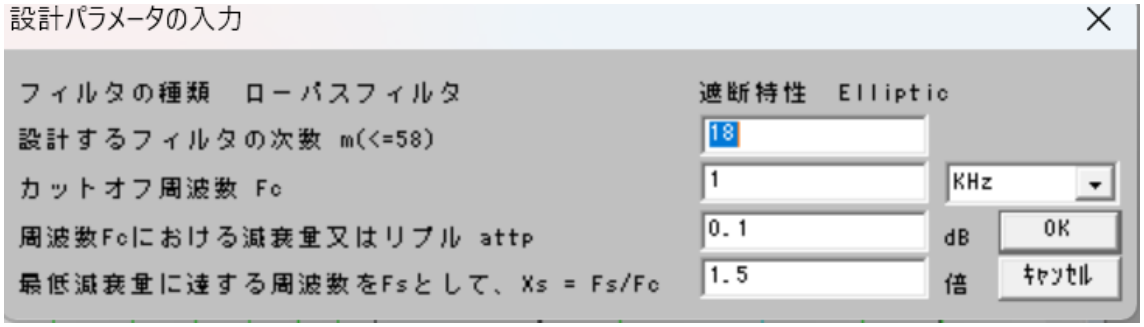
まとめ　２次楕円関数ローパスフィルター

２次楕円関数ローパスフィルターを設計する手順

２次楕円関数ローパスフィルター、カットオフ周波数は 1KHz として、リプル、最低減衰量となる周波数は減衰特性を確認してから決定します。

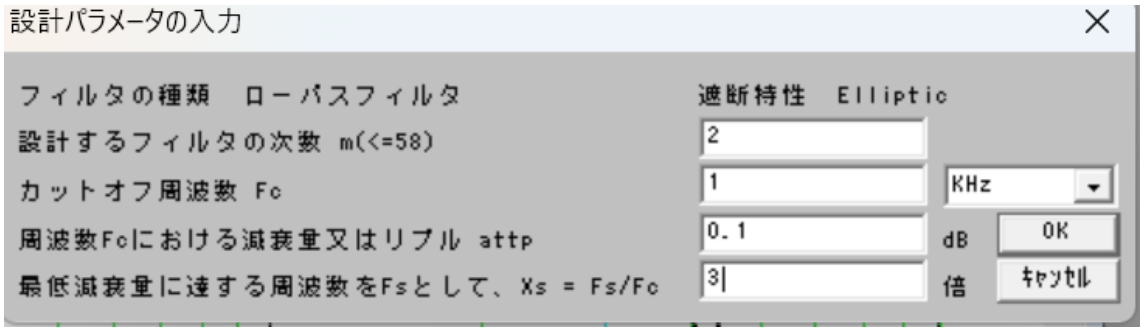
１．「LtAct」を利用して、作成するフィルターの伝達関数を計算します
「フィルタの種類選択」をクリックして、「盧波特性」は「ローパスフィルタ」、
「遮断特性」は「楕円関数」をチェックします。
「次数を入力してフィルタを設計する」をチェックして、「OK」を押します。



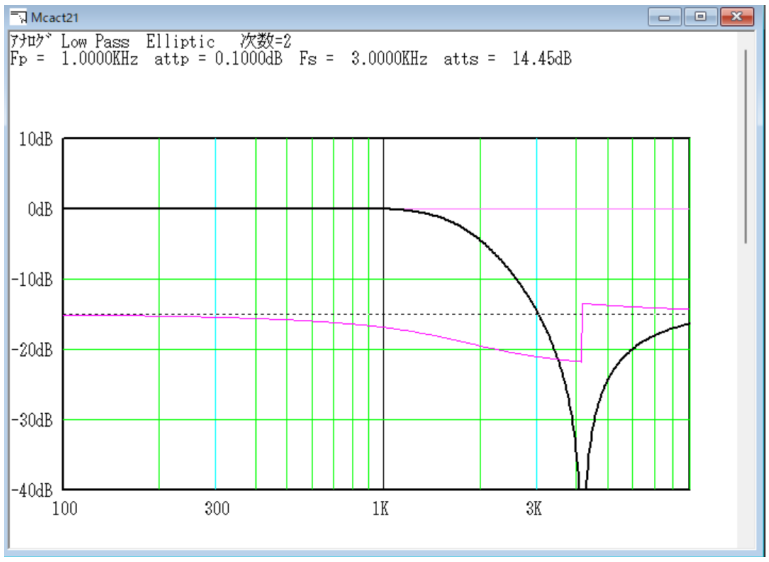


２．「フィルタの次数」に「２」を入力します。「カットオフ周波数」、「リプル」及び「Xs」の値を希望する数値に変更して「OK」を押します。

２次の LC フィルタの設計

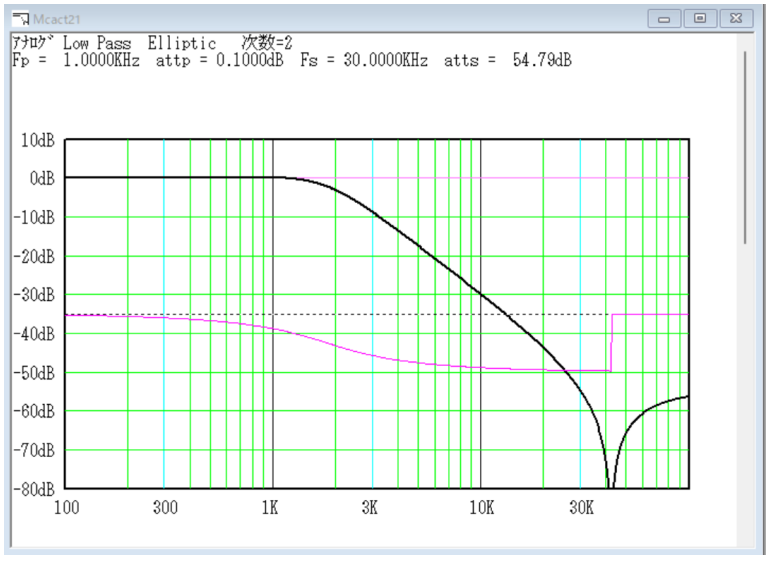


入力したパラメータで設計されるフィルタの周波数特性が表示されます。



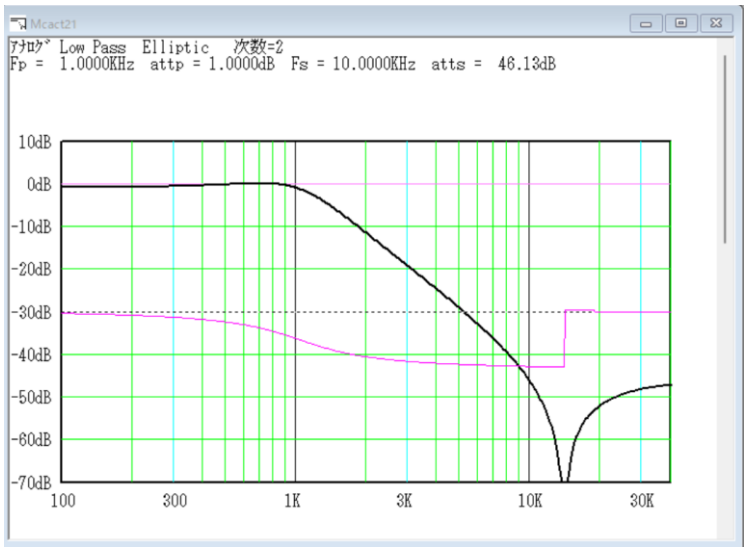
フィルターが 2 次なので指定した最低減衰量の得られる周波数における減衰量は 14.45dB しか得られないことが分かります。

Xs=30 に変更すると、周波数特性が下図のように変化します。



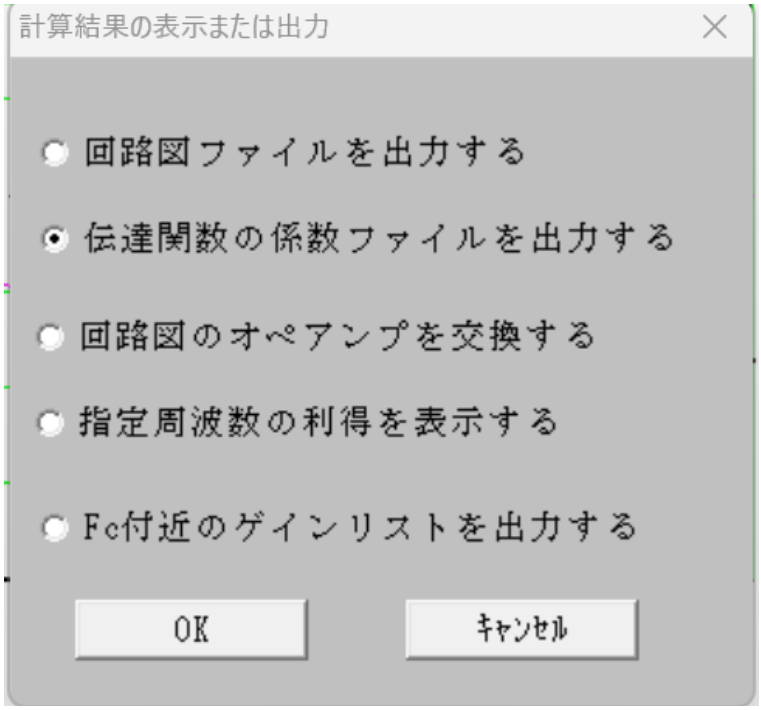
２次の LC フィルタの設計

「リプル」を 1dB、「Xs=10」に変更すると下図のように変化します。

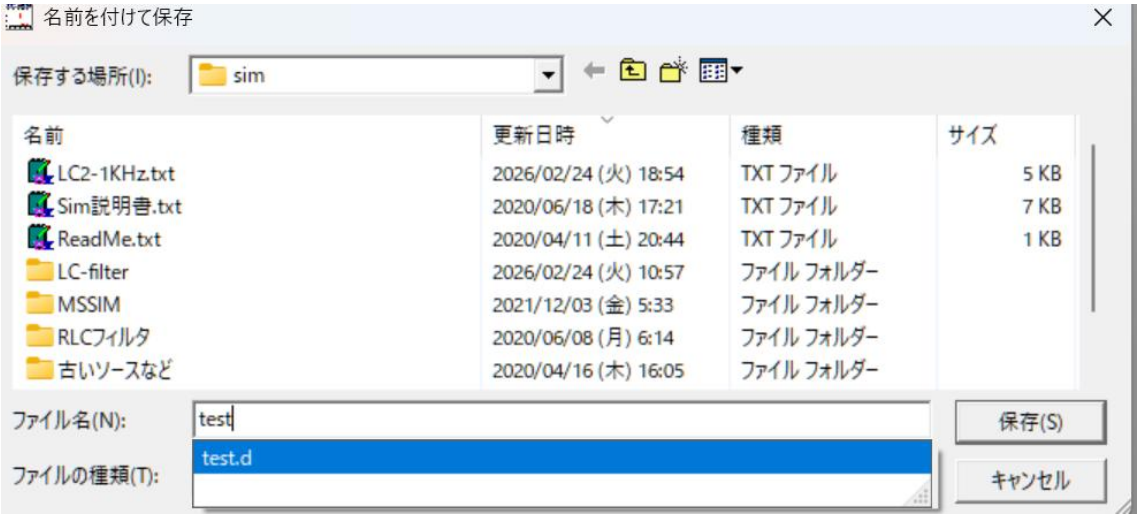


このように、リプルを 0.1dB から 1dB に増加すると、減衰特性が向上します。
この仕様で設計してみます。

３．希望する特性が確認できたら、「表示･出力」を左クリックして、「伝達関数の係数ファイルを出力する」をチェックして「OK」を押します。



２次の LC フィルタの設計



ファイル名を入力して「保存」を押します。

４．「LtAct」とファイルのタイプ「.txt」を関連付けてあると、自動的にファイルが表示されます。

++++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Elliptic　次数=2

Fp =　1.0000KHz　attp = 1.0000dB　Fs = 10.0000KHz　atts =　46.13dB

２次式の形式

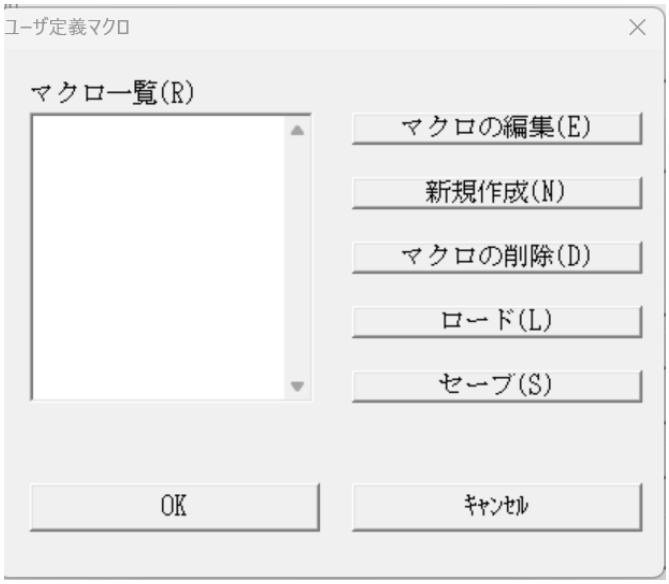
$$Hn = \frac{Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s^2 + Pn_0 * s + Pn_1}$$

２次式

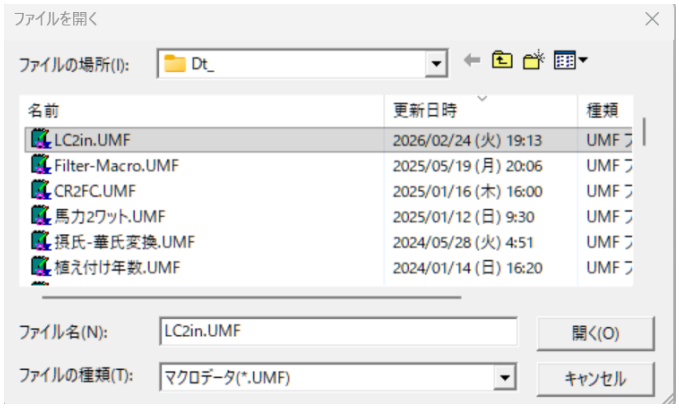
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	6.8781K	43.6342Meg	4.9377m	0	38.8890Meg

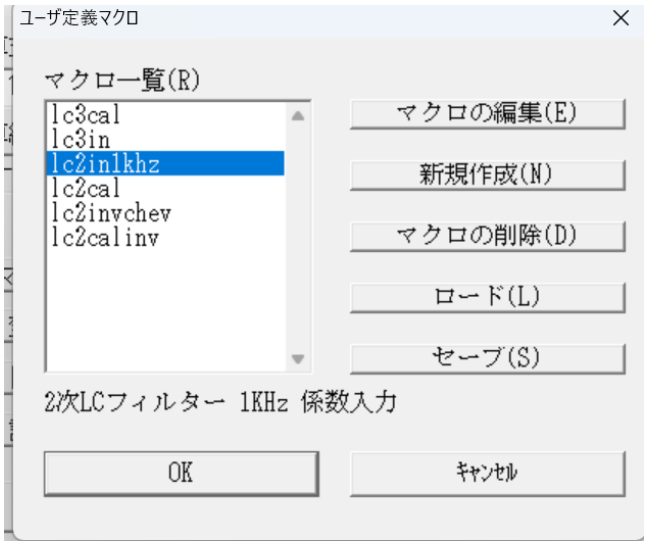
Fc=　1.0513KHz　Fc ゲイン= -　1.3993 dB　Q =　0.9604　GB 積 =100.9674KHz

５．「電卓 Dt.exe」を起動して、「マクロ」をクリックします。



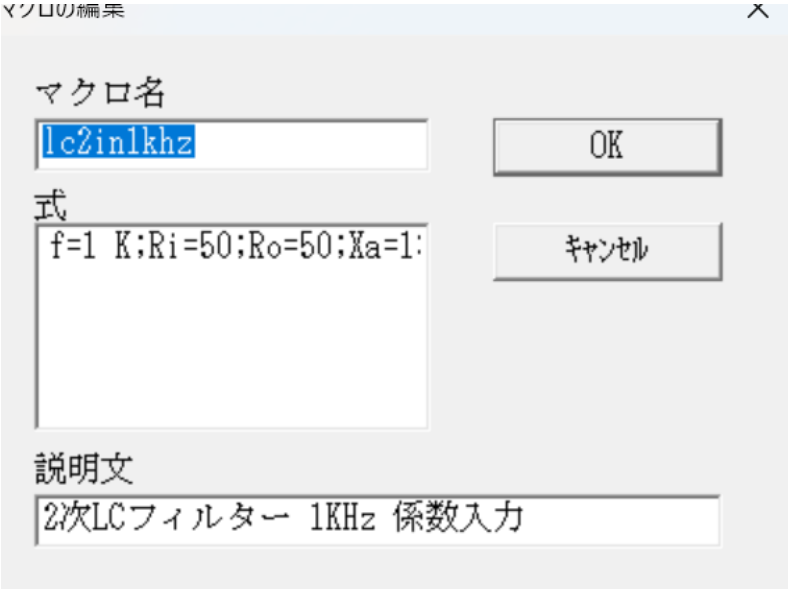
「ロード」をクリックして、「電卓 Dt.exe」を解凍したフォルダから、「LC2in.UMF」を選択して「開く」を押します。





２次の LC フィルタの設計

「lcin1khz」を選択して、「マクロの編集」をクリックします。



カーソルを「式」の中に移動して、式全体をドラッグしてコピーして、テキストエディタに貼り付けます。

f=1 K;Ri=50;Ro=50;Xa=132.2468 Meg;Xb=13.2587 K;Xc=130.7330 Meg;Xd=0.1894;$LC2Cal

$$H = \frac{c+d\cdot s^2}{a+b\cdot s+s^2} \qquad (1\text{-}1)$$

式（1-1）の分母と分子を係数をテキストエディタを使ってマクロを編集します。
a, b, c, d は、マクロの変数としては Xa, Xb, Xc, Xd として使います。

伝達関数の係数もテキストエディタにコピーします。

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	6.8781K	43.6342Meg	4.9377m	0	38.8890Meg

変数 Xa, Xb, Xc, Xd と伝達関数の係数は次のように対応しています。
Xa= Pn_1, Xb= Pn_0, Xc= Pn_4, Xd= Pn_2

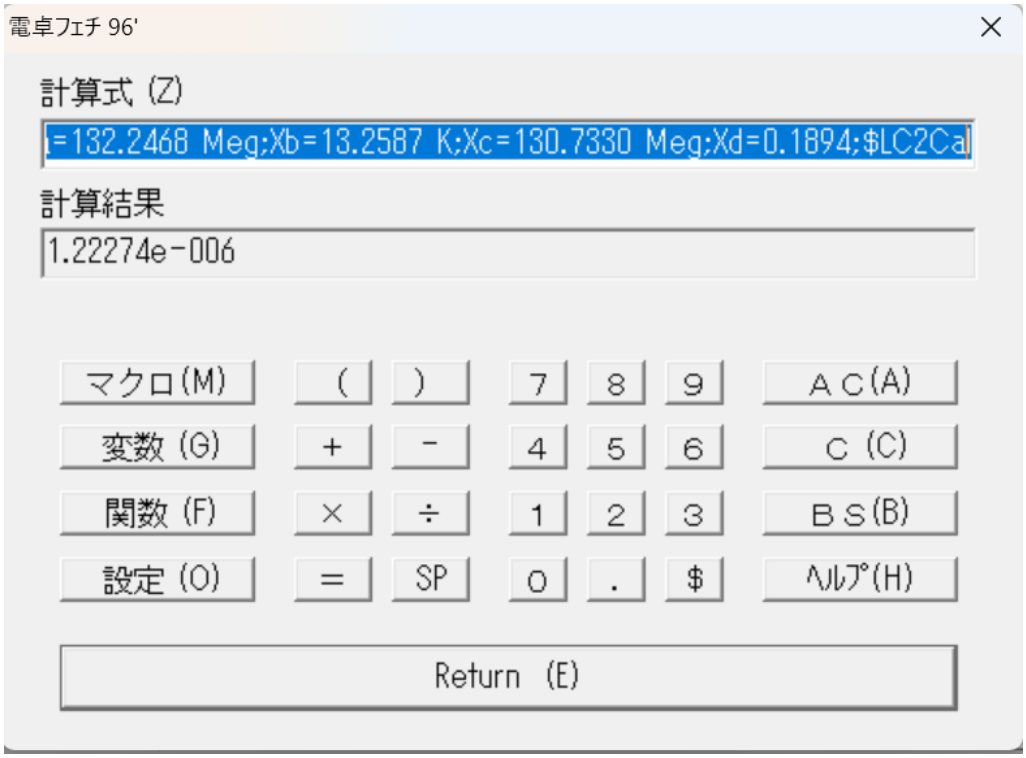
注意して、次のようにマクロを編集します。

f=1 K;Ri=50;Ro=50;Xa=43.6342 Meg;Xb=6.8781 K;Xc=38.8890 Meg;Xd=4.9377 m;$LC2Cal

２次の LC フィルタの設計

注意：数値と単位の間にスペースをいれる。

６．「電卓」入力ラインに、編集したマクロを張り付けて「return」を押す。



「l1/m」のように電卓に入力して、素子値を読み取ります。

L1= 8.843 m

L2= 72.474 m

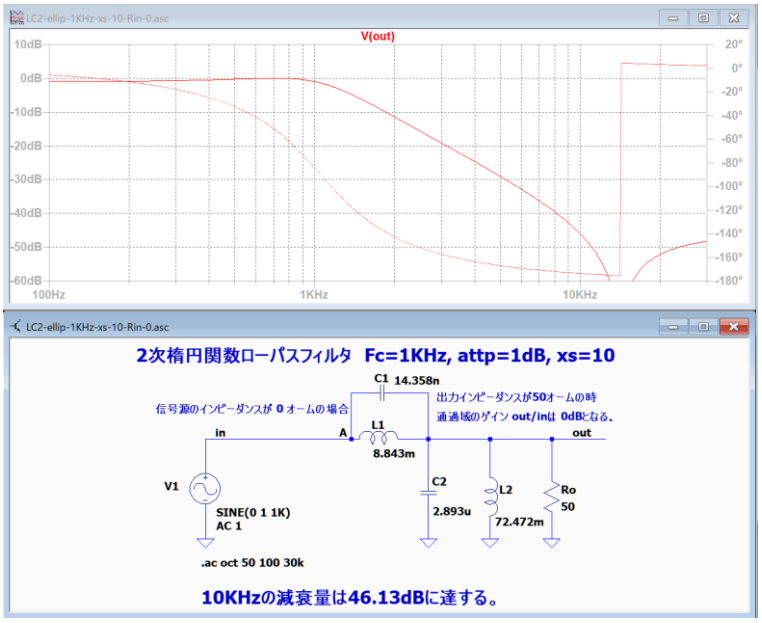
C1= 14.358 n

C2= 2.893 u

２次の LC フィルタの設計

７．「LtSpice」で「LC2-ellip-Rin-0-base.asc」を開いて、素子値を入力してファイル名を「LC2-ellip-1KHz-xs-10-Rin-0.asc」に変更して保存して周波数特性を確認します。

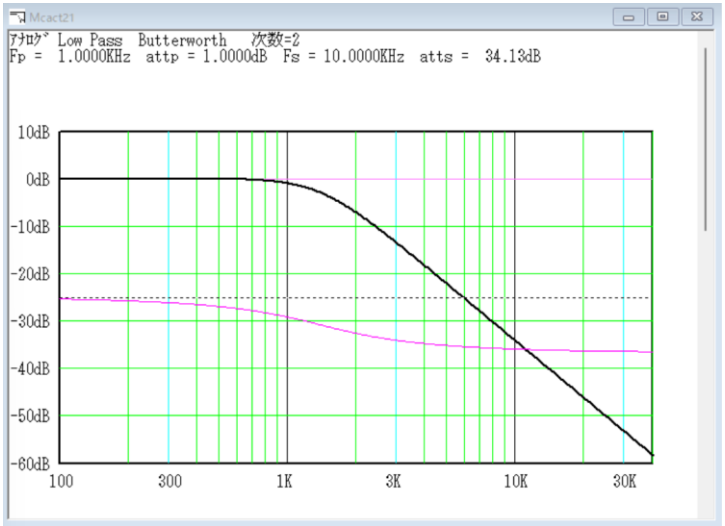
LC2-ellip-1KHz-xs-10-Rin-0.asc



設計仕様通りの周波数特性と最低減衰量が得られた。　10KHz の減衰量は 46.13dB

カットオフ周波数が 1KHz の 2 次バターワースフィルタでは、1KHz の減衰量は 3dB で 10KHz では 40dB になります。しかし、カットオフ周波数を 1.4KHz に変更して 1KHz の減衰量を上記フィルターと同じ 1dB にすると、10KHz では 34.16dB に減少します。

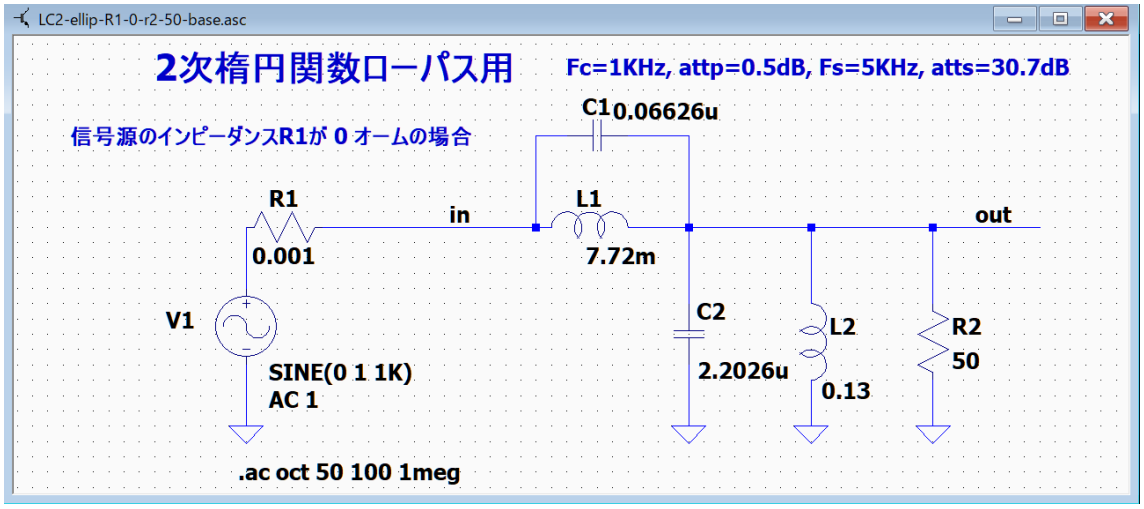
楕円関数フィルターは小さな通過域リプルで、急峻な減衰特性が期待できます。

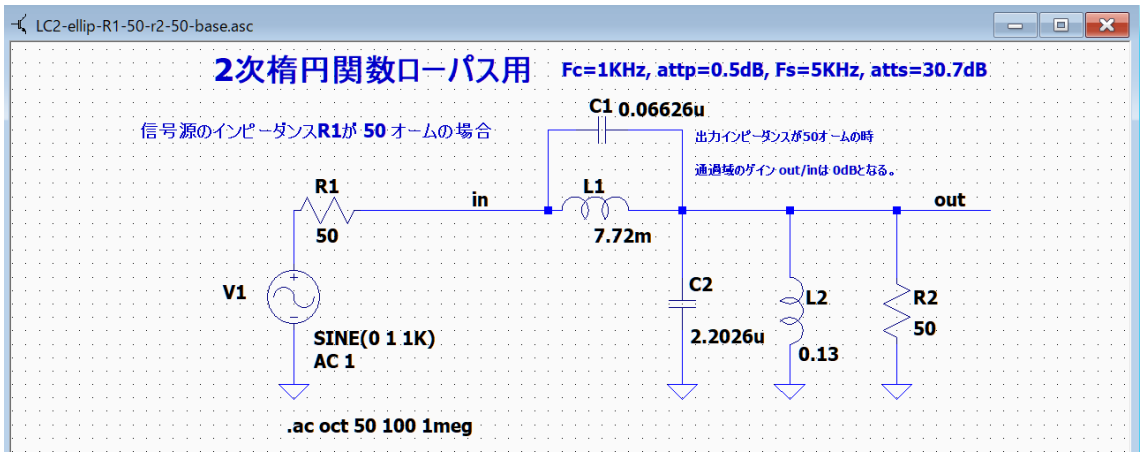


逆チェビシェフローパスフィルタを設計する時は、使用するマクロが、「lc2invchev」に変わり、使用する回路図が、「LC2-inv-base.asc」に変わります。

信号源インピーダンスの影響を確認する

信号源インピーダンスが 0 の場合と、50 の場合に周波数特性が変化するかを確認する。
下の回路図を使用する。

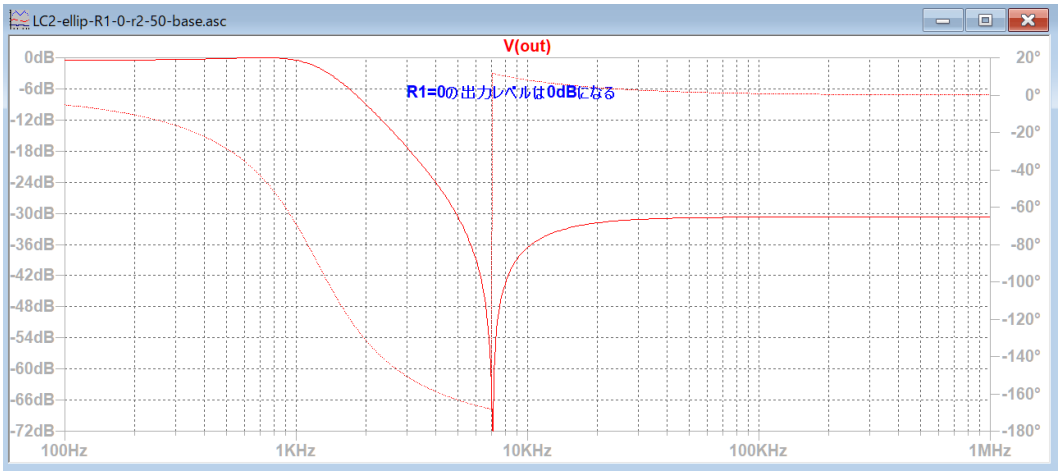


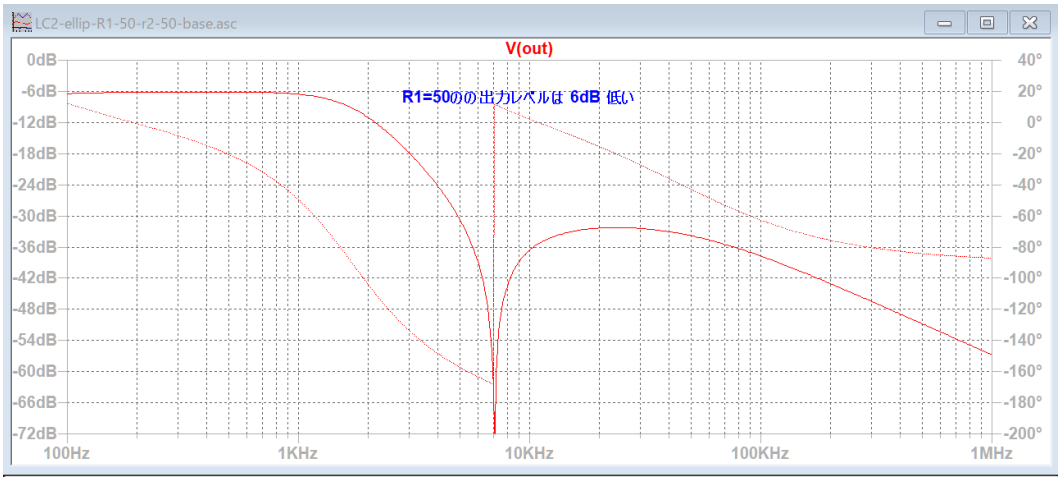


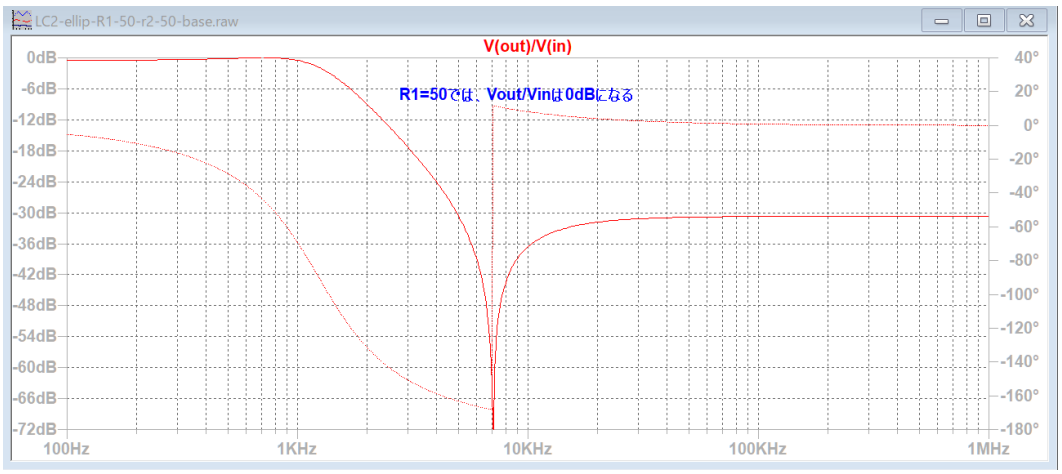
2 つの回路図では、R1 の値だけが異なる。

２次の LC フィルタの設計

周波数特性を比較する。







R1 が変化しても、Vout/Vin の周波数特性は変化しないことが分かる。

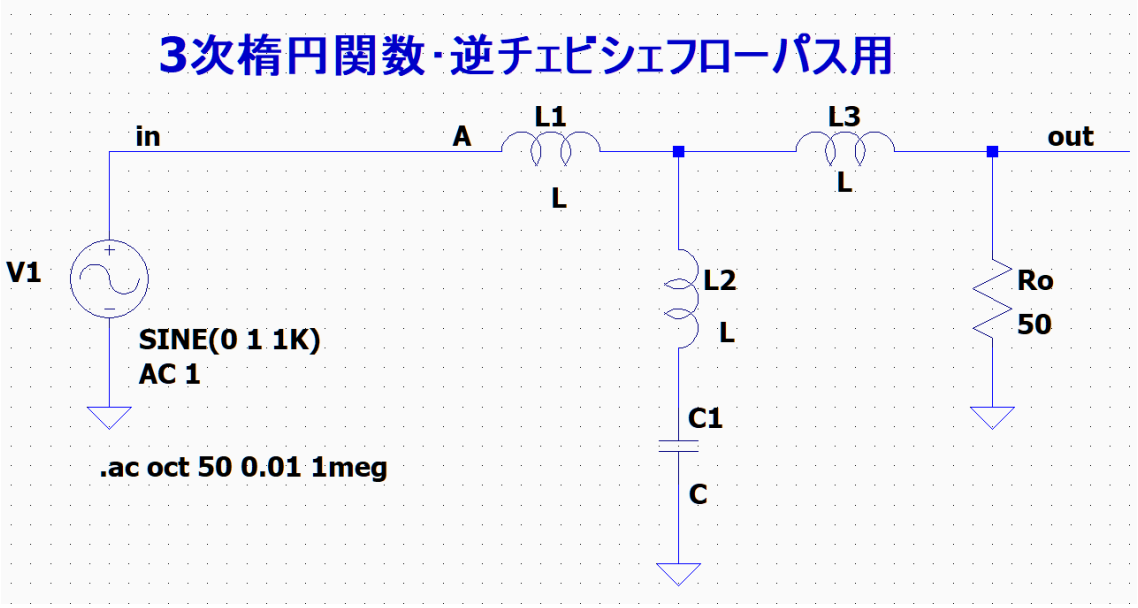
以後、回路図は信号源インピーダンス R1 を含まない形式で設計の実験を続ける。

R1=50 の時に、出力レベルが-6dB になることから、LC フィルタの入力インピーダンスが 50 オームになっていることが分かる。

3 次の LC フィルタの設計

3 次楕円関数フィルタを次の回路図で設計する。

LC3-ellip-Rin-0-base.asc



「LtAct」により出力された伝達関数の係数から、伝達関数が次式で表されるとする。

$$H = \frac{P2}{s+P0} \cdot \frac{Pn2 \cdot s^2 + Pn4}{s^2 + Pn0 \cdot s + Pn1} \qquad (2\text{-}1)$$

また、伝達関数は次式のように変形されて素子値が求められるとする。

$$H = \frac{d + e \cdot s^2}{a + b \cdot s + c \cdot s^2 + s^3} \qquad (2\text{-}2)$$

楕円関数と逆チェビシェフでは P0=P2 および Pn1=Pn4 である。
式（2-1）と（2-2）より、

$$a = P0 \cdot Pn1, b = Pn1 + Pn0 \cdot P0, c = Pn0 + P0,\ d = P2 \cdot Pn4, e = Pn2 \cdot P2 \qquad (2\text{-}3)$$

$$k = \frac{Ro \cdot (a - b \cdot e)}{a \cdot (c - e)}, l = \frac{Ro \cdot (b \cdot c - a)}{c - e}, m = \frac{e}{a}, n = \frac{(c-e)^2}{Ro \cdot (b \cdot c - a)} \qquad (2\text{-}4)$$

として、素子値は

$$L1 = \frac{l}{a}, L2 = \frac{m}{n}, L3 = k, C1 = n \qquad (2\text{-}5)$$

と求められる。

３次の LC フィルタの設計

設計例 3-1 3 次楕円関数ローパスフィルター

カットオフ周波数が 1KHz、リプルが 0.1dB、最低減衰量の周波数が 3KHz の 3 次楕円関数ローパスフィルタの伝達関数の係数が次のように計算された場合、

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=3
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 3.0000KHz atts = 35.62dB
１次式の形式

$$H0 = \frac{P1 * s + P2}{s + P0}$$

２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s^2 + Pn_0 * s + Pn_1}$$

１次式
P0 = 6.4513K P1 = 0 P2 = 6.4513K Fc= 1.0268KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	5.5423K	65.7946Meg	0.1409	0	65.7946Meg

Fc= 1.2910KHz Fc ゲイン= 1.9890 dB Q = 1.4635 GB 積 =188.9396KHz

式（２-3）と（２-４）より、フィルタの入力マクロ「lc3in」は次のようになる。

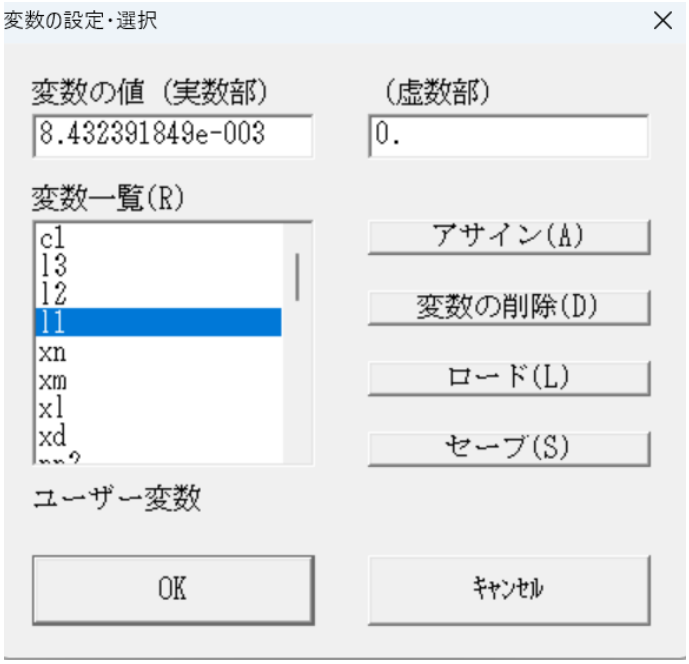
```
Ro=50;P0=6.4513 K;Pn0=5.5423 K;Pn1=65.7946 Meg;
Pn2=0.1409;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal
```

式（２-5）より、素子値を計算するマクロ「lc3cal」は次のようになる。

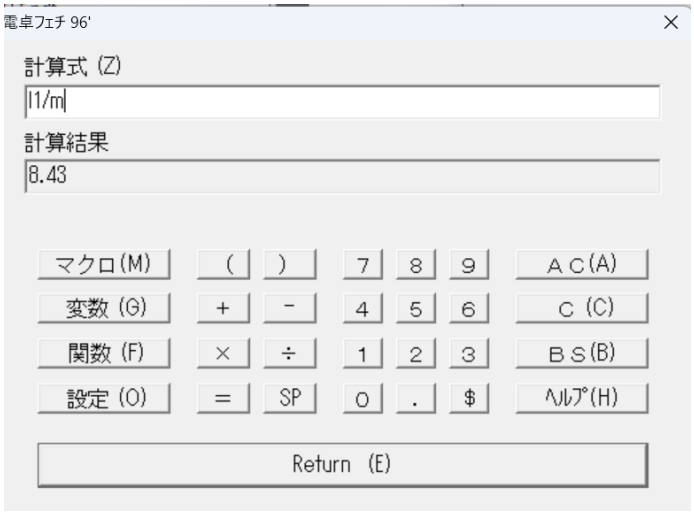
```
Xk=Ro*(Xa-Xb*Xe)/(Xa*(Xc-Xe));Xl=Ro*(Xb*Xc-Xa)/(Xc-Xe);Xm=Xe/Xa;
Xn=(Xc-Xe)*(Xc-Xe)/(Ro*(Xb*Xc-Xa));L1=Xl/Xa;L2=Xm/Xn;L3=Xk;C1=Xn
```

３次の LC フィルタの設計

入力マクロ「lc3in」を実行すると、素子値が計算される。



L1 を m 単位で表示すると、8.43 m が表示される。L2 なども同様にして求める。



L1=8.43 m

L2=0.691 m

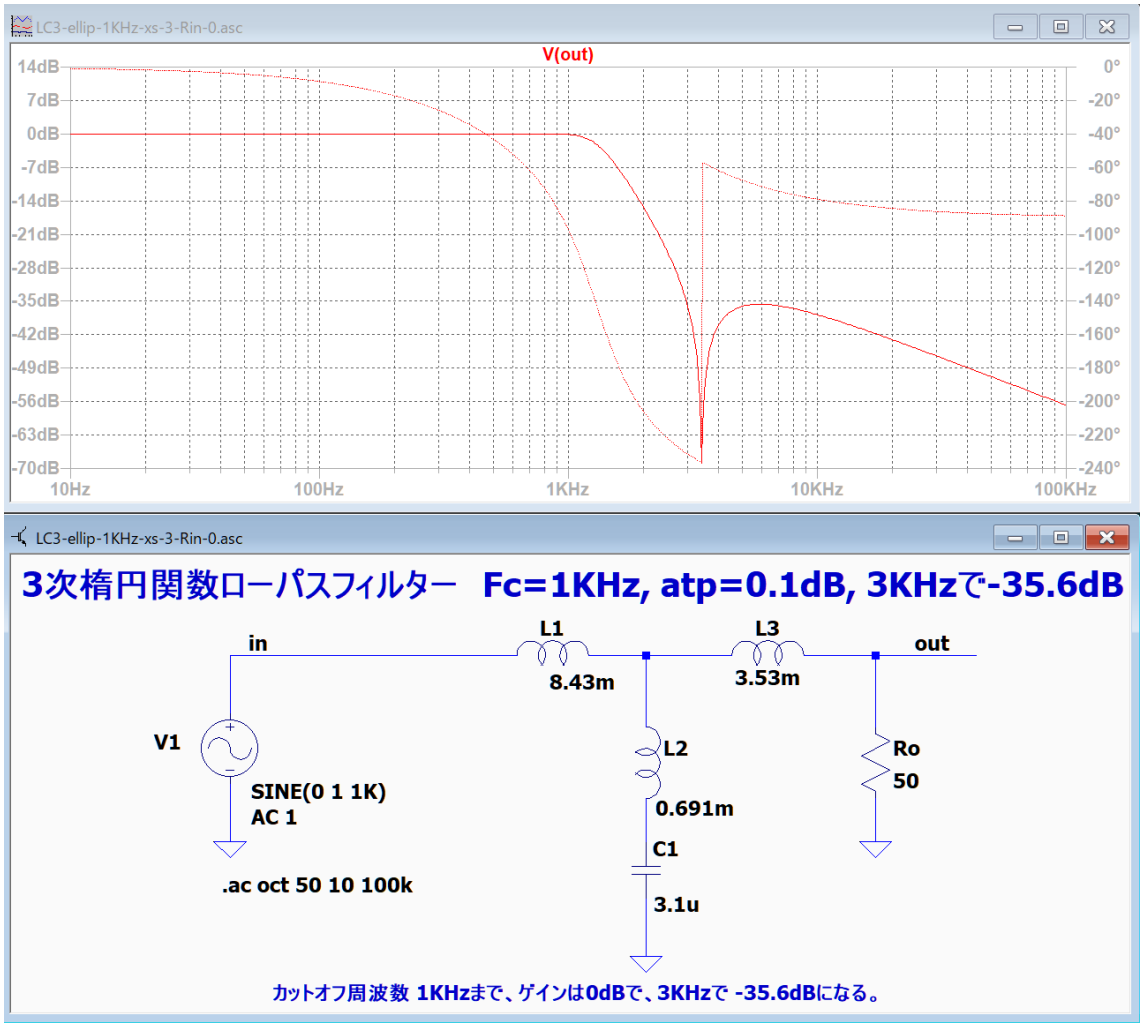
L3=3.53 m

C1=3.1 u

３次の LC フィルタの設計

回路図「LC3-ellip-Rin-0-base.asc」に素子値を入力して、ファイル名を「LC3-ellip-1KHz-xs-3-Rin-0.asc」に変更して保存する。

LC3-ellip-1KHz-xs-3-Rin-0.asc



設計仕様通りの周波数特性と最低減衰量が得られた。

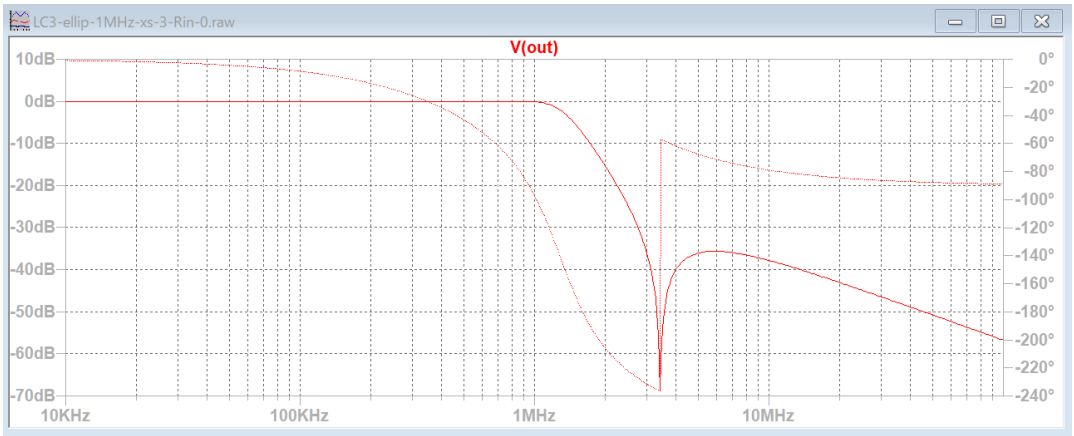
数式について

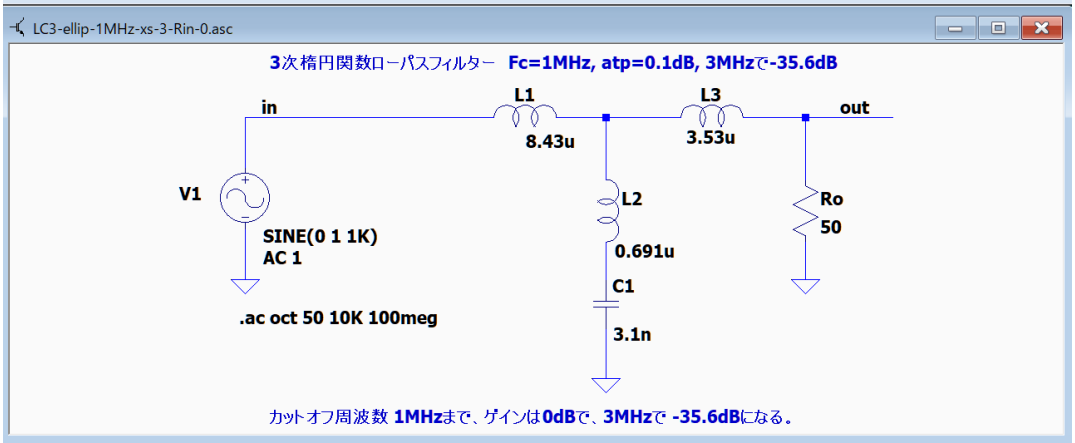
式（２-1）から（２-5）は、「Sim for DOS」に同梱されている「回路シミュレーション.pdf」の p85（p1）から p98（p14）を利用しました。

設計例 3-2 3 楕円関数ローパスフィルター

「設計例 3-1 3 次楕円関数ローパスフィルター」で設計したフィルターの L と C の素子値を 1000 分の 1 に変更してカットオフ周波数を 1000 倍の 1MHz に変更します。

L1=8.43 m → L1=8.43 u
L2=0.691 m → L2=0.691 u
L3=3.53 m → L3=3.53 u
C1=3.1 u → C1=3.1 n
に変更すれば、
カットオフ周波数が 1MHz、リプルが 0.1dB、最低減衰量の周波数が 3MHz の 3 次楕円関数ローパスフィルタに変換されます。
LC3-ellip-1MHz-xs-3-Rin-0.asc





設計仕様通りの周波数特性と最低減衰量が得られた。
リプルや最低減衰量の周波数を変更する場合には、設計例 3-1 に従って「LtAct」で伝達関数の係数を求めて、マクロを編集する必要があります。

３次の LC フィルタの設計

設計例 3-3 3 次逆チェビシェフローパスフィルター

カットオフ周波数が 1KHz、リプルが 0.1dB、最低減衰量の周波数が 3KHz の逆チェビシェフローパスフィルタの伝達関数の係数が次のように計算された場合、

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=3
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 3.0000KHz atts = 23.60dB
１次式の形式

$$H0 = \frac{P1 * s + P2}{s + P0}$$

２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s^2 + Pn_0 * s + Pn_1}$$

１次式
P0 = 13.4882K P1 = 0 P2 = 13.4882K Fc= 2.1467KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	9.7456K	131.4503Meg	0.2775	0	131.4503Meg

Fc= 1.8247KHz Fc ゲイン= - 1.4115 dB Q = 1.1764 GB 積 =214.6713KHz

電卓画面から「マクロ」→「ロード」→「LC2in.UMF」を選択して「開く」→「lc3in」を選択→「マクロの編集」→「式全体を選択してコピー」→エディタにコピーする。

新しい係数を入力する。
Xf=1 k;Ro=50;P0=13.4882 K;Pn0=9.7456 K;Pn1=131.4503 Meg;
Pn2=0.2775;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal

電卓の入力ラインに貼り付けて、「return」を押す。

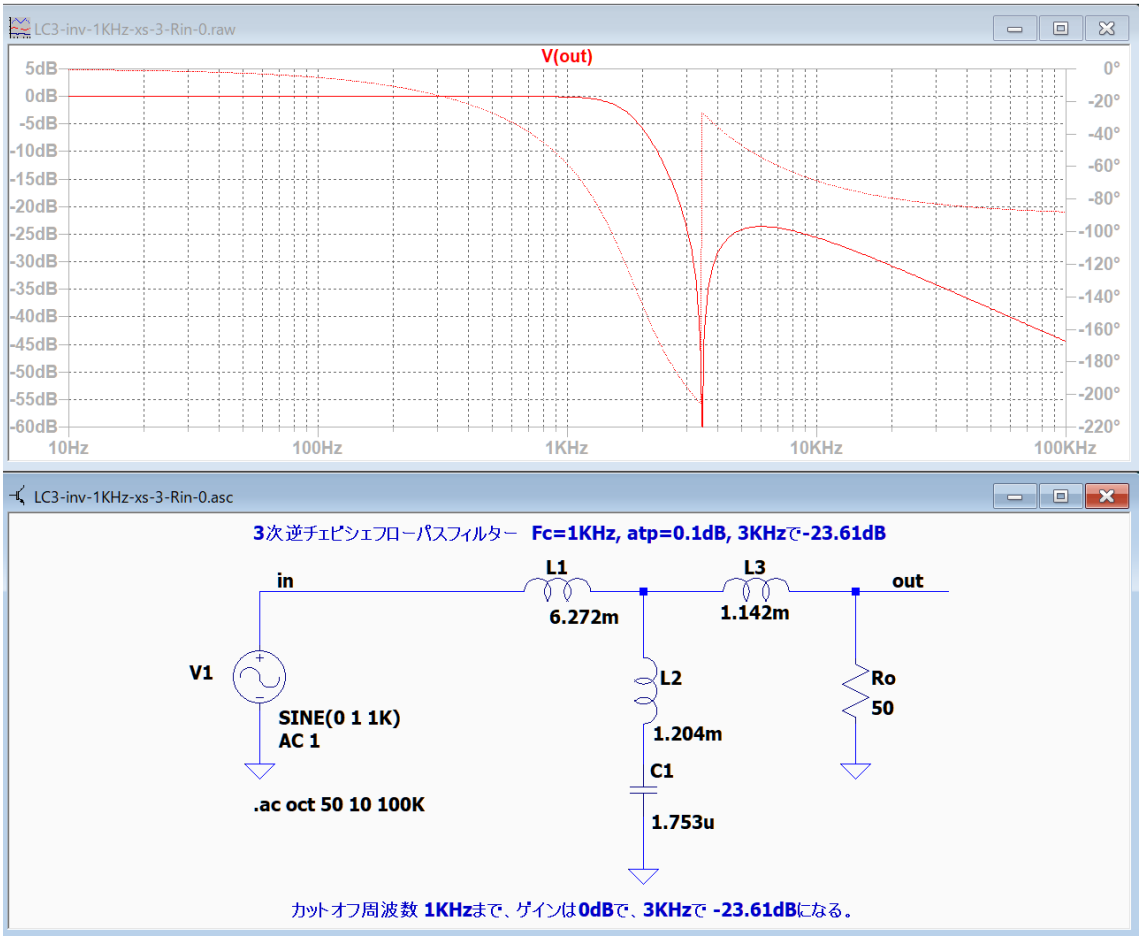
３次の LC フィルタの設計

電卓画面の入力画面で「L1/m」を入力する。

L1=6.272 m
L2=1.204 m
L3=1.142 m
C1=1.753 u

回路図「LC3-ellip-Rin-0-base.asc」に素子値を入力して、ファイル名を「LC3-inv-1KHz-xs-3-Rin-0.asc」に変更して保存する。

LC3-inv-1KHz-xs-3-Rin-0.asc



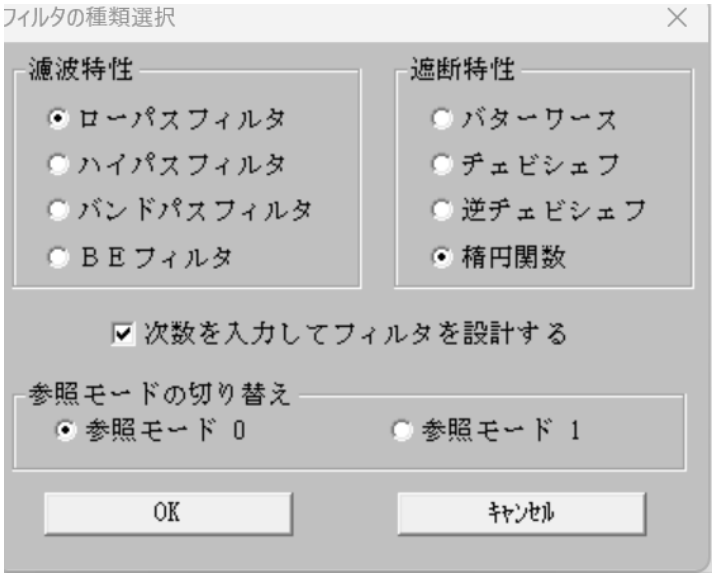
設計仕様通りの周波数特性と最低減衰量が得られた。

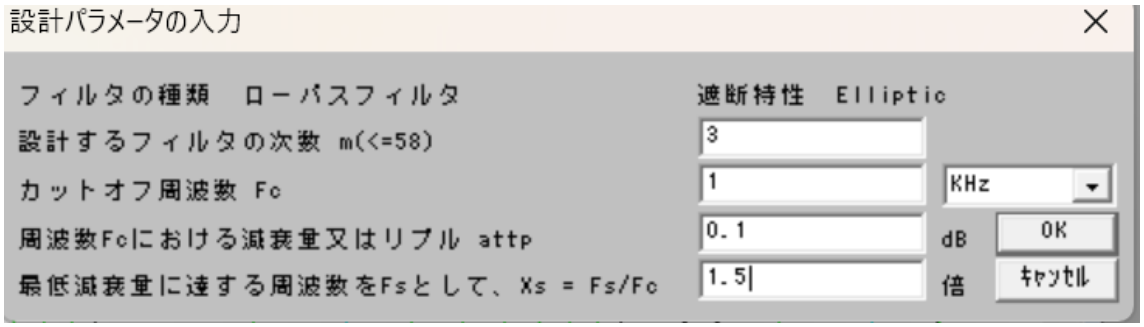
まとめ 3 次楕円関数ローパスフィルター

3 次楕円関数ローパスフィルターを設計する手順

3 次楕円関数ローパスフィルター、カットオフ周波数は 1KHz として、リプル、最低減衰量となる周波数は減衰特性を確認してから決定します。

1．「LtAct」を利用して、作成するフィルターの伝達関数を計算します
「フィルタの種類選択」をクリックして、「盧波特性」は「ローパスフィルタ」、
「遮断特性」は「楕円関数」をチェックします。
「次数を入力してフィルタを設計する」をチェックして、「OK」を押します。

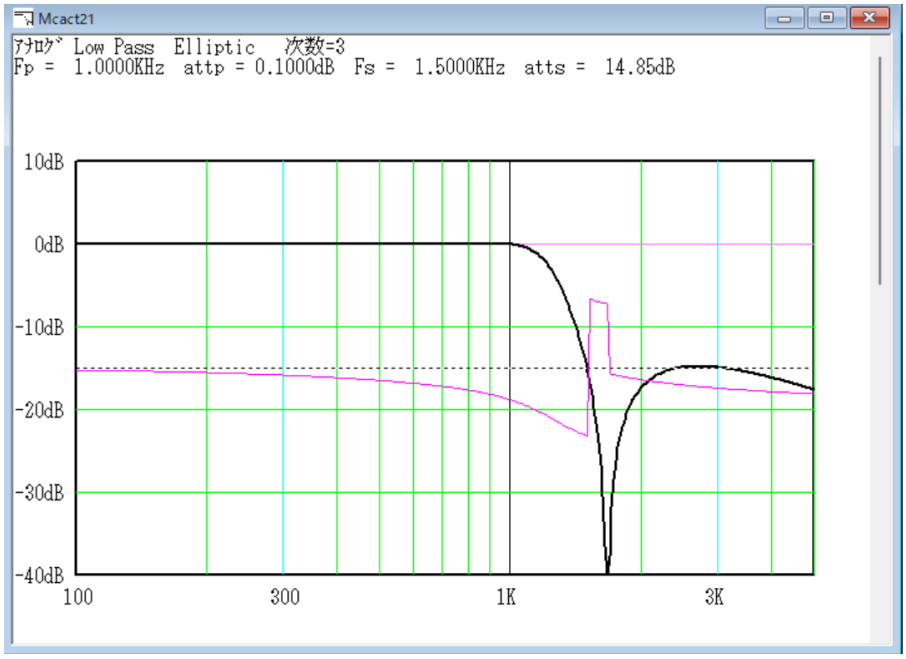




３次の LC フィルタの設計

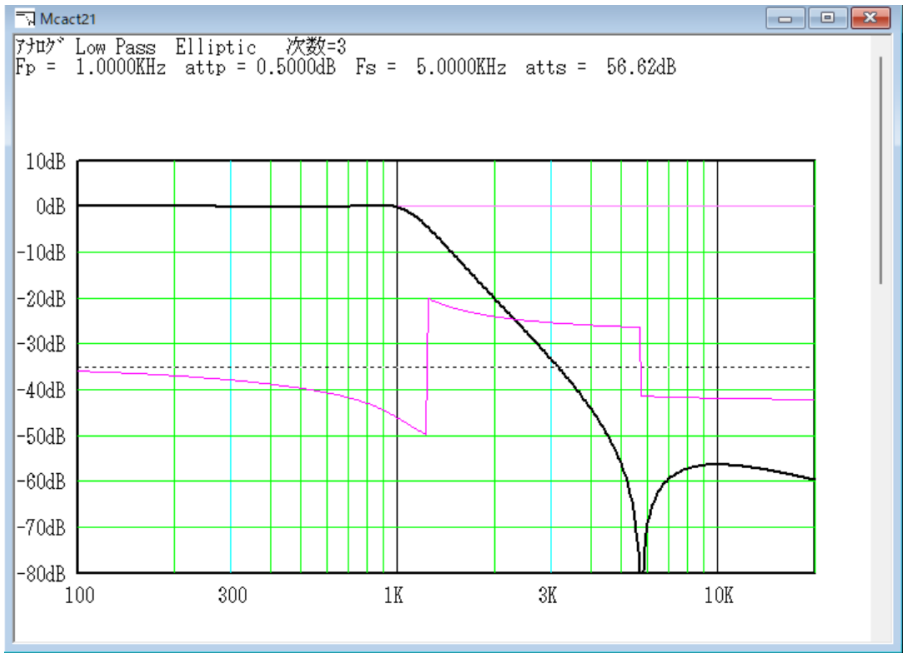
２．「フィルタの次数」に「３」を入力します。「カットオフ周波数」、「リプル」及び「Xs」の値を希望する数値に変更して「OK」を押します。

入力したパラメータで設計されるフィルタの周波数特性が表示されます。



フィルターが 3 次なので指定した最低減衰量の得られる周波数における減衰量は 14.85dB しか得られないことが分かります。

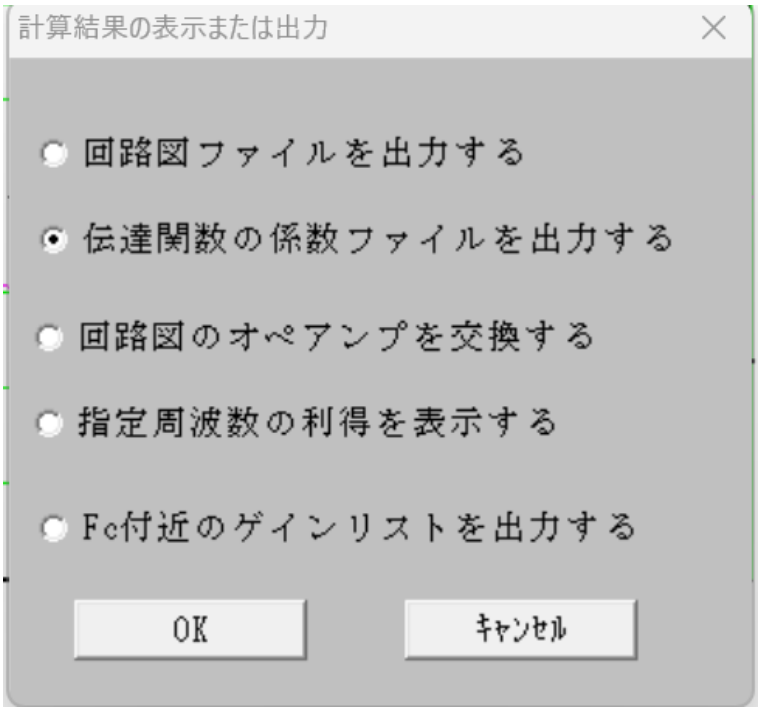
Attp=0.5dB, Xs=5 に変更すると、周波数特性が下図のように変化します。

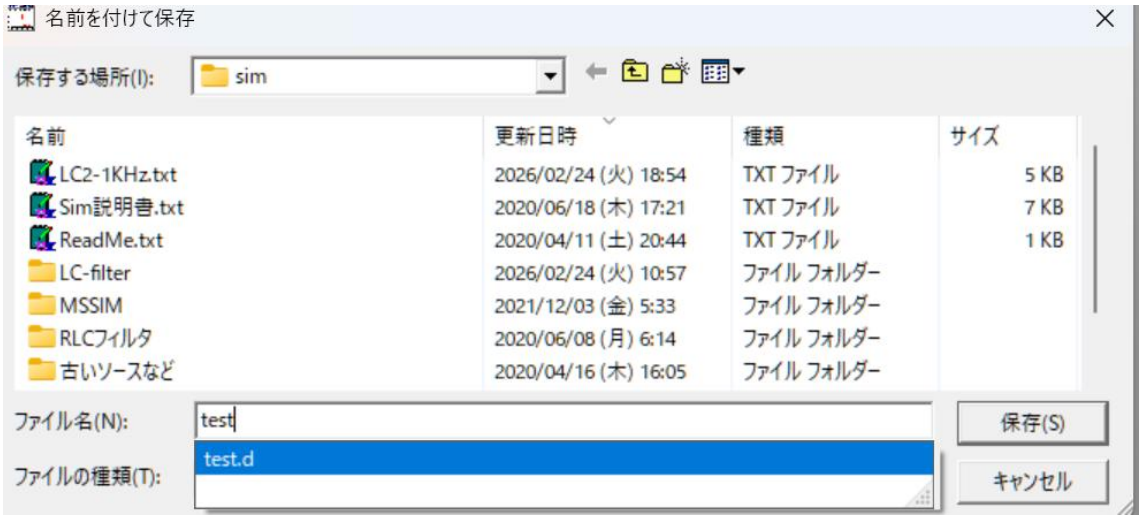


３次の LC フィルタの設計

このように、リプルを 0.1dB から 1dB に増加すると、最低減衰量が増加します。
この仕様で設計してみます。

３．希望する特性が確認できたら、「表示･出力」を左クリックして、「伝達関数の係数ファイルを出力する」をチェックして「OK」を押します。





ファイル名を入力して「保存」を押します。

３次の LC フィルタの設計

４.「LtAct」とファイルのタイプ「.txt」を関連付けてあると、自動的にファイルが表示されます。

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=3

Fp = 1.0000KHz attp = 0.5000dB Fs = 5.0000KHz atts = 56.62dB

２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4}{s^2 + Pn_0 * s + Pn_1}$$

１次式

P0 = 3.9924K P1 = 0 P2 = 3.9924K Fc= 635.4174 Hz Fc ゲイン = - 3.0103 dB

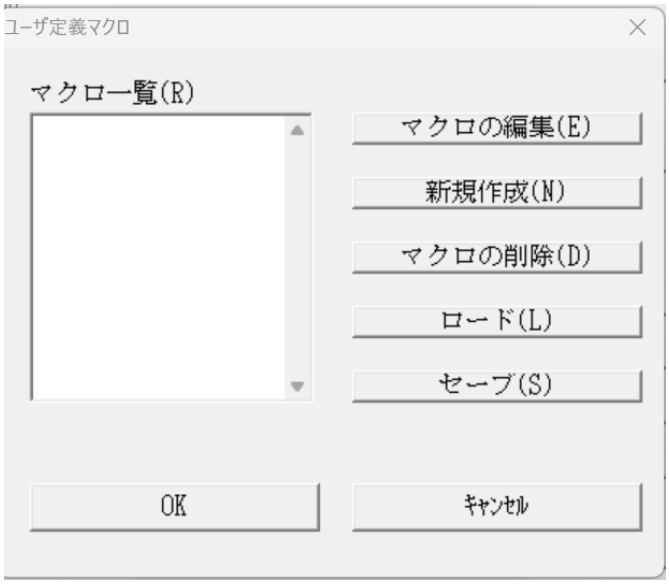
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	3.8548K	45.1493Meg	34.4837m	0	45.1493Meg

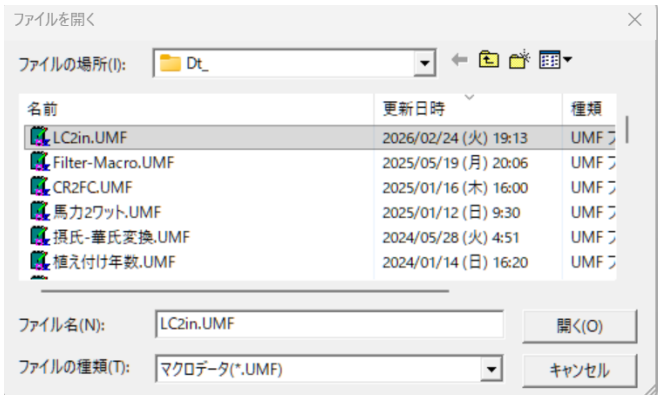
Fc= 1.0694KHz Fc ゲイン= 4.5217 dB Q = 1.7431 GB 積 =186.4114KHz

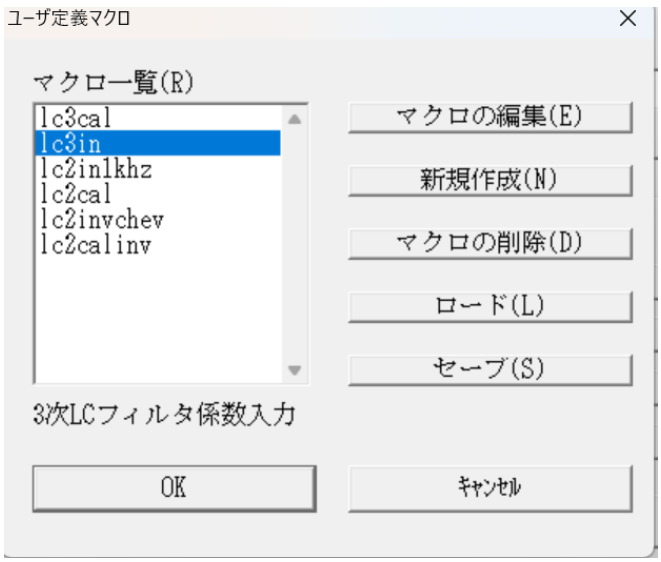
３次の LC フィルタの設計

５．「電卓 Dt.exe」を起動して、「マクロ」をクリックします。



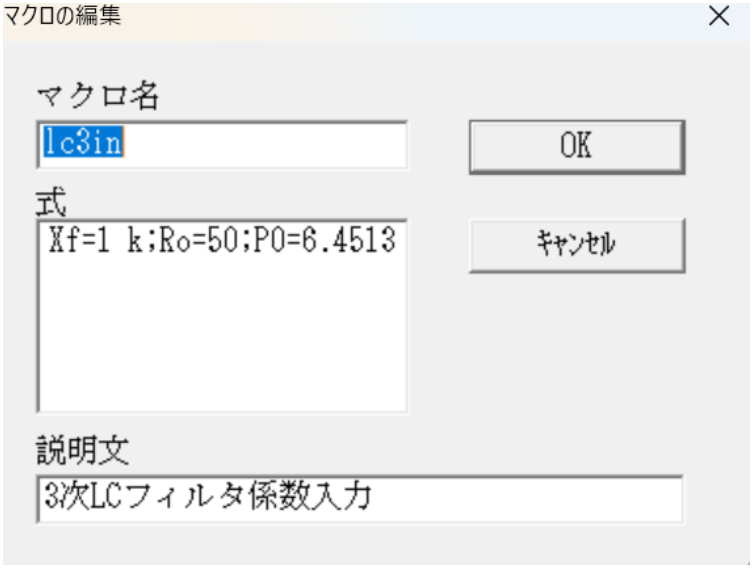
「ロード」をクリックして、「電卓 Dt.exe」を解凍したフォルダから、「LC2in.UMF」を選択して「開く」を押します。





３次の LC フィルタの設計

「lc3in」を選択して、「マクロの編集」をクリックします。



カーソルを「式」の中に移動して、式全体をドラッグしてコピーして、テキストエディタに貼り付けます。

Xf=1 k;Ro=50;P0=6.4513 K;Pn0=5.5423 K;Pn1=65.7946 Meg;Pn2=0.1409;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal

$$H = \frac{P2}{s+P0} \cdot \frac{Pn2 \cdot s^2 + Pn4}{s^2 + Pn0 \cdot s + Pn1} \qquad (2\text{-}1)$$

また、伝達関数は次式のように変形されて素子値が求められるとする。

$$H = \frac{d + e \cdot s^2}{a + b \cdot s + c \cdot s^2 + s^3} \qquad (2\text{-}2)$$

式（2-1）の分母と分子を式（2-2）の形式に変形して、係数をテキストエディタを使ってマクロを編集します。

a, b, c, d…は、マクロの変数としては Xa, Xb, Xc, Xd…として使います。

３次の LC フィルタの設計

変数 Xa, Xb, Xc, Xd と伝達関数の係数はマクロ「lc3in」内部で計算するので、係数の値を編集します。

Xf=1 k;Ro=50;P0=6.4513 K;Pn0=5.5423 K;Pn1=65.7946 Meg;Pn2=0.1409;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal

伝達関数の係数もテキストエディタにコピーします。

１次式

P0 = 3.9924K P1 = 0 P2 = 3.9924K

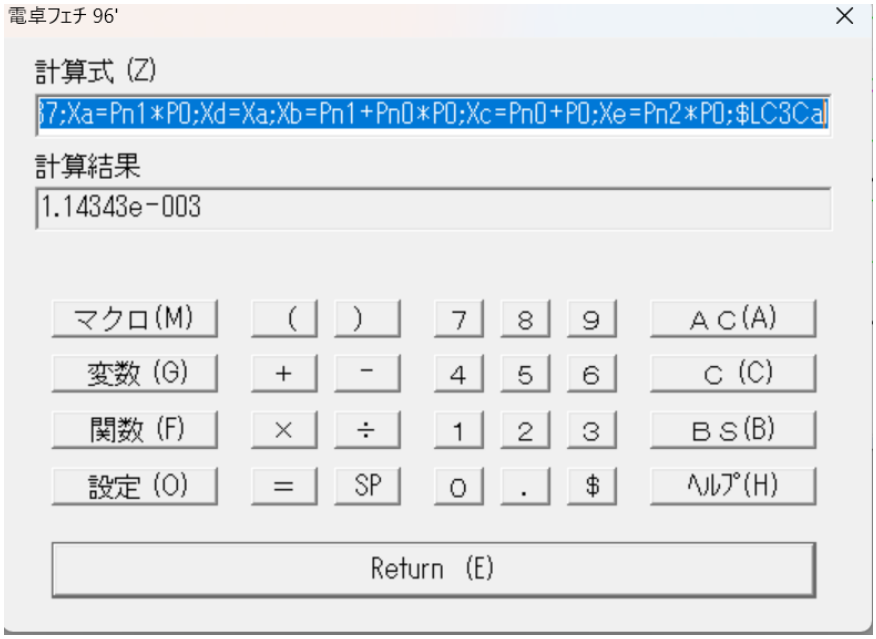
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	3.8548K	45.1493Meg	34.4837m	0	45.1493Meg

注意：数値と単位の間にスペースをいれる。

Xf=1 k;Ro=50;P0=3.9924 K;Pn0=3.8548 K;Pn1=45.1493 Meg;Pn2=34.4837 m;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal

６．「電卓」入力ラインに、編集したマクロを張り付けて「return」を押す。



3 次の LC フィルタの設計

「l1/m」のように電卓に入力して、素子値を読み取ります。

L1= 10.607m

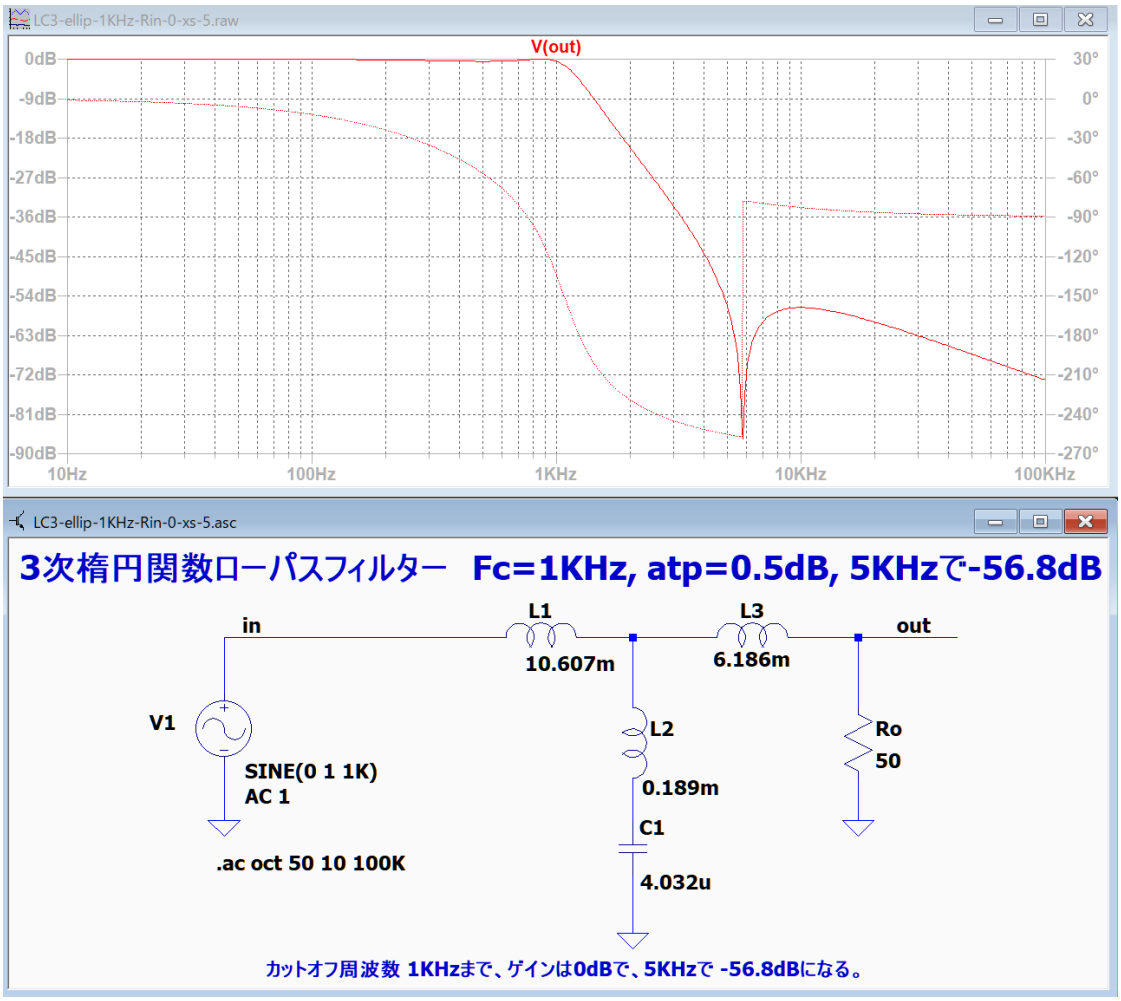
L2= 0.189m

L3=6.186m

C1= 4.032u

7．「LtSpice」で「LC3-ellip-Rin-0-base.asc」を開いて、素子値を入力してファイル名を「LC3-ellip-1KHz-Rin-0-xs-5.asc」に変更して保存して周波数特性を確認します。

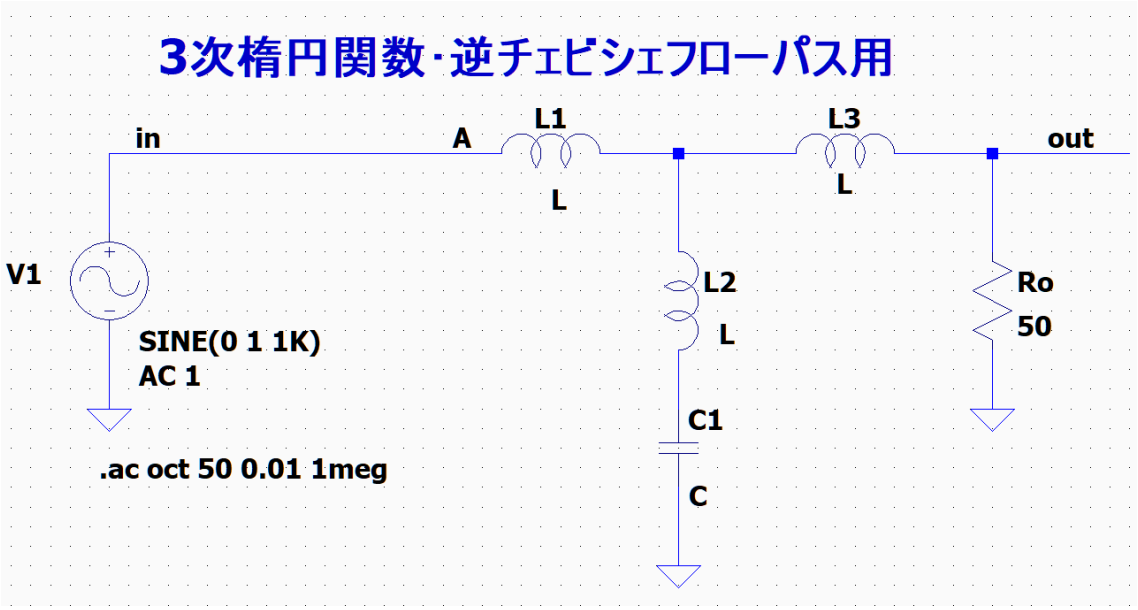
LC3-ellip-1KHz-Rin-0-xs-5.asc



設計仕様通りの周波数特性と最低減衰量が得られた。

3 次楕円関数フィルターの設計では、楕円関数でも逆チェビシェフでも同じマクロ「lc3in」と同じ回路図ファイル「LC3-ellip-Rin-0-base.asc」が利用できます。

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　1



伝達関数

素子名による伝達関数の表示

$$H = \frac{R1\cdot(1+C1\cdot L2\cdot s^2)}{R1+(L1+L3)\cdot s+C1\cdot R1\cdot(L1+L2)\cdot s^2+C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)\cdot s^3} \tag{0}$$

伝達関数の分母の最高次数の係数を 1 にする。

$$H = \frac{\frac{R1\cdot(1+C1\cdot L2\cdot s^2)}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}}{\frac{R1}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}+\frac{(L1+L3)}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}\cdot s+\frac{C1\cdot R1\cdot(L1+L2)}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}\cdot s^2+\frac{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}\cdot s^3}$$

よって、

$$H = \frac{\frac{R1\cdot(1+C1\cdot L2\cdot s^2)}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}}{\frac{R1}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}+\frac{(L1+L3)}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}\cdot s+\frac{C1\cdot R1\cdot(L1+L2)}{C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)}\cdot s^2+s^3} \tag{1}$$

素子値を決定するために、H の係数を単純な変数に書き換える。

$$H = \frac{d+e\cdot s^2}{a+b\cdot s+c\cdot s^2+s^3} \tag{2}$$

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　1

反伝達関数を求める。

$$T = H^{-1} = \frac{a+b\cdot s+c\cdot s^2+s^3}{d+e\cdot s^2} \tag{3}$$

T の遇関数を A、奇関数を B として、インピーダンス関数 Z0 を求める。

$$A = \frac{a+c\cdot s^2}{d+e\cdot s^2} \quad 、B = \frac{R1\cdot s\cdot(b+s^2)}{d+e\cdot s^2}$$

インピーダンス関数

$$Z0 = \frac{B}{A} = \frac{R1\cdot s\cdot(b+s^2)}{a+c\cdot s^2} \tag{4}$$

回路図の R1 から左側を見た順に、Z0 から素子を取り出していく。

Z0 = Z1+Z2 のように 2 つのインピーダンスが直列接続されていると考える。
Z1 として L3 を取り出す。

$$Z0 = k\cdot s + \frac{l\cdot s\cdot(1+m\cdot s^2)}{a+c\cdot s^2} \tag{5}$$

L3=k が取り出された。

$$Z0 = \frac{s\cdot\{(a\cdot k+l)+(c\cdot k+l\cdot m)\cdot s^2\}}{a+c\cdot s^2} \tag{6}$$

式(4)と(6)より、

$$\begin{cases} a\cdot k + l = R1\cdot b \\ c\cdot k + l\cdot m = R1 \\ k,l,m > 0 \end{cases} \tag{7}$$

式(7)より、

$$\begin{cases} l = R1\cdot b - a\cdot k \\ m = \frac{R1-c\cdot k}{R1\cdot b-a\cdot k} \end{cases} \tag{8}$$

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　1

Z0=Z1+Z2=Z1+1/Y2, Y2=Y3+Y4 (9)

と考える。

Z1 は L3 として取り出し済み。Y2 は Y3 と Y4 の並列回路。

Z3 は L1, Z4 は L2 と C1 の直列回路。

$$Y2 = \frac{a+c\cdot s^2}{l\cdot s\cdot(1+m\cdot s^2)} = \frac{a}{l\cdot s} + \frac{n\cdot s}{1+m\cdot s^2}$$

$$Y2 = \frac{1}{\frac{l}{a}\cdot s} + \frac{n\cdot s}{1+m\cdot s^2} = \frac{1}{L1\cdot s} + \frac{n\cdot s}{1+m\cdot s^2} \quad (10)$$

式(9)と(10)より、

$$Y3 = \frac{1}{Z3} = \frac{1}{\frac{l}{a}\cdot s},\ \therefore Z3 = \frac{l}{a}\cdot s \quad (11)$$

$L1 = \frac{l}{a}$ が取り出された。

$$Y4 = \frac{n\cdot s}{1+m\cdot s^2} \quad \therefore Z4 = \frac{1+m\cdot s^2}{n\cdot s} \quad (12)$$

$$Z4 = \frac{1}{n\cdot s} + \frac{m}{n}\cdot s \quad (13)$$

$$Z4 = \frac{1}{n\cdot s} + \frac{m}{n}\cdot s = Z41 + Z42$$

$$Z41 = \frac{1}{n\cdot s},\ Z42 = \frac{m}{n}\cdot s \quad (14)$$

$C1 = n$ と $L2 = \frac{m}{n}$ が取り出された。

従って、

$$Y2 = \frac{a+c\cdot s^2}{l\cdot s\cdot(1+m\cdot s^2)} = \frac{a+(a\cdot m+l\cdot n)\cdot s^2}{l\cdot s\cdot(1+m\cdot s^2)} \quad (15)$$

式(15)より、

$$a\cdot m + l\cdot n = c \quad \therefore n = \frac{c-a\cdot m}{l} \quad (16)$$

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　1

n に式(8)を代入すると、

$$n = \frac{c - a \cdot m}{l} = \frac{R1 \cdot (b \cdot c - a)}{(R1 \cdot b - a \cdot k)^2} \tag{17}$$

これで、全ての素子が取り出せた。

$$L1 = \frac{l}{a},\ L2 = \frac{m}{n},\ L3 = k,\ C1 = n \tag{18}$$

$$l = R1 \cdot b - a \cdot k,\ \mathrm{m} = \frac{\mathrm{R1 - c \cdot k}}{\mathrm{R1 \cdot b - a \cdot k}},\ \mathrm{n} = \frac{R1 \cdot (b \cdot c - a)}{(R1 \cdot b - a \cdot k)^2} \tag{19}$$

$$L1 = \frac{R1 \cdot b - a \cdot k}{a},\ L2 = \frac{(\mathrm{R1 - c \cdot k}) \cdot (R1 \cdot b - a \cdot k)}{R1 \cdot (b \cdot c - a)},\ L3 = k,\ C1 = \frac{R1 \cdot (b \cdot c - a)}{(R1 \cdot b - a \cdot k)^2} \tag{20}$$

未知の変数 k を決定する。

式(20)を伝達関数の式(1)に代入して、式(2)と比較して k を決定する。

式(0)の s の 3 次の係数が複雑なので、これに式(20)を代入する。

$$X \coloneqq C1 \cdot (L1 \cdot L2 + L2 \cdot L3 + L3 \cdot L1) \tag{21}$$

代入して整理すると。

$$X \coloneqq \frac{R1}{a} \tag{22}$$

式(1)の分母から、s の次数ごとに係数を計算してみる。

0 次の係数は、

$$\frac{R1}{X} = \frac{R1}{\frac{R1}{a}} = a \tag{23}$$

1 次の係数は、

$$\frac{(L1 + L3)}{X} = b \tag{24}$$

2 次の係数は、

$$\frac{C1 \cdot R1 \cdot (L1 + L2)}{X} = c \tag{25}$$

式(1)の分子の 0 次の係数は、

$$\frac{R1}{X} = a \tag{26}$$

式(1)の分子の 2 次の係数は、

$$\frac{R1 \cdot C1 \cdot L2}{X} = \frac{a \cdot (c \cdot k - R1)}{a \cdot k - R1 \cdot b} \tag{27}$$

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　1

伝達関数は次のようになった。

$$H = \frac{a+\frac{a\cdot(c\cdot k-R1)}{a\cdot k-R1\cdot b}\cdot s^2}{a+b\cdot s+c\cdot s^2+s^3} \tag{28}$$

式(2)と(28)を比較して、

$$d = a,\ e = \frac{a\cdot(c\cdot k-R1)}{a\cdot k-R1\cdot b} \tag{29}$$

式(1)の分母と分子の s の 0 次の係数を確認すると、d=a が成立する。

$e = \frac{a\cdot(c\cdot k-R1)}{a\cdot k-R1\cdot b}$ より、k を求める。

$$k = \frac{R1\cdot(a-b\cdot e)}{a\cdot(c-e)} \tag{30}$$

式(19)に(30)を代入すると、

$$l = \frac{R1\cdot(b\cdot c-a)}{c-e},\ m = \frac{e}{a},\ n = \frac{(c-e)^2}{R1\cdot(b\cdot c-a)} \tag{31}$$

$$L1 = \frac{l}{a},\ L2 = \frac{m}{n},\ L3 = k,\ C1 = n \tag{18}$$

$$L1 = \frac{R1\cdot(b\cdot c-a)}{a\cdot(c-e)},\ L2 = \frac{R1\cdot e\cdot(b\cdot c-a)}{a\cdot(c-e)^2},\ L3 = \frac{R1\cdot(a-b\cdot e)}{a\cdot(c-e)},\ C1 = \frac{(c-e)^2}{R1\cdot(b\cdot c-a)} \tag{32}$$

手順をマクロとしてまとめる

式(18)と(30)および(31)によって、式(2)で表される伝達関数からから 3 次 LC フィルタの全ての素子値を決定することが出来た。

実際の素子値は、「LtAct」で得られた伝達関数の係数を利用する。

$$H = \frac{P2}{s+P0}\cdot\frac{Pn2\cdot s^2+Pn4}{s^2+Pn0\cdot s+Pn1} \tag{2-1}$$

式(2-1)を(2)の形式にすると、分母と分子は次のようになる。

$$H = \frac{P2\cdot Pn4+Pn2\cdot P2\cdot s^2}{P0\cdot Pn1+(Pn1+Pn0\cdot P0)\cdot s+(Pn0+P0)\cdot s^2+s^3}$$

従って、

$$a = P0\cdot Pn1, b = Pn1+Pn0\cdot P0, c = Pn0+P0,\ d = P2\cdot Pn4, e = Pn2\cdot P2 \tag{2-3}$$

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　1

「LtAct」で計算した伝達関数の係数が以下の場合、

Fp =　1.0000KHz　attp = 0.1000dB　Fs =　3.0000KHz　atts =　35.62dB

１次式

P0 =　6.4513K　P1 =　0　P2 =　6.4513K

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	5.5423K	65.7946Meg	0.1409	0	65.7946Meg

「電卓プログラム Dt.exe」用の入力用マクロは式（２-3）を用いて次のようになる。

入力用マクロ　lc3in

```
Xf=1 k;Ro=50;P0=6.4513 K;Pn0=5.5423 K;Pn1=65.7946 Meg;
Pn2=0.1409;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal
```

計算用マクロは式(30)と(31) を用いて次のようになる。

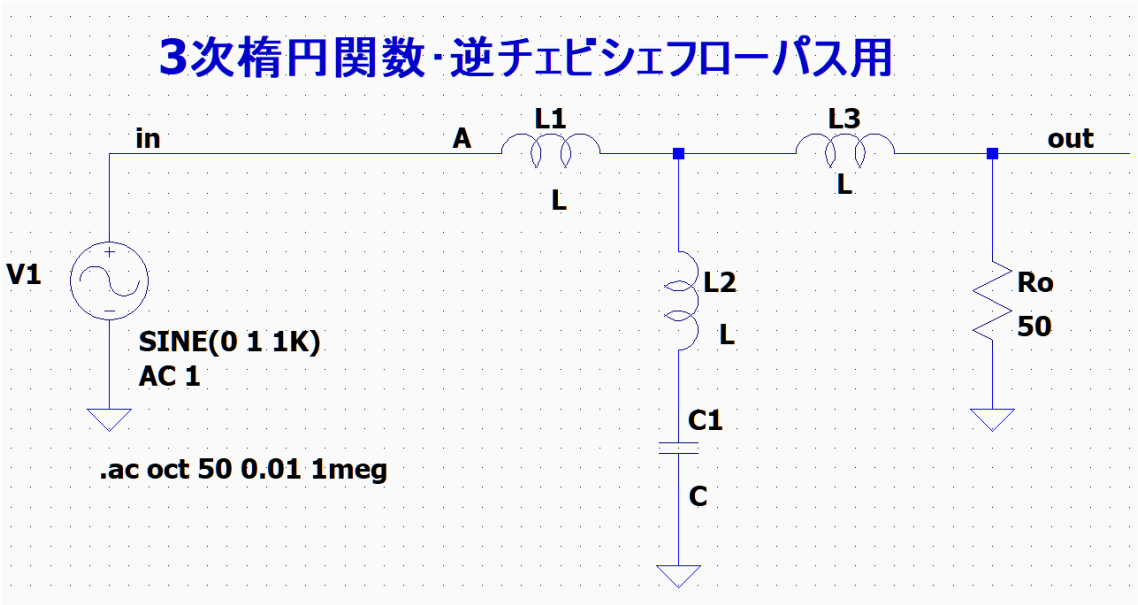
計算用マクロ　lc3cal

```
Xk=R1*(Xa-Xb*Xe)/(Xa*(Xc-Xe));Xl=R1*(Xb*Xc-Xa)/(Xc-Xe);Xm=Xe/Xa;
Xn=(Xc-Xe)*(Xc-Xe)/(R1*(Xb*Xc-Xa));L1=Xl/Xa;L2=Xm/Xn;L3=Xk;C1=Xn
```

「電卓プログラム Dt.exe」では、「単位などの記号 e, f, g, k, m, meg… 」がシステム用として使われているので、個人的な変数名として使用することが出来ません。

従って、ここでは変数 a, b, c, d, e を Xa, Xb, Xc などのように変更して使っています。

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　2



前の章では、インピーダンス関数 Z0 から L1, C1 などを 1 個づつ取り出して、全ての素子値をインピーダンス関数の係数で表すことで回路を決定した。

しかし、次数がわずか 3 次であっても式の操作は複雑で大変手間のかかる作業だった。

今回は、素子名で表される伝達関数と簡略表示された伝達関数から直接素子値を決定する手順を実験する。

伝達関数

$$Hp = \frac{R1\cdot(1+C1\cdot L2\cdot s^2)}{R1+(L1+L3)\cdot s+C1\cdot R1\cdot(L1+L2)\cdot s^2+C1\cdot(L1\cdot L2+L2\cdot L3+L3\cdot L1)\cdot s^3} \quad (1)$$

$$Ha = \frac{d+e\cdot s^2}{a+b\cdot s+c\cdot s^2+s^3} \quad (2)$$

Hp の分母の s が 3 次の係数を X とおくと、

$$X = C1\cdot(L1\cdot L2 + L2\cdot L3 + L3\cdot L1) \quad (3)$$

$$Hp = \frac{X}{X}\cdot Ha = \frac{X\cdot(d+e\cdot s^2)}{X\cdot(a+b\cdot s+c\cdot s^2+s^3)} \quad (4)$$

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　2

式(1)と(4)の分母・分子の s の同じ次数の係数が等しくなるので、連立方程式を解けば L1, L2,…　などを式(2)の係数 a, b,…で表すことが出来る。

X:=C1*(L1*L2+L2*L3+L3*L1);
eqd0:=X*a=R1; eqd1:=X*b=(L1+L3); eqd2:=X*c= C1*R1*(L1+L2);
eqn0:=X*d=R1; eqn2:=X*e=R1*C1*L2;
式(1)と(4)を比較すると、a=d となるので eqn0 は連立方程式に含めない。

連立方程式
solve({eqd0, eqd1, eqd2, eqn2},{L1, L2, L3, C1});

$$L1 = \frac{R1\cdot(b\cdot c-a)}{a\cdot(c-e)},\ L2 = \frac{R1\cdot e\cdot(b\cdot c-a)}{a\cdot(c-e)^2},\ L3 = \frac{R1\cdot(a-b\cdot e)}{a\cdot(c-e)},\ C1 = \frac{(c-e)^2}{R1\cdot(b\cdot c-a)} \qquad (5)$$

素子値の数式は前の章と同じ数式がえられたので、「電卓プログラム Dt.exe」用の入力用マクロは同じものが利用できるが、新しく次のマクロを作成した。
入力用マクロ　lc3in2
R1=50;P0=6.4513 K;Pn0=5.5423 K;Pn1=65.7946 Meg;
Pn2=0.1409;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal2

計算用マクロ　lc3cal2
S1=R1*(Xb*Xc-Xa);S2=Xa*(Xc-Xe);S3=(Xc-Xe)*(Xc-Xe);S4=Xa*S3;S5=R1*(Xa-Xb*Xe);
L1=S1/S2;L2=S1*Xe/S4;L3=S5/S2;C1=S3/S1;

3 次フィルターの素子値を求める手順を整理する　2

カットオフ周波数が 1KHz、リプルが 0.1dB、最低減衰量の周波数が 3KHz の 3 次楕円関数ローパスフィルタの場合、

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

1 次式

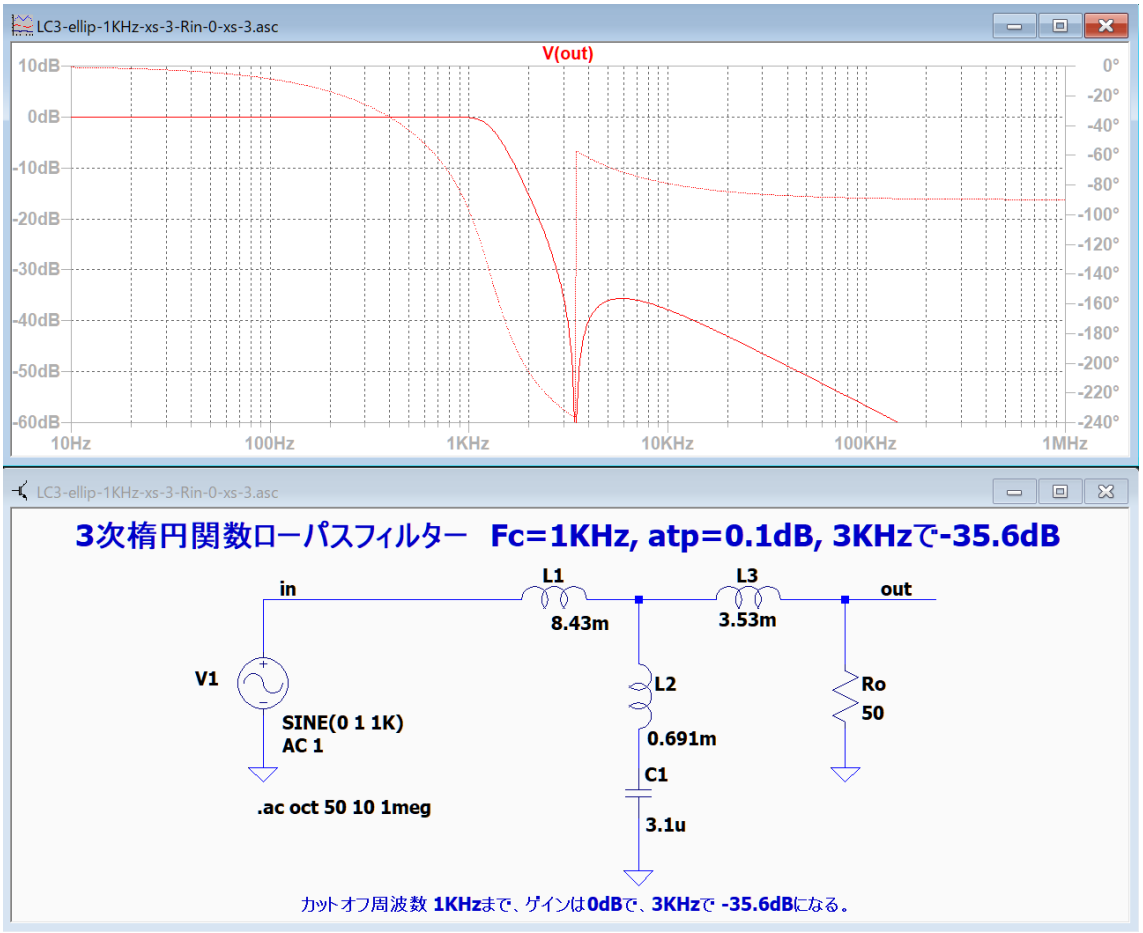
P0 =　6.4513K　P1 =　0　P2 =　6.4513K

2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	5.5423K	65.7946Meg	0.1409	0	65.7946Meg

入力用マクロ　lc3in2 を実行すると前の章と同じ結果が得られた。

LC3-ellip-1KHz-xs-3-Rin-0-xs-3.asc

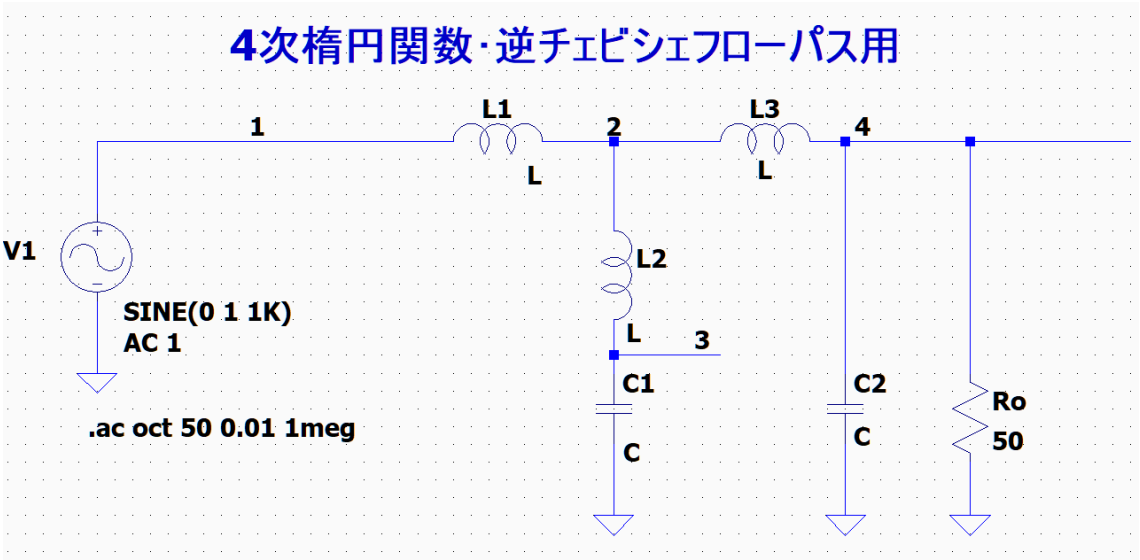


4 次の LC フィルタの設計

設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次楕円関数ローパスフィルターを下の回路図で設計します。

LC4-ellip-Rin-0-base.asc



「LtAct」で求めた伝達関数

$$H = \frac{Pn12 \cdot s^2 + Pn14}{s^2 + Pn10 \cdot s + Pn11} \cdot \frac{Pn22 \cdot s^2 + Pn24}{s^2 + Pn20 \cdot s + Pn21} \qquad (4\text{-}1)$$

回路図の素子値を計算するために使用する伝達関数

$$H = \frac{e + f \cdot s^2 + g \cdot s^4}{a + b \cdot s + c \cdot s^2 + d \cdot s^3 + s^4} \qquad (4\text{-}2)$$

$$Xa = Pn11 \cdot Pn21, Xb = Pn10 \cdot Pn21 + Pn11 \cdot Pn20, Xc = Pn21 + Pn10 \cdot Pn20 + Pn11$$

$$Xd = Pn20 + Pn10, Xe = Pn14 \cdot Pn24, Xf = Pn12 \cdot Pn24 + Pn14 \cdot Pn22, Xg = Pn12 \cdot Pn22$$

伝達関数の係数を素子値に変換する

$$Xb2 = Xb \cdot Xb, Xd2 = Xd \cdot Xd, Qrd = ro \cdot Xd, Q1 = -Xd \cdot Xc \cdot Xb + Xb2 + Xd2 \cdot Xa$$

$$Q2 = Xd \cdot Xf - Xc \cdot Xd + Xb, Q3 = -Xb \cdot Xf + Xd \cdot Xa$$

$$L1 = ro * \frac{Q1}{Xa \cdot Q2}, L2 = -Qrd \cdot Xf \cdot \frac{Q1}{Xa \cdot Q2 \cdot Q2}, L3 = -Qrd \cdot \frac{Q3}{Xa \cdot Q2}$$

$$C1 = -Q2 \cdot \frac{Q2}{Qrd \cdot Q1}, C2 = 1/Qrd$$

４次の LC フィルタの設計

電卓の「マクロ」→「ロード」→「LC2in.UMF」を選択して「開く」を押す。
「lc4in」を選択して「式」にカーソルを移動して内容をすべてコピーして、テキストエディタに貼り付ける。

入力用マクロ　LC4in

ro=50;Pn10=1.8922 K;Pn11=41.9488 Meg;Pn12=60.8174 m;Pn14=58.1689 Meg;Pn20=5.5578 K;Pn21=16.1987 Meg;Pn22=60.8174 m;Pn24=11.0283 Meg;Xa=Pn11*Pn21;Xb=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;Xc=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;Xd=Pn20+Pn10;Xe=Pn14*Pn24;Xf=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;Xg=Pn12*Pn22;$LC4cal;

計算用マクロ　LC4cal

Xb2=Xb*Xb;Xd2=Xd*Xd;Qrd=ro*Xd;Q1=-Xd*Xc*Xb+Xb2+Xd2*Xa;Q2=Xd*Xf-Xc*Xd+Xb;Q3=-Xb*Xf+Xd*Xa;L1=ro*Q1/(Xa*Q2);L2=-Qrd*Xf*Q1/(Xa*Q2*Q2);L3=-Qrd*Q3/(Xa*Q2);C1=-Q2*Q2/(Qrd*Q1);C2=1/Qrd;

「LtAct」で設計する 4 次楕円関数ローパスフィルターを設計して、伝達関数の係数ファイルを出力する。

係数の例

設計仕様 Fp =　1.0000KHz　attp = 0.1000dB　Fs =　1.5000KHz　atts =　29.06dB

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	2.1819K	49.6663Meg	0.1877	0	89.6455Meg
2	8.7806K	34.3010Meg	0.1877	0	18.7863Meg

LC4in の Pn10=1.8922 K を係数の例の Pn_0 の下にある 2.1819 K に変更する。数字と単位の間にスペースを入れる。他の数値も同様にして Pn24 まで全て変更する。

変更したら、電卓の入力ラインに貼り付けて「return」を押すと、素子値が計算される。
入力行に「c1/u」のように入力すると素子値が確認できる。

設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次の LC フィルタの設計

4 次楕円関数ローパスフィルターを設計した場合

設計仕様 Fp = 1.0000KHz attp = 0.5000dB Fs = 2.0000KHz atts = 48.64dB

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	1.8922K	41.9488Meg	60.8174m	0	58.1689Meg
2	5.5578K	16.1987Meg	60.8174m	0	11.0283Meg

入力用マクロ LC4in

ro=50;Pn10=1.8922 K;Pn11=41.9488 Meg;Pn12=60.8174 m;Pn14=58.1689 Meg;Pn20=5.5578 K;Pn21=16.1987 Meg;Pn22=60.8174 m;Pn24=11.0283 Meg;Xa=Pn11*Pn21;Xb=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;Xc=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;Xd=Pn20 +Pn10;Xe=Pn14*Pn24;Xf=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;Xg=Pn12*Pn22;$LC4cal;

以下の素子値が得られた。

L1 ≔ 9.399 m

L2 ≔ 1.36 m

L3 ≔ 0.010

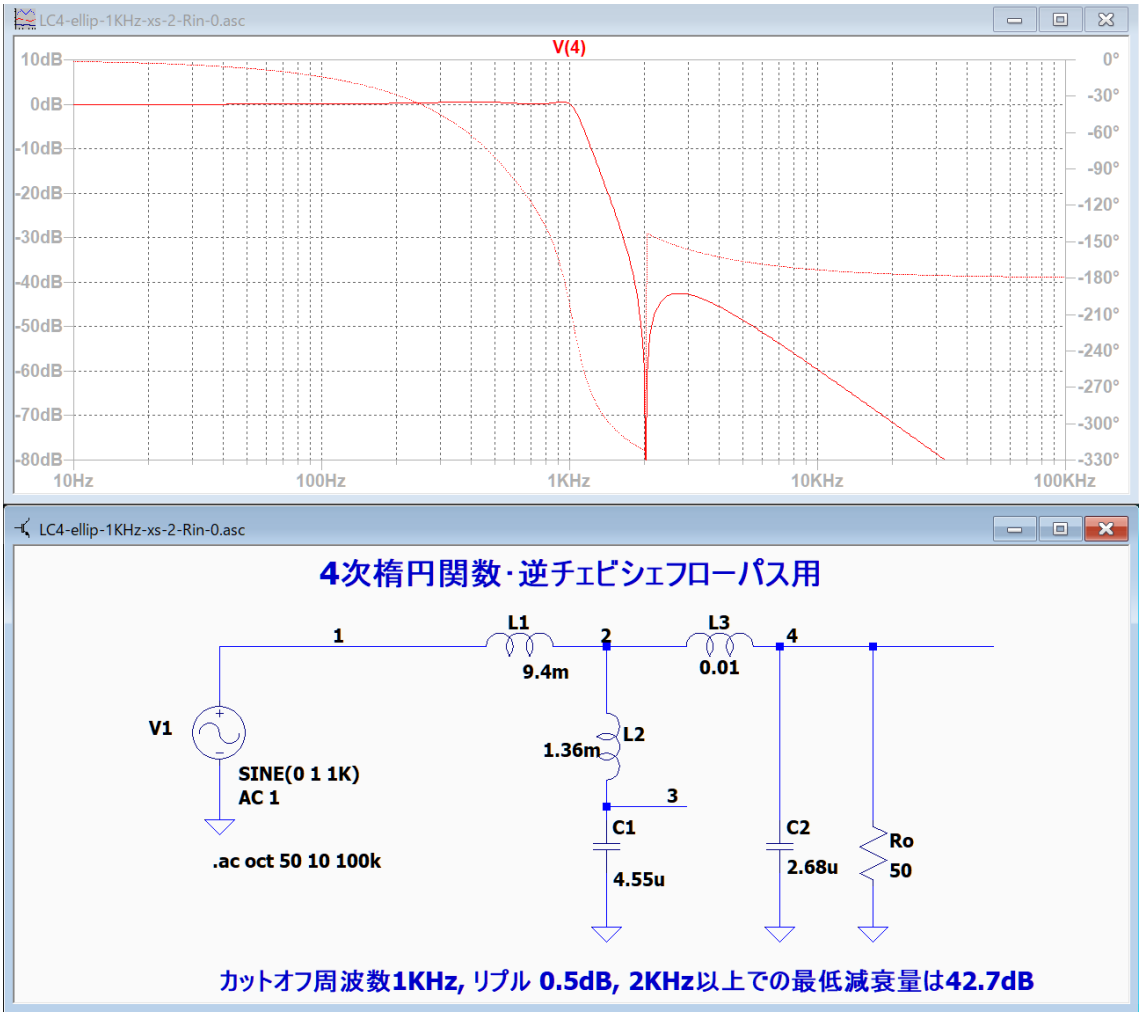
C1 ≔ 4.548 u

C2 ≔ 2.685 u

「LC 実験」フォルダー →「基本回路図」→「LC4-ellip-1KHz-xs-3-Rin-0-base.asc」を「LtSpice」で開いて、素子値を入力してファイル名を変更して「LC 実験」フォルダー →「設計した回路図」に保存してから、周波数特性を確認する。

4 次の LC フィルタの設計

LC4-ellip-1KHz-xs-2-Rin-0.asc

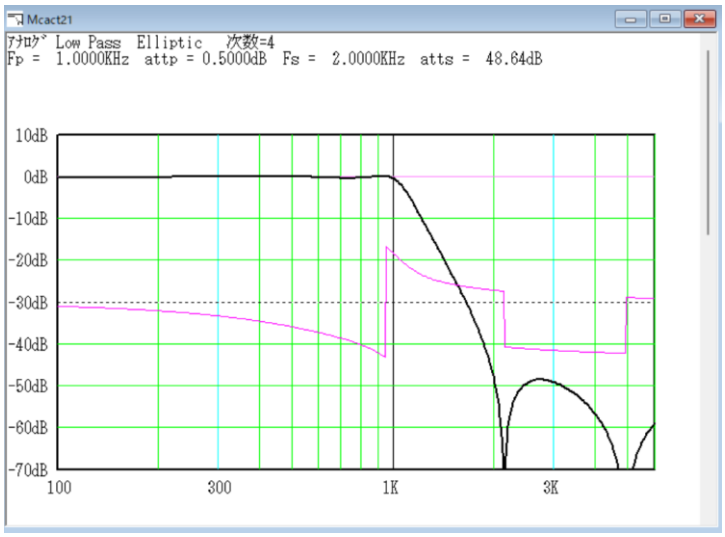


カットオフ周波数 1KHz, リプル 0.5dB, 2KHz 以上での最低減衰量は 42.7dB になった。

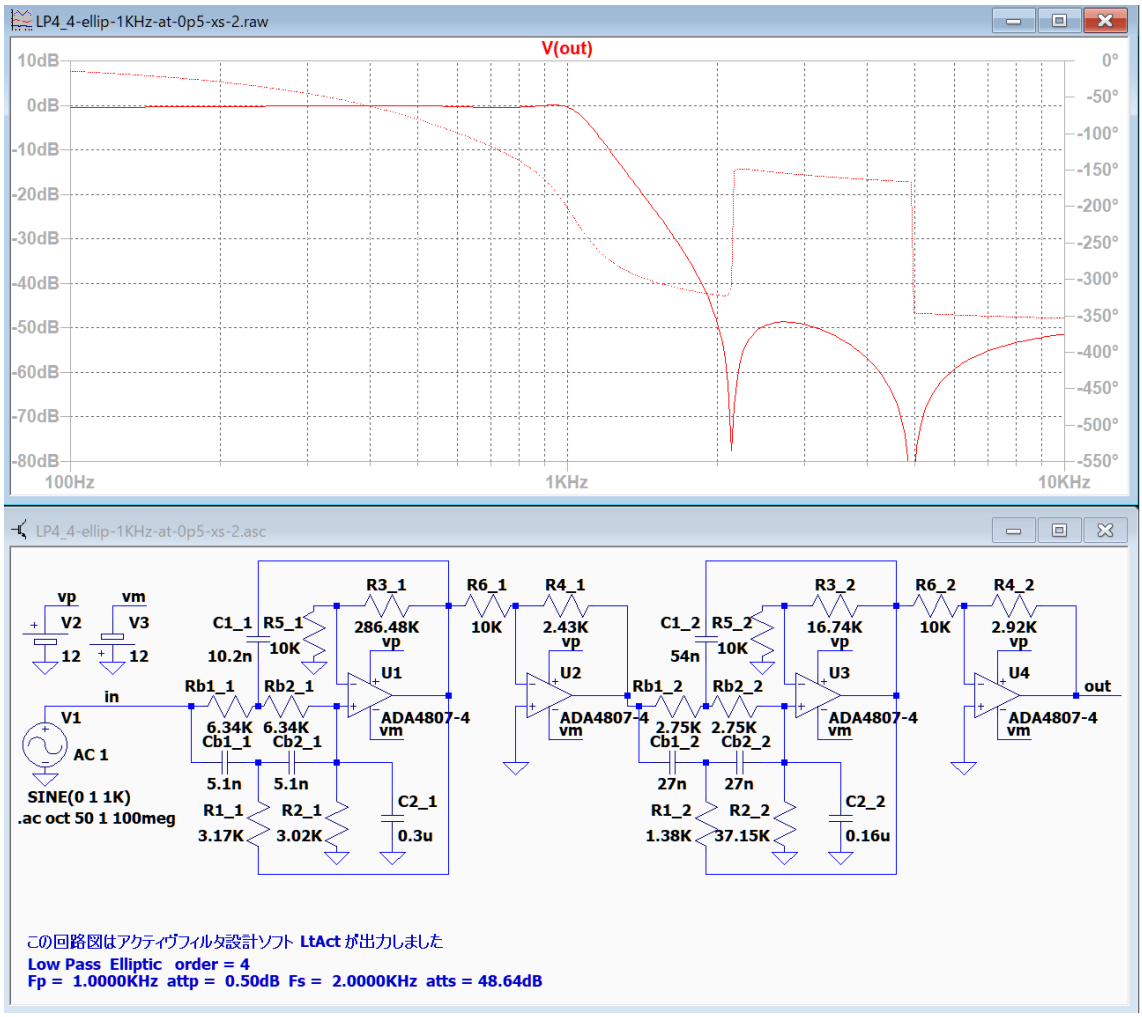
設計仕様の最低減衰量は atts = 48.64dB なので、減衰量が約 6dB 足りない。

4 次の LC フィルタの設計

「LtAct」による設計時に表示される周波数特性では、2KHz の減衰量は 48.64dB。



同じ設計仕様のアクティブフィルタの周波数特性　2KHz の減衰量は 48.64dB



設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次の LC フィルタの設計

数式について

入力用マクロ　LC4in と計算用マクロ　LC4cal は、「Sim for DOS」を使って、4-1 次楕円関数ローパスフィルターの回路図を入力して、/conv コマンドで係数行列を出力し、Maple のプログラムに組み込んで作成しました。

Maple のプログラム

```
> # Maple 用　係数行列・素子値リスト
> restart: with(linalg): with(plots):
> siki:=matrix(4,4,0):e:=vector(4,0):
> siki[　1,　1] := 1 ;
> e[1] := +e1 ;
> siki[　2,　2] := +s*c1+1/s/l2 ;
> siki[　2,　3] := -1/s/l2 ;
> siki[　3,　1] := -1/s/l1 ;
> siki[　3,　2] := -1/s/l2 ;
> siki[　3,　3] := +1/s/l1+1/s/l2+1/s/l3 ;
> siki[　3,　4] := -1/s/l3 ;
> siki[　4,　3] := -1/s/l3 ;
> siki[　4,　4] := +s*c2+1/ro+1/s/l3 ;
> x:=linsolve(siki,e);
>
>
> GG:=simplify(x[4]/e1); #伝達関数を求める
```

$$GG := ro\,(s^2\,c1\,l2 + 1) \,/\, (l2\,l3\,s^4\,c1\,c2\,ro + ro\,s^4\,c1\,l2 + l2\,l1\,s^4\,c1\,c2\,ro + l2\,l3\,s^3\,c1 + l2\,l1\,s^3\,c1 + s^3\,l3 + l1\,s^3\,c1\,l3 + l1\,s^4\,c1\,c2\,ro\,l3 + s^2\,c2\,ro\,l3 + s\,l1)$$

設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次の LC フィルタの設計

```
                  2                        2
        + l1 s   c1 ro + ro + l1 s   c2 ro)
```

> GA:=(Xe+Xf*s*s+Xg*s*s*s*s)/(Xa+Xb*s+Xc*s*s+Xd*s*s*s+s*s*s*s); #素子値計算用の伝達関数

$$GA := \frac{Xe + Xf\,s^2 + Xg\,s^4}{Xa + Xb\,s + Xc\,s^2 + Xd\,s^3 + s^4}$$

>
> nom:=expand(numer(GG)); #伝達関数の分子

> den:=expand(denom(GG)); #伝達関数の分母

> C4:=coeff(den,s,4); #分母の 4 次の係数を求める

> den1:=simplify(den/C4); #分母の 4 次の係数を 1 にする

> nom1:=expand(nom/C4); #分子の係数を調整する

> eq1:=Xa=simplify(coeff(den1,s,0)); #分母の 0 次の係数を変数 Xa に代入する

$$eq1 := Xa = \frac{1}{c1\,c2\,(l1\,l2 + l1\,l3 + l2\,l3)}$$

> eq2:=Xb=simplify(coeff(den1,s,1)); #分母の 1 次の係数を変数 Xb に代入する

> eq3:=Xc=simplify(coeff(den1,s,2)); #分母の 2 次の係数を変数 Xc に代入する

> eq4:=Xd=simplify(coeff(den1,s,3)); #分母の 3 次の係数を変数 Xd に代入する
>
> eq5:=Xe=simplify(coeff(nom1,s,0)); #分子の 0 次の係数を変数 Xe に代入する

設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次の LC フィルタの設計

```
> eq6:=Xf=simplify(coeff(nom1,s,2)); #分子の 2 次の係数を変数 Xf に代入する

> eq7:=Xg=simplify(coeff(nom1,s,4)); #分子の 4 次の係数を変数 Xg に代入する
>
> ans:=solve({eq1,eq2,eq3,eq4,eq6},{l1,l2,l3,c1,c2}); #素子値を求める
                                                        2        2
                          1              ro (-Xd Xc Xb + Xb    + Xd    Xa)
   ans := {c2 = -----, l1 = ----------------------------,
                       Xd ro                Xa (Xd Xf - Xc Xd + Xb)

                                                    2        2
                       Xd Xf ro (-Xd Xc Xb + Xb    + Xd    Xa)
              l2 = - ----------------------------------,
                                                    2
                              (Xd Xf - Xc Xd + Xb)    Xa

                                                    2
                              (Xd Xf - Xc Xd + Xb)
              c1 = - --------------------------------,
                                                2        2
                       Xd ro (-Xd Xc Xb + Xb    + Xd    Xa)

                         ro Xd (Xb Xf - Xd Xa)
              l3 = ----------------------}
                       Xa (Xd Xf - Xc Xd + Xb)
```

Xg が使われていない！！

```
> #電卓のマクロを作成するために、素子値の式を簡略化する
>
> #LtAct の伝達関数の分子と分母を展開する　変数 Xa などと伝達関数の係数を関連付ける
>
> HAN:=expand((Pn12*s*s+Pn14)*(Pn22*s*s+Pn24)); #電卓関数の分子を展開する
                          4                    2                          2
      HAN := Pn12 s    Pn22 + Pn12 s    Pn24 + Pn14 Pn22 s    + Pn14 Pn24

> Xe:=simplify(coeff(HAN,s,0));
```

設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

４次の LC フィルタの設計

```
> Xf:=simplify(coeff(HAN,s,2));

> Xg:=simplify(coeff(HAN,s,4));

> HAD:=expand((s*s+Pn10*s+Pn11)*(s*s+Pn20*s+Pn21)); #電卓関数の分母を展開する
                 4      3              2                    3              2
   HAD := s    + s    Pn20 + s    Pn21 + Pn10 s    + Pn10 s    Pn20
                                          2
            + Pn10 s Pn21 + Pn11 s    + Pn11 Pn20 s + Pn11 Pn21

> Xa:=simplify(coeff(HAD,s,0));

> Xb:=simplify(coeff(HAD,s,1));

> Xc:=simplify(coeff(HAD,s,2));

> Xd:=simplify(coeff(HAD,s,3));

>
   素子値の計算式を簡略化する
> Xb2:=Xb*Xb;Xd2:=Xd*Xd;Qrd:=ro*Xd;

> Q1:=(-Xd*Xc*Xb+Xb^2+Xd^2*Xa);

> Q2:=(Xd*Xf-Xc*Xd+Xb);

> Q3:=(-Xb*Xf+Xd*Xa);

>
>
単位を定義する
> ro:=50;k:=1000; m:=1/1000; meg:=1000000; #単位を定義する

伝達関数の係数を入力する
> Pn10:=1.8922 *k; Pn11:=41.9488*meg; Pn12:=60.8174 *m; Pn14:=58.1689*meg;
```

設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

LC フィルターの設計

4 次の LC フィルタの設計

Pn10 := 1892.2000

8

Pn11 := .4194880000 10

Pn12 := .06081740000

8

Pn14 := .5816890000 10

> Pn20:=5.5578 *k; Pn21:=16.1987*meg; Pn22:=60.8174 *m; Pn24:=11.0283*meg;

Pn20 := 5557.8000

8

Pn21 := .1619870000 10

Pn22 := .06081740000

8

Pn24 := .1102830000 10

>

素子値を求める

> L1:=ro*Q1/(Xa*Q2);

L1 := .009398618402

> L2:=-Qrd*Xf*Q1/(Xa*Q2*Q2);

L2 := .001361694784

> L3:=-Qrd*Q3/(Xa*Q2);

L3 := .01001183038

> C1:=-Q2*Q2/(Qrd*Q1);

-5

C1 := .4548172133 10

> C2:=1/Qrd;

-5

C2 := .2684563758 10

最低減衰量が設計仕様を満たさないので、改善する必要がある。

設計例 1-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次の LC フィルタの設計

設計例 1-2　4 次楕円関数ローパスフィルター

周波数の高いフィルタを設計してみた。

カットオフ周波数は 1MHz、リプルは 1.5dB、2MHz で最低減衰量は 53.9dB

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Elliptic　次数=4

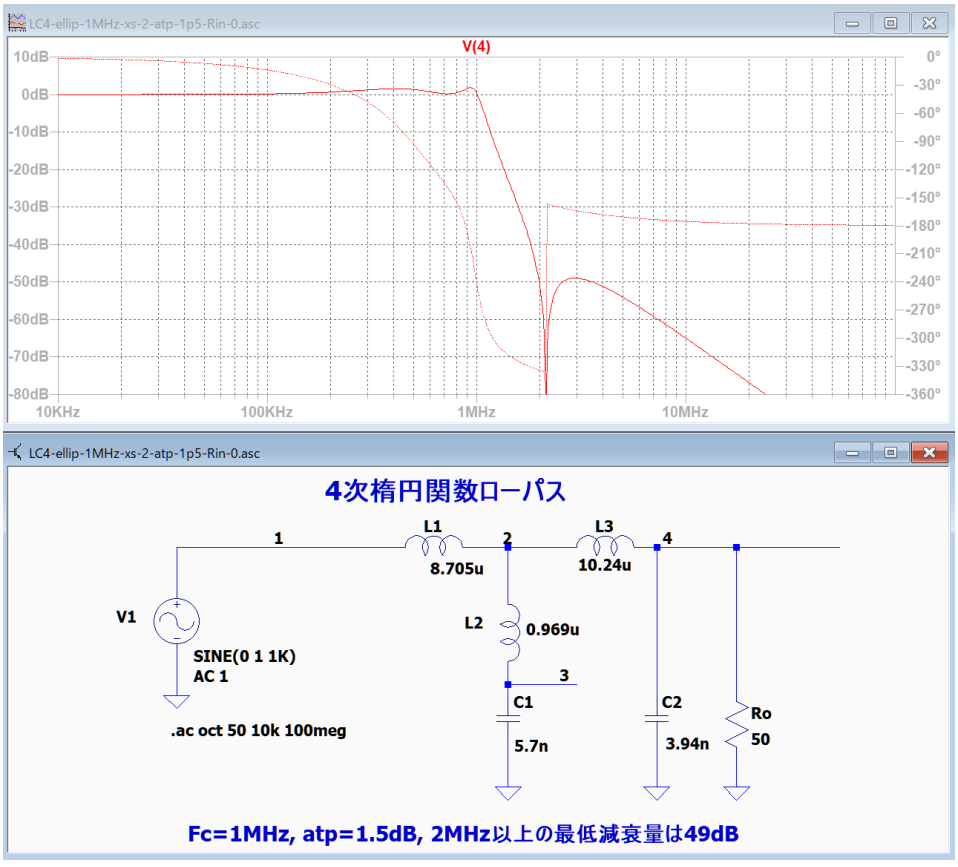
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	1.3117Meg	37.9145T	44.8507m	0	42.8975T
2	3.7653Meg	10.9365T	44.8507m	0	8.1330T

マクロ LC4in を次のように変更した。

ro=50;Pn10=1.3117 Meg;Pn11=37.9145 T;Pn12=44.8507 m;Pn14=42.8975 T;Pn20=3.7653 Meg;Pn21=10.9365 T;Pn22=44.8507 m;Pn24=8.1330 T;Xa=Pn11*Pn21;Xb=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;Xc=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;Xd=Pn20+Pn10;Xe=Pn14*Pn24;Xf=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;Xg=Pn12*Pn22;$LC4cal;

電卓で実行して、各素子値を確認して「LC4-ellip-Rin-0-base.asc」を開いて素子値を入力して周波数特性を確認した。

LC4-ellip-1MHz-xs-2-atp-1p5-Rin-0.asc



2MHz 以上の最低減衰量が 49dB になった。設計仕様よりも 5dB 位足りない。

4 次の LC フィルタの設計

リプルの小さいフィルタを設計してみた。

カットオフ周波数は 1MHz、リプルは 0.5dB、2MHz で最低減衰量は 48.6dB

Fp = 1.0000MegHz attp = 0.5000dB Fs = 2.0000MegHz atts = 48.64dB

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++

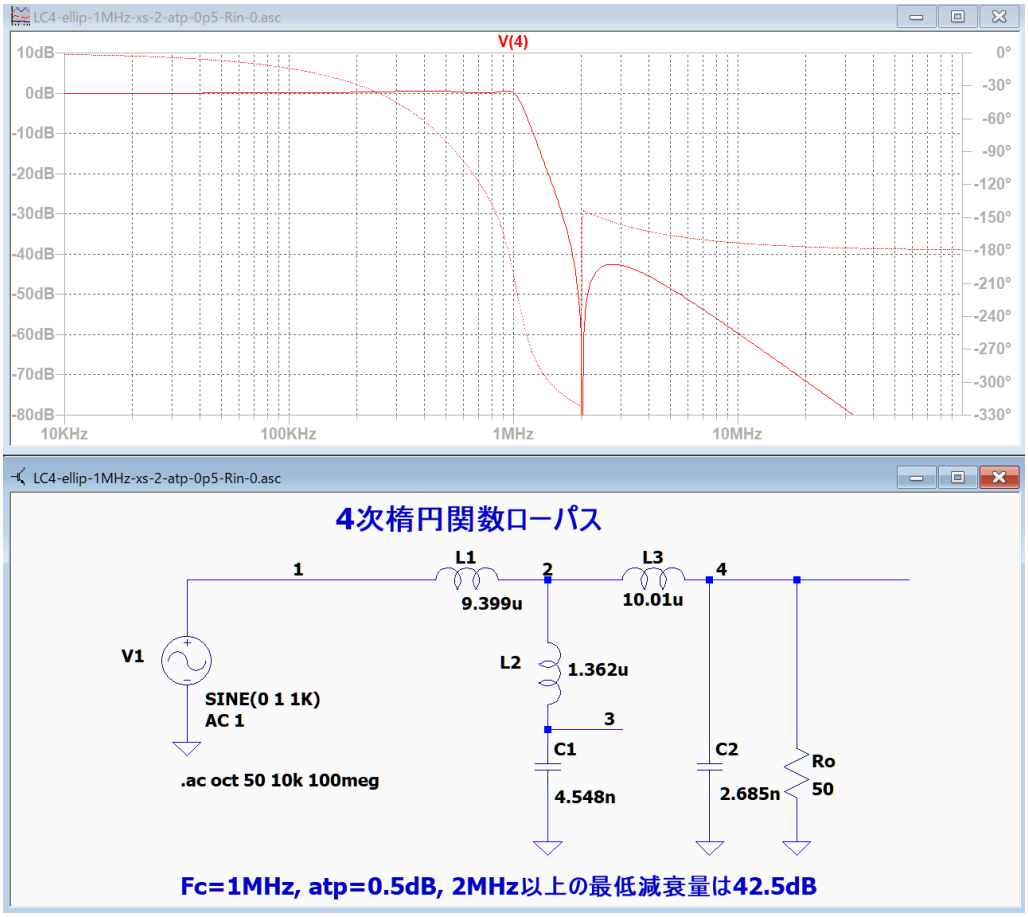
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=4

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	1.8922Meg	41.9488T	60.8174m	0	58.1689T
2	5.5578Meg	16.1987T	60.8174m	0	11.0283T

マクロ LC4in を変更した。

ro=50;Pn10=1.8922 Meg;Pn11=41.9488 T;Pn12=60.8174 m;Pn14=58.1689 T;Pn20=5.5578 Meg;Pn21=16.1987 T;Pn22=60.8174 m;Pn24=11.0283 T;Xa=Pn11*Pn21;Xb=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;Xc=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;Xd=Pn20+Pn10;Xe=Pn14*Pn24;Xf=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;Xg=Pn12*Pn22;$LC4cal;

LC4-ellip-1MHz-xs-2-atp-0p5-Rin-0.asc



設計仕様よりも 6dB 位足りない。

設計例 1-2 4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次の LC フィルタの設計

設計例 1-3　4 次逆チェビシェフ･ローパスフィルター

カットオフ周波数は 1KHz、リプルは 1dB、2.5KHz 以上で最低減衰量は 42.55dB

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Inv. Cheb　次数=4

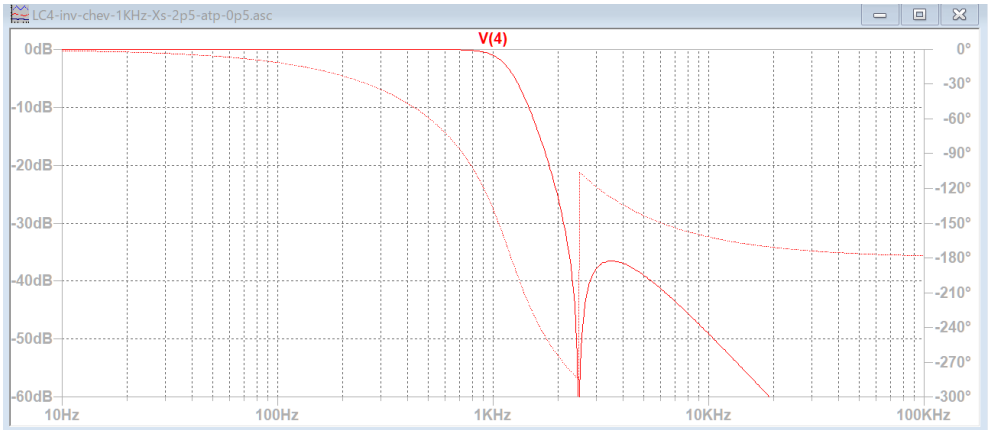
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	5.1179K	55.2886Meg	0.1913	0	55.2886Meg
2	14.6820K	65.6982Meg	38.9936m	0	65.6982Meg

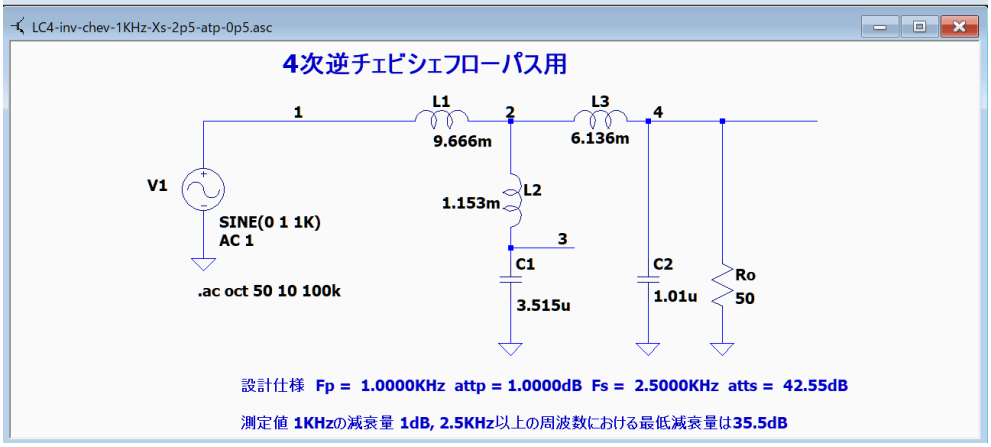
マクロ LC4in を次のように変更した。

ro=50;Pn10=5.1179 K;Pn11=55.2886 Meg;Pn12=0.1913;Pn14=55.2886 Meg;Pn20=14.6820 K;Pn21=65.6982 Meg;Pn22=38.9936 m;Pn24=65.6982 Meg;Xa=Pn11*Pn21;Xb=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;Xc=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;Xd=Pn20+Pn10;Xe=Pn14*Pn24;Xf=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;Xg=Pn12*Pn22;$LC4cal;

L1=9.666 m; L2=1.153 m; L3=6.136 m; C1=3.515 u; C2=1.01u

LC4-inv-chev-1KHz-Xs-2p5-atp-1.asc





設計仕様よりも 7dB 位足りない。

4 次の LC フィルタの設計 2

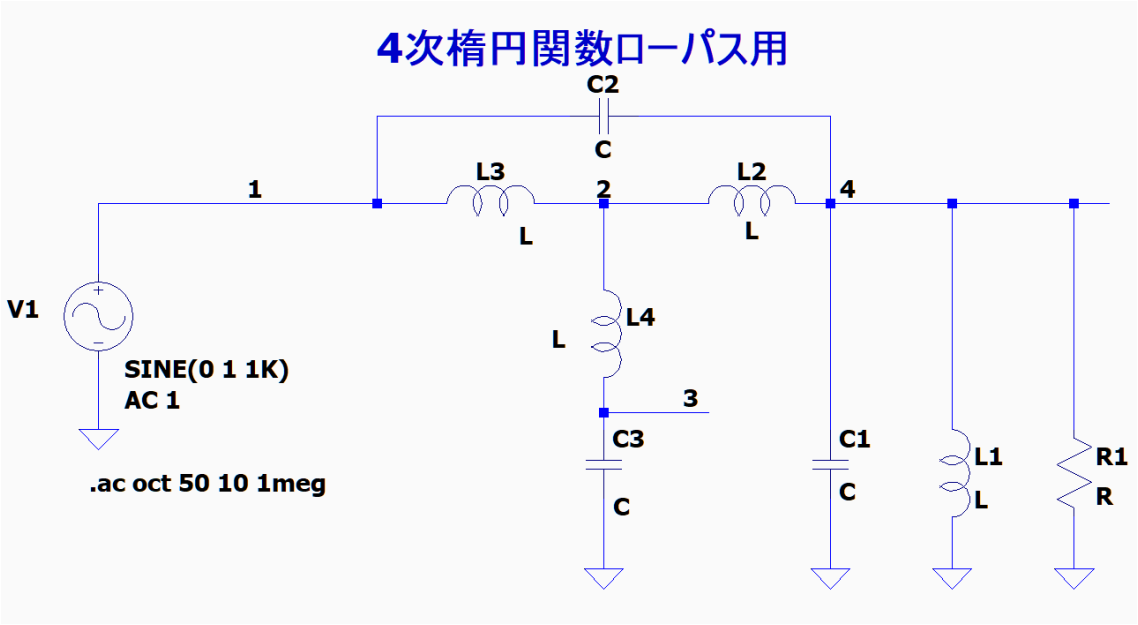
「Sim for DOS」に同梱されている「回路シミュレーション.pdf」の p107(p23)に基本回路図 LC4-ellip-Rin-0-base.asc の場合には反伝達関数の分母の s の次数が 2 次になるのでふさわしい回路図ではないと書いてありました。
1995 年に自分で書いたのに忘れていました。

「実用アナログ・フィルタ設計法　CQ 出版株式会社 著者　今田悟／深谷武彦」の p158～p159 で、偶数次逆チェビシェフ・フィルタでは減衰性能が低下すると書かれています。

「回路シミュレーション.pdf」の p105(p21)～p113(p29)の基本回路図と変換式を利用することにしました。

4 次楕円関数ローパスフィルターは下の回路図で合成します。

LC4-2-ellip.asc



4 次の LC フィルタの設計 2

4 次の伝達関数を実現する回路のまとめ

与えられた伝達関数

$$H=\frac{P_{1_2}s^2+P_{1_4}}{s^2+P_{1_0}s+P_{1_1}}\frac{P_{2_2}s^2+P_{2_4}}{s^2+P_{2_0}s+P_{2_1}} \tag{68}$$

変形した反伝達関数

$$T=\frac{n_0+n_1s+n_2s^2+n_3s^3+s^4}{d_0+d_2s^2+d_4s^4} \tag{69}$$

インピーダンス

$$Z_0=\frac{R_1s\left(n_1+n_3s^2\right)}{n_0+n_2s^2+s^4} \tag{70}$$

素子のパラメータ

$$L_1=\frac{R_1}{k_6},\quad L_2=k_9,\quad L_3=\frac{1}{k_{12}},\quad L_4=\frac{k_{11}}{k_{13}}$$
$$C_1=k_1,\quad C_2=k_4,\quad C_3=\frac{k_{13}}{k_{10}} \tag{95}$$

$$k_1=\frac{1-d_4}{n_3R_1},\quad k_2=n_0-k_1n_1R_1,\quad k_3=1-k_1n_3R_1,\quad k_4=\frac{k_3}{n_3R_1}$$
$$k_5=k_2-k_4n_1R_1,\quad k_6=\frac{n_0-d_0}{n_1},\quad k_7=n_0-k_6n_1,\quad k_8=k_5-k_6n_3$$
$$k_9=\frac{n_1\left(d_4n_1^2-d_2n_1n_3+d_0n_3^2\right)R_1}{d_0\left\{n_1^2\left(d_4-1\right)+n_1n_3\left(n_2-d_2\right)+n_3^2\left(d_0-n_0\right)\right\}},\quad k_{10}=\left(1-k_9\right)k_7 \tag{96}$$
$$k_{11}=\left(1-k_9\right)k_8,\quad k_{12}=\frac{k_7}{k_{10}},\quad k_{13}=k_8-k_{12}k_{11}$$

式(95), (96)によって、回路図 LC4-2-ellip.asc に含まれるすべての素子値は与えられた伝達関数の係数と負荷抵抗 R1 によって表された。

式(68), (69)から、入力用マクロ　LC42in を作成する。

k2, k10, k11 の数式が間違えていたので、修正して計算用マクロ　LC42cal を作成する。
計算用マクロの文字数が長くなり過ぎたので、2 つのマクロに分割した。

$$k2=n2-k1\cdot n1\cdot R_1$$
$$k10=n1\cdot R_1-k9\cdot k7$$
$$k11=n3\cdot R_1-k9\cdot k8$$

４次の LC フィルタの設計 2

入力用マクロ　LC42in

r1=50;Pn10=2.1819 K;Pn11=49.663 Meg;Pn12=0.1877;Pn14=89.6455 Meg;Pn20=8.7806 K;Pn21=34.301 Meg;Pn22=0.1877;Pn24=18.7863 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

計算用マクロ　LC42cal

k1=(1-d4)/(n3*r1);k2=n2-k1*n1*r1;k3=1-k1*n3*r1;k4=k3/(n3*r1);k5=k2-k4*n1*r1;k6=(n0-d0)/n1;k7=n0-k6*n1;k8=k5-k6*n3;k9=n1*(d4*n1*n1-d2*n1*n3+d0*n3*n3)*r1/(d0*(n1*n1*(d4-1)+n1*n3*(n2-d2)+n3*n3*(d0-n0)));$LC422cal

計算用マクロ続き　$LC422cal

k10=n1*r1-k9*k7;k11=n3*r1-k9*k8;k12=k7/k10;k13=k8-k12*k11;L1=R1/k6;L2=k9;L3=1/k12;L4=k11/K13;C1=k1;C2=k4;C3=k13/k10;

逆チェビシェフ・フィルタでは k6=0 になるので、L1 を取り除いて回路図に素子値を入れてみたがうまく動作しなかった。

逆チェビシェフ・フィルタは奇数次で設計するのが良いだろう。

設計例 2-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

設計仕様 Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 29.06dB

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	2.1819K	49.6663Meg	0.1877	0	89.6455Meg
2	8.7806K	34.3010Meg	0.1877	0	18.7863Meg

入力用マクロ　LC42in

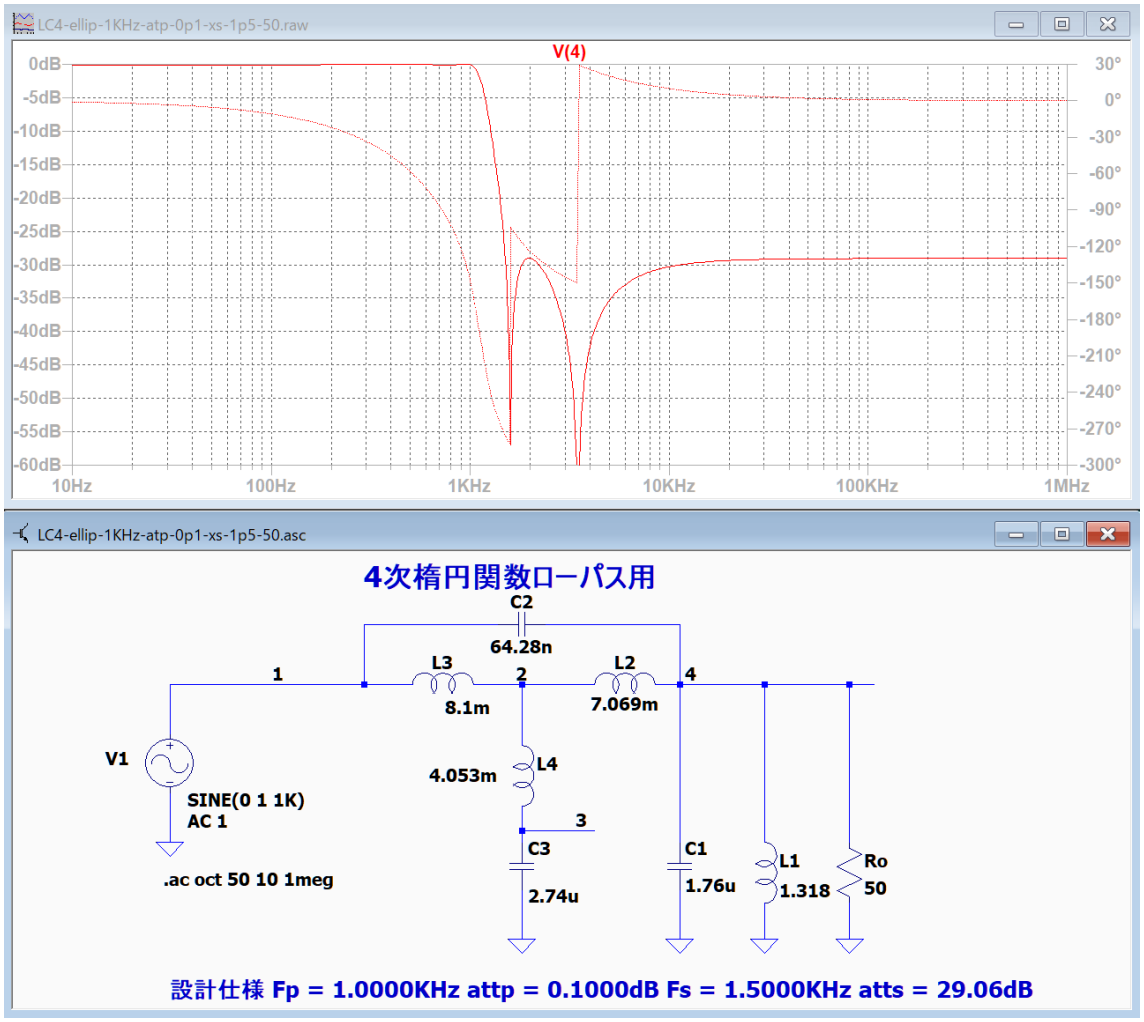
r1=50;Pn10=2.1819 K;Pn11=49.663 Meg;Pn12=0.1877;Pn14=89.6455 Meg;Pn20=8.7806 K;Pn21=34.301 Meg;Pn22=0.1877;Pn24=18.7863 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

L1= 1.318; L2= 7.069 m; L3= 8.1 m; L4= 4.053 m;
C1= 1.76 u; C2= 64.28 n; C3= 2.74 u;

設計例 2-1　4 次楕円関数ローパスフィルター

4 次の LC フィルタの設計 2

LC4-ellip-1KHz-atp-0p1-xs-1p5-50.asc



設計仕様の周波数特性が得られた。

4 次の LC フィルタの設計 2

設計例 2-2　4 次楕円関数ローパスフィルター

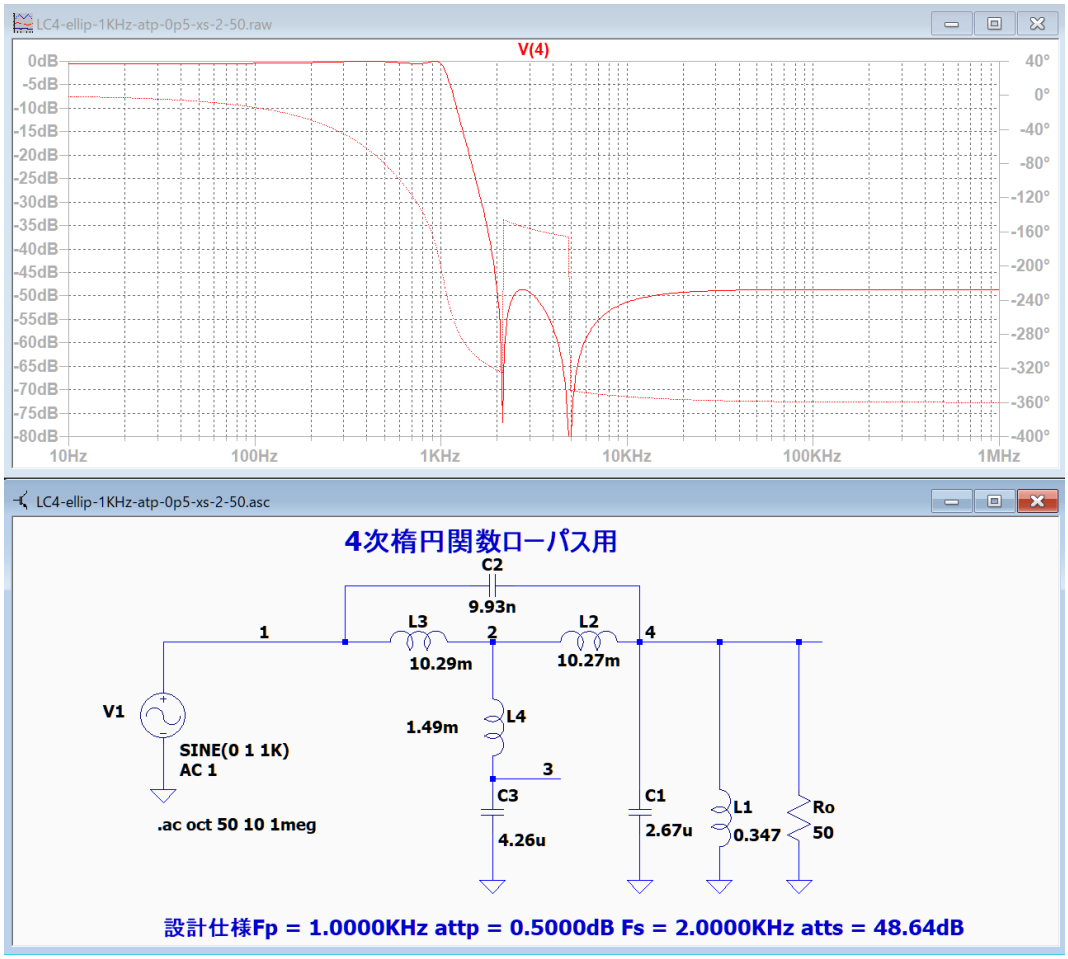
設計仕様 Fp =　1.0000KHz　attp = 0.5000dB　Fs =　2.0000KHz　atts =　48.64dB

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	1.8922K	41.9488Meg	60.8174m	0	58.1689Meg
2	5.5578K	16.1987Meg	60.8174m	0	11.0283Meg

入力用マクロ　LC42in

r1=50;Pn10=1.8922 K;Pn11=41.9488 Meg;Pn12=60.8174 m;Pn14=58.1689 Meg;Pn20=5.5578 K;Pn21=16.1987 Meg;Pn22=60.8174 m;Pn24=11.0283 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

LC4-ellip-1KHz-atp-0p5-xs-2-50.asc



設計仕様の周波数特性が得られた。

4 次の LC フィルタの設計 2

設計例 2-3　4 次楕円関数ローパスフィルター

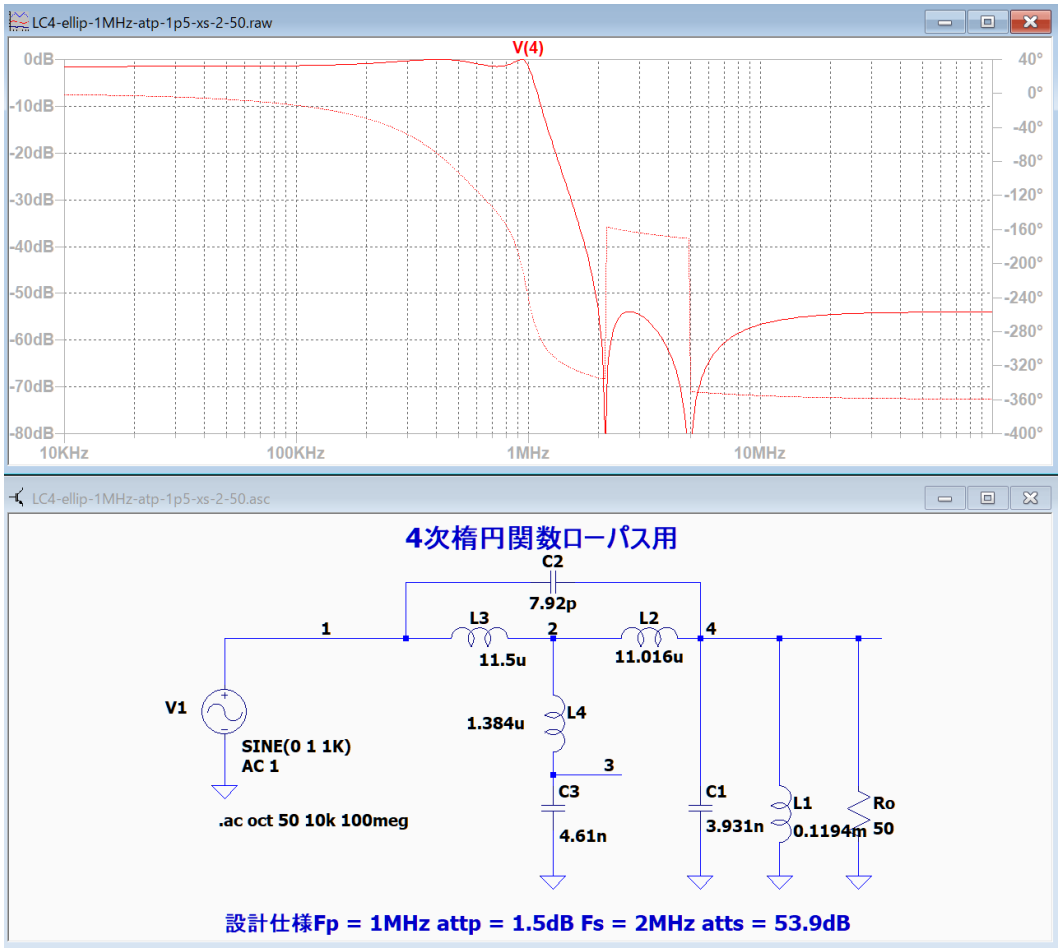
設計仕様 Fp = 1MHz attp = 1.5dB Fs = 2MHz atts = 53.9dB

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	1.3117Meg	37.9145T	44.8507m	0	42.8975T
2	3.7653Meg	10.9365T	44.8507m	0	8.1330T

入力用マクロ　LC42in

r1=50;Pn10=1.3117 Meg;Pn11=37.9145 T;Pn12=44.8507 m;Pn14=42.8975 T;Pn20=3.7653 Meg;Pn21=10.9365 T;Pn22=44.8507 m;Pn24=8.1330 T;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

LC4-ellip-1MHz-atp-1p5-xs-2-50.asc



設計仕様の周波数特性が得られた。

４次の LC フィルタの設計 2

設計例 2-4　4 逆チェビシェフ･ローパスフィルター

設計仕様 逆チェビシェフ Fp = 1KHz attp = 1dB Fs = 2.5kHz atts = 42.55dB

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	5.1179K	55.2886Meg	0.1913	0	55.2886Meg
2	14.6820K	65.6982Meg	38.9936m	0	65.6982Meg

電卓の入力行に

r1=50;Pn10=5.1179 K;Pn11=55.2886 Meg;Pn12=0.1913;Pn14=55.2886 Meg;Pn20=14.6820 K;Pn21=65.6982 Meg;Pn22=38.9936 m;Pn24=65.6982 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;

を張り付けて実行する。

次に以下のマクロを張り付けて実行する。

k1=(1-d4)/(n3*r1);k2=n2-k1*n1*r1;k3=1-k1*n3*r1;k4=k3/(n3*r1);k5=k2-k4*n1*r1;k6=(n0-d0)/n1;k7=n0-k6*n1;k8=k5-k6*n3;k9=n1*(d4*n1*n1-d2*n1*n3+d0*n3*n3)*r1/(d0*(n1*n1*(d4-1)+n1*n3*(n2-d2)+n3*n3*(d0-n0)));

最後に、以下のマクロを張り付けて実行する。

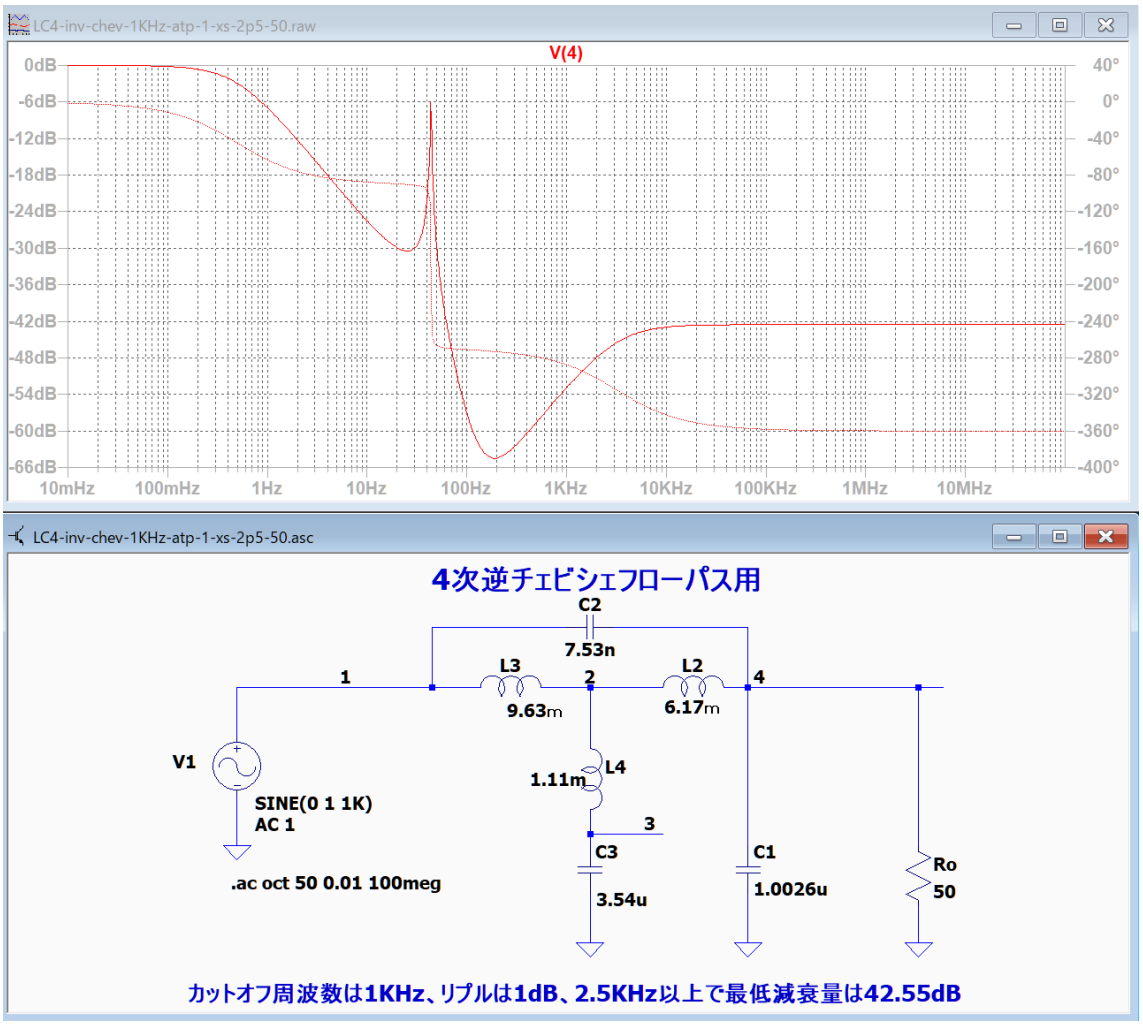
k10=n1*r1-k9*k7;k11=n3*r1-k9*k8;k12=k7/k10;k13=k8-k12*k11;
L2=k9;L3=1/k12;L4=k11/K13;C1=k1;C2=k4;C3=k13/k10;

素子値は、

L2=6.17 m; L3=9.63 m; L4=1.11 m;
C1=1.0026u; C2=7.53n; C3=3.54 u;

4 次の LC フィルタの設計 2

LC4-inv-chev-1KHz-atp-1-xs-2p5-50.asc



正常に動作しない。

4 次の LC フィルタの設計 2

設計例 2-5　4 逆チェビシェフ･ローパスフィルター

設計仕様 逆チェビシェフ Fp = 1KHz attp = 1dB Fs = 2.5kHz atts = 42.55dB

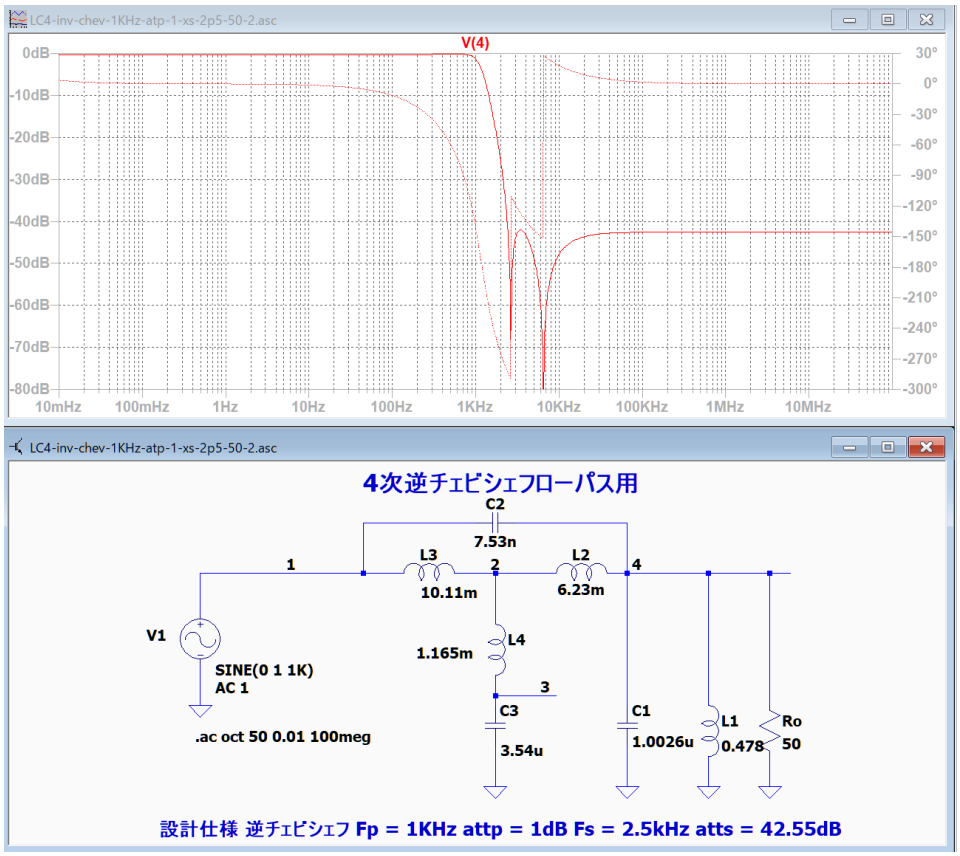
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	5.1179K	55.2886Meg	0.1913	0	55.2886Meg
2	14.6820K	65.6982Meg	38.9936m	0	65.6982Meg

L1 の存在が重要だと思われるので、n0-d0>0 となるように、Pn14=54.2886 Meg と Pn24=64.6982 Meg のように伝達関数の係数を変更して実験しました。

入力用マクロ

r1=50;Pn10=5.1179 K;Pn11=55.2886 Meg;Pn12=0.1913;Pn14=54.2886 Meg;Pn20=14.6820 K;Pn21=65.6982 Meg;Pn22=38.9936 m;Pn24=64.6982 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

LC4-inv-chev-1KHz-atp-1-xs-2p5-50.asc



仕様の減衰特性に近い性能が得られました。

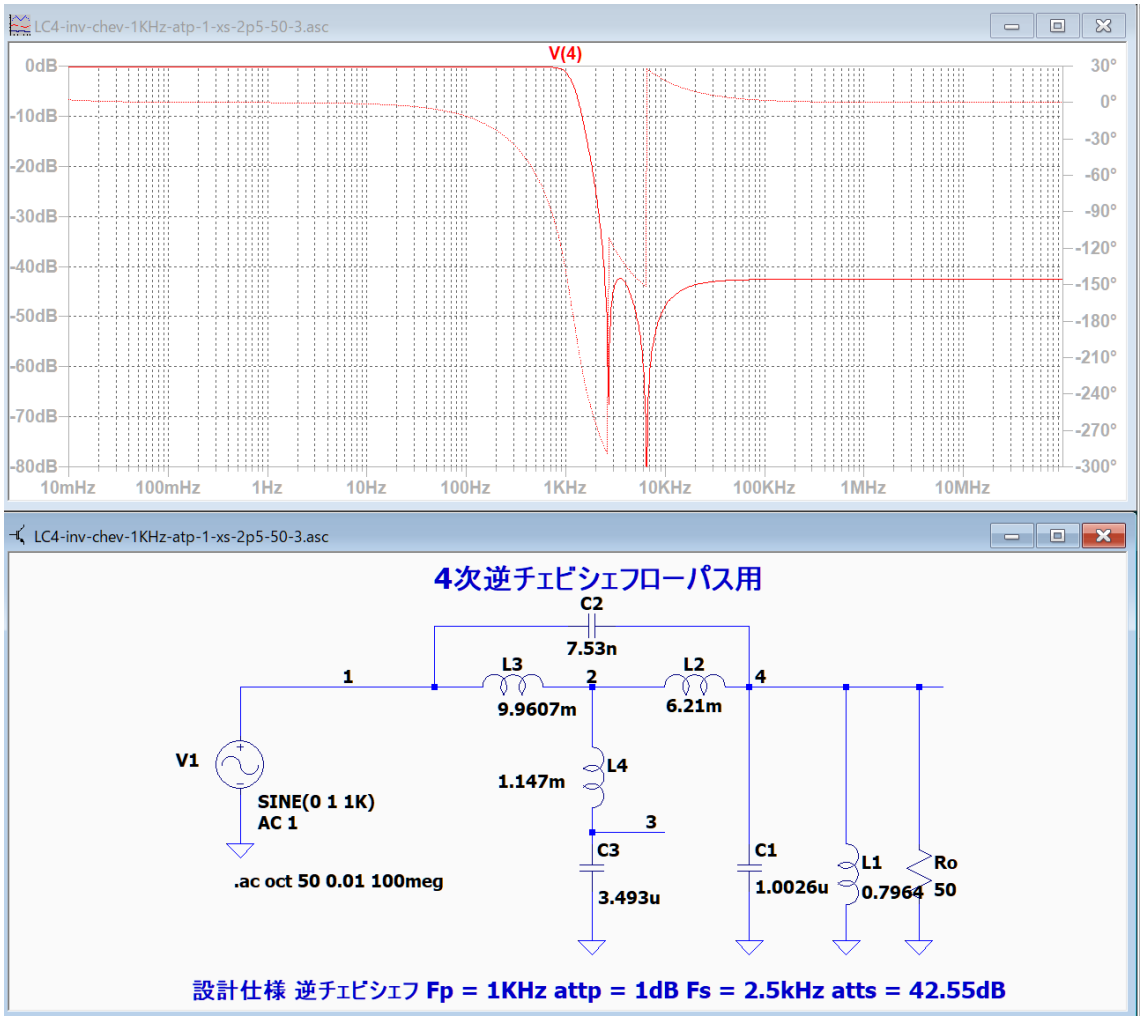
4 次の LC フィルタの設計 2

Pn11=55.2886 Meg と Pn14=54.2886 Meg の差は 1.8%程度なので、差を 1%に変更して実験します。マクロでは数式が利用できるので、Pn24=65.6982*0.99 Meg のように入力しました。

入力用マクロ

r1=50;Pn10=5.1179 K;Pn11=54.7357 Meg;Pn12=0.1913;Pn14=54.7357*0.99 Meg;Pn20=14.6820 K;Pn21=65.6982 Meg;Pn22=38.9936 m;Pn24=65.6982*0.99 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

LC4-inv-chev-1KHz-atp-1-xs-2p5-50-3.asc



さらに、仕様の減衰特性に近い性能が得られました。

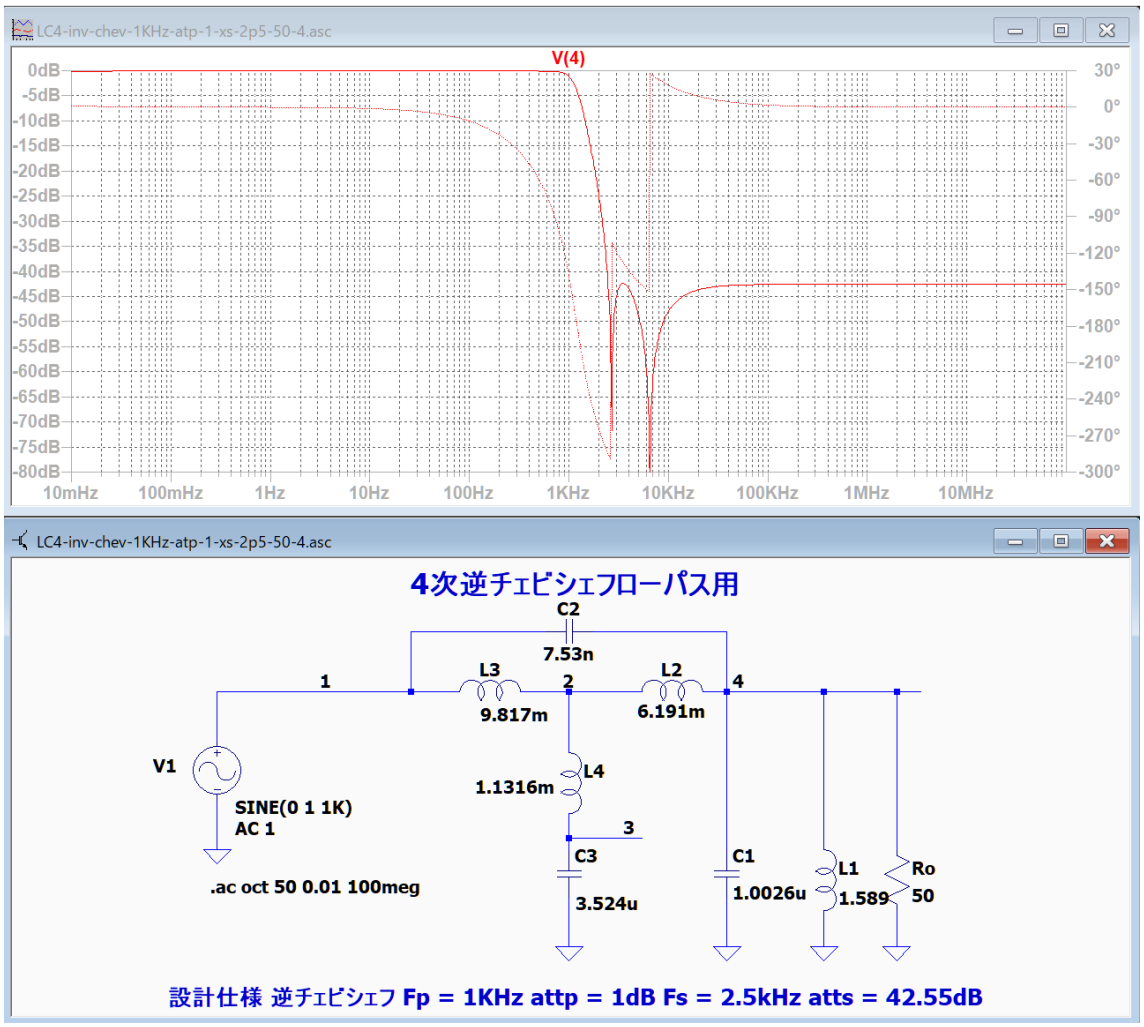
4 次の LC フィルタの設計 2

差を 0.5%に変更して実験します。

入力用マクロ

r1=50;Pn10=5.1179 K;Pn11=54.7357 Meg;Pn12=0.1913;Pn14=54.7357*0.995 Meg;Pn20=14.6820 K;Pn21=65.6982 Meg;Pn22=38.9936 m;Pn24=65.6982*0.995 Meg;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

LC4-inv-chev-1KHz-atp-1-xs-2p5-50-4.asc



性能が 1%の場合と大差がありません。仕様の減衰特性に近い性能が得られました。

Pn14 を Pn11 の 99%位の値に、Pn24 を Pn21 の 99%位の値に変更すると、楕円関数と同じ回路図で動作するようです。

表を使ってフィルターの素子値を求める

「LC フィルタの設計　表による素子値の決定方法」の章を参照して下さい。
3 次、4 次、5 次、7 次に対して ρ =1%から 50%までの表があり、一部を転載しました。

ρ は通過域のリプル atp(dB)を示す値で、相互の関係は下表と変換式を参照して下さい。

ρ %	atp dB	ρ %	atp dB
1	0.0004	10	0.0436
2	0.0017	15	0.0988
3	0.0039	20	0.1773
4	0.0070	25	0.2803
5	0.0109	50	1.2494
8	0.0279		

変換式

$$\mathrm{atp} = -10 \cdot \log_{10}(1-\rho^2)$$

$$\rho = \sqrt{1-10^{-\frac{\mathrm{atp}}{10}}}$$

例： ρ =1%=0.01 または ρ =15%=0.15 では

$$atp = -10 \cdot log_{10}(1-0.01^2) = 0.0004\ dB$$

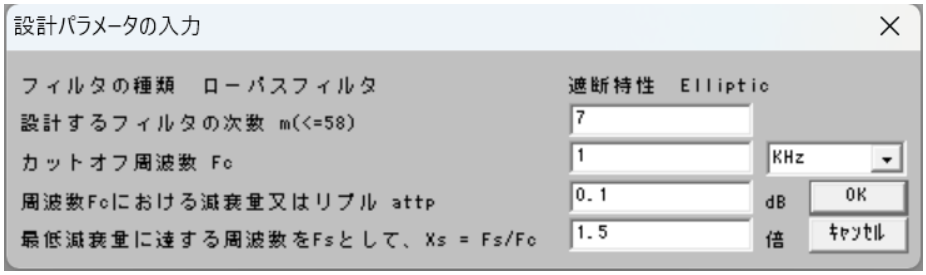
$$atp = -10 \cdot log_{10}(1-0.15^2) = 0.0988\ dB$$

ρ ごとの表の各行はモジュラー角 θ の値に対する各種の数値と素子値が示されています。
θ の隣には Ωs と Amin が表示されます。$\Omega s = {}^{1}/_{\sin(\theta)}$ で、「LtAct」の Xs に相当する変数です。Amin はカットオフ周波数の Ωs 倍の周波数で得られる最低減衰量を表わします。
θ の値が大きい程、カットオフ周波数以上における遮断特性が急峻になります。

Θ	Ωs	AMin	σo	σ1	Ω1	Ω2	C'1=C'3	C'2	L'2	C'1	C'2	L'2	C'3
1	57.2987	103.56	1.56379	0.78132	1.60724	66.1616	0.6395	0.0002	0.9786	0.3196	0.0003	0.7733	0.8092
2	28.6537	85.50	1.56503	0.78023	1.60733	33.0839	0.6390	0.0009	0.9776	0.3188	0.0012	0.7721	0.8090

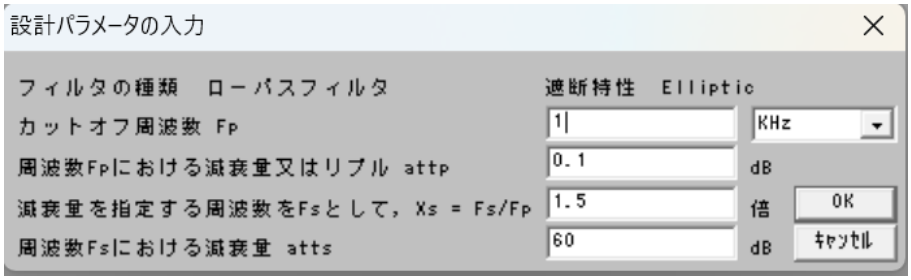
「LtAct」によるフィルターの設計は、パラメータの入力画面で設計仕様を入力することから始まります。フィルターの次数を入力しない方法と入力する方法が利用できます。

フィルタの次数を入力する方法ではカットオフ周波数 Fc と通過域におけるリプルの値 atp(dB)と Xs を設定することで、カットオフ周波数 Fc の Xs 倍の周波数で最低減衰量に達するフィルターを設計出来ます。
しかし最低減衰量は「OK」を押して画面にグラフが表示されるまで分かりません。



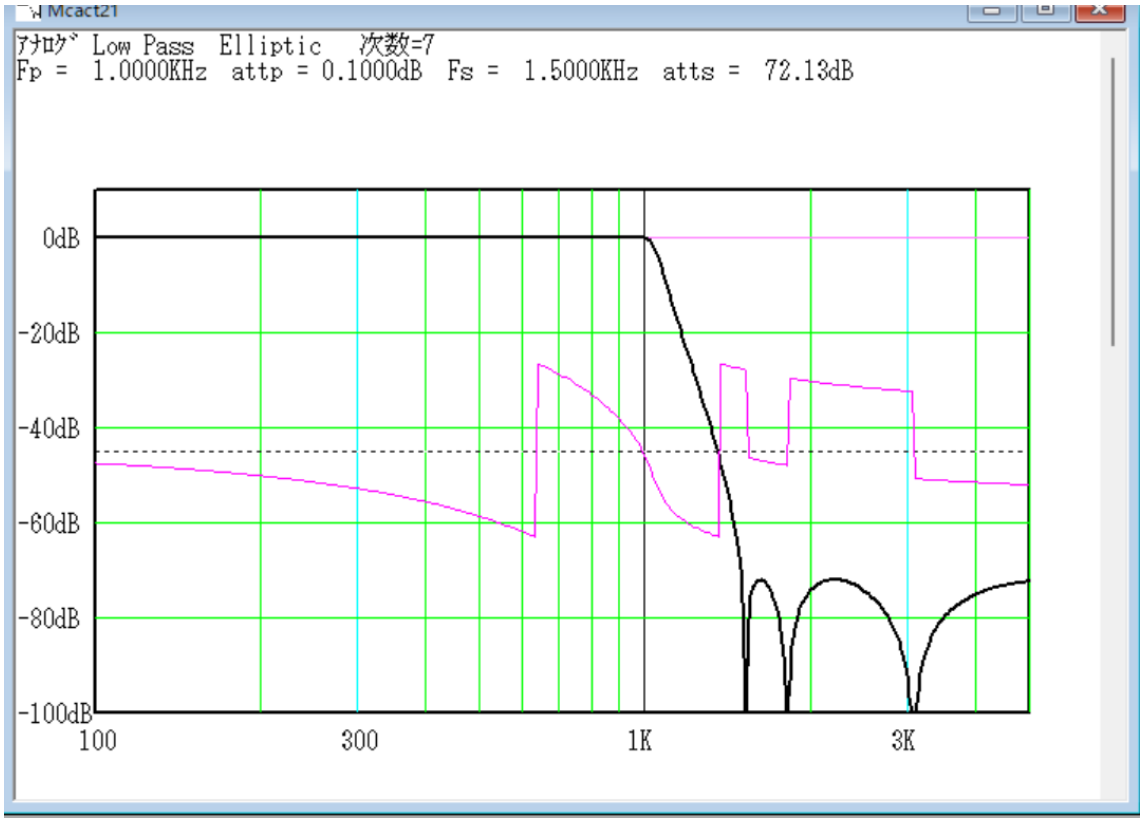
表を使ってフィルターの素子値を求める

フィルタの次数を入力しない方法ではカットオフ周波数 Fc と通過域のリプルの値 atp(dB) と Xs および希望する最低減衰量 ats(dB)を設定することで、カットオフ周波数 Fc の Xs 倍の周波数で最低減衰量 ats(dB)以上に達する最低次数のフィルターを設計します。
atp は表の Amax に相当する通過域リプル、ats は Amin に相当する最低減衰量です。



通常、フィルターを設計する場合にはカットオフ周波数の Xs 倍の周波数で最低減衰量が ats 以上となるフィルタを設計するので、次数を入力しない方法が便利です。

「LtAct」でカットオフ周波数 Fc=1KHz、リプル atp=0.1dB、Xs=1.5、atp=60dB を入力して設計すると下図が表示されて、必要なフィルターの次数が 7 次と分かります。

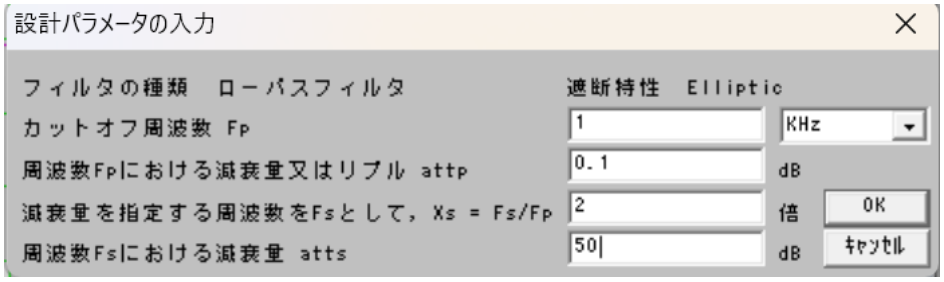


表を使ってフィルターの素子値を求める

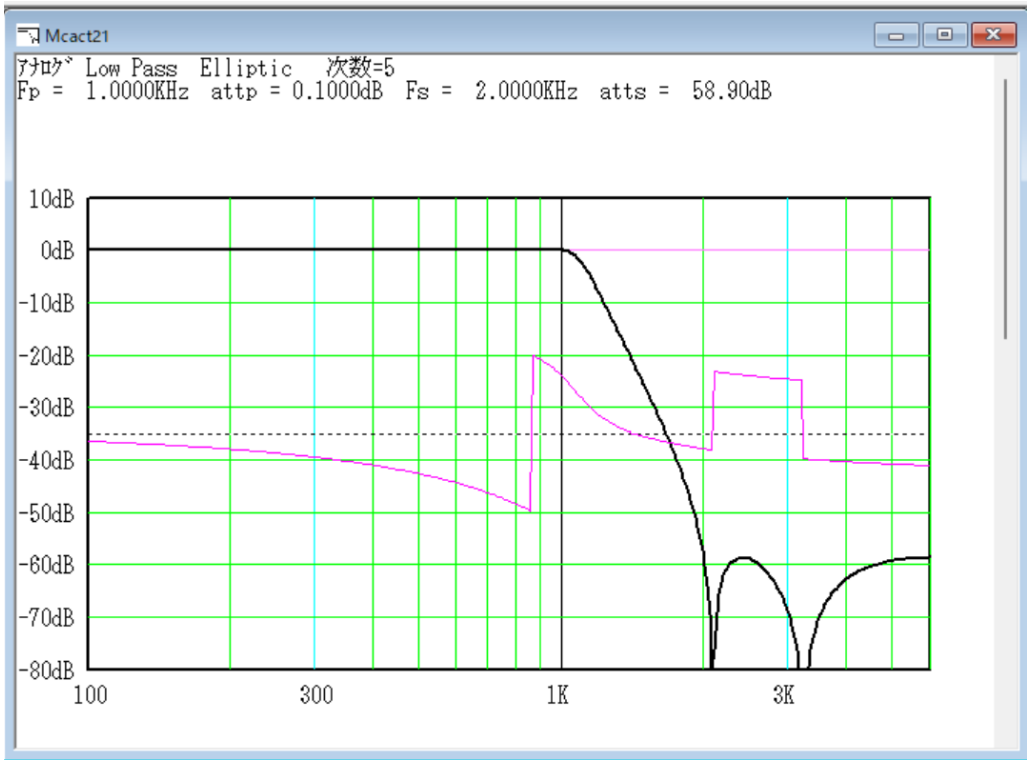
atp=0.1dB は ρ =15%に相当しますので、表は 7 次フィルタで ρ =15%の表を選択して、Amin が 72 以上の行を探して、Ωs を確認します。

$\theta = \sin^{-1}\left(1/X_s\right)$ で、表の行を推定することが出来ます。$\theta = \sin^{-1}\left(1/1.5\right) = 41.8$ より、
ρ =15%の表の「θ =41.0」の行が「Amin=73.39」で「Ωs=1.5243」と分かります。
$\Omega s = 1/\sin(41) = 1.524253$ です。この Ωs は要求仕様の Xs=1.5 に近い値だと思います。
この行の数値を使って素子値を決定するマクロを作成することが出来ます。

同様に、atp=0.1dB, Xs=2.0, ats=50dB のフィルターを設計する場合は、



「OK」を押すと、フィルターの次数は 5 次になることが分かります。



$\theta = \sin^{-1}\left(1/X_s\right) = \sin^{-1}(1/2) = 30$ より、
n=5, ρ =15%の表の「θ =30」の行が「Amin=58.85」で「Ωs=2.000」と分かります。
このように「LtAct」を利用すると要求仕様を満たす表と行が簡単に決定できます。

設計例 2-5　4 逆チェビシェフ・ローパスフィルター

表を使ってフィルターの素子値を求める

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

素子値計算用マクロのマクロ名の書式

LCnAtpXsAmin

LC は LC フィルタを表わす。

n フィルタの次数を表わす。5 次なら「n5」とする。

Atp は通過域のリプル(dB)を表わす。0.0109 dB なら「Atp0p01」とする。

「.」の代わりに「p」を使う。

Xs は最低減衰量に達する周波数 Fs とカットオフ周波数の比 Xs=Fs/Fc を表わします。

表では「Ωs」の列に示される数値です。

Amin は最低減衰量(dB)を表わす。34.66 dB なら「Amin34」とする。

従って、3 次で Atp=0.0109 dB、Xs=2.0、最低減衰量が 23.96 dB の素子値を計算するマクロ名は

「LCn3Atp0p01Xs2p0Amin23」とする。

表の素子値はカットオフ周波数の角周波数が 1 で負荷抵抗が 1 の時の値です。

希望するカットオフ周波数と負荷抵抗の値に対する素子値を求めるためには、電卓の入力行にカットオフ周波数と負荷抵抗の値を入力して、マクロ名を入力して「Return」をクリックします。

fc=10 k; r1=50;$LCn3Atp0p01Xs2p0Amin23

と入力して「Return」を押すと素子値が計算されます。

「3 次の LC フィルタの設計」など「LtAct」で求めた伝達関数の係数から LC フィルターを設計する方法では、電卓のマクロに伝達関数の係数を入力する必要があり複雑でした。しかし、表を使ってフィルターを設計する方法ではカットオフ周波数と負荷抵抗の値とマクロ名を入力するだけなので利用しやすいと思います。

表を使ってフィルターの素子値を求める

3 次フィルター

例として、n=3 ρ=15% atp=0.0988 dB（およそ、atp=0.1dB）の表からマクロを作成します。
表が大きすぎるので、必要な部分だけを切り出して表示します。

表の左端の一番上に「θ」「Ωs」「Amin」が並んでいます。
右端の一番下には「L'1」「L'2」「C'2」「L'3」が並んでいますがこれはそれぞれ「L1」「L2」「C1」「L3」に対応します。

回路図では「L1」は右端で、「L3」は左端です。

5 次の回路図でも「L1」は右端です。「C1」は「L1」の右側に最初に現れる C になります。
回路図では L と C の番号は右端が最も小さい数字で左側ほど大きな数字になります。

「θ」が 30 の行を見ると、「Ωs」は 2.0000、「Amin」は 23.96 と表示されています。
この行から「L1」「L2」「C1」「L3」の値を順に取り出して計算用のマクロを作成します。

			$\kappa^2=\infty$			
θ	Ω_s	A_{min} (db)	C'_1	C'_2	L'_2	C'_3
1.	57.2987	113.19	0.5141	0.0002	1.0843	1.0878
2.	28.6537	95.13	0.5136	0.0008	1.0834	1.0875
3.	19.1073	84.56	0.5126	0.0019	1.0819	1.0871
4.	14.3356	77.06	0.5113	0.0034	1.0798	1.0865
5.	11.4737	71.24	0.5096	0.0053	1.0771	1.0858
6.	9.5668	66.48	0.5076	0.0076	1.0738	1.0849
7.	8.2055	62.45	0.5051	0.0104	1.0699	1.0838
8.	7.1853	58.96	0.5023	0.0137	1.0654	1.0826
9.	6.3925	55.88	0.4991	0.0174	1.0603	1.0812
10.	5.7588	53.12	0.4955	0.0215	1.0546	1.0797
11.	5.2408	50.63	0.4915	0.0262	1.0483	1.0780
12.	4.8097	48.34	0.4872	0.0313	1.0414	1.0761
13.	4.4454	46.24	0.4824	0.0369	1.0339	1.0742
14.	4.1336	44.29	0.4773	0.0431	1.0258	1.0720
15.	3.8637	42.47	0.4717	0.0498	1.0171	1.0698
16.	3.6280	40.77	0.4658	0.0571	1.0078	1.0674
17.	3.4203	39.17	0.4594	0.0650	0.9979	1.0648
18.	3.2361	37.66	0.4527	0.0734	0.9875	1.0622
19.	3.0716	36.22	0.4455	0.0825	0.9764	1.0594
20.	2.9238	34.86	0.4379	0.0923	0.9648	1.0565
21.	2.7904	33.56	0.4299	0.1028	0.9526	1.0535
22.	2.6695	32.32	0.4215	0.1141	0.9398	1.0505
23.	2.5593	31.13	0.4126	0.1261	0.9264	1.0473
24.	2.4586	29.99	0.4033	0.1390	0.9124	1.0440
25.	2.3662	28.89	0.3935	0.1528	0.8979	1.0407
26.	2.2812	27.84	0.3833	0.1675	0.8829	1.0373
27.	2.2027	26.82	0.3726	0.1833	0.8672	1.0339
28.	2.1301	25.83	0.3614	0.2001	0.8510	1.0304
29.	2.0627	24.88	0.3497	0.2182	0.8343	1.0269
30.	2.0000	23.96	0.3376	0.2375	0.8171	1.0234
31.	1.9416	23.06	0.3249	0.2582	0.7993	1.0199
32.	1.8871	22.20	0.3117	0.2804	0.7810	1.0165
33.	1.8361	21.35	0.2980	0.3043	0.7623	1.0130
34.	1.7883	20.53	0.2837	0.3299	0.7430	1.0097
35.	1.7434	19.73	0.2689	0.3575	0.7233	1.0064
36.	1.7013	18.95	0.2535	0.3872	0.7031	1.0032
37.	1.6616	18.20	0.2375	0.4194	0.6825	1.0001
38.	1.6243	17.46	0.2209	0.4541	0.6615	0.9972
39.	1.5890	16.73	0.2036	0.4918	0.6401	0.9945
40.	1.5557	16.03	0.1857	0.5327	0.6184	0.9920
41.	1.5243	15.34	0.1671	0.5772	0.5964	0.9898
42.	1.4945	14.67	0.1478	0.6258	0.5740	0.9879
43.	1.4663	14.02	0.1278	0.6790	0.5514	0.9863
44.	1.4396	13.38	0.1070	0.7372	0.5286	0.9850
45.	1.4142	12.75	0.0854	0.8013	0.5057	0.9842
46.	1.3902	12.14	0.0630	0.8719	0.4826	0.9839
47.	1.3673	11.54	0.0398	0.9501	0.4595	0.9841
48.	1.3456	10.96	0.0156	1.0367	0.4364	0.9849
49.	1.3250	10.40	-0.0094	1.1332	0.4133	0.9864
50.	1.3054	9.84	-0.0355	1.2409	0.3903	0.9885
0	Ω_s	A_{min} (db)	L'_1	L'_2	C'_2	L'_3
			L1	L2	C1	L3

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

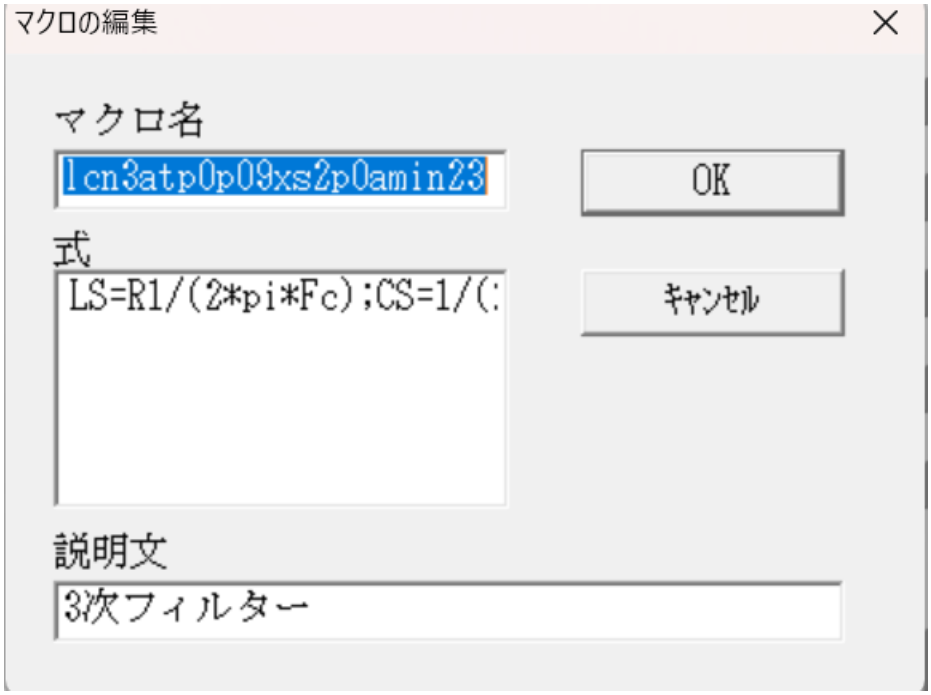
θ =30 の行の素子値は、
L1=0.3376, L2=0.2375, C1=0.8171, L3=1.0234
になります。

カットオフ周波数を Fc、負荷抵抗を R1 とすると、周波数係数$FS = 2 \cdot \pi \cdot Fc$、抵抗係数は$RS = R1$ となります。これから L の倍率は $LS = \frac{R1}{2 \cdot \pi \cdot Fc}$ 、C の倍率は $CS = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot Fc \cdot R1}$ となります。

マクロ　「LCn3Atp0p09Xs2p0Amin23」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3376*LS; L2=0.2375*LS; C1=0.8171*CS; L3=1.0234*LS;

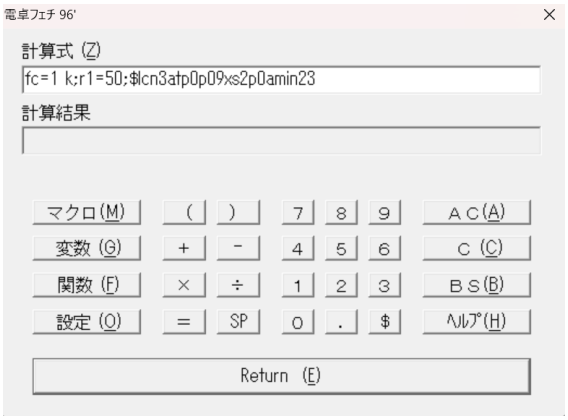
電卓を起動してマクロボタンを押して、「ロード」から「LC2in.UMF」をロードしてから、マクロの新規作成で「LCn3Atp0p09Xs2p0Amin23」を作成して「セーブ」します。



「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

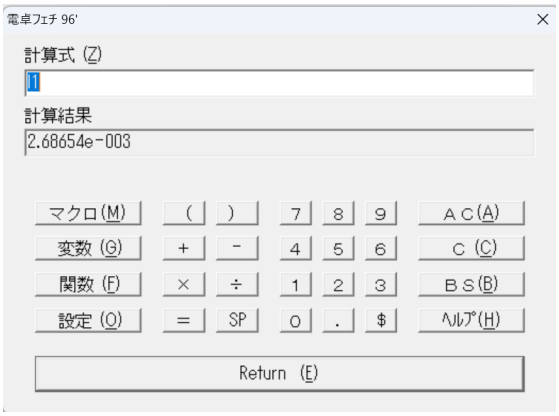
表を使ってフィルターの素子値を求める

電卓の入力行に、カットオフ周波数と負荷抵抗を入力して、「マクロ」をクリックしてマクロを選択して「OK」をクリックするとマクロ名が入力されます。

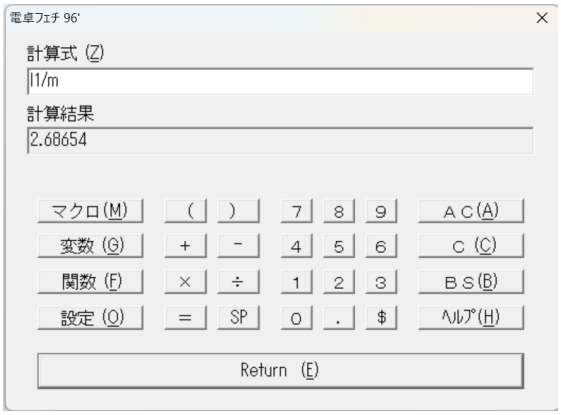


「Return」を押すと素子値が計算されます。

入力行に「L1」を入力します。



L1 を L1/m に変更すると、



L1=2.68654m になることが分かります。

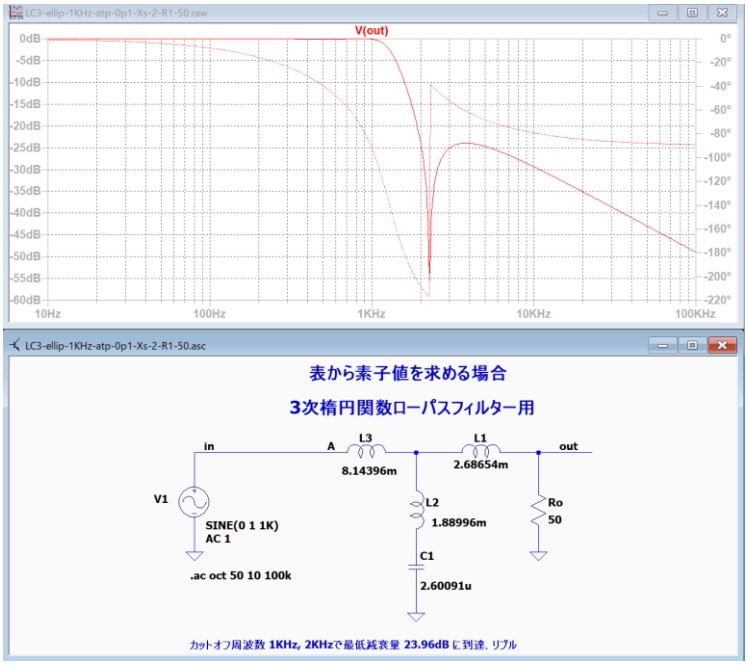
「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

