LTACT 操作説明書

アクティヴフィルター

設計して、LTspice 用の回路図を出力する

1995/03/14 ～ McAct
2020/04/21 ～ LtAct
ver.2.60 2021/02/11
追加実験 2021/03/19
ver.2.80 2021/03/25
ver.2.81 2021/04/16
ver.2.90 2021/05/11
ver.3.00 2021/09/08
追加実験-1 2021/09/30
追加実験-2 2022/03/08
追加実験-3 2022/04/05
追加実験-4 2022/05/03
ver.3.10 基本回路図を 40 次まで増加した
ver.3.14 2023/06/07
ver.3.30 2025/05/05
ver.3.31 2025/06/18

三浦 高志

は じ め に

アクティブフィルタ設計支援ツール LtAct ver.3.31 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。
LtAct は Vector で公開中の「McAct2W」に様々の改良を加えて、フリーで利用可能な Spice シミュレーション・ソフトウェア「LTSpice」用の回路図ファイルを出力するようにした、アクティブフィルタ設計支援ツールです。
チェビシェフや楕円関数フィルタのリプル量なども任意に設定可能です。

2 次から 40 次までの各種フィルタ回路図を作成できます。BP1～BP4 および BE1～BE2 は 20 次までの回路図を作成可能です。10 次以上は偶数次数のみ作成可能。
（基本回路図ファイルをユーザが自作することで 58 次までの回路図を出力可能です）

回路図で使用するオペアンプを任意に指定可能にしました。
作成した回路図のオペアンプを別のオペアンプに交換する機能を追加しました。
回路定数を E6 から E96 までほとんどのシリーズに近似する機能を追加しました。

回路図ファイルを出力する時に同時に作成される履歴ファイル「journal.txt」の 記録内容に基本回路名と参照したテーブル名及び素子値および参照モードを加えました。

メニューの「ファイル」→「データファイルを開く」から、ファイルとして保存された伝達関数の係数ファイル、回路図ファイル、各種 PDF ファイルなどを別画面で確認出来ます。

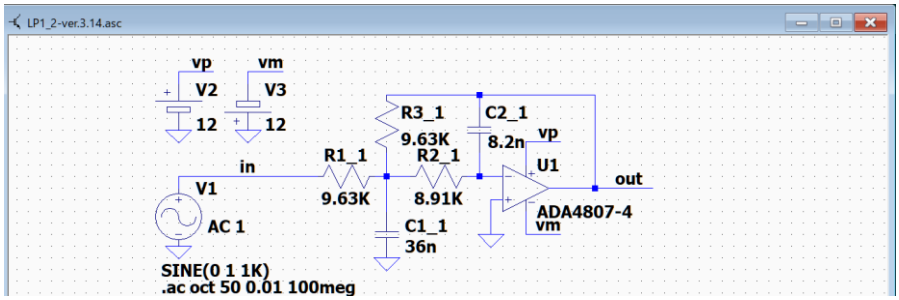
「ヘルプ」→「LtAct 設計例-ver210」により、作成した回路図の調整方法や、LtAct ver.2.10 で作成し「LTSpice」で調整を行った多数の設計例を参照できます。
「LtAct 設計例-ver210」は実験と改良を繰り返した実験ノートです。作成した回路図の周波数特性を改善するには、「LtAct ver.2.60 追加実験」の章を参照して下さい。
回路図の周波数特性を改善するには、「Fc 付近のゲインリスト」を利用すると便利です。

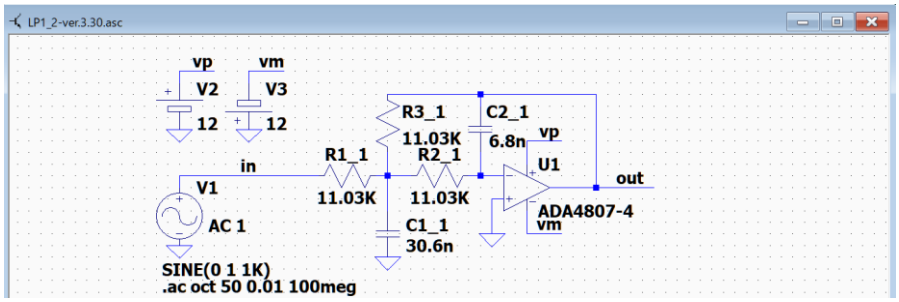
「LTSpice」の操作については、Vector で公開中の「LTSpice 操作入門」ver.1.2 で説明していますので参照して下さい。
https://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an008575.html

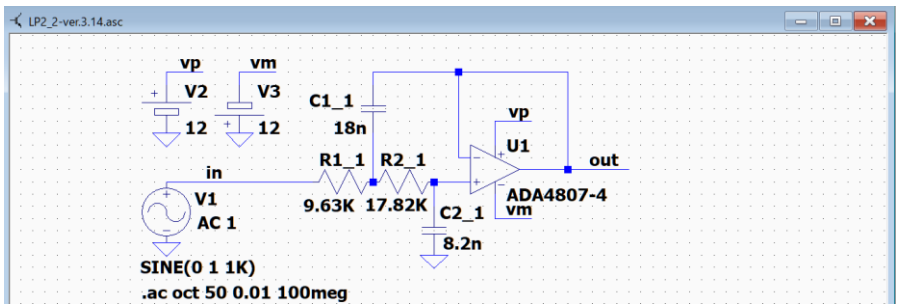
LtAct ver.3.30 での変更点

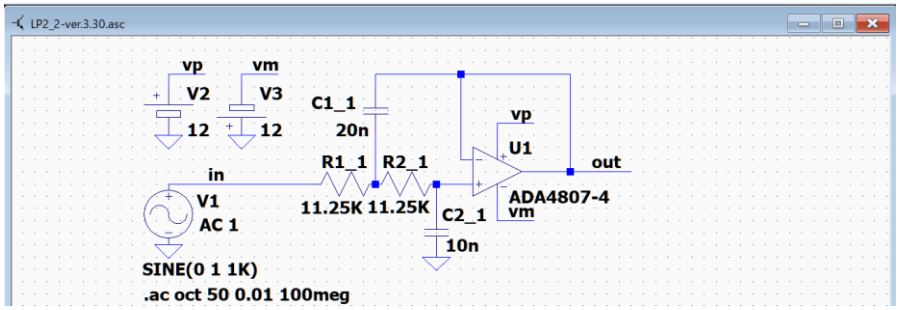
基本回路図の R 素子と C 素子の値の種類を減らすために、LP1 は R1=R2=R3、LP2 は R1=R2、HP1 は C1=C2=C3、HP2 は C1=C2、ET1 は R41=R42=R43=R44=R45=10 k となるように回路図を合成するように変更しました。

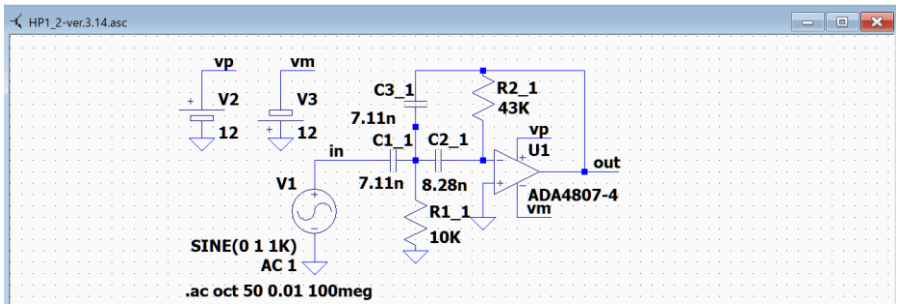
LtAct ver.3.14 の回路図と LtAct ver.3.30 の回路図の比較

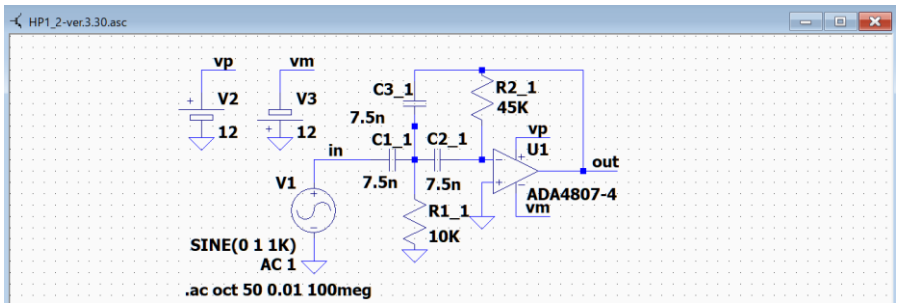


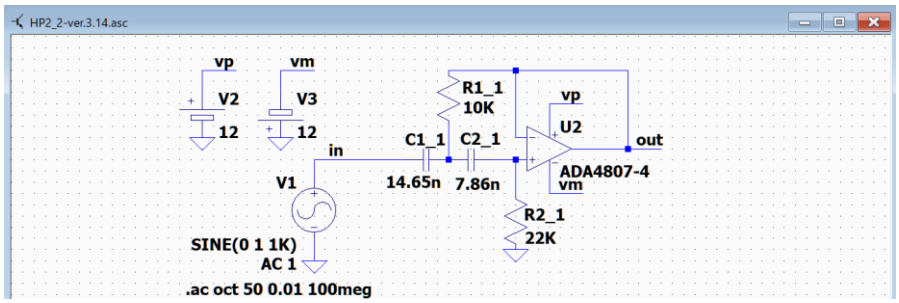


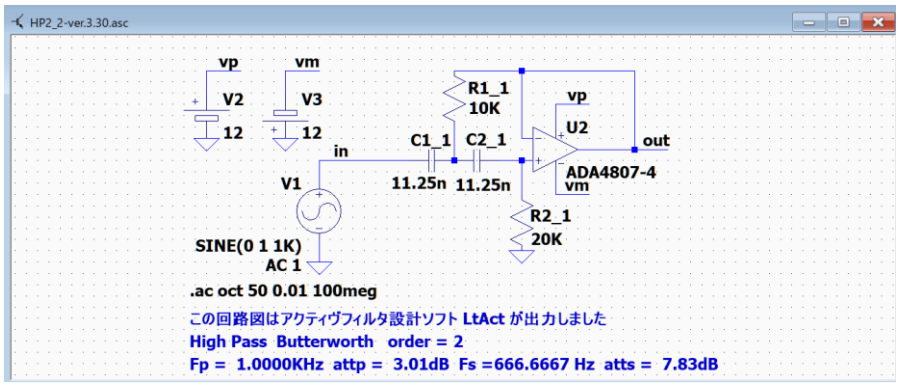


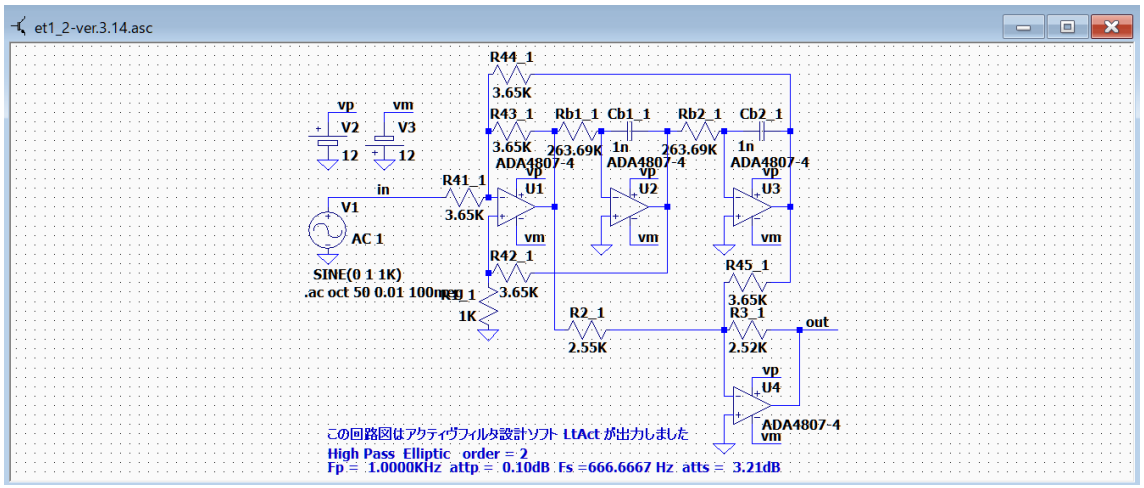


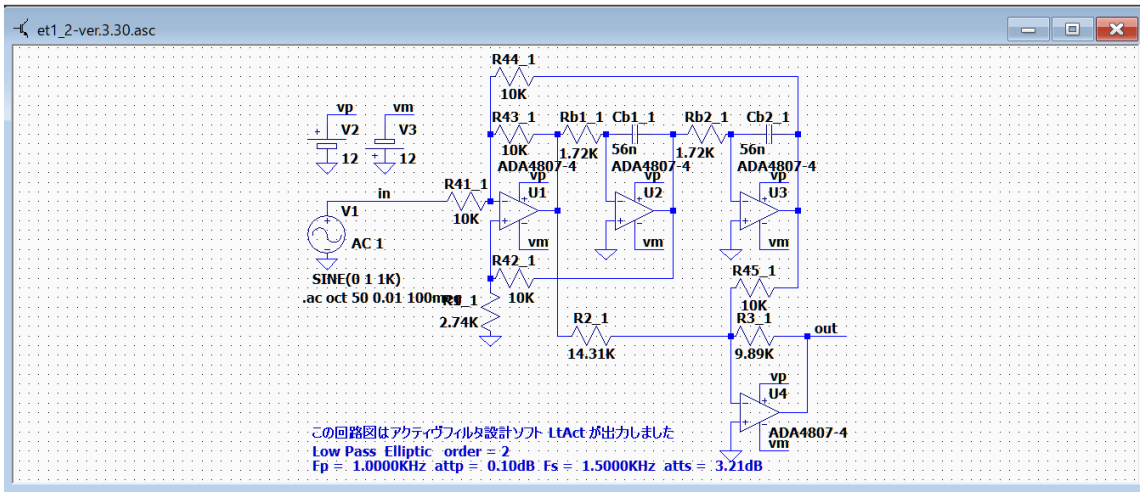

HP1_2-ver.3.14.asc
vp
vm
V2
V3
12
12
C3_1
7.11n
R2_1
43K
C1_1
C2_1
vp
U1
in
out
V1
7.11n
8.28n
R1_1
10K
ADA4807-4
vm
SINE(0 1 1K)
AC 1
.ac oct 50 0.01 100meg


HP1_2-ver.3.30.asc
vp
vm
V2
V3
12
12
C3_1
7.5n
R2_1
45K
C1_1
C2_1
vp
U1
in
out
V1
7.5n
7.5n
R1_1
10K
ADA4807-4
vm
SINE(0 1 1K)
AC 1
.ac oct 50 0.01 100meg


HP2_2-ver.3.14.asc
vp
vm
V2
V3
12
12
R1_1
10K
vp
U2
C1_1
C2_1
out
in
V1
14.65n
7.86n
ADA4807-4
vm
R2_1
22K
SINE(0 1 1K)
AC 1
.ac oct 50 0.01 100meg


HP2_2-ver.3.30.asc
vp
vm
V2
V3
12
12
R1_1
10K
vp
U2
C1_1
C2_1
out
in
V1
11.25n
11.25n
ADA4807-4
vm
R2_1
20K
SINE(0 1 1K)
AC 1
.ac oct 50 0.01 100meg
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
High Pass Butterworth order = 2
Fp = 1.0000KHz attp = 3.01dB Fs =666.6667 Hz atts = 7.83dB


et1_2-ver.3.14.asc
R44_1
3.65K
R43_1
Rb1_1
Cb1_1
Rb2_1
Cb2_1
3.65K
263.69K
1n
263.69K
1n
ADA4807-4
ADA4807-4
ADA4807-4
vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 0.01 100meg
R41_1
3.65K
U1
U2
U3
R42_1
3.65K
R45_1
3.65K
R1_1
1K
R2_1
2.55K
R3_1
2.52K
out
U4
ADA4807-4
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
High Pass Elliptic order = 2
Fp = 1.0000KHz attp = 0.10dB Fs =666.6667 Hz atts = 3.21dB


et1_2-ver.3.30.asc
R44_1
10K
R43_1
Rb1_1
Cb1_1
Rb2_1
Cb2_1
10K
1.72K
56n
1.72K
56n
ADA4807-4
ADA4807-4
ADA4807-4
vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 0.01 100meg
R41_1
10K
U1
U2
U3
R42_1
10K
R45_1
10K
R1_1
2.74K
R2_1
14.31K
R3_1
9.89K
out
U4
ADA4807-4
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
Low Pass Elliptic order = 2
Fp = 1.0000KHz attp = 0.10dB Fs = 1.5000KHz atts = 3.21dB

LtAct ver.3.31 での変更点

「基本回路ごとの調整方法　まとめ」の章を追加しました。

目次

は じ め に 2
LtAct ver.3.30 での変更点 3
LtAct ver.3.31 での変更点 6
目次 7
LtAct の機能 17
フィルタの遮断特性とフィルタ特性による回路の構成 19
表の見方 19
ローパスフィルタのファイル名と回路構成について、 20
ハイパスフィルタのファイル名と回路構成について、 21
バンドパスフィルタのファイル名と回路構成について、 21
バンドエリミネーションフィルタのファイル名と回路構成について、 22
回路構成の確認方法 23
基本回路ブロックの図 28
lp1, hp1 28
LP1, LP2 29
et1, et2 30
HP1, HP2 32
BP1, BP2 33
回路構成の確認方法 35
ユーザ自身による基本回路図ファイルの追加方法 36
LtAct の操作 37
0 フィルタの設計から回路図の作成までの操作手順 39
1 ファイル 47
2 フィルタの種類選択 49
参照モード 50
3 パラメータ入力 51
ダイアログの用語と入力方法について 52
ローパスフィルタの場合 52
周波数の単位変更 53
チェビシェフローパスフィルタの場合 57
逆チェビシェフローパスフィルタの場合 60

楕円関数ローパスフィルタの場合 65
ローパスフィルタの入力ダイアログのまとめ 67
ハイパスフィルタ 71
バンドパスフィルタ 76
バンドエリミネーションフィルタ 79
4 フィルタの変換 83
5 グラフ表示 85
6 表示・出力 86
6-1「回路図ファイルを作成する」 87
回路図のオペアンプを変更する 89
回路定数の設定 91
パラメータ入力と回路定数決定時の注意 96
その他の入力例 99
journal.txt 102
参照モード 103
オペアンプの変更 105
GB 積の例　アナログ・デバイセズ 112
オペアンプの asy ファイルを「LT1115」に合わせる 113
シンボルファイルの流用方法 115
回路図作成における基本回路の選択 116
Xs と Q の関係 117
高周波数のフィルタ回路 122
基本回路の選択のサブメニュー 128
回路図の作成例 129
オーバシュートの改善 事例-1 134
オーバシュートの改善 事例-2 138
設計例の回路図データの利用について 141
6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」 142
ver.2.90 で追加した機能と利用方法 149
参考例　バターワース・ローパス 149
参考例　チェビシェフ・ローパス 152
参考例　逆チェビシェフ・ローパス 155
参考例　楕円関数・ローパス 158
調整方法 161
調整例　バターワース・ローパス　LP1_6-but-4MHz.asc 162
調整例　チェビシェフ・ローパス　LP2_6-chev-4MHz.asc 165

調整例　逆チェビシェフ・ローパス　LP4_6-inv-4MHz.asc 168
調整例　楕円関数・ローパス　LP3_6-ellip-4MHz.asc 171
調整例　楕円関数・ローパス　LP4_6-ellip-4MHz.asc 182
「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」の例 186
バンドパスフィルタとバンドイジェクトフィルタの場合 206
作成した回路図ファイルを確認する 211
6-3「回路図のオペアンプを交換する」 214
高次数のアクティブフィルタのオペアンプを交換した例 219
6-4「指定周波数における利得を表示する」 224
6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」 225
Fc 付近のゲインリストからグラフを作成する方法 231
複数のブロックがある場合 237
バターワースフィルタの場合 242
周波数に「K」などの単位記号がついていない場合 243
周波数特性の調整 250
調整例 LP1_6-but-10MHz.asc 257
調整例 LP2_6-but-10MHz.asc 265
調整例 LP1_6-chev-10MHz.asc 272
調整例 LP2_6-chev-10MHz.asc 279
調整例 LP3_6-inv-10MHz.asc 286
調整例 LP4_6-inv-10MHz.asc 294
調整例 LP3_6-ellip-10MHz.asc 301
調整例 LP4_6-ellip-10MHz.asc 309
7 フォント 316
8 ヘルプ 317
基本回路ごとの調整方法　まとめ 318
LP1 の調整方法 319
LP1_6-chev-1KHz.asc 319
LP1_8-chev-1uHz.asc 320
LP1_8-chev-1uHz-AD8613.asc 321
LP2 の調整方法 322
LP2_8-chev-1KHz.asc 322
LP2_6-chev-10KHz.asc 323
LP2_6-chev-10KHz-Radj.asc 324
LP2_8-chev-1uHz.asc 325
LP2_8-chev-1uHz-AD8613.asc 326

LP3 の調整方法 327
LP3_6-ellip-1KHz.asc 327
LP3_6-ellip-1KHz-Cadj.asc 328
LP4 の調整方法 329
LP4_7-ellip-10KHz-Xs-1p5.asc 329
LP4_8-ellip-10KHz-Xs-1p1.asc 330
LP4_8-ellip-10KHz-Xs-1p1-Cadj.asc 331
HP1 の調整方法 332
HP1_2-but-1KHz.asc 332
HP1_2-but-1KHz-Cadj.asc 333
HP1_2-but-1KHz-Cadj-AD8613.asc 334
HP1_2-but-1KHz-Cadj-AD8613-Radj.asc 335
HP1_3-but-1KHz.asc 336
HP1_3-but-1KHz-Cadj.asc 337
HP2 の調整方法 338
HP2_6-but-1KHz.asc 338
HP2_6-but-1KHz-lp.asc 339
HP2_7-but-1KHz.asc 340
HP2_7-but-1KHz-lp.asc 341
HP3 の調整方法 342
HP3_4-ellip-1KHz.asc 342
HP3_4-ellip-1KHz-Cadj.asc 343
HP3_6-ellip-10KHz.asc 344
HP3_6-ellip-10KHz-Cadj.asc 345
HP4 の調整方法 346
HP4_4-ellip-1KHz.asc 346
HP4_4-ellip-1KHz-adj.asc 347
HP4_6-ellip-1KHz.asc 348
HP4_6-ellip-1KHz-CsA.asc 349
BP1 の調整方法 350
BP1_4-chev-1KHz-3KHz.asc 350
BP2 の調整方法 351
BP2_6-chev-1KHz-5KHz.asc 351
BP2_6-chev-1KHz-5KHz-adj.asc 352
BP3 の調整方法 353
BP3_6-ellip-1KHz-5KHz.asc 353

BP3_6-ellip-1KHz-5KHz-adj.asc 354
BP4 の調整方法 355
BP4_6-ellip-1KHz-5KHz.asc 355
BP4_6-ellip-1KHz-5KHz-adj.asc 356
BE1 の調整方法 357
BE1_6-ellip-1KHz-10KHz.asc 357
BE1_6-ellip-1KHz-10KHz-adj.asc 358
BE2 の調整方法 359
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz.asc 359
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-adj.asc 360
BE2_6-ellip-10KHz-100KHZ-test.asc 361
BE2_6-ellip-10KHz-100KHZ-test-adj.asc 362
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-Good.asc 363
各種の実験 364
ver.3.00 以降の実験 1 364
BP1_3-chev-800-1p25KHz 364
BP4_6-ellip-10Hz-100KHz 370
BP4_6-ellip-10KHz-1MHz 381
BE2_6-ellip-10KHz-1MHz 392
ver.3.00 以降の実験 1 終わり 403
ver.3.00 以降の実験 2 404
LP4_8-ellip-89KHz-Xs-1p1 404
LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2 415
LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-AD8038-adj 416
LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-AD8091-adj 417
LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-LT1226-adj 418
LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-LT1115-adj 419
LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-LT1813-adj 420
未調整時のカットオフ周辺の周波数特性の比較 421
BP4_10-ellip-20Hz-82KHz-Xs-1p2 430
LP4_8-ellip-94KHz-Xs-1p2 445
LP4_8-ellip-200KHz-Xs-1p2 452
LP4_8-ellip-128KHz-Xs-1p5 459
LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2 466
LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2-AD8038-adj 467
LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2-AD8091-adj 468

LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2-LT1226-adj 469
未調整時のカットオフ周辺の周波数特性の比較 470
BP4_10-ellip-20Hz-160KHz-Xs-1p2 478
LP4_8-ellip-1MHz-R-1k 493
ver.3.00 以降の実験 2 終わり 499
ver.3.00 以降の実験 3 500
LP2_2-but-1uHz 501
ADA4807-4 のスペック 503
JFET のオペアンプ 506
その他の OP アンプ 507
LP2_6-but-1uHz 514
LP2_6-chev-1uHz 516
LP4_6-inv-chev-1uHz 518
LP4_6-ellip-1uHz 521
LP4_6-ellip-3p7uHz 524
LP2_6-but-1mHz 527
LP2_6-but-1Hz 529
LP2_6-but-10Hz 532
アナログデバイセスのオペアンプ検索アドレス 535
ver.3.00 以降の実験 3 終わり 535
ver.3.00 以降の実験 4 536
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ 537
基本回路「LP1」バターワース・チェビシェフ 557
基本回路「HP1」バターワース･チェビシェフ 560
基本回路「HP2」バターワース･チェビシェフ 567
基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ 573
基本回路「et1」―「LP3」楕円関数 585
基本回路「et1」―「HP3」逆チェビシェフ 596
基本回路「et1」―「HP3」楕円関数 601
基本回路「et2」―「LP4」逆チェビシェフ 607
基本回路「et2」―「LP4」楕円関数 613
基本回路「et2」―「HP4」逆チェビシェフ 629
基本回路「et2」―「HP4」楕円関数 634
基本回路「BP1」―バターワース・チェビシェフ 637
基本回路「BP2」―バターワース・チェビシェフ 642
基本回路「et1」―「BP3」逆チェビシェフ 644

基本回路「et1」—「BP3」楕円関数 647
基本回路「et2」—「BP4」逆チェビシェフ 650
基本回路「et2」—「BP4」楕円関数 653
基本回路「et1」—「BE1」バターワース・チェビシェフ 656
基本回路「et1」—「BE1」逆チェビシェフ・楕円関数 660
基本回路「et2」—「BE2」バターワース・チェビシェフ 664
基本回路「et2」—「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数 670
最後の調整 676
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-allOK （allOK） 676
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2 （成功例 無調整） 679
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst （成功例 調整後） 680
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk1（ブロック 1 を allOK に交換） 681
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk2（ブロック 2 を allOK に交換） 682
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk3（ブロック 3 を allOK に交換） 683
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk4（ブロック 4 を allOK に交換） 684
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk5（ブロック 5 を allOK に交換） 685
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk6（ブロック 6 を allOK に交換） 686
BE2 のための回路図作成方法 まとめ 687
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try 687
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj 688
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-3-adj（最初の実験） 688
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try 689
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj 690
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst（最初の実験） 690
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try 691
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj 692
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst（最初の実験） 692
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try 693
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj 694
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst（最初の実験） 694

BE2 ellip ピークの低い回路図 695
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-1（BE2 ellip ピークの低い回路図） 695
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-2（BE2 ellip ピークの低い回路図） 696
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-2-adj（BE2 ellip ピークの低い回路図） 697
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-3（BE2 ellip ピークの低い回路図） 698
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-3-adj（BE2 ellip ピークの低い回路図） 700
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-7.asc 701
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-7-adj.asc 702
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-1.asc 703
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-14.asc 704
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-14-adj.asc 705
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-16.asc 706
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-16-adj.asc 707
LP4_6-ellip-1KHz-1.asc 708
LP4_6-ellip-1KHz-3.asc 709
HP4_6-ellip-1KHz-1.asc 710
HP4_6-ellip-1KHz-3.asc 711
BP4_6-ellip-1KHz-3KHz-1.asc 712
BP4_6-ellip-1KHz-3KHz-2.asc 713
ver.3.00 以降の実験 4 終わり 714
ver.3.10 基本回路図を追加 715
LP2_20-but-1KHz-ADA4807-4.asc 717
LP2_20-but-1KHz-LowR.asc 718
LP2_20-but-1KHz-AD8648.asc 719
LP2_20-but-1KHz-LowC-AD8648.asc 720
LP1_20-but-1KHz-ADA4807-4.asc 721
LP4_20-sample.asc 722
LP4_20-sample.asc の伝達関数の係数など 723
LP4_20-ellip-1KHz-Xs1p1.asc 724
LP3_40-inv-chev-1KHz.asc 725
LP3_40-inv-chev-1KHz-Xs-1p1.asc 726
HP2_18-chev-ok.asc 727
HP2_18-chev-ok-AD8648.asc 728
HP3_26.asc（et-1 の調整） 729
HP4_22.asc 730
BP4_20-ellip-10Hz-50KHz.asc 731

BP4_20-ellip-1Hz-5KHz.asc 732
BP4_16-ellip-10Hz-50KHz.asc 733
BP4_16-ellip-10Hz-50KHz-調整例.asc 734
Ver.3.10　終わり 735
素子値を E シリーズに近似する 736
素子値を E シリーズに近似しない場合 737
素子値の決定画面 738
近似の例 1 741
近似の例 2 743
近似の例 3 745
高次数のフィルターの例 748
E シリーズに近似しない時の周波数特性 749
近似した場合の周波数特性 750
ゲインリスト 753
近似後の周波数特性 757
周波数特性のグラフを比較する 758
ローパスフィルタ 758
ハイパスフィルタ 760
バンドパスフィルタ 762
バンドエリミネーションフィルタ 764
極とゼロ点の表示 766
ローパスフィルタ 766
ハイパスフィルタ 768
バンドパスフィルタ 770
バンドエリミネーションフィルタ 772
フィルタの変換 774
ローパスフィルタ 775
ハイパスフィルタ 779
バンドパスフィルタ 783
バンドエリミネーションフィルタ 787
参考文献 791
MCACT 関数ドキュメント　１９９４／０５／０４ 三浦 高志 793
アナログフィルタの合成 802
素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　「手順１」 802
素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　「手順２」 807
素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　「手順３」 814

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　「手順４」 817
ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例 822
LtAct 一式の内容 860
LtAct 概要 861
LtAct 来歴 862
Vector で公開中のソフトとデータ 871
終わり 874

LtAct の機能

LtAct は Vector で公開中の「McAct2W」の回路図出力機能を、フリーで利用可能な Spice シミュレーション・ソフトウェア「LTSpice」用の回路図ファイルを作成するように改造したアクティブフィルタ設計支援ツールです。

計算機能は「McAct2W」に少しずつ改良を加えました。
「LtAct ver.2.10」では、フィルタで使用する各種基本回路ごとに周波数と Q 値に対するコンデンサの推奨値をまとめた参照テーブルをプログラムに組み込みました。
「LtAct ver.2.20」では、各ブロックのカットオフ周波数と Q 値によって、参照した数値を微調整する処理を追加しました。
「LtAct ver.2.40」では、参照モードを変更して基本回路「et1」または「et2」が参照するテーブルを変更可能にしました。
参照テーブルを変更することにより、例えばバンドパスフィルタが非常に広帯域の場合や逆に非常に狭帯域の場合でも好結果が期待できるようになりました。
回路図作成時に「LtAct ver.2.40」以降が表示する候補値の精度が非常に高くなったので、「OK」をクリックし続けるだけで回路図が完成できるようになりました。

LtAct を使用すると、各種アクティブフィルタの回路図 (*.asc)が作成できます。
フィルタの遮断特性
　バターワース、チェビシェフ、逆チェビシェフ及び楕円関数の 4 種類

フィルタの特性
　ローパス、ハイパス、バンドパスおよびバンドエリミネーションの 4 種類

１。ローパスフィルタの設計
１。バターワースフィルタ
　　回路形式ＬＰ１またはＬＰ２
２。チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＬＰ１またはＬＰ２
３。逆チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＬＰ３またはＬＰ４
４。連立チェビシェフ（楕円関数）フィルタ
　　回路形式ＬＰ３またはＬＰ４

２。ハイパスフィルタの設計
１。バターワースフィルタ
　　回路形式ＨＰ１またはＨＰ２
２。チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＨＰ１またはＨＰ２
３。逆チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＨＰ３またはＨＰ４
４。連立チェビシェフ（楕円関数）フィルタ
　　回路形式ＨＰ３またはＨＰ４

３。バンドパスフィルタの設計
１。バターワースフィルタ
　　回路形式ＢＰ１またはＢＰ２
２。チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＢＰ１またはＢＰ２
３。逆チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＢＰ３またはＢＰ４
４。連立チェビシェフ（楕円関数）フィルタ
　　回路形式ＢＰ３またはＢＰ４

４。バンドエリミネーションフィルタの設計
１。バターワースフィルタ
　　回路形式ＢＥ１またはＢＥ２
２。チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＢＥ１またはＢＥ２
３。逆チェビシェフフィルタ
　　回路形式ＢＥ１またはＢＥ２
４。連立チェビシェフ（楕円関数）フィルタ
　　回路形式ＢＥ１またはＢＥ２

フィルタの遮断特性とフィルタ特性による回路の構成

ローパス 次数　n = 2m(+1)	バターワース　及び チェビシェフ	逆チェビシェフ　及び 楕円関数
ファイル名　→ 回路構成　→	LP1_n　n = 2m(+1) (lp1 +) LP1 * m	LP3_n　n = 2m(+1) (lp1 +) et1 * m
ファイル名　→ 回路構成　→	LP2_n　n = 2m(+1) (lp1 +) LP2 * m	LP4_n　n = 2m(+1) (lp1 +) et2 * m
ハイパス 次数　n = 2m(+1)	バターワース　及び チェビシェフ	逆チェビシェフ　及び 楕円関数
ファイル名　→ 回路構成　→	HP1_n　n = 2m(+1) (hp1 +) HP1 * m	HP3_n　n = 2m(+1) (hp1 +) et1 * m
ファイル名　→ 回路構成　→	HP2_n　n = 2*m(+1) (hp1 +) HP2 * m	HP4_n　n = 2m(+1) (hp1 +) et2 * m
バンドパス 次数　n = 2m(+1)	バターワース　及び チェビシェフ	逆チェビシェフ　及び 楕円関数
ファイル名　→ 回路構成　→	BP1_n BP1 * n	BP3_n　n = 2m(+1) (BP2+) et1 * 2m
ファイル名　→ 回路構成　→	BP2_n BP2 * n	BP4_n　n = 2m(+1) (BP2+) et2 * 2m
バンドエリミネーション 次数 n	バターワース　及び チェビシェフ	逆チェビシェフ　及び 楕円関数
ファイル名　→ 回路構成　→	BE1_n et1 * n	BE1_n et1 * n
ファイル名　→ 回路構成　→	BE2_n et2 * n	BE2_n et2 * n

表の見方

表の「ローパス」の「バターワース及びチェビシェフ」の下に、「ファイル名／回路構成」が 2 段表示されています。これは、「LtAct」で回路図を作成する時に基本回路として「LP1」または「LP2」が選択できることを表しています。
「逆チェビシェフ及び楕円関数」の下にも「ファイル名／回路構成」が 2 段表示されており、基本回路として「LP3」または「LP4」が選択できることを表しています。

ファイル名の「LP1_n n = 2m(+1)」は、ファイル名が「LP1_n」となる事を表します。
n はフィルタの次数で、n が奇数なら n=2m+1、偶数なら n=2m と表されます。
回路構成の「(lp1+)LP1 * m」は、n が奇数なら、lp1 と m 個の LP1 を使用することを表します。そして n が偶数なら、m 個の LP1 を使用することを表します。

「ファイル名」が「LP2_n n = 2m(+1)」、「LP3_n n = 2m(+1)」と「LP4_n n = 2m(+1)」についても、ファイル名「LP2_n」、「LP3_n」と「LP4_n」と次数ごとの基本回路 lp1 と「LP2」、「LP3(et1)」と「LP4(et2)」の使用方法は同様になります。

ハイパスはローパスと同様です。ファイル名は、「バターワース及びチェビシェフ」は「HP1_n」または「HP2_n」、「逆チェビシェフ及び楕円関数」は「HP3_n」または「HP4_n」となります。回路構成は、lp1 の代わりに hp1 が使われます。

バンドパスの「逆チェビシェフ及び楕円関数」は、基本回路が「BP3」では n が偶数なら「et1」を 2m 個使用し、奇数なら「BP2」と「et1」を 2m 個使用します。「BP4」では「et1」の代わりに「et2」を使用します。

バンドパスの「バターワース及びチェビシェフ」及びバンドエリミネーションでは、次数 n と同じ個数の基本回路（BP1 または BP2、BE1(et1)または BE2(et2)）を使用します。

ローパスフィルタのファイル名と回路構成について、

例えば、バターワース又はチェビシェフのローパスフィルタのファイル名は、LP1_または LP2_ に次数の数字が付きます。LP1_2.asc や LP2_7.asc のようになります。

フィルタの回路は後で表示する基本回路を組み合わせて作られます。
例えば、LP1_7.asc のように 7 次の奇数次数のローパスフィルタでは、7 = 2 * 3 + 1 なので、表より 1 次のローパスフィルタ「lp1」を 1 個と 2 次のローパスフィルタ「LP1」を 3 個使用します。
LP2_6.asc のように次数が偶数の時には、6 = 2*3 なので、2 次のローパスフィルタ「LP2」を 3 個使用します。

逆チェビシェフまたは楕円関数フィルタの場合には、LP3_または LP4_ に次数の数字が付きます。LP3_2.asc や LP4_7.asc のようになります。
LP3_7.asc のように奇数次数の場合には、7 = 2 * 3 + 1 なので、1 次のローパスフィルタ「lp1」を 1 個と、2 次のローパスフィルタ「et1」を 3 個使用します。
LP4_6.asc のように偶数の時には、6 = 2*3 なので、2 次のローパスフィルタ「et2」を 3 個使用します。

ローパスフィルタのファイル名と回路構成について、

ハイパスフィルタのファイル名と回路構成について、

バターワース又はチェビシェフのハイパスフィルタのファイル名は、HP1_または HP2_ に次数の数字が付きます。HP1_2.asc や HP2_7.asc のようになります。

HP1_7.asc のように奇数次数の場合には、7 = 2 * 3 + 1 なので、1 次のハイパスフィルタ「hp1」を 1 個と、2 次のハイパスフィルタ「HP1」を 3 個使用します。
HP2_6.asc のように偶数の時には、6 = 2*3 なので、2 次のハイパスフィルタ「HP2」を 3 個使用します。

逆チェビシェフまたは楕円関数フィルタの場合には、HP3_または HP4_ に次数の数字が付きます。HP3_2.asc や HP4_7.asc のようになります。

回路構成は、HP3_7.asc のように奇数次数の場合には、7 = 2 * 3 + 1 なので、1 次のハイパスフィルタ「hp1」を 1 個と、2 次のハイパスフィルタ「et1」を 3 個使用します。
HP4_6.asc のように偶数の時には、6 = 2*3 なので、2 次のハイパスフィルタ「et2」を 3 個使用します。

バンドパスフィルタのファイル名と回路構成について、

バターワース又はチェビシェフのバンドパスフィルタのファイル名は、BP1_または BP2_ に次数の数字が付きます。BP1_2.asc や BP2_7.asc のようになります。

BP1_n では、1 次のバンドパスフィルタ「BP1」を次数と同じ n 個使用します。
BP2_n では、1 次のバンドパスフィルタ「BP2」を次数と同じ n 個使用します。

逆チェビシェフまたは楕円関数フィルタの場合には、BP3_または BP4_ に次数の数字が付きます。BP3_2.asc や BP4_7.asc のようになります。

回路構成は、BP3_7.asc のように奇数次数の場合には、7 = 6 + 1 なので、1 次のバンドパスフィルタ「BP2」を 1 個と、1 次のバンドパスフィルタ「et1」を 6 個使用します。
BP4_6.asc のように偶数の時には、1 次のバンドパスフィルタ「et2」を 6 個使用します。

注意：「et1」と「et2」はローパスまたはハイパスで使用する時は 2 次の基本回路ですが、バンドパスまたはバンドエリミネーションで使用する時は 1 次の基本回路です。

ハイパスフィルタのファイル名と回路構成について、

バンドエリミネーションフィルタのファイル名と回路構成について、

バターワース、チェビシェフ、逆チェビシェフおよび楕円関数のバンドエリミネーションフィルタのファイル名は BE1_または BE2_ に次数の数字が付きます。
BE1_2.asc や BE2_7.asc のようになります。

BE1_n では、1 次の BE フィルタ「et1」を次数と同じ n 個使用します。
BE2_n では、1 次の BE フィルタ「et2」を次数と同じ n 個使用します。

回路構成は、BE1_7.asc の場合には、1 次の BE フィルタ「et1」を次数と同じ 7 個使用します。BE2_6.asc では、1 次の BE フィルタ「et2」を次数と同じ 6 個使用します。

BE フィルタではバターワース・チェビシェフ・逆チェビシェフ・楕円関数の全てに対して、基本回路ブロックが BE1（et1）または BE2（et2）のファイル名が付けられます。
必要に応じて逆チェビシェフ・楕円関数の場合には BE3_n または BE4_n に名前を変えて保存すると区別しやすいかもしれません。

「LTSpice 操作入門 」ver.1.2 をインストールしたフォルダの「LtSpice 用サンプル回路図」フォルダのファイルは全て「LtAct」が出力した回路図ファイルです。
https://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an008575.html

バターワースやチェビシェフの回路図と区別するために、逆チェビシェフは BE3_n に、楕円関数は BE4_n にファイル名を変えて保存しました。
「journal.txt」も一緒に収納しています。

バターワース以外の BE フィルタは、奇数次数が高くなると回路が作れないというメッセージが表示されることがあるので、「journal.txt」を参考にして、リプルや倍率 Xs を調整して下さい。奇数次数でも回路図を作ることは出来るのですが、適切なパラメータを見つけることは多少困難です。

バンドエリミネーションフィルタのファイル名と回路構成について、

回路構成の確認方法

「LtAct」で回路図を作成すると、回路図ファイルと一緒に「journal.txt」というファイルが出力されます。
回路図を作成するたびに、回路構成の情報が「journal.txt」に追記されるので、様々なフィルタ形式に対する回路構成を確認することが出来ます。

ローパス・バターワース 2 次フィルタ（LP1_2.asc）に LP1 を使用する場合は LP1 が 1 個使われることが分かります。（LP1_2.asc）は LtAct が参照する回路図ファイル名です。

```
**********************************************************************
回路図ファイル名 E:\LT test\LP1_2.asc  作成日時 Mon Aug 10 06:29:45 2020
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass  Butterworth  次数=2
Fp =  1.0000KHz  attp = 3.0103dB  Fs =  1.5000KHz  atts =  7.83dB

 1 (LP1) C1_1 =  0.1100u  C2_1 =  20.0000n
   R1_1 = R3_1 =  2.6884K  R2_1 =  4.2828K  誤差 = 0.5901 %
```

注：誤差は現在の E シリーズ（デフォルトでは E24 シリーズ）にフィッティングした場合の誤差です。表示されている数値は計算された精密な数値です。
数値が E シリーズの値になっている時は、精密な値に対する誤差を表します。

ローパス・チェビシェフ 3 次フィルタ（LP2_3.asc）に LP2 を使用する場合は lp1 と LP2 が使われることが分かります。

```
**********************************************************************
回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_3.asc  作成日時 Mon Aug 10 06:30:10 2020
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass  Chebyshev  次数=3
Fp =  1.0000KHz  attp = 0.1000dB  Fs =  1.5000KHz  atts =  4.60dB

 1 次のフィルタ回路
 1 (lp1) R1_1 = 912.0992  C1_1 =  0.1800u  誤差 = 0.2301 %
 2 (LP2) C1_2 =  0.1000u  C2_2 =  8.2000n
   R1_2 =  2.0016K  R2_2 =  9.1334K  誤差 = 0.3743 %
```

ローパス・チェビシェフ 6 次フィルタ（LP2_6.asc）に LP2 を使用する場合は LP2 が 3 個使われることが分かります。

****

回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_6.asc 作成日時 Sun Aug 09 11:26:19 2020

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6

Fp = 1.0000KHz attp = 0.0500dB Fs = 2.0000KHz atts = 43.25dB

1 (LP2) C1_1 = 0.1000u C2_1 = 0.5600n
R1_1 = 6.8012K R2_1 = 55.8808K 誤差 = 0.2140 %
2 (LP2) C1_2 = 0.1500u C2_2 = 1.8000n
R1_2 = 1.5066K R2_2 = 82.2410K 誤差 = 0.5292 %
3 (LP2) C1_3 = 0.1000u C2_3 = 27.0000n
R1_3 = 1.8082K R2_3 = 16.0073K 誤差 = 0.4534 %

ハイパス・チェビシェフ 3 次フィルタ（HP1_3.asc）に HP1 を使用する場合は hp1 と HP1 が使われることが分かります。

****

回路図ファイル名 E:\LT test\HP1_3.asc 作成日時 Mon Aug 10 06:40:21 2020

ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Chebyshev 次数=3

Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 4.60dB

1 次のフィルタ回路
1 (hp1) R1_1 = R1_2 = 428.5714 C1_1 = 0.3600u 誤差 = 0.3333 %
2 (HP1) R1_2 = 1.1000K R2_2 = 39.0000K
C1_2 = C3_2 = 62.0963n C2_2 = 16.0672n 誤差 = 0.4458 %

バンドパス・チェビシェフ 2 次フィルタ（BP2_2.asc）に BP2 を使用する場合は BP2 が 2 個使われることが分かります。

****

回路図ファイル名 E:\LT test\BP2_2.asc 作成日時 Mon Aug 10 06:43:57 2020

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Chebyshev 次数=2

Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 2.87dB

1 (BP2) R1_1（2 個）= 22.0000K C1_1（2 個）= 3.6343n R2_1（2 個）= 11.0731K 誤差 = 1.1521 %

1 R3_1 = 11.9702K R4_1 = 11.0000K 誤差 = 0.2487 %

2 (BP2) R1_2（2 個）= 47.0000K C1_2（2 個）= 8.8692n R2_2（2 個）= 23.6561K 誤差 = 2.9808 %

2 R3_2 = 11.9702K R4_2 = 11.0000K 誤差 = 0.2487 %

バンドパス・チェビシェフ 3 次フィルタ（BP2_3.asc）に BP2 を使用する場合は BP2 が 3 個使われることが分かります。

****

回路図ファイル名 E:\LT test\BP2_3.asc 作成日時 Mon Aug 10 06:44:48 2020

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Chebyshev 次数=3

Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 11.04dB

1 (BP2) R1_1（2 個）= 91.0000K C1_1（2 個）= 1.8042n R2_1（2 個）= 50.9315K 誤差 = 0.2666 %

1 R3_1 = 10.0000m R4_1 = 10.0000K 誤差 = 0.0000 %

2 (BP2) R1_2（2 個）= 13.0000K C1_2（2 個）= 15.9690n R2_2（2 個）= 2.9591K 誤差 = 1.3949 %

2 R3_2 = 62.0213K R4_2 = 27.0000K 誤差 = 0.0344 %

3 (BP2) R1_3（2 個）= 33.0000K C1_3（2 個）= 23.7873n R2_3（2 個）= 7.5116K 誤差 = 0.9075 %

3 R3_3 = 62.0213K R4_3 = 27.0000K 誤差 = 0.0344 %

バンドパス・逆チェビシェフ 3 次フィルタ（BP3_3.asc）に BP3 を使用する場合は BP2 と et1 が 2 個使われることが分かります。

****

回路図ファイル名 E:\LT test\BP3_3.asc 作成日時 Mon Aug 10 06:45:13 2020

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Inv. Cheb 次数=3

Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 11.04dB

1 (BP2) R1_1（2 個）= 15.0000K C1_1（2 個）= 3.8430n R2_1（2 個）= 23.9103K 誤差 = 1.5290 %

1 R3_1 = 10.0000m R4_1 = 10.0000K 誤差 = 0.0000 %

2 (et1) Rb_2（2 個）= 388.3917 Cb_2（2 個）= 0.1000u 誤差 = 0.4141 %

2 R1_2 = 4.3000K R2_2 = 36.8852K R3_2 = 23.4763K R4_2（5 個）= 24.5433K 誤差 = 3.9542 %

3 (et1) Rb_3（2 個）= 1.8116K Cb_3（2 個）= 0.1200u 誤差 = 0.6416 %

3 R1_3 = 1.0000K R2_3 = 3.7979K R3_3 = 3.6328K R4_3（5 個）= 5.7077K 誤差 = 3.4065 %

バンドパス・逆チェビシェフ 3 次フィルタ（BP4_3.asc）に BP4 を使用する場合は BP2 と et2 が 2 個使われることが分かります。

****

回路図ファイル名 E:\LT test\BP4_3.asc 作成日時 Tue Aug 11 10:26:51 2020

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Inv. Cheb 次数=3

Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 11.04dB

1 (BP2) R1_1（2 個）= 15.0000K C1_1（2 個）= 3.8430n R2_1（2 個）= 23.9103K 誤差 = 1.5290 %

1 R3_1 = 10.0000m R4_1 = 10.0000K 誤差 = 0.0000 %

2 (et2) Rb_2（2 個）= 62.1212 Cb_2（2 個）= 0.5100u R1_2 = 31.0606 C1_2 = 1.0200u 誤差 = 3.9424 %

2 R2_2 = 1.4987K C2_2 = 0.1600u 誤差 = 0.0871 %

2 R3_2 = 1.8075K R5_2 = 62.0000K 誤差 = 0.4174 %

2 R4_2 = 10.0648K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.6439 %

3 (et2) Rb_3（2 個）= 619.7839 Cb_3（2 個）= 0.4300u R1_3 = 309.8920 C1_3 = 0.8600u 誤差 = 5.6413 %

回路構成の確認方法

3 R2_3 = 1.6000K C2_3 = 38.8934n 誤差 = 0.2742 %
3 R3_3 = 1.0015K R5_3 = 13.0000K 誤差 = 0.1526 %
3 R4_3 = 15.7315K R6_3 = 15.0000K 誤差 = 1.7070 %

バンドエリミネーション・楕円関数 3 次フィルタ（BE2_3）に BE2 を使用する場合は et2 が 3 個使用されることが分かります。

****

回路図ファイル名 E:\LT test\BE2_3.asc 作成日時 Tue Aug 11 10:28:40 2020
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=3
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 2.0000KHz atts = 43.46dB

1 (et2) Rb_1（2 個）= 510.4897 Cb_1（2 個）= 0.1800u R1_1 = 255.2449 C1_1 = 0.3600u 誤差 = 5.7816 %
1 R2_1 = 510.4897 C2_1 = 0.1800u 誤差 = 0.0959 %
1 R3_1 = 7.5188K R5_1 = 56.0000K 誤差 = 0.2498 %
1 R4_1 = 179.8523K R6_1 = 68.0000K 誤差 = 0.0821 %
2 (et2) Rb_2（2 個）= 300.2851 Cb_2（2 個）= 0.2700u R1_2 = 150.1426 C1_2 = 0.5400u 誤差 = 3.7061 %
2 R2_2 = 470.0000 C2_2 = 39.0949n 誤差 = 0.2426 %
2 R3_2 = 14.9331K R5_2 = 56.0000K 誤差 = 0.4478 %
2 R4_2 = 27.0616K R6_2 = 20.0000K 誤差 = 0.2277 %
3 (et2) Rb_3（2 個）= 473.3679 Cb_3（2 個）= 0.2200u R1_3 = 236.6839 C1_3 = 0.4400u 誤差 = 2.7630 %
3 R2_3 = 748.6341 C2_3 = 0.3300u 誤差 = 0.1825 %
3 R3_3 = 11.0021K R5_3 = 13.0000K 誤差 = 0.0192 %
3 R4_3 = 17.9314K R6_3 = 11.0000K 誤差 = 0.3826 %

基本回路ブロックの図

lp1, hp1

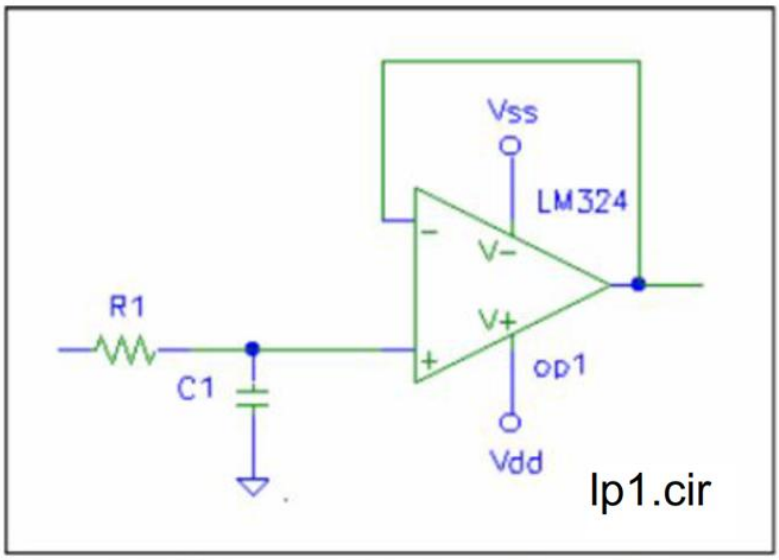


図２－１　１次のローパスフィルタ基本回路１　lp1_1.cir

ｌｐ１＿１．ｃｉｒの伝達関数

$$H_1(\omega_p, s) = \frac{(1/C_1R_1)}{s + (1/C_1R_1)} \qquad (2-1)$$

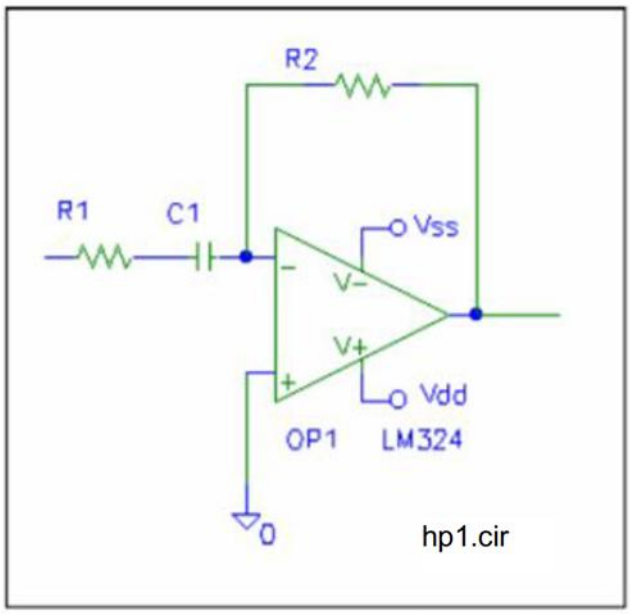


図４－１　１次のハイパスフィルタ基本回路１　hp1_1.cir

ｈｐ１＿１．ｃｉｒの伝達関数

$$H_1(\omega_p, s) = -\frac{R_2}{R_1}\frac{s}{s+(1/C_1R_1)} \qquad (4-1)$$

LP1, LP2

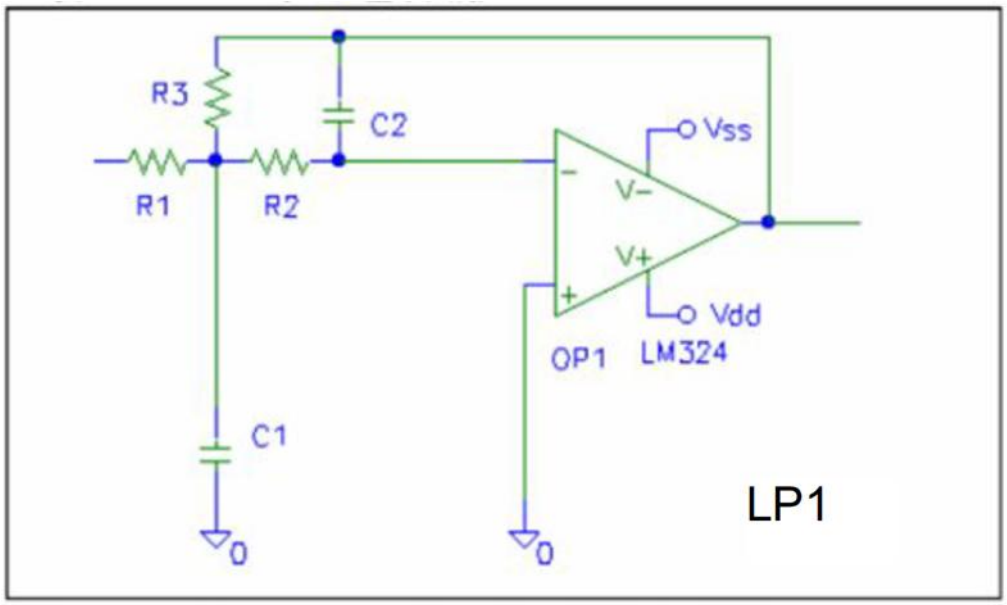


図２－３　２次のローパスフィルタ基本回路 lpat1_2.cir

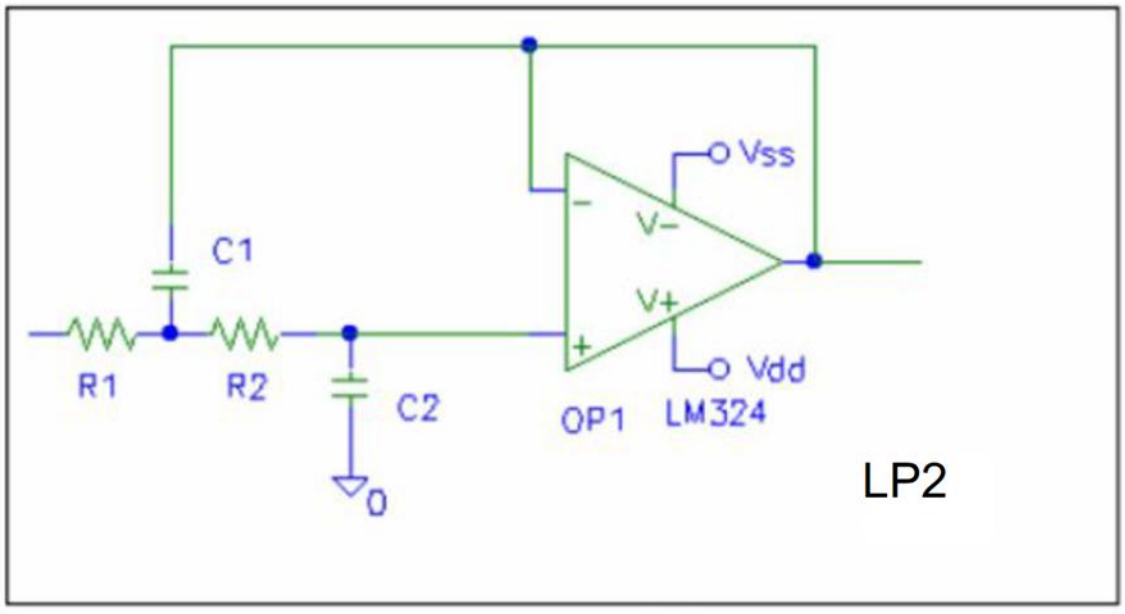


図２－４　２次のローパスフィルタ基本回路 lpat2_2.cir

ＬＰ１の伝達関数

$$H_2(\omega_p, s) = \frac{-\left(\frac{R_3}{R_1}\right)\left(\frac{1}{C_1 C_2 R_2 R_3}\right)}{s^2 + \frac{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_3 R_1}{C_1 R_1 R_2 R_3} s + \left(\frac{1}{C_1 C_2 R_2 R_3}\right)} \qquad (2-3)$$

ＬＰ２の伝達関数

$$H_2(\omega_p, s) = \frac{\frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}}{s^2 + \frac{R_1 + R_2}{C_1 R_1 R_2} s + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}} \qquad (2-4)$$

et1, et2

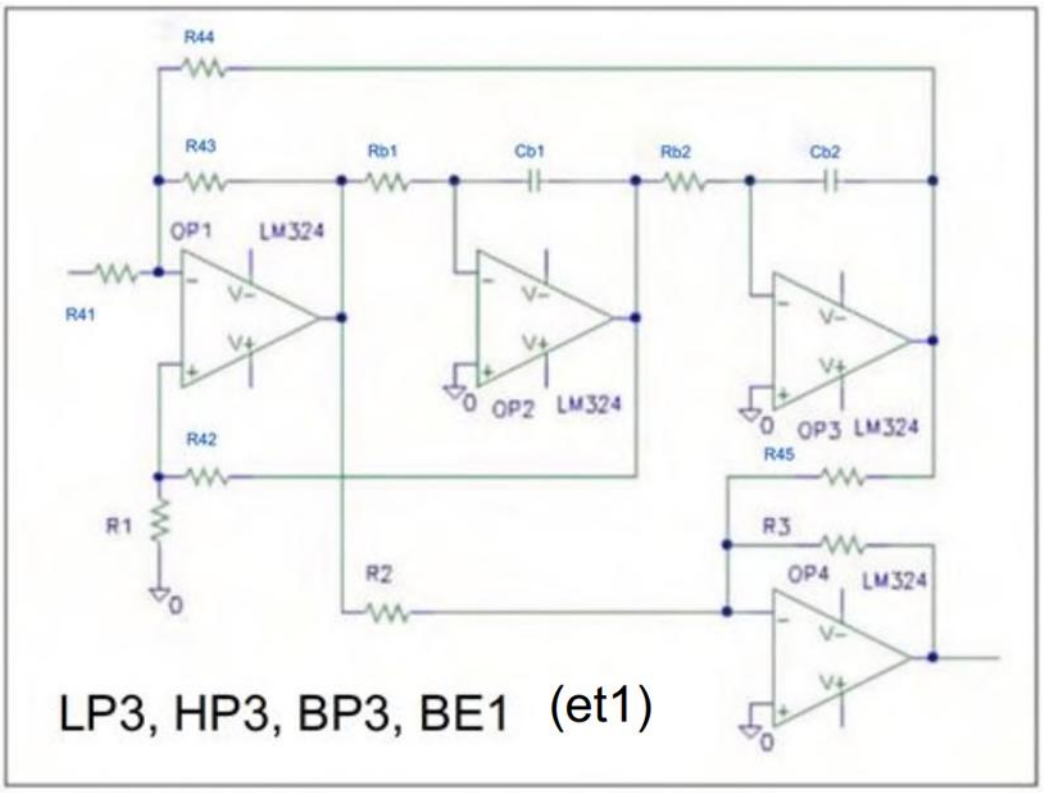
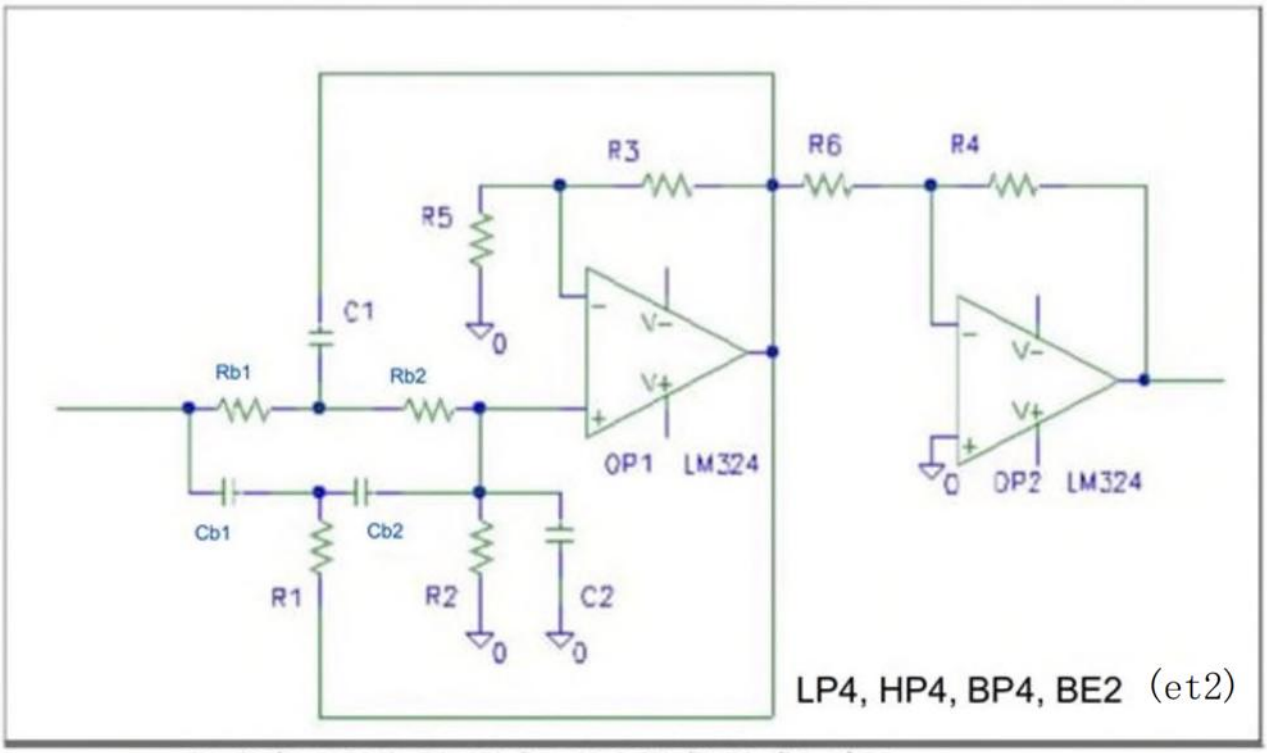


図２―5 2次のローパスフィルタ基本回路 lpet1_2.cir



R1=Rb/2, C1=2Cb, R2=2Rb/kr, C2=kdCb/2, R3=(kk-1)R5

図2―6　2次のローパスフィルタ基本回路 lpet2_2.cir

ＬＰ３，ＨＰ３，ＢＰ３，ＢＥ１の伝達関数

$$H_2(\omega_p,s)=\frac{R_3}{R_2}\frac{s^2+\dfrac{R_2}{C_b{}^2R_b{}^2R_4}}{s^2+\dfrac{3R_1}{C_bR_b(R_1+R_4)}s+\dfrac{1}{C_b{}^2R_b{}^2}} \qquad (2-5)$$

ＬＰ４，ＨＰ４，ＢＰ４，ＢＥ２の伝達関数

$$H_2(\omega_p,s)=-\frac{kk}{1+kd}\frac{R_4}{R_6}\frac{s^2+\left(\dfrac{1}{C_bR_b}\right)^2}{s^2+\dfrac{kd+kr+4-4kk}{C_bR_b(1+kd)}s+\dfrac{1+kr}{C_b{}^2R_b{}^2(1+kd)}} \qquad (2-6)$$

HP1, HP2

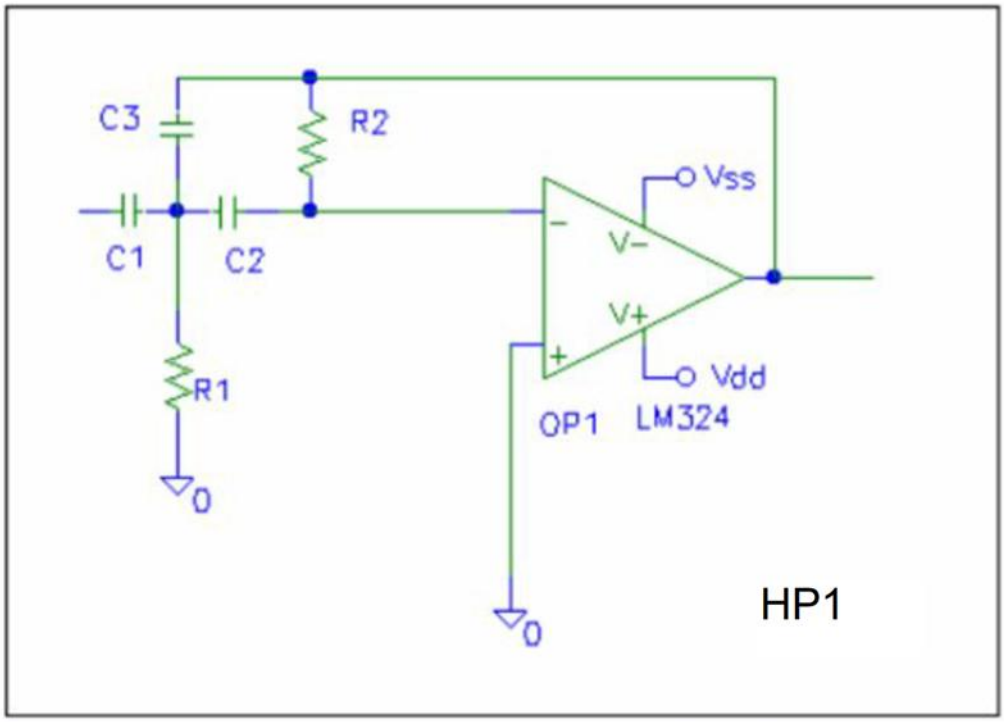


図４－２　２次のハイパスフィルタ基本回路　hpat1_2.cir

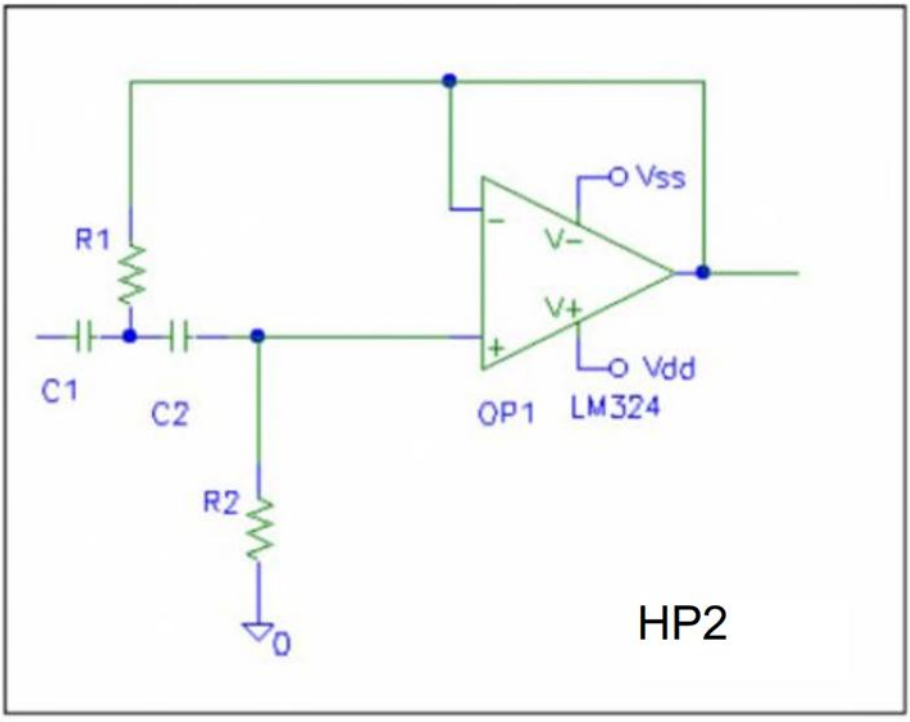


図４－３　２次のハイパスフィルタ基本回路　hpat2_2.cir

ＨＰ１の伝達関数

$$H_2\left(\omega_p, s\right) = -\frac{C_1}{C_3}\frac{s^2}{s^2 + \frac{C_1 + C_2 + C_3}{C_2 C_3 R_2}s + \frac{1}{C_2 C_3 R_1 R_2}} \qquad (4-2)$$

ＨＰ２の伝達関数

$$H_2\left(\omega_p, s\right) = \frac{s^2}{s^2 + \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2 R_2}s + \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}} \qquad (4-3)$$

BP1, BP2

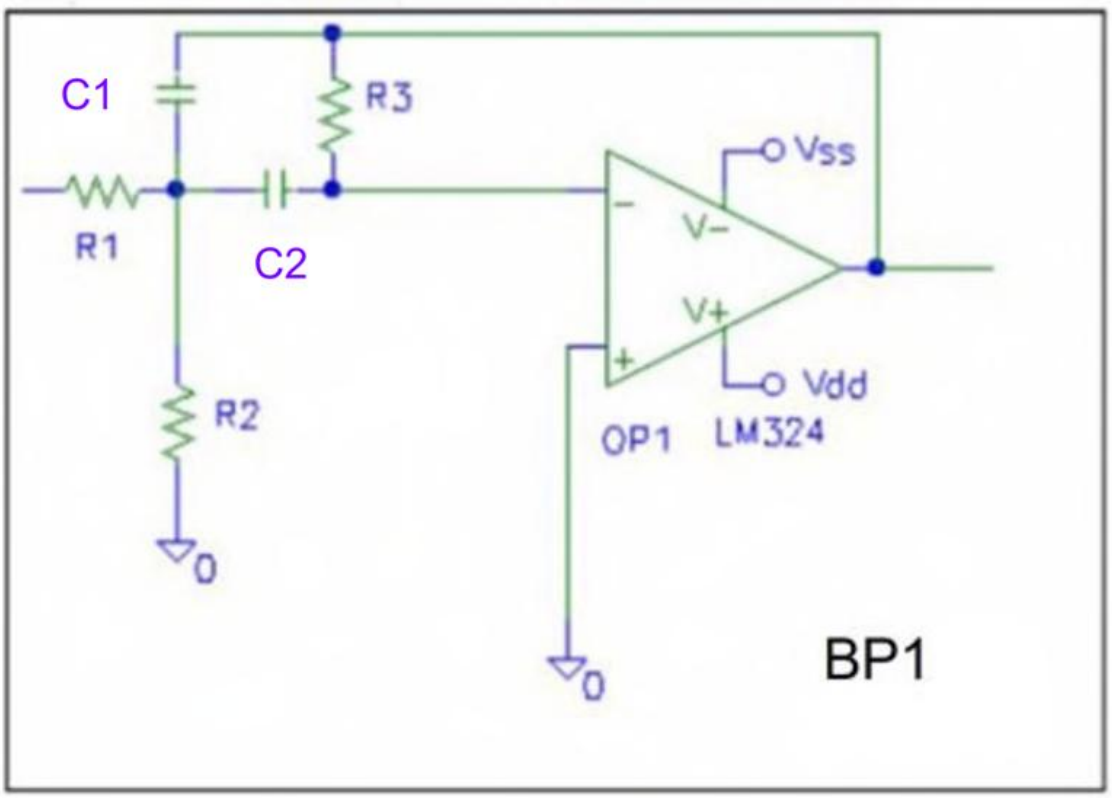


図6-1　1次のバンドパスフィルタ基本回路 1　bpat1.cir

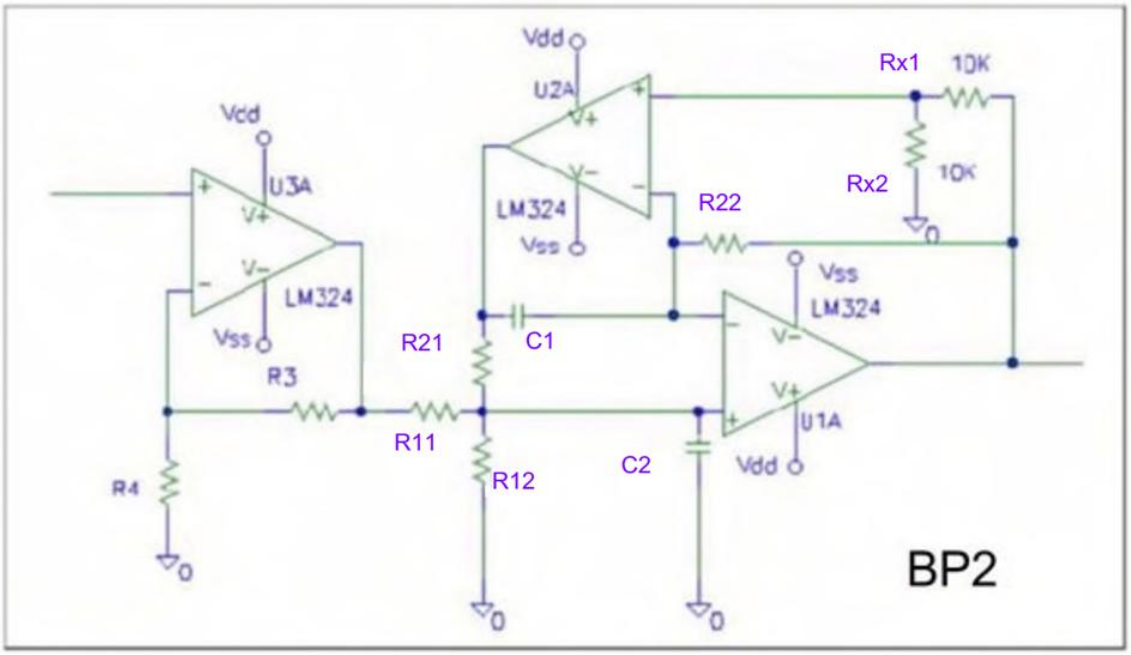


図6-2 1次のバンドパスフィルタ基本回路 bpat2_1.cir

ＢＰ１の伝達関数

$$H_1(\omega_p, s) = -\frac{R_3}{2R_1} \frac{\frac{2}{CR_3}s}{s^2 + \frac{2}{CR_3}s + \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2 R_3 C^2}} \qquad (6-1)$$

ＢＰ２の伝達関数

$$H_2(\omega_p, s) = \frac{R_4 + R_3}{R_4} \frac{\frac{2}{CR_1}s}{s^2 + \frac{2}{CR_1}s + \left(\frac{1}{CR_2}\right)^2} \qquad (6-2)$$

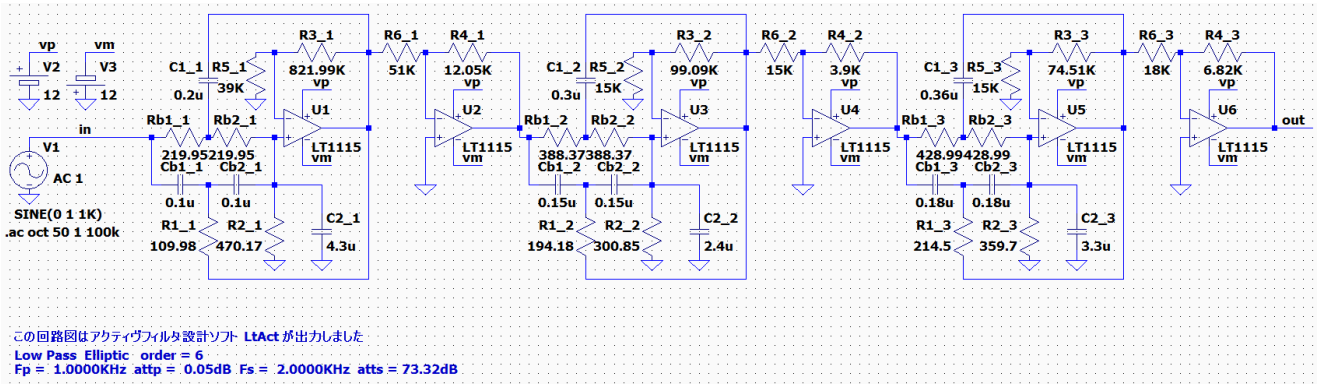
「LtAct」の計算値が R3 = 0 になる時には、「LTSpice」では素子値に 0 を使用することが出来ないので、「LtAct」は R3 = 10m（0.01）を出力します。

基本回路ブロックの図

回路構成の確認方法

「LtAct」で回路図ファイルを作成したら、出力された回路図ファイルを「LTSpice」で open すると回路構成を確認することが出来ます。

ローパス・楕円関数 6 次フィルタに LP4 を使用した「LP4_6.asc」の回路図です。

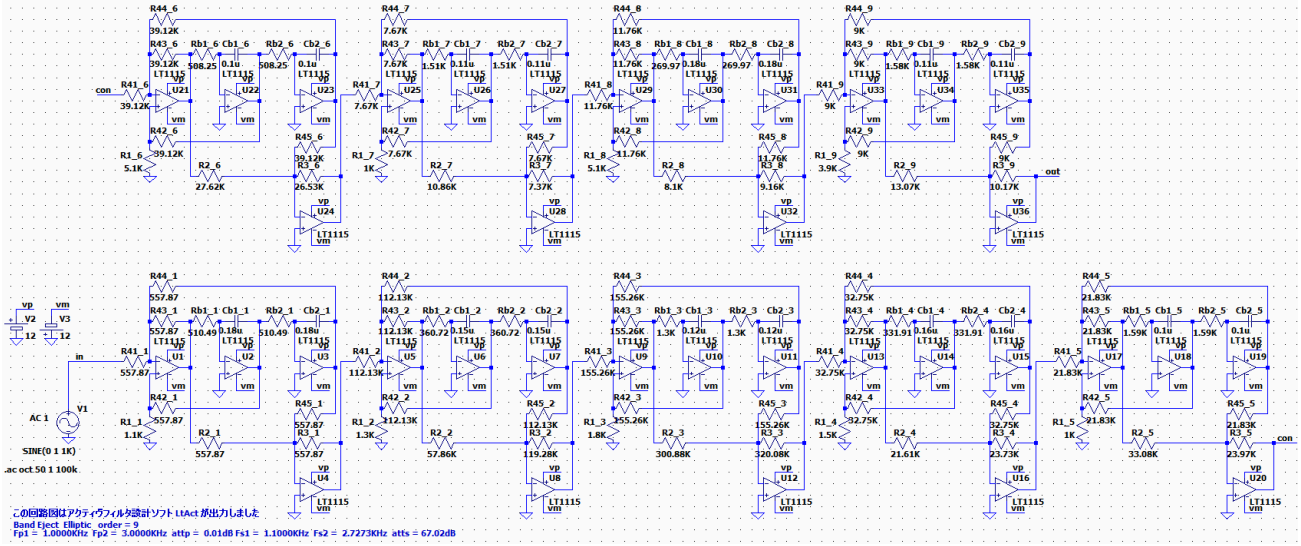


部品名の後ろにブロック番号「_1」から「_3」が付いています。ブロック番号が同じ部分が 1 つの回路ブロックになっています。

このフィルタでは、同じ基本回路ブロックが 3 個使われていることが分かります。

「基本回路ブロックの図」で調べると、LP4（et2）だと分かります。

バンドエリミネーション・楕円関数 9 次フィルタに BE1 を使用した「BE1_9.asc」です



基本回路ブロックとして、BE1（et1）が 9 個使われていることが分かります。

フィルタによっては、2 種類の基本回路ブロックが使用される場合があります。

「基本回路ブロックの図」を参照して確認してください。

回路構成の確認方法

ユーザ自身による基本回路図ファイルの追加方法

本プログラムでは 2 次から 40 次までの各種フィルタ回路図を作成できます。BP1～BP4 および BE1～BE2 は 20 次までの回路図を作成可能です。10 次以上は偶数次数のみ可能。計算だけは、５８次フィルタまでの伝達関数を計算可能です。

「LtAct」は入力されたファイル形式などのパラメータを「SYS」フォルダに格納された基本回路図のデータに適用して、要求されたフィルタの回路図ファイルを作成します。

基本回路ファイルは、LcAct をインストールしたフォルダ下の「SYS」にある lp1_10.asc のような形式のファイルです。

公開中の「LtAct」には 40 次（BE1～BE2 は 20 次）までの回路図を出力できる基本回路図を収納しています。
収納されている次数以上のフィルタ回路図が必要な場合には、その次数の基本回路図を自作する必要があります。

例えば、10 次のローパス・フィルター lp1_10.asc を LTSpice で編集して、2 次の基本回路を追加して素子名を適切に書き換えることで、lp1_12.asc という 12 次フィルタのファイルを作成することができます。

基本回路を拡張する作業は、「LTSpice」で行いますので、
詳しい編集手順は Vector で公開中の「LTSpice 操作入門」ver.1.2 で説明しています。
https://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an008575.html

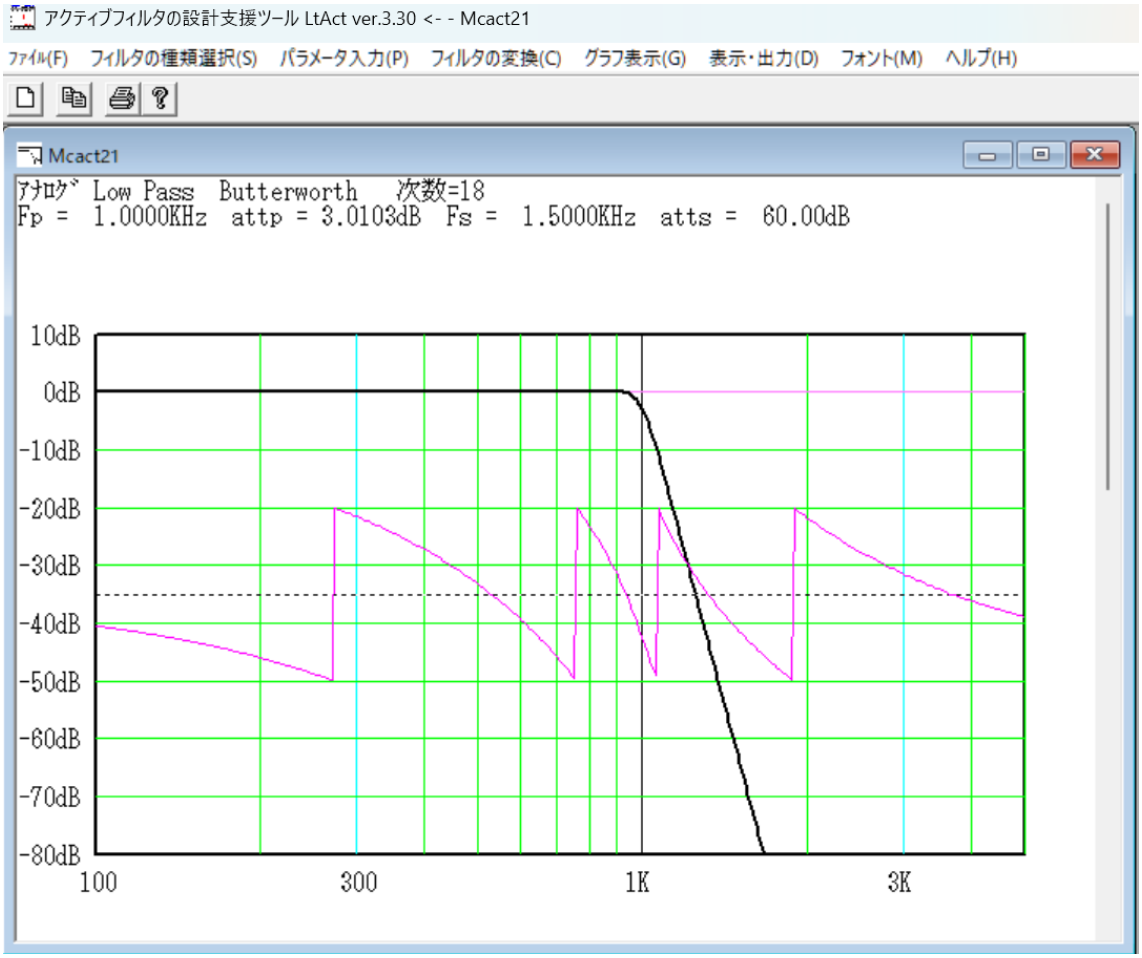
回路図を出力する時に、「SYS」に該当する次数の基本回路図が無くても「journal.txt」ファイルだけを出力することが出来ます。

フィルタの回路図を出力した後で、「journal.txt」をエディタで読み込んで、使用された基本回路名と部品の素子値を知ることが出来ます。

LtAct の操作

Windows OS は日本語対応版を使用してください。

LtAct ver.3.30 を起動すると、以下の様な画面が表示されます。

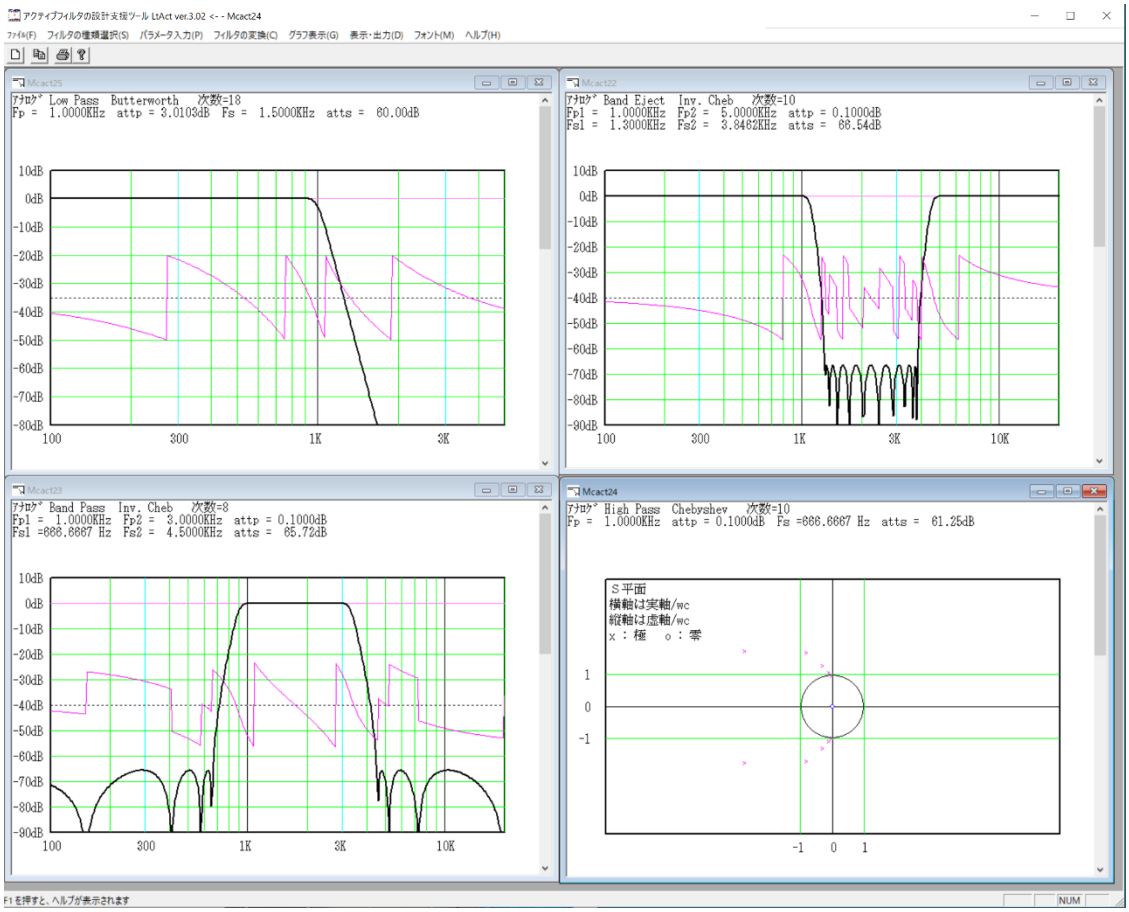


「LtAct ver.3.30」は「McAct2W」を「LTSpice」対応に改造したので、タイトルを「アクティブフィルタの設計支援ツール LtAct ver.3.30 <-- Mcact21」に変更しました。

LtAct の起動直後には、ローパス バターワースフィルタの次数 18 次 のフィルタの周波数対利得グラフが表示されます。

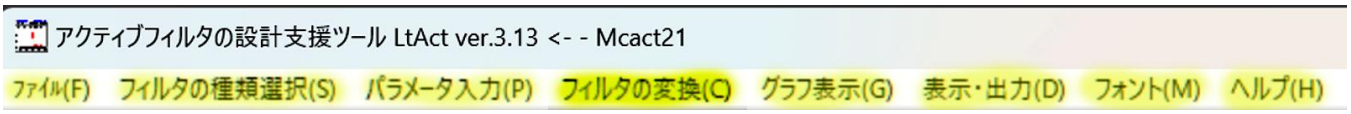
このデフォルトのフィルタ指定は、メニューの「フィルタ」→「新規作成」によって新しいフィルタの設計画面を開いた時にも適用されます。

LtAct は同時に複数のウィンドウを開いてアクティヴフィルタを設計出来ます。



4 つのウィンドウを開いた画面です

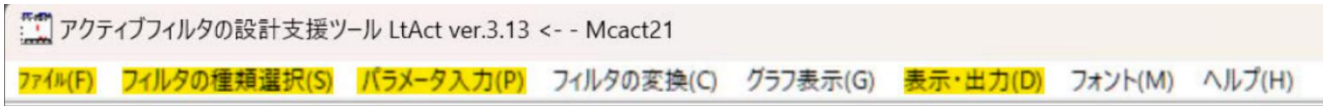
LtAct は画面上部のツールバーを用いて操作します。



次ページ以降、１「ファイル(F)」、２「フィルタの種類選択(S)」、３「パラメータ入力(P)」、４「フィルタの変換(C)」、５「グラフ表示(G)」、６「表示・出力(D)」、７「フォント(M)」及び８「ヘルプ(H)」について、順に説明します。

0 フィルタの設計から回路図の作成までの操作手順

ツールバー



1. 画面上部のツールバーから「フィルタの種類選択」をクリックして、設計するフィルタの種類と遮断特性などを選択して「OK」を押す。

2. 「設計パラメータの入力」ウィンドウが表示されるので、希望する周波数などを入力して「OK」を押す。

3. ここまでの操作で、希望するフィルタの設計が完了して、設計したフィルタの周波数特性が表示されます。

4. 表示された周波数特性を確認して、変更したいことがあれば画面上部のツールバーから「パラメータ入力」をクリックして周波数などを変更して「OK」を押す。

5. 回路図を作成したい時は、画面上部のツールバーから「表示・出力」をクリックして「回路図ファイルを出力する」を選択して「OK」を押す。

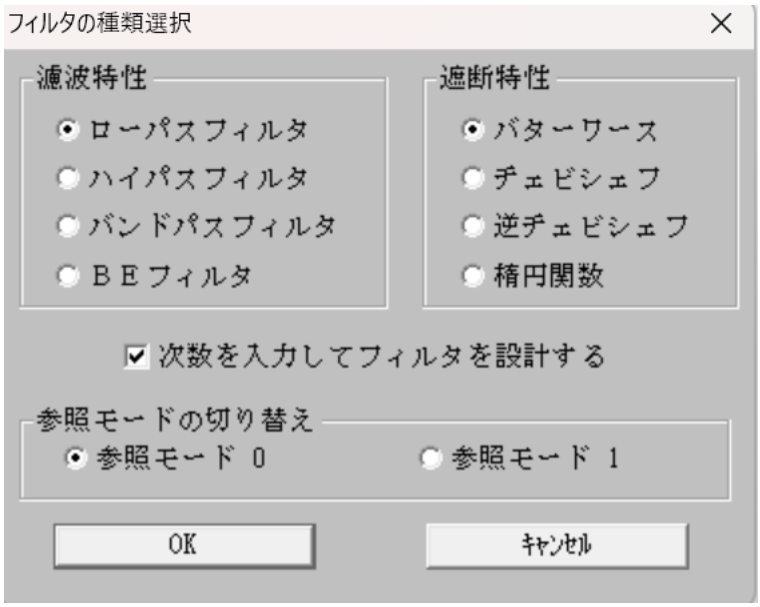
6. 「6 表示・出力」の説明に従って、「ファイルたの回路選択」を行い、「回路図」のファイル名を決定し、「使用するオペアンプ」を決定し、表示される素子の候補値を確認して「OK」を押し続けます。これで回路図が完成しました。

7. 回路図の動作を確認するには、画面上部のツールバーから「ファイル」をクリックして、「データファイルを開く」をクリックして今作成した回路図を選択して「開く」をクリックすると「LTSpice」が起動して回路図が表示されます。

操作手順の例

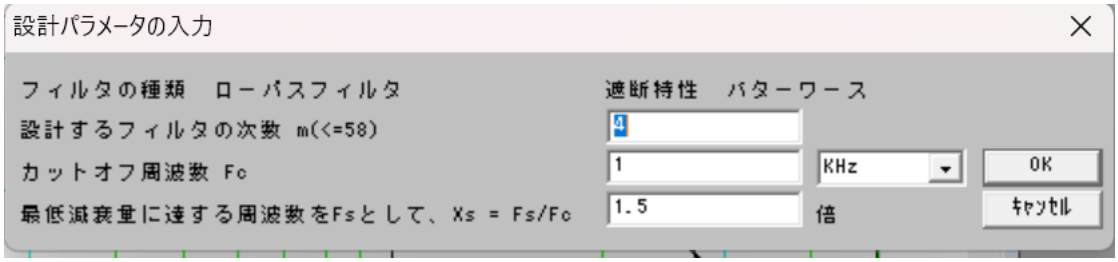
4 次のバターワースローパスフィルタ、カットオフ周波数は 1KHz、減衰量を確認する周波数は 1.5KHz のフィルタを設計する時の操作の流れは次のようになります。

１．フィルタの種類選択



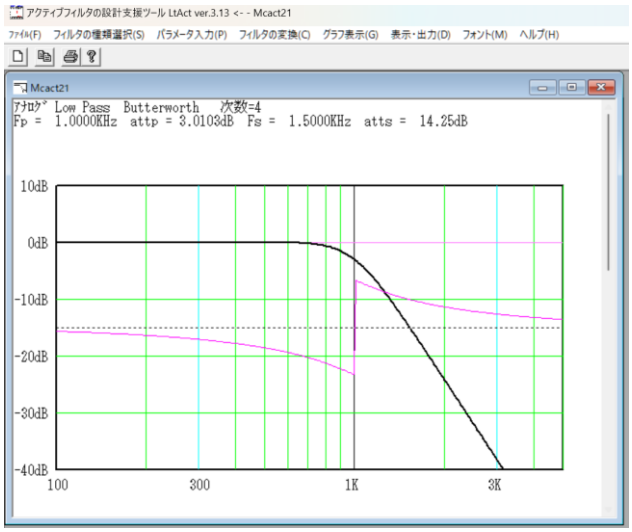
希望する特性などをチェックして「OK」を押す。

２．設計パラメータの入力



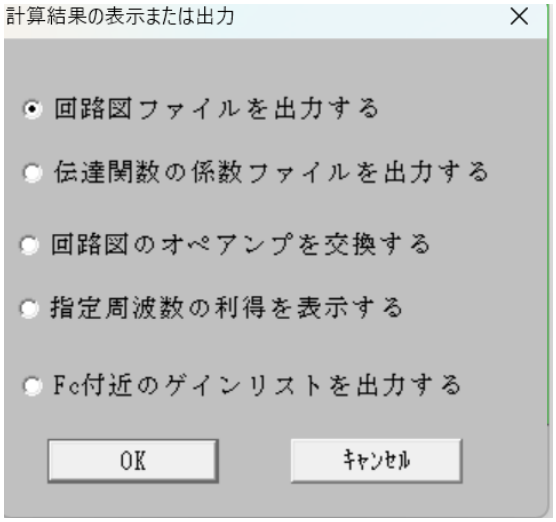
「設計するフィルタの次数」に「4」、「カットオフ周波数」に「1」(KHz)を入力する。
Xs に確認する周波数とカットオフ周波数の比(1.5)を入力する。

３．周波数特性の表示。設計は完了しました



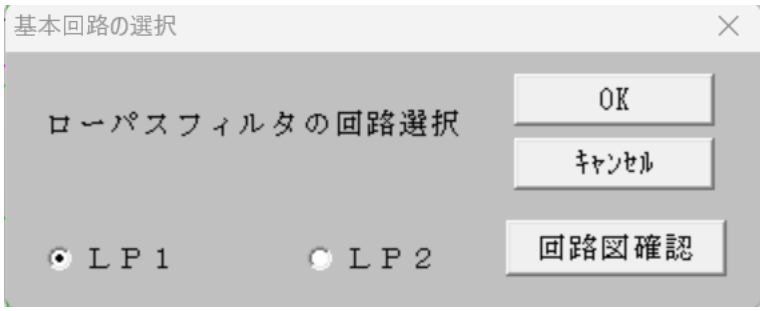
グラフ上部の表示から、1.5KHz の減衰量は 14.25dB になることが分かります。

５．表示・出力　「回路図ファイルを出力する」をチェックして「OK」を押す。



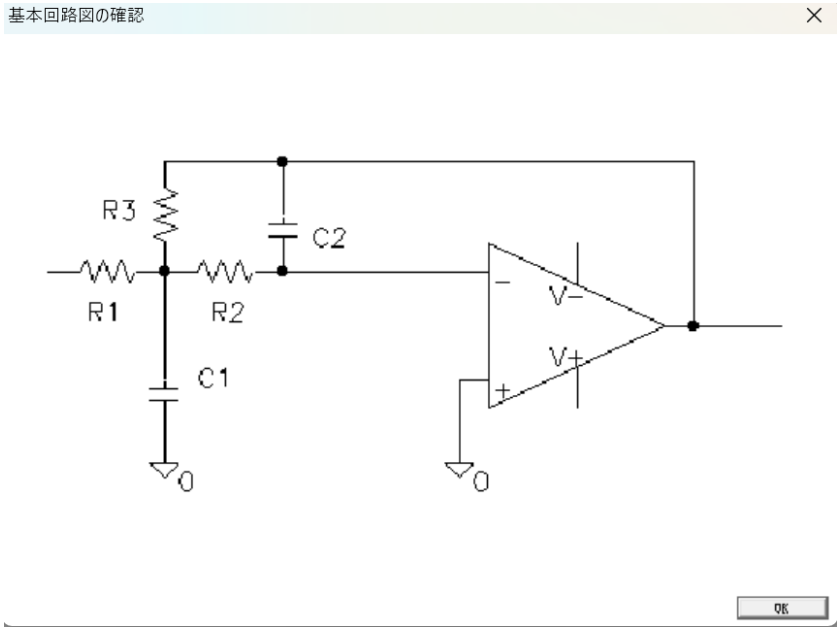
伝達関数を確認するには、「伝達関数の係数ファイルを出力する」をクリックする。
詳細は「6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」」を参照して下さい。

６－１　回路選択



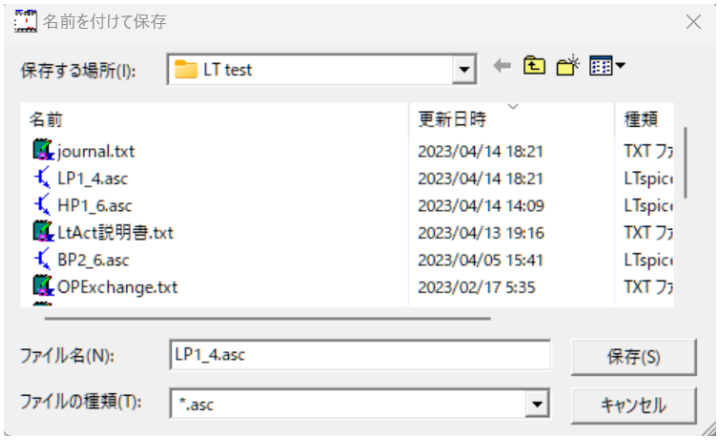
「LP1」または「LP2」をチェックする。

「回路図確認」をクリックすると、選択された基本回路図が表示される。

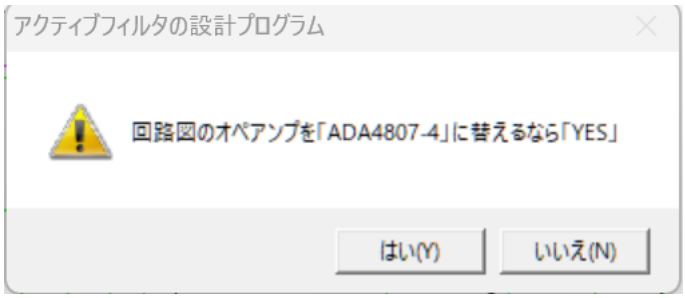


LP1 の基本回路図

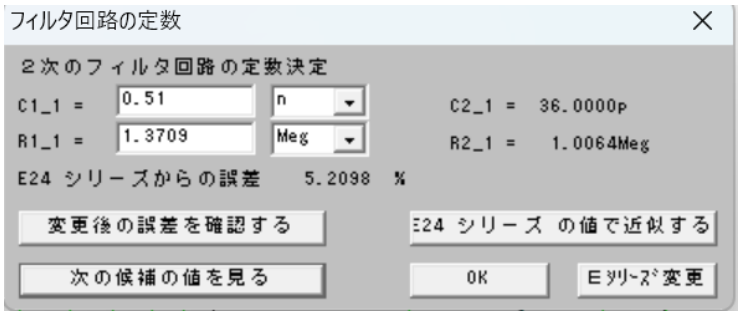
６－２　「回路図」のファイル名（LP1_4.asc）を決定



６－３　オペアンプの決定

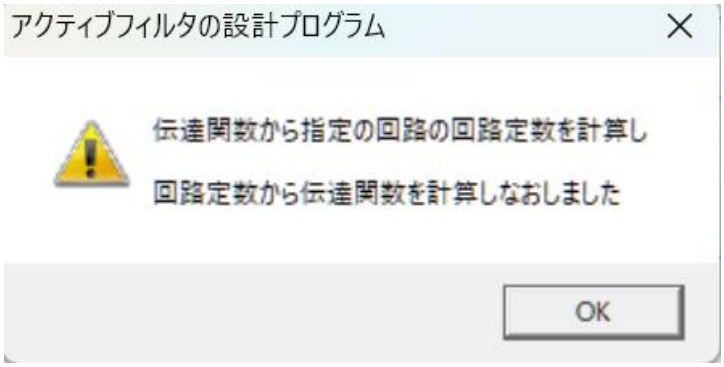


６－４　素子値の決定

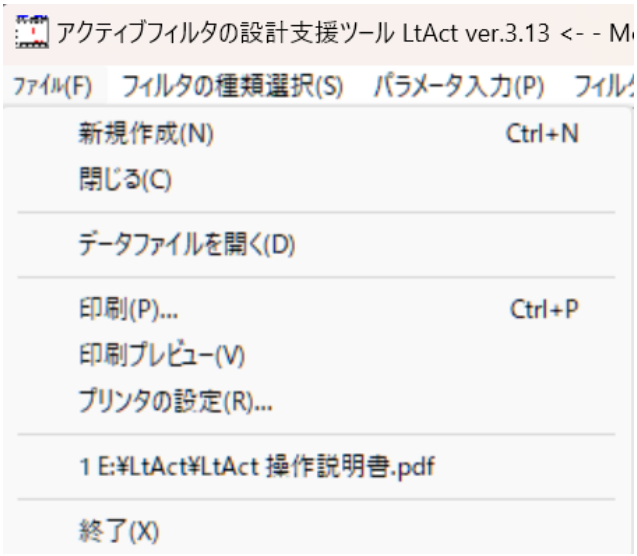


候補値を確認して「OK」を押し続ける。

６－５　素子値の決定完了

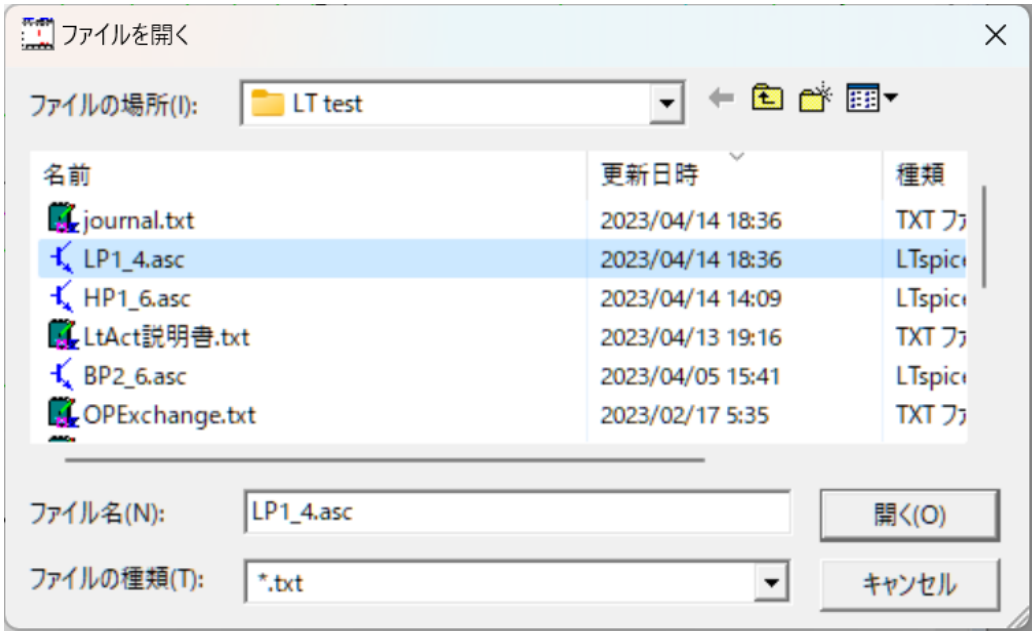


７．作成した回路図の確認

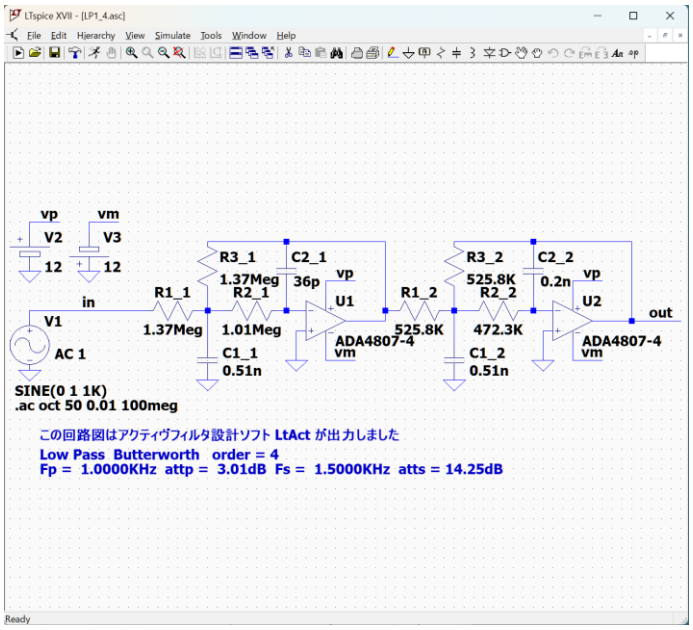


「データファイルを開く」をクリックする。

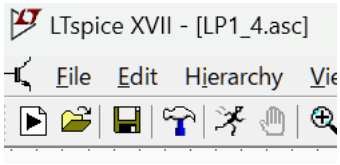
７－１　回路図を選択する



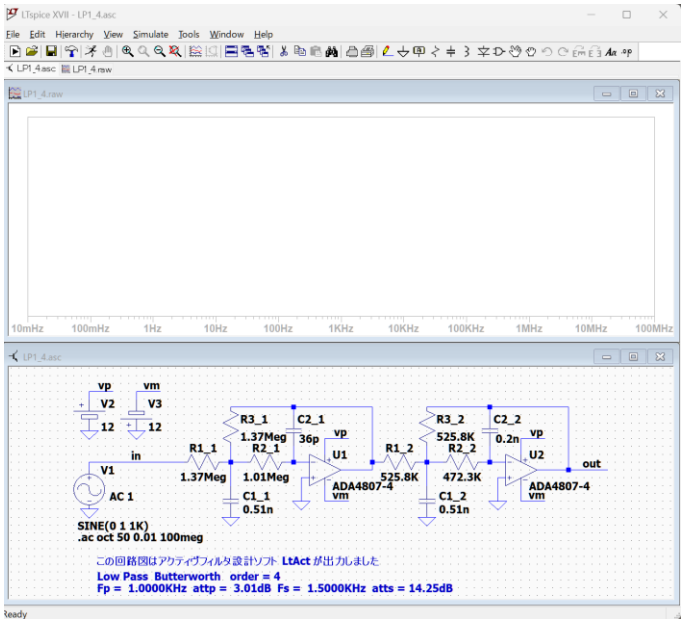
７－２　LTSpice が起動して、回路図が表示される



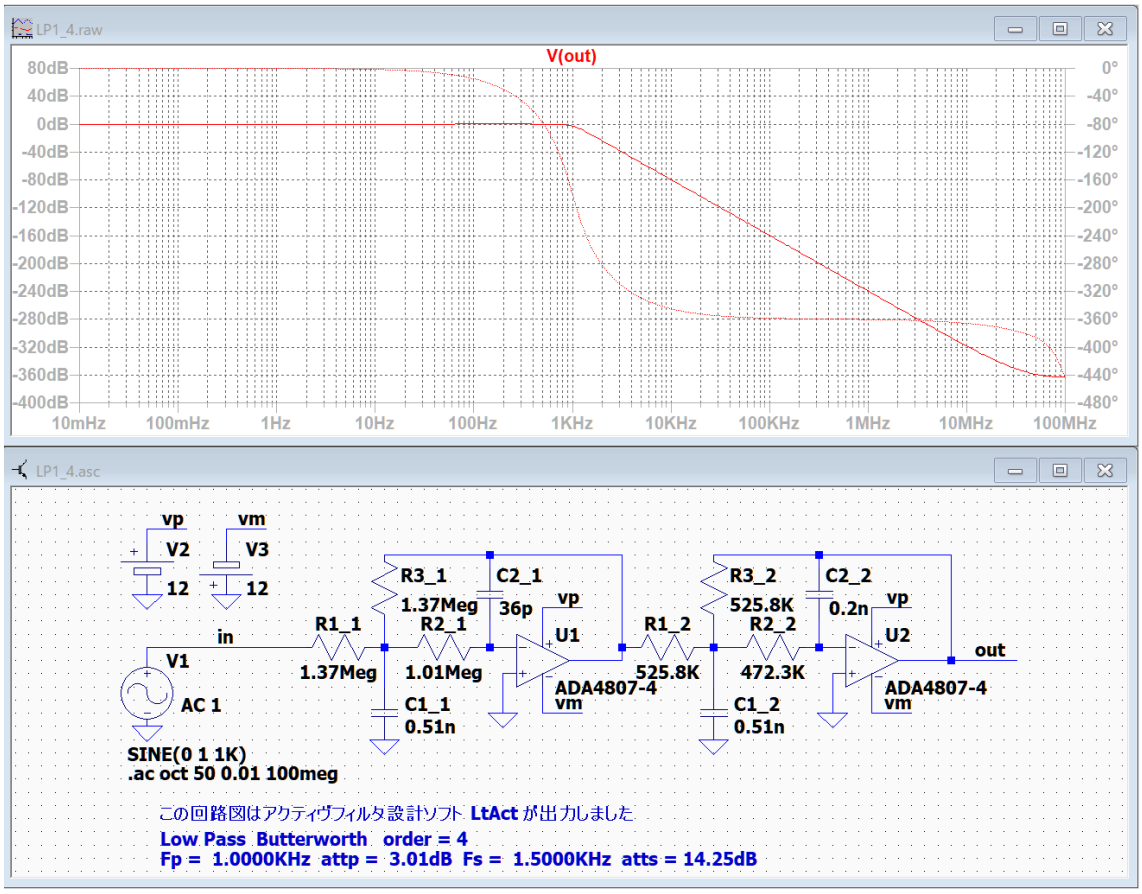
７－３　周波数特性を確認する



をクリックする。

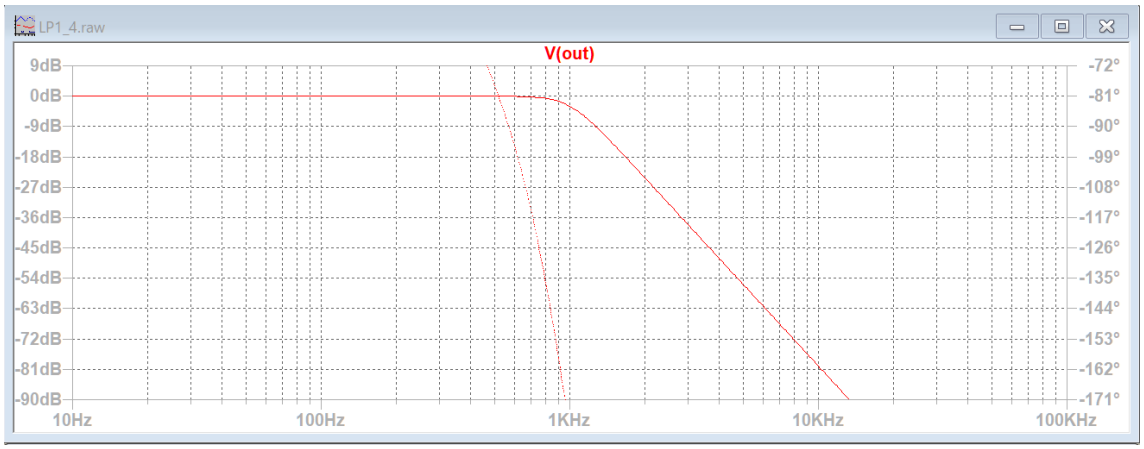


カーソルを回路図のウインドウに移動して「out」の上で左クリックする。



設計したフィルターの周波数特性が表示される。

グラフの一部分をドラッグすると、選択した範囲の周波数特性が拡大表示される。



操作の詳しい説明は、「2 フィルタの種類選択」～「6 表示・出力」を参照して下さい。

１ ファイル

次のプルダウンサブメニューが表示されます。

新規作成（N）　　Ctrl+N
閉じる（C）
データファイルを開く（D）
印刷（P）
印刷プレビュー（V）
プリンタの設定（R）
終了（X）

１－１ 新規作成（またはツールバーの ）

新しく、フィルタを設計するための画面を開きます。デフォルトのフィルタの周波数対利得グラフが表示されます。現在設計中のフィルタの情報は継承されません。

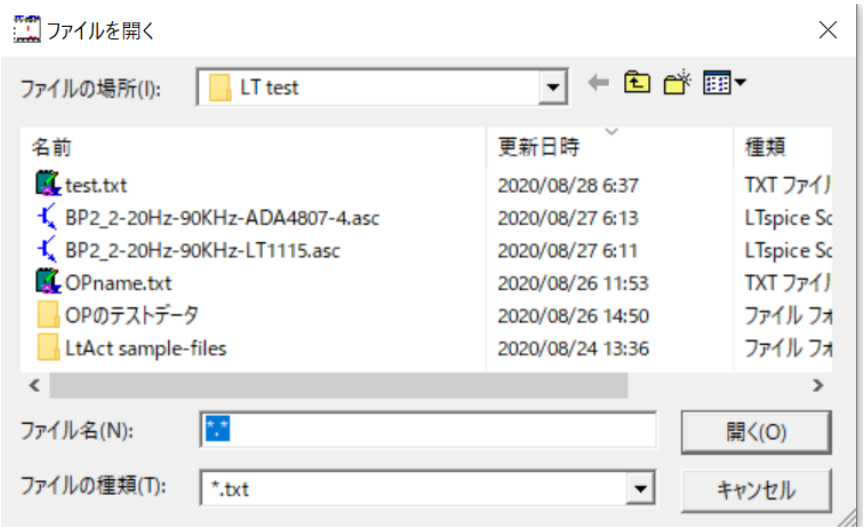
１－２ 閉じる（または、現在作業中の画面の左上隅のコントロール）

現在作業中の画面を閉じます。設計作業中のデータ保存などはしません。

１－３ データファイルを開く

メニューの「表示・出力」→「伝達関数の係数をファイルに出力する」によって保存された伝達関数の係数リストなどを読みだして、別ウィンドウに表示します。

ファイルの拡張子に関連付けられたプログラムが起動するので、回路図ファイルを選択すると、「LTSpice」が起動して回路図が表示されます。



1ー4 印刷（またはツールバーの ）

現在表示されている画面を印刷します。

1ー5 印刷プレビュー

現在表示されている画面の、印刷時のイメージを表示します。

1ー6 プリンタの設定

用紙の方向など、プリンタの設定をします。

1ー7 終了

LtAct を終了して、Ｗｉｎｄｏｗｓに戻ります。

その他のツールバー

現在表示されている画面をクリップボードにコピーします。

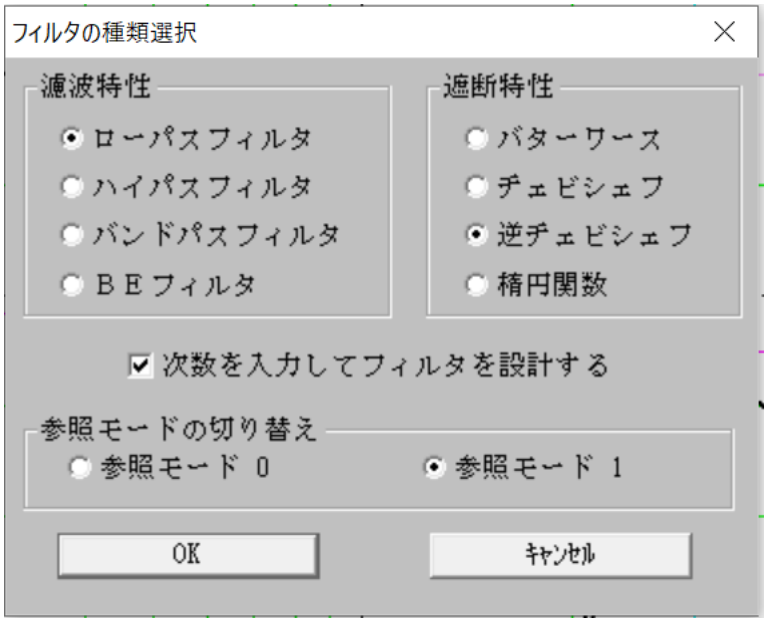
白黒の画面コピーです。

現在は、下記の方法をお勧めします。

［Win］+［Shift］+［S］を押してから、範囲を選択して指を離すと画面コピーが出来ます。これを word などの文書に貼り付けるとカラーの画面をコピーできます。

２ フィルタの種類選択

次のダイアログが表示されて、設計したいフィルタの種類とパラメータ入力方法および「参照モード」を指定出来ます。



「次数を入力してフィルタを設計する」をチェックするとパラメータ入力の時に自分でフィルタの次数を入力するモードになります。
チェックしない時は、入力されたパラメータの値から要求仕様を満たす最低次数を計算してフィルタの設計を行います。

「LtACt ver.2.30」から、「回路の構成と素子値」は各ブロックごとに基本回路名に加えて参照したテーブル名とその周波数の行番号および Q 値の列番号を追加しました。
「LtAct ver.2.40」から「参照モード」を切り替えることが出来ます。

基本回路名は「LP1」「LP2」「HP1」「HP2」「BP1」「BP2」「et1」「et2」
テーブル名は「LP1」「LP2」「LP3」「LP4」「HP1」「HP2」「HP3」「HP4」「BP1」「BP2」

各ブロックごとに参照したテーブルは、「HP3-1-2」の書式で表示されます。
「HP3」はテーブル名で、「1」は周波数の行番号（0 から 3 まで）です。
「0」なら 1KHz、「1」なら 10KHz、「2」なら 100KHz、「3」は 1000KHz です。
次の「2」は Q 値の列番号（0 から 2 まで）です。
「0」なら Q > 5、「1」なら Q < 3.5、「2」なら Q < 1.5 を表します。

参照モード

「LtAct ver.2.40」から、逆チェビシェフと楕円関数の基本回路「et1」「et2」において、どのテーブルを参照して素子値を計算するかのモードを選択可能としました。

テーブル参照のモード

フィルタ名	モード 0	モード 1
LP3	LP3--	HP3--
HP3	HP3--	HP3--
BP3	LP3/HP3	HP3--
BE1	LP3/HP3	HP3--

LP3-- ：各ブロックがLP3を参照する

LP3/HP3 ：第1ブロックはLP3、以降はHP3を参照

BE1は、第2ブロックがLP3、その他はHP3

フィルタ名	モード 0	モード 1
LP4	LP4--	HP4--
HP4	HP4--	HP4--
BP4	LP4/HP4	HP4--
BE2	LP4/HP4	HP4--

参照モード 1 にすると、基本回路「et1／et2」のコンデンサの値が小さくなります。

私の個人的な感想では、BP3 と BP4 では Fp2 / Fp1 の値が大きい時は、「参照モード 0」で回路図を作成後、Cb1_?の最大値 Cmx と最小値 Cmn の幾何平均$Cav = \sqrt{Cmx \cdot Cmn}$ を全てのブロックに設定すると好結果が得られると思います。

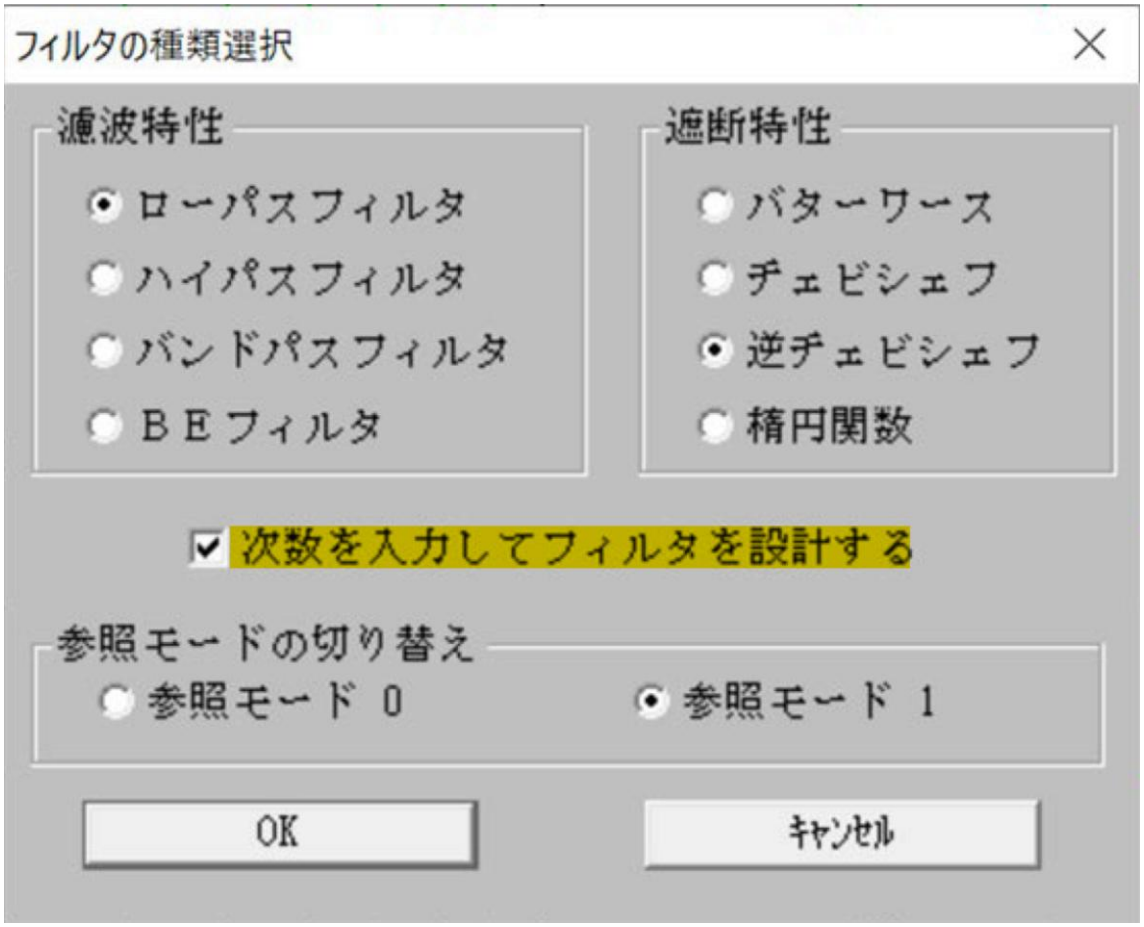
逆に Fp2 / Fp1 の値が小さい時は、「参照モード 1」で回路図を作成し、それ以外の場合には「参照モード 0」で作成するのが良いと思います。
最終的には、LtSpice で特性を確認してからどの方法にするかを選択してください。

「ヘルプ」→「LtAct 設計例 ver210」→「基本回路とコンデンサの推奨値」から、参照テーブルの内容を確認できます。

参照モード

３ パラメータ入力

「フィルタの種類選択」をクリックして、フィルタの種類と遮断特性を選択します。
この時に、設計するフィルタの「次数」を入力してフィルタを設計したいならば、
「次数を入力してフィルタを設計する」をクリックします。
「次数」を指定しない時には、入力されたフィルタのカットオフ周波数などのパラメータから要求を満たす最低次数のフィルタを設計します。



参照モード

ダイアログの用語と入力方法について

フィルタのパラメータを入力するためには、カットオフ周波数とかリプルなどの用語を理解して入力する必要があります。
フィルターごとに使用される用語は次のようになります。

ローパスフィルタの場合

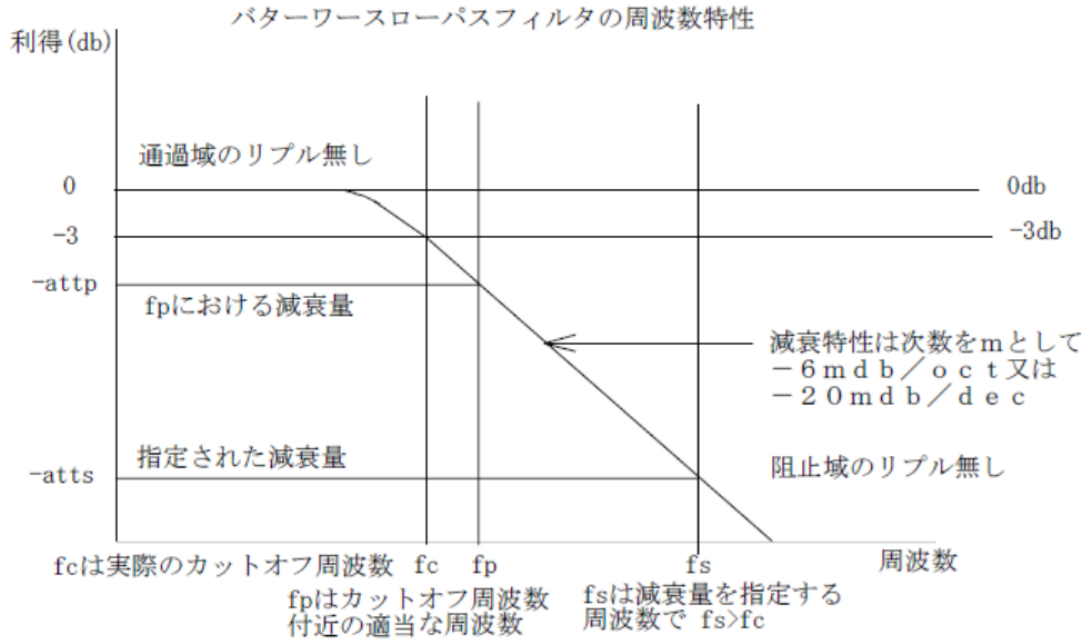


図１－１　バターワースローパスフィルタの周波数特性

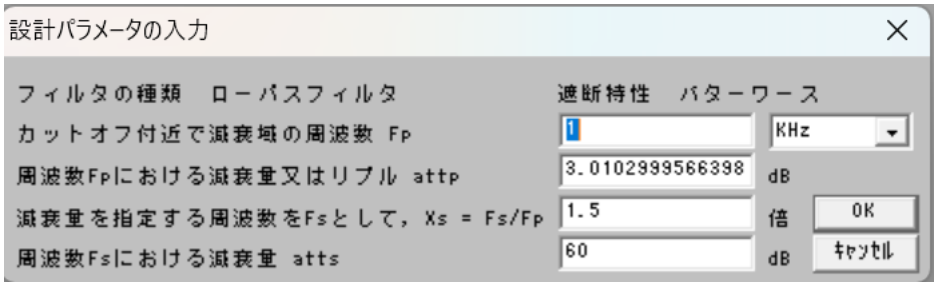
各種フィルタでは通過域の減衰量を 0dB として、減衰量が 3dB となる周波数をカットオフ周波数と呼びます。

-3dB というのは、信号の振幅が $1/\sqrt{2}$、電力では $1/2$ になることを意味します。

注意：バターワースフィルタではカットオフ周波数における減衰量は、フィルタの次数によらず -3dB となります。

バターワースを設計する時

次数を入力しない時

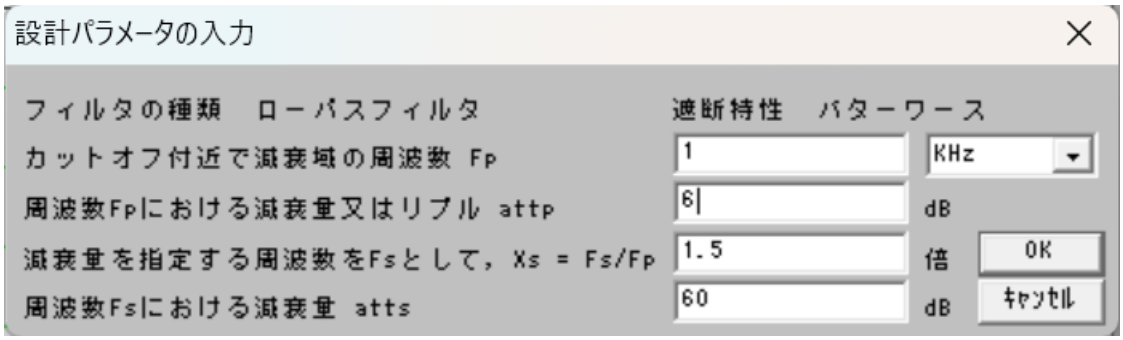


「1 行目 Fp」にカットオフ周波数または減衰域の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
バターワースではカットオフ周波数の減衰量 attp はあらかじめ 3.01dB に設定されていますが、attp を 6 などに変更すると Fp は減衰域の周波数になります。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

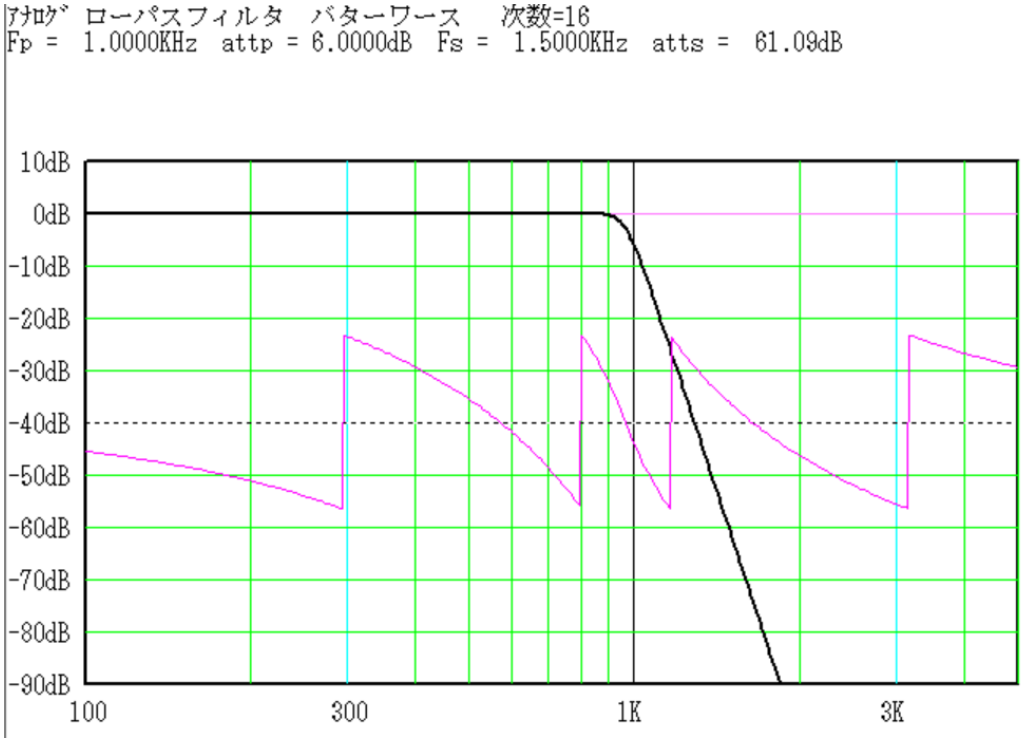
周波数の単位変更

周波数の単位を入力するコンボボックスでは、
ｍＨｚ、 Ｈｚ、 ＫＨｚ、 Ｍｅｇ、ＧＨｚの中から選択します。
直接キーボードから入力はしないで下さい。

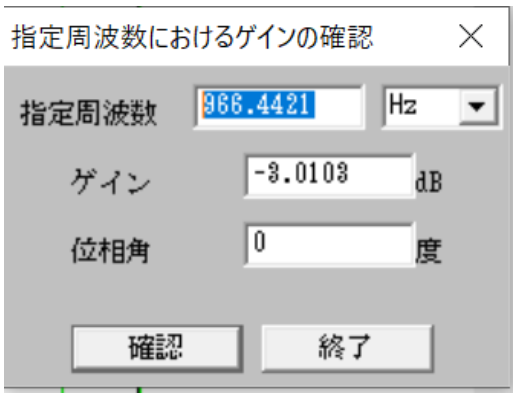


ローパスフィルタの場合　　周波数の単位変更

Fp=1KHz における減衰量を 6dB に設定してみました。



「表示・出力」→「指定周波数における利得を表示する」をクリックすると、



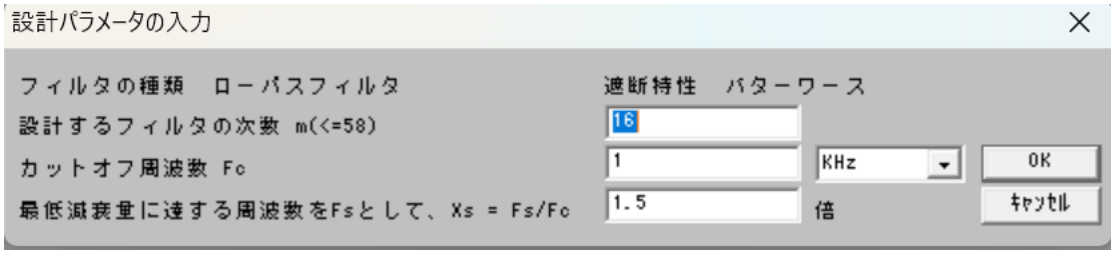
カットオフ周波数は「966.4421 Hz」であることが分かります。

Fs は最低減衰量を指定する周波数ですが、設定は周波数ではなく Fp の何倍なのかを示す倍率 Xs によって設定します。
最低減衰量は Xs の下のボックスで入力します。

この例の場合、要求の「60dB」に対して「61.09 dB」の結果が得られています。

ローパスフィルタの場合

次数を入力する時

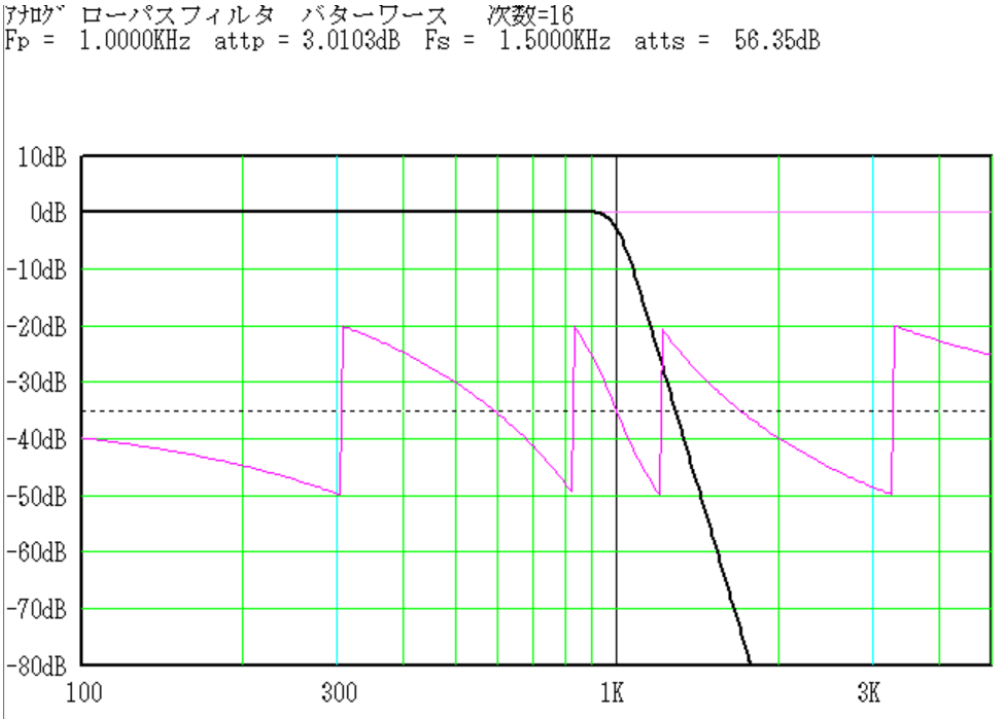


「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数 Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

ローパスフィルタの場合

バターワースでは Fc における減衰量を設定しません。（常に 3dB に決まっています）
このように入力すると、Fc はカットオフ周波数です。
最低減衰量を確認したい周波数を Fs として、カットオフ周波数の何倍なのかを示す倍率 Xs によって設定します。



表示されたグラフ画面から、カットオフ周波数 Fp = 1KHz の減衰量は -3.0103 dB、最低減衰量を指定した周波数 Fs = 1.5 KHz における減衰量は 56.35 dB であることが分かります。

減衰量が足りない場合には、次数を増加して確認して下さい。

チェビシェフローパスフィルタの場合

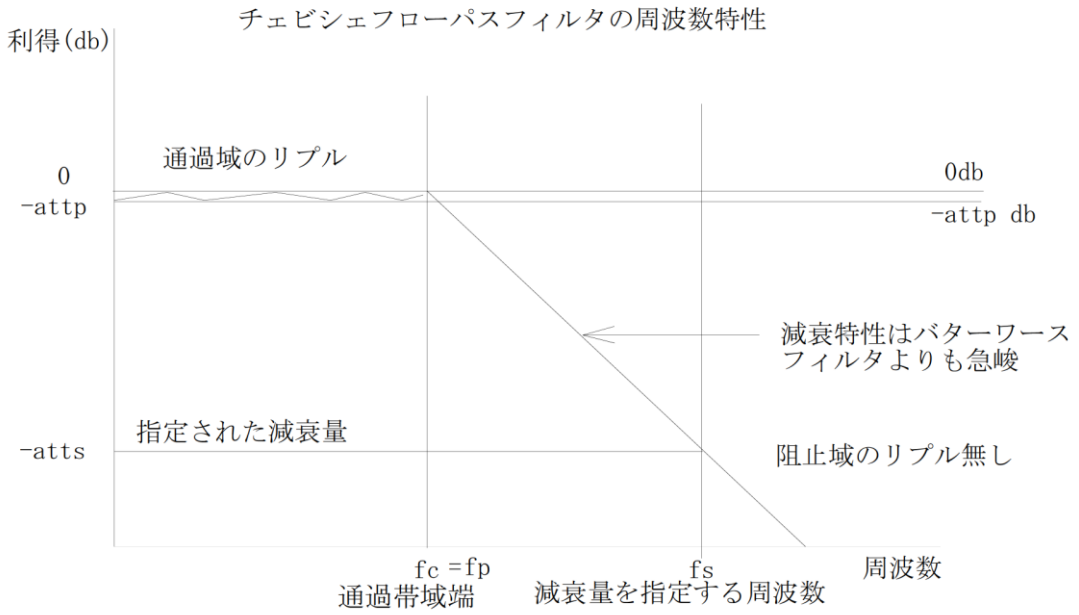
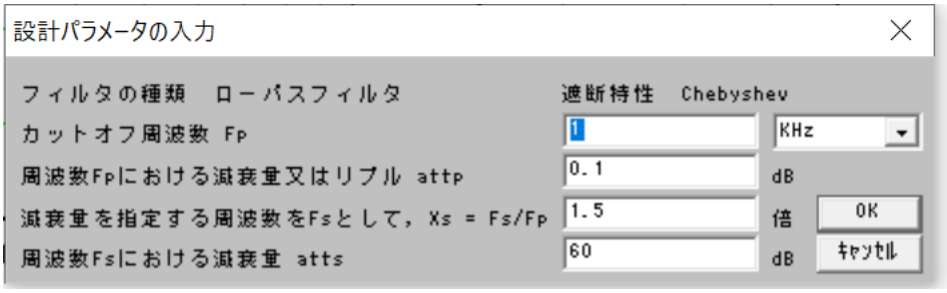


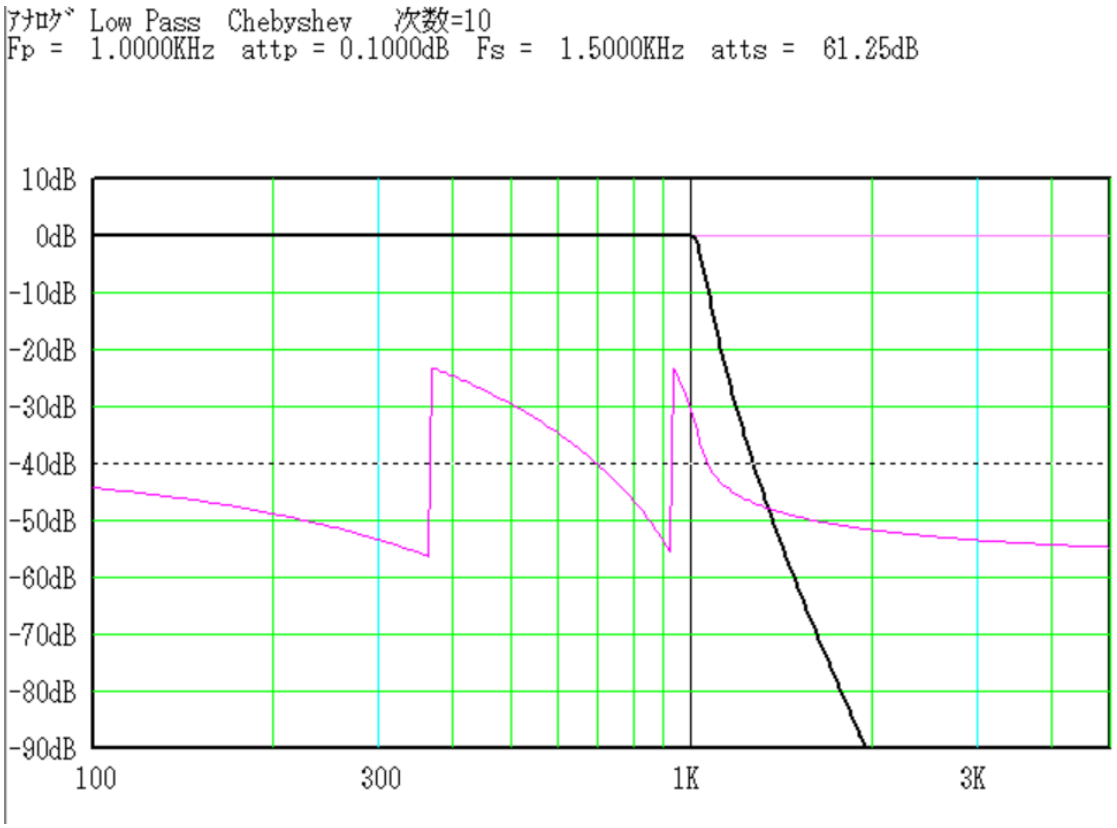
図１－２　チェビシェフローパスフィルタの周波数特性

次数を入力しない時



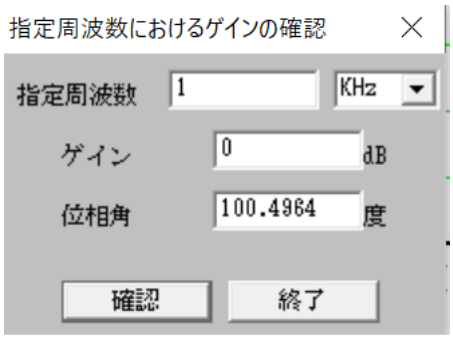
「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp におけるリプル attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

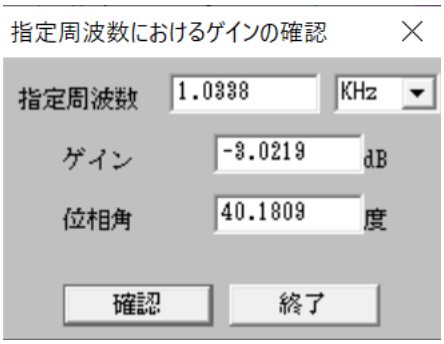
上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp のリプルが attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。



Fs = 1.5KHz における減衰量は 61.25 dB が得られています。

「表示・出力」→「指定周波数の利得を表示する」をクリックして、周波数を 1KHz から少しずつ上げて確認すると、

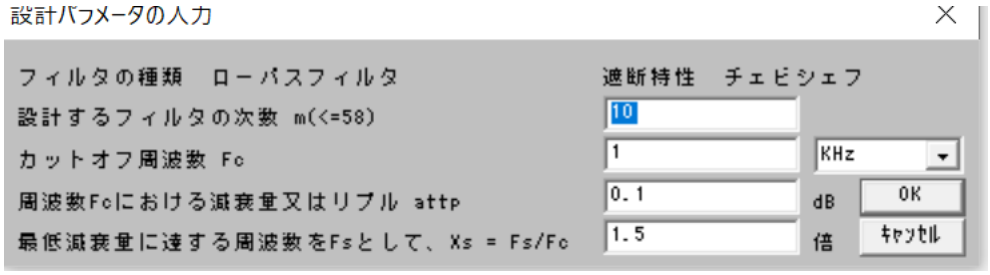




Fp における減衰量は 0dB、カットオフ周波数は「1.0338 KHz」だと分かります。

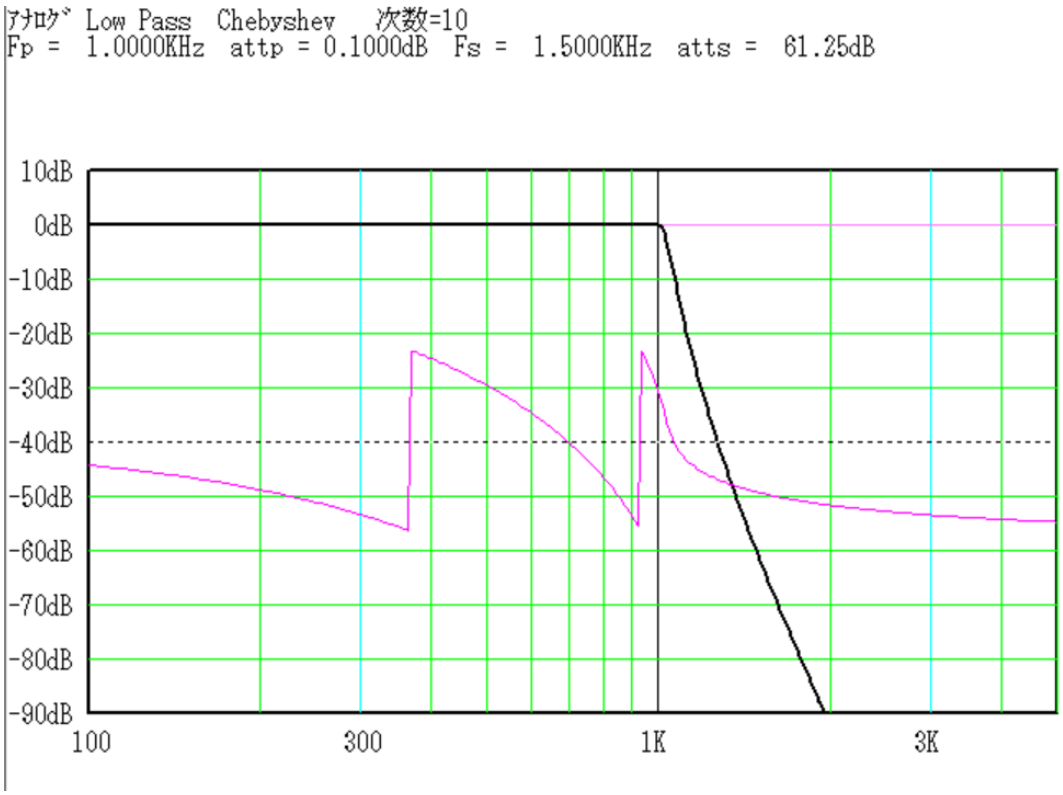
ローパスフィルタの場合　チェビシェフローパスフィルタの場合

次数を入力する時



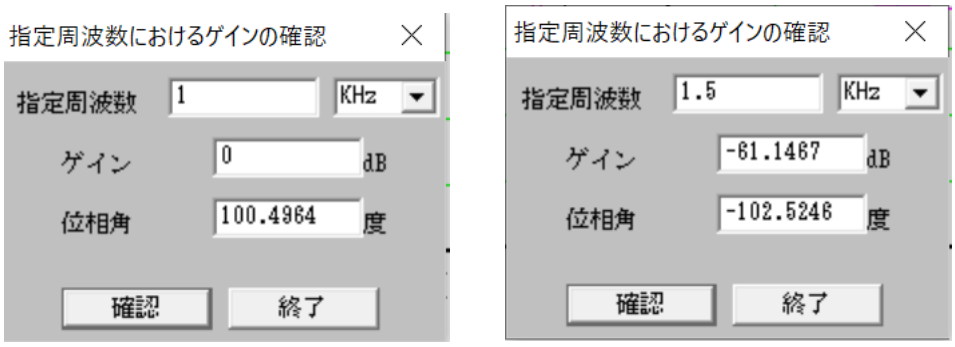
「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc におけるリプル attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fc の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。



ローパスフィルタの場合　チェビシェフローパスフィルタの場合

「表示・出力」をクリックして確認すると、



Fp における減衰量は 0dB、Fs=1.5KHz では 61.15dB だと分かります。

逆チェビシェフローパスフィルタの場合

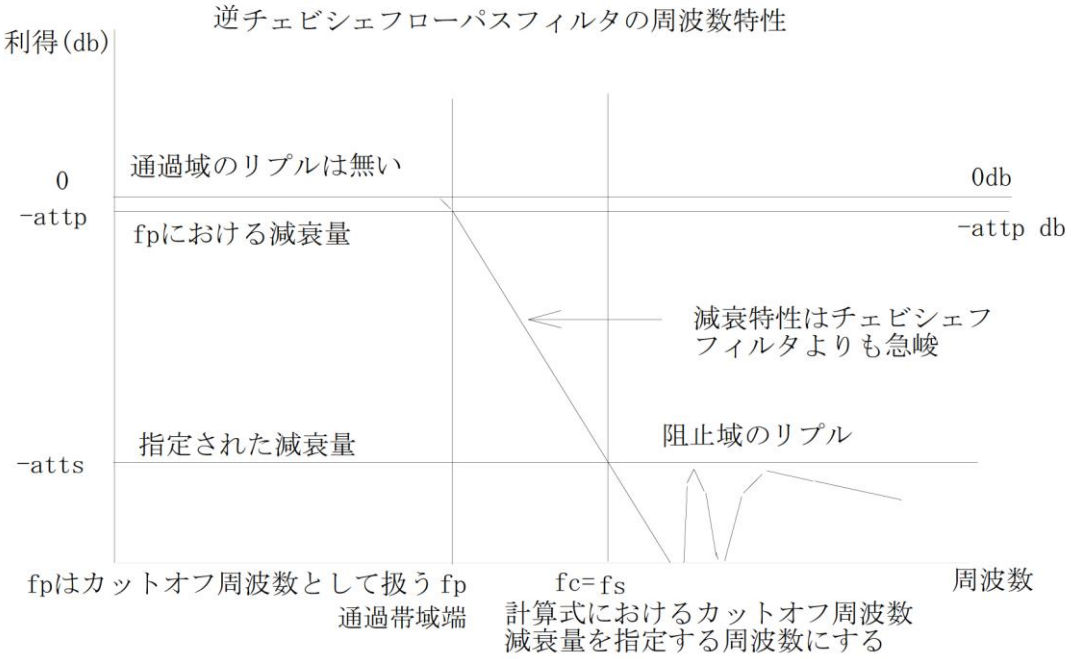
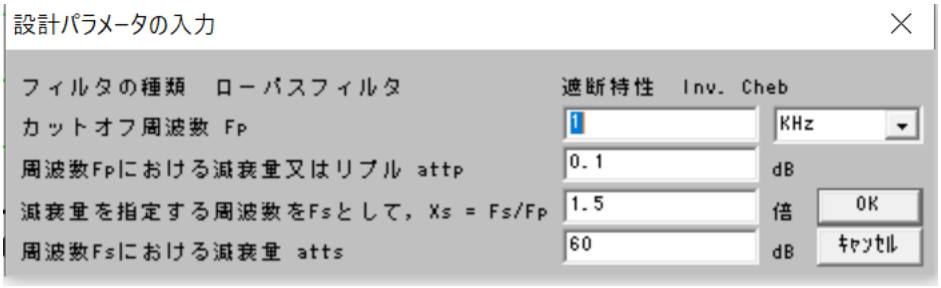


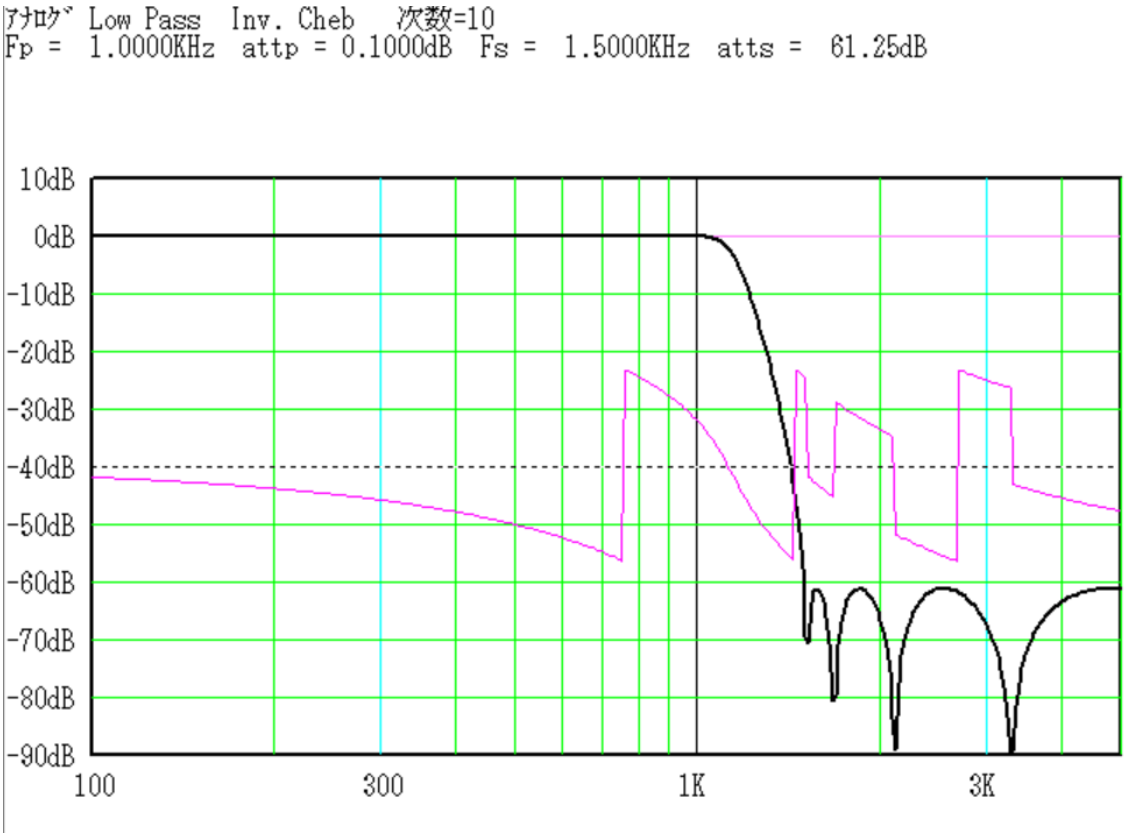
図１－３ 逆チェビシェフローパスフィルタの周波数特性

次数を入力しない時



「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

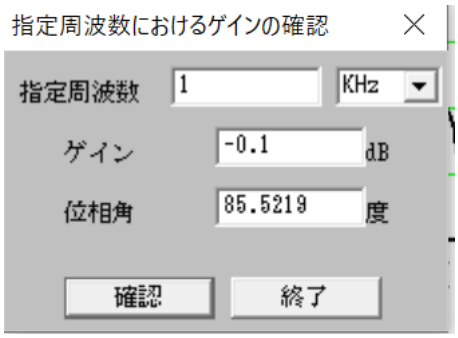
上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。



ローパスフィルタの場合 逆チェビシェフローパスフィルタの場合

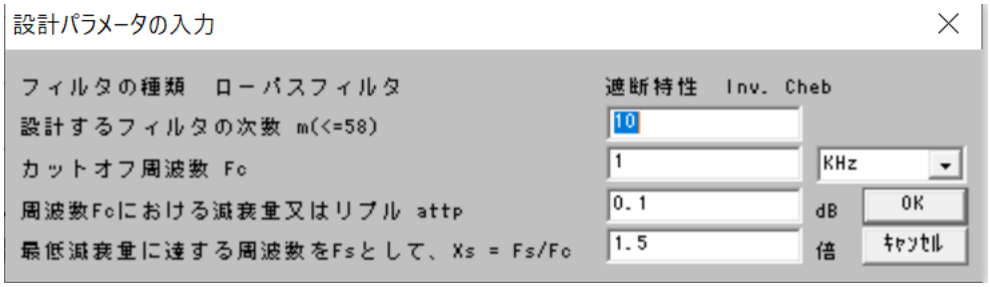
逆チェビシェフフィルタは通過帯域にはリプルがなく、阻止域において最低減衰量に櫛型リプルが発生します。

「表示・出力」をクリックすると、



Fp = 1KHz での減衰量は 0.1 dB になっています。

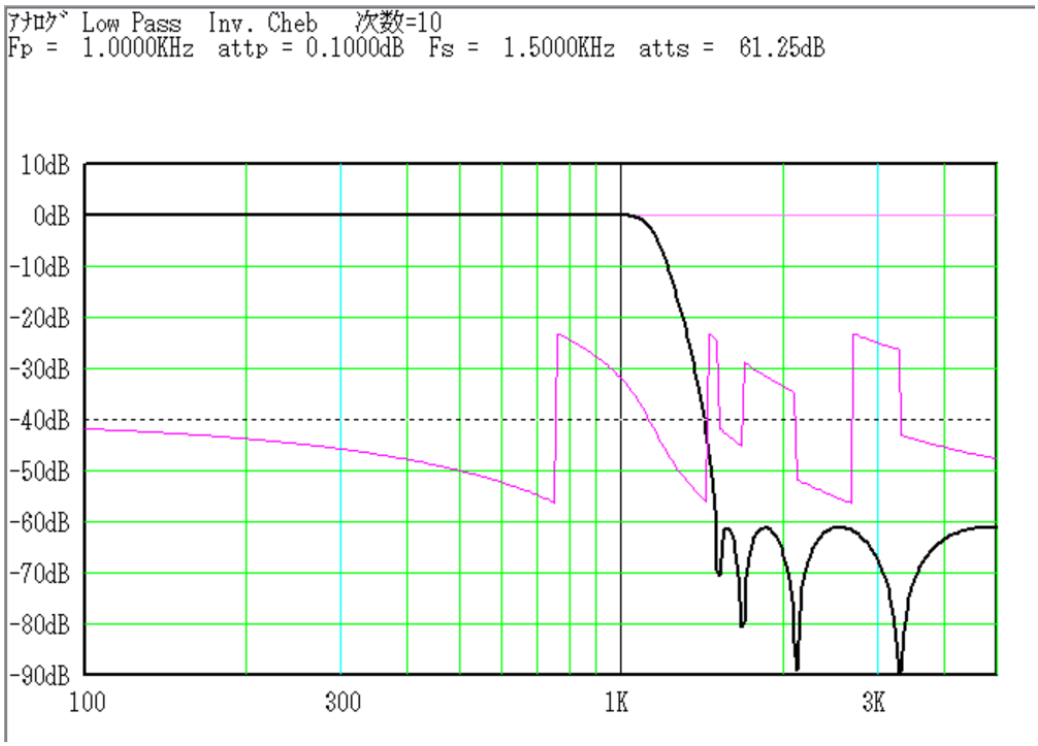
次数を入力する時



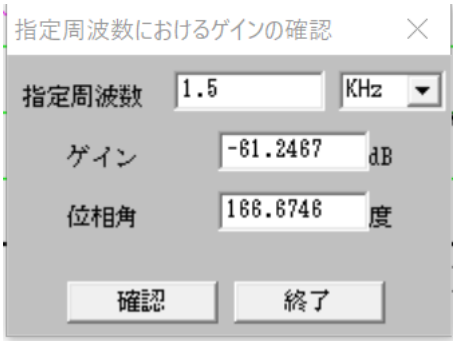
「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc における減衰量 attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。

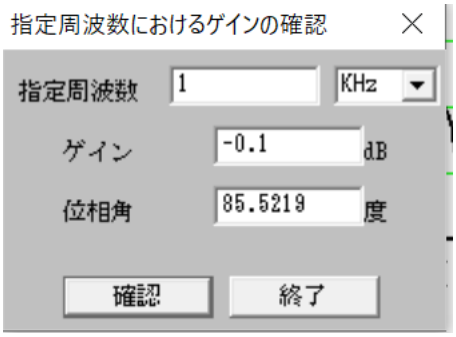
上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fc の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

ローパスフィルタの場合 逆チェビシェフローパスフィルタの場合



「表示・出力」をクリックすると、

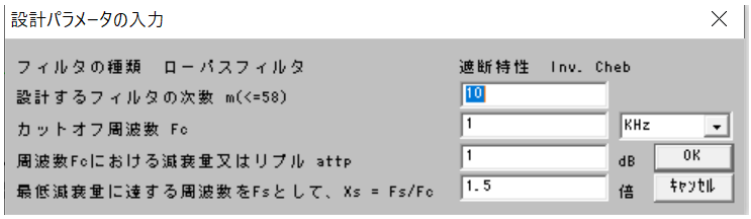




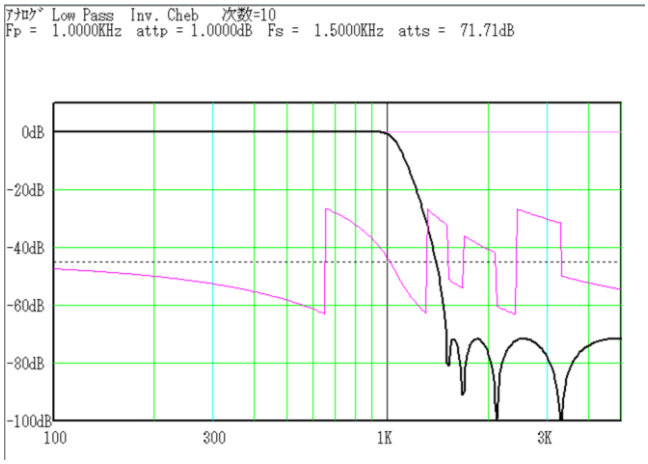
Fs = 1.5KHz での減衰量は 61.25dB、Fc での減衰量は 0.1dB になっています。

ローパスフィルタの場合 逆チェビシェフローパスフィルタの場合

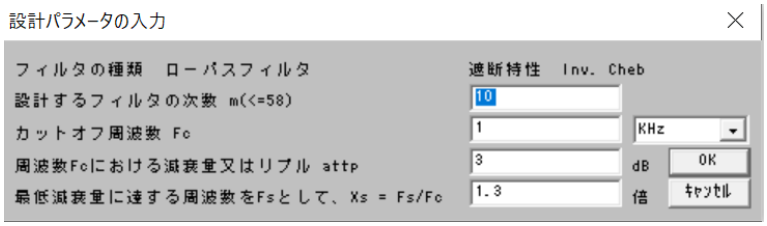
ここで、パラメータの入力を次のように変更してみます。

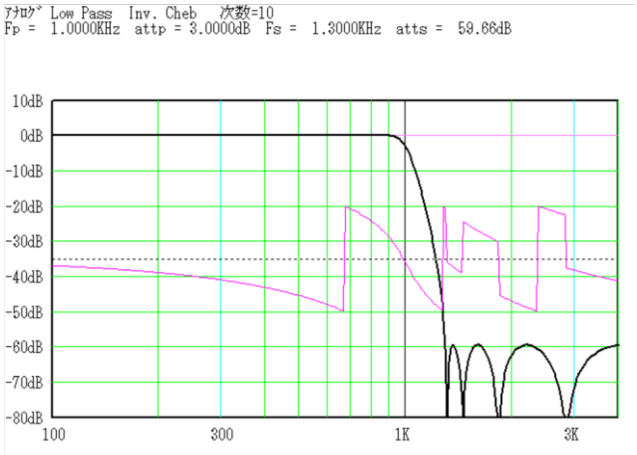


阻止域のリプルを、0.1dB から 1dB に増加しました。



通過域端が Fc に接近して、最低減衰量が 71.71dB に増加しました。
次に、リプルを 3dB に増加して、Xs を 1.5 から 1.3 に変更しました。





最低減衰量は約 60dB のままで、減衰域の減衰カーブがより急峻になりました。

楕円関数ローパスフィルタの場合

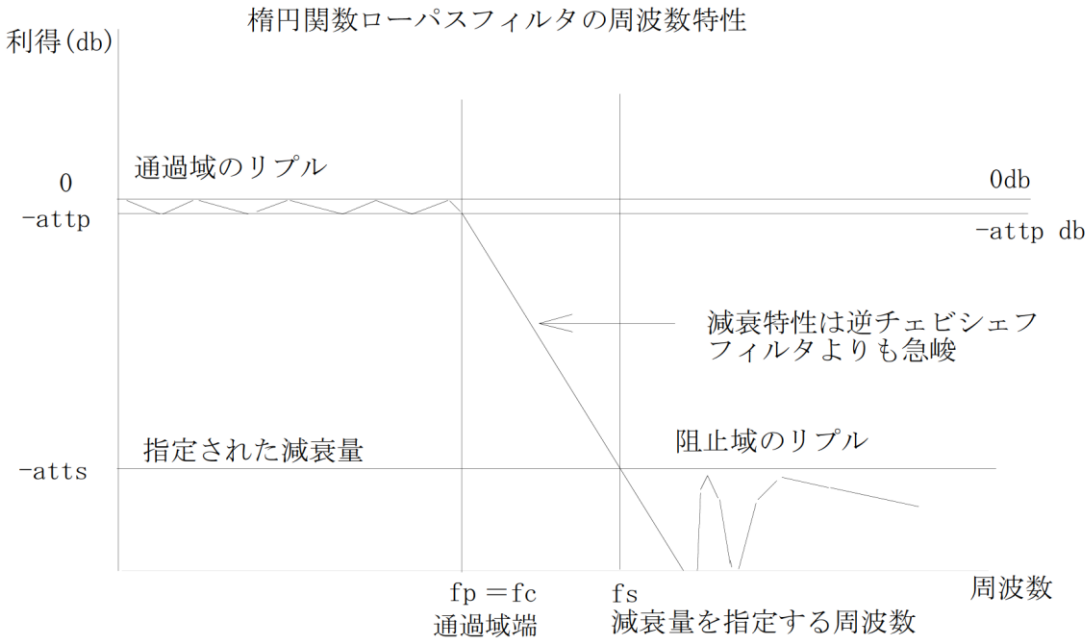
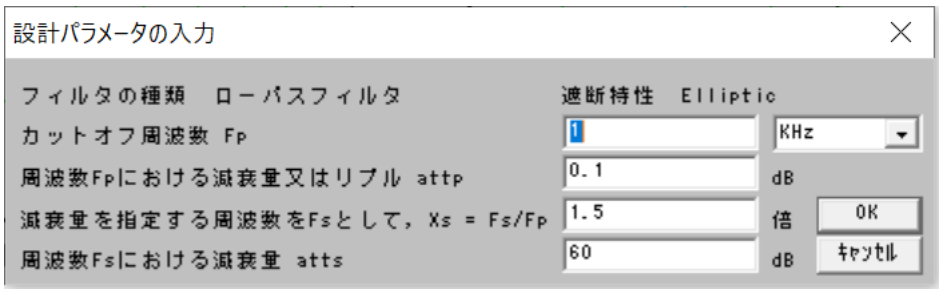


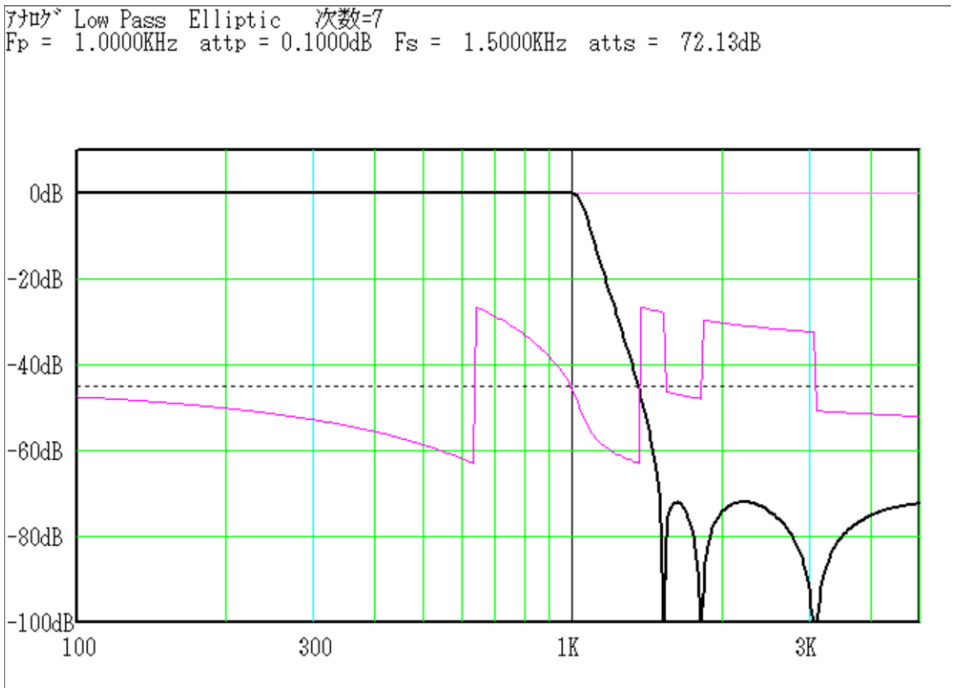
図１－４　楕円関数ローパスフィルタの周波数特性

次数を入力しない時



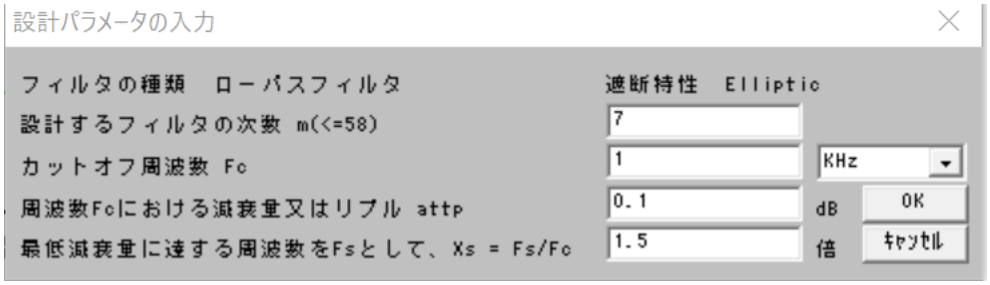
「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。



Xs=1.5 で 最低減衰量を 60dB として設計すると、実際に得られる最低減衰量は、バターワースは 18 次で 63.39dB、チェビシェフは 10 次で 61.25dB、逆チェビシェフでは 10 次で 61.25dB、楕円関数では 7 次で 72.13dB となります。

次数を入力する時



「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc における減衰量 attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。

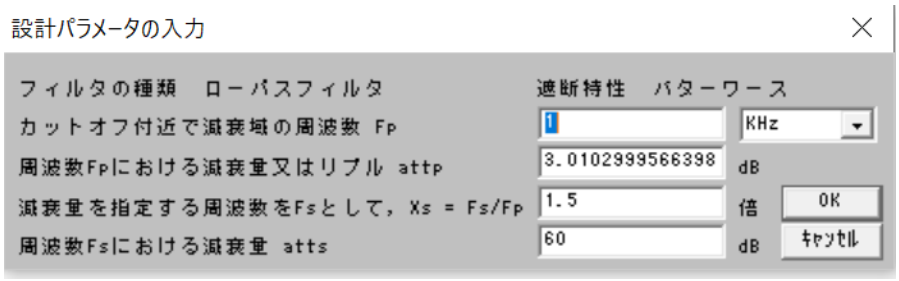
上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fc の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

ローパスフィルタの場合　　楕円関数ローパスフィルタの場合

ローパスフィルタの入力ダイアログのまとめ

バターワースフィルタを設計する時

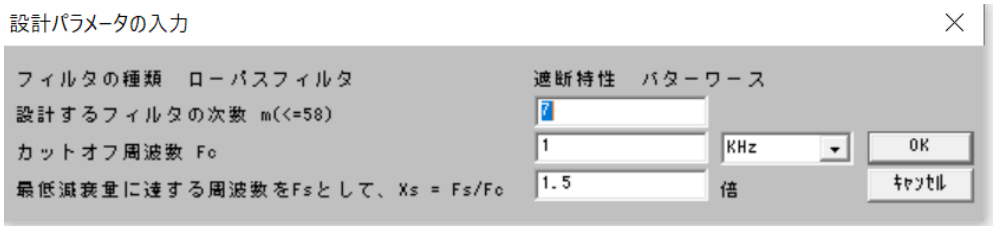
次数を入力しない時



「1 行目 Fp」にカットオフ周波数または減衰域の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
Fp をカットオフ周波数にする場合は既に設定されているので、入力は不要。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

次数を入力する時



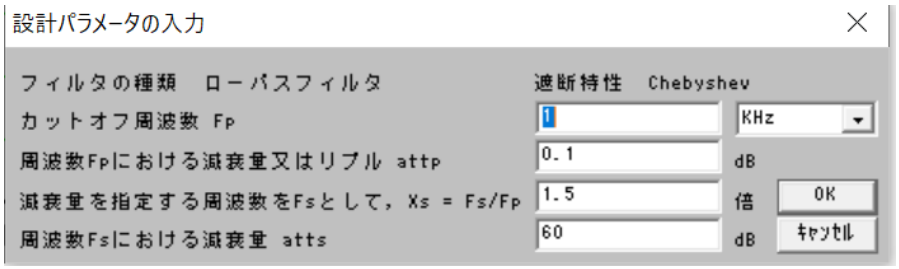
「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数 Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
Xs の許容範囲は 1 <Xs ≦ 100 です。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

ローパスフィルタの場合ローパスフィルタの入力ダイアログのまとめ

チェビシェフフィルタを設計する時

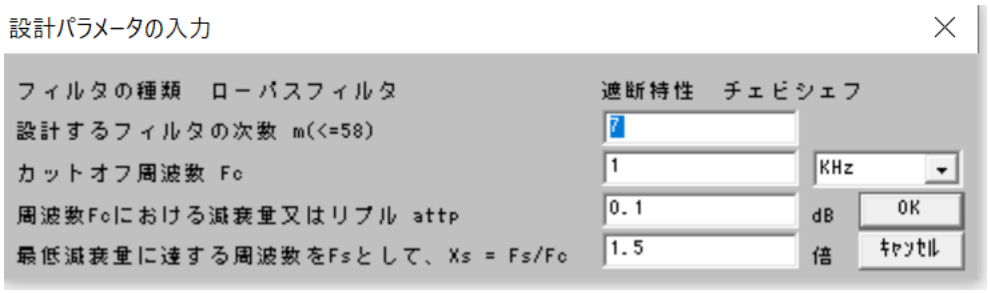
次数を入力しない時



「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp におけるリプル attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp のリプルが attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

次数を入力する時



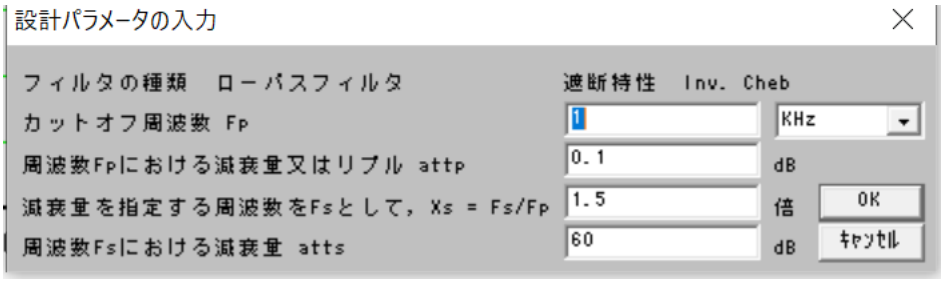
「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc におけるリプル attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fc の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

ローパスフィルタの場合ローパスフィルタの入力ダイアログのまとめ

逆チェビシェフフィルタを設計する時

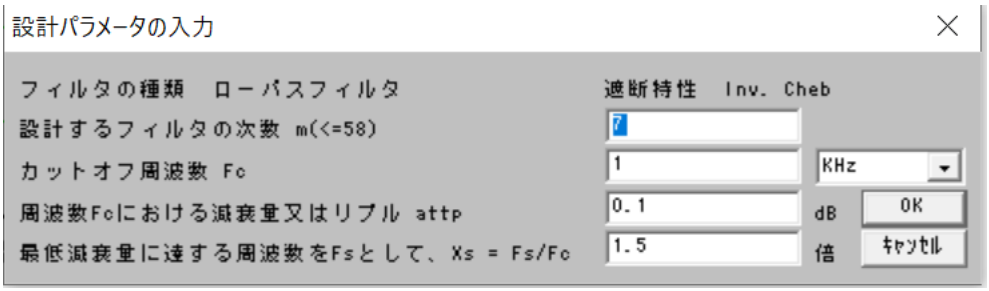
次数を入力しない時



「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

次数を入力する時



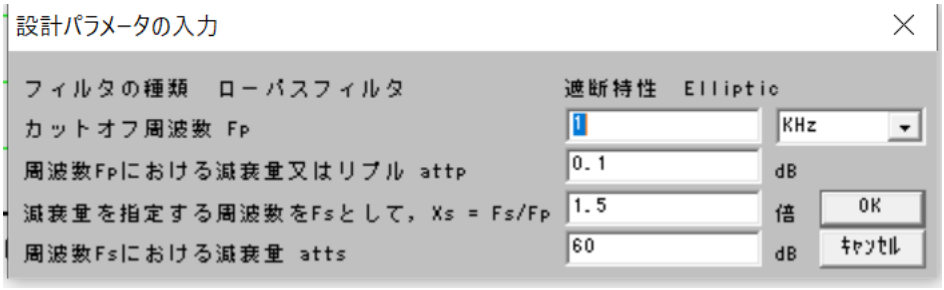
「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc における減衰量 attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fc の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

ローパスフィルタの場合ローパスフィルタの入力ダイアログのまとめ

楕円関数フィルタを設計する時

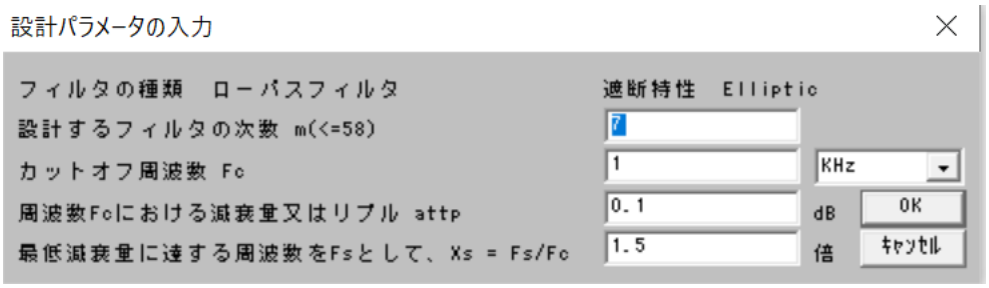
次数を入力しない時



「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fp の減衰量が attp で、周波数 Fs における減衰量が atts を越えるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

次数を入力する時



「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
必要なら周波数の単位を変更する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc における減衰量 attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fs / Fp）を入力する。

上記の入力後「OK」を押すと、周波数 Fc の減衰量が attp となるローパスフィルタが設計されて、その周波数特性が表示される。

ローパスフィルタの場合

ハイパスフィルタ

ハイパスフィルタはローパスフィルタの場合と周波数の上下が反対になるだけです。
バターワース・ハイパスフィルタの例を示します。

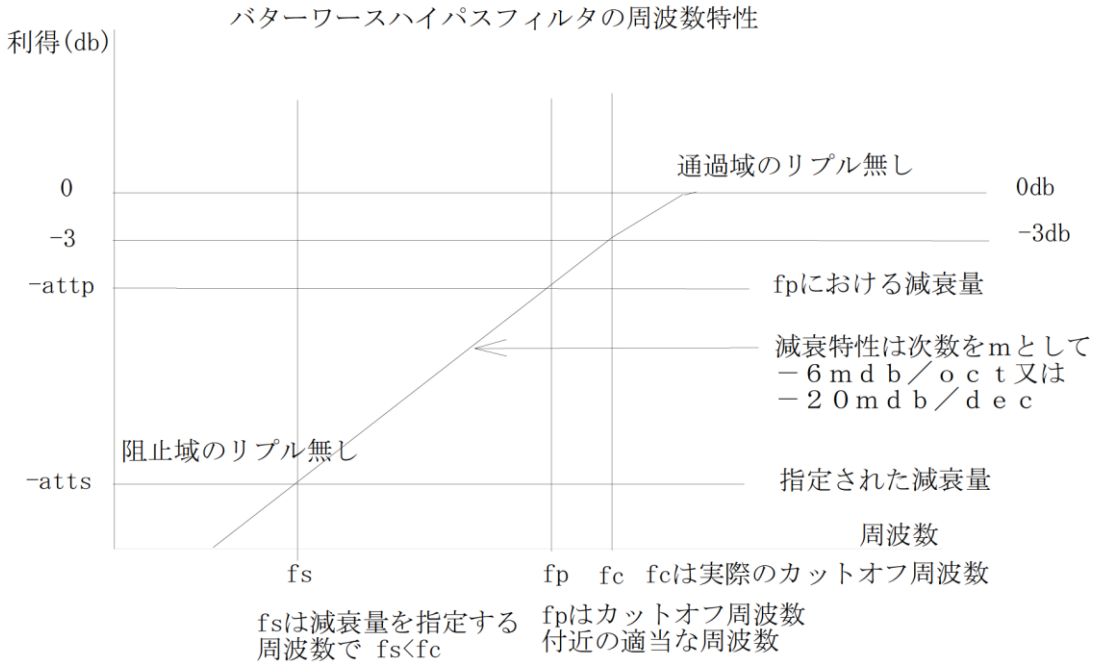
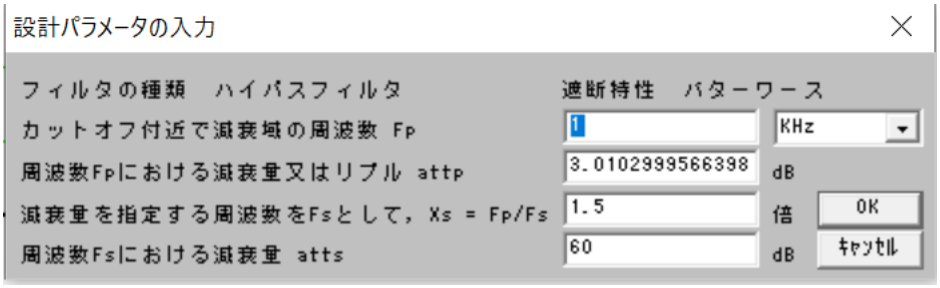


図３－１　バターワースハイパスフィルタの周波数特性

ハイパスフィルタの場合には、Fc はカットオフ周波数で、Fp はカットオフ周波数付近の周波数、Fs は最低減衰量を指定する周波数、Xs は Fc（Fp）が Fs の何倍なのかを示す倍率を表します。Xs の許容範囲は 1 <Xs ≦ 100 です。

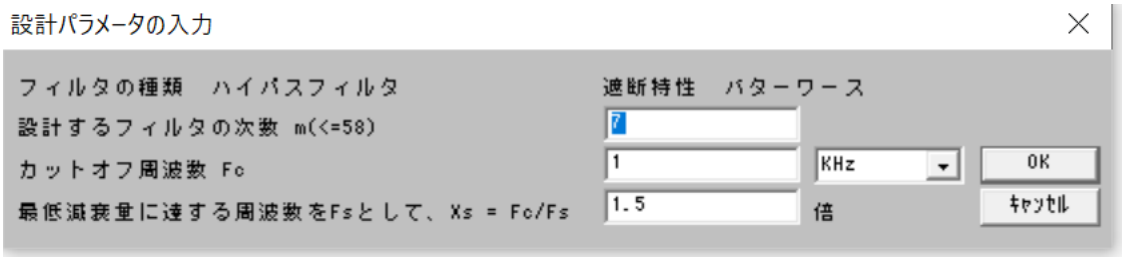
バターワースフィルタを設計する時

次数を入力しない時



「1 行目 Fp」にカットオフ周波数または減衰域の周波数 Fp を入力する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
　Fp をカットオフ周波数にする場合は既に設定されているので、入力は不要。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時

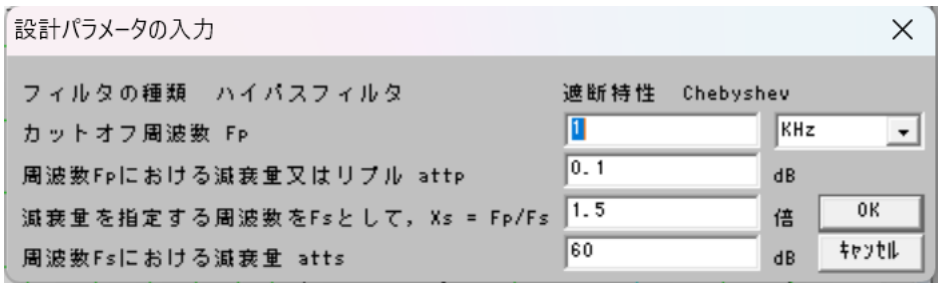


「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数 Fc を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。

ハイパスフィルタ

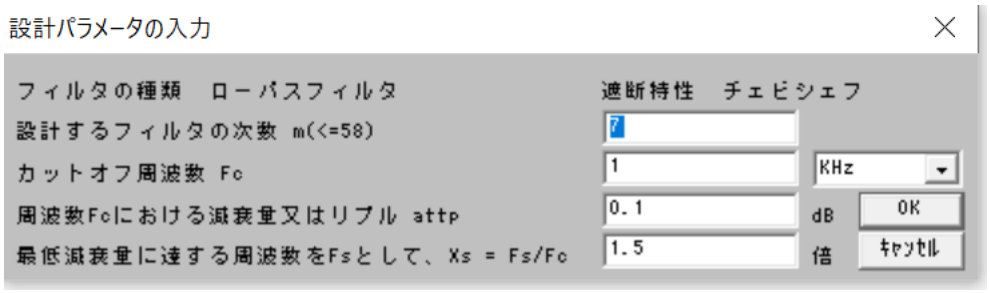
チェビシェフフィルタを設計する時

次数を入力しない時



「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp におけるリプル attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時

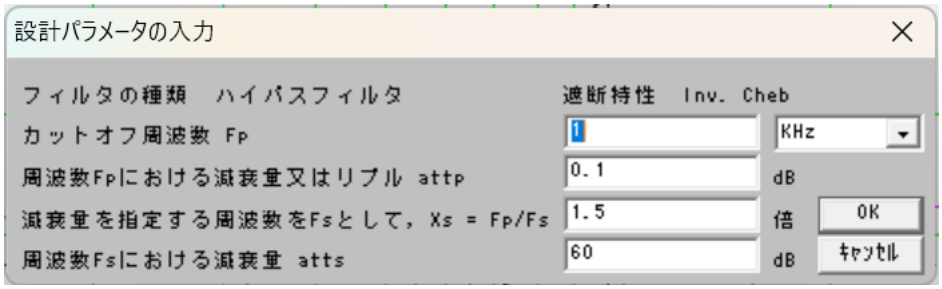


「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc におけるリプル attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。

ハイパスフィルタ

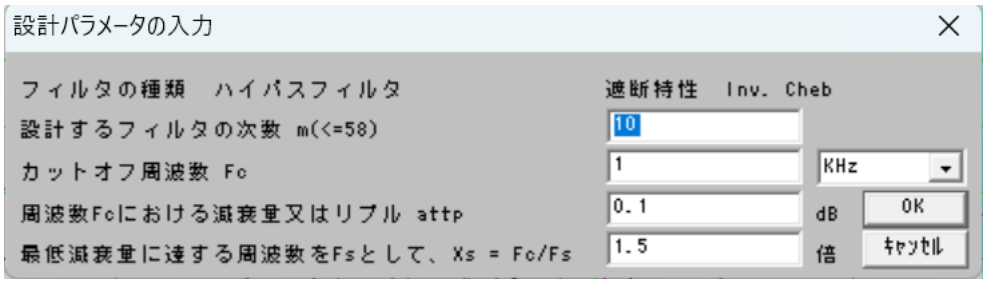
逆チェビシェフフィルタを設計する時

次数を入力しない時



「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。
「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時

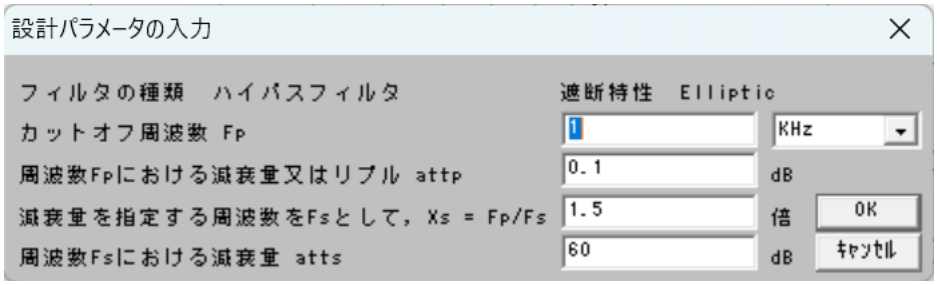


「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。
「3 行目 attp」に周波数 Fc における減衰量 attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。

ハイパスフィルタ

楕円関数フィルタを設計する時

次数を入力しない時



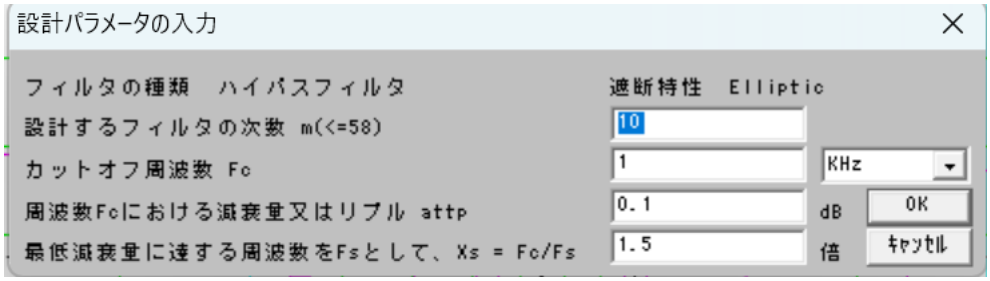
「1 行目 Fp」に通過域端の周波数 Fp を入力する。

「2 行目 attp」に上で入力した Fp における減衰量 attp(dB) を入力する。

「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。

「4 行目 atts」に周波数 Fs における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時



「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。

「2 行目 Fc」にカットオフ周波数（通過域端の周波数）Fc を入力する。

「3 行目 attp」に周波数 Fc における減衰量 attp を入力する。

「4 行目 Xs」に最低減衰量を確認する周波数 Fs と Fp の比（Fp / Fs）を入力する。

ハイパスフィルタ

バンドパスフィルタ

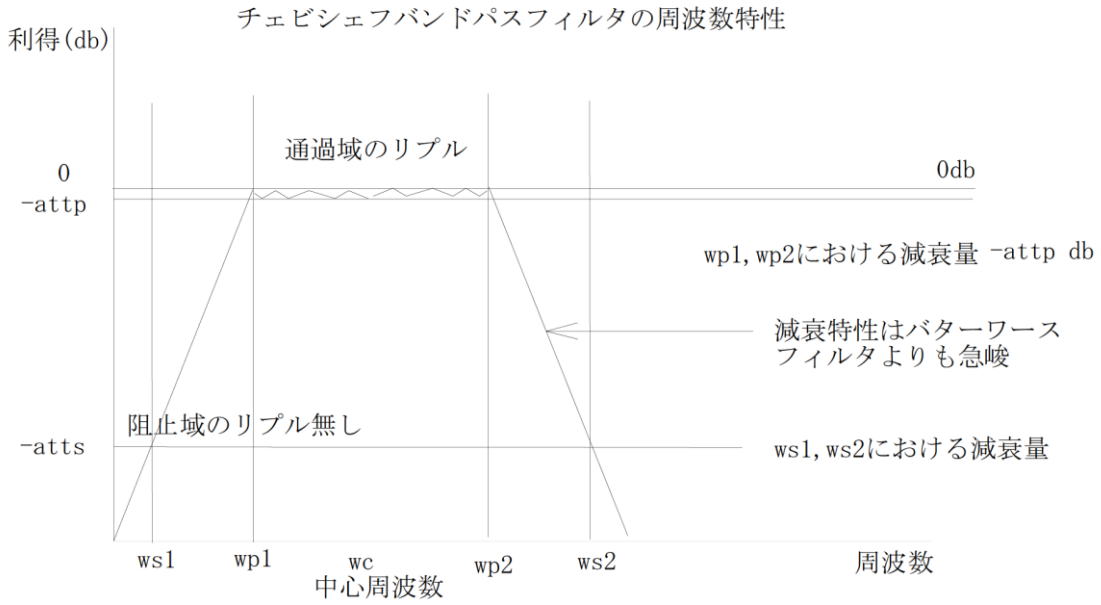


図５－２ チェビシェフバンドパスフィルタの周波数特性

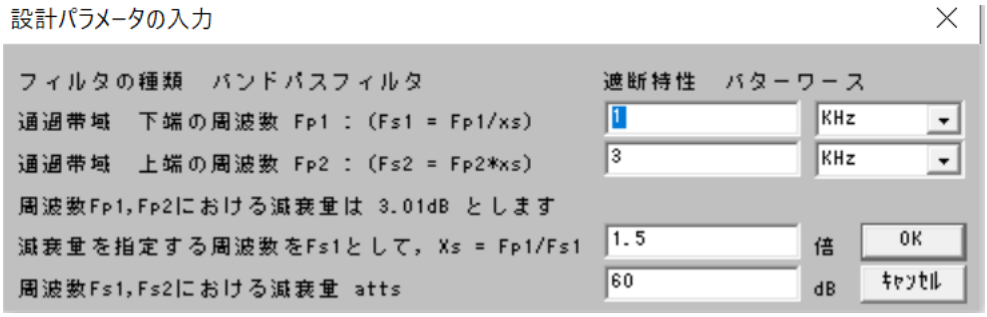
バンドパスフィルタでは通過域の周波数が、通過域下端 Fp1 と通過域上端 Fp2 の 2 つになります。
最低減衰量を指定する周波数も Fs1 と Fs2 の 2 つになりますが、指定するのは Fs1 が Fp1 の何分の 1 なのかを表す倍率 Xs になります。Xs の許容範囲は 1 <Xs ≦ 100 です。

従って、$Fs1 = {Fp1}/{Xs}$ 、 $Fs2 = Fp2 \cdot Xs$ の関係になります。

リプルは Fp1 における減衰量または通過域・阻止域におけるリプルの振幅を表します。

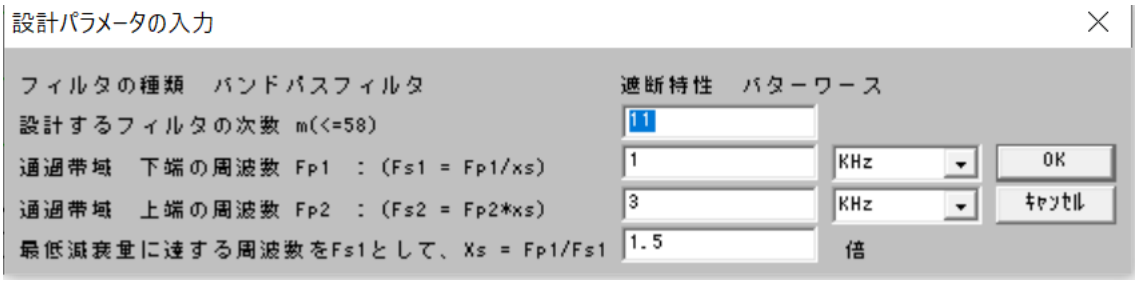
バターワースフィルタを設計する時

次数を入力しない時



「1 行目 Fp1」に通過域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「2 行目 Fp2」に通過域の上端周波数 Fp2 を入力する。
　バターワースの場合、Fp1 と Fp2 における減衰量は 3.01dB となります。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fp1/ Fs1）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs1 における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時

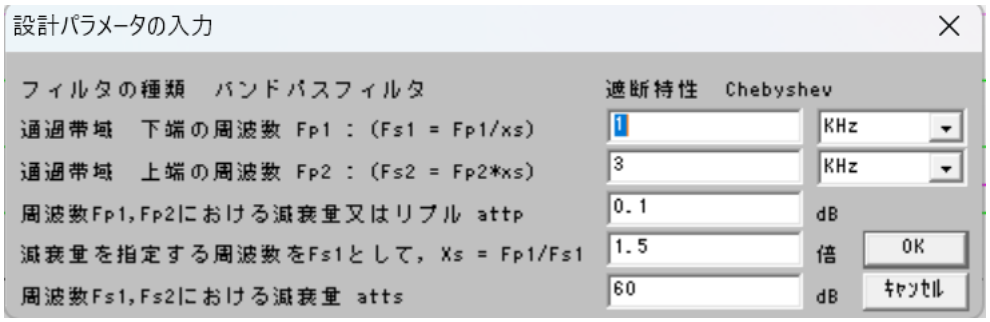


「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fp1」に通過域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「3 行目 Fp2」に通過域の上端周波数 Fp2 を入力する。
　Fp1 と Fp2 における減衰量は 3.01dB となります。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fp1/ Fs1）を入力する。

バンドパスフィルタ

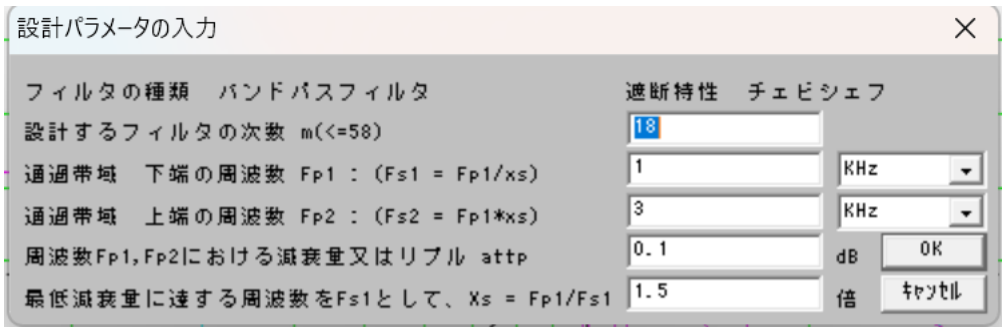
チェビシェフ、逆チェビシェフ、楕円関数を設計する時

次数を入力しない時



「1 行目 Fp1」に通過域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「2 行目 Fp2」に通過域の上端周波数 Fp2 を入力する。
「3 行目 attp」に周波数 Fp1 のリプルを入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fp1/ Fs1）を入力する。
「5 行目 atts」に周波数 Fs1 における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時



「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fp1」に通過域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「3 行目 Fp2」に通過域の上端周波数 Fp2 を入力する。
「4 行目 attp」に周波数 Fp1 のリプルを入力する。
「5 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fp1/ Fs1）を入力する。

バンドパスフィルタ

バンドエリミネーションフィルタ

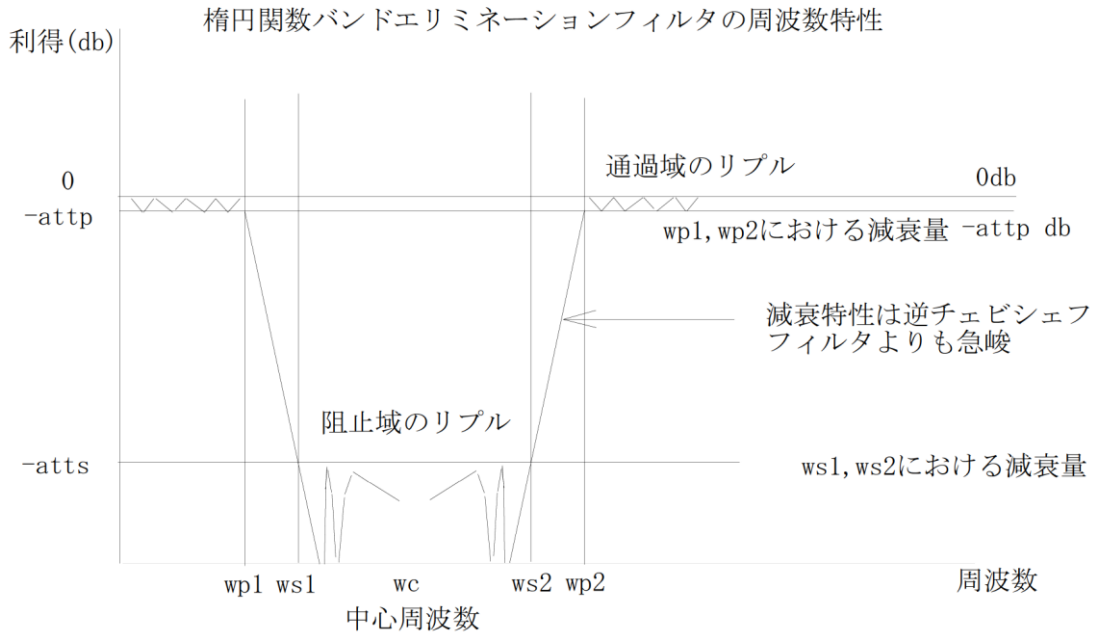
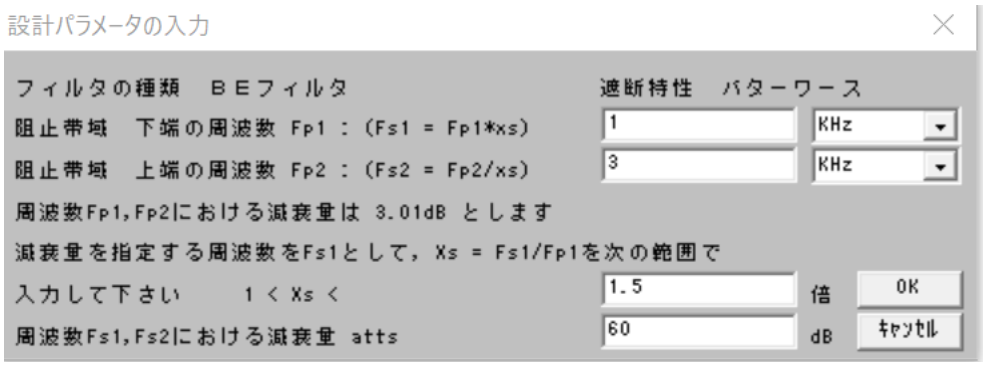


図７－４　楕円関数ＢＥフィルタの周波数特性

バンドパスフィルタの通過域下端が阻止域下端、通過域上端が阻止域上端になります。
Fp1 と Fp2 は阻止域の下端と上端の周波数です。
最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fs2 は、Fs1 が Fp1 の何倍なのかを表す Xs で示されます。

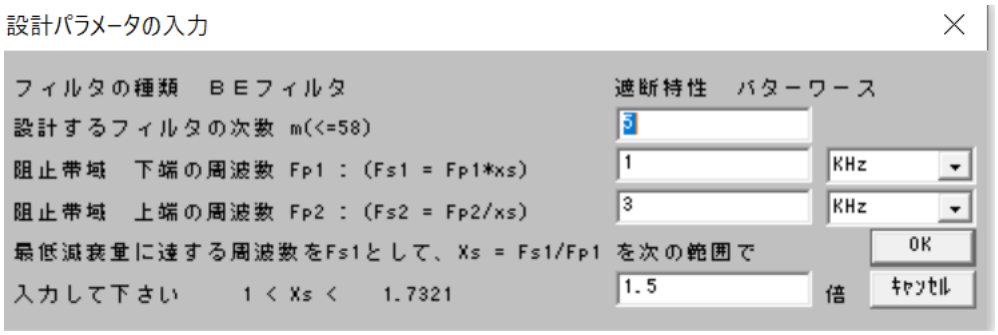
バターワースフィルタを設計する時

次数を入力しない時



「1 行目 Fp1」に阻止域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「2 行目 Fp2」に阻止域の上端周波数 Fp2 を入力する。
　バターワースの場合、Fp1 と Fp2 における減衰量は 3.01dB となります。
「3 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fs1/ Fp1）を入力する。
「4 行目 atts」に周波数 Fs1 における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時

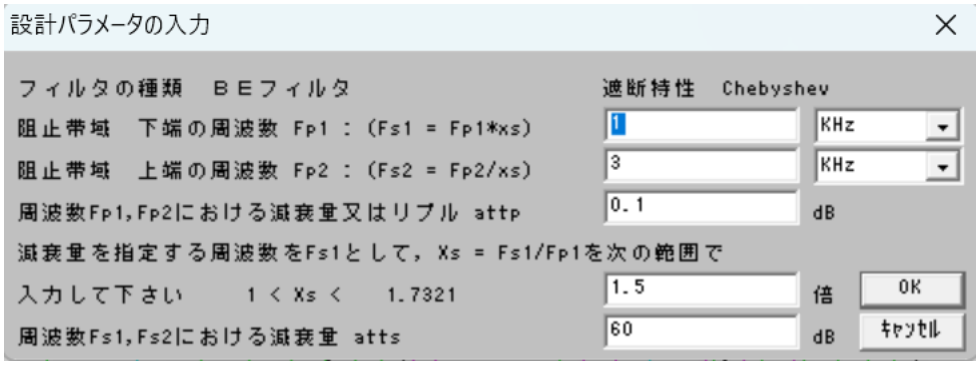


「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fp1」に阻止域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「3 行目 Fp2」に阻止域の上端周波数 Fp2 を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fs1/ Fp1）を入力する。
　Xs の上限は入力 Box の左側に表示されている数値 (1.7321) 以下にして下さい。

バンドエリミネーションフィルタ

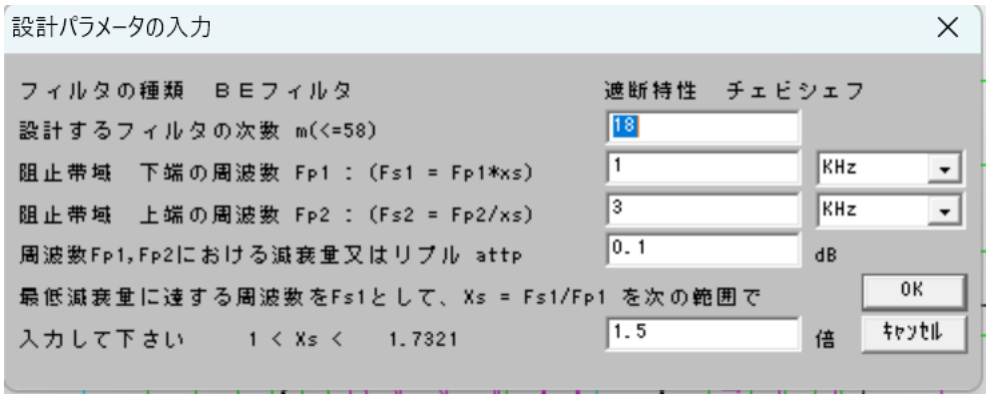
チェビシェフ、逆チェビシェフ、楕円関数を設計する時

次数を入力しない時



「1 行目 Fp1」に阻止域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「2 行目 Fp2」に阻止域の上端周波数 Fp2 を入力する。
「3 行目 attp」に周波数 Fp1 のリプル attp を入力する。
「4 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fs1/ Fp1）を入力する。
Xs の上限は入力 Box の左側に表示されている数値 (1.7321) 以下にして下さい。
「5 行目 atts」に周波数 Fs1 における最低減衰量 atts を入力する。

次数を入力する時



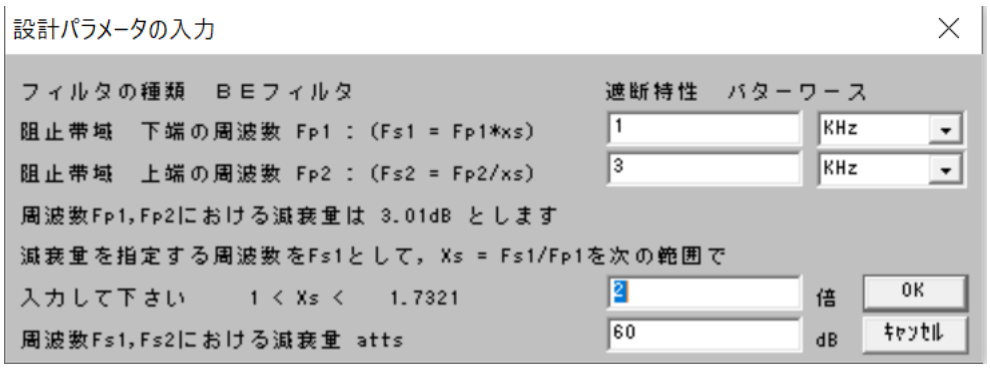
「1 行目 m」にフィルタの次数 m を入力する。
「2 行目 Fp1」に阻止域の下端周波数 Fp1 を入力する。
「3 行目 Fp2」に阻止域の上端周波数 Fp2 を入力する。
「4 行目 attp」に周波数 Fp1 のリプル attp を入力する。
「5 行目 Xs」に最低減衰量を指定する周波数 Fs1 と Fp1 の比（Fs1/ Fp1）を入力する。
Xs の上限は入力 Box の左側に表示されている数値 (1.7321) 以下にして下さい。

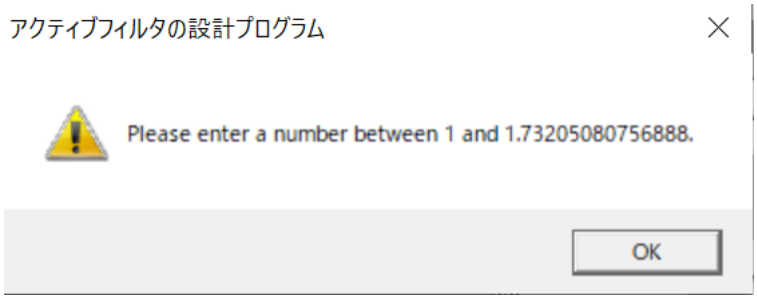
バンドエリミネーションフィルタ

バンドエリミネーション・フィルタでは、Fs1 < Fs2 になるのが良いと考えて、設定可能な Xs の値を $1 < Xs < \sqrt{Fp2/Fp1}$ の範囲に限定しています。

$Fs1 = Fp1 \cdot Xs = Fs2 = Fp2/Xs$ より $Fs1 = Fs2$ となる Xs の値は $Xs = \sqrt{\frac{Fp2}{Fp1}}$ が得られます。従って、$Fs1 < Fs2$ になる Xs の値域は $1 < Xs < \sqrt{Fp2/Fp1}$ となります。

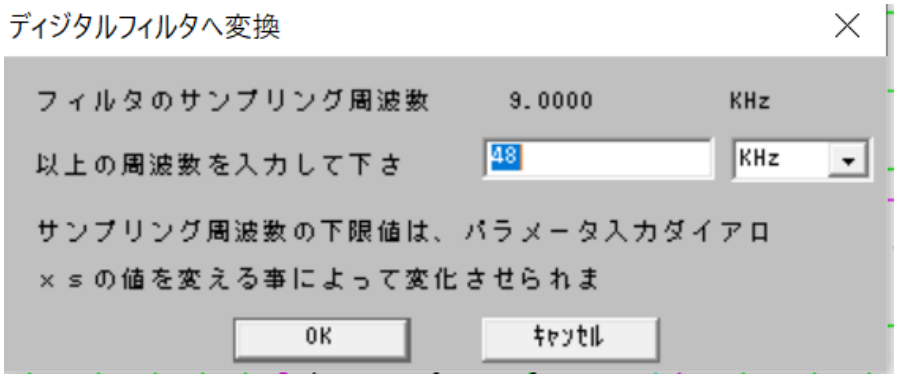
この範囲を超えた値を入力すると、次のメッセージで Xs の上限が示されます。





４ フィルタの変換

次のダイアログが表示されて、アナログフィルタをディジタルフィルタに変換します。



デジタルフィルタのサンプリング周波数の下限値は表示される値以上のものを受け付けます。この下限値はパラメータ入力のＸｓの値により変化しますので必要によりＸｓの値を変更して下さい。

アナログフィルタの１次のフィルタと２次のフィルタをそれぞれ次のデジタルフィルタに変換します。

１次の関数

１次のディジタルフィルタの構成

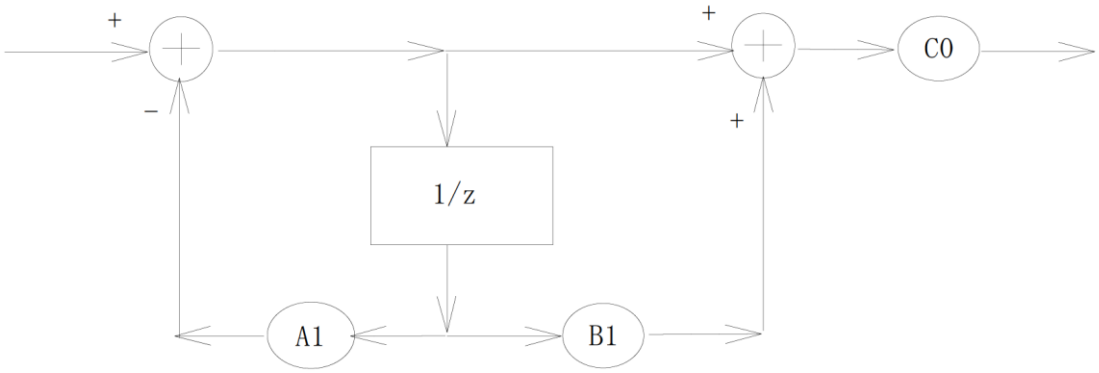


図９－１　１次のディジタルフィルタの構成

２次の関数

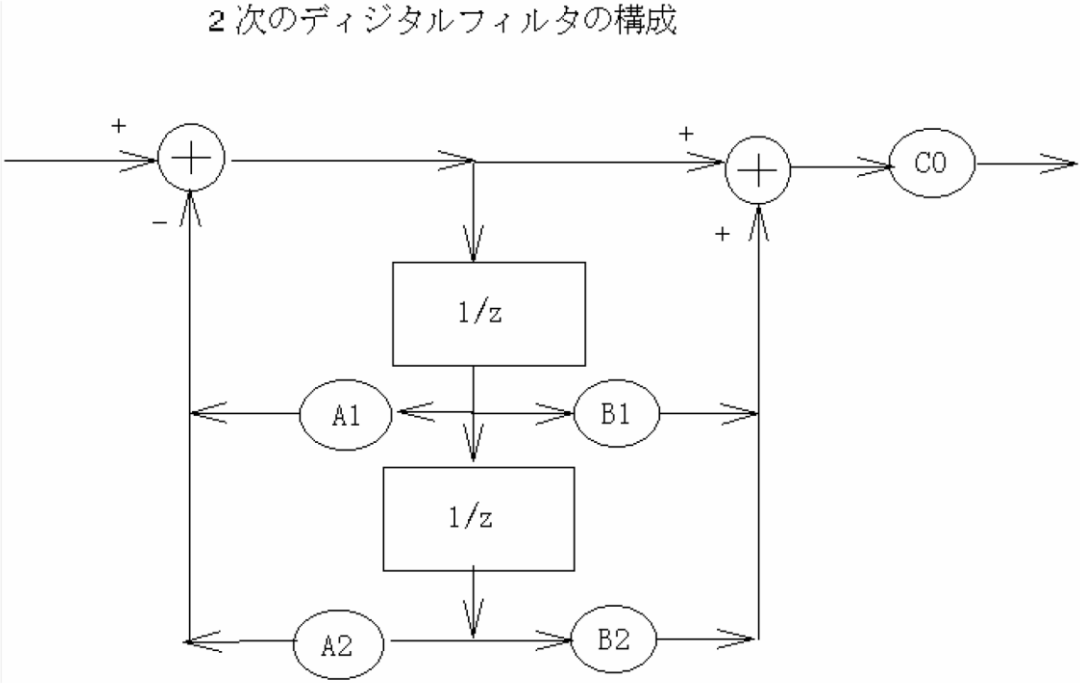


図９－２　２次のディジタルフィルタの構成

アナログフィルタの伝達関数においてサンプリング周波数を f_s として、$s=\frac{2}{t_s}\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}}$，　$t_s=\frac{1}{f_s}$　と置き換えると、ディジタルフィルタの伝達関数が得られます。
カットオフ周波数 ω_d のデジタルフィルタを設計する時に、元になるアナログフィルタのカットオフ周波数 ω_c は $\omega_c=\frac{2}{t_s}\tan\left(\frac{\omega_d t_s}{2}\right)$ によって求められます。

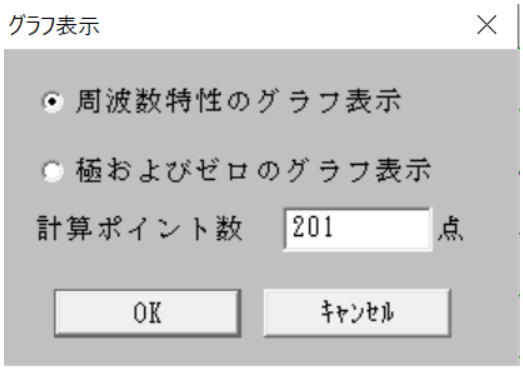
$$s=\frac{2}{t_s}\frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}},\quad t_s=\frac{1}{f_s} \qquad (9-1)$$

$$\omega_c=\frac{2}{t_s}\tan\left(\frac{\omega_d t_s}{2}\right) \qquad (9-2)$$

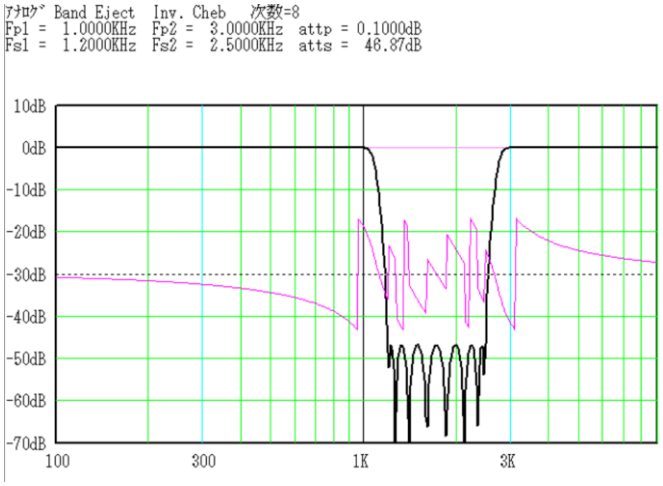
周波数 ω_{pd} において減衰量 $attp(db)$ 、周波数 ω_{sd} において減衰量 $atts(db)$ のフィルタを作成するときに元になるアナログフィルタの仕様は、周波数 $\omega_p=\frac{2}{t_s}\tan\left(\frac{\omega_{pd} t_s}{2}\right)$ において減衰量 $attp(db)$ 、周波数 $\omega_s=\frac{2}{t_s}\tan\left(\frac{\omega_{sd} t_s}{2}\right)$ において減衰量 $atts(db)$ のフィルタになります。

５ グラフ表示

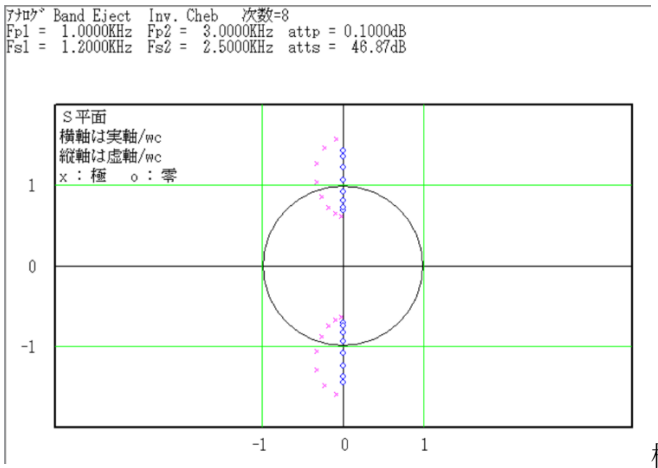
次のダイアログが表示されて、表示するグラフの種類を選択出来ます。



周波数特性のグラフまたは極・零の配置グラフの表示が選択出来ます。
フィルタの安定度確認には極・零のグラフが使用されます。



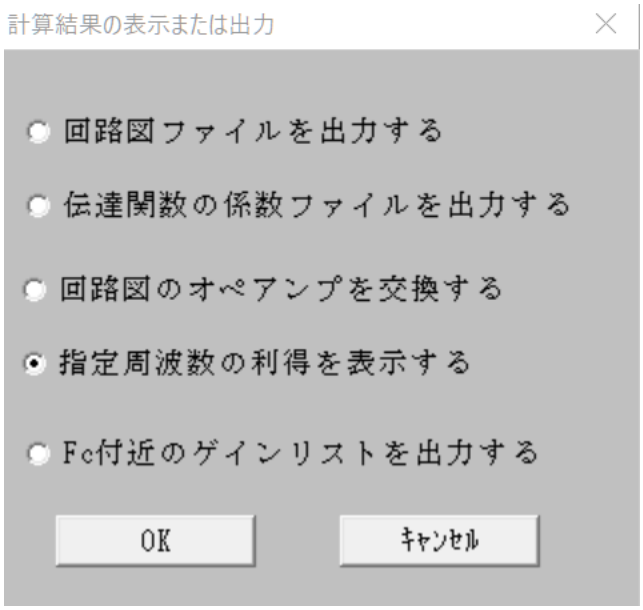
周波数特性のグラフ



極およびゼロのグラフ

6 表示・出力

次のダイアログが表示されて、画面表示またはファイル出力の選択が出来ます。



6-1 「回路図ファイルを作成する」をチェックすると、入力されたパラメータから計算された伝達関数をもとにして、LTSpice で使用可能な回路図ファイルを作成します。
同時に、「journal.txt」というファイルを出力します。

6-2 「伝達関数の係数をファイルに出力する」をチェックすると、計算された伝達関数の係数リストを「test.txt」のようにファイル名を指定して保存することが出来ます。
「ファイル」→「データファイルを開く」によって、保存された伝達関数の係数リストを確認したり、作成した回路図ファイルなどを確認することが出来ます。

6-3 「回路図のオペアンプを交換する」をチェックすると、作成済みの回路図を指定して、その回路で使用されているオペアンプを「OPExchange.txt」で指定する別のオペアンプに交換することが出来ます。

6-4 「指定周波数における利得を表示する」をチェックすると、周波数を指定して利得を確認出来るダイアログが開きます。

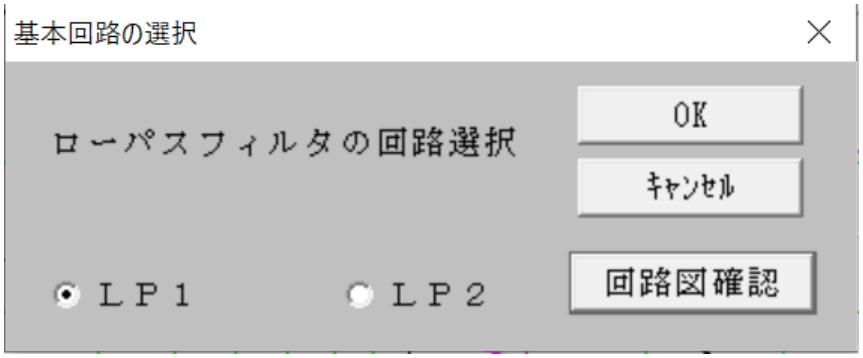
6-5 「Fc 付近のゲインリストを出力する」をチェックすると、各ブロックのカットオフ周波数付近のゲインリストをファイルに出力します。

6-1「回路図ファイルを作成する」

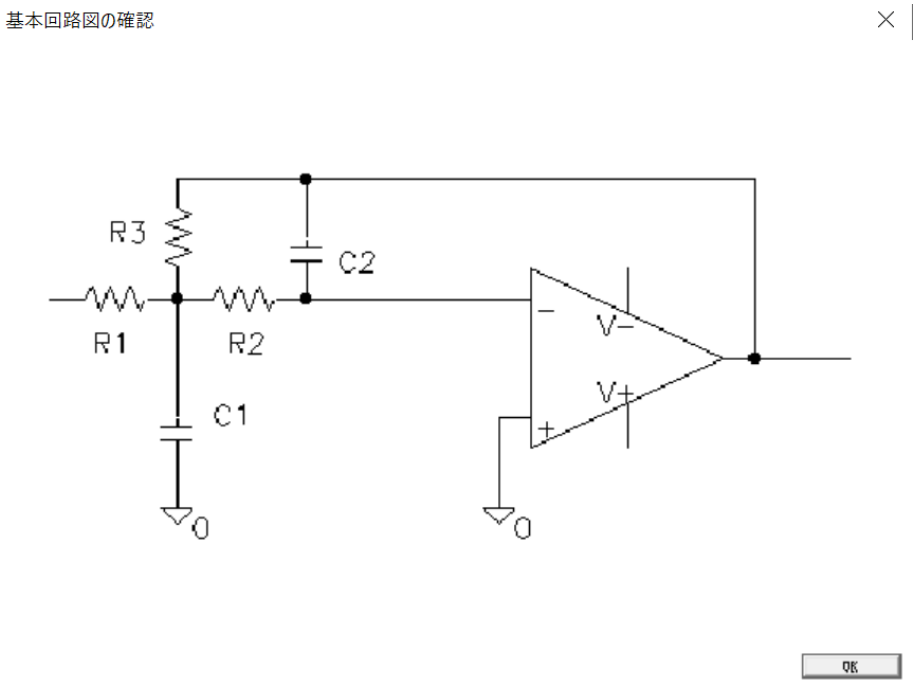
「パラメータ入力」によって設計したフィルタを回路図に変換するには、「回路図ファイルを作成する」をチェックして「OK」をクリックします。

次のダイアログが表示されるので、２種類の基本回路のどちらかを選択します。
「回路図確認」をクリックすると、現在選択中の基本回路図が表示されます。

ローパスフィルタ・バターワースまたはチェビシェフの例、

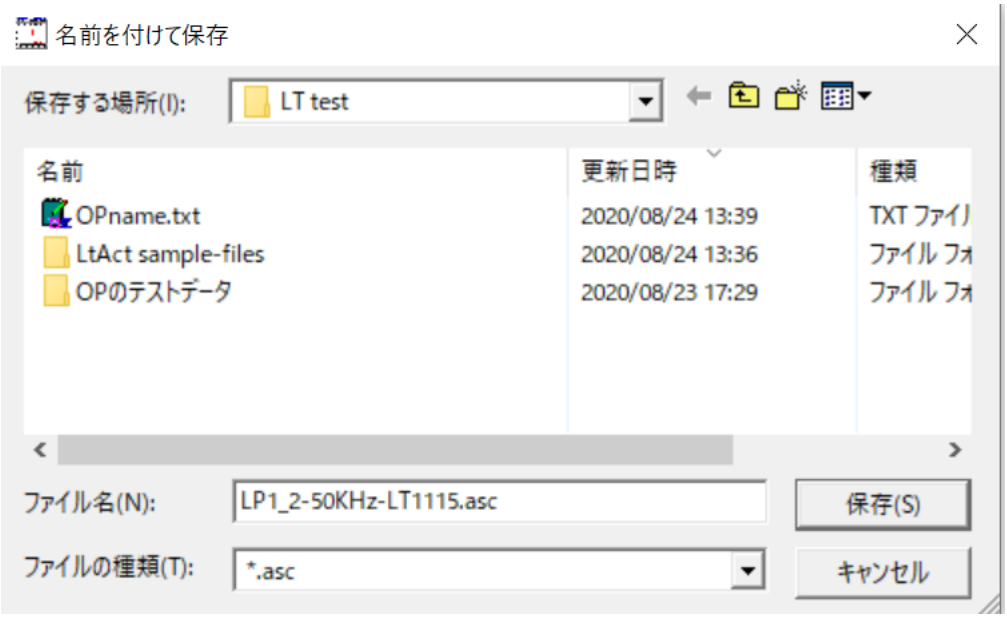


「LP1」をクリックすると、次の回路図が表示されます。



確認したら、「ＯＫ」をクリックすると前の画面に戻ります

ＬＰ１またはＬＰ２を選択して、「ＯＫ」をクリックすると、保存する回路図のファイル名を入力するダイアログが表示されます。 別のフォルダに変更しても構いません。



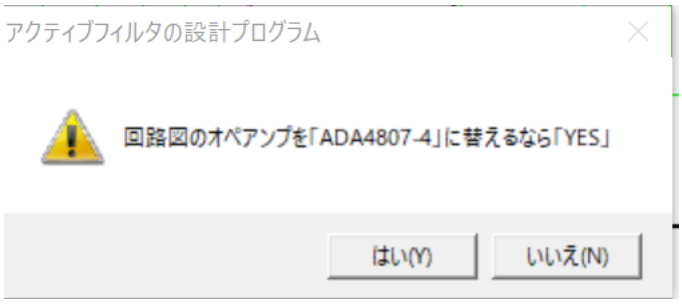
ここで表示されるのは、基本回路名にフィルタの次数を追加したファイル名です。

任意のファイル名を入力して「ＯＫ」をクリックして下さい。

このまま「保存」をクリックして構いませんが、私は「LP1_3-50KHz-LT1115」のように「周波数とオペアンプ名」を追加したファイル名に変更して保存しています。
ファイル名には拡張子を付けなくても構いません。

回路図のオペアンプを変更する

ファイル名を入力すると、回路図のオペアンプを変更するかどうかを確認します。

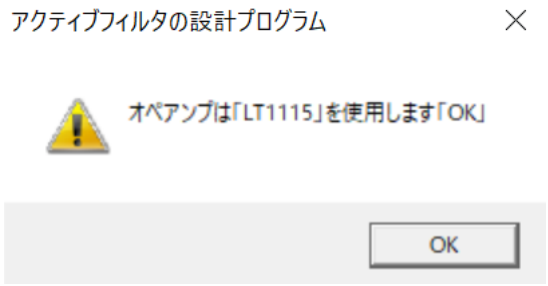


「LtAct ver.1.0」では、回路図のオペアンプは「LT1115」しか使用できませんでした。

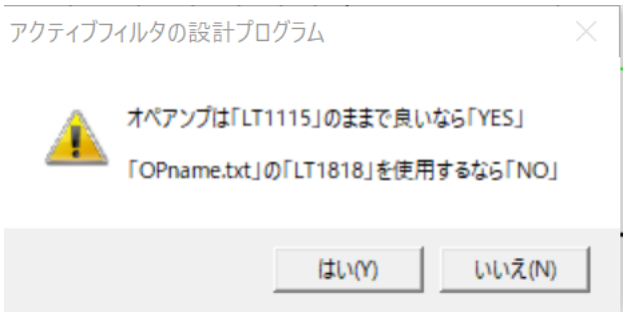
ver.1.2 以降は「LT1115」のままで良いか、「ADA4807-4」に変更するか、回路図を保存するフォルダの「OPname.txt」に記入されているオペアンプに変更するかの選択が出来ます。

「YES」をクリックすると、オペアンプは「LT1115」から「ADA4807-4」に変更されます。

「NO」の時は、「OPname.txt」が無ければ「LT1115」になります。



「NO」でも、「OPname.txt」がある時は、さらに確認します。



ここで「YES」をクリックすると、「LT1115」が使用されます。

「NO」の場合には、回路図を保存するフォルダの「OPname.txt」に書かれたオペアンプを使用します。使用できるオペアンプは、ピンの配置が「LT1115」と同じ物に限られます。

オペアンプの配置が少しずれることがありますので、手作業で移動して下さい。(解決済)

回路図を保存する複数のフォルダごとに異なるオペアンプ名を書いた「OPname.txt」を

保存しておけば、オペアンプごとに回路図の整理が出来ます。

「OPname.txt」の例。
LT1818
オペアンプの名称を入力して改行しただけのテキスト・ファイルです。

オペアンプの特徴
「LT1115」はオーディオ周波数帯で、超低ノイズが特徴です。
「ADA4807-4」は 100KHz 程度でも、設計した周波数特性が実現できます。
「LT1818」などは、さらに高い周波数の回路でも設計した通りに動作しますが、配置がずれてしまいます（解決済み）。また計算時間が長くかかる傾向があります。

回路定数の設定

入力ダイアログに各素子の候補値が順に表示されます。
「LtAct ver.2.10」から候補値の精度が高くなったので、全て「OK」をクリックしても構いません。

周波数が 1MHz 以上の場合には、第 1 ブロックのコンデンサの値を表示された値より少し小さめに設定すると、さらに好結果が得られる場合がありますので、試してみて下さい。
「LP3／LP4」「BP3／BP4」、「BE1／BE2」では、「参照モード 1」を試してみて下さい。

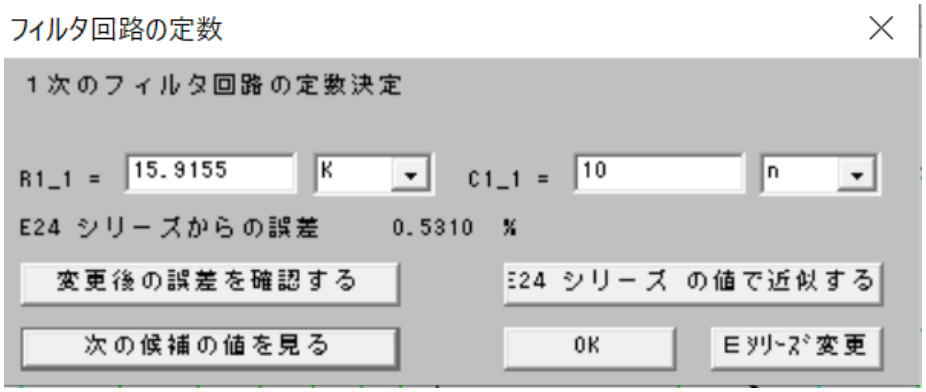
特性を改善したい場合には、「journal.txt」を参照してこのフィルタで使用されている Cb_?（フィルタの種類によっては C1_?）の最大値をすべてのブロックに設定して、その他の素子は「OK」をクリックして回路図を作成して下さい。それから、同様にして最小値をすべてのブロックに設定して、その他の素子は「OK」をクリックして回路図を作成して下さい。LtSpice で周波数特性を比較して、良好な値の上下をさらに細かく Cb_?を変化させて絞り込むと好結果が得られると思います。

楕円関数・バンドパスフィルタ　4 次　100KHz から 400KHz で Xs = 1.3
で実験したところ、Cb_? の最大値は 10n, 最小値は 2n でした。そしてすべてを 2n に設定する方が好結果が得られたので、さらに 1n に変更するとより良い結果になりました。
さらに 500p に変更すると、ゲインが少し低下しました。

「LtAct Ver.2.10 その他の設計例」に上で紹介した 4 次・楕円関数・バンドパスフィルタの実験データを収納しました。

「LtAct ver.2.20」を使用して、全て「OK」をクリックして作成した回路図は、「ヘルプ」→「LtAct 設計例 ver210」により確認することが出来ます。
オーバシュートの調整方法についても説明してあります。

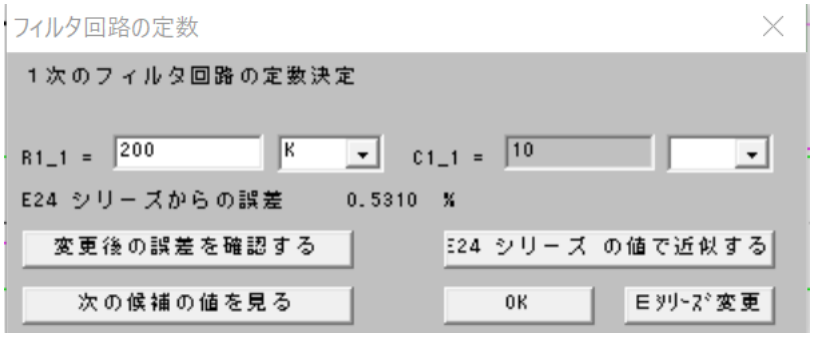
回路図のデータは「LtAct ver.2.20」をインストールしたフォルダの「OP のテストデータ」→「LtAct Ver.2.10 設計例」に保存してあります。



＊ パラメータ入力では、次に示す電子回路で一般的に使用されている単位を
コンボボックスから選択して使用出来ます。単位を直接入力しないでください。

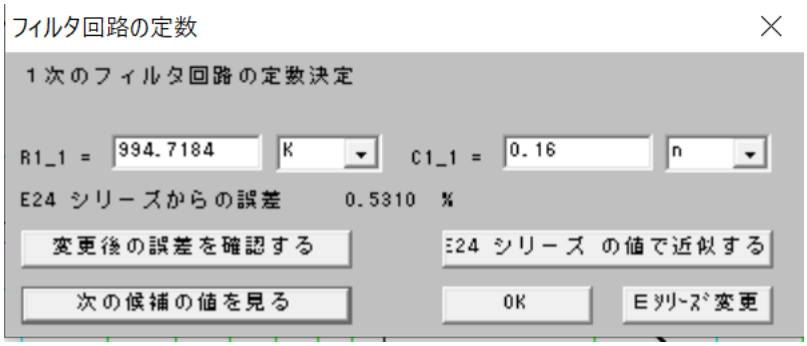
1 f	10^{-15}
1 p	10^{-12}
1 n	10^{-9}
1 u	10^{-6}
1 m	10^{-3}
1 K	10^{3}
1 M e g	10^{6}
1 G	10^{9}
1 T	10^{12}