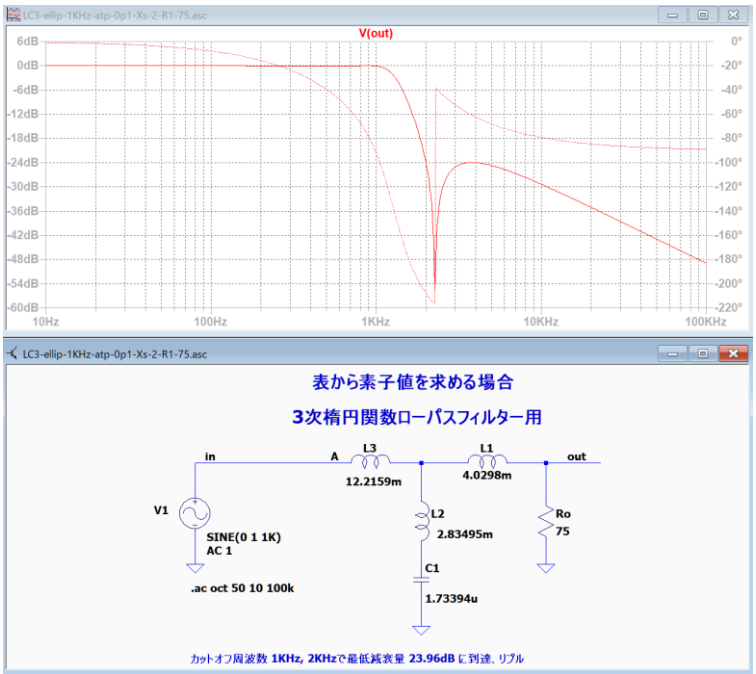
同様にして、

L2= 1.88996m, L3=8.14396m, C1= 2.60091u になることが分かります。

この素子値を回路図に入力して、「LtSpice」で周波数特性を確認します。



Fc=1 k, R1=75 の場合の素子値を計算すると、次のようになりました。



Fc と R1 を入力してマクロの「LCn3Atp0p09Xs2p0Amin23」でフィルターの素子値が計算できることが分かりました。

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

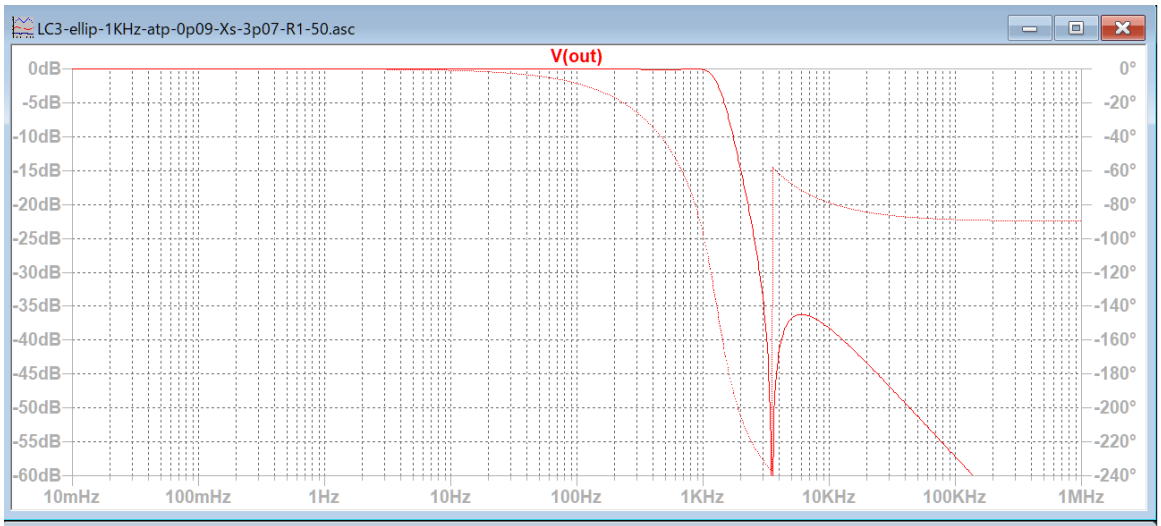
表を使ってフィルターの素子値を求める

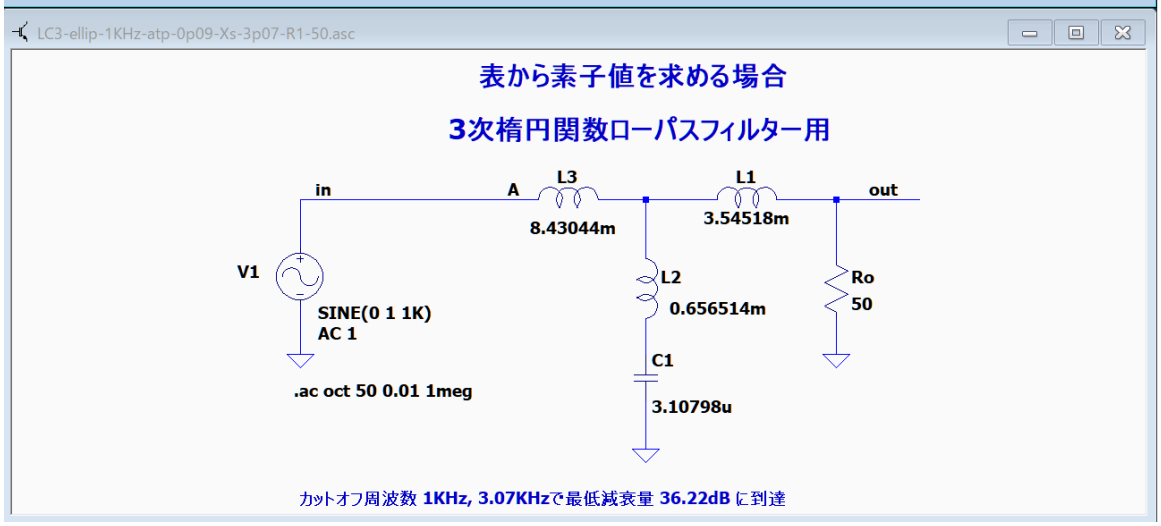
同じ表を使って、異なる「θ」に対するマクロを作成します。

「θ=19」「Ωs=3.0716」「Amin=36.22」より、

マクロ　「LCn3Atp0p09Xs3p07Amin36」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4455*LS; L2=0.0825*LS; C1=0.9764*CS; L3=1.0594*LS;





「θ=16」「Ωs=3.6280」「Amin=40.77」より、

マクロ　「LCn3Atp0p09Xs3p628Amin40」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4658*LS; L2=0.0571*LS; C1=1.0078*CS; L3=1.0674*LS;

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

4 次フィルター

次に、n=4 ρ=5% atp=0.01 dB　の表からマクロを作成します。

			$K^2=\infty$				
θ	Ω_S	A_{MIN}	C_1	C_2	L_2	C_3	L_4
C	∞	∞	0.36157	0.000000	0.90444	1.16498	1.04995
6.0	10.350843	91.24	0.35333	0.00867	0.89233	1.16304	1.05291
7.0	8.876727	85.88	0.35034	0.01185	0.88795	1.16236	1.05398
8.0	7.771760	81.24	0.34687	0.01556	0.88290	1.16158	1.05522
9.0	6.912894	77.13	0.34293	0.01980	0.87717	1.16072	1.05662
10.0	6.226301	73.46	0.33851	0.02460	0.87076	1.15976	1.05820
11.0	5.664999	70.14	0.33360	0.02997	0.86368	1.15873	1.05993
12.0	5.197666	67.11	0.32819	0.03594	0.85592	1.15763	1.06184
13.0	4.802620	64.31	0.32227	0.04254	0.84748	1.15646	1.06391
14.0	4.464371	61.73	0.31584	0.04980	0.83836	1.15523	1.06616
15.0	4.171563	59.31	0.30888	0.05774	0.82856	1.15396	1.06857
16.0	3.915678	57.06	0.30139	0.06642	0.81808	1.15265	1.07115
17.0	3.690200	54.93	0.29334	0.07588	0.80692	1.15132	1.07390
18.0	3.490065	52.93	0.28473	0.08616	0.79508	1.14998	1.07682
19.0	3.311272	51.03	0.27554	0.09733	0.78256	1.14865	1.07991
20.0	3.150622	49.23	0.26575	0.10945	0.76935	1.14734	1.08316
21.0	3.005526	47.51	0.25534	0.12260	0.75547	1.14607	1.08658
22.0	2.873864	45.88	0.24428	0.13685	0.74091	1.14486	1.09016
23.0	2.753885	44.31	0.23257	0.15232	0.72568	1.14374	1.09391
24.0	2.644133	42.80	0.22015	0.16911	0.70977	1.14274	1.09780
25.0	2.543380	41.36	0.20702	0.18735	0.69320	1.14187	1.10185
26.0	2.450592	39.97	0.19313	0.20719	0.67596	1.14118	1.10605
27.0	2.364885	38.63	0.17844	0.22880	0.65807	1.14071	1.11038
28.0	2.285502	37.34	0.16291	0.25238	0.63954	1.14049	1.11485
29.0	2.211792	36.09	0.14651	0.27816	0.62037	1.14057	1.11943
30.0	2.143189	34.88	0.12916	0.30642	0.60057	1.14101	1.12412
31.0	2.079202	33.71	0.11082	0.33749	0.58017	1.14186	1.12890
32.0	2.019399	32.57	0.09142	0.37172	0.55919	1.14320	1.13375
33.0	1.963403	31.46	0.07088	0.40959	0.53763	1.14511	1.13865
34.0	1.910879	30.39	0.04911	0.45163	0.51554	1.14767	1.14358
35.0	1.861534	29.35	0.02602	0.49848	0.49294	1.15100	1.14850
36.0	1.815103	28.33	0.00149	0.55094	0.46988	1.15520	1.15338
37.0	1.771354	27.34	-0.02462	0.60995	0.44638	1.16042	1.15818
38.0	1.730076	26.37	-0.05244	0.67668	0.42250	1.16681	1.16286
39.0	1.691083	25.42	-0.08216	0.75258	0.39830	1.17457	1.16735
40.0	1.654204	24.50	-0.11399	0.83946	0.37385	1.18392	1.17160
41.0	1.619289	23.60	-0.14816	0.93958	0.34921	1.19511	1.17554
42.0	1.586200	22.71	-0.18498	1.05582	0.32448	1.20845	1.17908
43.0	1.554811	21.85	-0.22477	1.19185	0.29974	1.22432	1.18215
44.0	1.525009	21.00	-0.26797	1.35247	0.27511	1.24314	1.18464
45.0	1.496692	20.17	-0.31507	1.54395	0.25071	1.26546	1.18645
46.0	1.469765	19.36	-0.36670	1.77461	0.22665	1.29194	1.18745
47.0	1.444142	18.57	-0.42363	2.05572	0.20310	1.32339	1.18752
48.0	1.419745	17.78	-0.48682	2.40270	0.18018	1.36082	1.18653
49.0	1.396501	17.02	-0.55751	2.83707	0.15806	1.40552	1.18434
50.0	1.374345	16.27	-0.63730	3.38948	0.13691	1.45915	1.18080
51.0	1.353215	15.53	-0.72827	4.10454	0.11689	1.52386	1.17578
52.0	1.333055	14.81	-0.83325	5.04892	0.09815	1.60256	1.16914
53.0	1.313814	14.10	-0.95609	6.32519	0.08085	1.69917	1.16078
54.0	1.295444	13.41	-1.10223	8.09682	0.06513	1.81926	1.15058
55.0	1.277901	12.73	-1.27963	10.63514	0.05108	1.97085	1.13848
θ	Ω_S	A_{MIN}	L_1	L_2	C_2	L_3	C_4
			L1	L2	C1	L3	C2

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

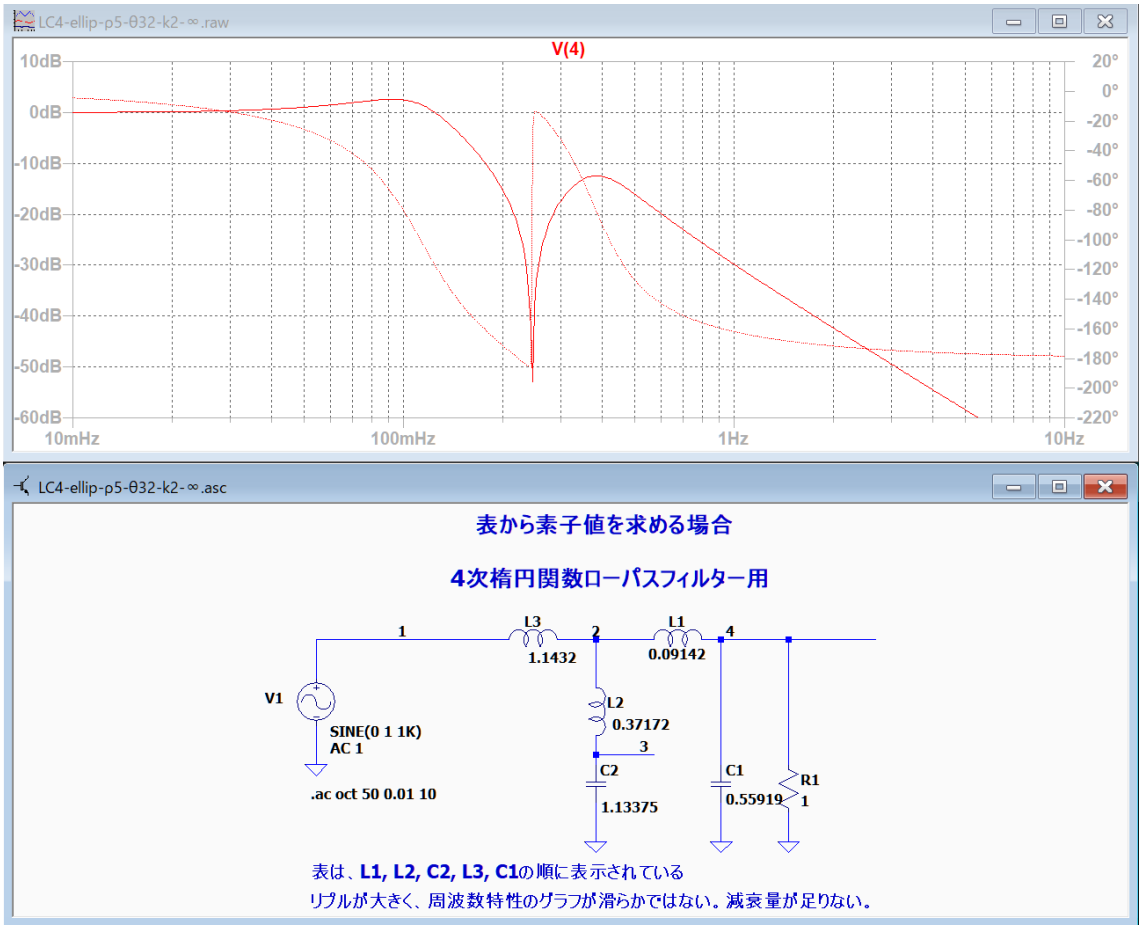
「θ=32」「Ωs=2.019」「Amin=32.57」より、

マクロ　「LCn4Atp0p01Xs2p019Amin32」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.09142*LS; L2=0.37172*LS; C1=0.55919*CS;

L3=1.1432*LS;C2=1.13375*CS;

LC4-ellip-ρ5-θ32-k2-∞.asc



カットオフ周波数(159.15mHz)の手前にピークがあり、減衰が緩やかに見える。

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

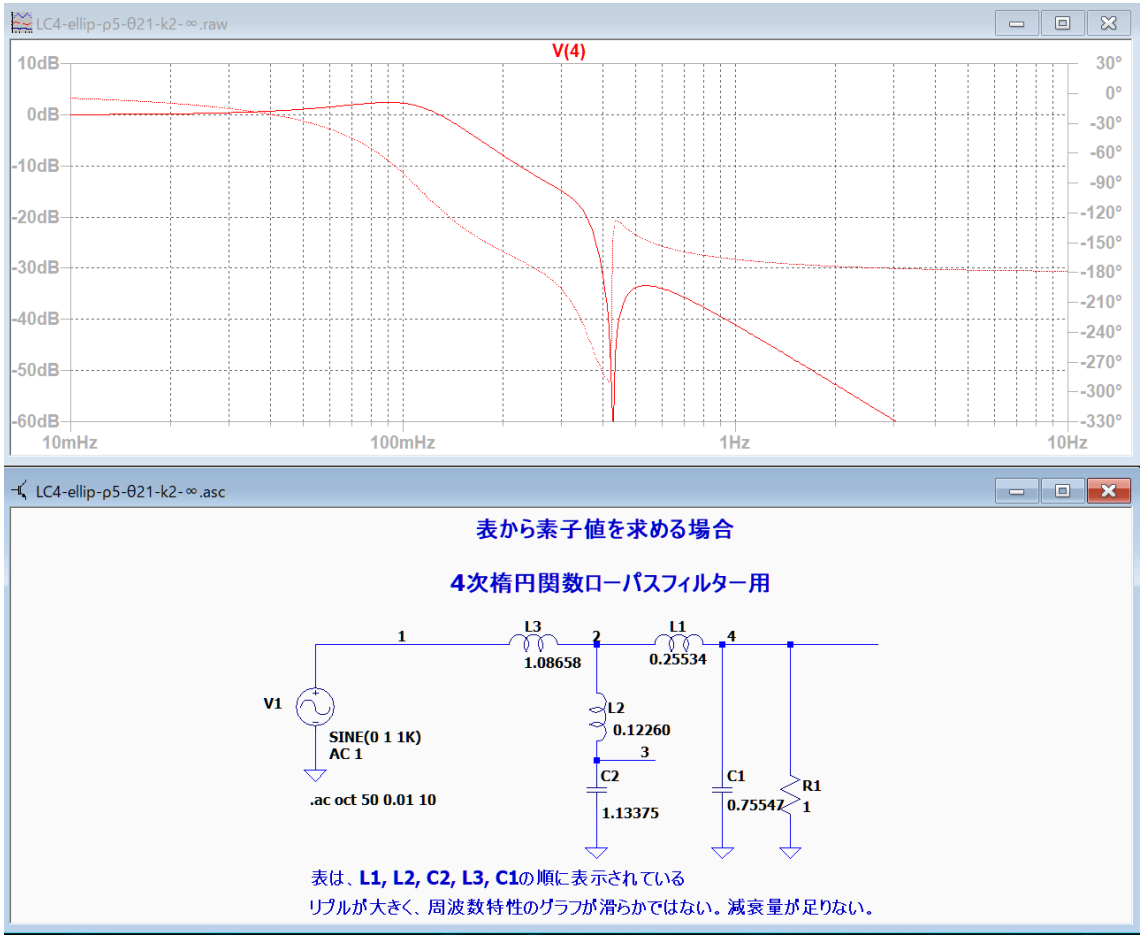
表を使ってフィルターの素子値を求める

「θ=21.0」「Ωs=3.005」「Amin=47.51」より、

マクロ 「LCn4Atp0p01Xs2p019Amin32」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.25534*LS; L2=0.12260*LS; C1=0.75547*CS; L3=1.14607*LS;C2=1.08658*CS;

LC4-ellip-ρ5-θ21-k2-∞.asc



カットオフ周波数(159.15mHz)の手前にピークがあり、緩やかに直線的に減衰してからΩsの手前で減衰が急峻に変わっている。

3 次フィルターの周波数特性グラフでは、カットオフ周波数までは減衰量は atp 程度でピークは無く、カットオフ周波数以降はΩs の周波数までほぼ直線的で急峻に最低減衰量 Amin まで達する。

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

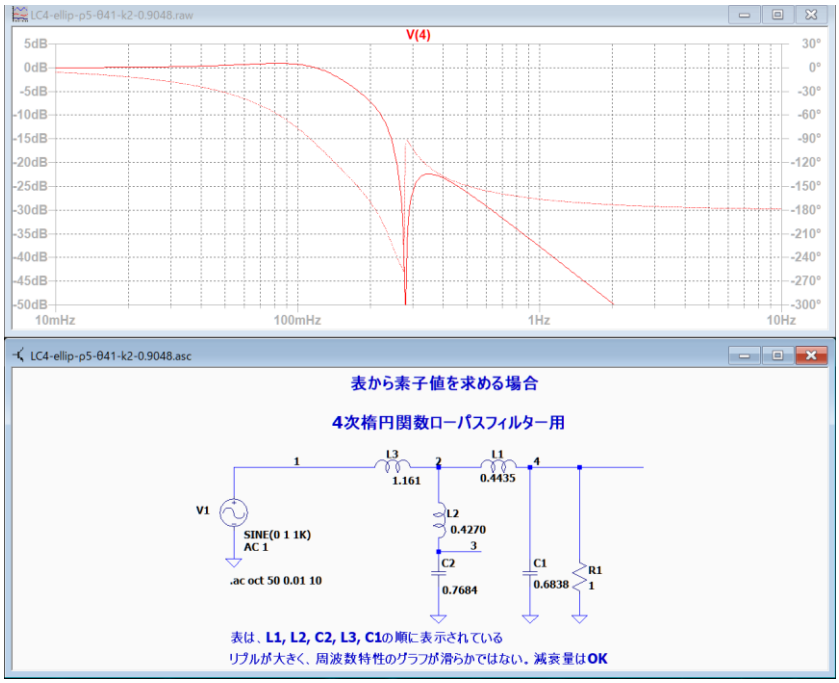
n=4, ρ =5% K2=0.9048 側で素子値を求めてみる。

			K^2=0.9048				
θ	Ω_S	A_{MIN}	C_1	C_2	L_2	C_3	L_4
C	∞	∞	0.7231	0.000000	1.207	1.334	0.6543
6.0	10.350843	91.24	0.7174	0.006461	1.198	1.330	0.6549
7.0	8.876727	85.88	0.7154	0.008813	1.194	1.329	0.6552
8.0	7.771760	81.24	0.7130	0.011544	1.190	1.327	0.6555
9.0	6.912894	77.13	0.7103	0.014564	1.186	1.325	0.6558
10.0	6.226301	73.46	0.7073	0.018144	1.181	1.323	0.6561
11.0	5.664999	70.14	0.7040	0.02202	1.176	1.321	0.6565
12.0	5.197666	67.11	0.7003	0.02630	1.170	1.318	0.6569
13.0	4.802620	64.31	0.6963	0.03100	1.163	1.316	0.6574
14.0	4.464371	61.73	0.6920	0.03612	1.156	1.313	0.6579
15.0	4.171563	59.31	0.6874	0.04166	1.148	1.310	0.6584
16.0	3.915678	57.06	0.6824	0.04766	1.140	1.306	0.6590
17.0	3.690200	54.93	0.6771	0.05411	1.132	1.303	0.6596
18.0	3.490065	52.93	0.6715	0.06103	1.122	1.299	0.6603
19.0	3.311272	51.03	0.6655	0.06845	1.113	1.295	0.6610
20.0	3.150622	49.23	0.6592	0.07637	1.103	1.291	0.6617
21.0	3.005526	47.51	0.6526	0.08482	1.092	1.286	0.6624
22.0	2.873864	45.88	0.6456	0.09383	1.081	1.282	0.6632
23.0	2.753885	44.31	0.6383	0.10344	1.069	1.277	0.6641
24.0	2.644133	42.80	0.6306	0.11364	1.057	1.272	0.6649
25.0	2.543380	41.36	0.6226	0.12444	1.044	1.267	0.6658
26.0	2.450592	39.97	0.6143	0.13594	1.030	1.262	0.6668
27.0	2.364885	38.63	0.6055	0.14814	1.017	1.256	0.6677
28.0	2.285502	37.34	0.5964	0.16114	1.002	1.250	0.6687
29.0	2.211792	36.09	0.5870	0.17494	0.9872	1.244	0.6698
30.0	2.143189	34.88	0.5772	0.18964	0.9717	1.238	0.6708
31.0	2.079202	33.71	0.5670	0.20529	0.9558	1.232	0.6719
32.0	2.019399	32.57	0.5564	0.22213	0.9393	1.226	0.6730
33.0	1.963403	31.46	0.5455	0.23884	0.9223	1.219	0.6742
34.0	1.910879	30.39	0.5341	0.25734	0.9048	1.212	0.6753
35.0	1.861534	29.35	0.5224	0.27714	0.8868	1.205	0.6765
36.0	1.815103	28.33	0.5103	0.29824	0.8683	1.198	0.6777
37.0	1.771354	27.34	0.4978	0.32064	0.8492	1.191	0.6789
38.0	1.730076	26.37	0.4848	0.34464	0.8297	1.184	0.6801
39.0	1.691083	25.42	0.4715	0.37024	0.8098	1.177	0.6813
40.0	1.654204	24.50	0.4577	0.39764	0.7893	1.169	0.6825
41.0	1.619289	23.60	0.4435	0.42704	0.7684	1.161	0.6838
42.0	1.586200	22.71	0.4289	0.45864	0.7470	1.154	0.6849
43.0	1.554811	21.85	0.4138	0.49264	0.7252	1.146	0.6861
44.0	1.525009	21.00	0.3983	0.52934	0.7030	1.138	0.6872
45.0	1.496692	20.17	0.3823	0.56894	0.6804	1.130	0.6883
46.0	1.469765	19.36	0.3659	0.61184	0.6574	1.123	0.6893
47.0	1.444142	18.57	0.3490	0.65844	0.6341	1.115	0.6903
48.0	1.419745	17.78	0.3317	0.70914	0.6105	1.107	0.6912
49.0	1.396501	17.02	0.3138	0.76454	0.5866	1.099	0.6919
50.0	1.374345	16.27	0.2956	0.82514	0.5624	1.092	0.6926
51.0	1.353215	15.53	0.2768	0.89174	0.5380	1.084	0.6931
52.0	1.333055	14.81	0.2576	0.96504	0.5135	1.076	0.6934
53.0	1.313814	14.10	0.2379	1.0464	0.4889	1.069	0.6936
54.0	1.295444	13.41	0.2177	1.1364	0.4643	1.062	0.6935
55.0	1.277901	12.73	0.1971	1.2354	0.4397	1.055	0.6932
θ	Ω_S	A_{MIN}	L_1	L_2	C_2	L_3	C_4

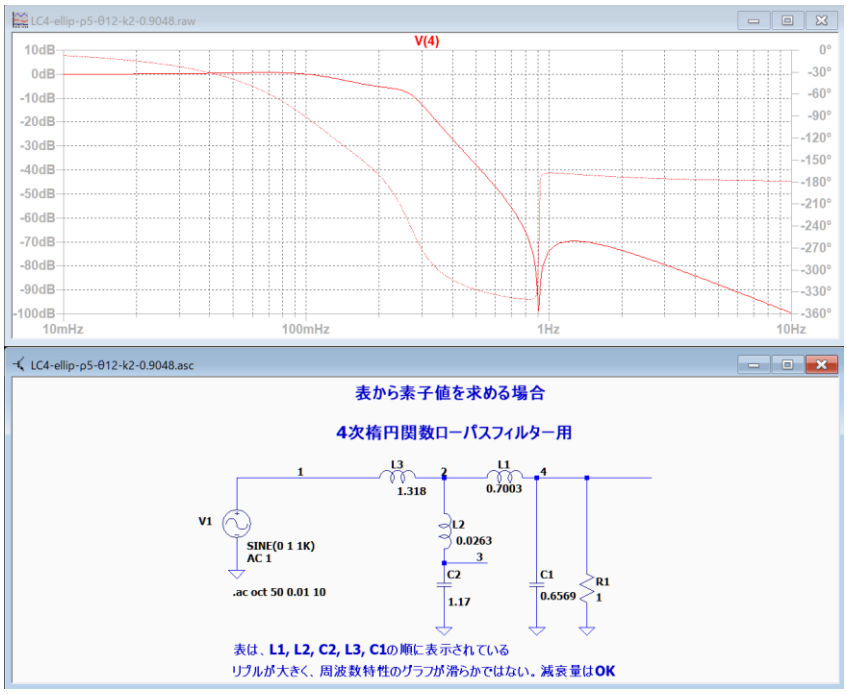
「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

「θ=41」「Ωs=1.6192」「Amin=23.6」より、LC4-ellip-ρ5-θ41-k2-0.9048.asc



「θ=12」「Ωs=5.19」「Amin=67.1」より、LC4-ellip-ρ5-θ12-k2-0.9048.asc



表を用いた 4 次フィルターの減衰特性は良くないと考える。

4 次フィルターは「LtAct で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める」→「4 次の LC フィルタの設計 2 の利用」を参照して下さい。

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

5 次フィルター

次に、n=5 ρ=5%
atp=0.01 dB　の表から
マクロを作成します。

			$K^2=\infty$						
θ	Ω_K	A_{MIN}	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5
C	∞	∞	0.3832	0.0000	0.9671	1.2835	0.0000	1.3983	1.2042
2.0	28.6537	167.86	0.3828	0.0004	0.9666	1.2827	0.0008	1.3971	1.2038
3.0	19.1073	150.25	0.3823	0.0010	0.9659	1.2818	0.0018	1.3955	1.2031
4.0	14.3356	137.74	0.3816	0.0017	0.9649	1.2804	0.0032	1.3934	1.2023
5.0	11.4737	128.04	0.3807	0.0027	0.9637	1.2787	0.0049	1.3907	1.2011
6.0	9.5668	120.11	0.3796	0.0039	0.9621	1.2766	0.0071	1.3874	1.1997
7.0	8.2055	113.40	0.3783	0.0054	0.9603	1.2741	0.0097	1.3835	1.1981
8.0	7.1853	107.59	0.3768	0.0070	0.9582	1.2713	0.0127	1.3789	1.1962
9.0	6.3925	102.45	0.3750	0.0089	0.9558	1.2680	0.0161	1.3738	1.1941
10.0	5.7588	97.86	0.3731	0.0110	0.9531	1.2644	0.0200	1.3681	1.1917
11.0	5.2408	93.69	0.3710	0.0134	0.9502	1.2604	0.0242	1.3618	1.1891
12.0	4.8097	89.89	0.3686	0.0160	0.9470	1.2561	0.0289	1.3548	1.1863
13.0	4.4454	86.39	0.3660	0.0188	0.9435	1.2513	0.0341	1.3473	1.1831
14.0	4.1336	83.14	0.3633	0.0219	0.9397	1.2462	0.0396	1.3392	1.1798
15.0	3.8637	80.11	0.3603	0.0253	0.9356	1.2408	0.0457	1.3305	1.1762
16.0	3.6280	77.27	0.3570	0.0289	0.9312	1.2349	0.0522	1.3212	1.1723
17.0	3.4203	74.60	0.3536	0.0328	0.9265	1.2287	0.0592	1.3113	1.1682
18.0	3.2361	72.08	0.3499	0.0370	0.9216	1.2222	0.0667	1.3009	1.1639
19.0	3.0716	69.69	0.3460	0.0414	0.9163	1.2153	0.0747	1.2898	1.1593
20.0	2.9238	67.41	0.3419	0.0462	0.9108	1.2080	0.0833	1.2782	1.1545
21.0	2.7904	65.25	0.3375	0.0513	0.9050	1.2004	0.0923	1.2660	1.1495
22.0	2.6695	63.18	0.3329	0.0566	0.8988	1.1924	0.1020	1.2532	1.1442
23.0	2.5593	61.20	0.3281	0.0623	0.8924	1.1841	0.1122	1.2399	1.1387
24.0	2.4586	59.29	0.3230	0.0684	0.8857	1.1755	0.1231	1.2260	1.1329
25.0	2.3662	57.46	0.3176	0.0748	0.8786	1.1666	0.1346	1.2115	1.1269
26.0	2.2812	55.70	0.3120	0.0816	0.8713	1.1573	0.1467	1.1964	1.1207
27.0	2.2027	54.00	0.3061	0.0888	0.8637	1.1477	0.1595	1.1809	1.1143
28.0	2.1301	52.35	0.2999	0.0963	0.8557	1.1377	0.1731	1.1647	1.1076
29.0	2.0627	50.76	0.2935	0.1043	0.8475	1.1275	0.1875	1.1480	1.1007
30.0	2.0000	49.22	0.2867	0.1128	0.8389	1.1170	0.2026	1.1308	1.0936
31.0	1.9416	47.72	0.2797	0.1217	0.8300	1.1061	0.2186	1.1130	1.0863
32.0	1.8871	46.27	0.2723	0.1312	0.8208	1.0950	0.2355	1.0947	1.0788
33.0	1.8361	44.85	0.2647	0.1411	0.8112	1.0836	0.2534	1.0758	1.0710
34.0	1.7883	43.47	0.2567	0.1517	0.8013	1.0719	0.2722	1.0565	1.0630
35.0	1.7434	42.13	0.2484	0.1628	0.7911	1.0600	0.2922	1.0366	1.0547
36.0	1.7013	40.81	0.2397	0.1746	0.7806	1.0478	0.3134	1.0162	1.0465
37.0	1.6616	39.53	0.2306	0.1870	0.7697	1.0354	0.3357	0.9953	1.0379
38.0	1.6243	38.28	0.2212	0.2002	0.7585	1.0227	0.3595	0.9738	1.0291
39.0	1.5890	37.05	0.2114	0.2142	0.7469	1.0098	0.3847	0.9519	1.0202
40.0	1.5557	35.85	0.2012	0.2290	0.7350	0.9967	0.4115	0.9295	1.0111
41.0	1.5243	34.67	0.1905	0.2447	0.7227	0.9834	0.4399	0.9067	1.0017
42.0	1.4945	33.52	0.1794	0.2614	0.7100	0.9699	0.4703	0.8833	0.9923
43.0	1.4663	32.38	0.1678	0.2791	0.6970	0.9563	0.5027	0.8595	0.9826
44.0	1.4396	31.27	0.1558	0.2981	0.6836	0.9425	0.5374	0.8353	0.9728
45.0	1.4142	30.17	0.1432	0.3183	0.6697	0.9285	0.5745	0.8106	0.9629
46.0	1.3902	29.09	0.1300	0.3398	0.6555	0.9145	0.6143	0.7855	0.9528
47.0	1.3673	28.03	0.1163	0.3630	0.6409	0.9003	0.6572	0.7599	0.9426
48.0	1.3456	26.99	0.1019	0.3878	0.6259	0.8861	0.7035	0.7430	0.9323
49.0	1.3250	25.95	0.0869	0.4144	0.6104	0.8718	0.7536	0.7077	0.9219
50.0	1.3054	24.94	0.0712	0.4432	0.5946	0.8575	0.8079	0.6810	0.9114
51.0	1.2868	23.93	0.0548	0.4743	0.5783	0.8432	0.8671	0.6540	0.9008
52.0	1.2690	22.94	0.0375	0.5080	0.5615	0.8290	0.9317	0.6267	0.8903
53.0	1.2521	21.96	0.0194	0.5447	0.5443	0.8148	1.0027	0.5990	0.8797
54.0	1.2361	20.99	0.0004	0.5847	0.5266	0.8007	1.0808	0.5711	0.8691
55.0	1.2208	20.04	-0.0197	0.6285	0.5085	0.7868	1.1672	0.5430	0.8586
56.0	1.2062	19.09	-0.0408	0.6768	0.4899	0.7731	1.2633	0.5147	0.8482
57.0	1.1924	18.15	-0.0631	0.7301	0.4708	0.7597	1.3707	0.4862	0.8380
58.0	1.1792	17.23	-0.0867	0.7893	0.4512	0.7465	1.4914	0.4576	0.8280
59.0	1.1666	16.31	-0.1117	0.8554	0.4312	0.7338	1.6279	0.4290	0.8182
60.0	1.1547	15.40	-0.1382	0.9295	0.4107	0.7215	1.7833	0.4004	0.8087
θ	Ω_K	A_{MIN}	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

「θ=23.0」「Ωs=2.5593」「Amin=61.20」より、

マクロ 「LCn5Atp0p01Xs2p559Amin61」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3281*LS; L2=0.0623*LS;C1=0.8924*CS;
L3=1.1841*LS;L4=0.1122*LS;C2=1.2399*CS;L5=1.1387*LS

「θ=30.0」「Ωs=2.000」「Amin=49.22」より、

マクロ 「LCn5Atp0p01Xs2p0Amin49」

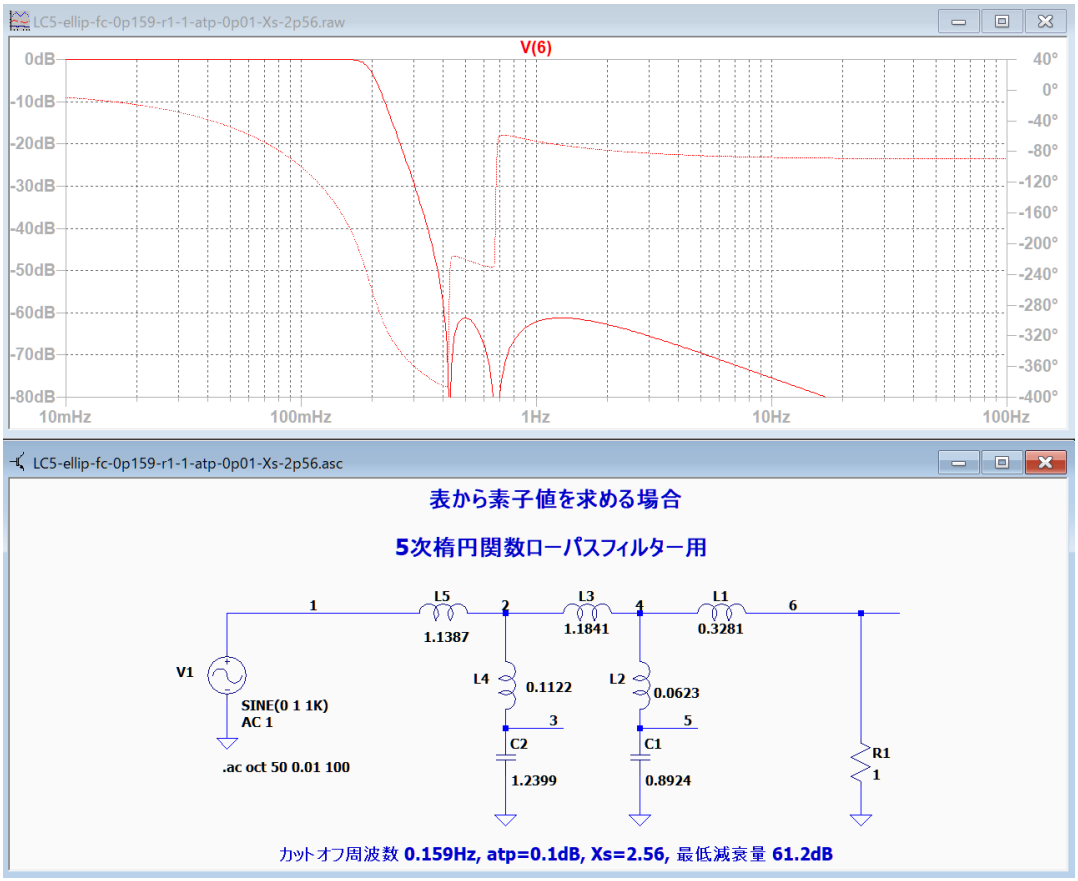
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2887*LS; L2=0.1128*LS;C1=0.8389*CS;
L3=1.117*LS;L4=0.2026*LS;C2=1.1308*CS;L5=1.0938*LS

「θ=42.0」「Ωs=1.4945」「Amin=33.52」より、

マクロ 「LCn5Atp0p01Xs1p49Amin33」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1794*LS; L2=0.2614*LS;C1=0.7100*CS;
L3=0.9699*LS;L4=0.4703*LS;C2=0.8833*CS;L5=0.9923*LS

LC5-ellip-fc-0p159-r1-1-atp-0p01-Xs-2p56.asc



「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

7 次フィルター

次に、n=7 ρ=15% atp=0.1 dB　の表からマクロを作成します

n = 7

ρ = 15%

			$K^2 = \infty$									
θ	Ω_S	A_{MIN}	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5	C_6	L_6	C_7
C	∞	∞	0.589187	0.0000	1.289299	1.622103	0.0000	1.710023	1.797779	0.0000	1.739136	1.473860
11.0	5.2408	156.02	0.5841	0.0054	1.2816	1.6002	0.0207	1.6739	1.7692	0.0131	1.7174	1.4632
12.0	4.8097	150.70	0.5832	0.0065	1.2801	1.5961	0.0247	1.6671	1.7638	0.0156	1.7133	1.4612
13.0	4.4454	145.79	0.5821	0.0076	1.2785	1.5916	0.0290	1.6597	1.7579	0.0183	1.7088	1.4590
14.0	4.1336	141.24	0.5810	0.0088	1.2768	1.5867	0.0337	1.6517	1.7516	0.0212	1.7040	1.4566
15.0	3.8637	137.00	0.5798	0.0102	1.2749	1.5815	0.0388	1.6431	1.7448	0.0244	1.6988	1.4541
16.0	3.6280	133.03	0.5785	0.0116	1.2729	1.5759	0.0443	1.6339	1.7375	0.0278	1.6932	1.4513
17.0	3.4203	129.29	0.5771	0.0131	1.2708	1.5700	0.0501	1.6241	1.7298	0.0315	1.6873	1.4484
18.0	3.2361	125.76	0.5756	0.0148	1.2685	1.5637	0.0564	1.6138	1.7216	0.0354	1.6810	1.4453
19.0	3.0716	122.41	0.5740	0.0165	1.2661	1.5570	0.0630	1.6029	1.7129	0.0395	1.6744	1.4421
20.0	2.9238	119.23	0.5723	0.0183	1.2635	1.5500	0.0701	1.5914	1.7038	0.0439	1.6674	1.4386
21.0	2.7904	116.20	0.5705	0.0203	1.2608	1.5426	0.0775	1.5793	1.6943	0.0485	1.6600	1.4350
22.0	2.6695	113.30	0.5687	0.0223	1.2580	1.5349	0.0854	1.5667	1.6843	0.0534	1.6523	1.4312
23.0	2.5593	110.53	0.5667	0.0245	1.2550	1.5268	0.0938	1.5535	1.6738	0.0586	1.6442	1.4272
24.0	2.4586	107.86	0.5646	0.0267	1.2519	1.5184	0.1026	1.5398	1.6629	0.0640	1.6358	1.4231
25.0	2.3662	105.30	0.5625	0.0291	1.2486	1.5096	0.1118	1.5254	1.6516	0.0696	1.6270	1.4187
26.0	2.2812	102.83	0.5602	0.0316	1.2452	1.5005	0.1215	1.5106	1.8398	0.0756	1.6179	1.4142
27.0	2.2027	100.45	0.5579	0.0343	1.2417	1.4910	0.1317	1.4952	1.6276	0.0818	1.6083	1.4095
28.0	2.1301	98.15	0.5554	0.0370	1.2379	1.4812	0.1425	1.4792	1.6149	0.0883	1.5985	1.4046
29.0	2.0627	95.92	0.5528	0.0399	1.2341	1.4710	0.1537	1.4627	1.6018	0.0951	1.5882	1.3996
30.0	2.0000	93.76	0.5502	0.0429	1.2300	1.4605	0.1655	1.4456	1.5883	0.1022	1.5777	1.3943
31.0	1.9416	91.66	0.5474	0.0460	1.2259	1.4496	0.1778	1.4281	1.5744	0.1096	1.5667	1.3889
32.0	1.8871	89.62	0.5445	0.0493	1.2215	1.4384	0.1908	1.4099	1.5600	0.1173	1.5554	1.3833
33.0	1.8361	87.64	0.5415	0.0527	1.2170	1.4268	0.2043	1.3913	1.5452	0.1254	1.5437	1.3775
34.0	1.7883	85.71	0.5383	0.0563	1.2123	1.4149	0.2185	1.3721	1.5301	0.1337	1.5317	1.3715
35.0	1.7434	83.83	0.5351	0.0600	1.2074	1.4026	0.2333	1.3524	1.5144	0.1424	1.5193	1.3654
36.0	1.7013	81.99	0.5317	0.0638	1.2024	1.3900	0.2489	1.3322	1.4984	0.1515	1.5066	1.3590
37.0	1.6616	80.20	0.5282	0.0679	1.1972	1.3770	0.2652	1.3115	1.4820	0.1609	1.4935	1.3525
38.0	1.6243	78.44	0.5246	0.0721	1.1918	1.3637	0.2823	1.2903	1.4652	0.1707	1.4800	1.3458
39.0	1.5890	76.72	0.5208	0.0764	1.1862	1.3501	0.3001	1.2686	1.4480	0.1809	1.4661	1.3389
40.0	1.5557	75.04	0.5169	0.0810	1.1804	1.3360	0.3189	1.2463	1.4304	0.1915	1.4519	1.3318
41.0	1.5243	73.39	0.5128	0.0857	1.1744	1.3217	0.3386	1.2236	1.4124	0.2025	1.4374	1.3245
42.0	1.4945	71.77	0.5086	0.0907	1.1682	1.3070	0.3592	1.2004	1.3941	0.2139	1.4224	1.3170
43.0	1.4663	70.18	0.5043	0.0958	1.1618	1.2919	0.3809	1.1768	1.3753	0.2258	1.4071	1.3093
44.0	1.4396	68.62	0.4998	0.1012	1.1552	1.2765	0.4037	1.1526	1.3563	0.2382	1.3914	1.3014
45.0	1.4142	67.09	0.4951	0.1068	1.1484	1.2608	0.4277	1.1280	1.3368	0.2510	1.3754	1.2933
46.0	1.3902	65.57	0.4903	0.1126	1.1413	1.2446	0.4530	1.1029	1.3170	0.2644	1.3590	1.2850
47.0	1.3673	64.99	0.4853	0.1187	1.1340	1.2282	0.4797	1.0774	1.2968	0.2783	1.3422	1.2766
48.0	1.3456	62.62	0.4801	0.1250	1.1265	1.2113	0.5079	1.0514	1.2764	0.2928	1.3250	1.2679
49.0	1.3250	61.17	0.4747	0.1316	1.1186	1.1941	0.5377	1.0250	1.2555	0.3078	1.3074	1.2590
50.0	1.3054	59.74	0.4691	0.1385	1.1106	1.1766	0.5693	0.9981	1.2344	0.3235	1.2895	1.2499
51.0	1.2868	58.33	0.4633	0.1458	1.1022	1.1587	0.6028	0.9708	1.2129	0.3399	1.2712	1.2406
52.0	1.2690	56.94	0.4573	0.1533	1.0936	1.1401	0.6385	0.9431	1.1912	0.3569	1.2525	1.2310
53.0	1.2521	55.56	0.4511	0.1612	1.0847	1.1217	0.6765	0.9150	1.1691	0.3747	1.2333	1.2213
54.0	1.2361	54.19	0.4446	0.1695	1.0754	1.1026	0.7171	0.8865	1.1468	0.3933	1.2138	1.2113
55.0	1.2208	52.84	0.4379	0.1782	1.0659	1.0832	0.7605	0.8575	1.1242	0.4127	1.1939	1.2011
56.0	1.2062	56.50	0.4309	0.1873	1.0560	1.0633	0.8072	0.8282	1.1013	0.4331	1.1736	1.1906
57.0	1.1924	50.17	0.4236	0.1969	1.0457	1.0431	0.8575	0.7986	1.0782	0.4543	1.1528	1.1799
58.0	1.1792	48.85	0.4160	0.2070	1.0351	1.0224	0.9118	0.7685	1.0549	0.4767	1.1317	1.1690
59.0	1.1666	47.54	0.4081	0.2176	1.0240	1.0013	0.9706	0.7381	1.0314	0.5001	1.1100	1.1578
60.0	1.1547	46.24	0.3998	0.2288	1.0125	0.9798	1.0347	0.7074	1.0076	0.5247	1.0880	1.1463
θ	Ω_S	A_{MIN}	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5	L_6	C_6	L_7

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

「θ=36.0」「Ωs=1.7013」「Amin=81.99」より、

マクロ 「LCn7Atp0p1Xs1p70Amin81」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5317*LS; L2=0.0638*LS;C1=1.2024*CS; L3=1.3900*LS;L4=0.2489*LS;C2=1.3322*CS;L5=1.4984*LS;L6=0.1515*LS;C3=1.5066*CS;L7=1.3590*LS;

「θ=41.0」「Ωs=1.5243」「Amin=73.39」より、

マクロ 「LCn7Atp0p1Xs1p52Amin73」

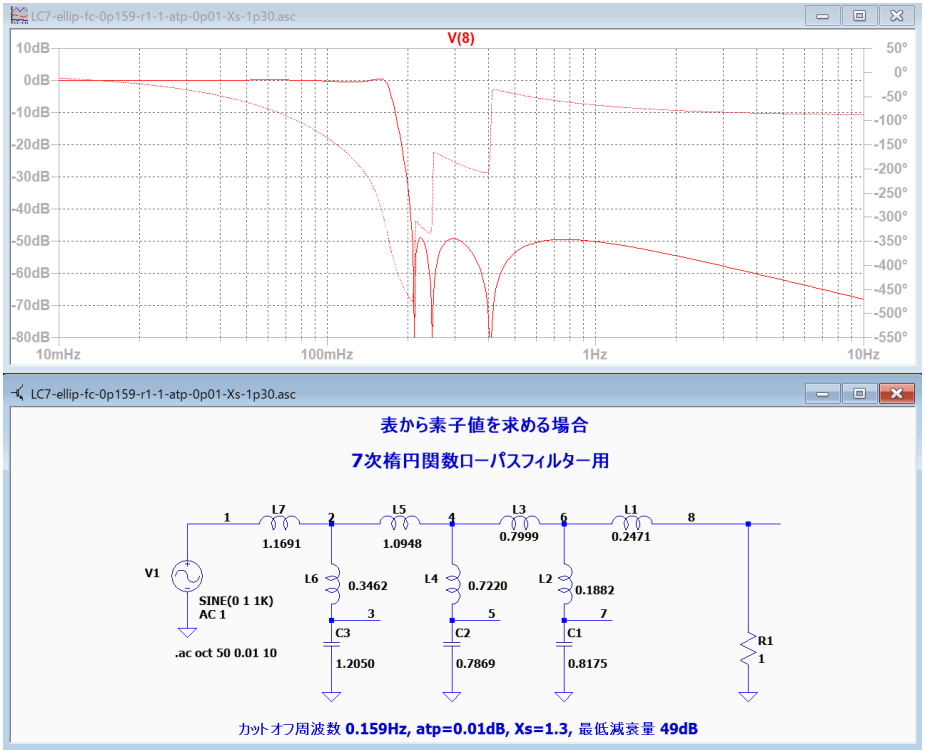
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5128*LS; L2=0.0857*LS;C1=1.1744*CS; L3=1.3217*LS;L4=0.3386*LS;C2=1.2236*CS;L5=1.4124*LS;L6=0.2025*LS;C3=1.4374*CS;L5=1.3245*LS;

「θ=49.0」「Ωs=1.3250」「Amin=61.17」より、

マクロ 「LCn7Atp0p1Xs1p3Amin61」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5317*LS; L2=0.0638*LS;C1=1.2024*CS; L3=1.3900*LS;L4=0.2489*LS;C2=1.3322*CS;L5=1.4984*LS;L6=0.1515*LS;C3=1.5066*CS;L5=1.3590*LS;

LC7-ellip-fc-0p159-r1-1-atp-0p01-Xs-1p30.asc



「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

次に、n=7 ρ=5% atp=0.01 dB　の表からマクロを作成します

			$K^2=\infty$									
θ	Ω_S	A_{MIN}	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5	C_6	L_6	C_7
C	∞	∞	0.403400	0.0000	1.022752	1.373772	0.0000	1.548193	1.635121	0.0000	1.635196	1.365613
11.0	5.2408	146.39	0.3970	0.0069	1.0139	1.3510	0.0229	1.5099	1.6069	0.0139	1.6140	1.3562
12.0	4.8097	141.07	0.3958	0.0082	1.0122	1.3466	0.0274	1.5027	1.6016	0.0166	1.6100	1.3544
13.0	4.4454	136.16	0.3945	0.0096	1.0103	1.3419	0.0322	1.4948	1.5958	0.0195	1.6056	1.3524
14.0	4.1336	131.61	0.3931	0.0112	1.0083	1.3368	0.0375	1.4863	1.5896	0.0226	1.6009	1.3503
15.0	3.8637	127.37	0.3915	0.0129	1.0062	1.3314	0.0432	1.4772	1.5828	0.0260	1.5959	1.3480
16.0	3.6280	123.40	0.3898	0.0147	1.0039	1.3255	0.0493	1.4674	1.5757	0.0296	1.5904	1.3456
17.0	3.4203	119.66	0.3881	0.0167	1.0014	1.3193	0.0559	1.4571	1.5681	0.0335	1.5847	1.3430
18.0	3.2361	116.13	0.3862	0.0187	0.9988	1.3127	0.0629	1.4461	1.5600	0.0377	1.5786	1.3403
19.0	3.0716	112.78	0.3841	0.0210	0.9960	1.3057	0.0704	1.4345	1.5515	0.0421	1.5721	1.3374
20.0	2.9238	109.60	0.3820	0.0233	0.9931	1.2984	0.0784	1.4223	1.5426	0.0468	1.5654	1.3344
21.0	2.7904	106.57	0.3798	0.0258	0.9900	1.2907	0.0869	1.4095	1.5332	0.0517	1.5582	1.3312
22.0	2.6695	103.67	0.3774	0.0284	0.9867	1.2826	0.0959	1.3961	1.5234	0.0569	1.5507	1.3278
23.0	2.5593	100.90	0.3749	0.0312	0.9833	1.2741	0.1054	1.3820	1.5132	0.0624	1.5429	1.3243
24.0	2.4586	98.23	0.3723	0.0342	0.9797	1.2653	0.1155	1.3674	1.5025	0.0682	1.5348	1.3206
25.0	2.3662	95.67	0.3695	0.0373	0.9760	1.2561	0.1261	1.3522	1.4914	0.0742	1.5263	1.3168
26.0	2.2812	93.20	0.3666	0.0405	0.9720	1.2465	0.1374	1.3363	1.4799	0.0806	1.5174	1.3128
27.0	2.2027	90.82	0.3636	0.0439	0.9679	1.2365	0.1492	1.3199	1.4680	0.0872	1.5082	1.3086
28.0	2.1301	88.52	0.3605	0.0475	0.9637	1.2262	0.1617	1.3029	1.4556	0.0942	1.4987	1.3043
29.0	2.0627	86.29	0.3572	0.0513	0.9592	1.2155	0.1749	1.2853	1.4429	0.1015	1.4879	1.2999
30.0	2.0000	84.13	0.3537	0.0552	0.9546	1.2044	0.1888	1.2671	1.4297	0.1090	1.4787	1.2953
31.0	1.9416	82.03	0.3501	0.0594	0.9498	1.1929	0.2034	1.2484	1.4162	0.1170	1.4682	1.2905
32.0	1.8871	79.99	0.3464	0.0637	0.9448	1.1811	0.2188	1.2296	1.4022	0.1252	1.4573	1.2856
33.0	1.8361	78.01	0.3425	0.0683	0.9396	1.1688	0.2351	1.2091	1.3879	0.1338	1.4461	1.2805
34.0	1.7883	76.08	0.3385	0.0730	0.9342	1.1562	0.2522	1.1886	1.3732	0.1428	1.4346	1.2752
35.0	1.7434	74.20	0.3342	0.0780	0.9286	1.1432	0.2703	1.1675	1.3581	0.1521	1.4227	1.2698
36.0	1.7013	72.36	0.3299	0.0832	0.9228	1.1298	0.2894	1.1459	1.3427	0.1618	1.4105	1.2642
37.0	1.6616	70.56	0.3253	0.0886	0.9168	1.1161	0.3095	1.1237	1.3269	0.1719	1.3980	1.2585
38.0	1.6243	68.81	0.3206	0.0943	0.9106	1.1019	0.3308	1.1010	1.3108	0.1824	1.3851	1.2526
39.0	1.5890	67.09	0.3157	0.1003	0.9042	1.0874	0.3533	1.0777	1.2943	0.1933	1.3719	1.2466
40.0	1.5557	65.41	0.3106	0.1065	0.8975	1.0724	0.3771	1.0539	1.2776	0.2047	1.3584	1.2404
41.0	1.5243	63.76	0.3053	0.1131	0.8907	1.0571	0.4024	1.0295	1.2605	0.2164	1.3446	1.2340
42.0	1.4945	62.14	0.2997	0.1199	0.8836	1.0413	0.4292	1.0046	1.2431	0.2287	1.3304	1.2275
43.0	1.4663	60.55	0.2940	0.1271	0.8762	1.0252	0.4578	0.9792	1.2254	0.2415	1.3159	1.2208
44.0	1.4396	58.99	0.2881	0.1346	0.8686	1.0086	0.4881	0.9532	1.2074	0.2547	1.3011	1.2139
45.0	1.4142	57.46	0.2819	0.1425	0.8608	0.9916	0.5206	0.9268	1.1892	0.2685	1.2859	1.2069
46.0	1.3902	55.94	0.2755	0.1507	0.8527	0.9742	0.5553	0.8998	1.1707	0.2828	1.2704	1.1997
47.0	1.3673	54.46	0.2678	0.1594	0.8443	0.9563	0.5925	0.8723	1.1520	0.2977	1.2546	1.1923
48.0	1.3456	52.99	0.2617	0.1685	0.8357	0.9380	0.6324	0.8443	1.1331	0.3132	1.2384	1.1848
49.0	1.3250	51.54	0.2546	0.1781	0.8267	0.9192	0.6755	0.8159	1.1140	0.3294	1.2219	1.1770
50.0	1.3054	50.11	0.2471	0.1882	0.8175	0.7999	0.7220	0.7869	1.0948	0.3462	1.2050	1.1691
51.0	1.2868	48.70	0.2392	0.1989	0.8079	0.8802	0.7725	0.7576	1.0754	0.3637	1.1878	1.1611
52.0	1.2690	47.31	0.2311	0.2101	0.7980	0.8599	0.8275	0.7277	1.0559	0.3820	1.1703	1.1528
53.0	1.2521	45.93	0.2226	0.2220	0.7878	0.8391	0.8875	0.6974	1.0364	0.4011	1.1523	1.1444
54.0	1.2361	44.56	0.2137	0.2345	0.7772	0.8178	0.9534	0.6667	1.0169	0.4210	1.1340	1.1358
55.0	1.2208	43.21	0.2044	0.2479	0.7663	0.7959	1.0260	0.6357	0.9973	0.4418	1.1153	1.1270
56.0	1.2062	41.87	0.1947	0.2620	0.7550	0.7733	1.1065	0.6042	0.9779	0.4636	1.0962	1.1180
57.0	1.1924	40.54	0.1846	0.2770	0.7432	0.7501	1.1963	0.5724	0.9586	0.4865	1.0766	1.1088
58.0	1.1792	39.22	0.1740	0.2930	0.7311	0.7261	1.2970	0.5403	0.9395	0.5105	1.0566	1.0994
59.0	1.1666	37.91	0.1628	0.3101	0.7185	0.7014	1.4107	0.5079	0.9207	0.5358	1.0361	1.0898
60.0	1.1547	36.61	0.1511	0.3285	0.7054	0.6758	1.5402	0.4752	0.9023	0.5624	1.0151	1.0800
θ	Ω_S	A_{MIN}	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5	L_6	C_6	L_7

「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

「θ=30.0」「Ωs=2.0000」「Amin=84.13」より、

マクロ 「LCn7Atp0p01Xs2p0Amin84」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3537*LS; L2=0.0552*LS;C1=0.9546*CS; L3=1.2044*LS;L4=0.1888*LS;C2=1.2671*CS;L5=1.4297*LS;L6=0.1090*LS;C3=1.4787*CS;L7=1.2953*LS;

「θ=42.0」「Ωs=1.4945」「Amin=62.14」より、

マクロ 「LCn7Atp0p01Xs1p49Amin62」

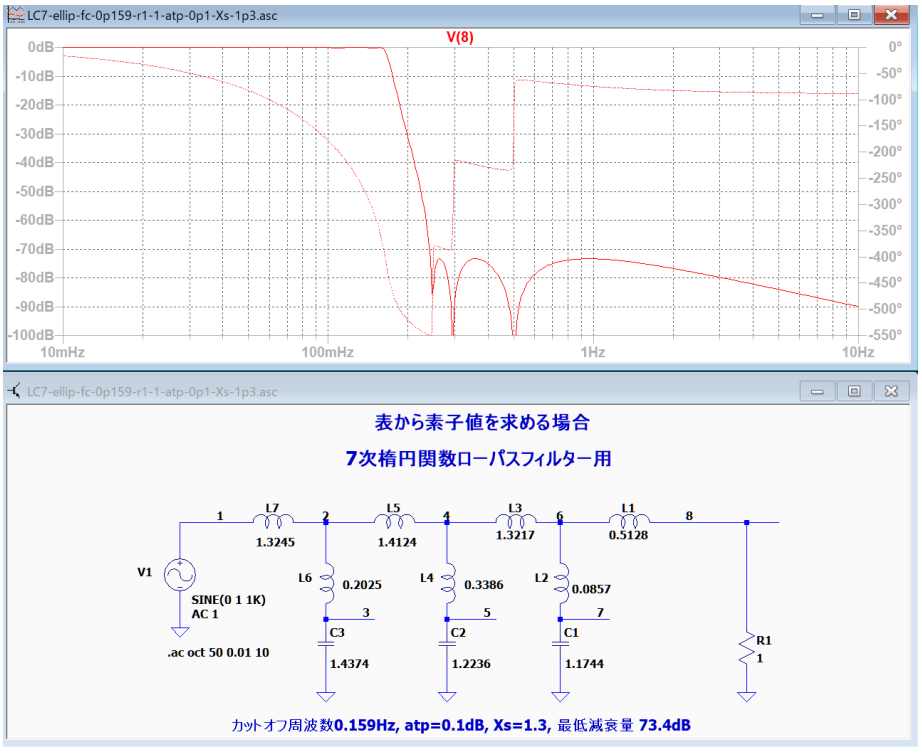
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2997*LS; L2=0.1199*LS;C1=0.8836*CS; L3=1.0413*LS;L4=0.4292*LS;C2=1.0046*CS;L5=1.2431*LS;L6=0.2287*LS;C3=1.3304*CS;L7=1.2275*LS;

「θ=50.0」「Ωs=1.3054」「Amin=50.11」より、

マクロ 「LCn7Atp0p01Xs1p30Amin50」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2471*LS; L2=0.1882*LS;C1=0.8175*CS; L3=0.7999*LS;L4=0.7220*LS;C2=0.7869*CS;L5=1.0948*LS;L6=0.3462*LS;C3=1.2050*CS;L7=1.1691*LS;

LC7-ellip-fc-0p159-r1-1-atp-0p1-Xs-1p3.asc



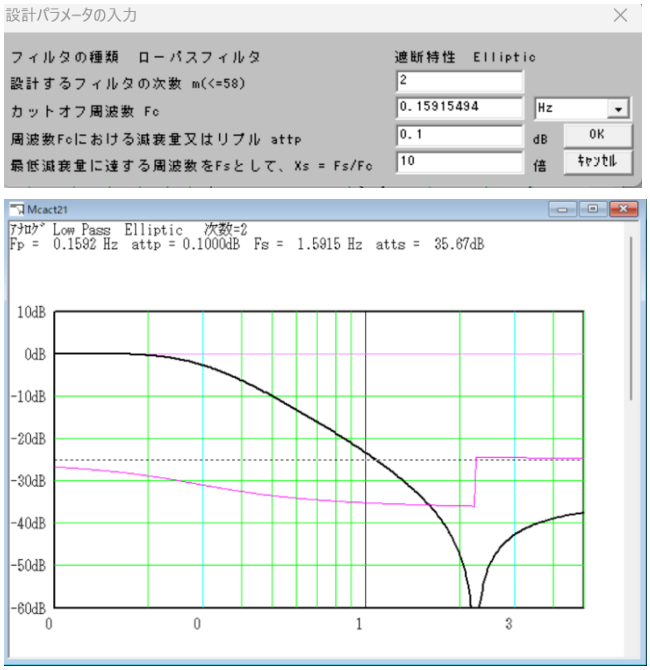
「電卓プログラム Dt.exe」用のマクロを作成する

表を使ってフィルターの素子値を求める

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

「LtAct」の入力画面でカットオフ周波数を $Fc = \frac{1}{2 \cdot \pi} = 0.15915494$ として、任意のリプル値 atp(dB)と Xs の値を設定して伝達関数の係数を出力して、「２次の LC フィルタの設計」のマクロで素子値を計算すると表を作ることが出来る。
この表を使ってマクロを作成すると、入力用のマクロに伝達関数の係数を入力する必要がなくなるので便利に使えそうだ。幾つかの表を作ってみる。

「２次の LC フィルタの設計」の利用



Fc=0.1592 Ha, Atp=0.1dB, Xs=10 の場合の伝達関数の係数は、

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Elliptic　次数=2

Fp =　0.1592 Hz　attp = 0.1000dB　Fs =　1.5915 Hz　atts =　35.67dB　　n

Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
1	2.3523	3.3219	16.4607m	0	3.2839

マクロ「lc2in1khz」の内容を変更して実行する。

f=0.15915494;Ro=1;Xa=3.3219;Xb=2.3523;Xc=3.2839;Xd=16.4607 m;$LC2Cal

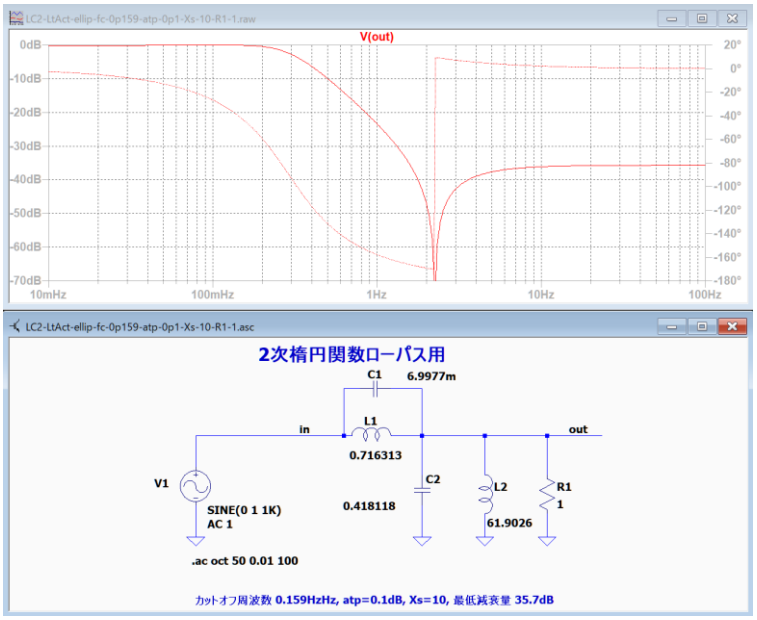
計算結果

L1= 0.716313, L2= 61.9026, C1= 6.9977m, C2= 0.418118

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

LC2-LtAct-ellip-fc-0p159-atp-0p1-Xs-10-R1-1.asc



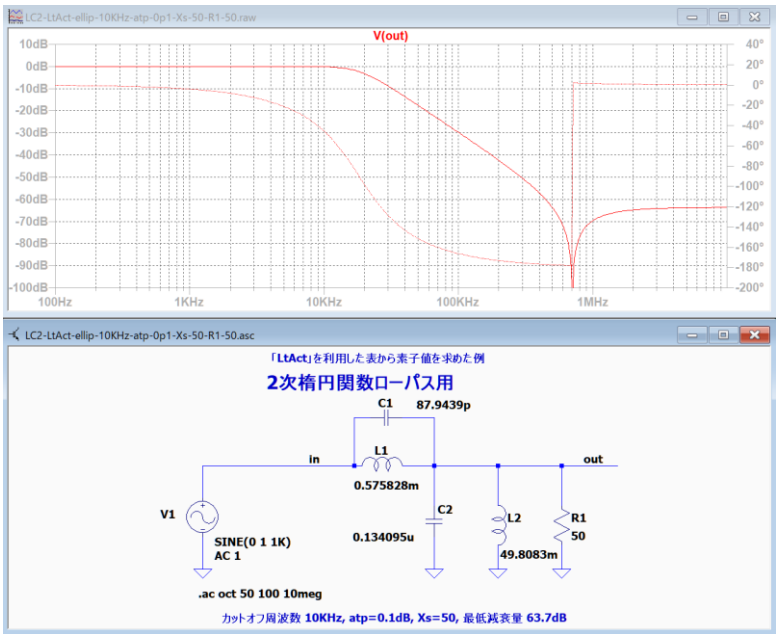
計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

「ActLCn2Atp0p1Xs10Amin35」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.716313*LS;L2=61.9026*LS;C1=6.9977 m *CS;C2=0.418118*CS;

カットオフ周波数 10KHz で負荷抵抗が 50 のフィルタの素子値を計算する。

LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-50-R1-50.asc



「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

Fc=0.1592 Ha, Atp=0.1dB, Xs=30 の場合の伝達関数の係数は、

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Elliptic　次数=2

Fp =　0.1592 Hz　attp = 0.1000dB　Fs =　4.7760 Hz　atts =　54.79dB

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	2.3708	3.3168	1.8211m	0	3.2789

マクロ「lc2in1khz」の内容を変更して実行する。

f=0.15915494;Ro=1;Xa=3.3168;Xb=2.3708;Xc=3.2789;Xd=1.8211 m;$LC2Cal

計算結果

L1= 0.723047, L2= 62.5541, C1= 0.768137m, C2= 0.42103

計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

「ActLCn2Atp0p1Xs30Amin54」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.723047*LS;L2= 62.5541*LS;C1= 0.768137 m*CS;C2=0.42103*CS;

Fc=0.1592 Ha, Atp=0.1dB, Xs=50 の場合の伝達関数の係数は、

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass　Elliptic　次数=2

Fp =　0.1592 Hz　attp = 0.1000dB　Fs =　7.9600 Hz　atts =　63.67dB

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	2.3722	3.3162	0.6554m	0	3.2783

マクロ「lc2in1khz」の内容を変更して実行する。

f=0.15915494;Ro=1;Xa=3.3162;Xb=2.3722;Xc=3.2783;Xd=0.6554 m;$LC2Cal

計算結果

L1= 0.723607, L2= 62.591, C1= 0.276284m, C2= 0.421273

計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

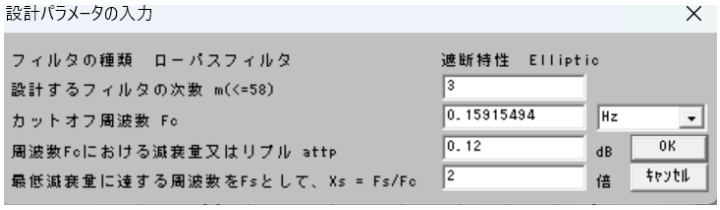
「ActLCn2Atp0p1Xs50Amin63」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.723607*LS;L2= 62.591*LS;C1=0.276284 m*CS;C2=0.421273*CS;

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

「３次の LC フィルタの設計」の利用



リプルが 0.12dB, Xs=2 のフィルタを設計する。

Fp =　0.1592 Hz　attp = 0.1200dB　Fs =　0.3183 Hz　atts =　24.81dB

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

１次式

P0 =　1.0620　P1 =　0　P2 =　1.0620

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	0.7400	1.5621	0.3031	0	1.5621

入力マクロ LC3in を変更して実行する。

Ro=1;P0=1.0620;Pn0=0.7400;Pn1=1.5621;Pn2=0.3031;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal

計算結果は、

L1= 1.0475212, L2= 0.22781374, L3= 0.36781971, C1= 0.85172069

計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

「ActLCn3Atp0p12Xs2Amin24」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.0475212*LS;L2=0.22781374*LS;L3=0.36781971*LS;C1= 0.85172069 *CS;

カットオフ周波数 10KHz で負荷抵抗が 50 のフィルタの素子値を計算する。

Fc=10 k;r1=50;$ ActLCn3Atp0p12Xs2Amin24;

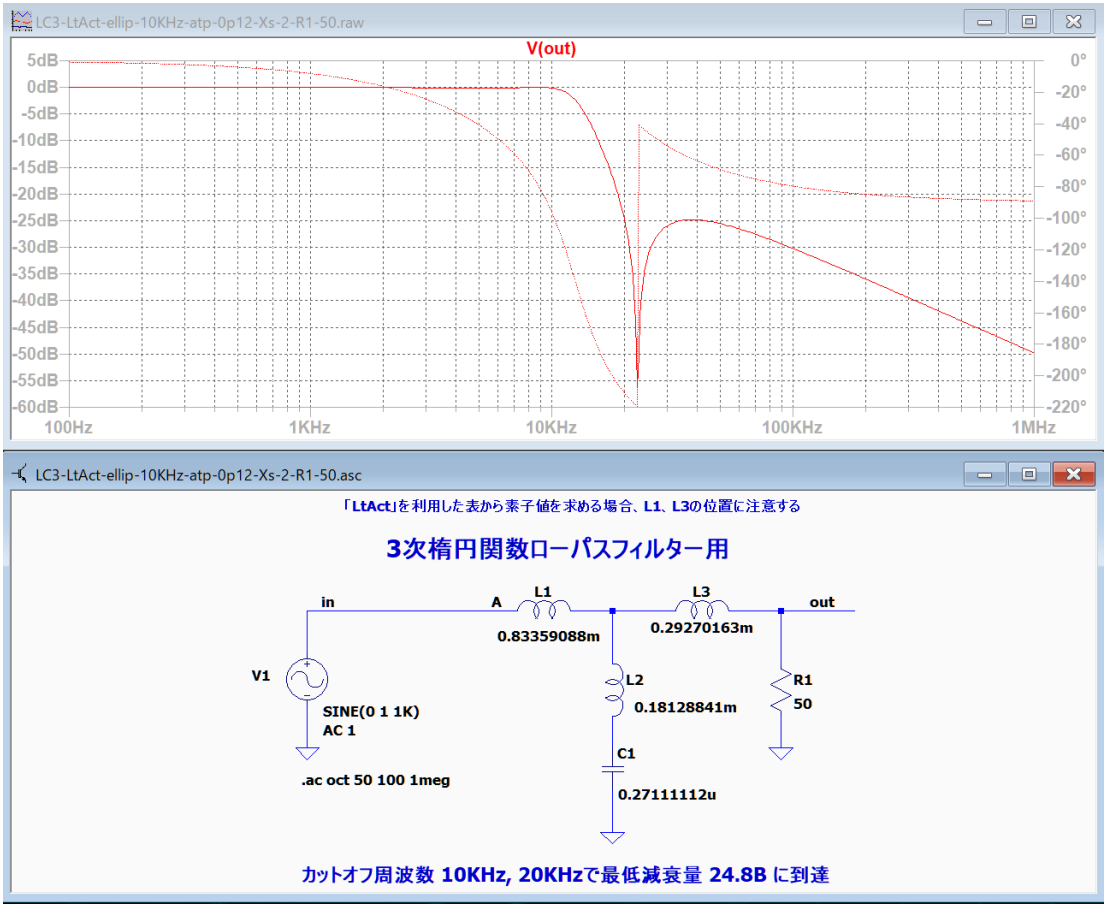
素子値を計算して回路図に入力する。

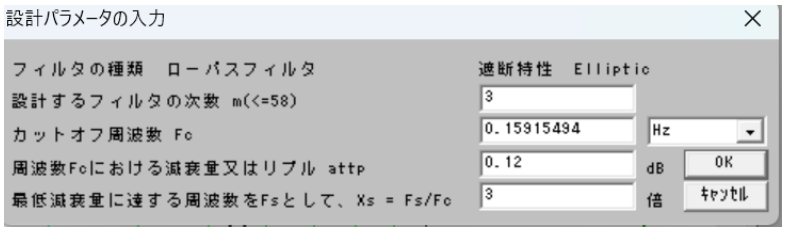
「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

カットオフ周波数 10KHz、負荷抵抗 50 の場合、

LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-2-R1-50.asc





リプルが 0.12dB, Xs=3 のフィルタを設計する。

Fp =　0.1592 Hz　attp = 0.1200dB　Fs =　0.4775 Hz　atts =　36.43dB

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

1 次式

P0 =　0.9800　P1 =　0　P2 =　0.9800

2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	0.8481	1.5921	0.1346	0	1.5921

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

入力マクロ LC3in を変更して実行する。

Ro=1;P0=0.9800;Pn0=0.8481;Pn1=1.5921;Pn2=0.1346;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal

計算結果は、

L1= 1.084325143, L2= 84.324865m, L3= 0.46877569, C1= 1.0025801

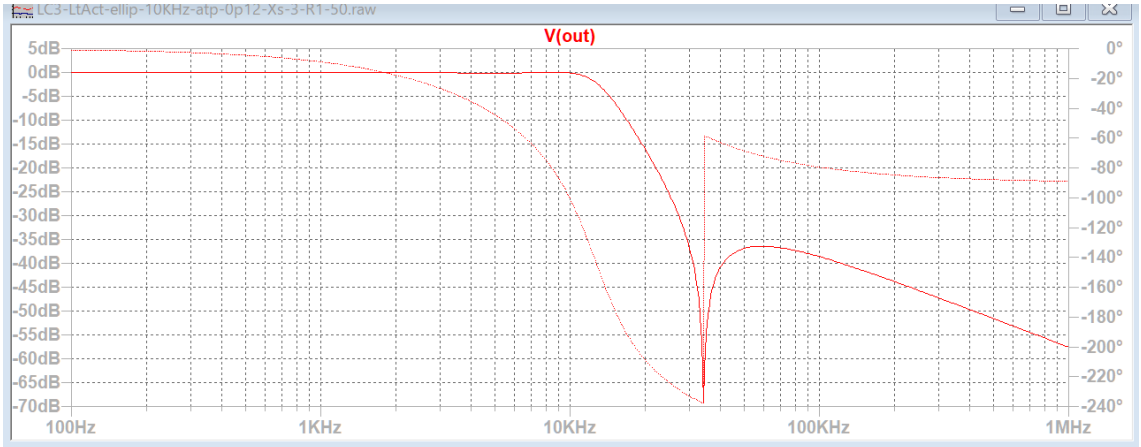
計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

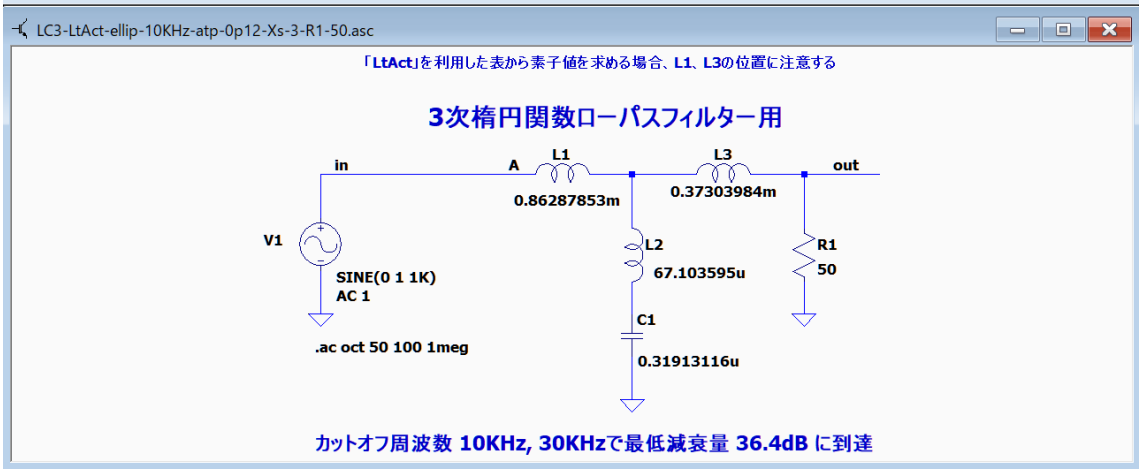
「ActLCn3Atp0p12Xs3Amin36」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.084325143*LS;L2=84.324865m*LS;L3=0.46877569*LS;C1=1.0025801 *CS;

カットオフ周波数 10KHz、負荷抵抗 50 の場合、

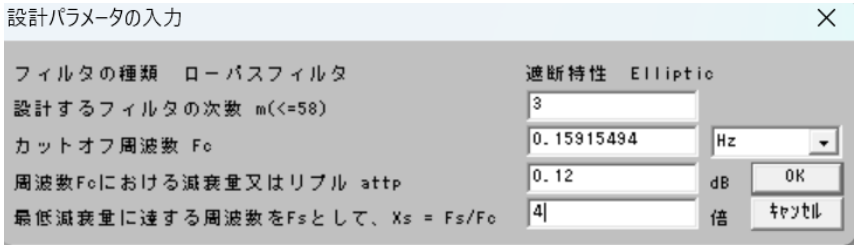
LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-3-R1-50.asc





「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める



リプルが 0.12dB, Xs=4 のフィルタを設計する。

Fp =　0.1592 Hz　attp = 0.1200dB　Fs =　0.6366 Hz　atts =　44.26dB

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

１次式

P0 =　0.9559　P1 =　0　P2 =　0.9559

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	0.8836	1.6006	75.6297m	0	1.6006

入力マクロ LC3in を変更して実行する。

Ro=1;P0=0.9800;Pn0=0.8836;Pn1=1.6006;Pn2=75.6297m;Xa=Pn1*P0;Xd=Xa;Xb=Pn1+Pn0*P0;Xc=Pn0+P0;Xe=Pn2*P0;$LC3Cal

計算結果は、

L1= 1.0787585, L2= 44.680204m, L3= 0.49369261, C1= 1.0575342

計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

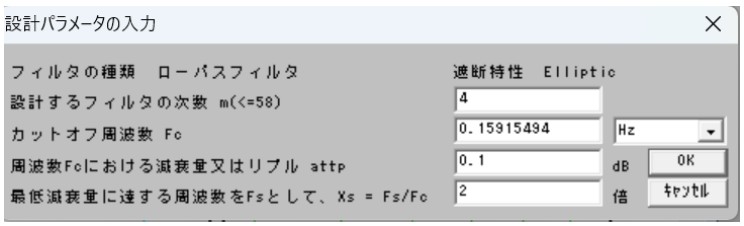
「ActLCn3Atp0p12Xs4Amin44」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.0787585*LS;L2=44.680204m*LS;L3=0.49369261*LS;C1=1.0575342 *CS;

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

「４次の LC フィルタの設計 2」の利用



リプルが 0.1dB, Xs=2 のフィルタを設計する。

Fp =　0.1592 Hz　attp = 0.1000dB　Fs =　0.3183 Hz　atts =　41.45dB

++++++++++　伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値　++++++++++

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	0.4325	1.2941	92.0071m	0	2.2291
2	1.3409	0.7364	92.0071m	0	0.4226

入力用マクロ　LC42in を変更して実行する。

r1=1;Pn10=0.4325;Pn11=1.2941;Pn12=92.0071
m;Pn14=2.2291;Pn20=1.3409;Pn21=0.7364;Pn22=92.0071 m;Pn24=
0.4226;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn
20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

計算結果は、

L1= 187.427, L2= 1.0448, L3= 1.13536, L4= 0.21996

C1= 0.559115, C2= 4.77349m, C3= 1.13014

計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

「ActLCn4Atp0p1Xs2Amin41」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=187.427*LS;L2=1.0448*LS;L3=1.13536*LS;L4
=0.21996*LS;C1= 0.559115 *CS;C2=4.77349 m *CS;C3=1.13014 *CS;

カットオフ周波数 1KHz で負荷抵抗が 50 のフィルタの素子値を計算する。

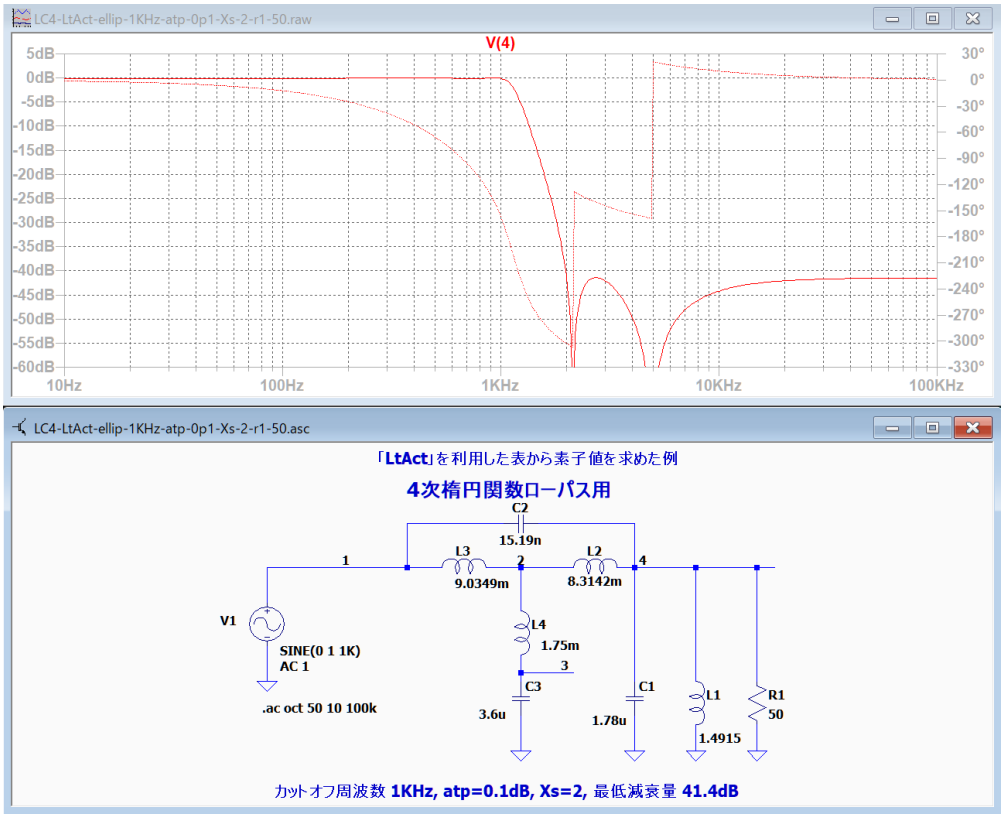
Fc=1 k;r1=50;$ ActLCn4Atp0p1Xs2Amin41

素子値を計算して回路図に入力する。

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

LC4-LtAct-ellip-1KHz-atp-0p1-Xs-2-r1-50.asc



次に、リプルが 0.1dB, Xs=3 のフィルタを設計する。

Fp = 0.1592 Hz attp = 0.1000dB Fs = 0.4776 Hz atts = 56.95dB

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	0.4875	1.3159	37.6838m	0	2.2047
2	1.3037	0.6681	37.6838m	0	0.3942

入力用マクロ LC42in を変更して実行する。

r1=1;Pn10=0.4875;Pn11=1.3159;Pn12=37.6838

m;Pn14=2.2047;Pn20=1.3037;Pn21=0.6681;Pn22=37.6838 m;Pn24=

0.3942;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn11;n3=Pn

20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

計算結果は、

L1= 202.905, L2= 1.13832, L3= 1.21038, L4= 84.798m

C1= 0.557492, C2= 0.792803m, C3= 1.30694

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

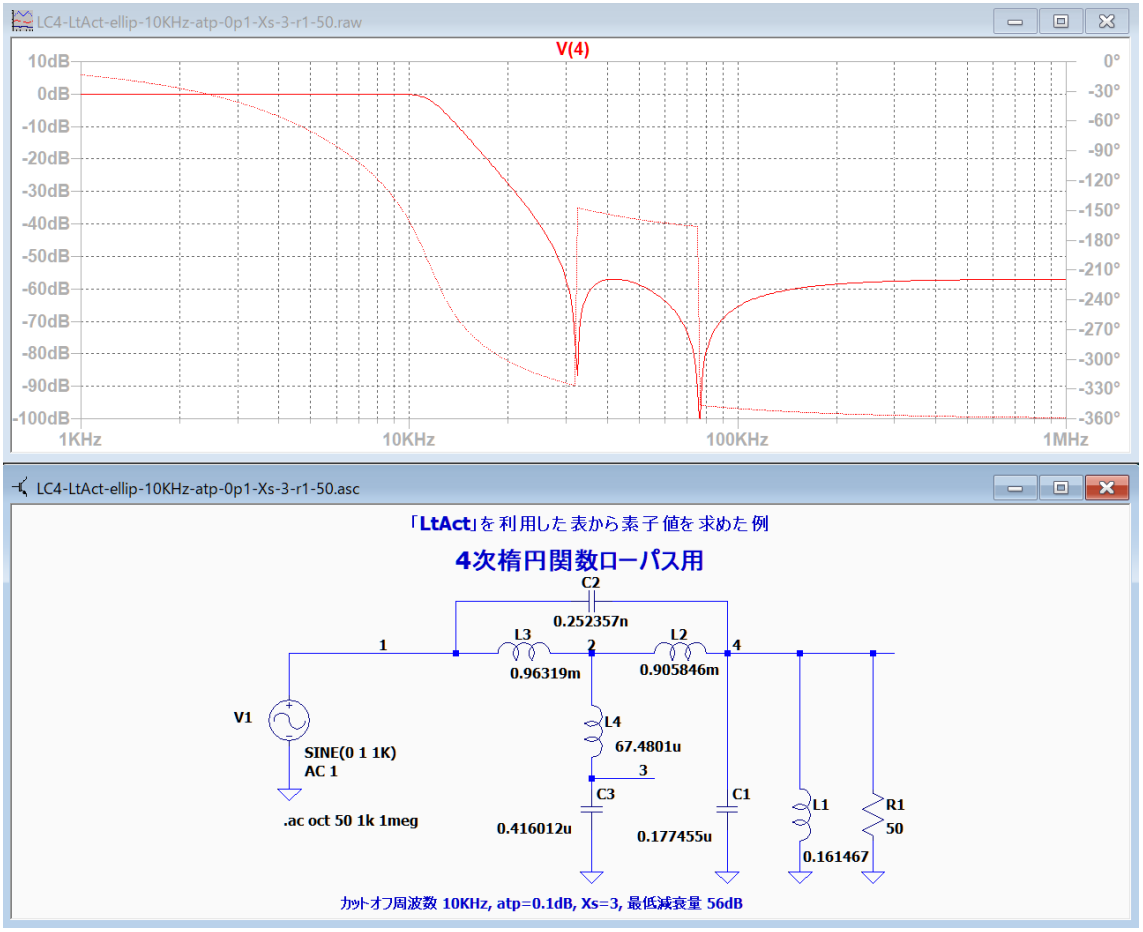
計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

「ActLCn4Atp0p1Xs3Amin56」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=202.905*LS;L2=1.13832*LS;L3=1.21038*LS;L4=84.798 m*LS;C1=0.557492 *CS;C2=0.792803 m*CS;C3=1.30694 *CS;

カットオフ周波数 10KHz, atp=0.1dB, Xs=3 の場合の例

LC4-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-3-r1-50.asc



次に、リプルが 0.1dB, Xs=4 のフィルタを設計する。

Fp = 0.1592 Hz attp = 0.1000dB Fs = 0.6368 Hz atts = 67.40dB

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=4

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	0.5057	1.3226	20.6497m	0	2.1963
2	1.2912	0.6476	20.6497m	0	0.3855

「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

表を使ってフィルターの素子値を求める

入力用マクロ　LC42in を変更して実行する。

r1=1;Pn10=0.5057;Pn11=1.3226;Pn12=20.6497

m;Pn14=2.1963;Pn20=1.2912;Pn21=0.6476;Pn22=20.6497

m;Pn24=0.3855;n0=Pn11*Pn21;n1=Pn10*Pn21+Pn11*Pn20;n2=Pn21+Pn10*Pn20+Pn1

1;n3=Pn20+Pn10;d0=Pn14*Pn24;d2=Pn12*Pn24+Pn14*Pn22;d4=Pn12*Pn22;$LC42cal

計算結果は、

L1= 206.788, L2= 1.16858, L3= 1.23522, L4= 45.6661m

C1= 0.556277, C2= 0.237303m, C3= 1.36639

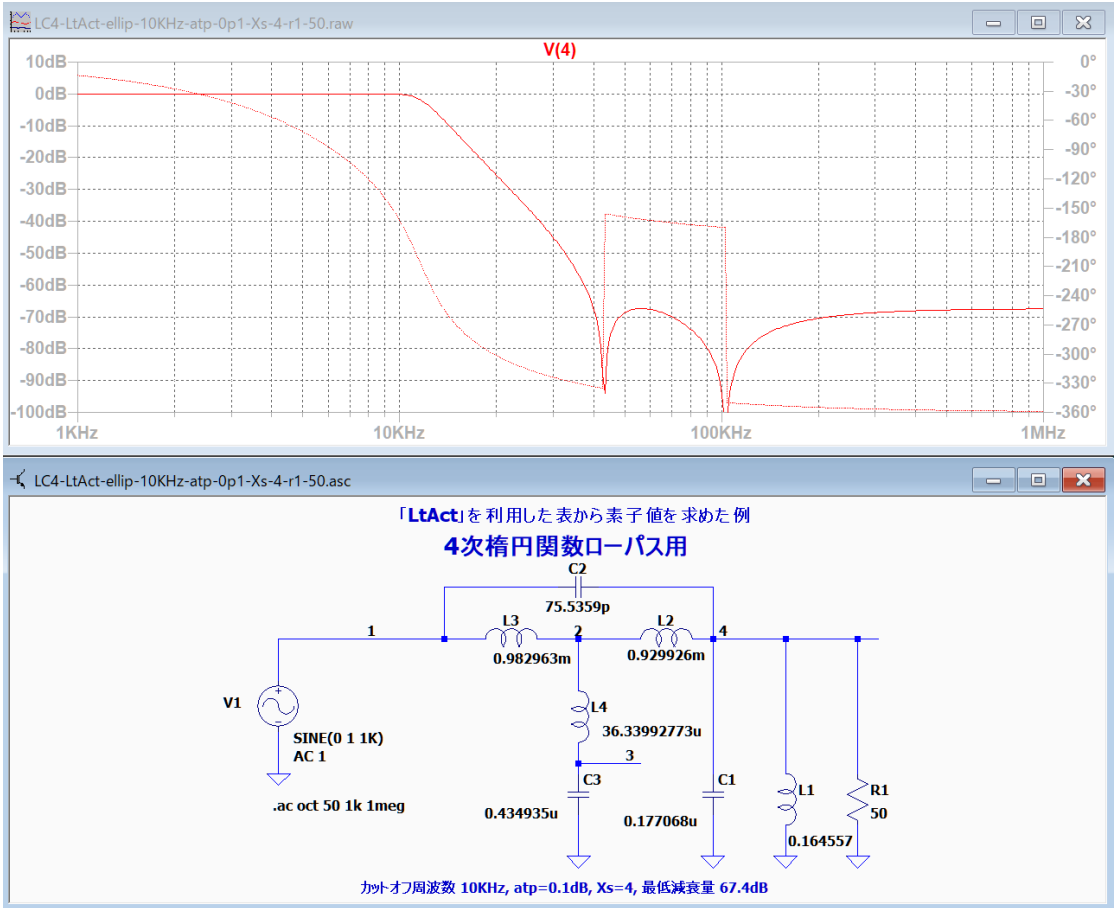
計算結果の素子値を使って、表を使うマクロを作成する。

「ActLCn4Atp0p1Xs4Amin67」

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=206.788*LS;L2=1.16858*LS;L3=1.235228*LS;

L4=45.6661 m*LS;C1=0.556277 *CS;C2=0.237303 m*CS;C3=1.36639 *CS;

LC4-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-4-r1-50.asc



「LtAct」で求めた伝達関数の係数を利用して素子値を求める

フィルターの素子値を求める

3 次フィルターの素子値を求める

素子値を計算するには、電卓ソフトの入力ラインに fc=1 k;r1=50;
と入力してから、計算用マクロ名を入力して「Return」をクリックして、
「L1/m」や「C1/u」と入力すると素子値が表示されます。

次の 3 個のマクロを作成しました。

「LCn3Atp0p09Xs2p0Amin23」

カットオフ周波数の 2 倍の周波数で最低減衰量約 23dB に達する 3 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.09dB 程度です。

「LCn3Atp0p09Xs3p07Amin36」

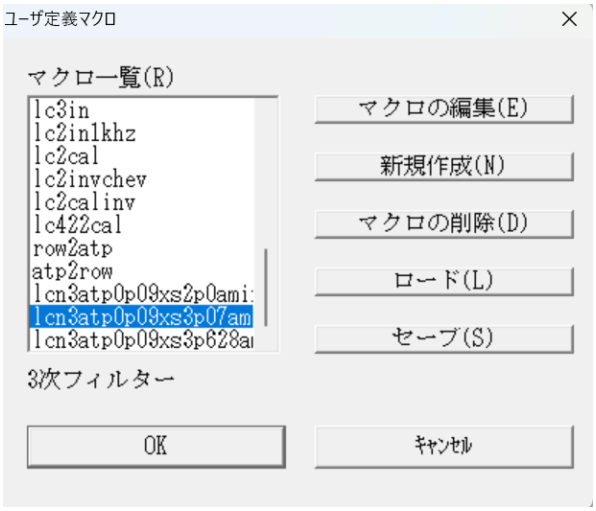
カットオフ周波数の 3.07 倍の周波数で最低減衰量約 36dB に達する 3 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.09dB 程度です。

「LCn3Atp0p09Xs3p628Amin40」

カットオフ周波数の 3.628 倍の周波数で最低減衰量約 40dB に達する 3 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.09dB 程度です。

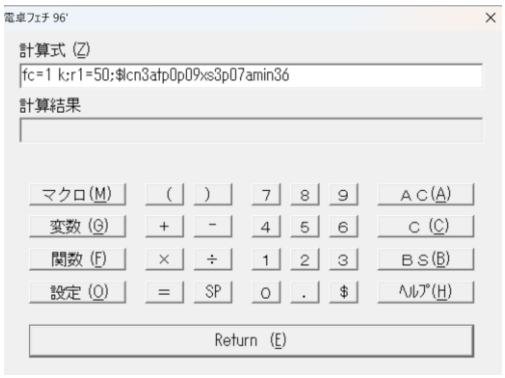
「LCn3Atp0p09Xs3p07Amin36」 を利用して、カットオフ周波数 1 KHz, R1=50 のフィルタの素子値を計算して周波数特性を確認します。

電卓の入力行に、「fc=1 k;r1=50;」と入力して、「マクロ」をクリックします。

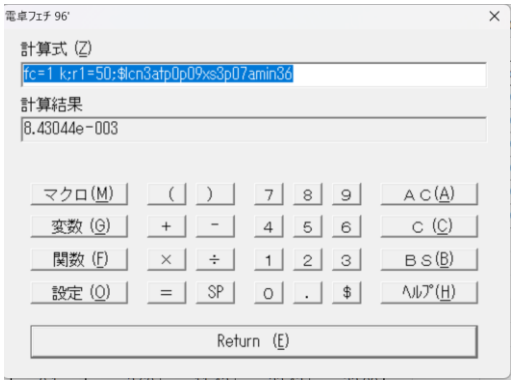


マクロを選択して「OK」をクリックすると、次の画面になります

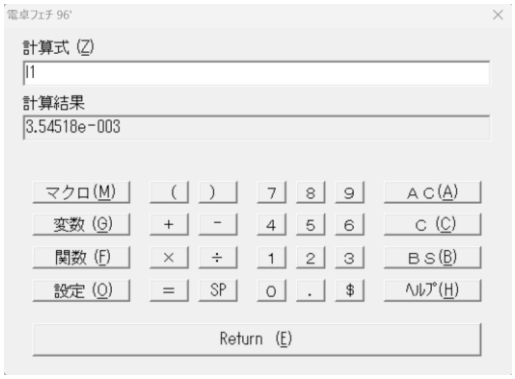
表を使ってフィルターの素子値を求める



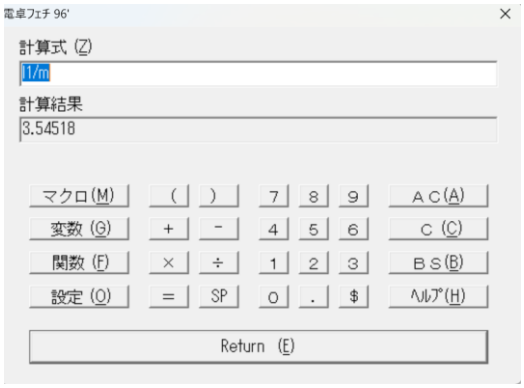
「Return」をクリックすると、素子値が計算されます。



「l1」と入力すると、L1 の素子値が表示されます。



「l1/m」と入力すると、L1 の素子値が m 単位で表示されます。

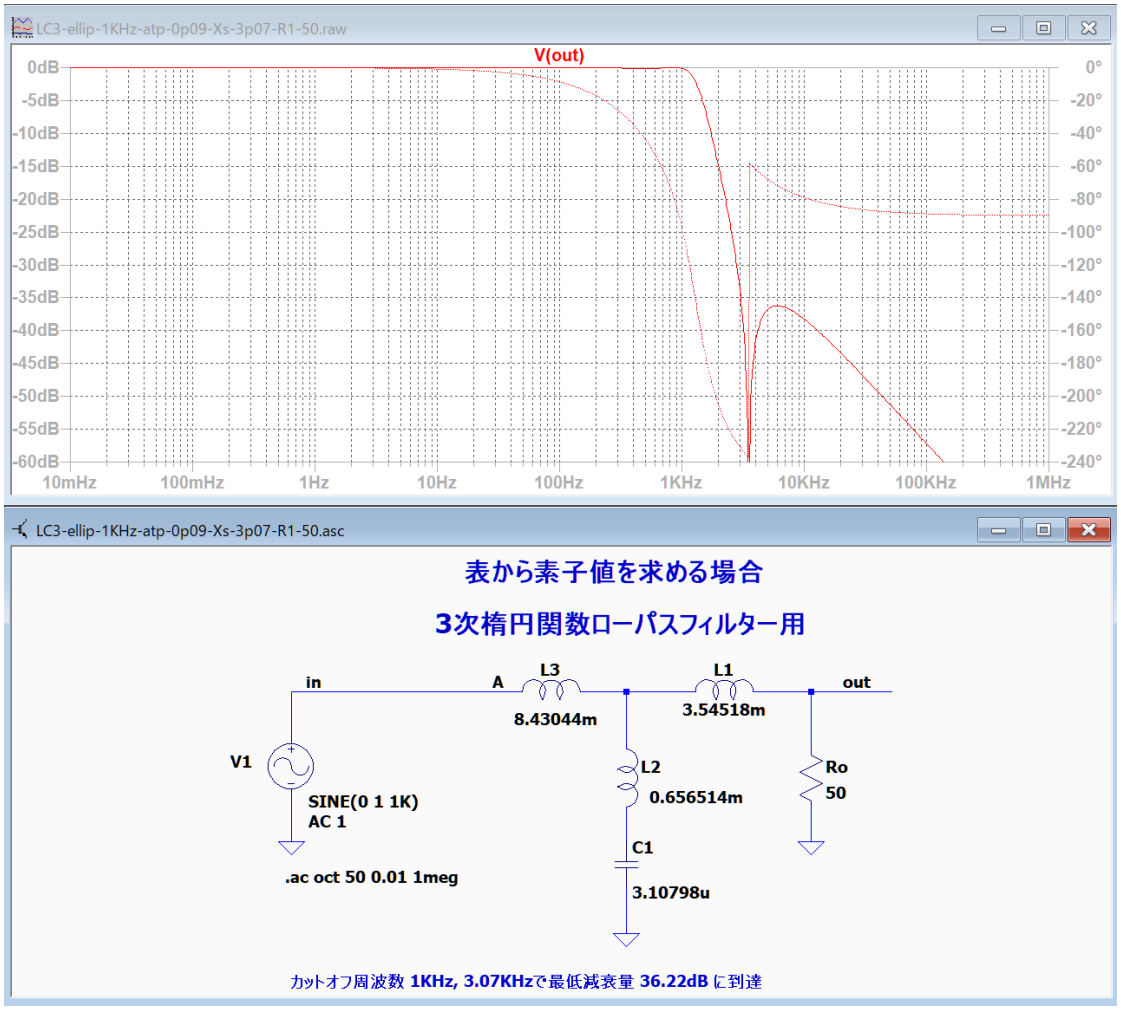


同様にして、L2, L3, C1 の値を確認して、回路図に入力します。

表を使ってフィルターの素子値を求める

L1=3.545m, L2=0.6565m, L3=8.43m, C1=3.108u

LC3-ellip-1KHz-atp-0p09-Xs-3p07-R1-50.asc



5 次フィルターの素子値を求める

次の 3 個のマクロを作成しました。

「LCn5Atp0p01Xs2p559Amin61」

カットオフ周波数の 2.559 倍の周波数で最低減衰量約 61dB に達する 5 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.01dB 程度です。

「LCn5Atp0p01Xs2p0Amin49」

カットオフ周波数の 2.0 倍の周波数で最低減衰量約 49dB に達する 5 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.01dB 程度です。

「LCn5Atp0p01Xs1p49Amin33」

カットオフ周波数の 1.49 倍の周波数で最低減衰量約 33dB に達する 5 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.01dB 程度です。

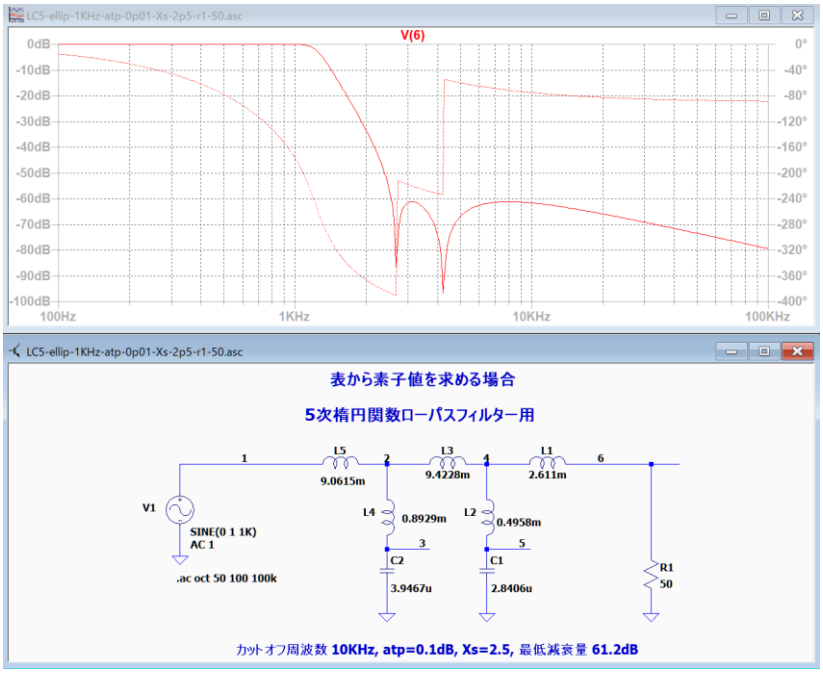
「LCn5Atp0p01Xs2p559Amin61」 を利用して、カットオフ周波数 1 KHz, R1=50 のフィルタの素子値を計算して周波数特性を確認します。

電卓の入力行に、「fc=1 k;r1=50;」と入力して、「マクロ」をクリックしてマクロを選択して、「OK」をクリックします。マクロを実行して、全ての素子値を回路図に入力します。

L1=2.611m, L2=0.4958m, L3=9.4228m, L4=0.8929m, L5= 9.0615m;

C1= 2.8406u, C2= 3.9467u

LC5-ellip-1KHz-atp-0p01-Xs-2p5-r1-50.asc



7 次フィルターの素子値を求める

次の 6 個のマクロを作成しました。

「LCn7Atp0p1Xs1p70Amin81」

カットオフ周波数の 1.7 倍の周波数で最低減衰量約 81dB に達する 7 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「LCn7Atp0p1Xs1p52Amin73」

カットオフ周波数の 1.52 倍の周波数で最低減衰量約 73dB に達する 7 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「LCn7Atp0p1Xs1p3Amin61」

カットオフ周波数の 1.3 倍の周波数で最低減衰量約 61dB に達する 7 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「LCn7Atp0p01Xs2p0Amin84」

カットオフ周波数の 2.0 倍の周波数で最低減衰量約 84dB に達する 7 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.01dB 程度です。

「LCn7Atp0p01Xs1p49Amin62」

カットオフ周波数の 1.49 倍の周波数で最低減衰量約 62dB に達する 7 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.01dB 程度です。

「LCn7Atp0p01Xs1p30Amin50」

カットオフ周波数の 1.3 倍の周波数で最低減衰量約 50dB に達する 7 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.01dB 程度です。

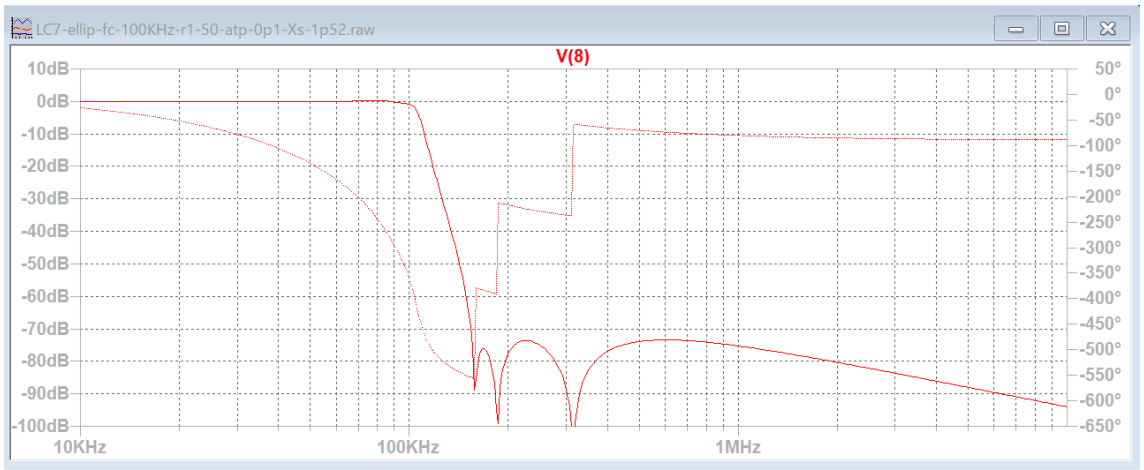
表を使ってフィルターの素子値を求める

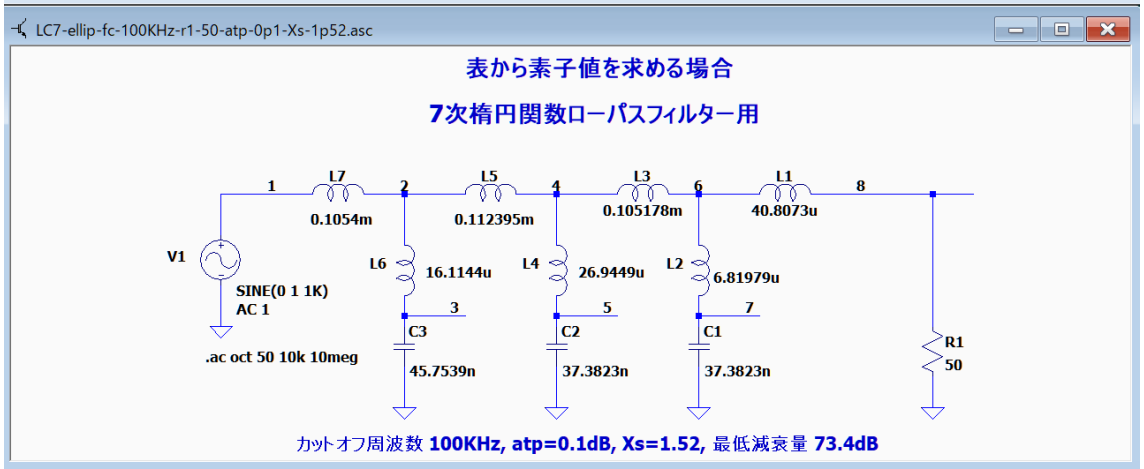
「LCn7Atp0p1Xs1p52Amin73」を利用して、カットオフ周波数 100KHz, R1=50 のフィルタの素子値を計算して周波数特性を確認します。

電卓の入力行に、「fc=100 k;r1=50;」と入力して、「マクロ」をクリックしてマクロを選択して、「OK」をクリックします。マクロを実行して、全ての素子値を回路図に入力します。

L1=40.8073u L2=6.81979u, L3=0.105178m, L4=26.9449u, L5=0.112395m,
L6=16.1144u, L7=0.1054m, C1=37.3823n, C2=37.3823n, C3=45.7539n

LC7-ellip-fc-100KHz-r1-50-atp-0p1-Xs-1p52.asc





2 次フィルターの素子値を求める

「ActLCn2Atp0p1Xs10Amin35」

カットオフ周波数の 10 倍の周波数で最低減衰量約 35dB に達する 2 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「ActLCn2Atp0p1Xs30Amin54」

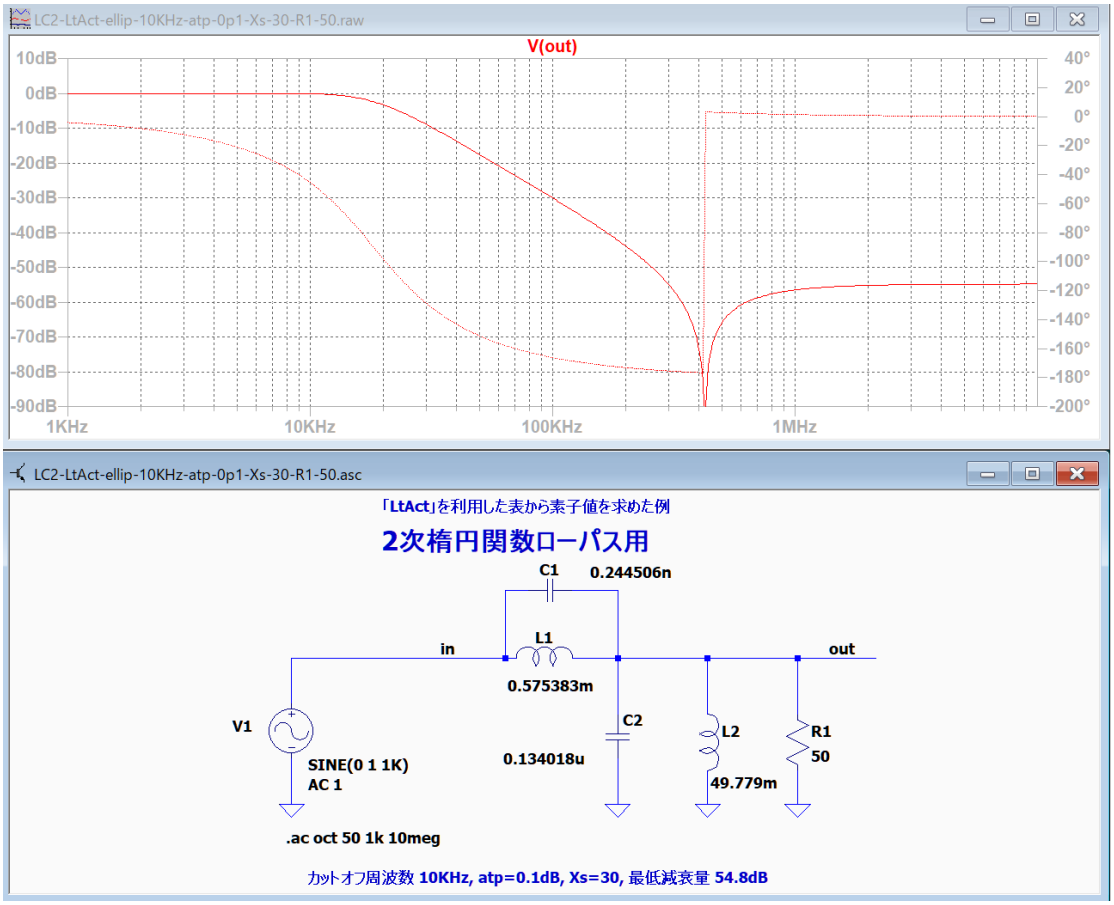
カットオフ周波数の 30 倍の周波数で最低減衰量約 54dB に達する 2 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「ActLCn2Atp0p1Xs50Amin63」

カットオフ周波数の 50 倍の周波数で最低減衰量約 63dB に達する 2 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「ActLCn2Atp0p1Xs30Amin54」で作成した回路図の例

LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-30-R1-50.asc



3 次フィルターの素子値を求める

「ActLCn3Atp0p12Xs2Amin24」

カットオフ周波数の 2 倍の周波数で最低減衰量約 24dB に達する 3 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.12dB 程度です。

「ActLCn3Atp0p12Xs3Amin36」

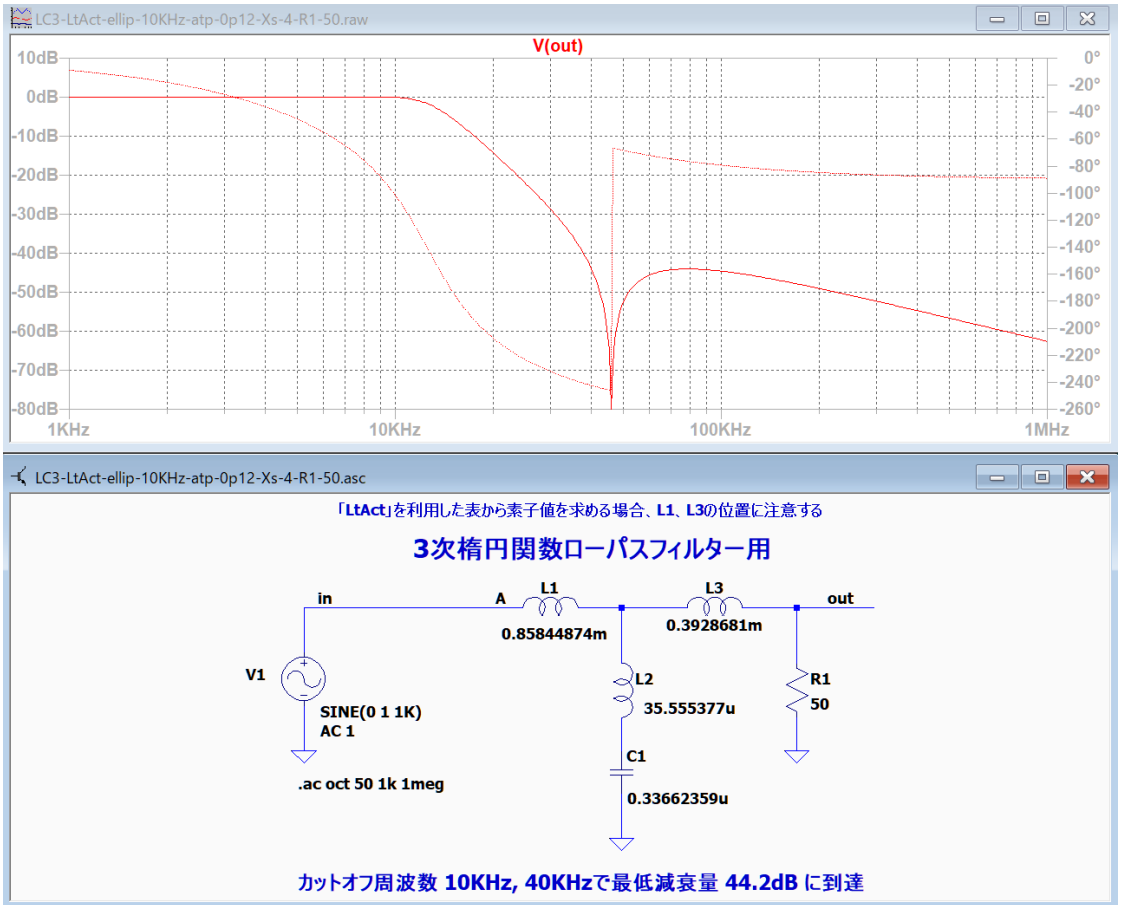
カットオフ周波数の 3 倍の周波数で最低減衰量約 36dB に達する 3 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.12dB 程度です。

「ActLCn3Atp0p12Xs4Amin44」

カットオフ周波数の 4 倍の周波数で最低減衰量約 44dB に達する 3 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.12dB 程度です。

「ActLCn3Atp0p12Xs4Amin44」で作成した回路図の例

LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-4-R1-50.asc



4 次フィルターの素子値を求める

「ActLCn4Atp0p1Xs2Amin41」

カットオフ周波数の 2 倍の周波数で最低減衰量約 41dB に達する 2 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「ActLCn4Atp0p1Xs3Amin56」

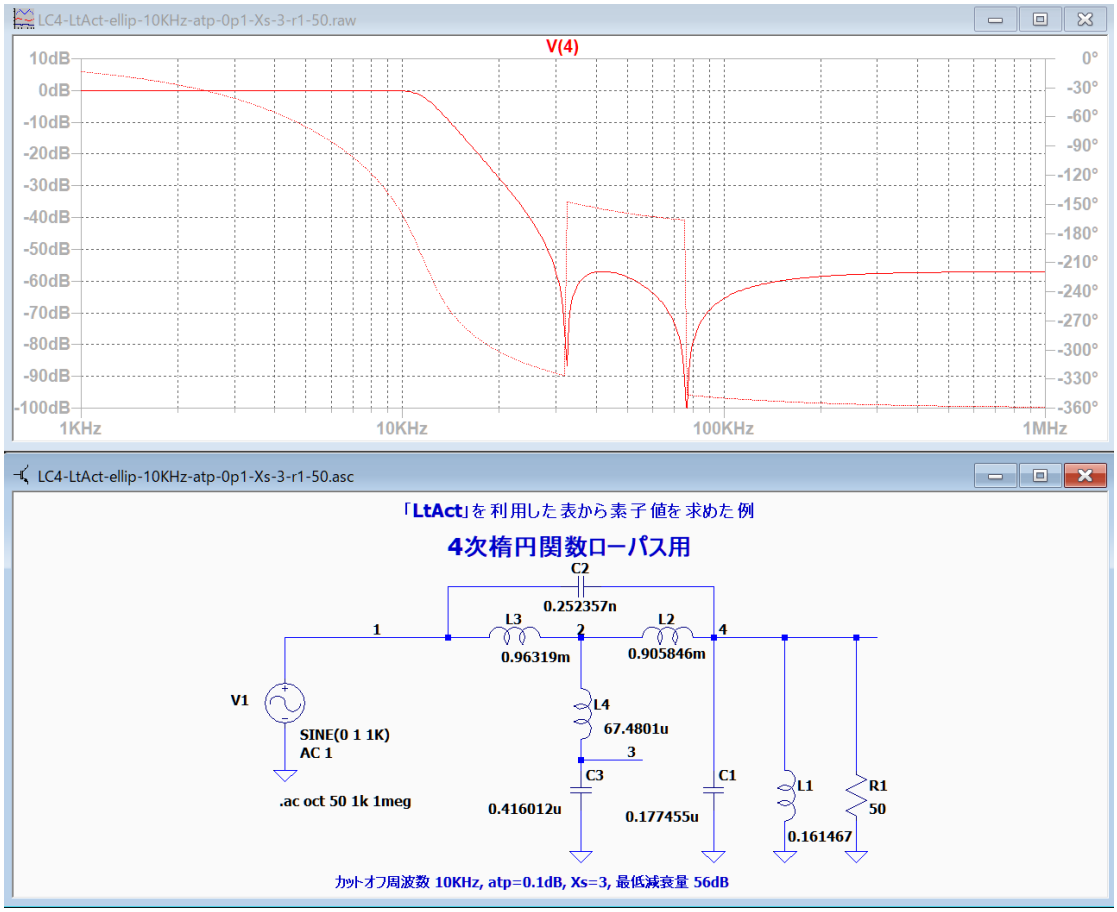
カットオフ周波数の 3 倍の周波数で最低減衰量約 56dB に達する 2 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「ActLCn4Atp0p1Xs4Amin67」

カットオフ周波数の 4 倍の周波数で最低減衰量約 67dB に達する 2 次フィルターの素子値を計算します。リプルは 0.1dB 程度です。

「ActLCn4Atp0p1Xs3Amin56」で作成した回路図の例

LC4-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-3-r1-50.asc



電卓用のマクロを増やして、整理する

マクロの個数が増えると「マクロ一覧」から選択するのが困難になるので、フィルターの次数と通過域のリプルごとに 10 個程度のマクロを保存する。

3 次 ρ =1% (atp=0.0004dB)

ファイル名　「LC3 次-リプル 0p0004dB」

このファイルには次の 5 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3
1	57.2987	89.57	0.17570	0.00050	0. 45498	0. 49841
3	19.1073	60.94	0.17212	0.00457	0.45002	0.49812
5	11.4737	47.62	0.16488	0.01296	0.44010	0.49763
10	5.7588	29.51	0.12942	0.05764	0.39384	0.49690
15	3.8637	18.91	0.06407	0.15903	0.31863	0.50268

「LCn3Atp0p0004Xs57Amin89」リプル 0.0004dB, Xs=57, Amin=89dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1757*LS;L2=0.0005*LS;C1=0.45498*CS;L3=0.49841*LS;

「LCn3Atp0p0004Xs19Amin60」リプル 0.0004dB, Xs=19, Amin=60dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.17212*LS;L2=0.00457*LS;C1=0.45002*CS;L3=0.49812*LS;

「LCn3Atp0p0004Xs11Amin47」リプル 0.0004dB, Xs=11, Amin=47dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.16488*LS;L2=0.01296*LS;C1=0.4401*CS;L3=0.49763*LS;

「LCn3Atp0p0004Xs5Amin29」リプル 0.0004dB, Xs=5, Amin=29dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.12942*LS;L2=0.05764*LS;C1=0.39384*CS;L3=0.4969*LS;

「LCn3Atp0p0004Xs3p8Amin18」リプル 0.0004dB, Xs=3.8, Amin=18dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=
0.06407*LS;L2=0.15903*LS;C1=0.31863*CS;L3=0.50268*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

3 次 ρ =5% (atp=0.0109dB)

ファイル名　「LC3 次-リプル 0p0109dB」

このファイルには次の 8 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3
1	57.2987	103.56	0.31960	0.0003	0.7733	0.8092
3	19.1073	74.93	0.31750	0.0027	0.7702	0.8087
5	11.4737	61.61	0.31320	0.0075	0.7639	0.8077
10	5.7588	43.49	0.29320	0.0309	0.7346	0.8035
15	3.8637	32.85	0.25890	0.0739	0.6860	0.7974
20	2.9238	25.24	0.20870	0.1440	0.6185	0.7914
25	2.3662	19.31	0.13990	0.2571	0.5337	0.7887
30	2.0000	14.47	0.04830	0.4463	0.4348	0.7947

「LCn3Atp0p0109Xs57Amin103」リプル 0.0109dB, Xs=57, Amin=103dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3196*LS;L2=0.0003*LS;C1=0.7733*CS;L3=0.8092*LS;

「LCn3Atp0p0109Xs19Amin74」リプル 0.0109dB, Xs=19, Amin=74dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3175*LS;L2=0.0027*LS;C1=0.7702*CS;L3=0.8087*LS;

「LCn3Atp0p0109Xs11Amin61」リプル 0.0109dB, Xs=11, Amin=61dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3132*LS;L2=0.0075*LS;C1=0.7639*CS;L3=0.8077*LS;

「LCn3Atp0p0109Xs5Amin43」リプル 0.0109dB, Xs=5, Amin=43dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2932*LS;L2=0.0309*LS;C1=0.7346*CS;L3=0.8035*LS;

「LCn3Atp0p0109Xs3p8Amin32」リプル 0.0109dB, Xs=3.8, Amin=32dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2589*LS;L2=0.0739*LS;C1=0.686*CS;L3=0.7974*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn3Atp0p0109Xs2p9Amin25」リプル 0.0109dB, Xs=2.9, Amin=25dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2087*LS;L2=0.144*LS;C1=0.6185*CS;L3=0.7914*LS;

「LCn3Atp0p0109Xs2p3Amin19」リプル 0.0109dB, Xs=2.3, Amin=19dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1399*LS;L2=0.2571*LS;C1=0.5337*CS;L3=0.7887*LS;

「LCn3Atp0p0109Xs2p0Amin14」リプル 0.0109dB, Xs=2.0, Amin=14dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.0483*LS;L2=0.4463*LS;C1=0.4348*CS;L3=0.7947*LS;

3 次 ρ=15% (atp=0.0988dB)
ファイル名 「LC3 次-リプル 0p0988dB」
このファイルには次の 11 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3
1	57.2987	113.19	0.5141	0.0002	1.0843	1.0878
3	19.1073	84.56	0.5126	0.0019	1.0819	1.0871
5	11.4737	71.24	0.5096	0.0053	1.0771	1.0858
10	5.7588	53.12	0.4955	0.0215	1.0546	1.0797
15	3.8637	42.47	0.4717	0.0498	1.0171	1.0698
20	2.9238	34.86	0.4379	0.0923	0.9648	1.0565
25	2.3662	28.89	0.3935	0.1528	0.8979	1.0407
30	2.0000	23.96	0.3376	0.2375	0.8171	1.0234
35	1.7434	19.73	0.2689	0.3575	0.7233	1.0064
40	1.5557	16.03	0.1857	0.5327	0.6184	0.9920
45	1.4142	12.75	0.0854	0.8013	0.5057	0.9842

「LCn3Atp0p0988Xs57Amin113」リプル 0.0988dB, Xs=57, Amin=113dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5141*LS;L2=0.0002*LS;C1=1.0843*CS;L3=1.0878*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn3Atp0p0988Xs19Amin84」リプル 0.0988dB, Xs=19, Amin=84dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5126*LS;L2=0.0019*LS;C1=1.0819*CS;L3=1.0871*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs11Amin71」リプル 0.0988dB, Xs=11, Amin=71dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5096*LS;L2=0.0053*LS;C1=1.0771*CS;L3=1.0858*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs5p7Amin53」リプル 0.0988dB, Xs=5.7, Amin=53dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4955*LS;L2=0.0215*LS;C1=1.0546*CS;L3=1.0797*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs3p8Amin42」リプル 0.0988dB, Xs=3.8, Amin=42dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4717*LS;L2=0.0498*LS;C1=1.0171*CS;L3=1.0698*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs2p9Amin34」リプル 0.0988dB, Xs=2.9, Amin=34dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4379*LS;L2=0.0923*LS;C1=0.9648*CS;L3=1.0565*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs2p3Amin28」リプル 0.0988dB, Xs=2.3, Amin=28dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3935*LS;L2=0.1528*LS;C1=0.8979*CS;L3=1.0407*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs2p0Amin23」リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=23dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3376*LS;L2=0.2375*LS;C1=0.8171*CS;L3=1.0234*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs1p7Amin19」リプル 0.0988dB, Xs=1.7, Amin=19dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2689*LS;L2=0.3575*LS;C1=0.7233*CS;L3=1.0064*LS;

「LCn3Atp0p0988Xs1p5Amin16」リプル 0.0988dB, Xs=1.5, Amin=16dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1857*LS;L2=0.5327*LS;C1=0.6184*CS;L3=0.992*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn3Atp0p0988Xs1p4Amin12」リプル 0.0988dB, Xs=1.4, Amin=12dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.0854*LS;L2=0.8013*LS;C1=0.5057*CS;L3=0.9842*LS;

3 次 ρ =25% (atp=0.28dB)

ファイル名 「LC3 次-リプル 0p28dB」

このファイルには次の 12 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3
1	57.2987	117.81	0.6725	0.0002	1.2347	1.2432
3	19.1073	89.18	0.6712	0.0017	1.2325	1.2425
5	11.4737	75.85	0.6685	0.0046	1.2282	1.2410
10	5.7588	57.74	0.6562	0.0188	1.2091	1.2339
15	3.8637	47.09	0.6354	0.0431	1.1746	1.2223
20	2.9238	39.48	0.6062	0.0790	1.1279	1.2064
25	2.3662	33.51	0.5681	0.1285	1.0680	1.1866
30	2.0000	28.57	0.5209	0.1950	0.9952	1.1634
35	1.7434	24.32	0.4639	0.2841	0.9101	1.1376
40	1.5557	20.58	0.3963	0.4050	0.8133	1.1103
45	1.4142	17.22	0.3172	0.5737	0.7062	1.0831
50	1.3054	14.16	0.2248	0.8194	0.5910	1.0585

「LCn3Atp0p28Xs57Amin117」リプル 0.28dB, Xs=57, Amin=117dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.6725*LS;L2=0.0002*LS;C1=1.2347*CS;L3=1.2432*LS;

「LCn3Atp0p28Xs19Amin89」リプル 0.28dB, Xs=19, Amin=89dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.6712*LS;L2=0.0017*LS;C1=1.2325*CS;L3=1.2425*LS;

「LCn3Atp0p28Xs11Amin75」リプル 0.28dB, Xs=11, Amin=75dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.6685*LS;L2=0.0046*LS;C1=1.2282*CS;L3=1.241*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn3Atp0p28Xs5p7Amin57」リプル 0.28dB, Xs=5.7, Amin=57dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.6562*LS;L2=0.0188*LS;C1=1.2091*CS;L3=1.2339*LS;

「LCn3Atp0p28Xs3p8Amin47」リプル 0.28dB, Xs=3.8, Amin=47dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.6354*LS;L2=0.0431*LS;C1=1.1746*CS;L3=1.2223*LS;

「LCn3Atp0p28Xs2p9Amin39」リプル 0.28dB, Xs=2.9, Amin=39dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.6062*LS;L2=0.079*LS;C1=1.1279*CS;L3=1.2064*LS;

「LCn3Atp0p28Xs2p3Amin33」リプル 0.28dB, Xs=2.3, Amin=33dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5681*LS;L2=0.1285*LS;C1=1.068*CS;L3=1.1866*LS;

「LCn3Atp0p28Xs2p0Amin28」リプル 0.28dB, Xs=2.0, Amin=28dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5209*LS;L2=0.195*LS;C1=0.9952*CS;L3=1.1634*LS;

「LCn3Atp0p28Xs1p7Amin24」リプル 0.28dB, Xs=1.7, Amin=24dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4639*LS;L2=0.2841*LS;C1=0.9101*CS;L3=1.1376*LS;

「LCn3Atp0p28Xs1p5Amin20」リプル 0.28dB, Xs=1.5, Amin=20dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3963*LS;L2=0.405*LS;C1=0.8133*CS;L3=1.1103*LS;

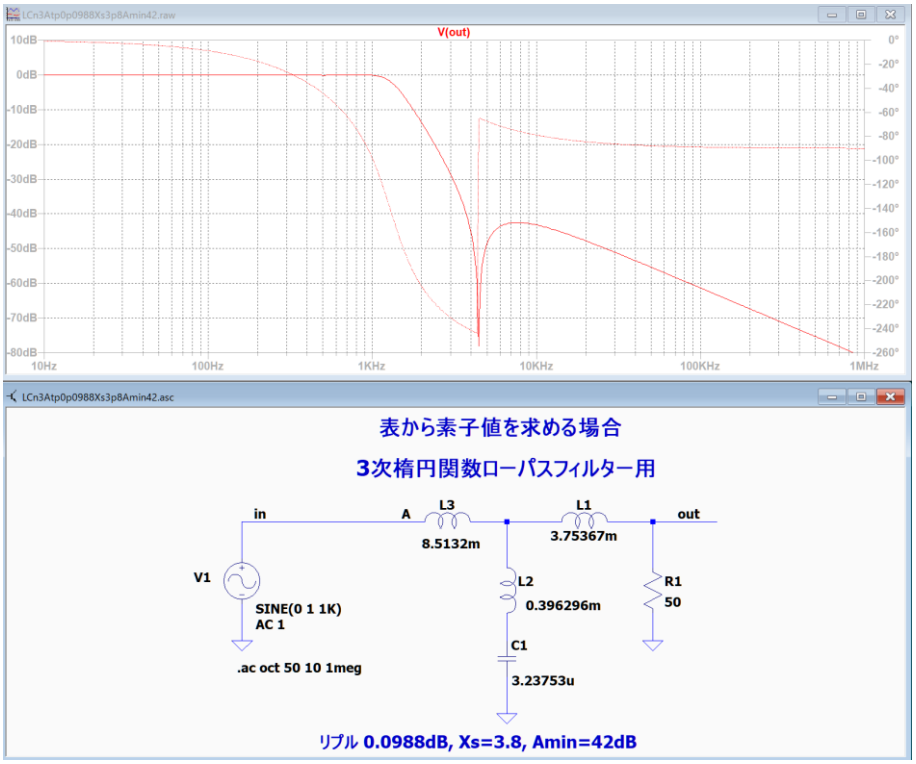
「LCn3Atp0p28Xs1p4Amin17」リプル 0.28dB, Xs=1.4, Amin=17dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3172*LS;L2=0.5737*LS;C1=0.7062*CS;L3=1.0831*LS;

「LCn3Atp0p28Xs1p3Amin14」リプル 0.28dB, Xs=1.3, Amin=14dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2248*LS;L2=0.8194*LS;C1=0.591*CS;L3=1.0585*LS;

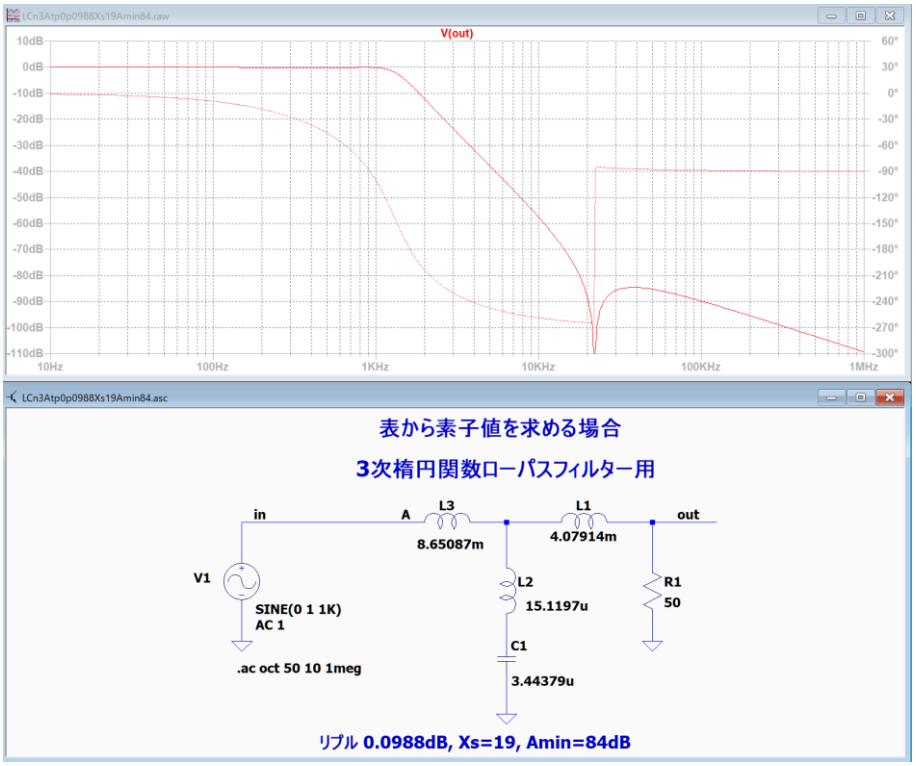
電卓用のマクロを増やして、整理する

3 次の作成例

LCn3Atp0p0988Xs3p8Amin42.asc



LCn3Atp0p0988Xs19Amin84.asc



電卓用のマクロを増やして、整理する

5 次 ρ =1% (atp=0.0004dB)

ファイル名　「LC5 次-リプル 0p0004dB」

このファイルには次の 8 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5
3	19.1073	136.26	0.2421	0.0014	0.6635	0.9477	0.0023	1.0852	0.9551
5	11.4737	114.05	0.2398	0.0040	0.6606	0.9442	0.0064	1.0707	0.9533
10	5.7588	83.87	0.2286	0.0163	0.6467	0.9283	0.0259	1.0542	0.9446
15	3.8637	66.12	0.2096	0.0380	0.6237	0.9023	0.0601	1.0116	0.9303
20	2.9238	53.43	0.1819	0.0712	0.5912	0.8668	0.1117	0.9524	0.9104
25	2.3662	43.47	0.1441	0.1196	0.5494	0.8231	0.1860	0.8766	0.8854
30	2.0000	35.23	0.0942	0.1899	0.4982	0.7728	0.2919	0.7848	0.8558
35	1.7434	28.14	0.0289	0.2944	0.4375	0.7185	0.4472	0.6773	0.8227

「LCn5Atp0p0004Xs19Amin136」リプル 0.0004dB, Xs=19, Amin=136dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2421*LS;L2=0.0014*LS;C1=0.6635*CS;L3=0.9477*LS;L4=0.0023*LS;C2=1.0852*CS;L5=0.9551*LS;

「LCn5Atp0p0004Xs11Amin114」リプル 0.0004dB, Xs=11, Amin=114dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2398*LS;L2=0.004*LS;C1=0.6606*CS;L3=0.9442*LS;L4=0.0064*LS;C2=1.0707*CS;L5=0.9533*LS;

「LCn5Atp0p0004Xs5p7Amin83」リプル 0.0004dB, Xs=5.7, Amin=83dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2286*LS;L2=0.0163*LS;C1=0.6467*CS;L3=0.9283*LS;L4=0.0259*LS;C2=1.0542*CS;L5=0.9446*LS;

「LCn5Atp0p0004Xs3p8Amin66」リプル 0.0004dB, Xs=3.8, Amin=66dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2096*LS;L2=0.038*LS;C1=0.6237*CS;L3=0.9023*LS;L4=0.0601*LS;C2=1.0116*CS;L5=0.9303*LS;

「LCn5Atp0p0004Xs2p9Amin53」リプル 0.0004dB, Xs=2.9, Amin=53dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1819*LS;L2=0.0712*LS;C1=0.5912*CS;L3=0.8668*LS;L4=0.1117*LS;C2=0.9524*CS;L5=0.9104*LS;

「LCn5Atp0p0004Xs2p3Amin43」リプル 0.0004dB, Xs=2.3, Amin=43dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1441*LS;L2=0.1196*LS;C1=0.5494*CS;L3=0.8231*LS;L4=0.186*LS;C2=0.8766*CS;L5=0.8854*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn5Atp0p0004Xs2p0Amin35」リプル 0.0004dB, Xs=2.0, Amin=35dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.0942*LS;L2=0.1899*LS;C1=0.4982*CS;L3=0.7728*LS;L4=0.2919*LS;C2=0.7848*CS;L5=0.8558*LS;

「LCn5Atp0p0004Xs1p7Amin28」リプル 0.0004dB, Xs=1.7, Amin=28dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.0289*LS;L2=0.2944*LS;C1=0.4375*CS;L3=0.7185*LS;L4=0.4472*LS;C2=0.6773*CS;L5=0.8227*LS;

5 次 ρ =5% (atp=0.0109dB)

ファイル名 「LC5 次-リプル 0p0109dB」

このファイルには次の 10 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5
3	19.1073	150.25	0.3823	0.0010	0.9659	1.2818	0.0018	1.3955	1.2031
5	11.4737	128.04	0.3807	0.0027	0.9637	1.2787	0.0049	1.3907	1.2011
10	5.7588	97.86	0.3731	0.0110	0.9531	1.2644	0.0200	1.3681	1.1917
15	3.8637	80.11	0.3603	0.0253	0.9356	1.2408	0.0457	1.3305	1.1762
20	2.9238	67.41	0.3419	0.0462	0.9108	1.2080	0.0833	1.2782	1.1545
25	2.3662	57.46	0.3176	0.0748	0.8786	1.1666	0.1346	1.2115	1.1269
30	2.0000	49.22	0.2867	0.1128	0.8389	1.1170	0.2026	1.1308	1.0936
35	1.7434	42.13	0.2464	0.1628	0.7911	1.0600	0.2922	1.0366	1.0549
40	1.5557	35.85	0.2012	0.2290	0.7350	0.9967	0.4115	0.9295	1.0111
45	1.4142	30.17	0.1432	0.3183	0.6697	0.9285	0.5745	0.8106	0.9629

「LCn5Atp0p0109Xs19Amin150」リプル 0.0109dB, Xs=19, Amin=150dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3823*LS;L2=0.001*LS;C1=0.9659*CS;L3=1.2818*LS;L4=0.0018*LS;C2=1.3955*CS;L5=1.2031*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs11Amin128」リプル 0.0109dB, Xs=11, Amin=128dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3807*LS;L2=0.0027*LS;C1=0.9637*CS;L3=1.2787*LS;L4=0.0049*LS;C2=1.3907*CS;L5=1.2011*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs5p7Amin97」リプル 0.0109dB, Xs=5.7, Amin=97dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3731*LS;L2=0.011*LS;C1=0.9531*CS;L3=1.2644*LS;L4=0.02*LS;C2=1.3681*CS;L5=1.1917*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn5Atp0p0109Xs3p8Amin80」リプル 0.0109dB, Xs=3.8, Amin=80dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3603*LS;L2=0.0253*LS;C1=0.9356*CS;L3=1.2408*LS;L4=0.0457*LS;C2=1.3305*CS;L5=1.1762*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs2p9Amin67」リプル 0.0109dB, Xs=2.9, Amin=67dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3419*LS;L2=0.0462*LS;C1=0.9108*CS;L3=1.208*LS;L4=0.0833*LS;C2=1.2782*CS;L5=1.1545*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs2p3Amin57」リプル 0.0109dB, Xs=2.3, Amin=57dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3176*LS;L2=0.0748*LS;C1=0.8786*CS;L3=1.1666*LS;L4=0.1346*LS;C2=1.2115*CS;L5=1.1269*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs2p0Amin49」リプル 0.0109dB, Xs=2.0, Amin=49dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2867*LS;L2=0.1128*LS;C1=0.8389*CS;L3=1.117*LS;L4=0.2026*LS;C2=1.1308*CS;L5=1.0936*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs1p7Amin42」リプル 0.0109dB, Xs=1.7, Amin=42dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2464*LS;L2=0.1628*LS;C1=0.7911*CS;L3=1.06*LS;L4=0.2922*LS;C2=1.0366*CS;L5=1.0549*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs1p5Amin35」リプル 0.0109dB, Xs=1.5, Amin=35dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2012*LS;L2=0.229*LS;C1=0.735*CS;L3=0.9967*LS;L4=0.4115*LS;C2=0.9295*CS;L5=1.0111*LS;

「LCn5Atp0p0109Xs1p4Amin30」リプル 0.0109dB, Xs=1.4, Amin=30dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1432*LS;L2=0.3183*LS;C1=0.6697*CS;L3=0.9285*LS;L4=0.5745*LS;C2=0.8106*CS;L5=0.9629*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

5 次 ρ =15% (atp=0.0988dB)

ファイル名　「LC5 次-リプル 0p0988dB」

このファイルには次の 11 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5
3	19.1073	159.88	0.5713	0.0008	1.2464	1.5530	0.0016	1.5890	1.3737
5	11.4737	137.67	0.5700	0.0021	1.2445	1.5500	0.0043	1.5844	1.3716
10	5.7588	107.49	0.5642	0.0085	1.2356	1.5359	0.0175	1.5630	1.3615
15	3.8637	89.74	0.5543	0.0194	1.2206	1.5126	0.0398	1.5275	1.3448
20	2.9238	77.05	0.5402	0.0351	1.1995	1.4802	0.0720	1.4780	1.3216
25	2.3662	67.09	0.5218	0.0561	1.1722	1.4389	0.1152	1.4148	1.2919
30	2.0000	58.85	0.4988	0.0831	1.1382	1.3889	0.1712	1.3384	1.2559
35	1.7434	51.76	0.4706	0.1174	1.0974	1.3307	0.2425	1.2492	1.2138
40	1.5557	45.48	0.4367	0.1604	1.0491	1.2647	0.3332	1.1478	1.1658
45	1.4142	39.80	0.3962	0.2147	0.9928	1.1914	0.4500	1.0348	1.1122
50	1.3054	34.55	0.3479	0.2841	0.9275	1.1116	0.6038	0.9112	1.0532

「LCn5Atp0p0988Xs19Amin159」リプル 0.0988dB, Xs=19, Amin=159dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5713*LS;L2=0.0008*LS;C1=1.2464*CS;L3=1.553*LS;L4=0.0016*LS;C2=1.589*CS;L5=1.3737*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs11Amin137」リプル 0.0988dB, Xs=11, Amin=137dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.57*LS;L2=0.0021*LS;C1=1.2445*CS;L3=1.55*LS;L4=0.0043*LS;C2=1.5844*CS;L5=1.3716*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs5p7Amin107」リプル 0.0988dB, Xs=5.7, Amin=107dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5642*LS;L2=0.0085*LS;C1=1.2356*CS;L3=1.5359*LS;L4=0.0175*LS;C2=1.563*CS;L5=1.3615*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs3p8Amin89」リプル 0.0988dB, Xs=3.8, Amin=89dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5543*LS;L2=0.0194*LS;C1=1.2206*CS;L3=1.5126*LS;L4=0.0398*LS;C2=1.5275*CS;L5=1.3448*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs2p9Amin77」リプル 0.0988dB, Xs=2.9, Amin=77dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5402*LS;L2=0.0351*LS;C1=1.1995*CS;L3=1.4802*LS;L4=0.072*LS;C2=1.478*CS;L5=1.3216*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn5Atp0p0988Xs2p3Amin67」リプル 0.0988dB, Xs=2.3, Amin=67dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5218*LS;L2=0.0561*LS;C1=1.1722*CS;L3=1.4389*LS;L4=0.1152*LS;C2=1.4148*CS;L5=1.2919*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs2p0Amin58」リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=58dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4988*LS;L2=0.0831*LS;C1=1.1382*CS;L3=1.3889*LS;L4=0.1712*LS;C2=1.3384*CS;L5=1.2559*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs1p7Amin51」リプル 0.0988dB, Xs=1.7, Amin=51dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4706*LS;L2=0.1174*LS;C1=1.0974*CS;L3=1.3307*LS;L4=0.2425*LS;C2=1.2492*CS;L5=1.2138*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs1p5Amin45」リプル 0.0988dB, Xs=1.5, Amin=45dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4367*LS;L2=0.1604*LS;C1=1.0491*CS;L3=1.2647*LS;L4=0.3332*LS;C2=1.1478*CS;L5=1.1658*LS;

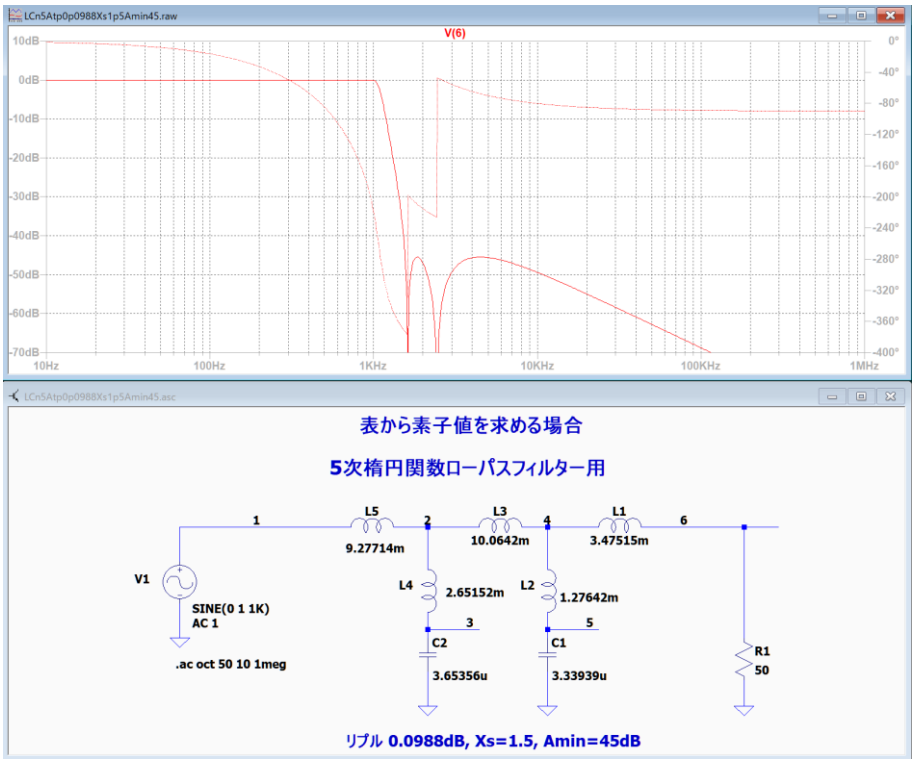
「LCn5Atp0p0988Xs1p4Amin39」リプル 0.0988dB, Xs=1.4, Amin=39dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3962*LS;L2=0.2147*LS;C1=0.9928*CS;L3=1.1914*LS;L4=0.45*LS;C2=1.0348*CS;L5=1.1122*LS;

「LCn5Atp0p0988Xs1p3Amin34」リプル 0.0988dB, Xs=1.3, Amin=34dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3479*LS;L2=0.2841*LS;C1=0.9275*CS;L3=1.1116*LS;L4=0.6038*LS;C2=0.9112*CS;L5=1.0532*LS;

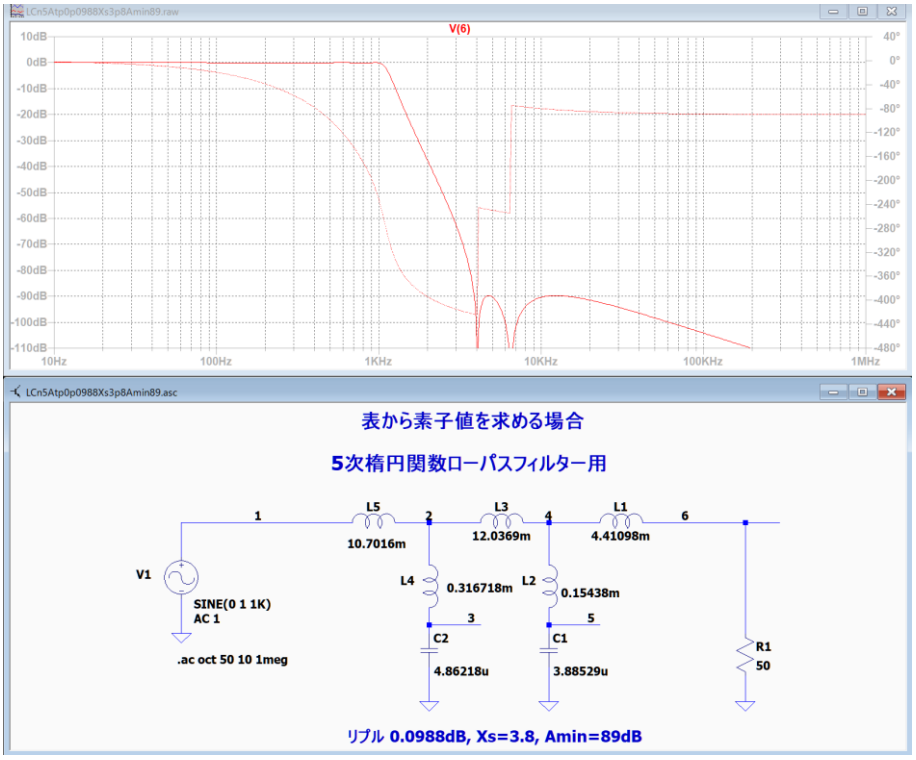
電卓用のマクロを増やして、整理する

5 次の作成例

LCn5Atp0p0988Xs1p5Amin45.asc



LCn5Atp0p0988Xs3p8Amin89.asc



電卓用のマクロを増やして、整理する

7 次 ρ =1% (atp=0.0004dB)

ファイル名　「LC7 次-リプル 0p0004dB」

このファイルには次の 8 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5	L6	C3	L7
15	3.8637	113.38	0.2511	0.0181	0.7156	1.0208	0.0532	1.1980	1.3408	0.0299	1.3879	1.1841
20	2.9238	95.61	0.2377	0.0331	0.6992	0.9833	0.0981	1.1365	1.3005	0.0539	1.3594	1.1735
25	2.3662	81.68	0.2199	0.0537	0.6778	0.9347	0.1613	1.0576	1.2499	0.0856	1.3233	1.1600
30	2.0000	70.14	0.1970	0.0810	0.6511	0.8747	0.2488	0.9614	1.1900	0.1260	1.2800	1.1436
35	1.7434	60.21	0.1684	0.1170	0.6188	0.8024	0.3722	0.8479	1.1225	0.1759	1.2299	1.1246
40	1.5557	51.42	0.1326	0.1647	0.5803	0.7163	0.5539	0.7175	1.0502	0.2369	1.1734	1.1029
45	1.4142	43.47	0.0880	0.2291	0.5351	0.6129	0.8447	0.5712	0.9784	0.3110	1.1102	1.0788
50	1.3054	36.12	0.0314	0.3190	0.4823	0.4843	1.3802	0.4117	0.9176	0.4017	1.0386	1.0524

「LCn7Atp0p0004Xs3p8Amin113」リプル 0.0004dB, Xs=3.8, Amin=113dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2511*LS;L2=0.0181*LS;C1=0.7156*CS;L3=1.0208*LS;L4=0.0532*LS;C2=1.198*CS;L5=1.3408*LS;L6=0.0299*LS;C3=1.3879*CS;L7= 1.1841*LS;

「LCn7Atp0p0004Xs2p9Amin95」リプル 0.0004dB, Xs=2.9, Amin=95dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2377*LS;L2=0.0331*LS;C1=0.6992*CS;L3=0.9833*LS;L4=0.0981*LS;C2=1.1365*CS;L5=1.3005*LS;L6=0.0539*LS;C3=1.3594*CS;L7=1.1735*LS;

「LCn7Atp0p0004Xs2p3Amin81」リプル 0.0004dB, Xs=2.3, Amin=81dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2199*LS;L2=0.0537*LS;C1=0.6778*CS;L3=0.9347*LS;L4=0.1613*LS;C2=1.0576*CS;L5=1.2499*LS;L6=0.0856*LS;C3=1.3233*CS;L7=1.16*LS;

「LCn7Atp0p0004Xs2p0Amin70」リプル 0.0004dB, Xs=2.0, Amin=70dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.197*LS;L2=0.081*LS;C1=0.6511*CS;L3=0.8747*LS;L4=0.2488*LS;C2=0.9614*CS;L5=1.19*LS;L6=0.126*LS;C3=1.28*CS;L7=1.1436*LS;

「LCn7Atp0p0004Xs1p7Amin60」リプル 0.0004dB, Xs=1.7, Amin=60dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1684*LS;L2=0.117*LS;C1=0.6188*CS;L3=0.8024*LS;L4=0.3722*LS;C2=0.8479*CS;L5=1.1225*LS;L6=0.1759*LS;C3=1.2299*CS;L7=1.1246*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn7Atp0p0004Xs1p5Amin51」リプル 0.0004dB, Xs=1.5, Amin=51dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.1326*LS;L2=0.1647*LS;C1=0.5803*CS;L3=0.7163*LS;L4=0.5539*LS;C2=0.7175*CS;L5=1.0502*LS;L6=0.2369*LS;C3=1.1734*CS;L7=1.1029*LS;

「LCn7Atp0p0004Xs1p4Amin43」リプル 0.0004dB, Xs=1.4, Amin=43dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.088*LS;L2=0.2291*LS;C1=0.5351*CS;L3=0.6129*LS;L4=0.8447*LS;C2=0.5712*CS;L5=0.9784*LS;L6=0.311*LS;C3=1.1102*CS;L7=1.0788*LS;

「LCn7Atp0p0004Xs1p3Amin36」リプル 0.0004dB, Xs=1.3, Amin=36dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.0314*LS;L2=0.319*LS;C1=0.4823*CS;L3=0.4843*LS;L4=1.3802*LS;C2=0.4117*CS;L5=0.9176*LS;L6=0.4017*LS;C3=1.0386*CS;L7=1.0524*LS;

7 次 ρ =5% (atp=0.0109dB)

ファイル名 「LC7 次-リプル 0.0109dB」

このファイルには次の 9 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5	L6	C3	L7
15	3.8637	127.37	0.3915	0.0129	1.0062	1.3314	0.0432	1.4772	1.5828	0.0260	1.5959	1.3480
20	2.9238	109.60	0.3820	0.0233	0.9931	1.2984	0.0784	1.4223	1.5426	0.0468	1.5654	1.3344
25	2.3662	95.67	0.3695	0.0373	0.9760	1.2561	0.1261	1.3522	1.4914	0.0742	1.5263	1.3168
30	2.0000	84.13	0.3537	0.0552	0.9546	1.2044	0.1888	1.2671	1.4297	0.1090	1.4787	1.2953
35	1.7434	74.20	0.3342	0.0780	0.9286	1.1432	0.2703	1.1675	1.3581	0.1521	1.4227	1.2698
40	1.5557	65.41	0.3106	0.1065	0.8975	1.0724	0.3771	1.0539	1.2776	0.2047	1.3584	1.2404
45	1.4142	57.46	0.2819	0.1425	0.8608	0.9916	0.5206	0.9268	1.1892	0.2685	1.2859	1.2069
50	1.3054	50.11	0.2471	0.1882	0.8175	0.7999	0.7220	0.7869	1.0948	0.3462	1.2050	1.1691
55	1.2208	43.21	0.2044	0.2479	0.7663	0.7959	1.0260	0.6357	0.9973	0.4418	1.1153	1.1270

「LCn7Atp0p0109Xs3p8Amin127」リプル 0.0109dB, Xs=3.8, Amin=127dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3915*LS;L2=0.0129*LS;C1=1.0062*CS;L3=1.3314*LS;L4=0.0432*LS;C2=1.4772*CS;L5=1.5828*LS;L6=0.026*LS;C3=1.5959*CS;L7=1.348*LS;

「LCn7Atp0p0109Xs2p9Amin109」リプル 0.0109dB, Xs=2.9, Amin=109dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.382*LS;L2=0.0233*LS;C1=0.9931*CS;L3=1.2984*LS;L4=0.0784*LS;C2=1.4223*CS;L5=1.5426*LS;L6=0.0468*LS;C3=1.5654*CS;L7=1.3344*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn7Atp0p0109Xs2p3Amin95」リプル 0.0109dB, Xs=2.3, Amin=95dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3695*LS;L2=0.0373*LS;C1=0.976*CS;L3=1.2561*LS;L4=0.1261*LS;C2=1.3522*CS;L5=1.4914*LS;L6=0.0742*LS;C3=1.5263*CS;L7=1.3168*LS;

「LCn7Atp0p0109Xs2p0Amin84」リプル 0.0109dB, Xs=2.0, Amin=84dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3537*LS;L2=0.0552*LS;C1=0.9546*CS;L3=1.2044*LS;L4=0.1888*LS;C2=1.2671*CS;L5=1.4297*LS;L6=0.109*LS;C3=1.4787*CS;L7=1.2953*LS;

「LCn7Atp0p0109Xs1p7Amin74」リプル 0.0109dB, Xs=1.7 Amin=74dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3342*LS;L2=0.078*LS;C1=0.9286*CS;L3=1.1432*LS;L4=0.2703*LS;C2=1.1675*CS;L5=1.3581*LS;L6=0.1521*LS;C3=1.4227*CS;L7=1.2698*LS;

「LCn7Atp0p0109Xs1p5Amin65」リプル 0.0109dB, Xs=1.5, Amin=65dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.3106*LS;L2=0.1065*LS;C1=0.8975*CS;L3=1.0724*LS;L4=0.3771*LS;C2=1.0539*CS;L5=1.2776*LS;L6=0.2047*LS;C3=1.3584*CS;L7=1.2404*LS;

「LCn7Atp0p0109Xs1p4Amin57」リプル 0.0109dB, Xs=1.4, Amin=57dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2819*LS;L2=0.1425*LS;C1=0.8608*CS;L3=0.9916*LS;L4=0.5206*LS;C2=0.9268*CS;L5=1.1892*LS;L6=0.2685*LS;C3=1.2859*CS;L7=1.2069*LS;

「LCn7Atp0p0109Xs1p3Amin50」リプル 0.0109dB, Xs=1.3, Amin=50dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2471*LS;L2=0.1882*LS;C1=0.8175*CS;L3=0.7999*LS;L4=0.722*LS;C2=0.7869*CS;L5=1.0948*LS;L6=0.3462*LS;C3=1.205*CS;L7=1.1691*LS;

「LCn7Atp0p0109Xs1p2Amin43」リプル 0.0109dB, Xs=1.2, Amin=43dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.2044*LS;L2=0.2479*LS;C1=0.7663*CS;L3=0.7959*LS;L4=1.026*LS;C2=0.6357*CS;L5=0.9973*LS;L6=0.4418*LS;C3=1.1153*CS;L7=1.127*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

7 次 ρ =15% (atp=0.0988dB)

ファイル名　「LC7 次-リプル 0.0988dB」

このファイルには次の 9 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5	L6	C3	L7
15	3.8637	137.00	0.5798	0.0102	1.2749	1.5815	0.0388	1.6431	1.7448	0.0244	1.6988	1.4541
20	2.9238	119.23	0.5723	0.0183	1.2635	1.5500	0.0701	1.5914	1.7038	0.0439	1.6674	1.4386
25	2.3662	105.30	0.5625	0.0291	1.2486	1.5096	0.1118	1.5254	1.6516	0.0696	1.6270	1.4187
30	2.0000	93.76	0.5502	0.0429	1.2300	1.4605	0.1655	1.4456	1.5883	0.1022	1.5777	1.3943
35	1.7434	83.83	0.5351	0.0600	1.2074	1.4026	0.2333	1.3524	1.5144	0.1424	1.5193	1.3654
40	1.5557	75.04	0.5169	0.0810	1.1804	1.3360	0.3189	1.2463	1.4304	0.1915	1.4519	1.3318
45	1.4142	67.09	0.4951	0.1068	1.1484	1.2608	0.4277	1.1280	1.3368	0.2510	1.3754	1.2933
50	1.3054	59.74	0.4691	0.1385	1.1106	1.1766	0.5693	0.9981	1.2344	0.3235	1.2895	1.2499
55	1.2208	52.84	0.4379	0.1782	1.0659	1.0832	0.7605	0.8575	1.1242	0.4127	1.1939	1.2011

「LCn7Atp0p0988Xs3p8Amin137」リプル 0.0988dB, Xs=3.8, Amin=137dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5798*LS;L2=0.0102*LS;C1=1.2749*CS;L3=1.5815*LS;L4=0.0388*LS;C2=1.6431*CS;L5=1.7448*LS;L6=0.0244*LS;C3=1.6988*CS;L7=1.4541*LS;

「LCn7Atp0p0988Xs2p9Amin119」リプル 0.0988dB, Xs=2.9, Amin=119dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5723*LS;L2=0.0183*LS;C1=1.2635*CS;L3=1.55*LS;L4=0.0701*LS;C2=1.5914*CS;L5=1.7038*LS;L6=0.0439*LS;C3=1.6674*CS;L7=1.4386*LS;

「LCn7Atp0p0988Xs2p3Amin105」リプル 0.0988dB, Xs=2.3, Amin=105dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5625*LS;L2=0.0291*LS;C1=1.2486*CS;L3=1.5096*LS;L4=0.1118*LS;C2=1.5254*CS;L5=1.6516*LS;L6=0.0696*LS;C3=1.627*CS;L7=1.4187*LS;

「LCn7Atp0p0988Xs2p0Amin93」リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=93dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5502*LS;L2=0.0429*LS;C1=1.23*CS;L3=1.4605*LS;L4=0.1655*LS;C2=1.4456*CS;L5=1.5883*LS;L6=0.1022*LS;C3=1.5777*CS;L7=1.3943*LS;

「LCn7Atp0p0988Xs1p7Amin83」リプル 0.0988dB, Xs=1.7, Amin=83dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5351*LS;L2=0.06*LS;C1=1.2074*CS;L3=1.4026*LS;L4=0.2333*LS;C2=1.3524*CS;L5=1.5144*LS;L6=0.1424*LS;C3=1.5193*CS;L7=1.3654*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn7Atp0p0988Xs1p5Amin75」リプル 0.0988dB, Xs=1.5, Amin=75dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.5169*LS;L2=0.081*LS;C1=1.1804*CS;L3=1.336*LS;L4=0.3189*LS;C2=1.2463*CS;L5=1.4304*LS;L6=0.1915*LS;C3=1.4519*CS;L7=1.3318*LS;

「LCn7Atp0p0988Xs1p4Amin67」リプル 0.0988dB, Xs=1.4, Amin=67dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4951*LS;L2=0.1068*LS;C1=1.1484*CS;L3=1.2608*LS;L4=0.4277*LS;C2=1.128*CS;L5=1.3368*LS;L6=0.251*LS;C3=1.3754*CS;L7=1.2933*LS;

「LCn7Atp0p0988Xs1p3Amin59」リプル 0.0988dB, Xs=1.3, Amin=59dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4691*LS;L2=0.1385*LS;C1=1.1106*CS;L3=1.1766*LS;L4=0.5693*LS;C2=0.9981*CS;L5=1.2344*LS;L6=0.3235*LS;C3=1.2895*CS;L7=1.2499*LS;

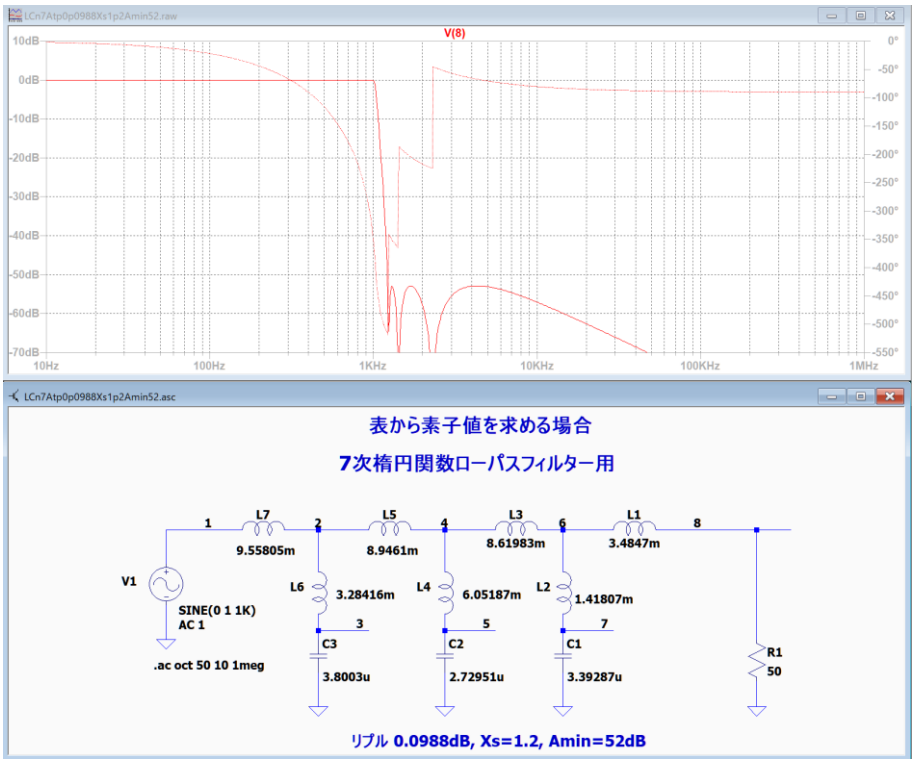
「LCn7Atp0p0988Xs1p2Amin52」リプル 0.0988dB, Xs=1.2, Amin=52dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.4379*LS;L2=0.1782*LS;C1=1.0659*CS;L3=1.0832*LS;L4=0.7605*LS;C2=0.8575*CS;L5=1.1242*LS;L6=0.4127*LS;C3=1.1939*CS;L7=1.2011*LS;

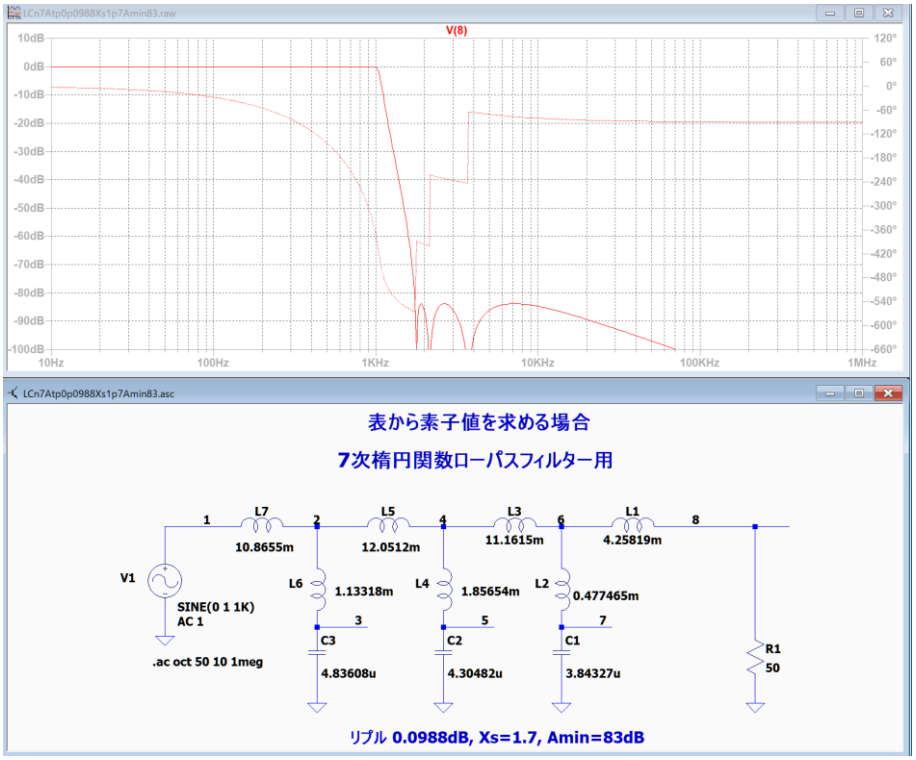
電卓用のマクロを増やして、整理する

7 次の作成例

LCn7Atp0p0988Xs1p2Amin52.asc



LCn7Atp0p0988Xs1p7Amin83.asc



電卓用のマクロを増やして、整理する

「LtAct」を使用した表形式のマクロ

ファイル名　「LtAct-LC マクロ-2 次と 3 次.UMF」
このファイルには 2 次と 3 次のマクロが合計 10 個含まれている。

2 次フィルター
「ActLCn2Atp0p1Xs5Amin23」2 次フィルター atp=0.1dB, Xs=5 Amin=23dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.692841*LS;L2=59.8927*LS;C1=29.1609 m *CS;C2=0.407921*CS;

「actlcn2atp0p1xs10amin35」2 次フィルター atp=0.1dB, Xs=10 Amin=35dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.716313*LS;L2=61.9026*LS;C1=6.9977 m *CS;C2=0.418118*CS;

「ActLCn2Atp0p1Xs20Amin47」2 次フィルター atp=0.1dB, Xs=20 Amin=47dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.722187*LS;L2=62.3*LS;C1=1.73194 m *CS;C2=0.420672*CS;

「actlcn2atp0p1xs30amin54」2 次フィルター atp=0.1dB, Xs=30 Amin=54dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.723047*LS;L2= 62.5541*LS;C1=0.768137 m *CS;C2=0.42103*CS;

「actlcn2atp0p1xs50amin63」2 次フィルター atp=0.1dB, Xs=50 Amin=63dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.723607*LS;L2=62.591*LS;C1=0.276284 m *CS;C2=0.421273*CS;

3 次フィルター
「actlcn3atp0p12xs2amin24」3 次フィルター atp=0.12dB, Xs=2 Amin=24dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.0475212*LS;L2=0.22781374*LS;L3=0.36781971*LS;C1=0.85172069 *CS;

「actlcn3atp0p12xs3amin36」3 次フィルター atp=0.12dB, Xs=3 Amin=36dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.084325143*LS;L2=84.324865 m*LS;L3=0.46877569*LS;C1=1.0025801 *CS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「actlcn3atp0p12xs4amin44」3 次フィルター atp=0.12dB, Xs=4 Amin=44dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.0787585*LS;L2=44.680204
m*LS;L3=0.49369261*LS;C1=1.0575342 *CS;

「ActLCn3Atp0p1Xs5Amin49」3 次フィルター atp=0.1dB, Xs=5 Amin=49dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.07867*LS;L2=28.814
m*LS;L3=0.490742*LS;C1=1.04646*CS;

「ActLCn3Atp0p1Xs6Amin54」3 次フィルター atp=0.12dB, Xs=6 Amin=54dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.08178*LS;L2=19.7451
m*LS;L3=0.4985292*LS;C1=1.05884*CS;

ファイル名 「LtAct-LC マクロ-4 次.UMF」
このファイルには 4 次のマクロが合計 11 個含まれている。

4 次フィルター
「actlcn4atp0p1xs2amin41」4 次フィルター atp=0.1dB, Xs=2 Amin=41dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=187.427*LS;L2=1.0448*LS;L3=1.13536*LS;L4
=0.21996*LS;C1=0.559115 *CS;C2=4.77349 m *CS;C3=1.13014 *CS;

「actlcn4atp0p1xs3amin56」4 次フィルター atp=0.1dB, Xs=3 Amin=56dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=202.905*LS;L2=1.13832*LS;L3=1.21038*LS;L
4=84.798 m*LS;C1=0.557492 *CS;C2=0.792803 m*CS;C3=1.30694 *CS;

「actlcn4atp0p1xs4amin67」4 次フィルター atp=0.1dB, Xs=4 Amin=67dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=206.788*LS;L2=1.16858*LS;L3=1.235228*LS;
L4=45.6661 m*LS;C1=0.556277 *CS;C2=0.237303 m*CS;C3=1.36639 *CS;

「actlcn4atp0p01xs1p6192amin23」4 次フィルター atp=0.01dB, Xs=1.619 Amin=23dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1201.7*LS;L2=0.5613*LS;L3=0.8568*LS;L4=0
.59735*LS;C1=0.3499 *CS;C2=0.02825 *CS;C3=0.6098 *CS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「actlcn4atp0p01xs5p19amin67」4 次フィルター atp=0.01dB, Xs=5.19 Amin=67dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1654.4*LS;L2=0.86823*LS;L3=1.026*LS;L4=0
.03354*LS;C1=0.3581 *CS;C2=0.16684 m *CS;C3=1.1026 *CS;

次のマクロを追加しました。
「actlcn4atp0p1xs1p5amin29」4 次フィルター atp=0.1dB, Xs=1.5 Amin=29dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=164.31*LS;L2=0.88827*LS;L3=1.018*LS;L4=0
.50938*LS;C1=0.55294*CS;C2=20.19 m*CS;C3=0.861*CS;

「actlcn4atp0p1xs5amin75」4 次フィルター atp=0.1dB, Xs=5 Amin=75dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=208.261*LS;L2=1.18261*LS;L3=1.24716*LS;L
4=0.028685*LS;C1=0.555739*CS;C2=94.8267 u*CS;C3=1.39359*CS;

「actlcn4atp0p1xs6amin81」4 次フィルター atp=0.1dB, Xs=6 Amin=81dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=212.547*LS;L2=1.18978*LS;L3=1.25301*LS;L
4=0.01971*LS;C1=0.55536*CS;C2=45.125 u*CS;C3=1.4084*CS;

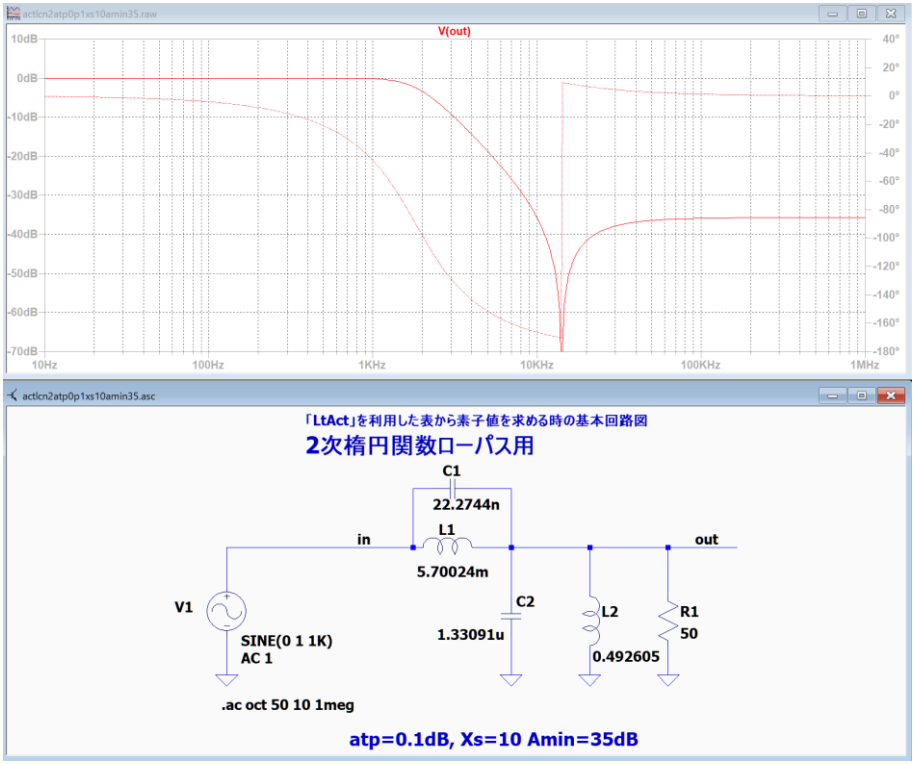
「actlcn4atp0p01xs3amin46」4 次フィルター atp=0.01dB, Xs=3 Amin=46dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1706.9*LS;L2=0.81202*LS;L3=0.98993*LS;L4
=0.10983*LS;C1=0.3602*CS;C2=1.6333 m*CS;C3=0.99969*CS;

「actlcn4atp0p01xs4amin75」4 次フィルター atp=0.01dB, Xs=4 Amin=57dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1538.9*LS;L2=0.84942*LS;L3=1.0138*LS;L4=
0.058175*LS;C1=0.35897*CS;C2=0.48721 m*CS;C3=1.0674*CS;

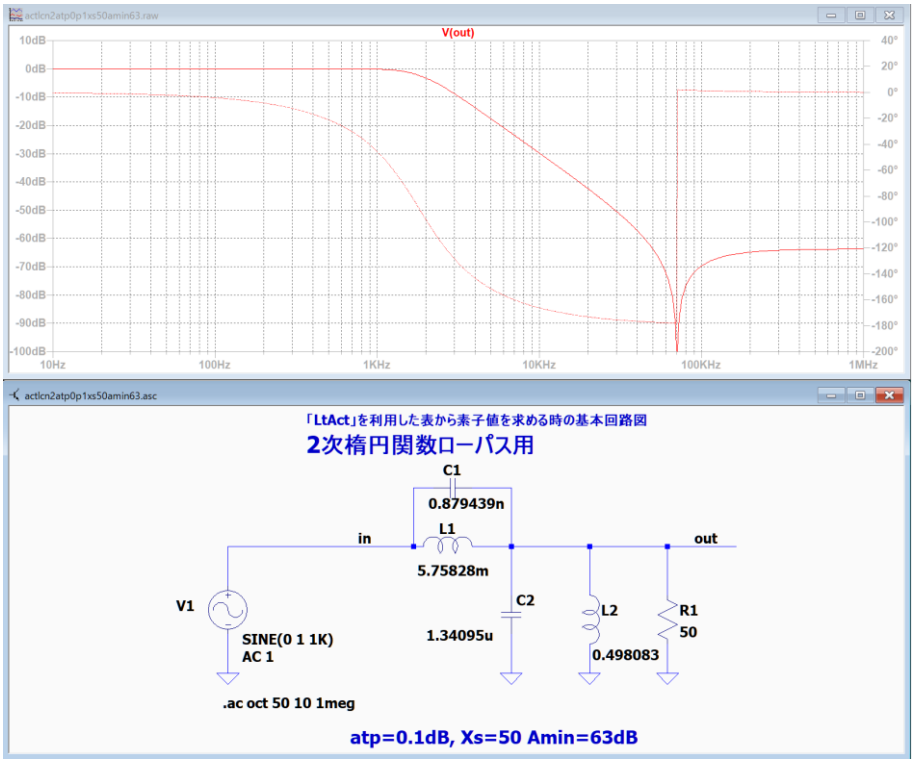
「actlcn4atp0p01xs6amin81」4 次フィルター atp=0.01dB, Xs=6 Amin=71dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1615.1*LS;L2=0.87505*LS;L3=1.0306*LS;L4=
0.024834*LS;C1=0.35768*CS;C2=92.398 u*CS;C3=1.1154*CS;

LtAct による 2 次～4 次の作成例

actlcn2atp0p1xs10amin35.asc

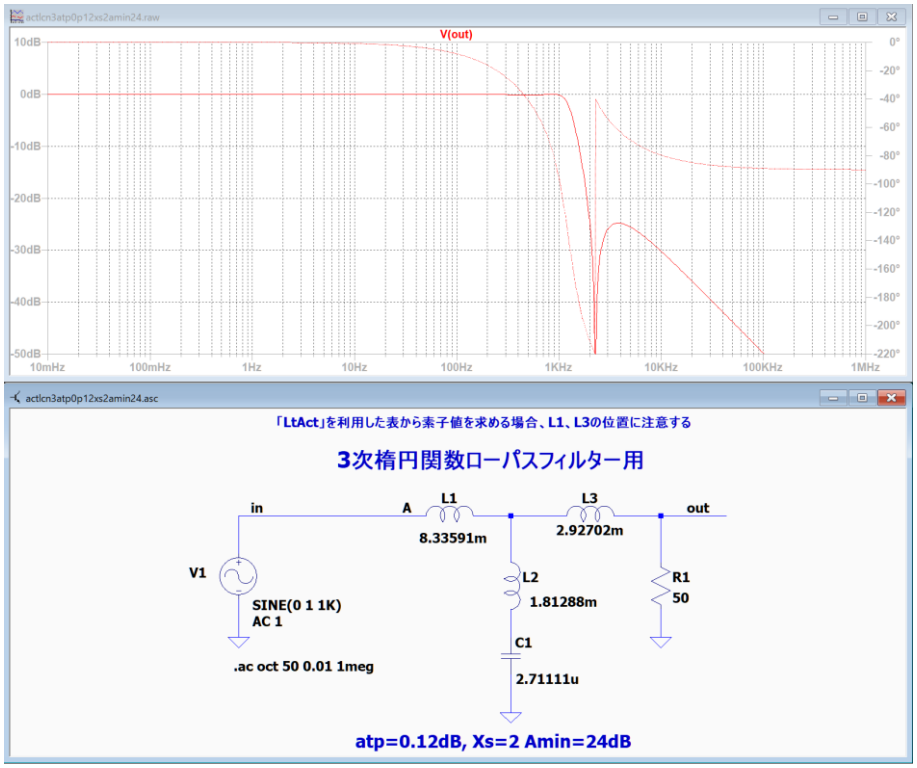


actlcn2atp0p1xs50amin63.asc

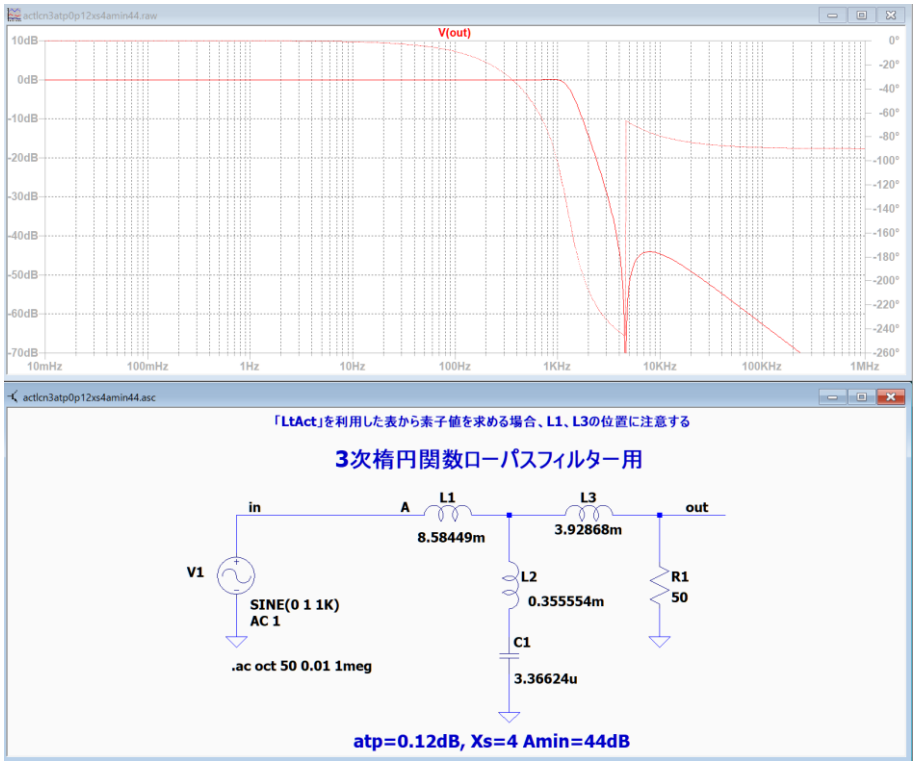


電卓用のマクロを増やして、整理する

actlcn3atp0p12xs2amin24.asc

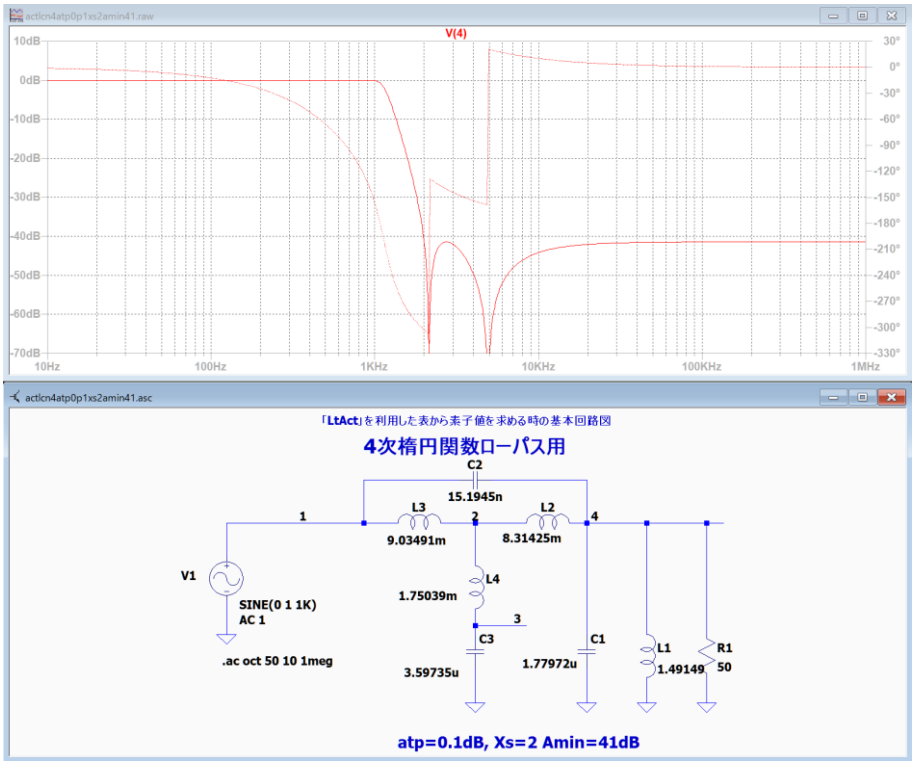


actlcn3atp0p12xs4amin44.asc

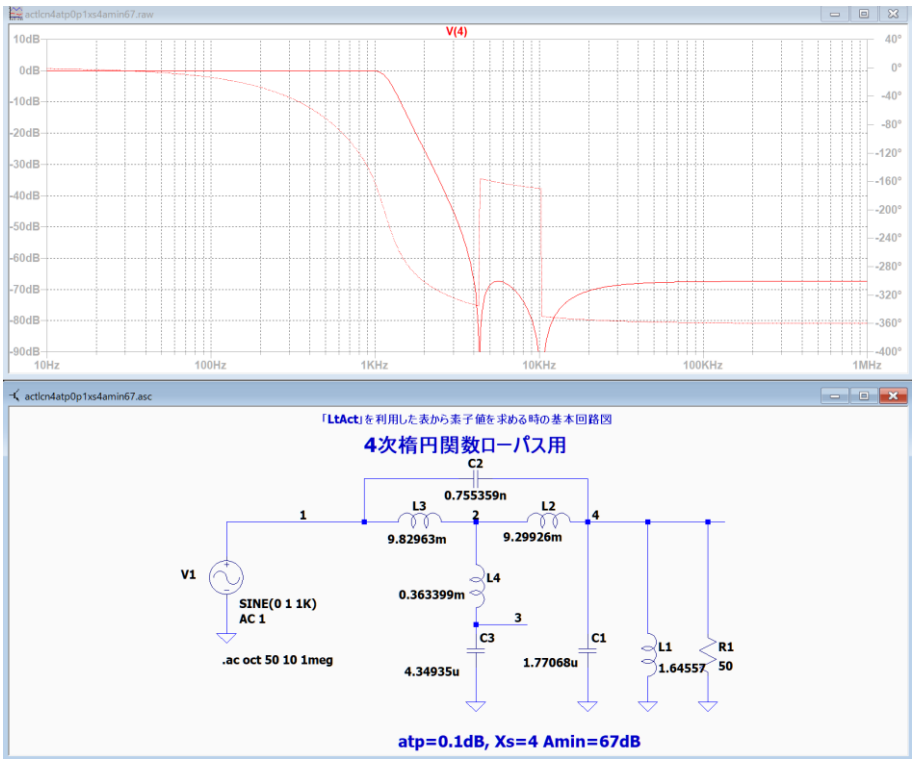


電卓用のマクロを増やして、整理する

actlcn4atp0p1xs2amin41.asc



actlcn4atp0p1xs4amin67.asc

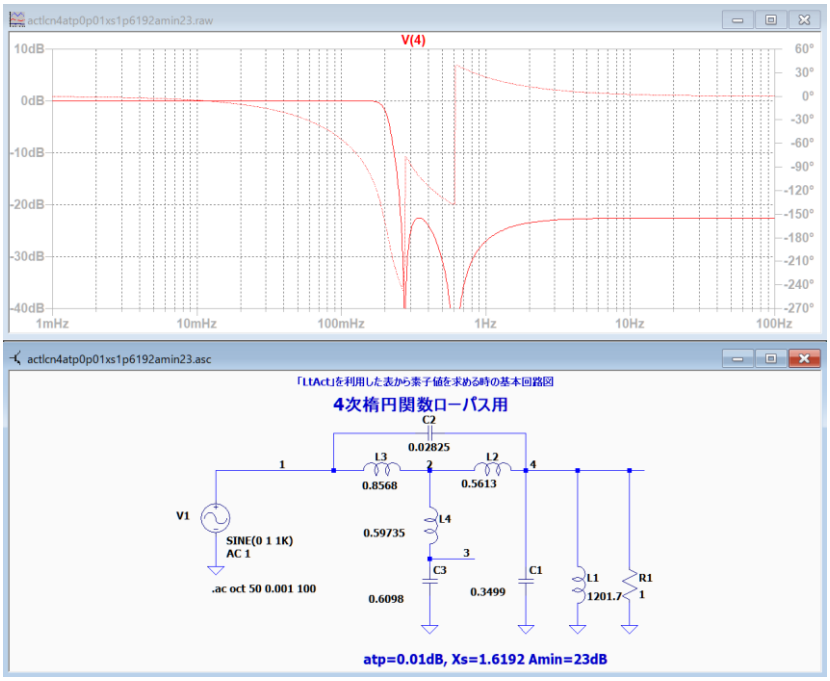


電卓用のマクロを増やして、整理する

「LtAct」を利用したマクロと表を利用したマクロの比較

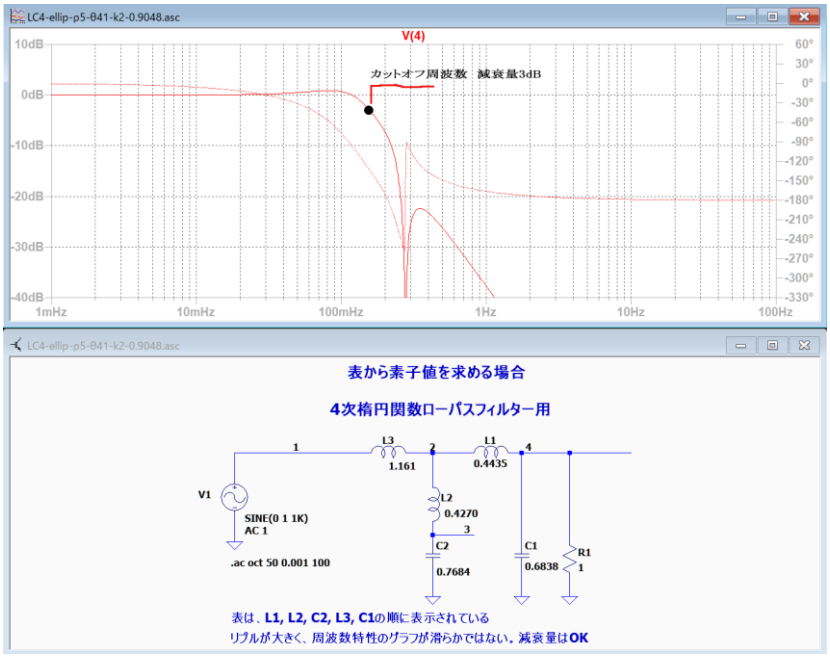
「actlcn4atp0p01xs1p6192amin23」と「LC4-ellip-ρ5-θ41-k2-0.9048」の比較

「actlcn4atp0p01xs1p6192amin23.asc」



カットオフ周波数までゲインが平坦で、その後急峻に最低減衰量に達する。

LC4-ellip-ρ5-θ41-k2-0.9048.asc

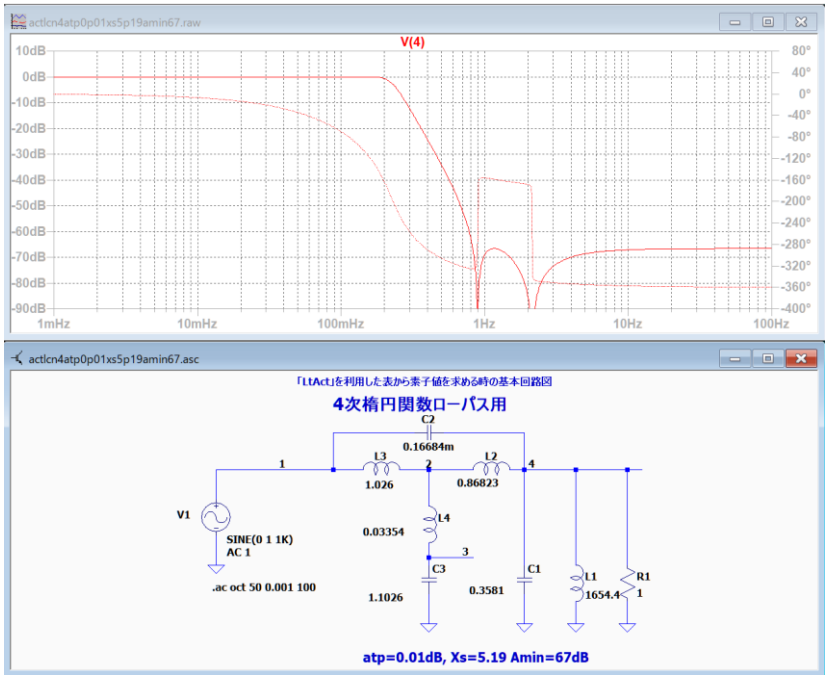


カットオフ周波数の減衰量は 3dB に達し、減衰量が緩やかに増加している。

電卓用のマクロを増やして、整理する

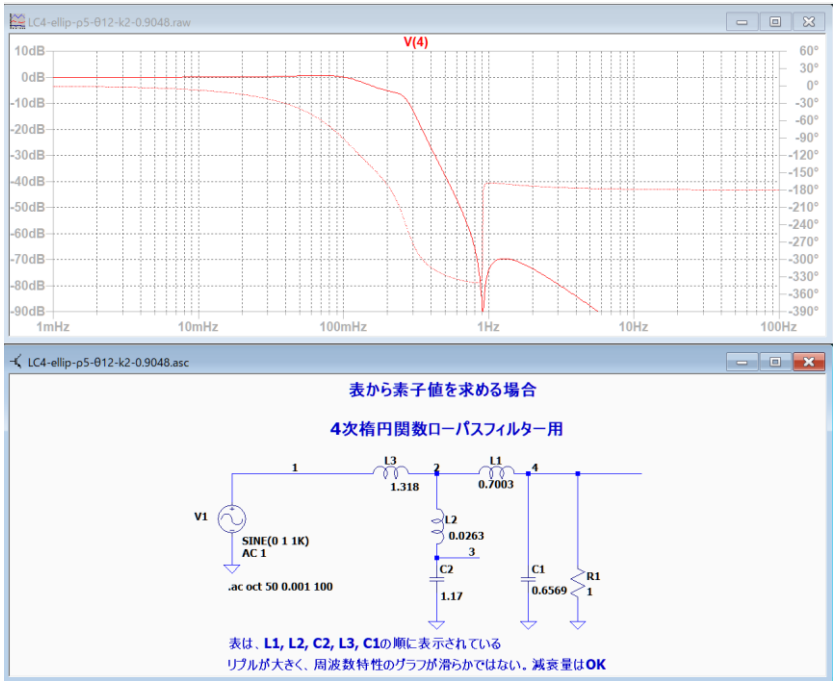
「actlcn4atp0p01xs5p19amin67」と「LC4-ellip-ρ5-θ12-k2-0.9048」の比較

「actlcn4atp0p01xs5p19amin67.asc」



カットオフ周波数までゲインが平坦で、その後急峻に最低減衰量に達する。

「LC4-ellip- ρ 5- θ 12-k2-0.9048.asc」



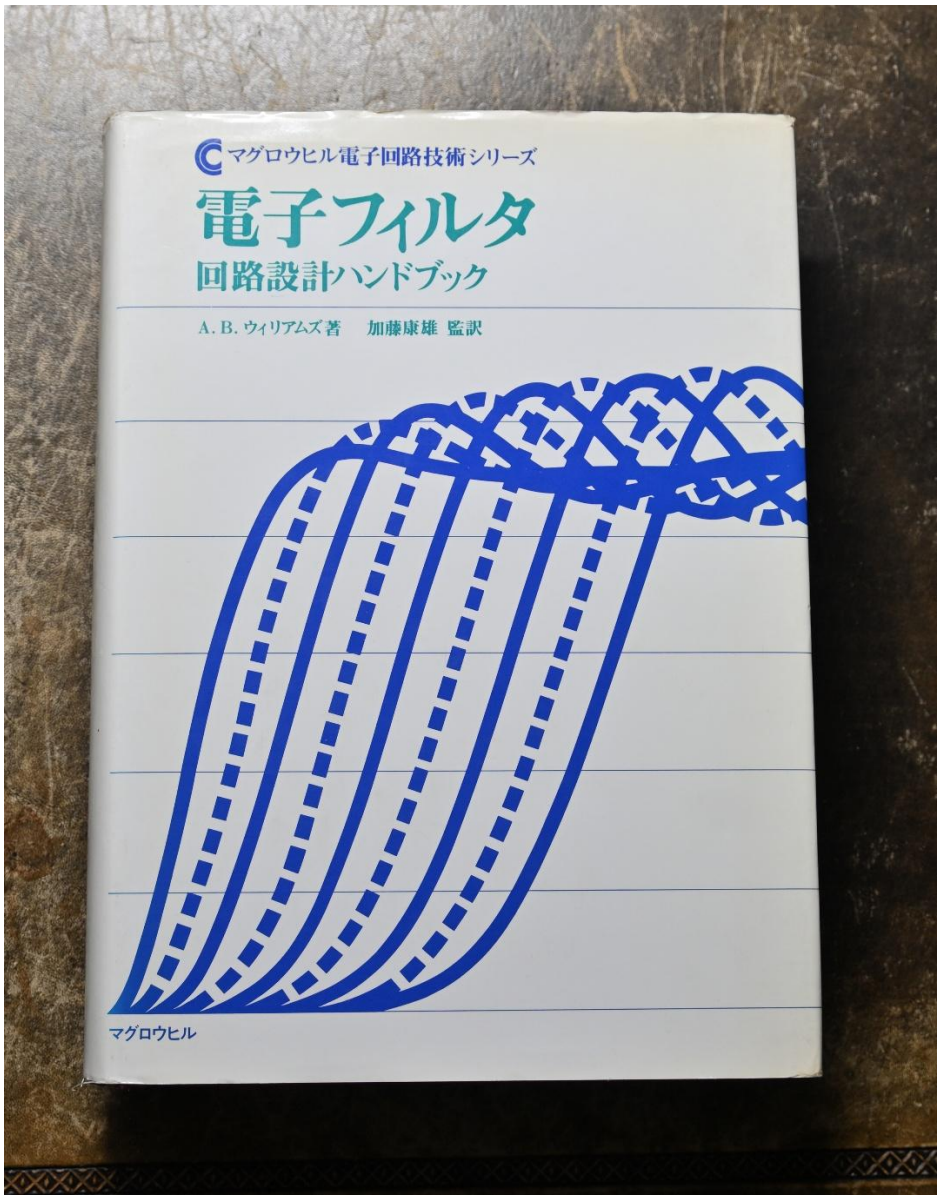
カットオフ周波数の減衰量が 5dB 位になっている。

偶数次数の楕円関数 LC フィルターは「LtAct」を利用したマクロの方が高性能です。

電卓用のマクロを増やして、整理する

9 次と 11 次のマクロを追加する

手持ちの技術資料で、9 次と 11 次の表を見つけたので電卓用のマクロを追加する。

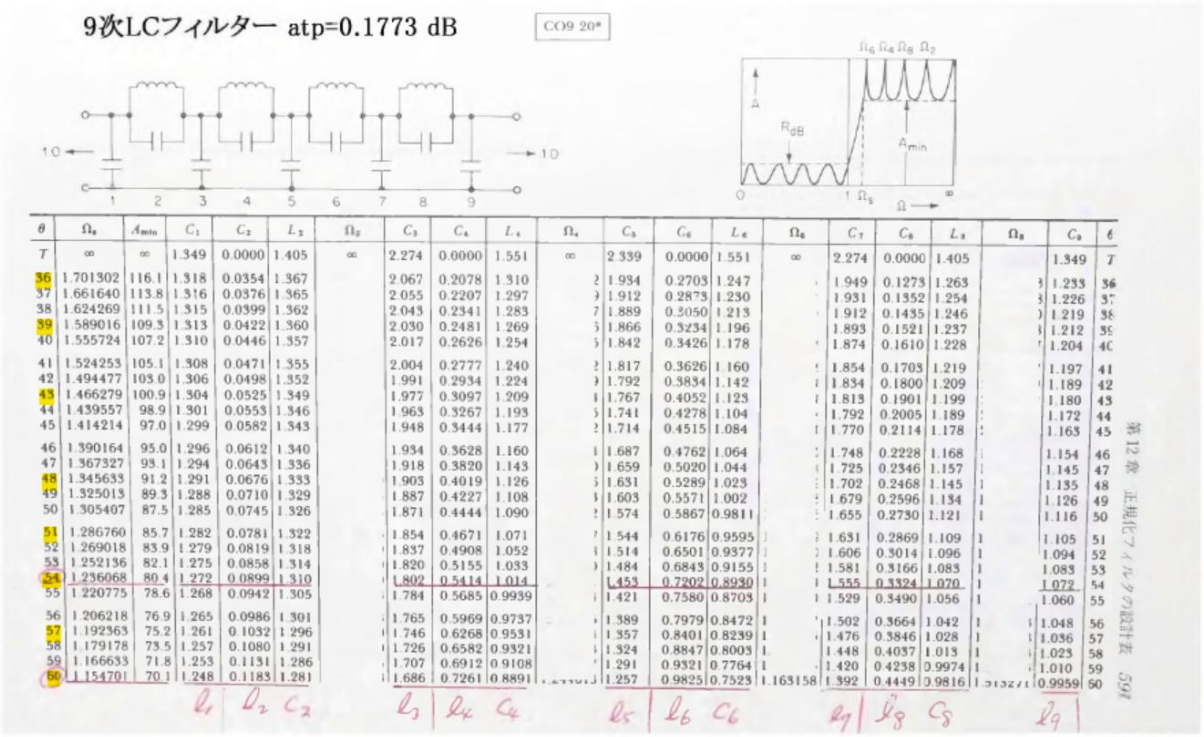


電子フィルタ 回路設計ハンドブック 著者 Ａ．Ｂ．ＷＩＬＬＩＡＭＳ
監訳者 加藤 康雄、訳者 荒木 亮一
発行所 マグロウヒル ブック株式会社、昭和６０年１１月２５日第１刷発行
〒１０４ 東京都中央区銀座４ー１４ー１１（七十七ビル）電話(03)542-8821

表は次の資料から転載したことが記載されています。

R. Saal and E. Ulbrich, “On the Design of Fillers by Synthesis,” IRE Transactions on Circuit Theory, December 1958.

電卓用のマクロを増やして、整理する



9次LCフィルター atp=0.1773 dB

CO9 20*

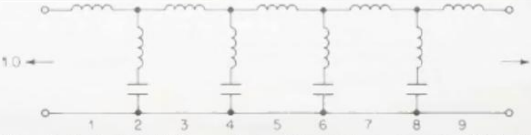
θ	Ω_s	A_{min}	C_1	C_2	L_2	Ω_2	C_3	C_4	L_4	Ω_4	C_5	C_6	L_6	Ω_6	C_7	C_8	L_8	Ω_8	C_9	θ
T	∞	∞	1.349	0.0000	1.405	∞	2.274	0.0000	1.551	∞	2.339	0.0000	1.551	∞	2.274	0.0000	1.405		1.349	T
36	1.701302	116.1	1.318	0.0354	1.367		2.067	0.2078	1.310		1.934	0.2703	1.247		1.949	0.1273	1.263		1.233	36
37	1.661640	113.8	1.316	0.0376	1.365		2.055	0.2207	1.297		1.912	0.2873	1.230		1.931	0.1352	1.254		1.226	37
38	1.624269	111.5	1.315	0.0399	1.362		2.043	0.2341	1.283		1.889	0.3050	1.213		1.912	0.1435	1.246		1.219	38
39	1.589016	109.3	1.313	0.0422	1.360		2.030	0.2481	1.269		1.866	0.3234	1.196		1.893	0.1521	1.237		1.212	39
40	1.555724	107.2	1.310	0.0446	1.357		2.017	0.2626	1.254		1.842	0.3426	1.178		1.874	0.1610	1.228		1.204	40
41	1.524253	105.1	1.308	0.0471	1.355		2.004	0.2777	1.240		1.817	0.3626	1.160		1.854	0.1703	1.219		1.197	41
42	1.494477	103.0	1.306	0.0498	1.352		1.991	0.2934	1.224		1.792	0.3834	1.142		1.834	0.1800	1.209		1.189	42
43	1.466279	100.9	1.304	0.0525	1.349		1.977	0.3097	1.209		1.767	0.4052	1.123		1.813	0.1901	1.199		1.180	43
44	1.439557	98.9	1.301	0.0553	1.346		1.963	0.3267	1.193		1.741	0.4278	1.104		1.792	0.2005	1.189		1.172	44
45	1.414214	97.0	1.299	0.0582	1.343		1.948	0.3444	1.177		1.714	0.4515	1.084		1.770	0.2114	1.178		1.163	45
46	1.390164	95.0	1.296	0.0612	1.340		1.934	0.3628	1.160		1.687	0.4762	1.064		1.748	0.2228	1.168		1.154	46
47	1.367327	93.1	1.294	0.0643	1.336		1.918	0.3820	1.143		1.659	0.5020	1.044		1.725	0.2346	1.157		1.145	47
48	1.345633	91.2	1.291	0.0676	1.333		1.903	0.4019	1.126		1.631	0.5289	1.023		1.702	0.2468	1.145		1.135	48
49	1.325013	89.3	1.288	0.0710	1.329		1.887	0.4227	1.108		1.603	0.5571	1.002		1.679	0.2596	1.134		1.126	49
50	1.305407	87.5	1.285	0.0745	1.326		1.871	0.4444	1.090		1.574	0.5867	0.9811		1.655	0.2730	1.121		1.116	50
51	1.286760	85.7	1.282	0.0781	1.322		1.854	0.4671	1.071		1.544	0.6176	0.9595		1.631	0.2869	1.109		1.105	51
52	1.269018	83.9	1.279	0.0819	1.318		1.837	0.4908	1.052		1.514	0.6501	0.9377		1.606	0.3014	1.096		1.094	52
53	1.252136	82.1	1.275	0.0858	1.314		1.820	0.5155	1.033		1.484	0.6843	0.9155		1.581	0.3166	1.083		1.083	53
54	1.236068	80.4	1.272	0.0899	1.310		1.802	0.5414	1.014		1.453	0.7202	0.8930		1.555	0.3324	1.070		1.072	54
55	1.220775	78.6	1.268	0.0942	1.305		1.784	0.5685	0.9939		1.421	0.7580	0.8703		1.529	0.3490	1.056		1.060	55
56	1.206218	76.9	1.265	0.0986	1.301		1.765	0.5969	0.9737		1.389	0.7979	0.8472		1.502	0.3664	1.042		1.048	56
57	1.192363	75.2	1.261	0.1032	1.296		1.746	0.6268	0.9531		1.357	0.8401	0.8239		1.476	0.3846	1.028		1.036	57
58	1.179178	73.5	1.257	0.1080	1.291		1.726	0.6582	0.9321		1.324	0.8847	0.8003		1.448	0.4037	1.013		1.023	58
59	1.166633	71.8	1.253	0.1131	1.286		1.707	0.6912	0.9108		1.291	0.9321	0.7764		1.420	0.4238	0.9974		1.010	59
60	1.154701	70.1	1.248	0.1183	1.281		1.686	0.7261	0.8891		1.257	0.9825	0.7523	1.163158	1.392	0.4449	0.9816		0.9959	60

ℓ_1 ℓ_2 C_2 | ℓ_3 ℓ_4 C_4 | ℓ_5 ℓ_6 C_6 | ℓ_7 ℓ_8 C_8 | ℓ_9

第12章 正規化フィルタの設計表 591

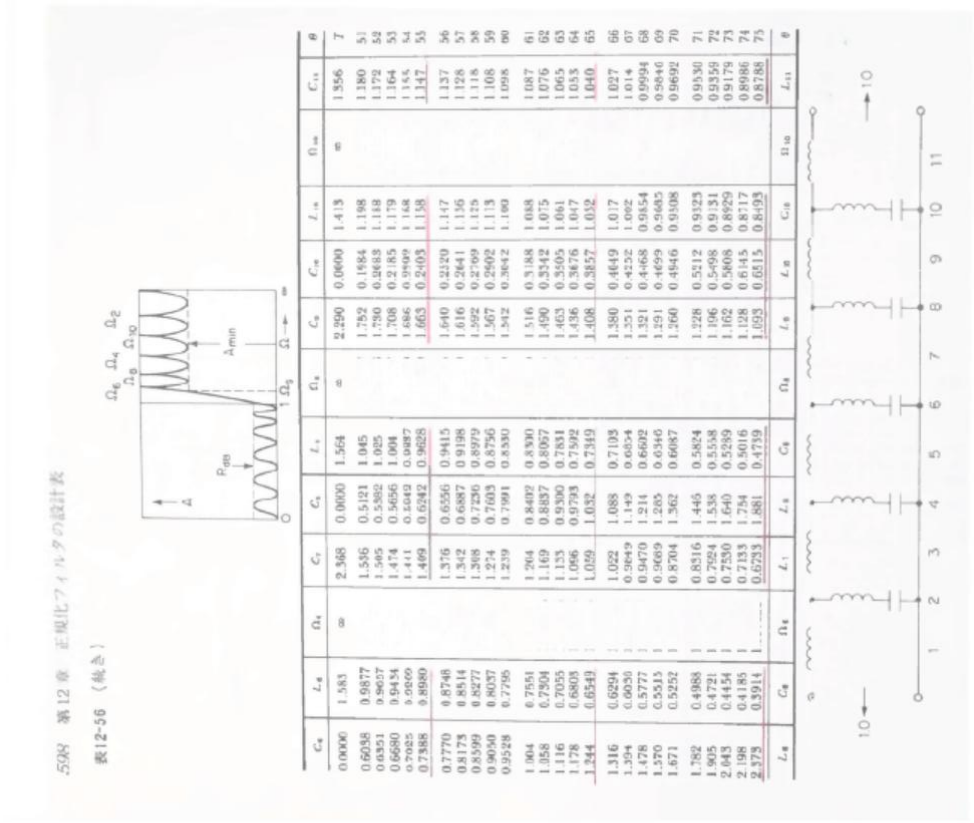
表12-56 (続き) ℓ_1 ℓ_2 C_2 | ℓ_3 ℓ_4 C_4 | ℓ_5 ℓ_6 C_6 | ℓ_7 ℓ_8 C_8 | ℓ_9

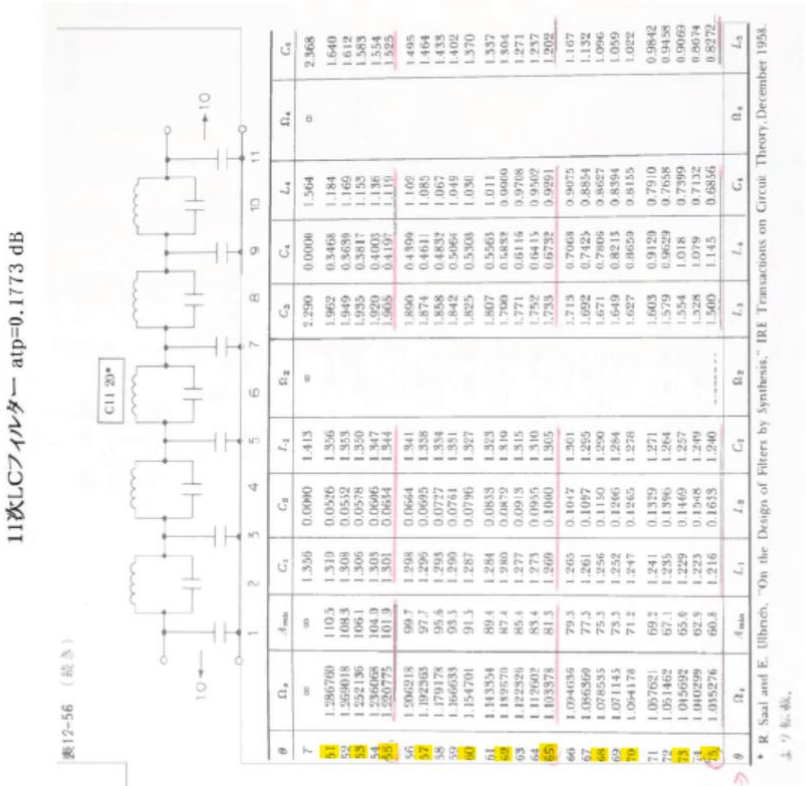
θ	Ω_s	A_{min}	C_1	C_2	L_2	Ω_2	C_3	C_4	L_4	Ω_4	C_5	C_6	L_6	Ω_6	C_7	C_8	L_8	Ω_8	C_9	θ
T	∞	∞	1.349	0.0000	1.405	∞	2.274	0.0000	1.551	∞	2.339	0.0000	1.551	∞	2.274	0.0000	1.405		1.349	T
61	1.143354	68.5	1.244	0.1238	1.275		1.666	0.7629	0.8670		1.223	1.036	0.7279		1.363	0.4671	0.9654		0.9817	61
62	1.132570	66.8	1.239	0.1296	1.269		1.644	0.8019	0.8446		1.189	1.093	0.7033		1.334	0.4906	0.9487		0.9671	62
63	1.122326	65.2	1.234	0.1356	1.263		1.623	0.8433	0.8217		1.154	1.155	0.6785		1.305	0.5155	0.9315		0.9520	63
64	1.112609	63.5	1.229	0.1420	1.257		1.600	0.8873	0.7985		1.119	1.221	0.6534		1.275	0.5418	0.9138		0.9364	64
65	1.103378	61.9	1.223	0.1487	1.250		1.578	0.9342	0.7749		1.083	1.292	0.6281		1.244	0.5698	0.8956		0.9202	65
66	1.094636	60.2	1.217	0.1557	1.243		1.554	0.9844	0.7509		1.047	1.369	0.6026		1.213	0.5995	0.8768		0.9034	66
67	1.086360	58.6	1.211	0.1631	1.236		1.531	1.038	0.7265		1.011	1.453	0.5769		1.182	0.6313	0.8574		0.8860	67
68	1.078535	56.9	1.205	0.1710	1.228		1.506	1.096	0.7017		0.9738	1.544	0.5510		1.150	0.6653	0.8374		0.8679	68
69	1.071145	55.2	1.198	0.1793	1.220		1.481	1.159	0.6764		0.9367	1.644	0.5250		1.118	0.7019	0.8167		0.8491	69
70	1.064178	53.6	1.191	0.1882	1.211		1.455	1.227	0.6507		0.8992	1.754	0.4987		1.085	0.7413	0.7953		0.8294	70
71	1.057621	51.9	1.184	0.1977	1.202		1.429	1.301	0.6245		0.8614	1.876	0.4723		1.052	0.7840	0.7732		0.8089	71
72	1.051462	50.2	1.176	0.2078	1.192		1.401	1.382	0.5979		0.8233	2.013	0.4457		1.018	0.8304	0.7503		0.7875	72
73	1.045692	48.5	1.167	0.2187	1.182		1.373	1.471	0.5708		0.7849	2.166	0.4190		0.9841	0.8812	0.7265		0.7650	73
74	1.040299	46.8	1.158	0.2305	1.171		1.344	1.571	0.5432		0.7463	2.339	0.3922		0.9494	0.9370	0.7017		0.7414	74
75	1.035276	45.1	1.148	0.2433	1.159		1.314	1.682	0.5150		0.7073	2.538	0.3652		0.9141	0.9988	0.6760		0.7165	75
76	1.030614	43.3	1.137	0.2572	1.146		1.283	1.807	0.4862		0.6681	2.768	0.3381		0.8782	1.068	0.6491		0.6902	76
77	1.026304	41.5	1.126	0.2724	1.132		1.251	1.950	0.4569		0.6287	3.036	0.3110		0.8418	1.146	0.6211		0.6622	77
78	1.022341	39.6	1.113	0.2893	1.117		1.218	2.115	0.4268		0.5891	3.355	0.2838		0.8048	1.234	0.5917		0.6325	78
79	1.018717	37.7	1.099	0.3081	1.100		1.183	2.308	0.3961		0.5493	3.741	0.2564		0.7669	1.336	0.5607		0.6004	79
80	1.015427	35.8	1.084	0.3292	1.082		1.146	2.538	0.3645		0.5094	4.216	0.2291		0.7286	1.455	0.528		0.5658	80
81	1.012465	33.8	1.067	0.3534	1.061		1.108	2.817	0.3321		0.4693	4.817	0.2019		0.6895	1.597	0.4935		0.5281	81
82	1.009828	31.7	1.047	0.3814	1.038		1.067	3.166	0.2986		0.4293	5.599	0.1746		0.6497	1.770	0.4567		0.4868	82
83	1.007510	29.5	1.025	0.4145	1.011		1.024	3.616	0.2641		0.3894	6.660	0.1476		0.6090	1.986	0.417		0.4407	83
84	1.005508	27.1	0.9995	0.4548	0.9794		0.9782	4.223	0.2282		0.3496	8.175	0.1208		0.5676	2.268	0.374		0.3886	84
85	1.003820	24.6	0.9688	0.5054	0.9411		0.9284	5.093	0.1909		0.3103	10.50	0.0944		0.5253	2.655	0.328		0.3281	85
θ	Ω_s	A_{min}	L_1	L_2	C_2	Ω_2	L_3	L_4	C_4	Ω_4	L_5	L_6	C_6	Ω_6	L_7	L_8	C_8	Ω_8	L_9	θ



* R. Saal and E. Ulbrich, "On the Design of Filters by Synthesis," IRE Transactions on Circuit Theory, December 1958. より転載。

電卓用のマクロを増やして、整理する





電卓用のマクロを増やして、整理する

9 次 ρ =20% (atp=0.1773 dB)

ファイル名　「LC9 次-リプル 0p1773 dB」

このファイルには次の 11 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5	L6	C3	L7	L8	C4	L9
36	1.7013	116.10	1.3180	0.0354	1.3670	2.0670	0.2078	1.3100	1.9340	0.2703	1.2470	1.9490	0.1273	1.2630	1.2330
39	1.5890	109.30	1.3130	0.0422	1.3600	2.0300	0.2481	1.2690	1.8660	0.3234	1.1960	1.8930	0.1521	1.2370	1.2120
43	1.4663	100.90	1.3040	0.0525	1.3490	1.9770	0.3097	1.2090	1.7670	0.4052	1.1230	1.8130	0.1901	1.1990	1.1800
48	1.3456	91.20	1.2910	0.0676	1.3330	1.9030	0.4019	1.1260	1.6310	0.5289	1.0230	1.7020	0.2468	1.1450	1.1350
51	1.2868	85.70	1.2820	0.0781	1.3220	1.8540	0.4671	1.0710	1.5440	0.6176	0.9595	1.6310	0.2869	1.1090	1.1050
54	1.2361	80.40	1.2720	0.0899	1.3100	1.8020	0.5414	1.0140	1.4530	0.7202	0.8930	1.5550	0.3324	1.0700	1.0720
57	1.1924	75.20	1.2610	0.1032	1.2960	1.7460	0.6268	0.9531	1.3240	0.8847	0.8003	1.4480	0.4037	1.0130	1.0230
60	1.1547	70.10	1.2480	0.1183	1.2810	1.6860	0.7261	0.8891	1.2570	0.9825	0.7523	1.3920	0.4449	0.9816	0.9959
66	1.0946	60.20	1.2170	0.1557	1.2430	1.5540	0.9844	0.7509	1.0470	1.3690	0.6026	1.2130	0.5995	0.8768	0.9034
69	1.0711	55.20	1.1980	0.1793	1.2200	1.4810	1.1590	0.6764	0.9367	1.6440	0.5250	1.1180	0.7019	0.8167	0.8491
72	1.0515	50.20	1.1760	0.2078	1.1920	1.4010	1.3820	0.5979	0.8233	2.0130	0.4457	1.0180	0.8304	0.7503	0.7875

「LCn9Atp0p1773Xs1p7Amin116」リプル 0.1773dB, Xs=1.7, Amin=116dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.318*LS;L2=0.0354*LS;C1=1.367*CS;L3=2.067*LS;L4=0.2078*LS;C2=1.31*CS;L5=1.934*LS;L6=0.2703*LS;C3=1.247*CS;L7=1.949*LS;L8=0.1273*LS;C4=1.263*CS;L9=1.233*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p589Amin109」リプル 0.1773dB, Xs=1.589, Amin=109dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.313*LS;L2=0.0422*LS;C1=1.36*CS;L3=2.03*LS;L4=0.2481*LS;C2=1.269*CS;L5=1.866*LS;L6=0.3234*LS;C3=1.196*CS;L7=1.893*LS;L8=0.1521*LS;C4=1.237*CS;L9=1.212*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p466Amin100」リプル 0.1773dB, Xs=1.466, Amin=100dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.304*LS;L2=0.0525*LS;C1=1.349*CS;L3=1.977*LS;L4=0.3097*LS;C2=1.209*CS;L5=1.767*LS;L6=0.4052*LS;C3=1.123*CS;L7=1.813*LS;L8=0.1901*LS;C4=1.199*CS;L9=1.18*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p345Amin91」リプル 0.1773dB, Xs=1.345, Amin=91dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.291*LS;L2=0.0676*LS;C1=1.333*CS;L3=1.903*LS;L4=0.4019*LS;C2=1.126*CS;L5=1.631*LS;L6=0.5289*LS;C3=1.023*CS;L7=1.702*LS;L8=0.2468*LS;C4=1.145*CS;L9=1.135*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p286Amin85」リプル 0.1773dB, Xs=1.286, Amin=85dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.282*LS;L2=0.0781*LS;C1=1.322*CS;L3=1.854*LS;L4=0.4671*LS;C2=1.071*CS;L5=1.544*LS;L6=0.6176*LS;C3=0.9595*CS;L7=1.631*LS;L8=0.2869*LS;C4=1.109*CS;L9=1.105*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p236Amin80」リプル 0.1773dB, Xs=1.236, Amin=80dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.272*LS;L2=0.0899*LS;C1=1.31*CS;L3=1.802*LS;L4=0.5414*LS;C2=1.014*CS;L5=1.453*LS;L6=0.7202*LS;C3=0.893*CS;L7=1.555*LS;L8=0.3324*LS;C4=1.07*CS;L9=1.072*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p192Amin75」リプル 0.1773dB, Xs=1.192, Amin=75dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.261*LS;L2=0.1032*LS;C1=1.296*CS;L3=1.746*LS;L4=0.6268*LS;C2=0.9531*CS;L5=1.324*LS;L6=0.8847*LS;C3=0.8003*CS;L7=1.448*LS;L8=0.4037*LS;C4=1.013*CS;L9=1.023*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p154Amin70」リプル 0.1773dB, Xs=1.154, Amin=70dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.248*LS;L2=0.1183*LS;C1=1.281*CS;L3=1.686*LS;L4=0.7261*LS;C2=0.8891*CS;L5=1.257*LS;L6=0.9825*LS;C3=0.7523*CS;L7=1.392*LS;L8=0.4449*LS;C4=0.9816*CS;L9=0.9959*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p094Amin60」リプル 0.1773dB, Xs=1.094, Amin=60dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.217*LS;L2=0.1557*LS;C1=1.243*CS;L3=1.554*LS;L4=0.9844*LS;C2=0.7509*CS;L5=1.047*LS;L6=1.369*LS;C3=0.6026*CS;L7=1.213*LS;L8=0.5995*LS;C4=0.8768*CS;L9=0.9034*LS;

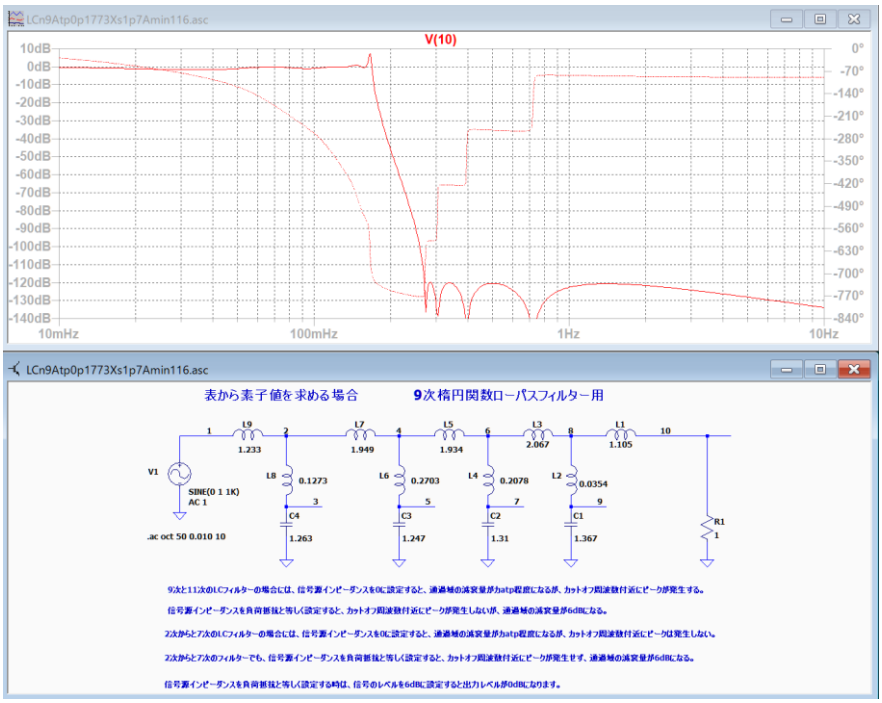
「LCn9Atp0p1773Xs1p071Amin55」リプル 0.1773dB, Xs=1.071, Amin=55dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.198*LS;L2=0.1793*LS;C1=1.22*CS;L3=1.481*LS;L4=1.159*LS;C2=0.6764*CS;L5=0.9367*LS;L6=1.644*LS;C3=0.525*CS;L7=1.118*LS;L8=0.7019*LS;C4=0.8167*CS;L9=0.8491*LS;

「LCn9Atp0p1773Xs1p051Amin50」リプル 0.1773dB, Xs=1.051, Amin=50dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.176*LS;L2=0.2078*LS;C1=1.192*CS;L3=1.401*LS;L4=1.382*LS;C2=0.5979*CS;L5=0.8233*LS;L6=2.013*LS;C3=0.4457*CS;L7=1.018*LS;L8=0.8304*LS;C4=0.7503*CS;L9=0.7875*LS;

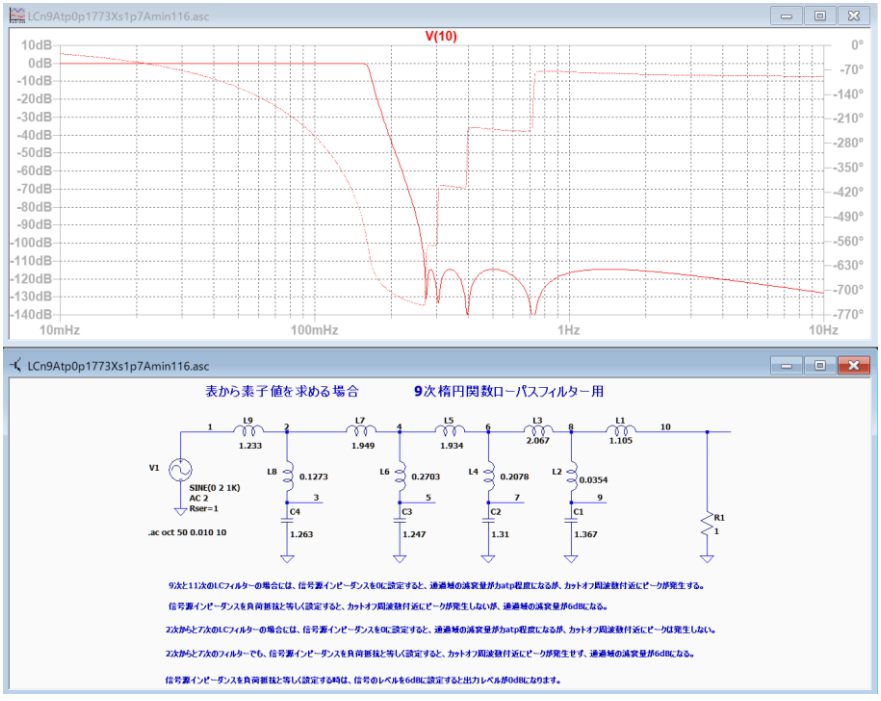
電卓用のマクロを増やして、整理する

9 次の注意点

9 次の表で作成した回路図は、信号源インピーダンスを 0 に設定すると通過域の減衰量が atp 程度になりますが、カットオフ周波数付近にピークが発生します。



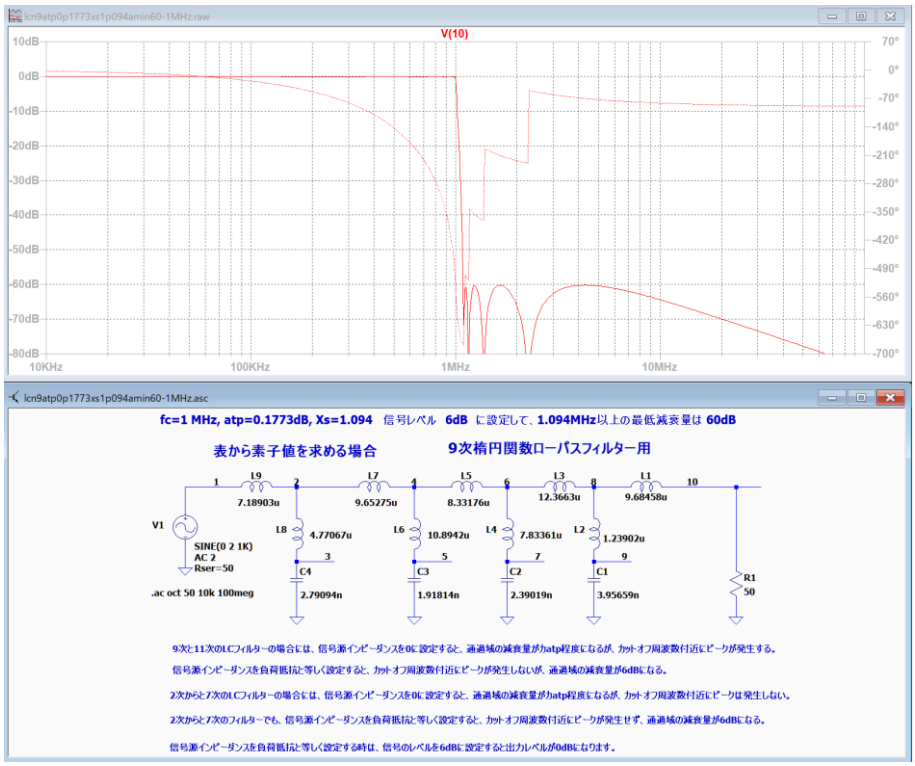
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定し、信号レベルを 6dB に設定するとピークが消えて要求仕様の周波数特性が得られます。



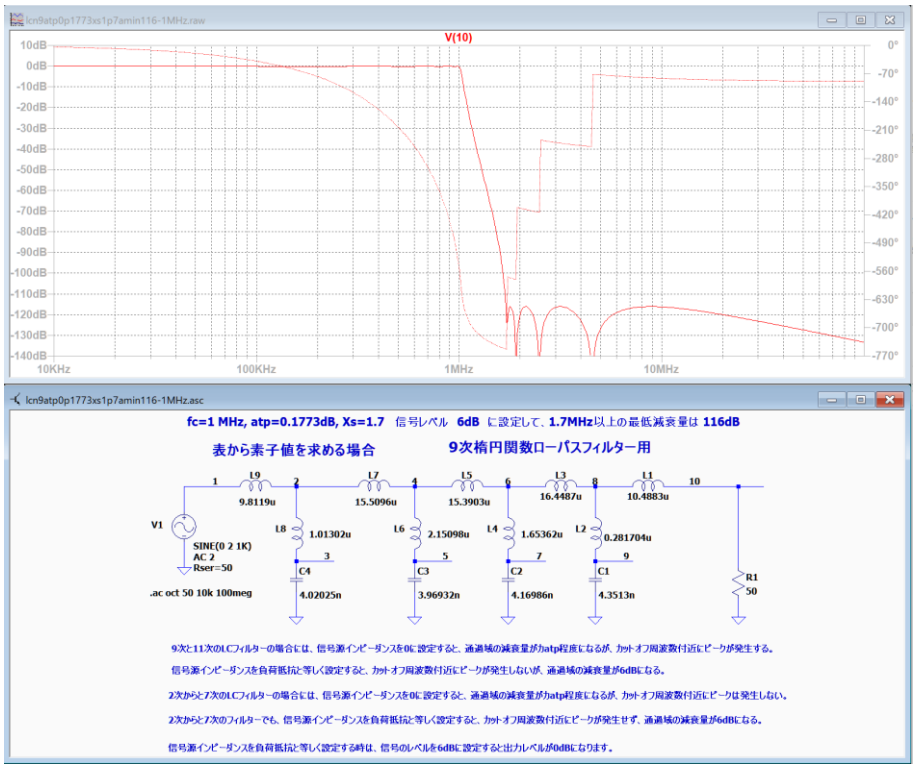
電卓用のマクロを増やして、整理する

9 次の作成例

lcn9atp0p1773xs1p094amin60-1MHz.asc



lcn9atp0p1773xs1p7amin116-1MHz.asc



電卓用のマクロを増やして、整理する

11 次 ρ=20% (atp=0.1773 dB)

ファイル名　「LC11 次-リプル 0p1773 dB」

このファイルには次の 11 個のマクロが含まれている。

θ	Ωs	Amin dB	L1	L2	C1	L3	L4	C2	L5	L6	C3	L7	L8	C4	L9	L10	C5	L11
51	1.2868	110.50	1.3100	0.0526	1.3560	1.9620	0.3468	1.1840	1.6400	0.6038	0.9877	1.5360	0.5121	1.0450	1.7520	0.1984	1.1980	1.1800
53	1.2521	106.10	1.3060	0.0578	1.3500	1.9350	0.3817	1.1530	1.5830	0.6680	0.9434	1.4740	0.5656	1.0040	1.7080	0.2185	1.1790	1.1640
55	1.2208	101.90	1.3010	0.0634	1.3440	1.9050	0.4197	1.1190	1.5250	0.7388	0.8980	1.4090	0.6242	0.9628	1.6630	0.2403	1.1580	1.1470
57	1.1924	97.70	1.2960	0.0695	1.3380	1.8740	0.4611	1.0850	1.4640	0.8174	0.8514	1.3420	0.6887	0.9198	1.6160	0.2641	1.1360	1.1280
60	1.1547	91.50	1.2870	0.0796	1.3270	1.8250	0.5308	1.0300	1.3700	0.9528	0.7795	1.2390	0.7991	0.8530	1.5420	0.3042	1.1000	1.0980
62	1.1326	87.40	1.2800	0.0872	1.3190	1.7900	0.5832	0.9909	1.3040	1.0580	0.7304	1.1690	0.8837	0.8067	1.4900	0.3342	1.0750	1.0760
65	1.1034	81.30	1.2690	0.1000	1.3050	1.7330	0.6732	0.9291	1.2020	1.2440	0.6549	1.0590	1.0320	0.7349	1.4080	0.3857	1.0320	1.0400
68	1.0785	75.30	1.2560	0.1150	1.2900	1.6710	0.7806	0.8627	1.0960	1.4780	0.5777	0.9470	1.2140	0.6602	1.3210	0.4468	0.9854	0.9994
70	1.0642	71.20	1.2470	0.1265	1.2780	1.6270	0.8650	0.8155	1.0220	1.6710	0.5252	0.8704	1.3620	0.6087	1.2600	0.4946	0.9508	0.9692
73	1.0457	65.00	1.2290	0.1469	1.2570	1.5540	1.0180	0.7399	0.9069	2.0430	0.4454	0.7530	1.6400	0.5289	1.1620	0.5808	0.8929	0.9179
75	1.0353	60.80	1.2160	0.1633	1.2400	1.5000	1.1450	0.6856	0.8272	2.3730	0.3914	0.6733	1.8810	0.4739	1.0930	0.6515	0.8493	0.8788

「LCn11Atp0p1773Xs1p286Amin110」リプル 0.1773dB, Xs=1.286, Amin=110dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.31*LS;L2=0.0526*LS;C1=1.356*CS;L3=1.962*LS;L4=0.3468*LS;C2=1.184*CS;L5=1.64*LS;L6=0.6038*LS;C3=0.9877*CS;L7=1.536*LS;L8=0.5121*LS;C4=1.045*CS;L9=1.752*LS;L10=0.1984*LS;C5=1.198*CS;L11=1.18*LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p252Amin106」リプル 0.1773dB, Xs=1.252, Amin=106dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.306*LS;L2=0.0578*LS;C1=1.35*CS;L3=1.935*LS;L4=0.3817*LS;C2=1.153*CS;L5=1.583*LS;L6=0.668*LS;C3=0.9434*CS;L7=1.474*LS;L8=0.5656*LS;C4=1.004*CS;L9=1.708*LS;L10=0.2185*LS;C5=1.179*CS;L11=1.164*LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p22Amin101」リプル 0.1773dB, Xs=1.22, Amin=101dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.301*LS;L2=0.0634*LS;C1=1.344*CS;L3=1.905*LS;L4=0.4197*LS;C2=1.119*CS;L5=1.525*LS;L6=0.7388*LS;C3=0.898*CS;L7=1.409*LS;L8=0.6242*LS;C4=0.9628*CS;L9=1.663*LS;L10=0.2403*LS;C5=1.158*CS;L11=1.147*LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p192Amin97」リプル 0.1773dB, Xs=1.192, Amin=97dB

LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.296*LS;L2=0.0695*LS;C1=1.338*CS;L3=1.874*LS;L4=0.4611*LS;C2=1.085*CS;L5=1.464*LS;L6=0.8174*LS;C3=0.8514*CS;L7=1.342*LS;L8=0.6887*LS;C4=0.9198*CS;L9=1.616*LS;L10=0.2641*LS;C5=1.136*CS;L11=1.128*LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn11Atp0p1773Xs1p154Amin91」リプル 0.1773dB, Xs=1.154, Amin=91dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.287*LS;L2=0.0796*LS;C1=1.327*CS;L3=1.825*LS;L4=0.5308*LS;C2=1.03*CS;L5=1.37*LS;L6=0.9528*LS;C3=0.7795*CS;L7=1.239*LS;L8=0.7991*LS;C4=0.853*CS;L9=1.542*LS;L10=0.3042*LS;C5=1.1*CS;L11=1.098*LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p132Amin87」リプル 0.1773dB, Xs=1.132, Amin=87dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.28*LS;L2=0.0872*LS;C1=1.319*CS;L3=1.79*LS;L4=0.5832*LS;C2=0.9909*CS;L5=1.304*LS;L6=1.058*LS;C3=0.7304*CS;L7=1.169*LS;L8=0.8837*LS;C4=0.8067*CS;L9=1.49*LS;L10=0.3342*LS;C5=1.075*CS;L11=1.076*LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p1Amin81」リプル 0.1773dB, Xs=1.1, Amin=81dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.269*LS;L2=0.1*LS;C1=1.305*CS;L3=1.733*LS;L4=0.6732*LS;C2=0.9291*CS;L5=1.202*LS;L6=1.244*LS;C3=0.6549*CS;L7=1.059*LS;L8=1.032*LS;C4=0.7349*CS;L9=1.408*LS;L10=0.3857*LS;C5=1.032*CS;L11=1.04*LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p078Amin75」リプル 0.1773dB, Xs=1.078, Amin=75dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.256*LS;L2=0.115*LS;C1=1.29*CS;L3=1.671*LS;L4=0.7806*LS;C2=0.8627*CS;L5=1.096*LS;L6=1.478*LS;C3=0.5777*CS;L7=0.947*LS;L8=1.214*LS;C4=0.6602*CS;L9=1.321*LS;L10=0.4468*LS;C5=0.9854*CS;L11=0.9994 *LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p064Amin71」リプル 0.1773dB, Xs=1.064, Amin=71dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.247*LS;L2=0.1265*LS;C1=1.278*CS;L3=1.627*LS;L4=0.865*LS;C2=0.8155*CS;L5=1.022*LS;L6=1.671*LS;C3=0.5252*CS;L7=0.8704*LS;L8=1.362*LS;C4=0.6087*CS;L9=1.26*LS;L10=0.4946*LS;C5=0.9508*CS;L11=0.9692 *LS;

「LCn11Atp0p1773Xs1p045Amin65」リプル 0.1773dB, Xs=1.045, Amin=65dB
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.229*LS;L2=0.1469*LS;C1=1.257*CS;L3=1.554*LS;L4=1.018*LS;C2=0.7399*CS;L5=0.9069*LS;L6=2.043*LS;C3=0.4454*CS;L7=0.753*LS;L8=1.64*LS;C4=0.5289*CS;L9=1.162*LS;L10=0.5808*LS;C5=0.8929*CS;L11=0.9179 *LS;

電卓用のマクロを増やして、整理する

「LCn11Atp0p1773Xs1p035Amin60」リプル 0.1773dB, Xs=1.035, Amin=60dB

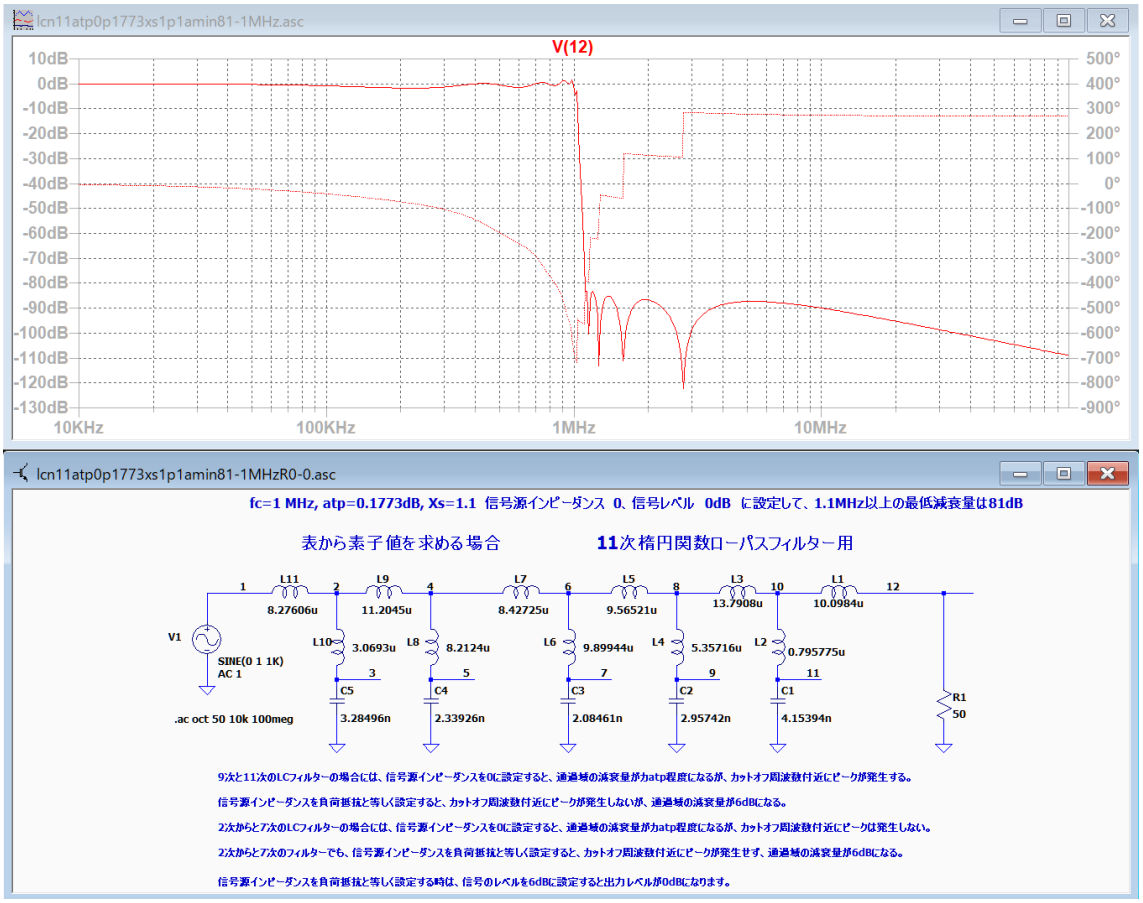
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=1.216*LS;L2=0.1633*LS;C1=1.24*CS;L3=1.5*LS;L4=1.145*LS;C2=0.6856*CS;L5=0.8272*LS;L6=2.373*LS;C3=0.3914*CS;L7=0.6733*LS;L8=1.881*LS;C4=0.4739*CS;L9=1.093*LS;L10=0.6515*LS;C5=0.8493*CS;L11=0.8788 *LS;

11 次の注意点

11 次でも信号源インピーダンスを 0 に設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生します。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定し、信号レベルを 6dB に設定するとピークが消えて要求仕様の周波数特性が得られます。

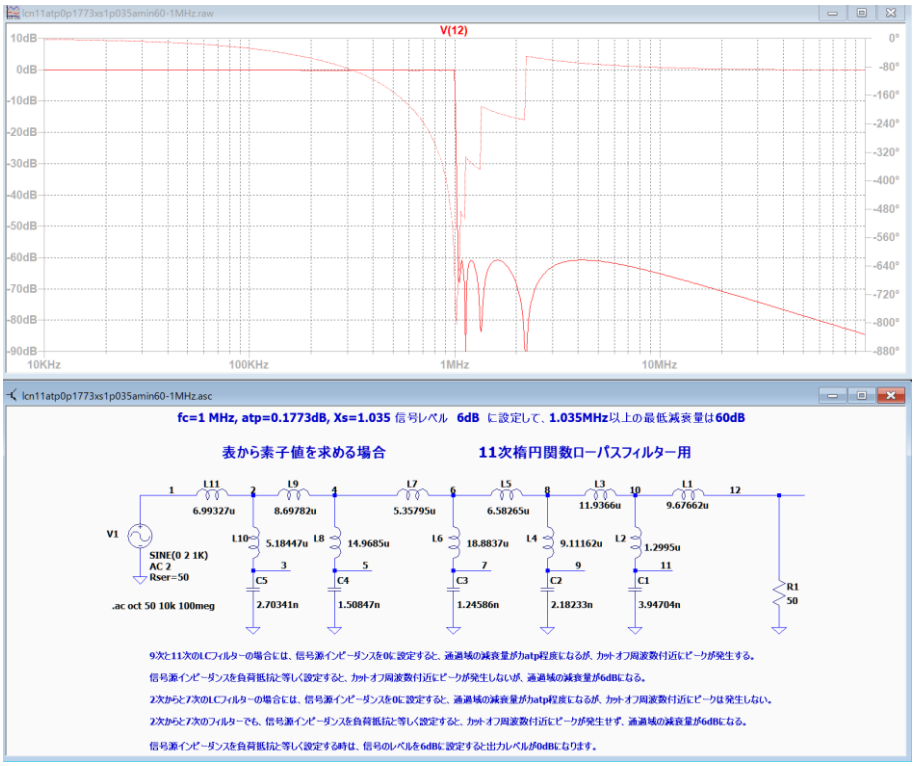
lcn11atp0p1773xs1p1amin81-1MHzR0-0.asc



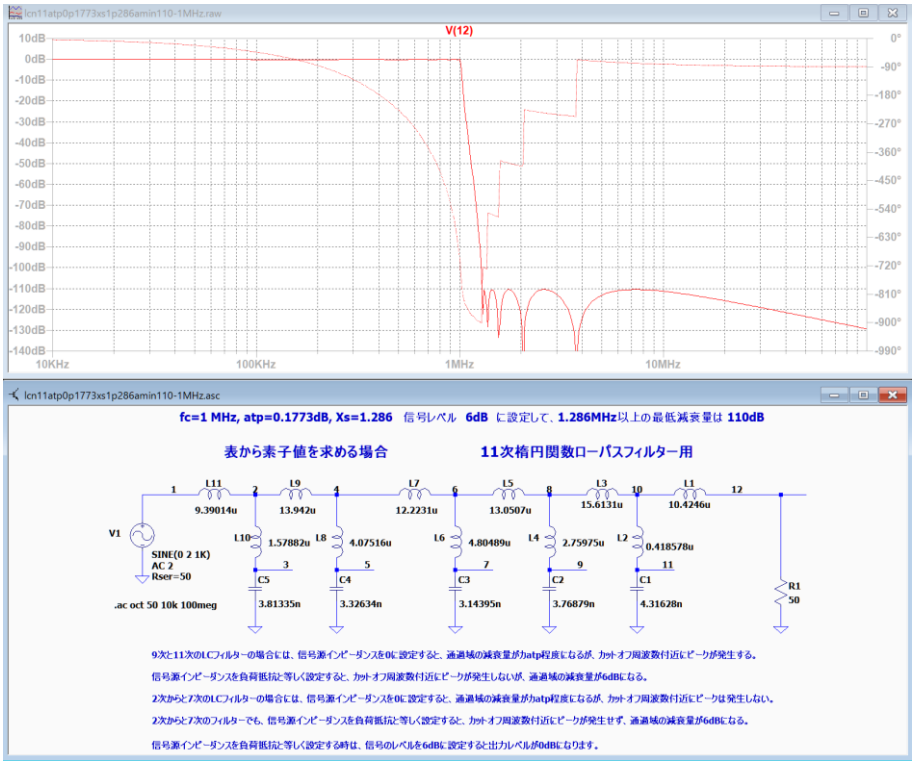
電卓用のマクロを増やして、整理する

11 次の作成例

lcn11atp0p1773xs1p035amin60-1MHz.asc



lcn11atp0p1773xs1p286amin110-1MHz.asc

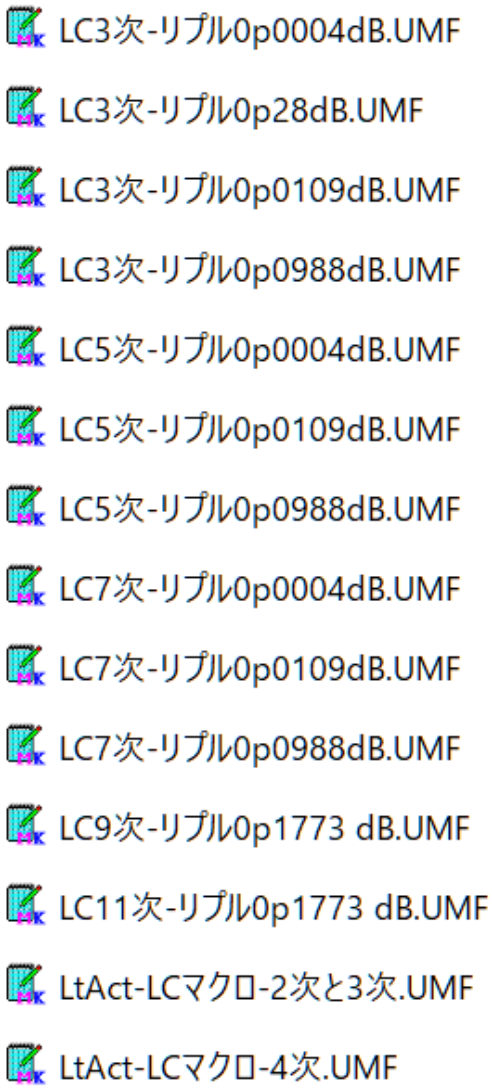


マクロと基本回路図の格納場所

「LCフィルタの設計と合成の実験」を解凍したフォルダ内にある、「LCフィルタ設計マクロ」をフォルダごと「電卓プログラム Dt.exe」を解凍したフォルダにコピーして下さい。

「LC フィルタ設計マクロ」の中に、マクロ「LC2in.UMF」とフォルダ「LC 表形式次数別マクロ」があります。

「LC 表形式次数別マクロ」の中に、次のようにフィルタの次数とリプルで分類したマクロファイルがあります。

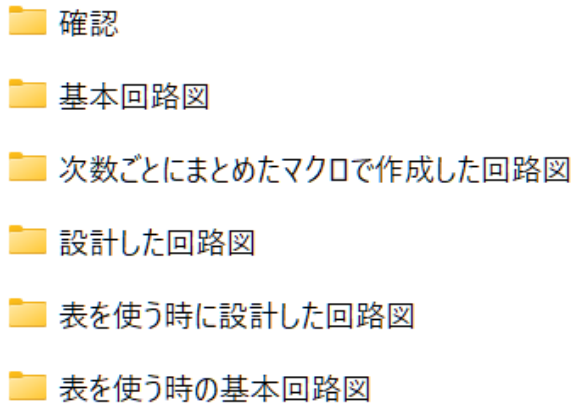


各マクロファイルの中には Xs と Amin が異なる 10 個位のマクロが含まれています。

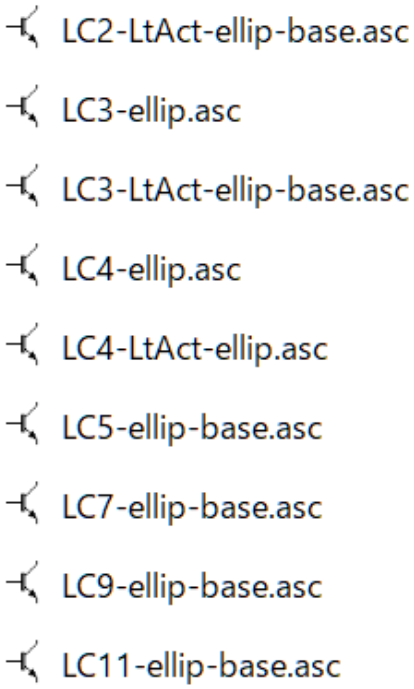
電卓用のマクロを増やして、整理する

「LC フィルタの設計と合成の実験」を解凍したフォルダの「LC 実験」にはフィルターの基本回路図とマクロで作成した回路図が入っています。

「LC 実験」の内容



「表を使う時の基本回路図」の内容



「LC 表形式次数別マクロ」で素子値を計算したら、「表を使う時の基本回路図」に含まれる基本回路から適切な回路図を「LtSpice」で読み込んで、計算した素子値を入力してシミュレーションして下さい。

電卓用のマクロを増やして、整理する

マクロを利用する手順

設計例 1

１．フィルターの仕様を決定する。

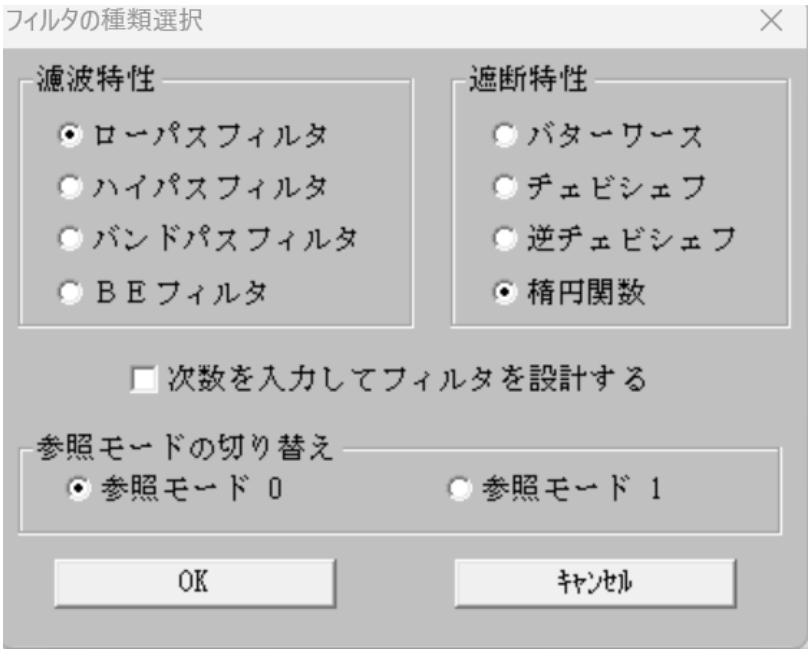
A. カットオフ周波数 Fc と最低減衰量減衰量に達する周波数 Fs の比 Xs=Fs/Fc を決める（仮に、Xs=1.7 とする）

B. 希望する通過域のリプル atp(dB)を決める（仮に、atp=0.1 とする）

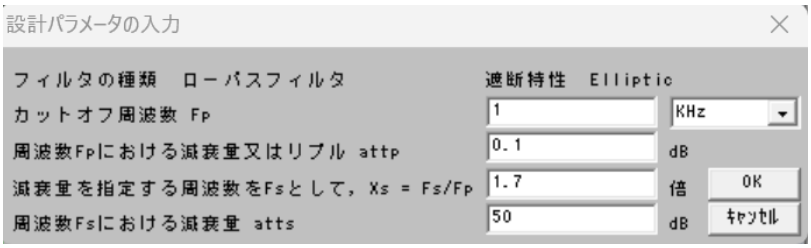
C. 希望する最低減衰量 Amin(dB)を決める（仮に、Amin=50 とする）

２．「LtAct」を使って、フィルターの必要最低限の次数を決定する。

「LtAct」を起動して、「フィルタの種類選択」をクリックして「ローパスフィルタ」と「楕円関数」をチェックする。「次数を入力してフィルタを設計する」はチェックしない。「OK」を押す。



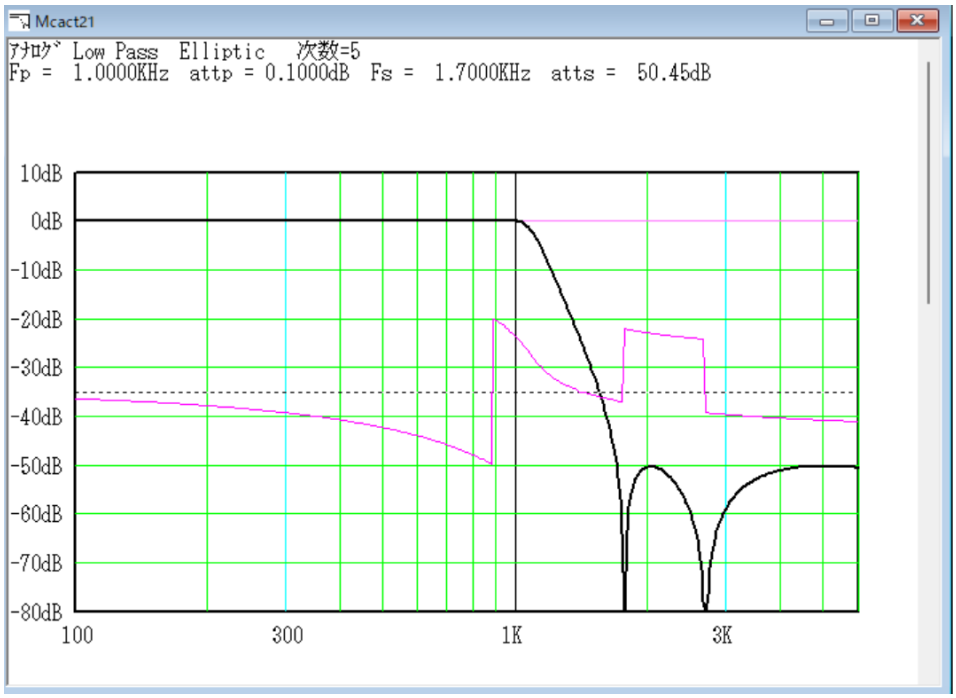
設計仕様の入力画面



設計の仕様を入力して、「OK」を押す。

電卓用のマクロを増やして、整理する

設計の結果

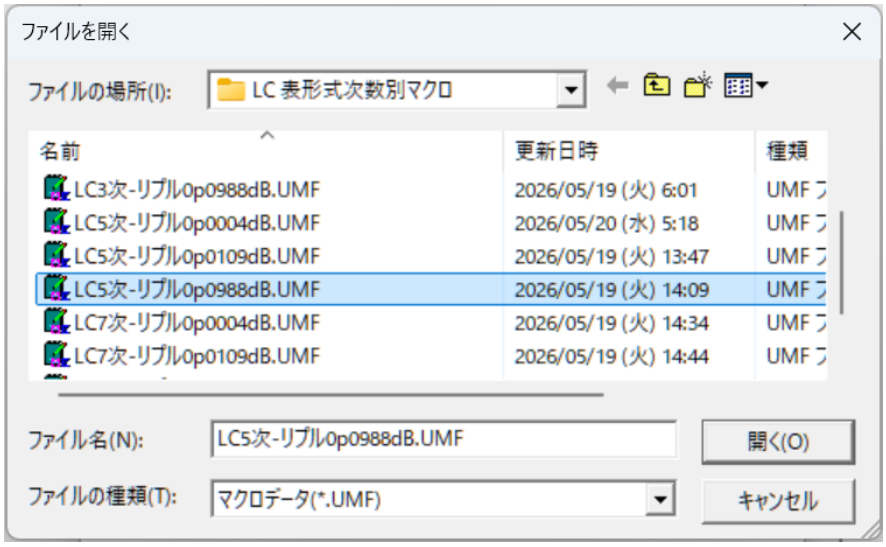


グラフの上部に表示される情報より、フィルターの次数は 5 次と分かります。

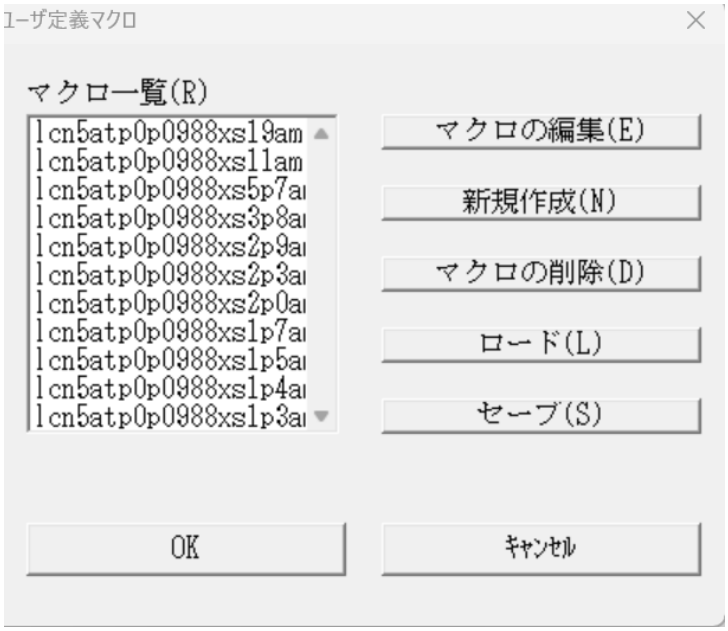
フィルターの次数 n=5 とリプル atp=0.1dB が決まったので、「電卓プログラム Dt.exe」でマクロファイルをロードして最適なマクロを選択します。

「電卓プログラム Dt.exe」を起動している時は一度プログラムを停止してから改めて起動します。

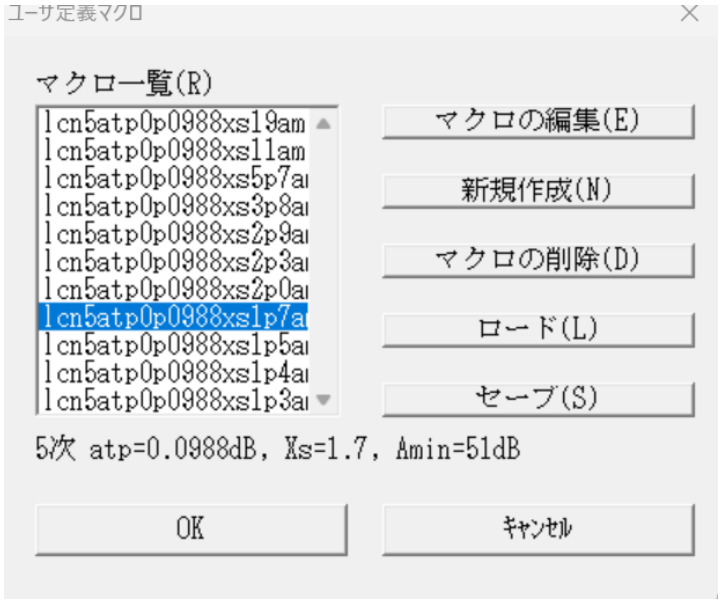
「マクロ」→「ロード」を押して、電卓ソフトフォルダを解凍したフォルダの「LC フィルタ用マクロ」内の「LC 表形式次数別マクロ」から「LC5 次-リプル 0p0988dB」を選択して「開く」を押します。



マクロ一覧が表示されます。



設計仕様では Xs=1.7, Amin=50 dB なので、マクロ一覧のマクロ名が…xs1p7…の前後のマクロを左クリックして一覧の下に表示される特性を確認して最適なマクロを探します。



…xs1p7…のマクロは、atp=0.0988dB, Xs=1.7, Amin=51dB だと分かります。
また、…xs2p0…のマクロは、atp=0.0988dB, Xs=2.0, Amin=58dB、
…xs1p5…のマクロは、atp=0.0988dB, Xs=1.5, Amin=45dB と確認できます。
従って、「LCn5Atp0p0988Xs1p7Amin51」が希望する仕様に近いフィルタを作成するのに最適だと思います。

電卓用のマクロを増やして、整理する

３．マクロを使用して、LC フィルターの素子値を計算する。

一度、「キャンセル」を押して、電卓の入力画面に戻って、フィルターのカットオフ周波数 Fc と負荷抵抗 R1 を入力します。

fc=1 k;r1=50; と入力してから、「マクロ」を押します。

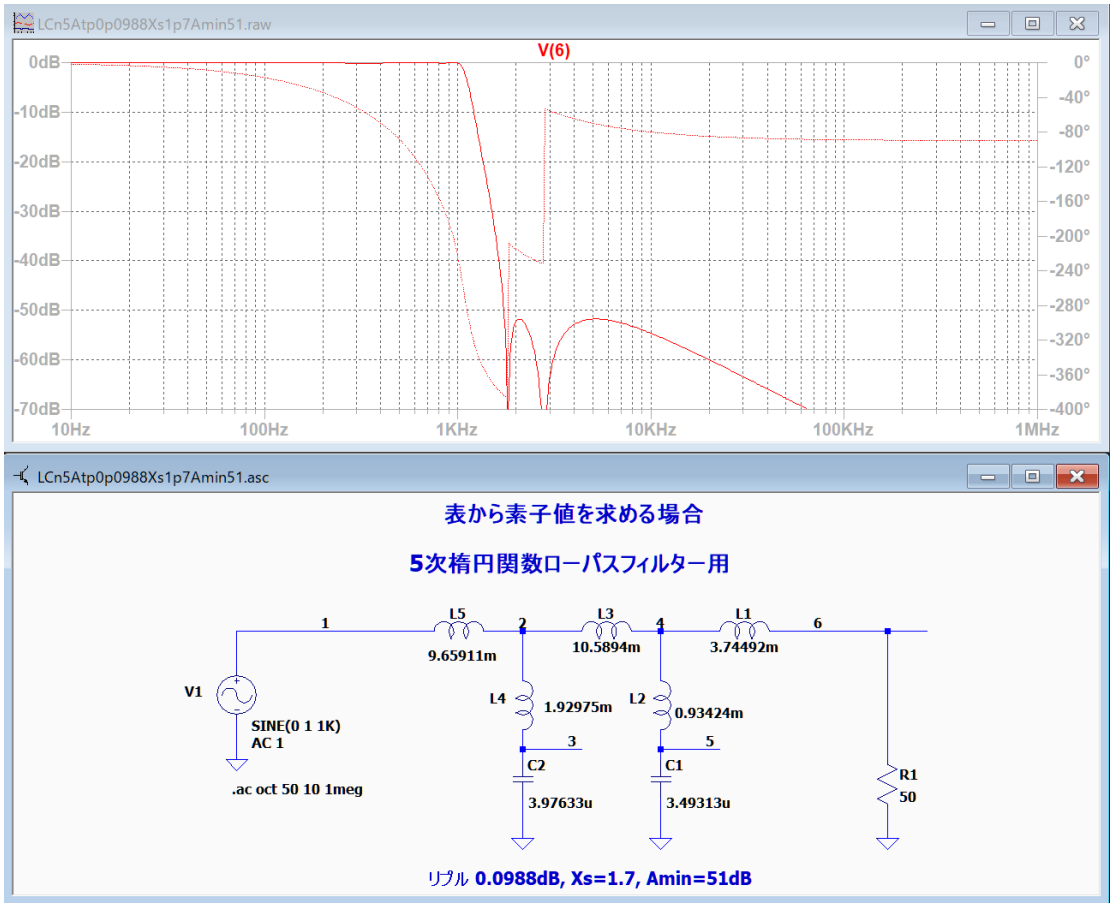
マクロ一覧から、「LCn5Atp0p0988Xs1p7Amin51」を選択して「OK」を押すと、マクロ名が入力されます。「Return」を押すと素子値が計算されます。

L1=3.74492m, L2=0.93424m, L3=10.5894m, L4=1.92975m, L5=9.65911m

C1=3.49313u, C2=3.97633u

「LtSpice」で「LC フィルタの設計と合成の実験」を解凍したフォルダの「LC 実験」→「表を使う時の基本回路図」→「LC5-ellip-base.asc」を読み込んで、計算された素子値を入力してシミュレーションして下さい。ファイル名を変更して保存して下さい。

「LCn5Atp0p0988Xs1p7Amin51」

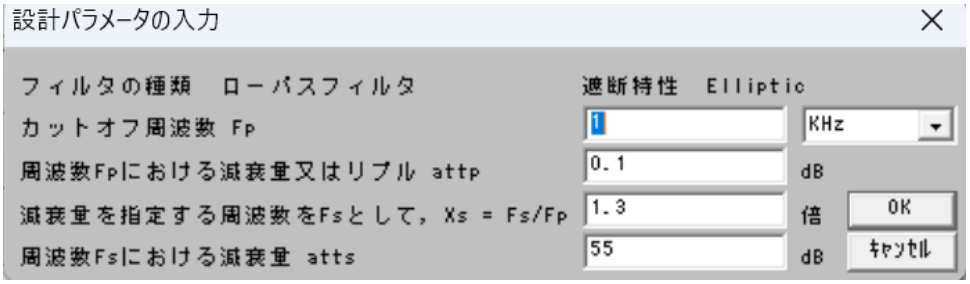


電卓用のマクロを増やして、整理する

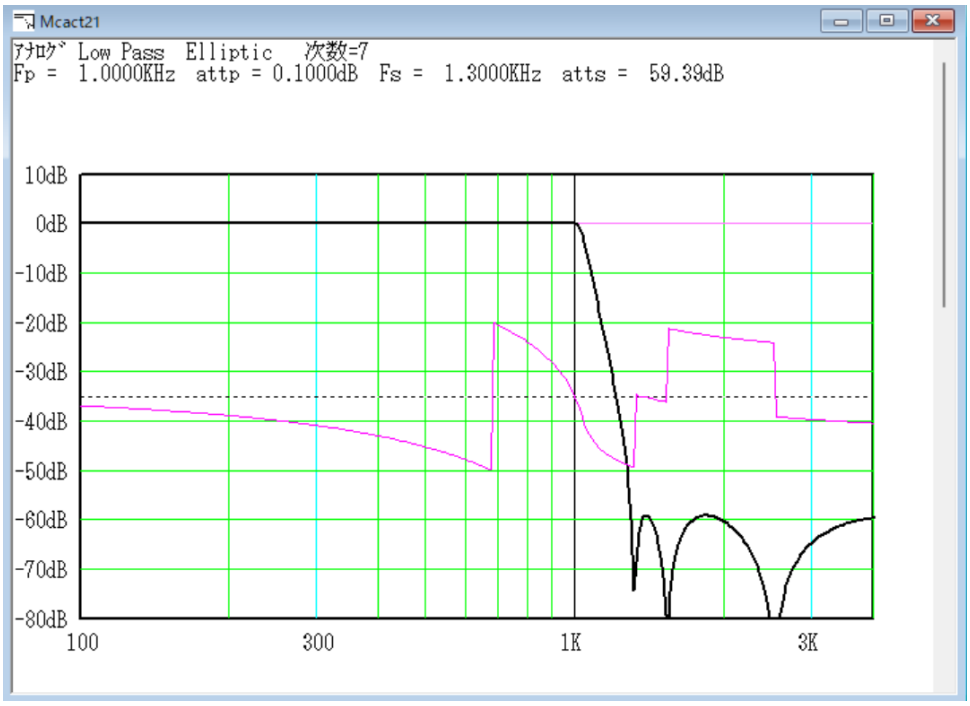
設計例 2

要求仕様が通過域リプル atp=0.1dB、Xs=1.3、Amin=55dB の場合

設計仕様の入力画面



設計の結果

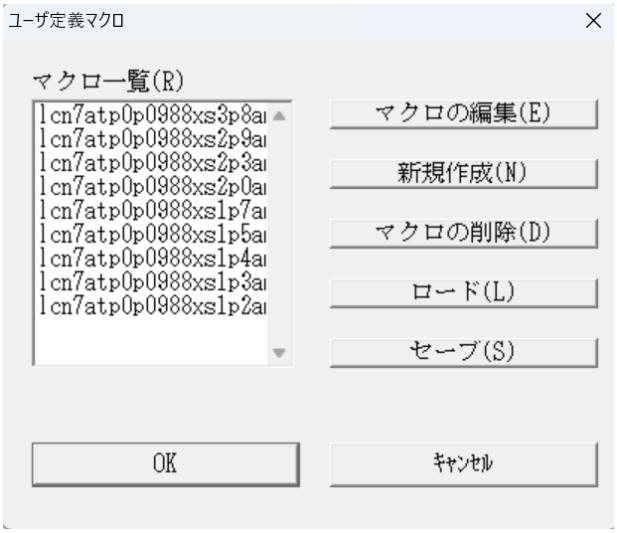


グラフの上部に表示される情報より、フィルターの次数は 7 次と分かります。

フィルターの次数 n=7 とリプル atp=0.1dB が決まったので、「電卓プログラム Dt.exe」でマクロファイルをロードして最適なマクロを選択します。

「電卓プログラム Dt.exe」を起動している時は一度プログラムを停止してから改めて起動します。「マクロ」→「ロード」を押して、電卓ソフトフォルダを解凍したフォルダの「LC フィルタ用マクロ」内の「LC 表形式次数別マクロ」から「LC7 次-リプル 0p0988dB」を選択して「開く」を押します。

電卓用のマクロを増やして、整理する



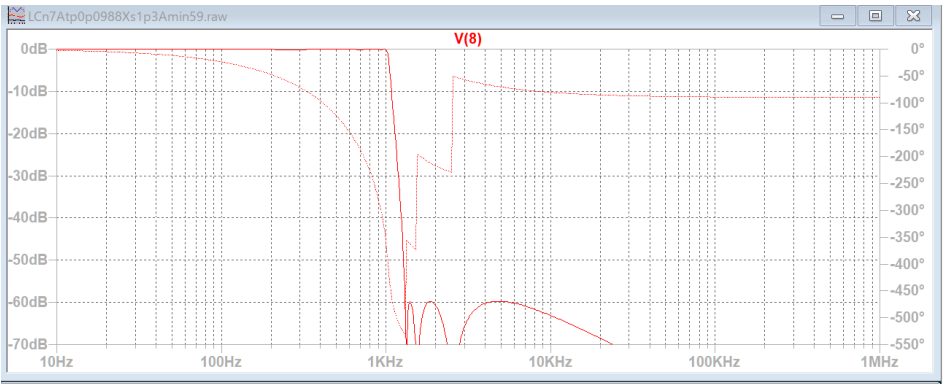
…xs1p3…のマクロを左クリックすると、atp=0.0988dB, Xs=1.3, Amin=59dB と表示されて要求仕様を満たしているので、「lcn7atp0p0988xs1p3amin59」を使います。

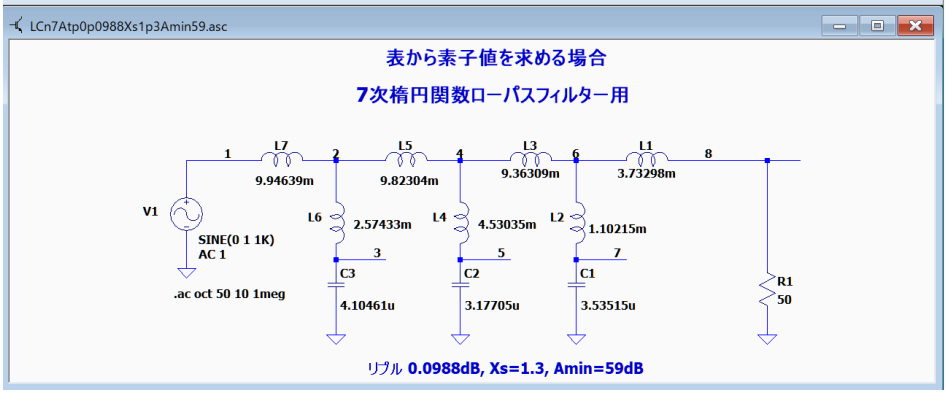
一度、「キャンセル」を押して、電卓の入力画面に戻って、

fc=1 k;r1=50; と入力してから、「マクロ」を押します。

マクロ一覧から、「lcn7atp0p0988xs1p3amin59」を選択して「OK」を押すと、マクロ名が入力されます。「Return」を押すと素子値が計算されます。

LCn7Atp0p0988Xs1p3Amin59.asc





電卓用のマクロを増やして、整理する

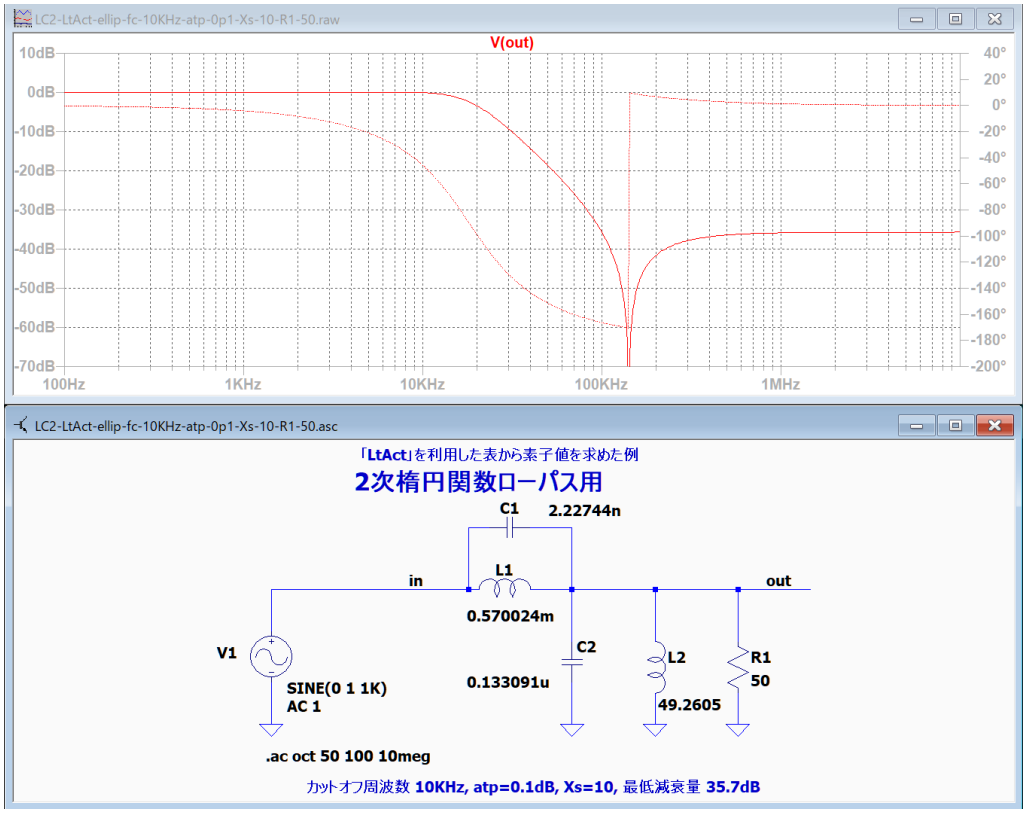
マクロで作成した回路図を活用する

回路図に .param 文を追加してカットオフ周波数と負荷抵抗を任意に指定可能にする。

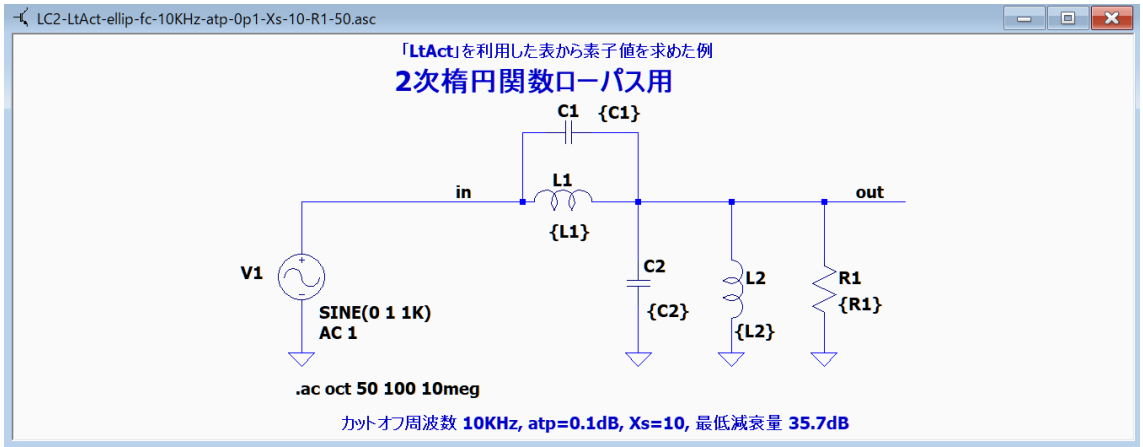
.param 文のカットオフ周波数と負荷抵抗を変更するだけで、周波数特性を確認できる。

2 次 リプル 0.1dB, Xs=10, Amin=35dB

LC2-LtAct-ellip-fc-10KHz-atp-0p1-Xs-10-R1-50.asc　カットオフ周波数 10KHz



まず、回路図の素子値を全て変数に書き換える。



電卓用のマクロを増やして、整理する

回路図を作成した電卓のマクロ「actlcn2atp0p1xs10amin35」の内容は、
LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.716313*LS;L2=61.9026*LS;C1=6.9977 m * CS;C2=0.418118*CS;

マクロに Fc と R1 を追加して、LtSpice の.param 文に書き換えるのは簡単です。

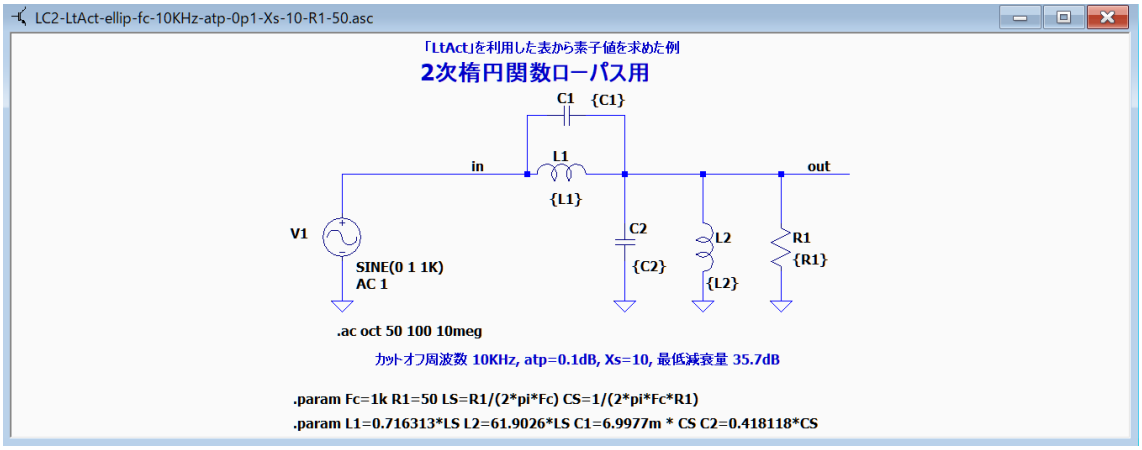
セミコロン「;」を半角スペースに変え、数字と単位「m」の間にスペースは入れません。

.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1) L1=0.716313*LS
L2=61.9026*LS C1=6.9977m * CS C2=0.418118*CS

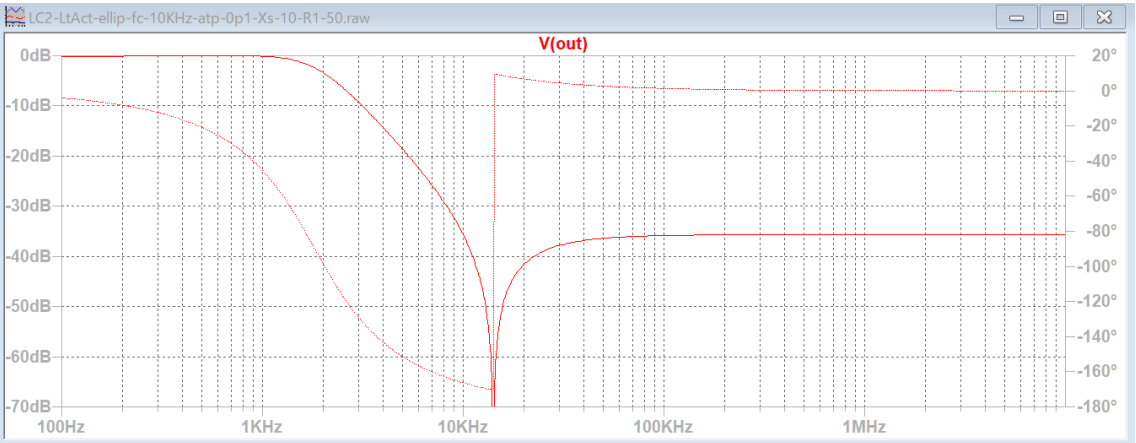
カットオフ周波数と負荷抵抗を変更するために、次のように 2 つに分割します。

.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)
.param L1=0.716313*LS L2=61.9026*LS C1=6.9977m * CS C2=0.418118*CS

回路図で「S」を押して、一つづつ .param 文を貼り付ける。



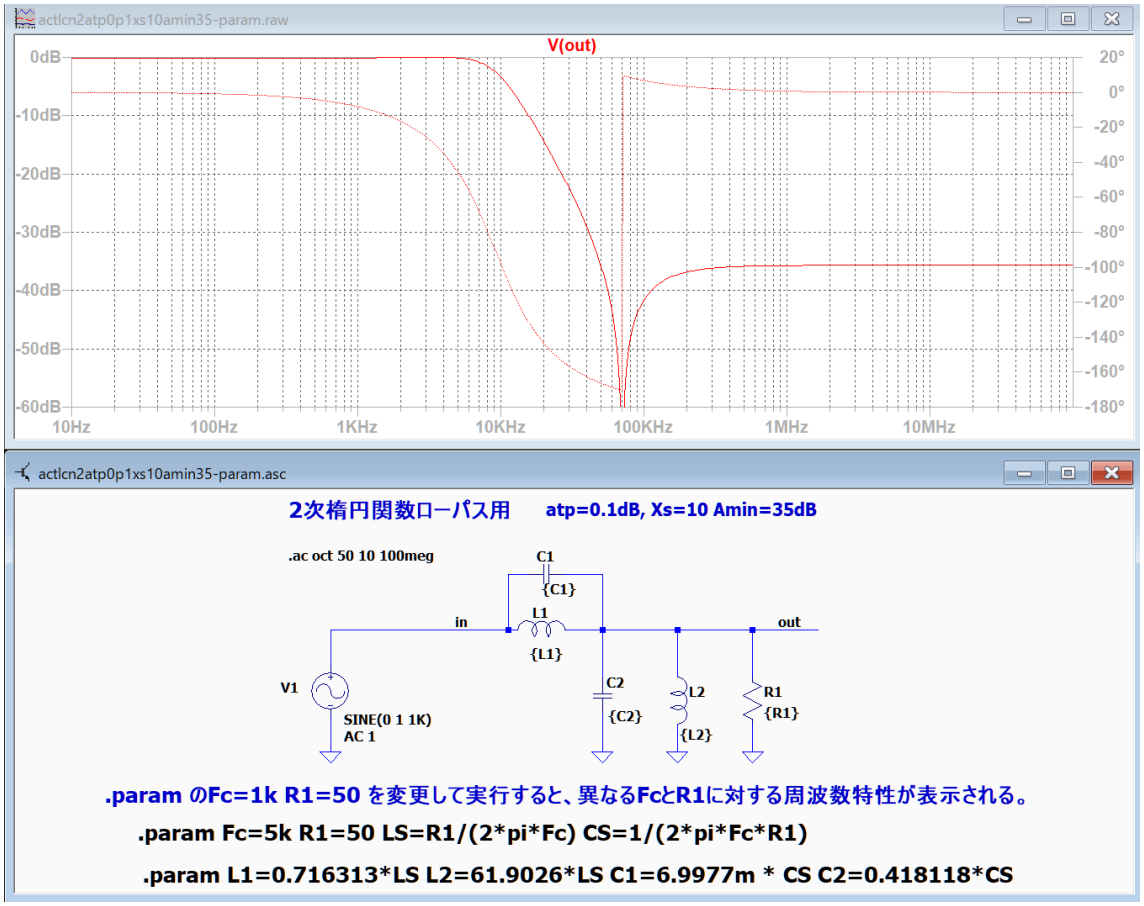
シミュレーションを実行すると、カットオフ周波数が 1K になり、10KHz で最低減衰量の 35.6dB に達することが分かる。



電卓用のマクロを増やして、整理する

回路図上で、.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1) を右クリックして、.param Fc=5k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1) に変更して実行する。

素子値を入力しなくても、カットオフ周波数が 5KHz に変わり、50KHz で最低減衰量の 35.6dB に達することが分かる。



.param 文の Fc や R1 の数値を希望する値に変更するだけで、カットオフ周波数や負荷抵抗が異なる場合の周波数特性が瞬時に確認できるのは大変便利だと思います。

例えば、9 次フィルターでカットオフ周波数を 100KHz から 101, 102, ..., 110KHz まで変更して、90KHz～110KHz の範囲における位相の変化を比較したい場合には、多数の素子値を入力する手間が省けて、瞬時に結果が確認できるのは便利です。

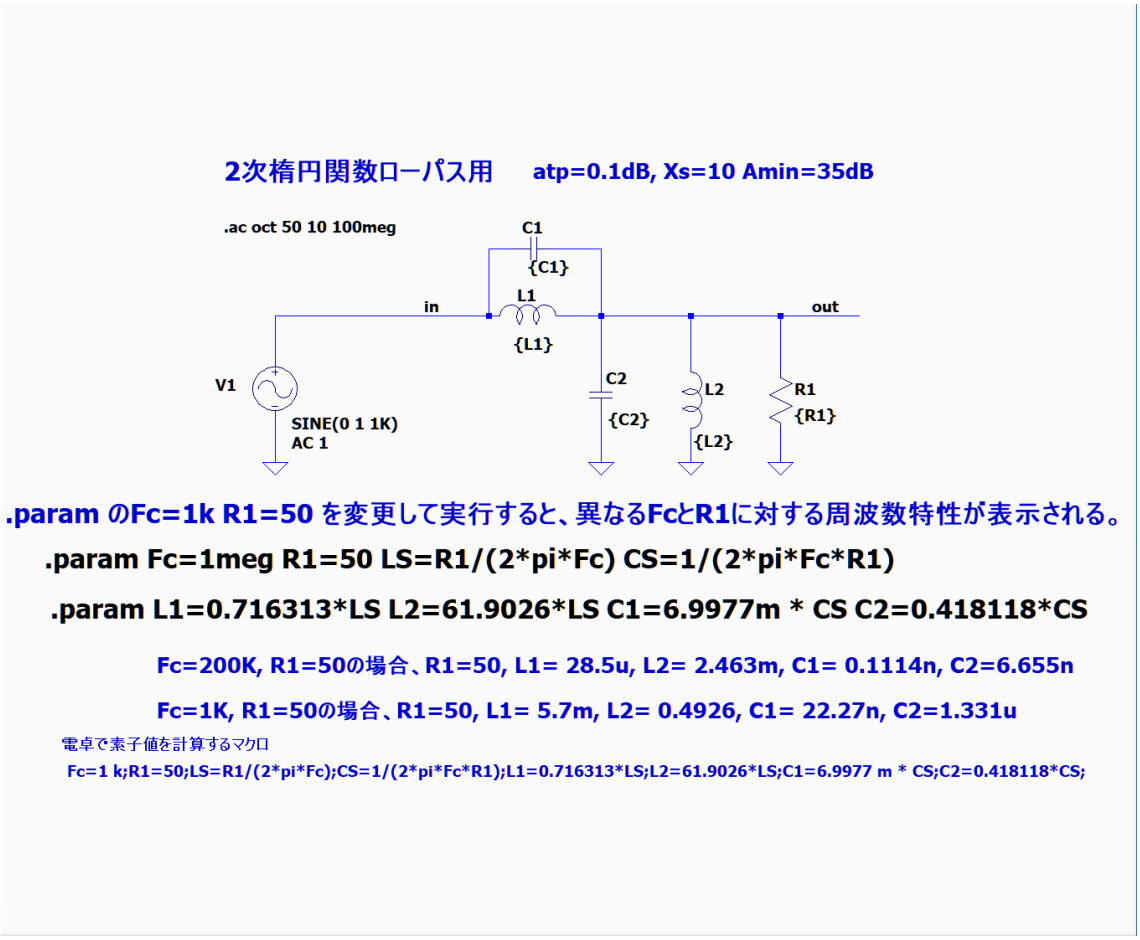
残念な事に、Fc や R1 を変更した時の L1 や C1 の数値を見ることが出来ません。

電卓用のマクロを増やして、整理する

電卓のマクロを使って、幾つかの周波数と負荷抵抗に対する素子値を計算して、テキストとして貼り付けておくのが良いだろう。
Fc=200K, R1=50 の場合、R1=50, L1= 28.5u, L2= 2.463m, C1= 0.1114n, C2=6.655n
Fc=1K, R1=50 の場合、R1=50, L1= 5.7m, L2= 0.4926, C1= 22.27n, C2=1.331u

電卓のマクロをテキストとして回路図に貼り付けておき、必要な時にマクロのテキストをコピーして電卓で素子値を計算する方法も考えられる。
Fc=1 k;R1=50;LS=R1/(2*pi*Fc);CS=1/(2*pi*Fc*R1);L1=0.716313*LS;L2=61.9026*LS;C1=6.9977 m * CS;C2=0.418118*CS;

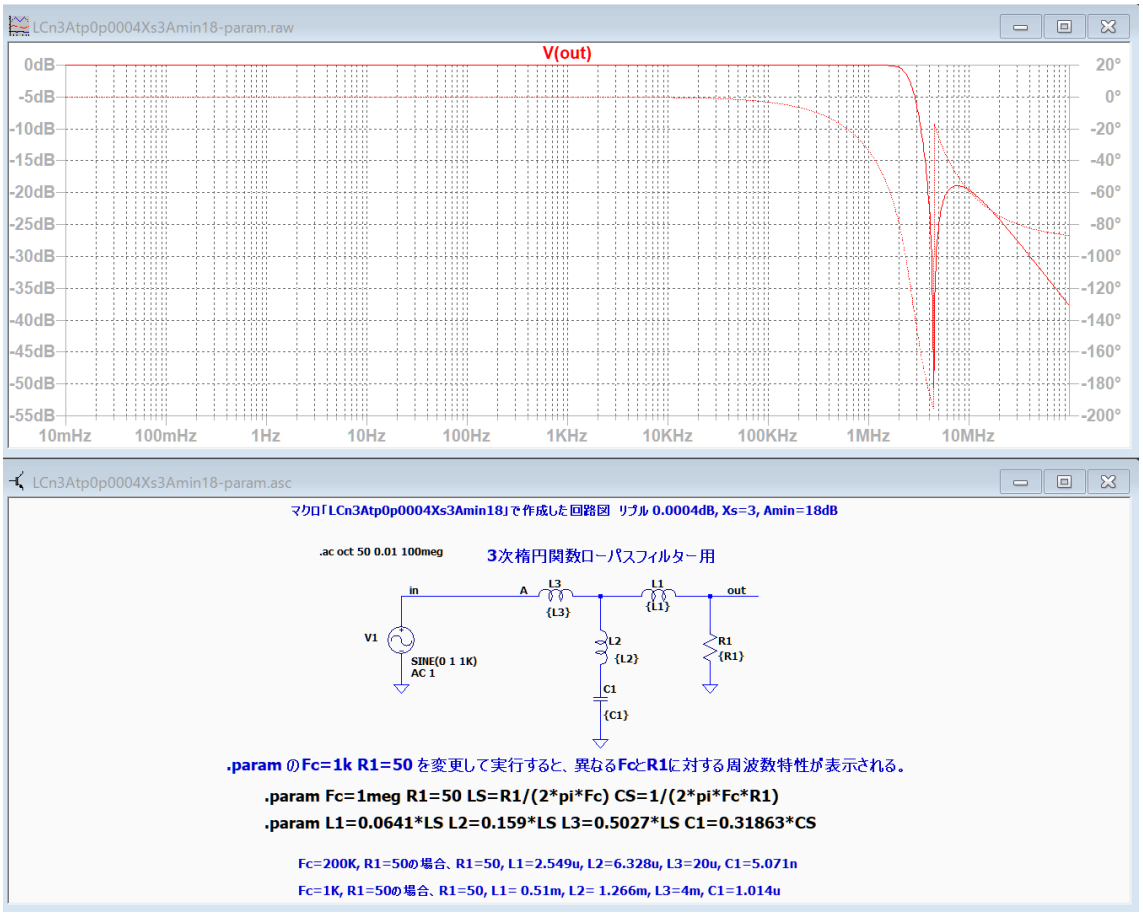
完成した回路図　フォルダ「次数ごとにまとめた LtSpice の回路図 Fc と R1 を変更可」
actlcn2atp0p1xs10amin35-param.asc



電卓用のマクロを増やして、整理する

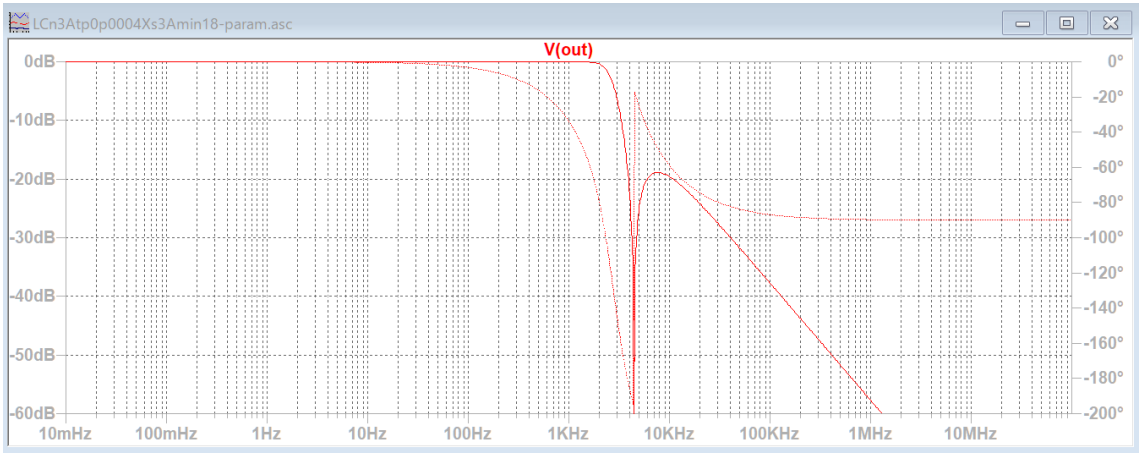
3 次 リプル 0.0004dB, Xs=3.8, Amin=18dB

LCn3Atp0p0004Xs3p8Amin18-param.asc　　Fc=1MHz Fs=3MHz で最低減衰量 18.9dB



通過域のリプルが 0.0004dB では、カットオフ周波数の 2 倍での減衰量が 0.4dB しかなくて遮断特性が非常に緩やかです。3.86 倍の周波数で最低減衰量 18.9dB に達している。

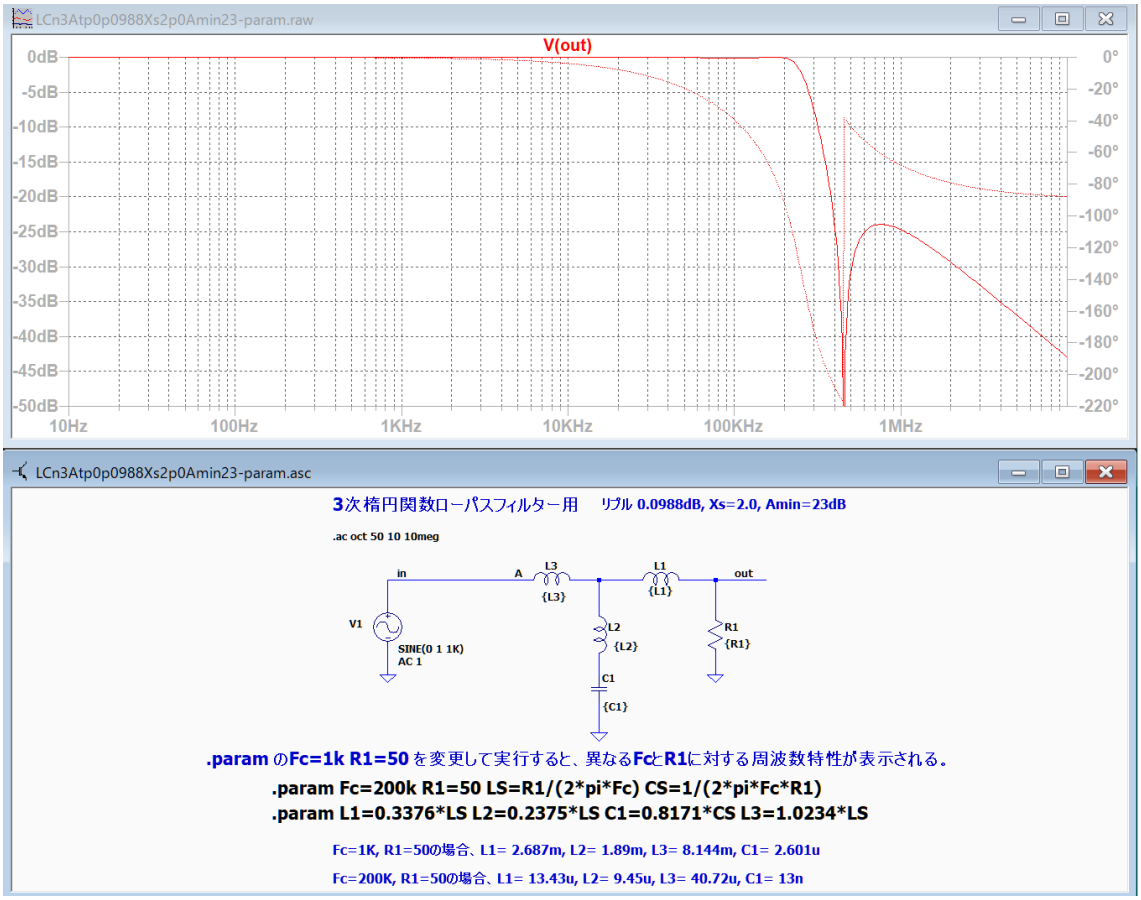
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)で実行した周波数特性。



電卓用のマクロを増やして、整理する

3 次 リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=23dB

LCn3Atp0p0988Xs2p0Amin23-param.asc　　リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=23dB



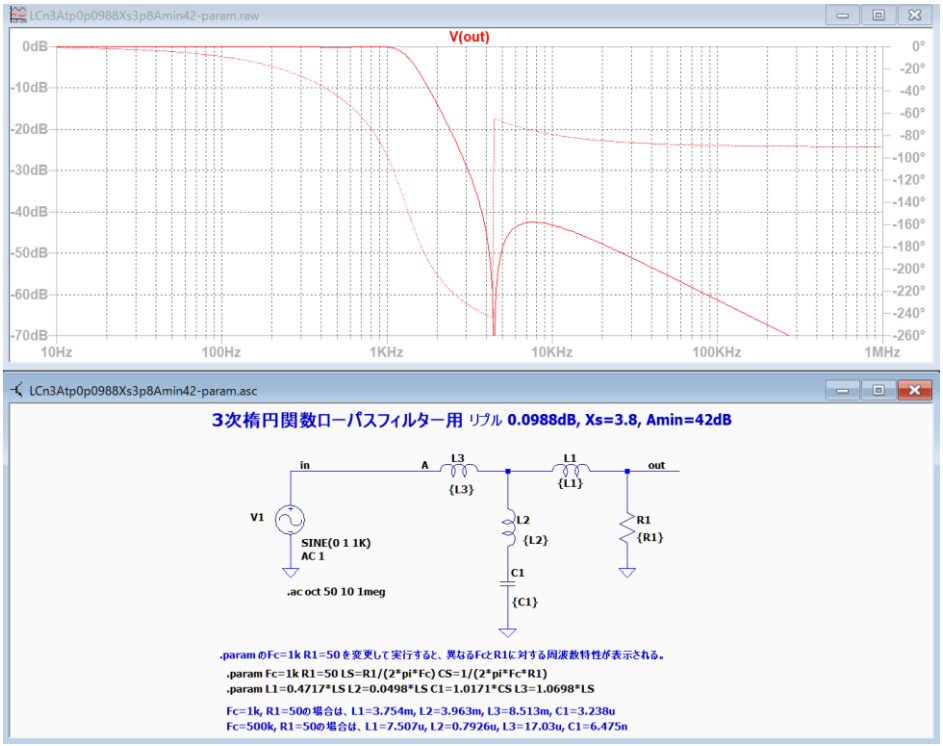
リプルが 0.0988dB の場合は、カットオフ周波数 200KHz の 1.1 倍での減衰量は 0.48dB に達し、2 倍の周波数で最低減衰量の 24dB に達する。

リプルが 0.0004dB の場合にはカットオフ周波数付近の遮断特性が非常にゆるやかになるが、リプルを 0.1dB 程度に許容すると遮断特性が急峻になる。

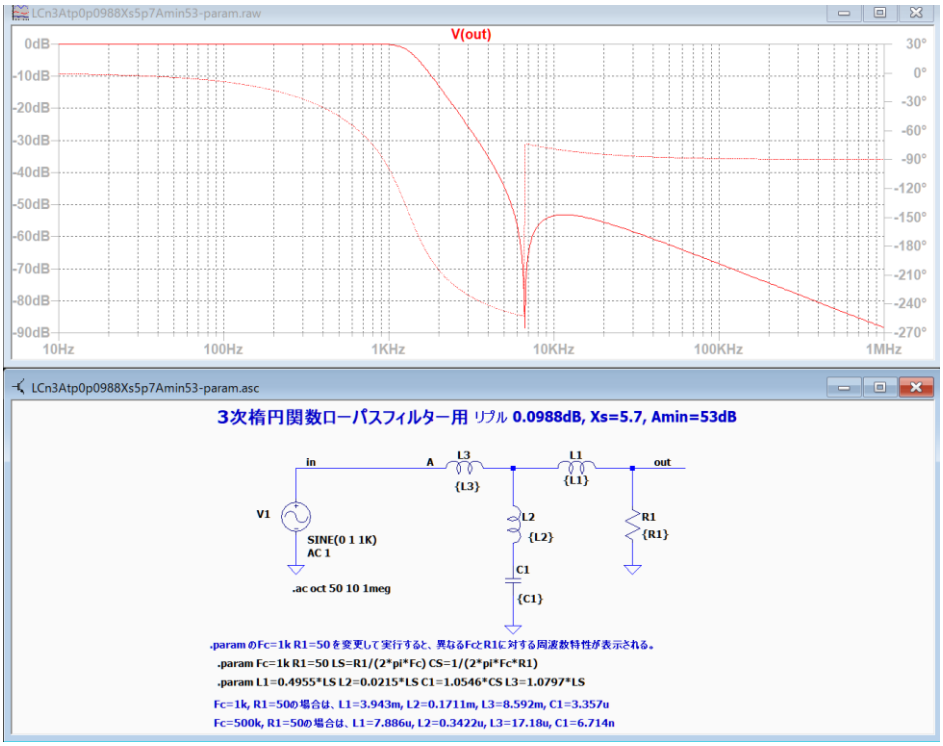
以後の活用例ではリプルが 0.1dB 程度の回路図を利用する。

3 次 リプル 0.1dB　Xs=3.8 と Xs=5.7

LCn3Atp0p0988Xs3p8Amin42-param.asc　リプル 0.0988dB, Xs=3.8, Amin=42dB



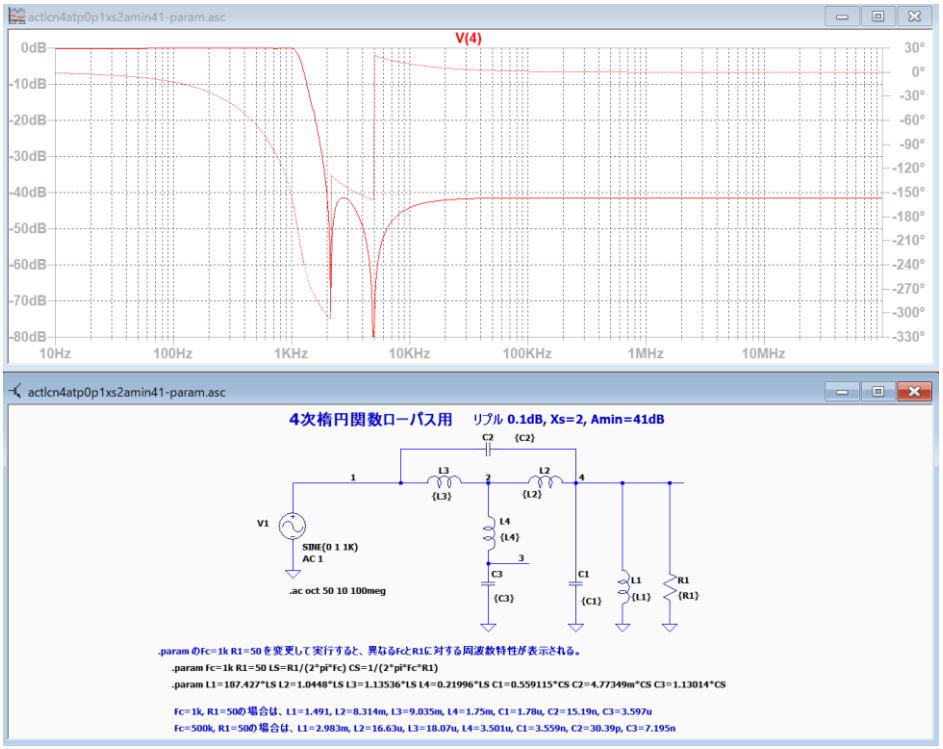
LCn3Atp0p0988Xs5p7Amin53-param.asc　リプル 0.0988dB, Xs=5.7, Amin=53dB



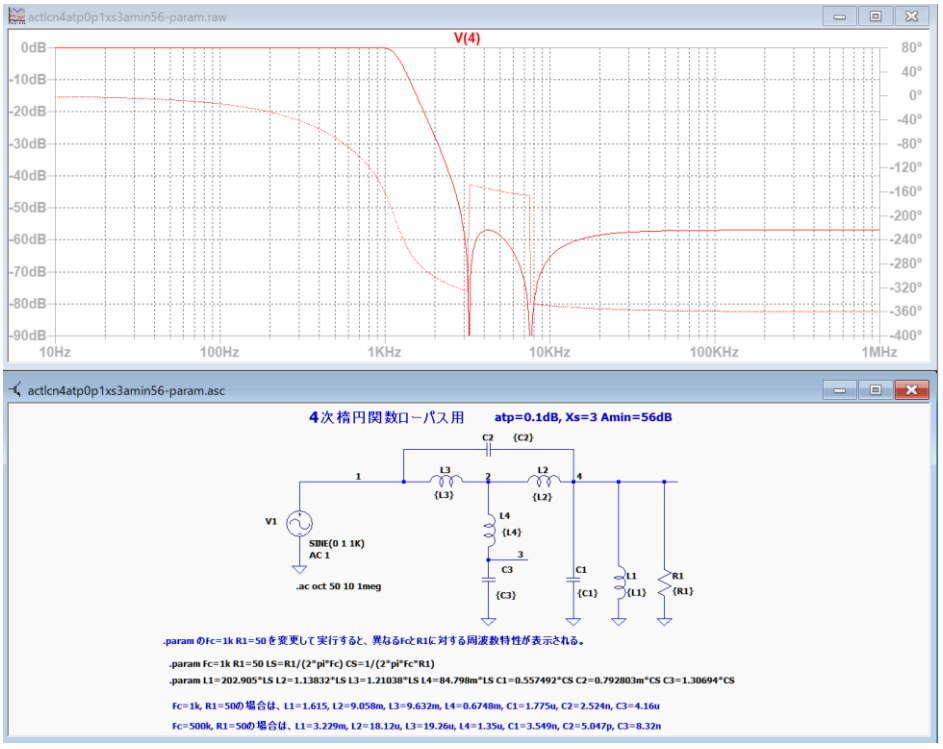
電卓用のマクロを増やして、整理する

4 次 リプル 0.1dB　Xs=2 と Xs=3

actlcn4atp0p1xs2amin41-param.asc　リプル 0.1dB, Xs=2, Amin=41dB

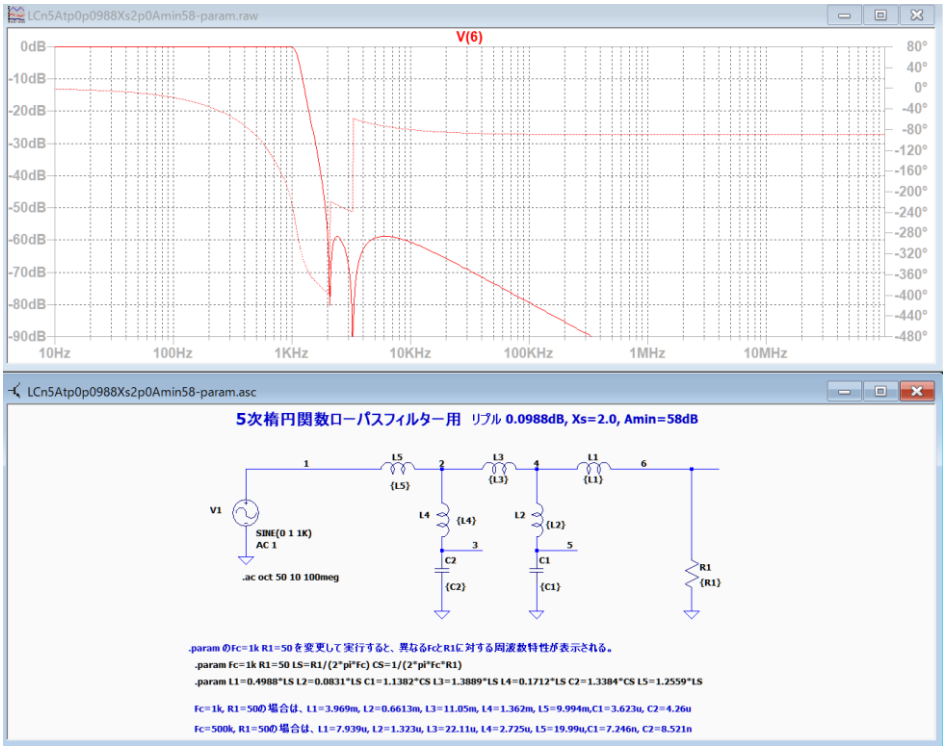


actlcn4atp0p1xs3amin56-param.asc　atp=0.1dB, Xs=3 Amin=56dB

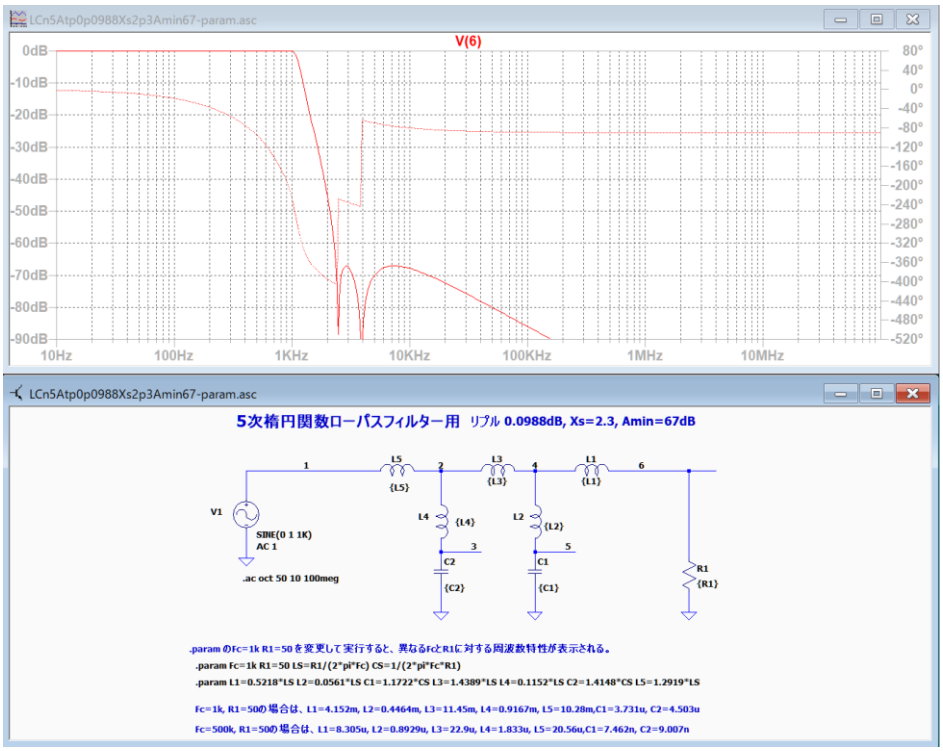


5 次 リプル 0.1dB　Xs=2 と Xs=2.3

LCn5Atp0p0988Xs2p0Amin58-param.asc　リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=58dB

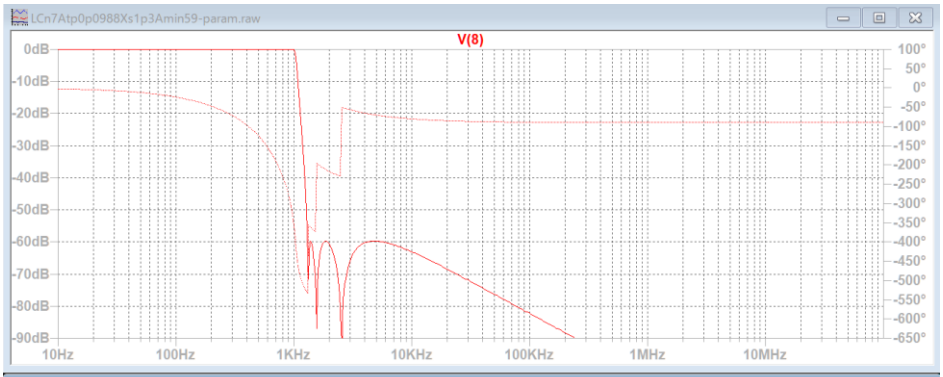


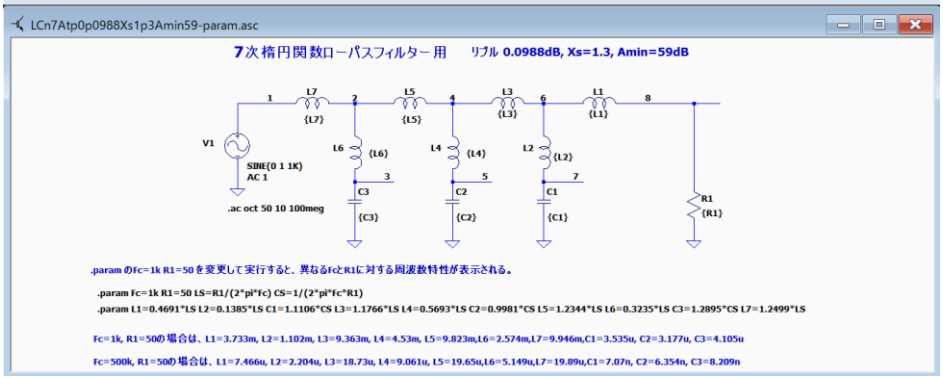
LCn5Atp0p0988Xs2p3Amin67-param.asc　リプル 0.0988dB, Xs=2.3, Amin=67dB



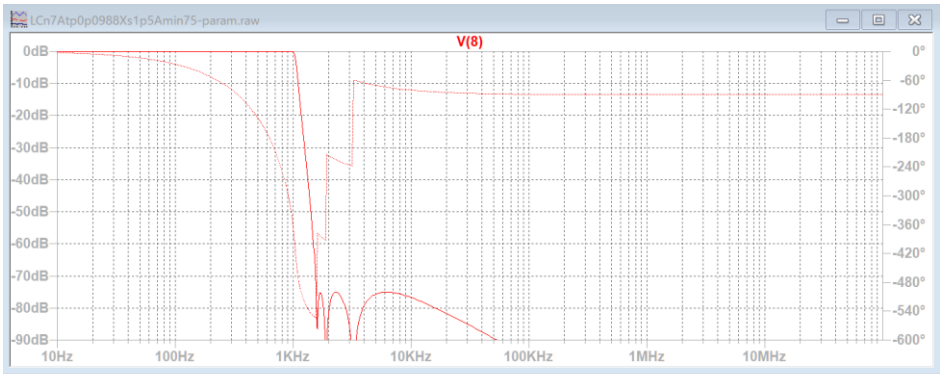
7 次 リプル 0.1dB　Xs=1.3 と Xs=1.5

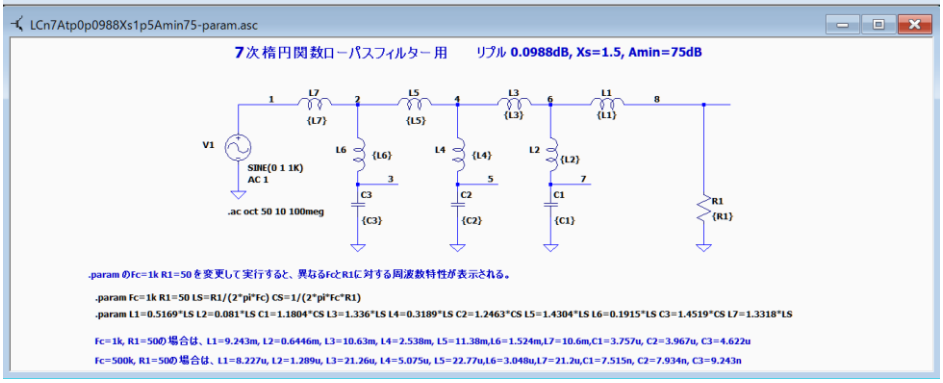
LCn7Atp0p0988Xs1p3Amin59-param.asc　リプル 0.0988dB, Xs=1.3, Amin=59dB





LCn7Atp0p0988Xs1p5Amin75-param.asc　リプル 0.0988dB, Xs=1.5, Amin=75dB

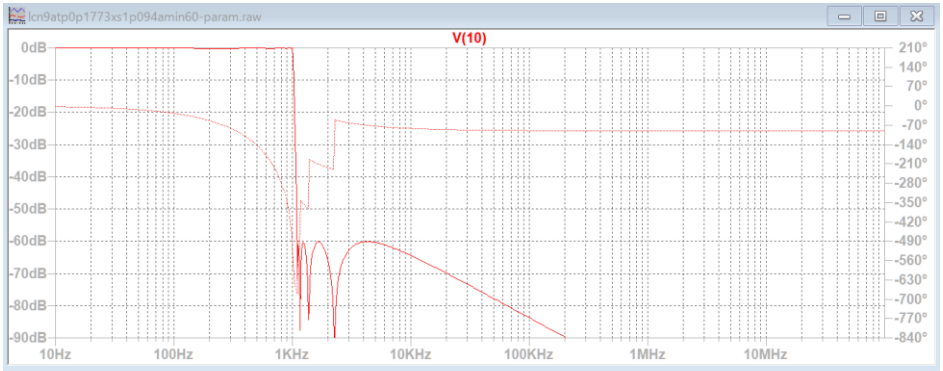


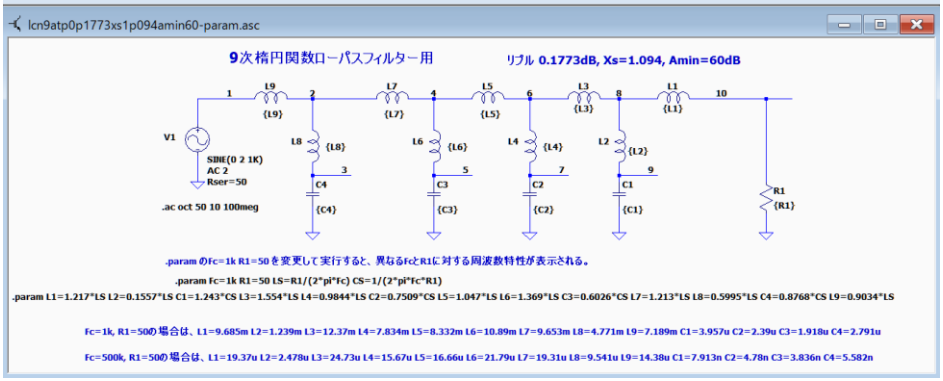


電卓用のマクロを増やして、整理する

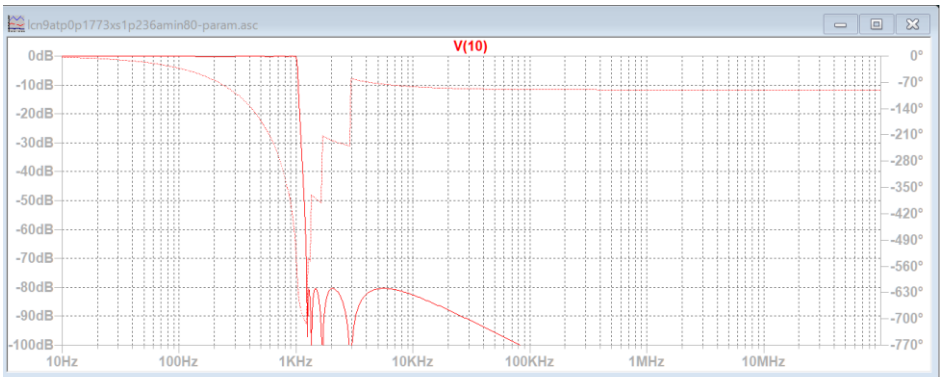
9 次 リプル 0.177dB　Xs=1.09 と Xs=1.24

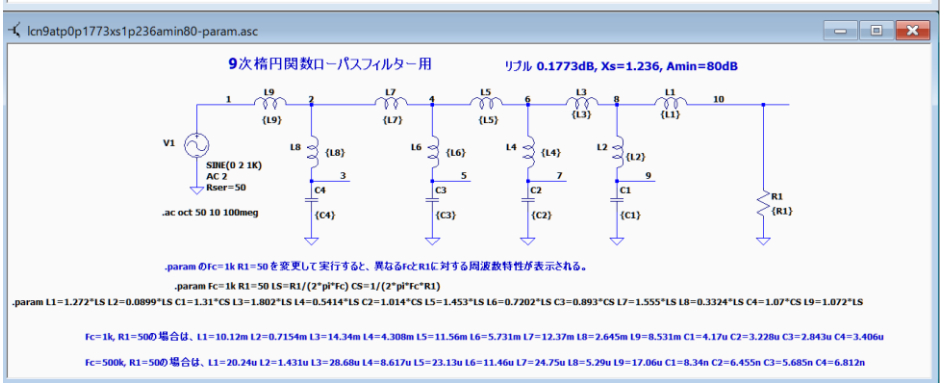
lcn9atp0p1773xs1p094amin60-param.asc　リプル 0.1773dB, Xs=1.094, Amin=60dB





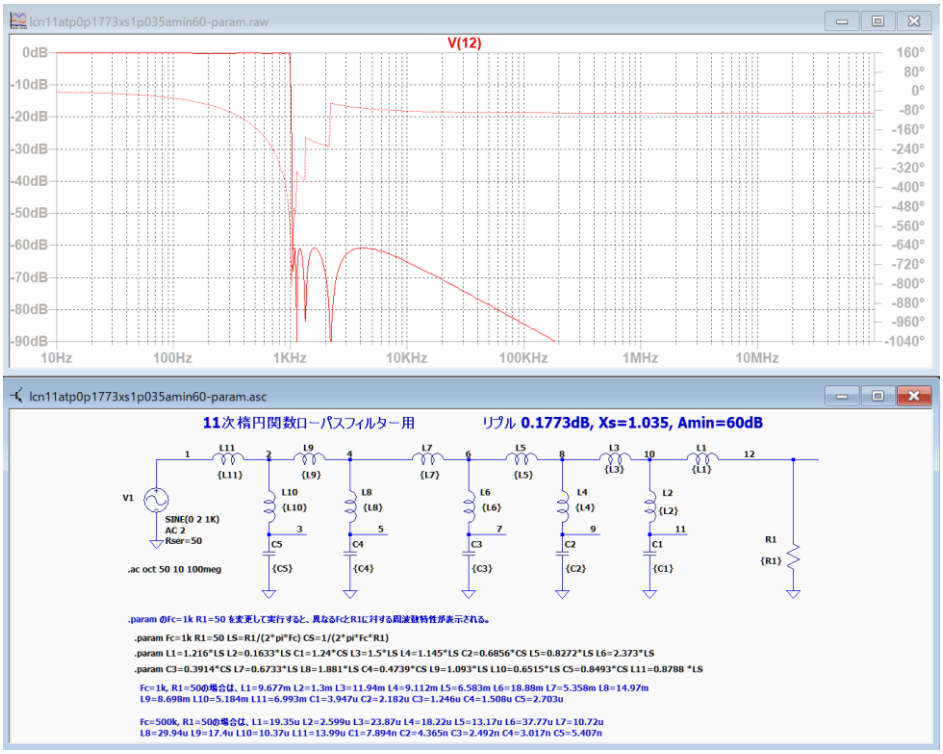
lcn9atp0p1773xs1p236amin80-param.asc　リプル 0.1773dB, Xs=1.236, Amin=80dB



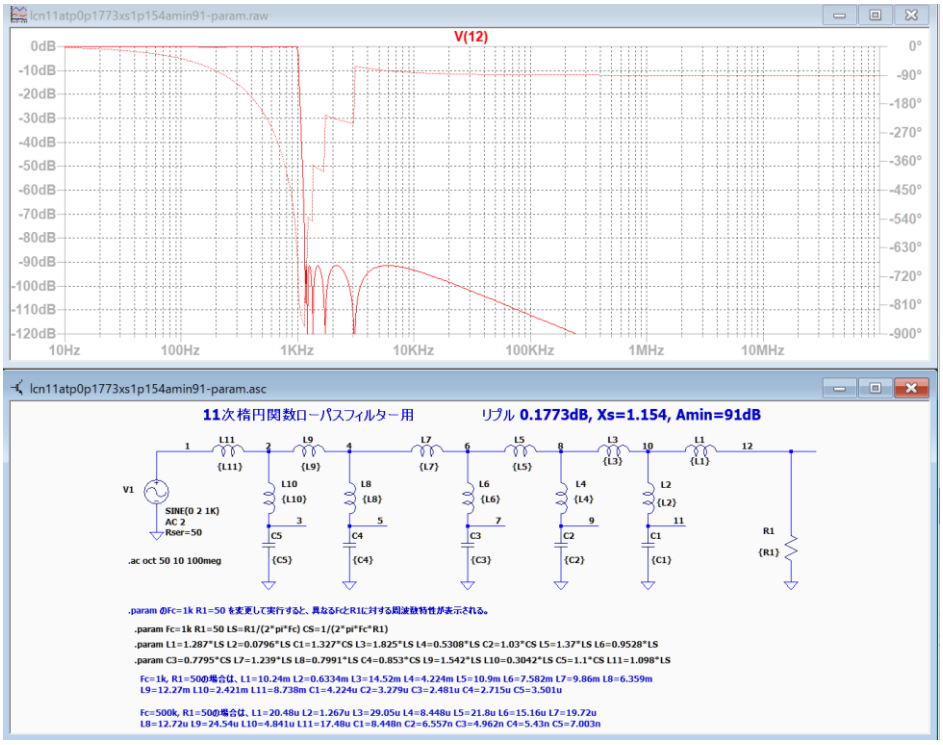


11 次 リプル 0.177dB　Xs=1.035 と Xs=1.15

lcn11atp0p1773xs1p035amin60-param.asc　リプル 0.1773dB, Xs=1.035, Amin=60dB



lcn11atp0p1773xs1p154amin91-param.asc　リプル 0.1773dB, Xs=1.154, Amin=91dB

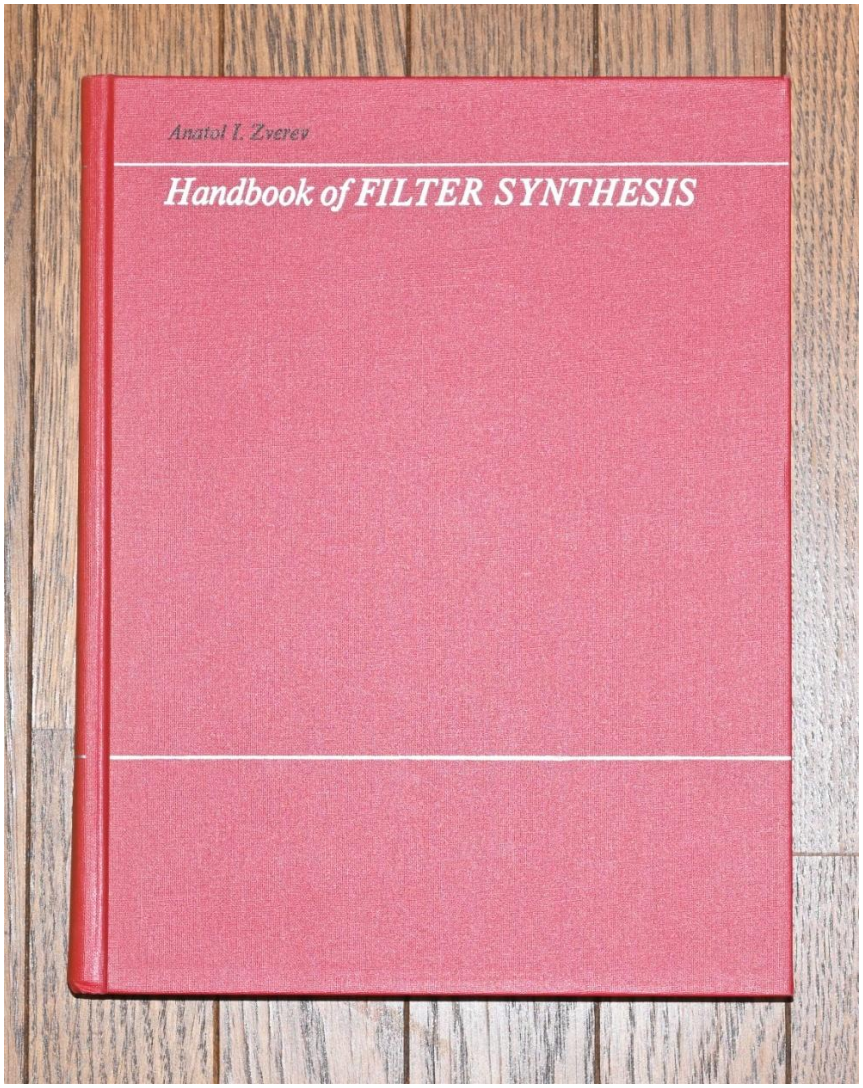


LC フィルタの設計　表による素子値の決定方法

参考文献

Handbook of Filter SYNTHESIS 著者 Anatol I. Zverev

発行所 ＪOHN ＷＩＬＥＹ ＆ ＳONS、１９６７



5 次以上の LC フィルタは正規化された表を用いて素子値を求めるのが一般的です。
本書の 5 章を撮影して OCR で英文テキストを作成して翻訳アプリで翻訳しました。
ローパスフィルタをハイパス、バンドパスに変換する方法の説明があります。
OCR が読み間違えた部分は出来るだけ訂正しました。

Handbook of Filter Synthesis.pdf　　からダウンロード出来るようです。
掲載されている膨大な数の表の中からほんの一部だけを紹介しました。

目次

LC フィルタの設計　表による素子値の決定方法 193
参考文献 193
目次 194
5.1 カタログの概要 197
集計の原則 198
最も簡単な集計 200
ノモグラムを用いたフィルタの複雑度推定 202
正規化 203
注意： 204
表の値 205
極と零点に関する情報 211
要素の値 214
通過帯域におけるインピーダンス 218
5.2 駆動点インピーダンスの実部 221
所定の駆動点インピーダンスを持つ 2 端子ネットワークの設計 222
駆動点インピーダンスの実部のパラメータ 225
2 端子回路の基礎 227
数値例 228
解決策： 228
5.3 ローパスフィルターの設計 229
数値例 1 233
数値例 2 236
注意: 237
5.4 ハイパスフィルタの設計 238
数値例 1 242
数値例 2 244
5.5 LC バンドパスフィルタの設計 247
カタログからの定常状態特性の計算 249
数値例 255
バンドパスフィルタ変換 261
5.6 狭帯域結晶フィルターの設計 265
フィルターネットワーク内の水晶 266
設計の数値例 269
5.7 バンドストップフィルタの設計 275

目次

数値例 1 283
数値例 2 287
注意：ρ 290
3 次楕円関数 リプル 0.0004dB 相当 293
3 次楕円関数リプル 0.007dB 相当 294
3 次楕円関数リプル 0.1dB 相当 295
4 次楕円関数リプル 0.043dB 相当 297
4 次楕円関数リプル 0.1dB 相当 297
5 次楕円関数 298
5 次楕円関数リプル 0.1dB 相当 299
5 次楕円関数リプル 0.28dB 相当 300
7 次楕円関数 リプル 0.01dB 相当 301
7 次楕円関数 リプル 0.1dB 相当 302

目次

目次

LC Filter 翻訳

5.1 INTRODUCTION TO THE CATALOG

5.1 カタログの概要

This chapter will show that modern filter design methods can be used by engineers, and that it is not a restricted field for specialists.
この章では、現代のフィルタ設計手法がエンジニアにも活用できるものであり、専門家だけの専売特許ではないことを示す。

Frequently, require-ments for extreme numerical exactness make the modern design techniques prohibitive.
多くの場合、極めて高い数値的精度が求められるため、現代の設計手法では実現が困難となる。

In the sim-plification of the modern design approach, it is desir-able that the element values be precalculated and normalized in a convenient manner and related to the desired filter characteristics.
現代的な設計手法を簡略化するにあたっては、要素値を適切な方法で事前に計算・正規化し、所望のフィルタ特性と関連付けることが望ましい。

It is also desirable that these relationships be in catalog form, at least for the types of filters most commonly used.
また、少なくとも最も一般的に使用される種類のフィルターについては、これらの関係性をカタログ形式で提供することが望ましい。

For a number of simpler cases, the effective filter parameters have already been published by many authors.
いくつかの単純なケースについては、有効なフィルタパラメータがすでに多くの著者によって公表されている。

The infor-mation presented in this chapter is developed along the lines established by Glowatzki, Saal, and Ulbrich.
本章で提示する情報は、Glowatzki、Saal、および Ulbrich が確立した枠組みに沿って展開されている。

Extensive data will be presented for the Cauer- Chebyshev filter developed with the aid

of Zolatarev fractions having equal minima of attenuation in the stopband.
ストップバンドにおける減衰の極小値が等しいゾラタレフ分数を用いて開発されたカウアー・チェビシェフフィルタについて、広範なデータを提示する。

In Chapter 6, information in the form of tables will be presented for the lowpass model of the Chebyshev polynomial filter, as well as other all-pole types.
第 6 章では、チェビシェフ多項式フィルターのローパスモデルやその他の全極型フィルターについて、表形式で情報を提示する。

Principles of Tabulation
集計の原則

The properties of the lowpass model can be determined by the following effective parameters:
ローパスモデルの特性は、以下の有効パラメータによって決定される：

1. The order of the transmission function which sets the number of necessary reactive elements necessary for the realization.
1. 実現に必要なリアクティブ素子の数を決定する伝達関数の次数。

2. The minimum attenuation in the stopband above a certain limiting frequency, Amin.
2. 特定の限界周波数 Amin 以上の停止帯域における最小減衰量。

3. The maximum level of ripples in the passband, In Cauer-Chebyshev filters, the most important parameter is the sharpness of the required response curve.
3. 通過帯域におけるリップルの最大レベル。カウアー・チェビシェフ型フィルタにおいて、最も重要なパラメータは、所望の応答曲線の鋭さである。

In Cauer-Chebyshev filters, the most important parameter is the sharpness of the required response curve.
カウアー・チェビシェフフィルタにおいて、最も重要なパラメータは、要求される応答曲線の鋭さである。

There is a table of useful parameters for the design of filters published by Glowatzki as a function of filter sharpness (Ω s/ Ω c). In modern tabulation, originated also by Glowatzki, instead of normalized frequency, the modular angle *0* was found to be more

practical as an input function for the tables.
Glowatzki は、フィルタの鋭さ（Ωs/Ωc）を関数とした、フィルタ設計に有用なパラメータの表を発表している。同じく Glowatzki が考案した現代的な表では、正規化周波数の代わりに、モジュラー角 θ が表の入力関数としてより実用的であることが判明した。

The filter parameters can be classified and tabulated in accordance with the following:
フィルタパラメータは、以下に従って分類し、表にまとめることができる。

1. Type of response—Butterworth (B), Chebyshev (C), and Cauer-Chebyshev (CC)
1. 応答特性の種類—バターワース（B）、チェビシェフ（C）、カウアー・チェビシェフ（CC）

2. Order of complexity—n
2. 複雑さの序列—n

3. Reflection coefficient ρ, or ripple factor (Amax)
3. 反射係数 ρ、またはリップル係数（Amax）

4. Modular angle θ. Responses types (B) and (C) are relatively simple.
4. モジュラー角度 θ。応答タイプ（B）および（C）は比較的単純である。

They do not have modular angles and, therefore, the tables are short. To have (CC) responses without modular angles is senseless since the controllable sharpness of the response is a function of the modular angle.
これらはモジュラー角を持たないため、テーブルが短くなっている。応答の制御可能な鋭さはモジュラー角の関数であるため、モジュラー角を持たない状態で（CC）応答を得ようとするのは無意味である。

For example, the filter under catalog number CC 09 05 67 means a Cauer-Chebyshev filter of order n = 9 with ρ = 5 % (reflection) and having a modular angle of 67°.
例えば、型番 CC 09 05 67 のフィルタは、次数 n = 9、ρ = 5 %（反射）、モジュラー角 67°のカウアー・チェビシェフフィルタを意味します。

The sharpness of the response is then (see Eq. 4.4.8)
したがって、応答の鋭さは（式 4.4.8 を参照）

$$\Omega_s = \frac{1}{k'} = \frac{1}{\sin\theta} = 1.086360$$

Simplest Tabulation
最も簡単な集計

The simplest tabulated symmetric and antimetric polynomial filters are shown in Table 5.1, where only the type and order of response are included in the code number.
最も単純な対称および反対称多項式フィルタの表は表 5.1 に示されている。この表では、コード番号には応答のタイプと次数のみが含まれている。

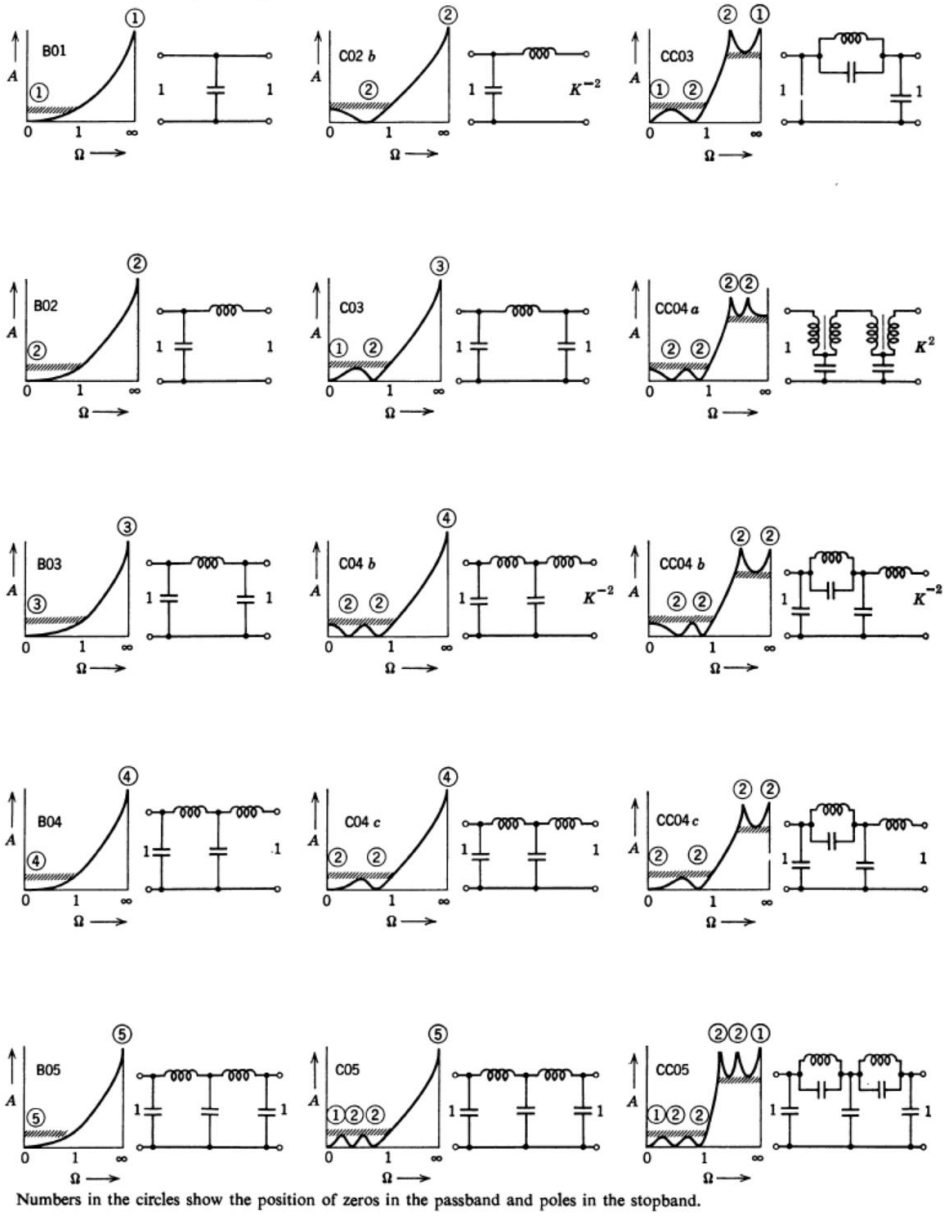
For the odd order (symmetric) filters, the realizations having no transformers are easy to obtain.
奇数次（対称）フィルタの場合、トランスを含まない構成は容易に得られる。

In the case indicated CC 04a, and for all the cases of antimetric filters with magnetically coupled inductances, the tabulated Cauer parameters in the Glowatzki tables are still valid, and the filter exhibits neither zero attenuation at $\Omega = 0$ nor a pole of attenuation $\Omega = \infty$.
CC 04a で示されたケース、および磁気結合インダクタンスを持つアンチメトリック・フィルタのすべてのケースにおいて、Glowatzki の表に記載された Cauer パラメータは依然として有効であり、フィルタは$\Omega = 0$ での減衰ゼロも、$\Omega = \infty$での減衰極も示さない。

To realize such filters without magnetic coupling, a transformation must be performed.
磁気結合を用いずにこのようなフィルタを実現するには、変換を行う必要がある。

目次

Table 5.1 Table of Simplest Polynomial Filters



Numbers in the circles show the position of zeros in the passband and poles in the stopband.

Unlike the schematics for odd orders of filters, where the normalized loading resistances are equal (r1= r2 = 1), schematics for even-order filters require nonequal load resistances, such as

奇数次のフィルタの回路図では、正規化された負荷抵抗が等しい（r1 = r2 = 1）のに対し、偶数次のフィルタの回路図では、次のような不等な負荷抵抗が必要となります。

$$r_2 = K^2 = \frac{1-\rho}{1+\rho}$$

In case b, the last pole is moved toward infinity. In this way, the need for magnetic coupling between inductances may be avoided. Filters of this kind are indicated by the letter b, for example CC 08 10b.
ケース b では、最後の極が無限遠方向に移動する。これにより、インダクタ間の磁気結合の必要性を回避できる。この種のフィルタは文字 b で示され、例えば CC 08 10b といった表記となる。

To realize filter characteristics with equal input and output load impedances similar to that of odd-order filter, more transformations must be made. Sharpness in the transition region will be somewhat greater.
奇数次フィルタと同様に、入力インピーダンスと出力インピーダンスが等しいフィルタ特性を実現するには、さらに変換を行う必要がある。遷移領域の鋭さは、多少大きくなる。

In Table 5.1, the filters of even order and yet having equal terminations are shown (CC 04c). Instead of having finite attenuation at zero frequency, these filters exhibit A = 0 at Ω = 0.
表 5.1 には、偶数次でありながら等終端を持つフィルタが示されている（CC 04c)。これらのフィルタは、周波数 0 で有限の減衰を示すのではなく、Ω = 0 のときに A = 0 となる。

The numbers shown in the circles in Table 5.1 show the position and the number of poles and zeros of the function.
表 5.1 の丸で囲まれた数字は、関数の極と零点の位置およびその個数を示している。

Estimate of Filter Complexity with Nomograph
ノモグラムを用いたフィルタの複雑度推定

Figures 5.1, 5.2, and 5.3 show the nomographs published by Kawakami, which are useful in determining the required degree of transmission function in order to satisfy a given design condition.
図 5.1、5.2、および 5.3 は、川上によって発表されたノモグラムを示しており、これらは所定の設計条件を満たすために必要な透過関数の度合いを決定するのに役立つ。

They avoid direct reference to any elliptic function parameter. The maximum value of ripples in the passband (Amax) is given at the right side of the nomograph. A straight line is drawn from the value of Amax permitted through the desired value of attenuation in the stopband (Amin).
これらは、楕円関数のパラメータへの直接的な言及を避けています。通過帯域におけるリップルの最大値（Amax）は、ノモグラムの右側に示されています。許容される Amax の値から、阻止帯域における所望の減衰量（Amin）を通る直線が引かれています。

The line runs up to the third vertical line and is then rotated to run parallel to the Ω-scale. The desired amount of attenuation at a given frequency will be guaranteed if the filtering function is ol the order found at the intersection of the vertical line erected from the Ω-scale value and the line which runs parallel to the Ω-scale. If the crossing appears between two curves as shown in Fig. 5.4, the order that must be chosen is the largest integer, written above the curve.
この線は 3 本目の垂直線まで伸び、その後回転して Ω スケールと平行になる。特定の周波数における所望の減衰量は、Ω スケールの値から引かれた垂直線と Ω スケールに平行な線が交差する点で得られる次数を持つフィルタ関数を用いれば保証される。図 5.4 に示すように、2 つの曲線の間に交差点が現れる場合、選択すべき次数は、曲線の上に記された最大の整数である。

Normalizing
正規化

The advantages of using normalized parameters in developing filter networks are well known. The most important advantage is the convenience of the numerical values obtained (from 0.01 up to 100).
フィルタネットワークの開発において正規化パラメータを使用することの利点は、よく知られている。最も重要な利点は、得られる数値（0.01 から 100 の範囲）の扱いやすさである。

The resulting normalized network can be used as a basis for a multiplicity of real schematics having specific reference values. Two reference values are generally sufficient: (I) impedance level Rr and (2) reference frequency wr.
こうして得られた正規化ネットワークは、特定の基準値を持つ多様な実際の回路図の基礎として利用することができる。通常、2 つの基準値があれば十分である：(1) インピーダンスレベル Rr および (2) 基準周波数 wr。

目次

Normalized values included in the tables are dimensionless and defined as follows:
表に記載されている正規化値は無次元であり、次のように定義される：

1. Normalized frequency
1. 正規化された周波数

$$\Omega = \frac{f}{f_r}$$

2. Normalized resistance
2. 正規化抵抗

$$r = \frac{R}{R_r}$$

3. Normalized inductance
3. 正規化インダクタンス

$$L' = \frac{\omega_r L}{R_r}$$

4. Normalized capacitance
4. 正規化された静電容量

$$C' = \omega_r C R_r$$

The normalized cutoff frequency is Ωc = 1 for all lowpass filters. The stopband limit is given as Ωs, or fs. The numerical value of corresponding frequencies is related by the following expression:
すべてのローパスフィルタにおいて、正規化されたカットオフ周波数は Ωc＝I である。ストップバンドの限界は Ωs, または fs で与えられる。対応する周波数の数値は、以下の式で表される：

$$\frac{\Omega_s}{\Omega_r} = \frac{f_s}{f_r}$$

注意：
「LtAct」のパラメータ入力画面におけるパラメータとの比較。

目次

「LtAct」では、カットオフ周波数は Fc または Fp。周波数値を表す。
最低減衰量に達する周波数は Fs でカットオフ周波数 Fc の Xs 倍になる。
本文は、カットオフ角波数は Ωc=2πFc を表す。Ωs は最低減衰量に達する角周波数を表す。
Ω は Ωs/Ωc を表す。

As a rule, the normalized input impedance is equal to unity, signifying that the reference resistance is equal to the source resistance.
原則として、正規化入力インピーダンスは 1 に等しく、これは基準抵抗がソース抵抗と等しいことを意味する。

Table Values
表の値

For the reader's convenience. tables for normalized lowpass models, tabulated according to ρ values, have been placed in Section 5.8.
読者の便宜を図るため、ρ 値ごとに分類した正規化ローパスモデルの表を第 5.8 節に掲載した。

The table values consist of three groups of information: (a) Operating parameters, (b) Pole-zero location in the complex plane, and (c) Element values.
表の値は、次の 3 つの情報のグループで構成されています：(a) 動作パラメータ、(b) 複素平面上の極・零点の位置、および (c) 要素の値。

The attenuation of a lowpass filter is completely described in terms of the following operating parameters.
ローパスフィルタの減衰特性は、以下の動作パラメータによって完全に記述される。

Maximum peak ripple attenuation in the passband, Amax.
Minimum attenuation in the stopband. Amin.
Normalized stopband limit,
通過帯域における最大ピークリップル減衰量、Amax。
阻止帯域における最小減衰量、Amin。
正規化阻止帯域限界、

$$\Omega_s = \frac{\omega_s}{\omega_r} = \frac{f_s}{f_r}$$

目次

For the transfer function of the third order (n = 3), which is to be used throughout for an example, the definitive relation between Amax, Amin, and is
例として全体を通して用いる 3 次（n = 3）の伝達関数について、Amax、Amin の間の決定的な関係は次のとおりである。

$$\left(a_{\min} + \tfrac{1}{2} \ln \frac{8}{a_{\max}}\right) \ln \frac{8}{\Omega_s - 1} \approx 5n = 15 \quad (5.1.1)$$

where a is in N ρ and A is in dB. This formula is approximate, and valid only for small Amax, large Amin, and small It is evident that with two given parameters, it is possible to evaluate the third.
ここで、a は Nρ 単位、A は dB 単位である。この式は近似式であり、Amax が小さく、Amin が大きく、かつ I が小さい場合にのみ有効である。与えられた 2 つのパラメータがあれば、3 つ目のパラメータを算出できることは明らかである。

The filtering network is usually part of a more complex system and is preceded and followed by some other network or subsystem.
フィルタリングネットワークは通常、より複雑なシステムの一部であり、その前後に他のネットワークやサブシステムが存在します。

The filter designer is often interested not only in attenuation or phase characteristics but also in the behavior of the input impedance in the passband, or consequently, the value of the reflection coefficient ρ.
フィルタ設計者は、減衰特性や位相特性だけでなく、通過帯域における入力インピーダンスの挙動、ひいては反射係数 ρ の値にも関心を持つことが多い。

The effective peak ripple attenuation of the reactive networks and the reflection coefficient are interconnected by the following expression:
リアクティブ回路の実効ピークリップル減衰量と反射係数は、以下の式によって関連付けられている：

$$a_{\max} = -\ln \sqrt{1 - \rho^2} \qquad (5.1.2)$$

目次

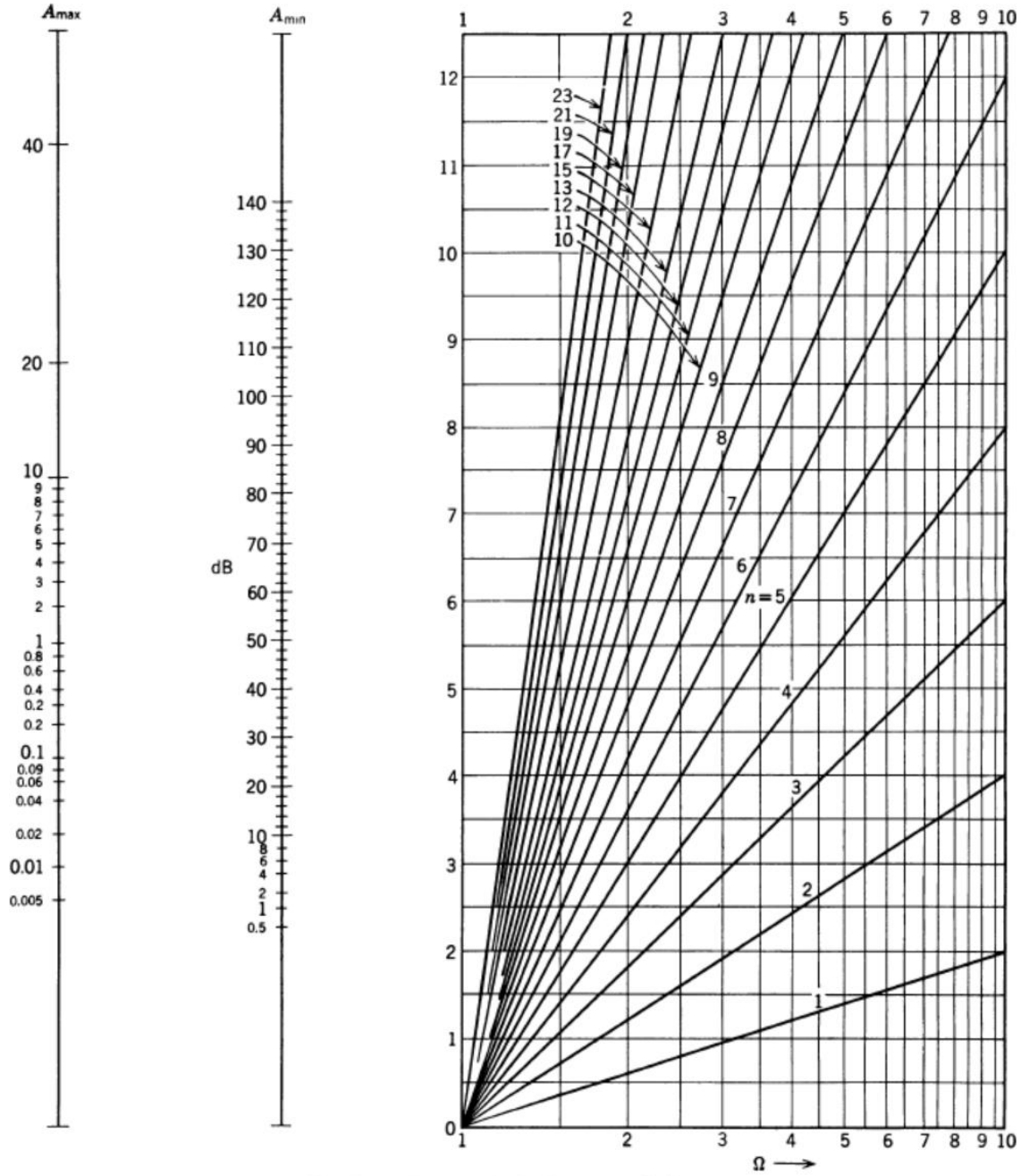


Fig. 5.1. Nomograph for Butterworth filters.

目次

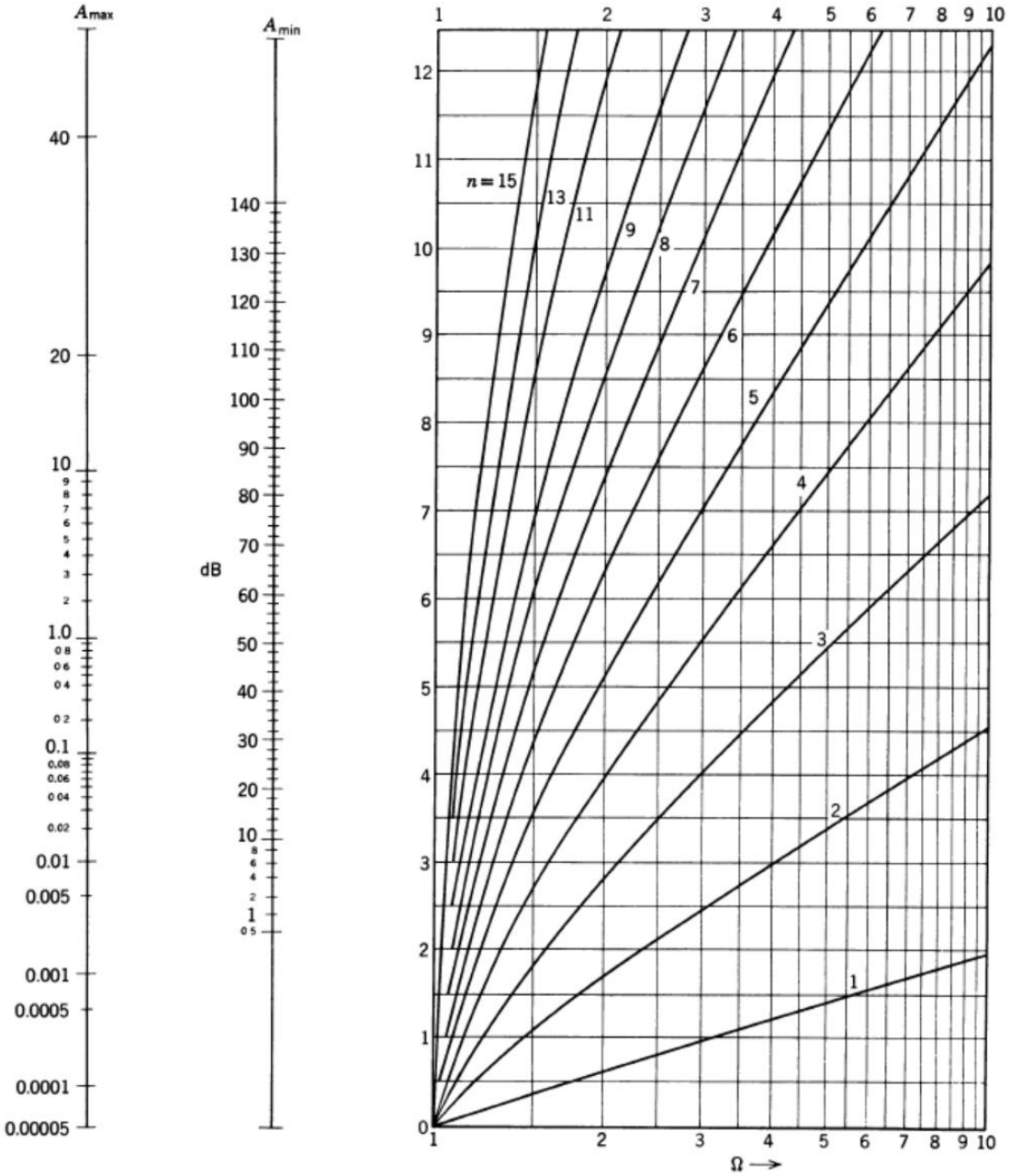


Fig. 5.2. Nomograph for Chebyshev Filters.

The reflection coefficients, usually specified for electronic equipment, correspond to a very small value of peak ripple attenuation a. Checking the correct realization of the network by means of the attenuation properties in the passband is, therefore, not easily achieved.
通常、電子機器に対して規定される反射係数は、ピークリップル減衰量 a の極めて小さな値に対応しています。したがって、通過帯域における減衰特性によってネットワークが正しく実現されているかを確認することは、容易ではありません。

A much more sensitive criterion for correct design and construction is the input impedance in the passband. In view of this consideration, it has been found useful to use the maximum permissible reflection coefficient in the passband as a characteristic and as a check quantity for a filter.
正しい設計と製作において、はるかに重要な基準となるのは、通過帯域における入力インピーダンスである。この点を踏まえると、通過帯域における最大許容反射係数を、フィルタの特性および検証指標として用いることが有用であることが分かっている。

Furthermore, it is sensible to use only integers for ρ values. Therefore the reflection coefficient is the basic parameter in the following tabulation.
さらに、ρ 値には整数のみを用いるのが妥当である。したがって、以下の表では反射係数を基本パラメータとしている。

In Table 5.2, the numerical value of attenuation for some practical values of reflection coefficients are shown along with the corresponding values of VSW'R. When the order of filter n has been determined and one of the eleven values of reflection coefficient are prescribed, the normalized limiting stopband frequency Qs still remains flexible.
表 5.2 には、いくつかの実用的な反射係数の値に対する減衰の数値と、それに対応する VSW'R の値が示されている。フィルタの次数 n が決定され、11 個の反射係数の値のうちの 1 つが指定された場合でも、正規化された限界阻止帯域周波数 Qs は依然として柔軟に設定可能である。

目次

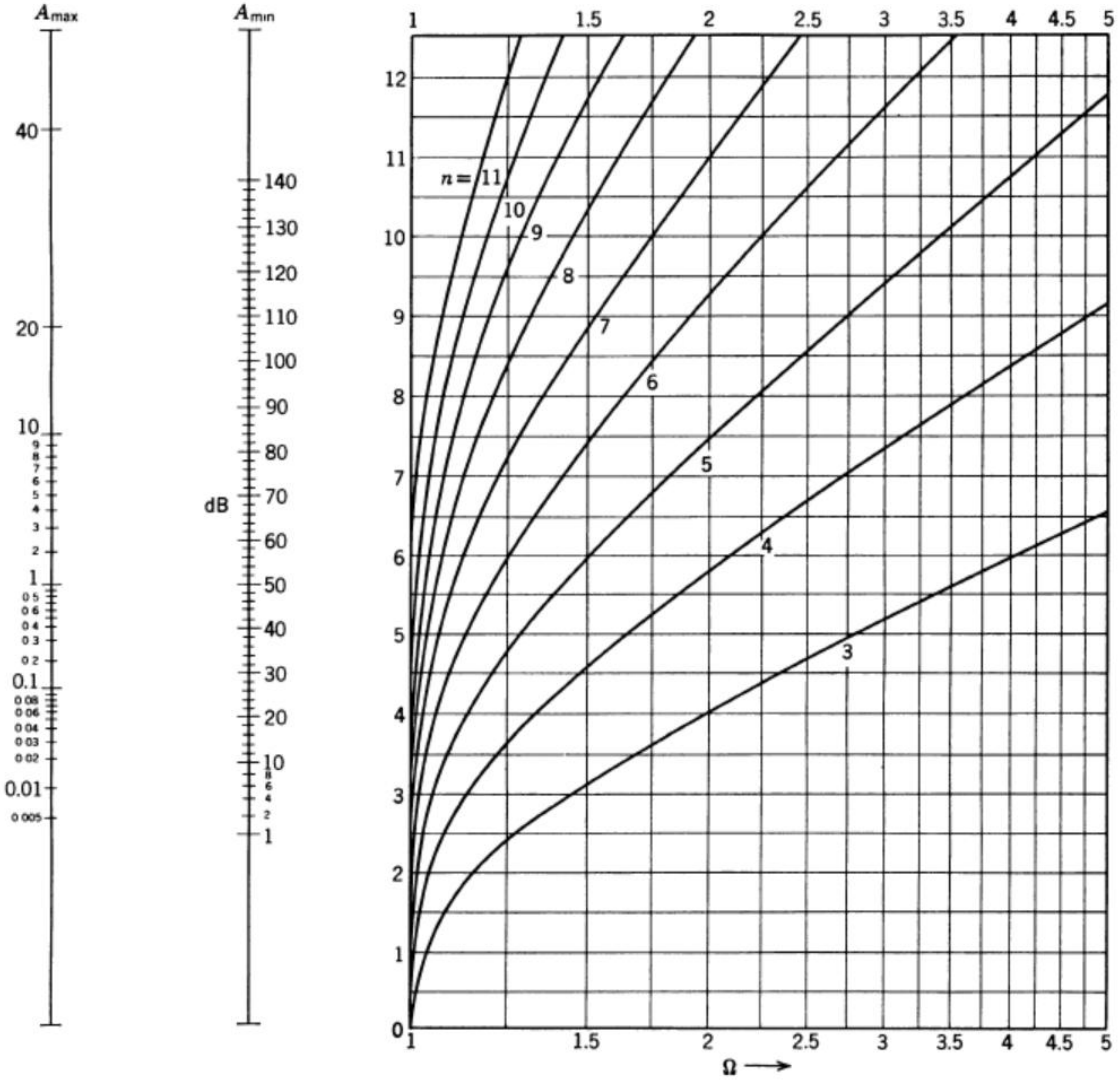


Fig. 5.3. Nomograph for (CC) filters (Chebyshev in both passband and stopband).

For practical design work, it is desirable to have the sharpness tabulation progress in very fine steps especially in the proximity of unity. That fineness is reached when one uses the expression

実用的な設計作業においては、特に 1 付近において、鋭度の表が極めて細かい刻みで変化することが望ましい。この細かさは、次の式を用いることで得られる。

$$\Omega_s = \frac{1}{\sin\theta} \quad \theta < 90^\circ \qquad (5.1.3)$$

where θ is permitted to increase gradually. The density of values when angle 0 becomes large is evident.
ここで、θ は徐々に増加させることが許される。角度 θ が大きくなる場合の値の密度は明らかである。

The relationship shown in (5.1.1) states the existence of a rigid numerical interrelation between the operating parameters which constitutes the input data of filter catalogs. The designer can use the Q, or values in order to find the row of data for a specific filter design.
式(5.1.1)に示される関係は、フィルタカタログの入力データとなる動作パラメータ間に、厳密な数値的相互関係が存在することを示している。
設計者は、Q 値またはその他の値を用いて、特定のフィルタ設計に対応するデータ行を特定することができる。

Pole-zero Information
極と零点に関する情報

The complex transmission function for the three- pole filter under consideration can be expected by
検討対象の 3 極フィルタの複素伝達関数は、次のように表すことができる。

$$H(s) = B\frac{s^3 + a_2s^2 + a_1s + a_0}{s^2 + b_0} = \frac{1}{W(s)} \qquad (5.1.4)$$

with normalized complex frequency s= σ +jw and real constants av and b0. B is a relatively unimportant constant easily determined from boundary conditions at $\Omega = 0$.
正規化された複素周波数 $s = \sigma + jw$ および実定数 a_v と b_0 を用いて。B は比較的重要度の低い定数であり、$\Omega = 0$ における境界条件から容易に求めることができる。

目次

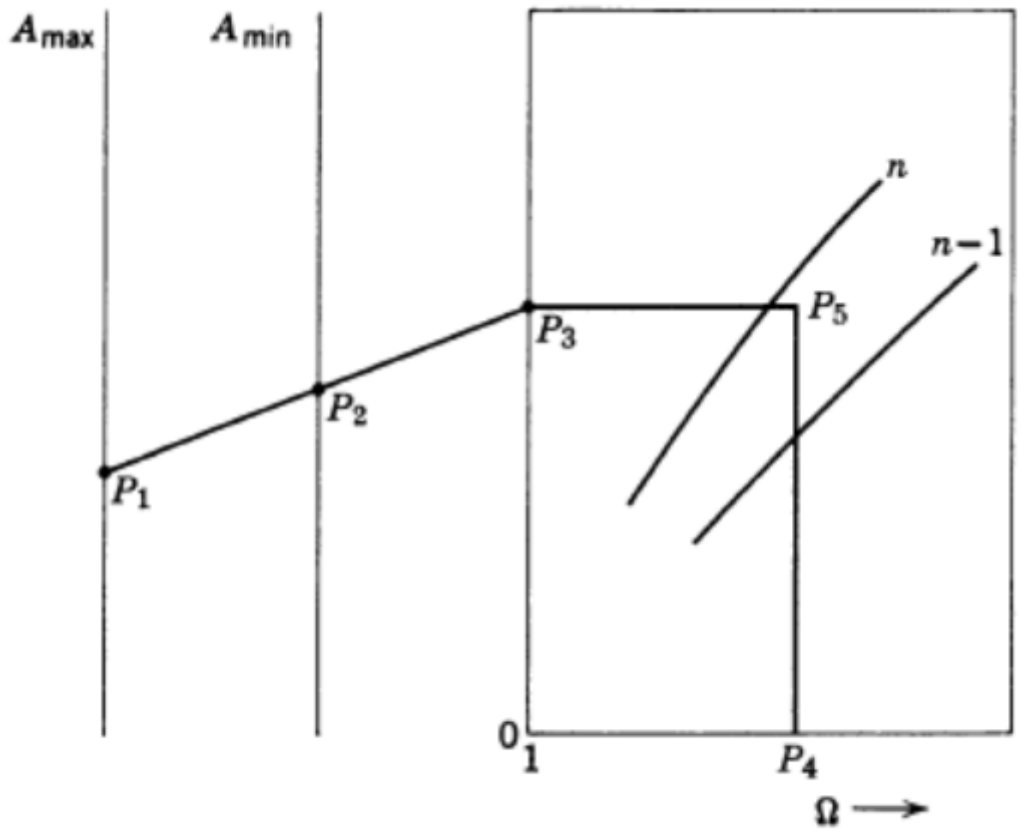


Fig. 5.4. Use of nomographs.

The same expression in factorized form is
因数分解した形では、同じ式は次のようになります。

$$H(s) = B\frac{(s+\sigma_0)(s+\sigma_1-j\Omega_1)(s+\sigma_1+j\Omega_1)}{(s-j\Omega_2)(s+j\Omega_2)} = \frac{1}{W(s)} \quad (5.1.5)$$

where σ0 and σ1 are the real parts of the zeros, Ω1 is the imaginary part of the conjugate zero, and Ω2 is the imaginary part of the imaginary pole (same as the real pole of attenuation).
ここで、σ0 および σ1 は零点の實部、Ω1 は共役零点の虚部、Ω2 は虚極（減衰の実極と同じ）の虚部である。

The geometric representation of this frequency in the complex plane (s-plane) involves the pole-zero coordinates (P-Z data). With the aid of known pole and zero data, the transmission function is fully determined.
複素平面（S 平面）におけるこの周波数の幾何学的表現には、極座標と零点座標（P-Z データ）が用いられる。既知の極座標と零点座標のデータを用いることで、伝達関数は完全に決定される。

With this information the steady-state filter properties, such as attenuation, phase, and group delay, as well as the dynamic properties, such as step response, can be determined in an elementary fashion.
この情報を用いれば、減衰、位相、群遅延といった定常状態のフィルタ特性や、ステップ応答といった動的特性を、極めて単純な方法で求めることができる。

For this reason, the transmission or transfer function parameters σ0, σ1, Ω1, and Ω2 are given in the tables.
このため、伝達関数または伝達関数パラメータである σ0、σ1、Ω1、および Ω2 は、表に示されている。

In the pole-zero diagram there are only finite effective zeros of the transmission function. By adding poles on the opposite side of the jw-axis corresponding to the given zeros (image of zeros) an all-pass pole-zero diagram will appear.
極零点図には、伝達関数の有限個の有効零点のみが存在する。与えられた零点に対応する jw 軸の反対側に極（零点の像）を追加すると、全通過極零点図が現れる。

Because of symmetry with respect to the jw-axis no attenuation is possible, but the amount of phase shift or group delay that the all pass produces is doubled in comparison with the lowpass filter.
jw 軸に対する対称性のため、減衰は生じませんが、オールパスフィルターが生じる位相シフトや群遅延の量は、ローパスフィルターと比較して 2 倍になります。

Table 5.2 Relation Between Reflection Coefficient, Attenuation, VSWR, and Echo Attenuation

ρ, %	a, Np	A, dB	VSWR	A_e, dB
1	0.00005	0.00043	1.020	39.9556
2	0.0002	0.0017	1.041	33.8754
3	0.0005	0.004	1.062	30.4010
4	0.0008	0.007	1.083	27.7952
5	0.0013	0.011	1.105	26.0580
8	0.0032	0.028	1.174	21.7150
10	0.005	0.044	1.222	19.9778
15	0.0113	0.098	1.353	16.5034
20	0.0207	0.18	1.500	13.8976
25	0.032	0.28	1.667	11.7261
50	0.14	1.25	3.000	4.7773

The Element Values

要素の値

Filters having equal terminations constitute the great majority of all designs. On the other hand, open-circuit operation is very popular in certain systems. Most of the known tables include information for equally terminated cases. In this collection, the tabulation has been extended to open-circuit conditions.

両端が等価なフィルタは、あらゆる設計の大部分を占めています。一方、特定のシステムでは、開回路動作が非常に一般的です。既知の表のほとんどは、両端が等価なケースに関する情報を含んでいます。本コレクションでは、表の記載を開回路条件まで拡張しています。

In the three-zero configuration a relatively simple case exists, and it is possible to use some simple basic relations which are derived from the analysis of polezero locations in connection with coefficients:
3-0 配置においては比較的単純なケースが存在し、係数と極ゼロの位置の解析から導かれるいくつかの単純な基本関係式を用いることが可能である：

For $K^2 = 1$,

$$C_1' = \frac{1}{\sigma_1} = C_3' \qquad C_2' = \frac{\sigma_0 - 2\sigma_1}{4\sigma_0\sigma_1} \tag{5.1.6}$$

For $K^2 = \infty$,

$$C_{1,3}' = \frac{\Omega_2^2 \mp \sigma_0^2}{2\sigma_0\Omega_2^2} \qquad C_2' = \frac{1}{\Omega_2^2 L'_2}$$
$$L_2' = \frac{8\sigma_1}{\sigma_1 + \Omega_1^2 + 2\sigma_0\sigma_1 + \sigma_0^2} \tag{5.1.7}$$

It can be noticed that, in the filter network, the pole-zero parameters are interconnected. For the specific case of n = 3
フィルタ回路において、極点・零点パラメータが相互に関連していることがわかる。n = 3 の場合に限れば、

$$\Omega_2^2 = \frac{\sigma(\sigma_1^2 + \Omega_1^2)}{\sigma_0 - 2\sigma_1} \tag{5.1.8}$$

This relation can be used for checking purposes.
In the case of K2 = oc (open-termination operation) when the attenuation in the passband is small, some element values are negative, as can be seen from Eqs. (5.1.7). The limiting case is the filter having one reactance equal to zero. In the catalog, the element values are in the following order:
この関係式は、検証の目的で使用できます。
K2 = oc（開放終端動作）の場合、通過帯域での減衰が小さいと、式(5.1.7)からわかるように、一部の素子値が負になります。極限の場合として、1 つのリアクタンスがゼロとなるフィルタが挙げられます。カタログでは、素子値は以下の順序で記載されています：

$$C_1' = C_3',\ C_2',\ L_2' \text{ for } K^2 = 1$$
$$C_1',\ C_2',\ L_2',\ C_3' \text{ for } K^2 = \infty$$

and can be directly read from the table. The normalized element values for the dual schematic are given from the bottom of each table.
また、表から直接読み取ることができます。各表の下部には、デュアル回路図の正規化された素子値が記載されています。

In the tables for n = 3, negative element values begin to appear when 0 approaches 19 for a 1% reflection coefficient. For 2% reflection, the corresponding value of 0 is 26°. In the schematic at the top of the filter catalog, the capacity C1 is the limiting element. In the dual schematic, at the bottom of the tables, the inductance L1 is the limiting element.
n = 3 の場合の表では、反射係数が 1% の場合、0°が 19°に近づくにつれて負の素子値が現れ始めます。反射係数が 2% の場合、0°に対応する値は 26°です。フィルタカタログ上部の回路図では、容量 C1 が制限素子となります。表の下部にある対称回路図では、インダクタンス L1 が制限素子となります。

This leads to the natural conclusion that filters with negative element values cannot be realized without mutual coupling. To avoid transformers in the filter, some modification of requirements can be met, or some realization procedure can be modified. First of all, if the order of pole removal is changed, the effect could be sufficient to realize the filter without mutual inductance.
このことから、要素値が負のフィルタは、相互結合なしには実現できないという当然の結論が導かれる。フィルタ内にトランスを使用しないためには、要件をある程度変更するか、あるいは実装手順を調整する必要がある。まず、極の除去順序を変更すれば、相互インダクタンスを用いずにフィルタを実現するのに十分な効果が得られる可能性がある。

If the goal is not achieved, the amount of permissible reflection in the passband must be increased. It is interesting to note that some elements could completely disappear from the schematic at a certain value of the reflection coefficient and a certain value of θ. Figure 5.5 shows the influence of pole removal order.
目標が達成されない場合、通過帯域における許容反射量を増加させる必要がある。興味深いことに、反射係数と θ の値が特定の値になると、回路図から一部の素子が完全に消えてしまうことがある。図 5.5 は、極の除去順序が及ぼす影響を示している。

If the first pole is at Ω 4 and the second is Ω 2, the negative values for the input capacitor will begin to appear at larger values of 0. The case of the reverse order of poles given is illustrated by the dashed line and suggests a very big difference between two cases, especially for a low reflection coefficient.
最初の極がΩ 4 にあり、2 番目の極が Ω2 にある場合、入力コンデンサの負の値は、0 に近い大きな値から現れ始めます。極の順序が逆の場合については破線で示されており、特に反射係数が低い場合、この 2 つのケースの間には非常に大きな違いがあることが示唆されています。

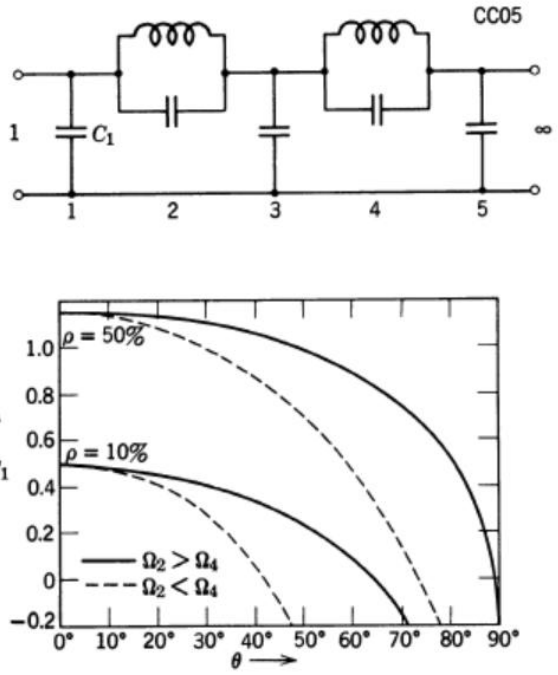


Fig. 5.5. Influence of pole removal order.

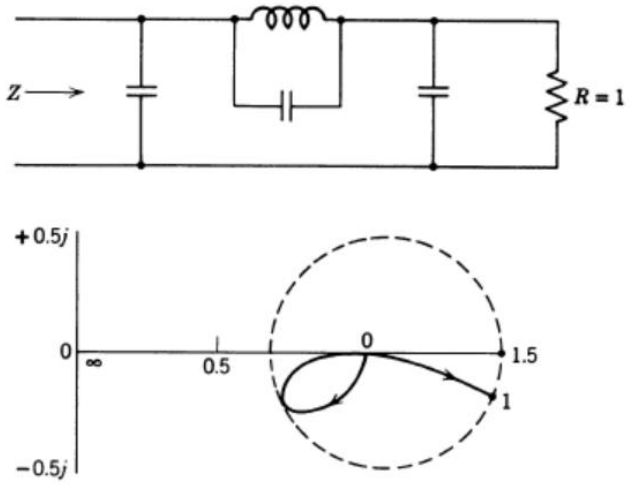


Fig. 5.6. Typical frequency behavior of input impedance.

Impedance in the Passband
通過帯域におけるインピーダンス

Figure 5.6 shows the typical frequency behavior of the input impedance. When the frequency is zero, the filter exhibits a nominal impedance (normalized value R = 1). When the frequency increases, the reactive components will appear negative (reactance), then the curve of impedance will reach the circle of maximum allowable reflection coefficient.
図 5.6 は、入力インピーダンスの典型的な周波数特性を示している。周波数がゼロのとき、フィルタは公称インピーダンス（正規化値 R = 1）を示す。周波数が上昇すると、リアクティブ成分が負の値（リアクタンス）となり、その後、インピーダンス曲線は最大許容反射係数の円に達する。

Further increase of frequency brings the input impedance back to the nominal value and finally to the second maximum at Ω = 1 (catalog number of the filter is CC 03 20 30). All maximum values lie on the circle which outlines the given filter.
周波数がさらに上昇すると、入力インピーダンスは公称値に戻り、最終的に Ω = 1 で第 2 の最大値に達する（このフィルターの型番は CC 03 20 30）。すべての最大値は、当該フィルターを表す円周上に位置している。

Figure 5.7 shows a more complicated filter, namely CC 05 20 30.
図 5.7 は、より複雑なフィルタ、すなわち CC 05 20 30 を示している。

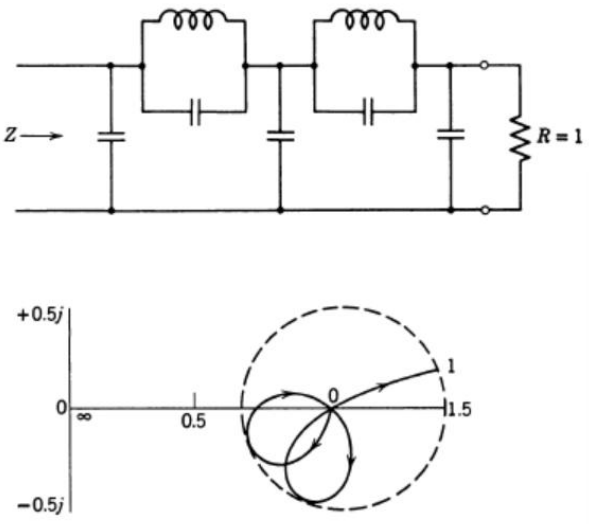


Fig. 5.7. Impedance characteristic in passband.

目次

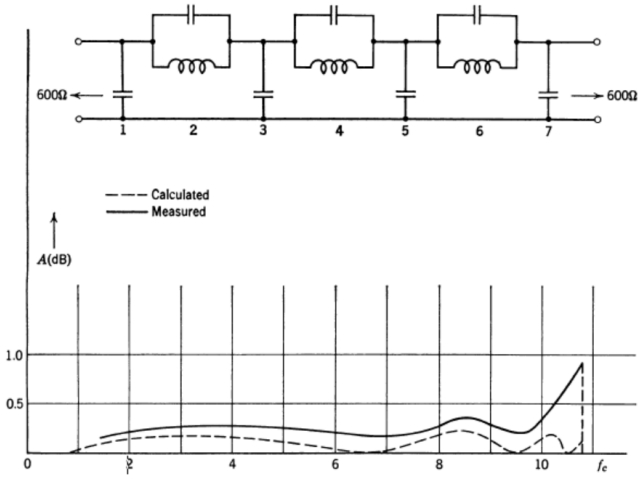


Fig. 5.8. Schematic and attenuation in the passband of seventh order lowpass.

Its impedance behaves in the same fashion except that it exhibits more ripples in the passband. The attenuation reaches maximum value three times in the passband. The filter of higher complexity, shown in Fig. 5.8, is of the seventh order, and an equally-terminated design of a similar structure.

そのインピーダンスの挙動は同様であるが、通過帯域においてより多くのリップルが見られる点が異なる。減衰量は通過帯域内で 3 回、最大値に達する。図 5.8 に示す、より複雑なフィルタは 7 次フィルタであり、同様の構造を持つ等終端設計である。

Its attenuation characteristic in the passband is shown below the schematic.Figure 5.9 shows the corre sponding behavior of the input admittance. The calculated and measured values are different.

通過帯域におけるその減衰特性は、回路図の下に示されている。図 5.9 は、これに対応する入力アドミタンスの挙動を示している。計算値と測定値には差異が見られる。

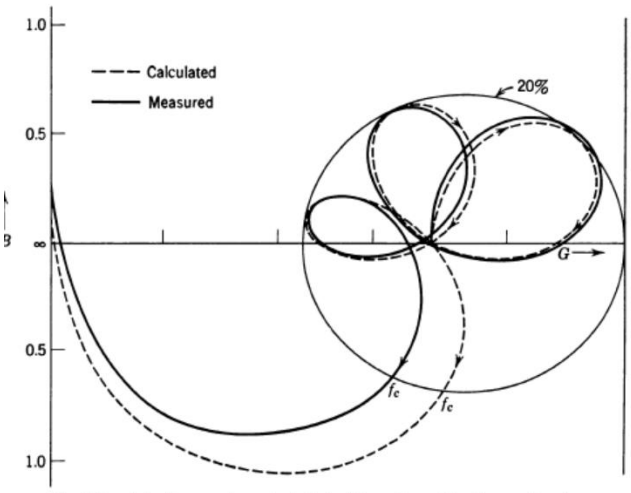


Fig. 5.9. Admittance characteristic inside and outside the passband.