抵抗の数値を変更するには、抵抗の数値ボックスに直接入力してください。

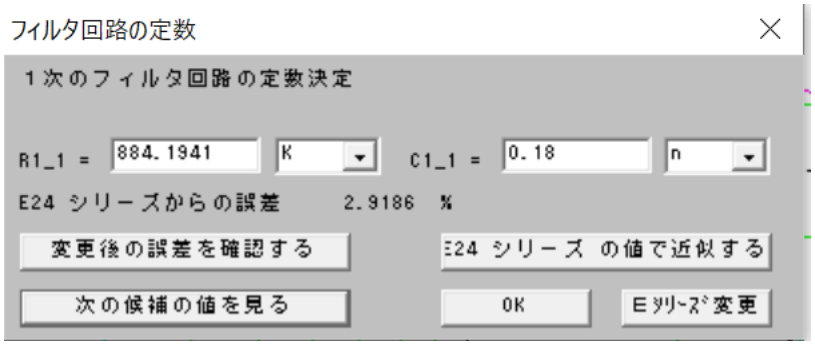


抵抗値を入力すると、右のボックスが未定状態になります。
ここで、抵抗値と単位を変更するなら、抵抗値を入力して隣のボックスの矢印をクリック
して単位を選択します。

ここで、「次の候補の値を見る」をクリックすると、コンデンサの値も表示されます。



「次の候補の値を見る」をクリックすると、



C1_1 の値が、現在の E シリーズで 1 個上の値に変わります。

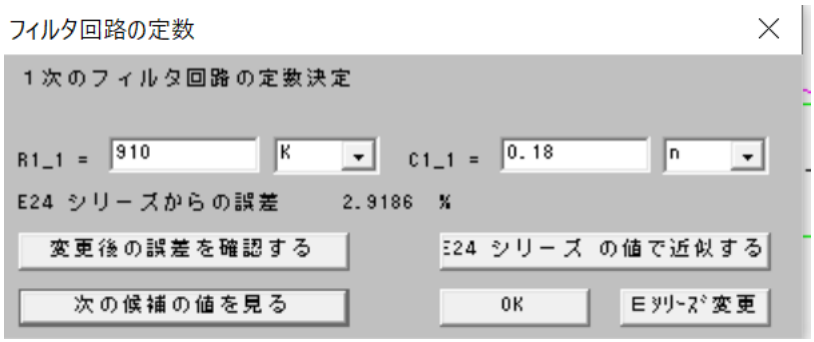
注意：LtAct ver.1.3 までは、R1_1 と C1_1 が両方とも E シリーズからの誤差が小さくなる値を探索していました。

このために、E24 シリーズでは 24 種類の数値が利用できるところを、数種類の候補値しか選択できず、素子値を微調整できないという不都合がありました。

LtAct ver.1.44 では、入力した素子値を候補値として使えるようにして、E24 シリーズとの誤差が最小となる素子値を検索する方法を廃止しました。

このため、LtAct ver.1.3 と比較すると、E24 シリーズとの誤差が大きい候補値が表示される場合があると思います。

「E24 シリーズの値で近似する」をクリックすると、



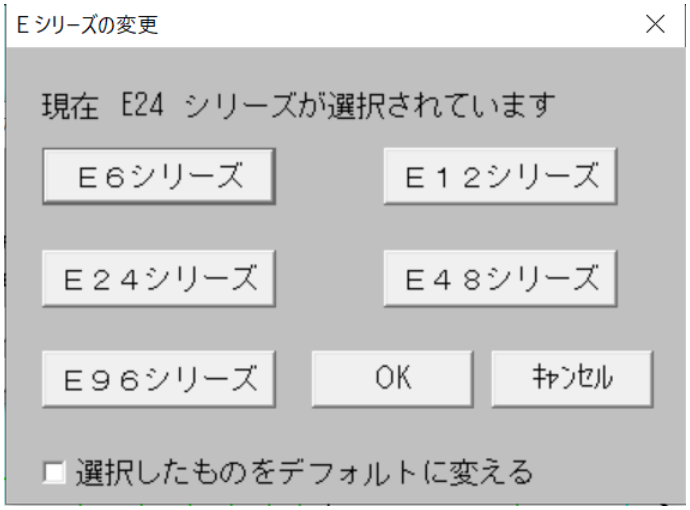
E24 シリーズとして使用される値が表示されますが、まだこの値に決定されたわけではありません。
「OK」をクリックして、初めて表示されている数値が決定されます。

低周波数のアクティブフィルタでは、素子値が多少変化しても周波数特性が大幅に劣化することは余りありませんので、E24 シリーズに近似しても問題ないと思います。

しかし、高周波数のアクティブフィルタを設計する時には、素子値の少しの変化でもオーバシュートを発生したりする場合がありますから、近似しないで「OK」をクリックした方が良いと思います。

近似しないで作成した回路図を LTSpice でシミュレーションして、設計した特性が得られることを確認してから、素子値を 1 個ずつ E シリーズに近似して、シミュレーションをして確認して、近似しても問題の無い素子値だけを近似して下さい。

「E シリーズ変更」ボタンを押すと「E シリーズの変更」画面になります。



Ｅシリーズ変更ダイアログでは、現在選択されているＥシリーズが示されます。変更したいＥシリーズのボタンを押し「ＯＫ」をクリックすると変更できます。「ＯＫ」をクリックする前に、「選択したものをデフォルトに変える」をチェックしておくと、選択したＥシリーズがデフォルトに変わります。

注意しなければならないのは、Ｅシリーズの値が大きいほど誤差が少なくなると考えがちですが、場合によってはＥ２４シリーズで計算した定数のほうがＥ４８シリーズで計算した場合よりも誤差が少ないことがあるということです。従って、デフォルトをＥ２４シリーズにしておき、誤差が２％を越えたらＥ９６シリーズで計算して見るなどの方法が適当と思われます。

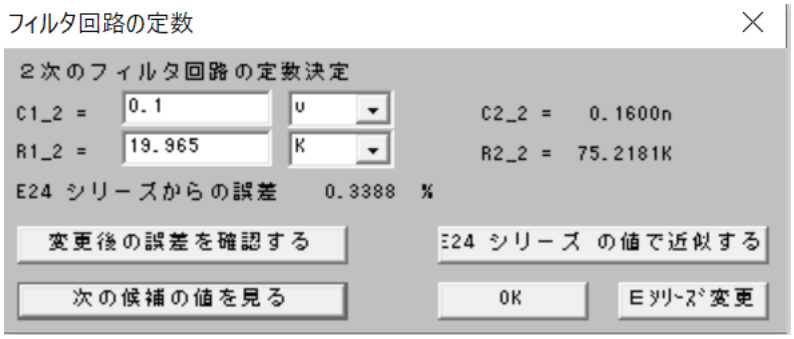
パラメータ入力と回路定数決定時の注意

周波数が 1MHz 以下ならば、表示された数値に「OK」をクリックし続けるだけで、設計した周波数特性が得られると思います。
設計した周波数特性が得られなかった時または、抵抗やコンデンサの値を細かく調整したい場合には、抵抗とコンデンサの素子値を決定する前に値と単位を入力して下さい！

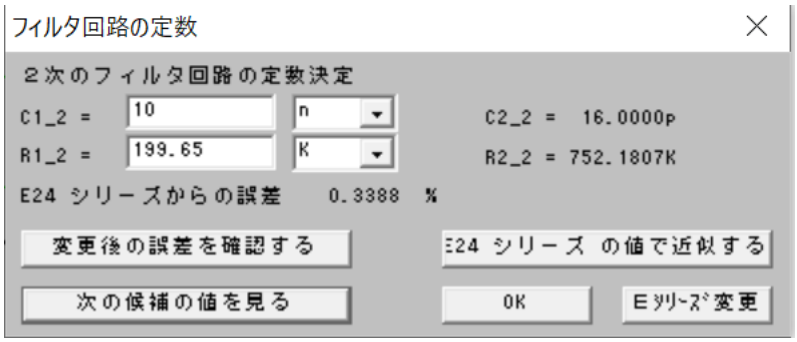
抵抗は数十～数百（オーム）以上、コンデンサは 0.1n 以上が望ましい値です。
抵抗の単位が「」（空白）だったリ、コンデンサの単位が「p」になっていたら単位を変更して望ましい値になるようにして下さい。

基本回路によっては、抵抗とコンデンサの望ましい値を同時に満たすことが出来ない場合がありますので、基本回路を変更して試して下さい。
「E96 シリーズ」に変更すると、望ましい値が表示される場合があります。

チェビシェフ・ローパスフィルタ 9 次の回路図を作成する時の例



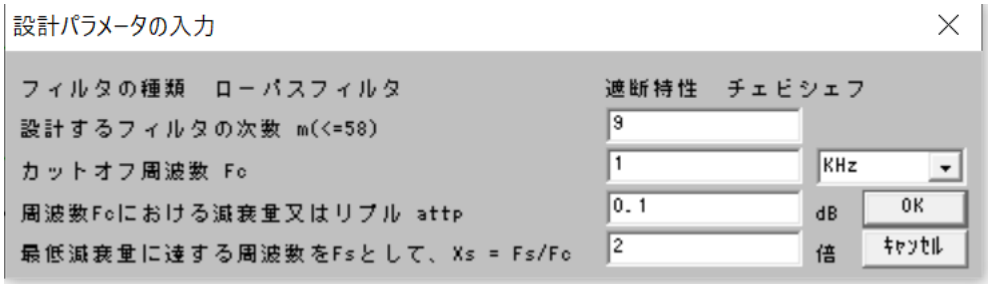
これは、最初に表示される候補の値ですが、C1_2 の値を 0.1u から 10n に変更すると、次のようになります。

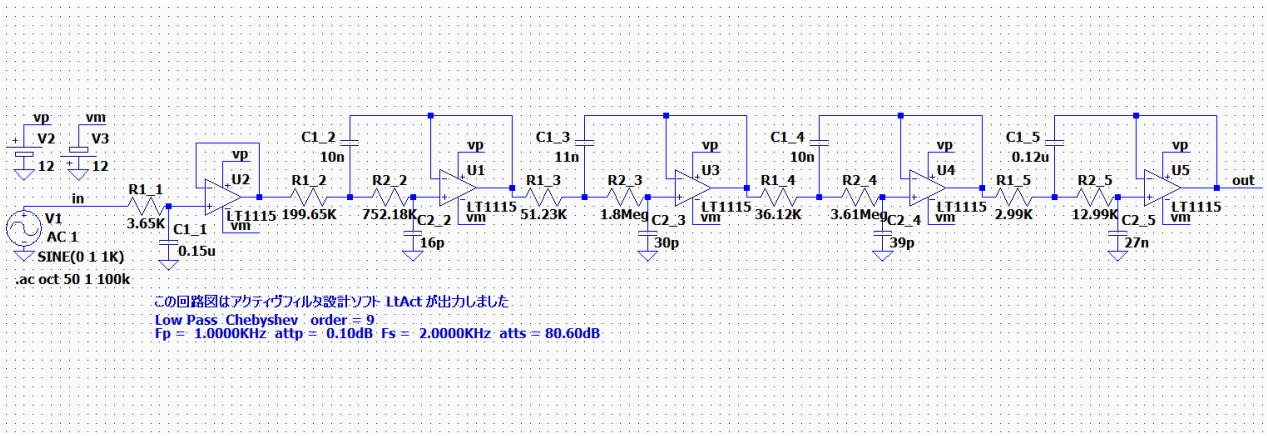


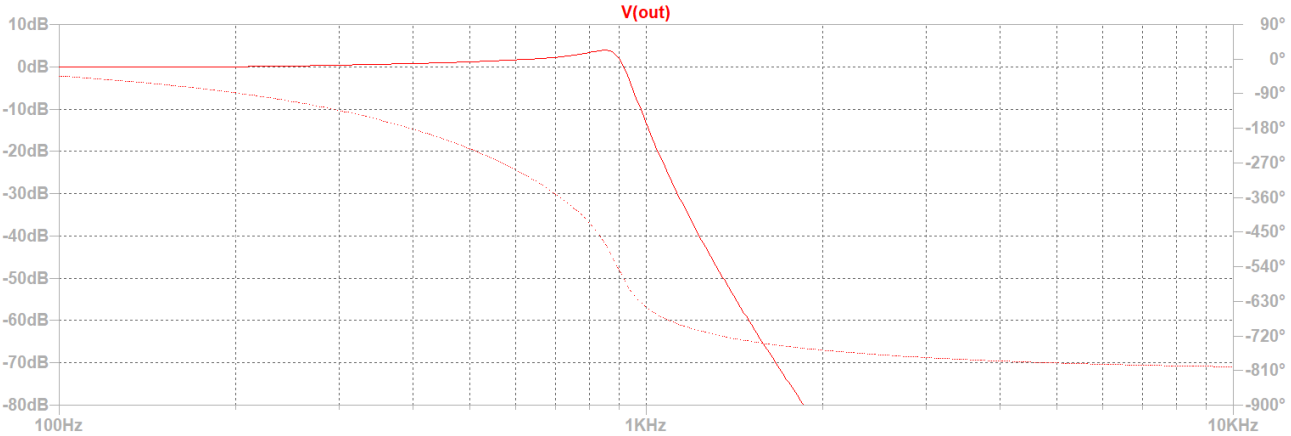
C2_2 の値が、0.16n から 16p に変化します。

このように、コンデンサの単位が「p」になっている素子を見つけたら、単位が「n」になるように変更して下さい。

故意に、コンデンサの単位を「p」となるように素子値を決定して作成した回路図と、周波数特性は次のようになります。





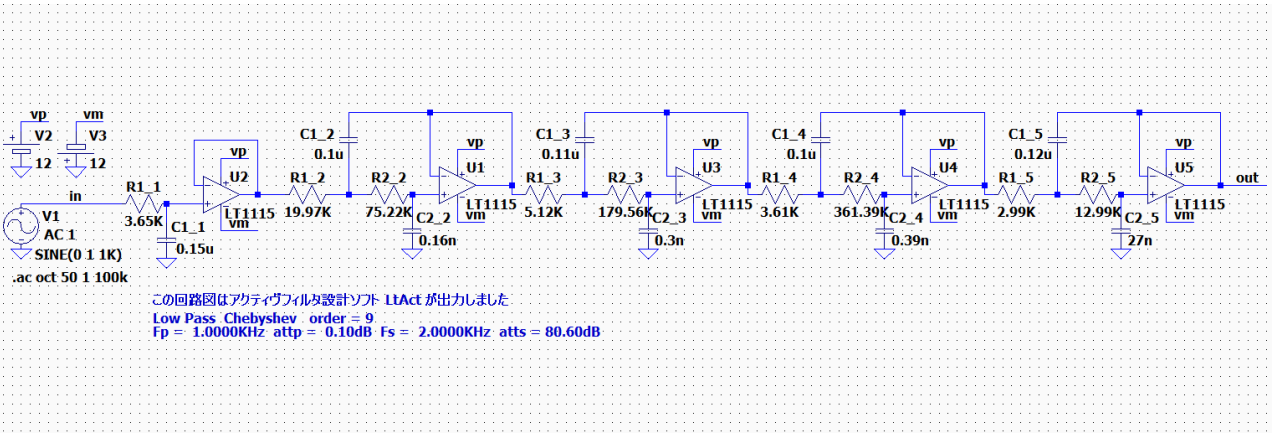


入力したパラメータは、Fp = 1KHz で減衰量が 0.1 dB 以内、最低減衰量を確認する周波数は Fs = 2KHz です。
LtAct のグラフ画面では 2KHz での減衰量は 80.60dB と表示されています。

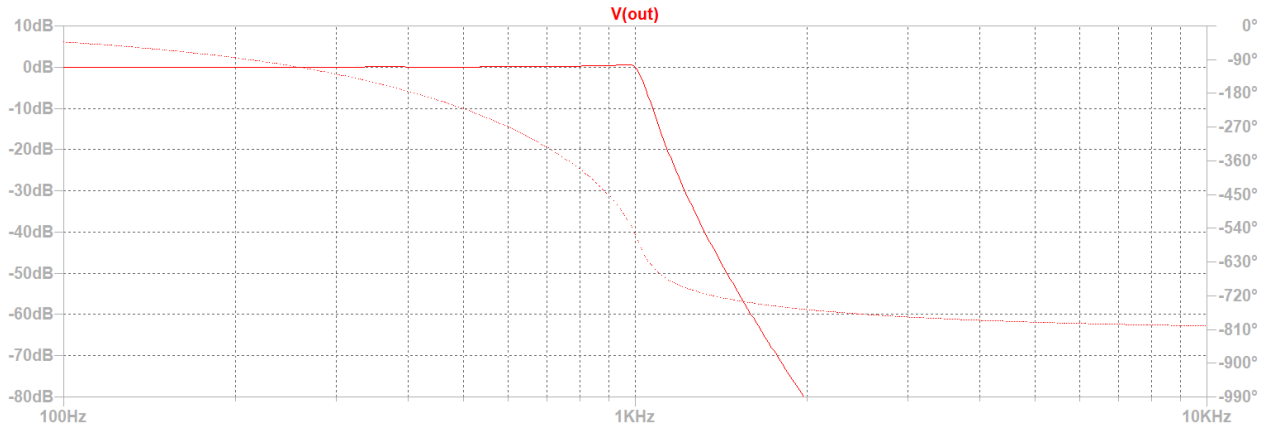
しかし、出力された回路図を LTSpice で実行してグラフ表示すると、1KHz 付近にオーバーシュートが見られ、1KHz の減衰量は 10dB を越えています。2KHz の減衰量は 80dB を越えていますが、要求した仕様を満たしていません。

6-1「回路図ファイルを作成する」パラメータ入力と回路定数決定時の注意

コンデンサの単位が「p」にならないように、表示される候補値の単位を変化させずに回路図を作成した場合の、回路図と周波数特性は次のようになります。



このグラフでは、1KHz の減衰量は 0.1dB、2KHz の減衰量は 80dB で設計通りです。

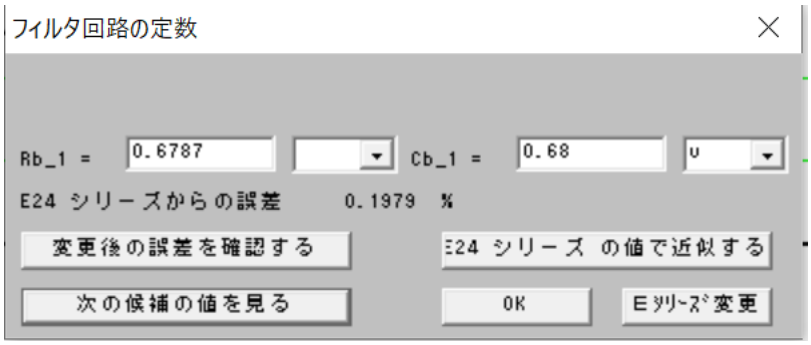


オペアンプ内部には、発振防止用に 30p 程度のキャパシタが組み込まれていいるので、フィルタ回路で使用するコンデンサの単位が小さすぎると、オペアンプのキャパシタによって影響を受けるためだと考えられます。

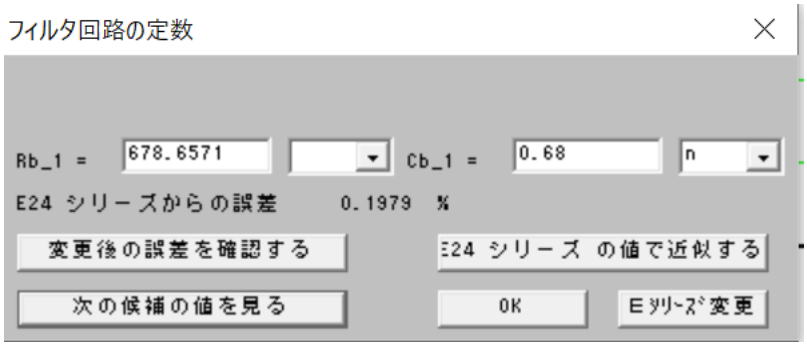
また、抵抗値を数十～数百以下の値にすると、オペアンプのドライブ能力などが影響して希望する周波数特性が実現できない場合があります。

素子値の設定は、「ヘルプ」→「LtAct 設計例 ver210」を参照して下さい。

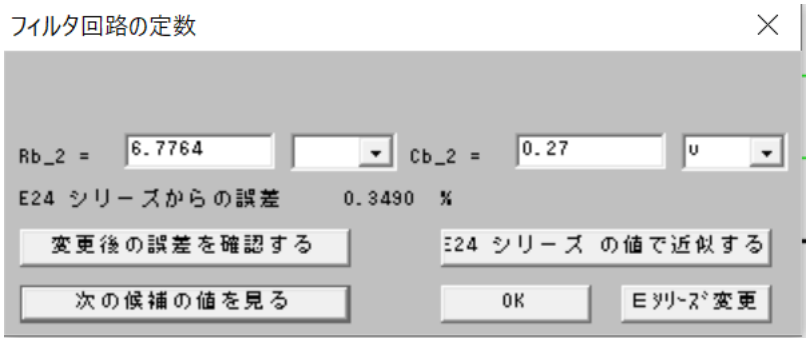
その他の入力例



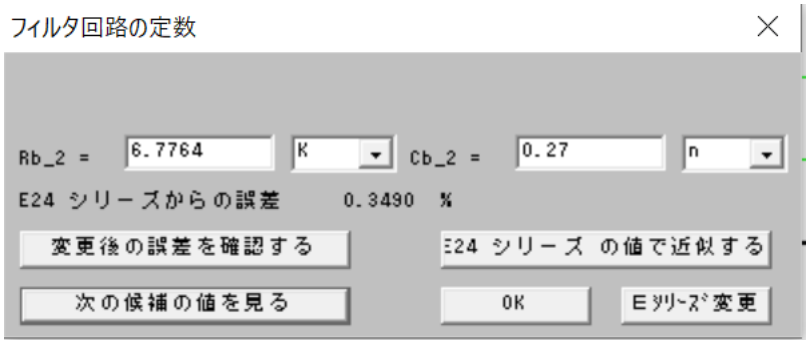
少なくても、R は数百、C の単位は「n」にしたいのですが、Rb_1 が小さすぎるので、Cb_1 の単位を「u」から「n」に変更して、「次の候補を見る」をクリックします。



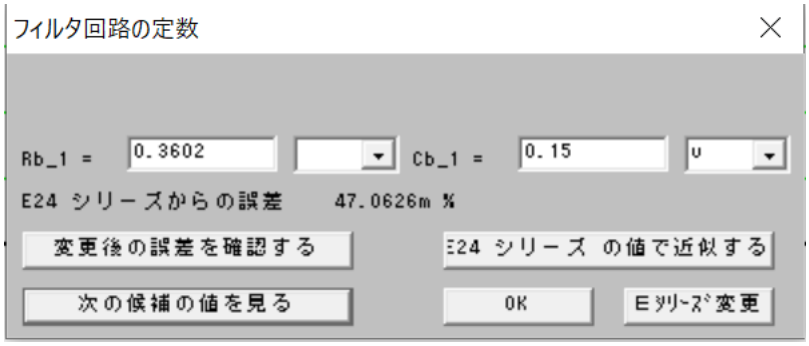
「OK」をクリックします。



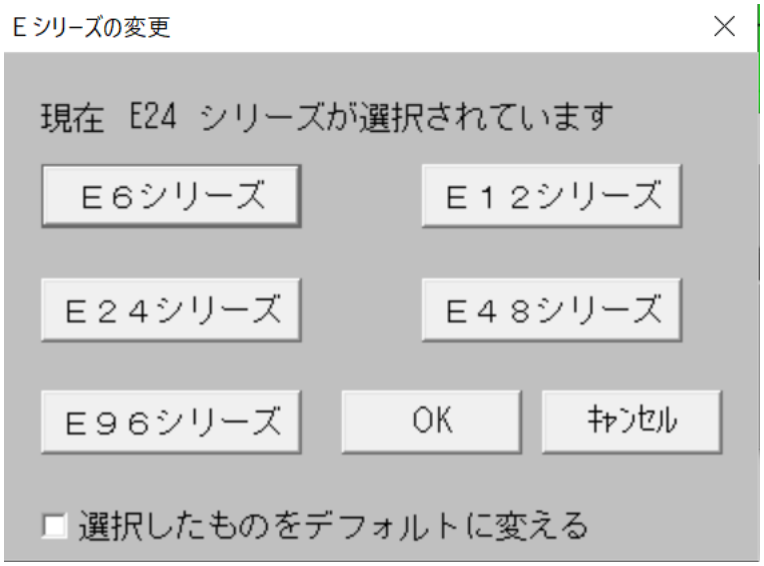
前の例と同様に、Cb_2 の単位を「u」から「n」に変更して、「次の候補を見る」をクリックして、「OK」をクリックします。



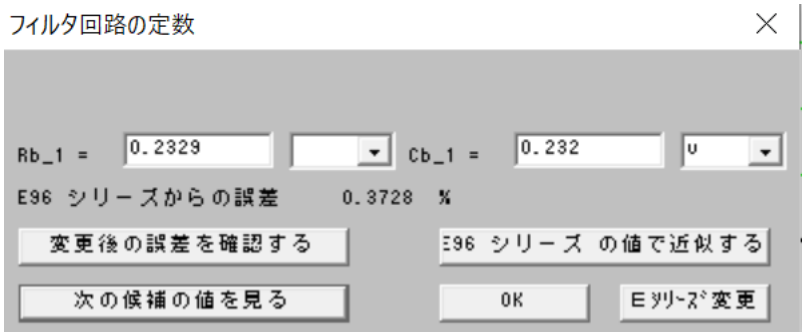
素子値を微調整するには、数値を直接入力して、E シリーズを変更すると良いです。



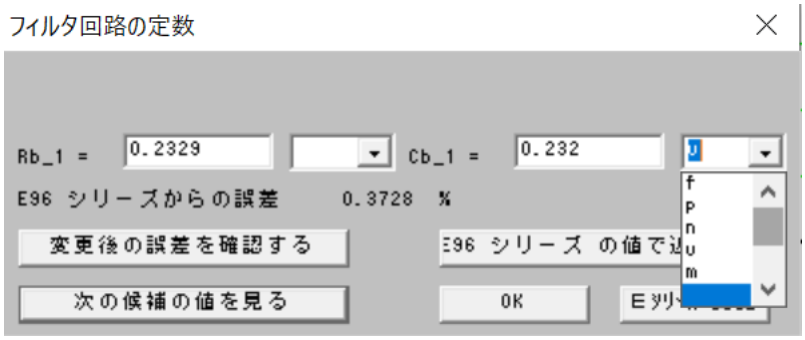
ここで「E シリーズ変更」をクリックしてください。

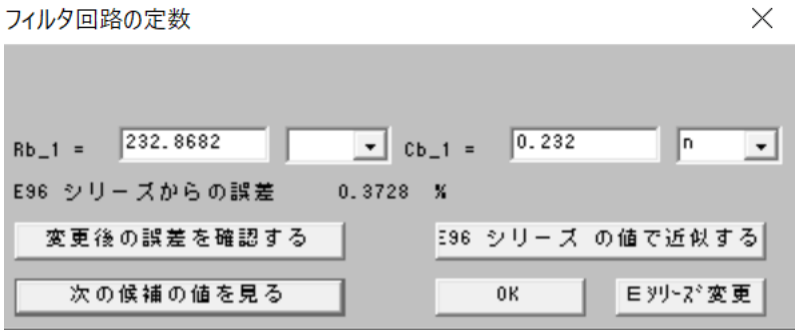


「選択したものをデフォルトに変える」をチェックして、「E96 シリーズ」をクリックしてから「OK」をクリックしてください。

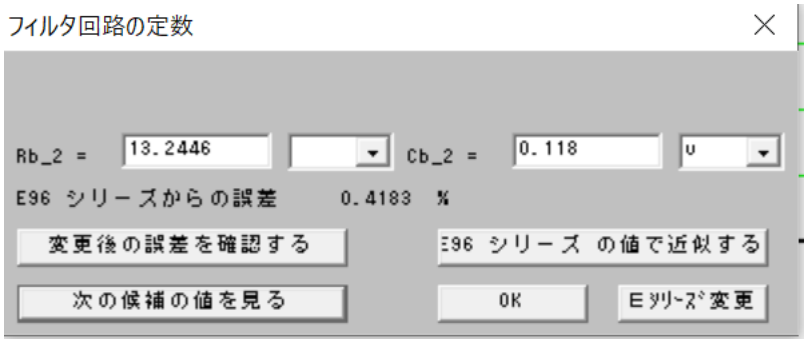


Cb_1 の単位「u」を「n」に変えて、「次の候補を見る」をクリックしてください。

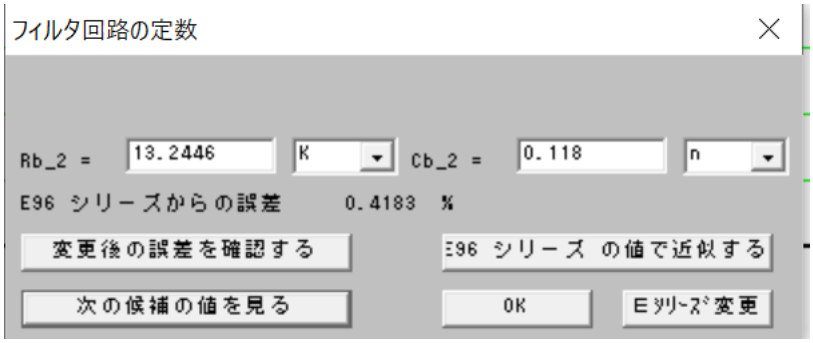




「次の候補を見る」をさらにクリックしても、より良い値が表示されなければ「OK」をクリックします。



「u」から「n」に変更して、「次の候補を見る」をクリックすると



Rb_2 の単位が「K」なので、すぐ「OK」をクリックします。

高周波数では設計通りの周波数特性を実現することが困難になります。抵抗値が小さ過ぎないように、コンデンサの値を 10p 以上に設定して、適当な抵抗値を探してください。

journal.txt

「回路図ファイルを作成する」で回路図を作成すると、自動的に「journal.txt」というファイルが作成されて、回路の素子値が記録されます。
既に「journal.txt」が存在する時は、そのファイルに追記されます。

次は、３次の楕円関数ローパスフィルタを設計した時に、「伝達関数の係数」を「journal.txt」に出力してから、回路図を出力した場合の「journal.txt」です。

```
++++++++++ 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 = 0.1000dB  Fs =  2.0000KHz  atts =  24.01dB
１次式の形式
     P1 * s + P2
H0 = -------------
        s + P0
２次式の形式
     Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4
Hn = ------------------------------
        s^2 + Pn_0 * s + Pn_1
１次式
    P0 =   7.0168K    P1 =    0        P2 =   7.0168K
２次式
  n      Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
  1     4.7986K  64.3146Meg    0.3161         0   64.3146Meg
                  Fc=     1.2764K  Q =   1.6713  GB 積=213.3131K
********** 回路の構成と素子値 **************************************
回路図ファイル名 E:\LT test\LP3_3-1KHz.asc  作成日時 Tue Jan 05 21:06:57 2021
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass  Elliptic  次数=3                    参照モード=1
Fp =  1.0000KHz  attp = 0.1000dB  Fs =  2.0000KHz  atts =  24.01dB

１次のフィルタ回路
１(lp1) R1_1 = 142.5143K  C1_1 =   1.0000n    誤差 = 5.2526 %
２(et1)「HP3-0-1」 Rb_2（2 個）= 137.0263K  Cb_2（2 個）=   0.9100n    誤差 = 5.1277 %
２  R1_2 =   1.0000K R2_2 =  12.6964K R3_2 =   4.0138K R4_2（5 個）=   4.0138K  誤差 = 4.6675 %
```

「LtACt ver.2.30」から、「回路の構成と素子値」は各ブロックごとに基本回路名に加えて参照したテーブル名とその周波数の行番号および Q 値の列番号を追加しました。

基本回路名は「LP1」「LP2」「HP1」「HP2」「BP1」「BP2」「et1」「et2」

テーブル名は「LP1」「LP2」「LP3」「LP4」「HP1」「HP2」「HP3」「HP4」「BP1」「BP2」

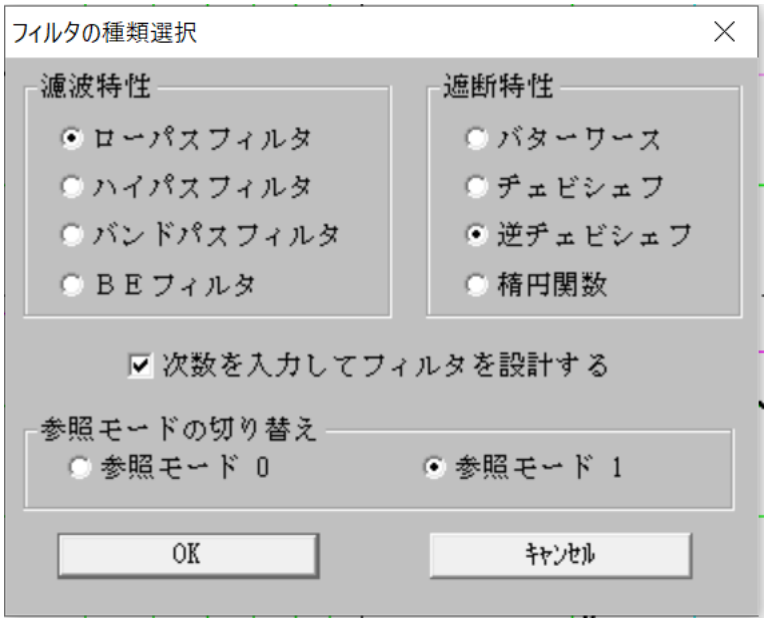
各ブロックごとに参照したテーブルは、「HP3-1-2」の書式で表示されます。
「HP3」はテーブル名で、「1」は周波数の行番号（0 から 3 まで）です。
「0」なら 1KHz、「1」なら 10KHz、「2」なら 100KHz、「3」は 1000KHz です。
次の「2」は Q 値の列番号（0 から 2 まで）です。
「0」なら Q > 5、「1」なら Q < 3.5、「2」なら Q < 1.5 を表します。

参照モード

「LtAct ver.2.40」から、逆チェビシェフと楕円関数の基本回路「et1」「et2」において、どのテーブルを参照して素子値を計算するかのモードを選択可能としました。

テーブル参照のモード		
フィルタ名	モード 0	モード 1
LP3	LP3--	HP3--
HP3	HP3--	HP3--
BP3	LP3/HP3	HP3--
BE1	LP3/HP3	HP3--
LP3-- ：各ブロックがLP3を参照する		
LP3/HP3 ：第1ブロックはLP3、以降はHP3を参照		
BE1は、第2ブロックがLP3、その他はHP3		
フィルタ名	モード 0	モード 1
LP4	LP4--	HP4--
HP4	HP4--	HP4--
BP4	LP4/HP4	HP4--
BE2	LP4/HP4	HP4--

「フィルタの種類選択」のダイアログで参照モードを切り替えることが出来ます。
出力された回路図を「LtSpice」で特性を確認して良好なほうを利用して下さい。



参照モード 1 にすると、基本回路「et1／et2」のコンデンサの値が小さくなります。

私の個人的な感想では、BP3 と BP4 では Fp2 / Fp1 の値が大きい時は、「参照モード 0」で回路図を作成後、Cb1_?の最大値 Cmx と最小値 Cmn の幾何平均$Cav = \sqrt{Cmx \cdot Cmn}$ を全てのブロックに設定すると好結果が得られると思います。

逆に Fp2 / Fp1 の値が小さい時は、「参照モード 1」で回路図を作成し、それ以外の場合には「参照モード 0」で作成するのが良いと思います。

最終的には、LtSpice で特性を確認してからどの方法にするかを選択してください。

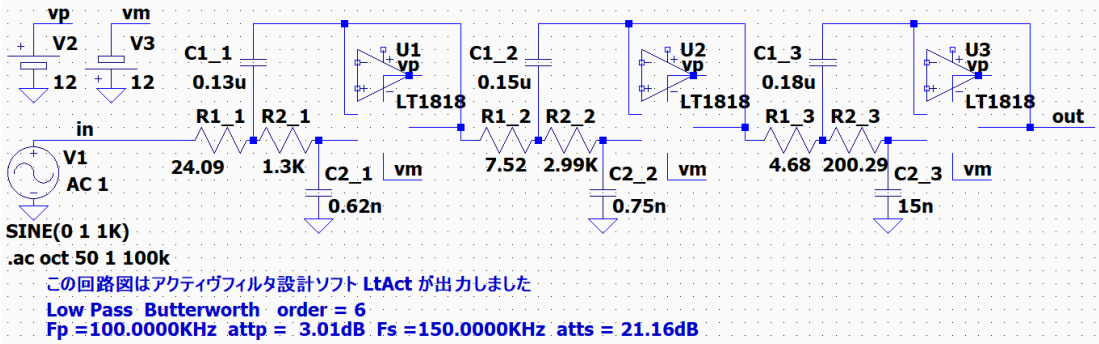
参照テーブルは本文書の「基本回路とコンデンサの推奨値」で確認できます。

参照テーブルは「ヘルプ」→「LtAct 設計例-ver210.pdf」→「基本回路とコンデンサの推奨値」で確認できます。

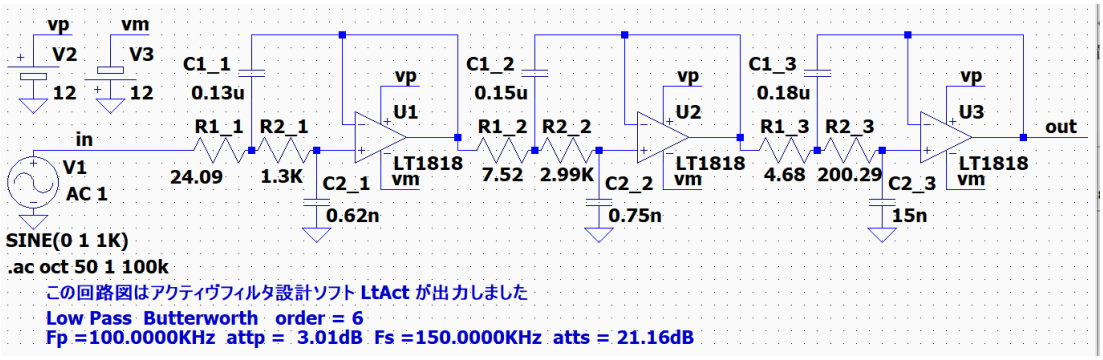
作成した回路図の特性を改善する方法などについては、「ヘルプ」から「LtAct 設計例-ver210.pdf」を参照して下さい。

6-1「回路図ファイルを作成する」　　参照モード

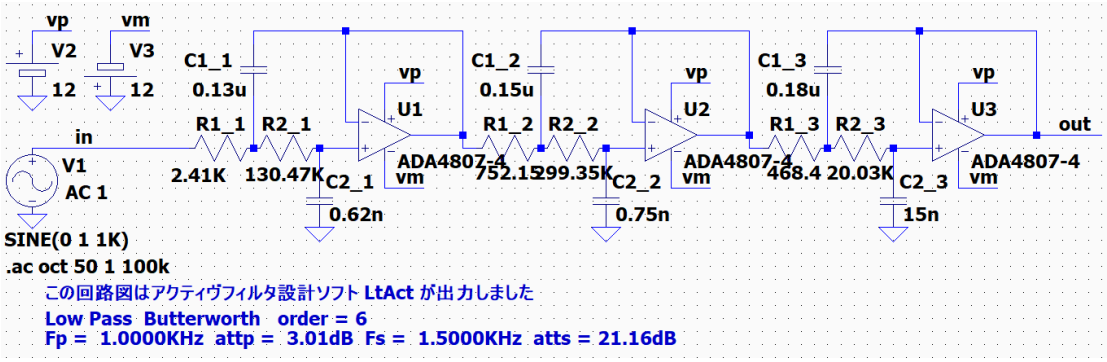
オペアンプの変更



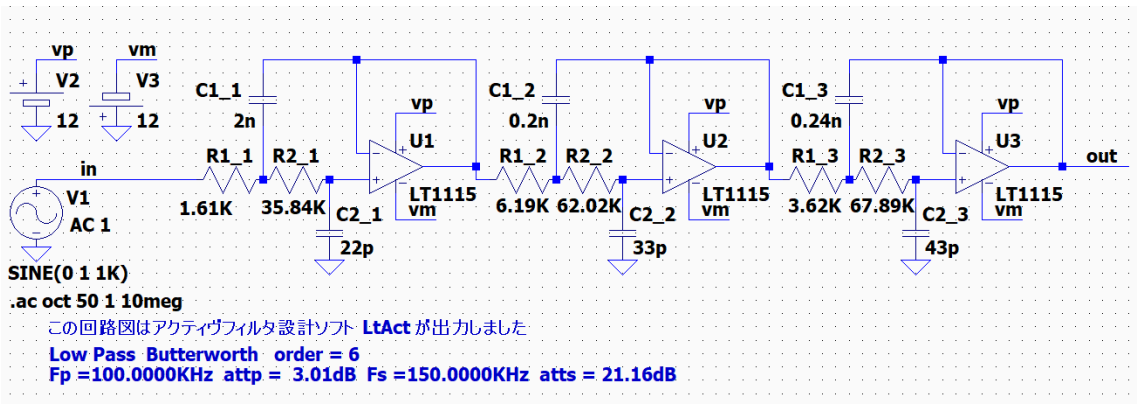
位置を修正すると、(解決済み)

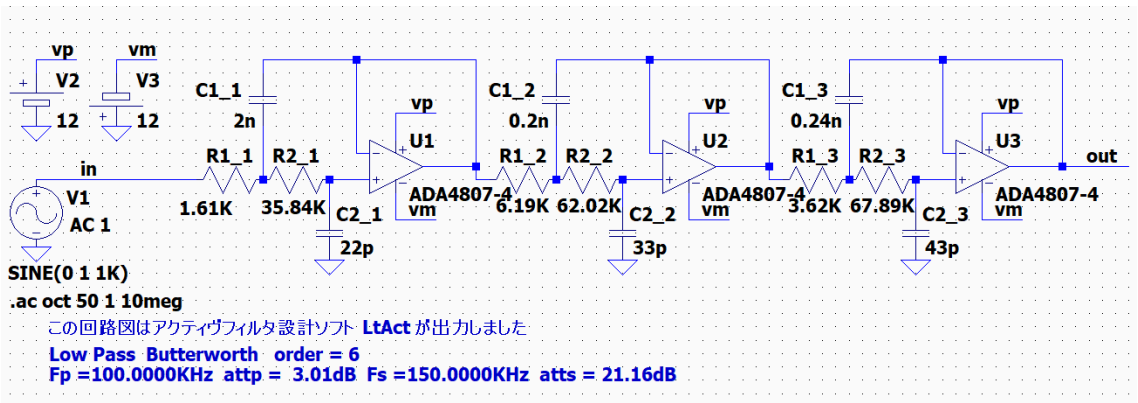


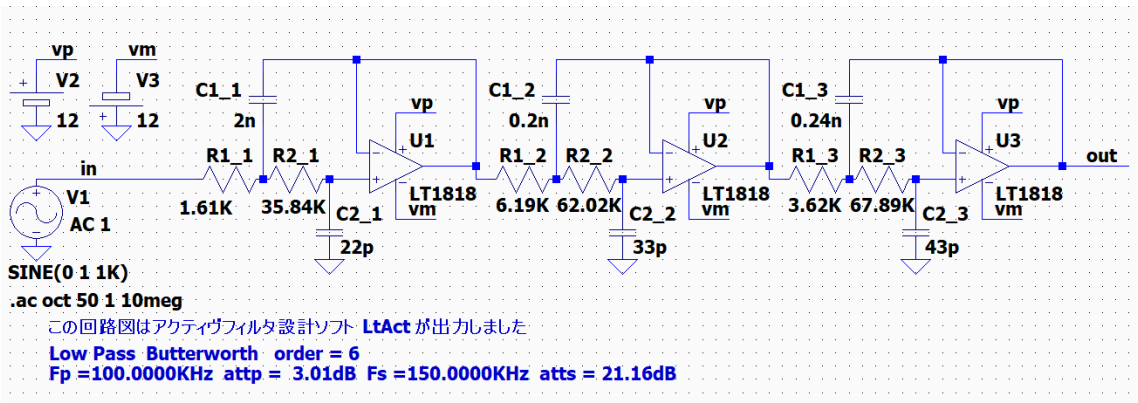
「ADA4807-4」と「LT1115」は正しく配置されます。



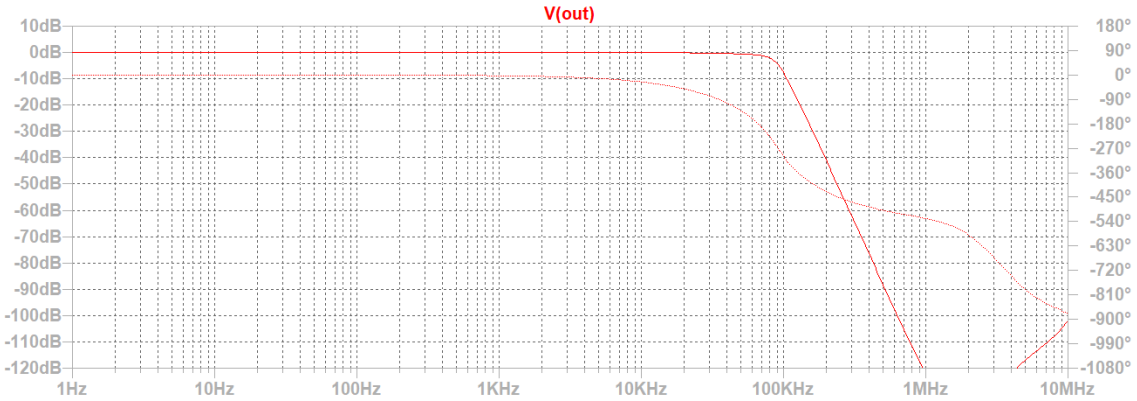
ローパス・バターワース 6 次 Fp = 100KHz の回路図を「LT1115」、「ADA4807-4」および「LT1818」で作成した時の回路図と周波数特性のグラフを以下に示します。


vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 1 10meg
C1_1
2n
R1_1
1.61K
R2_1
35.84K
C2_1
22p
U1
LT1115
C1_2
0.2n
R1_2
6.19K
R2_2
62.02K
C2_2
33p
U2
C1_3
0.24n
R1_3
3.62K
R2_3
67.89K
C2_3
43p
U3
out
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
Low Pass Butterworth order = 6
Fp =100.0000KHz attp = 3.01dB Fs =150.0000KHz atts = 21.16dB

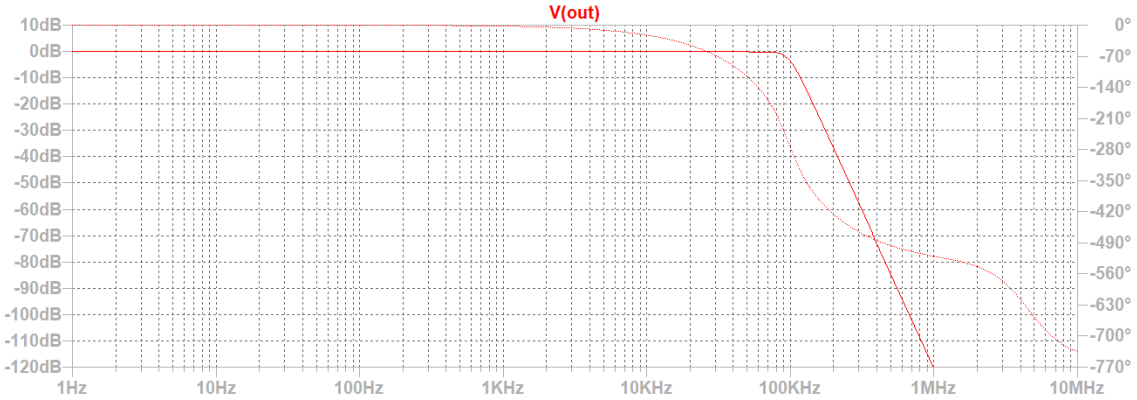

vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 1 10meg
C1_1
2n
R1_1
1.61K
R2_1
35.84K
C2_1
22p
U1
ADA4807-4
C1_2
0.2n
R1_2
6.19K
R2_2
62.02K
C2_2
33p
U2
C1_3
0.24n
R1_3
3.62K
R2_3
67.89K
C2_3
43p
U3
out
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
Low Pass Butterworth order = 6
Fp =100.0000KHz attp = 3.01dB Fs =150.0000KHz atts = 21.16dB


vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 1 10meg
C1_1
2n
R1_1
1.61K
R2_1
35.84K
C2_1
22p
U1
LT1818
C1_2
0.2n
R1_2
6.19K
R2_2
62.02K
C2_2
33p
U2
C1_3
0.24n
R1_3
3.62K
R2_3
67.89K
C2_3
43p
U3
out
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
Low Pass Butterworth order = 6
Fp =100.0000KHz attp = 3.01dB Fs =150.0000KHz atts = 21.16dB

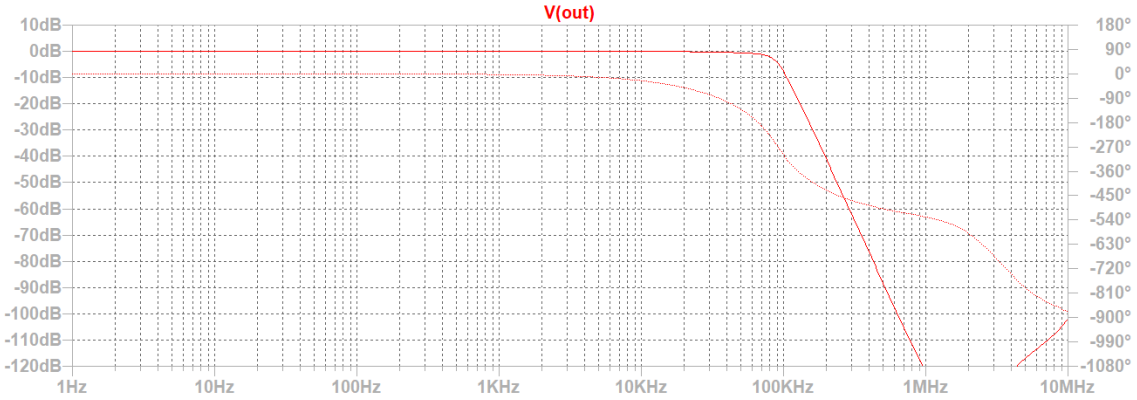
「LT1115」　　設計通りの周波数特性が得られました。



「ADA4807-4」　1MHz 以上の減衰特性は「LT1115」より優れています。



「LT1818」　　「LT1115」と同程度の減衰特性です。

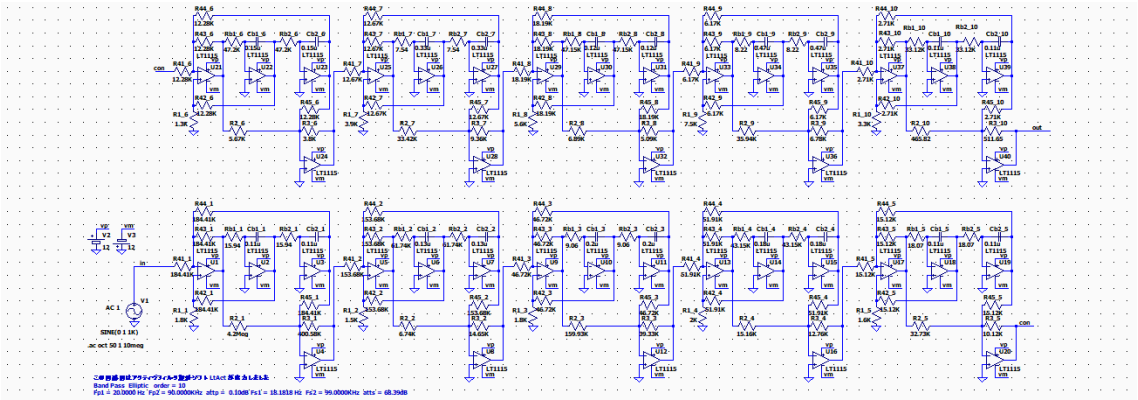


3 つのオペアンプに対して、同じ値の抵抗とコンデンサを使用して周波数特性をシミュレーションしました。
スルーレートが高ければ良い特性が得られるとは限りません。
試しに、C2_1 を 2.2p にすると、カットオフ周波数が 50KHz まで低下しました。オペアンプの内部容量が影響していると思います。C2_1 は 30p 以上にした方が良いでしょう。

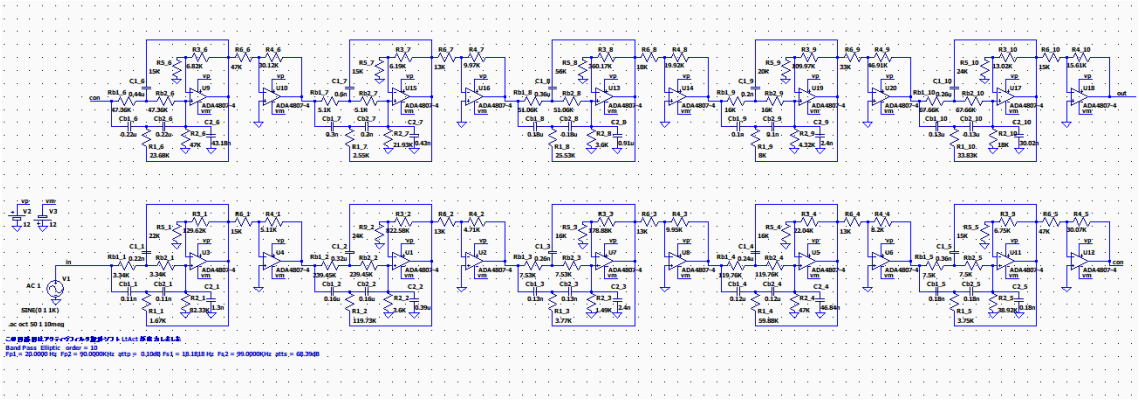
6-1「回路図ファイルを作成する」　オペアンプの変更

BP4_10 バンドパス・楕円関数 10 次 Fp1 20Hz, Fp2 90KHz

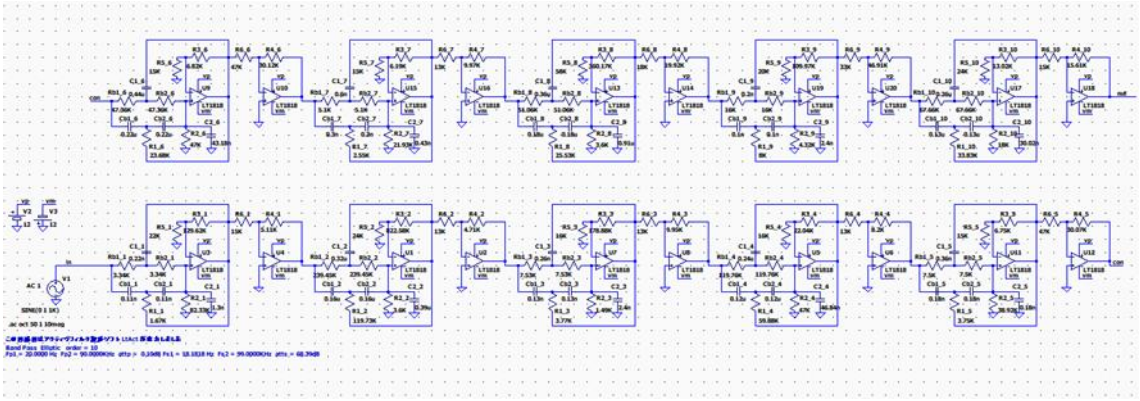
「LT1115」



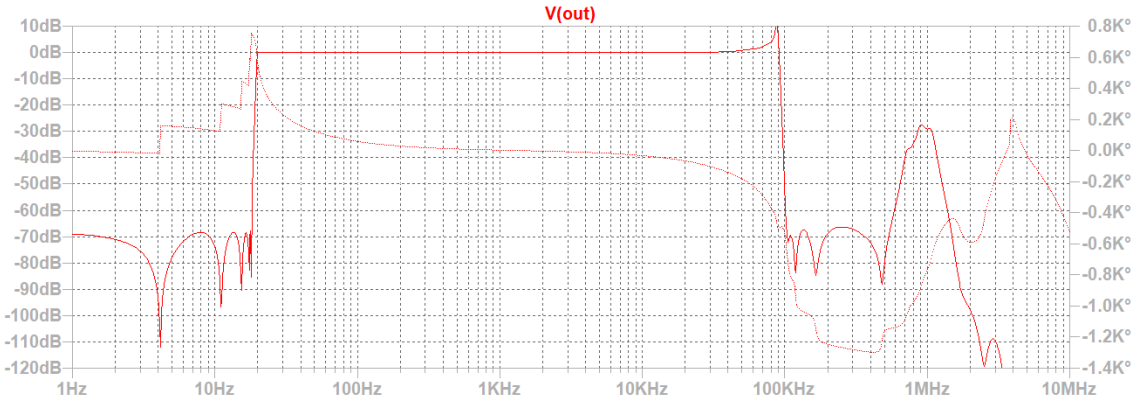
「ADA4807-4」



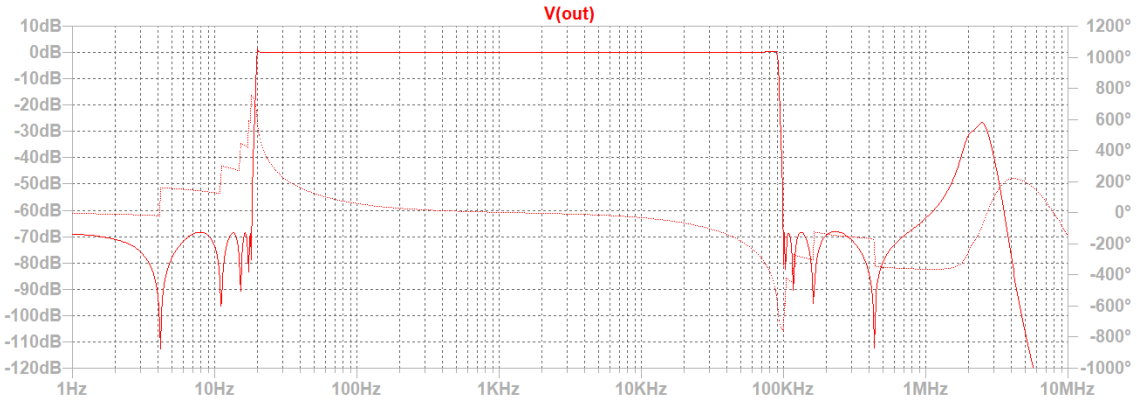
「LT1818」



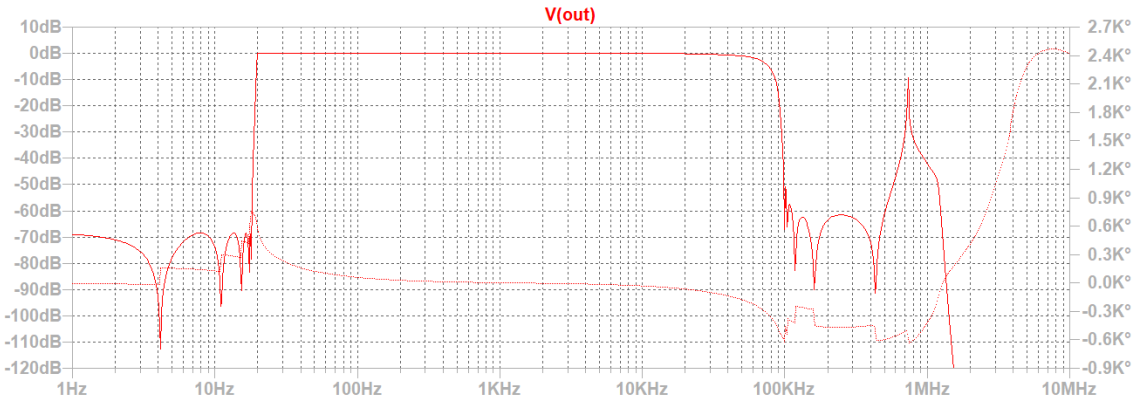
「LT1115」　　90KHz 付近にピークがあり、1MHz 付近の減衰量が小さい



「ADA4807-4」　90KHz にピークが無い。1MHz の減衰量は大きい



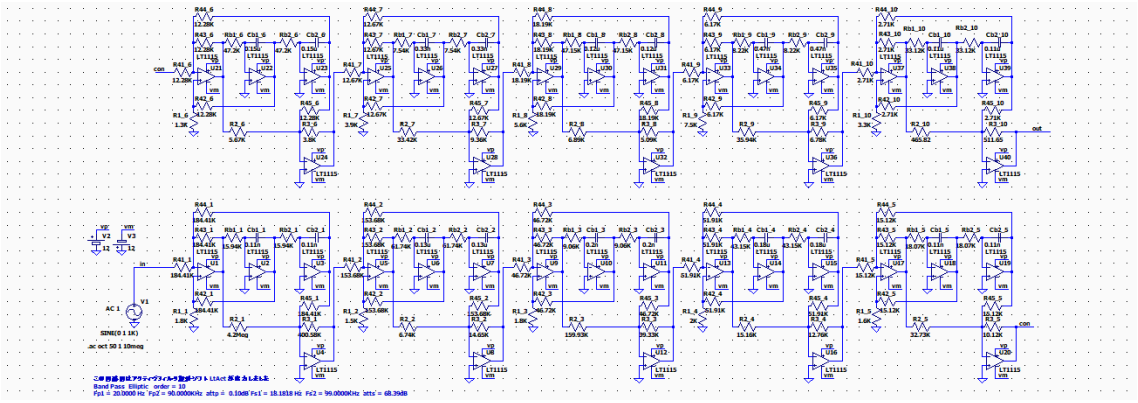
「LT1818」　　90KHz の手前から減衰し始めている。



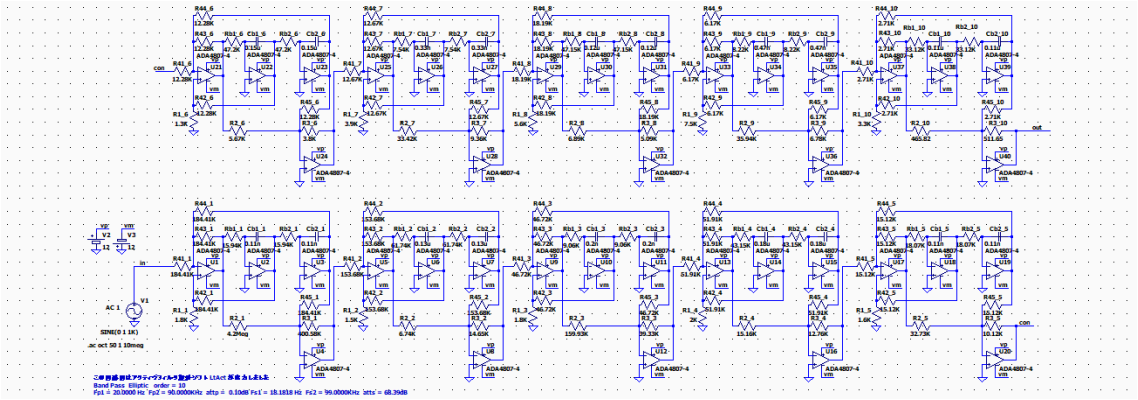
6-1「回路図ファイルを作成する」　オペアンプの変更

BP3_10 バンドパス・楕円関数 10 次 Fp1 20Hz, Fp2 90KHz

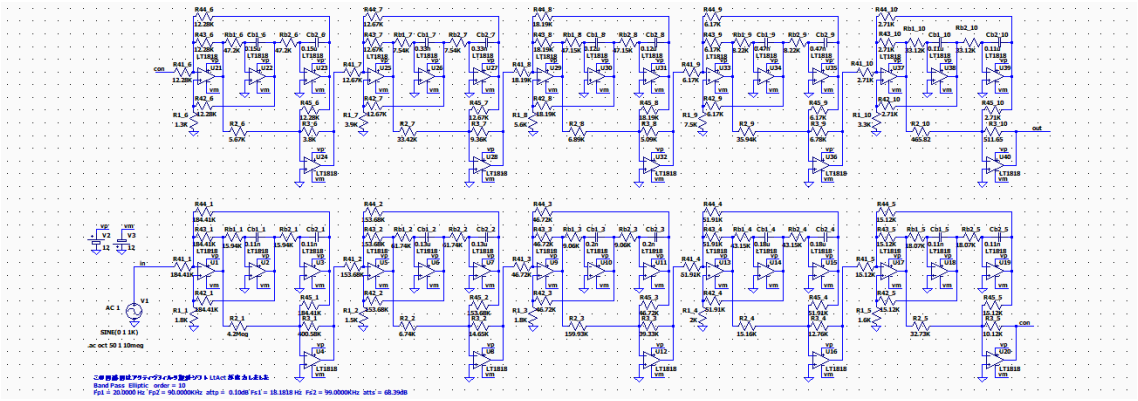
「LT1115」



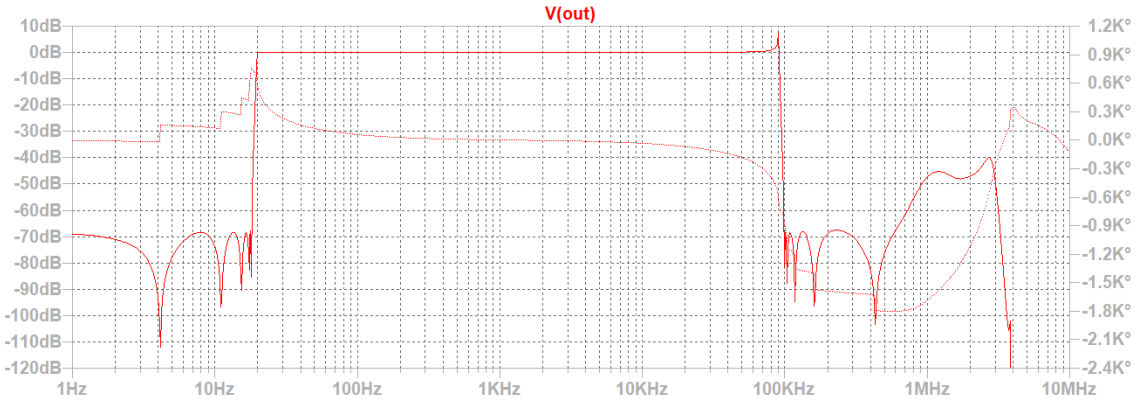
「ADA4807-4」



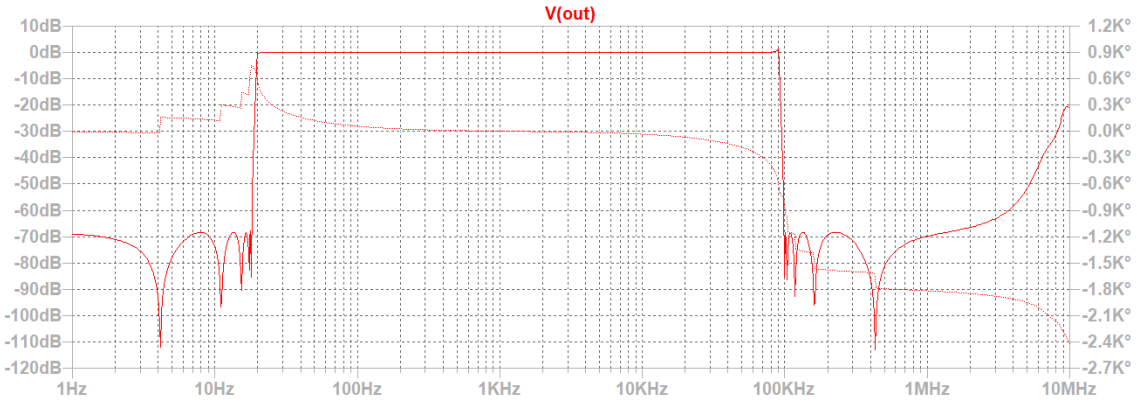
「LT1818」



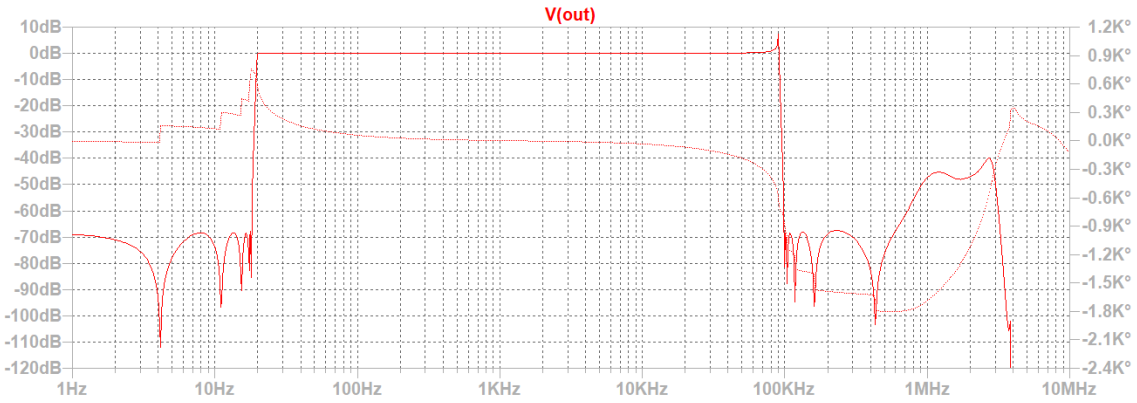
「LT1115」　　90KHz 付近に小さなピークがあるが、1MHz 以上の減衰量は大きい



「ADA4807-4」 90KHz のピークは小さい。1MHZ 以上の減衰量も大きい。



「LT1818」 90KHz のピークと MHz 以上の減衰量は「LT1115」と同程度



高次･高周波数バンドパスは、BP3 の方が周波数特性を実現しやすい印象です。
周波数が低ければ、どちらでも比較的簡単に周波数特性を実現できます。

6-1「回路図ファイルを作成する」　オペアンプの変更

GB 積の例　アナログ・デバイセズ

「OPname.txt」にアナログ・デバイセズの高速 OP アンプを順に記入して、回路図を作成してみたところ、回路図でシンボルが見られる OP アンプを複数見つけることが出来ました。その中で、シンボルが正しく配置されたものは次の 4 種のみでした（解決済み）。

LT1115	GBP 40MHz	SR 10(V/us)
LT1813	GBP 100MHz	SR 750(V/us)
ADA4807-4	GBP 200MHz	SR 225(V/us)
AD8038	GBP 350MHz	SR 425(V/us)

次のものは、配置が少しずれてしまいますが、正しい位置に移動すれば正常にシミュレーションができます。しかも高性能なものが含まれています。

LT1805	GBP 85MHz	SR 100(V/us)
LT1815	GBP 220MHz	SR 1500(V/us)
LT1816	GBP 220MHz	SR 1500(V/us)
LT1817	GBP 220MHz	SR 1500(V/us)
LT1818	GBP 400MHz	SR 2500(V/us)
LT1819	GBP 400MHz	SR 2500(V/us)
LT6238	GBP 215MHz	SR 70(V/us)
LT6247	GBP 180MHz	SR 90(V/us)
LT6274	GBP 40MHz	SR 2200(V/us)
LT6275	GBP 40MHz	SR 2200(V/us)

このテストデータは、「LtAct」をインストールしたフォルダの「OP のテストデータ」に入っています。

配置がずれた状態の回路図も入っていますので、確認して下さい。

オペアンプそれぞれに向き・不向きがあるようなので、色々なパラメータで各種フィルターの回路図を作成して周波数特性を確認の上利用して下さい。
「ADA4807-4」が「LT1818」よりも良好な周波数特性が得られる場合もあります。

オペアンプの asy ファイルを「LT1115」に合わせる

配置がずれた状態の回路図を「LTSpice」に読み込んで、「RUN」すると正常に実行できることが分かりました。回路の接続は正しいことが分かりました。

オペアンプのシンボルに問題がありそうです。
オペアンプのシンボルファイルに「LT1115」のものを流用すると、正しく配置されることが分かりました。

シンボルファイルは、「LTSpice」をインストールしたフォルダの
C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps
に収納されています。

「LT1115」のシンボルファイル

```
Version 4
SymbolType CELL
LINE Normal -32 32 32 64
LINE Normal -32 96 32 64
LINE Normal -32 32 -32 96
LINE Normal -28 48 -20 48
LINE Normal -28 80 -20 80
LINE Normal -24 84 -24 76
LINE Normal 0 32 0 48
LINE Normal 0 96 0 80
LINE Normal 4 44 12 44
LINE Normal 8 40 8 48
LINE Normal 4 84 12 84
WINDOW 0 16 32 Left 2
WINDOW 3 16 96 Left 2
SYMATTR Value LT1115
SYMATTR Prefix X
SYMATTR SpiceModel LTC.lib
SYMATTR Value2 LT1028
SYMATTR Description Ultra-Low Noise, Low Distortion, Audio Operational Amplifier
PIN -32 80 NONE 0
PINATTR PinName In+
PINATTR SpiceOrder 1
PIN -32 48 NONE 0
PINATTR PinName In-
PINATTR SpiceOrder 2
PIN 0 32 NONE 0
PINATTR PinName V+
PINATTR SpiceOrder 3
PIN 0 96 NONE 0
PINATTR PinName V-
PINATTR SpiceOrder 4
PIN 32 64 NONE 0
PINATTR PinName OUT
PINATTR SpiceOrder 5
```

「LT1818」のシンボルファイル

```
Version 4
SymbolType CELL
LINE Normal -32 -32 32 0
LINE Normal -32 32 32 0
LINE Normal -32 -32 -32 32
LINE Normal -28 -16 -20 -16
LINE Normal -28 16 -20 16
LINE Normal -24 20 -24 12
LINE Normal 0 -32 0 -16
LINE Normal 0 32 0 16
LINE Normal 4 -20 12 -20
LINE Normal 8 -24 8 -16
LINE Normal 4 20 12 20
WINDOW 0 16 -32 Left 2
WINDOW 3 16 32 Left 2
SYMATTR Value LT1818
SYMATTR Prefix X
SYMATTR SpiceModel LTC2.LIB
SYMATTR Value2 LT1818
SYMATTR Description 400MHz, 2500V/μs, 9mA Op Amp
PIN -32 16 NONE 0
PINATTR PinName IN+
PINATTR SpiceOrder 1
PIN -32 -16 NONE 0
PINATTR PinName IN-
PINATTR SpiceOrder 2
PIN 32 0 NONE 0
PINATTR PinName OUT
PINATTR SpiceOrder 3
PIN 0 -32 NONE 0
PINATTR PinName VCC
PINATTR SpiceOrder 4
PIN 0 32 NONE 0
PINATTR PinName VEE
PINATTR SpiceOrder 5
```

シンボルファイルの流用方法

「LT1115」の SYMATTR Value LT1115　の行に、
「LT1818」の SYMATTR Value LT1818　の行をコピーする。

「LT1115」の
SYMATTR Description Ultra-Low Noise, Low Distortion, Audio Operational Amplifier
の行に、「LT1818」の
SYMATTR Description 400MHz, 2500V/オ s, 9mA Op Amp
の行をコピーする。

編集後に、「LT1115」の asy ファイルの名前を「LT1818」に変えて保存する。

その他の asy も同様にして編集する。

このように編集した asy ファイルを、
C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps
にコピーします。

配置がずれていたオペアンプの asy ファイルは、オリジナルと修正後のファイルを
「LtAct」をインストールしたフォルダの「OP のテストデータ」の「asy-original」と
「asy-修正後」に収納してあります。

「asy-修正後」の asy を全て
C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps
にコピーしてください。
これで、配置がずれていたオペアンプの回路図は正しく配置されますが、別のパソコンの
「LTSpice」で読み込むと配置がずれてしまいます。
その時は、一時的に「asy-修正後」の asy をコピーしてから実行して、実行後に「asy-original」の asy に戻してください。

何か不都合がある時は、「asy-original」の asy を全て
C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps
にコピーして元の状態に戻してください。

回路図作成における基本回路の選択

100KHz を越えると、要求仕様を満足する回路図の作成が困難になります。
オペアンプの GB 積とドライブ能力及び内部キャパシタンスの影響だと思われます。

次の論文が参考になると思います。
https://www.analog.com/jp/analog-dialogue/articles/phase-relations-in-active-filters.html

論文によると多重帰還型の基本回路（LP1, HP1, BP1, et2）は部品の最大値と最小値の比率が大きく、オペアンプ・パラメータへの依存性が強いので、高周波数では希望する周波数特性を実現することが難しい回路形式であると述べられています。

さらに論文では、多重帰還型ではカットオフ周波数でオペアンプのゲインはフィルタの Q に対して最低でも 20dB 以上高くなければ、オーバシュートが発生すると述べています。

Q=100(40dB)ならば、カットオフ周波数で最低 60dB（1000 倍）必要になります。
カットオフ周波数を 100KHz とすると、GB 積は最低でも 100MHz 必要ということです。

GB 積とは、負帰還回路のないオペアンプ回路の最高ゲイン A とゲインが 3dB 下がる周波数 Fc を掛けた値です。ゲインは Fc から-20dB/dec の傾斜で減衰します。
ゲインが 0dB になる周波数をゼロクロス周波数と呼びます。
Q が 100 なら、GB 積から求められるゼロクロス周波数の 1000 分の 1 以内の周波数のフィルタに利用できるという事になります。

従って、回路図を作成する時の基本回路は、
高周波数では LP2, LP3(et1), HP2, HP3(et1), BP2, BP3(et1), BE1(et1) が希望の周波数特性を実現しやすいと思います。Xs を大きく設定すると、Q を小さくすることが出来ます。

低周波数ではどの基本回路でも希望の周波数特性を実現できると思いますが、オペアンプの個数を考えると、LP2, LP4(et2), HP2, HP4(et2), BP1, BP4(et2), BE2(et2)を利用する価値があると思います。

スルーレートの測定では、オペアンプの負荷として 20p の容量を用いていますので、高周波数フィルタの負帰還ループの容量は小さめがよいと思われます。

Xs と Q の関係

「パラメータ入力」をクリックして、フィルタのパラメータを設定してから「表示･出力」→「伝達関数の係数をファイルに出力する」をクリックして、ファイル名を入力すると例えば test.txt が出力されます。「ファイル」→「データファイルを開く」をクリックして、test.txt をクリックするとパラメータを設定したフィルタの係数とブロックごとのカットオフ周波数と Q 値およびオペアンプに必要となる「GB 積」を画面で確認できます。

```
++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject  Elliptic  次数=8↓
Fp1 =  1.0000KHz  Fp2 =  3.0000KHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 =  1.5000KHz  Fs2 =  2.0000KHz  atts = 163.18dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
           s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n       Pn_0       Pn_1       Pn_2       Pn_3       Pn_4↓
   1     1.0812K 343.5847Meg    3.0900          0  387.5035Meg↓
                        Fc=     2.9501K  Q =  17.1437  GB積=  5.0576Meg↓
   2   372.7003   40.8252Meg    1.1278          0  126.1499Meg↓
                        Fc=     1.0169K  Q =  17.1437  GB積=  1.7434Meg↓
   3     4.2745K 391.5034Meg    1.2706          0  176.9490Meg↓
                        Fc=     3.1491K  Q =   4.6290  GB積=  1.4577Meg↓
   4     1.2931K  35.8283Meg    0.4520          0   45.5242Meg↓
                        Fc=   952.6502   Q =   4.6290  GB積=440.9812K↓
   5    13.2150K 543.6314Meg    1.3309          0  200.5006Meg↓
                        Fc=     3.7108K  Q =   1.7643  GB積=654.7209K↓
   6     2.8790K  25.8022Meg    0.3688          0   34.3390Meg↓
                        Fc=   808.4422   Q =   1.7643  GB積=142.6372K↓
   7    48.6608K 986.4636Meg    2.5139          0  394.8751Meg↓
                        Fc=     4.9987K  Q =   0.6454  GB積=322.6430K↓
   8     5.8422K  14.2194Meg    0.4003          0   35.7464Meg↓
                        Fc=   600.1512   Q =   0.6454  GB積= 38.7367K↓
++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject  Elliptic  次数=10↓
Fp1 =  1.0000KHz  Fp2 =  3.0000KHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 =  1.5000KHz  Fs2 =  2.0000KHz  atts = 211.06dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
           s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n       Pn_0       Pn_1       Pn_2       Pn_3       Pn_4↓
   1   709.0172  347.9041Meg    3.6364          0  450.8895Meg↓
                        Fc=     2.9686K  Q =  26.3071  GB積=  7.8095Meg↓
   2   241.3672   40.3183Meg    1.2960          0  146.6126Meg↓
                        Fc=     1.0106K  Q =  26.3071  GB積=  2.6585Meg↓
   3     2.5538K 380.1987Meg    1.3796          0  186.5724Meg↓
                        Fc=     3.1033K  Q =   7.6351  GB積=  2.3694Meg↓
   4   795.5410   36.8936Meg    0.4907          0   50.8995Meg↓
                        Fc=   966.7093   Q =   7.6351  GB積=738.0894K↓
   5     6.3547K 470.5086Meg    1.1697          0  170.1282Meg↓
                        Fc=     3.4523K  Q =   3.4134  GB積=  1.1784Meg↓
   6     1.5996K  29.8122Meg    0.3616          0   34.8726Meg↓
                        Fc=   868.9953   Q =   3.4134  GB積=296.6236K↓
   7    17.9426K 725.9511Meg    1.6163          0  247.6046Meg↓
                        Fc=     4.2882K  Q =   1.5016  GB積=643.9355K↓
   8     2.9272K  19.3221Meg    0.3411          0   31.2297Meg↓
                        Fc=   699.5963   Q =   1.5016  GB積=105.0548K↓
   9    63.9645K     1.5714G    3.6425          0  573.2418Meg↓
                        Fc=     6.3090K  Q =   0.6197  GB積=390.9837K↓
  10     4.8211K   8.9266Meg    0.3648          0   32.5149Meg↓
                        Fc=   475.5129   Q =   0.6197  GB積= 29.4688K↓
```

```
++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject  Elliptic  次数=8↓
Fp1 =  1.0000KHz  Fp2 =  3.0000KHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 =  1.0100KHz  Fs2 =  2.9703KHz  atts =  28.89dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
          s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n       Pn_0       Pn_1       Pn_2       Pn_3       Pn_4↓
   1   145.0454  353.2908Meg    2.6113          0  464.2373Meg↓
                       Fc=     2.9915K  Q = 129.5872  GB積= 38.7658Meg↓
   2    48.6242   39.7036Meg    1.3140          0  103.6795Meg↓
                       Fc=     1.0028K  Q = 129.5872  GB積= 12.9956Meg↓
   3   837.4263  357.1976Meg    0.9210          0  266.7320Meg↓
                       Fc=     3.0080K  Q =  22.5688  GB積=  6.7886Meg↓
   4   277.6637   39.2693Meg    0.7467          0   36.1675Meg↓
                       Fc=   997.3485   Q =  22.5688  GB積=  2.2509Meg↓
   5     4.0016K 372.2601Meg    0.7820          0  262.5382Meg↓
                       Fc=     3.0707K  Q =   4.8215  GB積=  1.4806Meg↓
   6     1.2731K  37.6804Meg    0.7053          0   29.4659Meg↓
                       Fc=   976.9626   Q =   4.8215  GB積=471.0456K↓
   7    18.2207K 345.6622Meg    0.8695          0  301.9605Meg↓
                       Fc=     2.9590K  Q =   1.0204  GB積=301.9299K↓
   8     6.2430K  40.5798Meg    0.8736          0   35.2824Meg↓
                       Fc=     1.0139K  Q =   1.0204  GB積=103.4511K↓
++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject  Elliptic  次数=10↓
Fp1 =  1.0000KHz  Fp2 =  3.0000KHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 =  1.0100KHz  Fs2 =  2.9703KHz  atts =  43.20dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
          s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n       Pn_0       Pn_1       Pn_2       Pn_3       Pn_4↓
   1    99.4961  354.0832Meg    3.0847          0  508.6415Meg↓
                       Fc=     2.9948K  Q = 189.1239  GB積= 56.6395Meg↓
   2    33.2799   39.6147Meg    1.4365          0  122.1997Meg↓
                       Fc=     1.0017K  Q = 189.1239  GB積= 18.9450Meg↓
   3   465.2175  357.7958Meg    1.0092          0  265.1204Meg↓
                       Fc=     3.0105K  Q =  40.6595  GB積= 12.2405Meg↓
   4   153.9933   39.2037Meg    0.7410          0   39.5653Meg↓
                       Fc=   996.5144   Q =  40.6595  GB積=  4.0518Meg↓
   5     1.6560K 371.1772Meg    0.7660          0  244.8138Meg↓
                       Fc=     3.0663K  Q =  11.6342  GB積=  3.5674Meg↓
   6   528.3901   37.7903Meg    0.6596          0   28.9488Meg↓
                       Fc=   978.3867   Q =  11.6342  GB積=  1.1383Meg↓
   7     6.3292K 413.7790Meg    0.8278          0  282.4671Meg↓
                       Fc=     3.2375K  Q =   3.2139  GB積=  1.0405Meg↓
   8     1.8116K  33.8995Meg    0.6827          0   28.0626Meg↓
                       Fc=   926.6527   Q =   3.2139  GB積=297.8177K↓
   9    26.0864K 456.7289Meg    1.1716          0  407.3201Meg↓
                       Fc=     3.4013K  Q =   0.8192  GB積=278.6533K↓
  10     6.7645K  30.7117Meg    0.8918          0   35.9809Meg↓
                       Fc=   882.0069   Q =   0.8192  GB積= 72.2581K↓
```

```
++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass  Elliptic  次数=6↓
Fp1 =600.0000KHz  Fp2 =  1.2000MegHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 =400.0000KHz  Fs2 =  1.8000MegHz  atts =  85.44dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
           s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n       Pn_0       Pn_1       Pn_2       Pn_3       Pn_4↓
   1   517.3183K    58.8882T    44.7370m          0     49.5831T↓
                      Fc=   1.2213Meg  Q =  14.8339  GB積=  1.8117G↓
   2   249.7020K    13.7201T     0.8420          0    613.7950G↓
                      Fc=   589.5198K  Q =  14.8339  GB積=874.4896Meg↓
   3   1.4488Meg    49.8298T    96.8516m          0     19.3800T↓
                      Fc=   1.1235Meg  Q =   4.8723  GB積=547.3868Meg↓
   4   826.4529K    16.2142T     0.3889          0      1.5704T↓
                      Fc=   640.8670K  Q =   4.8723  GB積=312.2464Meg↓
   5   1.8747Meg    35.3431T    99.9837m          0     13.3152T↓
                      Fc=   946.1772K  Q =   3.1712  GB積=300.0493Meg↓
   6   1.5077Meg    22.8602T     0.3767          0      2.2856T↓
                      Fc=   760.9571K  Q =   3.1712  GB積=241.3127Meg↓
++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass  Elliptic  次数=6↓
Fp1 =600.0000KHz  Fp2 =  1.2000MegHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 =545.4545KHz  Fs2 =  1.3200MegHz  atts =  46.26dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
           s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n       Pn_0       Pn_1       Pn_2       Pn_3       Pn_4↓
   1   330.5082K    58.3475T     0.1843          0     53.6450T↓
                      Fc=   1.2157Meg  Q =  23.1115  GB積=  2.8097G↓
   2   161.0097K    13.8472T     0.9194          0      2.5515T↓
                      Fc=   592.2447K  Q =  23.1115  GB積=  1.3688G↓
   3   1.2472Meg    52.6417T     0.3218          0     27.7147T↓
                      Fc=   1.1547Meg  Q =   5.8176  GB積=671.7777Meg↓
   4   673.4213K    15.3481T     0.5265          0      4.9387T↓
                      Fc=   623.5161K  Q =   5.8176  GB積=362.7339Meg↓
   5   2.2386Meg    37.6491T     0.3017          0     21.1373T↓
                      Fc=   976.5563K  Q =   2.7410  GB積=267.6716Meg↓
   6   1.6901Meg    21.4600T     0.5614          0      6.4755T↓
                      Fc=   737.2850K  Q =   2.7410  GB積=202.0880Meg↓
```

楕円関数・BE の例では、Xs を 1.01 に設定すると Q が 100 を超えます。
楕円関数・BP の例では、フィルタの中心周波数は 1MHz 程度ですが、オペアンプに必要となる「GB 積」が GHz に達することが分かります。

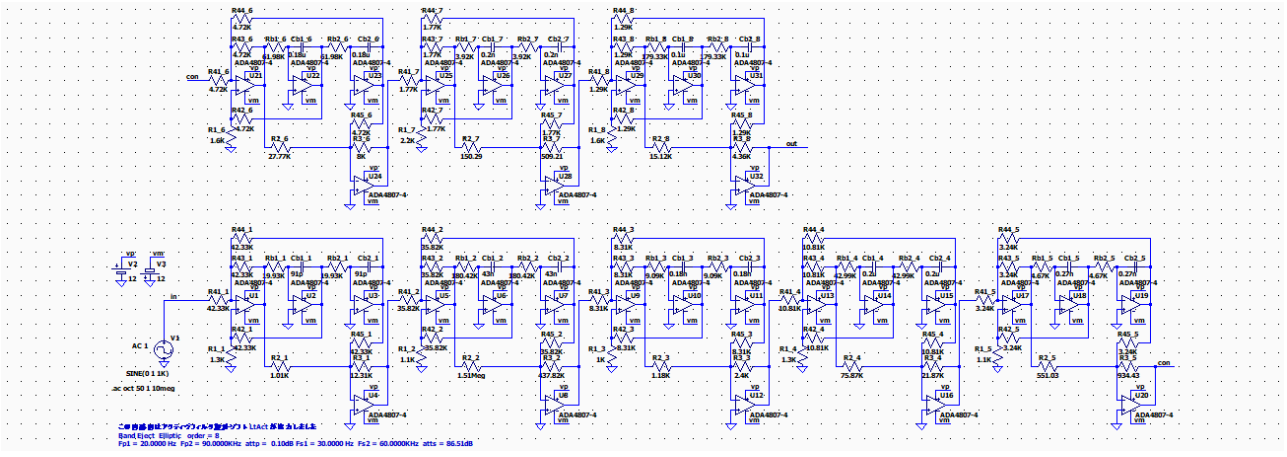
「パラメータ入力」の後、「伝達関数の係数をファイルに出力する」で、オペアンプに必要となる「GB 積」を確認してから、「OPname.txt」に要求を満たすオペアンプ名を記入してから「回路図ファイルを作成する」に進んで下さい。
https://www.analog.com/jp/products/amplifiers/operational-amplifiers.html
アナログデバイセズの「高速 OP アンプ」が参考になると思います。

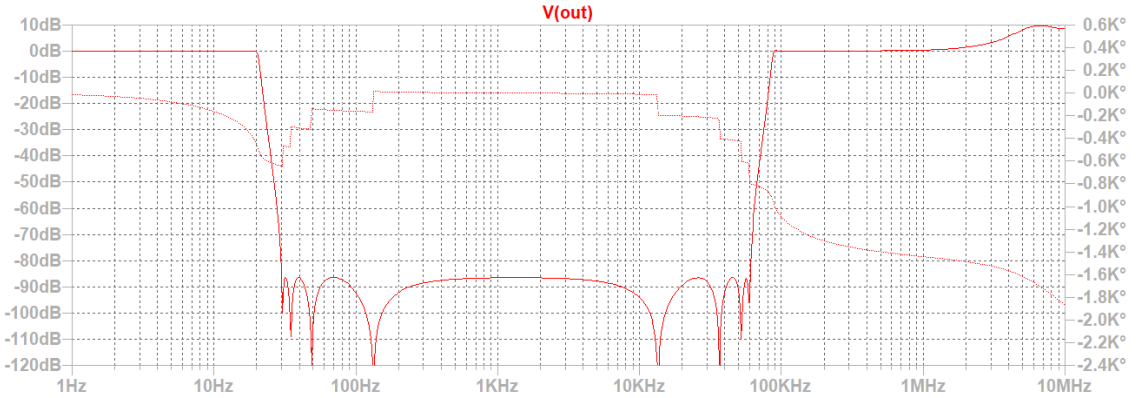
6-1「回路図ファイルを作成する」　Xs と Q の関係

BE1_8-20Hz-90KHz Xs=1.5 の場合の Q

```
+++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject  Elliptic  次数=8↓
Fp1 = 20.0000 Hz  Fp2 = 90.0000KHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 = 30.0000 Hz  Fs2 = 60.0000KHz  atts =  86.51dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
          s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
  n       Pn_0        Pn_1        Pn_2        Pn_3        Pn_4↓
  1    49.2741K   303.9292G   12.2222          0     88.3617G↓
                      Fc=    87.7418K  Q =  11.1884  GB積= 98.1689Meg↓
  2    11.5207     16.6147K    0.2907          0    203.0683K↓
                      Fc=    20.5148   Q =  11.1884  GB積= 22.9527K↓
  3   196.8274K   373.3534G    2.0237          0    107.6280G↓
                      Fc=    97.2479K  Q =   3.1044  GB積= 30.1894Meg↓
  4    37.4626     13.5252K    0.2883          0     27.3706K↓
                      Fc=    18.5094   Q =   3.1044  GB積=  5.7460K↓
  5   602.3308K   628.4742G    1.6958          0    181.0691G↓
                      Fc=   126.1723K  Q =   1.3162  GB積= 16.6063Meg↓
  6    68.1051      8.0348K    0.2881          0     13.6254K↓
                      Fc=    14.2662   Q =   1.3162  GB積=  1.8777K↓
  7   2.1199Meg     1.6240T    3.3881          0    467.8671G↓
                      Fc=   202.8218K  Q =   0.6011  GB積= 12.1924Meg↓
  8    92.7607      3.1094K    0.2881          0     10.5348K↓
                      Fc=     8.8748   Q =   0.6011  GB積=533.4963 ↓
```

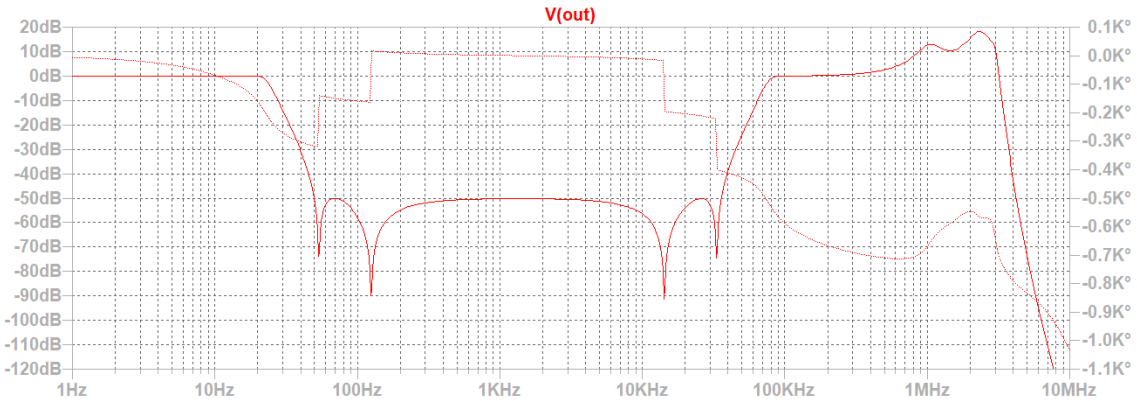
このフィルタでは、第 1 ブロックと第 2 ブロックが Q>10 なので、これらの抵抗とコンデンサの値を慎重に決定すればよいと思います。



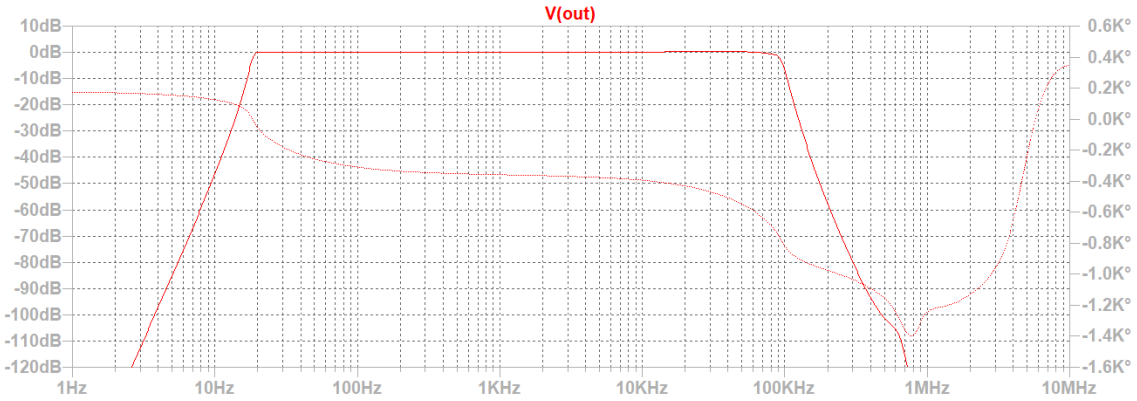


「ADA4807-4」（GBP 200MHz、SR 225 V/us）は、良好な周波数特性を示します。

しかし、「LT1115」（GBP 40MHz、SR 10 V/us）に変更すると、次数を 4 次に下げて Q<2.44 にしてもオーバシュートが発生しました。



フィルタの形式を変更して、チェビシェフ・バンドパスフィルタ 6 次 Fp1 = 20 Hz　Fp2 = 90KHz にすると、良好な結果が得られました。



オペアンプの GB 積などで、利用できるフィルタ特性や遮断特性が決まるようです。

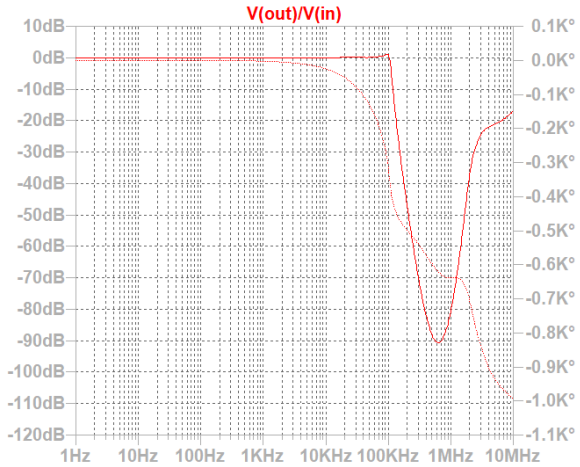
6-1「回路図ファイルを作成する」　　Xs と Q の関係

高周波数のフィルタ回路

「SYS」に収納した基本回路では、低ノイズのオーディオ用オペアンプ LT1115 を使用しています。スルーレートは 10V／us なので、低周波数用途の性能です。
高周波数や急峻な減衰特性のフィルタを設計する場合には、スルーレートが 200V／us 以上のオペアンプを使用しなければ要求性能が得られない場合があります。
ADA4807-4 など、200V／us～2500V／us 位のオペアンプに変更して試して下さい。

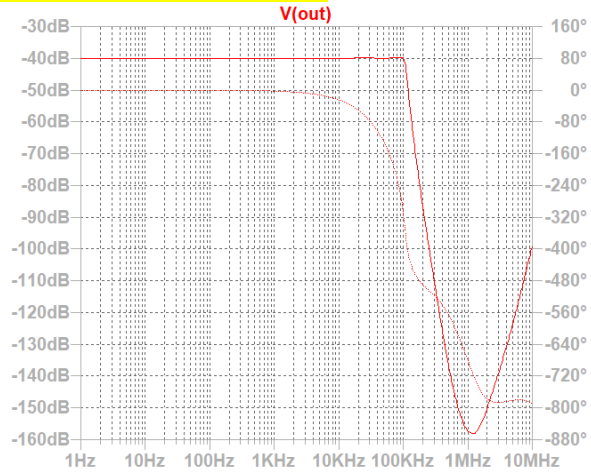
ローパス･チェビシェフ 6 次フィルタ（Fp=100KHz 0.01dB, Fs=120KHz 0.5dB）の例

LT1115 の場合



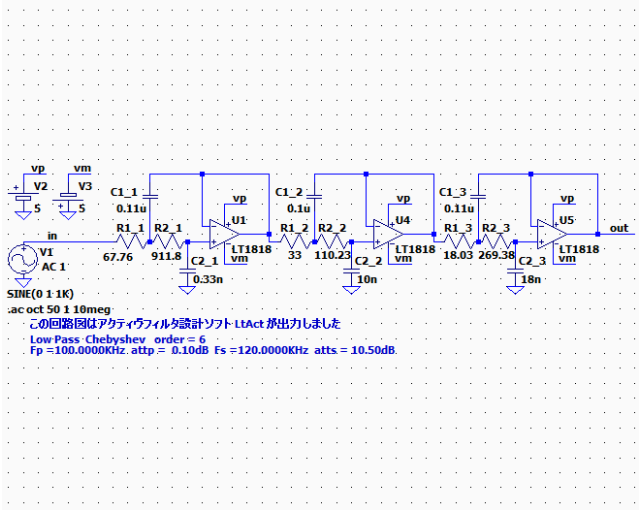
100KHz 付近に小さいオーバシュート
10MHz では 18dB まで劣化している

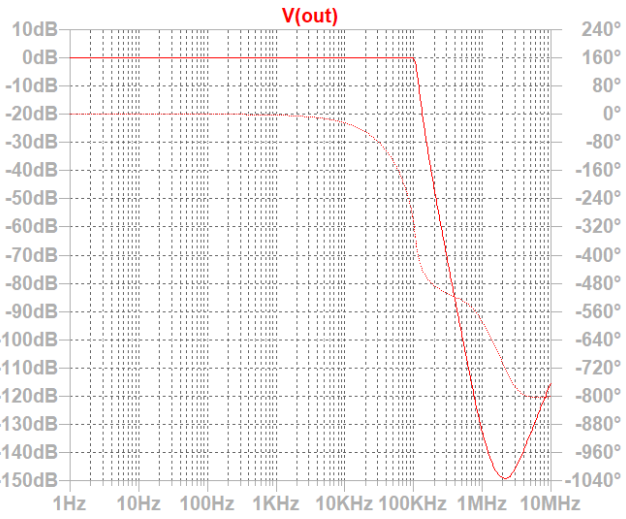
ADA4807-4(225V／us)に変更した場合



オーバシュートは気にならない
10MHz で減衰量 100dB を維持する

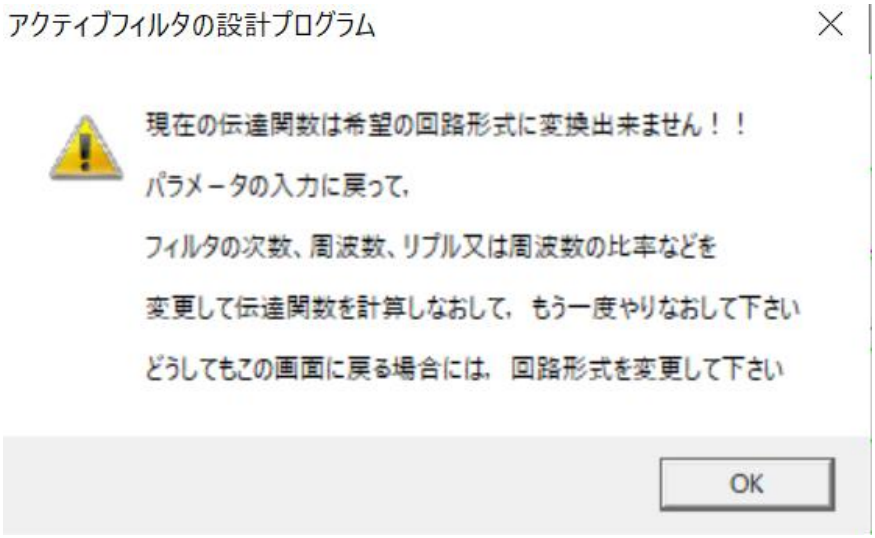
LT1818(2500V／us)に変更した場合（電源電圧を±5V に変更する）





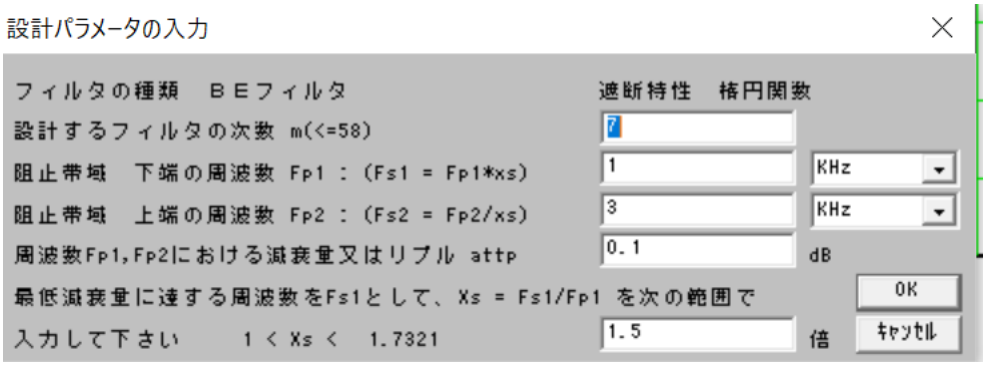
オーバシュートはなく、理想的な特性

＊ 回路定数の計算中に実現不可能な回路定数が見つかるとプログラムはメッセージを表示します。



バンドエリミネーションフィルタで、バターワース以外のフィルタ形式で、7 次、または 9 次の回路図を作成する時に起こる、滅多に発生しない現象です。
「設計パラメータの入力」を変更することで回路図を作成できますが、うまくいかない場合には、フィルタの次数を偶数に変更して下さい。

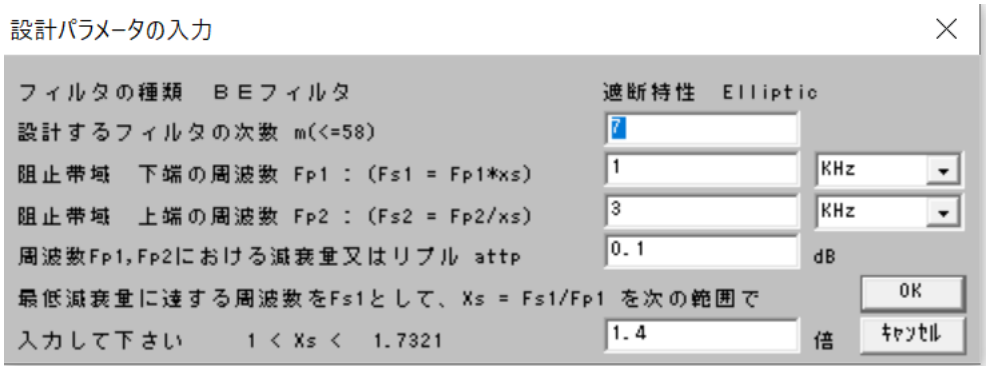
メッセージが表示されるパラメータの例
楕円関数・バンドエリミネーションフィルター 7 次



発生時の journal.txt の内容
****
回路図ファイル名 E:\LT test\BE1_7.asc 作成日時 Fri Aug 07 16:20:06 2020
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=7
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 2.0000KHz atts = 139.23dB
lpet1 で 変換不能, j = 0

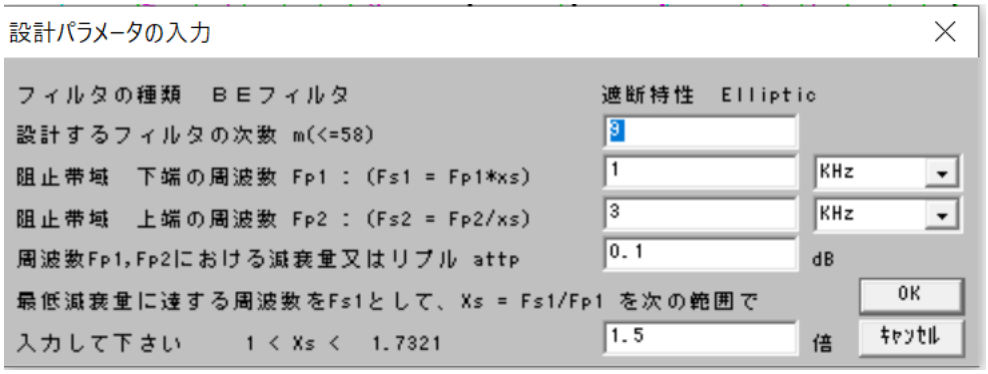
6-1「回路図ファイルを作成する」高周波数のフィルタ回路

ここで、パラメータを次のように変更すると回路図が出力されます。

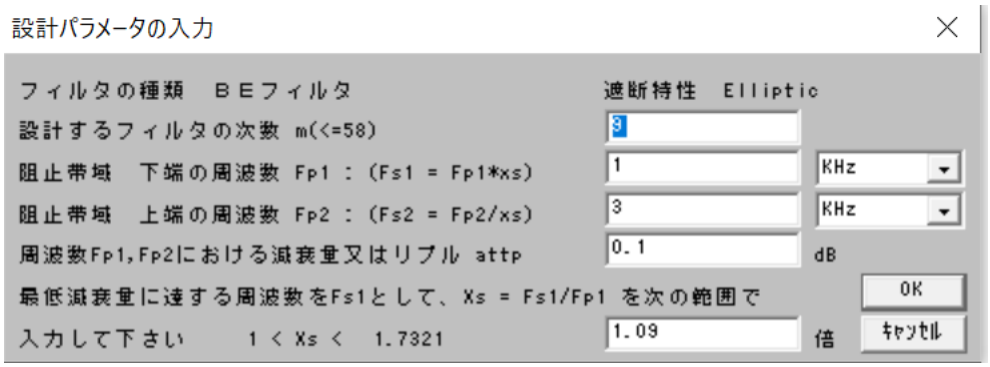


Xs を 1.5 から 1.4 に変更しました。

楕円関数・バンドエリミネーションフィルター 9 次 の場合は、

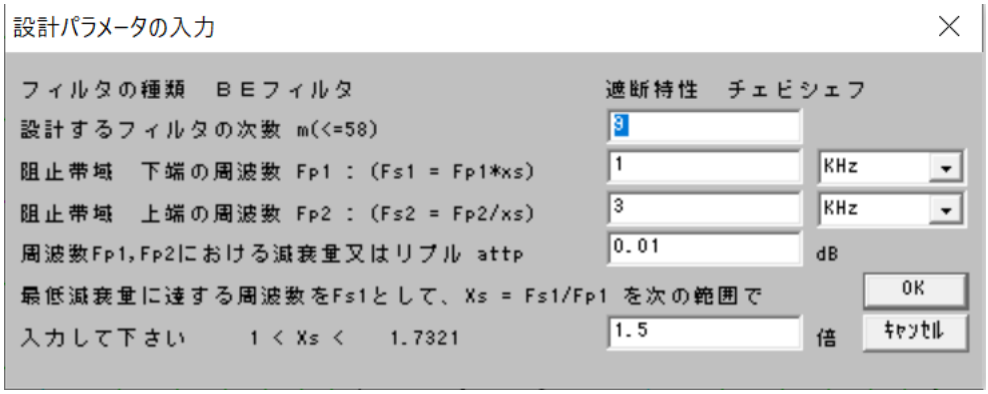


このパラメータでは、メッセージが表示されます。



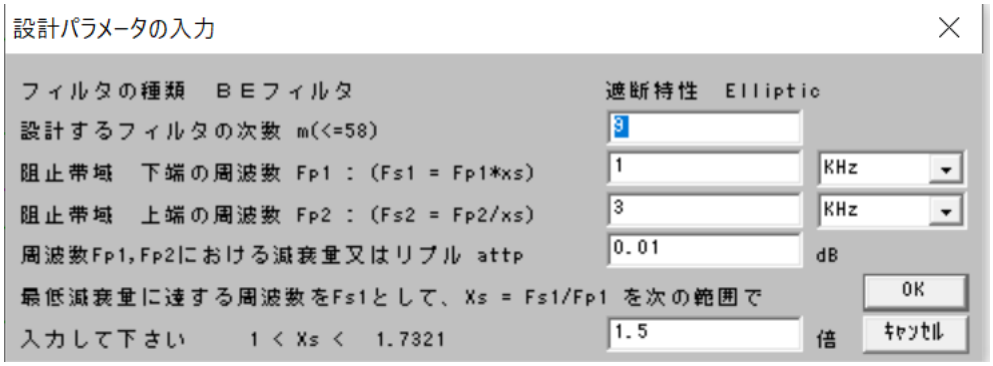
このように、Xs を 1.5 から 1.09 に変更すると回路図が出力されます。
逆チェビシェフ・バンドエリミネーションフィルター 9 次　でも同じパラメータで回路図が出力出来ました。

しかし、チェビシェフ・バンドエリミネーションフィルター 9 次 の場合は、
Xs を 1.01 にしても、Fp1 と Fp2 の比率を大きくしても、回路図が出力できません。



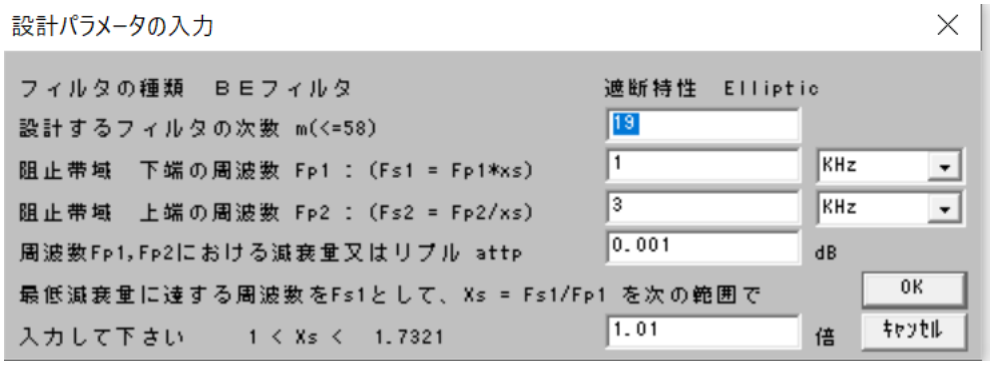
Xs を 1.5 に戻して、リプルを 0.01dB に設定すると回路図が出力できます。

楕円関数・バンドエリミネーションフィルター 9 次　でも
Xs を　1.5 に戻して、リプルを 0.01dB に設定すると、回路図が出力出来ました。

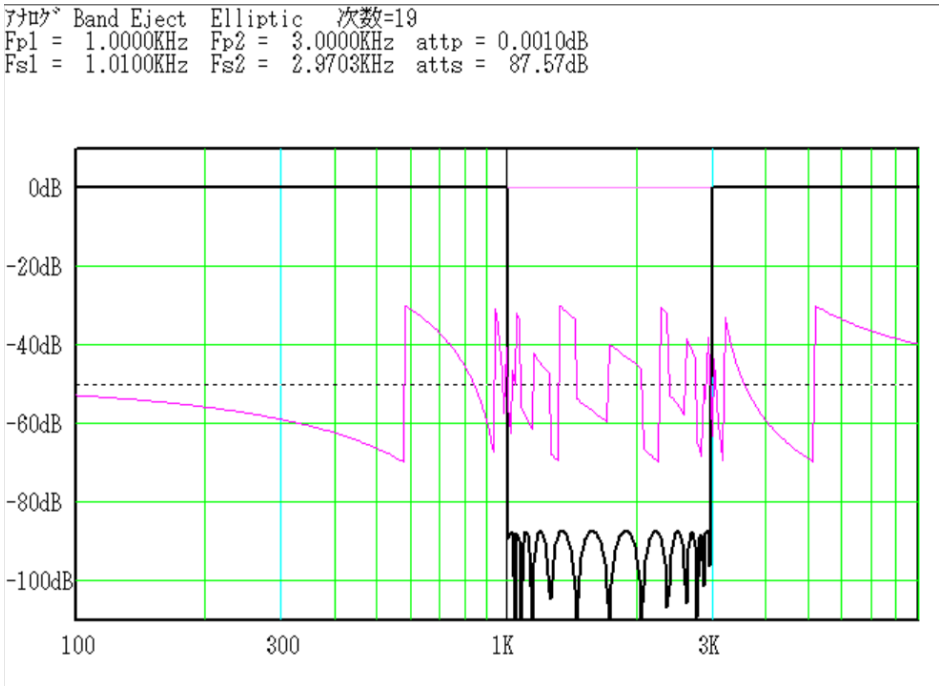


リプルを小さく設定することが、有効なようです。

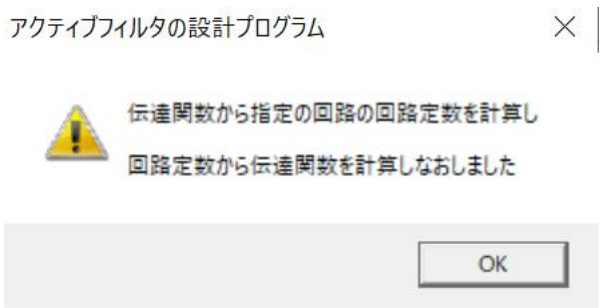
楕円関数・バンドエリミネーションフィルター 19 次　では、



リプルを 0.001dB、Xs を 1.01 に設定すると、回路図を作成できます。



＊ すべての回路定数の計算が完了すると次のメッセージが表示されます。



グラフは選択した素子値を使用した場合の特性グラフに変わります。

6-1「回路図ファイルを作成する」高周波数のフィルタ回路

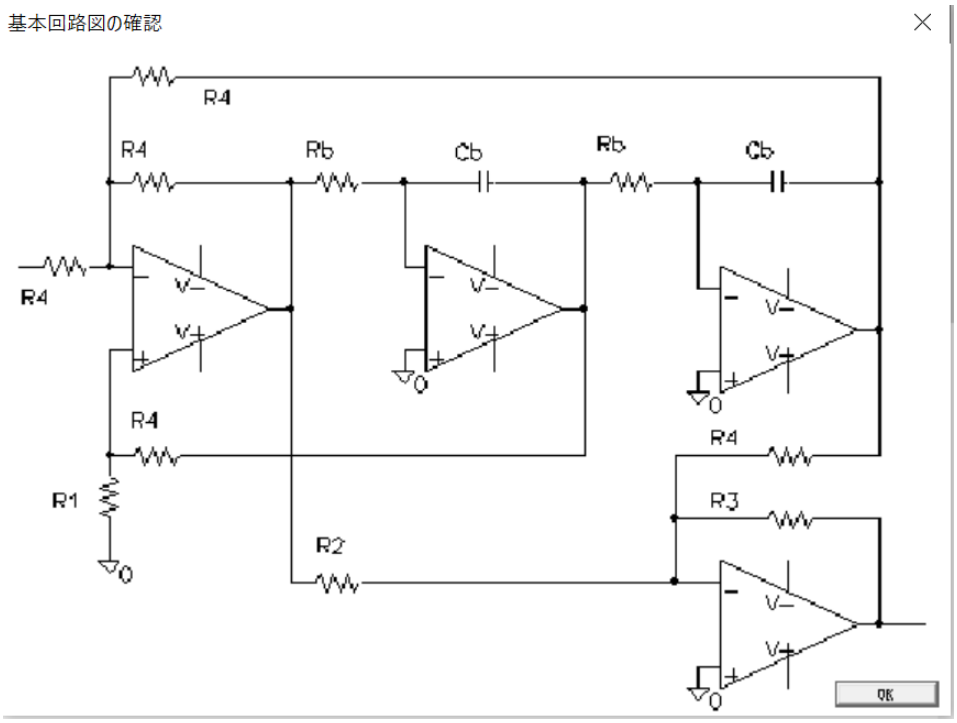
計算結果は「LTSpice」で利用可能な回路図ファイルとして出力されると同時に回路図ファイル作成の履歴を記録するファイル「journal.txt」を出力します。「回路図ファイル名」、「作成日時」、「ファィルタイプ」、「フィルタの次数」、「周波数情報」、「素子値」です。
基本回路のブロック番号ごとに、基本回路の名称が示され、その後に素子値が続きます。

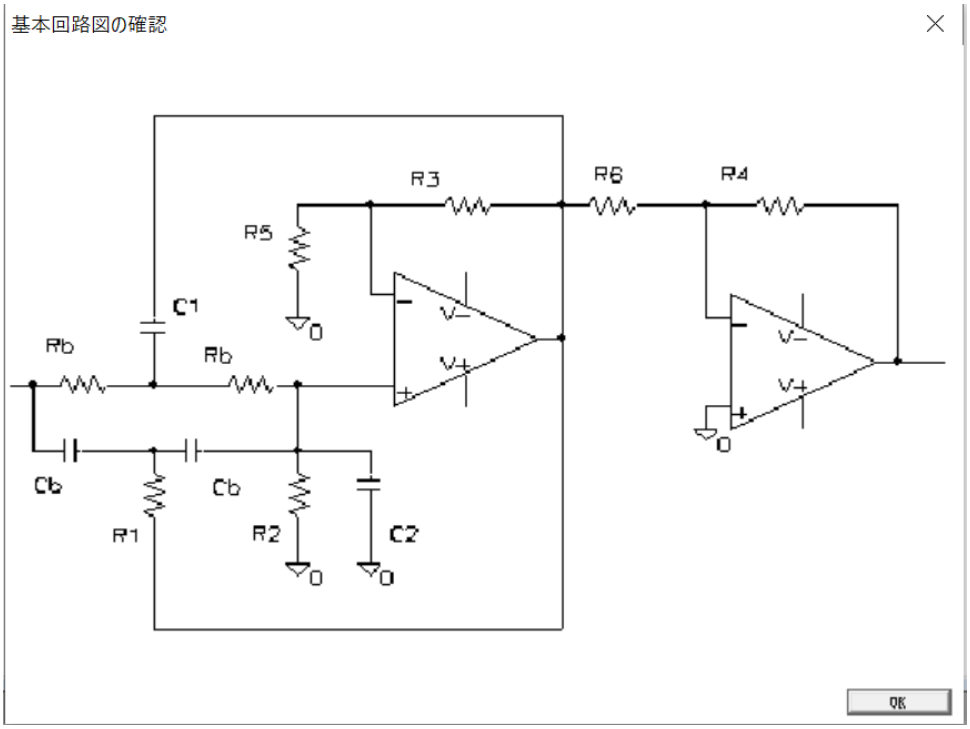
********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\BE1_7.asc 作成日時 Tue Jan 12 06:52:53 2021
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=7　　参照モード=0
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.0100dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 2.0000KHz atts = 129.19dB

1 (et1)「HP3-0-2」 Rb_1(2 個)=148.2067K Cb_1(2 個)= 0.6200n 誤差=1.21 %
1 R1_1 = 1.0000K R2_1 = 481.8469 R3_1 = 481.8469 R4_1(5 個)= 481.8469 誤差=4.26 %
2 (et1)「HP3-0-0」 Rb_2(2 個)=170.0368K Cb_2(2 個)= 0.3300n 誤差=5.86 %
2 R1_2 = 1.0000K R2_2 = 12.6057K R3_2 = 25.1992K R4_2(5 個)= 29.7783K 誤差=5.74 %
3 (et1)「LP3-0-0」 Rb_3(2 個)=150.4743 Cb_3(2 個)= 1.0000u 誤差=0.32 %
3 R1_3 = 1.0000K R2_3 = 70.3451K R3_3 = 59.5279K R4_3(5 個)= 29.7783K 誤差=5.38 %
4 (et1)「HP3-0-1」 Rb_4(2 個)=178.1183K Cb_4(2 個)= 0.3000n 誤差=1.06 %
4 R1_4 = 1.0000K R2_4 = 3.0440K R3_4 = 3.9372K R4_4(5 個)= 7.1759K 誤差=4.83 %
5 (et1)「HP3-0-1」 Rb_5(2 個)= 15.8012K Cb_5(2 個)= 10.0000n 誤差=1.26 %
5 R1_5 = 1.0000K R2_5 = 16.9168K R3_5 = 9.2818K R4_5(5 個)= 7.1759K 誤差=7.32 %
6 (et1)「HP3-0-2」 Rb_6(2 個)=185.1326K Cb_6(2 個)= 0.2700n 誤差=2.77 %
6 R1_6 = 1.0000K R2_6 = 842.9807 R3_6 = 1.2291K R4_6(5 個)= 2.1514K 誤差=4.26 %
7 (et1)「HP3-0-2」 Rb_7(2 個)= 16.8917K Cb_7(2 個)= 10.0000n 誤差=5.28 %
7 R1_7 = 1.0000K R2_7 = 5.4907K R3_7 = 3.1368K R4_7(5 個)= 2.1514K 誤差=5.30 %

基本回路の選択のサブメニュー

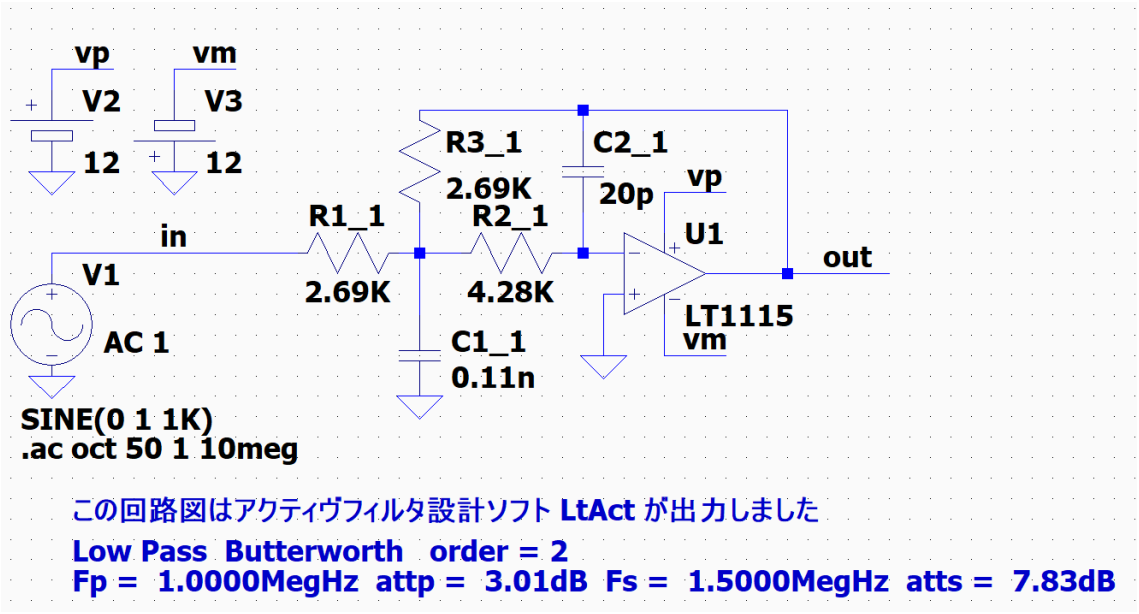
回路図の作成において、基本回路の選択のダイアログで「回路図確認」をクリックすると、現在チェックされている回路の基本回路図が表示されます。

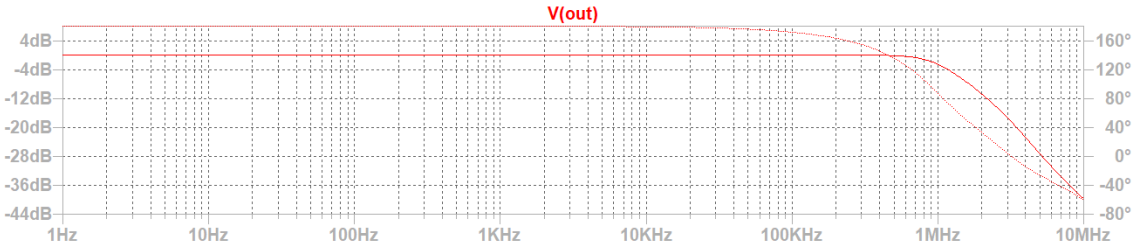




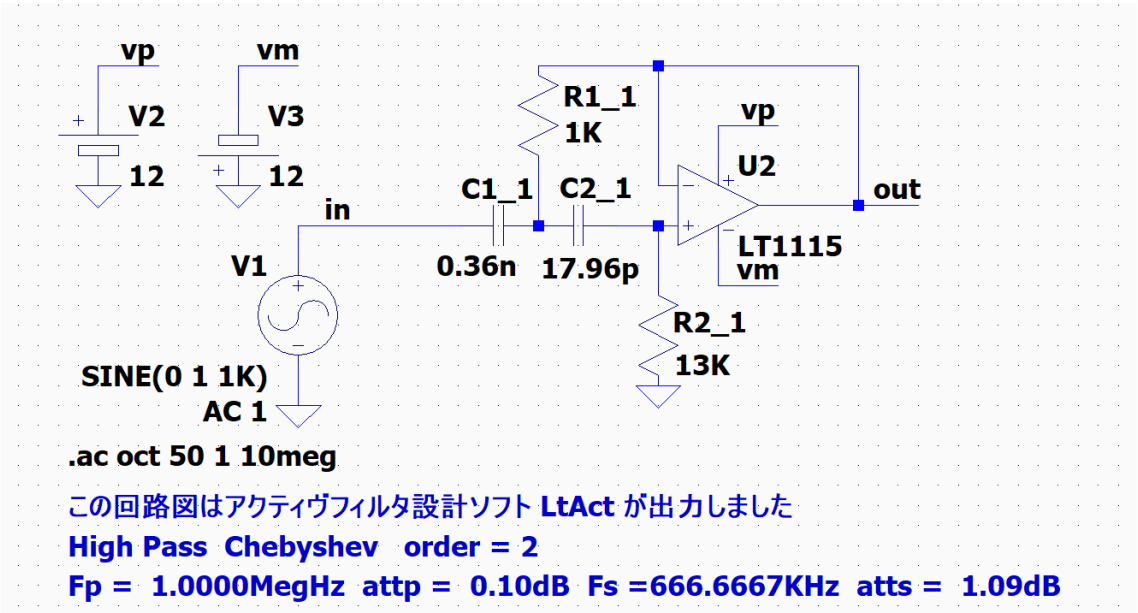
6-1「回路図ファイルを作成する」基本回路の選択のサブメニュー

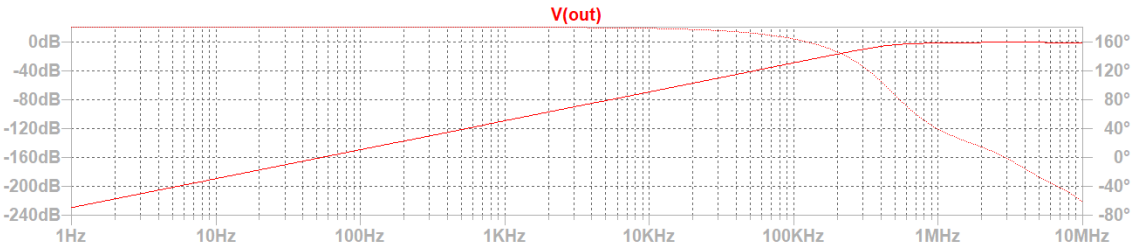
回路図の作成例





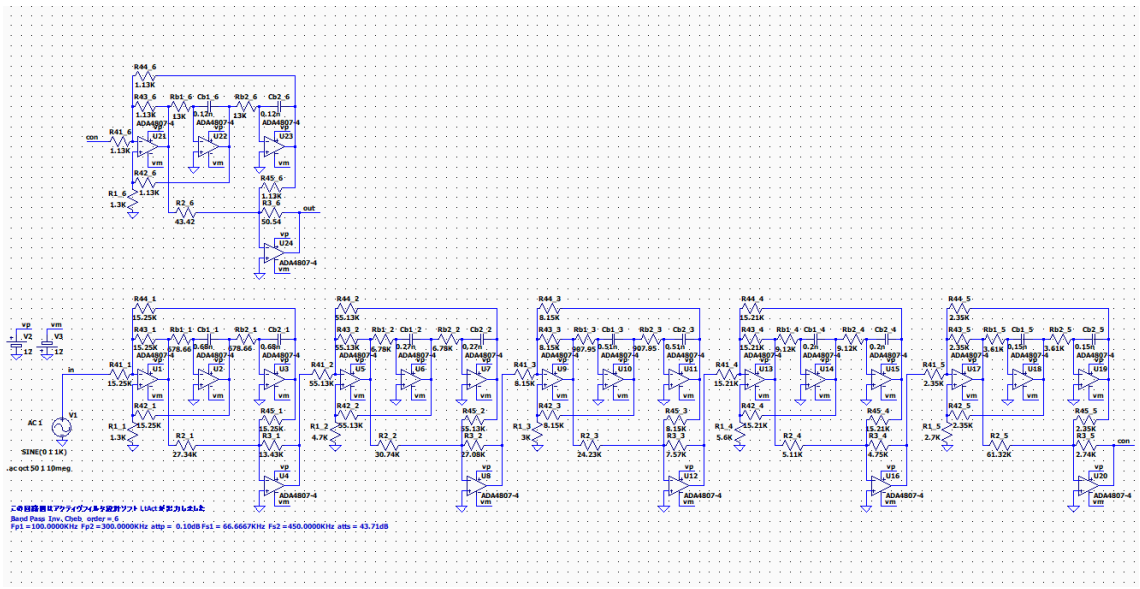
C2_1 = 20p ですが、設計通りの特性が得られました。

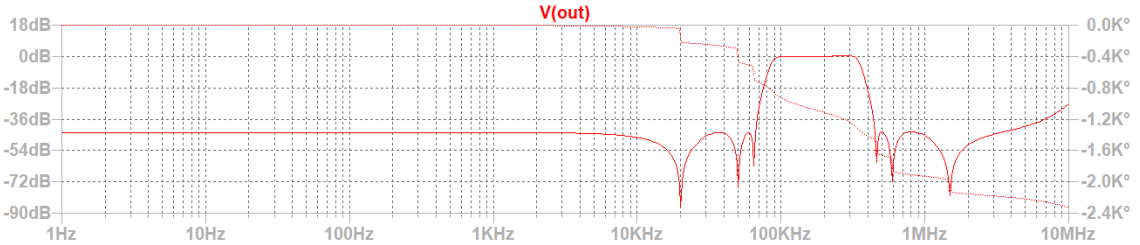




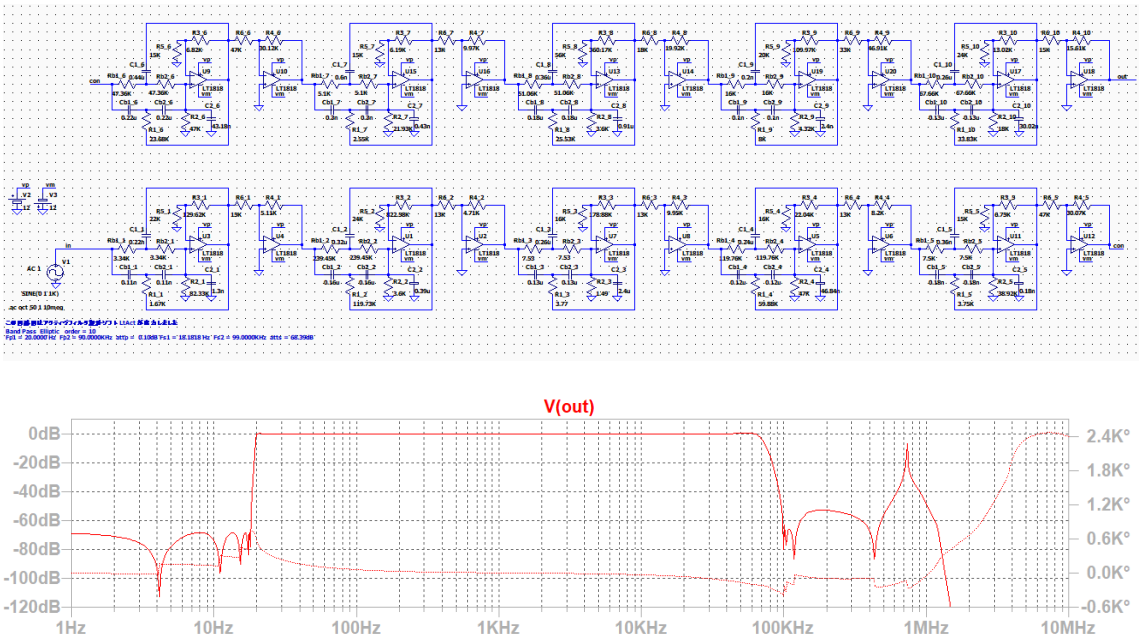
C2_1 = 17.96p ですが、設計通りの特性が得られました。

高周波数のフィルタではコンデンサを数十 p に設定して、大きめの抵抗値を選択するほうが良好な周波数特性が得られる場合もあります。

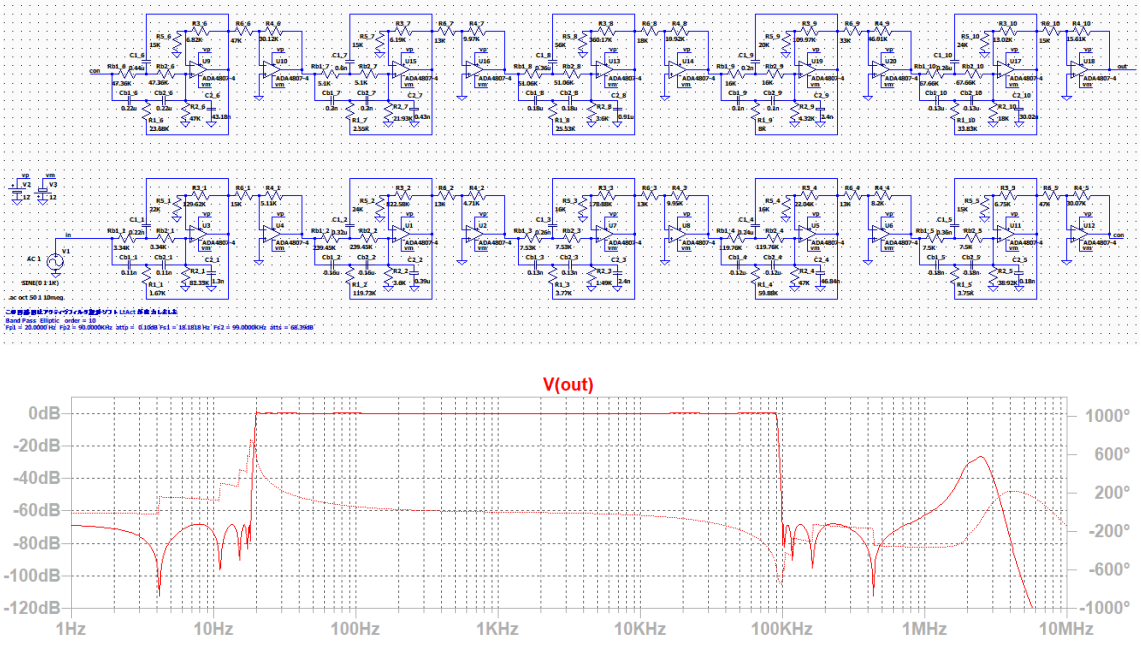




コンデンサの単位が「n」になるように選択しました。
設計通りの周波数特性にならない時は、コンデンサや抵抗の値を調整するしか方法がないですが、負帰還ループのインピーダンスが高い方が良好な特性が得られる気がします。
コンデンサは小さめで、抵抗値は大きめを選択するということですが確証はありません。
オペアンプのドライブ能力に負担を掛けない素子値を選ぶべきだと感じています。



抵抗値とコンデンサが小さくならないように気を付けました。

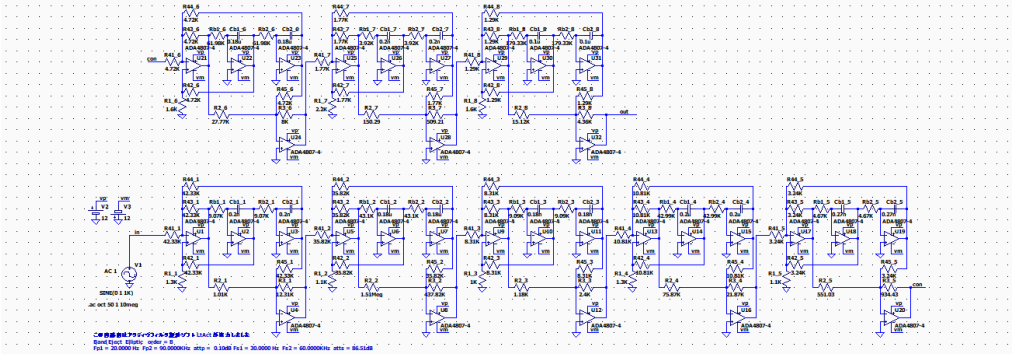


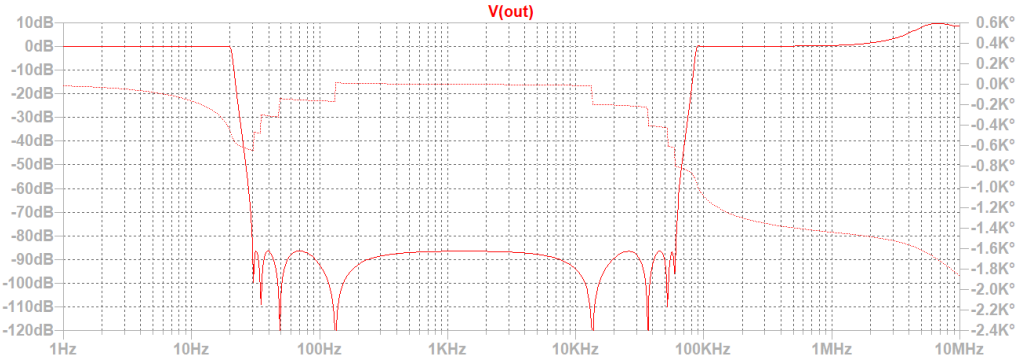
抵抗値とコンデンサが小さくならないように気を付けました。

このフィルターでは、「ADA4807-4」のほうが「LT1818」よりも良い結果になりました。

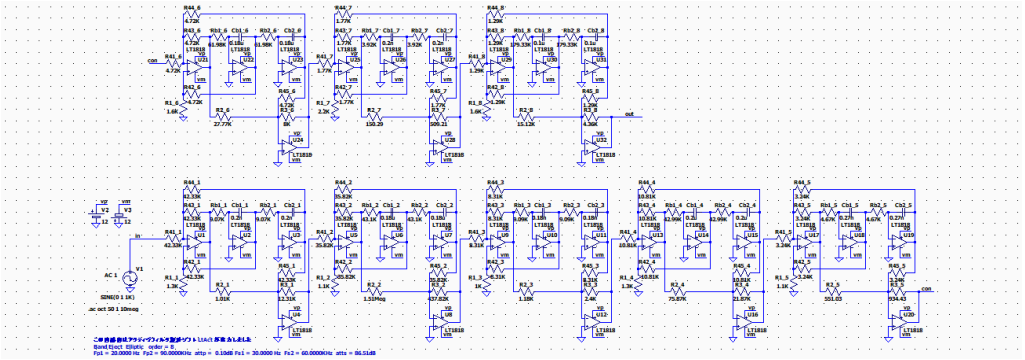
楕円関数・BE 8 次フィルタ　は Xs=1.5 に設定して、帰還ループのコンデンサを小さめに選択すると、希望の周波数特性に近付けることが出来ました。

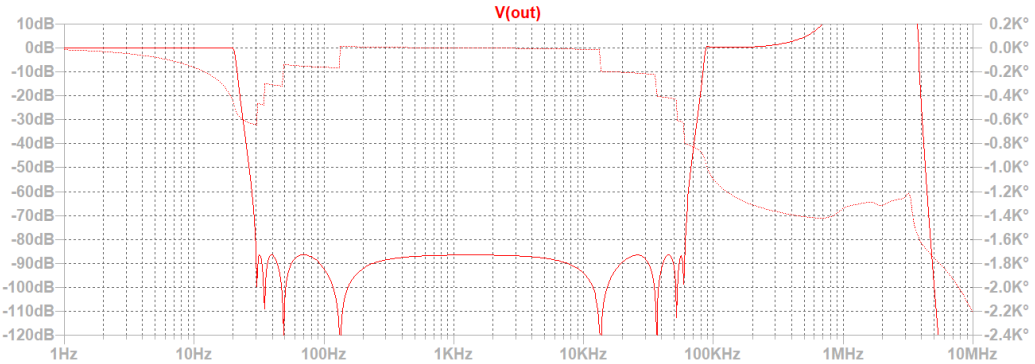
BE1_8-20Hz-90KHz-ADA4807-4.asc





BE1_8-20Hz-90KHz-LT1818.asc　　1MHz 付近のオーバシュートが気になります

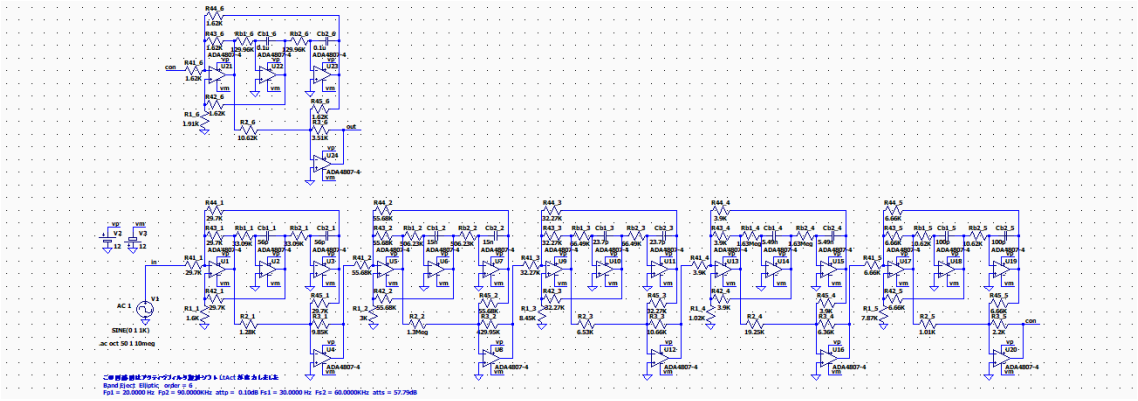


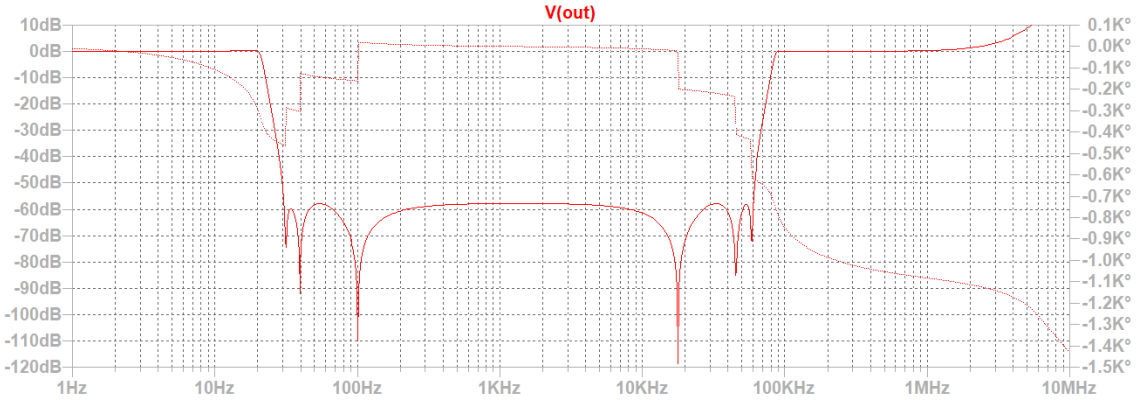


6-1「回路図ファイルを作成する」　回路図の作成例

楕円関数・BE 6 次フィルタ　は、Xs=1.5 に設定して、帰還ループのコンデンサを小さめに選択すると、希望の周波数特性に近付けることが出来ました。

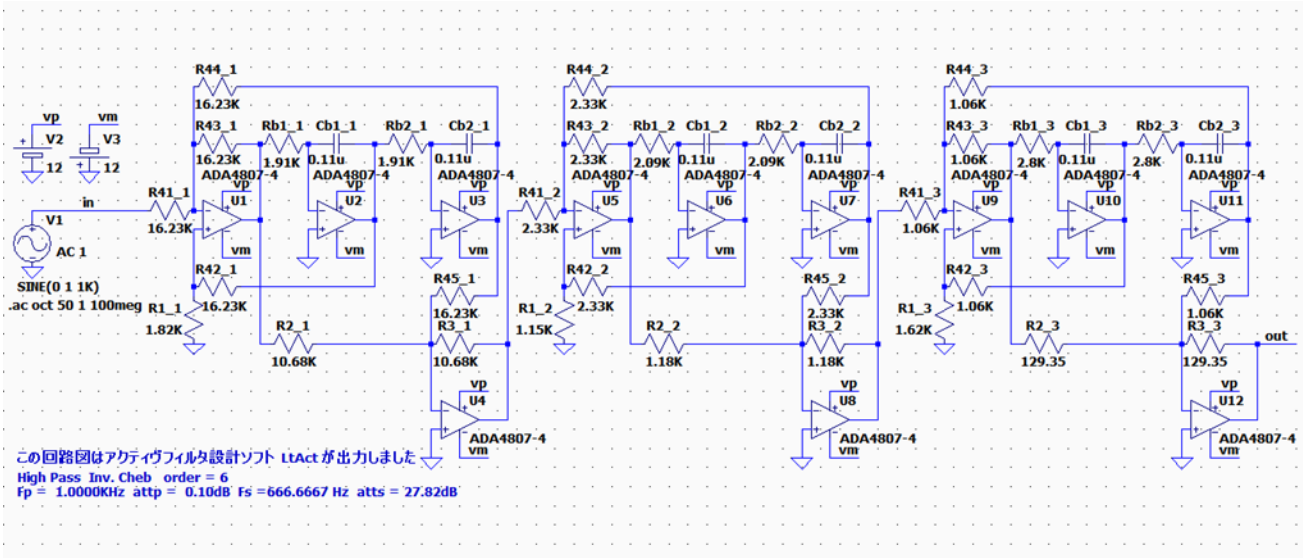
BE1_6-20Hz-90KHz-ADA-4807-4.asc





オーバシュートの改善 事例-1

ハイパス・逆チェビシェフ 6 次 1KHz

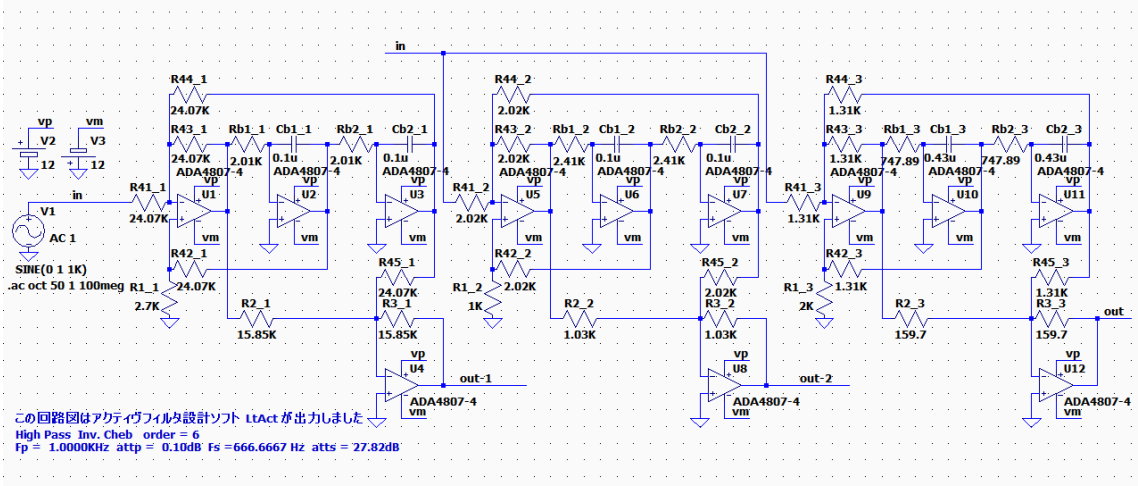


LtAct で作成したこの回路図は次のような特性が確認できました。

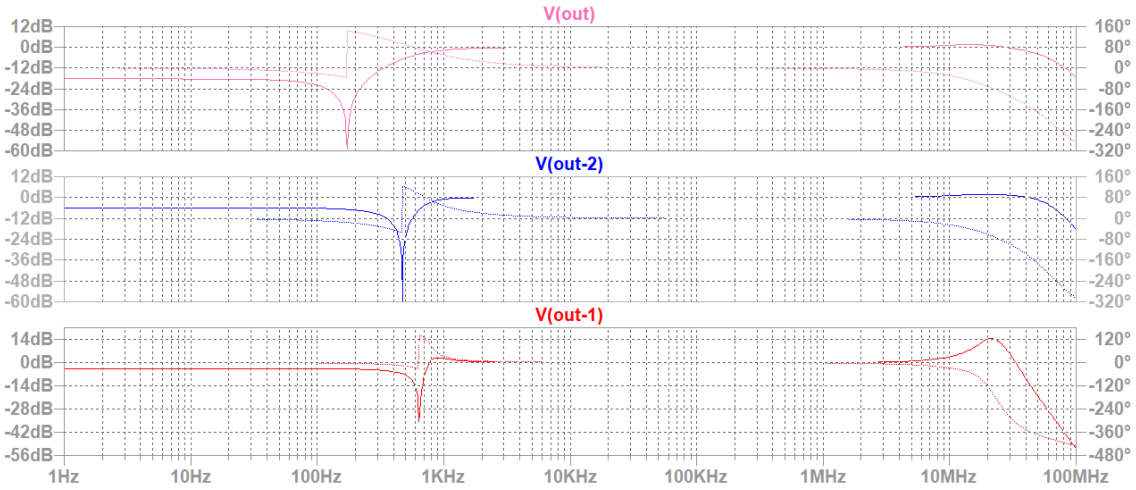
20MHz 付近に大きなオーバシュートがあります。

このオーバシュートを打ち消して通過帯域を広げる必要があります。

回路図を次のように変更して、1 番目から 3 番目までのブロックをそれぞれ単独に特性を確認できるようにします。回路図を変更せずに、out-1, out-2 および out を直接グラフ表示しても良いです。その場合、out-2, out には前のブロックの影響が含まれます。



LTSpice でシミュレーションして、それぞれの出力を確認して表示します。



6-1「回路図ファイルを作成する」オーバシュートの改善 事例-1

伝達関数の係数と Q 値、GB 積を確認します。

++++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Inv. Cheb 次数=6
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 27.82dB
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	1.5086K	24.8644Meg	1.0000	0	16.3706Meg
		Fc= 793.6142	Q = 3.3053	GB 積=262.3137K	
2	4.1216K	17.2668Meg	1.0000	0	8.7730Meg
		Fc= 661.3420	Q = 1.0082	GB 積= 66.6754K	
3	5.6302K	9.6692Meg	1.0000	0	1.1754Meg
		Fc= 494.8971	Q = 0.5523	GB 積= 27.3328K	

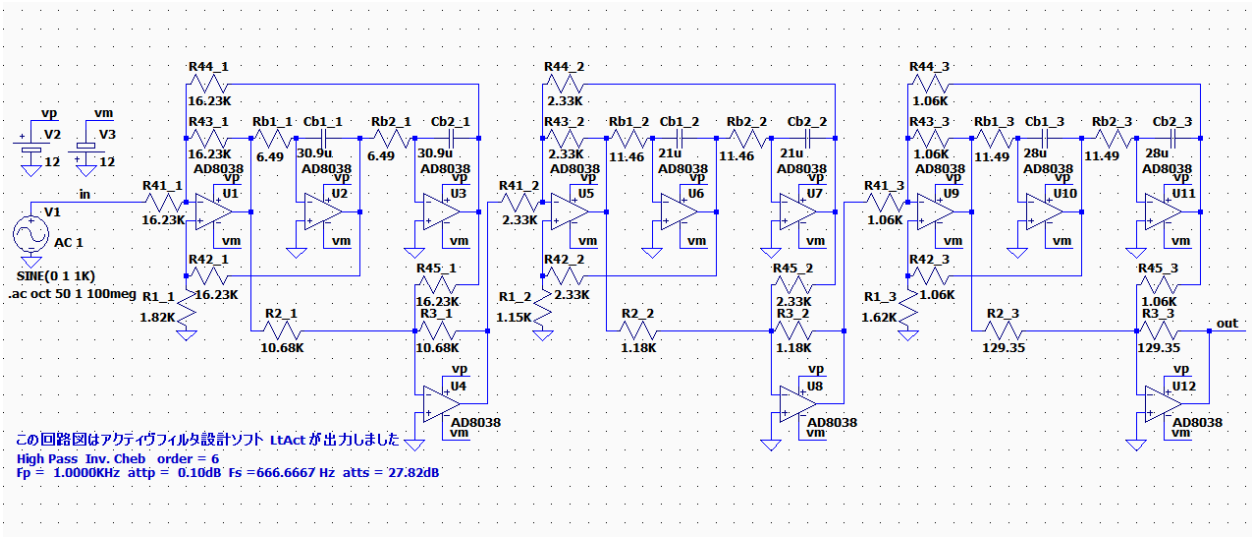
Q の値が 0.7 を超えると、オーバシュートが発生する可能性があると言われています。
しかし、念のためにすべてのブロックにオーバシュートが発生していないかを確認して、必要に応じて素子値を調整してオーバシュートを出来るだけ打ち消します。

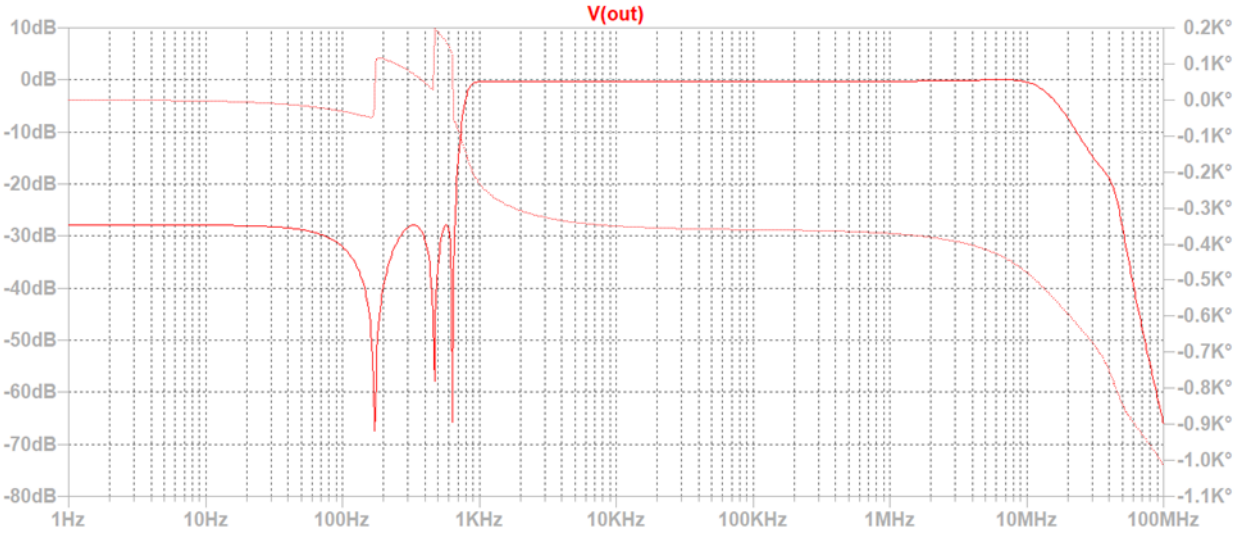
LTSpice で確認すると、オーバシュートは主に 1 番目のブロックで発生しています。
現在の素子値では、2 番目と 3 番目では小さいオーバシュートが発生しています。

オーバシュートを打ち消すには、LTSpice で 1 番目のブロックの U4 の出力を確認して、LtAct で素子値を選択する時に Cb_1 の素子値を大きな値に変更して回路図を作成しなおして再び U4 の出力を確認して、オーバシュートが消えるまでこの作業を繰り返します。
Cb_1 を 10u, 20u, 30u と順に大きくしてオーバシュートを消すことが出来ました。
1 番目のブロックのオーバシュートを消すことができたら、次は 2 番目、3 番目のブロックの出力を確認して、必要に応じて Cb_2, Cb_3 の値を同様にして調整します。

最終的に、次の回路図が得られました。

ハイパス・逆チェビシェフ 6 次 1KHz





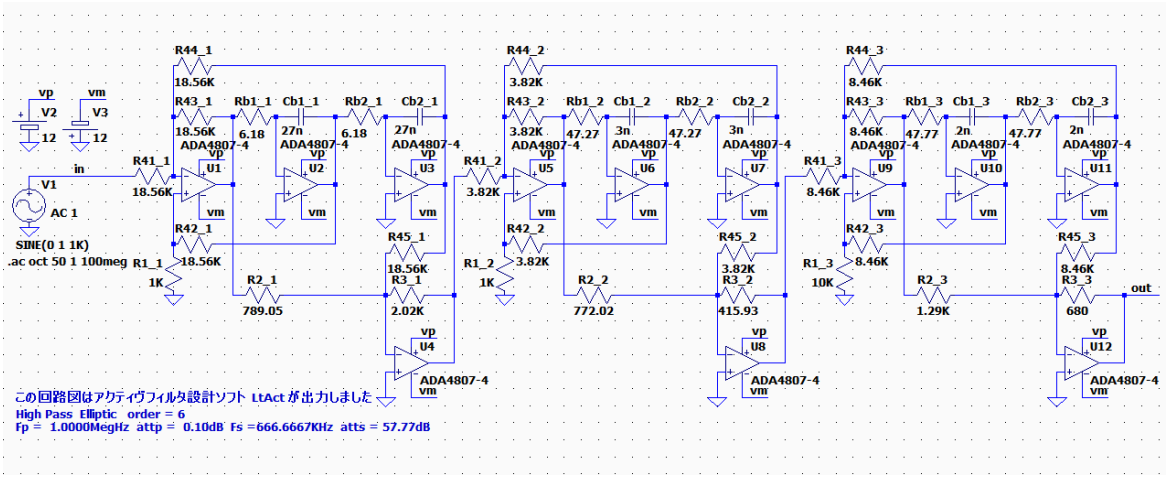
オーバシュートはなく 1KHz から 10MHz までフラットです。
±3dB 以内の通過帯域が 3MHz から 10MHz まで広がりました。
オペアンプの利得帯域幅の制限により、どこまでもフラットになる訳ではありません。

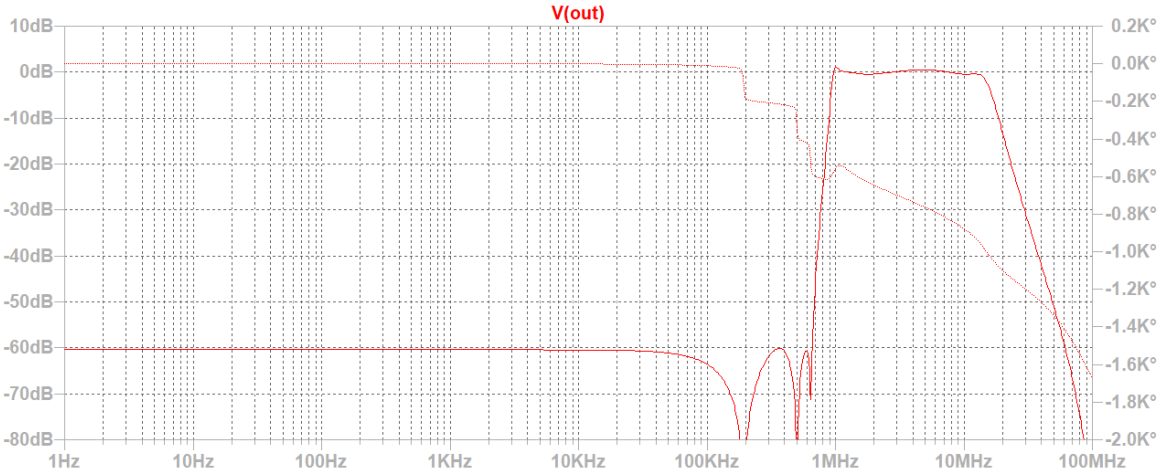
オーバシュートの発生状況は、使用するオペアンプと基本回路により大きく異なります。
オーバシュートを消すためには Cb_* の値を少しずつ大きくして、1 番目のブロックの出力のオーバシュートを消すことが重要です。2 番目以降のブロックは必要に応じて Cb_* の値を少しずつ変更して確認します。ブロックを 1 個ずつ改善して下さい。

6-1「回路図ファイルを作成する」オーバシュートの改善 事例-1

オーバシュートの改善 事例-2

ハイパス・楕円関数 6 次 1MHz

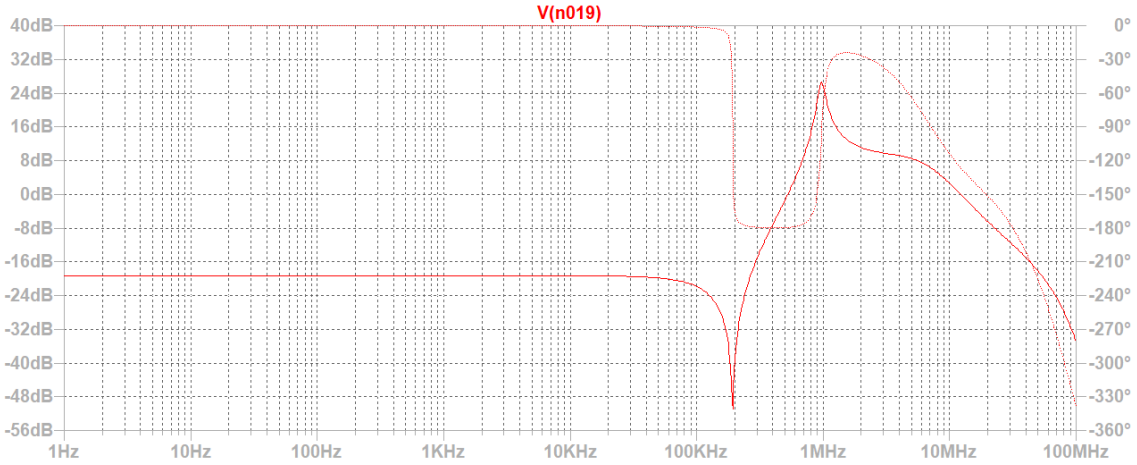




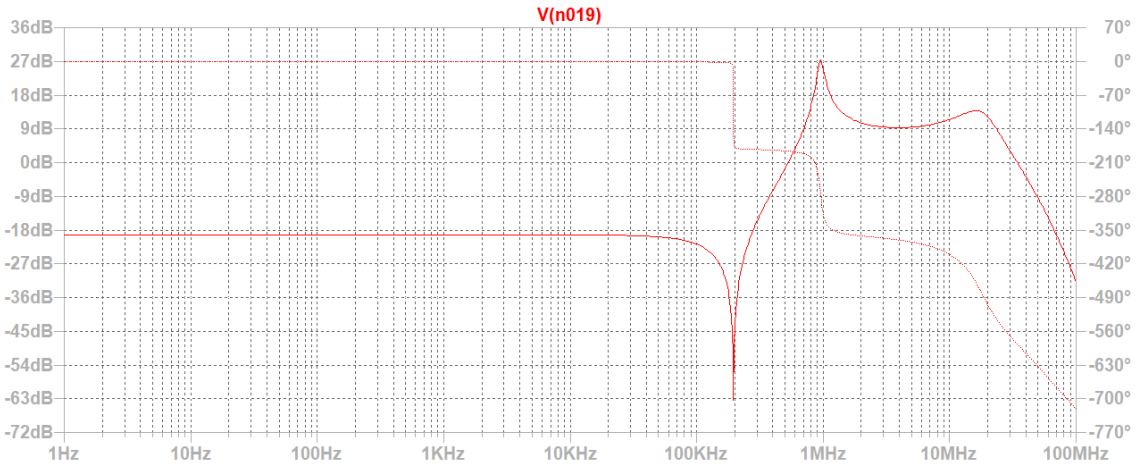
ADA4807-4 では、ゲインを調整するために R3_3 を 921 から 680 に変更しました。

±3dB の帯域は 1MHz から 17MHz です。

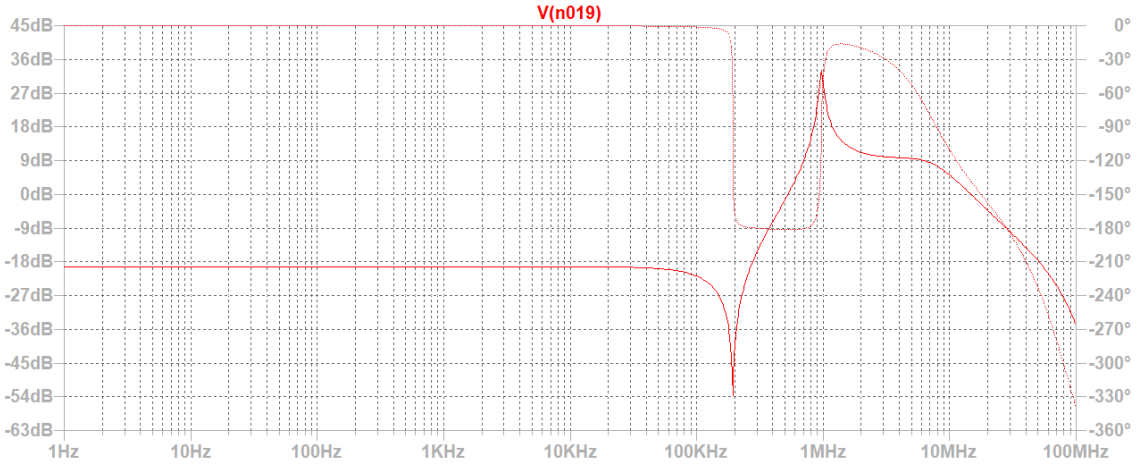
Cb1_1 を 27n に設定して、第 1 ブロックの出力の高域のオーバシュートを消しました。



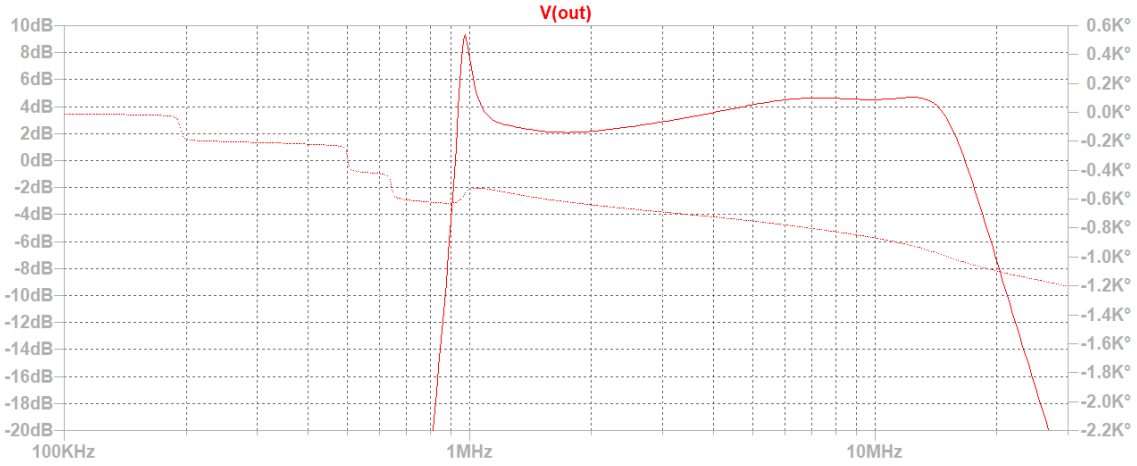
Cb1_1 を 2n に設定すると、第 1 ブロックの出力にオーバシュートが発生します。



Cb1_1 を 20n に設定すると、第 1 ブロックのオーバシュートが消えます。



この時の第 1 ブロックの出力にはまだオーバシュートの名残が確認できます。



Cb1_1 を調整して、第 1 ブロックの高域のオーバシュートが消えてほぼ水平になっても、さらに高域が下降する程度まで調整する必要があるようです。

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Elliptic 次数=6
Fp = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667KHz atts = 57.77dB
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	919.7602K	35.9460T	2.5616	0	3.9155T
	Fc= 954.2128K Q = 6.5185 GB 積=622.0076Meg				
2	4.3903Meg	49.7224T	0.5388	0	5.4161T
	Fc= 1.1223Meg Q = 1.6062 GB 積=180.2532Meg				
3	17.0147Meg	109.5734T	0.7163	0	11.9355T
	Fc= 1.6660Meg Q = 0.6152 GB 積=102.4944Meg				

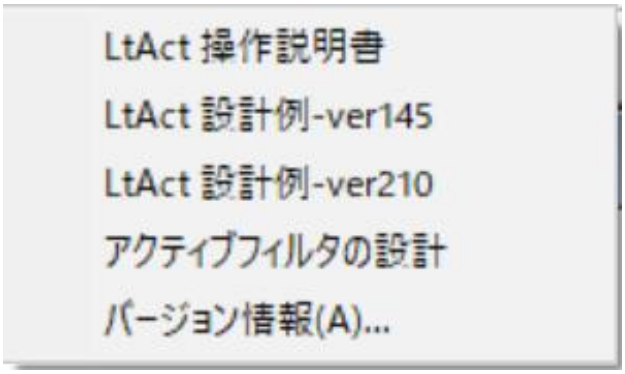
********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\設計例\ハイパス\楕円関数\test\HP3_6-1.asc 作成日時 Sun Oct 04 04:17:07 2020
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Elliptic 次数=6
Fp = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667KHz atts = 57.77dB

1 (et1) Rb_1（2 個）= 6.1775 Cb_1（2 個）= 27.0000n 誤差 = 0.3646 %
1 R1_1 = 1.0000K R2_1 = 789.0548 R3_1 = 2.0212K R4_1（5 個）= 18.5556K 誤差 = 5.0446 %
2 (et1) Rb_2（2 個）= 47.2719 Cb_2（2 個）= 3.0000n 誤差 = 0.5751 %
2 R1_2 = 1.0000K R2_2 = 772.0206 R3_2 = 415.9339 R4_2（5 個）= 3.8185K 誤差 = 4.9125 %
3 (et1) Rb_3（2 個）= 47.7659 Cb_3（2 個）= 2.0000n 誤差 = 1.6033 %
3 R1_3 = 10.0000K R2_3 = 1.2860K R3_3 = 921.1405 R4_3（5 個）= 8.4565K 誤差 = 3.4429 %

設計例の回路図データの利用について

「LtAct」をインストールしたフォルダの「OP のテストデータ」の「LtAct Ver.2.10 設計例」に、「LtAct」で作成した設計例の回路図データが保存してあります。

「設計例」の説明は「ヘルプ」から「LtAct 設計例-ver210」をクリックしてください。



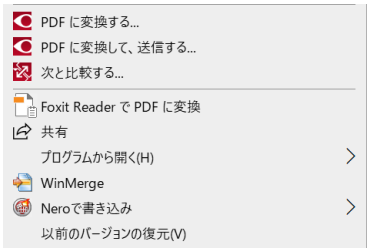
作成した回路図の調整方法や、LtAct ver.2.10 で作成し「LTSpice」で調整を行った多数の設計例を参照できます。
「LtAct 設計例-ver210」は実験と改良を繰り返した実験ノートなので、「LtAct 操作説明書」と合わせて参照すると、回路図作成および調整の参考になると思います。

「LtAct Ver.2.10 設計例」の回路図を「LTSpice」でシミュレーションする前に、
「LtAct」をインストールしたフォルダの「OP のテストデータ」の「asy-修正後」の asy ファイルを全て
C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps
にコピーしてください。

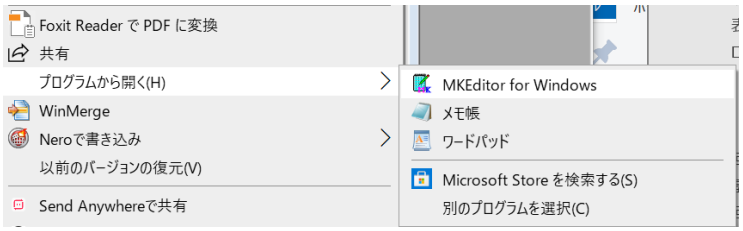
「LTSpice」の操作については、Vector で公開中の「LTSpice 操作入門」ver.1.2 で説明していますので参照して下さい。
https://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an008575.html

6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」

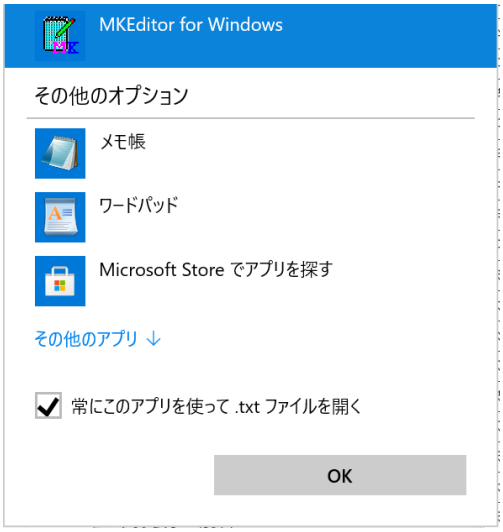
「ファイル」→「データファイルを開く」によって、「test.txt」のように拡張子が「.txt」のファイルを表示できるようにするために、拡張子の関連付けを行います。
エクスプローラでテキストファイルが保存されているフォルダを開いて、テキストファイルを右クリックします。



「プログラムから開く」にカーソルを移動します。



「別のプログラムを選択」をクリックします。



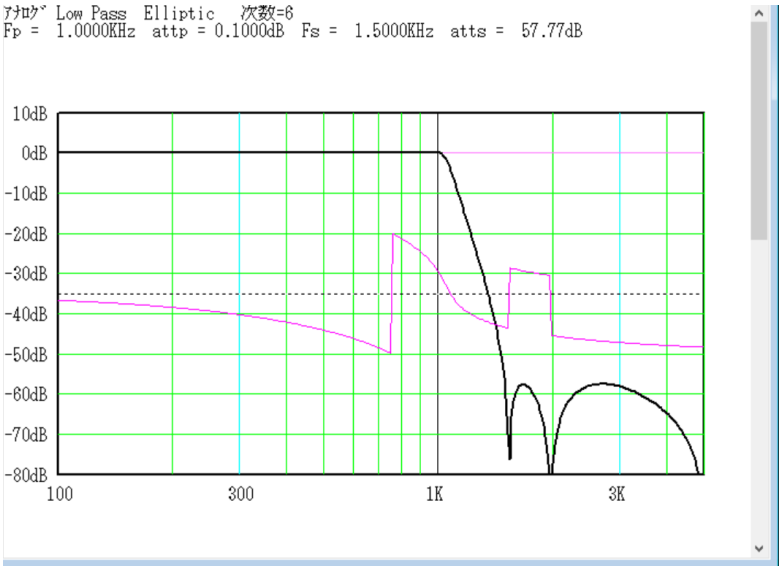
「常にこのアプリを使って.txt ファイルを開く」をチェックして、「メモ帳」などのテキストエディタを選択して「OK」をクリックします。
選択したテキストエディタが起動して、「test.txt」が別ウィンドウで表示されます。
別ウィンドウを閉じます。これで「.txt」の関連付けは完了です。

「フィルタの種類選択」で、「ローパスフィルタ」、「バターワース」および「次数を入力して...」 をチェックして、「設計パラメータの入力」で次数に 4 を入力します。
「表示・出力」→「伝達関数の係数をファイルに出力する」をチェックして「OK」をクリックし、ファイル名を例えば「test.txt」と入力して「保存」をクリックします。
先程関連付けしたアプリが起動して別ウィンドウに「test.txt」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  Butterworth  次数=4↓
Fp =  1.0000MegHz  attp = 3.0103dB  Fs =  1.5000MegHz  atts =  14.25dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
          s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n        Pn_0        Pn_1        Pn_2        Pn_3        Pn_4↓
   1   4.8089Meg    39.4784T           0           0    39.4784T↓
                       Fc=   1.0000Meg  Q =   1.3066  GB積=130.6563Meg↓
   2  11.6098Meg    39.4784T           0           0    39.4784T↓
                       Fc=   1.0000Meg  Q =   0.5412  GB積= 54.1196Meg↓
```

「LtAct ver.2.50」から、各ブロックのカットオフ周波数 Fc と Q 値およびオペアンプに必要となる「GB 積」も表示します。

「フィルタの種類選択」をクリックして、「遮断特性」の「楕円関数」と「次数を入力してフィルタを設計する」をチェックして「OK」をクリックして、「設計するフィルタの次数」を「6」に変更して「OK」をクリックすると、楕円関数ローパスフィルタ 次数=6 の周波数特性のグラフが表示されます。「test.txt」のウィンドウを閉じます。



6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」

「表示・出力」→「伝達関数の係数をファイルに出力する」をチェックして「OK」をクリックし、「test.txt」を選択して「保存」をクリックします。確認画面で「はい」をクリックすると「test.txt」に伝達関数の係数が追記されて、別ウィンドウに表示されます。

```
++++++++++  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  Butterworth  次数=4↓
Fp =  1.0000MegHz  attp = 3.0103dB  Fs =  1.5000MegHz  atts =  14.25dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ----------------------------↓
           s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n        Pn_0        Pn_1        Pn_2        Pn_3        Pn_4↓
   1   4.8089Meg    39.4784T          0           0     39.4784T↓
                       Fc=   1.0000Meg  Q =   1.3066  GB積=130.6563Meg↓
   2  11.6098Meg    39.4784T          0           0     39.4784T↓
                       Fc=   1.0000Meg  Q =   0.5412  GB積= 54.1196Meg↓
++++++++++  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=6↓
Fp =  1.0000MegHz  attp = 0.1000dB  Fs =  1.5000MegHz  atts =  57.77dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ----------------------------↓
           s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n        Pn_0        Pn_1        Pn_2        Pn_3        Pn_4↓
   1   1.0101Meg    43.3580T    0.1089           0    111.0642T↓
                       Fc=   1.0480Meg  Q =   6.5185  GB積=683.1331Meg↓
   2   3.4858Meg    31.3449T    0.1089           0     16.8874T↓
                       Fc=   891.0537K  Q =   1.6062  GB積=143.1168Meg↓
   3   6.1303Meg    14.2238T    0.1089           0     10.1886T↓
                       Fc=   600.2435K  Q =   0.6152  GB積= 36.9279Meg↓
```

「test.txt」のウィンドウを閉じます。

以降は、「ファイル」→「データファイルを開く」をクリックして、「test.txt」などを選択して「開く」をクリックすると先程指定したテキストエディタが起動して、別ウィンドウに選択したテキストファイルが表示されます。
別ウィンドウに表示されるので、「LtAct」のグラフ画面はそのままです。

1MHz 超のフィルタを設計する場合は、「伝達関数の係数と Q 値」の「GB 積」を越えるオペアンプを使用して回路図を作成すると、調整の手間が少なくなると思います。
「GB 積」が不足するオペアンプでも念入りに調整すれば、ある程度は改善が出来ます。
「LtAct ver.2.40」までは、各ブロックに必要な「GB 積」を表示していませんでした。
設計したフィルタが、希望する特性を実現できるかどうかを判断するためには「GB 積」の表示が必要だと思って、「LtAct ver.2.50」から追加しました。

6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」

「LtAct ver.2.80」から、「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」に奇数次数のローパス及びハイパスフィルタの 1 次フィルタのカットオフ周波数を追加しました。そして、カットオフ周波数 Fc と GB 積に Hz の単位を追加しました。

++++++++++ 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 Butterworth 次数=3
Fp =100.0000KHz attp = 3.0103dB Fs =150.0000KHz atts = 10.93dB
1 次式の形式
P1 * s + P2
H0 = ----------
s + P0
2 次式の形式
Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4
Hn = ----------
s^2 + Pn_0 * s + Pn_1
1 次式
P0 = 628.3185K P1 = 0 P2 = 628.3185K Fc= 100.0000KHz
2 次式
n Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
1 628.3185K 394.7842G 0 0 394.7842G
Fc= 100.0000KHz Q = 1.0000 GB 積= 10.0000MegHz
++++++++++ 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 Chebyshev 次数=3
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =150.0000KHz atts = 4.60dB
1 次式の形式
P1 * s + P2
H0 = ----------
s + P0
2 次式の形式
Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4
Hn = ----------
s^2 + Pn_0 * s + Pn_1
1 次式
P0 = 609.0956K P1 = 0 P2 = 609.0956K Fc= 96.9406KHz
2 次式
n Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」