On the base of purely reactive network theory, if the calculated values exhibit equal ripple attenuation up to cutoff frequency and the impedance varies up to the circumference of equal reflection values, the measured values will deviate since the components are not purely reactive but include the impurity of losses.
純粋な無効電力ネットワーク理論に基づけば、計算値がカットオフ周波数まで等しいリップル減衰を示し、インピーダンスが等しい反射値の範囲内で変動する場合でも、測定値は逸脱することになる。これは、構成要素が純粋な無効電力ではなく、損失という不純物を含んでいるためである。

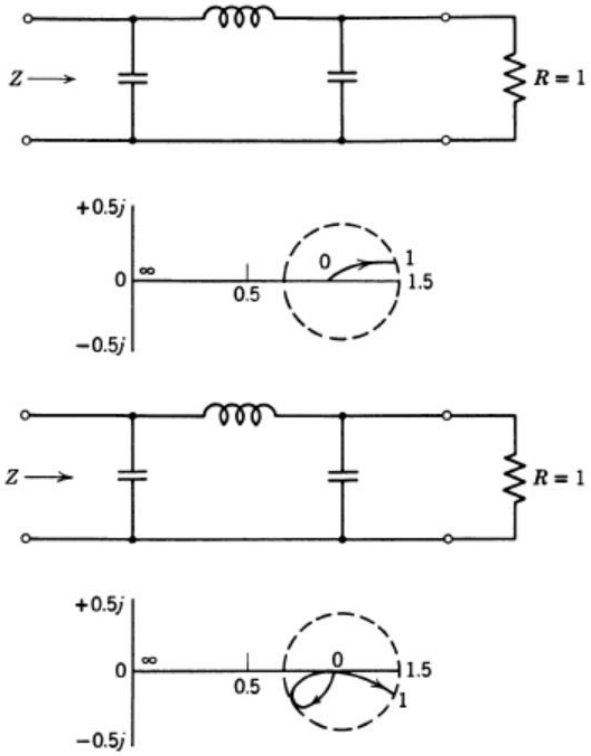


Fig. 5.10. Impedance characteristics of Butterworth and Chebyshev filters.

In the low frequency domain (where these kind of filters find application) most of the losses are concentrated in the coils because the capacitors are approximately ten times better than the coils.
低周波数領域（この種のフィルタが用いられる領域）では、コンデンサの効率がコイルの約 10 倍であるため、損失の大部分はコイルに集中している。

Therefore the attenuation response in the passband, especially at cutoff, is very much distorted in comparison with what one is led to expect; the last ripple is completely smeared.
したがって、通過帯域、特にカットオフ点における減衰特性は、予想されるものとは大きく

異なり、最後のリップルが完全にぼやけてしまっている。

A similar effect appears in the impedance curve. The point which corresponds to cutoff frequency is now out of the circle and, consequently, the impedance is different. In Fig. 5.9, the value of admittance at cutoff frequency is exactly on the circle. The solid line shows the actual behavior of admittance.
同様の現象がインピーダンス曲線にも見られる。カットオフ周波数に対応する点が円の外側に出ており、その結果、インピーダンスが異なっている。図 5.9 では、カットオフ周波数におけるアドミタンスの値がちょうど円上にある。実線はアドミタンスの実際の挙動を示している。

Therefore the distance between two curves illustrates the real part and the imaginary part of the admittance deviation from the calculated value.
したがって、2 つの曲線の間の距離は、計算値からのアドミタンスの偏差の実部と虚部を表している。

To complete this discussion, Fig. 5.10 shows the impedance behavior for Butterworth and Chebyshev filters. Both filters belong to one of the simplest categories n = 3. Nevertheless, the characteristics of the input impedance responses are different.
この議論を締めくくるために、図 5.10 にはバターワースフィルタとチェビシェフフィルタのインピーダンス特性が示されている。両フィルタとも、最も単純なカテゴリの一つである n = 3 に属する。それにもかかわらず、入力インピーダンス応答の特性は異なっている。

5.2 REAL PART OF THE DRIVING POINT IMPEDANCE
5.2 駆動点インピーダンスの実部

It is well known that a great many circuit problems can be solved with the normalized lowpass model. Among these problems are the property of the real part of the driving point impedance, the attenuation property of all kinds of conventional filters, crystal filters, and transient responses of the lowpass filter.
正規化ローパスモデルを用いて、非常に多くの回路問題を解くことができることはよく知られている。これらの問題には、駆動点インピーダンスの実部の特性、各種従来型フィルタや水晶フィルタの減衰特性、およびローパスフィルタの過渡応答などが含まれる。

When a catalog of designs is available, the only design work necessary is the transformation and denormalizing. The calculations can be easily accomplished with the aid of a slide rule or a desk calculator.
設計カタログが利用可能な場合、必要な設計作業は変換と非正規化のみである。計算は、スライド定規や卓上電卓を使えば簡単に済ませることができる。

In some instances, the knowledge about the filter's behavior in the time domain is even more important than its steady-state performance, especially in the application of impulse techniques, radar, and telemetry.
場合によっては、特にインパルス法、レーダー、テレメトリの応用において、フィルタの定常状態の性能よりも、時間領域における挙動に関する知識の方がさらに重要となる。

Design of Two-terminal Networks Having a Prescribed Driving Point Impedance
所定の駆動点インピーダンスを持つ 2 端子ネットワークの設計

The filter catalog has been computed primarily to provide the tabulated transmission property, namely passband attenuation and stopband attenuation.
このフィルタカタログは、主に透過特性、すなわち通過帯域減衰量および阻止帯域減衰量を表形式で提供することを目的として作成されました。

For a purely reactive network, there is a simple relation between attenuation and the reflection coefficient, hor similar networks terminated on only one side, the relation between the driving point impedance (input function) and transfer factor is also simple. With reference to Fig. 5.11, the following relationships can be written:
純粋な反応性ネットワークの場合、減衰と反射係数との間には単純な関係が成り立つ。同様に、片側のみに終端が設けられたネットワークにおいても、駆動点インピーダンス（入力関数）と伝達係数との関係は単純である。図 5.11 を参照すると、以下の関係式が導き出される：

$$G(\omega) = \mathrm{Re}\ Y_1(j\Omega)$$

and (5.2.1)

$$R(\omega) = \mathrm{Re}\ Z(j\Omega)$$

目次

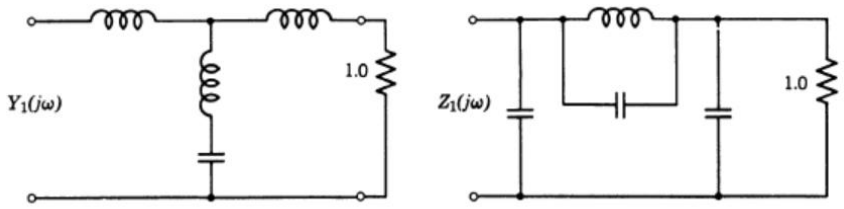


Fig. 5.11. Dual networks.

The power passing through the network in terms of effective voltage and current is expressed by

ネットワークを流れる電力は、実効電圧および実効電流を用いて次のように表される。

$$P_1 = |V_1|^2 \, G(\Omega)$$

and (5.2.2)

$$P_1 = |I_1|^2 \, R(\Omega)$$

No losses are anticipated in the network and, therefore, the input and output power are equal

ネットワーク内での電力損失は予想されないため、入力電力と出力電力は等しくなる

$$P_1 = P_2$$

Therefore the output power in both cases will be

したがって、どちらの場合も出力は

$$P_2 = |V_2|^2 \cdot 1$$

$$P_2 = |I_2|^2 \cdot 1$$

The corresponding transfer factors are as follows:

対応する転送係数は以下の通りです：

$$|H_v(j\Omega)|^2 = \left|\frac{V_1}{V_2}\right|^2 = R(\Omega)$$

$$|H_i(j\Omega)|^2 = \left|\frac{I_1}{I_2}\right|^2 = G(\Omega) \qquad (5.2.3)$$

所定の駆動点インピーダンスを持つ 2 端子ネットワークの設計

The transmission function for the network having a voltage or current source of input power can be expressed by the square of the voltages in one case and currents in the other, or by the real part of the driving point impedance function.
入力電源が電圧源または電流源であるネットワークの伝達関数は、ある場合には電圧の二乗、別の場合には電流の二乗、あるいは駆動点インピーダンス関数の実部によって表すことができる。

As a consequence of this property, it is possible to insert a finite reactance in the shunt arm of the network (with Rs = 0) without effecting the real part of the input function (driving point impedance).
この特性により、回路の分岐支路に有限のリアクタンス（Rs＝0）を挿入しても、入力関数の実部（駆動点インピーダンス）に影響を与えることはありません。

Attention must be paid to thetypeof source resistance and the type of the schematic. When the source is of zero internal impedance, or a so-called voltage source, the series branch (T-schcmatic) must be connected with the source.
ソースの抵抗の種類と回路図の種類に注意を払う必要があります。ソースの内部インピーダンスがゼロの場合、いわゆる電圧源の場合、直列分枝（T 型回路図）をソースに接続する必要があります。

When the source resistance is equal to infinity (so-called current source) the first reactance facing the source in the network must be a parallel branch (π-schematic).
源の抵抗が無限大（いわゆる電流源）である場合、回路において源に面する最初のリアクタンスは並列分枝でなければならない（π形回路図）。

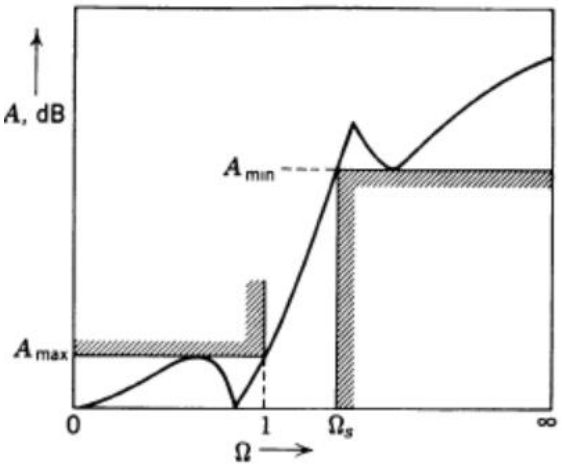


Fig. 5.12. Tolerance scheme for lowpass filters.

Parameters of the Real Part of the Driving Point Impedance
駆動点インピーダンスの実部のパラメータ

It is advantageous to have some established formal relationship between two-terminal networks to use the tabulated filter values to obtain the necessary design characteristics. Let us introduce the attenuation tolerance scheme for lowpass filters (see Fig. 5.12).
表にまとめられたフィルタ値を用いて必要な設計特性を得るためには、2 端子回路間に何らかの定式化された関係が確立されていることが有益である。ローパスフィルタ用の減衰許容度方式を紹介しよう（図 5.12 を参照）。

The appearance of the impedance tolerance scheme in Fig. 5.13 is similar to that of the transmission function. The details of the responses are shown in Fig. 5.12 and 5.13. The squared magnitudes equation will take the familiar form
図 5.13 に示すインピーダンス許容度方式の外観は、伝達関数のそれと同様である。応答の詳細は図 5.12 および 5.13 に示されている。振幅の二乗に関する式は、おなじみの形をとる。

$$|H(j\Omega)|^2 = e^{2a} = 10^{2A/20} \qquad (5.2.4)$$

The ripple parameter in the passband of the filter Amax is similar to the ripple parameter of the real part of the impedance given by the following relation:
フィルタ Amax の通過帯域におけるリップルパラメータは、以下の関係式で与えられるインピーダンスの実部のリップルパラメータと類似している：

$$\delta = \sqrt{e^{2a} - 1} \qquad (5.2.5)$$

or for small values of Amax (in Np),
あるいは、Amax の値が小さい場合（Np において）、

$$\delta \approx 2a \qquad (5.2.6)$$

In the stopband, ‘the deviation parameter will be $\Delta = e^{Amin}$. So the filter parameters, such as Amax (consequently ρ) and Amin can be translated into ripples of the real part of the driving point impedance σ and Δ.

阻止帯域では、偏差パラメータは $\Delta = e^{Amin}$ となる。したがって、Amax（ひいては ρ）や Amin といったフィルタパラメータは、駆動点インピーダンス σ および Δ の実部のリップルに変換することができる。

With aid of the filter catalog, the two- terminal network having a prescribed behavior of the real part of the driving point impedance can be easily designed.
フィルタカタログを活用すれば、駆動点インピーダンスの実部の特性が所定の値となる二端子回路を容易に設計することができる。

The entire input function can be theoretically represented by algebraic equations in a similar way, but the direct development for impedance (or admittance) from continuous fraction expansion when the element values are known is much simpler.
入力関数全体も同様に代数式で理論的に表すことは可能だが、素子の値が既知の場合、連続分数展開からインピーダンス（またはアドミタンス）を直接導出する方がはるかに簡単である。

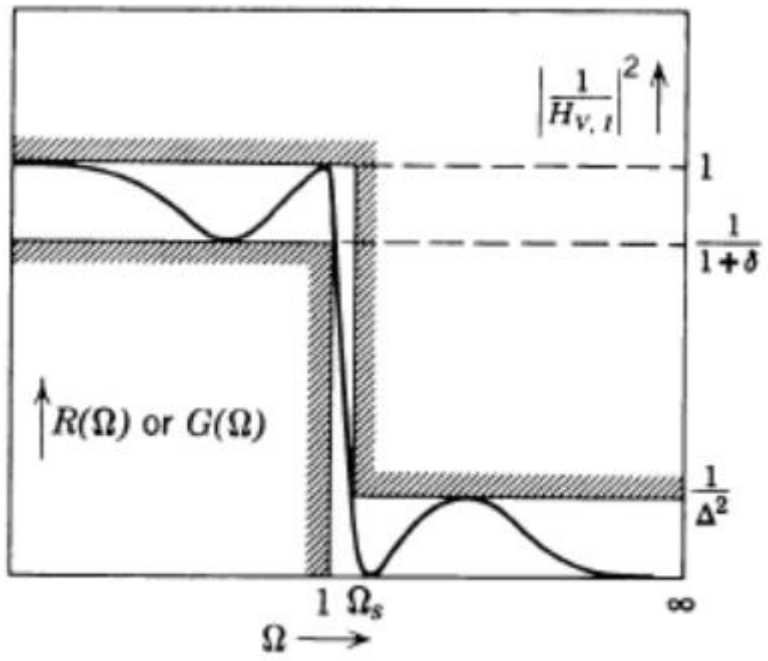


Fig. 5.13. Impedance tolerance scheme.

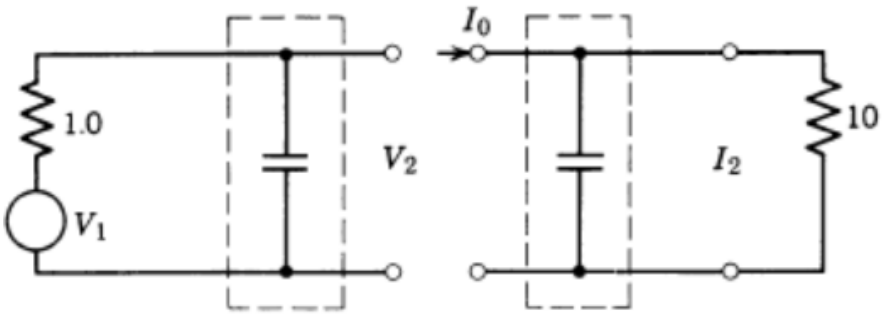


Fig. 5.14. Reversible networks.

The Elements of Two-terminal Networks
2 端子回路の基礎

The normalized element values can be found from filter catalog when we consider that, for reversible networks, the open-circuit transmission factor equals the current transmission factor so that
可逆ネットワークにおいて、開回路伝達係数が電流伝達係数と等しくなることを考慮すると、正規化された素子の値はフィルタカタログから求めることができる。すなわち、

$$H_0 = \frac{V_0}{V_2} = H_i = \frac{I_0}{I_2} \qquad (5.2.7)$$

Figure 5.14 shows the schematic for the foregoing conditions. Table values from Section 5.8 can be used when the input side and output side are reversed. (See the following numerical example.)
図 5.14 は、前述の条件における回路図を示している。入力側と出力側が逆の場合には、5.8 節の表の値を用いることができる（以下の数値例を参照）。

With the aid of frequency transformation techniques, the behavior of the real part of the driving point impedance of the lowpass model can be transformed into the highpass, passband, and stopband type characteristic.
周波数変換手法を用いることで、ローパスモデルの駆動点インピーダンスの実部の挙動を、ハイパス、通過帯域、および阻止帯域型の特性に変換することができる。

The physical sense behind this transformation is that reactive elements of the lowpass schematic are to be substituted by other simple reactances or combination of reactances.

この変換の物理的な意味は、ローパス回路図のリアクティブ要素を、他の単純なリアクタンス、あるいはリアクタンスの組み合わせに置き換えることにある。

Numerical Example
数値例

The problem here is to find a network with the real part of the driving point impedance practically constant (with negligible deviation from the nominal prescribed value) in a band of frequencies from 0 to 8 kc, as shown in Fig. 5.15.
ここでの課題は、図 5.15 に示すように、0～8 kHz の周波数帯域において、駆動点インピーダンスの実部が実質的に一定（規定の公称値からの偏差が無視できる程度）となる回路を見つけることである。

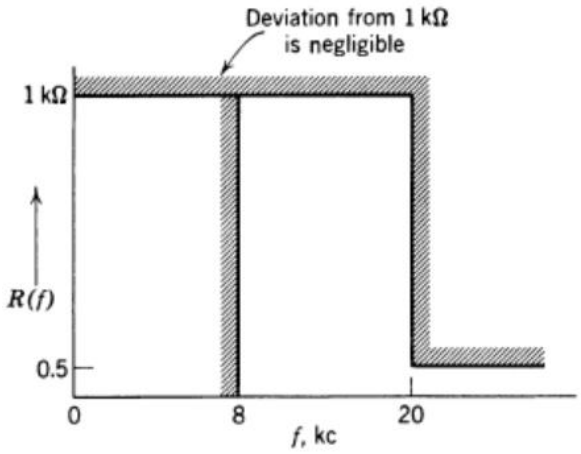


Fig. 5.15. Prescribed real part limitations.

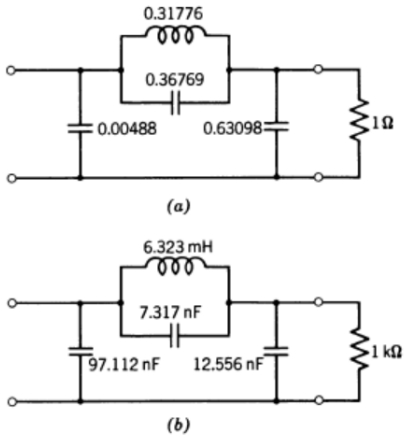


Fig. 5.16. Normalized and unnormalized two-terminal network.

SOLUTION:
解決策：

1. The parameters of a two-terminal network in terms of a four-terminal filter are:
1. 2 端子回路のパラメータを 4 端子フィルタで表すと、次のようになる：

$$\delta\sqrt{e^{2a}-1} = \frac{\rho}{\sqrt{1-\rho^2}} \approx \rho$$

for small values of ρ. If the value of ρ = 2%, then the amount of deviation from the nominal value one is 0.1%.
ρ の値が小さい場合。もし ρ の値が 2%であれば、公称値からの偏差は 0.1%となる。

2. For = Ωs=20/8 = 2.5, from the catalog, for ρ = 2%, the closest tabulated values belong to the filter of type CC 03 02 23 with Ωs = 2.5593, Amin = 13.72.
Figure 5.16a shows the normalized structure. For example, wr = 50.240, and the reference impedance Rr = 1 kΩ. Therefore Lr = Rr/wr = 19.9 mH, Cr = 1/(wrRr) = 19.9 nF, Lv = Lv'Lr, and Cv = C'Cr. The schematic of Fig. 5.16 gives the element values of the designed network.
2. ここで、Ωs = 20/8 = 2.5 となる。カタログによると、ρ = 2% の場合、最も近い表値は、Ωs = 2.5593、Amin = 13.72 を持つタイプ CC 03 02 23 のフィルタに対応する。
図 5.16a に正規化された構造を示す。例えば、wr = 50.240、基準インピーダンス Rr = 1 kΩ である。したがって、Lr = Rr/wr = 19.9 mH、Cr = 1/(wrRr) = 19.9 nF、Lv = Lv'Lr、Cv = C'Cr となる。図 5.16 の回路図は、設計されたネットワークの素子値を示している。

5.3 LOWPASS FILTER DESIGN
5.3 ローパスフィルターの設計

Sometimes it is desirable to have more exact knowledge about the attenuation, phase, and group delay characteristics than those given in the tables. Because the catalog includes the eigenvalues, it is possible to determine these more exact characteristics in an elementary fashion.
減衰、位相、群遅延特性について、表に示されている値よりもさらに正確な情報が必要となる場合があります。カタログには固有値が記載されているため、これらのより正確な特性を初歩的な方法で求めることが可能です。

The transmission function of a network with lumped elements can always be represented by a rational function. The zeros are in the numerator, and the poles are given in the denominator. In the third-order case, taken as an example, this expression is given by Eqs. 5.1.4 and 5.1.5 where σ0, σ1, Ω1 and Ω2 are the values determined in the 5-plane shown in Fig. 5.17.
集中定数素子を持つネットワークの伝達関数は、常に有理関数で表すことができます。零点は分子にあり、極は分母にあります。例として 3 次の場合を考えると、この式は式 5.1.4 と 5.1.5 で与えられます。ここで、σ0、σ1、Ω1、Ω2 は図 5.17 に示す 5 平面で決定された値です。

Poles are symbolized by (x) and zeros by (0). For s0 = —σ0 and s1=-σ1±jΩ, the transmission function is equal to zero. For s2 = ±jΩ2 the transfer function is infinitely large.

極は(x)で、零点は(0)で表されます。s0 = -σ0、s1 = -σ1±jΩ の場合、伝達関数はゼロになります。s2 = ±jΩ2 の場合、伝達関数は無限大になります。

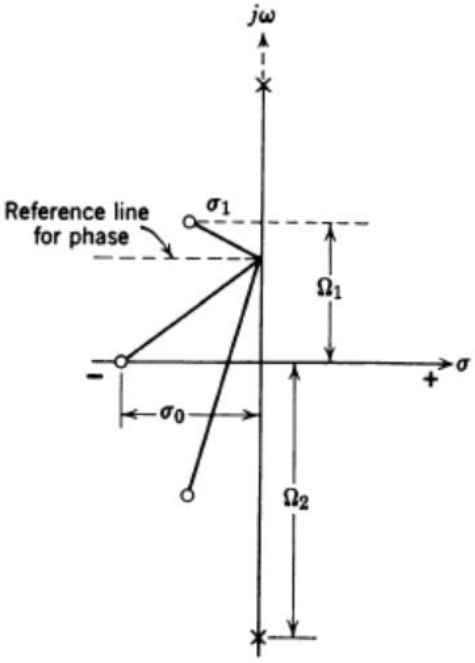


Fig. 5.17. Pole-zero diagram for lowpass filter ($n = 3$).

These fixed complex numbers are characteristic to the transfer function. Knowledge of pole-zero data permits us to find all steady-state and dynamic properties of the network. Attenuation, phase, and group-delay characteristics can be constructed directly lrom Eq. 5.1.5 for H(s).
これらの固定複素数は伝達関数に固有のものです。極零点データを知ることで、ネットワークの定常状態および動的特性をすべて求めることができます。減衰、位相、群遅延特性は、H(s) の式 5.1.5 から直接構築できます。

In the steady-state condition, the argument of complex frequency is purely imaginary signifying prolonged sinusoidal oscillation. The value of attenuation can be described by the distances between the reference frequency jΩ and the poles and zeros.
定常状態では、複素周波数の引数は純虚数となり、正弦波振動が長時間続くことを示します。減衰値は、基準周波数 jΩ と極および零点との間の距離によって表されます。

Figure 5.17 shows these distances for illustrative purposes. The entire magnitude is evaluated, when the pole and zero distances corresponding to Eqs. 5.1.4 and 5.1.5 are multiplied.
図 5.17 は、これらの距離を例示的に示しています。式 5.1.4 および 5.1.5 に対応する極と零点の距離を掛け合わせると、全体の大きさが評価されます。

In communication techniques, it is customary to express the transmission function in terms of attenuation so that
通信技術では、伝送関数を減衰の観点から表現するのが一般的である。

$$H(j\Omega) = e^{a(\Omega)}e^{j\beta(\Omega)} \quad \text{for } a \text{ in Np}$$
$$H(j\Omega) = 10^{A(\Omega)/20}e^{j\beta(\Omega)} \quad \text{for } A \text{ in dB} \qquad (5.3.1)$$

With these, the attenuation will be
これらにより、減衰は

$$A(\Omega) = \log B + \log|j\Omega - j\Omega_2| + \log|j\Omega + j\Omega_2| - \log|j\Omega + \sigma_0| - \log|j\Omega + \sigma_1 - j\Omega_1| - \log|j\Omega + \sigma_1 + j\Omega_1| \qquad (5.3.2)$$

The meaning of these expressions is that the attenuation is fully determined except for the constant log B, by the sum of the logarithms of the phasors (complex numbers).
これらの式が意味するのは、減衰量は定数 log B を除いて、フェーザ（複素数）の対数の和によって完全に決定されるということである。

The phase can be determined even simpler than the attenuation. The expression for the phase is given by corresponding lines with corresponding signs (with positive signs for zeros and negative signs for poles). See Fig. 5.17—the reference line.
位相は減衰よりもさらに簡単に決定できます。位相の式は、対応する符号（零点には正の符号、極には負の符号）を持つ対応する線で表されます。図 5.17 の基準線を参照してください。

目次

$$b(\Omega) = \text{arc}\,[-H(j\Omega)]$$

or

$$b(\Omega) = K - \tan^{-1}\frac{\Omega_0}{\sigma_0} + \tan^{-1}\frac{\Omega - \Omega_1}{\sigma_1}$$

Here K = 0 for | Ω | < Ω2 and K = ±π for | Ω | > Ω2. The phase is determined within a constant by the sum of the arc tangents.
The group delay tg(Ω) is given by the familiar expression represented as a derivative of the phase relative to the frequency:
ここで、| Ω | < Ω2 の場合は K = 0、| Ω | > Ω2 の場合は K = ±π となります。位相は、アークタンジェントの和によって定数分だけ決定されます。
群遅延 tg(Ω) は、位相を周波数で微分した式で表されます。

$$t_g(\Omega) = \frac{db}{d\Omega} = \frac{\sigma_0}{\sigma_0^2 + \Omega^2} + \frac{\sigma_1}{\sigma_1^2 + (\Omega - \Omega_1^2)} + \frac{\sigma_1}{\sigma_1^2 + (\Omega + \Omega_1)^2} \quad (5.3.3)$$

This expression shows that the total group delay is a sum of partial curves similar to resonance response curves. The purely imaginary places (such as Ω2) correspond to infinitely large group-delay spikes and therefore are not included.
この式は、全体の群遅延が共振応答曲線に類似した部分曲線の和であることを示している。純虚数（Ω2 など）は無限大の群遅延スパイクに対応するため、含まれていない。

In conclusion it can be stated that the knowledge of pole-zero geometry and elementary rules of design procedure permits the calculation of the steady-state property of lowpass models of any complexity, if it is linear and has a lumped element equivalent schematic.
結論として、極零点幾何学と基本的な設計手順の規則に関する知識があれば、線形であり集中定数等価回路図を持つローパスモデルの定常状態特性を計算することができると言える。

Numerical Example Number 1

目次

数値例 1

A lowpass filter is to satisfy the requirements imposed by the tolerance scheme shown in Fig. 5.18. Figure 5.19 shows the normal operating condition.
According to Table 5.2, a reflection factor ρ = 3% corresponds to Amax = 0.004 dB. The requirements dictate Amin = 18 dB at Ωs = 2.7. The table with Ωs = 2.67 and Amin = 18.31, (CC 03 03 22), provides a set of necessary design values for the required filter.
ローパスフィルタは、図 5.18 に示す許容範囲で定められた要件を満たす必要があります。図 5.19 は、通常の動作状態を示しています。
表 5.2 によると、反射率 ρ = 3%は Amax = 0.004 dB に相当します。要件では、Ωs = 2.7 において Amin = 18 dB と定められています。Ωs = 2.67、Amin = 18.31 の表（CC 03 03 22）は、必要なフィルタの設計値のセットを提供します。

Figure 5.20a shows the normalized network with the reference values wr = 2 π ・15,000 and Rr = 5 x 1000. The reference inductor is Lr = Rr/wr = 53.1 mH, the circuit inductance is Lv = Lv'Lr.
図 5.20a は、基準値 wr = 2 π ・ 15,000 および Rr = 5 x 1000 を用いた正規化ネットワークを示しています。基準インダクタは Lr = Rr/wr = 53.1 mH、回路インダクタンスは Lv = Lv'Lr です

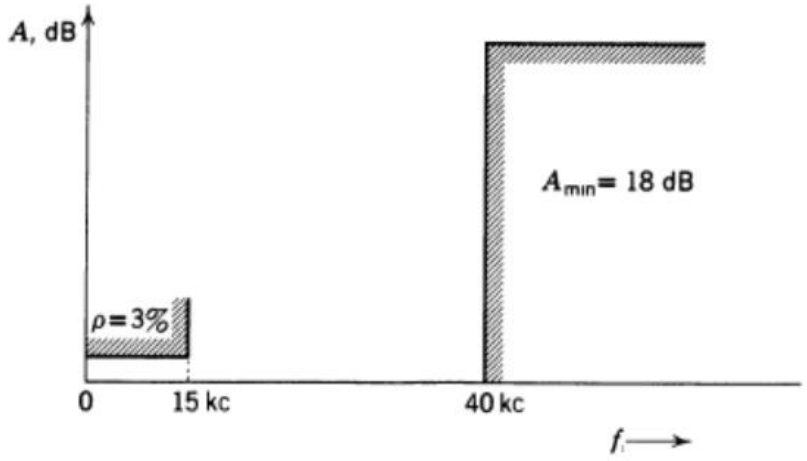


Fig. 5.18. The attenuation requirements for the filter.

The reference capacitor is Cr = l/wrRr = 2.12 nF, and the circuit capacitor is Cv = Cv'Cr. Figure 5.20b shows the unnormalized network. The resonant frequency for the LC resonator must equal 45.9 kc.
From the same catalog, the following information will be used for group delay response calculation:

基準コンデンサは Cr = l/wrRr = 2.12 nF、回路コンデンサは Cv = Cv'Cr です。図 5.20b は正規化されていないネットワークを示しています。LC 共振器の共振周波数は 45.9 kHz でなければなりません。 同じカタログから、群遅延応答の計算には以下の情報を使用します。

$$\sigma_0 = 2.290$$
$$\sigma_1 = 0.673$$
$$\Omega_1 = 1.842$$
$$tg(\Omega) = \frac{2.290}{(2.290)^2 + \Omega^2} + \frac{0.673}{(0.673)^2 + (\Omega - 1.842)^2} + \frac{0.673}{(0.673)^2 + (\Omega + 1.842)^2}$$

The curve of total magnitude can be represented as a sum of three curves.
The partial curves are marked by several characteristic points, for example when
全振幅の曲線は、3 つの曲線の和として表すことができます。 部分曲線は、例えば次のようないくつかの特徴点によって示されます。

$$\Omega - \Omega_1 = 0$$
$$t_1 = \frac{1}{\sigma_1}$$

for

$$\Omega - \Omega_1 = \sigma_1$$
$$t_1 = \frac{1}{2\sigma_1}$$

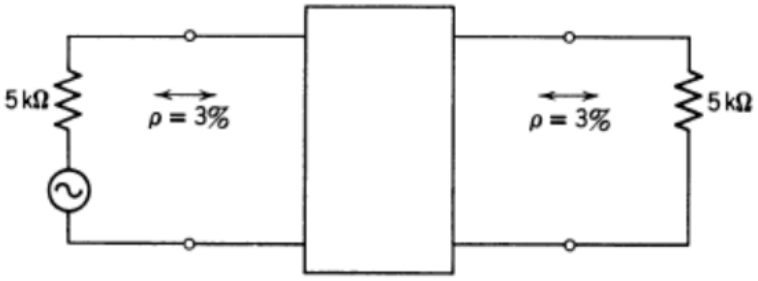


Fig. 5.19. Normal operating conditions.

目次

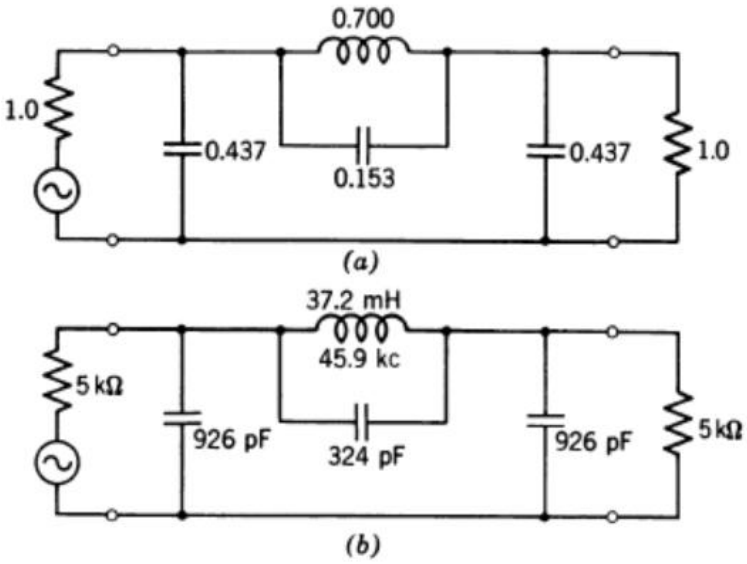


Fig. 5.20. Normalized and unnormalized lowpass filters.

for

$$\Omega - \Omega_1 = 2\sigma_1$$

$$t_1 = \frac{1}{5\sigma_1}$$

and, in general, for

$$\Omega - \Omega_v = k\sigma_v$$

$$t_v = \frac{1}{1 + k^2}\frac{1}{\sigma_v}$$

Practically, it is sufficient to have such points to distinguish the partial curves.

Figure 5.21 shows the partial and total curves. It is evident that the group delay inside of the passband is gradually increasing to about 30% of its initial value at the beginning of the scale.

The actual group delay can be found with the aid of the reference time

実際には、部分曲線を区別するには、このような点があれば十分です。

図 5.21 は、部分曲線と全体曲線を示しています。通過帯域内の群遅延は、スケールの開始時点で初期値の約 30%まで徐々に増加していることがわかります。

実際の群遅延は、基準時間を用いて求めることができます。

$$t_r = \frac{1}{\omega_r} \qquad (5.3.4)$$

and all normalized tg(Ω) values must be multiplied by this reference value. The physical time units are shown on the left-side scale of Fig. 5.21.
正規化された tg(Ω)値はすべて、この基準値を乗じる必要があります。物理的な時間単位は、図 5.21 の左側の目盛りに示されています。

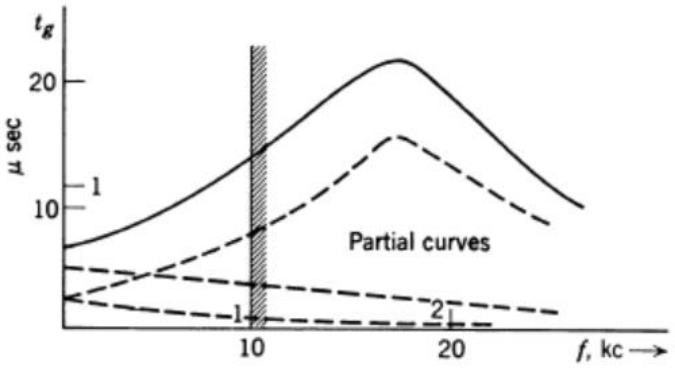


Fig. 5.21. Partial and total curves of group delay.

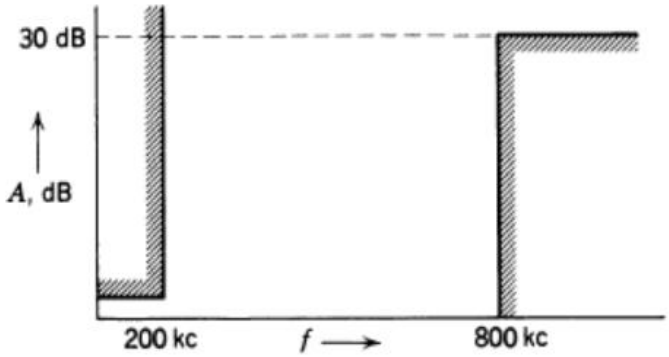


Fig. 5.22. Tolerance scheme for broadband amplifier.

Numerical Example Number 2
数値例 2

For a second example, consider a broadband amplifier operating between 0 and 200 kc with a guaranteed attenuation above 800 kc of no less than 30 dB (see Fig. 5.22). According to the catalog, considering ρ = 4 %, the filler CC 03 04 15 will satisfy the requirements with Ωs= 3.8615 and Amin = 30.91 dB.
2 つ目の例として、0～200kHz で動作し、800kHz 以上で 30dB 以上の減衰が保証されている広帯域アンプを考えてみましょう（図 5.22 参照)。カタログによると、ρ = 4%の場合、フィラーCC 03 04 15 は Ωs = 3.8615、Amin = 30.91dB で要件を満たします。

目次

The load impedances are not equal, and represent an extreme case of impedance transformation (see Fig. 5.23). The problem can be solved with the aid of the circuit transfer concept.

The network to insert is shown in Fig. 5.24 being calculated with the reference values:

負荷インピーダンスは等しくなく、インピーダンス変換の極端なケースを表しています（図 5.23 参照）。この問題は、回路変換の概念を用いて解決できます。 挿入するネットワークは、参照値を用いて計算され、図 5.24 に示されています。

$$\omega_r = 2\pi\, 2 \times 10^5 \quad R_r = 1500\ \Omega$$

Figure 5.24 shows the schematic with unnormalized element values. Note the reversed position for C1 and C3.

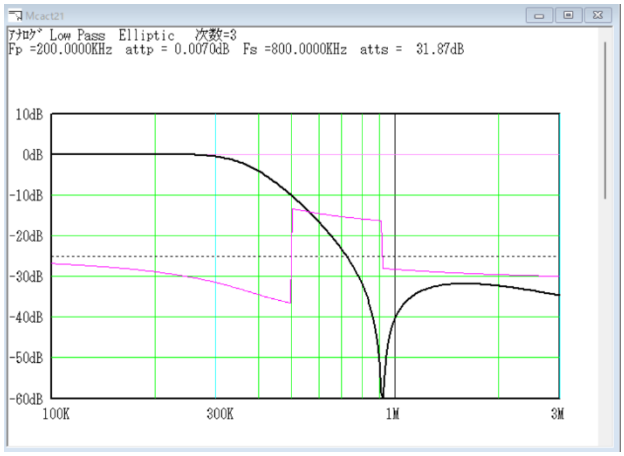
図 5.24 は、正規化されていない素子値を用いた回路図を示しています。C1 と C3 の位置が逆になっていることに注意してください。

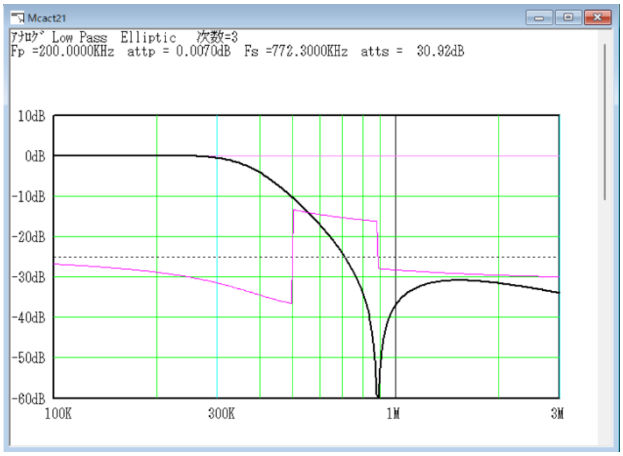
注意:

「LtAct」で 3 次楕円関数ローパスフィルタを設計した場合の周波数特性は、

Fc=200KHz, Fs=800KHz, Xs=Fs/Fc=4, attp=0.007dB では下図左側、

Fc=200KHz, Fs=772.3KHz, Xs=Fs/Fc= 3.8615, attp=0.007dB では下図右側になります。





本文の内容と比較すると、Ωs=Xs, $attp = 20 \cdot log10\left(\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}}\right) dB$ に相当します。

従って、Ωs は最低減衰量に達する角周波数、ρ は通過域のリプル attp に関係することが確認できました。

よって、$\rho = \sqrt{1 - 10^{-\frac{attp}{10}}}$ となります。

5.4 DESIGN OF HIGHPASS FILTERS

5.4 ハイパスフィルタの設計

Highpass fillers are characterized by their property to pass all frequencies above a certain point and stop frequencies below a certain point. Figure 5.25 shows the attenuation response of highpass filters.

ハイパスフィルタは、ある一定の周波数以上の周波数を通過させ、ある一定の周波数以下の周波数を阻止するという特性を持つ。図 5.25 は、ハイパスフィルタの減衰特性を示している。

The highpass filter is exactly reciprocal in its performance to the lowpass filter. Nevertheless, the steady-state properties of highpass filters and their pole-zero locations can be obtained from the lowpass data. The lowpass-highpass transformation is especially simple when the normalized cutoff frequencies in both cases are equal to one. Here,

ハイパスフィルタは、ローパスフィルタと性能が完全に逆の関係にあります。ただし、ハイパスフィルタの定常状態特性と極零点の位置は、ローパスデータから取得できます。ローパス-ハイパス変換は、両方のケースで正規化されたカットオフ周波数が 1 に等しい場合に特に簡単です。ここで、

$$\Omega_{HP} = \frac{1}{\Omega_{LP}} < 1 \qquad (5.4.1)$$

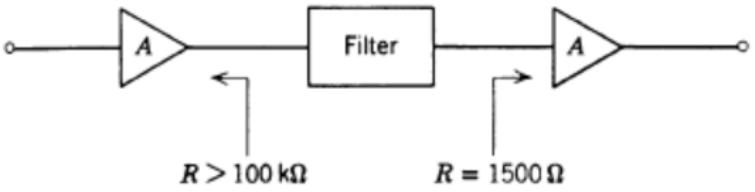


Fig. 5.23. Block diagram of broadband amplifier.

目次

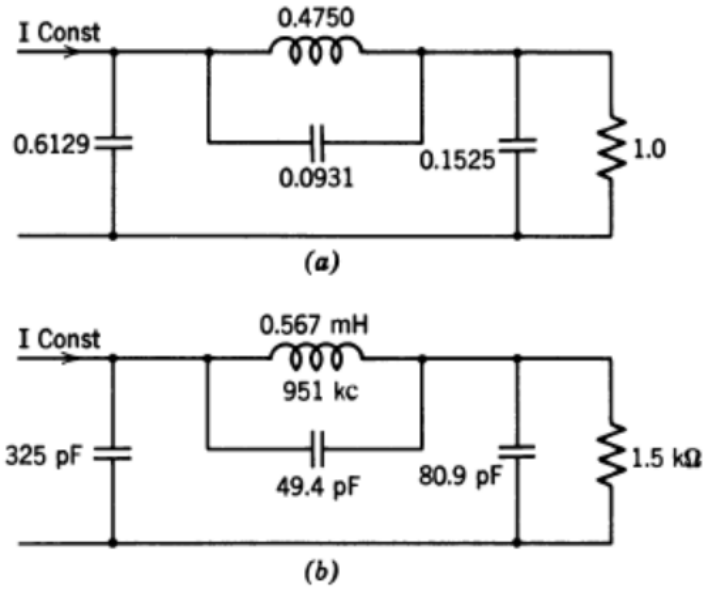


Fig. 5.24. Normalized and unnormalized value of coupling filter.

Therefore all characteristics of highpass networks are known. The transformation for complex frequency values is made with the following expression:
したがって、ハイパスネットワークのすべての特性は既知である。複素周波数値への変換は、次の式で行われる。

$$s_{HP} = \frac{1}{s_{LP}} \qquad (5.4.2)$$

Highpass pole-zero information is obtained from the normalized lowpass pole-zero information by a simple reflection through the unit circle.
ハイパスの極零点情報は、正規化されたローパスの極零点情報を単位円で単純に反射することによって得られる。
Because in network theory only real or conjugate complex pole-zero data are involved it is sufficient to obtain the angle and find the reciprocal magnitude as a distance of pole or zero location from the origin of the coordinate system as shown in Fig. 5.26.
ネットワーク理論では実数または共役複素数の極零点データのみが関係するため、図 5.26 に示すように、角度を取得し、極または零点の位置から座標系の原点までの距離として逆数の大きさを求めるだけで十分です。

It is important when one uses the transformation of the lowpass pole-zero data, to consider the zeros at infinity.

It should be noted, for completeness, that with the aid of potential analogy the poles and zeros can be developed and thought of as sources and sinks. In special cases of electrical networks the continuity must be fulfilled.
ローパス極零点データの変換を用いる際には、無限遠点における零点を考慮することが重要です。
補足として、電位類推を用いることで、極と零点をソースとシンクとして展開し、考えることができる点に留意すべきです。電気回路の特殊なケースでは、連続性が満たされなければなりません。

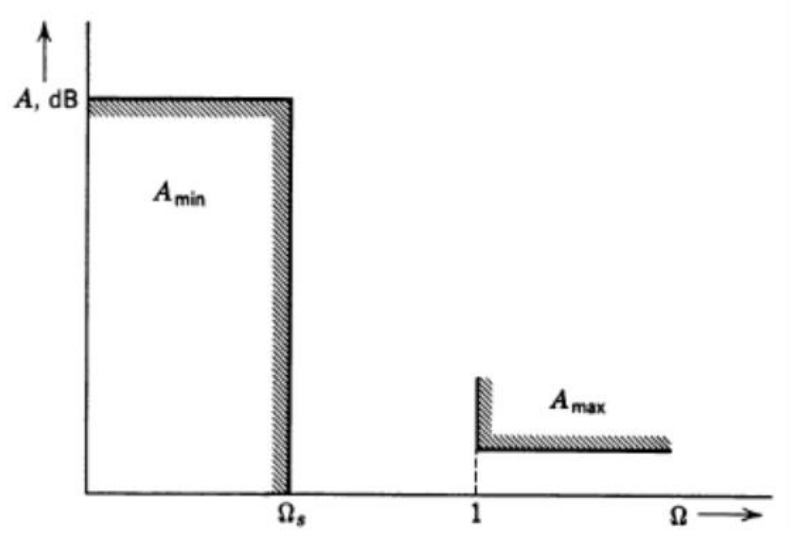


Fig. 5.25. Highpass filter attenuation response specification.

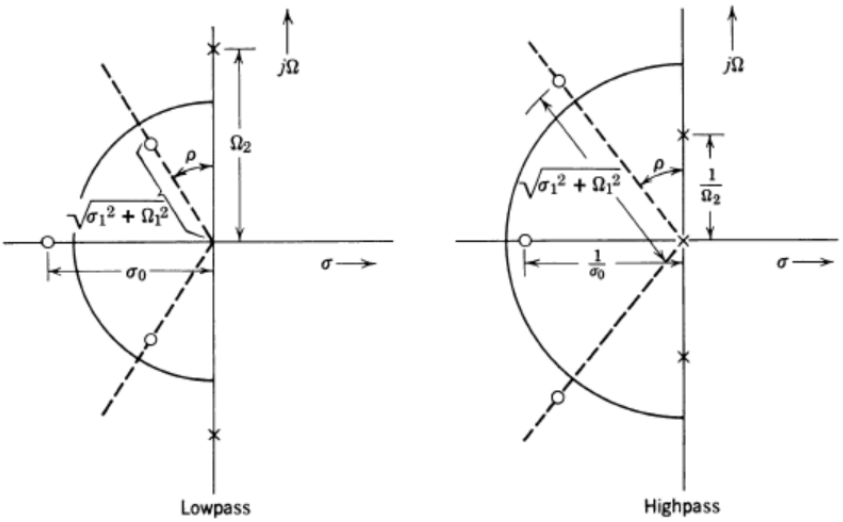


Fig. 5.26. Pole-zero diagram of lowpass and highpass filters.

The number of electrical sources sinks (zeros). In the catalog for the third-order filter, only two zeros are evident. The third one must lie, by necessity, at infinity. Using the equations of reciprocity (5.4.1) and (5.4.2), it is possible to transform the lowpass information into highpass information.
電気源の数は減少（ゼロ点）する。3 次フィルタのカタログでは、明らかなゼロ点は 2 つしかない。3 つ目のゼロ点は、必然的に無限遠に位置しなければならない。相互関係式（5.4.1）および（5.4.2）を用いることで、ローパス情報をハイパス情報に変換することが可能である。

The steady-state property can be evaluated in exactly the same fashion as in the lowpass filter. Here, we can illustrate the use of the tables for a design example. In some special cases, the lowpass and highpass schematics exhibit the same group-delay responses inspite of the fundamental differences in their attenuation responses.
定常状態特性は、ローパスフィルタの場合と全く同じ方法で評価できます。ここでは、設計例を用いて表の使用方法を説明します。特殊なケースでは、減衰特性に根本的な違いがあるにもかかわらず、ローパス回路とハイパス回路は同じ群遅延特性を示すことがあります。

In the Butterworth case, all zeros are on the circle and poles are at infinity (polynomial filter). The imaging about the unit circle in the pole-zero plane is according to Eq. 5.4.2. The pole positions are unchanged, and all the zeros migrate to the origin of the coordinate system. Therefore the group delay does not change with the exception of one point at u) = 0 which is ignored.
バターワースの場合、すべての零点は円上にあり、極は無限遠にあります（多項式フィルタ）。極零平面における単位円周りのイメージングは、式 5.4.2 に従います。極の位置は変化せず、すべての零点は座標系の原点に移動します。したがって、無視される u) = 0 の 1 点を除いて、群遅延は変化しません。

The evaluation of the actual values of highpass filter elements is reduced to a transformation of the normalized lowpass elements into the normalized highpass elements.
The frequency reciprocal behavior of highpass filters becomes evident from the fact that the elements of this schematic possess the frequency reciprocal property. According to the known law
ハイパスフィルタ素子の実際の値の評価は、正規化されたローパス素子を正規化されたハイパス素子に変換することに帰着する。

ハイパスフィルタの周波数逆数特性は、この回路図の素子が周波数逆数特性を持つという事実から明らかになる。既知の法則によれば、

$$X_L = j\Omega L$$

and

$$X_C = \frac{1}{j\Omega C} \qquad (5.4.3)$$

the coils must be substituted by capacitors and vice versa, with the cutoff frequency unchanged. Considering Eqs. 5.4.1 and 5.4.3
コイルはコンデンサに、コンデンサはコイルに置き換えなければならないが、カットオフ周波数は変更されない。式 5.4.1 および 5.4.3 を考慮すると

$$C_{HP} = \frac{1}{L_{LP}}$$

and

$$L_{HP} = \frac{1}{C_{LP}} \qquad (5.4.4)$$

In Table 5.3 the relationship between the normalized elements and actual physical components of highpass filters are shown.
表 5.3 には、ハイパスフィルタの正規化された要素と実際の物理的構成要素との関係が示されています。

Numerical Example Number 1
数値例 1

A highpass filter is to satisfy the requirements shown in the tolerance scheme of Fig. 5.27. The sharpness of the response curve given as
ハイパスフィルタは、図 5.27 の許容範囲図に示す要件を満たす必要があります。応答曲線の鋭さは次のように表されます。

$$\Omega_s = \frac{1}{\Omega_{s_{HP}}} = 10.$$

目次

Table 5.3 Lowpass to Highpass Transformation

Normalized LP component	L'	C'
Actual HP component	C	L
Value	$C = \frac{1}{L' R_r \omega_r}$	$L = \frac{R_r}{C' \omega_r}$

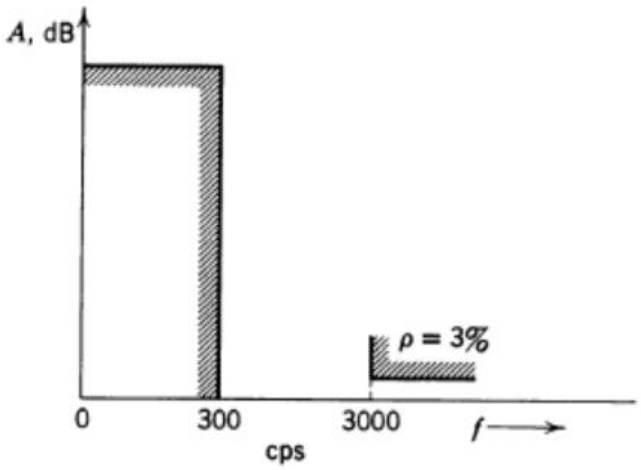


Fig. 5.27. Tolerance scheme for numerical example number 1.

Consequently, the filter CC 03 03 06 will provide the following:
したがって、フィルタ CC 03 03 06 は以下の機能を提供します。

$$\Omega_s = 9.5668 \quad \text{and} \quad A_{\min} = 52.40 \text{ dB}.$$

Figure 5.28 shows the normalized and unnormalized schematics. The necessary lowpass to highpass transformation is accomplished with the aid of the design expressions of Table 5.3.
図 5.28 は、正規化された回路図と正規化されていない回路図を示しています。必要なローパスからハイパスへの変換は、表 5.3 の設計式を用いて行われます。

Numerical Example Number 2

数値例 2

A highpass filter is required to pass frequencies from 150 kc and up. The peak ripple attenuation in the passband must be no greater than 0.05 dB, and in the stopband the attenuation must be no less than 50 dB. The problem is to find minimum value of Qs.
150kHz 以上の周波数を通過させるハイパスフィルタが必要です。通過帯域におけるピークリップル減衰量は 0.05dB 以下、阻止帯域における減衰量は 50dB 以上でなければなりません。問題は、Q 値の最小値を求めることです。

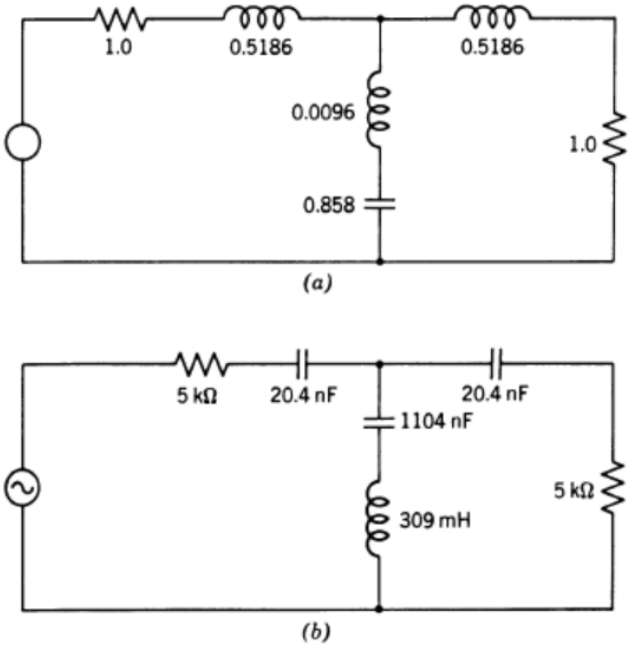


Fig. 5.28. Normalized and unnormalized highpass filter.

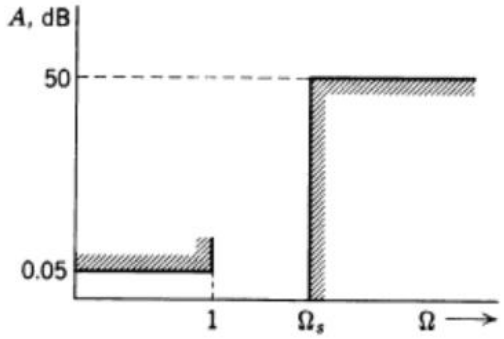


Fig. 5.29. Tolerance scheme for numerical example number 2.

In the case of an extreme impedance transformation, and without losing accuracy in calculations, the load impedance can be accepted as nonexistent (short circuit). In this

condition, the data from the catalog can still be used. With the known recalculation procedure, the tolerance response can be drawn as shown in Fig. 5.29 which is the familiar lowpass limits. Figure 5.30 shows the normal operating conditions. From the catalog with ρ = 10% the corresponding model filter CC 03 1009 will provide Ωs= 6.3925 and Amin = 52.31 dB. The maximum unnormalized limiting frequency fs is
極端なインピーダンス変換の場合、計算精度を損なうことなく、負荷インピーダンスは存在しない（短絡）とみなすことができます。この状態でも、カタログのデータは引き続き使用できます。既知の再計算手順により、図 5.29 に示すように許容応答を描画できます。これは、よく知られているローパス限界です。図 5.30 は通常の動作条件を示しています。ρ = 10% のカタログから、対応するモデルフィルタ CC 03 1009 は Ωs = 6.3925、Amin = 52.31 dB を提供します。最大非正規化制限周波数 fs は

$$f_{HP} = \frac{f_r}{\Omega_{LP}} = 18.28\ kc$$

Because the current transfer function is prescribed, the model schematic must be of the form shown in Fig. 5.31. The physical values of the actual network are evaluated with the following reference values:
電流伝達関数が規定されているため、モデルの概略図は図 5.31 に示す形式である必要があります。実際のネットワークの物理値は、以下の参照値を用いて評価されます。

$$R_r = 20\ \text{k}\Omega$$

$$\omega_r = 2\pi \cdot 150 \times 10^3 = 9.42 \times 10^5$$

$$L_r = \frac{R_r}{\omega_r} = 21.2\ \text{mH}$$

$$C_r = \frac{1}{R_r \omega_r} = 53.1\ \text{pF}$$

目次

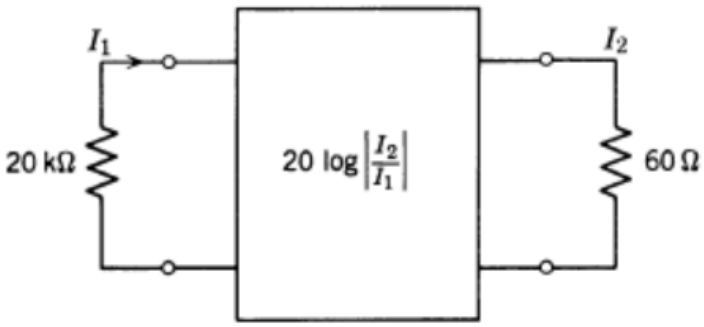


Fig. 5.30. Normal operating conditions.

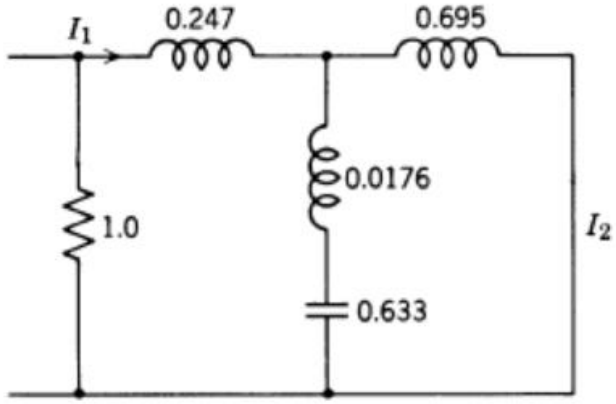


Fig. 5.31. Model schematic (lowpass prototype).

The necessary lowpass to highpass transformation is accomplished with the aid of the design expressions

必要なローパスからハイパスへの変換は、設計式を用いて実現されます。

$$L_{HP} = \frac{L_r}{C'} \qquad \text{and } C_{HP} = \frac{C_r}{L'}$$

Figure 5.32 shows the realizable network.

As a checking point for the calculated elements, the following formula can be used.

図 5.32 は実現可能なネットワークを示しています。

計算された要素の検証点として、以下の式を使用できます。

$$f_\infty = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C_2}} = \frac{f_r}{\Omega_\infty} = 15.8 \text{ kc} \qquad (5.4.5)$$

The value of $\Omega\infty$ in normalized frequency, is given in the table (zero transmission).
Note: a minimum Ωs gives a maximum fHP.
正規化周波数における$\Omega\infty$の値は、表（透過率ゼロ）に示されています。
注：Ωs が最小値の場合、fHP は最大値になります。

5.5 DESIGN OF LC BANDPASS FILTERS
5.5 LC バンドパスフィルタの設計

A conventional bandpass filter can be in the narrowband or broadband category. There is a remarkable difference between narrow and wide bandwidth filters, and the design procedure is also different. The bandpass filter is certainly the most important type of filter. The catalog of lowpass prototype filters provides the necessary information for design, and the problem now is to investigate the method in which the given information can be used to design a bandpass filter.
従来のバンドパスフィルタは、狭帯域型と広帯域型に分類できます。狭帯域フィルタと広帯域フィルタには顕著な違いがあり、設計手順も異なります。バンドパスフィルタは間違いなく最も重要なタイプのフィルタです。ローパスプロトタイプフィルタのカタログは設計に必要な情報を提供しますが、ここでの問題は、与えられた情報を使用してバンドパスフィルタを設計する方法を検討することです。

Bandpass filter design terminology includes the concept of relative bandwidth
バンドパスフィルタの設計用語には、相対帯域幅の概念が含まれる。

$$\frac{\omega_2 - \omega_1}{\sqrt{\omega_1\omega_2}} = \frac{f_2 - f_1}{\sqrt{f_1 f_2}} = \frac{\Delta f}{f_m} = \frac{1}{a} \qquad (5.5.1)$$

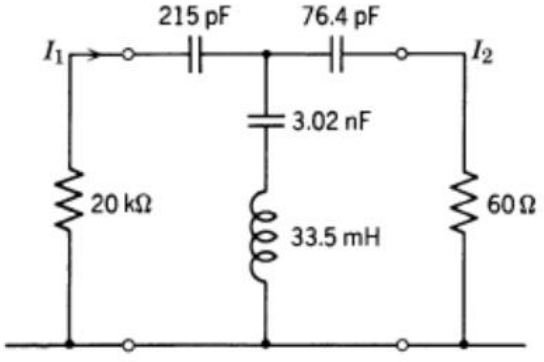


Fig. 5.32. The realized network (highpass filter).

目次

where f_2 and ω_2 = upper cutoff frequency,
f_1 and ω_1 = lower cutoff frequency, and
$\omega_m = \sqrt{\omega_2\omega_1}$ = geometric mid-frequency.

These values must be prescribed before the design is started to choose the proper technological domain and the easiest design technique.
If the relative bandwidth is higher than 10%, the theory of purely reactive networks can be used.
適切な技術分野と最も容易な設計手法を選択するためには、設計開始前にこれらの値を規定しておく必要があります。
相対帯域幅が 10%を超える場合は、純粋なリアクティブネットワークの理論を適用できます。

Both design methods (namely, the image-parameter method and the effective-parameter method) can be applied, and the choice is dependent upon the designer's decision and the specific problem involved. If the relative bandwidth is narrower than 10%, the best method is to use predistortion techniques or the theory of effective parameters with lossy elements.
どちらの設計手法（すなわち、イメージパラメータ法と実効パラメータ法）も適用可能であり、どちらを選択するかは設計者の判断と具体的な問題によって異なります。相対帯域幅が10%未満の場合、最適な方法はプリディストーション技術、または損失のある素子を用いた実効パラメータ理論を用いることです。

If the relative passband is less than 1 %, the special theory of small bandwidth crystal filters or intermediate crystal filters must be used. The above speculation does not establish the limits but shows the direction in which the design can go.
相対通過帯域幅が 1%未満の場合は、狭帯域幅水晶フィルタまたは中間帯域幅水晶フィルタの特殊な理論を用いる必要がある。上記の考察は限界を定めるものではなく、設計の方向性を示すものである。

When the quality factor of available components is high, it is quite reasonable to use the coil-saving bandpass filter, and design filters with bandwidth narrower than 10% according to the theory of purely reactive networks. In both design methods it is possible to transform the prototype bandpass filter into the Zig-Zag or a similar configuration.

使用可能な部品の品質係数が高い場合、コイル節約型のバンドパスフィルタを使用し、純粋リアクティブネットワークの理論に基づいて帯域幅が 10%未満のフィルタを設計することは非常に合理的です。どちらの設計方法においても、試作バンドパスフィルタをジグザグ型または類似の構成に変換することが可能です。

It is known that the filter catalog is based on the theory of reactive networks, and the application of the catalog will therefore be limited by the bandwidth. It cannot be used for narrowband filters. The limit to its usefulness is practically determined by the quality factor of the reactive components available. A second possible limitation is the physical realization of differences of the element values.
フィルタカタログはリアクティブネットワークの理論に基づいていることが知られており、そのためカタログの適用範囲は帯域幅によって制限されます。狭帯域フィルタには使用できません。その有用性の限界は、実際には使用可能なリアクティブコンポーネントの品質係数によって決まります。2 つ目の制限として考えられるのは、素子値の差異を物理的に実現することです。

Interstage filters (between tubes and transistors) or high-frequency filters as coupling circuits belongs to an intermediate category of a more general class of bandpass filters. They are usually very simple from the point of view of the schematic, and are designed with the consideration of losses.
段間フィルタ（真空管とトランジスタの間）またはカップリング回路としての高周波フィルタは、より一般的なバンドパスフィルタの中間的なカテゴリーに属します。これらは通常、回路図の観点からは非常に単純であり、損失を考慮して設計されます。

Calculation of the Steady-state Properties from the Catalog
カタログからの定常状態特性の計算

The frequency transformation from lowpass to bandpass is accomplished with the aid of the normalizing expression
ローパスからバンドパスへの周波数変換は、正規化式を用いて行われます。

$$\Omega = a\left(\Omega_B - \frac{1}{\Omega_B}\right)$$

where Ω is the frequency scale of the lowpass model, and ΩBis the bandpass frequency which corresponds to this lowpass frequency.
It is evident that for every value of normalized frequency Ω there are two corresponding values of normalized frequency and l/ΩB; which are geometrically symmetric since
ここで、Ωはローパスモデルの周波数スケールであり、ΩB はこのローパス周波数に対応するバンドパス周波数である。
正規化周波数Ωの任意の値に対して、対応する正規化周波数と l/ΩB の値が 2 つ存在することは明らかであり、これらは幾何学的に対称である。

$$\Omega_B \frac{1}{\Omega_B} = 1$$

At the cutoff frequency $\Omega = 1$,

$$\Omega_c = 1 = a\left(\Omega_{BC} - \frac{1}{\Omega_{BC}}\right) = a(\Omega_{B2} - \Omega_{B1}) \quad (5.5.2)$$

The bandpass characteristic has two cutoff frequencies; namely, ΩB1 the upper and Ω B2 the lower, as illustrated in Fig. 5.33.
The constant a can be determined from the expression
バンドパス特性には、図 5.33 に示すように、上側のカットオフ周波数 ΩB1 と下側のカットオフ周波数 ΩB2 の 2 つのカットオフ周波数があります。
定数 a は次の式から求めることができます。

$$a = (\Omega_{B2} - \Omega_{B1})^{-1} \qquad (5.5.3)$$

If the upper and lower cutoff frequencies are normalized with respect to the reference/r, which is
上限および下限カットオフ周波数が基準/r に対して正規化されている場合、

$$f_r = \sqrt{f_1 f_2} = f_m \text{ (midband frequency)}$$

then,

$$\Omega_{B2} = \frac{f_2}{f_m} = \sqrt{\frac{f_2}{f_1}} \qquad \Omega_{B1} = \sqrt{\frac{f_1}{f_2}} \quad (5.5.4)$$

目次

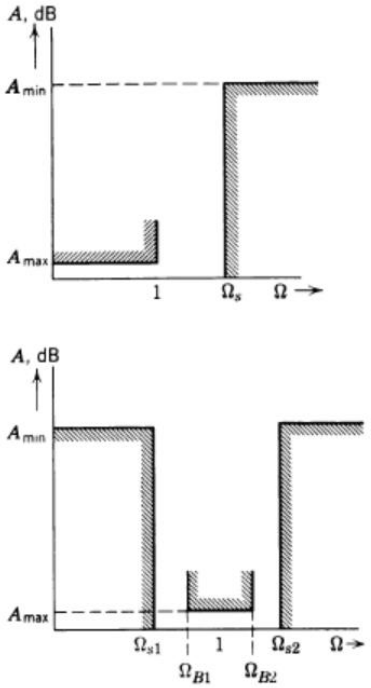


Fig. 5.33. Typical attenuation specifications for lowpass and bandpass filters.

The constant of transformation
変換定数

$$a = \left(\frac{f_2}{f_m} - \frac{f_1}{f_m}\right)^{-1} = \frac{f_m}{f_2 - f_1} = \frac{f_m}{\Delta f} \qquad (5.5.5)$$

is a reciprocal to the relative bandwidth.
は相対帯域幅の逆数である。

Normalized frequencies in the stopband such as Q, can be obtained in the similar way
阻止帯域内の正規化周波数（例えば Q 値）は、同様の方法で求められる。

$$\Omega_s = a(\Omega_{s2} - \Omega_{s1}), \qquad (5.5.6)$$

and the relationship between the passband limit is
そして、通過帯域制限との関係は

目次

$$\frac{\Omega_s}{\Omega_c} = \frac{\Omega_{s2} - \Omega_{s1}}{\Omega_{B2} - \Omega_{B1}} \qquad (5.5.7)$$

which is a measure of the sharpness or selectivity of the response curve.
これは、応答曲線の鋭さまたは選択性を示す指標である。

In general, any normalized frequency in the passband of the filter ΩB can be found as a function of Ω, which belongs to the lowpass prototype and which runs from 0 to ∞.
一般に、フィルタ ΩB の通過帯域内の任意の正規化周波数は、ローパスプロトタイプに属し、0 から∞まで変化する Ω の関数として求めることができる。

The solution is a quadratic expression
解は二次式である

$$\Omega_B = \pm \frac{\Omega}{2a} + \sqrt{1 + \left(\frac{\Omega}{2a}\right)^2} \qquad (5.5.8)$$

For

$$\frac{\Omega}{2a} \ll 1$$

as in the case of narrow bandpass filters, the expression for passband frequencies will be reduced to the appropriate expression
狭帯域通過フィルタの場合と同様に、通過帯域周波数の式は適切な式に簡略化されます。

$$\Omega_B \approx 1 \pm \frac{\Omega}{2a}$$

The last formula suggests that in the case of very narrowband filters the response curve is approaching arithmetic symmetry and the passband frequencies are expressed as a simple deviation from the center (ΩB. = 1) by certain number of half bandwidths l/2a. Evidently this approximation holds for narrowband realizations.
最後の式は、非常に狭帯域のフィルタの場合、応答曲線が算術対称に近づき、通過帯域周波数が中心（ΩB. = 1）から半帯域幅 l/2a だけ単純にずれた値で表されることを示唆しています。明らかに、この近似は狭帯域の実現において成り立ちます。

Nevertheless in normalized diagrams, the attenuation is shown as equal on both sides of the passband. The response curve will look very distorted if, instead of a logarithmic frequency scale, a linear scale is used. The attenuation on opposite sides of the passband are related as follows
しかしながら、正規化された図では、通過帯域の両側で減衰量が等しいと表示されます。対数周波数スケールではなく線形スケールを使用すると、応答曲線は非常に歪んで見えます。通過帯域の両側の減衰量は、次のように関係しています。

$$A(\Omega) = A\left(\frac{1}{\Omega}\right)$$

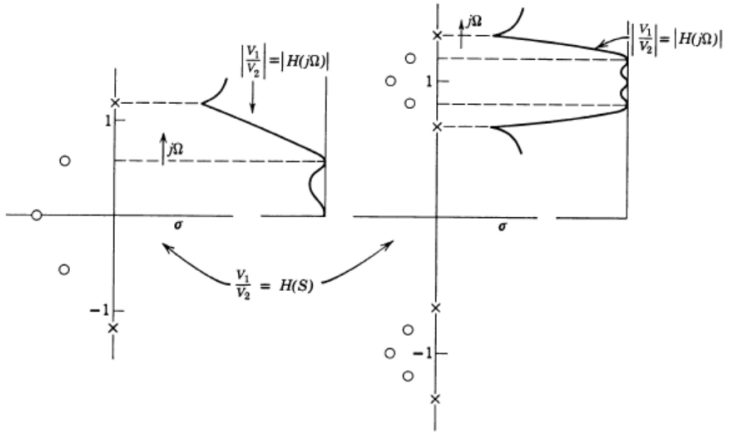


Fig. 5.34. Lowpass and bandpass pole-zero plane.

When the requirement is formulated (as usually) in arithmetic terms such as so many dB for fm ± X (deviation) the attenuation at fm + X will be lower than at fm — X.
要求が（通常のように）fm ± X（偏差）に対して何 dB といった算術的な用語で定式化されている場合、fm + X での減衰は fm - X での減衰よりも低くなります。

It is easy to understand this, from the fact that the geometric center is always lower than the arithmetic center. For example, when $\Omega 1 = 1$ and $\Omega 2 = 25$, the geometric frequency is $\Omega m = \sqrt{1 \times 25} = 5$ and the arithmetic center is $\Omega am = (1 + 25)/2 = 13$.

幾何中心は常に算術中心よりも小さいという事実から、これは容易に理解できます。例えば、Ω1=1、Ω2=25 の場合、幾何周波数は $\Omega m=\sqrt{1 \times 25}=5$、算術中心は am=(1+25)/2=13 となります。

This property of transformed bandpass characteristic must be considered when one designs the filter attenuation characteristic with geometry symmetry. Pole-zero information of the lowpass filter can be transformed into corresponding information for the bandpass filter by an expression similar to that for frequency:
変換されたバンドパス特性のこの性質は、幾何学的対称性を持つフィルタ減衰特性を設計する際に考慮する必要があります。ローパスフィルタの極零情報は、周波数の場合と同様の式によって、バンドパスフィルタの対応する情報に変換できます。

$$s_B = \frac{s}{2a} \pm j\sqrt{1 - \left(\frac{s}{2a}\right)^2} \qquad (5.5.9)$$

To every point in the complex frequency plane for lowpass filters, correponds two bandpass eigenvalues. All points in the lowpass pole-zero diagram must be considered. An infinite lowpass value produces a transformed zero at infinity in the bandpass pole-zero plane. Figure 5.34 shows a plot of poles and zeros.
For the narrowband case, a similar significant simplification is applicable:
ローパスフィルタの複素周波数平面上の各点には、2 つのバンドパス固有値が対応します。ローパス極零点図上のすべての点を考慮する必要があります。無限大のローパス値は、バンドパス極零点平面上の無限遠点に変換された零点を生成します。図 5.34 は、極と零点のプロットを示しています。
狭帯域の場合にも、同様の大幅な簡略化が適用可能です。

$$s_B = \frac{s}{2a} \pm j \qquad \text{when} \quad \frac{s}{2a} \ll 1$$

The expression shows that the original pole-zero geometry of the lowpass prototype is displaced two times (about ±j). The evaluation of the physical bandpass elements consists of translation of the normalized lowpass into a normalized bandpass filter. Table 5.4 relates the lowpass and bandpass data for element values.
この式は、ローパスプロトタイプの元の極零点配置が 2 倍（約±j）ずれていることを示しています。物理的なバンドパス素子の評価は、正規化されたローパスフィルタを正規化されたバンドパスフィルタに変換することで構成されています。表 5.4 は、素子値に対するローパスとバンドパスのデータの関係を示しています。

The resonant lowpass circuit values are of special practical importance to the corresponding bandpass circuits and are translated into a combination of a series resonant circuit with a parallel resonant circuit. I he equivalent circuit, consisting of two parallel resonant circuits connected one after another (in series), provides a more favorable relationship between coils and capacitors and has the possibility of lumping the distributed capacitance of the coil w ith the physical capacitor which resonates with the coil.
共振ローパス回路の値は、対応するバンドパス回路にとって特に実用上重要であり、直列共振回路と並列共振回路の組み合わせに変換されます。2 つの並列共振回路を直列に接続した等価回路は、コイルとコンデンサ間のより好ましい関係を提供し、コイルの分布容量を、コイルと共振する物理的なコンデンサと集約できる可能性があります。

Numerical Example
数値例

A bandpass filter is to be designed to satisfy the conditions outlined in the tolerance scheme of Fig. 5.35.
R1 = R2 = 20 kΩ
図 5.35 の許容範囲で示された条件を満たすバンドパスフィルタを設計する。
R1 = R2 = 20 kΩ

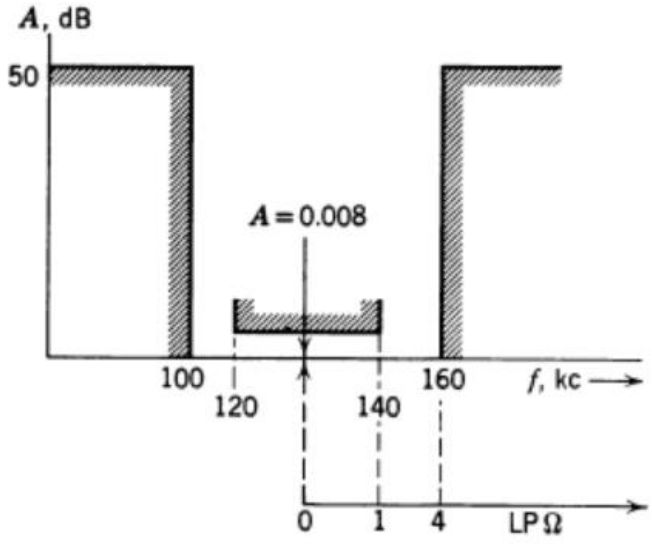
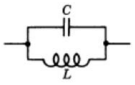
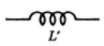
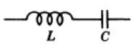
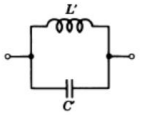
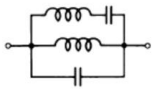
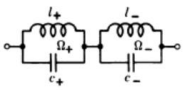


Fig. 5.35. Tolerance scheme for numerical example.

目次

Table 5.4 Lowpass to Bandpass Transformation

LP	BP Schematic	BP Values
		$C = aC' \frac{1}{R_r \omega_r}$ $L = \frac{1}{aC'} \frac{R_r}{\omega_r}$
		$L = aL' \frac{R_r}{\omega_r}$ $C = \frac{1}{aL'} \frac{1}{R_r \omega_r}$ $L, C \rightarrow$ are unnormalized BP values
		$c_+ = \frac{1}{l_-} = aC'(1 + \Omega_-^2)$ $c_- = \frac{1}{l_+} = aC'(1 + \Omega_+^2)$ $l_+ = \frac{1}{c_-} = aL'(1 + \Omega_-^2)$ $l_- = \frac{1}{c_+} = aL'(1 + \Omega_+^2)$
		where $\Omega_\pm = \sqrt{1 + \left(\frac{\Omega_\infty}{2a}\right)^2} \pm \frac{\Omega_\infty}{2a}$
C' and L' are normalized LP values		$l_- + l_+ = \frac{1}{aC'}$ c_+, l_+, c_-, and l_- are normalized BP values

with

$$\frac{f_2 - f_1}{\sqrt{f_2 f_1}} \approx 0.15 = 15\%$$

The filter can be designed as a purely reactive network since the available coils at the specified frequency have a good quality factor and the realized network will closely approximate the theoretical characteristic. Most critical is the upper stopband limit. With the approximate formula

フィルタは、指定された周波数で使用可能なコイルの品質係数が良好であり、実現されたネットワークが理論特性に非常に近いことから、純粋なリアクタンスネットワークとして設計できます。最も重要なのは、上限阻止帯域です。近似式を使用すると、

$$\Omega_B \approx 1 \mp \frac{\Omega}{2a}$$

the information for the equivalent lowpass filter can be calculated. This is done below the bandpass tolerance scheme in Fig. 5.35.

The requirement will be satisfied with the lowpass filter catalog number CC 03 04 07. The corresponding transmission properties are

等価ローパスフィルタの情報は計算できます。これは図 5.35 のバンドパス許容範囲スキームの下で行われます。
ローパスフィルタのカタログ番号 CC 03 04 07 を使用すれば、要求を満たせます。対応する透過特性は以下のとおりです。

$$A_{\max} = 0.008\ \text{dB}$$
$$A_{\min} = 50.88\ \text{dB}$$
$$\Omega_s = 8.21$$

Figure 5.36 shows the normalized schematic.
Using the known reference value, the network components will be calculated.
図 5.36 は正規化された回路図を示しています。
既知の基準値を用いて、ネットワークの各構成要素を計算します。

$$L_r = \frac{R_r}{\omega_r} = 24.5\ \text{mH}$$
$$C_r = \frac{1}{\omega_r R_r} = 61.2\ \text{pF}$$

The inductance in the parallel branch is
並列分岐のインダクタンスは

$$L_1 = L_3 = \frac{1}{aC'} L_r = 6.52\ \text{mH}$$

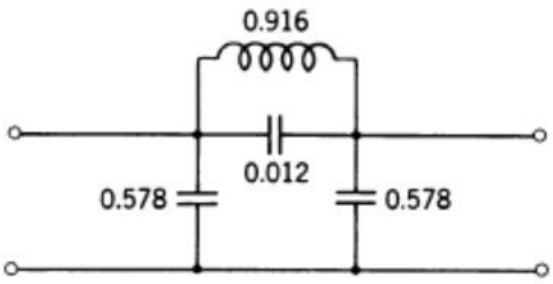


Fig. 5.36. Normalized schematic (according to catalog).

where

$$a = \frac{f_m}{\Delta f_{:}} = 6.5$$

and the capacitance across the line is
そして、ライン全体の静電容量は

$$C_1 = C_3 = aC' \times C_r = 230 \text{ pF}.$$

The upper resonant frequency (for the attenuation peak) is
減衰ピークの上限共振周波数は

$$\Omega_+ = \sqrt{1 + \left(\frac{\Omega_\infty}{2a}\right)^2} + \frac{\Omega_\infty}{2a} = 1.976$$

The lower resonant frequency peak) is
低い共振周波数ピークは

$$\Omega_- = \sqrt{1 + \left(\frac{\Omega_\infty}{2a}\right)^2} = \frac{\Omega_\infty}{2a} = 0.508$$

The unnormalized element values and frequencies for corresponding antiresonant circuits will be found with the following relations:
対応する反共振回路の非正規化要素値と周波数は、以下の関係式で求められます。

$$C_- = \frac{1}{l_+} C_r = aC'(1 + \Omega_+{}^2)C_r$$
$$= 0.383 \times 61.2 = 23.4 \text{ pF}$$
$$C_+ = \frac{1}{l_-} C_r = aC'(1 + \Omega_-{}^2)C_r$$
$$= 0.098 \times 61.2 = 6.0 \text{ pF}$$
$$f_{2\infty} = f_r\Omega_+ = 256.9 \text{ kc}$$
$$f_{1\infty} = f_r\Omega_- = 66.0 \text{ kc}$$
$$L_- = \frac{1}{C_+} L_r = 2.614 \times 15.9 = 41.6 \text{ mH}$$
$$L_+ = \frac{1}{C_-} L_r = 10.191 \times 15.9 = 162 \text{ mH}$$

All these elements are a part of actual network shown in Fig. 5.37. The schematic is practical and theoretically flexible, resulting from the direct translation of elements. Tuning is simplified by using only the parallel resonant circuits. Impedance matching can be accomplished by tapping the output coils, and the impedance transformation can be made in wide limits. A dc path is available through the input and output coils.
これらの要素はすべて、図 5.37 に示す実際のネットワークの一部です。この回路図は、要素を直接変換することで、実用的かつ理論的に柔軟性の高いものとなっています。並列共振回路のみを使用することで、チューニングが簡素化されます。出力コイルをタップすることでインピーダンス整合が可能となり、インピーダンス変換は広い範囲で行うことができます。入力コイルと出力コイルを通して直流経路を利用できます。

A bandpass filter having a relative bandwidth less than 10% is to be designed. Its output load is a finite, but the input is considered to be a current source (very high impedance) as shown in Fig. 5.38. The starting point is still the normalized lowpass with termination on one side. Figure 5.39 shows the schematic which resulted in a similar transformation (see previous example).
相対帯域幅が 10% 未満のバンドパスフィルタを設計します。出力負荷は有限ですが、入力は図 5.38 に示すように電流源（非常に高いインピーダンス）とみなします。出発点は、片側に終端を持つ正規化ローパスフィルタです。図 5.39 は、同様の変換を実現した回路図を示しています（前の例を参照)。

As a consequence of the small bandwidth, the values of capacitors in the circuits across the line are too large and the corresponding inductances are too small. The solution, in this case, is the use of an autotransforming arrangement which permits an increase of the value of inductances and at the same time a decrease of the values of capacitors down to practical values (the resonant frequency of the combinations are the same).

帯域幅が狭いため、伝送線路上の回路におけるコンデンサの値が大きすぎ、対応するインダクタンスの値が小さすぎます。この場合の解決策は、インダクタンスの値を増加させると同時にコンデンサの値を実用的な値まで減少させる自己変換回路を使用することです（組み合わせの共振周波数は同じになります)。

Let us impose the unloaded quality factors of circuits I, II, and III equal Q0 and the unloaded quality of circuit IV=Q4 as in Fig. 5.39. Then (approximately)

図 5.39 に示すように、回路 I、II、III の無負荷品質係数を Q0、回路 IV の無負荷品質係数を Q4 とします。すると（近似的に）

$$\frac{1}{Q_t} = \frac{3}{Q_0} + \frac{1}{Q_4} \qquad (5.5.10)$$

When Qt is known, the value of Q4± is then
Qt が既知の場合、Q4±の値は次のようになります。

$$Q_4 = \frac{1}{1/Q_t - 3/Q_0} \qquad (5.5.11)$$

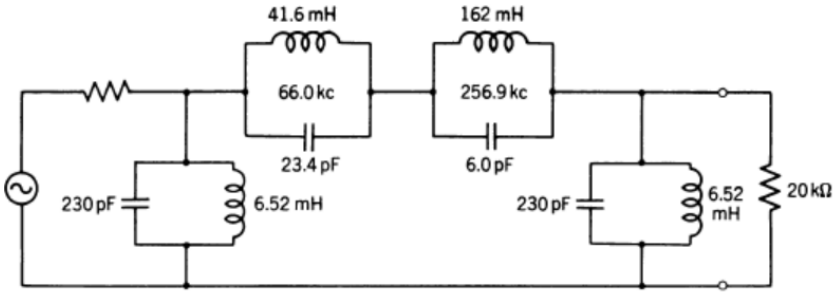


Fig. 5.37. Example of bandpass ($n = 3$) realization.

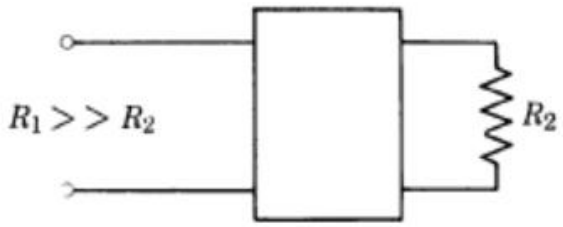


Fig. 5.38. Block diagram of extreme impedance transformation.

Appropriate tapping of the last coil can bring the agreement between this value of Q4 (which is reduced to the resistance across the coil) to the load resistance R2. Figure 5.40 shows the final schematic without numerical values for this example, since the mechanics of the transformation have already been shown.
最後のコイルを適切にタップすることで、Q4 の値（コイルの両端の抵抗に換算したもの）と負荷抵抗 R2 との一致が得られます。図 5.40 は、この例における数値を含まない最終的な回路図を示しています。これは、変換の仕組みが既に示されているためです。

目次

Bandpass Filter Transformation

バンドパスフィルタ変換

Ihe bandpass circuit computed as an example of reactance transformation, even in its modified form as shown in Fig. 5.37 produces inconveniences. It is found to be impractical with certain conditions and especially at frequencies higher even than 10 kc. The damaging phenomena consists of the stray capacitance between the junction of the parallel circuits in the series arm and ground. But the schematic can be once more modified in such a way that this capacitance is taken into consideration and thereby made harmless.

リアクタンス変換の例として計算されたバンドパス回路は、図 5.37 に示す修正された形式であっても、不都合が生じる。特定の条件下、特に 10kHz を超える周波数では、実用的ではないことがわかった。この有害な現象は、直列アーム内の並列回路の接合部と接地との間の浮遊容量に起因する。しかし、この容量を考慮に入れて無害化するように回路図をさらに修正することができる。

Let us consider the following example: The catalog filter CC 03 20 21 has the center frequency f0 = 5 Mc and the pass band between 4.8 and 5.2 Mc. Being equally terminated with 150 ohms require normalized circuit elements for lowpass filter Fig. 5.41 as follows:

次の例を考えてみましょう。カタログフィルタ CC 03 20 21 は、中心周波数 f0 = 5 MHz、通過帯域が 4.8～5.2 MHz です。150 オームで等終端されているため、図 5.41 に示すローパスフィルタの正規化された回路要素は次のようになります。

$$C_1' = C_3' = 1.121$$

$$C_2' = 0.09247$$

$$\Omega_2 = 3.195134$$

The transformation constant a = 10.5529. Attenuation poles of the bandpass filter calculated with tabulated formula will be

変換定数 a = 10.5529。表形式の式で計算されたバンドパスフィルタの減衰極は次のようになります。

$$\Omega_+ = 1.162781$$

$$\Omega_- = 0.860007$$

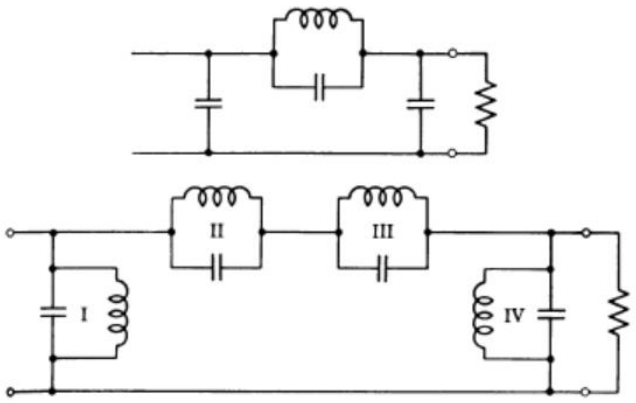


Fig. 5.39. Actual schematic for the example of Fig. 5.38.

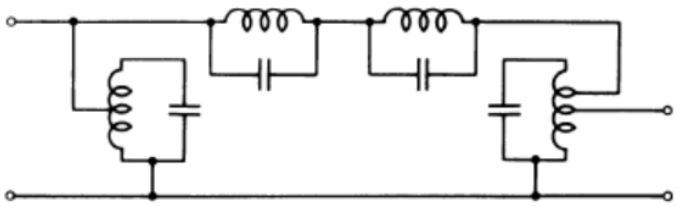


Fig. 5.40. Final schematic.

and the reference values for design are
設計の基準値は

$$L_r = 4.778\ \mu\text{H}$$
$$C_r = 212.4\ \text{pF}$$

Figure 5.42 shows the schematic of a modified bandpass section. The important design parameter in this case is the value
図 5.42 は、改良されたバンドパスセクションの概略図を示しています。この場合、重要な設計パラメータは値です。

$$t_0 = 1 + \frac{C_2'}{C_3'}$$

The maximum value of normalized shunt capacitor to insert between the resonant circuits is:
共振回路間に挿入する正規化シャントコンデンサの最大値は以下のとおりです。

目次

$$c_{\max} = aC_2' \frac{(t_0 - 1)\Omega_-^2}{[(t_0 - 1)\Omega_-^2 + 1]} (t_0\Omega_-^2 + 1)(\Omega_+^2 - 1)$$

The actual capacitor ci has to be chosen smaller than that value. The transformation ratio K is thereby fixed and can be obtained from the equation
実際のコンデンサ ci は、その値よりも小さく選択する必要がある。変換比 K はそれによって固定され、次の式から得られる。

$$K^2\left[(\Omega_+^2 - 1) - \frac{c_i}{aC_2'}\right] - K(\Omega_+^2 - 1)(1 - \Omega_-^2) - (1 - \Omega_-^2) = 0$$

where K is greater than zero.
The normalized element values of the filter are given by the set of following expressions:
ここで、K は 0 より大きい値である。
フィルタの正規化された要素値は、以下の式で与えられる。

$$l_1 = \left[a\left(C_1' + C_2' \frac{K - 1}{\Omega_+}\right)\right]^{-1}$$

$$c_1 = a\left(C_1' + C_2' \frac{K - 1}{K} \Omega_-^2\right)$$

$$l_2 = (ac_2')^{-1} \frac{K}{1 + K\Omega_+^2}$$

$$c_2 = \frac{\Omega_-^2}{L_2}$$

$$c_3 = (KL_2')^{-1}$$

$$l_3 = \frac{\Omega_+^2}{C_3'}$$

$$c_4 = \frac{a}{K_2} [C_3' - C_2'(K - 1)\Omega_+^2]$$

$$l_4 = \frac{K_2}{a[C_3' - C_2'(K - 1)]}$$

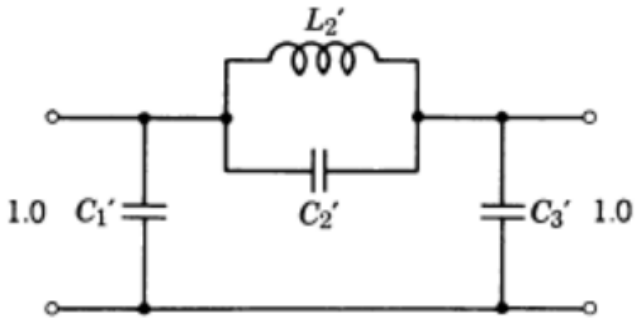


Fig. 5.41. Normalized lowpass.

In the given example the value t0 will be
与えられた例では、t0 の値は次のようになります。

$$t_0 = 13.122851$$

and the capacitance cmax
静電容量 cmax

$$c_{max} = 0.332.$$

With reference capacitor Cr = 212.4 pF one would obtain
基準コンデンサ Cr = 212.4 pF の場合、次の式が得られます。

$$C_{max} = C_r \cdot 0.332 = 70.5 \text{ pF}$$

If it is decided to choose C, = 30 pF, the normalized intermediate capacitor will be ci = 0.141243 and therefore the equation for the transformation coefficient can be used.
C = 30 pF を選択することに決定した場合、正規化された中間コンデンサは ci = 0.141243 となり、変換係数の式を使用できます。

$$K^2 - 0.442K - 1.156 = 0$$

$$K = 1.3634$$

The normalized element values are therefore
正規化された要素値は次のとおりです。

目次

Element	Normalized	Unnormalized	
L_1	0.0827	0.3952 μH	
C_1	12.022	2554 pF	$f_1 = 5.01$ Mc
L_2	0.491	2.348 μH	
C_2	1.505	320 pF	$f_2 = 5.809$ Mc
C_3	1.492	317 pF	
L_3	0.9058	4.328 μH	$f_3 = 4.300$ Mc
C_4	6.106	1297 pF	
L_4	0.162	0.774 μH	$f_4 = 5.023$ Mc
C_i		30 pF	
R_2	K^2R_1	279 Ω	

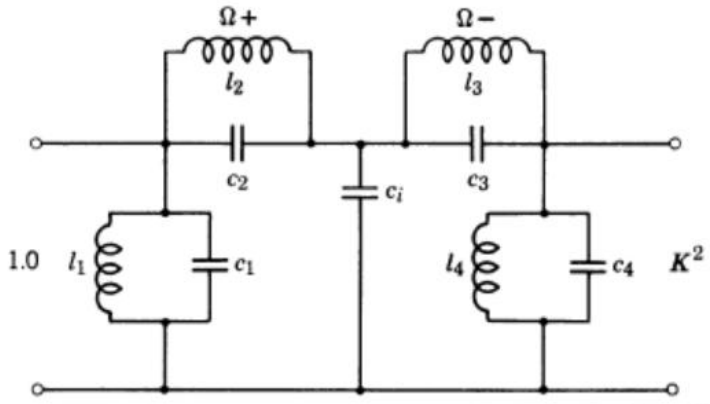


Fig. 5.42. Schematic of modified bandpass (from Fig. 5.41).

5.6 DESIGN OF NARROWBAND CRYSTAL FILTERS

5.6 狭帯域結晶フィルターの設計

The basic definition for relative bandwidth was discussed in the previous paragraphs along with the lowpass-bandpass transformation scheme. In dealing with extremely sharp filters another general parameter" that of selectivity, must be added to bandpass theory. The numerical definition of selectivity is

相対帯域幅の基本的な定義は、ローパス-バンドパス変換スキームとともに前の段落で説明しました。非常に鋭いフィルタを扱う場合、バンドパス理論に選択性という別の一般的なパラメータを追加する必要があります。選択性の数値定義は次のとおりです。

$$S = \frac{f_c}{f_\infty - f_c} \qquad (5.6.1)$$

where fc is the cutofT frequency and is the frequency of the closest pole outside of the passband. Design experience indicates that when S is less than 60, the filter can be realized with coils and capacitors (LC filters), but if S is greater than 60, the filter by necessity is a crystal filter.
ここで、fc はカットオフ周波数、は通過帯域外の最も近い極の周波数です。設計経験から、S が 60 未満の場合、フィルタはコイルとコンデンサ（LC フィルタ）で実現できますが、S が 60 より大きい場合は、必然的に水晶フィルタになります。

Because the bandpass filter is the type most used, the catalog information relating to lowpass networks usually must be transformed into bandpass information. All transformation formulas used in previous paragraphs are applicable for quartz crystal filter design.
バンドパスフィルタは最も広く使用されているタイプであるため、ローパスネットワークに関するカタログ情報は通常、バンドパス情報に変換する必要があります。前述の段落で使用した変換式はすべて、水晶振動子フィルタの設計に適用可能です。

Crystal resonators as filter elements are somewhat different from LC resonators. Crystals are characterized by their excellent frequency stability and low electrical losses. The equivalent element values are dependent on the types of crystal, cut, frequency range, and packaging.
フィルタ素子としての水晶共振器は、LC 共振器とは若干異なります。水晶は、優れた周波数安定性と低い電気損失を特徴としています。等価素子の値は、水晶の種類、カット、周波数範囲、およびパッケージングによって異なります。

Crystals in the Filter Network
フィルターネットワーク内の水晶

Many filters in the high-frequency domain consist of lumped inductances and capacitors. All lumped inductances, however, inherit two disadvantages: 1. the loss resistance, which annot be neglected and 2. an unavoidable distributed capacitance.
高周波領域の多くのフィルタは、集中インダクタンスと集中コンデンサで構成されています。しかし、すべての集中インダクタンスには、1. 無視できない損失抵抗と、2. 避けられない分布容量という 2 つの欠点があります。

Since the resistance of the coil can never be eliminated completely, the bandwidth of the filter cannot be made extremely narrow or sharp. When these requirements are to be fulfilled, the network elements must possess a superior quality factor and stability.
コイルの抵抗を完全に除去することは不可能であるため、フィルタの帯域幅を極端に狭くしたり、急峻にしたりすることはできません。これらの要件を満たすためには、ネットワーク要素は優れた品質係数と安定性を備えている必要があります。

It is evident that the use of piezoelectric crystals reduces losses by as much as three orders of magnitude and is the answer to the problem of sharp, selective, narrow bandwidth filters up to 30-40 Mc range.

圧電結晶を使用することで損失を最大 3 桁も低減できることは明らかであり、30～40MHz までの周波数帯域において、シャープで選択性の高い狭帯域フィルタを実現するという課題に対する解決策となる。

Figure 5.43 shows that crystal resonators behave essentially as a capacitor with a quartz dielectric except in a narrow frequency range. In this frequency interval, the crystal exhibits a mechanical series resonance. Figure 5.43 shows the equivalent circuit to possess certain fixed equivalent values. The impedance level is between 10 and 100 MΩ.
図 5.43 は、水晶共振器が、ある狭い周波数範囲を除いて、基本的に石英誘電体を用いたコンデンサとして動作することを示しています。この周波数範囲では、水晶は機械的な直列共振を示します。図 5.43 は、一定の等価値を持つ等価回路を示しています。インピーダンスレベルは 10～100MΩ です。

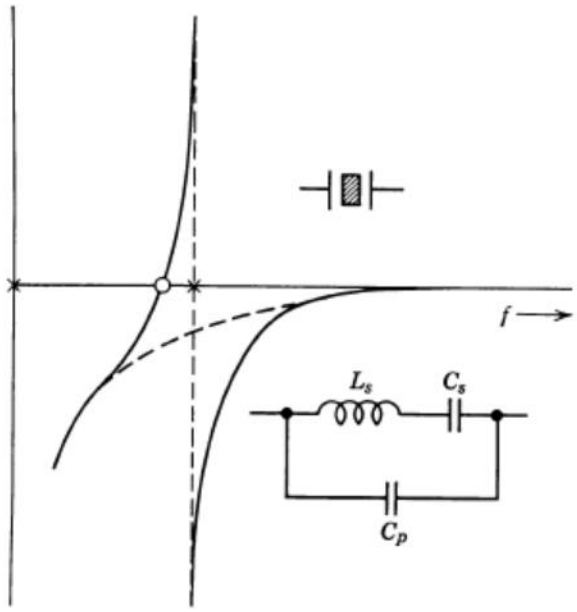


Fig. 5.43. Impedance diagram of crystal resonator.

The ratio of parallel capacitance to series equivalent capacitance usually is higher than 150. The information to be presented here will be limited to ladder filters, and the passband and stopband characteristics will be related directly to the corresponding resonant frequencies in the series (or parallel arms) of the filter. It is evident that most pronounced rejection, or a pole of effective attenuation, can be produced only by a crystal in the parallel arm.
並列容量と直列等価容量の比は通常 150 以上です。ここで説明する情報はラダーフィルタに限定され、通過帯域と阻止帯域の特性は、フィルタの直列（または並列）アームにおける対応する共振周波数に直接関係します。最も顕著な阻止特性、すなわち有効減衰極は、並列アーム内の水晶発振器によってのみ実現できることは明らかです。

The attention of the designer must be concentrated on the fact that the losses of inductance play a most critical role in narrowband structures. It is desirable that the series arm of the bandpass filter be a parallel combination of one series resonant circuit with one parallel resonant circuit.
設計者は、狭帯域構造においてインダクタンス損失が極めて重要な役割を果たすという事実に留意しなければならない。バンドパスフィルタの直列アームは、直列共振回路と並列共振回路の並列組み合わせであることが望ましい。

Both circuits are to be tuned to the center frequency. This type of schematic is obtained as the original form of the bandpass schematic after it has been correctly transformed

from the lowpass prototype. The configuration requires a high quality series circuit with very high impedance level which is determined from $\sqrt{L/C}$. Evidently, a crystal element is best suited for this circuit. The parallel resonant circuit can be regarded as a neutralizing capacitance.
両回路とも中心周波数に同調させる必要があります。このタイプの回路図は、ローパスプロトタイプから正しく変換されたバンドパス回路図の元の形式として得られます。この構成には、$\sqrt{L/C}$で決定される非常に高いインピーダンスレベルを持つ高品質の直列回路が必要です。明らかに、この回路には水晶発振器が最適です。並列共振回路は、中和容量とみなすことができます。

The following examples will show that only small 6 values obtained from the catalog are reasonable to use. The relatively distant attenuation peak is not recommended, on the ground that the parallel resonant circuit will not exhibit a sufficient quality factor.

以下の例から、カタログから得られる小さな 6 の値のみが妥当であることがわかります。比較的離れた減衰ピークは、並列共振回路が十分な品質係数を示さないため、推奨されません。

Numerical Example of Design
設計の数値例

A crystal filter is to be designed according to the requirements set forth in the tolerance scheme shown in Fig. 5.44. The input impedance must be equal or greater than 18 kΩ, and the output impedance must be 1 kΩ. The problem is to find:
図 5.44 に示す許容範囲の要件に従って水晶フィルタを設計する。入力インピーダンスは 18kΩ 以上、出力インピーダンスは 1kΩ でなければならない。問題は以下の値を求めることである。

1. Bandwidth parameter and selectivity.
2. Attenuation at ±50 kc.
3. The values of the filter elements. A crystal is to be used in the series arm ($C_p/C_s \approx 200$; $L_s = 15$ mH).

目次

SOLUTION

$$1.\ a = \frac{f_m}{f_2 - f_1} = \frac{15{,}000}{50} = 300$$

$$S = \frac{f_c}{f_\infty - f_c} = \frac{15{,}025}{150} = 100$$

The distance f∞ — fc is shown as equal to 150 kc. Both numbers indicate that a crystal filter is the only possible solution to realize the given bandwidth and selectivity parameters.

2. The equation relating Amax, Amin and Ωs for third-order filter is

距離 f∞ - fc は 150 kc と表されます。これらの数値は、与えられた帯域幅と選択性パラメータを実現するには、水晶フィルタが唯一の解決策であることを示しています。

2. 3 次フィルタにおける Amax、Amin、Ωs の関係式は次のとおりです。

$$\left(A_{\min} + \tfrac{1}{2} \ln \frac{8}{A_{\max}}\right) \ln \frac{8}{\Omega_s - 1} \approx 5n = 15$$

with n = 3, Ωs = 1/2(100)/1/2(40) = 2.5, and Amax =0.0032 Nρ (which corresponds to 8 % reflection).

n = 3、Ωs = 1/2(100)/1/2(40) = 2.5、Amax = 0.0032 Nρ（これは 8%の反射率に相当）の場合です。

$$A_{\min} = \frac{15}{\ln \dfrac{8}{\Omega_s - 1}} - \tfrac{1}{2} \ln \frac{8}{A_{\max}} = 5.5\ \text{Np} = 48\ \text{dB}$$

3. Using the value of a, the bandwidth parameter, the following relations can be solved (see Fig. 5.45).

For the parallel circuit:

3. 帯域幅パラメータ a の値を用いると、以下の関係式を解くことができる（図 5.45 参照）。

並列回路の場合：

目次

$$C_{2p} = aC_2' \frac{1}{R_r\omega_r}, \quad L_{2p} = \frac{1}{aC_2'} \frac{R_r}{\omega_r}$$

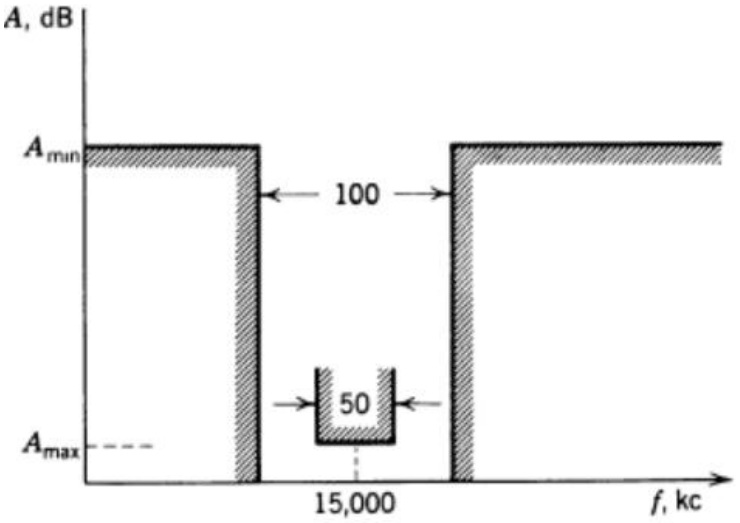


Fig. 5.44. Tolerance scheme for numerical example.

For the series circuit:

直列回路の場合：

$$L_{2s} = aL_2' \frac{R_r}{\omega_r}$$

$$C_{2s} = \frac{1}{aL_2'} \frac{1}{R_r\omega_r}$$

For the combination of the two circuits, the ratio of capacitors will be

2 つの回路の組み合わせの場合、コンデンサの比率は次のようになります。

$$\frac{C_{2p}}{C_{2s}} = C_2'L_2'a^2$$

The available crystal has the ratio of Cp/Cs = 200, therefore with

利用可能な結晶は Cp/Cs 比が 200 であるため、

目次

$$\frac{C_{2p}}{C_{2s}} = 200$$

the resonant frequency
共振周波数

$$\omega_2^2 = \frac{1}{L_2'C_2'} = \frac{a^2C_{2s}}{C_{2p}} = 450$$

or

$$\omega_2 = 21.2$$

4. From the catalog, the set of values which corresponds to filter CC 03 08 03, with K2 = ∞, will satisfy the above conditions. The normalized element values are as follows:
4. カタログから、K2 = ∞ のフィルタ CC 03 08 03 に対応する値のセットは、上記の条件を満たします。正規化された要素の値は次のとおりです。

$$C_1' = 0.3855$$
$$C_2' = 0.0023$$
$$C_3' = 0.9213$$
$$L_2' = 0.8954$$

Reversing the schematic as shown in Fig. 5.45 and using the reference values fr and Rr, and the value of the equivalent motional inductance of the crystal, Ls = 15 mH, the following can be calculated
図 5.45 に示す回路図を反転させ、基準値 fr と Rr、および水晶の等価運動インダクタンス Ls = 15 mH の値を用いると、以下を計算できる。

$$l_s = L_2'a = 0.8954 \times 300 = 269$$

目次

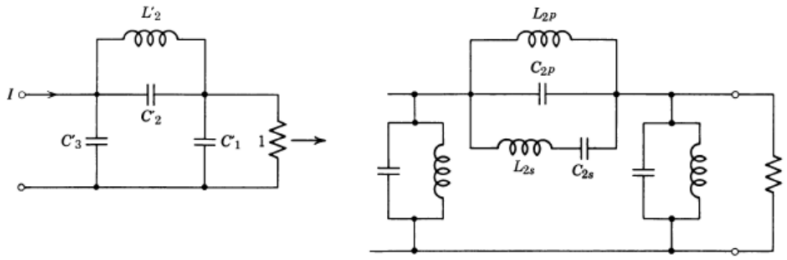


Fig. 5.45. Lowpass prototype and bandpass frequency transformation.

which corresponds to Ls = 15 mH.

これは Ls = 15 mH に相当する。

$$\omega_r = 2\pi \times 15 \times 10^6 = 94.2 \times 10^6$$

$$R_r = \frac{\omega_r L_s}{l_s} = \frac{94.2 \times 10^6 \times 15 \times 10^{-3}}{269} = 5.25\ k\Omega$$

$$L_r = \frac{R_r}{\omega_r} = \frac{5.25 \times 10^3}{94.2 \times 10^6} = 56\ \mu H$$

$$C_r = \frac{1}{\omega_r R_r} = 2.02\ pF$$

5. Using the reference values and the normalized catalog values, the actual unnormalized elements of the bandpass network will be as follows:

5. 参照値と正規化されたカタログ値を使用して、バンドパスネットワークの実際の非正規化要素は次のようになります。

$$L_1 = \frac{L_r}{C_1' a} = 0.484\ \mu H$$

$$C_1 = C_1' a\, C_r = 234\ pF$$

$$L_3 = \frac{L_r}{C_3' a} = 0.203\ \mu H$$

$$C_3 = C_3' a C_r = 558\ pF$$

$$L_{2p} = \frac{L_r}{C_2' a} = 81\ pH$$

$$C_{2p} = C_2' a C_r = 1.4\ pF$$

$$L_{2s} = L_2' a L_r = 15\ \text{mH} \qquad \text{crystal}$$

$$C_{2s} = \frac{1}{C_2' a} C_r = 2.9\ pF$$

This example shows the design procedure up to the point of actual realization. In the construction of the engineering model of the filter there may be certain difficulties in the realization coils on the input and output sides of the filter. It will be more practical to use auto-transformers instead of straightforward coils and employ an impedance transformation. The coils can be made of the same value, and be optimized from point of view of quality factor. Figure 5.46 shows the configuration of the filter after the appropriate modification.
この例では、実際の実現に至るまでの設計手順を示します。フィルタのエンジニアリングモデルの構築において、フィルタの入力側と出力側のコイルの実現には、いくつかの困難が生じる可能性があります。単純なコイルの代わりにオートトランスを使用し、インピーダンス変換を行う方が実用的です。コイルは同じ値で作成でき、品質係数の観点から最適化できます。図 5.46 は、適切な修正後のフィルタの構成を示しています。

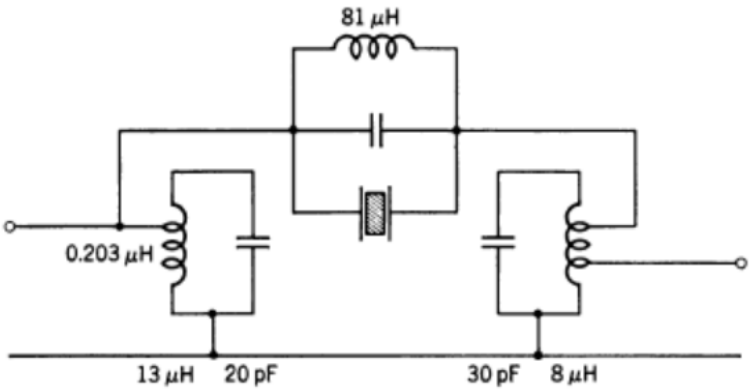


Fig. 5.46. Bandpass crystal filter.

Instead of 0.2 fxH, the input coil is now 13 juH which is easier to realize at the given frequency. The output coil is 8 //H, also realizable, and the same type of core material can be used. All circuits are tuned to resonate at the same frequency. The coil in parallel with the crystal serves in neutralizing the damaging parallel capacitance of the crystal.
入力コイルは、0.2μH ではなく 13μH となり、所定の周波数で実現しやすくなりました。出力コイルも 8μH で、これも実現可能であり、同じ種類のコア材を使用できます。すべての回路は同じ周波数で共振するように調整されています。水晶と並列に接続されたコイルは、水晶の有害な並列容量を相殺する役割を果たします。

Theoretically the signal source impedance Rx is assumed to be infinity, and under this condition the open-circuit transmission factor is identical with the current transmission

factor. But practically, it is sufficient that the source impedance is large in comparison with the impedance at resonance of the lossy input circuit.
理論的には、信号源インピーダンス Rx は無限大と仮定され、この条件下では開回路伝送係数は電流伝送係数と同一となる。しかし実際には、信号源インピーダンスが損失のある入力回路の共振時のインピーダンスに比べて十分に大きければよい。

The partial compensation of losses similar to that mentioned for the case of regular bandpass filter can be used. The inductive components with high Q (quality factors of 250 can be realized) permits an almost complete agreement between theory and practice for this specific filter.
通常のバンドパスフィルタの場合と同様に、損失を部分的に補償する方法を用いることができます。高 Q 値（Q 値 250 を実現可能）の誘導性部品を用いることで、このフィルタにおいては理論値と実測値がほぼ完全に一致することが可能になります。

5.7 DESIGN OF BANDSTOP FILTERS
5.7 バンドストップフィルタの設計

Bandstop filters are characterized by having the reverse properties of bandpass filters: Signals are suppressed within a certain finite band of frequencies and passed at frequencies both above and below that band. The bandstop filter presents little attenuation except in its transition region and, of course, in its stopband.
バンドストップフィルタは、バンドパスフィルタとは逆の特性を持つという特徴があります。信号は特定の有限周波数帯域内で抑制され、その帯域より上と下の周波数では通過します。バンドストップフィルタは、遷移領域と阻止帯域を除いて、ほとんど減衰しません。

Figure 5.476 shows the attenuation requirements for bandstop filters. Once again, the starting point in the development procedure is the lowpass prototype as shown in Fig. 547a. A straight forward transformation will provide a symmetric bandstop response curve.
The bandstop parameter is defined in similar fashion as the bandpass parameter
図 5.476 は、バンドストップフィルタの減衰要件を示しています。ここでも、開発手順の出発点は、図 547a に示すローパスプロトタイプです。単純な変換により、対称的なバンドストップ応答曲線が得られます。

バンドストップパラメータは、バンドパスパラメータと同様の方法で定義されます。

目次

$$a = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \qquad (5.7.1)$$

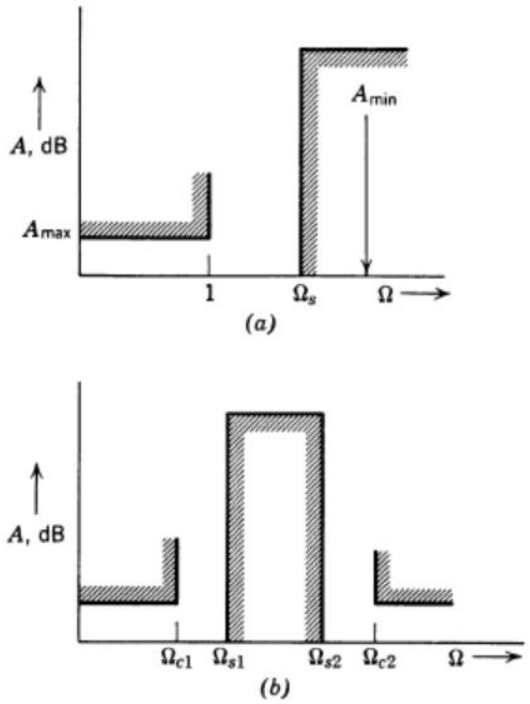


Fig. 5.47. Attenuation requirements for bandstop filter.

where f1 is the lower cutoff frequency,fe is the upper cutoff frequency, and fc is the geometric mid-frequency.

When the relative bandwidth 1/a is only a small percent, the losses because of resistances in the inductors and other realization difficulties must be taken into consideration.

ここで、f1 は下限遮断周波数、fe は上限遮断周波数、fc は幾何平均中間周波数である。

相対帯域幅 1/a がわずかな割合しかない場合、インダクタの抵抗による損失やその他の実現上の困難を考慮する必要がある。

When bandwidth is made even smaller and is only a fraction of one percent of the center frequency, electromechanical resonators, such as crystals must be used to eliminate the influence of losses. As a rule, bandstop filters offer much less realization freedom than the bandpass realizations.

帯域幅をさらに狭くして中心周波数のわずか 1 パーセント未満にすると、損失の影響を排除するために水晶などの電気機械共振器を使用する必要があります。一般的に、バンドストップフィルタはバンドパスフィルタに比べて実現の自由度がはるかに低くなります。

The design problem consists of simply obtaining the necessary information for bandstop filters by transforming the information tabulated in the catalog of normalized lowpass filters. The transformation can be specified as follows:
設計上の課題は、正規化ローパスフィルタのカタログに記載されている情報を変換することにより、バンドストップフィルタに必要な情報を取得することである。変換は次のように指定できる。

$$\Omega = \frac{\Omega_{BS}}{a(\Omega_{BS}^2 - 1)} \qquad (5.7.2)$$

Figure 5.48 shows frequency scales that indicate the

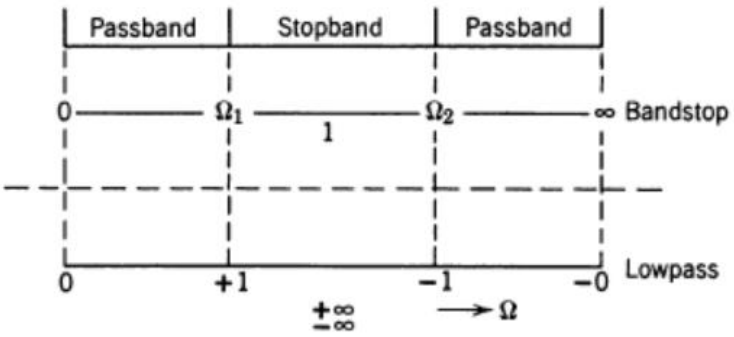


Fig. 5.48. Frequency scales.

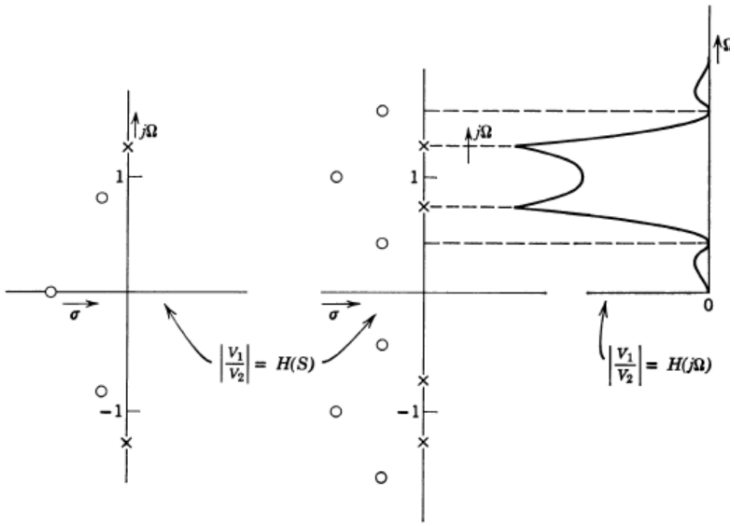


Fig. 5.49. Two typical pole-zero plots (lowpass and bandstop filters).

目次

Figure 5.48 shows frequency scales that indicate the data of bandstop frequencies from ΩBS = 0 to 1 which can be obtained immediately from the appropriate lowpass data.
For higher frequencies the mirror image data must be used. It is evident that the normalized frequency ΩBS of bandstop filters appear in a form analogous to that of the normalized frequency of bandpass filters, ΩBP.
When Eq. 5.7.2 is solved, the following expression for ΩBS is obtained
図 5.48 は、適切なローパスデータから直接得られる ΩBS = 0 から 1 までのバンドストップ周波数のデータを示す周波数スケールを示しています。
より高い周波数については、鏡像データを使用する必要があります。バンドストップフィルタの正規化周波数ΩBS は、バンドパスフィルタの正規化周波数 ΩBP と同様の形式で表されることが明らかです。
式 5.7.2 を解くと、ΩBS について次の式が得られます。

$$\Omega_{BS} = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2a\Omega}\right)^2} \pm \frac{1}{2a\Omega} \qquad (5.7.3)$$

with $0 < \Omega < \infty$. Using this equation, the lowpass information from the catalog bandstop behavior can be specified. For large Ω values (practically for all frequencies above the passband of the lowpass prototype)
$0 < \Omega < \infty$ の場合。この式を使用すると、カタログのバンドストップ特性からローパス情報を指定できます。Ω の値が大きい場合（実際にはローパスプロトタイプの通過帯域より高いすべての周波数)

$$\frac{1}{2a\Omega} \ll 1$$

and consequently the following approximate expression holds true
したがって、以下の近似式が成り立つ。

$$\Omega_{BS} \approx 1 \mp \frac{1}{a\Omega} \qquad (5.7.4)$$

This expression suggests that in case of narrowband filters, the normalized frequency for the stopband be regarded as relative deviations from the center frequency.
The exact Eq. 5.7.3 for normalized frequencies indicates a reciprocal quadratic equation

この式は、狭帯域フィルタの場合、阻止帯域の正規化周波数は中心周波数からの相対偏差として扱うべきであることを示唆している。
正規化周波数に関する正確な式 5.7.3 は、逆数二次方程式を示している。

$$A(\Omega_{BS}) = A\left(\frac{1}{\Omega_{BS}}\right) \qquad (5.7.5)$$

which has been shown in Fig. 5.47. When the attenuation specifications are given for equal arithmetic distances from the center frequency, such as
図 5.47 に示されているように、減衰仕様が中心周波数からの等算術距離に対して与えられている場合、

$$\Omega_{s2} - 1 = 1 - \Omega_{s1}$$

then the upper limiting frequency, Ω s2 is the critical frequency which must be considered in the remaining calculations, following in complete analogy with bandpass filters.
Pole-zero information for bandstop filters can be developed from the lowpass pole-zero information given in the catalog, s, which belongs to the complex frequency plane, is to be substituted for jΩ . From Eq. 5.7.3
すると、上限周波数Ωs2 は、バンドパスフィルタと全く同様に、残りの計算で考慮しなければならない臨界周波数となります。バンドストップフィルタの極零点情報は、カタログに記載されているローパスフィルタの極零点情報から導き出すことができ、複素周波数平面に属する s を jΩ に代入します。式 5.7.3 より

$$s_{BS} = \frac{1}{2as} \pm j\sqrt{1 - \left(\frac{1}{2as}\right)^2} \qquad (5.7.6)$$

From this expression, it is evident that for every sBS, corresponds two bandstop eigenvalues. All lowpass information, even that pertaining to infinity, must be taken into account.
Figure 5.49 shows two typical pole-zero plots. They can serve to illustrate the transformation procedure.

この式から、すべての sBS に対して 2 つのバンドストップ固有値が存在することが明らかです。無限遠に関するものも含め、すべての低域通過情報を考慮に入れる必要があります。図 5.49 は、2 つの典型的な極零点プロットを示しています。これらは変換手順を説明するのに役立ちます。

For narrow bandstop filters
狭帯域阻止フィルタの場合

$$s_{BS} \approx \frac{1}{2as} \pm j$$

since the expression under the radical of Eq. 5.7.6 is
式 5.7.6 の根号内の式は

$$\frac{1}{2as} \ll 1$$

The original lowpass pole-zero geometric appears reflected, but twice displaced on +j.
The knowledge of pole-zero distribution permits the evaluation of the steady-state properties of bandstop filter: its phase, attenuation, and group delay.
The actual element values remain unknown; denormalization proceeds with given reference values which can be represented as a set of design equations.
元のローパスフィルタの極零点配置は、+j 軸上で反転し、かつ 2 倍にずれた形で現れます。極零点配置を知ることで、バンドストップフィルタの定常状態特性（位相、減衰量、群遅延）を評価できます。
実際の素子値は未知であるため、設計方程式の集合として表せる基準値を用いて非正規化処理を行います。

From the physical point of view, the problem of lowpass to bandstop transformation represents the case when the lowpass inductive element must be substituted by one reactive element with places of "transparance" at $\Omega = 0$ and $\Omega = \infty$. The reactance with this property is a parallel resonant circuit. Consequently, for the dual lowpass filter, the
capacitor must be substituted by a reactance having to block frequencies at $\Omega = 0$ and $\Omega = \infty$. The reactance with that property is a series resonant circuit.
物理的な観点から見ると、ローパスフィルタからバンドストップフィルタへの変換問題は、ローパスインダクタンス素子を、$\Omega = 0$ と $\Omega = \infty$ において「透過性」を持つリアクタンス

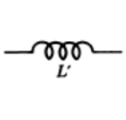
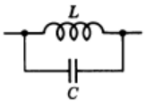
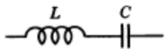
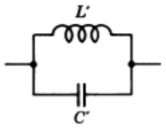
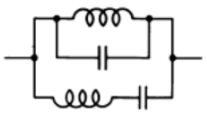
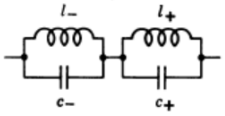
素子に置き換える必要があるケースに相当します。このような特性を持つリアクタンスは、並列共振回路です。したがって、デュアルローパスフィルタの場合、コンデンサは、$\Omega = 0$ と $\Omega = \infty$ において周波数を遮断するリアクタンスに置き換える必要があります。このような特性を持つリアクタンスは、直列共振回路です。

In Table 5.5, the relationship between lowpass and bandstop elements is shown along with the relations which provide the element values.
Every lowpass structure not dependent on mutual coupling can be transformed into a bandstop structure.
表 5.5 には、ローパス素子とバンドストップ素子の関係、および素子値を決定する関係式が示されています。
相互結合に依存しないすべてのローパス構造は、バンドストップ構造に変換できます。

But in transforming the parallel resonant circuit from the lowpass model, it is more sensible to use the alternative equivalent BS schematic which includes two parallel resonant circuits in series than the schematic consisting of a parallel combination of a series and parallel
resonant circuit.
しかし、ローパスモデルから並列共振回路に変換する際には、直列共振回路と並列共振回路を並列接続した回路図よりも、2 つの並列共振回路を直列接続した代替等価 BS 回路図を用いる方がより合理的である。

目次

Table 5.5 Lowpass to Bandstop Transformation

LP	BS	BS Values
		$L = \frac{L'}{a}\frac{R_r}{\omega_r}$ $C = \frac{a}{L'}\frac{1}{R_r\omega_r}$
		$L = \frac{a}{C'}\frac{R_r}{\omega_r}$ $C = \frac{C'}{a}\frac{1}{R_r\omega_r}$
Where L' and C' are normalized values		Where L, C are unnormalized values
		$c_-' = \frac{a}{L'}(1 + \Omega_+^2)$ $c_+' = \frac{a}{L'}(1 + \Omega_-^2)$ $l_-' = \frac{1}{c_-'}$ $l_+' = \frac{1}{c_+'}$
$\Omega_\infty = \frac{1}{\sqrt{L'C'}}$		Where c_-', c_+', l_-', l_+' are normalized values
		$l_-' + l_+' = \frac{L'}{a}$
		$\Omega_\pm = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\Omega_\infty a}\right)^2} \pm \frac{1}{2\Omega_\infty a}$

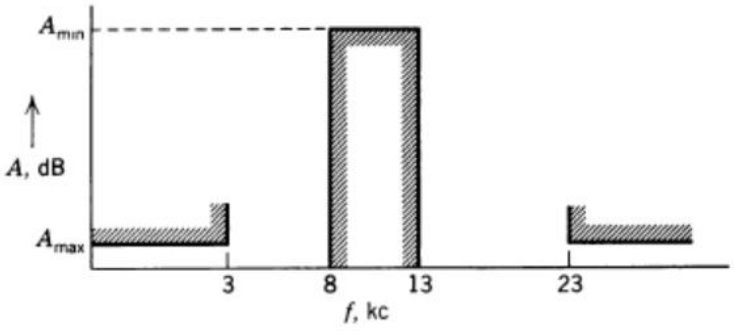


Fig. 5.50. Prescribed attenuation.

The unnormalized element values for this schematic are

この回路図の非正規化要素値は

目次

$$C_+ = \frac{1}{\omega_r^2 L_-} = \frac{a}{L'}(1 + \Omega_-^2)\frac{1}{\omega_r R_r}$$

$$C_- = \frac{1}{\omega_r^2 L_+} = \frac{a}{L'}(1 + \Omega_+^2)\frac{1}{\omega_r R}$$

where

$$\Omega_\pm = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{a\Omega_\infty}\right)^2} \pm \frac{1}{a\Omega_\infty}$$

and L' is the normalized inductance from the catalog.
L'はカタログに記載されている正規化インダクタンスです。

Numerical Example Number 1
数値例 1

A bandstop filter is to be designed consisting of four resonant circuits. Figure 5.50 shows the attenuation requirements.
The level of guaranteed attenuation in the stopband *Am-m* must be found if the reflection coefficient in the passband is allowed to be 8 %. Figures 5.51 and 5.52 show the lowpass prototype. The transformed canonic schematic of such a filter is shown having an input and output resistance equal to 8 kΩ. The steps to follow for the solution are:
4 つの共振回路からなるバンドストップフィルタを設計する。図 5.50 は減衰要件を示す。通過帯域における反射係数が 8%まで許容される場合、阻止帯域における保証減衰量 Am-m を求める必要がある。
図 5.51 および 5.52 はローパスフィルタの試作機を示す。入力抵抗と出力抵抗が 8kΩ となるような、変換された標準回路図を示す。解を求める手順は以下のとおりである。

1. Calculate the stopband parameter a.
1. 阻止帯域パラメータ a を計算します。

$$a = \frac{\sqrt{f_2 f_1}}{f_2 - f_1} = \frac{\sqrt{23 \times 3}}{23 - 3} = \frac{8.31}{20} = 0.416$$

With the coefficient of such magnitude, the design based on the theory of lossless reactive networks is possible.

このような大きさの係数を用いることで、損失のないリアクティブネットワークの理論に基づいた設計が可能となる。

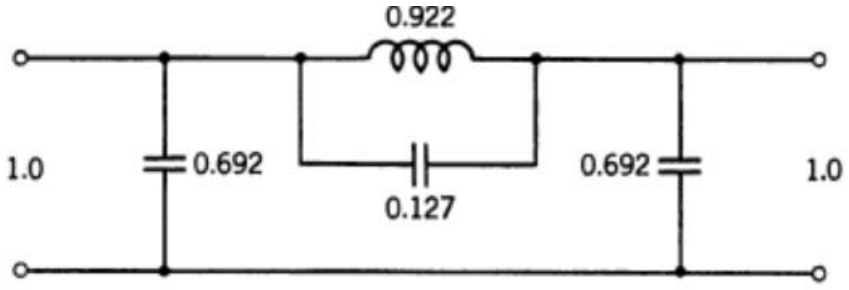


Fig. 5.51. Lowpass prototype for design example.

2. The required response is geometrically symmetric and, therefore,
2. 要求される応答は幾何学的に対称であるため、

$$\Omega_{S2}\Omega_{S1} = \Omega_2\Omega_1$$

Knowing that the critical side is the upper side, the modified lower limit is
臨界側が上側であることを知っているので、修正された下限は

$$f_{S1} = \frac{f_2 f_1}{f_{S2}} = \frac{23 \cdot 3}{13} = 5.31$$

This figure indicates the importance of distinguishing between geometric and arithmetic symmetry. The lower limit of the stopband must be moved even lower in order to ensure the necessary amount of attenuation at 30 kc.
この図は、幾何学的対称性と算術的対称性を区別することの重要性を示している。30kHz で必要な減衰量を確保するためには、阻止帯域の下限をさらに低くする必要がある。

3. Using the normalizing equation (5.7.2), the bandstop limit for the low-frequency prototype can be calculated.
3. 正規化式（5.7.2）を用いて、低周波プロトタイプの阻止帯域限界を計算できる。

$$\Omega_S = \frac{f_{s1}(f_2 - f_1)}{f_{s1}^2 - f_2 f_1} = 2.60$$

目次

From the catalog for n = 3 and p = 8 %, the closest precalculated lowpass filter is CC 03 08 23 which corresponds to Ωs = 2.56. The guaranteed attenuation in the stopband between 8 and 13 kc is Amin =25.6 dB.

n = 3、p = 8% のカタログから、最も近い事前計算済みのローパスフィルタは CC 03 08 23 であり、これは Ωs = 2.56 に対応します。8〜13 kHz の阻止帯域における保証減衰量は Amin = 25.6 dB です。

4. From the lowpass normalized schematic shown in Fig. 5.51, and using known relations for the reference inductance and capacitance,

4. 図 5.51 に示すローパス正規化回路図から、基準インダクタンスと基準容量の既知の関係式を用いて、

$$L_r = \frac{R_r}{\omega_r} = 153.2\ mH$$

$$C_r = \frac{1}{R_r \omega_r} = 2.394\ nF,$$

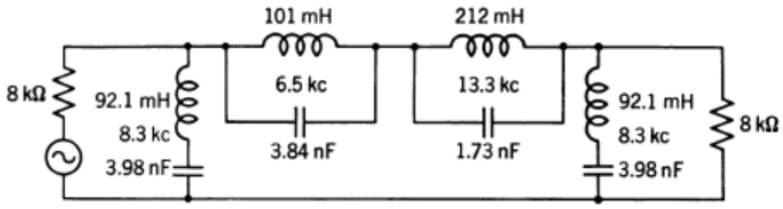


Fig. 5.52. Bandstop realization.

the element values of the bandstop schematic can be evaluated with the formulas for the shunt circuits.

バンドストップ回路図の素子値は、シャント回路の公式を用いて評価することができる。

$$L_1 = L_3 = \frac{a}{C_1'} L_r = 92.1\ \text{mH}$$

$$C_1 = C_3 = \frac{C_1'}{a} C_r = 3.98\ \text{nF}$$

The normalized frequencies where the peaks of attenuation will take place can be calculated with the equations from Table 5.5.

減衰のピークが発生する正規化周波数は、表 5.5 の式を用いて計算できます。

目次

$$\Omega_+ = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\Omega_\infty a}\right)^2} + \frac{1}{2\Omega_\infty a} = 1.599$$

$$\Omega_- = \sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\Omega_\infty a}\right)^2} - \frac{1}{2\Omega_\infty a} = 0.777$$

The values of elements which constitute the parallel resonant circuits are:
並列共振回路を構成する要素の値は以下のとおりです。

$$C_- = \frac{a}{L'}(1 + \Omega_+^2)C_r = 3.84\ \text{nF}$$

$$L_- = \frac{1}{C_-'}L_r = 101\ \text{mH}$$

$$C_+ = \frac{a}{L'}(1 + \Omega_-^2)C_r = 1.73\ \text{nF}$$

$$L_+ = \frac{1}{C_+'}L_r = 212\ \text{mH}$$

The resonant frequencies of the circuits in Fig. 5.52 are

図 5.52 の回路の共振周波数は

$$_+ = \Omega + f_r = 13.3\ \text{kc} \quad \text{and} \quad f_{\leftarrow} = \Omega - f_r = 6.5\ \text{kc}.$$

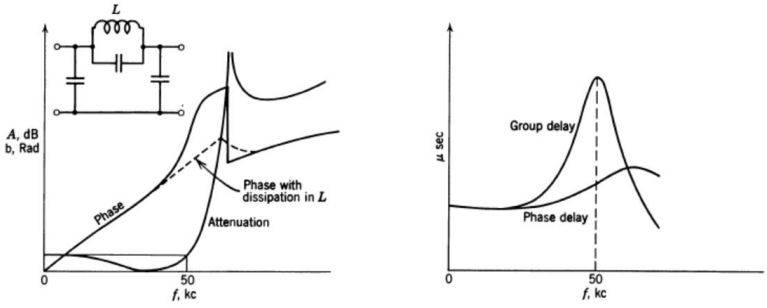


Fig. 5.54. Attenuation, phase, group, and phase delay responses of a lowpass filter ($n = 3$).

目次

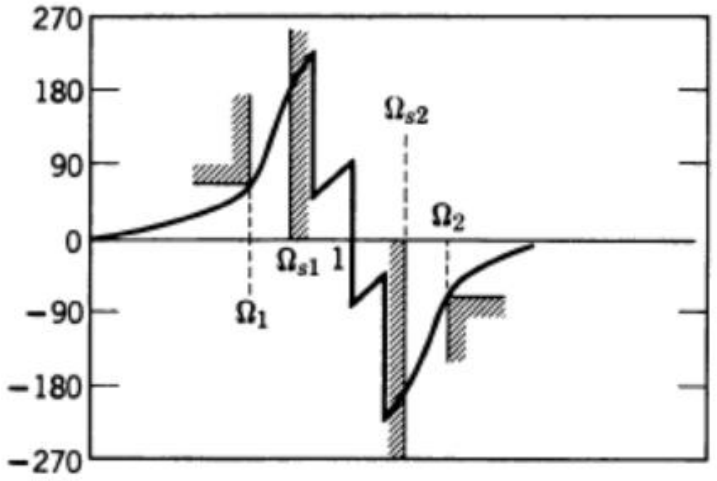


Fig. 5.53. Bandstop phase response curve.

Numerical Example Number 2

数値例 2

The phase response for a bandstop filter with bandwidth parameter a = 1 will be calculated.

帯域幅パラメータ a = 1 のバンドストップフィルタの位相応答を計算します。

1. By using the frequency transformation process, the bandstop filter from lowpass prototype CC 03 08 25 is developed. The load impedances are unequal, and the design is accomplished with K2 = ∞.

With catalog data, Ω s = 2.37, and Ω 2(= Ω ∞) = 2.70, the following set of data is generated by using the equation for **Ω BS** .

1. 周波数変換処理を用いて、ローパス試作機 CC 03 08 25 のバンドストップフィルタを開発しました。負荷インピーダンスは不等であり、K2 = ∞で設計を行いました。

カタログデータ Ω s = 2.37、Ω2(=Ω∞) = 2.70 を用いて、ΩBS の式から以下のデータセットを生成しました。

Ω	0	1	2.37	2.70	∞
Ω_{BS}	0	0.618	0.811	0.832	1
	∞	1.618	1.233	1.202	

2. Pole-zero data (σ 0, σ 1, Ω 1, Ω 2) for the lowpass prototype are used to find the phase of the lowpass model

目次

2. ローパスプロトタイプの極零点データ（σ0、σ1、Ω1、Ω2）を使用して、ローパスモデルの位相を求めます。

$$b(\Omega) = \tan^{-1}\frac{\Omega}{\sigma_0} + \tan^{-1}\frac{\Omega - \Omega_1}{\sigma_1} + \tan^{-1}\frac{\Omega + \Omega_1}{\sigma_1} - K$$

with K = 0 or π for $\Omega < \Omega 2$ or $\Omega > \Omega 2$. A corresponding set of figures is shown below.
Ω<Ω2 または Ω>Ω2 の場合、K = 0 または π となる。対応する図を以下に示す。

Ω	0	±1	±2.37	±2.70	±∞
$b(\Omega)$	0	±72.80	±202.4°	±212.7°	±90°
	∞		±22.4°	±32.7°	

3. There is significant phase shift inside of the passband. (See Fig. 5.53). The relationship between the phase and attenuation (in first approximation) for minimum phase network is given by
3. 通過帯域内に大きな位相シフトが存在する。(図 5.53 参照)。最小位相ネットワークにおける位相と減衰の関係（一次近似）は次式で表される。

$$b \approx \frac{da}{d\omega}$$

The phase response can also be obtained graphically from bandstop pole-zero diagram. Figure 5.54 illustrates the total performance of a simple prototype filter with n = 3.
位相応答は、バンドストップ極零点図からグラフ的に得ることもできます。図 5.54 は、n=3 の単純なプロトタイプフィルタの全体的な性能を示しています

1. Order of polynomial n
2. Reflection coefficient, ρ (proportional to Amax as given in Table 2.2).
3. Modular angle θ.
4. Minimum attenuation Amin, above Ωs.
1. 多項式の次数 n
2. 反射係数 ρ（表 2.2 に示すように Amax に比例)。
3. モジュラー角 θ。

目次

4. Ωs を超える最小減衰量 Amin。

The filters are of the CC type, Chebyshev in both bands, and pay tribute to Cauer and Chebyshev. Every filter could be classified by
フィルターは CC 型で、両バンドともチェビシェフ型であり、カウアーとチェビシェフに敬意を表している。各フィルターは以下のように分類できる。

CC　　*n*　　*ρ*　　*θ*　　K^2.

The even-order filters (n = 4, 6) are of the type b characteristic (see Table 5.1).
Given are filters of complexity n = 3 through n = 7, with ρ = 1, 2, 3, 4, 5, 8, 10, 15, 20, 25, and 50%.
偶数次フィルタ（n = 4、6）は、タイプ b の特性を持つ（表 5.1 参照）。
ここでは、n = 3 から n = 7 までの複雑度を持つフィルタについて、ρ = 1、2、3、4、5、8、10、15、20、25、50%の場合を示す。

Besides the normal element value information, other data are presented pertinent to the transmission function. With this, the phase and group delay, and transient response can be calculated. The tables also include component information for open-circuit (or short-circuit) loads.
通常の素子値情報に加えて、伝送関数に関連するその他のデータも表示されます。これにより、位相遅延、群遅延、および過渡応答を計算できます。表には、開放負荷（または短絡負荷）の部品情報も含まれています。

目次

注意：ρ

「LtAct」の用語と比較するとΩs=Xs となり最低減衰量に達する周波数を表わす。

ρ(%)は通過域のリプルに関係しρの値と通過域のリプル atp(dB)は次式で変換できます。

$\mathrm{atp} = 20 \cdot \log10(\frac{1}{\sqrt{1-\rho^2}})$　および　$\rho = \sqrt{1 - 10^{-\frac{attp}{10}}}$

ρの値と通過域のリプル atp(dB) 対照表

ρ %	atp dB		ρ %	atp dB
1	0.0004		10	0.0436
2	0.0017		15	0.0988
3	0.0039		20	0.1773
4	0.0070		25	0.2803
5	0.0109		50	1.2494
8	0.0279			

希望する特性の LC フィルタの素子値を計算するためには、「LtAct」でフィルターを設計する時に入力するパラメータの内、Xs と attp(dB)と atts(dB)に近い表の列を見つける必要があります。

Xs はΩs に、atts は Amin に相当します。そしてρと attp は上の表に対応しています。

表の上に K2=∞の側の数値を使用します。表の一番下に L1, L21, C2…が素子名です。

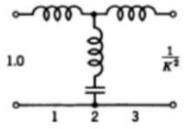
カットオフ周波数が Fc、負荷抵抗値が R の場合には表の数値 Ln、Cn を次のように計算します。

$$Ln = \frac{Ln \cdot R}{2 \cdot \pi \cdot Fc}.\ Cn = \frac{Cn}{2 \cdot \pi \cdot Fc \cdot R} \qquad (1)$$

目次

下は、3 次楕円関数リプル 0.1dB 相当の表です。

作成するフィルタの基本回路は次の形式なので、表の右端の 4 個の数値を利用します。



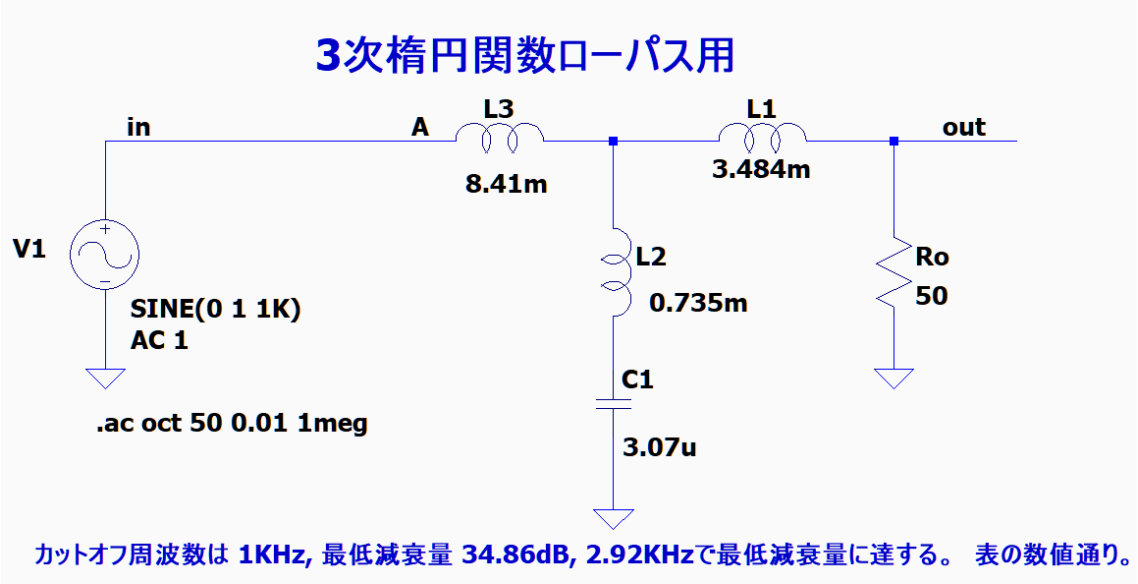
表の一番下の行の右側から順に L3, C2, L2, L1 と表示されていますが、C2 は C1 の事です。
また L1 は右端、L3 は左端です。
θ 、 Ωs の列と Amin の列を注目します。
θ =20 の位置で Ωs=2.9238、Amin=34.86 の数値が確認できます。この行の右端から素子値を取り出します。L1= 0.4379, L2=0.0923, C1=0.9648, L3=1.0565

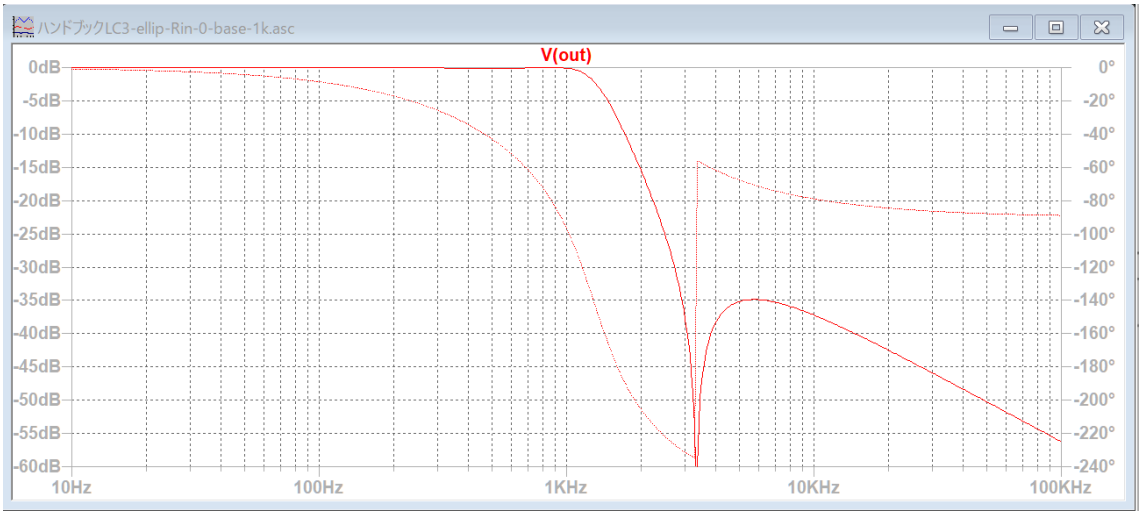
							$K^2=1.0$			$K^2=\infty$			
θ	Ω_s	A_{min} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$C'_1=C'_3$	C'_2	L'_2	C'_1	C'_2	L'_2	C'_3
1.	57.2987	113.19	0.97227	0.48595	1.20782	66.1616	1.0285	0.0002	1.1468	0.5141	0.0002	1.0843	1.0878
2.	28.6537	95.13	0.97271	0.48560	1.20789	33.0839	1.0281	0.0008	1.1461	0.5136	0.0008	1.0834	1.0875
3.	19.1073	84.56	0.97343	0.48502	1.20800	22.0595	1.0273	0.0018	1.1449	0.5126	0.0019	1.0819	1.0871
4.	14.3356	77.06	0.97444	0.48420	1.20816	16.5483	1.0262	0.0032	1.1433	0.5113	0.0034	1.0798	1.0865
5.	11.4737	71.24	0.97574	0.48316	1.20836	13.2424	1.0249	0.0050	1.1411	0.5096	0.0053	1.0771	1.0858
6.	9.5668	66.48	0.97734	0.48188	1.20861	11.0392	1.0232	0.0072	1.1386	0.5076	0.0076	1.0738	1.0849
7.	8.2055	62.45	0.97923	0.48037	1.20890	9.4661	1.0212	0.0098	1.1355	0.5051	0.0104	1.0699	1.0838
8.	7.1853	58.96	0.98143	0.47863	1.20922	8.2868	1.0189	0.0129	1.1320	0.5023	0.0137	1.0654	1.0826
9.	6.3925	55.88	0.98393	0.47665	1.20959	7.3700	1.0163	0.0163	1.1280	0.4991	0.0174	1.0603	1.0812
10.	5.7588	53.12	0.98674	0.47445	1.20999	6.6370	1.0134	0.0202	1.1235	0.4955	0.0215	1.0546	1.0797
11.	5.2408	50.63	0.98986	0.47201	1.21042	6.0377	1.0102	0.0245	1.1186	0.4915	0.0262	1.0483	1.0780
12.	4.8097	48.34	0.99330	0.46934	1.21088	5.5386	1.0067	0.0293	1.1132	0.4872	0.0313	1.0414	1.0761
13.	4.4454	46.24	0.99706	0.46644	1.21137	5.1166	1.0029	0.0345	1.1073	0.4824	0.0369	1.0339	1.0742
14.	4.1336	44.29	1.00116	0.46331	1.21188	4.7552	0.9988	0.0402	1.1010	0.4773	0.0431	1.0258	1.0720
15.	3.8637	42.47	1.00559	0.45995	1.21241	4.4423	0.9944	0.0463	1.0941	0.4717	0.0498	1.0171	1.0698
16.	3.6280	40.77	1.01038	0.45636	1.21296	4.1688	0.9897	0.0529	1.0869	0.4658	0.0571	1.0078	1.0674
17.	3.4203	39.17	1.01551	0.45254	1.21352	3.9277	0.9847	0.0601	1.0791	0.4594	0.0650	0.9979	1.0648
18.	3.2361	37.66	1.02102	0.44850	1.21409	3.7137	0.9794	0.0677	1.0709	0.4527	0.0734	0.9875	1.0622
19.	3.0716	36.22	1.02690	0.44422	1.21466	3.5224	0.9738	0.0759	1.0623	0.4455	0.0825	0.9764	1.0594
20.	2.9238	34.86	1.03317	0.43972	1.21523	3.3505	0.9679	0.0846	1.0531	0.4379	0.0923	0.9648	1.0565
21.	2.7904	33.56	1.03984	0.43500	1.21579	3.1951	0.9617	0.0939	1.0436	0.4299	0.1028	0.9526	1.0535
22.	2.6695	32.32	1.04692	0.43005	1.21634	3.0541	0.9552	0.1037	1.0335	0.4215	0.1141	0.9398	1.0505
23.	2.5593	31.13	1.05443	0.42488	1.21687	2.9256	0.9484	0.1142	1.0230	0.4126	0.1261	0.9264	1.0473
24.	2.4586	29.99	1.06238	0.41949	1.21737	2.8079	0.9413	0.1253	1.0121	0.4033	0.1390	0.9124	1.0440
25.	2.3662	28.89	1.07079	0.41387	1.21784	2.6999	0.9339	0.1371	1.0006	0.3935	0.1528	0.8979	1.0407
26.	2.2812	27.84	1.07967	0.40804	1.21828	2.6003	0.9262	0.1496	0.9888	0.3833	0.1675	0.8829	1.0373
27.	2.2027	26.82	1.08905	0.40200	1.21867	2.5083	0.9182	0.1628	0.9765	0.3726	0.1833	0.8672	1.0339
28.	2.1301	25.83	1.09894	0.39574	1.21900	2.4231	0.9100	0.1767	0.9637	0.3614	0.2001	0.8510	1.0304
29.	2.0627	24.88	1.10937	0.38928	1.21928	2.3438	0.9014	0.1915	0.9505	0.3497	0.2182	0.8343	1.0269
30.	2.0000	23.96	1.12036	0.38260	1.21948	2.2701	0.8926	0.2071	0.9369	0.3376	0.2375	0.8171	1.0234
31.	1.9416	23.06	1.13194	0.37573	1.21962	2.2012	0.8834	0.2236	0.9228	0.3249	0.2582	0.7993	1.0199
32.	1.8871	22.20	1.14412	0.36866	1.21966	2.1368	0.8740	0.2411	0.9083	0.3117	0.2804	0.7810	1.0165
33.	1.8361	21.35	1.15695	0.36139	1.21962	2.0765	0.8643	0.2596	0.8934	0.2980	0.3043	0.7623	1.0130
34.	1.7883	20.53	1.17044	0.35393	1.21947	2.0199	0.8544	0.2792	0.8780	0.2837	0.3299	0.7430	1.0097
35.	1.7434	19.73	1.18464	0.34629	1.21921	1.9666	0.8441	0.2999	0.8623	0.2689	0.3575	0.7233	1.0064
36.	1.7013	18.95	1.19957	0.33847	1.21883	1.9165	0.8336	0.3218	0.8461	0.2535	0.3872	0.7031	1.0032
37.	1.6616	18.20	1.21528	0.33048	1.21833	1.8692	0.8229	0.3450	0.8296	0.2375	0.4194	0.6825	1.0001
38.	1.6243	17.46	1.23180	0.32233	1.21768	1.8245	0.8118	0.3697	0.8126	0.2209	0.4541	0.6615	0.9972
39.	1.5890	16.73	1.24918	0.31402	1.21689	1.7823	0.8005	0.3959	0.7953	0.2036	0.4918	0.6401	0.9945
40.	1.5557	16.03	1.26745	0.30556	1.21594	1.7423	0.7890	0.4237	0.7776	0.1857	0.5327	0.6184	0.9920
41.	1.5243	15.34	1.28668	0.29697	1.21483	1.7044	0.7772	0.4532	0.7595	0.1671	0.5772	0.5964	0.9898
42.	1.4945	14.67	1.30691	0.28824	1.21354	1.6684	0.7652	0.4847	0.7411	0.1478	0.6258	0.5740	0.9879
43.	1.4663	14.02	1.32819	0.27940	1.21206	1.6343	0.7529	0.5183	0.7224	0.1278	0.6790	0.5514	0.9863
44.	1.4396	13.38	1.35059	0.27046	1.21040	1.6018	0.7404	0.5541	0.7033	0.1070	0.7372	0.5286	0.9850
45.	1.4142	12.75	1.37416	0.26142	1.20853	1.5710	0.7277	0.5924	0.6840	0.0854	0.8013	0.5057	0.9842
46.	1.3902	12.14	1.39898	0.25231	1.20645	1.5415	0.7148	0.6334	0.6643	0.0630	0.8719	0.4826	0.9839
47.	1.3673	11.54	1.42511	0.24313	1.20416	1.5135	0.7017	0.6774	0.6444	0.0398	0.9501	0.4595	0.9841
48.	1.3456	10.96	1.45262	0.23390	1.20164	1.4868	0.6884	0.7246	0.6243	0.0156	1.0367	0.4364	0.9849
49.	1.3250	10.40	1.48160	0.22464	1.19890	1.4613	0.6749	0.7754	0.6039	-0.0094	1.1332	0.4133	0.9864
50.	1.3054	9.84	1.51212	0.21536	1.19593	1.4369	0.6613	0.8301	0.5834	-0.0355	1.2409	0.3903	0.9885
θ	Ω_s	A_{min} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$L'_1=L'_3$	L'_2	C'_2	L'_1	L'_2	C'_2	L'_3

注意： ρ

目次

Fc=1 KHz, R=50 として、式(1)で素子値を計算すると、次のようになります。
L1=3.484m, L2=0.735m, L3=8.41m, C1=3.07u
この素子値を回路図に入力して「LtSpice」でシミュレーションすると次の周波数特性が確認できます。





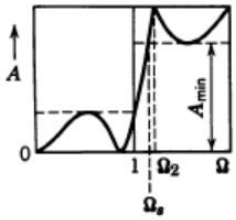
5 次のフィルタの場合は、表の右端から 7 個の数値で素子値を求めます。
7 次のフィルタの場合は、表の右端から 10 個の数値で素子値を求めます。

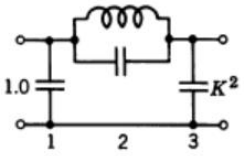
3 次から 7 次までの表の例

3 次楕円関数 リプル 0.0004dB 相当

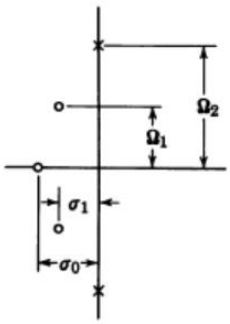
$\rho = 1\%$

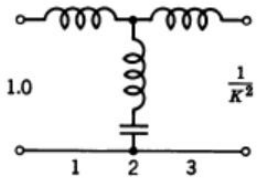
$n = 3$





							$K^2 = 1.0$			$K^2 = \infty$			
0	Ω_s	A_{min} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$C'_1 = C'_3$	C'_2	L'_2	C'_1	C'_2	L'_2	C'_3
C	∞	∞	2.83850	1.41925	2.60631	∞	0.3523	0.0000	0.6446	0.17615	0.00000	0.45559	0.49845
1	57.2987	89.57	2.84045	1.41737	2.60634	66.1616	0.3521	0.0004	0.6441	0.17570	0.00050	0.45498	0.49841
2	28.6537	71.51	2.84634	1.41174	2.60647	33.0839	0.3513	0.0014	0.6427	0.17436	0.00202	0.45312	0.49830
3	19.1073	60.94	2.85622	1.40239	2.60665	22.0595	0.3501	0.0032	0.6403	0.17212	0.00457	0.45002	0.49812
4	14.3356	53.44	2.87016	1.38935	2.60681	16.5483	0.3484	0.0057	0.6369	0.16896	0.00819	0.44568	0.49789
5	11.4737	47.62	2.88828	1.37266	2.60687	13.2424	0.3462	0.0090	0.6326	0.16488	0.01296	0.44010	0.49763
6	9.5668	42.86	2.91074	1.35237	2.60671	11.0392	0.3436	0.0131	0.6273	0.15983	0.01894	0.43329	0.49735
7	8.2055	38.83	2.93771	1.32858	2.60619	9.4661	0.3404	0.0180	0.6210	0.15381	0.02624	0.42426	0.49710
8	7.1853	35.34	2.96944	1.30136	2.60517	8.2868	0.3368	0.0237	0.6138	0.14676	0.03501	0.41599	0.49691
9	6.3925	32.26	3.00620	1.27084	2.60348	7.3700	0.3326	0.0304	0.6057	0.13865	0.04540	0.40552	0.49683
10	5.7588	29.51	3.04832	1.23713	2.60091	6.6370	0.3280	0.0381	0.5966	0.12942	0.05764	0.39384	0.49690
11	5.2408	27.01	3.09616	1.20041	2.59726	6.0377	0.3230	0.0468	0.5865	0.11902	0.07200	0.38099	0.49721
12	4.8097	24.74	3.15015	1.16083	2.59233	5.5386	0.3174	0.0566	0.5755	0.10738	0.08883	0.36690	0.49784
13	4.4454	22.64	3.21080	1.11861	2.58589	5.1166	0.3114	0.0678	0.5637	0.09440	0.10855	0.35190	0.49888
14	4.1336	20.71	3.27865	1.07398	2.57772	4.7552	0.3050	0.0803	0.5509	0.08000	0.13172	0.33575	0.50044
15	3.8637	18.91	3.35433	1.02721	2.56759	4.4423	0.2981	0.0943	0.5373	0.06407	0.15903	0.31863	0.50268
16	3.6280	17.23	3.43854	0.97858	2.55529	4.1688	0.2908	0.1101	0.5228	0.04648	0.19140	0.30063	0.50574
17	3.4203	15.67	3.53204	0.92842	2.54063	3.9277	0.2831	0.1277	0.5076	0.02709	0.22997	0.28187	0.50982
18	3.2361	14.20	3.63569	0.87710	2.52344	3.7137	0.2751	0.1475	0.4916	0.00571	0.27625	0.26247	0.51512
19	3.0716	12.83	3.75038	0.82501	2.50359	3.5224	0.2666	0.1697	0.4749	-0.01781	0.33219	0.24263	0.52191
20	2.9238	11.55	3.87710	0.77255	2.48096	3.3505	0.2579	0.1946	0.4577	-0.04371	0.40032	0.22253	0.53049
21	2.7904	10.36	4.01686	0.72016	2.45553	3.1951	0.2490	0.2227	0.4399	-0.07225	0.48403	0.20237	0.54116
22	2.6695	9.25	4.17071	0.66828	2.42731	3.0541	0.2398	0.2542	0.4217	-0.10368	0.58771	0.18242	0.55432
23	2.5593	8.22	4.33972	0.61737	2.39637	2.9256	0.2304	0.2897	0.4033	-0.13830	0.71715	0.16292	0.57037
24	2.4586	7.27	4.52490	0.56784	2.36285	2.8079	0.2210	0.3298	0.3846	-0.17644	0.88000	0.14413	0.58976
25	2.3662	6.40	4.72726	0.52009	2.32698	2.6999	0.2115	0.3749	0.3659	-0.21848	1.08641	0.12627	0.61299
0	Ω_s	A_{min} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$L'_1 = L'_3$	L'_2	C'_2	L'_1	L'_2	C'_2	L'_3



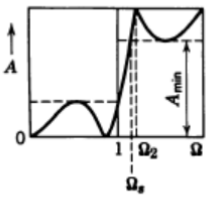


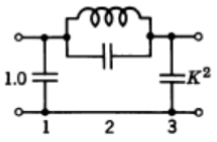
3 次から 7 次までの表の例

3 次楕円関数リプル 0.007dB 相当

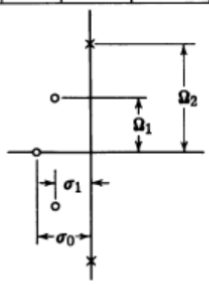
$\rho = 4\%$

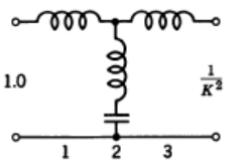
$n = 3$





							$K^2 = 1.0$			$K^2 = \infty$			
θ	Ω_s	A_{MIN} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$C'_1=C'_3$	C'_2	L'_2	C'_1	C'_2	L'_2	C'_3
C	∞	∞	1.70606	0.85303	1.71261	∞	0.5862	0.0000	0.9321	0.29307	0.00000	0.71971	0.75912
1	57.2987	101.62	1.70653	0.85255	1.71260	66.1615	0.5860	0.0002	0.9318	0.29280	0.00032	0.71931	0.75908
2	28.6537	83.55	1.70806	0.85117	1.71270	33.0839	0.5855	0.0010	0.9308	0.29195	0.00127	0.71807	0.75891
3	19.1073	72.98	1.71061	0.84888	1.71285	22.0595	0.5846	0.0022	0.9291	0.29053	0.00287	0.71598	0.75862
4	14.3356	65.48	1.71419	0.84567	1.71306	16.5483	0.5834	0.0039	0.9268	0.28855	0.00512	0.71308	0.75822
5	11.4737	59.66	1.71882	0.84155	1.71332	13.2424	0.5818	0.0062	0.9239	0.28599	0.00804	0.70934	0.75772
6	9.5668	54.90	1.72451	0.83652	1.71361	11.0392	0.5799	0.0089	0.9202	0.28286	0.01164	0.70478	0.75712
7	8.2055	50.88	1.73128	0.83060	1.71391	9.4661	0.5776	0.0122	0.9159	0.27914	0.01596	0.69940	0.75642
8	7.1853	47.39	1.73916	0.82377	1.71423	8.2868	0.5750	0.0160	0.9110	0.27483	0.02101	0.69317	0.75563
9	6.3925	44.31	1.74817	0.81606	1.71452	7.3700	0.5720	0.0203	0.9053	0.26993	0.02683	0.68615	0.75478
10	5.7588	41.55	1.75835	0.80747	1.71478	6.6370	0.5687	0.0253	0.8991	0.26440	0.03347	0.67827	0.75385
11	5.2408	39.05	1.76973	0.79801	1.71499	6.0377	0.5651	0.0307	0.8921	0.25825	0.04147	0.66958	0.75287
12	4.8097	36.77	1.78236	0.78770	1.71510	5.5386	0.5611	0.0369	0.8845	0.25148	0.04939	0.66007	0.75185
13	4.4454	34.67	1.79629	0.77654	1.71511	5.1166	0.5567	0.0436	0.8763	0.24405	0.05879	0.64976	0.75081
14	4.1336	32.72	1.81156	0.76455	1.71497	4.7552	0.5520	0.0510	0.8674	0.23595	0.06925	0.63862	0.74976
15	3.8637	30.91	1.82824	0.75175	1.71467	4.4423	0.5470	0.0591	0.8579	0.22717	0.08086	0.62669	0.74874
16	3.6280	29.20	1.84639	0.73816	1.71416	4.1688	0.5416	0.0679	0.8477	0.21768	0.09372	0.61397	0.74776
17	3.4203	27.60	1.86608	0.72380	1.71340	3.9277	0.5359	0.0775	0.8368	0.20746	0.10796	0.60046	0.74685
18	3.2361	26.09	1.88739	0.70869	1.71237	3.7137	0.5298	0.0878	0.8254	0.19649	0.12369	0.58618	0.74603
19	3.0716	24.66	1.91041	0.69285	1.71103	3.5224	0.5234	0.0991	0.8133	0.18473	0.14111	0.57115	0.74535
20	2.9238	23.31	1.93523	0.67633	1.70933	3.3505	0.5167	0.1113	0.8006	0.17217	0.16039	0.55540	0.74486
21	2.7904	22.01	1.96196	0.65915	1.70725	3.1951	0.5097	0.1244	0.7872	0.15876	0.18176	0.53892	0.74456
22	2.6695	20.78	1.99070	0.64134	1.70473	3.0541	0.5023	0.1386	0.7733	0.14446	0.20548	0.52175	0.74453
23	2.5593	19.60	2.02157	0.62295	1.70174	2.9256	0.4947	0.1540	0.7588	0.12924	0.23184	0.50394	0.74482
24	2.4586	18.48	2.05471	0.60402	1.69824	2.8079	0.4867	0.1705	0.7437	0.11304	0.26123	0.48551	0.74548
25	2.3662	17.40	2.09027	0.58459	1.69419	2.6999	0.4784	0.1884	0.7280	0.09582	0.29408	0.46649	0.74658
26	2.2812	16.36	2.12838	0.56472	1.68955	2.6003	0.4698	0.2078	0.7118	0.09316	0.33087	0.44698	0.74820
27	2.2027	15.36	2.16922	0.54446	1.68429	2.5083	0.4610	0.2287	0.6951	0.05811	0.37224	0.42700	0.75043
28	2.1301	14.41	2.21296	0.52387	1.67838	2.4231	0.4519	0.2513	0.6778	0.03748	0.41889	0.40660	0.75332
29	2.0627	13.49	2.25979	0.50301	1.67178	2.3438	0.4425	0.2757	0.6602	0.01559	0.47170	0.38590	0.75701
30	2.0000	12.61	2.30990	0.48196	1.66447	2.2701	0.4329	0.3023	0.6420	-0.00765	0.53173	0.36495	0.76159
31	1.9416	11.77	2.36350	0.46077	1.65644	2.2012	0.4231	0.3310	0.6235	-0.03233	0.60022	0.34385	0.76719
32	1.8871	10.96	2.42081	0.43953	1.64765	2.1368	0.4131	0.3622	0.6046	-0.05854	0.67868	0.32270	0.77393
33	1.8361	10.19	2.48207	0.41831	1.63812	2.0765	0.4029	0.3962	0.5854	-0.08637	0.76895	0.30161	0.78196
34	1.7883	9.44	2.54749	0.39719	1.62782	2.0199	0.3925	0.4331	0.5659	-0.11593	0.87326	0.28069	0.79143
35	1.7434	8.74	2.61734	0.37626	1.61677	1.9666	0.3821	0.4734	0.5462	-0.14734	0.99435	0.26003	0.80250
36	1.7013	8.06	2.69185	0.35558	1.60499	1.9165	0.3715	0.5173	0.5263	-0.18070	1.13541	0.23980	0.81536
37	1.6616	7.42	2.77127	0.33525	1.59249	1.8692	0.3608	0.5653	0.5063	-0.21617	1.30056	0.22008	0.83019
38	1.6243	6.82	2.85585	0.31533	1.57931	1.8245	0.3502	0.6177	0.4863	-0.25388	1.49458	0.20100	0.84720
39	1.5890	6.25	2.94583	0.29591	1.56548	1.7823	0.3395	0.6751	0.4663	-0.29396	1.72348	0.18266	0.86659
40	1.5557	5.71	3.04147	0.27704	1.55106	1.7423	0.3288	0.7380	0.4464	-0.33657	1.99444	0.16517	0.88856
θ	Ω_s	A_{MIN} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$L'_1=L'_3$	L'_2	C'_2	L'_1	L'_2	C'_2	L'_3



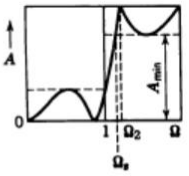


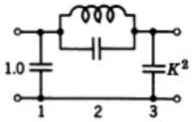
3 次から 7 次までの表の例

3 次楕円関数リプル 0.1dB 相当

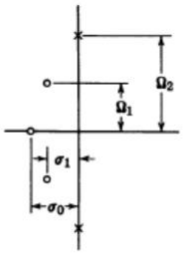
$\rho = 15\%$

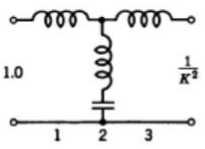
$n = 3$





							$K^2 = 1.0$			$K^2 = \infty$			
θ	Ω_s	A_{min} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$C'_1=C'_3$	C'_2	L'_2	C'_1	C'_2	L'_2	C'_3
1.	57.2967	113.19	0.97227	0.48595	1.20782	66.1616	1.0285	0.0002	1.1468	0.5141	0.0002	1.0843	1.0678
2.	28.6537	95.13	0.97271	0.48560	1.20789	33.0839	1.0281	0.0008	1.1461	0.5136	0.0008	1.0834	1.0675
3.	19.1073	84.56	0.97343	0.48502	1.20800	22.0595	1.0273	0.0018	1.1449	0.5126	0.0019	1.0819	1.0671
4.	14.3356	77.06	0.97444	0.48420	1.20816	16.5483	1.0262	0.0032	1.1433	0.5113	0.0034	1.0798	1.0665
5.	11.4737	71.24	0.97574	0.48316	1.20836	13.2424	1.0249	0.0050	1.1411	0.5096	0.0053	1.0771	1.0658
6.	9.5668	66.48	0.97734	0.48188	1.20861	11.0392	1.0232	0.0072	1.1386	0.5076	0.0076	1.0738	1.0649
7.	8.2055	62.45	0.97923	0.48037	1.20890	9.4661	1.0212	0.0098	1.1355	0.5051	0.0104	1.0699	1.0638
8.	7.1853	58.96	0.98143	0.47863	1.20922	8.2868	1.0189	0.0129	1.1320	0.5023	0.0137	1.0654	1.0626
9.	6.3925	55.88	0.98393	0.47665	1.20959	7.3700	1.0163	0.0163	1.1280	0.4991	0.0174	1.0603	1.0612
10.	5.7588	53.12	0.98674	0.47445	1.20999	6.6370	1.0134	0.0202	1.1235	0.4955	0.0215	1.0546	1.0797
11.	5.2408	50.63	0.98986	0.47201	1.21042	6.0377	1.0102	0.0245	1.1186	0.4915	0.0262	1.0483	1.0780
12.	4.8097	48.34	0.99330	0.46934	1.21088	5.5386	1.0067	0.0293	1.1132	0.4872	0.0313	1.0414	1.0761
13.	4.4454	46.24	0.99706	0.46644	1.21137	5.1166	1.0029	0.0345	1.1073	0.4824	0.0369	1.0339	1.0742
14.	4.1336	44.29	1.00116	0.46331	1.21188	4.7552	0.9988	0.0402	1.1010	0.4773	0.0431	1.0258	1.0720
15.	3.8637	42.47	1.00559	0.45995	1.21241	4.4423	0.9944	0.0463	1.0941	0.4717	0.0498	1.0171	1.0698
16.	3.6280	40.77	1.01038	0.45636	1.21296	4.1688	0.9897	0.0529	1.0869	0.4658	0.0571	1.0078	1.0674
17.	3.4203	39.17	1.01551	0.45254	1.21352	3.9277	0.9847	0.0601	1.0791	0.4594	0.0650	0.9979	1.0648
18.	3.2361	37.66	1.02102	0.44850	1.21409	3.7137	0.9794	0.0677	1.0709	0.4527	0.0734	0.9875	1.0622
19.	3.0716	36.22	1.02690	0.44422	1.21466	3.5224	0.9738	0.0759	1.0623	0.4455	0.0825	0.9764	1.0594
20.	2.9238	34.86	1.03317	0.43972	1.21523	3.3505	0.9679	0.0846	1.0531	0.4379	0.0923	0.9648	1.0565
21.	2.7904	33.56	1.03984	0.43500	1.21579	3.1951	0.9617	0.0939	1.0436	0.4299	0.1028	0.9526	1.0535
22.	2.6695	32.32	1.04692	0.43005	1.21634	3.0541	0.9552	0.1037	1.0335	0.4215	0.1141	0.9398	1.0505
23.	2.5593	31.13	1.05443	0.42488	1.21687	2.9256	0.9484	0.1142	1.0230	0.4126	0.1261	0.9264	1.0473
24.	2.4586	29.99	1.06238	0.41949	1.21737	2.8079	0.9413	0.1253	1.0121	0.4033	0.1390	0.9124	1.0440
25.	2.3662	28.89	1.07079	0.41387	1.21784	2.6999	0.9339	0.1371	1.0006	0.3935	0.1528	0.8979	1.0407
26.	2.2812	27.84	1.07967	0.40804	1.21828	2.6003	0.9262	0.1496	0.9888	0.3833	0.1675	0.8829	1.0373
27.	2.2027	26.82	1.08905	0.40200	1.21867	2.5083	0.9182	0.1628	0.9765	0.3726	0.1833	0.8672	1.0339
28.	2.1301	25.83	1.09894	0.39574	1.21900	2.4231	0.9100	0.1767	0.9637	0.3614	0.2001	0.8510	1.0304
29.	2.0627	24.88	1.10937	0.38928	1.21928	2.3438	0.9014	0.1915	0.9505	0.3497	0.2182	0.8343	1.0269
30.	2.0000	23.96	1.12036	0.38260	1.21948	2.2701	0.8926	0.2071	0.9369	0.3376	0.2375	0.8171	1.0234
31.	1.9416	23.06	1.13194	0.37573	1.21962	2.2012	0.8834	0.2236	0.9228	0.3249	0.2582	0.7993	1.0199
32.	1.8871	22.20	1.14412	0.36866	1.21966	2.1368	0.8740	0.2411	0.9083	0.3117	0.2804	0.7810	1.0165
33.	1.8361	21.35	1.15695	0.36139	1.21962	2.0765	0.8643	0.2596	0.8934	0.2980	0.3043	0.7623	1.0130
34.	1.7883	20.53	1.17044	0.35393	1.21947	2.0199	0.8544	0.2792	0.8780	0.2837	0.3299	0.7430	1.0097
35.	1.7434	19.73	1.18464	0.34629	1.21921	1.9666	0.8441	0.2999	0.8623	0.2689	0.3575	0.7233	1.0064
36.	1.7013	18.95	1.19957	0.33847	1.21883	1.9165	0.8336	0.3218	0.8461	0.2535	0.3872	0.7031	1.0032
37.	1.6616	18.20	1.21528	0.33048	1.21833	1.8692	0.8229	0.3450	0.8296	0.2375	0.4194	0.6825	1.0001
38.	1.6243	17.46	1.23180	0.32233	1.21768	1.8245	0.8118	0.3697	0.8126	0.2209	0.4541	0.6615	0.9972
39.	1.5890	16.73	1.24918	0.31402	1.21689	1.7823	0.8005	0.3959	0.7953	0.2036	0.4918	0.6401	0.9945
40.	1.5557	16.03	1.26745	0.30556	1.21594	1.7423	0.7890	0.4237	0.7776	0.1857	0.5327	0.6184	0.9920
41.	1.5243	15.34	1.28668	0.29697	1.21483	1.7044	0.7772	0.4532	0.7595	0.1671	0.5772	0.5964	0.9898
42.	1.4945	14.67	1.30691	0.28824	1.21354	1.6684	0.7652	0.4847	0.7411	0.1478	0.6258	0.5740	0.9879
43.	1.4663	14.02	1.32819	0.27940	1.21206	1.6343	0.7529	0.5183	0.7224	0.1278	0.6790	0.5514	0.9863
44.	1.4396	13.38	1.35059	0.27046	1.21040	1.6018	0.7404	0.5541	0.7033	0.1070	0.7372	0.5286	0.9850
45.	1.4142	12.75	1.37416	0.26142	1.20853	1.5710	0.7277	0.5924	0.6840	0.0854	0.8013	0.5057	0.9842
46.	1.3902	12.14	1.39898	0.25231	1.20645	1.5415	0.7148	0.6334	0.6643	0.0630	0.8719	0.4826	0.9839
47.	1.3673	11.54	1.42511	0.24313	1.20416	1.5135	0.7017	0.6774	0.6444	0.0398	0.9501	0.4595	0.9841
48.	1.3456	10.96	1.45262	0.23390	1.20164	1.4868	0.6884	0.7246	0.6243	0.0156	1.0367	0.4364	0.9849
49.	1.3250	10.40	1.48160	0.22464	1.19890	1.4613	0.6749	0.7754	0.6039	-0.0094	1.1332	0.4133	0.9864
50.	1.3054	9.84	1.51212	0.21536	1.19593	1.4369	0.6613	0.8301	0.5834	-0.0355	1.2409	0.3903	0.9885
0	Ω_s	A_{min} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	$L'_1=L'_3$	L'_2	C'_2	L'_1	L'_2	C'_2	L'_3



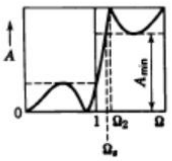


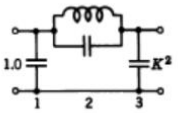
3 次から 7 次までの表の例

3 次楕円関数リプル 0.28dB 相当

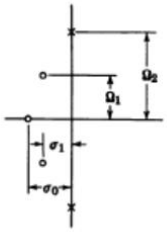
$\rho = 25\%$

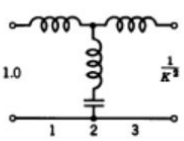
$n = 3$





							$K^2 = 1.0$			$K^2 = \infty$			
θ	Ω_s	A_{MIN} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	C'_1=C'_3	C'_2	L'_2	C'_1	C'_2	L'_2	C'_3
1	57.2987	117.81	0.74343	0.37160	1.07910	66.1616	1.3451	0.0002	1.1412	0.6725	0.0002	1.2347	1.2432
2	28.6537	99.74	0.74369	0.37140	1.07916	33.0839	1.3446	0.0008	1.1406	0.6720	0.0007	1.2339	1.2429
3	19.1073	89.18	0.74413	0.37107	1.07926	22.0595	1.3438	0.0018	1.1396	0.6712	0.0017	1.2325	1.2425
4	14.3356	81.67	0.74475	0.37060	1.07941	16.5483	1.3427	0.0032	1.1382	0.6700	0.0030	1.2307	1.2418
5	11.4737	75.85	0.74554	0.37000	1.07959	13.2424	1.3413	0.0050	1.1364	0.6685	0.0046	1.2282	1.2410
6	9.5668	71.10	0.74651	0.36927	1.07981	11.0392	1.3396	0.0072	1.1342	0.6667	0.0067	1.2253	1.2399
7	8.2055	67.07	0.74767	0.36840	1.08007	9.4661	1.3375	0.0099	1.1316	0.6646	0.0091	1.2218	1.2387
8	7.1853	63.58	0.74900	0.36740	1.08037	8.2868	1.3351	0.0129	1.1286	0.6621	0.0120	1.2178	1.2373
9	6.3925	60.50	0.75052	0.36626	1.08071	7.3700	1.3324	0.0164	1.1252	0.6593	0.0152	1.2132	1.2357
10	5.7588	57.74	0.75223	0.36499	1.08109	6.6370	1.3294	0.0202	1.1214	0.6562	0.0188	1.2091	1.2339
11	5.2408	55.24	0.75412	0.36359	1.08150	6.0377	1.3260	0.0246	1.1172	0.6527	0.0228	1.2025	1.2319
12	4.8097	52.96	0.75620	0.36205	1.08195	5.5386	1.3224	0.0293	1.1126	0.6489	0.0272	1.1963	1.2298
13	4.4454	50.86	0.75848	0.36038	1.08243	5.1166	1.3184	0.0345	1.1076	0.6447	0.0321	1.1896	1.2275
14	4.1336	48.91	0.76095	0.35858	1.08294	4.7552	1.3141	0.0401	1.1022	0.6402	0.0374	1.1824	1.2250
15	3.8637	47.09	0.76362	0.35664	1.08348	4.4423	1.3095	0.0462	1.0964	0.6354	0.0431	1.1746	1.2223
16	3.6280	45.39	0.76650	0.35456	1.08406	4.1688	1.3046	0.0528	1.0902	0.6303	0.0493	1.1663	1.2195
17	3.4203	43.79	0.76958	0.35235	1.08466	3.9277	1.2994	0.0598	1.0836	0.6248	0.0560	1.1575	1.2165
18	3.2361	42.28	0.77288	0.35000	1.08528	3.7137	1.2938	0.0673	1.0767	0.6189	0.0632	1.1482	1.2133
19	3.0716	40.84	0.77640	0.34752	1.08593	3.5224	1.2880	0.0754	1.0693	0.6127	0.0708	1.1383	1.2099
20	2.9238	39.48	0.78014	0.34490	1.08660	3.3505	1.2818	0.0839	1.0615	0.6062	0.0790	1.1279	1.2064
21	2.7904	38.18	0.78410	0.34215	1.08730	3.1951	1.2753	0.0930	1.0534	0.5993	0.0877	1.1169	1.2028
22	2.6695	36.94	0.78830	0.33926	1.08800	3.0541	1.2685	0.1026	1.0448	0.5920	0.0970	1.1055	1.1989
23	2.5593	35.75	0.79275	0.33624	1.08873	2.9256	1.2614	0.1128	1.0359	0.5844	0.1068	1.0935	1.1950
24	2.4586	34.61	0.79744	0.33308	1.08947	2.8079	1.2540	0.1236	1.0265	0.5764	0.1173	1.0810	1.1908
25	2.3662	33.51	0.80238	0.32979	1.09021	2.6999	1.2463	0.1349	1.0168	0.5681	0.1285	1.0680	1.1866
26	2.2812	32.45	0.80759	0.32635	1.09097	2.6003	1.2382	0.1469	1.0067	0.5594	0.1403	1.0544	1.1822
27	2.2027	31.43	0.81307	0.32279	1.09172	2.5083	1.2299	0.1595	0.9962	0.5503	0.1528	1.0404	1.1777
28	2.1301	30.44	0.81884	0.31909	1.09248	2.4231	1.2212	0.1729	0.9853	0.5409	0.1660	1.0258	1.1730
29	2.0627	29.49	0.82489	0.31525	1.09324	2.3438	1.2123	0.1869	0.9741	0.5311	0.1801	1.0108	1.1683
30	2.0000	28.57	0.83124	0.31128	1.09399	2.2701	1.2030	0.2016	0.9624	0.5209	0.1950	0.9952	1.1634
31	1.9416	27.67	0.83791	0.30717	1.09473	2.2012	1.1934	0.2172	0.9504	0.5103	0.2108	0.9792	1.1584
32	1.8871	26.80	0.84490	0.30293	1.09546	2.1368	1.1836	0.2335	0.9380	0.4993	0.2275	0.9626	1.1533
33	1.8361	25.95	0.85223	0.29855	1.09617	2.0765	1.1734	0.2507	0.9252	0.4879	0.2453	0.9456	1.1481
34	1.7883	25.12	0.85991	0.29405	1.09686	2.0199	1.1629	0.2687	0.9121	0.4761	0.2641	0.9281	1.1429
35	1.7434	24.32	0.86795	0.28941	1.09752	1.9666	1.1521	0.2878	0.8986	0.4639	0.2841	0.9101	1.1376
36	1.7013	23.54	0.87637	0.28464	1.09816	1.9165	1.1411	0.3078	0.8847	0.4512	0.3054	0.8916	1.1322
37	1.6616	22.77	0.88519	0.27974	1.09878	1.8692	1.1297	0.3288	0.8704	0.4382	0.3280	0.8727	1.1267
38	1.6243	22.02	0.89442	0.27471	1.09932	1.8245	1.1180	0.3510	0.8558	0.4247	0.3520	0.8533	1.1213
39	1.5890	21.29	0.90409	0.26956	1.09984	1.7823	1.1061	0.3744	0.8409	0.4107	0.3777	0.8336	1.1158
40	1.5557	20.58	0.91421	0.26428	1.10031	1.7423	1.0938	0.3990	0.8255	0.3963	0.4050	0.8133	1.1103
41	1.5243	19.88	0.92480	0.25887	1.10072	1.7044	1.0813	0.4251	0.8099	0.3815	0.4343	0.7927	1.1048
42	1.4945	19.19	0.93589	0.25335	1.10107	1.6684	1.0685	0.4525	0.7939	0.3661	0.4656	0.7716	1.0993
43	1.4663	18.52	0.94750	0.24771	1.10136	1.6343	1.0554	0.4815	0.7775	0.3503	0.4991	0.7502	1.0938
44	1.4396	17.86	0.95966	0.24195	1.10158	1.6018	1.0420	0.5122	0.7608	0.3340	0.5351	0.7284	1.0884
45	1.4142	17.22	0.97240	0.23608	1.10173	1.5710	1.0284	0.5447	0.7438	0.3172	0.5737	0.7062	1.0831
46	1.3902	16.58	0.98574	0.23010	1.10179	1.5415	1.0145	0.5792	0.7265	0.2998	0.6154	0.6838	1.0779
47	1.3673	15.96	0.99972	0.22402	1.10176	1.5135	1.0003	0.6158	0.7089	0.2819	0.6604	0.6610	1.0728
48	1.3456	15.35	1.01436	0.21784	1.10164	1.4868	0.9858	0.6547	0.6910	0.2635	0.7091	0.6379	1.0678
49	1.3250	14.75	1.02972	0.21157	1.10142	1.4613	0.9711	0.6961	0.6728	0.2445	0.7620	0.6146	1.0631
50	1.3054	14.16	1.04583	0.20520	1.10109	1.4369	0.9562	0.7402	0.6543	0.2248	0.8194	0.5910	1.0585
51	1.2868	13.58	1.06272	0.19875	1.10065	1.4137	0.9410	0.7873	0.6355	0.2046	0.8820	0.5673	1.0541
52	1.2690	13.01	1.08045	0.19223	1.10009	1.3914	0.9255	0.8378	0.6165	0.1837	0.9505	0.5434	1.0501
53	1.2521	12.45	1.09906	0.18563	1.09941	1.3702	0.9099	0.8918	0.5973	0.1622	1.0255	0.5194	1.0463
54	1.2361	11.90	1.11860	0.17897	1.09860	1.3498	0.8940	0.9498	0.5778	0.1400	1.1080	0.4953	1.0429
55	1.2208	11.37	1.13914	0.17226	1.09766	1.3303	0.8779	1.0123	0.5582	0.1171	1.1991	0.4712	1.0398
56	1.2062	10.84	1.16072	0.16551	1.09657	1.3117	0.8615	1.0797	0.5383	0.0935	1.2999	0.4471	1.0372
57	1.1924	10.32	1.18341	0.15872	1.09534	1.2938	0.8450	1.1526	0.5183	0.0690	1.4119	0.4231	1.0351
58	1.1792	9.81	1.20728	0.15190	1.09395	1.2767	0.8283	1.2316	0.4981	0.0438	1.5367	0.3992	1.0335
59	1.1666	9.31	1.23239	0.14508	1.09242	1.2603	0.8114	1.3175	0.4779	0.0178	1.6765	0.3755	1.0326
60	1.1547	8.83	1.25884	0.13825	1.09073	1.2446	0.7944	1.4111	0.4575	0.0091	1.8337	0.3521	1.0323
θ	Ω_s	A_{MIN} (db)	σ_0	σ_1	Ω_1	Ω_2	L'_1=L'_3	L'_2	C'_2	L'_1	L'_2	C'_2	L'_3





3 次楕円関数リプル 0.1dB 相当

3 次から 7 次までの表の例

4 次楕円関数リプル 0.043dB 相当

n = 4

ρ = 10%

θ	Ω_S	A_{MIN}	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	K^2=0.8182 C_1	C_2	L_2	C_3	L_4	K^2=∞ C_1	C_2	L_2	C_3	L_4
C	∞	∞	-0.3138480	0.7576961	1.1948459	∞	0.4949214	0.9332	0.000000	1.797	1.580	0.7636	0.46862	0.000000	1.08381	1.34325	1.17766
11.0	5.664999	76.20	-0.3073267	-0.7618501	1.1937989	6.215646	0.5029786	0.9151	0.07067	1.266	1.566	0.7652	0.44340	0.02469	1.04820	1.33515	1.18457
12.0	5.197666	73.16	-0.3060851	-0.7626421	1.1935957	5.701423	0.5045257	0.9116	0.07243	1.259	1.563	0.7656	0.43895	0.02954	1.04143	1.33365	1.18588
13.0	4.802620	70.37	-0.3047348	-0.7635040	1.1933732	5.266618	0.5062131	0.9079	0.07395	1.254	1.560	0.7659	0.43408	0.03486	1.03406	1.33204	1.18732
14.0	4.464371	67.78	-0.3032756	-0.7644359	1.1931311	4.894214	0.5080421	0.9038	0.07517	1.247	1.557	0.7663	0.42881	0.04069	1.02611	1.33031	1.18887
15.0	4.171563	65.37	-0.3017073	-0.7654381	1.1928689	4.571732	0.5100144	0.8996	0.07656	1.241	1.554	0.7667	0.42313	0.04702	1.01756	1.32848	1.19053
16.0	3.915678	63.11	-0.3000298	-0.7665109	1.1925861	4.289813	0.5121317	0.8948	0.07805	1.234	1.550	0.7671	0.41702	0.05389	1.00842	1.32655	1.19231
17.0	3.690200	60.99	-0.2982429	-0.7676546	1.1922821	4.041300	0.5143958	0.8898	0.07991	1.227	1.547	0.7676	0.41049	0.06131	0.99889	1.32453	1.19422
18.0	3.490065	58.98	-0.2963442	-0.7688696	1.1919564	3.820626	0.5168087	0.8845	0.08205	1.218	1.543	0.7681	0.40353	0.06931	0.98836	1.32241	1.19623
19.0	3.311272	57.09	-0.2943597	-0.7701563	1.1916083	3.623399	0.5193726	0.8789	0.08298	1.209	1.539	0.7686	0.39612	0.07793	0.97744	1.32022	1.19837
20.0	3.150622	55.28	-0.2922231	-0.7715150	1.1912371	3.446101	0.5220898	0.8730	0.07015	1.200	1.534	0.7692	0.38827	0.08718	0.96593	1.31794	1.20062
21.0	3.005526	53.57	-0.2899962	-0.7729463	1.1908420	3.285888	0.5249626	0.8668	0.07776	1.191	1.530	0.7697	0.37996	0.09710	0.95382	1.31540	1.20299
22.0	2.873864	51.93	-0.2876586	-0.7744507	1.1904222	3.140431	0.5279936	0.8603	0.08585	1.181	1.525	0.7703	0.37119	0.10774	0.94113	1.31321	1.20547
23.0	2.753885	50.36	-0.2852103	-0.7760287	1.1899769	3.007807	0.5311857	0.8536	0.09441	1.171	1.520	0.7710	0.36194	0.11913	0.92784	1.31076	1.20807
24.0	2.644133	48.86	-0.2824509	-0.7776820	1.1894050	2.886413	0.5344514	0.8462	0.10395	1.160	1.515	0.7715	0.35220	0.13133	0.91396	1.30828	1.21079
25.0	2.543380	47.41	-0.2799803	-0.7794080	1.1890055	2.774903	0.5380647	0.8388	0.11331	1.149	1.509	0.7723	0.34196	0.14438	0.89949	1.30578	1.21362
26.0	2.450592	46.02	-0.2771983	-0.7812106	1.1884773	2.672139	0.5417580	0.8310	0.12232	1.137	1.503	0.7730	0.33121	0.15835	0.88443	1.30326	1.21656
27.0	2.364885	44.68	-0.2743045	-0.7830896	1.1879192	2.577149	0.5456250	0.8228	0.13139	1.125	1.498	0.7738	0.31993	0.17331	0.86878	1.30075	1.21961
28.0	2.285502	43.39	-0.2712989	-0.7850457	1.1873299	2.489103	0.5496694	0.8141	0.13951	1.113	1.493	0.7745	0.30811	0.18932	0.85255	1.29825	1.22277
29.0	2.211792	42.14	-0.2681812	-0.7870739	1.1867081	2.407410	0.5538951	0.8053	0.14685	1.101	1.487	0.7753	0.29572	0.20604	0.83573	1.29579	1.22604
30.0	2.143189	40.93	-0.2649513	-0.7891933	1.1860522	2.331070	0.5583061	0.7965	0.15195	1.089	1.479	0.7762	0.28275	0.22488	0.81834	1.29339	1.22941
31.0	2.079202	39.76	-0.2616091	-0.7913868	1.1853607	2.259921	0.5629067	0.7871	0.15728	1.077	1.472	0.7770	0.26917	0.24464	0.80038	1.29106	1.23287
32.0	2.019309	38.62	-0.2581564	-0.7936617	1.1846318	2.193363	0.5677015	0.7773	0.16169	1.065	1.465	0.7779	0.25497	0.26586	0.78184	1.28884	1.23642
33.0	1.963403	37.52	-0.2545873	-0.7960193	1.1838637	2.130982	0.5726952	0.7672	0.16533	1.052	1.457	0.7788	0.24031	0.28871	0.76274	1.28674	1.24007
34.0	1.910879	36.44	-0.2509027	-0.7984609	1.1830544	2.072410	0.5778928	0.7568	0.16824	1.039	1.451	0.7797	0.22458	0.31333	0.74309	1.28479	1.24379
35.0	1.861534	35.40	-0.2471156	-0.8009882	1.1822018	2.017322	0.5832997	0.7460	0.17051	1.025	1.443	0.7806	0.20833	0.33992	0.72289	1.28304	1.24757
36.0	1.815103	34.38	-0.2432112	-0.8036029	1.1813038	1.965429	0.5889214	0.7349	0.17203	1.011	1.436	0.7816	0.19133	0.36868	0.70215	1.28151	1.25142
37.0	1.771354	33.38	-0.2391947	-0.8063067	1.1803578	1.916475	0.5947639	0.7236	0.17285	0.9976	1.428	0.7826	0.17354	0.39987	0.68089	1.28025	1.25532
38.0	1.730076	32.41	-0.2350662	-0.8091018	1.1793614	1.870229	0.6008332	0.7114	0.17297	0.9801	1.420	0.7836	0.15492	0.43376	0.65912	1.27929	1.25925
39.0	1.691083	31.47	-0.2308262	-0.8119904	1.1783117	1.827045	0.6071358	0.6995	0.17250	0.9627	1.412	0.7846	0.13543	0.47909	0.63685	1.27870	1.26320
40.0	1.654204	30.54	-0.2264751	-0.8149750	1.1772059	1.785057	0.6136788	0.6869	0.17196	0.9466	1.403	0.7856	0.11500	0.51104	0.61411	1.27852	1.26715
41.0	1.619289	29.64	-0.2220136	-0.8180582	1.1760409	1.745777	0.6204691	0.6760	0.1623	0.9081	1.395	0.7867	0.09357	0.55527	0.59091	1.27883	1.27108
42.0	1.586200	28.75	-0.2174424	-0.8212431	1.1748133	1.708493	0.6275145	0.6607	0.1550	0.8873	1.386	0.7877	0.07109	0.60391	0.56728	1.27969	1.27497
43.0	1.554811	27.88	-0.2127623	-0.8245329	1.1735197	1.673069	0.6348229	0.6431	0.1463	0.8676	1.377	0.7888	0.04747	0.65760	0.54326	1.28119	1.27878
44.0	1.525009	27.03	-0.2079747	-0.8279313	1.1721562	1.639380	0.6424027	0.6230	0.1359	0.8461	1.368	0.7900	0.02262	0.71710	0.51887	1.28341	1.28249
45.0	1.496692	26.20	-0.2030807	-0.8314423	1.1701189	1.607311	0.6502627	0.6026	0.1238	0.8215	1.359	0.7909	-0.00356	0.78332	0.49415	1.28647	1.28606
46.0	1.469765	25.38	-0.1980819	-0.8350702	1.1692036	1.576760	0.6584122	0.5810	0.1495	0.7966	1.350	0.7919	-0.03117	0.85735	0.46915	1.29050	1.28945
47.0	1.444147	24.57	-0.1929803	-0.8388201	1.1676040	1.546810	0.6668610	0.5586	0.1351	0.7857	1.341	0.7930	-0.05035	0.94052	0.44391	1.29562	1.29262
48.0	1.419745	23.78	-0.1877780	-0.8426971	1.1659212	1.519839	0.6756193	0.5350	0.1566	0.7662	1.331	0.7960	-0.09125	1.03447	0.41849	1.30200	1.29550
49.0	1.396501	23.01	-0.1826776	-0.8467075	1.1641944	1.493303	0.6846979	0.5100	0.1763	0.7423	1.322	0.7990	-0.12404	1.14119	0.39296	1.30984	1.29805
50.0	1.374345	22.24	-0.1770820	-0.8508576	1.1622703	1.467949	0.6941081	0.4806	0.1944	0.7139	1.312	0.7999	-0.15892	1.26319	0.36737	1.31034	1.30019
51.0	1.353215	21.49	-0.1715947	-0.8551549	1.1602937	1.443712	0.7038617	0.4438	0.2150	0.6780	1.303	0.7969	-0.19613	1.40359	0.34182	1.33077	1.30186
52.0	1.333055	20.75	-0.1660197	-0.8596076	1.1582088	1.420528	0.7139710	0.4066	0.2396	0.6396	1.293	0.7977	-0.23595	1.56632	0.31639	1.34443	1.30298
53.0	1.313814	20.03	-0.1603615	-0.8642245	1.1560098	1.398341	0.7244491	0.3688	0.2655	0.5981	1.283	0.7985	-0.27872	1.75644	0.29117	1.36068	1.30345
54.0	1.295444	19.31	-0.1546252	-0.8690156	1.1536907	1.377098	0.7353095	0.3307	0.2906	0.5538	1.273	0.7991	-0.32482	1.98044	0.26626	1.37994	1.30319
55.0	1.277901	18.60	-0.1488168	-0.8739921	1.1512453	1.356750	0.7465662	0.2871	0.3091	0.5036	1.263	0.7999	-0.37473	2.24679	0.24179	1.40273	1.30209
56.0	1.261143	17.91	-0.1429430	-0.8791660	1.1486675	1.337251	0.7582340	0.2331	0.3251	0.4451	1.253	0.8005	-0.42904	2.56672	0.21787	1.42968	1.30004
57.0	1.245134	17.22	-0.1370115	-0.8845511	1.1459508	1.318559	0.7703278	0.1716	0.3336	0.3751	1.244	0.8009	-0.48846	2.95523	0.19463	1.46154	1.29694
58.0	1.229837	16.55	-0.1310308	-0.8901622	1.1430892	1.300636	0.7828635	0.0937	0.3316	0.2931	1.236	0.8012	-0.55388	3.43273	0.17221	1.49925	1.28982
59.0	1.215222	15.88	-0.1250104	-0.8960159	1.1400764	1.283446	0.7958571	0.0133	0.3193	0.2000	1.228	0.8013	-0.62641	4.02744	0.15074	1.54399	1.28707
60.0	1.201256	15.22	-0.1189613	-0.9021304	1.1369067	1.266954	0.8093252	0.0525	0.3195	0.1809	1.219	0.8013	-0.70748	4.77911	0.13036	1.59725	1.28007
θ	Ω_S	A_{MIN}	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	L_1	L_2	C_2	L_3	C_4	L_1	L_2	C_2	L_3	C_4