```
  1   609.0956K   667.0855G        0        0    667.0855G
            Fc=   129.9903KHz  Q =   1.3409  GB 積= 17.4308MegHz
++++++++++++ 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 =100.0000KHz  attp = 0.1000dB  Fs =150.0000KHz  atts =   4.60dB
1 次式の形式
     P1 * s + P2
H0 = -------------
        s + P0
2 次式の形式
     Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4
Hn = -----------------------------
         s^2 + Pn_0 * s + Pn_1
1 次式
 P0 =   2.4610Meg  P1 =    0      P2 =   2.4610Meg   Fc=   391.6759KHz
2 次式
  n      Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
  1   402.5363K   990.6303G    0.8364        0    990.6303G
            Fc=   158.4076KHz  Q =   2.4726  GB 積= 39.1676MegHz
++++++++++++ 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 =100.0000KHz  attp = 0.1000dB  Fs =150.0000KHz  atts =  14.85dB
1 次式の形式
     P1 * s + P2
H0 = -------------
        s + P0
2 次式の形式
     Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4
Hn = -----------------------------
         s^2 + Pn_0 * s + Pn_1
1 次式
 P0 = 815.6718K  P1 =    0      P2 = 815.6718K   Fc=   129.8182KHz
2 次式
  n      Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
  1   363.9802K   613.4458G    0.5538        0    613.4458G
            Fc=   124.6546KHz  Q =   2.1518  GB 積= 26.8237MegHz
```

6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Butterworth 次数=3
Fp =100.0000KHz attp = 3.0103dB Fs = 66.6667KHz atts = 10.93dB
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 = 628.3185K P1 = 1.0000 P2 = 0 Fc= 100.0000KHz
2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	628.3185K	394.7842G	1.0000	0	0

Fc= 100.0000KHz Q = 1.0000 GB 積= 10.0000MegHz

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Chebyshev 次数=3
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 66.6667KHz atts = 4.60dB
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 = 648.1482K P1 = 1.0000 P2 = 0 Fc= 103.1560KHz
2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	360.4655K	233.6350G	1.0000	0	0

Fc= 76.9288KHz Q = 1.3409 GB 積= 10.3156MegHz

6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Inv. Cheb 次数=3
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 66.6667KHz atts = 4.60dB
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 = 160.4180K P1 = 1.0000 P2 = 0 Fc= 25.5313KHz
2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	160.4180K	157.3287G	1.0000	0	131.5947G

Fc= 63.1283KHz Q = 2.4726 GB 積= 15.6090MegHz

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Elliptic 次数=3
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 66.6667KHz atts = 14.85dB
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 = 483.9988K P1 = 1.0000 P2 = 0 Fc= 77.0308KHz
2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	234.2401K	254.0641G	1.0000	0	140.6922G

Fc= 80.2217KHz Q = 2.1518 GB 積= 17.2624MegHz

6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」

ver.2.90 で追加した機能と利用方法

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」にカットオフ周波数のゲインを追加しました。
以下の説明における実験データは「OP のテストデータ」→「LtAct Ver.2.10 設計例」→「ver290 参考例」に格納しました。

参考例　バターワース・ローパス

++++++++++ 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 Butterworth 次数=6
Fp = 10.0000KHz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000KHz atts = 21.16dB
２次式の形式

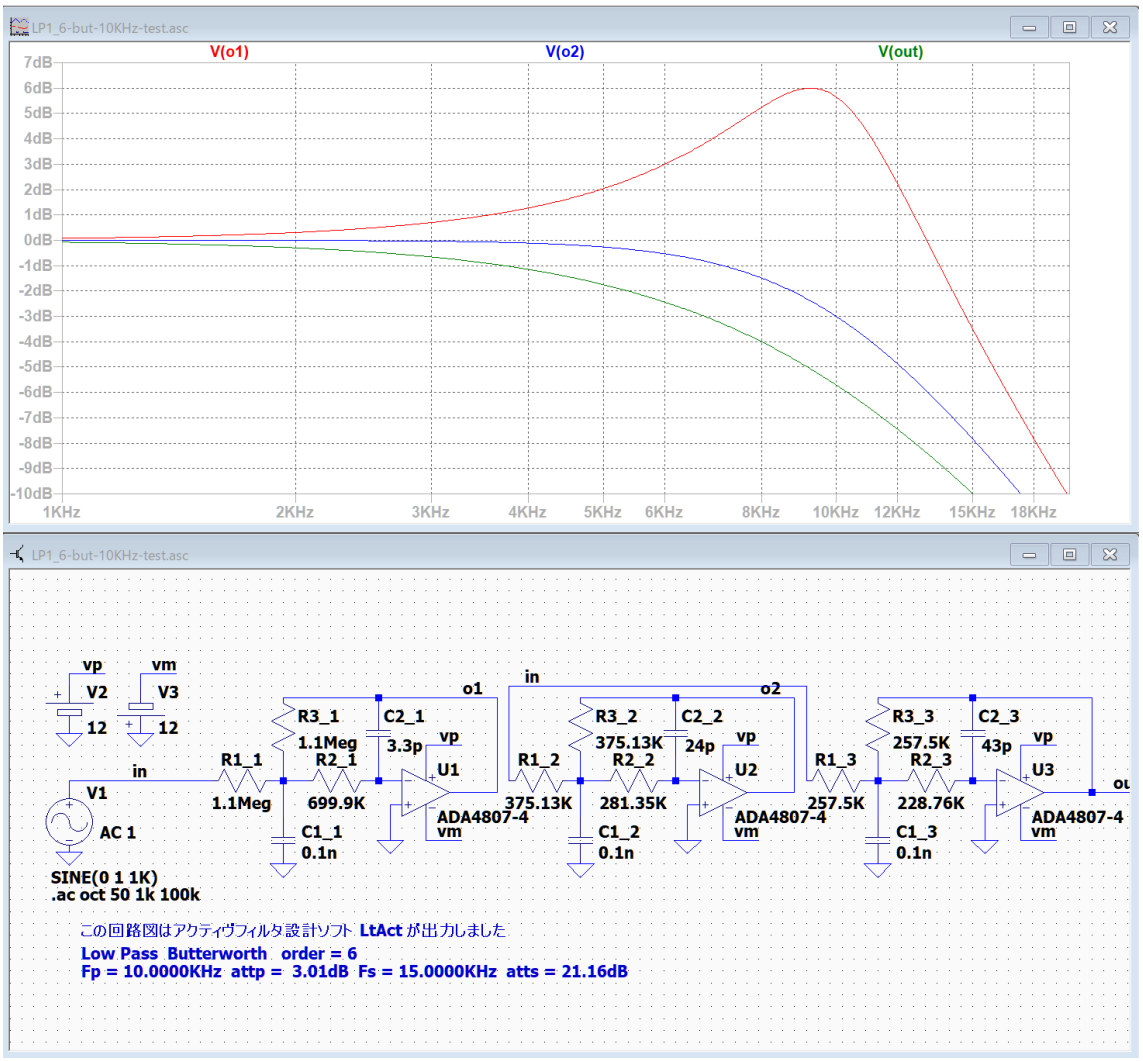
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	32.5242K	3.9478G	0	0	3.9478G
	Fc= 10.0000KHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積= 1.9319MegHz				
2	88.8577K	3.9478G	0	0	3.9478G
	Fc= 10.0000KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積=707.1069KHz				
3	121.3818K	3.9478G	0	0	3.9478G
	Fc= 10.0000KHz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積=517.6382KHz				

このデータは、
第 1 ブロックの出力 o1 は、Fc= 10.0000KHz において Fc ゲイン= 5.7195 dB、
第 2 ブロックの出力は o2、Fc= 10.0000KHz において Fc ゲイン= - 3.0103 dB、
第 3 ブロックの出力は out、Fc= 10.0000KHz において Fc ゲイン= - 5.7195 dB
になることを表しています。

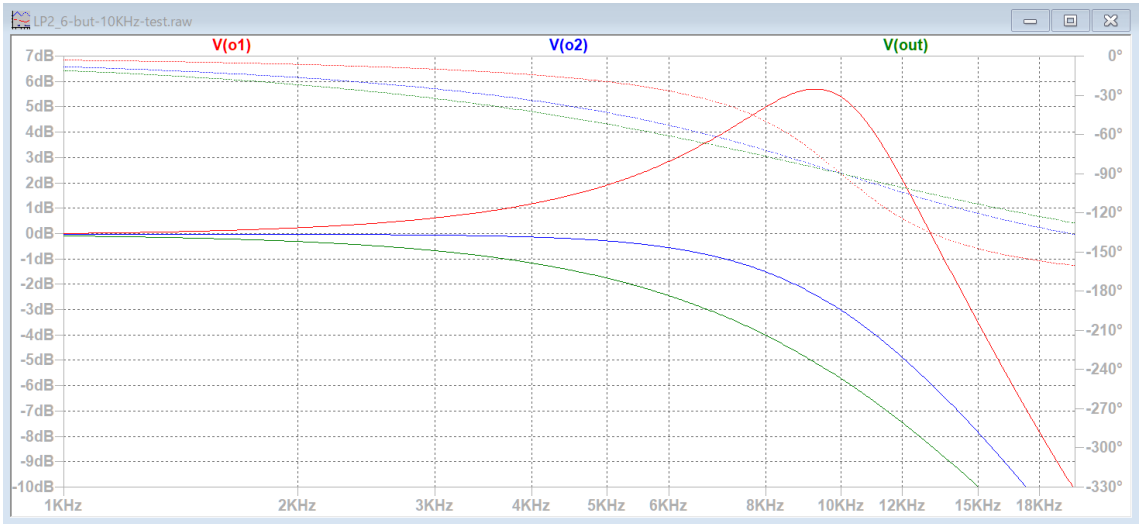
LP1_6-but-10KHz-test.asc

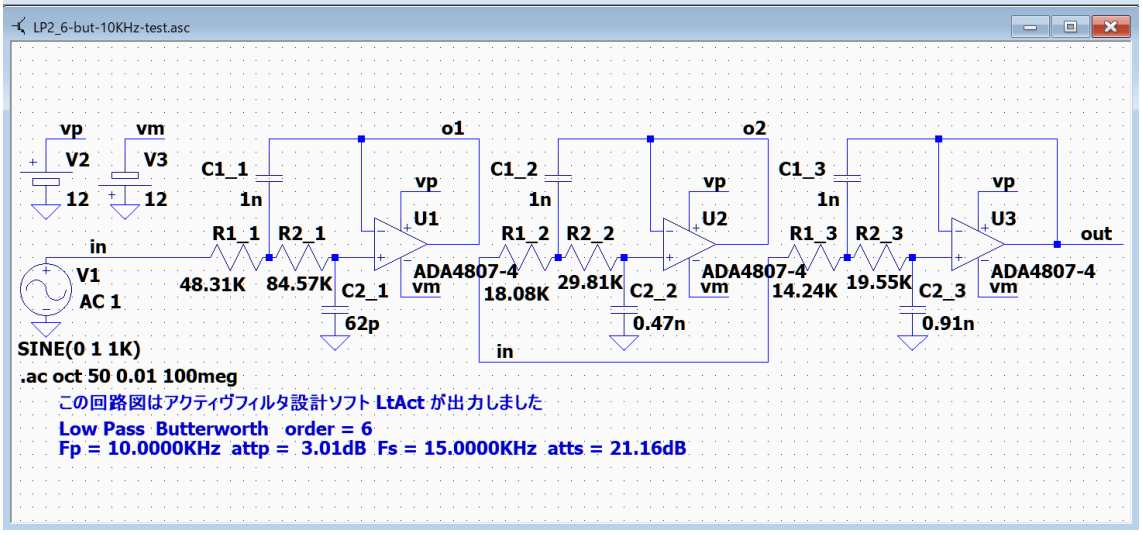


o1： 通過域のゲイン 0dB, カットオフ周波数 Fc = 10KHz ゲイン 5.64dB
　　ピーク周波数 9.24KHz ゲイン 6.0dB
o2： 通過域のゲイン 0dB, Fc = 10KHz で -3.02dB
out：通過域のゲイン 0dB, Fc = 10KHz で -5.72dB
「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータとほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 92.4%）ことがわかる。

LP2_6-but-10KHz-test.asc





o1： 通過域のゲイン 0dB, カットオフ周波数 Fc = 10KHz ゲイン 5.38dB

ピーク周波数 9.25KHz ゲイン 5.7dB

o2： 通過域のゲイン 0dB, Fc = 10KHz で -3.03dB

out：通過域のゲイン 0dB, Fc = 10KHz で -5.73dB

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータとほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 92.5%）ことがわかる。

参考例　チェビシェフ・ローパス

++++++++++ 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 Chebyshev 次数=6
Fp = 10.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000KHz atts = 27.82dB
２次式の形式

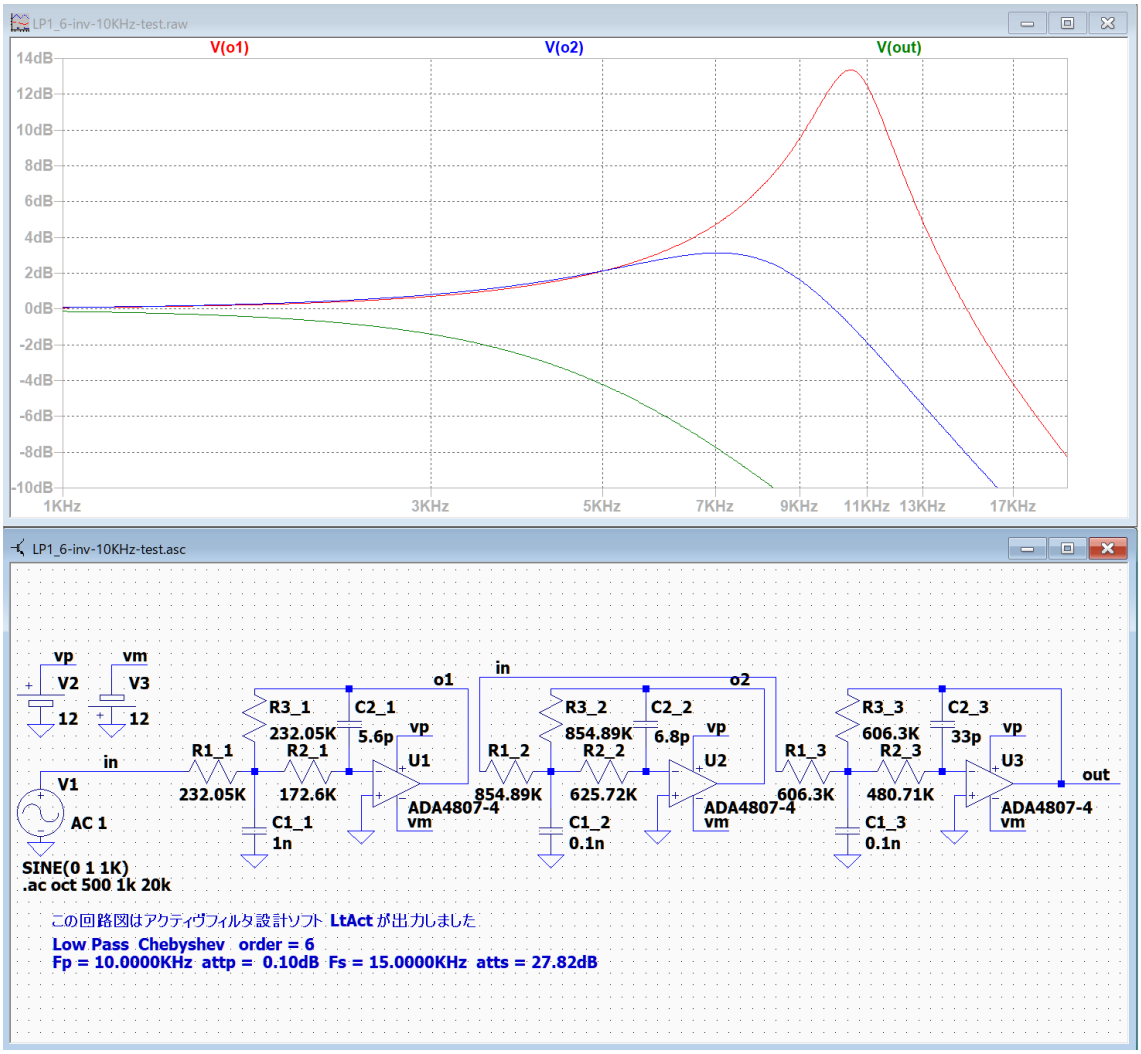
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	14.4128K	4.4586G	0	0	4.4586G
	Fc= 10.6273KHz Fc ゲイン= 13.3171 dB Q = 4.6329 GB 積= 4.9235MegHz				
2	39.3765K	2.7492G	0	0	2.7492G
	Fc= 8.3449KHz Fc ゲイン= 2.4873 dB Q = 1.3316 GB 積= 1.1112MegHz				
3	53.7893K	1.0397G	0	0	1.0397G
	Fc= 5.1319KHz Fc ゲイン= - 4.4448 dB Q = 0.5995 GB 積=307.6354KHz				

このデータは、
第 1 ブロックの出力は o1、Fc= 10.6273KHz において Fc ゲイン= 13.3171 dB、
第 2 ブロックの出力は o2、Fc= 8.3449KHz において Fc ゲイン= 2.4873 dB、
第 3 ブロックの出力は out、Fc= 5.1319KHz において Fc ゲイン= - 4.4448 dB
になることを表しています。

LP1_6-inv-10KHz-test.asc



o1： 通過域のゲイン 0dB, カットオフ周波数 Fc = 10.6273KHz ゲイン 13.27dB,
ピーク周波数 10.47KHz ゲイン 13.35dB

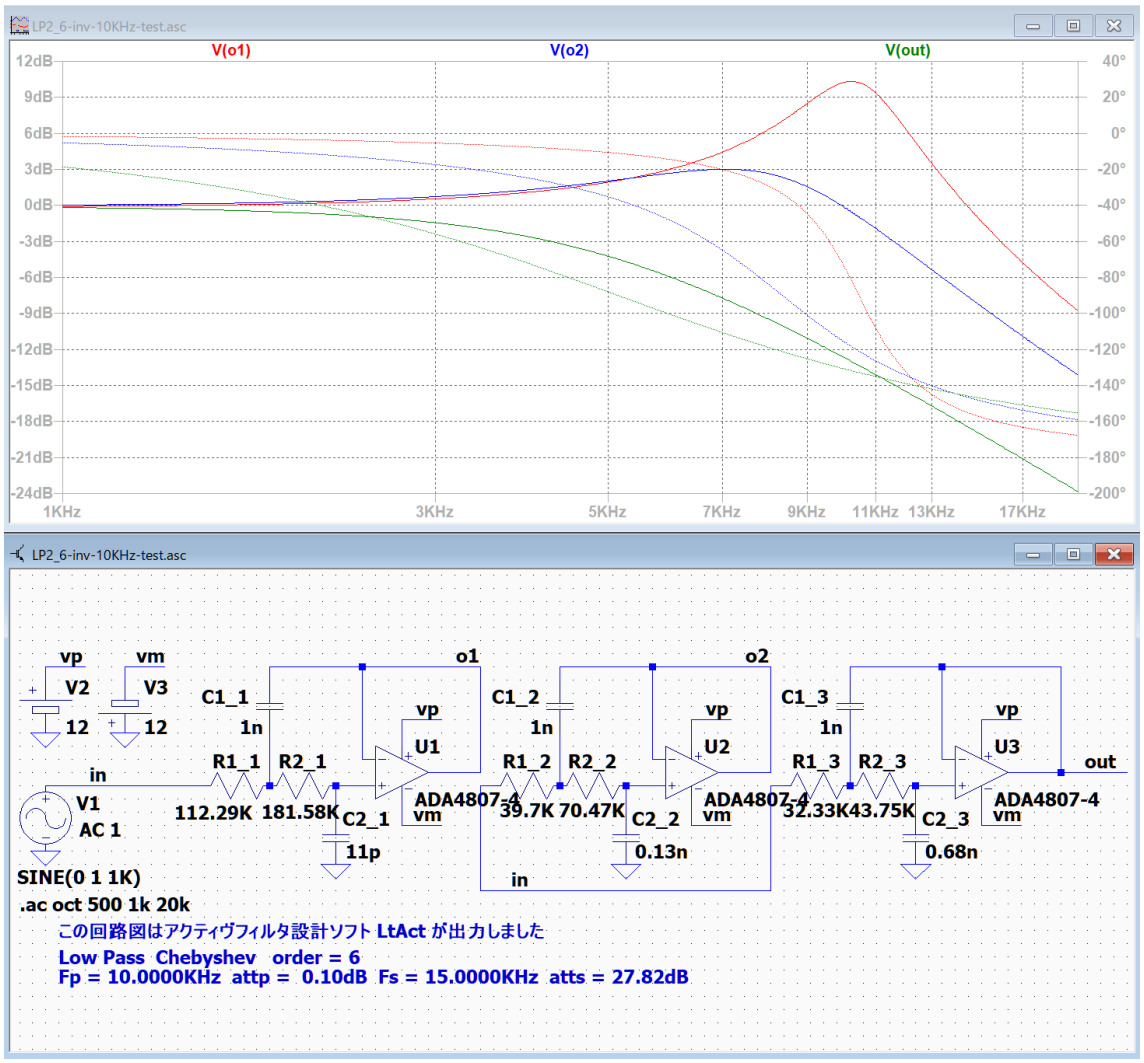
o2： 通過域のゲイン 0dB, Fc = 8.3449KHz で 2.45dB
ピーク周波数 7.02KHz ゲイン 3.13dB

out：通過域のゲイン 0dB, Fc = 5.1319KHz で -4.45dB

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータとほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 98.5%）ことがわかる。
o2 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 84.1%）ことがわかる。
この比率は、パラメータ入力の attp または Xs の値によって変化するので注意が必要。

LP2_6-inv-10KHz-test.asc



o1： 通過域のゲイン 0dB, カットオフ周波数 Fc = 10.6273KHz ゲイン 10.05dB,
ピーク周波数 10.23KHz ゲイン 10.32dB
o2： 通過域のゲイン 0dB, Fc = 8.3449KHz で 2.34dB
ピーク周波数 7.06KHz ゲイン 3.01dB
out：通過域のゲイン 0dB, Fc = 5.1319KHz で -4.46dB
「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータと比較すると、o1 の Fc ゲインが少し小さいが、o2 と out はほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 96.3%）ことがわかる。
o2 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 84.6%）ことがわかる。
この比率は、パラメータ入力の attp または Xs の値によって変化するので注意が必要。

参考例　逆チェビシェフ・ローパス

++++++++++ 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=6
Fp = 10.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000KHz atts = 27.82dB
２次式の形式

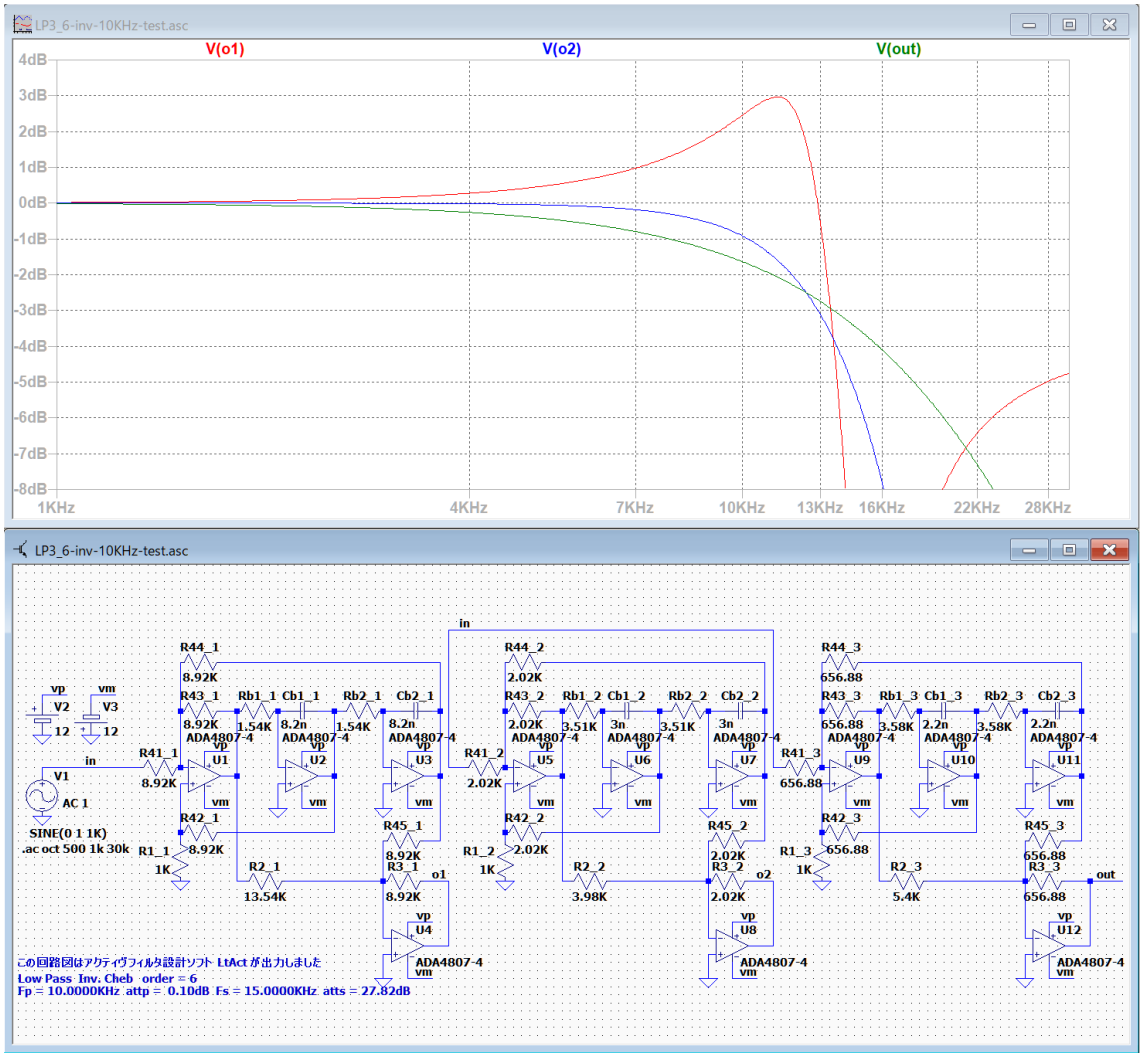
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	23.9530K	6.2682G	0.6584	0	6.2682G
	Fc= 12.6006KHz Fc ゲイン= 1.0547 dB Q = 3.3053 GB 積= 4.1649MegHz				
2	94.2355K	9.0263G	0.5081	0	9.0263G
	Fc= 15.1208KHz Fc ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積= 1.5245MegHz				
3	229.8770K	16.1187G	0.1216	0	16.1187G
	Fc= 20.2062KHz Fc ゲイン= - 6.2823 dB Q = 0.5523 GB 積= 1.1160MegHz				

このデータは、
第 1 ブロックの出力は o1、Fc= 12.6006KHz において Fc ゲイン= 1.0547 dB、
第 2 ブロックの出力は o2、Fc= 15.1208KHz において Fc ゲイン= - 6.0914dB、
第 3 ブロックの出力は out、Fc= 20.2062KHz において Fc ゲイン= - 6.2823 dB
になることを表しています。

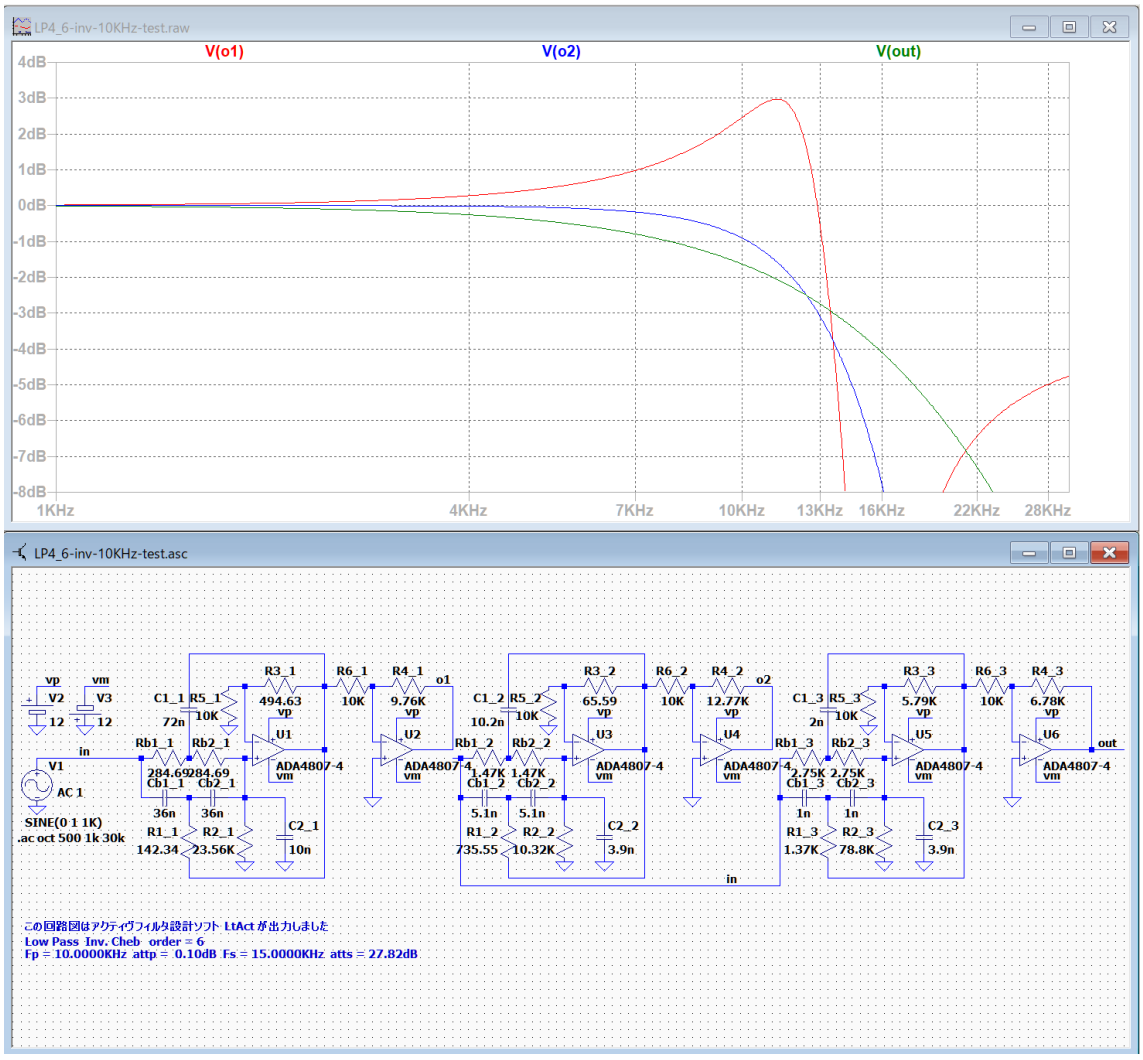
LP3_6-inv-10KHz-test.asc



o1： 通過域のゲイン 0dB, カットオフ周波数 Fc = 12.6006KHz ゲイン 1.06dB,
ピーク周波数 11.25KHz ゲイン 2.96dB
o2： 通過域のゲイン 0dB, Fc = 15.1208KHz で -6.10dB
out：通過域のゲイン 0dB, Fc = 20.2062KHz で -6.28dB
「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータとほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 93.3%）ことがわかる。
この比率は、パラメータ入力の attp または Xs の値によって変化するので注意が必要。

LP4_6-inv-10KHz-test.asc



o1： 通過域のゲイン 0dB, カットオフ周波数 Fc = 12.6006KHz ゲイン 1.06dB,
ピーク周波数 11.27KHz ゲイン 2.97dB

o2： 通過域のゲイン 0dB, Fc = 15.1208KHz で -6.07dB

out：通過域のゲイン 0dB, Fc = 20.2062KHz で -6.28dB

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータとほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 93.4%）ことがわかる。
この比率は、パラメータ入力の attp または Xs の値によって変化するので注意が必要。

参考例　楕円関数・ローパス

++++++++++ 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=6
Fp = 10.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000KHz atts = 57.77dB
２次式の形式

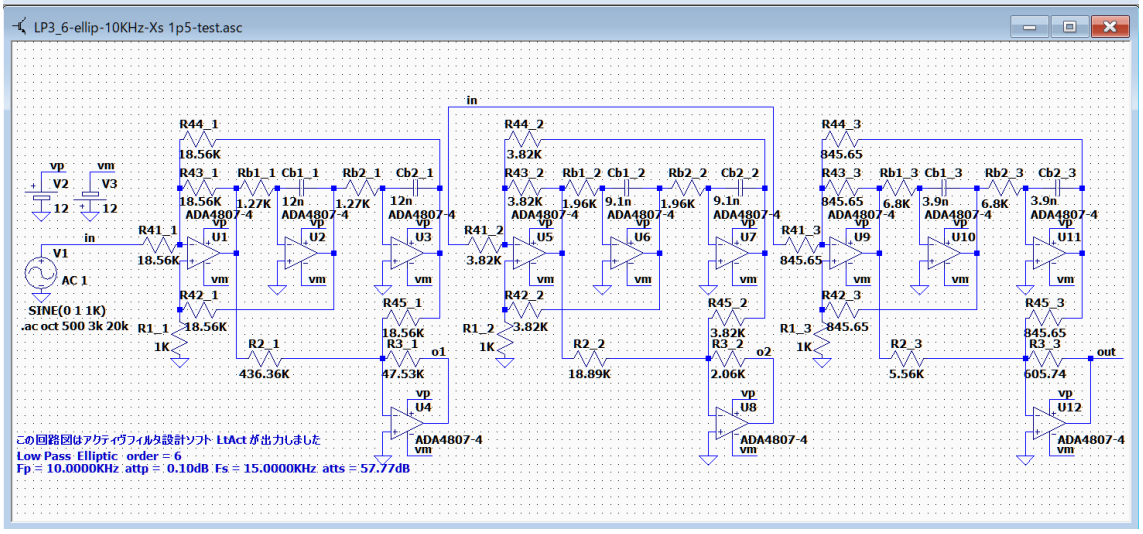
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	10.1015K	4.3358G	0.1089	0	11.1064G
	Fc= 10.4798KHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積= 6.8313MegHz				
2	34.8576K	3.1345G	0.1089	0	1.6887G
	Fc= 8.9105KHz Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積= 1.4312MegHz				
3	61.3027K	1.4224G	0.1089	0	1.0189G
	Fc= 6.0024KHz Fc ゲイン= - 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積=369.2793KHz				

このデータは、
第 1 ブロックの出力は o1、Fc= 10.4798KHz において Fc ゲイン= 24.0757 dB、
第 2 ブロックの出力は o2、Fc= 8.9105KHz において Fc ゲイン= - 3.2183dB、
第 3 ブロックの出力は out、Fc= 6.0024KHz において Fc ゲイン= - 8.5502 dB
になることを表しています。

LP3_6-ellip-10KHz-Xs 1p5-test.asc



o1： 通過域のゲイン 8.17dB, カットオフ周波数 Fc = 10.4798KHz ゲイン 24.05dB,
ピーク周波数 10.4KHz ゲイン 24.12dB

o2： 通過域のゲイン -5.36dB, Fc = 8.9105KHz で -3.19dB
ピーク周波数 7.6KHz ゲイン -2.26dB

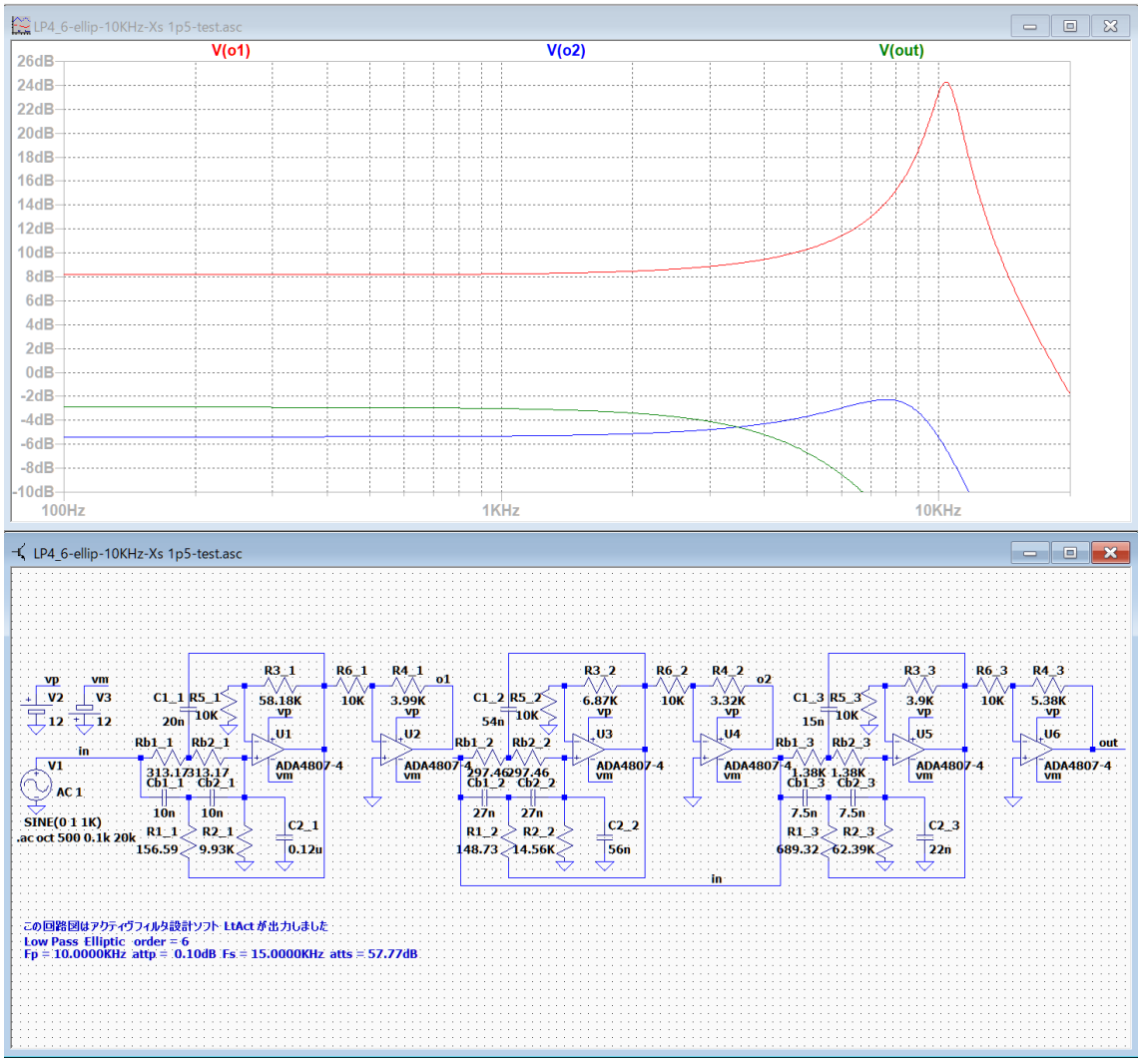
out：通過域のゲイン -2.9dB, Fc = 6.0024KHz で -8.55dB

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータとほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 99.2%）ことがわかる。
o2 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 85.3%）ことがわかる。
この比率は、パラメータ入力の attp または Xs の値によって変化するので注意が必要。

楕円関数では、通過域のゲインが 0dB ではないことに注意する。

LP4_6-ellip-10KHz-Xs 1p5-test.asc



o1： 通過域のゲイン 8.17dB, カットオフ周波数 Fc = 10.4798KHz ゲイン 24.24dB,
ピーク周波数 10.4KHz ゲイン 24.28dB

o2： 通過域のゲイン -5.4dB, Fc = 8.9105KHz で -3.21dB
ピーク周波数 7.6KHz ゲイン -2.27dB

out：通過域のゲイン -2.9dB, Fc = 6.0024KHz で -8.55dB

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」のデータとほぼ等しい。

o1 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 99.2%）ことがわかる。
o2 のピークはカットオフ周波数 Fc より少し低い（Fc の 85.3%）ことがわかる。
この比率は、パラメータ入力の attp または Xs の値によって変化するので注意が必要。

楕円関数では、通過域のゲインが 0dB ではないことに注意する。

調整方法

カットオフ周波数が数 MHz 以上のフィルタを作成すると、期待した周波数特性が得られない場合があります。

作成した回路図の周波数特性を改善する手順。

１．作成した回路図の配線を変更して、各ブロックの出力が確認できるようにする。
２．第 2 ブロック以降の入力を「in」に接続する。
３．各ブロックの出力ノードに、「o1」,「o2」... 「out」のようにラベルを付ける。
４．調整を行う回路図の「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」を印刷しておく。
５．第 1 ブロックのピーク周波数を同じタイプの「参考例」のピーク周波数と比較して、異なる場合には適切な素子を調整してピーク周波数を一致させる。
６．次に、適切な素子を調整して、このブロックの Fc ゲインに合わせる。
７．第 2 ブロック以降の出力を確認して、ピークがある場合には、第 1 ブロックと同様にしてピーク周波数を調整してから Fc ゲインを調整する。
８．第 2 ブロック以降の出力にピークが無い場合は、カットオフ周波数の Fc ゲインを調整する。
９．各ブロックの Fc ゲインを調整したら、回路図を「...-test.asc」のようなファイル名を付けて保存する。
１０．　「...-test.asc」を読み込んで、「File」→「Save As」で「...-adj.asc」のようなファイル名を付けて保存する。
１１．　「...-adj.asc」の配線を元に戻して、周波数特性グラフを作成する。
１２．　必要に応じて、素子値を調整して周波数特性をさらに改善する。
１３．　フィルターのカットオフ周波数のゲインや阻止域のピークなどを調整する。

注意：楕円関数フィルタでは各ブロックの通過域ゲインが 0dB にならないので、第 1 ブロックのピーク周波数と Fc ゲインの調整は複雑になります。

調整例　バターワース・ローパス　LP1_6-but-4MHz.asc

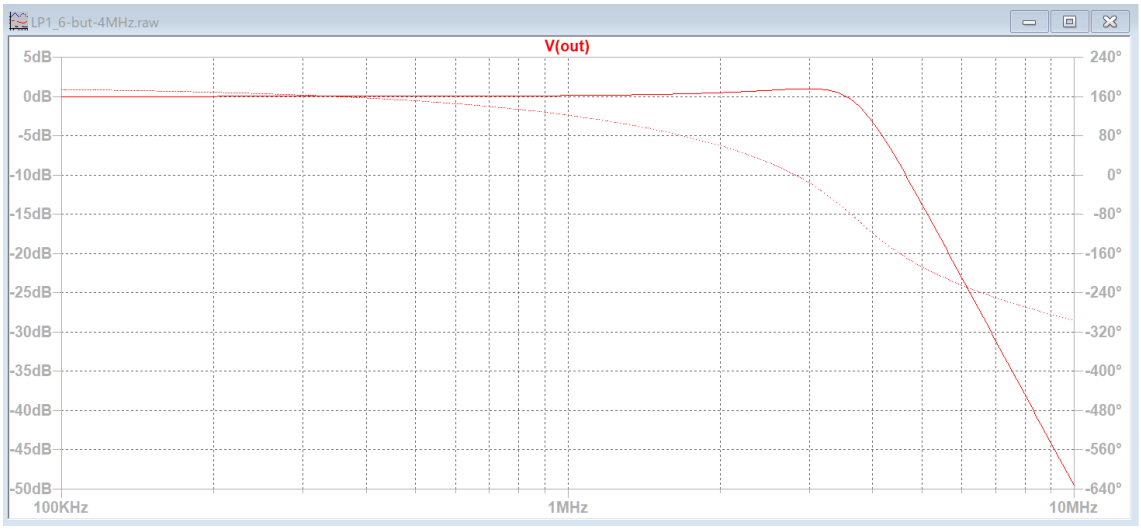
++++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6
Fp = 4.0000MegHz attp = 3.0103dB Fs = 6.0000MegHz atts = 21.16dB
２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

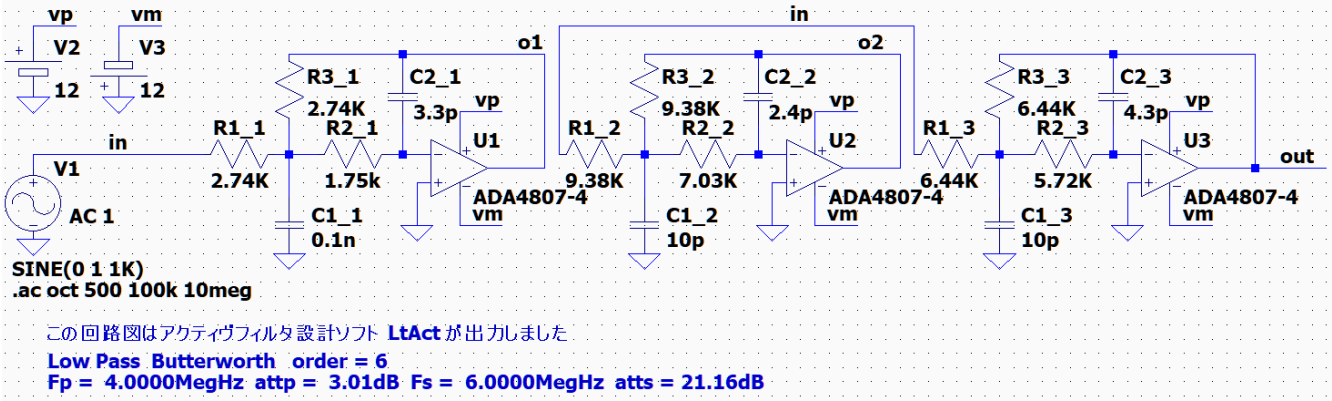
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	13.0097Meg	631.6547T	0	0	631.6547T
	Fc= 4.0000MegHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積=772.7408MegHz				
2	35.5431Meg	631.6547T	0	0	631.6547T
	Fc= 4.0000MegHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積=282.8428MegHz				
3	48.5527Meg	631.6547T	0	0	631.6547T
	Fc= 4.0000MegHz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積=207.0553MegHz				

周波数特性　LP1_6-but-4MHz.asc



3MHz に約 1dB のピークがあり、4MHz のゲインが -3.25dB なので、4MHz のゲインを少し増加する必要がある。

回路図の配線を変更して、各ブロックの出力が確認できるようにする。

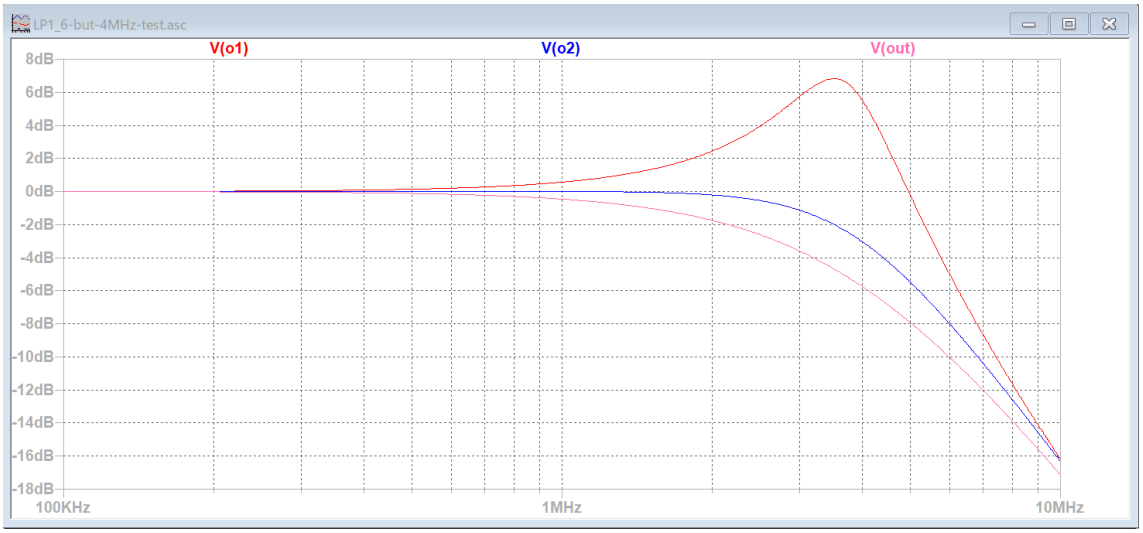


バターワースの参考例によると、「o1 のピークはカットオフ周波数 Fc = 4MHz の 92.4%」なので、o1 のピークは 3.7MHz 付近になると思われる。
このグラフを見ると、現状のピーク周波数は 3.5MHz でゲインは 6.82dB である。

1．まずピーク周波数を 3.7MHz に調整して、Fc= 4.0000MegHz で Fc ゲイン= 5.7195 dB に調整する。
2．次に、o2 の出力を Fc= 4.0000MegHz で Fc ゲイン= - 3.0103 dB に調整する。
3．次に、out の出力を Fc= 4.0000MegHz で Fc ゲイン= - 5.7195 dB に調整する。

C1_1 = 0.1n -> 80p, R2_1 = 1.75k -> 1.8K により、ピーク 3.8MHz 5.86dB
o2 は Fc= 4.0000MegHz で Fc ゲイン= - 3.04 dB なので、調整不要。
out は Fc= 4.0000MegHz で Fc ゲイン= - 5.76 dB なので、調整不要。

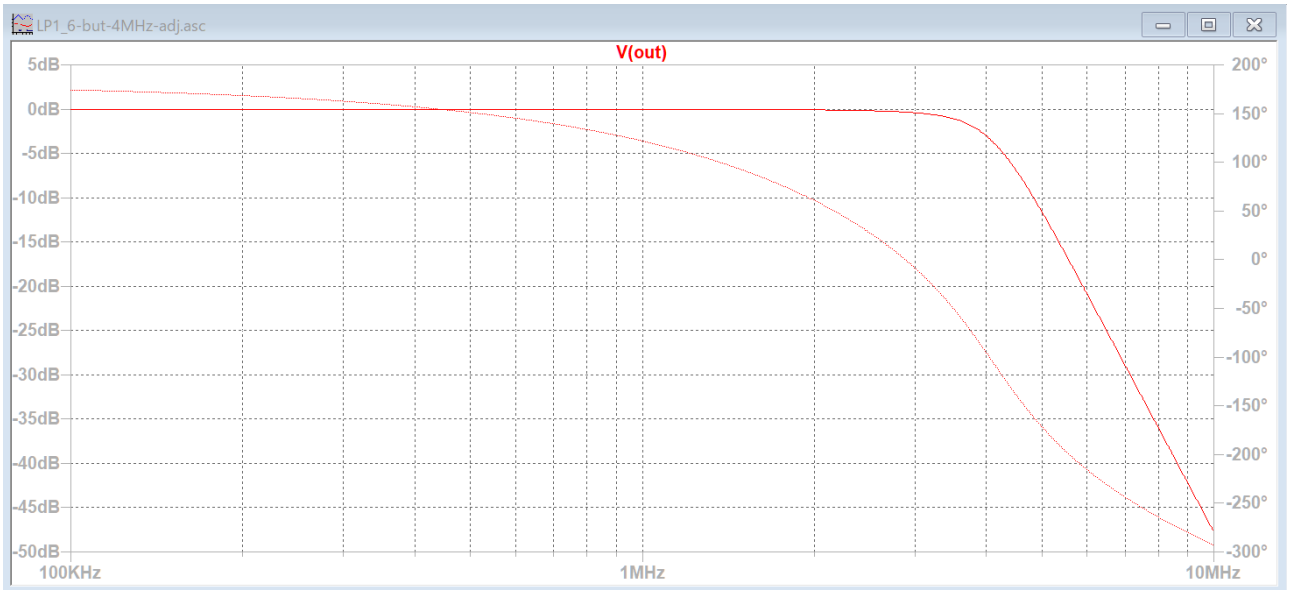
出力を確認する　LP1_6-but-4MHz-test.asc

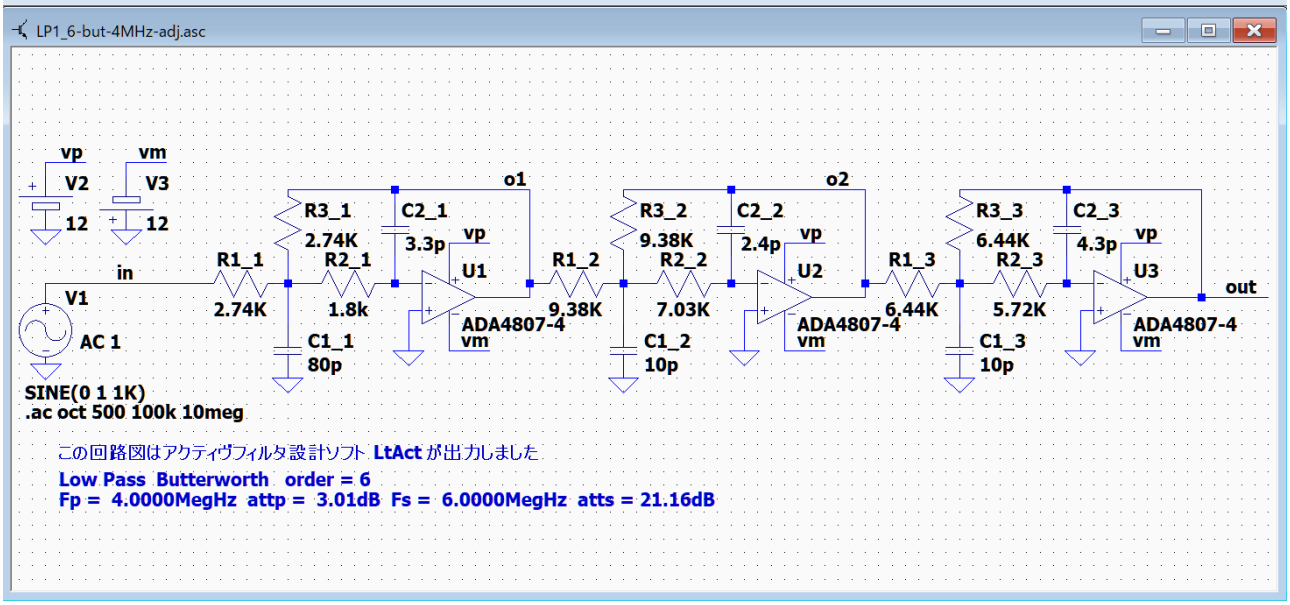


ver.2.90 で追加した機能と利用方法調 整 例　バ タ ー ワ ー ス ・ ロ ー パ ス　LP1_6-but-4MHz.asc

回路図の配線を元に戻した結果

LP1_6-but-4MHz-adj.asc





3MHz のピークが消えて、4MHz のゲインは -3.05dB, 6MHz は-20.8dB に調整できた。

ver.2.90 で追加した機能と利用方法調 整 例　バ タ ー ワ ー ス ・ ロ ー パ ス　LP1_6-but-4MHz.asc

調整例　チェビシェフ・ローパス　LP2_6-chev-4MHz.asc

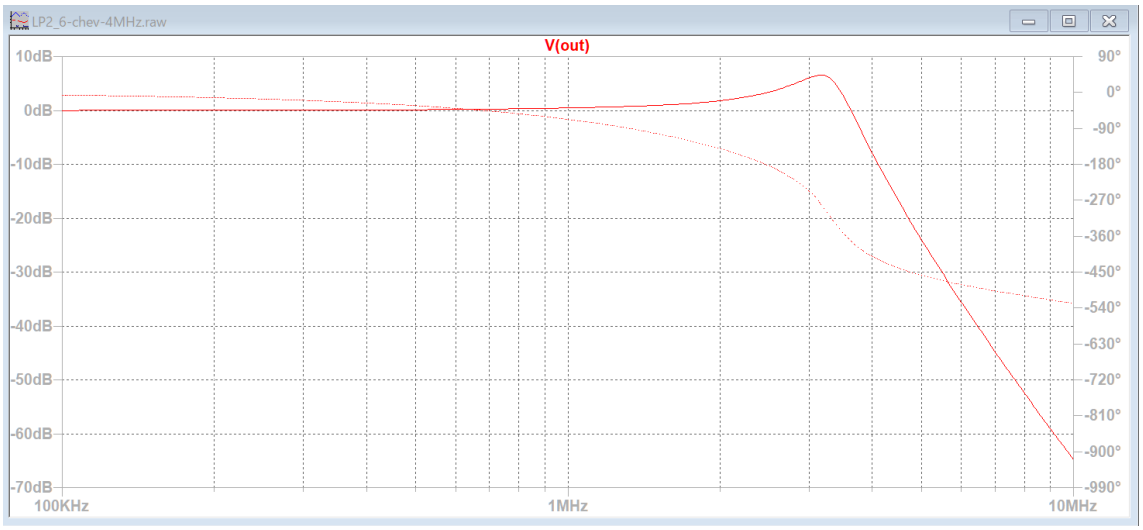
++++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6
Fp = 4.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 6.0000MegHz atts = 27.82dB
２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

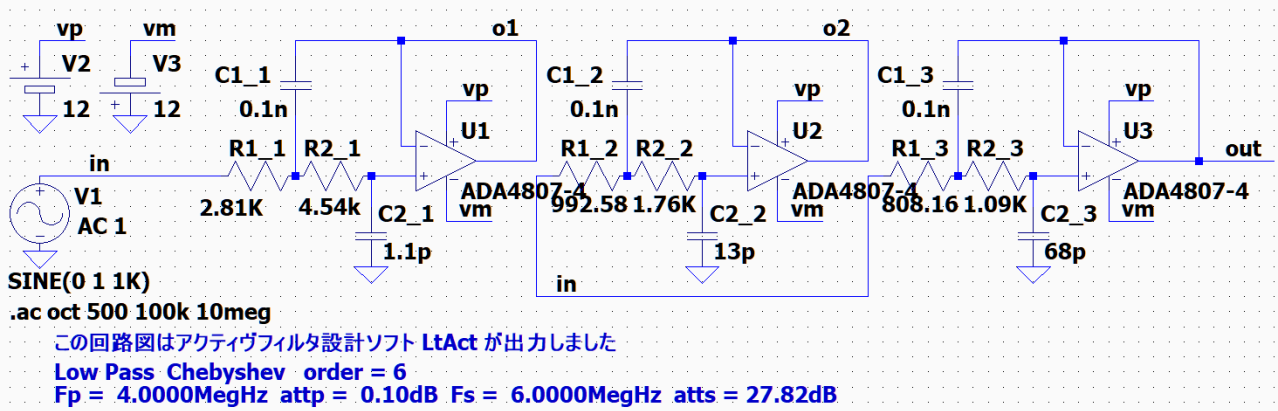
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	5.7651Meg	713.3824T	0	0	713.3824T
	Fc= 4.2509MegHz Fc ゲイン= 13.3171 dB Q = 4.6329 GB 積= 1.9694GHz				
2	15.7506Meg	439.8679T	0	0	439.8679T
	Fc= 3.3380MegHz Fc ゲイン= 2.4873 dB Q = 1.3316 GB 積=444.4732MegHz				
3	21.5157Meg	166.3534T	0	0	166.3534T
	Fc= 2.0528MegHz Fc ゲイン= - 4.4448 dB Q = 0.5995 GB 積=123.0542MegHz				

周波数特性　LP2_6-chev-4MHz.asc



3.2MHz に 6.6dB のピークがあり、4MHz のゲインは -7.83dB になっている。
4MHz は 0dB に近づける必要がある。

回路図の配線を変更して、各ブロックの出力が確認できるようにする。



チェビシェフの参考例によると、「o1 のピークはカットオフ周波数 Fc=4.2509MHz の 96.3%、o2 のピークはカットオフ周波数 Fc=3.3380MHz の 84.6%」なので、o1 のピークは 4.09MHz、o2 のピークは 2.83MHz 付近になると思われる。

１．まず o1 のピーク周波数を 4.09MHz に調整して、Fc= 4.2509MegHz で Fc ゲイン= 13.3171 dB に調整する。

２．次に、o2 のピーク周波数を 2.83MHz に調整して、Fc= 3.3380MegHz で Fc ゲイン= 2.4873 dB に調整する。

３．次に、out の出力を Fc= 2.0528MegHz で Fc ゲイン= - 4.4448 dB に調整する。

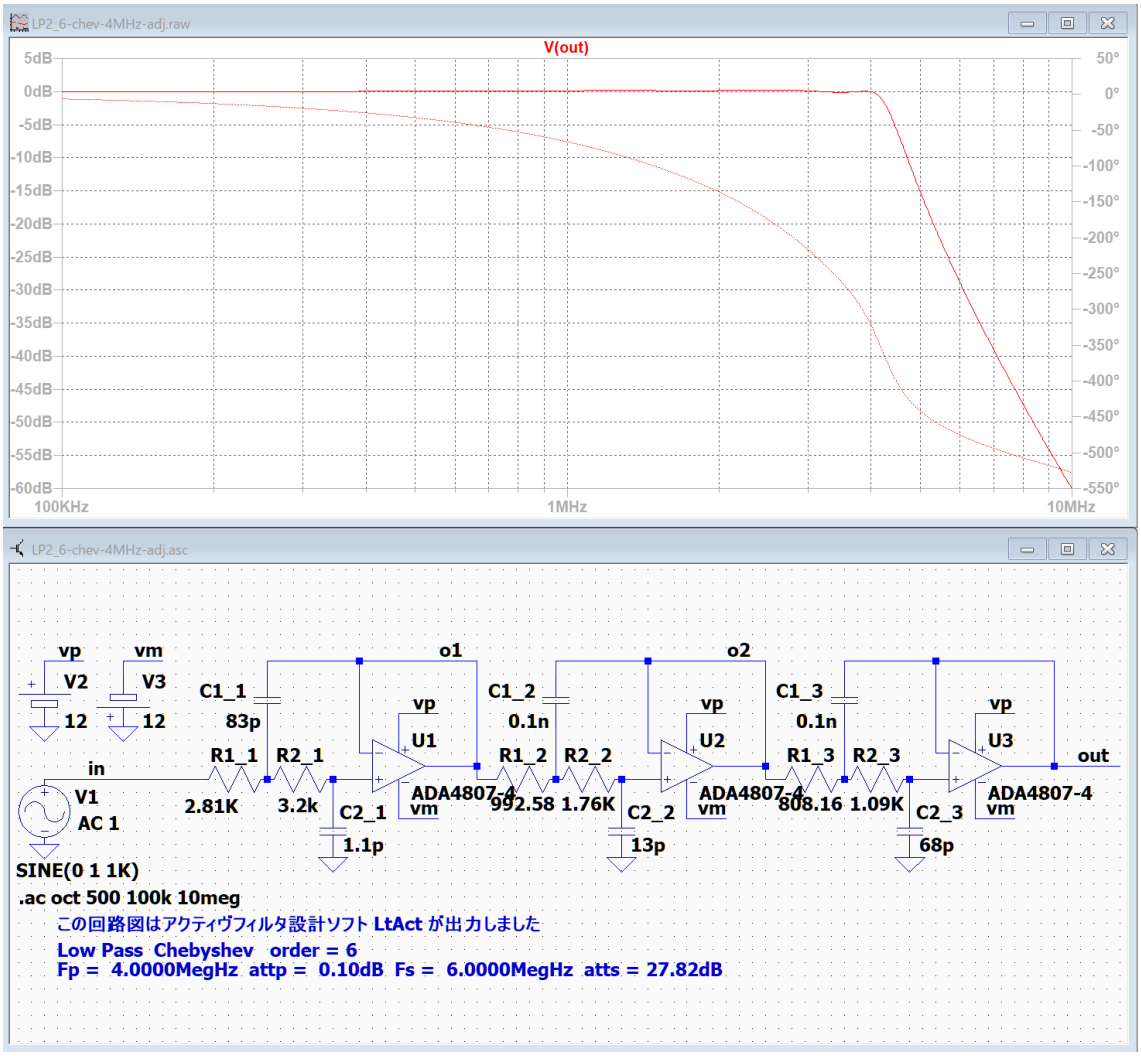
C1_1 = 0.1n -> 83p, R2_1 = 4.54k -> 3.2K により、ピーク 4.16MHz Fc ゲイン 13.66dB
o2 はピークが 2.76MHz で Fc= 3.338MegHz で Fc ゲイン= 2.44 dB なので、調整不要。
out は Fc= 2.0528MegHz で Fc ゲイン= - 4.48 dB なので、調整不要。

出力を確認する　LP2_6-chev-4MHz-test.asc

ver.2.90 で追加した機能と利用方法調整例　チェビシェフ・ローパス　LP2_6-chev-4MHz.asc

回路図の配線を元に戻した結果

LP2_6-chev-4MHz-adj.asc



3.2MHz のピークが消え、4MHz のゲインは -0.04dB , 6MHz は -28.8dB に調整できた。
通過域のリプルは ±0.2dB 程度である。

調整例　逆チェビシェフ・ローパス　LP4_6-inv-4MHz.asc

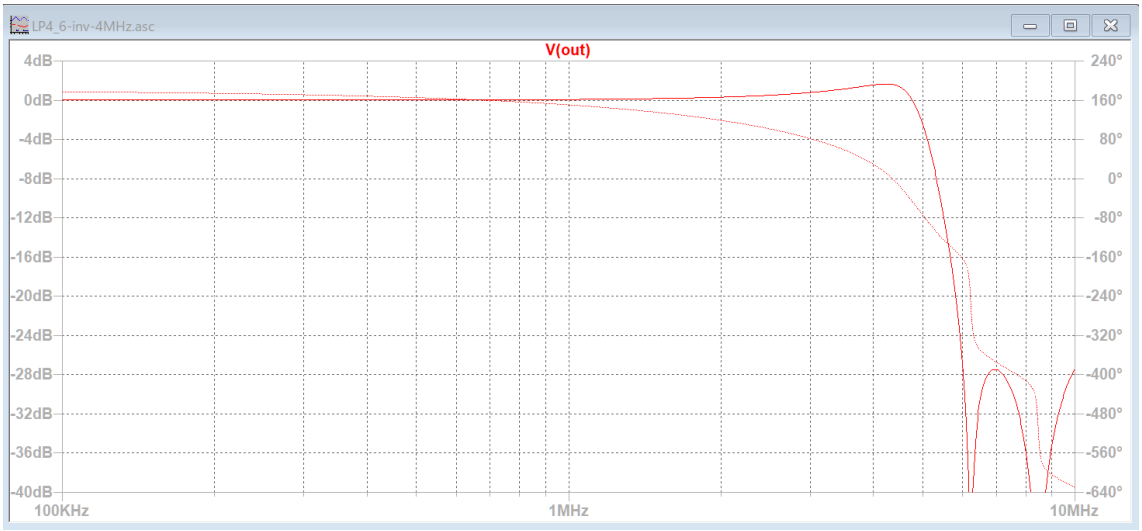
++++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6
Fp = 4.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 6.0000MegHz atts = 27.82dB
２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

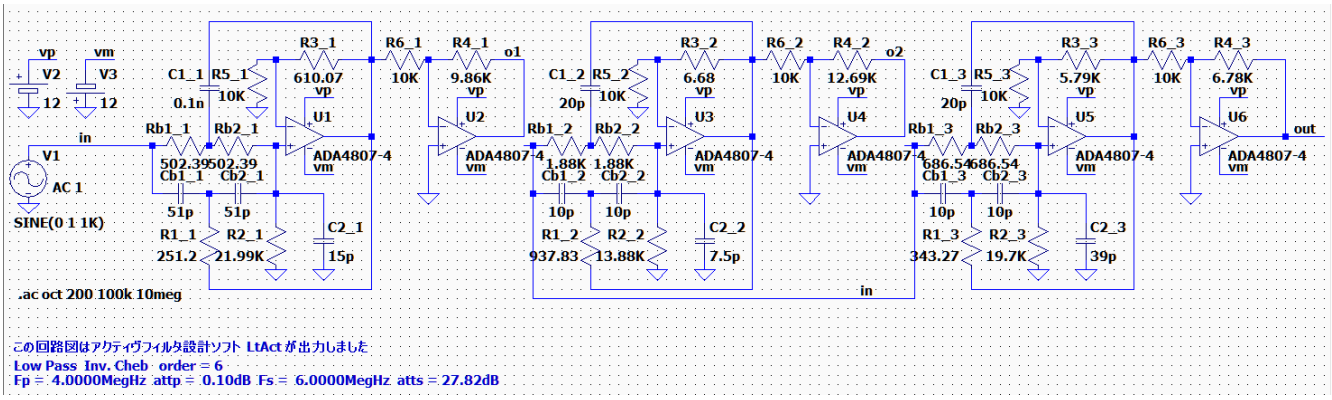
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	9.5812Meg	1002.9079T	0.6584	0	1002.9079T
	Fc= 5.0402MegHz Fc ゲイン= 1.0547 dB Q = 3.3053 GB 積= 1.6660GHz				
2	37.6942Meg	1444.2010T	0.5081	0	1444.2010T
	Fc= 6.0483MegHz Fc ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積=609.7805MegHz				
3	91.9508Meg	2578.9927T	0.1216	0	2578.9927T
	Fc= 8.0825MegHz Fc ゲイン= - 6.2823 dB Q = 0.5523 GB 積=446.3903MegHz				

周波数特性 LP4_6-inv-4MHz.asc



4.24MHz に 1.66dB のピークがあり、4MHz のゲインは 1.55dB。
4MHz で 0dB に近づける。

回路図の配線を変更して、各ブロックの出力が確認できるようにする。



逆チェビシェフの参考例によると、「o1 のピークはカットオフ周波数 Fc=5.0402MHz の 93.3%」なので、o1 のピークは 4.7MHz 付近になると思われる。

１．まず o1 のピーク周波数を 4.7MHz に調整して、Fc= 5.04MegHz で Fc ゲイン= 1.05 dB に調整する。

２．次に、o2 は Fc= 6.0483MegHz で Fc ゲイン= - 6.0914 dB に調整する。

３．次に、out は Fc= 8.0825MegHz で Fc ゲイン= - 6.2823 dB に調整する。

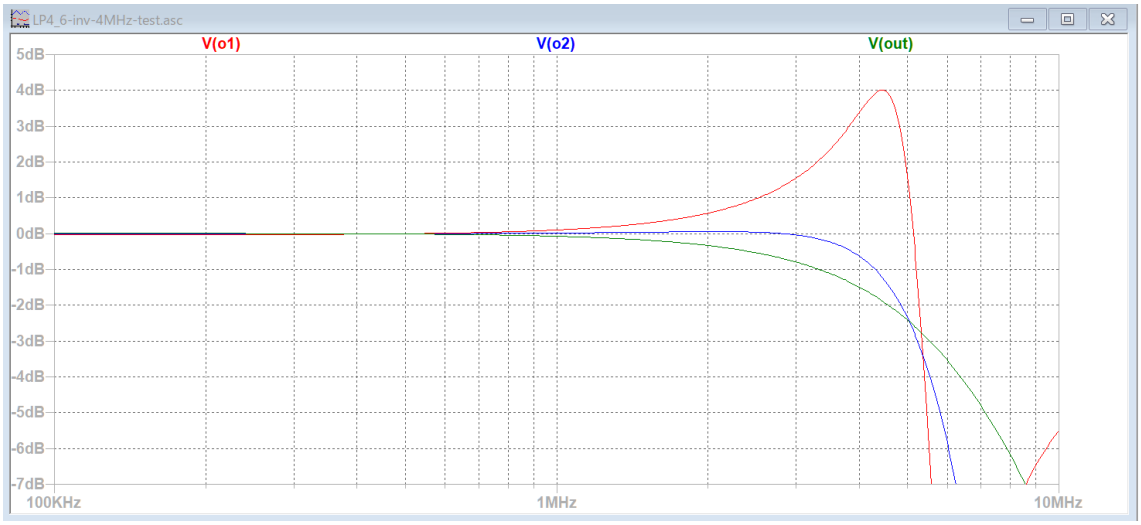
通過域のゲインが大きく変化しないように素子値を調整する必要があります。

o1 は R3_1 = 610.07 -> 560 により、ピーク周波数 4.5MHz , Fc ゲイン 1.06dB

o2 は R1_2 = 937.83 -> 947 により、Fc= 6.0483MegHz で Fc ゲイン= - 6.08 dB

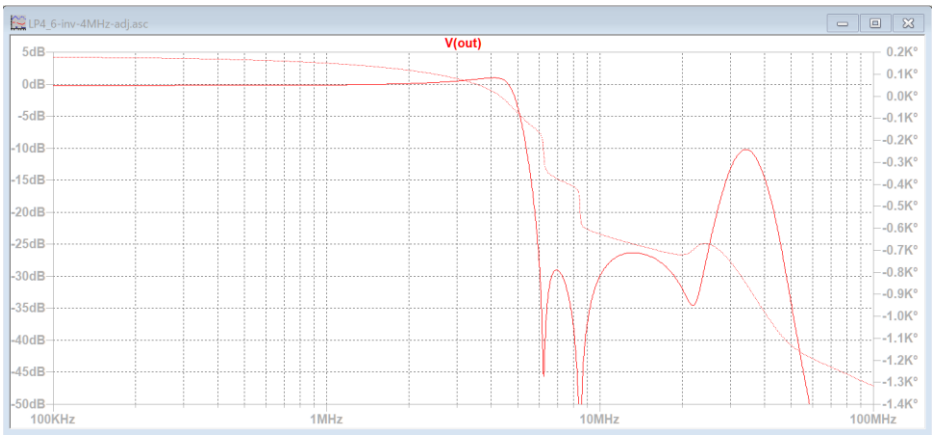
out は R1_3 = 343.27 -> 666 により、Fc= 8.0825MegHz で Fc ゲイン= - 6.28 dB

出力を確認する　LP2_6-chev-4MHz-test.asc

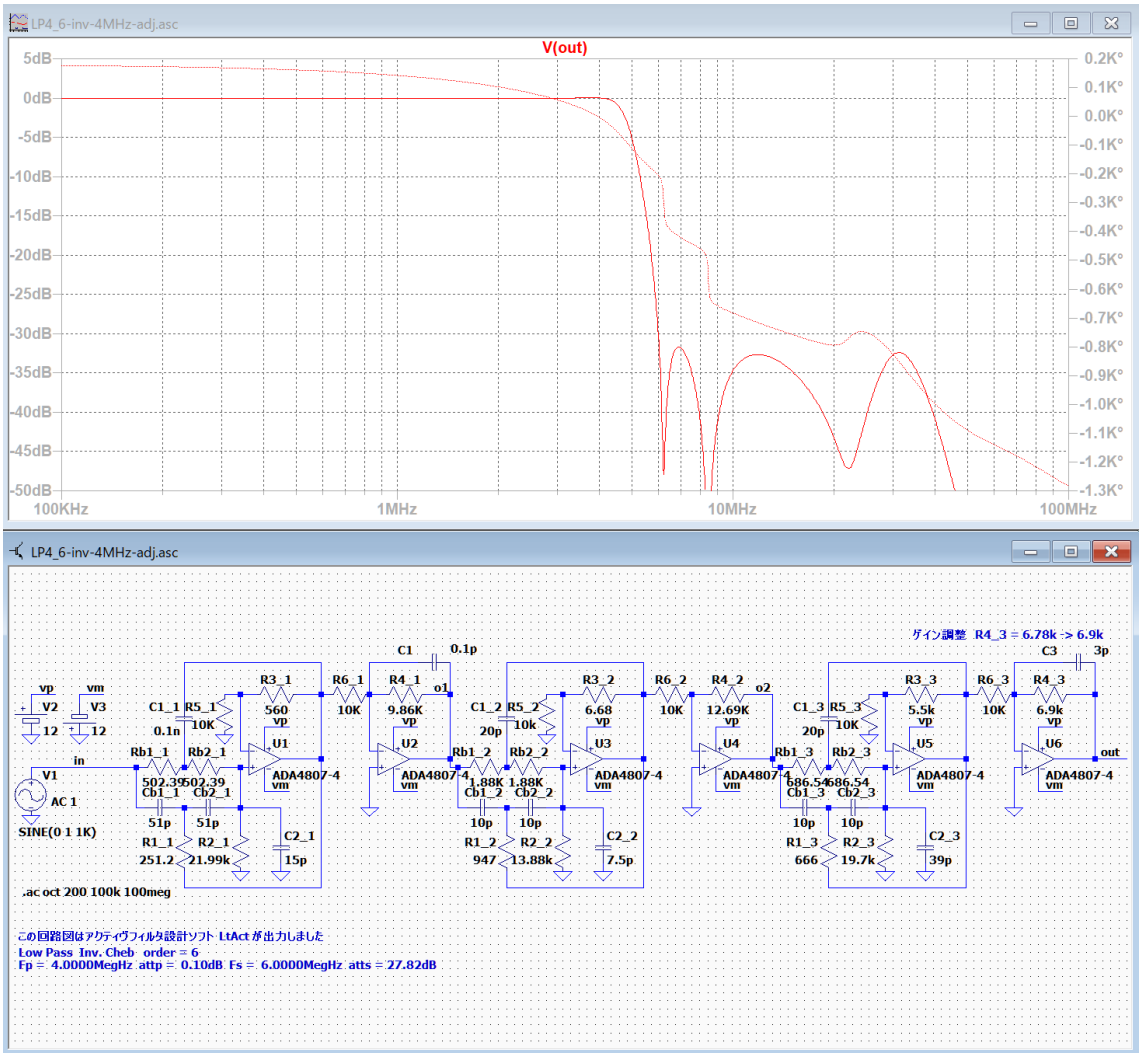


ver.2.90 で追加した機能と利用方法調整例　逆チェビシェフ・ローパス　LP4_6-inv-4MHz.asc

回路図の配線を元に戻した結果



ピークとゲインを調整後 LP4_6-inv-4MHz-adj.asc



4MHz のゲインは 0dB, 4.4MHz は -0.44dB, 6MHz は -30.58dB

阻止域の最低減衰量は -31.73dB が得られた。設計値の -27.82dB を超えた。

ver.2.90 で追加した機能と利用方法調整例　逆チェビシェフ・ローパス　LP4_6-inv-4MHz.asc

調整例　楕円関数・ローパス　LP3_6-ellip-4MHz.asc

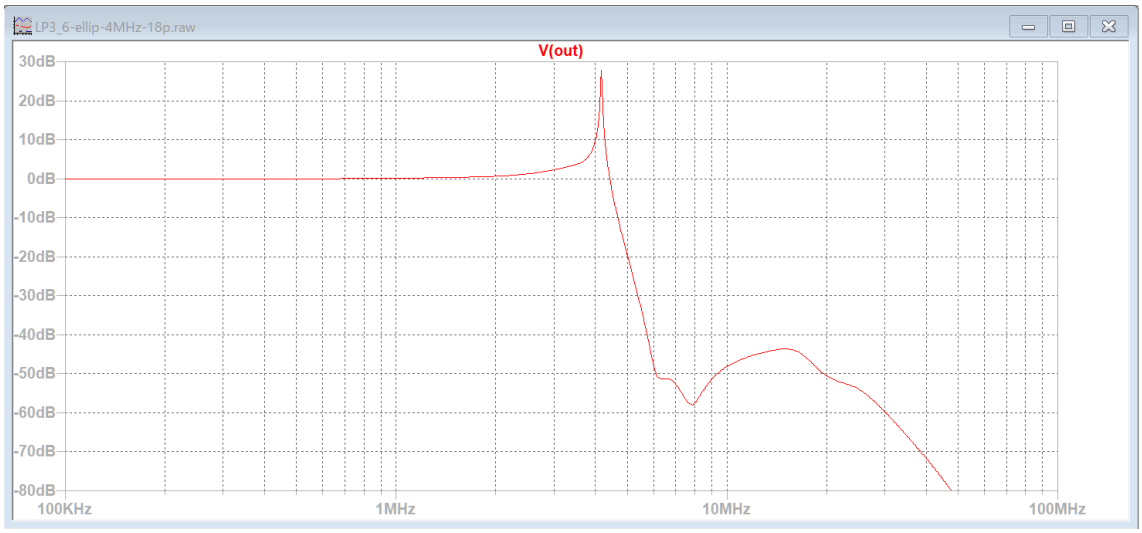
++++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6
Fp = 4.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 6.0000MegHz atts = 57.77dB
２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

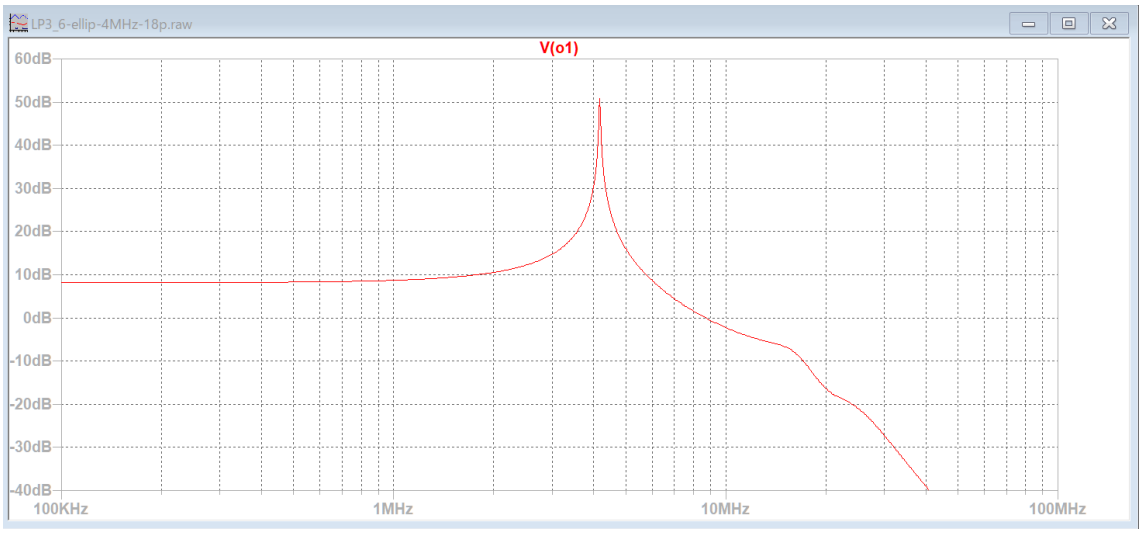
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	4.0406Meg	693.7283T	0.1089	0	1777.0278T
	Fc= 4.1919MegHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積= 2.7325GHz				
2	13.9430Meg	501.5189T	0.1089	0	270.1984T
	Fc= 3.5642MegHz Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積=572.4671MegHz				
3	24.5211Meg	227.5802T	0.1089	0	163.0175T
	Fc= 2.4010MegHz Fc ゲイン= - 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積=147.7117MegHz				

周波数特性 LP3_6-ellip-4MHz-18p.asc



4.17MHz に 27.7dB のピークがある。
Q 値が大きいので、阻止域の櫛型リプルが崩れている。

第 1 ブロックの出力を確認する。

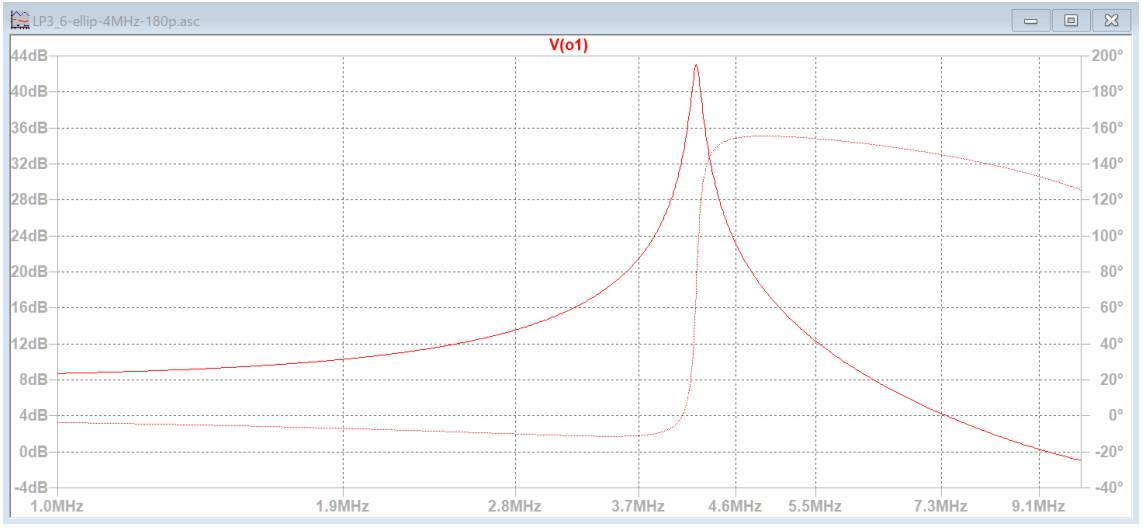


4.17MHz に 50.9dB のピークがある。ピークが鋭くて高すぎる。
第 1 ブロックのコンデンサ値 Cb1_1 = 18p が小さすぎるためと思われる。
Fc= 4.1919MegHz で Fc ゲイン= 24.0757 dB に調整するのは困難である。

「LtAct」で周波数だけを 2MHz に変更して回路図を作成すると、第 1 ブロックのコンデンサの候補値として Cb1_1 = 0.18n = 180p が示される。

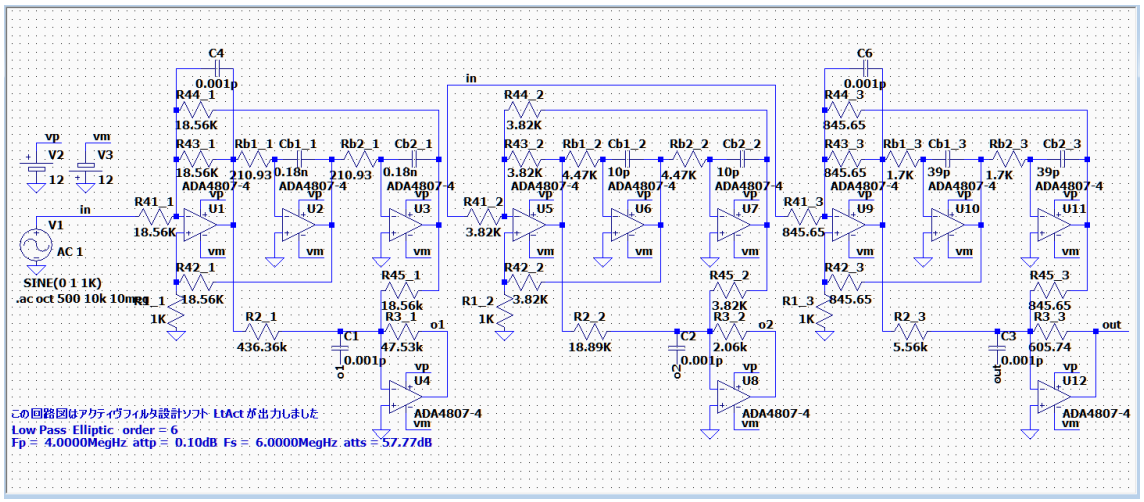
「LtAct」で周波数を 4MHz に戻して回路図を作成する時に、第 1 ブロックのコンデンサ値を Cb1_1 = 0.18n = 180p に設定して、第 1 ブロックの出力を確認する。

LP3_6-ellip-4MHz-180p.asc



ピーク周波数は 4.2MHz でピークは 43dB に低下して丸みを帯びてきた。

回路図の配線を変更して、各ブロックの出力が確認できるようにする。



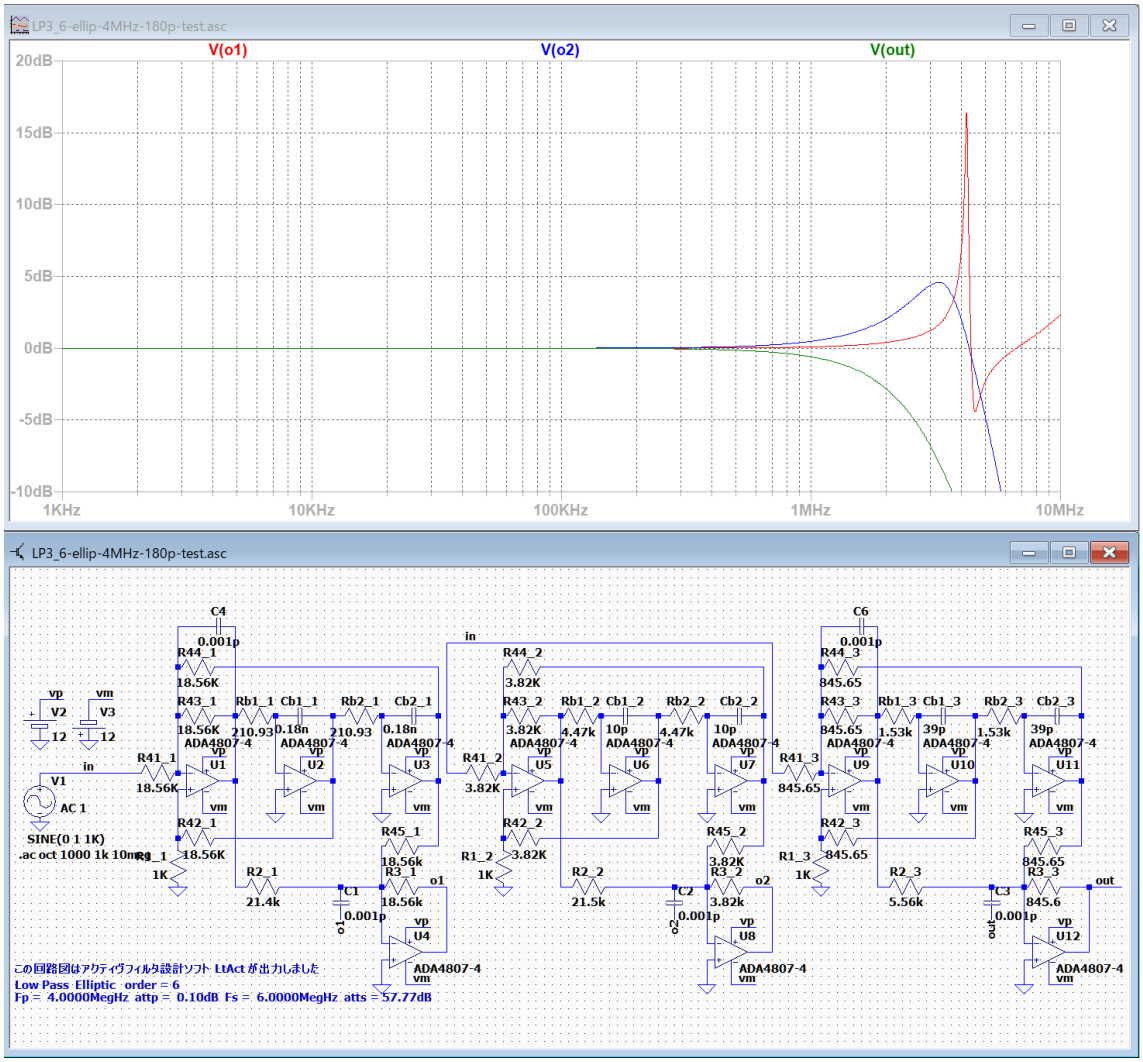
「参考例 楕円関数」から、「o1 のピークはカットオフ周波数 Fc=4.1919MHz の 99.2%、o2 のピークはカットオフ周波数 Fc=3.5642MHz の 85.3%」なので、o1 のピークは 4.158MHz、o2 のピークは 3.04MHz 付近になると思われる。

各ブロックの通過域ゲインが 0dB にならないので、調整は次の手順でやってみる。

1．各ブロックの R3_?を調整して、通過域のゲインを 0dB に調整する。
2．Q 値が 1 を越える（第 1 と第 2）ブロックは上で計算したピーク周波数に合わせる。
3．各ブロックの Fc におけるゲインを、Q 値をデシベル値に変換した値に調整して、ファイル名を...test.asc および...adj-0.asc として保存する。
4．...adj-0.asc の回路図の配線を元に戻す。
5．各ブロックの出力「o1」，「o2」および「out」の周波数特性を調整する。4MHz 付近にピークがある場合は、C4=0.2p 程度を設定する。...adj-0.asc を保存する。
6．各ブロックの R3_?を元の値に戻す。...adj.asc として保存する。
7．周波数特性を計算して、「out」の通過域ゲインが 0dB でなければ、第 3 ブロックの R3_3 を調整して 0dB に合わせる。
8．阻止域のピークを調整後、全体の周波数特性を再調整する。

「o1」の通過域ゲインは 8.168dB (2.56 倍)なので、R3_1 = 47.53k を 2.56 で割った値 18.56K に変更して通過域ゲインを確認する。回路図に表示されている数値は小数点以下 3 桁を四捨五入しているため、0dB にならないことがあるので微調整する。
「o2」の通過域ゲインは-5.364B (0.539262 倍)なので、R3_2 = 2.06k を 0.539262 で割った値 3.82K に変更して通過域ゲインを確認する。
「out」の通過域ゲインは-2.898B (0.716308 倍)なので、R3_3 = 605.74 を 0.71630 で割った値 845.6 に変更して通過域ゲインを確認する。

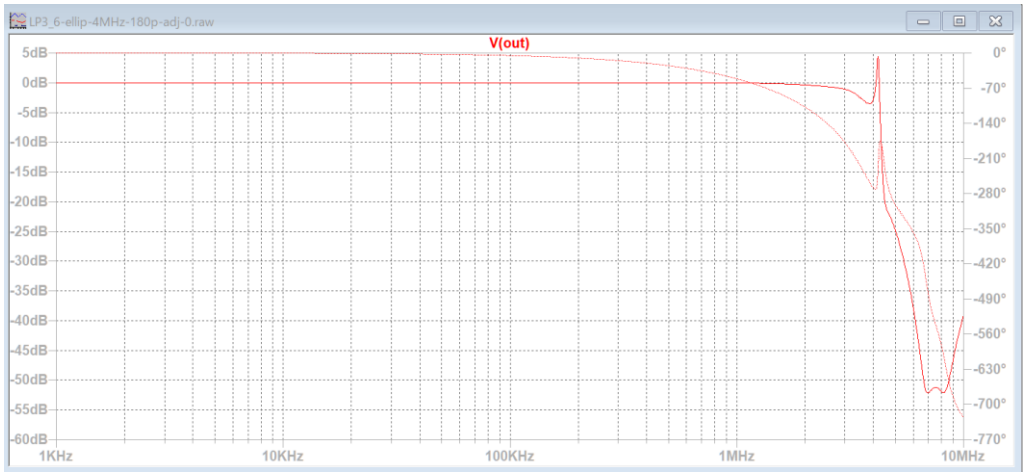
「o1」の現在のピーク周波数は 4.2MHz なので目標の周波数 4.158MHz より少し高いが、4MHz 付近のゲインを確保したいので、最後の全体調整の時に調整することにする。
Fc=4.1919MHz のゲインを Q 値（6.5185）をデシベルに変換した値 16.283dB に調整する。
現在、Fc=4.1919MHz のゲインは　33.807dB である。R2_1 = 436.36K -> 21.4k に調整すると、16.12dB に調整できた。
「o2」の現在のピーク周波数は 3.22MHz なので目標の周波数より少し高いが、4MHz 付近
のゲインを確保したいので、最後の全体調整の時に調整することにする。
Fc=3.5642MHz のゲインを Q 値（1.6062）をデシベルに変換した値 4.116dB に調整する。
現在、Fc=3.5642MHz のゲインは　3.84dB である。R2_2 = 18.9K -> 21.5k4k に調整すると、4.115dB に調整できた。
「out」の Fc= 2.4010MHz のゲインを Q 値（0.6152）をデシベルに変換した値 -4.21967dB に調整する。
現在、Fc=2.4010MHz のゲインは　-5.334dB である。Rb1_3 = 1.7K -> 1.53k に調整すると、-4.22dB に調整できた。



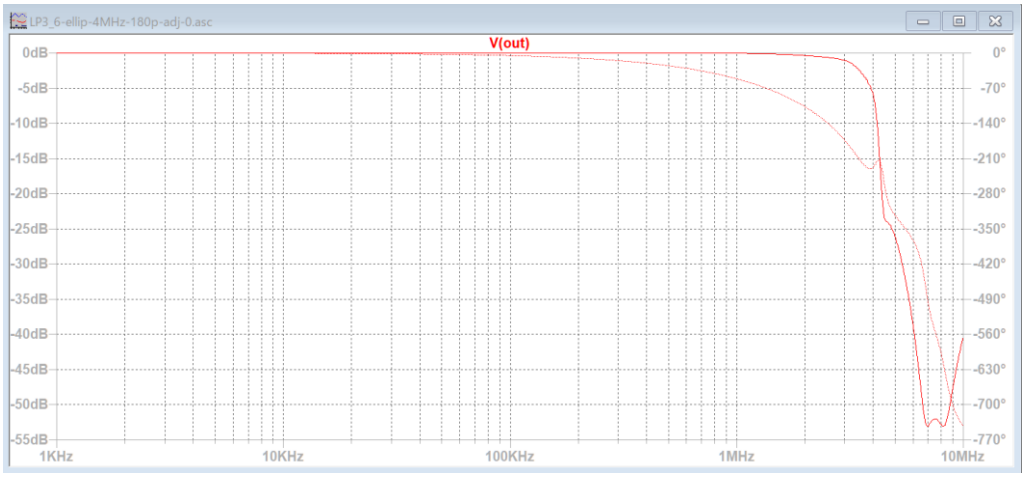
...test.asc および ...adj-0.asc として保存する。

...adj-0.asc の回路図の配線を元に戻して、周波数特性を確認する。

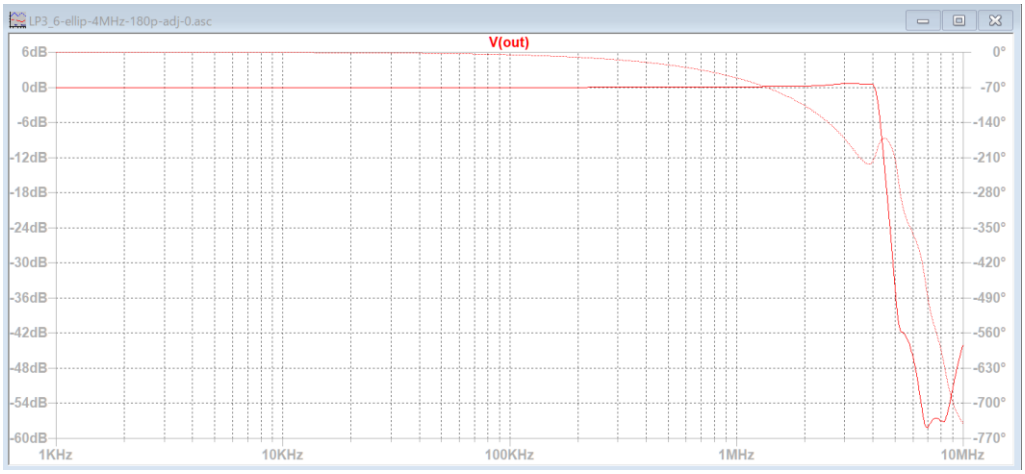
LP3_6-ellip-4MHz-180p-adj-0.asc



C4=0.2p に設定して 4MHz 付近のピークを除去する。



R2_1 = 21.4k -> 29k によって、通過域を 4MHz まで広げる。



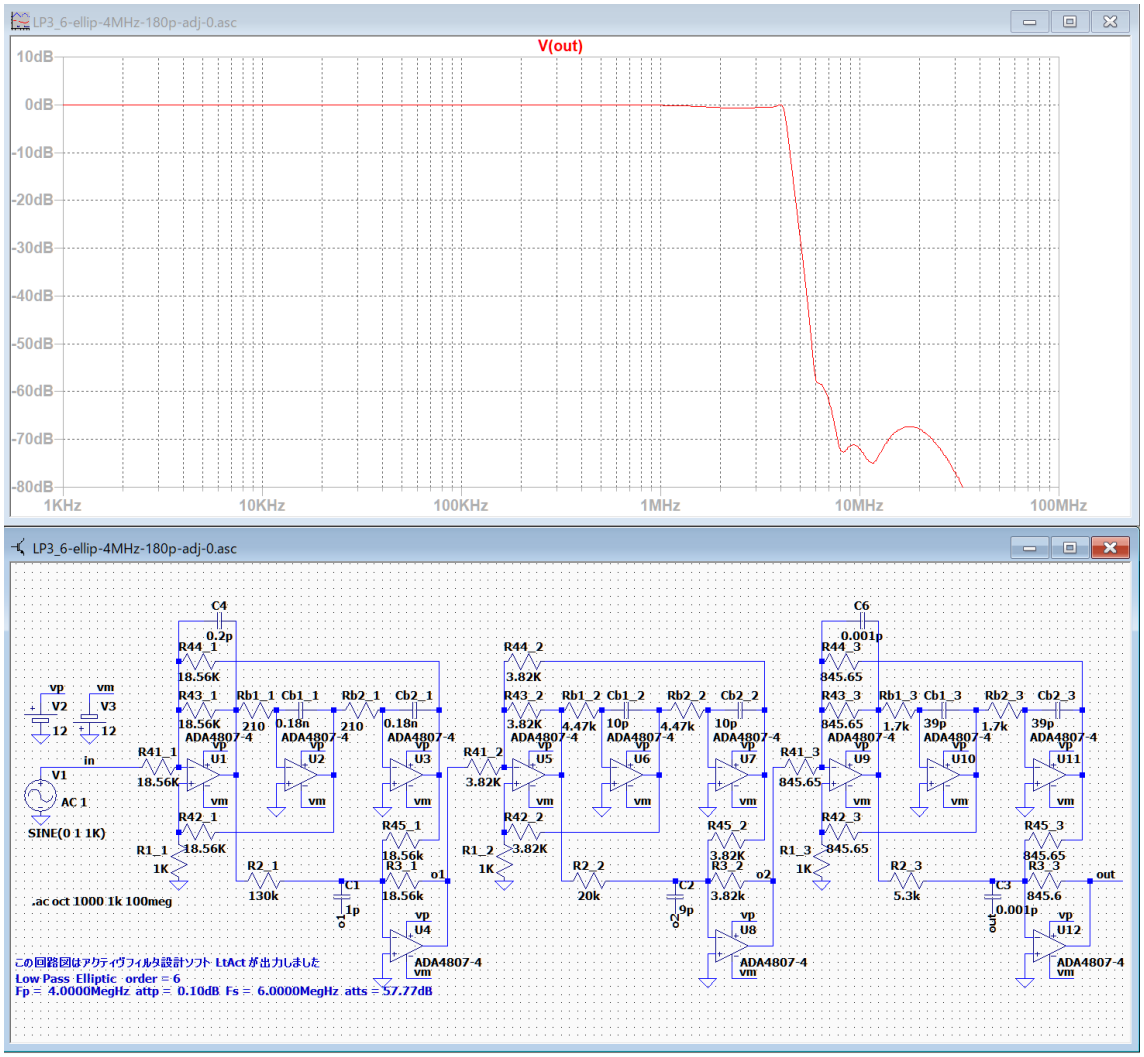
最終的に、

Rb1_1 = 210.93 -> 210, R2_1 = 21.4K -> 130k, C1 = 1p

R2_2 = 21.5k -> 20k, C2 = 9p

Rb1_3 = 1.53k -> 1.7k に戻す。

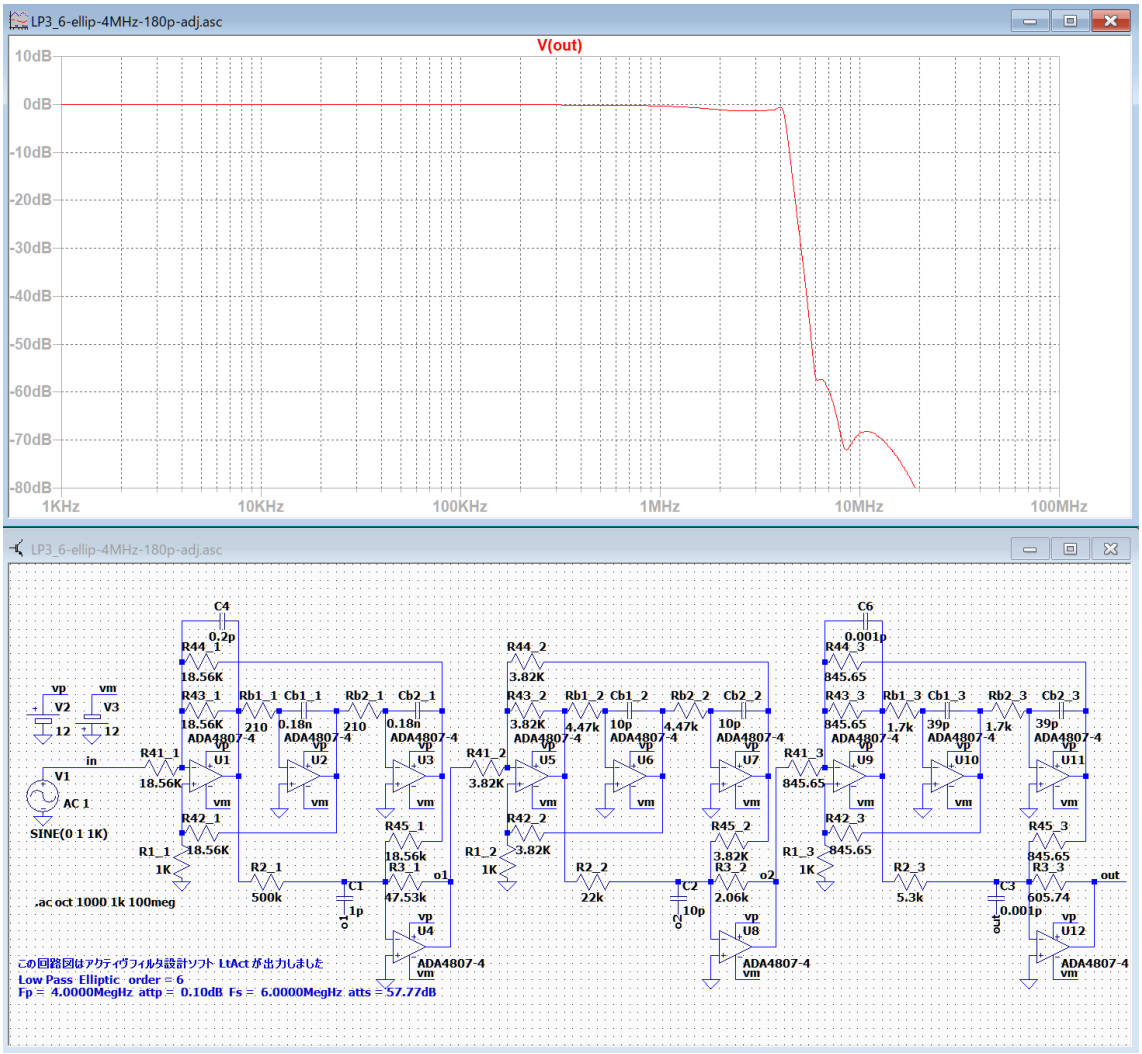
LP3_6-ellip-4MHz-180p-adj-0.asc



4MHz で 0dB, 6MHz で -57.2dB となり、ほぼ設計値(-57.77dB)が得られた。
...adj-0.asc および ...adj.asc として保存する。

最後に、...adj.asc の各ブロックの R3_?を元の値にもどして調整する。

LP3_6-ellip-4MHz-180p-adj.asc



最終的に、

R3_1 = 18.56k -> 47.53k, R2_1 = 130K -> 500K,

R3_2 = 3.82k -> 2.06k, R2_2 = 20k -> 22k, C2 = 9p -> 10p

R3_3 = 845.6 -> 605.74

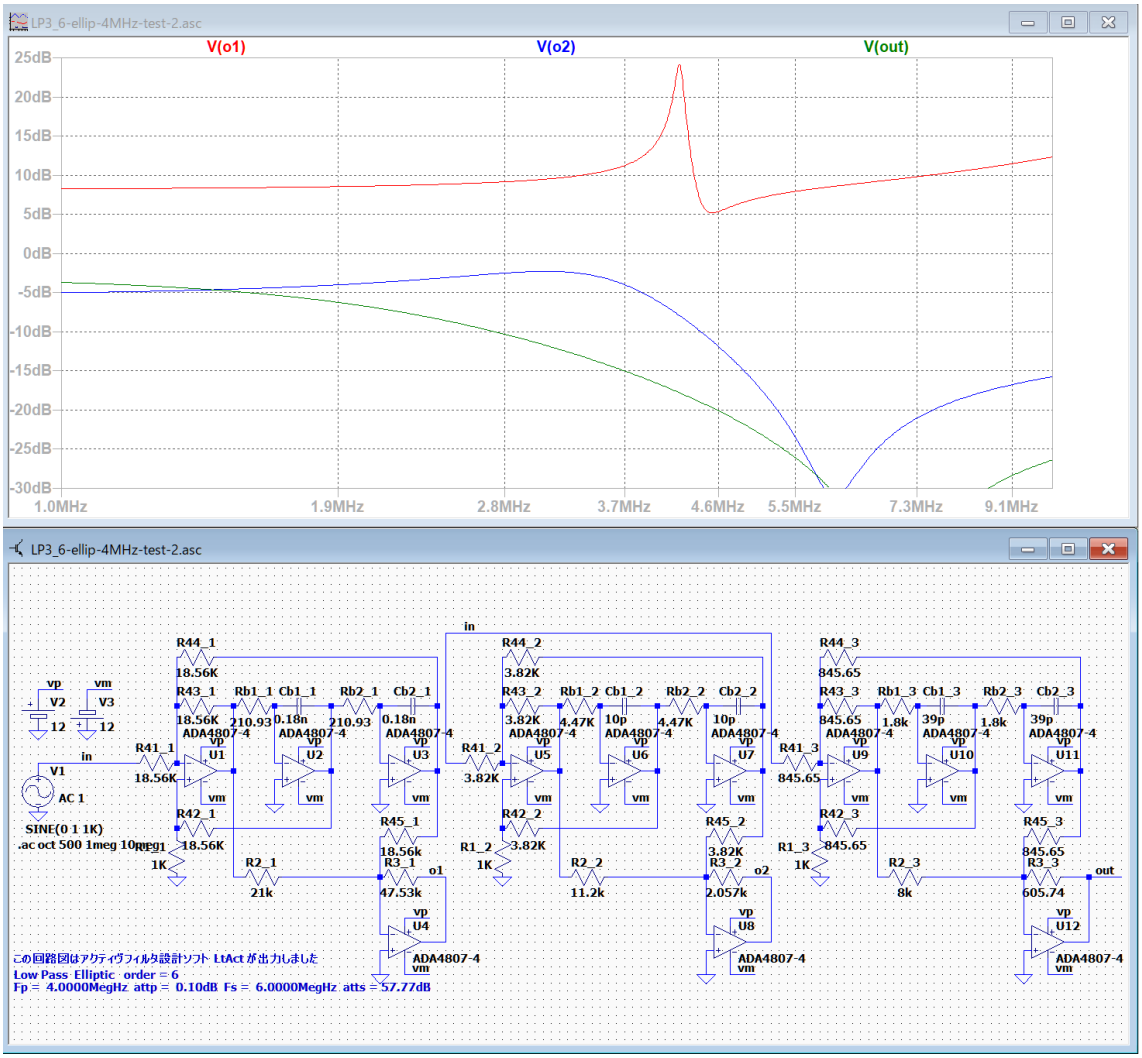
4MHz で -0.65dB, 6MHz で -56.6dB となり、設計値に及ばない結果になった。

調整をやり直す

各ブロックの通過域ゲインを 0dB に調整してからピーク周波数と Fc ゲインを調整する方法ではあまりよい結果が得られなかった

通過ゲインの調整はせずに、「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」で表示されたカットオフ周波数 Fc における Fc ゲインおよびピーク周波数を調整してみた。

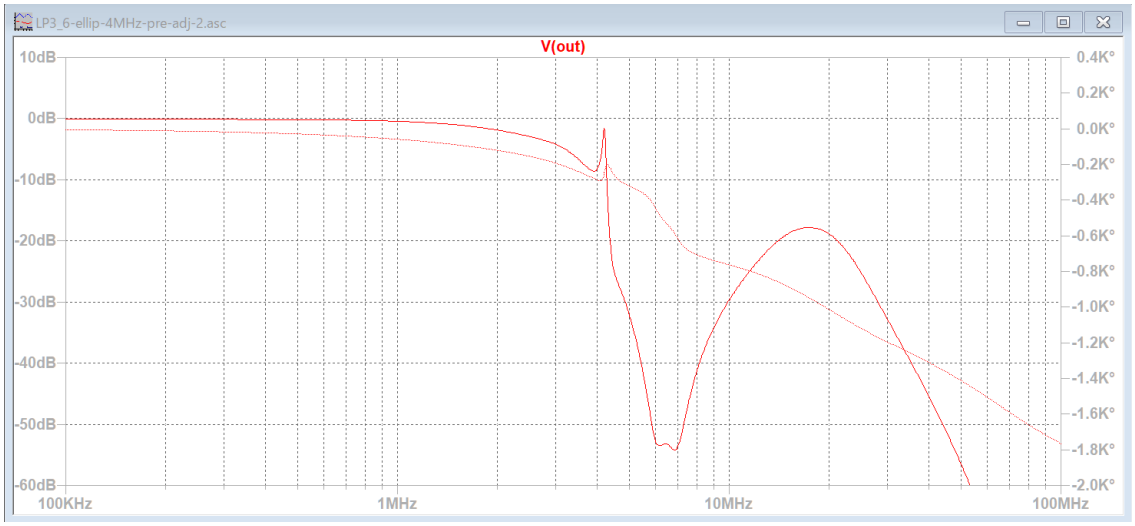
LP3_6-ellip-4MHz-test-2.asc



「o1」：R2_1 = 436.36K -> 21K で、4.192MHz で 23.87dB,
「o2」：R2_2 = 18.89K -> 11.2K で、3.564MHz で -3.3dB,
「out」：Rb1_3 = 1.7K -> 1.8K, R2_3 = 5.56K -> 8K で、2.4MHz で -8.39dB
に調整した。

回路図の配線を元にもどして周波数特性を確認する。

LP3_6-ellip-4MHz-pre-adj-2.asc

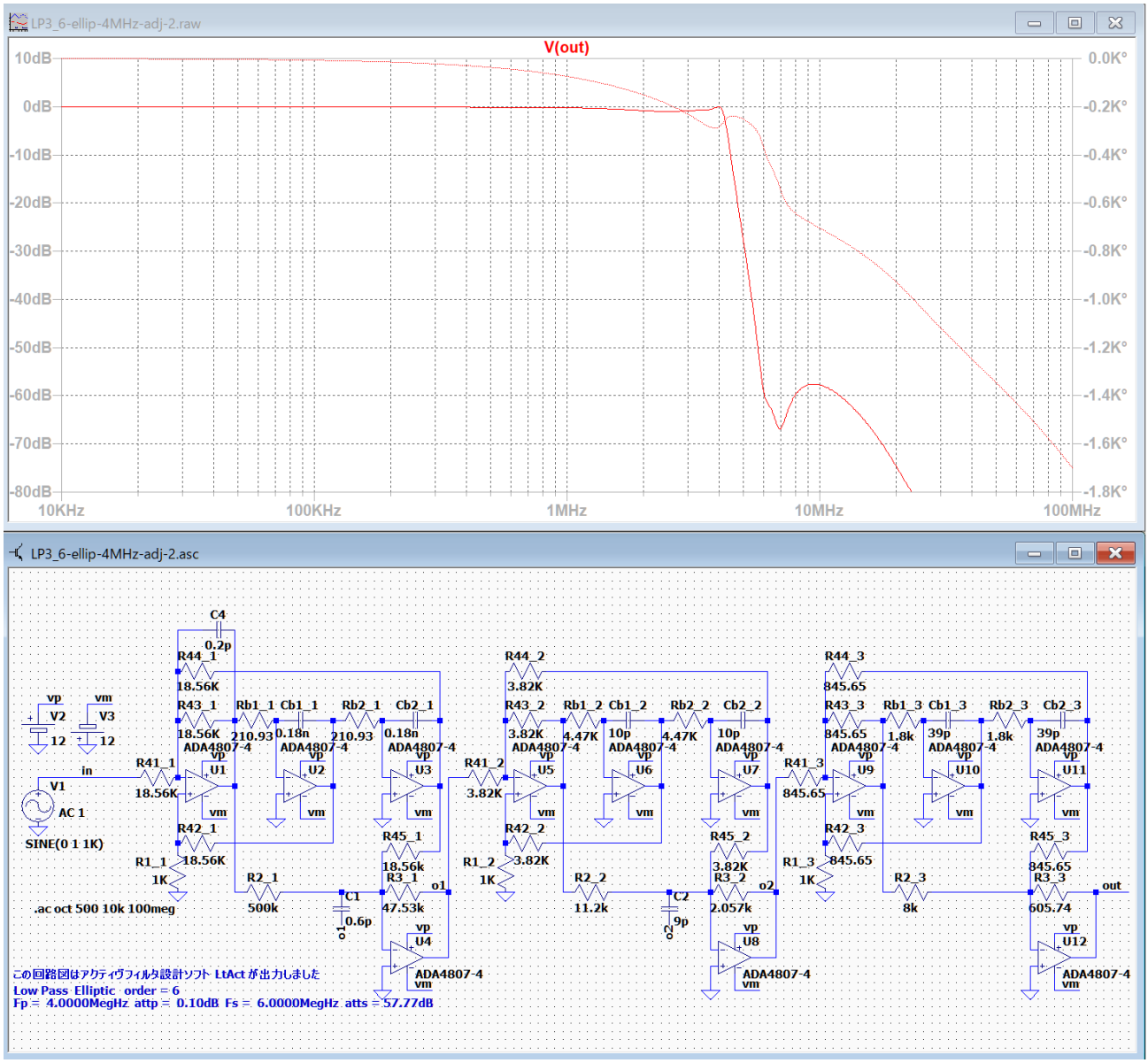


1MHz 付近からゲインが 0dB 以下に減衰し始めているので、第 1 ブロックのゲインを調整する必要がある。4MHz のゲインと阻止域のピークも調整が必要。

「o1」：R2_1 = 21K -> 500K, C1 = 0.2p, C1 = 0.6p,
「o2」：C2 = 9p,
のように調整した。

完成した回路図

LP3_6-ellip-4MHz-adj-2.asc



4MHz のゲインは -0.04dB, 6MHz は -59.1dB, 阻止域の最低減衰量は -57.6dB が得られた。

櫛型リプルのかけらのようなものが見られる。

調整例　楕円関数・ローパス　LP4_6-ellip-4MHz.asc

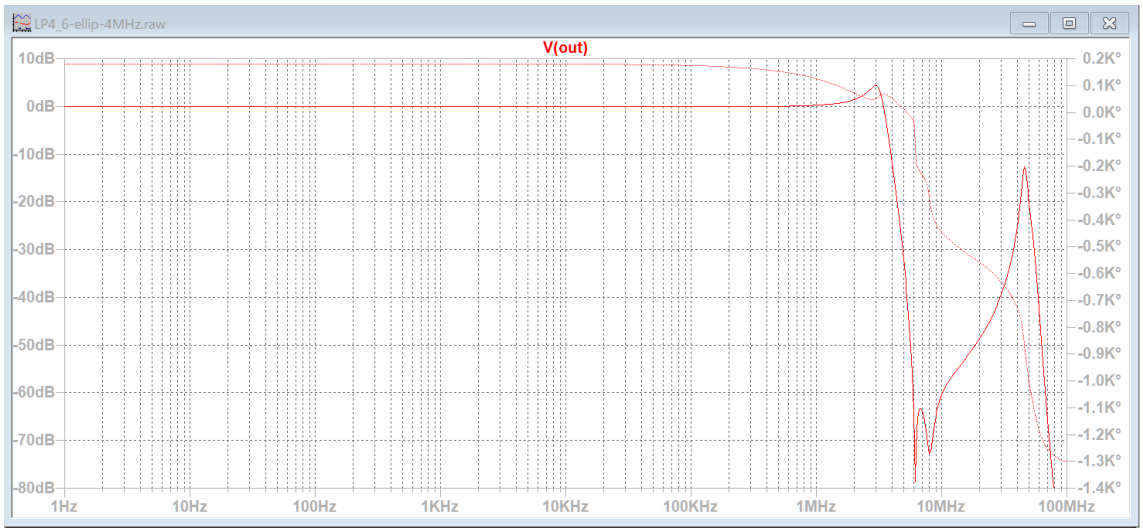
++++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6
Fp = 4.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 6.0000MegHz atts = 57.77dB
２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	4.0406Meg	693.7283T	0.1089	0	1777.0278T
	Fc= 4.1919MegHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積= 2.7325GHz				
2	13.9430Meg	501.5189T	0.1089	0	270.1984T
	Fc= 3.5642MegHz Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積=572.4671MegHz				
3	24.5211Meg	227.5802T	0.1089	0	163.0175T
	Fc= 2.4010MegHz Fc ゲイン= - 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積=147.7117MegHz				

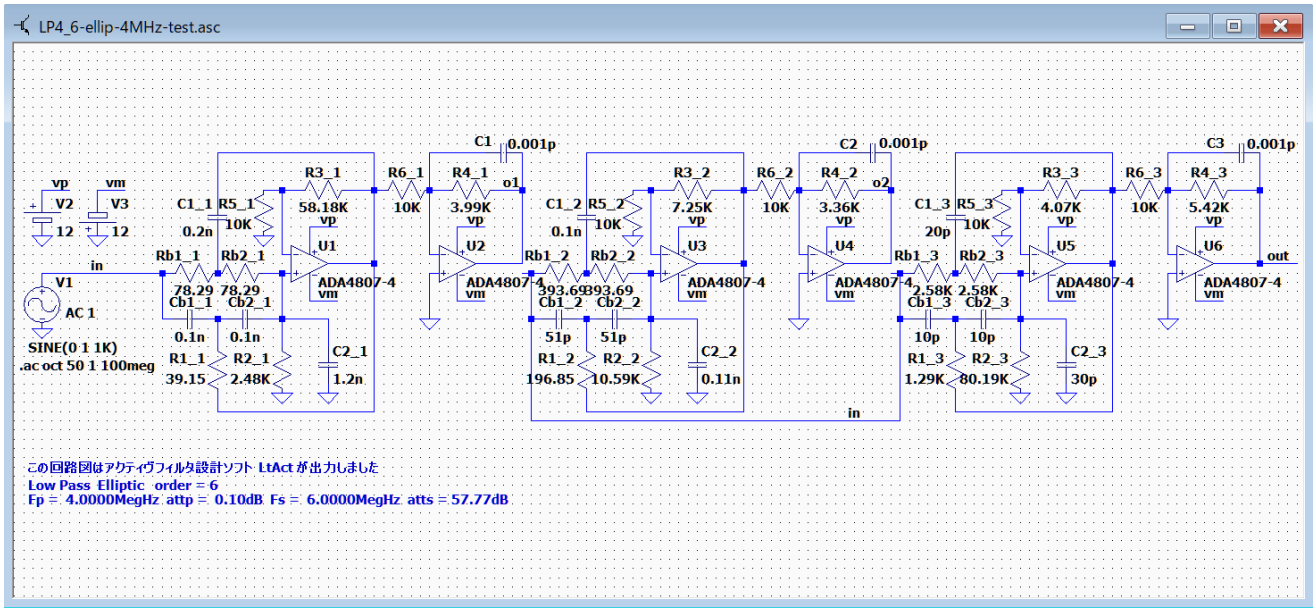
周波数特性 LP4_6-ellip-4MHz.asc



3MHz に 4.35dB のピークがあり、4MHz のゲインは -11.26dB。
4MHz で 0dB, 6MHz で -57dB に近づける。

回路図の配線を変更して、各ブロックの出力が確認できるようにする。

LP4_6-ellip-4MHz-test.asc



LP3_6-ellip-4MHz-180p.asc では調整手順が複雑すぎて疲れてしまったので、今回は各ブロックの通過域ゲインを 0dB に調整しないで、ピーク周波数と Fc ゲインを調整する。

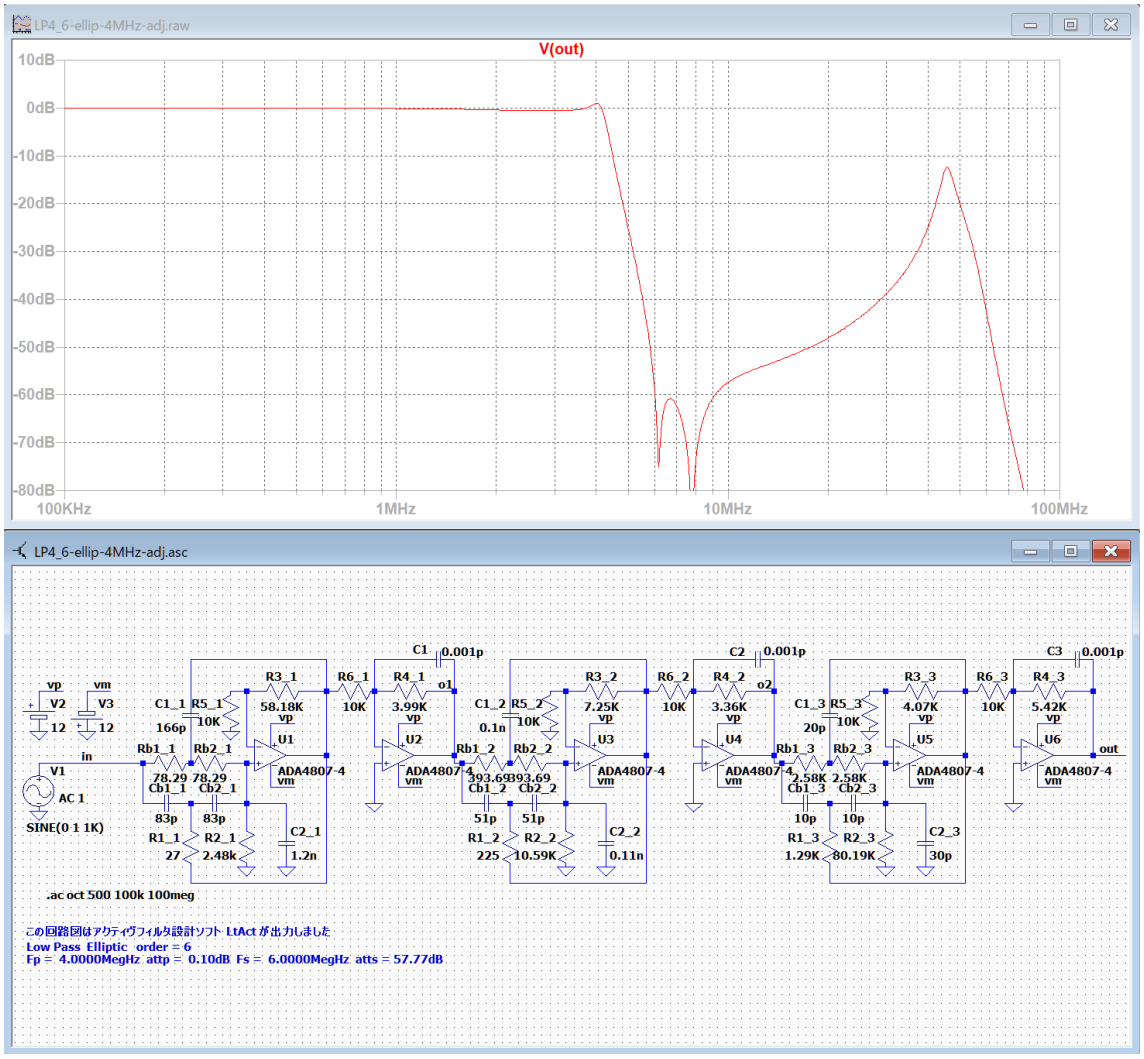
「o1」の現在のピーク周波数を 4.158MHz に調整して、Fc=4.1919MHz のゲインを 24.0757dB に調整する。
「o2」の現在のピーク周波数を 3.22MHz に調整して、Fc=3.5642MHz のゲインを-3.2183dB に調整する。
「out」の Fc= 2.4010MHz のゲインを -8.5502dB に調整する。

Cb1_1 = 83p, C1_1 = 166p, R1_1 = 27 に設定して、ピーク周波数を 4.14MHz, Fc=4.1919MHz のゲインを 24.82dB に調整した。
R1_2 = 225 に設定して、ピーク周波数を 3MHz, Fc=3.5642MHz のゲインを -3.24dB に調整した。
「out」は 2.4MHz で-8.6dB なので、無調整。

LP4_6-ellip-4MHz-test.asc および LP4_6-ellip-4MHz-adj.asc として保存する。

LP4_6-ellip-4MHz-adj.asc の回路図の配線を元にもどして周波数特性を確認する。

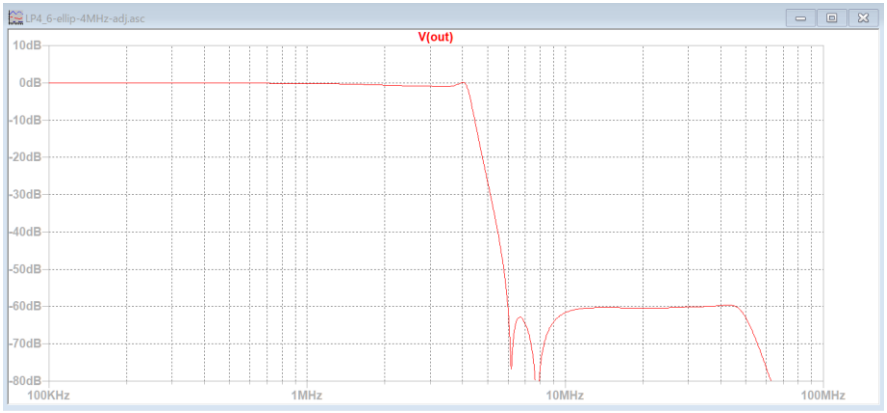
LP4_6-ellip-4MHz-adj.asc



4MHz 付近は少し調整が必要だが、6MHz のゲインは -59dB に達している。

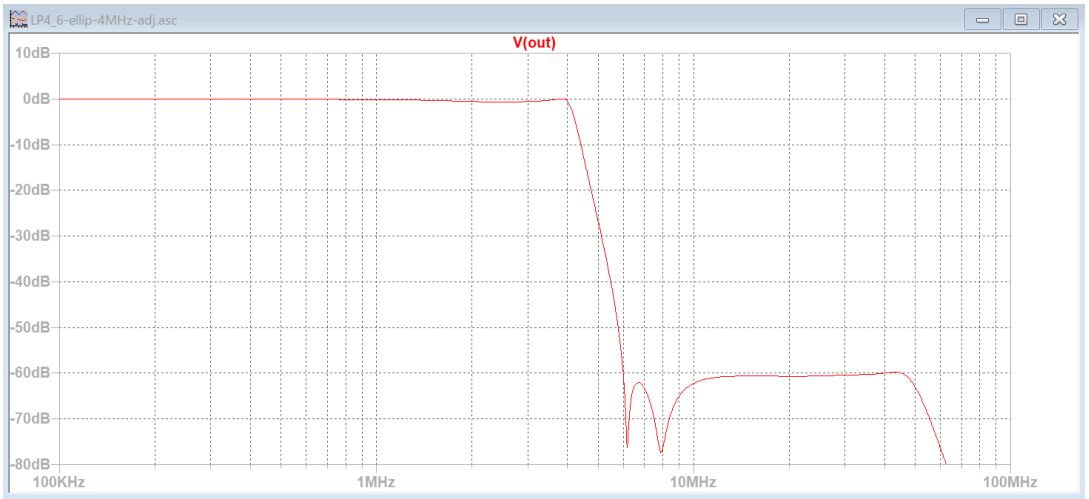
基本回路 LP4 は LP3 と比較するとオペアンプの個数が少ないので、高周波数領域における位相遅れの影響が少なくて、調整がしやすいかもしれない。

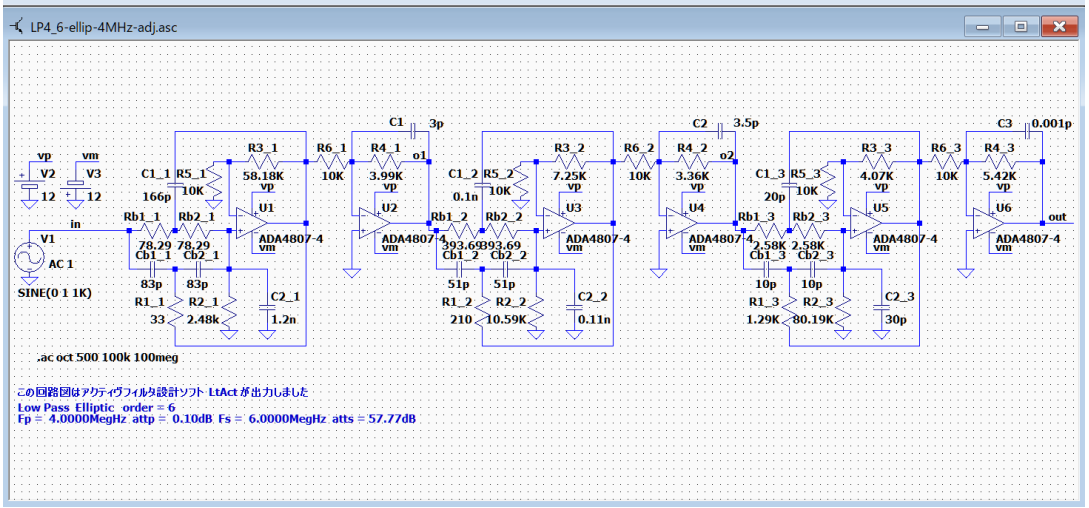
最初に、C1 = 3p, C2 = 3.5p で阻止域のピークを調整した。



R1_1 = 33 と R1_2 = 210 により、4MHz 付近のゲインの微調整を行った。

LP4_6-ellip-4MHz-adj.asc





4MHz で-0.5dB, 6MHz で -60.3dB に調整できた。きれいな櫛型リプルが見られる。

基本回路 LP4 は意外に調整がしやすいと思う。

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」の例

LP フィルタ
バターワース

++++++++++ 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 Butterworth 次数=6
Fp = 1.0000KHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000KHz atts = 21.16dB
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	3.2524K	39.4784Meg	0	0	39.4784Meg
	Fc= 1.0000KHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積=193.1852KHz				
2	8.8858K	39.4784Meg	0	0	39.4784Meg
	Fc= 1.0000KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積= 70.7107KHz				
3	12.1382K	39.4784Meg	0	0	39.4784Meg
	Fc= 1.0000KHz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積= 51.7638KHz				

LP バターワースではすべてのブロックのカットオフ周波数が同じなので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算すると、すると、-3.01dB になる。

バターワースでは、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値と等しくなる。

チェビシェフ

++++++++++ 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 Chebyshev 次数=6
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 27.82dB
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	1.4413K	44.5864Meg	0	0	44.5864Meg
	Fc= 1.0627KHz	Fc ゲイン= 13.3171 dB	Q = 4.6329	GB 積=492.3506KHz	
2	3.9376K	27.4917Meg	0	0	27.4917Meg
	Fc= 834.4905 Hz	Fc ゲイン= 2.4873 dB	Q = 1.3316	GB 積=111.1183KHz	
3	5.3789K	10.3971Meg	0	0	10.3971Meg
	Fc= 513.1876 Hz	Fc ゲイン= - 4.4448 dB	Q = 0.5995	GB 積= 30.7635KHz	

LP バターワース以外ではすべてのブロックのカットオフ周波数が異なるので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算することは意味がない。

チェビシェフでも、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値と等しくなる。

逆チェビシェフ

++++++++++ 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=6
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 27.82dB
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	2.3953K	62.6817Meg	0.6584	0	62.6817Meg
	Fc= 1.2601KHz Fc ゲイン= 1.0547 dB Q = 3.3053 GB 積=416.4878KHz				
2	9.4235K	90.2626Meg	0.5081	0	90.2626Meg
	Fc= 1.5121KHz Fc ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積=152.4451KHz				
3	22.9877K	161.1870Meg	0.1216	0	161.1870Meg
	Fc= 2.0206KHz Fc ゲイン= - 6.2823 dB Q = 0.5523 GB 積=111.5976KHz				

LP バターワース以外ではすべてのブロックのカットオフ周波数が異なるので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算することは意味がない。

逆チェビシェフでは、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値とは異なる。

楕円関数

++++++++++ 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=6
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 57.77dB
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	1.0101K	43.3580Meg	0.1089	0	111.0642Meg
	Fc= 1.0480KHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積=683.1331KHz				
2	3.4858K	31.3449Meg	0.1089	0	16.8874Meg
	Fc= 891.0537 Hz Fc ゲイン=- 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積=143.1168KHz				
3	6.1303K	14.2238Meg	0.1089	0	10.1886Meg
	Fc= 600.2435 Hz Fc ゲイン=- 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積= 36.9279KHz				

LP バターワース以外ではすべてのブロックのカットオフ周波数が異なるので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算することは意味がない。

楕円関数でも、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値とは異なる。

HP フィルタ
バターワース

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Butterworth 次数=6
Fp = 1.0000KHz attp = 3.0103dB Fs =666.6667 Hz atts = 21.16dB
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	3.2524K	39.4784Meg	1.0000	0	0
	Fc= 1.0000KHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積=193.1852KHz				
2	8.8858K	39.4784Meg	1.0000	0	0
	Fc= 1.0000KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積= 70.7107KHz				
3	12.1382K	39.4784Meg	1.0000	0	0
	Fc= 1.0000KHz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積= 51.7638KHz				

HP バターワースではすべてのブロックのカットオフ周波数が同じなので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算すると、すると、-3.01dB になる。

バターワースでは、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値と等しくなる。

チェビシェフ

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Chebyshev 次数=6
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 27.82dB
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	1.2762K	34.9556Meg	1.0000	0	0
	Fc= 940.9764 Hz Fc ゲイン= 13.3171 dB Q = 4.6329 GB 積=435.9451KHz				
2	5.6545K	56.6914Meg	1.0000	0	0
	Fc= 1.1983KHz Fc ゲイン= 2.4873 dB Q = 1.3316 GB 積=159.5670KHz				
3	20.4241K	149.9021Meg	1.0000	0	0
	Fc= 1.9486KHz Fc ゲイン=‐ 4.4448 dB Q = 0.5995 GB 積=116.8111KHz				

HP バターワース以外ではすべてのブロックのカットオフ周波数が異なるので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算することは意味がない。

チェビシェフでも、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値と等しくなる。

逆チェビシェフ

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Inv. Cheb 次数=6
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 27.82dB
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	1.5086K	24.8644Meg	1.0000	0	16.3706Meg
	Fc= 793.6142 Hz Fc ゲイン= 1.0547 dB Q = 3.3053 GB 積=262.3137KHz				
2	4.1216K	17.2668Meg	1.0000	0	8.7730Meg
	Fc= 661.3420 Hz Fc ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積= 66.6754KHz				
3	5.6302K	9.6692Meg	1.0000	0	1.1754Meg
	Fc= 494.8971 Hz Fc ゲイン= - 6.2823 dB Q = 0.5523 GB 積= 27.3328KHz				

HP バターワース以外ではすべてのブロックのカットオフ周波数が異なるので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算することは意味がない。

逆チェビシェフでは、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値とは異なる。

楕円関数

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ High Pass Elliptic 次数=6
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 57.77dB
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	919.7602	35.9460Meg	2.5616	0	3.9155Meg
	Fc= 954.2128 Hz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積=622.0076KHz				
2	4.3903K	49.7224Meg	0.5388	0	5.4161Meg
	Fc= 1.1223KHz Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積=180.2532KHz				
3	17.0147K	109.5734Meg	0.7163	0	11.9355Meg
	Fc= 1.6660KHz Fc ゲイン= - 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積=102.4944KHz				

HP バターワース以外ではすべてのブロックのカットオフ周波数が異なるので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算することは意味がない。

楕円関数でも、Fc ゲインは Q 値をデシベルに変換した値とは異なる。

BP フィルタ
バターワース

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Butterworth 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 3.0103dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 15.0000KHz atts = 24.27dB
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	26.5654K	3.8752G	0	177.1699K	0
	Fc= 9.9076KHz Fc ゲイン= 16.4815 dB Q = 2.3433 GB 積= 15.4836MegHz				
2	2.7063K	40.2184Meg	0	18.0491K	0
	Fc= 1.0093KHz Fc ゲイン= 16.4815 dB Q = 2.3433 GB 積= 1.5774MegHz				
3	71.5080K	3.3354G	0	164.3666K	0
	Fc= 9.1916KHz Fc ゲイン= 7.2292 dB Q = 0.8076 GB 積= 1.7063MegHz				
4	8.4639K	46.7280Meg	0	19.4550K	0
	Fc= 1.0880KHz Fc ゲイン= 7.2292 dB Q = 0.8076 GB 積=201.9690KHz				
5	94.5181K	2.5340G	0	143.2665K	0
	Fc= 8.0117KHz Fc ゲイン= 3.6126 dB Q = 0.5326 GB 積=646.7538KHz				
6	14.7255K	61.5057Meg	0	22.3203K	0
	Fc= 1.2482KHz Fc ゲイン= 3.6126 dB Q = 0.5326 GB 積=100.7615KHz				

BP と BE ではすべてのブロックのカットオフ周波数が異なるので、カットオフ周波数のゲインをすべて加算することは意味がない。

チェビシェフ

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Chebyshev 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 15.0000KHz atts = 31.91dB
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	11.8928K	4.3524G	0	199.5399K	0
	Fc= 10.4999KHz Fc ゲイン= 24.4949 dB Q = 5.5473 GB 積= 97.7270MegHz				
2	1.0787K	35.8086Meg	0	18.0991K	0
	Fc= 952.3884 Hz Fc ゲイン= 24.4949 dB Q = 5.5473 GB 積= 8.8643MegHz				
3	31.0952K	2.8262G	0	126.2596K	0
	Fc= 8.4610KHz Fc ゲイン= 12.1714 dB Q = 1.7096 GB 積= 5.8735MegHz				
4	4.3436K	55.1466Meg	0	17.6369K	0
	Fc= 1.1819KHz Fc ゲイン= 12.1714 dB Q = 1.7096 GB 積=820.4596KHz				
5	34.7127K	1.0005G	0	46.1977K	0
	Fc= 5.0341KHz Fc ゲイン= 2.4826 dB Q = 0.9112 GB 積=610.4735KHz				
6	13.6976K	155.7814Meg	0	18.2296K	0
	Fc= 1.9865KHz Fc ゲイン= 2.4826 dB Q = 0.9112 GB 積=240.8921KHz				

逆チェビシェフ

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Inv. Cheb 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 15.0000KHz atts = 31.91dB
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	22.1932K	5.9196G	0.6110	0	5.7836G
	Fc= 12.2452KHz Fc ゲイン= 2.0691 dB Q = 3.4668 GB 積= 4.2452MegHz				
2	1.4801K	26.3285Meg	0.9770	0	16.0863Meg
	Fc= 816.6447 Hz Fc ゲイン= 2.0691 dB Q = 3.4668 GB 積=283.1132KHz				
3	85.0269K	7.5697G	0.4439	0	7.5464G
	Fc= 13.8471KHz Fc ゲイン=‐4.9450 dB Q = 1.0233 GB 積= 1.4169MegHz				
4	4.4344K	20.5892Meg	0.9969	0	9.1388Meg
	Fc= 722.1708 Hz Fc ゲイン=‐4.9450 dB Q = 1.0233 GB 積= 73.8964KHz				
5	191.3356K	11.1123G	93.6175m	0	11.4087G
	Fc= 16.7773KHz Fc ゲイン=‐5.7797 dB Q = 0.5509 GB 積=924.3300KHz				
6	6.7976K	14.0255Meg	1.0267	0	1.3130Meg
	Fc= 596.0445 Hz Fc ゲイン=‐5.7797 dB Q = 0.5509 GB 積= 32.8386KHz				

楕円関数

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 15.0000KHz atts = 61.91dB
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	8.7824K	4.2714G	63.8386m	0	6.2190G
	Fc= 10.4017KHz Fc ゲイン= 20.3071 dB Q = 7.4417 GB 積= 7.7406MegHz				
2	811.7218	36.4883Meg	1.4560	0	2.3294Meg
	Fc= 961.3842 Hz Fc ゲイン= 20.3071 dB Q = 7.4417 GB 積=715.4290KHz				
3	28.4353K	3.1333G	0.1384	0	2.1041G
	Fc= 8.9088KHz Fc ゲイン= 0.4196 dB Q = 1.9685 GB 積= 1.7537MegHz				
4	3.5828K	49.7420Meg	0.6715	0	6.8847Meg
	Fc= 1.1225KHz Fc ゲイン= 0.4196 dB Q = 1.9685 GB 積=220.9641KHz				
5	40.9482K	1.2221G	0.1103	0	1.0297G
	Fc= 5.5638KHz Fc ゲイン=‐4.0807 dB Q = 0.8537 GB 積=474.9965KHz				
6	13.2279K	127.5306Meg	0.8425	0	14.0690Meg
	Fc= 1.7973KHz Fc ゲイン=‐4.0807 dB Q = 0.8537 GB 積=153.4423KHz				

BE フィルタ
バターワース

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Butterworth 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 3.0103dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 6.6667KHz atts = 28.93dB
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	26.5654K	3.8752G	3.1331	0	1.2369G
	Fc= 9.9076KHz Fc ゲイン= 16.3827 dB Q = 2.3433 GB 積= 2.3217MegHz				
2	2.7063K	40.2184Meg	0.3192	0	126.0063Meg
	Fc= 1.0093KHz Fc ゲイン= 16.3827 dB Q = 2.3433 GB 積=236.5176KHz				
3	71.5080K	3.3354G	2.9066	0	1.1475G
	Fc= 9.1916KHz Fc ゲイン= 6.3179 dB Q = 0.8076 GB 積=742.3483KHz				
4	8.4639K	46.7280Meg	0.3440	0	135.8215Meg
	Fc= 1.0880KHz Fc ゲイン= 6.3179 dB Q = 0.8076 GB 積= 87.8670KHz				
5	94.5181K	2.5340G	2.5335	0	1.0002G
	Fc= 8.0117KHz Fc ゲイン= 1.1311 dB Q = 0.5326 GB 積=426.6870KHz				
6	14.7255K	61.5057Meg	0.3947	0	155.8251Meg
	Fc= 1.2482KHz Fc ゲイン= 1.1311 dB Q = 0.5326 GB 積= 66.4760KHz				

チェビシェフ

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Chebyshev 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 6.6667KHz atts = 37.75dB
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	10.3405K	3.5654G	3.0052	0	1.1864G
	Fc= 9.5033KHz Fc ゲイン= 23.7685 dB Q = 5.7745 GB 積= 5.4877MegHz				
2	1.1450K	43.7128Meg	0.3328	0	131.3664Meg
	Fc= 1.0523KHz Fc ゲイン= 23.7685 dB Q = 5.7745 GB 積=607.6295KHz				
3	47.2874K	5.1811G	3.6227	0	1.4302G
	Fc= 11.4560KHz Fc ゲイン= 14.1415 dB Q = 1.5222 GB 積= 1.7438MegHz				
4	3.6032K	30.0813Meg	0.2760	0	108.9754Meg
	Fc= 872.9085 Hz Fc ゲイン= 14.1415 dB Q = 1.5222 GB 積=132.8724KHz				
5	177.8983K	11.8655G	5.4823	0	2.1643G
	Fc= 17.3366KHz Fc ゲイン= 10.2248 dB Q = 0.6123 GB 積= 1.0615MegHz				
6	5.9189K	13.1351Meg	0.1824	0	72.0105Meg
	Fc= 576.8147 Hz Fc ゲイン= 10.2248 dB Q = 0.6123 GB 積= 35.3190KHz				

逆チェビシェフ

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Inv. Cheb 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 6.6667KHz atts = 37.75dB
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	13.7593K	2.6203G	1.2489	0	2.0982G
	Fc= 8.1470KHz Fc ゲイン= 4.4397 dB Q = 3.7203 GB 積= 3.0309MegHz				
2	2.0730K	59.4795Meg	0.8007	0	74.2815Meg
	Fc= 1.2274KHz Fc ゲイン= 4.4397 dB Q = 3.7203 GB 積=456.6504KHz				
3	35.8263K	1.9040G	1.2676	0	1.5021G
	Fc= 6.9447KHz Fc ゲイン=- 4.6863 dB Q = 1.2180 GB 積=845.8306KHz				
4	7.4284K	81.8568Meg	0.7889	0	103.7609Meg
	Fc= 1.4400KHz Fc ゲイン=- 4.6863 dB Q = 1.2180 GB 積=175.3794KHz				
5	40.5469K	863.3900Meg	1.1989	0	720.1743Meg
	Fc= 4.6765KHz Fc ゲイン=- 11.5575 dB Q = 0.7247 GB 積=338.8980KHz				
6	18.5400K	180.5147Meg	0.8341	0	216.4123Meg
	Fc= 2.1383KHz Fc ゲイン=- 11.5575 dB Q = 0.7247 GB 積=154.9608KHz				

楕円関数

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 6.6667KHz atts = 67.79dB
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	8.3158K	3.6263G	3.8326	0	2.3943G
	Fc= 9.5841KHz Fc ゲイン= 27.2242 dB Q = 7.2414 GB 積= 6.9403MegHz				
2	905.3236	42.9791Meg	0.6603	0	164.7231Meg
	Fc= 1.0434KHz Fc ゲイン= 27.2242 dB Q = 7.2414 GB 積=755.5688KHz				
3	39.6296K	4.8141G	1.4401	0	1.7910G
	Fc= 11.0428KHz Fc ゲイン= 5.4369 dB Q = 1.7508 GB 積= 1.9334MegHz				
4	3.2498K	32.3743Meg	0.3720	0	46.6226Meg
	Fc= 905.5663 Hz Fc ゲイン= 5.4369 dB Q = 1.7508 GB 積=158.5479KHz				
5	155.8067K	9.5585G	2.0289	0	3.4351G
	Fc= 15.5602KHz Fc ゲイン= 0.4040 dB Q = 0.6275 GB 積=976.3912KHz				
6	6.4351K	16.3053Meg	0.3594	0	33.0820Meg
	Fc= 642.6656 Hz Fc ゲイン= 0.4040 dB Q = 0.6275 GB 積= 40.3268KHz				

奇数次数の例

バターワース

++++++++++ 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 Butterworth 次数=3
Fp = 10.0000KHz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000KHz atts = 10.93dB
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 = 62.8319K P1 = 0 P2 = 62.8319K Fc= 10.0000KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	62.8319K	3.9478G	0	0	3.9478G

Fc= 10.0000KHz Fc ゲイン= 3.8573fdB Q = 1.0000 GB 積= 1.0000MegHz

チェビシェフ

++++++++++ 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 Chebyshev 次数=3
Fp = 10.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000KHz atts = 4.60dB
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 = 60.9096K P1 = 0 P2 = 60.9096K Fc= 9.6941KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	60.9096K	6.6709G	0	0	6.6709G

Fc= 12.9990KHz Fc ゲイン= 2.5481 dB Q = 1.3409 GB 積= 1.7431MegHz

逆チェビシェフ

++++++++++ 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 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000KHz atts = 4.60dB
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 = 246.0972K P1 = 0 P2 = 246.0972K Fc= 39.1676KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB
2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	40.2536K	9.9063G	0.8364	0	9.9063G

Fc= 15.8408KHz Fc ゲイン= - 7.8630 dB Q = 2.4726 GB 積= 3.9168MegHz

楕円関数

++++++++++ 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 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000KHz atts = 14.85dB
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 = 81.5672K P1 = 0 P2 = 81.5672K Fc= 12.9818KHz Fc ゲイン=- 3.0103 dB
2 次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	36.3980K	6.1345G	0.5538	0	6.1345G

Fc= 12.4655KHz Fc ゲイン=- 0.3525 dB Q = 2.1518 GB 積= 2.6824MegHz

バンドパスフィルタとバンドイジェクトフィルタの場合

通過域上端を Fp2、通過域下端を Fp1 とするバンドパスフィルタでは、全てのフィルタブロックは 2 次式で表されるフィルタが利用されます。奇数次数のバンドパスフィルタの最初のブロックは、カットオフ周波数が$\sqrt{Fp1 \cdot Fp2}$で 2 次式で表される 1 次バンドパス・フィルタです。

その後段からは 2 次バンドパス・フィルタが利用されますが、バターワースとチェビシェフ･バンドパスフィルタの場合は、Fp2 付近をカットオフ周波数とする 1 次バンドパス・フィルタと、Fp1 付近をカットオフ周波数とする 1 次バンドパス・フィルタを組み合わせて 2 次バンドパス・フィルタが構成されます。

逆チェビシェフと楕円関数･バンドパスフィルタの場合は、Fp2 付近をカットオフ周波数とする 2 次ローパス・フィルタと、Fp1 付近をカットオフ周波数とする 2 次ハイパス・フィルタを組み合わせて 2 次バンドパス・フィルタが構成されます。

阻止域上端を Fp2、阻止域下端を Fp1 とするバンドイジェクトフィルタでは、全てのフィルタブロックは 2 次式で表されるフィルタが利用されます。奇数次数のバンドイジェクトフィルタの最初のブロックは、カットオフ周波数が$\sqrt{Fp1 \cdot Fp2}$で 2 次式で表される 1 次バンドイジェクト・フィルタです。

その後段からは 2 次バンドイジェクト・フィルタが利用されますが、バターワース･チェビシェフ･逆チェビシェフ・楕円関数･バンドイジェクトフィルタ全てで、Fp2 付近をカットオフ周波数とする 2 次ハイパス・フィルタと、Fp1 付近をカットオフ周波数とする 2 次ローパス・フィルタを組み合わせて 2 次バンドイジェクト・フィルタが構成されます。

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Butterworth 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 3.0103dB

Fs1 = 6.6667KHz Fs2 = 45.0000KHz atts = 17.04dB

２次式の形式　　$\sqrt{Fp1 \cdot Fp2} = 17.3205\ KHz$

Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4

Hn = ----------

s^2 + Pn_0 * s + Pn_1

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4				
1	125.6637K	11.8435G	0	125.6637K	0				
	Fc= 17.3205KHz	Q = 0.8660	GB 積= 1.5000MegHz	BP					
2	91.7005K	31.9775G	0	206.4864K	0				
	Fc= 28.4605KHz	Q = 1.9501	GB 積= 12.4972MegHz	LP					
3	33.9632K	4.3865G	0	76.4765K	0				
	Fc= 10.5409KHz	Q = 1.9501	GB 積= 4.6286MegHz	HP					

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Chebyshev 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667KHz Fs2 = 45.0000KHz atts = 11.04dB

２次式の形式

Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4

Hn = ----------

s^2 + Pn_0 * s + Pn_1

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4				
1	121.8191K	11.8435G	0	121.8191K	0				
	Fc= 17.3205KHz	Q = 0.8934	GB 積= 1.5473MegHz	BP					
2	96.3408K	44.7837G	0	317.6438K	0				
	Fc= 33.6806KHz	Q = 2.1966	GB 積= 24.3927MegHz	LP					
3	25.4783K	3.1321G	0	84.0042K	0				
	Fc= 8.9072KHz	Q = 2.1966	GB 積= 6.4509MegHz	HP					

バンドパスフィルタとバンドイジェクトフィルタの場合

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Inv. Cheb 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667KHz Fs2 = 45.0000KHz atts = 11.04dB

２次式の形式　　$\sqrt{Fp1 \cdot Fp2} = 17.3205\ KHz$

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	346.9477K	11.8435G	0	346.9477K	0
	Fc= 17.3205KHz	Q = 0.3137	GB 積=543.2969KHz	BP	
2	115.1529K	66.2919G	0.6365	0	63.4099G
	Fc= 40.9780KHz	Q = 2.2359	GB 積= 9.1623MegHz	LP	
3	20.5729K	2.1159G	0.9565	0	1.3467G
	Fc= 7.3210KHz	Q = 2.2359	GB 積= 1.6369MegHz	HP	

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667KHz Fs2 = 45.0000KHz atts = 22.72dB

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	142.4557K	11.8435G	0	142.4557K	0
	Fc= 17.3205KHz	Q = 0.7639	GB 積= 1.3232MegHz	BP	
2	73.8948K	44.7182G	0.3987	0	38.5666G
	Fc= 33.6560KHz	Q = 2.8617	GB 積= 9.6314MegHz	LP	
3	19.5709K	3.1367G	0.8624	0	1.2508G
	Fc= 8.9137KHz	Q = 2.8617	GB 積= 2.5509MegHz	HP	

バンドパスフィルタとバンドイジェクトフィルタの場合

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Butterworth 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 3.0103dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 = 20.0000KHz atts = 36.12dB

２次式の形式　　$\sqrt{Fp1 \cdot Fp2} = 17.3205\ KHz$

Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4

Hn = ----------

s^2 + Pn_0 * s + Pn_1

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4				
1	125.6637K	11.8435G	1.0000	0	11.8435G				
	Fc= 17.3205KHz	Q = 0.8660	GB 積= 1.5000MegHz	BE					
2	91.7005K	31.9775G	1.6432	0	19.4609G				
	Fc= 28.4605KHz	Q = 1.9501	GB 積= 5.5500MegHz	HP					
3	33.9632K	4.3865G	0.6086	0	7.2077G				
	Fc= 10.5409KHz	Q = 1.9501	GB 積= 2.0556MegHz	LP					

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Chebyshev 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 = 20.0000KHz atts = 31.42dB

２次式の形式

Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4

Hn = ----------

s^2 + Pn_0 * s + Pn_1

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4				
1	129.6296K	11.8435G	1.0000	0	11.8435G				
	Fc= 17.3205KHz	Q = 0.8395	GB 積= 1.4541MegHz	BE					
2	49.9206K	26.6652G	1.5005	0	17.7710G				
	Fc= 25.9892KHz	Q = 3.2711	GB 積= 8.5013MegHz	HP					
3	22.1725K	5.2604G	0.6665	0	7.8931G				
	Fc= 11.5433KHz	Q = 3.2711	GB 積= 3.7759MegHz	LP					

バンドパスフィルタとバンドイジェクトフィルタの場合

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Inv. Cheb 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 = 20.0000KHz atts = 31.42dB

２次式の形式　　$\sqrt{Fp1 \cdot Fp2} = 17.3205\ KHz$

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	62.3600K	11.8435G	1.0000	0	11.8435G
	Fc= 17.3205KHz	Q = 1.7452	GB 積= 3.0227MegHz	BE	
2	39.6013K	20.6083G	1.1645	0	17.6974G
	Fc= 22.8477KHz	Q = 3.6250	GB 積= 8.2824MegHz	HP	
3	22.7587K	6.8064G	0.8587	0	7.9260G
	Fc= 13.1305KHz	Q = 3.6250	GB 積= 4.7598MegHz	LP	

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=3

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 30.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 = 20.0000KHz atts = 43.46dB

２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

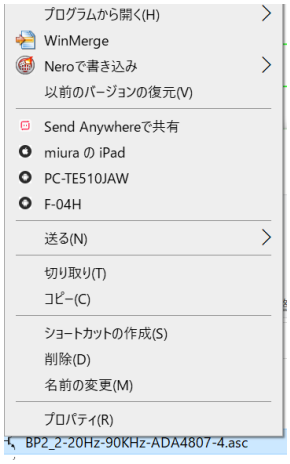
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	125.6217K	11.8435G	1.0000	0	11.8435G
	Fc= 17.3205KHz	Q = 0.8663	GB 積= 1.5005MegHz	BE	
2	47.8927K	26.8701G	1.3290	0	20.2180G
	Fc= 26.0889KHz	Q = 3.4227	GB 積= 8.9294MegHz	HP	
3	21.1096K	5.2203G	0.7524	0	6.9378G
	Fc= 11.4992KHz	Q = 3.4227	GB 積= 3.9358MegHz	LP	

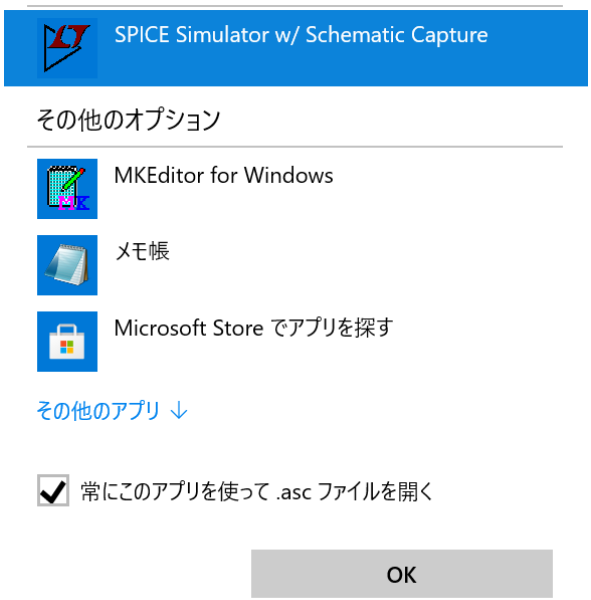
バンドパスフィルタとバンドイジェクトフィルタの場合

作成した回路図ファイルを確認する

回路図を保存したフォルダをエクスプローラで開き、「ファイル名」を右クリックします。



「プログラムから開く」→「別のプログラムを選択」をクリックします。

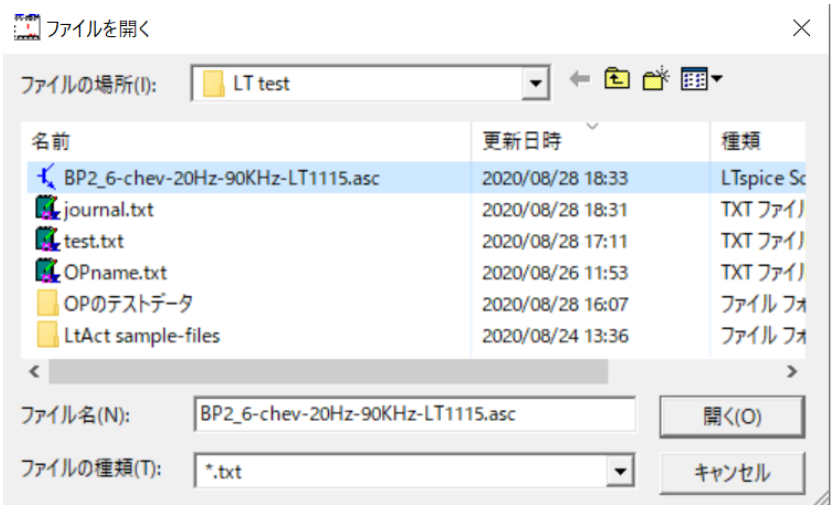


「常にこのアプリを使って.asc ファイルを開く」をチェックして、「LTSpice」を選択して「OK」をクリックすると回路図が表示されます。→　ウィンドウを閉じます。

以後は、「ファイル」→「データファイルを開く」をクリックして、回路図を保存したフォルダに移動して、回路図ファイルを選択して「開く」をクリックすると、「LTSpice」が起動して別ウィンドウに回路図が表示されます。
その後、「journal.txt」や伝達関数の係数ファイルを同様にして表示すると、回路図の確認や素子値の微調整などの参考になると思います。

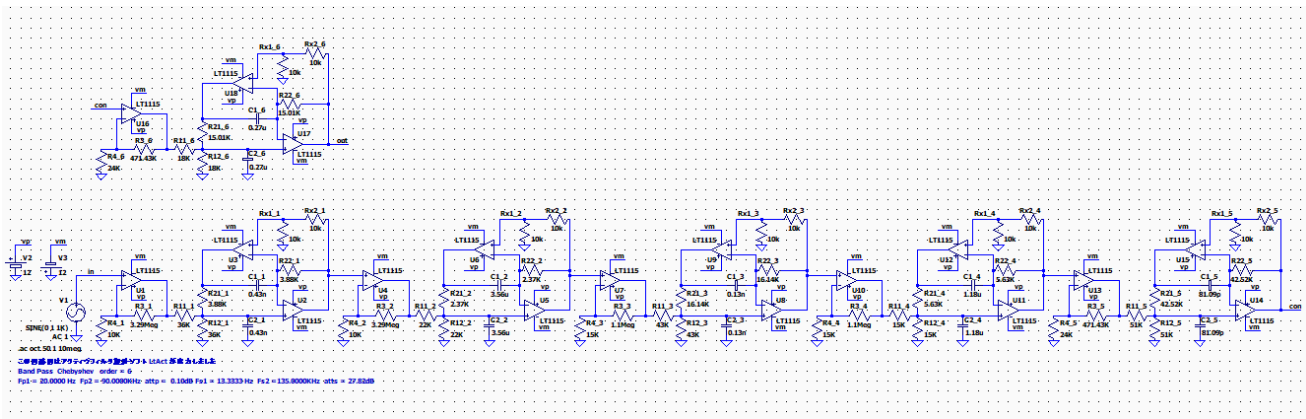
作成した回路図ファイルを確認する

「表示・出力」で「回路図ファイルを作成」してから、回路図を確認します。
「ファイル」→「データファイルを開く」をクリックします。

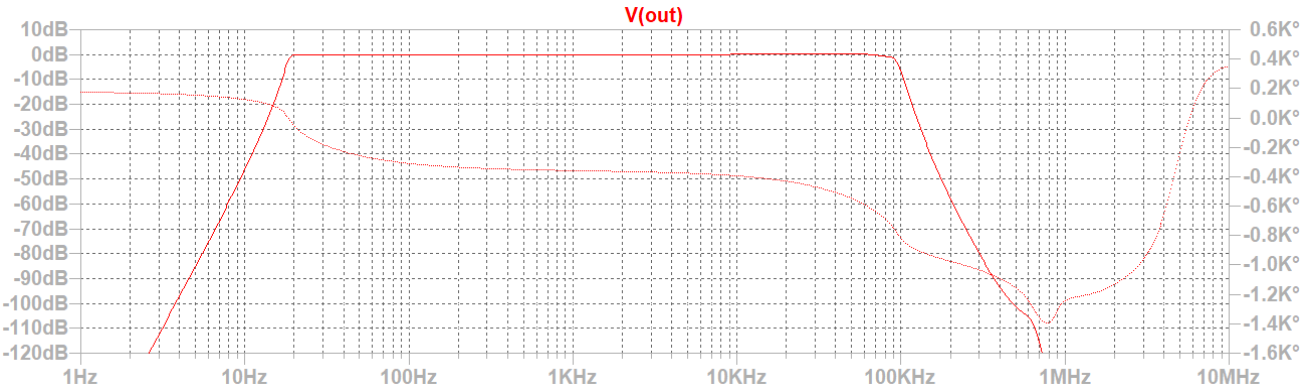


回路図ファイルを選択して、「開く」をクリックします。

「LTSpice」が起動して、「BP2_6-chev-20Hz-90KHz-LT1115.asc」が表示されます。

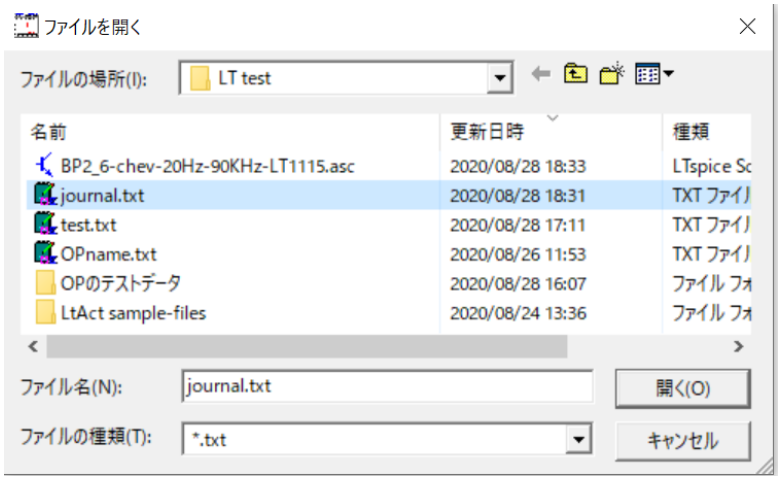


「RUN」をクリックして周波数特性のグラフを表示します。



作成した回路図ファイルを確認する

次に、「journal.txt」を表示します。



「OK」をクリックすると、「journal.txt」が表示されます。

```
*******************  回路の構成と素子値  ************************************↓
回路図ファイル名 E:¥LT test¥BP2_6.asc  作成日時 Tue Jan 12 07:12:49 2021↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass  Chebyshev  次数=6                              参照モード=0↓
Fp1 = 20.0000 Hz  Fp2 = 90.0000KHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 = 13.3333 Hz  Fs2 =135.0000KHz  atts =  27.82dB↓
↓
 1(BP2)「BP2-1-0」  R1_1 (2 個) =  30.0000K  C1_1(2個)=   0.5142n  R2_1(2個)=   3.2365K  誤差=2.12 %↓
 1  R3_1 =   3.2933Meg  R4_1 =  10.0000K   誤差 = 0.20 %↓
 2(BP2)「BP2-0-0」  R1_2 (2 個) = 100.0000K  C1_2(2個)=   0.7839u  R2_2(2個)=  10.7882K  誤差=4.75 %↓
 2  R3_2 =   3.2933Meg  R4_2 =  10.0000K   誤差 = 0.20 %↓
 3(BP2)「BP2-1-2」  R1_3 (2 個) =  11.0000K  C1_3(2個)=   0.5133n  R2_3(2個)=   4.1282K  誤差=4.21 %↓
 3  R3_3 = 735.6472K  R4_3 =  10.0000K   誤差 = 1.95 %↓
 4(BP2)「BP2-0-2」  R1_4 (2 個) = 100.0000K  C1_4(2個)=   0.1769u  R2_4(2個)=  37.5291K  誤差=4.28 %↓
 4  R3_4 = 735.6472K  R4_4 =  10.0000K   誤差 = 1.95 %↓
 5(BP2)「BP2-1-2」  R1_5 (2 個) =   8.2000K  C1_5(2個)=   0.5044n  R2_5(2個)=   6.8360K  誤差=1.24 %↓
 5  R3_5 = 196.4284K  R4_5 =  10.0000K   誤差 = 1.82 %↓
 6(BP2)「BP2-0-2」  R1_6 (2 個) = 100.0000K  C1_6(2個)=  48.9599n  R2_6(2個)=  83.3655K  誤差=4.33 %↓
 6  R3_6 = 196.4284K  R4_6 =  10.0000K   誤差 = 1.82 %↓
++++++++++  伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q値、GB値  ++++++++++↓
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass  Chebyshev  次数=6↓
Fp1 = 20.0000 Hz  Fp2 = 90.0000KHz  attp = 0.1000dB↓
Fs1 = 13.3333 Hz  Fs2 =135.0000KHz  atts =  27.82dB↓
２次式の形式↓
      Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4↓
Hn = ------------------------------↓
          s^2 + Pn_0 * s + Pn_1↓
２次式↓
   n        Pn_0        Pn_1        Pn_2        Pn_3        Pn_4↓
   1   129.6608K   361.1282G           0  42.8314Meg           0 ↓
                      Fc=    95.6425K  Q =    4.6347  GB積= 14.6429G↓
   2    25.5141     13.9831K           0     8.4282K           0 ↓
                      Fc=    18.8201   Q =    4.6347  GB積=  2.8814Meg↓
   3   354.1966K   222.6863G           0  26.4106Meg           0 ↓
                      Fc=    75.1047K  Q =    1.3323  GB積=746.1096Meg↓
   4   113.0273     22.6762K           0     8.4278K           0 ↓
                      Fc=    23.9666   Q =    1.3323  GB積=238.0902K↓
   5   483.5874K    84.1235G           0   9.9826Meg           0 ↓
                      Fc=    46.1614K  Q =    0.5998  GB積= 57.1521Meg↓
   6   408.4979     60.0271K           0     8.4326K           0 ↓
                      Fc=    38.9936   Q =    0.5998  GB積= 48.2777K↓
```

「journal.txt」を開くと、回路図を見ながら回路図を作成した時に保存された回路の素子値と、「表示・出力」で作成された伝達関数の係数と Q 値を確認できます。

作成した回路図ファイルを確認する

6-3「回路図のオペアンプを交換する」

作成された回路図を選択すると、その回路図で使用されている特定のオペアンプを別のオペアンプに交換します。

テキストファイル「OPExchange.txt」の 1 行目に変更するオペアンプ名を書き込み、2 行目以降に変更後のオペアンプ名を書いて、回路図のあるフォルダに保存しておきます。
変更できるオペアンプは 1 度に 20 個迄です。必要に応じて数回に分けて下さい。

例えば「ADA4807-4」を「LT1818」に交換するには次のようなファイルを作成します。
「OPExchange.txt」の例
ADA4807-4
LT1818
end

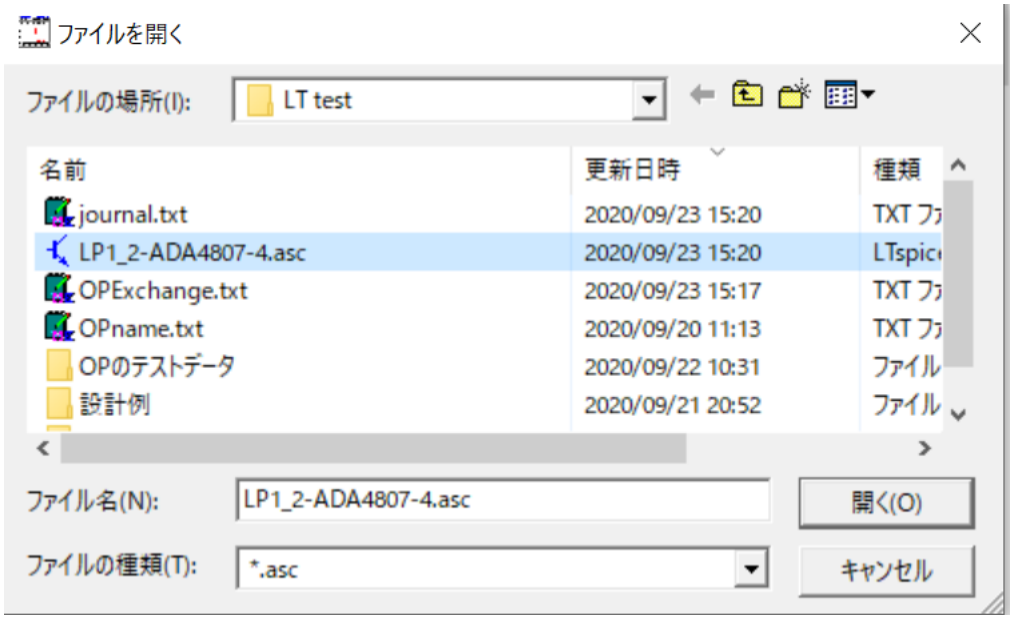
変更するオペアンプ名「ADA4807-4」と変更後のオペアンプ名「LT1818」を記入して、次の行に「end」を書き込んだ形式のテキストファイルです。

オペアンプ名「ADA4807-4」を多数のオペアンプ名に交換してそれぞれの回路図を作成するには、次のようなテキストファイルを作成します。
ADA4807-4
LT1115
LT1818
AD8038
LT6238
LT6247
LT6274
LT6275
LT1805
LT1813
LT1815
LT1816
LT1817
LT1819
end

多数のオペアンプ名を書きこんでおき、希望の位置に「end」を入れることも出来ます。
ADA4807-4
LT1115
LT1818
AD8038
end
LT6238
LT6247
LT6274
LT6275
LT1805
LT1813
LT1815
LT1816
LT1817
LT1819

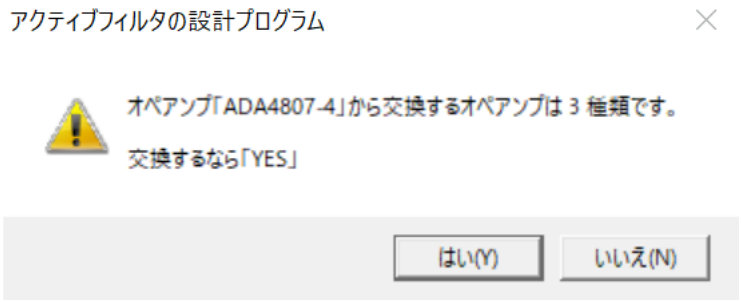
注意：「OPExchange.txt」の最後の行または、途中の行に必ず「end」が必要です。
先頭行が変更するオペアンプ名、「end」の前の行までが変更後のオペアンプ名です。
変更後のオペアンプ名を 21 個以上書き込んでも、20 個までしか交換できません。

「回路図のオペアンプ交換」を選択すると、回路図を選択する画面に変わります。

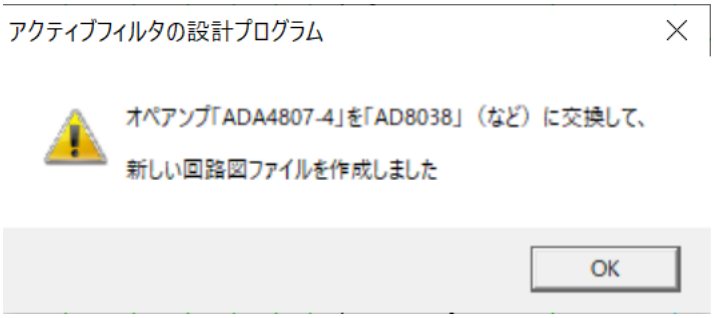


6-3「回路図のオペアンプを交換する」

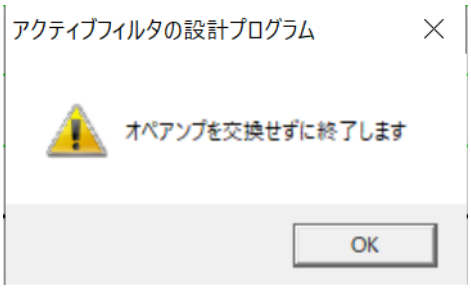
回路図を選択して「開く」をクリックします。
「OPExchange.txt」がある時は、交換を実行するかどうかを確認します。



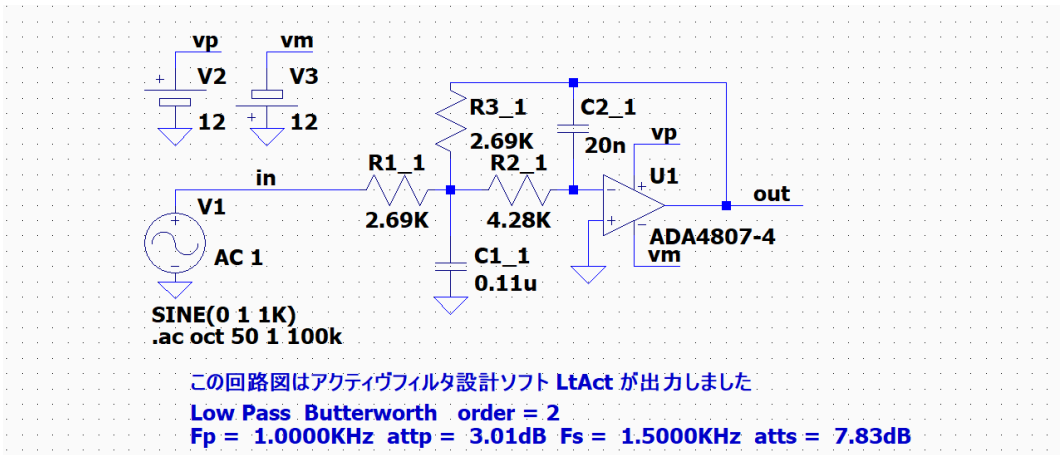
「はい」をクリックすると、オペアンプの交換が実行されてメッセージが表示されます。



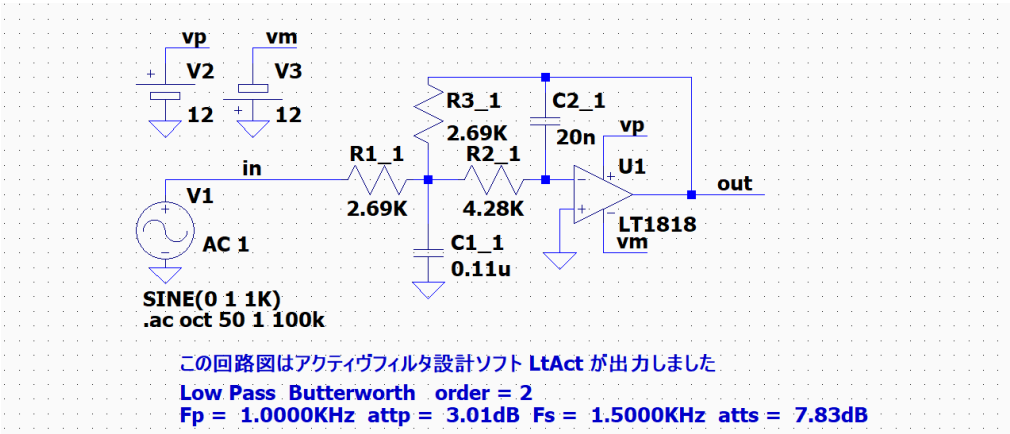
交換しないなら、「いいえ」をクリックすると、オペアンプを交換せずに終了するというメッセージが表示されます。

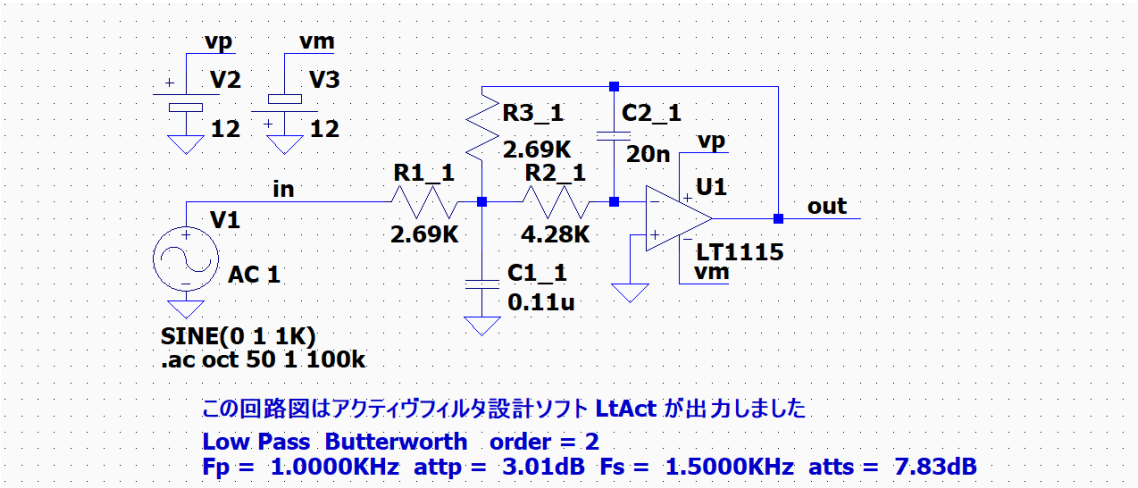


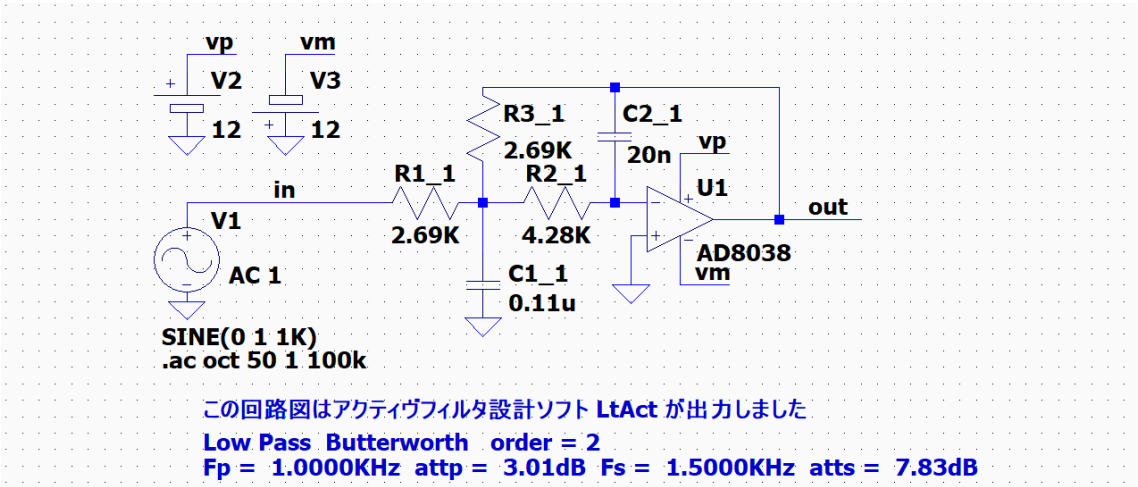
オペアンプを交換する前後の回路図



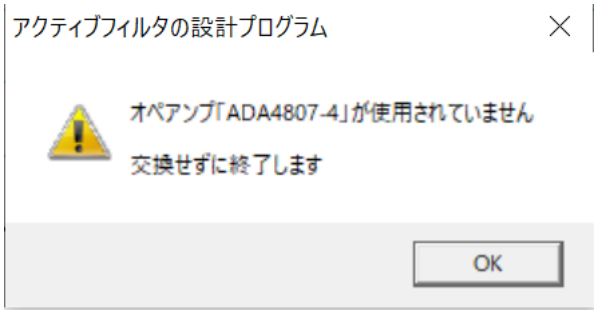
6-3「回路図のオペアンプを交換する」


vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 1 100k
R1_1
2.69K
R3_1
2.69K
R2_1
4.28K
C2_1
20n
C1_1
0.11u
vp
U1
LT1818
vm
out
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
Low Pass Butterworth order = 2
Fp = 1.0000KHz attp = 3.01dB Fs = 1.5000KHz atts = 7.83dB


vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 1 100k
R1_1
2.69K
R3_1
2.69K
R2_1
4.28K
C2_1
20n
C1_1
0.11u
vp
U1
LT1115
vm
out
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
Low Pass Butterworth order = 2
Fp = 1.0000KHz attp = 3.01dB Fs = 1.5000KHz atts = 7.83dB


vp
vm
V2
V3
12
12
in
V1
AC 1
SINE(0 1 1K)
.ac oct 50 1 100k
R1_1
2.69K
R3_1
2.69K
R2_1
4.28K
C2_1
20n
C1_1
0.11u
vp
U1
AD8038
vm
out
この回路図はアクティヴフィルタ設計ソフト LtAct が出力しました
Low Pass Butterworth order = 2
Fp = 1.0000KHz attp = 3.01dB Fs = 1.5000KHz atts = 7.83dB

選択した回路に、「OPExchange.txt」の１行目に記入されたオペアンプが使用されていない場合には、次のメッセージが表示されます



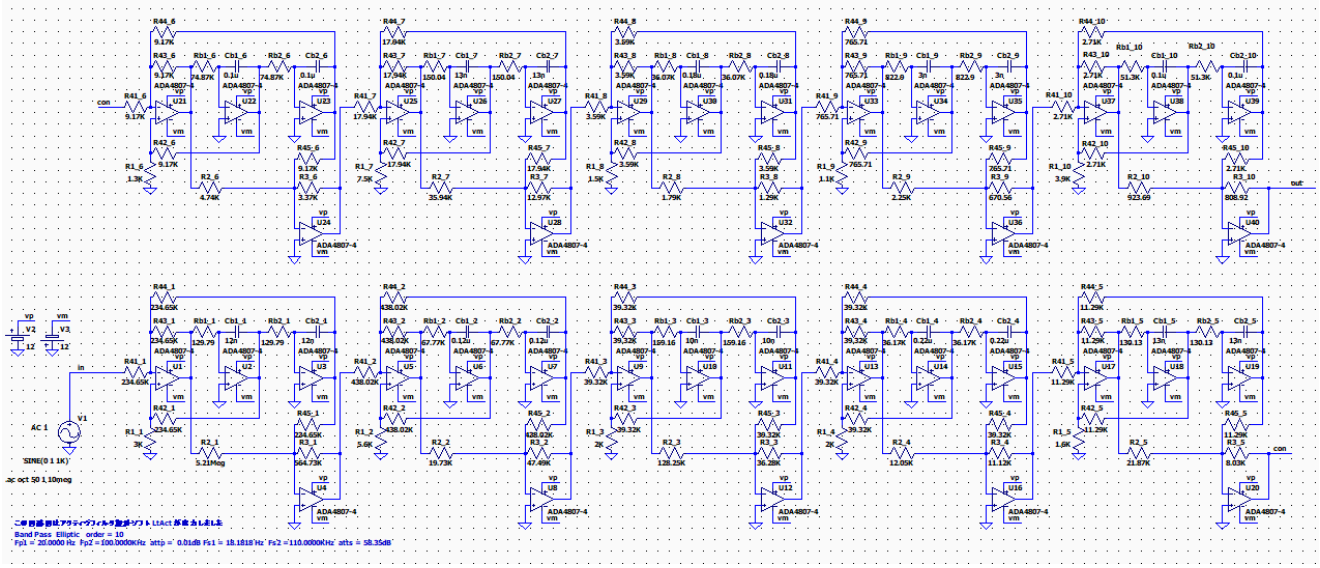
高次数のアクティブフィルタを設計して回路図を作成する場合には、素子値の選択に多くの時間を費やすことになります。

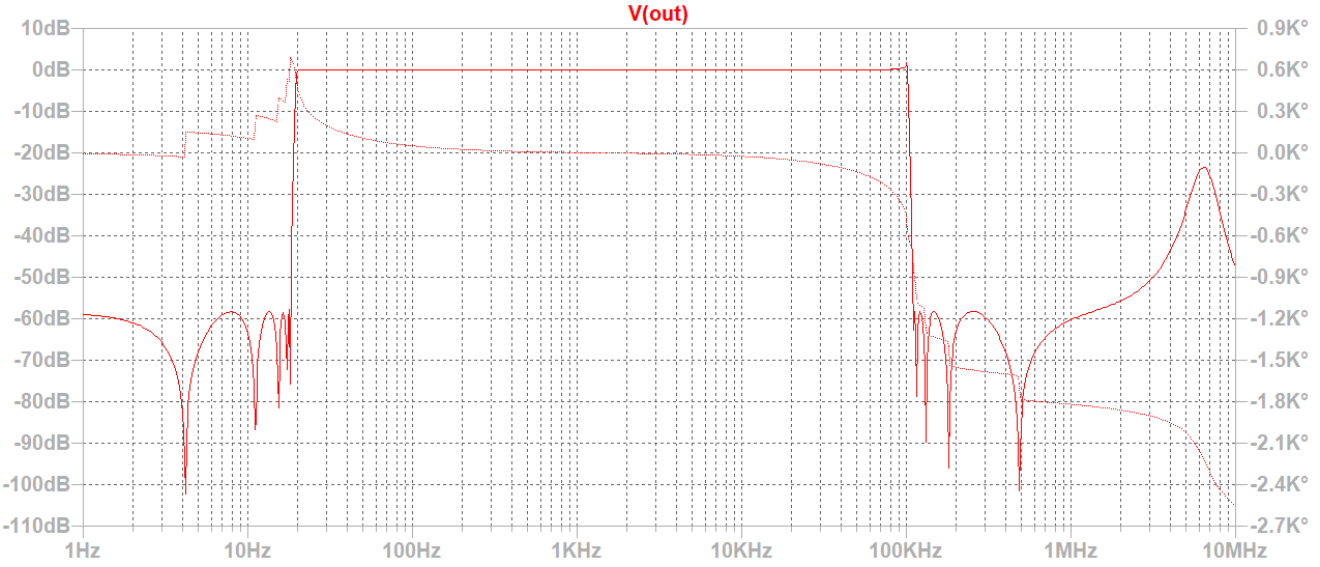
多種類のオペアンプに対して、同じ素子値の回路図を作成して特性の比較を行うことは、時間も労力もかかる作業になってしまいます。

「回路図のオペアンプ交換」機能を利用すると、「OPExchange.txt」を作成しておけば、多数のオペアンプに交換した回路図が瞬時に作成できて、すぐに「LTSpice」を使用してオペアンプごとの特性を比較する作業を始めることが出来ます。

高次数のアクティブフィルタのオペアンプを交換した例

「ADA4807-4」を使用した元の回路図と特性グラフ

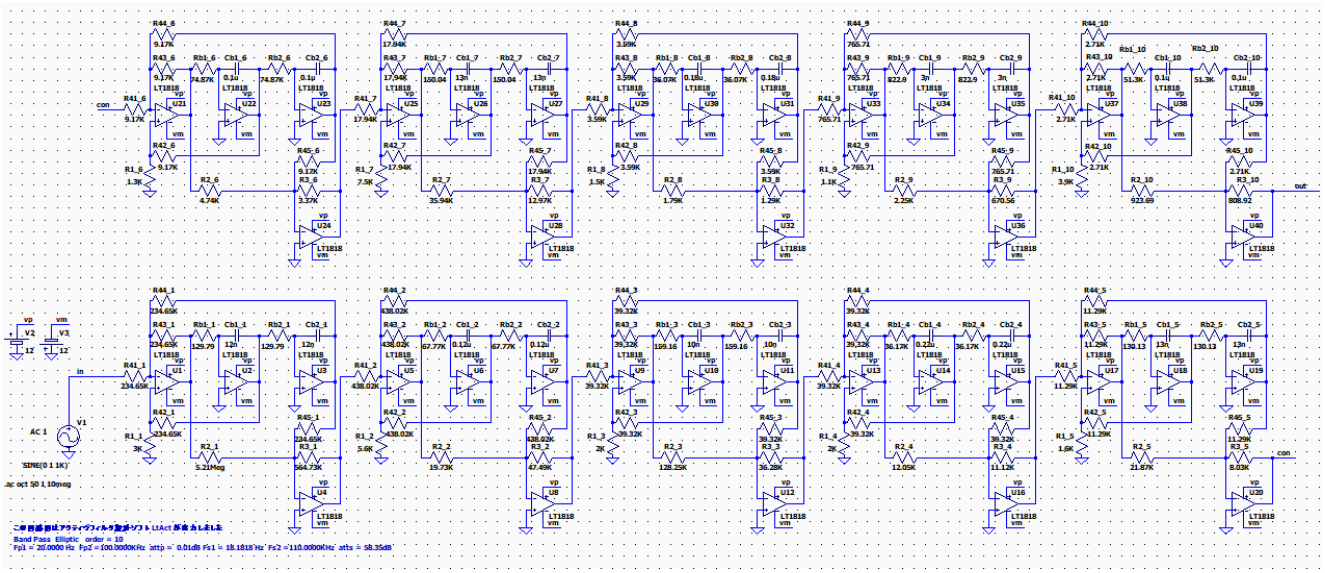


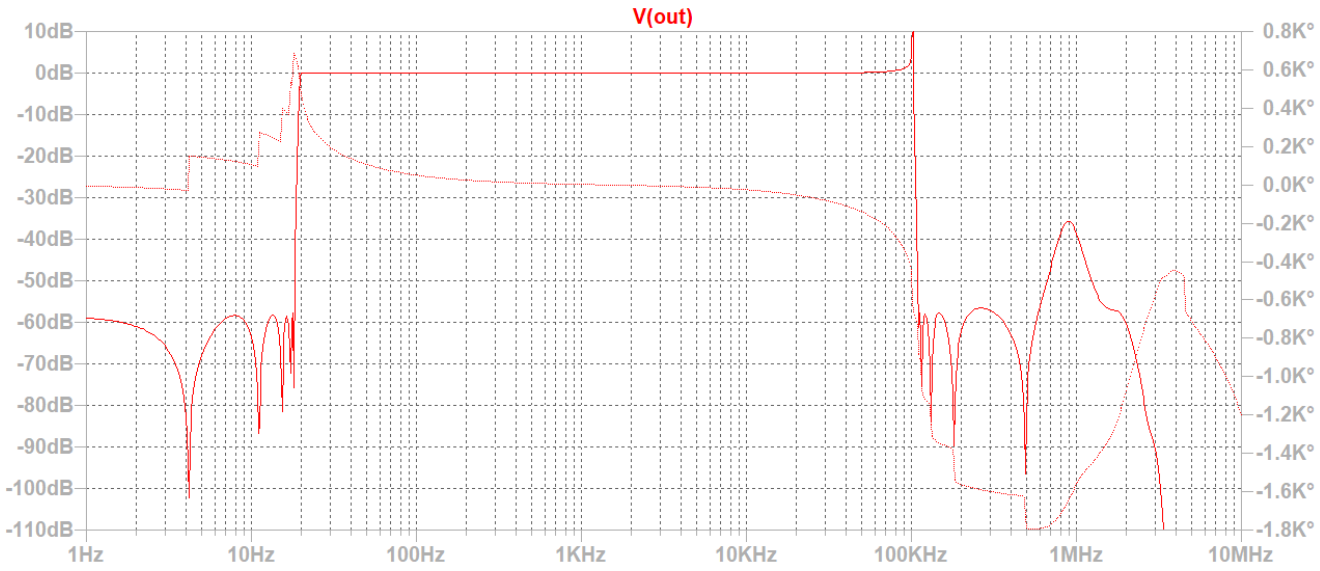


特に目立つオーバシュートはない。

3MHz くらいまで、減衰量が 50dB を維持している。

「LT1818」に交換した回路図



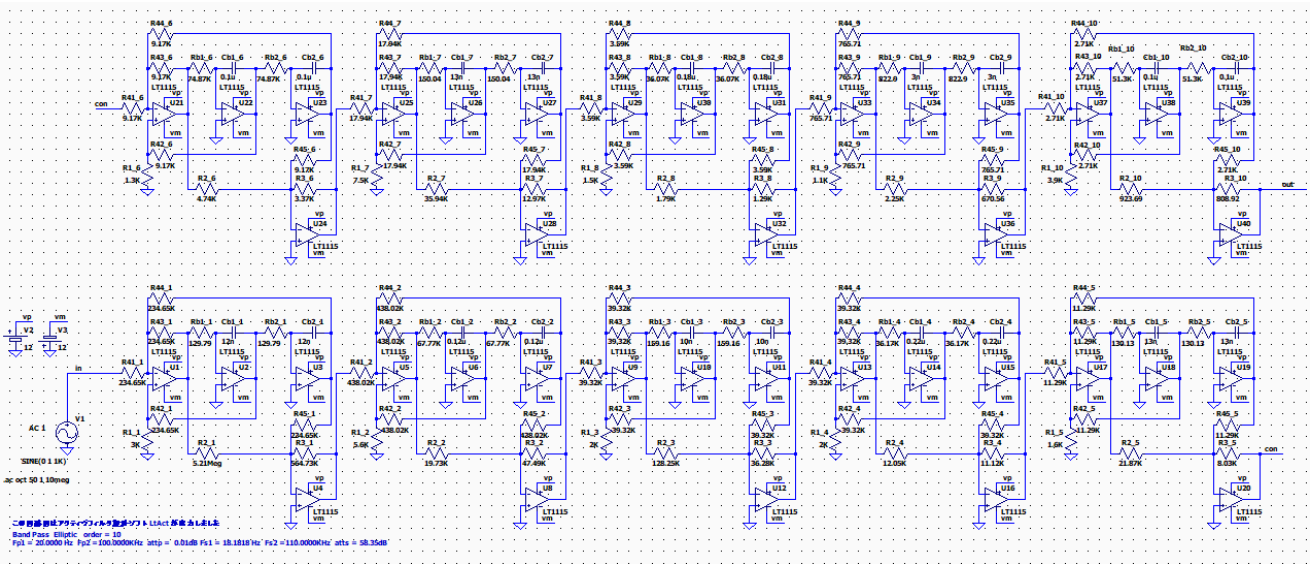


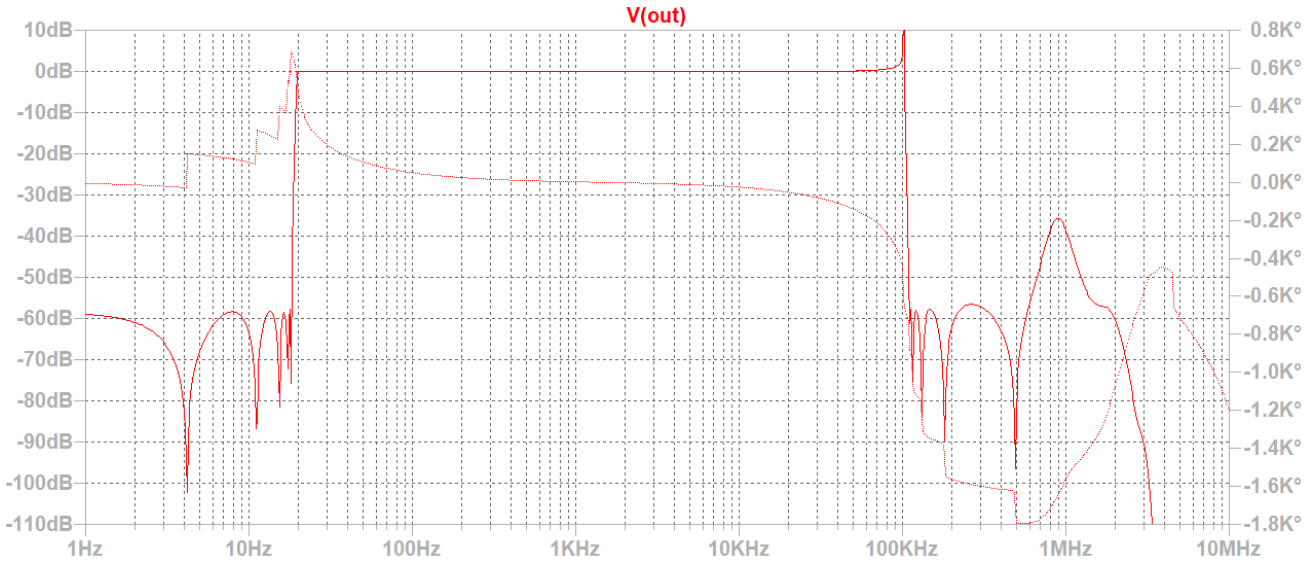
100KHz 付近に 10dB くらいのオーバシュートが見られる。

700kHz くらいまで、減衰量が 50dB を維持している。

6-3「回路図のオペアンプを交換する」高次数のアクティブフィルタのオペアンプを交換した例

「LT1115」に交換した回路図



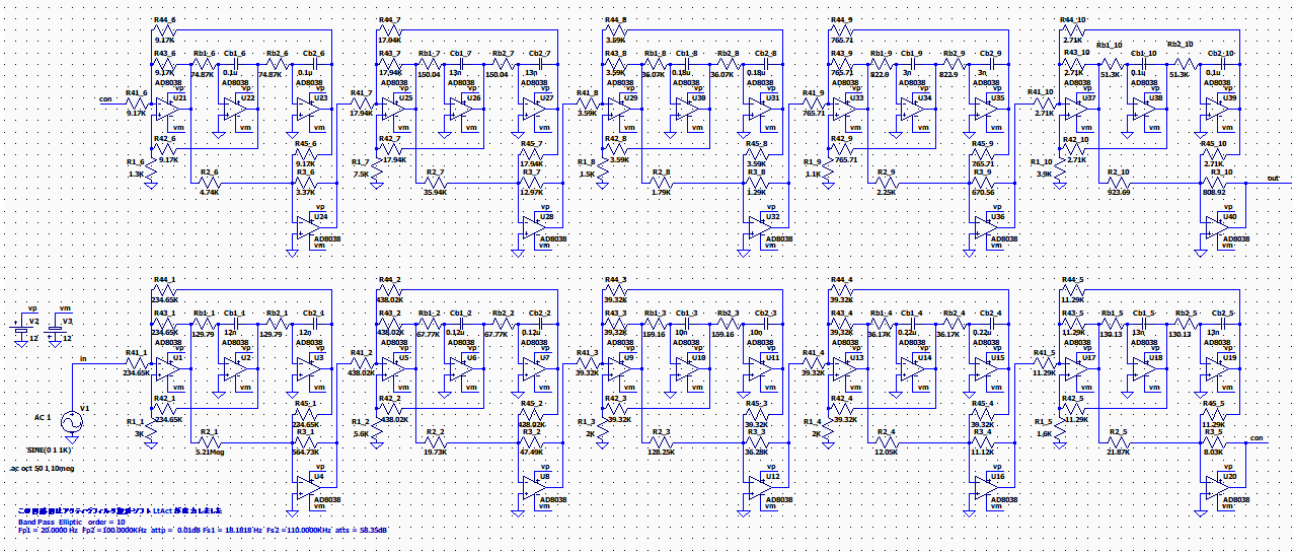


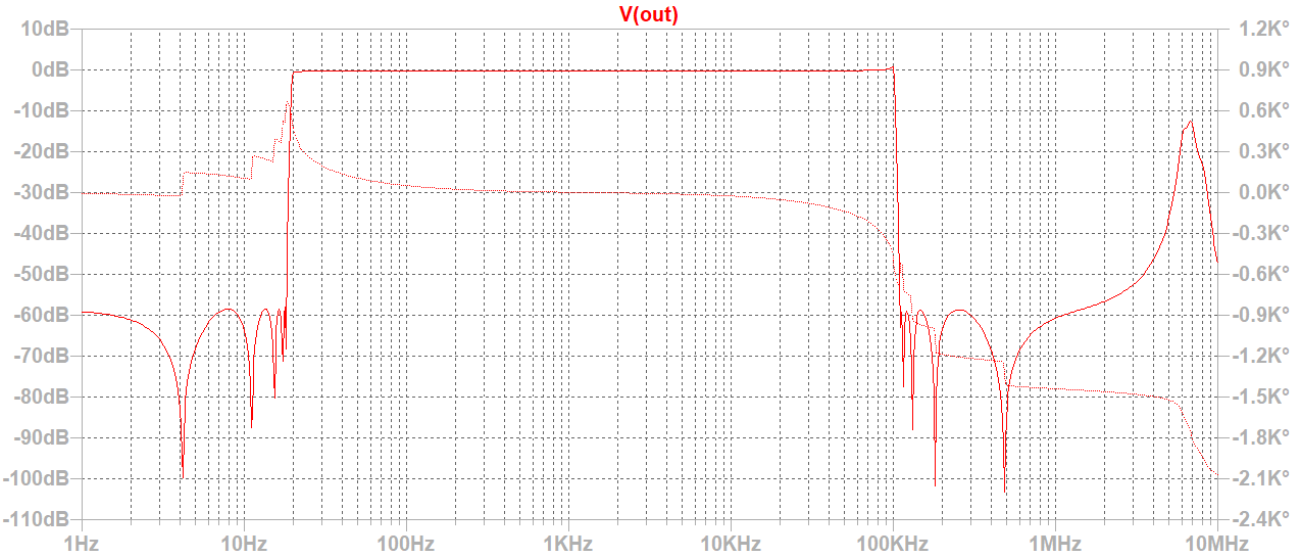
100KHz 付近に 10dB くらいのオーバシュートが見られる。

700kHz くらいまで、減衰量が 50dB を維持している。

6-3「回路図のオペアンプを交換する」高次数のアクティブフィルタのオペアンプを交換した例

「AD8038」に交換した回路図





特に目立つオーバシュートはない。

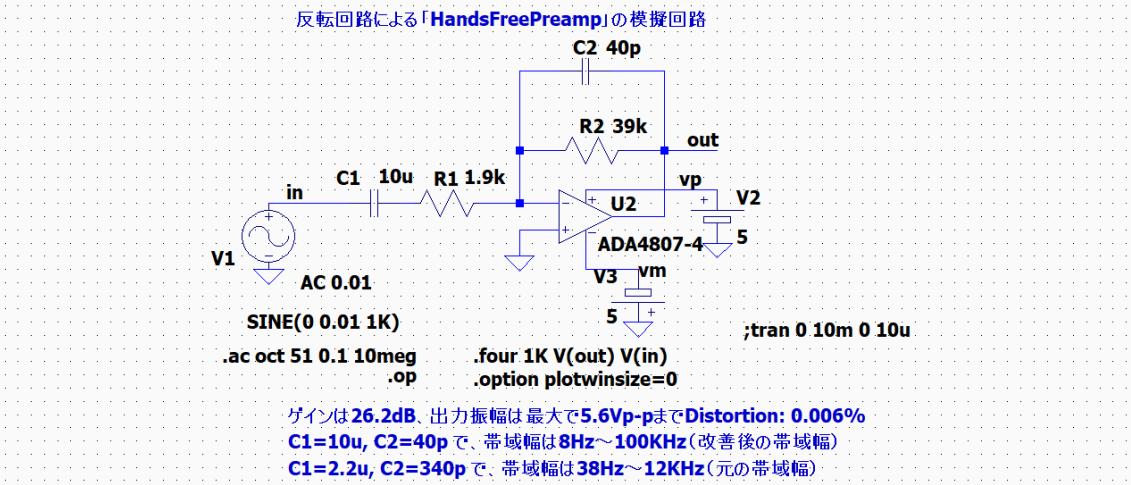
3.5MHz くらいまで、減衰量が 50dB を維持している。

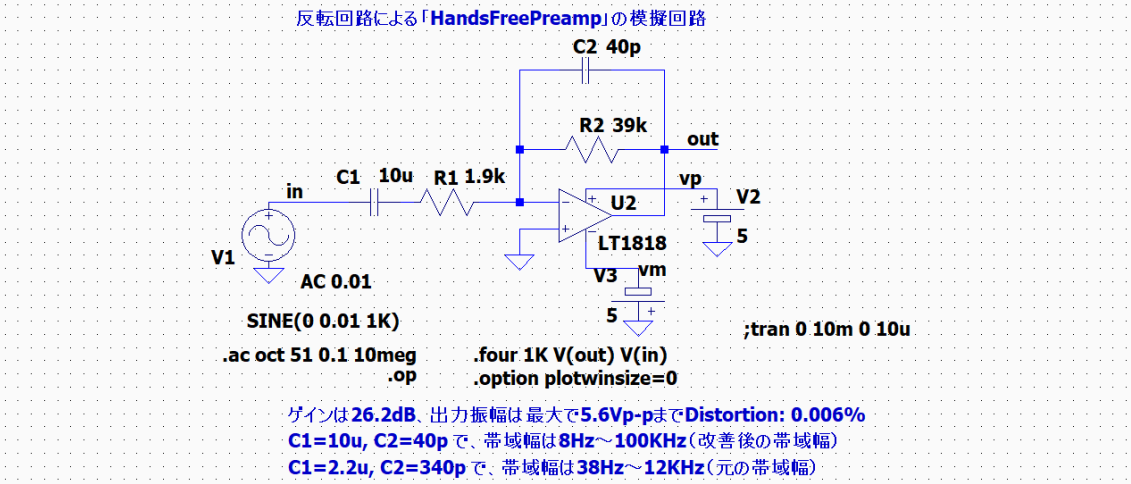
これらのように、数種類のオペアンプに交換して、特性の比較が短時間でできます。

6-3「回路図のオペアンプを交換する」高次数のアクティブフィルタのオペアンプを交換した例

「回路図のオペアンプ交換」機能は、「LtAct」が作成した回路図以外にも利用できる可能性がありますので、試してみてください。回路図で使用されているオペアンプとノード配置が同じオペアンプを指定して下さい。ただし、交換できない回路図もあると思います。

「LtAct」ではなく、手で入力した回路図のオペアンプを交換した例



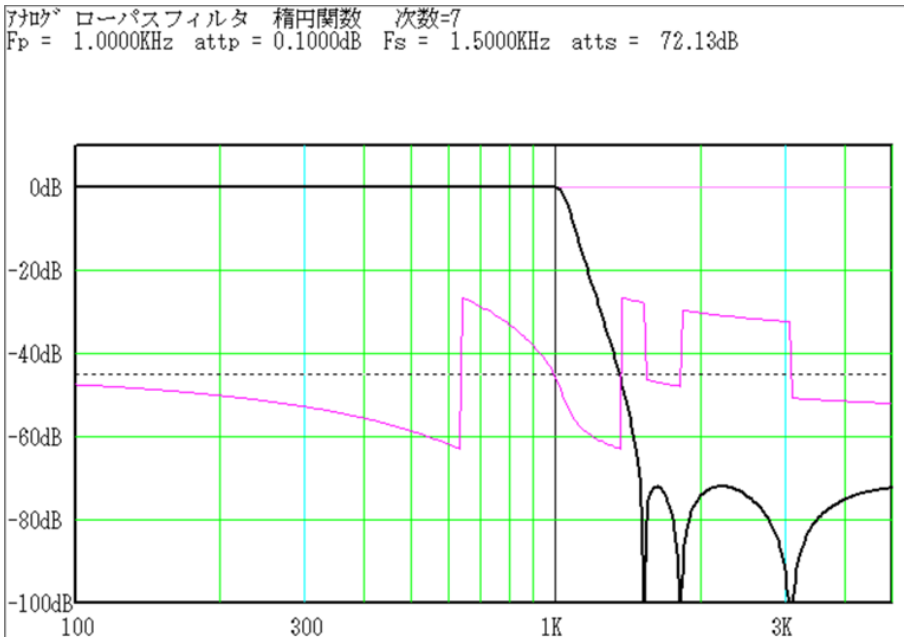


「オペアンプを交換する」機能を利用することで、同じ素子値でオペアンプだけを変更した場合の回路の特性を比較することが楽になります。

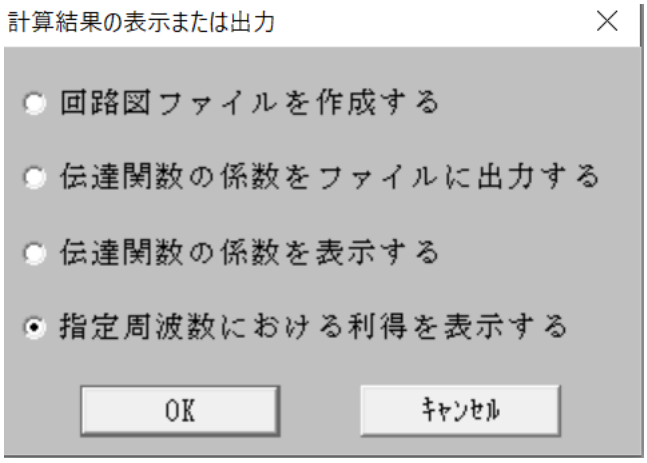
また、手作業で入力した回路図に複数種類のオペアンプが使用されている時に、特定のオペアンプを別のオペアンプに交換して特性を比較することも楽に出来ます。

6-3「回路図のオペアンプを交換する」

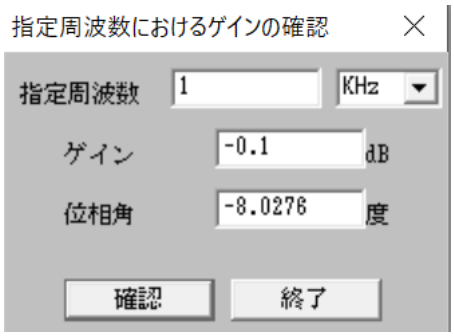
6-4「指定周波数における利得を表示する」

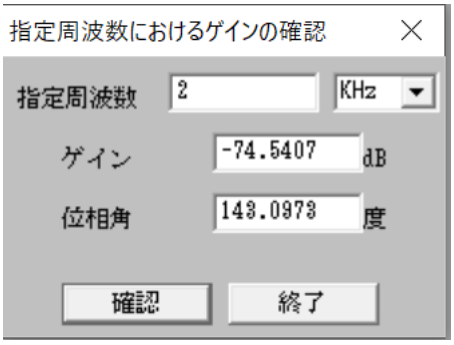


「表示・出力」→「指定周波数における利得を表示する」



1KHz と 2KHz のゲインを確認します。





6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

LtAct ver.2.90 では、「LtAct」で作成したフィルタの周波数特性を改善したい時には、回路図の各ブロックのカットオフ周波数におけるゲインを調整すると好結果が期待できると考えて、6-2「伝達関数の係数をファイルに出力する」に各ブロックのカットオフ周波数 Fc におけるゲインを追加しました。

しかし、複数の周波数でゲインを調整するほうが設計性能に近づけ易いことが分かったので、LtAct ver.3.00 ではこの機能を追加しました。リストだけで、グラフは表示されません。
ver.3.02 では、Excel を利用してリストからグラフを作成しやすいように、「周波数」と「ゲイン」の間に「,」を挿入しました。

フィルタの次数が偶数の場合と奇数の場合で、表示が少し異なるので、次に例を示します。
4 次フィルタ
++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=3
Fp =100.0000KHz attp = 3.0103dB Fs =150.0000KHz atts = 10.93dB
１次式の形式

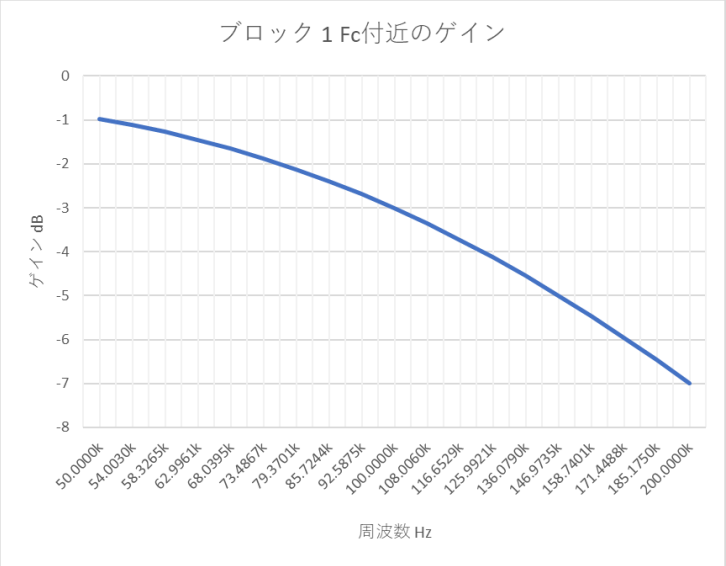
$$H0 = \frac{P1 * s + P2}{s + P0}$$

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
Blk No.1　　P0 = 628.3185K P1 = 0　　P2 = 628.3185K Fc= 100.0000KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB
周波数 Hz　ゲイン dB
50.0000K, - 0.9691
54.0030K, - 1.1114
58.3265K, - 1.2717
62.9961K, - 1.4515
68.0395K, - 1.6523
73.4867K, - 1.8753

79.3701K,　- 2.1218
85.7244K,　- 2.3927
92.5875K,　- 2.6887
100.0000K,　- 3.0103
108.0060K,　- 3.3576
116.6529K,　- 3.7306
125.9921K,　- 4.1286
136.0790K,　- 4.5511
146.9735K,　- 4.9970
158.7401K,　- 5.4652
171.4488K,　- 5.9544
185.1750K,　- 6.4630
200.0000K,　- 6.9897

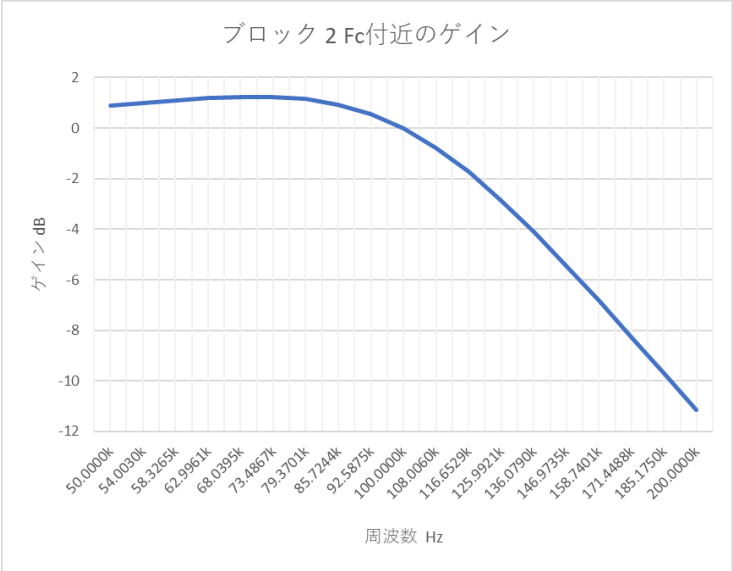


２次式

Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No.　2　628.3185K　394.7842G　0　0　394.7842G Fc= 100.0000KHz　Fc ゲイン=　0 dB　Q =　1.0000　GB 積= 10.0000MegHz

周波数 Hz　ゲイン dB

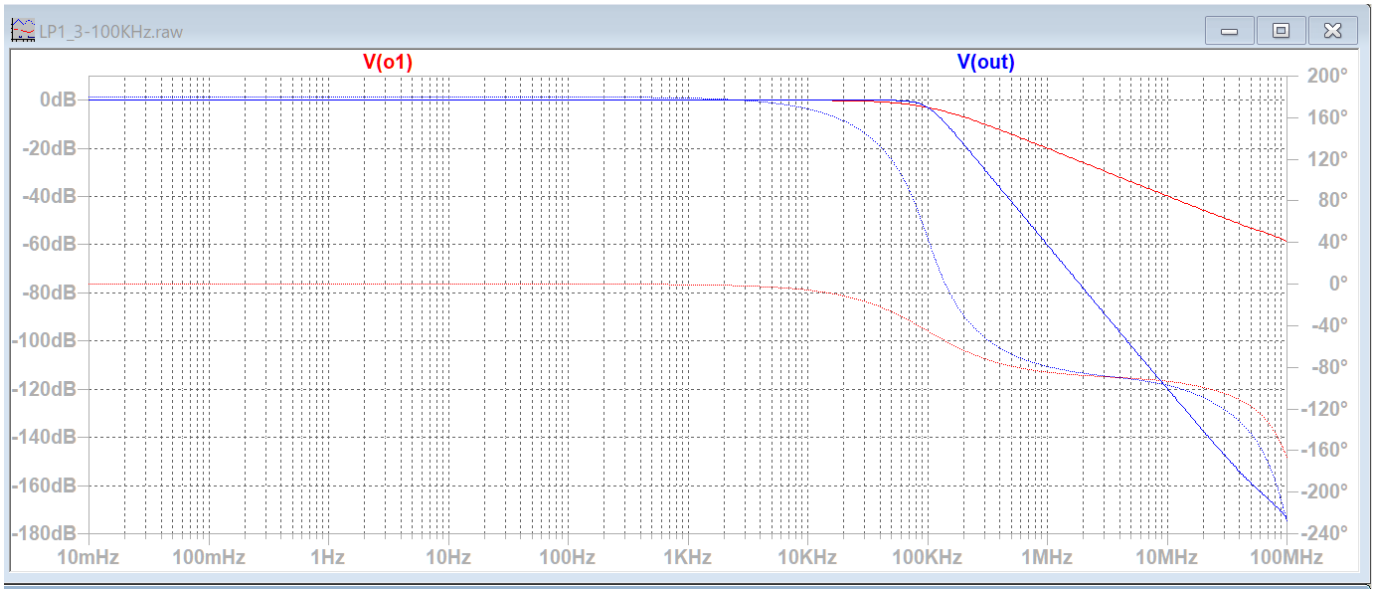
50.0000K,　0.9018
54.0030K,　1.0050
58.3265K,　1.1040
62.9961K,　1.1882
68.0395K,　1.2414
73.4867K,　1.2401
79.3701K,　1.1527
85.7244K,　0.9412
92.5875K,　0.5669
100.0000K,　0
108.0060K,　- 0.7710
116.6529K,　- 1.7347
125.9921K,　- 2.8611
136.0790K,　- 4.1115
146.9735K,　- 5.4481
158.7401K,　- 6.8393
171.4488K,　- 8.2614
185.1750K,　- 9.6983

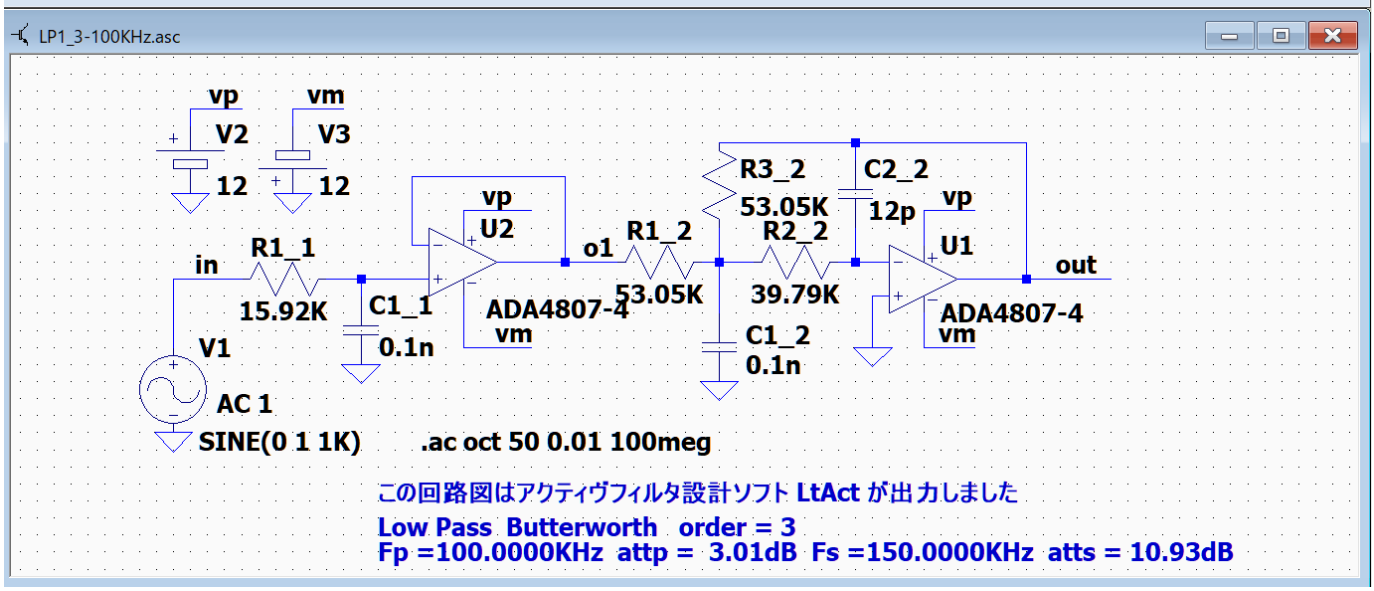


6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

200.0000K,　- 11.1394

3 次フィルタの周波数特性





3 次フィルタでは、ブロック 1 のゲイン（赤色）は 50KHz で-0.969dB からだらだらと低下しますが、ブロック 2 のゲインは 50KHz では+0.9dB で 68KHz で+1.24dB に増加して、100KHz で 0dB に変化します。

最終的な出力（青色）は 50KHz で-0.067dB, 75KHz で-0.71dB, 100KHz で-3.01dB, 200KHz で-18.13dB, 10MHz で-120dB になります。

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

4 次フィルタ

++++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=4
Fp =100.0000KHz attp = 3.0103dB Fs =150.0000KHz atts = 14.25dB
２次式の形式

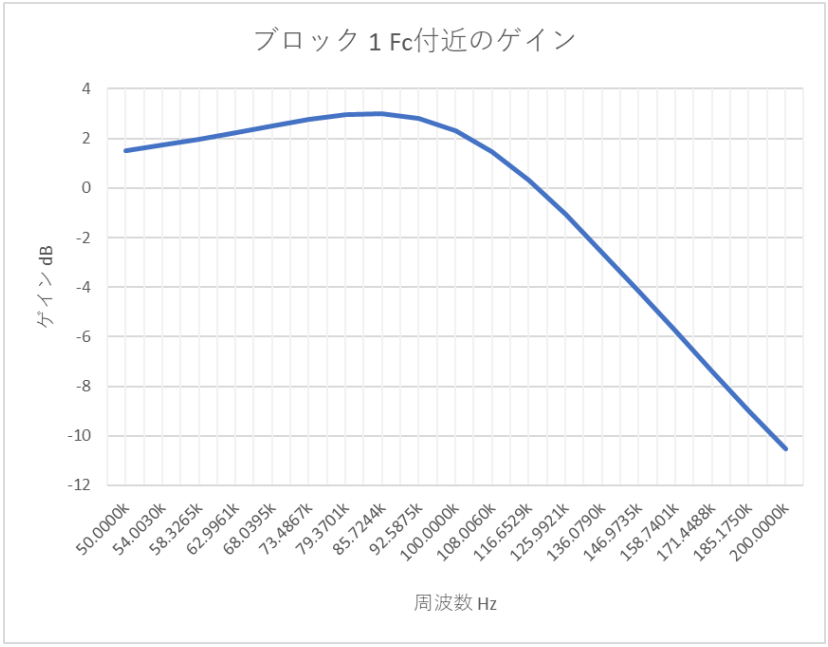
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

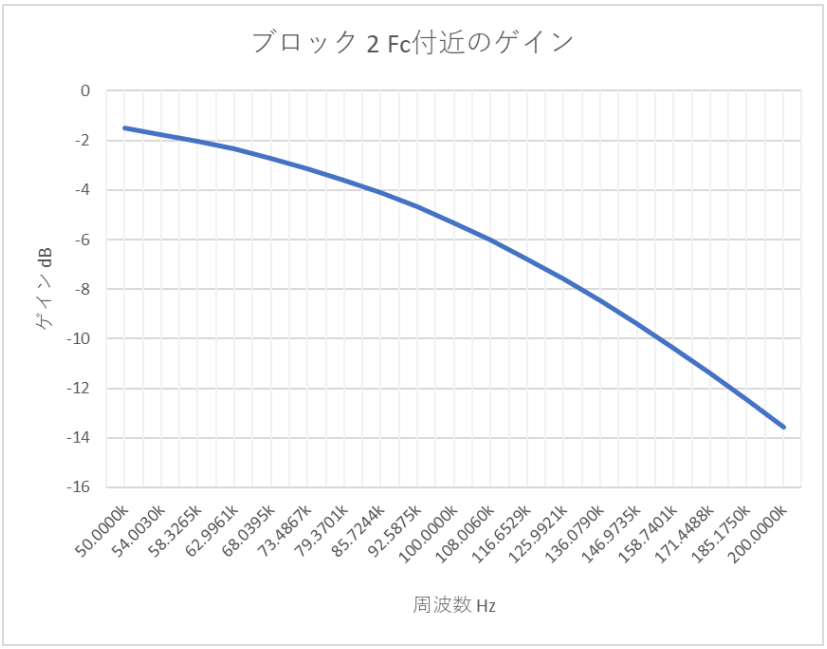
	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	480.8942K	394.7842G	0	0	394.7842G

Fc= 100.0000KHz Fc ゲイン= 2.3226 dB Q = 1.3066 GB 積= 13.0656MegHz

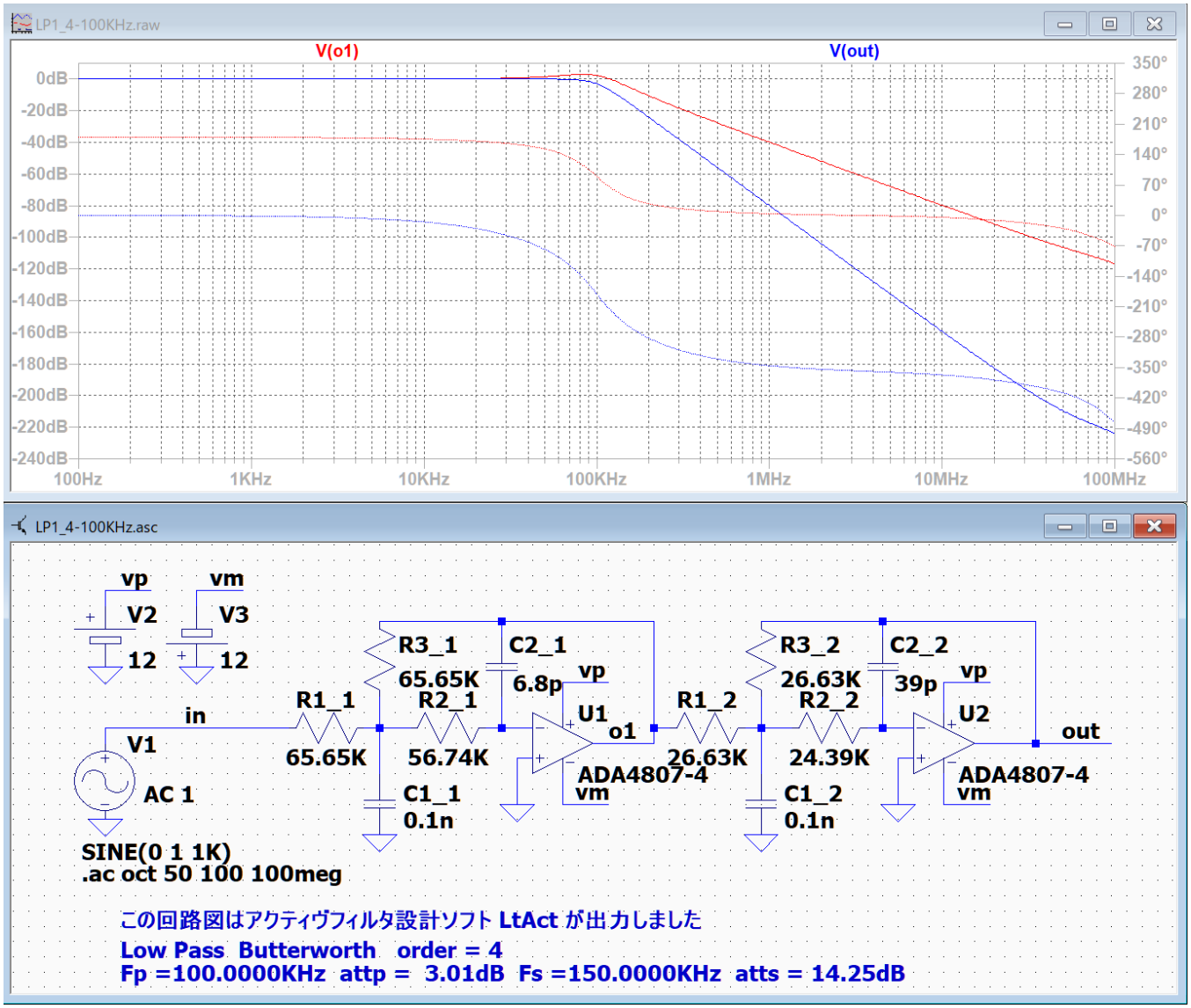
周波数 Hz	ゲイン dB
50.0000K,	1.4939
54.0030K,	1.7223
58.3265K,	1.9748
62.9961K,	2.2456
68.0395K,	2.5211
73.4867K,	2.7744
79.3701K,	2.9589
85.7244K,	3.0036
92.5875K,	2.8188
100.0000K,	2.3226
108.0060K,	1.4809
116.6529K,	0.3278
125.9921K,	- 1.0548
136.0790K,	- 2.5773
146.9735K,	- 4.1685
158.7401K,	- 5.7818
171.4488K,	- 7.3905
185.1750K,	- 8.9810
200.0000K,	- 10.5473



```
                Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  2   1.1610Meg   394.7842G        0         0    394.7842G Fc= 100.0000KHz  Fc ゲ
イン= -  5.3329 dB  Q =  0.5412  GB 積=  5.4120MegHz
   周波数 Hz    ゲイン dB
    50.0000K,   -  1.5108
    54.0030K,   -  1.7536
    58.3265K,   -  2.0326
    62.9961K,   -  2.3521
    68.0395K,   -  2.7161
    73.4867K,   -  3.1289
    79.3701K,   -  3.5941
    85.7244K,   -  4.1150
    92.5875K,   -  4.6941
   100.0000K,   -  5.3329
   108.0060K,   -  6.0320
   116.6529K,   -  6.7908
   125.9921K,   -  7.6078
   136.0790K,   -  8.4805
   146.9735K,   -  9.4057
   158.7401K,   - 10.3795
   171.4488K,   - 11.3980
   185.1750K,   - 12.4569
   200.0000K,   - 13.5520
```



4 次フィルタの周波数特性



4 次フィルタでは、ブロック 1 は 86KHz 付近にピークがありますが、ブロック 2 は 50KHz で-1.5dB からだらだらと低下しています。
最終的なゲインは 50KHz で-0.017dB, 75KHz で-0.414dB, 100KHz で-3.01dB, 200KHz で-24.10dB, 10MHz で-160dB になります。

3 次フィルタと比較すると、50KHz と 75KHz ではより 0dB に近くなり、100KHz では同じ同じ-3.01dB となります。その後 10MHz ではゲインが -120dB から -160dB に変わり、減衰量が 40dB 大きくなって阻止域の減衰カーブが急峻になることが分かります。

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

Fc 付近のゲインリストからグラフを作成する方法

１．テキストエディタで「カットオフ周波数付近のゲインリスト」のファイルを開く。
２．新規にファイルを開き、「周波数とゲイン」の部分をコピー&ペーストする。
３．ブロックが複数ある場合は、新規ファイルの最後の行に「空行」を１行加えて、最後のブロックまで、「２.」の操作を繰り返す。
４．新規ファイルに適当なファイル名を付けて保存する。

保存されたファイルの例（ver.3.00 の場合）

50.0000K　- 0.9691
54.0030K　- 1.1114
.
.

次に、新規ファイルの周波数の後ろに「,」を追加して保存する。ver.3.02 では追加済。

50.0000K,　- 0.9691
54.0030K,　- 1.1114
.
.

１．エクセルを開き、「ファイル」→「開く」をクリックする。
２．「開く」画面の「参照」をクリックして新規ファイルを保存したフォルダに変更してから、「ファイル名」の右側の「ファイル形式」をクリックして「すべてのファイル...」をクリックして、保存したファイルを選択する。
３．「データのファイル形式...」は「コンマやタブなど...」を選択して「次へ」をクリックする。
４．「区切り文字」は「コンマ」だけをチェックして「次へ」をクリックする。
５．「完了」をクリックすると「周波数」と「ゲイン」が別々のセルに書き込まれる。

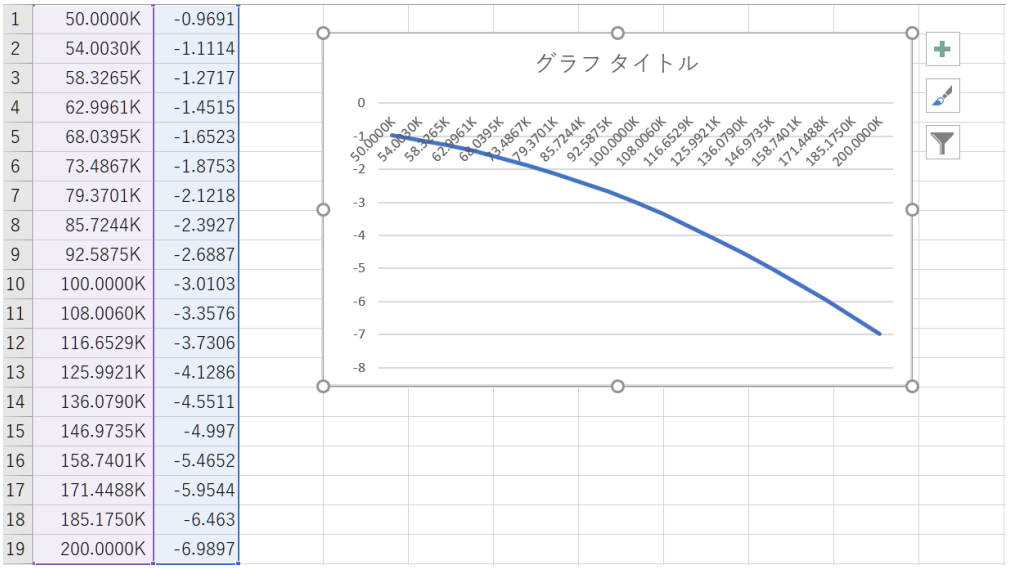
注意：ゲインの数値が「- 69.1135m」のように単位が付いている時は、「-0.0691135」に修正してください。

ブロックごとにリストを選択して、「挿入」から「グラフ」形式を選択してグラフを作ります。

1．　Excel にリストを読み込んだところ

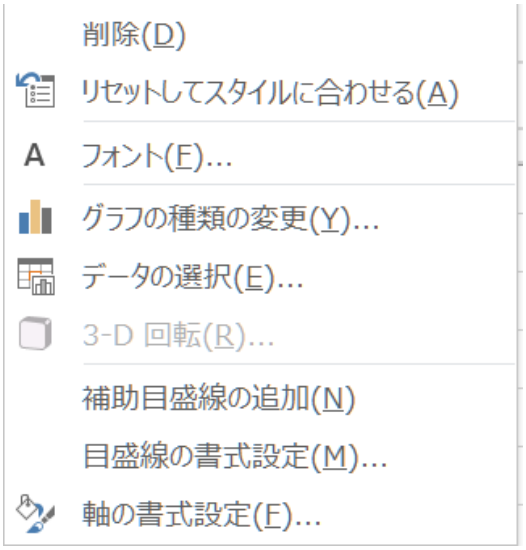
	A	B	C
1	50.0000K	-0.9691	
2	54.0030K	-1.1114	
3	58.3265K	-1.2717	
4	62.9961K	-1.4515	
5	68.0395K	-1.6523	
6	73.4867K	-1.8753	
7	79.3701K	-2.1218	
8	85.7244K	-2.3927	
9	92.5875K	-2.6887	
10	100.0000K	-3.0103	
11	108.0060K	-3.3576	
12	116.6529K	-3.7306	
13	125.9921K	-4.1286	
14	136.0790K	-4.5511	
15	146.9735K	-4.997	
16	158.7401K	-5.4652	
17	171.4488K	-5.9544	
18	185.1750K	-6.463	
19	200.0000K	-6.9897	
20			

2．　ブロック 1 のリストの範囲をドラッグして、「挿入」をクリックして、折れ線グラフをクリックして「2D 折れ線」の左端のグラフをクリックする。

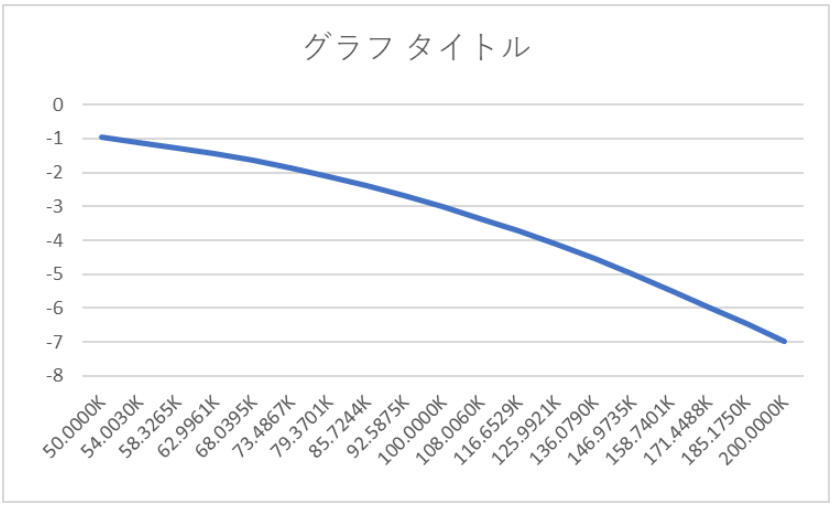


6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
Fc 付近のゲインリストからグラフを作成する方法

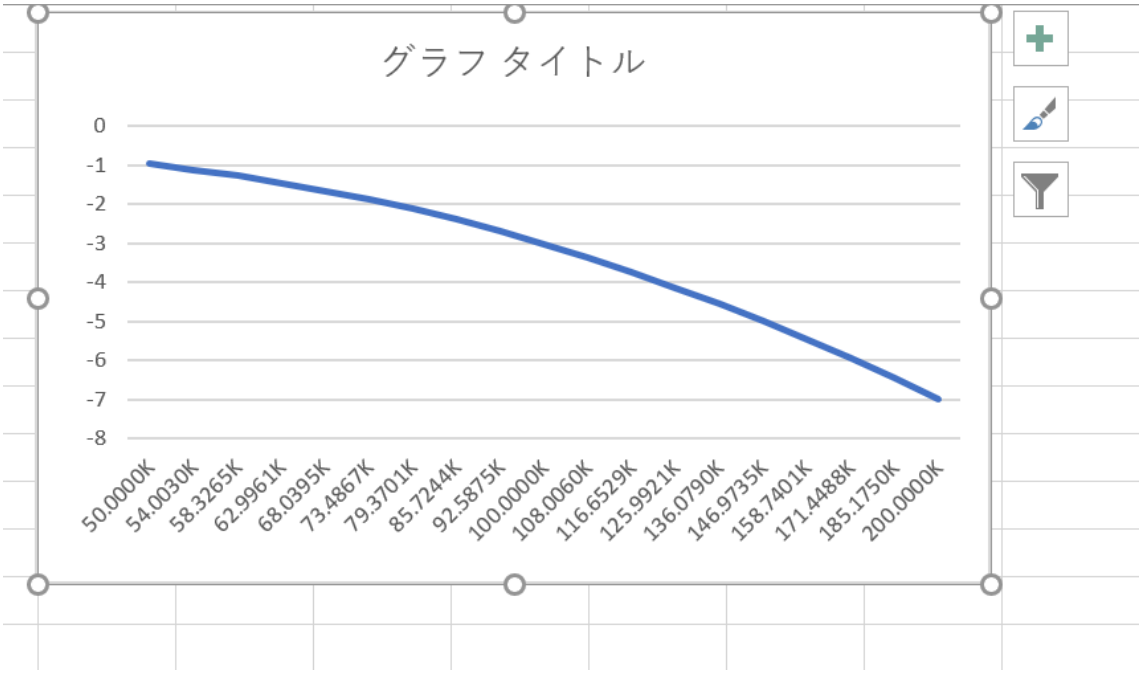
3．　少し表示を整えます。グラフの左端に縦に並んでいる数字の上で右クリックして「軸の書式設定」をクリックします。



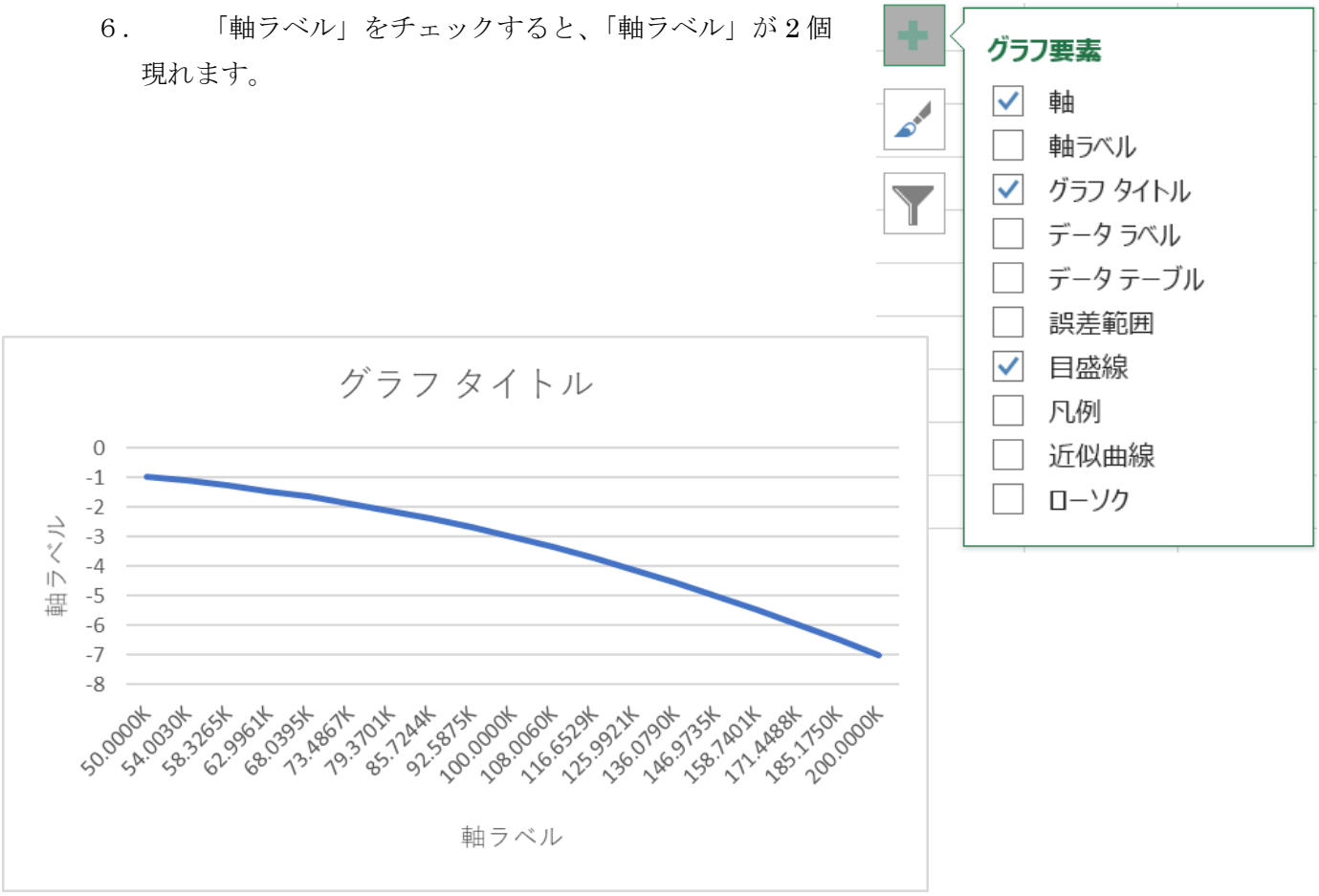
4．　最小値に表示されている「-8.0」をコピーして、「横軸との交点」の「軸の値」をチェックして、最小値の「-8.0」を貼り付けます。横軸の表示がグラフの下端に移動します。



5．　グラフの左上あたりで右クリックしてから「+」をクリックする。

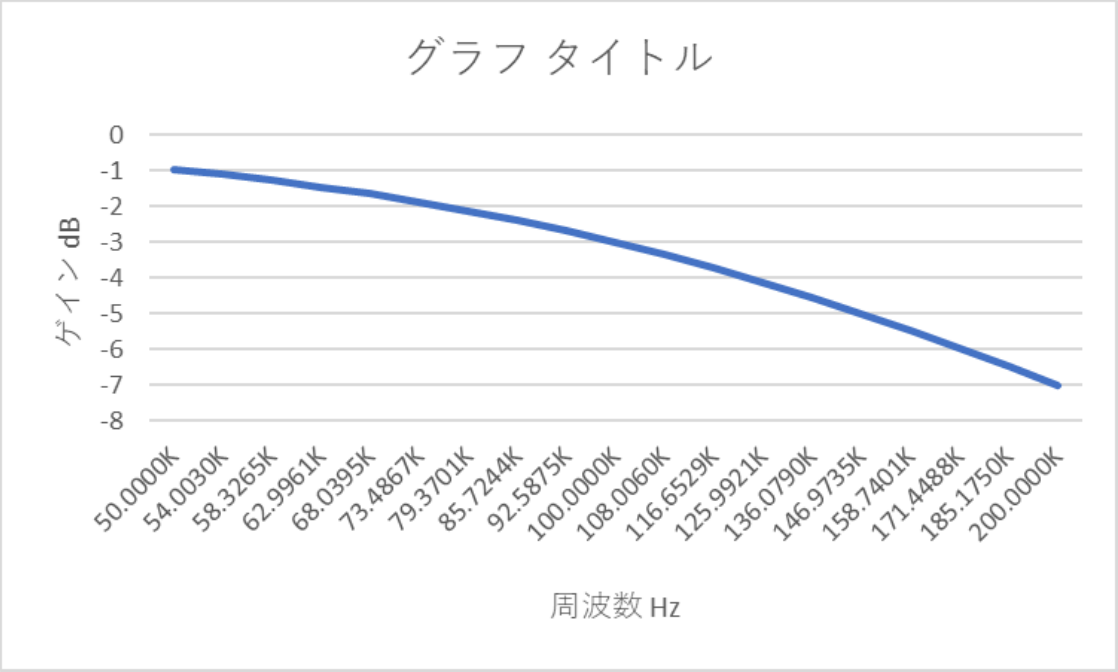


6．　「軸ラベル」をチェックすると、「軸ラベル」が 2 個現れます。

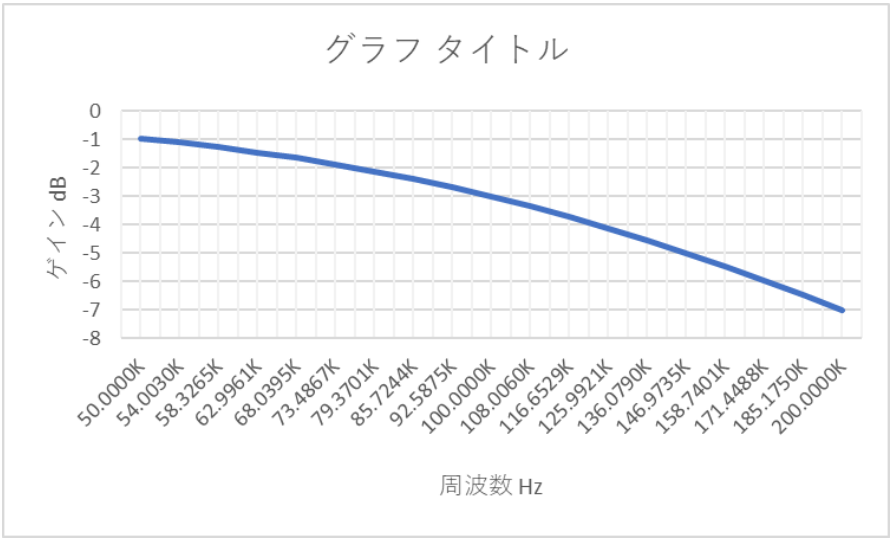


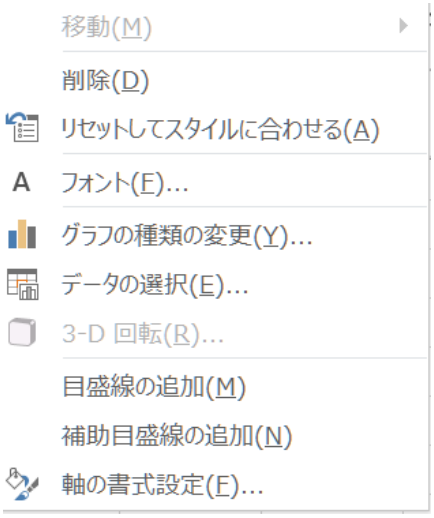
6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
Fc 付近のゲインリストからグラフを作成する方法

7．　左側の「軸ラベル」を左クリックして「ゲイン dB」に、下部の「軸ラベル」を左クリックして「周波数 Hz」にそれぞれ書き換える。

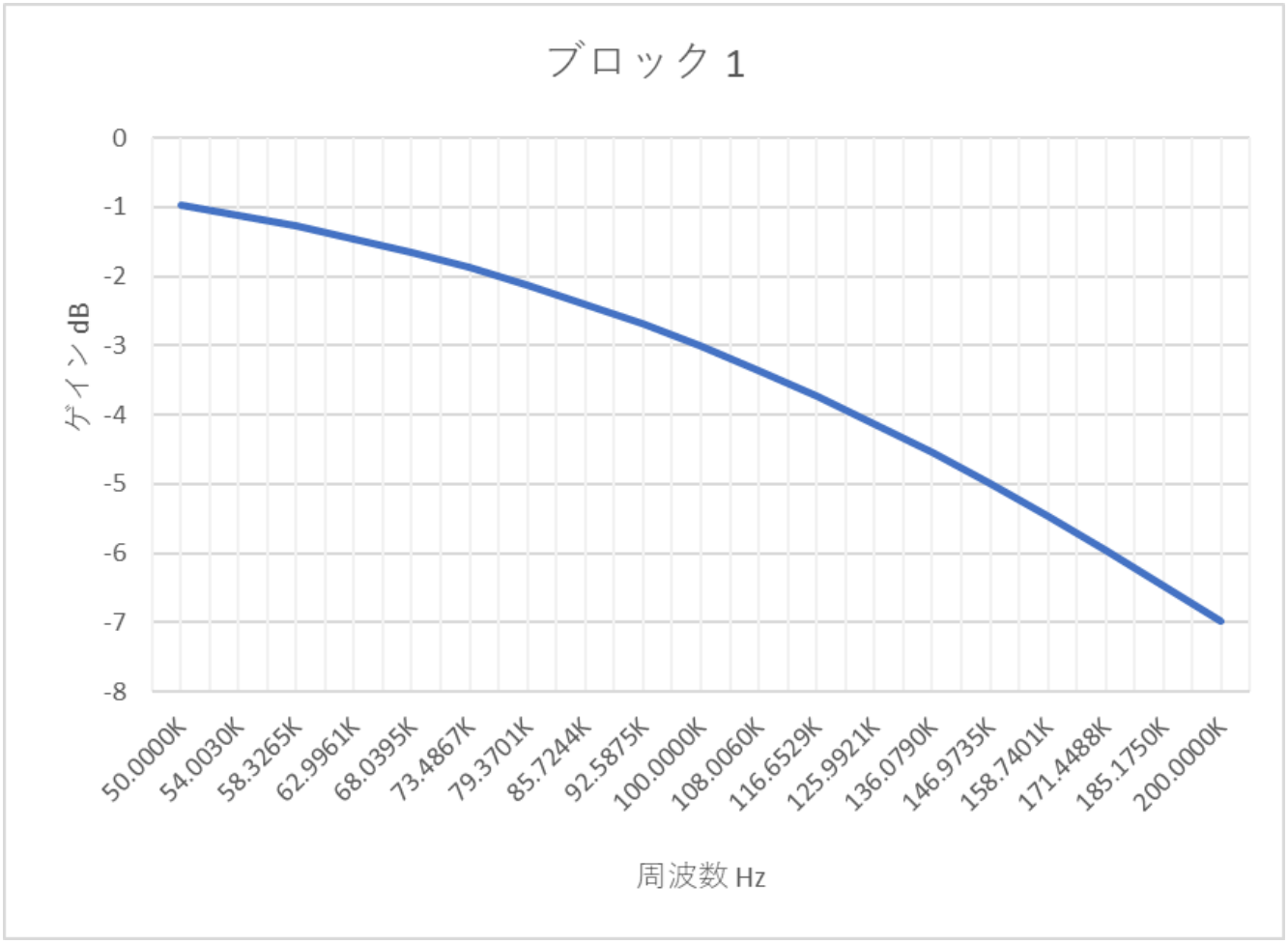


8．　周波数の数字の上で右クリックして、「補助目盛線の追加」をクリックする。





９．　「グラフタイトル」を左クリックして「ブロック 1」に書き換えて、完成。



グラフの左上あたりを右クリックして「コピー」をクリックして word に貼りつけます。

グラフとエクセルの表をドラッグして選択し、右クリックして「コピー」をクリックして一緒に word に貼り付けできます。

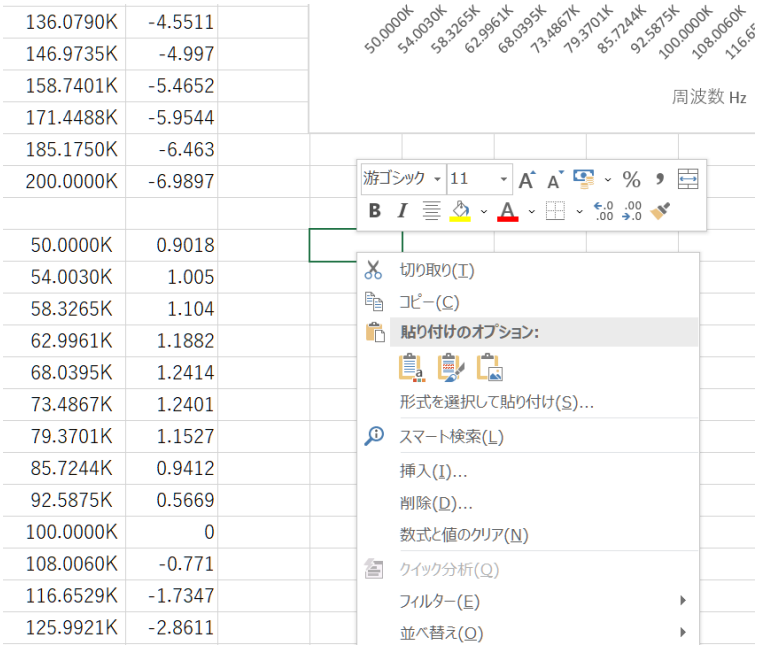
word に貼り付ける時に、「表」または「図」として貼り付けできます。

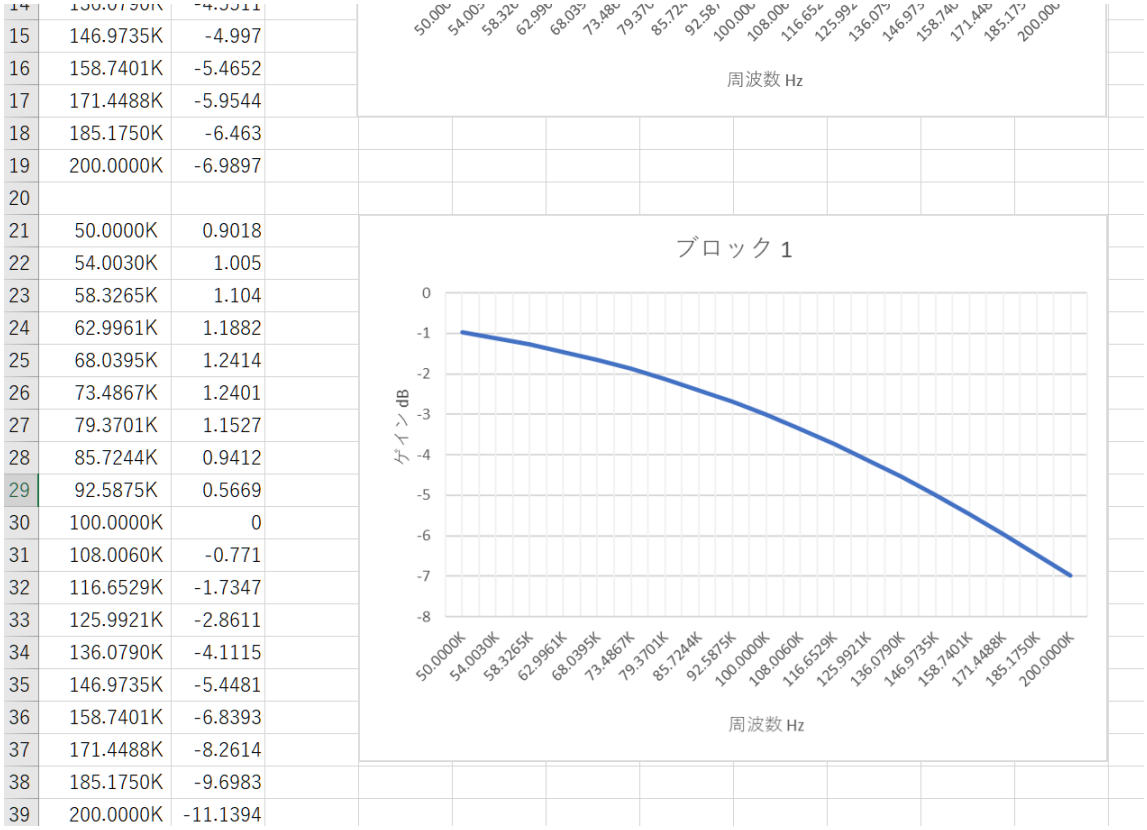
複数のブロックがある場合

1．ブロック 1 のグラフの左上あたりで右クリックして「コピー」をクリックします。ブロック 2 の右側のセルにカーソルを置いて右クリックして、

をクリックして貼り付けます。

でも貼り付けられます。

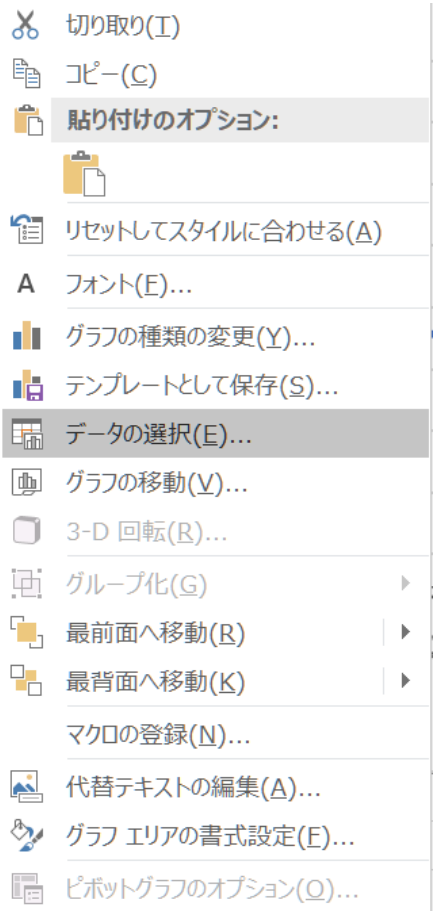


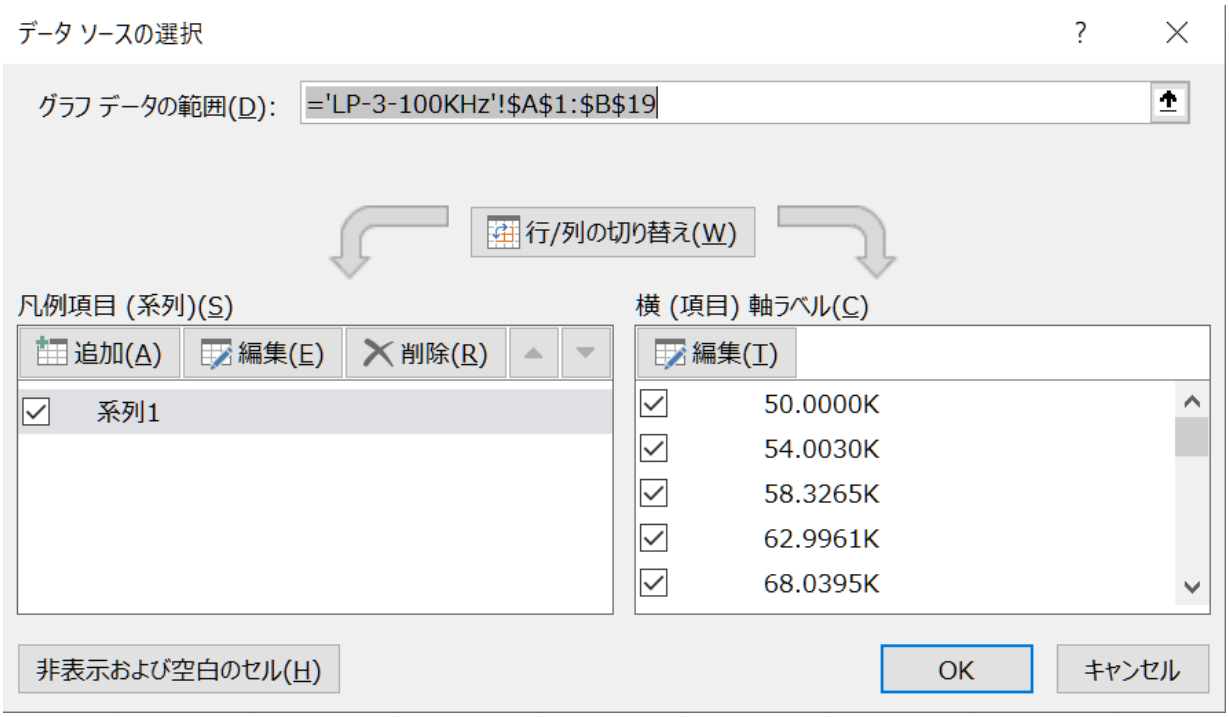


リストの右側に「表」の一部として、調整可能な状態で貼り付けられました。

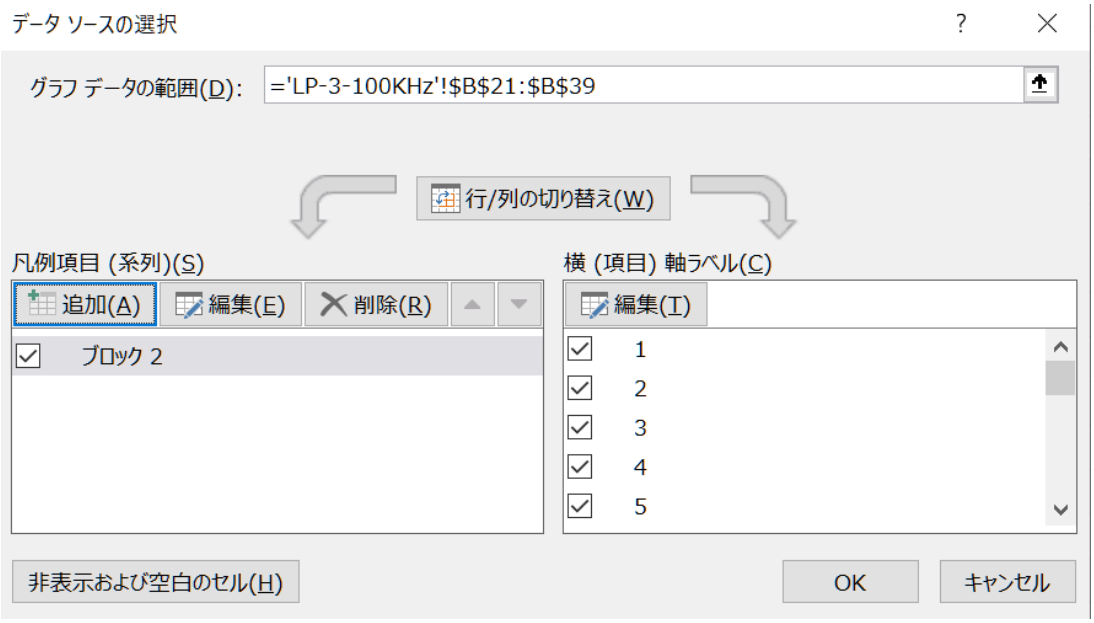
によって「図」として貼り付けると、グラフを調整できなくなります。

2．貼り付けたグラフのタイトルを「ブロック 2」に書き換えて、グラフの左上あたりで右クリックして、「データの選択」をクリックします。

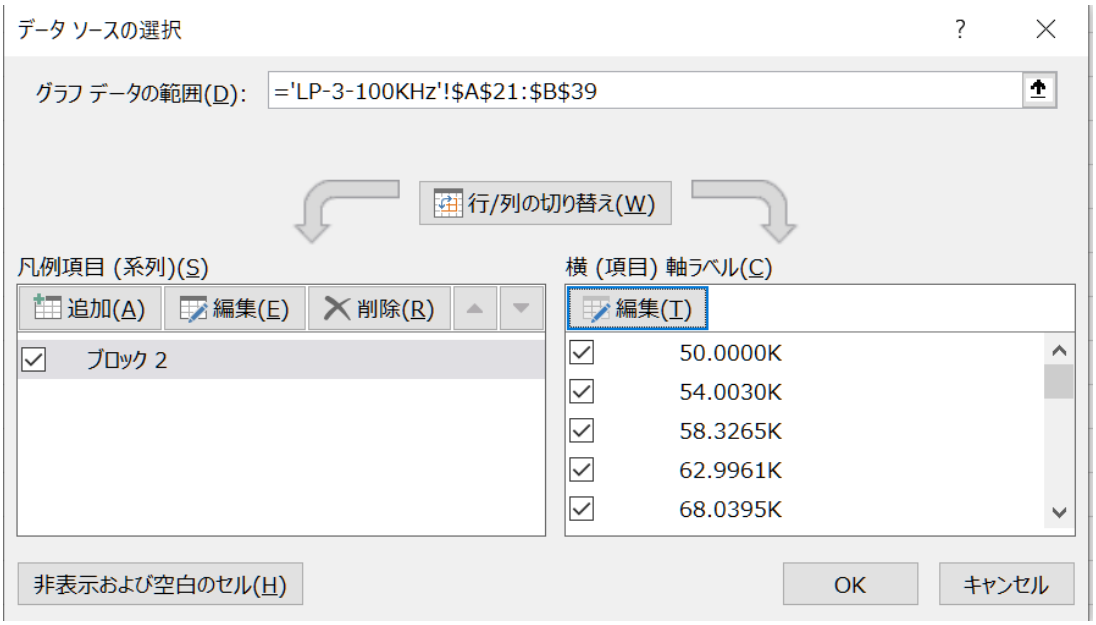




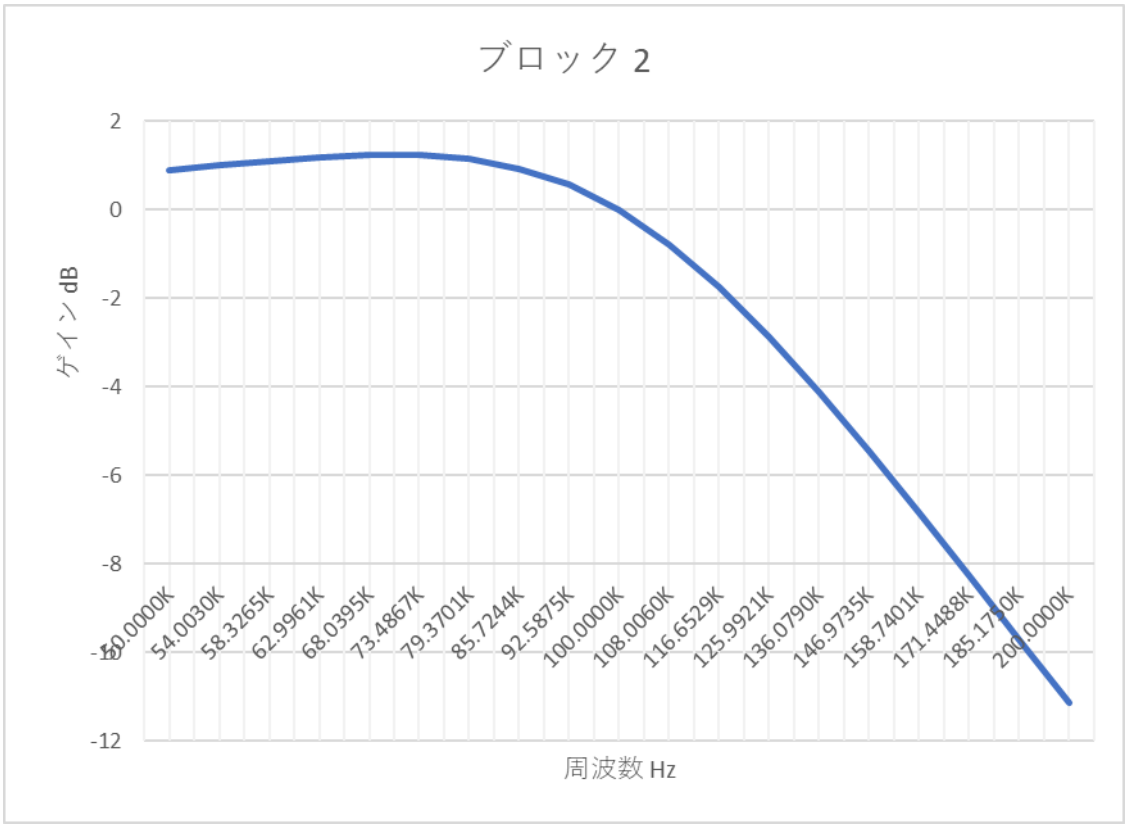
3．「系列 1」が選択されているので、「削除(R)」をクリックしてから、「追加(A)」をクリックして、「系列名」に「ブロック 2 」を入力して、「系列値」の右端の「矢印」をクリックしてブロック 2 のゲインリストの範囲をドラッグして「矢印」をクリックします。「OK」をクリックします。



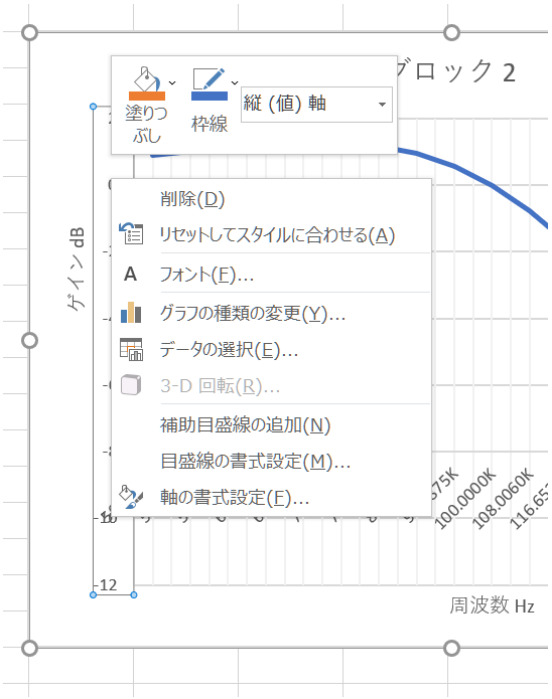
4．右側の「横軸ラベル」の「編集」をクリックして、「軸ラベルの範囲」の右端の「矢印」をクリックして、ブロック 2 の周波数リストの範囲をドラッグして「矢印」をクリックします。「OK」をクリックします。



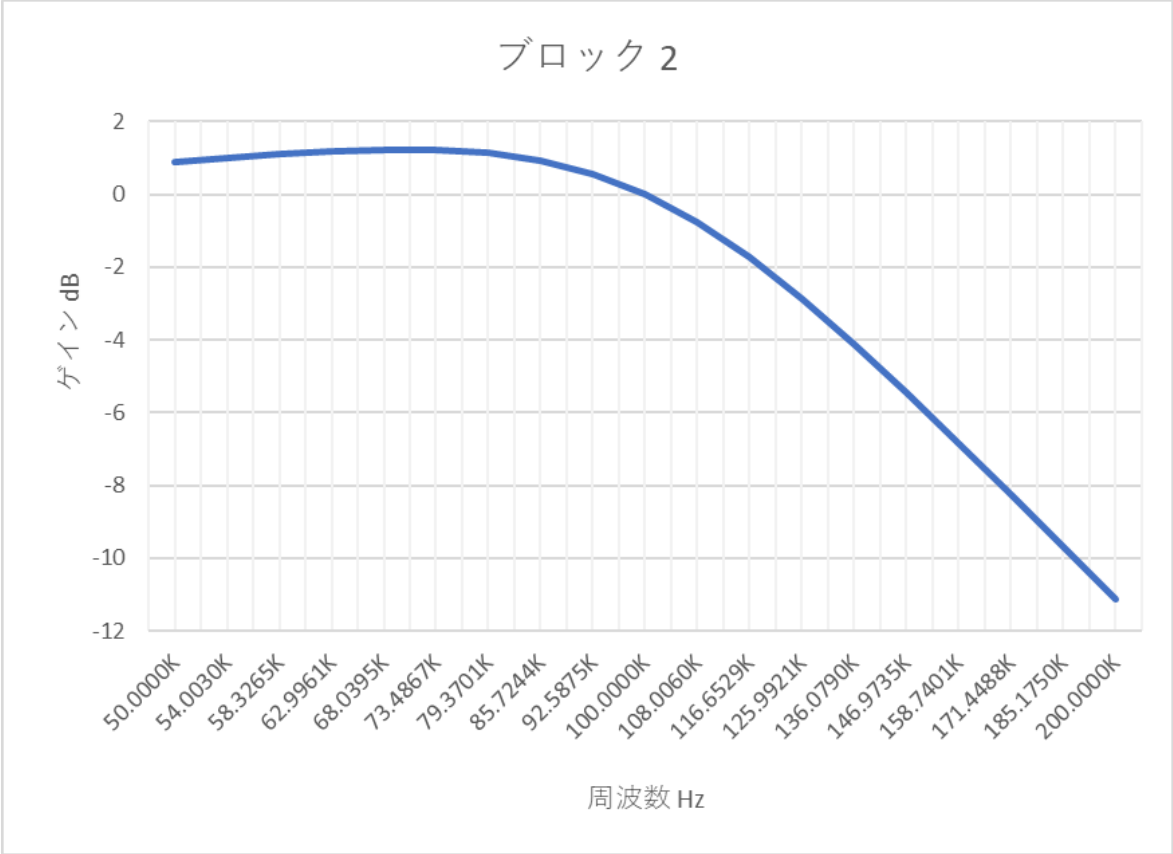
５．ブロック 2 のグラフに変更できたので、「横軸」の位置を変更します。



６．縦軸の数字の上で右クリックして、「軸の書式設定」をクリックします。



「最小値」の「-12.0」を「軸の値」に入力して完成です。



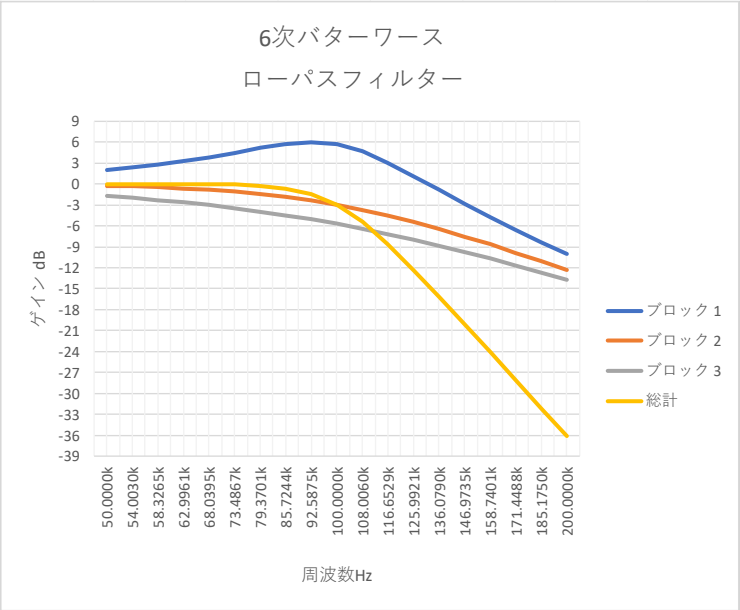
6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
複数のブロックがある場合

バターワースフィルタの場合

ローパスまたはハイパスではすべてのブロックの周波数が同一のリストになります。
従って、エクセルの表にリストを読み込んでから、周波数の列の右側の列にすべてのゲインを並べてコピーして、最後のゲインの列の右に「ゲインの総計」の列を作って、全ての列のゲインを合計する式を書き込みます。その後、全体を選択してグラフを作ります。

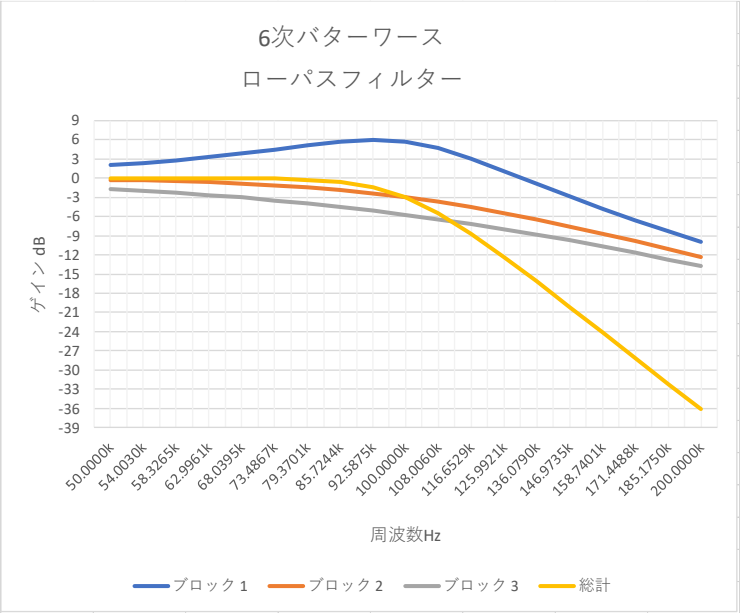
6 次バターワース･ローパスフィルタの例

50.0000k	2.0101	-0.2633	-1.7479	-0.0011
54.0030k	2.3663	-0.3545	-2.0144	-0.0026
58.3265k	2.7861	-0.4756	-2.3172	-0.0067
62.9961k	3.2779	-0.6352	-2.6596	-0.0169
68.0395k	3.846	-0.8433	-3.0452	-0.0425
73.4867k	4.4822	-1.1114	-3.4772	-0.1064
79.3701k	5.1467	-1.4515	-3.9585	-0.2633
85.7244k	5.7316	-1.8753	-4.4915	-0.6352
92.5875k	6.0193	-2.3927	-5.0781	-1.4515
100.0000k	5.7195	-3.0103	-5.7195	-3.0103
108.0060k	4.6813	-3.7306	-6.416	-5.4653
116.6529k	3.0558	-4.5511	-7.1673	-8.6626
125.9921k	1.1329	-5.4652	-7.9722	-12.3045
136.0790k	-0.8695	-6.463	-8.8288	-16.1613
146.9735k	-2.8436	-7.5329	-9.7348	-20.1113
158.7401k	-4.7496	-8.6626	-10.6871	-24.0993
171.4488k	-6.5793	-9.841	-11.6826	-28.1029
185.1750k	-8.337	-11.0578	-12.7177	-32.1125
200.0000k	-10.0311	-12.3045	-13.7891	-36.1247



左から 5 番目の列には「=SUM(B1:D1)」のような式が書き込まれています。

50.0000k	2.0101	-0.2633	-1.7479	-0.0011
54.0030k	2.3663	-0.3545	-2.0144	-0.0026
58.3265k	2.7861	-0.4756	-2.3172	-0.0067
62.9961k	3.2779	-0.6352	-2.6596	-0.0169
68.0395k	3.846	-0.8433	-3.0452	-0.0425
73.4867k	4.4822	-1.1114	-3.4772	-0.1064
79.3701k	5.1467	-1.4515	-3.9585	-0.2633
85.7244k	5.7316	-1.8753	-4.4915	-0.6352
92.5875k	6.0193	-2.3927	-5.0781	-1.4515
100.0000k	5.7195	-3.0103	-5.7195	-3.0103
108.0060k	4.6813	-3.7306	-6.416	-5.4653
116.6529k	3.0558	-4.5511	-7.1673	-8.6626
125.9921k	1.1329	-5.4652	-7.9722	-12.3045
136.0790k	-0.8695	-6.463	-8.8288	-16.1613
146.9735k	-2.8436	-7.5329	-9.7348	-20.1113
158.7401k	-4.7496	-8.6626	-10.6871	-24.0993
171.4488k	-6.5793	-9.841	-11.6826	-28.1029
185.1750k	-8.337	-11.0578	-12.7177	-32.1125
200.0000k	-10.0311	-12.3045	-13.7891	-36.1247

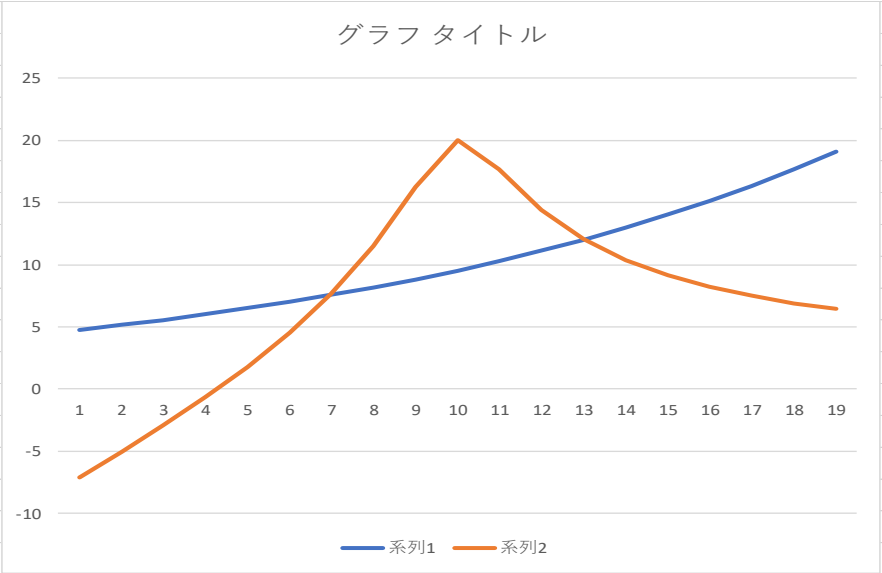


凡例の位置を変更することもできます。

周波数に「K」などの単位記号がついていない場合

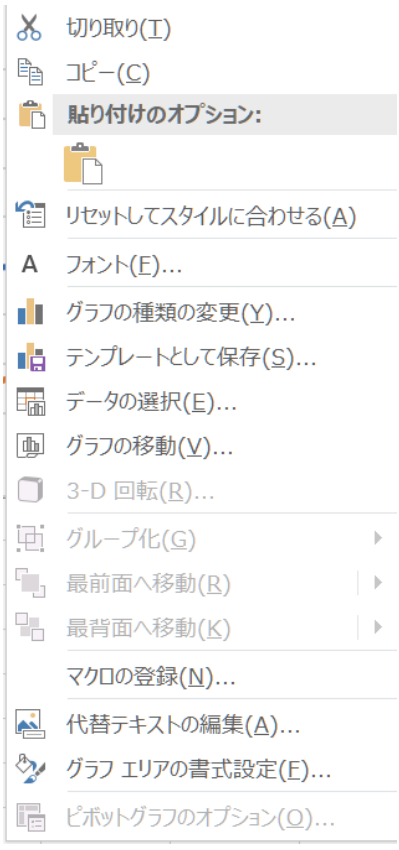
周波数とゲインの範囲を選択して、「挿入」から「グラフ」形式を選択してグラフを作ると下図のように 2 本のグラフが表示されて、横軸が「周波数」になりません。

4.7711	-7.1228	
5.1531	-5.0522	
5.5656	-2.9084	
6.0112	-0.6462	
6.4925	1.7963	
7.0123	4.5123	
7.5737	7.6522	
8.18	11.4664	
8.8349	16.2247	
9.5422	19.9909	
10.3062	17.682	
11.1313	14.3842	
12.0224	12.0371	
12.9849	10.3746	
14.0245	9.1501	
15.1473	8.2179	
16.36	7.4903	
17.6698	6.9117	
19.0844	6.445	

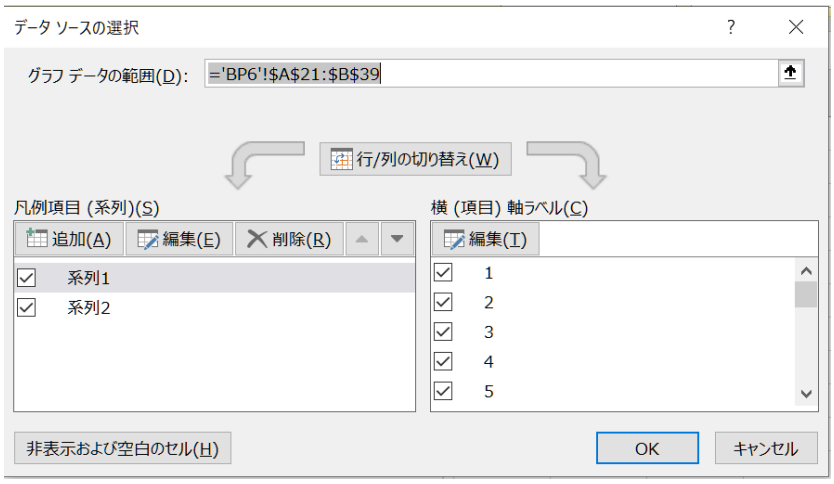


これを「周波数 対 ゲイン」のグラフに変換するには、次のようにします。

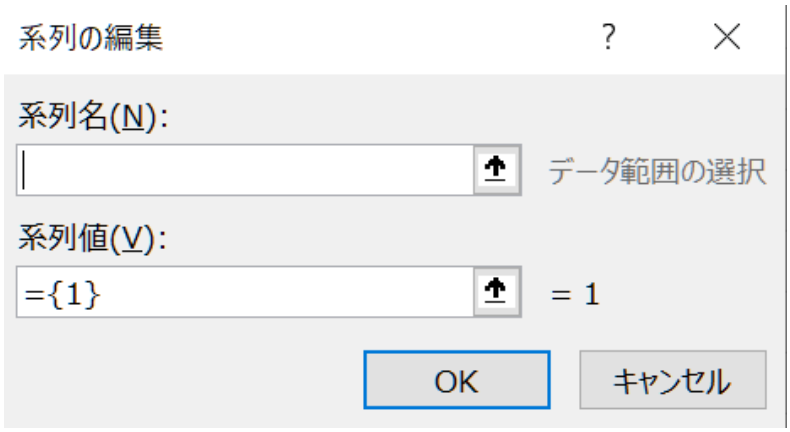
1．グラフの左上隅あたりを右クリックして「データの選択」をクリックする。



2．「系列 1」を左クリックして、「削除(R)」をクリックする。「系列 2」も同様にして削除する。



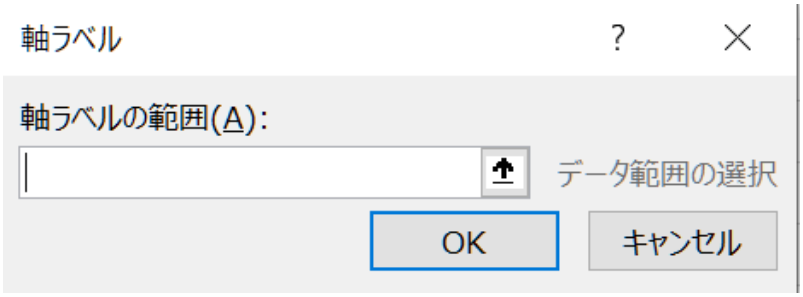
3．「追加(A)」をクリックする。



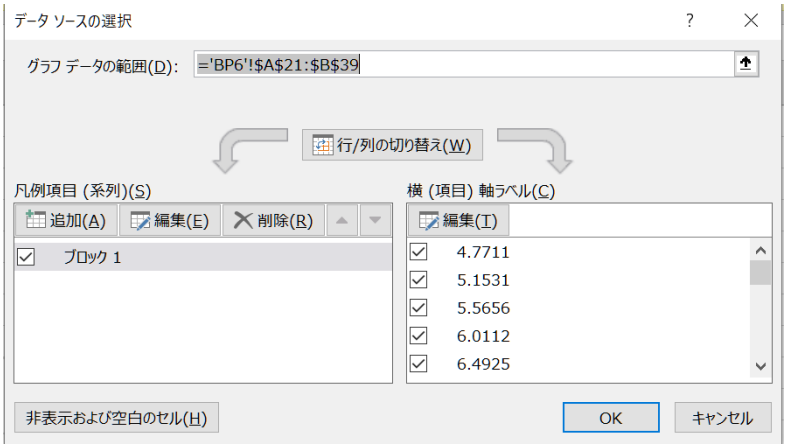
4．「系列値(N)」の「上矢印」をクリックして、エクセルの表のゲインの列の範囲をドラッグして「エンター」を押す。次に、「系列名(N)」に「ブロック 1」を入力する。

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
周波数に「K」などの単位記号がついていない場合

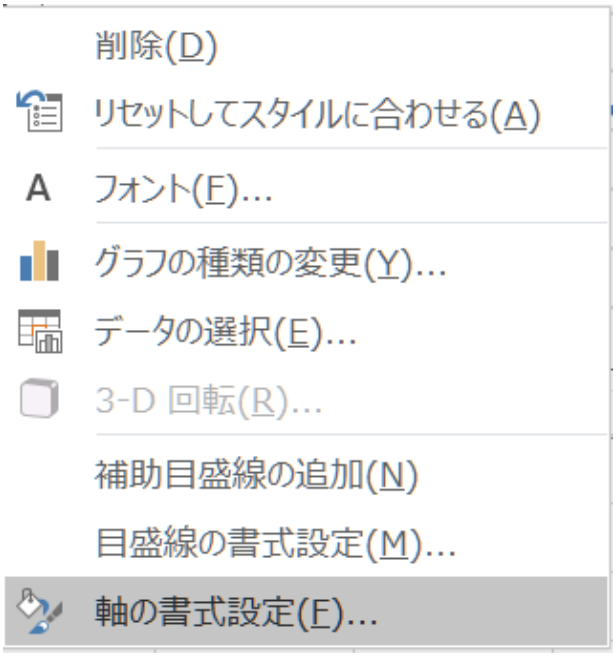
５．「編集(I)」を左クリックする。



６．「軸ラベルの範囲(A)」の右側の「矢印」を左クリックして、エクセルの表の周波数の列の範囲をドラッグして「OK」を押す。

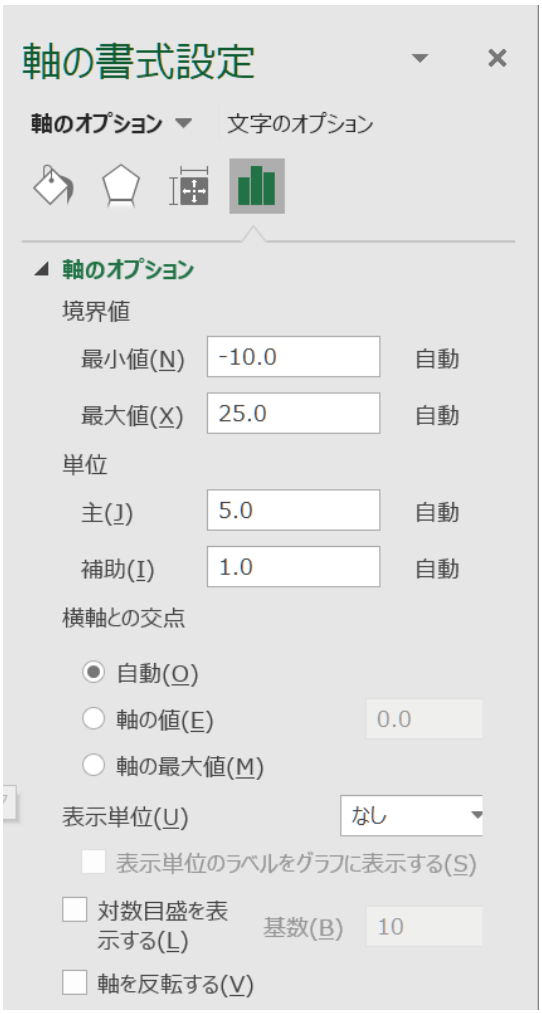


７．グラフの左側に縦に数字が並んでいるので、その数字の上で右クリックする。

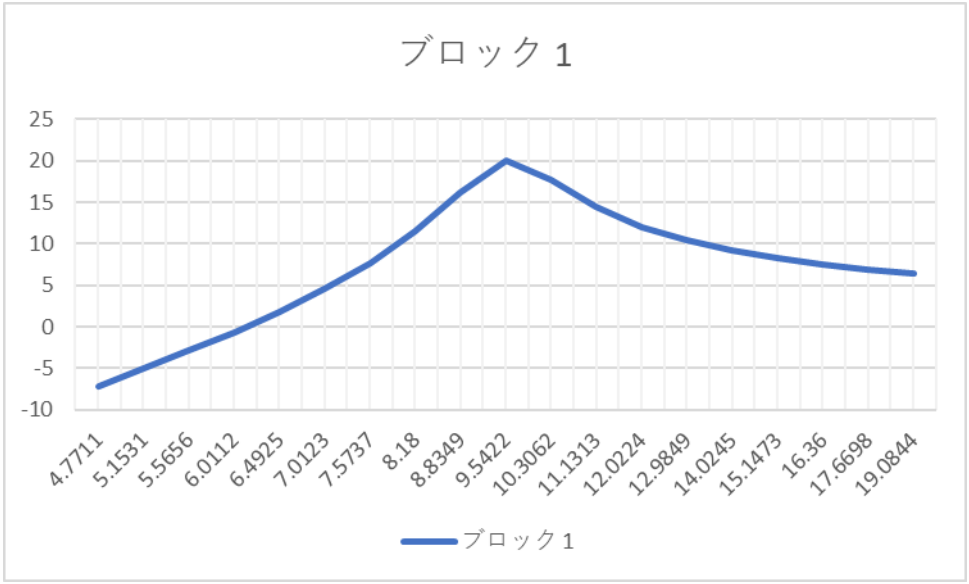


８．「軸の書式設定」を左クリックする。

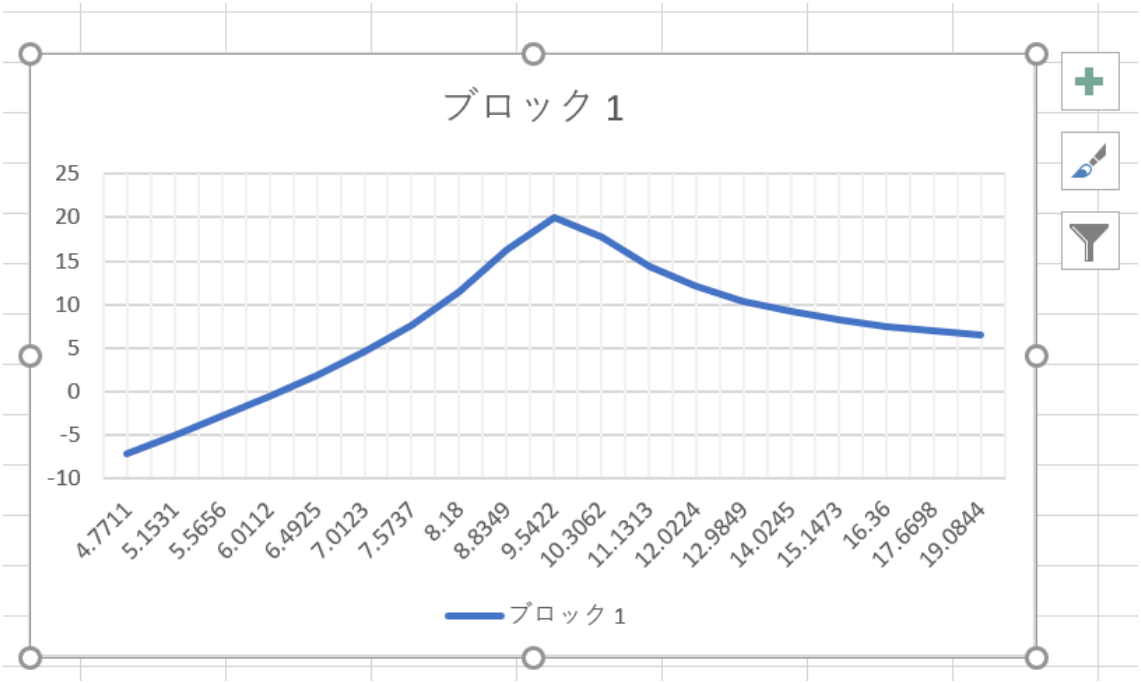
「横軸との交点」は「軸の値」をチェックして最小値の -10 を入力する。



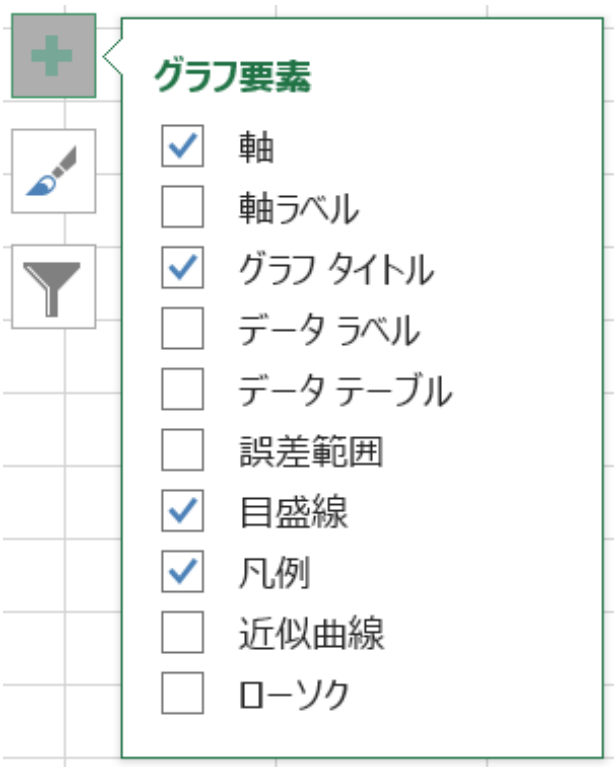
９．次に、グラフの下方に横に数字が並んでいるので、その数字の上で右クリックして、「補助目盛線の追加」を左クリックする。



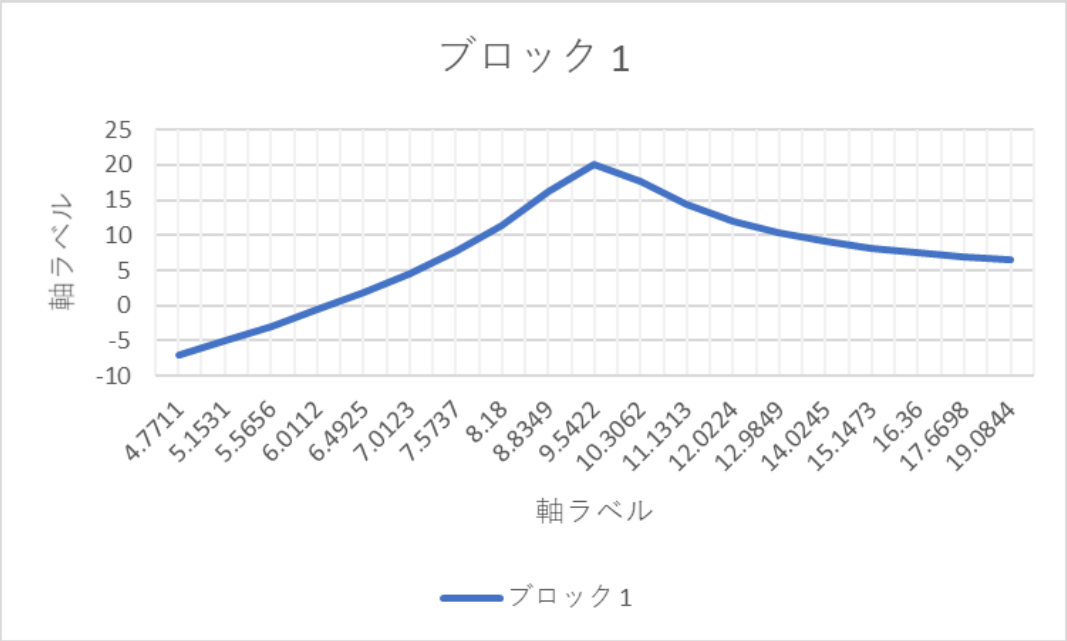
１０．　グラフの左上方で左クリックする。



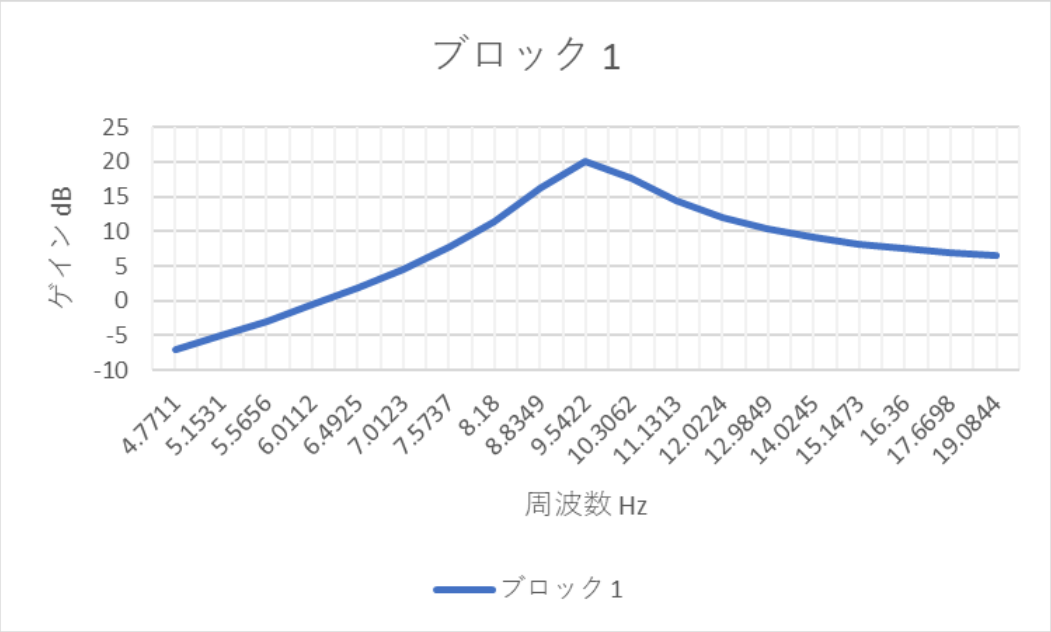
１１．　グラフの外側の右上の「+」を左クリックする。



１２．　「軸ラベル」をチェックする。



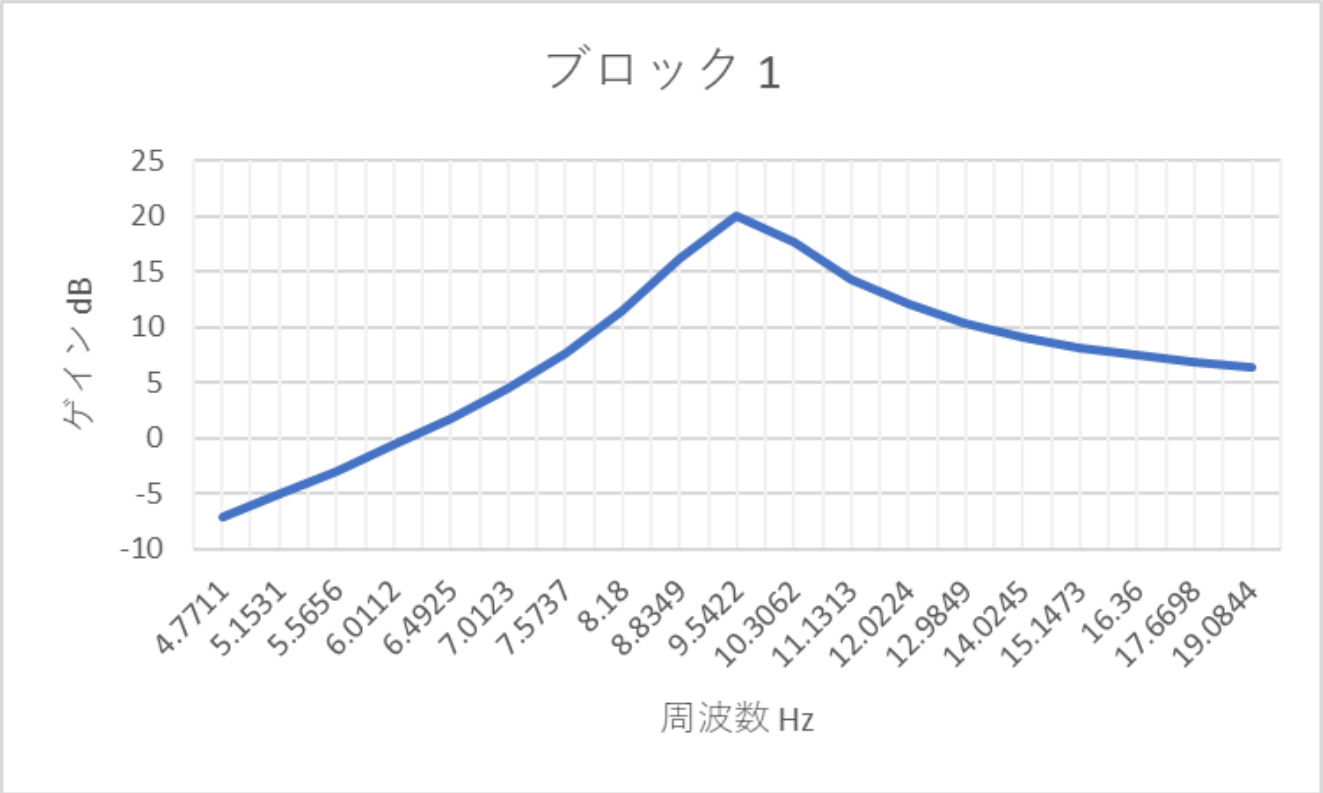
１３．　グラフの「縦軸」と「横軸」の近くにそれぞれ「軸ラベル」が出来たので、縦軸は「ゲイン dB」、横軸は「周波数 Hz」と入力する。



グラフが 1 個だけの場合は、グラフ下部の凡例「ブロック 1」を右クリックして「削除」をクリックする。

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
周波数に「K」などの単位記号がついていない場合

１４．　完成



グラフの左上あたりを右クリックして「コピー」をクリックして word に貼りつけます。

グラフとエクセルの表をドラッグして選択し、右クリックして「コピー」をクリックして一緒に word に貼り付けできます。

word に貼り付ける時に、「表」または「図」として貼り付けできます。

グラフ作成の詳細はエクセルの参考書などを参照してください。

周波数特性の調整

周波数が 100KHz 程度のフィルターは、「LtAct」が出力した回路図に対して、高域のピークを調整するためのわずかな調整を行うだけで、設計した特性に近い性能が得られます。

Fc 付近のゲインリストを使用して、各ブロックで複数の周波数におけるゲインを厳密に調整することが出来れば、設計した性能を正確に実現できる可能性があります。

しかし、数 MHz のフィルターの周波数特性を調整するのは簡単なことではありません。

最初に、「100KHz の 6 次 逆チェビシェフ・ローパスフィルタ」の Fc 付近のゲインリストと「LtAct」が出力した回路を「LTSpice」で確認したゲインを比較します。

********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\LP3_6-inv-100KHz.asc　作成日時 Sun May 30 16:29:38 2021
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6　　参照モード=0
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =150.0000KHz atts = 27.82dB

1 (et1)「LP3-2-1」 Rb_1(2 個)= 1.5403K Cb_1(2 個)= 0.8200n 誤差=2.62 %
1 R1_1 = 1.1000K R2_1 = 14.8961K R3_1 = 9.8075K R4_1(5 個)= 9.8075K 誤差=2.86 %
2 (et1)「LP3-2-2」 Rb_2(2 個)= 3.5085K Cb_2(2 個)= 0.3000n 誤差=2.61 %
2 R1_2 = 5.1000K R2_2 = 20.3218K R3_2 = 10.3252K R4_2(5 個)= 10.3252K 誤差=4.73 %
3 (et1)「LP3-2-2」 Rb_3(2 個)= 3.5802K Cb_3(2 個)= 0.2200n 誤差=0.55 %
3 R1_3 = 15.0000K R2_3 = 81.0580K R3_3 = 9.8532K R4_3(5 個)= 9.8532K 誤差=2.41 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =150.0000KHz atts = 27.82dB
２次式の形式

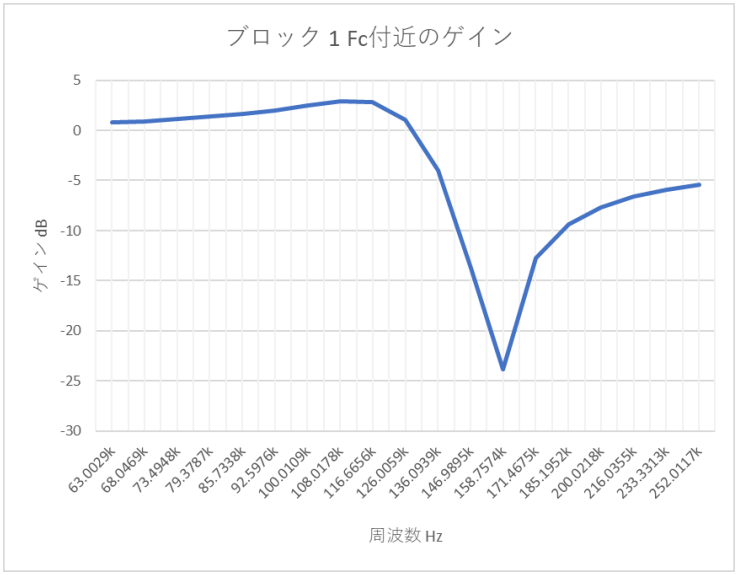
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
Blk No. 1	239.5295K	626.8175G	0.6584	0	626.8175G	Fc= 126.0059KHz Fc

ゲイン= 1.0547 dB Q = 3.3053 GB 積= 41.6488MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB	
63.0029K	0.7635	0.5 Fc
68.0469K	0.9179	
73.4948K	1.1091	
79.3787K	1.3477	
85.7338K	1.6465	
92.5976K	2.0173	
100.0109K	2.4554	
108.0178K	2.8709	ピーク
116.6656K	2.8321	
126.0059K	1.0547	Fc
136.0939K	- 3.9791	
146.9895K	-13.7148	
158.7574K	-23.8144	ディップ
171.4675K	-12.7020	
185.1952K	- 9.3747	
200.0218K	- 7.6709	
216.0355K	- 6.6344	
233.3313K	- 5.9426	
252.0117K	- 5.4528	2 Fc

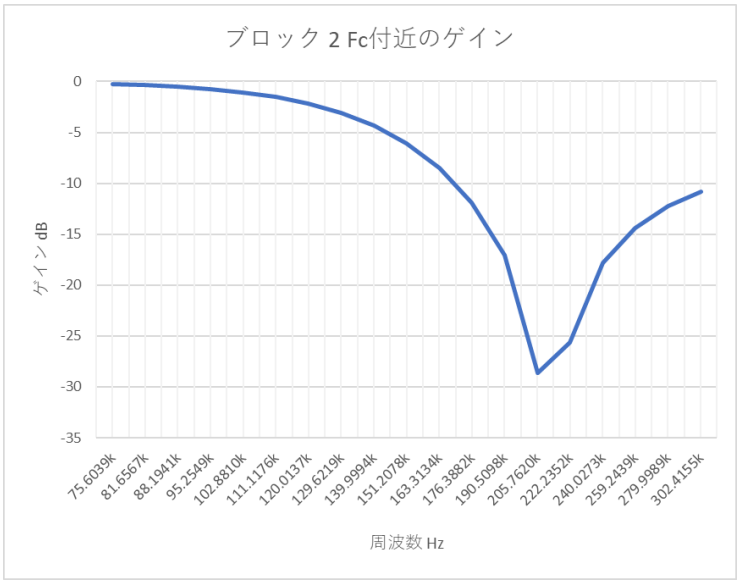


	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
Blk No. 2	942.3546K	902.6256G	0.5081	0	902.6256G	Fc= 151.2078KHz Fc

ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積= 15.2445MegHz

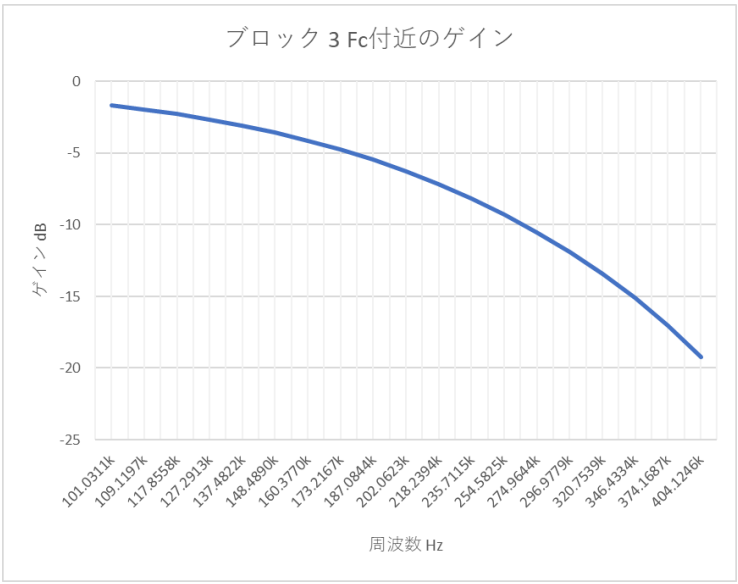
周波数 Hz	ゲイン dB	
75.6039K	- 0.2565	0.5 Fc

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」



81.6567K - 0.3621
88.1941K - 0.5134
95.2549K - 0.7310
102.8810K - 1.0442
111.1176K - 1.4950
120.0137K - 2.1400
129.6219K - 3.0541
139.9994K - 4.3315
151.2078K - 6.0914 Fc
163.3134K - 8.5035
176.3882K - 11.8820
190.5098K - 17.0709
205.7620K - 28.6208 ディップ
222.2352K - 25.6226
240.0273K - 17.8503
259.2439K - 14.3648
279.9989K - 12.2619
302.4155K - 10.8414 2 Fc

Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 3 2.2988Meg 1.6119T 0.1216 0 1.6119T Fc= 202.0623KHz Fc ゲイン= - 6.2823 dB Q = 0.5523 GB 積= 11.1598MegHz



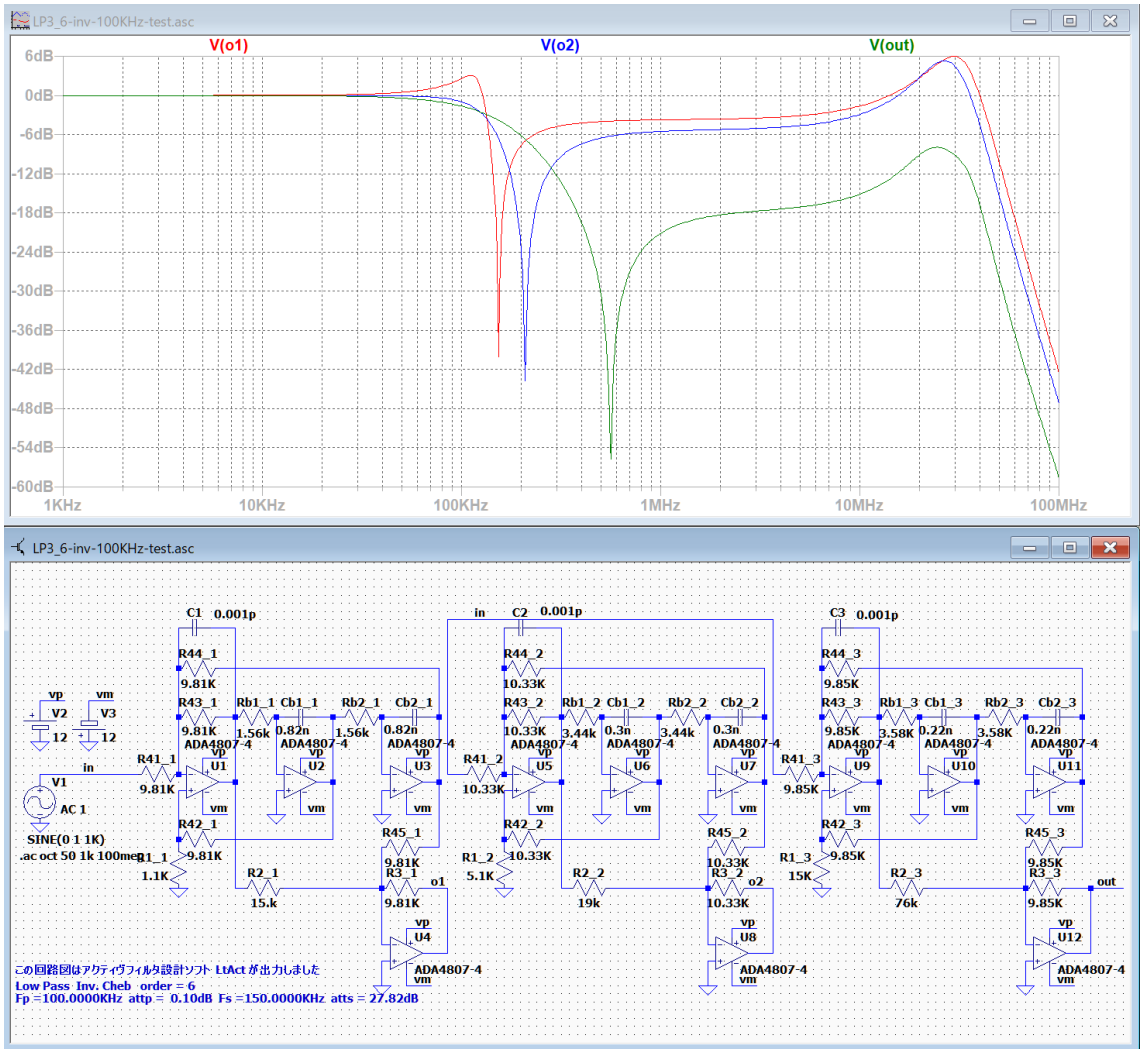
周波数 Hz　ゲイン dB
101.0311K - 1.6734 0.5 Fc
109.1197K - 1.9507
117.8558K - 2.2719
127.2913K - 2.6431
137.4822K - 3.0706
148.4890K - 3.5608
160.3770K - 4.1205
173.2167K - 4.7564
187.0844K - 5.4749
202.0623K - 6.2823 Fc
218.2394K - 7.1852
235.7115K - 8.1900
254.5825K - 9.3044
274.9644K - 10.5377

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
周波数特性の調整

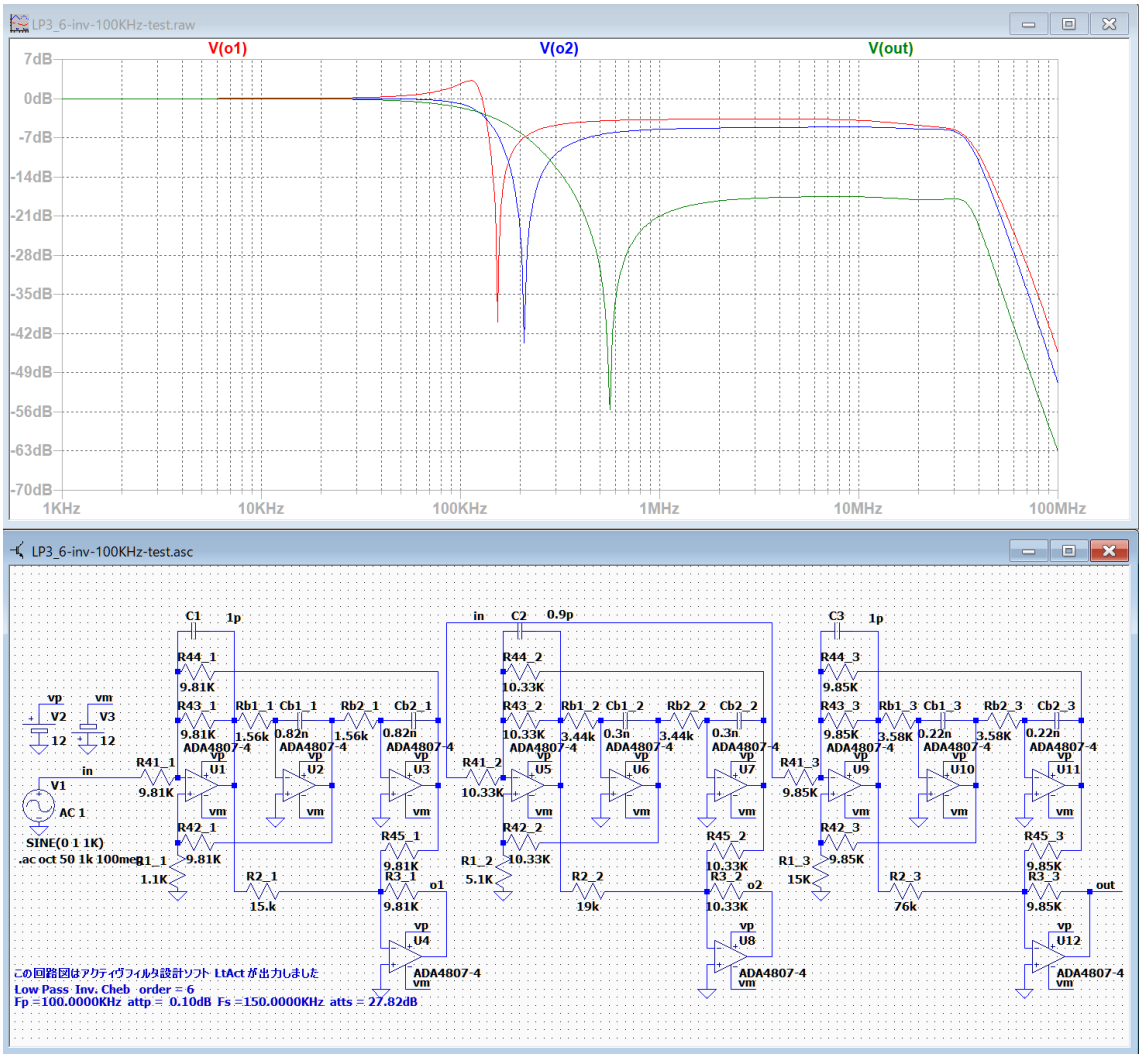
296.9779K　- 11.9027
320.7539K　- 13.4178
346.4334K　- 15.1105
374.1687K　- 17.0244
404.1246K　- 19.2312　2 Fc

最初に、ブロックごとに出力を確認できるように回路図を変更してから、ブロックごとに高域のピークを調整してから、各ブロックのカットオフ周波数付近のゲインを確認して、ゲインリストの値と比較します。

次に、回路図の配線を元に戻して、周波数特性を設計値と比較します。



調整する前は、高域にピークが発生している



各ブロックのピークを調整すると、高域のピークが消えました。
これから、各ブロックのカットオフ周波数付近（0.5 Fc, Fc, 2 Fc およびピークまたはディップ周波数）のゲインを確認します。

第 1 ブロック

周波数 Hz	ゲイン dB	確認したゲイン dB	差　dB
63.0029K	0.7635（0.5 Fc）	0.807	0.0435
108.0178K	2.8709（ピーク）	3.122	0.2511
126.0059K	1.0547 （Fc）	0.895	- 0.1597
252.0117K	- 5.4528（2 Fc）	- 5.440	0.0128

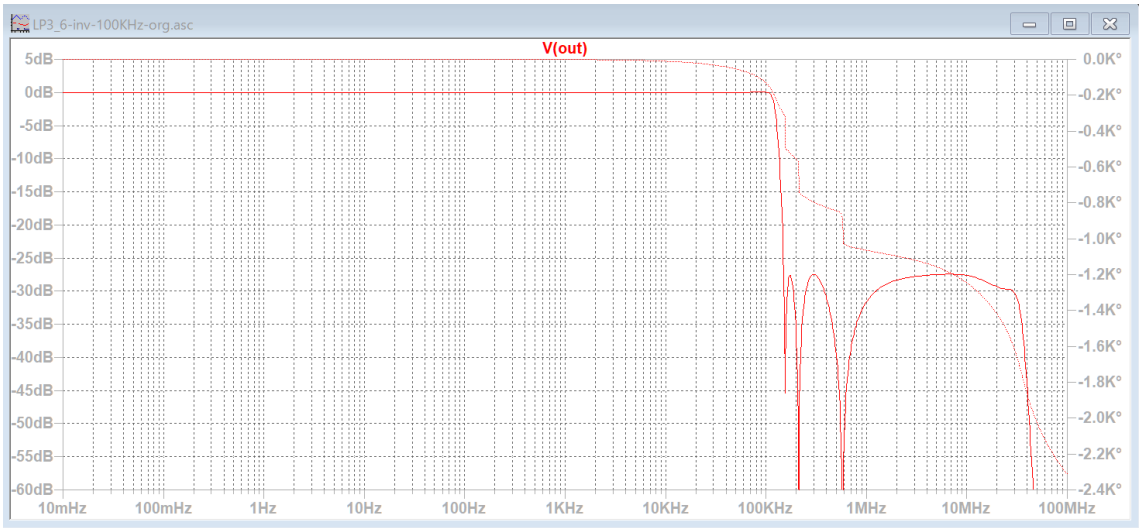
第 2 ブロック

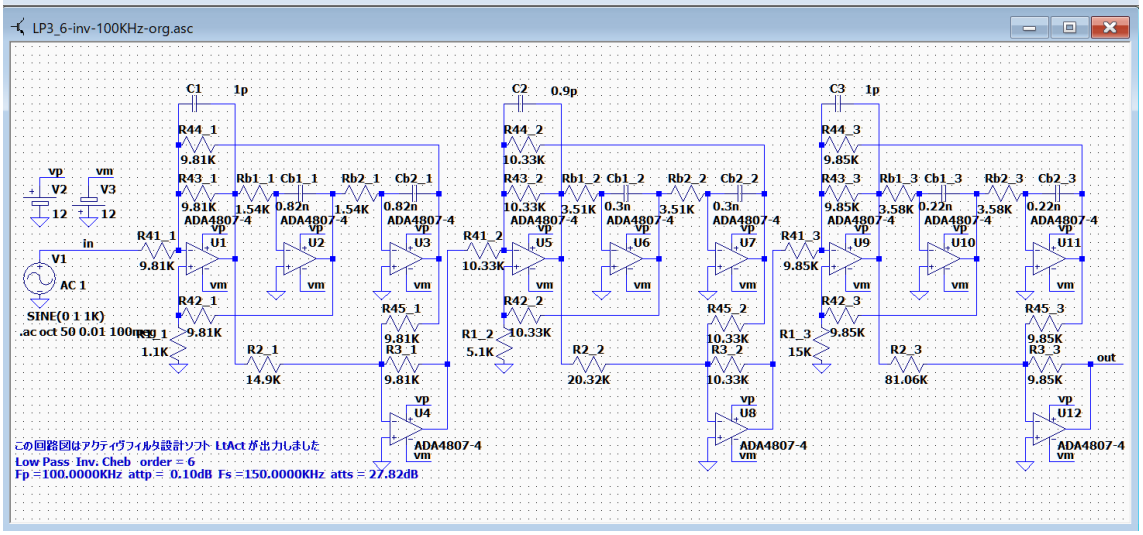
周波数 Hz	ゲイン dB	確認したゲイン dB	差 dB
75.6039K	- 0.2565（0.5 Fc）	- 0.304	- 0.0475
151.2078K	- 6.0914 （Fc）	- 6.09	0.0014
205.7620K	- 28.6208（ディップ）	- 33.858	- 5.238
302.4155K	- 10.8414 （2 Fc）	- 9.865	0.9764

第 3 ブロック

周波数 Hz	ゲイン dB	確認したゲイン dB	差 dB
101.0311K	- 1.6734（0.5 Fc）	- 1.673	0.0004
202.0623K	- 6.2823（Fc）	- 6.2826	- 0.0003
404.1246K	- 19.2312（2 Fc）	- 19.638	- 0.4068

配線を元に戻した時の周波数特性





104KHz まで 0dB, 150KHz で -27.6dB, 阻止域の最低減衰量 -27.4dB

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
周波数特性の調整

この 100KHz の回路図では周波数特性の調整を行わなくてもほぼ完全に設計した特性が得られることが確認できました。

調整後の各ブロックのカットオフ周波数付近のゲインは、「Fc 付近のゲインリスト」の値と比較すると多少の誤差が確認できます。
第 1 ブロックでは 0.5 Fc, ピーク周波数、Fc および 2 Fc における誤差は±0.25dB 以内、
第 2 と第 3 ブロックでは、0.5 Fc と Fc における誤差は±0.1dB 以内です。

ディップと 2 Fc におけるゲインの誤差はあまり気にする必要がないようですが、ディップの周波数はできるだけゲインリストの周波数に近づけるべきです。

従って、0.5 Fc, ピーク周波数、Fc のゲインをできるだけゲインリストの値に近づけるように調整すれば、周波数特性を改善できると考えられます。
ピークのないブロックでは、0.5 Fc と Fc のゲインを調整すればよいことになります。

100KHz のフィルターでも、「Fc 付近のゲインリスト」で示されるゲインにできるだけ調整すれば、さらに設計した特性に近づけることが出来ます。

次に、「10MHz のローパスフィルタ」の周波数特性を改善する手順を説明します。

実験データは「OP のテストデータ」→「ver.3.00 LP1-LP4_6-10MHz」に収納しました。

調整例 LP1_6-but-10MHz.asc

バターワース・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-31 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\but\LP1\LP1_6-but-10MHz.asc 作成日時 Sun May 31 05:15:59 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6　　参照モード=0

Fp = 10.0000MegHz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000MegHz atts = 21.16dB

1 (LP1)「LP1-3-1」 C1_1 = 0.1000n C2_1 = 3.3000p
R1_1 = R3_1 = 1.0967K R2_1 = 699.8968 誤差 = 2.86 %
2 (LP1)「LP1-3-2」 C1_2 = 10.0000p C2_2 = 2.4000p
R1_2 = R3_2 = 3.7513K R2_2 = 2.8135K 誤差 = 5.66 %
3 (LP1)「LP1-3-2」 C1_3 = 10.0000p C2_3 = 4.3000p
R1_3 = R3_3 = 2.5750K R2_3 = 2.2876K 誤差 = 6.18 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6

Fp = 10.0000MegHz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000MegHz atts = 21.16dB

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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	32.5242Meg	3947.8418T	0	0	3947.8418T

Fc= 10.0000MegHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積= 1.9319GHz

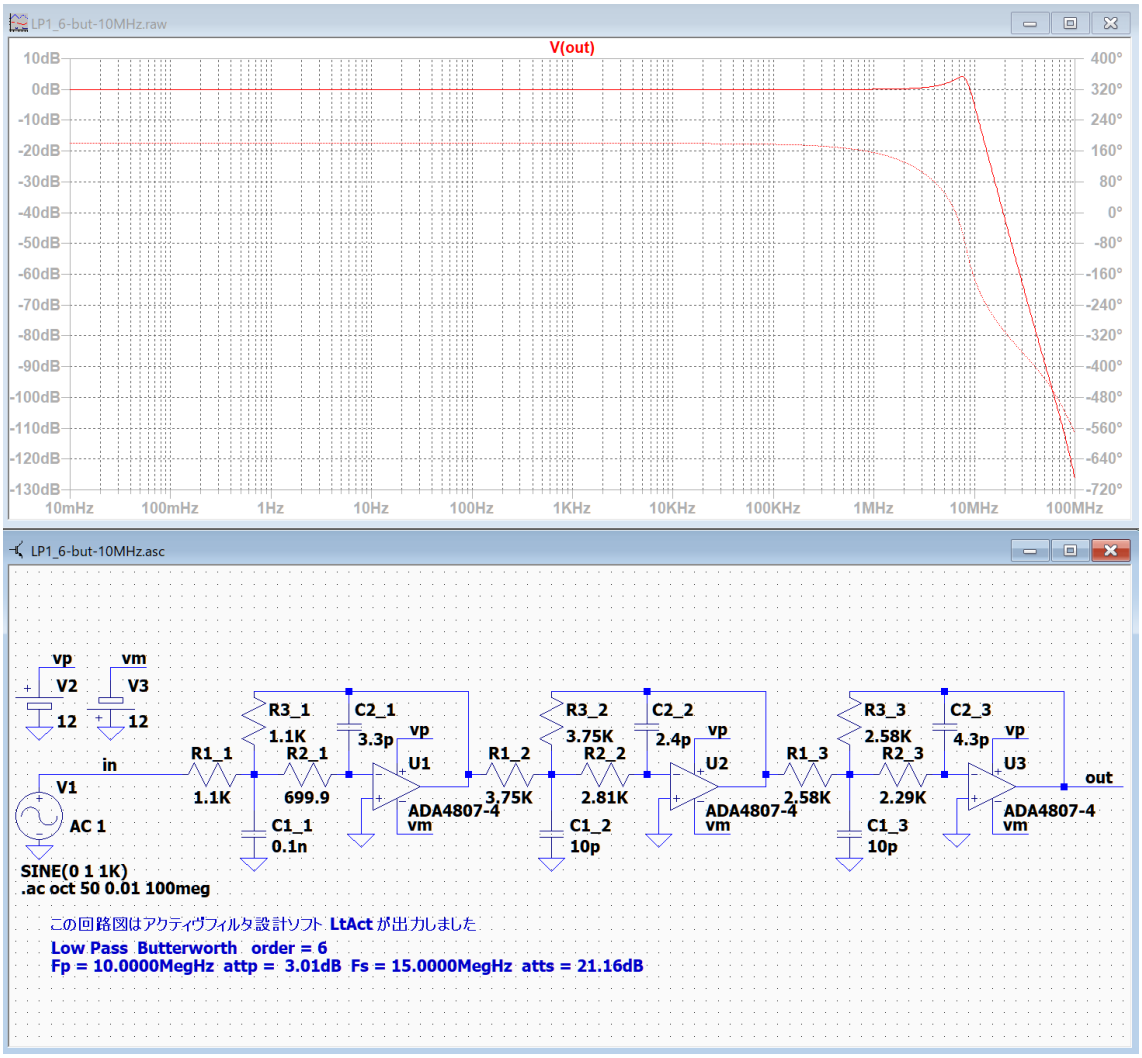
周波数 Hz	ゲイン dB	
5.0000Meg	2.0101	0.5 Fc
5.4003Meg	2.3663	
5.8326Meg	2.7861	
6.2996Meg	3.2779	
6.8040Meg	3.8460	
7.3487Meg	4.4822	
7.9370Meg	5.1467	
8.5724Meg	5.7316	
9.2587Meg	6.0193	ピーク

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

10.0000Meg　5.7195　Fc
10.8006Meg　4.6813
11.6653Meg　3.0558
12.5992Meg　1.1329
13.6079Meg　- 0.8695
14.6973Meg　- 2.8436
15.8740Meg　- 4.7496
17.1449Meg　- 6.5793
18.5175Meg　- 8.3370
20.0000Meg　-10.0311　2 Fc
Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2 88.8577Meg 3947.8418T　0　0 3947.8418T Fc= 10.0000MegHz Fc
ゲイン=- 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積=707.1069MegHz
周波数 Hz　ゲイン dB
5.0000Meg　- 0.2633　0.5 Fc
5.4003Meg　- 0.3545
5.8326Meg　- 0.4756
6.2996Meg　- 0.6352
6.8040Meg　- 0.8433
7.3487Meg　- 1.1114
7.9370Meg　- 1.4515
8.5724Meg　- 1.8753
9.2587Meg　- 2.3927
10.0000Meg　- 3.0103　Fc
10.8006Meg　- 3.7306
11.6653Meg　- 4.5511
12.5992Meg　- 5.4652
13.6079Meg　- 6.4630
14.6973Meg　- 7.5329
15.8740Meg　- 8.6626
17.1449Meg　- 9.8410
18.5175Meg　-11.0578
20.0000Meg　-12.3045

```
              Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  3 121.3818Meg  3947.8418T       0         0   3947.8418T Fc= 10.0000MegHz  Fc
ゲイン=- 5.7195 dB  Q =  0.5176  GB 積=517.6382MegHz
   周波数 Hz    ゲイン dB
    5.0000Meg   - 1.7479   0.5 Fc
    5.4003Meg   - 2.0144
    5.8326Meg   - 2.3172
    6.2996Meg   - 2.6596
    6.8040Meg   - 3.0452
    7.3487Meg   - 3.4772
    7.9370Meg   - 3.9585
    8.5724Meg   - 4.4915
    9.2587Meg   - 5.0781
   10.0000Meg   - 5.7195   Fc
   10.8006Meg   - 6.4160
   11.6653Meg   - 7.1673
   12.5992Meg   - 7.9722
   13.6079Meg   - 8.8288
   14.6973Meg   - 9.7348
   15.8740Meg   -10.6871
   17.1449Meg   -11.6826
   18.5175Meg   -12.7177
   20.0000Meg   -13.7891
```

無調整時の周波数特性　LP1_6-but-10MHz.asc

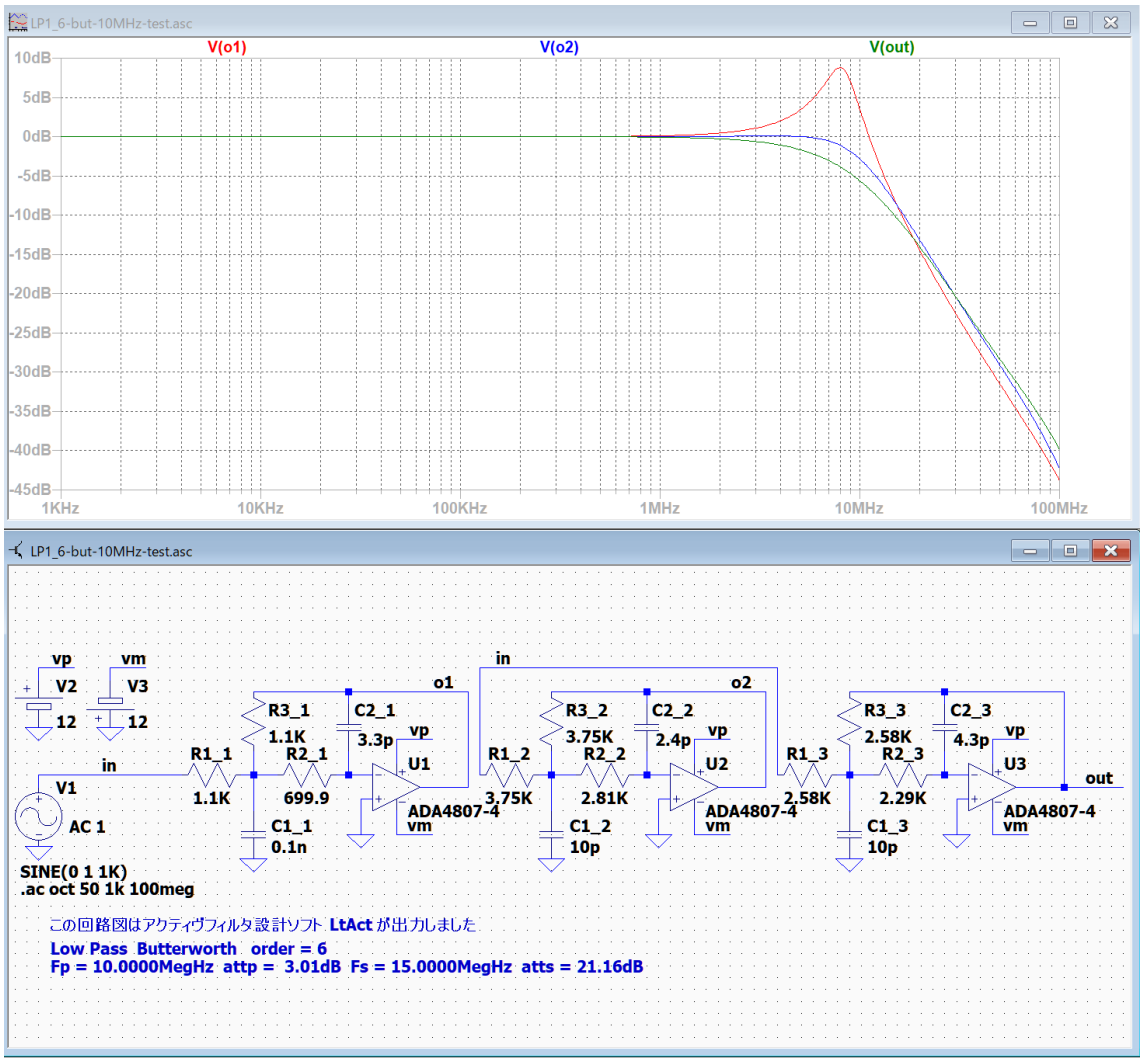


7.56MHz に 4.16dB のピークがあり、10MHz で – 4.99dB, 15MHz で – 26.6dB

設計値は 10MHz で- 3.01dB, 15MHz で -21.16dB なので、まったく設計の特性が実現されていないことが分かる。

次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更して調整する。

無調整時の各ブロックの周波数特性 LP1_6-but-10MHz-BF.asc

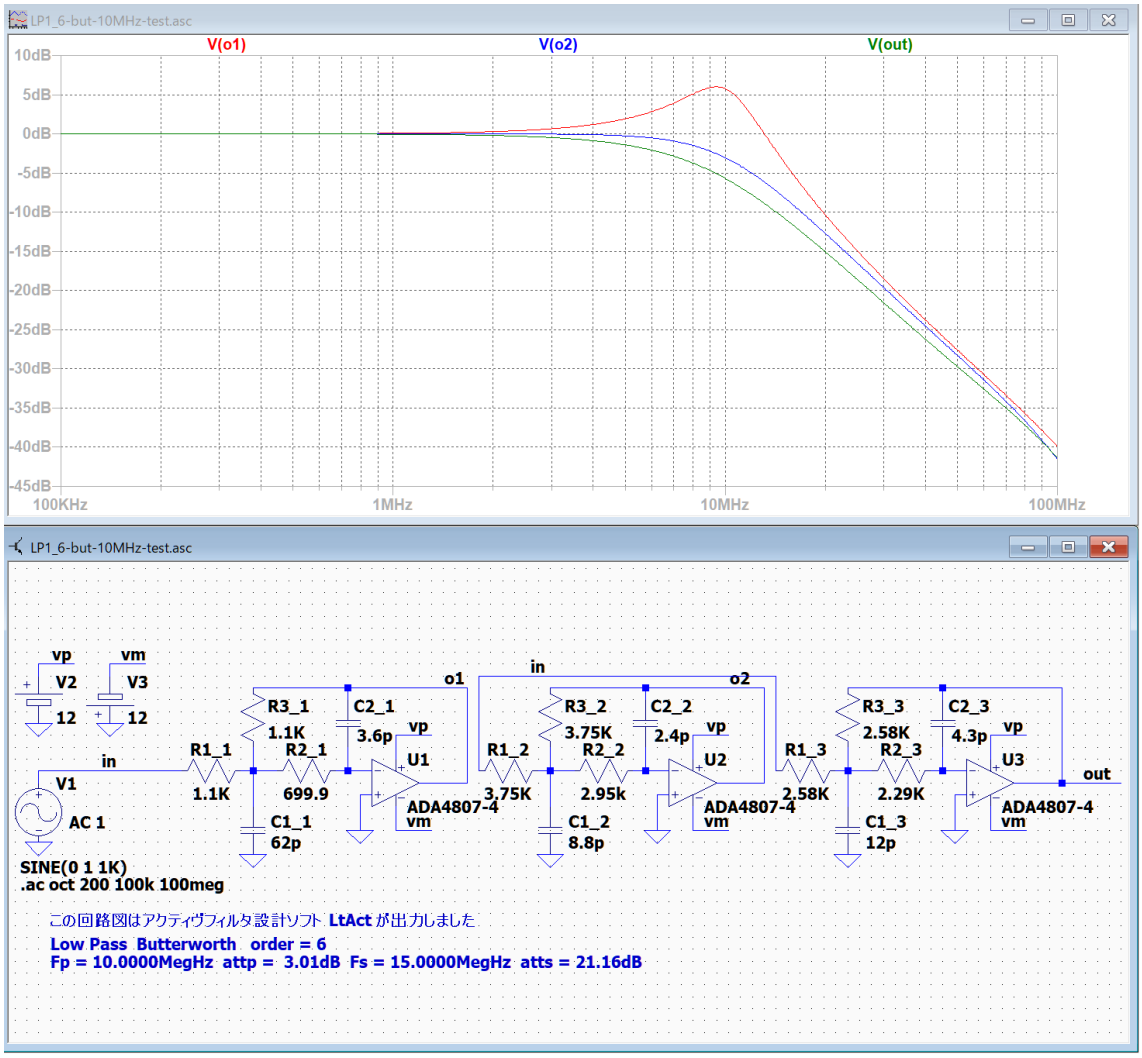


第 1 ブロックだけはピークがあるので、

0.5 Fc, ピーク周波数および Fc の 3 点でゲインを調整し、

第 2 および第 3 ブロックは、0.5 Fc と Fc の 2 点でゲインを調整することにする。

調整後の各ブロックの周波数特性 LP1_6-but-10MHz-test.asc



第 1 ブロック

周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後

5.0000Meg　2.0101 →　1.900　0.5 Fc

9.2587Meg　6.0193 →　5.988　ピーク

10.0000Meg　5.7195 →　5.767　Fc

第 2 ブロック

周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後

5.0000Meg　- 0.2633 → - 0.260

10.0000Meg　- 3.0103 → - 3.07

第 3 ブロック

周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後

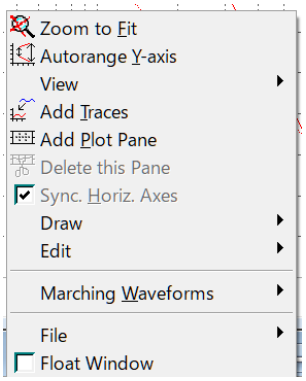
5.0000Meg　- 1.7479 → - 1.416

10.0000Meg　- 5.7195 → - 5.732

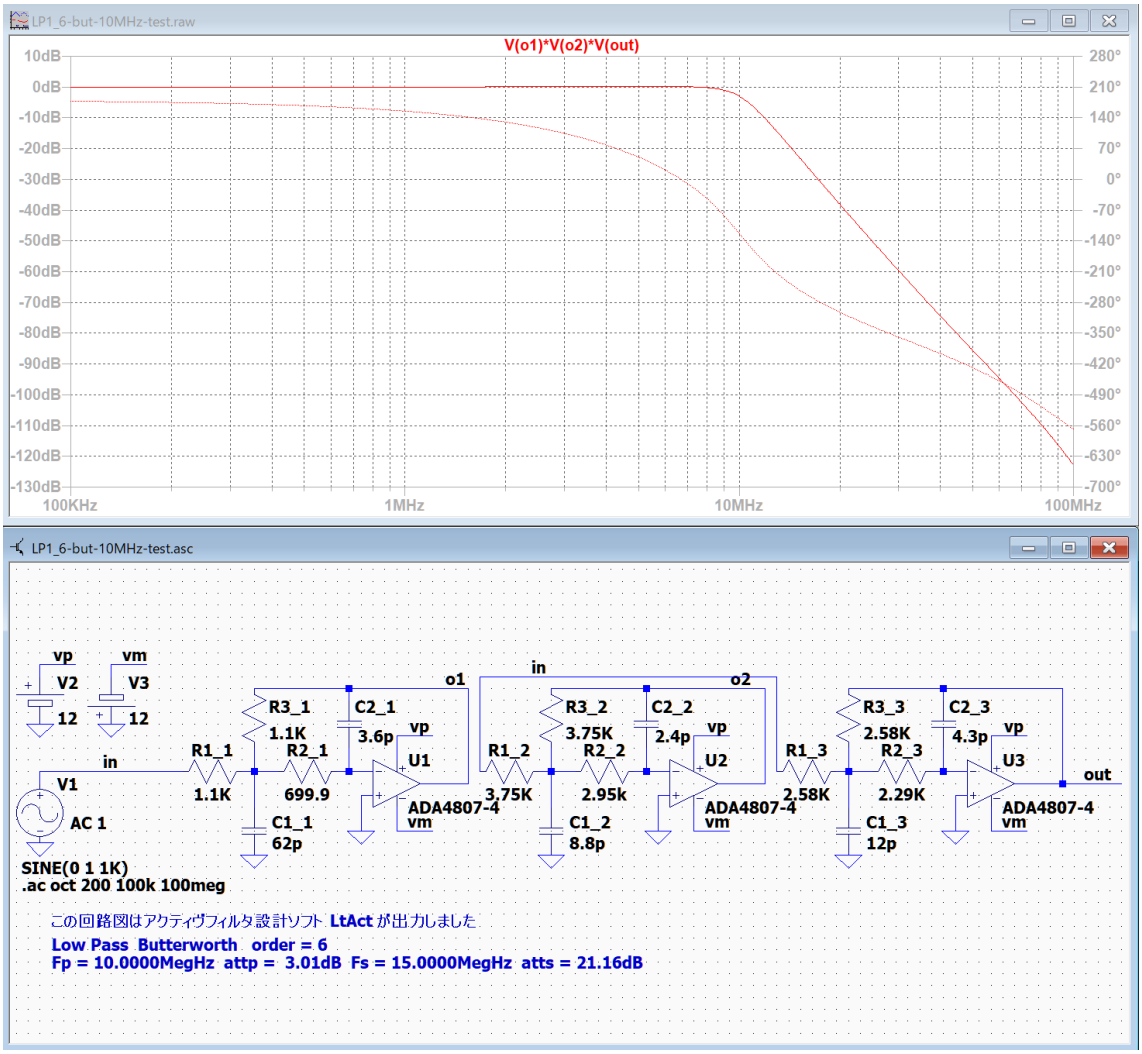
6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

調整例 LP1_6-but-10MHz.asc

一度グラフ画面の表示を閉じて、もう一度「RUN」をクリックしてから、グラフウィンドウで右クリックすると次の表示が現れます。

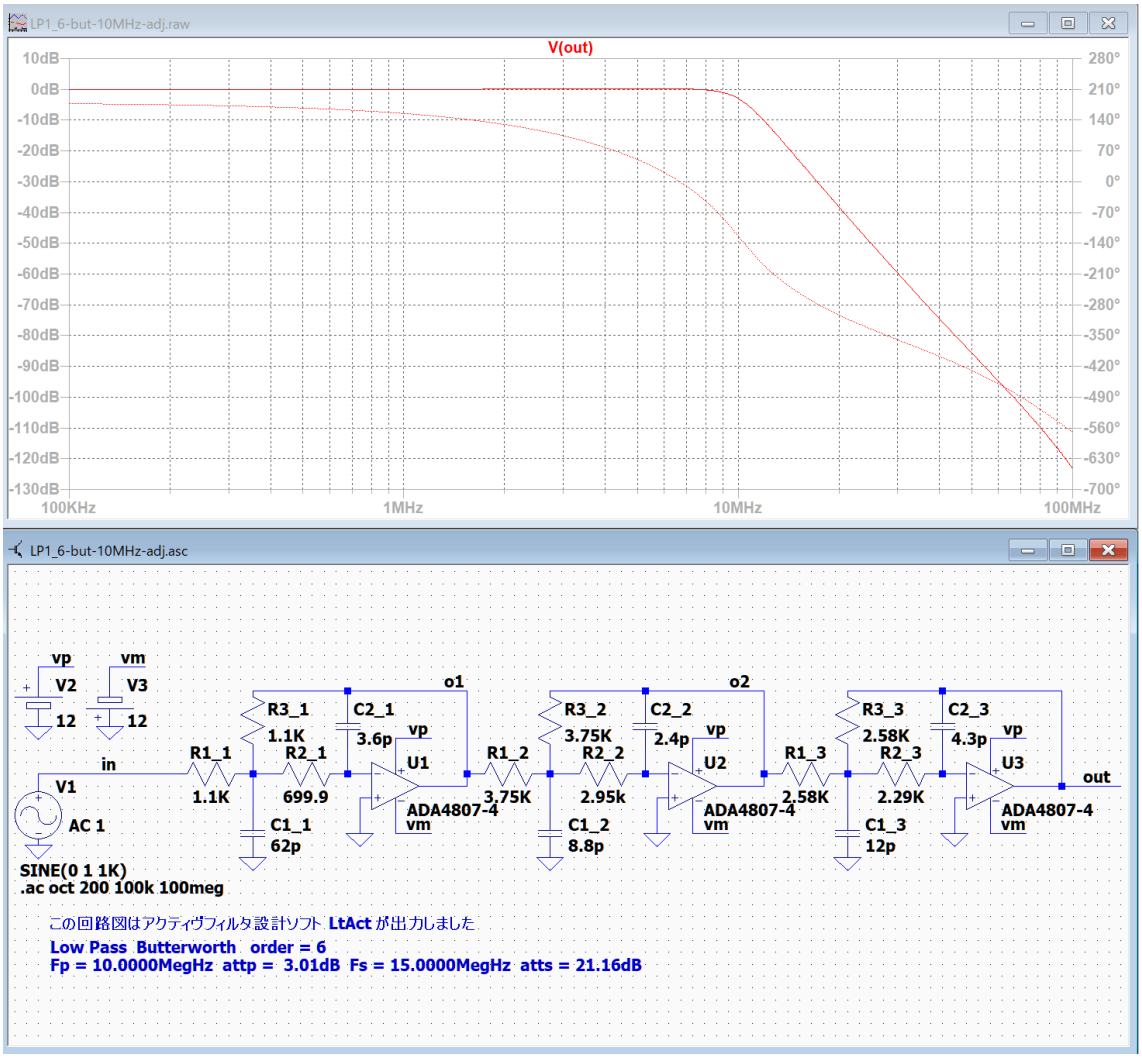


「Add Trace」をクリックして、「V(o1)*V(o2)*V(out)」を入力します。
これで、回路図の配線を元に戻した時の周波数特性を確認できます。



回路図の配線を元に戻します。

調整後の周波数特性　LP1_6-but-10MHz-adj.asc



10MHz で -3.05dB, 15MHz で – 22.35dB と、ほぼ設計の特性が実現できた。

調整した素子値

第 1 ブロック

C1_1 = 0.1n → 62p, C2_1 = 3.3p → 3.6p

第 2 ブロック

C1_2 = 10p → 8.8p, R2_2 = 2.81K → 2.95K

第 3 ブロック

C1_3 = 10p → 12p

調整例 LP2_6-but-10MHz.asc

バターワース・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-31 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\but\LP2\LP2_6-but-10MHz.asc 作成日時 Sun May 31 05:20:34 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6　　参照モード=0

Fp = 10.0000MegHz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000MegHz atts = 21.16dB

1 (LP2)「LP2-3-1」 C1_1 = 10.0000p C2_1 = 0.6200p
R1_1 = 4.8311K R2_1 = 8.4568K 誤差 = 4.07 %
2 (LP2)「LP2-3-2」 C1_2 = 10.0000p C2_2 = 4.7000p
R1_2 = 1.8079K R2_2 = 2.9810K 誤差 = 0.77 %
3 (LP2)「LP2-3-2」 C1_3 = 10.0000p C2_3 = 9.1000p
R1_3 = 1.4240K R2_3 = 1.9547K 誤差 = 5.82 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6

Fp = 10.0000MegHz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000MegHz atts = 21.16dB

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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	32.5242Meg	3947.8418T	0	0	3947.8418T

Fc= 10.0000MegHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積= 1.9319GHz

周波数 Hz	ゲイン dB	
5.0000Meg	2.0101	0.5 Fc
5.4003Meg	2.3663	
5.8326Meg	2.7861	
6.2996Meg	3.2779	
6.8040Meg	3.8460	
7.3487Meg	4.4822	
7.9370Meg	5.1467	
8.5724Meg	5.7316	
9.2587Meg	6.0193	ピーク

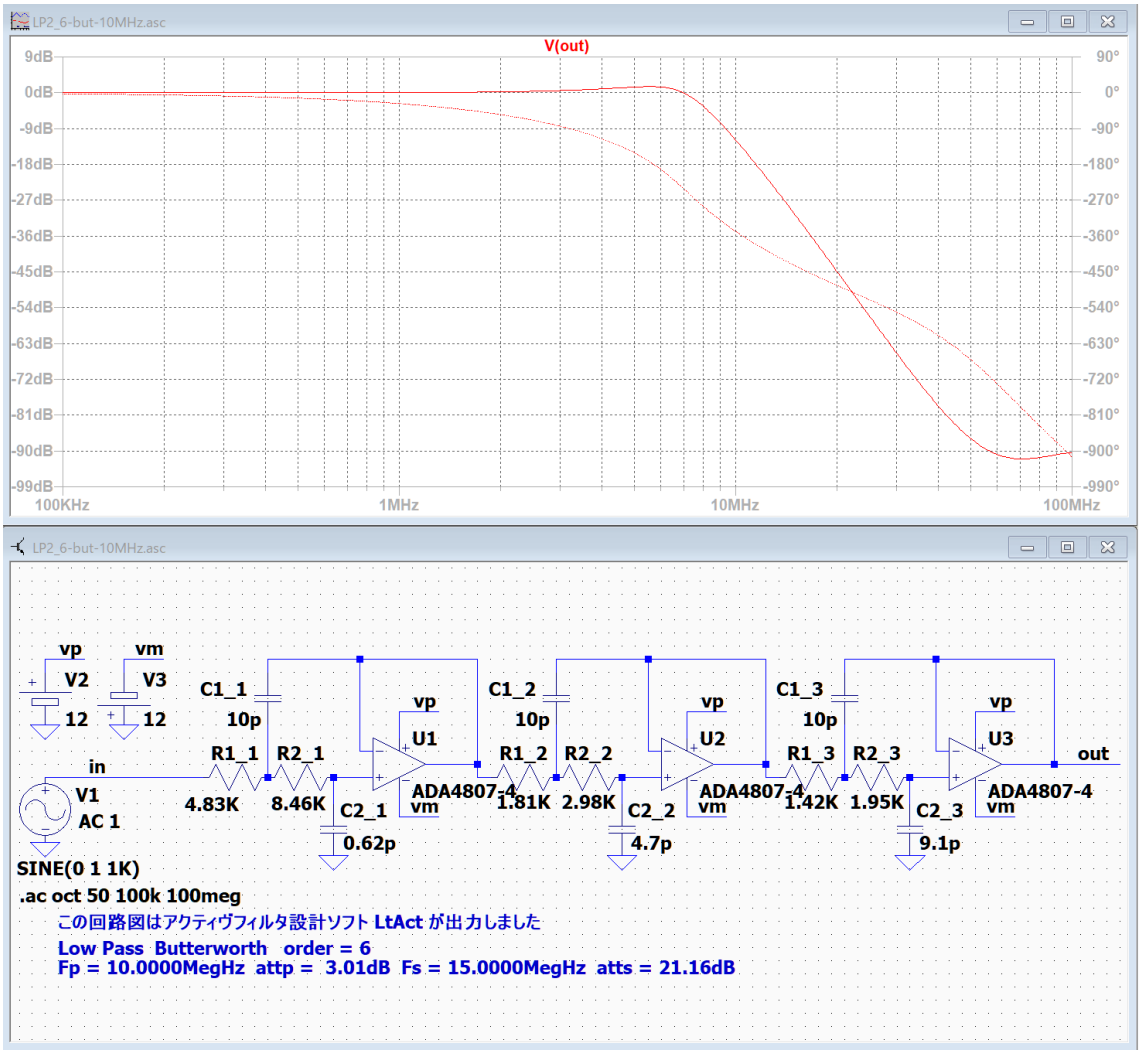
6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

10.0000Meg　5.7195 Fc
10.8006Meg　4.6813
11.6653Meg　3.0558
12.5992Meg　1.1329
13.6079Meg　- 0.8695
14.6973Meg　- 2.8436
15.8740Meg　- 4.7496
17.1449Meg　- 6.5793
18.5175Meg　- 8.3370
20.0000Meg　-10.0311 2 Fc

Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2 88.8577Meg 3947.8418T　0　0 3947.8418T Fc= 10.0000MegHz Fc
ゲイン=- 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積=707.1069MegHz
周波数 Hz　ゲイン dB
5.0000Meg　- 0.2633　0.5 Fc
5.4003Meg　- 0.3545
5.8326Meg　- 0.4756
6.2996Meg　- 0.6352
6.8040Meg　- 0.8433
7.3487Meg　- 1.1114
7.9370Meg　- 1.4515
8.5724Meg　- 1.8753
9.2587Meg　- 2.3927
10.0000Meg　- 3.0103　Fc
10.8006Meg　- 3.7306
11.6653Meg　- 4.5511
12.5992Meg　- 5.4652
13.6079Meg　- 6.4630
14.6973Meg　- 7.5329
15.8740Meg　- 8.6626
17.1449Meg　- 9.8410
18.5175Meg　-11.0578
20.0000Meg　-12.3045　2 Fc

```
            Pn_0     Pn_1     Pn_2     Pn_3     Pn_4
Blk No.  3 121.3818Meg  3947.8418T       0        0   3947.8418T Fc= 10.0000MegHz  Fc
ゲイン=- 5.7195 dB  Q =  0.5176  GB 積=517.6382MegHz
  周波数 Hz   ゲイン dB
   5.0000Meg  - 1.7479   0.5 Fc
   5.4003Meg  - 2.0144
   5.8326Meg  - 2.3172
   6.2996Meg  - 2.6596
   6.8040Meg  - 3.0452
   7.3487Meg  - 3.4772
   7.9370Meg  - 3.9585
   8.5724Meg  - 4.4915
   9.2587Meg  - 5.0781
  10.0000Meg  - 5.7195   Fc
  10.8006Meg  - 6.4160
  11.6653Meg  - 7.1673
  12.5992Meg  - 7.9722
  13.6079Meg  - 8.8288
  14.6973Meg  - 9.7348
  15.8740Meg  -10.6871
  17.1449Meg  -11.6826
  18.5175Meg  -12.7177
  20.0000Meg  -13.7891  2 Fc
```

無調整時の周波数特性　LP2_6-but-10MHz.asc

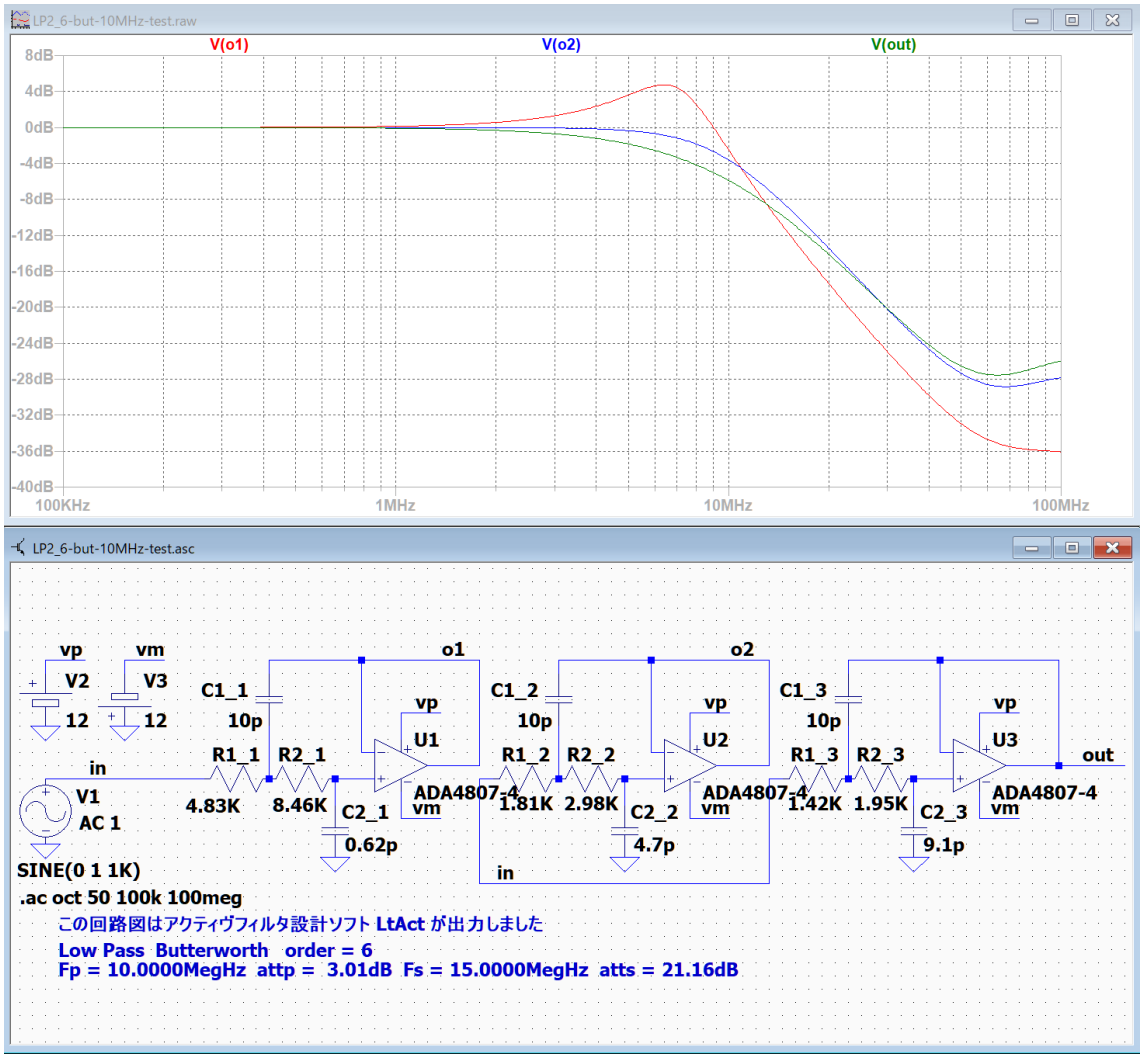


5.55MHz に 1.54dB のピークがあり、10MHz で – 11.88dB, 15MHz で – 30.54dB

設計値は 10MHz で- 3.01dB, 15MHz で -21.16dB なので、まったく設計の特性が実現されていないことが分かる。

次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更して調整する。

無調整時の各ブロックの周波数特性　LP2_6-but-10MHz-BF.asc

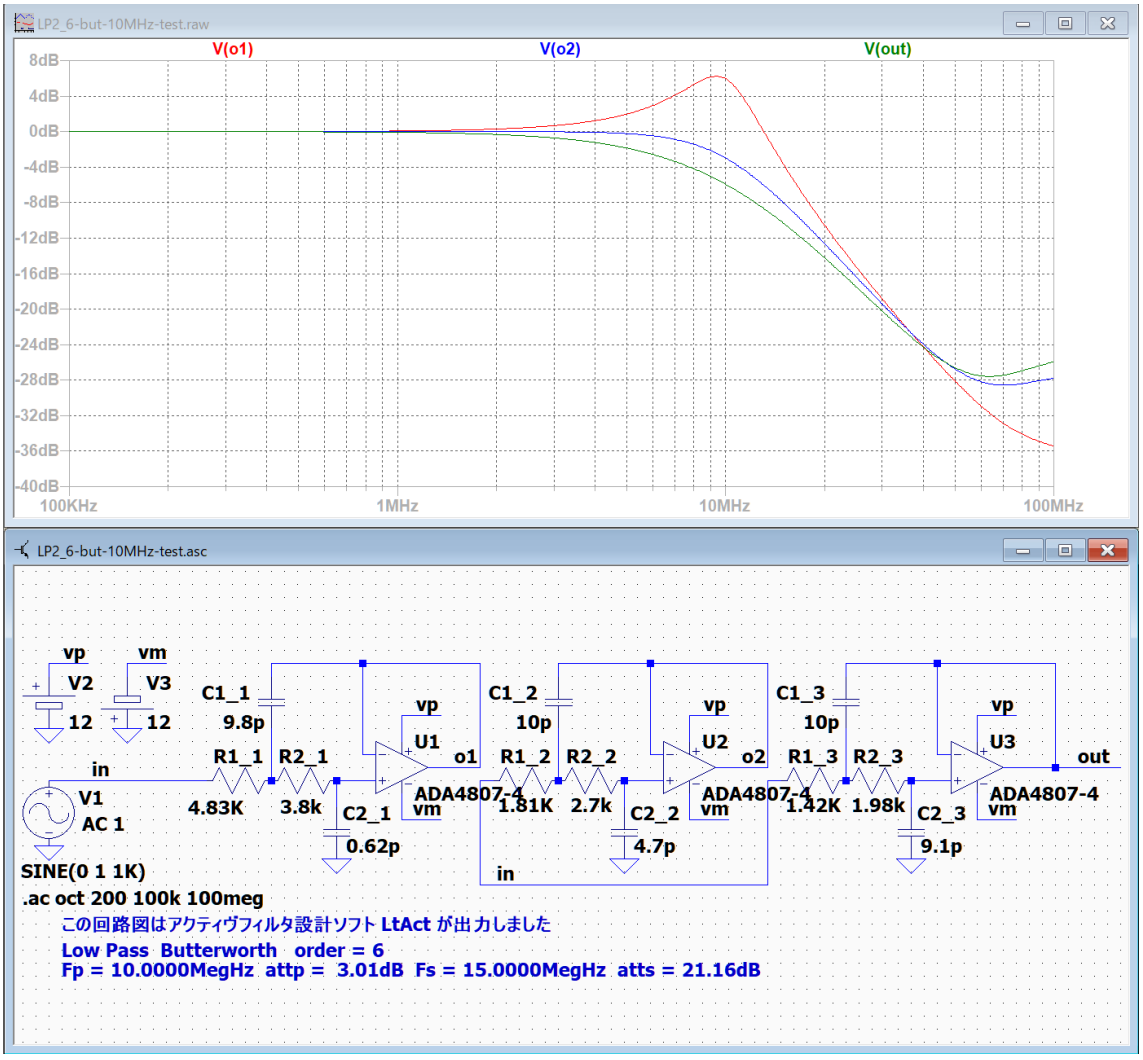


第 1 ブロックだけはピークがあるので、

0.5 Fc, ピーク周波数および Fc の 3 点でゲインを調整し、

第 2 および第 3 ブロックは、0.5 Fc と Fc の 2 点でゲインを調整することにする。

調整後の各ブロックの周波数特性　LP2_6-but-10MHz-test.asc



第 1 ブロックのゲイン

周波数 Hz	ゲイン dB	→ 調整後
5.0000Meg	2.0101	1.980
9.2587Meg	6.0193	6.213
10.0000Meg	5.7195	5.922

第 2 ブロックのゲイン

周波数 Hz	ゲイン dB	→ 調整後
5.0000Meg	- 0.2633	- 0.227
10.0000Meg	- 3.0103	- 3.015

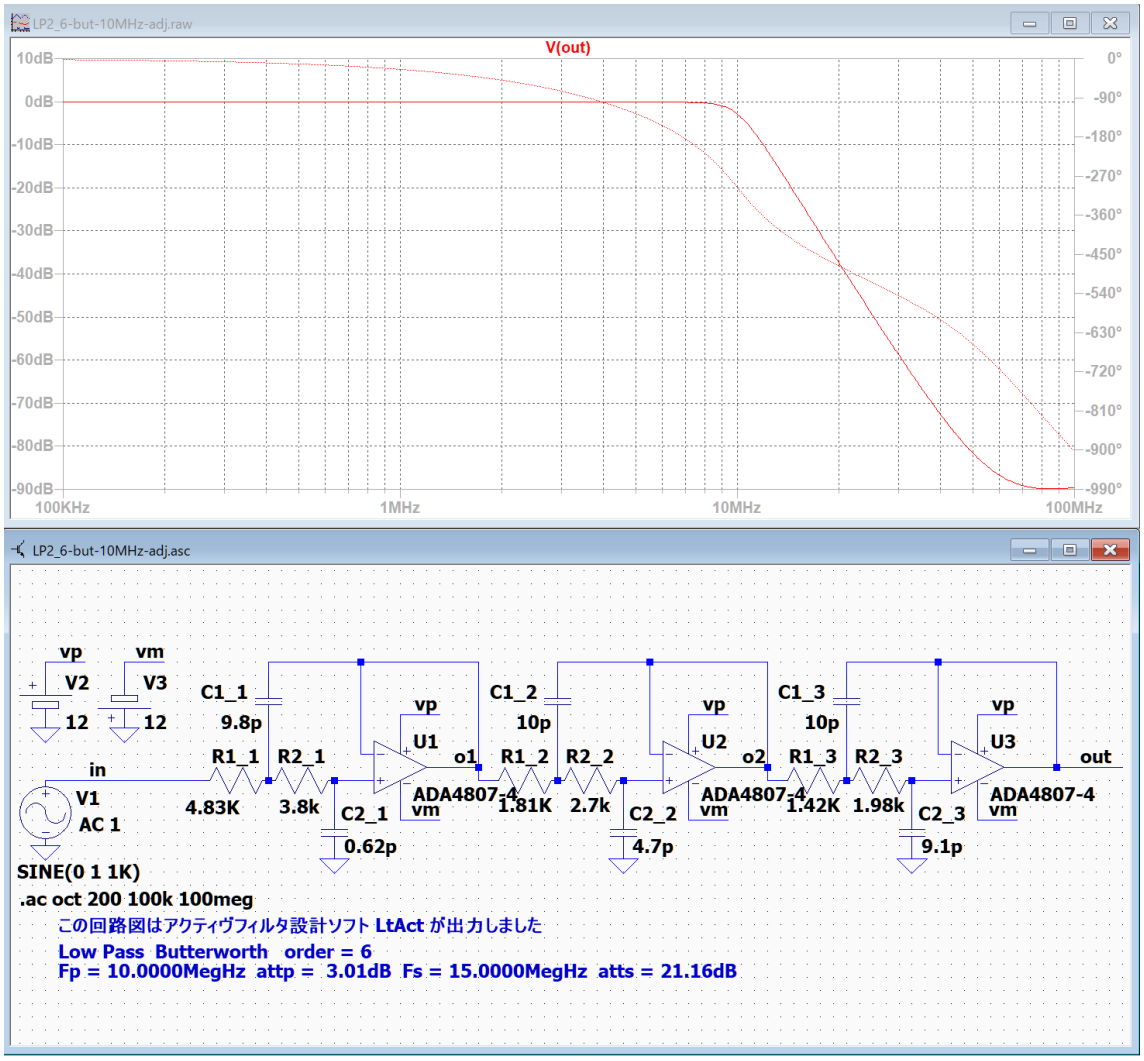
第 3 ブロックのゲイン

周波数 Hz	ゲイン dB	→ 調整後
5.0000Meg	- 1.7479	- 1.875
10.0000Meg	- 5.7195	- 5.971

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP2_6-but-10MHz.asc

回路図の配線を元に戻した時の周波数特性

調整後の周波数特性　LP2_6-but-10MHz-adj.asc



10MHz で – 2.93 dB, 15MHz で – 21.96 dB と、ほぼ設計の特性が実現できた。

調整した素子値

第 1 ブロック

C1_1 = 10p → 9.8p, R2_1 = 8.46K → 3.8K

第 2 ブロック

R2_2 = 2.98K → 2.7K

第 3 ブロック

R2_3 = 1.95K → 1.98K

調整例 LP1_6-chev-10MHz.asc

チェビシェフ・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-31 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\chev\LP1_6-chev-10MHz.asc 作成日時 Sun May 31 09:03:09 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6　　参照モード=0

Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB

1 (LP1)「LP1-3-0」 C1_1 = 0.1000n C2_1 = 0.5600p
R1_1 = R3_1 = 2.3205K R2_1 = 1.7260K 誤差 = 5.49 %
2 (LP1)「LP1-3-2」 C1_2 = 10.0000p C2_2 = 0.6800p
R1_2 = R3_2 = 8.5489K R2_2 = 6.2572K 誤差 = 4.18 %
3 (LP1)「LP1-3-2」 C1_3 = 10.0000p C2_3 = 3.3000p
R1_3 = R3_3 = 6.0630K R2_3 = 4.8071K 誤差 = 3.17 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6

Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB

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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	14.4128Meg	4458.6403T	0	0	4458.6403T

Fc= 10.6273MegHz Fc ゲイン= 13.3171 dB Q = 4.6329 GB 積= 4.9235GHz

周波数 Hz	ゲイン dB	
5.3136Meg	2.4098	0.5 Fc
5.7390Meg	2.8788	
6.1985Meg	3.4564	
6.6948Meg	4.1762	
7.2307Meg	5.0863	
7.8096Meg	6.2574	
8.4349Meg	7.7916	
9.1102Meg	9.8075	
9.8395Meg	12.1955	ピークの前

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

10.6273Meg　13.3171　Fc ピーク
11.4781Meg　10.8576
12.3970Meg　 7.1316
13.3895Meg　 3.7779
14.4615Meg　 0.9058
15.6193Meg　- 1.6032
16.8697Meg　- 3.8513
18.2203Meg　- 5.9090
19.6790Meg　- 7.8245
21.2545Meg　- 9.6314　2 Fc

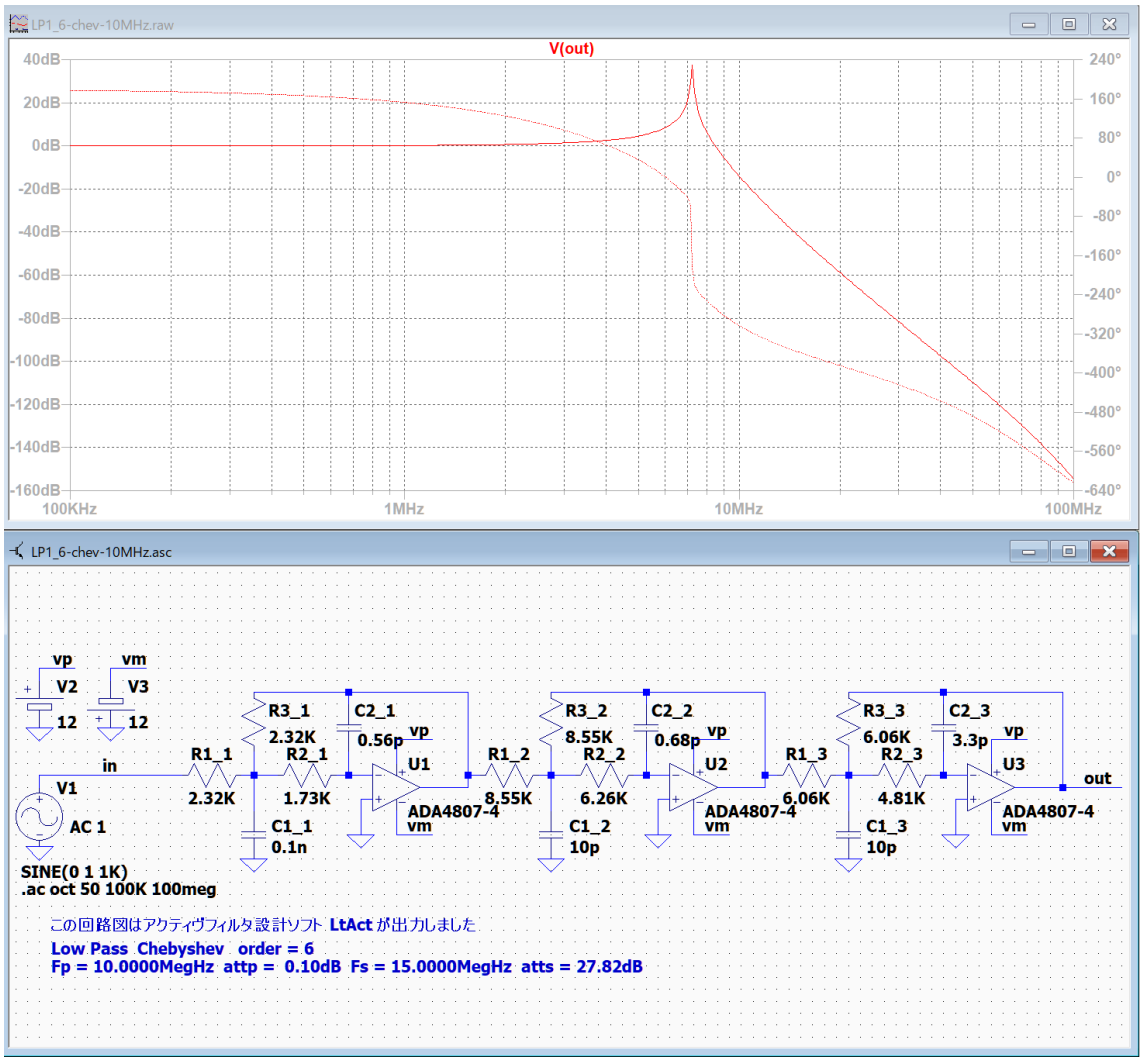
Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2 39.3765Meg 2749.1747T　0　0 2749.1747T Fc= 8.3449MegHz Fc
ゲイン= 2.4873 dB Q = 1.3316 GB 積= 1.1112GHz
周波数 Hz　ゲイン dB
4.1725Meg　1.5274　0.5 Fc
4.5065Meg　1.7635
4.8673Meg　2.0259
5.2570Meg　2.3091
5.6778Meg　2.6001
6.1324Meg　2.8723
6.6234Meg　3.0784
7.1536Meg　3.1448　ピーク
7.7263Meg　2.9769
8.3449Meg　2.4873　Fc
9.0130Meg　1.6390
9.7346Meg　0.4690
10.5139Meg　- 0.9353
11.3557Meg　- 2.4794
12.2648Meg　- 4.0895
13.2467Meg　- 5.7184
14.3072Meg　- 7.3395
15.4527Meg　- 8.9397
16.6898Meg　- 10.5138　2 Fc

```
                Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  3  53.7893Meg  1039.7090T        0         0   1039.7090T Fc=  5.1319MegHz  Fc
ゲイン=-  4.4448 dB  Q =  0.5995  GB 積=307.6354MegHz
   周波数 Hz    ゲイン dB
    2.5659Meg   -  0.9975   0.5 Fc
    2.7714Meg   -  1.1838
    2.9932Meg   -  1.4052
    3.2329Meg   -  1.6677
    3.4917Meg   -  1.9775
    3.7712Meg   -  2.3410
    4.0732Meg   -  2.7646
    4.3993Meg   -  3.2537
    4.7515Meg   -  3.8128
    5.1319Meg   -  4.4448   Fc
    5.5427Meg   -  5.1507
    5.9865Meg   -  5.9295
    6.4658Meg   -  6.7783
    6.9834Meg   -  7.6927
    7.5425Meg   -  8.6670
    8.1463Meg   -  9.6951
    8.7985Meg   - 10.7706
    9.5029Meg   - 11.8870
   10.2638Meg   - 13.0387  2 Fc
```

注意：

第 1 ブロックは　Fc とピークが同じ周波数なので、Fc の 1 個前の周波数のゲインが Fc のゲイン以下になるように調整する必要がある。

無調整時の周波数特性　LP1_6-chev-10MHz.asc

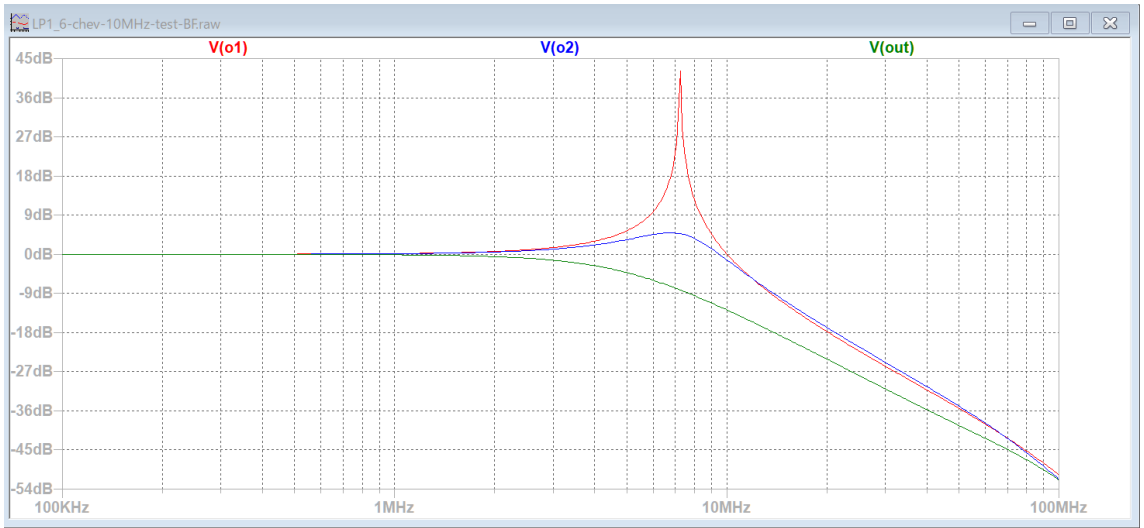


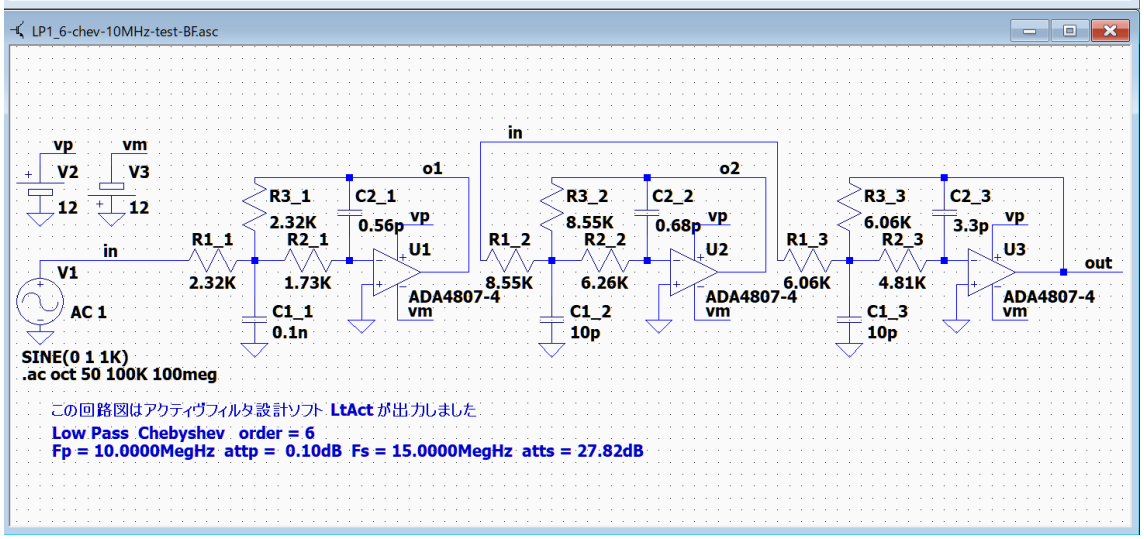
7.25MHz に 37.4 dB のピークあり、10MHz で – 14.05 dB, 15MHz で -41.6 dB

設計値は 10MHz で 0.1 dB, 15MHz で -27.82 dB なので、まったく設計の特性が実現されていないことが分かる。

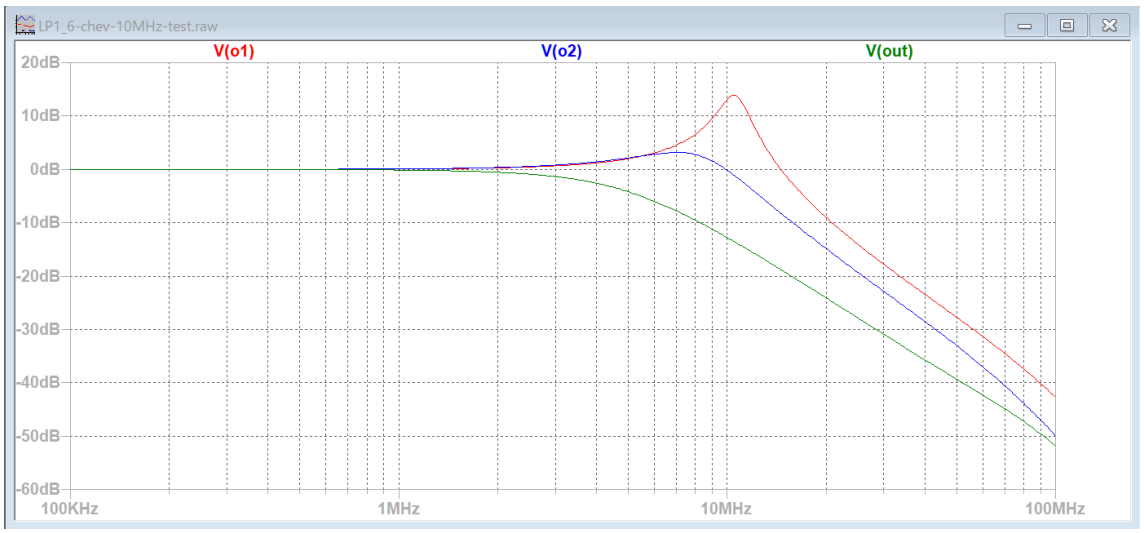
次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更して調整する。

無調整時の各ブロックの周波数特性　LP1_6-chev-10MHz-test-BF.asc





調整後の各ブロックの周波数特性　LP1_6-chev-10MHz-test.asc



6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP1_6-chev-10MHz.asc

第 1 ブロックのゲイン

周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後

5.3136Meg　2.4098 → 2.301　0.5 Fc

9.8395Meg　12.1955 → 12.59　ピークより低くなるように調整する

10.6273Meg　13.3171 → 13.85　Fc ピーク

第 2 ブロックのゲイン

周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後

4.1725Meg　1.5274 → 1.53

7.1536Meg　3.1448 → 3.16

8.3449Meg　2.4873 → 2.44

第 3 ブロックのゲイン

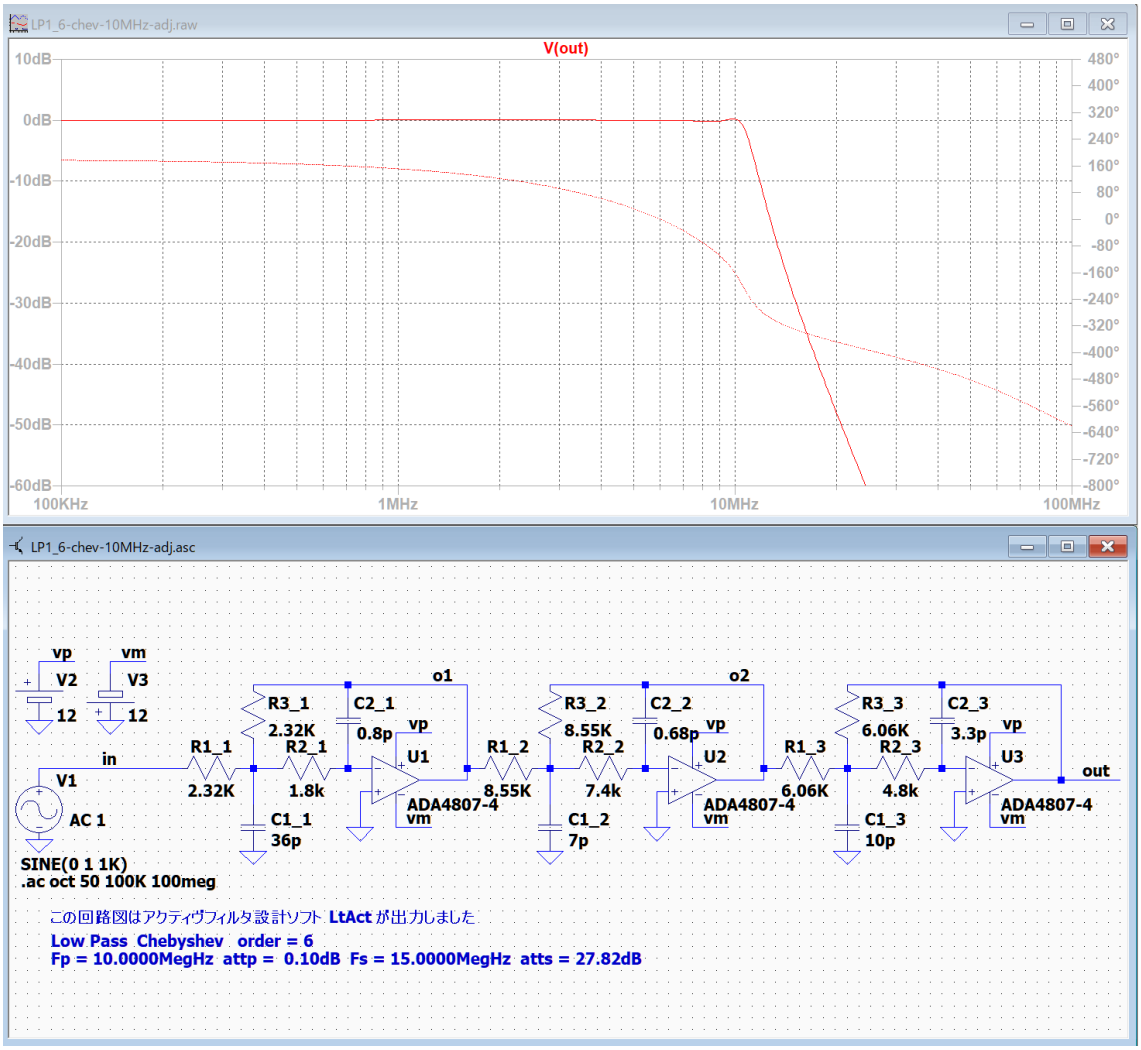
周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後

2.5659Meg　- 0.9975 → - 0.953

5.1319Meg　- 4.4448 → - 4.440

回路図の配線を元に戻した時の周波数特性

調整後の周波数特性　LP1_6-chev-10MHz-adj.asc



10MHz で 0.18dB, 15MHz で-29.11dB と、ほぼ設計の特性が実現できた。

調整した素子値

第 1 ブロック

C1_1 = 0.1n → 36p, R2_1 = 1.73K → 1.8K, C2_1 = 0.56p → 0.8p

第 2 ブロック

C1_2 = 10p → 7p, R2_2 = 6.26K → 7.4K

第 3 ブロック

R2_3 = 4.81K → 4.8K

調整例 LP2_6-chev-10MHz.asc

チェビシェフ・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-31 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\chev\LP2_6-chev-10MHz.asc 作成日時 Sun May 31 09:02:39 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6　　参照モード=0

Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB

1 (LP2)「LP2-3-0」 C1_1 = 0.1000n C2_1 = 1.1000p
R1_1 = 1.1229K R2_1 = 1.8158K 誤差 = 2.22 %
2 (LP2)「LP2-3-2」 C1_2 = 10.0000p C2_2 = 1.3000p
R1_2 = 3.9703K R2_2 = 7.0474K 誤差 = 3.93 %
3 (LP2)「LP2-3-2」 C1_3 = 10.0000p C2_3 = 6.8000p
R1_3 = 3.2326K R2_3 = 4.3754K 誤差 = 2.70 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6

Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB

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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	14.4128Meg	4458.6403T	0	0	4458.6403T

Fc= 10.6273MegHz Fc ゲイン= 13.3171 dB Q = 4.6329 GB 積= 4.9235GHz

周波数 Hz	ゲイン dB	
5.3136Meg	2.4098	0.5 Fc
5.7390Meg	2.8788	
6.1985Meg	3.4564	
6.6948Meg	4.1762	
7.2307Meg	5.0863	
7.8096Meg	6.2574	
8.4349Meg	7.7916	
9.1102Meg	9.8075	
9.8395Meg	12.1955	ピークの前

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

10.6273Meg　13.3171　Fc ピーク
11.4781Meg　10.8576
12.3970Meg　 7.1316
13.3895Meg　 3.7779
14.4615Meg　 0.9058
15.6193Meg　- 1.6032
16.8697Meg　- 3.8513
18.2203Meg　- 5.9090
19.6790Meg　- 7.8245
21.2545Meg　- 9.6314　2 Fc

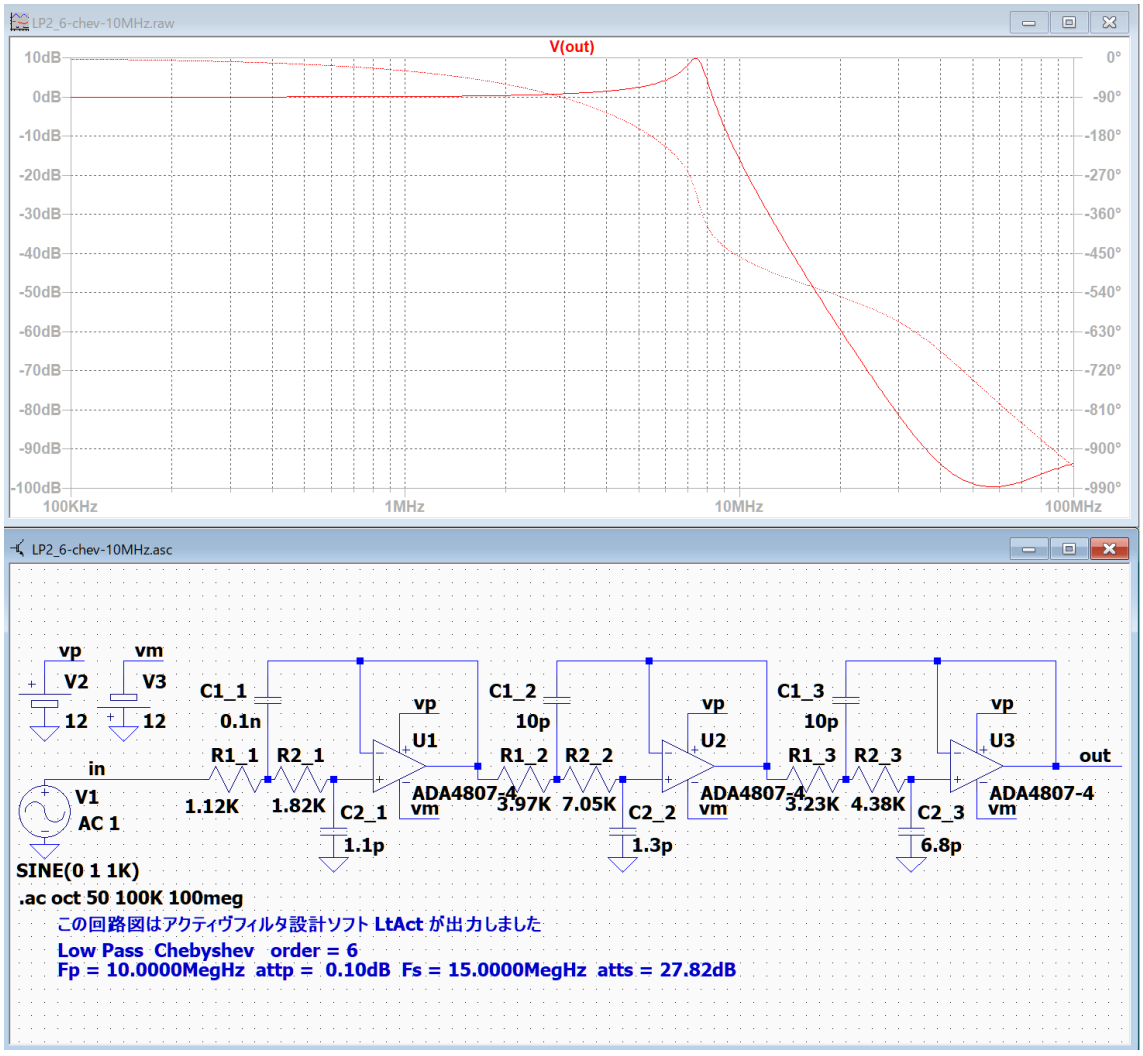
Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2 39.3765Meg 2749.1747T　0　0 2749.1747T Fc= 8.3449MegHz Fc ゲイン= 2.4873 dB Q = 1.3316 GB 積= 1.1112GHz

周波数 Hz　ゲイン dB
4.1725Meg　1.5274　0.5 Fc
4.5065Meg　1.7635
4.8673Meg　2.0259
5.2570Meg　2.3091
5.6778Meg　2.6001
6.1324Meg　2.8723
6.6234Meg　3.0784
7.1536Meg　3.1448　ピーク
7.7263Meg　2.9769
8.3449Meg　2.4873　Fc
9.0130Meg　1.6390
9.7346Meg　0.4690
10.5139Meg　- 0.9353
11.3557Meg　- 2.4794
12.2648Meg　- 4.0895
13.2467Meg　- 5.7184
14.3072Meg　- 7.3395
15.4527Meg　- 8.9397
16.6898Meg　- 10.5138　2 Fc

```
                Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  3  53.7893Meg  1039.7090T        0         0   1039.7090T Fc=  5.1319MegHz  Fc
ゲイン=-  4.4448 dB  Q =  0.5995  GB 積=307.6354MegHz
   周波数 Hz    ゲイン dB
    2.5659Meg   -  0.9975   0.5 Fc
    2.7714Meg   -  1.1838
    2.9932Meg   -  1.4052
    3.2329Meg   -  1.6677
    3.4917Meg   -  1.9775
    3.7712Meg   -  2.3410
    4.0732Meg   -  2.7646
    4.3993Meg   -  3.2537
    4.7515Meg   -  3.8128
    5.1319Meg   -  4.4448   Fc
    5.5427Meg   -  5.1507
    5.9865Meg   -  5.9295
    6.4658Meg   -  6.7783
    6.9834Meg   -  7.6927
    7.5425Meg   -  8.6670
    8.1463Meg   -  9.6951
    8.7985Meg   - 10.7706
    9.5029Meg   - 11.8870
   10.2638Meg   - 13.0387  2 Fc
```

注意：
第 1 ブロックは　Fc とピークが同じ周波数になっているので、Fc の 1 個前の周波数でもゲインを調整する必要がある。

無調整時の周波数特性　LP2_6-chev-10MHz.asc

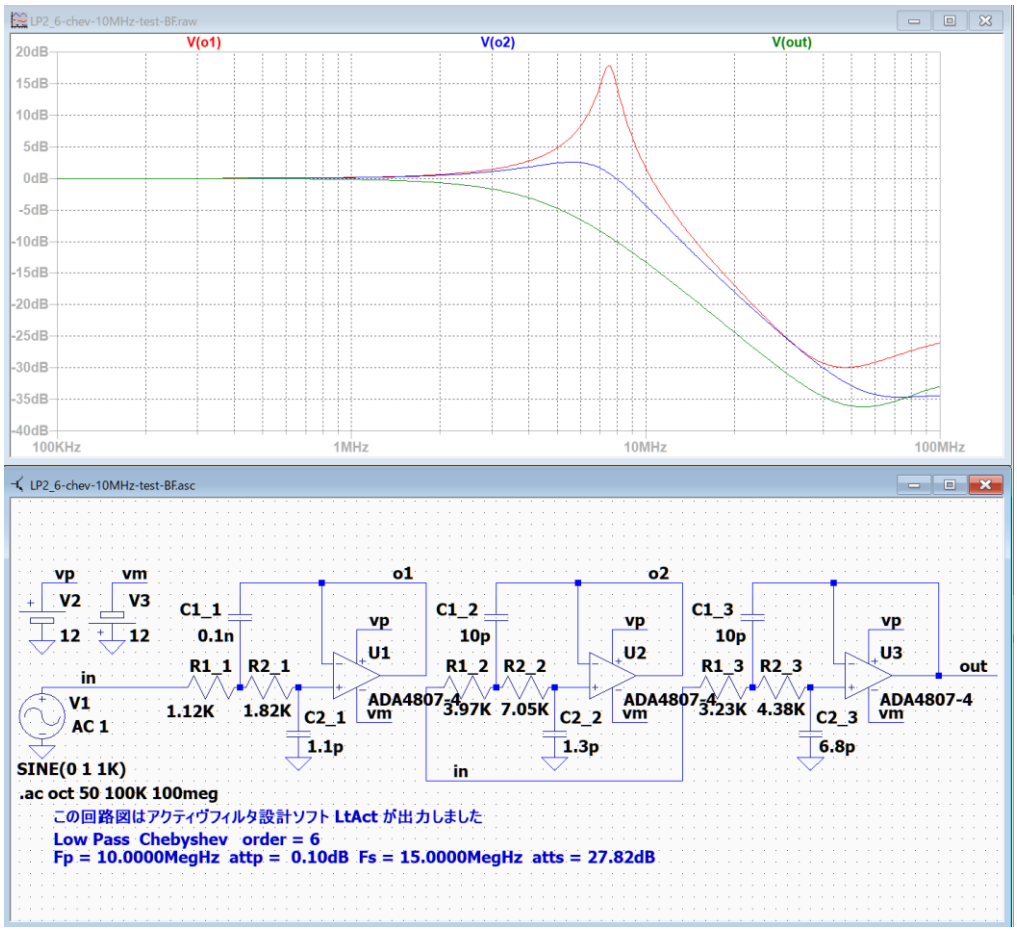


7.4MHz に 9.87 dB のピークあり、10MHz で – 15.96 dB, 15MHz で -42.53 dB

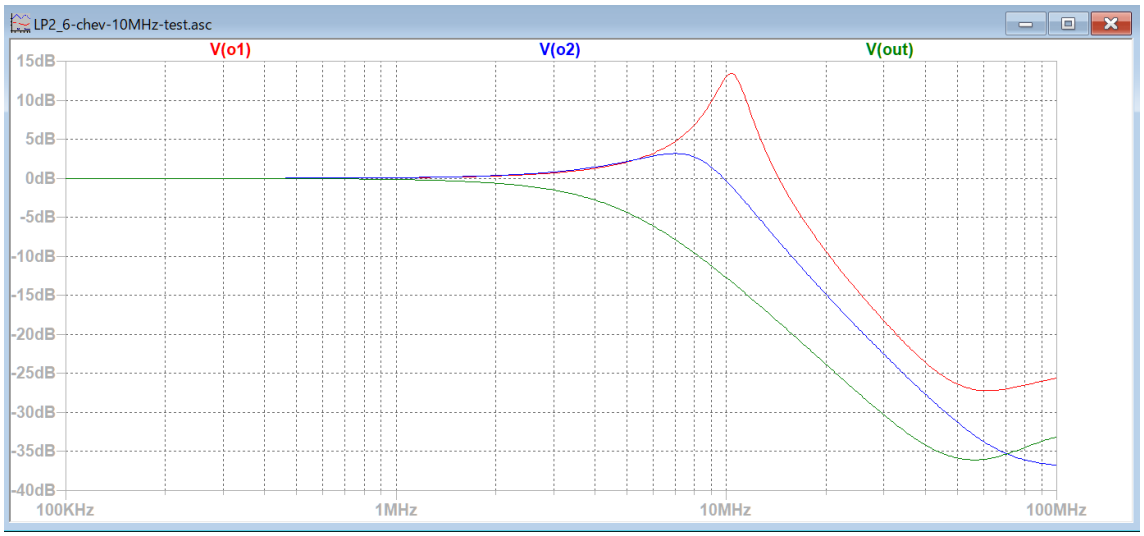
設計値は 10MHz で 0.1 dB, 15MHz で -27.82 dB なので、まったく設計の特性が実現されていないことが分かる。

次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更して調整する。

無調整時の各ブロックの周波数特性　LP2_6-chev-10MHz-test-BF.asc



調整後の各ブロックの周波数特性　LP2_6-chev-10MHz-test.asc



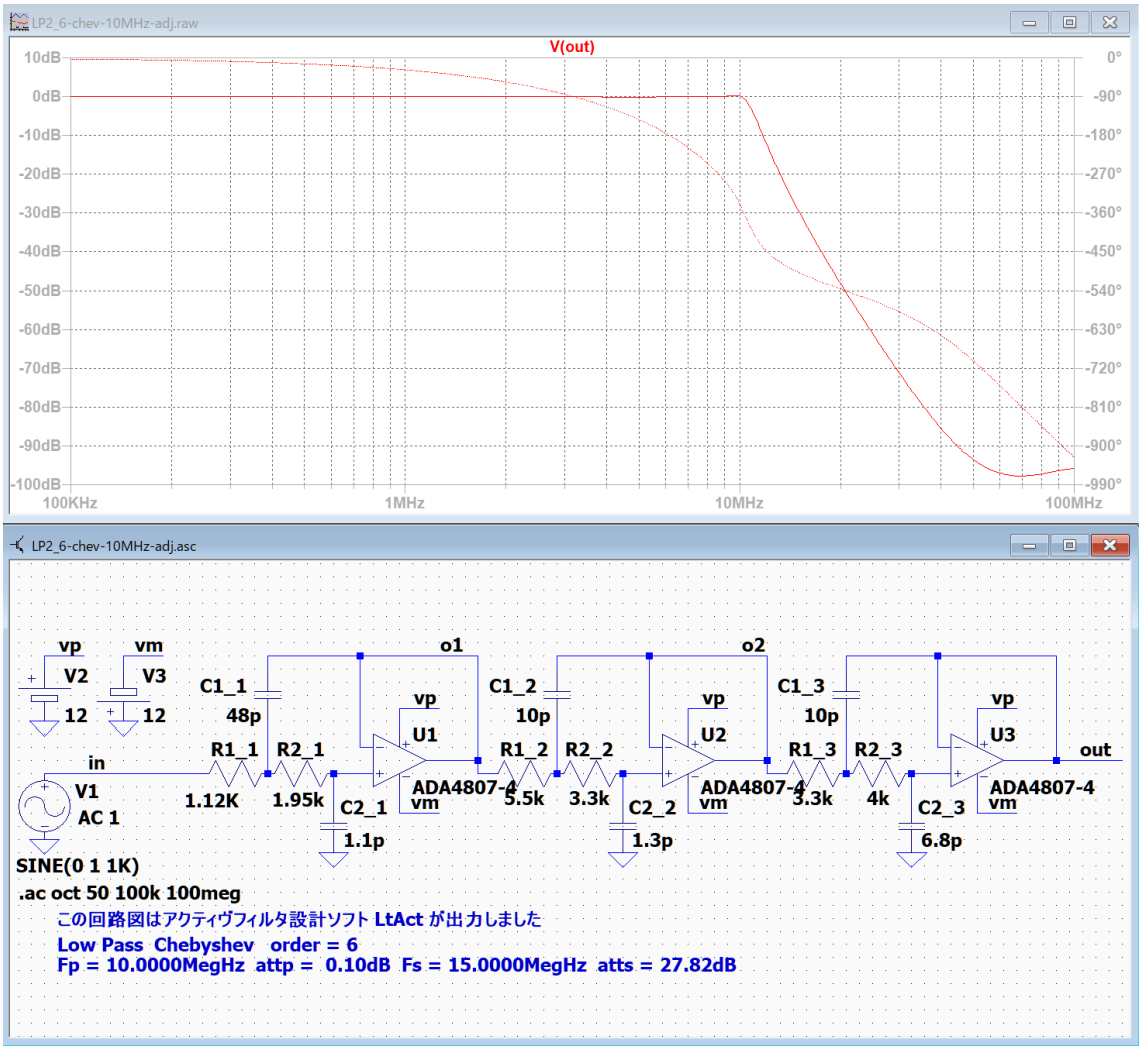
6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP2_6-chev-10MHz.asc

第 1 ブロックのゲイン
　周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後
　5.3136Meg　 2.4098 →　2.398　0.5 Fc
　9.8395Meg　12.1955 →　12.640　ピークより低くなるように調整する
　10.6273Meg　13.3171 →　13.135　Fc ピーク
第 2 ブロックのゲイン
　周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後
　4.1725Meg　 1.5274 →　1.555　0.5 Fc
　7.1536Meg　 3.1448 →　3.162　ピーク
　8.3449Meg　 2.4873 →　2.363　Fc
第 3 ブロックのゲイン
　周波数 Hz　ゲイン dB → 調整後
　2.5659Meg　- 0.9975 → - 1.082　0.5 Fc
　5.1319Meg　- 4.4448 → - 4.606　Fc
　10.2638Meg　- 13.0387 → - 13.137 2 Fc　2 Fc のゲイン調整も必要だった

第 1 ブロックのピーク付近の周波数で、第 1 から第 3 ブロックのゲインを合計した時に丁度良いゲインにするためには、第 3 ブロックの 2 Fc のゲインも調整する必要があった。

回路図の配線を元に戻した時の周波数特性

LP2_6-chev-10MHz-adj.asc



10MHz で 0.1dB, 15MHz で-29.43dB と、ほぼ設計の特性が実現できた。

調整した素子値

第 1 ブロック

C1_1 = 0.1n → 48p, R2_1 = 1.82K → 1.95K

第 2 ブロック

R1_2 = 3.97K → 5.5K, R2_2 = 7.05K → 3.3K

第 3 ブロック

R1_3 = 3.23K → 3.3K, R2_3 = 4.38K → 4K

調整例 LP3_6-inv-10MHz.asc

逆チェビシェフ・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-23-その他 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\inv\LP3_6-inv-10MHz.asc 作成日時 Sun May 30 09:14:34 2021
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6　　参照モード=0
Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB

1 (et1)「LP3-3-1」 Rb_1(2 個)= 1.2631K Cb_1(2 個)= 10.0000p 誤差=2.92 %
1 R1_1 = 1.1000K R2_1 = 14.8961K R3_1 = 9.8075K R4_1(5 個)= 9.8075K 誤差=2.86 %
2 (et1)「LP3-3-2」 Rb_2(2 個)= 2.6989K Cb_2(2 個)= 3.9000p 誤差=0.04 %
2 R1_2 = 5.1000K R2_2 = 20.3218K R3_2 = 10.3252K R4_2(5 個)= 10.3252K 誤差=4.73 %
3 (et1)「LP3-3-2」 Rb_3(2 個)= 2.0196K Cb_3(2 個)= 3.9000p 誤差=0.97 %
3 R1_3 = 15.0000K R2_3 = 81.0580K R3_3 = 9.8532K R4_3(5 個)= 9.8532K 誤差=2.41 %
++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6
Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 1	23.9530Meg	6268.1746T	0.6584	0	6268.1746T	Fc= 12.6006MegHz	
Fc ゲイン= 1.0547 dB	Q = 3.3053	GB 積= 4.1649GHz					

周波数 Hz	ゲイン dB	
6.3003Meg	0.7635	0.5 Fc
6.8047Meg	0.9179	
7.3495Meg	1.1091	
7.9379Meg	1.3477	
8.5734Meg	1.6465	
9.2598Meg	2.0173	

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

10.0011Meg　2.4554
10.8018Meg　2.8709　ピーク
11.6666Meg　2.8321
12.6006Meg　1.0547　Fc
13.6094Meg　- 3.9791
14.6990Meg　-13.7148
15.8757Meg　-23.8144　ディップ
17.1468Meg　-12.7020
18.5195Meg　- 9.3747
20.0022Meg　- 7.6709
21.6036Meg　- 6.6344
23.3331Meg　- 5.9426
25.2012Meg　- 5.4528

Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

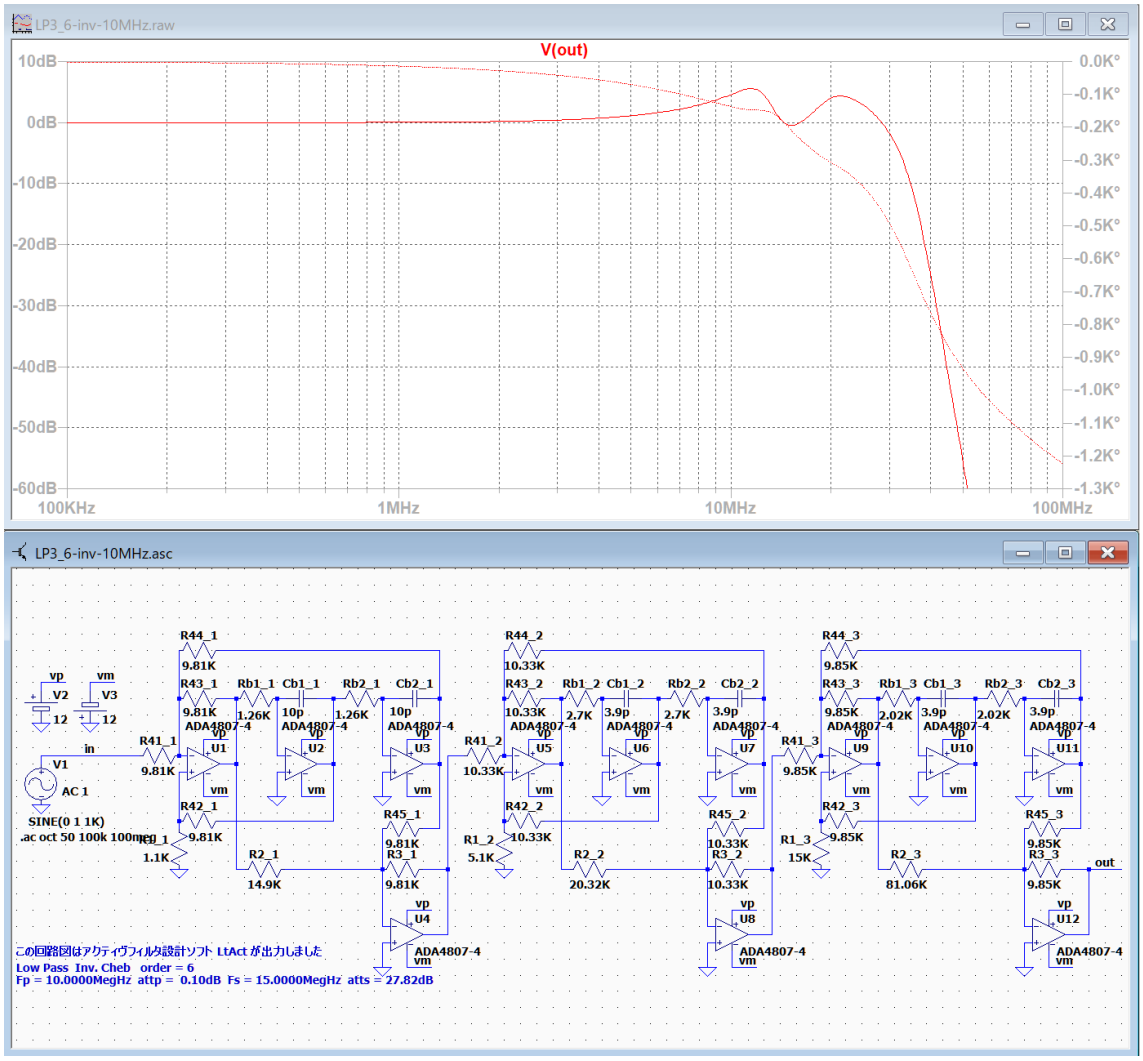
Blk No. 2 94.2355Meg 9026.2563T 0.5081 0 9026.2563T Fc= 15.1208MegHz
Fc ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積= 1.5245GHz

周波数 Hz　ゲイン dB
7.5604Meg　- 0.2565　0.5 Fc
8.1657Meg　- 0.3621
8.8194Meg　- 0.5134
9.5255Meg　- 0.7310
10.2881Meg　- 1.0442
11.1118Meg　- 1.4950
12.0014Meg　- 2.1400
12.9622Meg　- 3.0541
13.9999Meg　- 4.3315
15.1208Meg　- 6.0914　Fc
16.3313Meg　- 8.5035
17.6388Meg　-11.8820
19.0510Meg　-17.0709
20.5762Meg　-28.6208　ディップ
22.2235Meg　-25.6226
24.0027Meg　-17.8503
25.9244Meg　-14.3648
27.9999Meg　-12.2619
30.2416Meg　-10.8414

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP3_6-inv-10MHz.asc

```
            Pn_0     Pn_1     Pn_2     Pn_3     Pn_4
Blk No.  3 229.8770Meg 16118.7045T   0.1216        0  16118.7045T Fc= 20.2062MegHz
Fc ゲイン= -  6.2823 dB  Q =  0.5523  GB 積=  1.1160GHz
  周波数 Hz   ゲイン dB
  10.1031Meg  -  1.6734   0.5 Fc
  10.9120Meg  -  1.9507
  11.7856Meg  -  2.2719
  12.7291Meg  -  2.6431
  13.7482Meg  -  3.0706
  14.8489Meg  -  3.5608
  16.0377Meg  -  4.1205
  17.3217Meg  -  4.7564
  18.7084Meg  -  5.4749
  20.2062Meg  -  6.2823   Fc
  21.8239Meg  -  7.1852
  23.5712Meg  -  8.1900
  25.4583Meg  -  9.3044
  27.4964Meg  - 10.5377
  29.6978Meg  - 11.9027
  32.0754Meg  - 13.4178
  34.6433Meg  - 15.1105
  37.4169Meg  - 17.0244
  40.4125Meg  - 19.2312
```

無調整時の周波数特性　LP3_6-inv-10MHz.asc



11.5MHz と 21MHz にピークあり、10MHz で 4.5 dB, 15MHz で -0.4 dB

設計値は、10MHz で 0.1 dB, 15MHz で -27.82 dB なので、まったく設計の特性が実現されていないことが分かる。

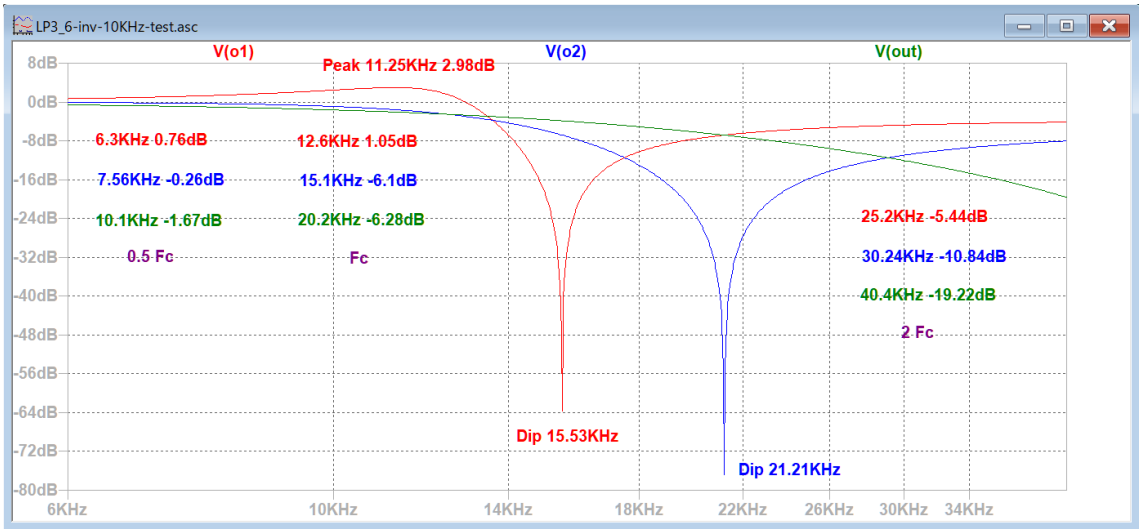
注意：

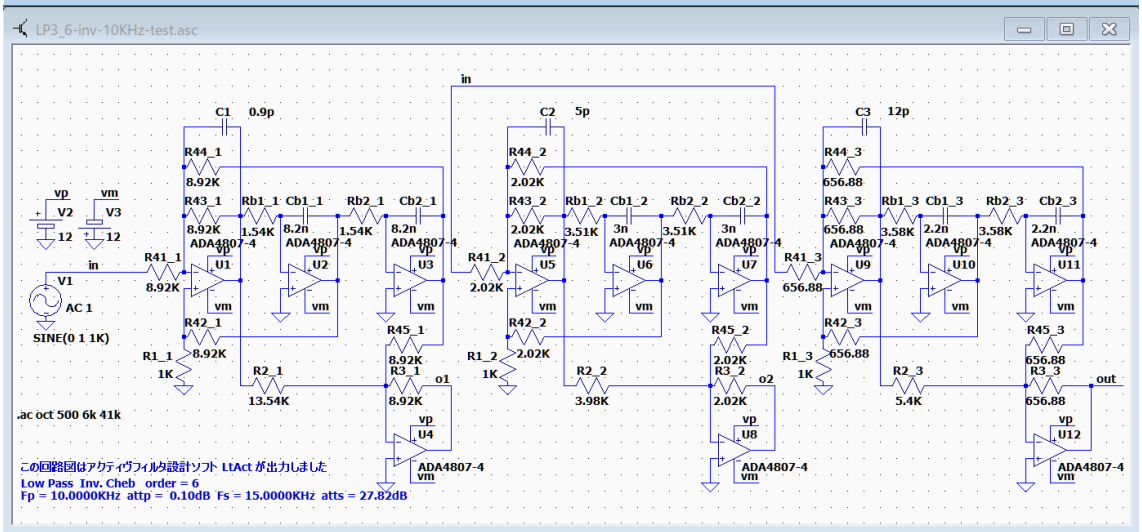
「Fc 付近のゲインリスト」を参照すると、通過域のピークや遮断域のディップの存在を知ることが出来ます。

しかし、これらは表示された周波数におけるゲインを示しているだけで、ピークとディップの正確な周波数ではありません。

ピークとディップの正確な周波数を知るためには、周波数 10KHz で作成した回路図を使用して、各ブロックの出力を確認できるように配線を変更して下図のように周波数特性を測定する必要があります。正確な周波数を知ったうえで、複数周波数のゲインを調整すると周波数特性を改善することが出来ます。

LP3_6-inv-10KHz-test.asc





ブロック 1 のピークは 11.25KHz 2.98dB, ディップは 15.53KHz で、

ブロック 2 のディップは 21.21KHz だとわかります。

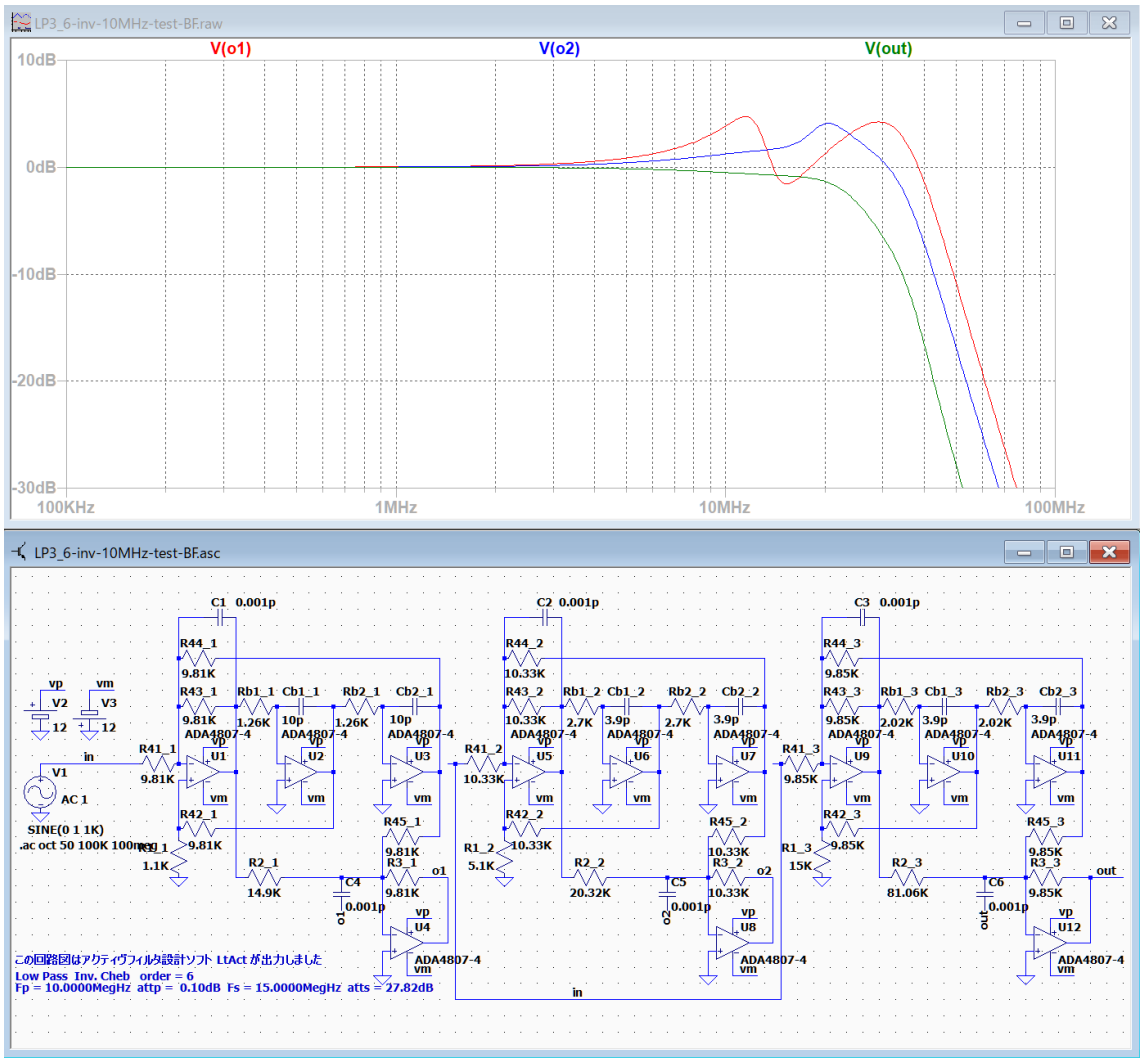
10MHz のフィルタの場合は周波数の単位を MHz に変更すれば良いです。

LP3_6-inv-10KHz-test-BF.asc のピークとディップを参考にして、その他は「カットオフ周波数付近のゲインリスト」を参照して、各ブロックの調整目標を次のように設定する。

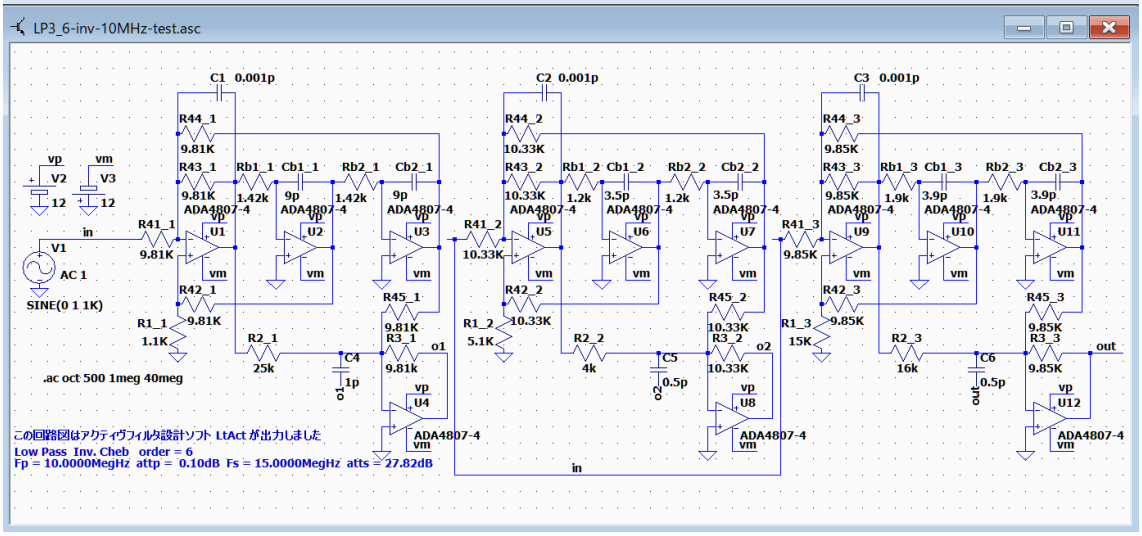
ブロック 1 ：6.3003MHz 0.76dB, Peak 11.25MHz 2.98dB, 12.6MHz 1.05dB,
Dip 15.53MHz - 60dB, 25.20MHz - 5.44dB
ブロック 2 ：7.56MHz -0.26dB, 15.1MHz - 6.1dB,
Dip 21.21MHz - 70dB, 30.24MHz - 10.84dB
ブロック 3 ：10.10MHz – 1.67dB, 20.21MHz – 6.28dB, 40.41MHz – 19.23dB

次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更する。

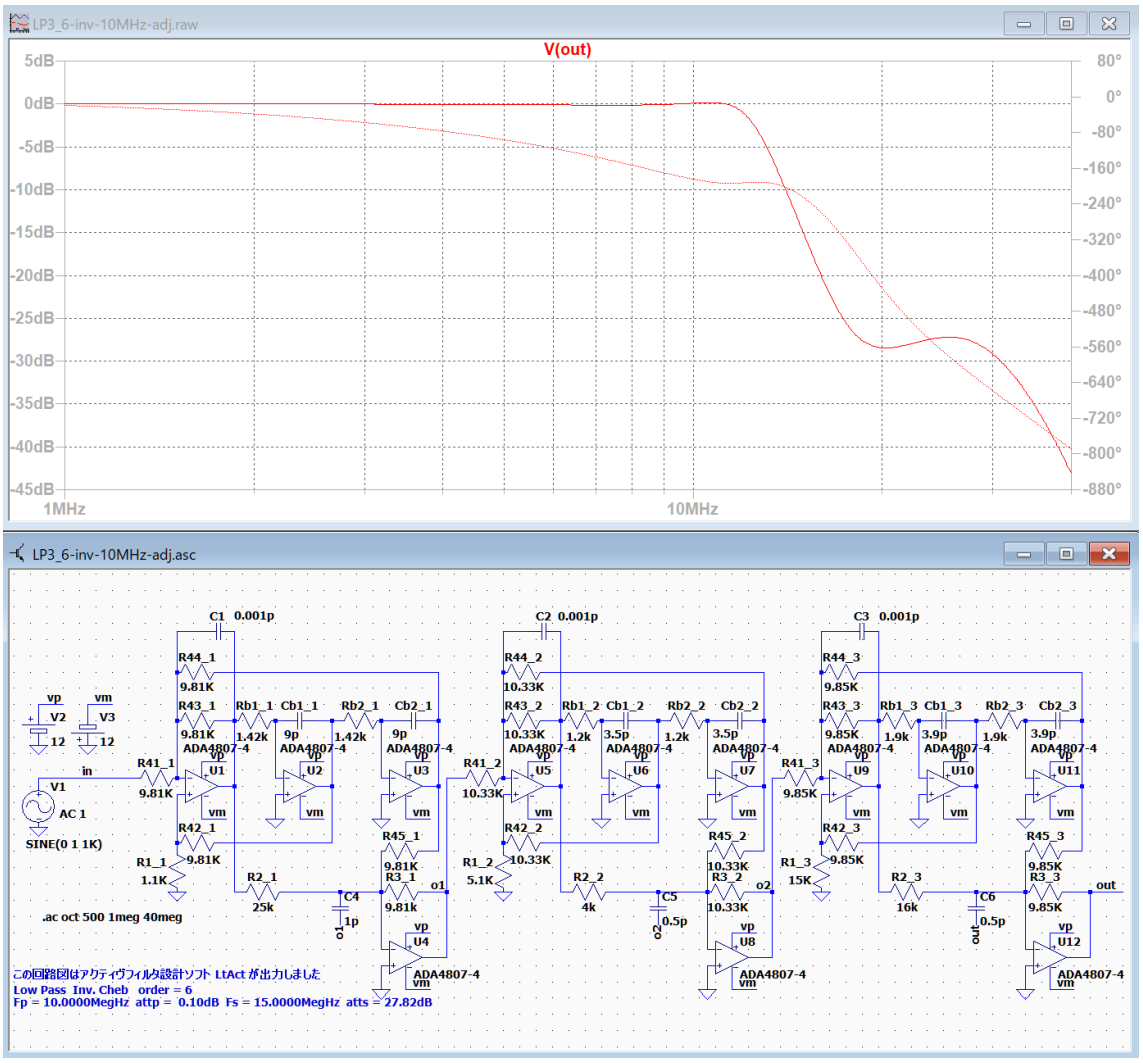
無調整時の各ブロックの出力特性 LP3_6-inv-10MHz-test-BF.asc



出来るだけ調整後の各ブロックの周波数特性　LP3_6-inv-10MHz-test.asc



調整後の周波数特性　LP3_6-inv-10MHz-adj.asc



10MHz で 0.08dB, 15MHz で -15.13dB の結果が得られた。
設計では 15MHz で -27.82dB なので、阻止域の遮断性能が低いことが分かる。

第一ブロックの周波数特性では、ピークの周波数とゲインを目標値に近づけても、ディップは 15.53MHz においてゲインの目標値 - 23.81dB に対して -3.4dB 程度しか得られないことが遮断性能が低い理由だと思われる。

基本回路 LP3 では多数のオペアンプを用いて、複数経路の信号を加算することで目的の伝達関数を実現している。
しかし高周波数では、経路が長い信号と経路が短い信号では位相差が無視できなくなるので、急峻なディップが発生せず、目標の性能が達成できなくなると思われる。

調整例 LP4_6-inv-10MHz.asc

逆チェビシェフ・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-23-その他 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\inv\LP4_6-inv-10MHz.asc 作成日時 Sun May 30 09:08:52 2021
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6　　参照モード=0
Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB

1 (et2)「LP4-3-1」 Rb_1(2 個)= 200.9567 Cb_1(2 個)= 51.0000p R1_1 = 100.4783
C1_1 = 0.1020n 誤差=2.07 %
1 R2_1 = 8.7973K C2_1 = 15.0000p 誤差 = 3.44 %
1 R3_1 = 610.0679 R5_1 = 10.0000K 誤差 = 1.63 %
1 R4_1 = 9.8556K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 1.47 %
2 (et2)「LP4-3-2」 Rb_2(2 個)= 750.2636 Cb_2(2 個)= 10.0000p R1_2 = 375.1318
C1_2 = 20.0000p 誤差=3.96 %
2 R2_2 = 5.5532K C2_2 = 7.5000p 誤差 = 0.84 %
2 R3_2 = 6.6845 R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.73 %
2 R4_2 = 10.4088K R6_2 = 8.2000K 誤差 = 3.93 %
3 (et2)「LP4-3-2」 Rb_3(2 個)= 274.6155 Cb_3(2 個)= 10.0000p R1_3 = 137.3078
C1_3 = 20.0000p 誤差=5.58 %
3 R2_3 = 7.8796K C2_3 = 39.0000p 誤差 = 4.07 %
3 R3_3 = 5.7861K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 3.22 %
3 R4_3 = 10.1643K R6_3 = 15.0000K 誤差 = 1.62 %
++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6
Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 27.82dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	23.9530Meg	6268.1746T	0.6584	0	6268.1746T

Fc= 12.6006MegHz
Fc ゲイン= 1.0547 dB Q = 3.3053 GB 積= 4.1649GHz
周波数 Hz　ゲイン dB

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

6.3003Meg　0.7635　0.5 Fc
6.8047Meg　0.9179
7.3495Meg　1.1091
7.9379Meg　1.3477
8.5734Meg　1.6465
9.2598Meg　2.0173
10.0011Meg　2.4554
10.8018Meg　2.8709　ピーク
11.6666Meg　2.8321
12.6006Meg　1.0547　Fc
13.6094Meg　- 3.9791
14.6990Meg　-13.7148
15.8757Meg　-23.8144
17.1468Meg　-12.7020
18.5195Meg　- 9.3747
20.0022Meg　- 7.6709
21.6036Meg　- 6.6344
23.3331Meg　- 5.9426
25.2012Meg　- 5.4528

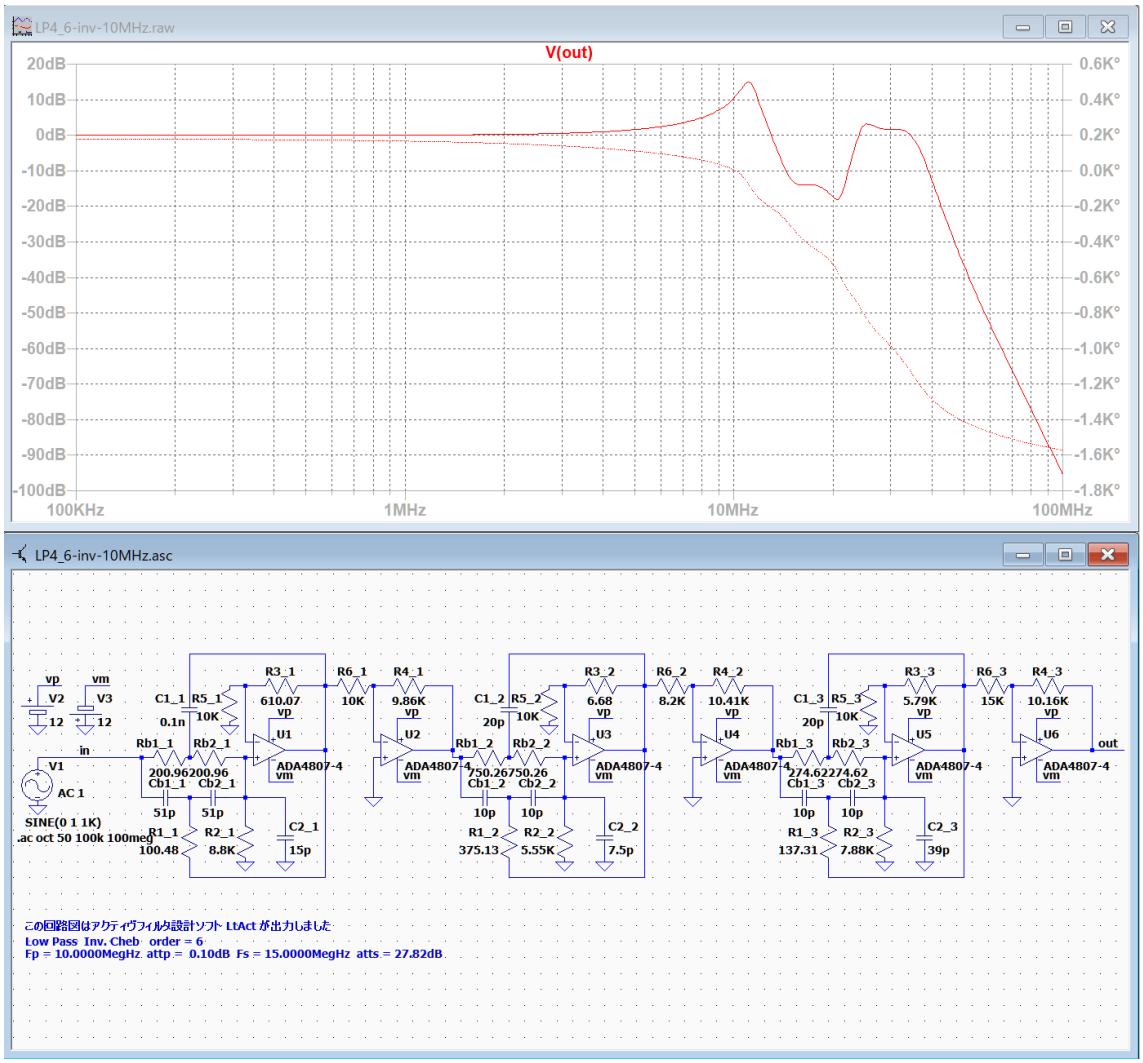
Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2 94.2355Meg 9026.2563T 0.5081 0 9026.2563T Fc= 15.1208MegHz
Fc ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積= 1.5245GHz
周波数 Hz　ゲイン dB
7.5604Meg　- 0.2565　0.5 Fc
8.1657Meg　- 0.3621
8.8194Meg　- 0.5134
9.5255Meg　- 0.7310
10.2881Meg　- 1.0442
11.1118Meg　- 1.4950
12.0014Meg　- 2.1400
12.9622Meg　- 3.0541
13.9999Meg　- 4.3315
15.1208Meg　- 6.0914　Fc
16.3313Meg　- 8.5035
17.6388Meg　-11.8820

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP4_6-inv-10MHz.asc

19.0510Meg - 17.0709
20.5762Meg - 28.6208 ディップ
22.2235Meg - 25.6226
24.0027Meg - 17.8503
25.9244Meg - 14.3648
27.9999Meg - 12.2619
30.2416Meg - 10.8414

Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 3 229.8770Meg 16118.7045T 0.1216 0 16118.7045T Fc= 20.2062MegHz
Fc ゲイン= - 6.2823 dB Q = 0.5523 GB 積= 1.1160GHz
周波数 Hz ゲイン dB
10.1031Meg - 1.6734 0.5 Fc
10.9120Meg - 1.9507
11.7856Meg - 2.2719
12.7291Meg - 2.6431
13.7482Meg - 3.0706
14.8489Meg - 3.5608
16.0377Meg - 4.1205
17.3217Meg - 4.7564
18.7084Meg - 5.4749
20.2062Meg - 6.2823 Fc
21.8239Meg - 7.1852
23.5712Meg - 8.1900
25.4583Meg - 9.3044
27.4964Meg - 10.5377
29.6978Meg - 11.9027
32.0754Meg - 13.4178
34.6433Meg - 15.1105
37.4169Meg - 17.0244
40.4125Meg - 19.2312

無調整時の周波数特性　LP4_6-inv-10MHz.asc



11.07MHz と 25.2MHz にピークあり、10MHz で 10.45 dB, 15MHz で -12.78 dB

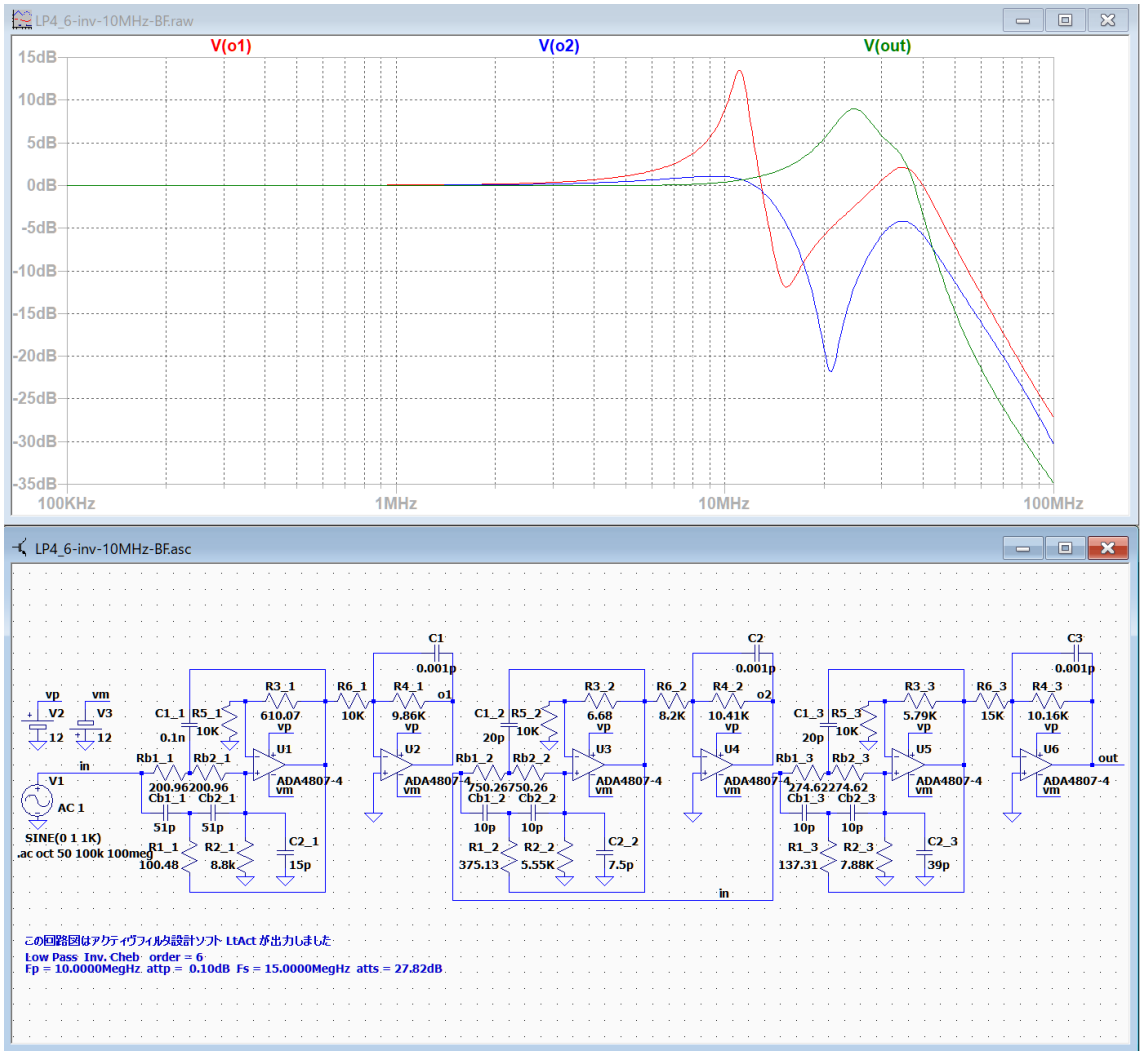
設計値は、10MHz で 0.1 dB, 15MHz で -27.82 dB なので、まったく設計の特性が実現されていないことが分かる。

基本回路が LP3 でも LP4 でも伝達関数は同じなので、
各ブロックの調整目標を次のように設定する。

ブロック 1 ：6.3003MHz 0.76dB, Peak 11.25MHz 2.98dB, 12.6MHz 1.05dB,
Dip 15.53MHz - 60dB, 25.20MHz - 5.44dB
ブロック 2 ：7.56MHz -0.26dB, 15.1MHz - 6.1dB,
Dip 21.21MHz - 70dB, 30.24MHz - 10.84dB
ブロック 3 ：10.10MHz – 1.67dB, 20.21MHz – 6.28dB, 40.41MHz – 19.23dB

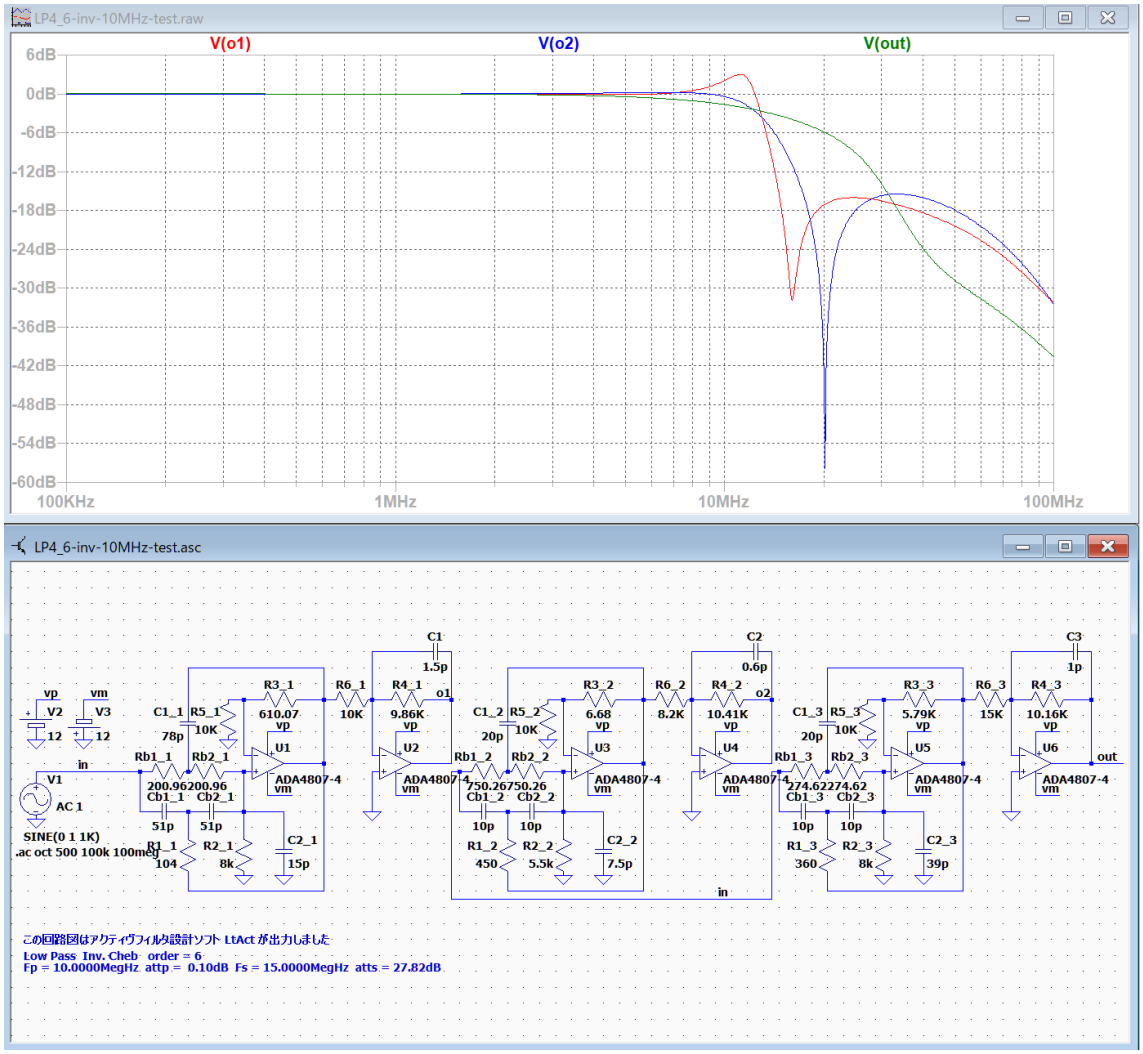
次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更する。

無調整時の各ブロックの特性 LP4_6-inv-10MHz-BF.asc



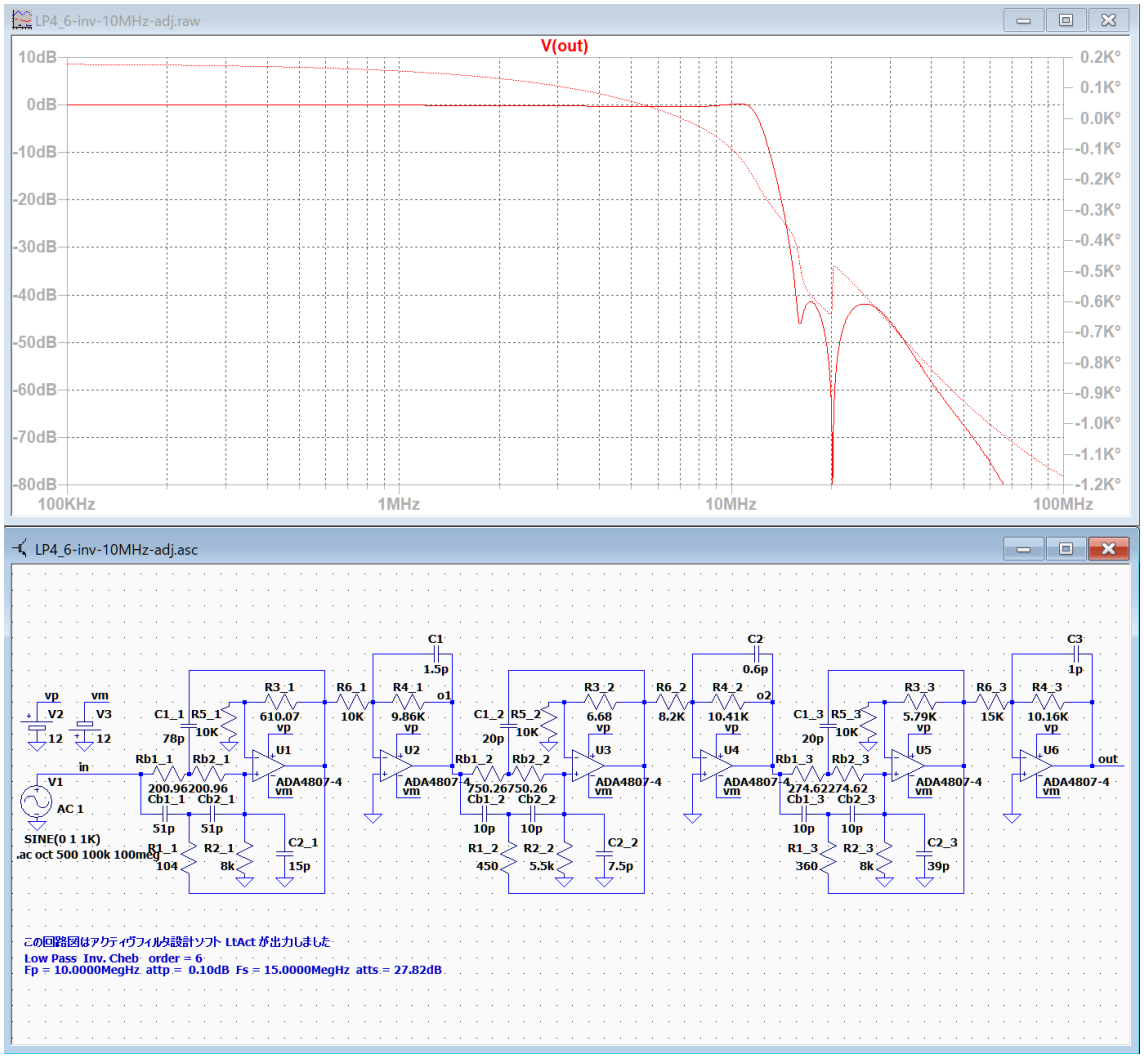
6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP4_6-inv-10MHz.asc

調整後の各ブロックの周波数特性　LP4_6-inv-10MHz-test.asc



ブロック 1 とブロック 2 に深いディップが発生した。

調整後の周波数特性　LP4_6-inv-10MHz-adj.asc



10.00MHz で 0.15dB, 15MHz で – 29.94dB, 阻止域の最低減衰量 -41.4 dB
周波数特性はほぼ設計通りに実現されて、阻止域に櫛型のリプルも発生した。

調整した素子値

ブロック 1

C1_1 = 0.10n → 78p, R2_1 = 8.8K → 8K

ブロック 2

R1_2 = 375 → 450, R2_1 = 5.55K → 5K

ブロック 3

R1_3 = 137.3 → 360, R2_3 = 7.88K → 8K

基本回路 LP4 はオペアンプを 1 個しか利用しないので、複数の経路からの信号が加算されても位相のずれが少ないので、ピークとディップを目標値に調整することができた。

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP4_6-inv-10MHz.asc

調整例 LP3_6-ellip-10MHz.asc

楕円関数・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-23-その他 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\ellip\LP3_6-ellip-10MHz.asc 作成日時 Sun May 30 09:15:59 2021
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6　　参照モード=0
Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 57.77dB

1 (et1)「LP3-3-0」 Rb_1(2 個)=843.7092 Cb_1(2 個)= 18.0000p 誤差=2.81 %
1 R1_1 = 240.0000 R2_1 = 104.7262K R3_1 = 11.4075K R4_1(5 個)= 4.4533K 誤差=6.71 %
2 (et1)「LP3-3-1」 Rb_2(2 個)= 1.7861K Cb_2(2 個)= 10.0000p 誤差=0.78 %
2 R1_2 = 5.1000K R2_2 = 96.3201K R3_2 = 10.4919K R4_2(5 個)= 19.4741K 誤差=6.62 %
3 (et1)「LP3-3-2」 Rb_3(2 個)= 6.7987K Cb_3(2 個)= 3.9000p 誤差=0.02 %
3 R1_3 = 15.0000K R2_3 = 83.4150K R3_3 = 9.0862K R4_3(5 個)= 12.6847K 誤差=3.01 %
++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6
Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 57.77dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	10.1015Meg	4335.8016T	0.1089	0	11106.4238T

Fc= 10.4798MegHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積= 6.8313GHz

周波数 Hz	ゲイン dB
5.2399Meg	10.5308
5.6594Meg	10.9975
6.1125Meg	11.5761
6.6019Meg	12.3037
7.1304Meg	13.2359
7.7013Meg	14.4604

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

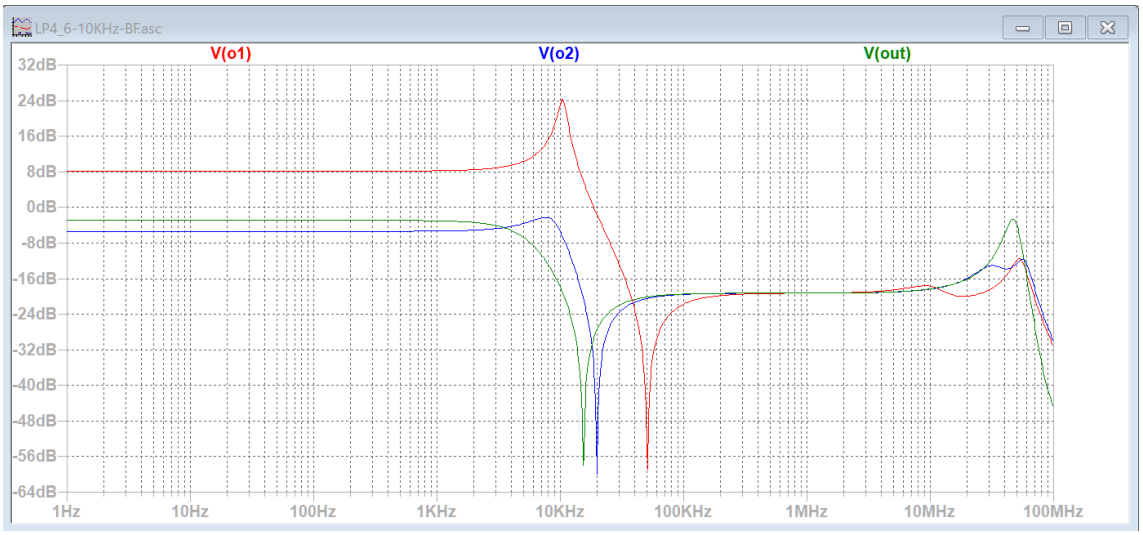
8.3179Meg　16.1228
8.9838Meg　18.4698
9.7030Meg　21.7672
10.4798Meg　24.0757
11.3189Meg　20.3099
12.2250Meg　15.5520
13.2038Meg　11.7379
14.2609Meg　8.5981
15.4026Meg　5.8821
16.6357Meg　3.4396
17.9676Meg　1.1775
19.4060Meg　- 0.9663
20.9597Meg　- 3.0370

Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2 34.8576Meg 3134.4929T 0.1089 0 1688.7398T Fc= 8.9105MegHz
Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積= 1.4312GHz
周波数 Hz　ゲイン dB
4.4553Meg　- 4.0142
4.8120Meg　- 3.7875
5.1972Meg　- 3.5285
5.6133Meg　- 3.2387
6.0627Meg　- 2.9271
6.5481Meg　- 2.6182
7.0723Meg　- 2.3661
7.6385Meg　- 2.2734
8.2500Meg　- 2.4991
8.9105Meg　- 3.2183
9.6239Meg　- 4.5202
10.3944Meg　- 6.3469
11.2266Meg　- 8.5584
12.1254Meg　- 11.0395
13.0961Meg　- 13.7488
14.1446Meg　- 16.7263
15.2770Meg　- 20.1110
16.5001Meg　- 24.2280
17.8211Meg　- 29.9717