4 次楕円関数リプル 0.1dB 相当

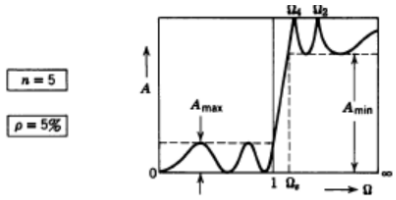
n = 4

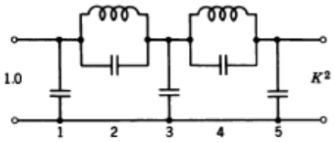
ρ = 15%

θ	Ω_S	A_{MIN}	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	K^2=0.7391 C_1	C_2	L_2	C_3	L_4	K^2=∞ C_1	C_2	L_2	C_3	L_4
C	∞	∞	-0.2648393	-0.6393787	1.1235473	∞	0.4653885	1.106	0.000000	1.106	1.167	0.8174	0.55296	0.000000	1.19778	1.45588	1.24446
11.0	5.664999	79.77	-0.2601411	-0.6425506	1.1231569	6.215646	0.4715308	1.088	0.07021	1.781	1.753	0.8188	0.53201	0.02222	1.16475	1.44672	1.24980
12.0	5.197666	76.74	-0.2592458	-0.6431558	1.1230803	5.701423	0.4727092	1.086	0.07211	1.776	1.750	0.8191	0.52800	0.02656	1.15846	1.44500	1.25081
13.0	4.802620	73.95	-0.2582719	-0.6438144	1.1229963	5.266618	0.4739941	1.085	0.07397	1.771	1.747	0.8195	0.52363	0.03131	1.15163	1.44315	1.25192
14.0	4.464371	71.36	-0.2572191	-0.6445267	1.1229044	4.894214	0.4753865	1.077	0.07330	1.766	1.744	0.8197	0.51890	0.03648	1.14426	1.44116	1.25312
15.0	4.171563	68.94	-0.2560873	-0.6452929	1.1228046	4.571732	0.4768874	1.072	0.07801	1.759	1.740	0.8200	0.51380	0.04210	1.13633	1.43903	1.25440
16.0	3.915678	66.69	-0.2548762	-0.6461132	1.1226964	4.289813	0.4784982	1.068	0.08139	1.752	1.737	0.8204	0.50833	0.04818	1.12786	1.43678	1.25578
17.0	3.690200	64.56	-0.2535855	-0.6469880	1.1225797	4.041300	0.4802200	1.061	0.08416	1.745	1.733	0.8207	0.50249	0.05473	1.11884	1.43439	1.25725
18.0	3.490065	62.56	-0.2522151	-0.6479175	1.1224540	3.820626	0.4820825	1.057	0.08533	1.739	1.729	0.8211	0.49627	0.06176	1.10927	1.43189	1.25881
19.0	3.311272	60.66	-0.2507662	-0.6489021	1.1223190	3.623394	0.4840025	1.049	0.08581	1.730	1.724	0.8214	0.48967	0.06930	1.09915	1.42926	1.26046
20.0	3.150622	58.86	-0.2492338	-0.6499421	1.1221744	3.446101	0.4860664	1.046	0.08790	1.727	1.720	0.8220	0.48268	0.07736	1.08849	1.42653	1.26220
21.0	3.005526	57.14	-0.2476224	-0.6510379	1.1220197	3.285888	0.4882475	1.040	0.09031	1.723	1.715	0.8225	0.47531	0.08597	1.07727	1.42368	1.26403
22.0	2.873864	55.51	-0.2459300	-0.6521899	1.1218543	3.140431	0.4905476	1.031	0.08919	1.716	1.710	0.8230	0.46753	0.09516	1.06551	1.42073	1.26595
23.0	2.753885	53.94	-0.2441563	-0.6533986	1.1216780	3.007807	0.4929688	1.026	0.09901	1.709	1.704	0.8235	0.45935	0.10495	1.05320	1.41768	1.26796
24.0	2.644133	52.43	-0.2423011	-0.6546644	1.1214900	2.886413	0.4955130	1.018	0.10311	1.698	1.695	0.8240	0.45076	0.11537	1.04034	1.41454	1.27006
25.0	2.543380	50.99	-0.2403639	-0.6559879	1.1212899	2.774903	0.4981824	1.012	0.11306	1.689	1.685	0.8246	0.44175	0.12646	1.02693	1.41132	1.27225
26.0	2.450592	49.60	-0.2383444	-0.6573696	1.1210770	2.672139	0.5009794	1.004	0.11203	1.676	1.687	0.8252	0.43232	0.13826	1.01297	1.40802	1.27453
27.0	2.364885	48.26	-0.2362923	-0.6588102	1.1208607	2.577149	0.5039063	0.9961	0.11061	1.670	1.681	0.8258	0.42245	0.15079	0.99667	1.40465	1.27690
28.0	2.285502	46.97	-0.2340572	-0.6603101	1.1206101	2.489103	0.5069656	0.9877	0.11111	1.661	1.676	0.8264	0.41214	0.16412	0.98343	1.40123	1.27935
29.0	2.211792	45.72	-0.2317887	-0.6618702	1.1203547	2.407283	0.5101602	0.9790	0.11258	1.653	1.668	0.8271	0.40137	0.17830	0.96784	1.39775	1.28190
30.0	2.143189	44.51	-0.2294364	-0.6634911	1.1200835	2.331070	0.5134928	0.9700	0.11468	1.644	1.661	0.8278	0.39014	0.19337	0.95170	1.39424	1.28452
31.0	2.079202	43.33	-0.2270000	-0.6651738	1.1197956	2.259921	0.5169665	0.9607	0.11715	1.636	1.654	0.8286	0.37843	0.20941	0.93503	1.39070	1.28723
32.0	2.019309	42.20	-0.2244791	-0.6669189	1.1194902	2.193363	0.5205845	0.9510	0.11905	1.627	1.646	0.8293	0.36623	0.22648	0.91782	1.38715	1.29002
33.0	1.963403	41.09	-0.2218733	-0.6687275	1.1191661	2.130982	0.5243501	0.9410	0.12065	1.617	1.639	0.8299	0.35352	0.24466	0.90007	1.38360	1.29288
34.0	1.910879	40.02	-0.2191822	-0.6706005	1.1188223	2.072410	0.5282868	0.9307	0.12191	1.608	1.631	0.8307	0.34029	0.26405	0.88179	1.38007	1.29582
35.0	1.861534	38.97	-0.2164055	-0.6725390	1.1184576	2.017322	0.5323384	0.9201	0.12366	1.598	1.623	0.8315	0.32653	0.28474	0.86299	1.37657	1.29883
36.0	1.815103	37.95	-0.2135429	-0.6745441	1.1180707	1.965429	0.5365688	0.9092	0.12505	1.588	1.615	0.8323	0.31221	0.30685	0.84366	1.37313	1.30190
37.0	1.771354	36.96	-0.2105939	-0.6766172	1.1176604	1.916475	0.5409621	0.8979	0.12675	1.578	1.607	0.8331	0.29731	0.33050	0.82381	1.36976	1.30504
38.0	1.730076	35.99	-0.2075583	-0.6787750	1.1172251	1.870229	0.5454227	0.8862	0.12812	1.567	1.598	0.8339	0.28181	0.35636	0.80345	1.36649	1.30822
39.0	1.691083	35.04	-0.2044357	-0.6809726	1.1167632	1.826485	0.5502552	0.8742	0.12930	1.556	1.589	0.8348	0.26569	0.38303	0.78258	1.36334	1.31145
40.0	1.654204	34.12	-0.2012260	-0.6832580	1.1162783	1.785057	0.5551645	0.8619	0.13237	0.9695	1.580	0.8357	0.24892	0.41227	0.76123	1.36034	1.31472
41.0	1.619289	33.21	-0.1979288	-0.6856174	1.1157534	1.745777	0.5602555	0.8493	0.11165	0.9525	1.571	0.8365	0.23146	0.44377	0.73938	1.35753	1.31802
42.0	1.586200	32.32	-0.1945440	-0.6880527	1.1152017	1.708493	0.5655338	0.8363	0.11666	0.9353	1.562	0.8376	0.21329	0.47777	0.71706	1.35493	1.32133
43.0	1.554811	31.45	-0.1910715	-0.6905660	1.1146161	1.673069	0.5710050	0.8229	0.12089	0.9172	1.553	0.8386	0.19437	0.49629	0.69429	1.35258	1.32464
44.0	1.525009	30.60	-0.1875112	-0.6931594	1.1139945	1.639380	0.5766751	0.8089	0.12439	0.8990	1.543	0.8393	0.17466	0.55447	0.67106	1.35054	1.32795
45.0	1.496692	29.77	-0.1838630	-0.6958355	1.1133346	1.607311	0.5825504	0.7951	0.12797	0.8803	1.533	0.8402	0.15412	0.59789	0.64741	1.34884	1.33122
46.0	1.469765	28.95	-0.1801272	-0.6985967	1.1126338	1.576760	0.5886375	0.7806	0.13170	0.8611	1.521	0.8411	0.13268	0.64525	0.62336	1.34754	1.33444
47.0	1.444142	28.14	-0.1763038	-0.7014461	1.1118896	1.547632	0.5949437	0.7658	0.13559	0.8418	1.512	0.8421	0.11030	0.69710	0.59892	1.34670	1.33759
48.0	1.419745	27.35	-0.1723931	-0.7043867	1.1110991	1.519839	0.6014762	0.7506	0.13967	0.8220	1.502	0.8430	0.08692	0.75405	0.57412	1.34639	1.34065
49.0	1.396501	26.57	-0.1683957	-0.7074225	1.1102579	1.493303	0.6082429	0.7350	0.14393	0.8018	1.492	0.8439	0.06246	0.81683	0.54900	1.34669	1.34357
50.0	1.374345	25.81	-0.1643121	-0.7105561	1.1093669	1.467949	0.6152522	0.7191	0.14861	0.7812	1.481	0.8448	0.03684	0.88631	0.52359	1.34768	1.34634
51.0	1.353215	25.08	-0.1601430	-0.7137928	1.1084186	1.443712	0.6225128	0.7027	0.15331	0.7602	1.470	0.8457	0.00996	0.96356	0.49792	1.34947	1.34891
52.0	1.333055	24.31	-0.1558896	-0.7171369	1.1074108	1.420528	0.6300340	0.6859	0.15807	0.7388	1.459	0.8466	-0.01828	1.04982	0.47205	1.35217	1.35125
53.0	1.313814	23.58	-0.1515528	-0.7205935	1.1063396	1.398341	0.6378256	0.6688	0.16291	0.7171	1.448	0.8475	-0.04797	1.14664	0.44601	1.35591	1.35329
54.0	1.295444	22.86	-0.1471343	-0.7241682	1.1052009	1.377098	0.6458981	0.6512	0.16787	0.6953	1.437	0.8483	-0.07928	1.25859	0.41987	1.36085	1.35501
55.0	1.277901	22.15	-0.1426355	-0.7278671	1.1039904	1.356750	0.6542623	0.6332	0.17295	0.6729	1.426	0.8491	-0.11236	1.37989	0.39369	1.36714	1.35632
56.0	1.261143	21.44	-0.1380597	-0.7316972	1.1027037	1.337251	0.6629299	0.6118	0.17805	0.6499	1.414	0.8498	-0.14740	1.52149	0.36754	1.37501	1.35717
57.0	1.245134	20.75	-0.1334082	-0.7356661	1.1013358	1.318559	0.6719132	0.5869	0.18329	0.6259	1.403	0.8505	-0.18460	1.68428	0.34170	1.38469	1.35769
58.0	1.229837	20.07	-0.1286845	-0.7397822	1.0998819	1.300636	0.6812251	0.5597	0.18866	0.5996	1.391	0.8513	-0.22423	1.87280	0.31564	1.39644	1.35720
59.0	1.215222	19.39	-0.1238921	-0.7440550	1.0983366	1.283446	0.6908796	0.5309	0.19417	0.5700	1.380	0.8516	-0.26657	2.09283	0.29098	1.41061	1.35620
60.0	1.201256	18.72	-0.1190352	-0.7484947	1.0966947	1.266954	0.7008906	0.5167	0.1720	0.5401	1.368	0.8520	-0.31199	2.35181	0.26490	1.42757	1.35442
θ	Ω_S	A_{MIN}	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	L_1	L_2	C_2	L_3	C_4	L_1	L_2	C_2	L_3	C_4

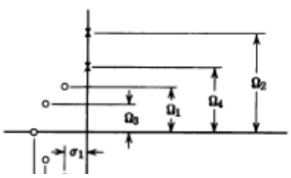
3 次から 7 次までの表の例

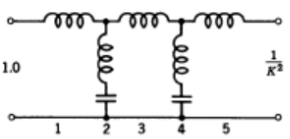
5 次楕円関数リプル 0.01dB 相当





									$K^2=1.0$							$K^2=\infty$						
θ	Ω_K	A_{MIN}	σ_0	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4	c_1	c_2	L_2	c_3	c_4	L_4	c_5	c_1	c_2	L_2	c_3	c_4	L_4	c_5
C	∞	∞	0.80639	-0.24919	-0.65236	1.3218	∞	∞	0.7551	∞	0.7664	0.0000	1.3100	1.5880	0.0000	1.3100	0.7664	0.3832	0.0000	0.9671	1.2835	0.0000	1.3983	1.2042
2.0	28.6537	167.66	0.80679	-0.24893	-0.65232	1.3216	48.7369	0.7554	30.137	0.7661	0.0003	1.3099	1.5877	0.0008	1.3091	0.7656	0.3828	0.0004	0.9666	1.2827	0.0008	1.3971	1.2039
3.0	19.1073	150.25	0.80730	-0.24860	-0.65225	1.3214	32.4927	0.7559	20.089	0.7658	0.0007	1.3095	1.5868	0.0018	1.3075	0.7646	0.3823	0.0010	0.9659	1.2818	0.0018	1.3955	1.2031
4.0	14.3356	137.74	0.80801	-0.24815	-0.65215	1.3212	24.3697	0.7566	15.071	0.7654	0.0012	1.3088	1.5855	0.0033	1.3054	0.7633	0.3818	0.0017	0.9649	1.2804	0.0032	1.3934	1.2023
5.0	11.4737	128.04	0.80893	-0.24757	-0.65202	1.3210	19.4959	0.7575	12.062	0.7648	0.0020	1.3080	1.5839	0.0052	1.3026	0.7615	0.3807	0.0027	0.9637	1.2787	0.0049	1.3907	1.2011
6.0	9.5668	120.11	0.81005	-0.24686	-0.65186	1.3207	16.2468	0.7586	10.056	0.7641	0.0029	1.3070	1.5820	0.0076	1.2993	0.7594	0.3796	0.0039	0.9621	1.2766	0.0071	1.3874	1.1997
7.0	8.2055	113.40	0.81138	-0.24602	-0.65167	1.3203	13.9280	0.7599	8.624	0.7632	0.0039	1.3058	1.5796	0.0103	1.2953	0.7569	0.3783	0.0054	0.9603	1.2741	0.0097	1.3835	1.1981
8.0	7.1853	107.59	0.81292	-0.24505	-0.65144	1.3199	12.1854	0.7613	7.551	0.7623	0.0051	1.3044	1.5770	0.0135	1.2907	0.7540	0.3768	0.0070	0.9582	1.2713	0.0127	1.3789	1.1962
9.0	6.3925	102.45	0.81468	-0.24396	-0.65118	1.3194	10.8316	0.7630	6.717	0.7612	0.0065	1.3028	1.5739	0.0172	1.2855	0.7507	0.3750	0.0089	0.9558	1.2680	0.0161	1.3738	1.1941
10.0	5.7588	97.86	0.81664	-0.24274	-0.65088	1.3188	9.7486	0.7649	6.050	0.7600	0.0080	1.3011	1.5706	0.0213	1.2797	0.7470	0.3731	0.0110	0.9531	1.2644	0.0200	1.3681	1.1917
11.0	5.2408	93.69	0.81883	-0.24140	-0.65055	1.3182	8.8625	0.7670	5.505	0.7586	0.0098	1.2991	1.5669	0.0259	1.2733	0.7429	0.3710	0.0134	0.9502	1.2604	0.0242	1.3618	1.1891
12.0	4.8097	89.89	0.82124	-0.23993	-0.65017	1.3176	8.1241	0.7693	5.052	0.7572	0.0116	1.2970	1.5628	0.0309	1.2663	0.7384	0.3686	0.0160	0.9470	1.2561	0.0289	1.3548	1.1863
13.0	4.4454	86.39	0.82387	-0.23834	-0.64975	1.3168	7.4993	0.7718	4.668	0.7556	0.0137	1.2947	1.5584	0.0364	1.2586	0.7335	0.3660	0.0188	0.9435	1.2513	0.0341	1.3473	1.1831
14.0	4.1336	83.14	0.82673	-0.23663	-0.64928	1.3160	6.9638	0.7744	4.340	0.7538	0.0159	1.2922	1.5536	0.0424	1.2504	0.7283	0.3633	0.0219	0.9397	1.2462	0.0396	1.3392	1.1798
15.0	3.8637	80.11	0.82982	-0.23479	-0.64877	1.3152	6.4997	0.7774	4.055	0.7519	0.0183	1.2895	1.5485	0.0489	1.2416	0.7226	0.3603	0.0253	0.9356	1.2408	0.0457	1.3305	1.1762
16.0	3.6280	77.37	0.83315	-0.23284	-0.64820	1.3143	6.0936	0.7805	3.807	0.7499	0.0209	1.2866	1.5431	0.0559	1.2321	0.7165	0.3570	0.0289	0.9312	1.2349	0.0522	1.3212	1.1723
17.0	3.4203	74.60	0.83672	-0.23077	-0.64758	1.3133	5.7353	0.7836	3.588	0.7478	0.0236	1.2836	1.5374	0.0635	1.2221	0.7101	0.3536	0.0328	0.9265	1.2287	0.0592	1.3113	1.1682
18.0	3.2361	72.08	0.84055	-0.22859	-0.64690	1.3123	5.4168	0.7873	3.394	0.7455	0.0266	1.2803	1.5313	0.0716	1.2115	0.7032	0.3499	0.0370	0.9216	1.2222	0.0667	1.3009	1.1639
19.0	3.0716	69.69	0.84463	-0.22629	-0.64616	1.3112	5.1318	0.7911	3.231	0.7431	0.0297	1.2768	1.5249	0.0802	1.2002	0.6959	0.3460	0.0414	0.9163	1.2153	0.0747	1.2898	1.1593
20.0	2.9238	67.41	0.84897	-0.22387	-0.64534	1.3100	4.8753	0.7950	3.085	0.7406	0.0330	1.2732	1.5182	0.0895	1.1884	0.6883	0.3419	0.0462	0.9108	1.2080	0.0833	1.2782	1.1545
21.0	2.7904	65.35	0.85358	-0.22135	-0.64446	1.3088	4.6433	0.7992	2.944	0.7379	0.0365	1.2694	1.5112	0.0994	1.1760	0.6802	0.3375	0.0513	0.9050	1.2004	0.0923	1.2660	1.1495
22.0	2.6695	63.18	0.85847	-0.21872	-0.64350	1.3075	4.4323	0.8036	2.797	0.7350	0.0402	1.2653	1.5038	0.1099	1.1630	0.6717	0.3329	0.0566	0.8988	1.1924	0.1020	1.2532	1.1442
23.0	2.5593	61.20	0.86364	-0.21598	-0.64245	1.3061	4.2397	0.8082	2.680	0.7321	0.0441	1.2611	1.4962	0.1210	1.1494	0.6628	0.3281	0.0623	0.8924	1.1841	0.1122	1.2399	1.1387
24.0	2.4586	59.29	0.86911	-0.21313	-0.64131	1.3047	4.0631	0.8131	2.574	0.7290	0.0482	1.2567	1.4882	0.1329	1.1353	0.6534	0.3230	0.0684	0.8857	1.1755	0.1231	1.2260	1.1329
25.0	2.3662	57.46	0.87488	-0.21019	-0.64008	1.3032	3.9007	0.8181	2.476	0.7257	0.0524	1.2520	1.4800	0.1454	1.1205	0.6437	0.3176	0.0748	0.8786	1.1666	0.1346	1.2115	1.1269
26.0	2.2812	55.70	0.88097	-0.20714	-0.63875	1.3016	3.7507	0.8234	2.386	0.7223	0.0569	1.2472	1.4715	0.1588	1.1052	0.6335	0.3120	0.0816	0.8713	1.1573	0.1467	1.1964	1.1207
27.0	2.2027	54.00	0.88739	-0.20400	-0.63731	1.2000	3.6119	0.8289	2.303	0.7187	0.0617	1.2421	1.4627	0.1729	1.0893	0.6229	0.3061	0.0888	0.8637	1.1477	0.1595	1.1809	1.1143
28.0	2.1301	52.35	0.89414	-0.20076	-0.63575	1.1983	3.4829	0.8347	2.237	0.7150	0.0666	1.2369	1.4537	0.1879	1.0729	0.6118	0.2999	0.0963	0.8557	1.1377	0.1731	1.1647	1.1076
29.0	2.0627	50.76	0.90128	-0.19742	-0.63407	1.1965	3.3629	0.8407	2.175	0.7112	0.0718	1.2314	1.4444	0.2038	1.0559	0.6003	0.2935	0.1043	0.8475	1.1275	0.1875	1.1480	1.1007
30.0	2.0000	49.22	0.90873	-0.19400	-0.63225	1.1947	3.2508	0.8469	2.089	0.7072	0.0772	1.2257	1.4348	0.2206	1.0383	0.5884	0.2867	0.1128	0.8389	1.1170	0.2026	1.1308	1.0936
31.0	1.9416	47.72	0.91660	-0.19049	-0.63029	1.1928	3.1460	0.8533	2.027	0.7030	0.0828	1.2198	1.4250	0.2384	1.0201	0.5760	0.2797	0.1217	0.8300	1.1061	0.2186	1.1130	1.0863
32.0	1.8871	46.27	0.92486	-0.18690	-0.62818	1.1908	3.0476	0.8600	1.969	0.6987	0.0887	1.2136	1.4150	0.2574	1.0015	0.5631	0.2723	0.1312	0.8208	1.0950	0.2355	1.0947	1.0788
33.0	1.8361	44.85	0.93355	-0.18322	-0.62590	1.1887	2.9553	0.8669	1.915	0.6942	0.0948	1.2073	1.4048	0.2774	0.9822	0.5498	0.2647	0.1411	0.8112	1.0836	0.2534	1.0758	1.0710
34.0	1.7883	43.47	0.94267	-0.17947	-0.62345	1.1866	2.8683	0.8741	1.864	0.6896	0.1012	1.2007	1.3943	0.2988	0.9625	0.5360	0.2587	0.1517	0.8013	1.0719	0.2722	1.0565	1.0630
35.0	1.7434	42.13	0.95225	-0.17565	-0.62081	1.1844	2.7864	0.8815	1.817	0.6847	0.1078	1.1938	1.3837	0.3214	0.9422	0.5217	0.2464	0.1628	0.7911	1.0600	0.2922	1.0366	1.0549
36.0	1.7013	40.81	0.96232	-0.17175	-0.61798	1.1821	2.7089	0.8891	1.772	0.6798	0.1148	1.1867	1.3729	0.3455	0.9214	0.5070	0.2397	0.1746	0.7806	1.0478	0.3134	1.0162	1.0465
37.0	1.6616	39.53	0.97290	-0.16778	-0.61493	1.1797	2.6356	0.8970	1.729	0.6746	0.1220	1.1794	1.3619	0.3712	0.9001	0.4917	0.2306	0.1870	0.7697	1.0354	0.3357	0.9953	1.0379
38.0	1.6243	38.28	0.98402	-0.16375	-0.61166	1.1773	2.5662	0.9051	1.690	0.6693	0.1295	1.1717	1.3508	0.3985	0.8782	0.4759	0.2212	0.2002	0.7585	1.0227	0.3595	0.9738	1.0291
39.0	1.5890	37.05	0.99571	-0.15966	-0.60815	1.1748	2.5003	0.9135	1.652	0.6637	0.1374	1.1638	1.3396	0.4278	0.8559	0.4595	0.2114	0.2142	0.7469	1.0098	0.3847	0.9519	1.0202
40.0	1.5557	35.85	1.00800	-0.15552	-0.60438	1.1722	2.4377	0.9220	1.617	0.6580	0.1456	1.1556	1.3282	0.4590	0.8331	0.4426	0.2012	0.2290	0.7350	0.9967	0.4115	0.9295	1.0111
41.0	1.5243	34.67	1.02092	-0.15132	-0.60034	1.1695	2.3781	0.9308	1.583	0.6521	0.1541	1.1472	1.3168	0.4924	0.8099	0.4252	0.1905	0.2447	0.7227	0.9834	0.4399	0.9067	1.0017
42.0	1.4945	33.52	1.03453	-0.14707	-0.59601	1.1668	2.3213	0.9399	1.551	0.6460	0.1630	1.1384	1.3053	0.5283	0.7862	0.4072	0.1794	0.2614	0.7100	0.9699	0.4703	0.8833	0.9923
43.0	1.4663	32.38	1.04885	-0.14277	-0.59137	1.1640	2.2672	0.9491	1.521	0.6397	0.1722	1.1292	1.2937	0.5669	0.7620	0.3885	0.1678	0.2791	0.6970	0.9563	0.5027	0.8595	0.9826
44.0	1.4396	31.27	1.06395	-0.13844	-0.58641	1.1611	2.2154	0.9586	1.492	0.6332	0.1819	1.1198	1.2822	0.6085	0.7375	0.3693	0.1558	0.2981	0.6836	0.9425	0.5374	0.8353	0.9728
45.0	1.4142	30.17	1.07986	-0.13407	-0.58110	1.1581	2.1660	0.9683	1.465	0.6265	0.1920	1.1099	1.2706	0.6535	0.7125	0.3494	0.1432	0.3183	0.6697	0.9285	0.5745	0.8106	0.9629
46.0	1.3902	29.09	1.09665	-0.12967	-0.57542	1.1551	2.1187	0.9782	1.439	0.6195	0.2025	1.0997	1.2591	0.7022	0.6871	0.3288	0.1300	0.3398	0.6555	0.9145	0.6143	0.7855	0.9528
47.0	1.3673	28.03	1.11439	-0.12534	-0.56935	1.1519	2.0733	0.9883	1.415	0.6124	0.2135	1.0891	1.2478	0.7550	0.6614	0.3075	0.1163	0.3630	0.6409	0.9003	0.6572	0.7599	0.9426
48.0	1.3456	26.99	1.13313	-0.12079	-0.56287	1.1487	2.0299	0.9985	1.391	0.6050	0.2251	1.0780	1.2365	0.8126	0.6354	0.2855	0.1019	0.3878	0.6259	0.8861	0.7035	0.7430	0.9323
49.0	1.3250	25.95	1.15297	-0.11632	-0.55595	1.1455	1.9881	1.0090	1.369	0.5973	0.2372	1.0665	1.2254	0.8756	0.6090	0.2628	0.0869	0.4144	0.6104	0.8718	0.7536	0.7077	0.9219
50.0	1.3054	24.94	1.17399	-0.11184	-0.54858	1.1421	1.9480	1.0195	1.348	0.5894	0.2498	1.0545	1.2145	0.9446	0.5824	0.2392	0.0712	0.4432	0.5946	0.8575	0.8079	0.6810	0.9114
51.0	1.2868	23.93	1.19638	-0.10735	-0.54072	1.1387	1.9095	1.0302	1.327	0.5813	0.2632	1.0420	1.2039	1.0208	0.5556	0.2147	0.0548	0.4743	0.5783	0.8432	0.8671	0.6540	0.9008
52.0	1.2690	22.94	1.21995	-0.10286	-0.53235	1.1352	1.8724	1.0410	1.308	0.5729	0.2772	1.0289	1.1937	1.1047	0.5285	0.1894	0.0375	0.5080	0.5615	0.8290	0.9317	0.6267	0.8903
53.0	1.2521	21.96	1.24513	-0.09838	-0.52344	1.1316	1.8366	1.0519	1.290	0.5642	0.2920	1.0152	1.1838	1.1980	0.5013	0.1631	0.0194	0.5447	0.5443	0.8148	1.0027	0.5990	0.8797
54.0	1.2361	20.99	1.27194	-0.09390	-0.51398	1.1280	1.8021	1.0628	1.272	0.5552	0.3076	1.0008	1.1744	1.3020	0.4740	0.1357	0.0004	0.5847	0.5266	0.8007	1.0808	0.5711	0.8691
55.0	1.2208	20.04	1.30055	-0.08944	-0.50393	1.1243	1.7689	1.0738	1.256	0.5460	0.3242	0.9858	1.1656	1.4187	0.4467	0.1073	-0.0197	0.6285	0.5085	0.7868	1.1872	0.5430	0.8586
56.0	1.2062	19.09	1.33113	-0.08500	-0.49326	1.1205	1.7368	1.0847	1.240	0.5364	0.3417	0.9700	1.1575	1.5502	0.4194	0.0777	-0.0408	0.6768	0.4899	0.7731	1.2633	0.5147	0.8482
57.0	1.1924	18.15	1.36386	-0.08058	-0.48196	1.1167	1.7057	1.0956	1.225	0.5265	0.3605	0.9533	1.1501	1.6993	0.3921	0.0468	-0.0631	0.7301	0.4708	0.7597	1.3707	0.4862	0.8380
58.0	1.1792	17.23	1.39896	-0.07620	-0.47000	1.1128	1.6757	1.1064	1.210	0.5163	0.3805	0.9358	1.1437	1.8693	0.3651	0.0145	-0.0867	0.7893	0.4512	0.7465	1.4914	0.4576	0.8280
59.0	1.1666	16.31	1.43673	-0.07186	-0.45737	1.1088	1.6467	1.1170	1.196	0.5057	0.4020	0.9174	1.1382	2.0645	0.3382	-0.0191	-0.1117	0.8554	0.4312	0.7338	1.6279	0.4290	0.8182
60.0	1.1547	15.40	1.47740	-0.06757	-0.44404	1.1048	1.6185	1.1274	1.183	0.4948	0.4251	0.8979	1.1340	2.2902	0.3117	-0.0545	-0.1382	0.9295	0.4107	0.7215	1.7833	0.4004	0.8087
θ	Ω_K	A_{MIN}	σ_0	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5

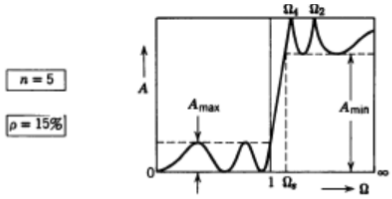


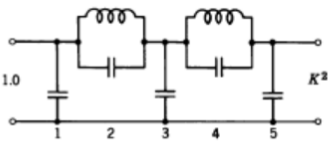


4 次楕円関数リプル 0.1dB 相当

3 次から 7 次までの表の例

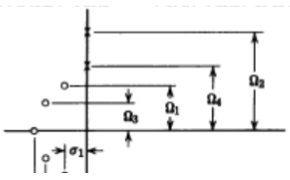
5 次楕円関数リプル 0.1dB 相当

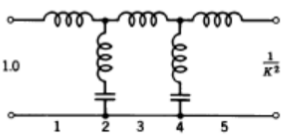




θ	Ω_K	A_{MIN}	σ_0	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4
C	∞	∞	0.54025	−0.16695	−0.43707	1.0810	∞	0.6681	∞
1.0	57.2987	207.60	0.54030	−0.16691	−0.43706	1.0809	97.4775	0.6681	60.2470
2.0	28.6537	177.49	0.54046	−0.16682	−0.43705	1.0809	48.7389	0.6683	30.1274
3.0	19.1073	159.88	0.54072	−0.16666	−0.43702	1.0809	32.4927	0.6685	20.0893
4.0	14.3356	147.37	0.54110	−0.16644	−0.43699	1.0808	24.3697	0.6689	15.0716
5.0	11.4737	137.67	0.54158	−0.16615	−0.43694	1.0808	19.4959	0.6695	12.0620
6.0	9.5668	129.74	0.54216	−0.16581	−0.43689	1.0807	16.2468	0.6701	10.0565
7.0	8.2055	123.03	0.54286	−0.16540	−0.43682	1.0806	13.9260	0.6708	8.6247
8.0	7.1853	117.22	0.54367	−0.16493	−0.43674	1.0805	12.1854	0.6717	7.5516
9.0	6.3925	112.08	0.54458	−0.16439	−0.43665	1.0804	10.8316	0.6727	6.7175
10.0	5.7588	107.49	0.54561	−0.16380	−0.43655	1.0802	9.7486	0.6738	6.0507
11.0	5.2408	103.32	0.54675	−0.16314	−0.43643	1.0801	8.8625	0.6750	5.5057
12.0	4.8097	99.52	0.54800	−0.16242	−0.43630	1.0799	8.1241	0.6763	5.0520
13.0	4.4454	96.02	0.54937	−0.16164	−0.43615	1.0797	7.4993	0.6778	4.6684
14.0	4.1336	92.77	0.55085	−0.16080	−0.43599	1.0795	6.9638	0.6794	4.3401
15.0	3.8637	89.74	0.55246	−0.15898	−0.43581	1.0793	6.4997	0.6811	4.0559
16.0	3.6280	86.90	0.55418	−0.15893	−0.43562	1.0791	6.0936	0.6829	3.8076
17.0	3.4203	84.23	0.55603	−0.15790	−0.43450	1.0788	5.7353	0.6846	3.5888
18.0	3.2361	81.71	0.55800	−0.15681	−0.43517	1.0786	5.4168	0.6869	3.3946
19.0	3.0716	79.32	0.56009	−0.15567	−0.43491	1.0783	5.1318	0.6891	3.2212
20.0	2.9238	77.05	0.56232	−0.15446	−0.43463	1.0780	4.8753	0.6914	3.0654
21.0	2.7904	74.88	0.56468	−0.15320	−0.43432	1.0777	4.6433	0.6938	2.9246
22.0	2.6695	72.81	0.56718	−0.15187	−0.43399	1.0774	4.4323	0.6964	2.7970
23.0	2.5593	70.83	0.56981	−0.15049	−0.43363	1.0770	4.2397	0.6991	2.6807
24.0	2.4586	68.92	0.57259	−0.14905	−0.43324	1.0767	4.0631	0.7019	2.5743
25.0	2.3662	67.09	0.57551	−0.14755	−0.43282	1.0763	3.9007	0.7049	2.4767
26.0	2.2812	65.33	0.57858	−0.14599	−0.43236	1.0759	3.7507	0.7080	2.3868
27.0	2.2027	63.63	0.58181	−0.14438	−0.43186	1.0754	3.6119	0.7112	2.3038
28.0	2.1301	61.98	0.58519	−0.14271	−0.43133	1.0750	3.4829	0.7146	2.2270
29.0	2.0627	60.39	0.58874	−0.14099	−0.43075	1.0745	3.3629	0.7181	2.1556
30.0	2.0000	58.85	0.59246	−0.13921	−0.43012	1.0740	3.2508	0.7218	2.0892
31.0	1.9416	57.35	0.59635	−0.13738	−0.42945	1.0735	3.1460	0.7256	2.0274
32.0	1.8871	55.90	0.60042	−0.13550	−0.42873	1.0730	3.0476	0.7295	1.9695
33.0	1.8361	54.48	0.60468	−0.13356	−0.42795	1.0725	2.9553	0.7336	1.9154
34.0	1.7883	53.10	0.60913	−0.13157	−0.42711	1.0719	2.8683	0.7379	1.8646
35.0	1.7434	51.76	0.61378	−0.12953	−0.42621	1.0713	2.7864	0.7423	1.8170
36.0	1.7013	50.44	0.61865	−0.12744	−0.42524	1.0707	2.7089	0.7468	1.7722
37.0	1.6616	49.16	0.62373	−0.12530	−0.42419	1.0700	2.6356	0.7515	1.7299
38.0	1.6243	47.91	0.62903	−0.12311	−0.42307	1.0694	2.5662	0.7564	1.6901
39.0	1.5890	46.68	0.63457	−0.12087	−0.42187	1.0687	2.5003	0.7614	1.6525
40.0	1.5557	45.48	0.64036	−0.11859	−0.42058	1.0679	2.4377	0.7666	1.6170
41.0	1.5243	44.30	0.64641	−0.11626	−0.41919	1.0672	2.3781	0.7719	1.5833
42.0	1.4945	43.15	0.65273	−0.11389	−0.41771	1.0664	2.3213	0.7774	1.5515
43.0	1.4663	42.01	0.65933	−0.11147	−0.41612	1.0656	2.2672	0.7831	1.5213
44.0	1.4396	40.90	0.66623	−0.10902	−0.41441	1.0648	2.2154	0.7889	1.4926
45.0	1.4142	39.80	0.67344	−0.10652	−0.41258	1.0639	2.1660	0.7950	1.4654
46.0	1.3902	38.72	0.68099	−0.10398	−0.41063	1.0630	2.1187	0.8012	1.4396
47.0	1.3673	37.66	0.68888	−0.10140	−0.40583	1.0621	2.0733	0.8075	1.4150
48.0	1.3456	36.61	0.69714	−0.09879	−0.40628	1.0612	2.0299	0.8140	1.3916
49.0	1.3250	35.57	0.70579	−0.09615	−0.40388	1.0602	1.9881	0.8208	1.3693
50.0	1.3054	34.55	0.71485	−0.09347	−0.40131	1.0592	1.9480	0.8276	1.3481
51.0	1.2868	33.55	0.72436	−0.09075	−0.39856	1.0581	1.9095	0.8347	1.3279
52.0	1.2690	32.55	0.73433	−0.08801	−0.39562	1.0571	1.8724	0.8420	1.3087
53.0	1.2521	31.57	0.74481	−0.08524	−0.39248	1.0560	1.8366	0.8494	1.2903
54.0	1.2361	30.59	0.75581	−0.08245	−0.38912	1.0548	1.8021	0.8570	1.2729
55.0	1.2208	29.63	0.76739	−0.07963	−0.38552	1.0537	1.7689	0.8647	1.2561
56.0	1.2062	28.67	0.77959	−0.07679	−0.38168	1.0525	1.7368	0.8727	1.2402
57.0	1.1924	27.72	0.79245	−0.07392	−0.37757	1.0512	1.7057	0.8808	1.2250
58.0	1.1792	26.78	0.80602	−0.07105	−0.37319	1.0500	1.6757	0.8890	1.2104
59.0	1.1666	25.85	0.82036	−0.06815	−0.36850	1.0487	1.6467	0.8975	1.1966
60.0	1.1547	24.92	0.83554	−0.06525	−0.36350	1.0473	1.6185	0.9060	1.1834
θ	Ω_K	A_{MIN}	σ_0	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4

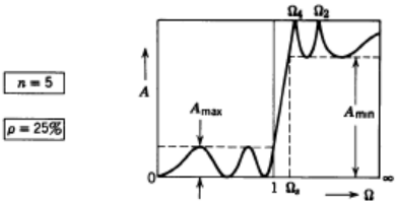
	$K^2=1.0$							$K^2=\infty$						
	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5
	1.144	0.0000	1.372	1.972	0.0000	1.372	1.144	0.5720	0.0000	1.2474	1.5546	0.0000	1.5916	1.3749
1.0	1.14392	0.00008	1.37142	1.97200	0.00020	1.37124	1.14379	0.5719	0.0001	1.2473	1.5545	0.0002	1.5913	1.3748
2.0	1.14372	0.00031	1.37116	1.97139	0.00008	1.37047	1.14323	0.5717	0.0003	1.2470	1.5539	0.0007	1.5904	1.3744
3.0	1.14341	0.00069	1.37074	1.97036	0.00181	1.36919	1.14229	0.5713	0.0008	1.2464	1.5530	0.0016	1.5890	1.3737
4.0	1.14296	0.00123	1.37015	1.96892	0.00322	1.36739	1.14097	0.5707	0.0014	1.2456	1.5517	0.0028	1.5870	1.3728
5.0	1.14238	0.00192	1.36938	1.96707	0.00504	1.36507	1.13928	0.5700	0.0021	1.2445	1.5500	0.0043	1.5844	1.3716
6.0	1.14168	0.00277	1.36845	1.96481	0.00726	1.36224	1.13721	0.5692	0.0030	1.2432	1.5479	0.0063	1.5813	1.3701
7.0	1.14085	0.00377	1.36735	1.96214	0.00989	1.35890	1.13477	0.5682	0.0042	1.2416	1.5455	0.0085	1.5776	1.3684
8.0	1.13989	0.00493	1.36607	1.95906	0.01294	1.35505	1.13195	0.5670	0.0054	1.2398	1.5427	0.0111	1.5733	1.3664
9.0	1.13880	0.00625	1.36463	1.95558	0.01641	1.35068	1.12875	0.5657	0.0069	1.2378	1.5395	0.0141	1.5684	1.3641
10.0	1.13758	0.00772	1.36301	1.95169	0.02030	1.34581	1.12518	0.5642	0.0085	1.2356	1.5359	0.0175	1.5630	1.3615
11.0	1.13623	0.00935	1.36123	1.94739	0.02461	1.34042	1.12123	0.5625	0.0103	1.2331	1.5320	0.0212	1.5570	1.3587
12.0	1.13475	0.01115	1.35927	1.94269	0.02936	1.33453	1.11690	0.5607	0.0123	1.2303	1.5277	0.0253	1.5505	1.3557
13.0	1.13313	0.01310	1.35713	1.93759	0.03453	1.32813	1.11220	0.5587	0.0145	1.2273	1.5231	0.0297	1.5434	1.3523
14.0	1.13139	0.01522	1.35483	1.93208	0.04018	1.32122	1.10712	0.5566	0.0168	1.2241	1.5180	0.0346	1.5357	1.3487
15.0	1.12951	0.01750	1.35235	1.92618	0.04627	1.31381	1.10167	0.5543	0.0194	1.2206	1.5126	0.0398	1.5275	1.3448
16.0	1.12750	0.01995	1.34969	1.91988	0.05282	1.30589	1.09584	0.5518	0.0221	1.2169	1.5069	0.0454	1.5187	1.3407
17.0	1.12536	0.02257	1.34686	1.91318	0.05984	1.29747	1.08963	0.5492	0.0251	1.2129	1.5008	0.0514	1.5093	1.3363
18.0	1.12308	0.02536	1.34385	1.90609	0.06735	1.28856	1.08304	0.5464	0.0282	1.2087	1.4943	0.0579	1.4994	1.3317
19.0	1.12067	0.02832	1.34066	1.89860	0.07535	1.27914	1.07608	0.5434	0.0315	1.2043	1.4874	0.0647	1.4890	1.3268
20.0	1.11812	0.03146	1.33730	1.89073	0.08385	1.26923	1.06874	0.5402	0.0351	1.1995	1.4802	0.0720	1.4780	1.3216
21.0	1.11543	0.03478	1.33375	1.88248	0.09287	1.25882	1.06102	0.5369	0.0388	1.1946	1.4727	0.0797	1.4664	1.3162
22.0	1.11260	0.03827	1.33002	1.87383	0.10243	1.24792	1.05292	0.5334	0.0428	1.1894	1.4647	0.0879	1.4543	1.3105
23.0	1.10963	0.04195	1.32611	1.86481	0.11254	1.23653	1.04444	0.5297	0.0470	1.1839	1.4565	0.0965	1.4417	1.3045
24.0	1.10651	0.04582	1.32201	1.85541	0.12321	1.22465	1.03558	0.5259	0.0514	1.1781	1.4479	0.1056	1.4285	1.2983
25.0	1.10326	0.04988	1.31773	1.84564	0.13447	1.21229	1.02634	0.5218	0.0561	1.1722	1.4389	0.1152	1.4148	1.2919
26.0	1.09986	0.05413	1.31326	1.83550	0.14634	1.19945	1.01672	0.5176	0.0610	1.1659	1.4296	0.1253	1.4006	1.2852
27.0	1.09631	0.05858	1.30860	1.82498	0.15884	1.18613	1.00672	0.5132	0.0661	1.1594	1.4199	0.1360	1.3858	1.2782
28.0	1.09262	0.06323	1.30374	1.81411	0.17200	1.17233	0.99633	0.5086	0.0715	1.1526	1.4099	0.1471	1.3706	1.2710
29.0	1.08877	0.06809	1.29869	1.80288	0.18583	1.15805	0.98556	0.5038	0.0772	1.1455	1.3996	0.1589	1.3548	1.2636
30.0	1.08477	0.07316	1.29345	1.79129	0.20038	1.14331	0.97441	0.4988	0.0831	1.1382	1.3889	0.1712	1.3384	1.2559
31.0	1.08062	0.07845	1.28800	1.77935	0.21567	1.12810	0.96286	0.4936	0.0894	1.1306	1.3779	0.1841	1.3216	1.2480
32.0	1.07631	0.08396	1.28235	1.76706	0.23174	1.11243	0.95093	0.4881	0.0959	1.1227	1.3666	0.1977	1.3043	1.2398
33.0	1.07184	0.08970	1.27650	1.75444	0.24863	1.09630	0.93860	0.4825	0.1027	1.1146	1.3550	0.2119	1.2864	1.2314
34.0	1.06721	0.09567	1.27043	1.74148	0.26638	1.07971	0.92589	0.4767	0.1099	1.1061	1.3430	0.2268	1.2681	1.2227
35.0	1.06242	0.10189	1.26415	1.72819	0.28504	1.06267	0.91277	0.4706	0.1174	1.0974	1.3307	0.2425	1.2492	1.2138
36.0	1.05745	0.10836	1.25765	1.71457	0.30465	1.04518	0.89926	0.4643	0.1252	1.0883	1.3181	0.2589	1.2299	1.2047
37.0	1.05232	0.11508	1.25093	1.70064	0.32528	1.02726	0.88535	0.4578	0.1334	1.0790	1.3052	0.2761	1.2101	1.1953
38.0	1.04701	0.12207	1.24398	1.68640	0.34700	1.00889	0.87103	0.4510	0.1420	1.0693	1.2920	0.2942	1.1898	1.1857
39.0	1.04152	0.12934	1.23681	1.67186	0.36985	0.99010	0.85631	0.4440	0.1510	1.0594	1.2785	0.3132	1.1690	1.1759
40.0	1.03586	0.13689	1.22939	1.65702	0.39394	0.97088	0.84117	0.4367	0.1604	1.0491	1.2647	0.3332	1.1478	1.1658
41.0	1.03000	0.14473	1.22173	1.64189	0.41933	0.95124	0.82562	0.4292	0.1703	1.0385	1.2506	0.3542	1.1261	1.1555
42.0	1.02396	0.15289	1.21381	1.62649	0.44613	0.93118	0.80964	0.4214	0.1808	1.0276	1.2362	0.3763	1.1039	1.1450
43.0	1.01772	0.16137	1.20564	1.61081	0.47445	0.91072	0.79324	0.4133	0.1914	1.0164	1.2215	0.3996	1.0813	1.1343
44.0	1.01128	0.17018	1.19721	1.59488	0.50439	0.88985	0.77641	0.4049	0.2028	1.0048	1.2066	0.4241	1.0583	1.1233
45.0	1.00463	0.17934	1.18849	1.57869	0.53610	0.86860	0.75913	0.3962	0.2147	0.9928	1.1914	0.4500	1.0348	1.1122
46.0	0.99777	0.18888	1.17950	1.56227	0.56972	0.84696	0.74141	0.3872	0.2272	0.9805	1.1759	0.4773	1.0109	1.1008
47.0	0.99070	0.19879	1.17020	1.54562	0.60543	0.82495	0.72323	0.3779	0.2404	0.9678	1.1602	0.5062	0.9866	1.0892
48.0	0.98340	0.20911	1.16060	1.52876	0.64341	0.80256	0.70459	0.3683	0.2542	0.9548	1.1442	0.5368	0.9619	1.0774
49.0	0.97587	0.21987	1.15068	1.51170	0.68387	0.77983	0.68547	0.3583	0.2688	0.9413	1.1280	0.5693	0.9367	1.0654
50.0	0.96810	0.23107	1.14043	1.49445	0.72708	0.75675	0.66586	0.3479	0.2841	0.9275	1.1116	0.6038	0.9112	1.0532
51.0	0.96008	0.24275	1.12982	1.47704	0.77329	0.73333	0.64576	0.3372	0.3003	0.9132	1.0950	0.6406	0.8853	1.0408
52.0	0.95181	0.25495	1.11886	1.45947	0.82285	0.70960	0.62514	0.3261	0.3175	0.8985	1.0781	0.8797	0.8590	1.0283
53.0	0.94327	0.26769	1.10750	1.44178	0.87612	0.68556	0.60399	0.3145	0.3356	0.8834	1.0611	0.7216	0.8324	1.0155
54.0	0.93445	0.28101	1.09574	1.42397	0.93352	0.66124	0.58230	0.3025	0.3548	0.8678	1.0438	0.7664	0.8054	1.0026
55.0	0.92535	0.29495	1.08356	1.40607	0.99555	0.63664	0.56003	0.2900	0.3752	0.8518	1.0264	0.8146	0.7781	0.9894
56.0	0.91594	0.30957	1.07092	1.38811	1.06279	0.61178	0.53718	0.2770	0.3969	0.8352	1.0088	0.8664	0.7505	0.9762
57.0	0.90623	0.32492	1.05781	1.37012	1.13592	0.58670	0.51372	0.2635	0.4201	0.8182	0.9911	0.9224	0.7225	0.9627
58.0	0.89618	0.34105	1.04418	1.35212	1.21574	0.56140	0.48961	0.2494	0.4448	0.8006	0.9732	0.9830	0.6943	0.9491
59.0	0.88580	0.35805	1.03001	1.33416	1.30318	0.53592	0.46483	0.2347	0.4713	0.7824	0.9553	1.0489	0.6658	0.9354
60.0	0.87505	0.37599	1.01526	1.31625	1.39938	0.51028	0.43935	0.2194	0.4998	0.7637	0.9372	1.1208	0.6371	0.9215
	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5

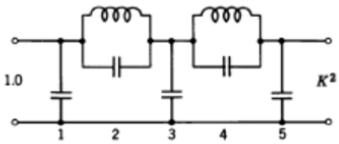




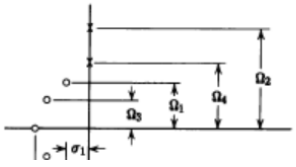
3 次から 7 次までの表の例

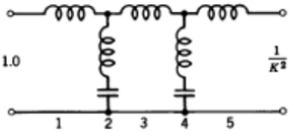
5 次楕円関数リプル 0.28dB 相当





										$K^2=1.0$							$K^2=\infty$						
θ	Ω_K	A_{MIN}	σ_0	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5
C	∞	∞	0.42450	-0.13118	-0.34343	1.0332	∞	0.6386	∞	1.456	0.0000	1.307	2.283	0.0000	1.307	1.456	0.7280	0.0000	1.3772	1.7073	0.0000	1.6431	1.4689
1.0	57.2987	212.22	0.42454	-0.13115	-0.34342	1.0331	97.4775	0.6385	60.3470	1.45584	0.00008	1.30650	2.28310	0.00021	1.30635	1.45571	0.7279	0.0001	1.3771	1.7071	0.0002	1.6429	1.4687
2.0	28.6537	182.11	0.42465	-0.13109	-0.34341	1.0331	48.7389	0.6387	30.1274	1.45563	0.00032	1.30637	2.28340	0.00084	1.30567	1.45511	0.7277	0.0003	1.3769	1.7065	0.0007	1.6430	1.4683
3.0	19.1073	164.49	0.42484	-0.13098	-0.34340	1.0331	32.4927	0.6389	20.0693	1.45528	0.00073	1.30588	2.28124	0.00190	1.30454	1.45411	0.7273	0.0007	1.3762	1.7056	0.0015	1.6406	1.4676
4.0	14.3356	151.99	0.42511	-0.13082	-0.34338	1.0331	24.3697	0.6392	15.0716	1.45480	0.00139	1.30534	2.27962	0.00338	1.30295	1.45272	0.7268	0.0012	1.3754	1.7043	0.0027	1.6387	1.4666
5.0	11.4737	142.29	0.42545	-0.13063	-0.34335	1.0331	19.4959	0.6397	12.0620	1.45418	0.00202	1.30464	2.27753	0.00528	1.30092	1.45092	0.7262	0.0019	1.3745	1.7025	0.0042	1.6362	1.4654
6.0	9.5668	134.36	0.42587	-0.13039	-0.34332	1.0331	16.2468	0.6402	10.0565	1.45342	0.00291	1.30379	2.27498	0.00762	1.29843	1.44873	0.7254	0.0028	1.3732	1.7004	0.0061	1.6332	1.4638
7.0	8.2055	127.65	0.42637	-0.13010	-0.34329	1.0331	13.9260	0.6408	8.6247	1.45252	0.00396	1.30279	2.27197	0.01038	1.29549	1.44615	0.7245	0.0038	1.3718	1.6980	0.0082	1.6296	1.4620
8.0	7.1853	121.84	0.42695	-0.12978	-0.34324	1.0331	12.1854	0.6415	7.5516	1.45149	0.00517	1.30163	2.26849	0.01357	1.29210	1.44318	0.7234	0.0049	1.3703	1.6951	0.0108	1.6254	1.4599
9.0	6.3925	116.70	0.42761	-0.12941	-0.34319	1.0330	10.8316	0.6422	6.7175	1.45031	0.00655	1.30031	2.26455	0.01720	1.28826	1.43978	0.7222	0.0062	1.3683	1.6919	0.0137	1.6208	1.4575
10.0	5.7588	112.11	0.42834	-0.12899	-0.34313	1.0330	9.7486	0.6431	6.0507	1.44900	0.00810	1.29883	2.26016	0.02127	1.28398	1.43599	0.7209	0.0077	1.3662	1.6883	0.0169	1.6155	1.4549
11.0	5.2408	107.94	0.42916	-0.12854	-0.34307	1.0330	8.8625	0.6441	5.5057	1.44754	0.00981	1.29720	2.25530	0.02579	1.27924	1.43182	0.7194	0.0093	1.3639	1.6843	0.0205	1.6097	1.4519
12.0	4.8097	104.14	0.43006	-0.12804	-0.34299	1.0330	8.1241	0.6452	5.0520	1.44594	0.01170	1.29542	2.24999	0.03075	1.27406	1.42724	0.7177	0.0111	1.3613	1.6799	0.0244	1.6034	1.4487
13.0	4.4454	100.63	0.43104	-0.12749	-0.34291	1.0329	7.4993	0.6463	4.6684	1.44421	0.01375	1.29347	2.24422	0.03617	1.26843	1.42237	0.7159	0.0131	1.3586	1.6751	0.0287	1.5965	1.4452
14.0	4.1336	97.39	0.43210	-0.12690	-0.34282	1.0329	6.9638	0.6476	4.3401	1.44233	0.01597	1.29137	2.23799	0.04206	1.26235	1.41690	0.7140	0.0152	1.3556	1.6700	0.0334	1.5891	1.4414
15.0	3.8637	94.36	0.43325	-0.12627	-0.34272	1.0328	6.4997	0.6490	4.0559	1.44030	0.01836	1.28910	2.23131	0.04841	1.25583	1.41113	0.7119	0.0175	1.3524	1.6645	0.0384	1.5811	1.4374
16.0	3.6280	91.52	0.43448	-0.12560	-0.34261	1.0328	6.0936	0.6504	3.8076	1.43814	0.02093	1.28668	2.22417	0.05523	1.24887	1.40497	0.7097	0.0200	1.3489	1.6586	0.0439	1.5726	1.4331
17.0	3.4203	88.85	0.43580	-0.12489	-0.34248	1.0328	5.7353	0.6520	3.5888	1.43582	0.02368	1.28409	2.21659	0.06254	1.24147	1.39841	0.7073	0.0226	1.3453	1.6524	0.0497	1.5636	1.4285
18.0	3.2361	86.33	0.43720	-0.12413	-0.34235	1.0327	5.4168	0.6536	3.3946	1.43337	0.02660	1.28135	2.20855	0.07035	1.23363	1.39146	0.7048	0.0254	1.3413	1.6458	0.0558	1.5540	1.4236
19.0	3.0716	83.94	0.43870	-0.12333	-0.34220	1.0326	5.1318	0.6554	3.2212	1.43077	0.02970	1.27844	2.20007	0.07865	1.22535	1.38411	0.7021	0.0284	1.3372	1.6388	0.0624	1.5439	1.4184
20.0	2.9238	81.66	0.44029	-0.12248	-0.34204	1.0326	4.8753	0.6572	3.0654	1.42801	0.03299	1.27537	2.19114	0.08747	1.21663	1.37637	0.6993	0.0316	1.3329	1.6315	0.0694	1.5333	1.4130
21.0	2.7904	79.50	0.44197	-0.12160	-0.34187	1.0325	4.6433	0.6592	2.9246	1.42512	0.03646	1.27213	2.18177	0.09682	1.20748	1.36823	0.6963	0.0349	1.3283	1.6237	0.0768	1.5221	1.4073
22.0	2.6695	77.43	0.44375	-0.12067	-0.34168	1.0324	4.4323	0.6613	2.7970	1.42207	0.04012	1.26873	2.17196	0.10671	1.19790	1.35970	0.6931	0.0385	1.3234	1.6156	0.0846	1.5104	1.4014
23.0	2.5593	75.45	0.44562	-0.11970	-0.34147	1.0324	4.2397	0.6634	2.6807	1.41887	0.04397	1.26516	2.16171	0.11715	1.18788	1.35077	0.6898	0.0422	1.3184	1.6072	0.0929	1.4983	1.3952
24.0	2.4586	73.54	0.44759	-0.11869	-0.34125	1.0323	4.0631	0.6657	2.5743	1.41552	0.04802	1.26142	2.15102	0.12815	1.17744	1.34145	0.6864	0.0461	1.3130	1.5984	0.1016	1.4854	1.3887
25.0	2.3662	71.71	0.44967	-0.11763	-0.34101	1.0322	3.9007	0.6681	2.4787	1.41201	0.05226	1.25752	2.13990	0.13975	1.16658	1.33173	0.6827	0.0503	1.3075	1.5892	0.1107	1.4722	1.3819
26.0	2.2812	69.95	0.45185	-0.11654	-0.34074	1.0321	3.7507	0.6706	2.3868	1.40835	0.05671	1.25344	2.12834	0.15194	1.15528	1.32162	0.6789	0.0546	1.3017	1.5797	0.1204	1.4585	1.3749
27.0	2.2027	68.25	0.45413	-0.11540	-0.34046	1.0320	3.6119	0.6732	2.3038	1.40453	0.06136	1.24918	2.11636	0.16475	1.14357	1.31112	0.6750	0.0592	1.2957	1.5698	0.1305	1.4441	1.3676
28.0	2.1301	66.60	0.45653	-0.11422	-0.34015	1.0319	3.4829	0.6759	2.2270	1.40055	0.06623	1.24475	2.10395	0.17821	1.13144	1.30022	0.6708	0.0639	1.2894	1.5596	0.1411	1.4293	1.3601
29.0	2.0627	65.01	0.45904	-0.11301	-0.33981	1.0318	3.3629	0.6787	2.1556	1.39641	0.07130	1.24015	2.09112	0.19234	1.11889	1.28892	0.6665	0.0689	1.2828	1.5490	0.1522	1.4141	1.3522
30.0	2.0000	63.47	0.46166	-0.11175	-0.33945	1.0317	3.2508	0.6817	2.0892	1.39210	0.07660	1.23536	2.07787	0.20715	1.10593	1.27724	0.6621	0.0742	1.2760	1.5380	0.1638	1.3983	1.3442
31.0	1.9416	61.97	0.46440	-0.11045	-0.33906	1.0315	3.1460	0.6847	2.0274	1.38764	0.08212	1.23040	2.06421	0.22269	1.09256	1.26515	0.6574	0.0796	1.2690	1.5267	0.1761	1.3820	1.3358
32.0	1.8871	60.51	0.46727	-0.10911	-0.33864	1.0314	3.0476	0.6879	1.9695	1.38300	0.08787	1.22524	2.05013	0.23897	1.07878	1.25268	0.6526	0.0853	1.2617	1.5151	0.1888	1.3652	1.3273
33.0	1.8361	59.10	0.47027	-0.10773	-0.33819	1.0313	2.9553	0.6912	1.9154	1.37819	0.09386	1.21991	2.03564	0.25603	1.06460	1.23980	0.6476	0.0913	1.2541	1.5031	0.2022	1.3479	1.3184
34.0	1.7883	57.72	0.47339	-0.10631	-0.33770	1.0311	2.8683	0.6946	1.8646	1.37221	0.10009	1.21438	2.02075	0.27391	1.05001	1.22653	0.6423	0.0975	1.2463	1.4908	0.2162	1.3301	1.3095
35.0	1.7434	56.37	0.47666	-0.10485	-0.33718	1.0310	2.7864	0.6981	1.8170	1.36806	0.10657	1.20866	2.00546	0.29265	1.03503	1.21287	0.6370	0.1040	1.2382	1.4781	0.2309	1.3119	1.3000
36.0	1.7013	55.06	0.48006	-0.10336	-0.33662	1.0308	2.7089	0.7018	1.7722	1.36272	0.11330	1.20274	1.98978	0.31228	1.01966	1.19880	0.6314	0.1108	1.2298	1.4651	0.2462	1.2932	1.2904
37.0	1.6616	53.78	0.48361	-0.10182	-0.33601	1.0306	2.6356	0.7056	1.7299	1.35720	0.12030	1.19662	1.97370	0.33286	1.00389	1.18434	0.6256	0.1179	1.2211	1.4518	0.2623	1.2740	1.2805
38.0	1.6243	52.53	0.48731	-0.10025	-0.33535	1.0304	2.5662	0.7095	1.6901	1.35150	0.12757	1.19030	1.95723	0.35443	0.98774	1.16947	0.6196	0.1253	1.2123	1.4381	0.2791	1.2543	1.2704
39.0	1.5890	51.30	0.49117	-0.09864	-0.33465	1.0302	2.5003	0.7135	1.6525	1.34561	0.13513	1.18377	1.94038	0.37705	0.97121	1.15421	0.6134	0.1330	1.2030	1.4241	0.2967	1.2342	1.2601
40.0	1.5557	50.10	0.49519	-0.09699	-0.33390	1.0300	2.4377	0.7177	1.6170	1.33952	0.14298	1.17703	1.92316	0.40078	0.95429	1.13854	0.6069	0.1410	1.1934	1.4098	0.3151	1.2136	1.2495
41.0	1.5243	48.92	0.49939	-0.09531	-0.33309	1.0298	2.3781	0.7220	1.5833	1.33324	0.15112	1.17007	1.90557	0.42570	0.93701	1.12246	0.6003	0.1494	1.1836	1.3952	0.3345	1.1926	1.2387
42.0	1.4945	47.76	0.50376	-0.09359	-0.33222	1.0296	2.3213	0.7265	1.5515	1.32675	0.15959	1.16289	1.88761	0.45187	0.91935	1.10598	0.5934	0.1581	1.1735	1.3803	0.3547	1.1711	1.2276
43.0	1.4663	46.63	0.50832	-0.09183	-0.33129	1.0294	2.2672	0.7311	1.5213	1.32006	0.16837	1.15548	1.86929	0.47939	0.90133	1.08908	0.5863	0.1631	1.1631	1.3650	0.3760	1.1492	1.2163
44.0	1.4396	45.51	0.51307	-0.09004	-0.33029	1.0291	2.2154	0.7358	1.4926	1.31315	0.17750	1.14784	1.85061	0.50833	0.88296	1.07177	0.5790	0.1768	1.1523	1.3494	0.3983	1.1269	1.2047
45.0	1.4142	44.42	0.51803	-0.08822	-0.32922	1.0288	2.1660	0.7407	1.4654	1.30603	0.18698	1.13995	1.83159	0.53881	0.86423	1.05405	0.5714	0.1868	1.1413	1.3336	0.4217	1.1041	1.1929
46.0	1.3902	43.34	0.52320	-0.08636	-0.32807	1.0286	2.1187	0.7457	1.4396	1.29868	0.19683	1.13182	1.81224	0.57094	0.84515	1.03590	0.5636	0.1972	1.1298	1.3174	0.4464	1.0809	1.1809
47.0	1.3673	42.27	0.52859	-0.08446	-0.32684	1.0283	2.0733	0.5709	1.4150	1.29111	0.20707	1.12343	1.79255	0.60485	0.82573	1.01733	0.5555	0.2081	1.1180	1.3009	0.4724	1.0573	1.1687
48.0	1.3456	41.23	0.53422	-0.08254	-0.32551	1.0280	2.0299	0.7562	1.3916	1.28329	0.21771	1.11477	1.77253	0.64069	0.80597	0.99832	0.5471	0.2195	1.1059	1.2842	0.4997	1.0333	1.1562
49.0	1.3250	40.19	0.54010	-0.08058	-0.32410	1.0277	1.9881	0.7617	1.3693	1.27524	0.22878	1.10584	1.75220	0.67860	0.78589	0.97888	0.5384	0.2314	1.0934	1.2671	0.5286	1.0089	1.1435
50.0	1.3054	39.17	0.54624	-0.07860	-0.32258	1.0273	1.9480	0.7673	1.3481	1.26693	0.24030	1.09663	1.73156	0.71878	0.76549	0.95900	0.5295	0.2439	1.0806	1.2498	0.5591	0.9841	1.1306
51.0	1.2868	38.16	0.55266	-0.07658	-0.32096	1.0270	1.9095	0.7731	1.3279	1.25836	0.25229	1.08712	1.71063	0.76142	0.74477	0.93867	0.5202	0.2570	1.0673	1.2322	0.5914	0.9589	1.1174
52.0	1.2690	37.17	0.55937	-0.07453	-0.31922	1.0266	1.8724	0.7791	1.3087	1.24952	0.26478	1.07730	1.68941	0.80677	0.72374	0.91788	0.5106	0.2707	1.0537	1.2143	0.6256	0.9333	1.1040
53.0	1.2521	36.18	0.56639	-0.07246	-0.31736	1.0262	1.8366	0.7852	1.2903	1.24040	0.27781	1.06716	1.66791	0.85508	0.70243	0.89662	0.5007	0.2852	1.0396	1.1961	0.6619	0.9074	1.0904
54.0	1.2361	35.21	0.57374	-0.07036	-0.31537	1.0259	1.8021	0.7915	1.2728	1.23099	0.29139	1.05668	1.64615	0.90666	0.68082	0.87489	0.4904	0.3004	1.0251	1.1777	0.7005	0.8811	1.0766
55.0	1.2208	34.24	0.58144	-0.06823	-0.31323	1.0254	1.7689	0.7980	1.2561	1.22128	0.30559	1.04585	1.62414	0.96185	0.65894	0.85267	0.4798	0.3164	1.0102	1.1591	0.7417	0.8545	1.0626
56.0	1.2062	33.29	0.58952	-0.06608	-0.31095	1.0250	1.7368	0.8046	1.2402	1.21126	0.32042	1.03466	1.60189	1.02105	0.63679	0.82995	0.4688	0.3333	0.9948	1.1402	0.7857	0.8276	1.0483
57.0	1.1924	32.34	0.59799	-0.06390	-0.30850	1.0246	1.7057	0.8114	1.2250	1.20091	0.33595	1.02307	1.57942	1.08472	0.61439	0.80671	0.4574	0.3511	0.9789	1.1210	0.8328	0.8003	1.0339
58.0	1.1792	31.40	0.60690	-0.06170	-0.30588	1.0241	1.6757	0.8184	1.2104	1.19022	0.35222	1.01108	1.55674	1.15338	0.59175	0.78295	0.4455	0.3700	0.9625	1.1016	0.8833	0.7727	1.0192
59.0	1.1666	30.46	0.61626	-0.05948	-0.30308	1.0236	1.6467	0.8255	1.1966	1.17916	0.36930	0.99865	1.53387	1.22766	0.56888	0.75863	0.4332	0.3900	0.9456	1.0820	0.9377	0.7448	1.0044
60.0	1.1547	29.53	0.62612	-0.05725	-0.30008	1.0231	1.6185	0.8328	1.1834	1.16774	0.38725	0.98576	1.51083	1.30829	0.54581	0.73374	0.4202	0.4113	0.9282	1.0622	0.9965	0.7166	0.9893
θ	Ω_K	A_{MIN}	σ_0	σ_1	σ_3	Ω_1	Ω_2	Ω_3	Ω_4	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5





3 次から 7 次までの表の例

7 次楕円関数 リプル 0.01dB 相当

素子値計算用テーブル

n = 7

ρ = 5%

			$K^2 = \infty$									
θ	Ω_S	A_{MIN}	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5	C_6	L_6	C_7
C	∞	∞	0.403400	0.0000	1.022752	1.373772	0.0000	1.548193	1.635121	0.0000	1.635196	1.365613
11.0	5.2408	146.39	0.3970	0.0069	1.0139	1.3510	0.0229	1.5099	1.6069	0.0139	1.6140	1.3562
12.0	4.8097	141.07	0.3958	0.0082	1.0122	1.3466	0.0274	1.5027	1.6016	0.0166	1.6100	1.3544
13.0	4.4454	136.16	0.3945	0.0096	1.0103	1.3419	0.0322	1.4948	1.5958	0.0195	1.6056	1.3524
14.0	4.1336	131.61	0.3931	0.0112	1.0083	1.3368	0.0375	1.4863	1.5896	0.0226	1.6009	1.3503
15.0	3.8637	127.37	0.3915	0.0129	1.0062	1.3314	0.0432	1.4772	1.5828	0.0260	1.5959	1.3480
16.0	3.6280	123.40	0.3898	0.0147	1.0039	1.3255	0.0493	1.4674	1.5757	0.0296	1.5904	1.3456
17.0	3.4203	119.66	0.3881	0.0167	1.0014	1.3193	0.0559	1.4571	1.5681	0.0335	1.5847	1.3430
18.0	3.2361	116.13	0.3862	0.0187	0.9988	1.3127	0.0629	1.4461	1.5600	0.0377	1.5786	1.3403
19.0	3.0716	112.78	0.3841	0.0210	0.9960	1.3057	0.0704	1.4345	1.5515	0.0421	1.5721	1.3374
20.0	2.9238	109.60	0.3820	0.0233	0.9931	1.2984	0.0784	1.4223	1.5426	0.0468	1.5654	1.3344
21.0	2.7904	106.57	0.3798	0.0258	0.9900	1.2907	0.0869	1.4095	1.5332	0.0517	1.5582	1.3312
22.0	2.6695	103.67	0.3774	0.0284	0.9867	1.2826	0.0959	1.3961	1.5234	0.0569	1.5507	1.3278
23.0	2.5593	100.90	0.3749	0.0312	0.9833	1.2741	0.1054	1.3820	1.5132	0.0624	1.5429	1.3243
24.0	2.4586	98.23	0.3723	0.0342	0.9797	1.2653	0.1155	1.3674	1.5025	0.0682	1.5348	1.3206
25.0	2.3662	95.67	0.3695	0.0373	0.9760	1.2561	0.1261	1.3522	1.4914	0.0742	1.5263	1.3168
26.0	2.2812	93.20	0.3666	0.0405	0.9720	1.2465	0.1374	1.3363	1.4799	0.0806	1.5174	1.3128
27.0	2.2027	90.82	0.3636	0.0439	0.9679	1.2365	0.1492	1.3199	1.4680	0.0872	1.5082	1.3086
28.0	2.1301	88.52	0.3605	0.0475	0.9637	1.2262	0.1617	1.3029	1.4556	0.0942	1.4987	1.3043
29.0	2.0627	86.29	0.3572	0.0513	0.9592	1.2155	0.1749	1.2853	1.4429	0.1015	1.4879	1.2999
30.0	2.0000	84.13	0.3537	0.0552	0.9546	1.2044	0.1888	1.2671	1.4297	0.1090	1.4787	1.2953
31.0	1.9416	82.03	0.3501	0.0594	0.9498	1.1929	0.2034	1.2484	1.4162	0.1170	1.4682	1.2905
32.0	1.8871	79.99	0.3464	0.0637	0.9448	1.1811	0.2188	1.2296	1.4022	0.1252	1.4573	1.2856
33.0	1.8361	78.01	0.3425	0.0683	0.9396	1.1688	0.2351	1.2091	1.3879	0.1338	1.4461	1.2805
34.0	1.7883	76.08	0.3385	0.0730	0.9342	1.1562	0.2522	1.1886	1.3732	0.1428	1.4346	1.2752
35.0	1.7434	74.20	0.3342	0.0780	0.9286	1.1432	0.2703	1.1675	1.3581	0.1521	1.4227	1.2698
36.0	1.7013	72.36	0.3299	0.0832	0.9228	1.1298	0.2894	1.1459	1.3427	0.1618	1.4105	1.2642
37.0	1.6616	70.56	0.3253	0.0886	0.9168	1.1161	0.3095	1.1237	1.3269	0.1719	1.3980	1.2585
38.0	1.6243	68.81	0.3206	0.0943	0.9106	1.1019	0.3308	1.1010	1.3108	0.1824	1.3851	1.2526
39.0	1.5890	67.09	0.3157	0.1003	0.9042	1.0874	0.3533	1.0777	1.2943	0.1933	1.3719	1.2466
40.0	1.5557	65.41	0.3106	0.1065	0.8975	1.0724	0.3771	1.0539	1.2776	0.2047	1.3584	1.2404
41.0	1.5243	63.76	0.3053	0.1131	0.8907	1.0571	0.4024	1.0295	1.2605	0.2164	1.3446	1.2340
42.0	1.4945	62.14	0.2997	0.1199	0.8836	1.0413	0.4292	1.0046	1.2431	0.2287	1.3304	1.2275
43.0	1.4663	60.55	0.2940	0.1271	0.8762	1.0252	0.4578	0.9792	1.2254	0.2415	1.3159	1.2208
44.0	1.4396	58.99	0.2881	0.1346	0.8686	1.0086	0.4881	0.9532	1.2074	0.2547	1.3011	1.2139
45.0	1.4142	57.46	0.2819	0.1425	0.8608	0.9916	0.5206	0.9268	1.1892	0.2685	1.2859	1.2069
46.0	1.3902	55.94	0.2755	0.1507	0.8527	0.9742	0.5553	0.8998	1.1707	0.2828	1.2704	1.1997
47.0	1.3673	54.46	0.2678	0.1594	0.8443	0.9563	0.5925	0.8723	1.1520	0.2977	1.2546	1.1923
48.0	1.3456	52.99	0.2617	0.1685	0.8357	0.9380	0.6324	0.8443	1.1331	0.3132	1.2384	1.1848
49.0	1.3250	51.54	0.2546	0.1781	0.8267	0.9192	0.6755	0.8159	1.1140	0.3294	1.2219	1.1770
50.0	1.3054	50.11	0.2471	0.1882	0.8175	0.7999	0.7220	0.7869	1.0948	0.3462	1.2050	1.1691
51.0	1.2868	48.70	0.2392	0.1989	0.8079	0.8802	0.7725	0.7576	1.0754	0.3637	1.1878	1.1611
52.0	1.2690	47.31	0.2311	0.2101	0.7980	0.8599	0.8275	0.7277	1.0559	0.3820	1.1703	1.1528
53.0	1.2521	45.93	0.2226	0.2220	0.7878	0.8391	0.8875	0.6974	1.0364	0.4011	1.1523	1.1444
54.0	1.2361	44.56	0.2137	0.2345	0.7772	0.8178	0.9534	0.6667	1.0169	0.4210	1.1340	1.1358
55.0	1.2208	43.21	0.2044	0.2479	0.7663	0.7959	1.0260	0.6357	0.9973	0.4418	1.1153	1.1270
56.0	1.2062	41.87	0.1947	0.2620	0.7550	0.7733	1.1065	0.6042	0.9779	0.4636	1.0962	1.1180
57.0	1.1924	40.54	0.1846	0.2770	0.7432	0.7501	1.1963	0.5724	0.9586	0.4865	1.0766	1.1088
58.0	1.1792	39.22	0.1740	0.2930	0.7311	0.7261	1.2970	0.5403	0.9395	0.5105	1.0566	1.0994
59.0	1.1666	37.91	0.1628	0.3101	0.7185	0.7014	1.4107	0.5079	0.9207	0.5358	1.0361	1.0898
60.0	1.1547	36.61	0.1511	0.3285	0.7054	0.6758	1.5402	0.4752	0.9023	0.5624	1.0151	1.0800
θ	Ω_S	A_{MIN}	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5	L_6	C_6	L_7

3 次から 7 次までの表の例

7 次楕円関数 リプル 0.1dB 相当

素子値計算用テーブル

n = 7

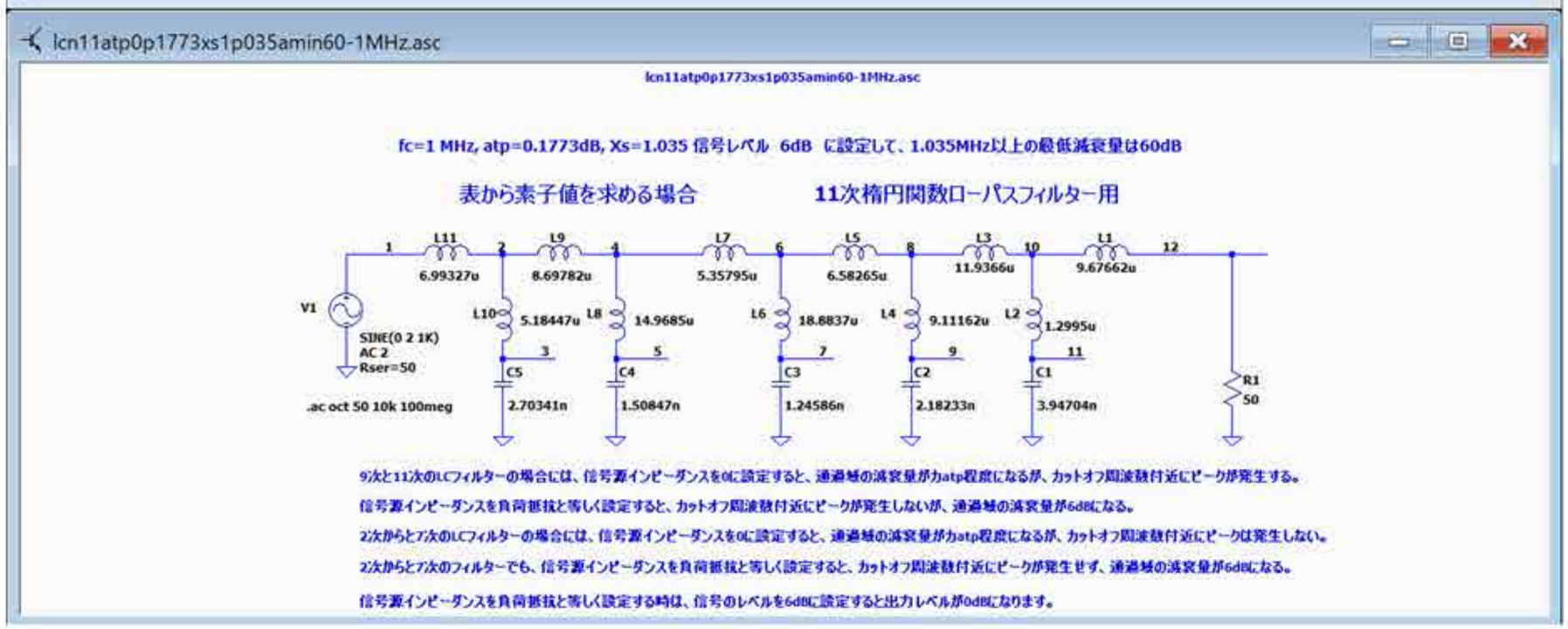
ρ = 15%

			$K^2 = \infty$									
θ	Ω_S	A_{MIN}	C_1	C_2	L_2	C_3	C_4	L_4	C_5	C_6	L_6	C_7
C	∞	∞	0.589187	0.0000	1.289299	1.622103	0.0000	1.710023	1.797779	0.0000	1.739136	1.473860
11.0	5.2408	156.02	0.5841	0.0054	1.2816	1.6002	0.0207	1.6739	1.7692	0.0131	1.7174	1.4632
12.0	4.8097	150.70	0.5832	0.0065	1.2801	1.5961	0.0247	1.6671	1.7638	0.0156	1.7133	1.4612
13.0	4.4454	145.79	0.5821	0.0076	1.2785	1.5916	0.0290	1.6597	1.7579	0.0183	1.7088	1.4590
14.0	4.1336	141.24	0.5810	0.0088	1.2768	1.5867	0.0337	1.6517	1.7516	0.0212	1.7040	1.4566
15.0	3.8637	137.00	0.5798	0.0102	1.2749	1.5815	0.0388	1.6431	1.7448	0.0244	1.6988	1.4541
16.0	3.6280	133.03	0.5785	0.0116	1.2729	1.5759	0.0443	1.6339	1.7375	0.0278	1.6932	1.4513
17.0	3.4203	129.29	0.5771	0.0131	1.2708	1.5700	0.0501	1.6241	1.7298	0.0315	1.6873	1.4484
18.0	3.2361	125.76	0.5756	0.0148	1.2685	1.5637	0.0564	1.6138	1.7216	0.0354	1.6810	1.4453
19.0	3.0716	122.41	0.5740	0.0165	1.2661	1.5570	0.0630	1.6029	1.7129	0.0395	1.6744	1.4421
20.0	2.9238	119.23	0.5723	0.0183	1.2635	1.5500	0.0701	1.5914	1.7038	0.0439	1.6674	1.4386
21.0	2.7904	116.20	0.5705	0.0203	1.2608	1.5426	0.0775	1.5793	1.6943	0.0485	1.6600	1.4350
22.0	2.6695	113.30	0.5687	0.0223	1.2580	1.5349	0.0854	1.5667	1.6843	0.0534	1.6523	1.4312
23.0	2.5593	110.53	0.5667	0.0245	1.2550	1.5268	0.0938	1.5535	1.6738	0.0586	1.6442	1.4272
24.0	2.4586	107.86	0.5646	0.0267	1.2519	1.5184	0.1026	1.5398	1.6629	0.0640	1.6358	1.4231
25.0	2.3662	105.30	0.5625	0.0291	1.2486	1.5096	0.1118	1.5254	1.6516	0.0696	1.6270	1.4187
26.0	2.2812	102.83	0.5602	0.0316	1.2452	1.5005	0.1215	1.5106	1.8398	0.0756	1.6179	1.4142
27.0	2.2027	100.45	0.5579	0.0343	1.2417	1.4910	0.1317	1.4952	1.6276	0.0818	1.6083	1.4095
28.0	2.1301	98.15	0.5554	0.0370	1.2379	1.4812	0.1425	1.4792	1.6149	0.0883	1.5985	1.4046
29.0	2.0627	95.92	0.5528	0.0399	1.2341	1.4710	0.1537	1.4627	1.6018	0.0951	1.5882	1.3996
30.0	2.0000	93.76	0.5502	0.0429	1.2300	1.4605	0.1655	1.4456	1.5883	0.1022	1.5777	1.3943
31.0	1.9416	91.66	0.5474	0.0460	1.2259	1.4496	0.1778	1.4281	1.5744	0.1096	1.5667	1.3889
32.0	1.8871	89.62	0.5445	0.0493	1.2215	1.4384	0.1908	1.4099	1.5600	0.1173	1.5554	1.3833
33.0	1.8361	87.64	0.5415	0.0527	1.2170	1.4268	0.2043	1.3913	1.5452	0.1254	1.5437	1.3775
34.0	1.7883	85.71	0.5383	0.0563	1.2123	1.4149	0.2185	1.3721	1.5301	0.1337	1.5317	1.3715
35.0	1.7434	83.83	0.5351	0.0600	1.2074	1.4026	0.2333	1.3524	1.5144	0.1424	1.5193	1.3654
36.0	1.7013	81.99	0.5317	0.0638	1.2024	1.3900	0.2489	1.3322	1.4984	0.1515	1.5066	1.3590
37.0	1.6616	80.20	0.5282	0.0679	1.1972	1.3770	0.2652	1.3115	1.4820	0.1609	1.4935	1.3525
38.0	1.6243	78.44	0.5246	0.0721	1.1918	1.3637	0.2823	1.2903	1.4652	0.1707	1.4800	1.3458
39.0	1.5890	76.72	0.5208	0.0764	1.1862	1.3501	0.3001	1.2686	1.4480	0.1809	1.4661	1.3389
40.0	1.5557	75.04	0.5169	0.0810	1.1804	1.3360	0.3189	1.2463	1.4304	0.1915	1.4519	1.3318
41.0	1.5243	73.39	0.5128	0.0857	1.1744	1.3217	0.3386	1.2236	1.4124	0.2025	1.4374	1.3245
42.0	1.4945	71.77	0.5086	0.0907	1.1682	1.3070	0.3592	1.2004	1.3941	0.2139	1.4224	1.3170
43.0	1.4663	70.18	0.5043	0.0958	1.1618	1.2919	0.3809	1.1768	1.3753	0.2258	1.4071	1.3093
44.0	1.4396	68.62	0.4998	0.1012	1.1552	1.2765	0.4037	1.1526	1.3563	0.2382	1.3914	1.3014
45.0	1.4142	67.09	0.4951	0.1068	1.1484	1.2608	0.4277	1.1280	1.3368	0.2510	1.3754	1.2933
46.0	1.3902	65.57	0.4903	0.1126	1.1413	1.2446	0.4530	1.1029	1.3170	0.2644	1.3590	1.2850
47.0	1.3673	64.99	0.4853	0.1187	1.1340	1.2282	0.4797	1.0774	1.2968	0.2783	1.3422	1.2766
48.0	1.3456	62.62	0.4801	0.1250	1.1265	1.2113	0.5079	1.0514	1.2764	0.2928	1.3250	1.2679
49.0	1.3250	61.17	0.4747	0.1316	1.1186	1.1941	0.5377	1.0250	1.2555	0.3078	1.3074	1.2590
50.0	1.3054	59.74	0.4691	0.1385	1.1106	1.1766	0.5693	0.9981	1.2344	0.3235	1.2895	1.2499
51.0	1.2868	58.33	0.4633	0.1458	1.1022	1.1587	0.6028	0.9708	1.2129	0.3399	1.2712	1.2406
52.0	1.2690	56.94	0.4573	0.1533	1.0936	1.1401	0.6385	0.9431	1.1912	0.3569	1.2525	1.2310
53.0	1.2521	55.56	0.4511	0.1612	1.0847	1.1217	0.6765	0.9150	1.1691	0.3747	1.2333	1.2213
54.0	1.2361	54.19	0.4446	0.1695	1.0754	1.1026	0.7171	0.8865	1.1468	0.3933	1.2138	1.2113
55.0	1.2208	52.84	0.4379	0.1782	1.0659	1.0832	0.7605	0.8575	1.1242	0.4127	1.1939	1.2011
56.0	1.2062	56.50	0.4309	0.1873	1.0560	1.0633	0.8072	0.8282	1.1013	0.4331	1.1736	1.1906
57.0	1.1924	50.17	0.4236	0.1969	1.0457	1.0431	0.8575	0.7986	1.0782	0.4543	1.1528	1.1799
58.0	1.1792	48.85	0.4160	0.2070	1.0351	1.0224	0.9118	0.7685	1.0549	0.4767	1.1317	1.1690
59.0	1.1666	47.54	0.4081	0.2176	1.0240	1.0013	0.9706	0.7381	1.0314	0.5001	1.1100	1.1578
60.0	1.1547	46.24	0.3998	0.2288	1.0125	0.9798	1.0347	0.7074	1.0076	0.5247	1.0880	1.1463
θ	Ω_S	A_{MIN}	L_1	L_2	C_2	L_3	L_4	C_4	L_5	L_6	C_6	L_7