```
            Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  3  61.3027Meg  1422.3763T    0.1089         0   1018.8593T Fc=  6.0024MegHz
Fc ゲイン=-  8.5502 dB  Q =  0.6152  GB 積=369.2793MegHz
  周波数 Hz    ゲイン dB
   3.0012Meg   -  4.1090
   3.2415Meg   -  4.3379
   3.5010Meg   -  4.6115
   3.7813Meg   -  4.9379
   4.0840Meg   -  5.3263
   4.4110Meg   -  5.7864
   4.7641Meg   -  6.3286
   5.1456Meg   -  6.9633
   5.5575Meg   -  7.7006
   6.0024Meg   -  8.5502
   6.4830Meg   -  9.5214
   7.0020Meg   - 10.6236
   7.5626Meg   - 11.8673
   8.1681Meg   - 13.2663
   8.8220Meg   - 14.8407
   9.5283Meg   - 16.6217
  10.2911Meg   - 18.6610
  11.1150Meg   - 21.0484
  12.0049Meg   - 23.9538
```

基本回路は LP3 でも LP4 でも伝達関数は同じなので、
Fc=10KHz の LP4 で各ブロックの周波数特性を確認して、調整目標を求める。

LP4_6-10KHz-BF.asc　無調整時　阻止域にピークがある

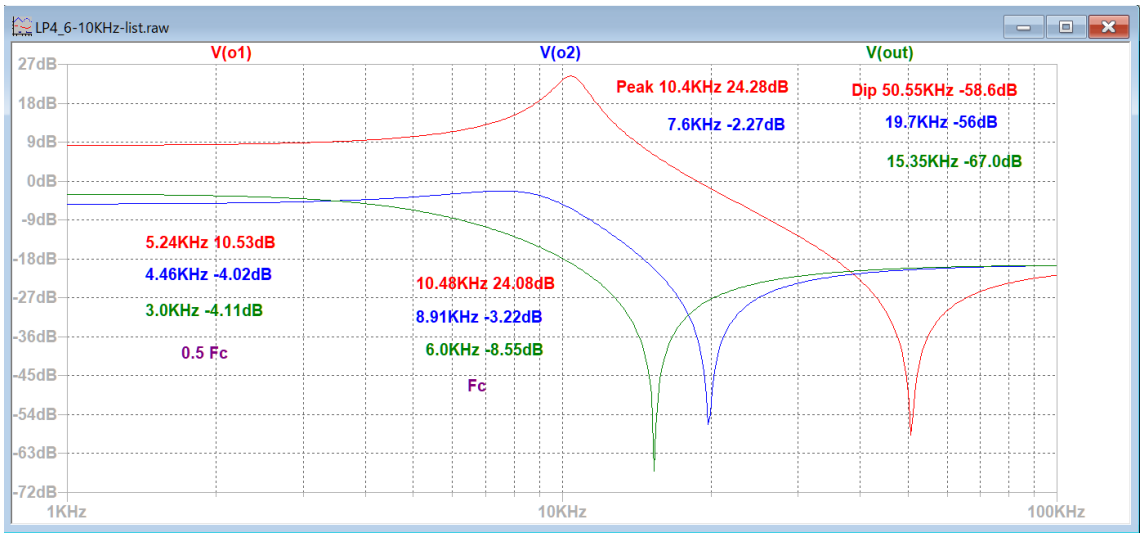


LP4_6-10KHz-test.asc　無調整で阻止域のピークを除去した

茶色のグラフ「V(o1)*V(o2)*V(out)」は、回路の配線を元に戻した場合の周波数特性
設計通り、10KHz で 0dB, 15KHz で – 57.87dB が得られている。

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP3_6-ellip-10MHz.asc

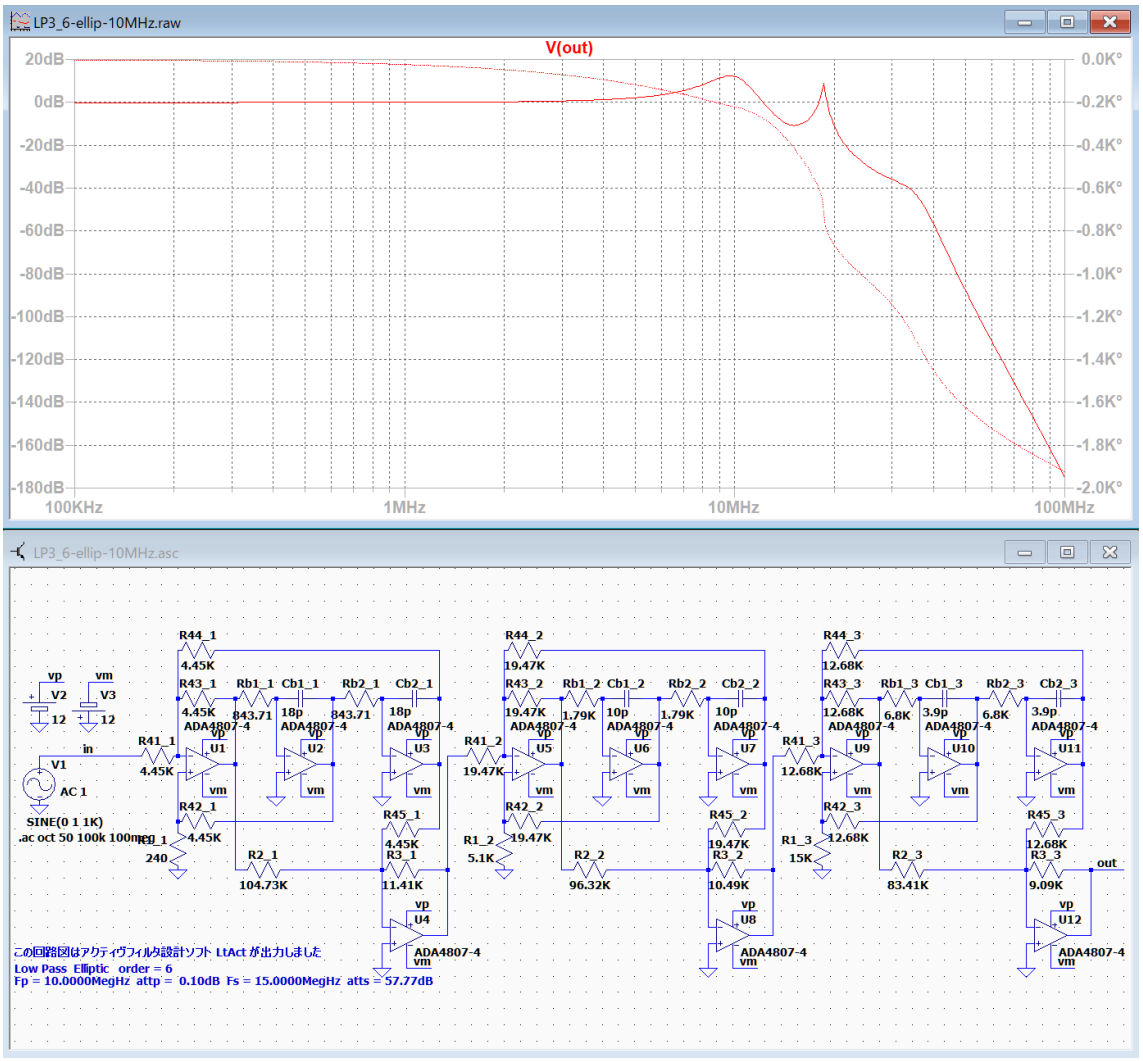
LP4_6-10KHz-list.asc　調整目標を求める（周波数の範囲を 1KHz～100KHz にする）



0.5 Fc と Fc のゲインは「リスト」の値を表示した。

ブロック 1 ：5.24MHz　10.53dB, Peak 10.4MHz 24.28dB, 10.48MHz 24.08dB,
　　Dip 50.55MHz – 58.6dB
ブロック 2 ：4.46MHz -4.02dB, 8.91MHz - 3.22dB, Peak 7.6MHz -2.27dB,
　　Dip 19.7MHz - 56dB
ブロック 3 ：3.0MHz – 4.11dB, 6.0MHz -8.55dB,
　　Dip 15.35MHz - 67.0dB

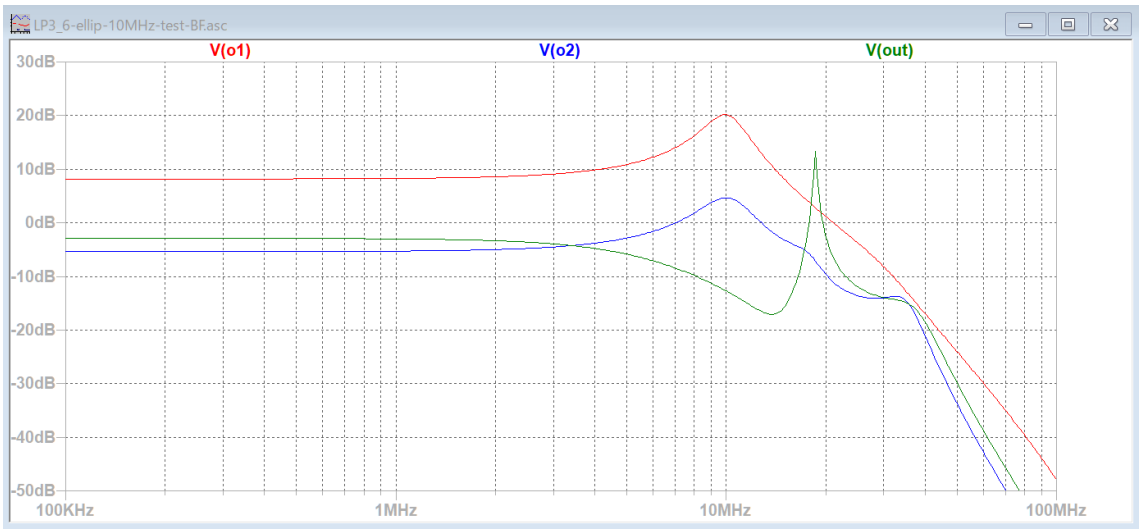
無調整時の周波数特性　LP3_6-ellip-10MHz.asc

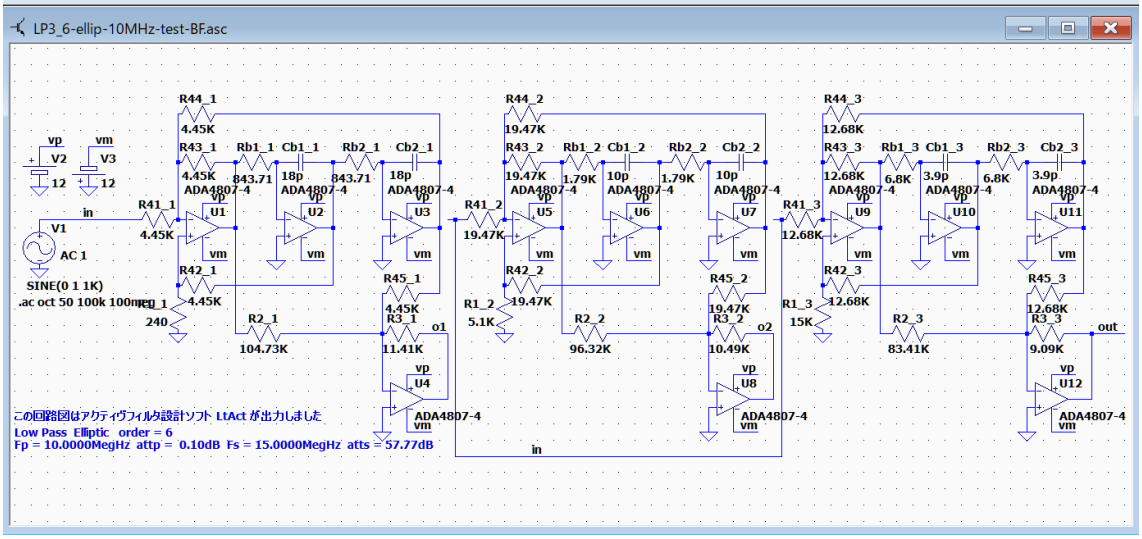


設計した特性が実現できていないことが分かる。

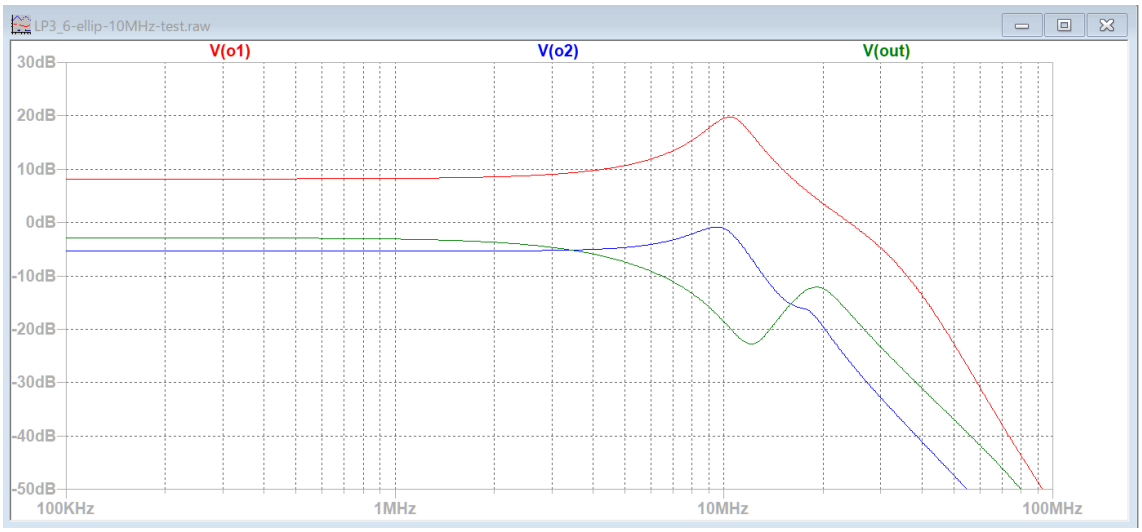
次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更して調整する。

無調整時の各ブロックの周波数特性　LP3_6-ellip-10MHz-test-BF.asc

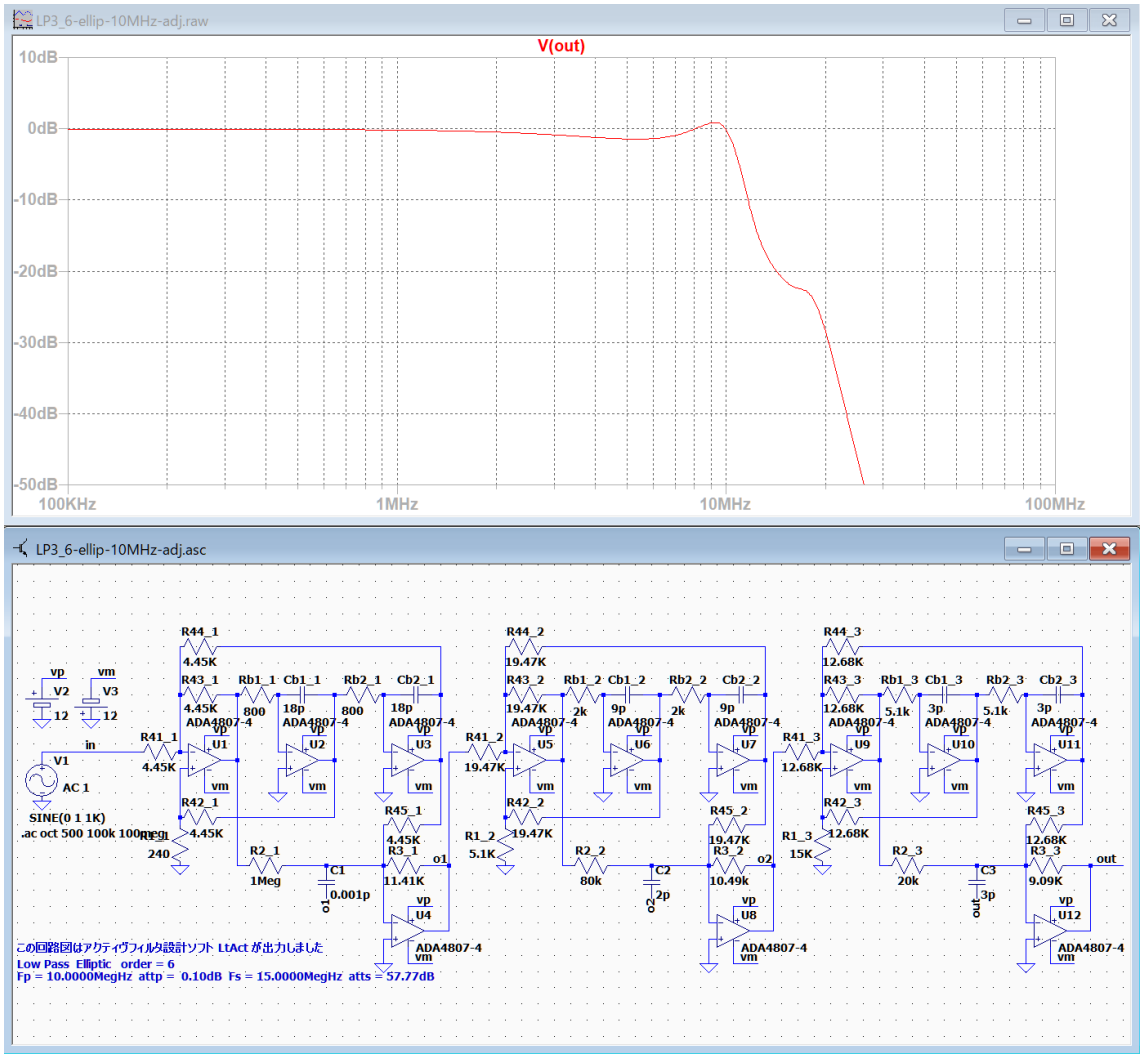




調整後の各ブロックの周波数特性　LP3_6-ellip-10MHz-test.asc



配線を元に戻した時の周波数特性　LP3_6-ellip-10MHz-adj.asc



10MHz で -0.18dB, 15MHz で -21.24dB
また、5.3MHz で-1.46dB, 9.2MHz で 0.85dB のリプルが発生している
設計値の 15MHz で -57.77dB には程遠い結果が得られた。

基本回路 LP3 では多数のオペアンプを用いて、複数経路の信号を加算することで目的の伝達関数を実現している。
しかし高周波数では、経路が長い信号と経路が短い信号では位相差が無視できなくなるので、急峻なディップが発生せず、目標の性能が達成できなくなると思われる。

調整例 LP4_6-ellip-10MHz.asc

楕円関数・ローパスフィルタ 10MHz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\2021-05-23-その他 実験中のデータ\ver.3.00 LP1-4_6-10MHz\ellip\LP4_6-ellip-10MHz.asc 作成日時 Sun May 30 09:17:00 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6　　参照モード=0

Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 57.77dB

1 (et2)「LP4-3-0」 Rb_1(2 個)= 31.3171 Cb_1(2 個)= 0.1000n R1_1 = 15.6585 C1_1 = 0.2000n 誤差=4.74 %

1 R2_1 = 992.7123 C2_1 = 1.2000n 誤差 = 0.73 %

1 R3_1 = 58.1806K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 3.75 %

1 R4_1 = 9.5858K R6_1 = 24.0000K 誤差 = 4.32 %

2 (et2)「LP4-3-1」 Rb_2(2 個)= 157.4768 Cb_2(2 個)= 51.0000p R1_2 = 78.7384 C1_2 = 0.1020n 誤差=4.85 %

2 R2_2 = 4.2369K C2_2 = 0.1100n 誤差 = 1.49 %

2 R3_2 = 7.2512K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 3.43 %

2 R4_2 = 10.0656K R6_2 = 30.0000K 誤差 = 0.65 %

3 (et2)「LP4-3-2」 Rb_3(2 個)= 1.0340K Cb_3(2 個)= 10.0000p R1_3 = 516.9888 C1_3 = 20.0000p 誤差=3.55 %

3 R2_3 = 32.0746K C2_3 = 30.0000p 誤差 = 2.89 %

3 R3_3 = 4.0687K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 4.15 %

3 R4_3 = 10.8395K R6_3 = 20.0000K 誤差 = 1.48 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6

Fp = 10.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 15.0000MegHz atts = 57.77dB

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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	10.1015Meg	4335.8016T	0.1089	0	11106.4238T

Fc= 10.4798MegHz

Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積= 6.8313GHz

周波数 Hz　ゲイン dB

6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」

5.2399Meg　10.5308
5.6594Meg　10.9975
6.1125Meg　11.5761
6.6019Meg　12.3037
7.1304Meg　13.2359
7.7013Meg　14.4604
8.3179Meg　16.1228
8.9838Meg　18.4698
9.7030Meg　21.7672
10.4798Meg　24.0757
11.3189Meg　20.3099
12.2250Meg　15.5520
13.2038Meg　11.7379
14.2609Meg　8.5981
15.4026Meg　5.8821
16.6357Meg　3.4396
17.9676Meg　1.1775
19.4060Meg　- 0.9663
20.9597Meg　- 3.0370

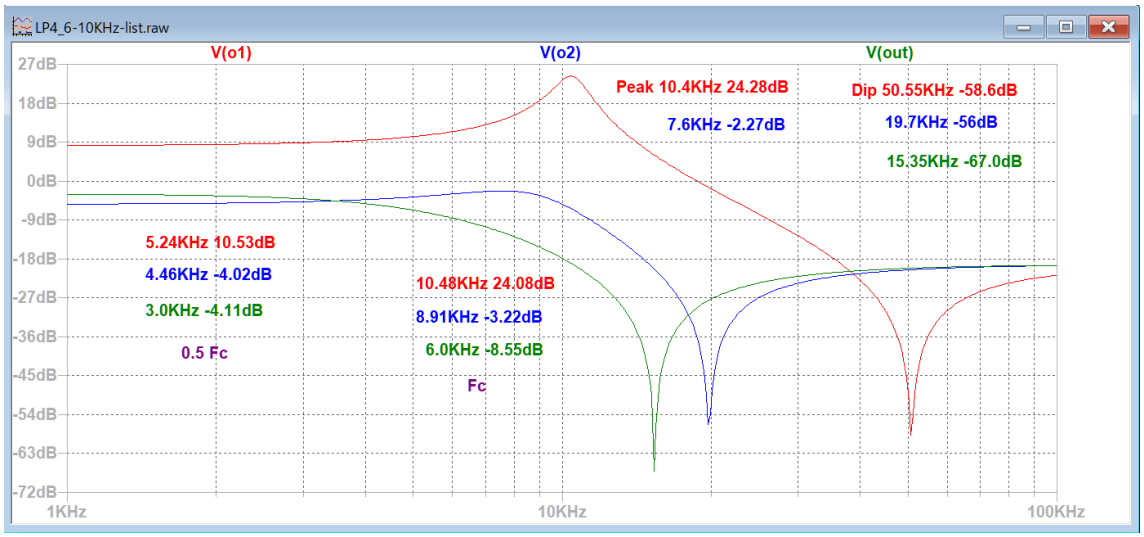
Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2 34.8576Meg 3134.4929T 0.1089 0 1688.7398T Fc= 8.9105MegHz
Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積= 1.4312GHz
周波数 Hz　ゲイン dB
4.4553Meg　- 4.0142
4.8120Meg　- 3.7875
5.1972Meg　- 3.5285
5.6133Meg　- 3.2387
6.0627Meg　- 2.9271
6.5481Meg　- 2.6182
7.0723Meg　- 2.3661
7.6385Meg　- 2.2734
8.2500Meg　- 2.4991
8.9105Meg　- 3.2183
9.6239Meg　- 4.5202
10.3944Meg　- 6.3469
11.2266Meg　- 8.5584

12.1254Meg　- 11.0395
13.0961Meg　- 13.7488
14.1446Meg　- 16.7263
15.2770Meg　- 20.1110
16.5001Meg　- 24.2280
17.8211Meg　- 29.9717

Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 3 61.3027Meg 1422.3763T 0.1089 0 1018.8593T Fc= 6.0024MegHz
Fc ゲイン= - 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積=369.2793MegHz
周波数 Hz　ゲイン dB
3.0012Meg　- 4.1090
3.2415Meg　- 4.3379
3.5010Meg　- 4.6115
3.7813Meg　- 4.9379
4.0840Meg　- 5.3263
4.4110Meg　- 5.7864
4.7641Meg　- 6.3286
5.1456Meg　- 6.9633
5.5575Meg　- 7.7006
6.0024Meg　- 8.5502
6.4830Meg　- 9.5214
7.0020Meg　- 10.6236
7.5626Meg　- 11.8673
8.1681Meg　- 13.2663
8.8220Meg　- 14.8407
9.5283Meg　- 16.6217
10.2911Meg　- 18.6610
11.1150Meg　- 21.0484
12.0049Meg　- 23.9538

基本回路は LP3 でも LP4 でも伝達関数は同じなので、
Fc=10KHz の LP4 で各ブロックの周波数特性を確認して、調整目標を求める。

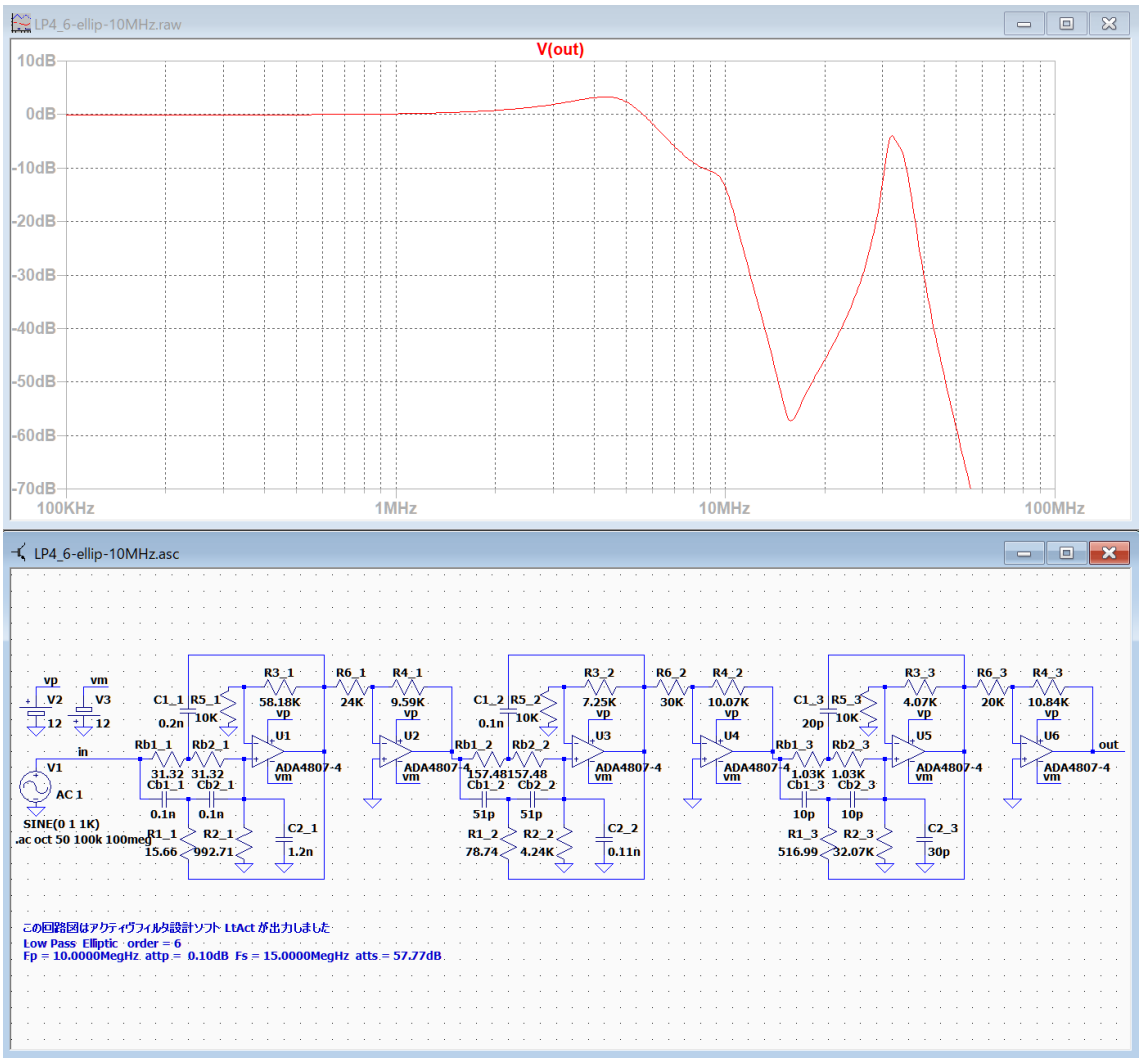
LP4_6-10KHz-list.asc　調整目標を求める（周波数の範囲を 1KHz～100KHz にする）



0.5 Fc と Fc のゲインは「リスト」の値を表示した。

ブロック 1 ：5.24MHz　10.53dB, Peak 10.4MHz 24.28dB, 10.48MHz 24.08dB,
　　Dip 50.55MHz – 58.6dB
ブロック 2 ：4.46MHz -4.02dB, 8.91MHz　- 3.22dB, Peak 7.6MHz -2.27dB,
　　Dip 19.7MHz　- 56dB
ブロック 3 ：3.0MHz – 4.11dB, 6.0MHz　-8.55dB,
　　Dip 15.35MHz　- 67.0dB

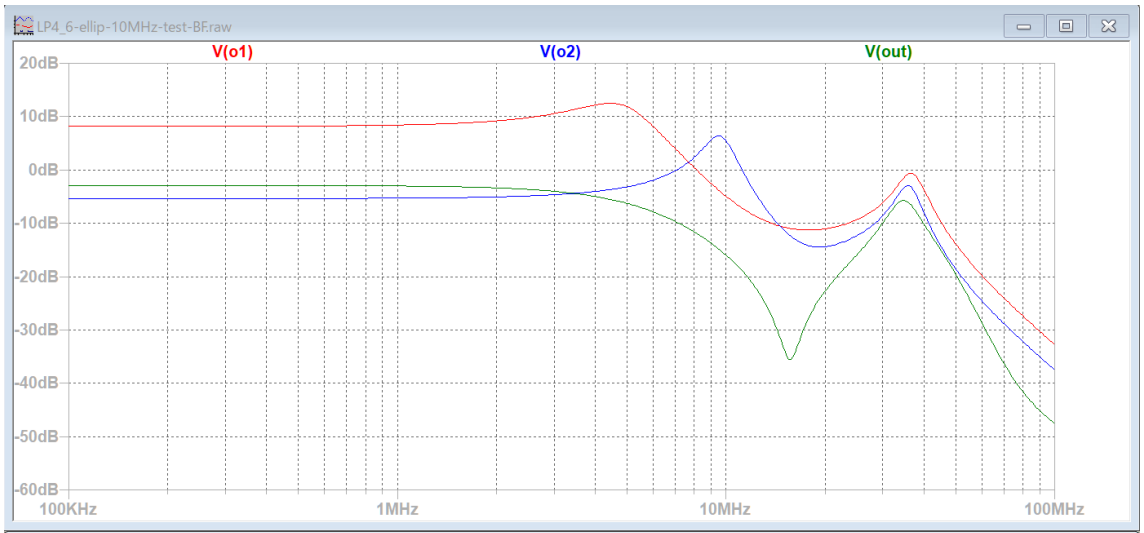
無調整時の周波数特性　LP4_6-ellip-10MHz.asc

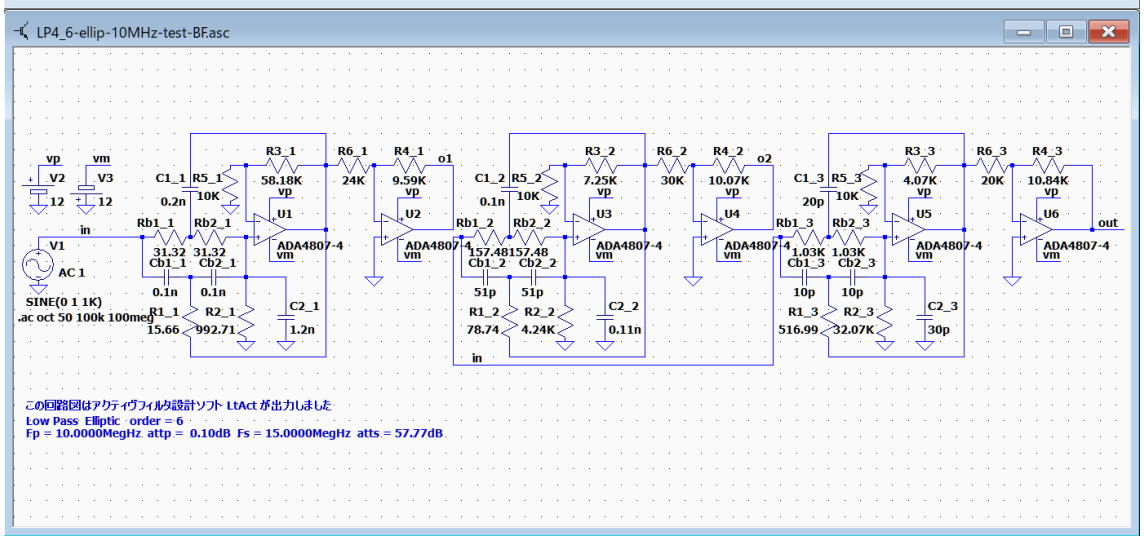


設計した特性が実現できていないことが分かる。

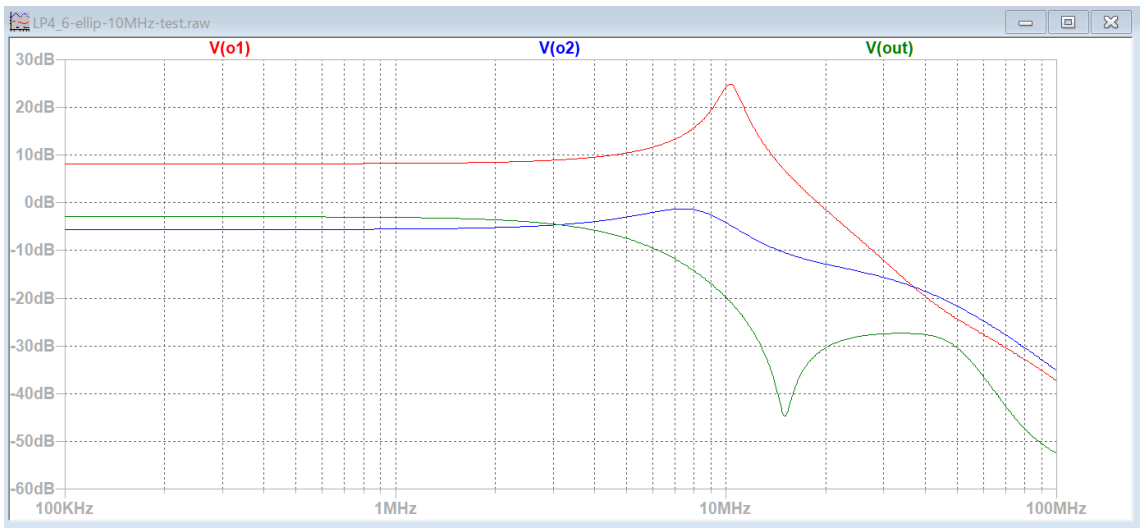
次に、各ブロックの出力が確認できるように回路図の配線を変更して調整する。

無調整時の各ブロックの周波数特性　LP4_6-ellip-10MHz-test-BF.asc



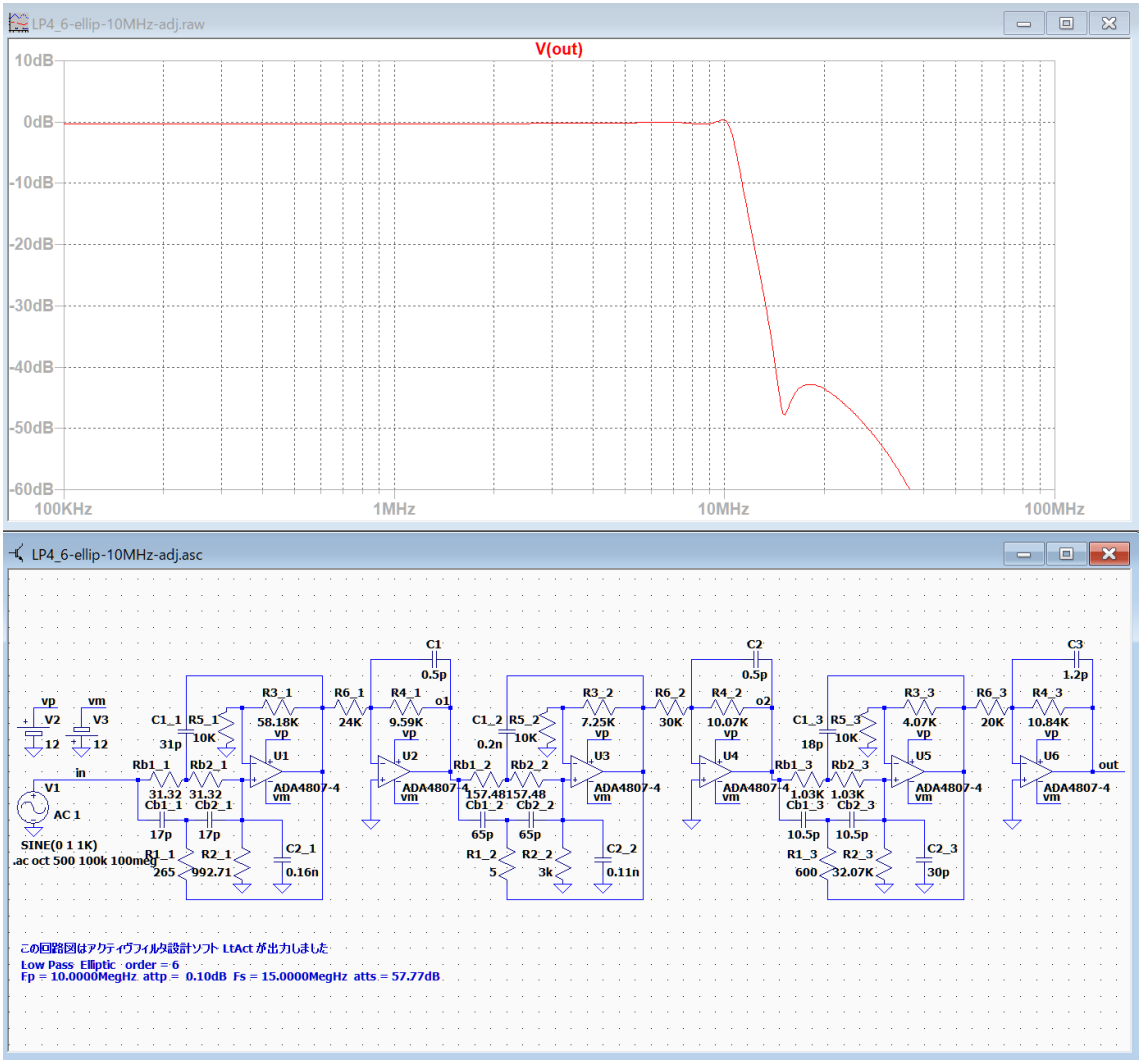


調整後の各ブロックの周波数特性　LP4_6-ellip-10MHz-test.asc



6-5 ver.3.00 「Fc 付近のゲインリストを出力する」
調整例 LP4_6-ellip-10MHz.asc

配線を元に戻した時の周波数特性　LP4_6-ellip-10MHz-adj.asc



10MHz で 0.29dB, 15MHz で -47.4dB　阻止域の最低減衰量 -42.8dB

また、8.6MHz で-0.35dB, 9.9MHz で 0.33dB のリプルが発生している

OP アンプの GB 積不足のため、設計値の 15MHz で -57.77dB は実現できなかった。

調整した素子値

ブロック 1

Cb1_1 = 0.1n→17p, C1_1 = 0.2n→31p, C2_1 = 1.2n→0.16n, R1_1 = 15.66→265

ブロック 2

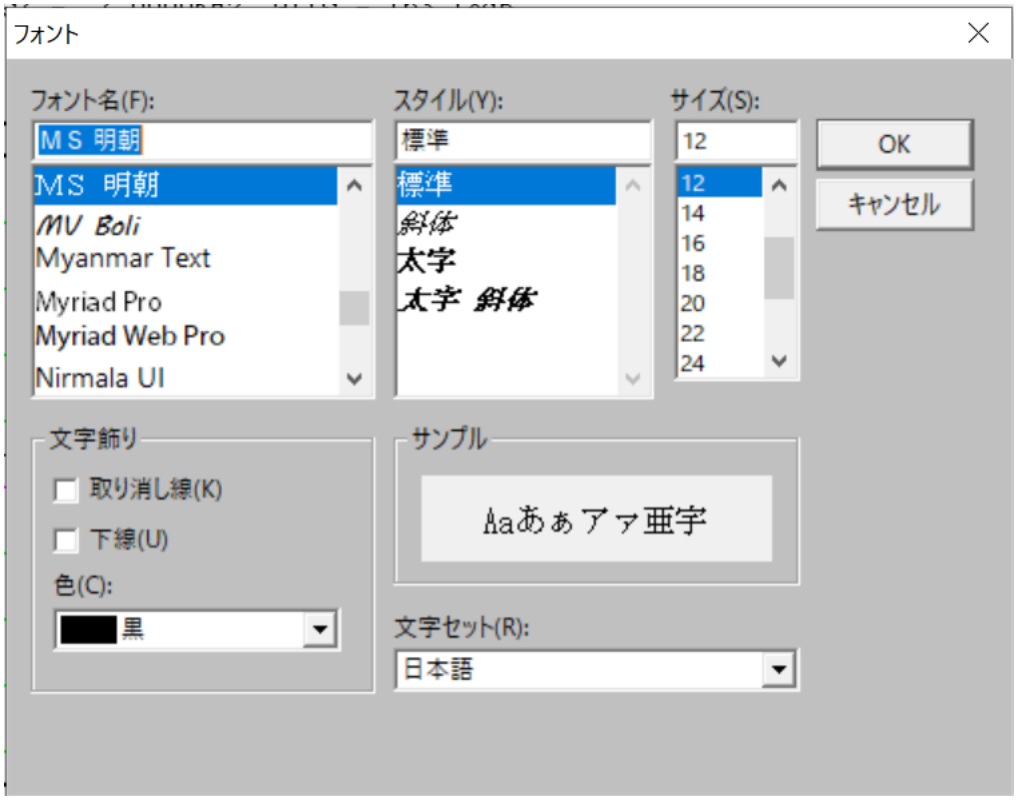
Cb1_2 = 51p→65p, C1_2 = 0.1n→0.2n, R1_2 = 78.74→5, R2_2 = 4.24k→3k

ブロック 3

Cb1_3 = 10p→10.5p, C1_3 = 20p→18p, R1_3 = 516.99→600

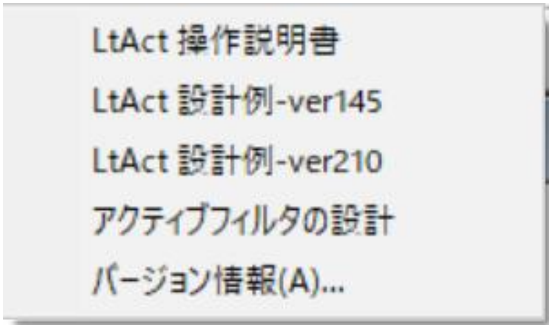
7 フォント

次のダイアログが表示されて、グラフ表示などで使用するフォントを変更出来ます。



８ ヘルプ

次のダイアログが表示されて「LtAct 操作説明書」、「LtAct 設計例」、「アクティブフィルタの設計」など文書の表示または LtAct の「バージョン情報」の表示が出来ます。



「LtAct 操作説明書」をクリックすると、「LtAct 操作説明書.pdf」が開きます。
「LtAct 設計例-ver145」をクリックすると、「LtAct 設計例-ver145.pdf」が開きます。
「LtAct 設計例-ver210」をクリックすると、「LtAct 設計例-ver210.pdf」が開きます。
各種フィルタの設計例の回路図と特性グラフを紹介しています。
回路図作成時の素子値の設定に役立つコンデンサの推奨値を表にまとめました。
また、オーバシュートを抑制する方法の説明を加えました。

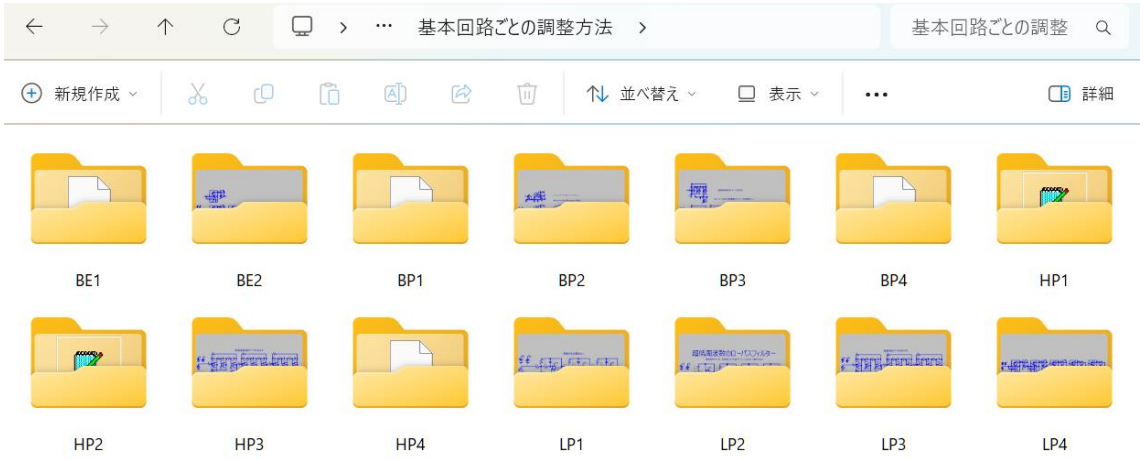
「アクティブフィルタの設計」をクリックすると、「アクティブフィルタの設計.pdf」が開きます。
このファイルはアクティブフィルタの数学的な解説と、実際の電子回路に変換する方法、それからアナログフィルタをデジタルフィルタに変換する方法などを解説した文書です。

「バージョン情報」をクリックすると、「バージョン情報ダイアログ」が開きます。

Ver.2.10 以降では、「LtAct 設計例 ver145」で紹介したコンデンサの全ての推奨値および lp1 と hp1 の推奨値を LtAct プログラム本体に組み込み、周波数による配分計算を追加すると共に、フィルタの種類によって推奨値の適用アルゴリズムを微調整することで、LtAct が表示する候補値の精度を改善しました。

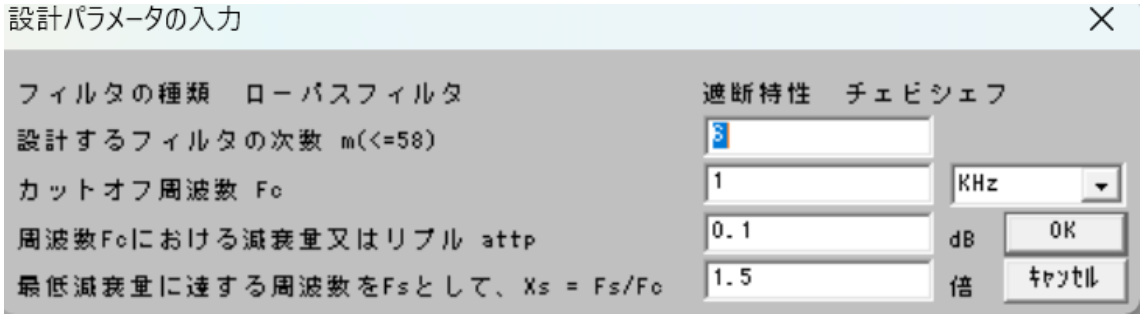
基本回路ごとの調整方法　まとめ

実験データは「LtAct」を解凍したフォルダ内の「基本回路ごとの調整方法」フォルダに基本回路ごとのフォルダ内に格納してあります。



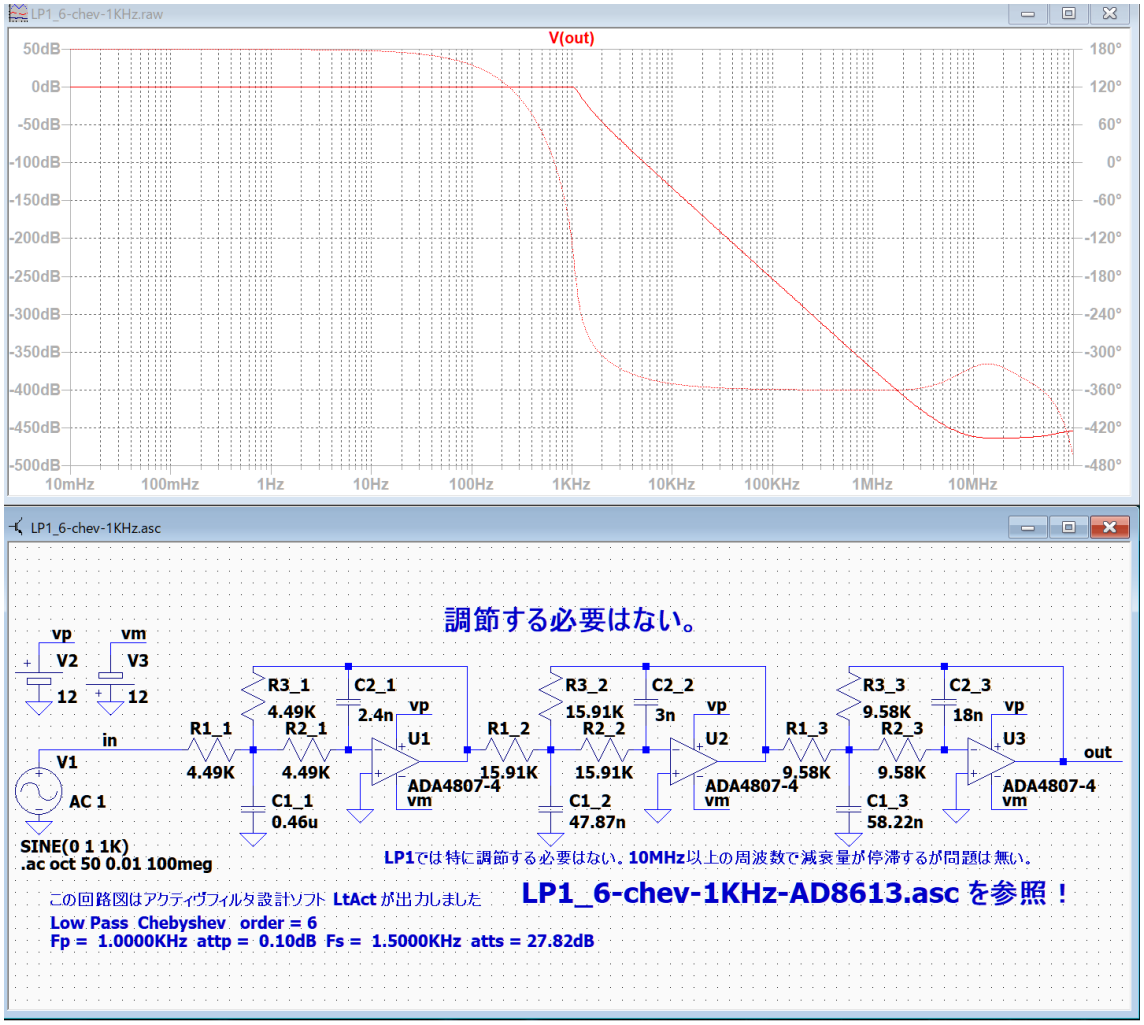
LP1 の調整方法

LP1_6-chev-1KHz.asc



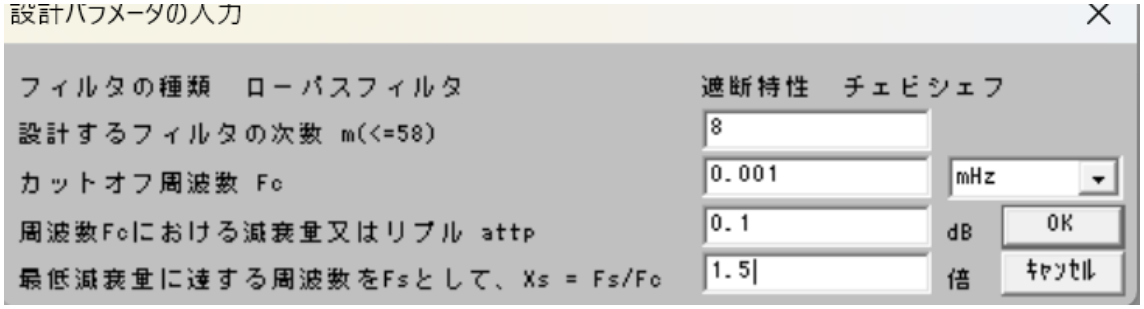
合成された回路図を「LtSpice」で実行して周波数特性を確認した。

この回路図は特に調整する必要がないと思われる。

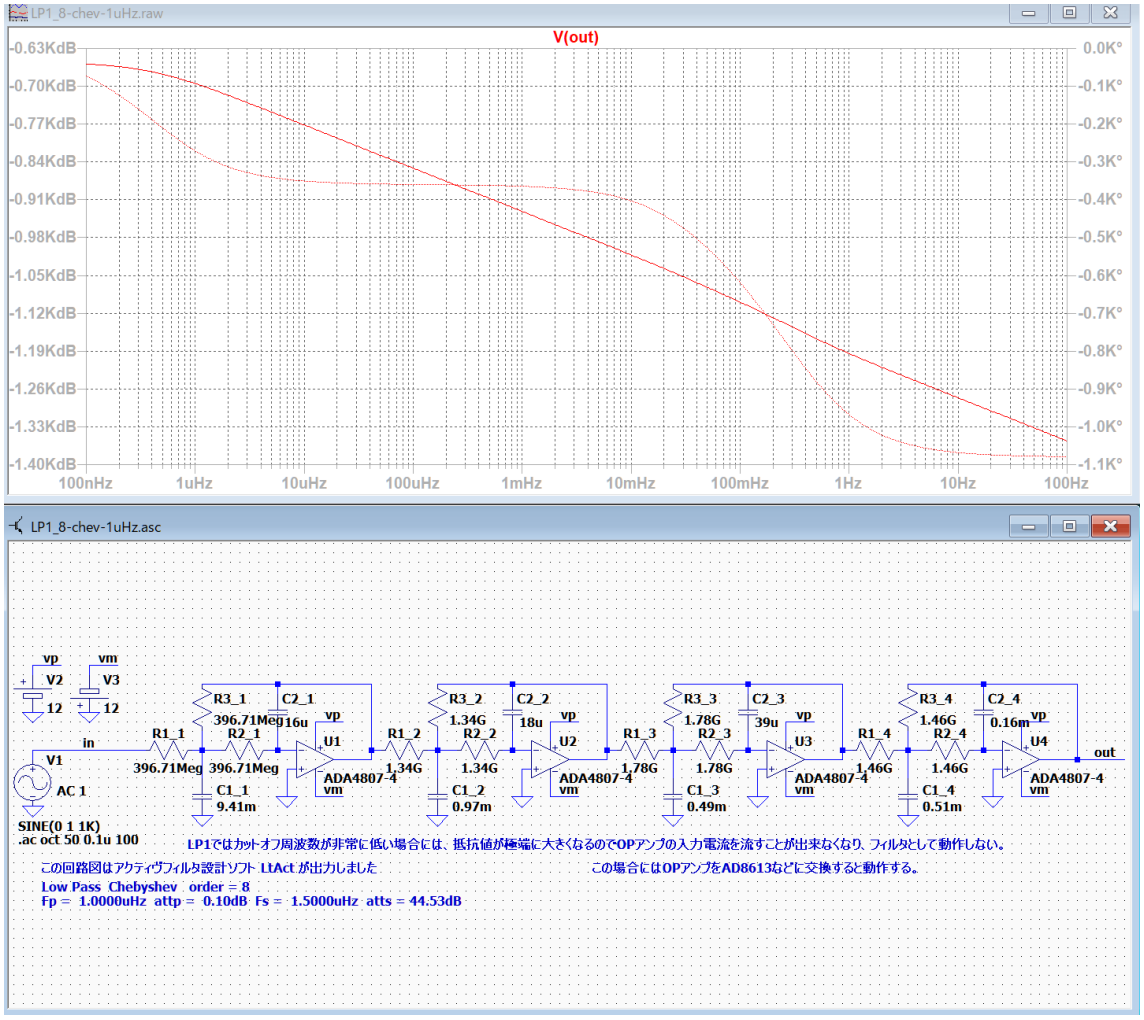


LP1_8-chev-1uHz.asc

LP1 で超低周波数（1uHz）のローパスフィルタを作成する場合の問題と対処法



超低周波数なので、抵抗値が非常に大きくなるため、OP アンプの動作に必要な入力電流を流すことが出来なくなりフィルターとして動作しません。



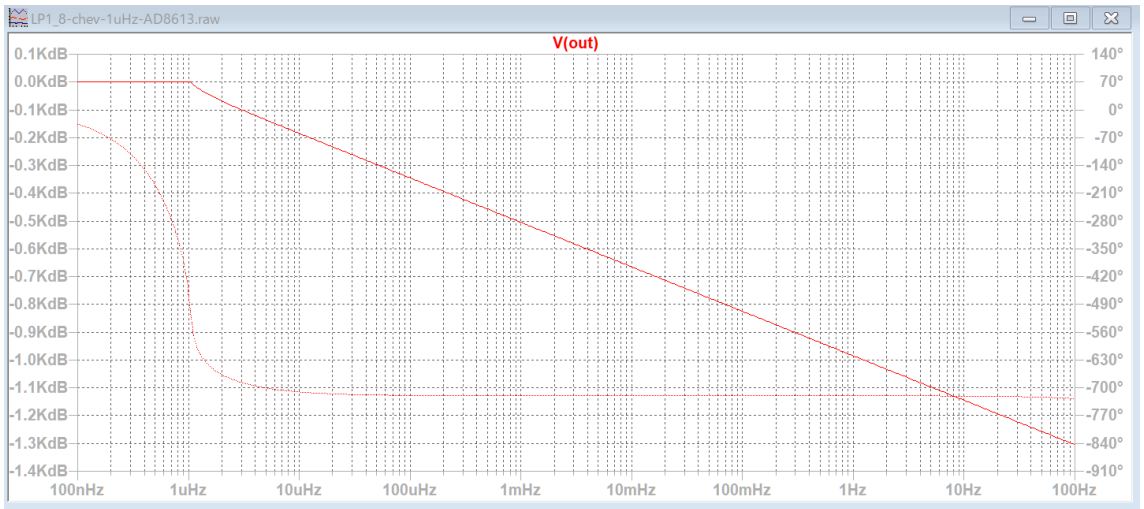
LP1_8-chev-1uHz.asc

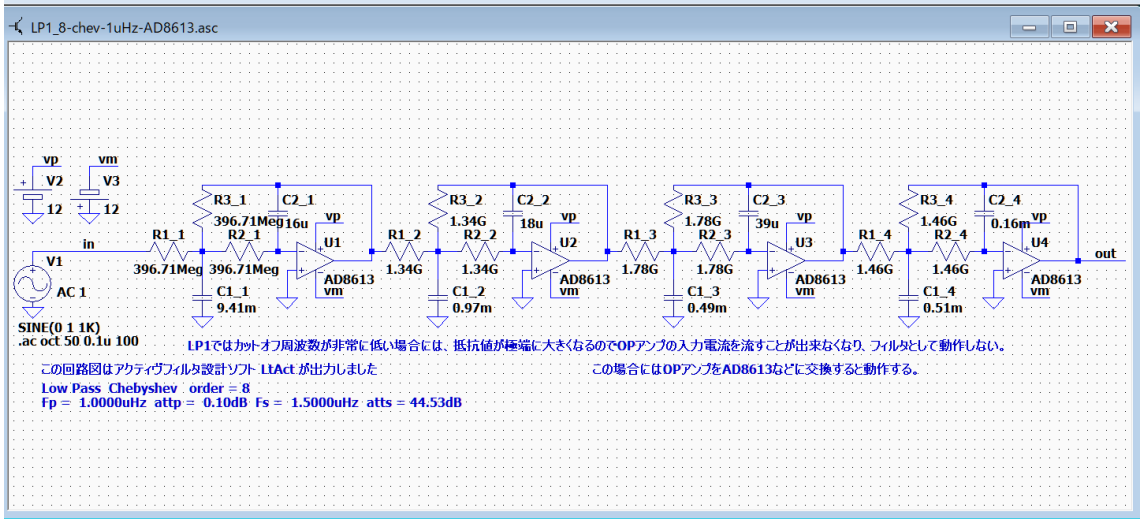
このような場合には、JFET のオペアンプを利用すると解決します。

「各種の実験」→「ver.3.00 以降の実験 3」→「JFET のオペアンプ」を参照。

LP1_8-chev-1uHz-AD8613.asc

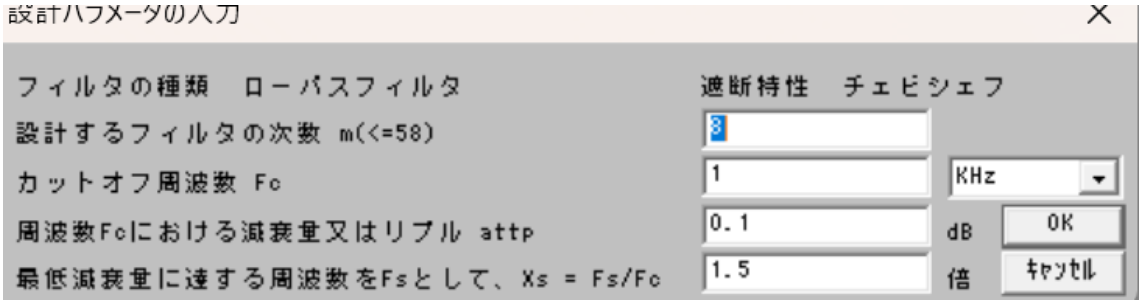
次のように、1uHz のローパスフィルターが問題なく動作します。



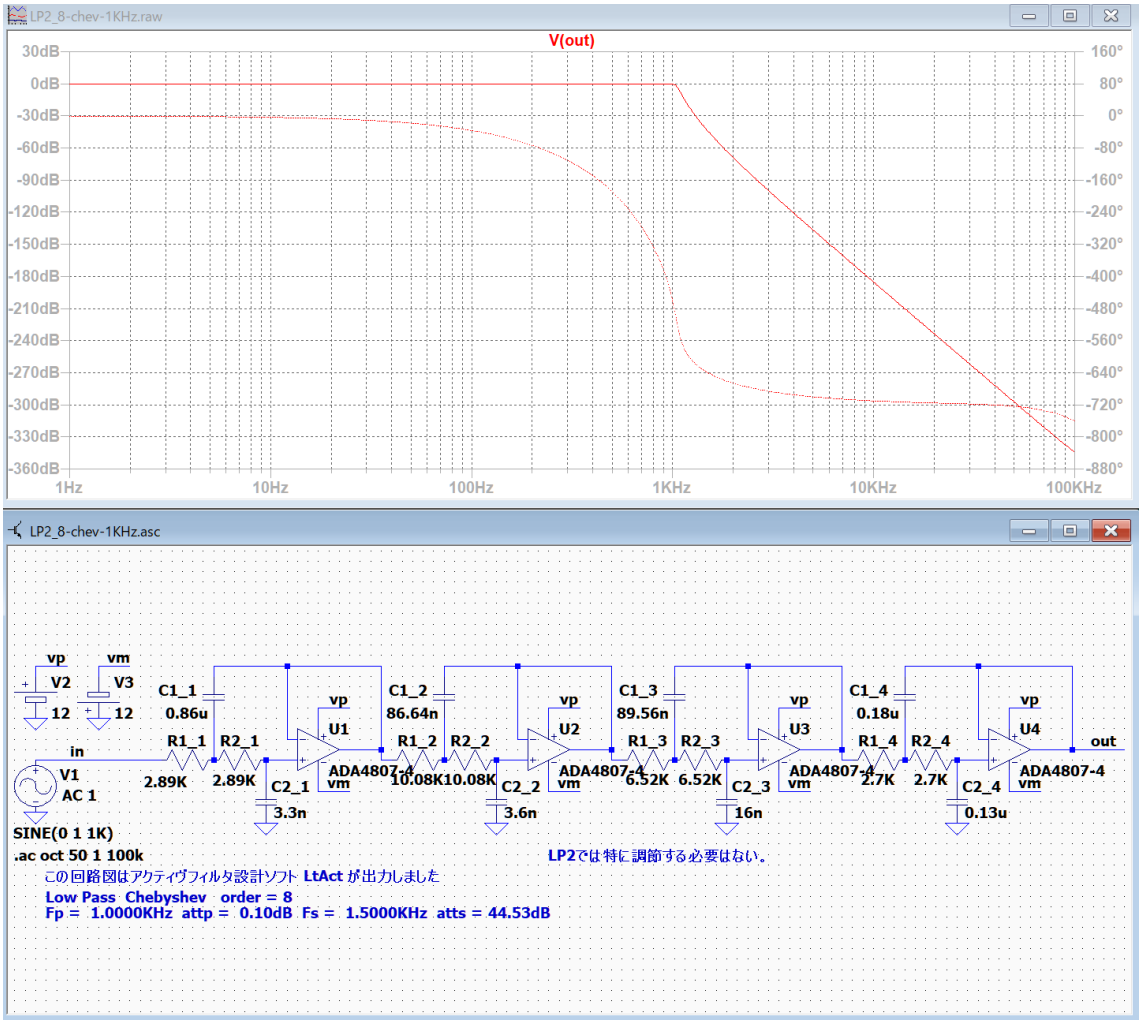


LP2 の調整方法

LP2_8-chev-1KHz.asc

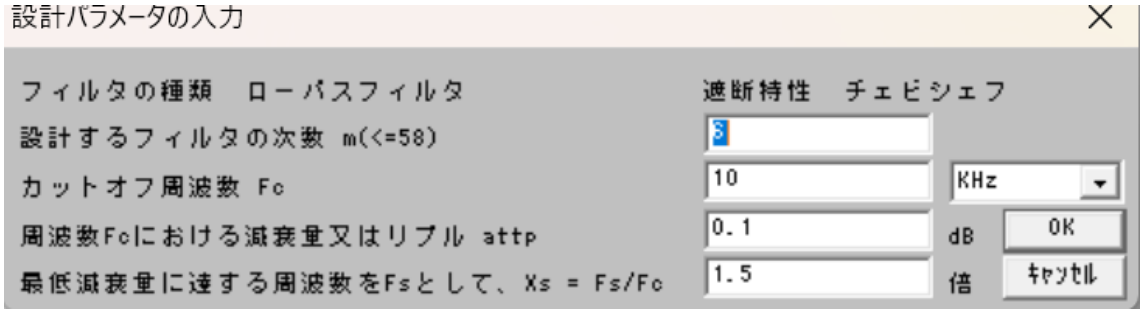


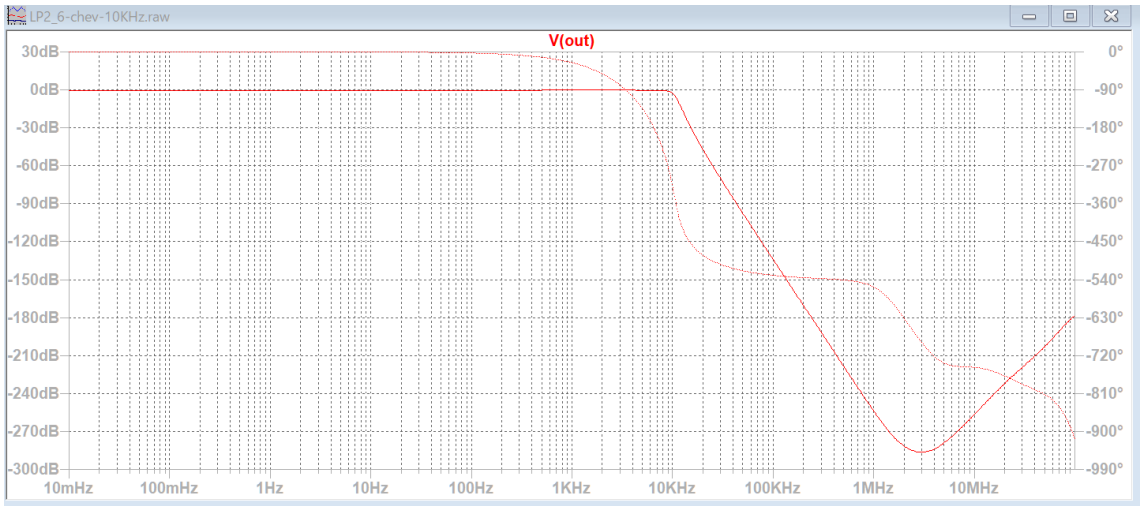
この回路図では、特に調整する必要はありません。

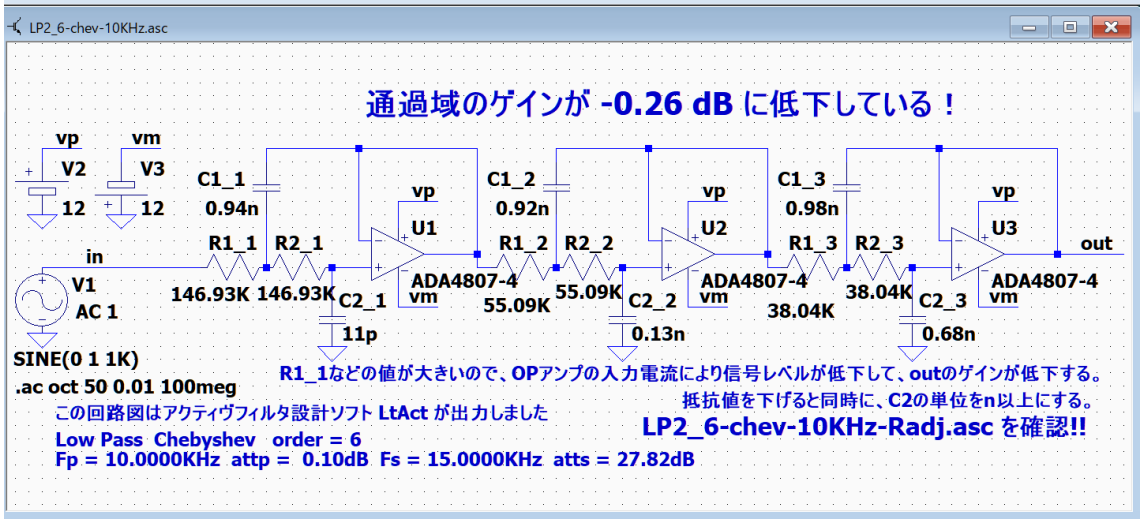


LP2_8-chev-1KHz.asc

LP2_6-chev-10KHz.asc



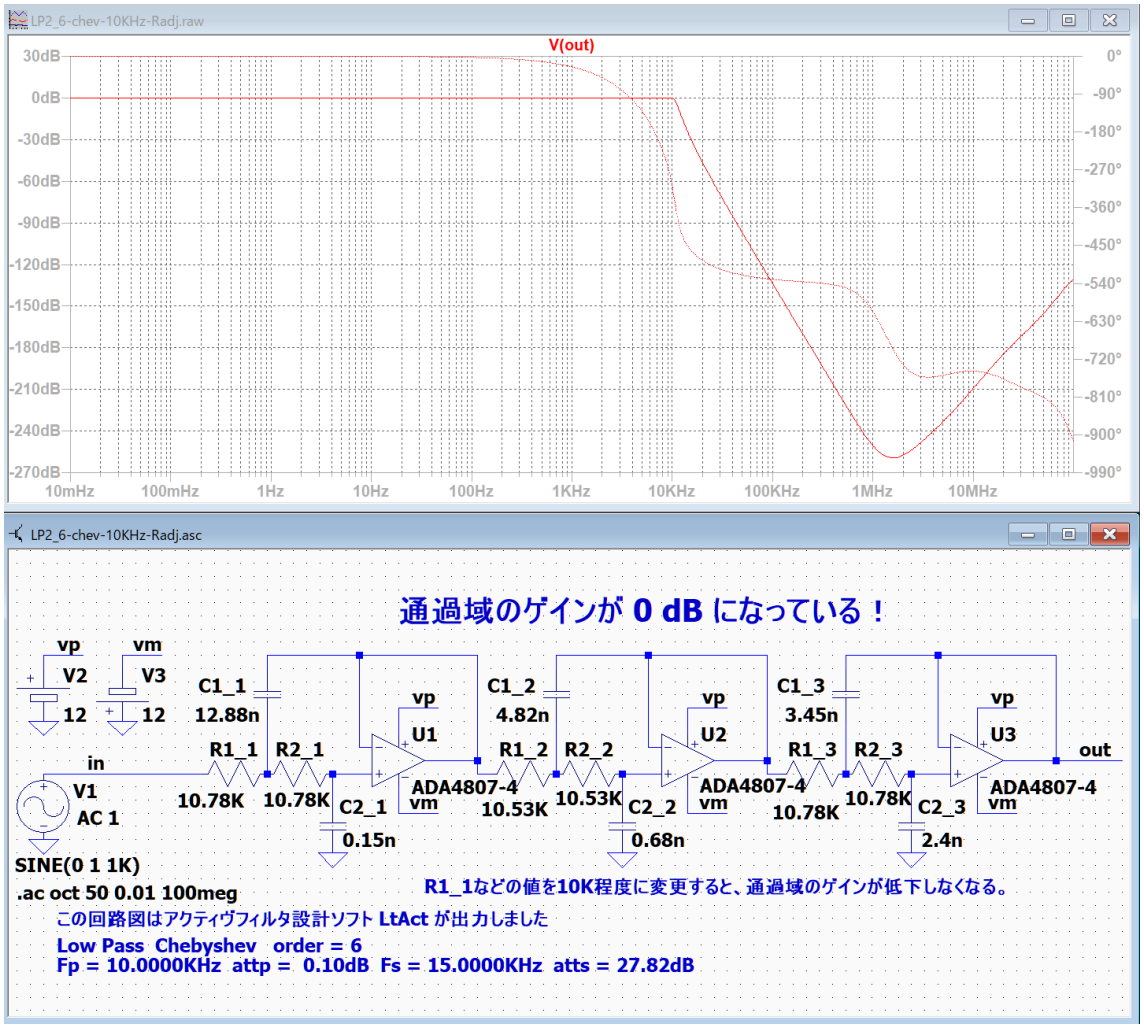




通過域のゲインが -0.26 dB に低下しているので、調整が必要です。

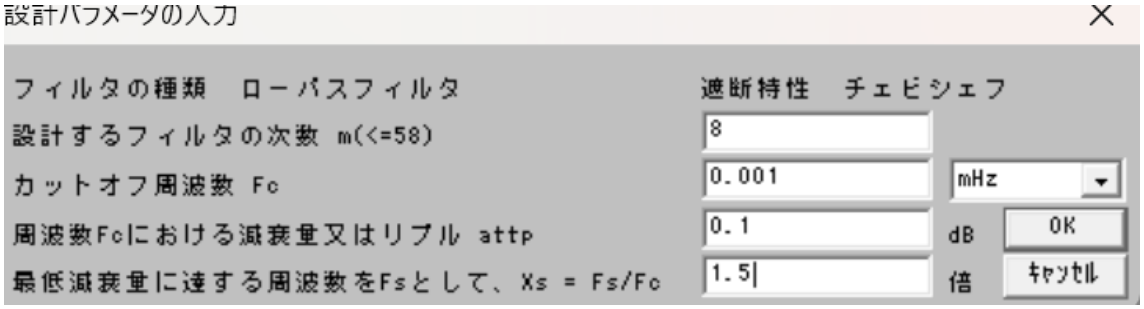
LP2_6-chev-10KHz-Radj.asc

抵抗値を 10K 程度に変更すると、通過域のゲインが 0dB になります。

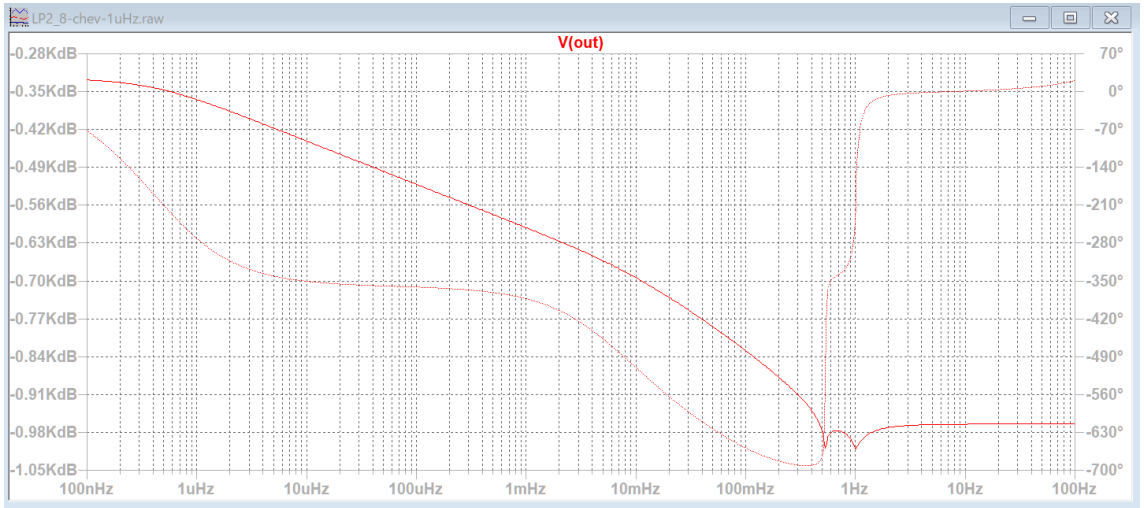


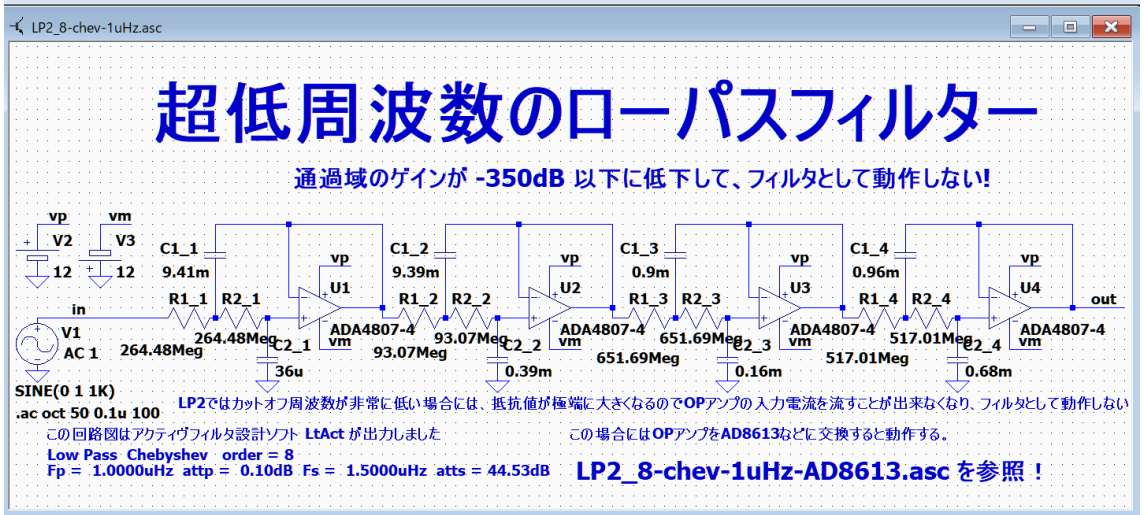
1MHz 以上の周波数で減衰量が低下していますが、100MHz でも減衰量が 120dB を越えているので問題はありません。

LP2_8-chev-1uHz.asc

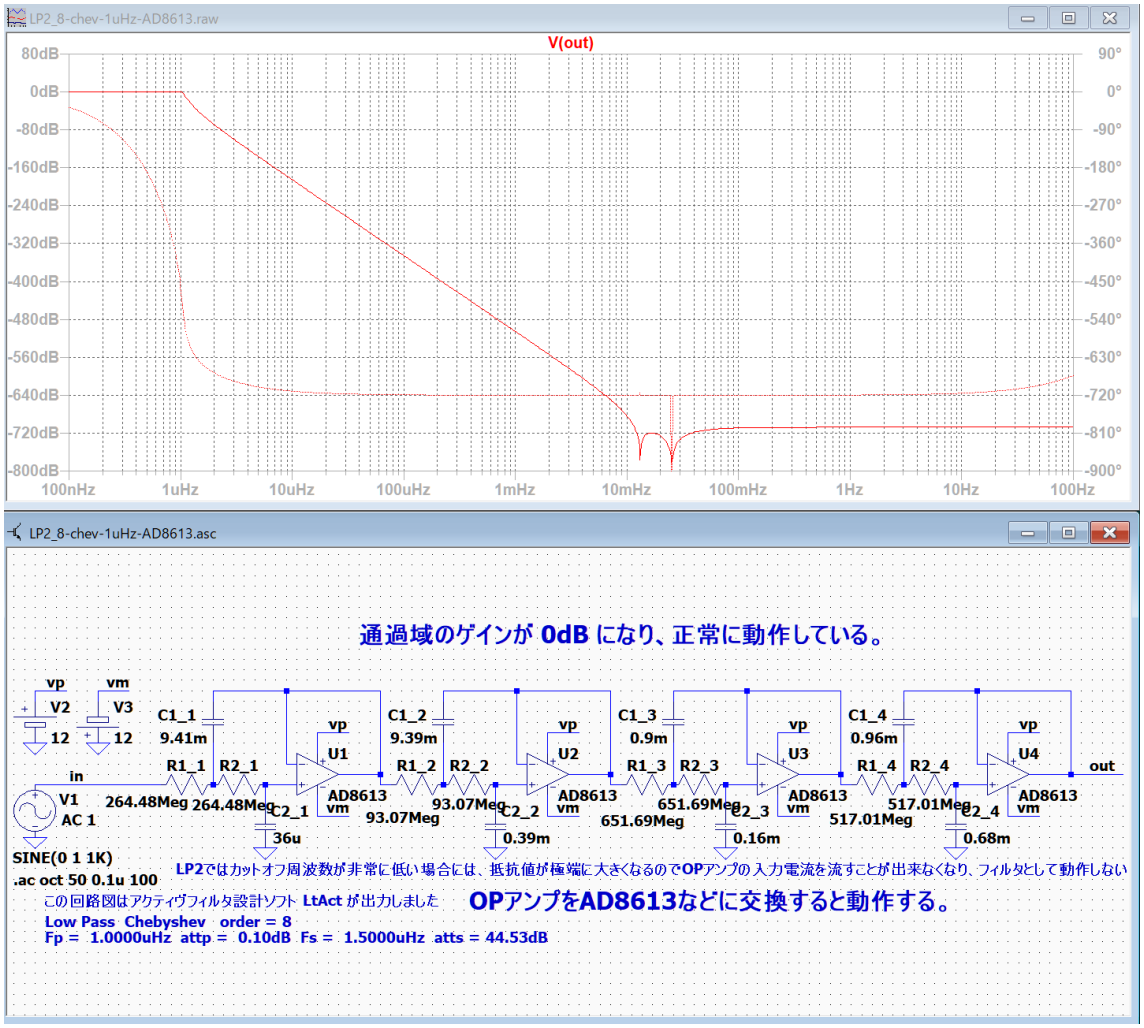


LP2 でも、超低周波数ではローパスフィルターとして動作しません。



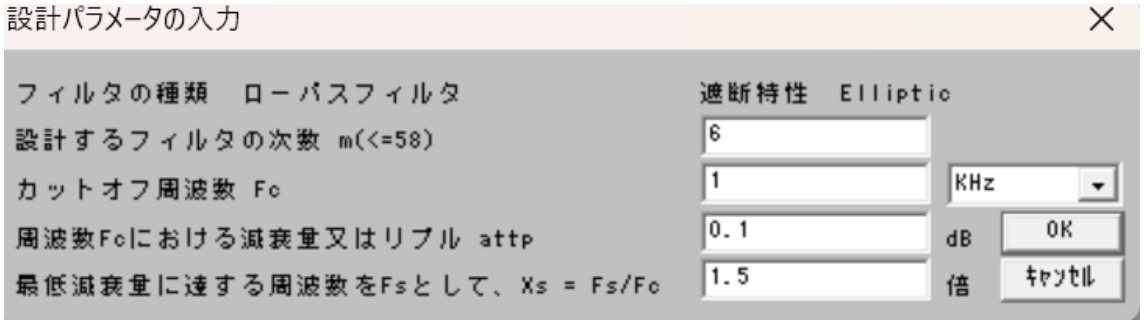


LP2_8-chev-1uHz-AD8613.asc



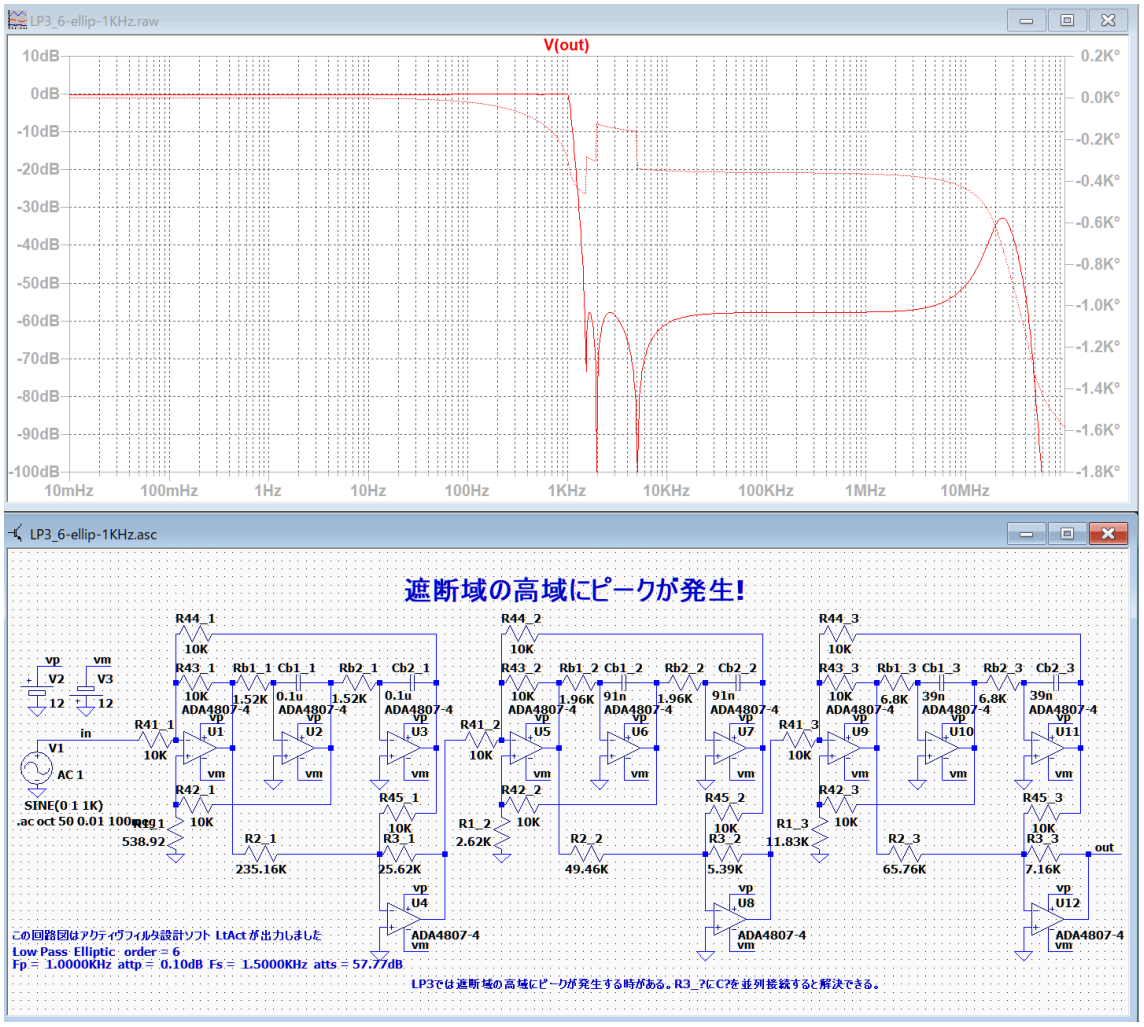
JFET の OP アンプを使用すると、1uHz でも動作するローパスフィルタが出来ます。

LP3 の調整方法



LP3_6-ellip-1KHz.asc

遮断域の高域にピークが発生しました。

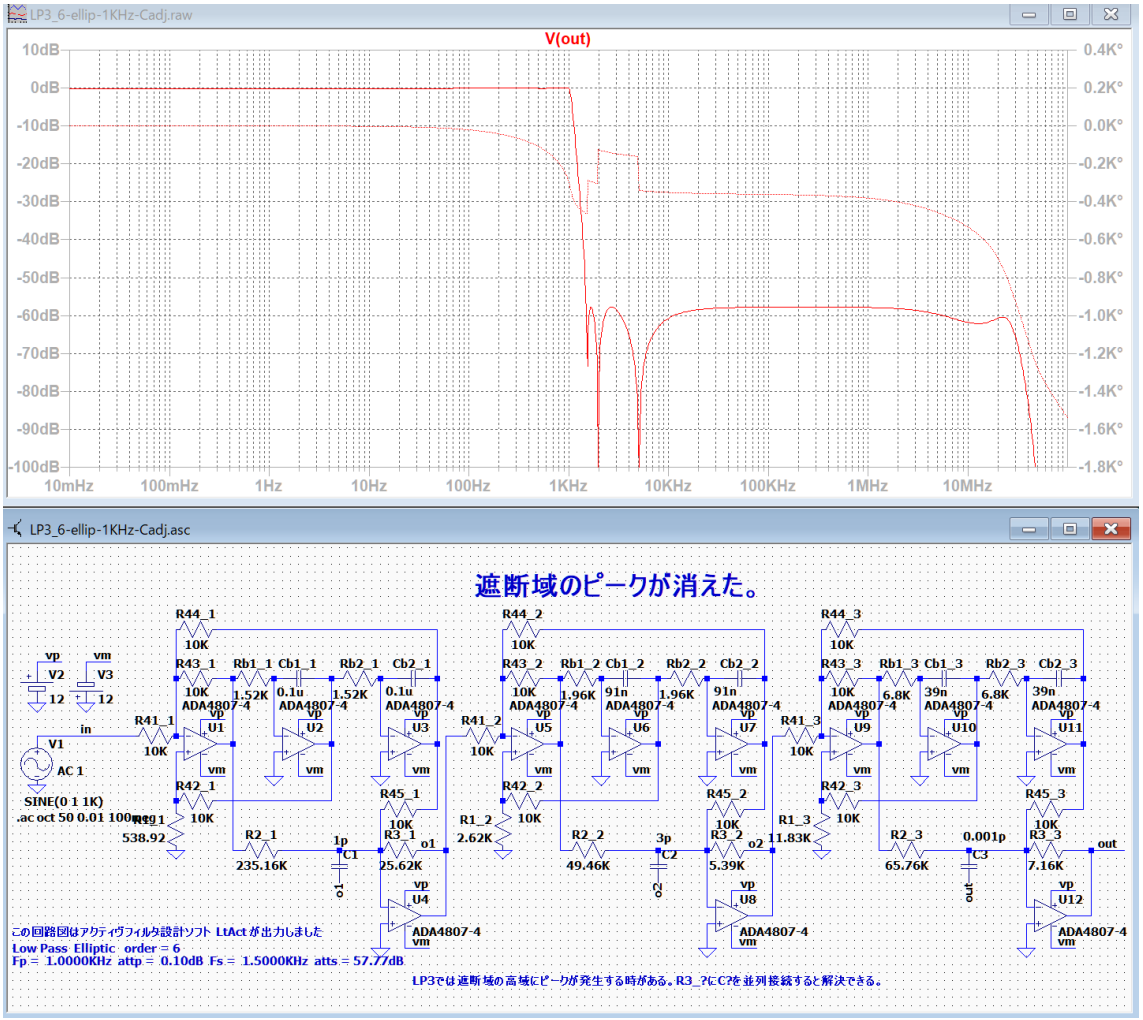


調整が必要です。

LP3_6-ellip-1KHz.asc

LP3_6-ellip-1KHz-Cadj.asc

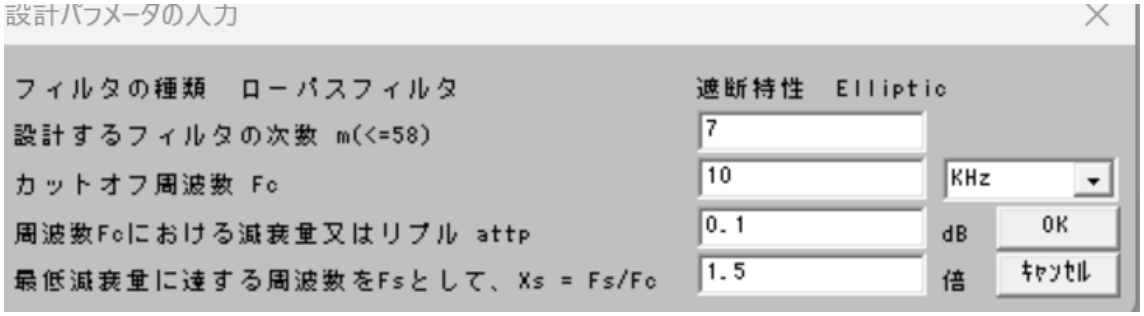
調整により、ピークが消えました。



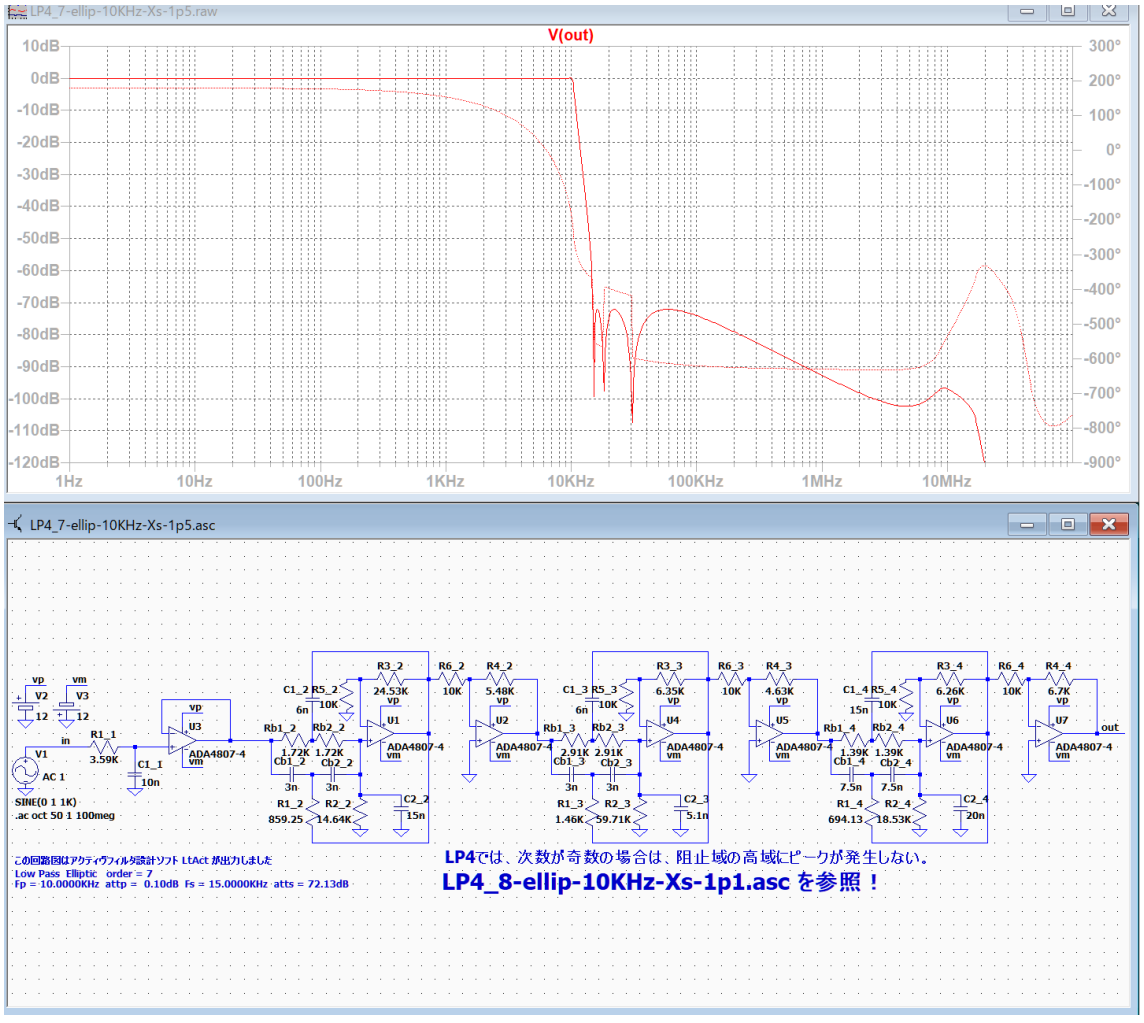
LP3 は遮断域高域にピークが発生することがありますが、R3_?に C?を並列接続すると解決できます。

「LtSpice」で周波数特性を確認しながら、各 C?に小さな値を設定して調整します。

LP4 の調整方法

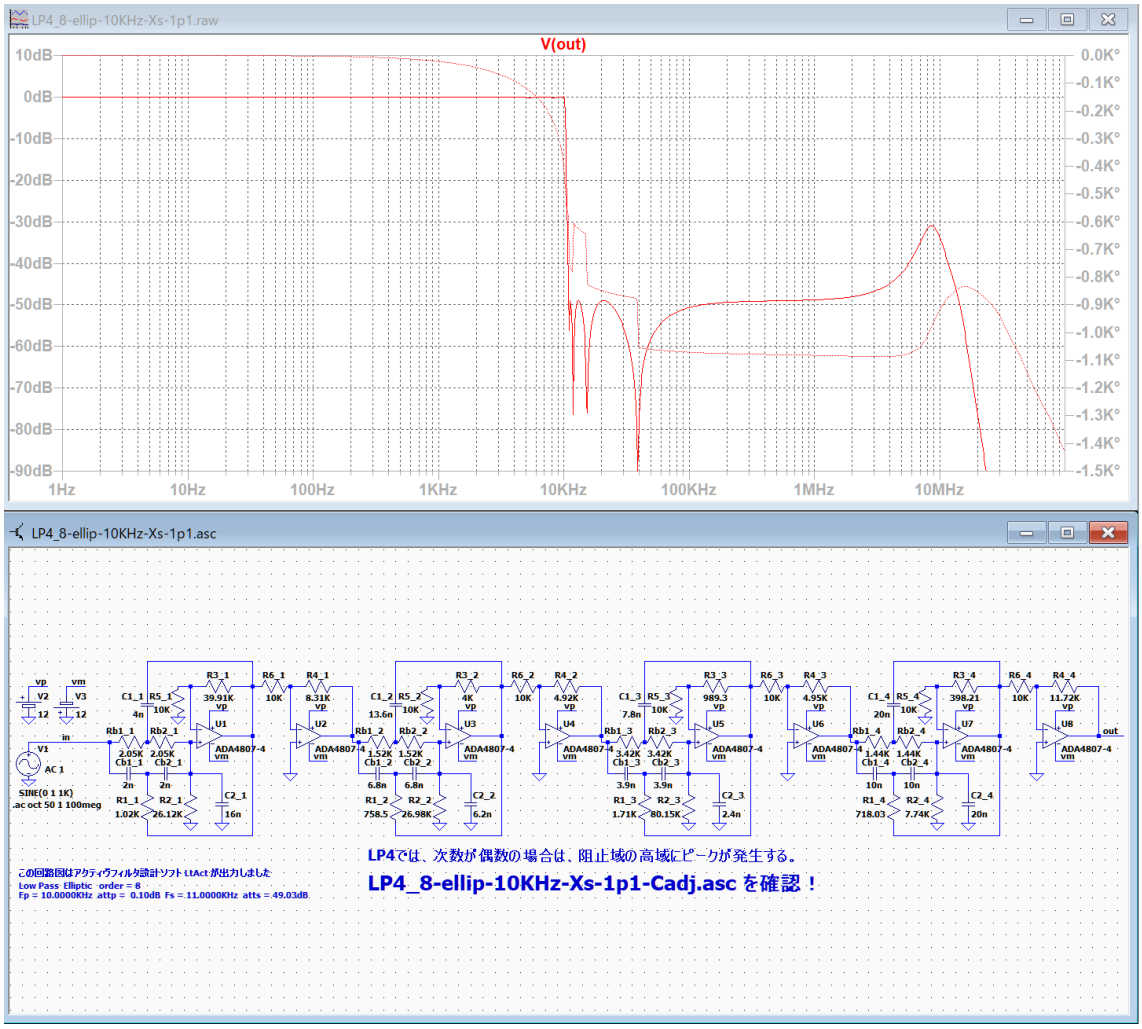


LP4_7-ellip-10KHz-Xs-1p5.asc



LP4 では、フィルターの次数が奇数の場合は、阻止域の高域にピークが発生しません。

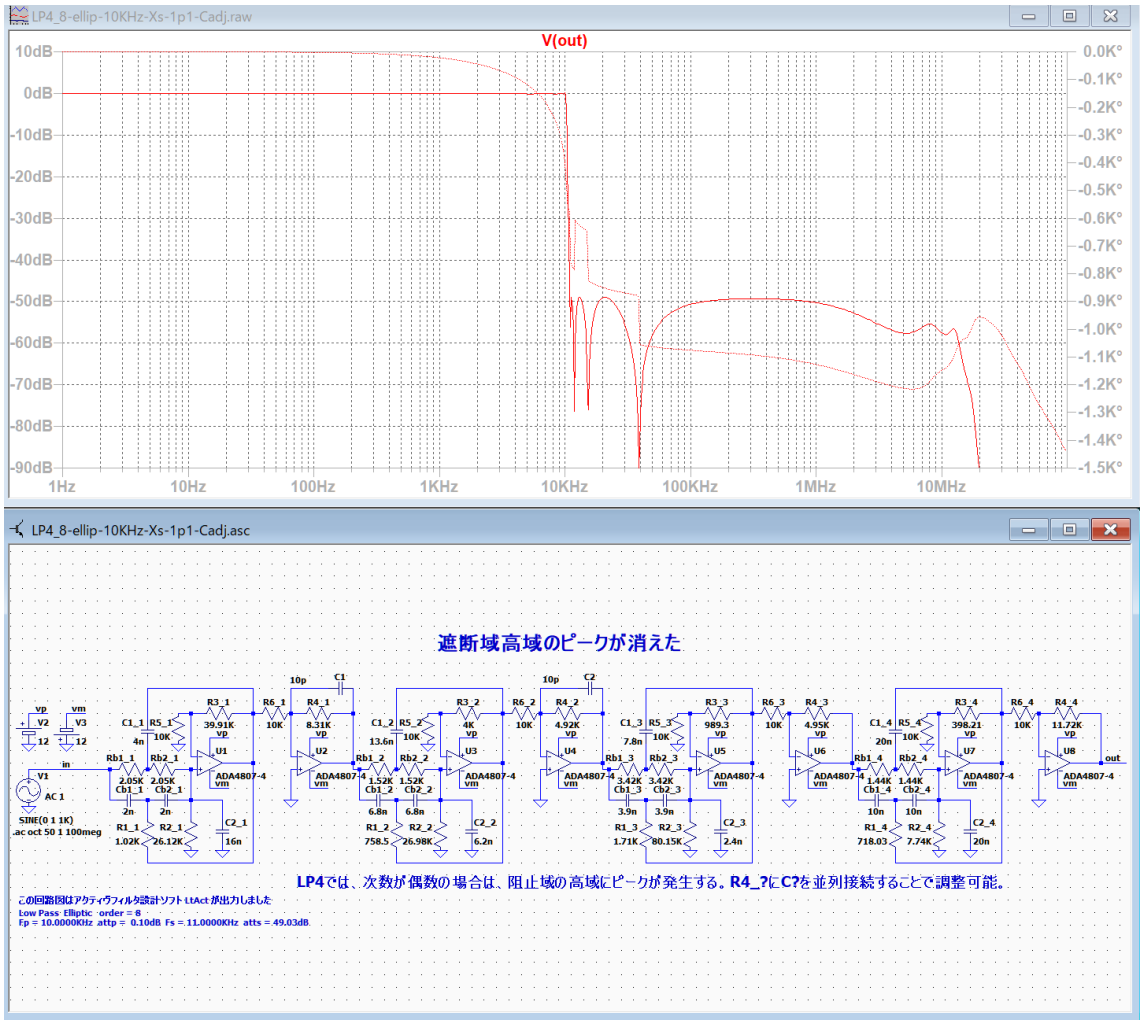
LP4_8-ellip-10KHz-Xs-1p1.asc



LP4 では、フィルターの次数が偶数の場合は、阻止域の高域にピークが発生します。

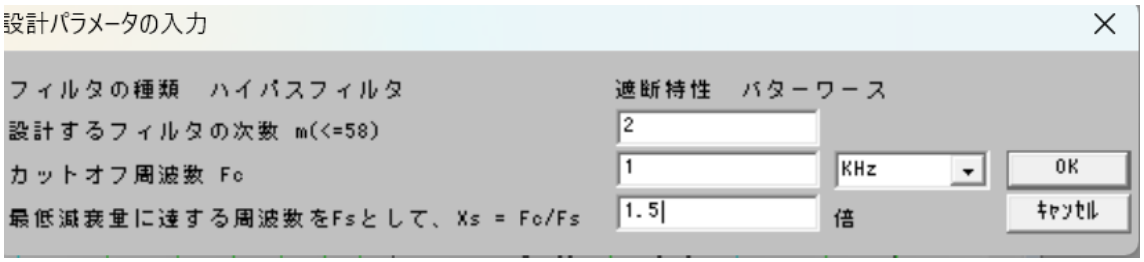
調整が必要です。

LP4_8-ellip-10KHz-Xs-1p1-Cadj.asc

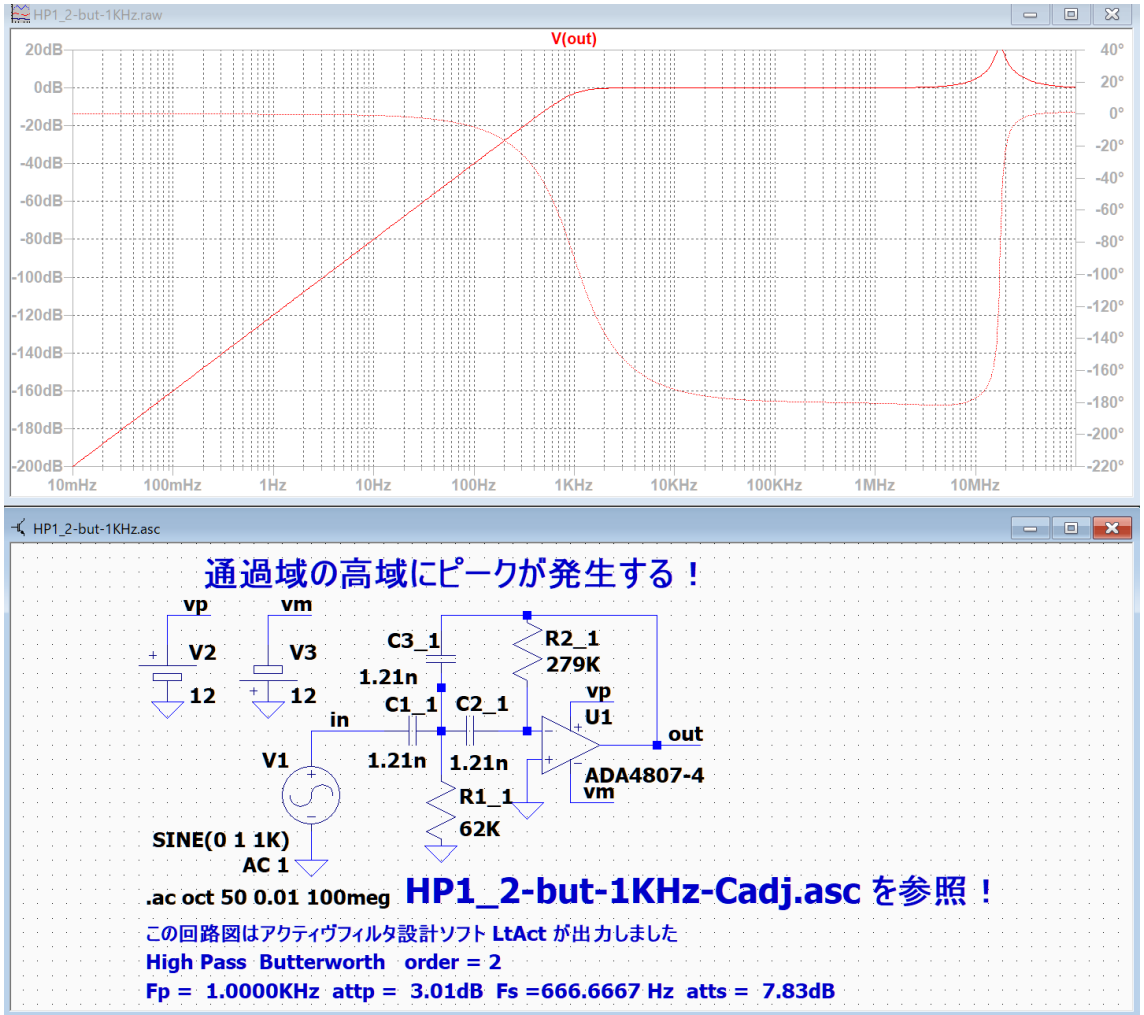


R4_?に C?を並列接続することでピークを調整できます。
「LtSpice」で周波数特性を確認しながら、各 C?に小さな値を設定して調整します。

HP1 の調整方法



HP1_2-but-1KHz.asc

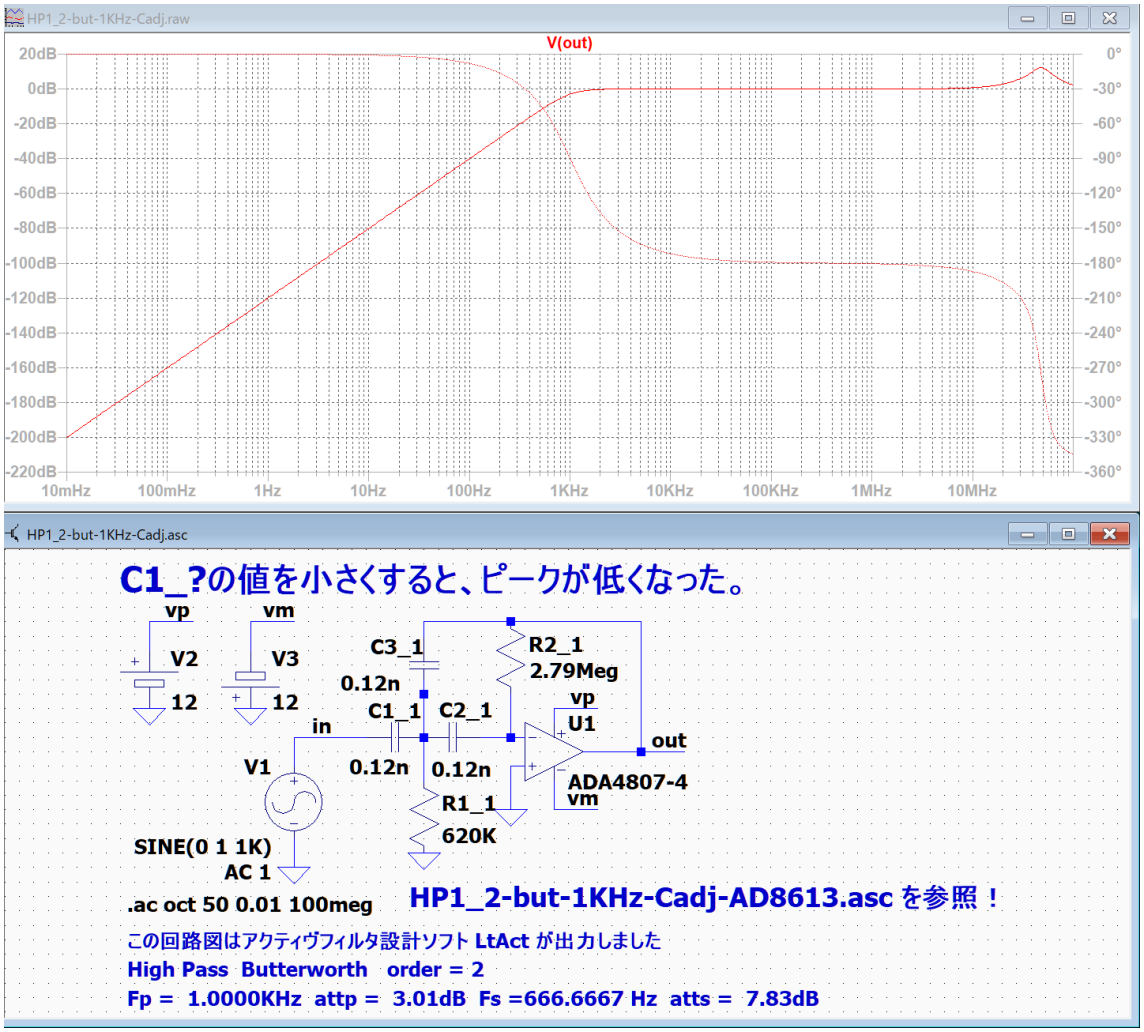


通過域の高域にピークが発生しました。

調整が必要です。

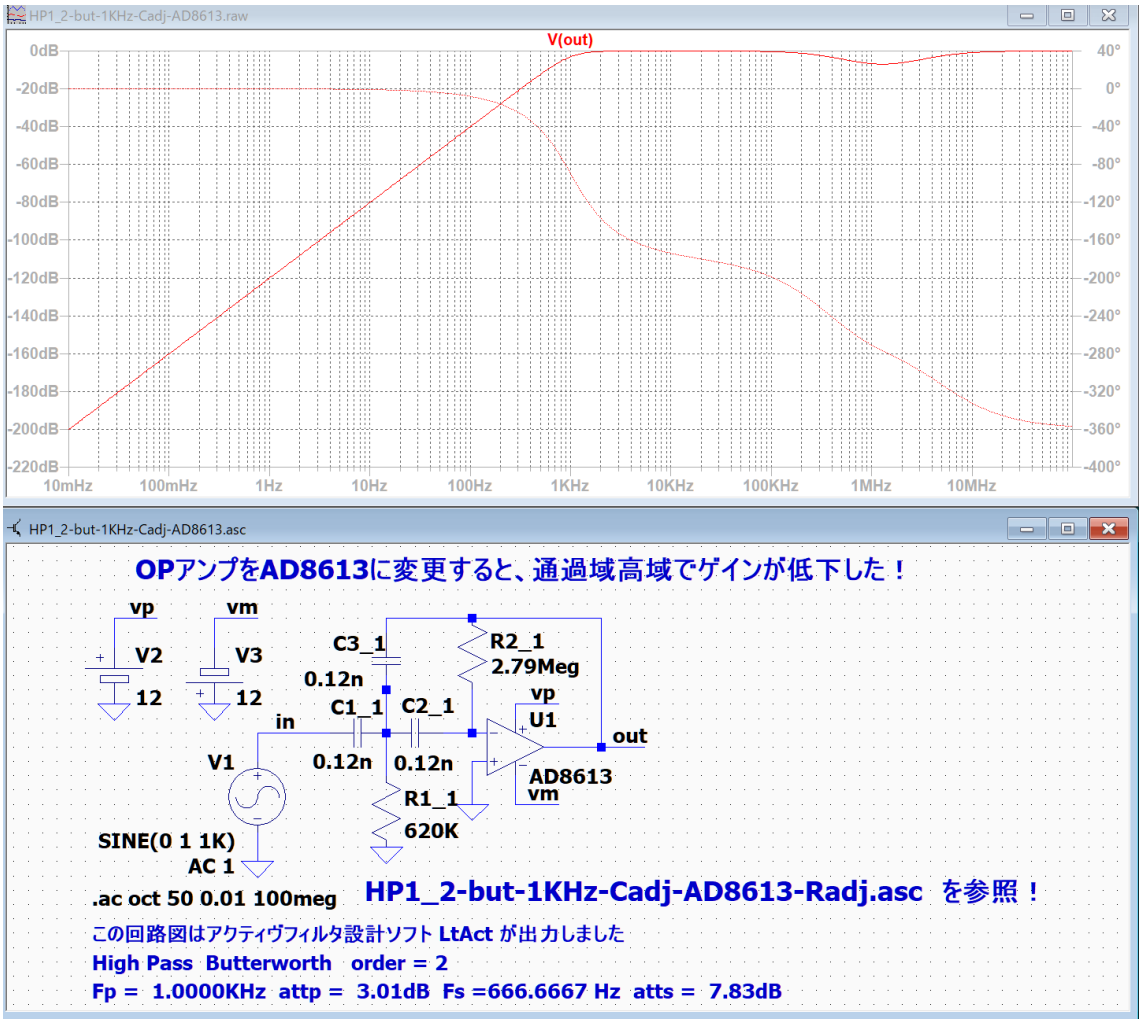
HP1_2-but-1KHz.asc

HP1_2-but-1KHz-Cadj.asc



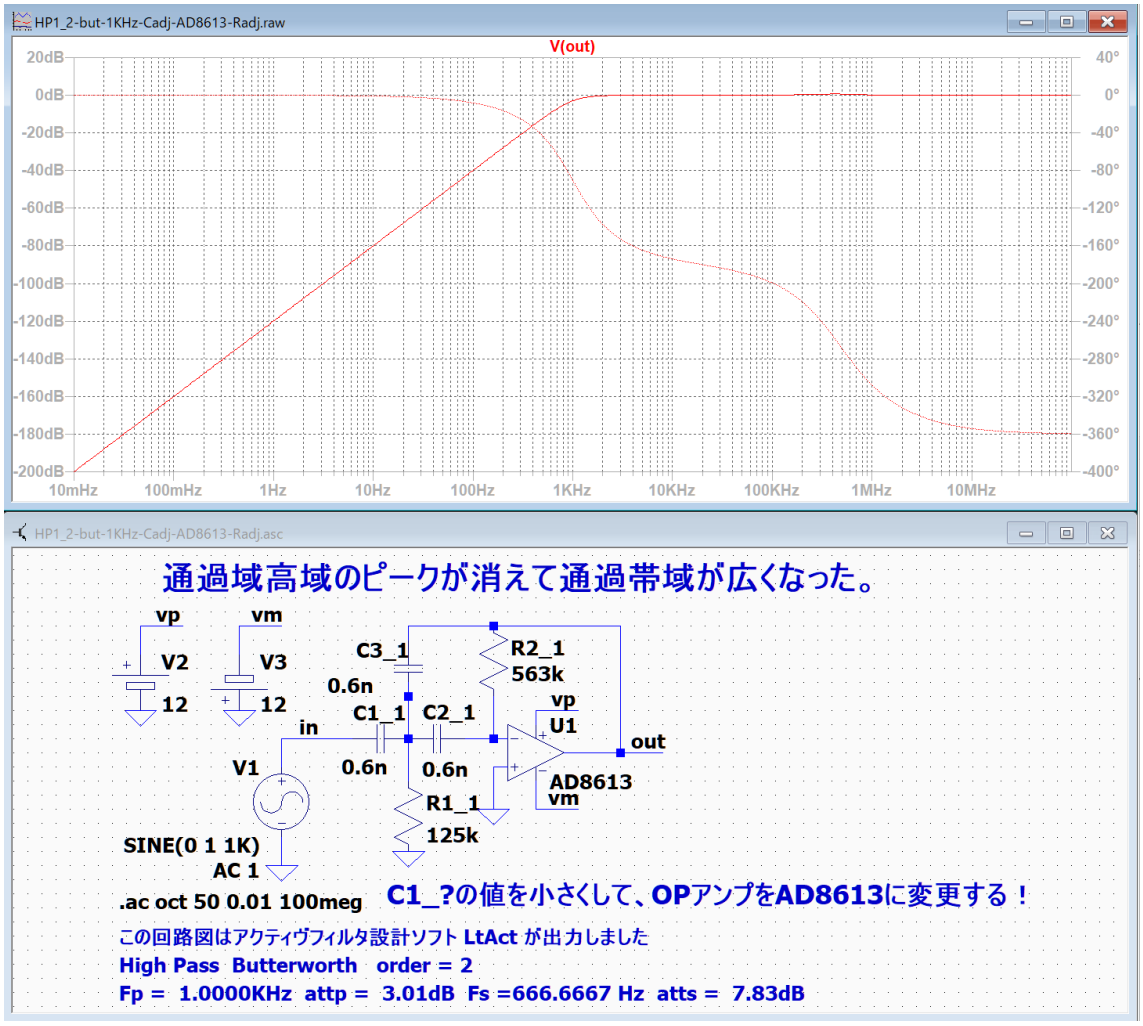
C1_?の値を小さくすると、ピークが低くなりました。
抵抗値が大きくなるので OP アンプの入力電流の影響を考えて、JFET を利用します。

HP1_2-but-1KHz-Cadj-AD8613.asc



ピークは消えましたが、通過域の途中でゲインの低下がみられます。
C1_?の値を小さくし過ぎたようです。

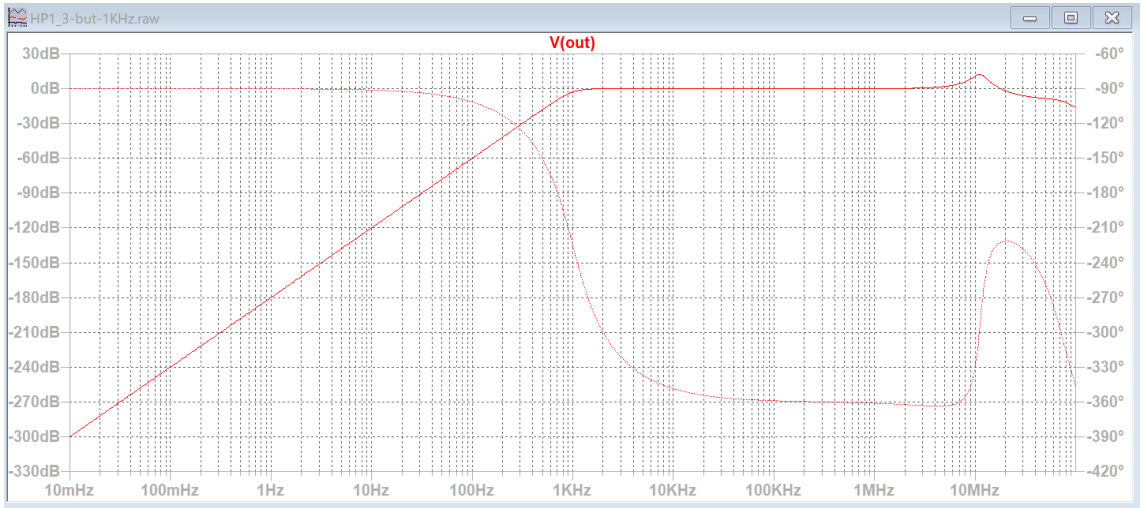
HP1_2-but-1KHz-Cadj-AD8613-Radj.asc

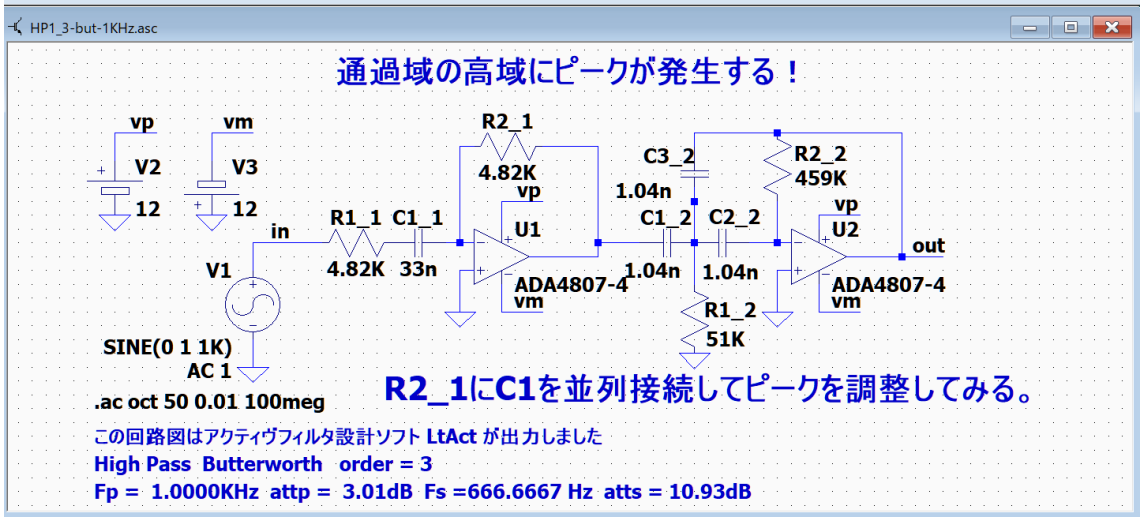


C1_?の値を適度に大きくするとゲインの低下が無くなりました。

HP1_3-but-1KHz.asc

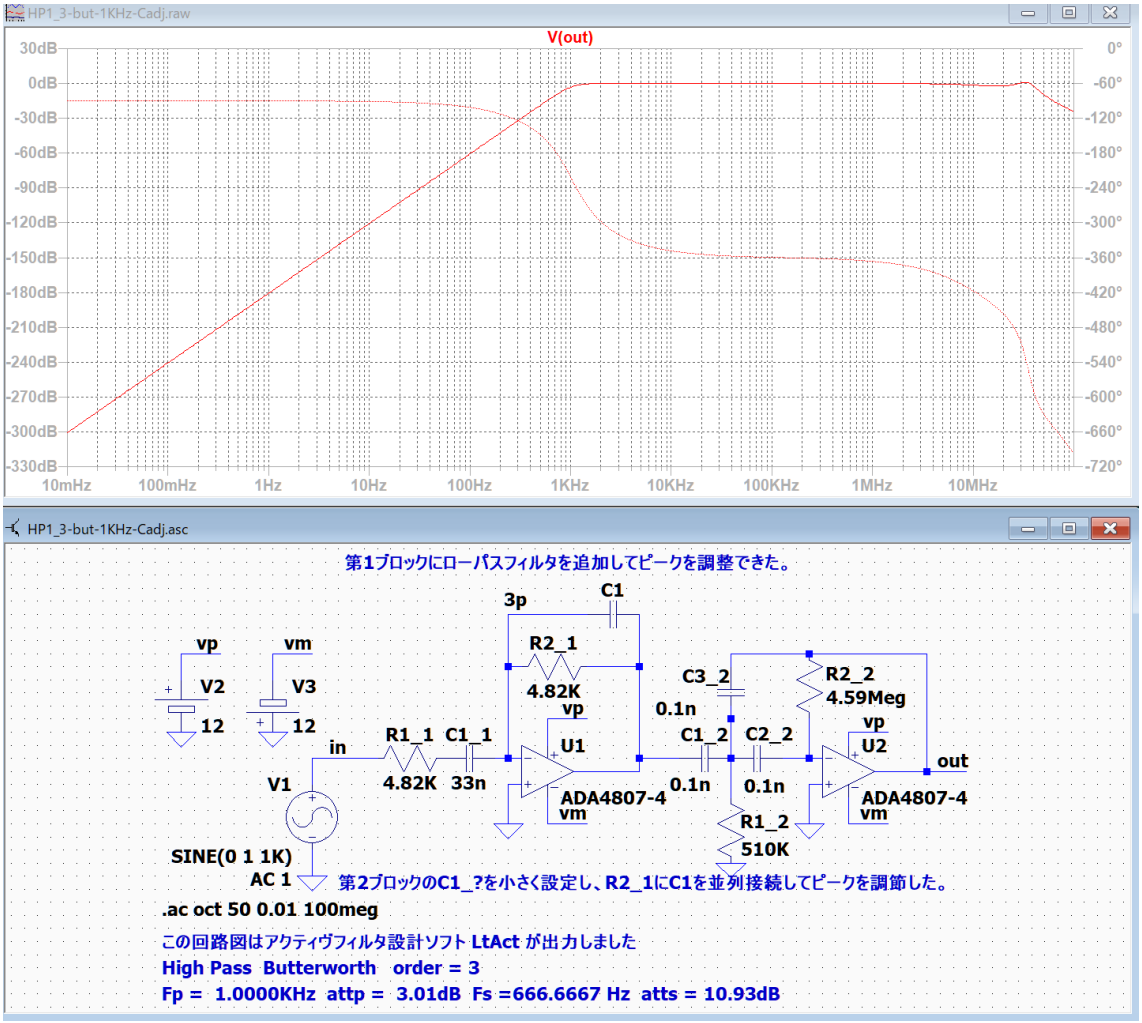
HP1 の次数が奇数の時の調整方法。





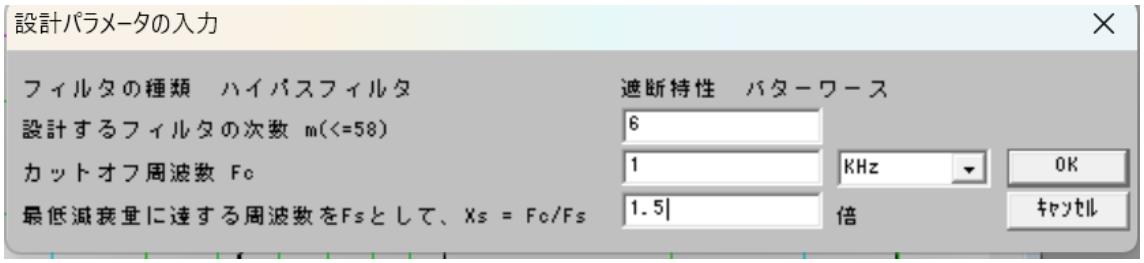
調整が必要です。

HP1_3-but-1KHz-Cadj.asc

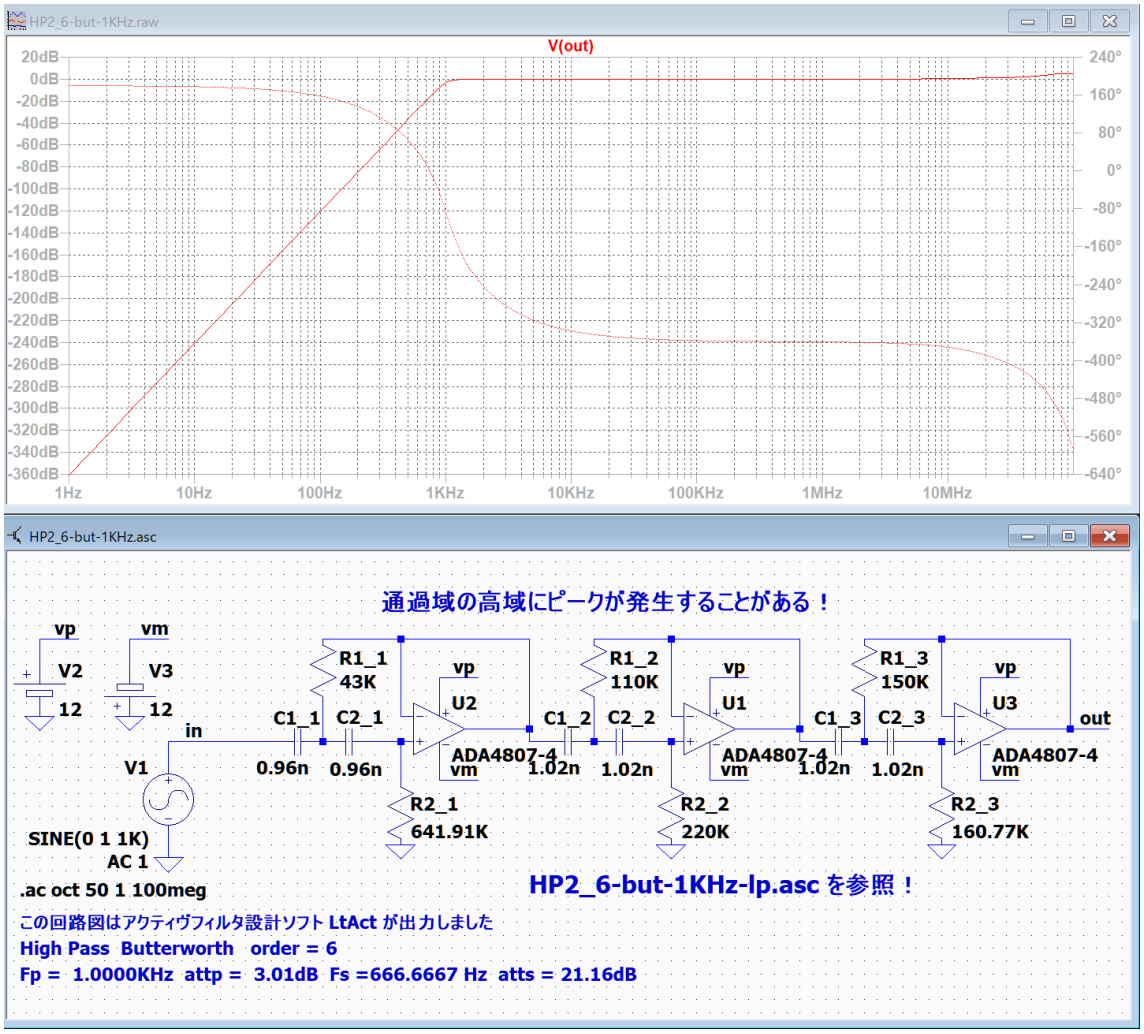


第 1 ブロックのハイパスフィルタの R2_1 に C1 を並列接続してローパスフィルタを構成することで、ピークを調整できた。

HP2 の調整方法



HP2_6-but-1KHz.asc

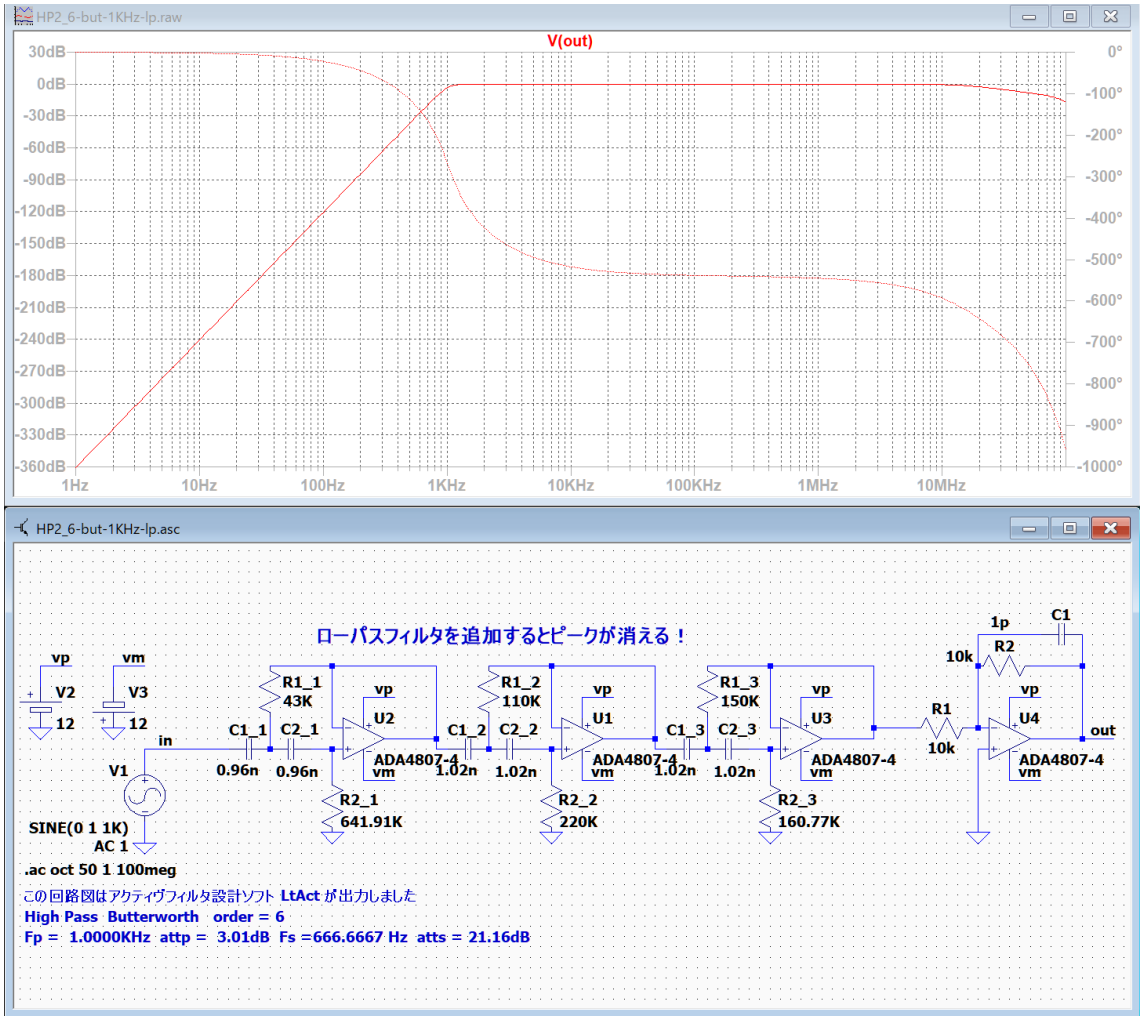


通過域の高域にピークが発生することがあります。

調整が必要です。

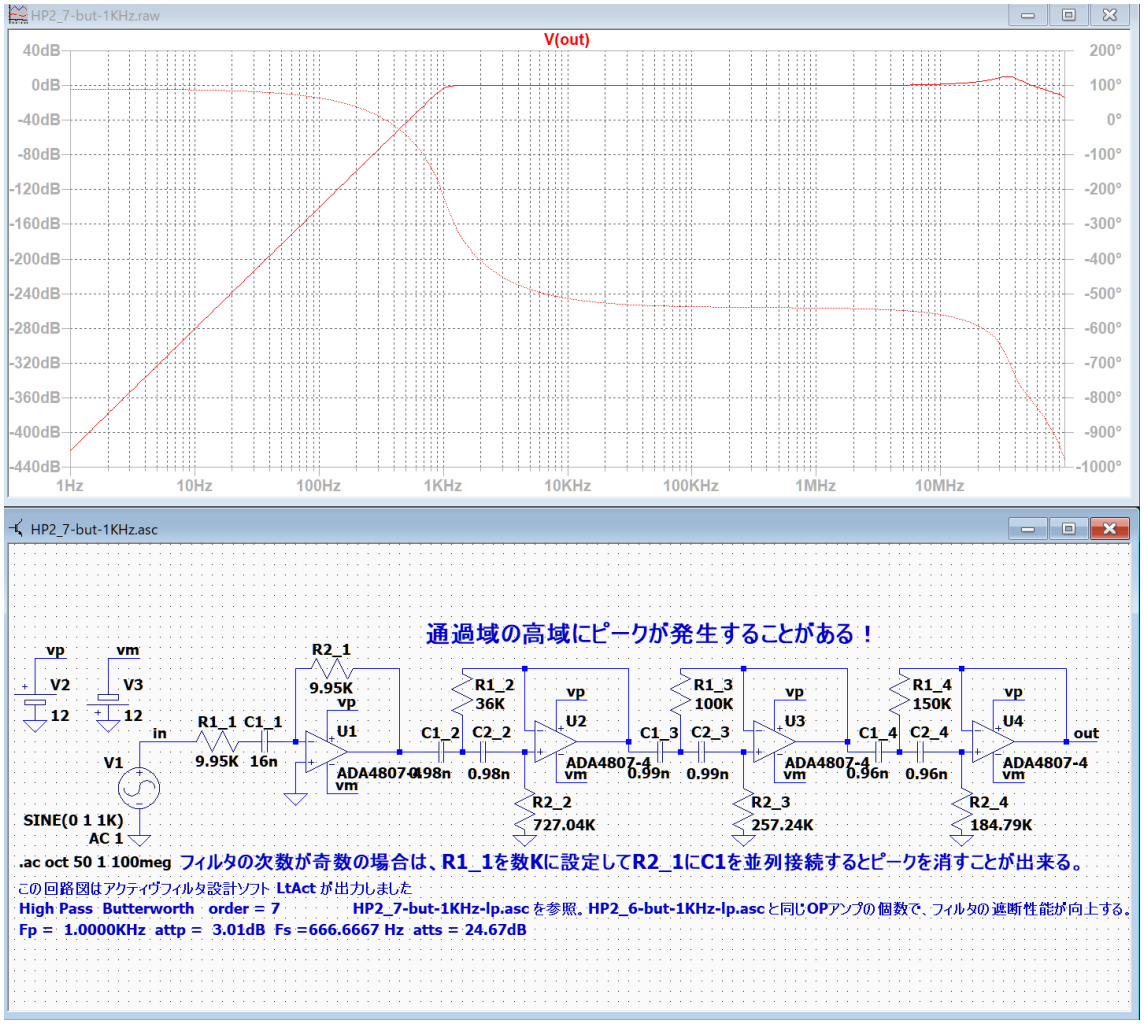
HP2_6-but-1KHz.asc

HP2_6-but-1KHz-lp.asc



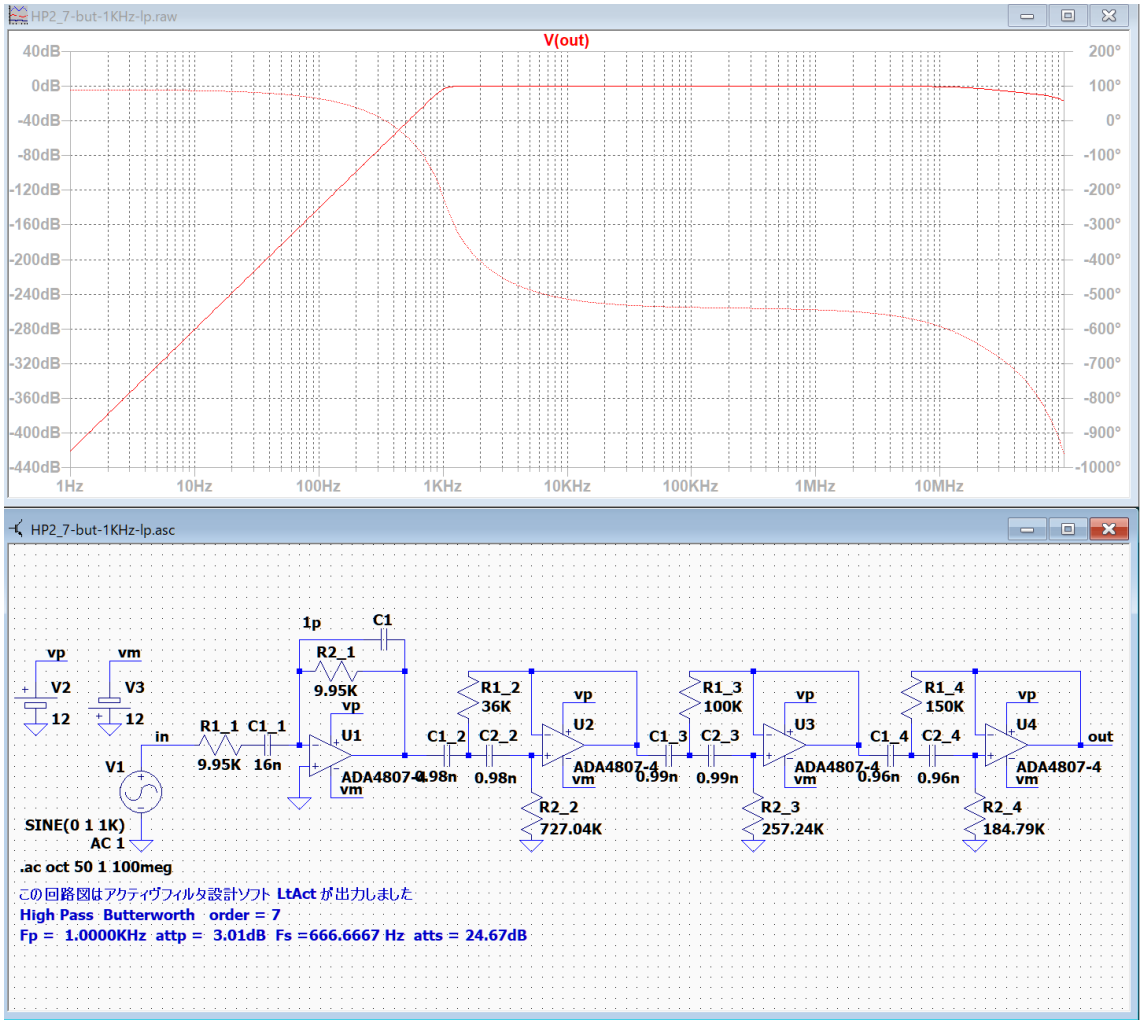
ローパスフィルタを追加するとピークが消えます。

HP2_7-but-1KHz.asc



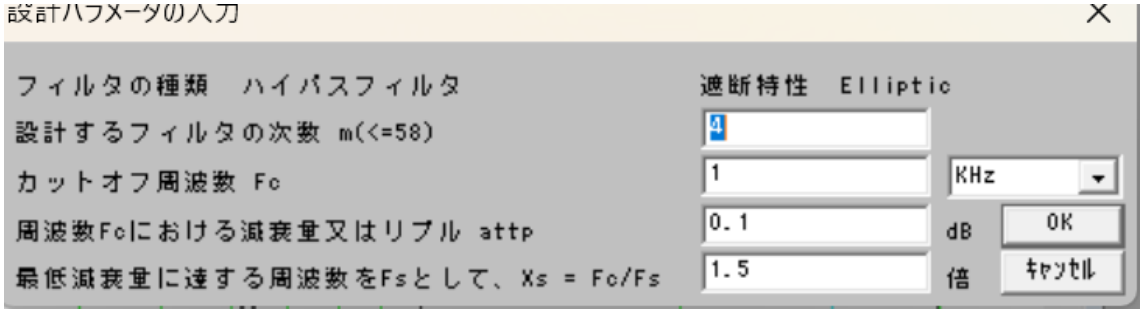
通過域の高域にピークが発生することがあります。
調整が必要です。

HP2_7-but-1KHz-lp.asc



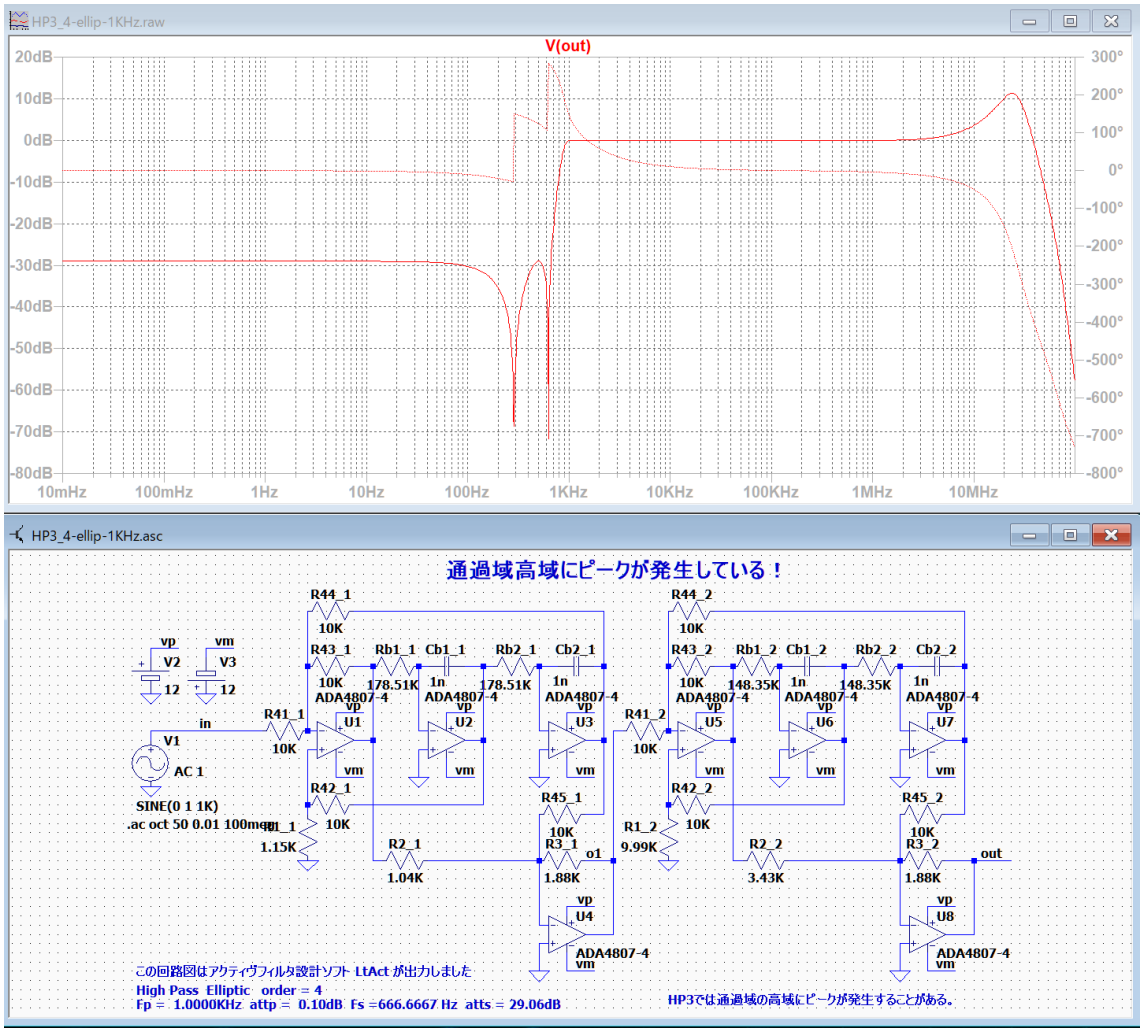
フィルターの次数が奇数の場合には、1 段目のハイパスフィルタの R2_1 に C1 を並列接続してローパスフィルタを追加するとピークが消えます。

HP3 の調整方法



HP3_4-ellip-1KHz.asc

通過域高域にピークが発生しています。

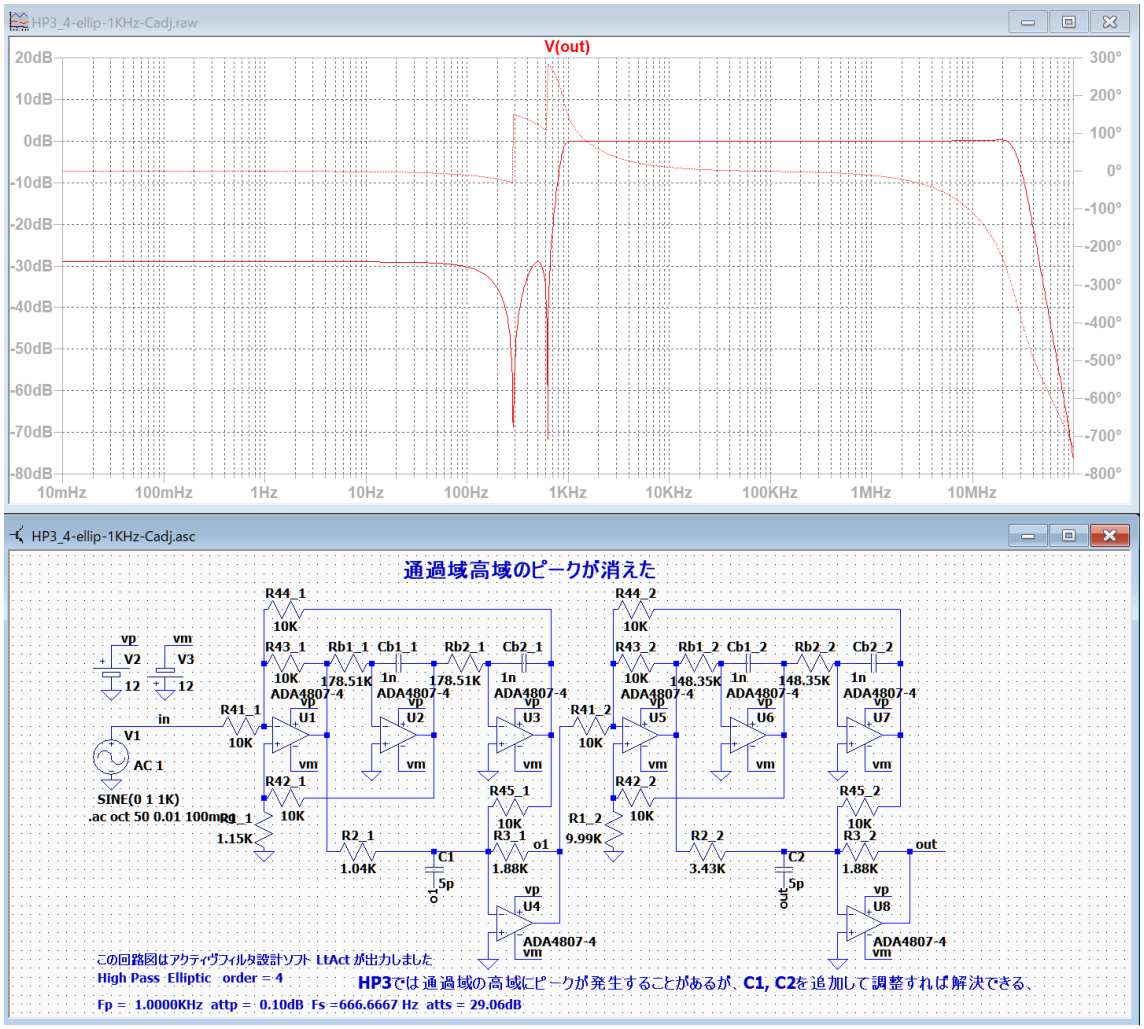


調整が必要です。

HP3_4-ellip-1KHz.asc

HP3_4-ellip-1KHz-Cadj.asc

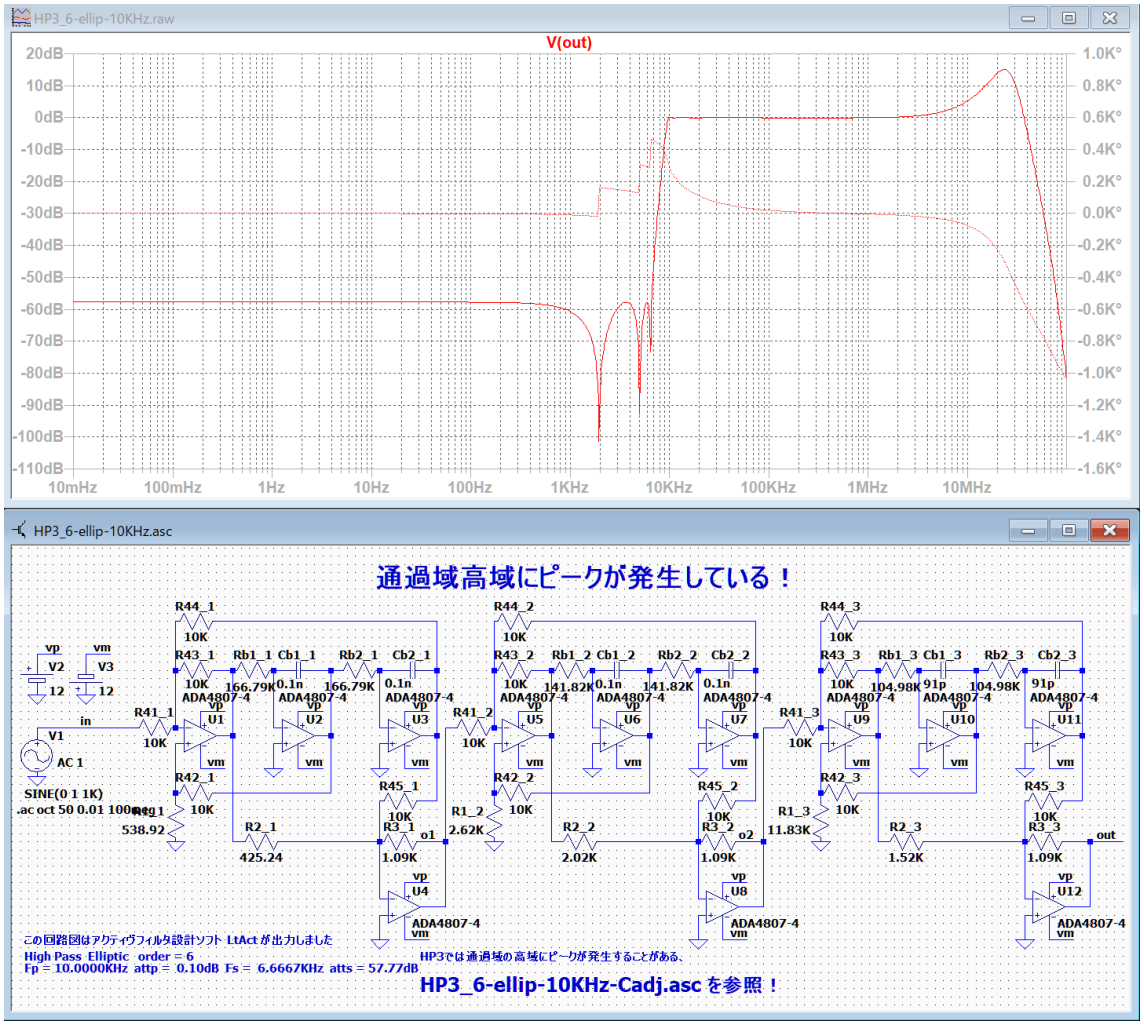
通過域高域のピークが消えました。



「LtSpice」で周波数特性を確認しながら、R3_?に C?を並列に接続して小さな値を設定してできるだけ通過域のゲインが平坦になるように調整します。C?の値が大きすぎると通過帯域幅が狭くなります。

HP3_6-ellip-10KHz.asc

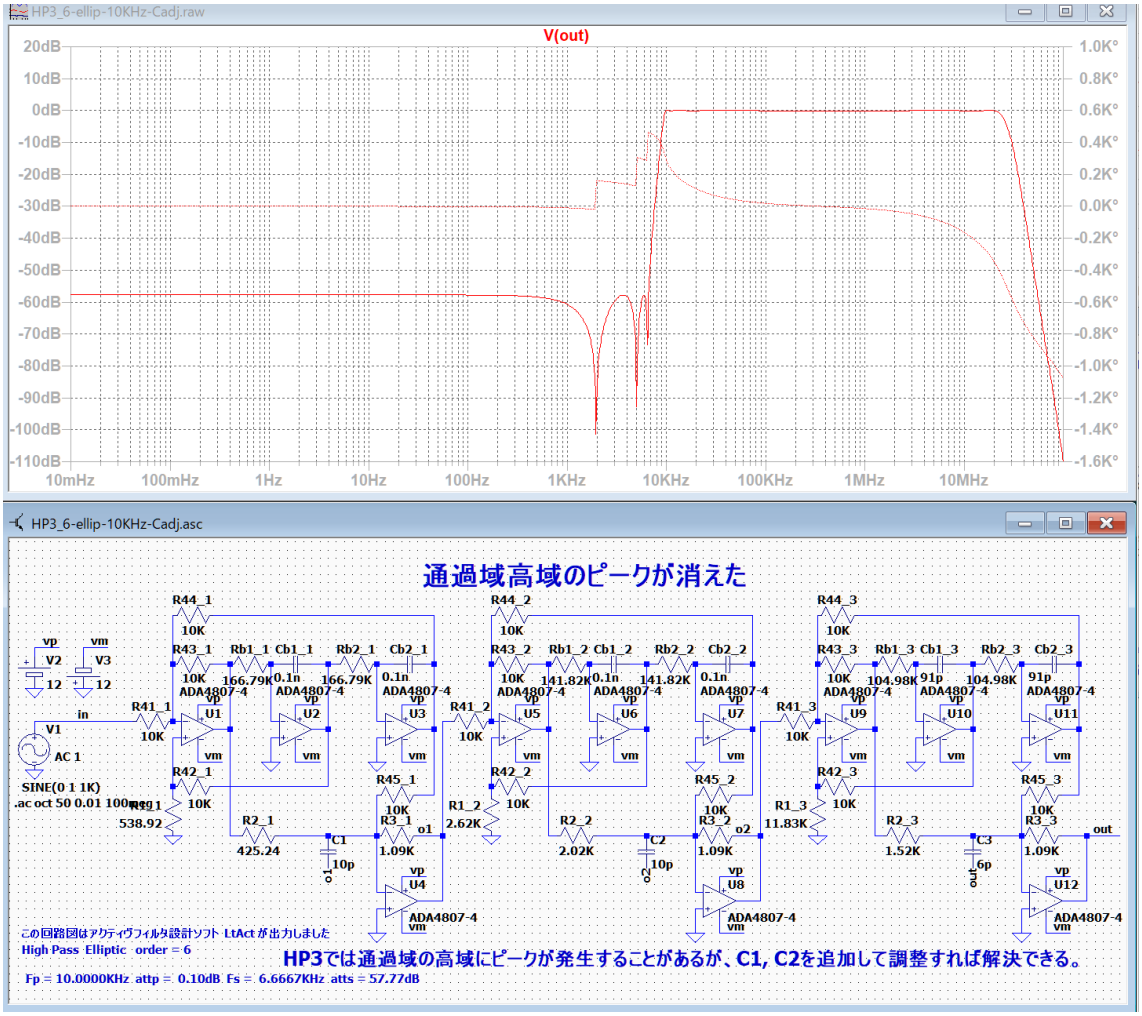
通過域高域にピークが発生しています。



調整が必要です。

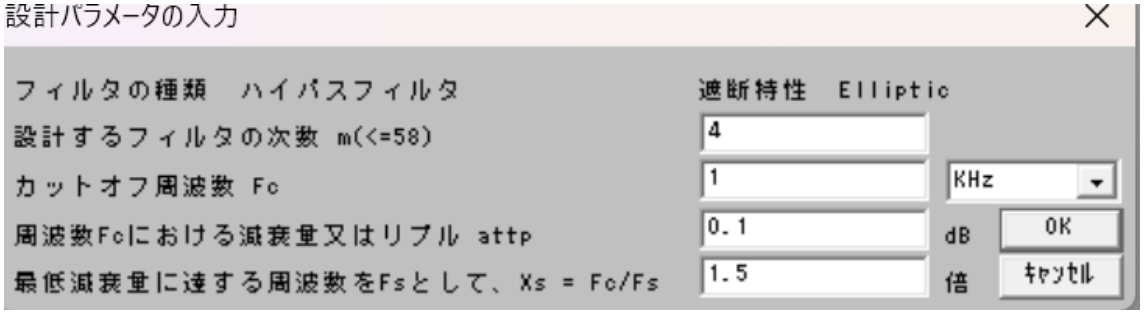
HP3_6-ellip-10KHz-Cadj.asc

通過域高域のピークが消えました。



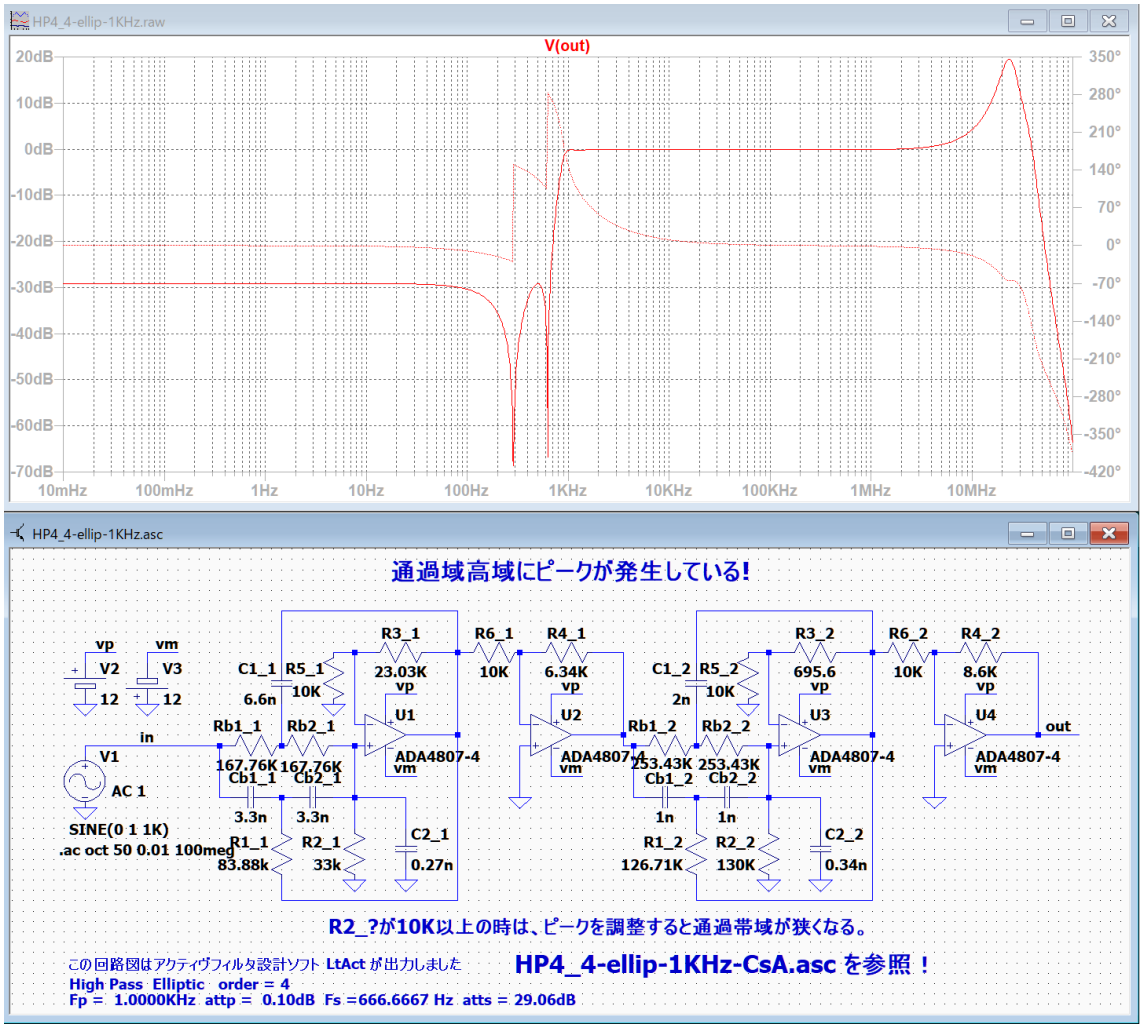
「LtSpice」で周波数特性を確認しながら、R3_?に C?を並列に接続して小さな値を設定してできるだけ通過域のゲインが平坦になるように調整します。C?の値が大きすぎると通過帯域幅が狭くなります。

HP4 の調整方法



HP4_4-ellip-1KHz.asc

通過域高域にピークが発生しています。

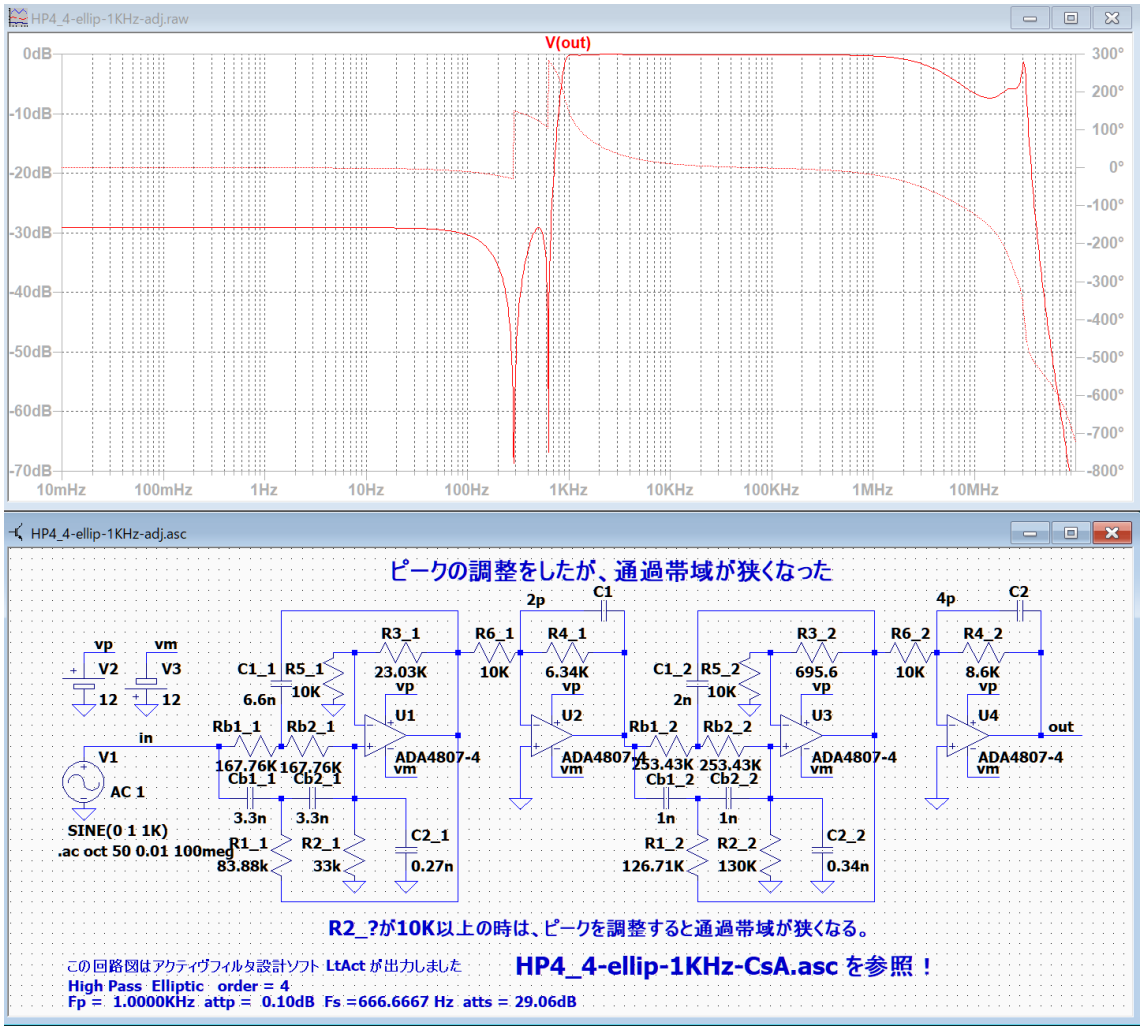


調整が必要です。

HP4_4-ellip-1KHz.asc

HP4_4-ellip-1KHz-adj.asc

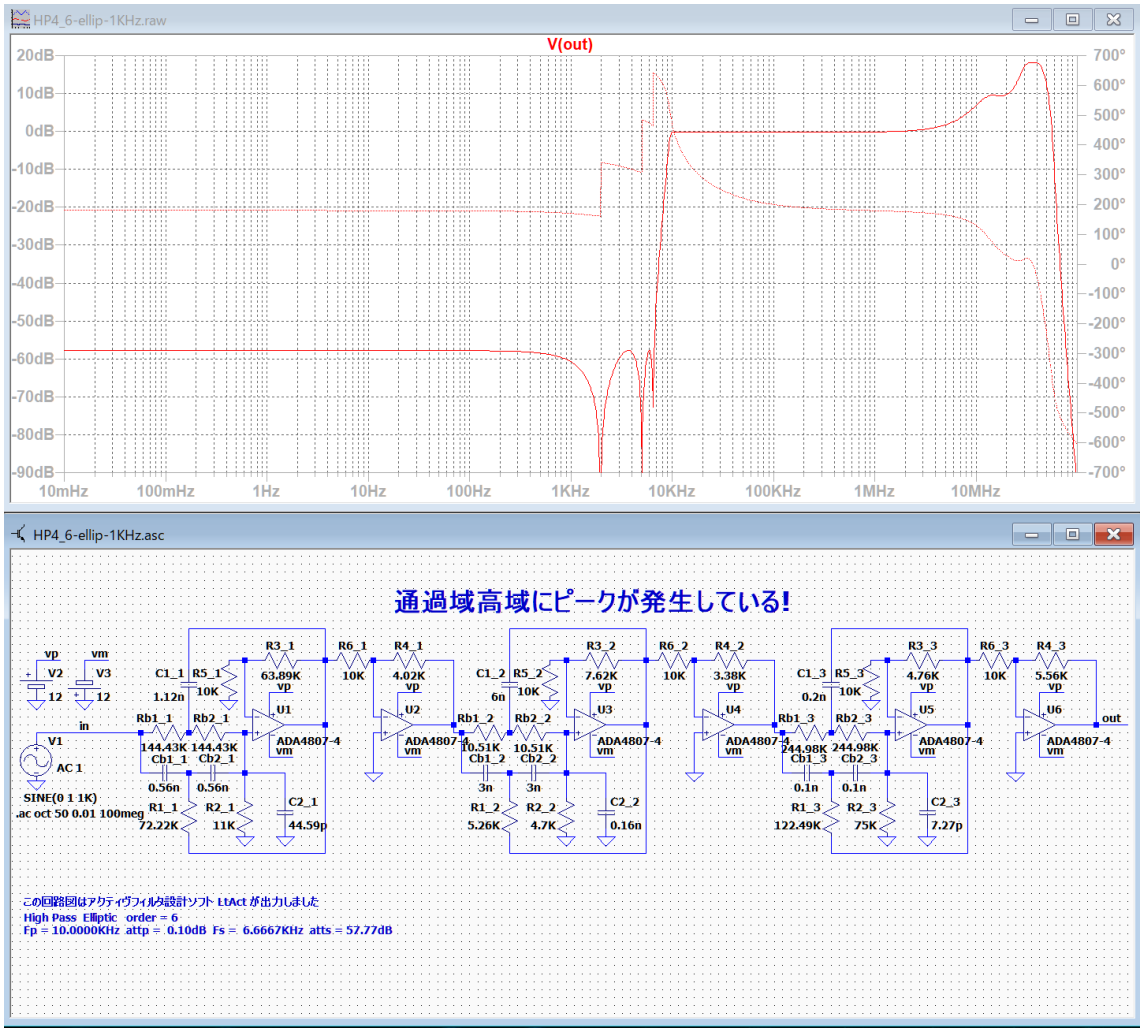
ピークの調整をしたが、通過帯域が狭くなった



R2_?が 10K 以上の時は、ピークを調整すると通過帯域が狭くなります。
R2_?を数 K に設定して、回路図を作成します。

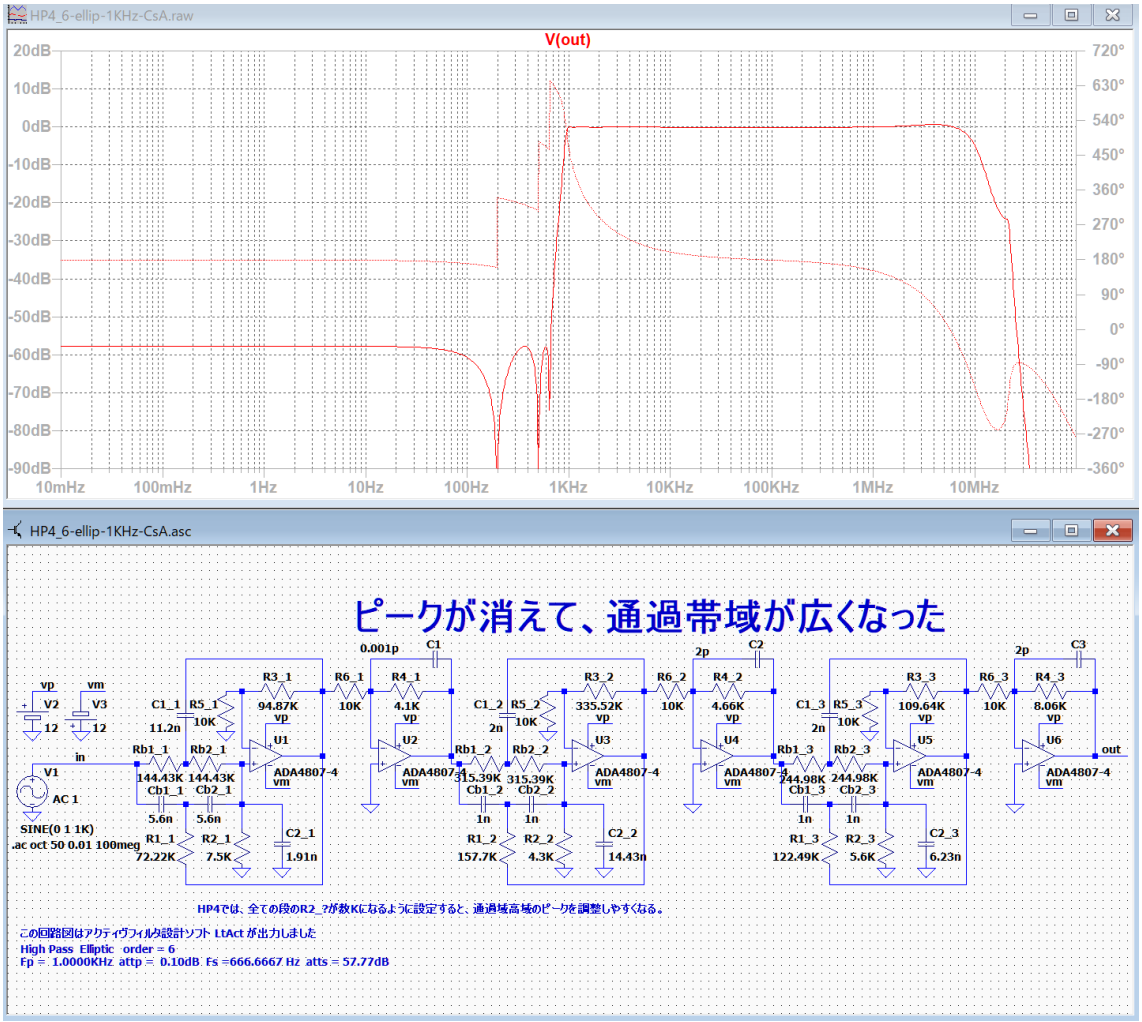
HP4_6-ellip-1KHz.asc

通過域高域にピークが発生しています。



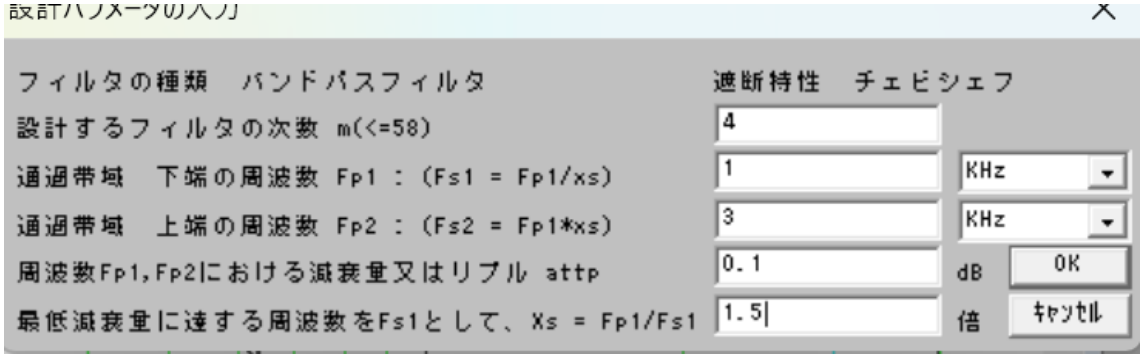
HP4_6-ellip-1KHz-CsA.asc

通過域のゲインが平坦になり、通過帯域が広くなりました。



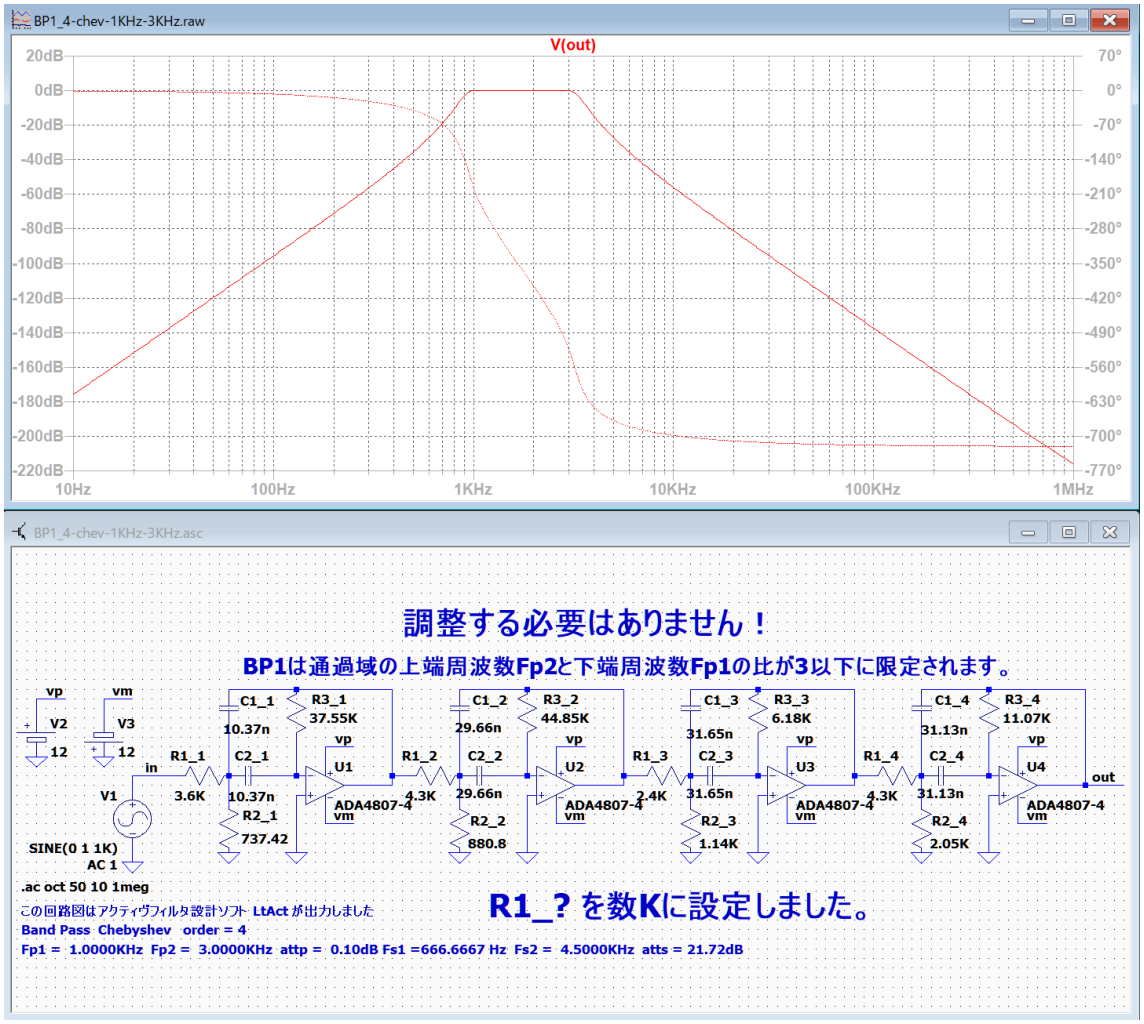
各 R2_?を数 K に設定して回路図を作成後、R2_?に C?を並列接続して調整しました。

BP1 の調整方法

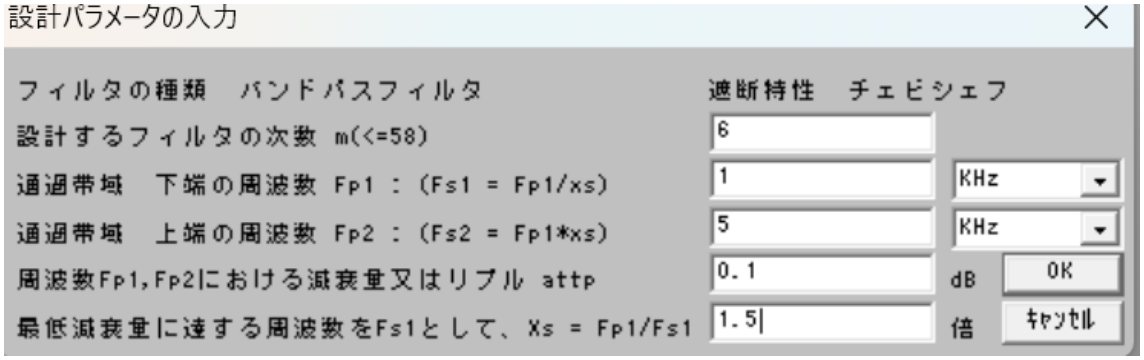


BP1_4-chev-1KHz-3KHz.asc

この回路図は調整する必要がありません。

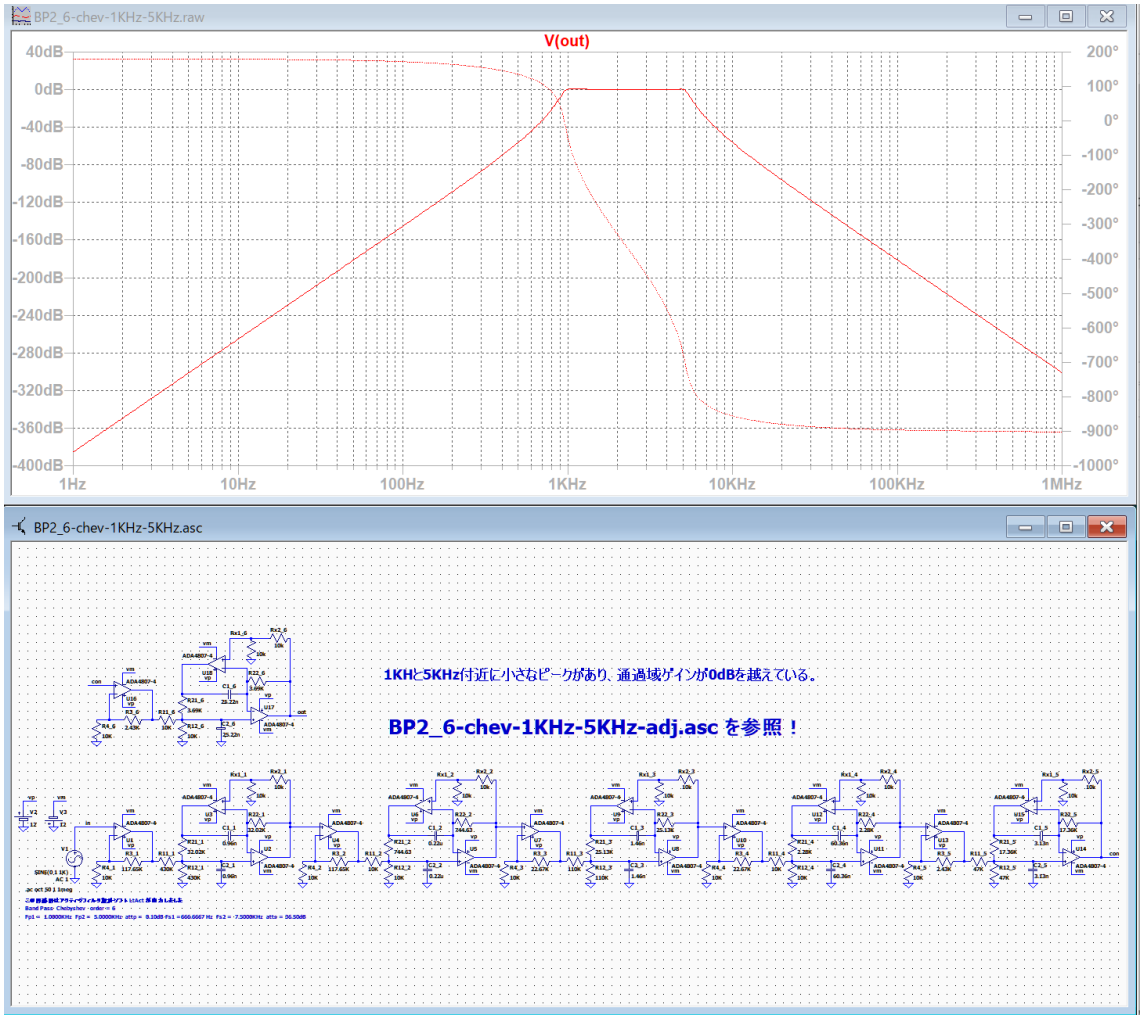


BP2 の調整方法



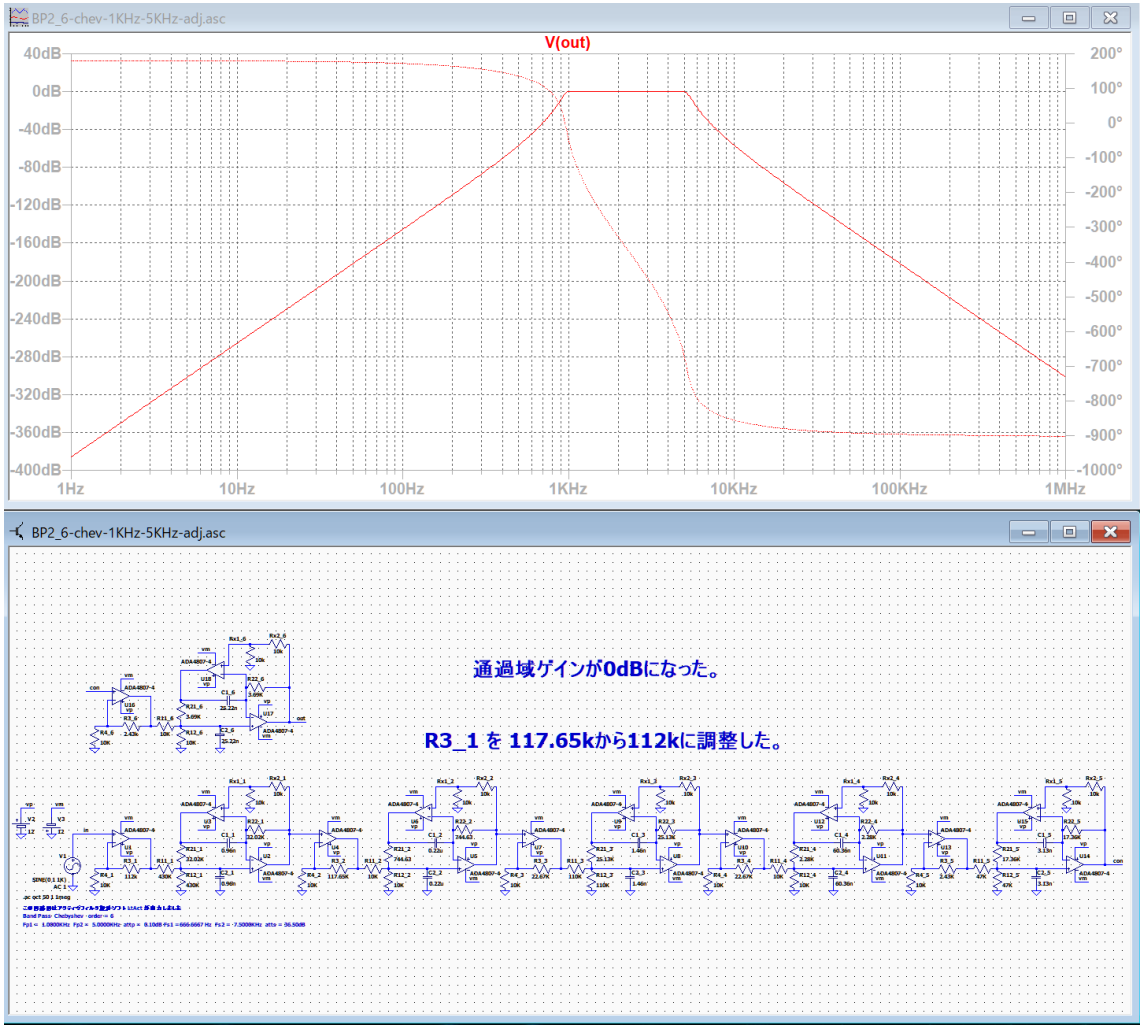
BP2_6-chev-1KHz-5KHz.asc

1KH と 5KHz 付近に小さなピークがあり、通過域ゲインがわずかに 0dB を越えている。



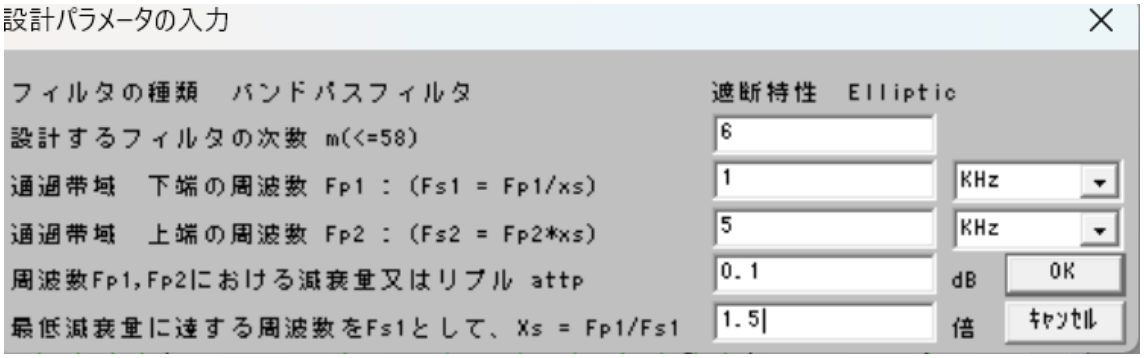
BP2_6-chev-1KHz-5KHz-adj.asc

通過域ゲインが 0dB になった。



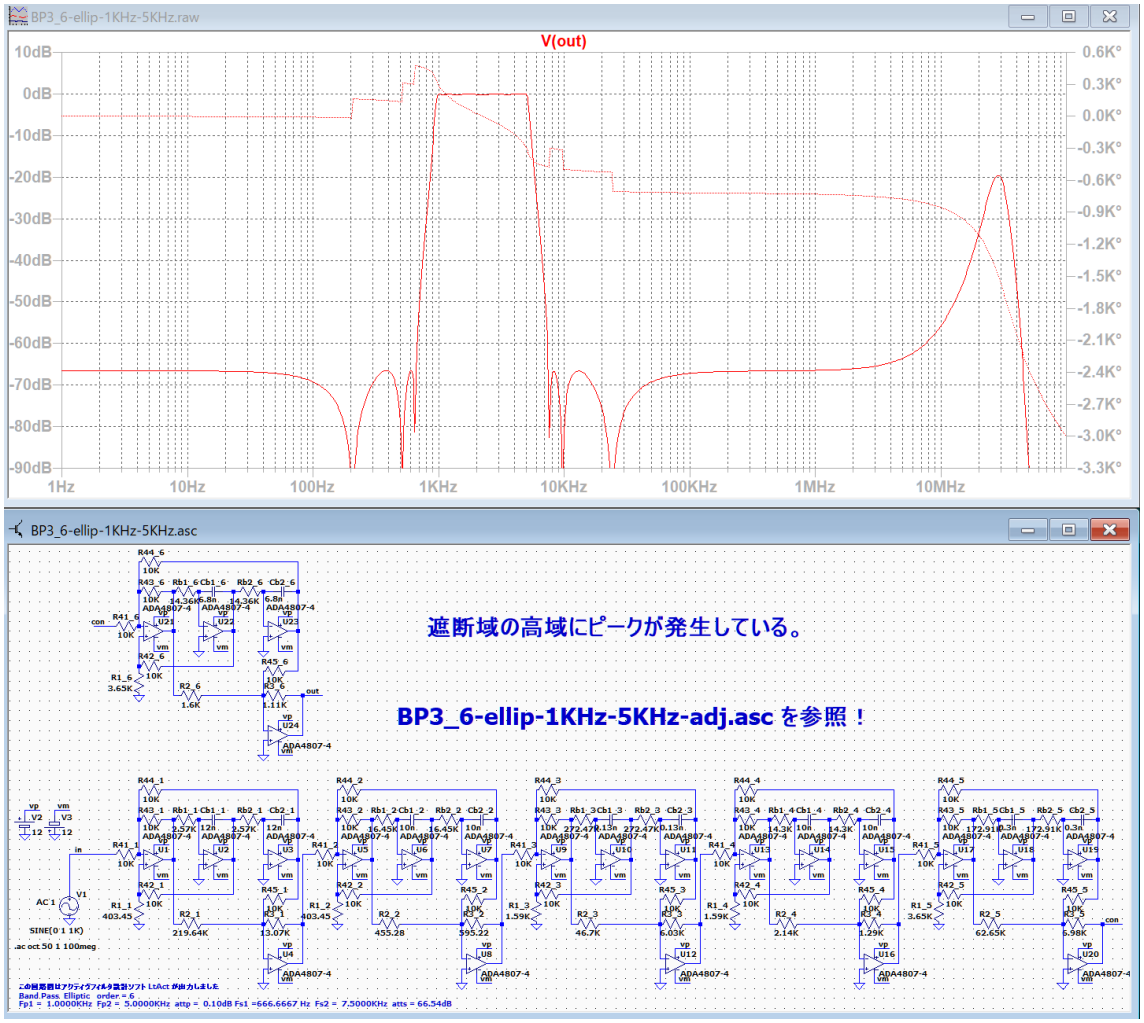
R3_1 を 117.65k から 112k に調整した。

BP3 の調整方法



BP3_6-ellip-1KHz-5KHz.asc

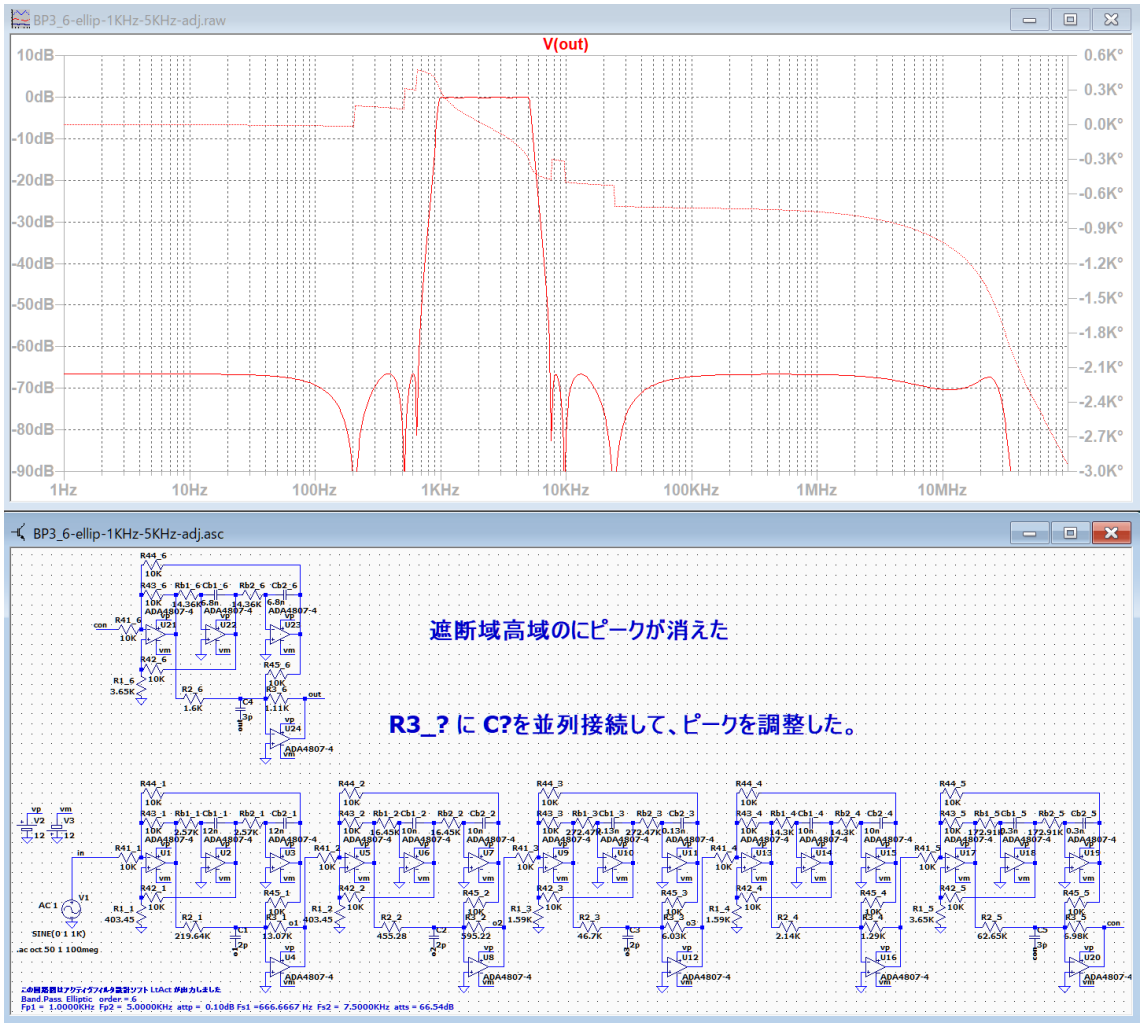
遮断域の高域にピークが発生している。



BP3_6-ellip-1KHz-5KHz.asc

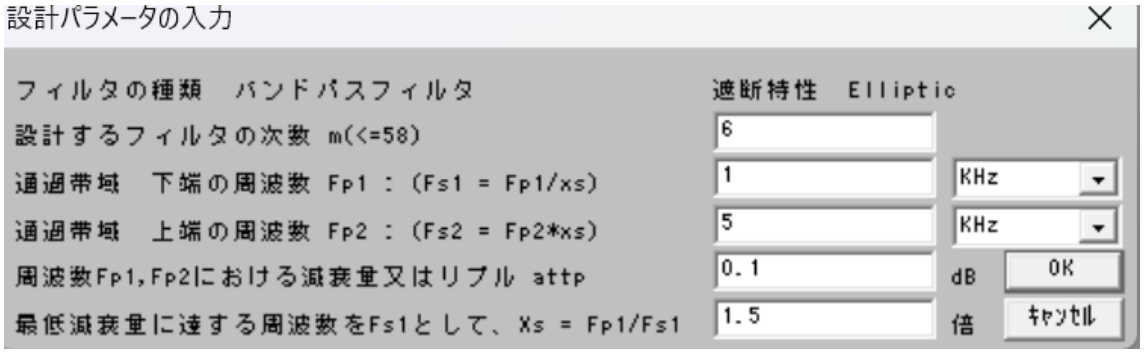
BP3_6-ellip-1KHz-5KHz-adj.asc

遮断域高域のにピークが消えた



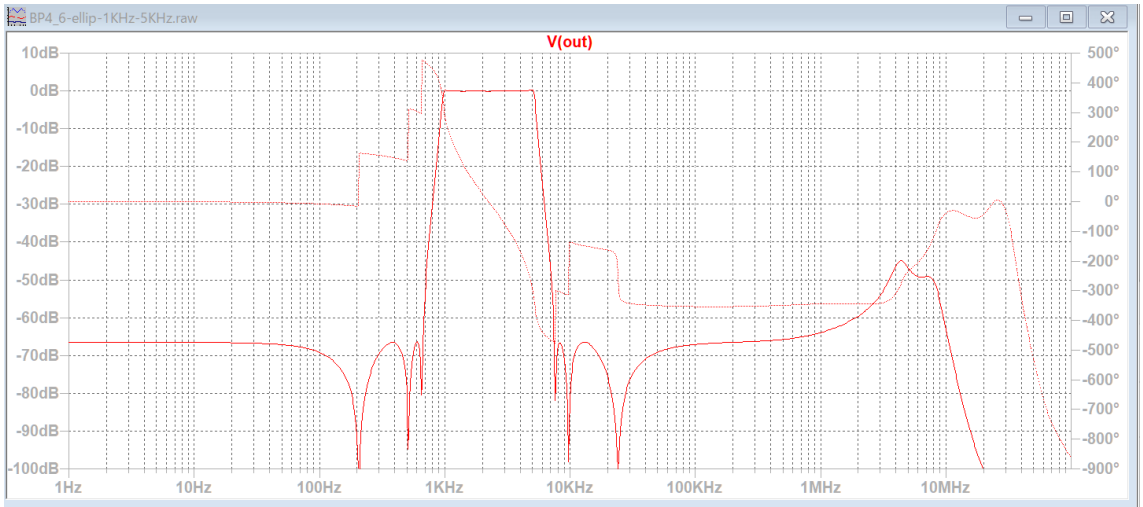
「LtSpice」で周波数特性を確認しながら、各 R3_?に C?を並列に接続して小さな値を設定してできるだけ遮断域のピークが平坦になるように調整した。

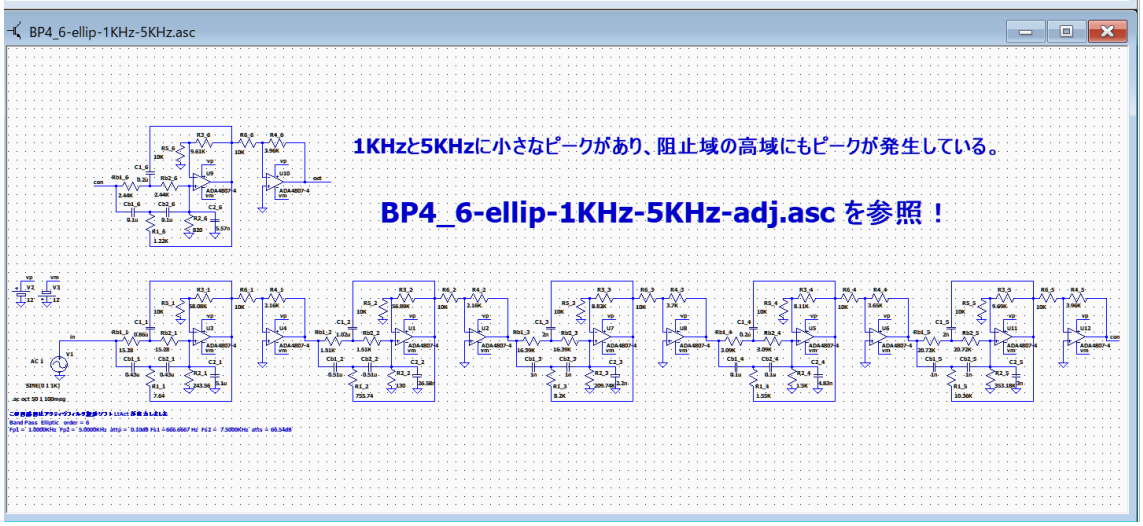
BP4 の調整方法



BP4_6-ellip-1KHz-5KHz.asc

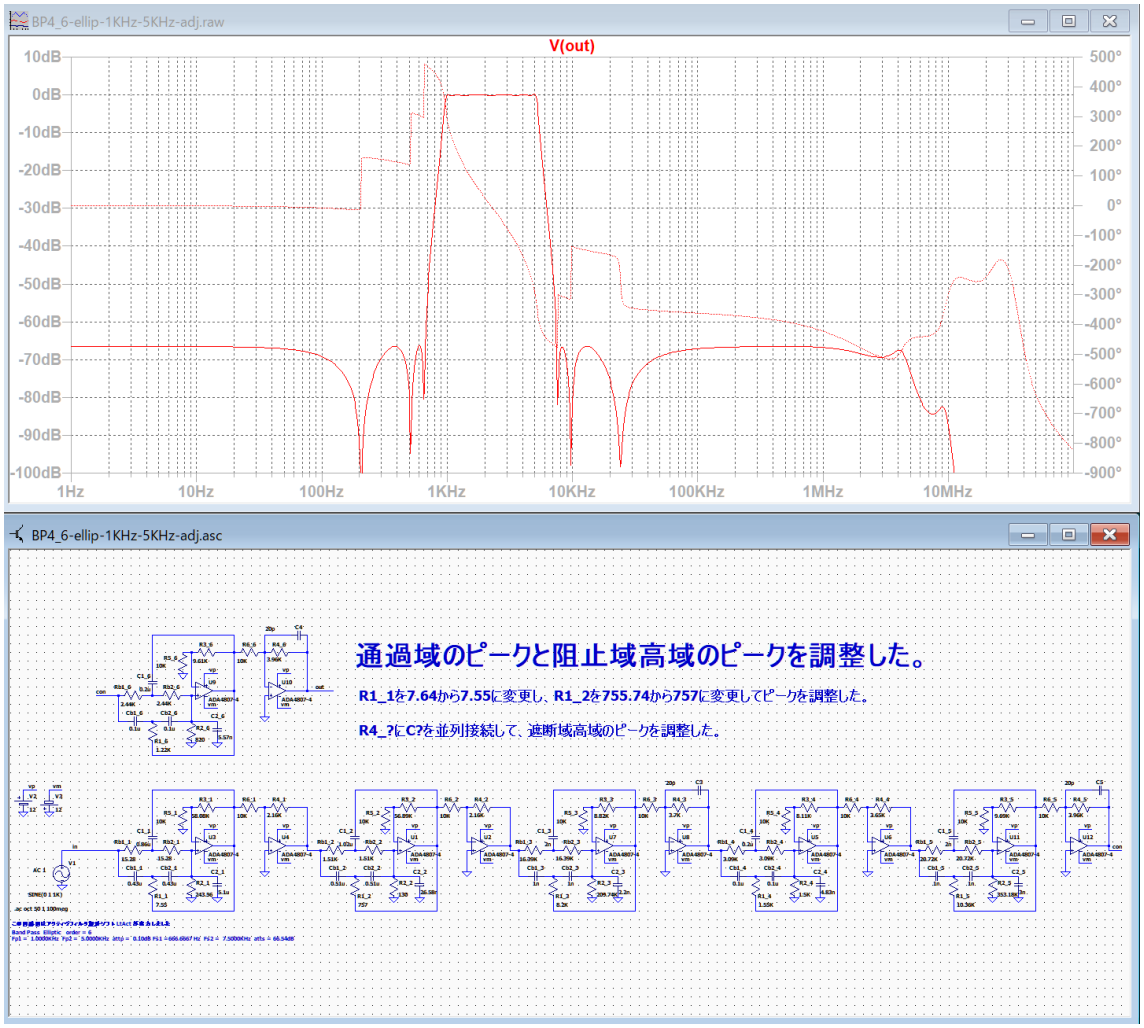
1KHz と 5KHz に小さなピークがあり、阻止域の高域にもピークが発生している。





BP4_6-ellip-1KHz-5KHz.asc

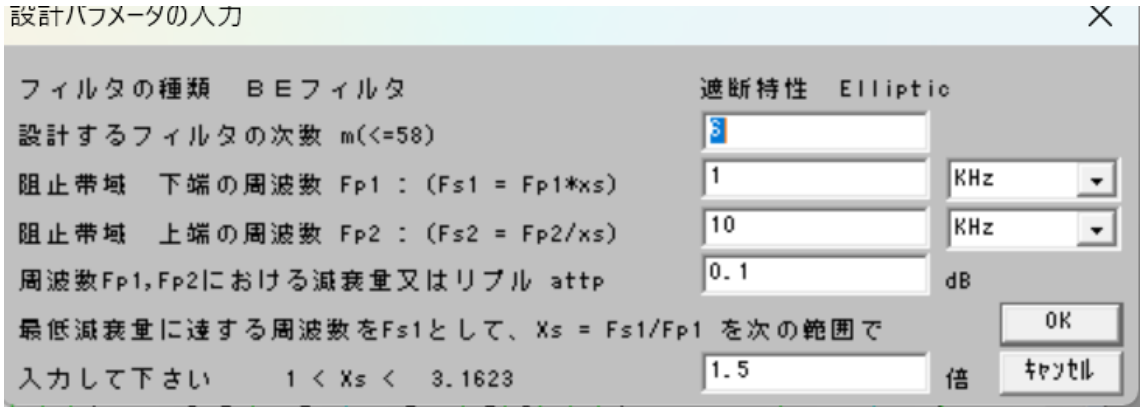
BP4_6-ellip-1KHz-5KHz-adj.asc



「LtSpice」で周波数特性を確認しながら、各 R4_?に C?を並列に接続して小さな値を設定してできるだけ遮断域のピークが平坦になるように調整した。

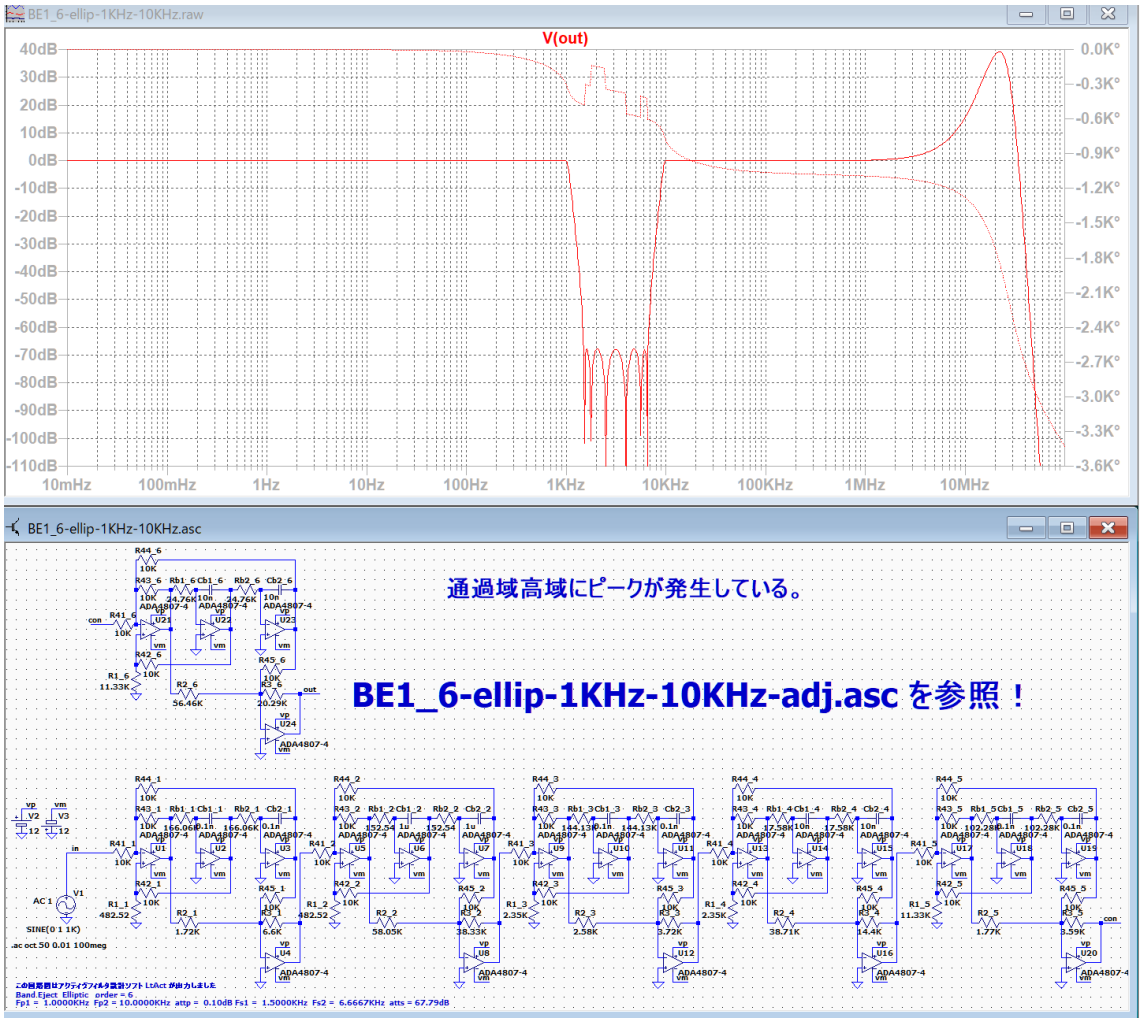
R1_1 を 7.64 から 7.55 に変更し、R1_2 を 755.74 から 757 に変更して 1KHz と 5KHz のピークを調整した。

BE1 の調整方法



BE1_6-ellip-1KHz-10KHz.asc

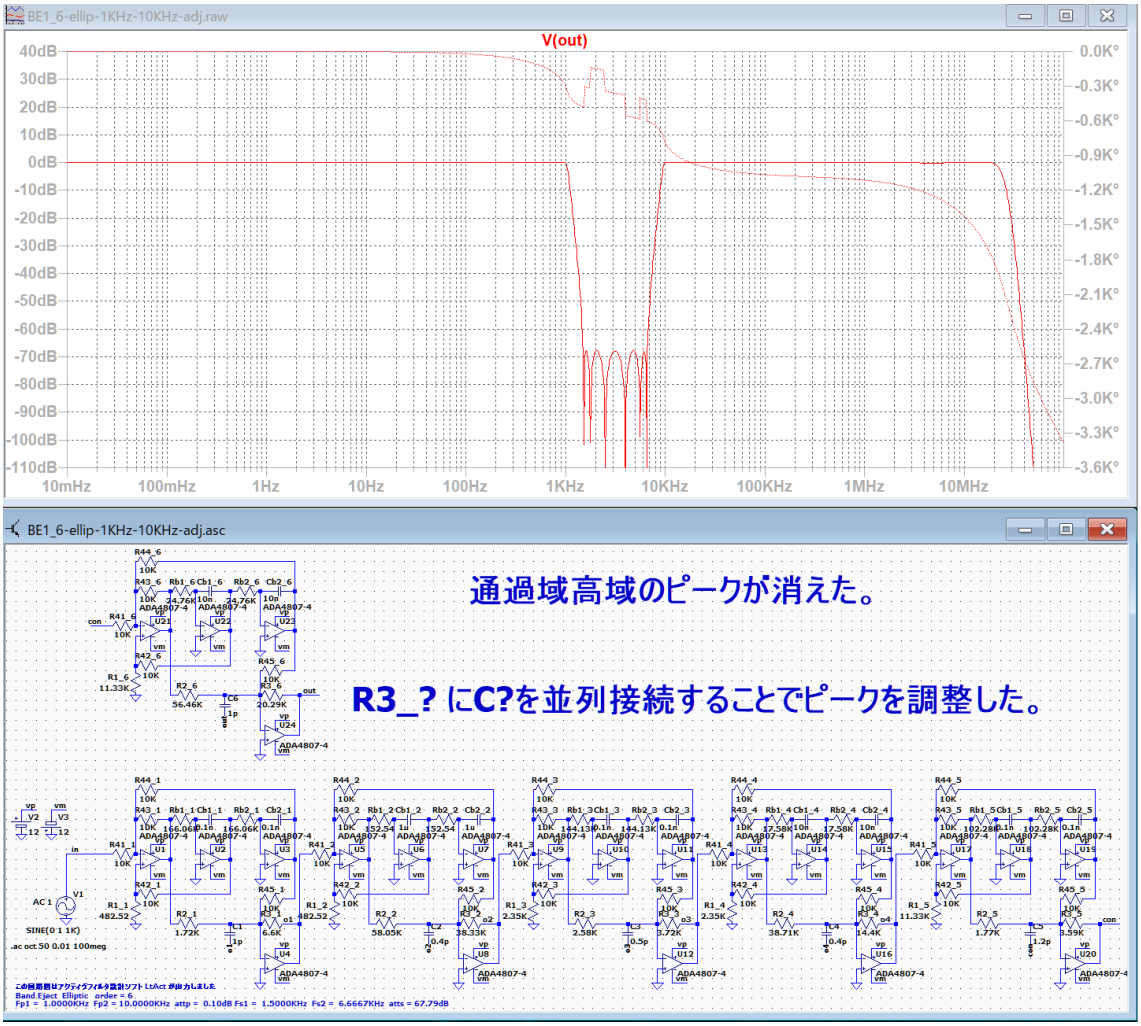
通過域高域にピークが発生している。



BE1_6-ellip-1KHz-10KHz.asc

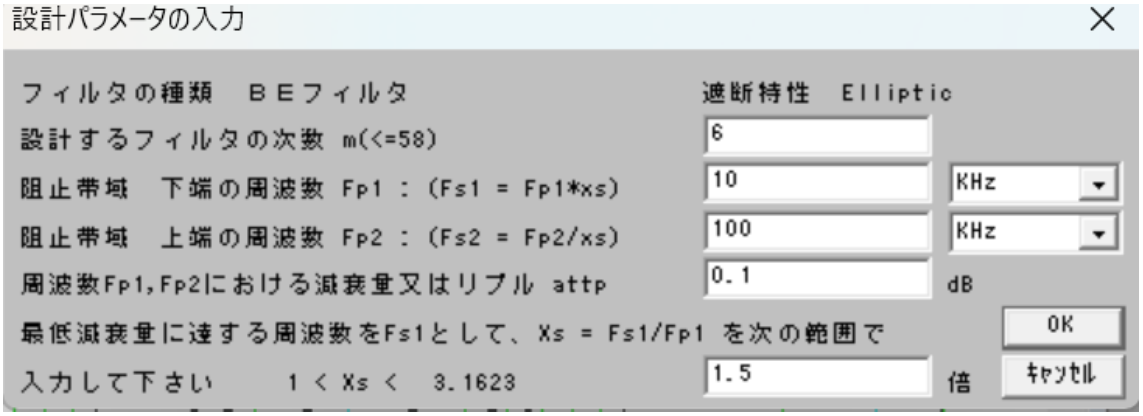
BE1_6-ellip-1KHz-10KHz-adj.asc

通過域高域のピークが消えた。



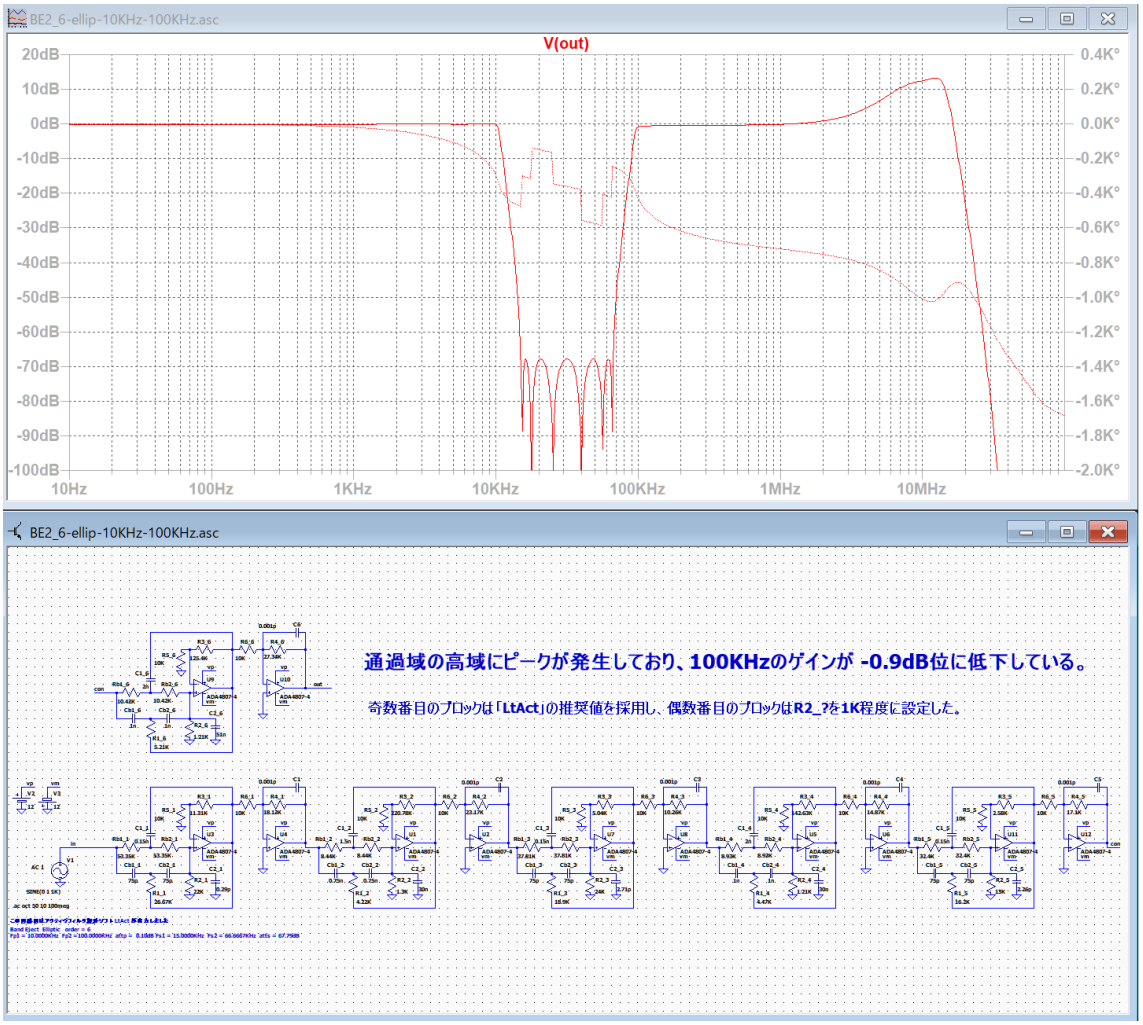
「LtSpice」で周波数特性を確認しながら、各 R3_?に C?を並列に接続して小さな値を設定してできるだけ通過域のゲインが平坦になるように調整した。

BE2 の調整方法



BE2_6-ellip-10KHz-100KHz.asc

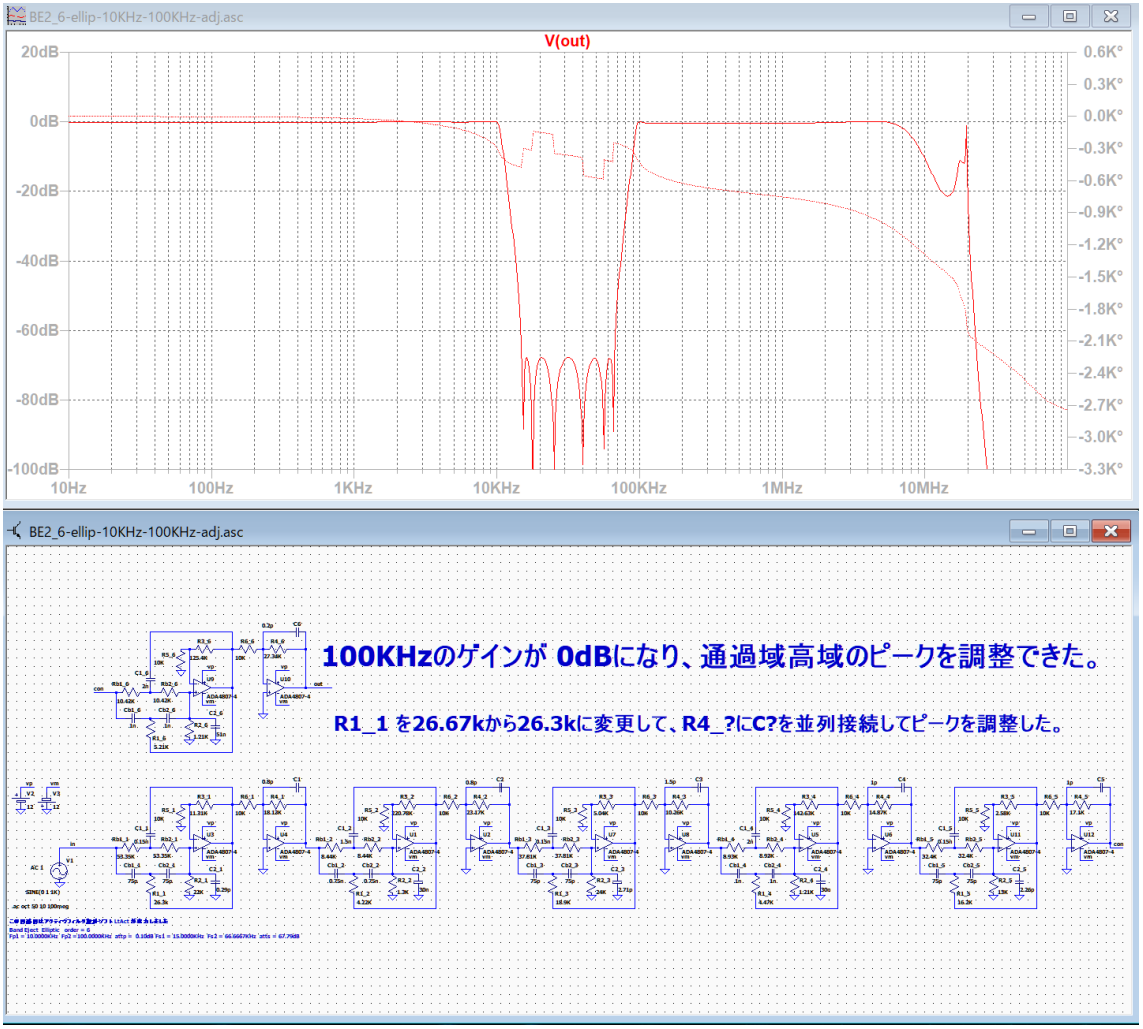
通過域の高域にピークが発生しており、100KHz のゲインが -0.9dB 位に低下している。



BE2_6-ellip-10KHz-100KHz.asc

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-adj.asc

100KHz のゲインが 0dB になり、通過域高域のピークを調整できた。

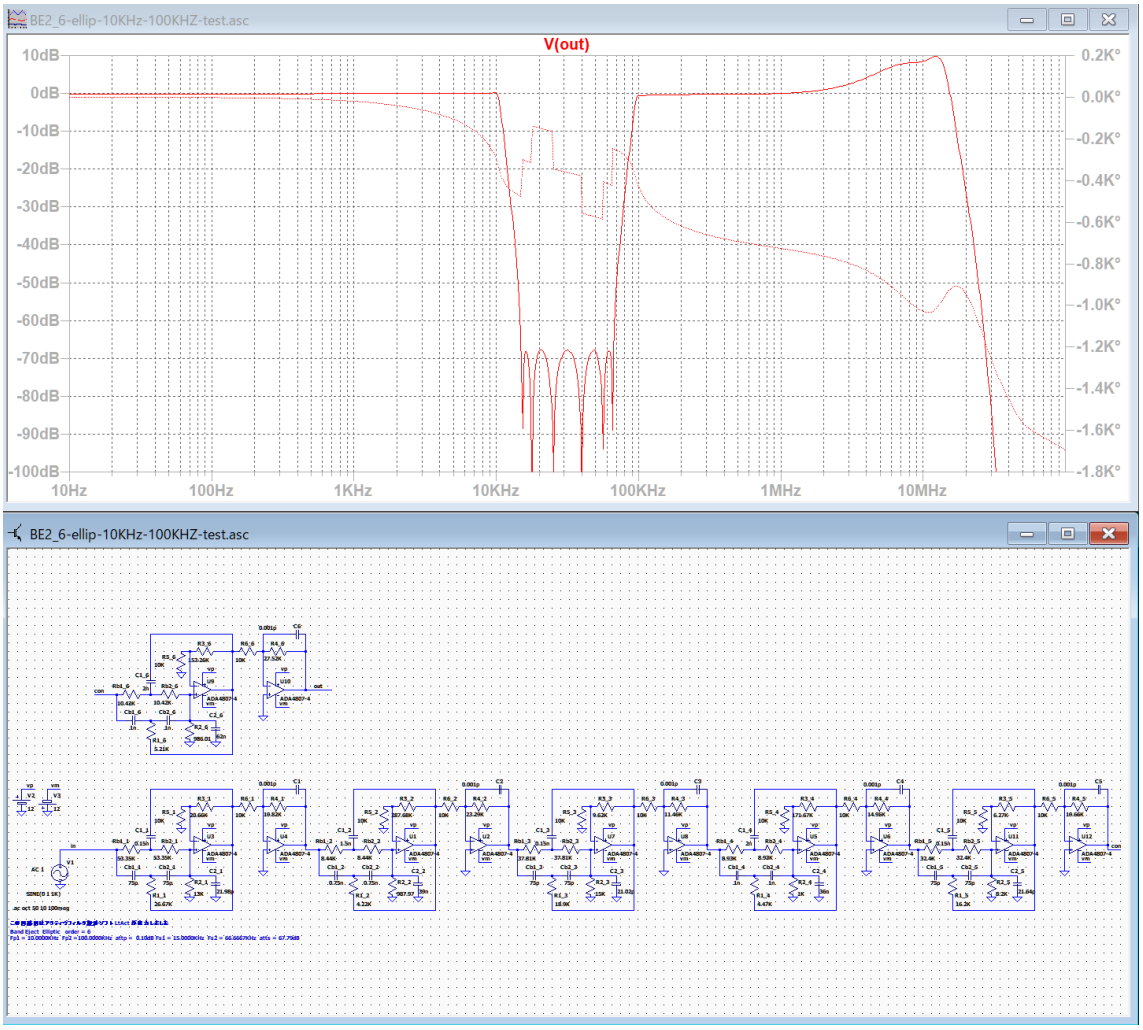


R1_1 を 26.67k から 26.3k に変更して、R4_?に C?を並列接続してピークを調整した。

通過帯域幅が狭くなった。

BE2_6-ellip-10KHz-100KHZ-test.asc

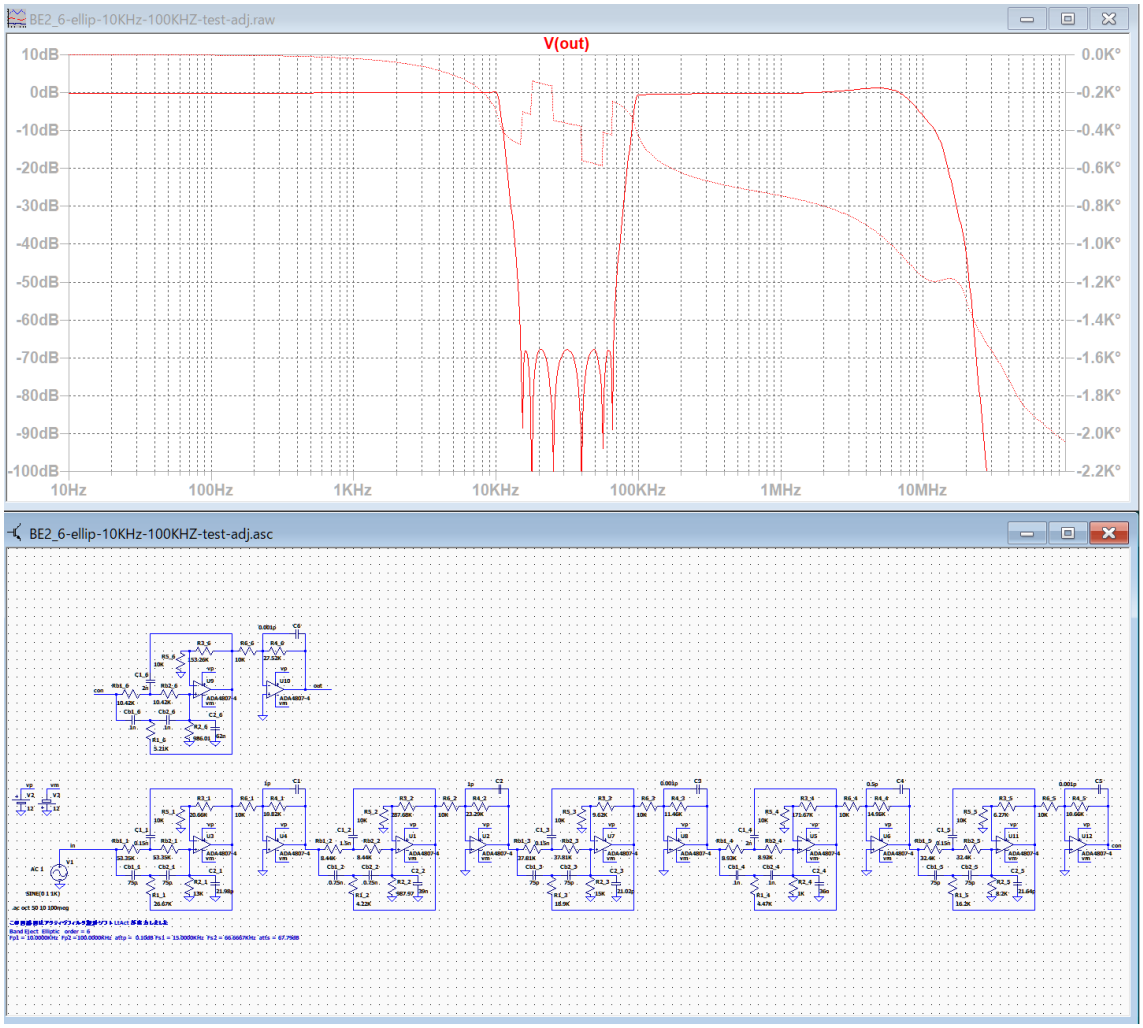
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz.asc と同じ位のピークが発生している。



奇数番目のブロックは C2_?を 20p 程度に設定し、偶数番目のブロックは R2_?を 1K 程度に設定して回路図を作成した。

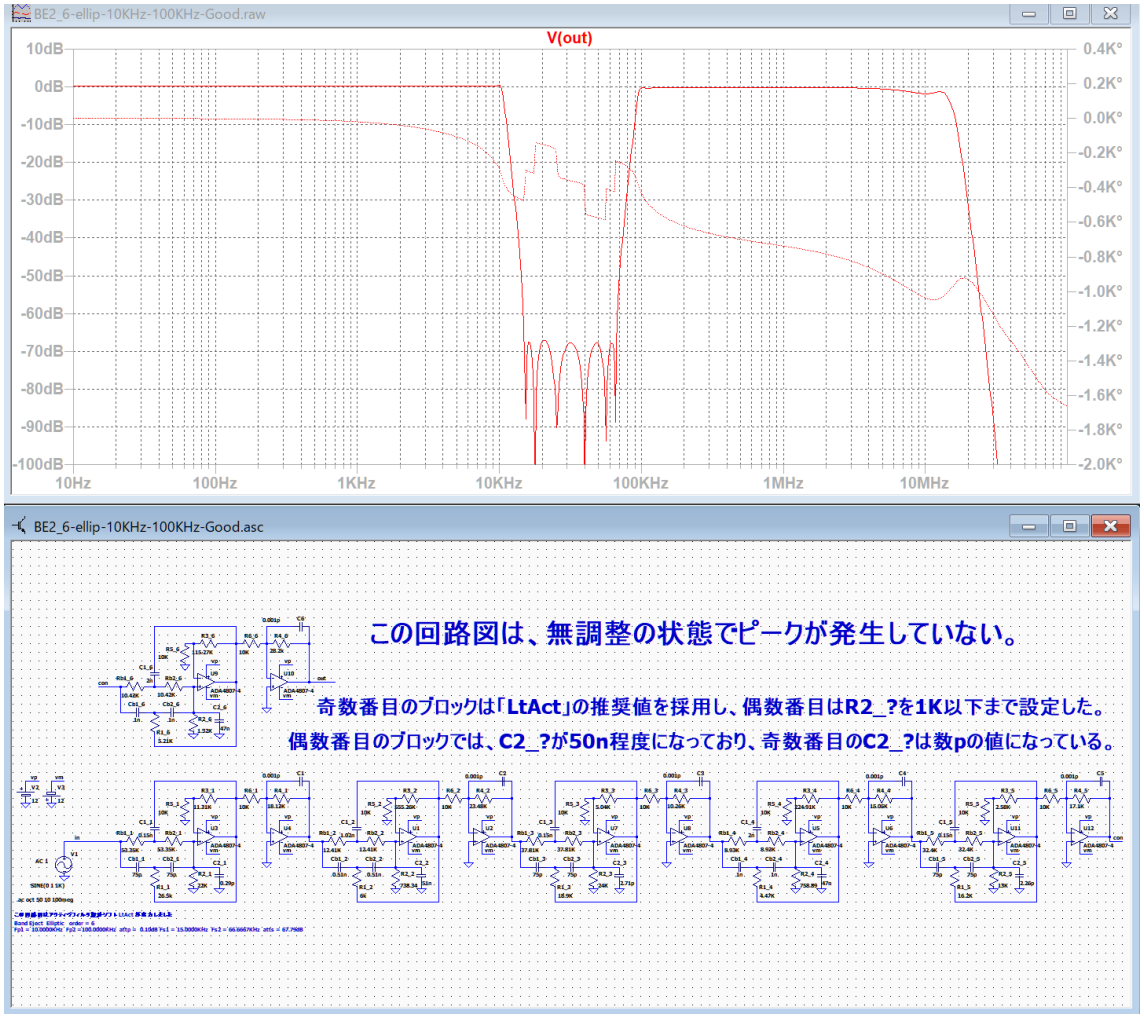
BE2_6-ellip-10KHz-100KHZ-test-adj.asc

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-adj.asc より通過域ゲインが平坦に見える



BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-Good.asc

この回路図は無調整だが、ピークが発生していない。



「LtAct」で回路図を作成する時に、
奇数番目のブロックは「LtAct」の推奨値を採用し、偶数番目は R2_?を 1K 以下まで設定した。
偶数番目のブロックでは、C2_?が 50n 程度になっており、奇数番目の C2_?は数 p の値になっている。

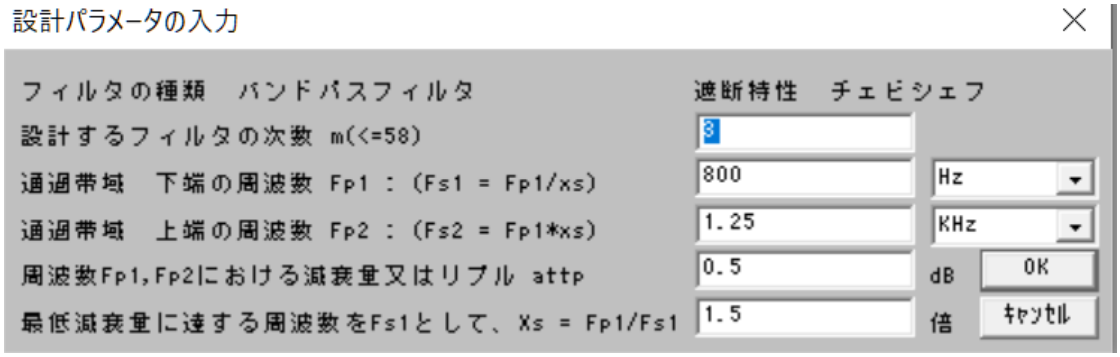
各種の実験

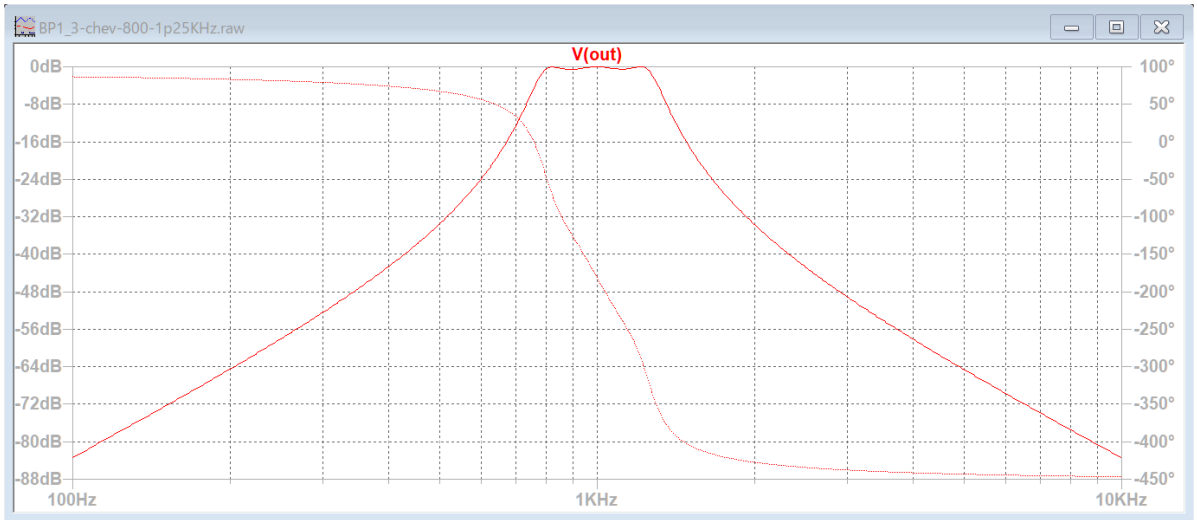
ver.3.00 以降の実験 1

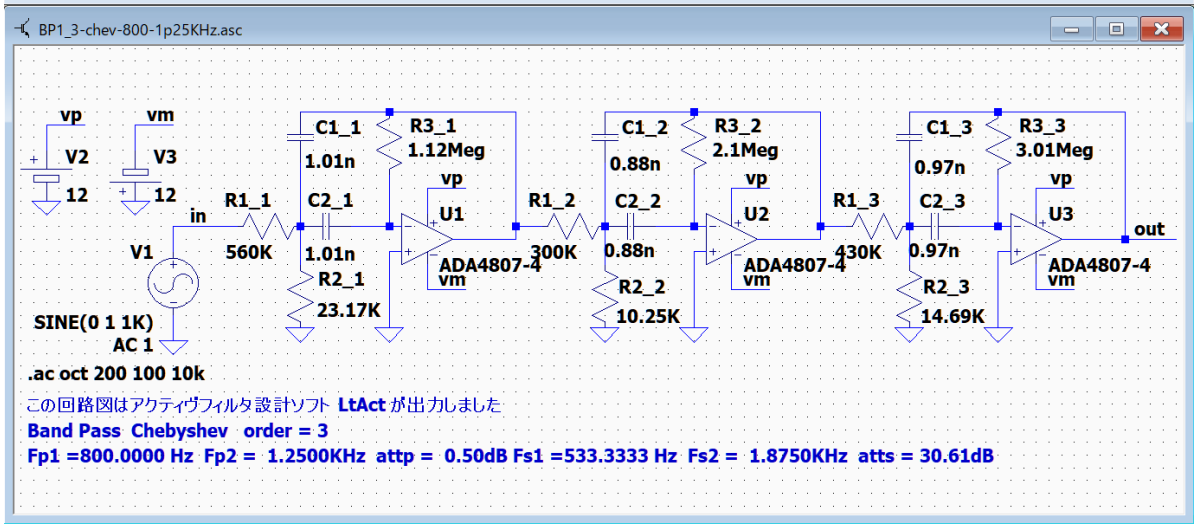
実験データは「OP のテストデータ」→「ver.3.00 以降の実験 1」に格納しました。

BP1_3-chev-800-1p25KHz

チェビシェフ・バンドパスフィルタ・3 次 800Hz ... 1.25KHz







通過域 800Hz ... 1.25KHz 800Hz で -0.47dB, 1250Hz で -0.63dB
通過域のリプル 0.5dB
阻止域の減衰量 533.3Hz で -30.5dB, 1875Hz で -30.7dB

周波数が低くて、回路の Q もそれ程高くないので、素子値の調整は不要だった。

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Chebyshev 次数=3
Fp1 =800.0000 Hz Fp2 = 1.2500KHz attp = 0.5000dB
Fs1 =533.3333 Hz Fs2 = 1.8750KHz atts = 30.61dB
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	1.7713K	39.4784Meg	0	1.7713K	0
	Fc= 1.0000KHz	Fc ゲイン= 0 dB	Q = 3.5473	GB 積=354.7290KHz	
2	1.0845K	62.3475Meg	0	3.7979K	0
	Fc= 1.2567KHz	Fc ゲイン= 10.8859 dB	Q = 7.2806	GB 積= 3.2040MegHz	
3	686.7280	24.9977Meg	0	2.4048K	0
	Fc= 795.7387 Hz	Fc ゲイン= 10.8859 dB	Q = 7.2806	GB 積= 2.0288MegHz	

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BP1_3-chev-800-1p25KHz.asc 作成日時 Wed Sep 08 20:59:43 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Chebyshev 次数=3 参照モード=0

Fp1 =800.0000 Hz Fp2 = 1.2500KHz attp = 0.5000dB

Fs1 =533.3333 Hz Fs2 = 1.8750KHz atts = 30.61dB

1(BP1)「BP1-0-0」 R1_1 = 560.0000K C1_1 = 1.0082n R2_1 = 23.1726K R3_1 = 1.1200Meg 誤差=4.07 %

2(BP1)「BP1-0-0」 R1_2 = 300.0000K C1_2 = 0.8777n R2_2 = 10.2481K R3_2 = 2.1011Meg 誤差=6.45 %

3(BP1)「BP1-0-0」 R1_3 = 430.0000K C1_3 = 0.9671n R2_3 = 14.6890K R3_3 = 3.0116Meg 誤差=4.03 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Chebyshev 次数=3

Fp1 =800.0000 Hz Fp2 = 1.2500KHz attp = 0.5000dB

Fs1 =533.3333 Hz Fs2 = 1.8750KHz atts = 30.61dB

２次式の形式

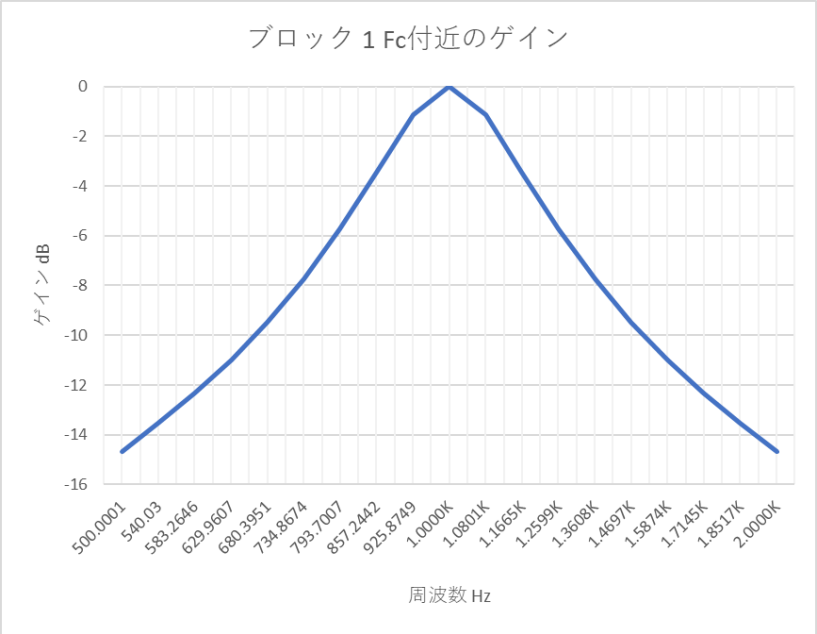
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	1.7713K	39.4784Meg	0	1.7713K	0

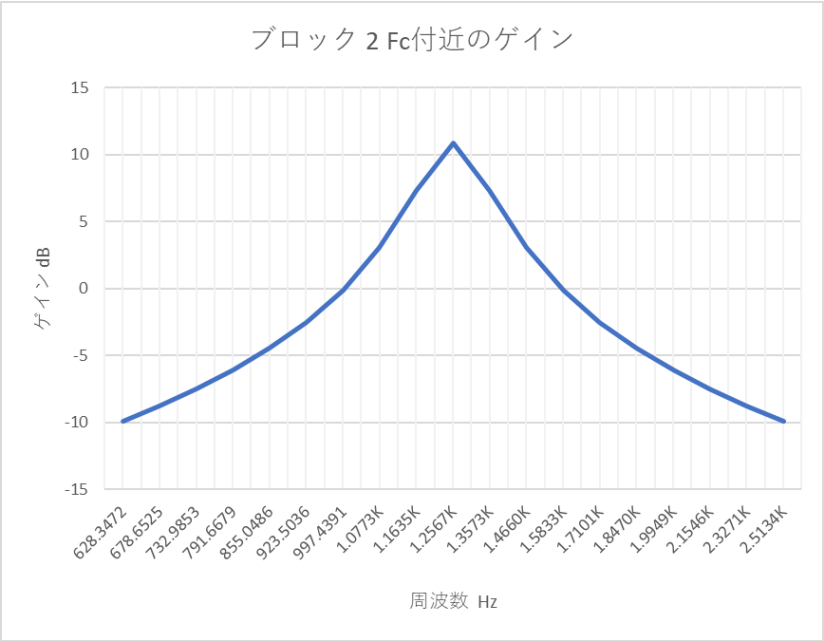
Fc= 1.0000KHz Fc ゲイン= 0 dB Q = 3.5473 GB 積=354.7290KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
500.0001	- 14.6705
540.0300	- 13.5508
583.2646	- 12.3306
629.9607	- 10.9812
680.3951	- 9.4646
734.8674	- 7.7304
793.7007	- 5.7230
857.2442	- 3.4315
925.8749	- 1.1366
1.0000K	0
1.0801K	- 1.1366
1.1665K	- 3.4315
1.2599K	- 5.7230
1.3608K	- 7.7304
1.4697K	- 9.4646
1.5874K	- 10.9812
1.7145K	- 12.3306
1.8517K	- 13.5508
2.0000K	- 14.6705



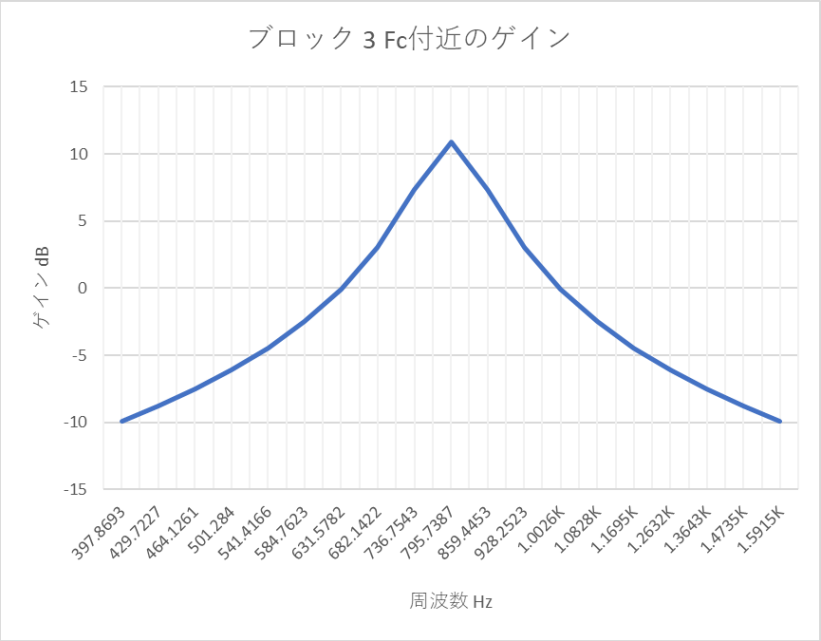
	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
Blk No. 2	1.0845K	62.3475Meg	0	3.7979K	0	Fc= 1.2567KHz Fc ゲイン= 10.8859 dB Q = 7.2806 GB 積= 3.2040MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
628.3472	- 9.9155
678.6525	- 8.7616
732.9853	- 7.4919
791.6679	- 6.0681
855.0486	- 4.4322
923.5036	- 2.4920
997.4391	- 90.6836m
1.0773K	3.0537
1.1635K	7.3446
1.2567K	10.8859
1.3573K	7.3446
1.4660K	3.0537
1.5833K	- 90.6837m
1.7101K	- 2.4920
1.8470K	- 4.4322
1.9949K	- 6.0681
2.1546K	- 7.4919
2.3271K	- 8.7616
2.5134K	- 9.9155



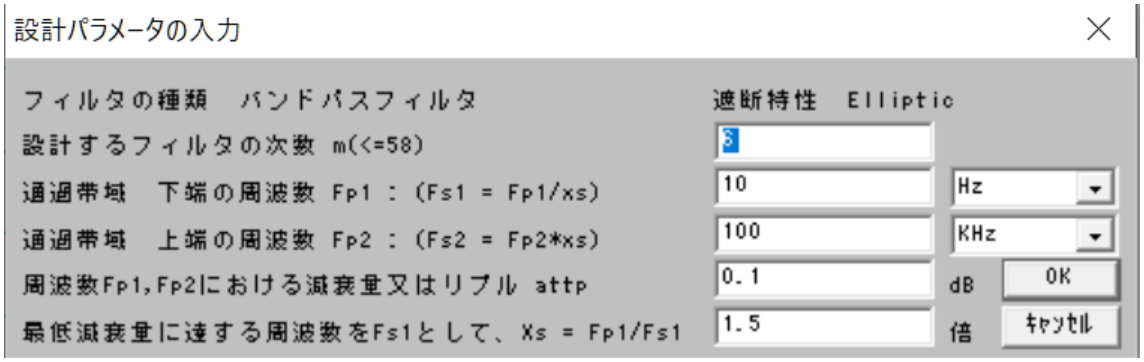
	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
Blk No. 3	686.7280	24.9977Meg	0	2.4048K	0	Fc= 795.7387 Hz Fc ゲイン= 10.8859 dB Q = 7.2806 GB 積= 2.0288MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
397.8693	- 9.9155
429.7227	- 8.7616
464.1261	- 7.4919
501.2840	- 6.0681
541.4166	- 4.4322
584.7623	- 2.4920
631.5782	- 90.6836m
682.1422	3.0537
736.7543	7.3446
795.7387	10.8859
859.4453	7.3446
928.2523	3.0537
1.0026K	- 90.6837m
1.0828K	- 2.4920
1.1695K	- 4.4322
1.2632K	- 6.0681
1.3643K	- 7.4919
1.4735K	- 8.7616
1.5915K	- 9.9155



BP4_6-ellip-10Hz-100KHz

楕円関数・バンドパスフィルター 6 次 10Hz ... 100KHz



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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=6

Fp1 = 10.0000 Hz Fp2 =100.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667 Hz Fs2 =150.0000KHz atts = 57.78dB

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	101.0010K	433.5732G	68.0546m	0	693.8670G
	Fc= 104.7976KHz Fc ゲイン= 19.9909 dB Q = 6.5194 GB 積= 68.3215MegHz				
2	9.1965	3.5947K	1.6003	0	244.6326
	Fc= 9.5422 Hz Fc ゲイン= 19.9909 dB Q = 6.5194 GB 積= 6.2209KHz				
3	348.5043K	313.4448G	0.1484	0	230.0515G
	Fc= 89.1047KHz Fc ゲイン= - 0.5312 dB Q = 1.6065 GB 積= 14.3144MegHz				
4	43.8942	4.9723K	0.7339	0	737.8455
	Fc= 11.2228 Hz Fc ゲイン= - 0.5312 dB Q = 1.6065 GB 積= 1.8029KHz				
5	612.7844K	142.1774G	0.1287	0	120.3481G
	Fc= 60.0116KHz Fc ゲイン= - 7.0978 dB Q = 0.6153 GB 積= 3.6927MegHz				
6	170.1520	10.9620K	0.8465	0	1.4104K
	Fc= 16.6634 Hz Fc ゲイン= - 7.0978 dB Q = 0.6153 GB 積= 1.0254KHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BP4_6-ellip-10Hz-100KHz.asc 作成日時 Tue Sep 21 05:27:34 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=6 参照モード=0

Fp1 = 10.0000 Hz Fp2 =100.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667 Hz Fs2 =150.0000KHz atts = 57.78dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 1.0439K Cb_1(2 個)= 0.3000n R1_1 = 521.9624 C1_1 = 0.6000n 誤差=5.84 %

1 R2_1 = 33.0761K C2_1 = 3.6000n 誤差 = 0.23 %

1 R3_1 = 58.1809K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 3.75 %

1 R4_1 = 2.4954K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 3.82 %

2 (et2)「HP4-0-0」 Rb_2(2 個)= 9.8636K Cb_2(2 個)= 8.2000u R1_2 = 4.9318K C1_2 = 16.4000u 誤差=4.41 %

2 R2_2 = 820.0000 C2_2 = 0.2688u 誤差 = 0.43 %

2 R3_2 = 58.3264K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 3.99 %

2 R4_2 = 2.4958K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 3.84 %

3 (et2)「HP4-2-1」 Rb_3(2 個)= 1.5748K Cb_3(2 個)= 0.5100n R1_3 = 787.3917 C1_3 = 1.0200n 誤差=4.85 %

3 R2_3 = 42.3665K C2_3 = 1.1000n 誤差 = 1.50 %

3 R3_3 = 7.2519K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 3.42 %

3 R4_3 = 4.5706K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 2.83 %

4 (et2)「HP4-0-1」 Rb_4(2 個)= 3.1539K Cb_4(2 個)= 10.0000u R1_4 = 1.5770K C1_4 = 20.0000u 誤差=4.86 %

4 R2_4 = 1.5000K C2_4 = 0.2620u 誤差 = 3.05 %

4 R3_4 = 7.0017K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 2.88 %

4 R4_4 = 4.5431K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.45 %

5 (et2)「HP4-2-2」 Rb_5(2 個)= 1.1362K Cb_5(2 個)= 0.9100n R1_5 = 568.1202 C1_5 = 1.8200n 誤差=3.66 %

5 R2_5 = 42.0811K C2_5 = 2.7000n 誤差 = 2.18 %

5 R3_5 = 3.9865K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 2.17 %

5 R4_5 = 6.3788K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 2.80 %

6 (et2)「HP4-0-2」 Rb_6(2 個)= 2.4498K Cb_6(2 個)= 10.0000u R1_6 = 1.2249K C1_6 = 20.0000u 誤差=2.87 %

6 R2_6 = 820.0000 C2_6 = 0.3012u 誤差 = 0.40 %

6 R3_6 = 4.0397K R5_6 = 10.0000K 誤差 = 3.46 %

6 R4_6 = 6.3923K R6_6 = 10.0000K 誤差 = 3.01 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=6

Fp1 = 10.0000 Hz Fp2 =100.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667 Hz Fs2 =150.0000KHz atts = 57.78dB

２次式の形式

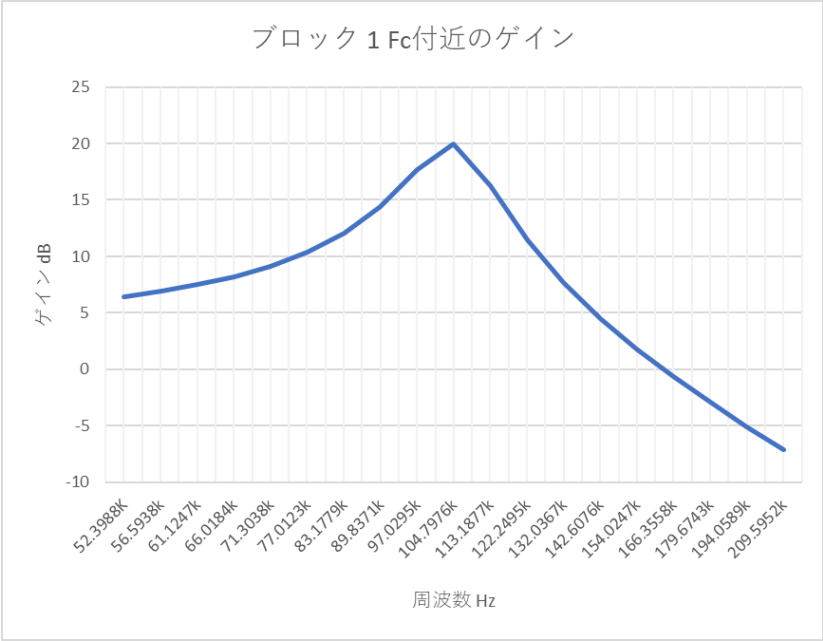
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 1	101.0010K	433.5732G	68.0546m	0	693.8670G	Fc=	104.7976KHz

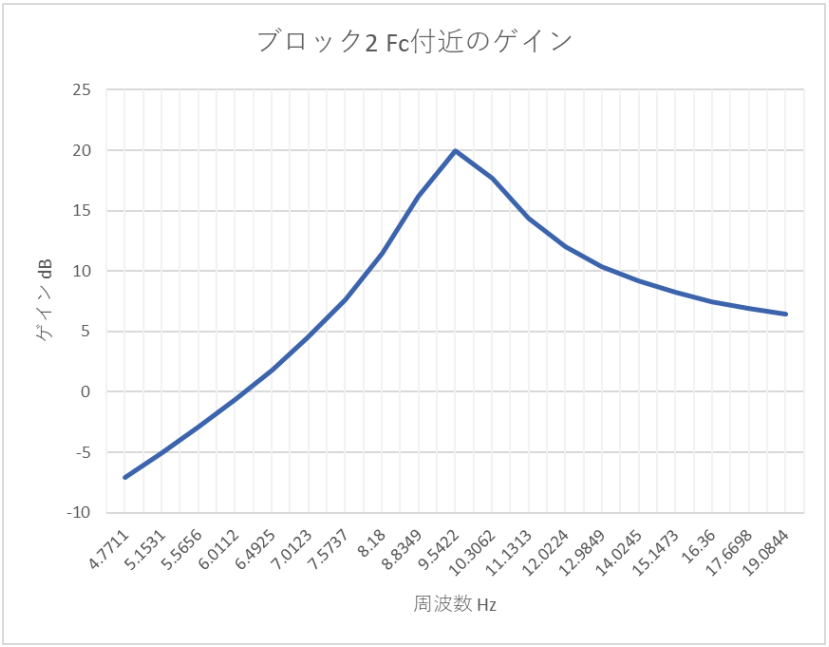
Fc ゲイン= 19.9909 dB Q = 6.5194 GB 積= 68.3215MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
52.3988K	6.4450
56.5938K	6.9117
61.1247K	7.4903
66.0184K	8.2179
71.3038K	9.1501
77.0123K	10.3746
83.1779K	12.0371
89.8371K	14.3842
97.0295K	17.6820
104.7976K	19.9909
113.1877K	16.2247
122.2495K	11.4664
132.0367K	7.6522
142.6076K	4.5123
154.0247K	1.7963
166.3558K	- 0.6462
179.6743K	- 2.9084
194.0589K	- 5.0522
209.5952K	- 7.1228



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2　9.1965　3.5947K　1.6003　0　244.6326 Fc= 9.5422 Hz Fc ゲイン = 19.9909 dB Q = 6.5194 GB 積= 6.2209KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
4.7711	- 7.1228
5.1531	- 5.0522
5.5656	- 2.9084
6.0112	- 0.6462
6.4925	1.7963
7.0123	4.5123
7.5737	7.6522
8.1800	11.4664
8.8349	16.2247
9.5422	19.9909
10.3062	17.6820
11.1313	14.3842
12.0224	12.0371
12.9849	10.3746
14.0245	9.1501
15.1473	8.2179
16.3600	7.4903
17.6698	6.9117
19.0844	6.4450

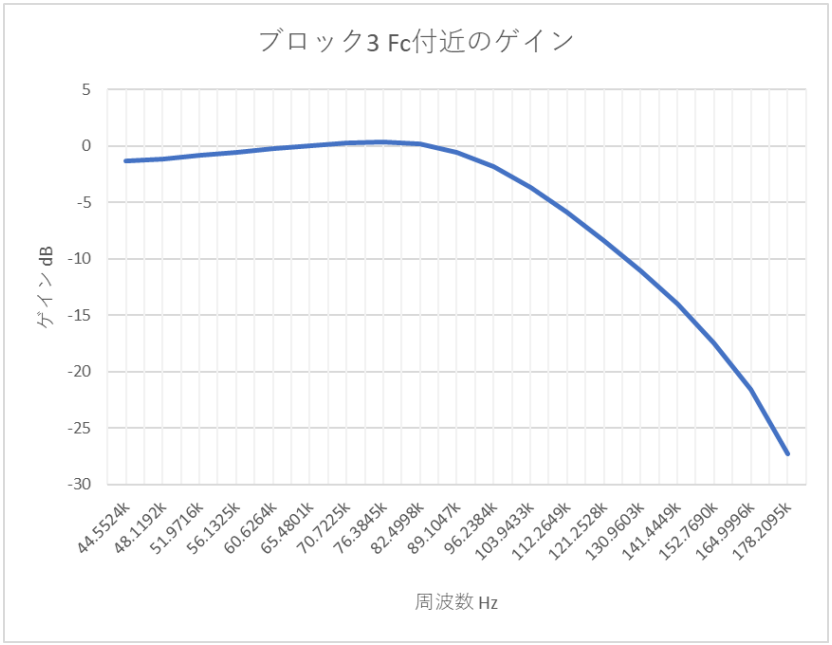


Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 3　348.5043K　313.4448G　0.1484　0　230.0515G Fc= 89.1047KHz Fc

ゲイン= - 0.5312 dB Q = 1.6065 GB 積= 14.3144MegHz

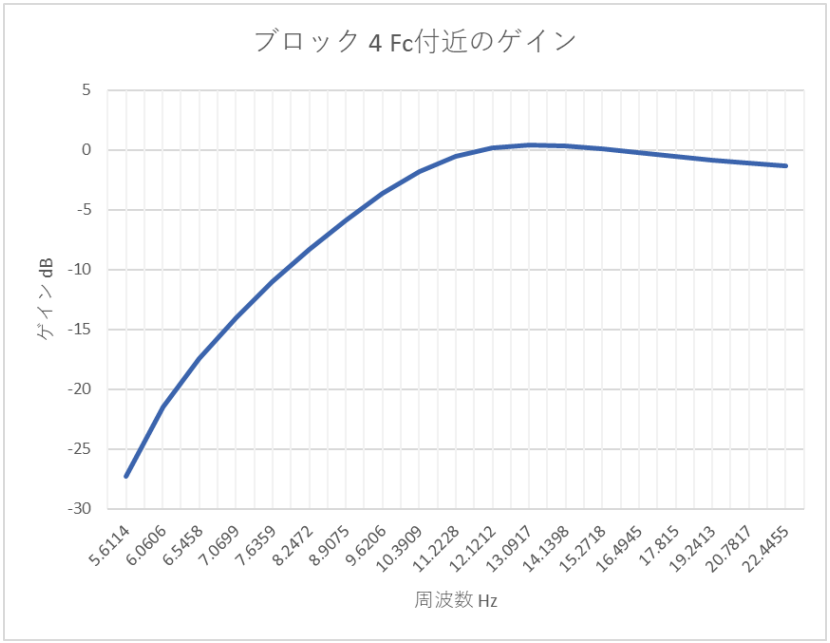
周波数 Hz	ゲイン dB
44.5524K	- 1.3285
48.1192K	- 1.1018
51.9716K	- 0.8428
56.1325K	- 0.5528
60.6264K	- 0.2411
65.4801K	68.0089m
70.7225K	0.3203
76.3845K	0.4133
82.4998K	0.1878
89.1047K	- 0.5312
96.2384K	- 1.8333
103.9433K	- 3.6602
112.2649K	- 5.8719
121.2528K	- 8.3533
130.9603K	- 11.0628
141.4449K	- 14.0405
152.7690K	- 17.4252
164.9996K	- 21.5424
178.2095K	- 27.2862



	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 4	43.8942	4.9723K	0.7339	0	737.8455

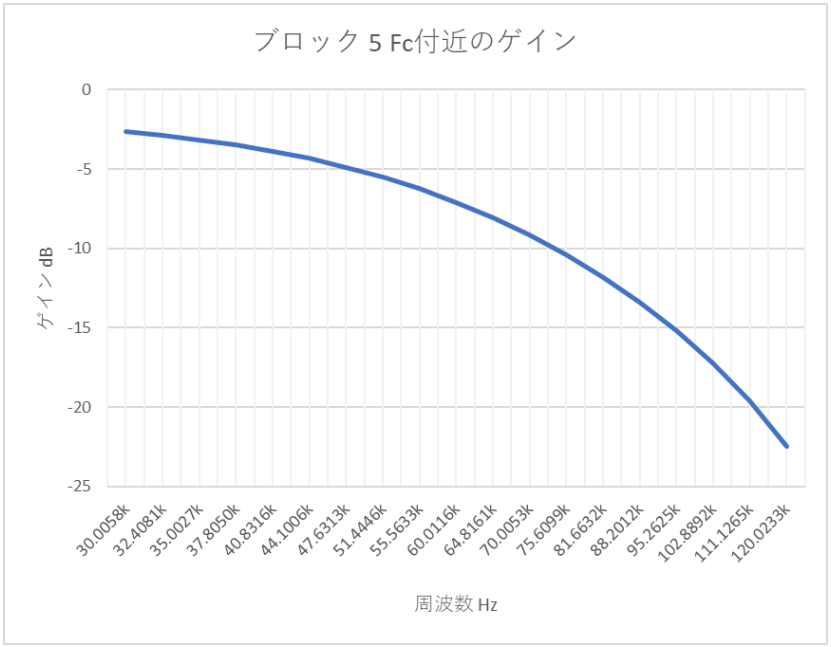
Fc= 11.2228 Hz Fc ゲイン= - 0.5312 dB Q = 1.6065 GB 積= 1.8029KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
5.6114	- 27.2862
6.0606	- 21.5424
6.5458	- 17.4252
7.0699	- 14.0405
7.6359	- 11.0628
8.2472	- 8.3533
8.9075	- 5.8719
9.6206	- 3.6602
10.3909	- 1.8333
11.2228	- 0.5312
12.1212	0.1878
13.0917	0.4133
14.1398	0.3203
15.2718	68.0089m
16.4945	- 0.2411
17.8150	- 0.5528
19.2413	- 0.8428
20.7817	- 1.1018
22.4455	- 1.3285



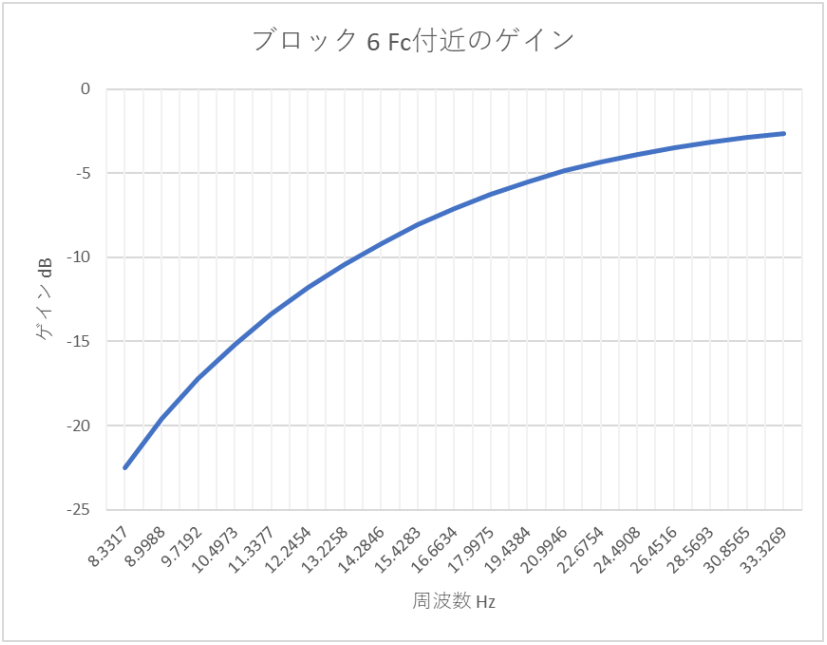
Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 5　612.7844K　142.1774G　0.1287　0　120.3481G Fc= 60.0116KHz Fc
ゲイン= - 7.0978 dB Q = 0.6153 GB 積= 3.6927MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
30.0058K	- 2.6578
32.4081K	- 2.8866
35.0027K	- 3.1600
37.8050K	- 3.4863
40.8316K	- 3.8745
44.1006K	- 4.3345
47.6313K	- 4.8766
51.4446K	- 5.5111
55.5633K	- 6.2483
60.0116K	- 7.0978
64.8161K	- 8.0689
70.0053K	- 9.1709
75.6099K	- 10.4145
81.6632K	- 11.8133
88.2012K	- 13.3874
95.2625K	- 15.1680
102.8892K	- 17.2067
111.1265K	- 19.5933
120.0233K	- 22.4971

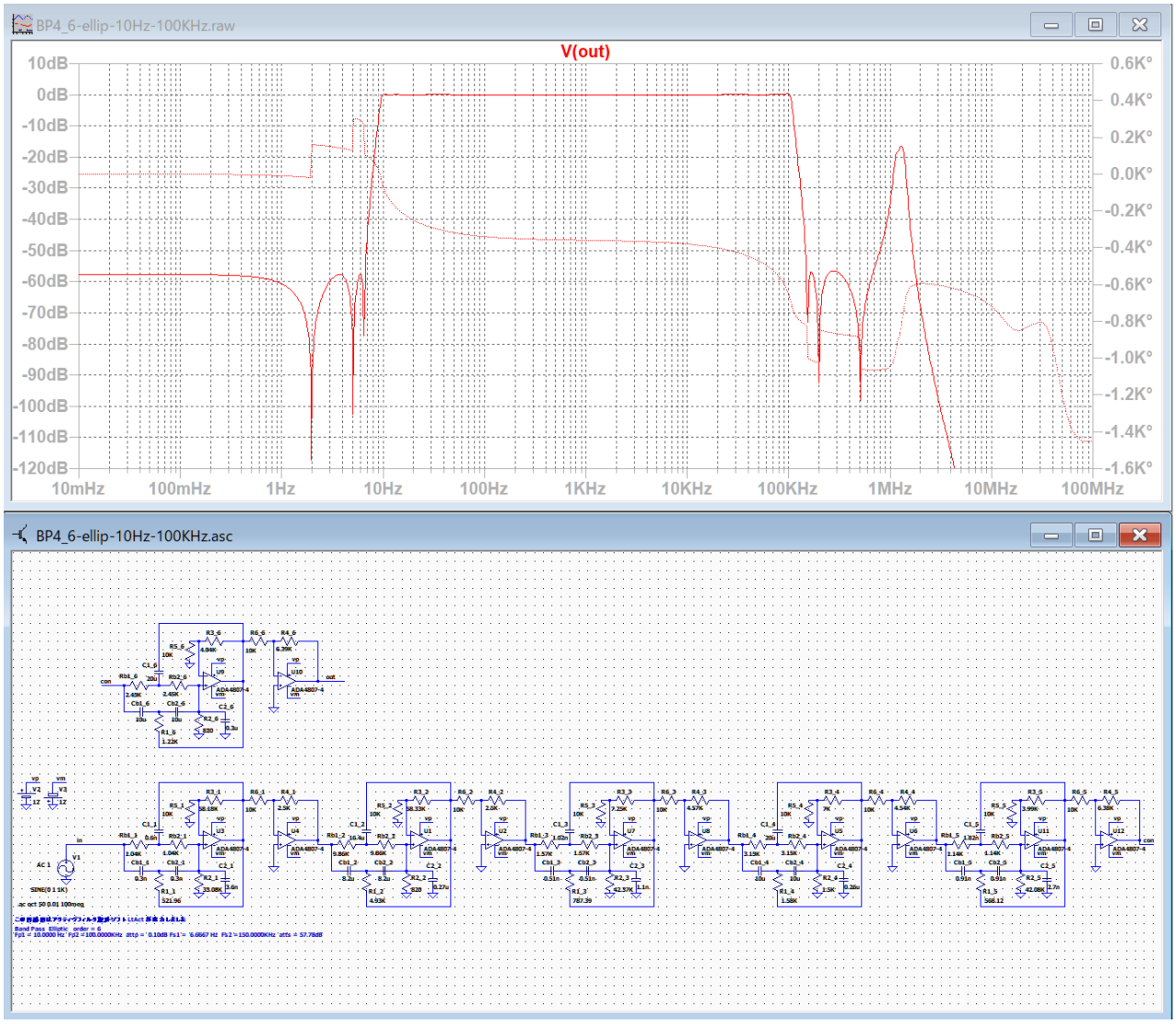


Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 6　170.1520　10.9620K　0.8465　0　1.4104K Fc= 16.6634 Hz Fc ゲイン= - 7.0978 dB Q = 0.6153 GB 積= 1.0254KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
8.3317	- 22.4971
8.9988	- 19.5933
9.7192	- 17.2067
10.4973	- 15.1680
11.3377	- 13.3874
12.2454	- 11.8133
13.2258	- 10.4145
14.2846	- 9.1709
15.4283	- 8.0689
16.6634	- 7.0978
17.9975	- 6.2483
19.4384	- 5.5111
20.9946	- 4.8766
22.6754	- 4.3345
24.4908	- 3.8745
26.4516	- 3.4863
28.5693	- 3.1600
30.8565	- 2.8866
33.3269	- 2.6578

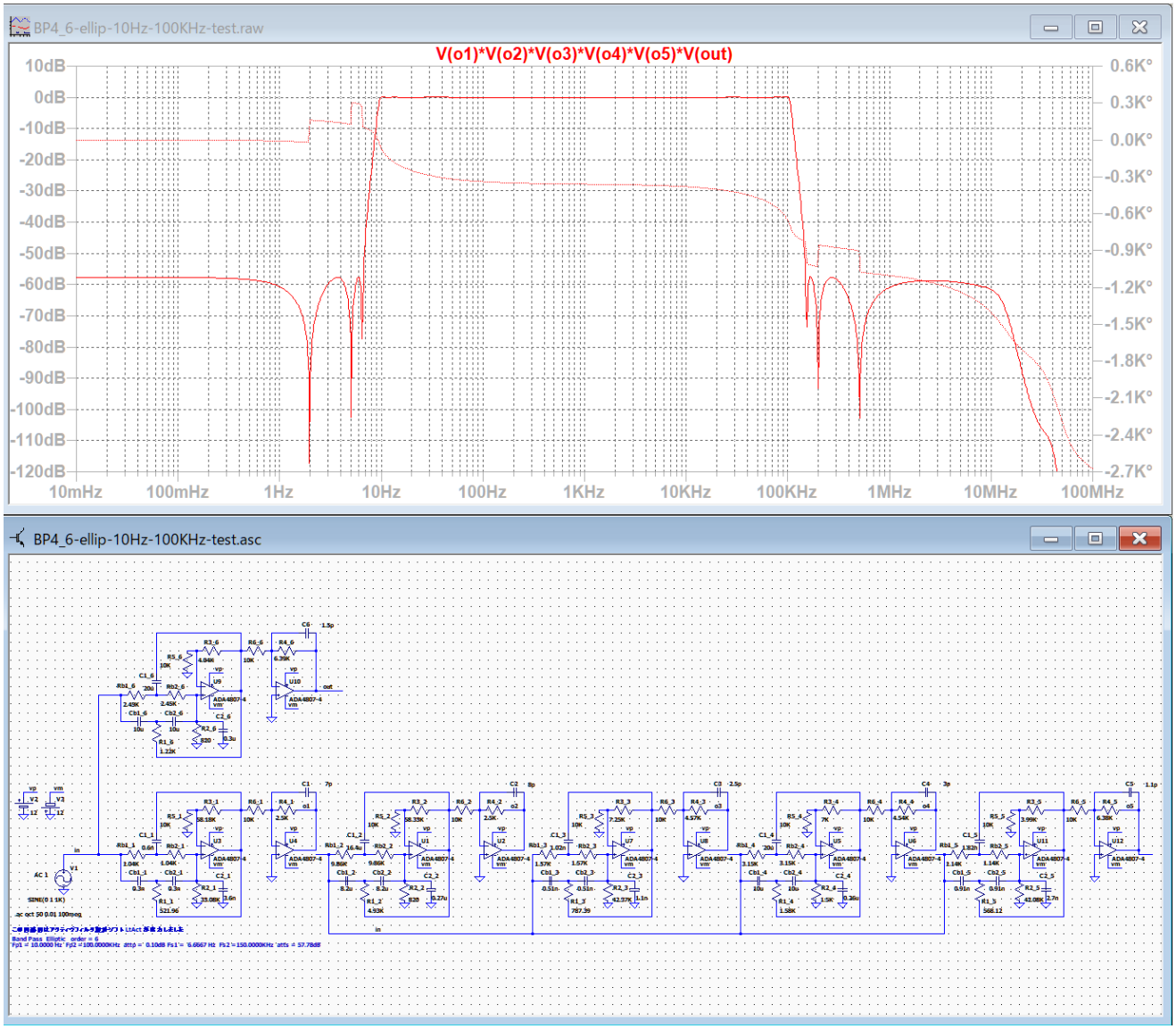


BP4_6-ellip-10Hz-100KHz.asc



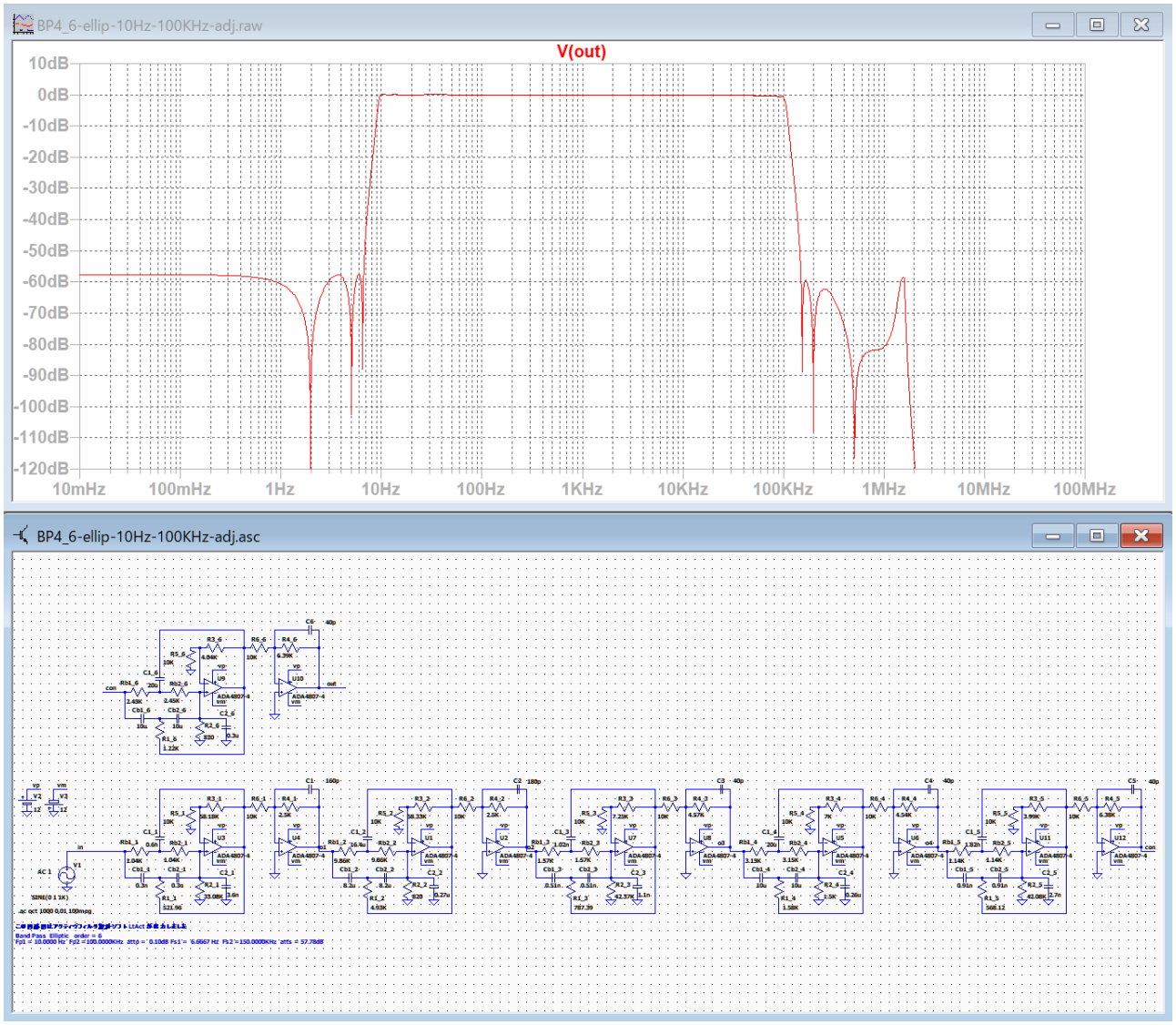
高域の遮断域にピークが発生している。

BP4_6-ellip-10Hz-100KHz-test.asc



各ブロックの出力が確認できるように配線を変更して、ピークの調整をした。
グラフは配線を元に戻した場合の出力を示している。

BP4_6-ellip-10Hz-100KHz-adj.asc



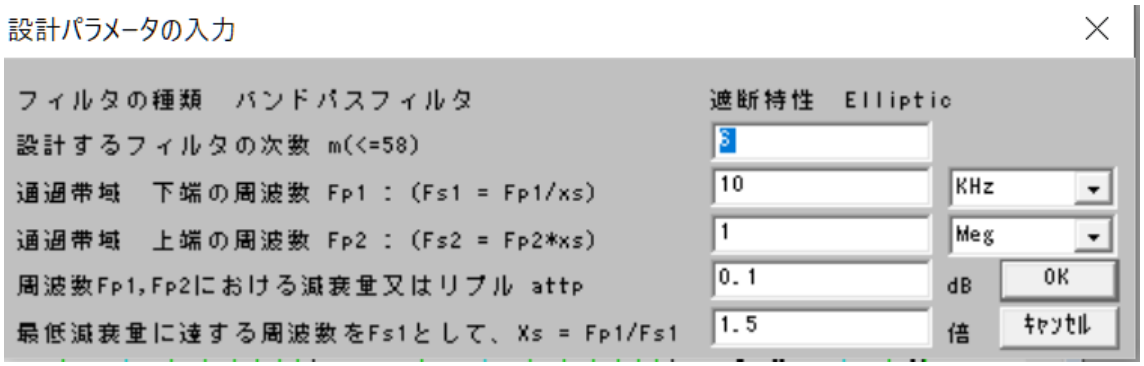
配線を元に戻して、再び高域のピークを調整した周波数特性

10Hz で 0.1dB, 100KHz で -0.6dB
最低減衰量は、6.67Hz 以下で -57.78dB、150KHz 以上では -59.5dB

周波数があまり高くなかったので、高域のピークを調整するだけで済んだ。

BP4_6-ellip-10KHz-1MHz

楕円関数・バンドパスフィルター 6 次 10KHz ... 1MHz



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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=6

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667KHz Fs2 = 1.5000MegHz atts = 58.17dB

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	996.5154K	43.2885T	67.6378m	0	68.6662T
	Fc= 1.0471MegHz Fc ゲイン= 20.0230 dB Q = 6.6024 GB 積=691.3672MegHz				
2	9.0881K	3.6004G	1.5862	0	243.5211Meg
	Fc= 9.5498KHz Fc ゲイン= 20.0230 dB Q = 6.6024 GB 積= 6.3052MegHz				
3	3.4152Meg	31.3051T	0.1473	0	22.7975T
	Fc= 890.4869KHz Fc ゲイン=- 0.4300 dB Q = 1.6383 GB 積=145.8883MegHz				
4	43.0685K	4.9786G	0.7282	0	733.4875Meg
	Fc= 11.2298KHz Fc ゲイン=- 0.4300 dB Q = 1.6383 GB 積= 1.8398MegHz				
5	5.8875Meg	13.6531T	0.1252	0	11.7041T
	Fc= 588.0790KHz Fc ゲイン=- 6.7550 dB Q = 0.6276 GB 積= 36.9080MegHz				
6	170.2394K	11.4153G	0.8573	0	1.4287G
	Fc= 17.0045KHz Fc ゲイン=- 6.7550 dB Q = 0.6276 GB 積= 1.0672MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BP4_6-ellip-10KHz-1MHz.asc 作成日時 Thu Sep 23 15:19:57 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=6 参照モード=0

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 6.6667KHz Fs2 = 1.5000MegHz atts = 58.17dB

1 (et2)「LP4-3-0」 Rb_1(2 個)= 313.8508 Cb_1(2 個)= 0.1000n R1_1 = 156.9254 C1_1 = 0.2000n 誤差=4.83 %

1 R2_1 = 9.5100K C2_1 = 1.2000n 誤差 = 4.31 %

1 R3_1 = 58.2103K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 3.80 %

1 R4_1 = 2.4790K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 3.19 %

2 (et2)「HP4-0-0」 Rb_2(2 個)= 15.8251K Cb_2(2 個)= 5.1000n R1_2 = 7.9126K C1_2 = 10.2000n 誤差=4.27 %

2 R2_2 = 1.3000K C2_2 = 0.2060n 誤差 = 2.90 %

2 R3_2 = 59.0859K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 4.93 %

2 R4_2 = 2.4815K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 3.28 %

3 (et2)「HP4-3-1」 Rb_3(2 個)= 803.8970 Cb_3(2 個)= 0.1000n R1_3 = 401.9485 C1_3 = 0.2000n 誤差=3.58 %

3 R2_3 = 139.2564K C2_3 = 0.2000n 誤差 = 6.65 %

3 R3_3 = 6.5970K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 3.08 %

3 R4_3 = 4.4384K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 3.12 %

4 (et2)「HP4-0-1」 Rb_4(2 個)= 31.5094K Cb_4(2 個)= 1.0000n R1_4 = 15.7547K C1_4 = 2.0000n 誤差=4.98 %

4 R2_4 = 15.0000K C2_4 = 26.1302p 誤差 = 3.33 %

4 R3_4 = 7.0638K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 3.73 %

4 R4_4 = 4.4908K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 4.25 %

5 (et2)「HP4-3-2」 Rb_5(2 個)= 1.0341K Cb_5(2 個)= 0.1000n R1_5 = 517.0431 C1_5 = 0.2000n 誤差=3.57 %

5 R2_5 = 94.0930K C2_5 = 0.3000n 誤差 = 3.29 %

5 R3_5 = 4.4006K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 2.29 %

5 R4_5 = 6.0837K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 1.91 %

6 (et2)「HP4-0-2」 Rb_6(2 個)= 24.4953K Cb_6(2 個)= 1.0000n R1_6 = 12.2477K C1_6 = 2.0000n 誤差=2.86 %

6 R2_6 = 8.2000K C2_6 = 9.1267p 誤差 = 0.29 %

6 R3_6 = 4.3663K R5_6 = 10.0000K 誤差 = 1.52 %

6 R4_6 = 6.0760K R6_6 = 10.0000K 誤差 = 2.04 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=6
Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 6.6667KHz Fs2 = 1.5000MegHz atts = 58.17dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4			
Blk No. 1	996.5154K	43.2885T	67.6378m	0	68.6662T	Fc=	1.0471MegHz	Fc

ゲイン= 20.0230 dB Q = 6.6024 GB 積=691.3672MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
523.5721K	6.3690
565.4892K	6.8360
610.7621K	7.4150
659.6595K	8.1433
712.4717K	9.0767
769.5120K	10.3033
831.1189K	11.9702
897.6581K	14.3280
969.5243K	17.6585
1.0471Meg	20.0230
1.1310Meg	16.2009
1.2215Meg	11.4095
1.3193Meg	7.5842
1.4249Meg	4.4396
1.5390Meg	1.7210
1.6622Meg	- 0.7232
1.7953Meg	- 2.9866
1.9390Meg	- 5.1316
2.0943Meg	- 7.2034

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 2	9.0881K	3.6004G	1.5862	0	243.5211Meg

Fc= 9.5498KHz Fc ゲイン= 20.0230 dB Q = 6.6024 GB 積= 6.3052MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
4.7749K	- 7.2034
5.1572K	- 5.1316
5.5701K	- 2.9866
6.0160K	- 0.7232
6.4976K	1.7210
7.0178K	4.4396
7.5797K	7.5842
8.1865K	11.4095
8.8419K	16.2009
9.5498K	20.0230
10.3143K	17.6585
11.1401K	14.3280
12.0320K	11.9702
12.9953K	10.3033
14.0357K	9.0767
15.1593K	8.1433
16.3730K	7.4150
17.6838K	6.8360
19.0996K	6.3690

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 3	3.4152Meg	31.3051T	0.1473	0	22.7975T

Fc= 890.4869KHz Fc ゲイン=- 0.4300 dB Q = 1.6383 GB 積=145.8883MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
445.2435K	- 1.3720
480.8895K	- 1.1392
519.3894K	- 0.8720
560.9716K	- 0.5712
605.8828K	- 0.2449
654.3897K	83.4098m
706.7799K	0.3601
763.3645K	0.4807
824.4793K	0.2792
890.4869K	- 0.4300
961.7791K	- 1.7424
1.0388Meg	- 3.5939
1.1219Meg	- 5.8339
1.2118Meg	- 8.3405
1.3088Meg	- 11.0703
1.4136Meg	- 14.0640
1.5267Meg	- 17.4620
1.6490Meg	- 21.5917
1.7810Meg	- 27.3525

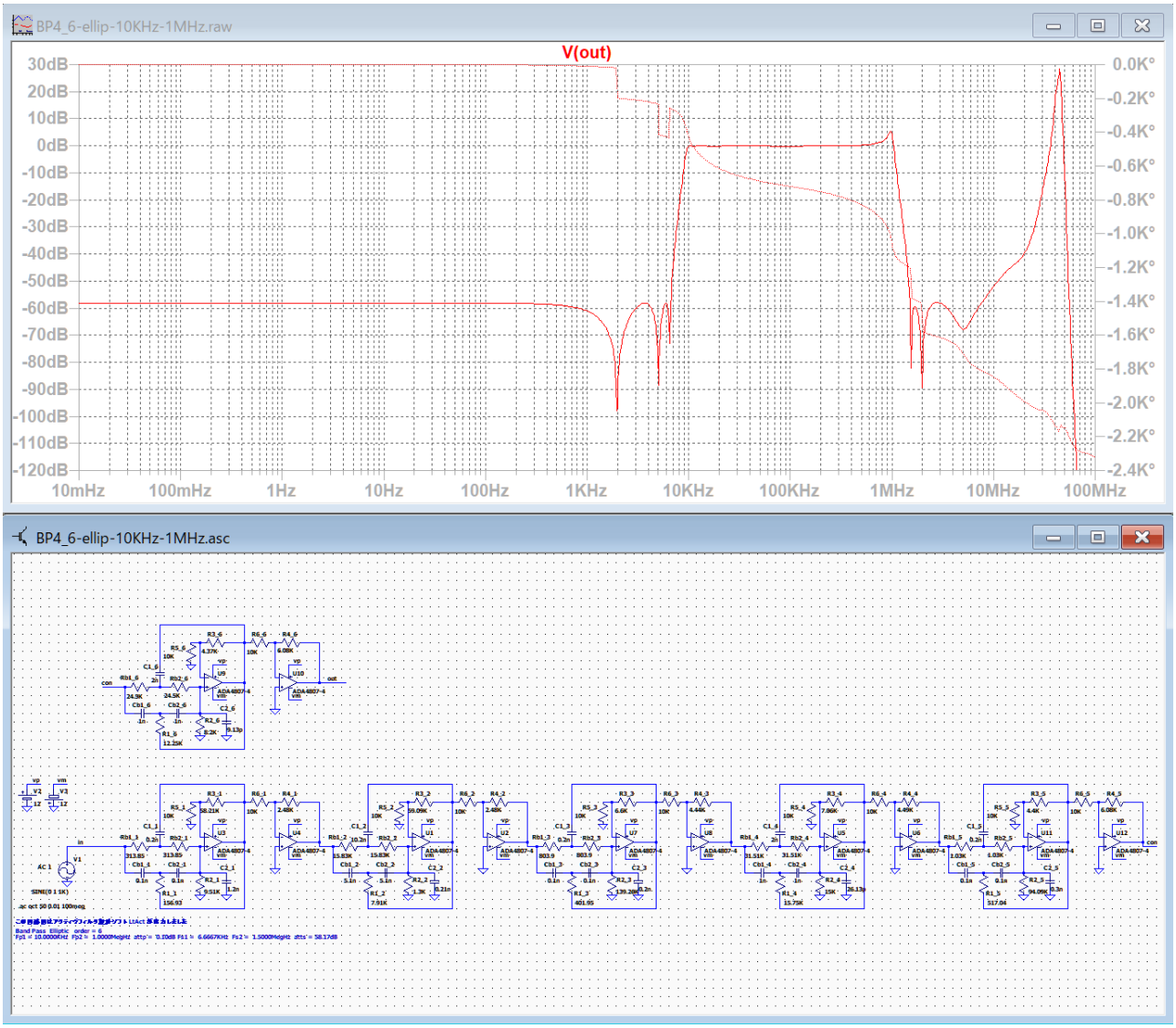
Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 4 43.0685K 4.9786G 0.7282 0 733.4875Meg Fc= 11.2298KHz Fc
ゲイン=- 0.4300 dB Q = 1.6383 GB 積= 1.8398MegHz
周波数 Hz ゲイン dB
5.6149K - 27.3525
6.0644K - 21.5917
6.5500K - 17.4620
7.0743K - 14.0640
7.6407K - 11.0703
8.2524K - 8.3405
8.9131K - 5.8339
9.6267K - 3.5939
10.3974K - 1.7424
11.2298K - 0.4300
12.1289K 0.2792
13.0999K 0.4807
14.1487K 0.3601
15.2814K 83.4098m
16.5048K - 0.2449
17.8262K - 0.5712
19.2534K - 0.8720
20.7948K - 1.1392
22.4596K - 1.3720

Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 5 5.8875Meg 13.6531T 0.1252 0 11.7041T Fc= 588.0790KHz Fc ゲイン=- 6.7550 dB Q = 0.6276 GB 積= 36.9080MegHz
周波数 Hz ゲイン dB
294.0395K - 2.4425
317.5802K - 2.6576
343.0056K - 2.9166
370.4666K - 3.2276
400.1260K - 3.6003
432.1600K - 4.0449
466.7586K - 4.5721
504.1272K - 5.1926
544.4875K - 5.9171
588.0790K - 6.7550
635.1605K - 7.7153
686.0113K - 8.8065
740.9331K - 10.0378
800.2520K - 11.4209
864.3200K - 12.9730
933.5173K - 14.7208
1.0083Meg - 16.7091
1.0890Meg - 19.0144
1.1762Meg - 21.7786

Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 6 170.2394K 11.4153G 0.8573 0 1.4287G Fc= 17.0045KHz Fc ゲイン= - 6.7550 dB Q = 0.6276 GB 積= 1.0672MegHz

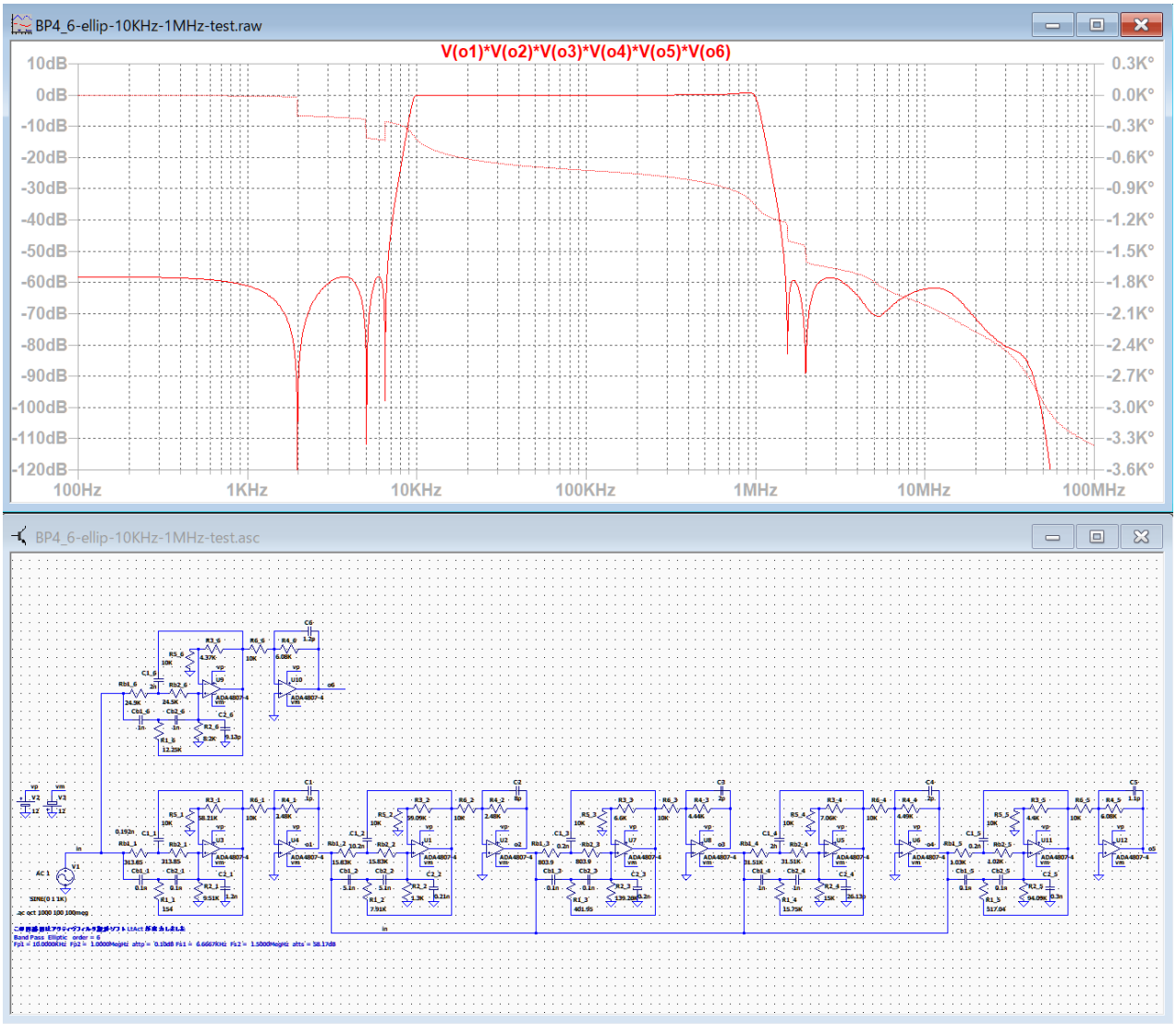
周波数 Hz	ゲイン dB
8.5023K	- 21.7786
9.1830K	- 19.0144
9.9181K	- 16.7091
10.7122K	- 14.7208
11.5698K	- 12.9730
12.4961K	- 11.4209
13.4965K	- 10.0378
14.5770K	- 8.8065
15.7441K	- 7.7153
17.0045K	- 6.7550
18.3659K	- 5.9171
19.8363K	- 5.1926
21.4244K	- 4.5721
23.1396K	- 4.0449
24.9921K	- 3.6003
26.9930K	- 3.2276
29.1541K	- 2.9166
31.4881K	- 2.6576
34.0090K	- 2.4425

BP4_6-ellip-10KHz-1MHz.asc



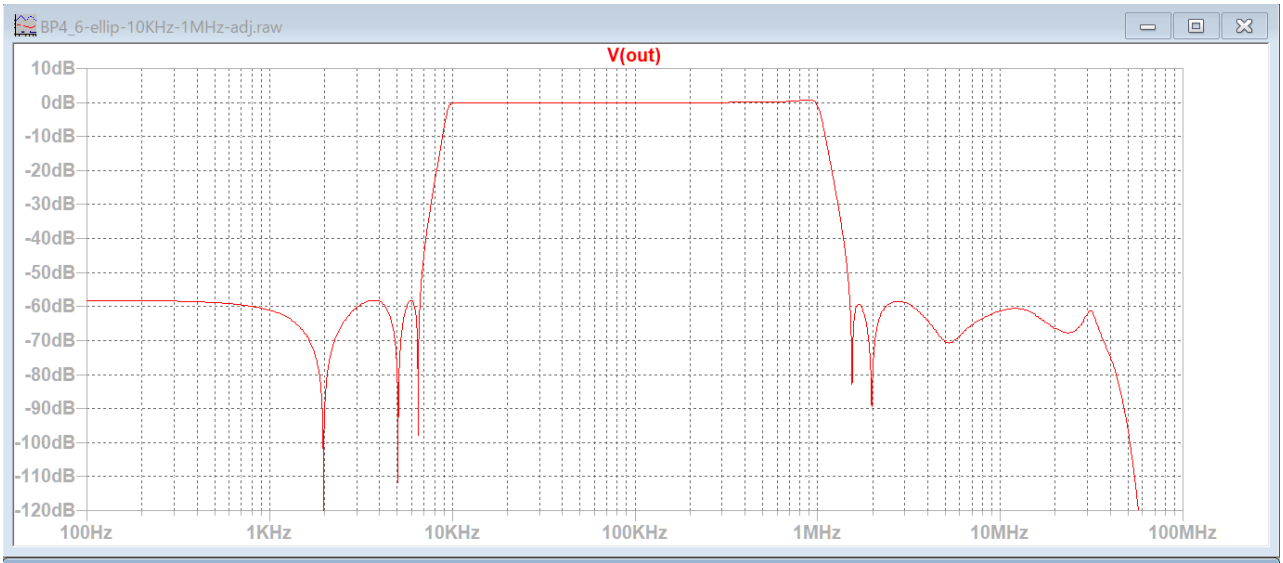
1MHz 付近および高域の遮断域にピークが発生している。

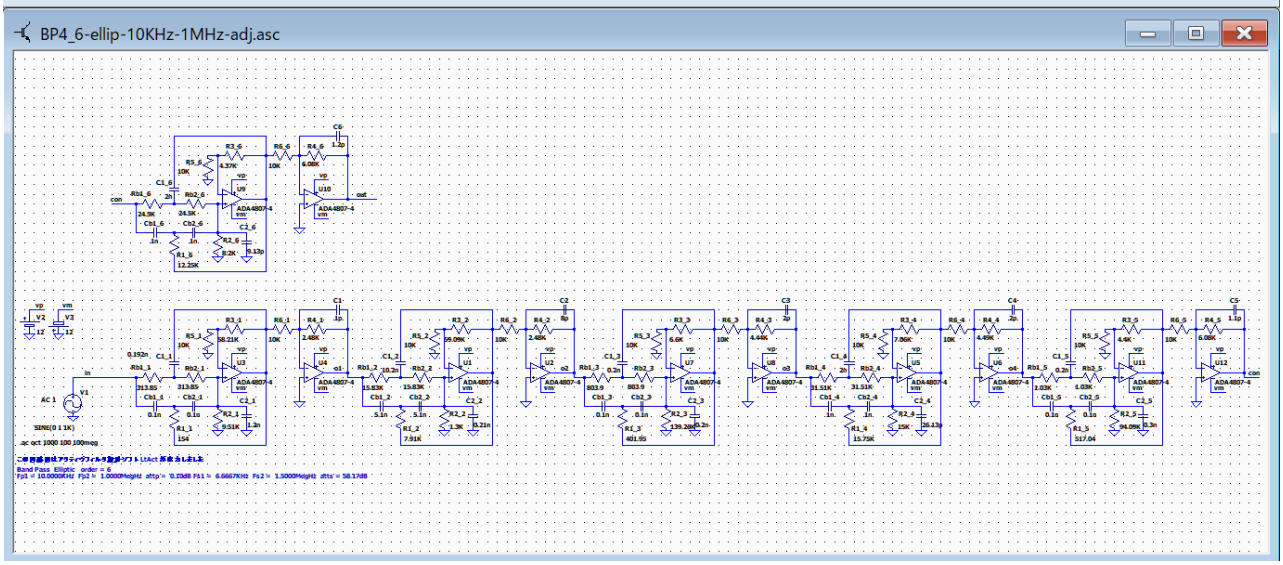
BP4_6-ellip-10KHz-1MHz-test.asc



各ブロックの出力が確認できるように配線を変更して、ピークの調整をした。
グラフは配線を元に戻した場合の出力を示している。

BP4_6-ellip-10KHz-1MHz-adj.asc





配線を元に戻して、再び高域のピークを調整した周波数特性

10KHz で -0.07dB、1MHz で -0.84dB
最低減衰量は、6.67KHz 以下では -58.2dB、1.5MHz 以上では -59dB

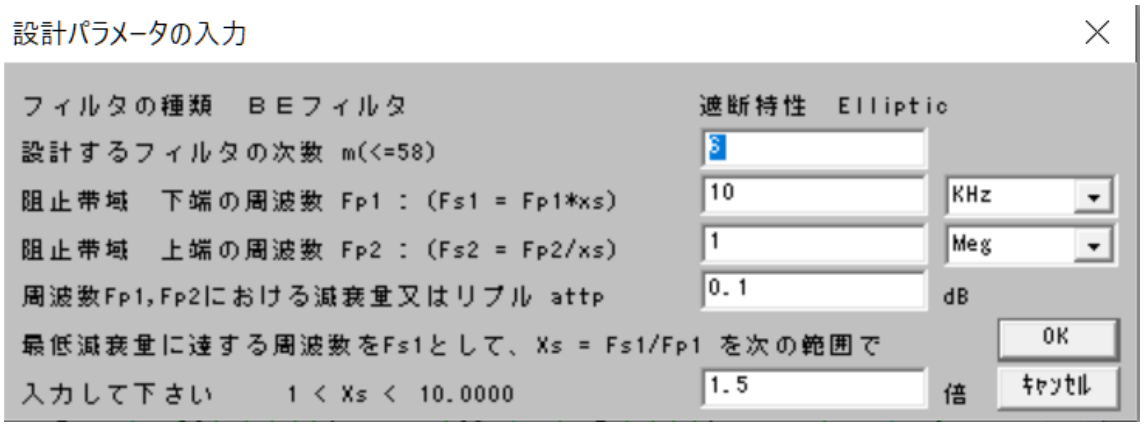
素子値の調整
R1_1 = 156.9254 → 154　C1_1 =　0.2000n → 0.192n

高域のピーク調整
C1～C6 追加

BP1_3-chev-800-1p25KHz　　BP4_6-ellip-10KHz-1MHz

BE2_6-ellip-10KHz-1MHz

楕円関数・バンドイジェクト 6 次 10KHz ... 1MHz



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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=6

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 =666.6667KHz atts = 58.67dB

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	911.1460K	35.9762T	6.5191	0	14.1189T
	Fc= 954.6147KHz Fc ゲイン= 32.1129 dB Q = 6.5829 GB 積=628.4172MegHz				
2	9.9984K	4.3322G	0.3925	0	28.2418G
	Fc= 10.4754KHz Fc ゲイン= 32.1129 dB Q = 6.5829 GB 積= 6.8959MegHz				
3	4.3496Meg	49.5603T	1.6065	0	16.6097T
	Fc= 1.1204MegHz Fc ゲイン= 6.2674 dB Q = 1.6185 GB 積=181.3437MegHz				
4	34.6479K	3.1447G	0.3351	0	5.0519G
	Fc= 8.9251KHz Fc ゲイン= 6.2674 dB Q = 1.6185 GB 積= 1.4445MegHz				
5	16.8858Meg	108.2466T	2.1573	0	36.0112T
	Fc= 1.6559MegHz Fc ゲイン= 1.0171 dB Q = 0.6161 GB 積=102.0265MegHz				
6	61.5839K	1.4398G	0.3327	0	3.1061G
	Fc= 6.0391KHz Fc ゲイン= 1.0171 dB Q = 0.6161 GB 積=372.0987KHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BE2_6-ellip-10KHz-1MHz.asc 作成日時 Thu Sep 23 20:27:15 2021

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=6 参照モード=0

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 =666.6667KHz atts = 58.67dB

1 (et2)「HP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 4.2469K Cb_1(2 個)= 0.1600n R1_1 = 2.1235K C1_1 = 0.3200n 誤差=4.93 %

1 R2_1 = 430.0000 C2_1 = 19.9471p 誤差 = 0.27 %

1 R3_1 = 48.0723K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 2.23 %

1 R4_1 = 14.0249K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 6.95 %

2 (et2)「LP4-1-0」 Rb_2(2 個)= 2.4852K Cb_2(2 個)= 1.5000n R1_2 = 1.2426K C1_2 = 3.0000n 誤差=4.85 %

2 R2_2 = 212.3868K C2_2 = 12.0000n 誤差 = 3.58 %

2 R3_2 = 38.4745K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.37 %

2 R4_2 = 13.7633K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 5.55 %

3 (et2)「HP4-2-1」 Rb_3(2 個)= 3.1100K Cb_3(2 個)= 0.1000n R1_3 = 1.5550K C1_3 = 0.2000n 誤差=4.57 %

3 R2_3 = 1.3000K C2_3 = 10.3390p 誤差 = 3.28 %

3 R3_3 = 8.3972K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 2.35 %

3 R4_3 = 10.5377K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 4.39 %

4 (et2)「HP4-1-1」 Rb_4(2 個)= 81.4492K Cb_4(2 個)= 0.1000n R1_4 = 40.7246K C1_4 = 0.2000n 誤差=4.29 %

4 R2_4 = 121.8788K C2_4 = 0.5100n 誤差 = 1.54 %

4 R3_4 = 20.9397K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 4.49 %

4 R4_4 = 12.1320K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 1.09 %

5 (et2)「HP4-2-2」 Rb_5(2 個)= 2.4476K Cb_5(2 個)= 0.1000n R1_5 = 1.2238K C1_5 = 0.2000n 誤差=2.75 %

5 R2_5 = 620.0000 C2_5 = 18.5885p 誤差 = 3.17 %

5 R3_5 = 6.4943K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 4.53 %

5 R4_5 = 17.9412K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 0.33 %

6 (et2)「HP4-1-2」 Rb_6(2 個)= 103.4919K Cb_6(2 個)= 0.1000n R1_6 = 51.7459K C1_6 = 0.2000n 誤差=3.67 %

6 R2_6 = 284.6420K C2_6 = 0.5100n 誤差 = 5.14 %

6 R3_6 = 9.4723K R5_6 = 10.0000K 誤差 = 3.93 %

6 R4_6 = 19.1348K R6_6 = 10.0000K 誤差 = 4.52 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Elliptic 次数=6
Fp1 = 10.0000KHz Fp2 = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 15.0000KHz Fs2 =666.6667KHz atts = 58.67dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	911.1460K	35.9762T	6.5191	0	14.1189T

Fc= 954.6147KHz Fc ゲイン= 32.1129 dB Q = 6.5829 GB 積=628.4172MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
477.3074K	4.3041
515.5205K	6.5092
556.7929K	8.7609
601.3696K	11.1109
649.5151K	13.6258
701.5151K	16.4024
757.6782K	19.5945
818.3377K	23.4577
883.8536K	28.2754
954.6147K	32.1129
1.0310Meg	29.7855
1.1136Meg	26.4829
1.2027Meg	24.1448
1.2990Meg	22.4935
1.4030Meg	21.2798
1.5154Meg	20.3573
1.6367Meg	19.6381
1.7677Meg	19.0669
1.9092Meg	18.6065

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 2	9.9984K	4.3322G	0.3925	0	28.2418G

Fc= 10.4754KHz Fc ゲイン= 32.1129 dB Q = 6.5829 GB 積= 6.8959MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
5.2377K	18.6065
5.6570K	19.0669
6.1099K	19.6381
6.5991K	20.3573
7.1274K	21.2798
7.6981K	22.4935
8.3144K	24.1448
8.9800K	26.4829
9.6989K	29.7855
10.4754K	32.1129
11.3141K	28.2754
12.2199K	23.4577
13.1982K	19.5945
14.2549K	16.4024
15.3961K	13.6258
16.6287K	11.1109
17.9600K	8.7609
19.3979K	6.5092
20.9509K	4.3041

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 3	4.3496Meg	49.5603T	1.6065	0	16.6097T

Fc= 1.1204MegHz Fc ゲイン= 6.2674 dB Q = 1.6185 GB 積=181.3437MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
560.2183K	- 21.7290
605.0692K	- 15.3753
653.5109K	- 11.0212
705.8308K	- 7.5094
762.3394K	- 4.4512
823.3721K	- 1.6842
889.2911K	0.8419
960.4875K	3.0903
1.0374Meg	4.9461
1.1204Meg	6.2674
1.2101Meg	6.9948
1.3070Meg	7.2210
1.4117Meg	7.1254
1.5247Meg	6.8703
1.6467Meg	6.5592
1.7786Meg	6.2463
1.9210Meg	5.9559
2.0748Meg	5.6968
2.2409Meg	5.4703

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 4	34.6479K	3.1447G	0.3351	0	5.0519G

Fc= 8.9251KHz Fc ゲイン= 6.2674 dB Q = 1.6185 GB 積= 1.4445MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
4.4625K	5.4703
4.8198K	5.6968
5.2057K	5.9559
5.6225K	6.2463
6.0726K	6.5592
6.5588K	6.8703
7.0839K	7.1254
7.6510K	7.2210
8.2635K	6.9948
8.9251K	6.2674
9.6396K	4.9461
10.4114K	3.0903
11.2449K	0.8419
12.1452K	- 1.6842
13.1175K	- 4.4512
14.1677K	- 7.5094
15.3020K	- 11.0212
16.5270K	- 15.3753
17.8502K	- 21.7290

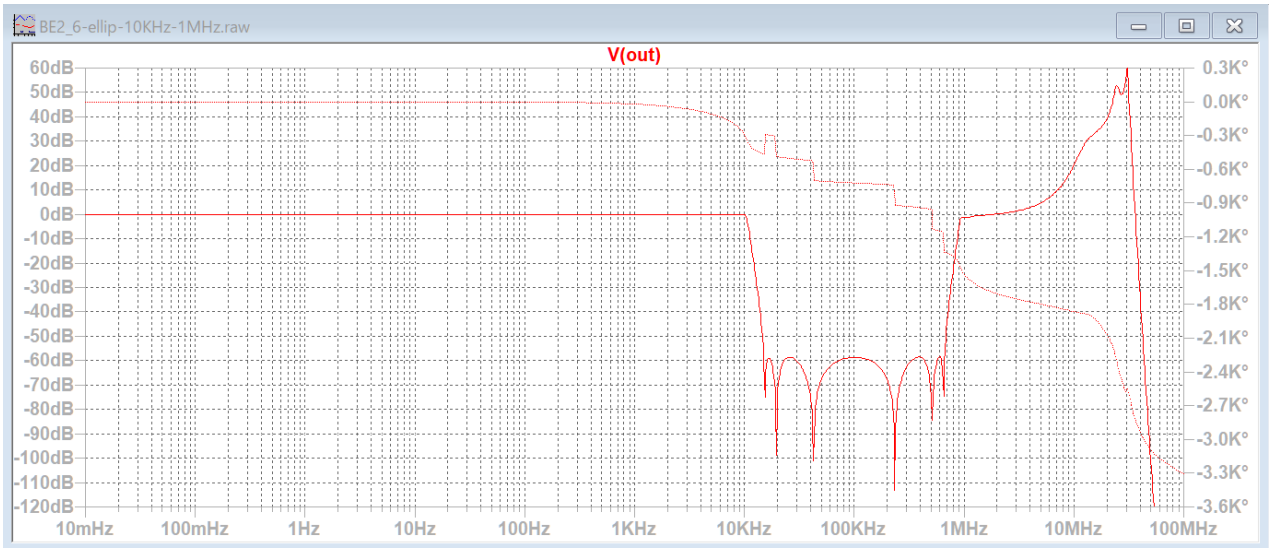
```
              Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  5  16.8858Meg   108.2466T    2.1573         0     36.0112T Fc=  1.6559MegHz  Fc
ゲイン=   1.0171 dB  Q =  0.6161  GB 積=102.0265MegHz
   周波数 Hz    ゲイン dB
    827.9373K   - 14.5629
    894.2217K   - 11.5988
    965.8129K   -  9.1755
    1.0431Meg   -  7.1122
    1.1266Meg   -  5.3140
    1.2168Meg   -  3.7269
    1.3143Meg   -  2.3181
    1.4195Meg   -  1.0668
    1.5331Meg    41.2588m
    1.6559Meg     1.0171
    1.7884Meg     1.8702
    1.9316Meg     2.6101
    2.0863Meg     3.2467
    2.2533Meg     3.7902
    2.4337Meg     4.2512
    2.6285Meg     4.6401
    2.8390Meg     4.9668
    3.0663Meg     5.2405
    3.3117Meg     5.4694
```

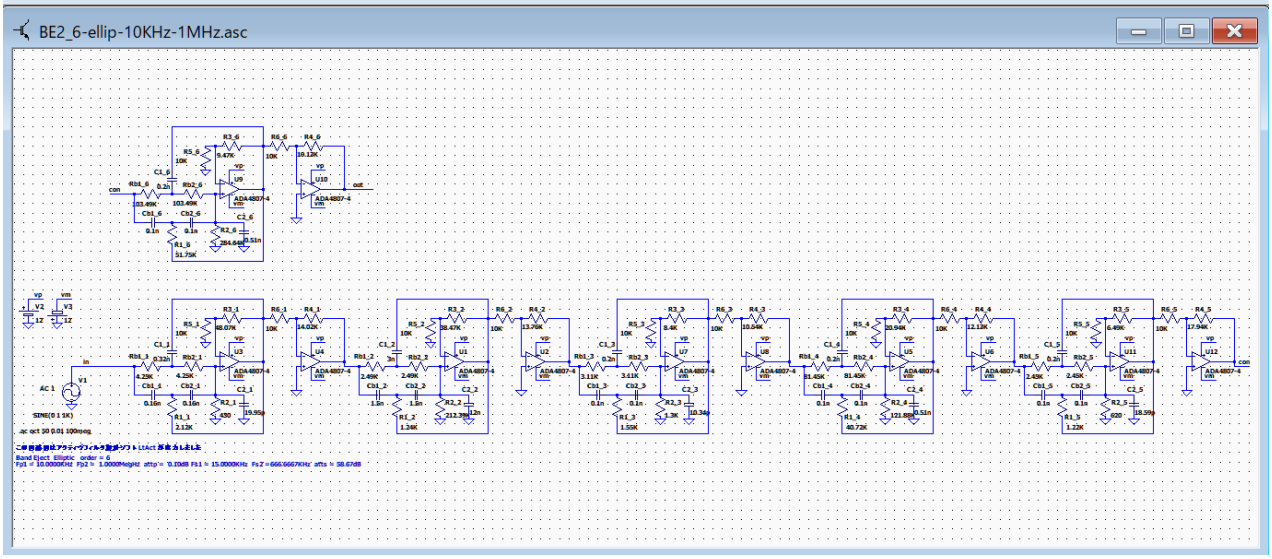
Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 6 61.5839K 1.4398G 0.3327 0 3.1061G Fc= 6.0391KHz Fc ゲイン= 1.0171 dB Q = 0.6161 GB 積=372.0987KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
3.0196K	5.4694
3.2613K	5.2405
3.5224K	4.9668
3.8044K	4.6401
4.1090K	4.2512
4.4379K	3.7902
4.7932K	3.2467
5.1770K	2.6101
5.5915K	1.8702
6.0391K	1.0171
6.5226K	41.2587m
7.0448K	- 1.0668
7.6088K	- 2.3181
8.2180K	- 3.7269
8.8759K	- 5.3140
9.5865K	- 7.1122
10.3540K	- 9.1755
11.1829K	- 11.5988
12.0782K	- 14.5629

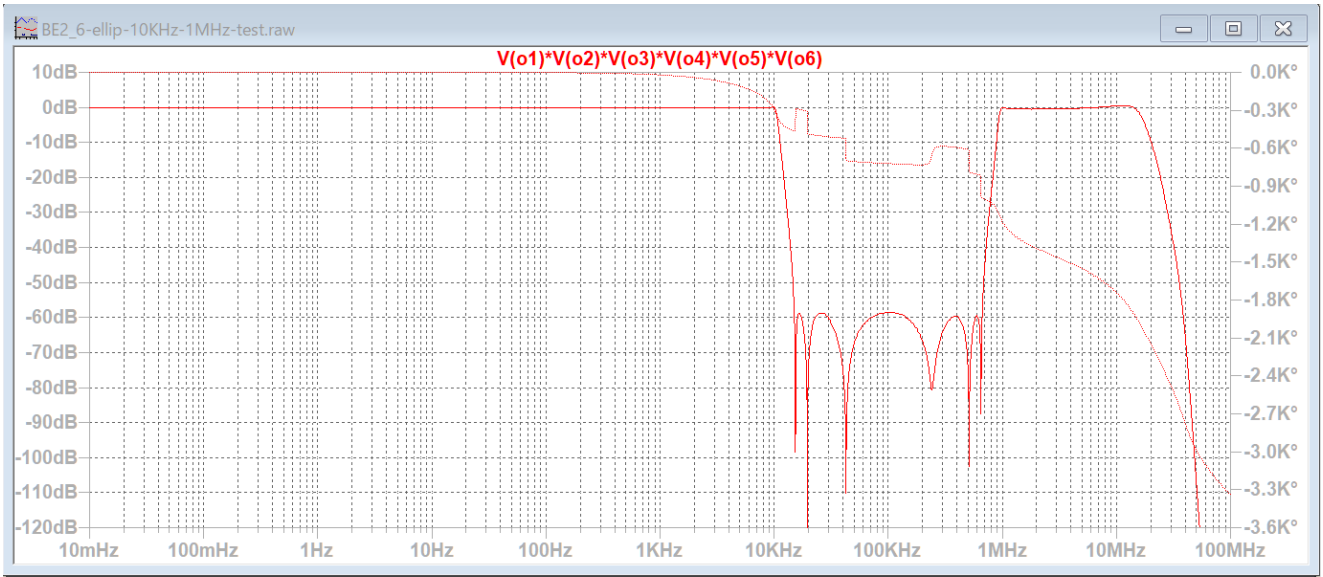
BE2_6-ellip-10KHz-1MHz.asc

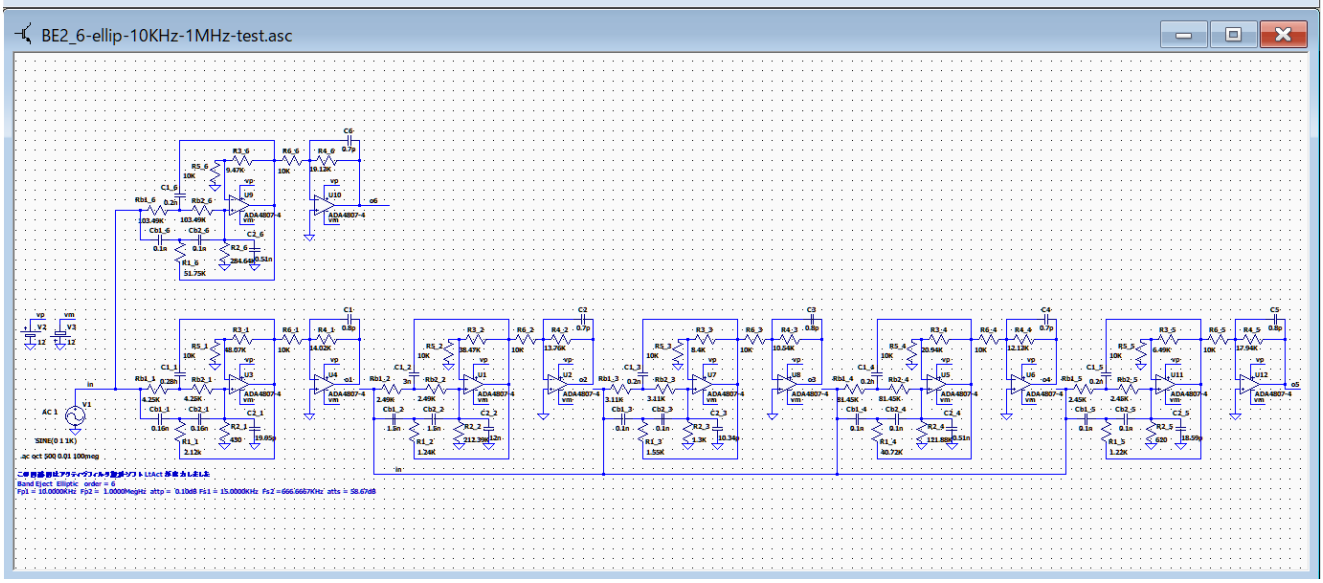




高域の通過域にピークが発生している。

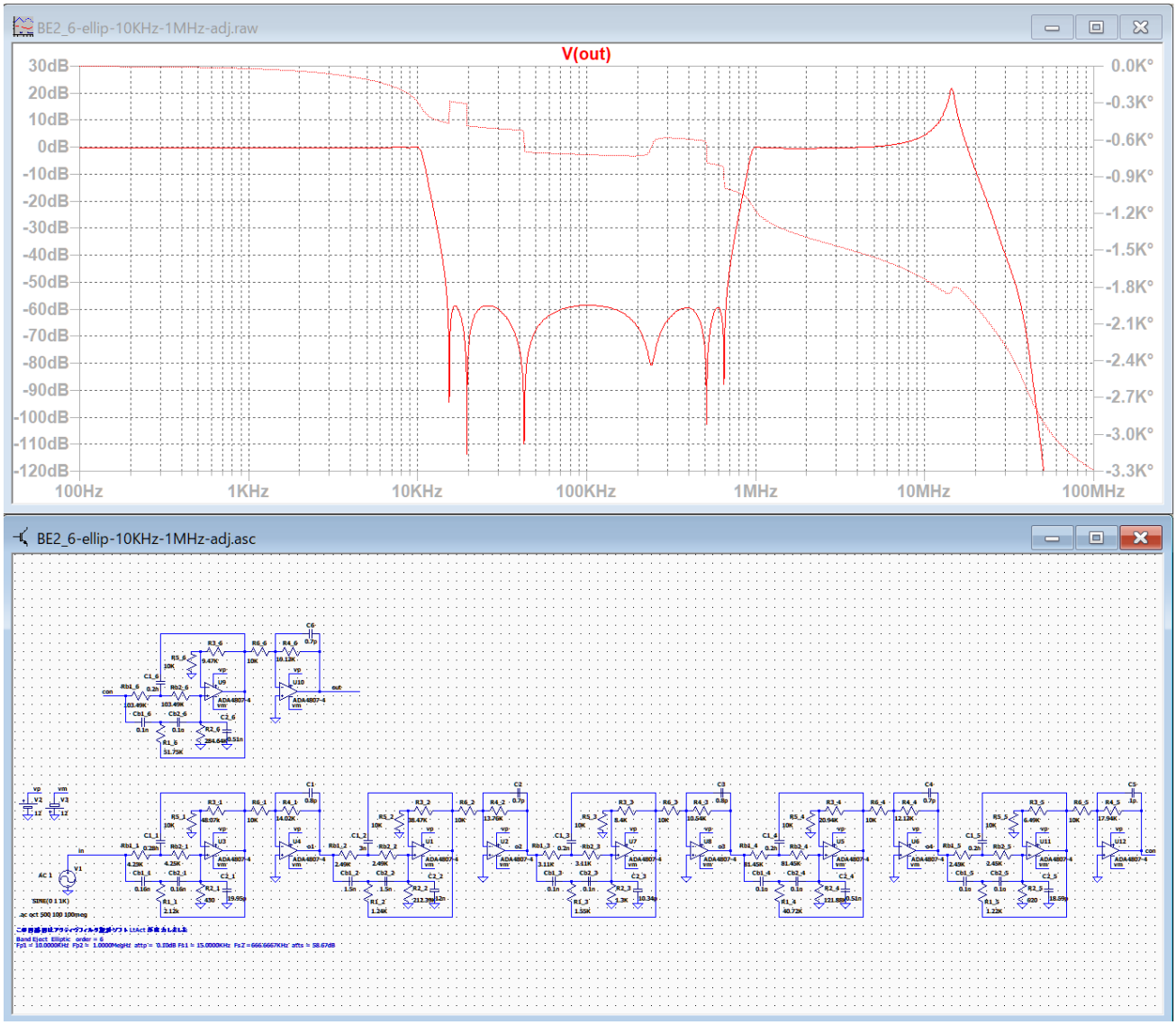
BE2_6-ellip-10KHz-1MHz-test.asc





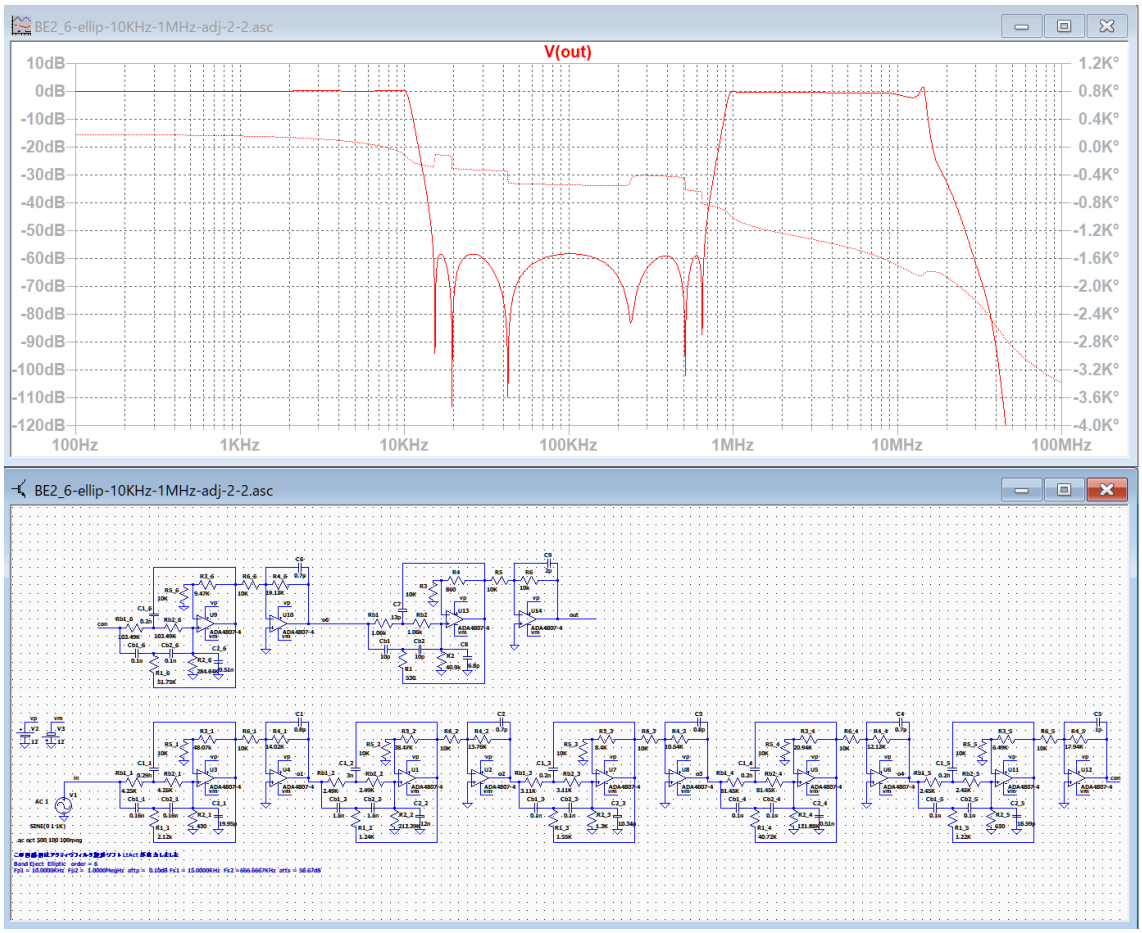
各ブロックの出力が確認できるように配線を変更して、ピークの調整をした。
グラフは配線を元に戻した場合の出力を示している。

BE2_6-ellip-10KHz-1MHz-adj.asc



配線を元に戻したら、再び高域にピークが発生した。

BE2_6-ellip-10KHz-1MHz-adj-2-2.asc



最終段に 2 次楕円関数・ローパスフィルタを追加した。ディップの位置を調整して高域のピークを打ち消し、高域の通過域を出来るだけ広げてみた。

10KHz で 0.25dB、1MHz で 0.27dB、高域の通過域は 15MHz で -4.6dB
最低減衰量は、15KHz から 666KHz までの範囲で -58.3dB

素子値の調整
C1_1 = 0.3200n → 0.29n

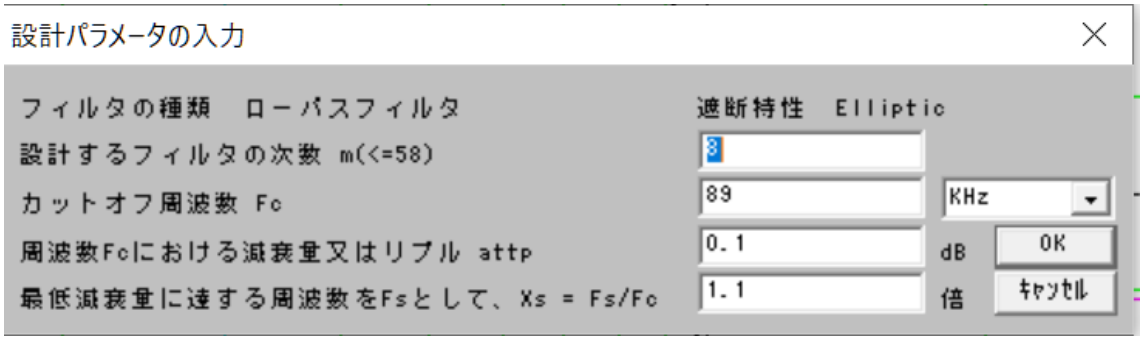
ver.3.00 以降の実験 1 終わり

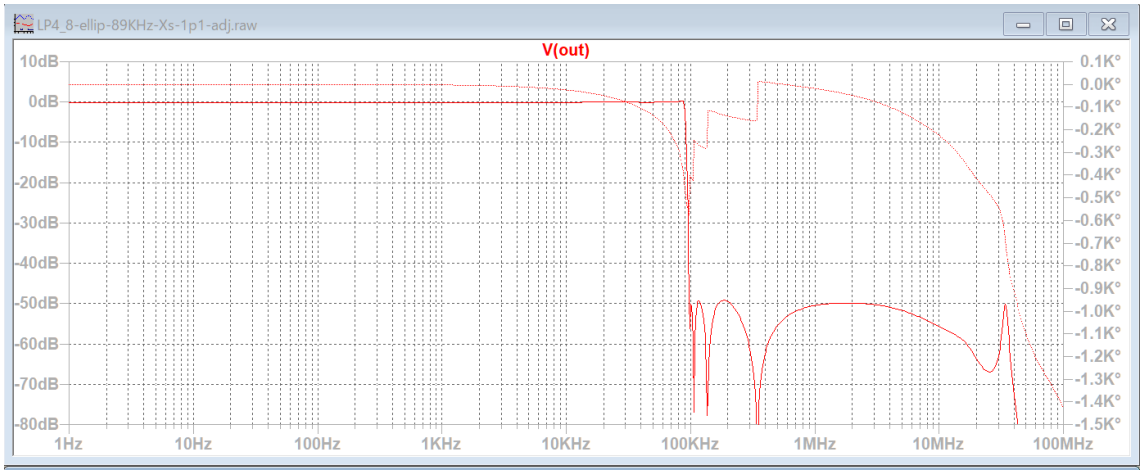
ver.3.00 以降の実験 2

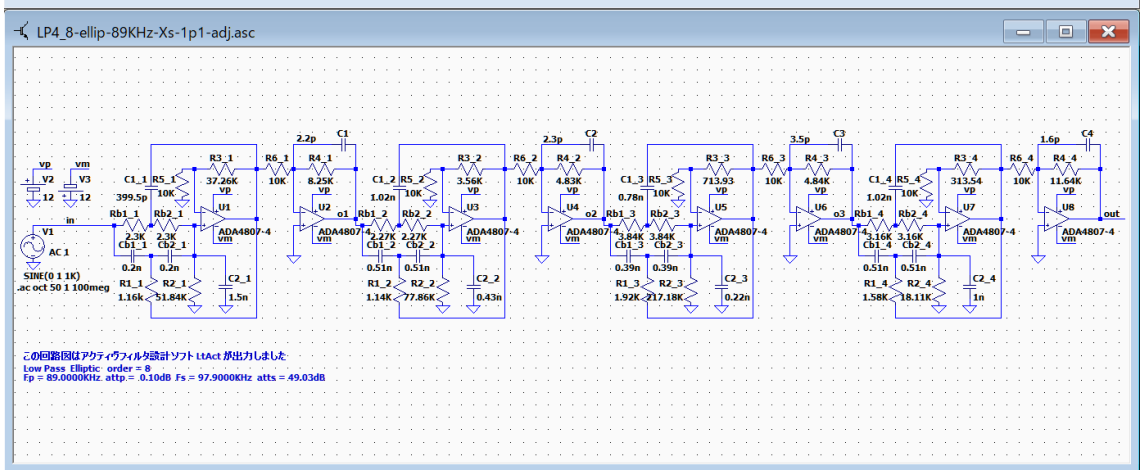
実験データは「OP のテストデータ」→「ver.3.00 以降の実験 **2**」に格納しました。

LP4_8-ellip-89KHz-Xs-1p1

楕円関数・ローパスフィルター 8 次 89KHz Xs = 1.1







1Hz～80KHz のゲインは±0.1dB 以内、80KHz～89KHz のゲインは±0.2dB 以内

96KHz で -31.5dB、98KHz 以上における最低減衰量は -49.2dB

調整した素子値
R1_1 = 1.15K → 1.16K　　C1_1 = 400p → 399.5p

阻止域のピーク防止
C1～C4 を追加

R1_1 を大きくすると、カットオフ周波数付近のゲインが増加して、カットオフ周波数を少し上方に移動することが出来る。

C1_1 を微調整すると、カットオフ周波数付近のゲインを調整できる。

++++++++++ 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=8
Fp = 89.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 97.9000KHz atts = 49.03dB
　周波数 98KHz で最低減衰量になる。
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	24.8344K	321.4437G	0.2438	0	1.1518T
	Fc= 90.2345KHz Fc ゲイン= 37.6437 dB Q = 22.8297 GB 積=206.0023MegHz				
2	103.2739K	293.2792G	0.2438	0	181.5064G
	Fc= 86.1908KHz Fc ゲイン= 5.8748 dB Q = 5.2438 GB 積= 45.1972MegHz				
3	275.5932K	217.1038G	0.2438	0	108.8166G
	Fc= 74.1573KHz Fc ゲイン= - 7.2271 dB Q = 1.6907 GB 積= 12.5377MegHz				
4	522.0309K	105.3098G	0.2438	0	93.6568G
	Fc= 51.6481KHz Fc ゲイン= - 7.9312 dB Q = 0.6216 GB 積= 3.2106MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_8-ellip-89KHz-Xs-1p1.asc 作成日時 Fri Feb 04 20:48:26 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8 参照モード=0

Fp = 89.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 97.9000KHz atts = 49.03dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 2.3005K Cb_1(2 個)= 0.2000n R1_1 = 1.1502K C1_1 = 0.4000n 誤差=6.61 %

1 R2_1 = 51.8407K C2_1 = 1.5000n 誤差 = 1.62 %

1 R3_1 = 37.2648K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 3.39 %

1 R4_1 = 8.2543K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 0.66 %

2 (et2)「LP4-2-0」 Rb_2(2 個)= 2.2727K Cb_2(2 個)= 0.5100n R1_2 = 1.1363K C1_2 = 1.0200n 誤差=4.93 %

2 R2_2 = 77.8628K C2_2 = 0.4300n 誤差 = 3.68 %

2 R3_2 = 3.5578K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.19 %

2 R4_2 = 4.8313K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 2.72 %

3 (et2)「LP4-2-1」 Rb_3(2 個)= 3.8383K Cb_3(2 個)= 0.3900n R1_3 = 1.9191K C1_3 = 0.7800n 誤差=5.93 %

3 R2_3 = 217.1795K C2_3 = 0.2200n 誤差 = 1.30 %

3 R3_3 = 713.9308 R5_3 = 10.0000K 誤差 = 4.75 %

3 R4_3 = 4.8436K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 2.96 %

4 (et2)「LP4-1-2」 Rb_4(2 個)= 3.1638K Cb_4(2 個)= 0.5100n R1_4 = 1.5819K C1_4 = 1.0200n 誤差=4.87 %

4 R2_4 = 18.1112K C2_4 = 1.0000n 誤差 = 0.61 %

4 R3_4 = 313.5360 R5_4 = 10.0000K 誤差 = 4.32 %

4 R4_4 = 11.6358K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.13 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8
Fp = 89.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 97.9000KHz atts = 49.03dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	24.8344K	321.4437G	0.2438	0	1.1518T

Fc= 90.2345KHz Fc ゲイン= 37.6437 dB Q = 22.8297 GB 積=206.0023MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
45.1173K	13.4319
48.7293K	13.9017
52.6306K	14.4876
56.8442K	15.2305
61.3951K	16.1939
66.3104K	17.4848
71.6192K	19.3021
77.3530K	22.0847
83.5459K	27.1348
90.2345K	37.6437
97.4587K	25.6006
105.2612K	19.0105
113.6884K	14.6761
122.7902K	11.2885
132.6208K	8.4015
143.2384K	5.8070
154.7060K	3.3872
167.0917K	1.0647
180.4690K	- 1.2199

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4			
Blk No. 2	103.2739K	293.2792G	0.2438	0	181.5064G	Fc=	86.1908KHz	Fc

ゲイン= 5.8748 dB Q = 5.2438 GB 積= 45.1972MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
43.0954K	- 2.6393
46.5456K	- 2.3240
50.2720K	- 1.9278
54.2968K	- 1.4221
58.6438K	- 0.7638
63.3388K	0.1142
68.4097K	1.3174
73.8865K	2.9945
79.8019K	5.1300
86.1908K	5.8748
93.0912K	2.0259
100.5441K	- 3.3845
108.5936K	- 8.7476
117.2876K	- 14.5187
126.6776K	- 22.2448
136.8194K	- 50.8291
147.7731K	- 26.0627
159.6038K	- 21.0610
172.3816K	- 18.5718

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 3	275.5932K	217.1038G	0.2438	0	108.8166G	Fc= 74.1573KHz	Fc

ゲイン= - 7.2271 dB Q = 1.6907 GB 積= 12.5377MegHz

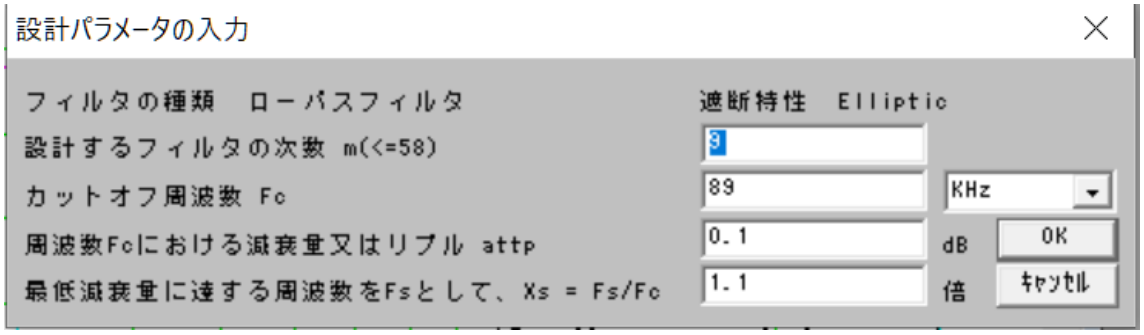
周波数 Hz	ゲイン dB
37.0787K	- 5.2547
40.0472K	- 5.1374
43.2533K	- 5.0088
46.7162K	- 4.8751
50.4563K	- 4.7517
54.4958K	- 4.6728
58.8587K	- 4.7086
63.5709K	- 4.9926
68.6604K	- 5.7419
74.1573K	- 7.2271
80.0943K	- 9.6729
86.5067K	- 13.2477
93.4324K	- 18.3946
100.9125K	- 27.4516
108.9916K	- 35.0952
117.7174K	- 23.9620
127.1418K	- 20.1330
137.3207K	- 18.0142
148.3146K	- 16.6521

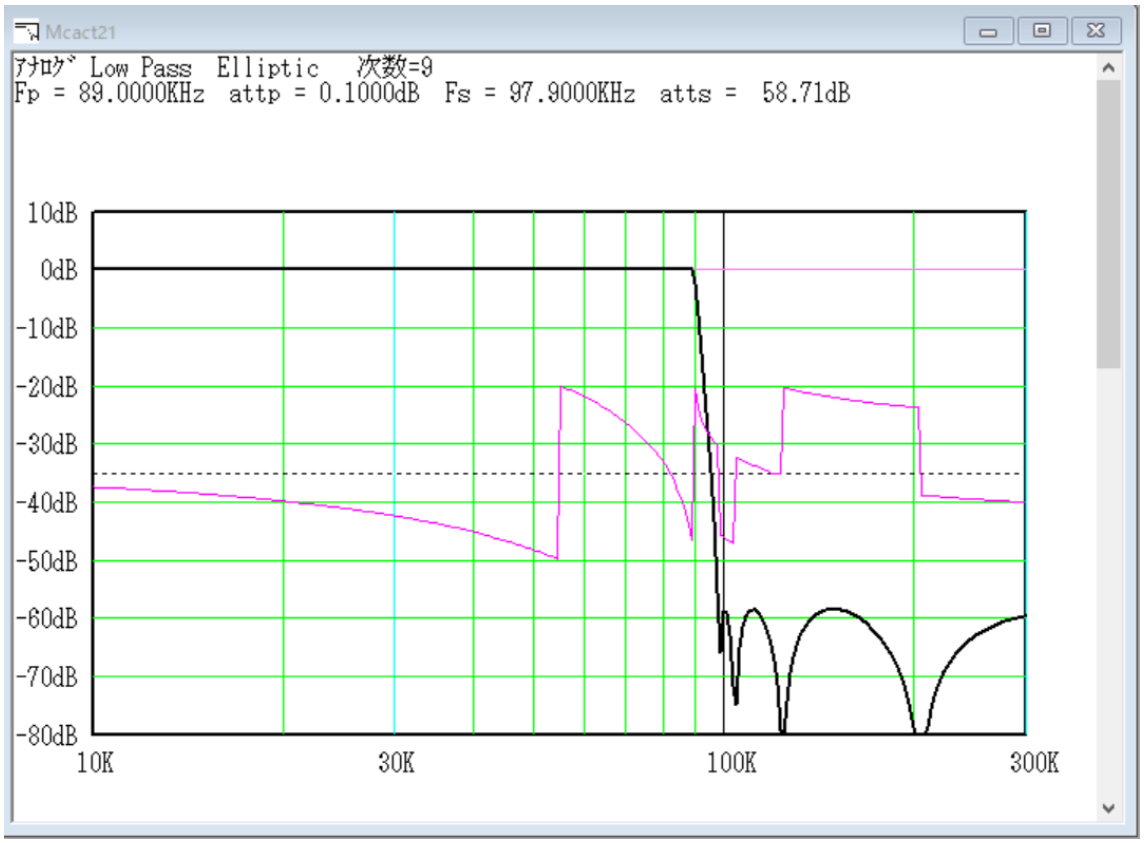
Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 4 522.0309K 105.3098G 0.2438 0 93.6568G Fc= 51.6481KHz Fc
ゲイン=- 7.9312 dB Q = 0.6216 GB 積= 3.2106MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
25.8241K	- 2.4612
27.8915K	- 2.7339
30.1245K	- 3.0606
32.5363K	- 3.4516
35.1411K	- 3.9189
37.9545K	- 4.4761
40.9932K	- 5.1382
44.2751K	- 5.9219
47.8197K	- 6.8458
51.6481K	- 7.9312
55.7831K	- 9.2042
60.2490K	-10.6994
65.0726K	-12.4675
70.2823K	-14.5914
75.9090K	-17.2217
81.9863K	-20.6760
88.5501K	-25.8164
95.6394K	-37.1711
103.2963K	-34.1767

その他の設計例

楕円関数・ローパスフィルター 9 次 89KHz Xs = 1.1





++++++++++ 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=9
Fp = 89.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 97.9000KHz atts = 58.71dB
１次式の形式

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

２次式の形式

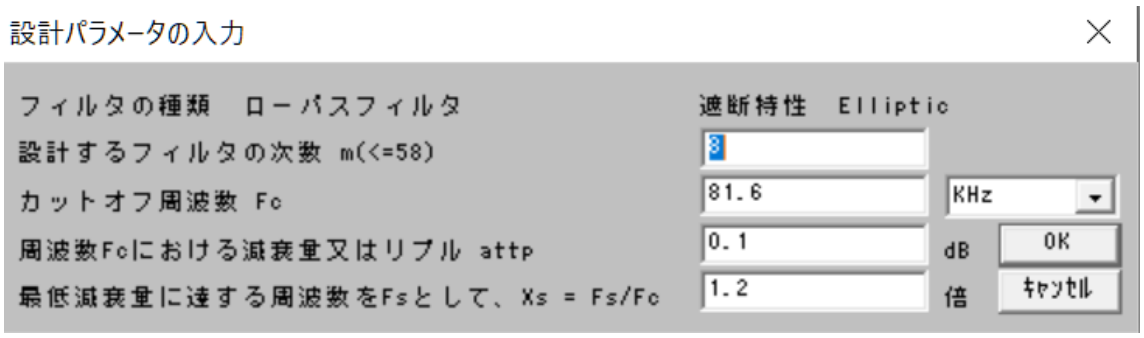
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

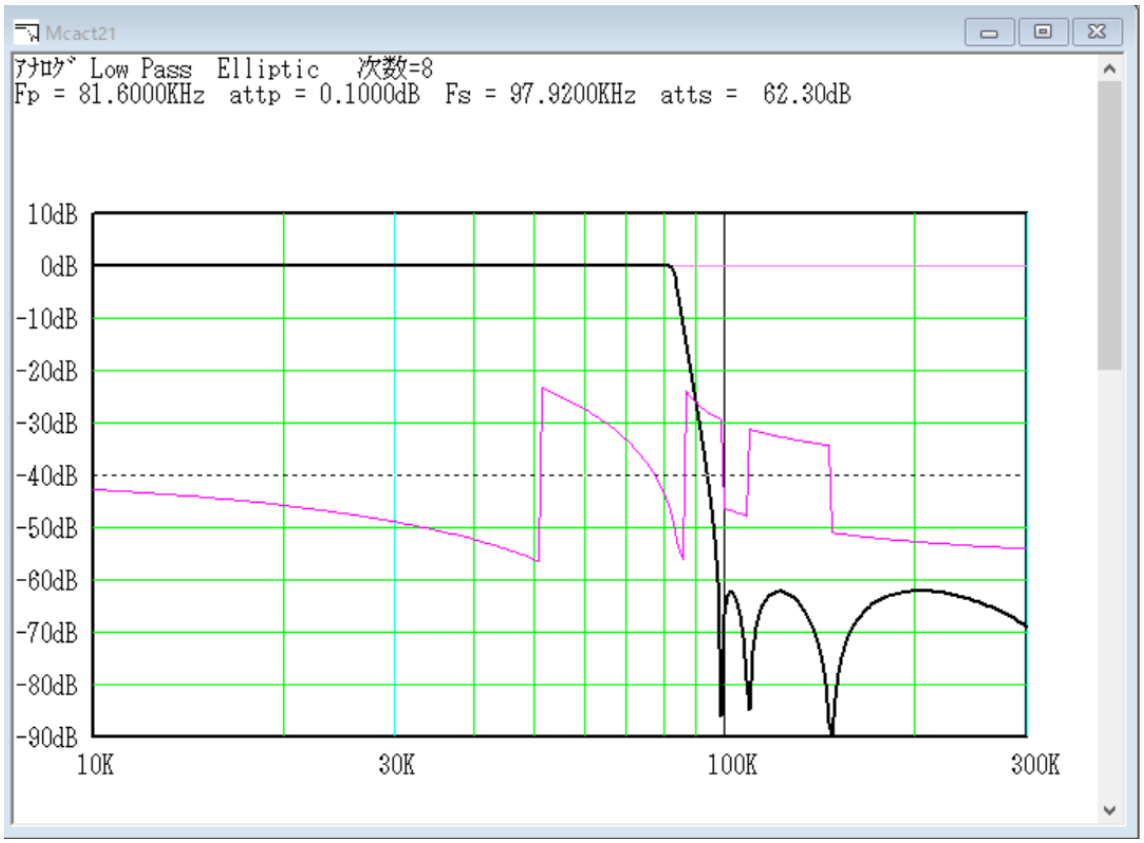
１次式
P0 = 250.6769K P1 = 0 P2 = 250.6769K Fc= 39.8965KHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	19.9566K	319.4518G	0.3629	0	601.3214G
	Fc= 89.9545KHz Fc ゲイン= 32.6762 dB Q = 28.3214 GB 積=254.7641MegHz				
2	77.7437K	295.6132G	0.3629	0	219.8787G
	Fc= 86.5331KHz Fc ゲイン= 8.5109 dB Q = 6.9935 GB 積= 60.5172MegHz				
3	193.6506K	233.8564G	0.3629	0	155.4936G
	Fc= 76.9653KHz Fc ゲイン= - 2.4496 dB Q = 2.4972 GB 積= 19.2199MegHz				
4	382.1940K	129.3365G	0.3629	0	138.9304G
	Fc= 57.2375KHz Fc ゲイン= - 3.4873 dB Q = 0.9410 GB 積= 5.3859MegHz				

その他の設計例

楕円関数・ローパスフィルター 8 次 81.6KHz Xs = 1.2





++++++++++ 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=8

Fp = 81.6000KHz attp = 0.1000dB Fs = 97.9200KHz atts = 62.30dB

２次式の形式

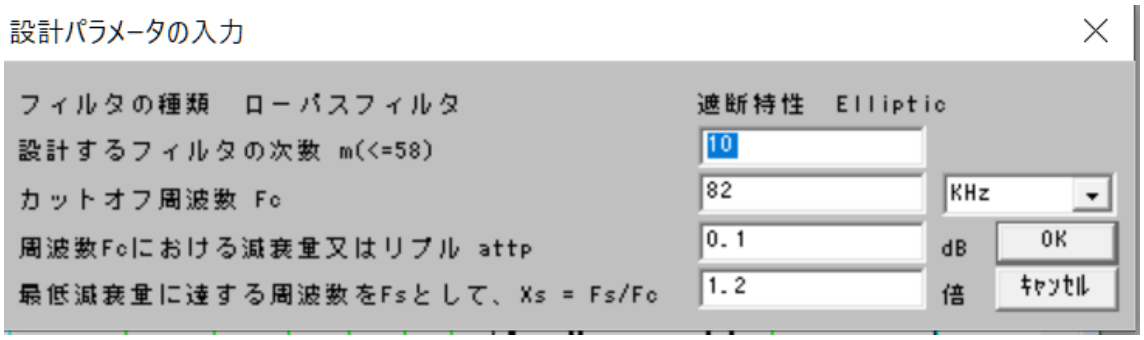
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

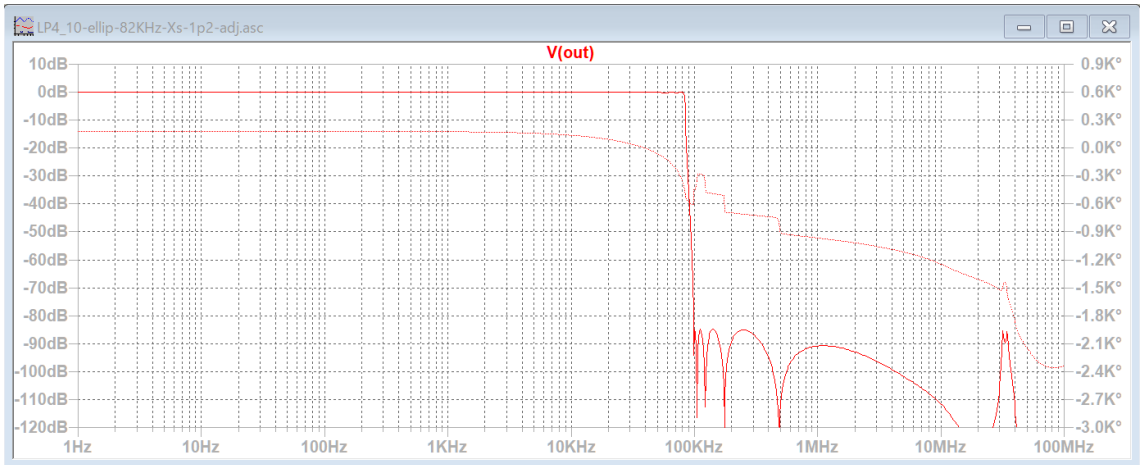
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	32.7438K	272.9059G	0.1665	0	979.4238G
	Fc= 83.1432KHz Fc ゲイン= 34.7442 dB Q = 15.9543 GB 積=132.6491MegHz				
2	121.0660K	237.5455G	0.1665	0	142.3319G
	Fc= 77.5700KHz Fc ゲイン= 4.8212 dB Q = 4.0258 GB 積= 31.2280MegHz				
3	268.3630K	159.1454G	0.1665	0	78.3023G
	Fc= 63.4918KHz Fc ゲイン= - 6.3039 dB Q = 1.4865 GB 積= 9.4383MegHz				
4	429.6563K	68.8535G	0.1665	0	64.3328G
	Fc= 41.7622KHz Fc ゲイン= - 6.5772 dB Q = 0.6107 GB 積= 2.5505MegHz				

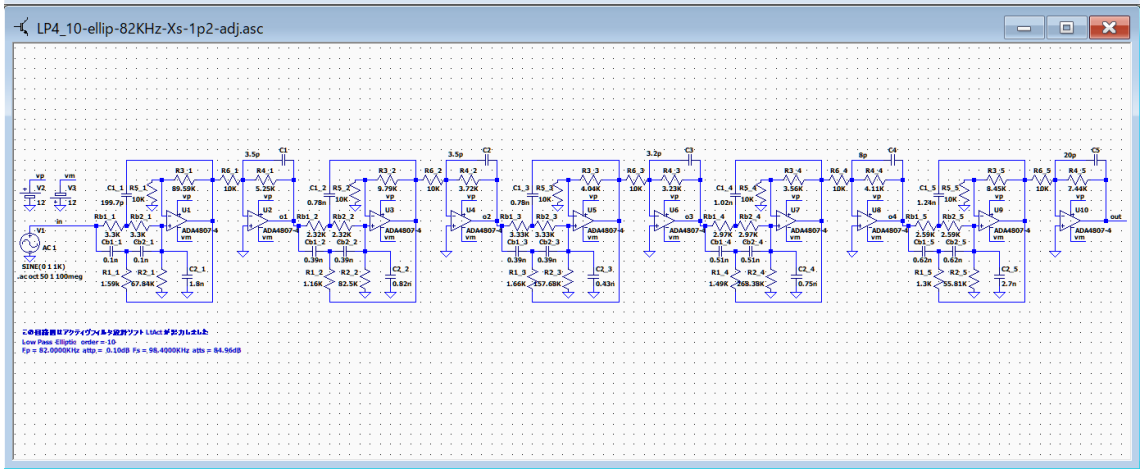
LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 82KHz Xs = 1.2



オペアンプが ADA4807-4 の場合





1Hz～82KHz まで ±0.2dB 以内、96KHz で -63dB、98KHz で -79.5dB

98KHz 以上での最低減衰量は -85dB

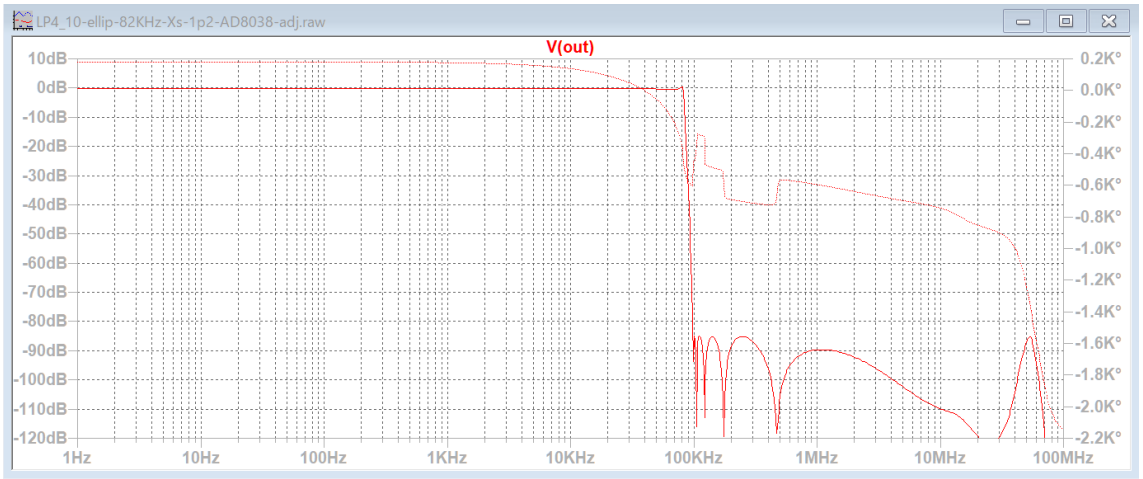
調整した素子値　　R1_1 = 1.65K → 1.59K　　C1_1 = 200p → 199.7p

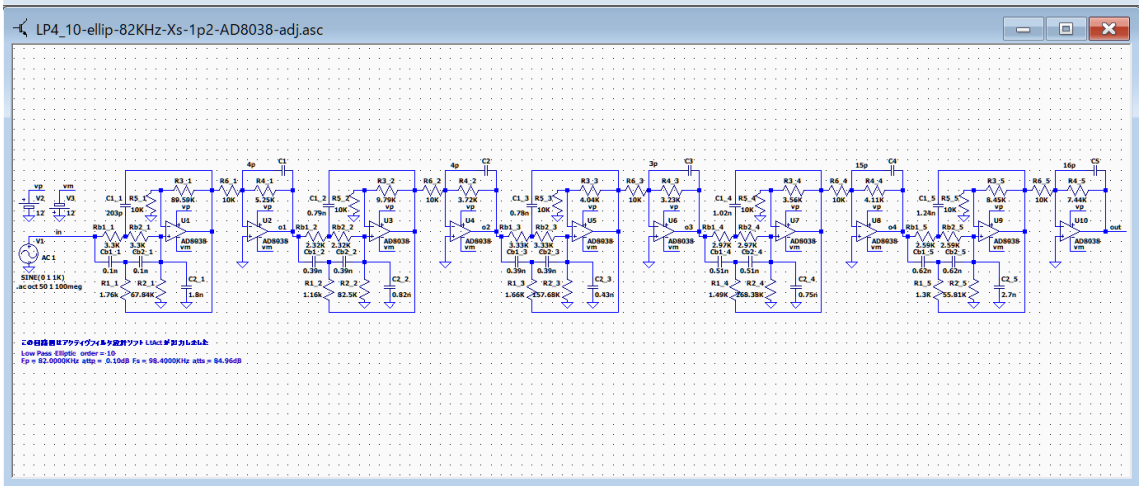
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-AD8038-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 82KHz Xs = 1.2

オペアンプが AD8038 の場合





1Hz～20KHz まで ±0.2dB 以内、20KHz～82KHz まで ±0.5dB、96KHz で -63dB、98KHz で -79.5dB、98KHz 以上での最低減衰量は -85.2dB

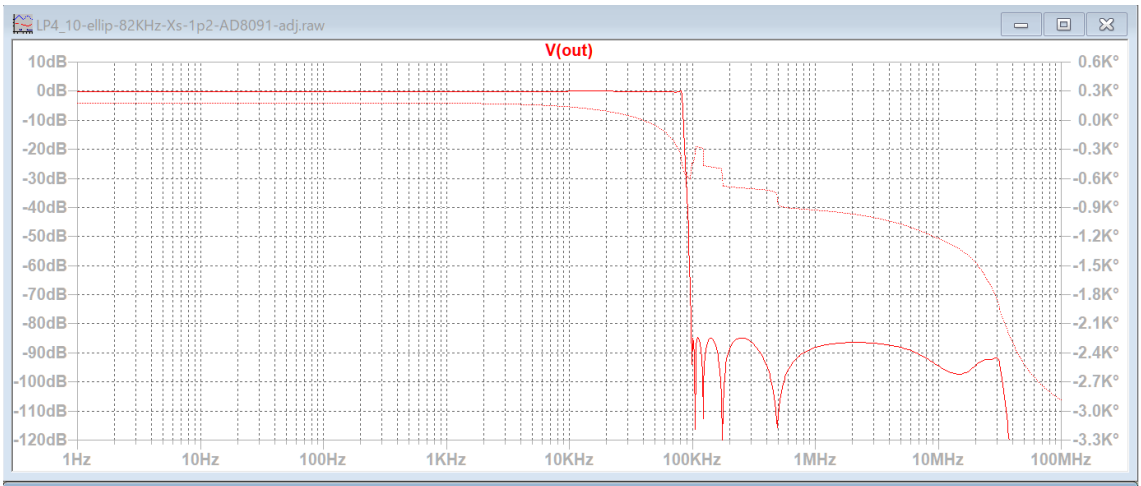
調整した素子値　　R1_1 = 1.65K → 1.76K　　C1_1 = 200p → 203p
C1_2 = 0.78n → 0.79n

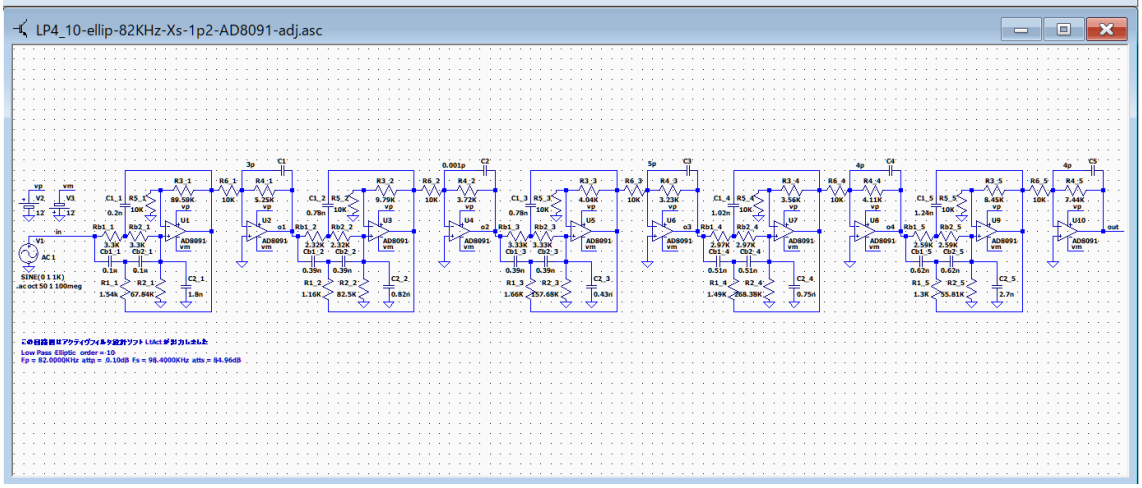
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-AD8091-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 82KHz Xs = 1.2

オペアンプが AD8091 の場合





AD8091 はシミュレーションの時間が長くかかる。

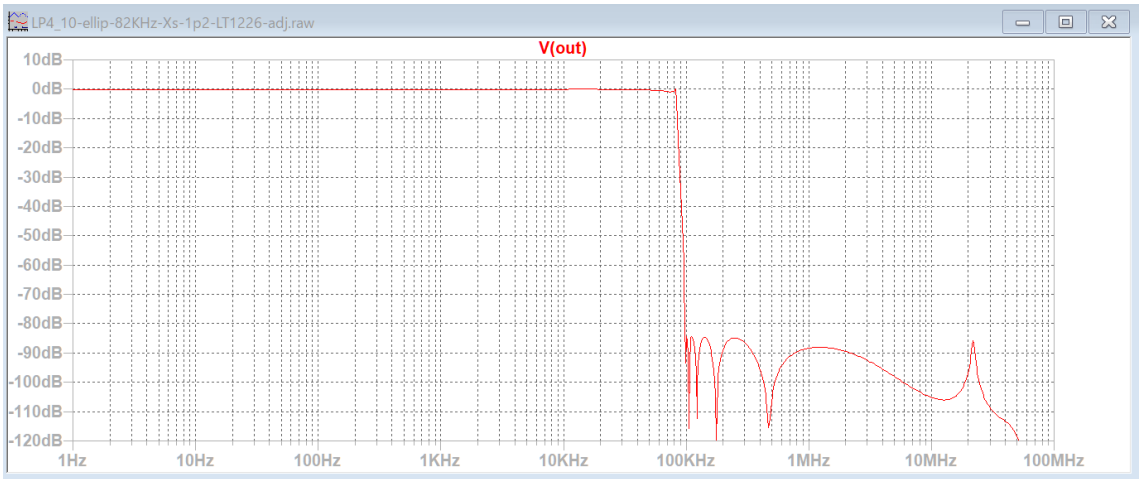
1Hz～30KHz まで ±0.1dB 以内、30KHz～82KHz まで ±0.4dB、96KHz で -63.2dB、98KHz で -79.6dB、98KHz 以上での最低減衰量は -84.8dB

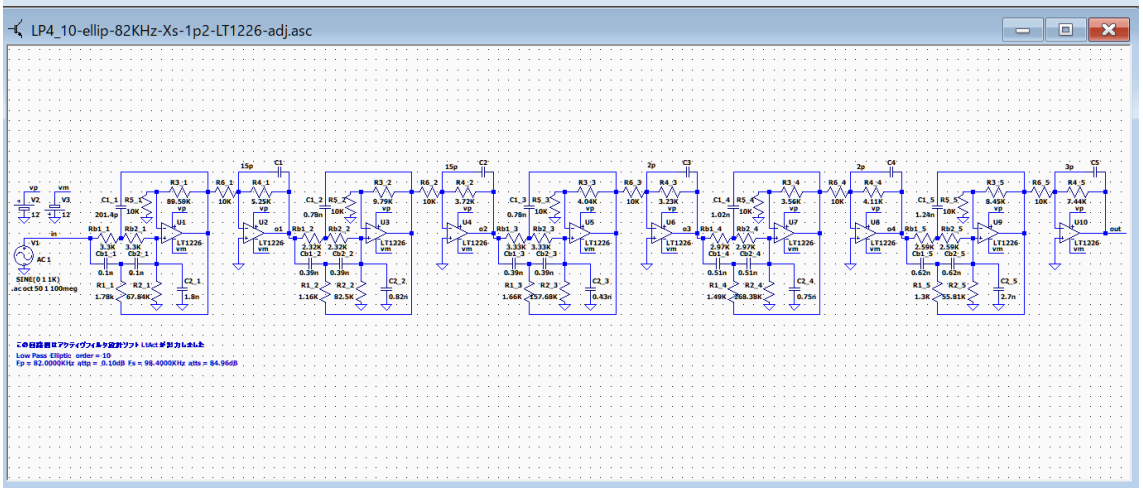
調整した素子値　　R1_1 = 1.65K → 1.54K
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-LT1226-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 82KHz Xs = 1.2

オペアンプが LT1226 の場合





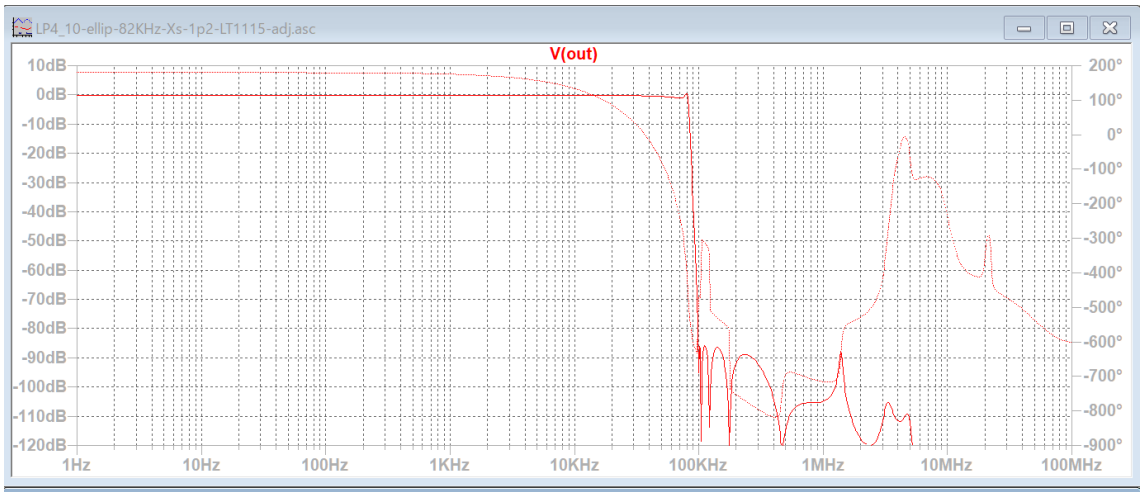
1Hz～40KHz まで ±0.2dB 以内、40KHz～82KHz まで ±1dB、96KHz で -62.4dB、98KHz で -78.9dB、98KHz 以上での最低減衰量は -84.3dB

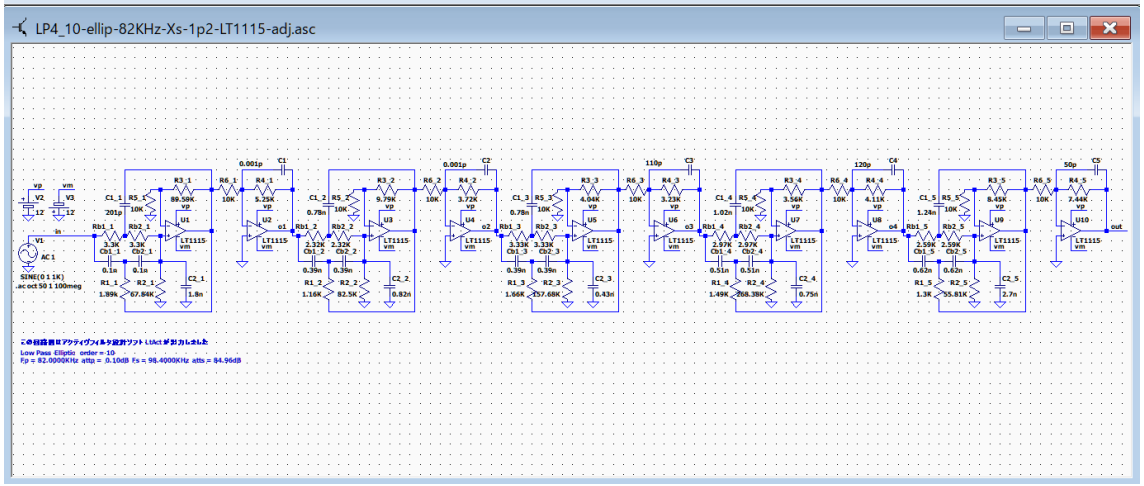
調整した素子値　　R1_1 = 1.65K → 1.78K　　C1_1 = 200p → 201.4p
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-LT1115-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 82KHz Xs = 1.2

オペアンプが LT1115 の場合





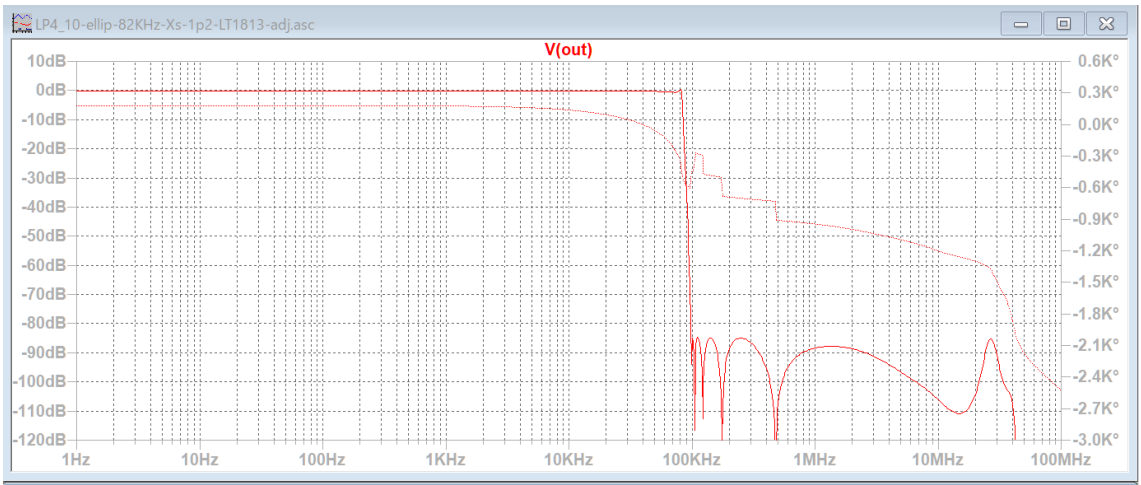
1Hz～20KHz まで ±0.1dB 以内、20KHz～82KHz まで ±1.5dB、96KHz で -64dB、98KHz で -80dB、98KHz 以上での最低減衰量は -86dB

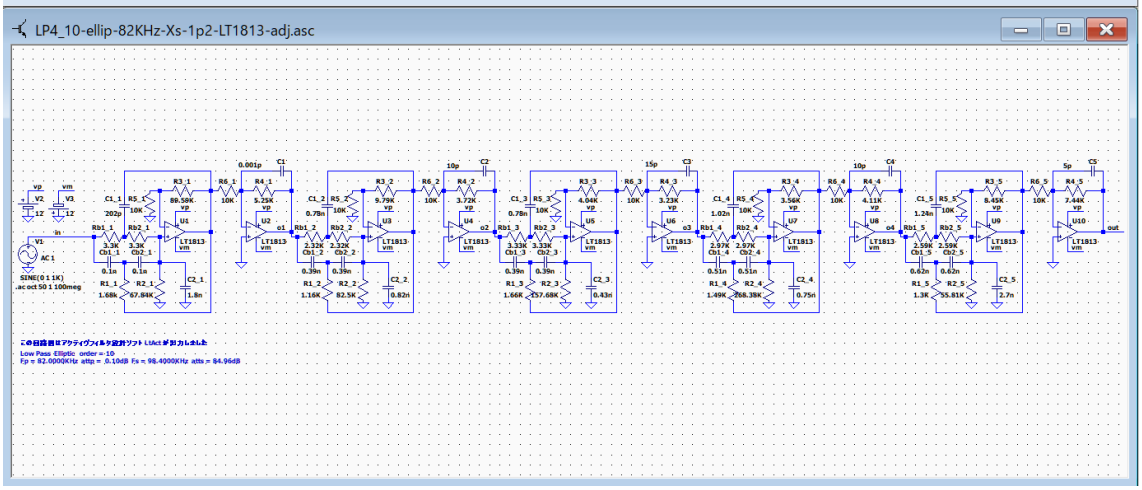
調整した素子値　　R1_1 = 1.65K → 1.89K　　C1_1 = 200p → 201p
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1p2-LT1813-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 82KHz Xs = 1.2

オペアンプが LT1813 の場合

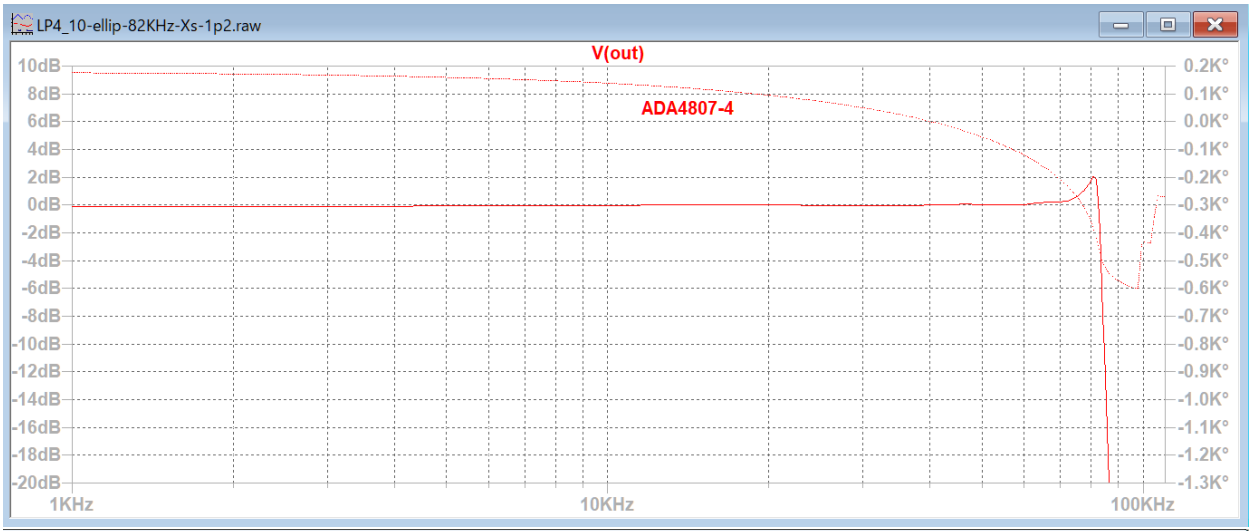


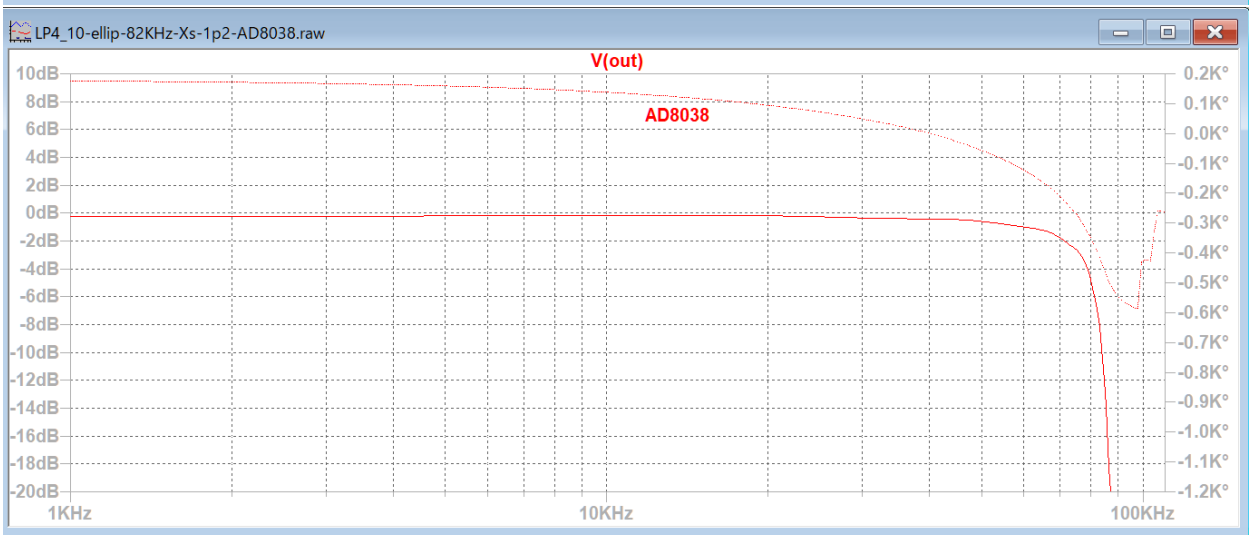


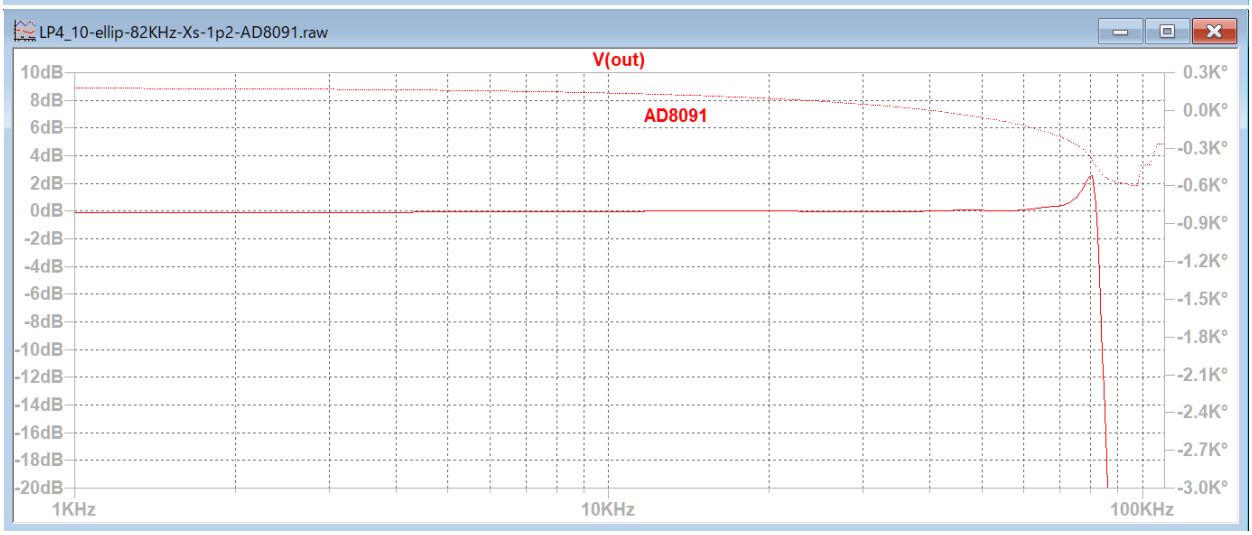
1Hz～20KHz まで ±0.2dB 以内、20KHz～82KHz まで ±0.5dB、96KHz で -63dB、98KHz で -79.5dB、98KHz 以上での最低減衰量は -84.8dB

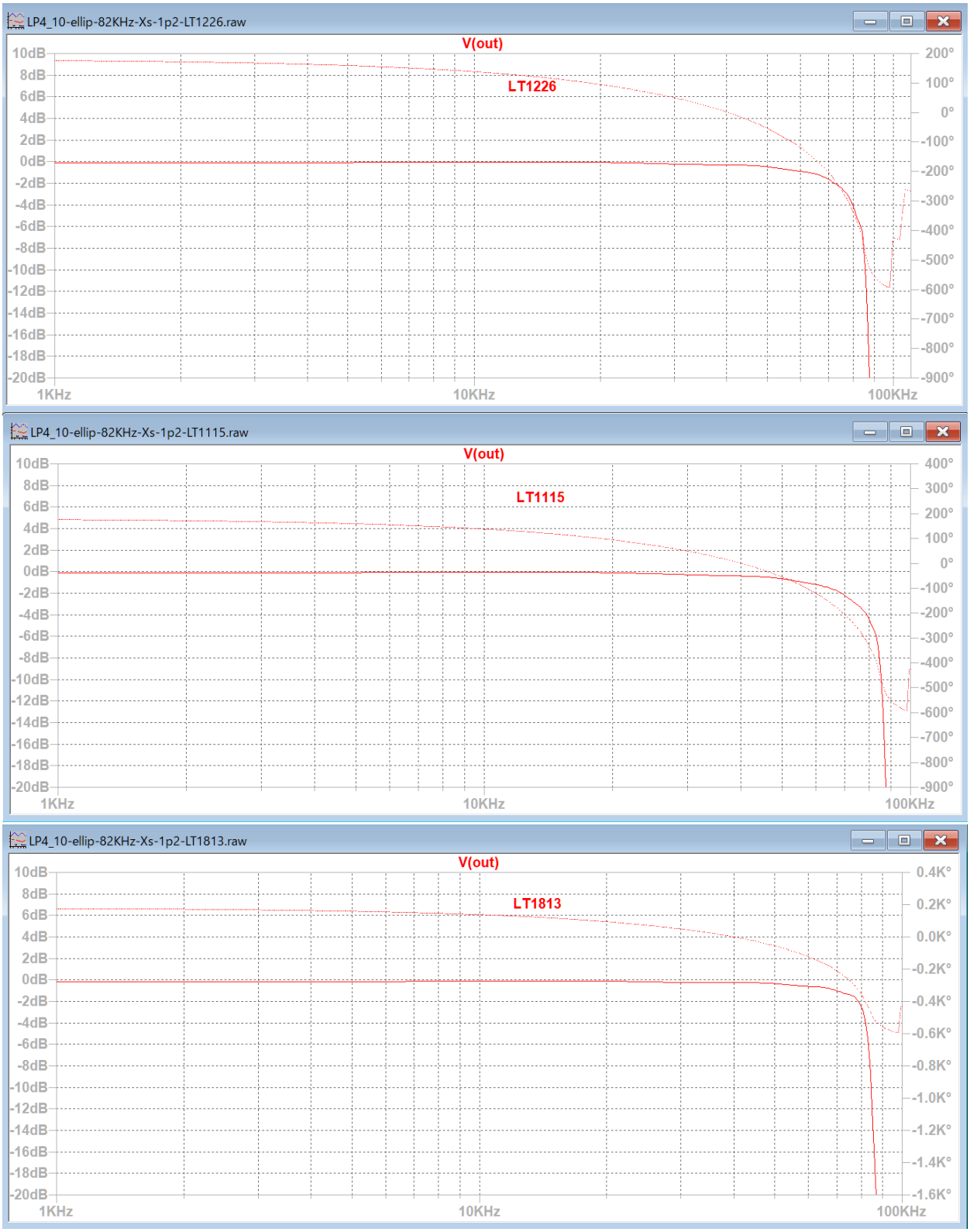
調整した素子値　　R1_1 = 1.65K → 1.68K　　C1_1 = 200p → 202p
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

未調整時のカットオフ周辺の周波数特性の比較









BP1_3-chev-800-1p25KHz未調整時のカットオフ周辺の周波数特性の比較

R1_1 を大きくすると、カットオフ周波数付近のゲインが増加して、カットオフ周波数を少し上方に移動することが出来る。

C1_1 を微調整すると、カットオフ周波数付近のゲインを調整できる。

++++++++++ 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=10
Fp = 82.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 98.4000KHz atts = 84.96dB
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	21.4302K	271.7211G	0.1414	0	1.2952T
	Fc= 82.9625KHz Fc ゲイン= 41.0235 dB Q = 24.3240 GB 積=201.7984MegHz				
2	73.6470K	247.0281G	0.1414	0	172.0884G
	Fc= 79.1031KHz Fc ゲイン= 11.4743 dB Q = 6.7487 GB 積= 53.3840MegHz				
3	152.0067K	193.0051G	0.1414	0	83.9142G
	Fc= 69.9205KHz Fc ゲイン=- 1.4324 dB Q = 2.8902 GB 積= 20.2081MegHz				
4	257.8536K	113.0038G	0.1414	0	61.6011G
	Fc= 53.5016KHz Fc ゲイン=- 5.5743 dB Q = 1.3037 GB 積= 6.9749MegHz				
5	347.5037K	43.5965G	0.1414	0	54.7606G
	Fc= 33.2312KHz Fc ゲイン=- 3.4815 dB Q = 0.6009 GB 積= 1.9967MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_10-ellip-82KHz-Xs-1.2.asc 作成日時 Sat Feb 05 13:18:26 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=10 参照モード=0

Fp = 82.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 98.4000KHz atts = 84.96dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 3.3038K Cb_1(2 個)= 0.1000n R1_1 = 1.6519K C1_1 = 0.2000n 誤差=3.15 %
1 R2_1 = 67.8417K C2_1 = 1.8000n 誤差 = 0.23 %
1 R3_1 = 89.5886K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 1.58 %
1 R4_1 = 5.2526K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 2.90 %
2 (et2)「LP4-2-0」 Rb_2(2 個)= 2.3241K Cb_2(2 個)= 0.3900n R1_2 = 1.1620K C1_2 = 0.7800n 誤差=6.01 %
2 R2_2 = 82.4989K C2_2 = 0.8200n 誤差 = 0.60 %
2 R3_2 = 9.7850K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 2.20 %
2 R4_2 = 3.7194K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 3.21 %