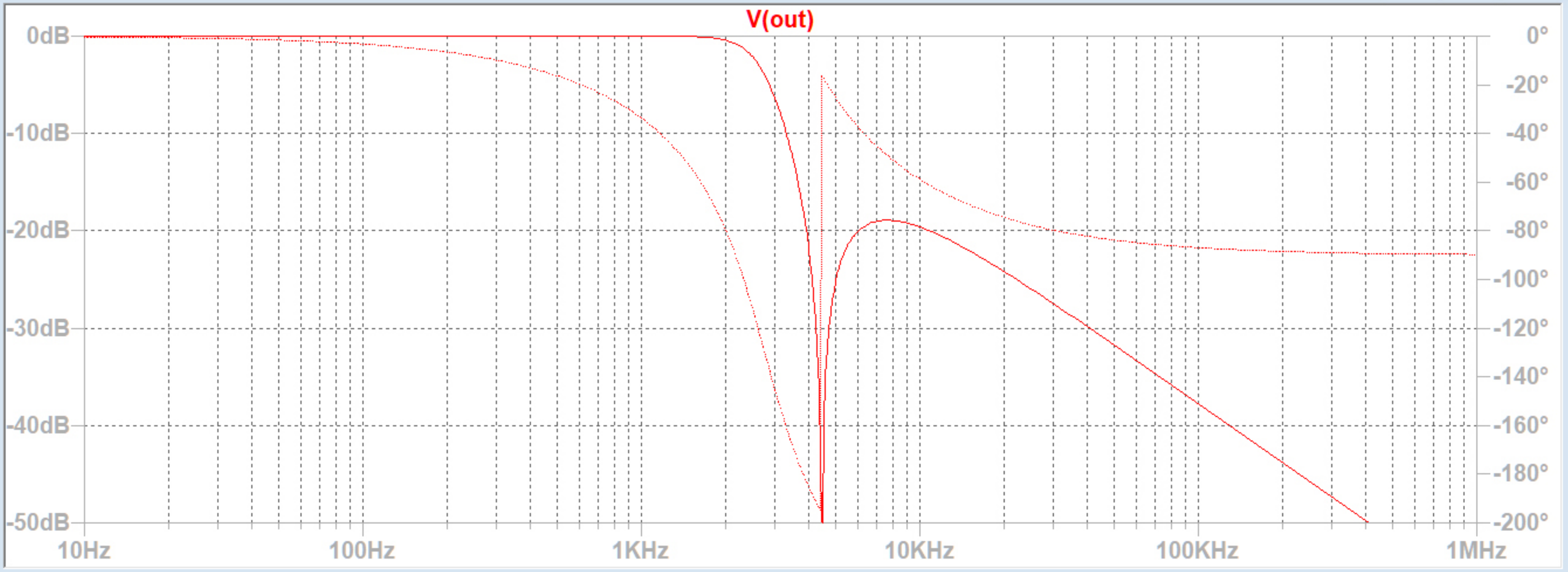
LCフィルター

マクロで作成した回路図と周波数特性





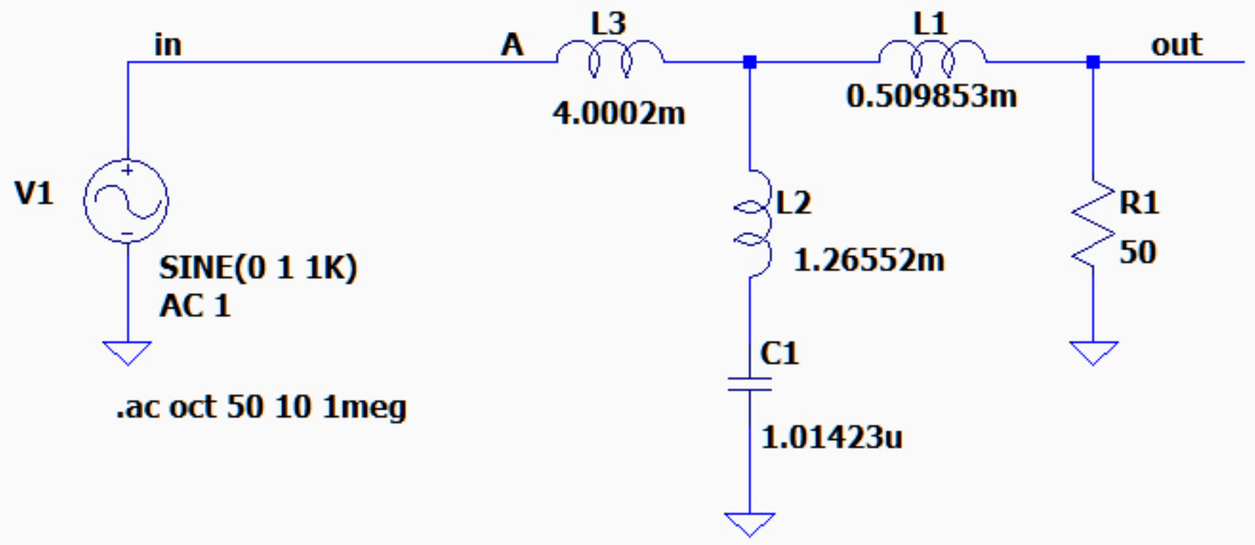
LCn3Atp0p0004Xs3Amin18.raw



LCn3Atp0p0004Xs3Amin18.asc

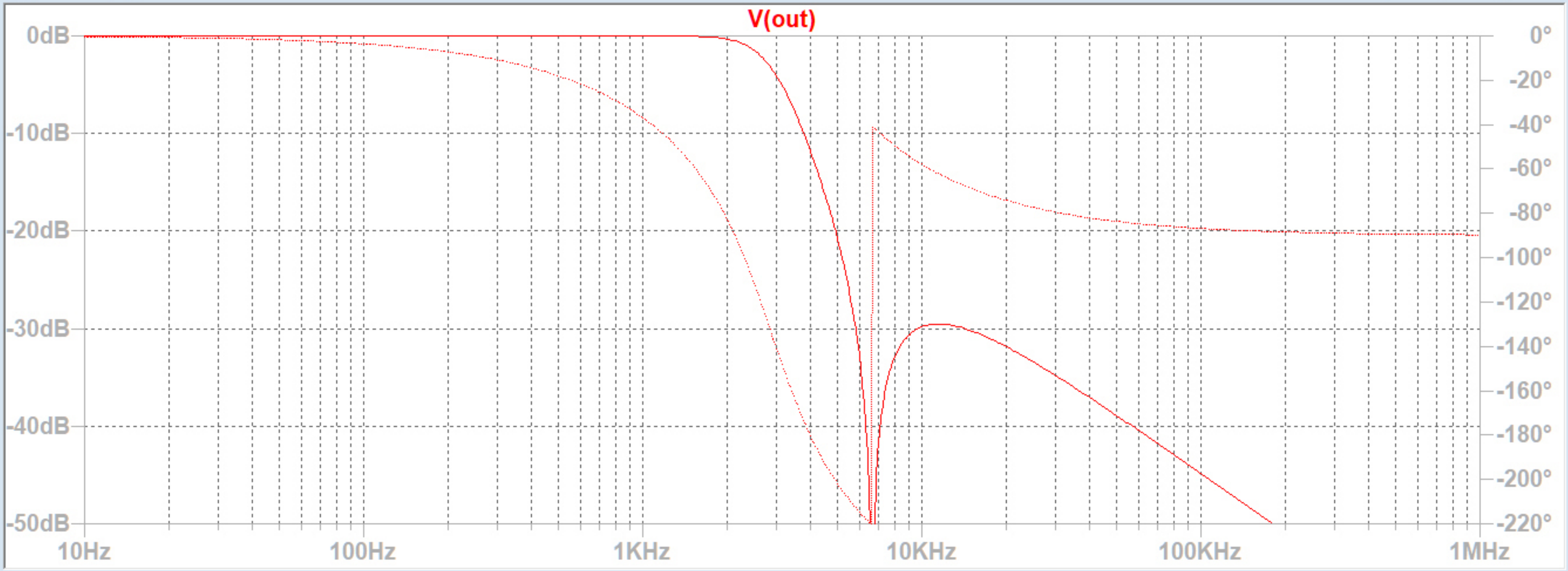
LCn3Atp0p0004Xs3Amin18.asc

表から素子値を求める場合　3次楕円関数ローパスフィルター用

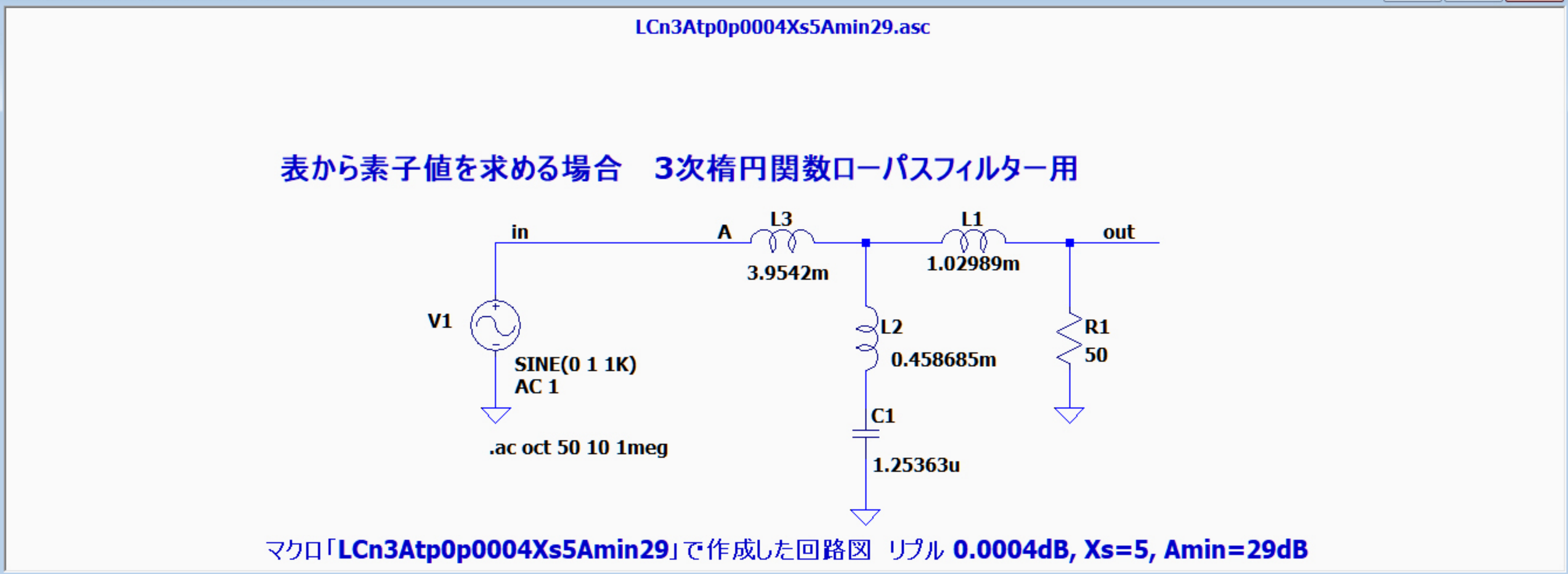


マクロ「**LCn3Atp0p0004Xs3Amin18**」で作成した回路図　リプル **0.0004dB, Xs=3, Amin=18dB**

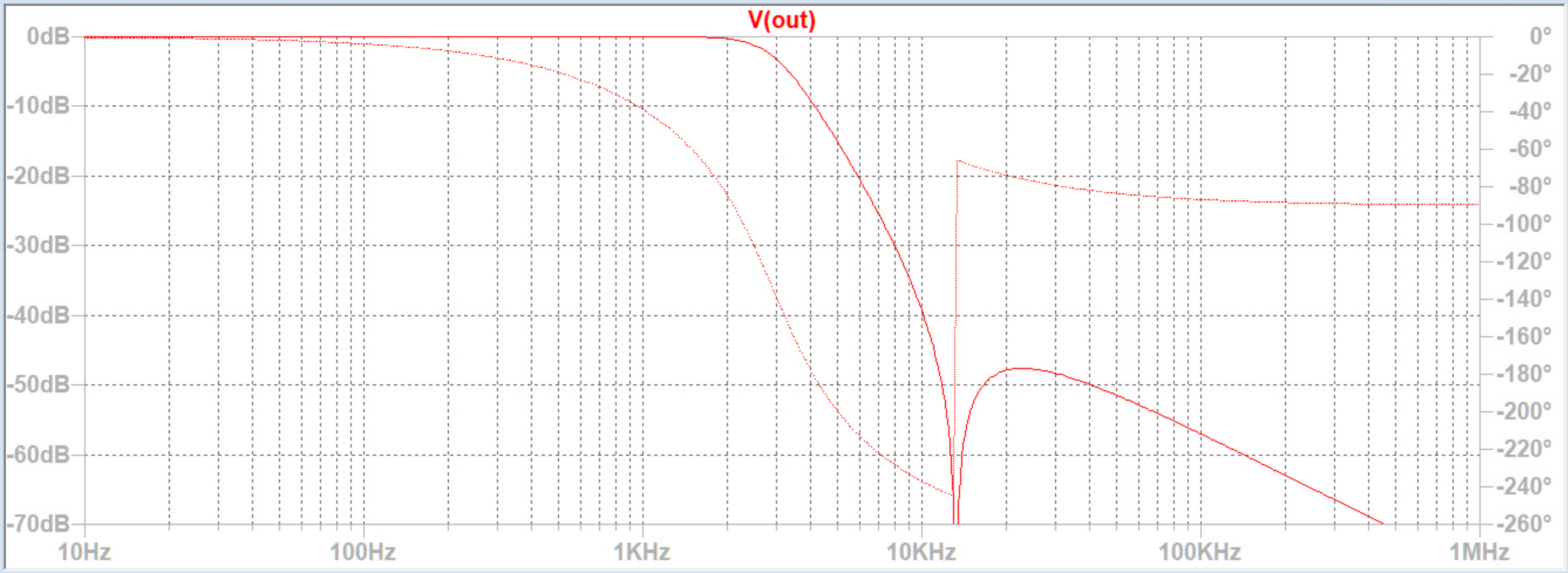
LCn3Atp0p0004Xs5Amin29.raw



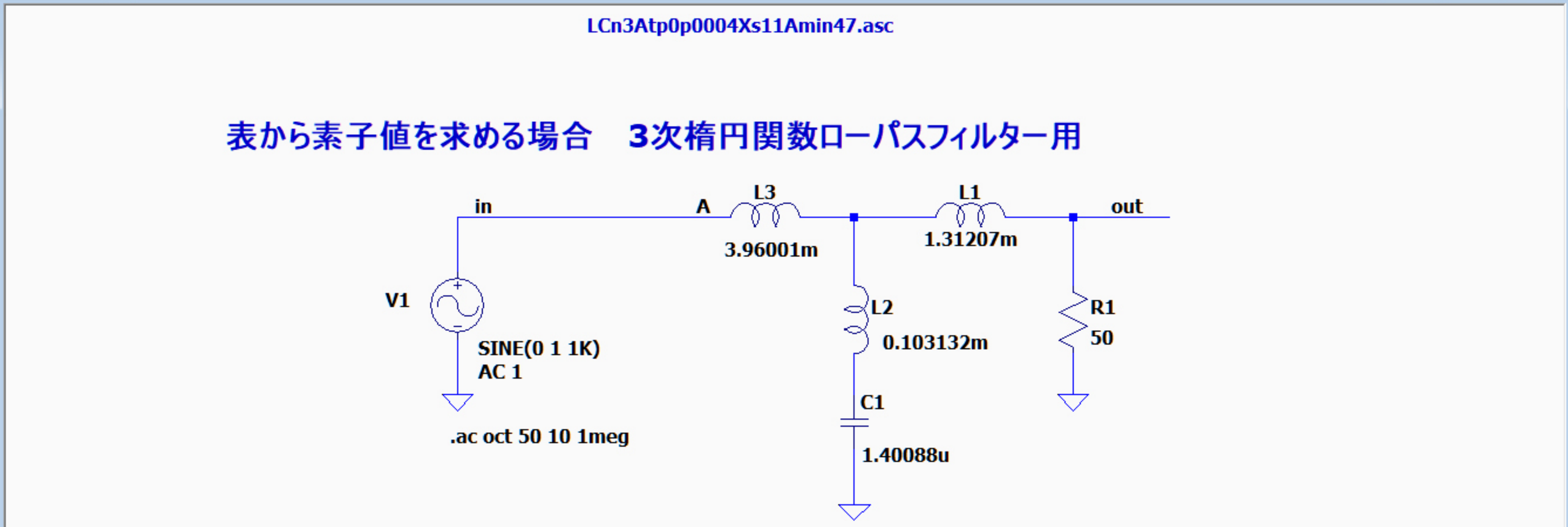
LCn3Atp0p0004Xs5Amin29.asc



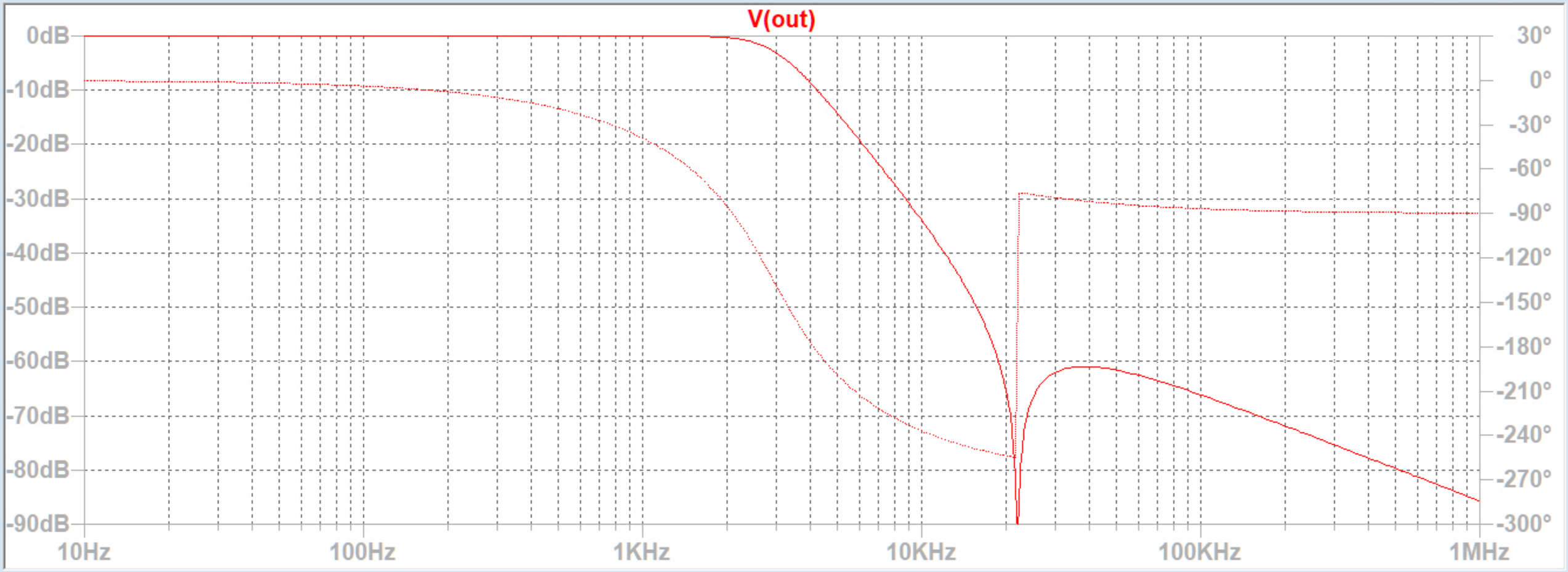
LCn3Atp0p0004Xs11Amin47.raw



LCn3Atp0p0004Xs11Amin47.asc



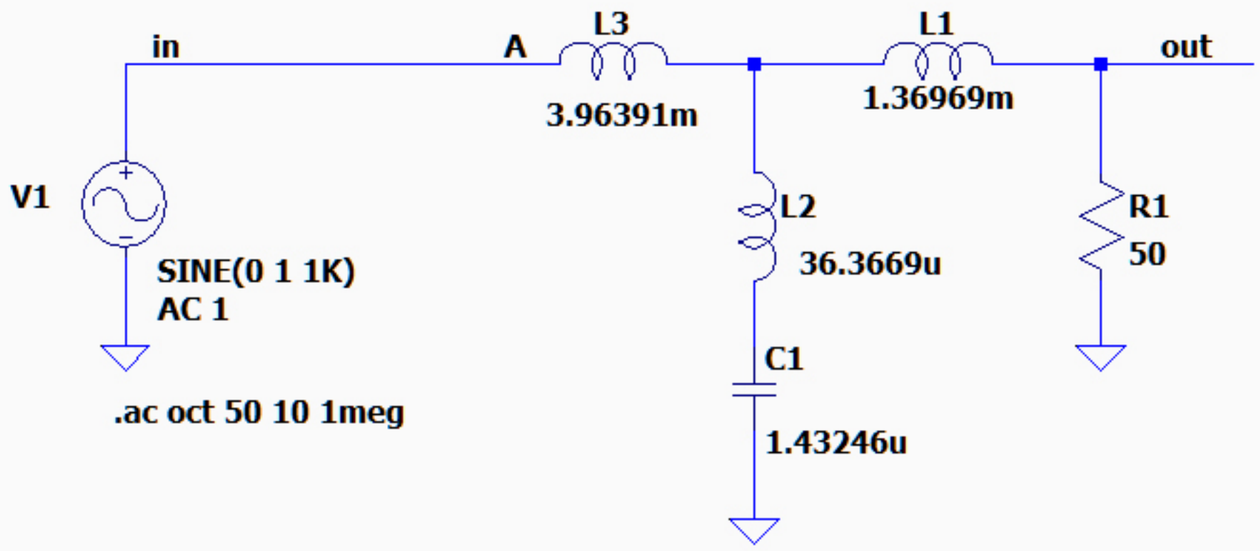
LCn3Atp0p0004Xs19Amin60.raw



LCn3Atp0p0004Xs19Amin60.asc

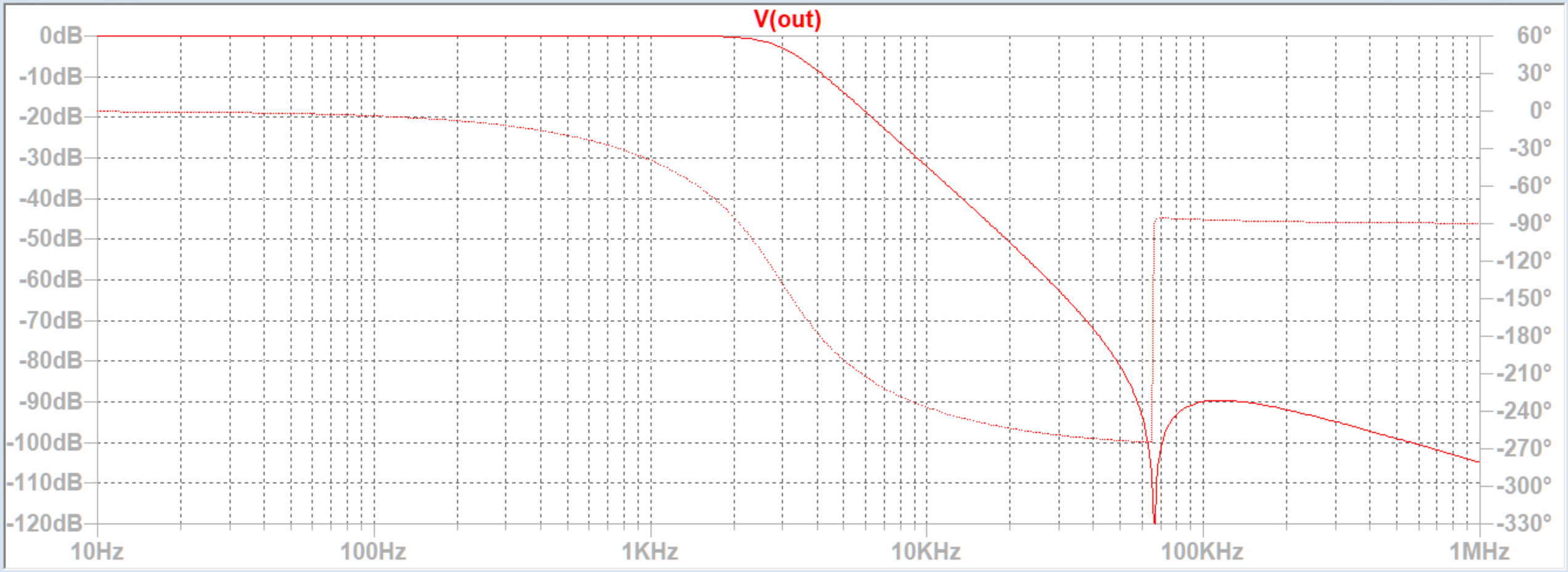
LCn3Atp0p0004Xs19Amin60.asc

表から素子値を求める場合　3次楕円関数ローパスフィルター用

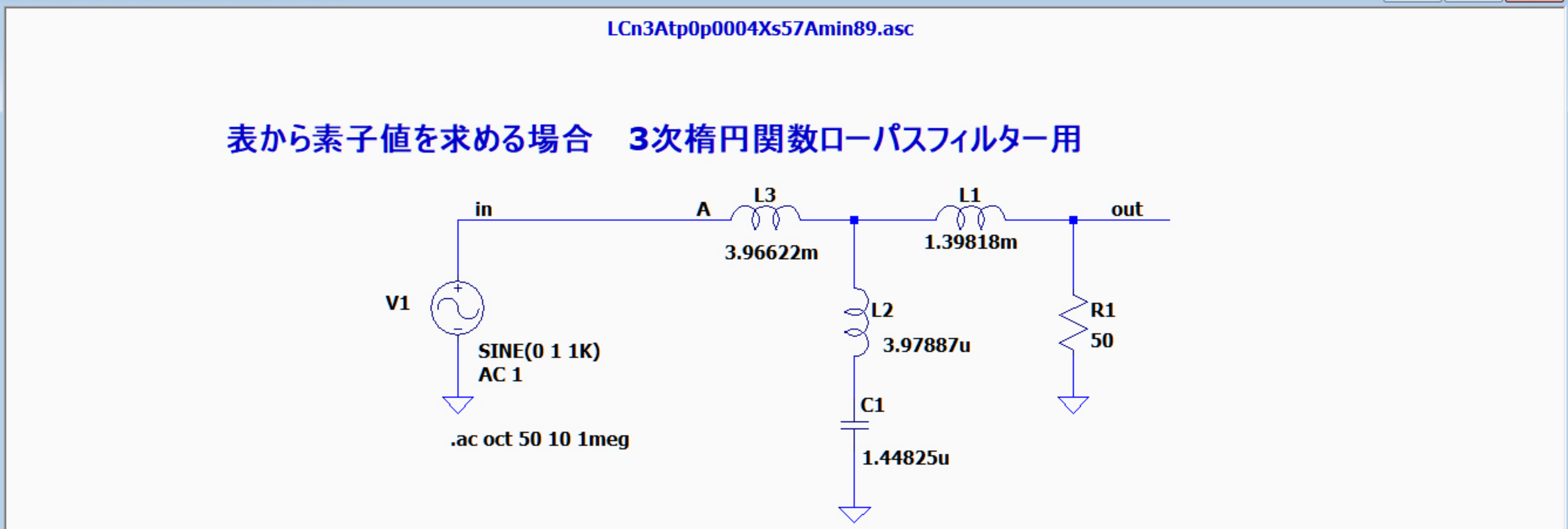


マクロ「**LCn3Atp0p0004Xs19Amin60**」で作成した回路図　リプル **0.0004dB, Xs=19, Amin=60dB**

LCn3Atp0p0004Xs57Amin89.raw

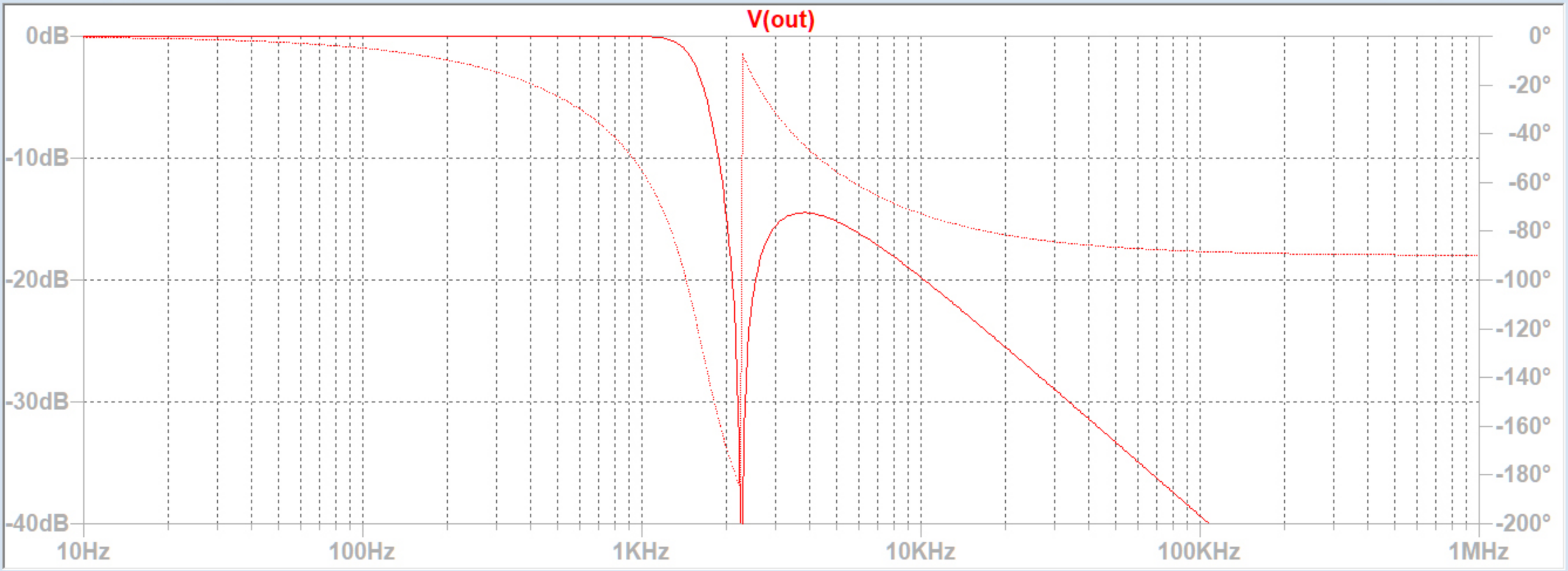


LCn3Atp0p0004Xs57Amin89.asc

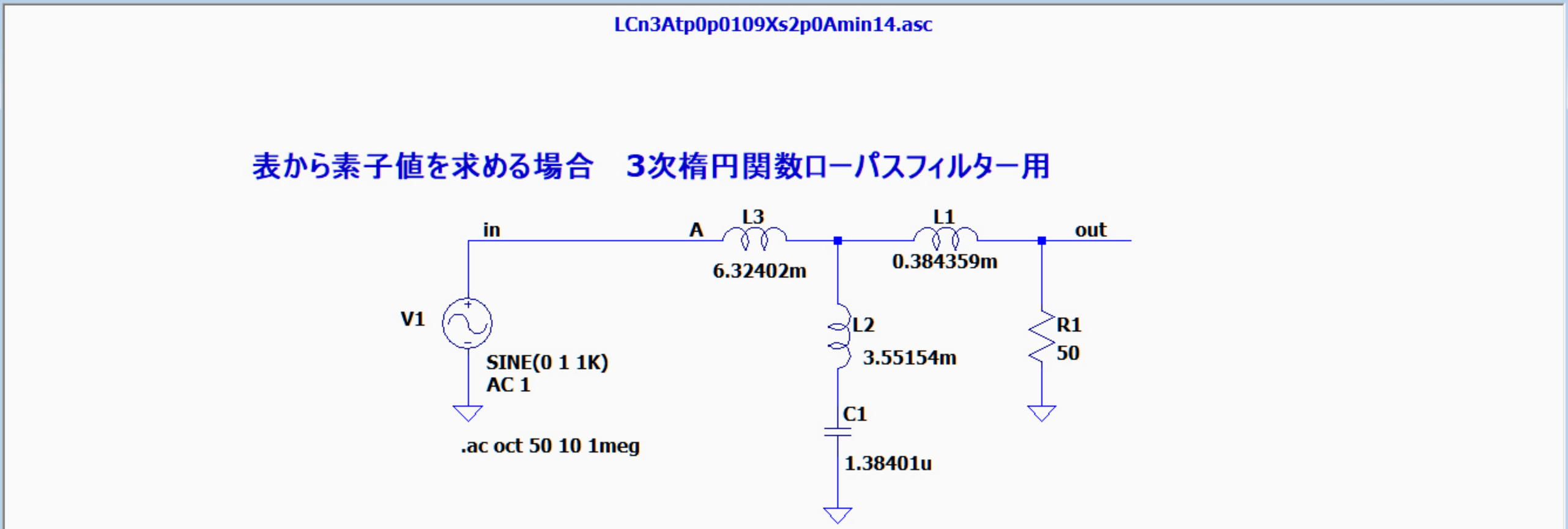


マクロ「**LCn3Atp0p0004Xs57Amin89**」で作成した回路図　リプル **0.0004dB, Xs=57, Amin=89dB**

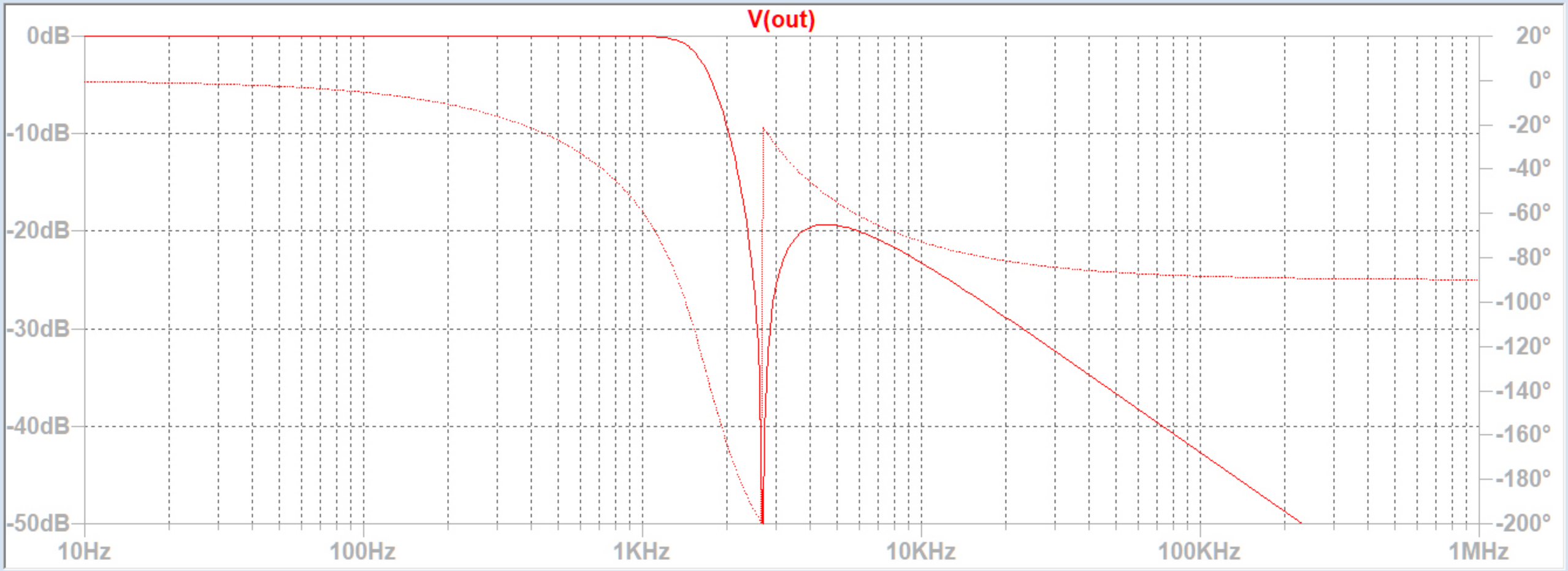
LCn3Atp0p0109Xs2p0Amin14.raw



LCn3Atp0p0109Xs2p0Amin14.asc



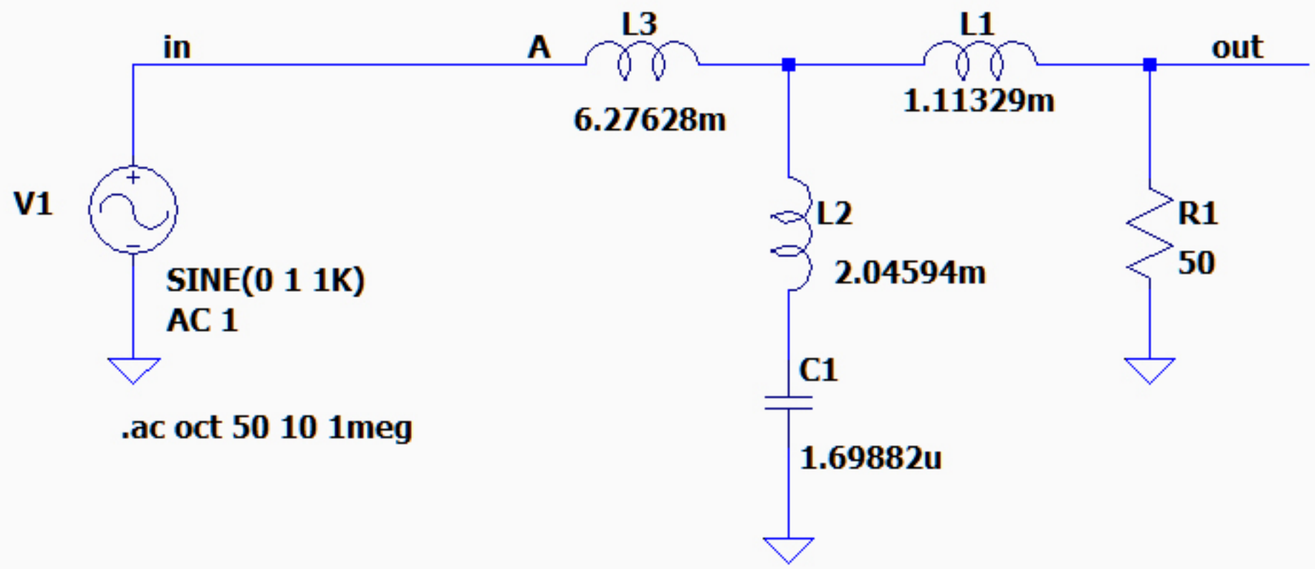
LCn3Atp0p0109Xs2p3Amin19.raw



LCn3Atp0p0109Xs2p3Amin19.asc

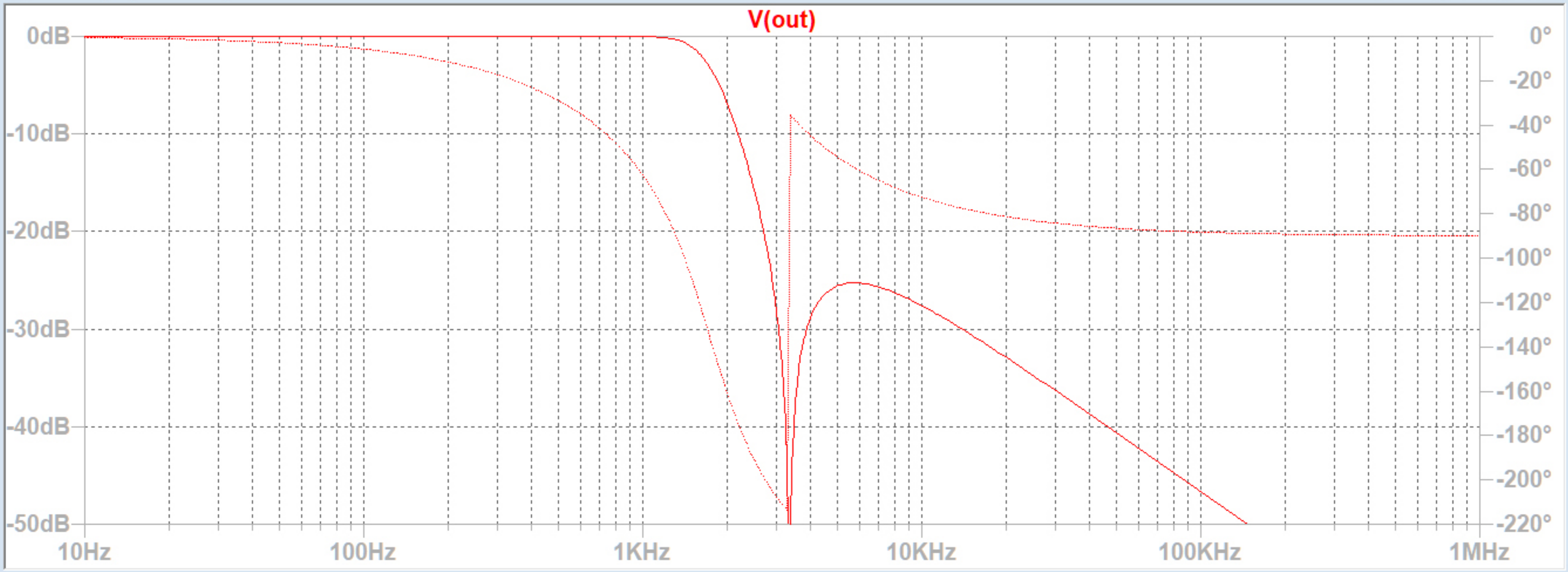
LCn3Atp0p0109Xs2p3Amin19.asc

表から素子値を求める場合　3次楕円関数ローパスフィルター用

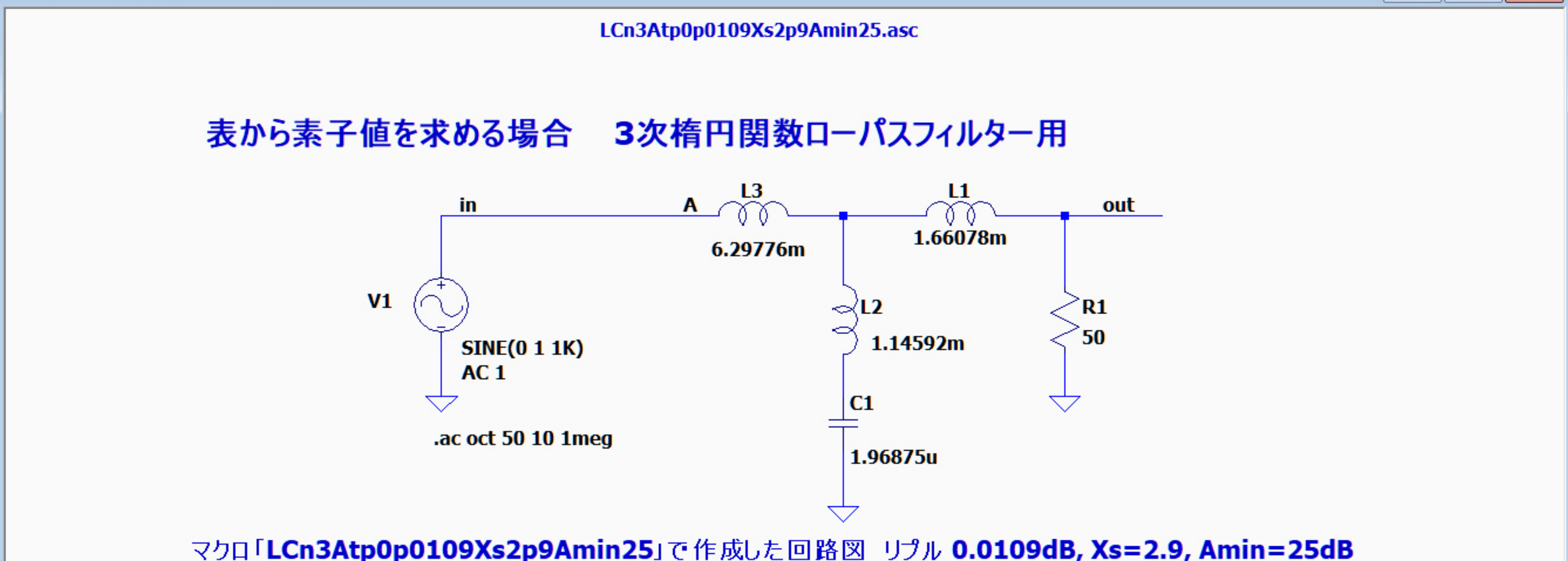


マクロ「**LCn3Atp0p0109Xs2p3Amin19**」で作成した回路図　リプル **0.0109dB, Xs=2.3, Amin=19dB**

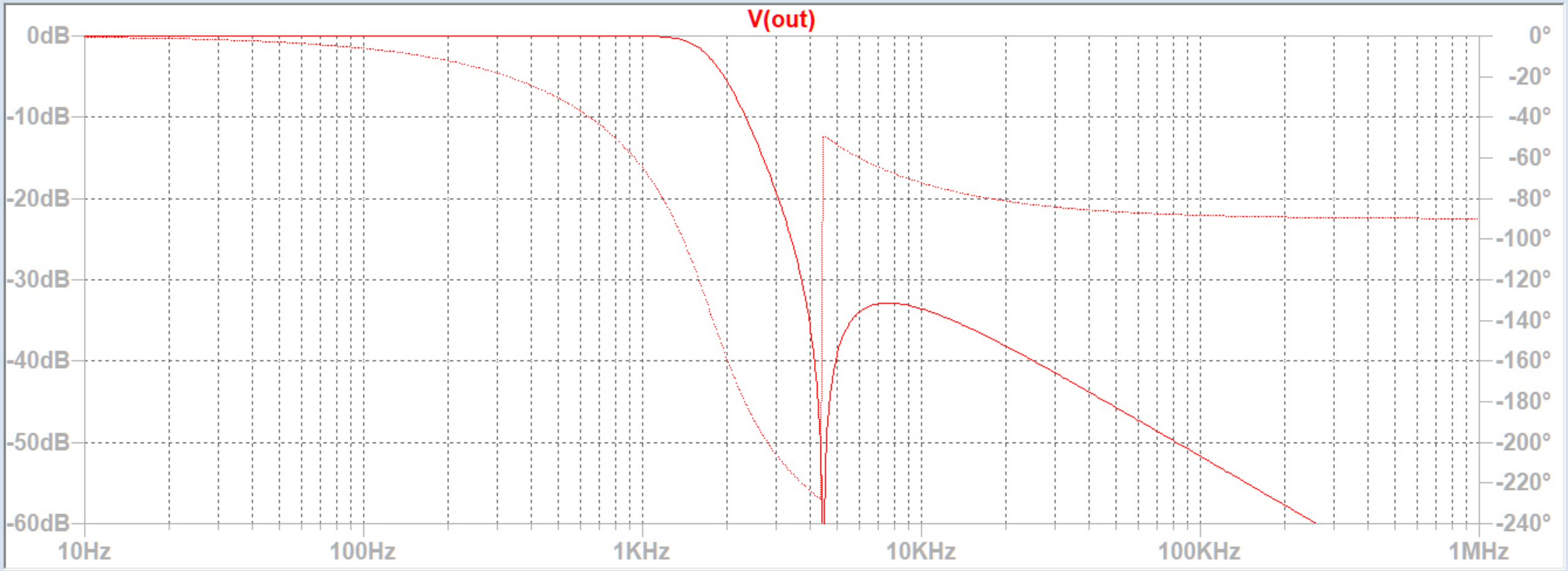
LCn3Atp0p0109Xs2p9Amin25.raw



LCn3Atp0p0109Xs2p9Amin25.asc



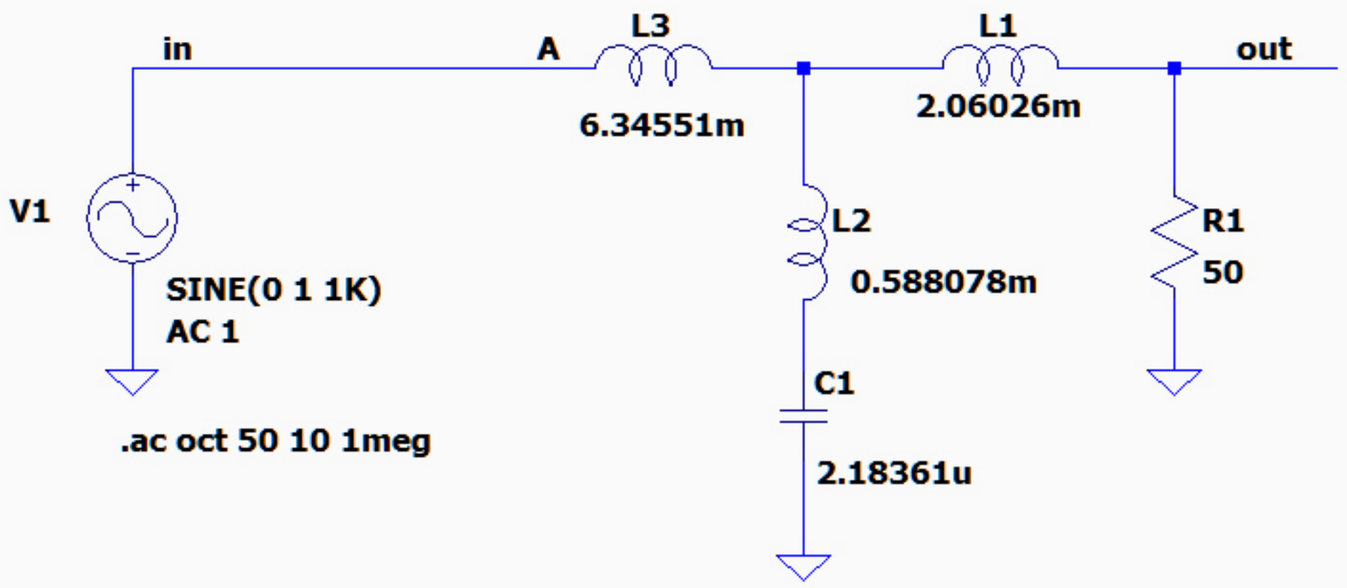
LCn3Atp0p0109Xs3p8Amin32.raw



LCn3Atp0p0109Xs3p8Amin32.asc

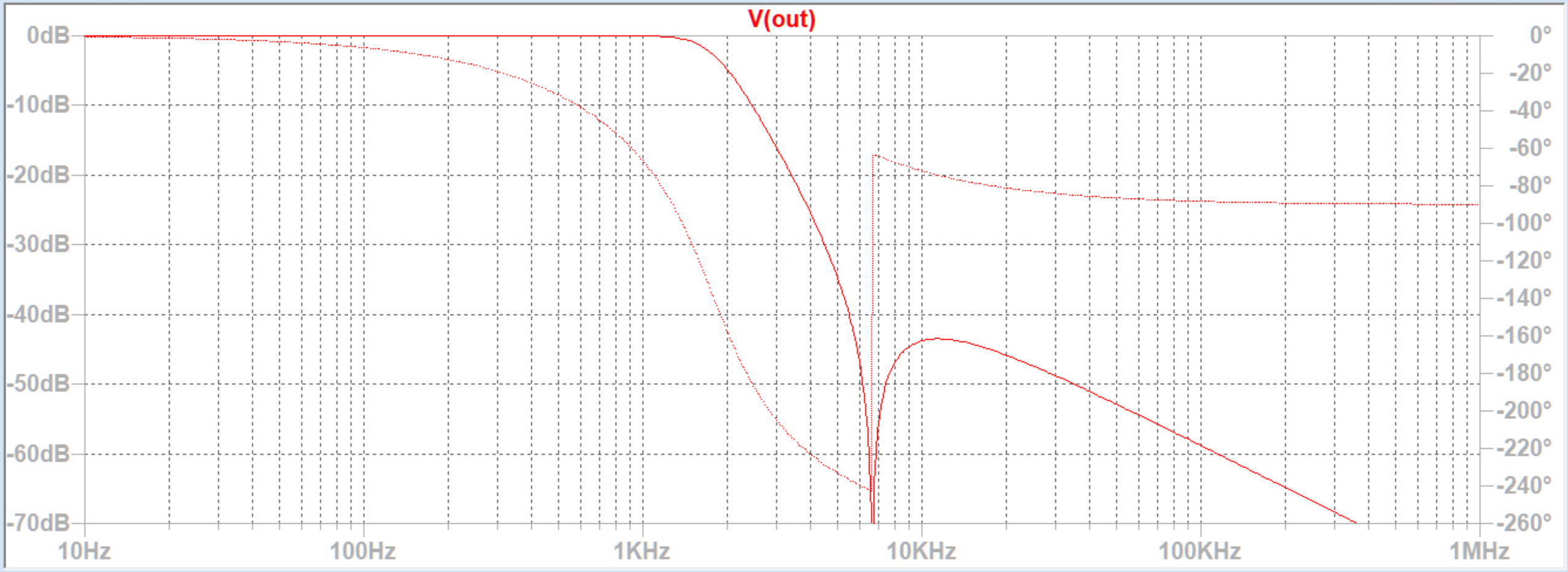
LCn3Atp0p0109Xs3p8Amin32.asc

表から素子値を求める場合　3次楕円関数ローパスフィルター用

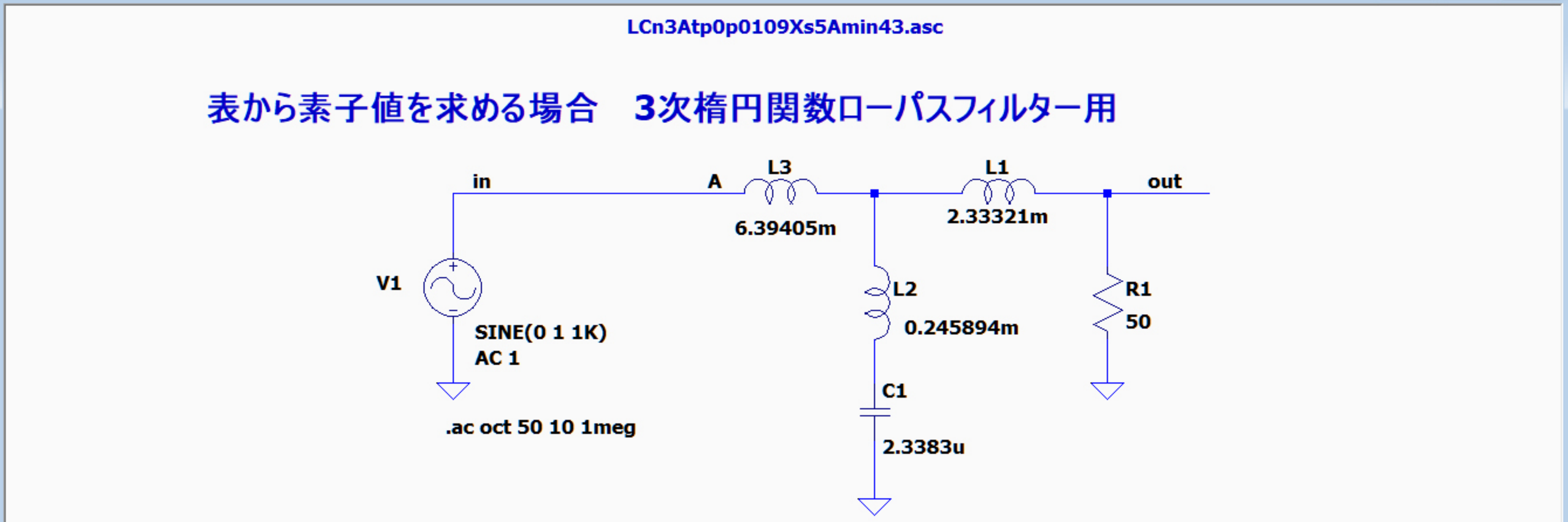


マクロ「LCn3Atp0p0109Xs3p8Amin32」で作成した回路図　リプル 0.0109dB, Xs=3.8, Amin=32dB

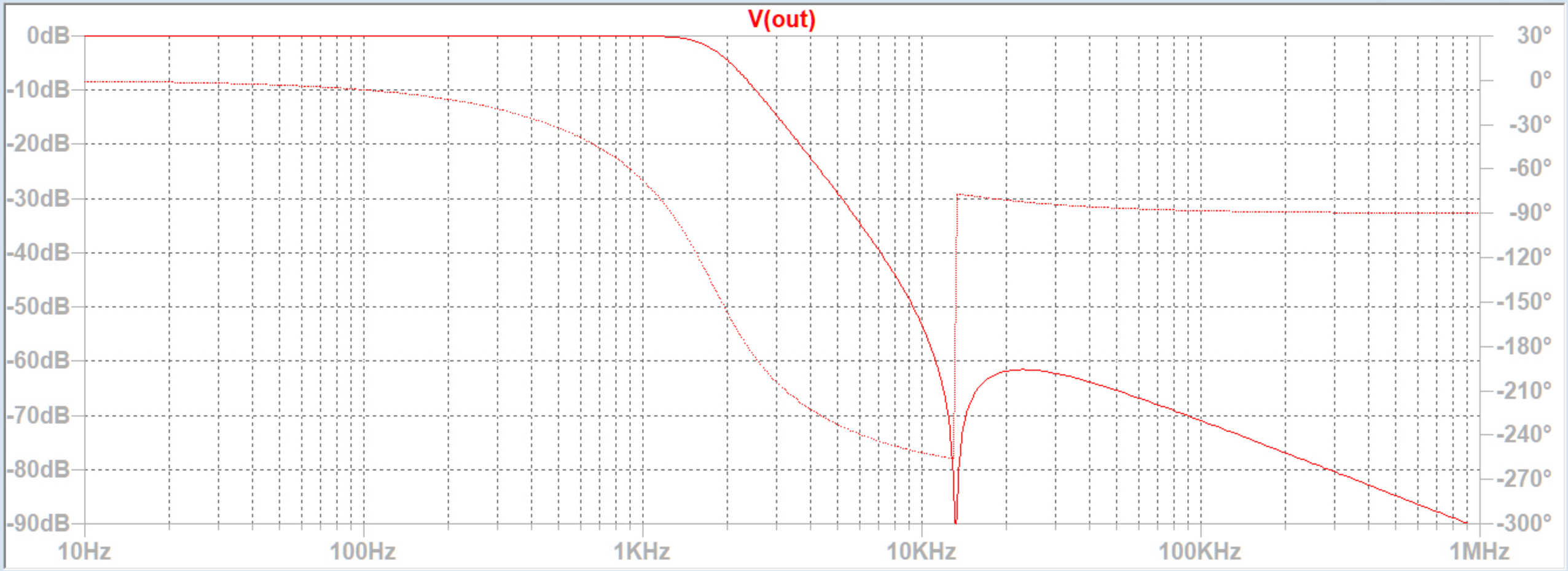
LCn3Atp0p0109Xs5Amin43.raw



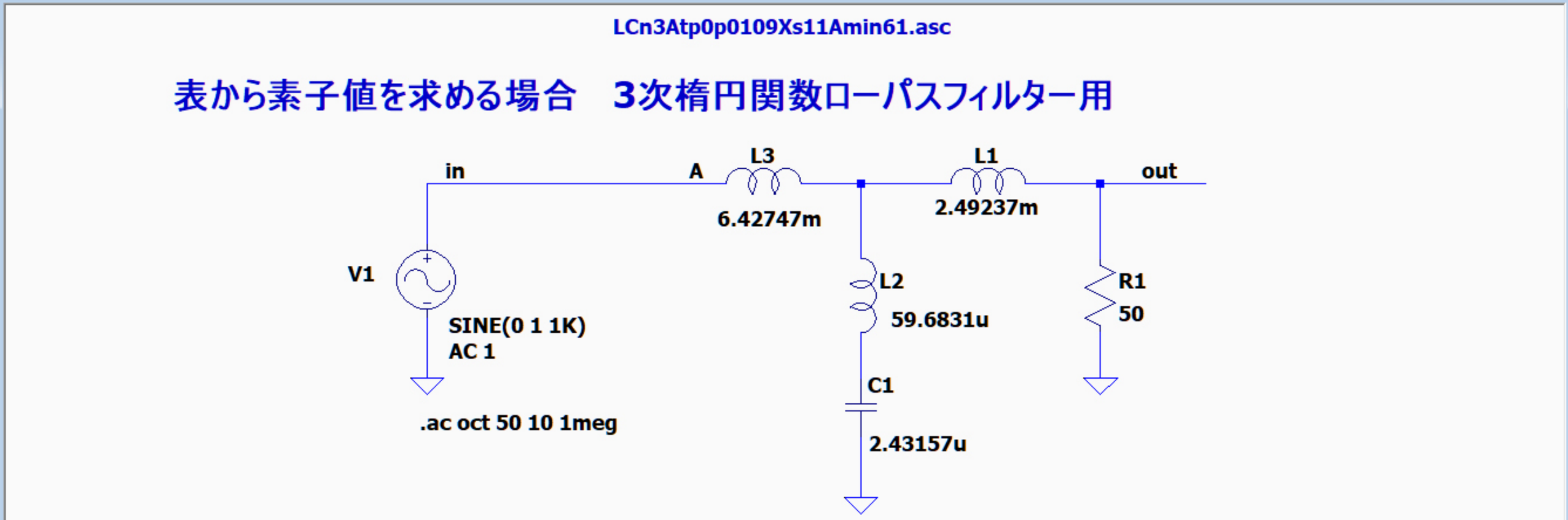
LCn3Atp0p0109Xs5Amin43.asc



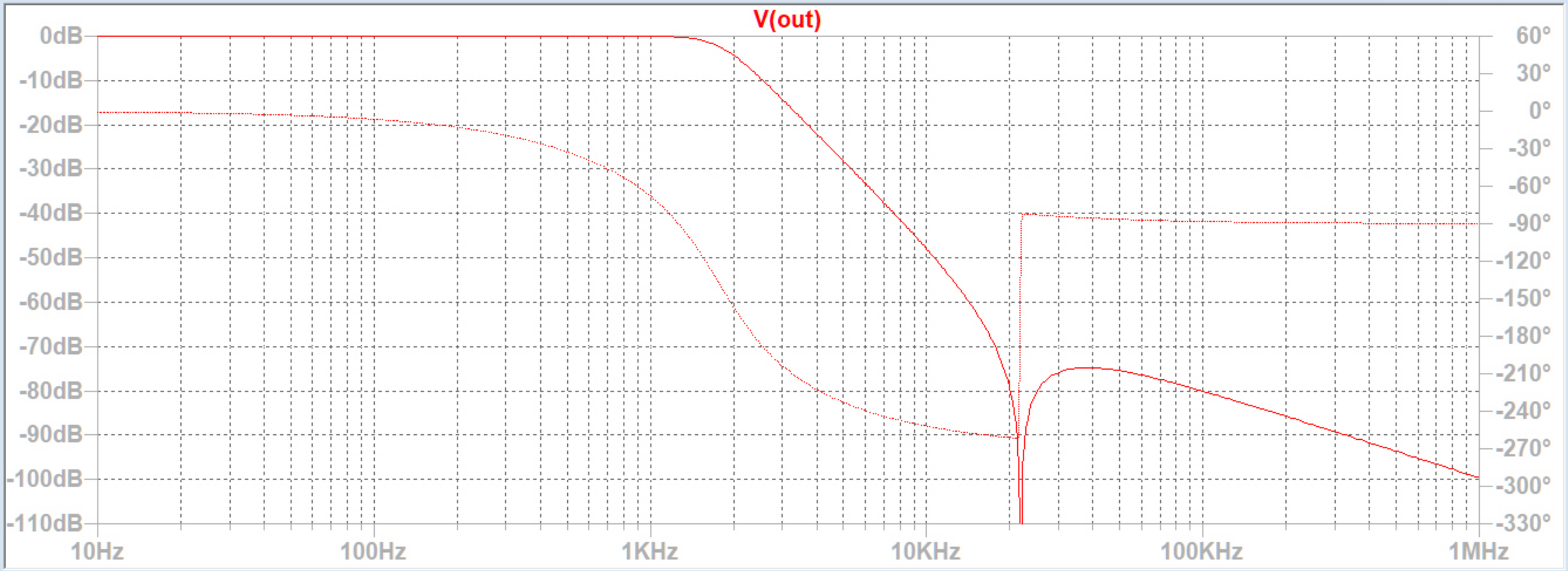
LCn3Atp0p0109Xs11Amin61.raw



LCn3Atp0p0109Xs11Amin61.asc



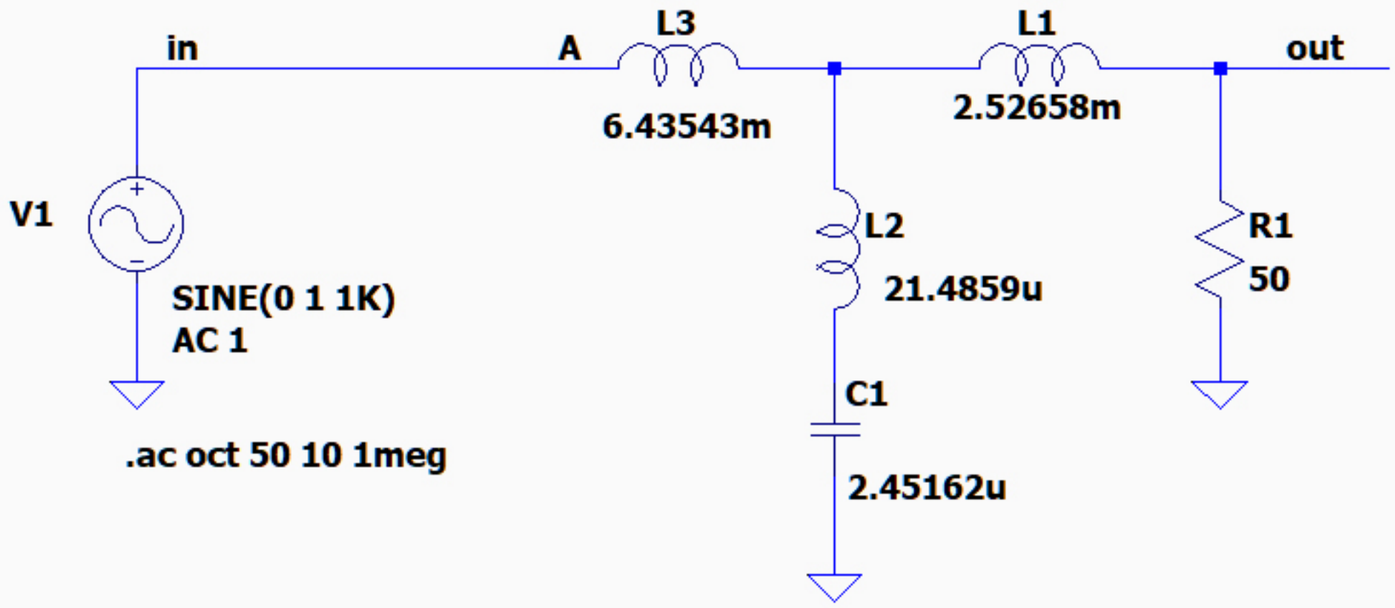
LCn3Atp0p0109Xs19Amin74.raw



LCn3Atp0p0109Xs19Amin74.asc

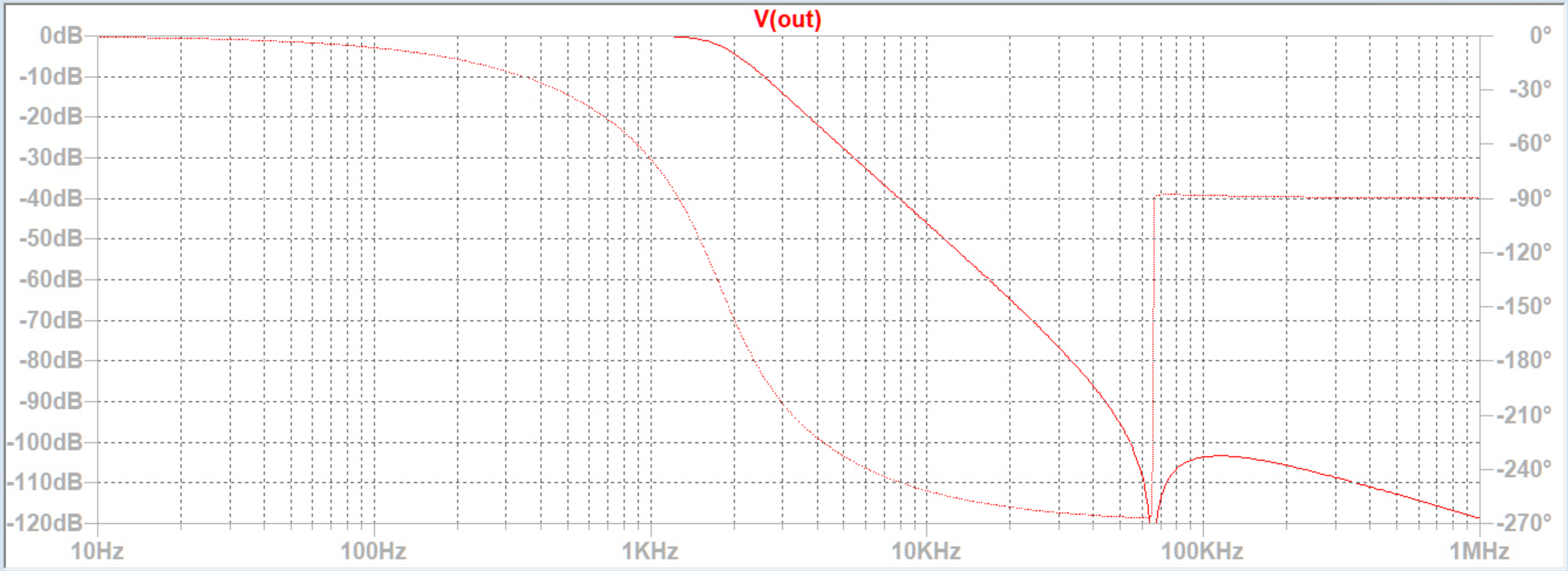
LCn3Atp0p0109Xs19Amin74.asc

表から素子値を求める場合　3次楕円関数ローパスフィルター用

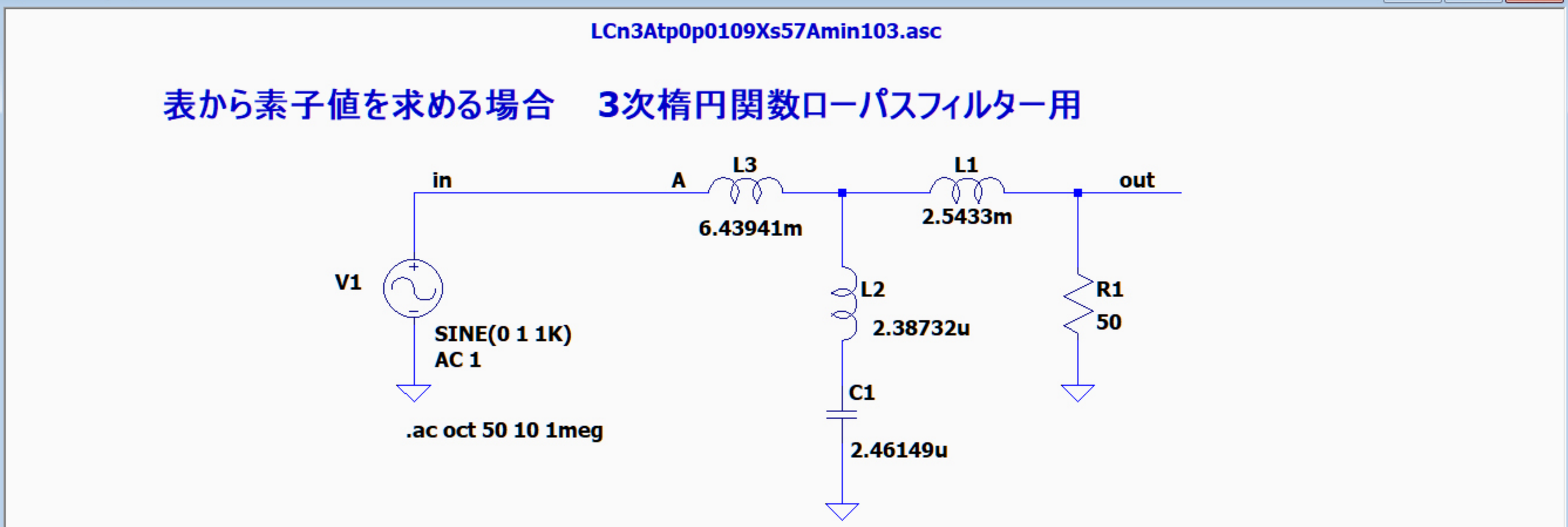


マクロ「**LCn3Atp0p0109Xs19Amin74**」で作成した回路図　リプル **0.0109dB, Xs=19, Amin=74dB**

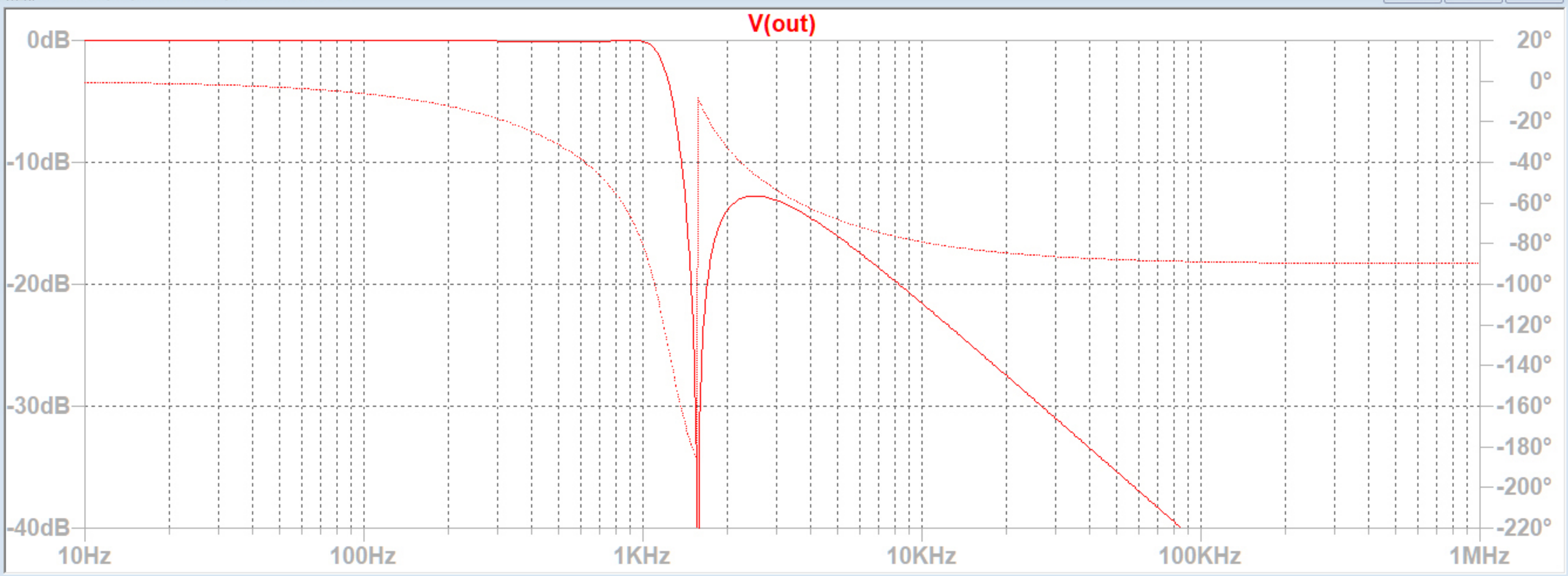
LCn3Atp0p0109Xs57Amin103.raw



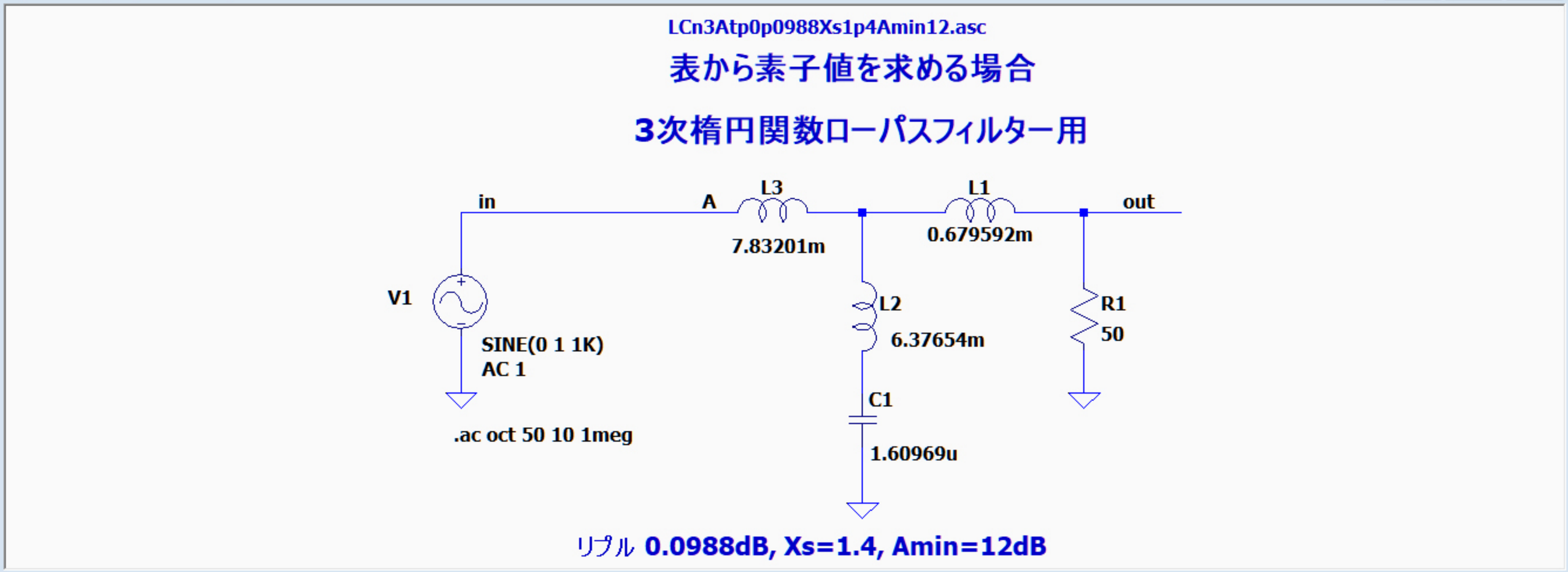
LCn3Atp0p0109Xs57Amin103.asc



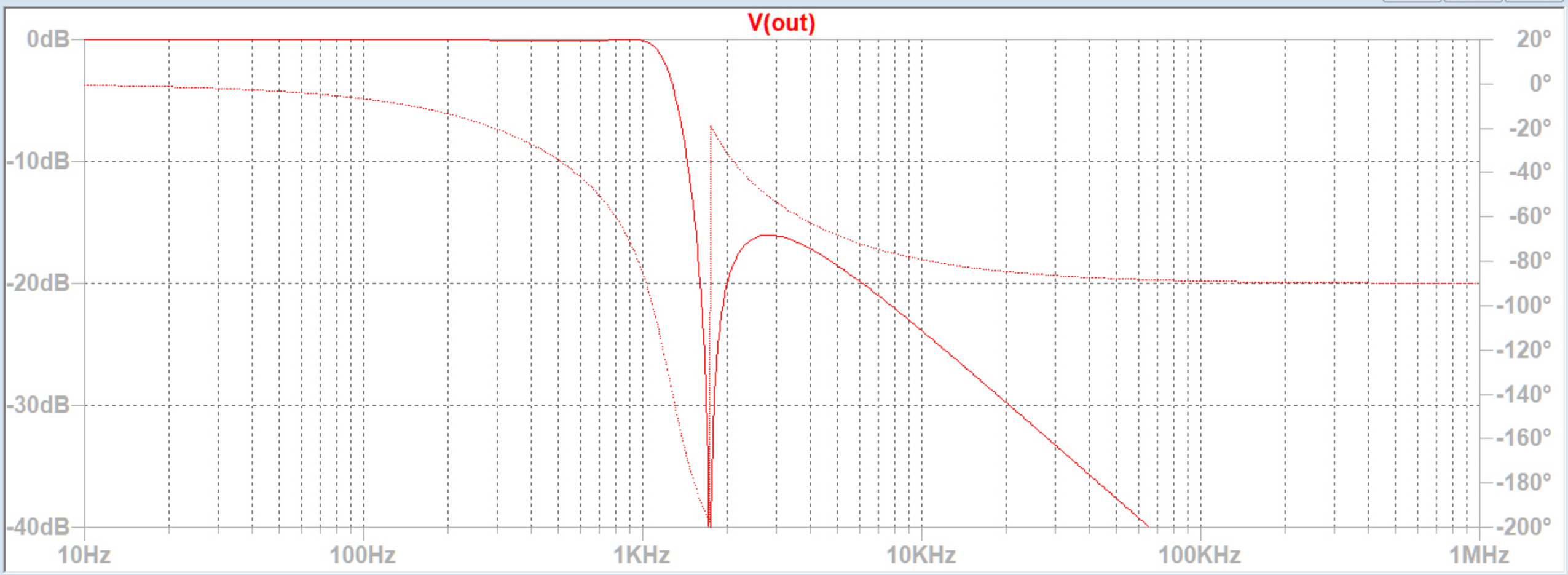
LCn3Atp0p0988Xs1p4Amin12.raw



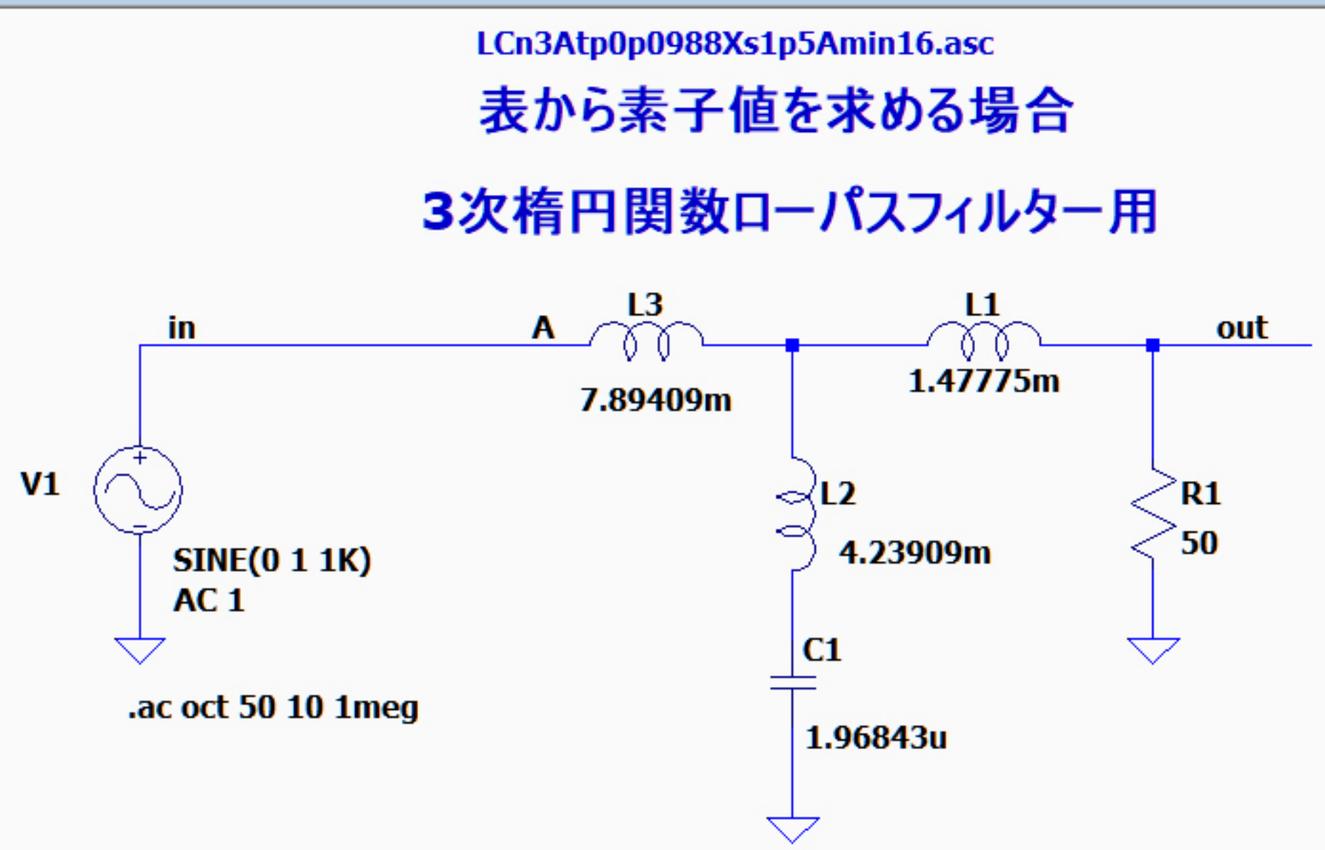
LCn3Atp0p0988Xs1p4Amin12.asc



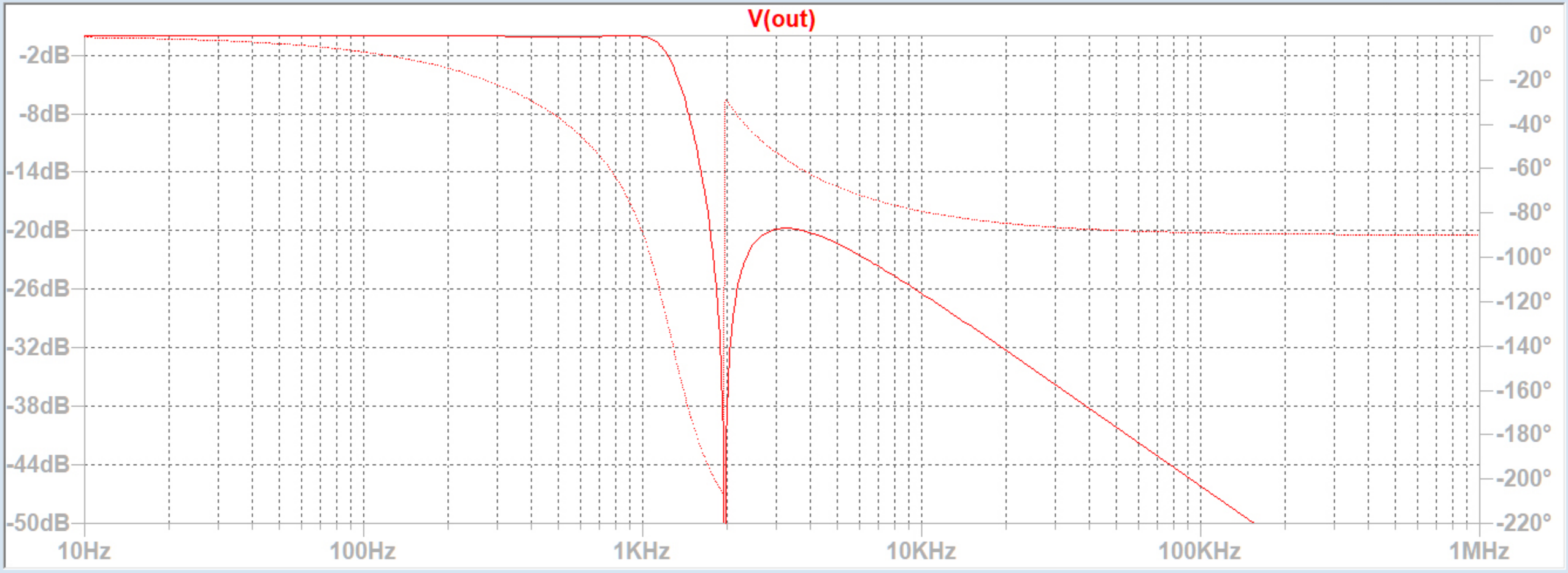
LCn3Atp0p0988Xs1p5Amin16.raw



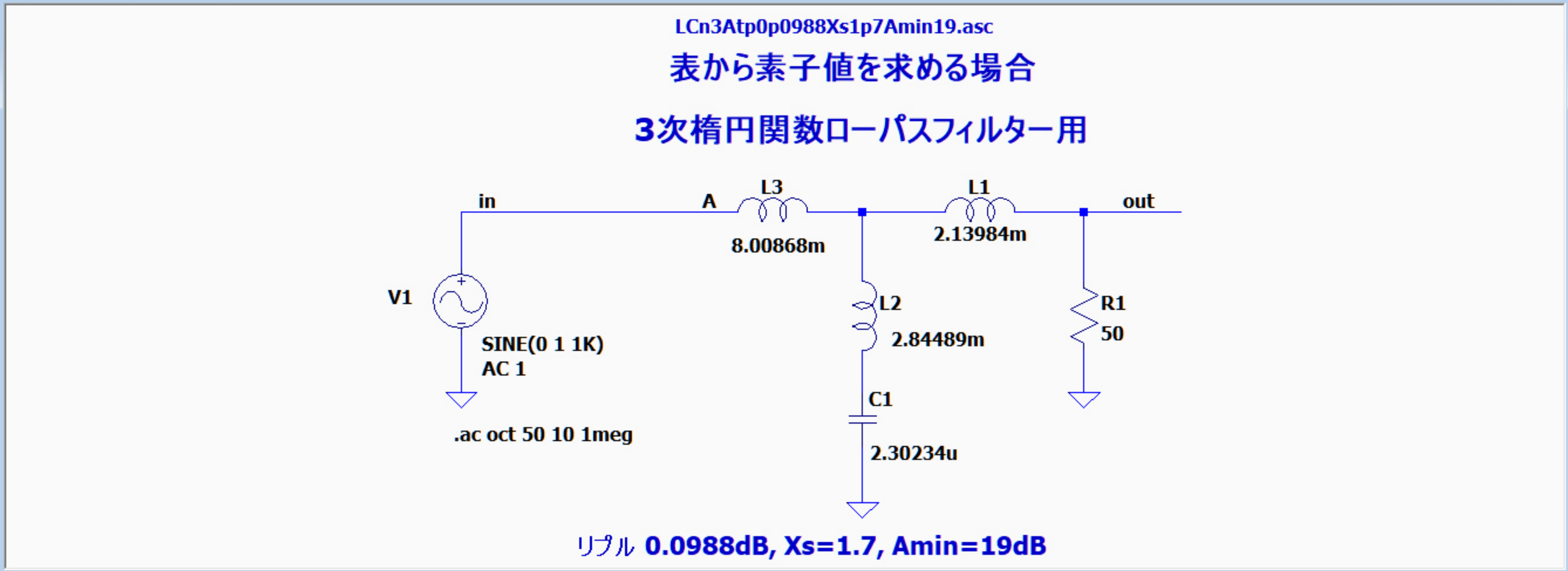
LCn3Atp0p0988Xs1p5Amin16.asc



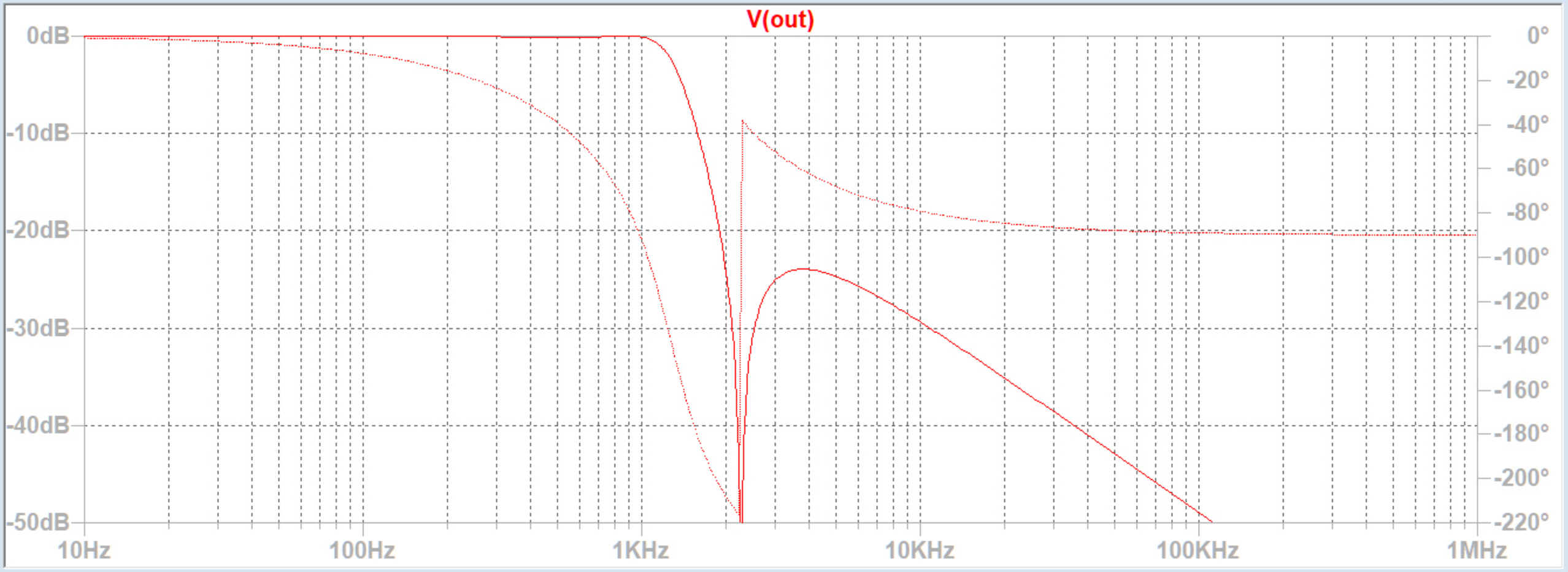
LCn3Atp0p0988Xs1p7Amin19.raw



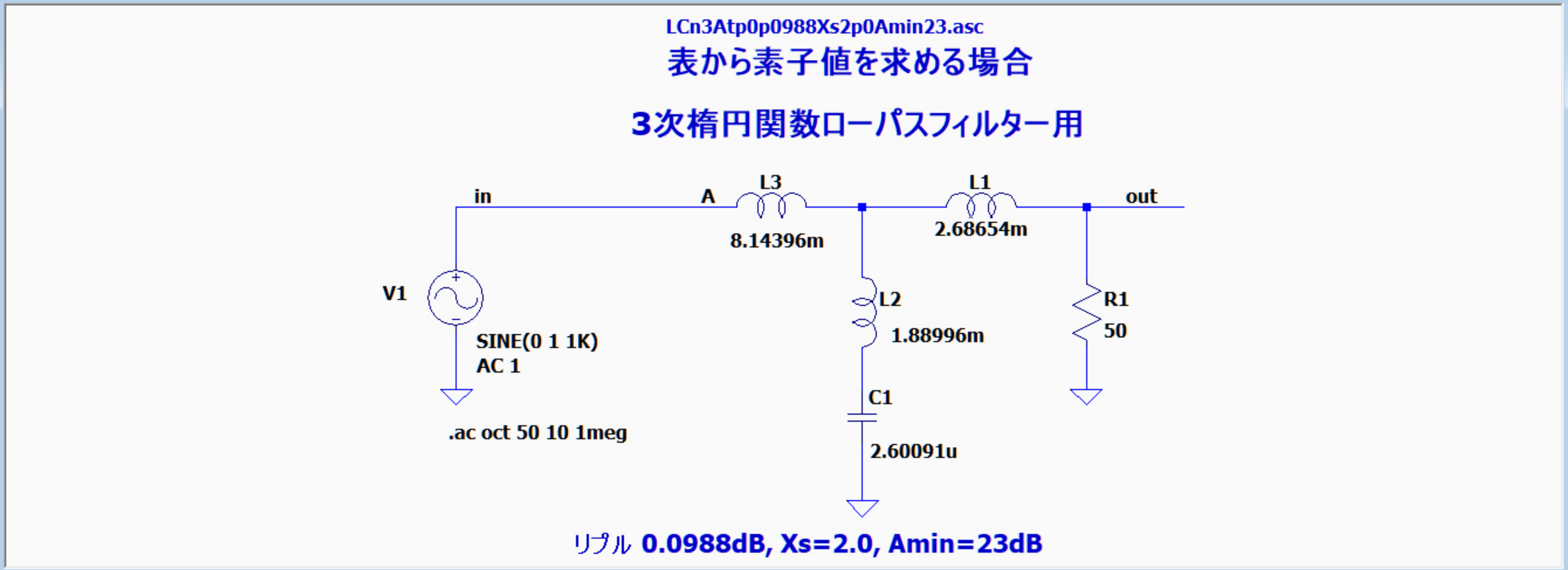
LCn3Atp0p0988Xs1p7Amin19.asc



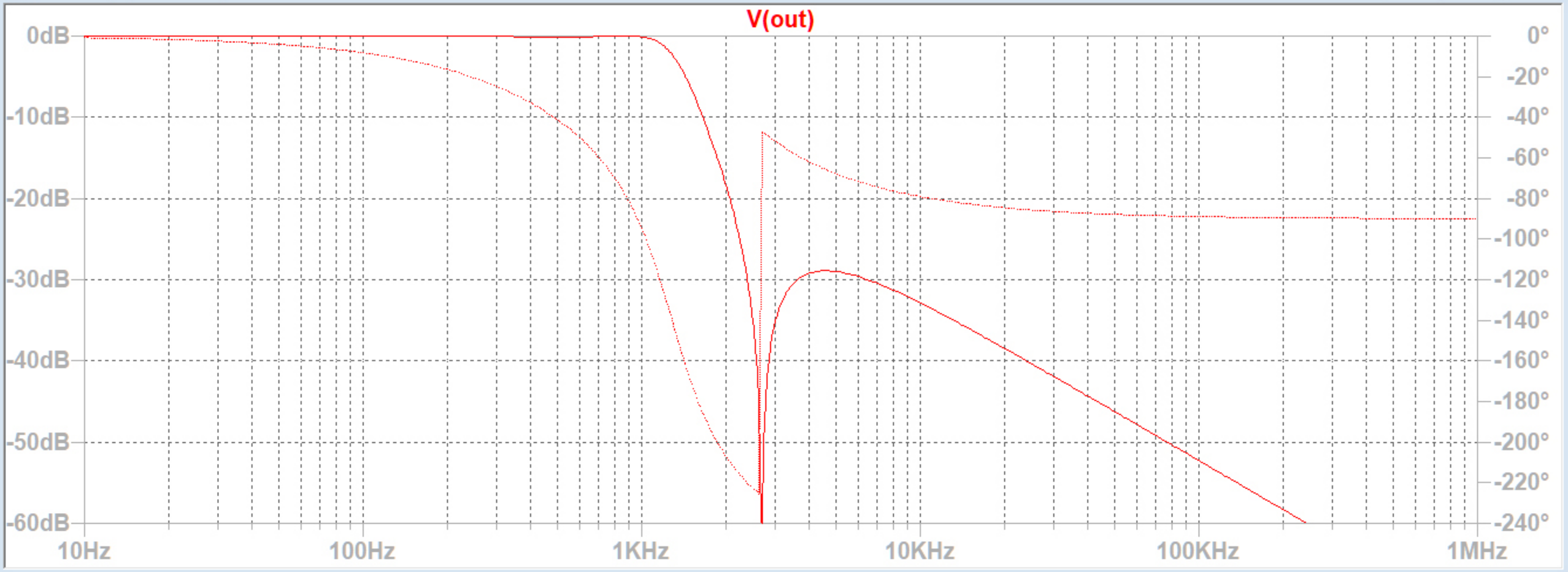
LCn3Atp0p0988Xs2p0Amin23.raw



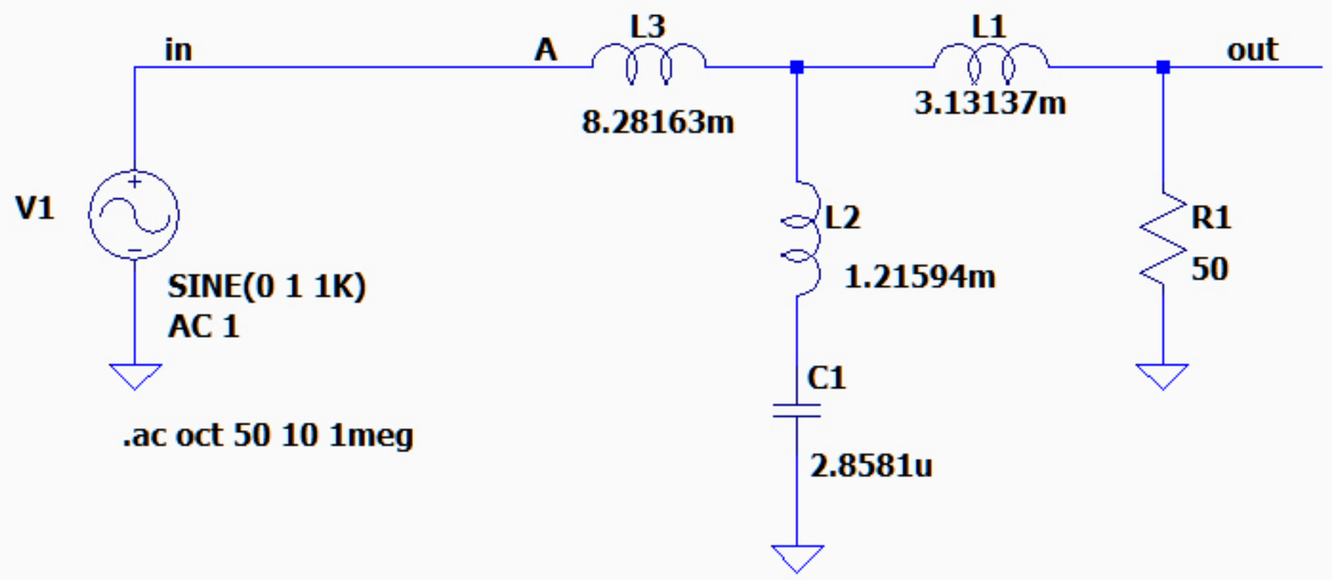
LCn3Atp0p0988Xs2p0Amin23.asc



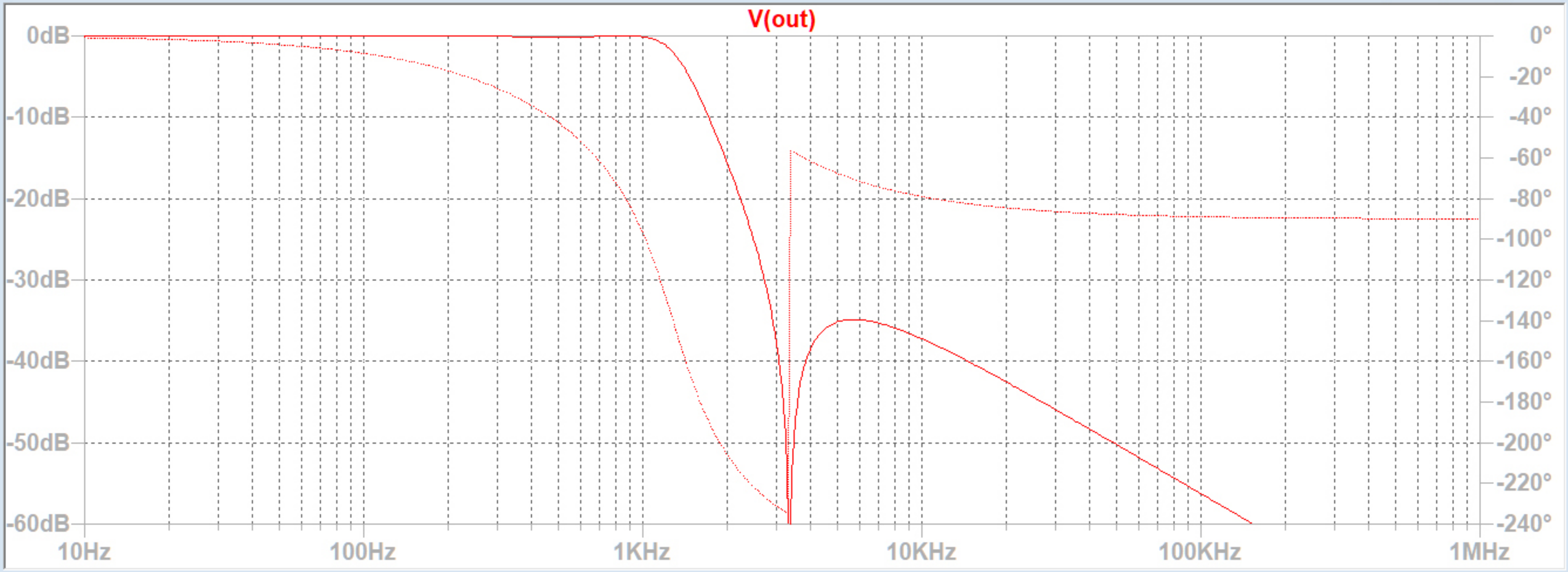
LCn3Atp0p0988Xs2p3Amin28.raw



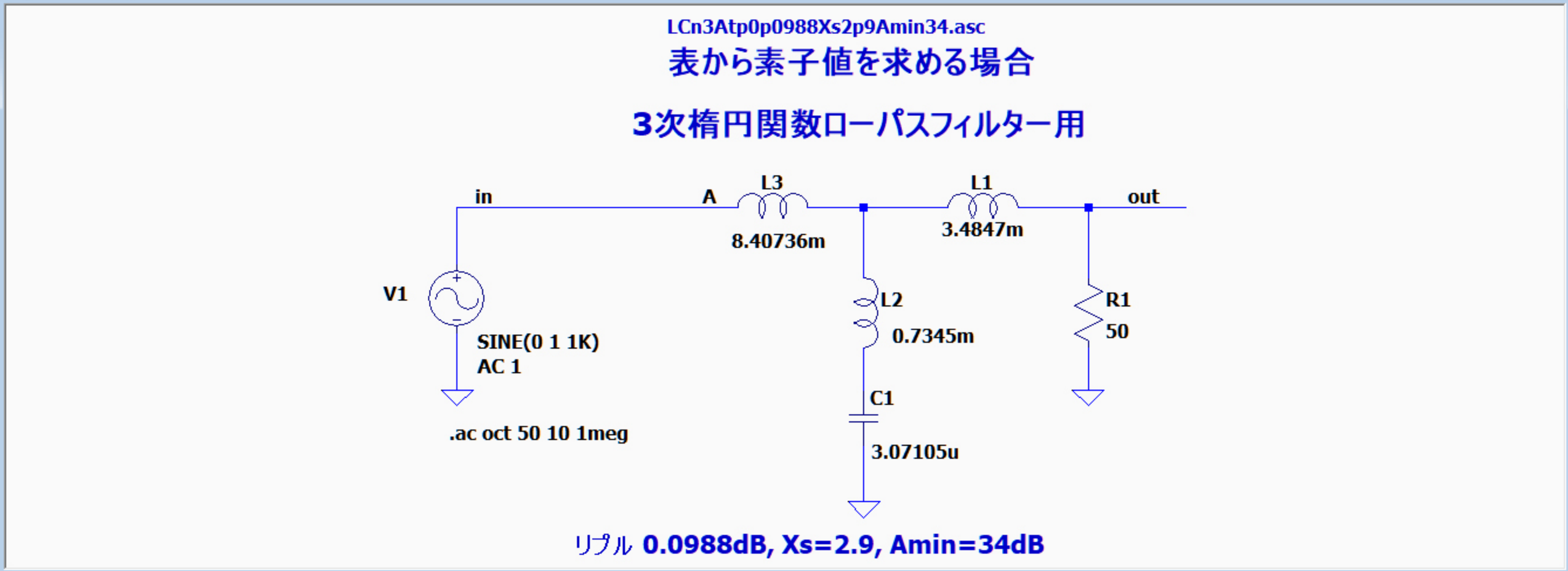
LCn3Atp0p0988Xs2p3Amin28.asc



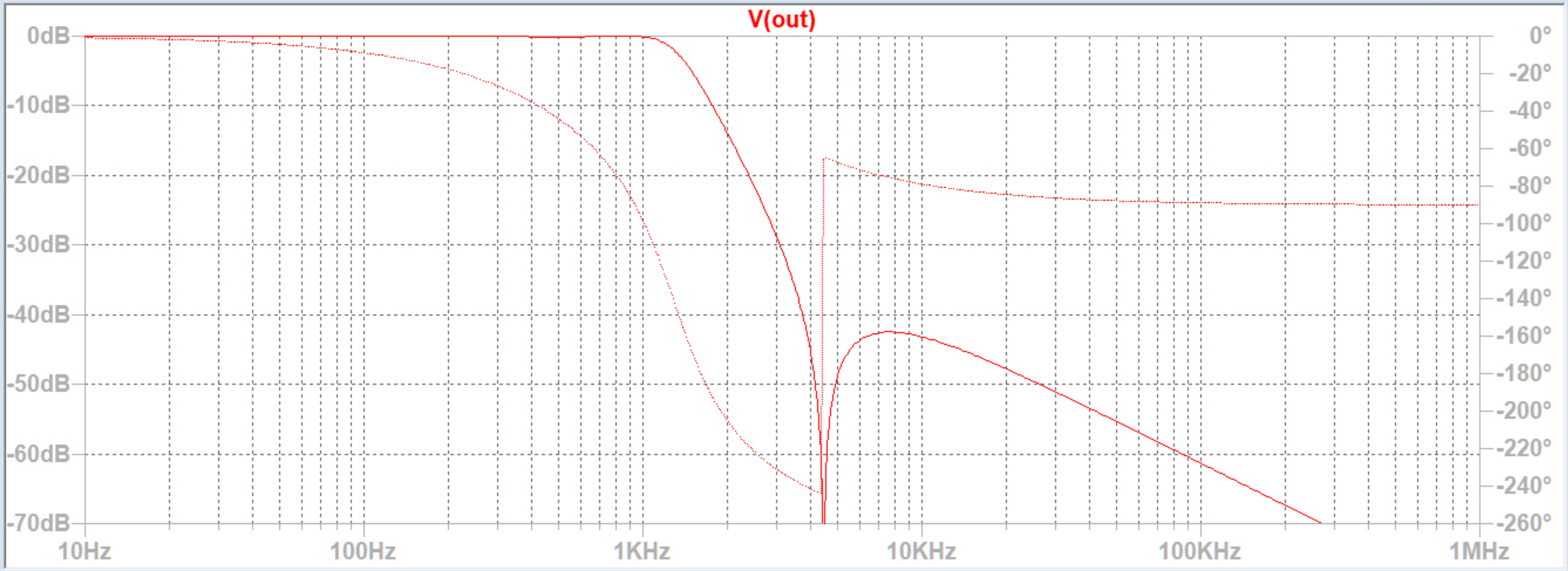
LCn3Atp0p0988Xs2p9Amin34.raw



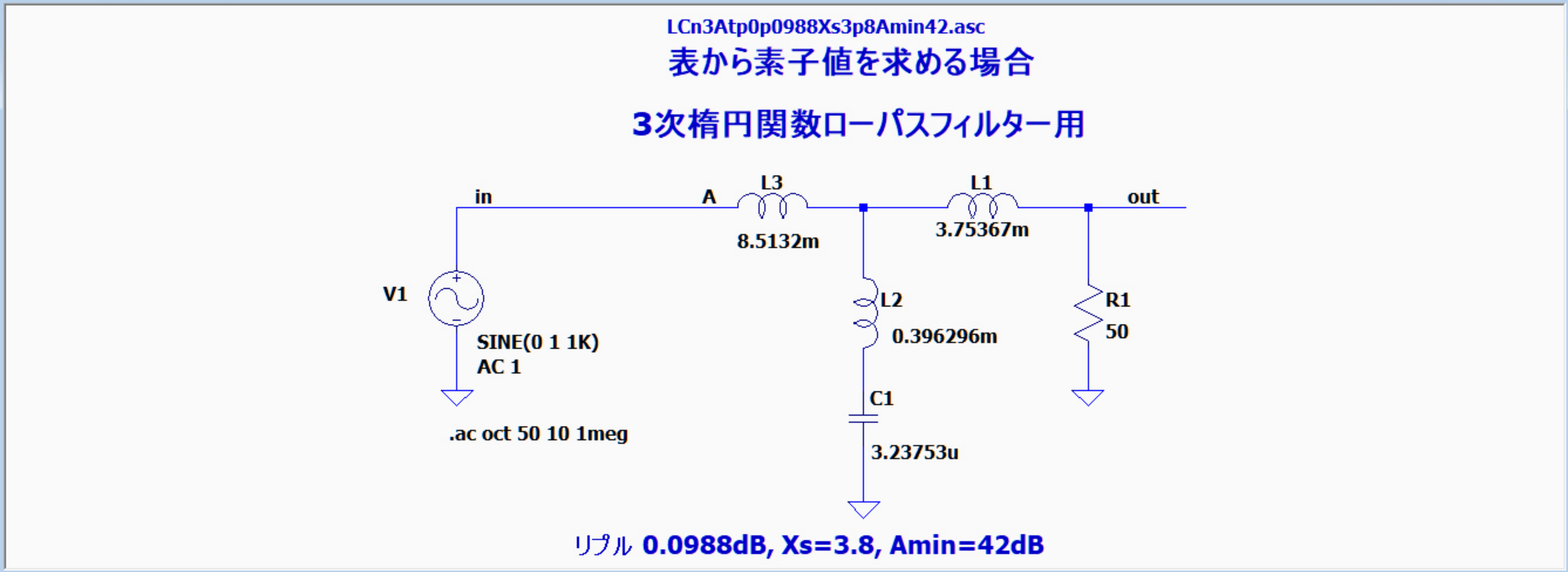
LCn3Atp0p0988Xs2p9Amin34.asc



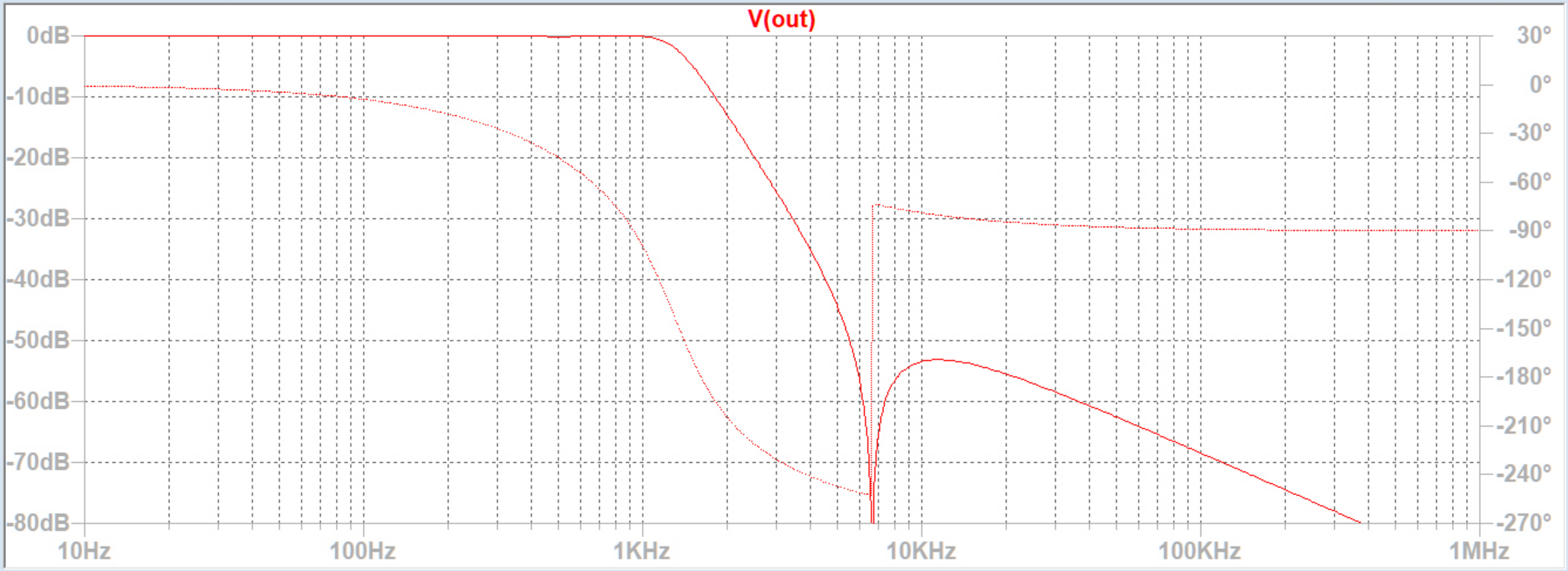
LCn3Atp0p0988Xs3p8Amin42.raw



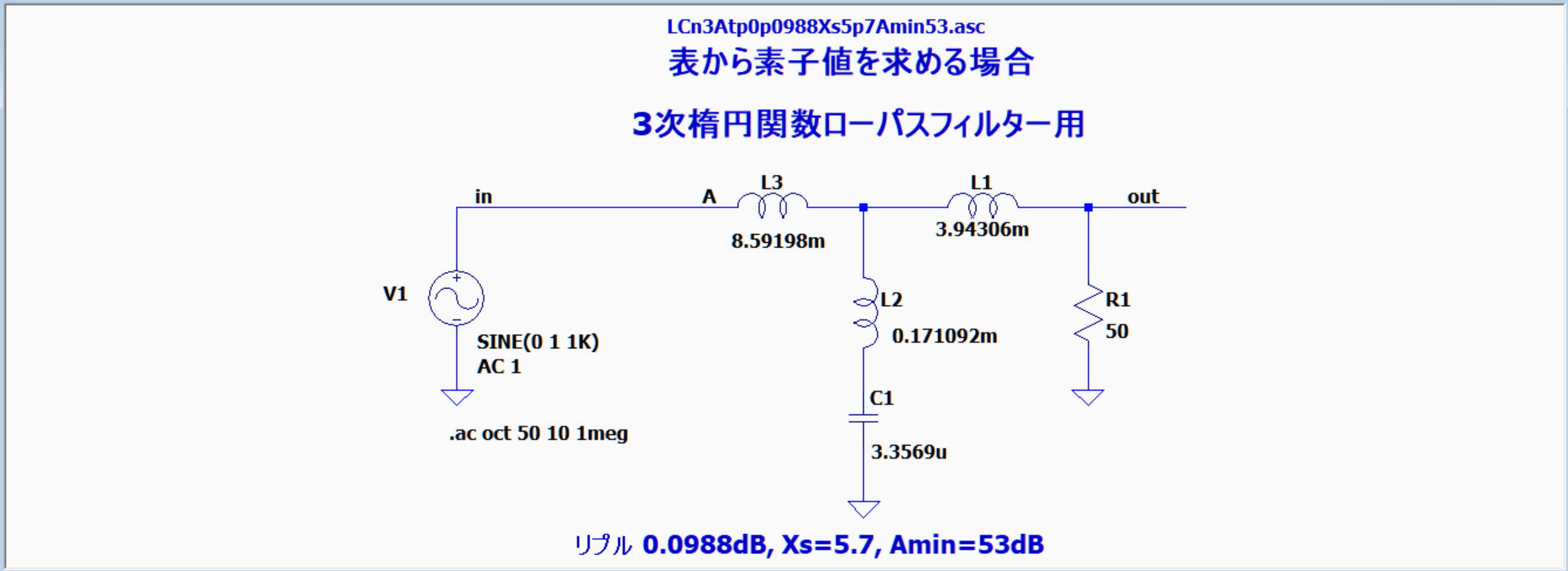
LCn3Atp0p0988Xs3p8Amin42.asc



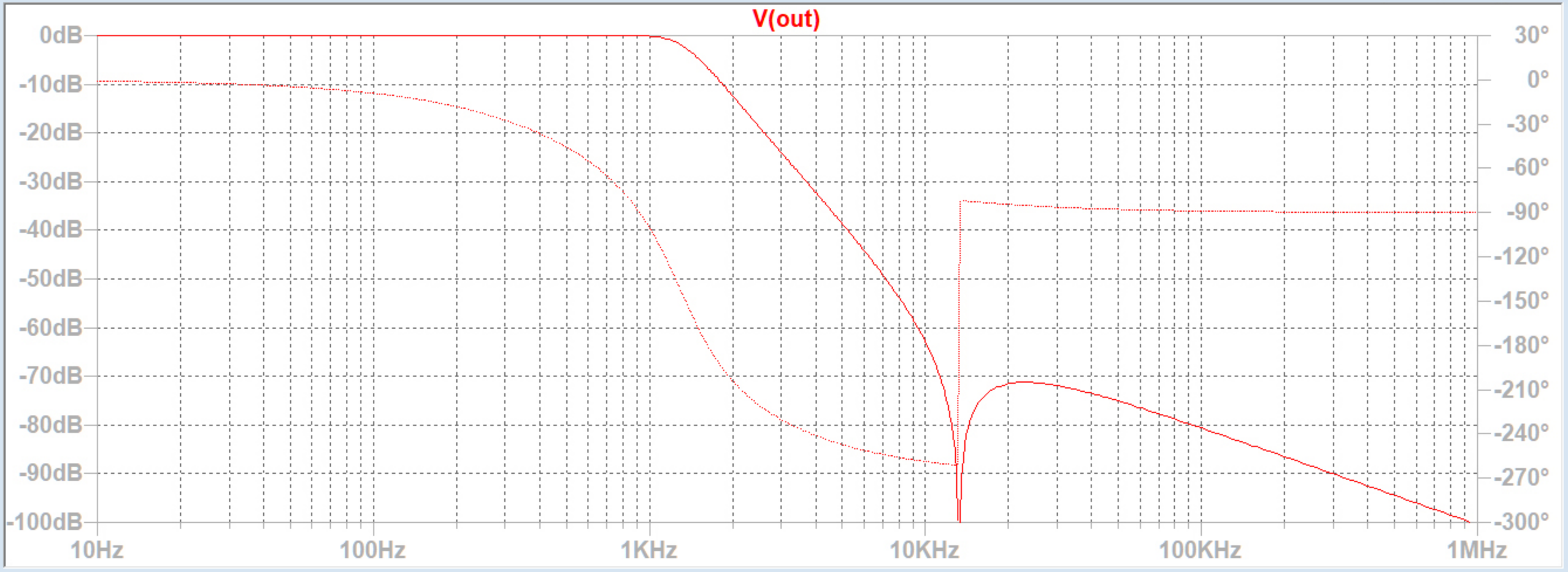
LCn3Atp0p0988Xs5p7Amin53.raw



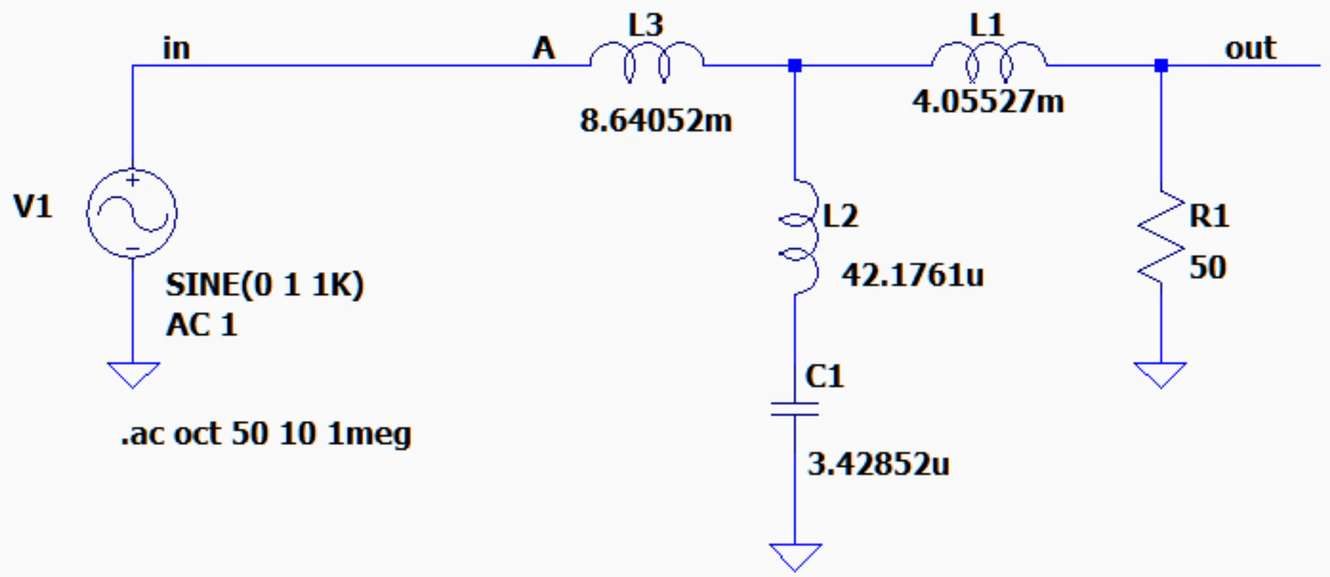
LCn3Atp0p0988Xs5p7Amin53.asc



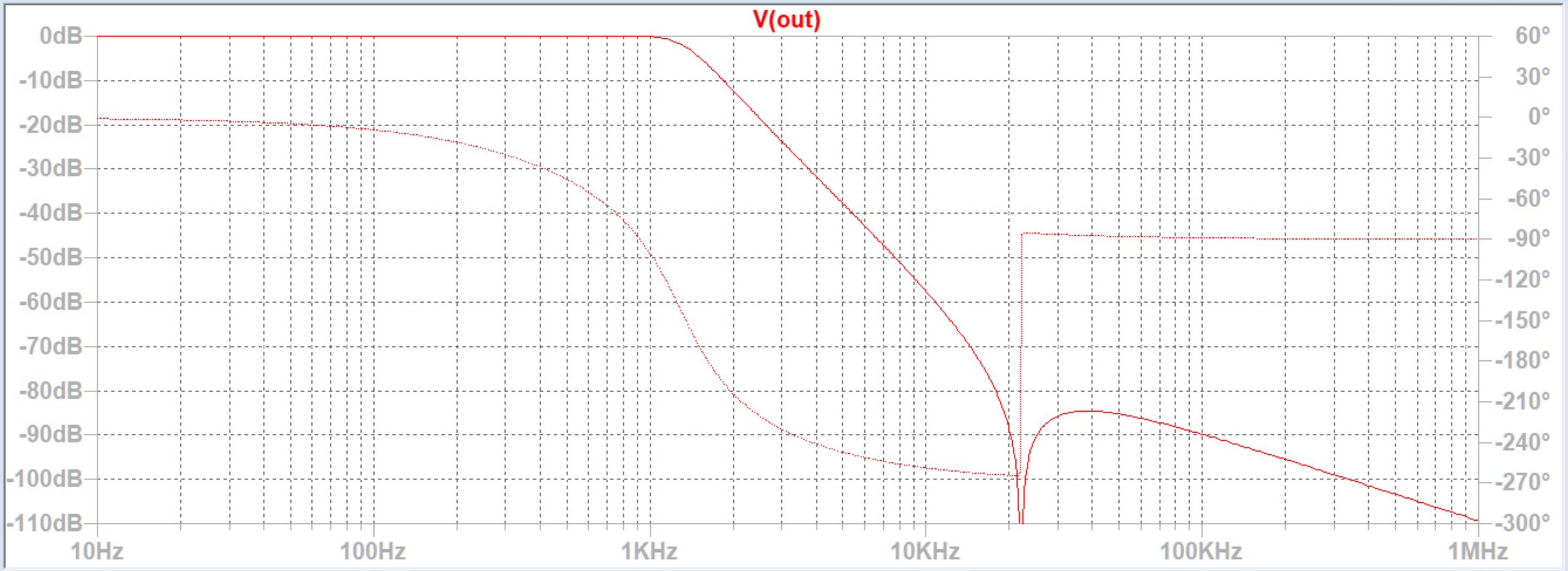
LCn3Atp0p0988Xs11Amin71.raw



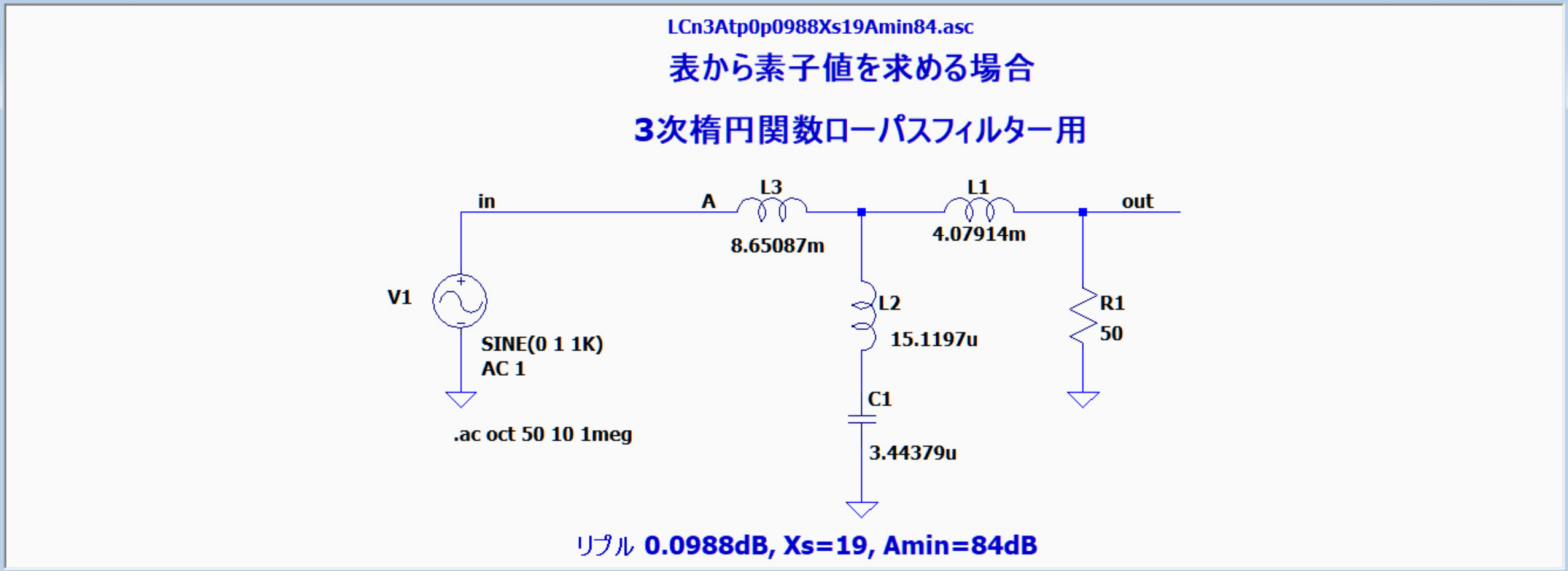
LCn3Atp0p0988Xs11Amin71.asc



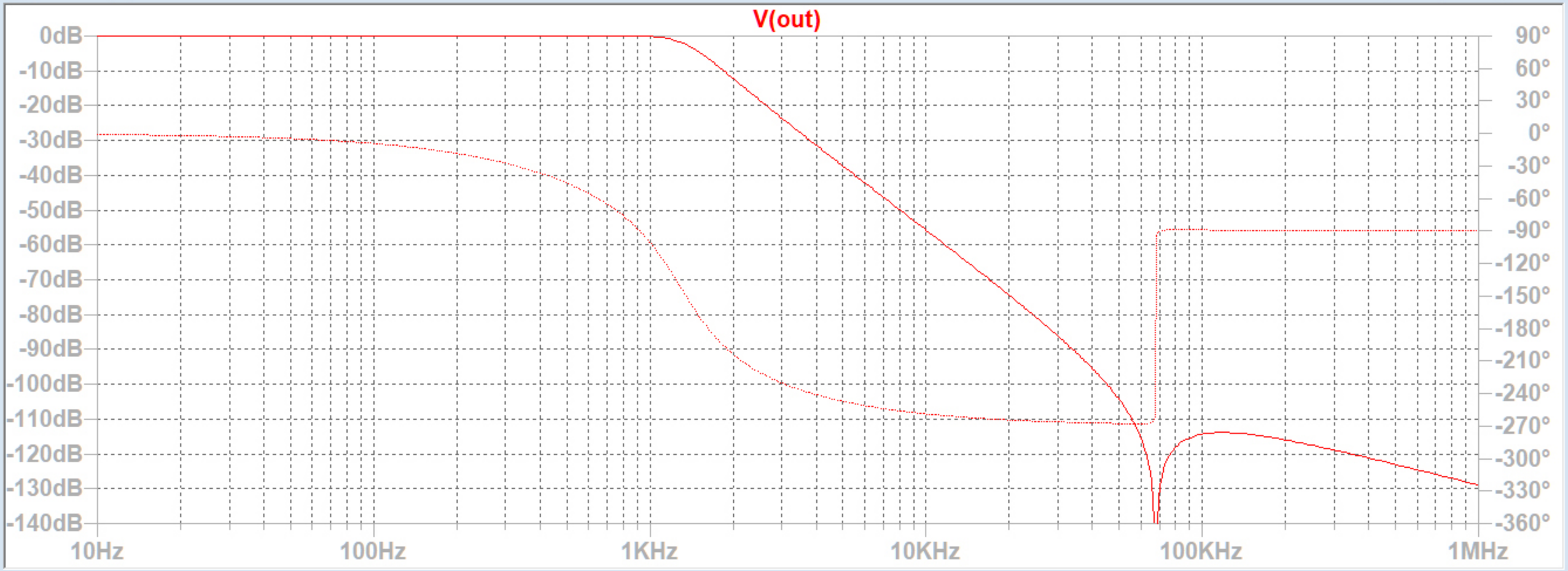
LCn3Atp0p0988Xs19Amin84.raw



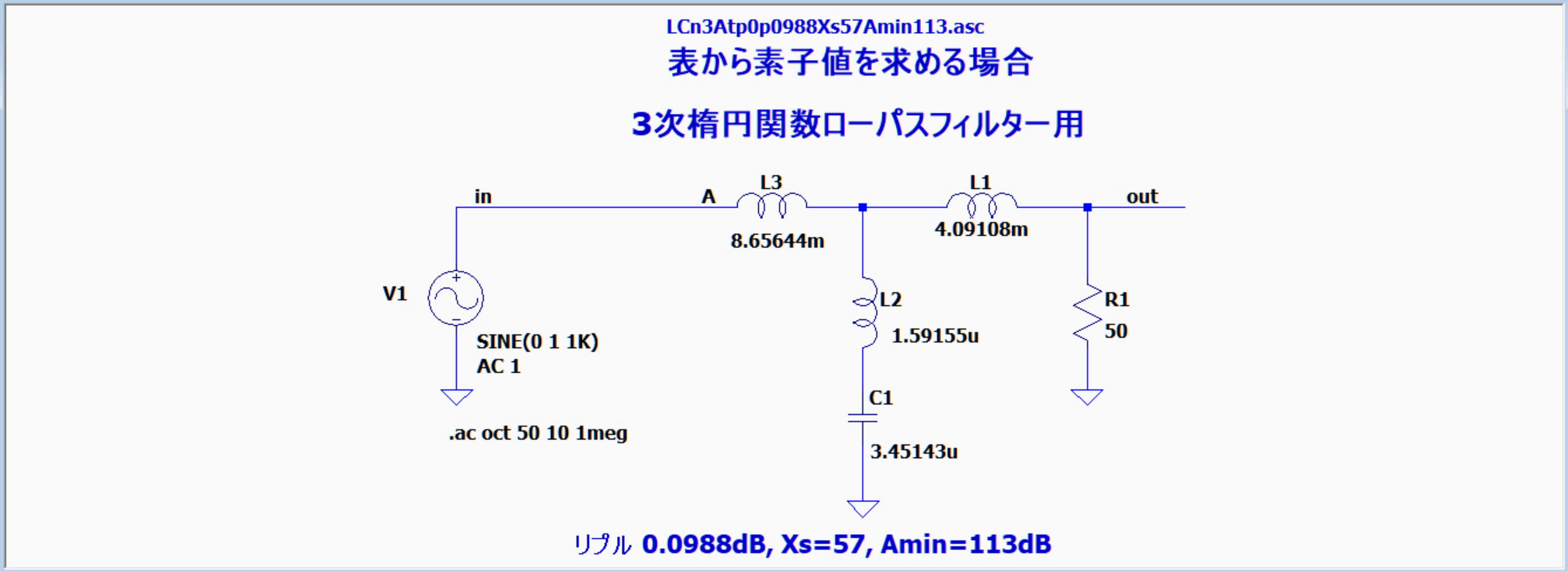
LCn3Atp0p0988Xs19Amin84.asc



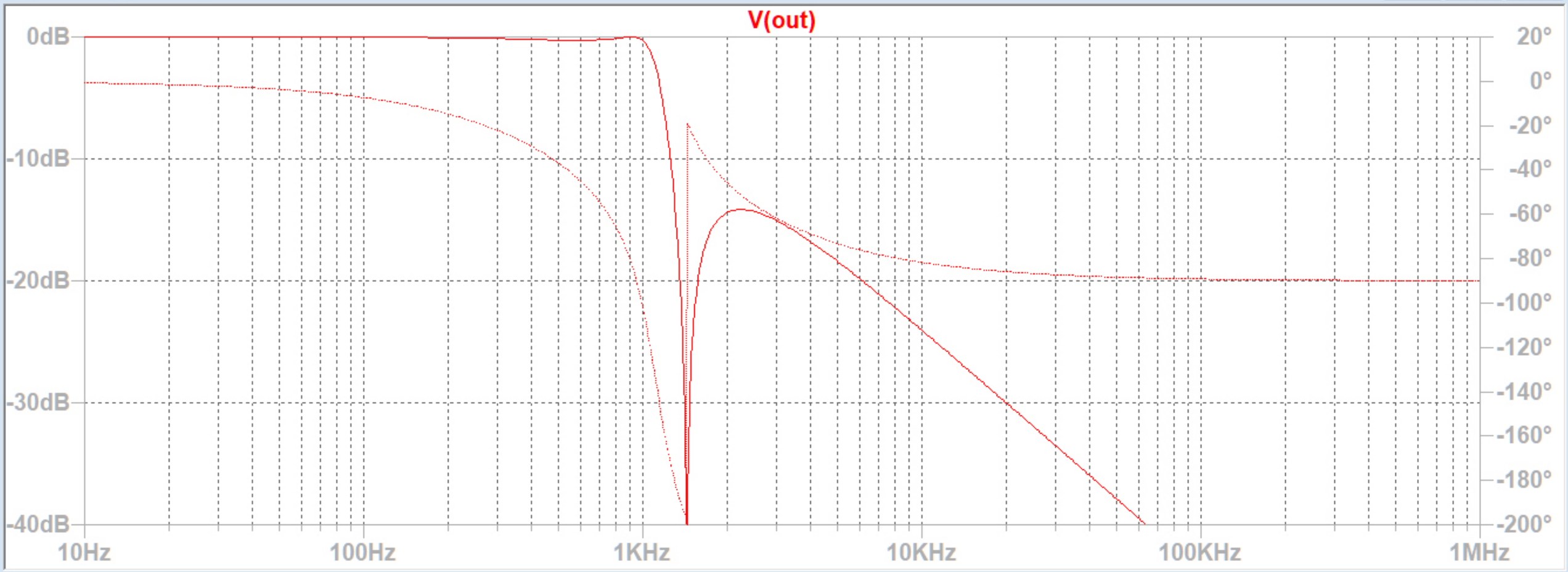
LCn3Atp0p0988Xs57Amin113.raw



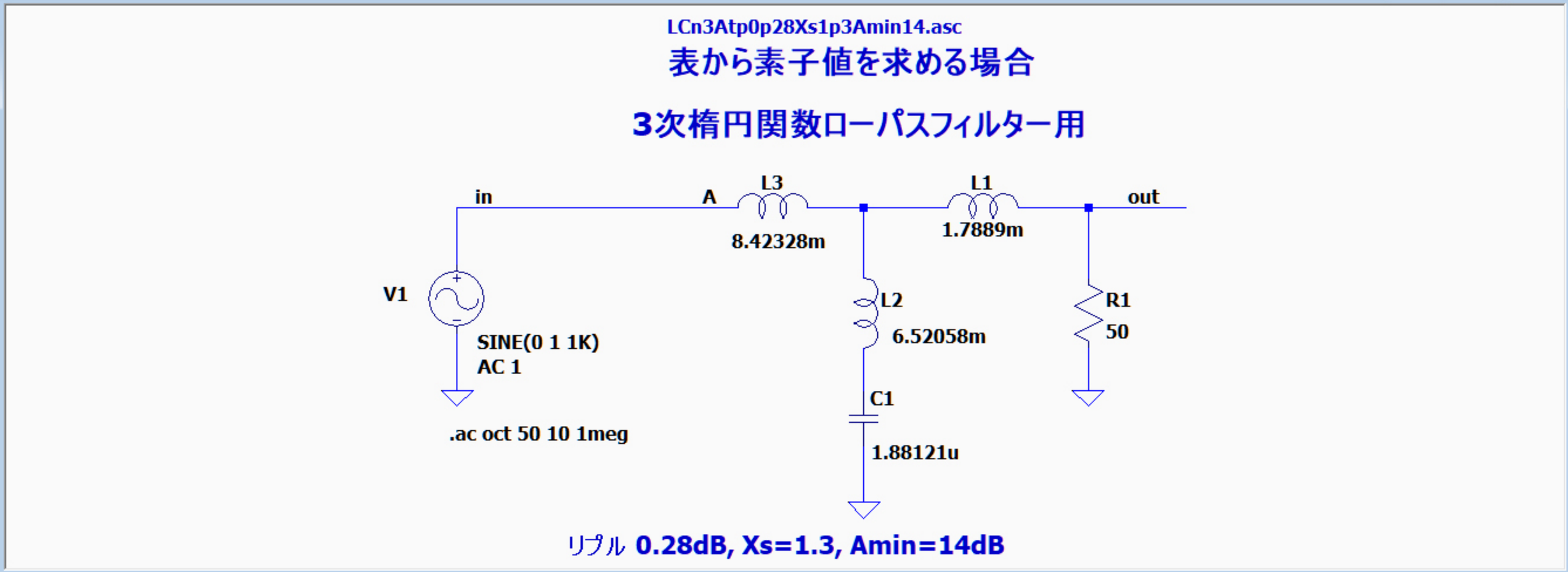
LCn3Atp0p0988Xs57Amin113.asc



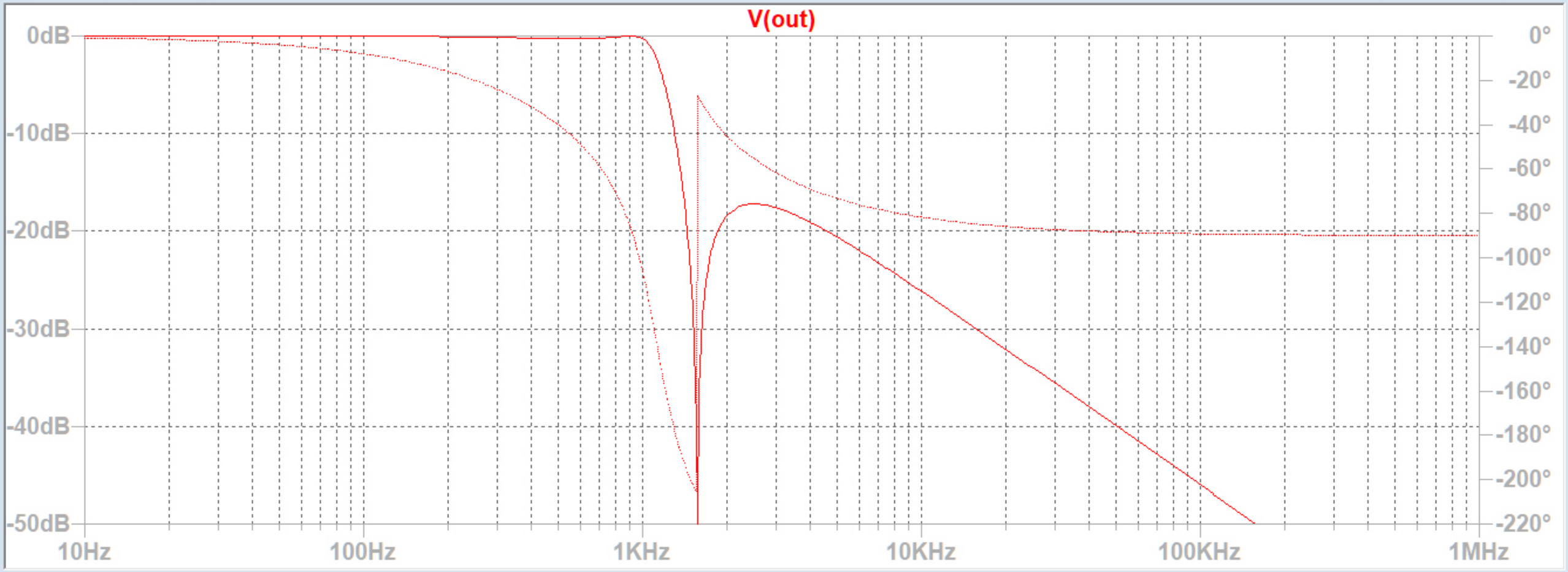
LCn3Atp0p28Xs1p3Amin14.raw



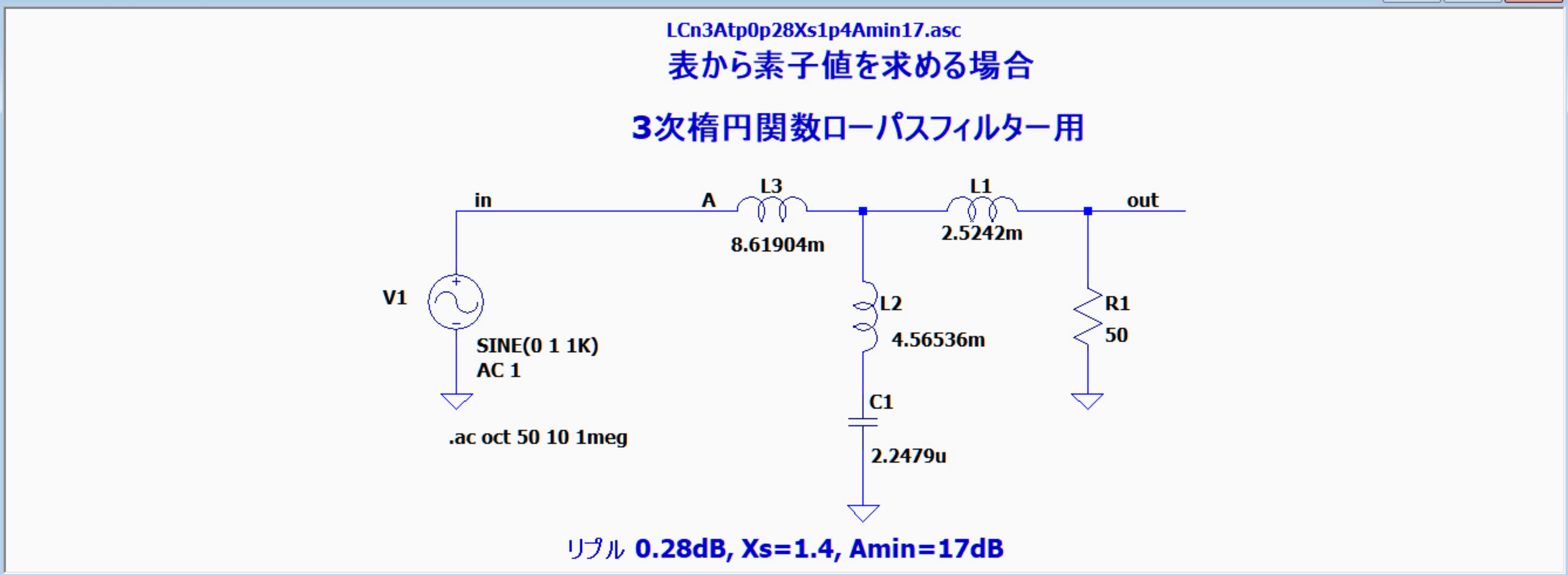
LCn3Atp0p28Xs1p3Amin14.asc



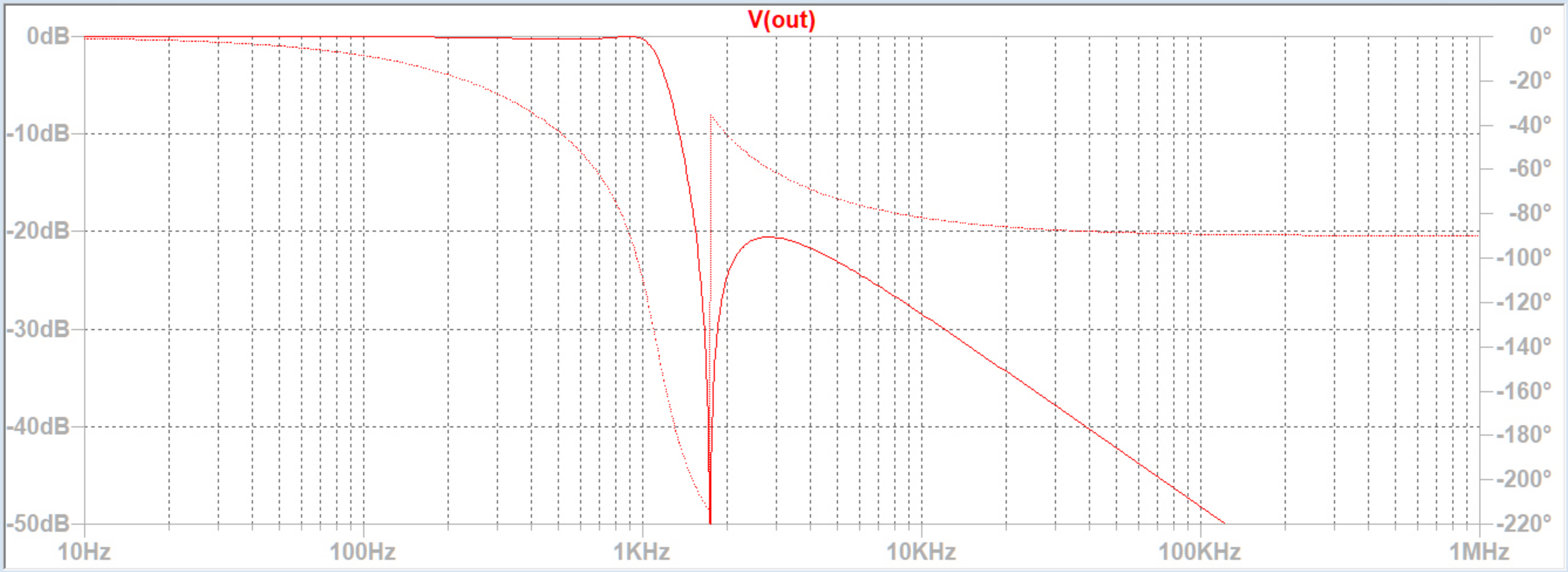
LCn3Atp0p28Xs1p4Amin17.raw



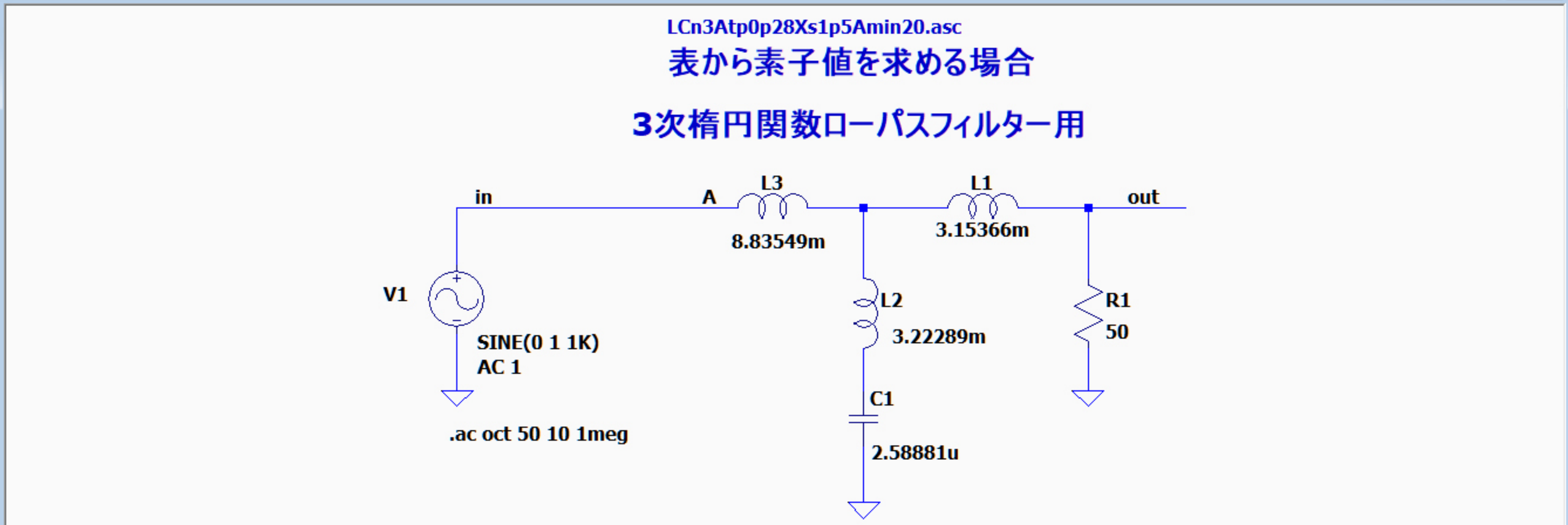
LCn3Atp0p28Xs1p4Amin17.asc



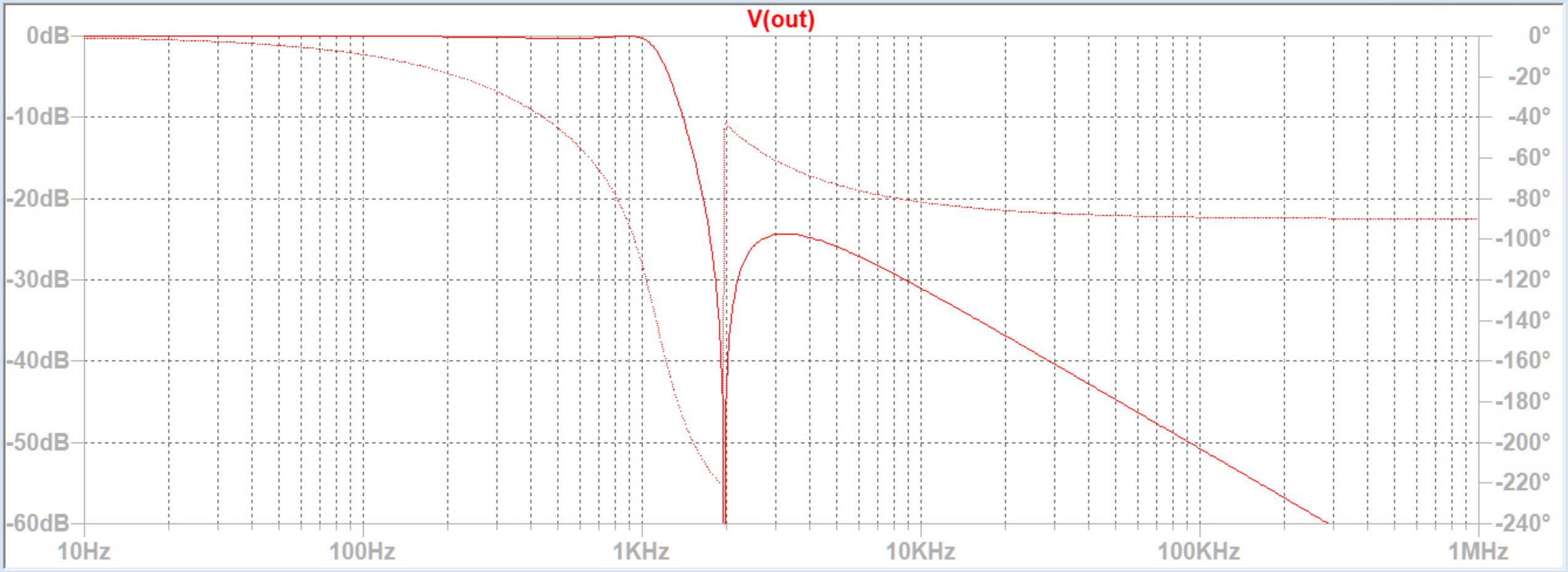
LCn3Atp0p28Xs1p5Amin20.raw



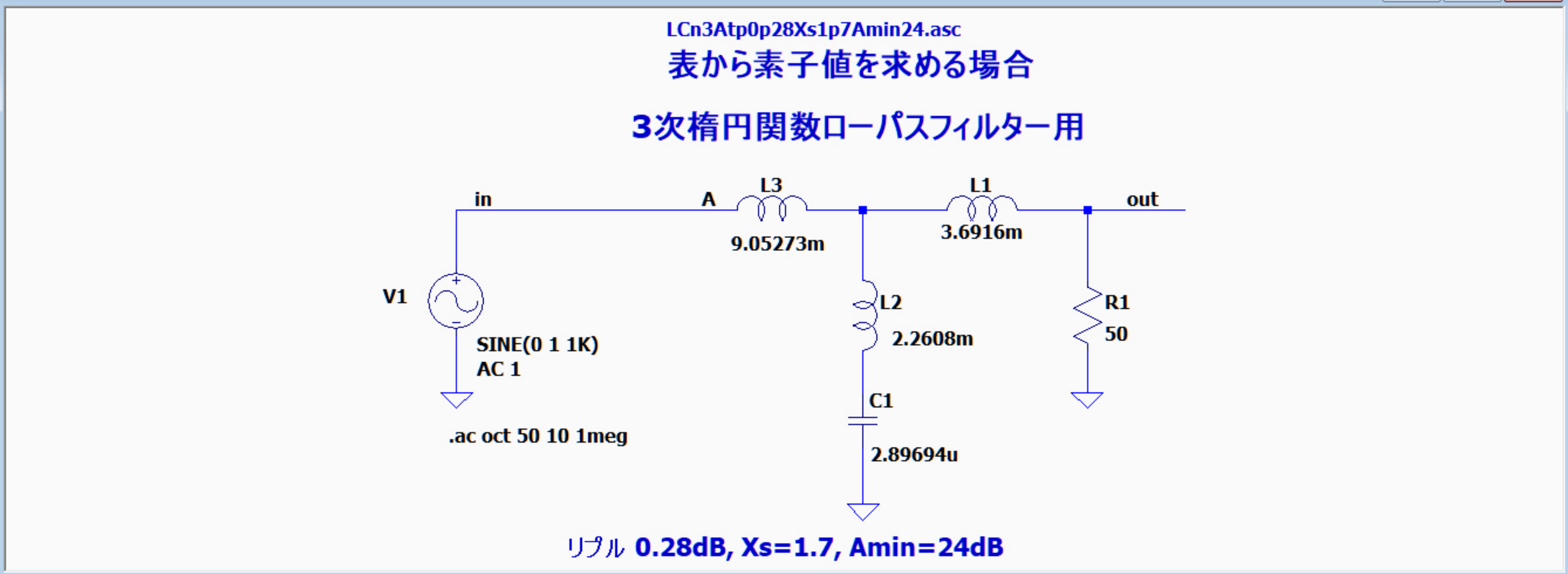
LCn3Atp0p28Xs1p5Amin20.asc



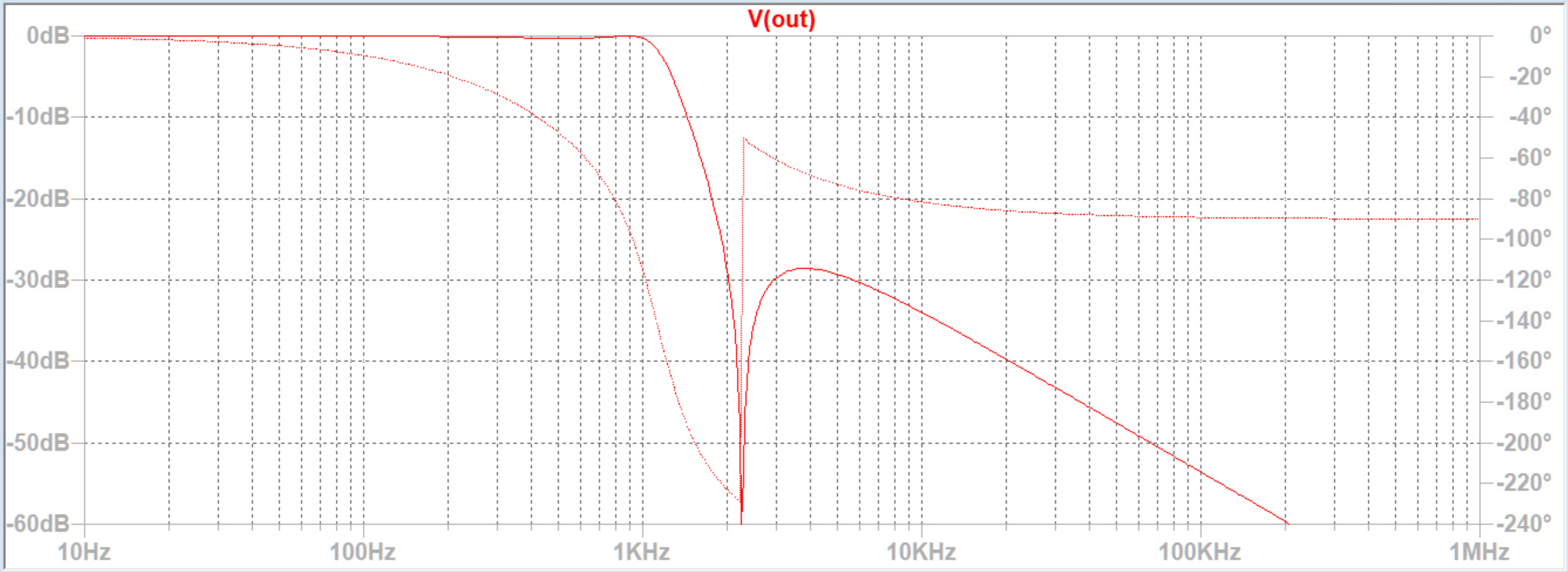
LCn3Atp0p28Xs1p7Amin24.raw



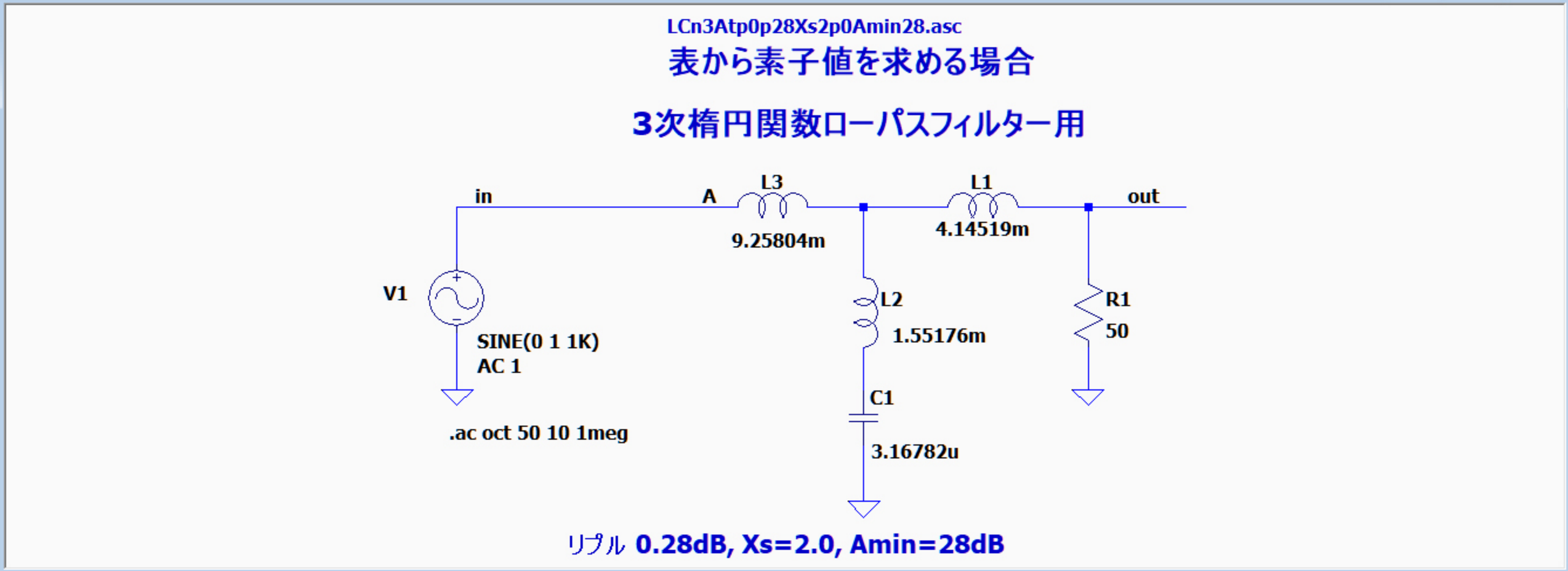
LCn3Atp0p28Xs1p7Amin24.asc



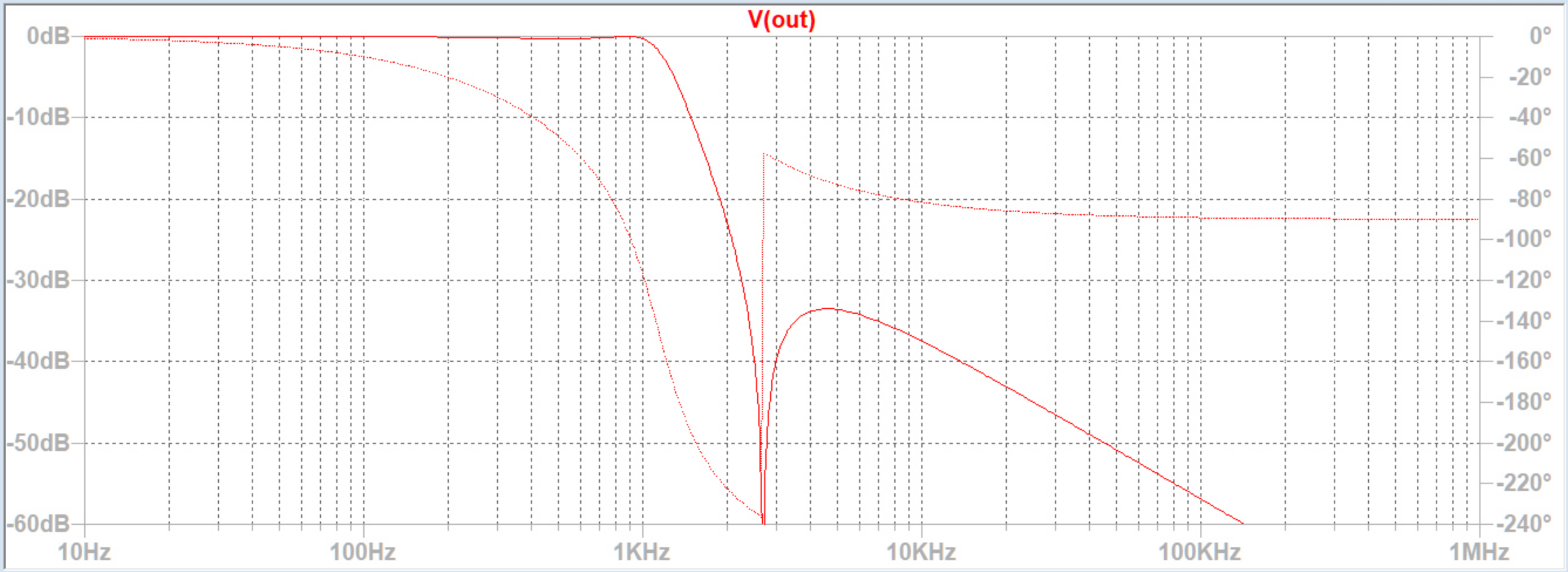
LCn3Atp0p28Xs2p0Amin28.raw



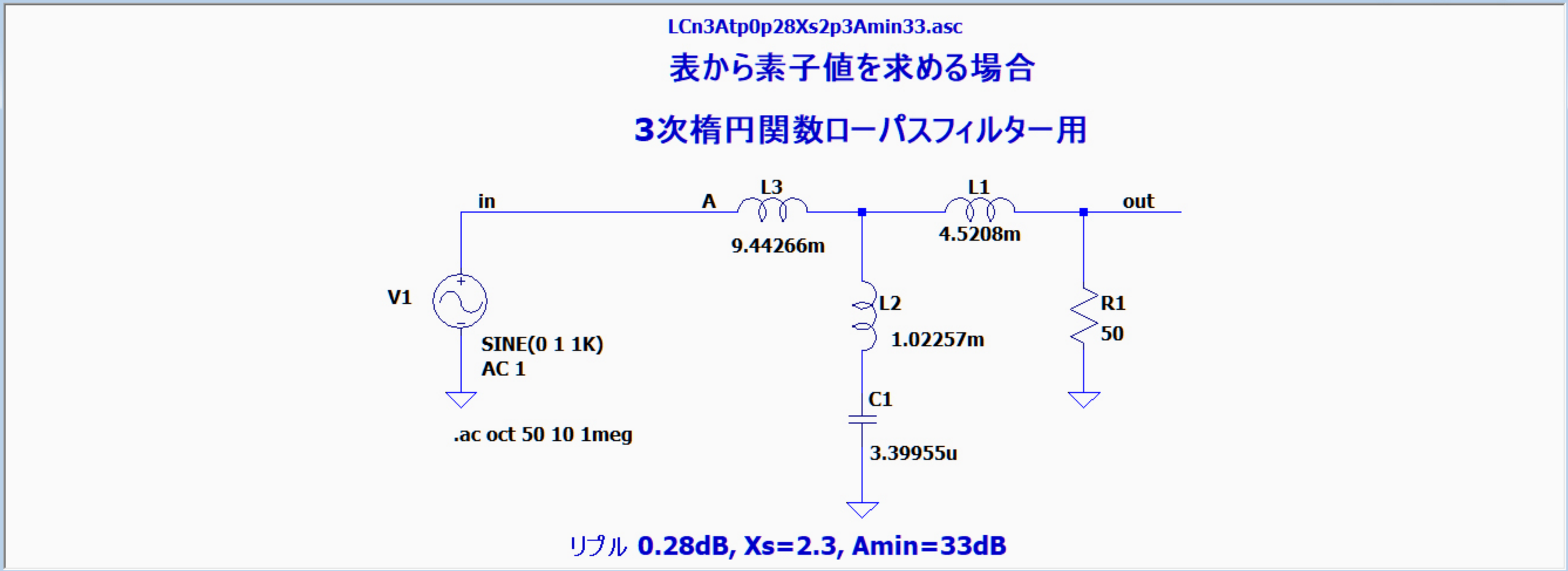
LCn3Atp0p28Xs2p0Amin28.asc



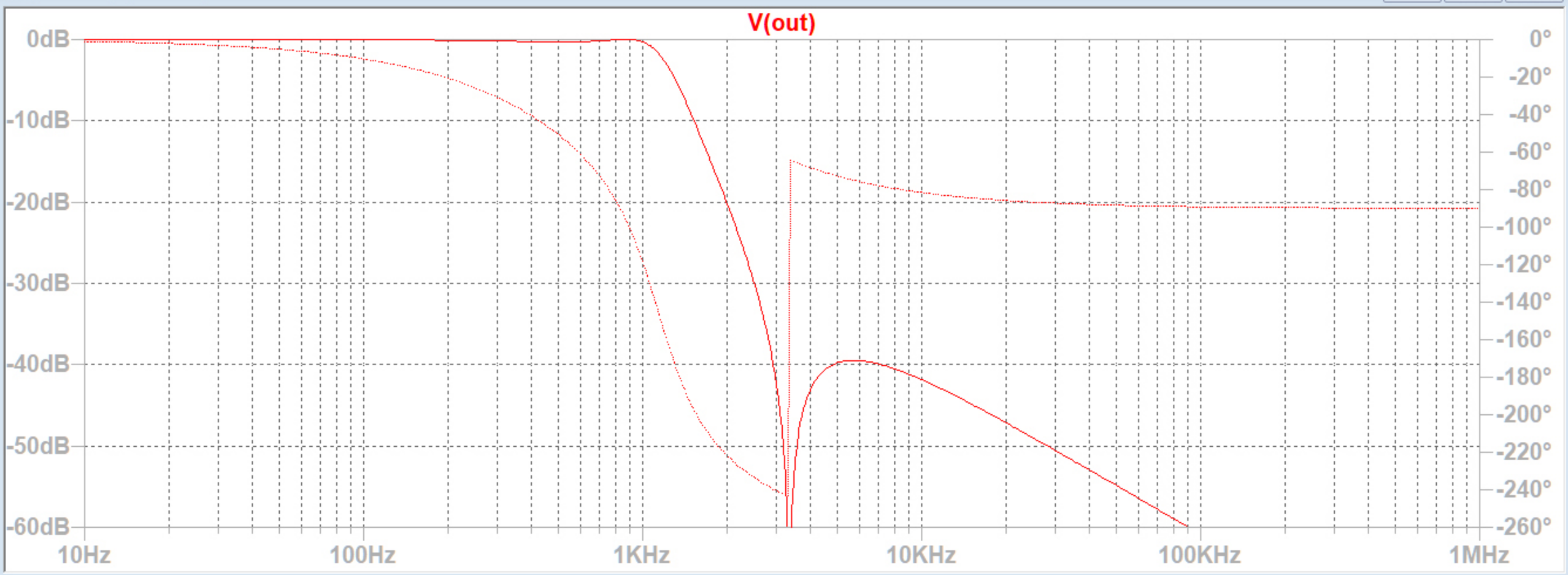
LCn3Atp0p28Xs2p3Amin33.raw



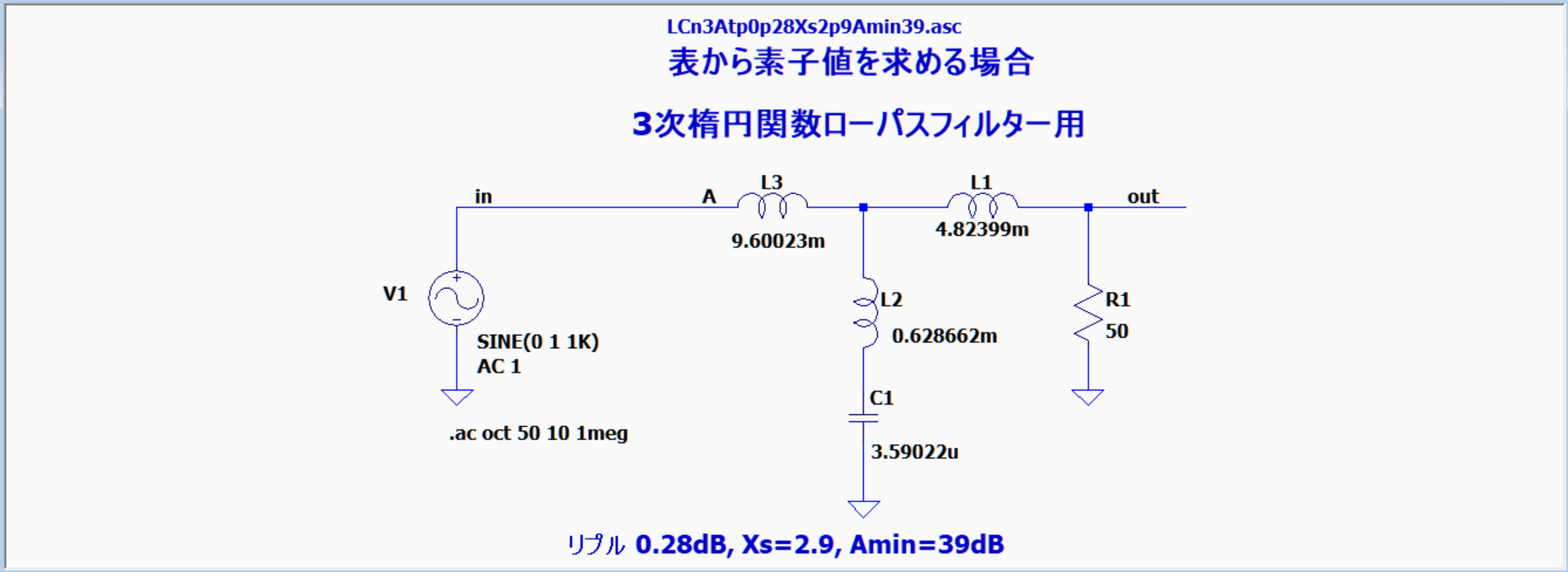
LCn3Atp0p28Xs2p3Amin33.asc



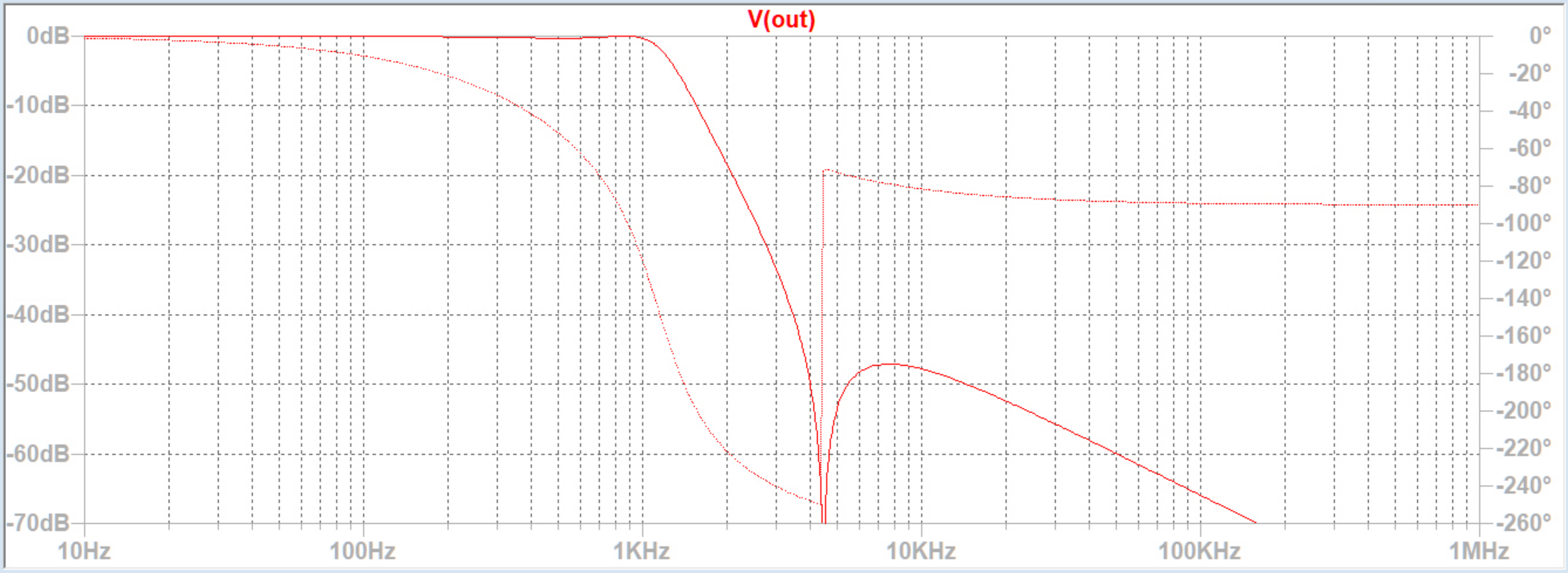
LCn3Atp0p28Xs2p9Amin39.raw



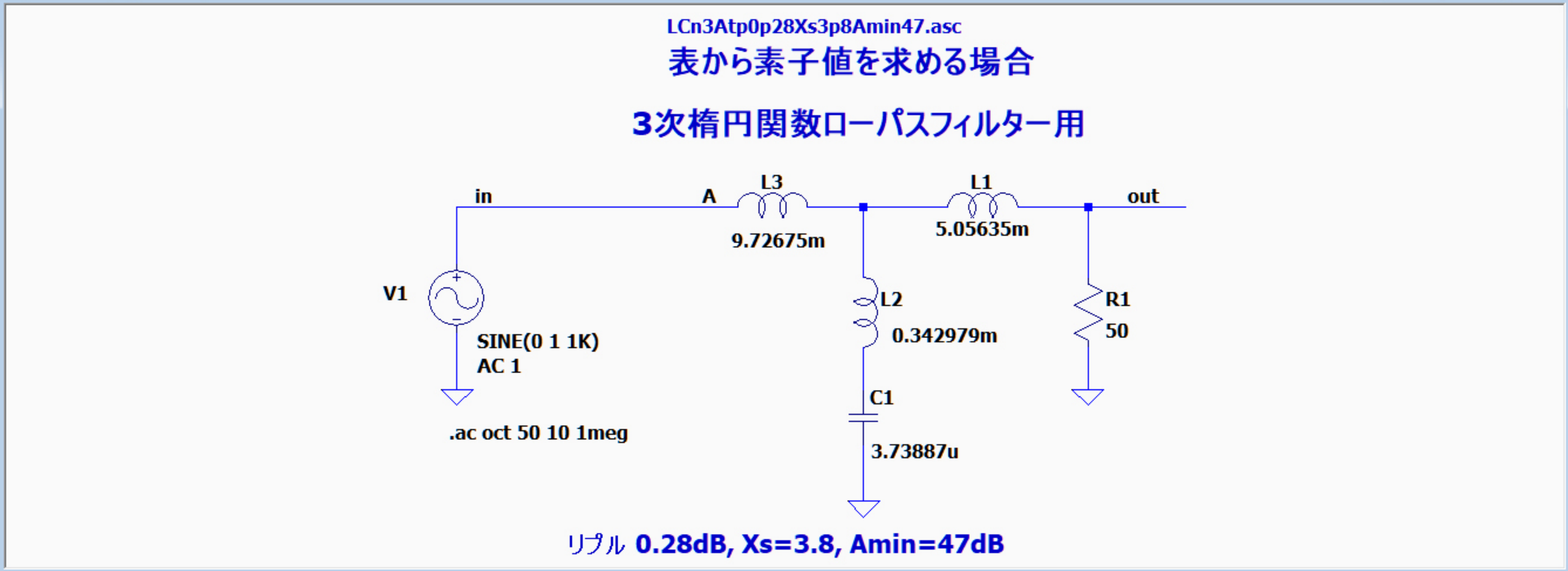
LCn3Atp0p28Xs2p9Amin39.asc



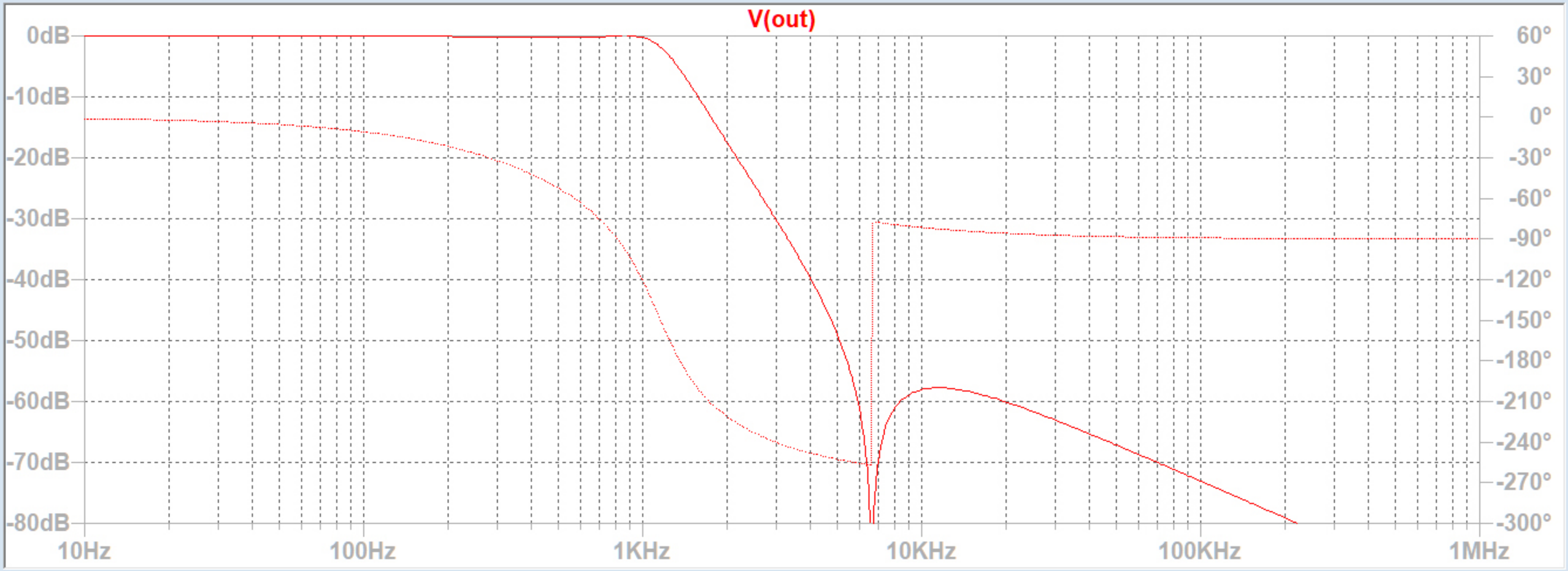
LCn3Atp0p28Xs3p8Amin47.raw



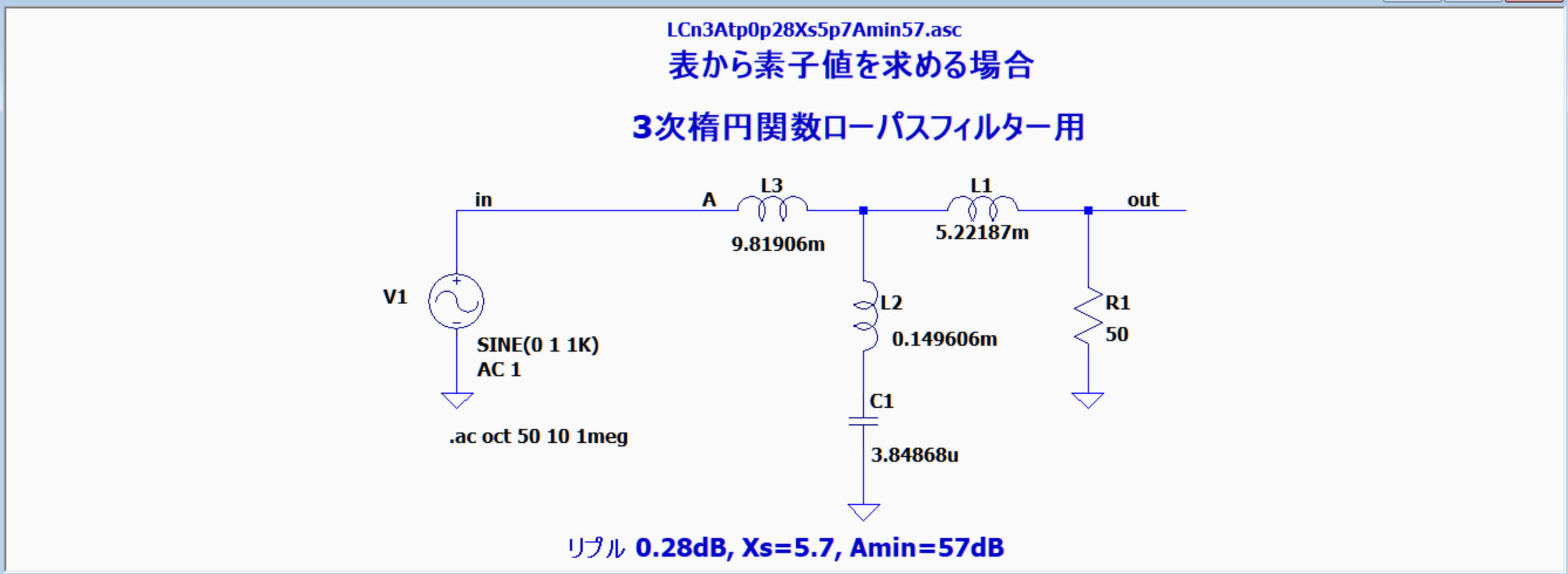
LCn3Atp0p28Xs3p8Amin47.asc



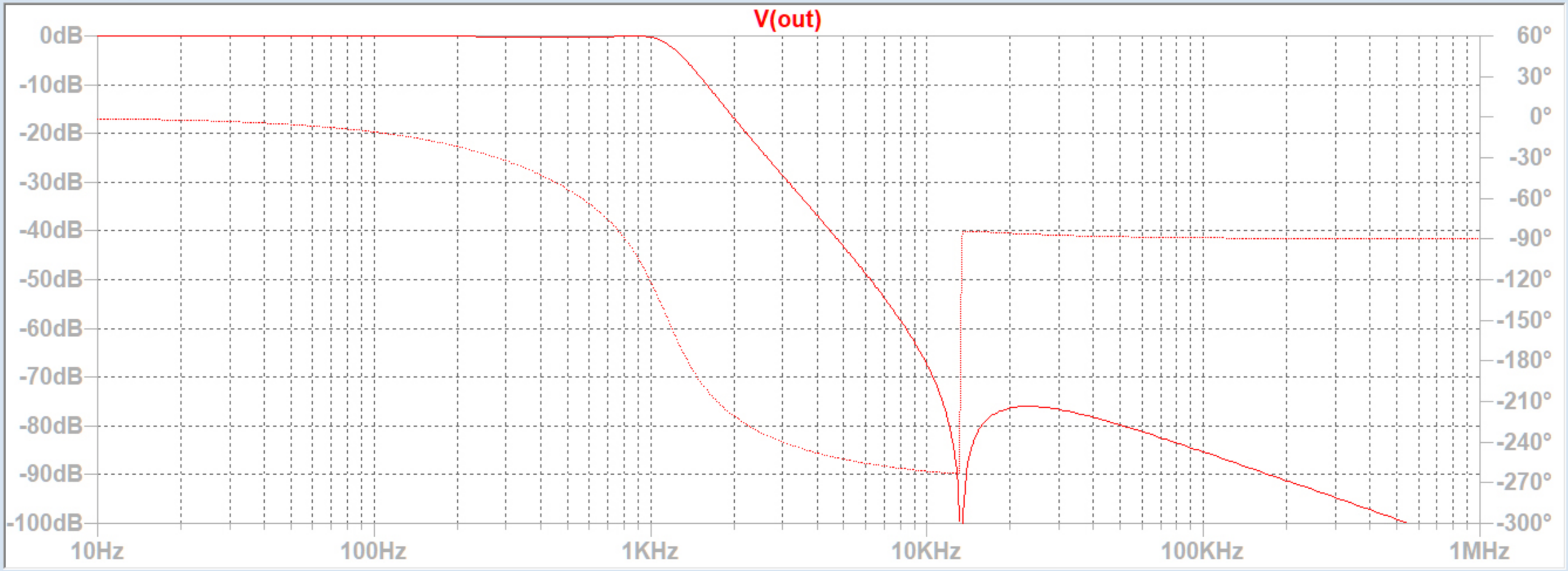
LCn3Atp0p28Xs5p7Amin57.raw



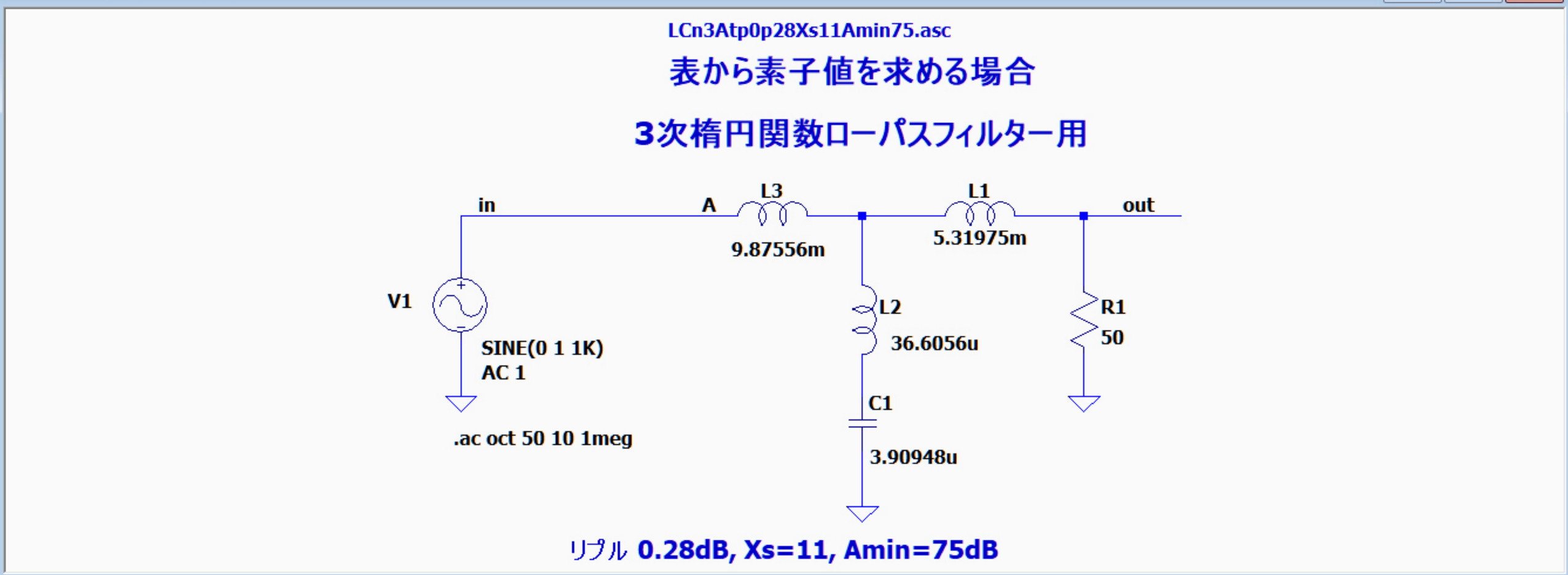
LCn3Atp0p28Xs5p7Amin57.asc



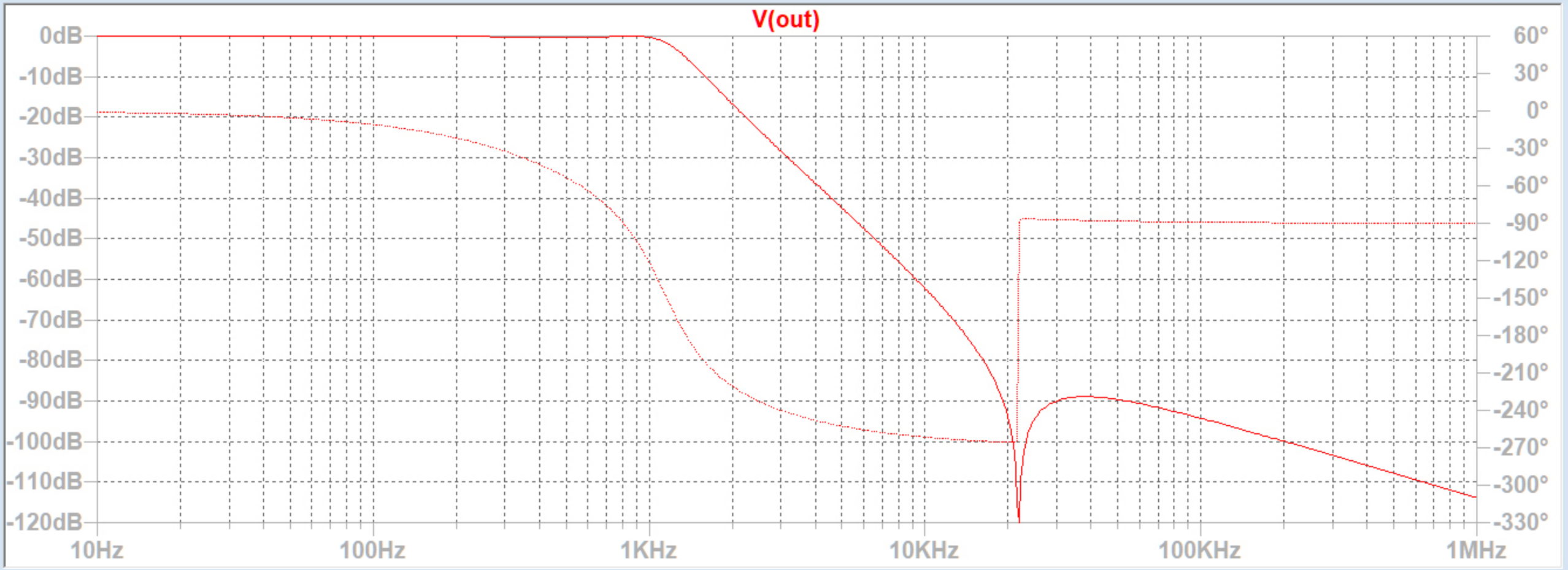
LCn3Atp0p28Xs11Amin75.raw



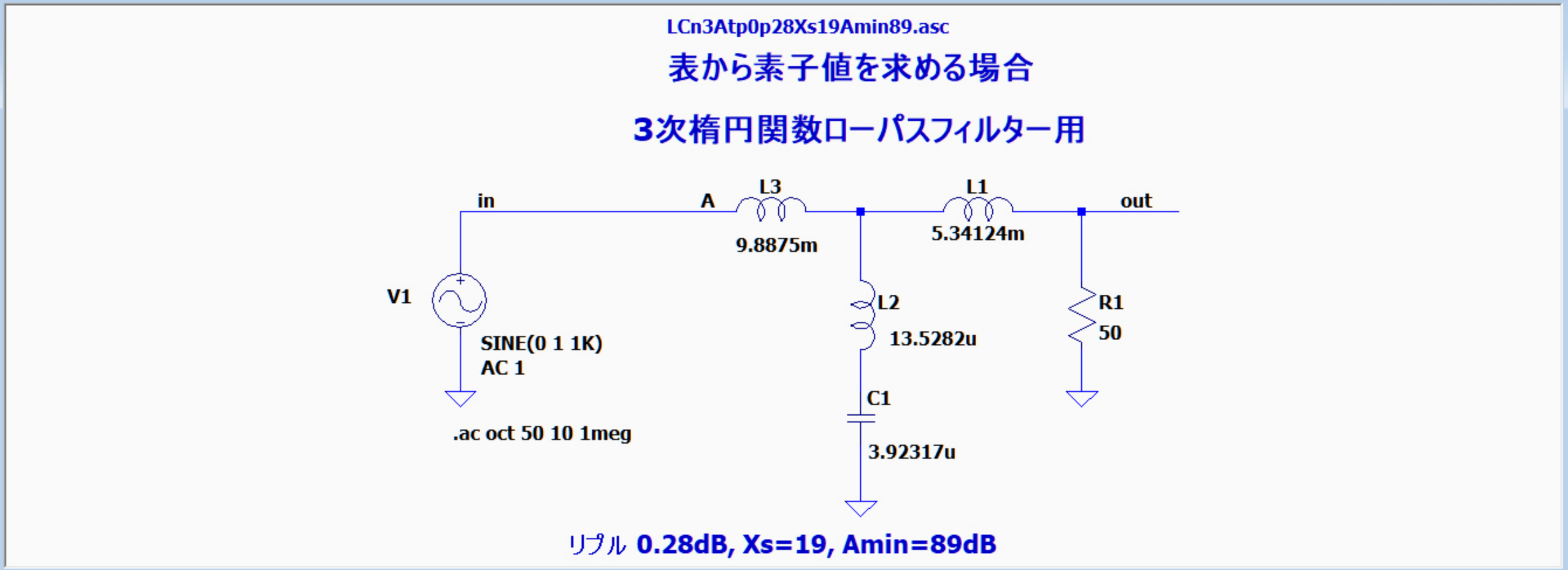
LCn3Atp0p28Xs11Amin75.asc



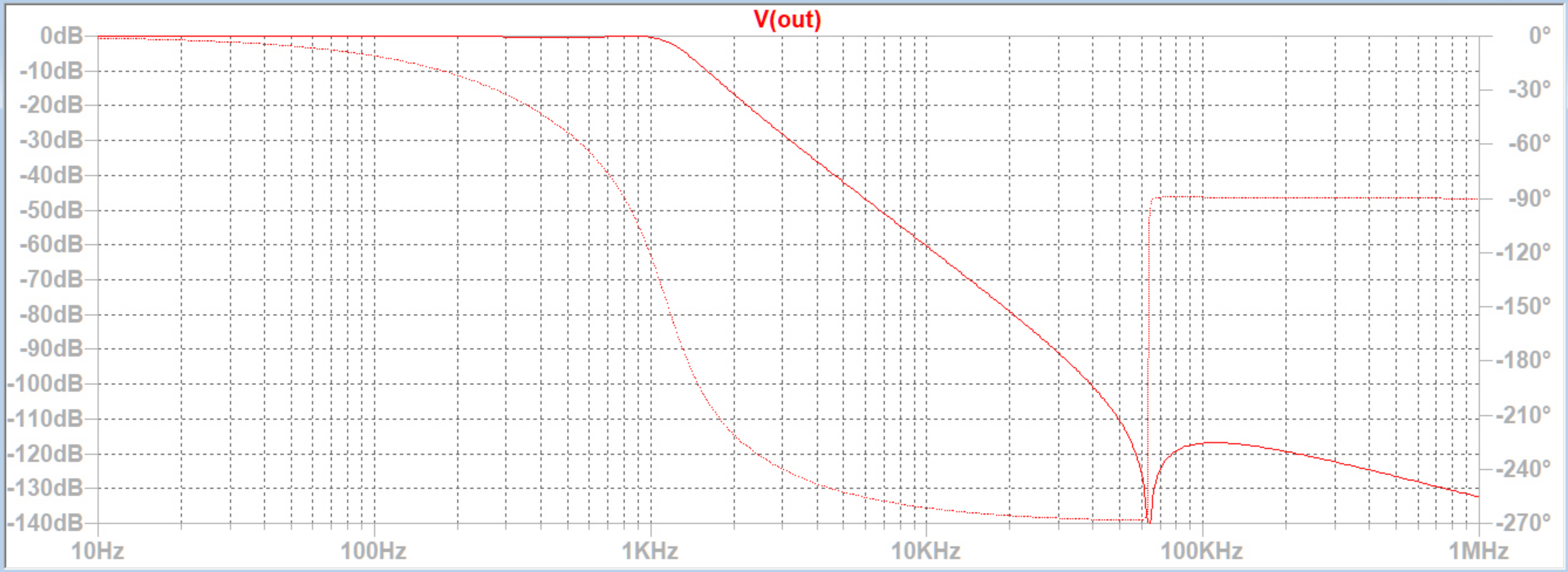
LCn3Atp0p28Xs19Amin89.raw



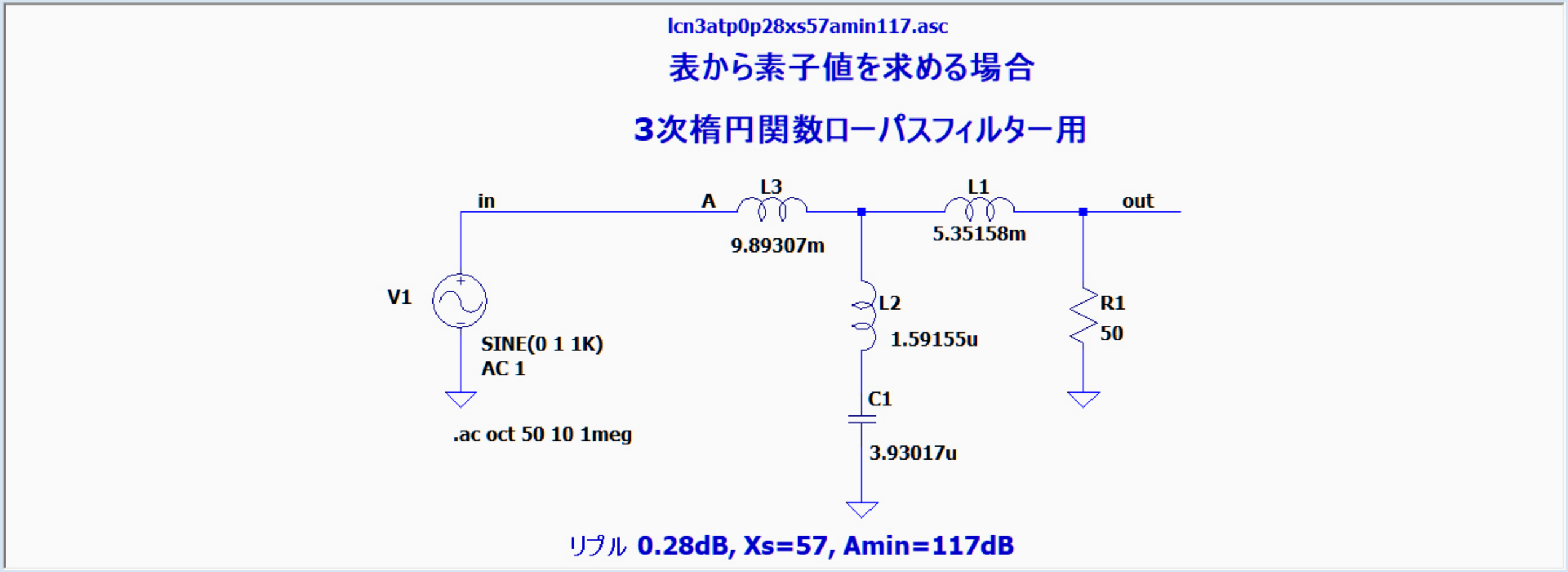
LCn3Atp0p28Xs19Amin89.asc



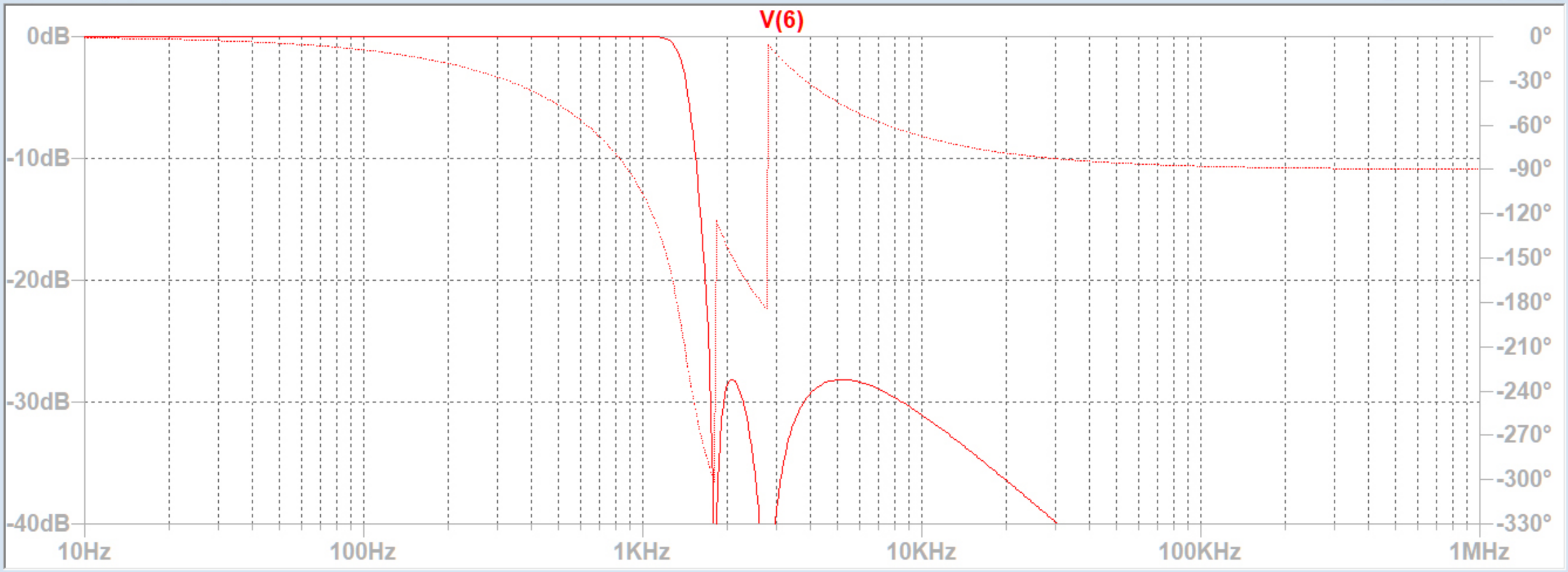
lcn3atp0p28xs57amin117.raw



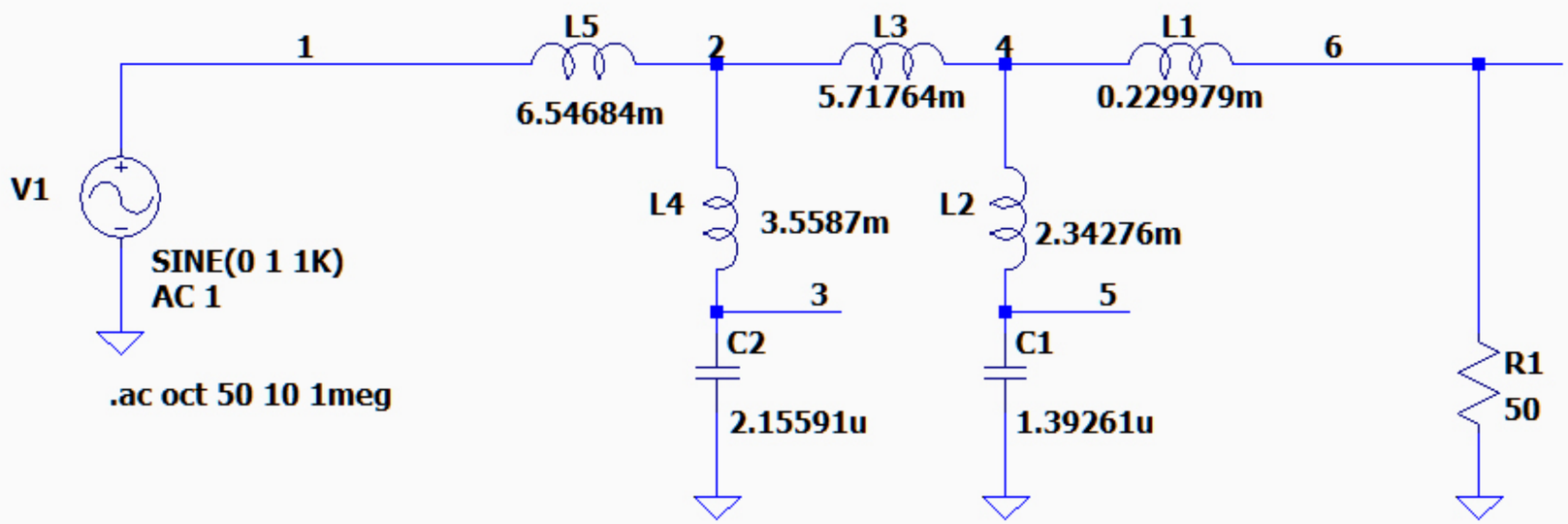
lcn3atp0p28xs57amin117.asc



LCn5Atp0p0004Xs1p7Amin28.raw



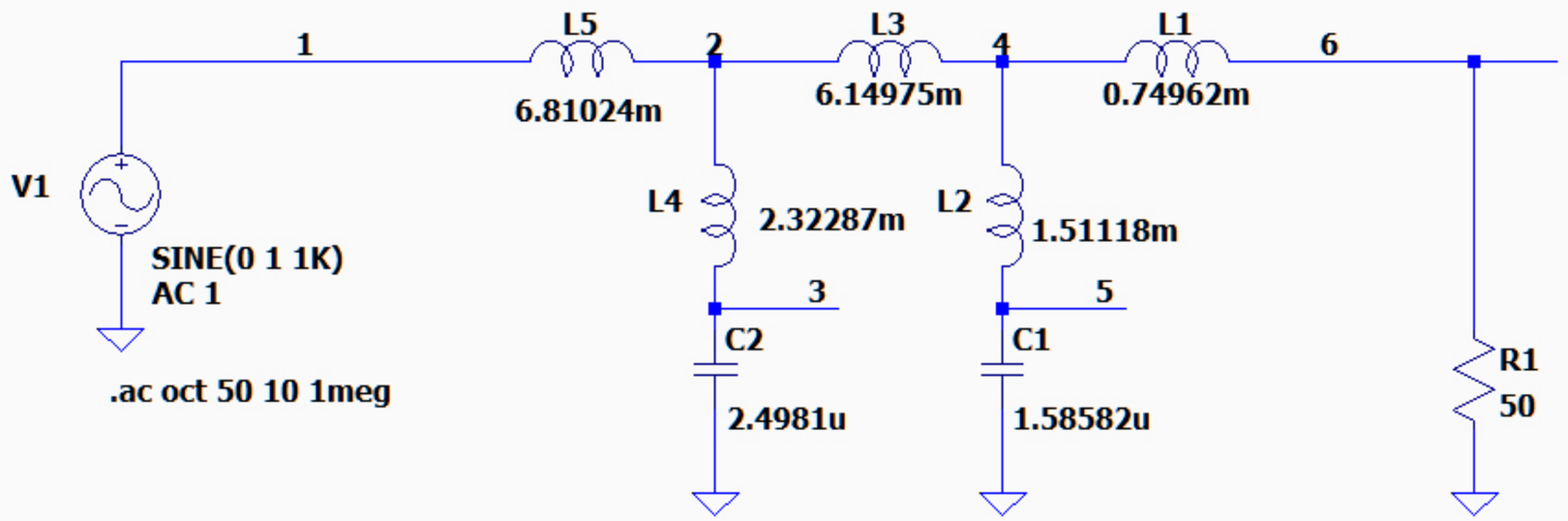
LCn5Atp0p0004Xs1p7Amin28.asc



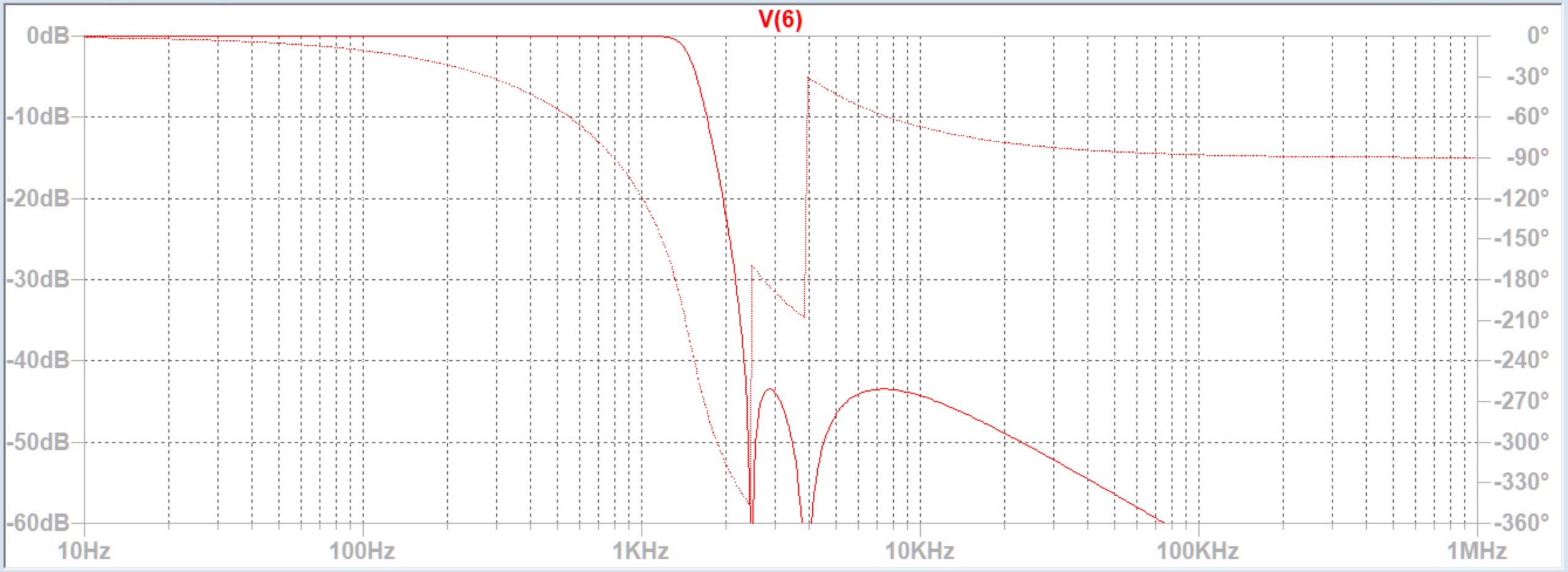
LCn5Atp0p0004Xs2p0Amin35.raw



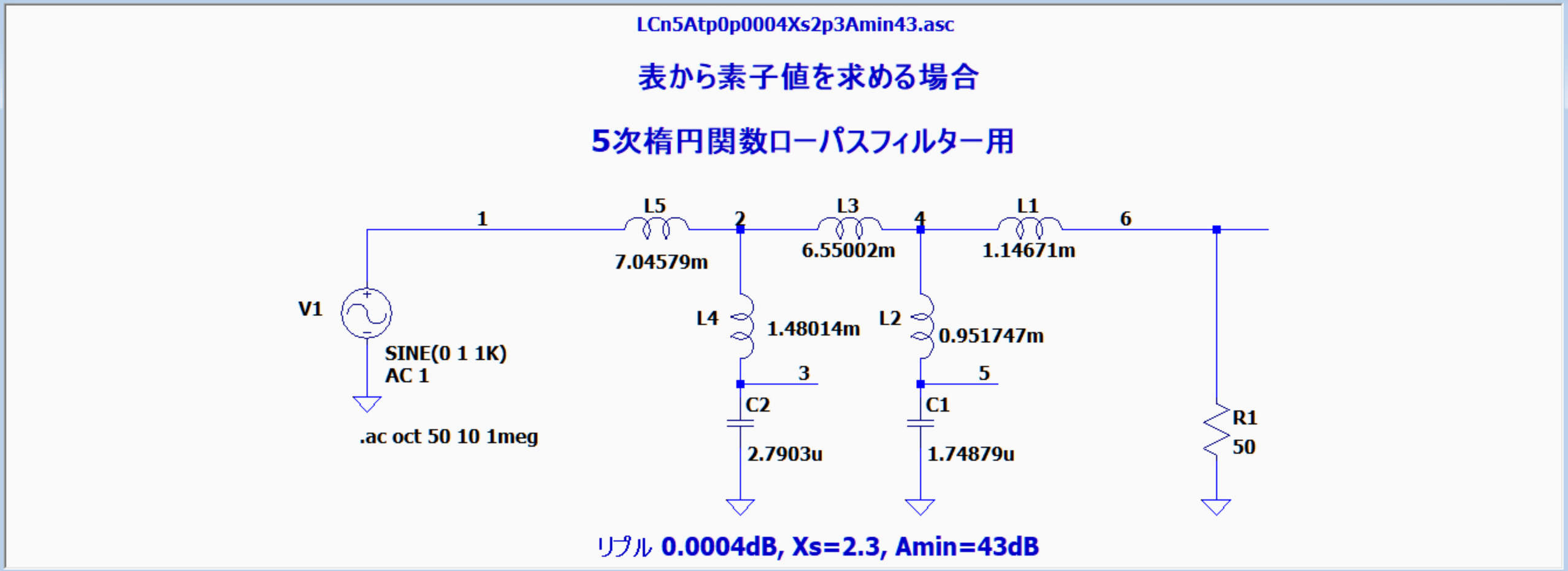
LCn5Atp0p0004Xs2p0Amin35.asc



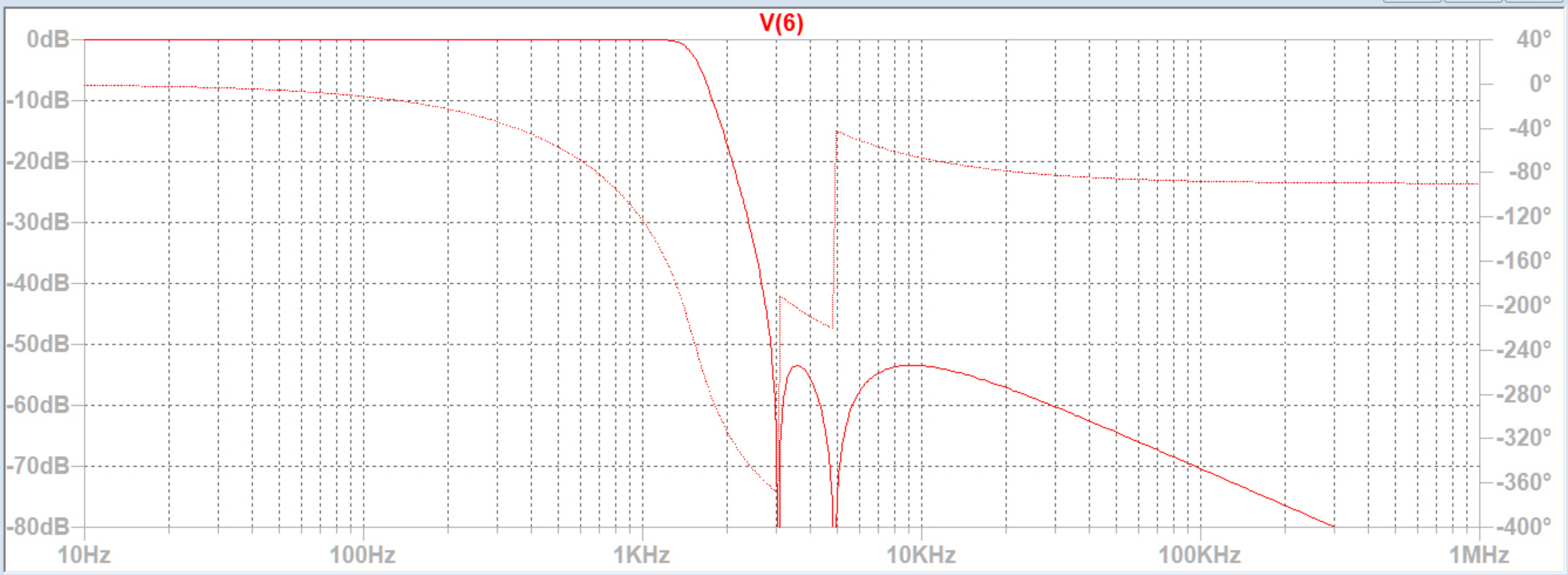
LCn5Atp0p0004Xs2p3Amin43.raw



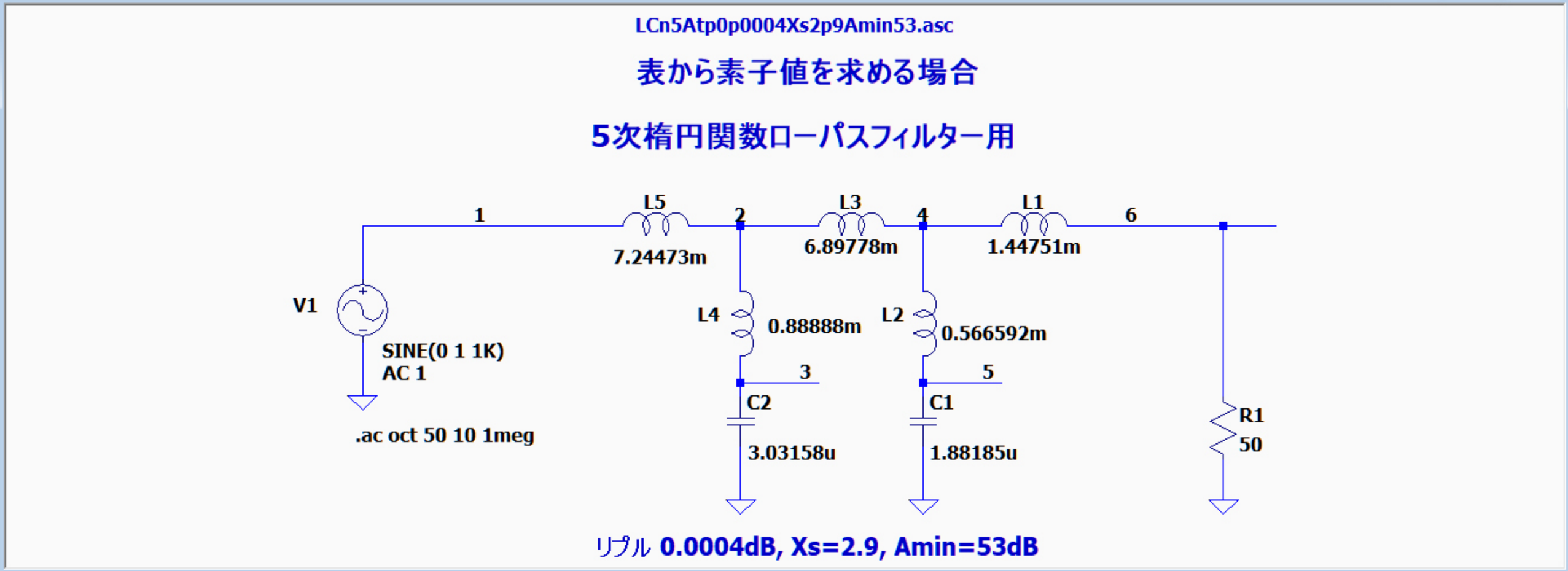
LCn5Atp0p0004Xs2p3Amin43.asc



LCn5Atp0p0004Xs2p9Amin53.raw



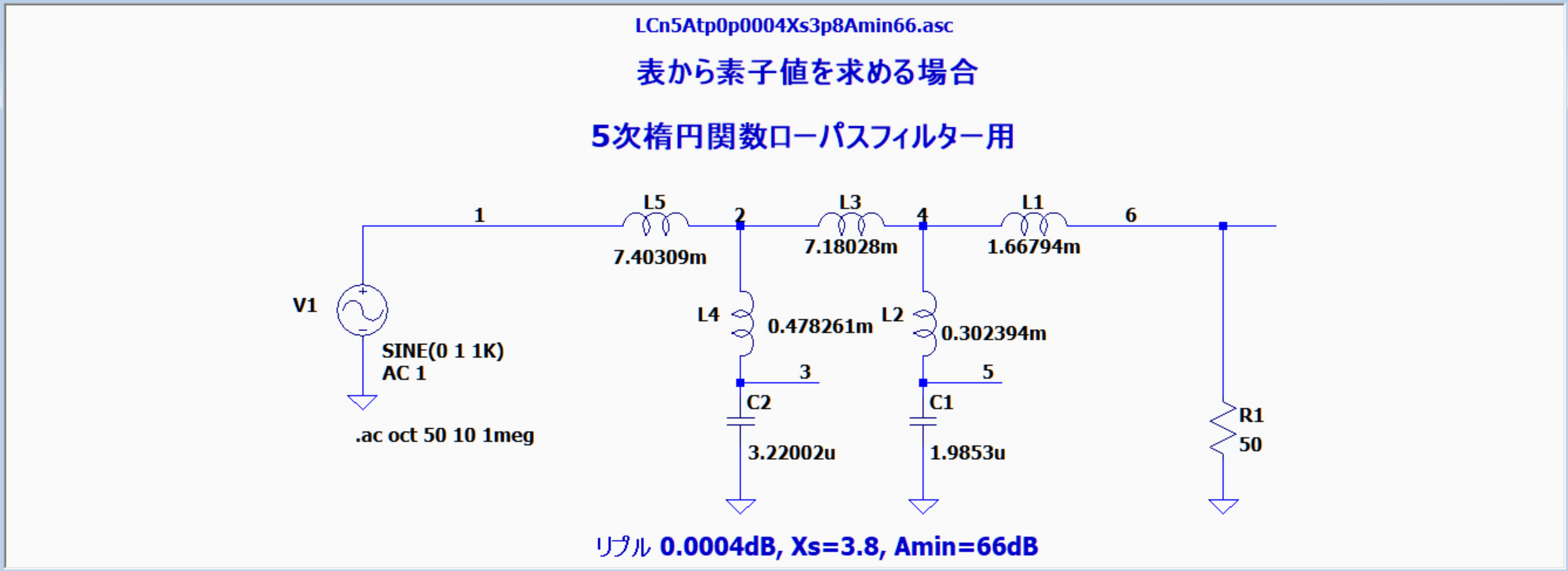
LCn5Atp0p0004Xs2p9Amin53.asc



LCn5Atp0p0004Xs3p8Amin66.raw



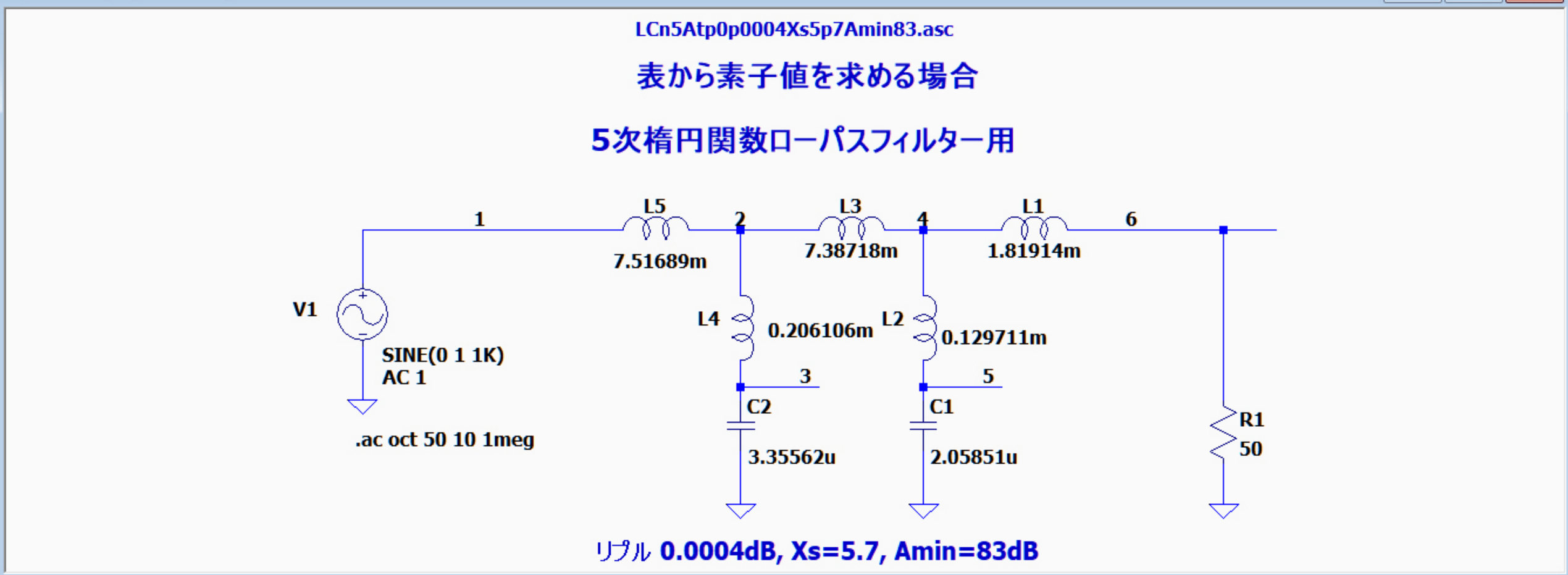
LCn5Atp0p0004Xs3p8Amin66.asc



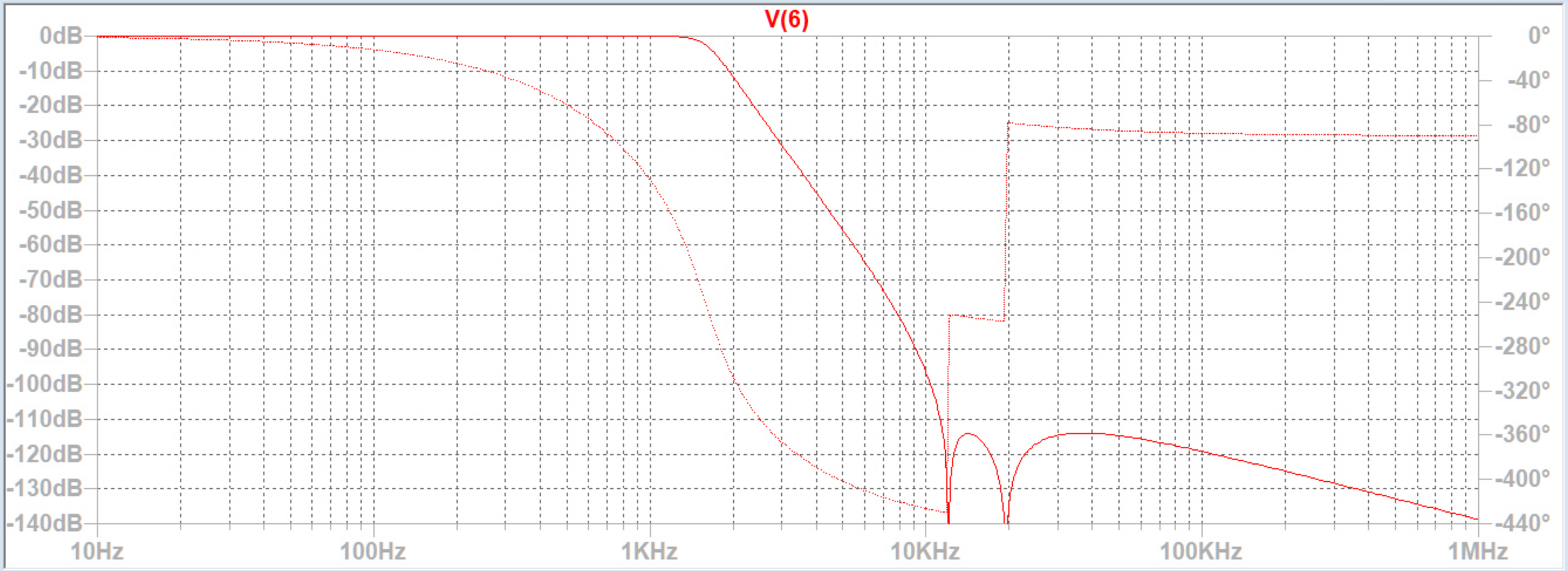
LCn5Atp0p0004Xs5p7Amin83.raw



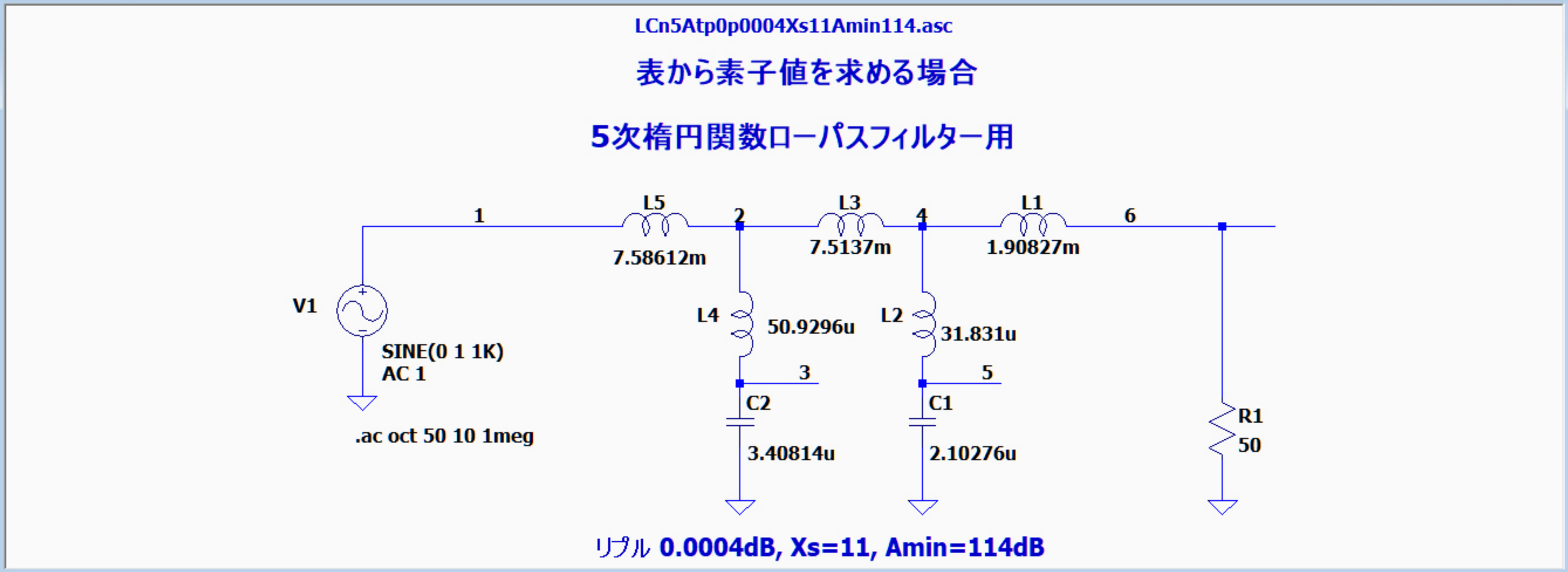
LCn5Atp0p0004Xs5p7Amin83.asc



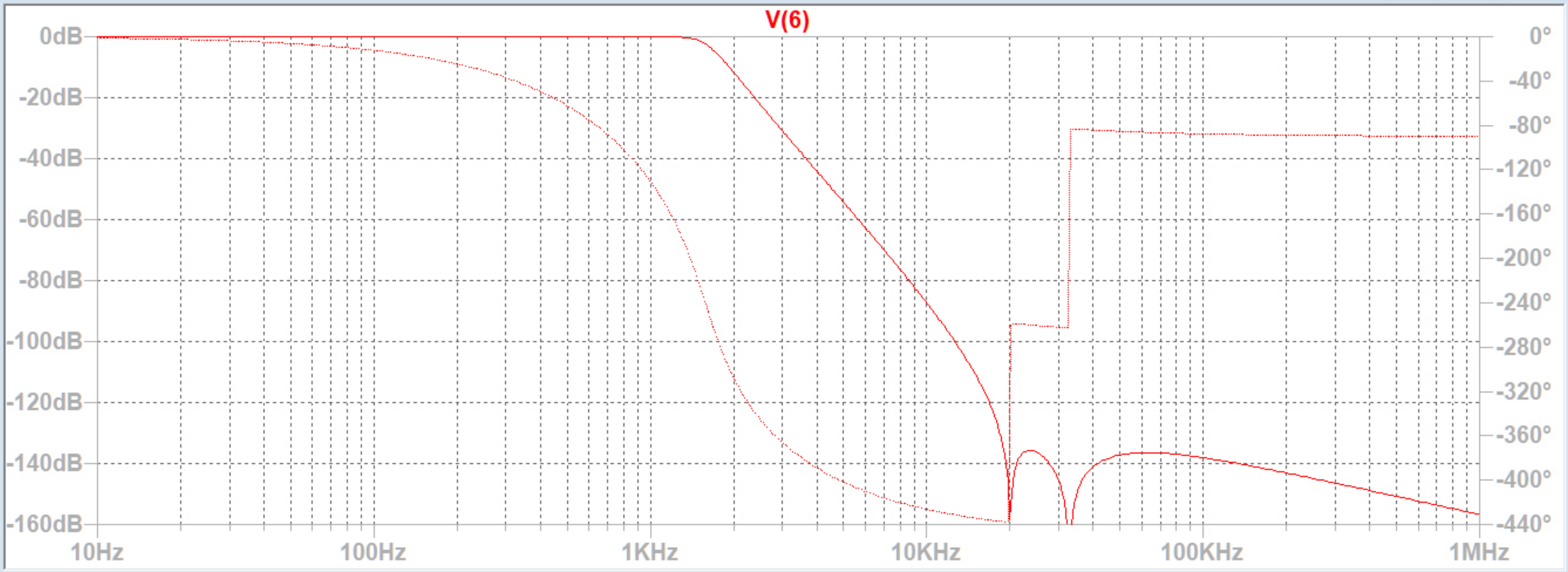
LCn5Atp0p0004Xs11Amin114.raw



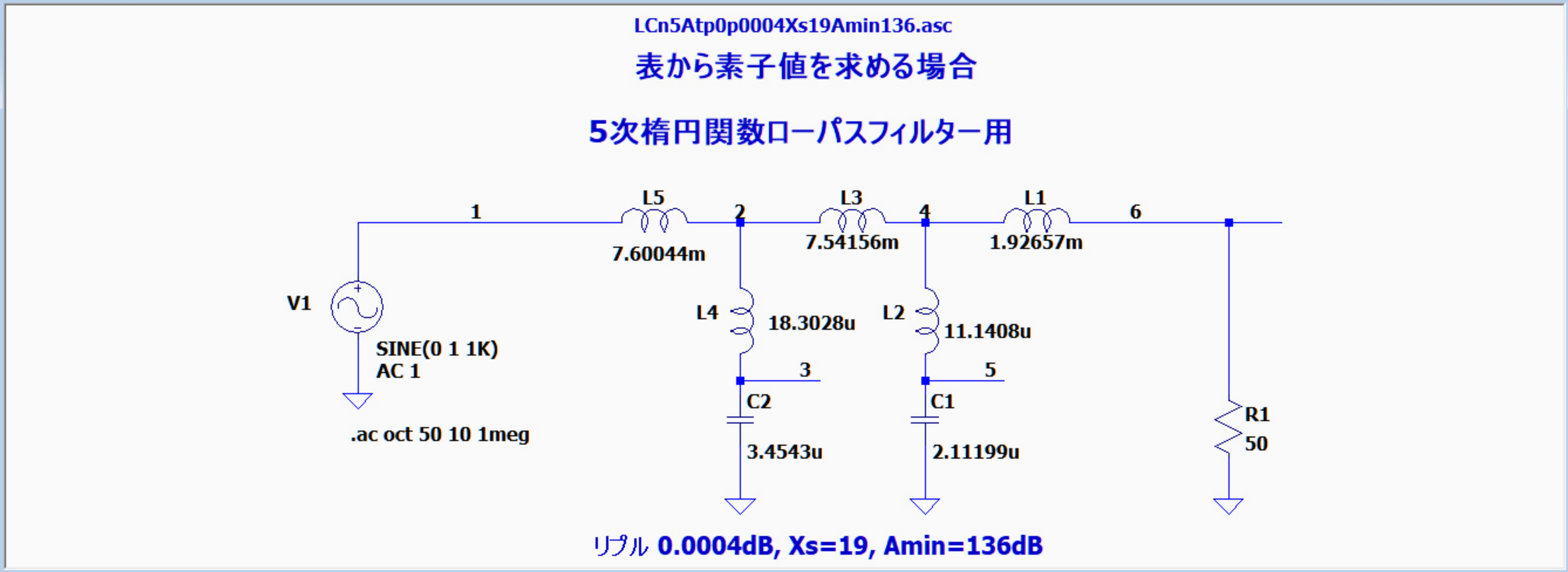
LCn5Atp0p0004Xs11Amin114.asc



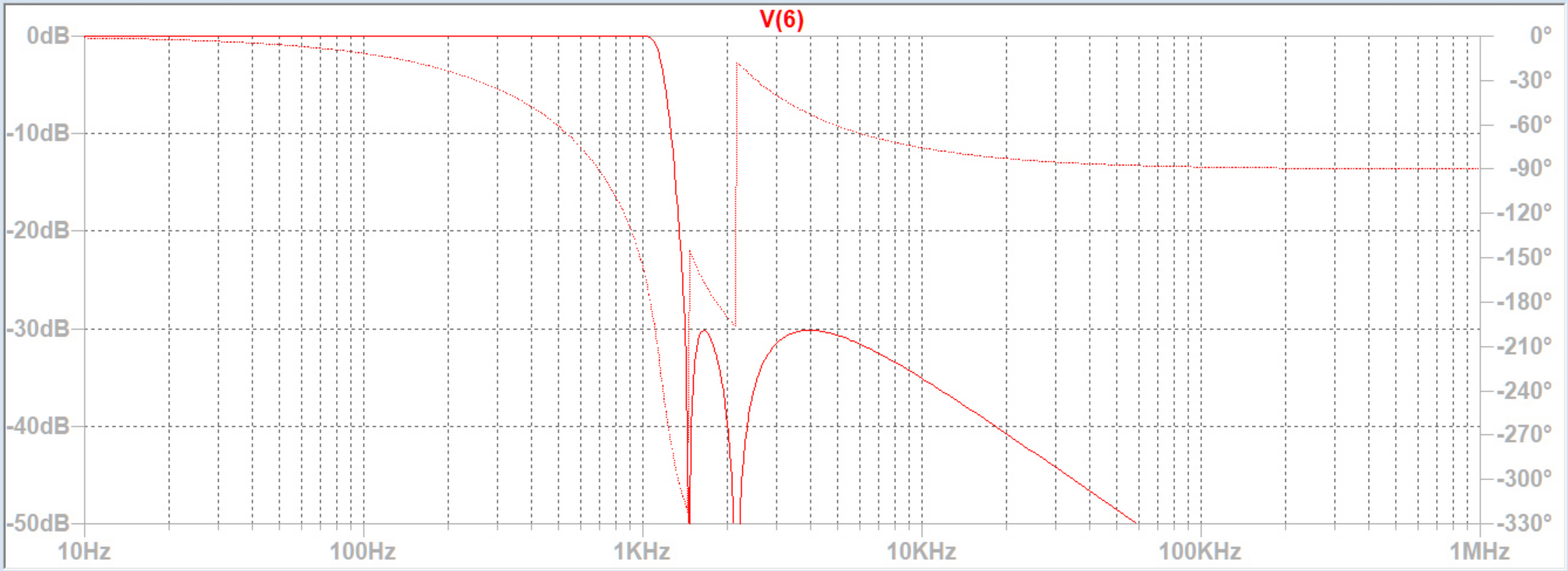
LCn5Atp0p0004Xs19Amin136.raw



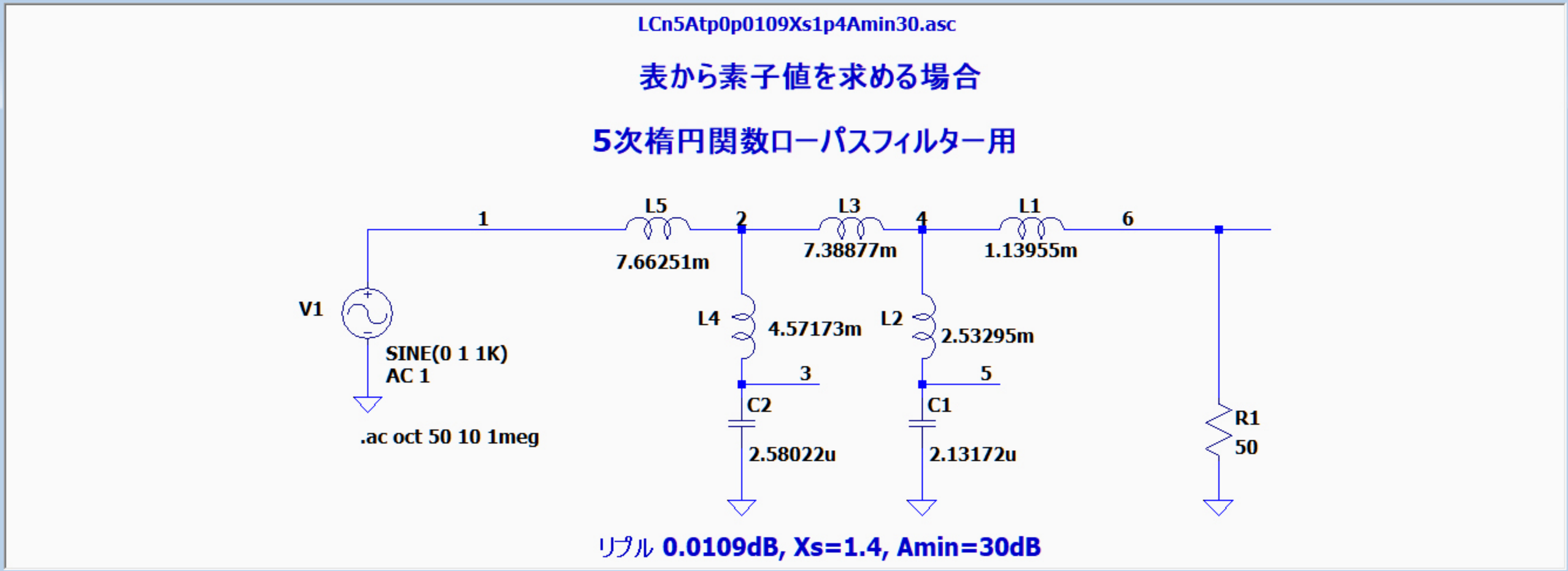
LCn5Atp0p0004Xs19Amin136.asc



LCn5Atp0p0109Xs1p4Amin30.raw



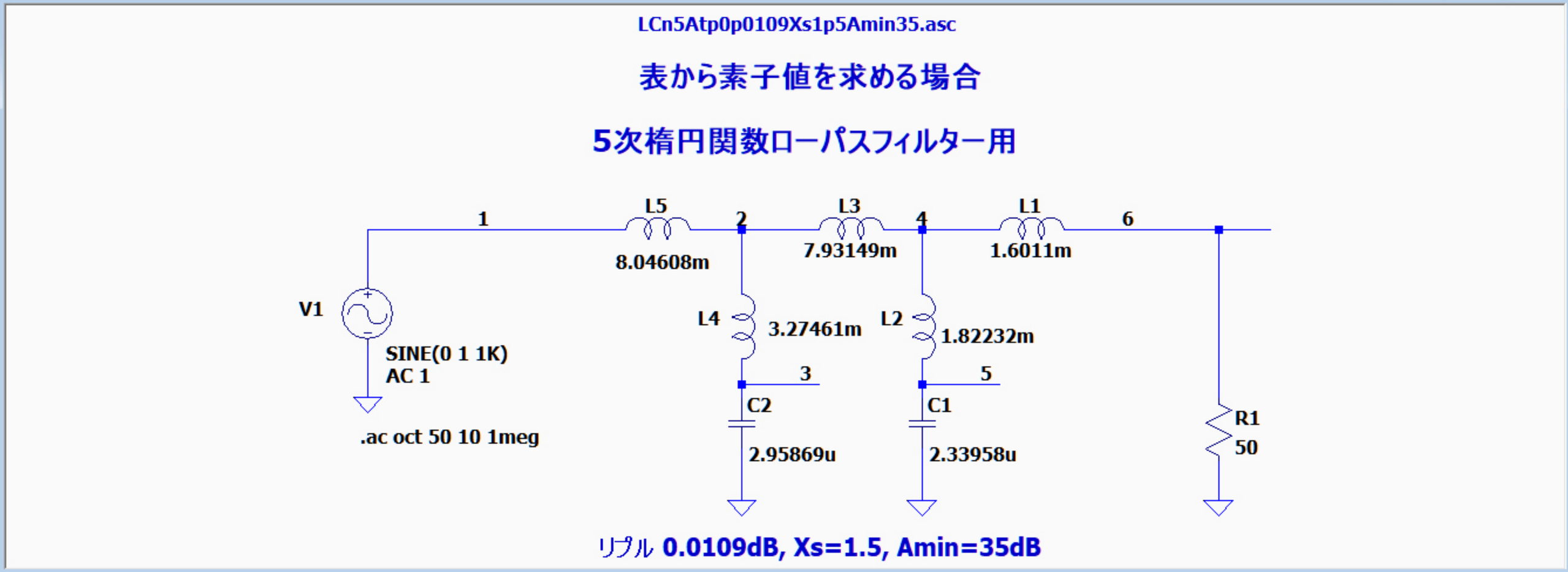
LCn5Atp0p0109Xs1p4Amin30.asc



LCn5Atp0p0109Xs1p5Amin35.raw



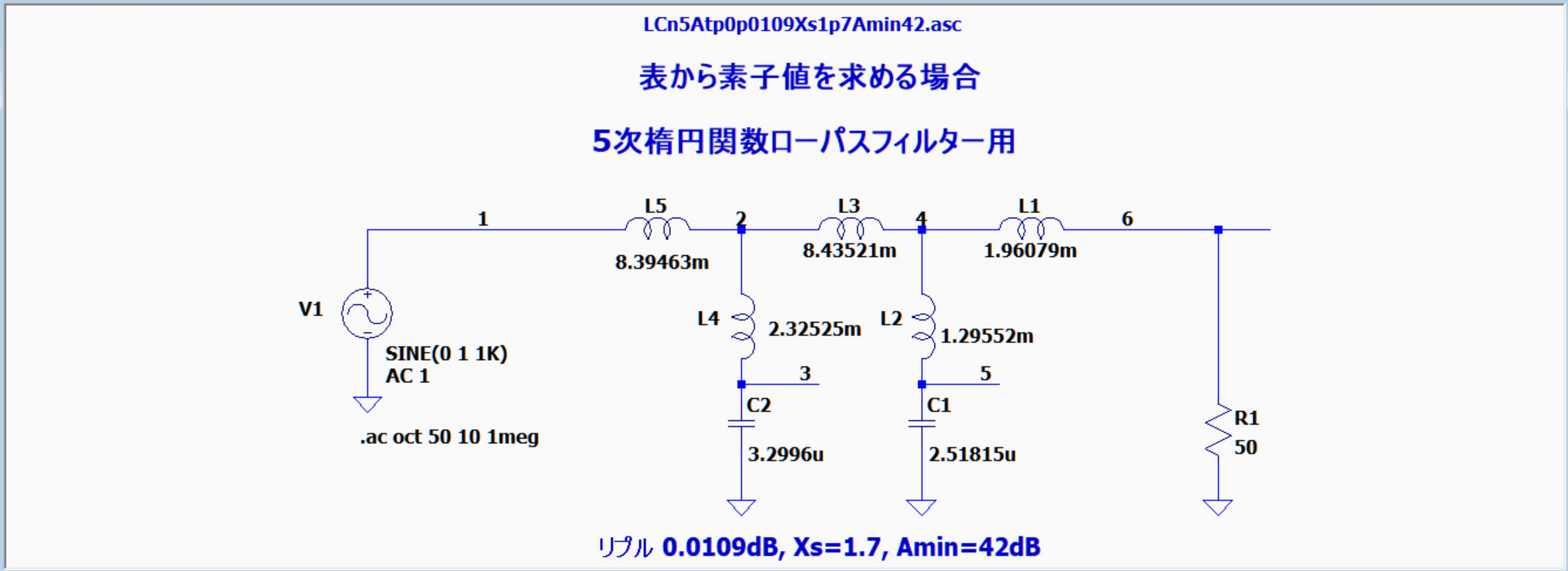
LCn5Atp0p0109Xs1p5Amin35.asc



LCn5Atp0p0109Xs1p7Amin42.raw



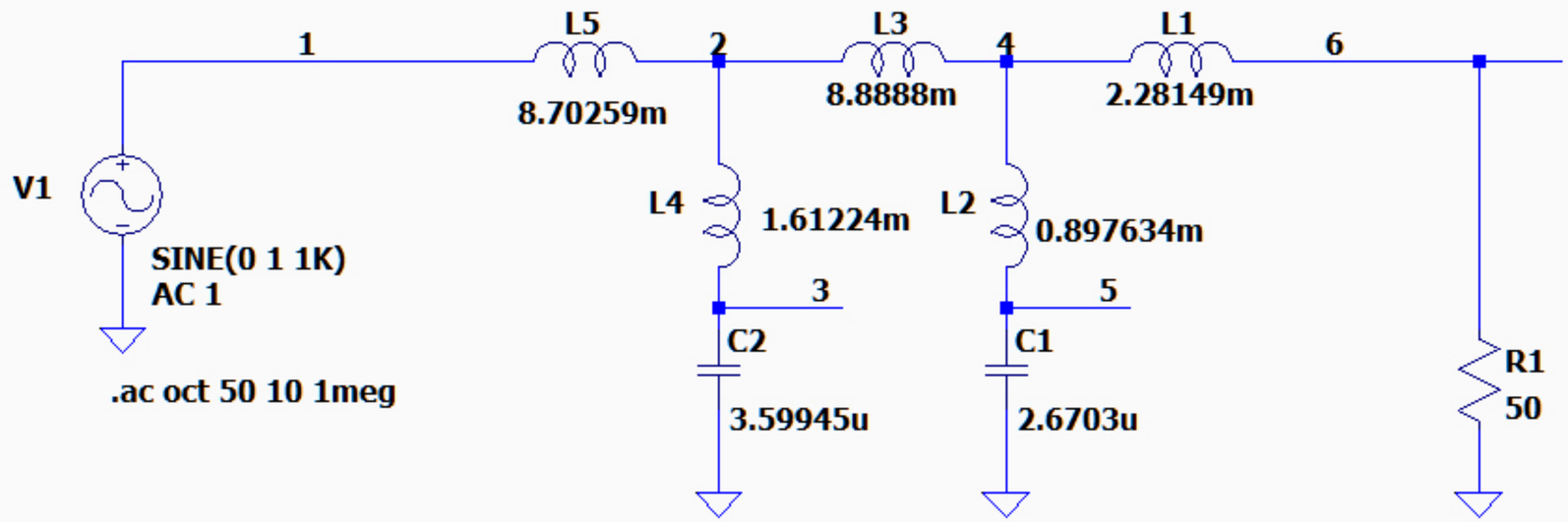
LCn5Atp0p0109Xs1p7Amin42.asc



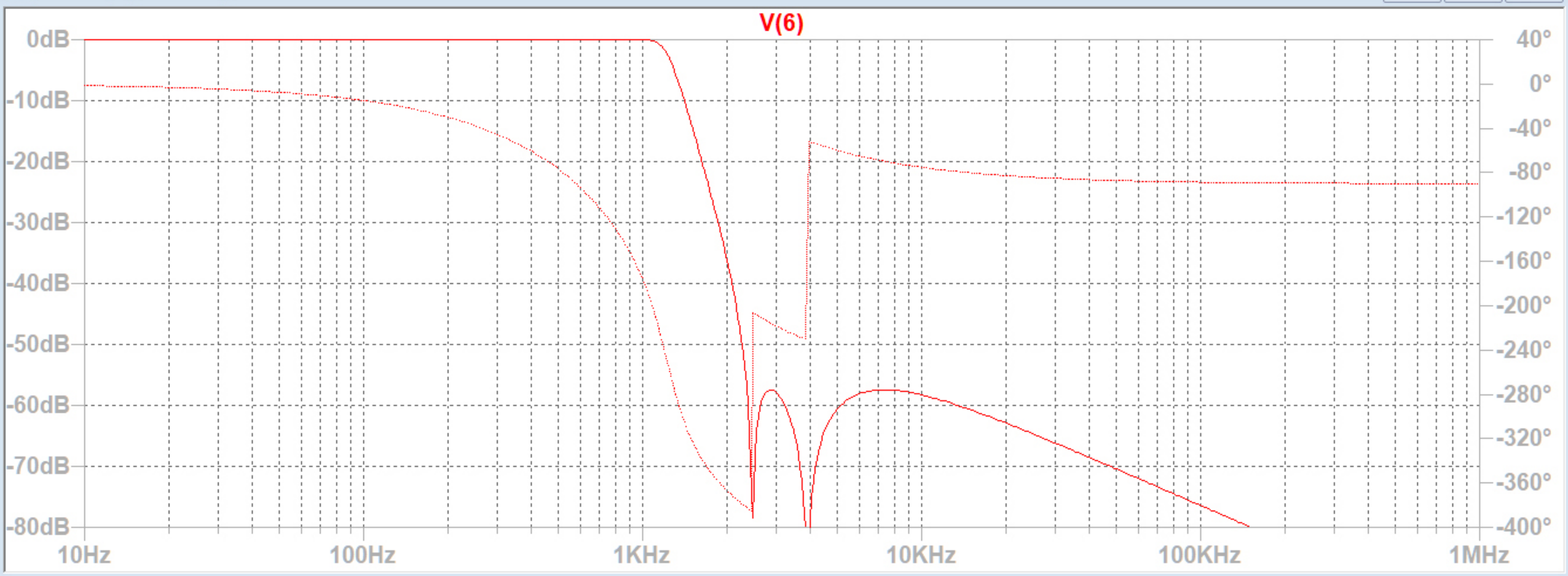
LCn5Atp0p0109Xs2p0Amin49.raw



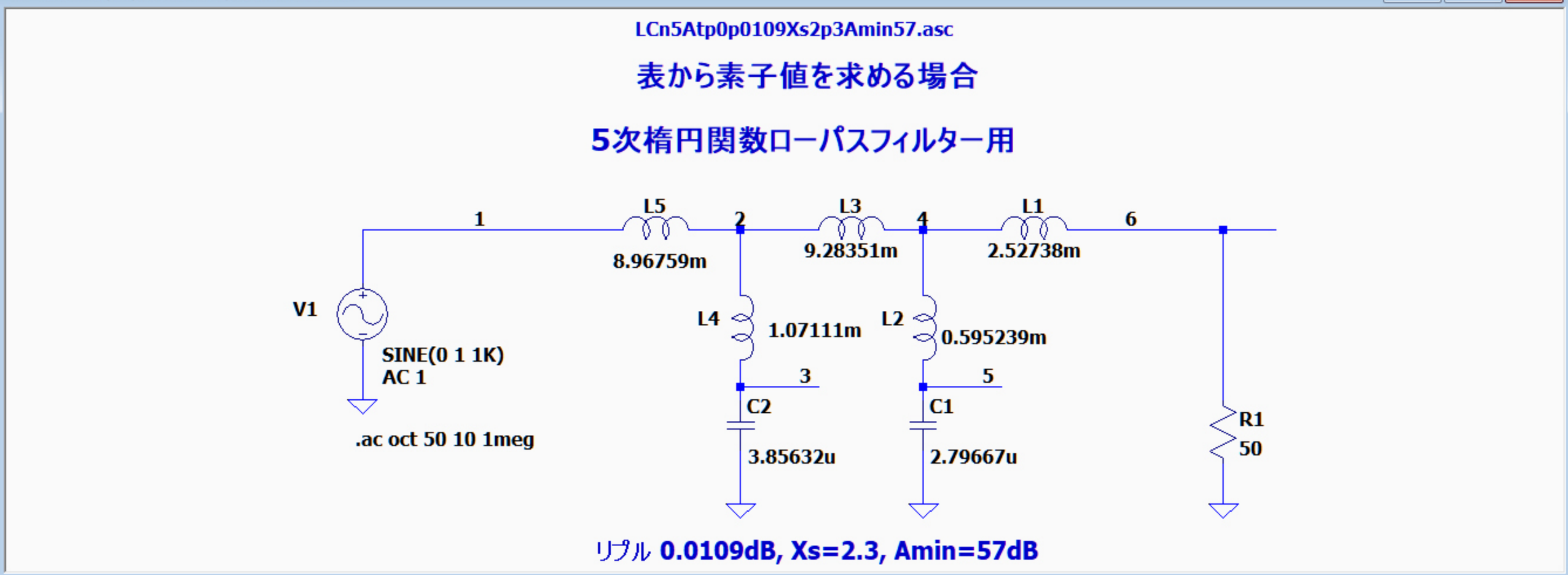
LCn5Atp0p0109Xs2p0Amin49.asc



LCn5Atp0p0109Xs2p3Amin57.raw



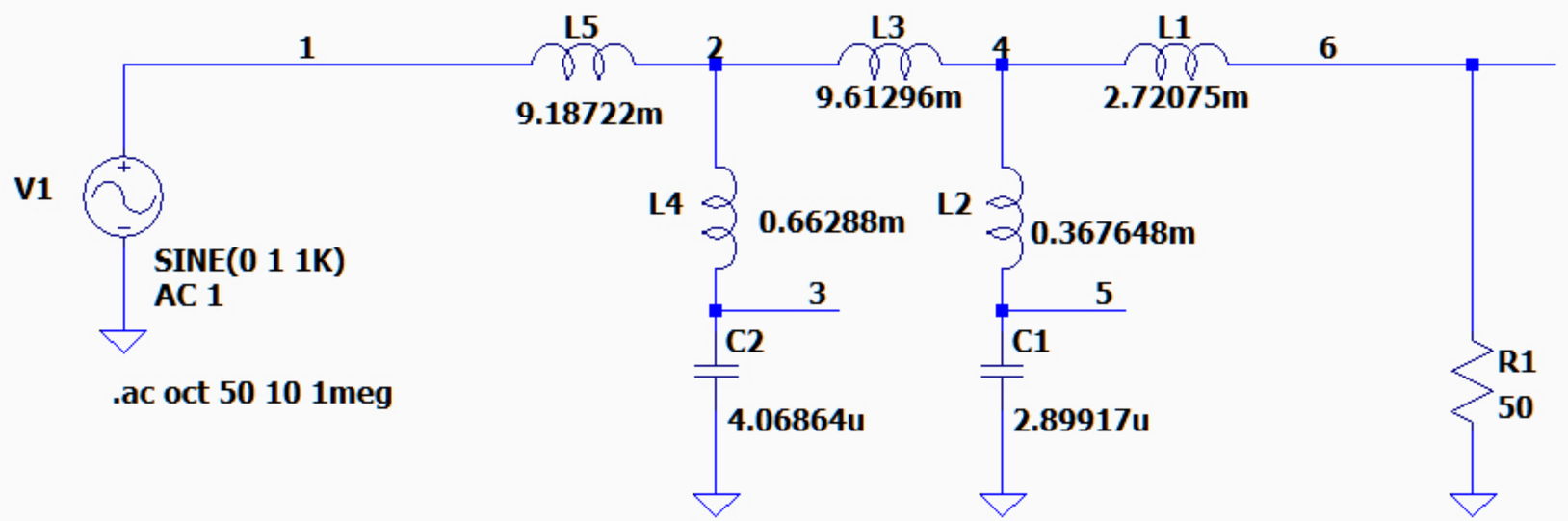
LCn5Atp0p0109Xs2p3Amin57.asc



LCn5Atp0p0109Xs2p9Amin67.raw



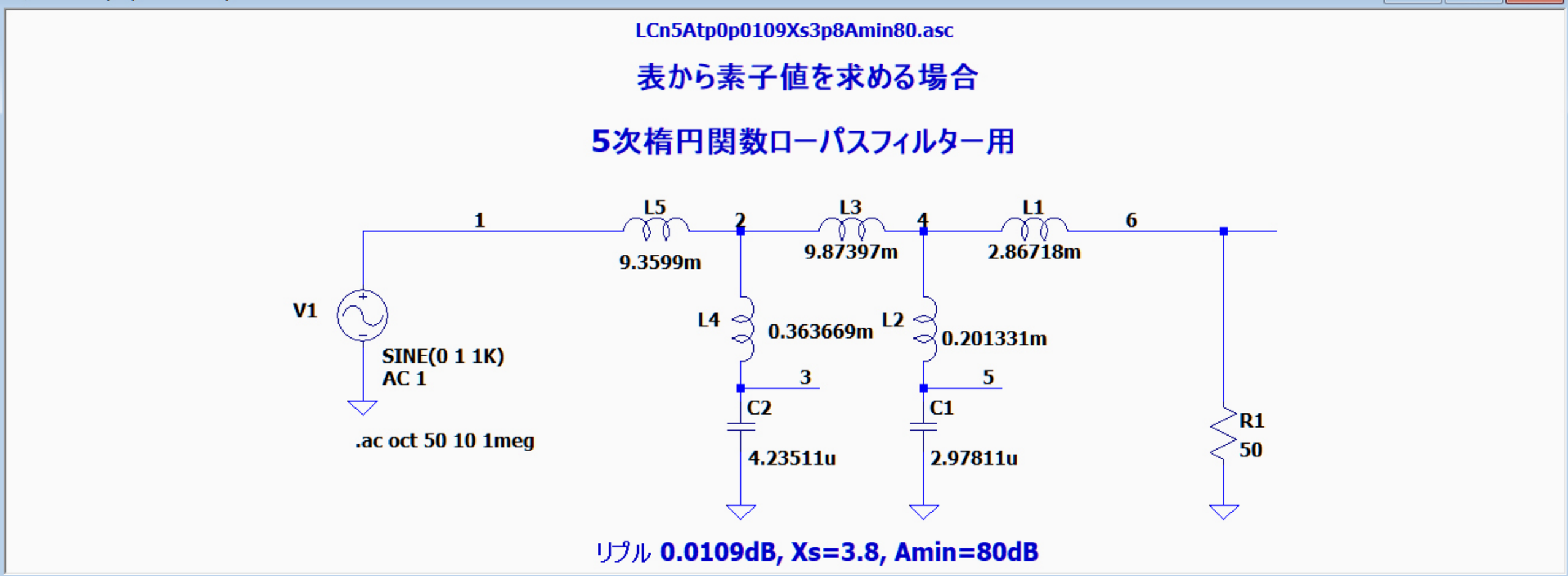
LCn5Atp0p0109Xs2p9Amin67.asc



LCn5Atp0p0109Xs3p8Amin80.raw



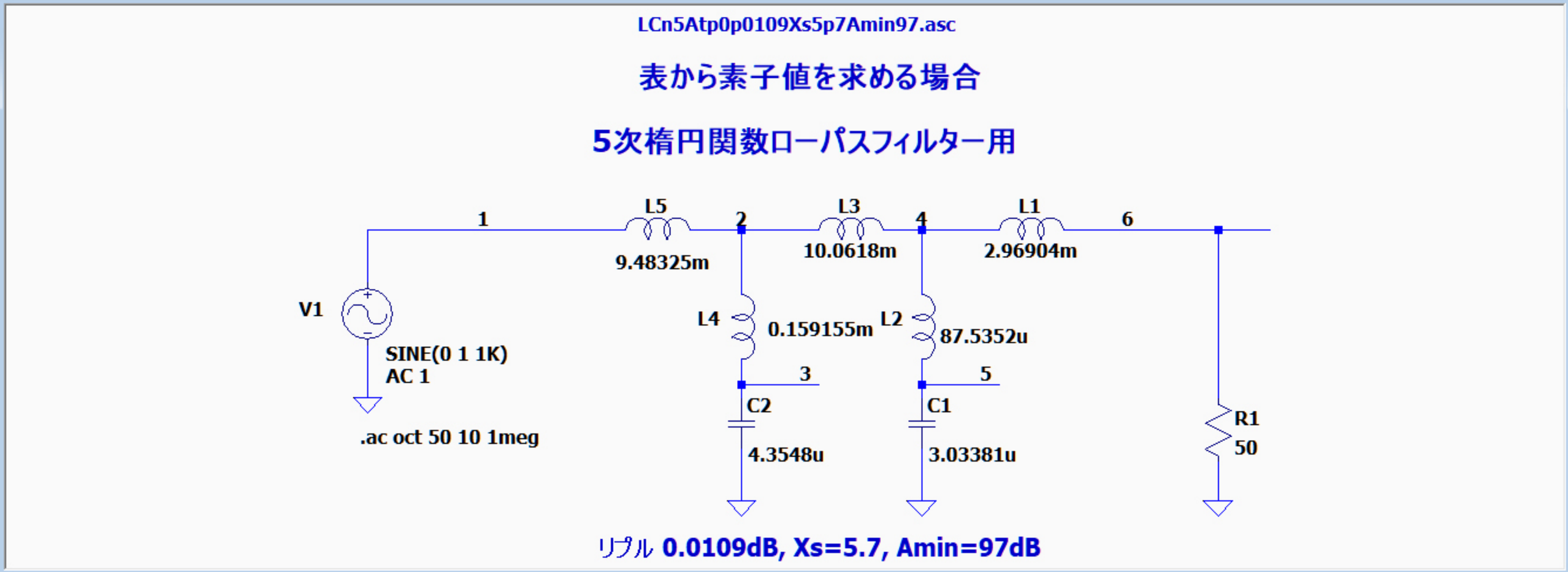
LCn5Atp0p0109Xs3p8Amin80.asc



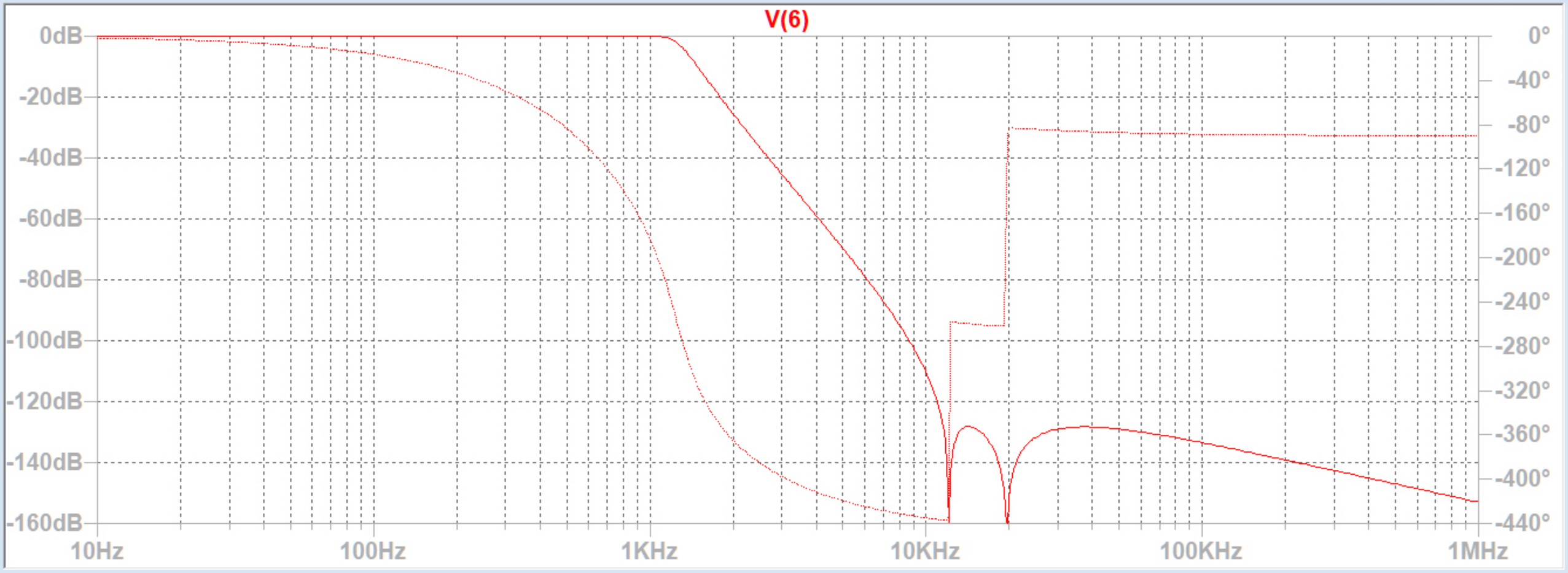
LCn5Atp0p0109Xs5p7Amin97.raw



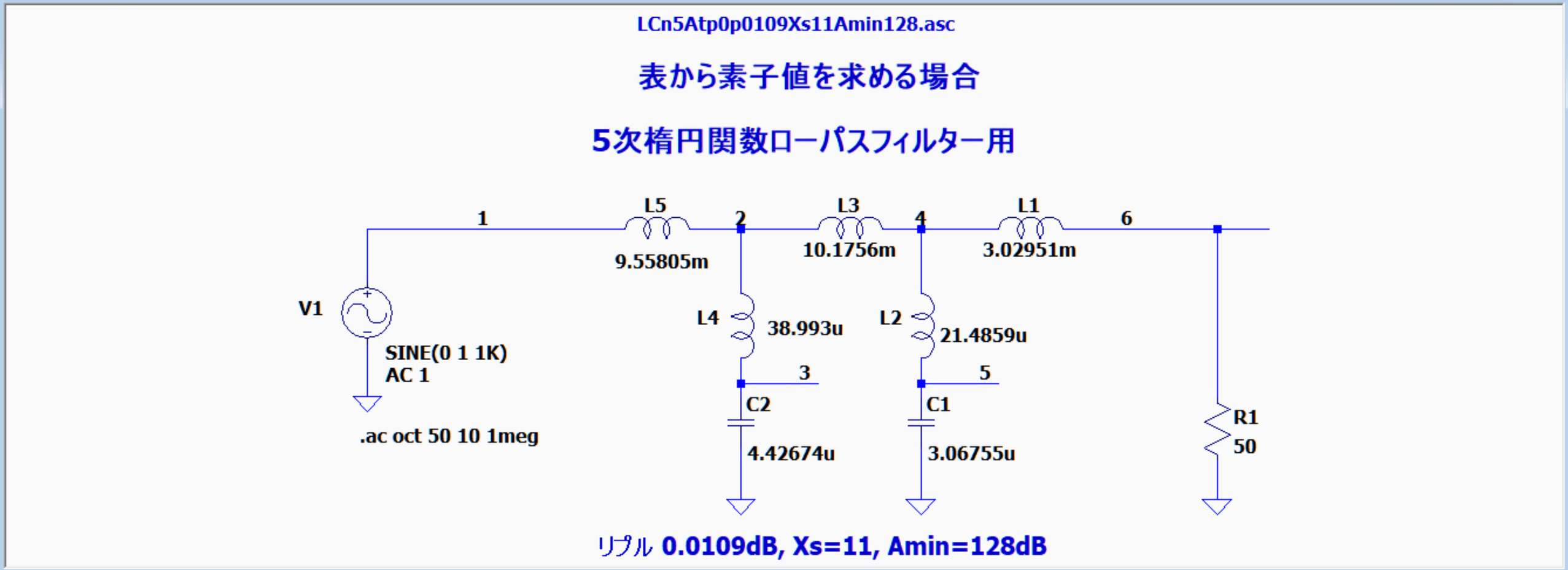
LCn5Atp0p0109Xs5p7Amin97.asc



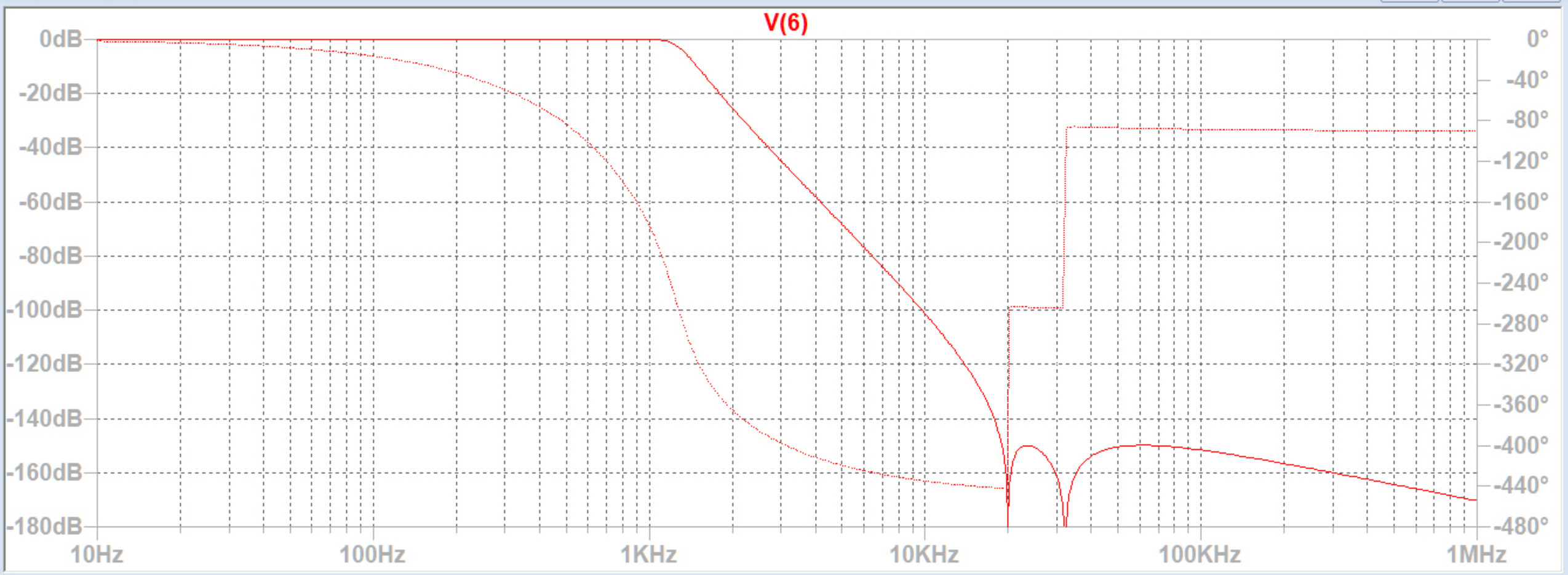
LCn5Atp0p0109Xs11Amin128.raw



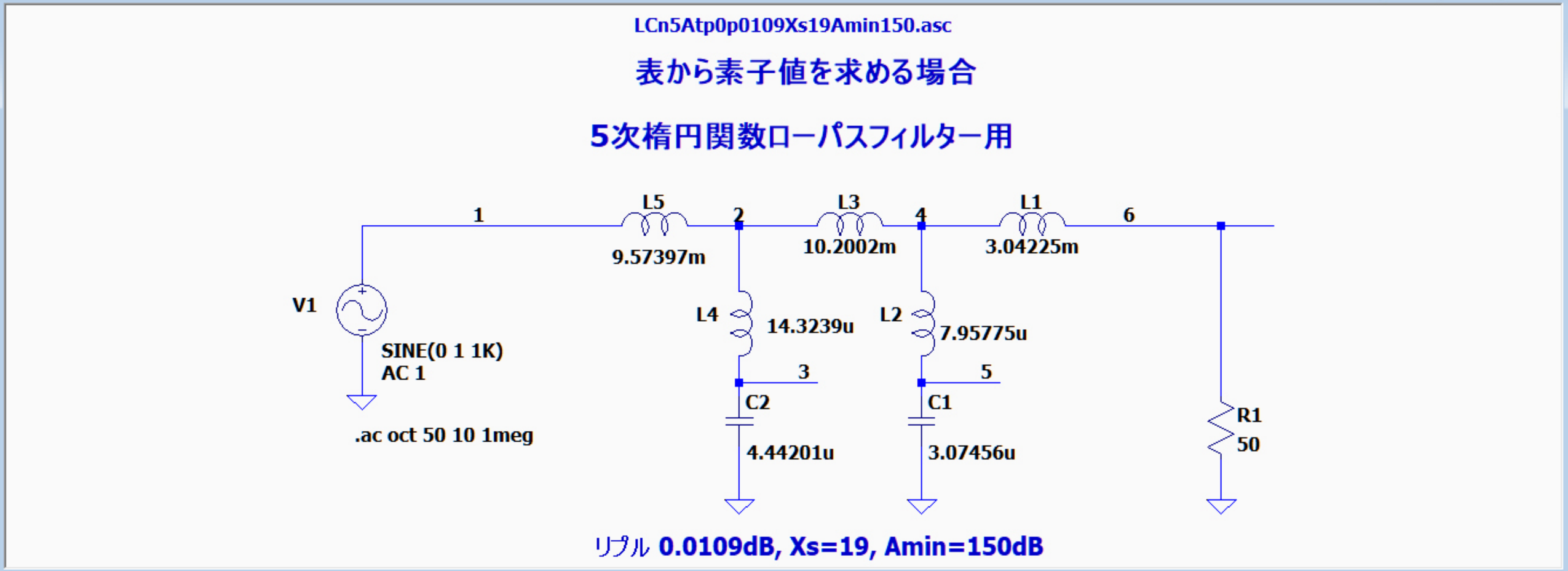
LCn5Atp0p0109Xs11Amin128.asc



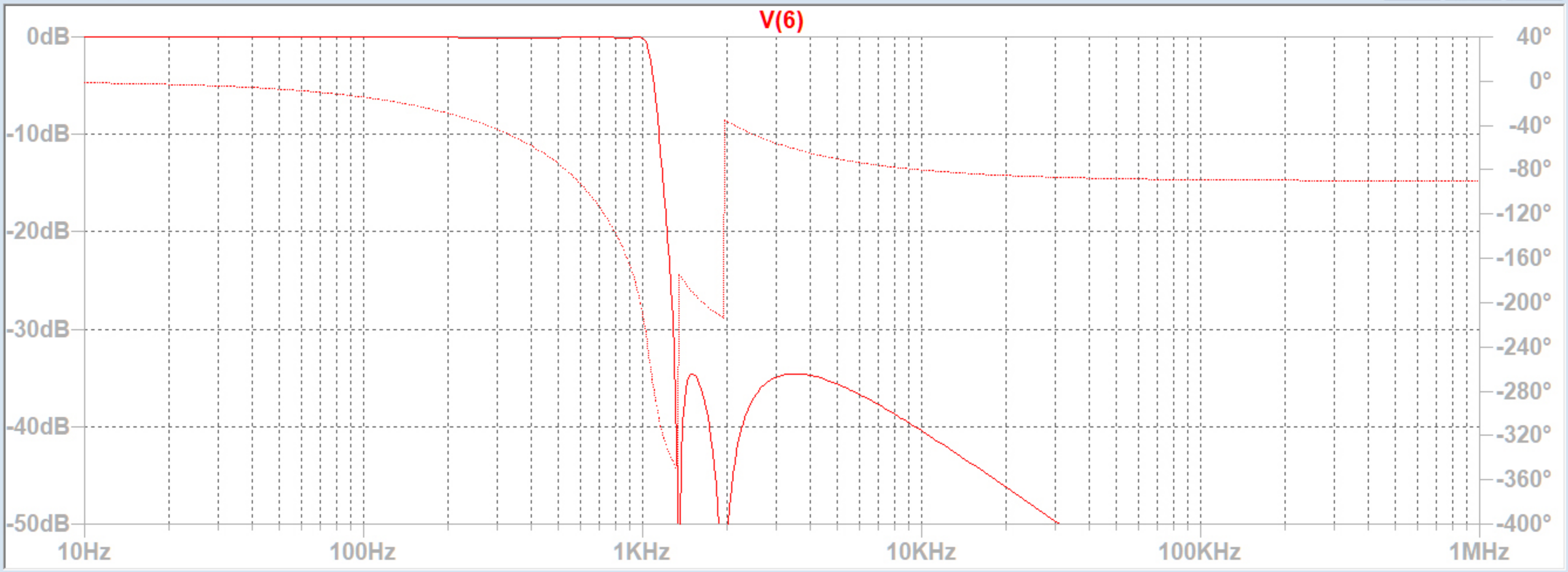
LCn5Atp0p0109Xs19Amin150.raw



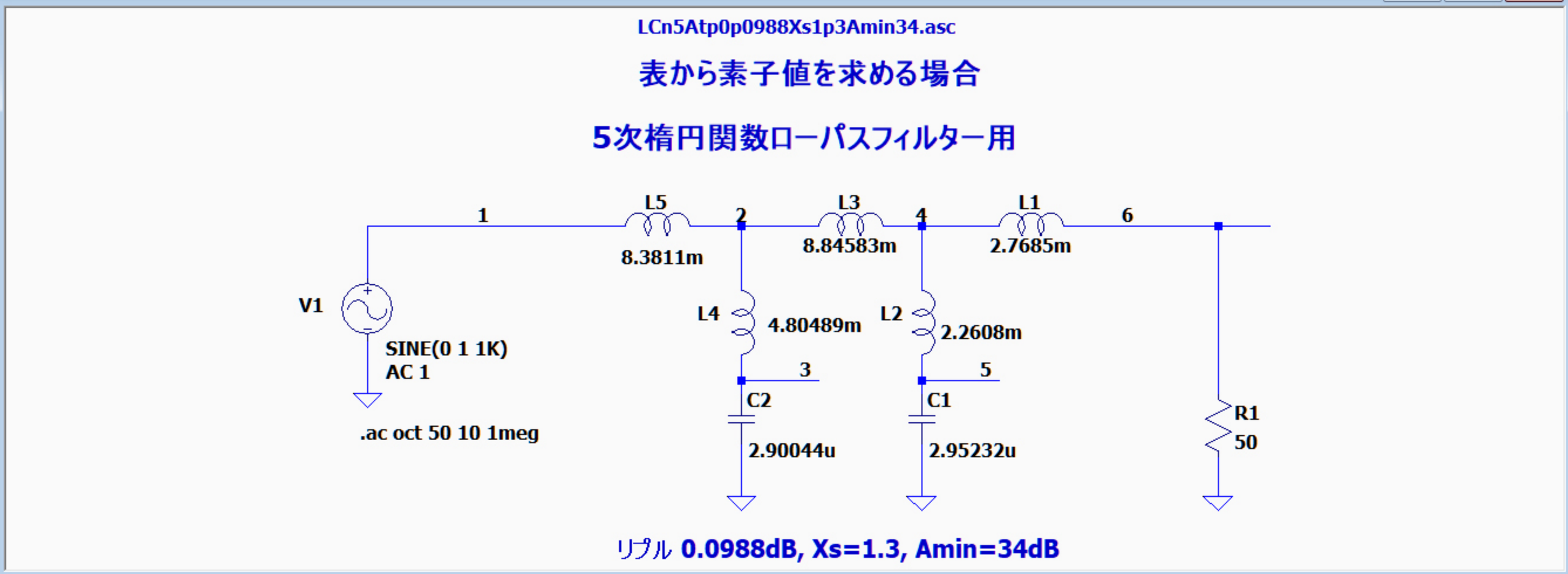
LCn5Atp0p0109Xs19Amin150.asc



LCn5Atp0p0988Xs1p3Amin34.raw



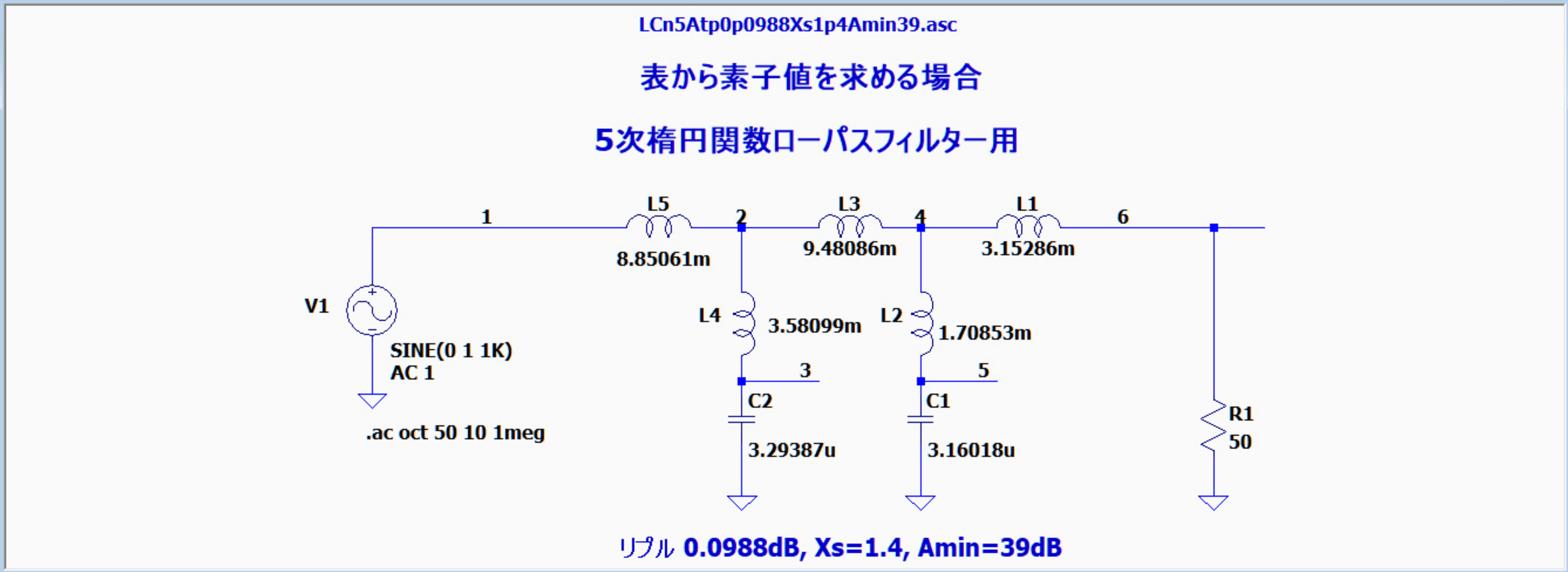
LCn5Atp0p0988Xs1p3Amin34.asc



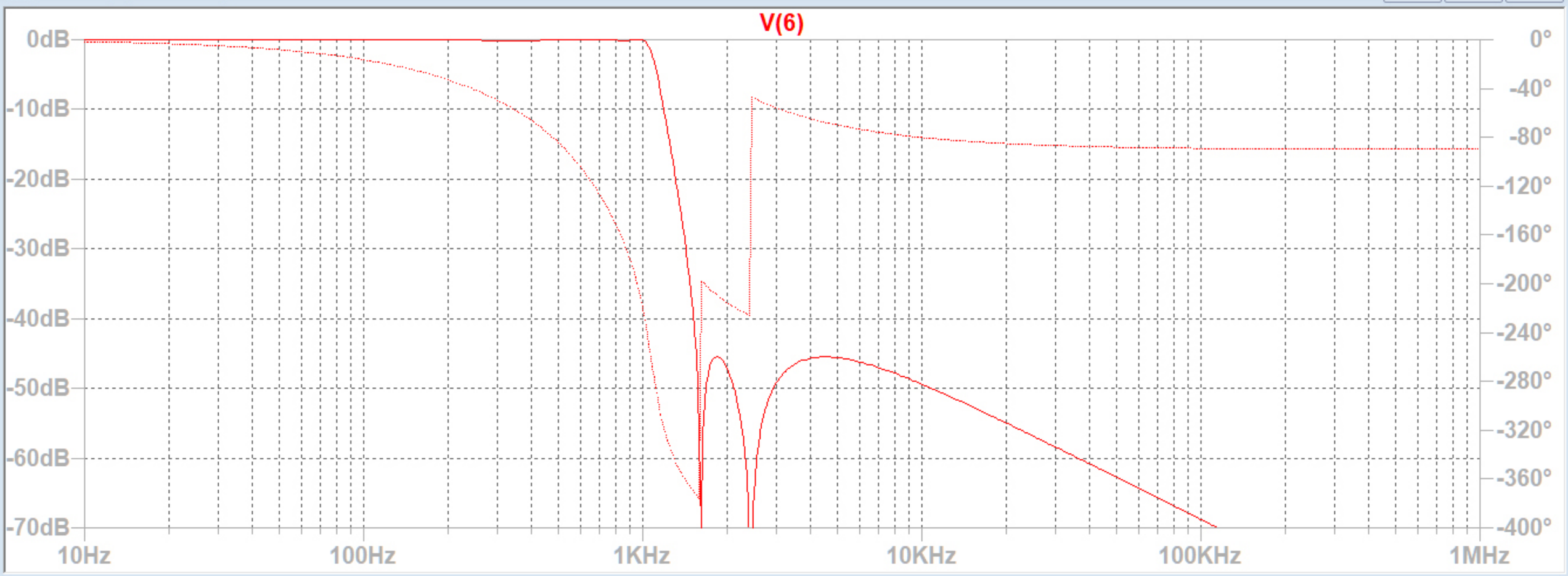
LCn5Atp0p0988Xs1p4Amin39.raw



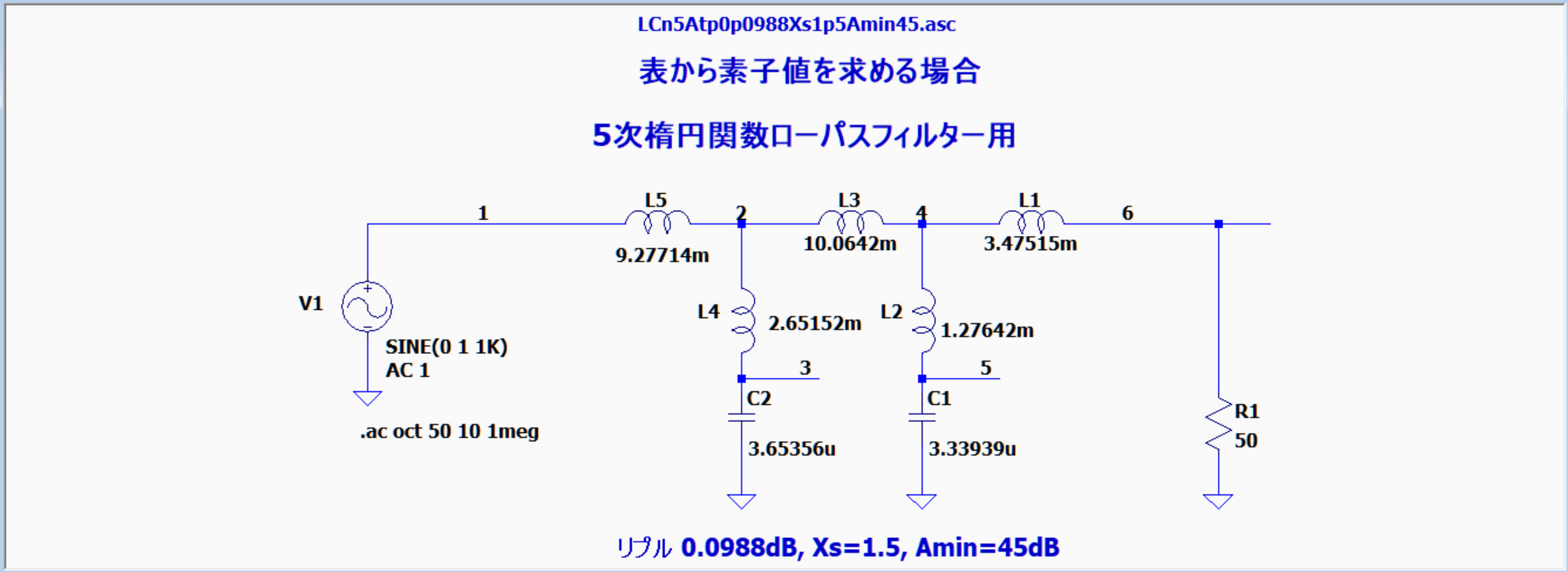
LCn5Atp0p0988Xs1p4Amin39.asc



LCn5Atp0p0988Xs1p5Amin45.raw



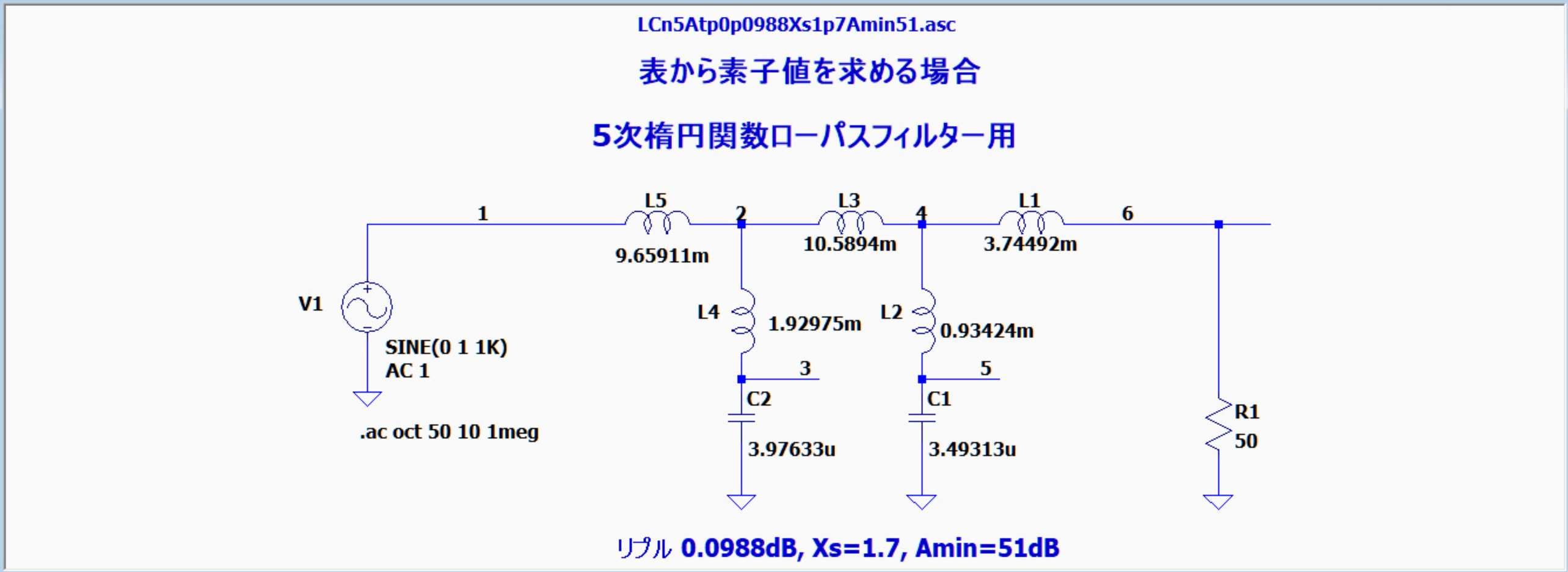
LCn5Atp0p0988Xs1p5Amin45.asc



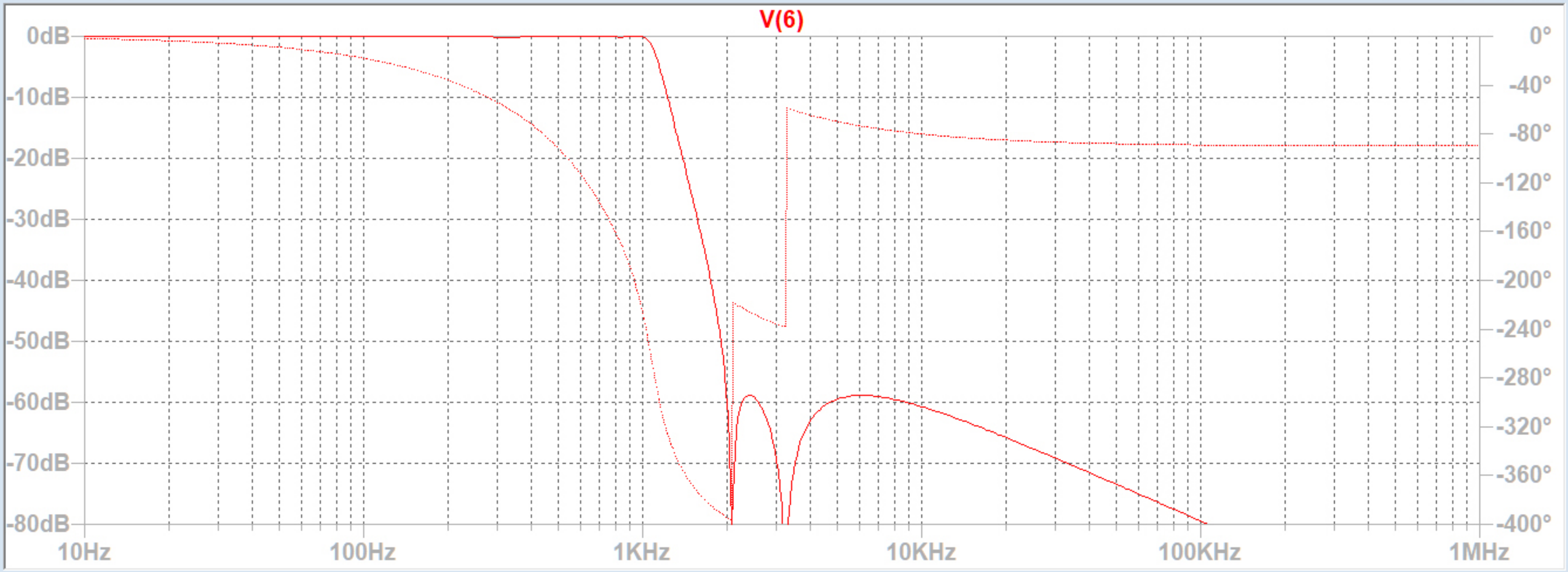
LCn5Atp0p0988Xs1p7Amin51.raw



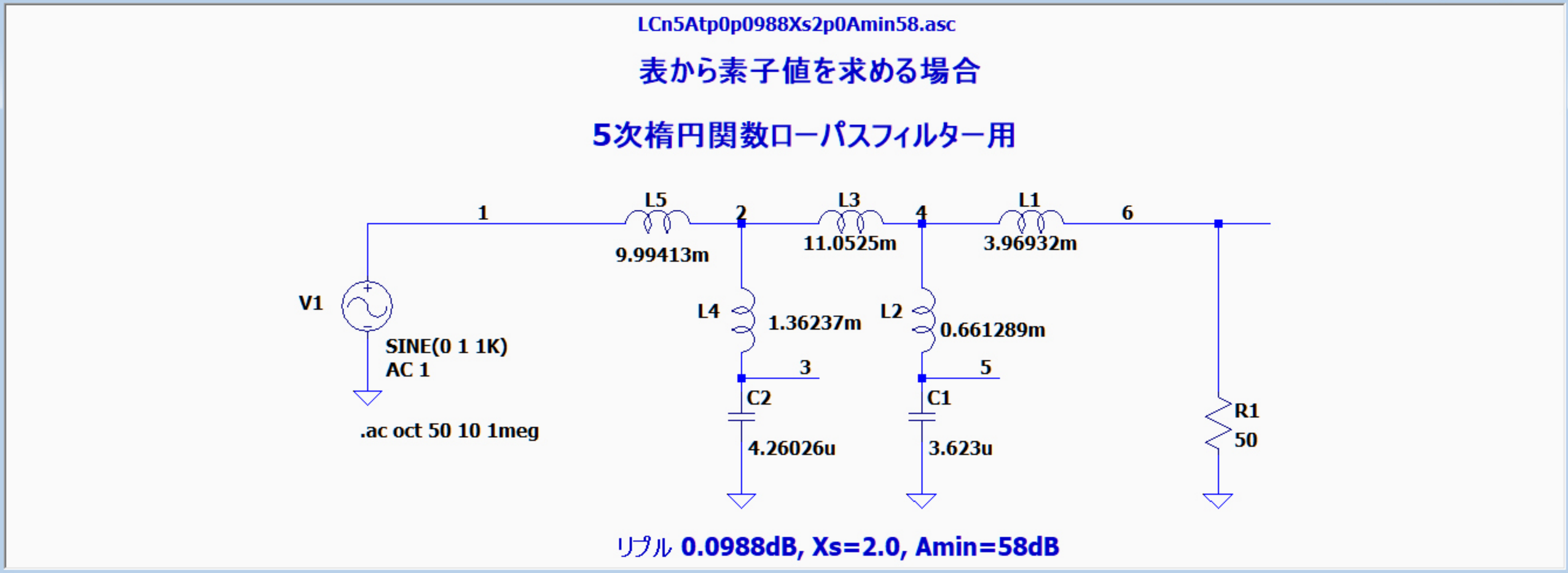
LCn5Atp0p0988Xs1p7Amin51.asc



LCn5Atp0p0988Xs2p0Amin58.raw



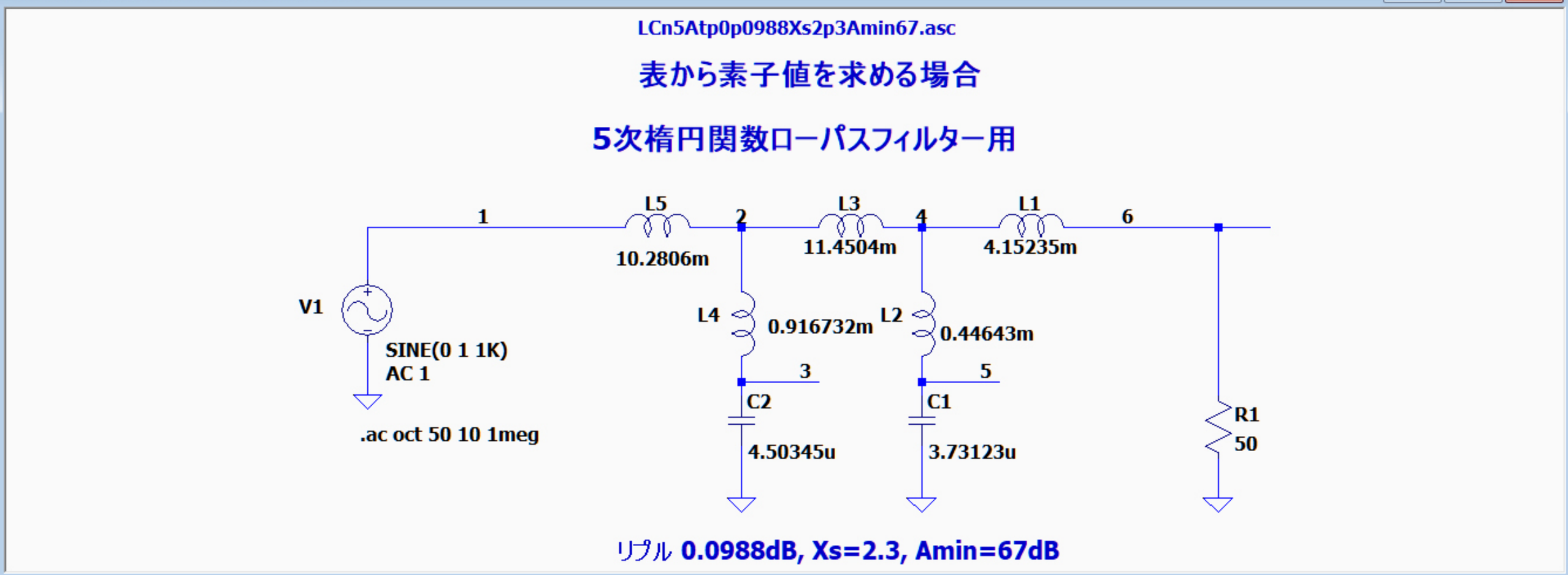
LCn5Atp0p0988Xs2p0Amin58.asc



LCn5Atp0p0988Xs2p3Amin67.raw



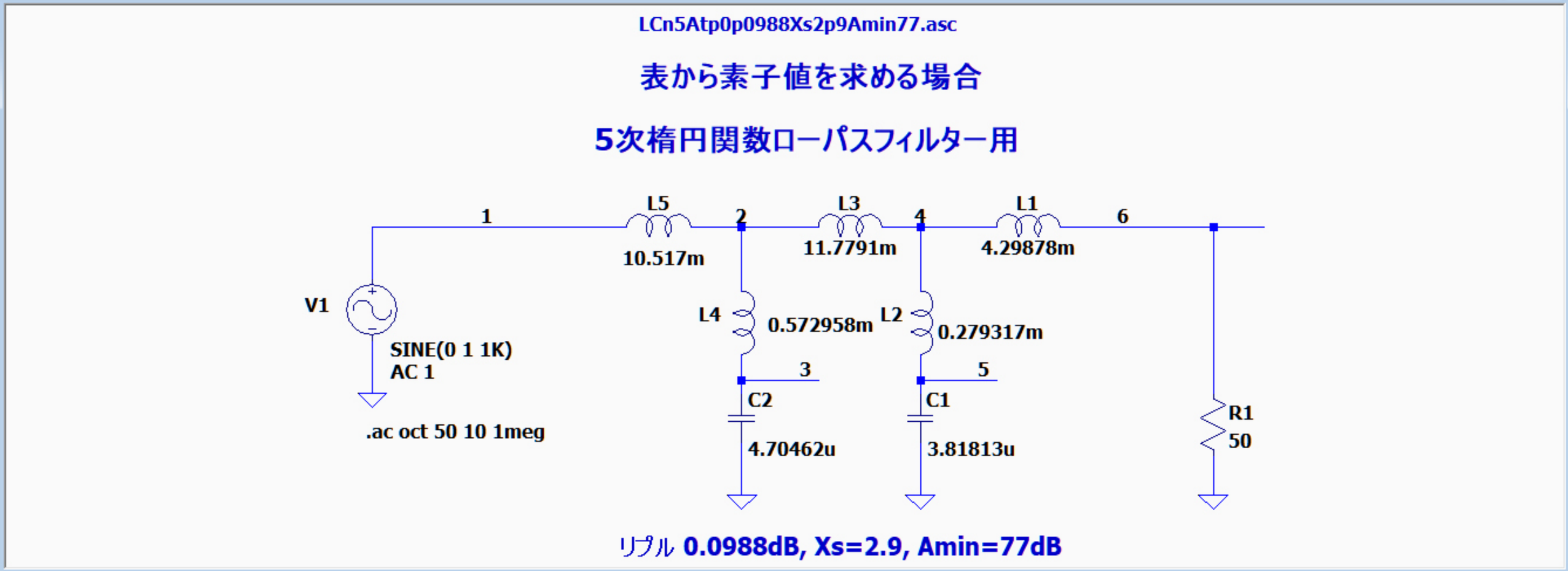
LCn5Atp0p0988Xs2p3Amin67.asc



LCn5Atp0p0988Xs2p9Amin77.raw



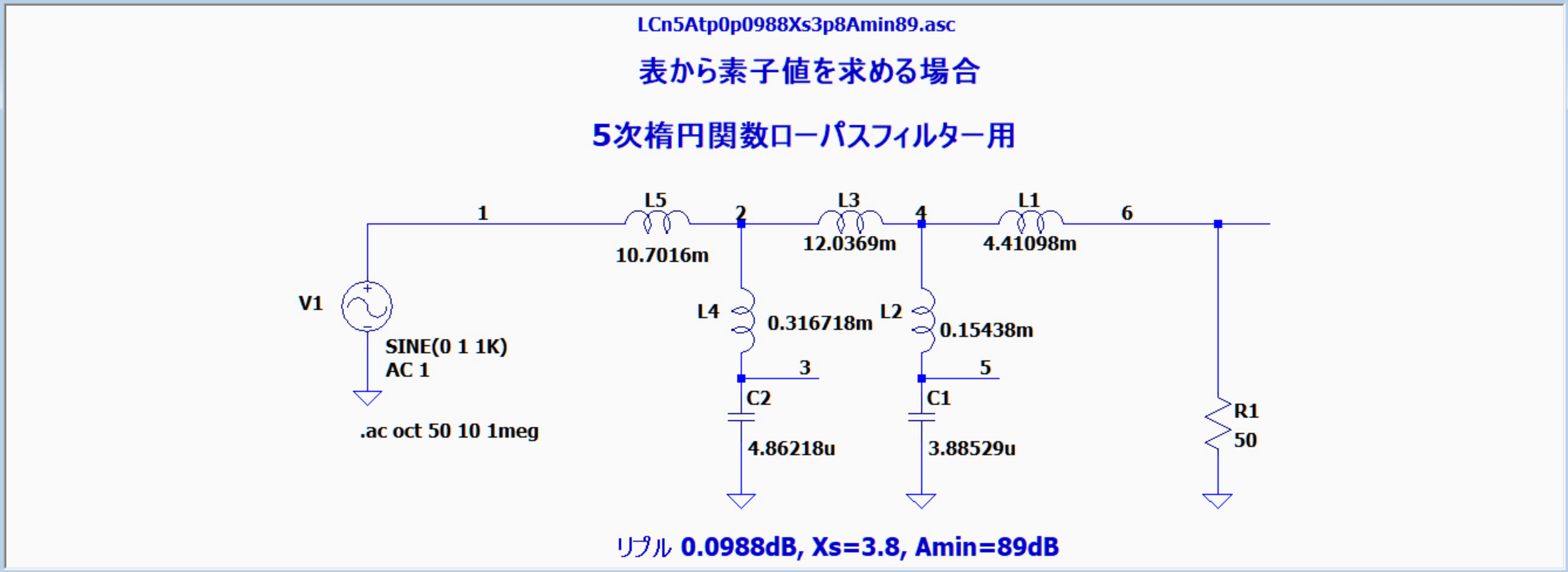
LCn5Atp0p0988Xs2p9Amin77.asc



LCn5Atp0p0988Xs3p8Amin89.raw



LCn5Atp0p0988Xs3p8Amin89.asc



LCn5Atp0p0988Xs5p7Amin107.raw

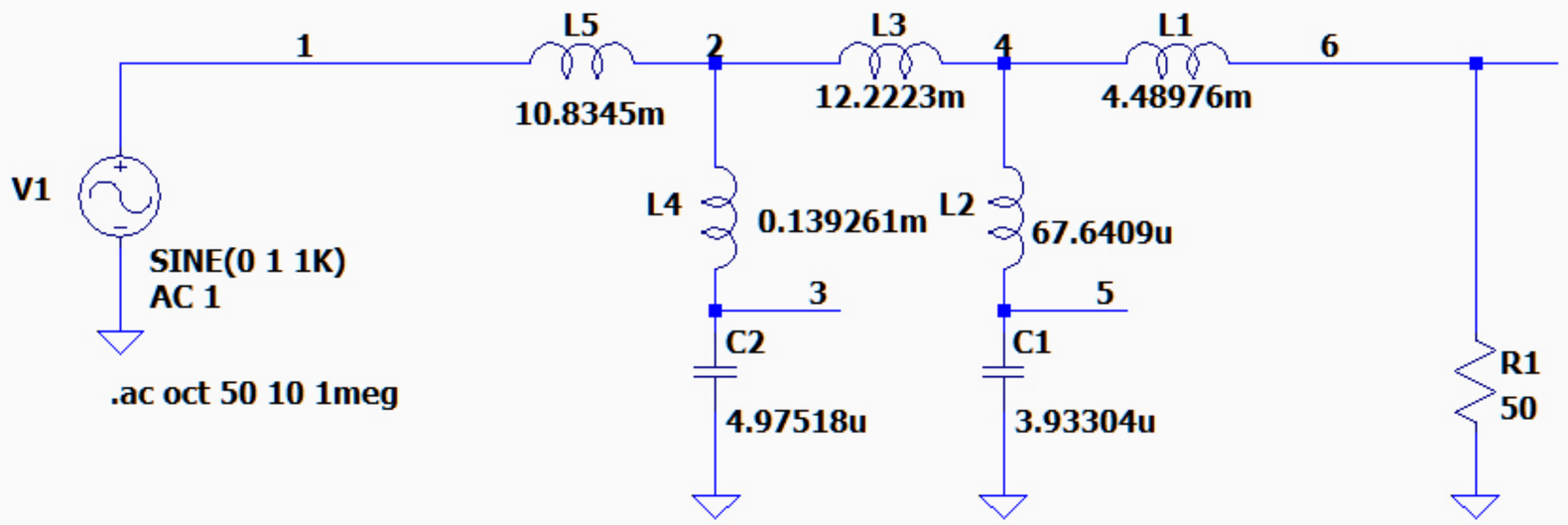


LCn5Atp0p0988Xs5p7Amin107.asc

LCn5Atp0p0988Xs5p7Amin107.asc

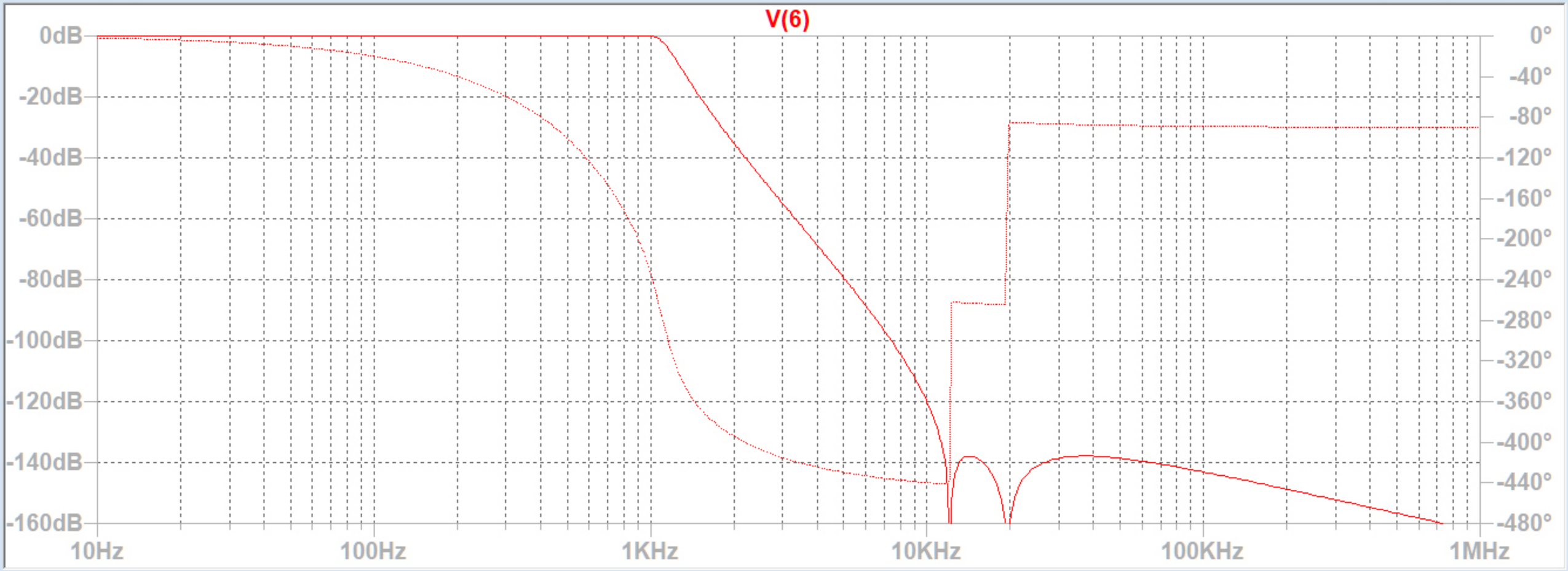
表から素子値を求める場合

5次楕円関数ローパスフィルター用

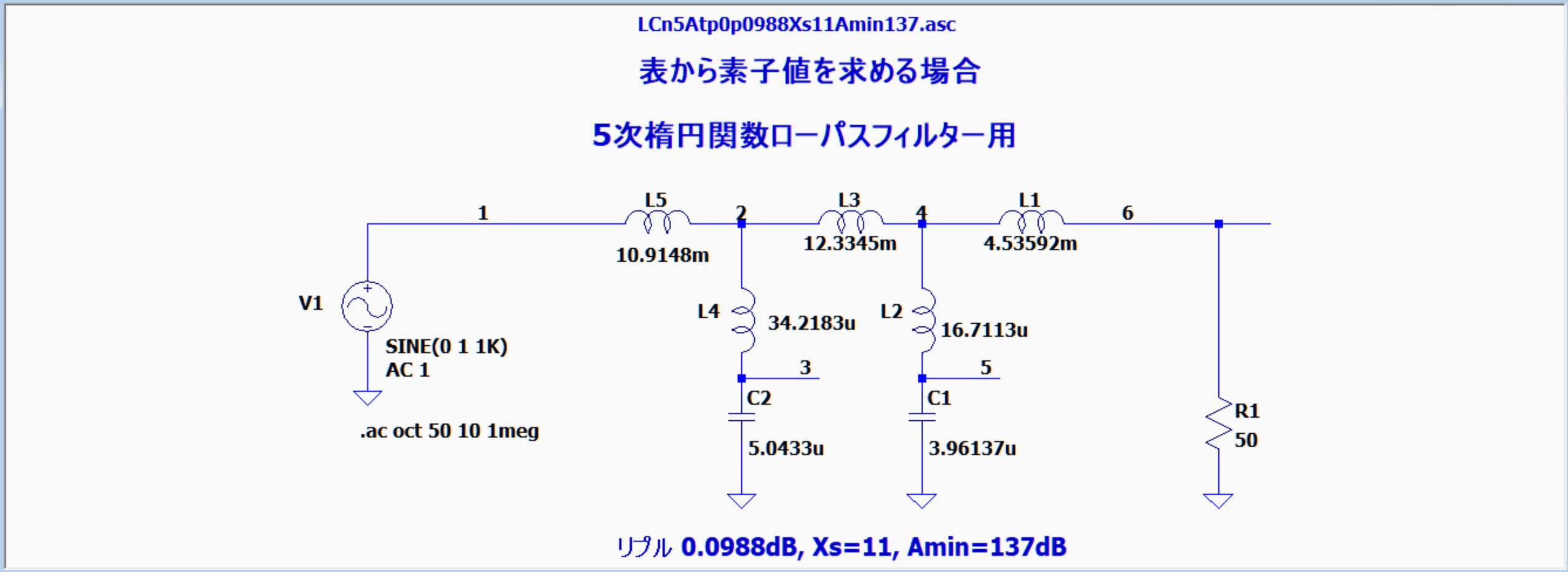


リプル 0.0988dB, Xs=5.7, Amin=107dB

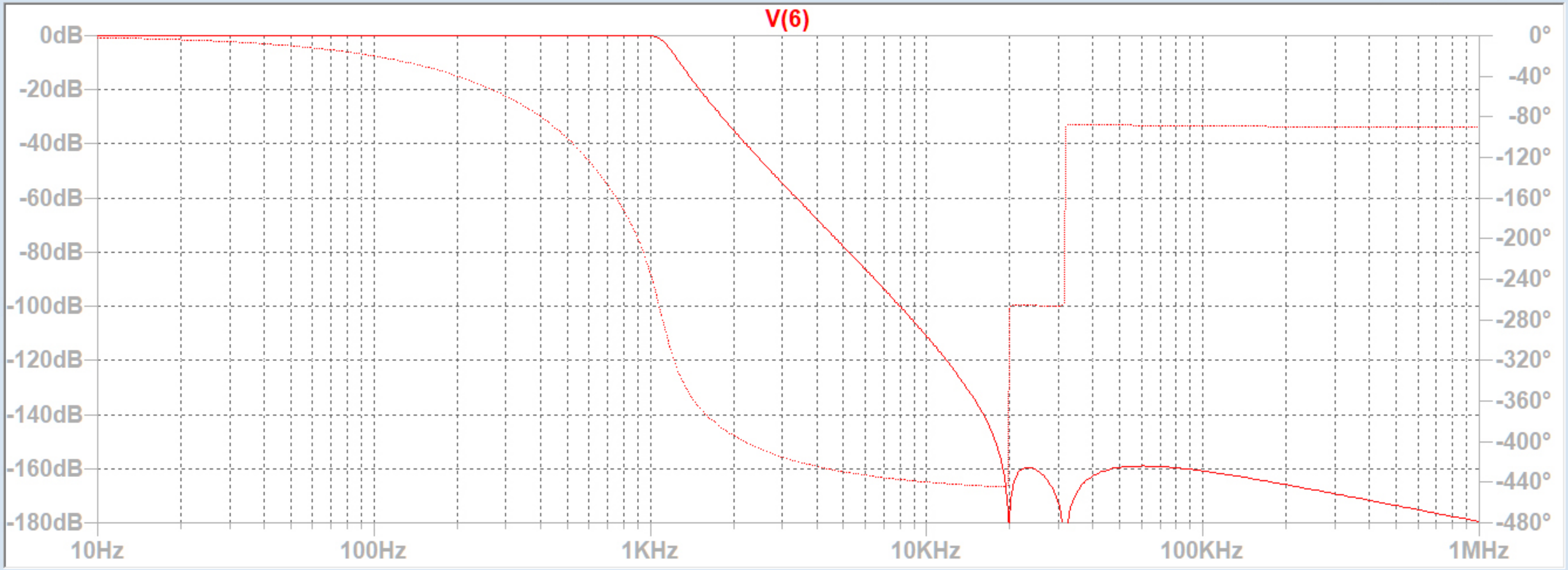
LCn5Atp0p0988Xs11Amin137.raw



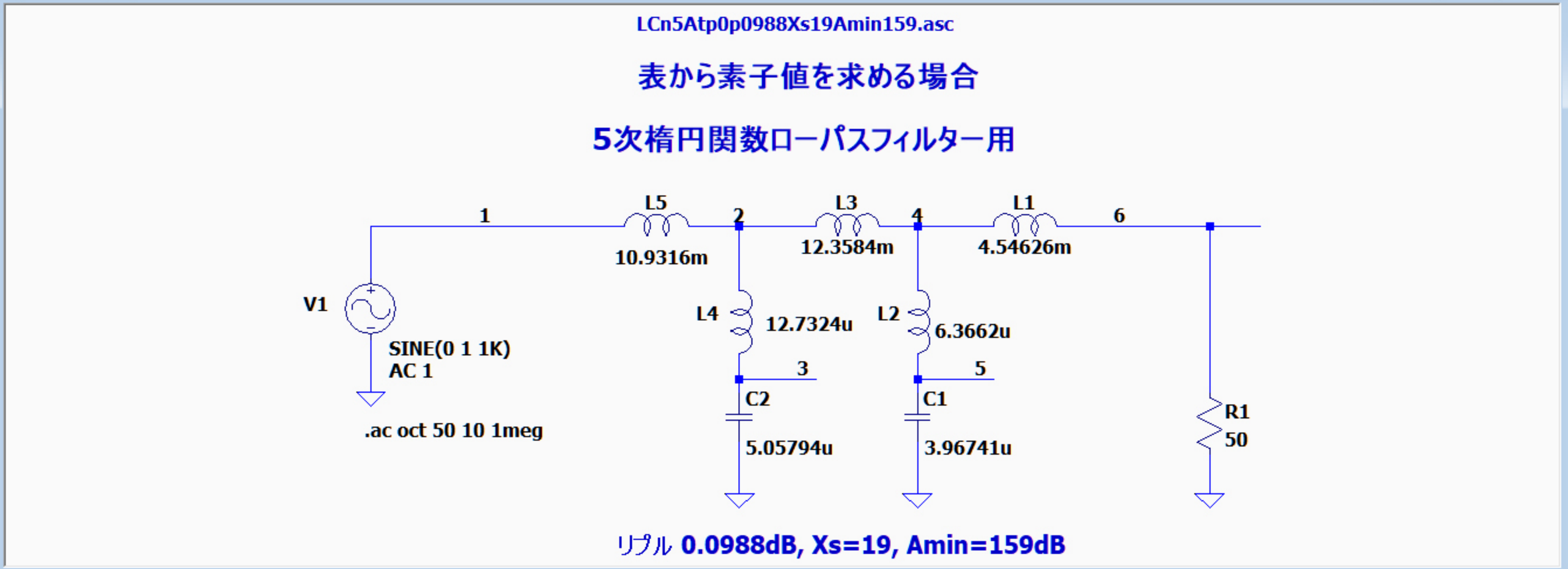
LCn5Atp0p0988Xs11Amin137.asc



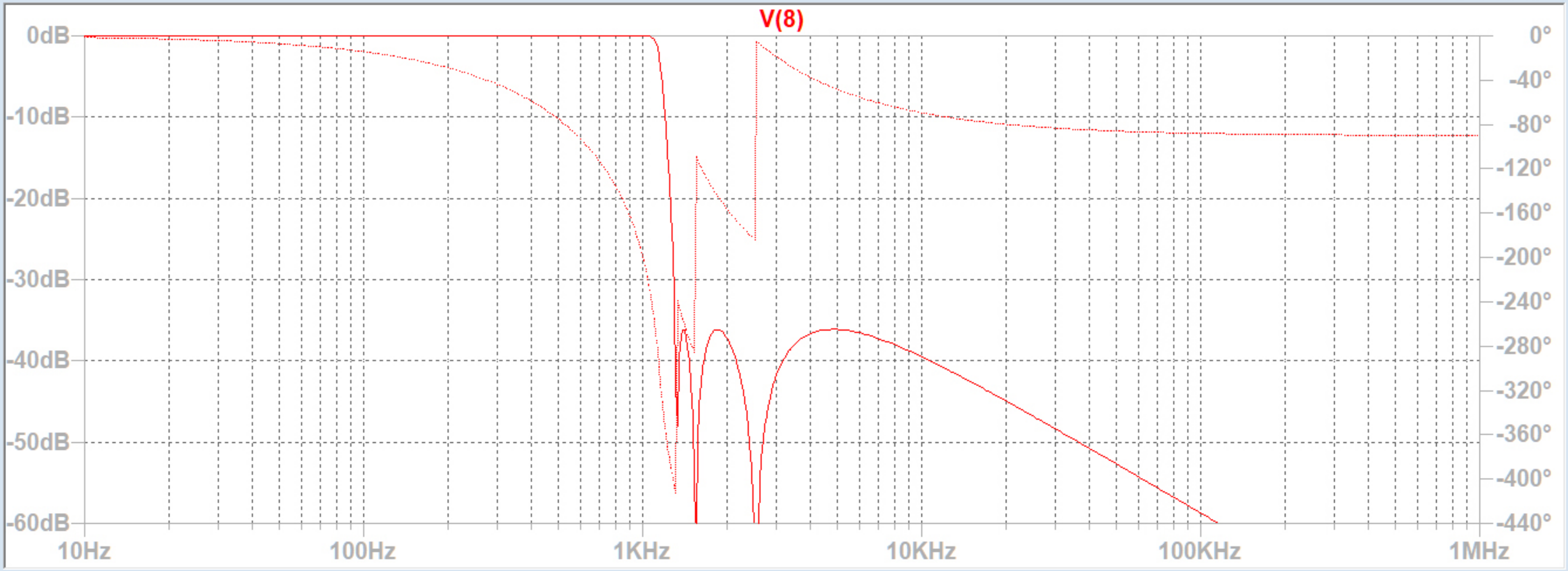
LCn5Atp0p0988Xs19Amin159.raw



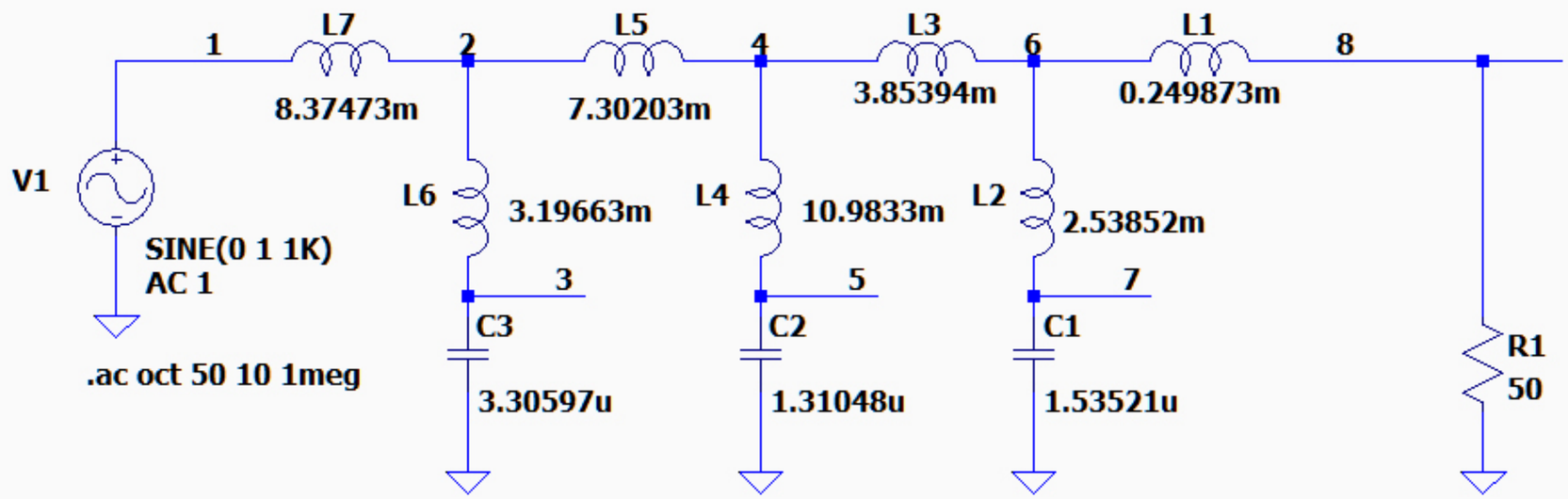
LCn5Atp0p0988Xs19Amin159.asc



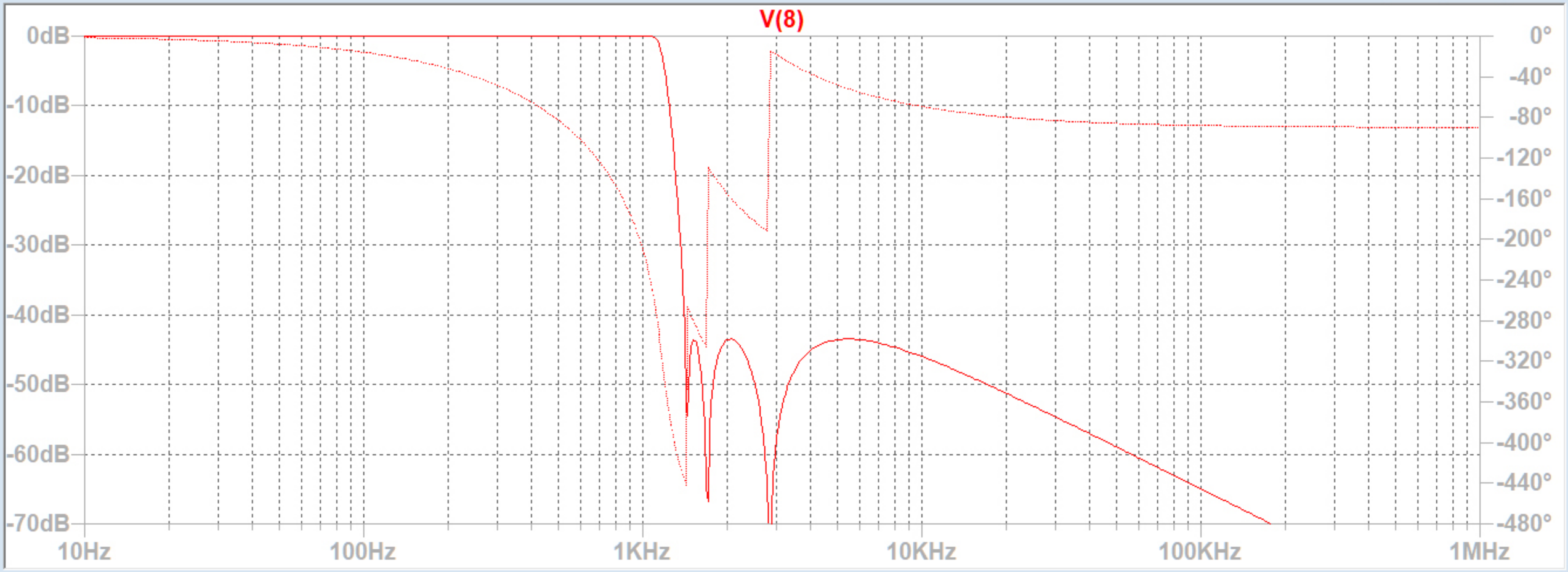
LCn7Atp0p0004Xs1p3Amin36.raw



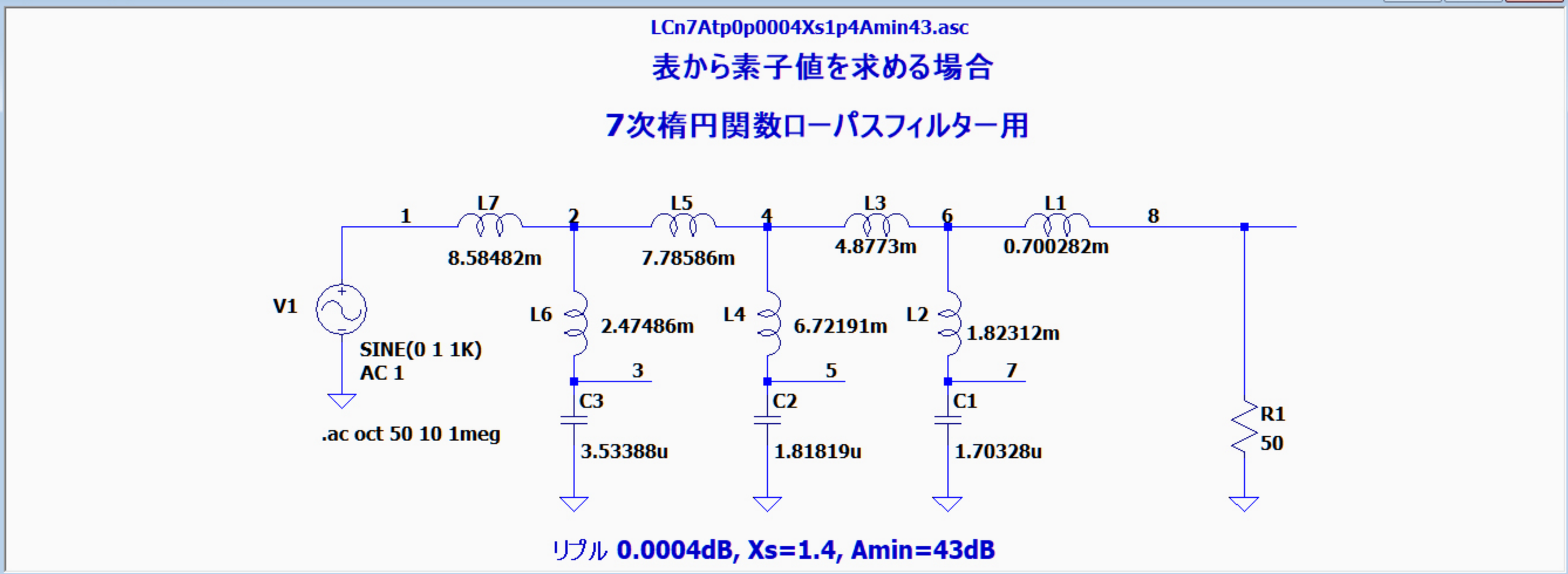
LCn7Atp0p0004Xs1p3Amin36.asc



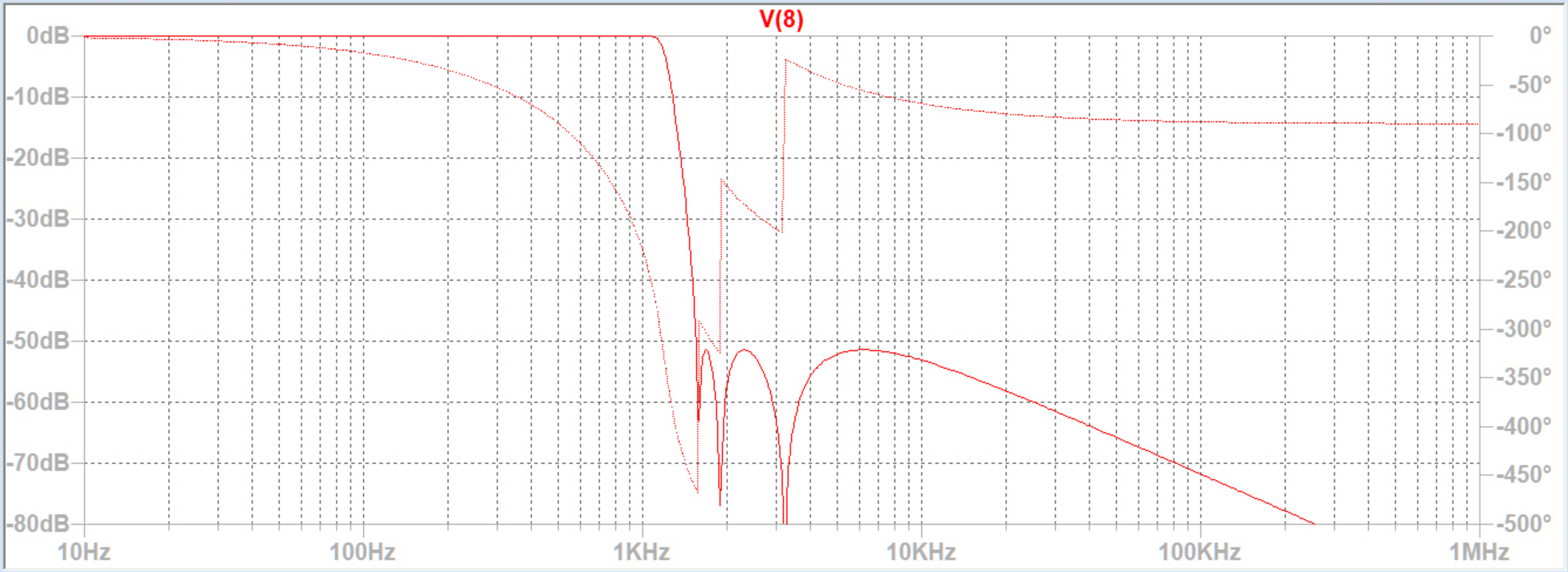
LCn7Atp0p0004Xs1p4Amin43.raw



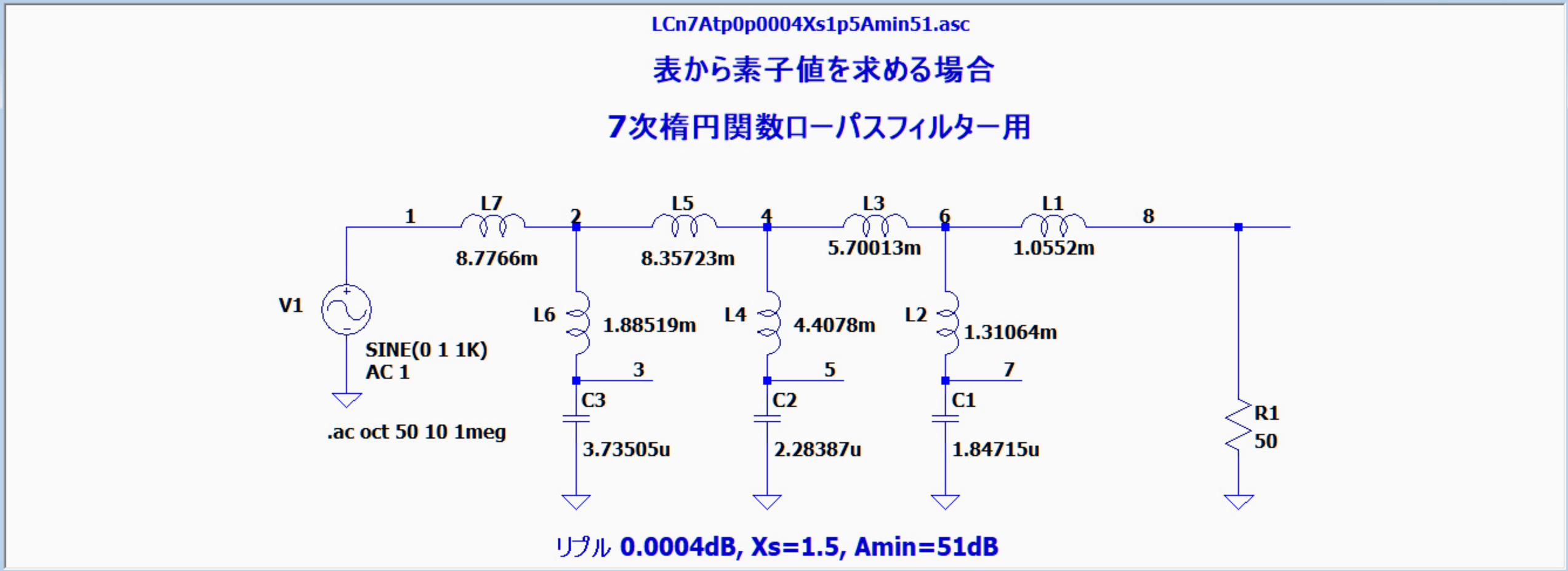
LCn7Atp0p0004Xs1p4Amin43.asc



LCn7Atp0p0004Xs1p5Amin51.raw



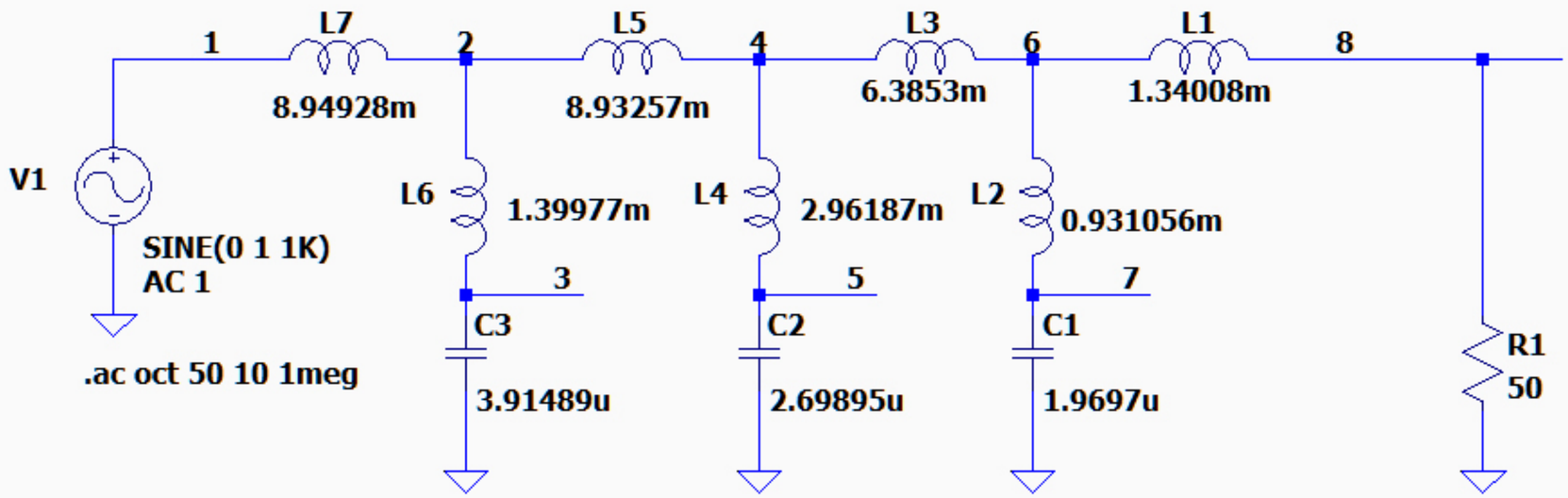
LCn7Atp0p0004Xs1p5Amin51.asc



LCn7Atp0p0004Xs1p7Amin60.raw



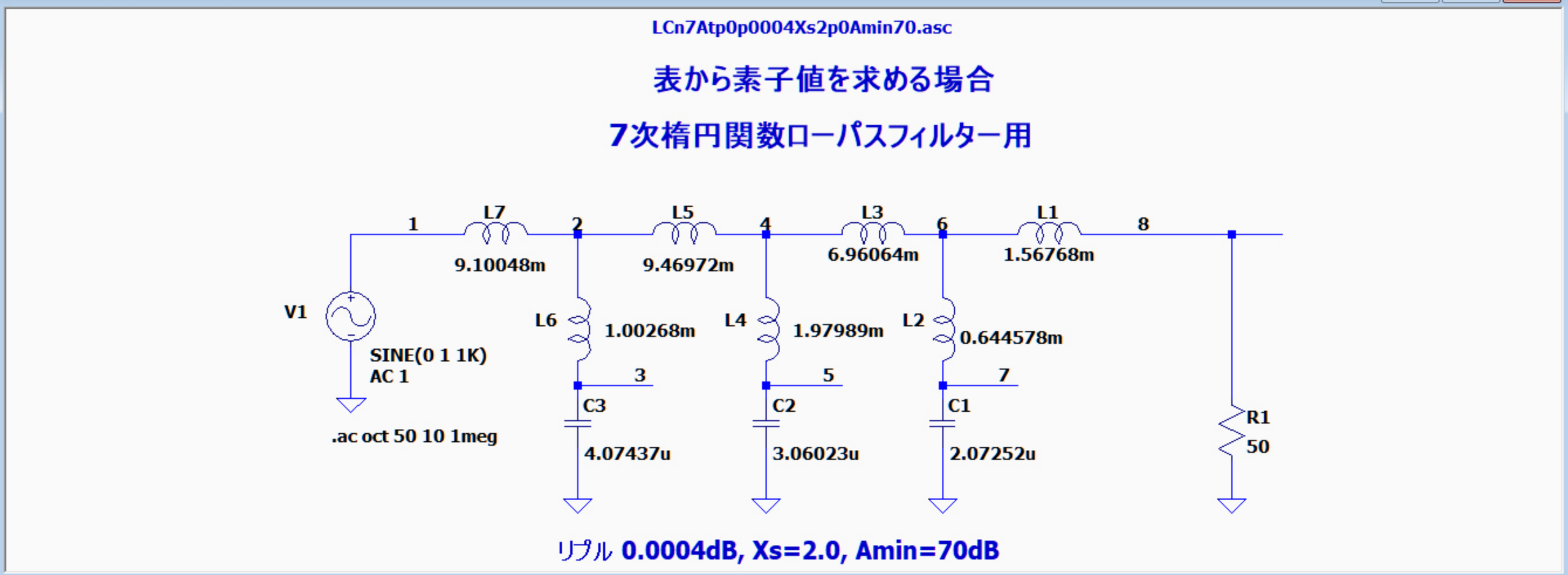
LCn7Atp0p0004Xs1p7Amin60.asc



LCn7Atp0p0004Xs2p0Amin70.raw



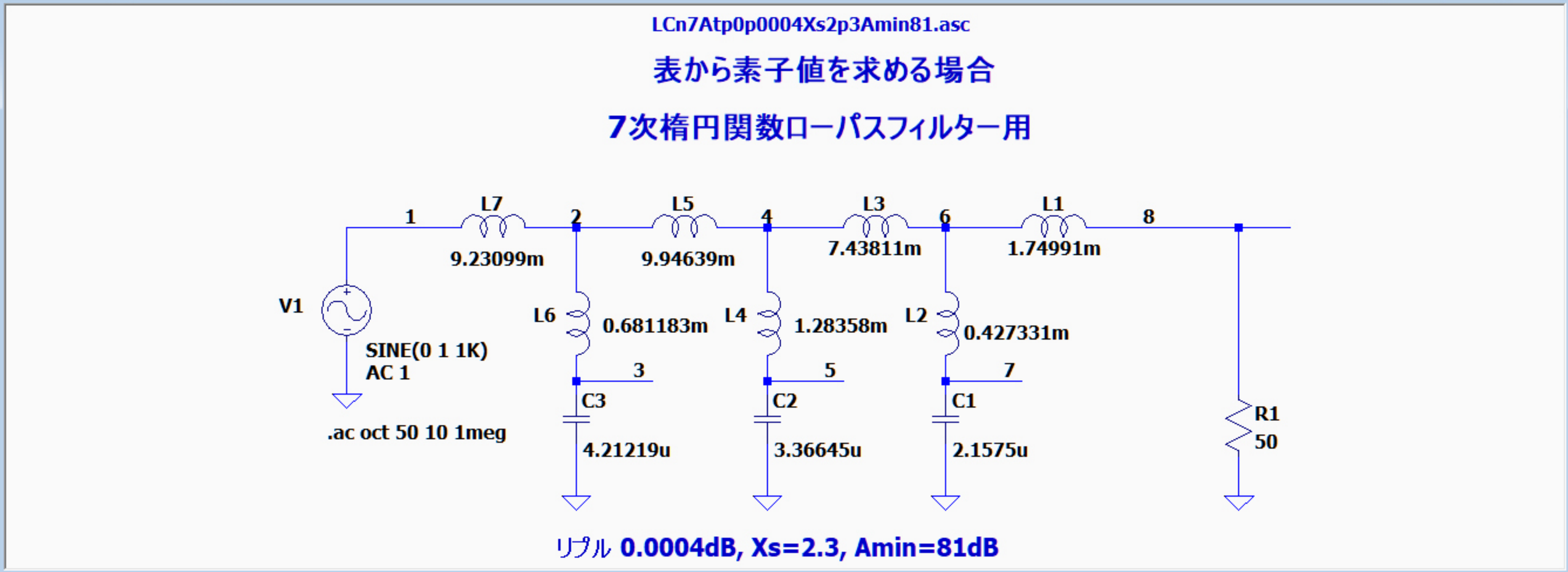
LCn7Atp0p0004Xs2p0Amin70.asc



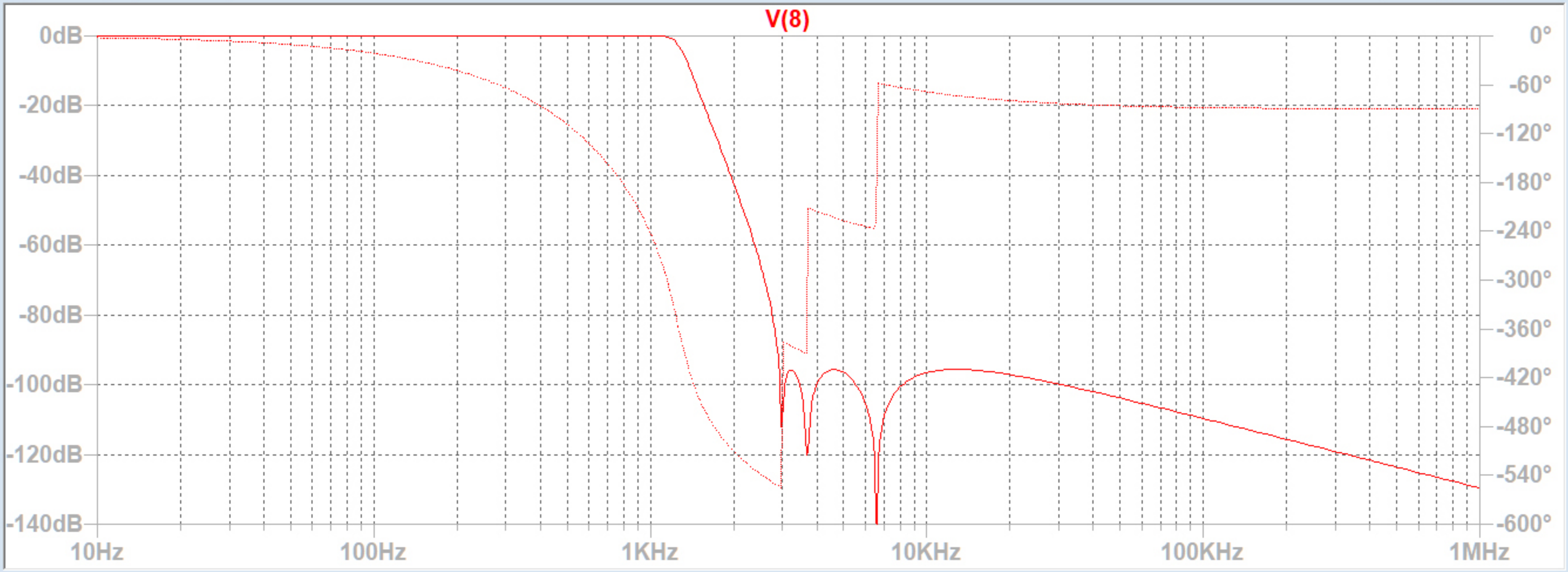
LCn7Atp0p0004Xs2p3Amin81.raw



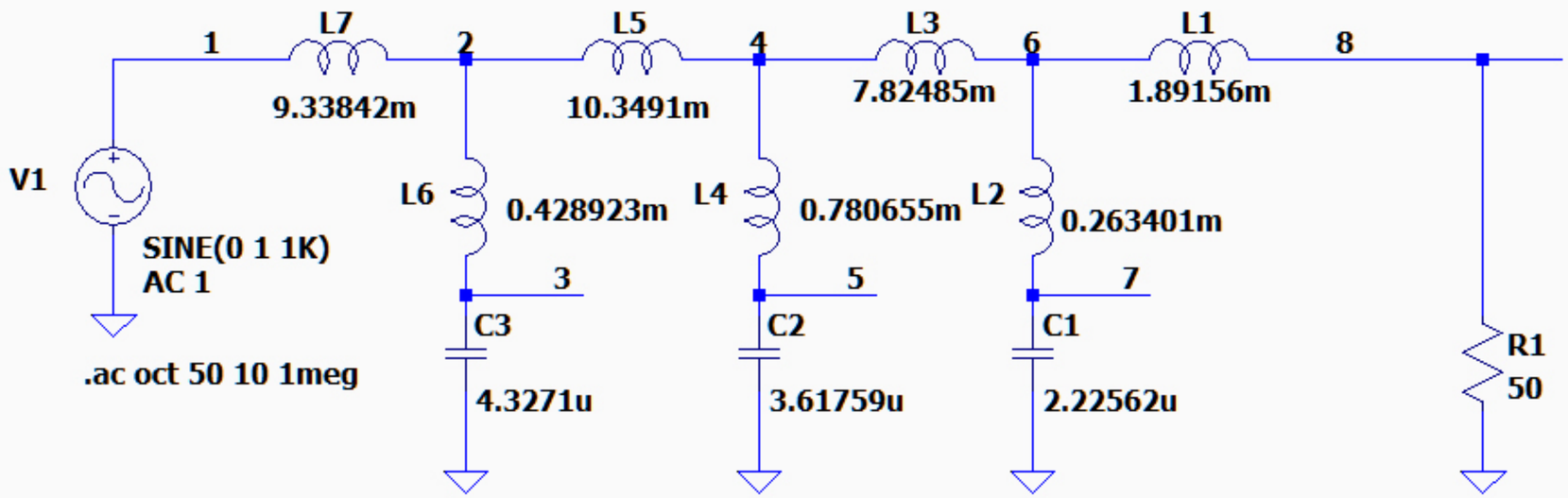
LCn7Atp0p0004Xs2p3Amin81.asc



LCn7Atp0p0004Xs2p9Amin95.raw



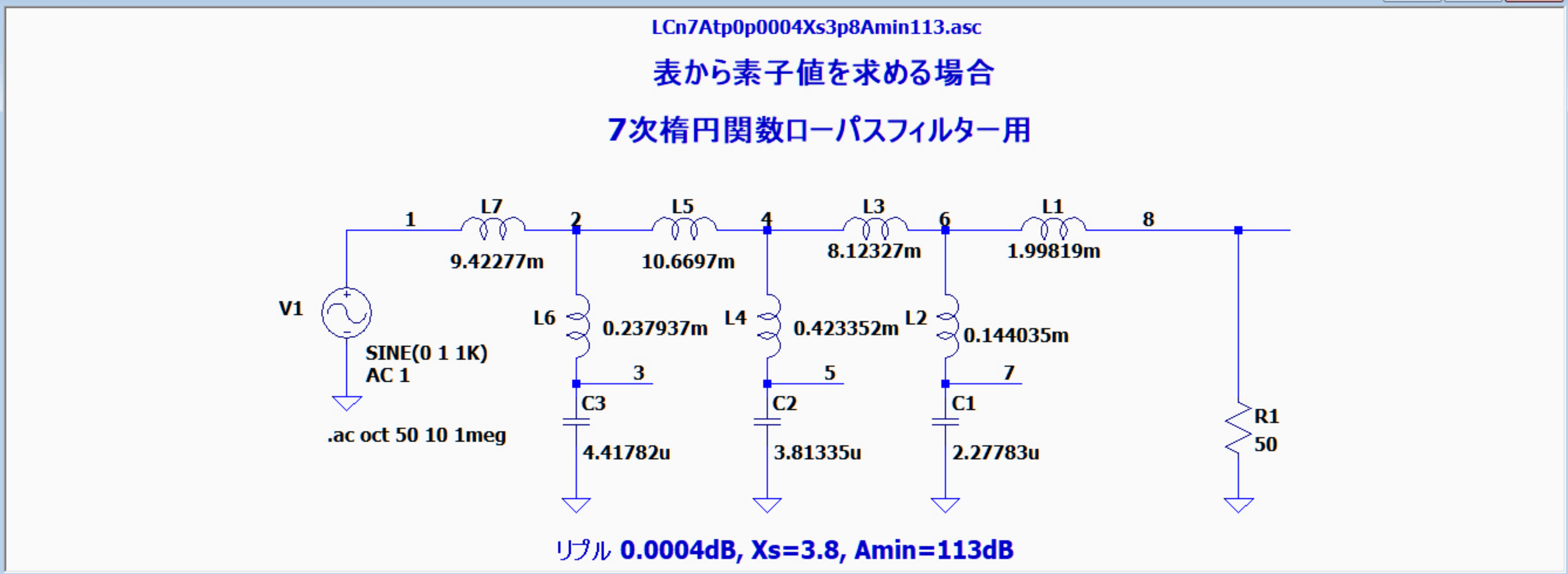
LCn7Atp0p0004Xs2p9Amin95.asc



LCn7Atp0p0004Xs3p8Amin113.raw



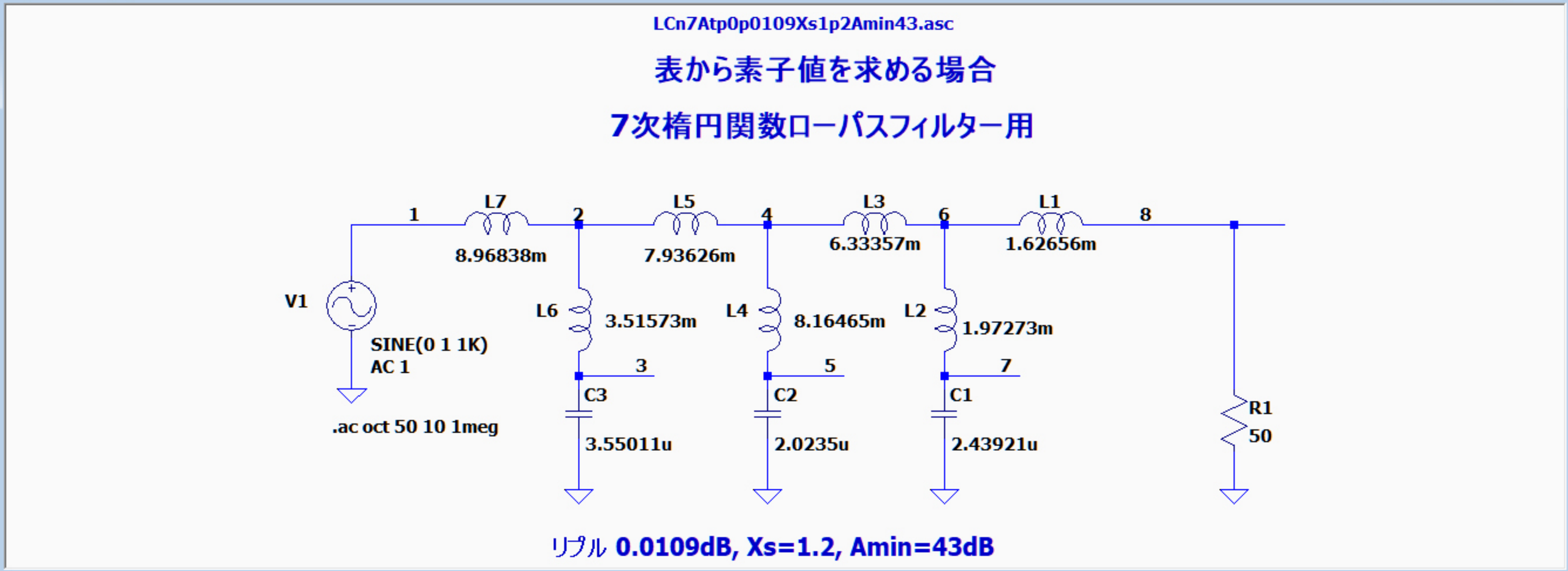
LCn7Atp0p0004Xs3p8Amin113.asc



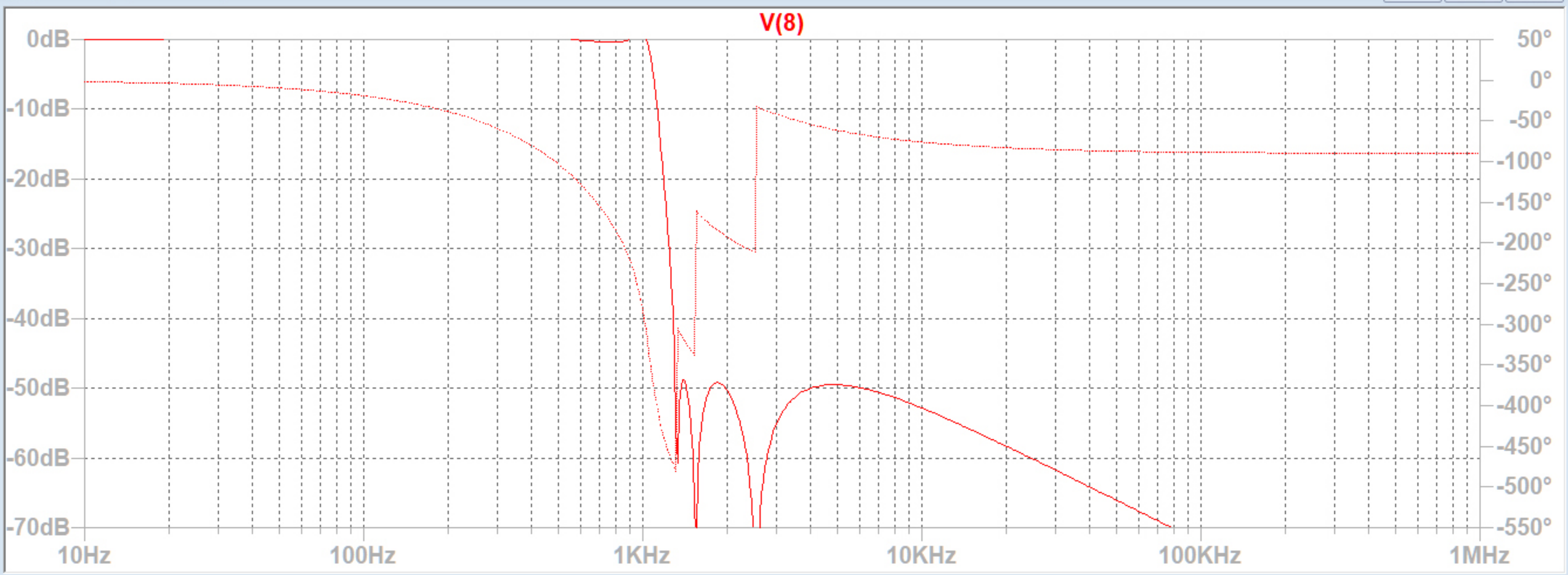
LCn7Atp0p0109Xs1p2Amin43.raw



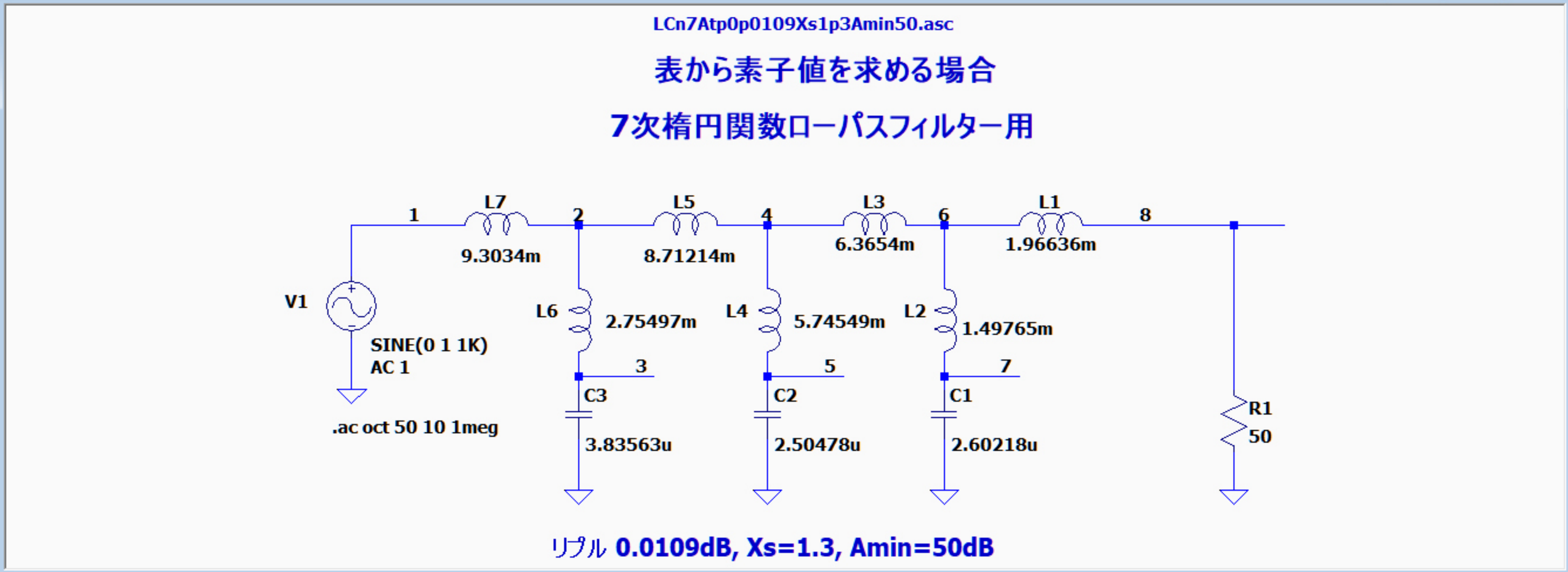
LCn7Atp0p0109Xs1p2Amin43.asc



LCn7Atp0p0109Xs1p3Amin50.raw



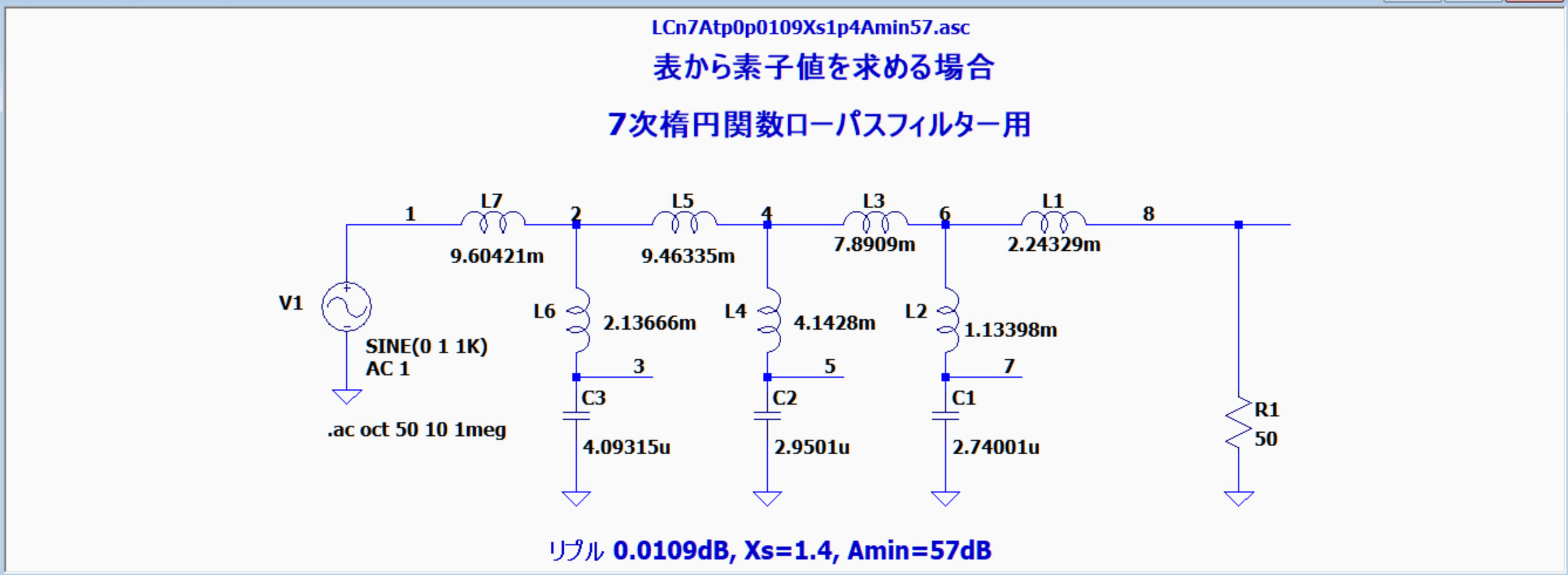
LCn7Atp0p0109Xs1p3Amin50.asc



LCn7Atp0p0109Xs1p4Amin57.raw



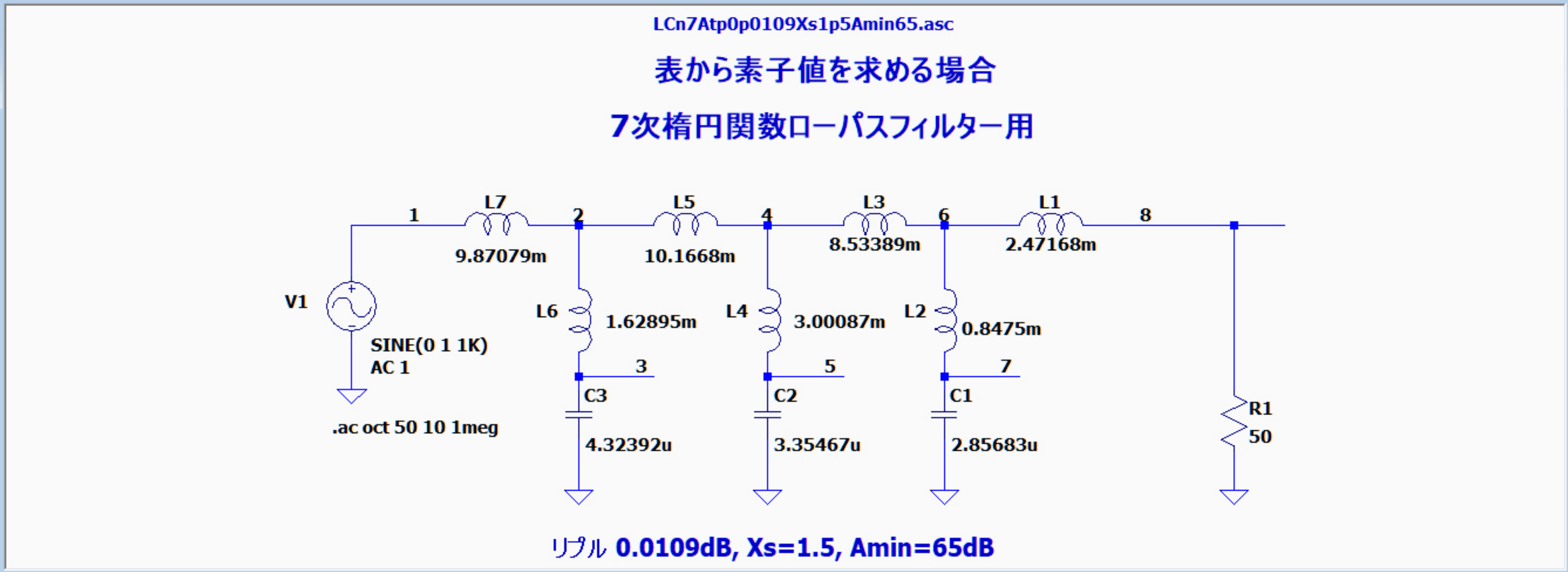
LCn7Atp0p0109Xs1p4Amin57.asc



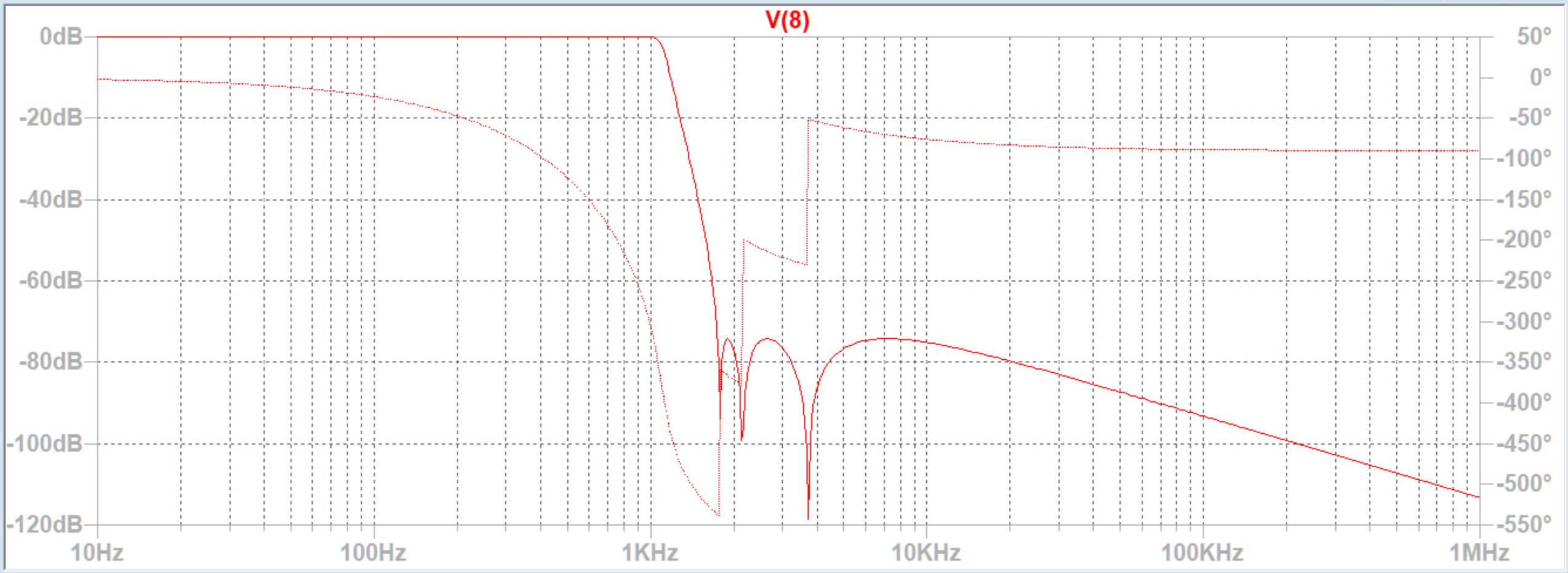
LCn7Atp0p0109Xs1p5Amin65.raw



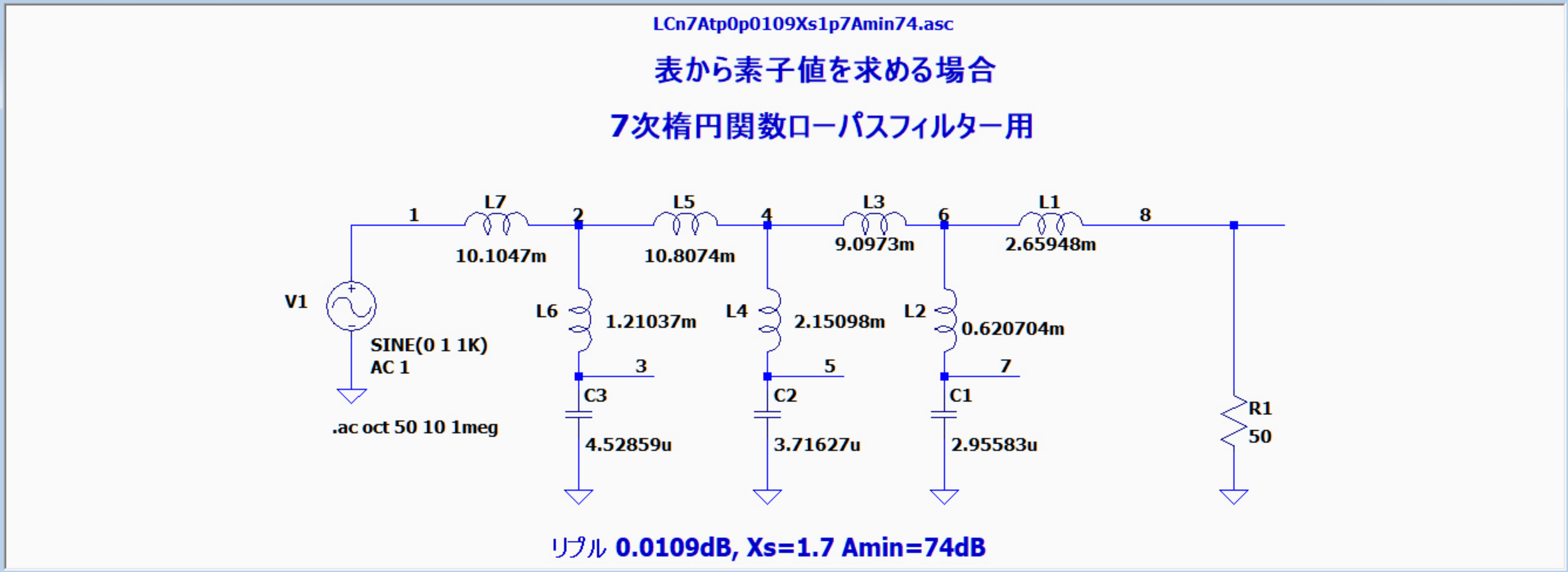
LCn7Atp0p0109Xs1p5Amin65.asc



LCn7Atp0p0109Xs1p7Amin74.raw



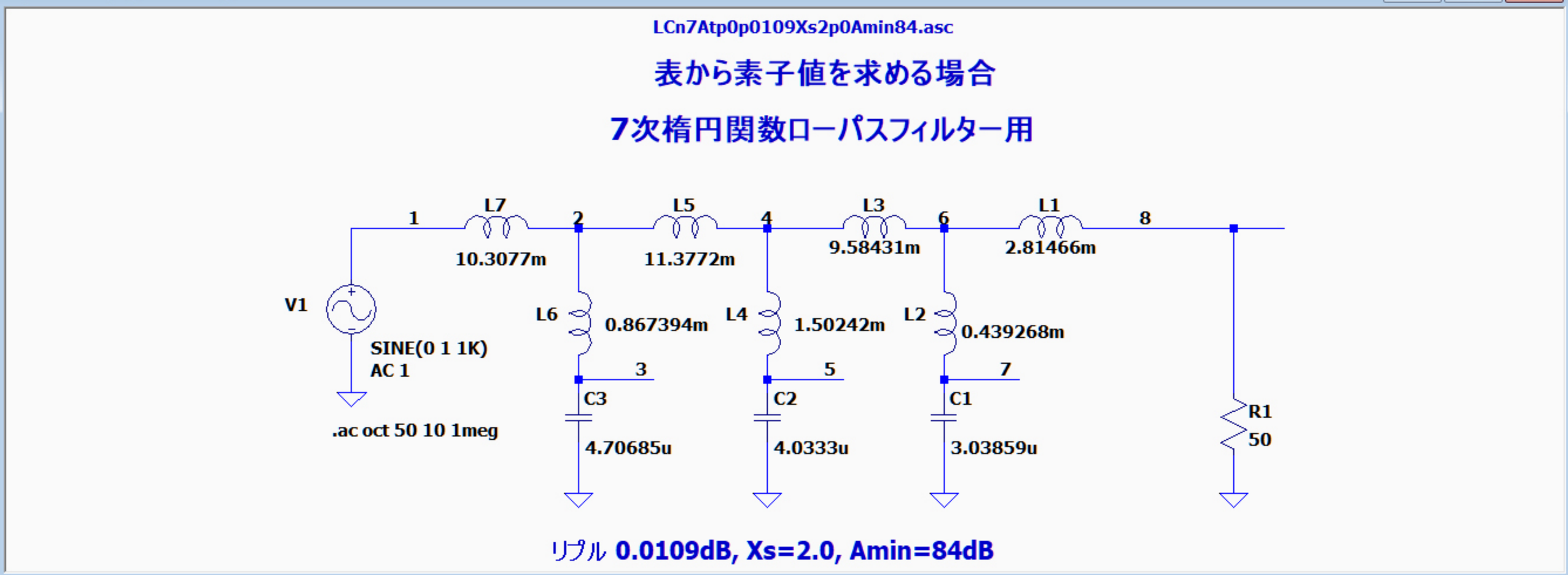
LCn7Atp0p0109Xs1p7Amin74.asc



LCn7Atp0p0109Xs2p0Amin84.raw



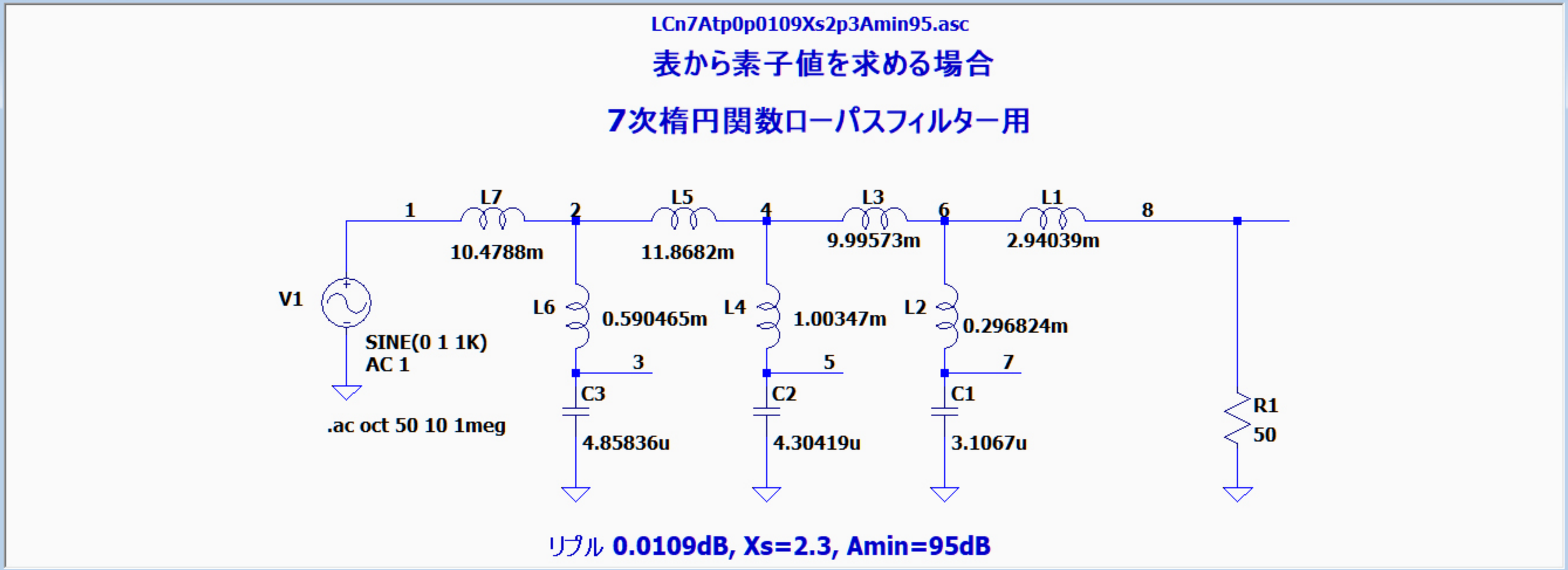
LCn7Atp0p0109Xs2p0Amin84.asc



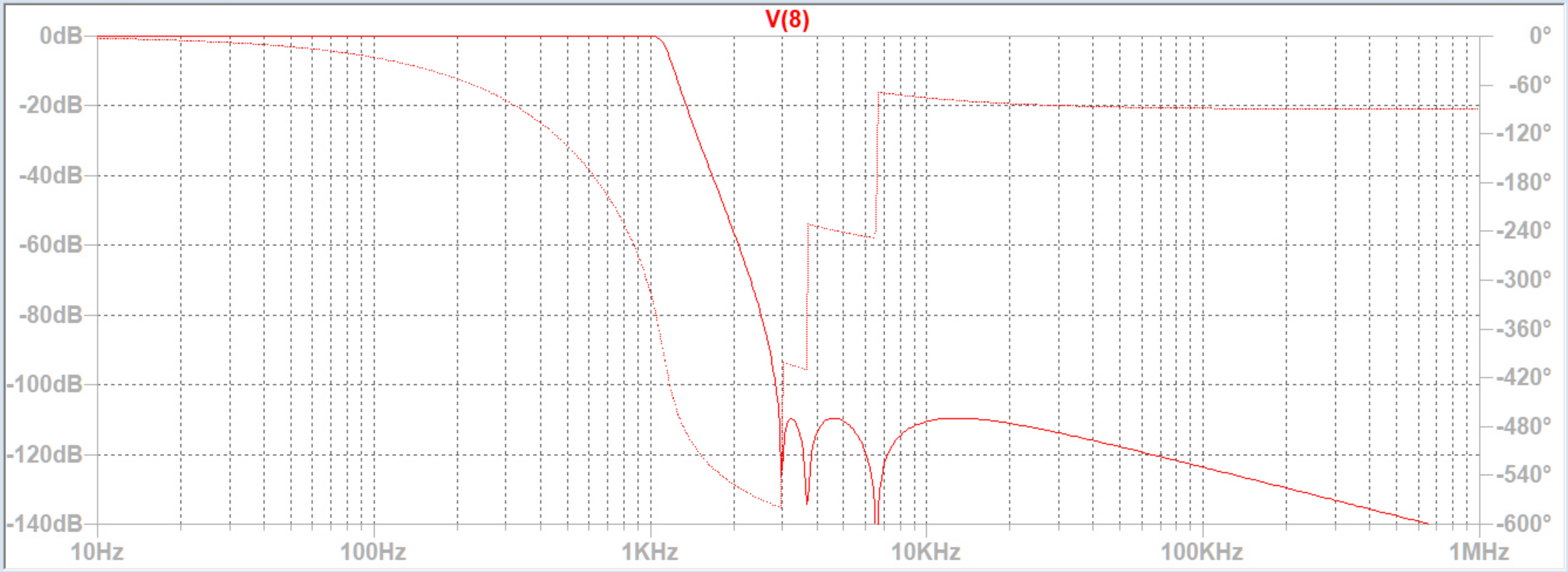
LCn7Atp0p0109Xs2p3Amin95.raw



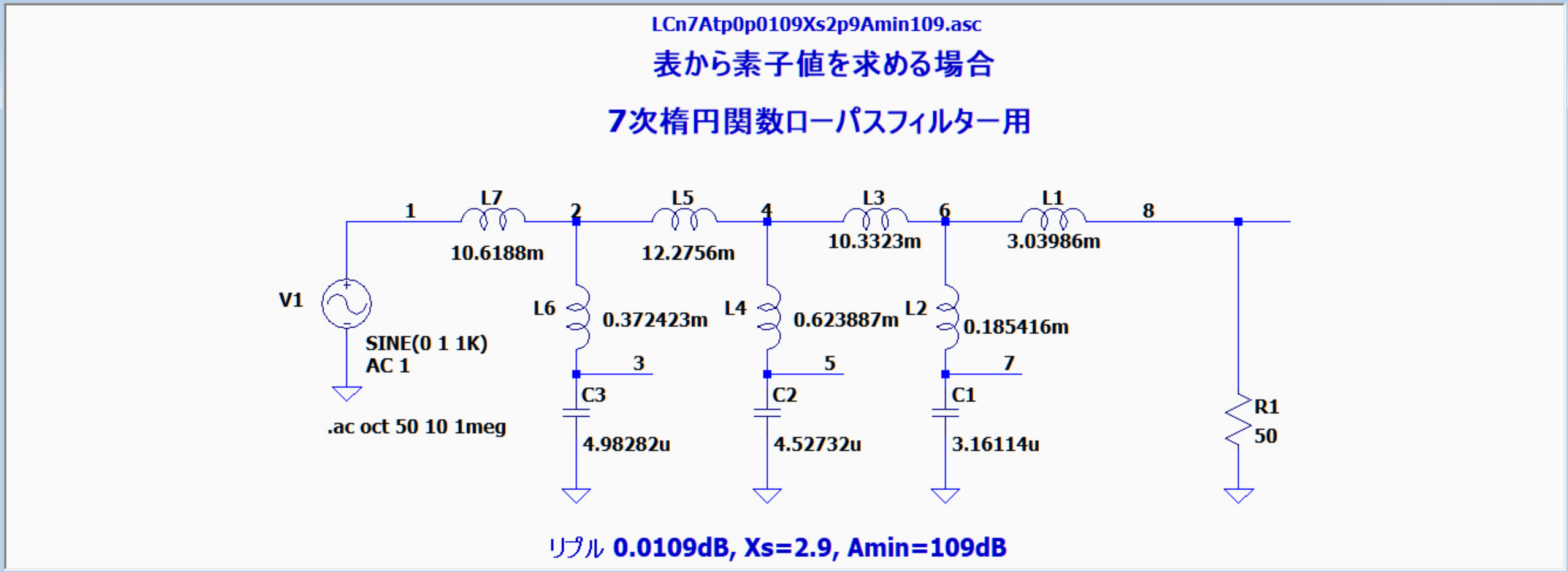
LCn7Atp0p0109Xs2p3Amin95.asc



LCn7Atp0p0109Xs2p9Amin109.raw



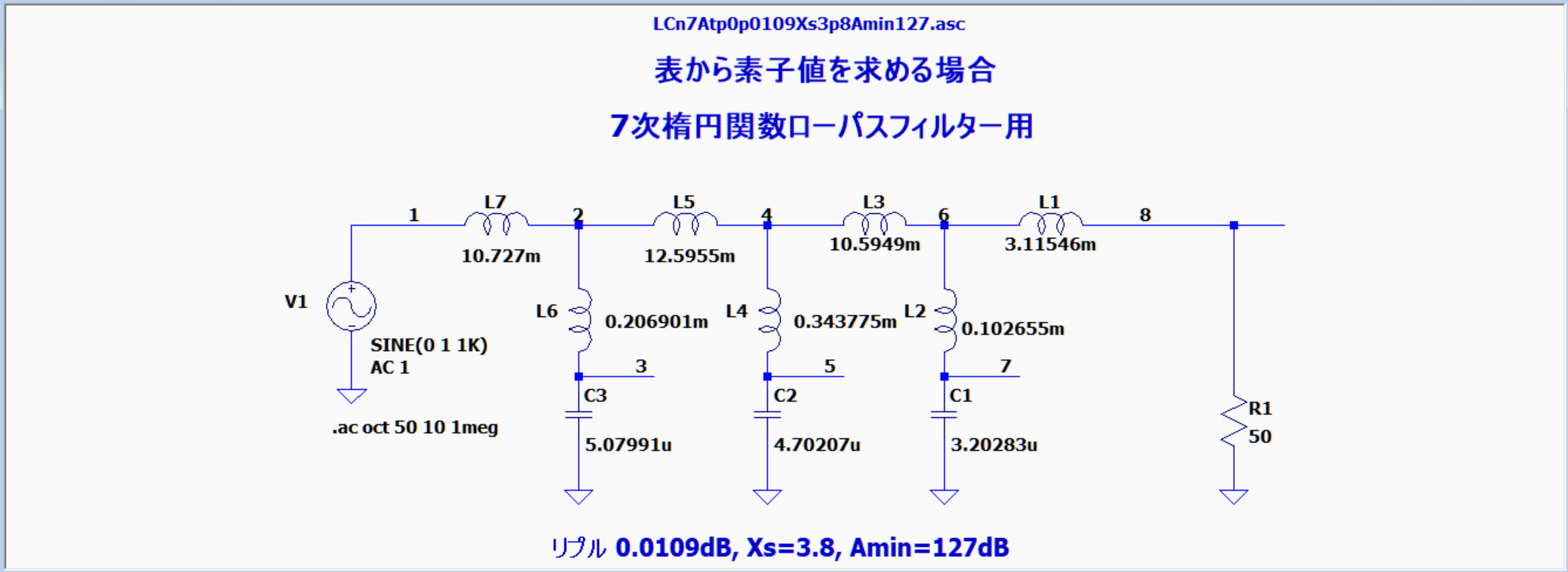
LCn7Atp0p0109Xs2p9Amin109.asc



LCn7Atp0p0109Xs3p8Amin127.raw



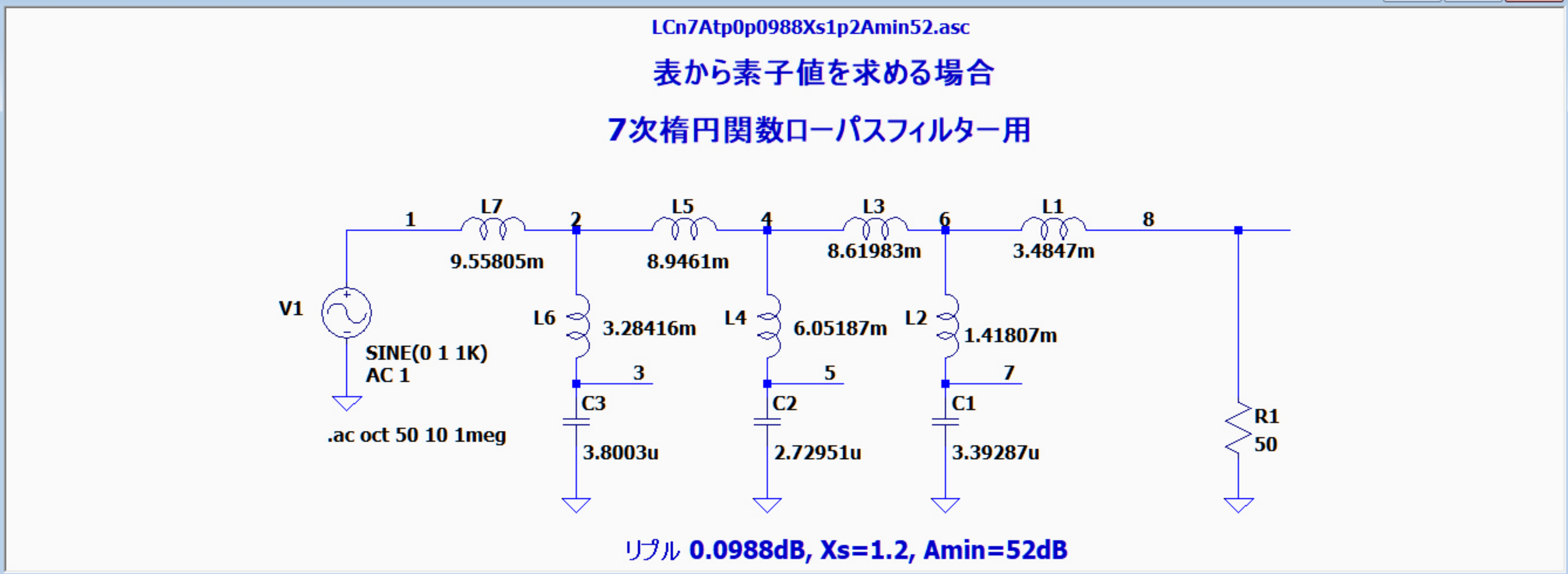
LCn7Atp0p0109Xs3p8Amin127.asc



LCn7Atp0p0988Xs1p2Amin52.raw



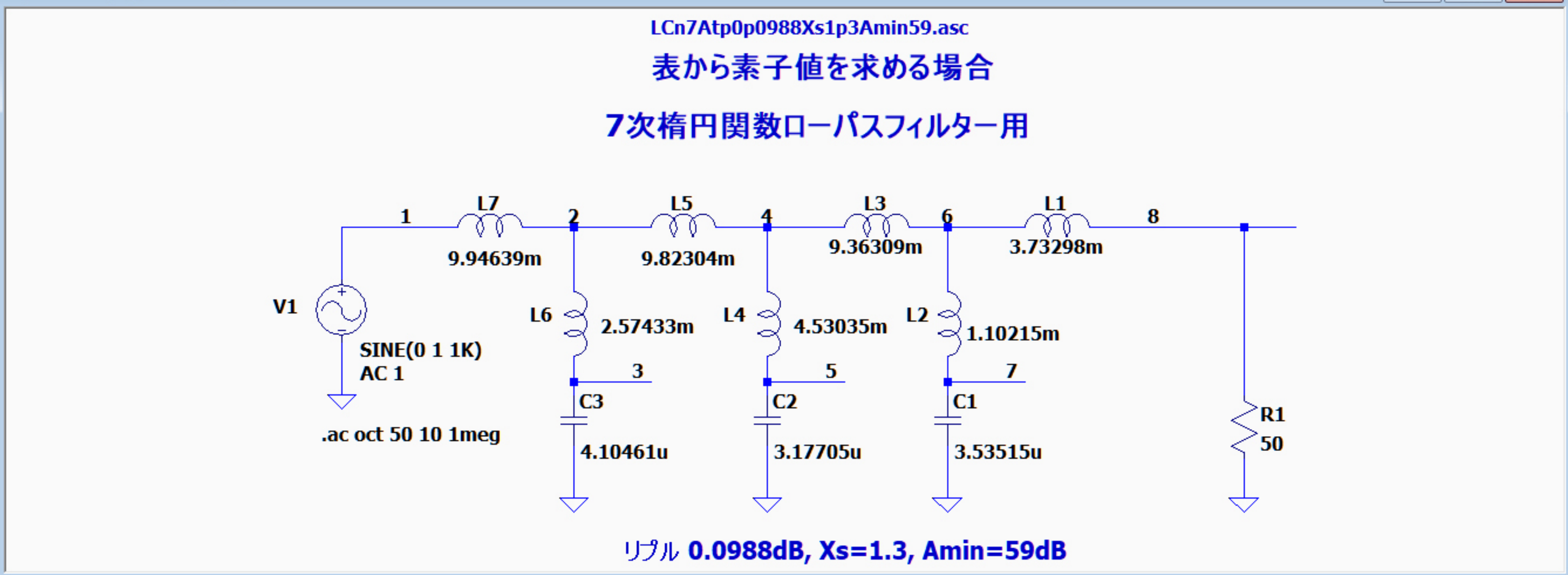
LCn7Atp0p0988Xs1p2Amin52.asc



LCn7Atp0p0988Xs1p3Amin59.raw



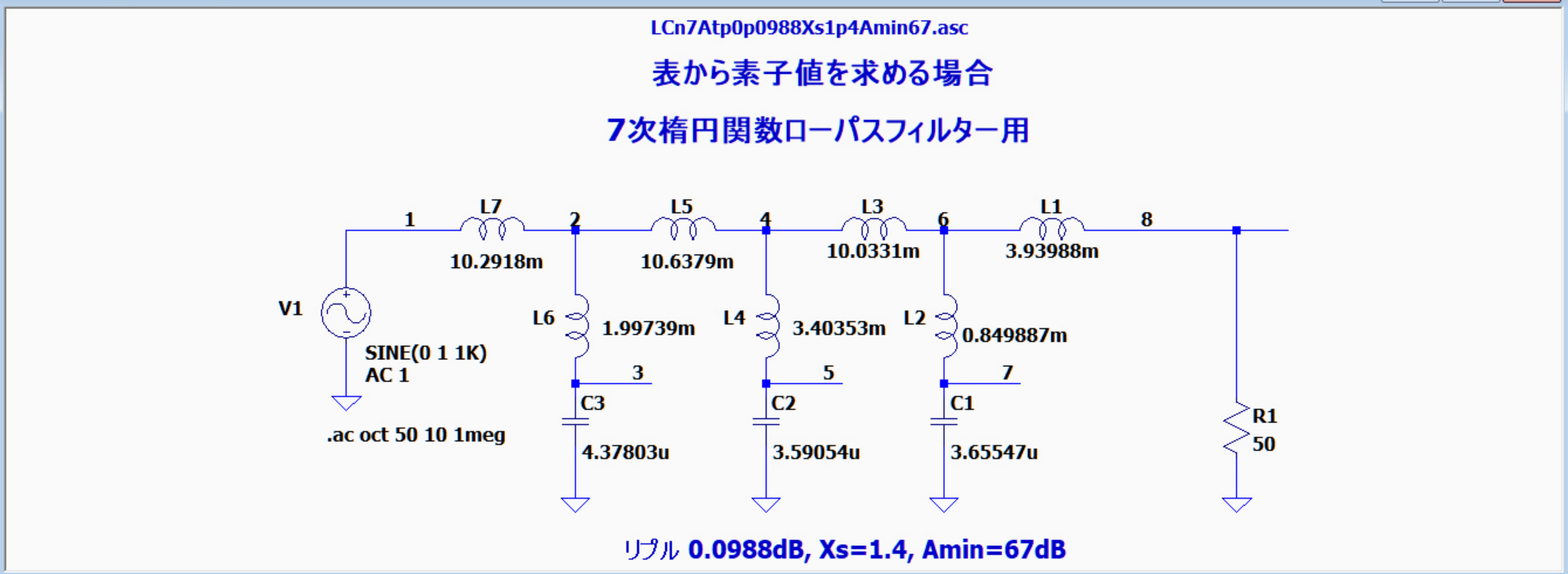
LCn7Atp0p0988Xs1p3Amin59.asc



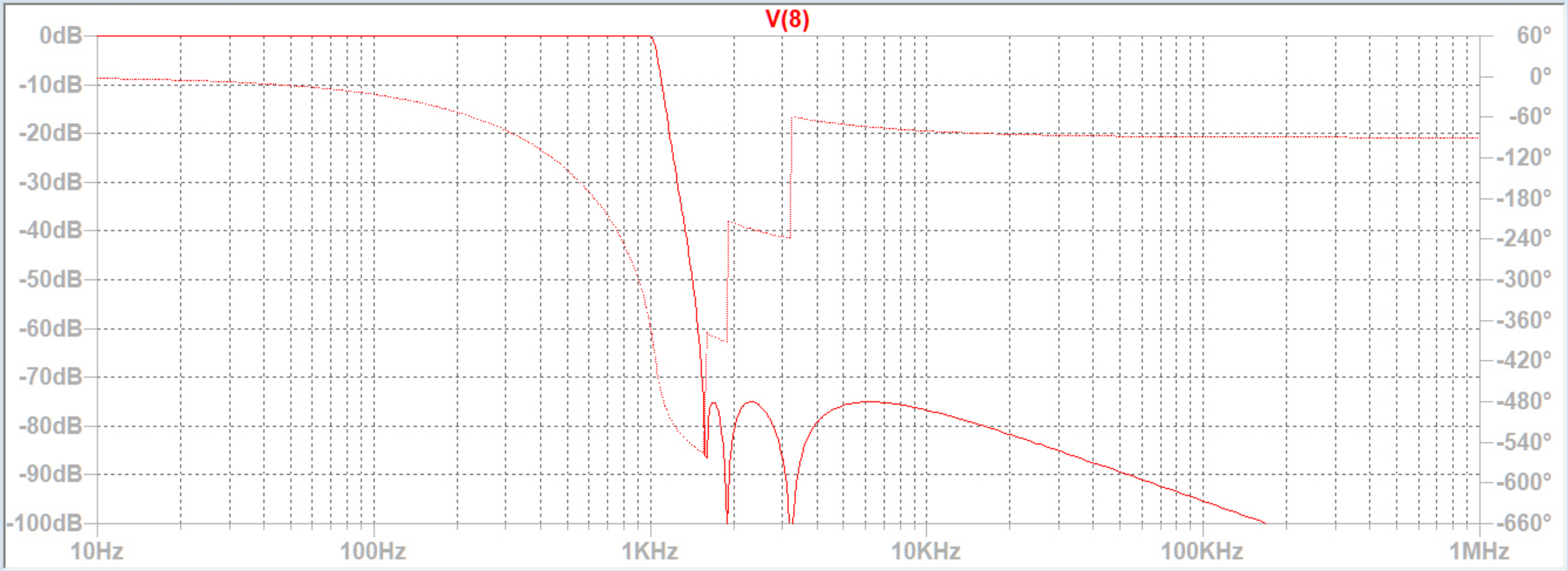
LCn7Atp0p0988Xs1p4Amin67.raw



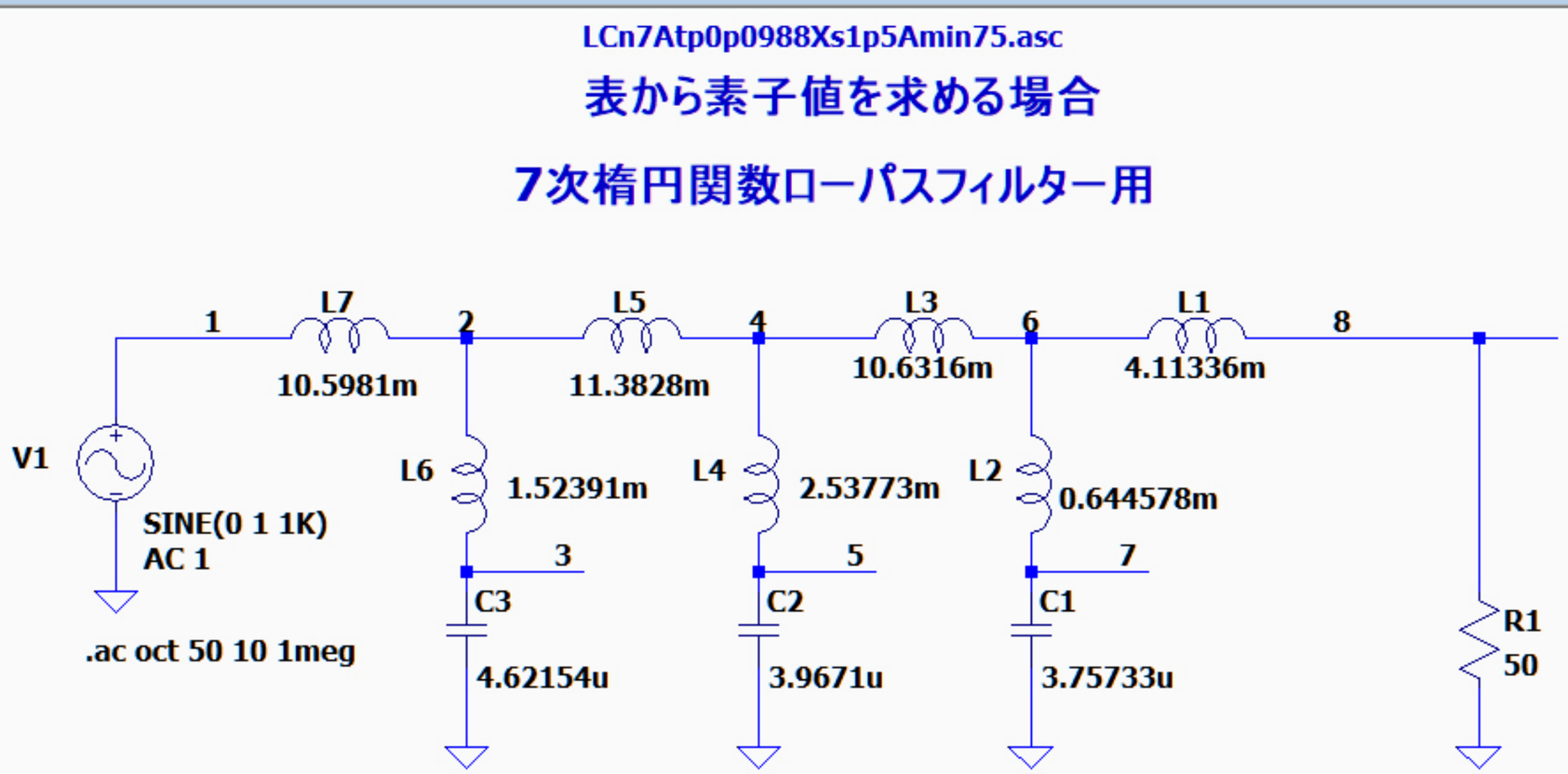
LCn7Atp0p0988Xs1p4Amin67.asc



LCn7Atp0p0988Xs1p5Amin75.raw



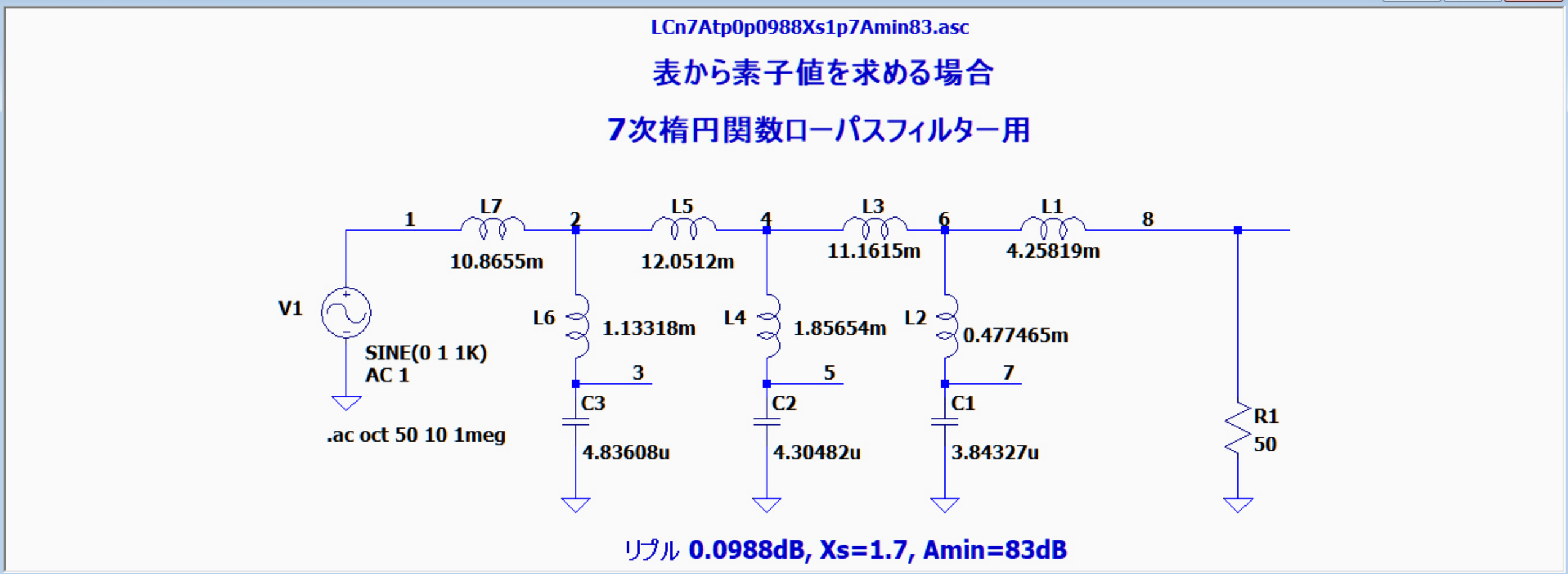
LCn7Atp0p0988Xs1p5Amin75.asc



LCn7Atp0p0988Xs1p7Amin83.raw



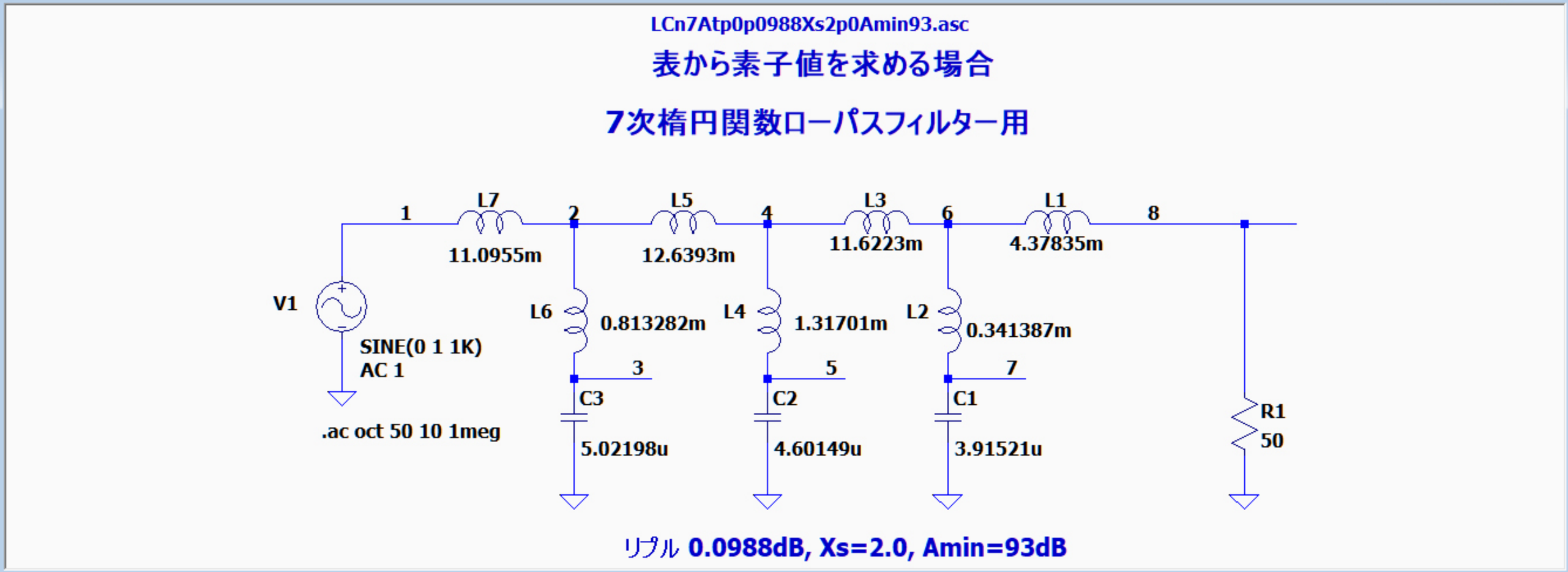
LCn7Atp0p0988Xs1p7Amin83.asc



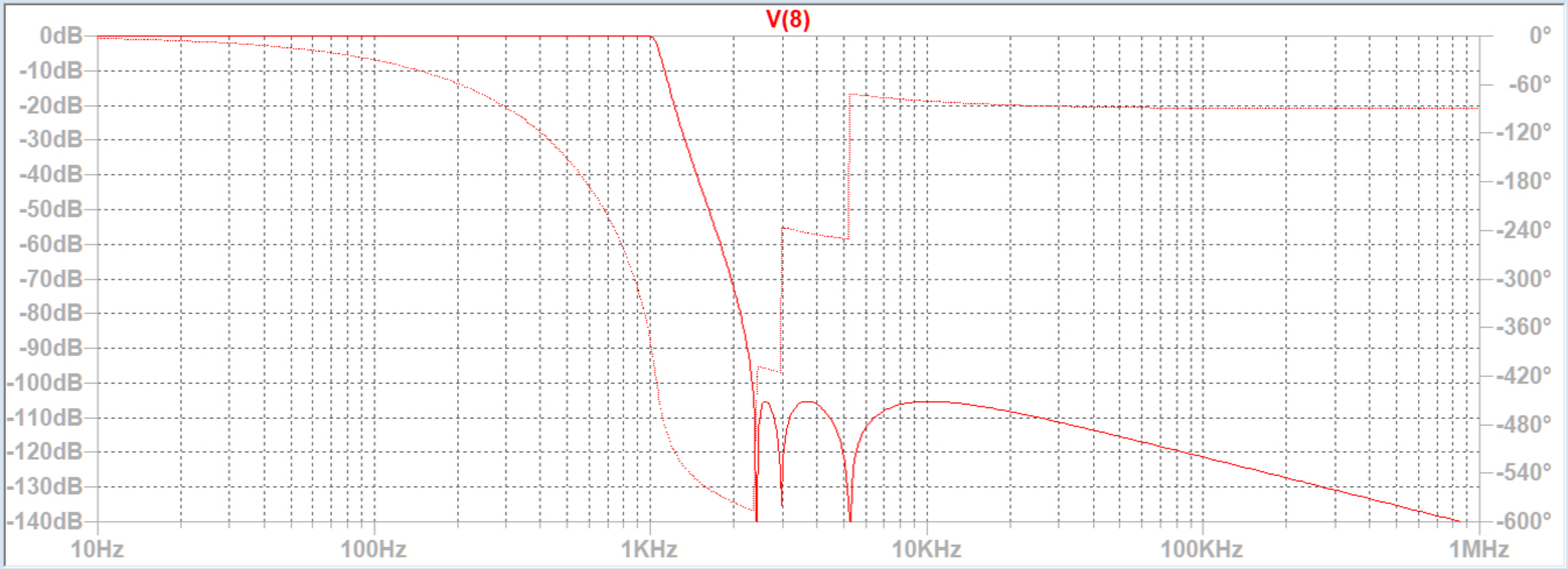
LCn7Atp0p0988Xs2p0Amin93.raw



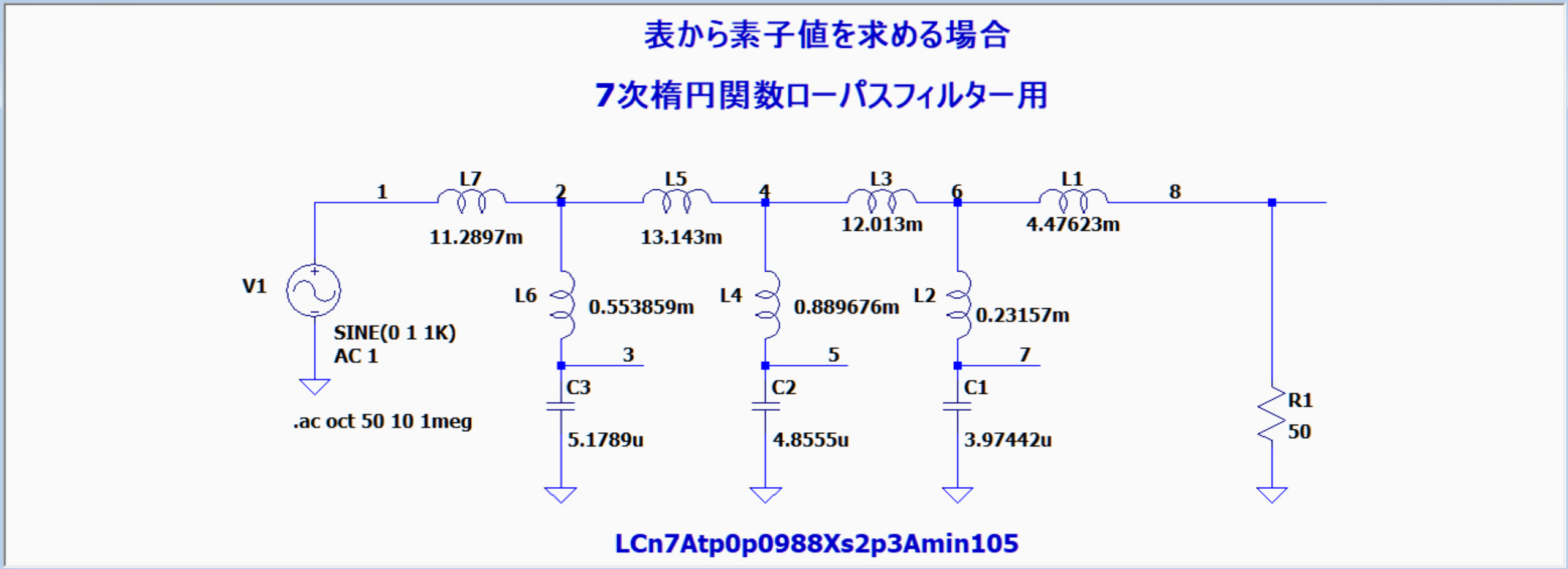
LCn7Atp0p0988Xs2p0Amin93.asc



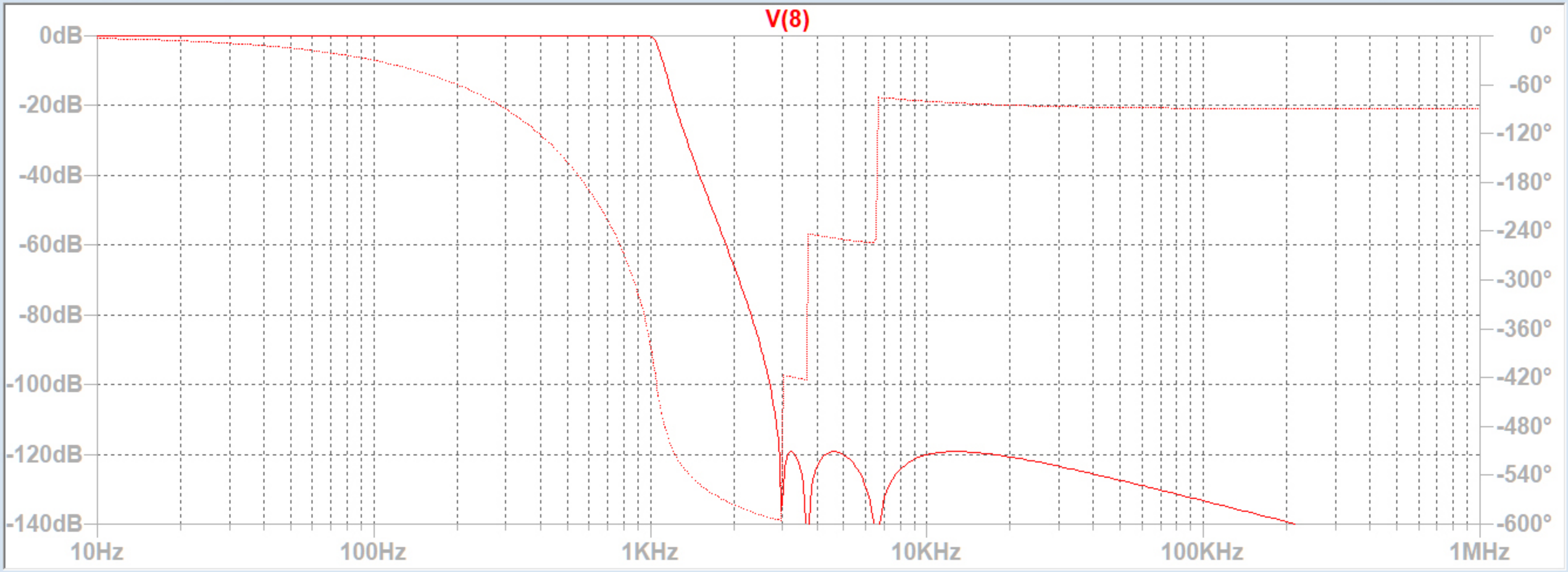
LCn7Atp0p0988Xs2p3Amin105.raw



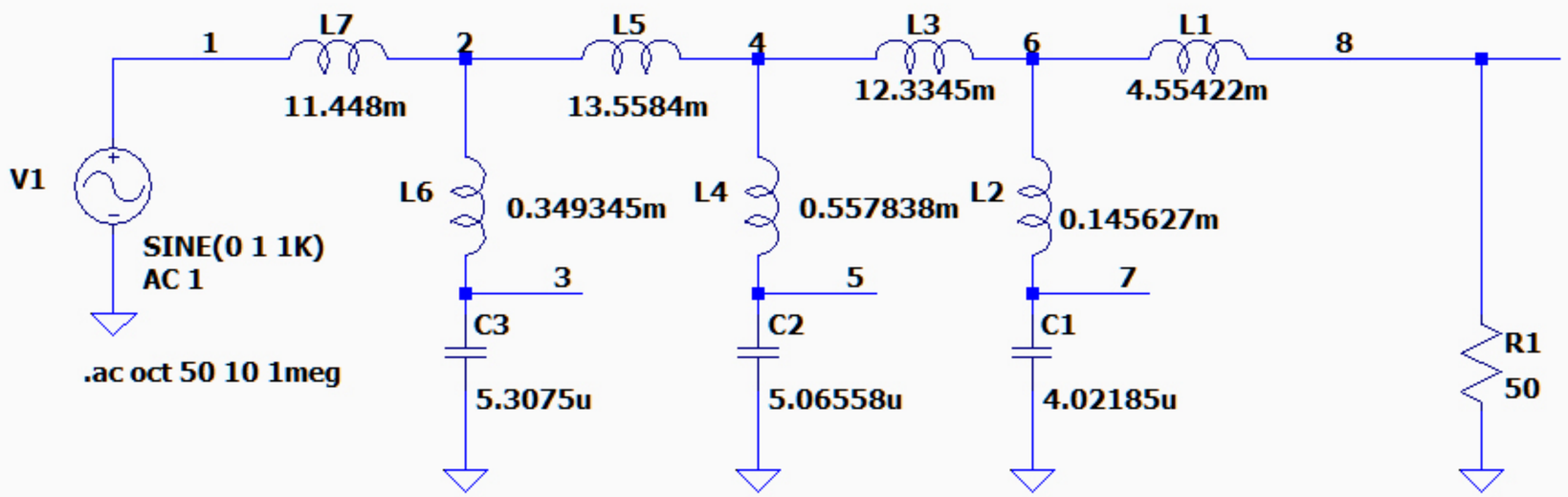
LCn7Atp0p0988Xs2p3Amin105.asc



LCn7Atp0p0988Xs2p9Amin119.raw



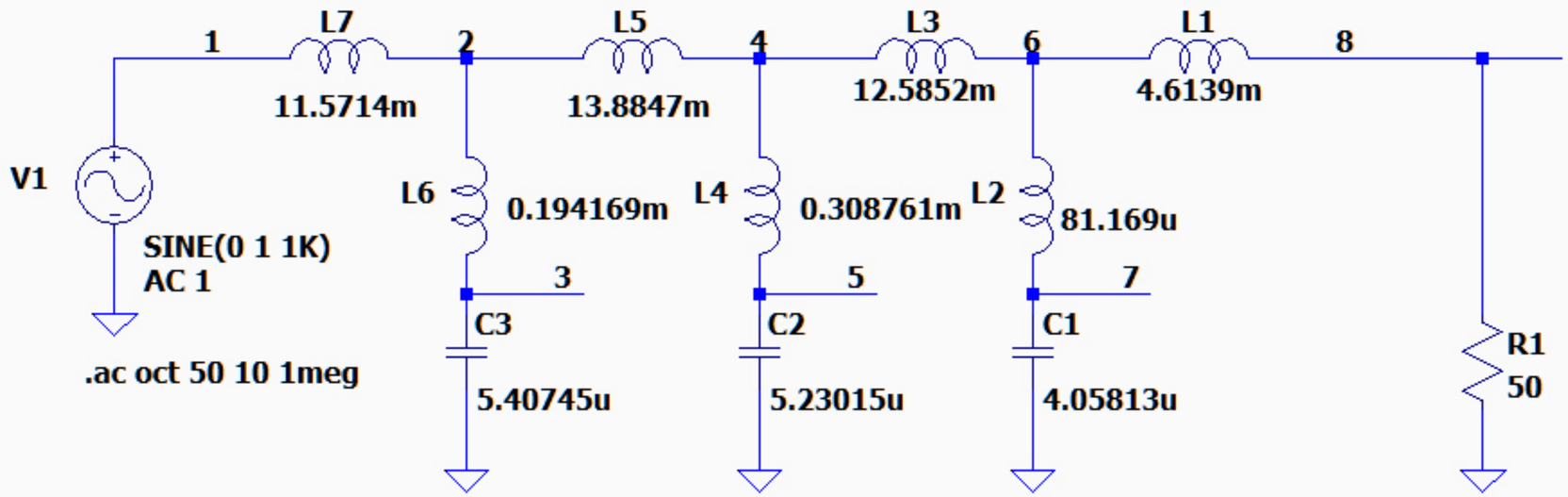
LCn7Atp0p0988Xs2p9Amin119.asc



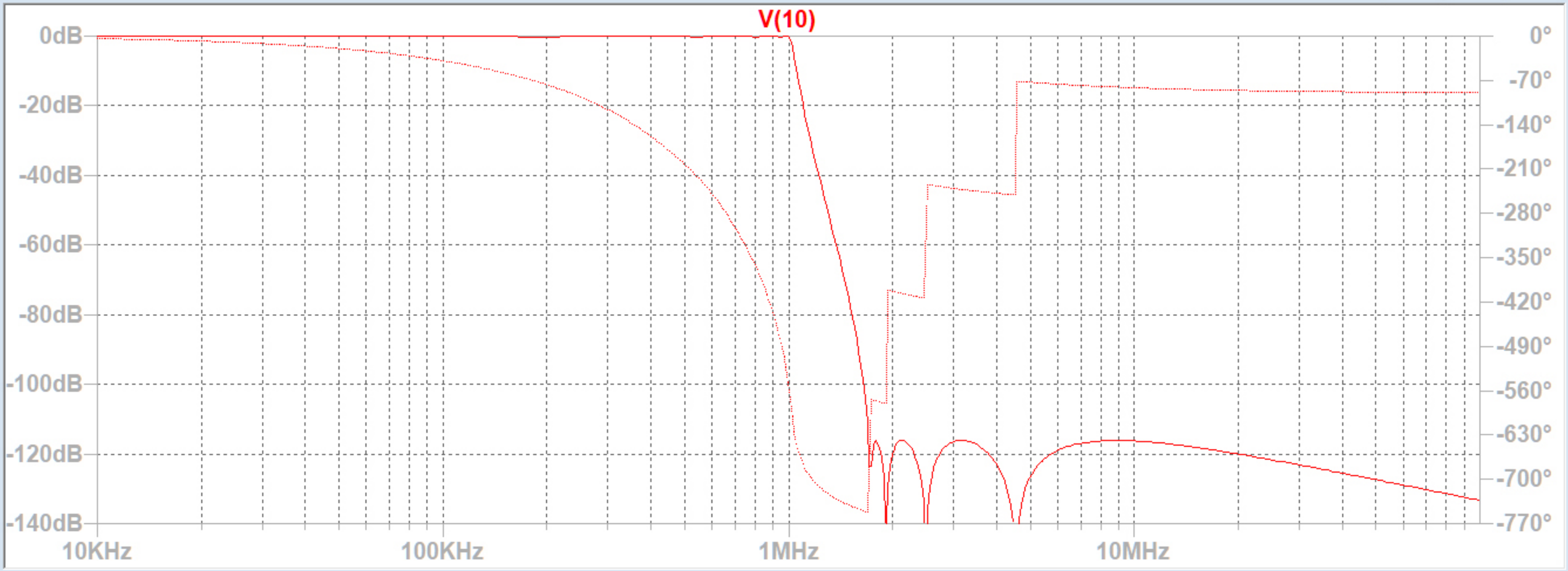
LCn7Atp0p0988Xs3p8Amin137.raw



LCn7Atp0p0988Xs3p8Amin137.asc



lcn9atp0p1773xs1p7amin116-1MHz.raw

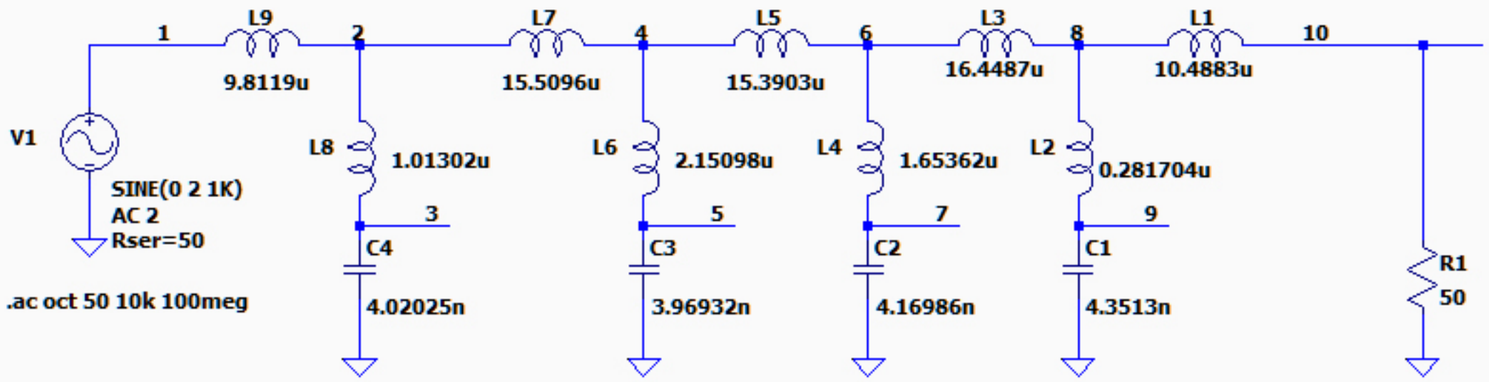


lcn9atp0p1773xs1p7amin116-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p7amin116-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.7　信号レベル　6dB　に設定して、1.7MHz以上の最低減衰量は 116dB

表から素子値を求める場合　　**9次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

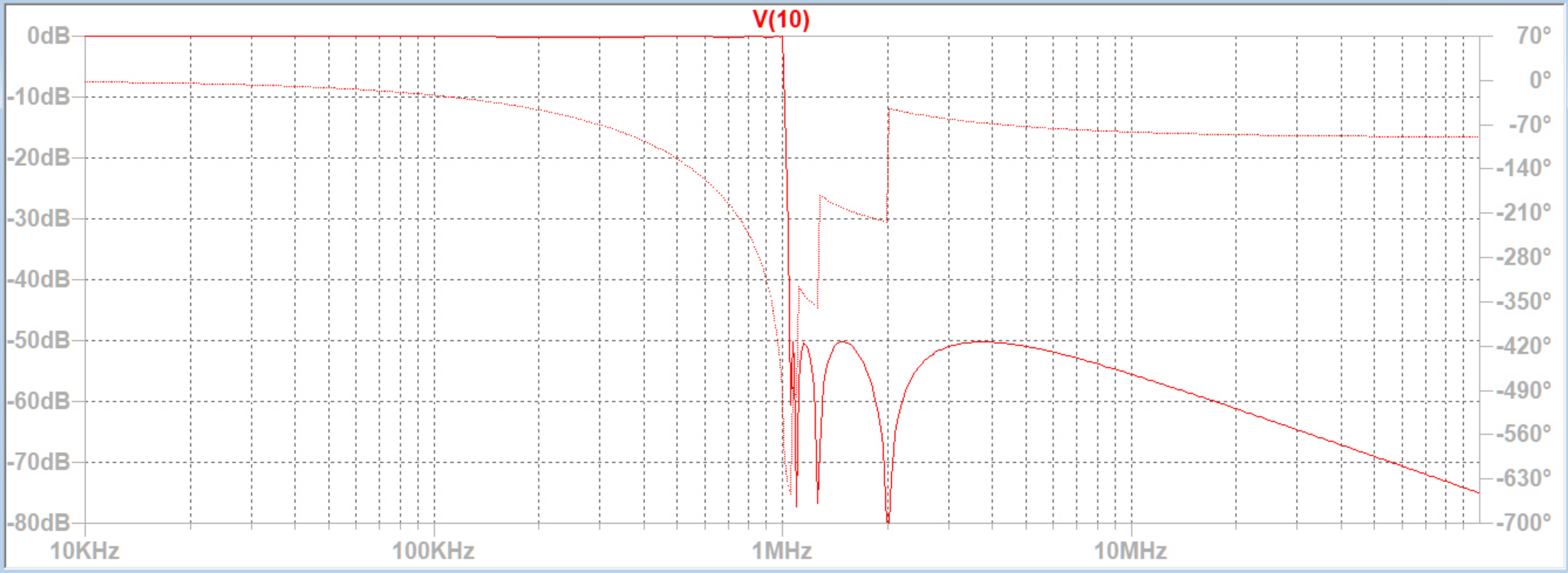
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p051amin50-1MHz.raw

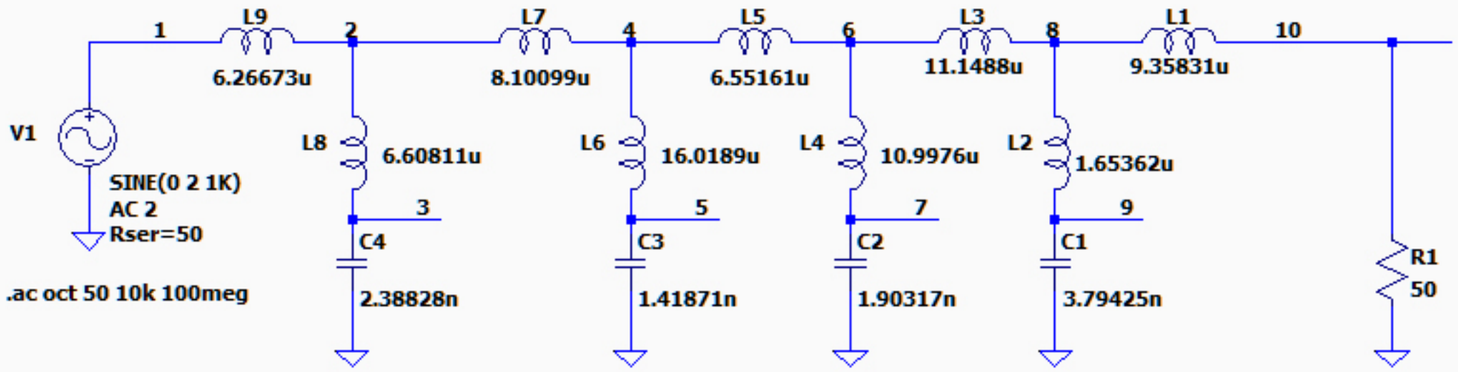


lcn9atp0p1773xs1p051amin50-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p051amin50-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.051　信号レベル　6dB　に設定して、1.051MHz以上の最低減衰量は 50dB

表から素子値を求める場合　　9次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p071amin55-1MHz.raw

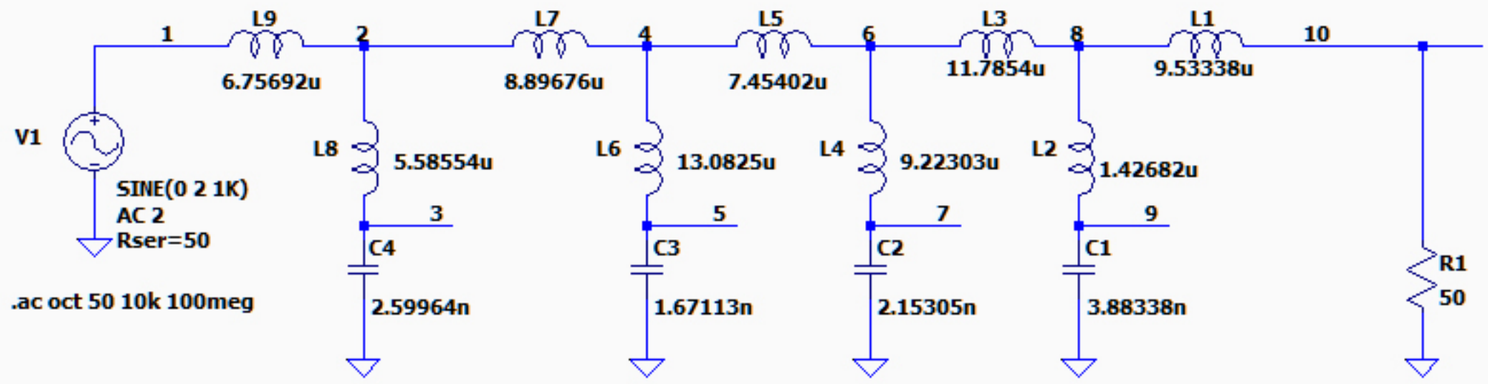


lcn9atp0p1773xs1p071amin55-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p071amin55-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.071　信号レベル　6dB　に設定して、1.071MHz以上の最低減衰量は 55dB

表から素子値を求める場合　　**9次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

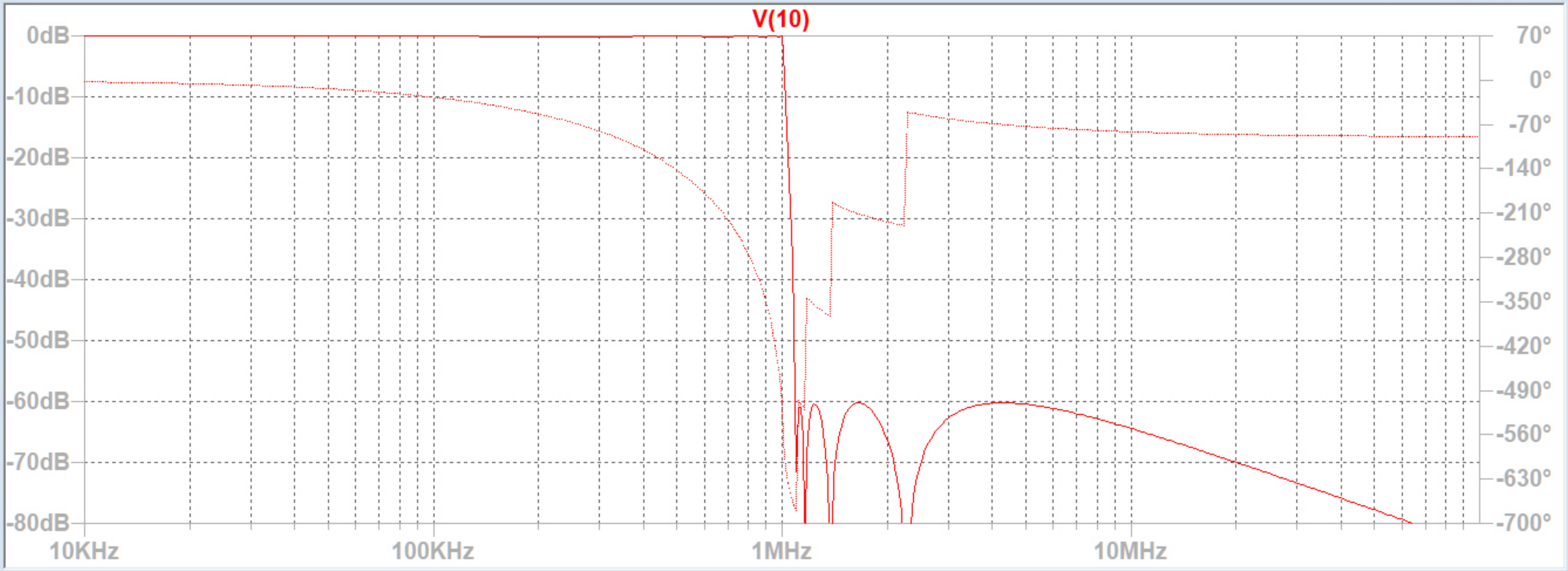
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p094amin60-1MHz.raw

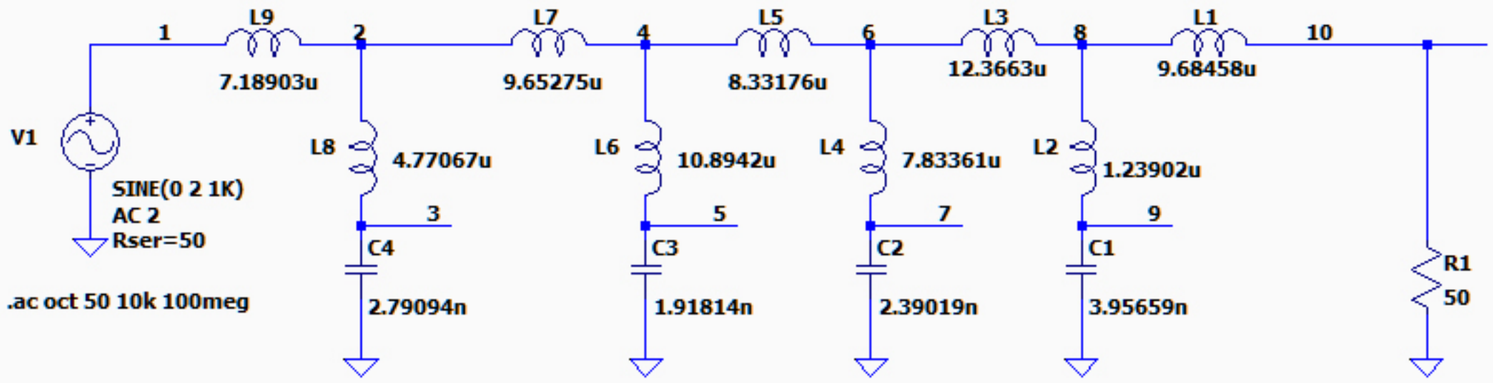


lcn9atp0p1773xs1p094amin60-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p094amin60-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.094　信号レベル　6dB　に設定して、1.094MHz以上の最低減衰量は 60dB

表から素子値を求める場合　　9次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

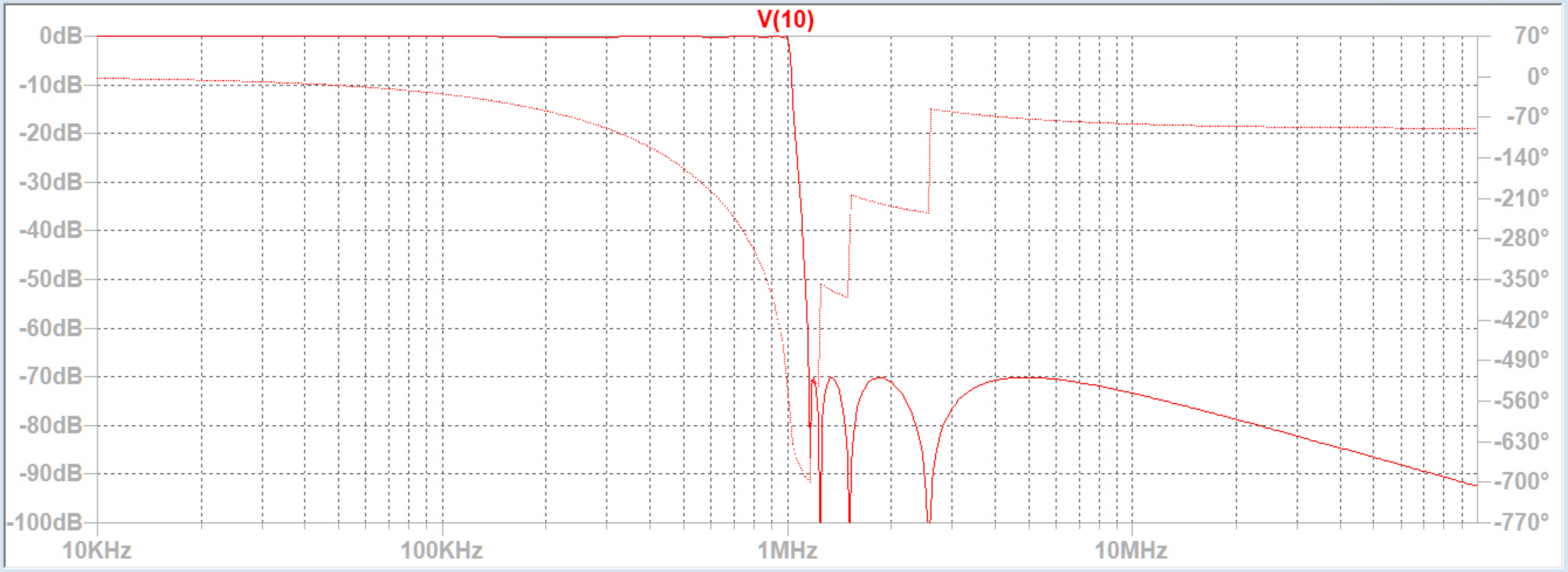
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p154amin70-1MHz.raw

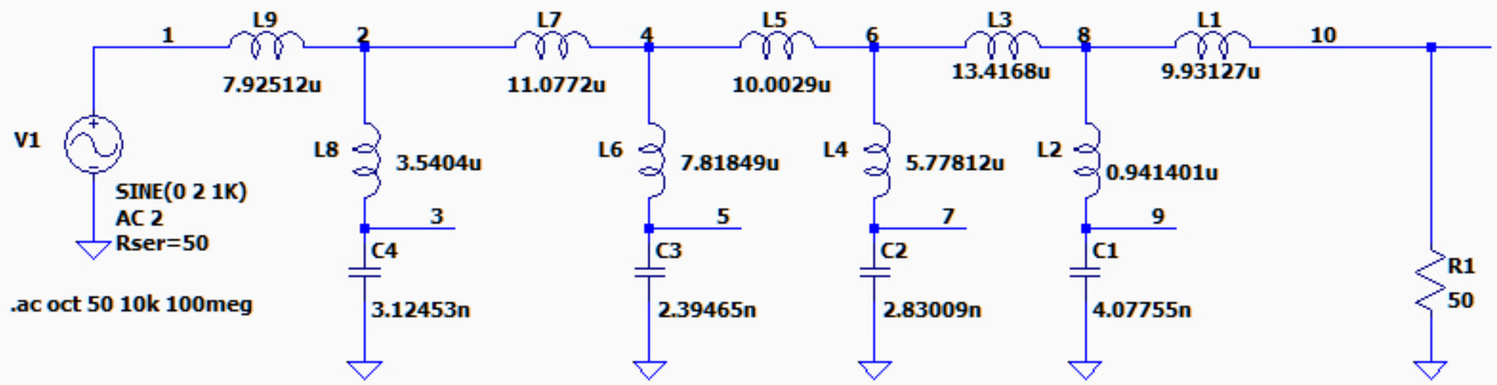


lcn9atp0p1773xs1p154amin70-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p154amin70-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.154　信号レベル　6dB　に設定して、1.154MHz以上の最低減衰量は 70dB

表から素子値を求める場合　　9次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p192amin75-1MHz.raw

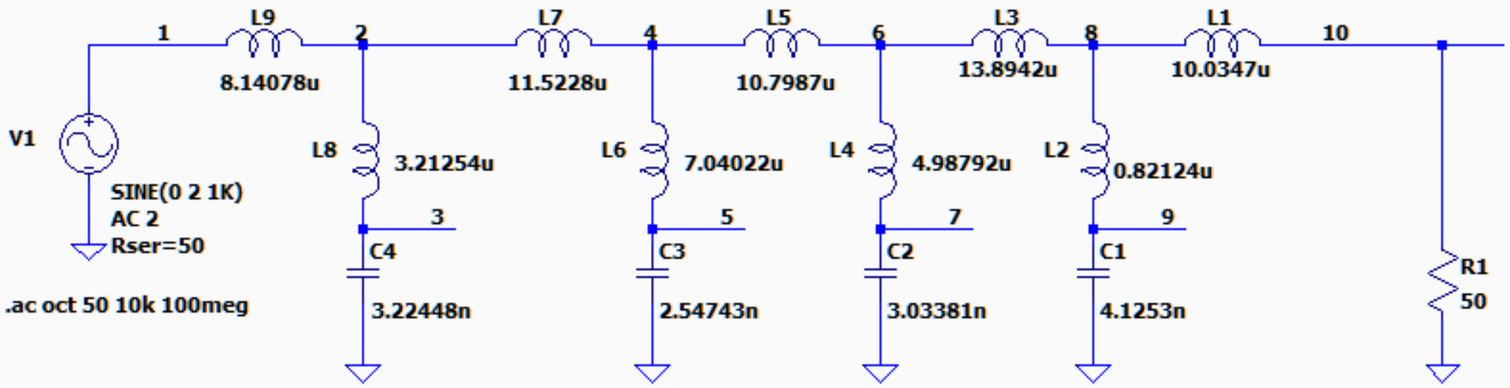


lcn9atp0p1773xs1p192amin75-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p192amin75-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.192　信号レベル　6dB　に設定して、1.192MHz以上の最低減衰量は 72dB

表から素子値を求める場合　　9次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p236amin80-1MHz.raw

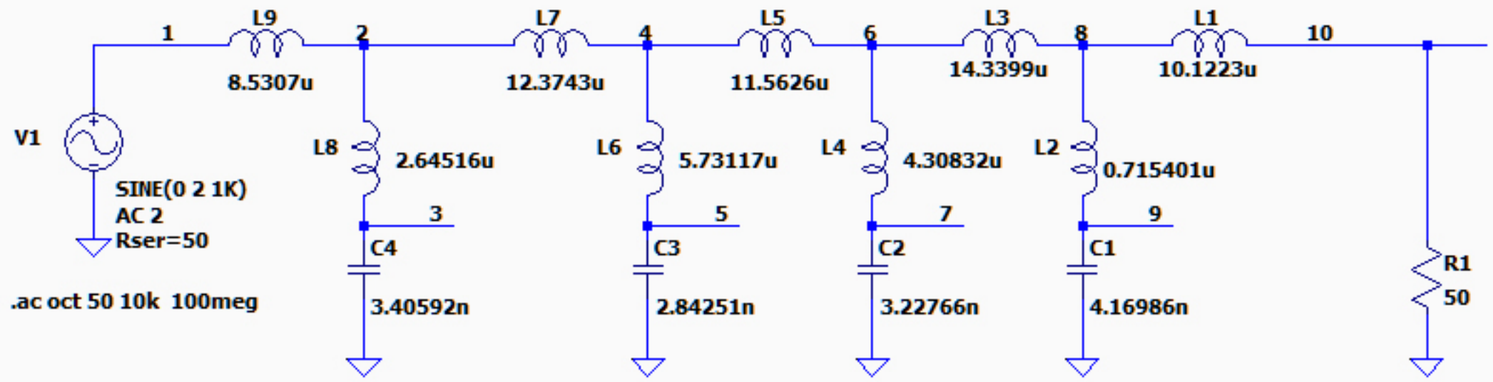


lcn9atp0p1773xs1p236amin80-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p236amin80-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.236　信号レベル　6dB　に設定して、1.236MHzの減衰量は 80.46dB

表から素子値を求める場合　　9次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p286amin85-1MHz.raw

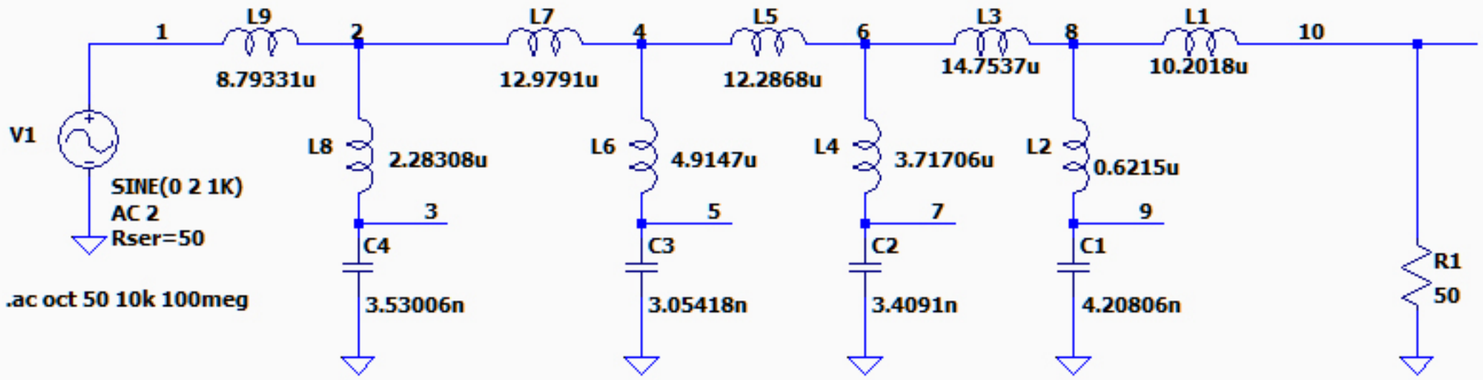


lcn9atp0p1773xs1p286amin85-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p286amin85-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.286　信号レベル　6dB　に設定して、1.286MHz以上の最低減衰量は 85dB

表から素子値を求める場合　　9次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量が力atp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量が力atp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p345amin91-1MHz.raw

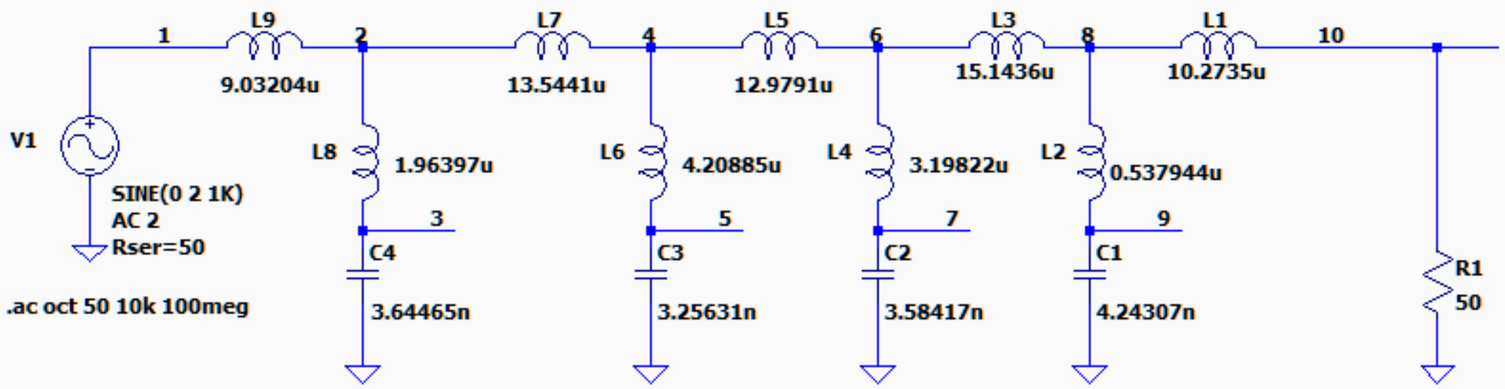


lcn9atp0p1773xs1p345amin91-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p345amin91-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.345　信号レベル　6dB　に設定して、1.345MHz以上の最低減衰量は 91dB

表から素子値を求める場合　　9次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量が力atp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量が力atp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p466amin100-1MHz.raw

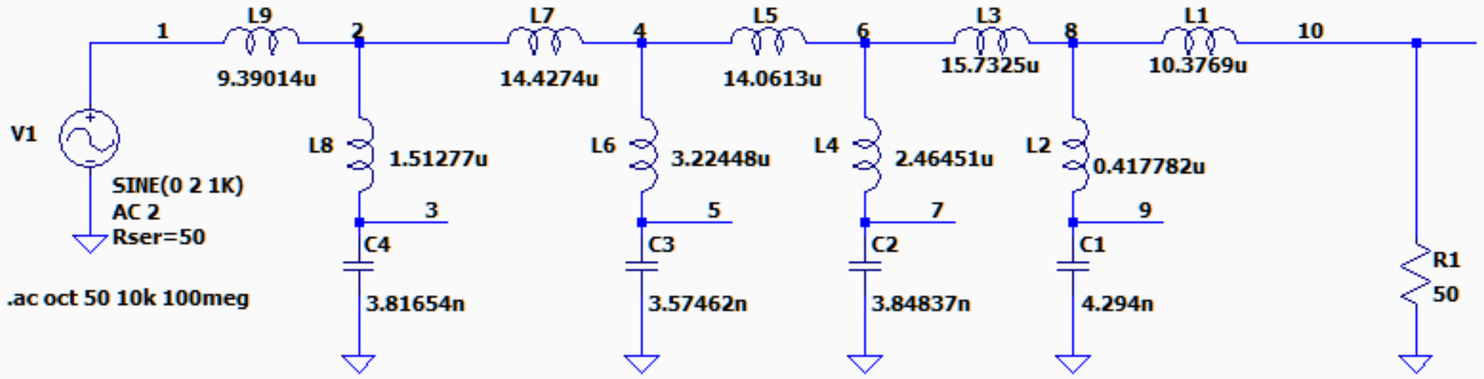


lcn9atp0p1773xs1p466amin100-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p466amin100-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.4669　信号レベル　6dB　に設定して、1.466MHz以上の最低減衰量は 100dB

表から素子値を求める場合　　**9次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

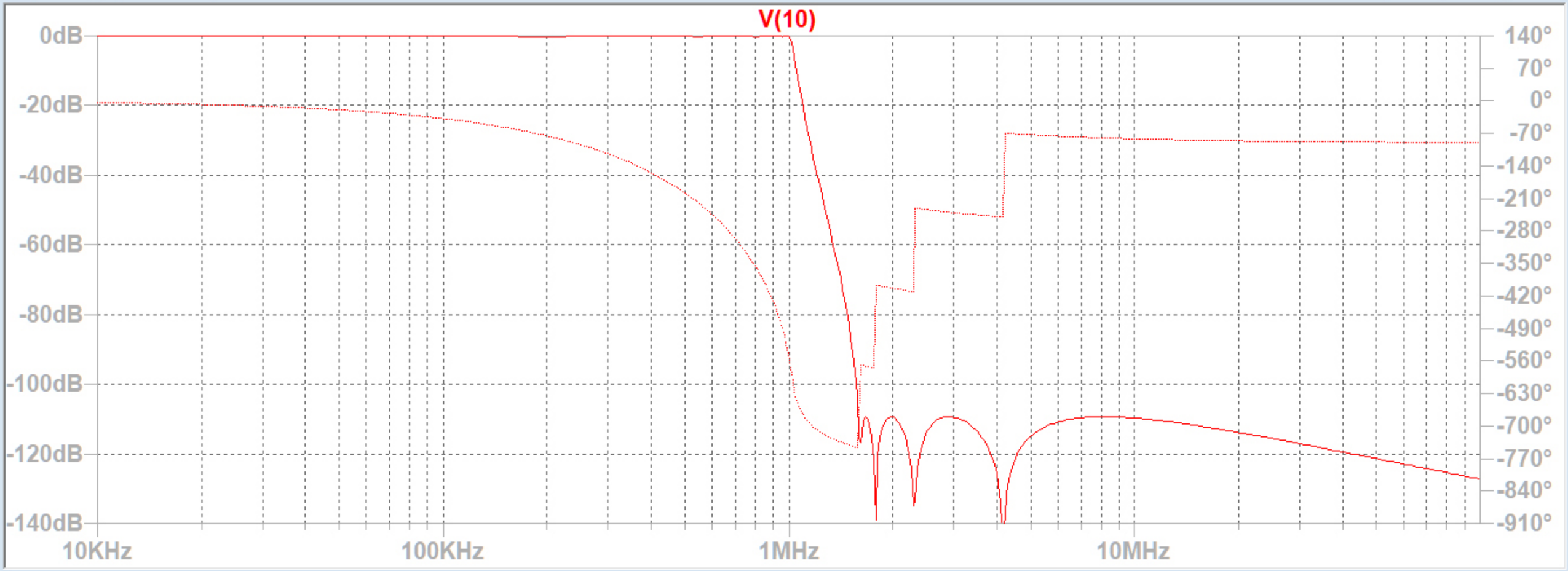
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn9atp0p1773xs1p589amin109-1MHz.raw

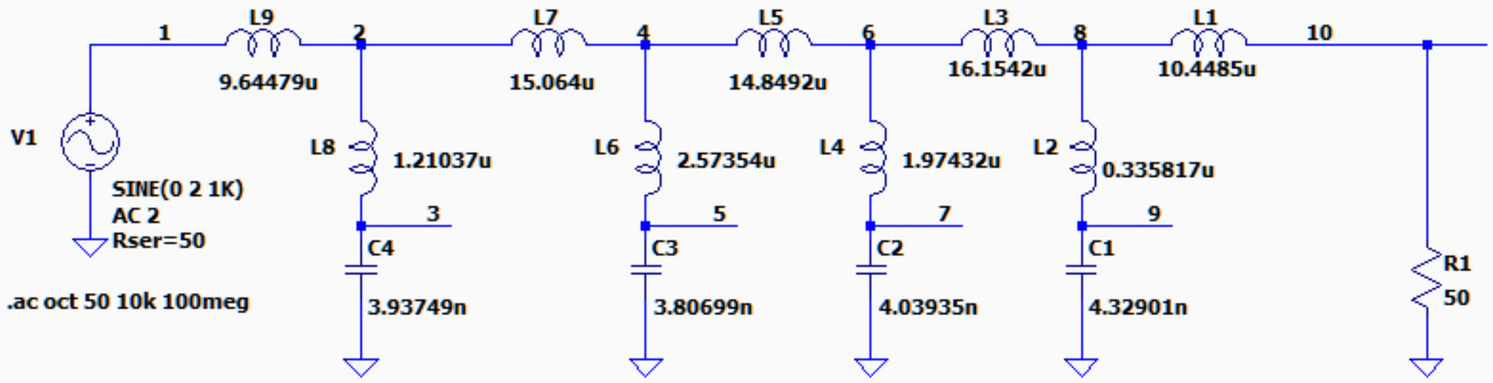


lcn9atp0p1773xs1p589amin109-1MHz.asc

lcn9atp0p1773xs1p589amin109-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.589　信号レベル　6dB　に設定して、1.589MHz以上の最低減衰量は 109dB

表から素子値を求める場合　　**9次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

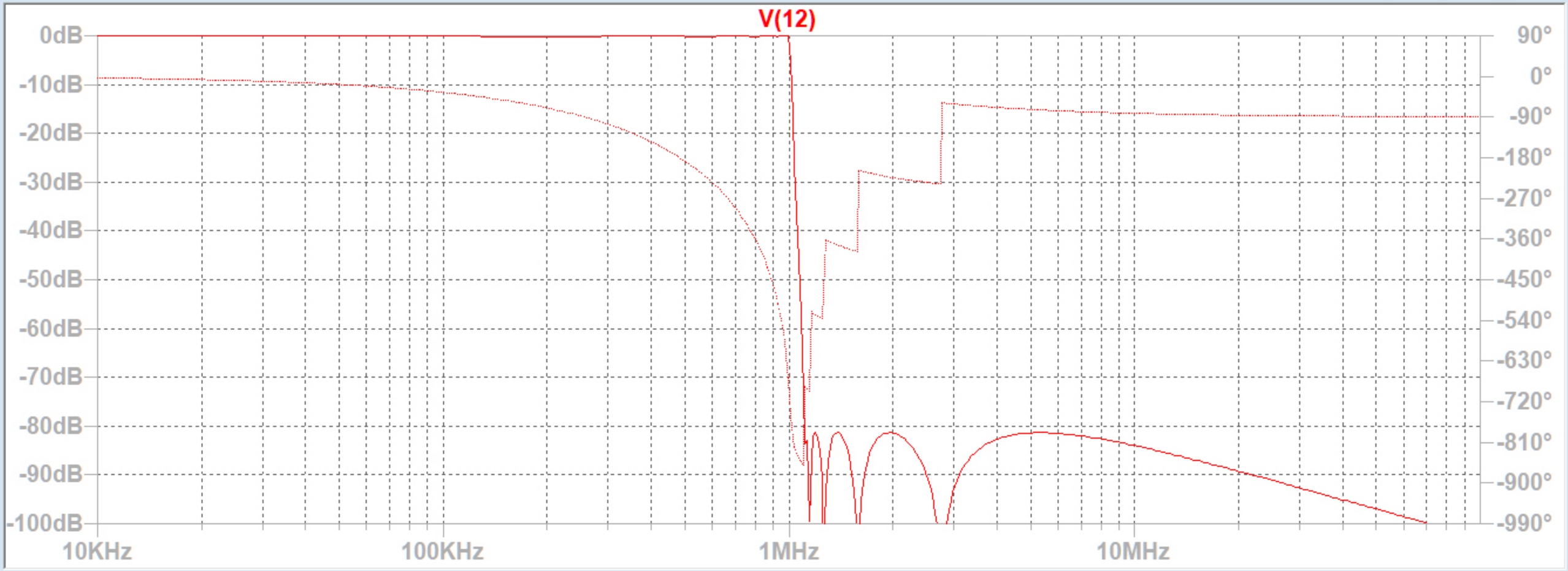
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p1amin81-1MHz.raw

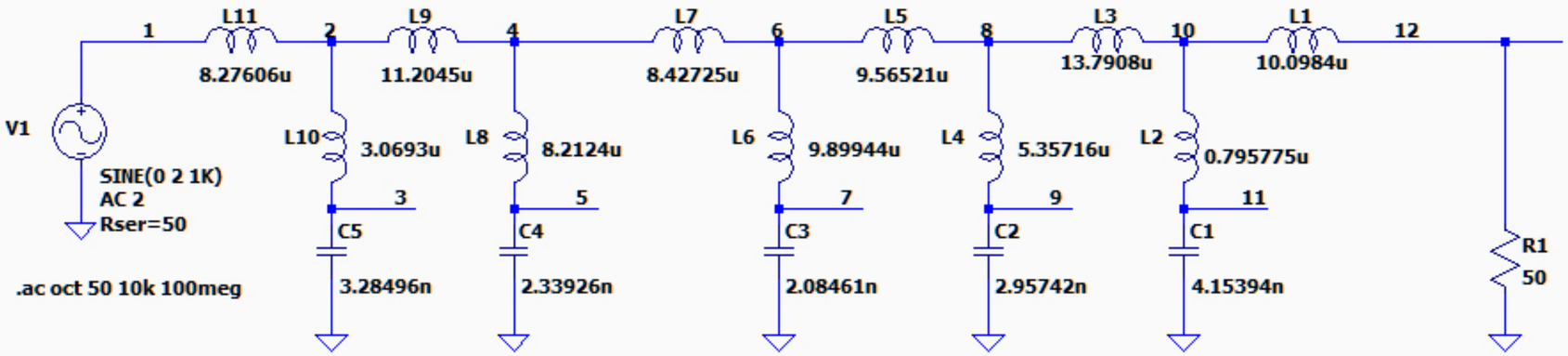


lcn11atp0p1773xs1p1amin81-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p1amin81-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.1　信号レベル　6dB　に設定して、1.1MHz以上の最低減衰量は81dB

表から素子値を求める場合　　**11次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量が力atp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

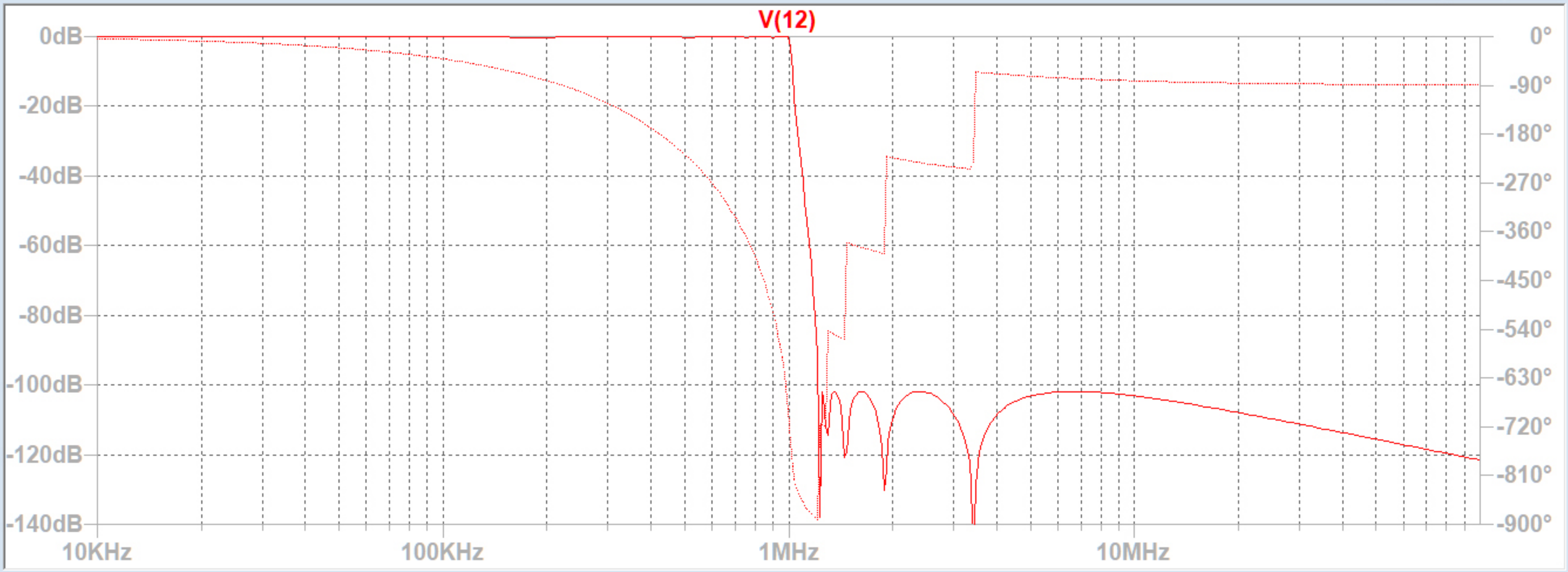
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量が力atp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p22amin101-1MHz.raw

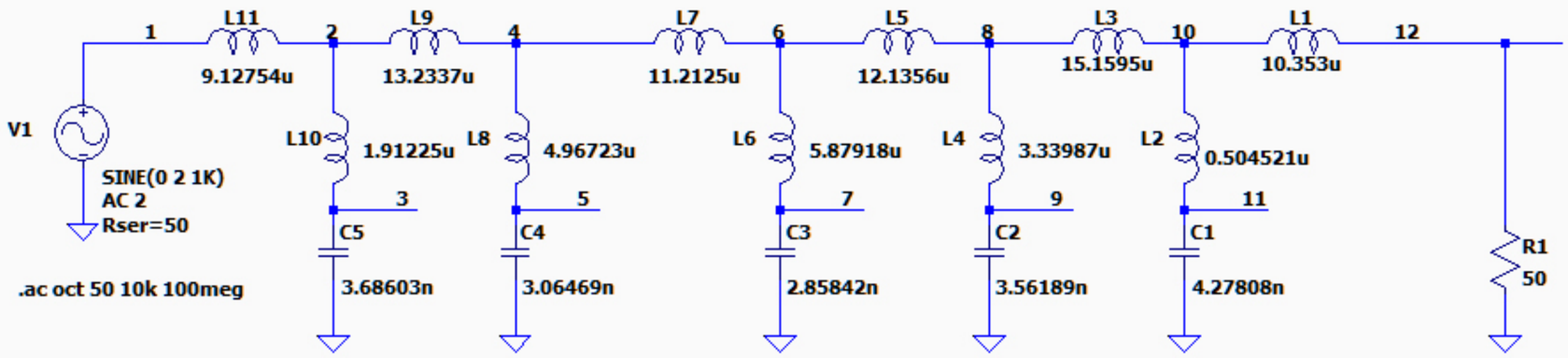


lcn11atp0p1773xs1p22amin101-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p22amin101-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.22　信号レベル　6dB　に設定して、1.22MHz以上の最低減衰量は 102dB

表から素子値を求める場合　　11次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p035amin60-1MHz.raw

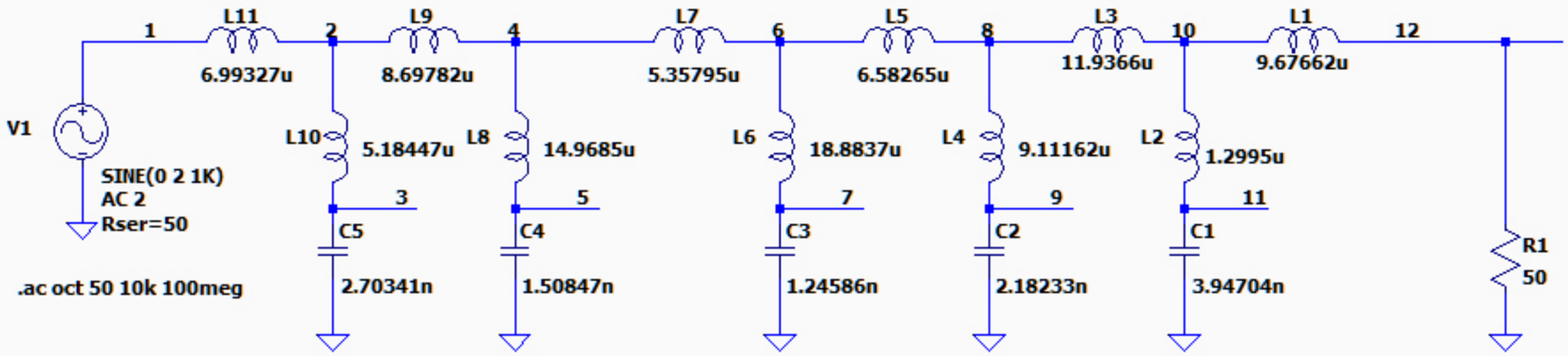


lcn11atp0p1773xs1p035amin60-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p035amin60-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.035 信号レベル　6dB　に設定して、1.035MHz以上の最低減衰量は60dB

表から素子値を求める場合　　11次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

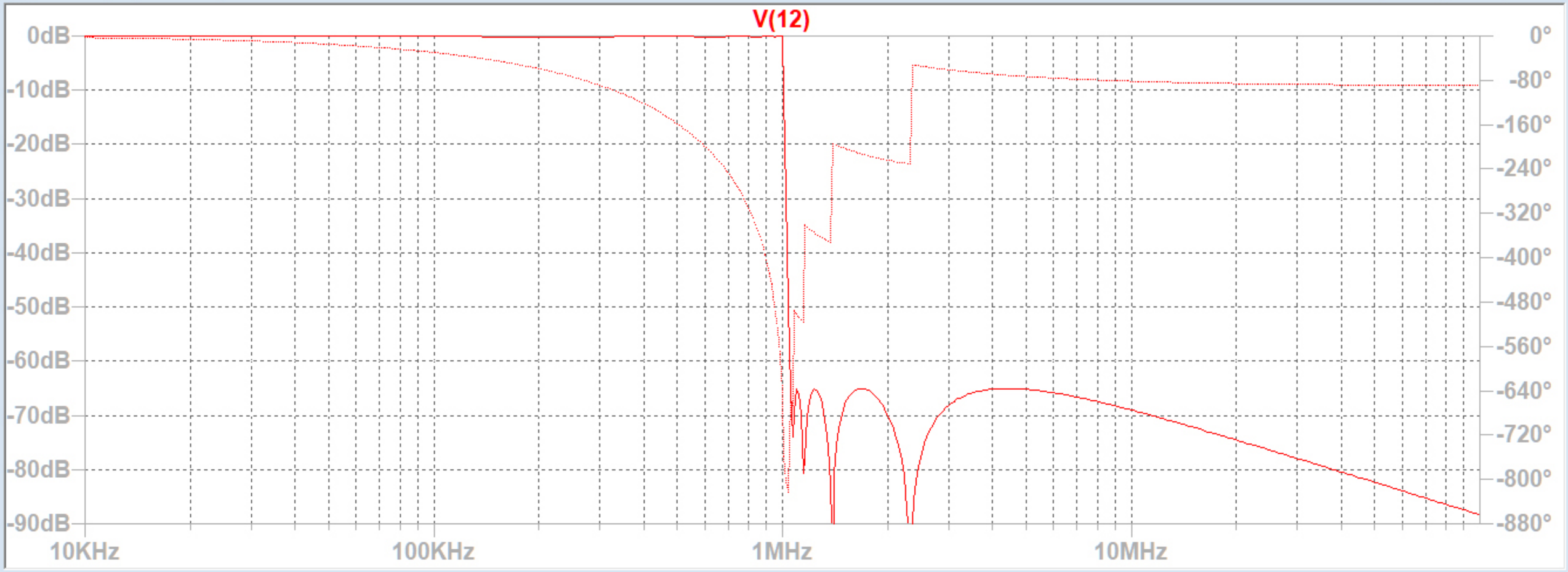
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p045amin65-1MHz.raw

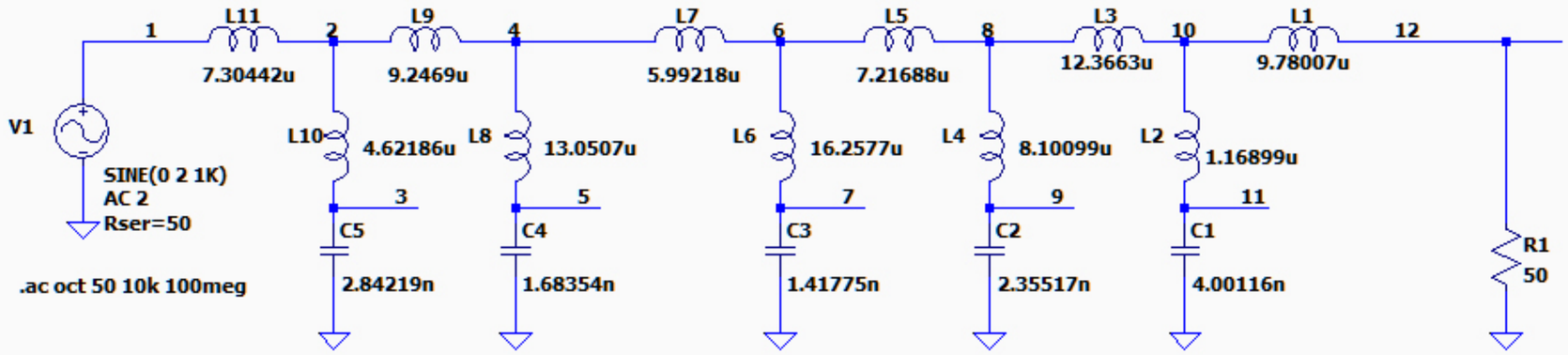


lcn11atp0p1773xs1p045amin65-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p045amin65-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.045 信号レベル　6dB　に設定して、1.045MHz以上の最低減衰量は65dB

表から素子値を求める場合　　**11次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p064amin71-1MHz.raw

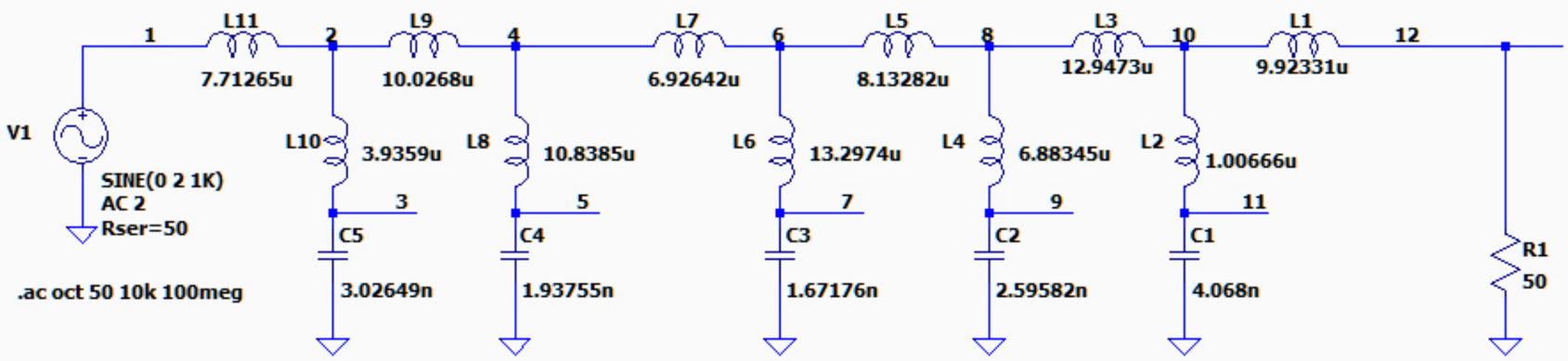


lcn11atp0p1773xs1p064amin71-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p064amin71-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.064 信号レベル　6dB　に設定して、1.064MHz以上の最低減衰量は71dB

表から素子値を求める場合　　11次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

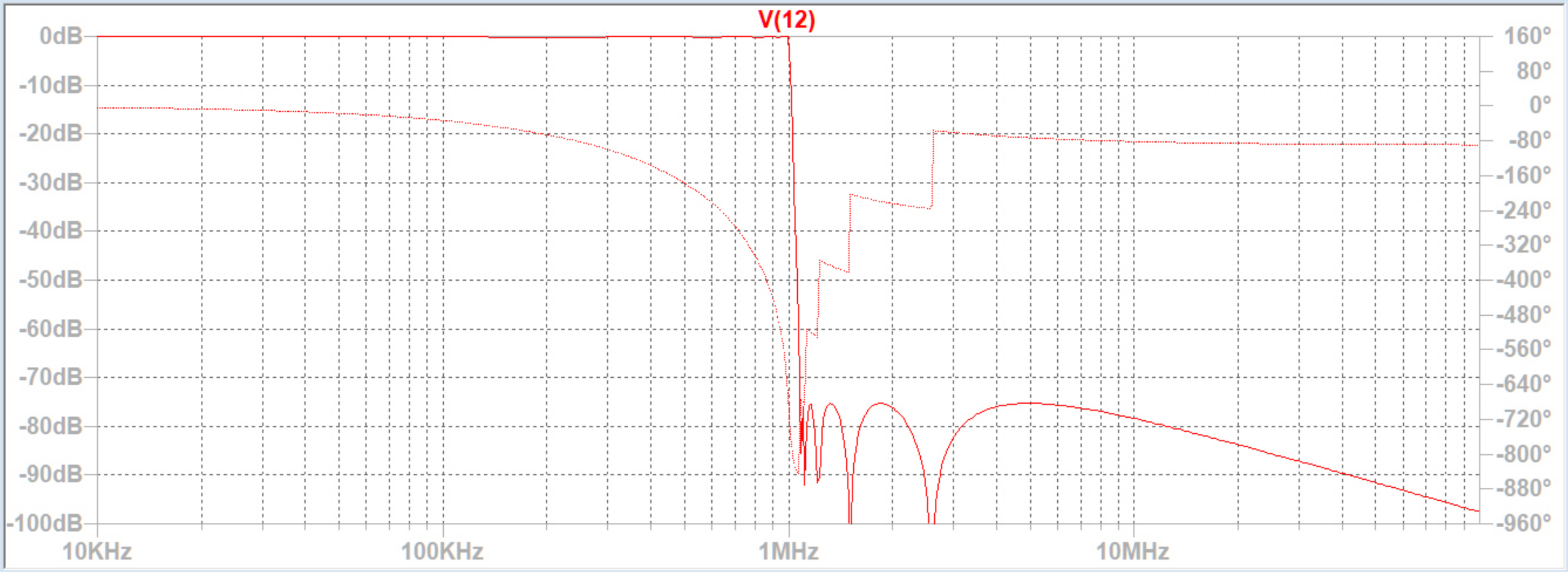
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p078amin75-1MHz.raw

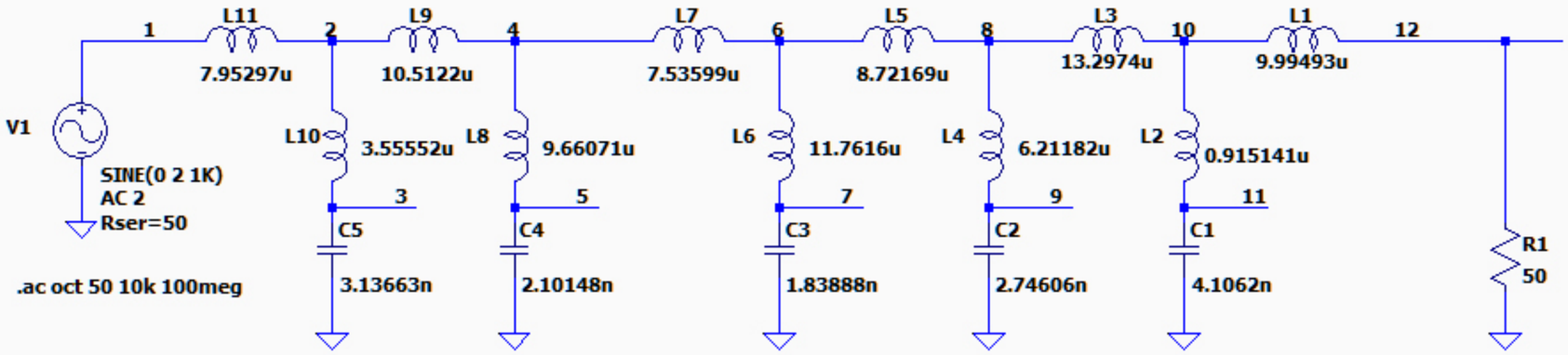


lcn11atp0p1773xs1p078amin75-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p078amin75-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.078 信号レベル 6dB に設定して、1.078MHz以上の最低減衰量は75dB

表から素子値を求める場合　　**11次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

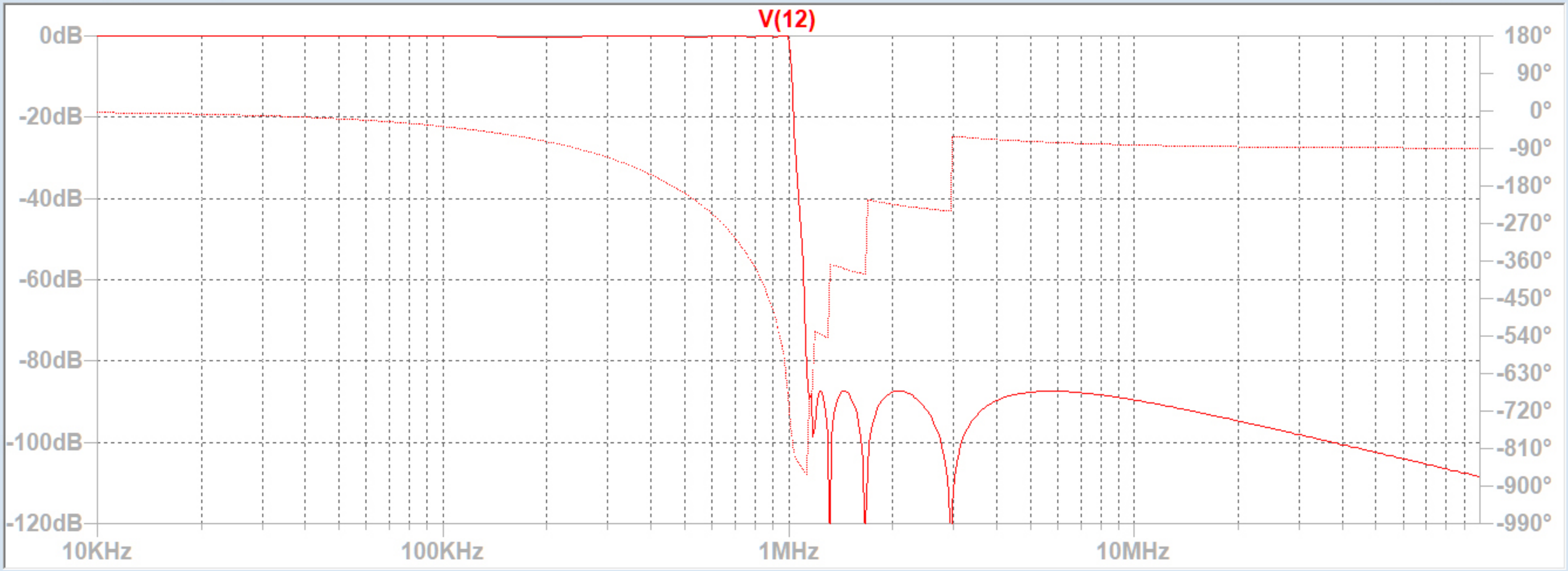
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p132amin87-1MHz.raw

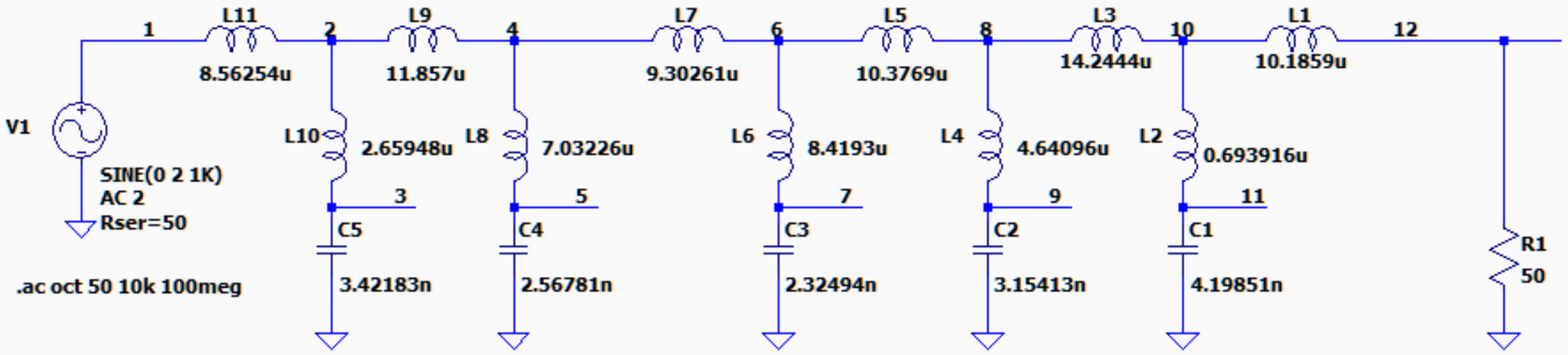


lcn11atp0p1773xs1p132amin87-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p1amin81-1MHz

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.132　信号レベル　6dB　に設定して、1.132MHz以上の最低減衰量は87dB

表から素子値を求める場合　　**11次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

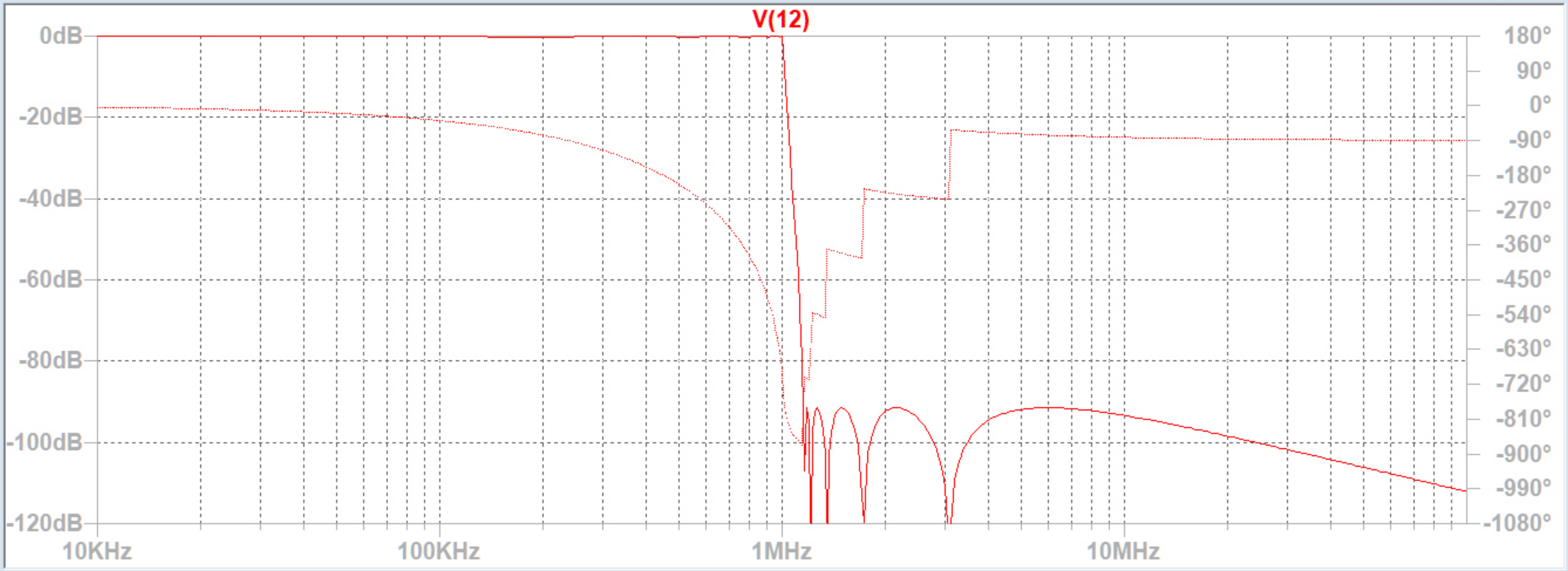
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p154amin91-1MHz.raw

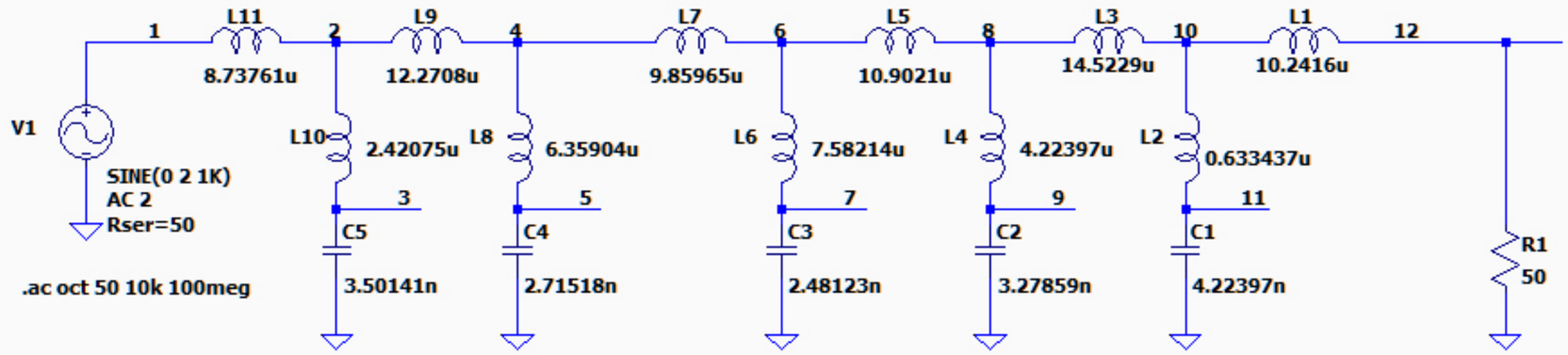


lcn11atp0p1773xs1p154amin91-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p154amin91-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.154　信号レベル　6dB　に設定して、1.154MHz以上の最低減衰量は 91dB

表から素子値を求める場合　　**11次楕円関数ローパスフィルター用**



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

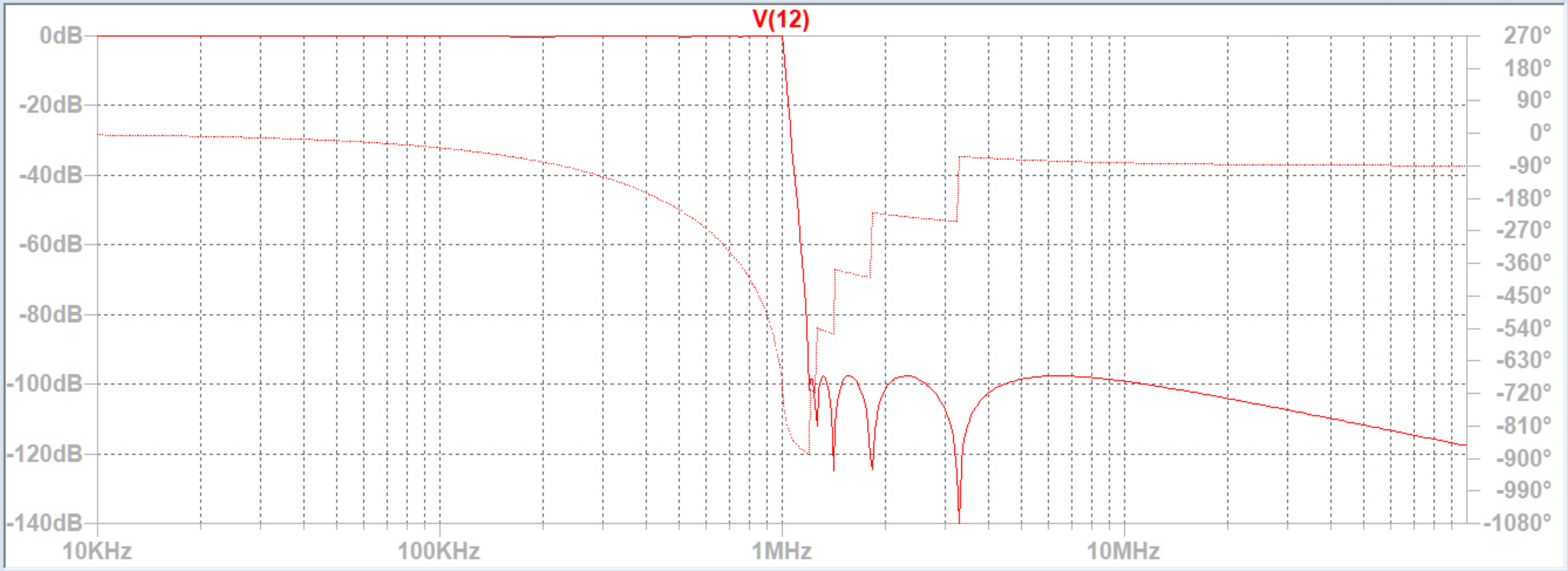
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p192amin97-1MHz.raw

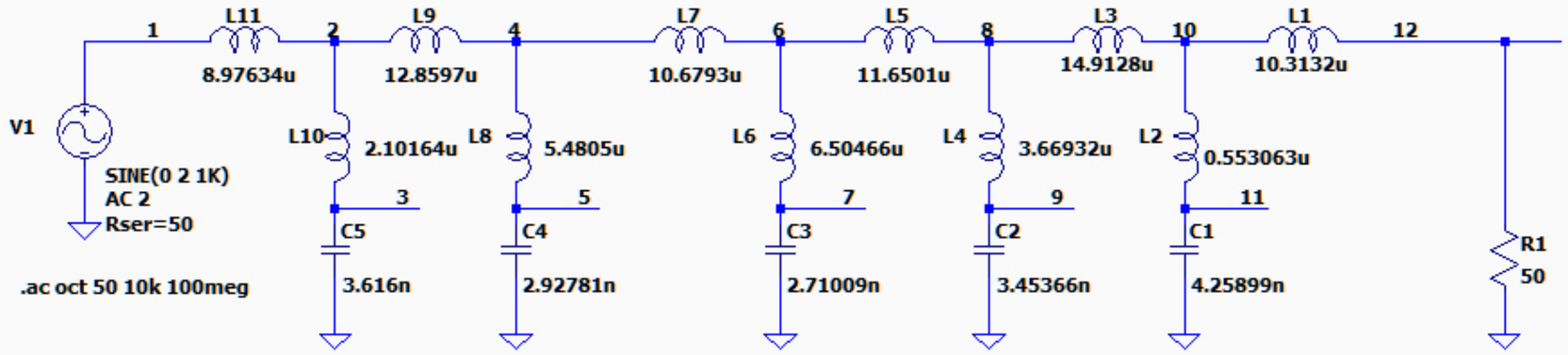


lcn11atp0p1773xs1p192amin97-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p192amin97-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.19　信号レベル　6dB　に設定して、1.19MHz以上の最低減衰量は 97dB