3 (et2)「LP4-2-1」 Rb_3(2 個)= 3.3282K Cb_3(2 個)= 0.3900n R1_3 = 1.6641K C1_3 = 0.7800n 誤差=5.51 %
3 R2_3 = 157.6808K C2_3 = 0.4300n 誤差 = 1.47 %
3 R3_3 = 4.0374K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 3.40 %
3 R4_3 = 3.2280K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 2.23 %
4 (et2)「LP4-2-2」 Rb_4(2 個)= 2.9705K Cb_4(2 個)= 0.5100n R1_4 = 1.4852K C1_4 = 1.0200n 誤差=2.41 %
4 R2_4 = 268.3801K C2_4 = 0.7500n 誤差 = 0.60 %
4 R3_4 = 3.5594K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 1.14 %
4 R4_4 = 4.1093K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 4.64 %
5 (et2)「LP4-1-2」 Rb_5(2 個)= 2.5916K Cb_5(2 個)= 0.6200n R1_5 = 1.2958K C1_5 = 1.2400n 誤差=5.29 %
5 R2_5 = 55.8140K C2_5 = 2.7000n 誤差 = 0.33 %
5 R3_5 = 8.4526K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 2.99 %
5 R4_5 = 7.4392K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 0.82 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=10

Fp = 82.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 98.4000KHz atts = 84.96dB

２次式の形式

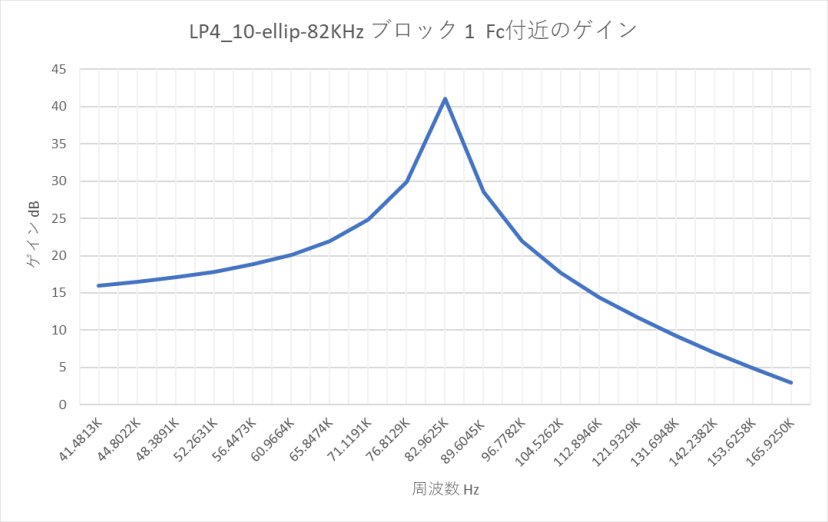
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	21.4302K	271.7211G	0.1414	0	1.2952T

Fc= 82.9625KHz Fc ゲイン= 41.0235 dB Q = 24.3240 GB 積=201.7984MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
41.4813K	15.9952
44.8022K	16.4794
48.3891K	17.0822
52.2631K	17.8450
56.4473K	18.8320
60.9664K	20.1508
65.8474K	22.0019
71.1191K	24.8276
76.8129K	29.9504
82.9625K	41.0235
89.6045K	28.5304
96.7782K	21.9853
104.5262K	17.7331
112.8946K	14.4487
121.9329K	11.6874
131.6948K	9.2456
142.2382K	7.0126
153.6258K	4.9200
165.9250K	2.9217

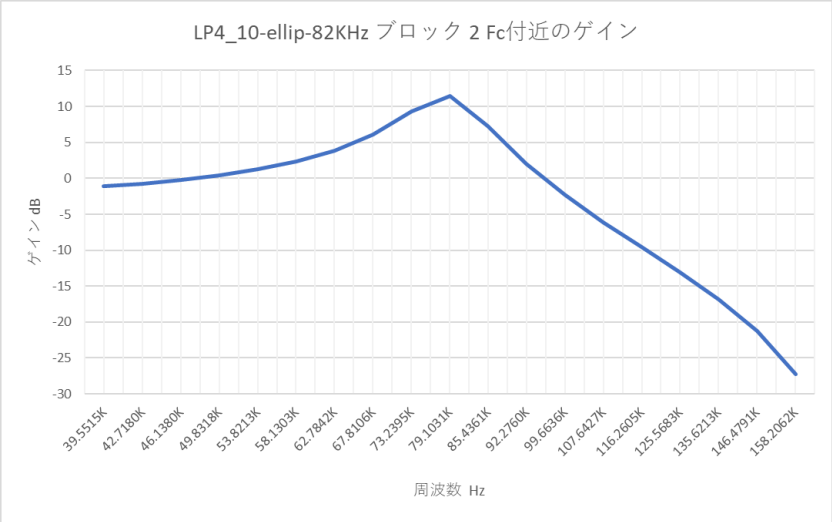


Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 2　73.6470K　247.0281G　0.1414　0　172.0884G Fc= 79.1031KHz Fc

ゲイン= 11.4743 dB Q = 6.7487 GB 積= 53.3840MegHz

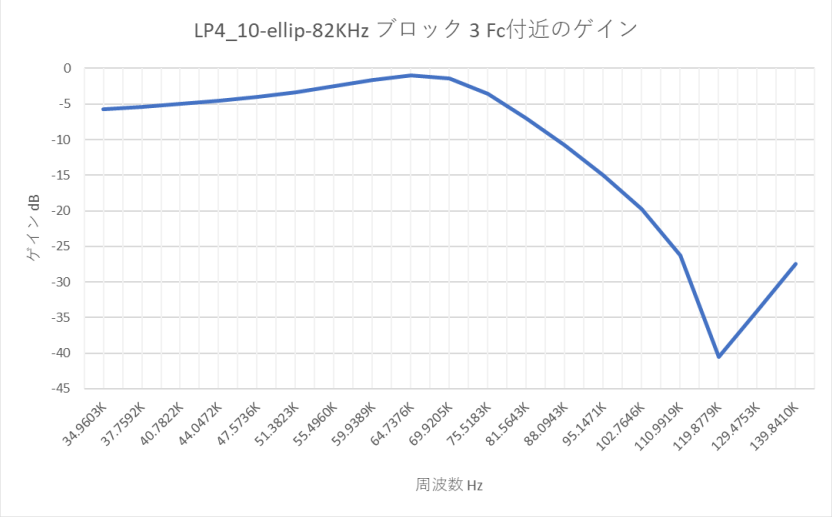
周波数 Hz	ゲイン dB
39.5515K	- 1.1356
42.7180K	- 0.7300
46.1380K	- 0.2234
49.8318K	0.4195
53.8213K	1.2522
58.1303K	2.3604
62.7842K	3.8891
67.8106K	6.0906
73.2395K	9.2670
79.1031K	11.4743
85.4361K	7.2426
92.2760K	2.0104
99.6636K	- 2.3139
107.6427K	- 6.0765
116.2605K	- 9.5915
125.5683K	- 13.0993
135.6213K	- 16.8515
146.4791K	- 21.2427
158.2062K	- 27.2307



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 3　152.0067K　193.0051G　0.1414　0　83.9142G Fc= 69.9205KHz Fc ゲイン= - 1.4324 dB Q = 2.8902 GB 積= 20.2081MegHz

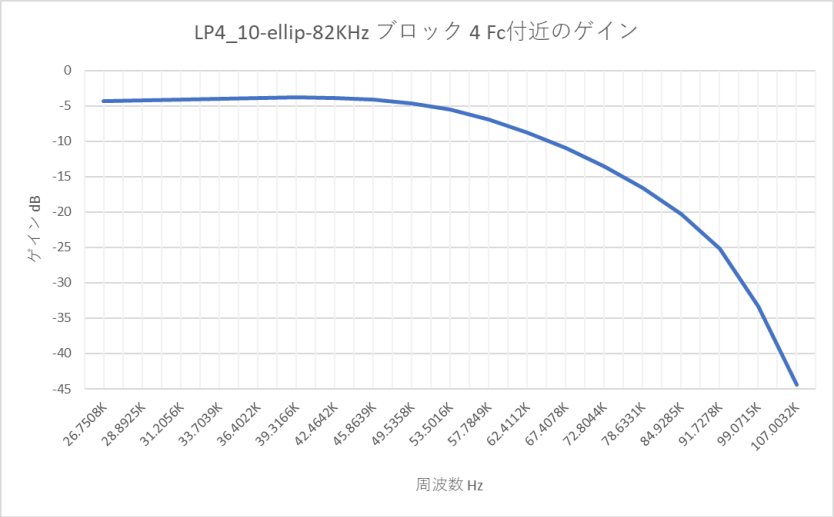
周波数 Hz	ゲイン dB
34.9603K	- 5.6975
37.7592K	- 5.3974
40.7822K	- 5.0296
44.0472K	- 4.5763
47.5736K	- 4.0155
51.3823K	- 3.3245
55.4960K	- 2.4961
59.9389K	- 1.6005
64.7376K	- 0.9722
69.9205K	- 1.4324
75.5183K	- 3.6145
81.5643K	- 6.9795
88.0943K	- 10.8251
95.1471K	- 15.0042
102.7646K	- 19.8156
110.9919K	- 26.2684
119.8779K	- 40.4741
129.4753K	- 34.0211
139.8410K	- 27.4400



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 4　257.8536K　113.0038G　0.1414　0　61.6011G Fc= 53.5016KHz Fc ゲイン= - 5.5743 dB Q = 1.3037 GB 積= 6.9749MegHz

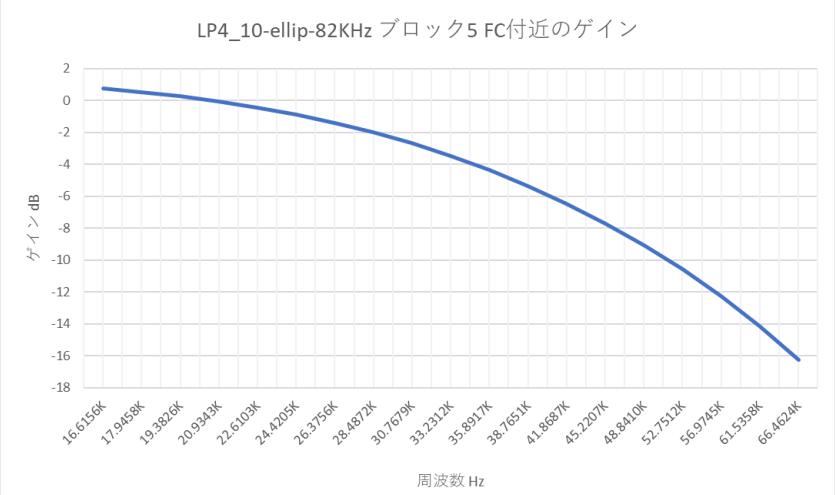
周波数 Hz	ゲイン dB
26.7508K	- 4.3624
28.8925K	- 4.2358
31.2056K	- 4.1036
33.7039K	- 3.9753
36.4022K	- 3.8693
39.3166K	- 3.8178
42.4642K	- 3.8746
45.8639K	- 4.1195
49.5358K	- 4.6537
53.5016K	- 5.5743
57.7849K	- 6.9372
62.4112K	- 8.7396
67.4078K	- 10.9467
72.8044K	- 13.5429
78.6331K	- 16.5832
84.9285K	- 20.2657
91.7278K	- 25.1477
99.0715K	- 33.3728
107.0032K	- 44.3658



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

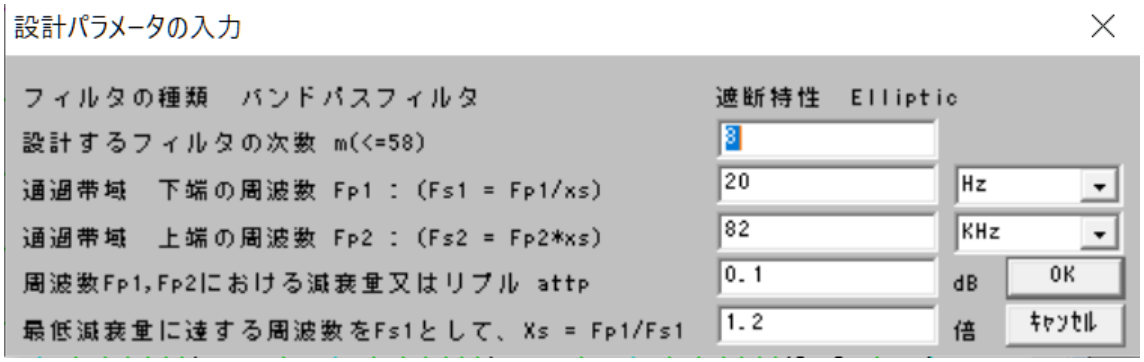
Blk No. 5　347.5037K　43.5965G　0.1414　0　54.7606G Fc= 33.2312KHz Fc ゲイン= - 3.4815 dB Q = 0.6009 GB 積= 1.9967MegHz

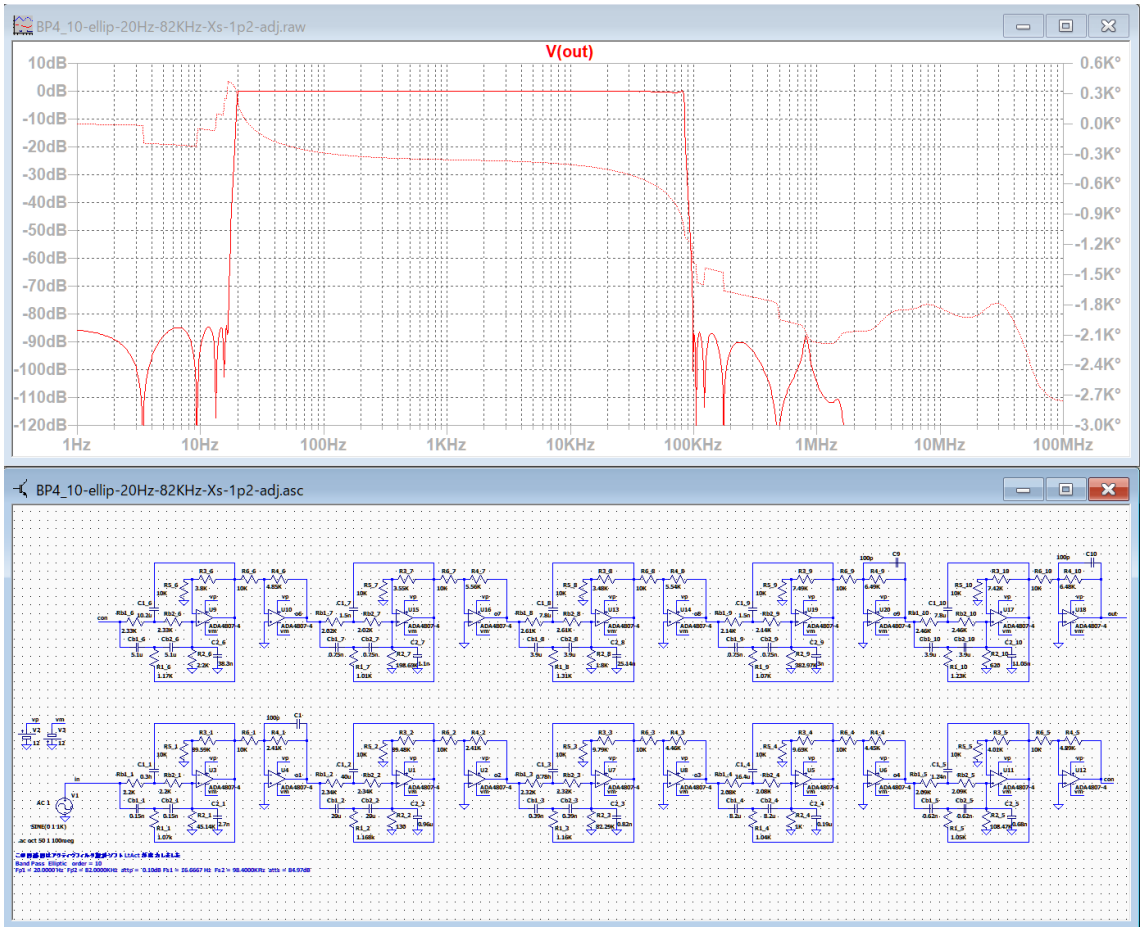
周波数 Hz	ゲイン dB
16.6156K	0.7461
17.9458K	0.5191
19.3826K	0.2498
20.9343K	- 69.1135m
22.6103K	- 0.4455
24.4205K	- 0.8877
26.3756K	- 1.4044
28.4872K	- 2.0038
30.7679K	- 2.6938
33.2312K	- 3.4815
35.8917K	- 4.3730
38.7651K	- 5.3737
41.8687K	- 6.4889
45.2207K	- 7.7248
48.8410K	- 9.0898
52.7512K	- 10.5968
56.9745K	- 12.2660
61.5358K	- 14.1301
66.4624K	- 16.2434



BP4_10-ellip-20Hz-82KHz-Xs-1p2

楕円関数・バンドパスフィルター 10 次 20Hz ... 82KHz Xs = 1.2





20Hz で 0.13dB、82KHz で 0.42dB

最低減衰量は、16.2Hz 以下で -84.2dB、98KHz 以上で -86.4dB

調整した素子値

R1_1 = 1.10K → 1.07K　　R1_2 =　1.17K → 1.168K

阻止域のピーク防止

C1, C9, C10 を追加

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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10

Fp1 = 20.0000 Hz Fp2 = 82.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 16.6667 Hz Fs2 = 98.4000KHz atts = 84.97dB

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	21.4242K	271.7191G	64.7512m	0	593.1006G
	Fc= 82.9622KHz Fc ゲイン= 34.2417 dB Q = 24.3307 GB 積=201.8528MegHz				
2	5.1049	15.4272K	2.1828	0	998.9296
	Fc= 19.7680 Hz Fc ゲイン= 34.2417 dB Q = 24.3307 GB 積= 48.0970KHz				
3	73.6214K	247.0317G	0.1694	0	206.1406G
	Fc= 79.1037KHz Fc ゲイン= 13.0451 dB Q = 6.7511 GB 積= 53.4034MegHz				
4	19.2955	16.9689K	0.8345	0	2.8741K
	Fc= 20.7323 Hz Fc ゲイン= 13.0451 dB Q = 6.7511 GB 積= 13.9965KHz				
5	151.9307K	193.0217G	0.2144	0	127.2467G
	Fc= 69.9235KHz Fc ゲイン= 2.1872 dB Q = 2.8917 GB 積= 20.2200MegHz				

6 50.9616 21.7171K 0.6592 0 4.6560K
Fc= 23.4542 Hz Fc ゲイン= 2.1872 dB Q = 2.8917 GB 積= 6.7823KHz
7 257.6409K 113.0277G 0.1915 0 83.4298G
Fc= 53.5072KHz Fc ゲイン= - 2.9341 dB Q = 1.3049 GB 積= 6.9822MegHz
8 147.5821 37.0871K 0.7381 0 7.1014K
Fc= 30.6501 Hz Fc ゲイン= - 2.9341 dB Q = 1.3049 GB 積= 3.9995KHz
9 346.8784K 43.5189G 0.1260 0 48.8103G
Fc= 33.2016KHz Fc ゲイン= - 4.4553 dB Q = 0.6014 GB 積= 1.9967MegHz
10 516.0627 96.3227K 1.1216 0 12.1381K
Fc= 49.3952 Hz Fc ゲイン= - 4.4553 dB Q = 0.6014 GB 積= 2.9706KHz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BP4_10-ellip-20Hz-82KHz-Xs-1p2.asc 作成日時 Fri Feb 11 14:14:25 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10 参照モード=0

Fp1 = 20.0000 Hz Fp2 = 82.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 16.6667 Hz Fs2 = 98.4000KHz atts = 84.97dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 2.2028K Cb_1(2 個)= 0.1500n R1_1 = 1.1014K C1_1 = 0.3000n 誤差=0.18 %

1 R2_1 = 45.1417K C2_1 = 2.7000n 誤差 = 4.12 %

1 R3_1 = 89.5892K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 1.57 %

1 R4_1 = 2.4057K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 0.24 %

2 (et2)「HP4-0-0」 Rb_2(2 個)= 2.3373K Cb_2(2 個)= 20.0000u R1_2 = 1.1686K C1_2 = 40.0000u 誤差=4.55 %

2 R2_2 = 130.0000 C2_2 = 0.9634u 誤差 = 3.80 %

2 R3_2 = 89.4813K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.70 %

2 R4_2 = 2.4055K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.23 %

3 (et2)「HP4-2-0」 Rb_3(2 個)= 2.3242K Cb_3(2 個)= 0.3900n R1_3 = 1.1621K C1_3 = 0.7800n 誤差=6.00 %

3 R2_3 = 82.2873K C2_3 = 0.8200n 誤差 = 0.35 %

3 R3_3 = 9.7857K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 2.19 %

3 R4_3 = 4.4558K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 3.50 %

4 (et2)「HP4-0-0」 Rb_4(2 個)= 2.0780K Cb_4(2 個)= 8.2000u R1_4 = 1.0390K C1_4 = 16.4000u 誤差=5.84 %

4 R2_4 = 1.0000K C2_4 = 0.1907u 誤差 = 4.88 %

4 R3_4 = 9.6460K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 3.67 %

4 R4_4 = 4.4451K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.26 %

5 (et2)「HP4-2-1」 Rb_5(2 個)= 2.0936K Cb_5(2 個)= 0.6200n R1_5 = 1.0468K C1_5 = 1.2400n 誤差=7.10 %

5 R2_5 = 108.4744K C2_5 = 0.6800n 誤差 = 1.41 %

5 R3_5 = 4.0059K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 2.64 %

5 R4_5 = 4.8885K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 3.86 %

6 (et2)「HP4-0-1」 Rb_6(2 個)= 2.3331K Cb_6(2 個)= 5.1000u R1_6 = 1.1666K C1_6 = 10.2000u 誤差=4.50 %

6 R2_6 = 2.2000K C2_6 = 38.3012n 誤差 = 1.82 %

6 R3_6 = 3.8014K R5_6 = 10.0000K 誤差 = 2.59 %

6 R4_6 = 4.8483K R6_6 = 10.0000K 誤差 = 3.06 %
7 (et2)「HP4-2-2」 Rb_7(2 個)= 2.0199K Cb_7(2 個)= 0.7500n R1_7 = 1.0100K C1_7 = 1.5000n 誤差=1.40 %
7 R2_7 = 198.6466K C2_7 = 1.1000n 誤差 = 0.68 %
7 R3_7 = 3.5461K R5_7 = 10.0000K 誤差 = 1.52 %
7 R4_7 = 5.5599K R6_7 = 10.0000K 誤差 = 0.72 %
8 (et2)「HP4-0-2」 Rb_8(2 個)= 2.6142K Cb_8(2 個)= 3.9000u R1_8 = 1.3071K C1_8 = 7.8000u 誤差=5.09 %
8 R2_8 = 1.8000K C2_8 = 25.1357n 誤差 = 4.52 %
8 R3_8 = 3.4837K R5_8 = 10.0000K 誤差 = 3.34 %
8 R4_8 = 5.5448K R6_8 = 10.0000K 誤差 = 0.99 %
9 (et2)「HP4-1-2」 Rb_9(2 個)= 2.1424K Cb_9(2 個)= 0.7500n R1_9 = 1.0712K C1_9 = 1.5000n 誤差=3.80 %
9 R2_9 = 382.9714K C2_9 = 3.0000n 誤差 = 1.84 %
9 R3_9 = 7.4875K R5_9 = 10.0000K 誤差 = 0.17 %
9 R4_9 = 6.4854K R6_9 = 10.0000K 誤差 = 4.40 %
10 (et2)「HP4-0-2」 Rb_10(2 個)= 2.4648K Cb_10(2 個)= 3.9000u R1_10 = 1.2324K C1_10 = 7.8000u 誤差=5.35 %
10 R2_10 = 620.0000 C2_10 = 11.0527n 誤差 = 0.48 %
10 R3_10 = 7.4193K R5_10 = 10.0000K 誤差 = 1.09 %
10 R4_10 = 6.4753K R6_10 = 10.0000K 誤差 = 4.25 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10

Fp1 = 20.0000 Hz Fp2 = 82.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 16.6667 Hz Fs2 = 98.4000KHz atts = 84.97dB

２次式の形式

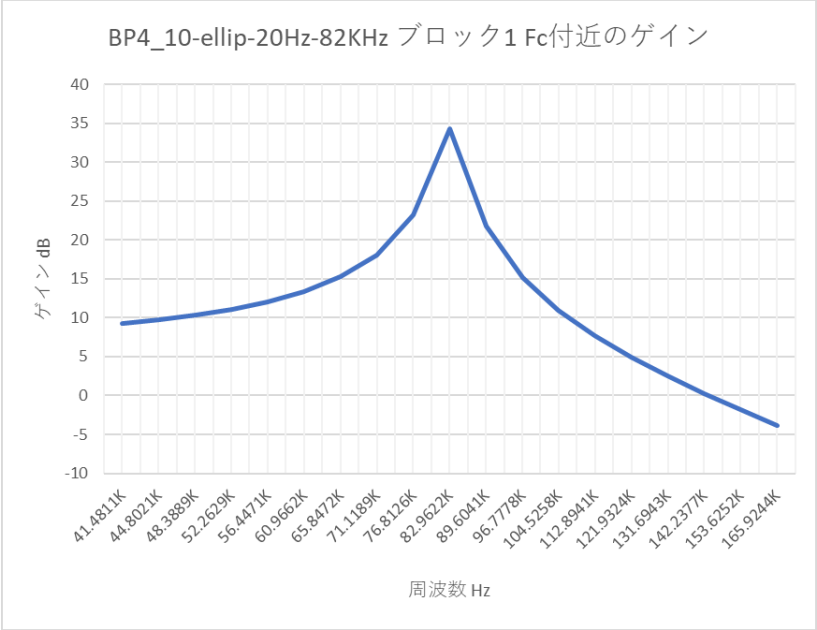
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	21.4242K	271.7191G	64.7512m	0	593.1006G

Fc= 82.9622KHz Fc ゲイン= 34.2417 dB Q = 24.3307 GB 積=201.8528MegHz

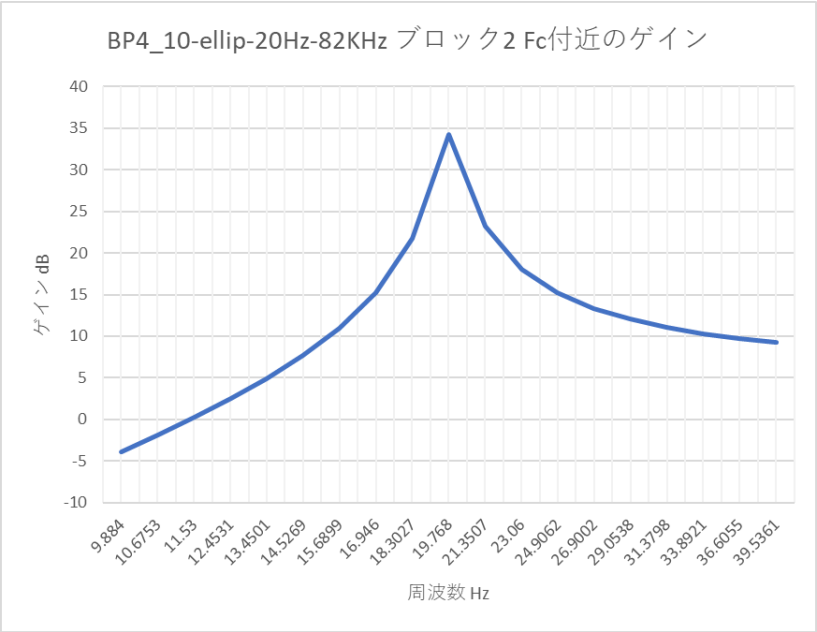
周波数 Hz	ゲイン dB
41.4811K	9.2110
44.8021K	9.6953
48.3889K	10.2981
52.2629K	11.0608
56.4471K	12.0478
60.9662K	13.3666
65.8472K	15.2177
71.1189K	18.0434
76.8126K	23.1664
82.9622K	34.2417
89.6041K	21.7463
96.7778K	15.2011
104.5258K	10.9489
112.8941K	7.6645
121.9324K	4.9031
131.6943K	2.4614
142.2377K	0.2283
153.6252K	- 1.8643
165.9244K	- 3.8626



Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 2 5.1049 15.4272K 2.1828 0 998.9296 Fc= 19.7680 Hz Fc ゲイン= 34.2417 dB Q = 24.3307 GB 積= 48.0970KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
9.8840	- 3.8626
10.6753	- 1.8643
11.5300	0.2283
12.4531	2.4614
13.4501	4.9031
14.5269	7.6645
15.6899	10.9489
16.9460	15.2011
18.3027	21.7463
19.7680	34.2417
21.3507	23.1664
23.0600	18.0434
24.9062	15.2177
26.9002	13.3666
29.0538	12.0478
31.3798	11.0608
33.8921	10.2981
36.6055	9.6953
39.5361	9.2110

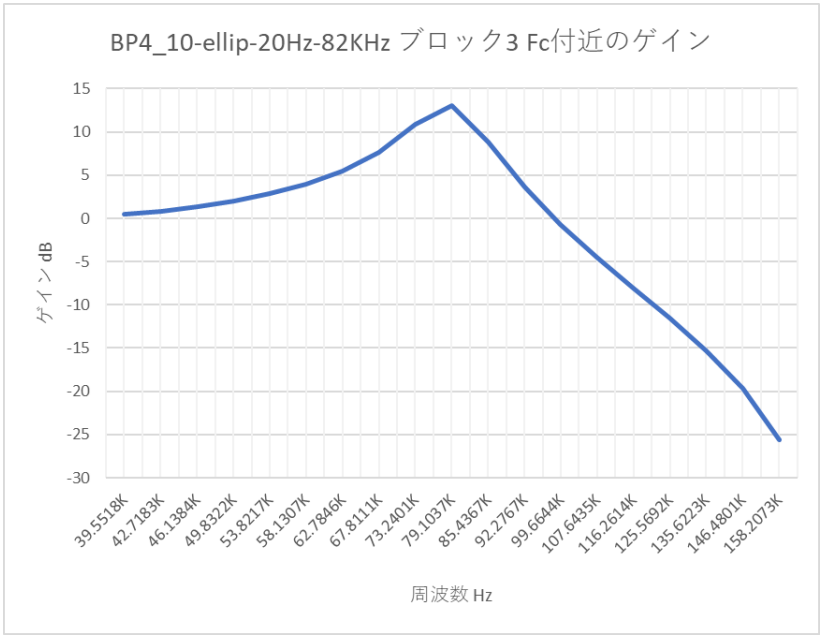


Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 3 73.6214K 247.0317G 0.1694 0 206.1406G Fc= 79.1037KHz Fc

ゲイン= 13.0451 dB Q = 6.7511 GB 積= 53.4034MegHz

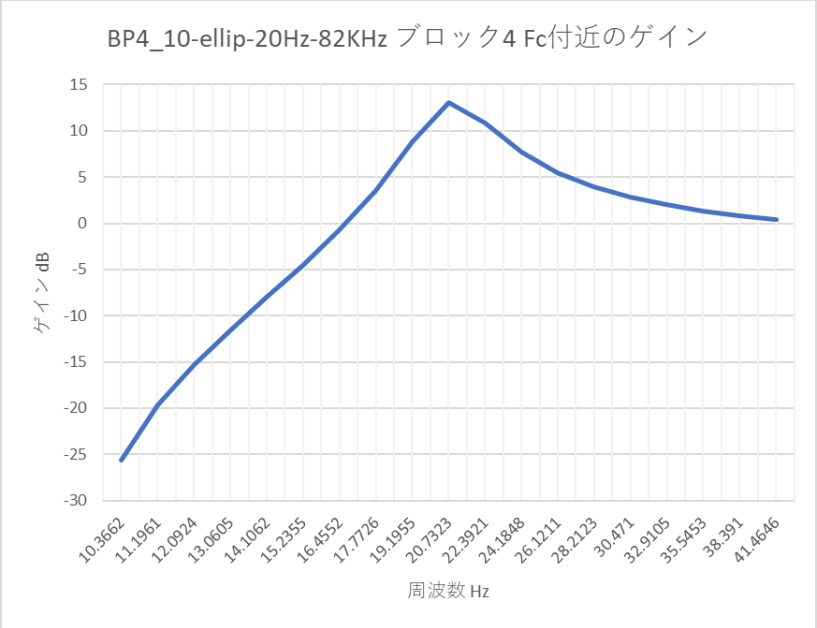
周波数 Hz	ゲイン dB
39.5518K	0.4325
42.7183K	0.8380
46.1384K	1.3446
49.8322K	1.9876
53.8217K	2.8203
58.1307K	3.9286
62.7846K	5.4573
67.8111K	7.6591
73.2401K	10.8363
79.1037K	13.0451
85.4367K	8.8119
92.2767K	3.5787
99.6644K	- 0.7460
107.6435K	- 4.5089
116.2614K	- 8.0242
125.5692K	- 11.5324
135.6223K	- 15.2851
146.4801K	- 19.6773
158.2073K	- 25.6678



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 4　19.2955　16.9689K　0.8345　0　2.8741K Fc= 20.7323 Hz Fc ゲイン= 13.0451 dB Q = 6.7511 GB 積= 13.9965KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
10.3662	- 25.6678
11.1961	- 19.6773
12.0924	- 15.2851
13.0605	- 11.5324
14.1062	- 8.0242
15.2355	- 4.5089
16.4552	- 0.7460
17.7726	3.5787
19.1955	8.8119
20.7323	13.0451
22.3921	10.8363
24.1848	7.6591
26.1211	5.4573
28.2123	3.9286
30.4710	2.8203
32.9105	1.9876
35.5453	1.3446
38.3910	0.8380
41.4646	0.4325

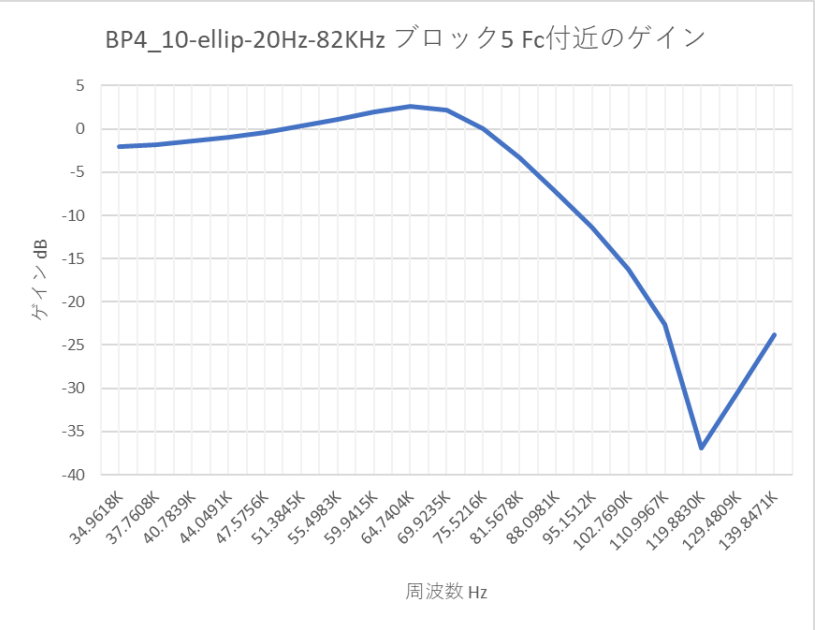


Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 5 151.9307K 193.0217G 0.2144 0 127.2467G Fc= 69.9235KHz Fc

ゲイン= 2.1872 dB Q = 2.8917 GB 積= 20.2200MegHz

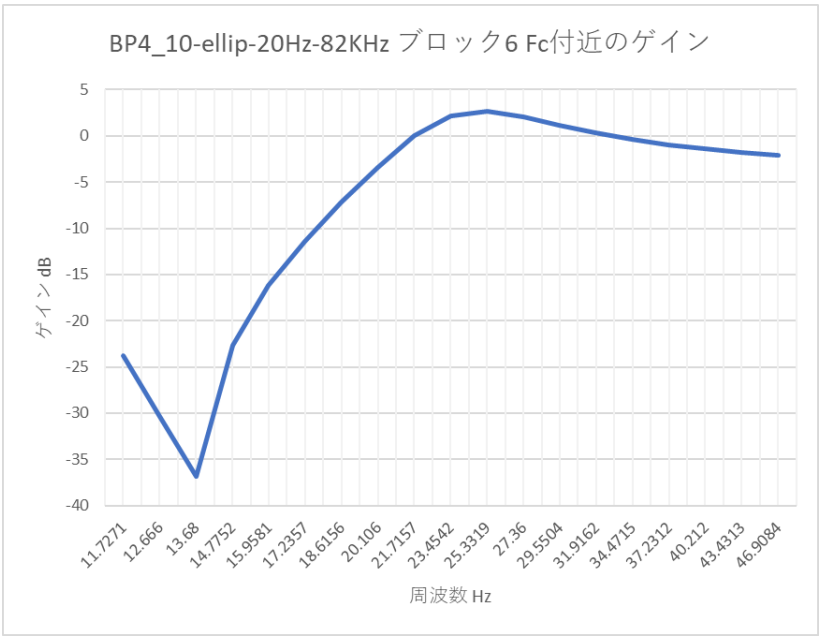
周波数 Hz	ゲイン dB
34.9618K	- 2.0819
37.7608K	- 1.7817
40.7839K	- 1.4139
44.0491K	- 0.9605
47.5756K	- 0.3995
51.3845K	0.2918
55.4983K	1.1207
59.9415K	2.0172
64.7404K	2.6467
69.9235K	2.1872
75.5216K	4.1261m
81.5678K	- 3.3624
88.0981K	- 7.2093
95.1512K	- 11.3895
102.7690K	- 16.2023
110.9967K	- 22.6581
119.8830K	- 36.8858
129.4809K	- 30.3930
139.8471K	- 23.8188



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 6　50.9616　21.7171K　0.6592　0　4.6560K Fc= 23.4542 Hz Fc ゲイン= 2.1872 dB Q = 2.8917 GB 積= 6.7823KHz

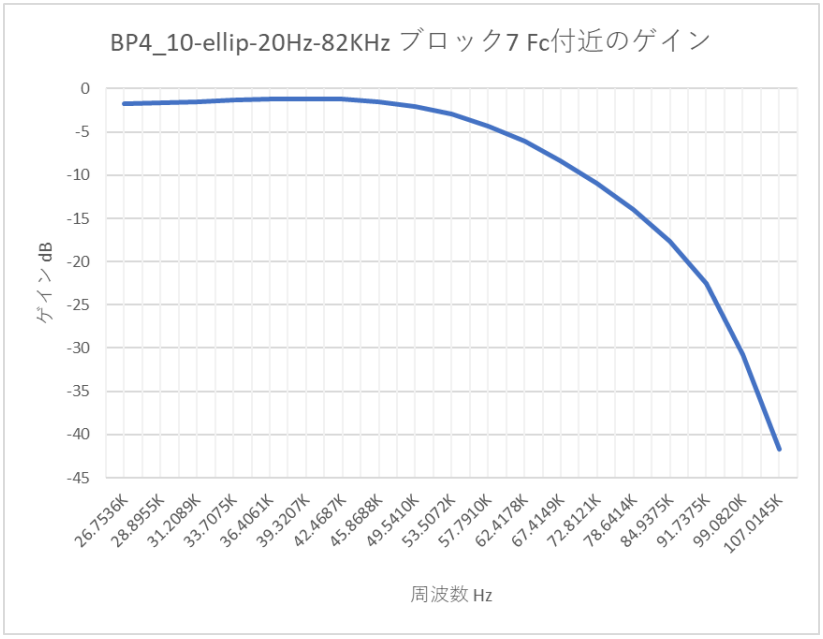
周波数 Hz	ゲイン dB
11.7271	- 23.8188
12.6660	- 30.3930
13.6800	- 36.8858
14.7752	- 22.6581
15.9581	- 16.2023
17.2357	- 11.3895
18.6156	- 7.2093
20.1060	- 3.3624
21.7157	4.1262m
23.4542	2.1872
25.3319	2.6467
27.3600	2.0172
29.5504	1.1207
31.9162	0.2918
34.4715	- 0.3995
37.2312	- 0.9605
40.2120	- 1.4139
43.4313	- 1.7817
46.9084	- 2.0819



Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 7 257.6409K 113.0277G 0.1915 0 83.4298G Fc= 53.5072KHz Fc ゲイン= - 2.9341 dB Q = 1.3049 GB 積= 6.9822MegHz

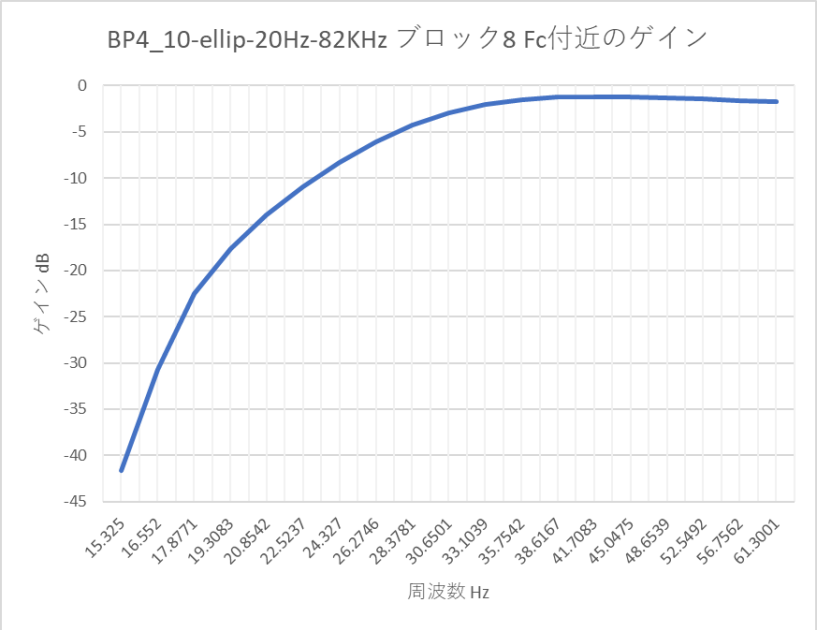
周波数 Hz	ゲイン dB
26.7536K	- 1.7281
28.8955K	- 1.6011
31.2089K	- 1.4684
33.7075K	- 1.3396
36.4061K	- 1.2328
39.3207K	- 1.1805
42.4687K	- 1.2362
45.8688K	- 1.4802
49.5410K	- 2.0137
53.5072K	- 2.9341
57.7910K	- 4.2975
62.4178K	- 6.1009
67.4149K	- 8.3094
72.8121K	- 10.9071
78.6414K	- 13.9490
84.9375K	- 17.6335
91.7375K	- 22.5188
99.0820K	- 30.7540
107.0145K	- 41.6760



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 8　147.5821　37.0871K　0.7381　0　7.1014K Fc= 30.6501 Hz Fc ゲイン= - 2.9341 dB Q = 1.3049 GB 積= 3.9995KHz

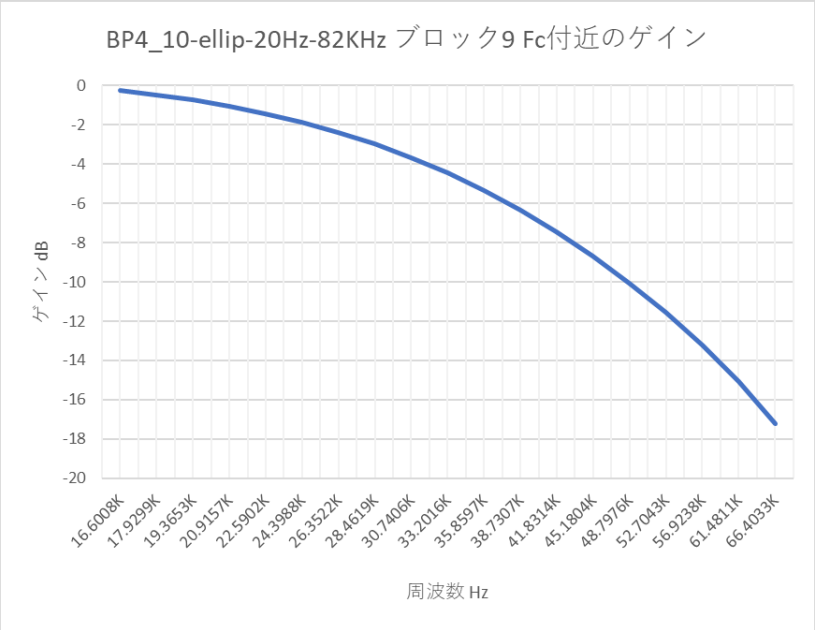
周波数 Hz	ゲイン dB
15.3250	- 41.6760
16.5520	- 30.7540
17.8771	- 22.5188
19.3083	- 17.6335
20.8542	- 13.9490
22.5237	- 10.9071
24.3270	- 8.3094
26.2746	- 6.1009
28.3781	- 4.2975
30.6501	- 2.9341
33.1039	- 2.0137
35.7542	- 1.4802
38.6167	- 1.2362
41.7083	- 1.1805
45.0475	- 1.2328
48.6539	- 1.3396
52.5492	- 1.4684
56.7562	- 1.6011
61.3001	- 1.7281



Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 9 346.8784K 43.5189G 0.1260 0 48.8103G Fc= 33.2016KHz Fc ゲイン= - 4.4553 dB Q = 0.6014 GB 積= 1.9967MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
16.6008K	- 0.2328
17.9299K	- 0.4592
19.3653K	- 0.7279
20.9157K	- 1.0461
22.5902K	- 1.4219
24.3988K	- 1.8635
26.3522K	- 2.3795
28.4619K	- 2.9784
30.7406K	- 3.6680
33.2016K	- 4.4553
35.8597K	- 5.3465
38.7307K	- 6.3469
41.8314K	- 7.4619
45.1804K	- 8.6975
48.7976K	- 10.0621
52.7043K	- 11.5684
56.9238K	- 13.2366
61.4811K	- 15.0992
66.4033K	- 17.2101

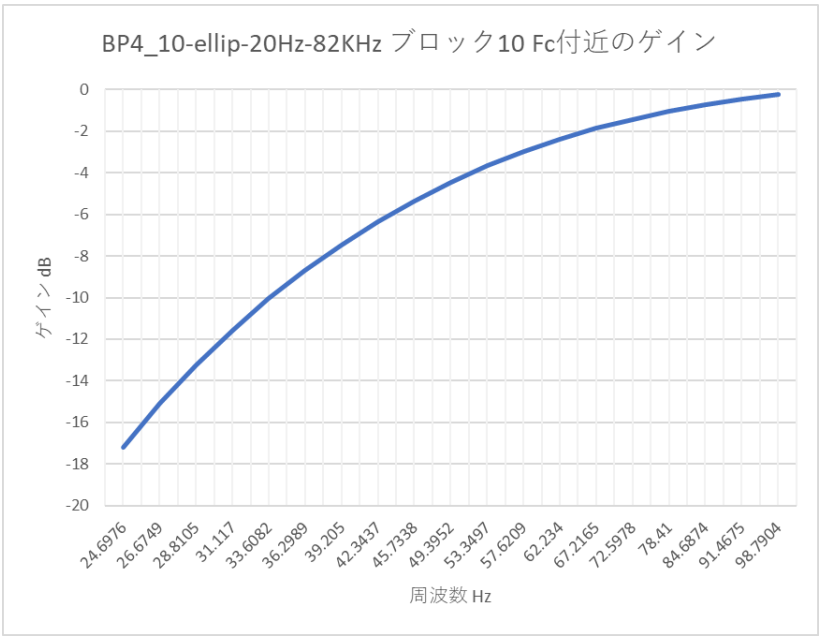


Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 10　516.0627　96.3227K　1.1216　0　12.1381K Fc= 49.3952 Hz Fc ゲイン= - 4.4553 dB Q = 0.6014 GB 積= 2.9706KHz

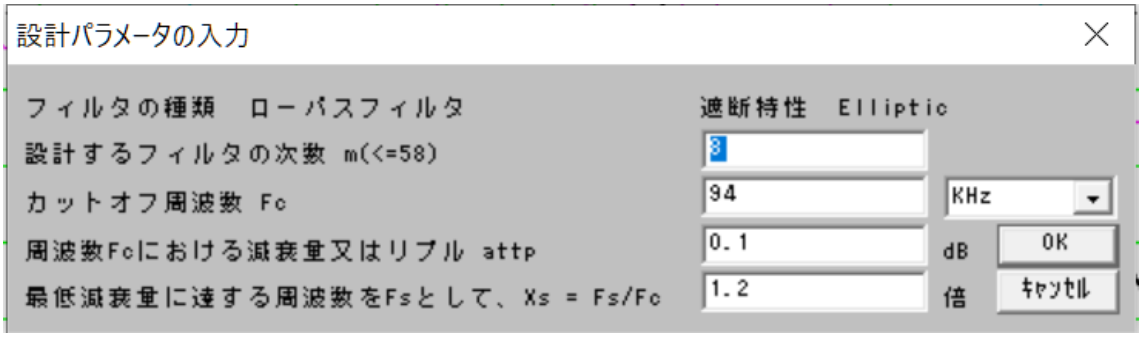
周波数 Hz　ゲイン dB

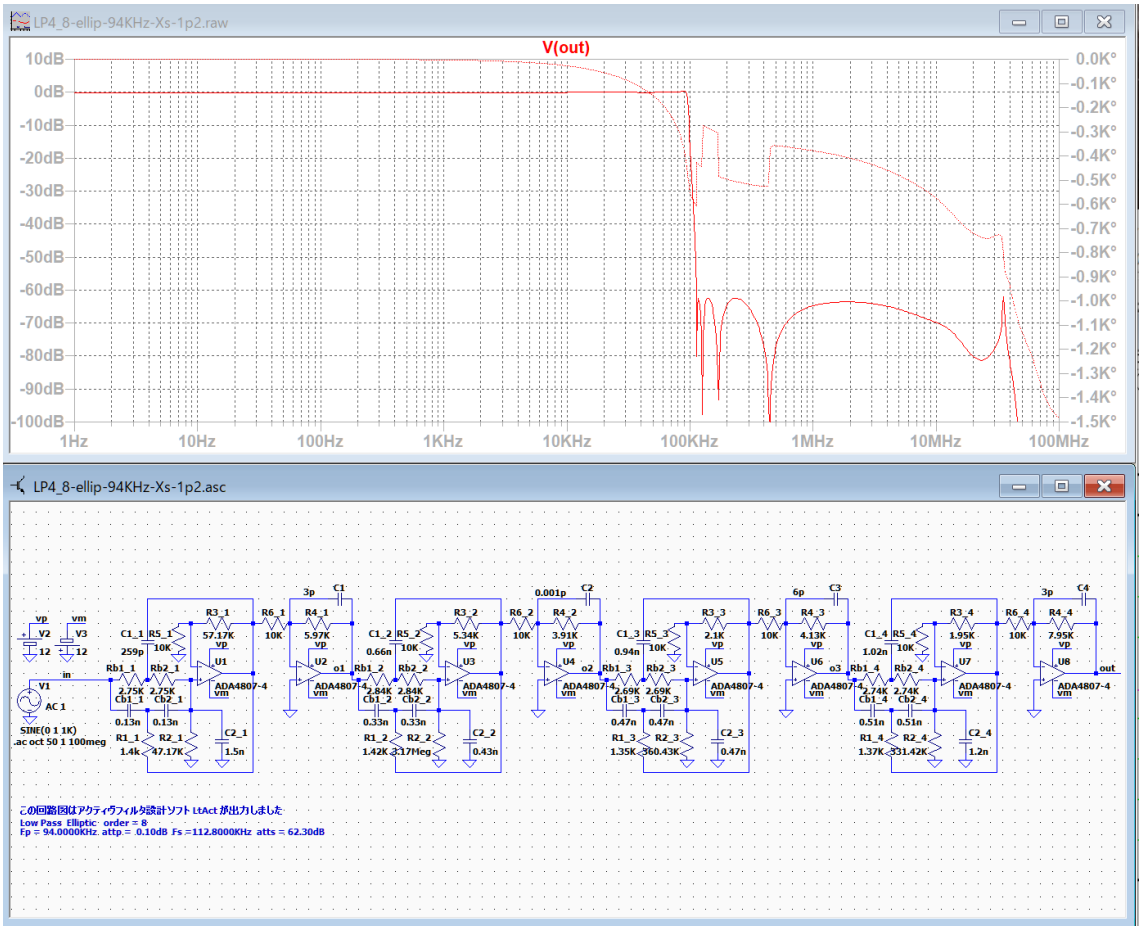
24.6976　- 17.2101
26.6749　- 15.0992
28.8105　- 13.2366
31.1170　- 11.5684
33.6082　- 10.0621
36.2989　- 8.6975
39.2050　- 7.4619
42.3437　- 6.3469
45.7338　- 5.3465
49.3952　- 4.4553
53.3497　- 3.6680
57.6209　- 2.9784
62.2340　- 2.3795
67.2165　- 1.8635
72.5978　- 1.4219
78.4100　- 1.0461
84.6874　- 0.7279
91.4675　- 0.4592
98.7904　- 0.2328



LP4_8-ellip-94KHz-Xs-1p2

楕円関数・ローパスフィルター 8 次 94KHz Xs = 1.2





1Hz～80KHz のゲインは±0.1dB 以内、80KHz～94KHz のゲインは±0.5dB 以内
96KHz で -3.8dB、112.8KHz 以上における最低減衰量は -62.4dB

調整した素子値
R1_1 = 1.3764K → 1.4K　　C1_1 = 260p → 259p

阻止域のピーク防止
C1～C4 を追加

R1_1 を大きくすると、カットオフ周波数付近のゲインが増加して、カットオフ周波数を少し上方に移動することが出来る。

C1_1 を微調整すると、カットオフ周波数付近のゲインを調整できる。

++++++++++ 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=8
Fp = 94.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =112.8000KHz atts = 62.30dB
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	37.7195K	362.1498G	0.1665	0	1.2997T
	Fc= 95.7777KHz Fc ゲイン= 34.7442 dB Q = 15.9543 GB 積=152.8066MegHz				
2	139.4633K	315.2261G	0.1665	0	188.8764G
	Fc= 89.3576KHz Fc ゲイン= 4.8212 dB Q = 4.0258 GB 積= 35.9735MegHz				
3	309.1436K	211.1882G	0.1665	0	103.9082G
	Fc= 73.1400KHz Fc ゲイン= - 6.3039 dB Q = 1.4865 GB 積= 10.8725MegHz				
4	494.9472K	91.3696G	0.1665	0	85.3706G
	Fc= 48.1084KHz Fc ゲイン= - 6.5772 dB Q = 0.6107 GB 積= 2.9381MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_8-ellip-94KHz-Xs-1p2.asc 作成日時 Fri Feb 04 09:56:09 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8　　参照モード=0

Fp = 94.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =112.8000KHz atts = 62.30dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 2.7529K Cb_1(2 個)= 0.1300n R1_1 = 1.3764K C1_1 = 0.2600n 誤差=7.02 %

1 R2_1 = 47.1708K C2_1 = 1.5000n 誤差 = 0.36 %

1 R3_1 = 57.1716K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 2.05 %

1 R4_1 = 5.9665K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 3.91 %

2 (et2)「LP4-2-0」 Rb_2(2 個)= 2.8448K Cb_2(2 個)= 0.3300n R1_2 = 1.4224K C1_2 = 0.6600n 誤差=8.05 %

2 R2_2 = 3.1722Meg C2_2 = 0.4300n 誤差 = 4.03 %

2 R3_2 = 5.3393K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 4.48 %

2 R4_2 = 3.9132K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.34 %

3 (et2)「LP4-2-2」 Rb_3(2 個)= 2.6929K Cb_3(2 個)= 0.4700n R1_3 = 1.3465K C1_3 = 0.9400n 誤差=4.71 %

3 R2_3 = 360.4292K C2_3 = 0.4700n 誤差 = 0.12 %

3 R3_3 = 2.1028K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 4.62 %

3 R4_3 = 4.1261K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 4.22 %

4 (et2)「LP4-2-2」 Rb_4(2 個)= 2.7380K Cb_4(2 個)= 0.5100n R1_4 = 1.3690K C1_4 = 1.0200n 誤差=5.58 %

4 R2_4 = 331.4170K C2_4 = 1.2000n 誤差 = 0.43 %

4 R3_4 = 1.9474K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 2.70 %

4 R4_4 = 7.9497K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.15 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8
Fp = 94.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =112.8000KHz atts = 62.30dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	37.7195K	362.1498G	0.1665	0	1.2997T

Fc= 95.7777KHz Fc ゲイン= 34.7442 dB Q = 15.9543 GB 積=152.8066MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
47.8888K	13.4891
51.7228K	13.9658
55.8637K	14.5594
60.3362K	15.3107
65.1667K	16.2828
70.3839K	17.5809
76.0188K	19.3988
82.1048K	22.1539
88.6781K	26.9906
95.7777K	34.7442
103.4456K	25.5220
111.7275K	19.2130
120.6723K	14.9784
130.3333K	11.6696
140.7678K	8.8648
152.0376K	6.3651
164.2097K	4.0591
177.3563K	1.8763
191.5554K	- 0.2333

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 2	139.4633K	315.2261G	0.1665	0	188.8764G	Fc= 89.3576KHz	Fc

ゲイン= 4.8212 dB Q = 4.0258 GB 積= 35.9735MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
44.6788K	- 2.6928
48.2558K	- 2.3409
52.1191K	- 1.9040
56.2917K	- 1.3549
60.7984K	- 0.6552
65.6659K	0.2495
70.9231K	1.4299
76.6012K	2.9367
82.7339K	4.5391
89.3576K	4.8212
96.5115K	2.1618
104.2382K	- 1.8805
112.5835K	- 5.9644
121.5969K	- 9.9653
131.3319K	- 14.1100
141.8463K	- 18.8263
153.2025K	- 25.1395
165.4678K	- 38.7944
178.7151K	- 33.1841

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 3	309.1436K	211.1882G	0.1665	0	103.9082G	Fc= 73.1400KHz	Fc

ゲイン= - 6.3039 dB Q = 1.4865 GB 積= 10.8725MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
36.5700K	- 5.2251
39.4978K	- 5.0819
42.6600K	- 4.9257
46.0753K	- 4.7637
49.7641K	- 4.6116
53.7482K	- 4.5020
58.0513K	- 4.4955
62.6988K	- 4.6946
67.7185K	- 5.2454
73.1400K	- 6.3039
78.9956K	- 7.9681
85.3199K	- 10.2458
92.1506K	- 13.1165
99.5282K	- 16.6548
107.4964K	- 21.2201
116.1025K	- 28.1630
125.3977K	- 58.3659
135.4370K	- 30.7966
146.2800K	- 25.5369

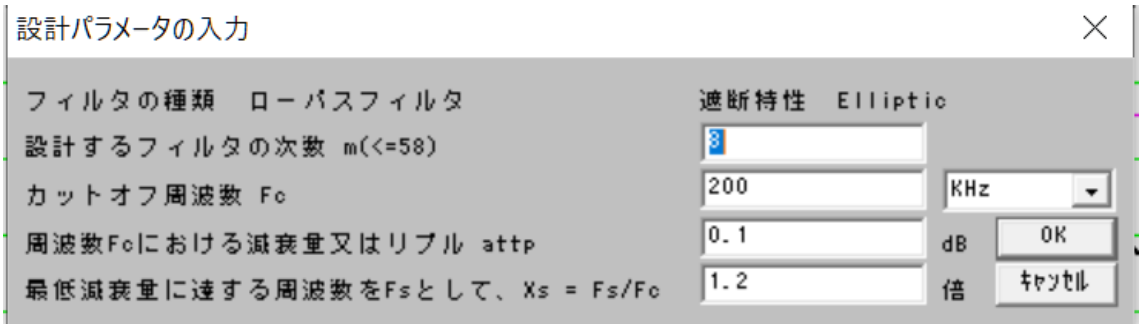
	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 4	494.9472K	91.3696G	0.1665	0	85.3706G

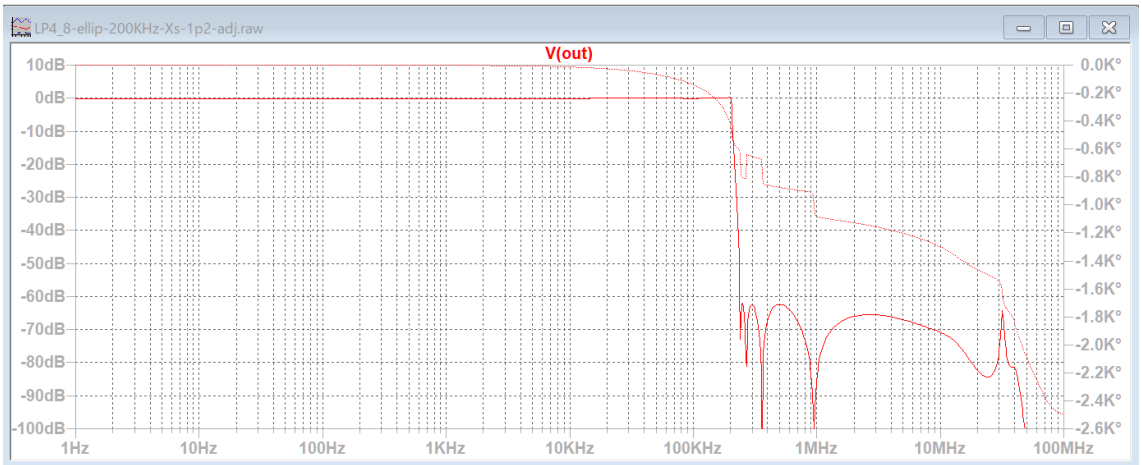
Fc= 48.1084KHz Fc ゲイン= - 6.5772 dB Q = 0.6107 GB 積= 2.9381MegHz

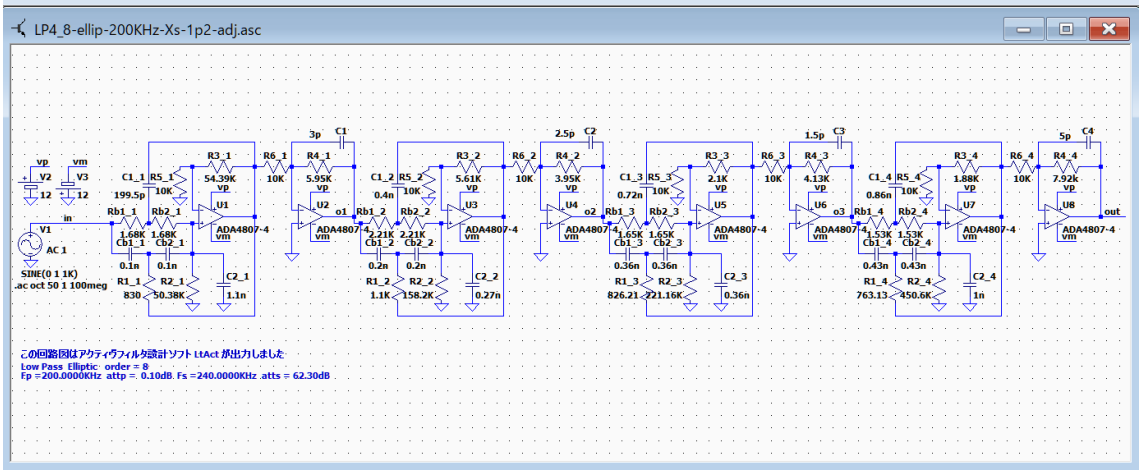
周波数 Hz	ゲイン dB
24.0542K	- 1.8945
25.9800K	- 2.1379
28.0599K	- 2.4281
30.3064K	- 2.7734
32.7327K	- 3.1834
35.3533K	- 3.6682
38.1837K	- 4.2387
41.2407K	- 4.9062
44.5424K	- 5.6819
48.1084K	- 6.5772
51.9600K	- 7.6039
56.1199K	- 8.7747
60.6128K	- 10.1056
65.4655K	- 11.6183
70.7066K	- 13.3454
76.3674K	- 15.3397
82.4813K	- 17.6923
89.0847K	- 20.5762
96.2168K	- 24.3706

LP4_8-ellip-200KHz-Xs-1p2

楕円関数・ローパスフィルター 8 次 200KHz Xs = 1.2







1Hz～174KHz のゲインは±0.1dB 以内、174KHz～200KHz のゲインは±0.25dB 以内
240KHz 以上における最低減衰量は -63.0dB

調整した素子値
R1_1 = 840 → 830　　C1_1 = 200p → 199.5p

阻止域のピーク防止
C1～C4 を追加

R1_1 を大きくすると、カットオフ周波数付近のゲインが増加して、カットオフ周波数を少し上方に移動することが出来る。

C1_1 を微調整すると、カットオフ周波数付近のゲインを調整できる。

++++++++++ 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=8
Fp =200.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =240.0000KHz atts = 62.30dB
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	80.2543K	1.6394T	0.1665	0	5.8837T
	Fc= 203.7823KHz Fc ゲイン= 34.7442 dB Q = 15.9543 GB 積=325.1204MegHz				
2	296.7304K	1.4270T	0.1665	0	855.0312G
	Fc= 190.1225KHz Fc ゲイン= 4.8212 dB Q = 4.0258 GB 積= 76.5393MegHz				
3	657.7524K	956.0352G	0.1665	0	470.3858G
	Fc= 155.6170KHz Fc ゲイン=‐6.3039 dB Q = 1.4865 GB 積= 23.1330MegHz				
4	1.0531Meg	413.6242G	0.1665	0	386.4670G
	Fc= 102.3583KHz Fc ゲイン=‐6.5772 dB Q = 0.6107 GB 積= 6.2512MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_8-ellip-200KHz-Xs-1p2.asc 作成日時 Thu Feb 03 16:53:13 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8　　参照モード=0

Fp =200.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =240.0000KHz atts = 62.30dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 1.6820K Cb_1(2 個)= 0.1000n R1_1 = 840.9984 C1_1 = 0.2000n 誤差=5.48 %

1 R2_1 = 50.3820K C2_1 = 1.1000n 誤差 = 1.23 %

1 R3_1 = 54.3907K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 2.96 %

1 R4_1 = 5.9457K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 4.28 %

2 (et2)「LP4-2-0」 Rb_2(2 個)= 2.2061K Cb_2(2 個)= 0.2000n R1_2 = 1.1031K C1_2 = 0.4000n 誤差=2.53 %

2 R2_2 = 158.1977K C2_2 = 0.2700n 誤差 = 1.14 %

2 R3_2 = 5.6087K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 0.15 %

2 R4_2 = 3.9458K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 1.16 %

3 (et2)「LP4-2-2」 Rb_3(2 個)= 1.6524K Cb_3(2 個)= 0.3600n R1_3 = 826.2106 C1_3 = 0.7200n 誤差=5.29 %

3 R2_3 = 221.1634K C2_3 = 0.3600n 誤差 = 0.53 %

3 R3_3 = 2.1028K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 4.62 %

3 R4_3 = 4.1261K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 4.22 %

4 (et2)「LP4-2-2」 Rb_4(2 個)= 1.5263K Cb_4(2 個)= 0.4300n R1_4 = 763.1250 C1_4 = 0.8600n 誤差=5.25 %

4 R2_4 = 450.6045K C2_4 = 1.0000n 誤差 = 4.30 %

4 R3_4 = 1.8807K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 4.29 %

4 R4_4 = 7.9176K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.57 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8
Fp =200.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =240.0000KHz atts = 62.30dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	80.2543K	1.6394T	0.1665	0	5.8837T

Fc= 203.7823KHz Fc ゲイン= 34.7442 dB Q = 15.9543 GB 積=325.1204MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
101.8912K	13.4891
110.0485K	13.9658
118.8590K	14.5594
128.3748K	15.3107
138.6525K	16.2828
149.7529K	17.5809
161.7421K	19.3988
174.6912K	22.1539
188.6769K	26.9906
203.7823K	34.7442
220.0971K	25.5220
237.7180K	19.2130
256.7496K	14.9784
277.3049K	11.6696
299.5059K	8.8648
323.4843K	6.3651
349.3823K	4.0591
377.3538K	1.8763
407.5646K	- 0.2333

Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 2 296.7304K 1.4270T 0.1665 0 855.0312G Fc= 190.1225KHz Fc
ゲイン= 4.8212 dB Q = 4.0258 GB 積= 76.5393MegHz
周波数 Hz ゲイン dB
95.0612K - 2.6928
102.6718K - 2.3409
110.8917K - 1.9040
119.7697K - 1.3549
129.3584K - 0.6552
139.7148K 0.2495
150.9003K 1.4299
162.9813K 2.9367
176.0296K 4.5391
190.1225K 4.8212
205.3436K 2.1618
221.7834K - 1.8805
239.5393K - 5.9644
258.7168K - 9.9653
279.4296K - 14.1100
301.8006K - 18.8263
325.9627K - 25.1395
352.0592K - 38.7944
380.2450K - 33.1841

Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 3 657.7524K 956.0352G 0.1665 0 470.3858G Fc= 155.6170KHz Fc
ゲイン= - 6.3039 dB Q = 1.4865 GB 積= 23.1330MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
77.8085K	- 5.2251
84.0379K	- 5.0819
90.7659K	- 4.9257
98.0326K	- 4.7637
105.8811K	- 4.6116
114.3579K	- 4.5020
123.5133K	- 4.4955
133.4018K	- 4.6946
144.0819K	- 5.2454
155.6170K	- 6.3039
168.0757K	- 7.9681
181.5318K	-10.2458
196.0652K	-13.1165
211.7621K	-16.6548
228.7157K	-21.2201
247.0267K	-28.1630
266.8036K	-58.3659
288.1638K	-30.7966
311.2341K	-25.5369

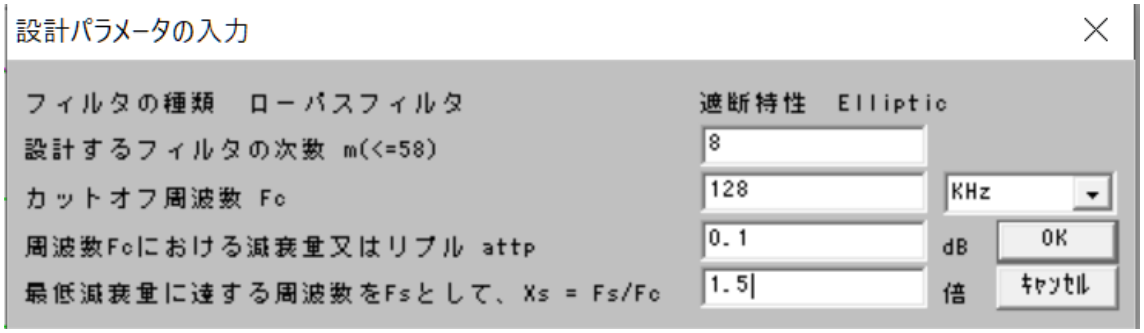
	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 4	1.0531Meg	413.6242G	0.1665	0	386.4670G	Fc= 102.3583KHz	Fc

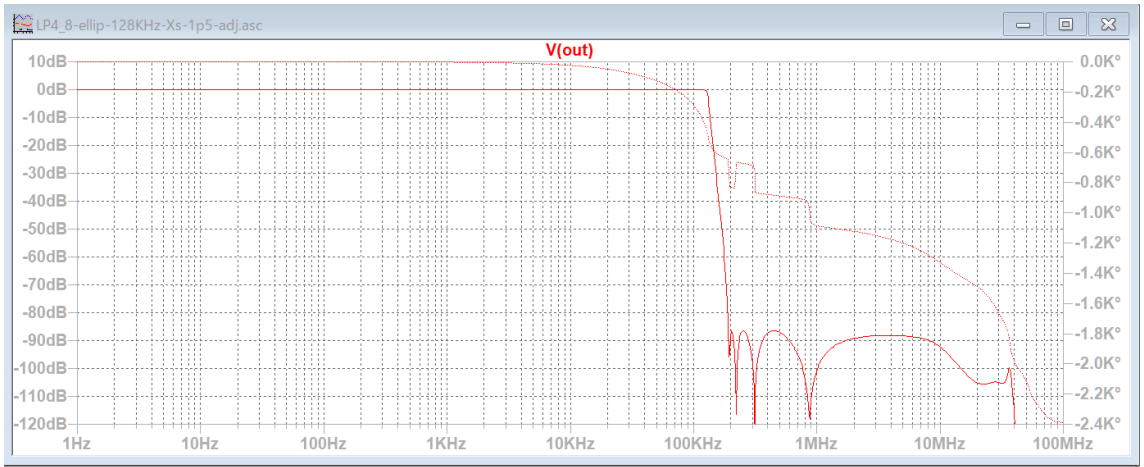
ゲイン= - 6.5772 dB Q = 0.6107 GB 積= 6.2512MegHz

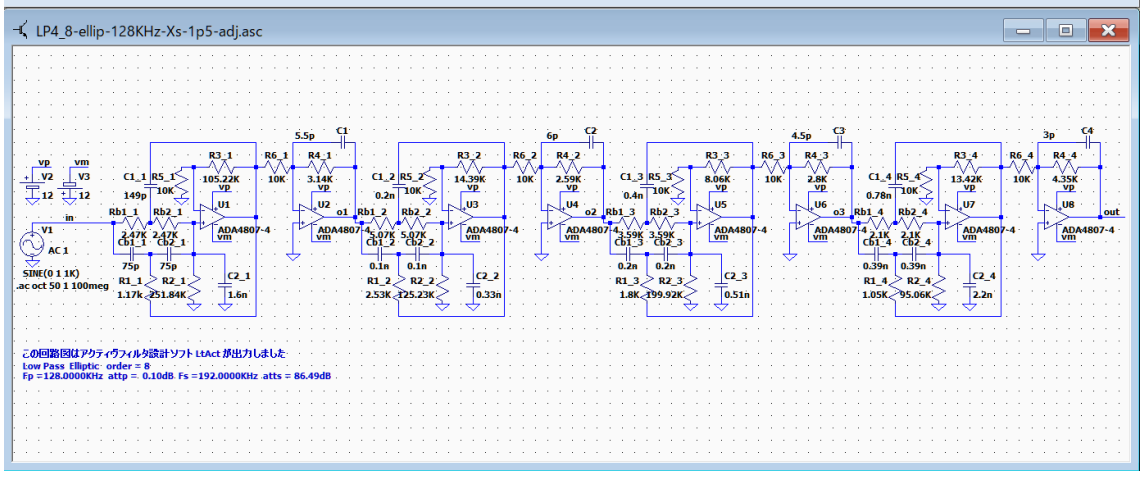
周波数 Hz	ゲイン dB
51.1792K	- 1.8945
55.2766K	- 2.1379
59.7020K	- 2.4281
64.4817K	- 2.7734
69.6441K	- 3.1834
75.2198K	- 3.6682
81.2419K	- 4.2387
87.7461K	- 4.9062
94.7710K	- 5.6819
102.3583K	- 6.5772
110.5531K	- 7.6039
119.4040K	- 8.7747
128.9634K	- 10.1056
139.2882K	- 11.6183
150.4396K	- 13.3454
162.4837K	- 15.3397
175.4921K	- 17.6923
189.5420K	- 20.5762
204.7167K	- 24.3706

LP4_8-ellip-128KHz-Xs-1p5

楕円関数・ローパスフィルター 8 次 128KHz Xs = 1.5







1Hz から 124KHz の範囲では ±0.2dB

192KHz 以上では、最低減衰量は -86dB

調整した素子値
R1_1 = 1.23K → 1.17K　　C1_1 = 150p → 149p

阻止域のピーク防止
C1～C4 を追加

R1_1 を大きくすると、カットオフ周波数付近のゲインが増加して、カットオフ周波数を少し上方に移動することが出来る。

C1_1 を微調整すると、カットオフ周波数付近のゲインを調整できる。

++++++++++ 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=8
Fp =128.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =192.0000KHz atts = 86.49dB
　サンプリング周波数 384KHz のナイキスト周波数 192KHz で最低減衰量に達する。
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	73.7484K	680.5443G	82.9722m	0	2.4183T
	Fc= 131.2951KHz Fc ゲイン= 31.7812 dB Q = 11.1860 GB 積=146.8669MegHz				
2	239.8004K	553.9723G	82.9722m	0	323.1770G
	Fc= 118.4580KHz Fc ゲイン= 3.8244 dB Q = 3.1038 GB 積= 36.7670MegHz				
3	435.8889K	329.0599G	82.9722m	0	160.7700G
	Fc= 91.2972KHz Fc ゲイン=‐5.4528 dB Q = 1.3160 GB 積= 12.0149MegHz				
4	593.6018K	127.3278G	82.9722m	0	124.2780G
	Fc= 56.7913KHz Fc ゲイン=‐5.4029 dB Q = 0.6011 GB 積= 3.4139MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_8-ellip-128KHz-Xs-1p5.asc 作成日時 Sat Feb 05 16:13:21 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8　　参照モード=0

Fp =128.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =192.0000KHz atts = 86.49dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 2.4698K Cb_1(2 個)= 75.0000p R1_1 = 1.2349K C1_1 = 0.1500n 誤差=3.99 %

1 R2_1 = 251.8356K C2_1 = 1.6000n 誤差 = 4.70 %

1 R3_1 = 105.2244K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 4.54 %

1 R4_1 = 3.1444K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 4.59 %

2 (et2)「LP4-2-1」 Rb_2(2 個)= 5.0669K Cb_2(2 個)= 0.1000n R1_2 = 2.5335K C1_2 = 0.2000n 誤差=5.31 %

2 R2_2 = 125.2323K C2_2 = 0.3300n 誤差 = 3.81 %

2 R3_2 = 14.3937K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 4.21 %

2 R4_2 = 2.5850K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 4.45 %

3 (et2)「LP4-2-2」 Rb_3(2 個)= 3.5920K Cb_3(2 個)= 0.2000n R1_3 = 1.7960K C1_3 = 0.4000n 誤差=2.52 %

3 R2_3 = 199.9156K C2_3 = 0.5100n 誤差 = 0.04 %

3 R3_3 = 8.0644K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 1.68 %

3 R4_3 = 2.8018K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 3.63 %

4 (et2)「LP4-2-2」 Rb_4(2 個)= 2.0951K Cb_4(2 個)= 0.3900n R1_4 = 1.0475K C1_4 = 0.7800n 誤差=7.48 %

4 R2_4 = 95.0639K C2_4 = 2.2000n 誤差 = 4.27 %

4 R3_4 = 13.4226K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 3.15 %

4 R4_4 = 4.3508K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 1.17 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8
Fp =128.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =192.0000KHz atts = 86.49dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
Blk No. 1	73.7484K	680.5443G	82.9722m	0	2.4183T	Fc= 131.2951KHz Fc

ゲイン= 31.7812 dB Q = 11.1860 GB 積=146.8669MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
65.6475K	13.4455
70.9033K	13.9283
76.5798K	14.5283
82.7107K	15.2859
89.3325K	16.2627
96.4844K	17.5604
104.2090K	19.3624
112.5519K	22.0449
121.5628K	26.4868
131.2951K	31.7812
141.8065K	25.0846
153.1595K	19.2389
165.4214K	15.1494
178.6650K	11.9351
192.9689K	9.2180
208.4179K	6.8126
225.1038K	4.6146
243.1256K	2.5595
262.5901K	0.6034

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 2	239.8004K	553.9723G	82.9722m	0	323.1770G	Fc=	118.4580KHz

Fc ゲイン= 3.8244 dB Q = 3.1038 GB 積= 36.7670MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
59.2290K	- 2.6925
63.9708K	- 2.3085
69.0923K	- 1.8387
74.6238K	- 1.2600
80.5982K	- 0.5423
87.0509K	0.3496
94.0201K	1.4433
101.5474K	2.6995
109.6772K	3.8010
118.4580K	3.8244
127.9417K	2.0166
138.1846K	- 0.8858
149.2477K	- 3.9777
161.1964K	- 6.9629
174.1017K	- 9.8284
188.0403K	- 12.6373
203.0947K	- 15.4759
219.3544K	- 18.4532
236.9159K	- 21.7278

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 3	435.8889K	329.0599G	82.9722m	0	160.7700G	Fc=	91.2972KHz

Fc ゲイン= - 5.4528 dB Q = 1.3160 GB 積= 12.0149MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
45.6486K	- 5.0915
49.3032K	- 4.9245
53.2504K	- 4.7439
57.5137K	- 4.5575
62.1182K	- 4.3813
67.0914K	- 4.2451
72.4627K	- 4.1997
78.2640K	- 4.3219
84.5298K	- 4.7090
91.2972K	- 5.4528
98.6065K	- 6.5980
106.5009K	- 8.1224
115.0273K	- 9.9592
124.2364K	-12.0408
134.1827K	-14.3294
144.9253K	-16.8300
156.5280K	-19.5990
169.0596K	-22.7698
182.5945K	-26.6339

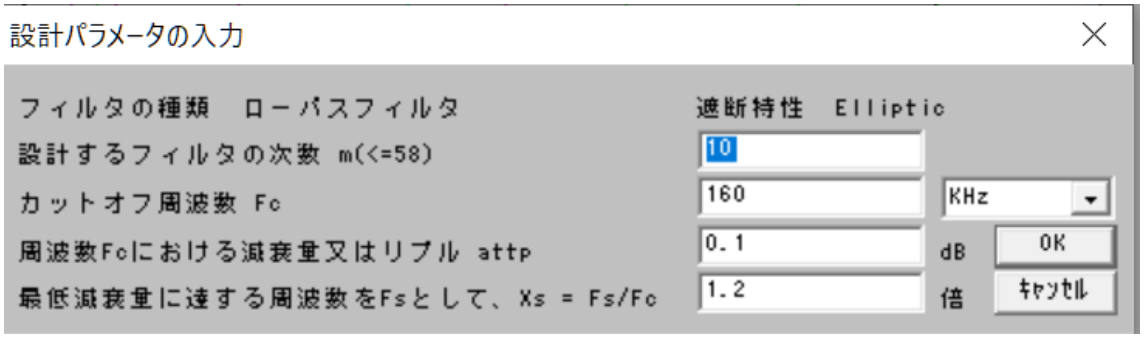
	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 4	593.6018K	127.3278G	82.9722m	0	124.2780G	Fc=	56.7913KHz

Fc ゲイン= - 5.4029 dB Q = 0.6011 GB 積= 3.4139MegHz

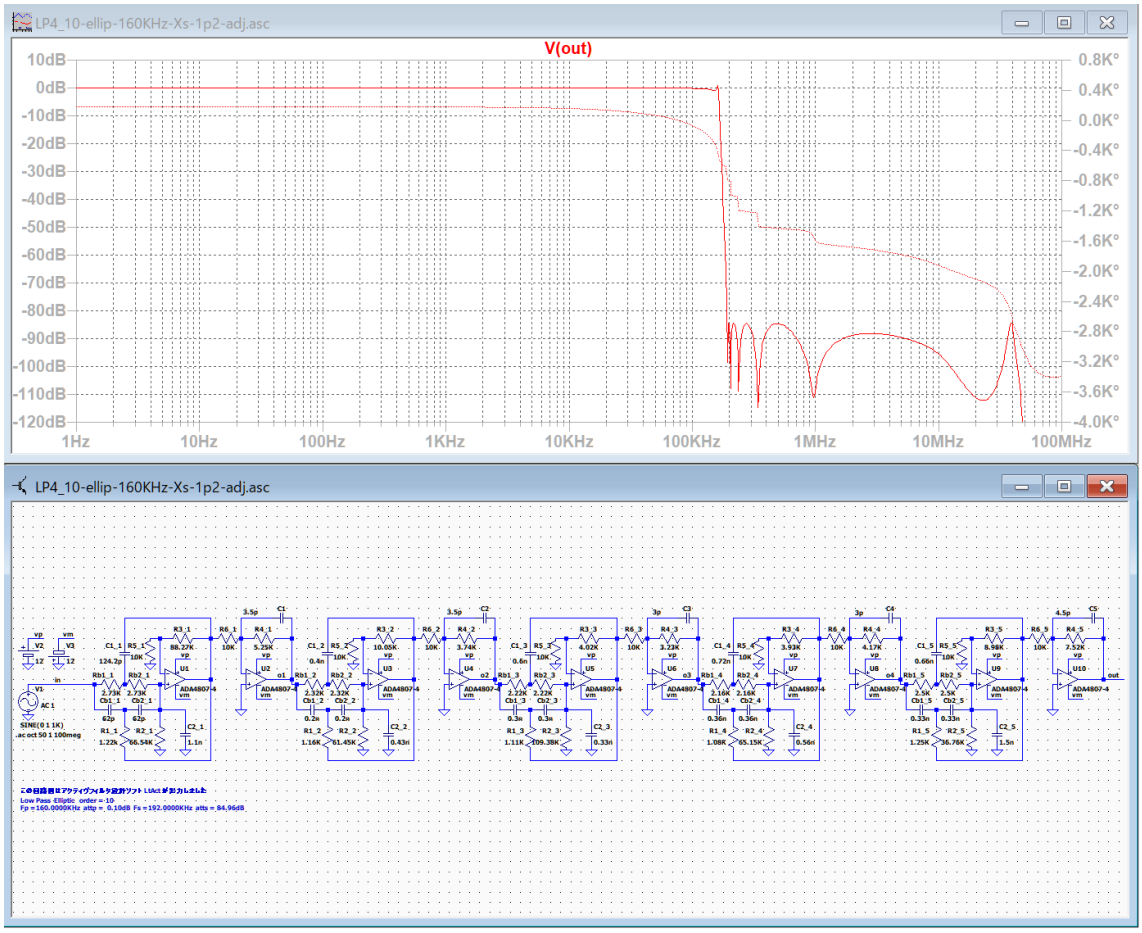
周波数 Hz	ゲイン dB
28.3957K	- 1.3813
30.6690K	- 1.5975
33.1244K	- 1.8542
35.7763K	- 2.1582
38.6405K	- 2.5171
41.7341K	- 2.9386
45.0753K	- 3.4308
48.6840K	- 4.0012
52.5816K	- 4.6567
56.7913K	- 5.4029
61.3380K	- 6.2445
66.2487K	- 7.1845
71.5526K	- 8.2256
77.2811K	- 9.3698
83.4682K	- 10.6201
90.1506K	- 11.9814
97.3680K	- 13.4620
105.1633K	- 15.0758
113.5826K	- 16.8455

LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 160KHz Xs = 1.2



オペアンプが ADA4807-4 の場合



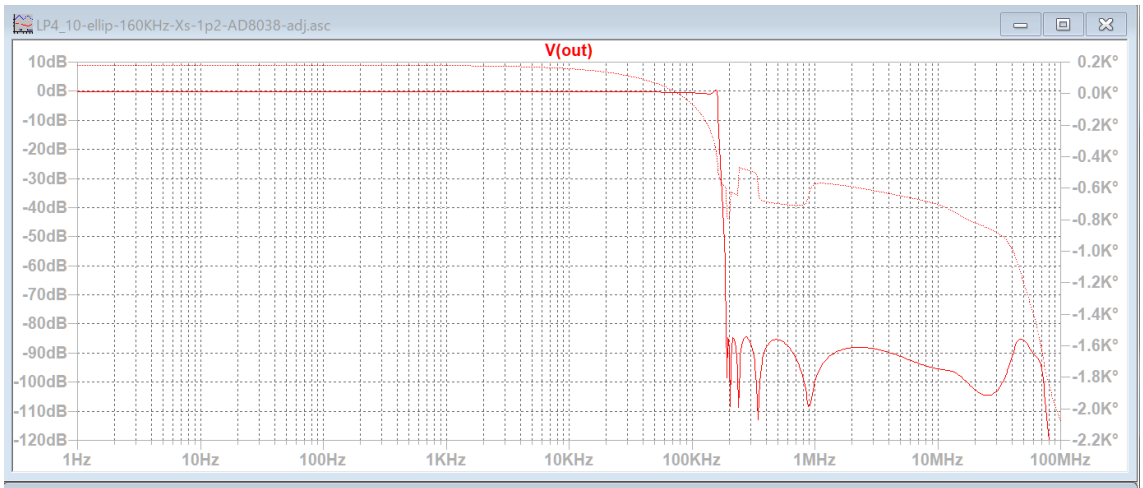
1Hz から 100KHz まで ±0.1dB、100KHz から 160KHz まで ±1dB 以内
192KHz 以上における最低減衰量は -84.4dB

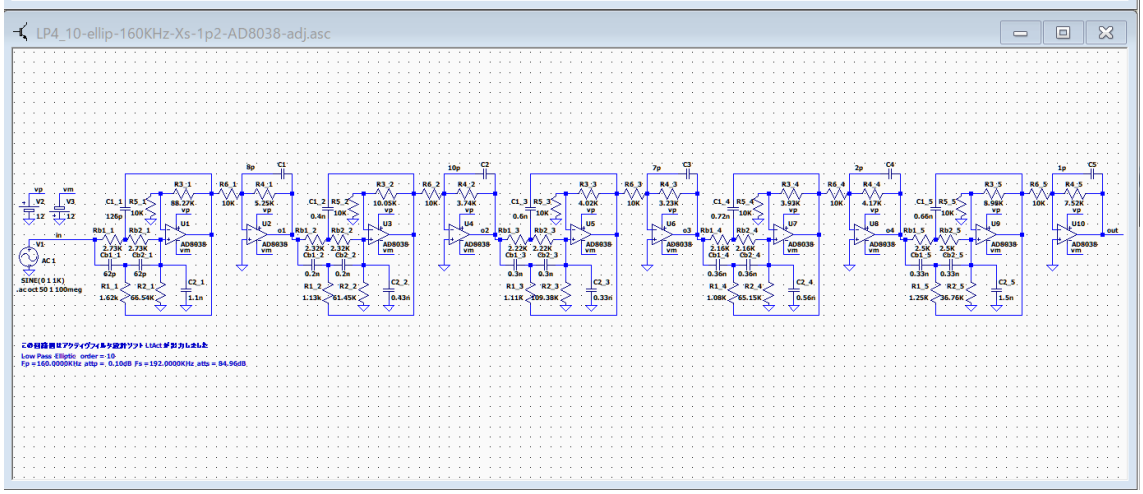
調整した素子値　　R1_1 = 1.37K → 1.22K　　C1_1 = 124p → 124.2p
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2-AD8038-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 160KHz Xs = 1.2

オペアンプが AD8038 の場合





1Hz から 100KHz まで ±0.5dB、100KHz から 160KHz まで ±1dB 以内

192KHz 以上における最低減衰量は -84.5dB

調整した素子値　　R1_1 = 1.37K → 1.62K　　C1_1 = 124p → 126p

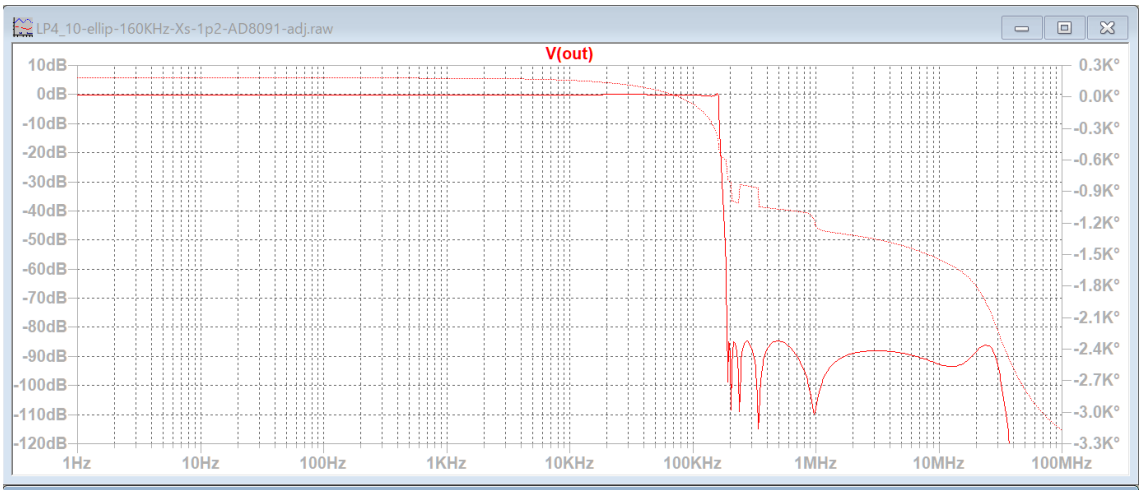
R1_2 = 1.16K → 1.13K

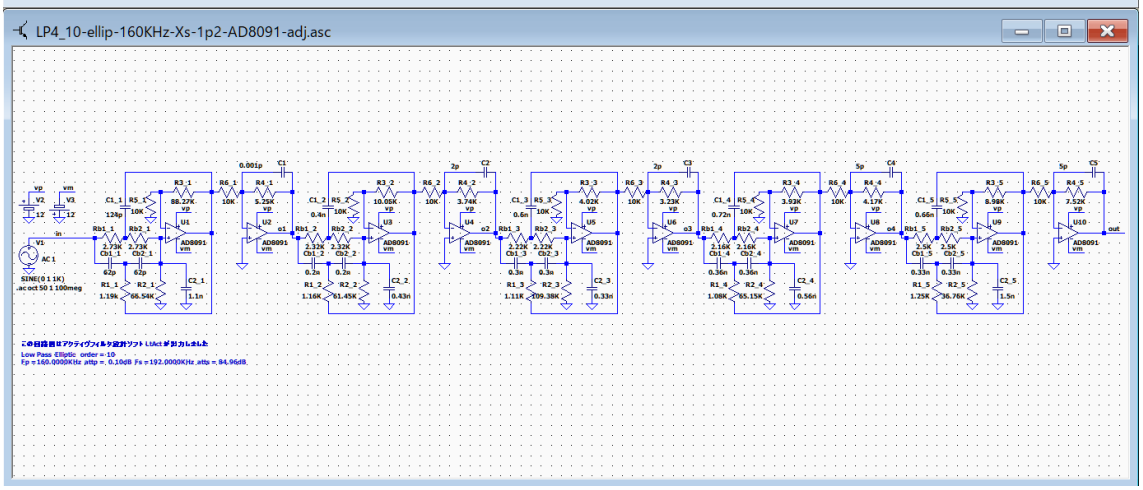
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2-AD8091-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 160KHz Xs = 1.2

オペアンプが AD8091 の場合





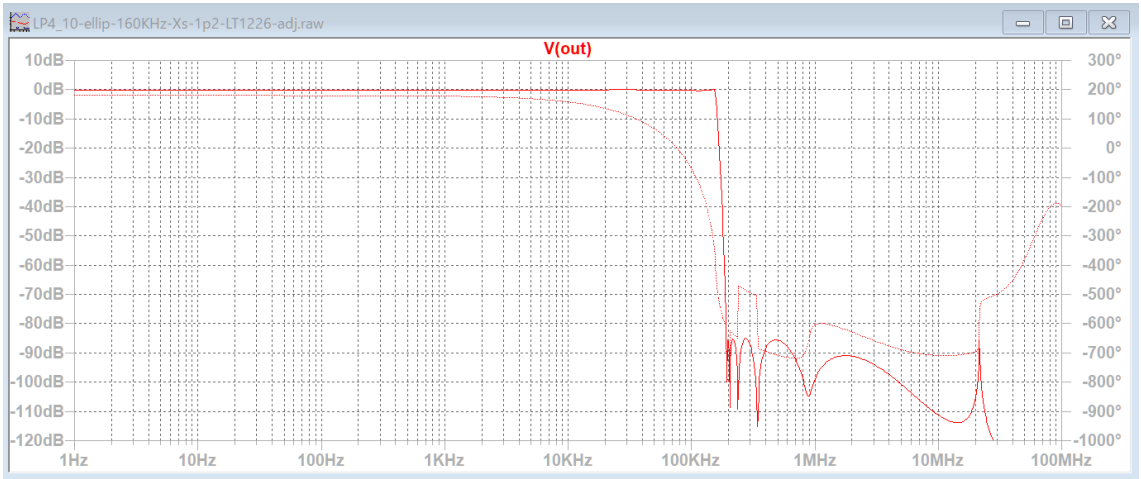
1Hz から 100KHz まで ±0.2dB、100KHz から 160KHz まで ±0.7dB 以内
192KHz 以上における最低減衰量は -85dB

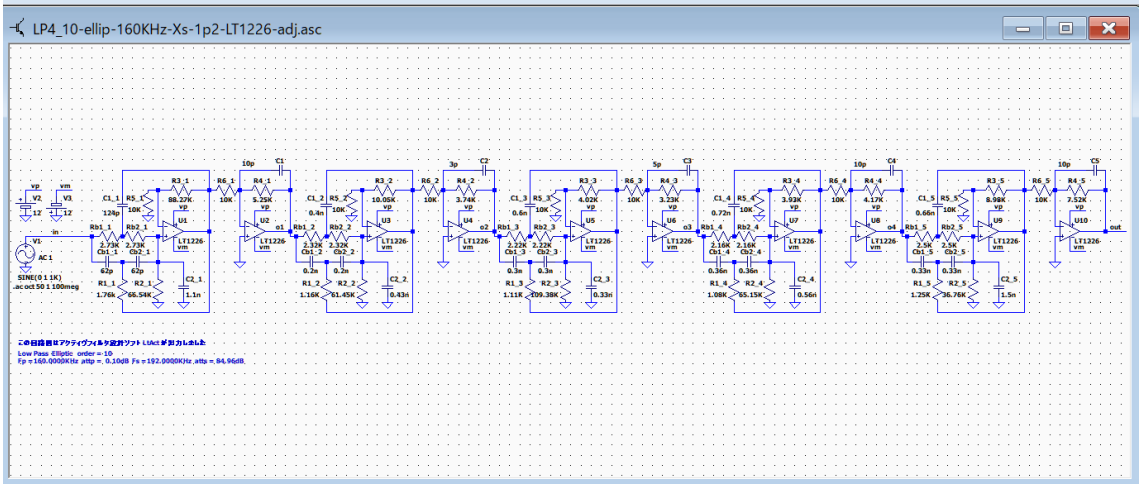
調整した素子値　　R1_1 = 1.37K → 1.19K
阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2-LT1226-adj

楕円関数・ローパスフィルター 10 次 160KHz Xs = 1.2

オペアンプが LT1226 の場合





1Hz から 100KHz まで ±0.1dB、100KHz から 160KHz まで ±0.8dB 以内

192KHz 以上における最低減衰量は -84.6dB

調整した素子値　　R1_1 = 1.37K → 1.67K

阻止域のピーク防止　　C1～C5 を追加

未調整時のカットオフ周辺の周波数特性の比較

BP1_3-chev-800-1p25KHz未調整時のカットオフ周辺の周波数特性の比較

R1_1 を大きくすると、カットオフ周波数付近のゲインが増加して、カットオフ周波数を少し上方に移動することが出来る。

C1_1 を微調整すると、カットオフ周波数付近のゲインを調整できる。

++++++++++ 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=10
Fp =160.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =192.0000KHz atts = 84.96dB
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	41.8150K	1.0345T	0.1414	0	4.9312T
	Fc= 161.8781KHz Fc ゲイン= 41.0235 dB Q = 24.3240 GB 積=393.7529MegHz				
2	143.7016K	940.4997G	0.1414	0	655.1850G
	Fc= 154.3475KHz Fc ゲイン= 11.4743 dB Q = 6.7487 GB 積=104.1639MegHz				
3	296.5985K	734.8202G	0.1414	0	319.4831G
	Fc= 136.4303KHz Fc ゲイン=- 1.4324 dB Q = 2.8902 GB 積= 39.4305MegHz				
4	503.1291K	430.2346G	0.1414	0	234.5313G
	Fc= 104.3934KHz Fc ゲイン=- 5.5743 dB Q = 1.3037 GB 積= 13.6096MegHz				
5	678.0560K	165.9830G	0.1414	0	208.4877G
	Fc= 64.8413KHz Fc ゲイン=- 3.4815 dB Q = 0.6009 GB 積= 3.8960MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_10-ellip-160KHz-Xs-1p2.asc 作成日時 Sun Feb 06 05:33:52 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=10 参照モード=0

Fp =160.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =192.0000KHz atts = 84.96dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 2.7310K Cb_1(2 個)= 62.0000p R1_1 = 1.3655K C1_1 = 0.1240n 誤差=5.89 %

1 R2_1 = 66.5363K C2_1 = 1.1000n 誤差 = 2.20 %

1 R3_1 = 88.2691K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 3.09 %

1 R4_1 = 5.2488K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 2.84 %

2 (et2)「LP4-2-0」 Rb_2(2 個)= 2.3226K Cb_2(2 個)= 0.2000n R1_2 = 1.1613K C1_2 = 0.4000n 誤差=5.33 %

2 R2_2 = 61.4487K C2_2 = 0.4300n 誤差 = 0.90 %

2 R3_2 = 10.0545K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 0.54 %

2 R4_2 = 3.7363K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 3.65 %

3 (et2)「LP4-2-1」 Rb_3(2 個)= 2.2174K Cb_3(2 個)= 0.3000n R1_3 = 1.1087K C1_3 = 0.6000n 誤差=3.51 %

3 R2_3 = 109.3754K C2_3 = 0.3300n 誤差 = 0.57 %

3 R3_3 = 4.0229K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 3.06 %

3 R4_3 = 3.2262K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 2.29 %

4 (et2)「LP4-2-2」 Rb_4(2 個)= 2.1567K Cb_4(2 個)= 0.3600n R1_4 = 1.0783K C1_4 = 0.7200n 誤差=5.04 %

4 R2_4 = 65.1482K C2_4 = 0.5600n 誤差 = 4.38 %

4 R3_4 = 3.9285K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 0.72 %

4 R4_4 = 4.1729K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.05 %

5 (et2)「LP4-2-2」 Rb_5(2 個)= 2.4954K Cb_5(2 個)= 0.3300n R1_5 = 1.2477K C1_5 = 0.6600n 誤差=6.20 %

5 R2_5 = 36.7578K C2_5 = 1.5000n 誤差 = 2.06 %

5 R3_5 = 8.9808K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 1.33 %

5 R4_5 = 7.5161K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 0.21 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=10

Fp =160.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =192.0000KHz atts = 84.96dB

２次式の形式

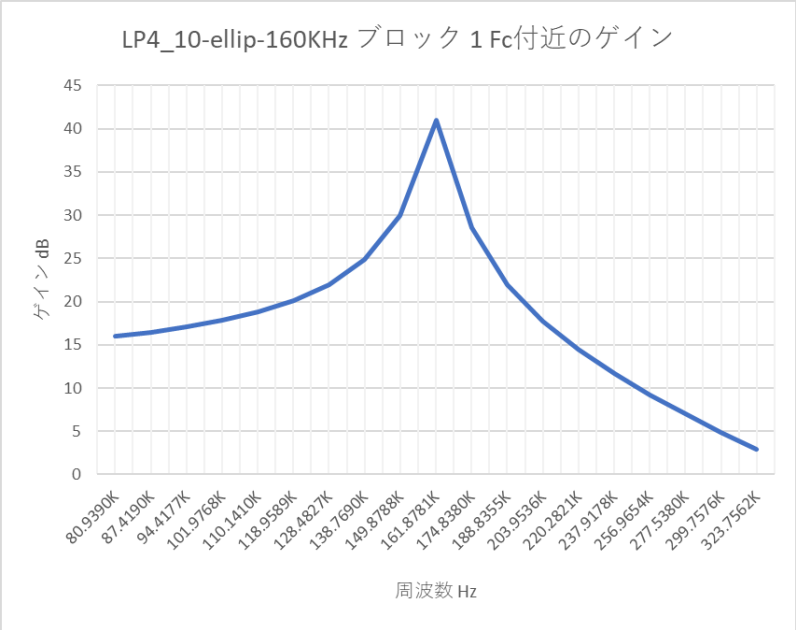
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	41.8150K	1.0345T	0.1414	0	4.9312T

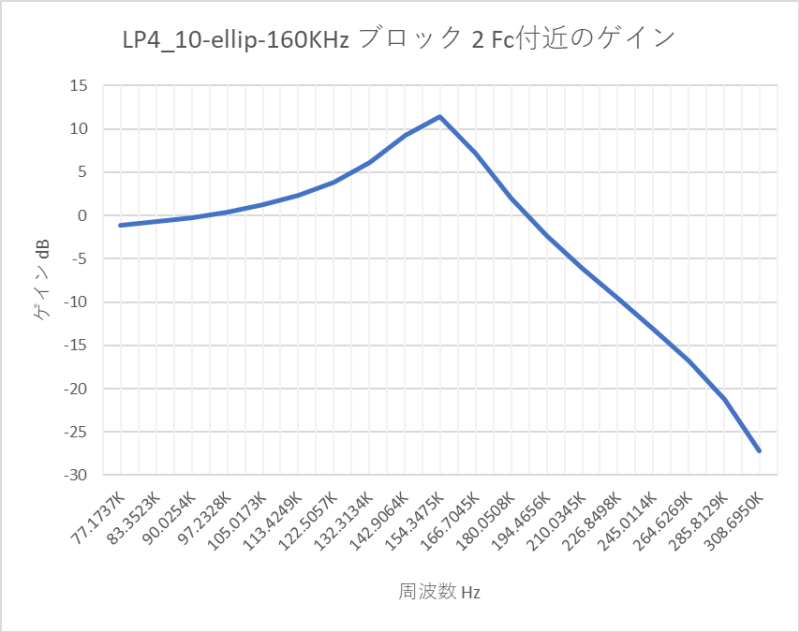
Fc= 161.8781KHz Fc ゲイン= 41.0235 dB Q = 24.3240 GB 積=393.7529MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
80.9390K	15.9952
87.4190K	16.4794
94.4177K	17.0822
101.9768K	17.8450
110.1410K	18.8320
118.9589K	20.1508
128.4827K	22.0019
138.7690K	24.8276
149.8788K	29.9504
161.8781K	41.0235
174.8380K	28.5304
188.8355K	21.9853
203.9536K	17.7331
220.2821K	14.4487
237.9178K	11.6874
256.9654K	9.2456
277.5380K	7.0126
299.7576K	4.9200
323.7562K	2.9217



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4
Blk No. 2　143.7016K　940.4997G　0.1414　0　655.1850G Fc= 154.3475KHz Fc
ゲイン= 11.4743 dB Q = 6.7487 GB 積=104.1639MegHz

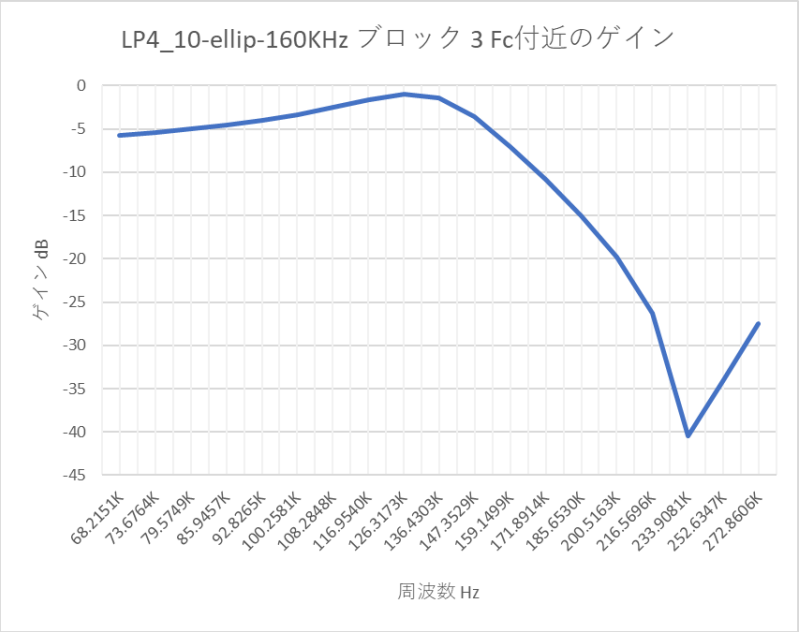
周波数 Hz	ゲイン dB
77.1737K	- 1.1356
83.3523K	- 0.7300
90.0254K	- 0.2234
97.2328K	0.4195
105.0173K	1.2522
113.4249K	2.3604
122.5057K	3.8891
132.3134K	6.0906
142.9064K	9.2670
154.3475K	11.4743
166.7045K	7.2426
180.0508K	2.0104
194.4656K	- 2.3139
210.0345K	- 6.0765
226.8498K	- 9.5915
245.0114K	- 13.0993
264.6269K	- 16.8515
285.8129K	- 21.2427
308.6950K	- 27.2307



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 3　296.5985K　734.8202G　0.1414　0　319.4831G Fc= 136.4303KHz Fc ゲイン= - 1.4324 dB Q = 2.8902 GB 積= 39.4305MegHz

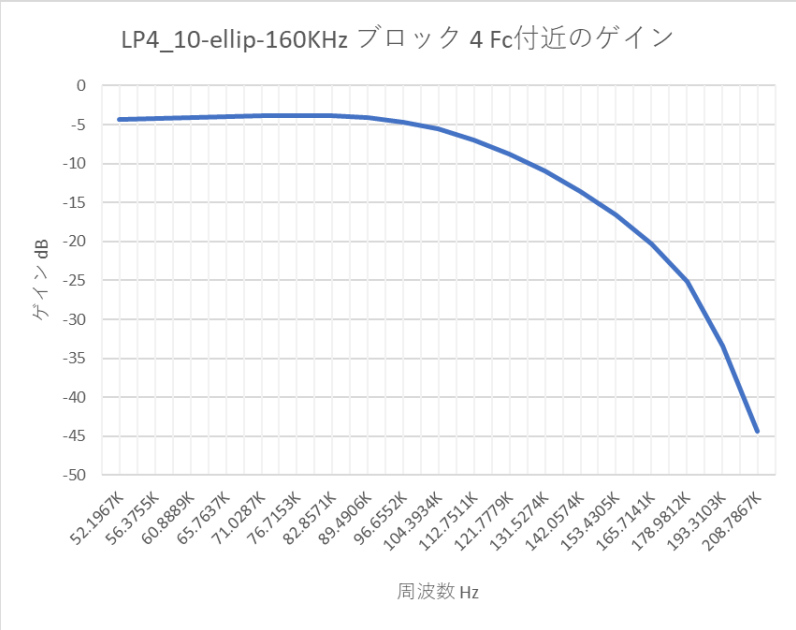
周波数 Hz	ゲイン dB
68.2151K	- 5.6975
73.6764K	- 5.3974
79.5749K	- 5.0296
85.9457K	- 4.5763
92.8265K	- 4.0155
100.2581K	- 3.3245
108.2848K	- 2.4961
116.9540K	- 1.6005
126.3173K	- 0.9722
136.4303K	- 1.4324
147.3529K	- 3.6145
159.1499K	- 6.9795
171.8914K	- 10.8251
185.6530K	- 15.0042
200.5163K	- 19.8156
216.5696K	- 26.2684
233.9081K	- 40.4741
252.6347K	- 34.0211
272.8606K	- 27.4400



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 4　503.1291K　430.2346G　0.1414　0　234.5313G Fc= 104.3934KHz Fc ゲイン= - 5.5743 dB Q = 1.3037 GB 積= 13.6096MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
52.1967K	- 4.3624
56.3755K	- 4.2358
60.8889K	- 4.1036
65.7637K	- 3.9753
71.0287K	- 3.8693
76.7153K	- 3.8178
82.8571K	- 3.8746
89.4906K	- 4.1195
96.6552K	- 4.6537
104.3934K	- 5.5743
112.7511K	- 6.9372
121.7779K	- 8.7396
131.5274K	- 10.9467
142.0574K	- 13.5429
153.4305K	- 16.5832
165.7141K	- 20.2657
178.9812K	- 25.1477
193.3103K	- 33.3728
208.7867K	- 44.3658

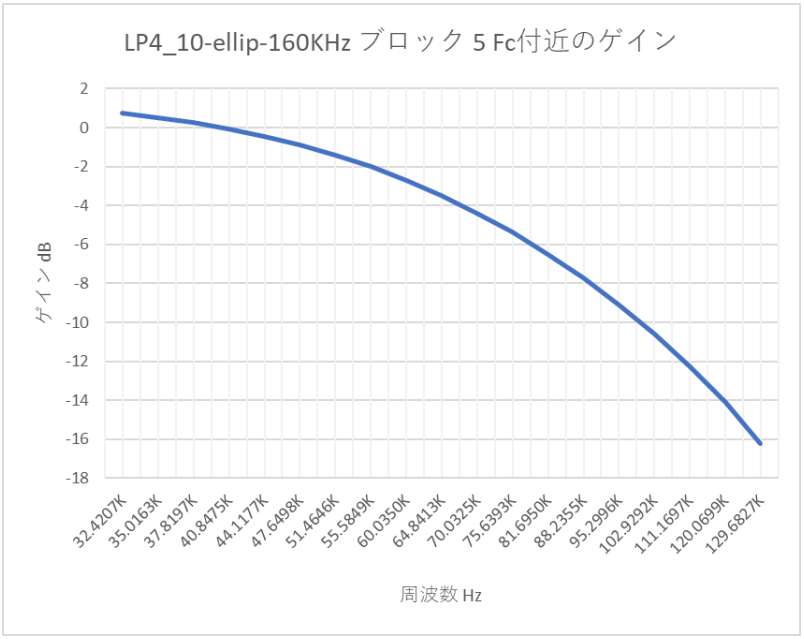


Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 5　678.0560K　165.9830G　0.1414　0　208.4877G Fc= 64.8413KHz Fc

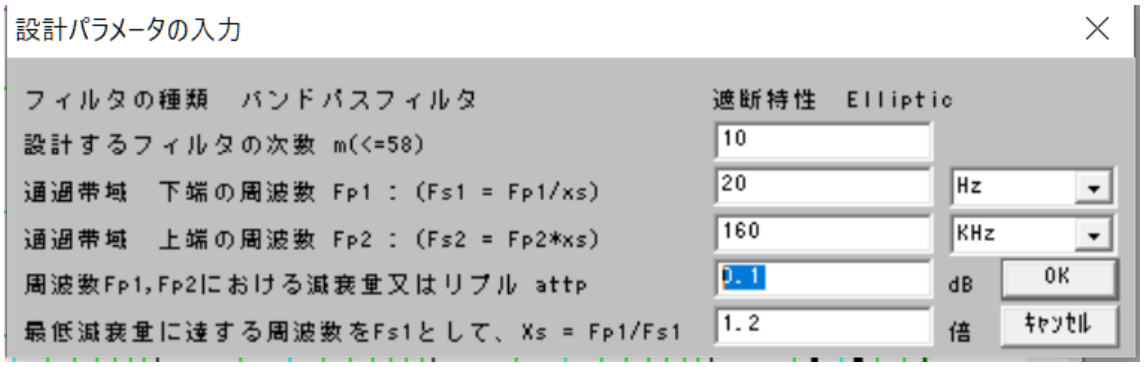
ゲイン= - 3.4815 dB Q = 0.6009 GB 積= 3.8960MegHz

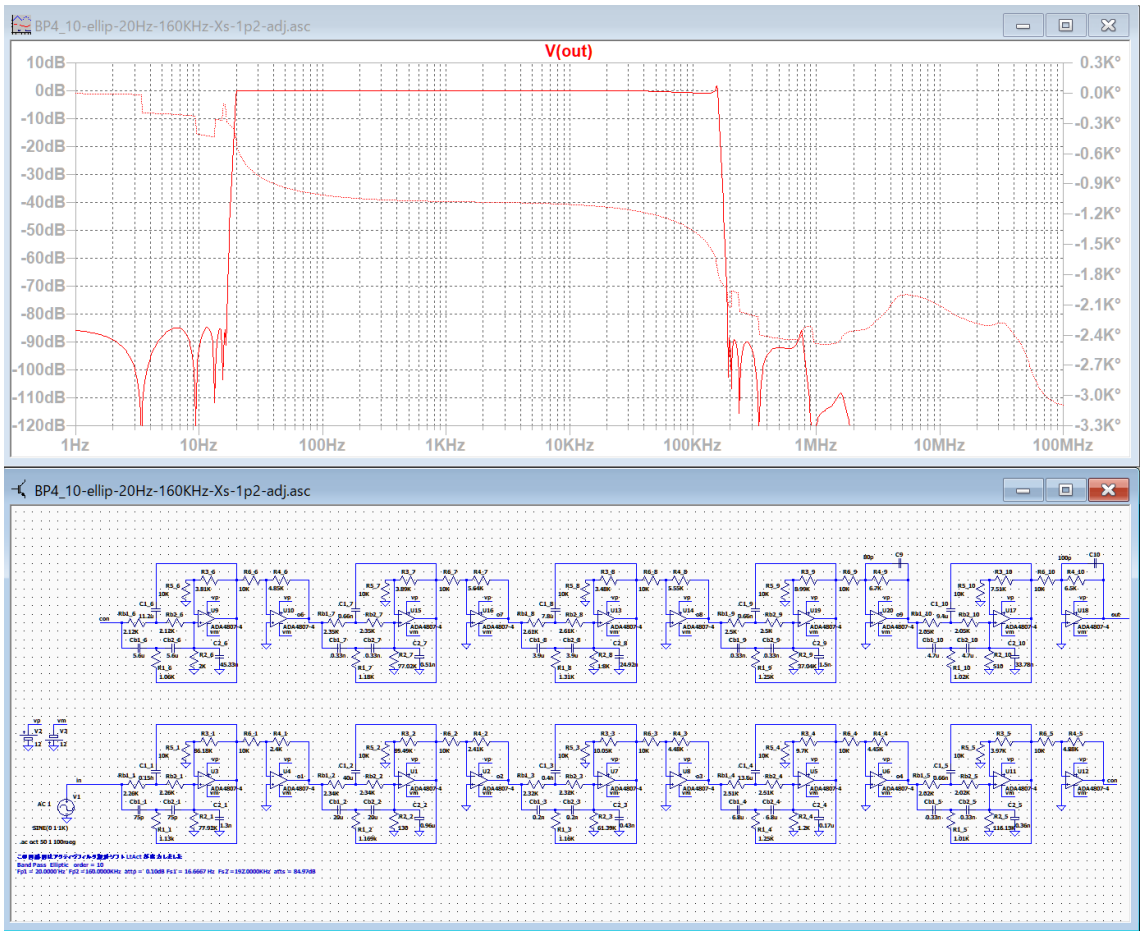
周波数 Hz	ゲイン dB
32.4207K	0.7461
35.0163K	0.5191
37.8197K	0.2498
40.8475K	- 69.1135m
44.1177K	- 0.4455
47.6498K	- 0.8877
51.4646K	- 1.4044
55.5849K	- 2.0038
60.0350K	- 2.6938
64.8413K	- 3.4815
70.0325K	- 4.3730
75.6393K	- 5.3737
81.6950K	- 6.4889
88.2355K	- 7.7248
95.2996K	- 9.0898
102.9292K	- 10.5968
111.1697K	- 12.2660
120.0699K	- 14.1301
129.6827K	- 16.2434



BP4_10-ellip-20Hz-160KHz-Xs-1p2

楕円関数・バンドパスフィルター 10 次 20Hz ... 160KHz Xs = 1.2





20Hz で -0.1dB、160KHz で -1.4dB

最低減衰量は、16.5Hz 以下で -84.8dB、191.7KHz 以上で -85.6dB

調整した素子値
R1_2 = 1.17K → 1.169K

阻止域のピーク防止
C9, C10 を追加

++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10
Fp1 = 20.0000 Hz Fp2 =160.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 16.6667 Hz Fs2 =192.0000KHz atts = 84.97dB
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	41.8091K	1.0345T	64.7529m	0	2.2583T
	Fc= 161.8778KHz Fc ゲイン= 34.2415 dB Q = 24.3275 GB 積=393.8074MegHz				
2	5.1056	15.4271K	2.1830	0	998.9514
	Fc= 19.7680 Hz Fc ゲイン= 34.2415 dB Q = 24.3275 GB 積= 48.0905KHz				
3	143.6759K	940.5066G	0.1694	0	784.9058G
	Fc= 154.3480KHz Fc ゲイン= 13.0447 dB Q = 6.7499 GB 積=104.1833MegHz				
4	19.2989	16.9691K	0.8346	0	2.8742K
	Fc= 20.7324 Hz Fc ゲイン= 13.0447 dB Q = 6.7499 GB 積= 13.9941KHz				
5	296.5225K	734.8526G	0.2144	0	484.4913G
	Fc= 136.4333KHz Fc ゲイン= 2.1861 dB Q = 2.8910 GB 積= 39.4424MegHz				

6 50.9762 21.7180K 0.6593 0 4.6564K
Fc= 23.4547 Hz Fc ゲイン= 2.1861 dB Q = 2.8910 GB 積= 6.7807KHz
7 502.9163K 430.2811G 0.1915 0 317.6457G
Fc= 104.3990KHz Fc ゲイン=- 2.9367 dB Q = 1.3043 GB 積= 13.6169MegHz
8 147.6567 37.0909K 0.7382 0 7.1022K
Fc= 30.6516 Hz Fc ゲイン=- 2.9367 dB Q = 1.3043 GB 積= 3.9979KHz
9 677.4307K 165.8315G 0.1261 0 185.9269G
Fc= 64.8117KHz Fc ゲイン=- 4.4633 dB Q = 0.6011 GB 積= 3.8960MegHz
10 516.0687 96.2393K 1.1212 0 12.1337K
Fc= 49.3738 Hz Fc ゲイン=- 4.4633 dB Q = 0.6011 GB 積= 2.9680KHz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BP4_10-ellip-20Hz-160KHz-Xs-1p2.asc 作成日時 Sat Feb 12 16:21:32 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10 参照モード=0

Fp1 = 20.0000 Hz Fp2 =160.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 16.6667 Hz Fs2 =192.0000KHz atts = 84.97dB

1 (et2)「LP4-2-0」 Rb_1(2 個)= 2.2577K Cb_1(2 個)= 75.0000p R1_1 = 1.1289K C1_1 = 0.1500n 誤差=3.62 %

1 R2_1 = 77.9215K C2_1 = 1.3000n 誤差 = 3.75 %

1 R3_1 = 86.1803K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 4.85 %

1 R4_1 = 2.4012K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 0.05 %

2 (et2)「HP4-0-0」 Rb_2(2 個)= 2.3374K Cb_2(2 個)= 20.0000u R1_2 = 1.1687K C1_2 = 40.0000u 誤差=4.54 %

2 R2_2 = 130.0000 C2_2 = 0.9630u 誤差 = 3.85 %

2 R3_2 = 89.4852K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.69 %

2 R4_2 = 2.4056K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.23 %

3 (et2)「HP4-2-0」 Rb_3(2 個)= 2.3227K Cb_3(2 個)= 0.2000n R1_3 = 1.1613K C1_3 = 0.4000n 誤差=5.33 %

3 R2_3 = 61.3878K C2_3 = 0.4300n 誤差 = 1.00 %

3 R3_3 = 10.0548K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 0.55 %

3 R4_3 = 4.4763K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 3.94 %

4 (et2)「HP4-0-0」 Rb_4(2 個)= 2.5059K Cb_4(2 個)= 6.8000u R1_4 = 1.2529K C1_4 = 13.6000u 誤差=7.17 %

4 R2_4 = 1.2000K C2_4 = 0.1720u 誤差 = 4.63 %

4 R3_4 = 9.7039K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 3.05 %

4 R4_4 = 4.4498K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.37 %

5 (et2)「HP4-2-1」 Rb_5(2 個)= 2.0158K Cb_5(2 個)= 0.3300n R1_5 = 1.0079K C1_5 = 0.6600n 誤差=3.23 %

5 R2_5 = 116.1470K C2_5 = 0.3600n 誤差 = 3.32 %

5 R3_5 = 3.9722K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 1.82 %

5 R4_5 = 4.8825K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 3.74 %

6 (et2)「HP4-0-1」 Rb_6(2 個)= 2.1249K Cb_6(2 個)= 5.6000u R1_6 = 1.0624K C1_6 = 11.2000u 誤差=5.31 %
6 R2_6 = 2.0000K C2_6 = 45.3306n 誤差 = 3.68 %
6 R3_6 = 3.8116K R5_6 = 10.0000K 誤差 = 2.32 %
6 R4_6 = 4.8508K R6_6 = 10.0000K 誤差 = 3.11 %
7 (et2)「HP4-2-2」 Rb_7(2 個)= 2.3528K Cb_7(2 個)= 0.3300n R1_7 = 1.1764K C1_7 = 0.6600n 誤差=4.15 %
7 R2_7 = 77.0206K C2_7 = 0.5100n 誤差 = 2.62 %
7 R3_7 = 3.8866K R5_7 = 10.0000K 誤差 = 0.35 %
7 R4_7 = 5.6409K R6_7 = 10.0000K 誤差 = 0.73 %
8 (et2)「HP4-0-2」 Rb_8(2 個)= 2.6142K Cb_8(2 個)= 3.9000u R1_8 = 1.3071K C1_8 = 7.8000u 誤差=5.09 %
8 R2_8 = 1.8000K C2_8 = 24.9207n 誤差 = 3.69 %
8 R3_8 = 3.4819K R5_8 = 10.0000K 誤差 = 3.39 %
8 R4_8 = 5.5457K R6_8 = 10.0000K 誤差 = 0.98 %
9 (et2)「HP4-2-2」 Rb_9(2 個)= 2.4954K Cb_9(2 個)= 0.3300n R1_9 = 1.2477K C1_9 = 0.6600n 誤差=6.20 %
9 R2_9 = 37.0403K C2_9 = 1.5000n 誤差 = 2.81 %
9 R3_9 = 8.9912K R5_9 = 10.0000K 誤差 = 1.21 %
9 R4_9 = 6.6991K R6_9 = 10.0000K 誤差 = 1.51 %
10 (et2)「HP4-0-2」 Rb_10(2 個)= 2.0452K Cb_10(2 個)= 4.7000u R1_10 = 1.0226K C1_10 = 9.4000u 誤差=4.47 %
10 R2_10 = 510.0000 C2_10 = 33.7755n 誤差 = 2.30 %
10 R3_10 = 7.5071K R5_10 = 10.0000K 誤差 = 0.09 %
10 R4_10 = 6.4962K R6_10 = 10.0000K 誤差 = 4.56 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10

Fp1 = 20.0000 Hz Fp2 =160.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 16.6667 Hz Fs2 =192.0000KHz atts = 84.97dB

２次式の形式

Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4

Hn = ----------

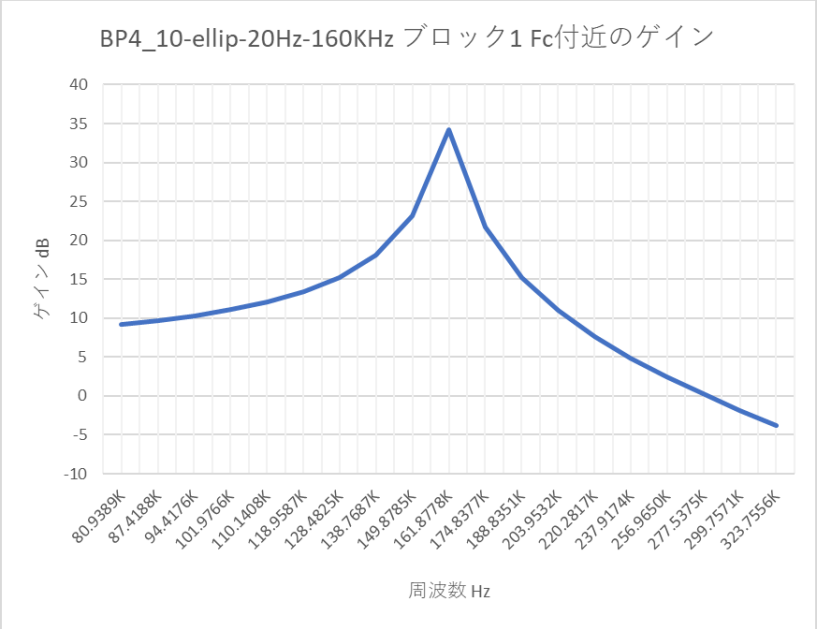
s^2 + Pn_0 * s + Pn_1

２次式

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	41.8091K	1.0345T	64.7529m	0	2.2583T

Fc= 161.8778KHz Fc ゲイン= 34.2415 dB Q = 24.3275 GB 積=393.8074MegHz

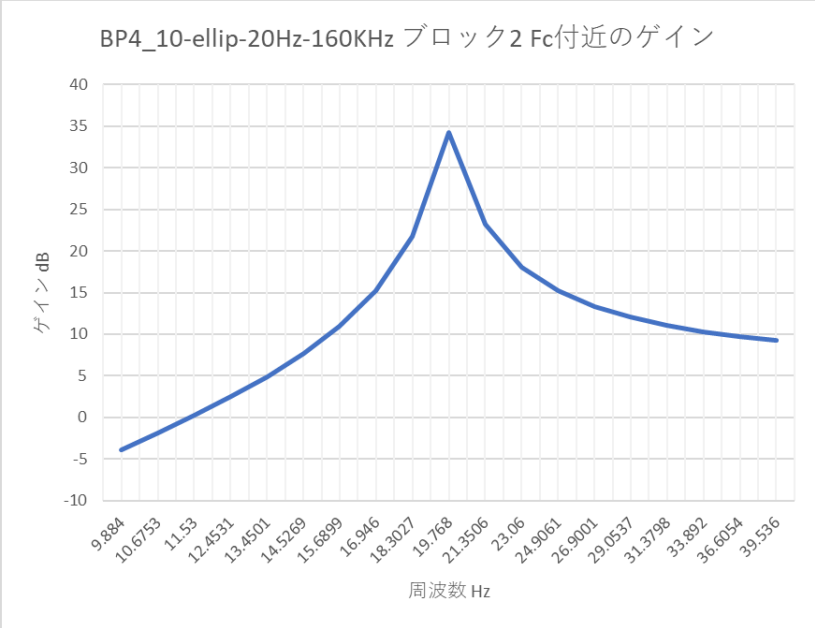
周波数 Hz	ゲイン dB
80.9389K	9.2120
87.4188K	9.6962
94.4176K	10.2990
101.9766K	11.0618
110.1408K	12.0488
118.9587K	13.3676
128.4825K	15.2187
138.7687K	18.0444
149.8785K	23.1673
161.8778K	34.2415
174.8377K	21.7473
188.8351K	15.2021
203.9532K	10.9499
220.2817K	7.6655
237.9174K	4.9042
256.9650K	2.4624
277.5375K	0.2293
299.7571K	- 1.8633
323.7556K	- 3.8616



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 2　5.1056　15.4271K　2.1830　0　998.9514 Fc= 19.7680 Hz Fc ゲイン= 34.2415 dB Q = 24.3275 GB 積= 48.0905KHz

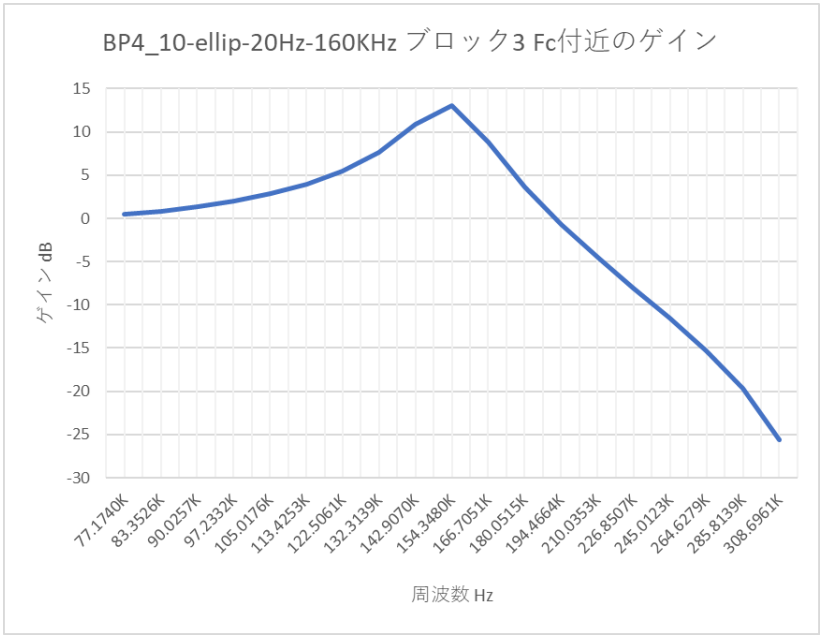
周波数 Hz	ゲイン dB
9.8840	- 3.8616
10.6753	- 1.8633
11.5300	0.2293
12.4531	2.4624
13.4501	4.9042
14.5269	7.6655
15.6899	10.9499
16.9460	15.2021
18.3027	21.7473
19.7680	34.2415
21.3506	23.1673
23.0600	18.0444
24.9061	15.2187
26.9001	13.3676
29.0537	12.0488
31.3798	11.0618
33.8920	10.2990
36.6054	9.6962
39.5360	9.2120



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 3　143.6759K　940.5066G　0.1694　0　784.9058G Fc= 154.3480KHz Fc ゲイン= 13.0447 dB Q = 6.7499 GB 積=104.1833MegHz

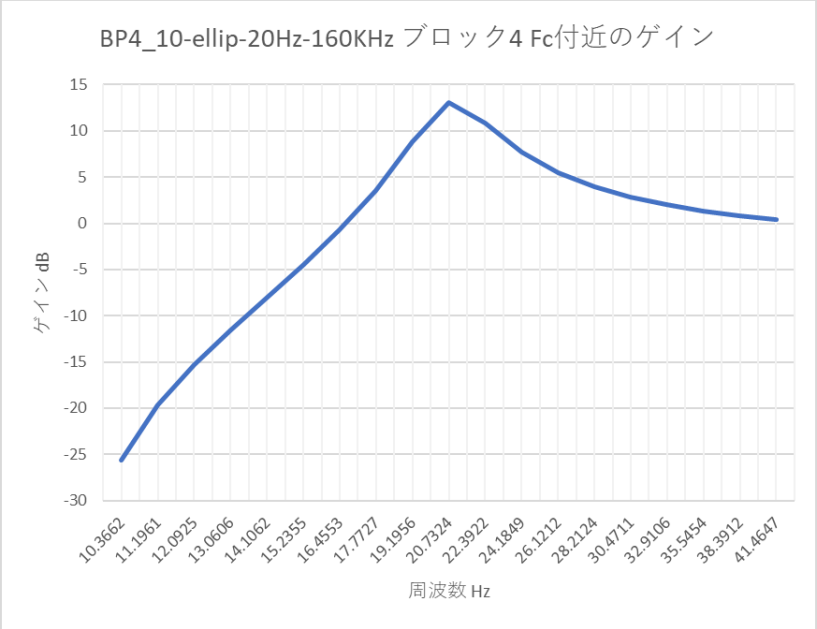
周波数 Hz	ゲイン dB
77.1740K	0.4334
83.3526K	0.8389
90.0257K	1.3455
97.2332K	1.9885
105.0176K	2.8212
113.4253K	3.9295
122.5061K	5.4581
132.3139K	7.6598
142.9070K	10.8366
154.3480K	13.0447
166.7051K	8.8122
180.0515K	3.5795
194.4664K	- 0.7450
210.0353K	- 4.5077
226.8507K	- 8.0229
245.0123K	- 11.5309
264.6279K	- 15.2834
285.8139K	- 19.6751
308.6961K	- 25.6644



	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 4	19.2989	16.9691K	0.8346	0	2.8742K

Fc= 20.7324 Hz Fc ゲイン= 13.0447 dB Q = 6.7499 GB 積= 13.9941KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
10.3662	- 25.6644
11.1961	- 19.6751
12.0925	- 15.2834
13.0606	- 11.5309
14.1062	- 8.0229
15.2355	- 4.5077
16.4553	- 0.7450
17.7727	3.5795
19.1956	8.8122
20.7324	13.0447
22.3922	10.8366
24.1849	7.6598
26.1212	5.4581
28.2124	3.9295
30.4711	2.8212
32.9106	1.9885
35.5454	1.3455
38.3912	0.8389
41.4647	0.4334

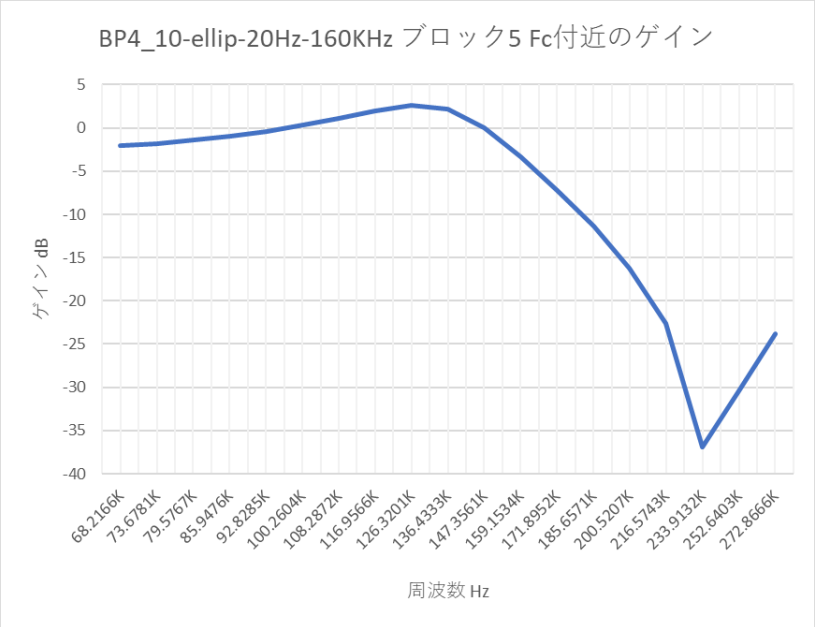


Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 5　296.5225K　734.8526G　0.2144　0　484.4913G Fc= 136.4333KHz Fc

ゲイン=　2.1861 dB Q = 2.8910 GB 積= 39.4424MegHz

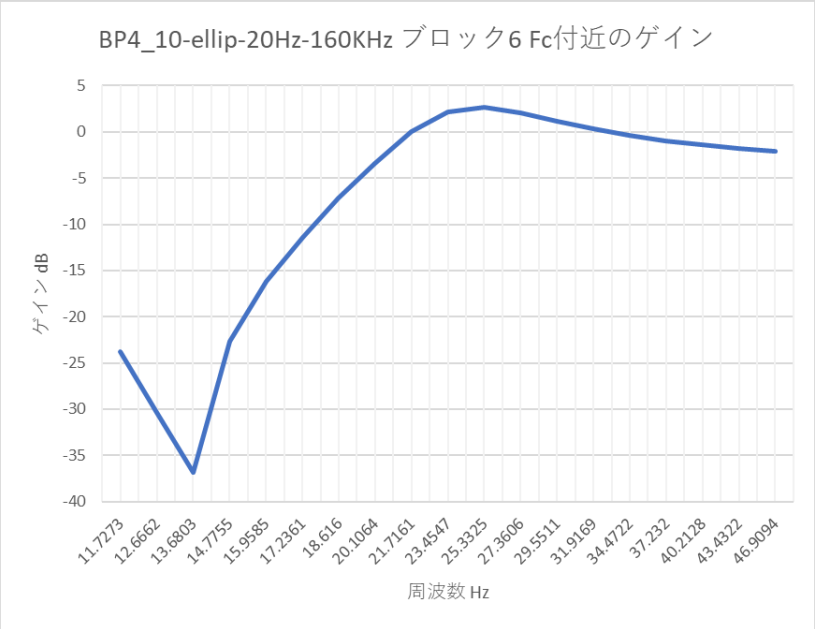
周波数 Hz	ゲイン dB
68.2166K	- 2.0810
73.6781K	- 1.7809
79.5767K	- 1.4131
85.9476K	- 0.9598
92.8285K	- 0.3989
100.2604K	0.2923
108.2872K	1.1210
116.9566K	2.0170
126.3201K	2.6459
136.4333K	2.1861
147.3561K	3.4923m
159.1534K	- 3.3622
171.8952K	- 7.2086
185.6571K	- 11.3882
200.5207K	- 16.2003
216.5743K	- 22.6546
233.9132K	- 36.8716
252.6403K	- 30.3982
272.8666K	- 23.8207



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 6　50.9762　21.7180K　0.6593　0　4.6564K Fc= 23.4547 Hz Fc ゲイン= 2.1861 dB Q = 2.8910 GB 積= 6.7807KHz

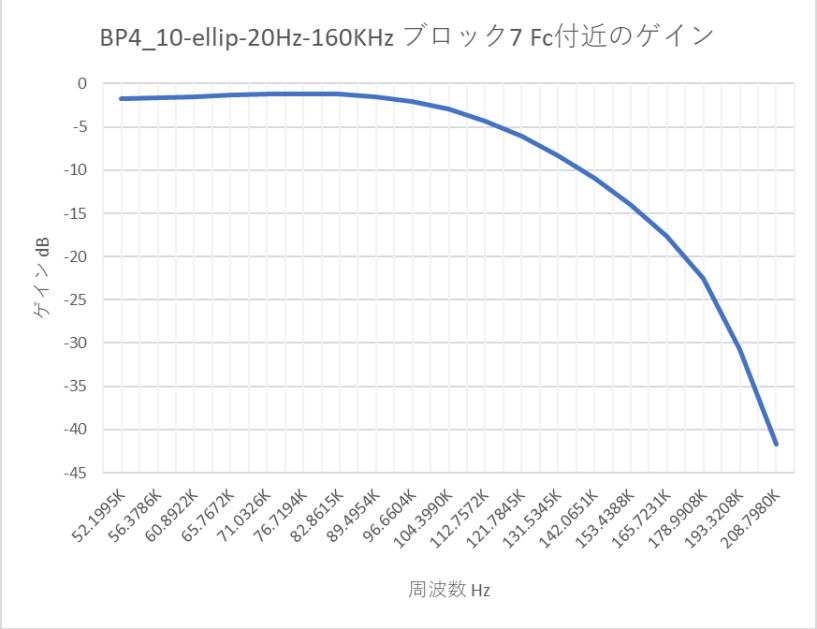
周波数 Hz	ゲイン dB
11.7273	- 23.8207
12.6662	- 30.3982
13.6803	- 36.8716
14.7755	- 22.6546
15.9585	- 16.2003
17.2361	- 11.3882
18.6160	- 7.2086
20.1064	- 3.3622
21.7161	3.4924m
23.4547	2.1861
25.3325	2.6459
27.3606	2.0170
29.5511	1.1210
31.9169	0.2923
34.4722	- 0.3989
37.2320	- 0.9598
40.2128	- 1.4131
43.4322	- 1.7809
46.9094	- 2.0810



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 7　502.9163K　430.2811G　0.1915　0　317.6457G Fc= 104.3990KHz　Fc ゲイン= - 2.9367 dB　Q = 1.3043　GB 積= 13.6169MegHz

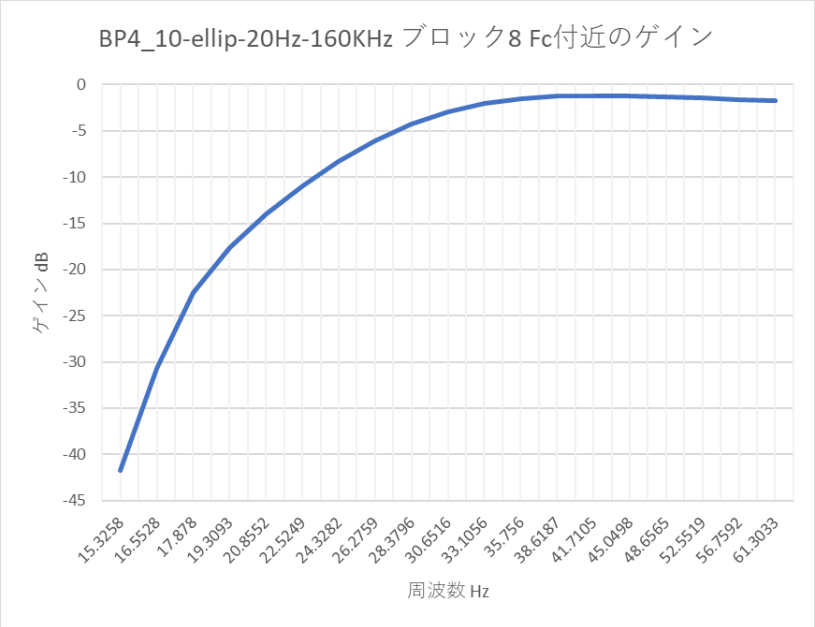
周波数 Hz	ゲイン dB
52.1995K	- 1.7277
56.3786K	- 1.6009
60.8922K	- 1.4684
65.7672K	- 1.3399
71.0326K	- 1.2335
76.7194K	- 1.1816
82.8615K	- 1.2378
89.4954K	- 1.4823
96.6604K	- 2.0161
104.3990K	- 2.9367
112.7572K	- 4.2997
121.7845K	- 6.1027
131.5345K	- 8.3105
142.0651K	- 10.9075
153.4388K	- 13.9486
165.7231K	- 17.6321
178.9908K	- 22.5158
193.3208K	- 30.7461
208.7980K	- 41.7027



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

Blk No. 8　147.6567　37.0909K　0.7382　0　7.1022K Fc= 30.6516 Hz Fc ゲイン= - 2.9367 dB Q = 1.3043 GB 積= 3.9979KHz

周波数 Hz	ゲイン dB
15.3258	- 41.7027
16.5528	- 30.7461
17.8780	- 22.5158
19.3093	- 17.6321
20.8552	- 13.9486
22.5249	- 10.9075
24.3282	- 8.3105
26.2759	- 6.1027
28.3796	- 4.2997
30.6516	- 2.9367
33.1056	- 2.0161
35.7560	- 1.4823
38.6187	- 1.2378
41.7105	- 1.1816
45.0498	- 1.2335
48.6565	- 1.3399
52.5519	- 1.4684
56.7592	- 1.6009
61.3033	- 1.7277

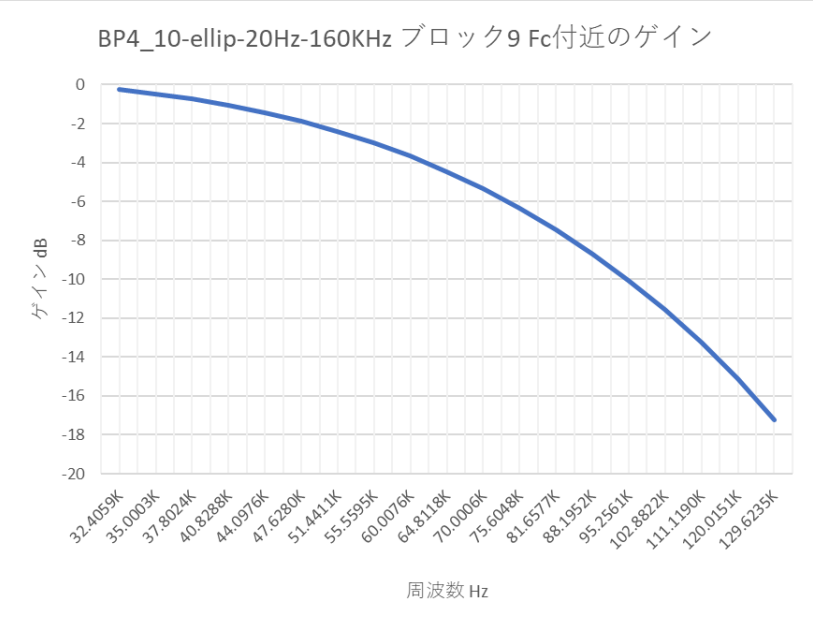


Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 9 677.4307K 165.8315G 0.1261 0 185.9269G Fc= 64.8117KHz Fc

ゲイン= - 4.4633 dB Q = 0.6011 GB 積= 3.8960MegHz

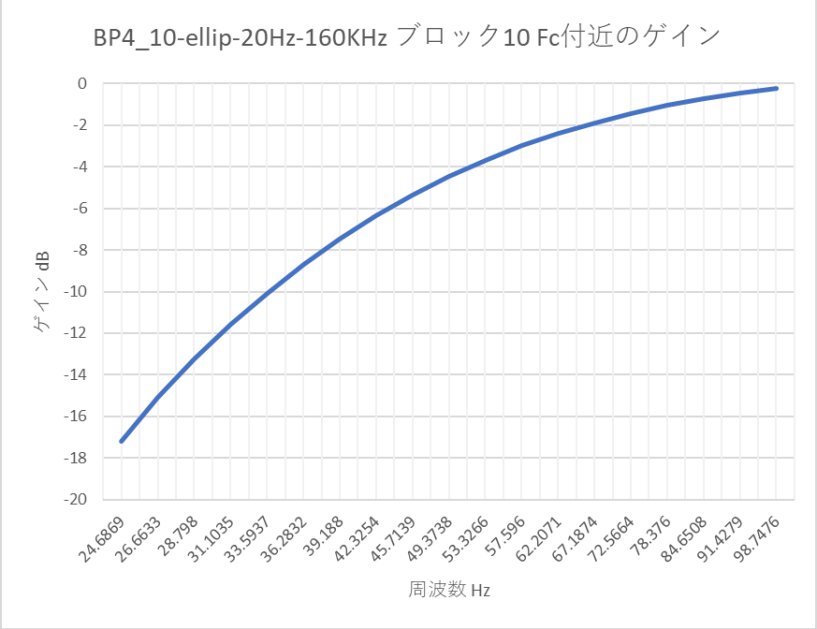
周波数 Hz	ゲイン dB
32.4059K	- 0.2383
35.0003K	- 0.4650
37.8024K	- 0.7340
40.8288K	- 1.0525
44.0976K	- 1.4286
47.6280K	- 1.8705
51.4411K	- 2.3868
55.5595K	- 2.9860
60.0076K	- 3.6758
64.8118K	- 4.4633
70.0006K	- 5.3546
75.6048K	- 6.3552
81.6577K	- 7.4703
88.1952K	- 8.7060
95.2561K	- 10.0708
102.8822K	- 11.5774
111.1190K	- 13.2461
120.0151K	- 15.1095
129.6235K	- 17.2215



Pn_0　Pn_1　Pn_2　Pn_3　Pn_4

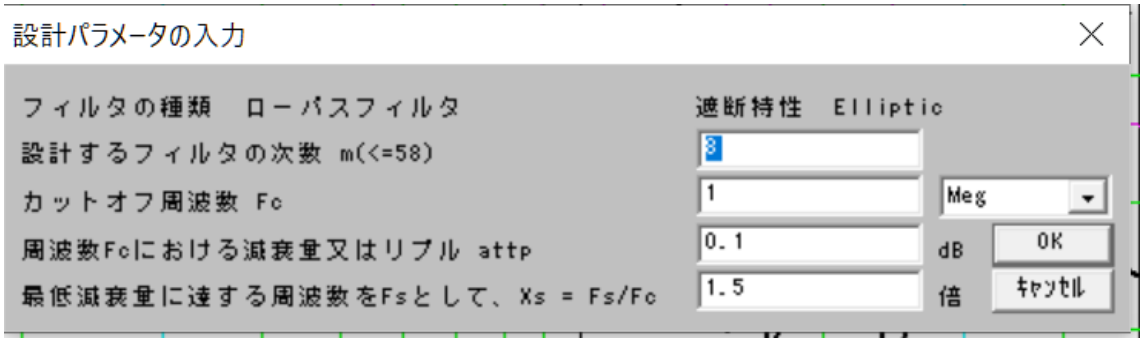
Blk No. 10　516.0687　96.2393K　1.1212　0　12.1337K Fc= 49.3738 Hz Fc ゲイン= - 4.4633 dB Q = 0.6011 GB 積= 2.9680KHz

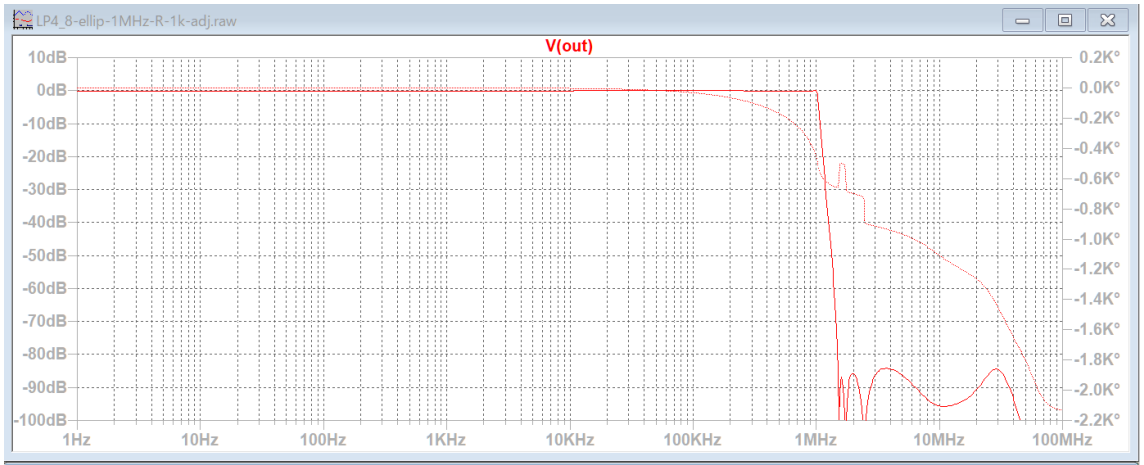
周波数 Hz	ゲイン dB
24.6869	- 17.2215
26.6633	- 15.1095
28.7980	- 13.2461
31.1035	- 11.5774
33.5937	- 10.0708
36.2832	- 8.7060
39.1880	- 7.4703
42.3254	- 6.3552
45.7139	- 5.3546
49.3738	- 4.4633
53.3266	- 3.6758
57.5960	- 2.9860
62.2071	- 2.3868
67.1874	- 1.8705
72.5664	- 1.4286
78.3760	- 1.0525
84.6508	- 0.7340
91.4279	- 0.4650
98.7476	- 0.2383

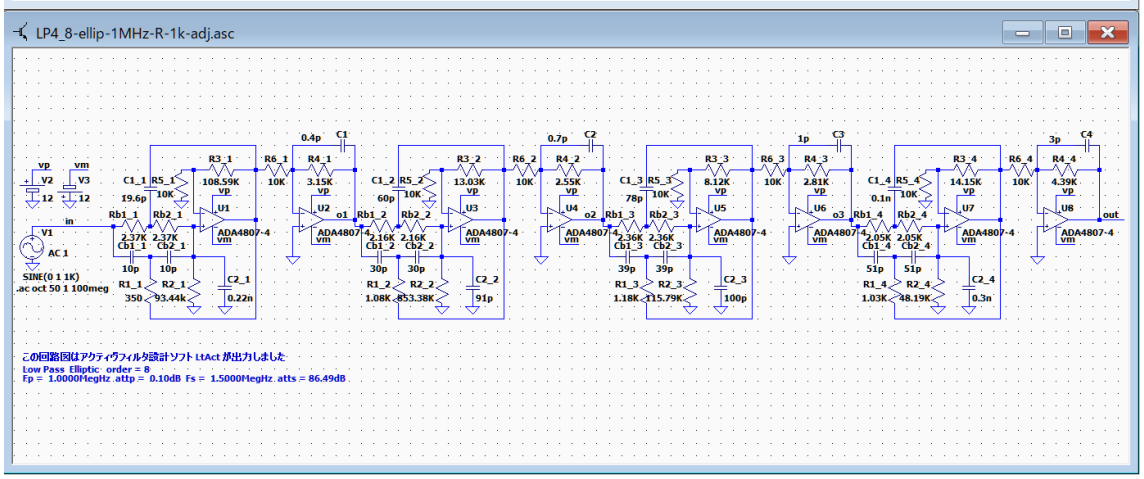


LP4_8-ellip-1MHz-R-1k

楕円関数・ローパスフィルター 8 次 1MHz Xs = 1.5







1Hz～300KHz のゲインは±0.1dB 以内、300KHz～1MHz のゲインは±0.25dB 以内
1.5MHz 以上における最低減衰量は -83.4dB

調整した素子値
R1_1 = 1.18K → 350　　C1_1 = 20p → 19.6p

阻止域のピーク防止
C1～C4 を追加

R1_1 を大きくすると、カットオフ周波数付近のゲインが増加して、カットオフ周波数を少し上方に移動することが出来る。

C1_1 を微調整すると、カットオフ周波数付近のゲインを調整できる。

++++++++++ 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=8
Fp = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000MegHz atts = 86.49dB
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	576.1594K	41.5371T	82.9722m	0	147.5990T
	Fc= 1.0257MegHz Fc ゲイン= 31.7812 dB Q = 11.1860 GB 積= 1.1474GHz				
2	1.8734Meg	33.8118T	82.9722m	0	19.7252T
	Fc= 925.4528KHz Fc ゲイン= 3.8244 dB Q = 3.1038 GB 積=287.2423MegHz				
3	3.4054Meg	20.0842T	82.9722m	0	9.8126T
	Fc= 713.2597KHz Fc ゲイン=‐5.4528 dB Q = 1.3160 GB 積= 93.8662MegHz				
4	4.6375Meg	7.7715T	82.9722m	0	7.5853T
	Fc= 443.6821KHz Fc ゲイン=‐5.4029 dB Q = 0.6011 GB 積= 26.6709MegHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_8-ellip-1MHz-R-1k.asc 作成日時 Fri Feb 04 04:56:39 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8　　参照モード=0

Fp = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000MegHz atts = 86.49dB

1 (et2)「LP4-3-0」 Rb_1(2 個)= 2.3710K Cb_1(2 個)= 10.0000p R1_1 = 1.1855K C1_1 = 20.0000p 誤差=1.73 %

1 R2_1 = 93.4420K C2_1 = 0.2200n 誤差 = 2.61 %

1 R3_1 = 108.5901K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 1.30 %

1 R4_1 = 3.1485K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 4.72 %

2 (et2)「LP4-3-1」 Rb_2(2 個)= 2.1619K Cb_2(2 個)= 30.0000p R1_2 = 1.0809K C1_2 = 60.0000p 誤差=4.16 %

2 R2_2 = 853.3814K C2_2 = 91.0000p 誤差 = 3.91 %

2 R3_2 = 13.0327K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 0.25 %

2 R4_2 = 2.5457K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 5.72 %

3 (et2)「LP4-3-2」 Rb_3(2 個)= 2.3578K Cb_3(2 個)= 39.0000p R1_3 = 1.1789K C1_3 = 78.0000p 誤差=4.60 %

3 R2_3 = 115.7921K C2_3 = 100.0000p 誤差 = 3.63 %

3 R3_3 = 8.1248K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 0.92 %

3 R4_3 = 2.8054K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 3.76 %

4 (et2)「LP4-3-2」 Rb_4(2 個)= 2.0507K Cb_4(2 個)= 51.0000p R1_4 = 1.0254K C1_4 = 0.1020n 誤差=4.01 %

4 R2_4 = 48.1916K C2_4 = 0.3000n 誤差 = 2.47 %

4 R3_4 = 14.1465K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 6.03 %

4 R4_4 = 4.3862K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 1.97 %

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=8
Fp = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000MegHz atts = 86.49dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
Blk No. 1	576.1594K	41.5371T	82.9722m	0	147.5990T	Fc= 1.0257MegHz

Fc ゲイン= 31.7812 dB Q = 11.1860 GB 積= 1.1474GHz

周波数 Hz	ゲイン dB
512.8714K	13.4455
553.9317K	13.9283
598.2793K	14.5283
646.1774K	15.2859
697.9102K	16.2627
753.7847K	17.5604
814.1326K	19.3624
879.3118K	22.0449
949.7093K	26.4868
1.0257Meg	31.7812
1.1079Meg	25.0846
1.1966Meg	19.2389
1.2924Meg	15.1494
1.3958Meg	11.9351
1.5076Meg	9.2180
1.6283Meg	6.8126
1.7586Meg	4.6146
1.8994Meg	2.5595
2.0515Meg	0.6034

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 2	1.8734Meg	33.8118T	82.9722m	0	19.7252T	Fc= 925.4528KHz	Fc

ゲイン= 3.8244 dB Q = 3.1038 GB 積=287.2423MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
462.7264K	- 2.6925
499.7721K	- 2.3085
539.7838K	- 1.8387
582.9987K	- 1.2600
629.6734K	- 0.5423
680.0849K	0.3496
734.5323K	1.4433
793.3388K	2.6995
856.8533K	3.8010
925.4528K	3.8244
999.5443K	2.0166
1.0796Meg	- 0.8858
1.1660Meg	- 3.9777
1.2593Meg	- 6.9629
1.3602Meg	- 9.8284
1.4691Meg	- 12.6373
1.5867Meg	- 15.4759
1.7137Meg	- 18.4532
1.8509Meg	- 21.7278

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4	
Blk No. 3	3.4054Meg	20.0842T	82.9722m	0	9.8126T	Fc= 713.2597KHz Fc

ゲイン= - 5.4528 dB Q = 1.3160 GB 積= 93.8662MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
356.6299K	- 5.0915
385.1816K	- 4.9245
416.0191K	- 4.7439
449.3255K	- 4.5575
485.2984K	- 4.3813
524.1512K	- 4.2451
566.1146K	- 4.1997
611.4376K	- 4.3219
660.3892K	- 4.7090
713.2597K	- 5.4528
770.3631K	- 6.5980
832.0382K	- 8.1224
898.6510K	- 9.9592
970.5967K	- 12.0408
1.0483Meg	- 14.3294
1.1322Meg	- 16.8300
1.2229Meg	- 19.5990
1.3208Meg	- 22.7698
1.4265Meg	- 26.6339

```
            Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  4   4.6375Meg     7.7715T   82.9722m        0      7.5853T Fc= 443.6821KHz  Fc
ゲイン= -  5.4029 dB  Q =  0.6011  GB 積= 26.6709MegHz
  周波数 Hz    ゲイン dB
   221.8411K   -  1.3813
   239.6016K   -  1.5975
   258.7841K   -  1.8542
   279.5022K   -  2.1582
   301.8791K   -  2.5171
   326.0475K   -  2.9386
   352.1507K   -  3.4308
   380.3438K   -  4.0012
   410.7941K   -  4.6567
   443.6821K   -  5.4029
   479.2032K   -  6.2445
   517.5681K   -  7.1845
   559.0045K   -  8.2256
   603.7582K   -  9.3698
   652.0949K   - 10.6201
   704.3015K   - 11.9814
   760.6877K   - 13.4620
   821.5882K   - 15.0758
   887.3643K   - 16.8455
```

ver.3.00 以降の実験 2 終わり

ver.3.00 以降の実験 3

実験データは「OP のテストデータ」→「ver.3.00 以降の実験 3」に格納しました。

今回は、超低周波数のローパスフィルタを設計する場合の問題を考えます。
非常に周期の長い振動（長周期振動）を観測する場合に、不要な高周波ノイズを除去することができます。
潮汐は 3.7uHz 以下、また地震や風力発電による長周期振動は 20Hz 以下です。
また、身体に強い影響があるとされる長周期振動は 0.1Hz から数 Hz と言われています。

観測する最高周波数が F の時に、バターワースローパスフィルタを利用する場合、フィルターのカットオフ周波数はフィルターの次数が 6 次なら F の 1.5 倍、次数が 2 次なら F の 3 倍で設計すると F におけるゲインが -0.1dB 以内の減衰量になります。
また、ゲインが-20dB に達するのは、6 次では F の 2.2 倍、2 次では F の 9.5 倍になるので、フィルタの次数が低いと高周波ノイズを除去しきれない場合があります。

6 次のチェビシェフフィルタを利用するなら、リプルを 0.1dB、カットオフ周波数を F に設定すると、F におけるゲインは -0.1dB 以内の減衰量になり、F の 1.35 倍でゲインが-20dB に達します。楕円関数フィルタでは F の 1.2 倍程度でゲインが-20dB に到達します。

基本回路として「LP2」を使用して、カットオフ周波数が 1uHz のバターワース 2 次ローパスフィルタを設計して、その周波数特性を確認します。

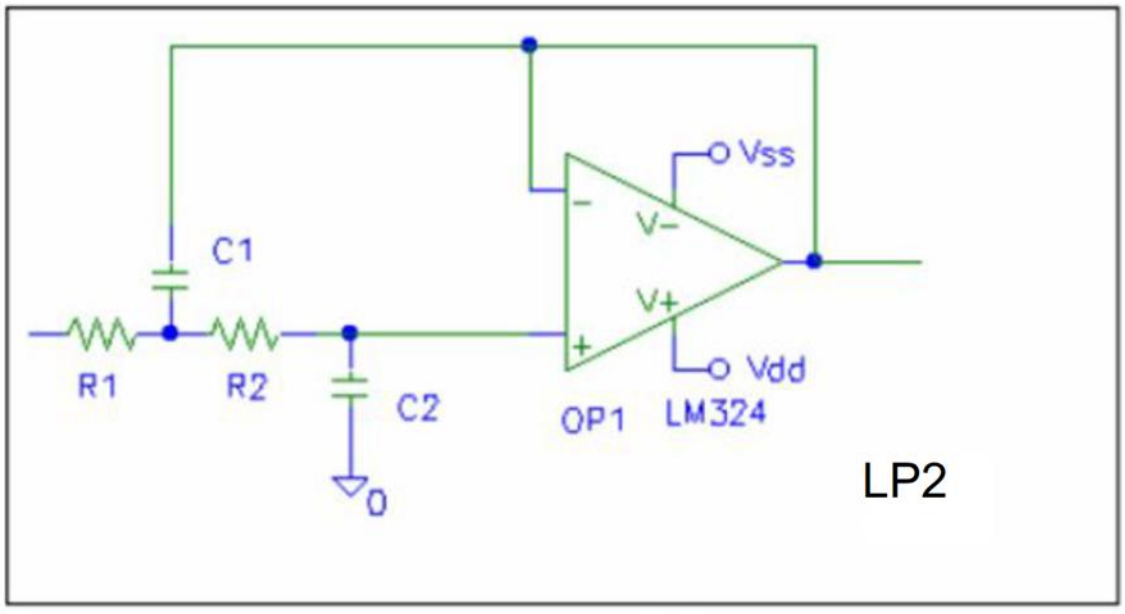
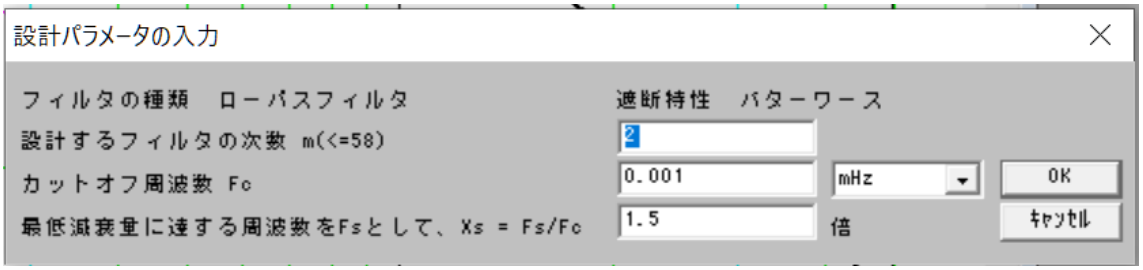


図２－４　２次のローパスフィルタ基本回路 lpat2_2.cir

LP2_2-but-1uHz

バターワース・ローパスフィルター 2 次 1uHz



++++++++++ 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 Butterworth 次数=2

Fp = 1.0000uHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000uHz atts = 7.83dB

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	8.8858u	39.4784p	0	0	39.4784p

Fc= 1.0000uHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積= 70.7107uHz

********** 回路の構成と素子値 **********

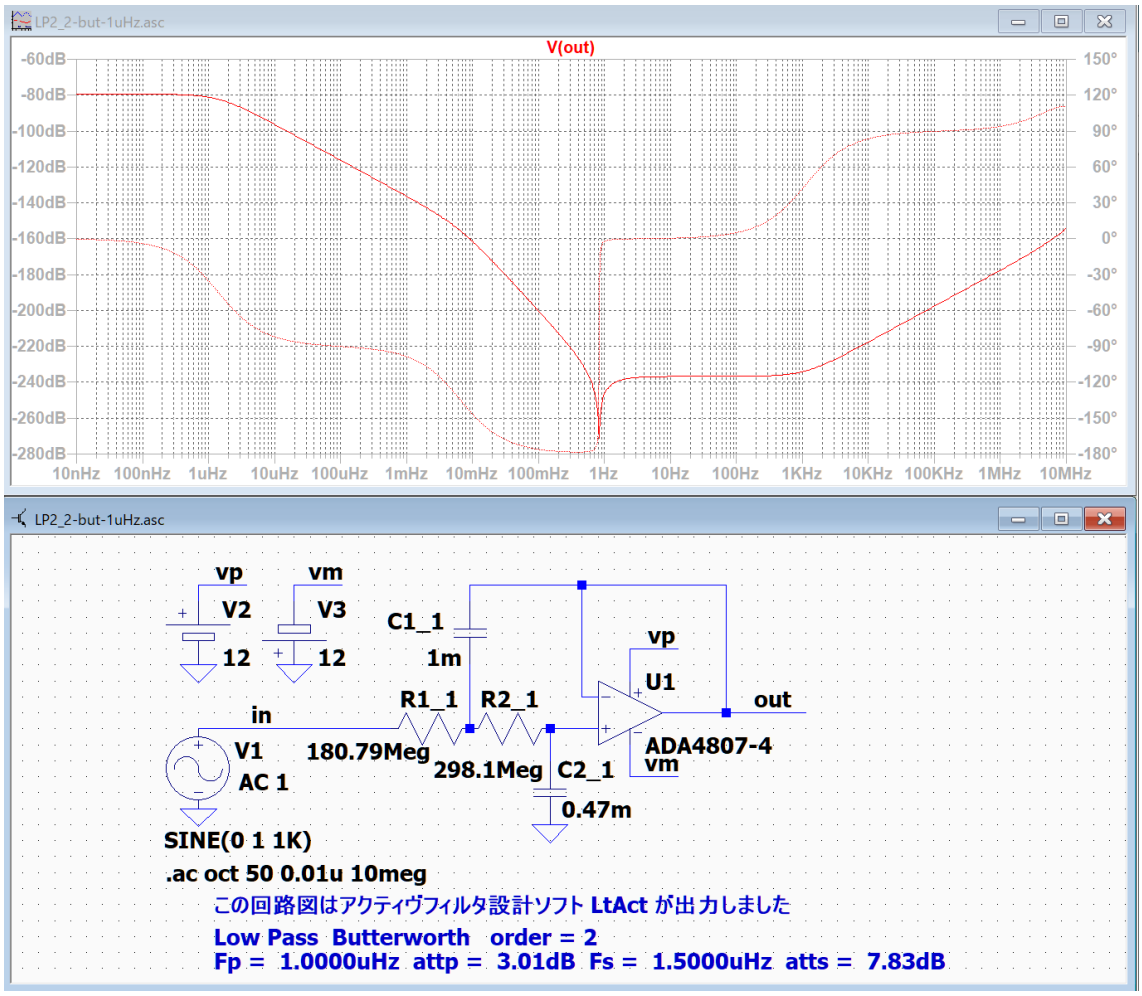
回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_2-but-1uHz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:04:27 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=2　　参照モード=0

Fp = 1.0000uHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000uHz atts = 7.83dB

1 (LP2)「LP2-0-2」 C1_1 = 1.0000m C2_1 = 0.4700m

R1_1 = 180.7938Meg R2_1 = 298.0978Meg 誤差 = 0.77 %

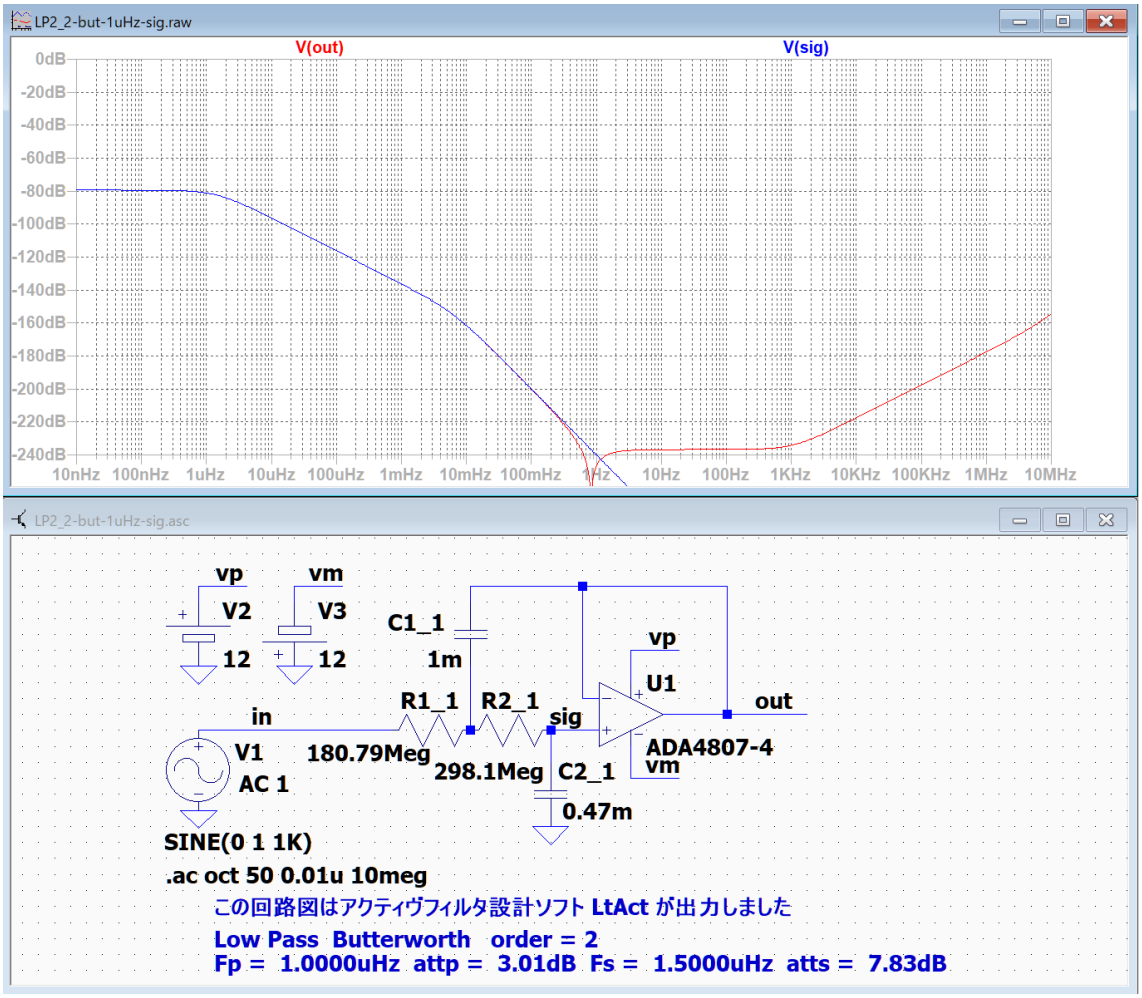


設計パラメータによると、1uHz までは通過域なのでゲインは 0dB になるはずです。
しかし上のグラフでは、-80dB になっています。
フィルターが正常に動作していない事が分かります。

ADA4807-4 のスペック

入力電流は最大値 1.6uA、GB 積は 180MHz

R1_1 と R2_1 の合計が 500Meg 位の値なので、入力信号が「+」ノードに達する前にほとんど消滅すると思われます。

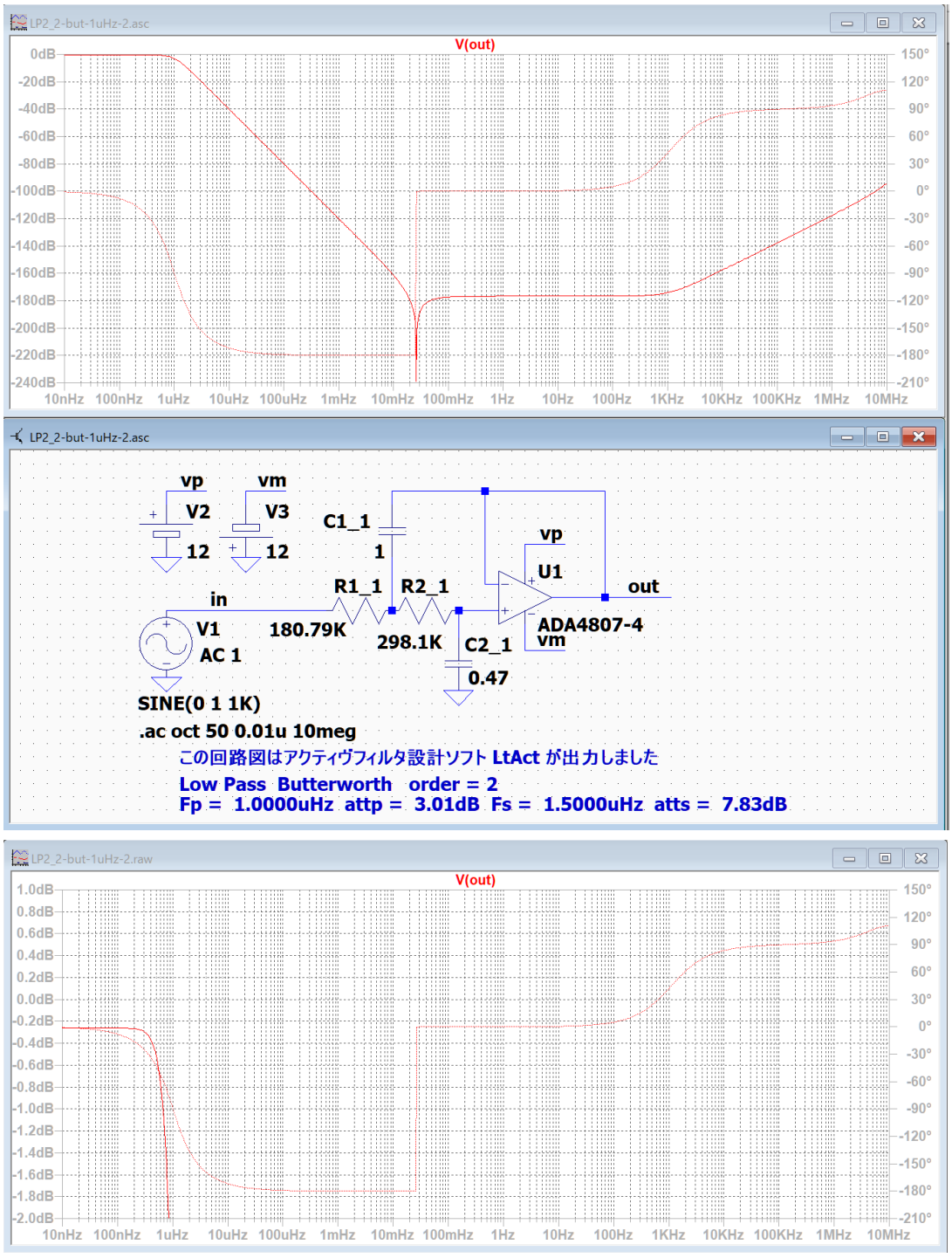


オペアンプ ADA4807-4 の「+」入力（sig）の周波数特性を確認すると、
通過域が -80dB まで減衰していることが分かります。

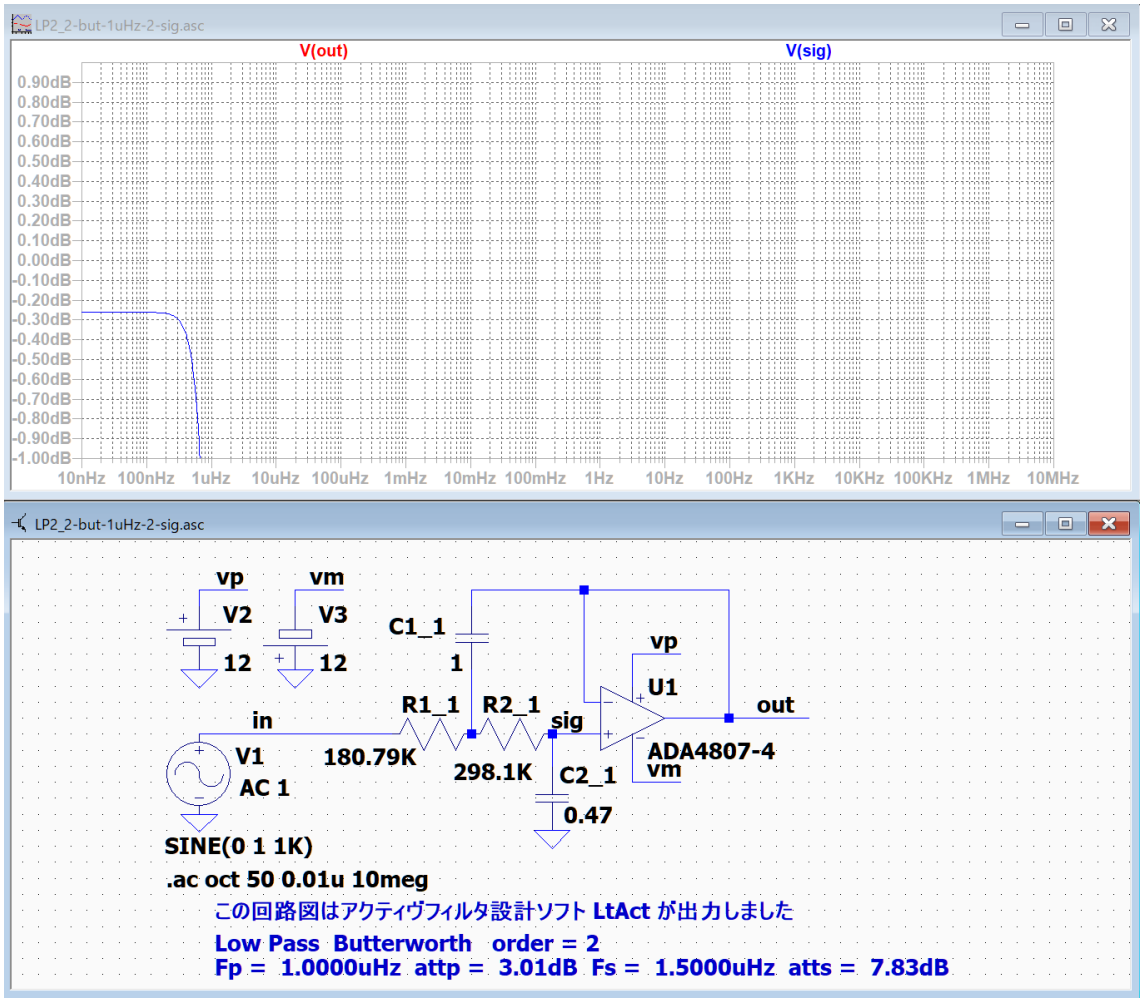
入力信号 in の振幅 1V が sig では 0.0001V に減衰していることになります。

従って、オペアンプの「+」に流れ込む入力電流は $\frac{1\,V}{500\,Meg} = 2\,nA$ となり、オペアンプが必要とする 1.6uA に達しないので、正常に動作できないと思われます。

C1_1 と C2_1 を 1000 倍の値に変更し、R1_1 と R2_1 を 1000 分の 1 の値に変更して周波数特性を確認します。



抵抗値の合計を 500 K 位に小さくすると、ほぼ正常に動作することが分かります。
しかし、通過域のゲインが -0.26dB になっています。
さらに、C1_1 と C2_1 の値が大きすぎて回路を実装するには問題があります。



オペアンプ ADA4807-4 の「+」入力（sig）の周波数特性を確認すると、
通過域が -0.26dB に減衰していることが分かります。

JFET のオペアンプ

オペアンプ ADA4807-4 はバイポーラトランジスタを使っているので、入力電流が比較的大きな値ですが、JFET を使ったオペアンプでは入力電流が非常に小さくなります。

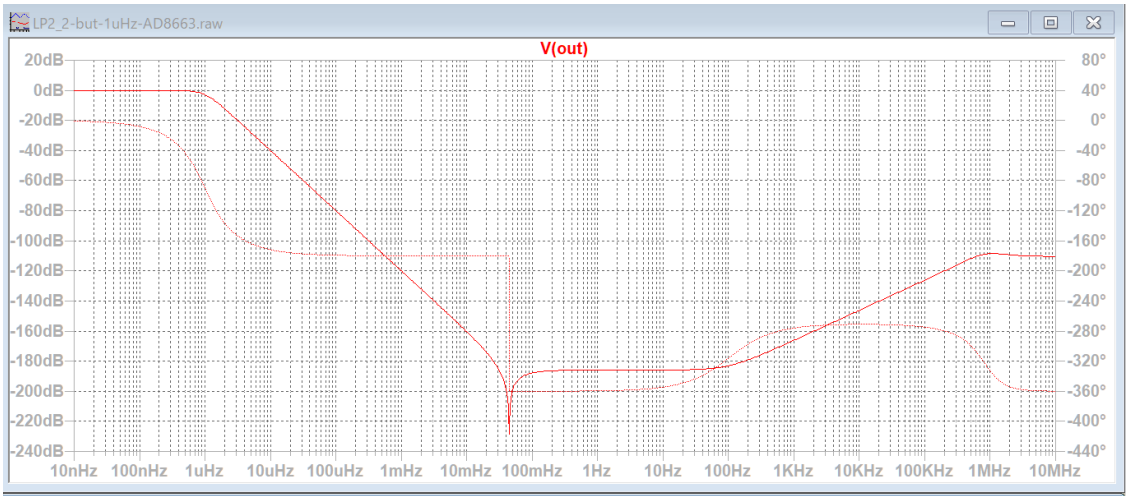
0Pアンプ名	入力電流	GB積
AD8663	300fA	540KHz
AD8667, AD8669	300fA	540KHz
AD8613, AD8617, AD8619	1pA	400KHz
AD8641, AD8642, AD8643	1pA	3MHz
AD8648	1pA	24MHz
AD8662, AD8664...AD8668	1pA	4MHz
AD8657	20pA	230KHz
ADA4000-1	40pA	5MHz
AD8629, AD8630	100pA	2.5MHz
AD8624	200pA	540KHz
AD8628	200pA	2.5MHz

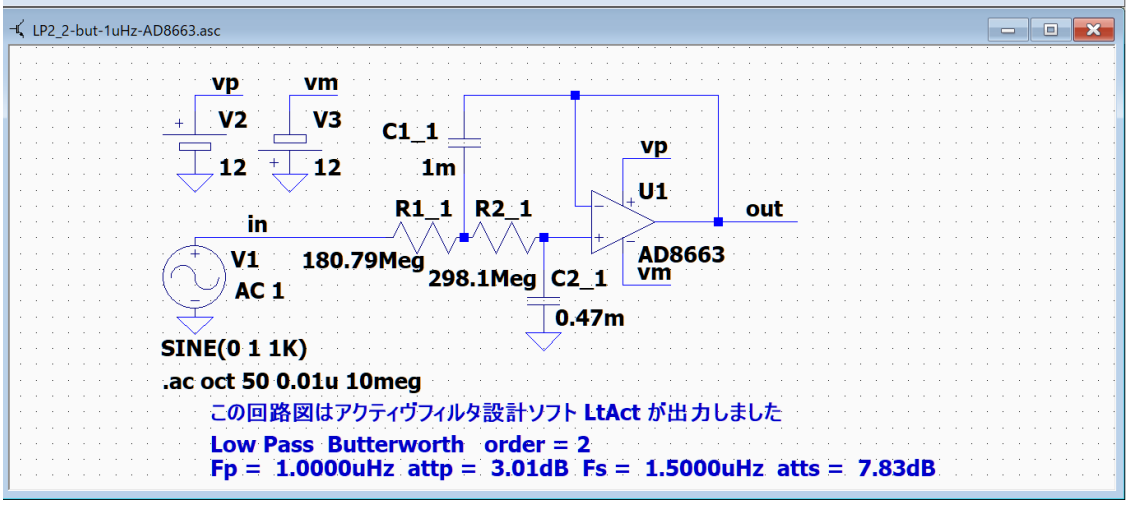
0Pアンプ名	入力電流	GB積
ADA4891-1	50pA	240MHz
ADA4817-1	20pA	1050Mz
AD8067	5pA	54MHz
AD8065	7pA	145MHz
AD8033	11pA	80MHz

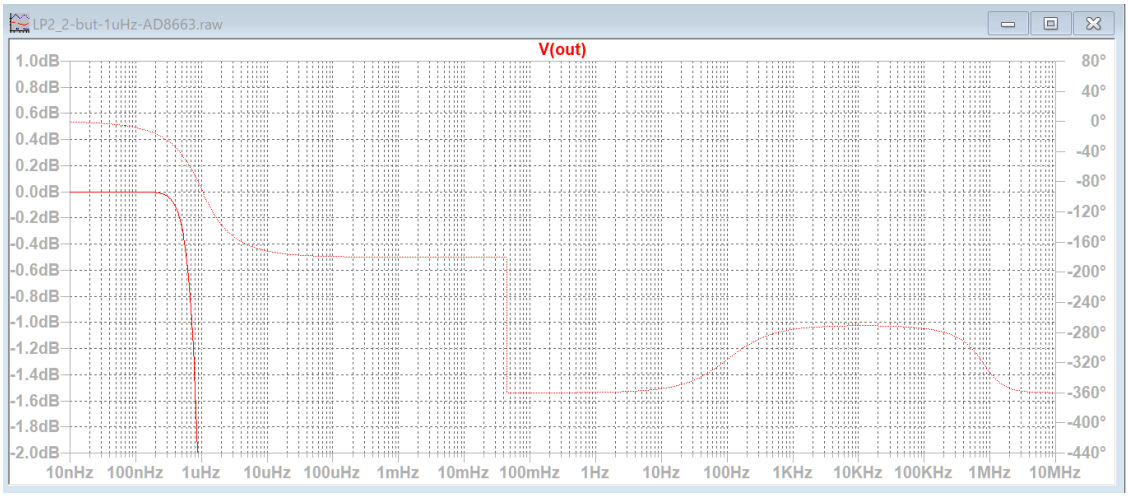
その他の OP アンプ

0Pアンプ名	入力電流	GB積(MHz)
LT1115	0.55uA	70
AD8091	2.6uA	100
ADA4807-4	1.6uA	180
AD8038	0.75uA	300
LTC6252	0.6uA	400
LTC6268	1pA	500
AD8045	6.3uA	900
LT1226	8uA	1000
LTC6268-10	1pA	4000

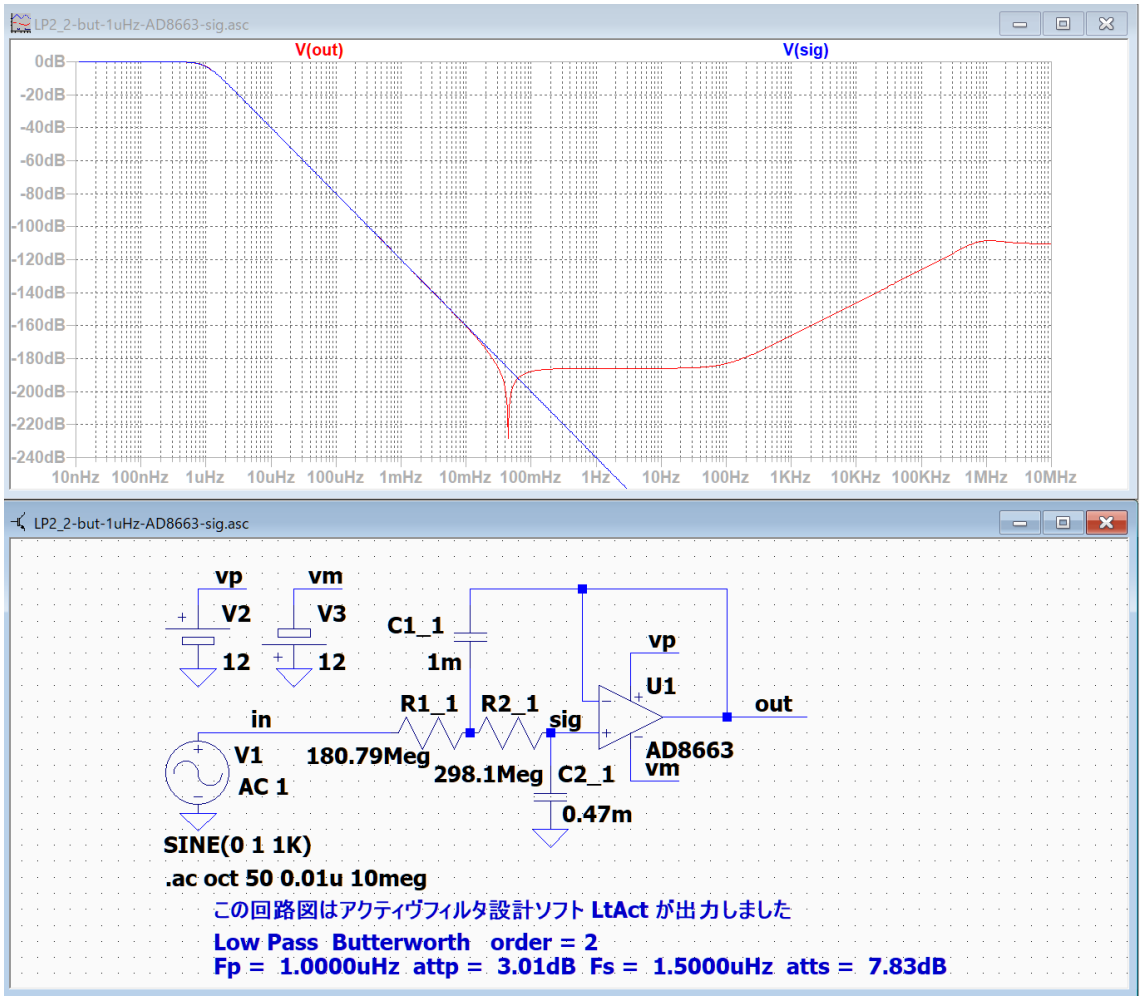
JFET の OP アンプに交換して周波数特性を確認すると、抵抗値が大きくても正常に動作することが確認できます。C1_1 と C2_1 が利用可能な値になります。





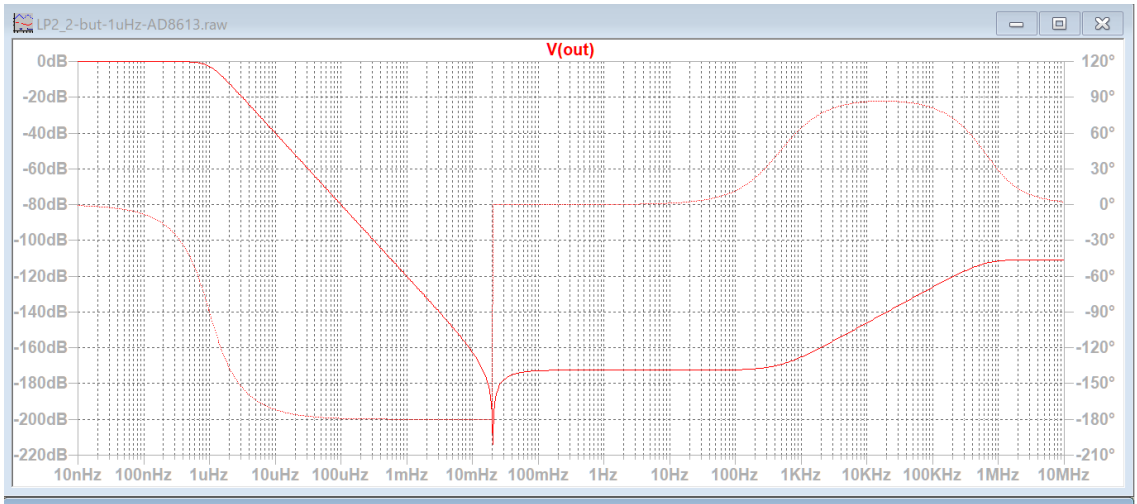


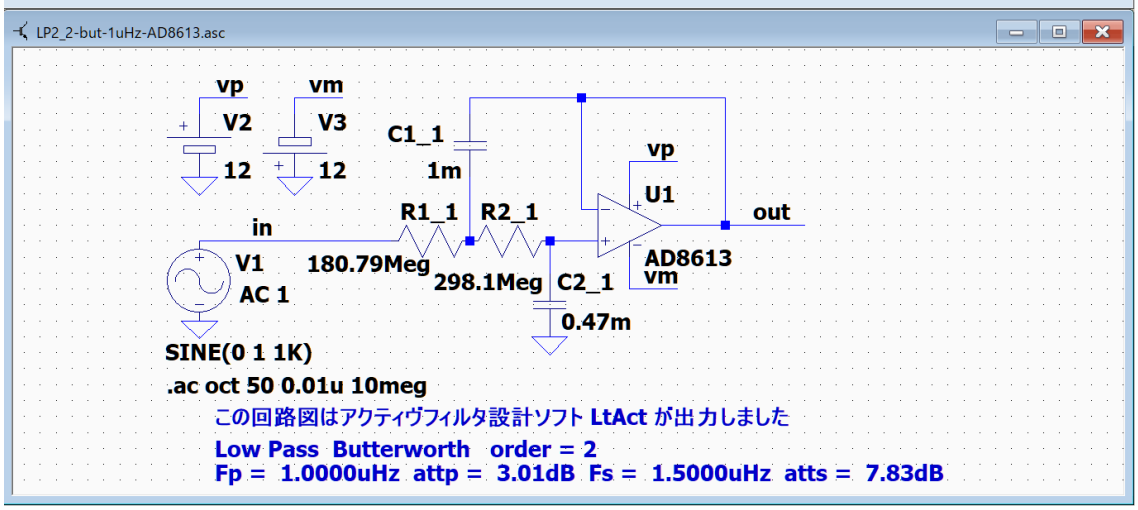
AD8663 の入力電流は 0.3pA(300fA) なので、通過域のゲインが 0dB になりました。

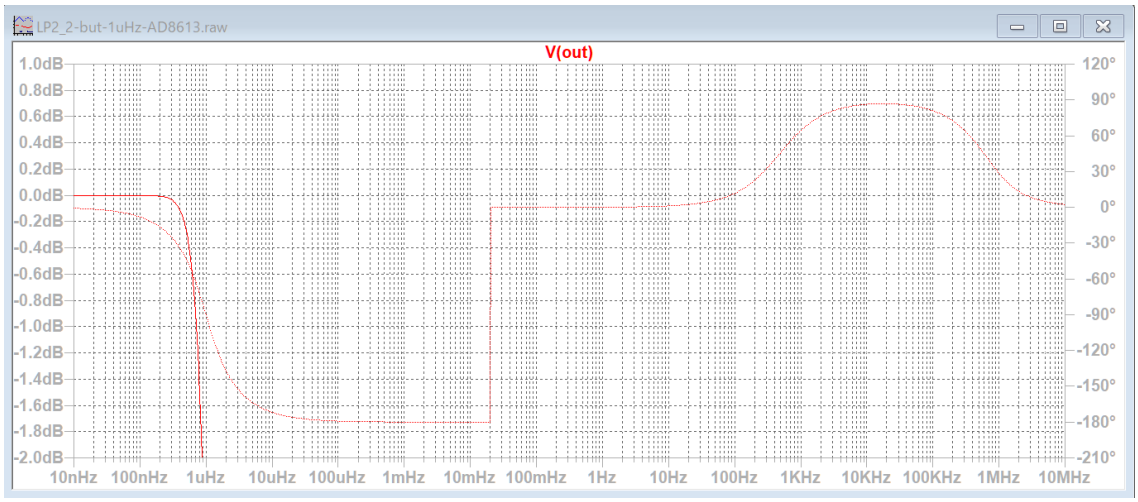


オペアンプ AD8663 の「+」入力（sig）の周波数特性を確認すると、
通過域が 0dB のままで減衰していないことが分かります。

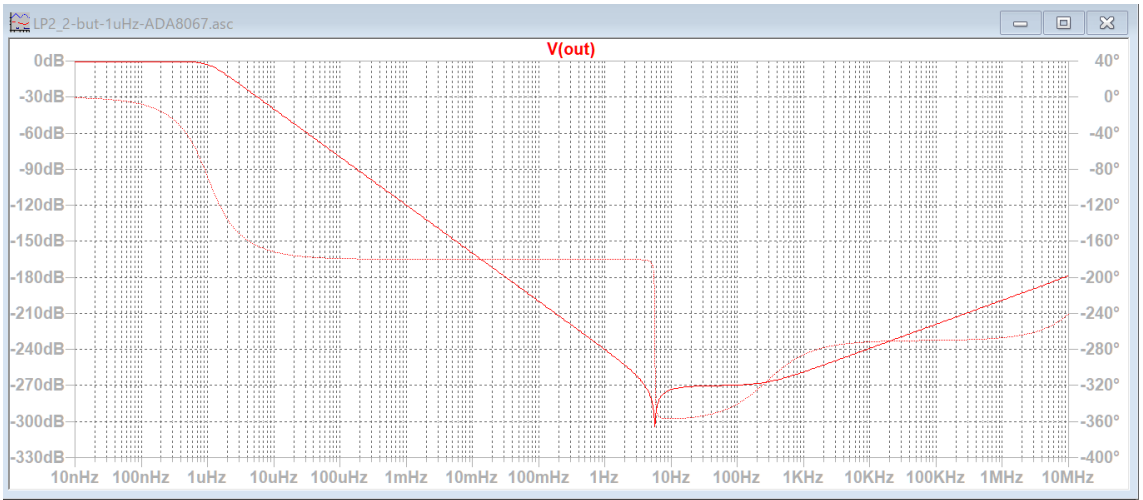
さらにオペアンプを交換して周波数特性を確認します。

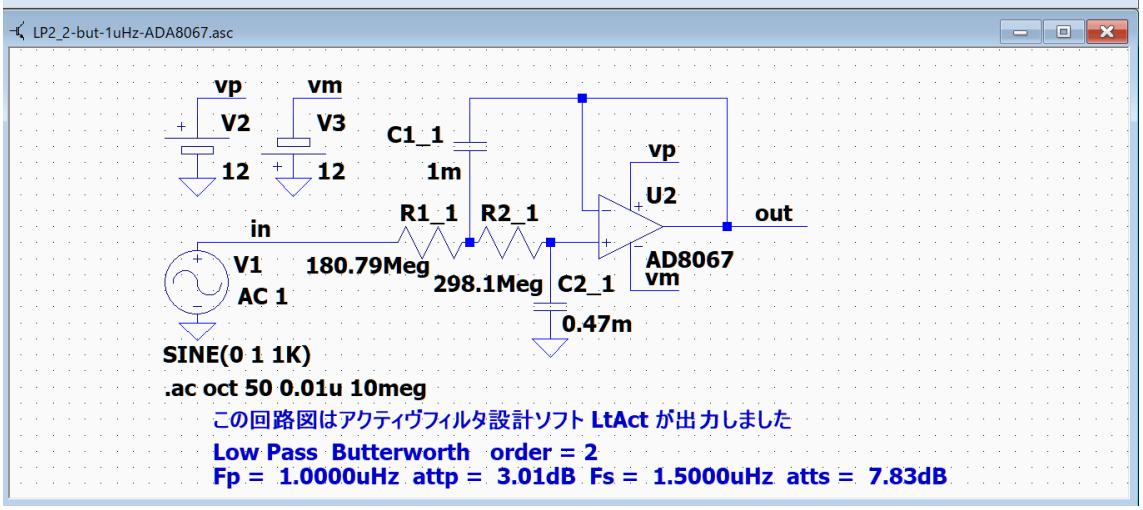


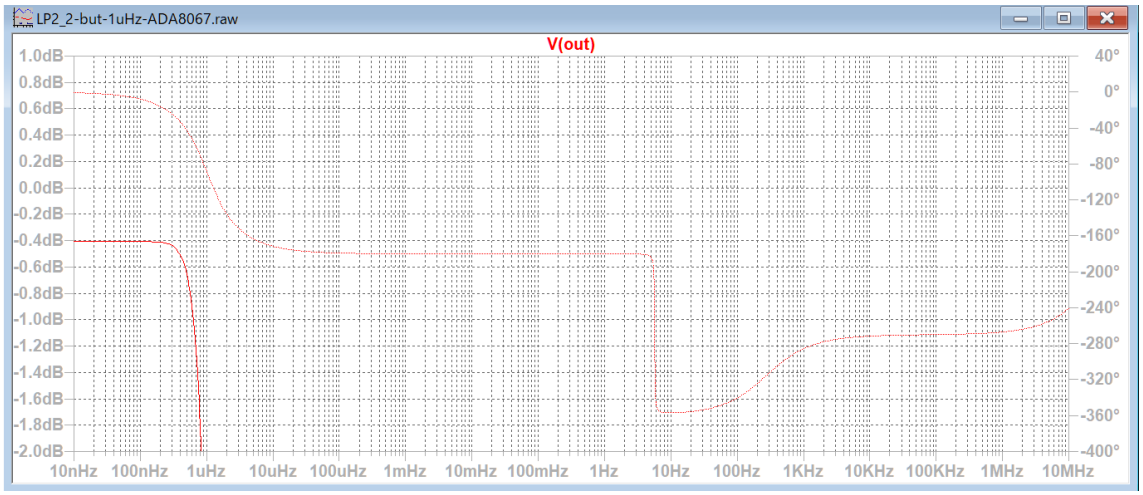




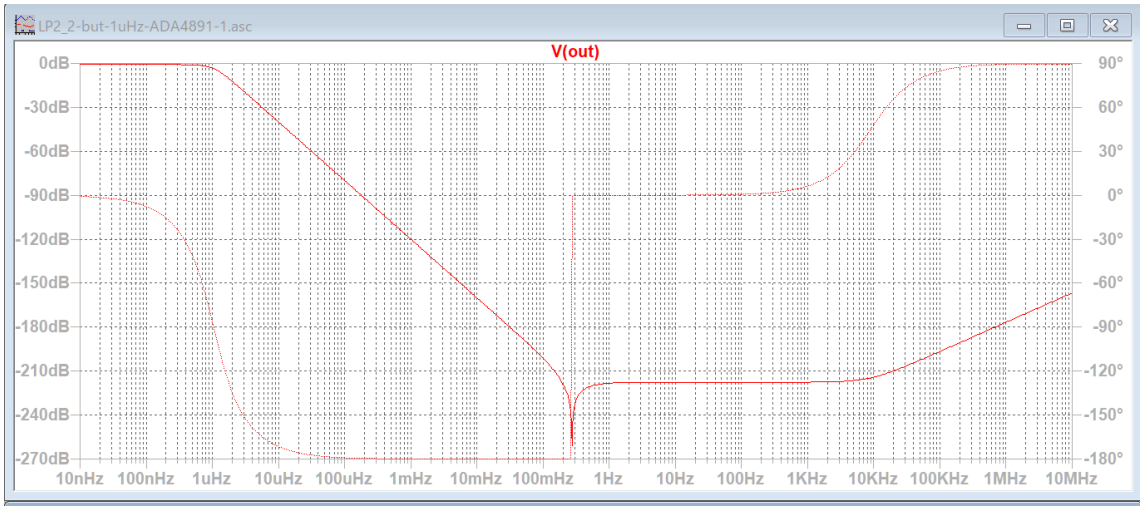
AD8613 の入力電流は 1pA なので、抵抗値が 500M でも通過域のゲインが 0dB になりました。10MHz でも減衰量は-110dB を保持しています。

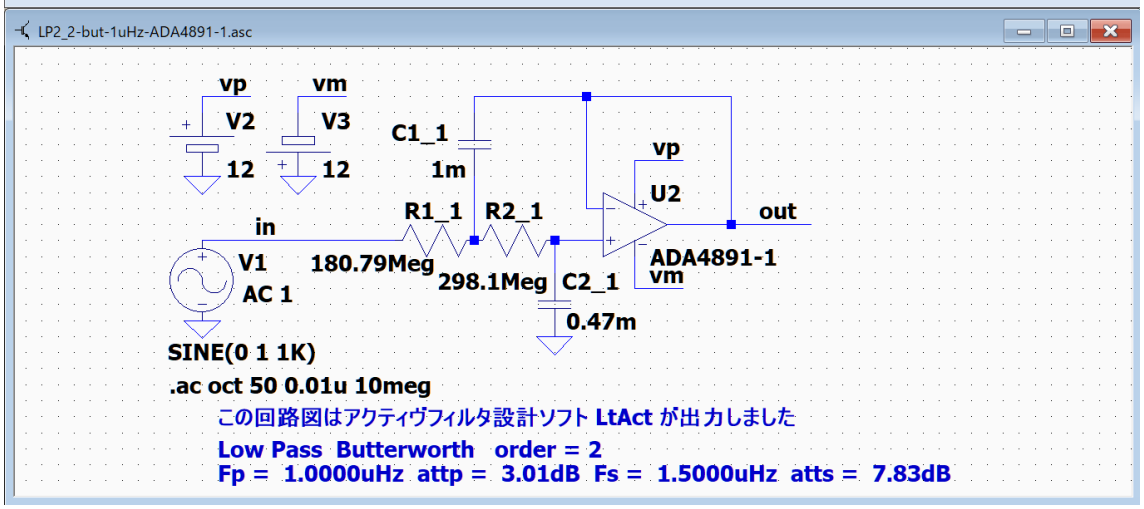


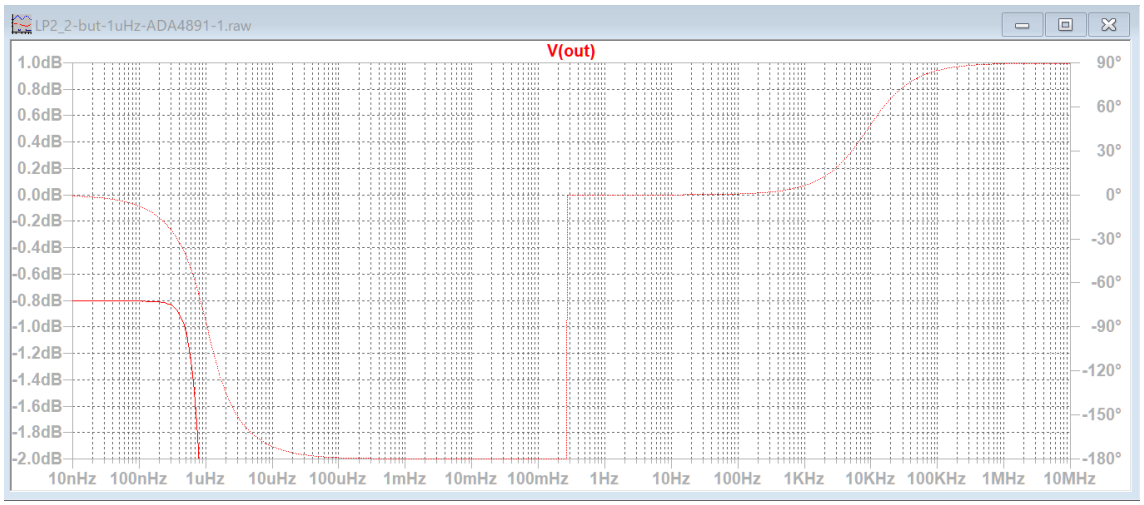




AD8067 の入力電流は 5pA なので、通過域のゲインが -0.4dB になりました。
AD8065 の入力電流は 7pA なので、通過域のゲインが -0.4dB になりました。

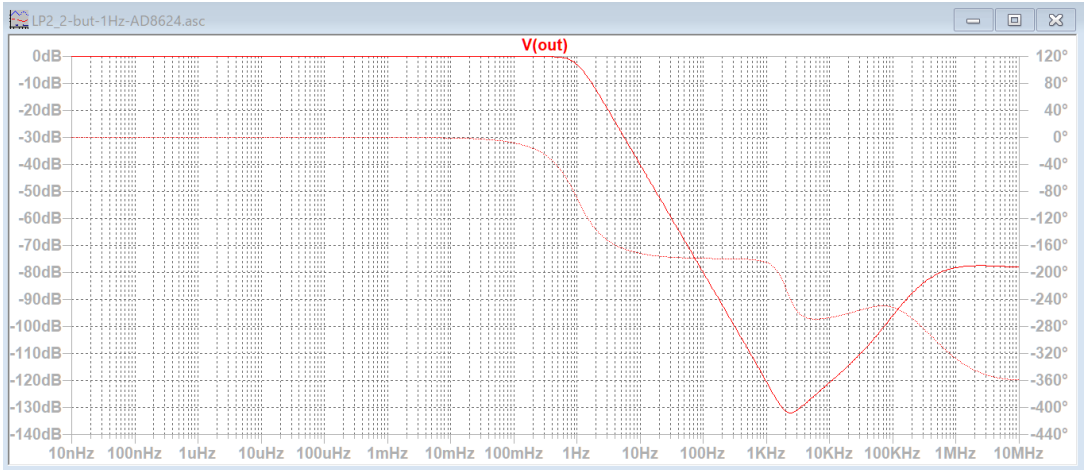


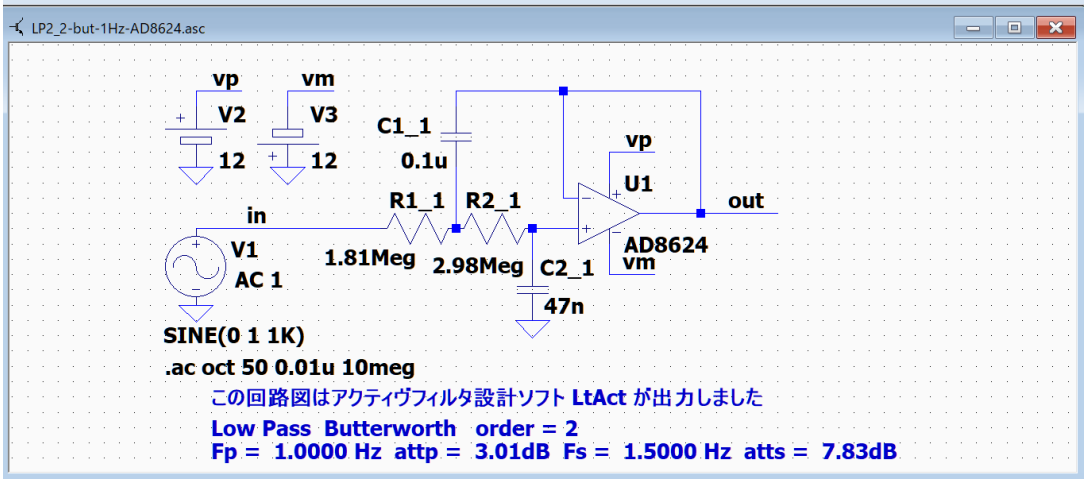


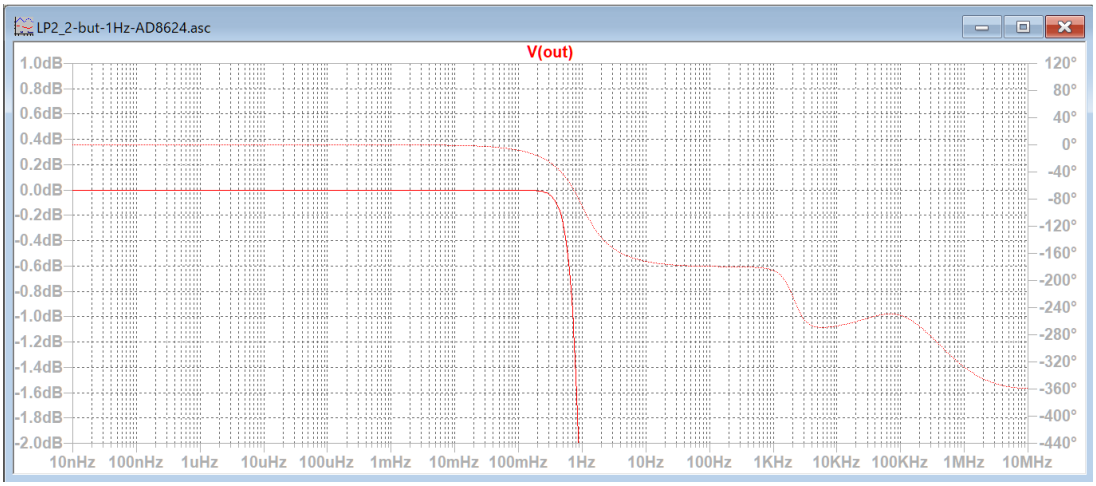


ADA4891-1 の入力電流は 50pA なので、通過域のゲインが -0.8dB になりました。

抵抗値が 500M で通過域ゲインを 0dB にするには、入力電流は 1pA 以下が必要です。
抵抗値が小さい時は、入力電流が 10pA を越える OP アンプでも利用可能です。



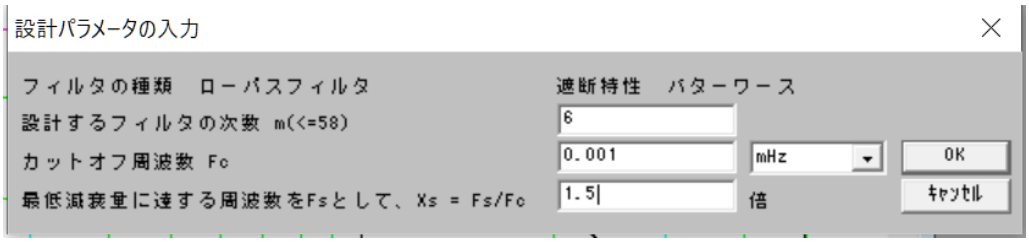




1Hz のフィルターでは抵抗値の合計を約 5M に小さくできるので、
AD8624 の入力電流は 200pA ですが、通過域のゲインが 0dB になります。
しかし、1MHz における減衰量が -80dB まで劣化します。

AD8613 を使用して、低周波数のローパスフィルタをいくつか設計してみます。

LP2_6-but-1uHz



++++++++++ 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 Butterworth 次数=6

Fp = 1.0000uHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000uHz atts = 21.16dB

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	3.2524u	39.4784p	0	0	39.4784p
	Fc= 1.0000uHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積= 0.1932mHz				
2	8.8858u	39.4784p	0	0	39.4784p
	Fc= 1.0000uHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積= 70.7107uHz				
3	12.1382u	39.4784p	0	0	39.4784p
	Fc= 1.0000uHz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積= 51.7638uHz				

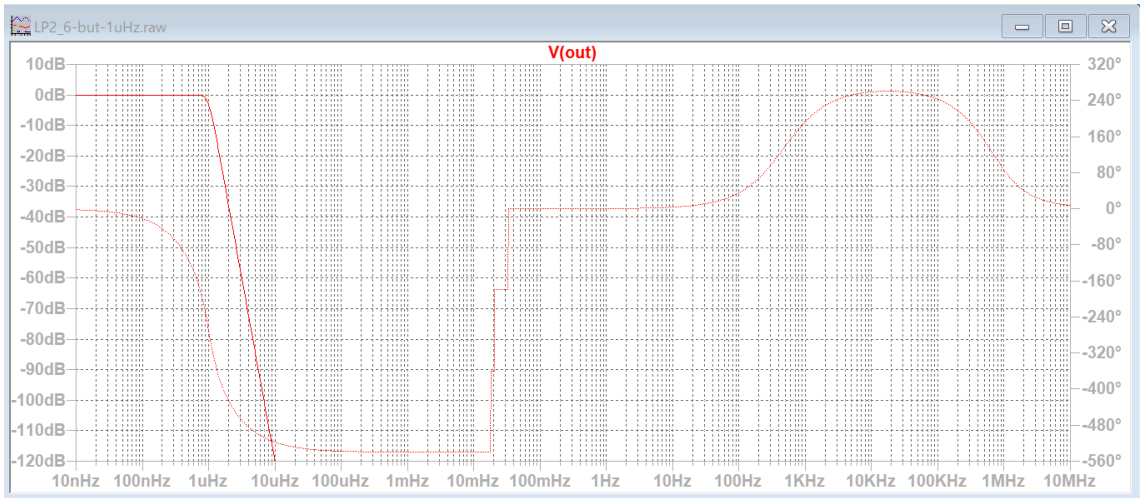
********** 回路の構成と素子値 **********

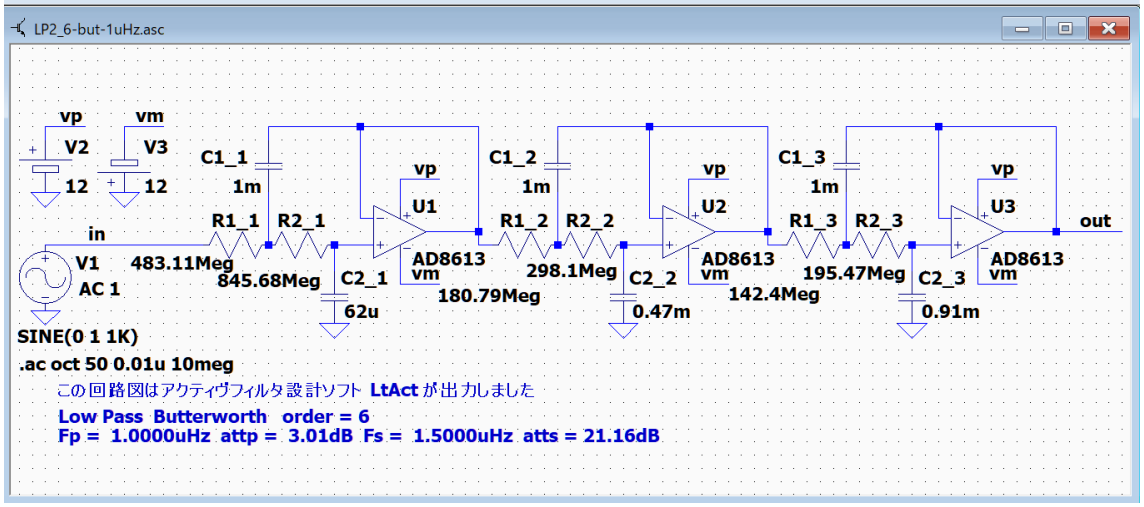
回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_6-but-1uHz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:07:53 2022

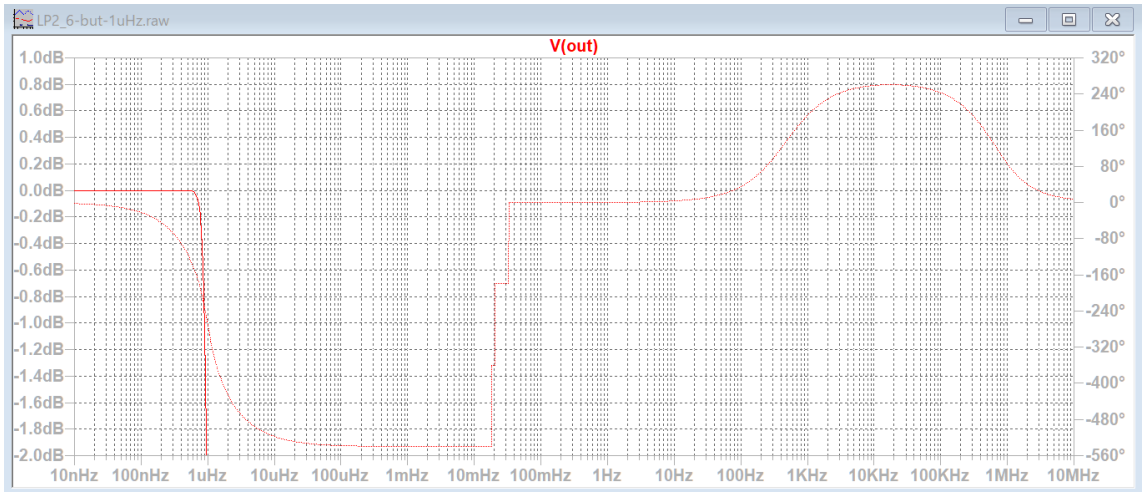
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6　　参照モード=0

Fp = 1.0000uHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000uHz atts = 21.16dB

1 (LP2)「LP2-0-1」 C1_1 = 1.0000m C2_1 = 62.0000u
R1_1 = 483.1077Meg R2_1 = 845.6771Meg 誤差 = 4.07 %
2 (LP2)「LP2-0-2」 C1_2 = 1.0000m C2_2 = 0.4700m
R1_2 = 180.7938Meg R2_2 = 298.0978Meg 誤差 = 0.77 %
3 (LP2)「LP2-0-2」 C1_3 = 1.0000m C2_3 = 0.9100m
R1_3 = 142.4046Meg R2_3 = 195.4677Meg 誤差 = 5.82 %

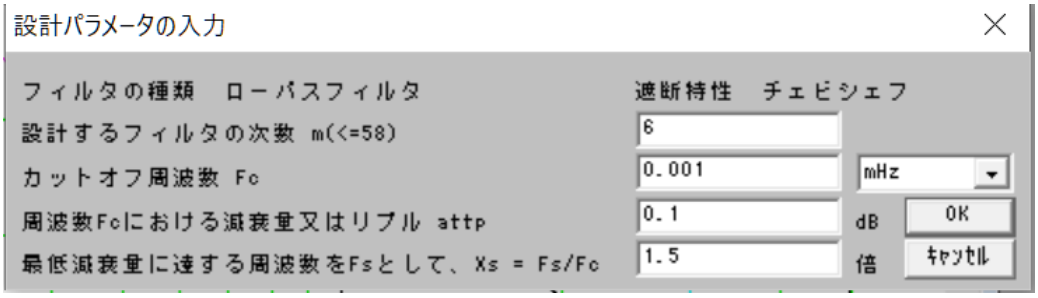






抵抗値を約 1300M と大きい値に設定しても、通過域のゲインは 0dB になりました。
1.47uHz で-20dB、3.16uHz で-60dB に達し高周波ノイズを除去することが出来ます。

LP2_6-chev-1uHz



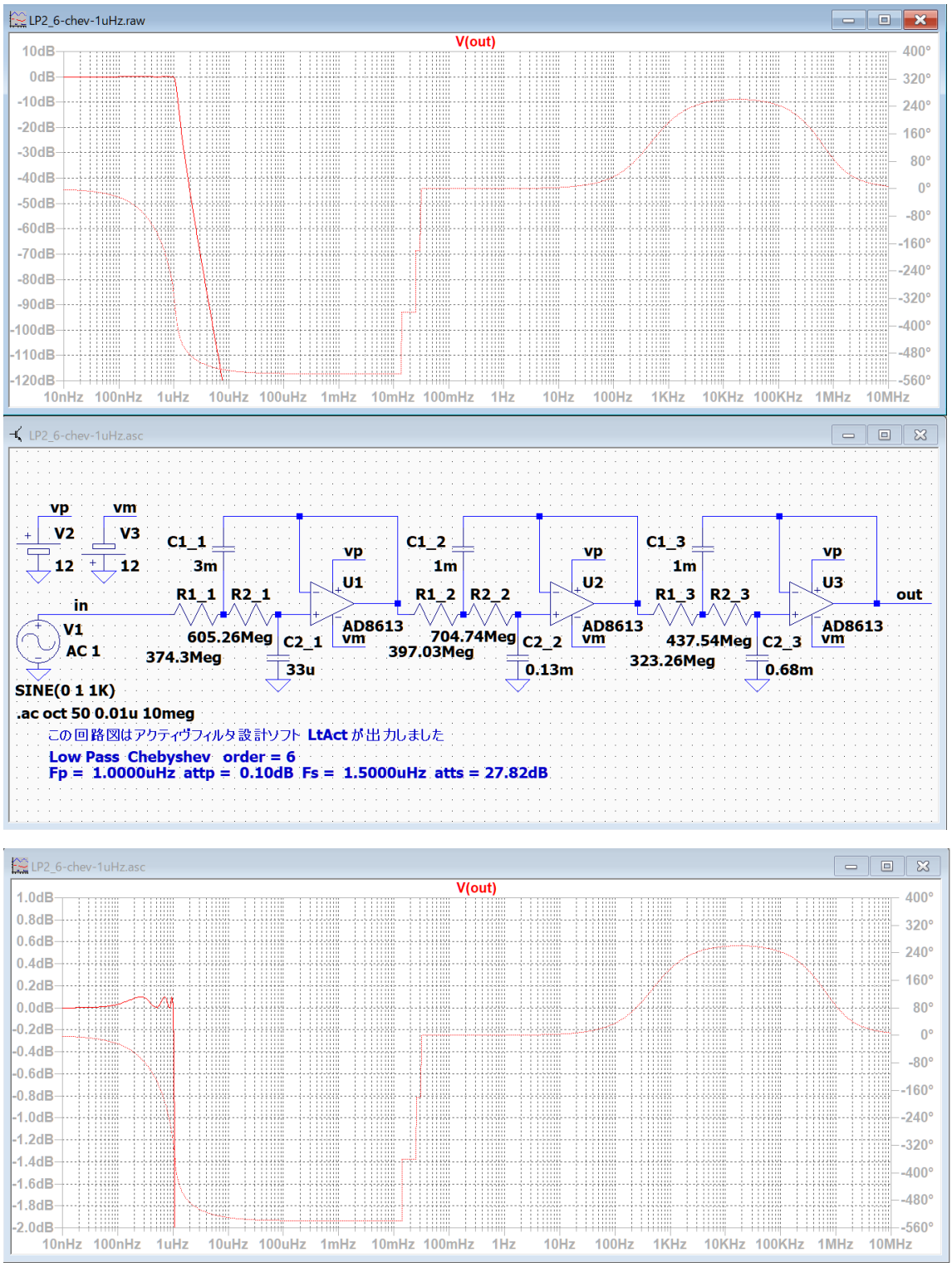
++++++++++ 伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値 ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6
Fp = 1.0000uHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000uHz atts = 27.82dB
２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	1.4413u	44.5864p	0	0	44.5864p
	Fc= 1.0627uHz Fc ゲイン= 13.3171 dB Q = 4.6329 GB 積= 0.4924mHz				
2	3.9376u	27.4917p	0	0	27.4917p
	Fc= 0.8345uHz Fc ゲイン= 2.4873 dB Q = 1.3316 GB 積= 0.1111mHz				
3	5.3789u	10.3971p	0	0	10.3971p
	Fc= 0.5132uHz Fc ゲイン= - 4.4448 dB Q = 0.5995 GB 積= 30.7635uHz				

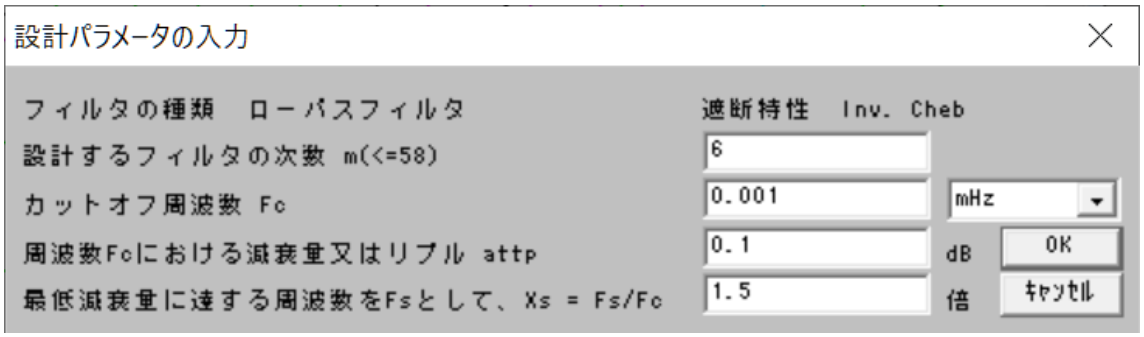
********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_6-chev-1uHz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:10:52 2022
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Chebyshev 次数=6　　参照モード=0
Fp = 1.0000uHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000uHz atts = 27.82dB
1 (LP2)「LP2-0-0」 C1_1 = 3.0000m C2_1 = 33.0000u
R1_1 = 374.2985Meg R2_1 = 605.2632Meg 誤差 = 4.53 %
2 (LP2)「LP2-0-2」 C1_2 = 1.0000m C2_2 = 0.1300m
R1_2 = 397.0333Meg R2_2 = 704.7375Meg 誤差 = 3.93 %
3 (LP2)「LP2-0-2」 C1_3 = 1.0000m C2_3 = 0.6800m
R1_3 = 323.2650Meg R2_3 = 437.5429Meg 誤差 = 2.70 %



チェビシェフフィルターではカットオフ付近の減衰が急峻になります。

1.35uHz で-20dB、2.53uHz で-60dB に達し高周波ノイズを除去することが出来ます。

LP4_6-inv-chev-1uHz



++++++++++ 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=6

Fp = 1.0000uHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000uHz atts = 27.82dB

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	2.3953u	62.6817p	0.6584	0	62.6817p
	Fc= 1.2601uHz Fc ゲイン= 1.0547 dB Q = 3.3053 GB 積= 0.4165mHz				
2	9.4235u	90.2626p	0.5081	0	90.2626p
	Fc= 1.5121uHz Fc ゲイン= - 6.0914 dB Q = 1.0082 GB 積= 0.1524mHz				
3	22.9877u	0.1612n	0.1216	0	0.1612n
	Fc= 2.0206uHz Fc ゲイン= - 6.2823 dB Q = 0.5523 GB 積= 0.1116mHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_6-inv-chev-1uHz.asc 作成日時 Sat Mar 19 04:51:00 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Inv. Cheb 次数=6 参照モード=0

Fp = 1.0000uHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000uHz atts = 27.82dB

1 (et2)「LP4-0-1」 Rb_1(2 個)= 20.0957Meg Cb_1(2 個)= 5.1000m R1_1 = 10.0478Meg C1_1 = 10.2000m 誤差=2.07 %

1 R2_1 = 879.7329Meg C2_1 = 1.5000m 誤差 = 3.44 %

1 R3_1 = 610.0679 R5_1 = 10.0000K 誤差 = 1.63 %

1 R4_1 = 9.8556K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 1.47 %

2 (et2)「LP4-0-2」 Rb_2(2 個)= 14.7111Meg Cb_2(2 個)= 5.1000m R1_2 = 7.3555Meg C1_2 = 10.2000m 誤差=3.40 %

2 R2_2 = 103.1799Meg C2_2 = 3.9000m 誤差 = 3.08 %

2 R3_2 = 65.5866 R5_2 = 10.0000K 誤差 = 3.68 %

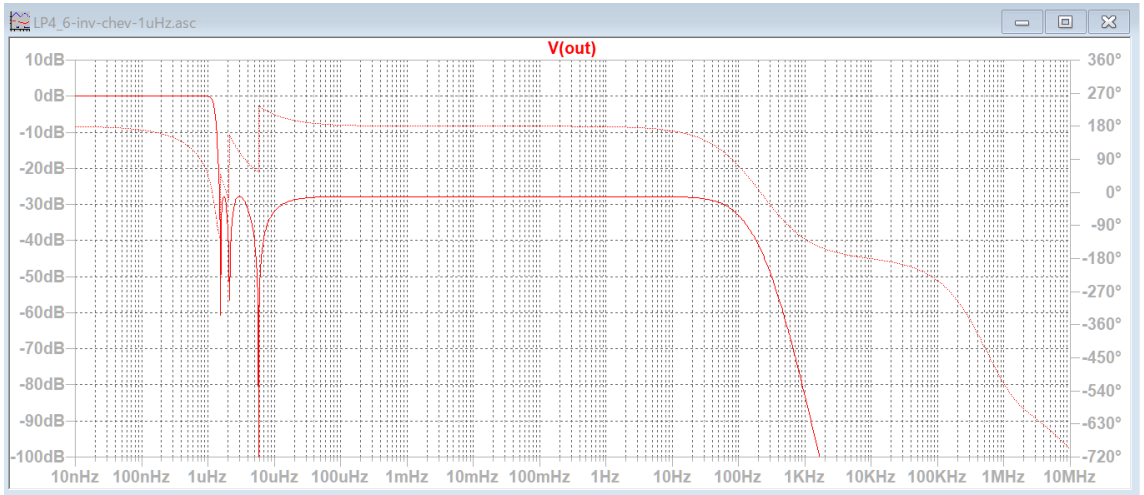
2 R4_2 = 12.7678K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 1.82 %

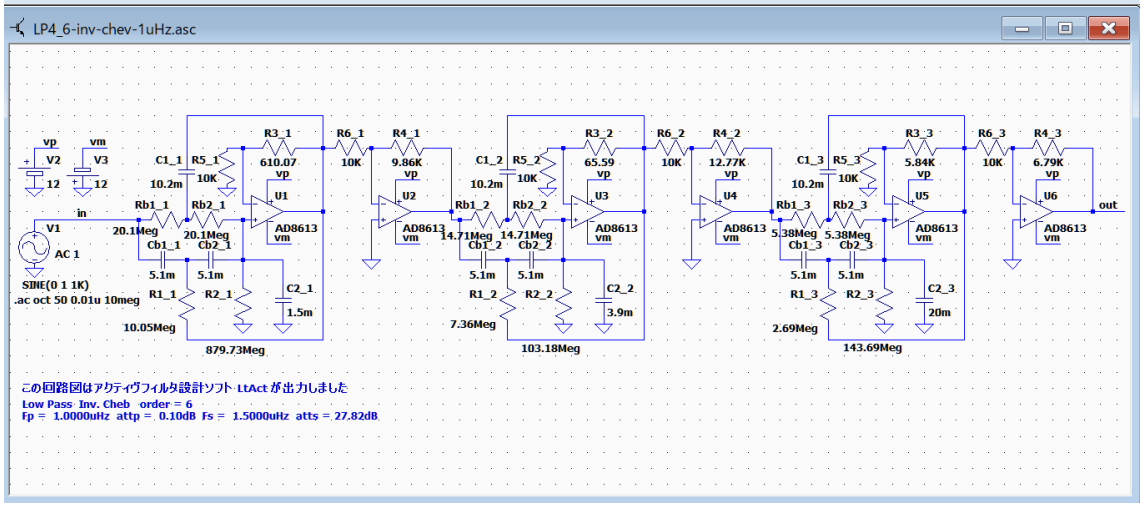
3 (et2)「LP4-0-2」 Rb_3(2 個)= 5.3846Meg Cb_3(2 個)= 5.1000m R1_3 = 2.6923Meg C1_3 = 10.2000m 誤差=4.46 %

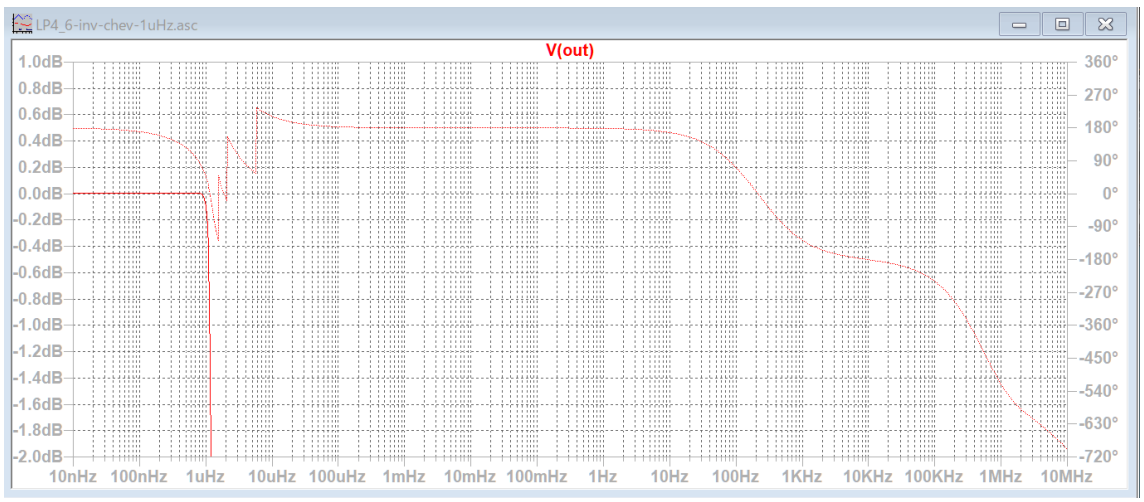
3 R2_3 = 143.6930Meg C2_3 = 20.0000m 誤差 = 4.39 %

3 R3_3 = 5.8390K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 4.09 %

3 R4_3 = 6.7867K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 0.20 %

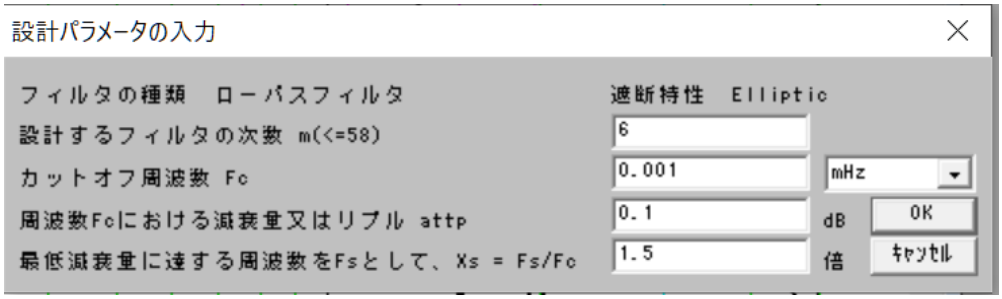






逆チェビシェフでは、1uHz のゲインが-0.1dB、1.45uHz で-20dB に達します。
しかし最低減衰量が-28dB しか得られず、高周波ノイズを除去する減衰量が足りません。

LP4_6-ellip-1uHz



++++++++++ 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=6

Fp = 1.0000uHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000uHz atts = 57.77dB

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	1.0101u	43.3580p	0.1089	0	0.1111n
	Fc= 1.0480uHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積= 0.6831mHz				
2	3.4858u	31.3449p	0.1089	0	16.8874p
	Fc= 0.8911uHz Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積= 0.1431mHz				
3	6.1303u	14.2238p	0.1089	0	10.1886p
	Fc= 0.6002uHz Fc ゲイン= - 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積= 36.9279uHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_6-ellip-1uHz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:14:01 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6 参照モード=0

Fp = 1.0000uHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000uHz atts = 57.77dB

1 (et2)「LP4-0-0」 Rb_1(2 個)= 20.8780Meg Cb_1(2 個)= 1.5000m R1_1 = 10.4390Meg C1_1 = 3.0000m 誤差=5.95 %

1 R2_1 = 661.8082Meg C2_1 = 18.0000m 誤差 = 2.75 %

1 R3_1 = 58.1806K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 3.75 %

1 R4_1 = 3.9941K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 2.36 %

2 (et2)「LP4-0-1」 Rb_2(2 個)= 15.7477Meg Cb_2(2 個)= 5.1000m R1_2 = 7.8738Meg C1_2 = 10.2000m 誤差=4.85 %

2 R2_2 = 423.6893Meg C2_2 = 11.0000m 誤差 = 1.49 %

2 R3_2 = 7.2512K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 3.43 %

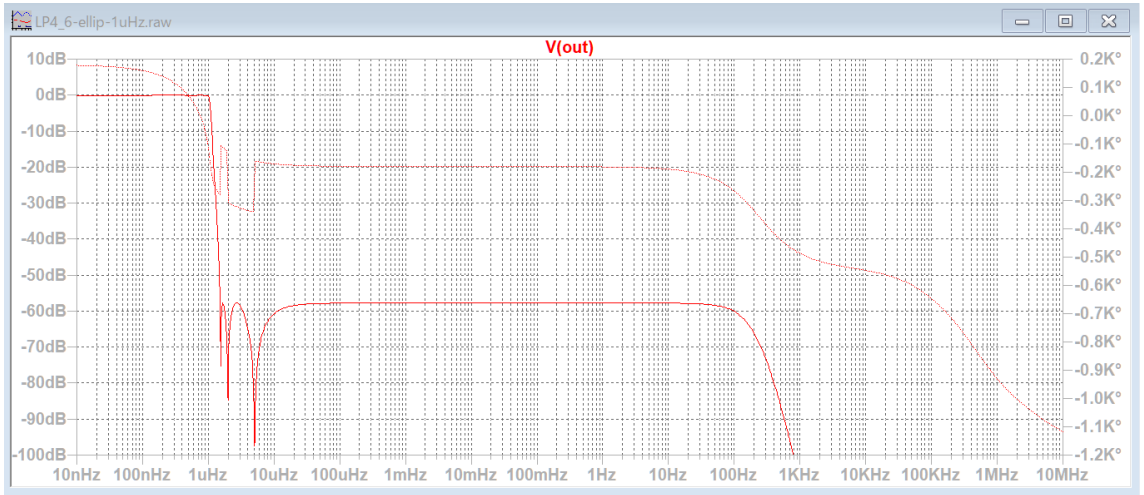
2 R4_2 = 3.3552K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 1.64 %

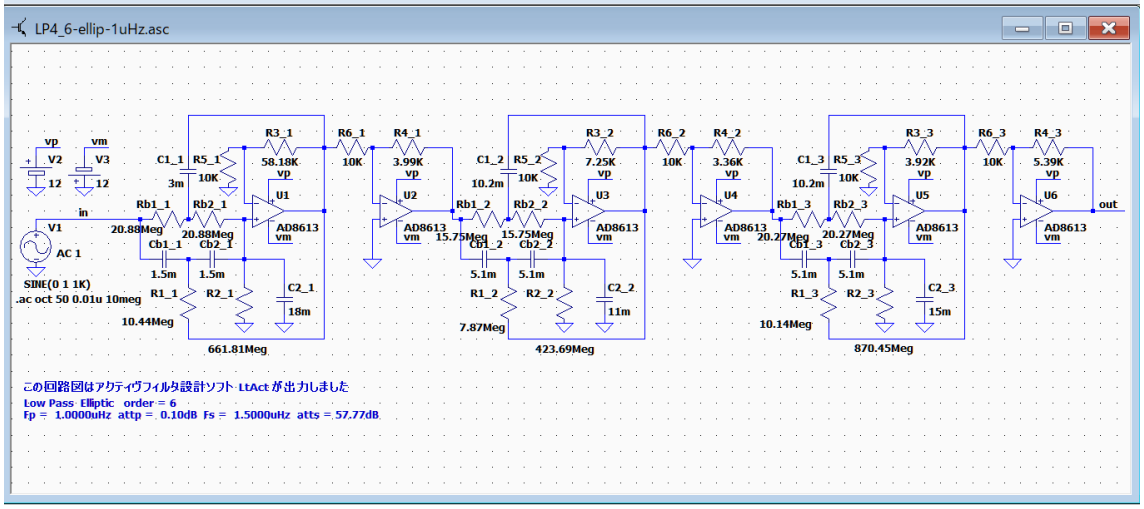
3 (et2)「LP4-0-2」 Rb_3(2 個)= 20.2741Meg Cb_3(2 個)= 5.1000m R1_3 = 10.1370Meg C1_3 = 10.2000m 誤差=2.74 %

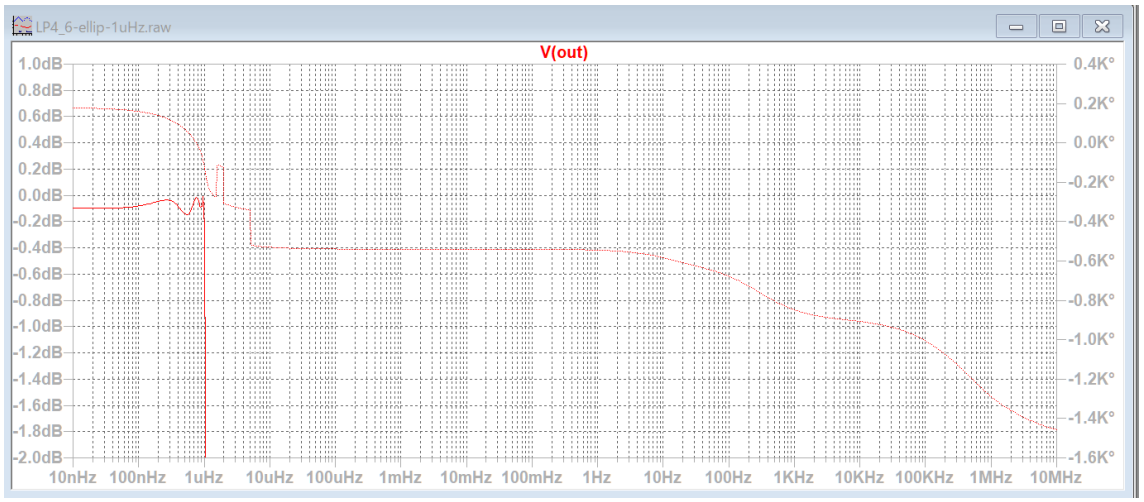
3 R2_3 = 870.4479Meg C2_3 = 15.0000m 誤差 = 4.54 %

3 R3_3 = 3.9163K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 0.42 %

3 R4_3 = 5.3870K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 3.95 %



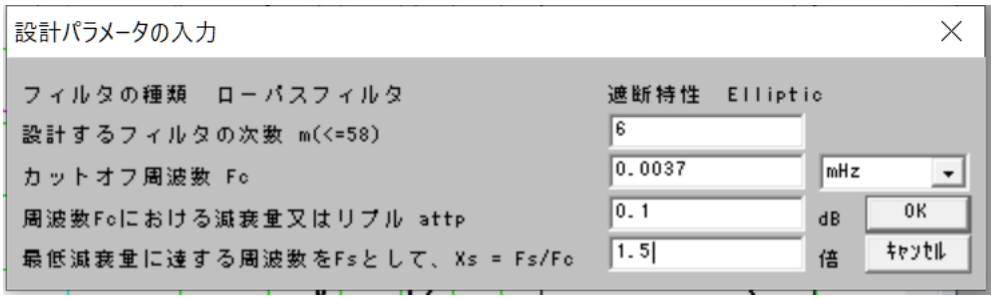




楕円関数フィルターではカットオフ付近の減衰がさらに急峻になります。

1.22uHz で-20dB、1.5uHz で-58dB に達し高周波ノイズを除去することが出来ます。

LP4_6-ellip-3p7uHz



太陽による潮汐の周期は 12.00 時間（3.684uHz に相当）、月による潮汐の周期は 12.42 時間（3.56uHz に相当）です。
少しだけ余裕を見て、フィルターのカットオフ周波数を 3.7uHz に設定します。

++++++++++ 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 Elliptic 次数=6
Fp = 3.7000uHz attp = 0.1000dB Fs = 5.5500uHz atts = 57.77dB
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	3.7375u	0.5936n	0.1089	0	1.5205n
	Fc= 3.8775uHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積= 2.5276mHz				
2	12.8973u	0.4291n	0.1089	0	0.2312n
	Fc= 3.2969uHz Fc ゲイン= - 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積= 0.5295mHz				
3	22.6820u	0.1947n	0.1089	0	0.1395n
	Fc= 2.2209uHz Fc ゲイン= - 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積= 0.1366mHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP4_6-ellip-3p7uHz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:18:18 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6 参照モード=0

Fp = 3.7000uHz attp = 0.1000dB Fs = 5.5500uHz atts = 57.77dB

1 (et2)「LP4-0-0」 Rb_1(2 個)= 5.6427Meg Cb_1(2 個)= 1.5000m R1_1 = 2.8214Meg C1_1 = 3.0000m 誤差=4.37 %

1 R2_1 = 178.8671Meg C2_1 = 18.0000m 誤差 = 0.63 %

1 R3_1 = 58.1806K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 3.75 %

1 R4_1 = 3.9941K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 2.36 %

2 (et2)「LP4-0-1」 Rb_2(2 個)= 4.2561Meg Cb_2(2 個)= 5.1000m R1_2 = 2.1281Meg C1_2 = 10.2000m 誤差=4.04 %

2 R2_2 = 114.5106Meg C2_2 = 11.0000m 誤差 = 3.94 %

2 R3_2 = 7.2512K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 3.43 %

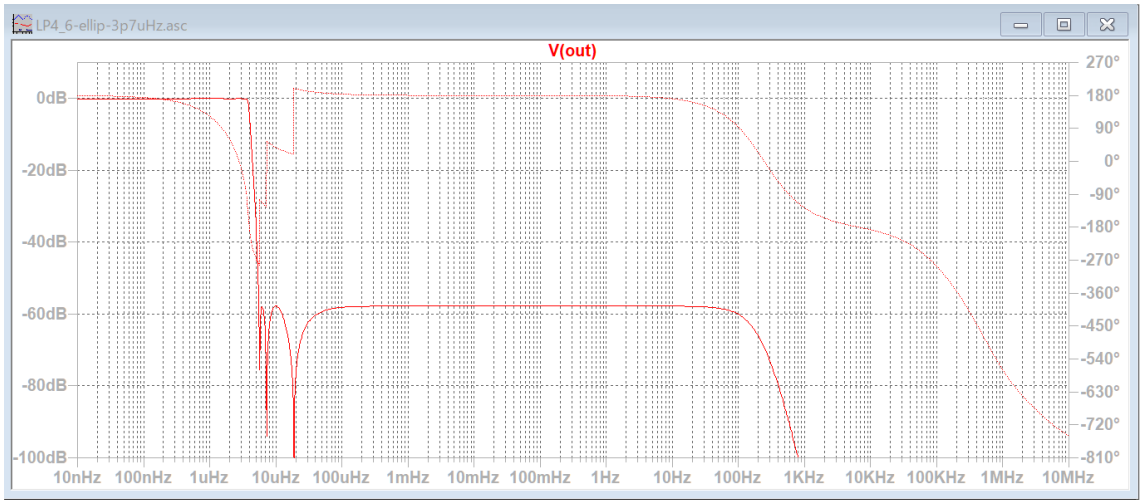
2 R4_2 = 3.3552K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 1.64 %

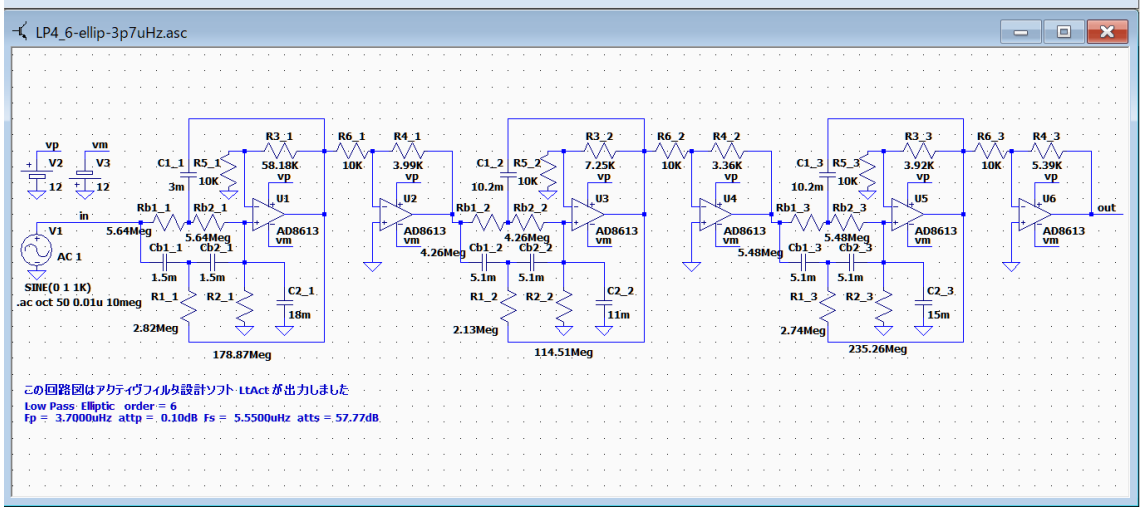
3 (et2)「LP4-0-2」 Rb_3(2 個)= 5.4795Meg Cb_3(2 個)= 5.1000m R1_3 = 2.7397Meg C1_3 = 10.2000m 誤差=3.28 %

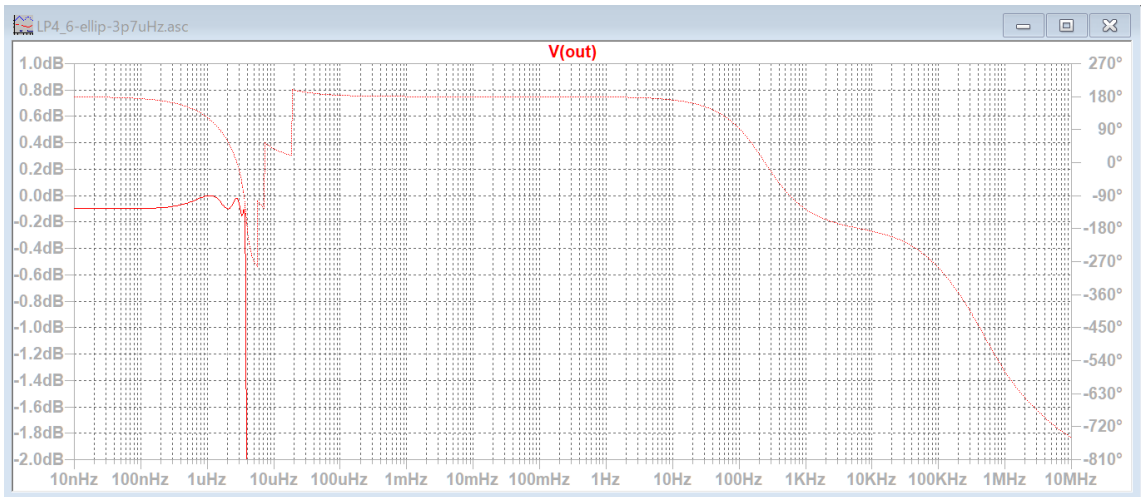
3 R2_3 = 235.2562Meg C2_3 = 15.0000m 誤差 = 2.02 %

3 R3_3 = 3.9163K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 0.42 %

3 R4_3 = 5.3870K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 3.95 %

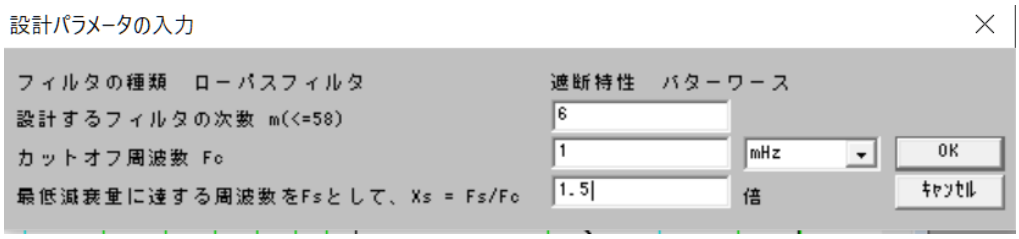






ゲインは、3.684uHz で-0.2dB、3.7uHz で-0.24dB、4.5uHz で-20dB に達します。
R4_3 を 5.39K から 5.45K に変更すると、3.684uHz で-0.09dB に調整できます。
最低減衰量は-58dB が得られ、高周波ノイズを除去することが出来ます。

LP2_6-but-1mHz



++++++++++ 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 Butterworth 次数=6

Fp = 1.0000mHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000mHz atts = 21.16dB

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	3.2524m	39.4784u	0	0	39.4784u
	Fc= 1.0000mHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積= 0.1932 Hz				
2	8.8858m	39.4784u	0	0	39.4784u
	Fc= 1.0000mHz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積= 70.7107mHz				
3	12.1382m	39.4784u	0	0	39.4784u
	Fc= 1.0000mHz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積= 51.7638mHz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_6-but-1mHz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:21:54 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6　　参照モード=0

Fp = 1.0000mHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000mHz atts = 21.16dB

1 (LP2)「LP2-0-1」 C1_1 = 8.2000u C2_1 = 0.5100u

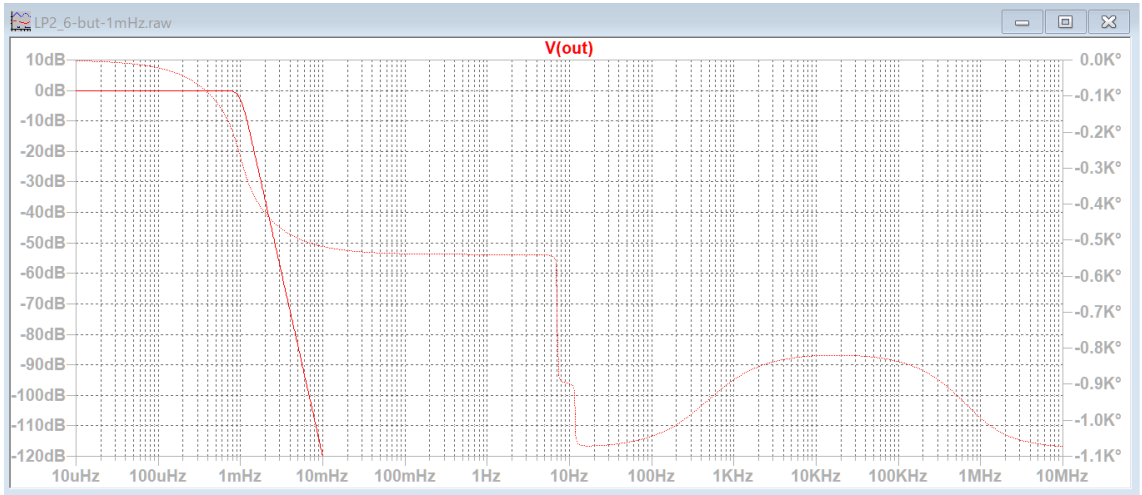
R1_1 = 59.1662Meg R2_1 = 102.3724Meg 誤差 = 5.32 %

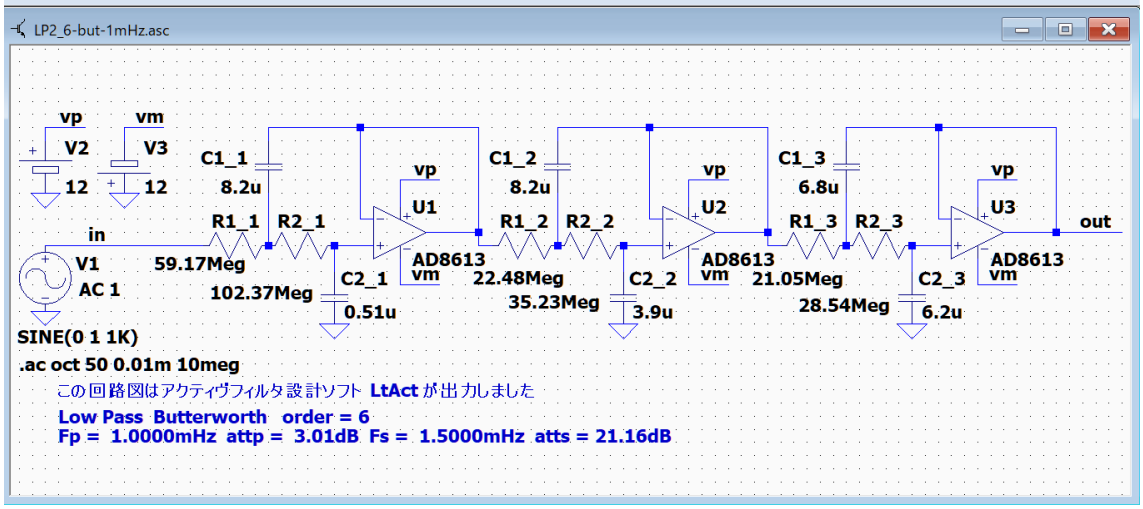
2 (LP2)「LP2-0-2」 C1_2 = 8.2000u C2_2 = 3.9000u

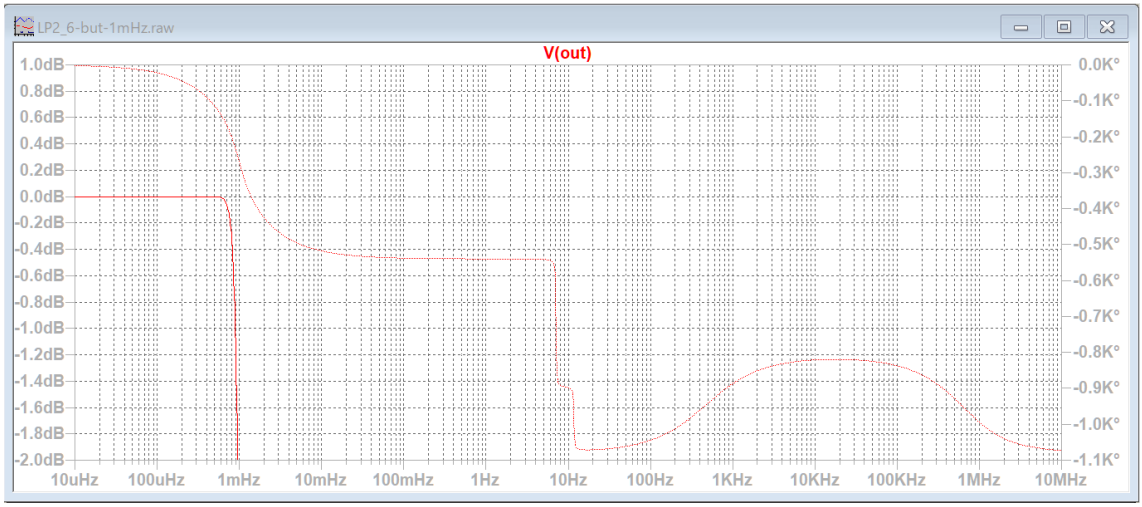
R1_2 = 22.4830Meg R2_2 = 35.2296Meg 誤差 = 3.07 %

3 (LP2)「LP2-0-2」 C1_3 = 6.8000u C2_3 = 6.2000u

R1_3 = 21.0536Meg R2_3 = 28.5373Meg 誤差 = 6.82 %

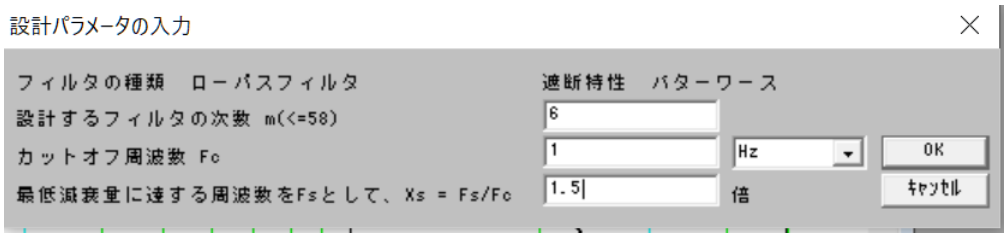






抵抗値の合計が約 160M に小さくなり、通過域のゲインは 0dB です。

LP2_6-but-1Hz



++++++++++ 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 Butterworth 次数=6

Fp = 1.0000 Hz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000 Hz atts = 21.16dB

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	3.2524	39.4784	0	0	39.4784
	Fc= 1.0000 Hz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積=193.1852 Hz				
2	8.8858	39.4784	0	0	39.4784
	Fc= 1.0000 Hz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積= 70.7107 Hz				
3	12.1382	39.4784	0	0	39.4784
	Fc= 1.0000 Hz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積= 51.7638 Hz				

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_6-but-1Hz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:28:56 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6　　参照モード=0

Fp = 1.0000 Hz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000 Hz atts = 21.16dB

1 (LP2)「LP2-0-1」 C1_1 = 0.1000u C2_1 = 6.2000n

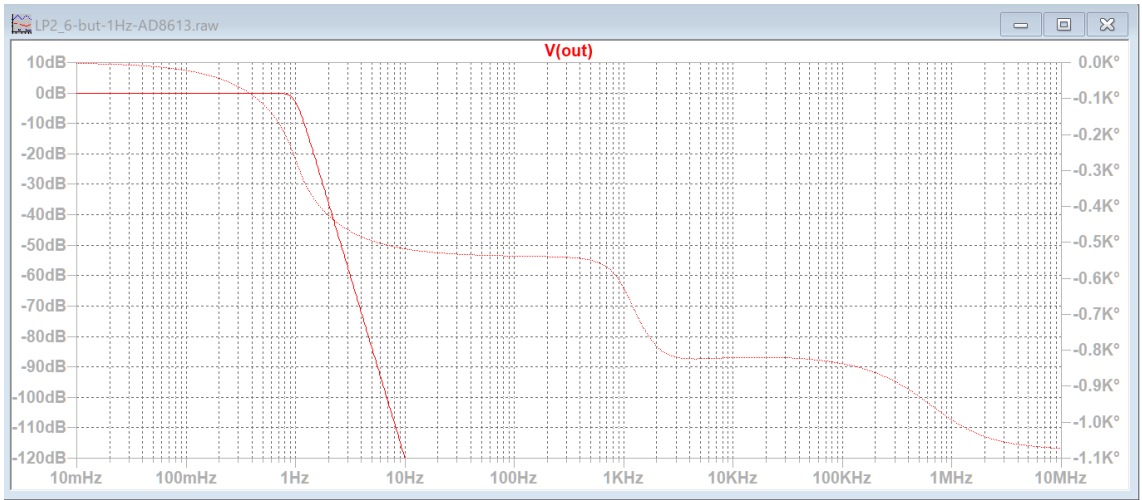
R1_1 = 4.8311Meg R2_1 = 8.4568Meg 誤差 = 4.07 %

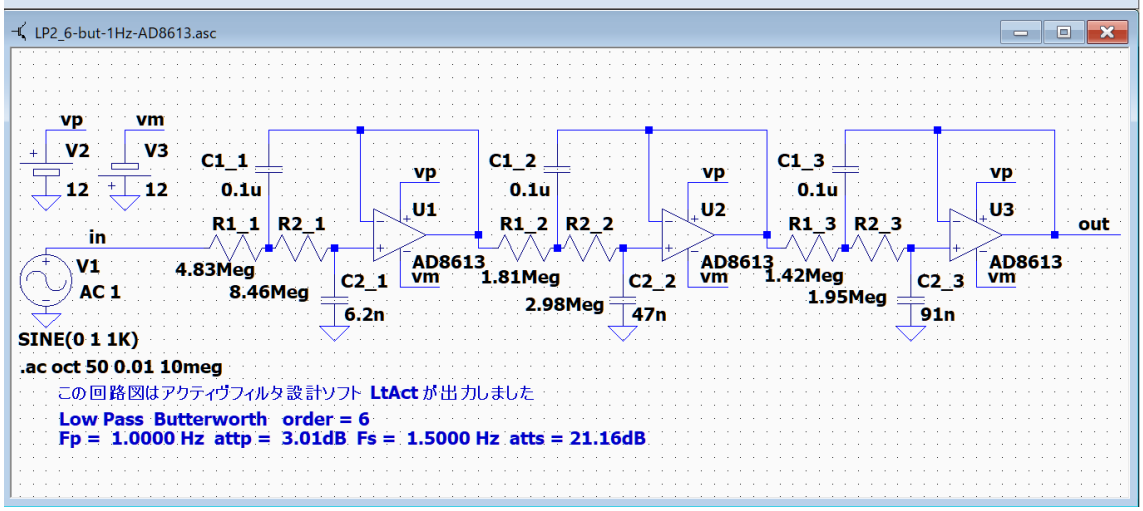
2 (LP2)「LP2-0-2」 C1_2 = 0.1000u C2_2 = 47.0000n

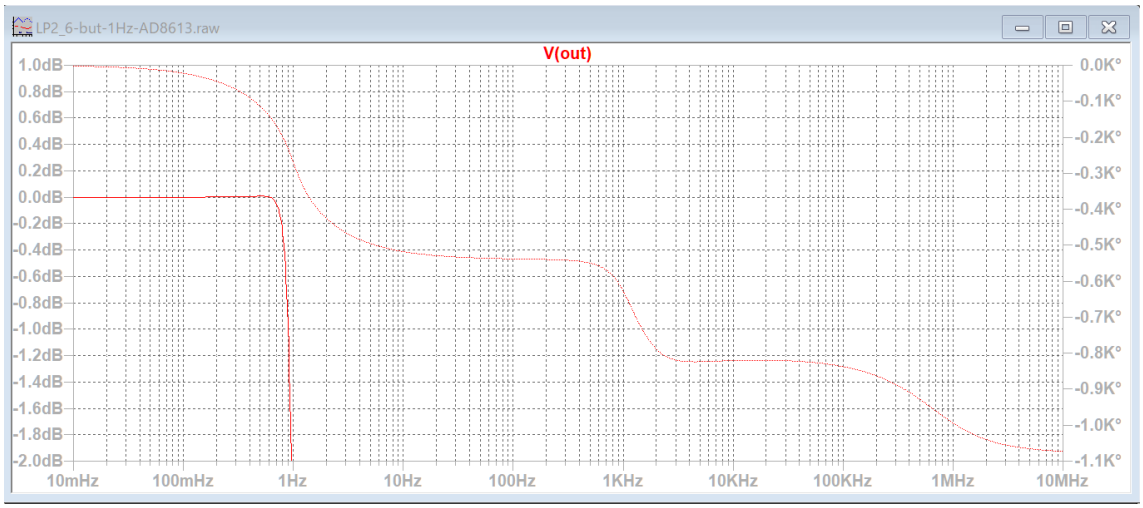
R1_2 = 1.8079Meg R2_2 = 2.9810Meg 誤差 = 0.77 %

3 (LP2)「LP2-0-2」 C1_3 = 0.1000u C2_3 = 91.0000n

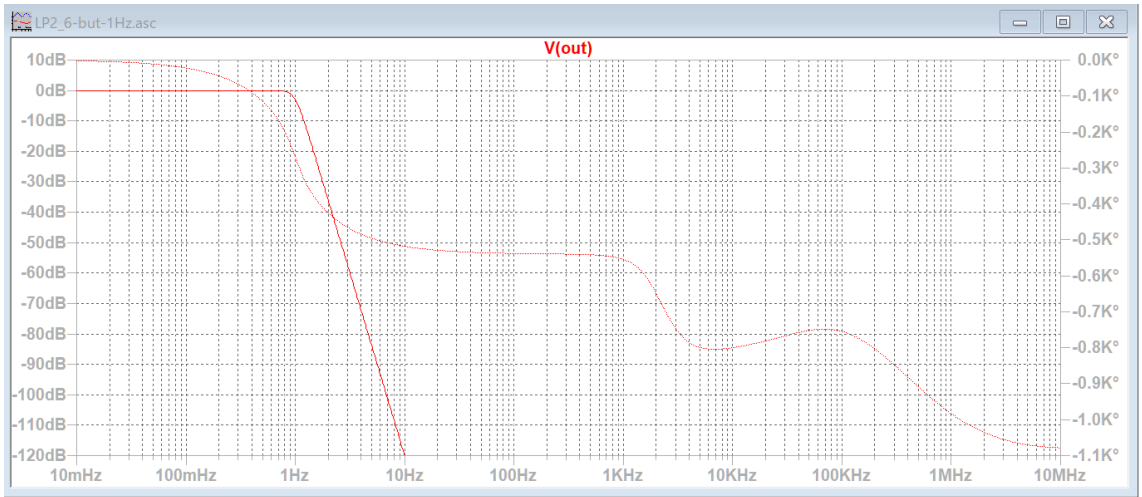
R1_3 = 1.4240Meg R2_3 = 1.9547Meg 誤差 = 5.82 %

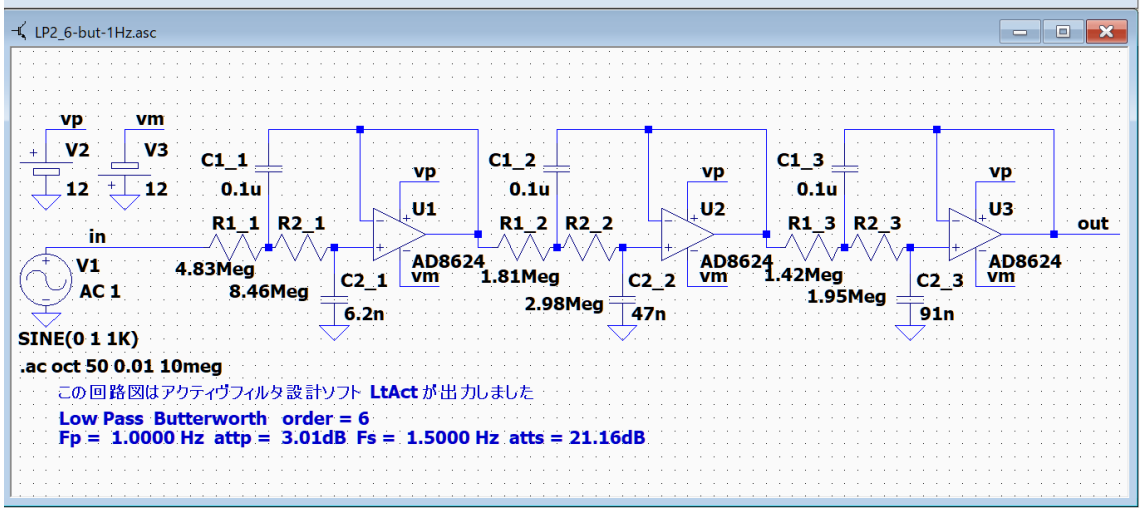


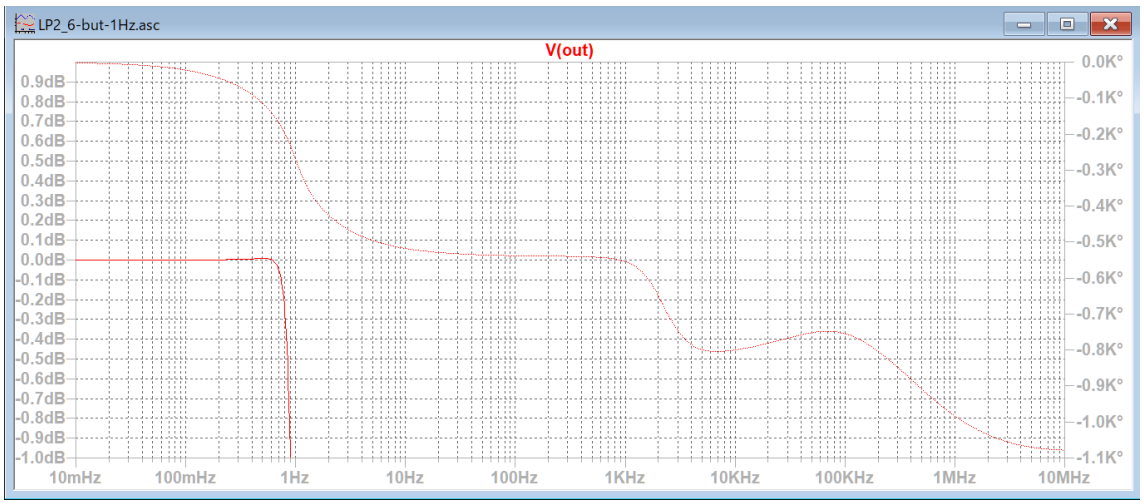




1Hz では、抵抗値の合計が 13M に小さくなるので通過域のゲインは 0dB です。

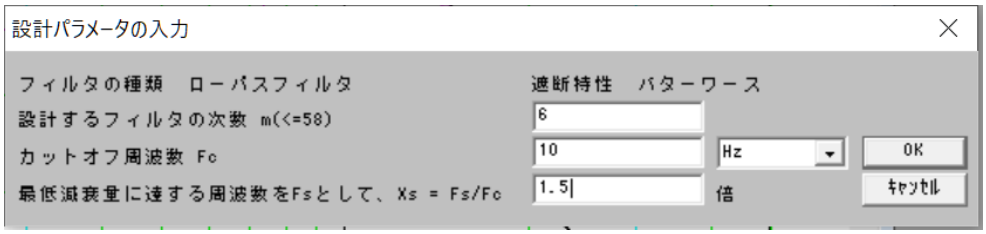






1Hz では抵抗値が 13M に小さくなるので、
入力電流が 200pA の AD8624 を使用しても通過域のゲインは 0dB です。

LP2_6-but-10Hz



++++++++++ 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 Butterworth 次数=6

Fp = 10.0000 Hz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000 Hz atts = 21.16dB

２次式の形式

Pn_2 * s^2 + Pn_3 * s + Pn_4

Hn = ----------

s^2 + Pn_0 * s + Pn_1

２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	32.5242	3.9478K	0	0	3.9478K

Fc=10.0000 Hz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積= 1.9319KHz

2	88.8577	3.9478K	0	0	3.9478K

Fc=10.0000 Hz Fc ゲイン= - 3.0103 dB Q = 0.7071 GB 積=707.1069 Hz

3	121.3818	3.9478K	0	0	3.9478K

Fc=10.0000 Hz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積=517.6382 Hz

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\LP2_6-but-10Hz.asc 作成日時 Fri Mar 18 05:31:20 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6　　参照モード=0

Fp = 10.0000 Hz attp = 3.0103dB Fs = 15.0000 Hz atts = 21.16dB

1 (LP2)「LP2-0-1」 C1_1 = 10.0000n C2_1 = 0.6200n

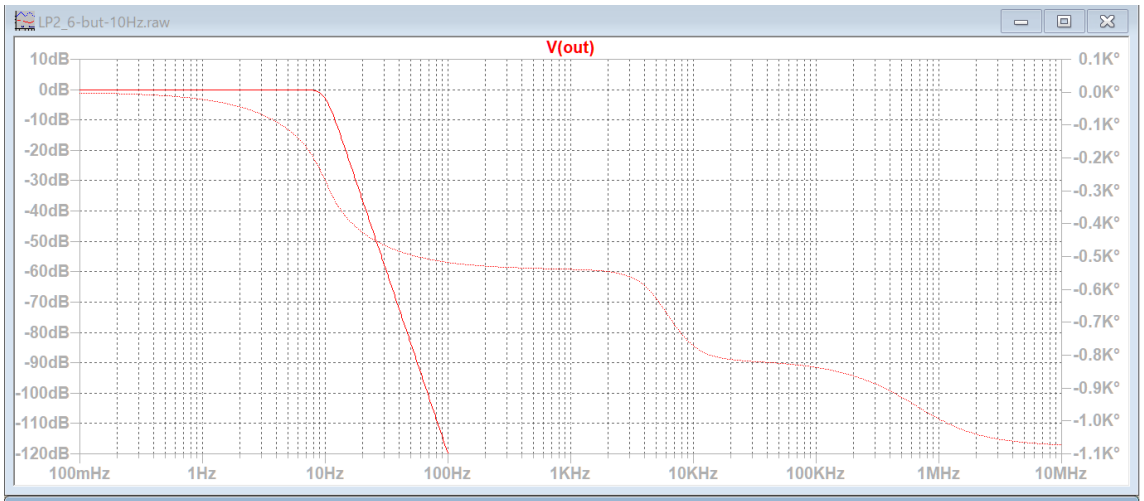
R1_1 = 4.8311Meg R2_1 = 8.4568Meg 誤差 = 4.07 %

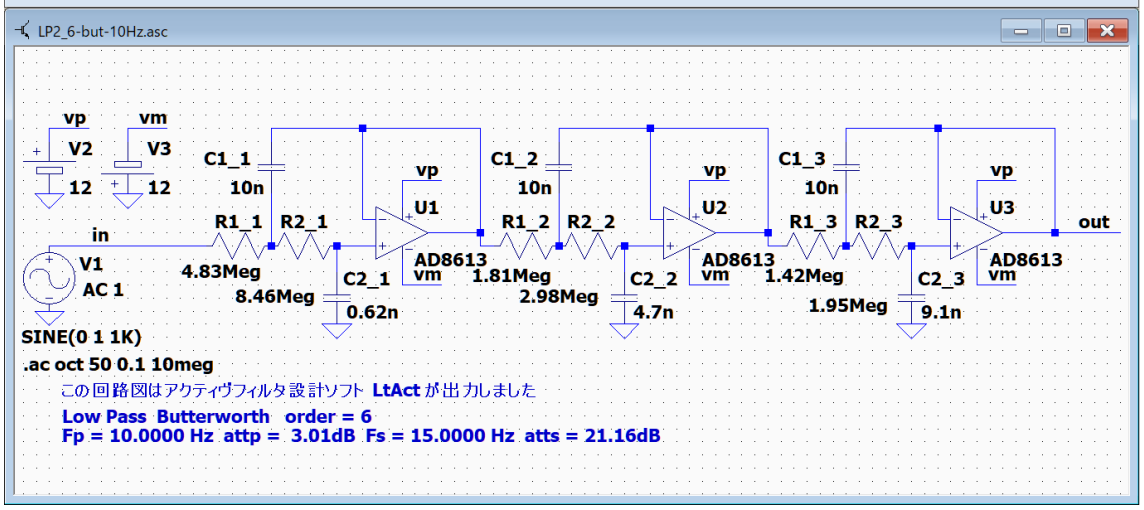
2 (LP2)「LP2-0-2」 C1_2 = 10.0000n C2_2 = 4.7000n

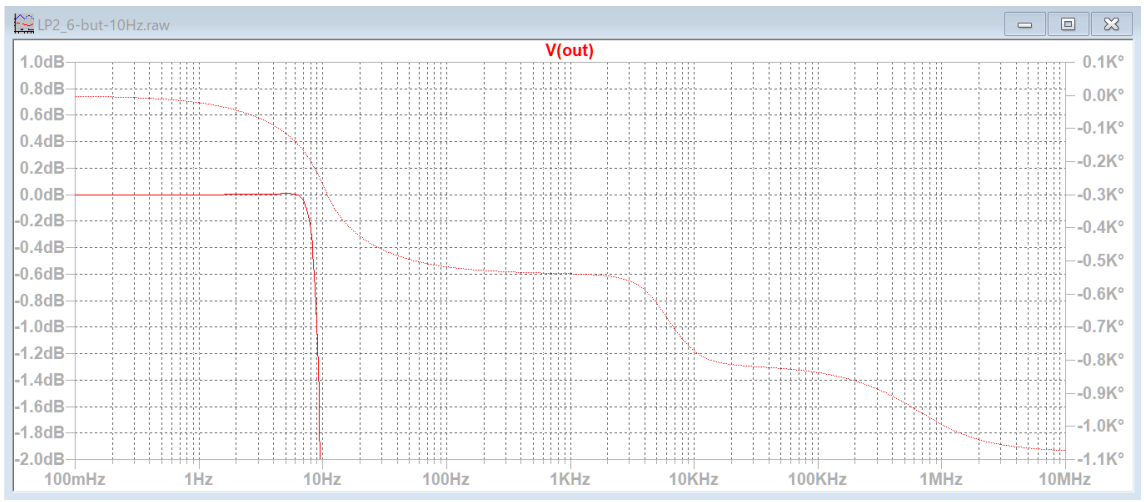
R1_2 = 1.8079Meg R2_2 = 2.9810Meg 誤差 = 0.77 %

3 (LP2)「LP2-0-2」 C1_3 = 10.0000n C2_3 = 9.1000n

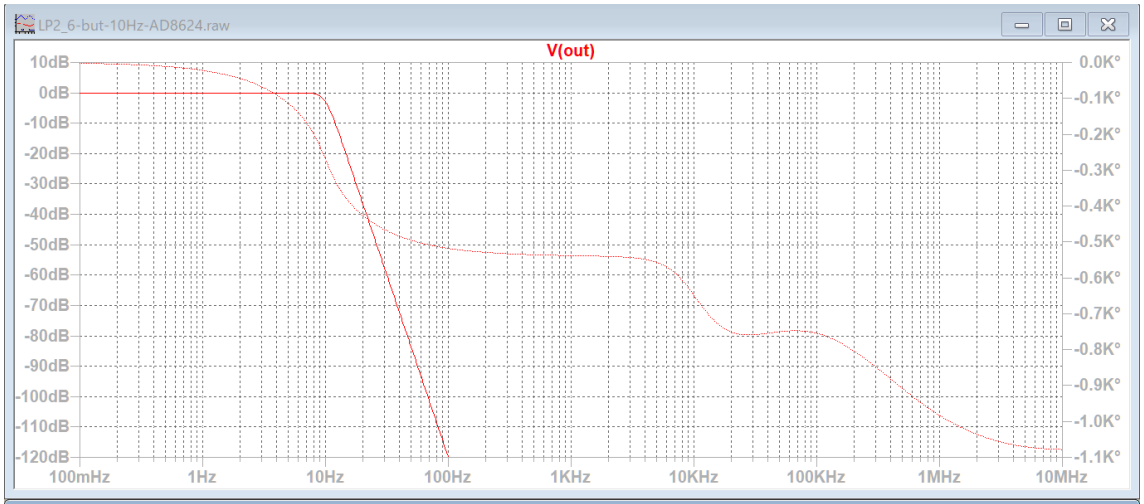
R1_3 = 1.4240Meg R2_3 = 1.9547Meg 誤差 = 5.82 %

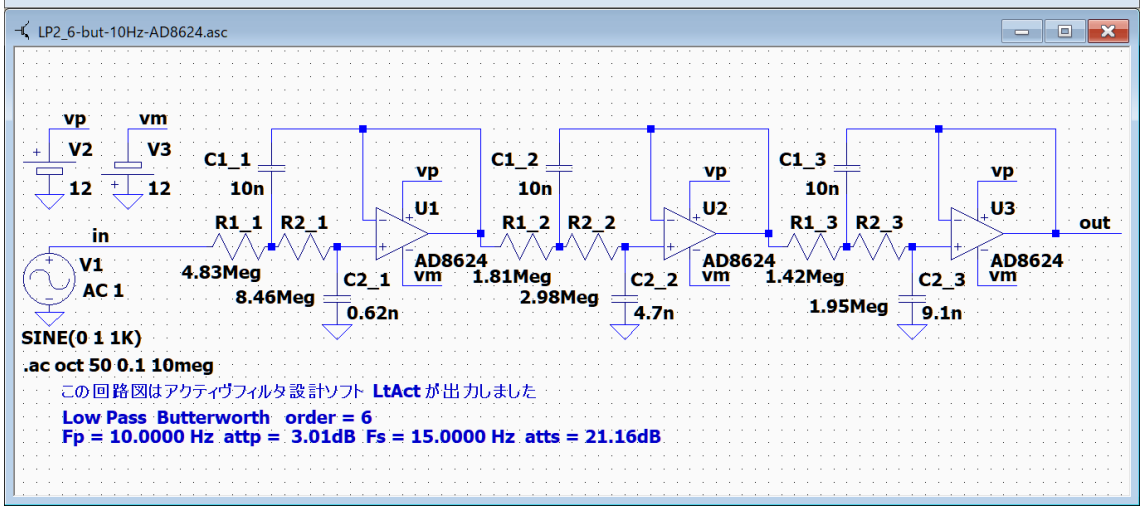


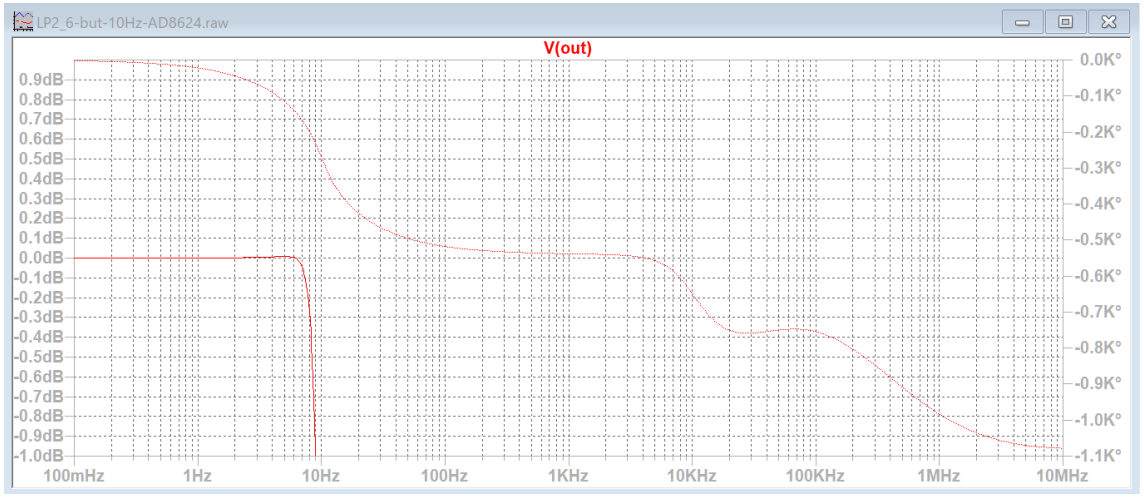




10Hz でも、抵抗値を 13M に設定したので通過域のゲインは 0dB です。







抵抗値を約 13M に設定したので、
入力電流が 200pA の AD8624 を使用しても通過域のゲインは 0dB です。

アナログデバイセスのオペアンプ検索アドレス

特徴	アドレス
汎用オペアンプ	https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11085#/
高速OPアンプ（帯域幅50MHz以上）	https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11087#/
JFET入力オペアンプ	https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11089#/
低入力バイアス電流アンプ（＜100pA）	https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11090#/
低ノイズ・アンプ（≦10nV/√Hz）	https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11091#/
高精度オペアンプ（Vos＜1mV & TCVos＜2uV/C）	https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11094#/
ゼロドリフト・アンプ	https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11096#/

表のアドレスをクリックしてもジャンプできない場合は、下をクリックしてください。

汎用オペアンプ　https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11085#/
高速 OP アンプ　https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11087#/
JFET 入力オペアンプ　https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11089#/
低入力バイアス電流アンプ　https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11090#/
低ノイズ・アンプ　https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11091#/
高精度オペアンプ　https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11094#/
ゼロドリフト・アンプ　https://www.analog.com/jp/parametricsearch/11096#/

注意：

「LtSpice」のバージョンによっては、「ADA4807-4」を使用するローパスフィルタのシミュレーションを実行すると、 通過域のゲインが 0dB にならず-80dB などになる不具合がありました。そこで、 LtAct ver.3.03 では「OP のテストデータ」内の「asy-original」と「asy-修正後」を更新して、不具合を改善しました。

最新の「LtSpice バージョン 17.0.34」をインストール後に、「LtSpice」をインストールしたフォルダの「C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps」に「asy-修正後」のファイルをコピーして下さい。これによって、「ADA4807-4」を使用する回路のシミュレーション結果が正しくなると思います。

もしも、うまく動作しない場合には「asy-original」のファイルに戻してください。

ver.3.00 以降の実験 3 終わり

ver.3.00 以降の実験 4

実験データは「OP のテストデータ」→「ver.3.00 以降の実験 4」に格納しました。

今回は、各種基本回路について検討します。

基本回路にはバターワースとチェビシェフのローパス用に「LP1」と「LP2」、
バターワースとチェビシェフのハイパス用に「HP1」と「HP2」があります。

逆チェビシェフと楕円関数の基本回路には「et1」と「et2」があり、
ローパス、ハイパス、バンドパス、バンドエリミネーションのために広く利用されます。

基本回路「et1」は基本回路「LP3」、「HP3」、「BP3」、「BE1」として利用され、
基本回路「et2」は基本回路「LP4」、「HP4」、「BP4」、「BE2」として利用されます。

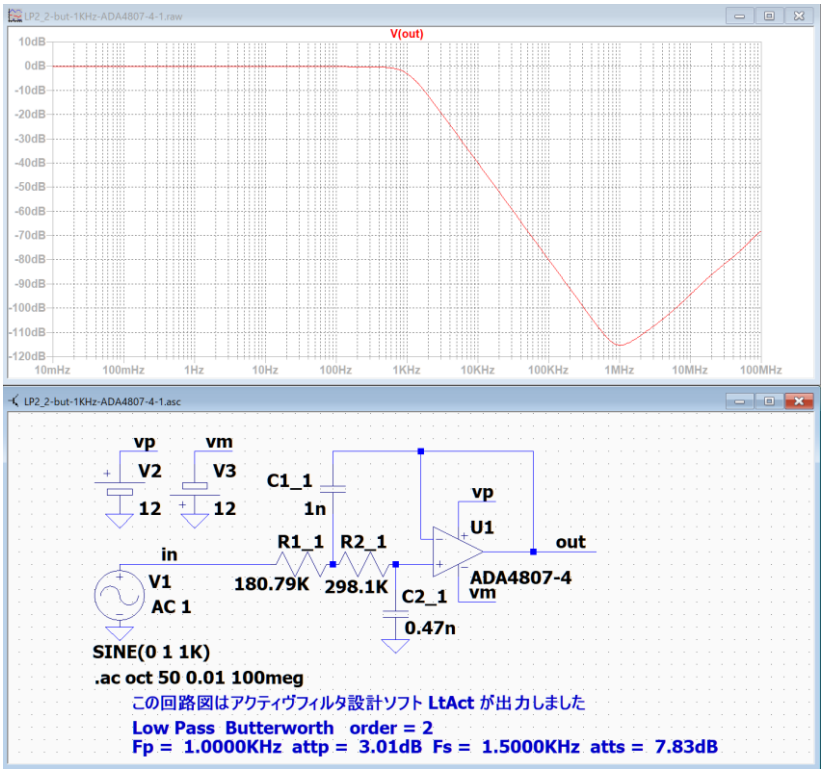
さらに、バターワースとチェビシェフのバンドバスとして基本回路「BP1」と「BP2」があります。

これらの基本回路について、順に調整方法などを検討してゆきます。

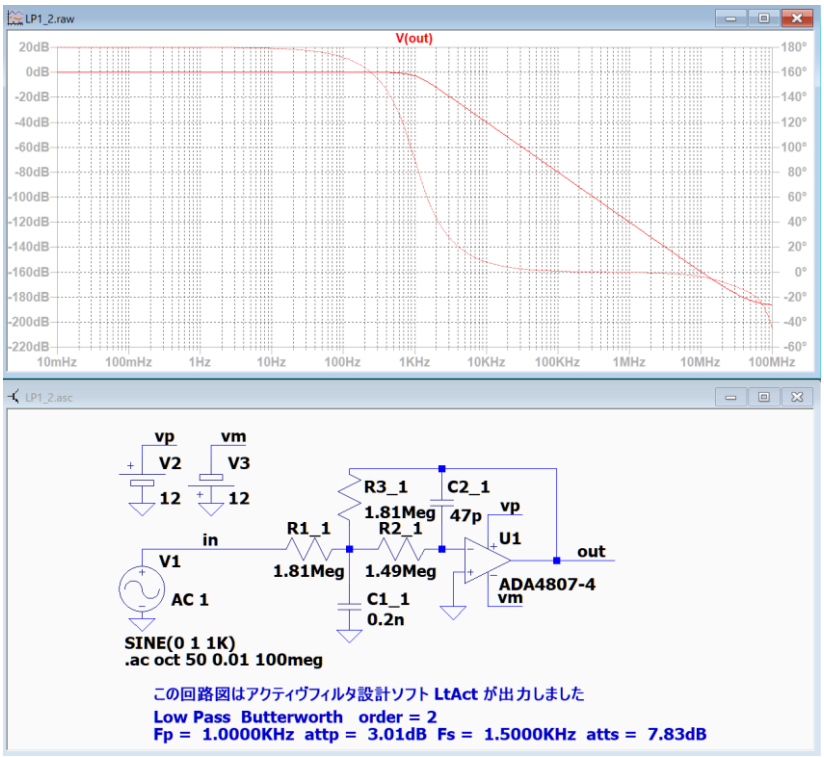
回路図は出来るだけ「LtAct」の候補値をすべて「OK」をクリックして作成しましたが、
コンデンサの値が小さすぎる場合には少し調整しました。

基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP2 では、高域で減衰量が低下する不具合が発生する

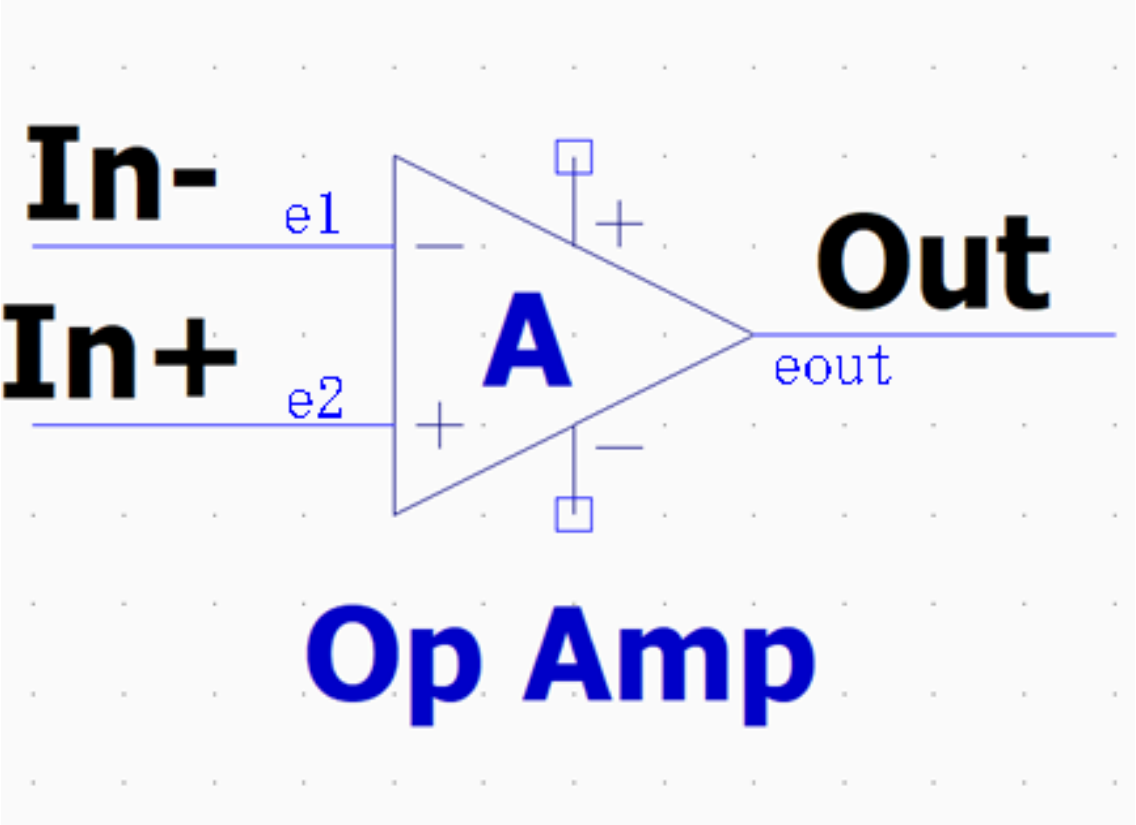


LP1 では、高周波数まで減衰量が低下しない



理想オペアンプ

「LtAct」は与えられたパラメータに対して「理想オペアンプ」を仮定して、回路の素子値を計算します。従って、「理想オペアンプ」の条件を満足しないオペアンプを利用すると、期待した性能が得られないことがあります。この場合には、どの条件が不具合の原因なのかを考えて、改善策を講じる必要があります。



オペアンプは 2 つの入力ノードを持ち、In+の電圧 e2 と In- の電圧 e1 の差の電圧を、ゲイン A 倍に増幅して Out ノードに出力 eout する素子です。$eout = A \cdot (e2 - e1)$

理想オペアンプの条件

1．入力ノードからオペアンプ内部に電流が流れ込まない。
2．ゲイン A が無限大である。
3．周波数特性は直流から無限大までフラットである。
4．出力インピーダンスはゼロである。

しかし、実際に入手可能なオペアンプでは上記の条件を満たすものはありません。
それでも、実用上許容できることが多いので広く利用されています。
しかし時には、何とかして改善したい不具合が発生することがあります。
その時には、上記の 4 つの条件のどれが不具合の原因なのかを、回路図の素子値を色々変更しながらシミュレーションで確認して、改善策を見つける必要があります。

条件 1 は、オペアンプの入力電流に関係する条件です。
　ADA4807-4 などのバイポーラトランジスタを用いたオペアンプの入力電流は数 uA から数 nA の値です。GB 積は比較的高いものが入手できます。
　AD8663 などの JFET を用いたオペアンプの入力電流は数 100pA から 1pA 以下のものまであります。GB 積は 200KHz から 200MHz 程度のものが入手できます。

条件 2 は、ゲインの誤差に関係する条件です。
　オペアンプのデータシートに出ているオープンループゲイン Ao(dB)に対して、負帰還をかけた回路のゲインを Af(dB)とすると、ゲインの誤差は約(Af - Ao)(dB) になります。
つまり、Af - Ao = -60 なら誤差は 0.1%、Af - Ao = -80 なら誤差は 0.01%になります。

条件 3 は、利用可能な周波数の上限に関係する条件です。
　「表示・出力」で「伝達関数の係数ファイルを出力する」で示される「GB 積」を越えるオペアンプの使用を推奨します。

条件 4 は、出力電流・電力の上限に関する条件です。

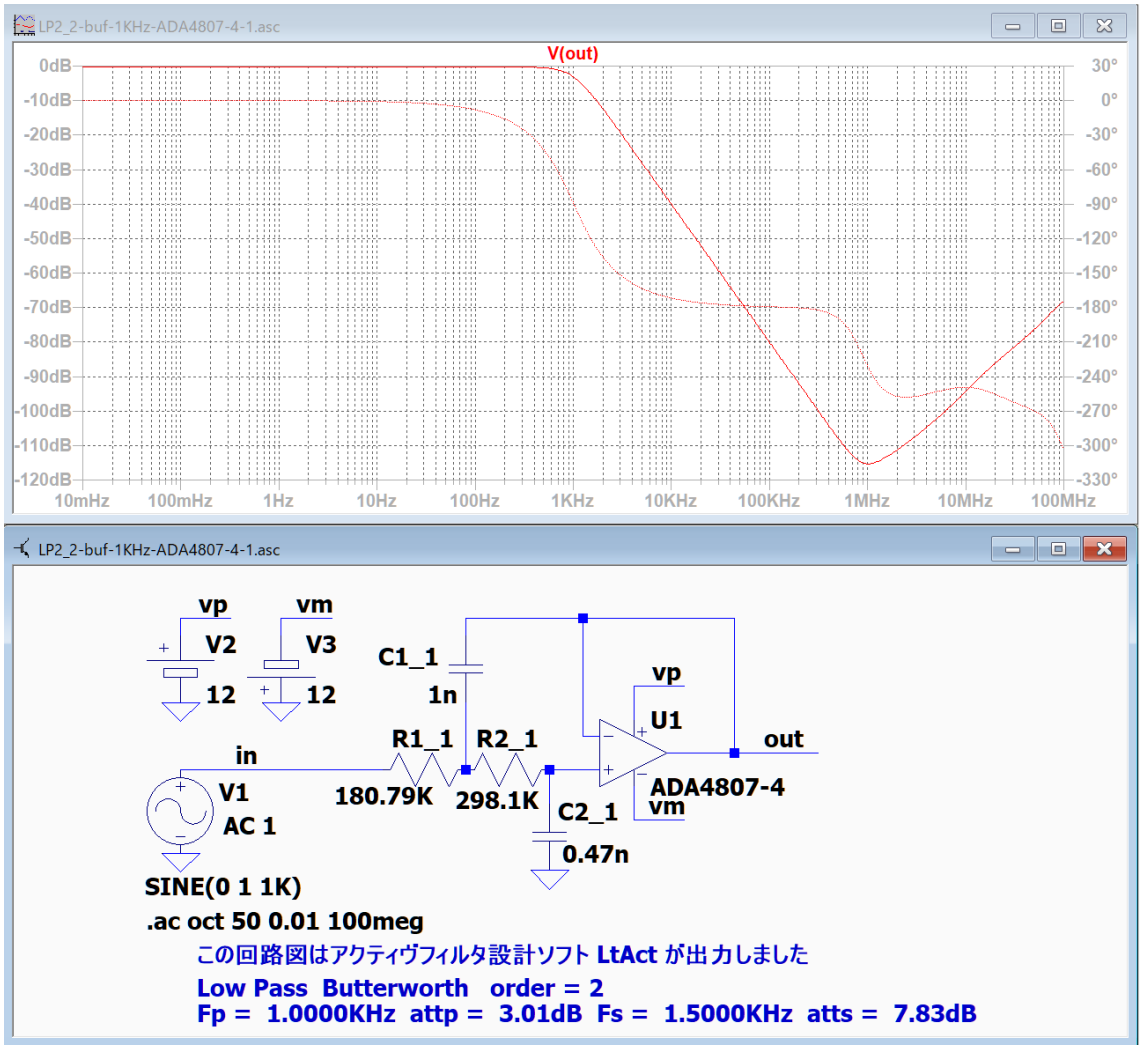
応用する回路の目的に応じて、4 つの条件を許容範囲内で満足するオペアンプを使用する必要があります。
不具合が発生した特には、条件 1 と条件 3 を確認して、改善策を検討してください。

「ver.3.00 以降の実験 3」の超低周波数ローパスフィルタの設計では、条件 1 が原因だったので、オペアンプを「JFET」を使用したものに交換することで解決できました。

基本回路「LP2」の 2 次フィルタを例として、発生する不具合とその傾向を調べて改善方法を検討します。

最初に、「LtAct」で回路図を作成する時に表示される候補値に対して全て「OK」をクリックして回路図を作成します。

LP2_2-but-1KHz-ADA4807-4-1

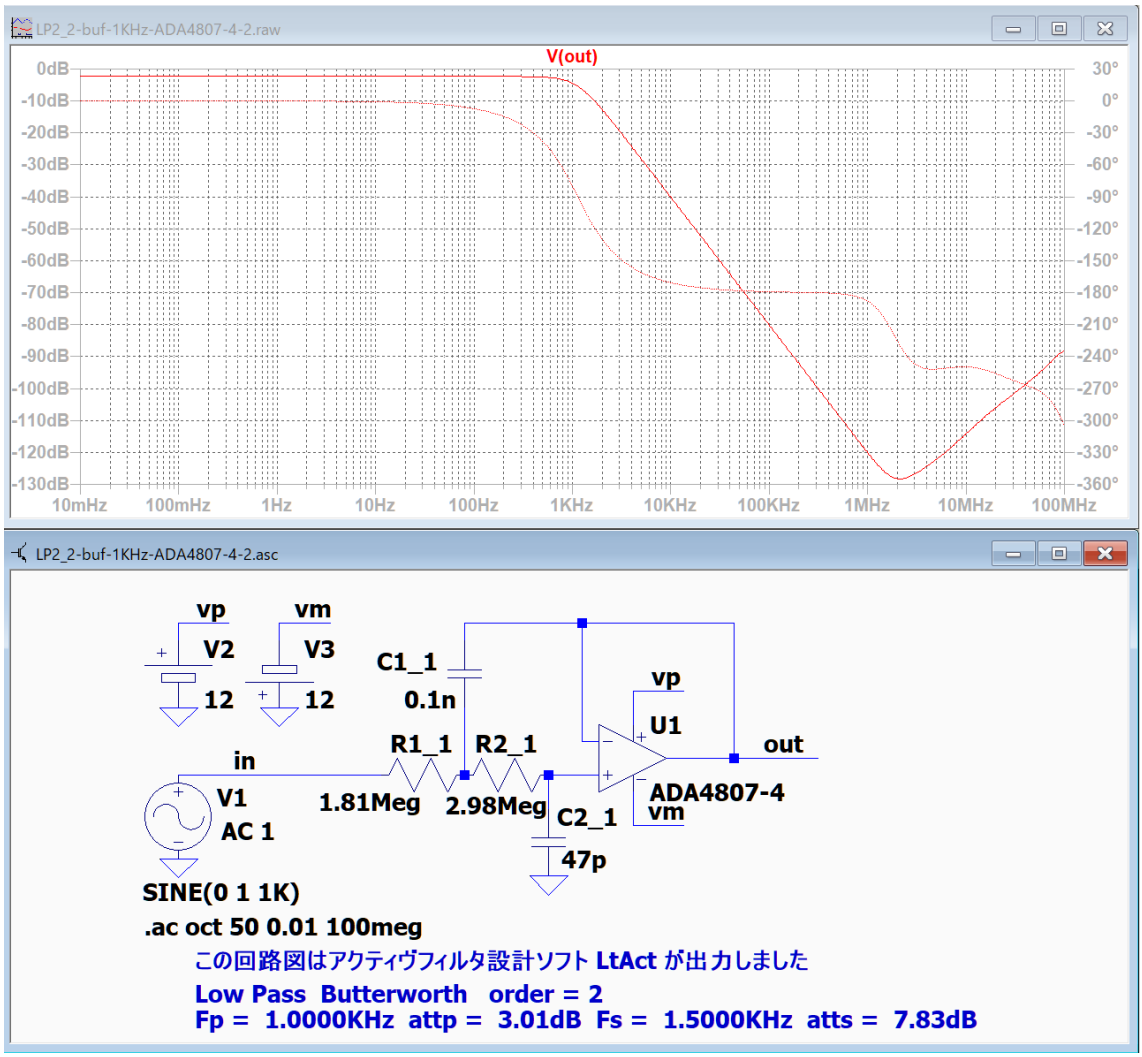


カットオフ周波数 1KHz から減衰量が増加して 1MHz で -115dB に達しますが、1MHz 以上では減衰量が低下して 100MHz では -70dB になっています。

「伝達関数の係数ファイル」によると、必要な「GB 積は」70KHz です。
データシートによると ADA4807-4 の GB 積は 180MHz なので問題はありません。

次に、C1_1 を 1/10 の 0.1n に変更して、周波数特性を確認します。

LP2_2-but-1KHz-ADA4807-4-2

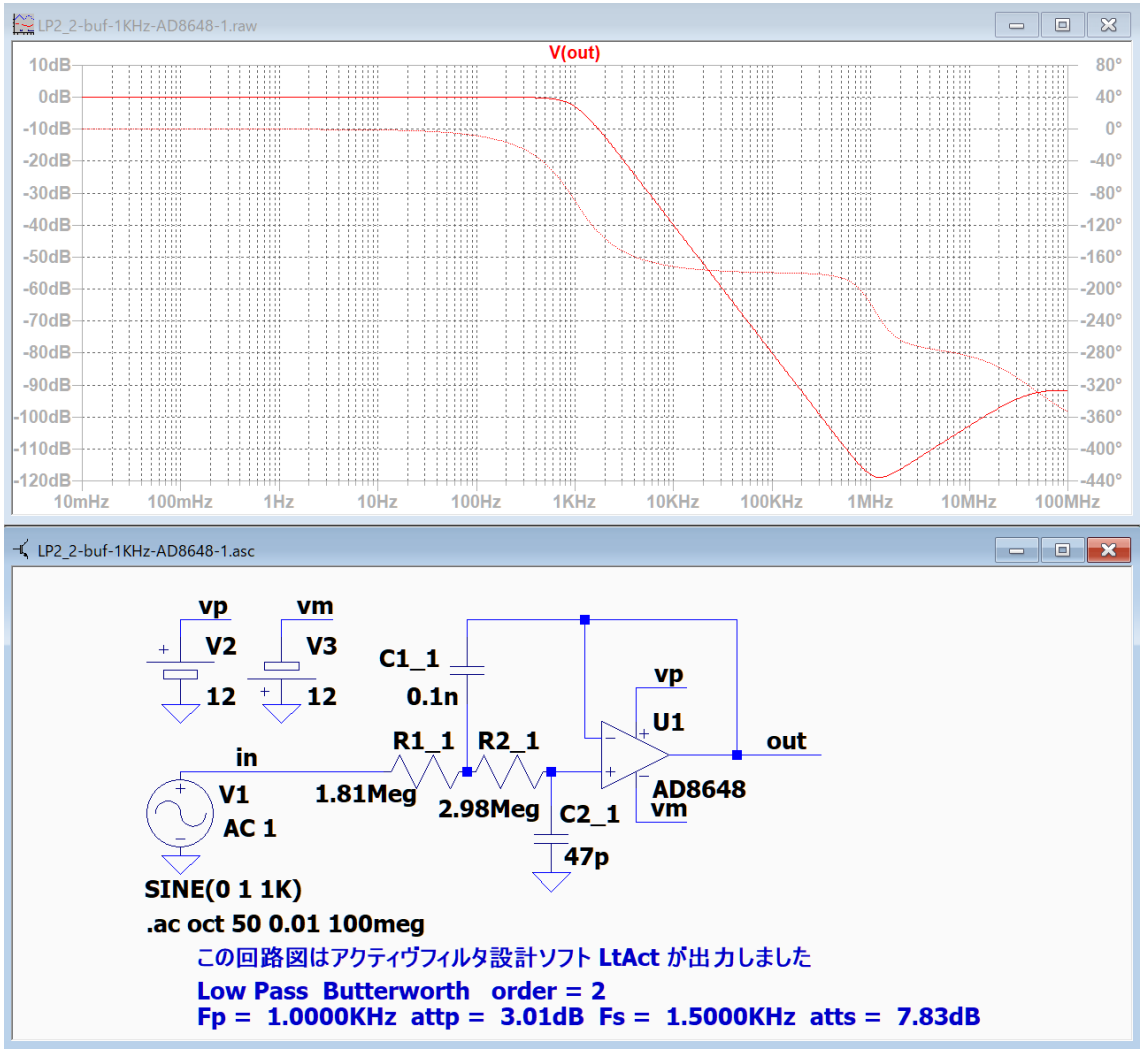


カットオフ周波数 1KHz から 2MHz まで直線的に減衰量が増加していますが、2MHz 以上では減衰量が低下して 100MHz では-90dB になっています。
従って、C1_1 を 1/10 に変更することで 100MHz の減衰量が 20dB 改善出来ました。

しかし、通過域のゲインが -0.3dB に低下しました。

これは「ver.3.00 以降の実験 3」の超低周波数ローパスフィルタの実験で、抵抗値が非常に大きい場合に似ているので、オペアンプを AD8648 に変更して特性を確認します。

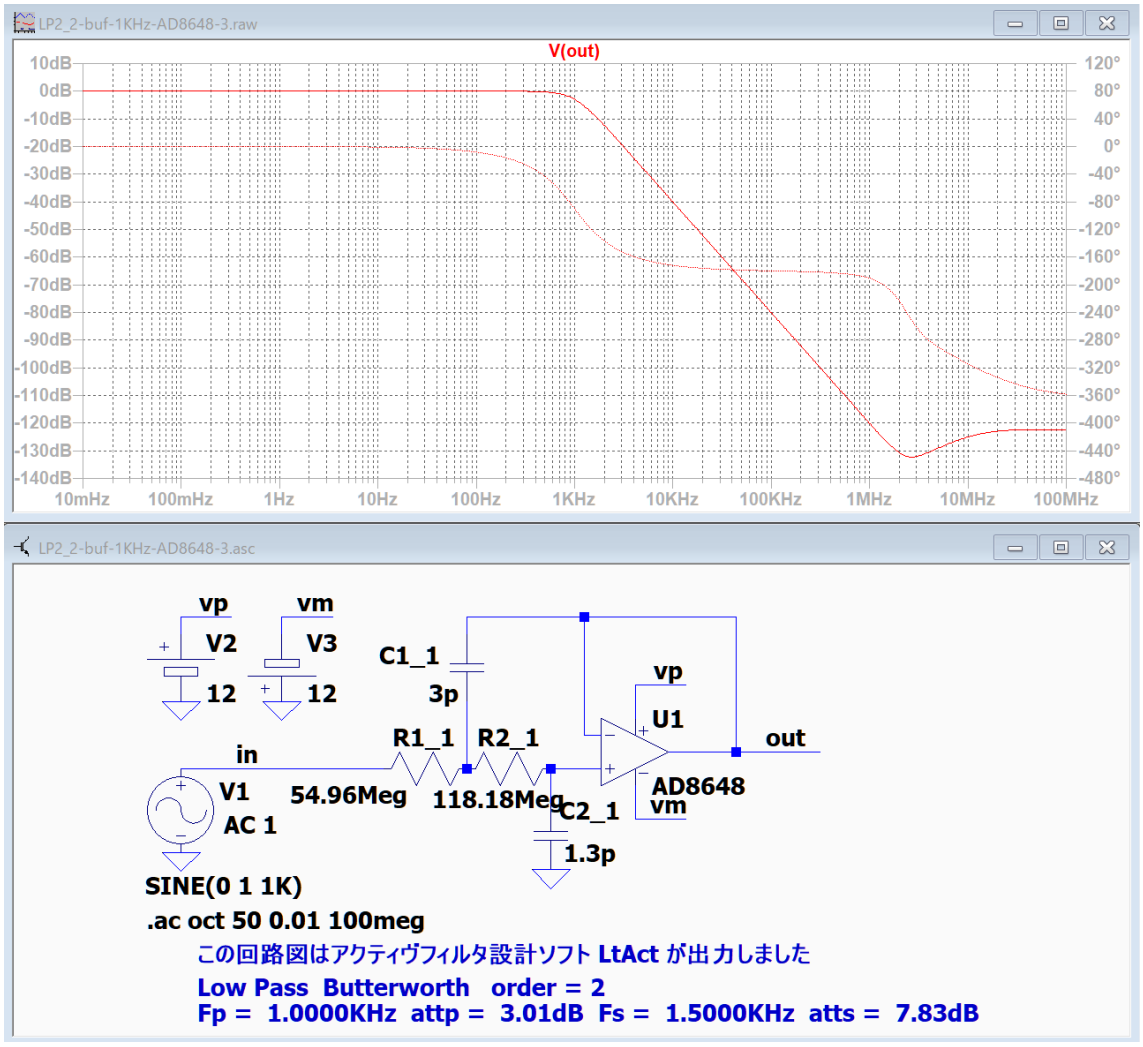
LP2_2-but-1KHz-AD8648-1



オペアンプを AD8648 に変更すると、通過域のゲインを 0dB に改善できました。
100MHz のゲインは-90dB となり、ADA4807-4 の場合と同じです。

次は、C1_1 を 3p に変更して、周波数特性を確認します。

LP2_2-but-1KHz-AD8648-3

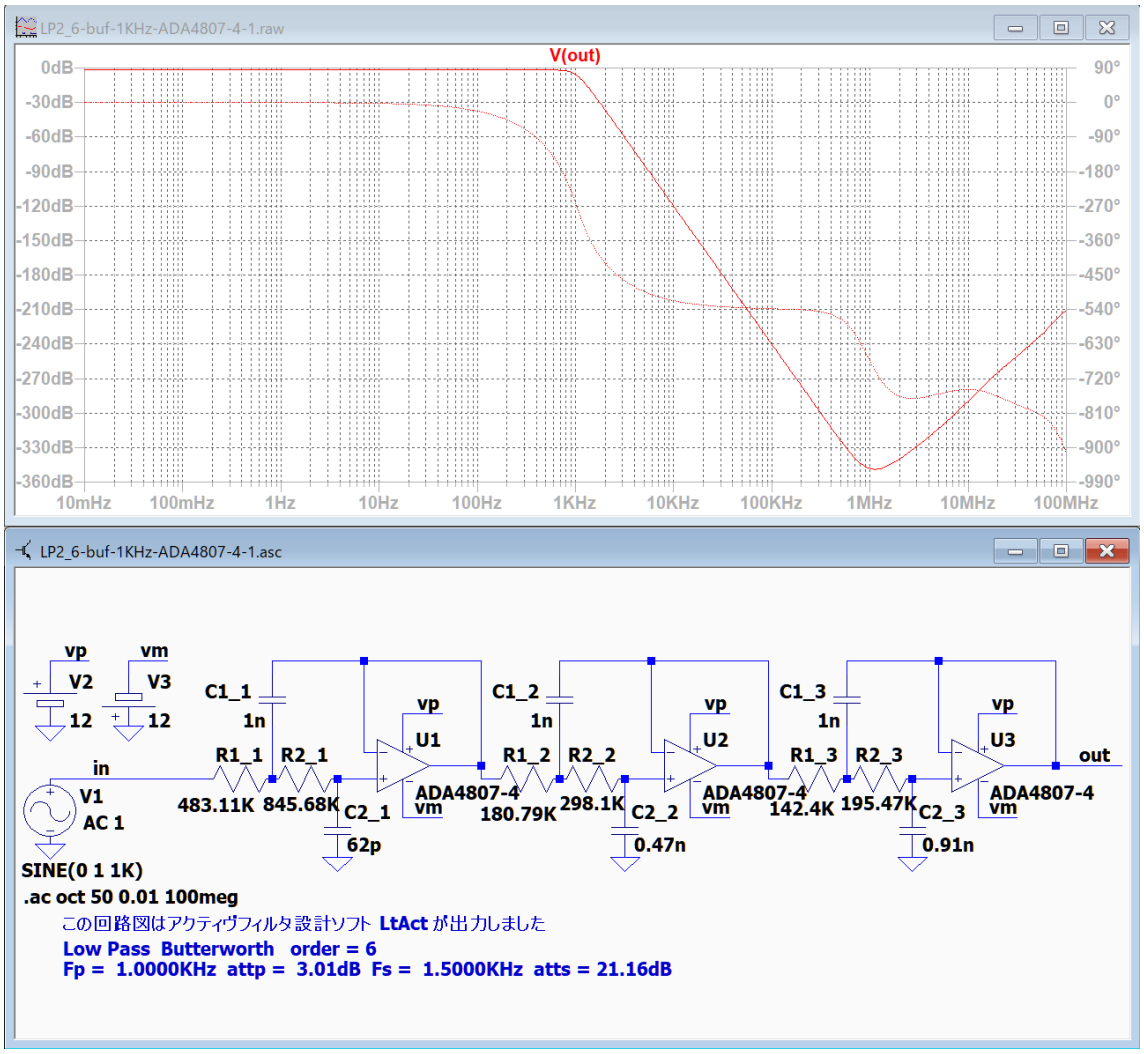


C1_1 を 3p に変更すると通過域のゲインは 0dB のままで、100MHz のゲインが -120dB になり、LP2_2-but-1KHz-ADA4807-4-1 と比べると減衰量を 50dB 改善できました。

「LP2」では「理想オペアンプ」の条件 1 が不具合の発生に関係していると思われます。

次は、「LP2」の 6 次フィルターの特性を調べてみます。

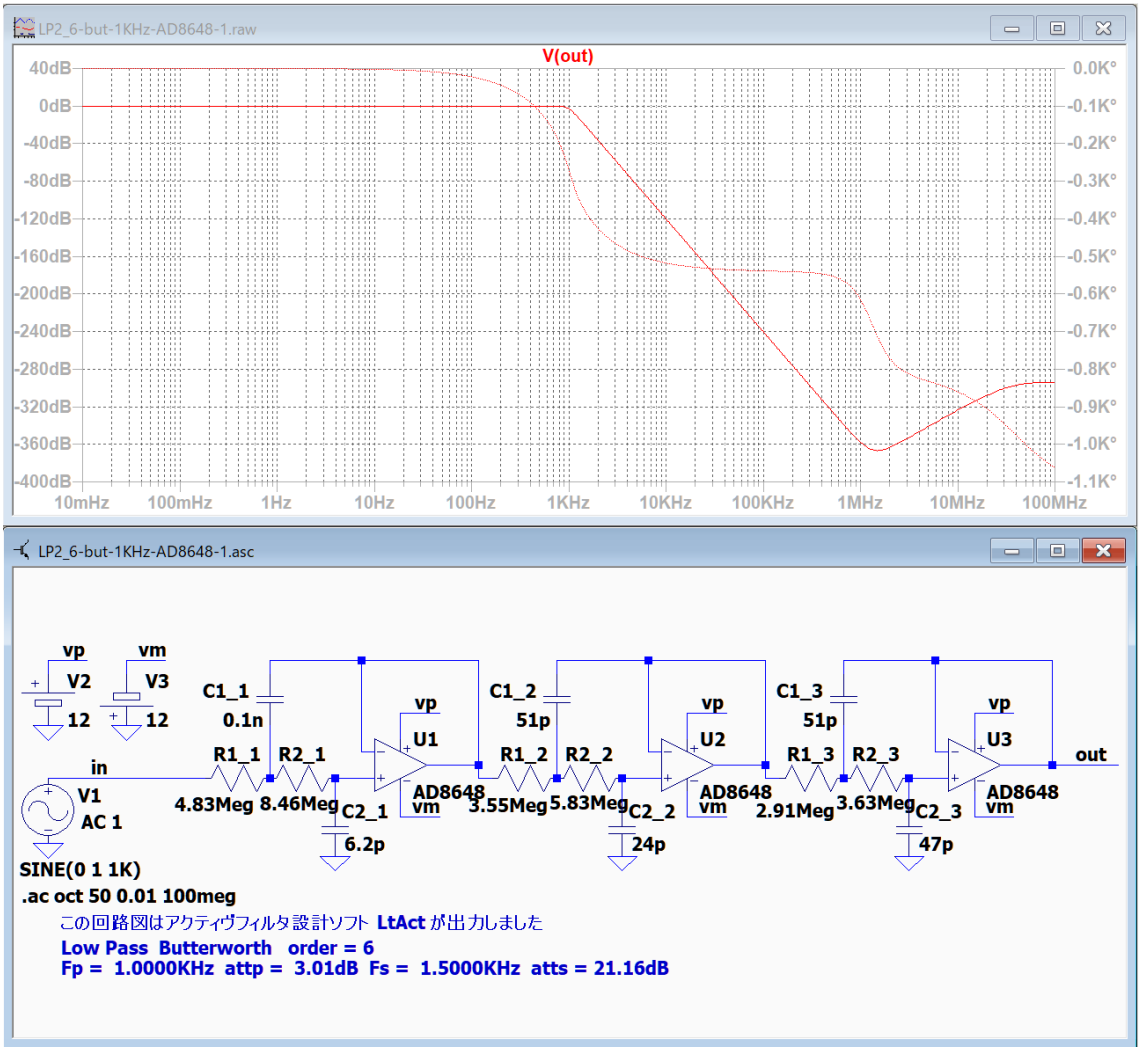
LP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1



ADA4807-4 では、減衰量が 1MHz で-350dB に達してから、100MHz では -210dB まで低下します。

そして通過域のゲインが -1.1dB になっているので、オペアンプを AD8648 に変更して特性を確認します。

LP2_6-but-1KHz-AD8648-1

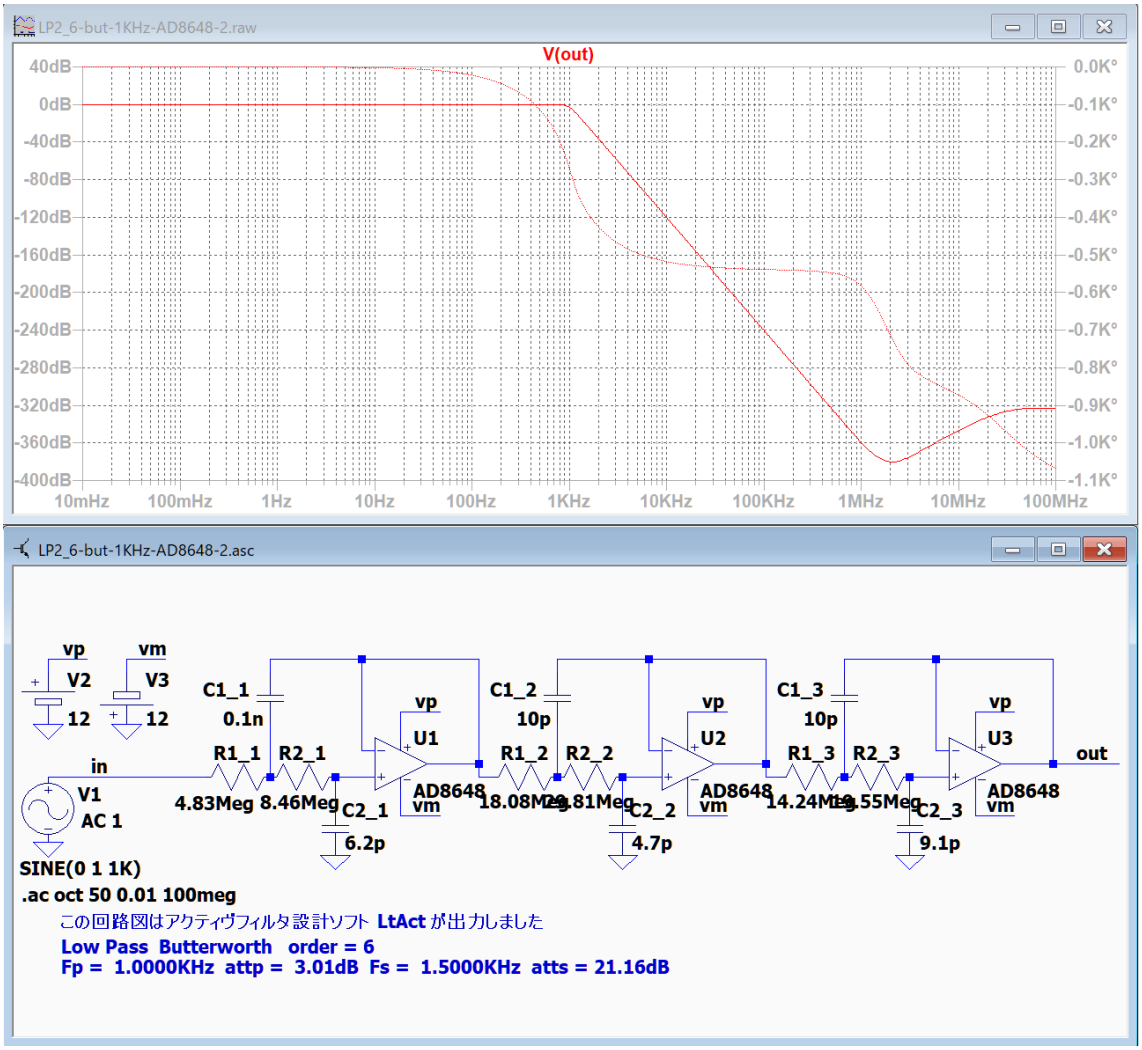


オペアンプを AD8648 に変更して、C1_1 を 0.1n に小さく設定しました。
AD8648 では、1MHz で-360dB に達してから、100MHz のゲインが -290dB まで減衰量が低下します。
LP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1 に比べると、100MHz の減衰量が 80dB 改善されます。

また、通過域のゲインが 0dB に改善されました。

さらに C1_1=0.1n、C1_2=10p、C1_3=10p に設定して、周波数特性を確認します。

LP2_6-but-1KHz-AD8648-2

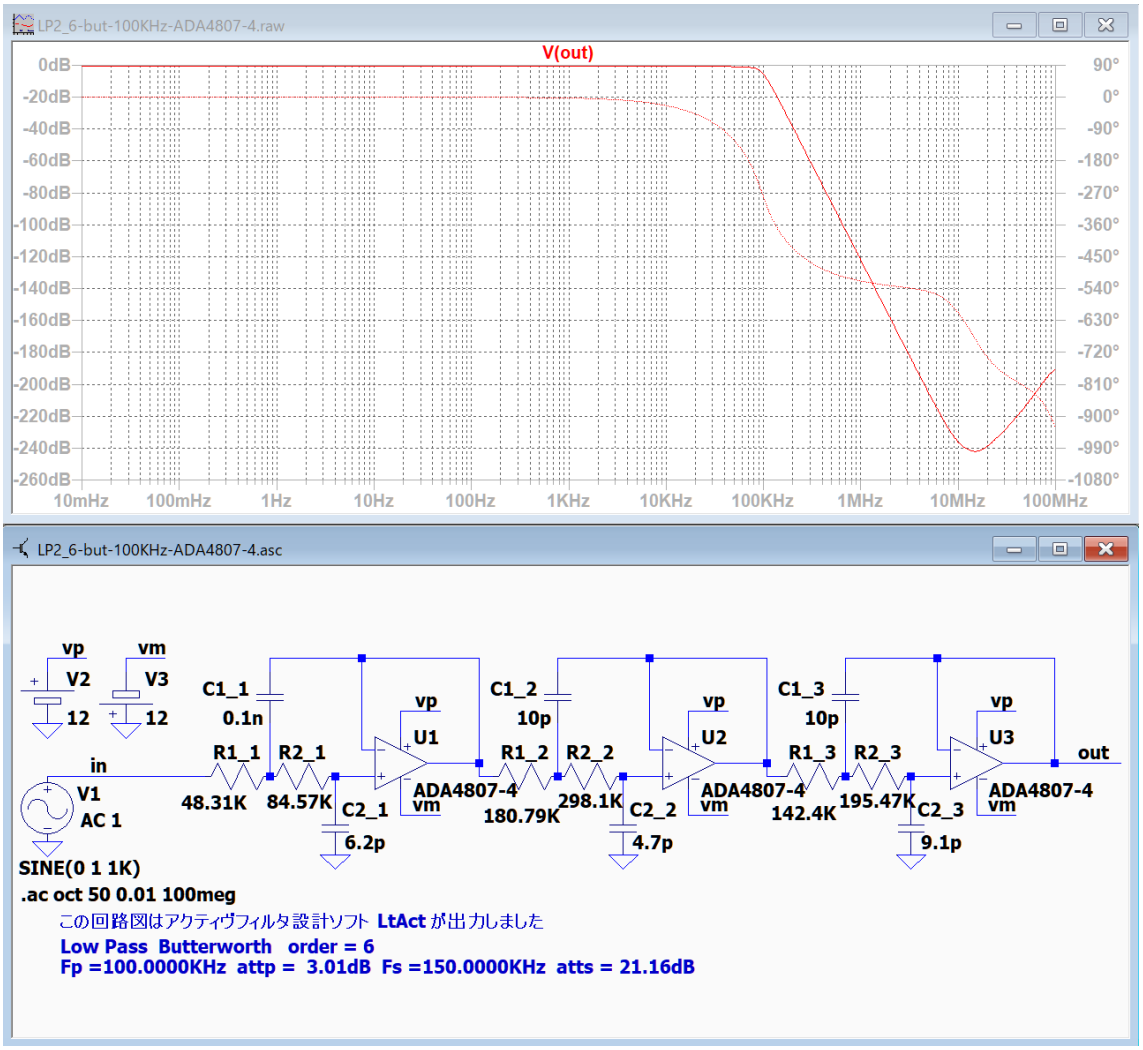


通過域のゲインは 0dB です。

減衰量が 2MHz で-380dB に達してから、100MHz では -320dB まで低下します。
LP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1 に比べると、100MHz の減衰量が 110dB 改善されます。

次に、カットオフ周波数が 100KHz の場合を確認します。

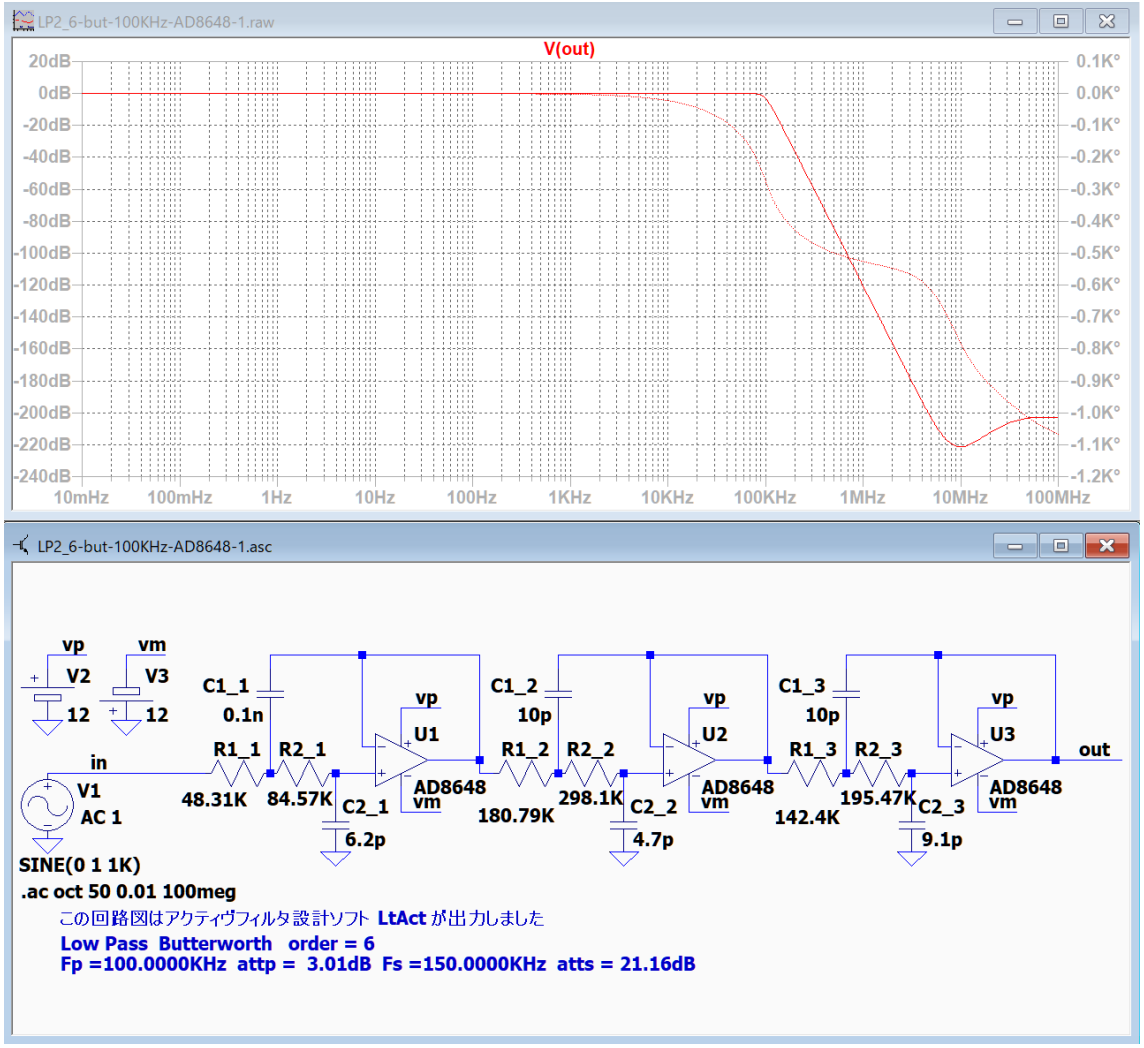
LP2_6-but-100KHz-ADA4807-4



ADA4807-4 では、通過域のゲインは -0.5dB、減衰量は 100MHz で-190dB になります。

オペアンプを AD8648 に変更して特性を確認します。

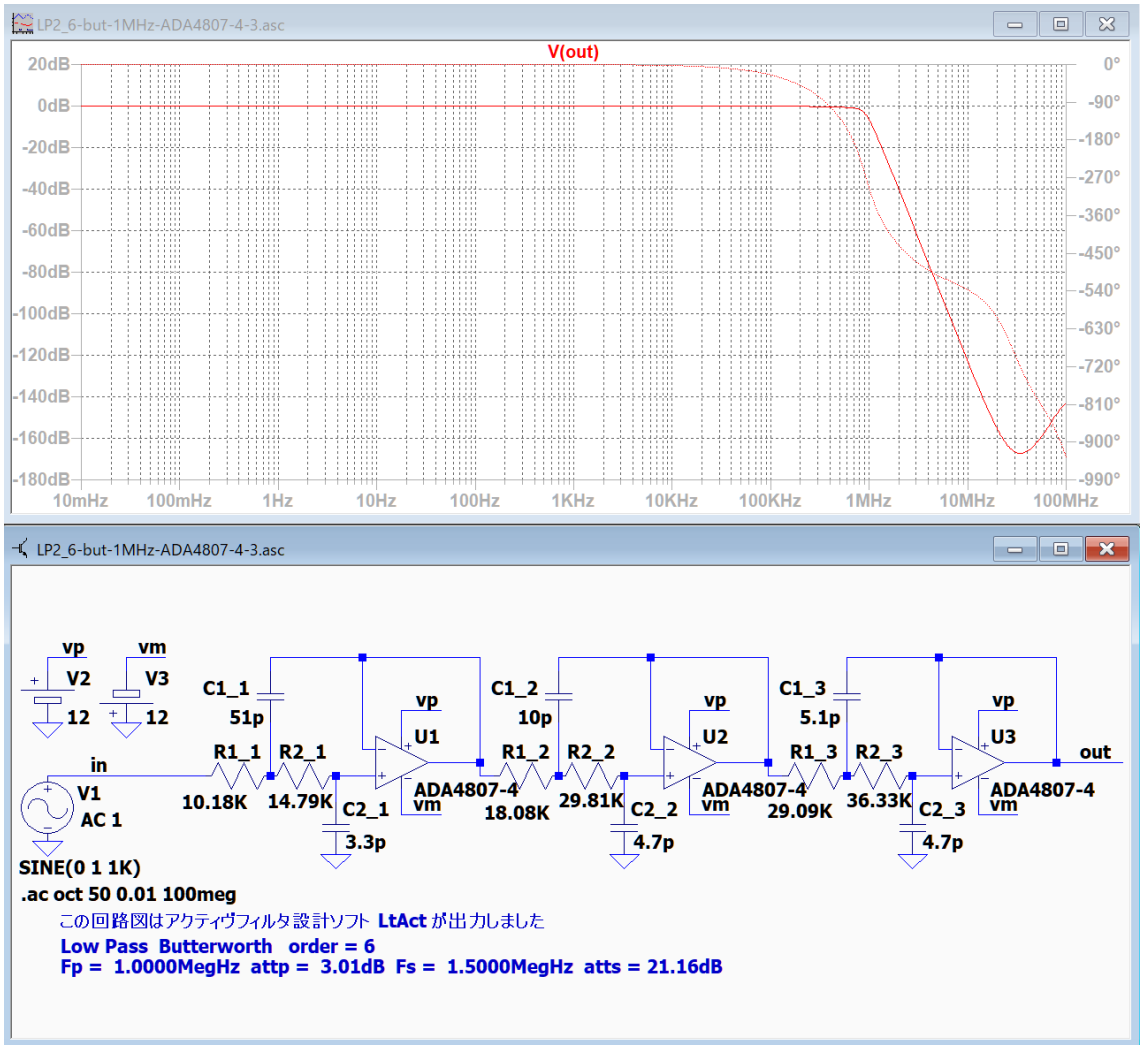
LP2_6-but-100KHz-AD8648-1



AD8648 では、通過域のゲインは 0dB、減衰量は 100MHz で -200dB に改善されます。

次に、カットオフ周波数が 1MHz の場合を確認します。

LP2_6-but-1MHz-ADA4807-4-3

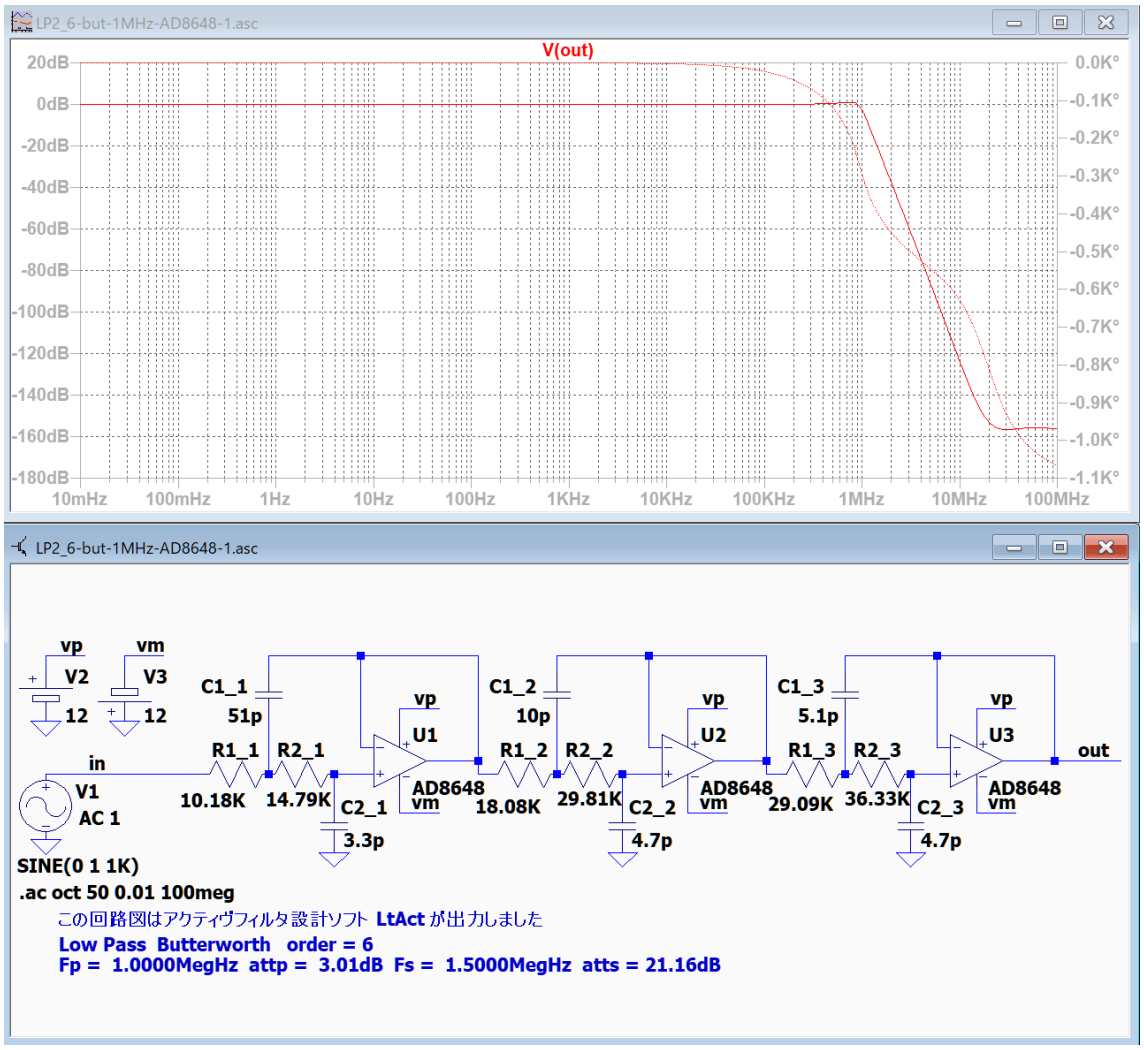


ADA4807-4 では、通過域は 0dB、1MHz で -6.5dB、100MHz で -140dB になります。
オペアンプの GB 積不足と入力電流が影響しているようですが、「ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト」を利用して、周波数特性を微調整できると思います。

高周波数では、抵抗値を小さくできるので、通過域のゲインが 0dB になるようです。

オペアンプを AD8648 に変更して特性を確認します。

LP2_6-but-1MHz-AD8648-1

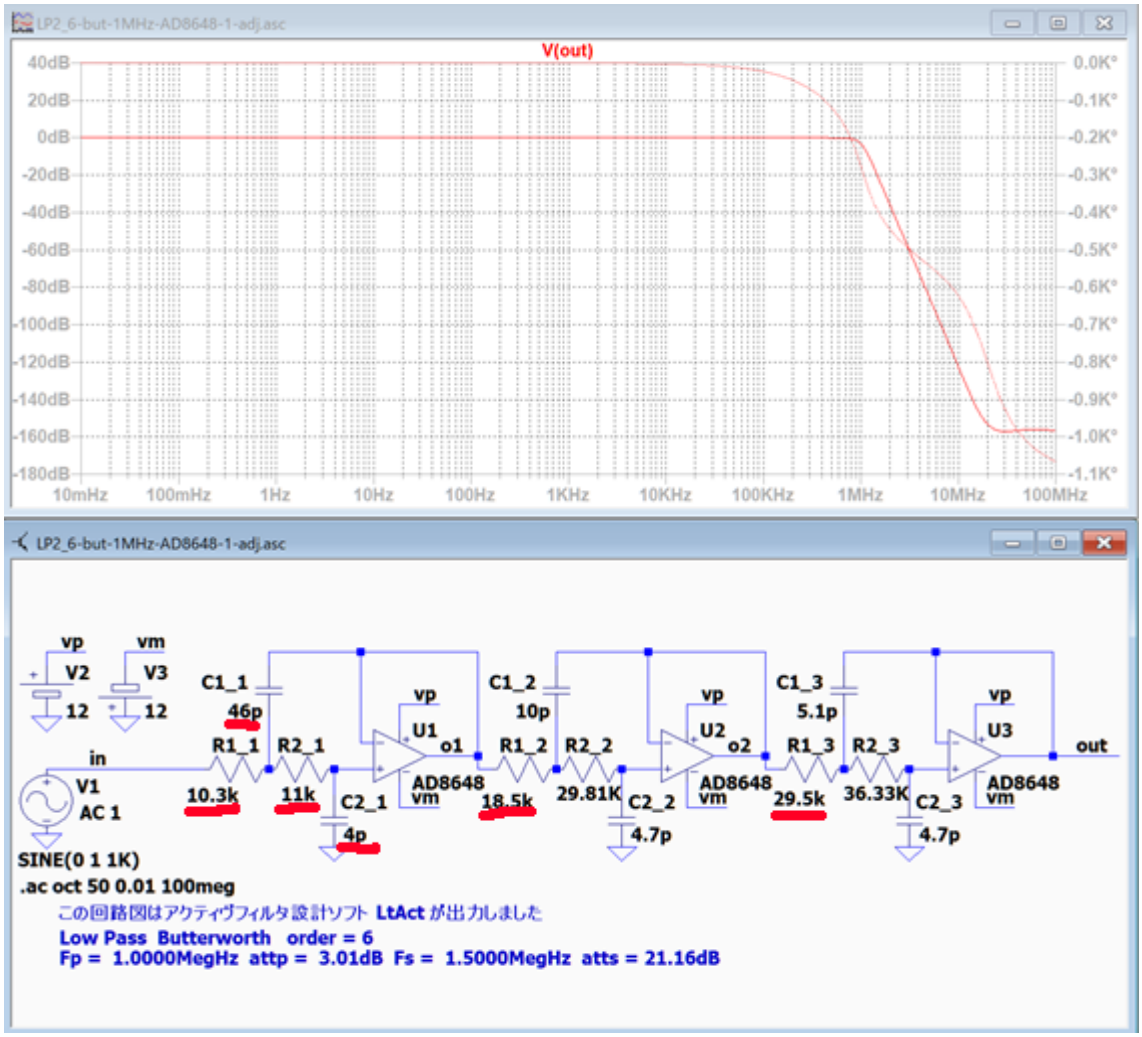


AD8648 では、通過域は 0dB、1MHz で-3dB、100MHz で -156dB に改善できました。
それでも、1MHz 付近に許容範囲のわずかなピークが発生しました。

AD8648 では、100MHz の減衰量が 16dB 改善できました。

AD8648 は ADA4807-4 よりも GB 積が低いのに、1MHz のゲインが設計値 -3.0dB を実現できている。

LP2_6-but-1MHz-AD8648-1-adj



LP2_6-but-1MHz-AD8648-1 では、1MHz 付近に許容範囲のピークが発生しました。
第 1 ブロックに必要な GB 積は 193MHz ですが、AD8648 の GB 積は 24MHz なので小さいピークが発生したと思われます。

ピークは許容範囲ですが、「ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト」を利用して素子値を微調整してピークを除去してみました。
微調整するには少し時間がかかりましたが、「JFET」の AD8648 を使う価値はあります。

基本回路「LP2」を利用する場合は、C1_1 を適度に小さい値に設定して、「JFET」を使用したオペアンプを利用すると不具合を改善できる可能性があると思います。

「ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト」を利用して、LP2_6-but-1MHz-AD8648-1-adj の周波数特性を微調整しました。

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Butterworth 次数=6
Fp = 1.0000MegHz attp = 3.0103dB Fs = 1.5000MegHz atts = 21.16dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	3.2524Meg	39.4784T	0	0	39.4784T

Fc= 1.0000MegHz Fc ゲイン= 5.7195 dB Q = 1.9319 GB 積=193.1852MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
500.0001K,	2.0101
540.0300K,	2.3663
583.2646K,	2.7861
629.9607K,	3.2779
680.3951K,	3.8460
734.8674K,	4.4822
793.7007K,	5.1467
857.2442K,	5.7316
925.8749K,	6.0193
1.0000Meg,	5.7195
1.0801Meg,	4.6813
1.1665Meg,	3.0558
1.2599Meg,	1.1329
1.3608Meg,	- 0.8695
1.4697Meg,	- 2.8436
1.5874Meg,	- 4.7496
1.7145Meg,	- 6.5793
1.8517Meg,	- 8.3370
2.0000Meg,	- 10.0311

　　Pn_0　　Pn_1　　Pn_2　　Pn_3　　Pn_4
Blk No. 2　8.8858Meg　39.4784T　　0　　0　　39.4784T Fc=　1.0000MegHz　Fc ゲイン= - 3.0103 dB　Q =　0.7071　GB 積= 70.7107MegHz

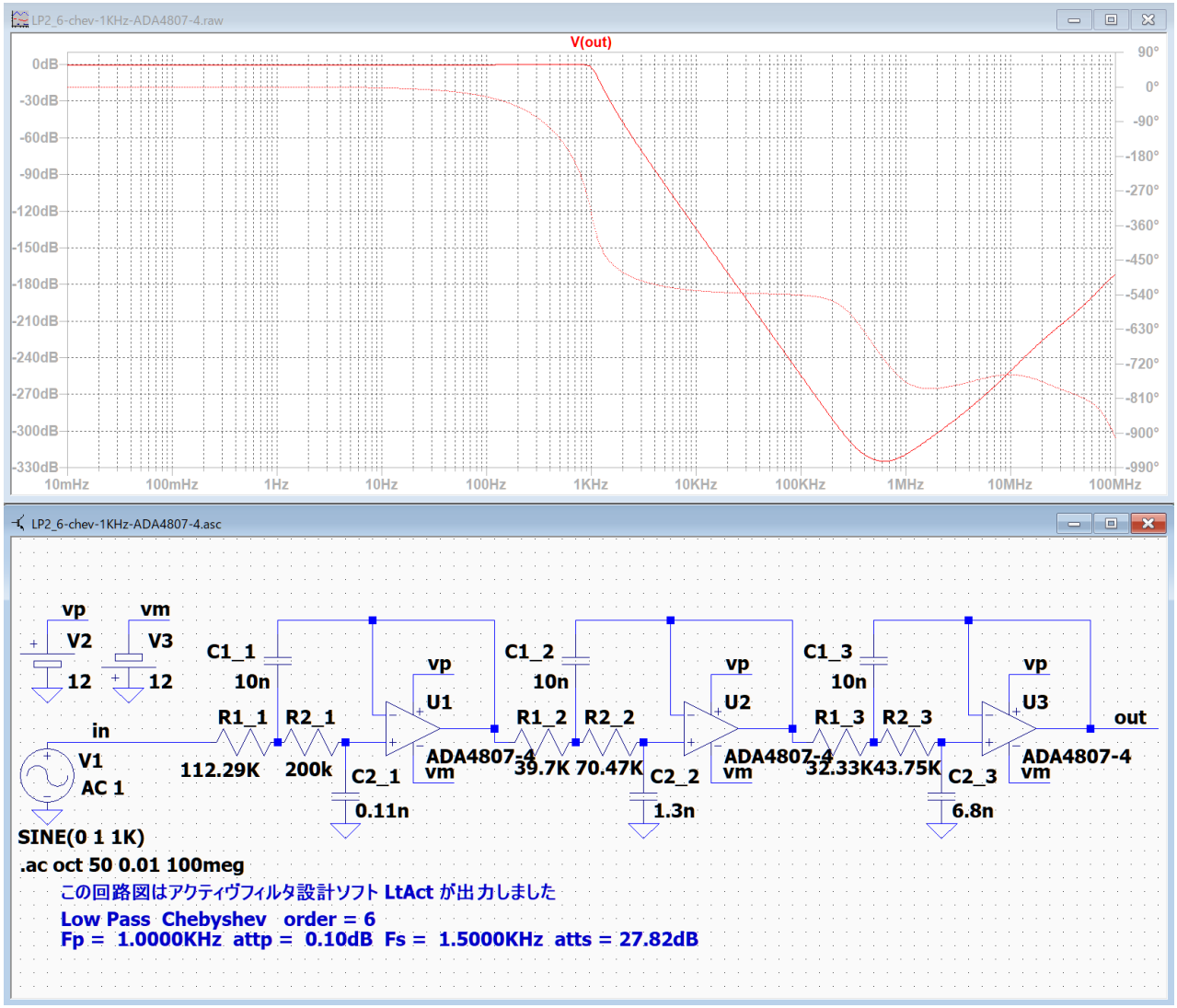
周波数 Hz	ゲイン dB
500.0001K,	- 0.2633
540.0300K,	- 0.3545
583.2646K,	- 0.4756
629.9607K,	- 0.6352
680.3951K,	- 0.8433
734.8674K,	- 1.1114
793.7007K,	- 1.4515
857.2442K,	- 1.8753
925.8749K,	- 2.3927
1.0000Meg,	- 3.0103
1.0801Meg,	- 3.7306
1.1665Meg,	- 4.5511
1.2599Meg,	- 5.4652
1.3608Meg,	- 6.4630
1.4697Meg,	- 7.5329
1.5874Meg,	- 8.6626
1.7145Meg,	- 9.8410
1.8517Meg,	- 11.0578
2.0000Meg,	- 12.3045

Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4

Blk No. 3 12.1382Meg 39.4784T 0 0 39.4784T Fc= 1.0000MegHz Fc ゲイン= - 5.7195 dB Q = 0.5176 GB 積= 51.7638MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
500.0001K,	- 1.7479
540.0300K,	- 2.0144
583.2646K,	- 2.3172
629.9607K,	- 2.6596
680.3951K,	- 3.0452
734.8674K,	- 3.4772
793.7007K,	- 3.9585
857.2442K,	- 4.4915
925.8749K,	- 5.0781
1.0000Meg,	- 5.7195
1.0801Meg,	- 6.4160
1.1665Meg,	- 7.1673
1.2599Meg,	- 7.9722
1.3608Meg,	- 8.8288
1.4697Meg,	- 9.7348
1.5874Meg,	- 10.6871
1.7145Meg,	- 11.6826
1.8517Meg,	- 12.7177
2.0000Meg,	- 13.7891

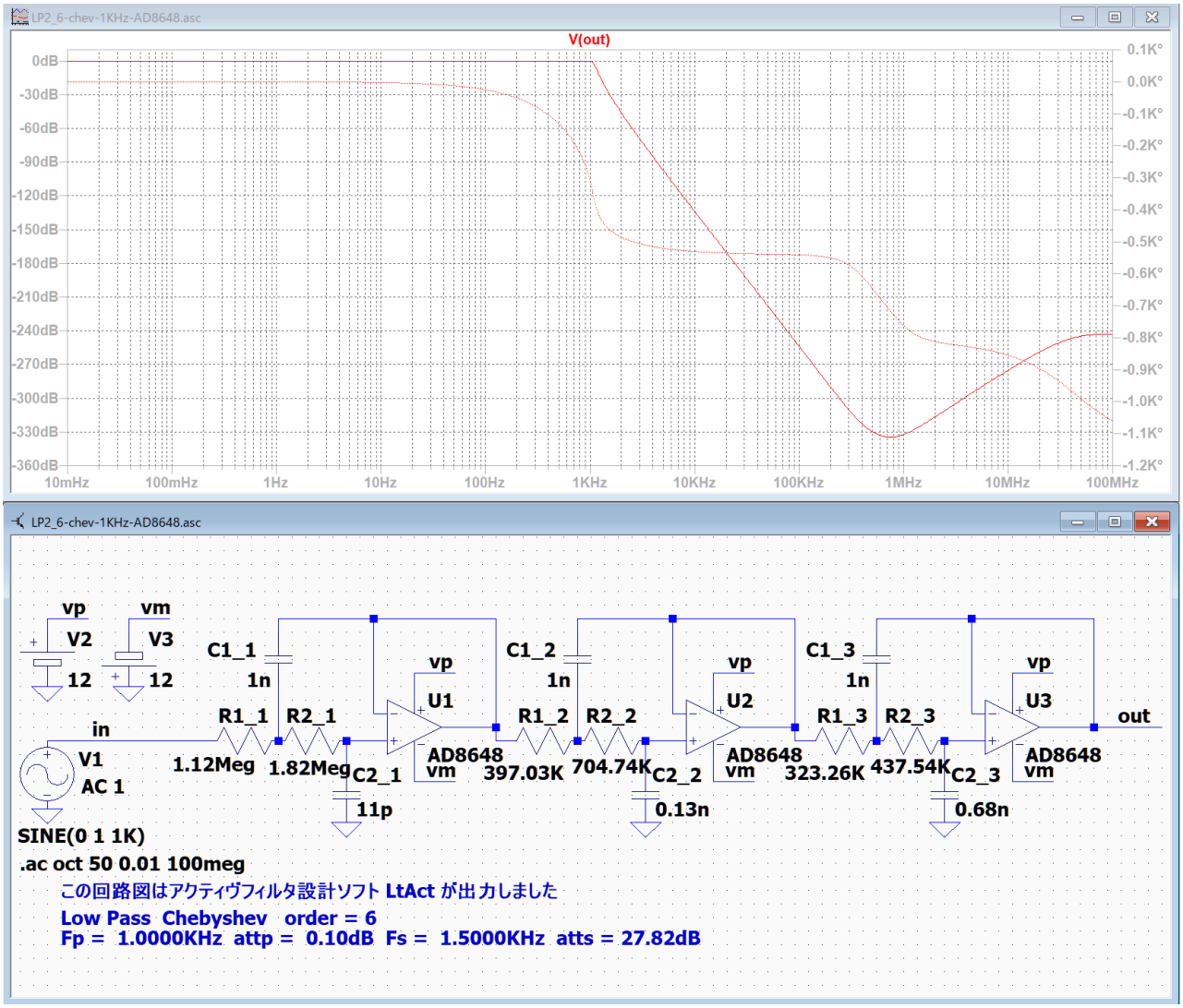
LP2_6-chev-1KHz-ADA4807-4



ADA4807-4 では、減衰量が 1MHz 付近で-330dB に達してから、100MHz では -180dB まで低下します。

そして通過域のゲインが -0.3dB になっているので、オペアンプを AD8648 に変更して特性を確認します。

LP2_6-chev-1KHz-AD8648

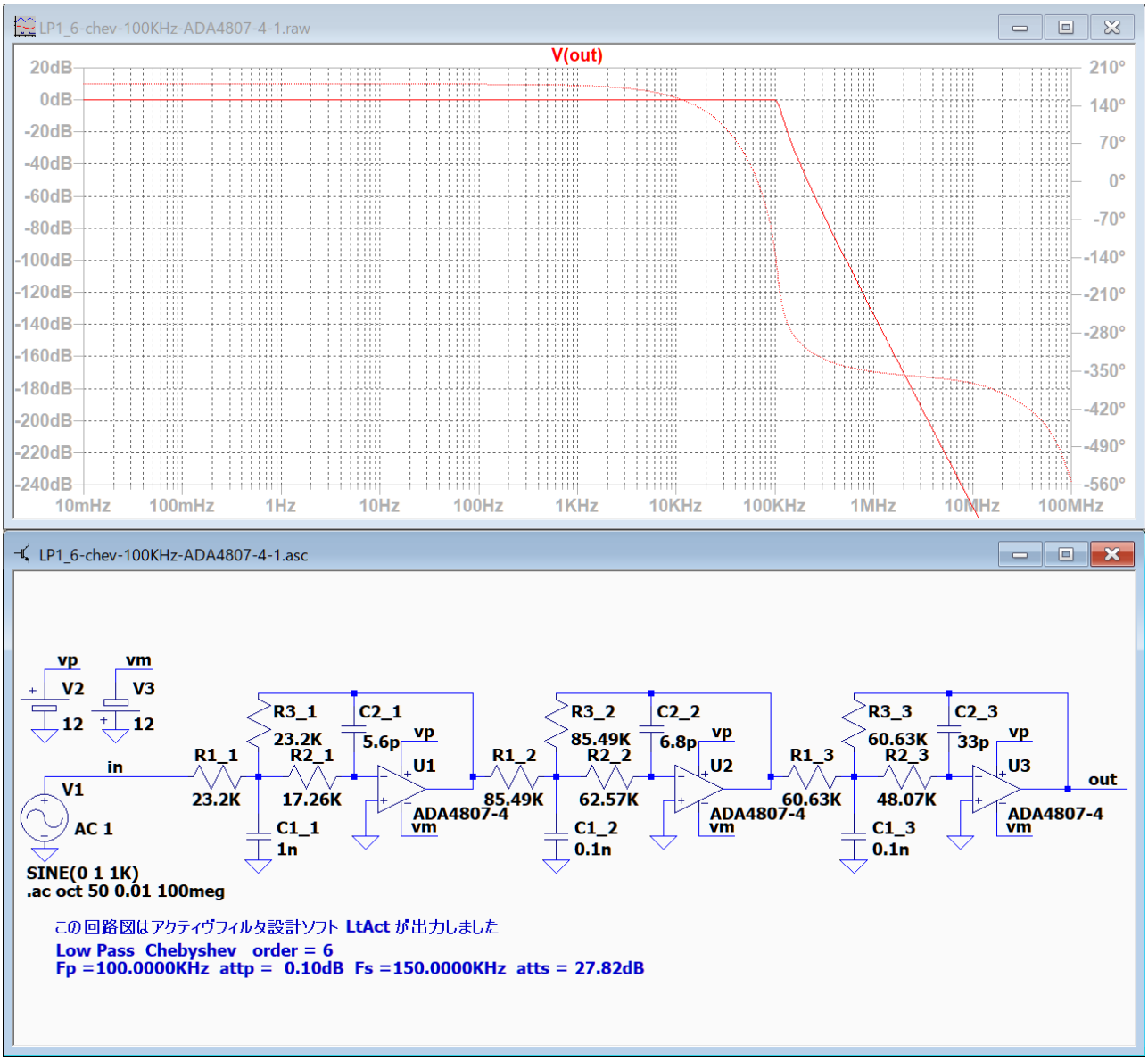


オペアンプを AD8648 に変更して、C1_1～C1_3 を 1n に小さく設定しました。
AD8648 では、1MHz で-330dB に達してから、100MHz のゲインが -240dB まで減衰量が低下します。
LP2_6-chev-1KHz-ADA4807-4 に比べると、100MHz の減衰量が 60dB 改善されます。

また、通過域のゲインが 0dB に改善されました。

基本回路「LP1」バターワース・チェビシェフ

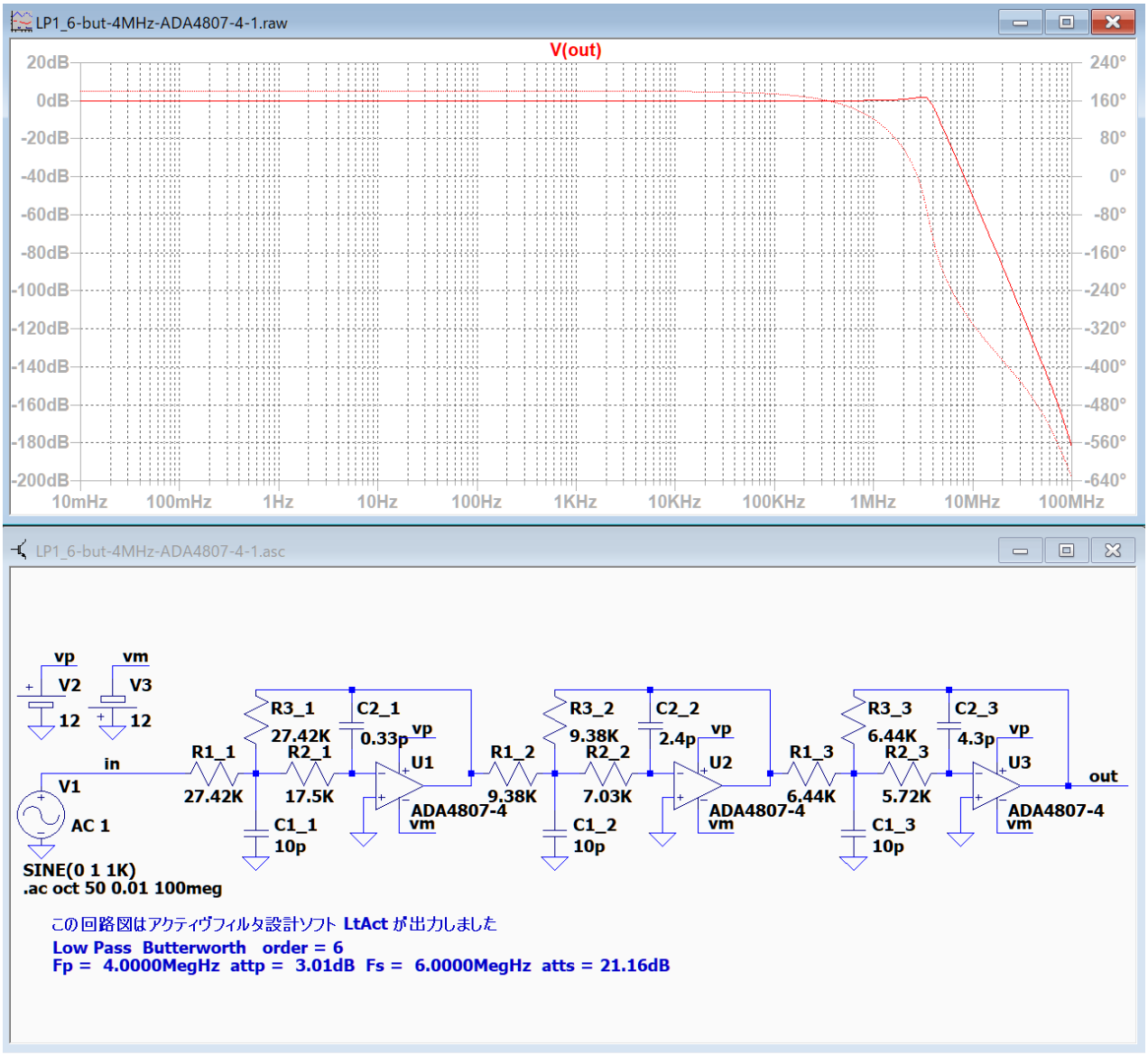
LP1_6-chev-100KHz-ADA4807-4-1



チェビシェフローパスフィルタ 100KHz 6 次

通過域、カットオフ周波数および遮断域の全体で何も不具合はありません。

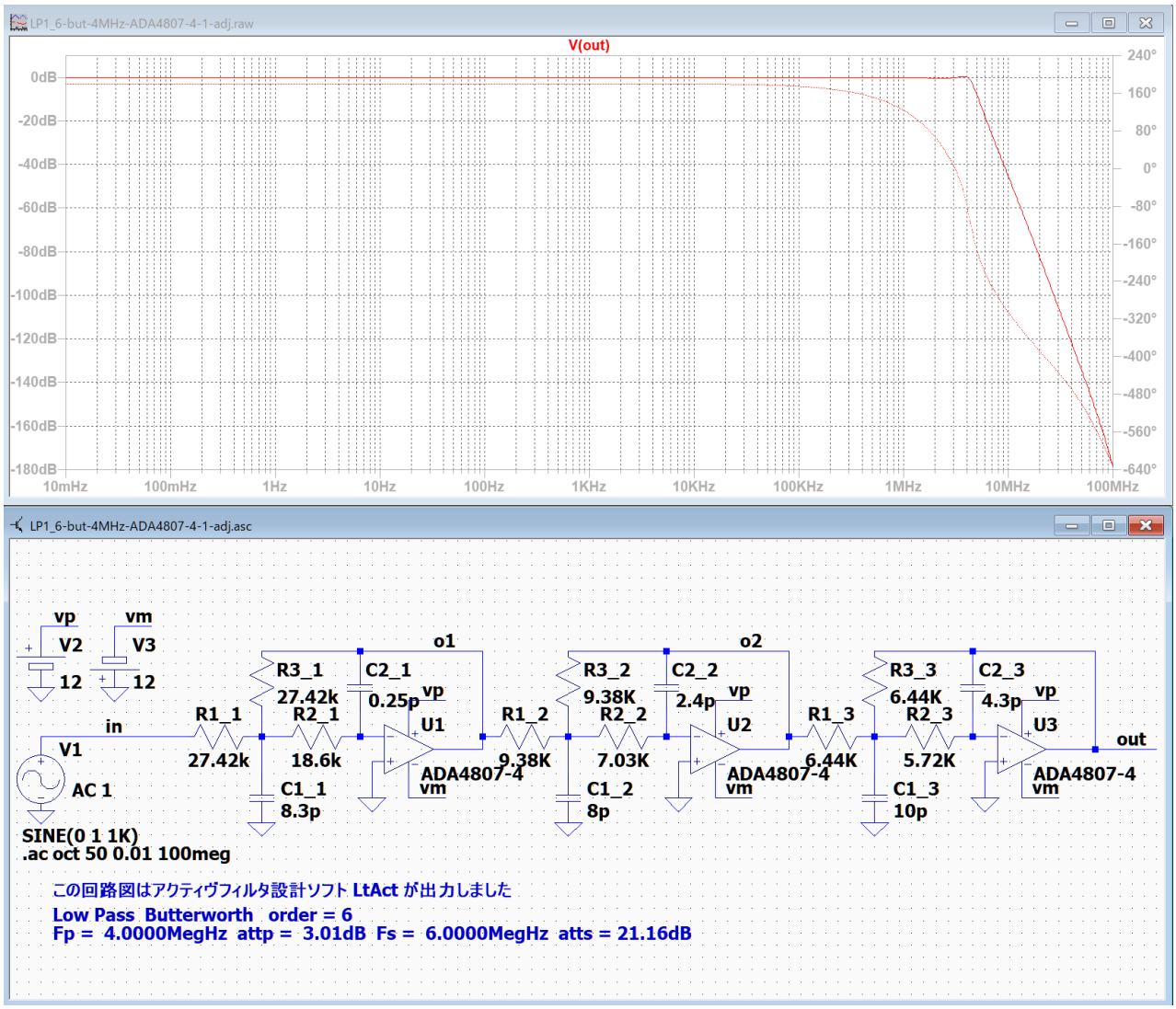
LP1_6-but-4MHz-ADA4807-4-1



バターワースローパスフィルタ 4MHz 6 次
通過域、カットオフ周波数および遮断域の全体で何も不具合はありませんが、3.1MHz に 1.9dB のピークが発生しています。

この回路に必要な GB 積は 772MHz ですが、ADA4807-4 の GB 積は 180MHz なのでピークが発生したと考えられます。

LP1_6-but-4MHz-ADA4807-4-1-adj



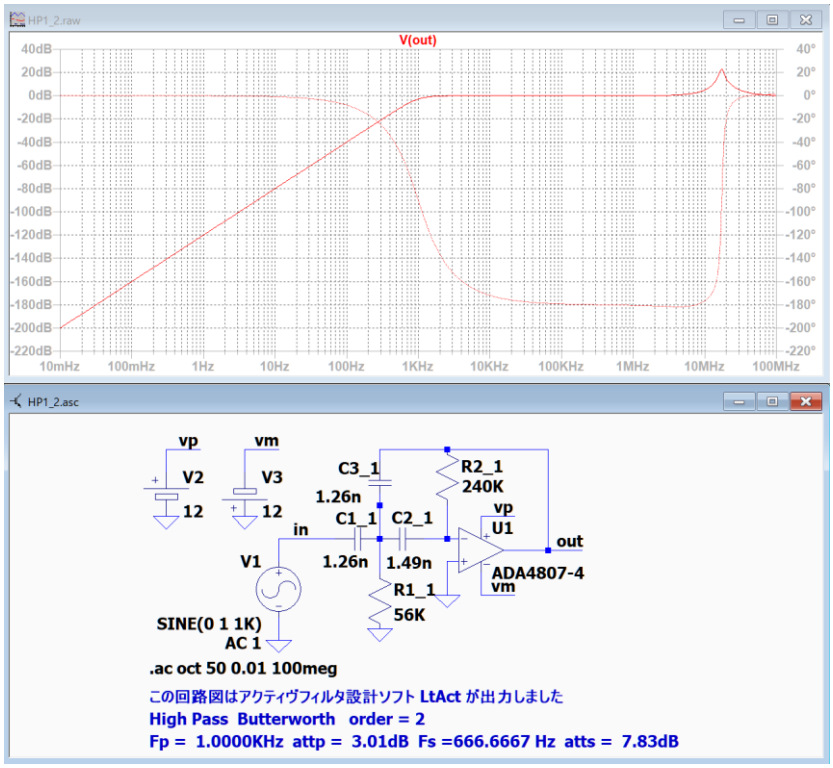
C1_1 を 10p から 8.3p に、C2_1 を 0.25p に変更して、ピークを調整しました。

基本回路「LP1」では特別な不具合は見られませんでした。

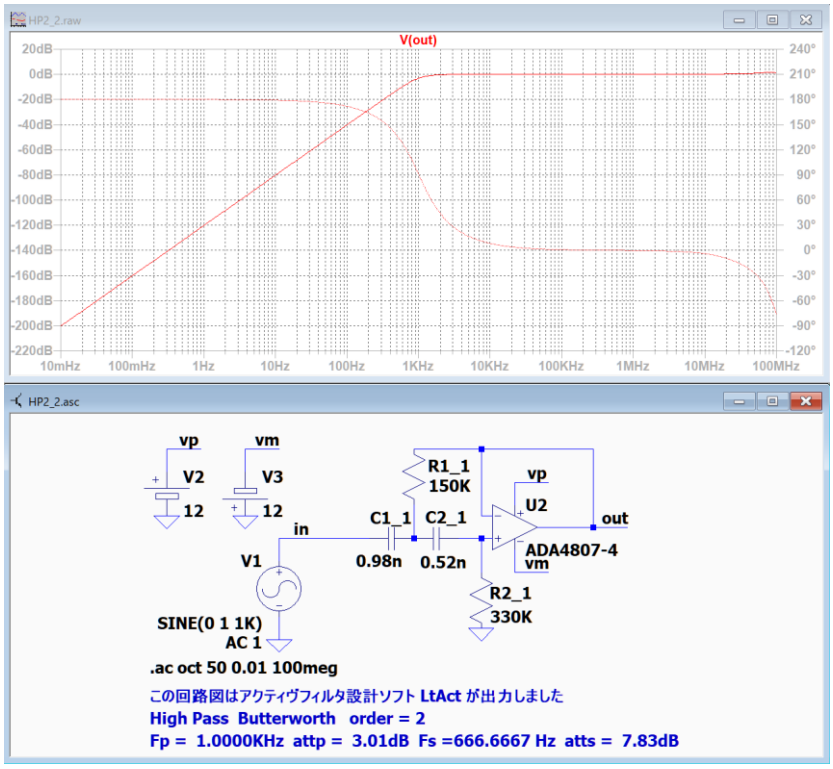
基本回路「LP1」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

基本回路「HP1」バターワース･チェビシェフ

HP1 では、通過域の高域にピークが発生する



参考として、HP2 では通過域の高域でピークが発生しない。

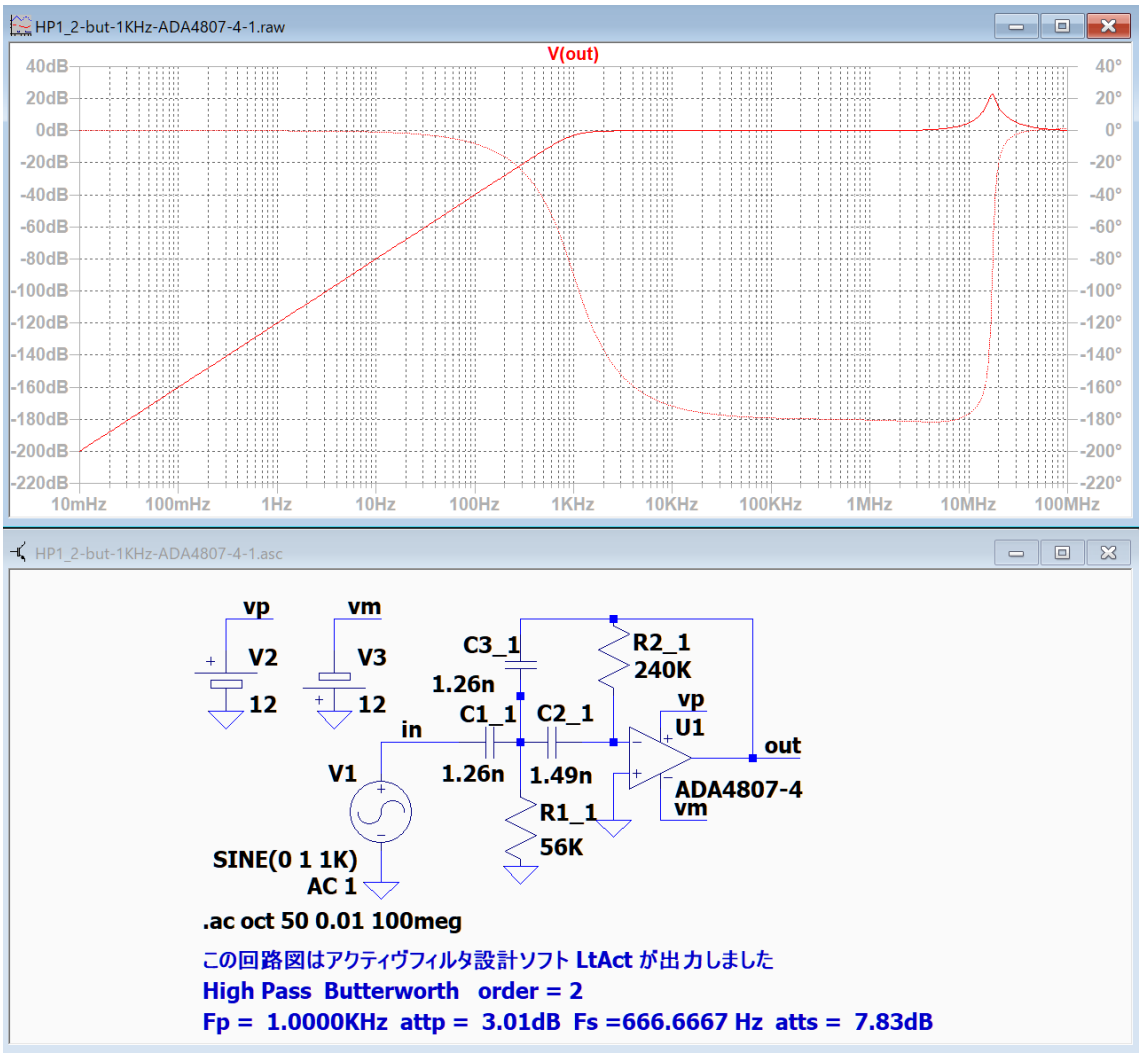


基本回路「HP1」バターワース･チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

基本回路「HP1」の 2 次フィルタを例として、発生する不具合とその傾向を調べて改善方法を見つけます。

最初に、「LtAct」で回路図を作成する時に表示される候補値に対して全て「OK」をクリックして回路図を作成します。

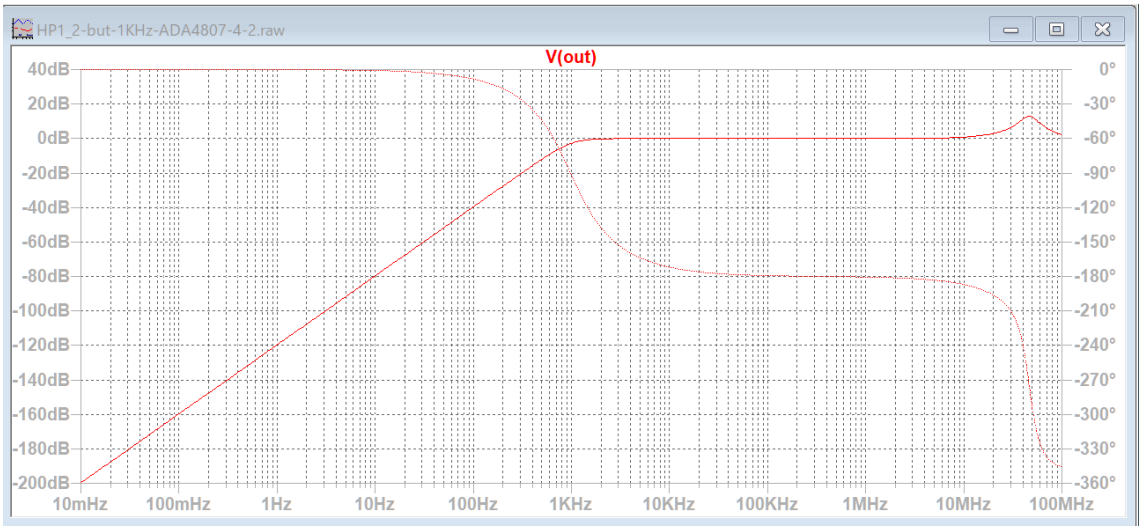
HP1_2-but-1KHz-ADA4807-4-1



17.3MHz に 22.8dB のピークが発生しています。

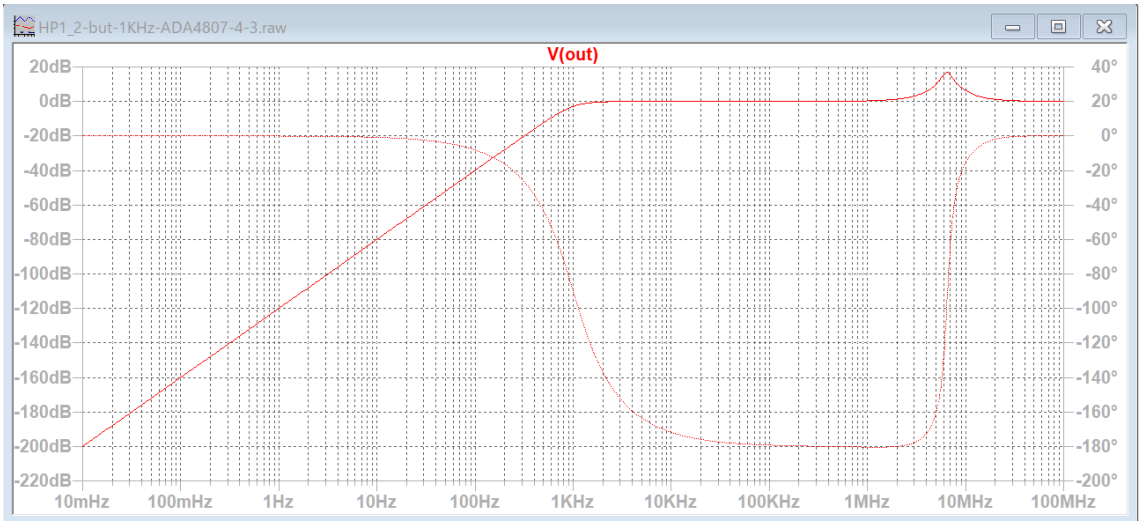
C1_1 の値を変更して、ピークの周波数と大きさを確認します。

HP1_2-but-1KHz-ADA4807-4-2



C1_1 を 0.13n にすると、ピーク周波数は 46.2MHz、大きさは 12.8dB になりました。

HP1_2-but-1KHz-ADA4807-4-3

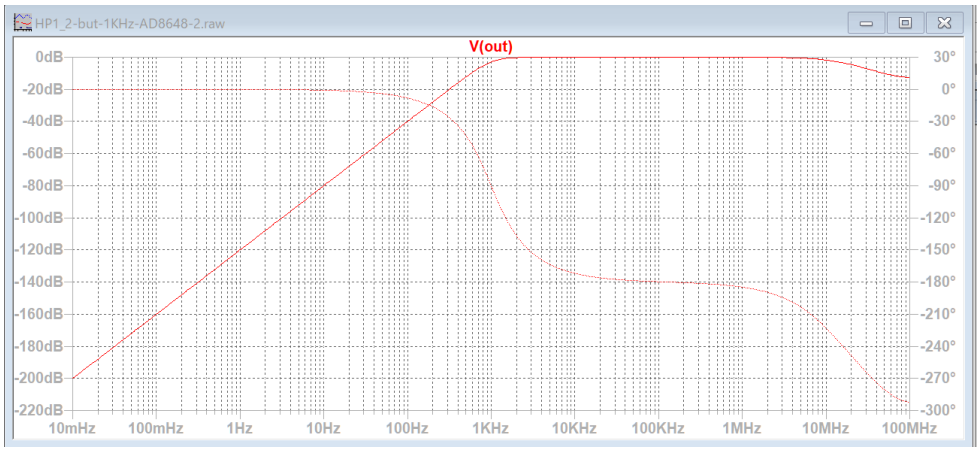


C1_1 を 12.64n にすると、ピーク周波数は 6.5MHz、大きさは 16.7dB になりました。

C1_1 を小さい値に設定するほうがピークが小さくなるようです。

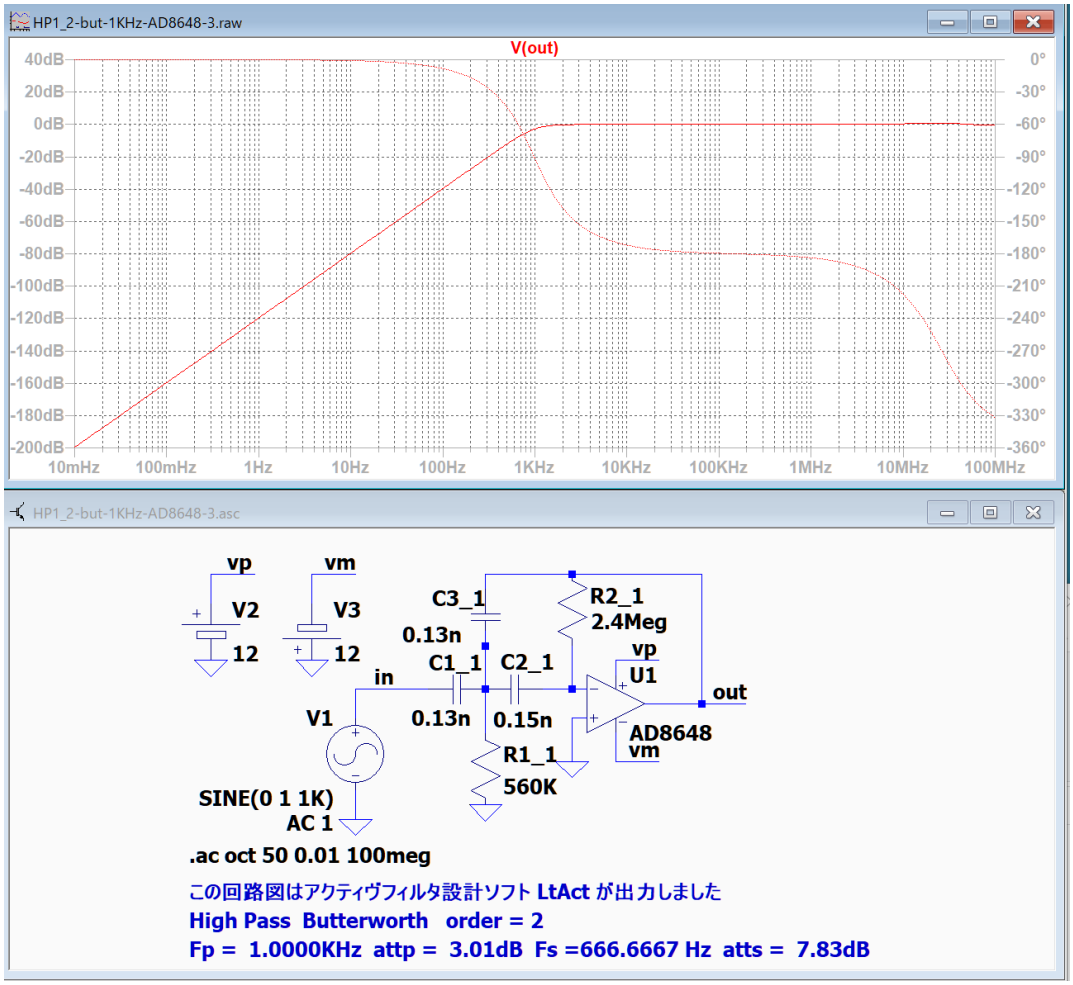
ADA4807-4 の GB 積は 180MHz なので 1kHz のハイパスフィルタには十分な性能です。しかし、入力電流が 1.6uA と比較的大きいことがピークの発生と関係があるかもしれないので、オペアンプを入力電流が 1pA の AD8648 に変更して確認します。

HP1_2-but-1KHz-AD8648-2



C1_1=12.64p ではピークが消え、10MHz 以上で通過域のゲインが減少し始めました。
C1_1 を小さくするとピークが低くなるが、小さすぎると 0dB 以下に低下する。

HP1_2-but-1KHz-AD8648-3

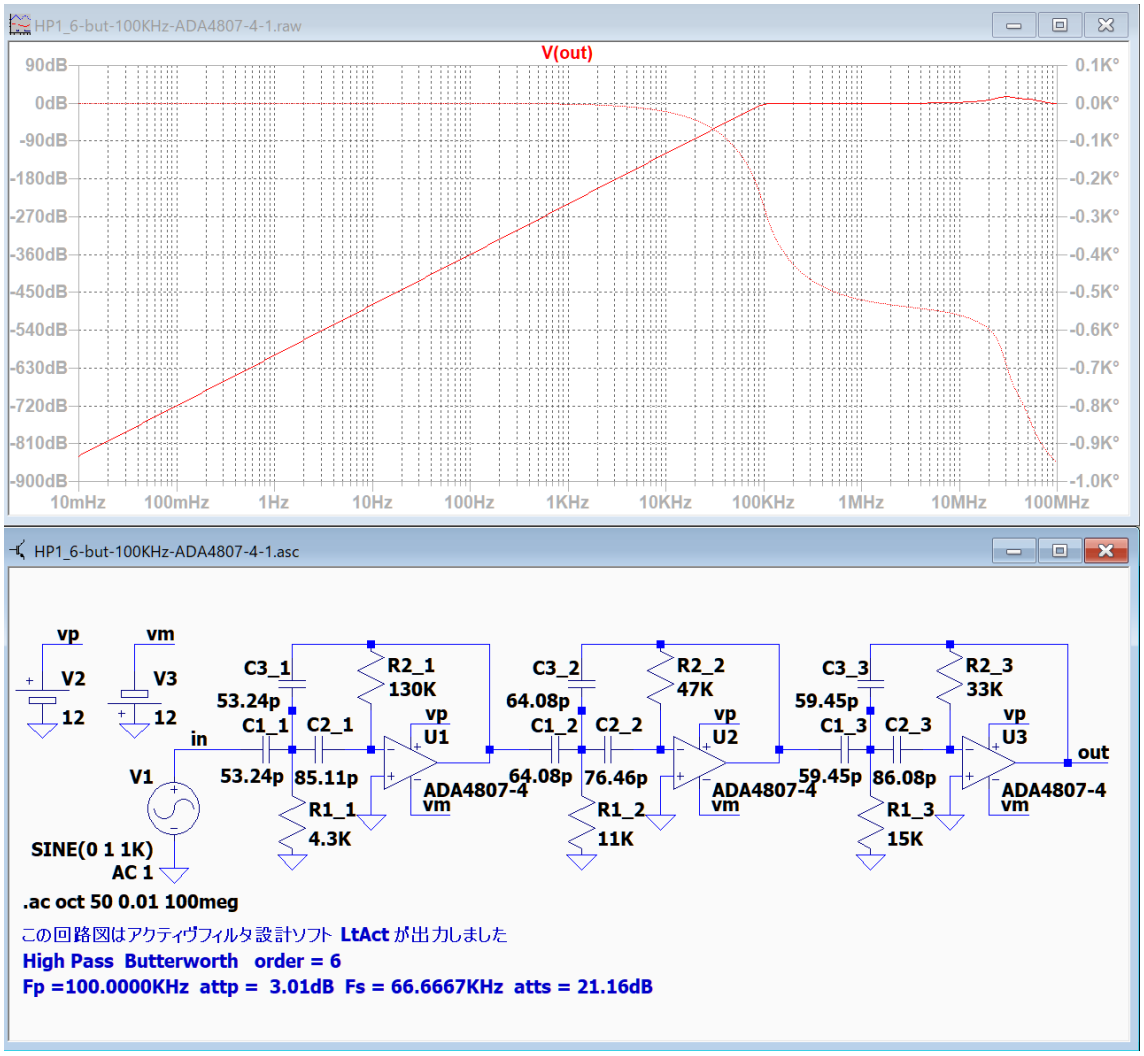


C1_1=0.13n に増加するとピークが消え、高域でのゲインの減少も改善できました。

基本回路「HP1」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

次に、6 次フィルターでカットオフ周波数が 100KHz の場合を確認します。

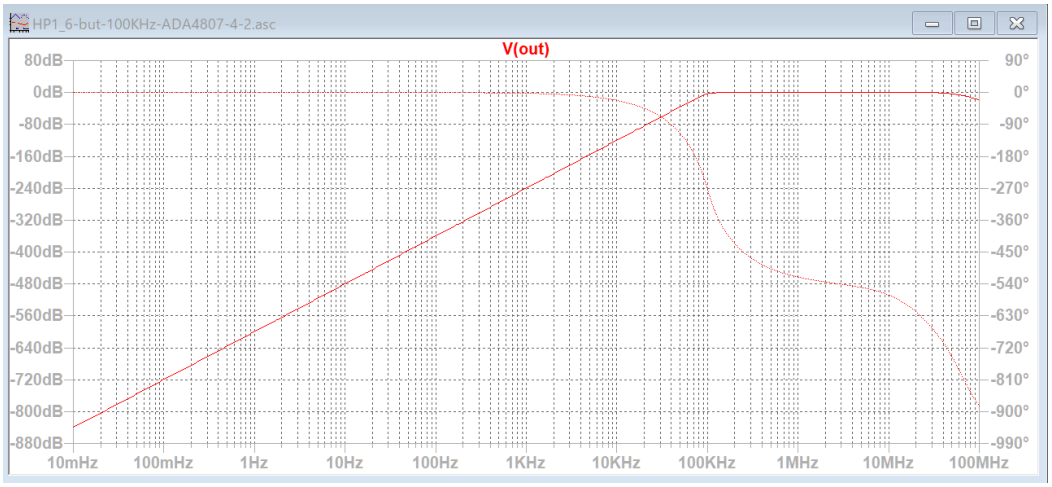
HP1_6-but-100KHz-ADA4807-4-1



ADA4807-4 では、30MHz に 16dB のピークが発生しました。

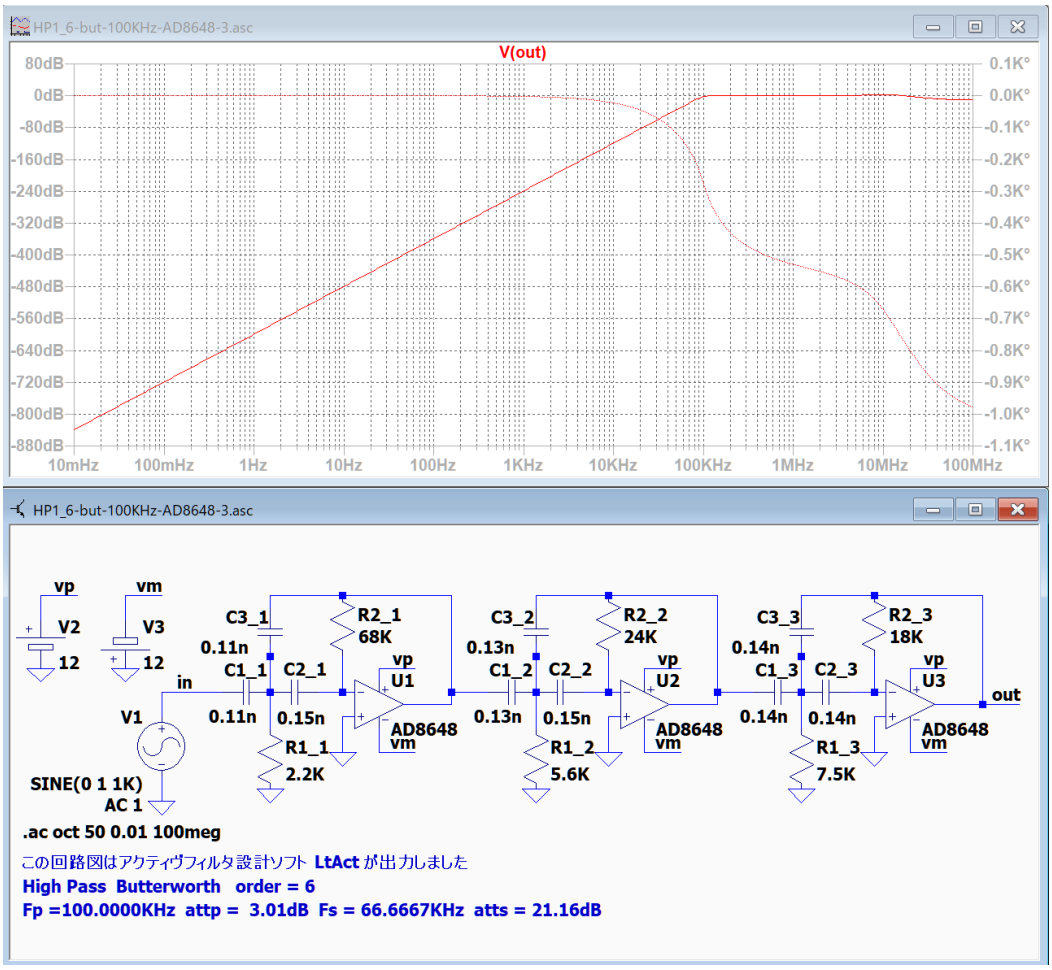
C1_1 の値を変更して特性を確認します。

HP1_6-but-100KHz-ADA4807-4-2



C1_1=5.32p に設定するとピークが消えて、40MHz 以上でゲインが減少し始めたので、オペアンプを AD8648 に変更して C1_1 を調整して特性を確認します。

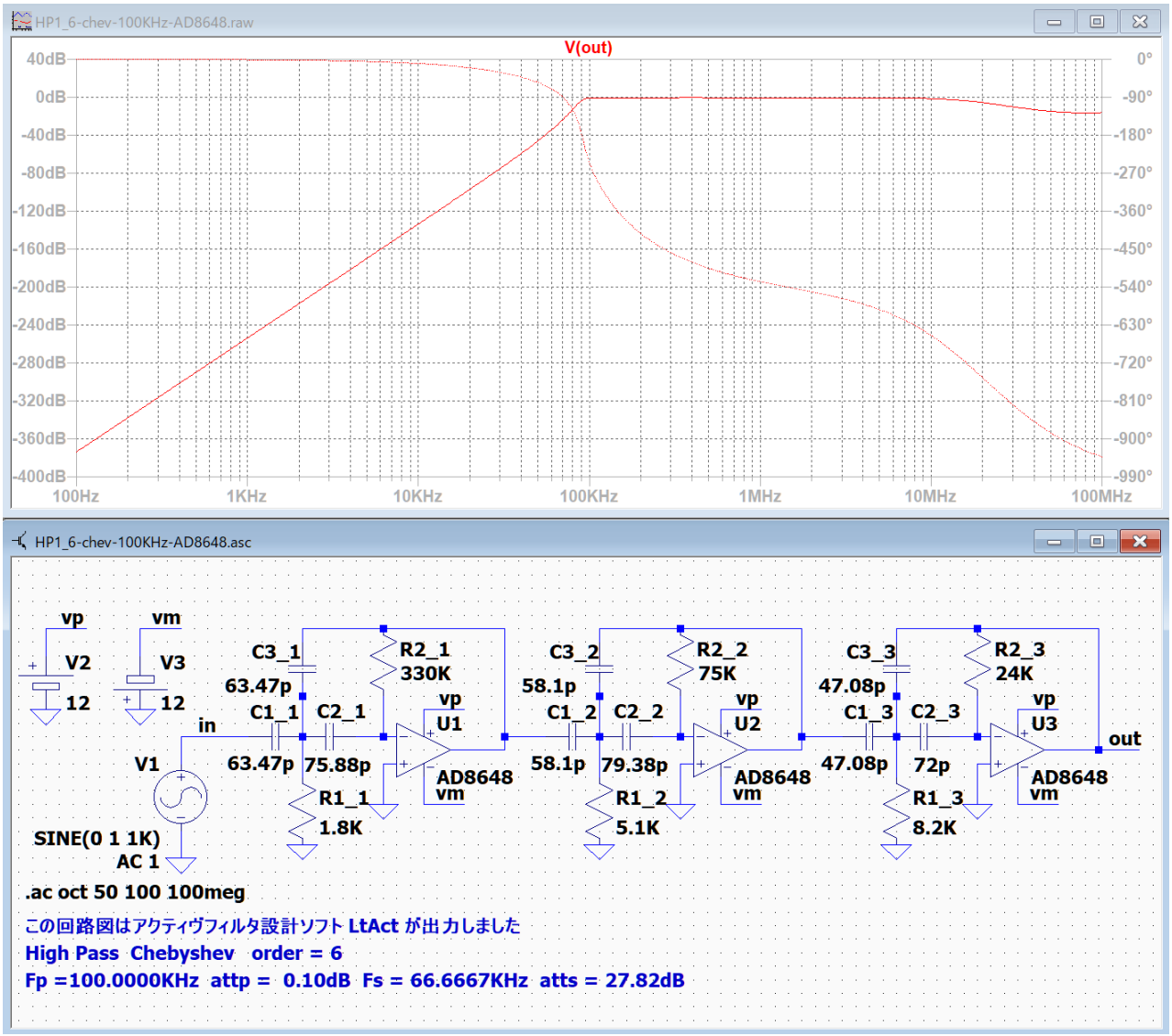
HP1_6-but-100KHz-AD8648-3



C1_1=0.11n に設定するとピークが消えて、通過域のゲイン低下も改善できました。

基本回路「HP1」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

HP1_6-chev-100KHz-AD8648



AD8648 では特に問題はありません。

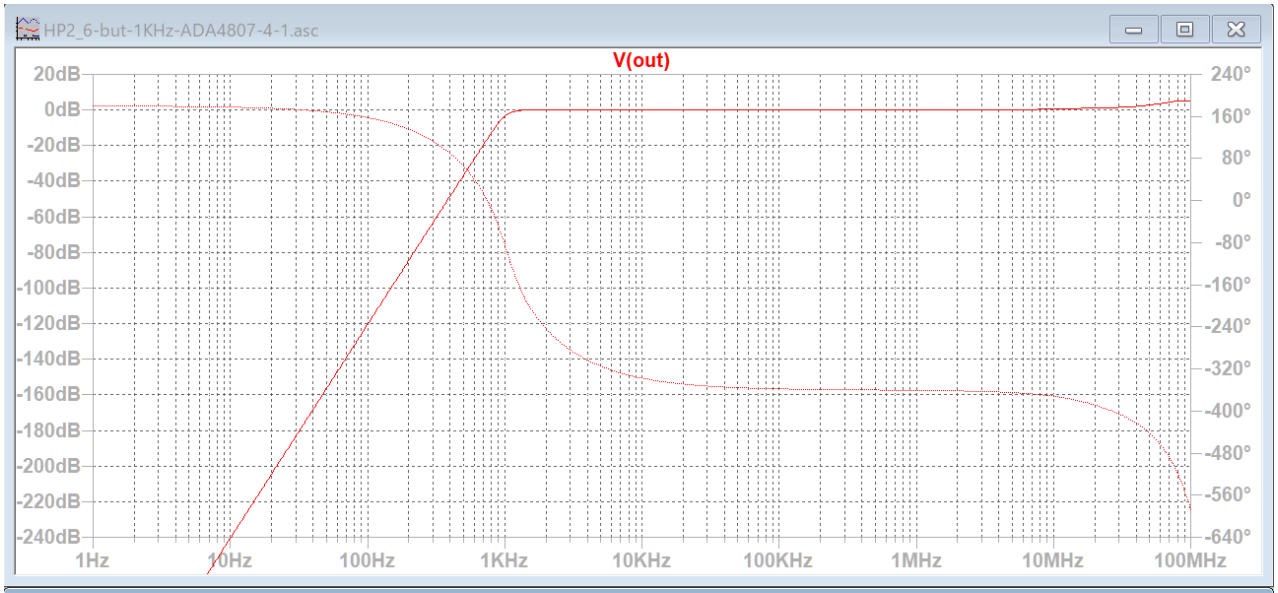
基本回路「HP1」を利用する場合は、C1_1 を適度に小さい値に設定して、「JFET」を使用したオペアンプを利用すると不具合を改善できる可能性があると思います。

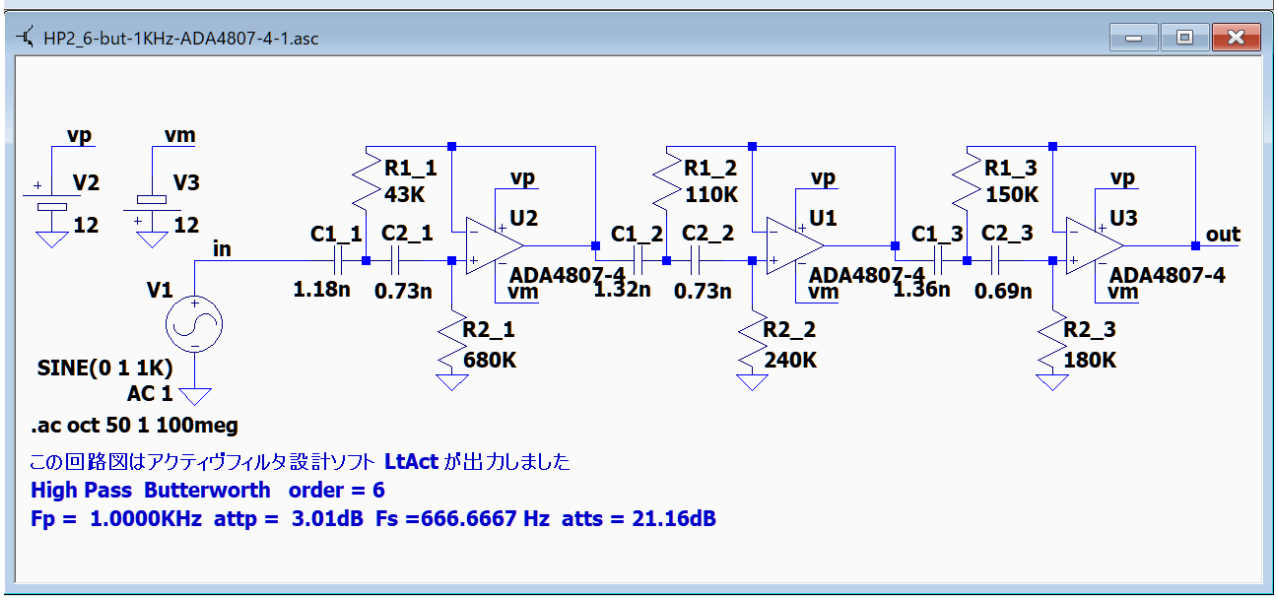
C1_1 の値を小さくしすぎると、通過域の高域でゲインが低下するので注意が必要です。

基本回路「HP1」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

基本回路「HP2」バターワース･チェビシェフ

HP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1

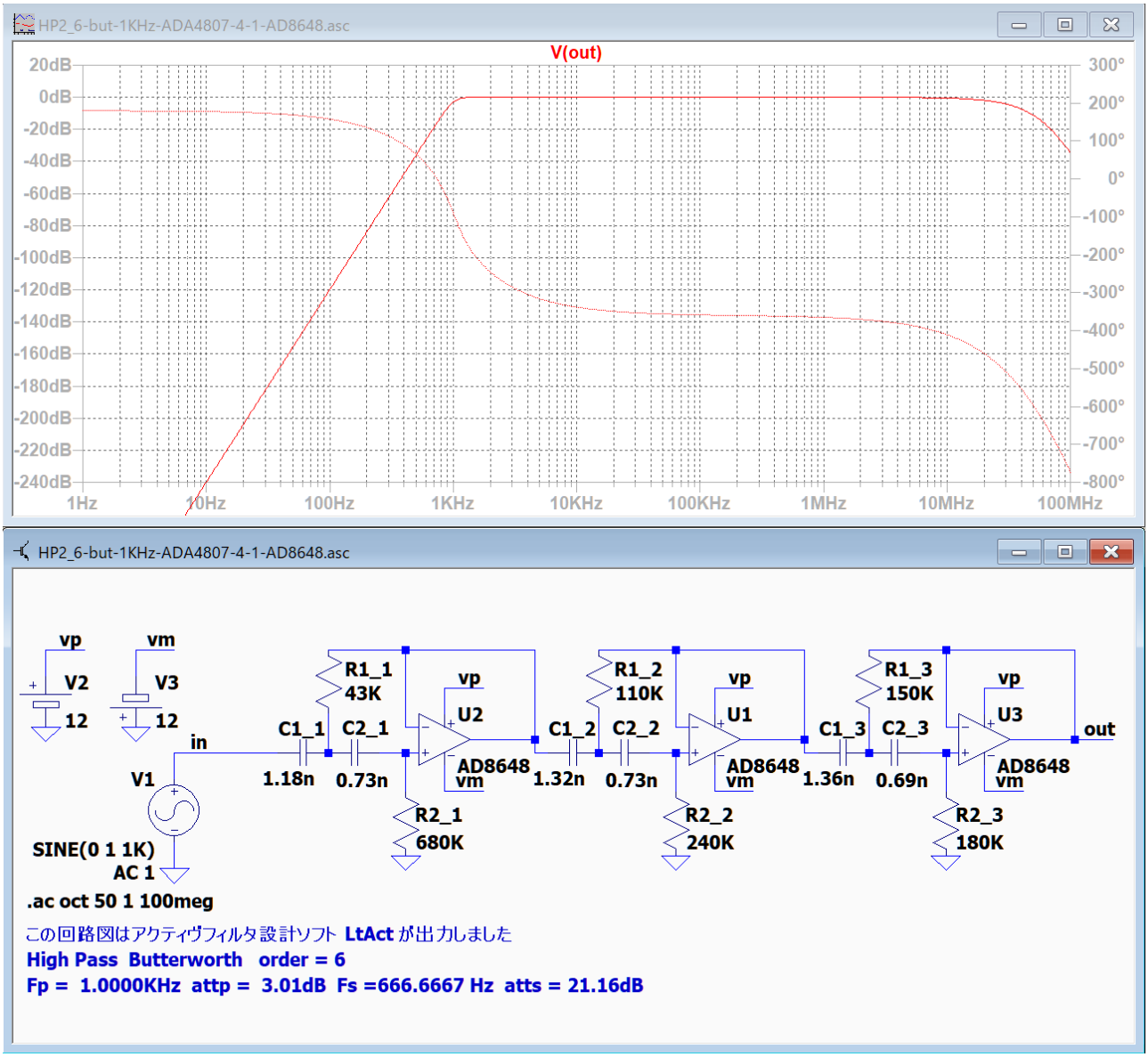




「HP2」では通過域の高域にピークが発生することはあまりないですが、あまり鋭くないピークが発生することがあります。

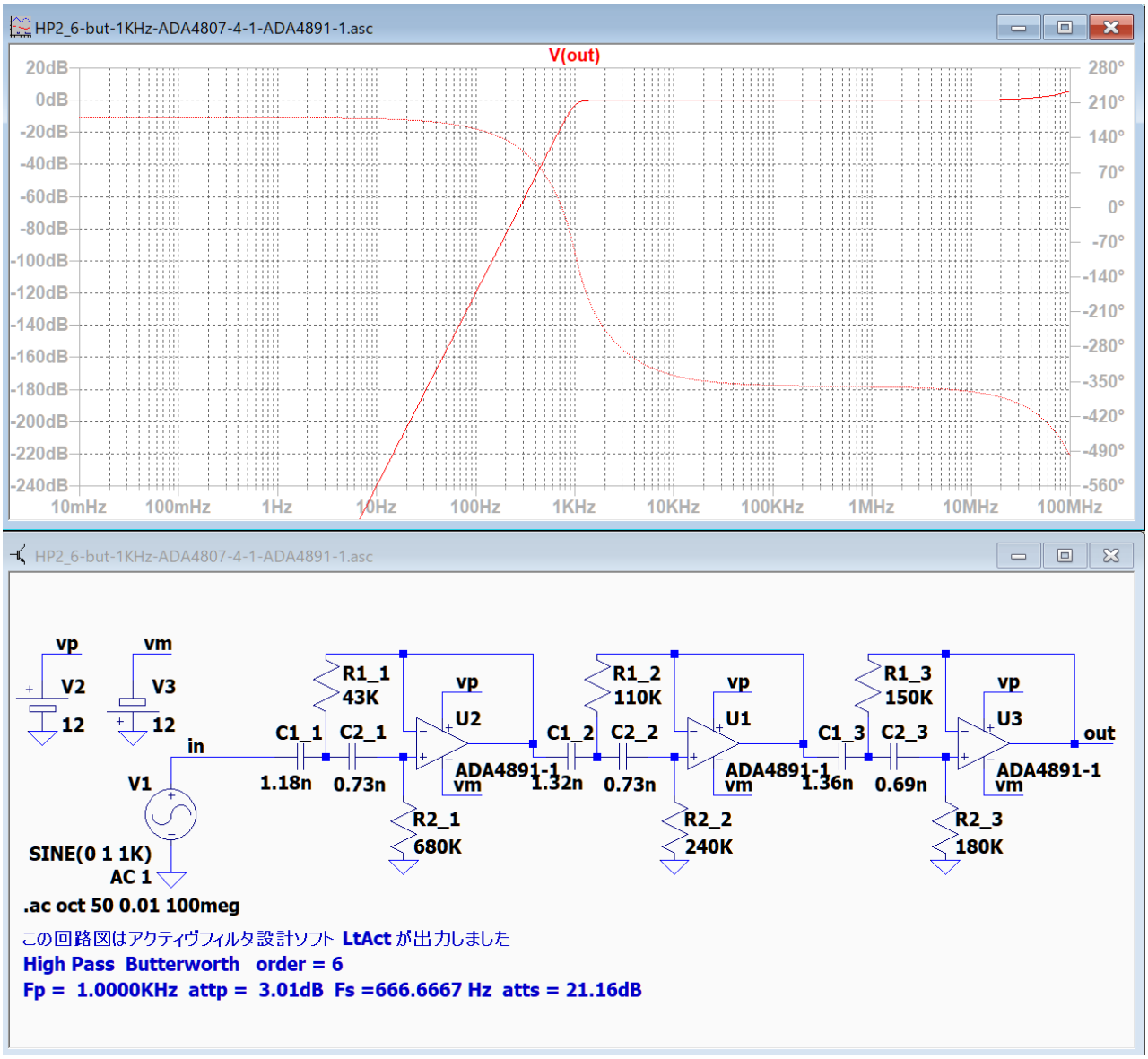
オペアンプを AD8648 と ADA4891-1 に交換して特性を確認します。

HP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1-AD8648



AD8648 に交換するとピークは消えて、10MHz 以降なだらかにゲインが低下して、100MHz で-35dB に達します。

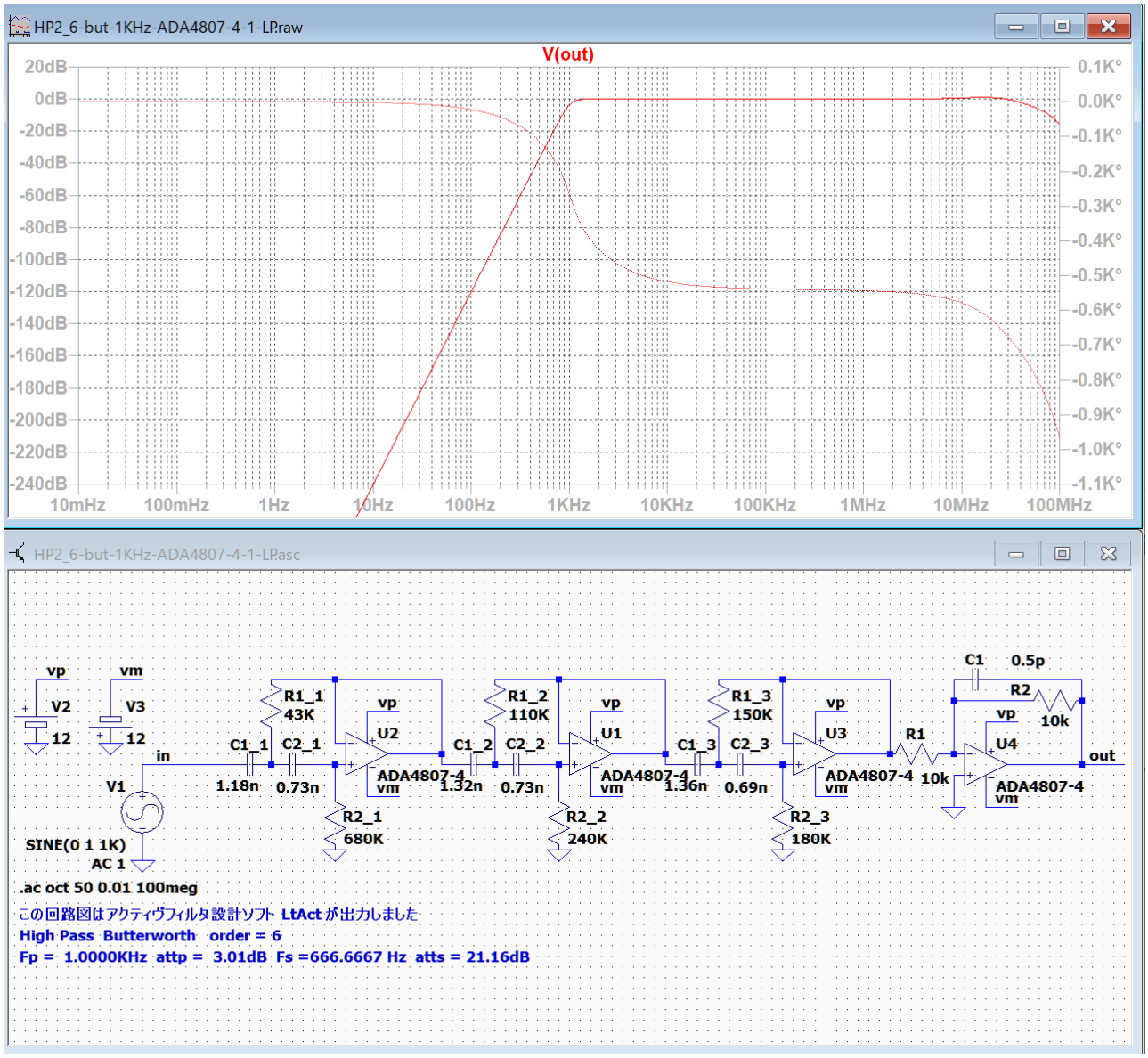
HP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1-ADA4891-1



ADA4891-1 の場合は、ADA4807-4 と同等のピークが発生したので、

この回路図と HP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1 では、オペアンプ U3 の後ろに 1 次ローパスフィルタを追加してピークを調整する必要があります。

HP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1-LP

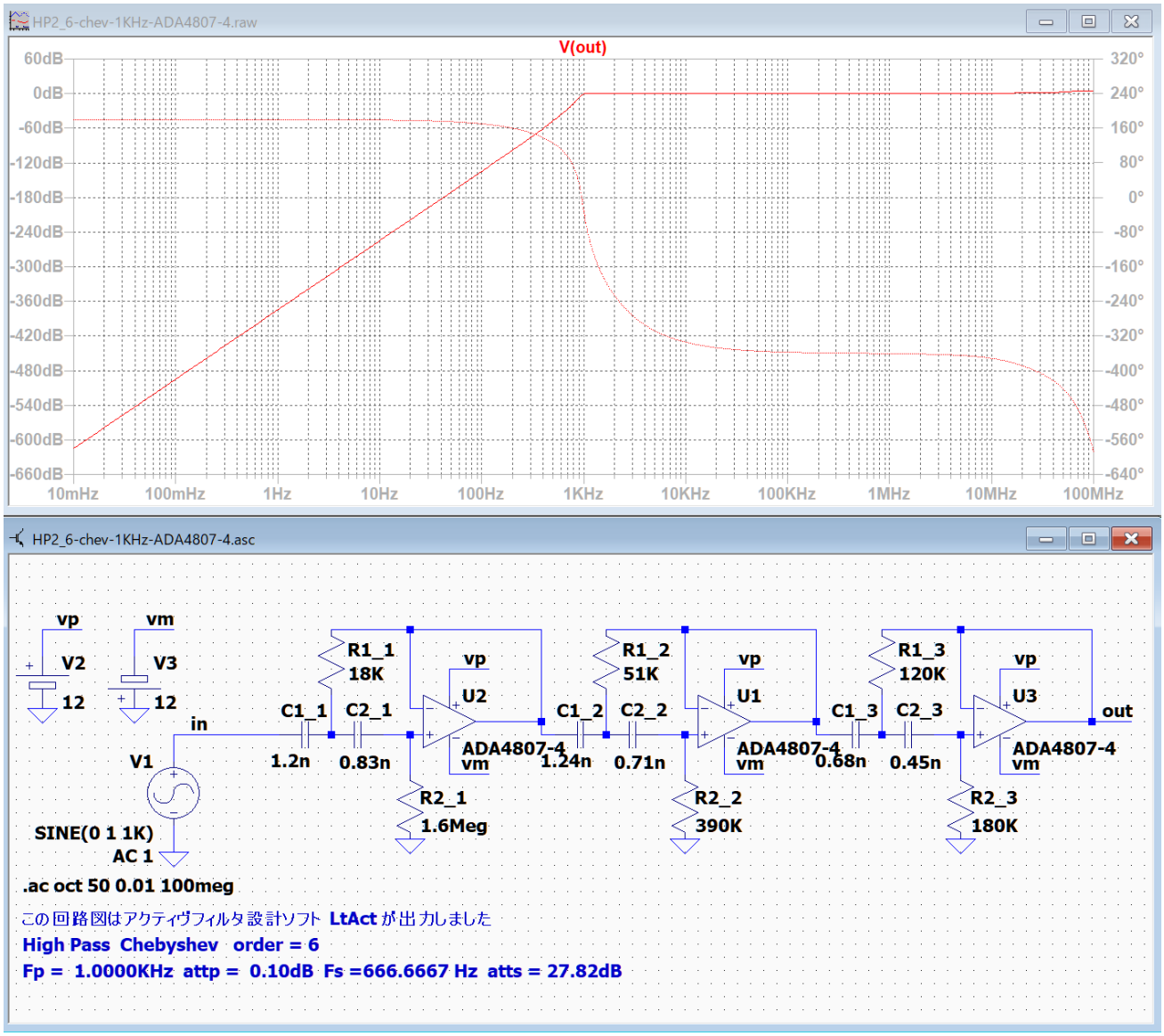


ローパスフィルタを追加すると、100MHz のゲインは-15dB になりますが、オペアンプを 4 個使用します。

一方、HP2_6-but-1KHz-ADA4807-4-1-AD8648 では 100MHz のゲインは-35dB になりますが、オペアンプは 3 個で間に合います。

基本回路「HP2」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

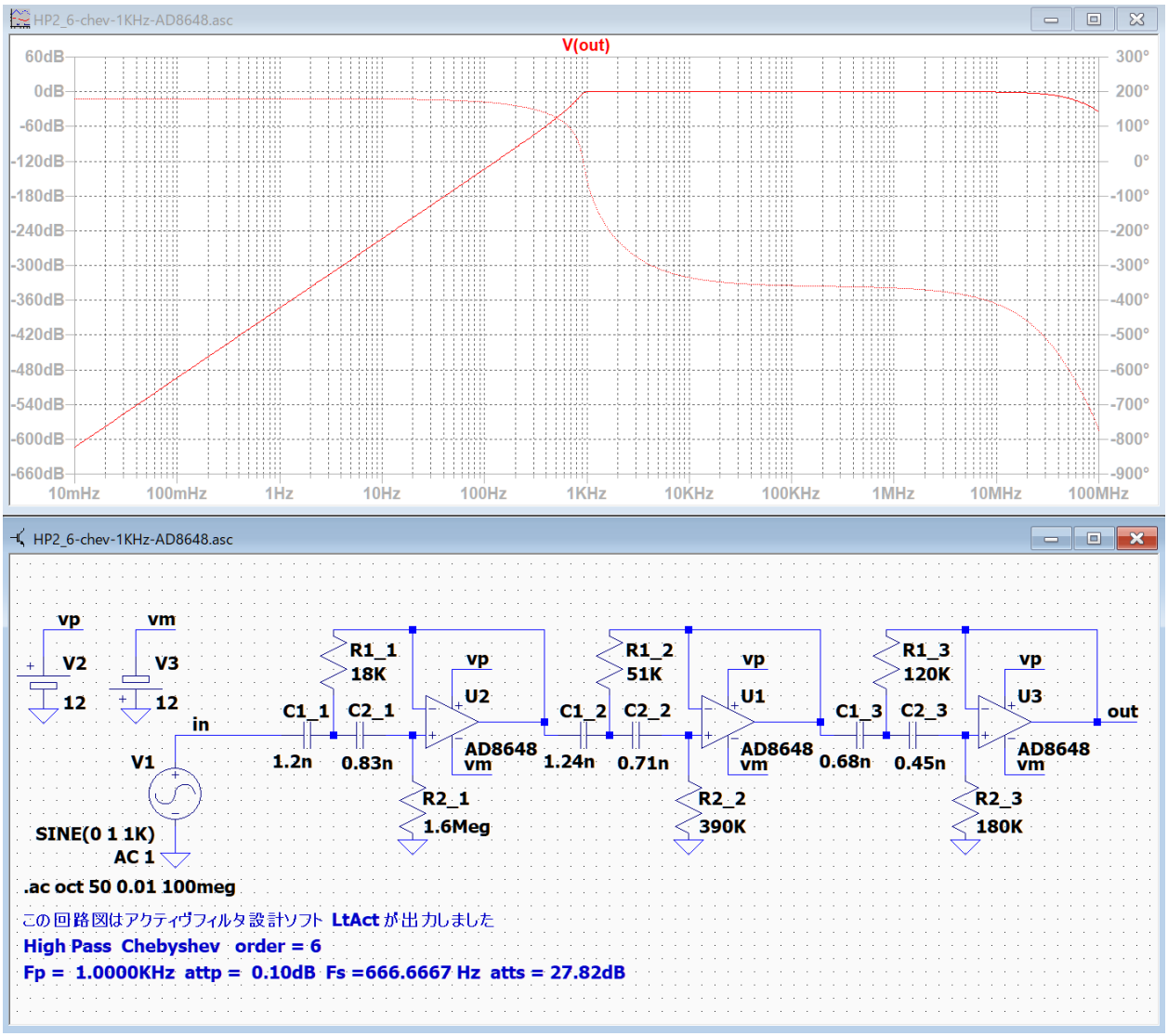
HP2_6-chev-1KHz-ADA4807-4



ADA4807-4 では特に問題はありません。

基本回路「HP2」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

HP2_6-chev-1KHz-AD8648



AD8648 では特に問題はありません。

基本回路「LP2」と「HP1」で設計した周波数特性が得られない時は、オペアンプの GB 積とオペアンプの入力電流を確認すると特性を改善するヒントが得られると思います。

GB 積に関しては、「伝達関数の係数ファイル」で示される値の 1 / 10 程度のオペアンプを使用しても、「ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト」を利用して微調整すれば、特性をある程度改善できる可能性があります。

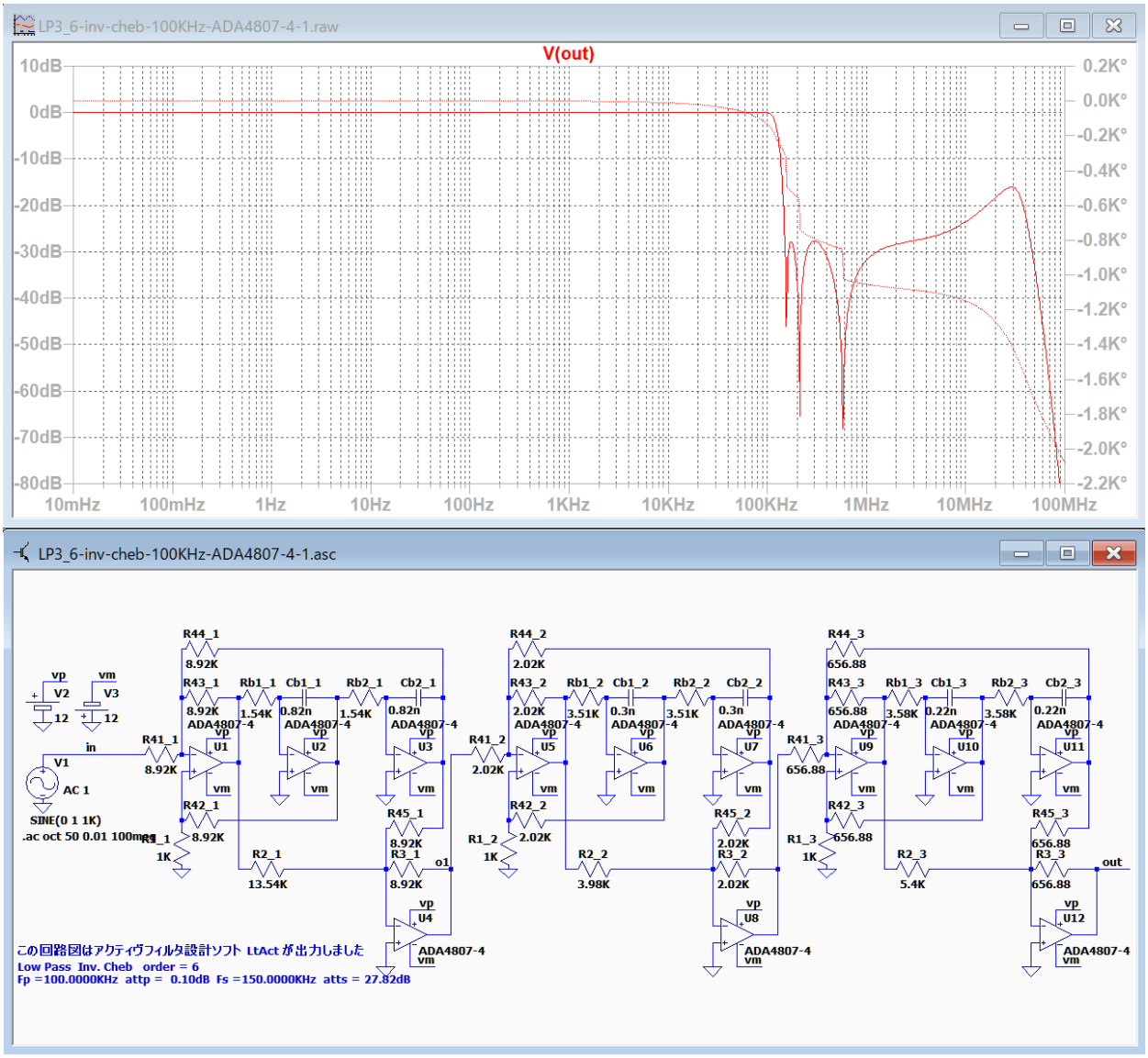
しかしオペアンプの入力電流が大きいことが不具合の原因ならば、「JFET」のオペアンプに交換することを推奨します。

基本回路「HP2」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ

LP3_6-inv-cheb-100KHz-ADA4807-4-1

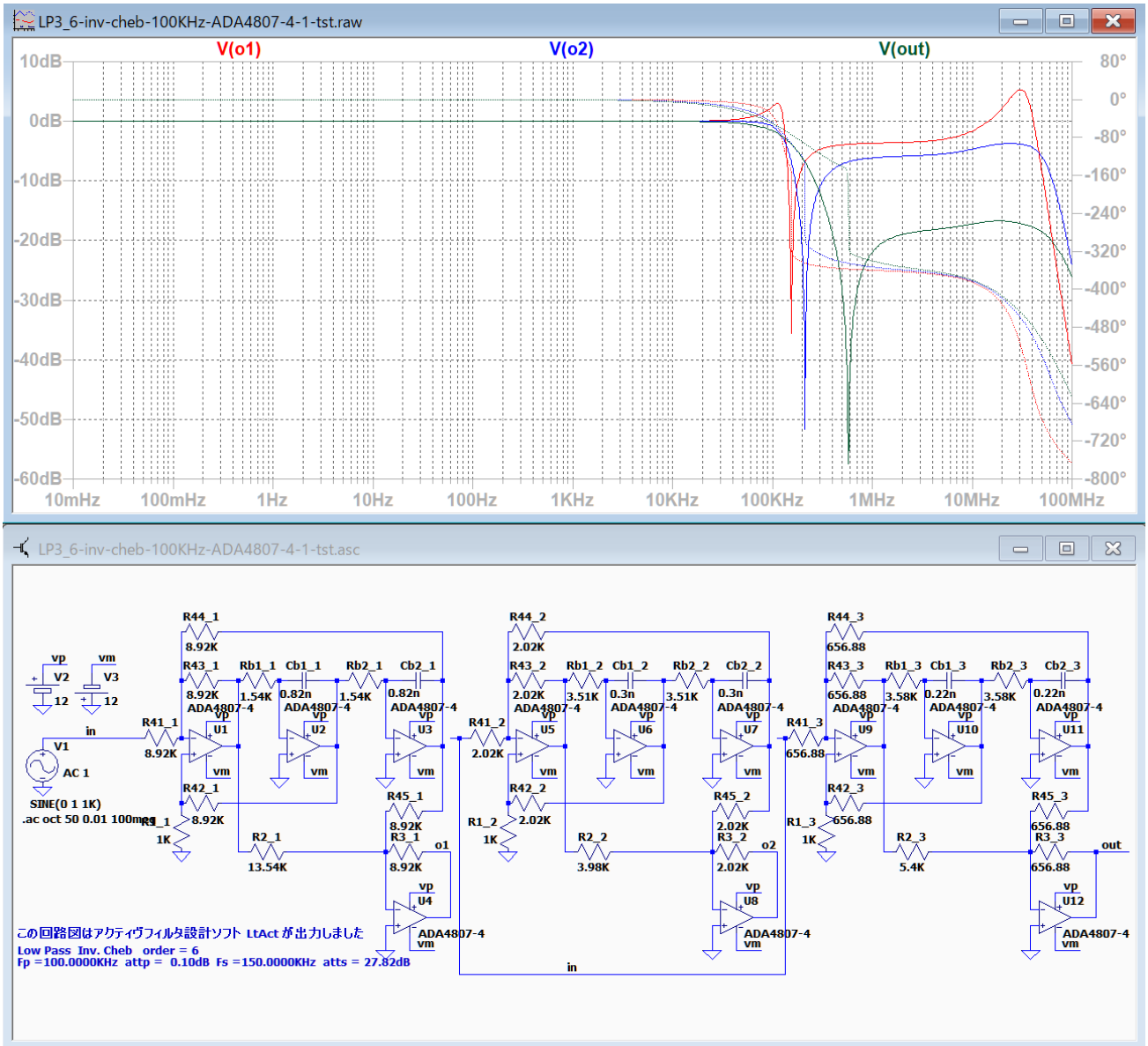
逆チェビシェフローパスフィルタ 6 次 100KHz



この回路図では、通過域およびカットオフ周波数周辺のゲインは設計通りですが、阻止域の高域にピークが発生しています。

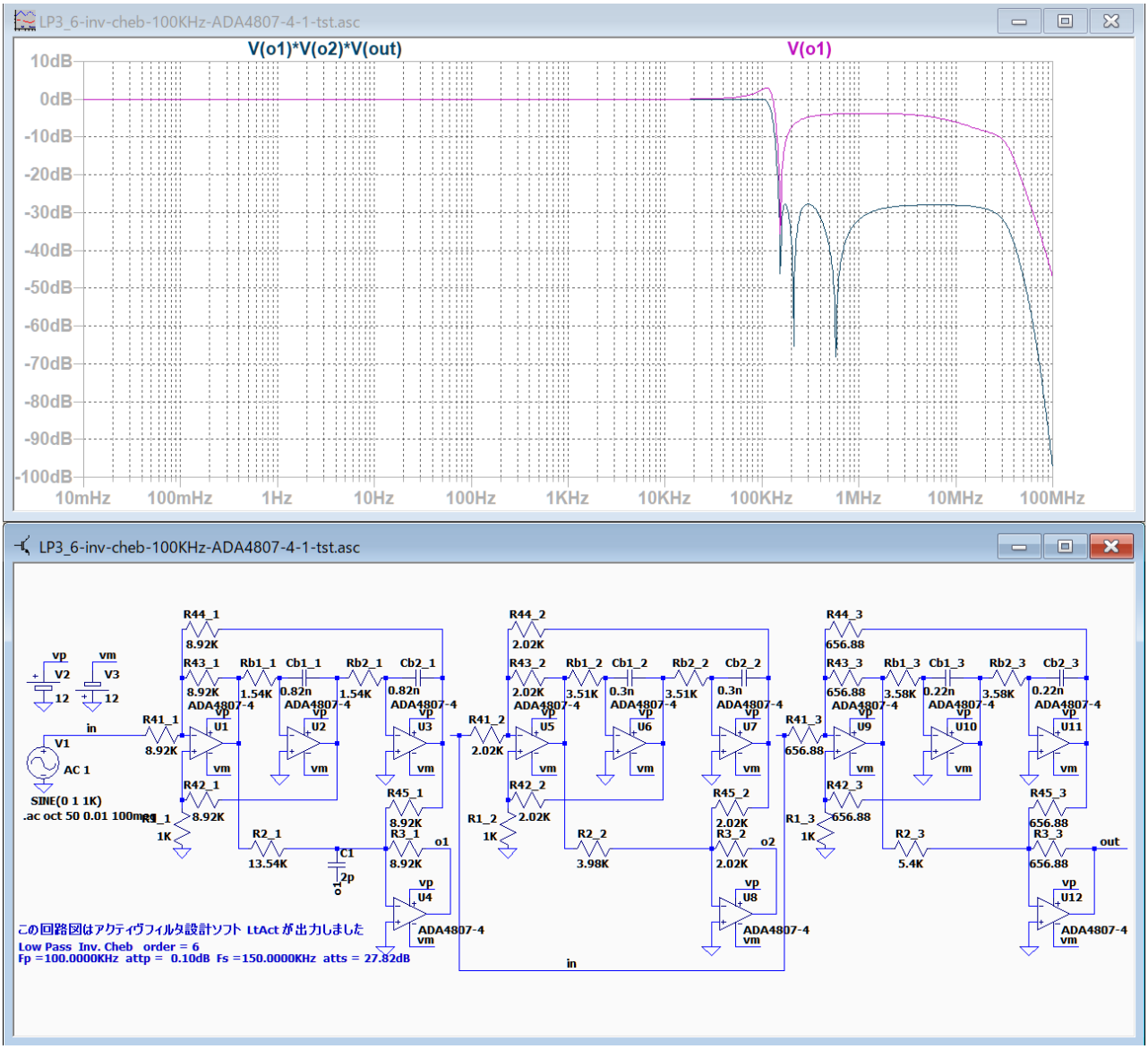
各ブロックごとに周波数特性を確認できるように配線を変更します。

LP3_6-inv-cheb-100KHz-ADA4807-4-1-tst



第１ブロック～第３ブロックの遮断領域の高域のゲインは右上がりに変化しています。第１ブロックのピークが格段に大きくて、ブロック２とブロック３のピークは小さいので、ブロック１の遮断領域の高域のゲインが少し右下がりになる程度に調整すると、全ブロックを接続した時にピークが丁度消えると思います。

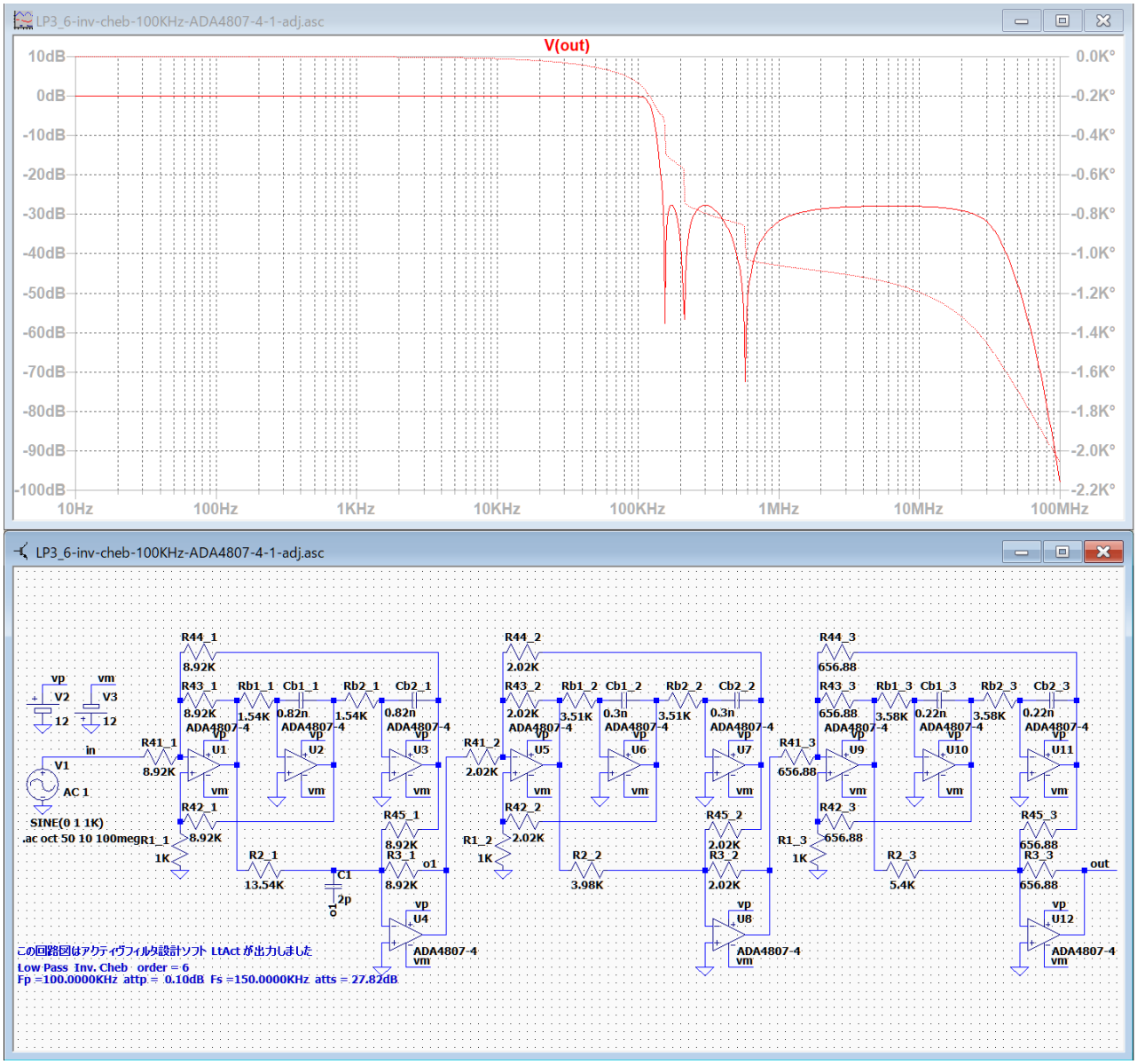
R3_1 に C1=2p を並列に接続して、グラフ画面で右クリックして「Add Traces」をクリックして「V(o1)*V(o2)*V(out)」を入力して、シミュレーションを実行します。



ブロック 1 の遮断領域の高域のゲインが少し右下がりになり、
「V(o1)*V(o2)*V(out)」は丁度よいレベルに調整できました。

ピークを調整した回路図

LP3_6-inv-cheb-100KHz-ADA4807-4-1-adj

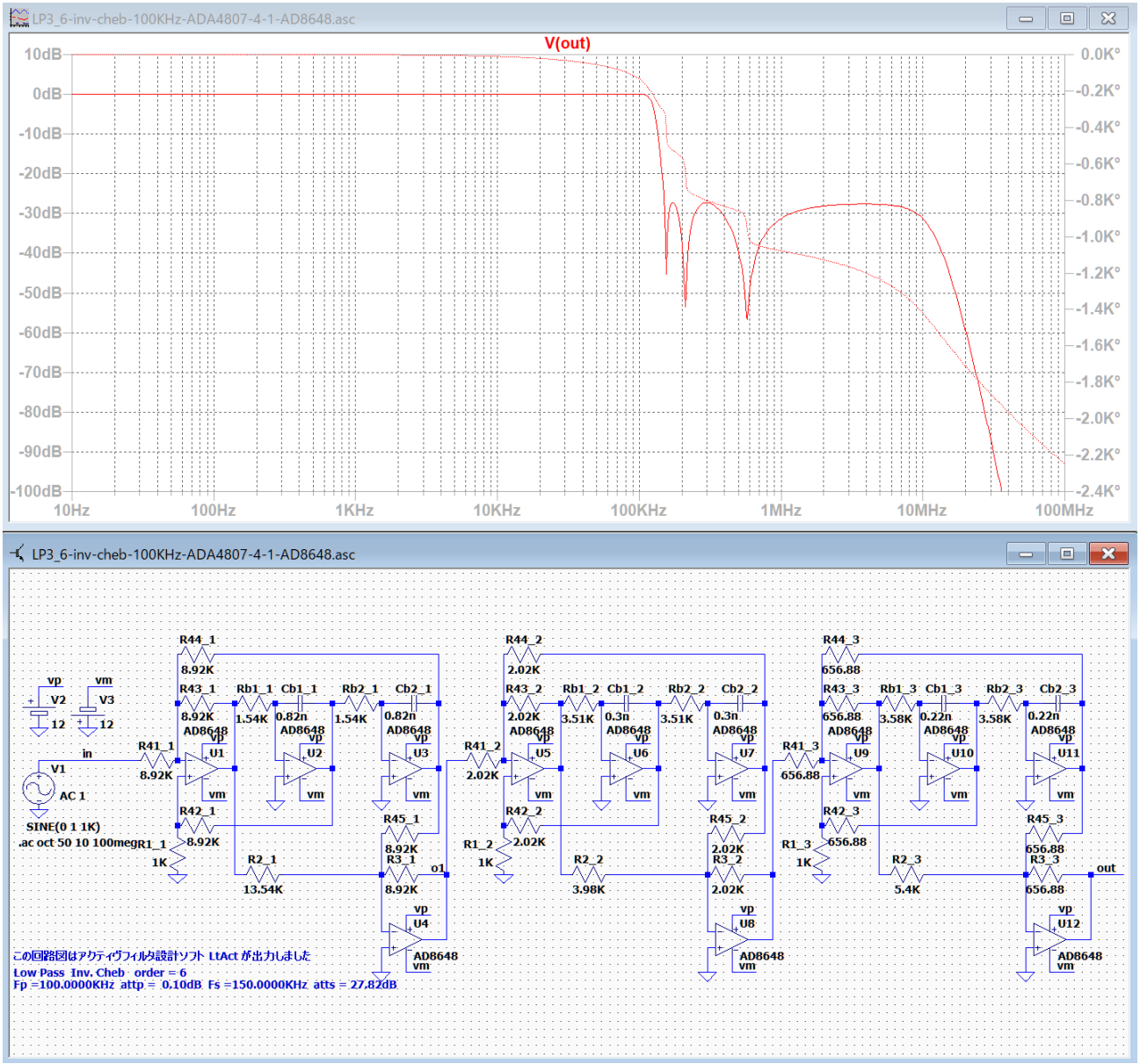


R3_1 に C1=2p を並列に接続しただけで、ピークの調整ができました。

試しに、LP3_6-inv-cheb-100KHz-ADA4807-4-1 のオペアンプを AD8648 に交換して周波数特性を確認します。

基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

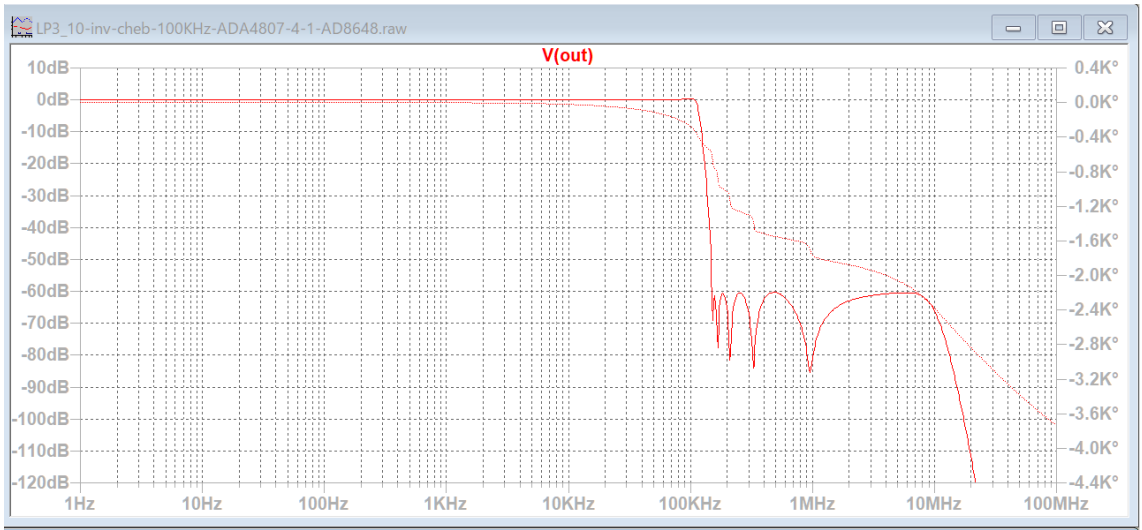
LP3_6-inv-cheb-100KHz-ADA4807-4-1-AD8648

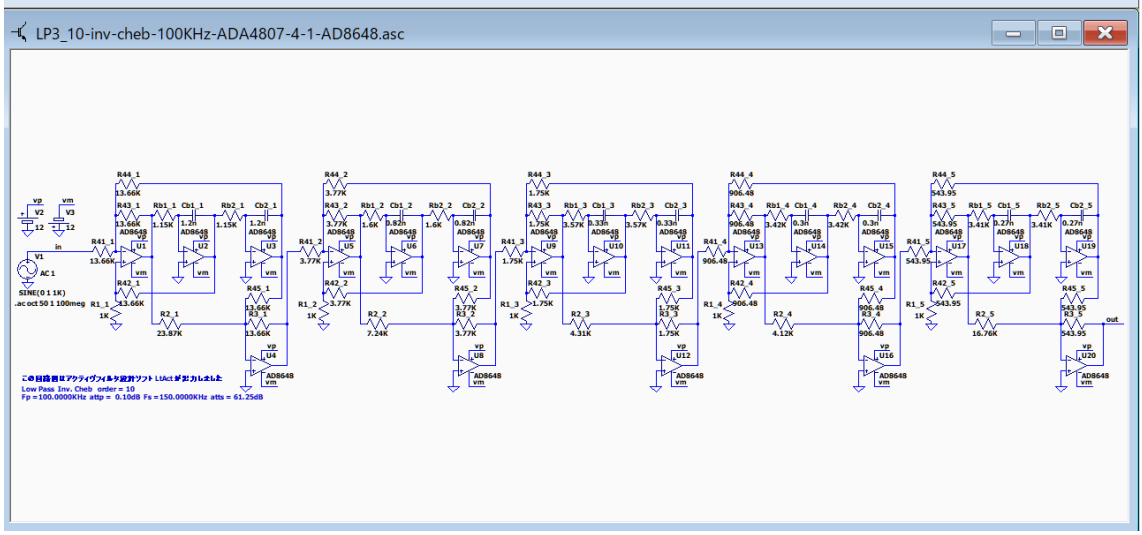


オペアンプを ADA4807-4 から AD8648 に交換すると、R3_1 に C1=2p を並列に接続しなくても、ピークが発生しなくなりました。

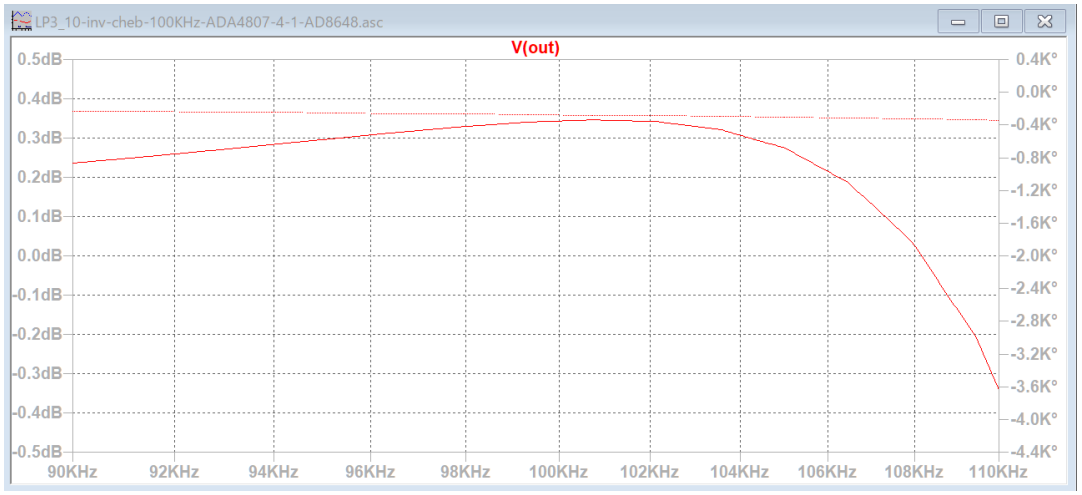
ADA4807-4 で 8 次と 10 次のフィルタを設計すると、6 次と同様に遮断域の高域にピークが発生しますが、AD8648 交換するとピークが発生しなくなりました。

LP3_10-inv-cheb-100KHz-ADA4807-4-1-AD8648



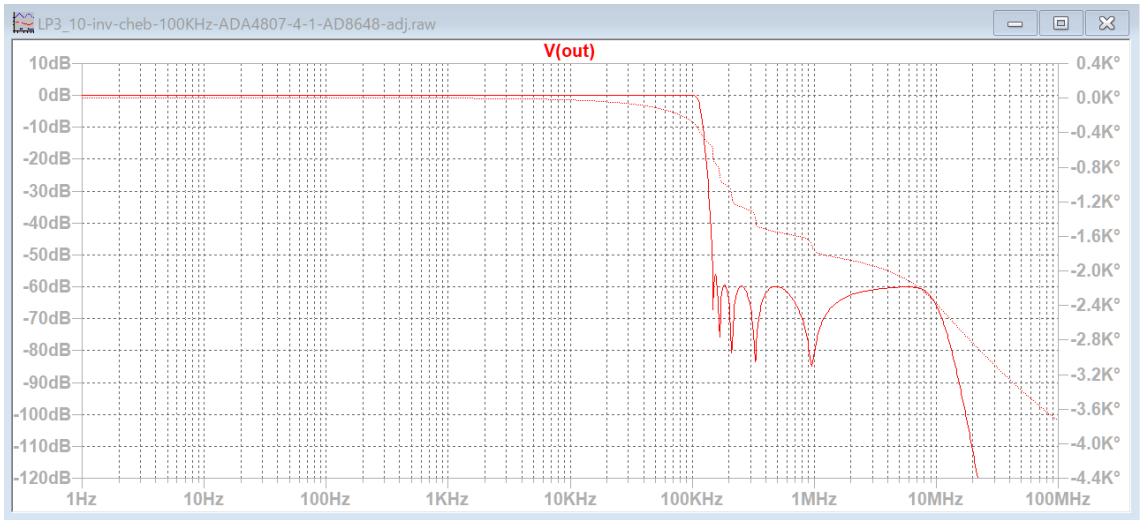


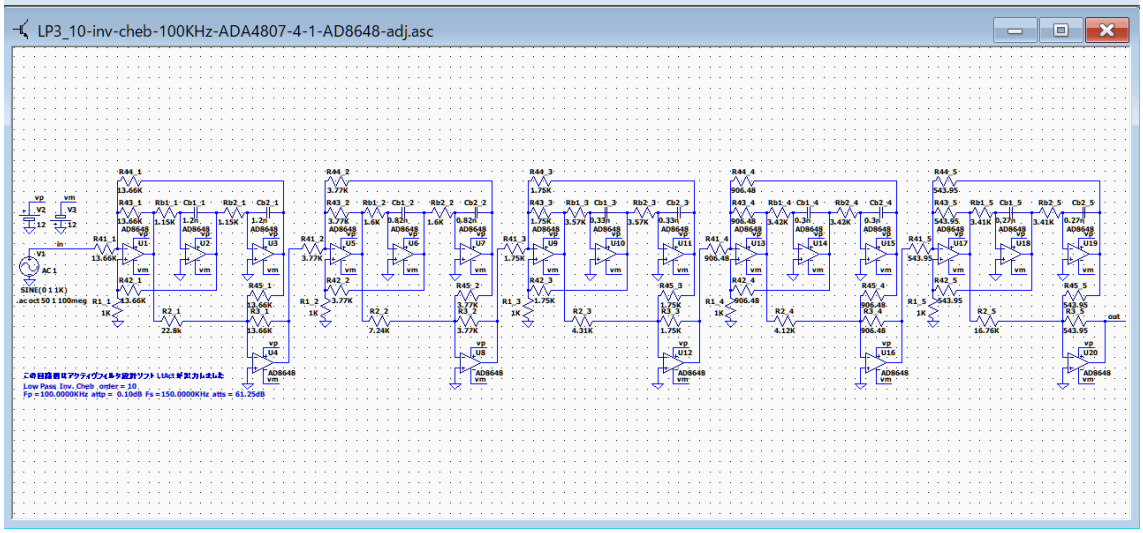
100KHz 付近に 0.35dB のピークがあるので、これを調整します。



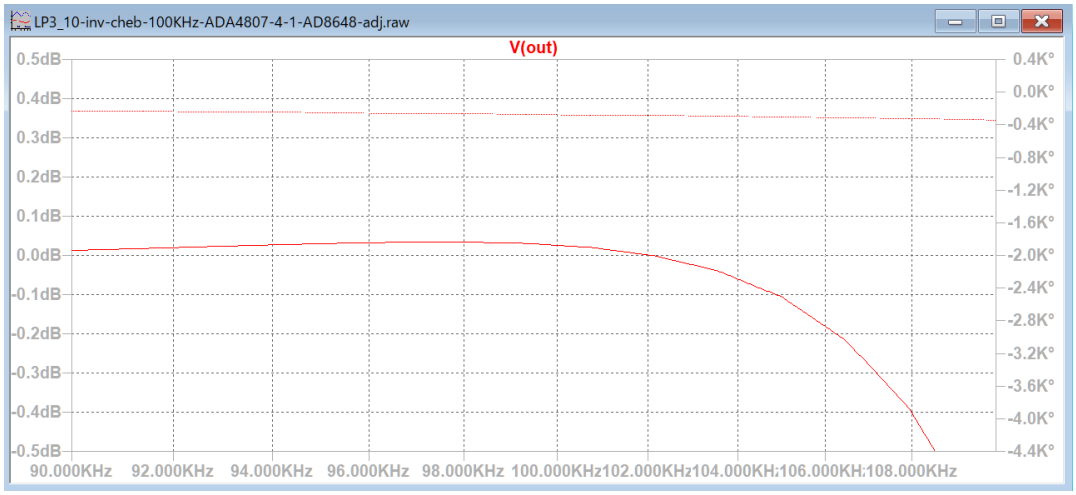
基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_10-inv-cheb-100KHz-ADA4807-4-1-AD8648-adj





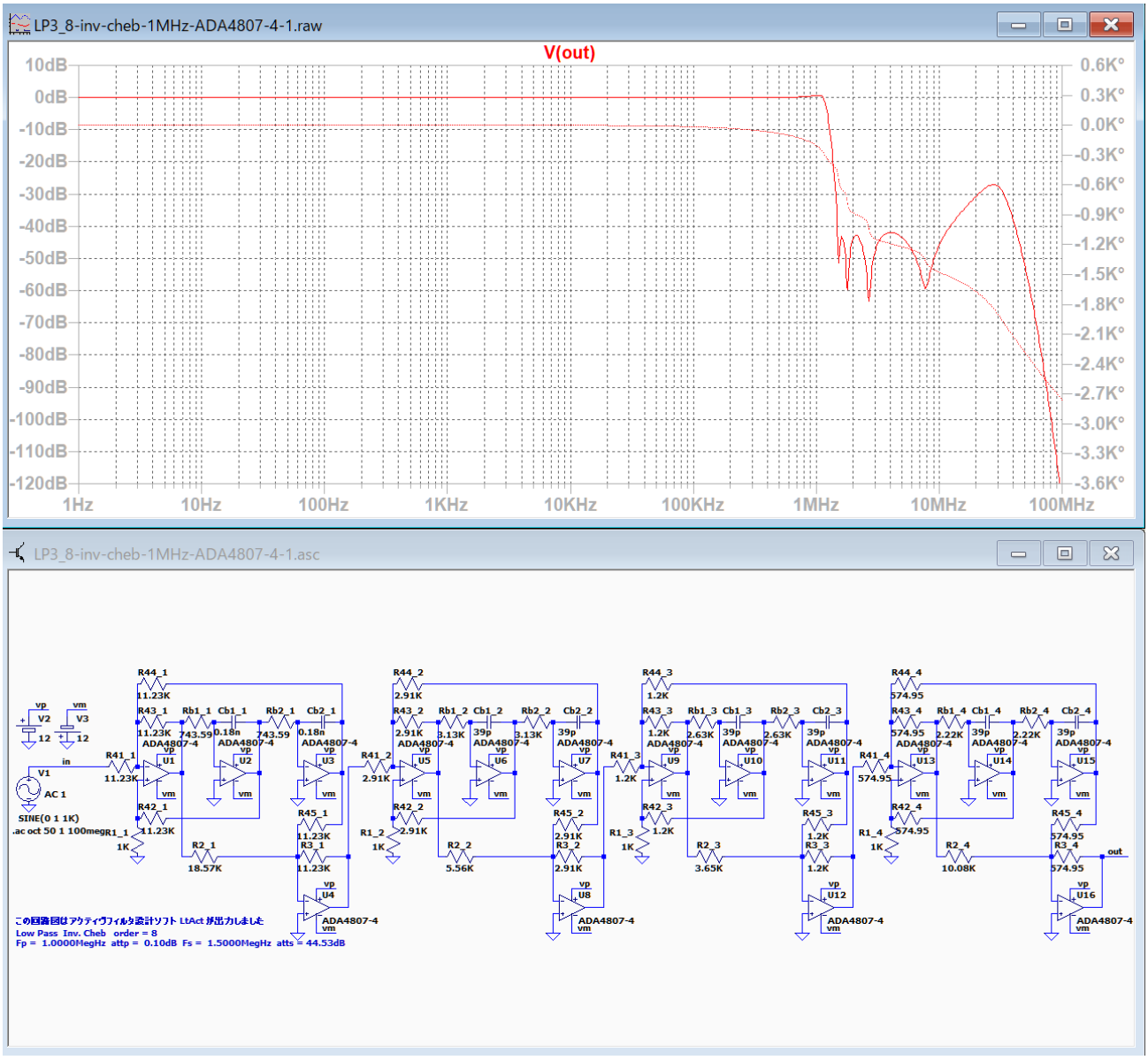
R2_1 を 23.87k から 22.8K に調整して、100KHz 付近のピークを調整しました。



基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_8-inv-cheb-1MHz-ADA4807-4-1

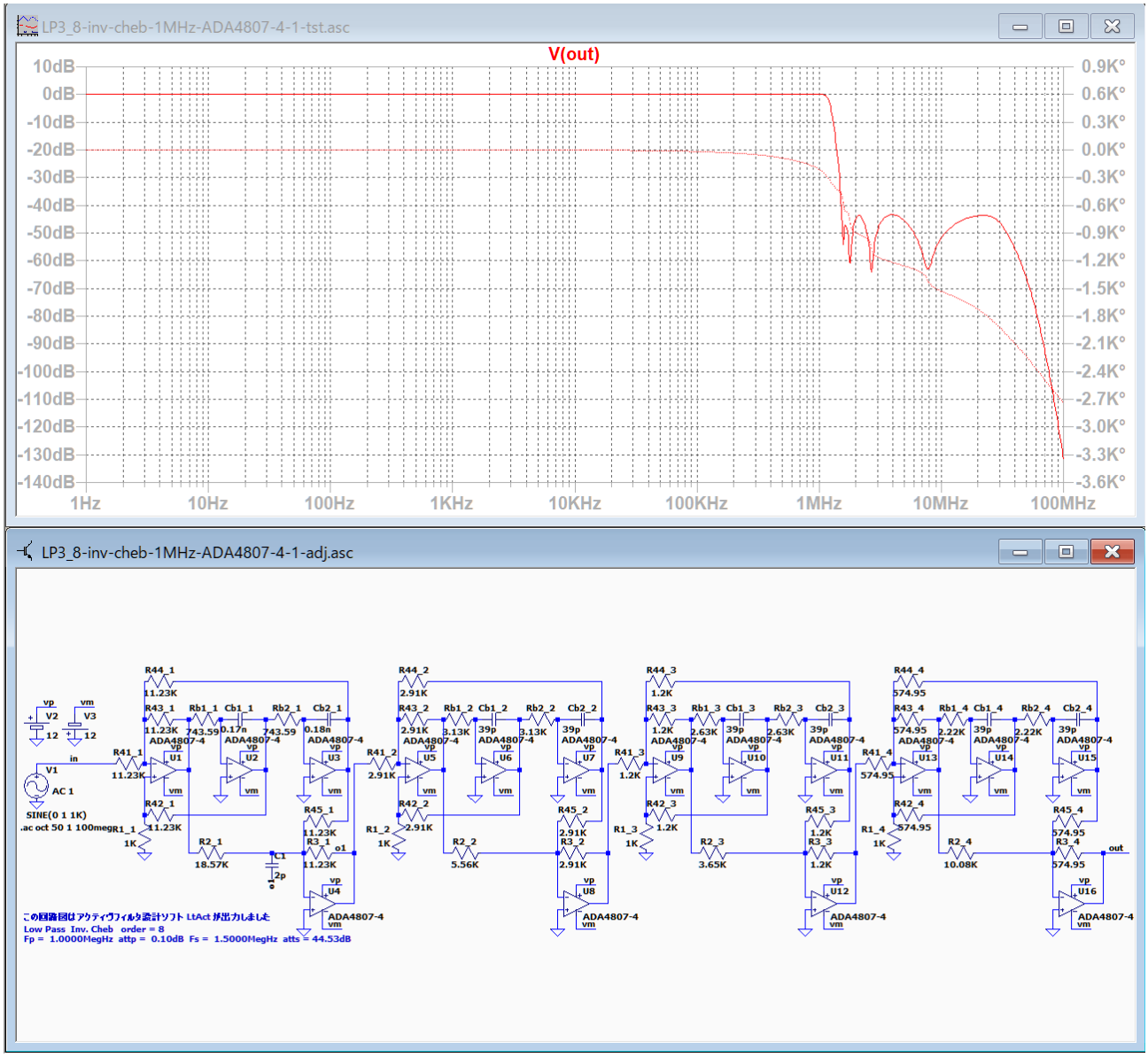
カットオフ周波数が 1MHz で 8 次の逆チェビシェフフィルタを確認します。



1MHz の 8 次フィルターでは、カットオフ付近に 0.7dB のピークがあり、遮断域の高域には大きいピークがあります。

基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_8-inv-cheb-1MHz-ADA4807-4-1-adj



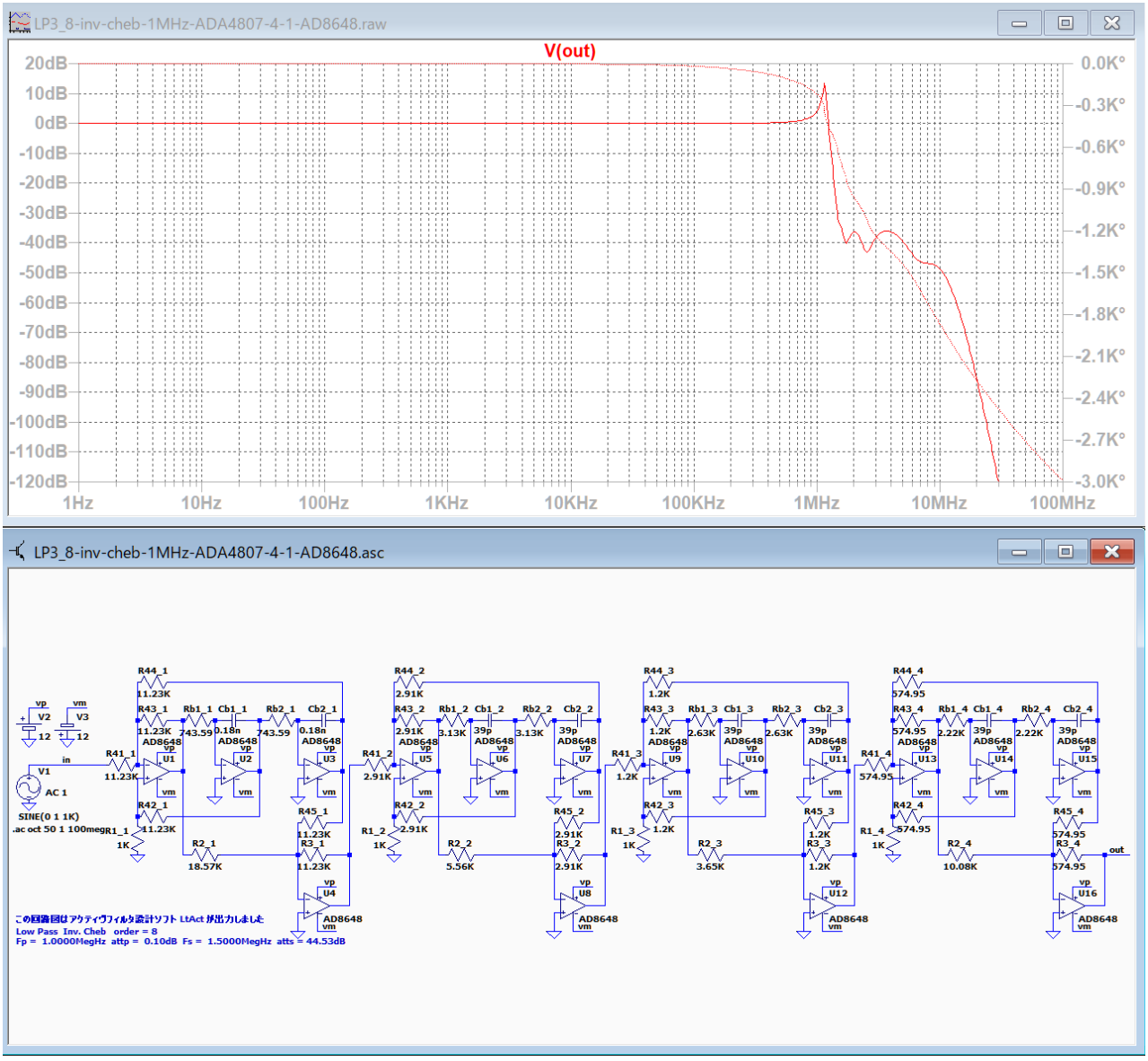
遮断域の高域のピークは R3_1 に C1=2p を並列に接続すると消すことが出来ます。

また、カットオフ付近のピークは、Cb1_1=0.17n に変更すれば消すことが出来ます。

LP3_8-inv-cheb-1MHz-ADA4807-4-1 のオペアンプを AD8648 に交換してみます。

基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_8-inv-cheb-1MHz-ADA4807-4-1-AD8648



「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」によると、ブロック 1 に必要な GB 積は 485MHz ですが、AD8648 の GB 積は 24MHz なので正常に動作しません。

高周波数用には、GB 積が出来るだけ高いオペアンプを使用する必要があります。

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」で示される GB 積の 1 / 10 程度の GB 積でも上手く調整するとある程度特性を改善することができます。

基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

++++++++++ 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=8
Fp = 1.0000MegHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000MegHz atts = 44.53dB
２次式の形式

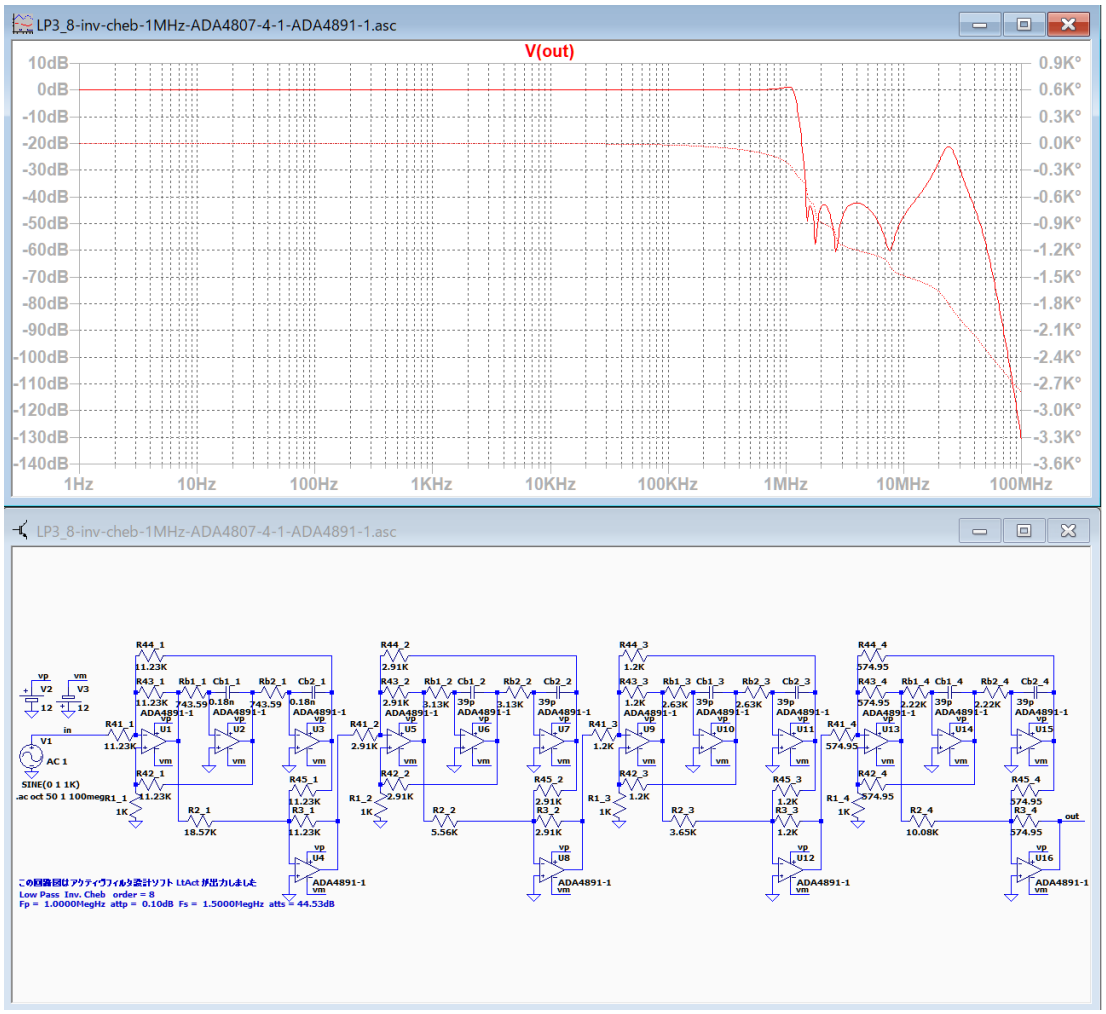
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

２次式

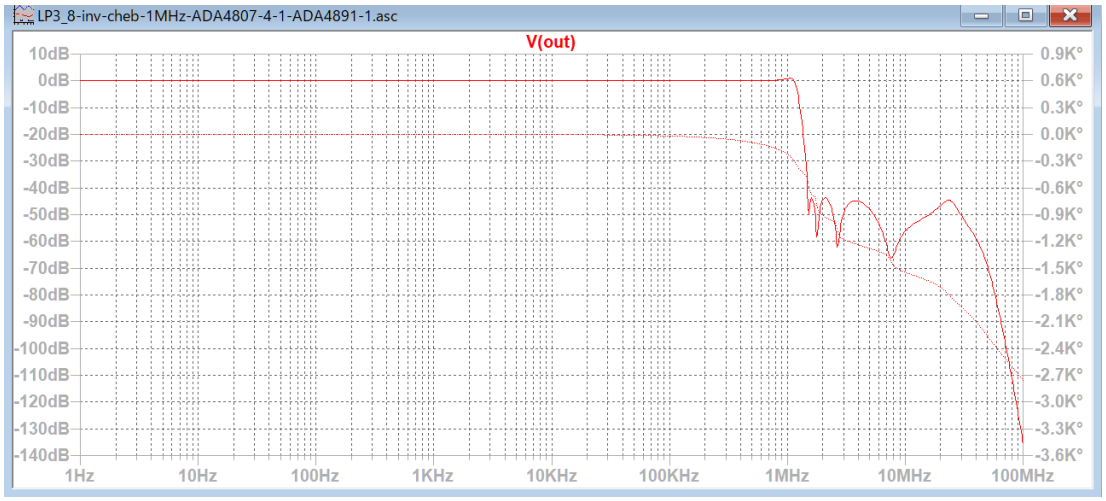
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	1.8333Meg	55.8197T	0.6045	0	55.8197T
	Fc= 1.1891MegHz Fc ゲイン= 4.1462 dB Q = 4.0753 GB 積=484.5884MegHz				
2	6.2905Meg	67.2566T	0.5235	0	67.2566T
	Fc= 1.3052MegHz Fc ゲイン=- 4.1344 dB Q = 1.3037 GB 積=170.1648MegHz				
3	13.2552Meg	94.6950T	0.3291	0	94.6950T
	Fc= 1.5488MegHz Fc ゲイン=- 6.1506 dB Q = 0.7341 GB 積=113.7005MegHz				
4	21.9747Meg	133.0874T	57.0251m	0	133.0874T
	Fc= 1.8361MegHz Fc ゲイン=- 6.1071 dB Q = 0.5250 GB 積= 96.3906MegHz				

GB 積が 240MHz で「JFET」の ADA4891-1 に交換して周波数特性を確認します。

LP3_8-inv-cheb-1MHz-ADA4807-4-1-ADA4891-1



ADA4891-1 に交換すると、動作はしますが AD4807-4 と同様に遮断域の高域にピークが発生します。R3_1 に C1=3p を並列に接続するとピークは消えます。



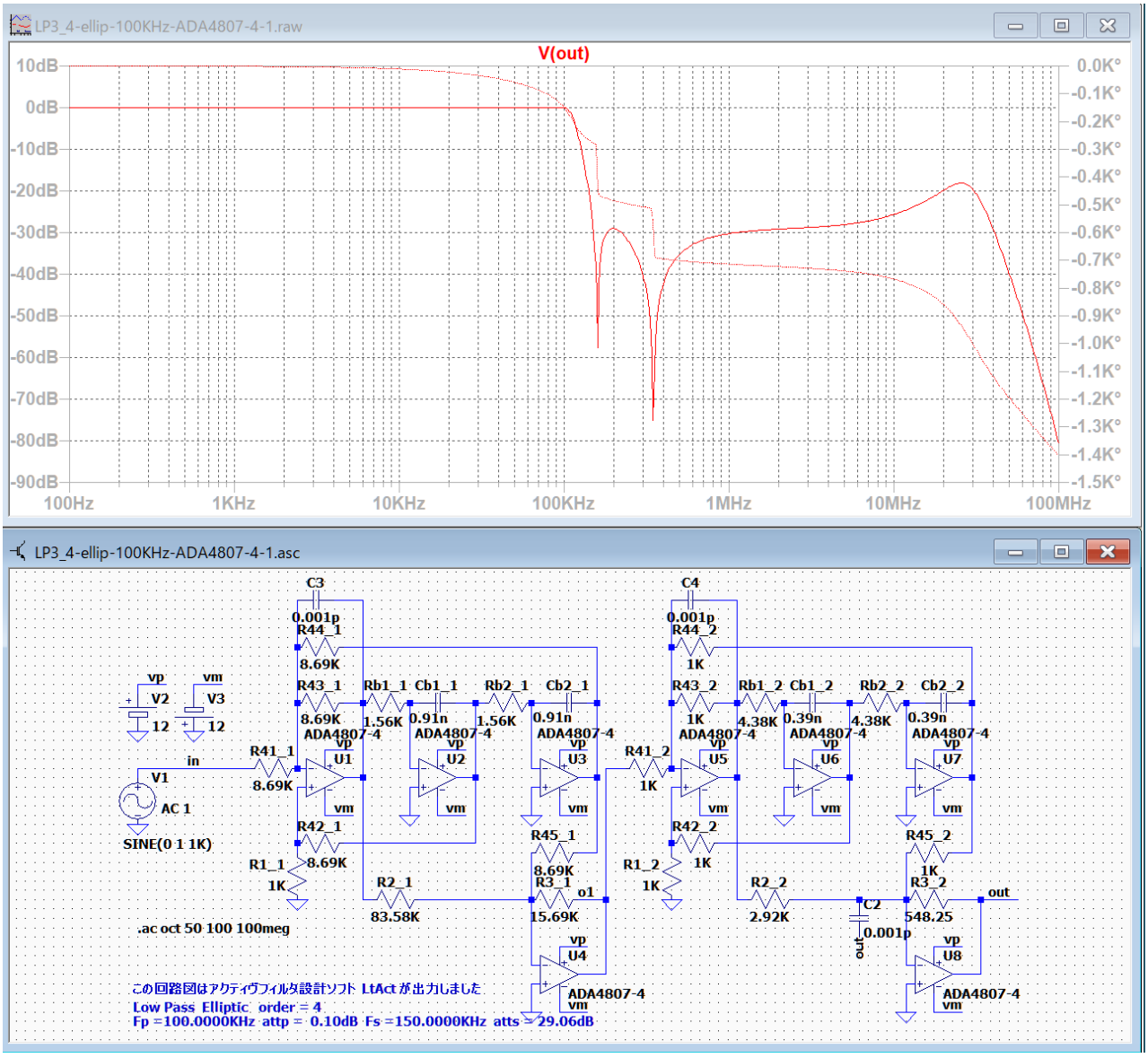
結局、ADA4807-4 のままで良いと思います。

基本回路「et1」―「LP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

基本回路「et1」―「LP3」楕円関数

LP3_4-ellip-100KHz-ADA4807-4-1

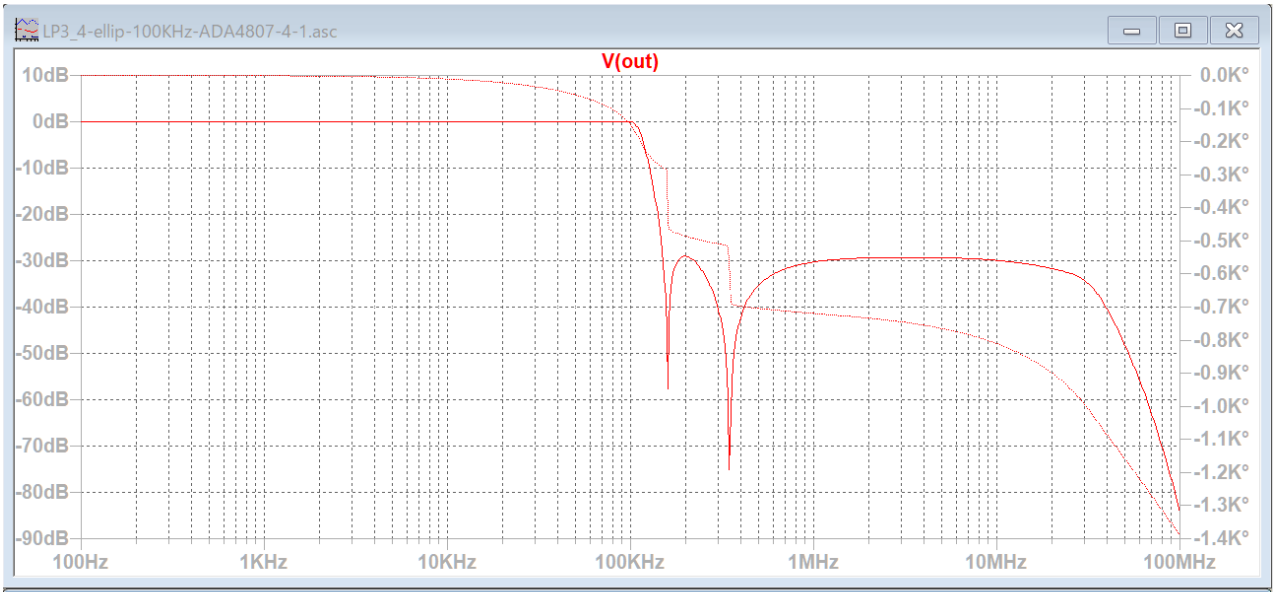
楕円関数ローパスフィルタ 4 次 100KHz

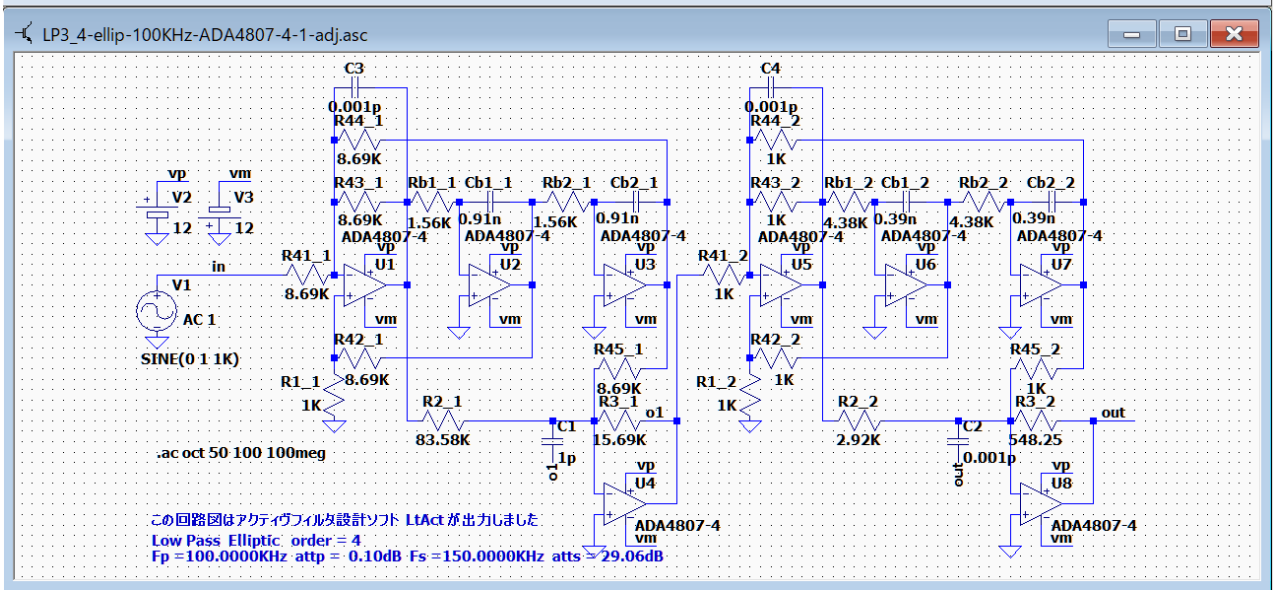


阻止域の高域にピークが発生しています。

R3_1 に C1=1p を並列に接続して特性を確認します。

LP3_4-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-adj

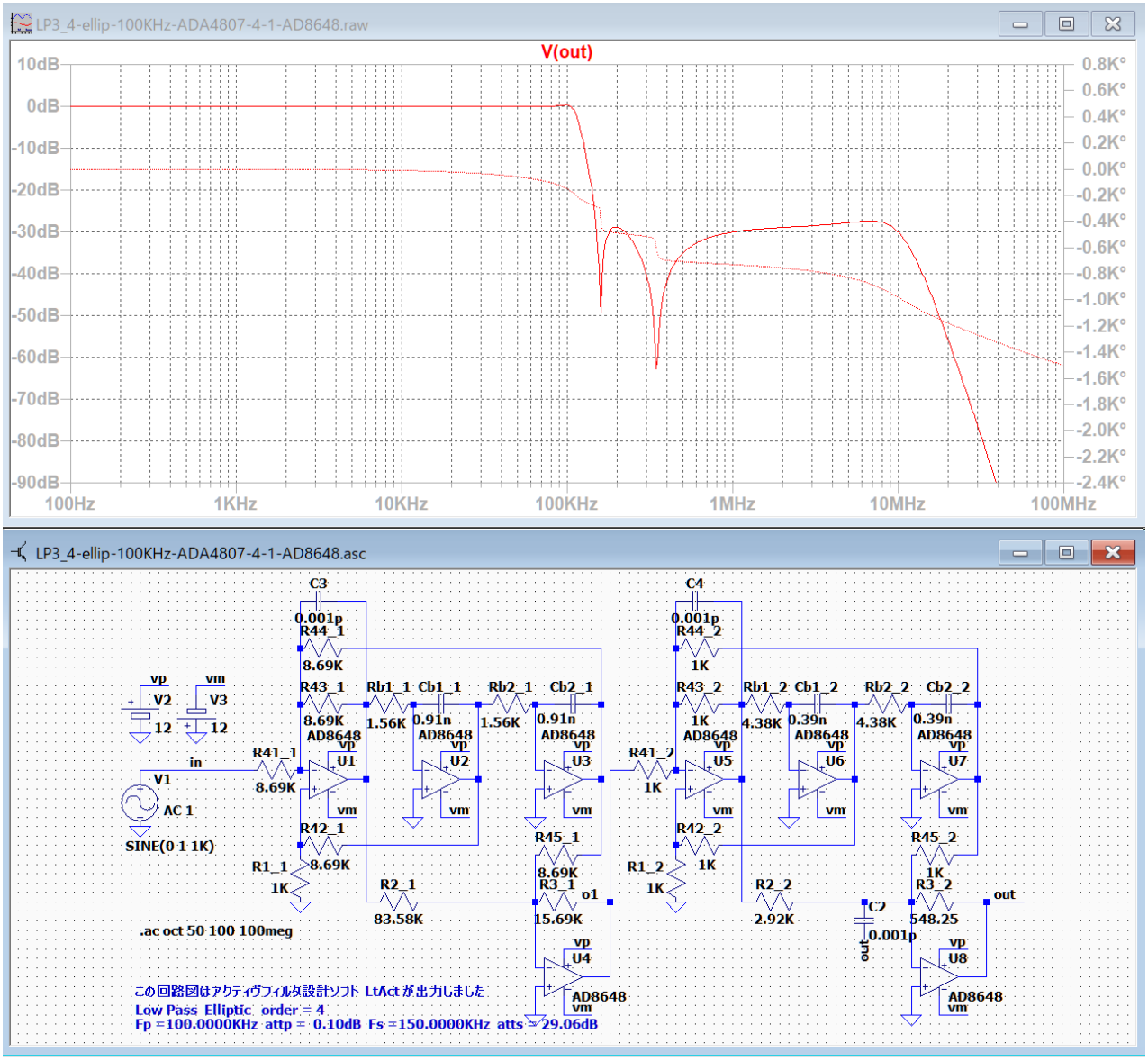




阻止域の高域のピークを除去できました。

LP3_4-ellip-100KHz-ADA4807-4-1 のオペアンプを AD8648 に交換して確認します。

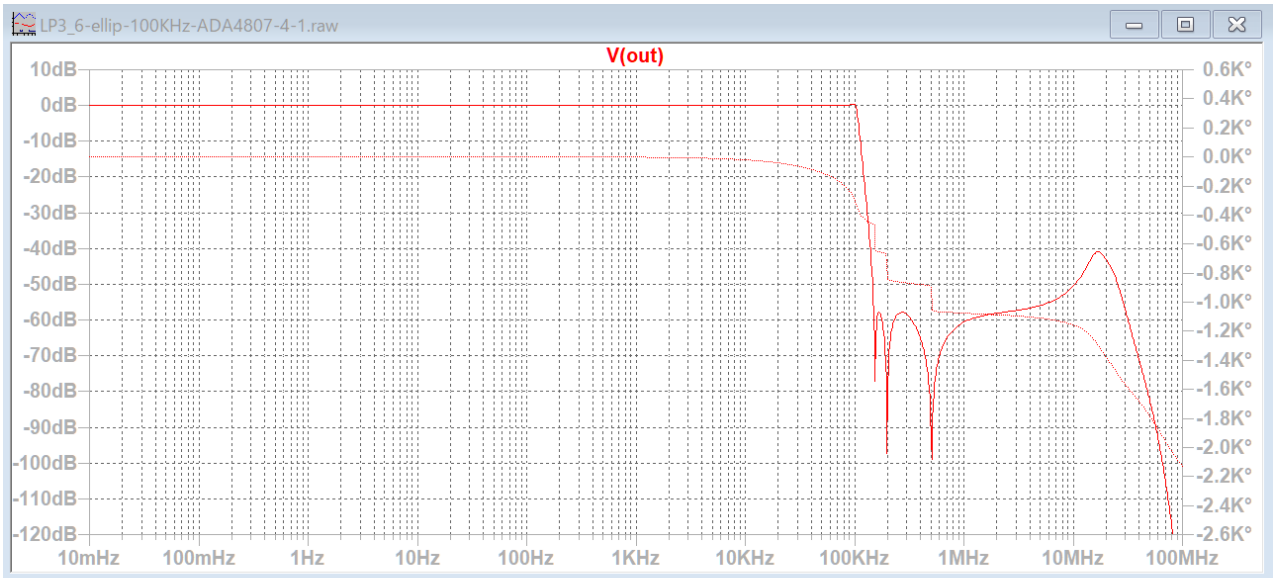
LP3_4-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-AD8648

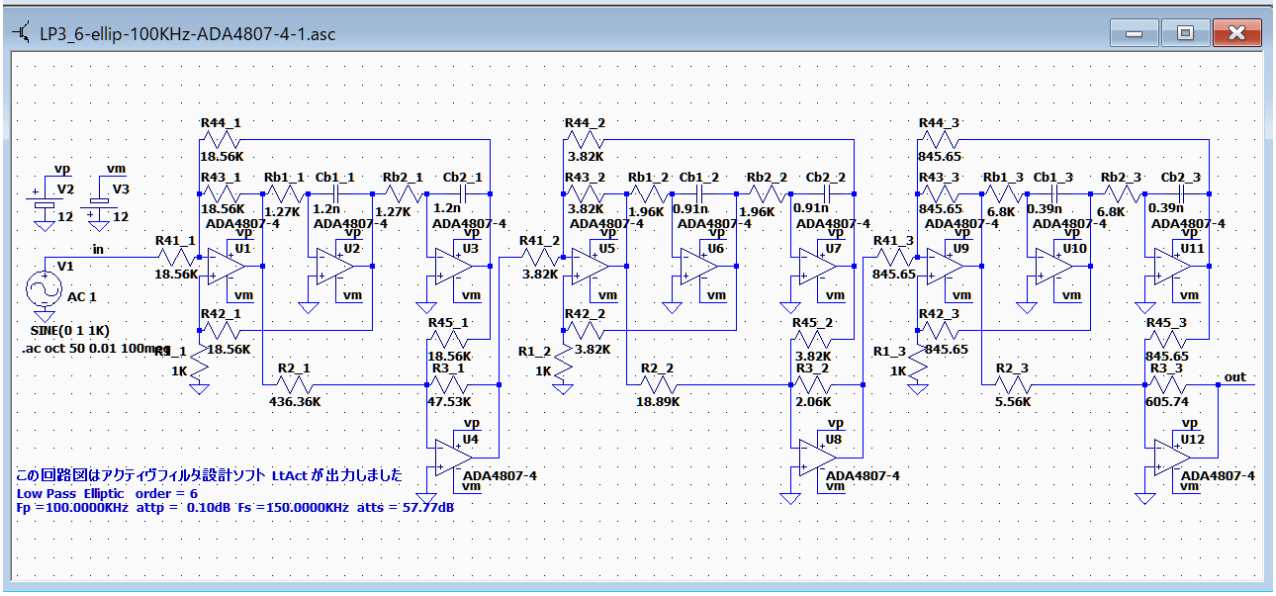


オペアンプを AD8648 に交換しても阻止域の高域にピークが残っています。

逆チェビシェフではピークを消すことができましたが、楕円関数では AD4807-4 を使用して R3_1 に C1 を並列に接続する方法が良いと思います。

LP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1

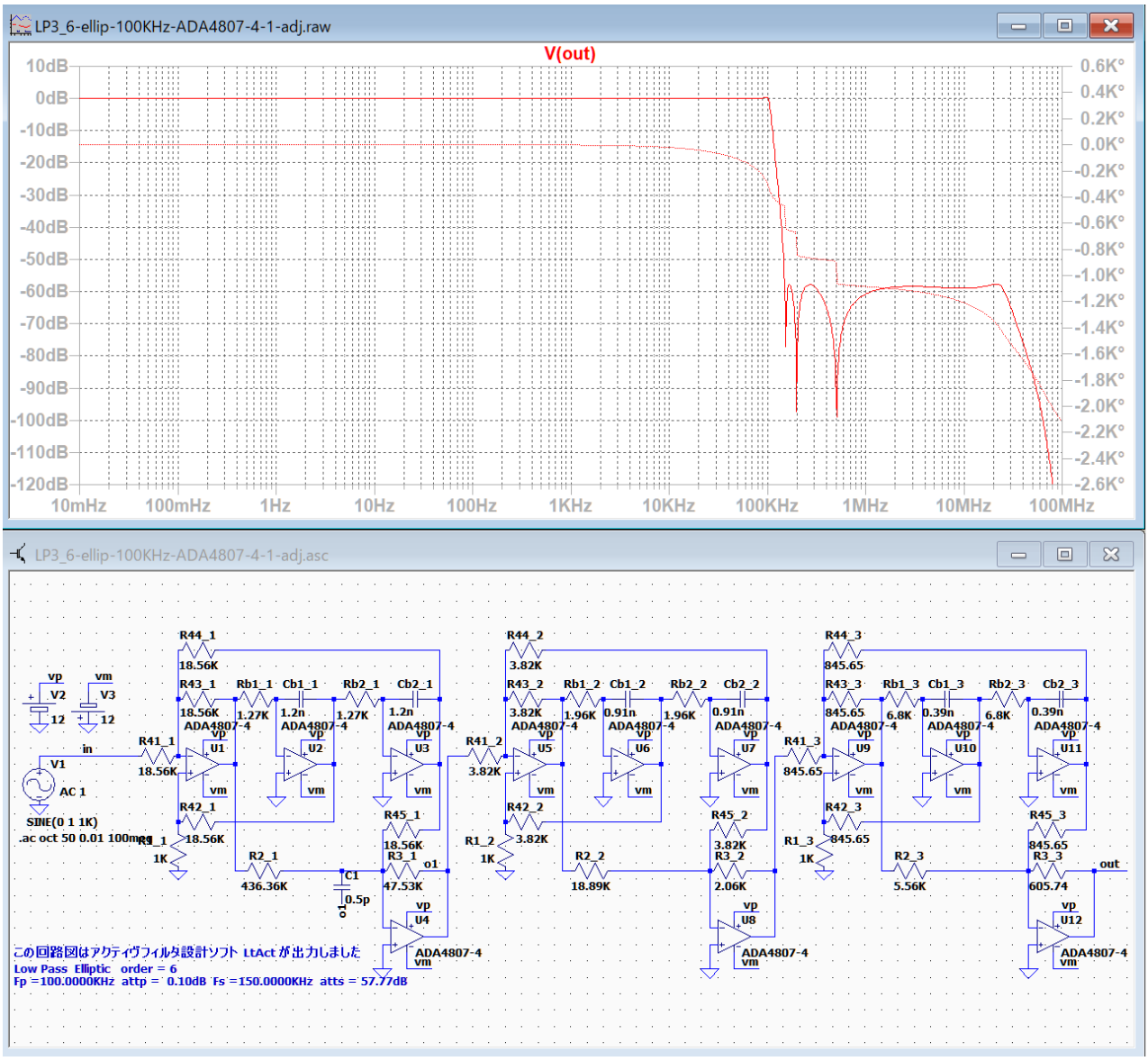




阻止域の高域にピークが発生しています。

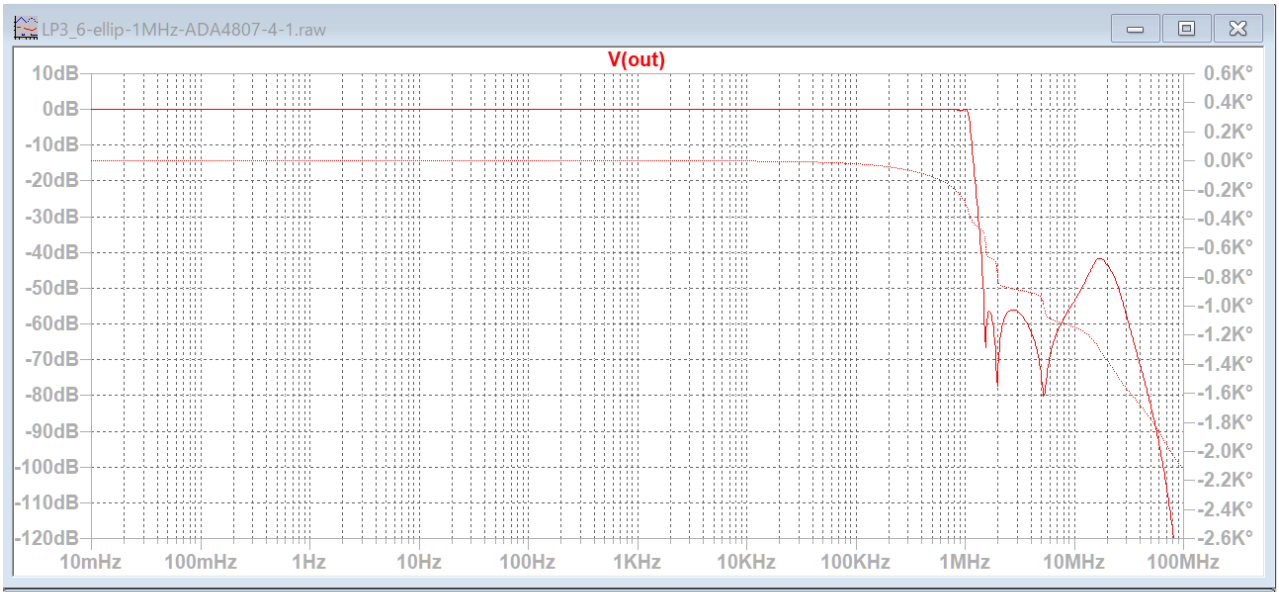
R3_1 に C1=0.5p を並列に接続して特性を確認します。

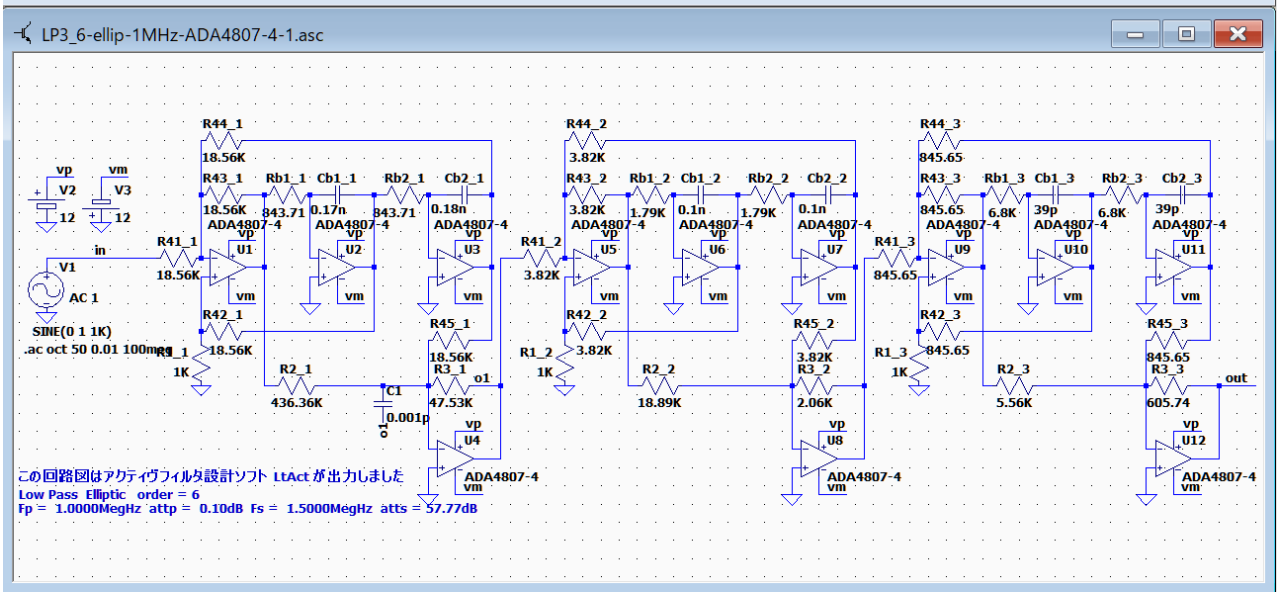
LP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-adj



阻止域の高域のピークを除去できました。

LP3_6-ellip-1MHz-ADA4807-4-1

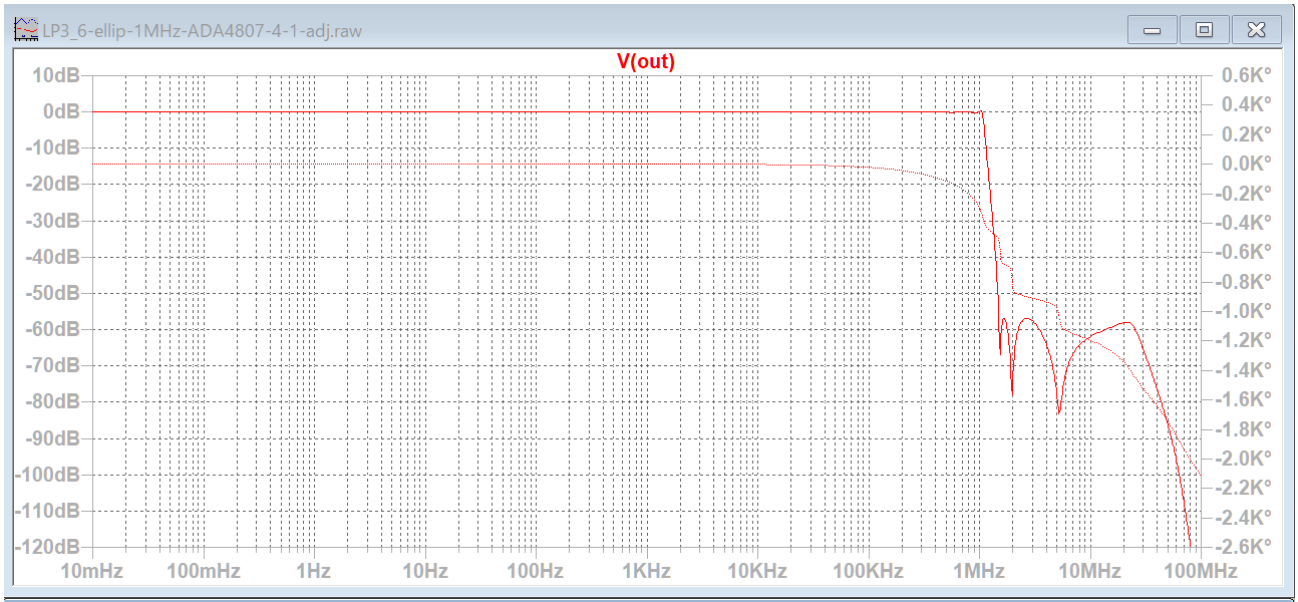


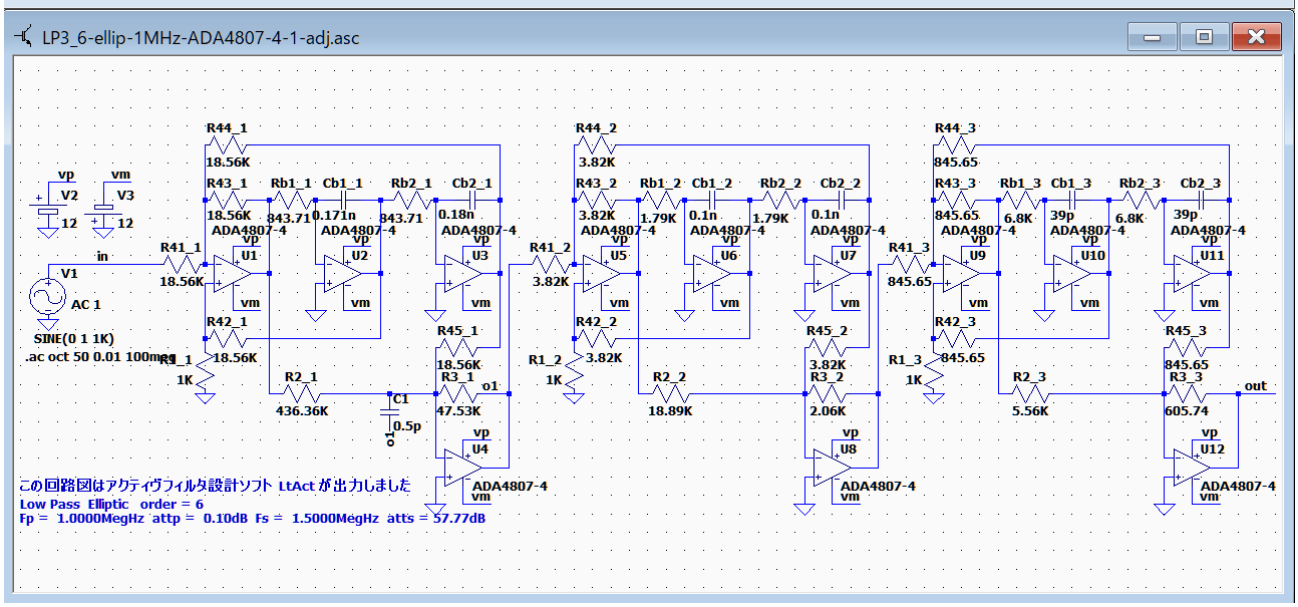


阻止域の高域にピークが発生しています。

R3_1 に C1=0.5p を並列に接続して特性を確認します。

LP3_6-ellip-1MHz-ADA4807-4-1-adj

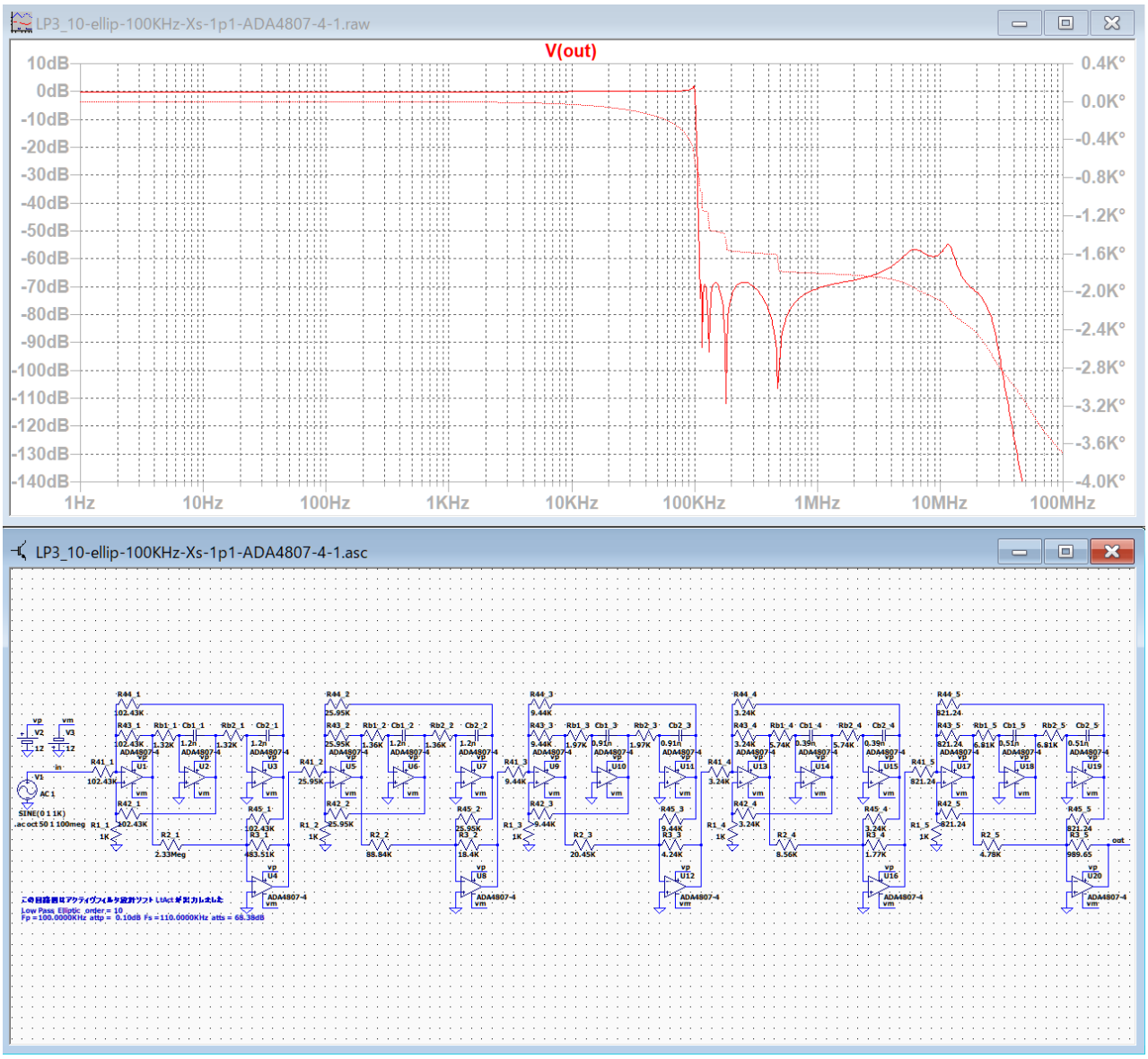




阻止域の高域のピークを除去できました。

基本回路「et1」―「LP3」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_10-ellip-100KHz-Xs-1p1-ADA4807-4-1

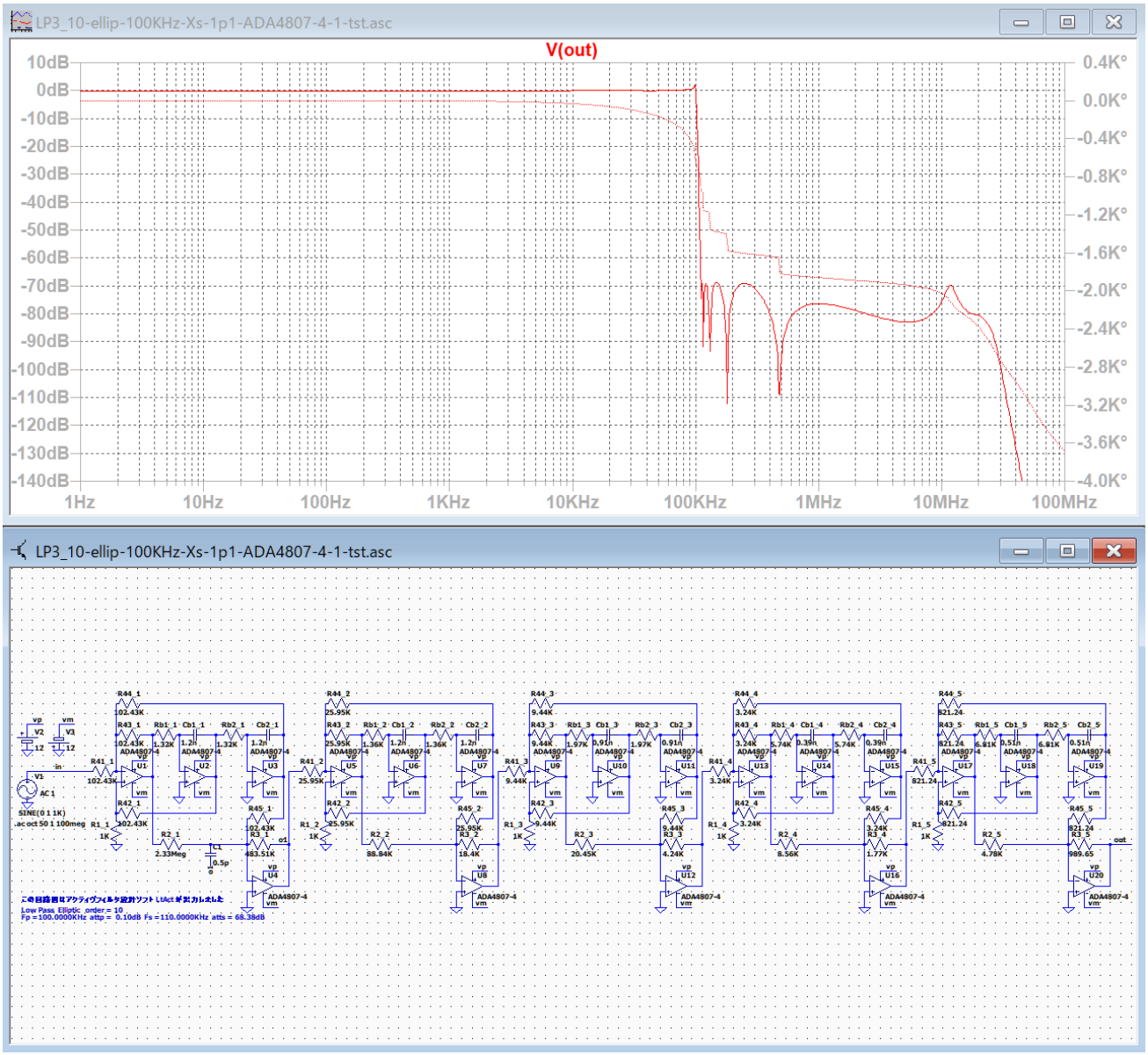


100KHz にピークが発生しています。そして阻止域の高域にもピークが発生しています。

最初に、R3_1 に C1=0.5p を並列に接続して特性を確認します。

基本回路「et1」―「LP3」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_10-ellip-100KHz-Xs-1p1-ADA4807-4-1-tst

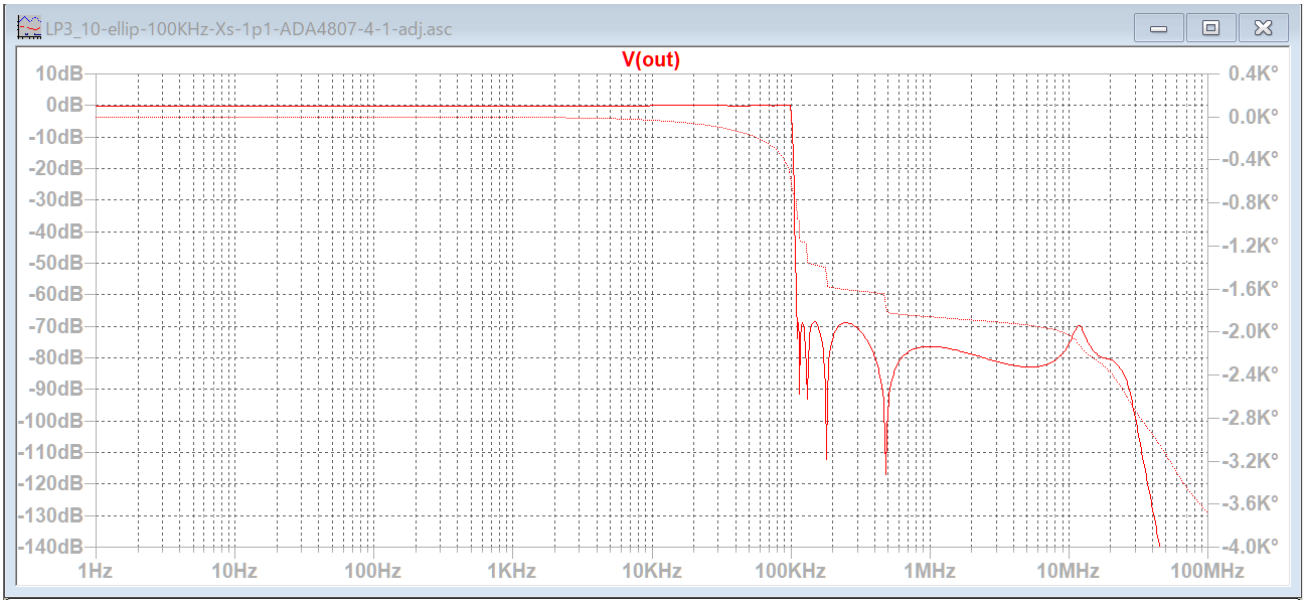


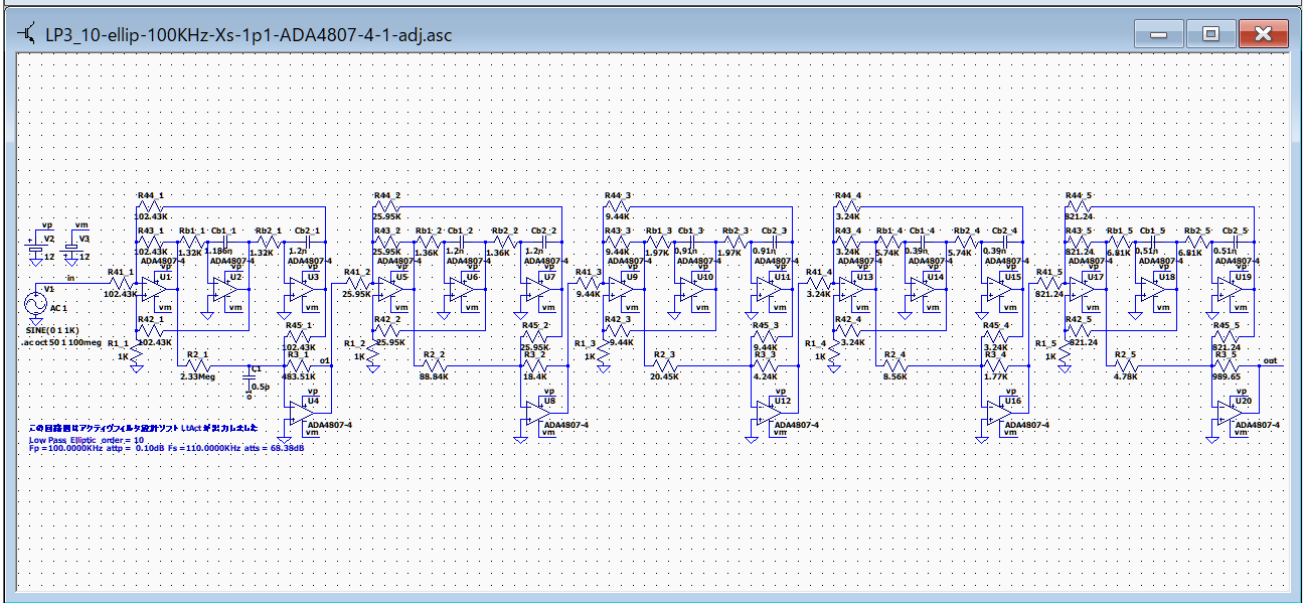
阻止域の高域のピークを除去できました。

次に、100KHz のピークを調整します。

基本回路「et1」―「LP3」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_10-ellip-100KHz-Xs-1p1-ADA4807-4-1-adj





Cb1_1= 1.186n に調整して、100KHz のピークを除去しました。

カットオフ周波数周辺のピークは Cb1_1 または Cb1_2 の値を微調整すると除去できますが、Cb1_1 を微調整した方が少し良好な周波数特性が得られるようです。

基本回路「et1」―「LP3」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP3_10-ellip-100KHz-Xs-1p1-ADA4807-4-1 は、ブロック 1 からブロック 3 までの Q 値が高いので、各ブロックの R3_?? に C?? を並列接続する必要があると想像していましたが、R3_1 に C1=0.5p を並列に接続するだけで阻止域の高域を除去できました。

++++++++++ 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=10
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =110.0000KHz atts = 68.38dB
２次式の形式

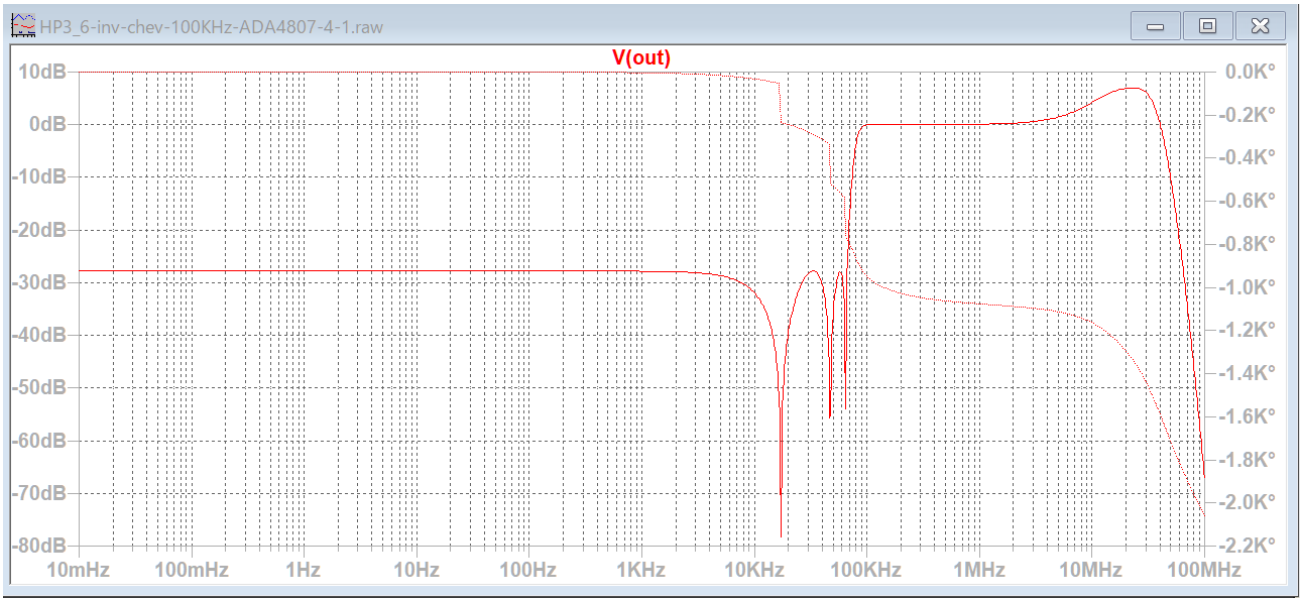
$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

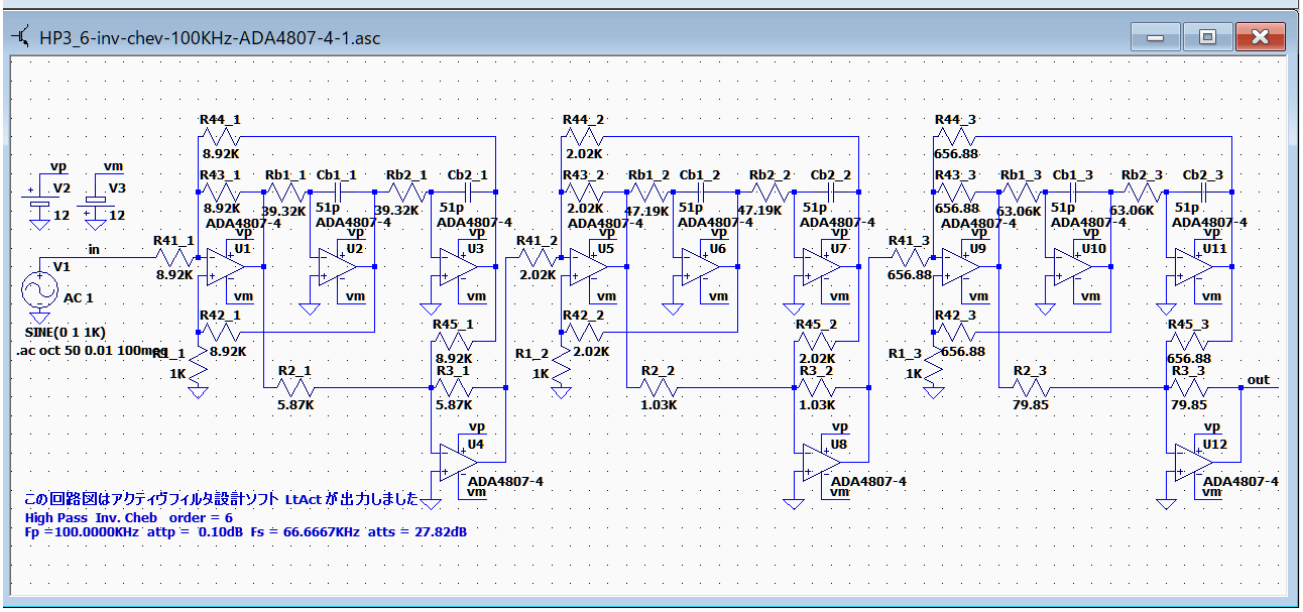
２次式

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	18.3800K	401.5622G	0.2071	0	1.8955T
	Fc= 100.8548KHz Fc ゲイン= 43.8403 dB Q = 34.4770 GB 積=347.7176MegHz				
2	68.2781K	376.0917G	0.2071	0	266.6948G
	Fc= 97.6039KHz Fc ゲイン= 13.0818 dB Q = 8.9818 GB 積= 87.6662MegHz				
3	160.5786K	312.5065G	0.2071	0	140.1426G
	Fc= 88.9713KHz Fc ゲイン= - 1.5123 dB Q = 3.4813 GB 積= 30.9736MegHz				
4	315.7303K	199.5490G	0.2071	0	109.0536G
	Fc= 71.0960KHz Fc ゲイン= - 6.3716 dB Q = 1.4148 GB 積= 10.0590MegHz				
5	474.2162K	82.8794G	0.2071	0	99.8745G
	Fc= 45.8188KHz Fc ゲイン= - 4.3528 dB Q = 0.6071 GB 積= 2.7816MegHz				

基本回路「et1」―「HP3」逆チェビシェフ

HP3_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-1



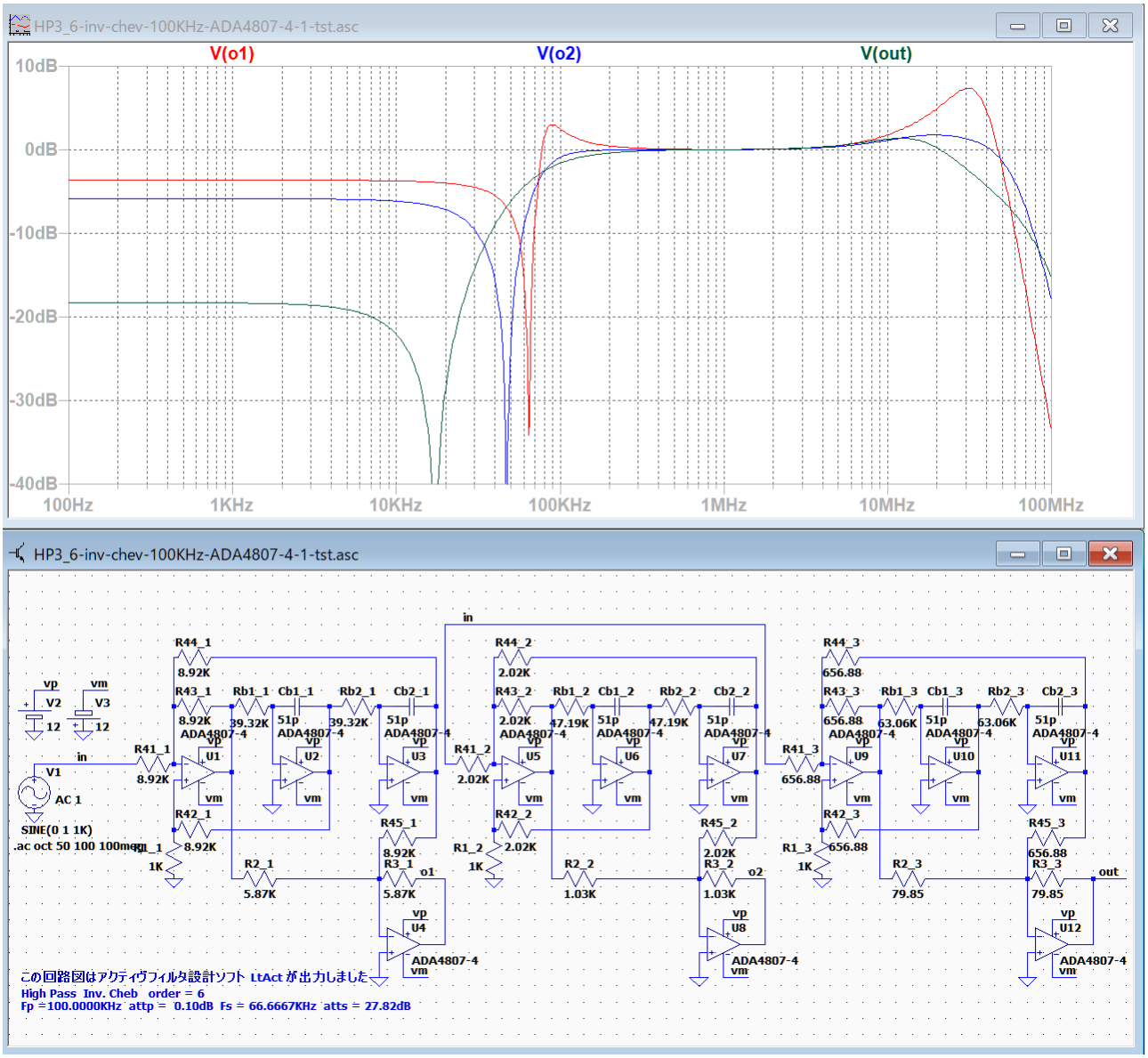


低周波数の遮断域からカットオフ周波数および通過域の低域は問題がありません。
通過域の高域にピークが発生しています。

配線を変更して、各ブロックの周波数特性を確認します。

基本回路「et1」―「HP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

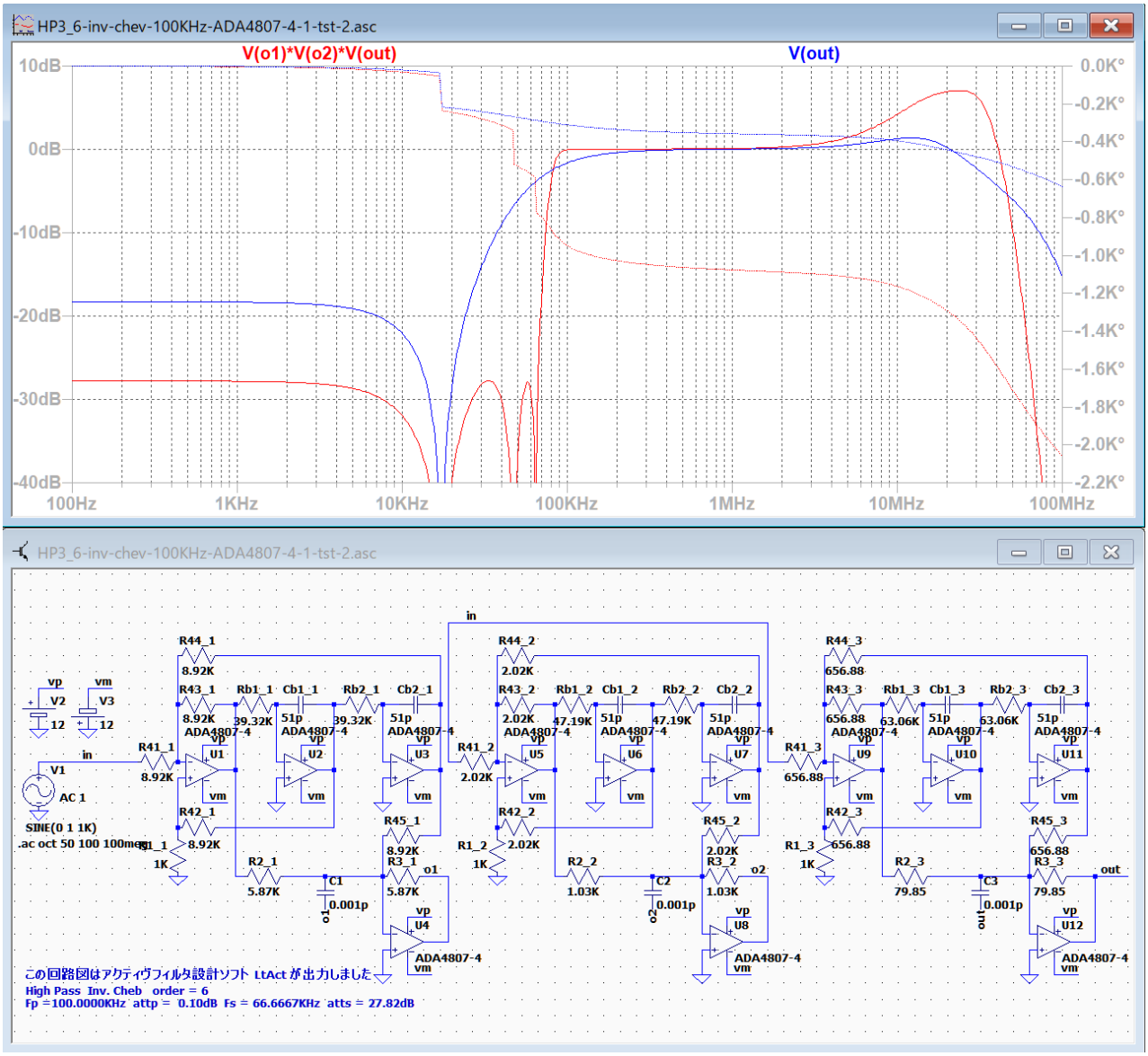
HP3_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-1-tst



ブロック 1 のピークが最も高く、ブロック 2 と 3 のピークはそれ程でもありません。

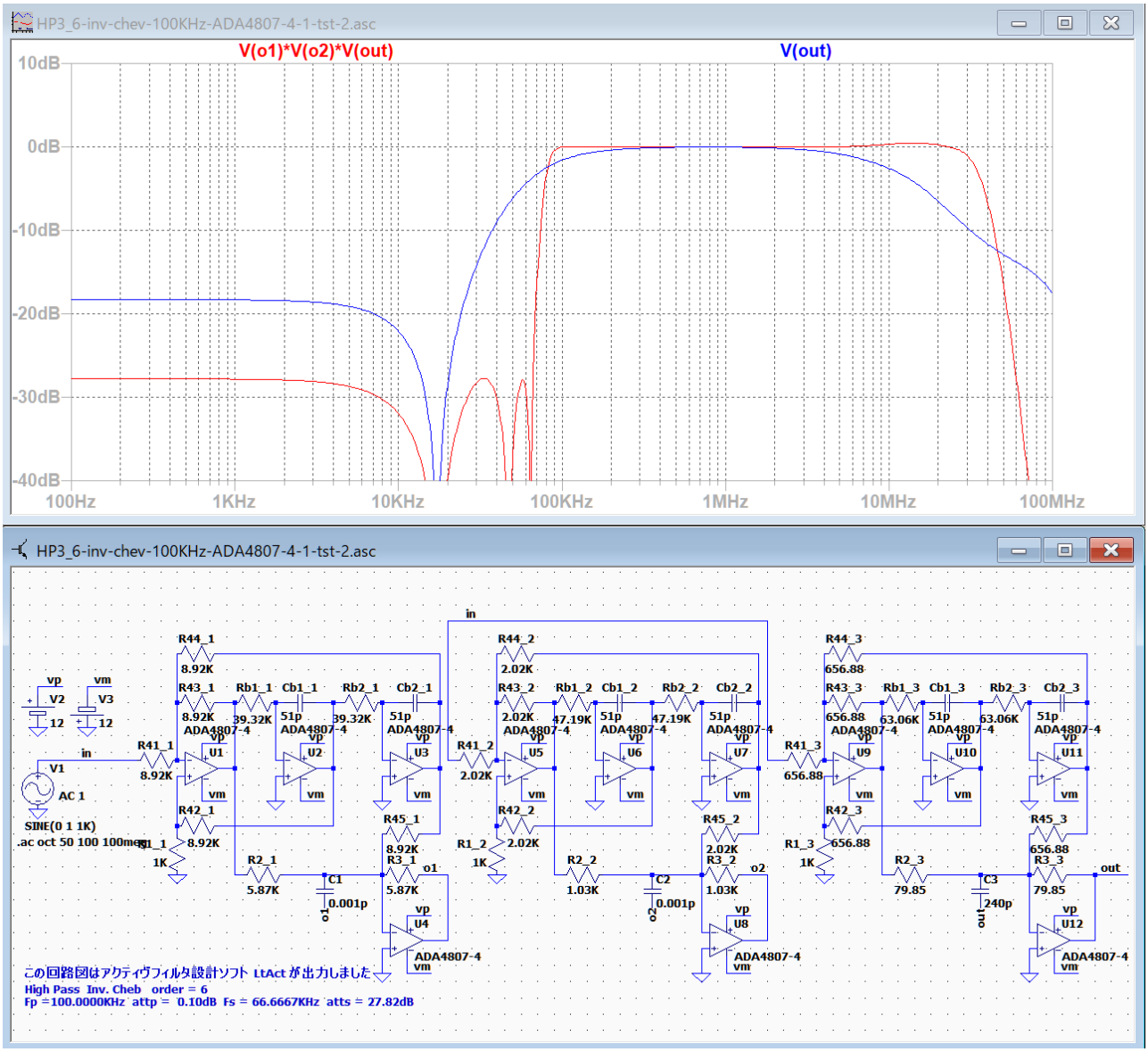
ブロック 3 のピークは 20MHz 位からゲインが下降しているので、まずこのブロックのピークを除去して、ブロック 1 と 2 のピークによって通過域を広げるように調整します。

HP3_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-1-tst-2



ブロック 3 の青いグラフと、ブロック 1 から 3 までを接続した場合の赤いグラフだけを表示して、C3 を調整して赤いグラフのピークを調整します。

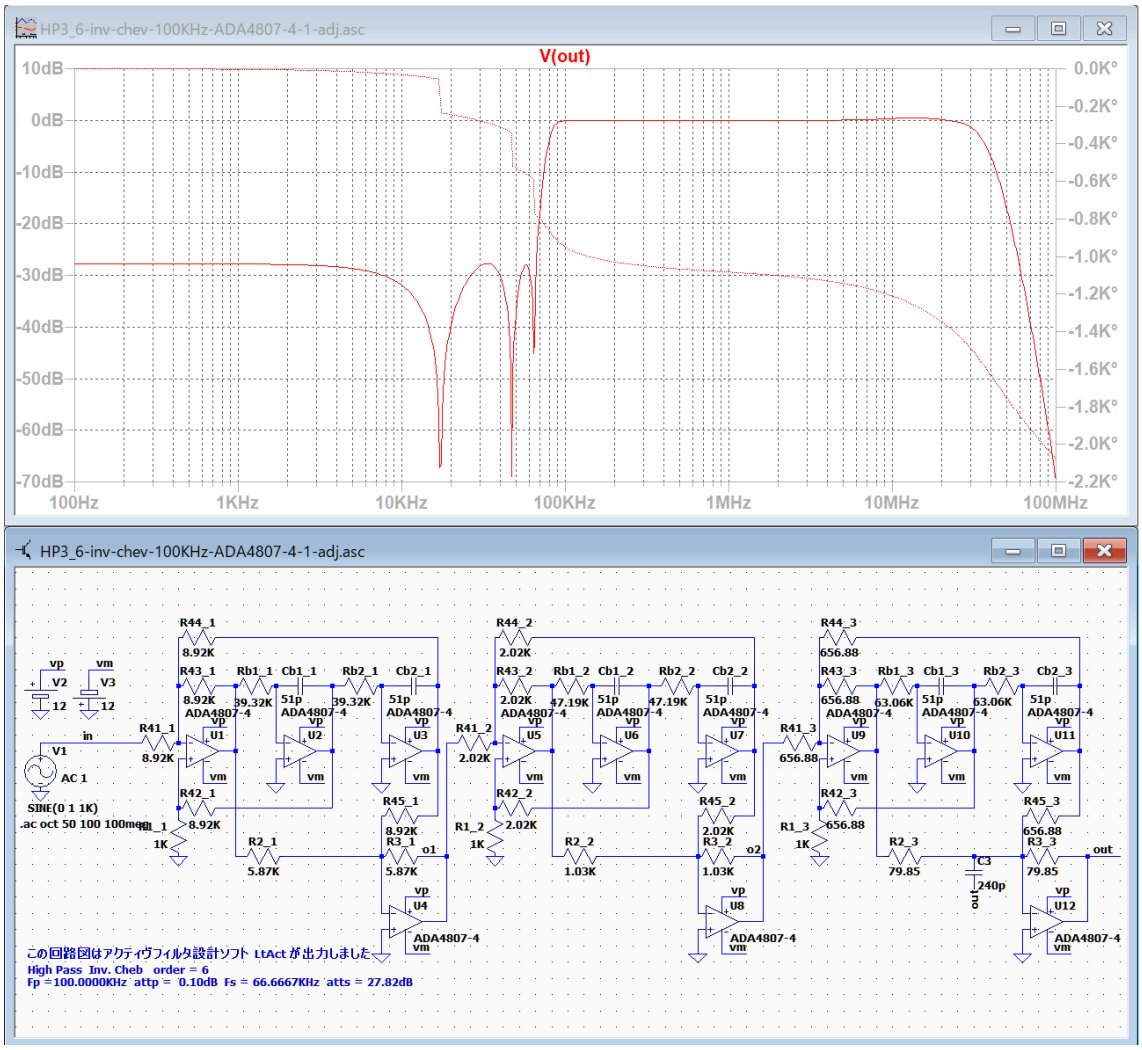
HP3_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-1-tst-2



C3=240p に設定すると、ピークがほとんど除去できました。

配線を元に戻します。

HP3_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-1-adj

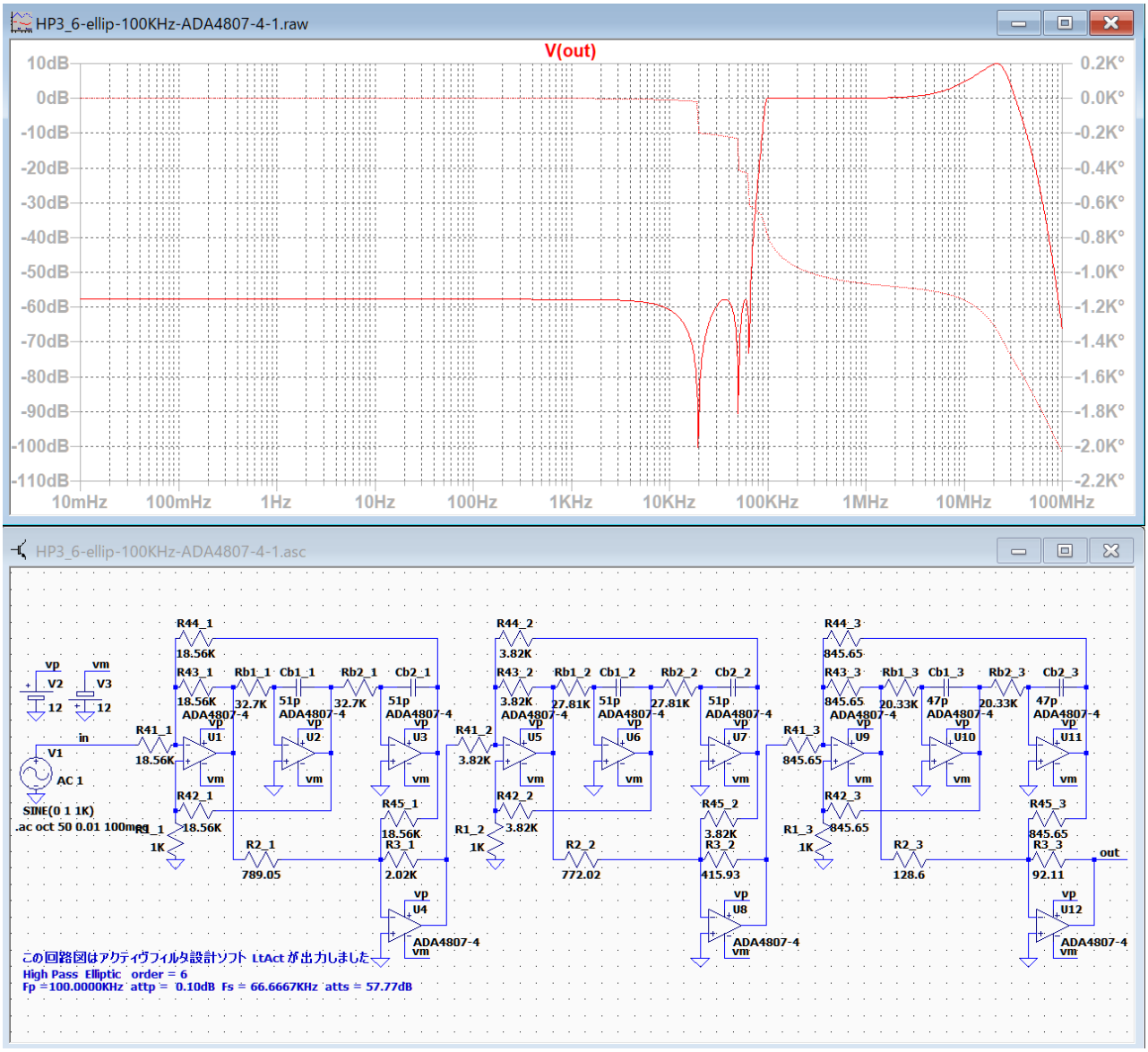


R3_3 に C3=240P を並列に接続するだけで、通過域の高域のピークを除去できました。

ブロック 1 と 2 のピークを利用して、ブロック 3 だけを調整することで通過域の帯域を広げることができました。

基本回路「et1」―「HP3」楕円関数

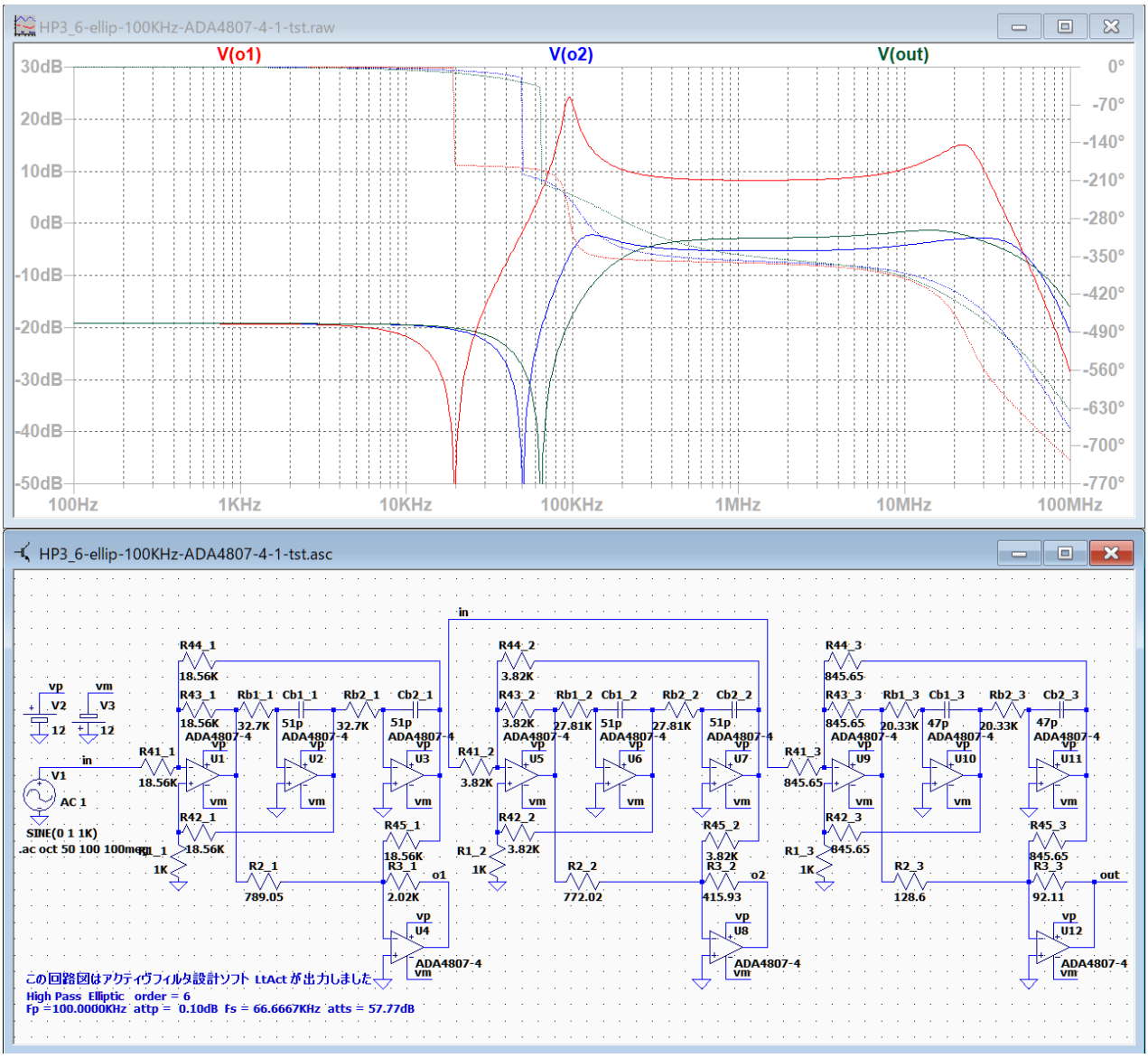
HP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1



低周波数の遮断域からカットオフ周波数および通過域の低域は問題がありません。
通過域の高域にピークが発生しています。

配線を変更して、各ブロックの周波数特性を確認します。

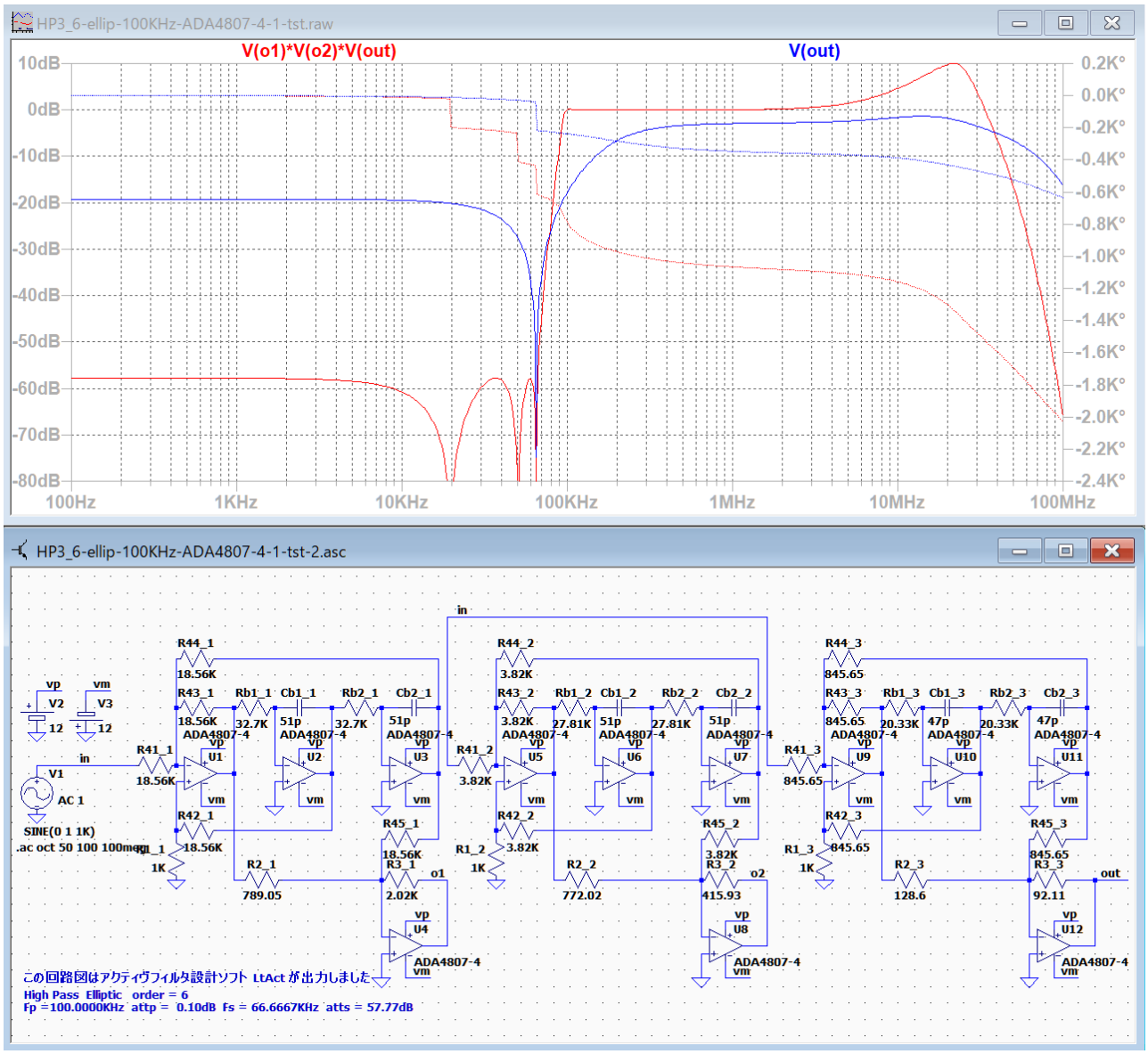
HP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-tst



ブロック 1 のピークが最も高く、ブロック 2 と 3 のピークはそれ程でもありません。

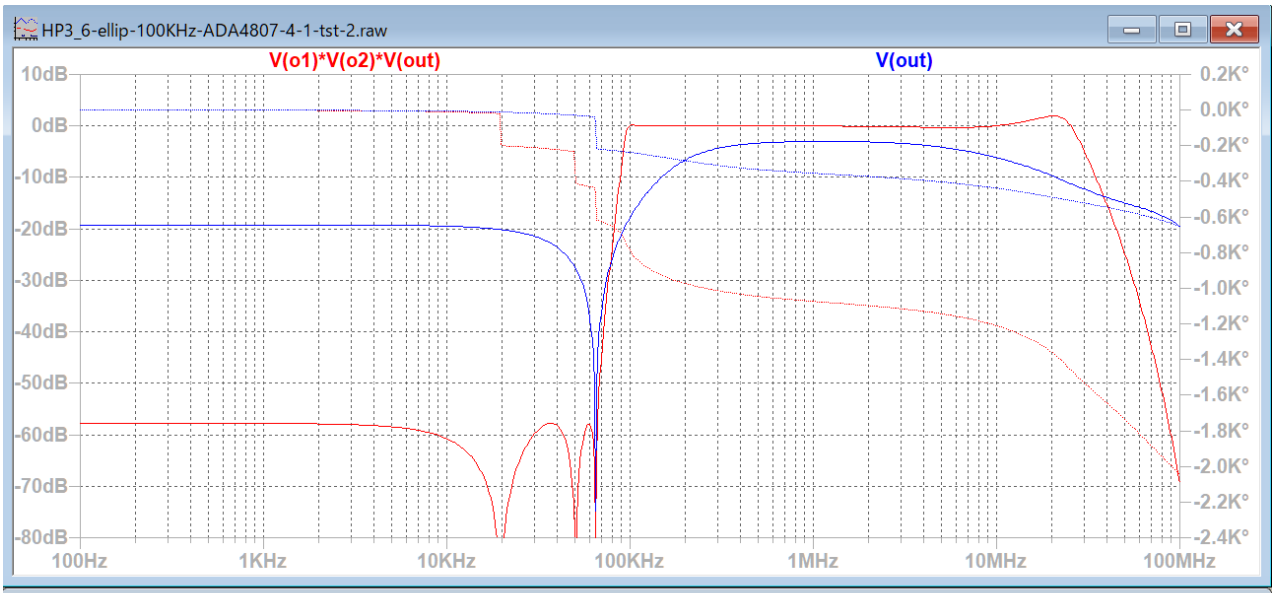
ブロック 3 のピークは 20MHz 位からゲインが下降しているので、まずこのブロックのピークを除去して、ブロック 1 と 2 のピークによって通過域を広げるように調整します。

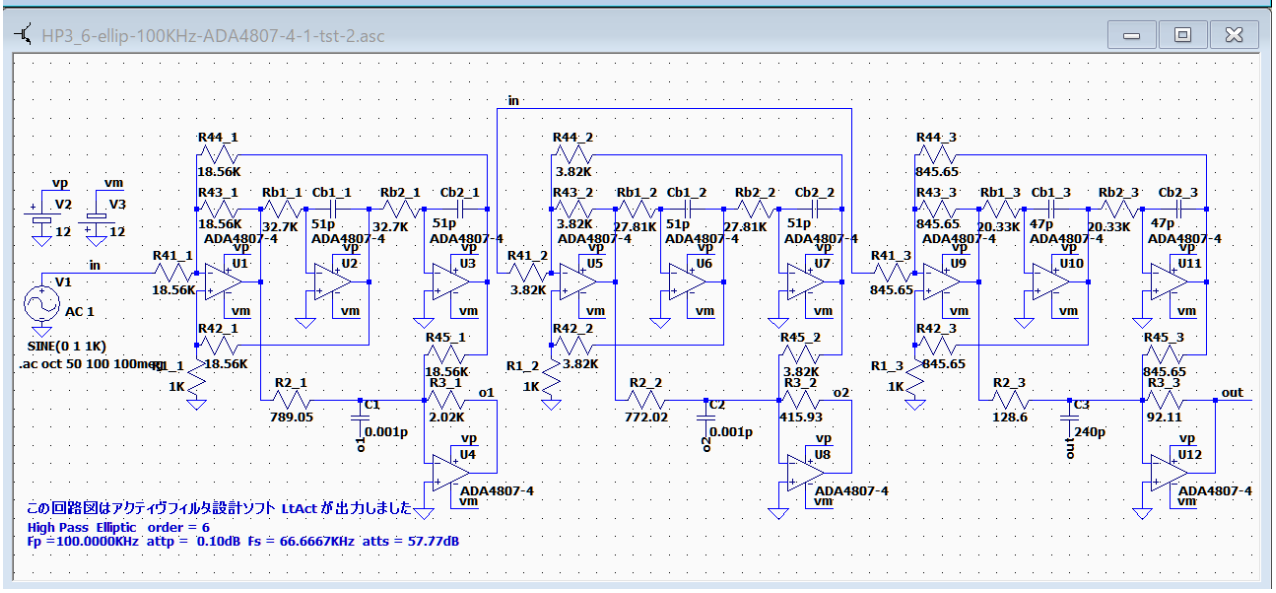
HP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-tst-2



ブロック 3 の青いグラフと、ブロック 1 から 3 までを接続した場合の赤いグラフだけを表示して、C3 を調整して赤いグラフのピークを調整します。

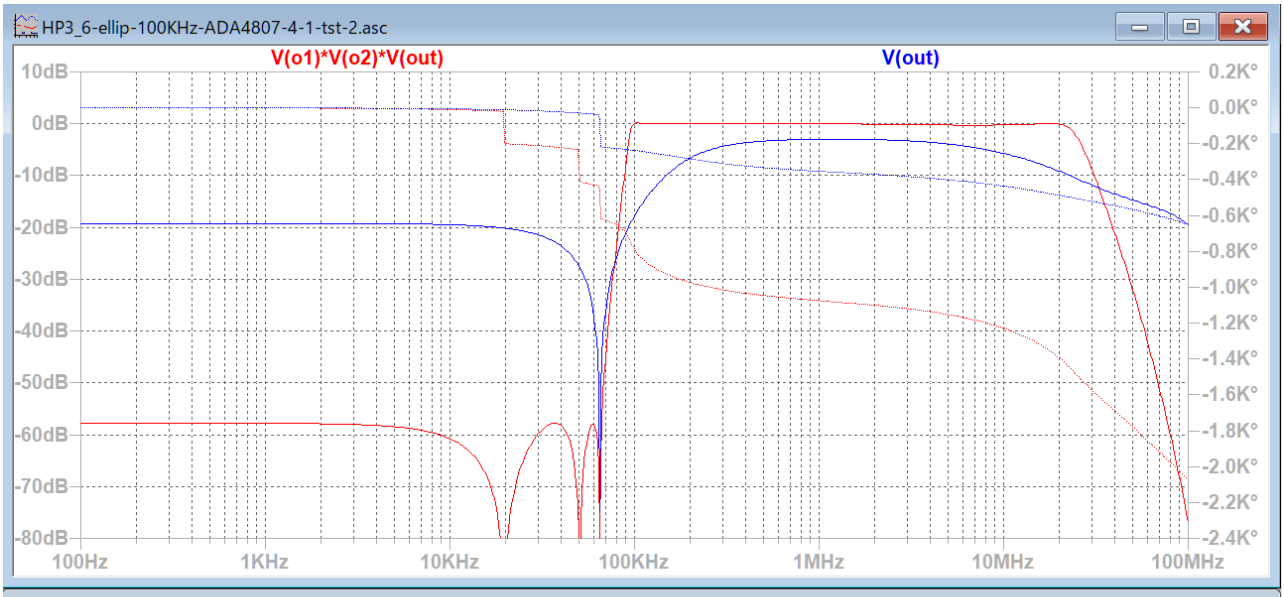
HP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-tst-2

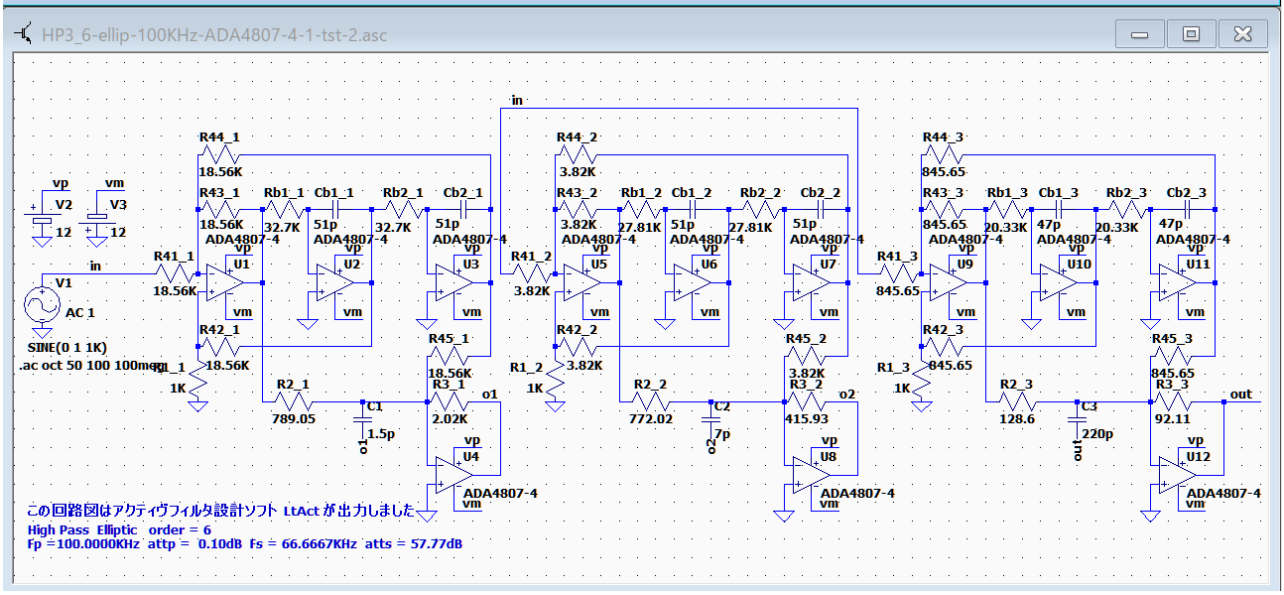




C3=240p だけではピークを除去することができないので、C1 から C3 を調整してピークを除去します。

HP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-tst-2

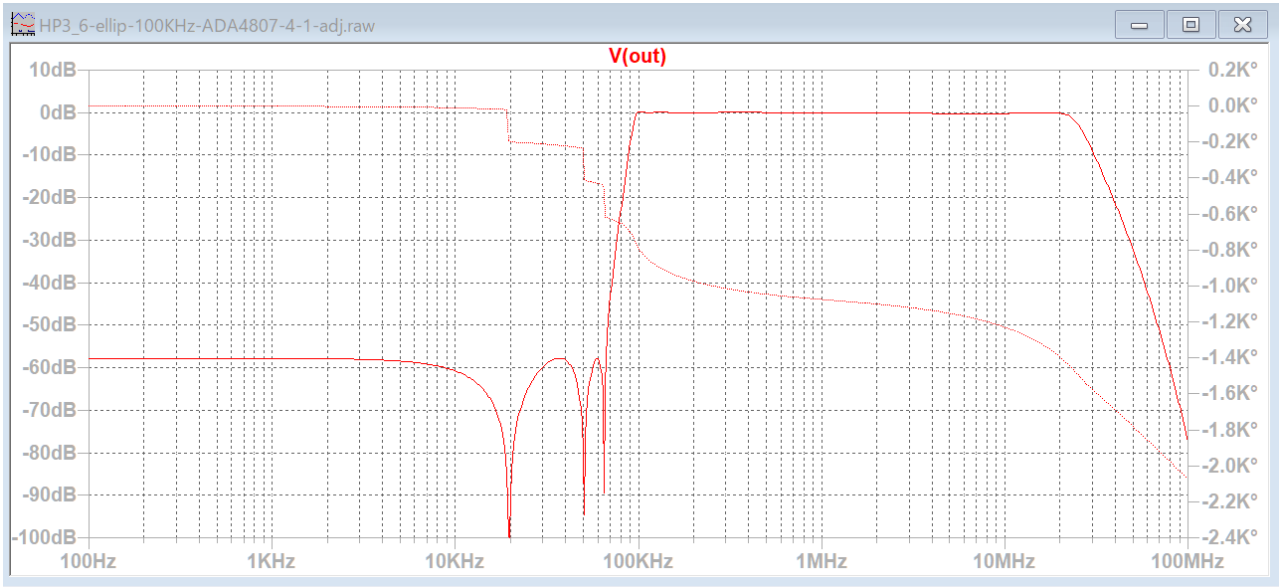


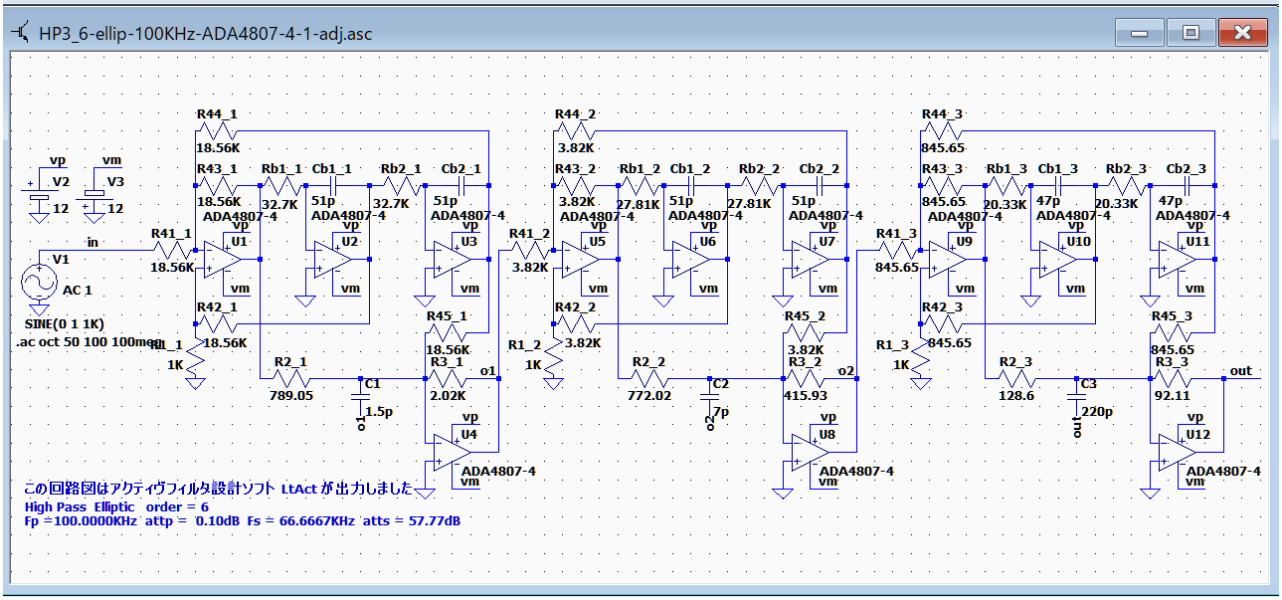


C1=1.5p, C2=7p, C3=220p に設定することでピークを除去できました。

配線を元に戻します。

HP3_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-1-adj

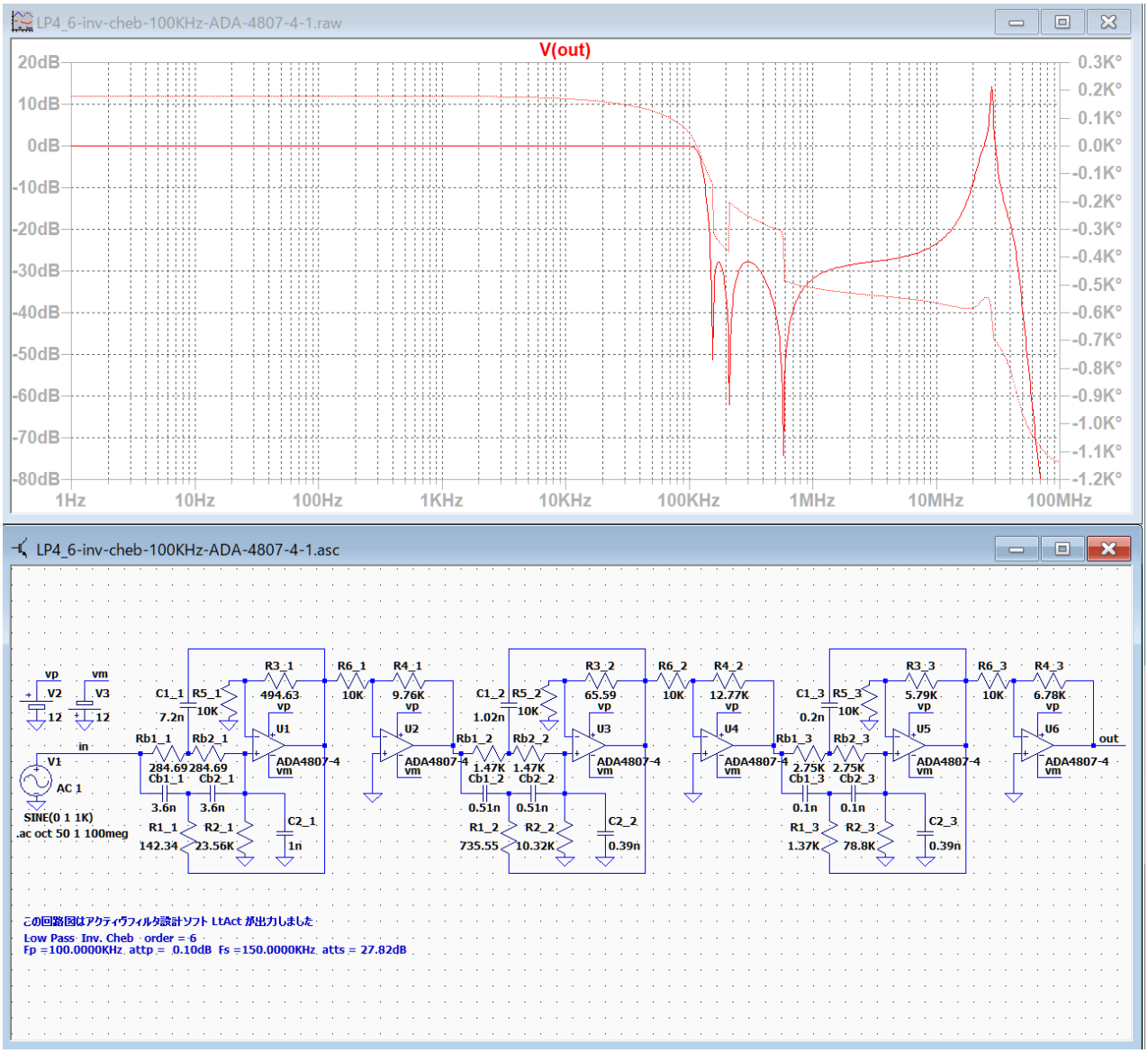




ブロック 1 と 2 のピークを利用しつつ、ブロック 1 から 3 を調整することで通過域の帯域を広げることができました。

基本回路「et2」―「LP4」逆チェビシェフ

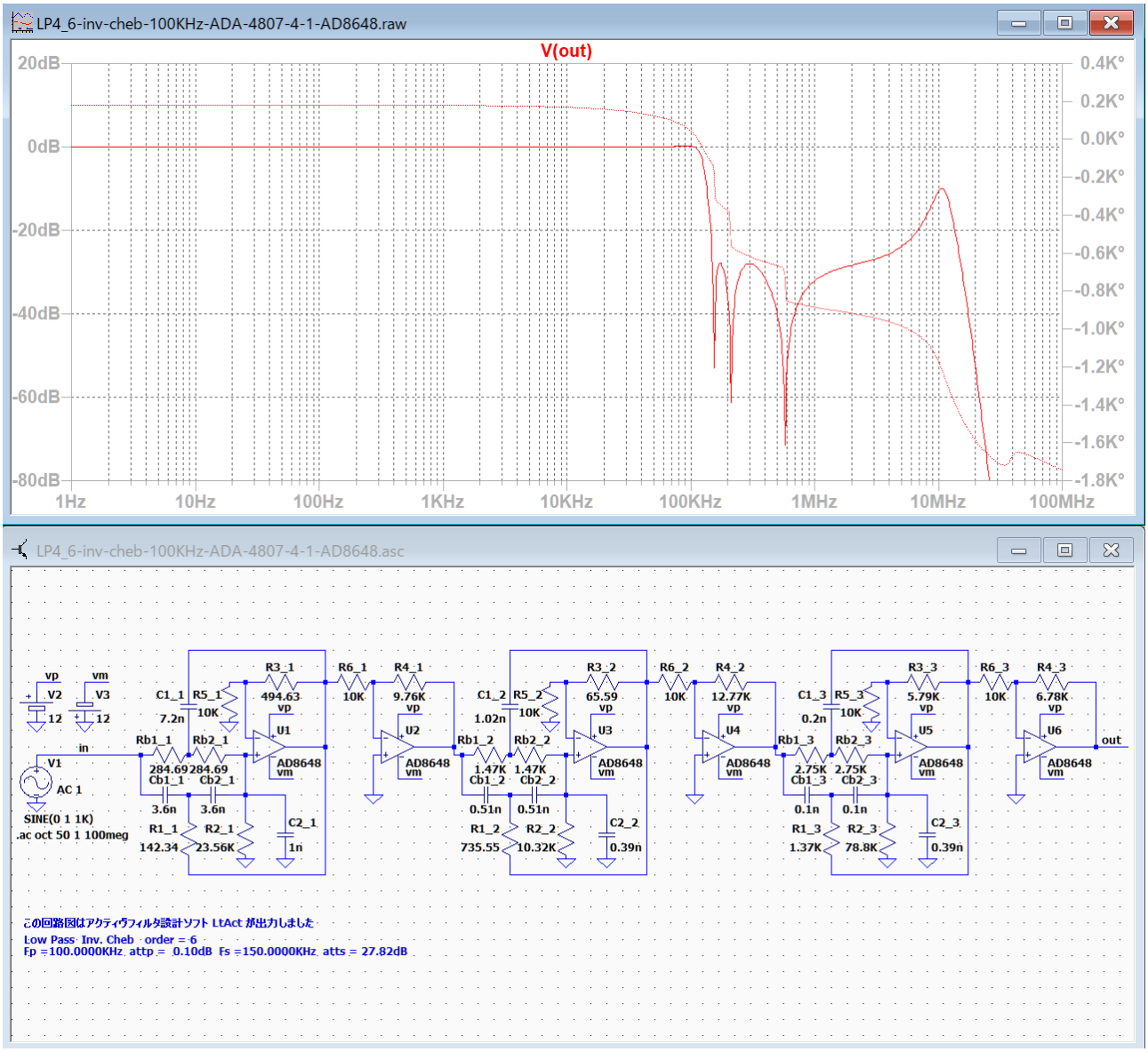
LP4_6-inv-cheb-100KHz-ADA-4807-4-1



阻止域の高域にピークが発生しています。

オペアンプを AD8648 に交換して確認します。

LP4_6-inv-cheb-100KHz-ADA-4807-4-1-AD8648



阻止域のピークは低くなりましたが、まだ残っています。

LP4_6-inv-cheb-100KHz-ADA-4807-4-1 を調整してピークを消します。

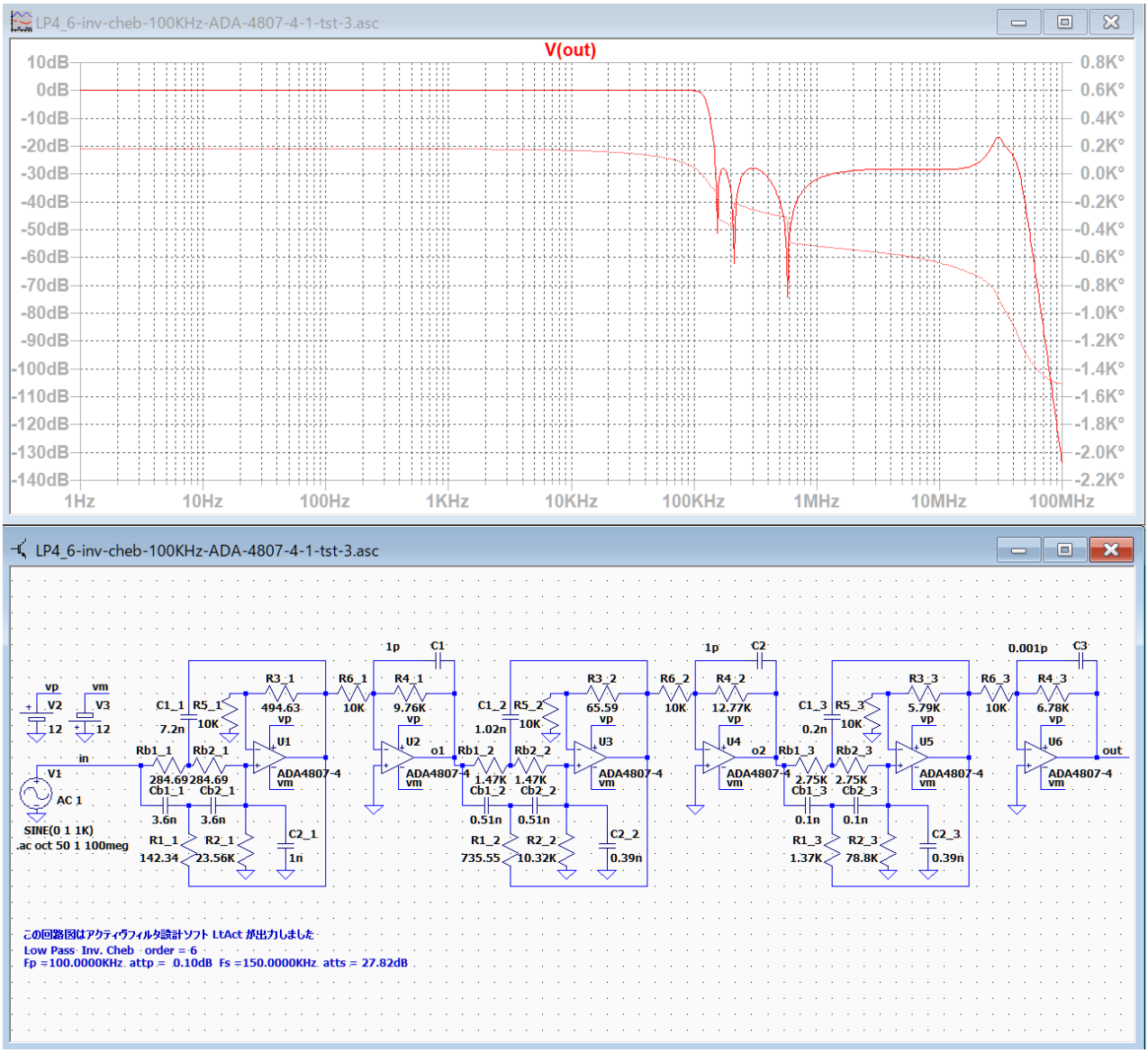
LP4_6-inv-cheb-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-1

ブロック 3 の R4_3 に C3=1p を並列接続してみましたが、ほとんど効果が見られません。

LP4_6-inv-cheb-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-2

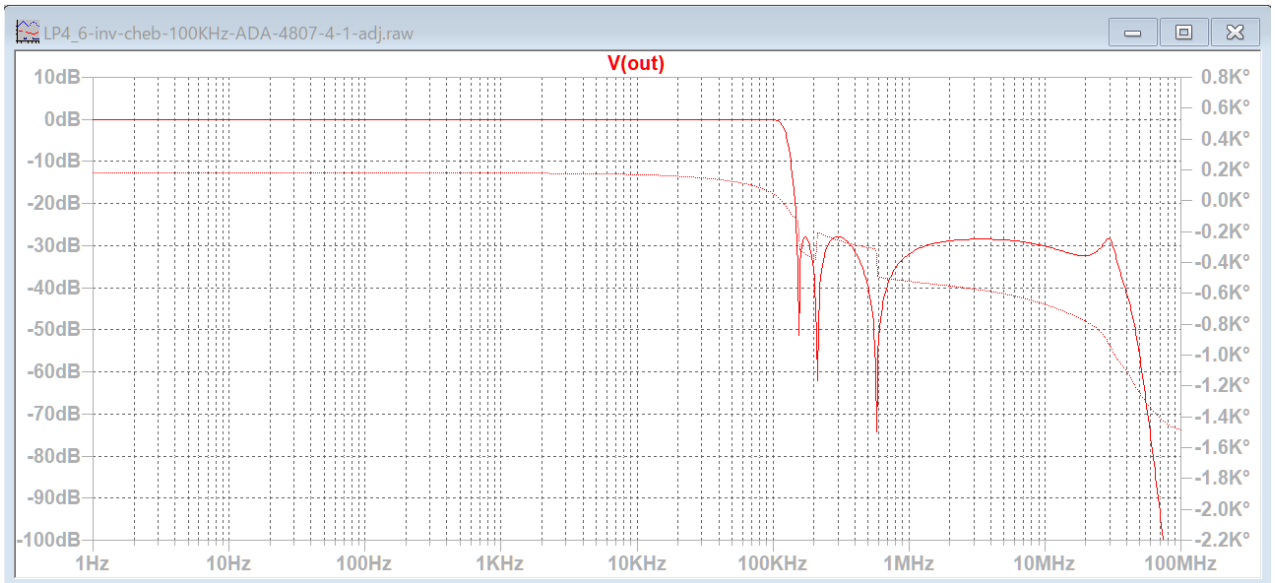
ブロック 1 の R4_1 に C1=1p を並列接続してみましたが、ほとんど効果が見られません。

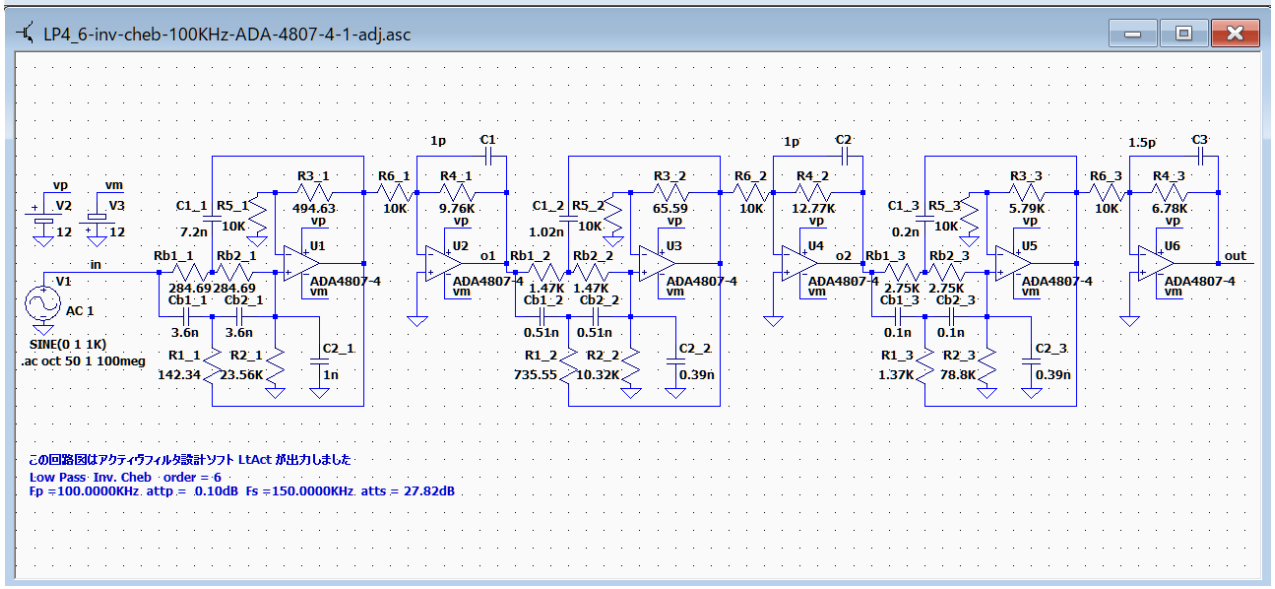
LP4_6-inv-cheb-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-3



ブロック 1 の R4_1 に C1=1p、ブロック 2 の R4_2 に C2=1p を並列接続すると、ピークがかなり低くなりました。

LP4_6-inv-cheb-100KHz-ADA-4807-4-1-adj

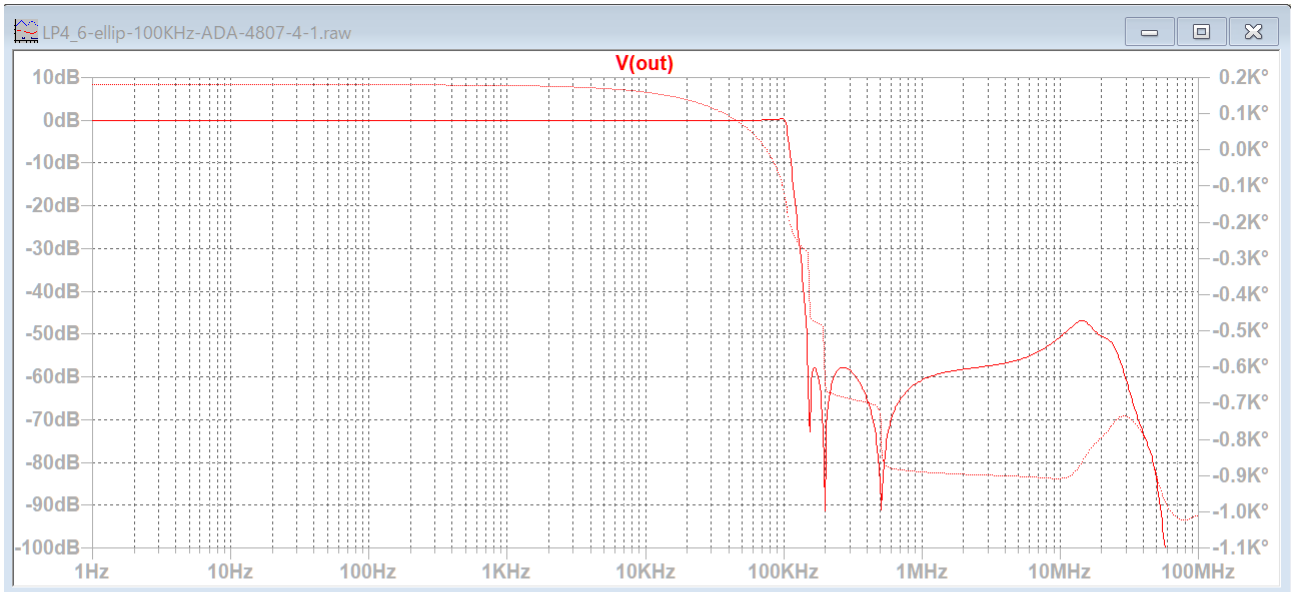


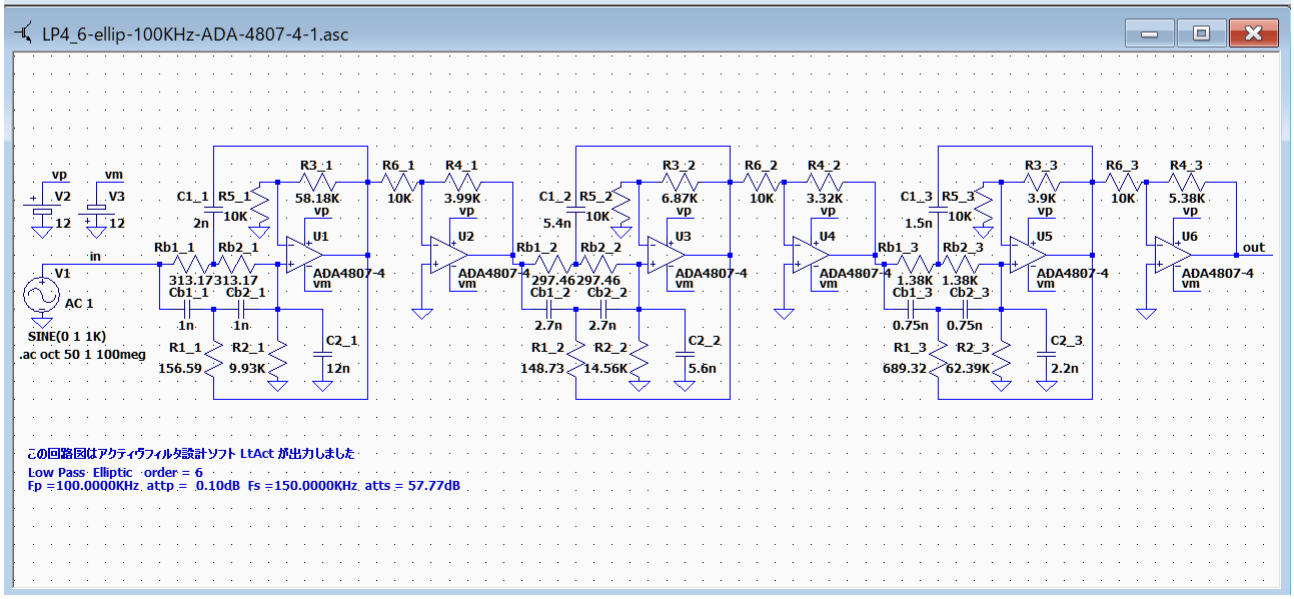


ブロック 1 の R4_1 に C1=1p、ブロック 2 の R4_2 に C2=1p、ブロック 3 の R4_3 に C3=1.5p を並列接続してピークを調整できました。

基本回路「et2」―「LP4」楕円関数

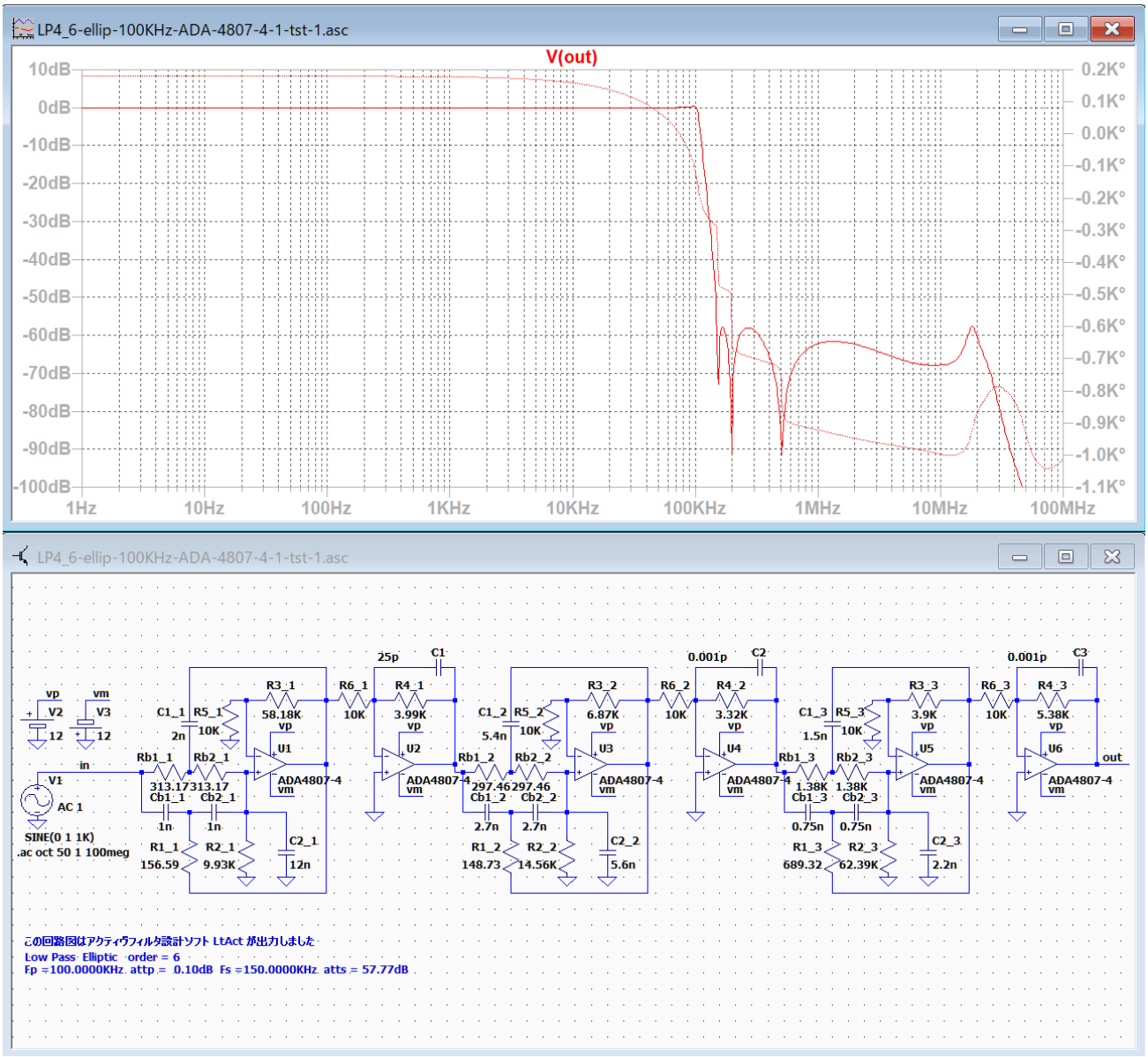
LP4_6-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1





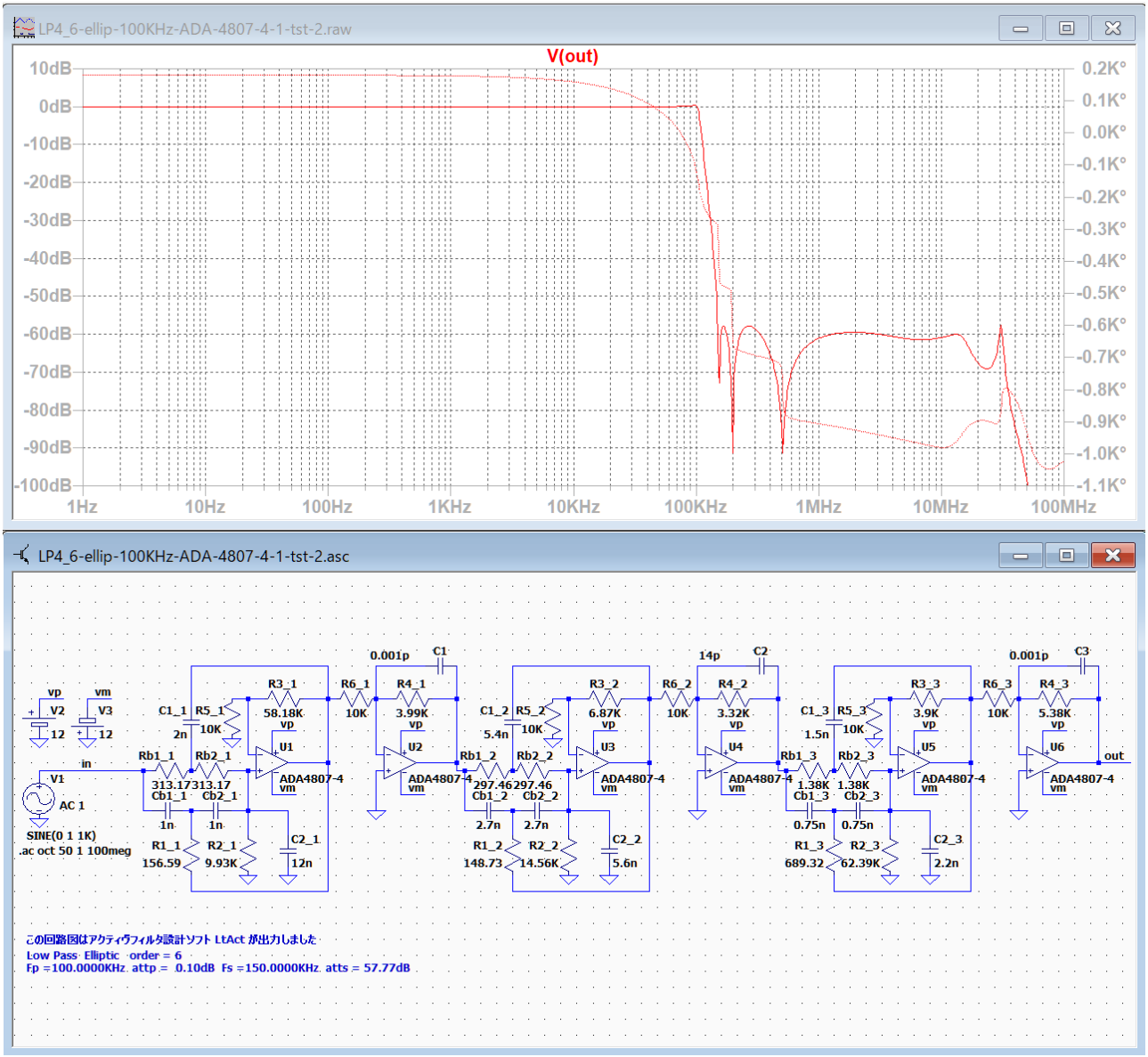
遮断域の高域にピークが発生しています。

LP4_6-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-1



ブロック 1 の R4_1 に C1=25p を並列接続してピークを調整しました。

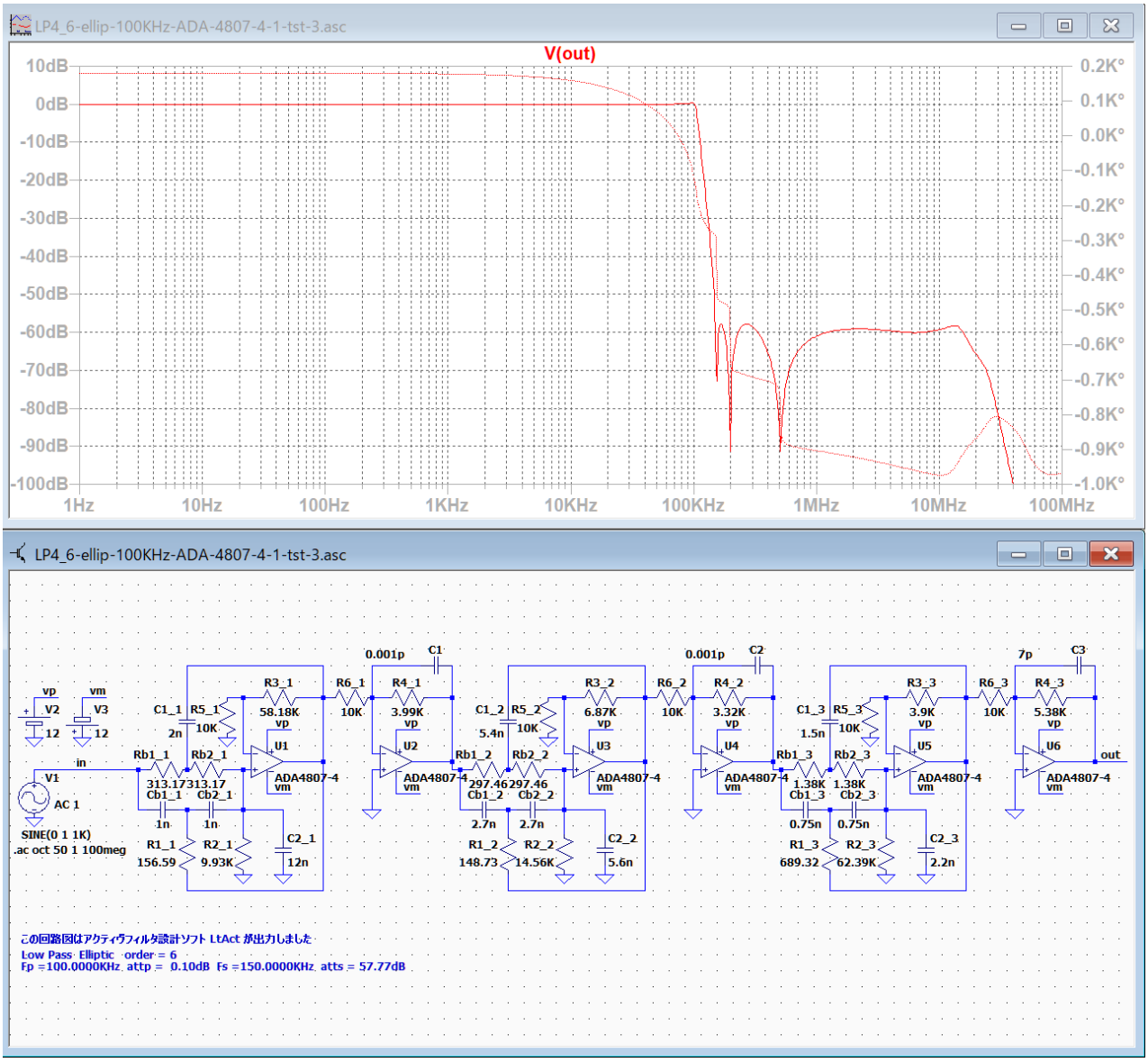
LP4_6-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-2



ブロック 2 の R4_2 に C2=14p を並列接続してピークを調整しました。

遮断域高域のグラフは LP4_6-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-1 よりも平坦な特性が得られています。

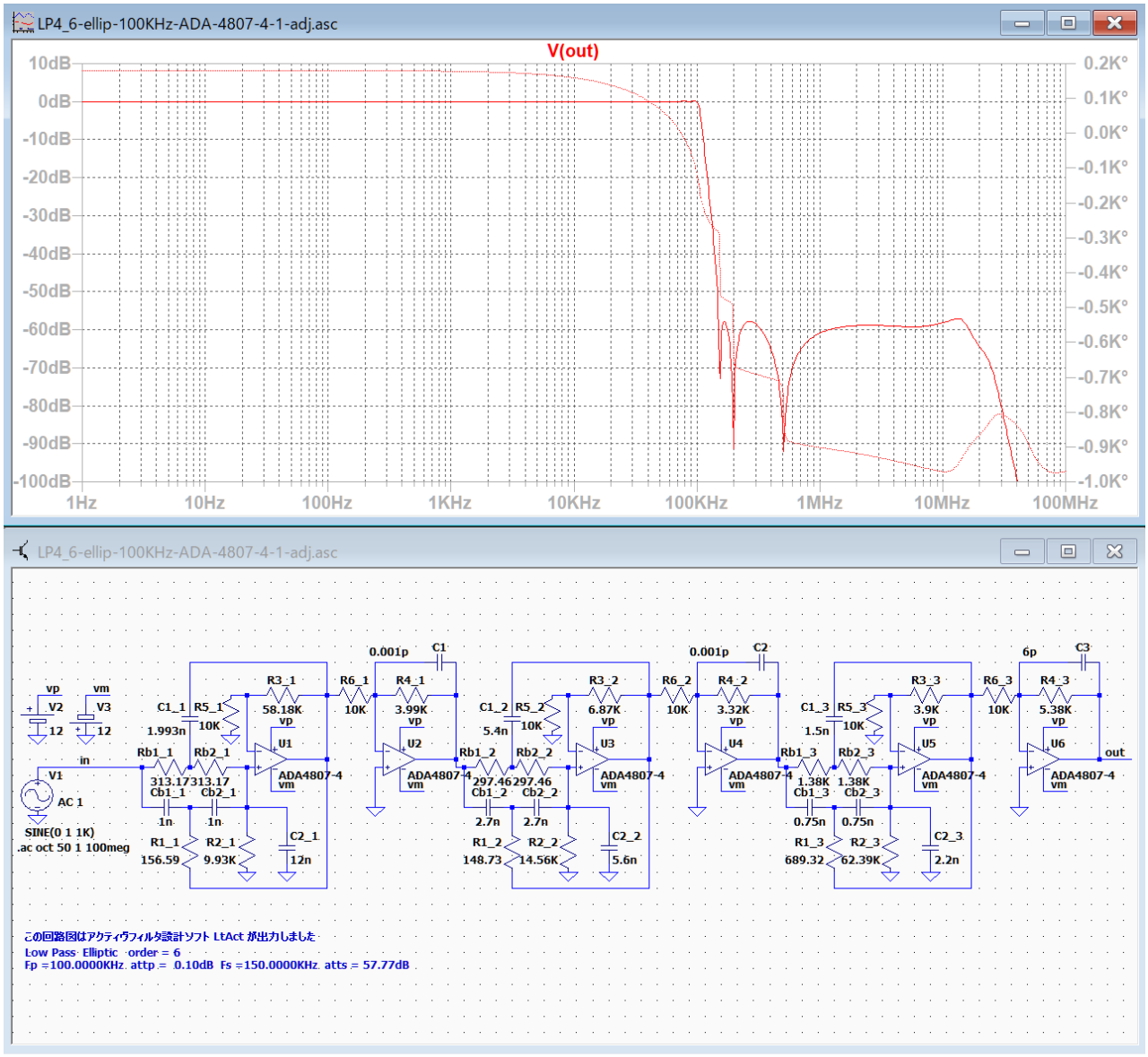
LP4_6-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-3



ブロック 3 の R4_3 に C3=7p を並列接続してピークを調整しました。

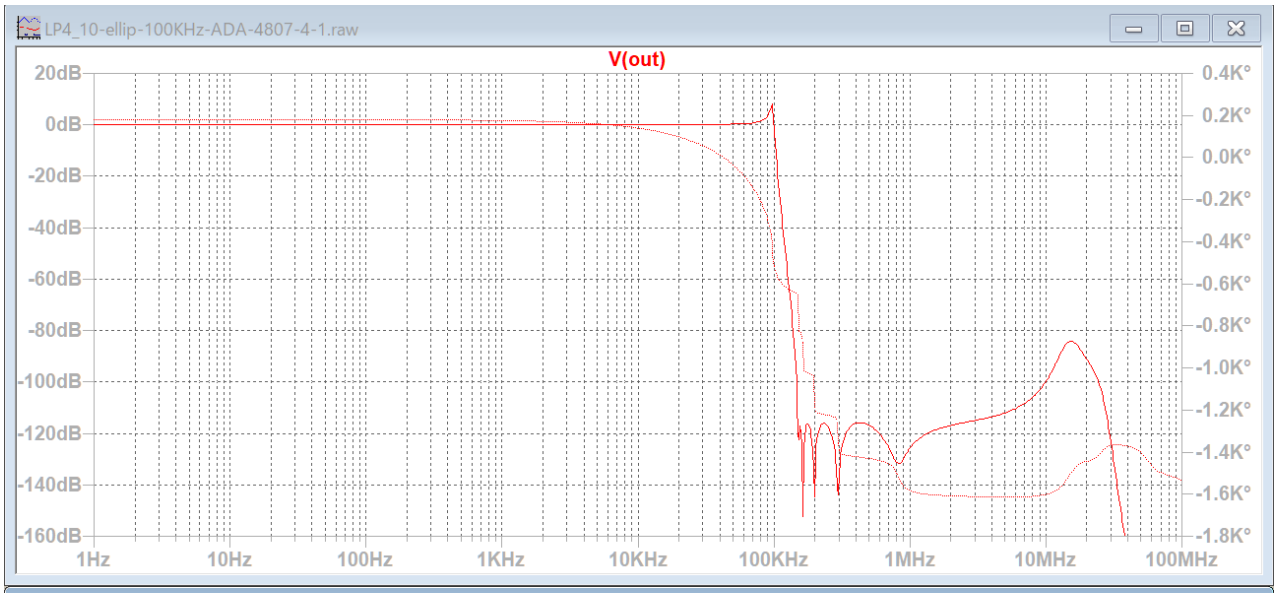
遮断域高域のグラフは LP4_6-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-2 よりも平坦な特性が得られています。

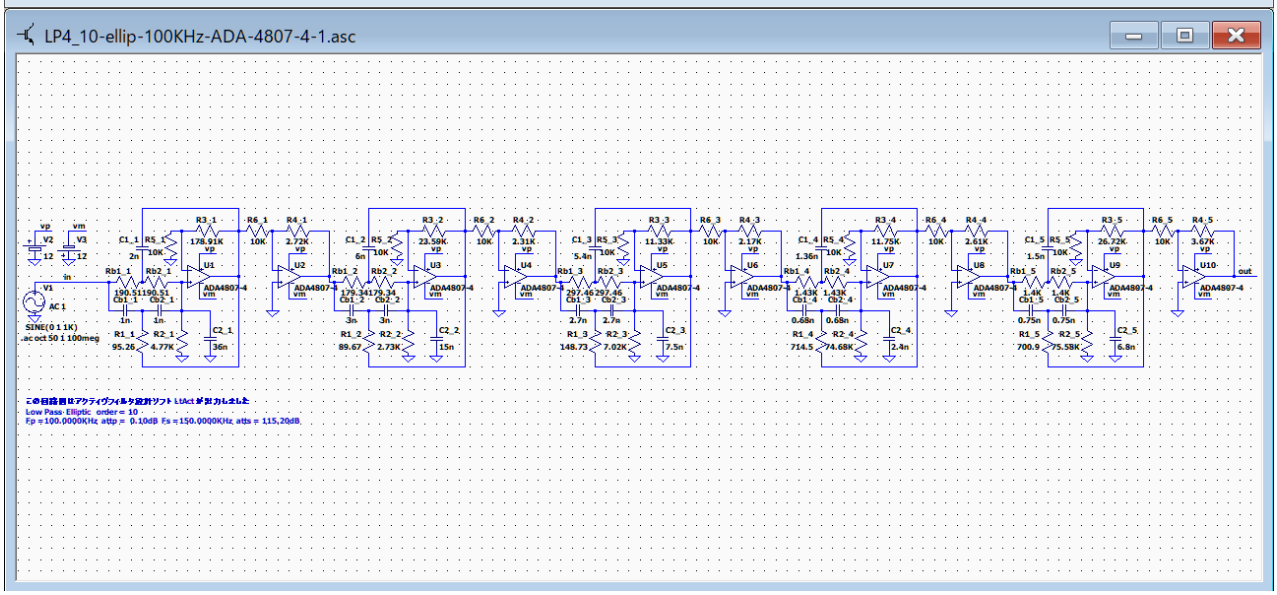
LP4_6-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-adj



ブロック 1 の C1_1 を 1.993n に変更して、100KHz の 0.45dB のピークを調整しました。

LP4_10-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1



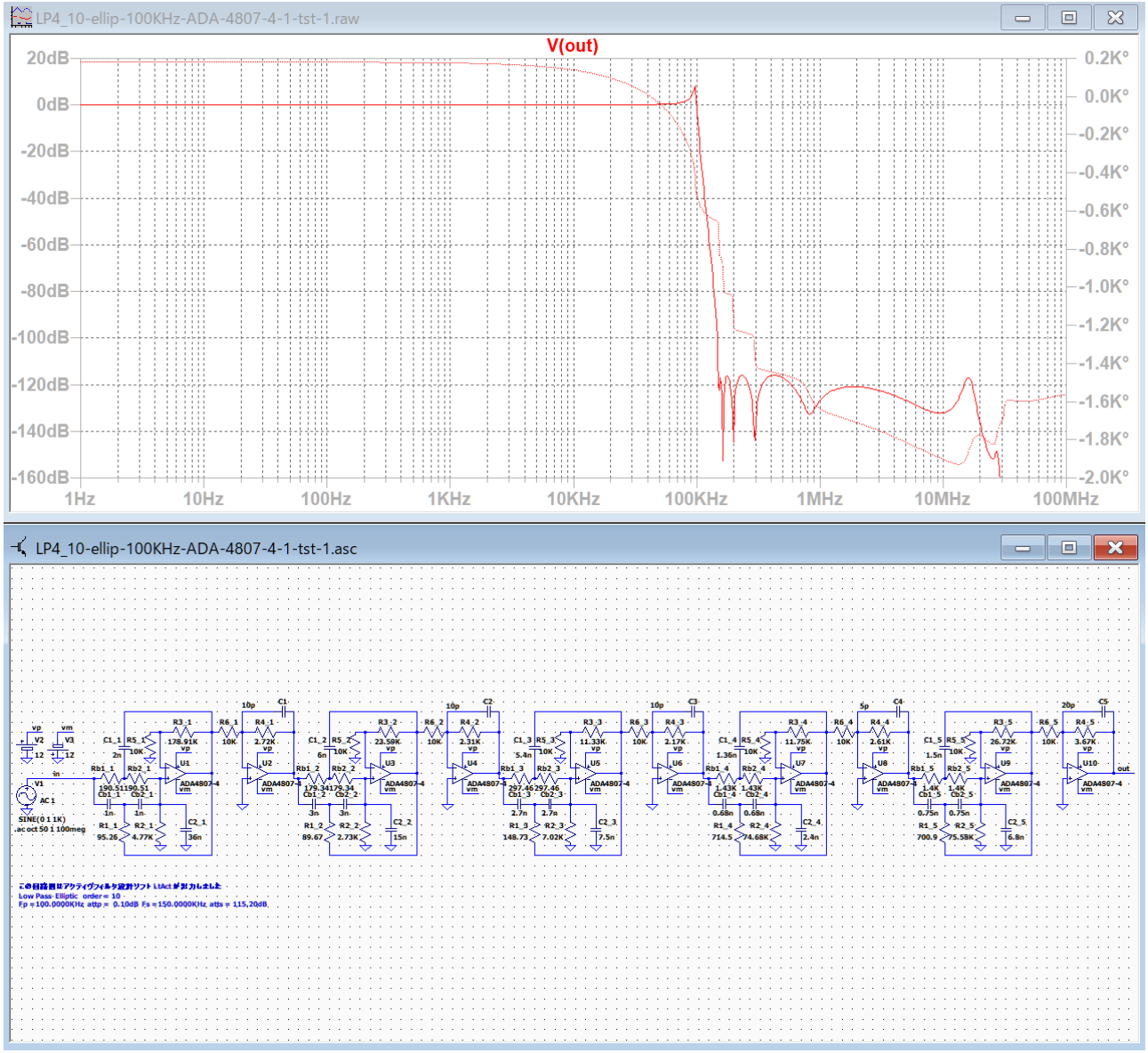


100KHz と遮断域の高域にピークが発生しています。

最初に、遮断域のピークを調整します。

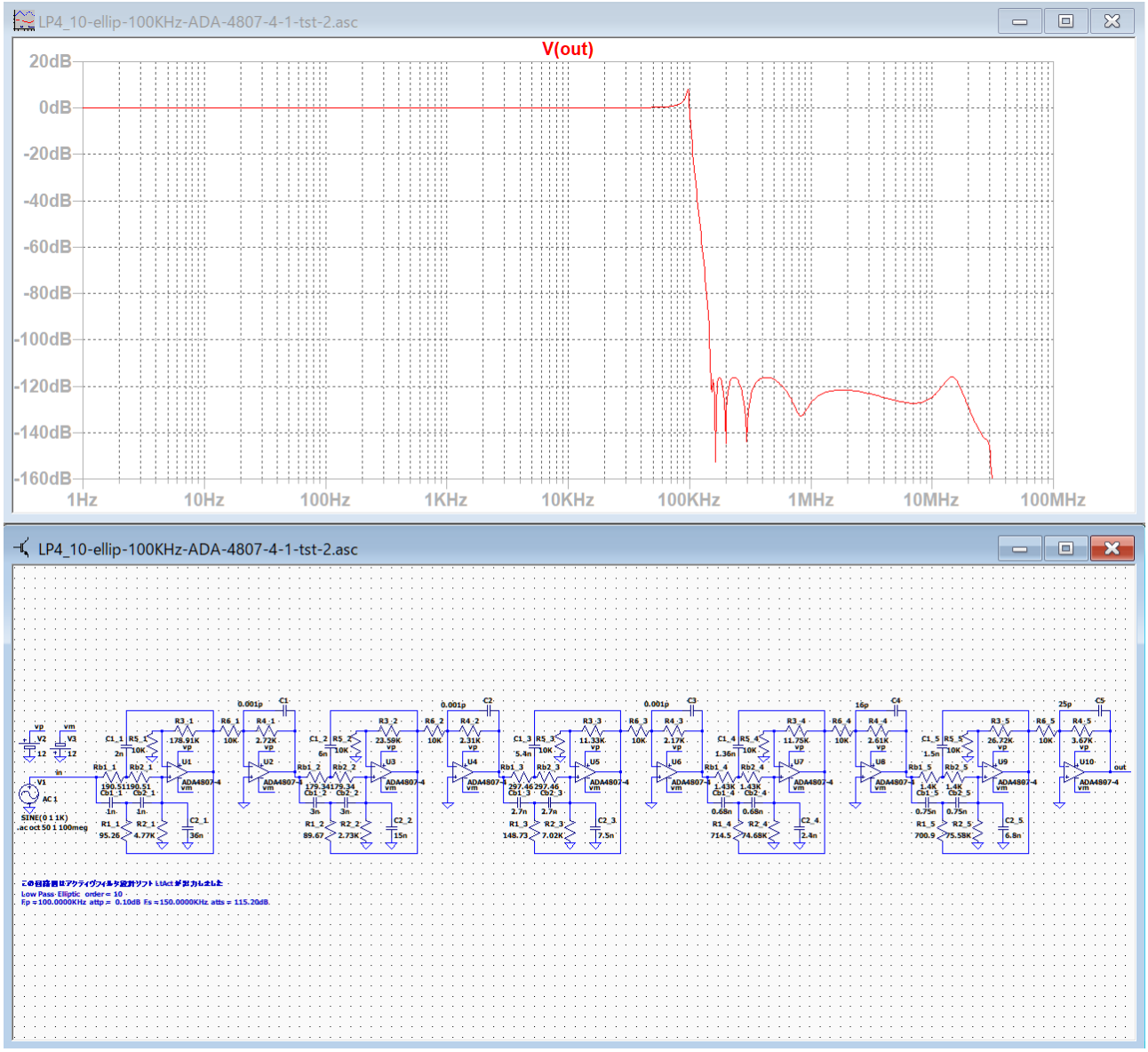
基本回路「et2」―「LP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP4_10-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-1



ブロック 1 の R4_1 に C1 を並列接続して適度に調整してからブロック 4 まで順にピークを調整して、阻止領域の高域のピークを除去しました。

LP4_10-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-2



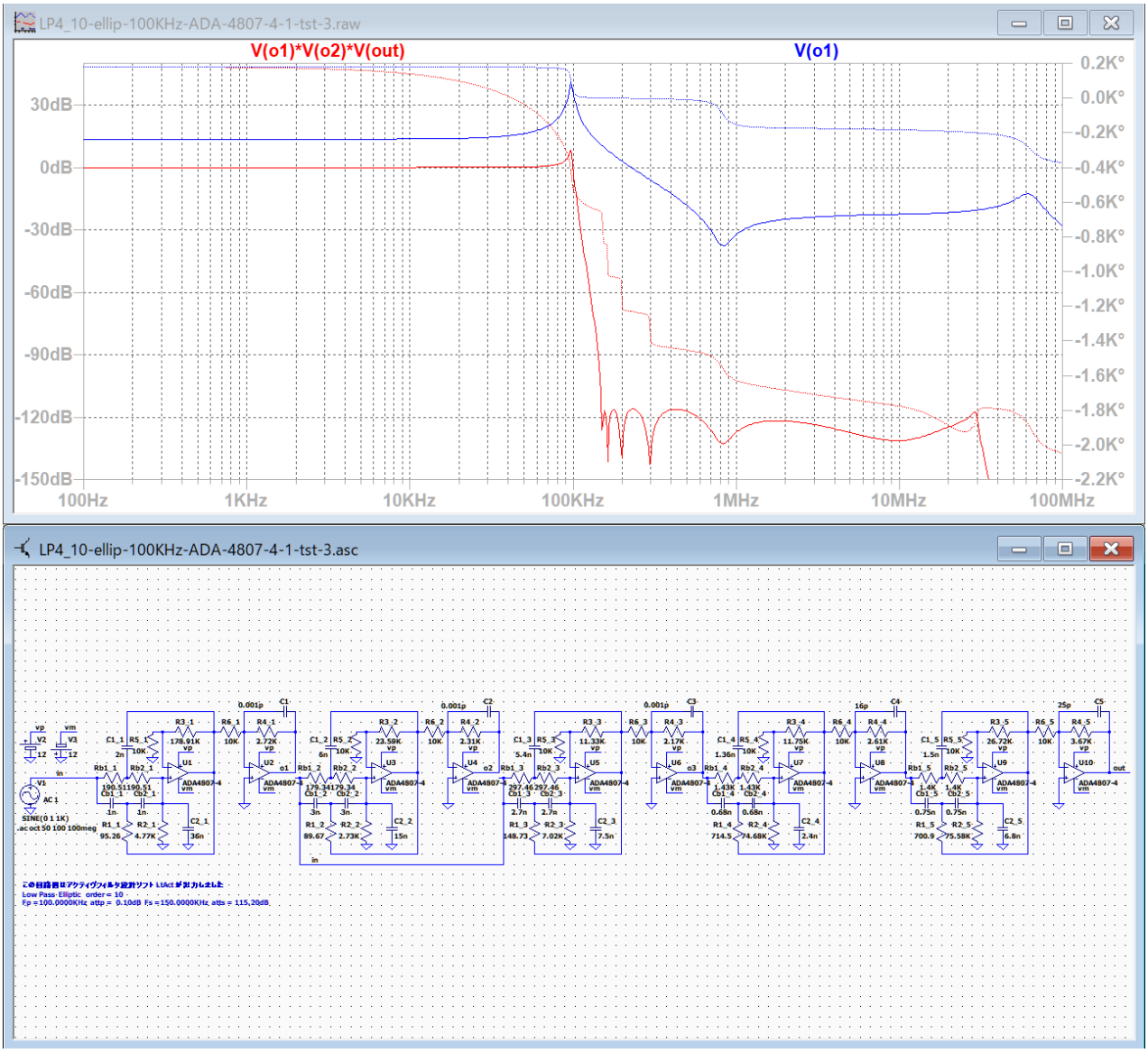
ブロック 5 の R4_5 に C5 を並列接続して適度に調整してから、ブロック 4 の R4_4 に C4 を並列接続して適度に調整して阻止領域の高域のピークを除去しました。

LP4_10-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-1 より平坦な特性になりました。

次は、ブロックごとに周波数特性が確認できるように配線を変更して、Q 値の大きいブロックを調整して 100KHz のピークを除去します。

基本回路「et2」―「LP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP4_10-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-tst-3



ブロック 1～ブロック 3 の個別の周波数特性が確認できるように配線を変更しました。ブロック 3 からブロック 5 は連結されていますから、グラフ画面で右クリックして「Add Traces」で「V(o1)*V(o2)*V(out)」を追加すると、全てのブロックが接続された場合の周波数特性を確認できます。ここでは、ブロック 1 の出力も同時に確認しています。

「ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト」を利用して、ピークが最小になるようにブロック 1 を調整します。

基本回路「et2」―「LP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

++++++++++ ブロックごとのカットオフ周波数付近のゲインリスト ++++++++++
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=10
Fp =100.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =150.0000KHz atts = 115.20dB
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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
Blk No. 1	37.1108K	407.5978G	70.4710m	0	1.9417T

Fc= 101.6099KHz Fc ゲイン= 38.1417 dB Q = 17.2035 GB 積=174.8043MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
50.8050K,	16.0189
54.8724K,	16.5076
59.2655K,	17.1153
64.0102K,	17.8832
69.1349K,	18.8751
74.6698K,	20.1973
80.6479K,	22.0455
87.1045K,	24.8438
94.0781K,	29.7789
101.6099K,	38.1417
109.7448K,	28.4007
118.5309K,	22.0863
128.0205K,	17.9067
138.2698K,	14.6740
149.3396K,	11.9632
161.2957K,	9.5769
174.2090K,	7.4075
188.1561K,	5.3897
203.2198K,	3.4801