表から素子値を求める場合　　11次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

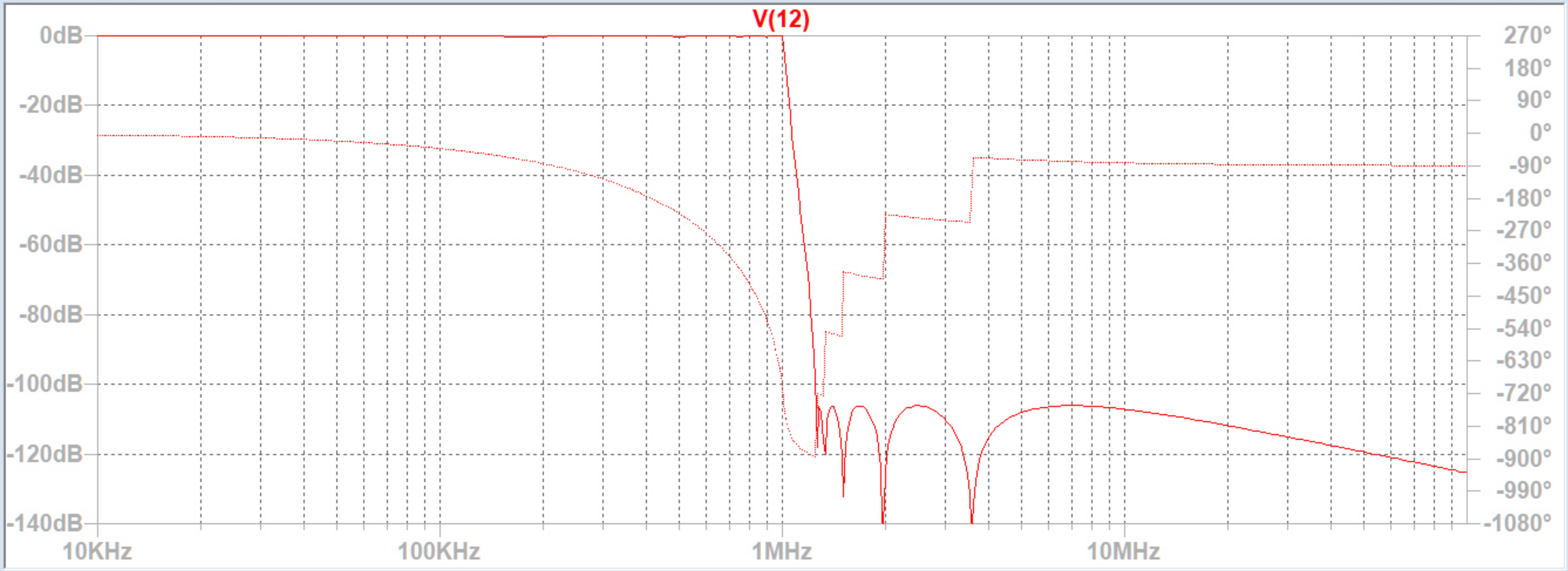
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p252amin106-1MHz.raw

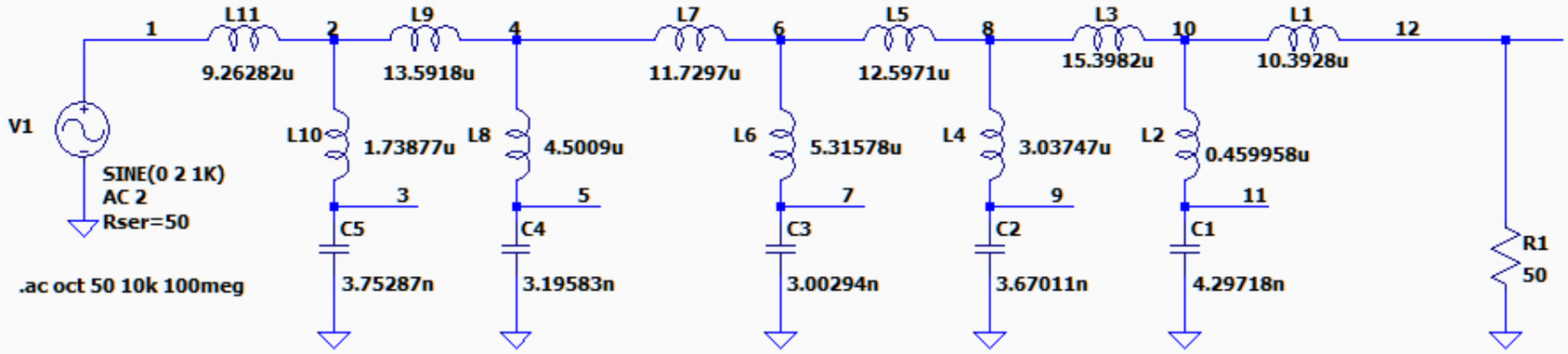


lcn11atp0p1773xs1p252amin106-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p252amin106-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.252　信号レベル　6dB　に設定して、1.252MHz以上の最低減衰量は 106dB

表から素子値を求める場合　　11次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

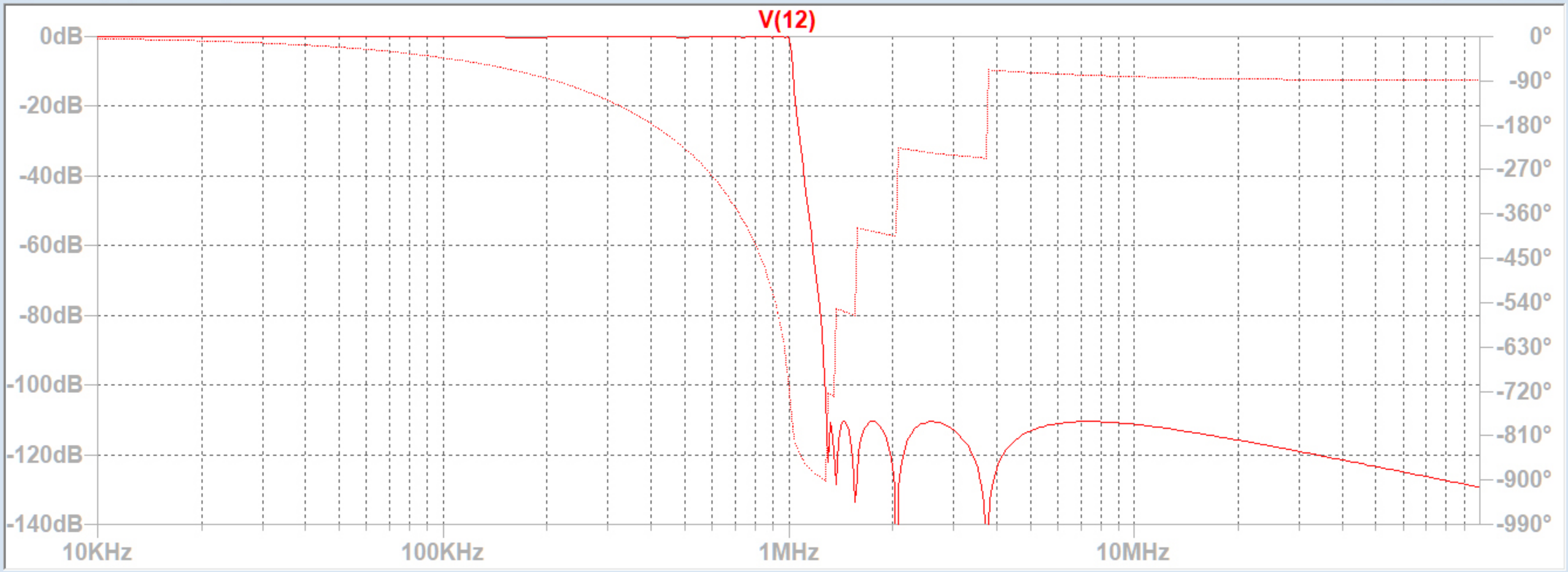
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

lcn11atp0p1773xs1p286amin110-1MHz.raw

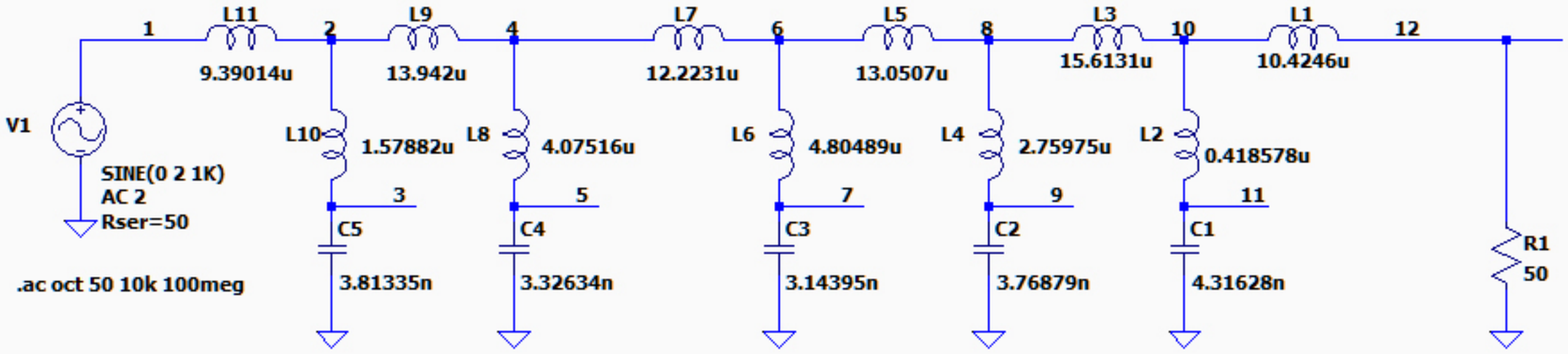


lcn11atp0p1773xs1p286amin110-1MHz.asc

lcn11atp0p1773xs1p286amin110-1MHz.asc

fc=1 MHz, atp=0.1773dB, Xs=1.286　信号レベル　6dB　に設定して、1.286MHz以上の最低減衰量は 110dB

表から素子値を求める場合　　11次楕円関数ローパスフィルター用



9次と11次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークが発生する。

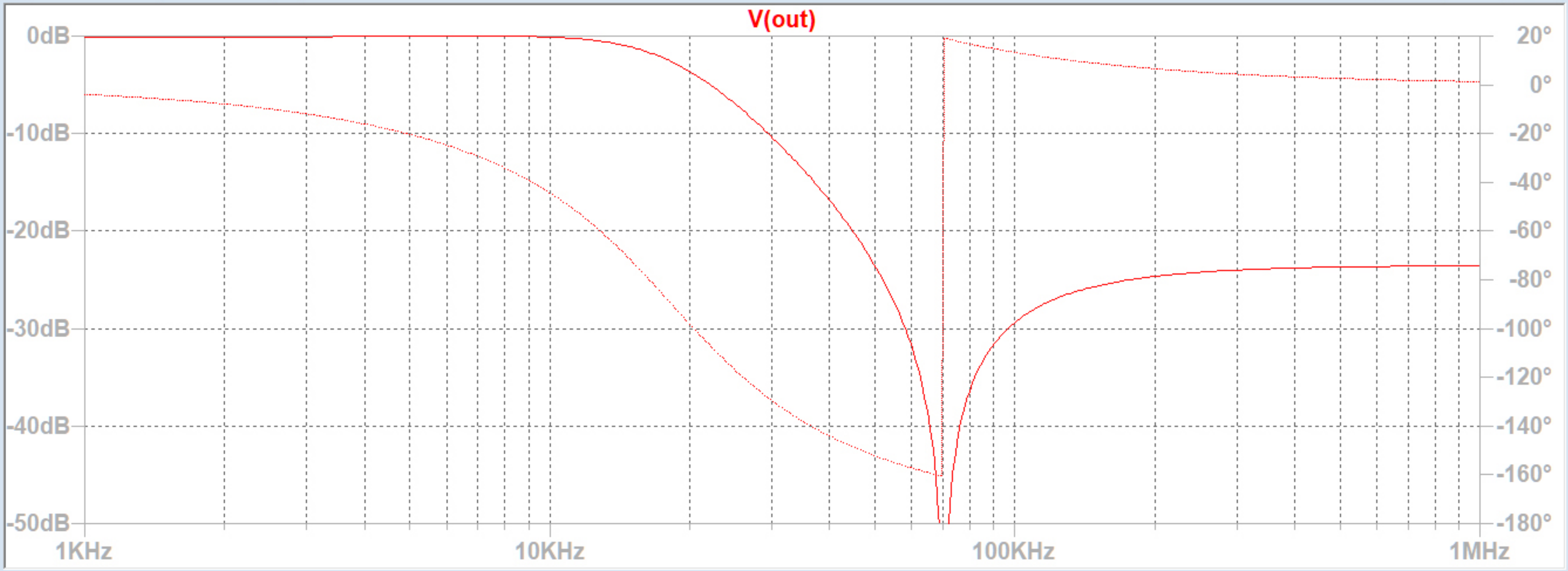
信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生しないが、通過域の減衰量が6dBになる。

2次からと7次のLCフィルターの場合には、信号源インピーダンスを0に設定すると、通過域の減衰量がatp程度になるが、カットオフ周波数付近にピークは発生しない。

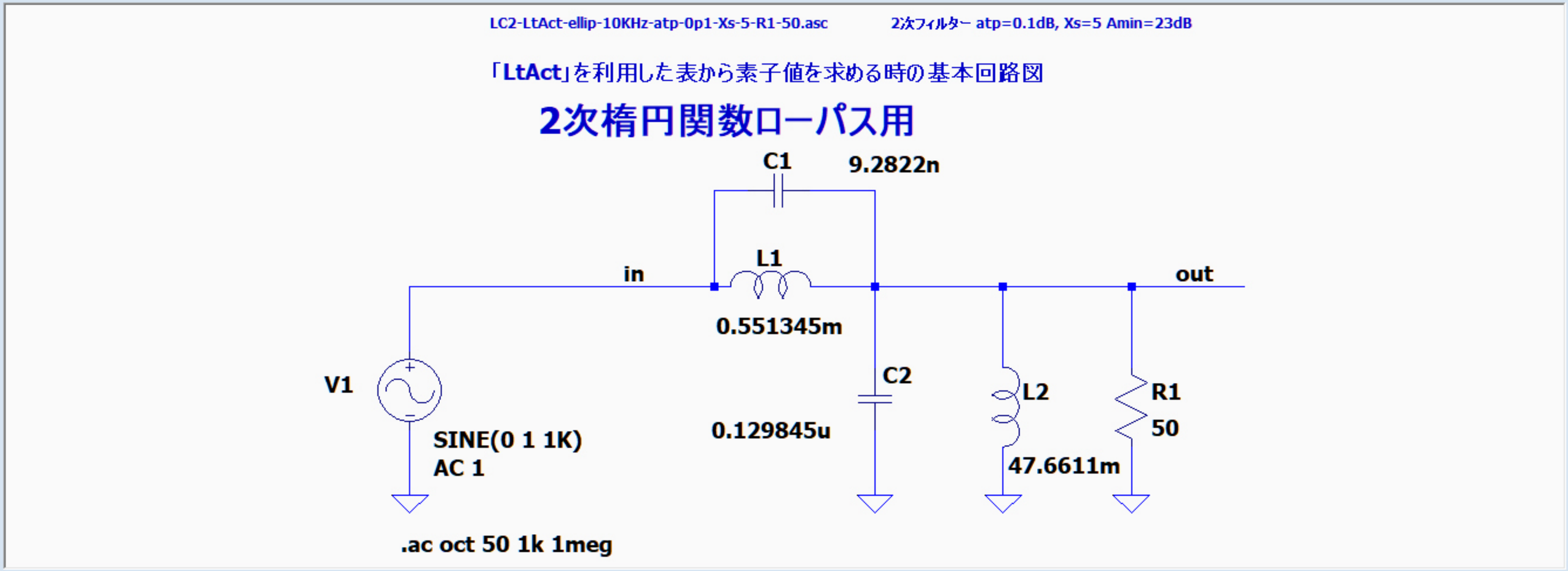
2次からと7次のフィルターでも、信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定すると、カットオフ周波数付近にピークが発生せず、通過域の減衰量が6dBになる。

信号源インピーダンスを負荷抵抗と等しく設定する時は、信号のレベルを6dBに設定すると出力レベルが0dBになります。

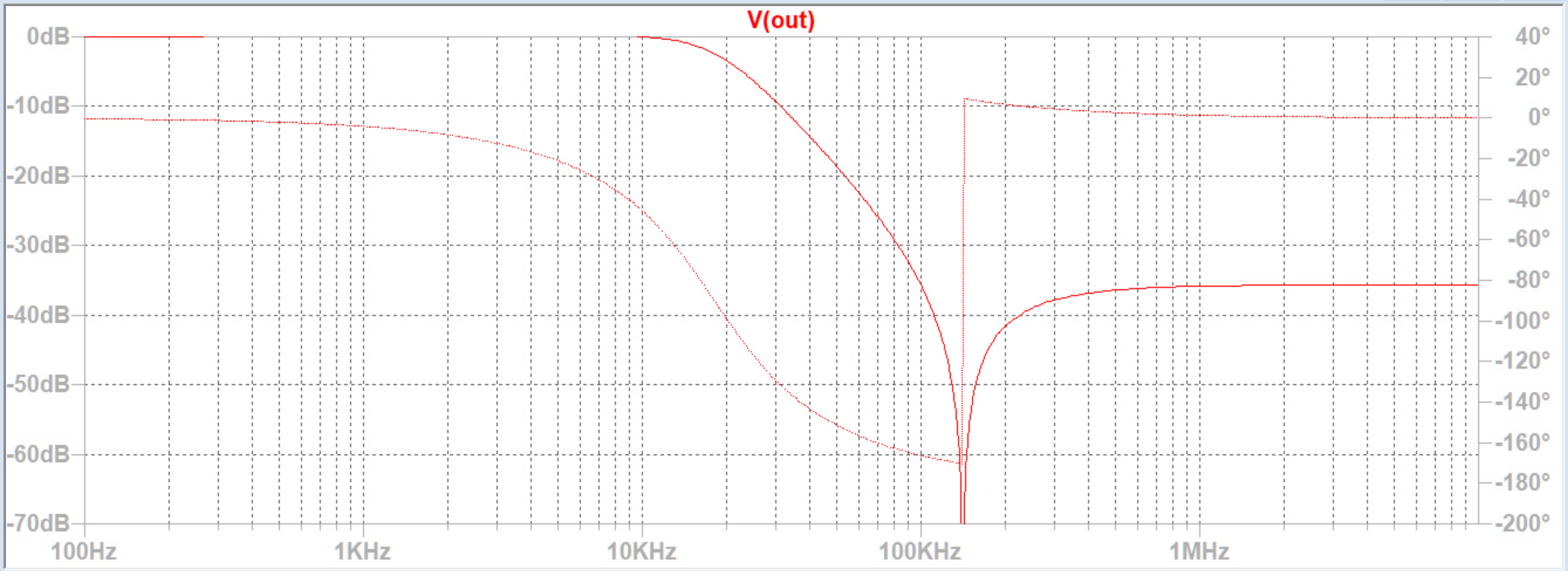
LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-5-R1-50.raw



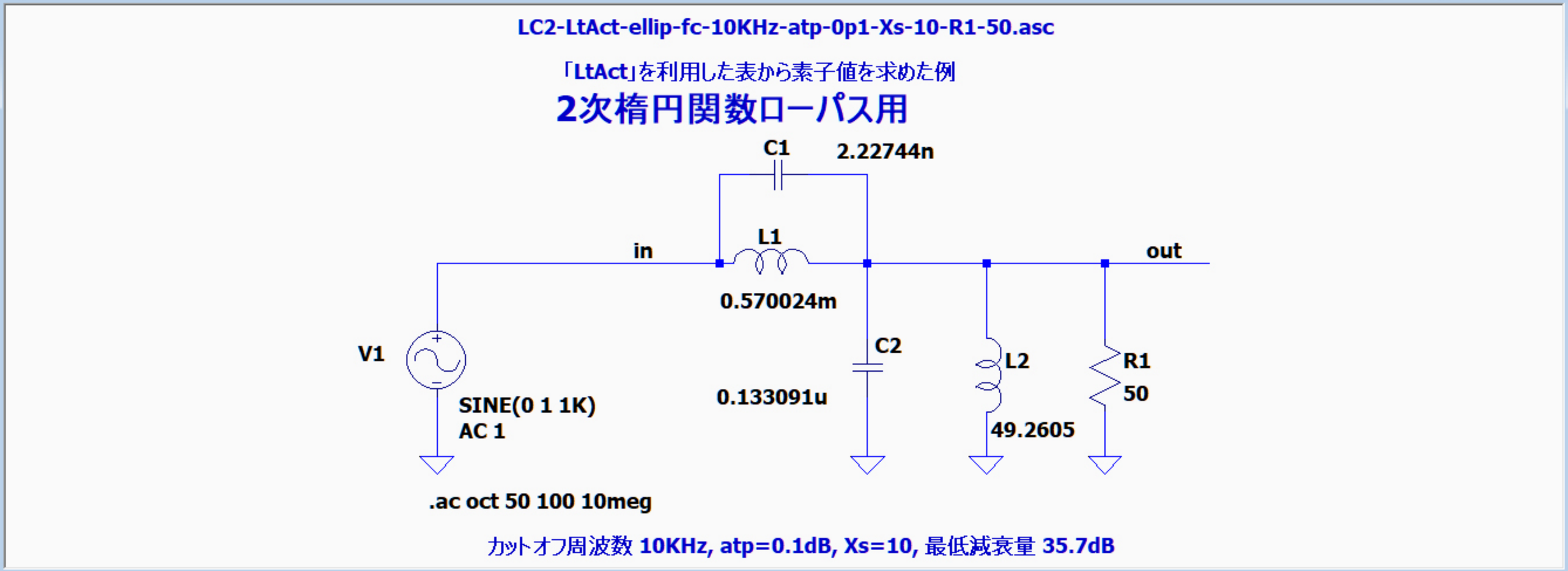
LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-5-R1-50.asc



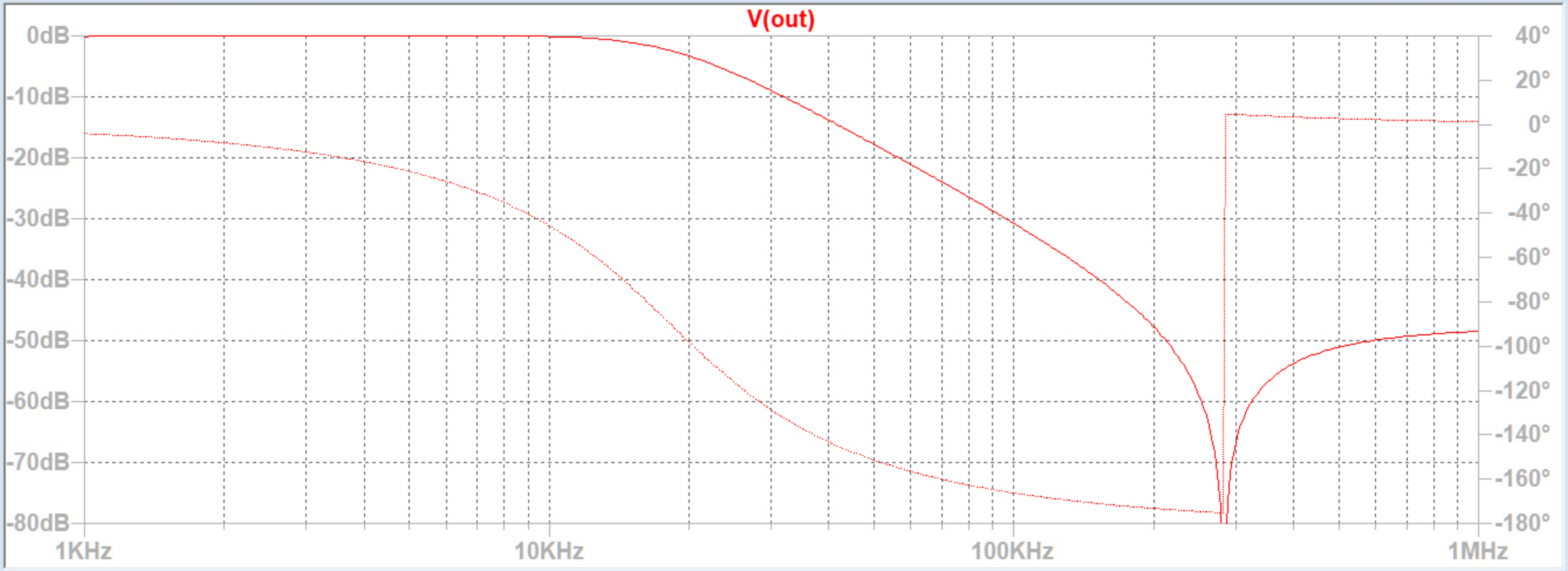
LC2-LtAct-ellip-fc-10KHz-atp-0p1-Xs-10-R1-50.raw



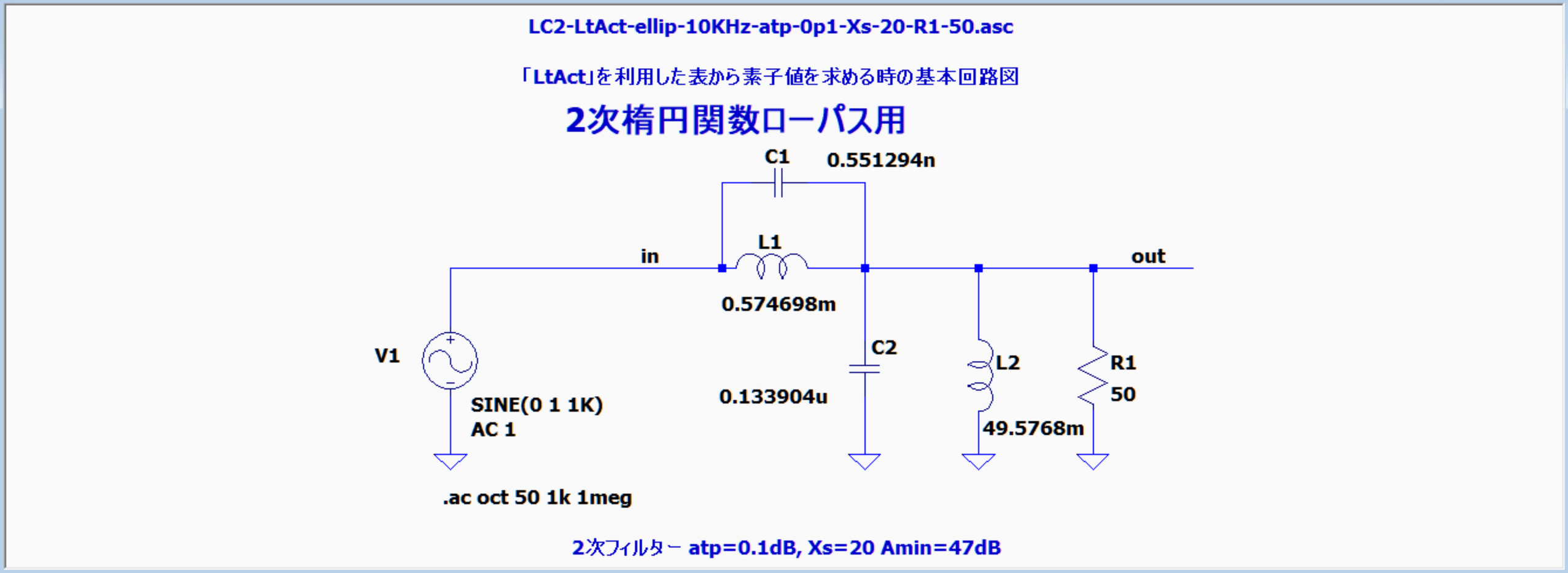
LC2-LtAct-ellip-fc-10KHz-atp-0p1-Xs-10-R1-50.asc



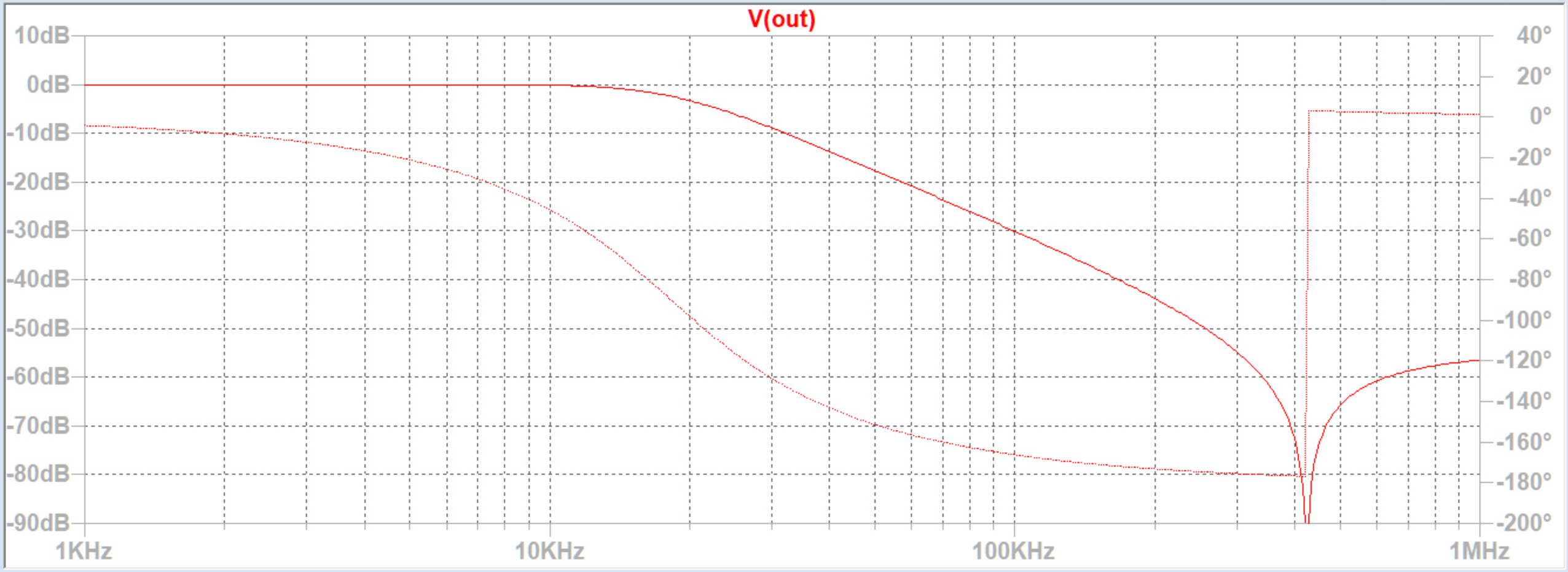
LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-20-R1-50.asc



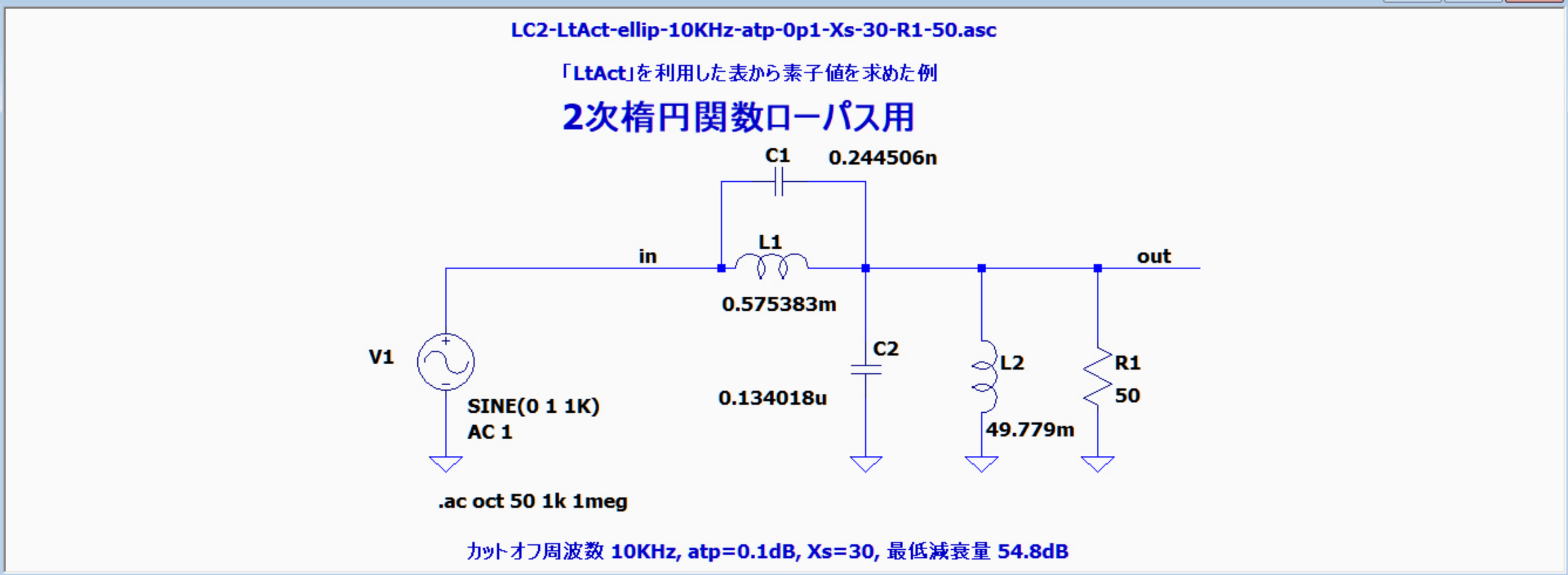
LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-20-R1-50.asc



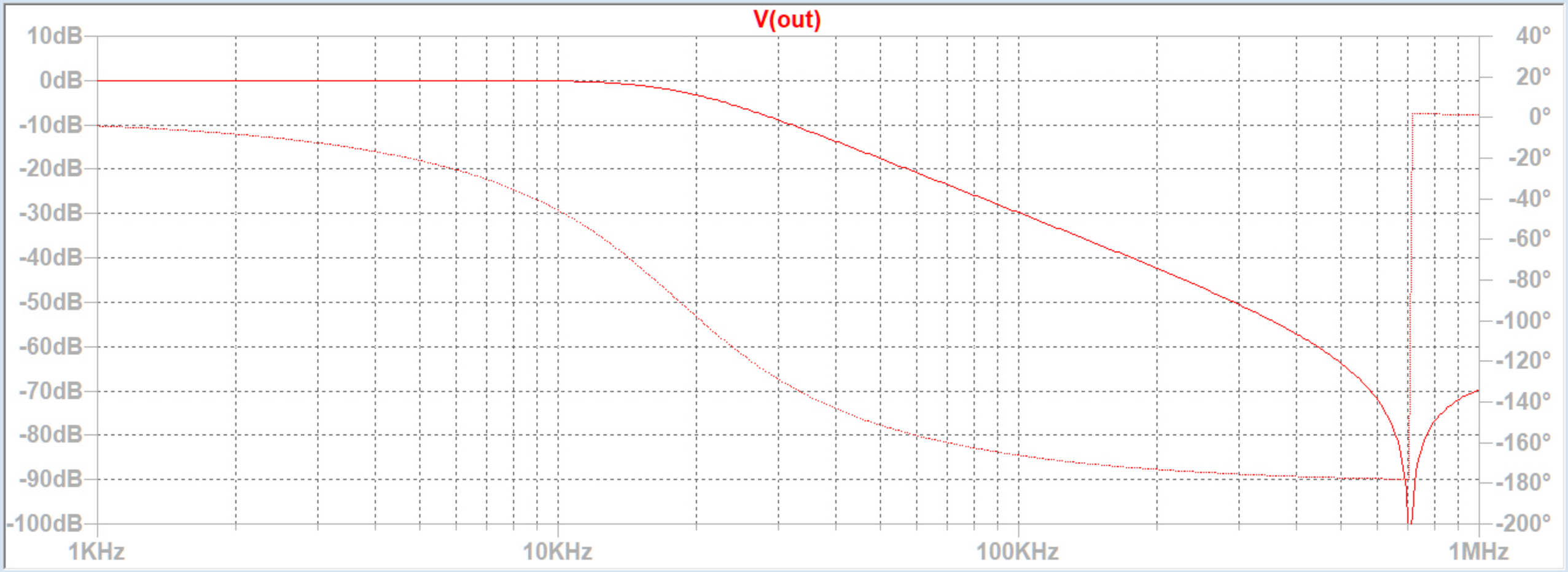
LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-30-R1-50.asc



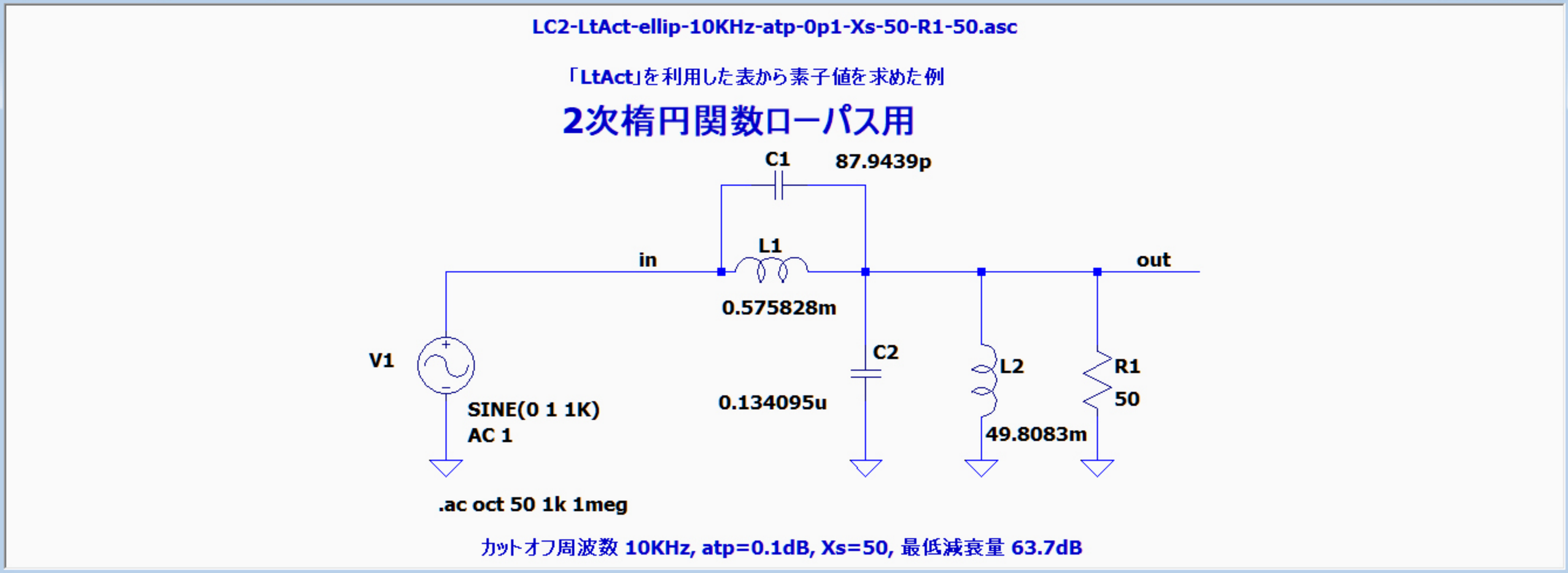
LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-30-R1-50.asc



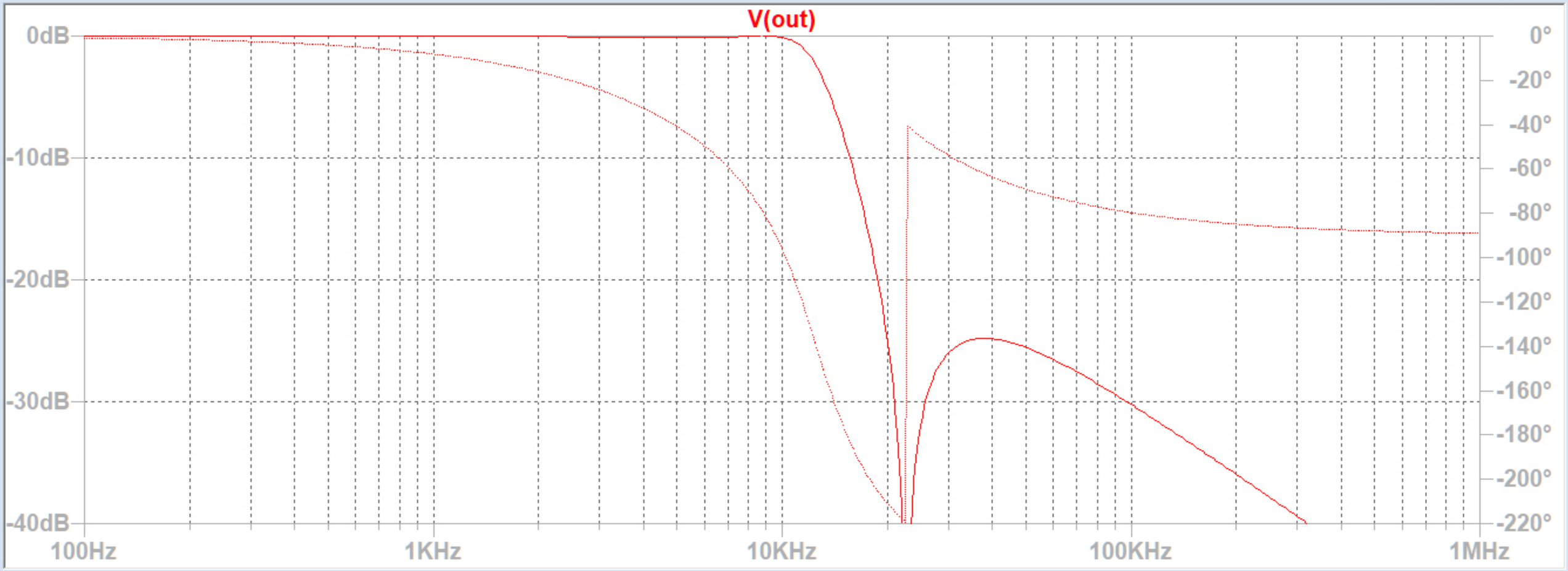
LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-50-R1-50.raw



LC2-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p1-Xs-50-R1-50.asc



LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-2-R1-50.raw

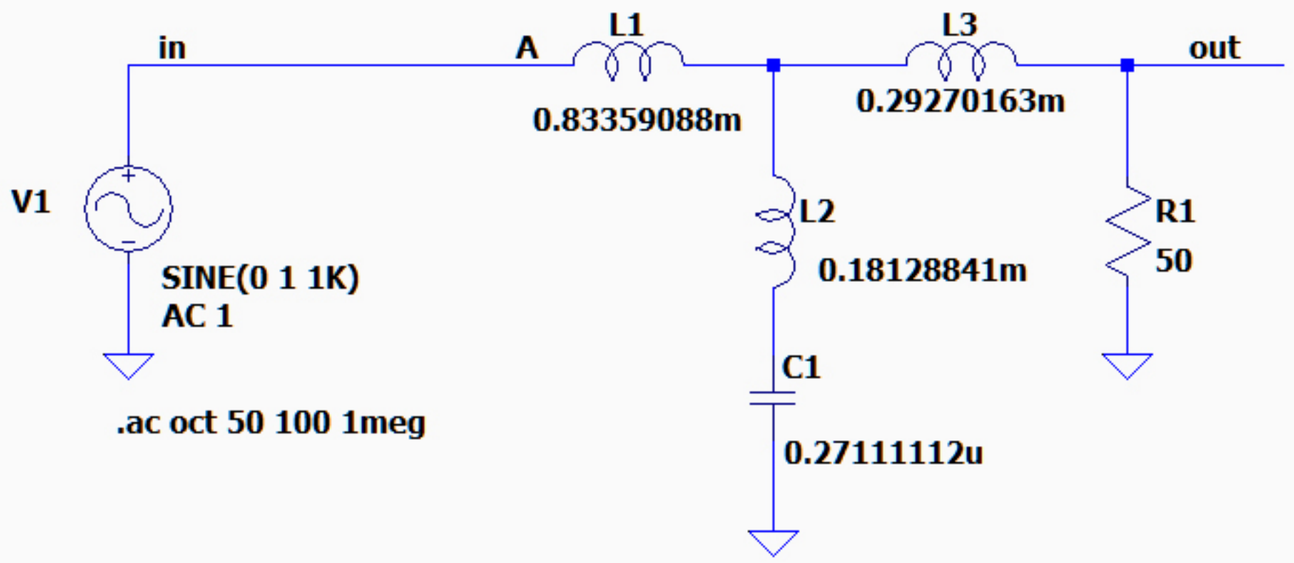


LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-2-R1-50.asc

LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-2-R1-50.asc

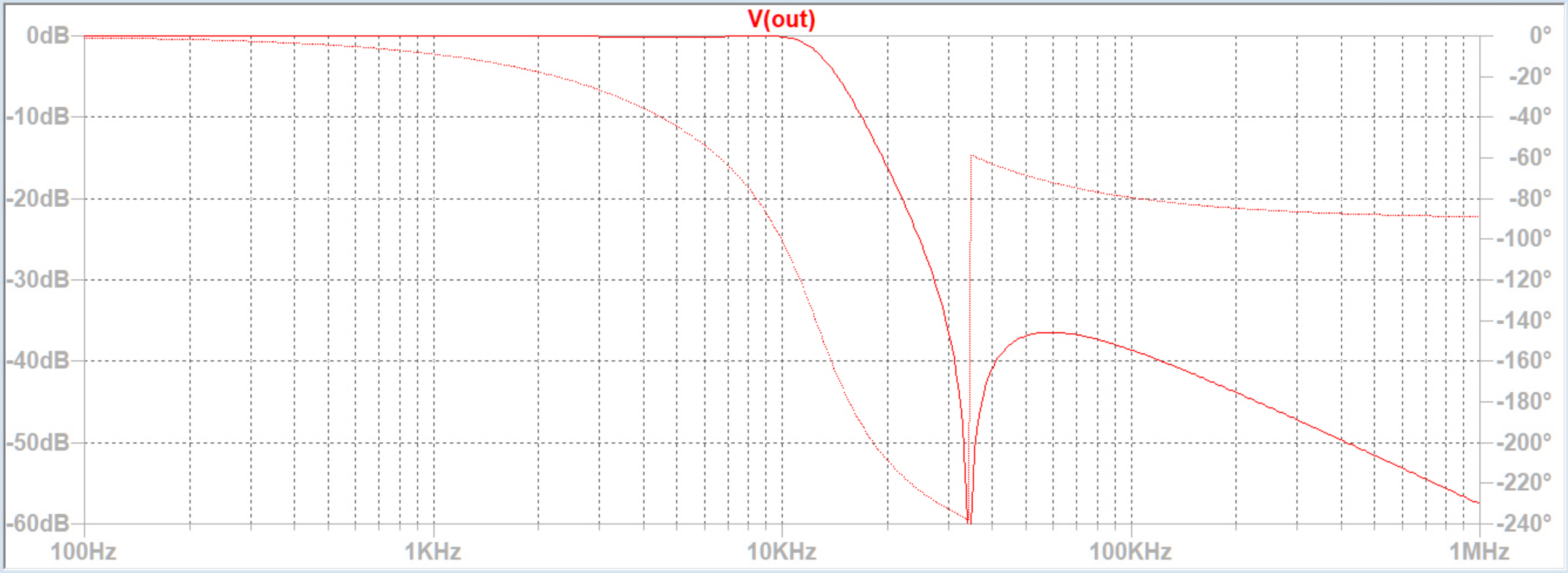
「LtAct」を利用した表から素子値を求める場合、L1、L3の位置に注意する

3次楕円関数ローパスフィルター用



カットオフ周波数 **10KHz, 20KHz**で最低減衰量 **24.8B** に到達

LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-3-R1-50.raw

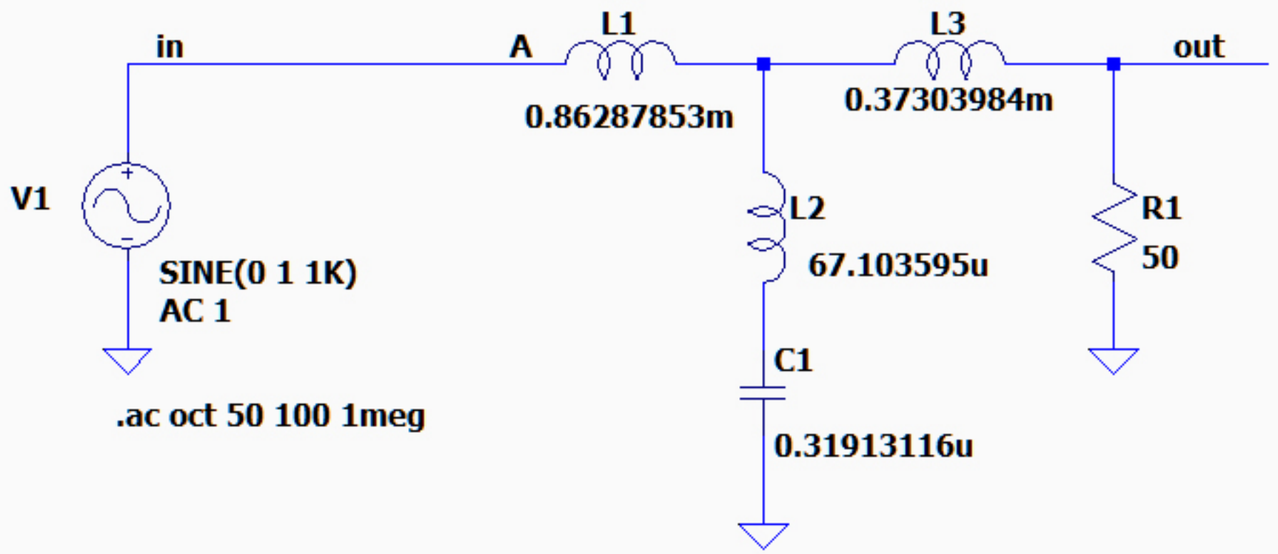


LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-3-R1-50.asc

LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-3-R1-50.asc

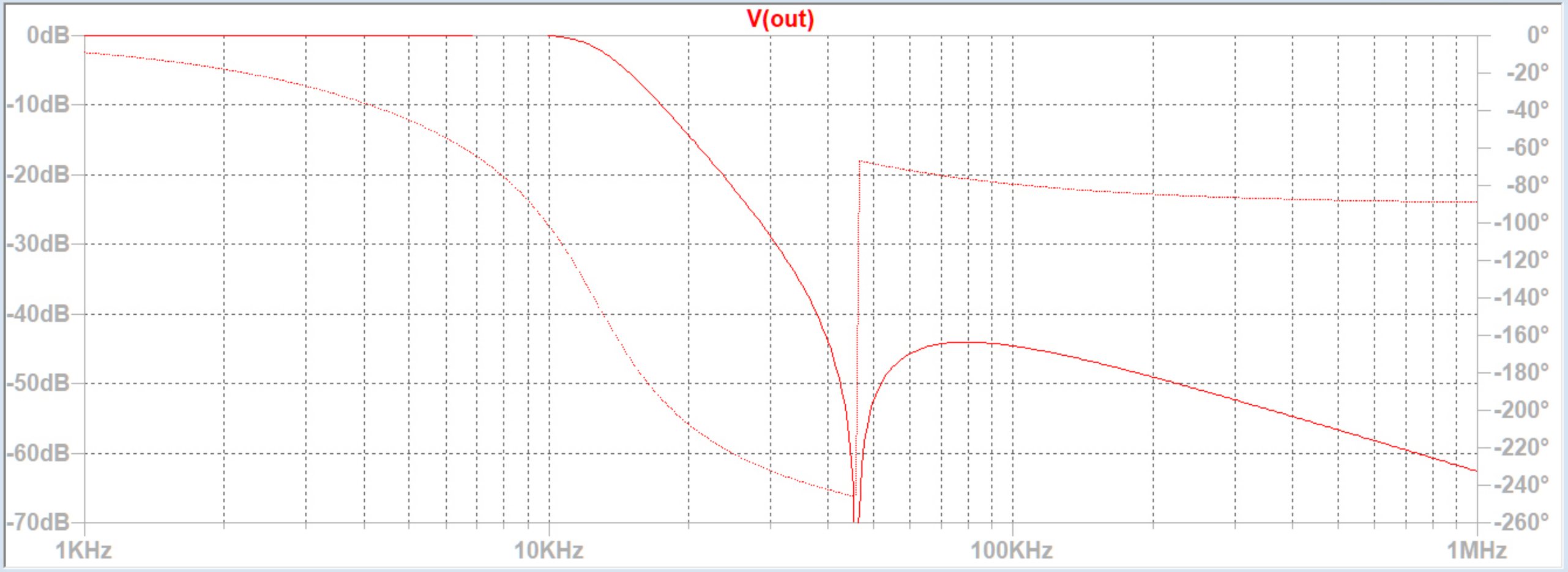
「LtAct」を利用した表から素子値を求める場合、L1、L3の位置に注意する

3次楕円関数ローパスフィルター用



カットオフ周波数 **10KHz, 30KHz**で最低減衰量 **36.4dB** に到達

LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-4-R1-50.raw

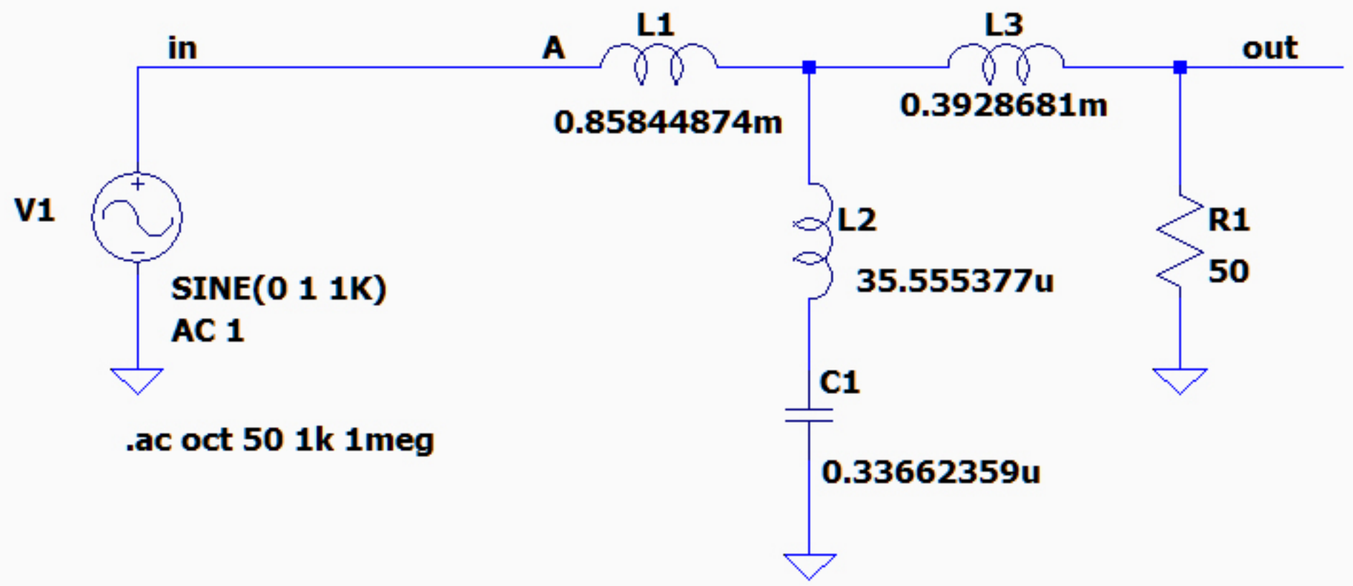


LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-4-R1-50.asc

LC3-LtAct-ellip-10KHz-atp-0p12-Xs-4-R1-50.asc

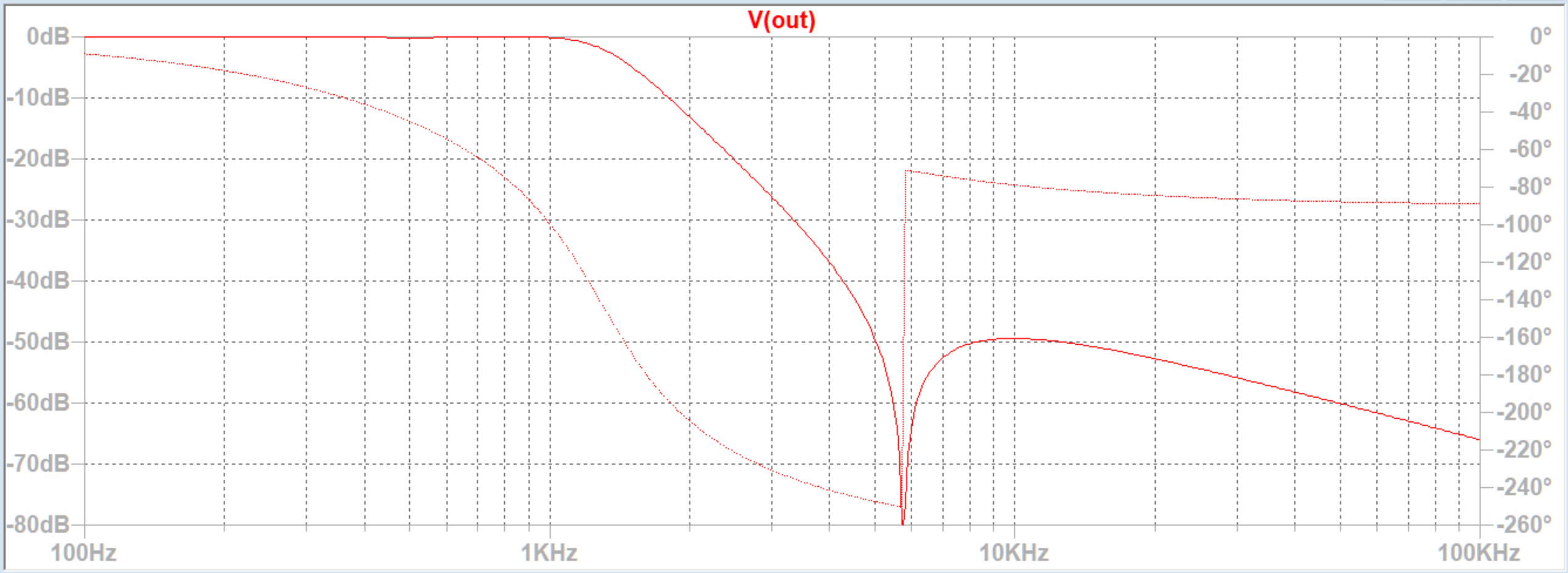
「LtAct」を利用した表から素子値を求める場合、L1、L3の位置に注意する

3次楕円関数ローパスフィルター用



カットオフ周波数 10KHz, 40KHzで最低減衰量 44.2dB に到達

LC3-LtAct-ellip-1KHz-atp-0p1-Xs-5-R1-50.raw

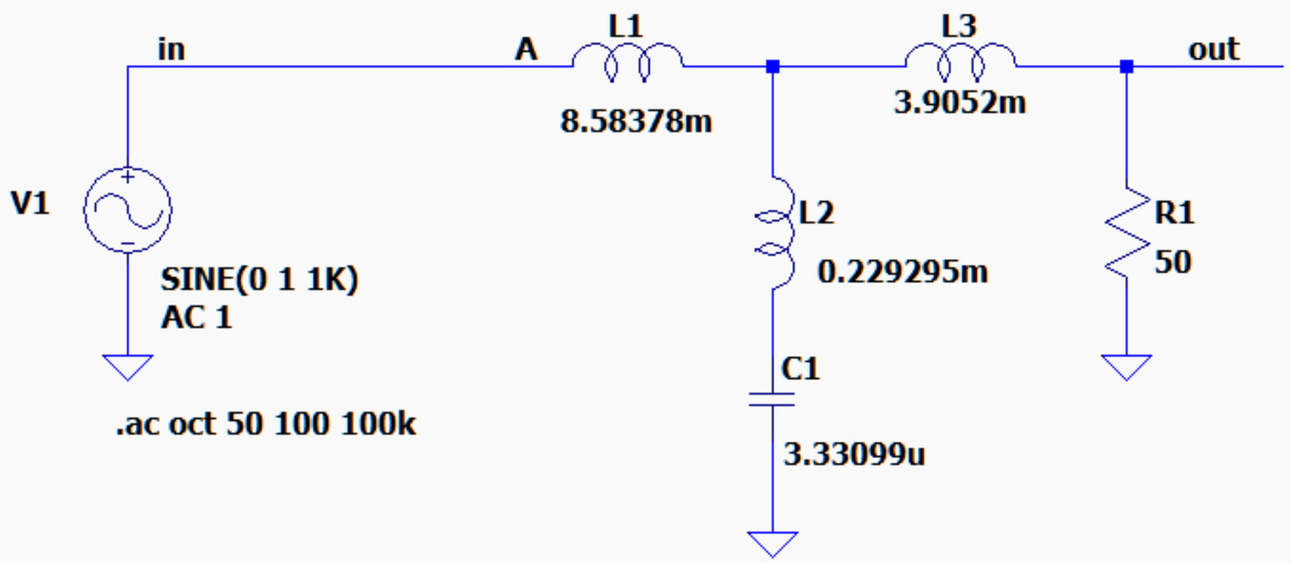


LC3-LtAct-ellip-1KHz-atp-0p1-Xs-5-R1-50.asc

LC3-LtAct-ellip-1KHz-atp-0p1-Xs-5-R1-50.asc

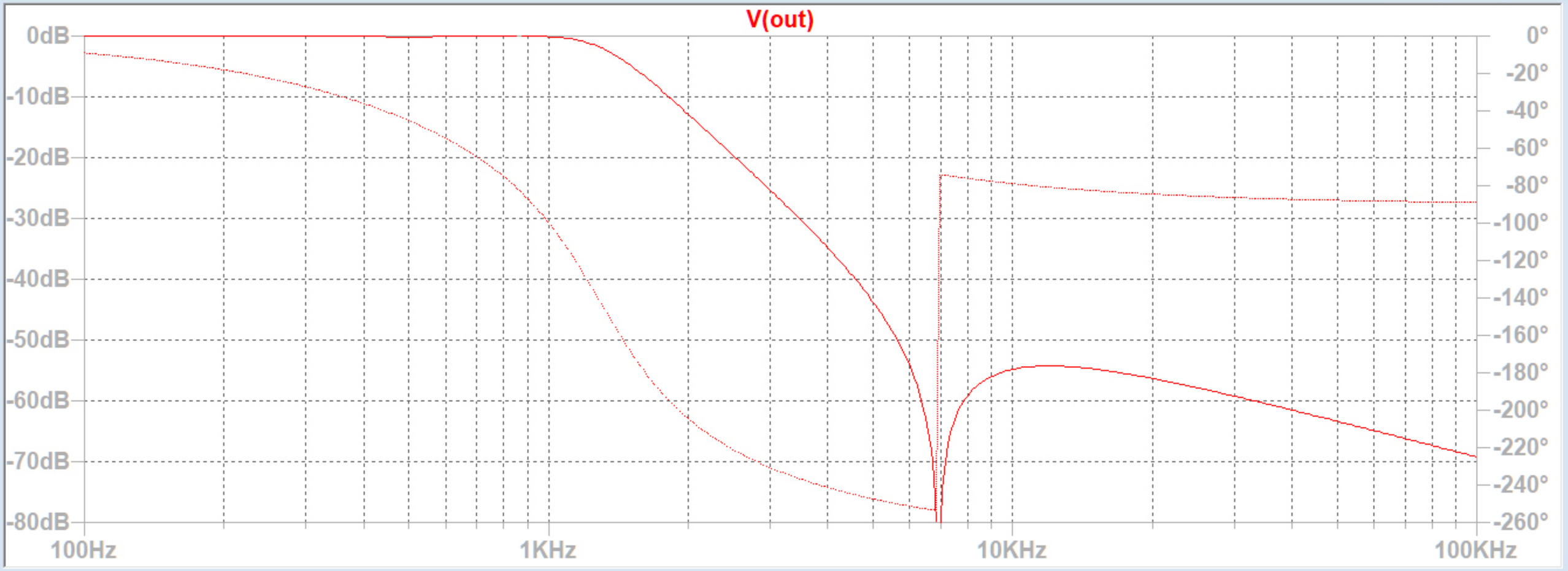
「LtAct」を利用した表から素子値を求める場合、L1、L3の位置に注意する

3次楕円関数ローパスフィルター用



カットオフ周波数 **1KHz, 5KHz**で最低減衰量**49dB**に到達

LC3-LtAct-ellip-1KHz-atp-0p1-Xs-6-R1-50.raw

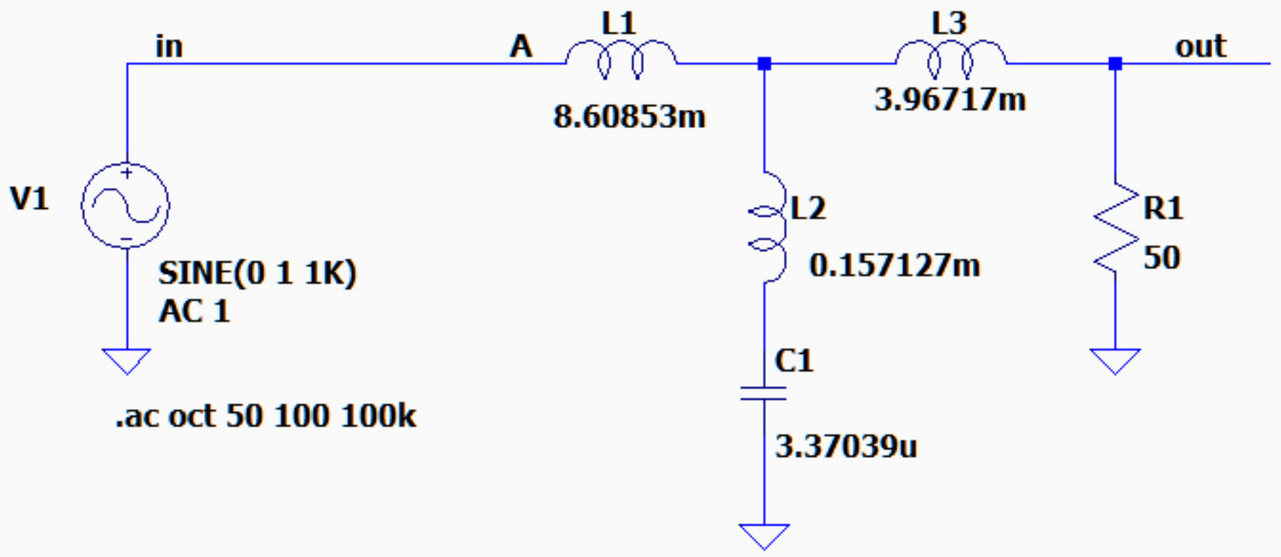


LC3-LtAct-ellip-1KHz-atp-0p1-Xs-6-R1-50.asc

LC3-LtAct-ellip-1KHz-atp-0p1-Xs-6-R1-50.asc

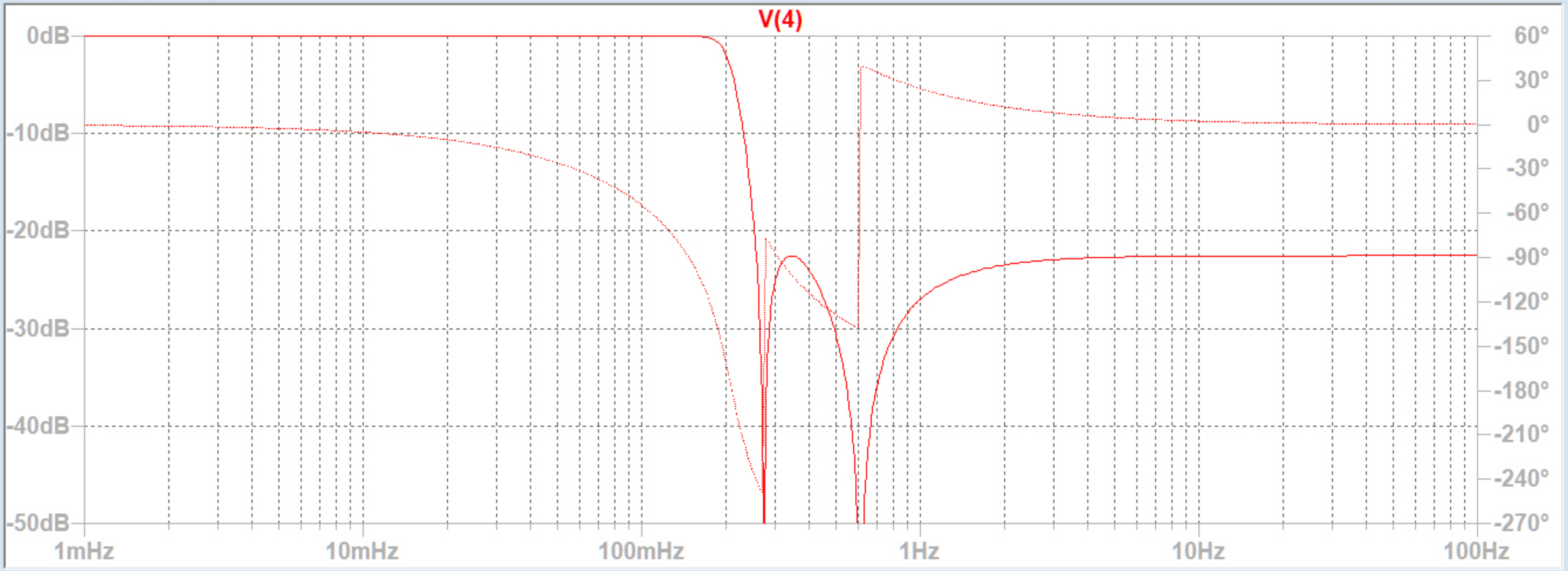
「LtAct」を利用した表から素子値を求める場合、L1、L3の位置に注意する

3次楕円関数ローパスフィルター用

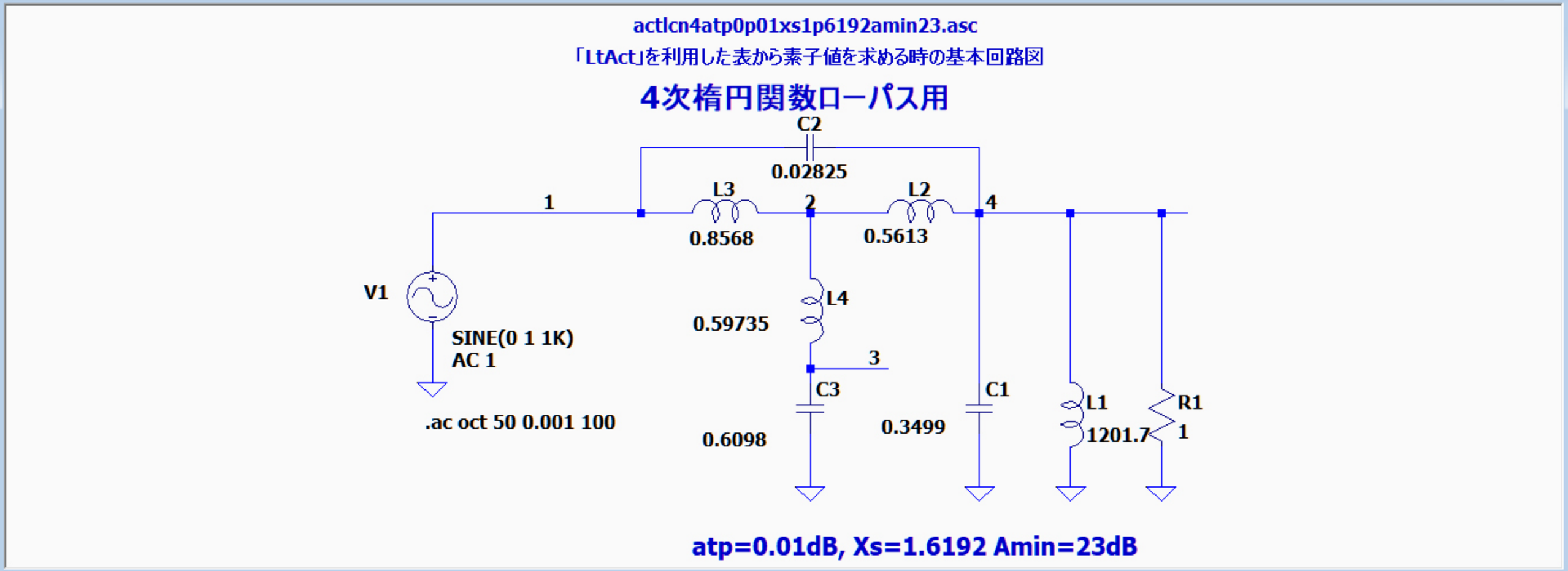


カットオフ周波数 **1KHz, 6KHz**で最低減衰量 **54dB** に到達

actlcn4atp0p01xs1p6192amin23.raw



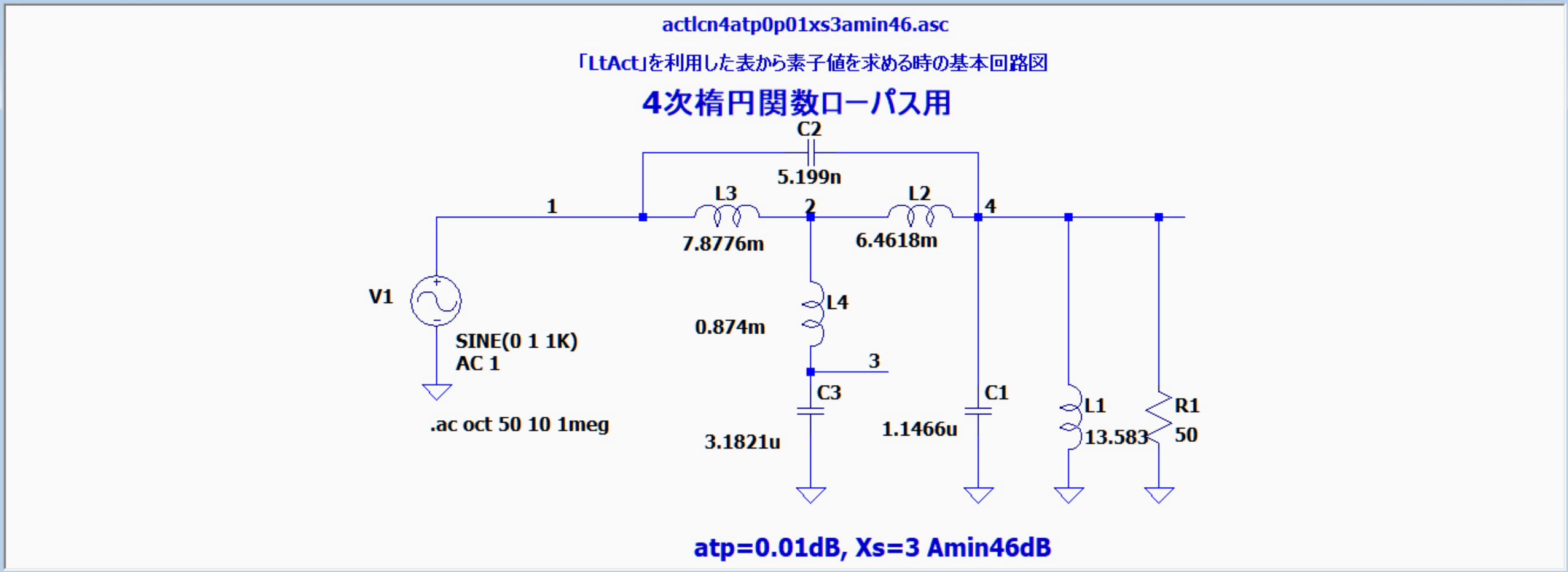
actlcn4atp0p01xs1p6192amin23.asc



actlcn4atp0p01xs3amin46.raw



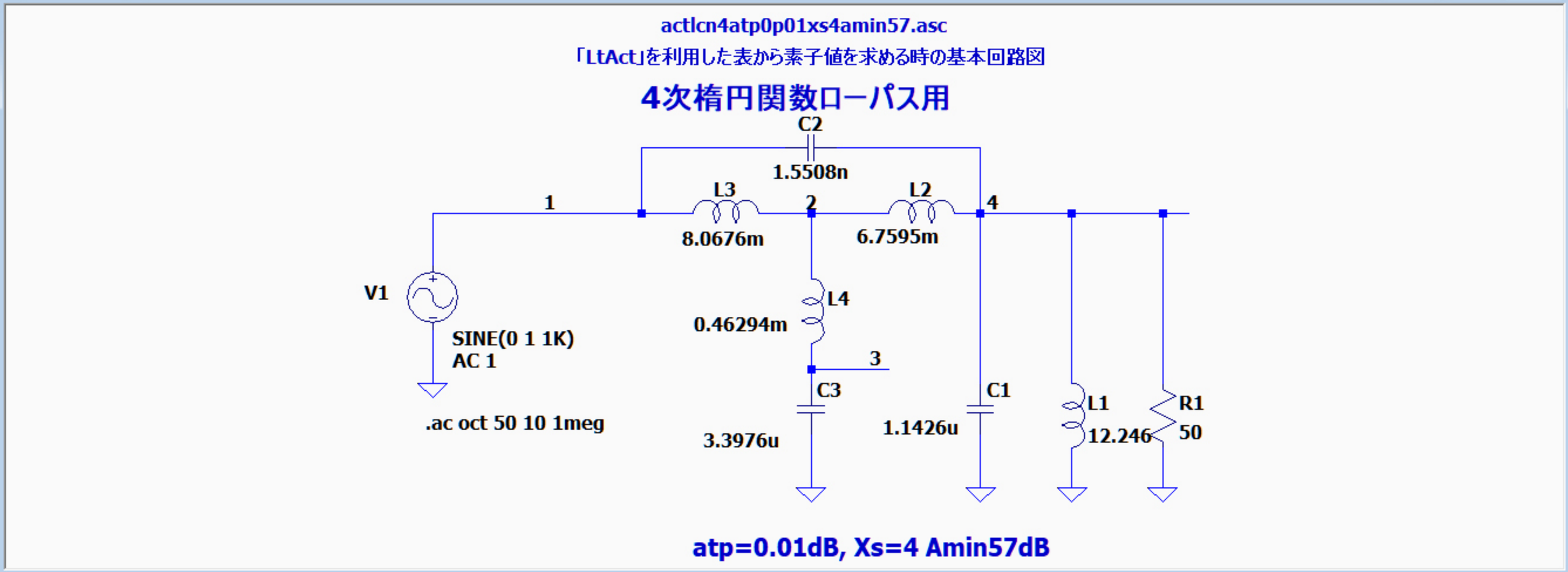
actlcn4atp0p01xs3amin46.asc



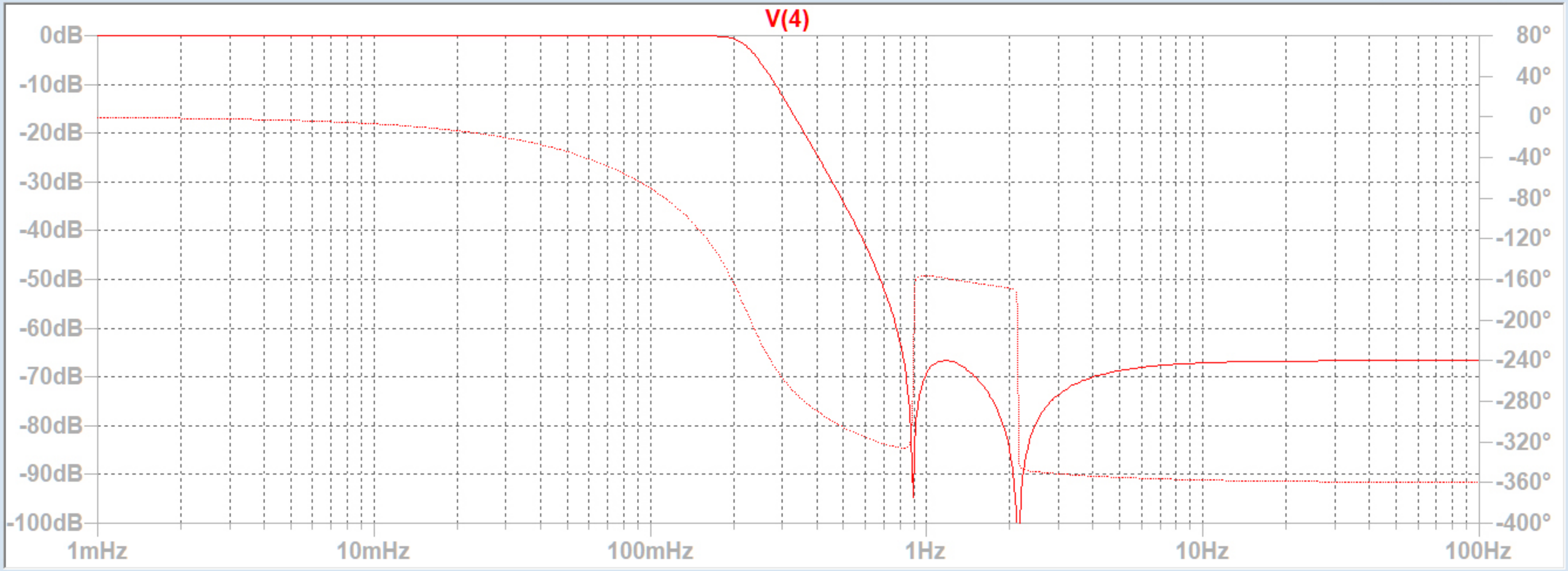
actlcn4atp0p01xs4amin57.raw



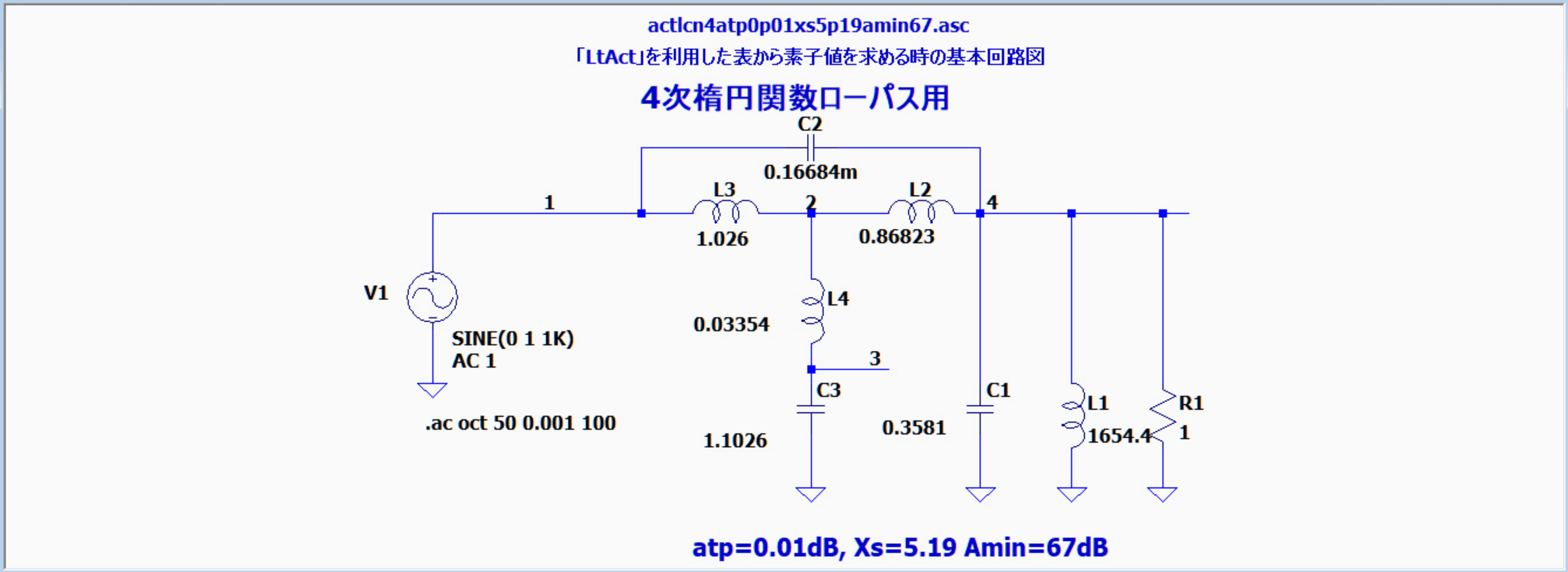
actlcn4atp0p01xs4amin57.asc



actlcn4atp0p01xs5p19amin67.raw



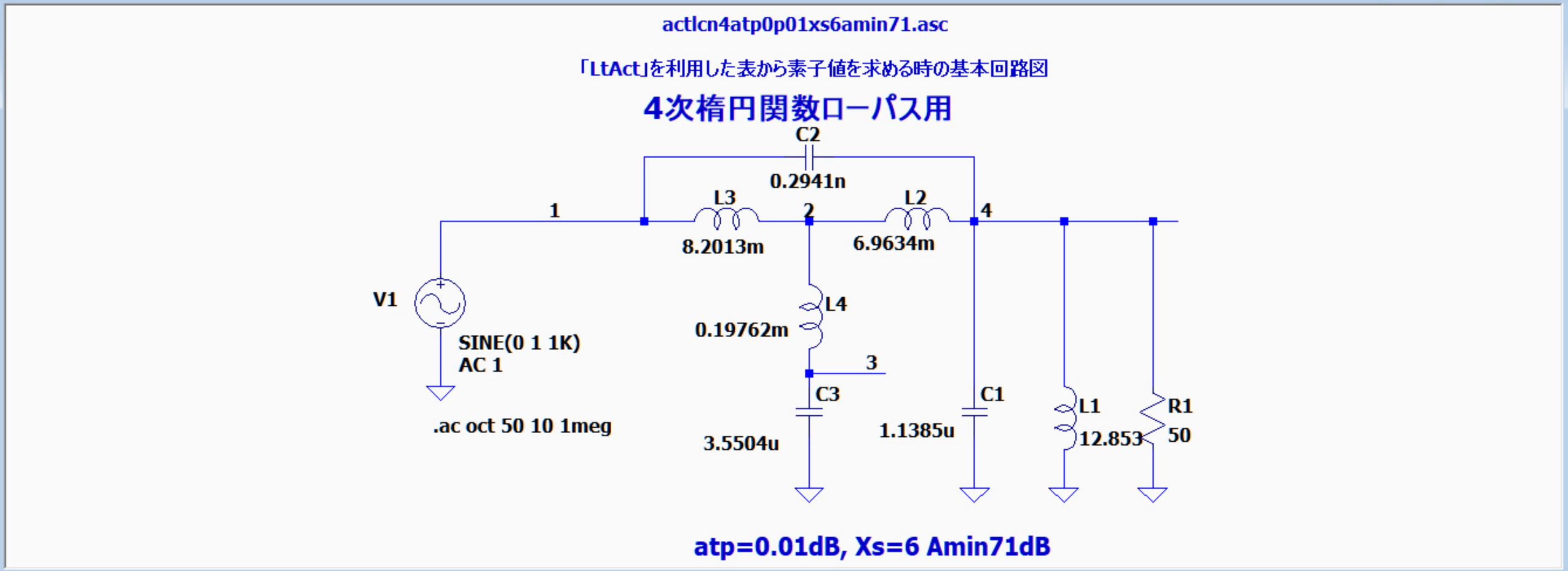
actlcn4atp0p01xs5p19amin67.asc



actlcn4atp0p01xs6amin71.raw



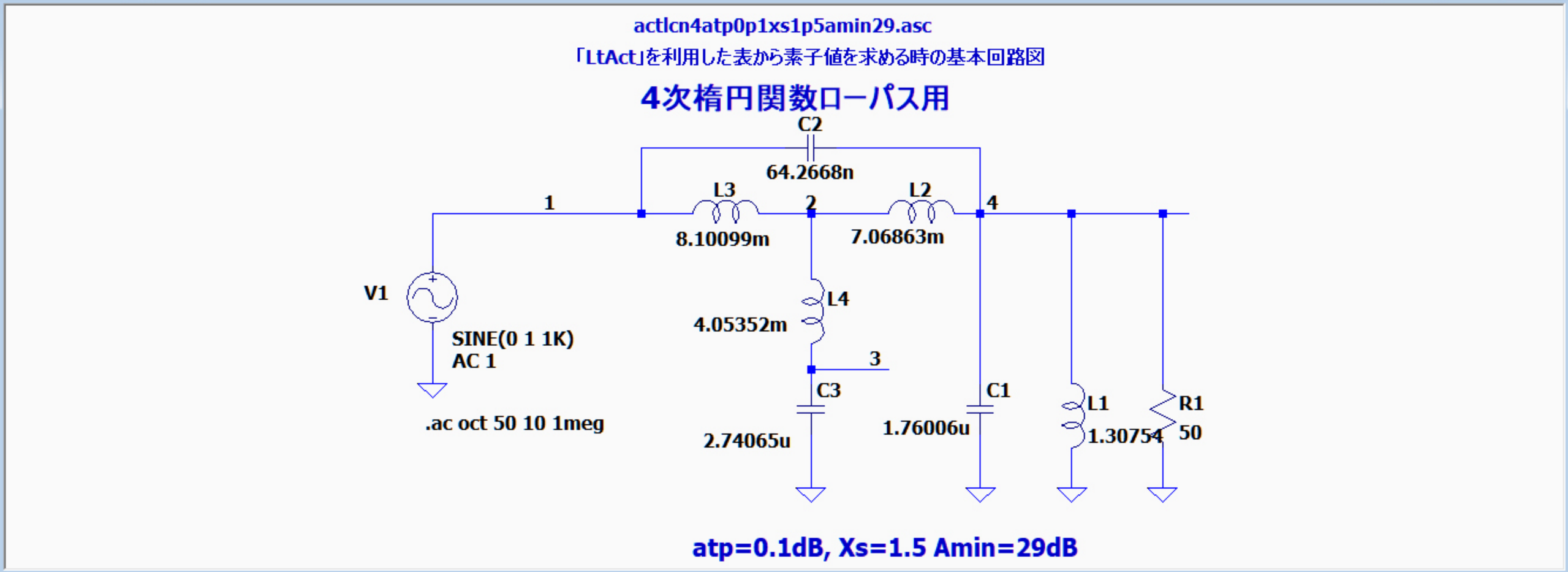
actlcn4atp0p01xs6amin71.asc



actlcn4atp0p1xs1p5amin29.raw



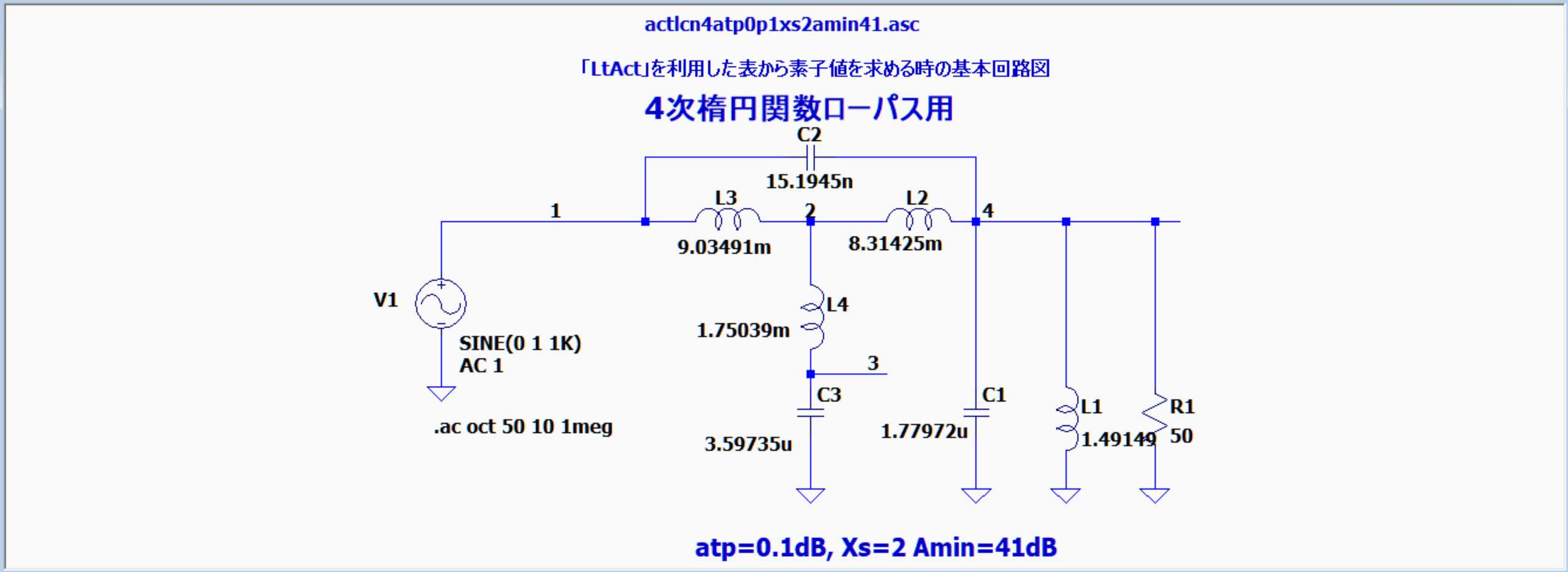
actlcn4atp0p1xs1p5amin29.asc



actlcn4atp0p1xs2amin41.raw



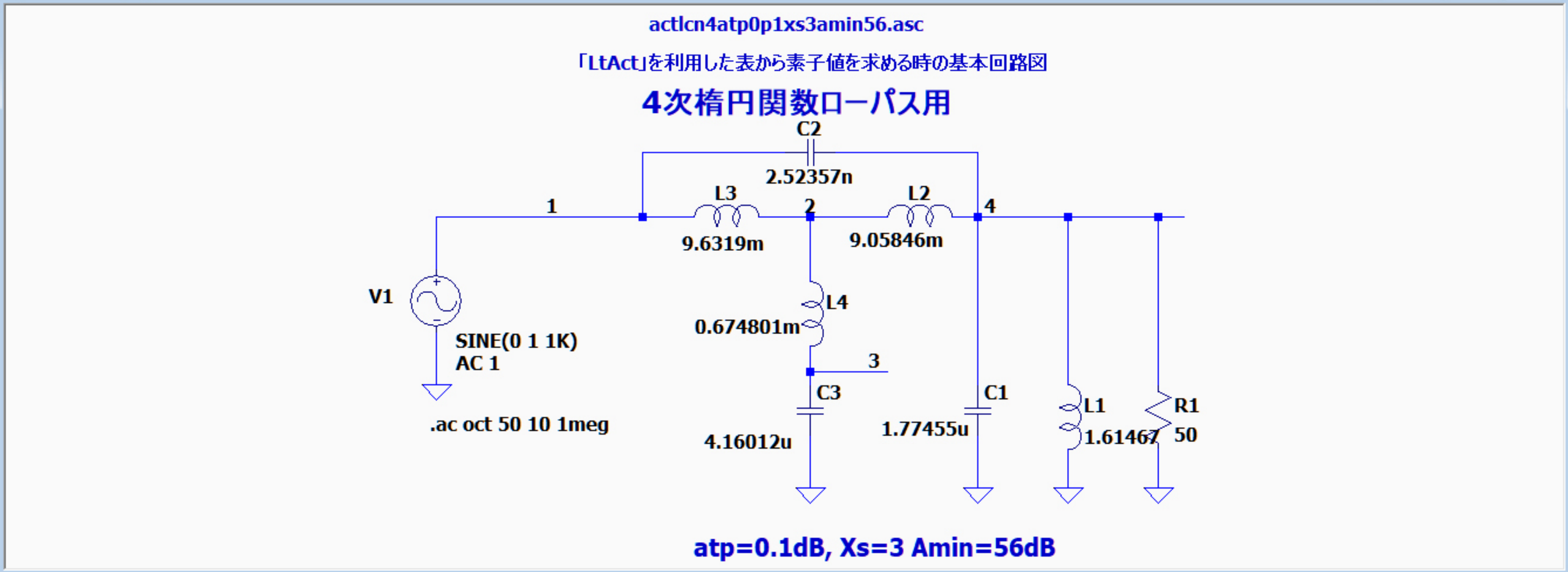
actlcn4atp0p1xs2amin41.asc



actlcn4atp0p1xs3amin56.raw



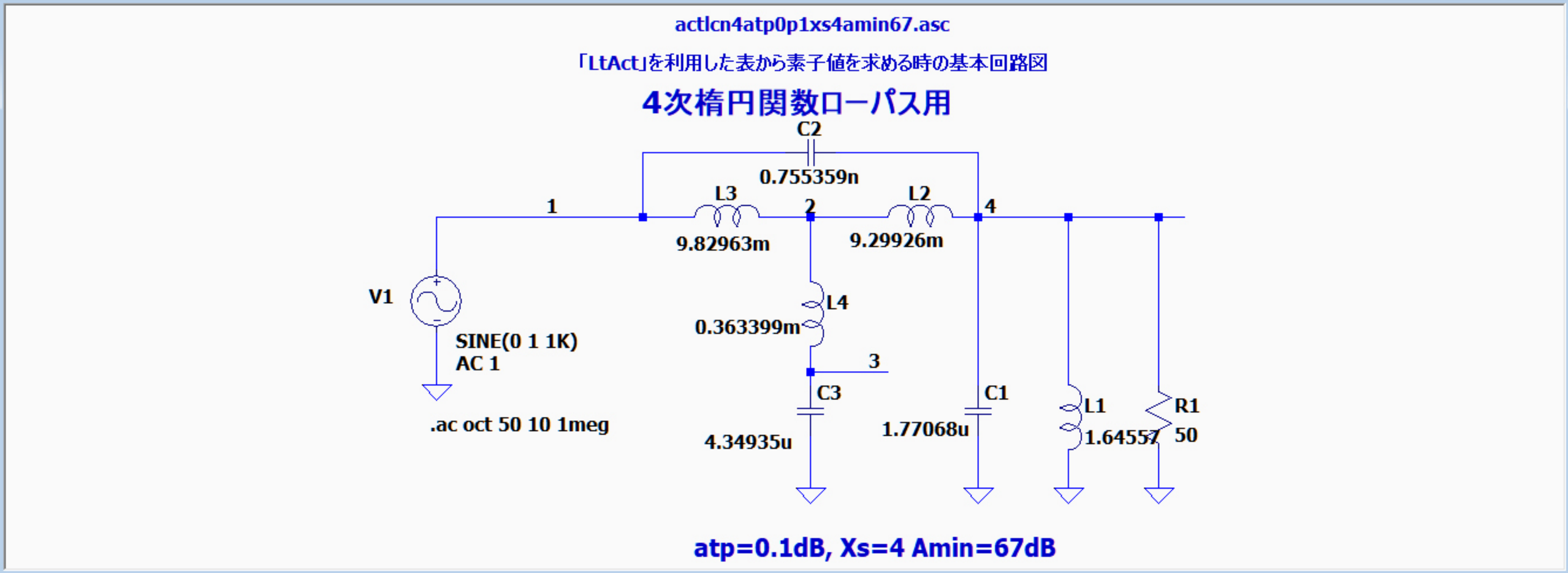
actlcn4atp0p1xs3amin56.asc



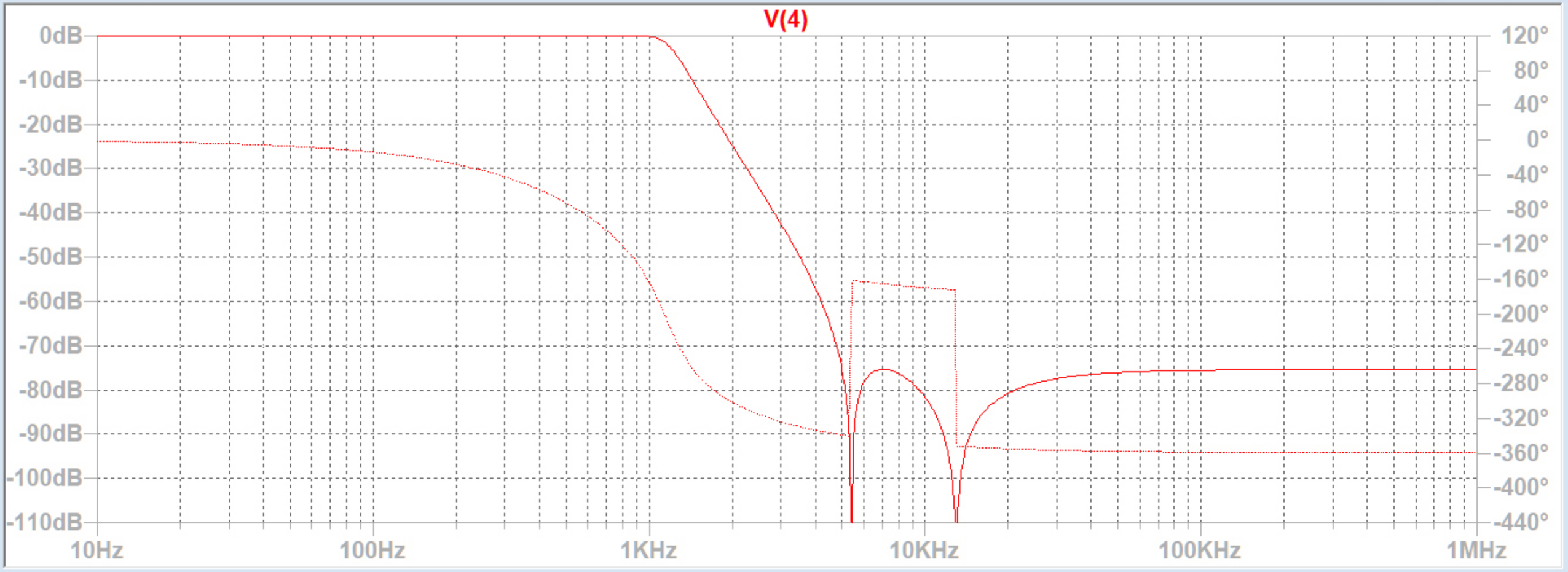
actlcn4atp0p1xs4amin67.raw



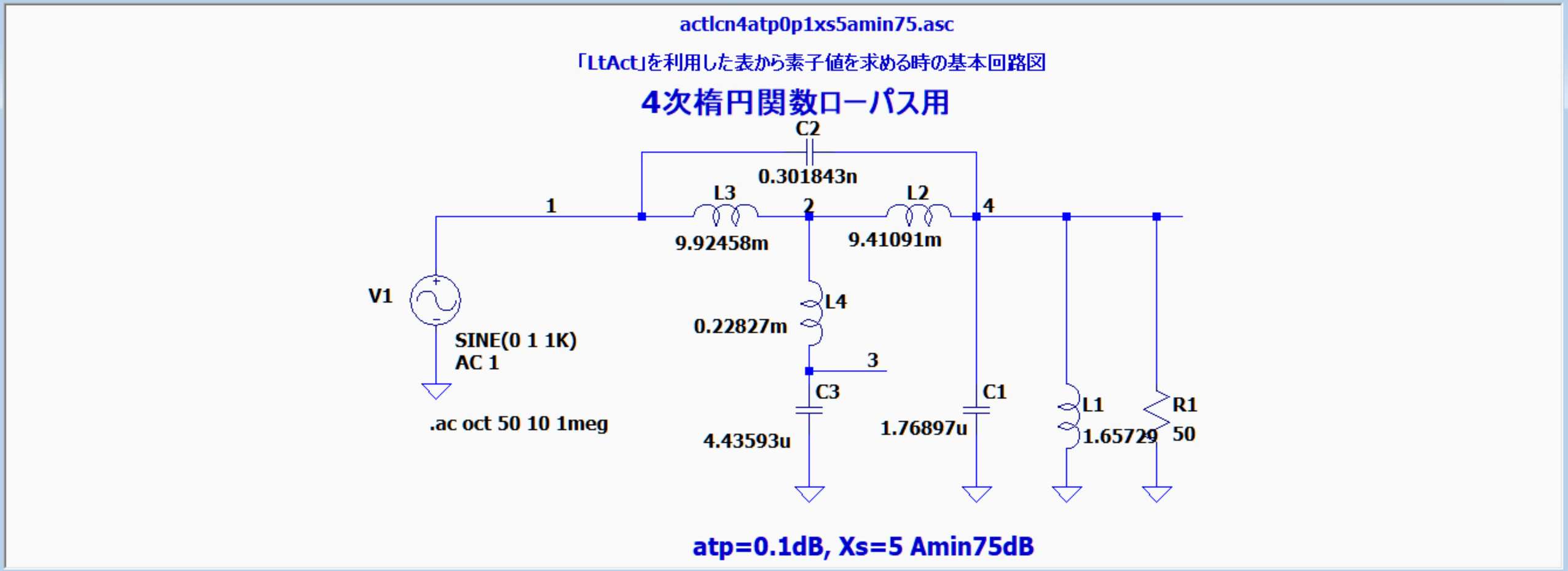
actlcn4atp0p1xs4amin67.asc



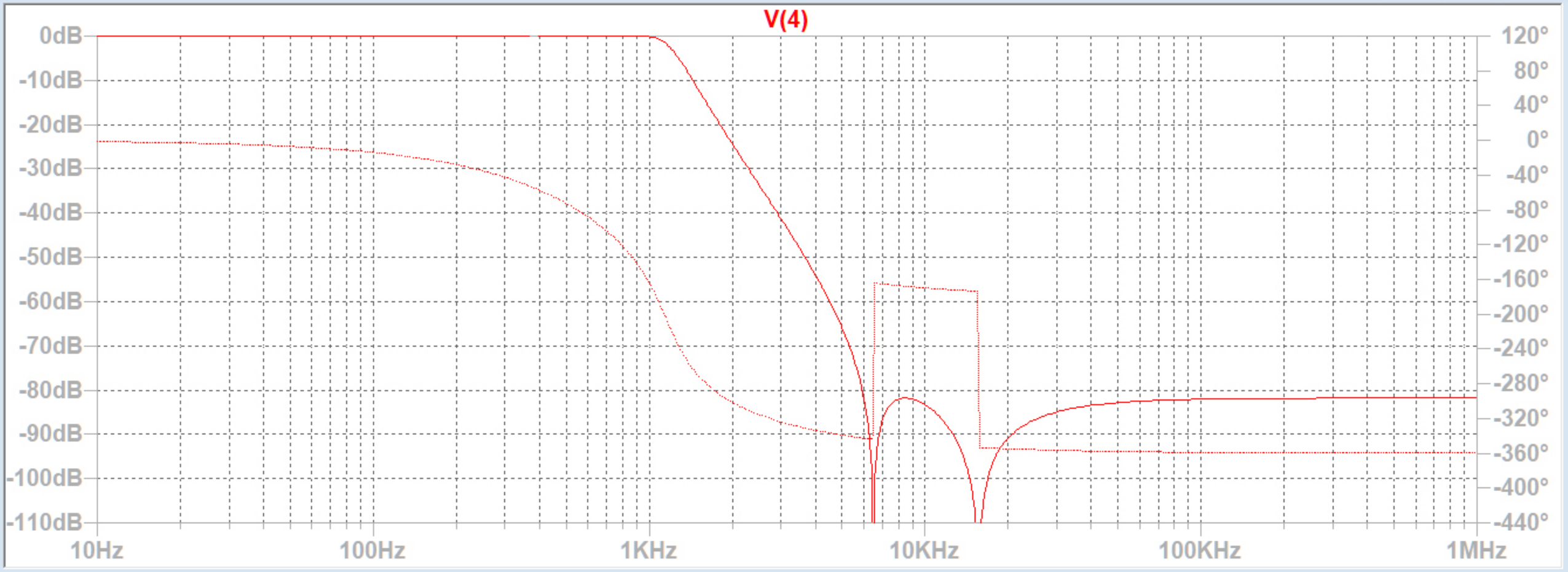
actlcn4atp0p1xs5amin75.raw



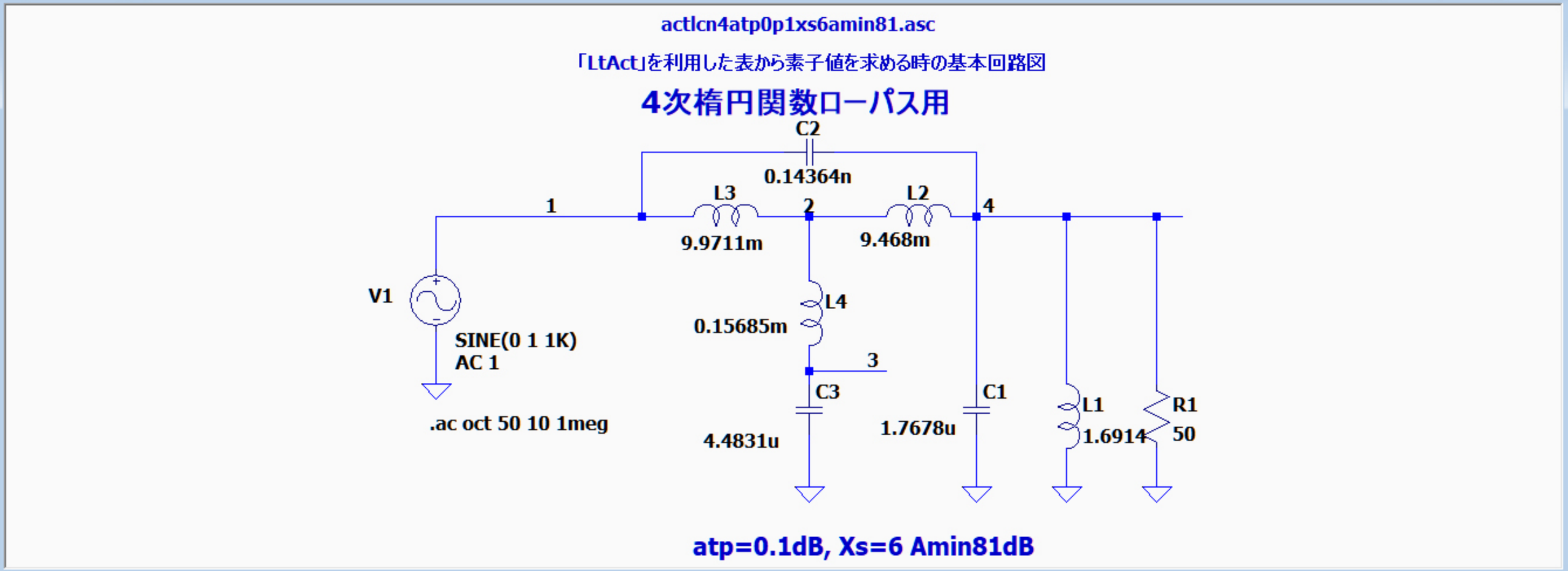
actlcn4atp0p1xs5amin75.asc



actlcn4atp0p1xs6amin81.raw

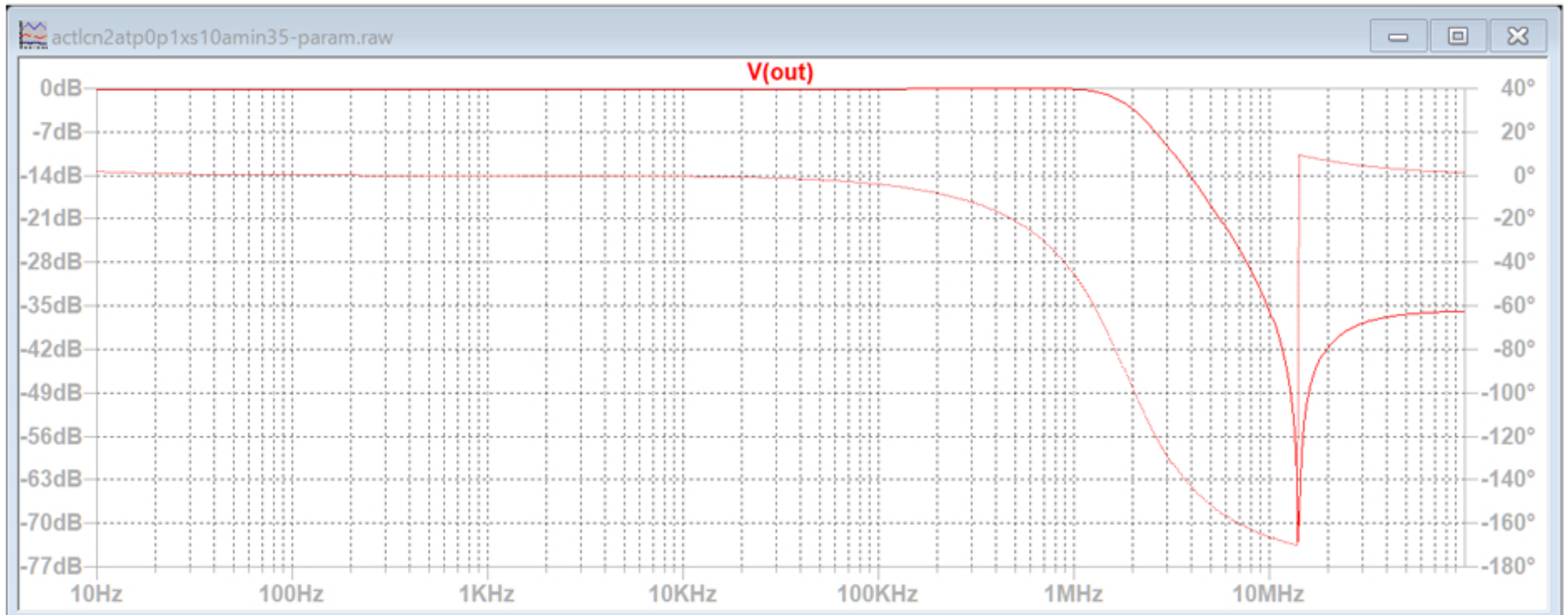


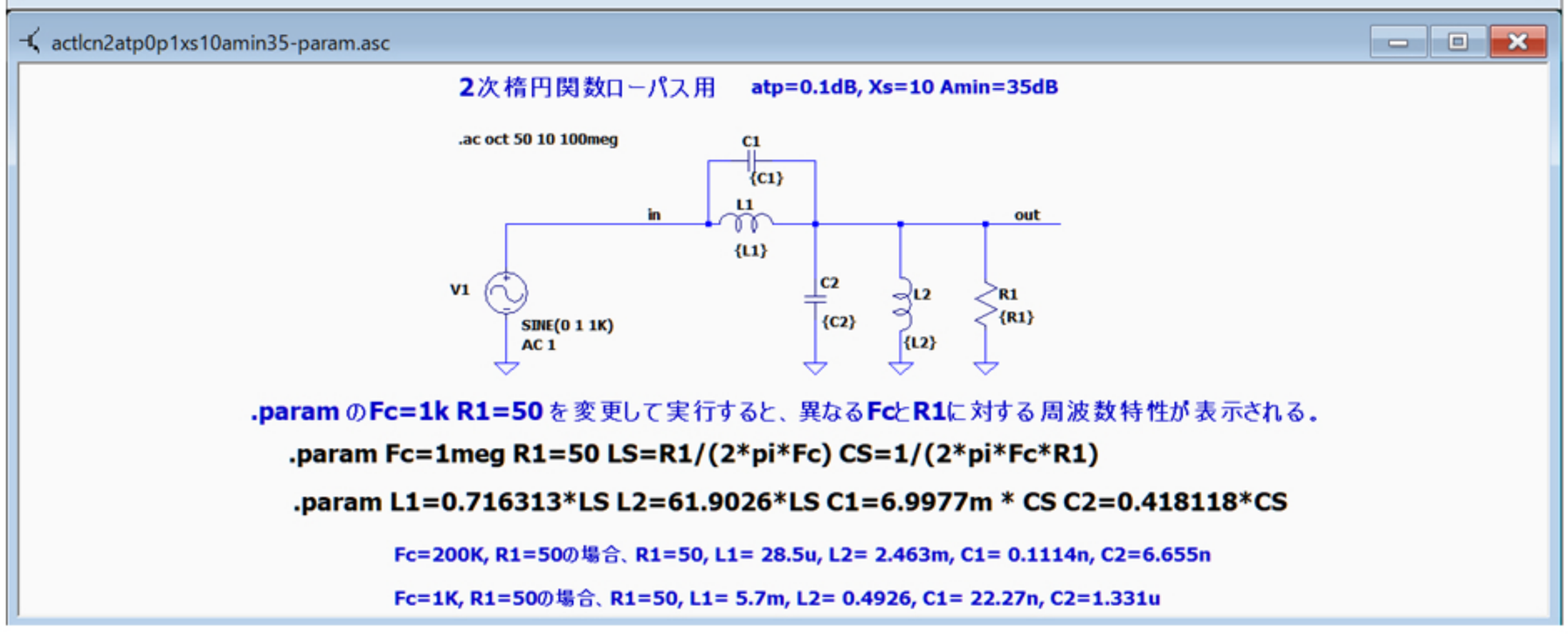
actlcn4atp0p1xs6amin81.asc



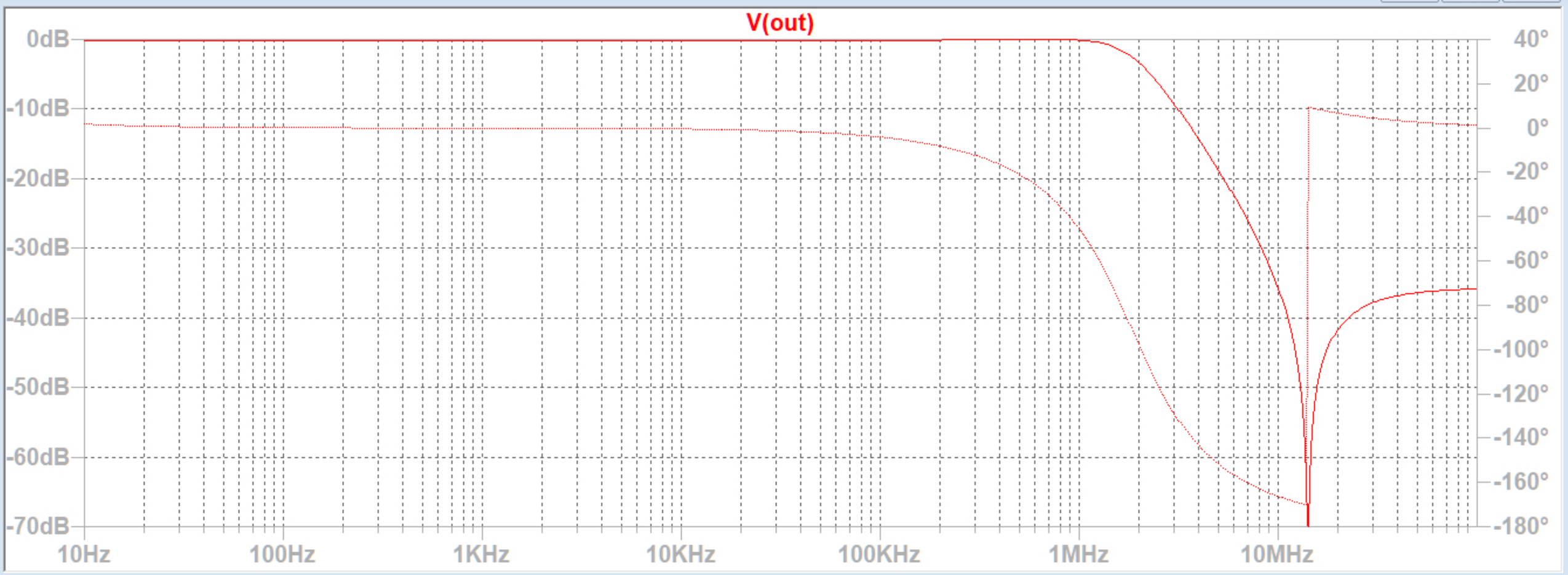
LCフィルター

マクロで作成した回路図を活用する



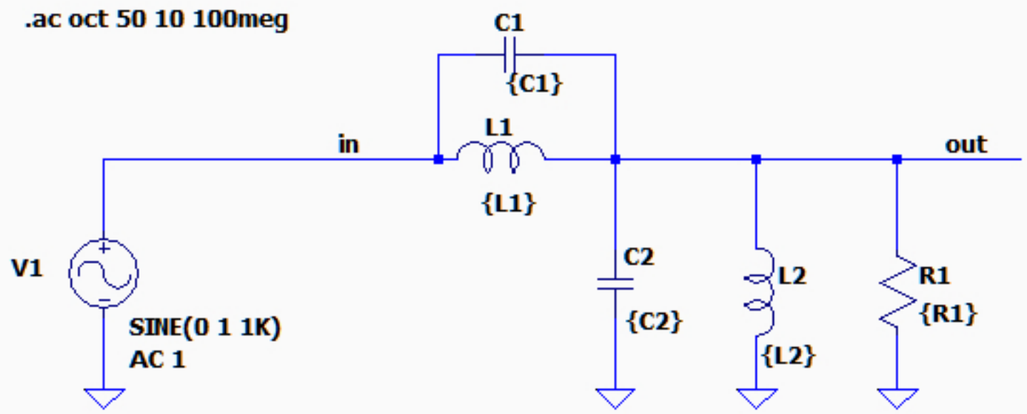


actlcn2atp0p1xs10amin35-param.raw



actlcn2atp0p1xs10amin35-param.asc

2次楕円関数ローパス用　　atp=0.1dB, Xs=10 Amin=35dB



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

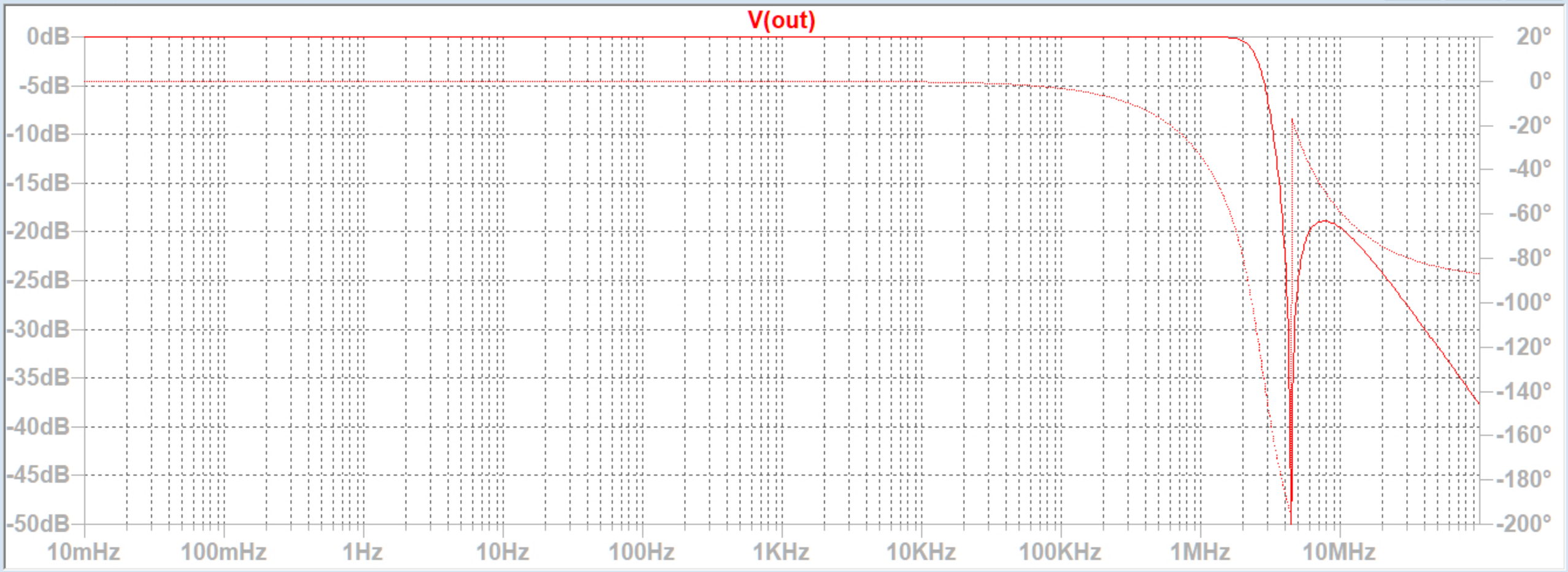
.param Fc=1meg R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=0.716313*LS L2=61.9026*LS C1=6.9977m * CS C2=0.418118*CS

Fc=200K, R1=50の場合、R1=50, L1= 28.5u, L2= 2.463m, C1= 0.1114n, C2=6.655n

Fc=1K, R1=50の場合、R1=50, L1= 5.7m, L2= 0.4926, C1= 22.27n, C2=1.331u

LCn3Atp0p0004Xs3Amin18-param.raw

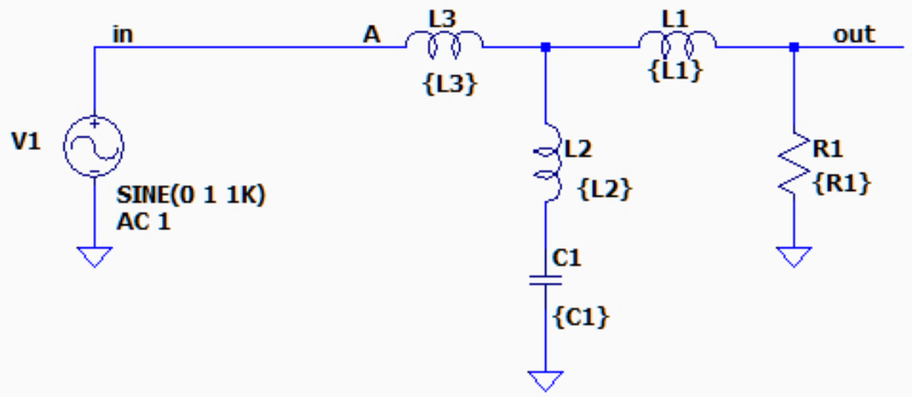


LCn3Atp0p0004Xs3Amin18-param.asc

マクロ「LCn3Atp0p0004Xs3Amin18」で作成した回路図 リプル 0.0004dB, Xs=3, Amin=18dB

.ac oct 50 0.01 100meg

3次楕円関数ローパスフィルター用



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

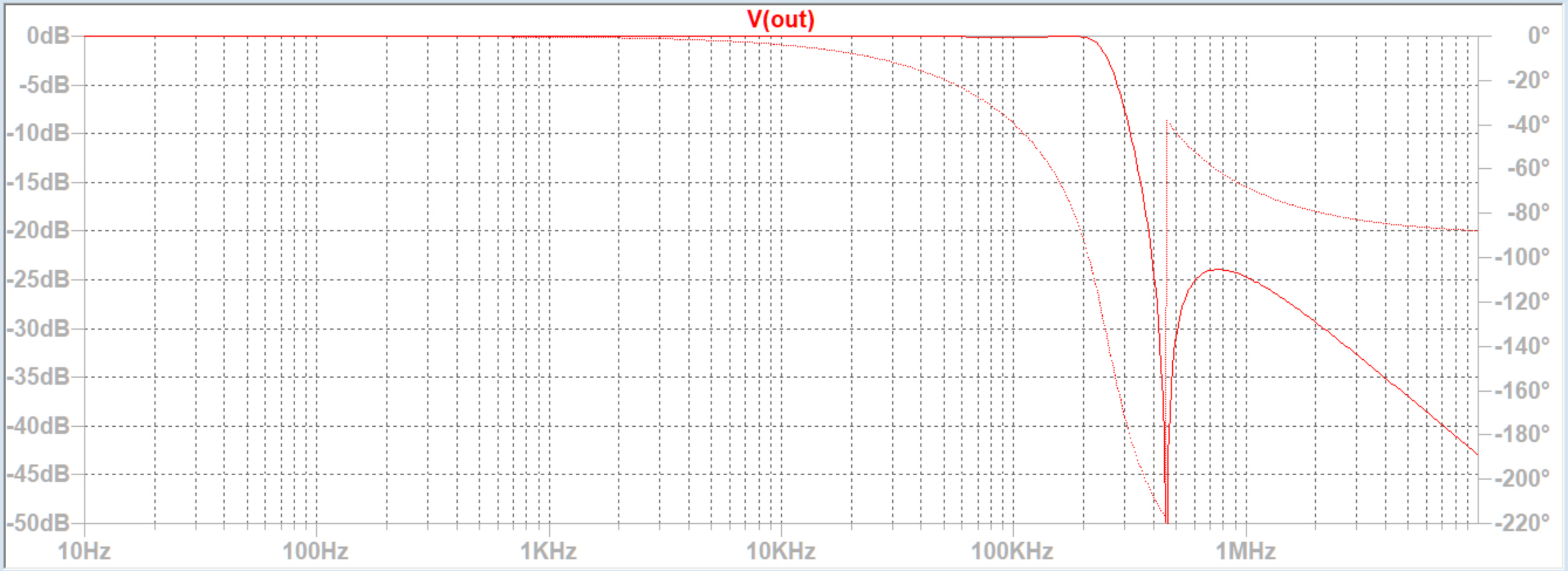
.param Fc=1meg R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=0.0641*LS L2=0.159*LS L3=0.5027*LS C1=0.31863*CS

Fc=200K, R1=50の場合、R1=50, L1=2.549u, L2=6.328u, L3=20u, C1=5.071n

Fc=1K, R1=50の場合、R1=50, L1= 0.51m, L2= 1.266m, L3=4m, C1=1.014u

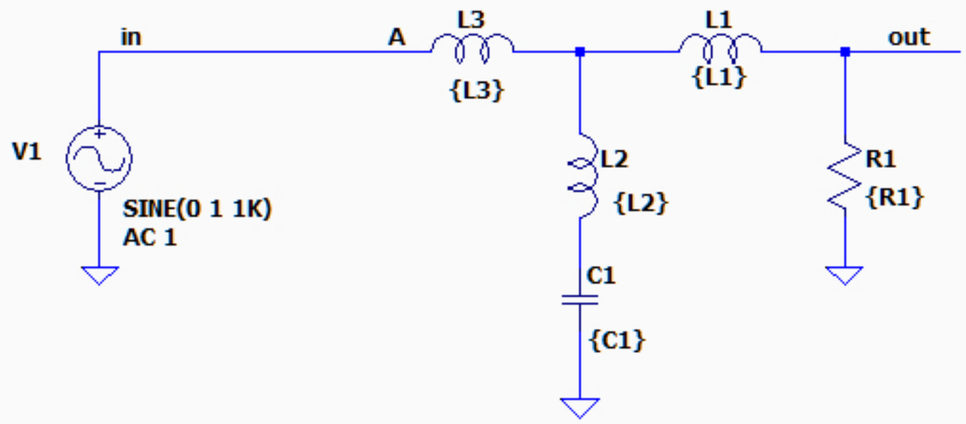
LCn3Atp0p0988Xs2p0Amin23-param.raw



LCn3Atp0p0988Xs2p0Amin23-param.asc

3次楕円関数ローパスフィルター用　リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=23dB

.ac oct 50 10 10meg



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

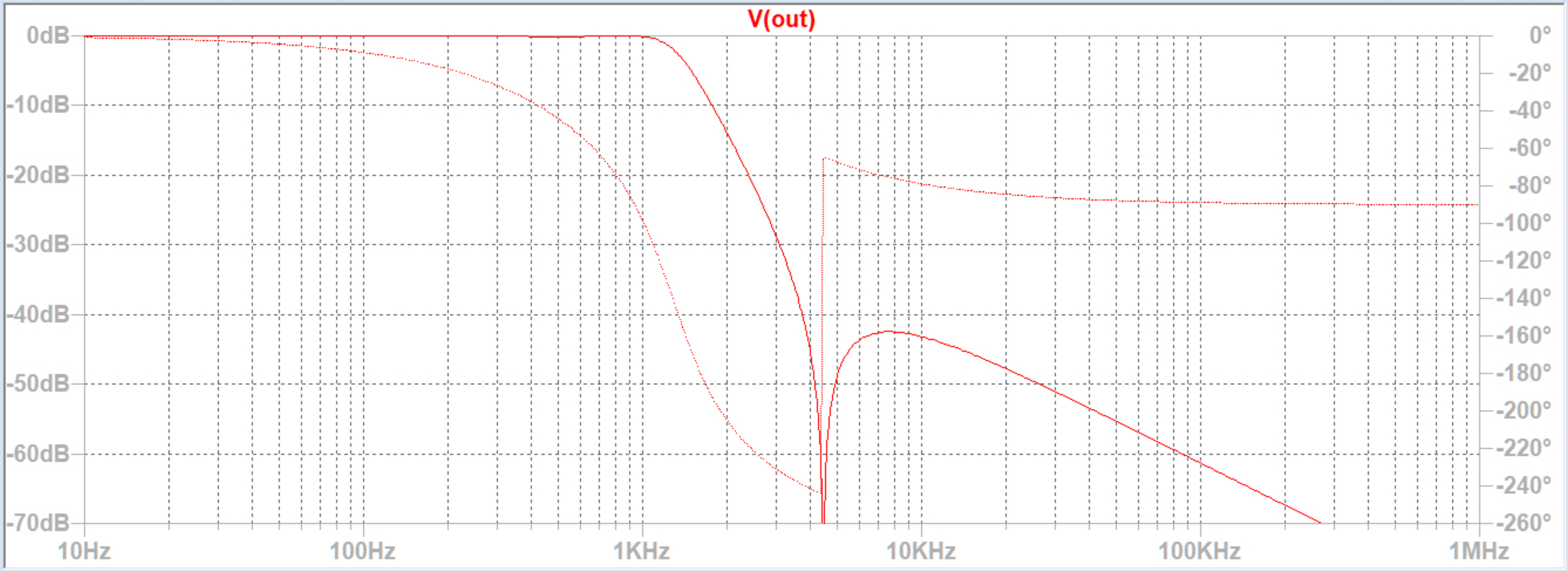
.param Fc=200k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=0.3376*LS L2=0.2375*LS C1=0.8171*CS L3=1.0234*LS

Fc=1K, R1=50の場合、L1= 2.687m, L2= 1.89m, L3= 8.144m, C1= 2.601u

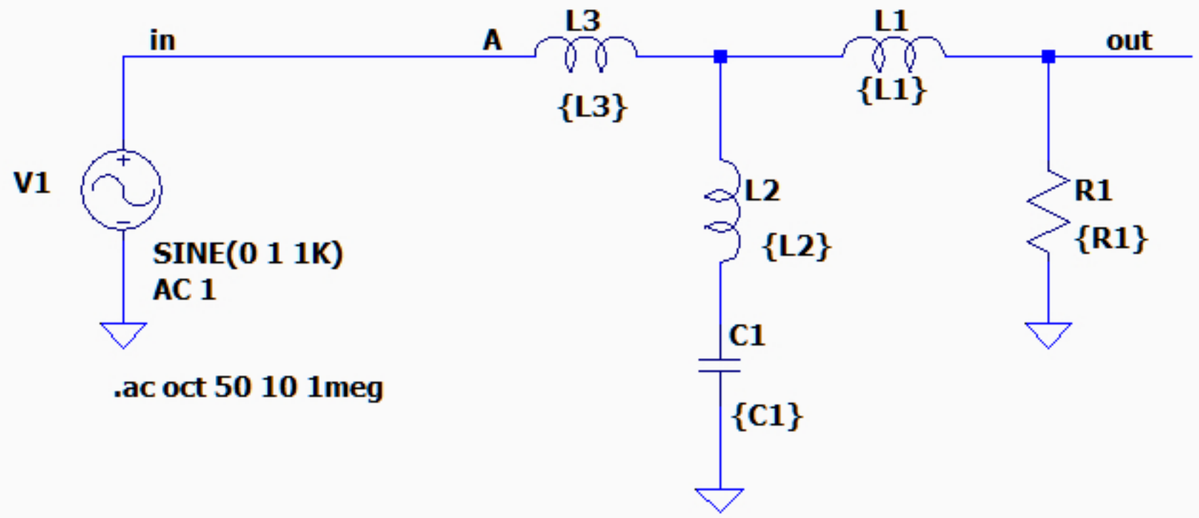
Fc=200K, R1=50の場合、L1= 13.43u, L2= 9.45u, L3= 40.72u, C1= 13n

LCn3Atp0p0988Xs3p8Amin42-param.raw



LCn3Atp0p0988Xs3p8Amin42-param.asc

3次楕円関数ローパスフィルター用 リプル 0.0988dB, Xs=3.8, Amin=42dB

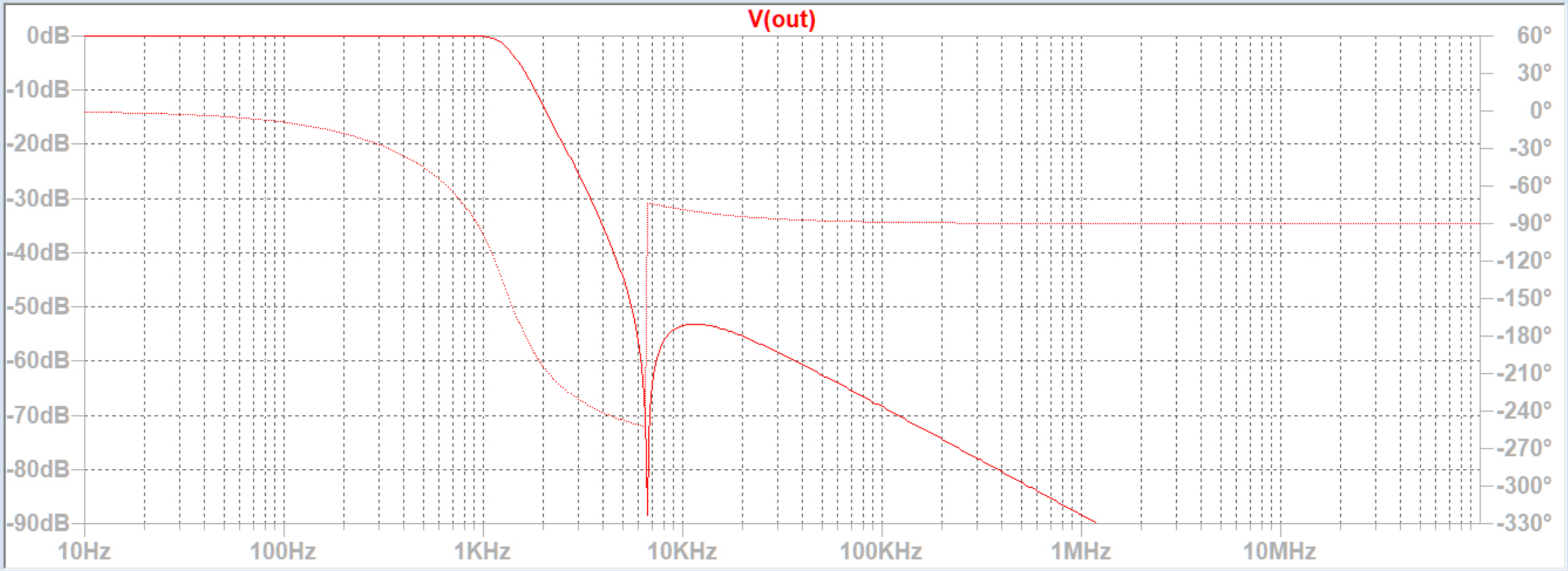


.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)
.param L1=0.4717*LS L2=0.0498*LS C1=1.0171*CS L3=1.0698*LS

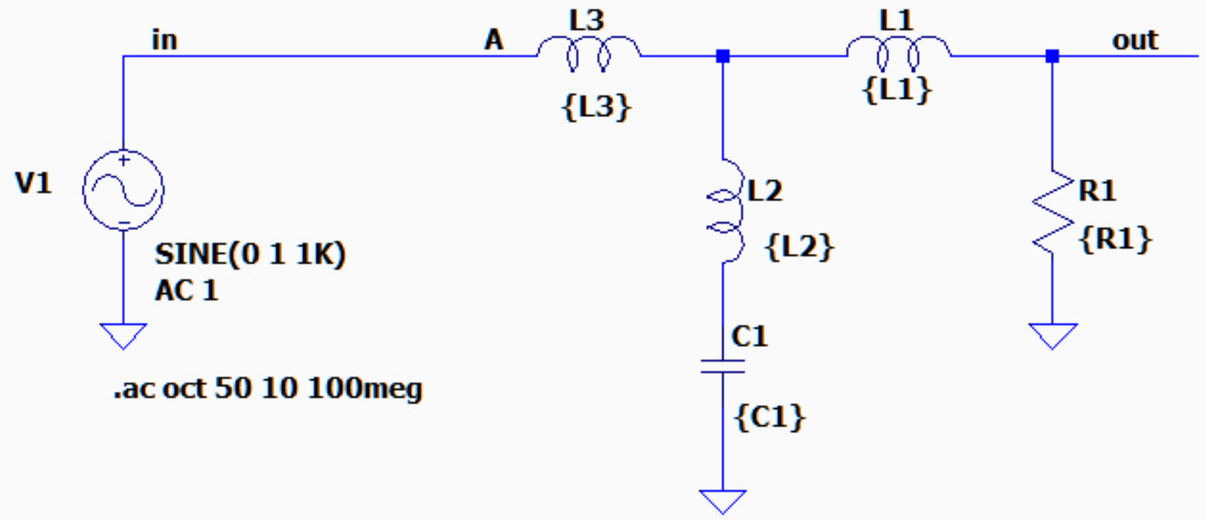
Fc=1k, R1=50の場合は、L1=3.754m, L2=3.963m, L3=8.513m, C1=3.238u
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=7.507u, L2=0.7926u, L3=17.03u, C1=6.475n

LCn3Atp0p0988Xs5p7Amin53-param.raw



LCn3Atp0p0988Xs5p7Amin53-param.asc

3次楕円関数ローパスフィルター用 リプル 0.0988dB, Xs=5.7, Amin=53dB



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

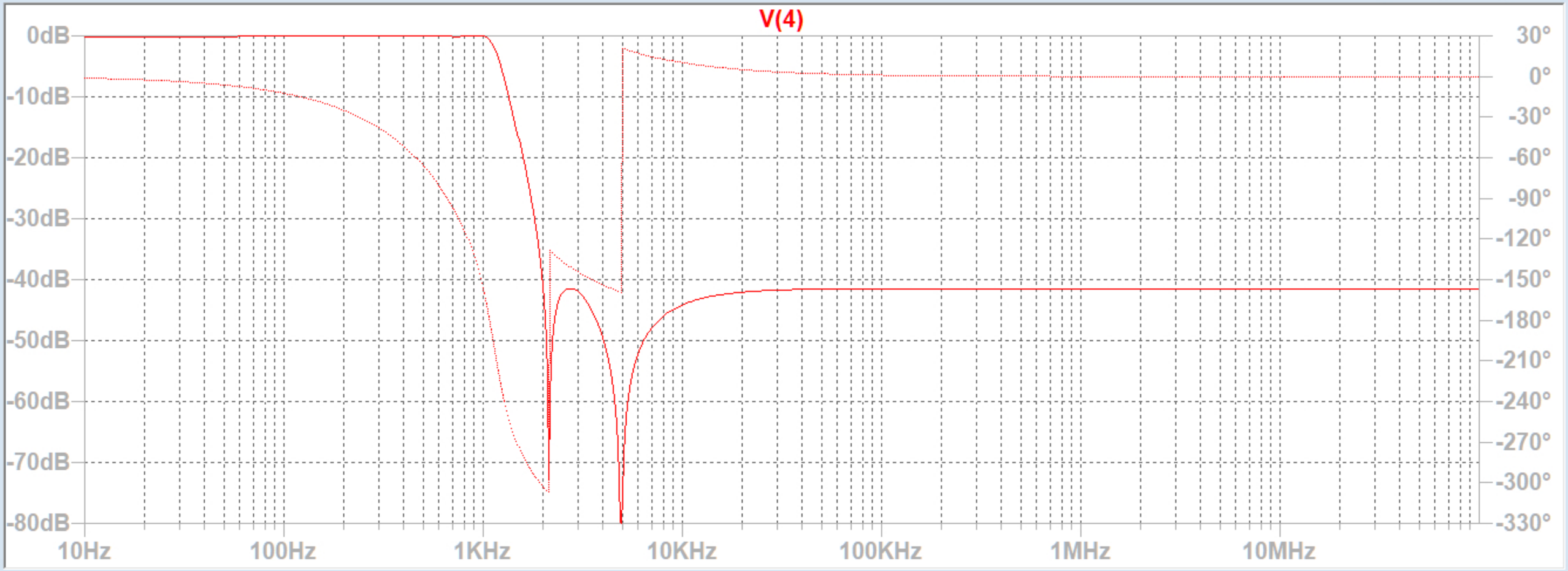
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=0.4955*LS L2=0.0215*LS C1=1.0546*CS L3=1.0797*LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=3.943m, L2=0.1711m, L3=8.592m, C1=3.357u

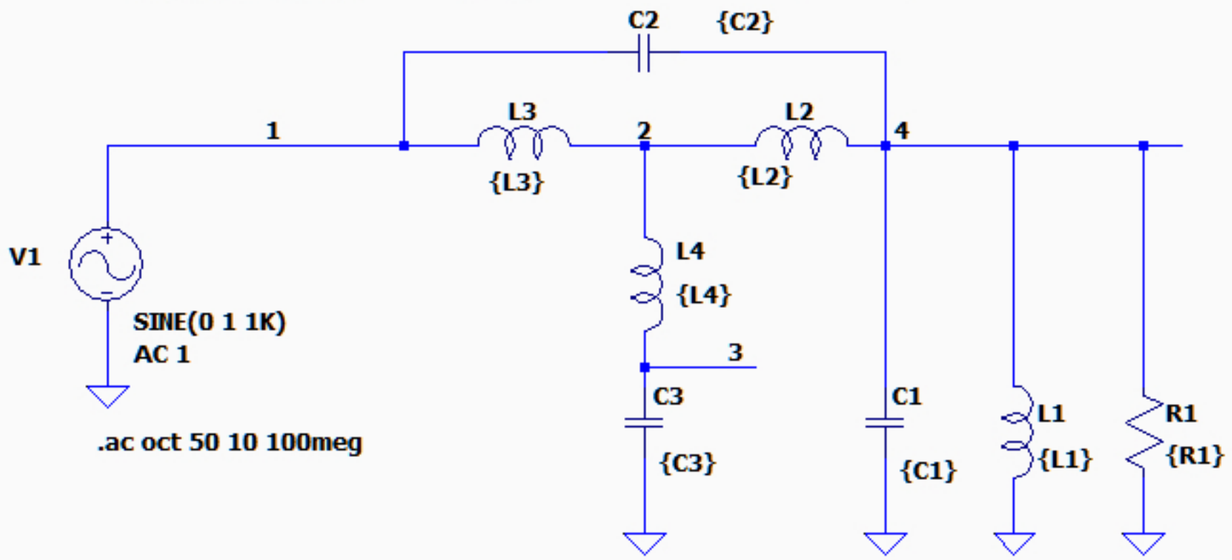
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=7.886u, L2=0.3422u, L3=17.18u, C1=6.714n

actlcn4atp0p1xs2amin41-param.raw



actlcn4atp0p1xs2amin41-param.asc

4次楕円関数ローパス用　リプル 0.1dB, Xs=2, Amin=41dB



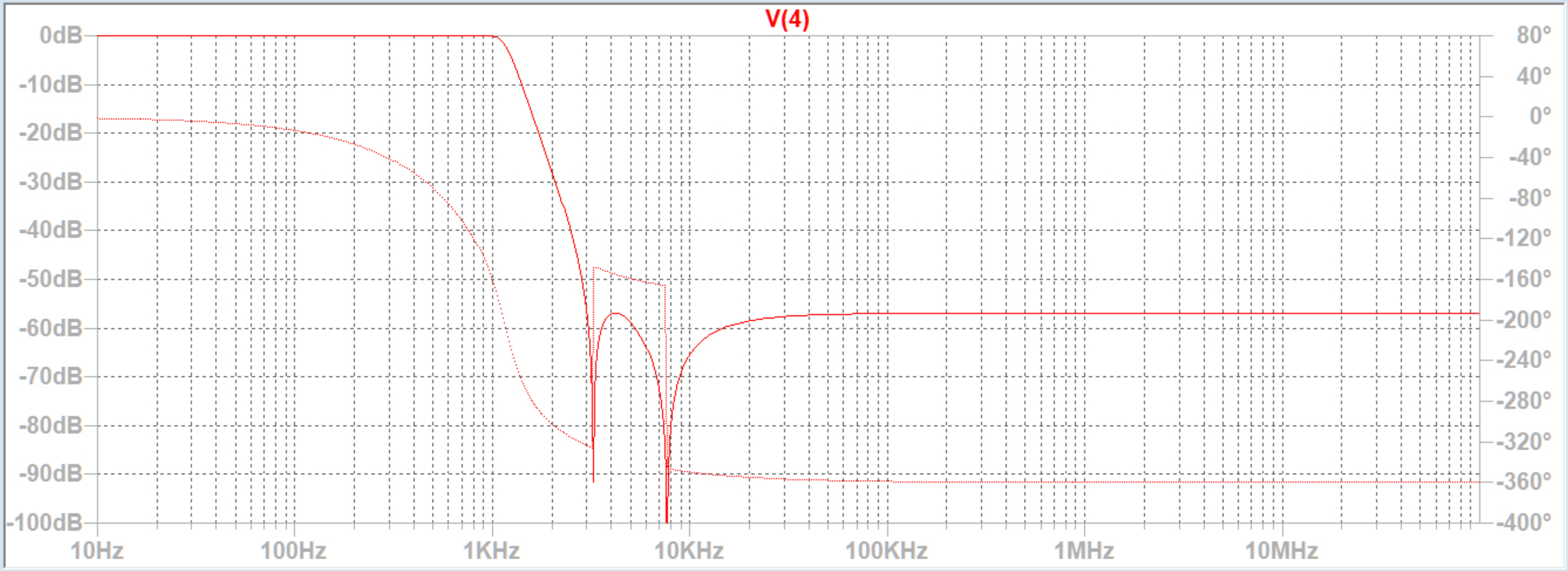
.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

```
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)
.param L1=187.427*LS L2=1.0448*LS L3=1.13536*LS L4=0.21996*LS C1=0.559115*CS C2=4.77349m*CS C3=1.13014*CS
```

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=1.491, L2=8.314m, L3=9.035m, L4=1.75m, C1=1.78u, C2=15.19n, C3=3.597u

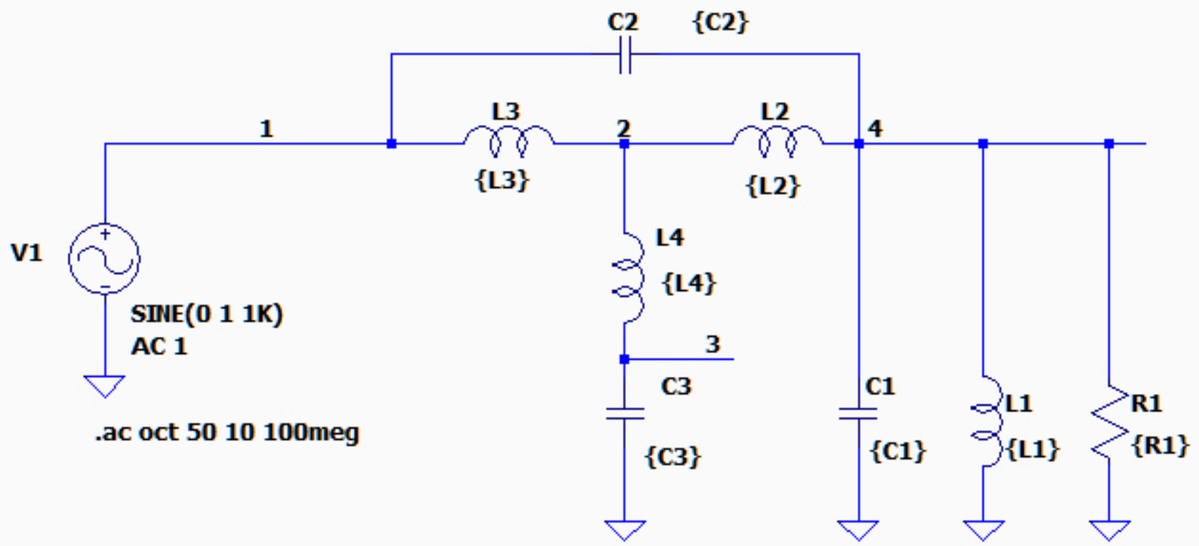
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=2.983m, L2=16.63u, L3=18.07u, L4=3.501u, C1=3.559n, C2=30.39p, C3=7.195n

actlcn4atp0p1xs3amin56-param.raw



actlcn4atp0p1xs3amin56-param.asc

4次楕円関数ローパス用　　atp=0.1dB, Xs=3 Amin=56dB



.ac oct 50 10 100meg

.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

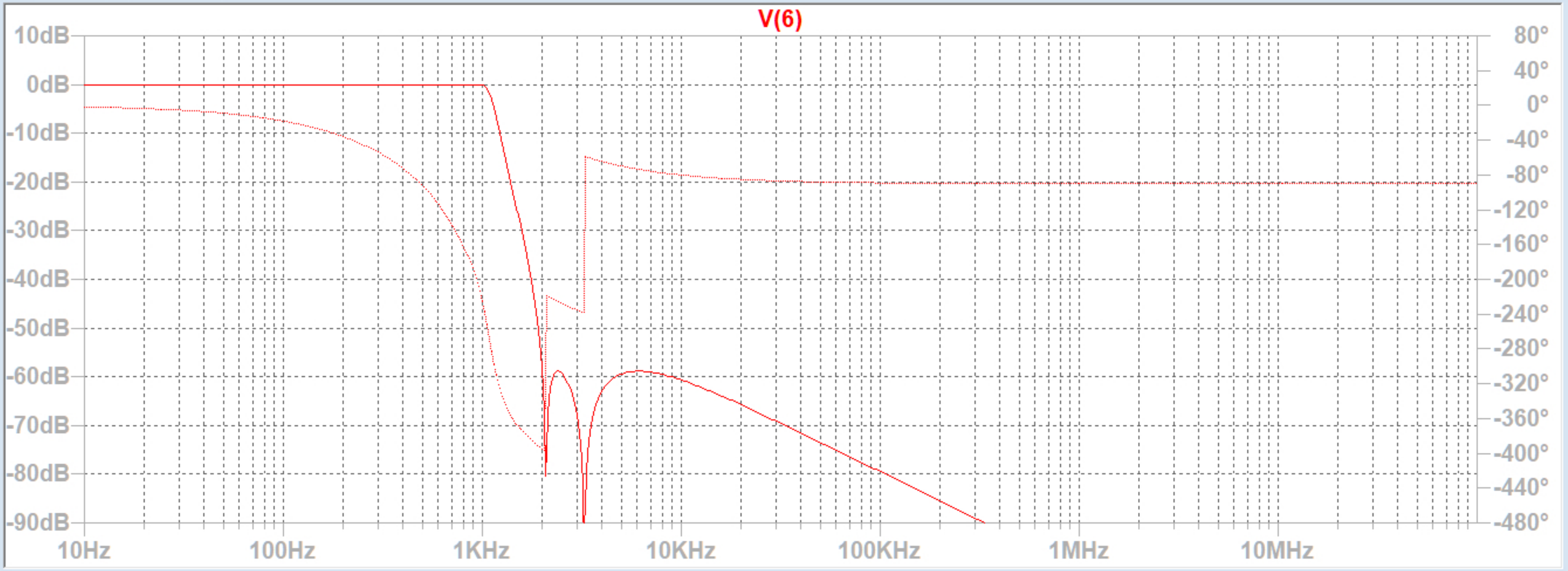
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=202.905*LS L2=1.13832*LS L3=1.21038*LS L4=84.798m*LS C1=0.557492*CS C2=0.792803m*CS C3=1.30694*CS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=1.615, L2=9.058m, L3=9.632m, L4=0.6748m, C1=1.775u, C2=2.524n, C3=4.16u

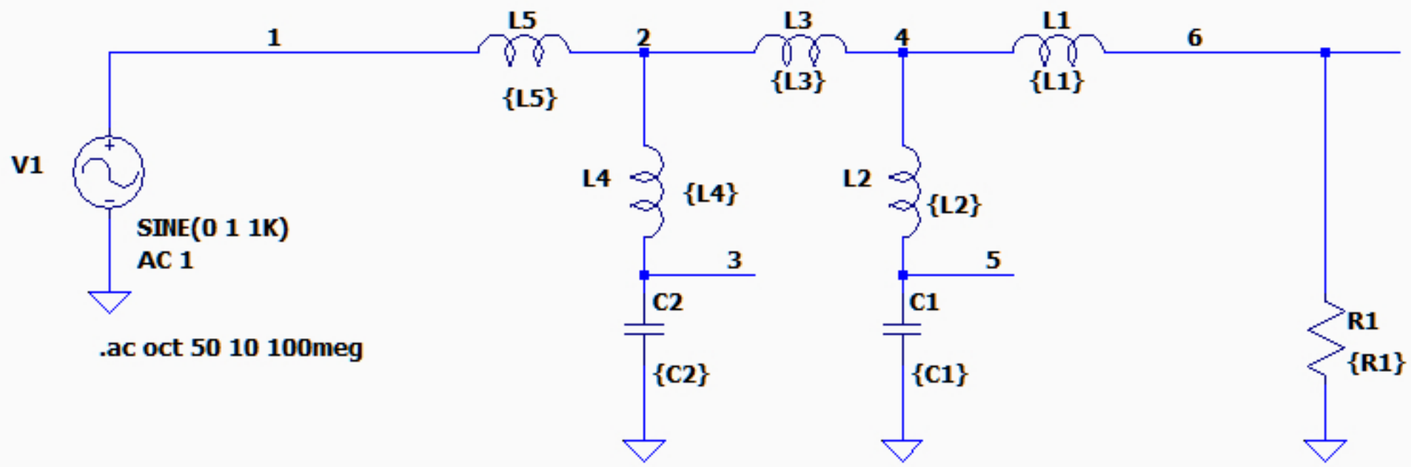
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=3.229m, L2=18.12u, L3=19.26u, L4=1.35u, C1=3.549n, C2=5.047p, C3=8.32n

LCn5Atp0p0988Xs2p0Amin58-param.raw



LCn5Atp0p0988Xs2p0Amin58-param.asc

5次楕円関数ローパスフィルター用　リプル 0.0988dB, Xs=2.0, Amin=58dB



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

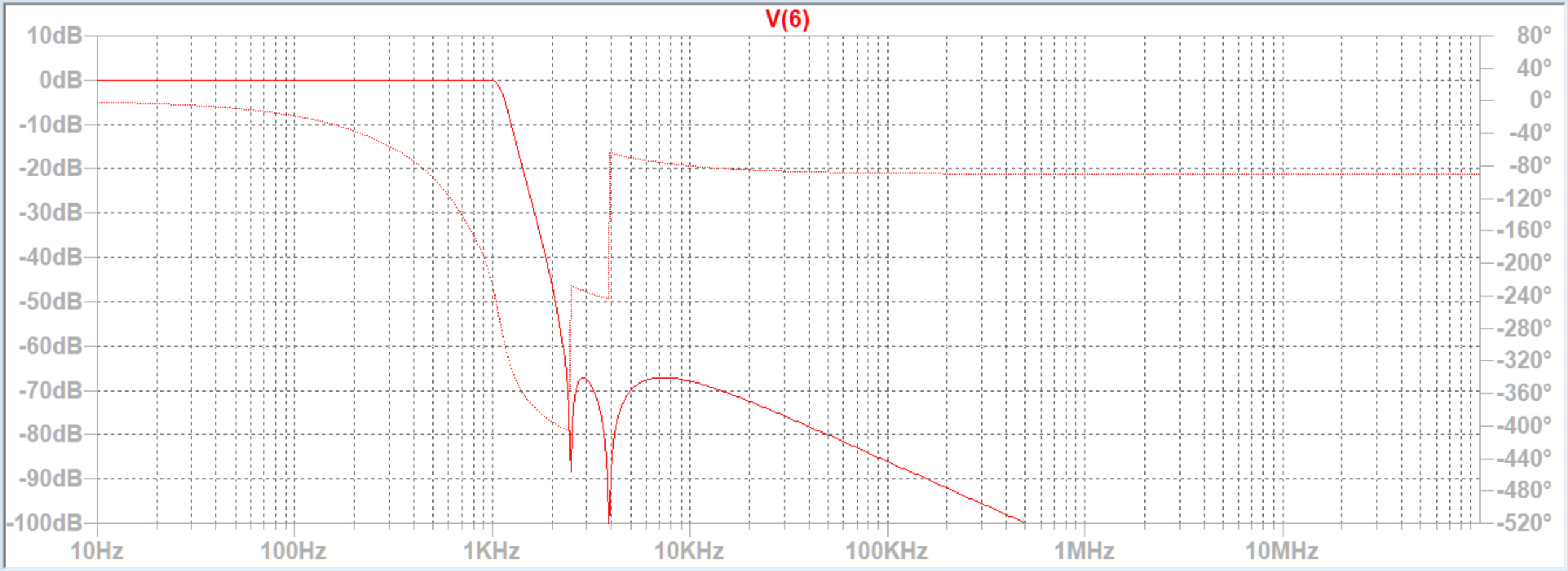
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=0.4988*LS L2=0.0831*LS C1=1.1382*CS L3=1.3889*LS L4=0.1712*LS C2=1.3384*CS L5=1.2559*LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=3.969m, L2=0.6613m, L3=11.05m, L4=1.362m, L5=9.994m,C1=3.623u, C2=4.26u

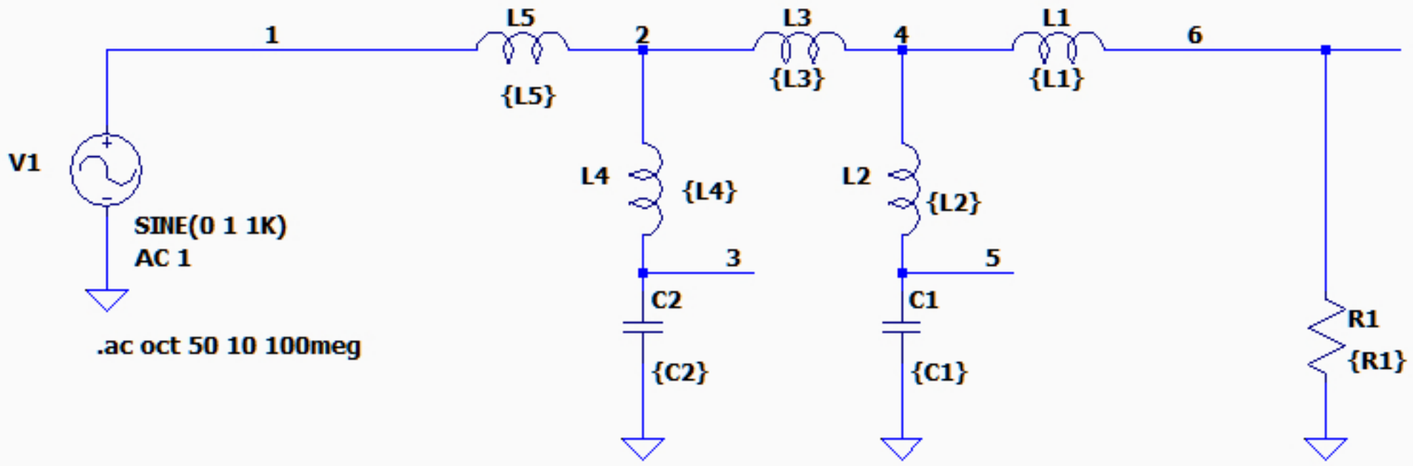
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=7.939u, L2=1.323u, L3=22.11u, L4=2.725u, L5=19.99u,C1=7.246n, C2=8.521n

LCn5Atp0p0988Xs2p3Amin67-param.raw



LCn5Atp0p0988Xs2p3Amin67-param.asc

5次楕円関数ローパスフィルター用　リプル 0.0988dB, Xs=2.3, Amin=67dB



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

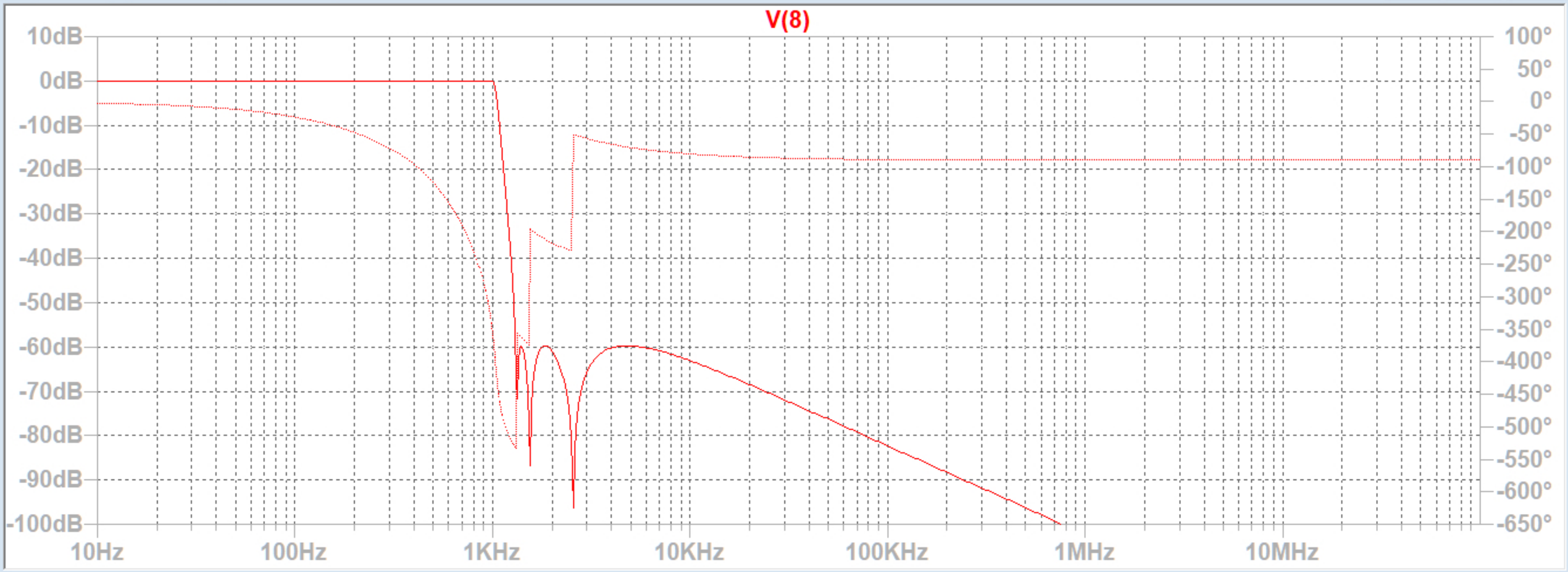
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=0.5218*LS L2=0.0561*LS C1=1.1722*CS L3=1.4389*LS L4=0.1152*LS C2=1.4148*CS L5=1.2919*LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=3.969m, L2=0.6613m, L3=11.05m, L4=1.362m, L5=9.994m,C1=3.623u, C2=4.26u

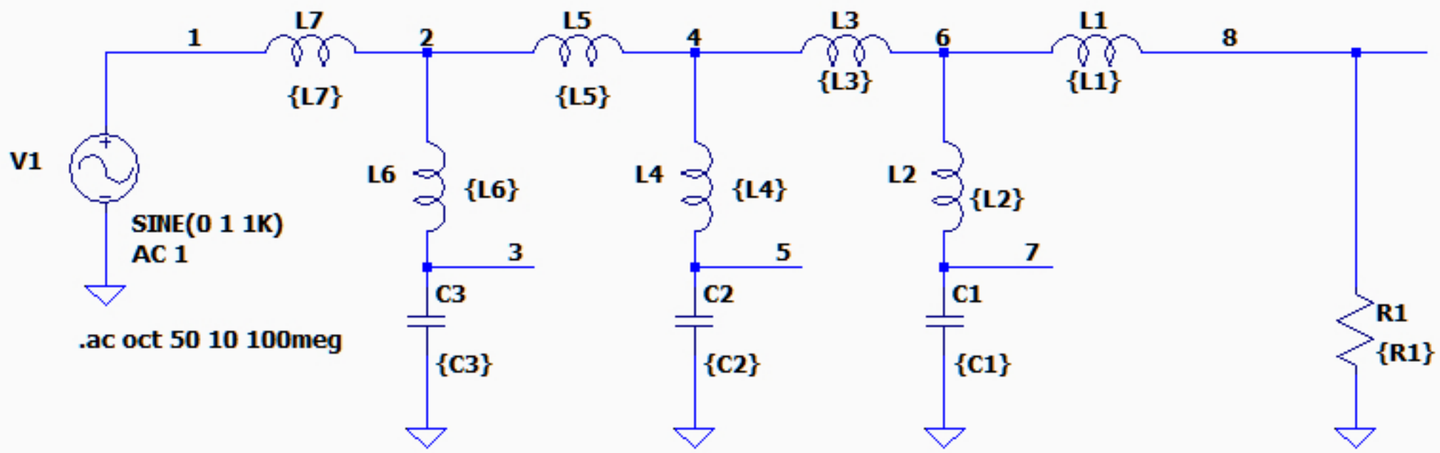
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=7.939u, L2=1.323u, L3=22.11u, L4=2.725u, L5=19.99u,C1=7.246n, C2=8.521n

LCn7Atp0p0988Xs1p3Amin59-param.asc



LCn7Atp0p0988Xs1p3Amin59-param.asc

7次楕円関数ローパスフィルター用　リプル 0.0988dB, Xs=1.3, Amin=59dB



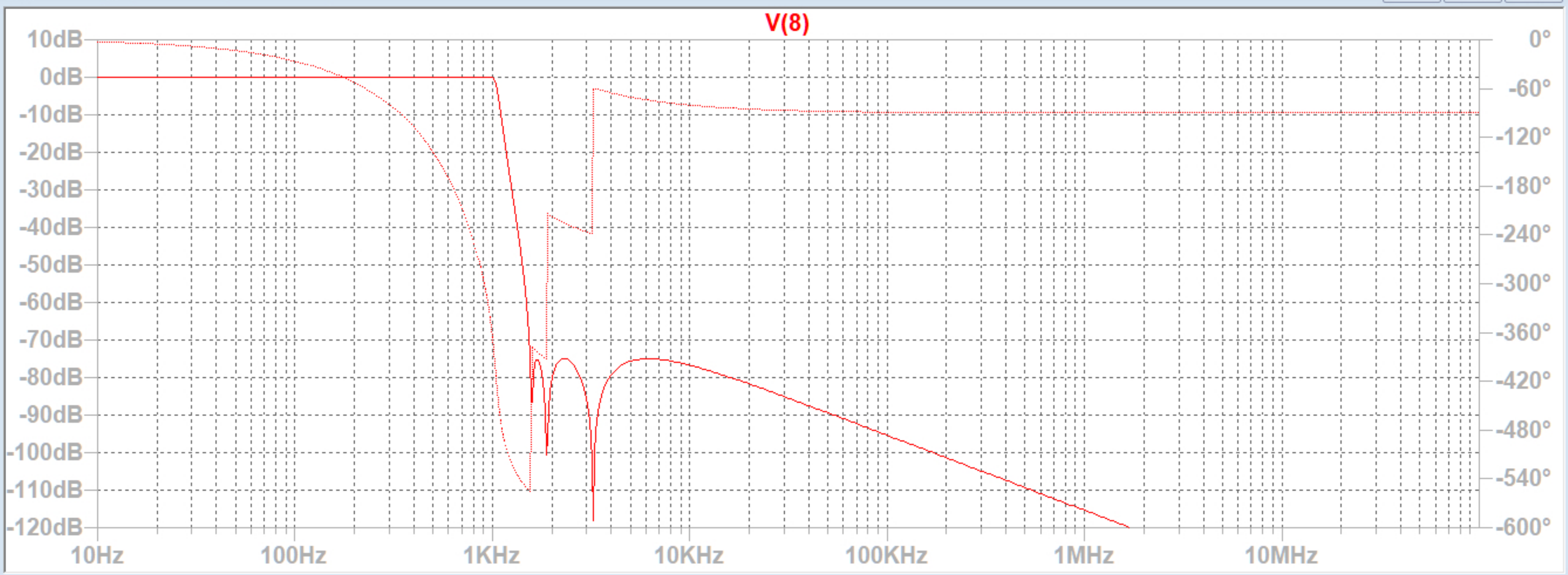
.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

```
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)
.param L1=0.4691*LS L2=0.1385*LS C1=1.1106*CS L3=1.1766*LS L4=0.5693*LS C2=0.9981*CS L5=1.2344*LS L6=0.3235*LS C3=1.2895*CS L7=1.2499*LS
```

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=3.733m, L2=1.102m, L3=9.363m, L4=4.53m, L5=9.823m,L6=2.574m,L7=9.946m,C1=3.535u, C2=3.177u, C3=4.105u

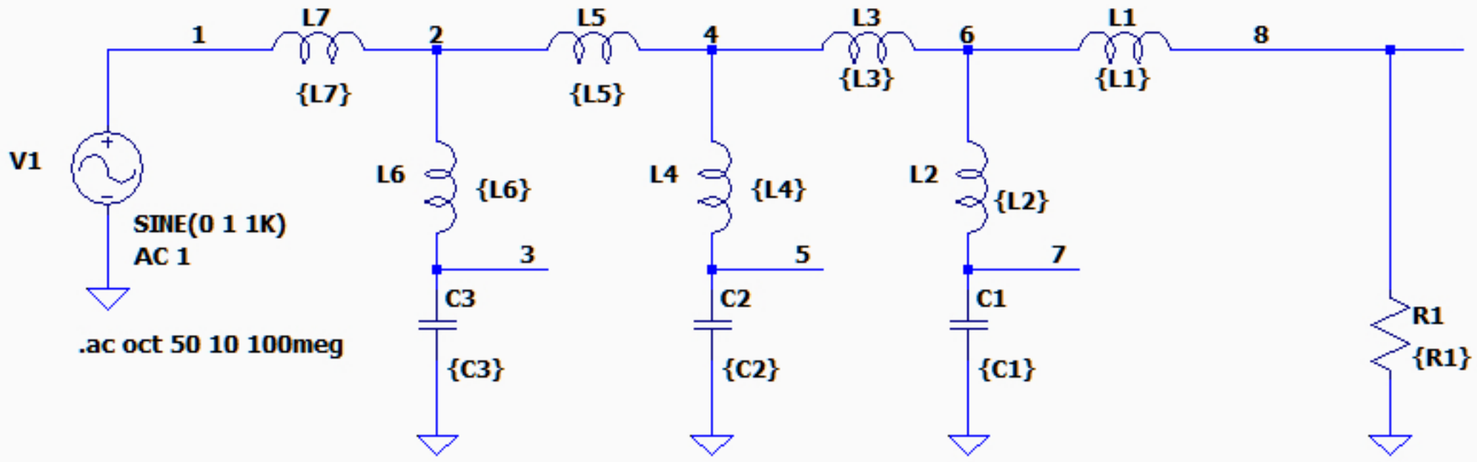
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=7.466u, L2=2.204u, L3=18.73u, L4=9.061u, L5=19.65u,L6=5.149u,L7=19.89u,C1=7.07n, C2=6.354n, C3=8.209n

LCn7Atp0p0988Xs1p5Amin75-param.raw



LCn7Atp0p0988Xs1p5Amin75-param.asc

7次楕円関数ローパスフィルター用　　リプル 0.0988dB, Xs=1.5, Amin=75dB



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

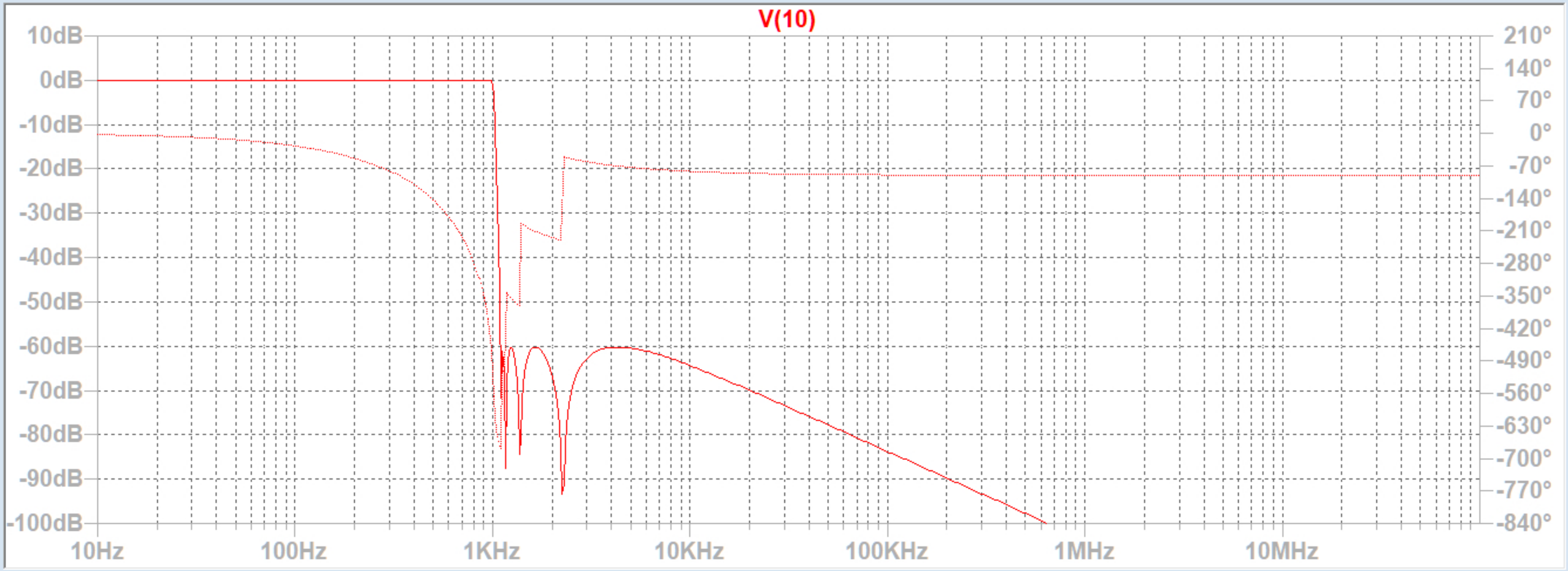
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=0.5169*LS L2=0.081*LS C1=1.1804*CS L3=1.336*LS L4=0.3189*LS C2=1.2463*CS L5=1.4304*LS L6=0.1915*LS C3=1.4519*CS L7=1.3318*LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=9.243m, L2=0.6446m, L3=10.63m, L4=2.538m, L5=11.38m,L6=1.524m,L7=10.6m,C1=3.757u, C2=3.967u, C3=4.622u

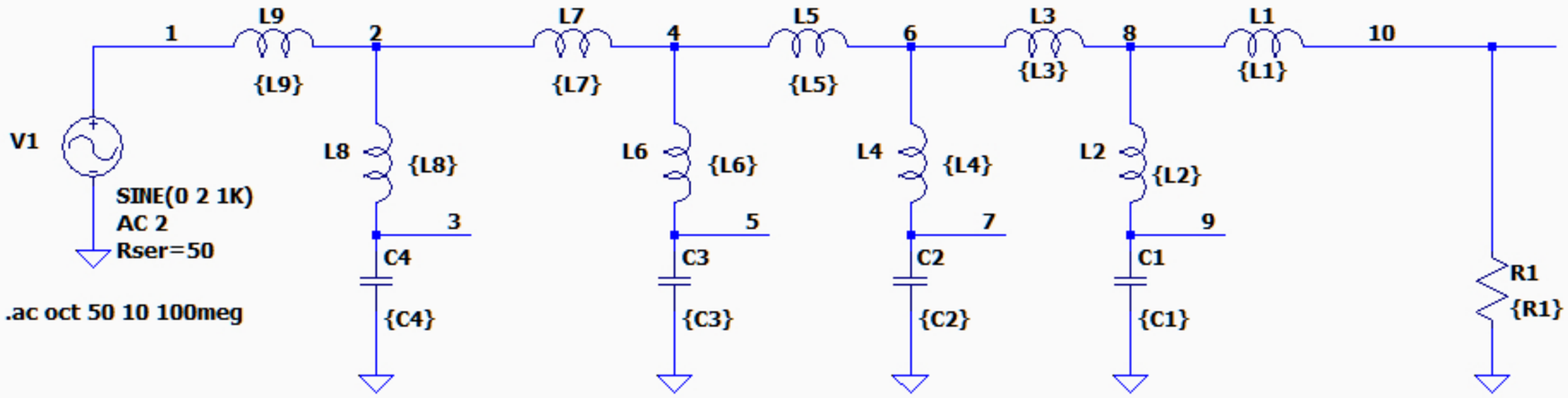
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=8.227u, L2=1.289u, L3=21.26u, L4=5.075u, L5=22.77u,L6=3.048u,L7=21.2u,C1=7.515n, C2=7.934n, C3=9.243n

lcn9atp0p1773xs1p094amin60-param.raw



lcn9atp0p1773xs1p094amin60-param.asc

9次楕円関数ローパスフィルター用　　**リプル 0.1773dB, Xs=1.094, Amin=60dB**



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

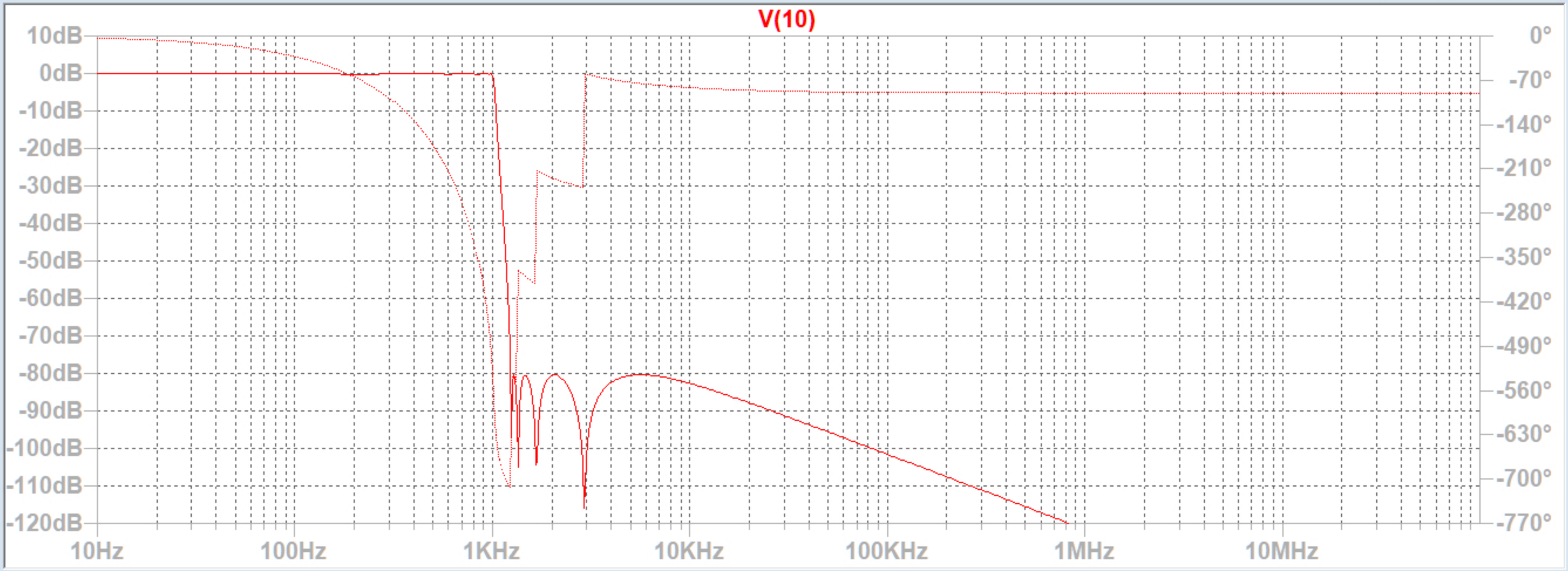
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=1.217*LS L2=0.1557*LS C1=1.243*CS L3=1.554*LS L4=0.9844*LS C2=0.7509*CS L5=1.047*LS L6=1.369*LS C3=0.6026*CS L7=1.213*LS L8=0.5995*LS C4=0.8768*CS L9=0.9034*LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=9.685m L2=1.239m L3=12.37m L4=7.834m L5=8.332m L6=10.89m L7=9.653m L8=4.771m L9=7.189m C1=3.957u C2=2.39u C3=1.918u C4=2.791u

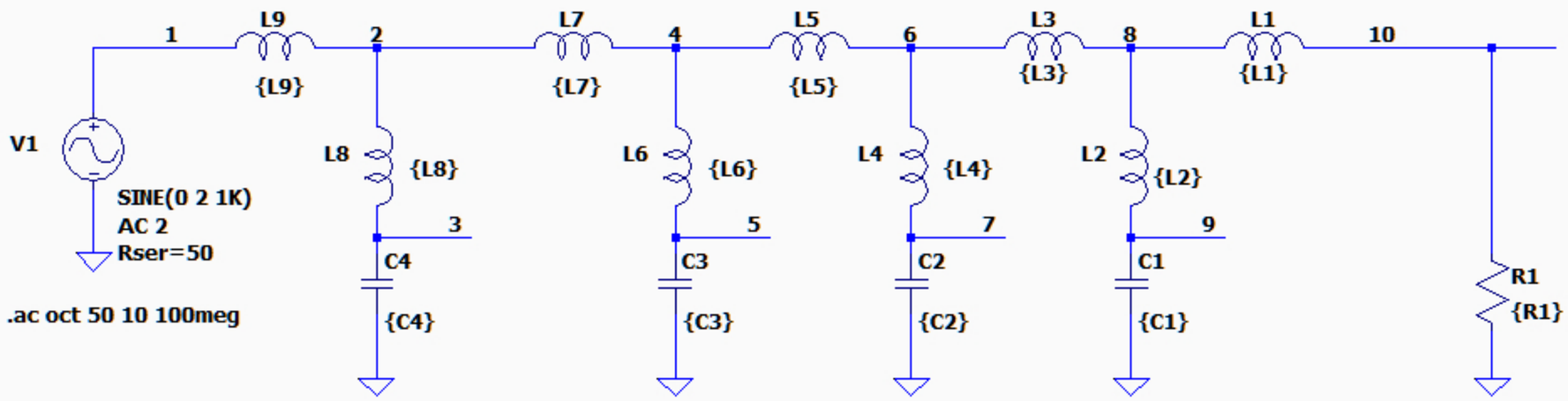
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=19.37u L2=2.478u L3=24.73u L4=15.67u L5=16.66u L6=21.79u L7=19.31u L8=9.541u L9=14.38u C1=7.913n C2=4.78n C3=3.836n C4=5.582n

lcn9atp0p1773xs1p236amin80-param.raw



lcn9atp0p1773xs1p236amin80-param.asc

9次楕円関数ローパスフィルター用　　**リプル 0.1773dB, Xs=1.236, Amin=80dB**



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

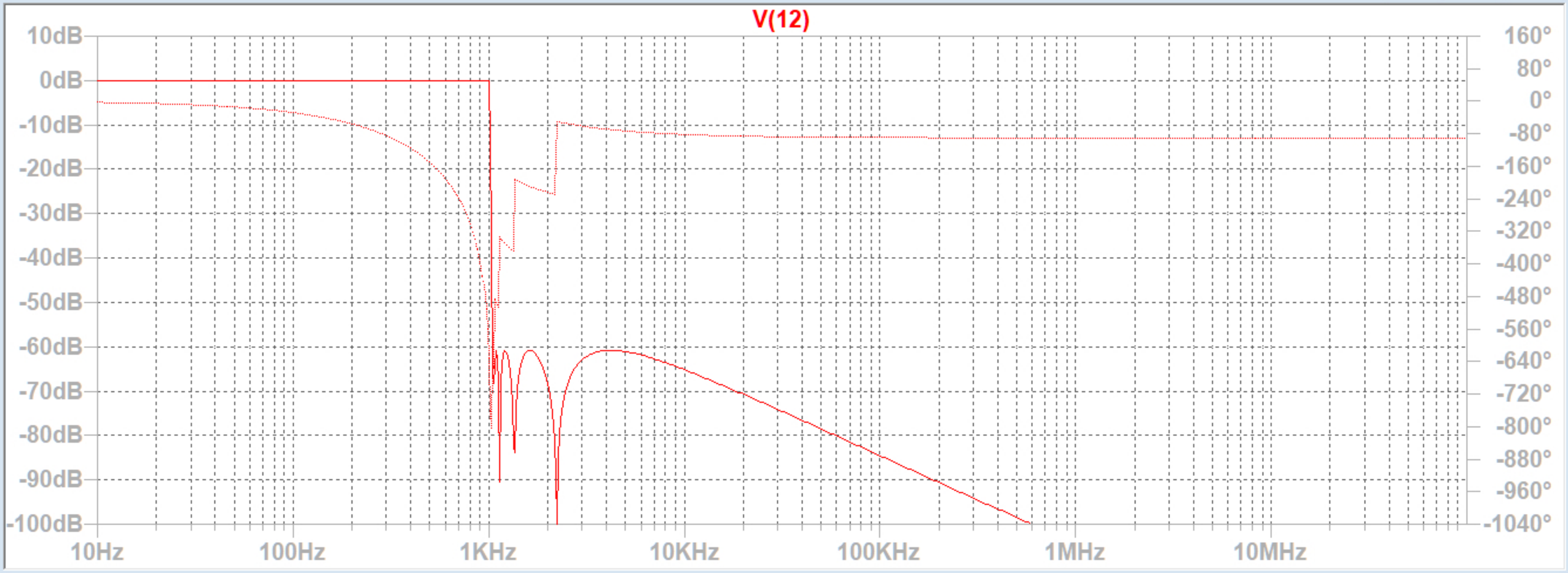
.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=1.272*LS L2=0.0899*LS C1=1.31*CS L3=1.802*LS L4=0.5414*LS C2=1.014*CS L5=1.453*LS L6=0.7202*LS C3=0.893*CS L7=1.555*LS L8=0.3324*LS C4=1.07*CS L9=1.072*LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=10.12m L2=0.7154m L3=14.34m L4=4.308m L5=11.56m L6=5.731m L7=12.37m L8=2.645m L9=8.531m C1=4.17u C2=3.228u C3=2.843u C4=3.406u

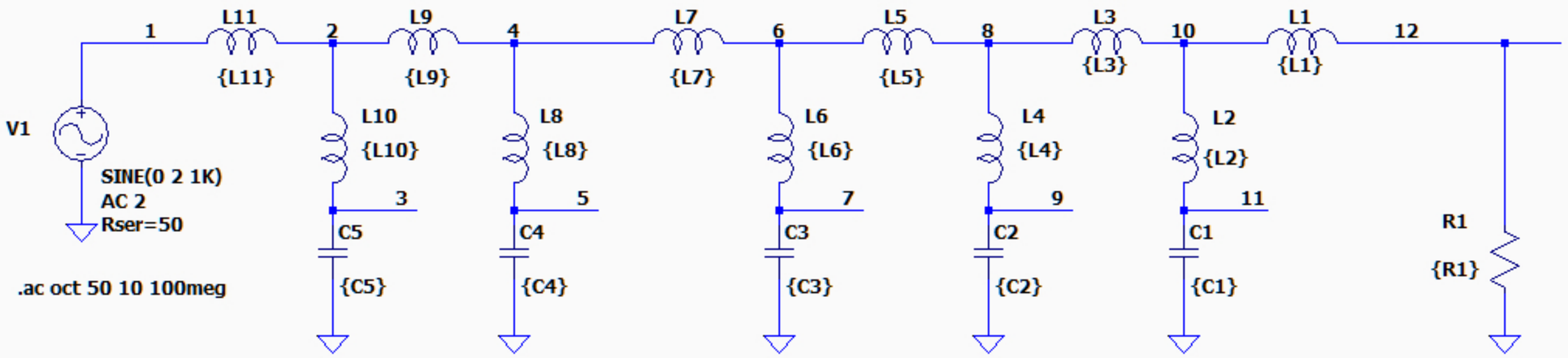
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=20.24u L2=1.431u L3=28.68u L4=8.617u L5=23.13u L6=11.46u L7=24.75u L8=5.29u L9=17.06u C1=8.34n C2=6.455n C3=5.685n C4=6.812n

lcn11atp0p1773xs1p035amin60-param.raw



lcn11atp0p1773xs1p035amin60-param.asc

11次楕円関数ローパスフィルター用　　リプル 0.1773dB, Xs=1.035, Amin=60dB



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

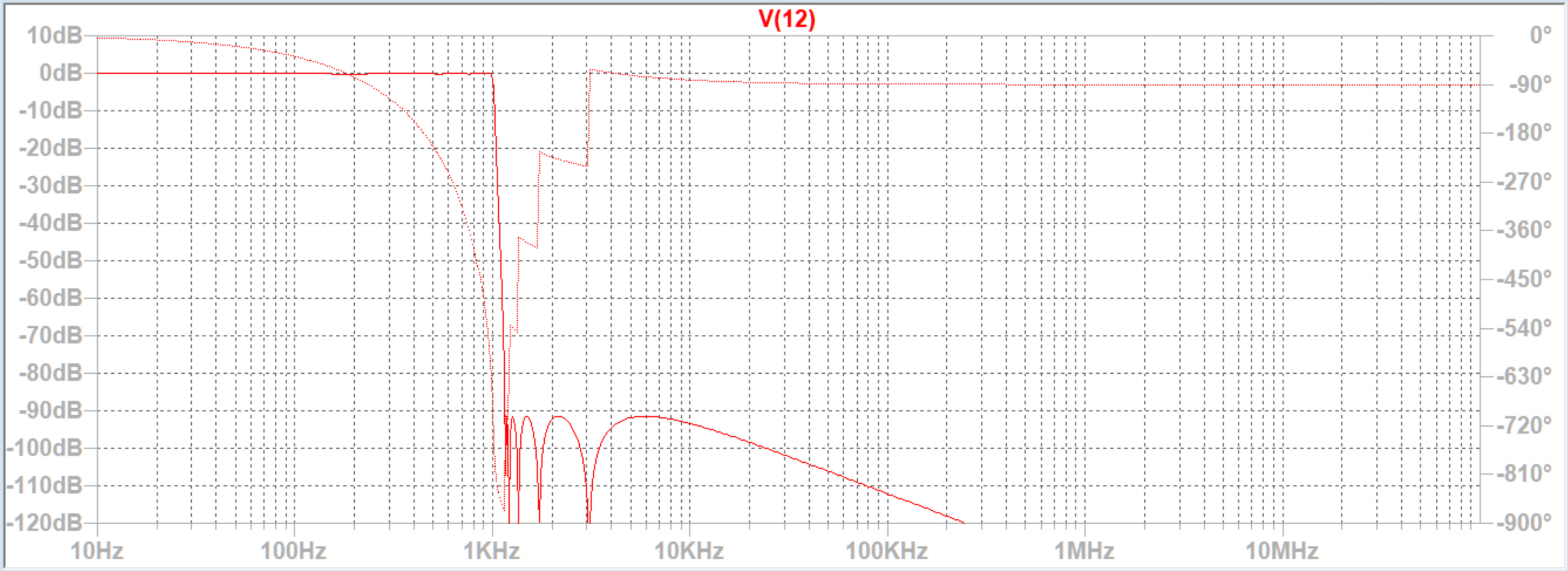
.param L1=1.216*LS L2=0.1633*LS C1=1.24*CS L3=1.5*LS L4=1.145*LS C2=0.6856*CS L5=0.8272*LS L6=2.373*LS

.param C3=0.3914*CS L7=0.6733*LS L8=1.881*LS C4=0.4739*CS L9=1.093*LS L10=0.6515*LS C5=0.8493*CS L11=0.8788 *LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=9.677m L2=1.3m L3=11.94m L4=9.112m L5=6.583m L6=18.88m L7=5.358m L8=14.97m
L9=8.698m L10=5.184m L11=6.993m C1=3.947u C2=2.182u C3=1.246u C4=1.508u C5=2.703u

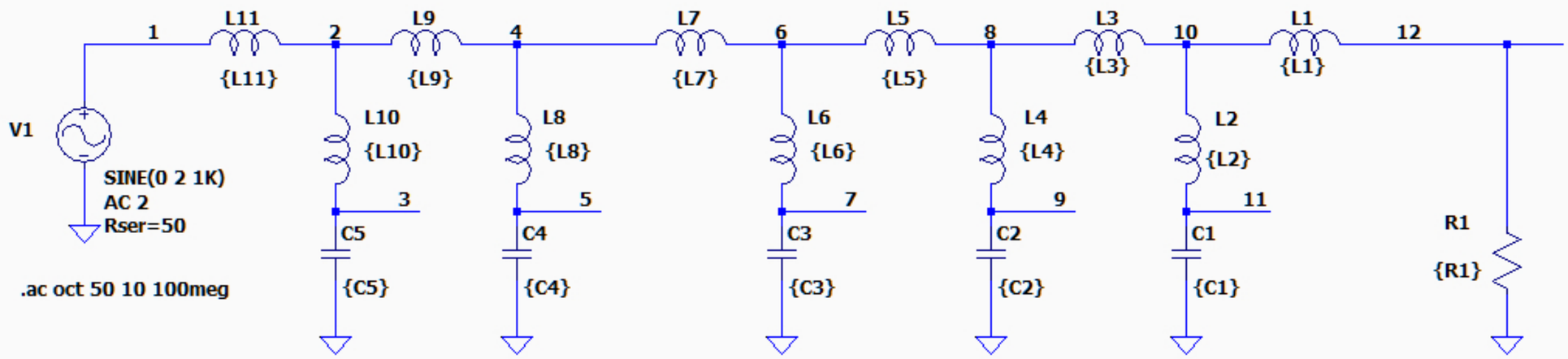
Fc=500k, R1=50の場合は、L1=19.35u L2=2.599u L3=23.87u L4=18.22u L5=13.17u L6=37.77u L7=10.72u
L8=29.94u L9=17.4u L10=10.37u L11=13.99u C1=7.894n C2=4.365n C3=2.492n C4=3.017n C5=5.407n

lcn11atp0p1773xs1p154amin91-param.raw



lcn11atp0p1773xs1p154amin91-param.asc

11次楕円関数ローパスフィルター用　　リプル 0.1773dB, Xs=1.154, Amin=91dB



.param のFc=1k R1=50 を変更して実行すると、異なるFcとR1に対する周波数特性が表示される。

.param Fc=1k R1=50 LS=R1/(2*pi*Fc) CS=1/(2*pi*Fc*R1)

.param L1=1.287*LS L2=0.0796*LS C1=1.327*CS L3=1.825*LS L4=0.5308*LS C2=1.03*CS L5=1.37*LS L6=0.9528*LS

.param C3=0.7795*CS L7=1.239*LS L8=0.7991*LS C4=0.853*CS L9=1.542*LS L10=0.3042*LS C5=1.1*CS L11=1.098*LS

Fc=1k, R1=50の場合は、L1=10.24m L2=0.6334m L3=14.52m L4=4.224m L5=10.9m L6=7.582m L7=9.86m L8=6.359m
L9=12.27m L10=2.421m L11=8.738m C1=4.224u C2=3.279u C3=2.481u C4=2.715u C5=3.501u

Fc=500k, R1=50の場合は、L1=20.48u L2=1.267u L3=29.05u L4=8.448u L5=21.8u L6=15.16u L7=19.72u
L8=12.72u L9=24.54u L10=4.841u L11=17.48u C1=8.448n C2=6.557n C3=4.962n C4=5.43n C5=7.003n