```
              Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  2   117.2912K   355.2881G   70.4710m        0    243.4535G Fc=  94.8660KHz
Fc ゲイン=   9.8946 dB  Q =  5.0819  GB 積= 48.2098MegHz
   周波数 Hz    ゲイン dB
    47.4330K,  - 1.0849
    51.2305K,  - 0.6496
    55.3320K,  - 0.1104
    59.7618K,    0.5666
    64.5463K,    1.4307
    69.7139K,    2.5565
    75.2952K,    4.0580
    81.3233K,    6.0887
    87.8340K,    8.6256
    94.8660K,    9.8946
   102.4609K,    6.9793
   110.6639K,    2.7860
   119.5237K,  - 0.9221
   129.0927K,  - 4.1339
   139.4278K,  - 7.0173
   150.5904K,  - 9.7043
   162.6466K,  - 12.2931
   175.6680K,  - 14.8656
   189.7320K,  - 17.5030
```

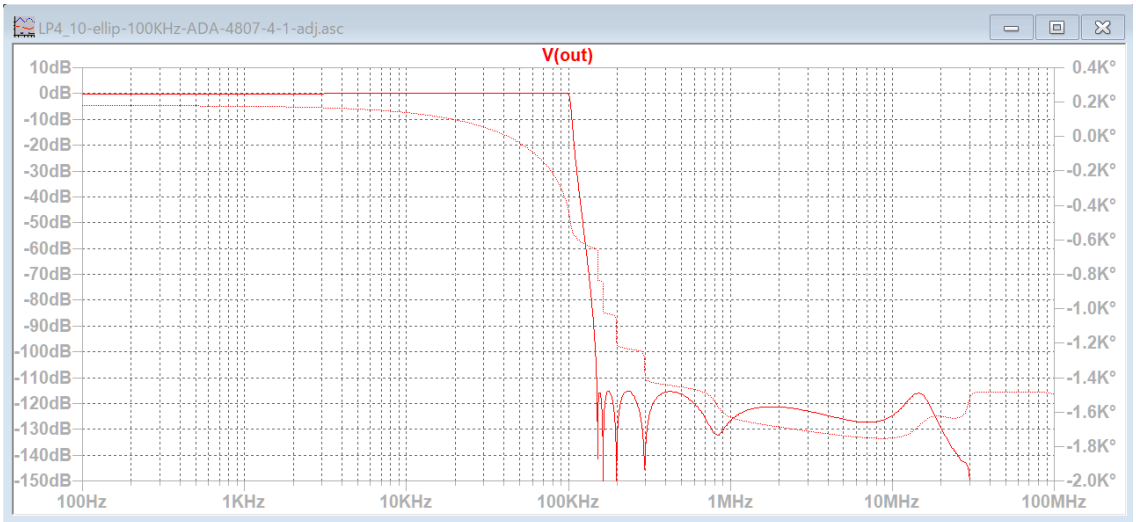
```
              Pn_0      Pn_1      Pn_2      Pn_3      Pn_4
Blk No.  3   210.2732K   256.5473G   70.4710m        0    109.2538G Fc=  80.6128KHz
Fc ゲイン= -  1.3499 dB  Q =  2.4088  GB 積= 19.4180MegHz
   周波数 Hz    ゲイン dB
    40.3064K,  -  5.6034
    43.5333K,  -  5.2640
    47.0186K,  -  4.8549
    50.7829K,  -  4.3613
    54.8485K,  -  3.7680
    59.2397K,  -  3.0656
    63.9824K,  -  2.2714
    69.1048K,  -  1.4843
    74.6373K,  -  0.9996
    80.6128K,  -  1.3499
    87.0666K,  -  2.8717
    94.0372K,  -  5.2499
   101.5658K,  -  7.9758
   109.6971K,  - 10.7823
   118.4794K,  - 13.6072
   127.9648K,  - 16.4851
   138.2097K,  - 19.5048
   149.2747K,  - 22.8164
   161.2256K,  - 26.6970
```

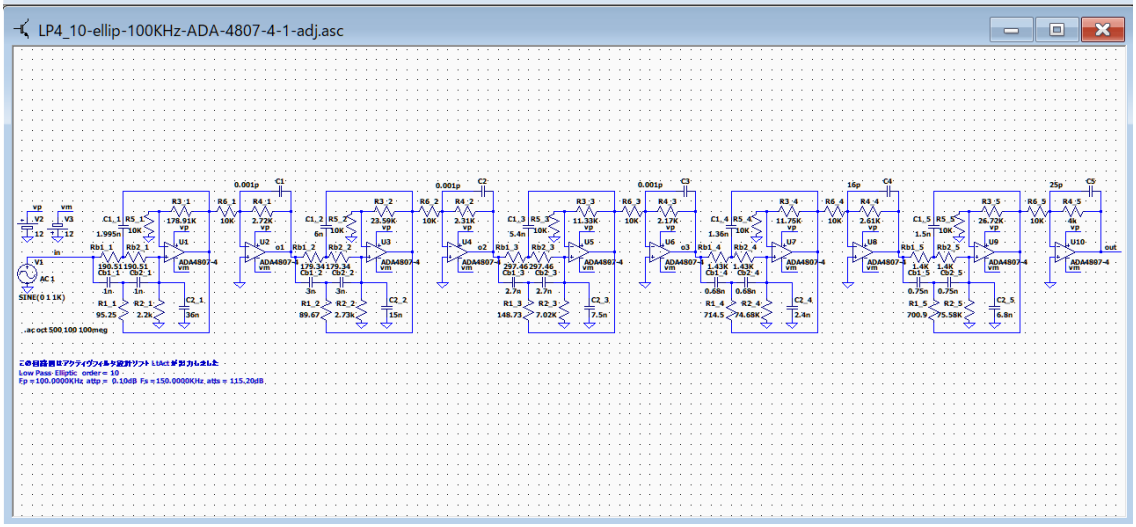
Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 4 306.1921K 136.4459G 70.4710m 0 74.6333G Fc= 58.7896KHz Fc
ゲイン=- 4.8088 dB Q = 1.2064 GB 積= 7.0923MegHz
周波数 Hz ゲイン dB
29.3948K, - 4.1835
31.7481K, - 4.0376
34.2899K, - 3.8847
37.0351K, - 3.7342
40.0001K, - 3.6032
43.2025K, - 3.5209
46.6613K, - 3.5329
50.3970K, - 3.7029
54.4318K, - 4.1061
58.7896K, - 4.8088
63.4963K, - 5.8421
68.5798K, - 7.1891
74.0702K, - 8.7987
80.0003K, - 10.6136
86.4051K, - 12.5915
93.3227K, - 14.7152
100.7940K, - 16.9949
108.8636K, - 19.4721
117.5792K, - 22.2317

Pn_0 Pn_1 Pn_2 Pn_3 Pn_4
Blk No. 5 372.0588K 49.0381G 70.4710m 0 63.7553G Fc= 35.2442KHz Fc
ゲイン=- 2.7113 dB Q = 0.5952 GB 積= 2.0977MegHz
周波数 Hz ゲイン dB
17.6221K, 1.1292
19.0329K, 0.9190
20.5567K, 0.6702
22.2024K, 0.3763
23.9800K, 30.6473m
25.8998K, - 0.3739
27.9733K, - 0.8443
30.2129K, - 1.3871
32.6317K, - 2.0080
35.2442K, - 2.7113
38.0658K, - 3.5000
41.1133K, - 4.3754
44.4049K, - 5.3377
47.9599K, - 6.3862
51.7996K, - 7.5198
55.9466K, - 8.7379
60.4257K, -10.0410
65.2634K, -11.4319
70.4883K, -12.9162

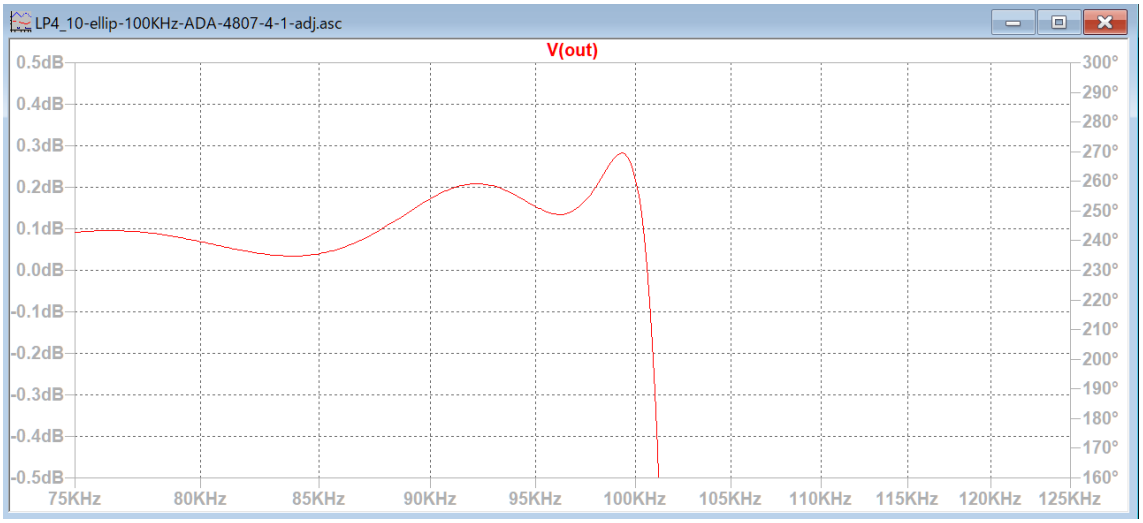
Q 値はブロック 1 が 17 位で、ブロック 2 は 5 なので、せいぜい 2 つのブロックを調整すればピークを除去できると思います。

LP4_10-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-adj





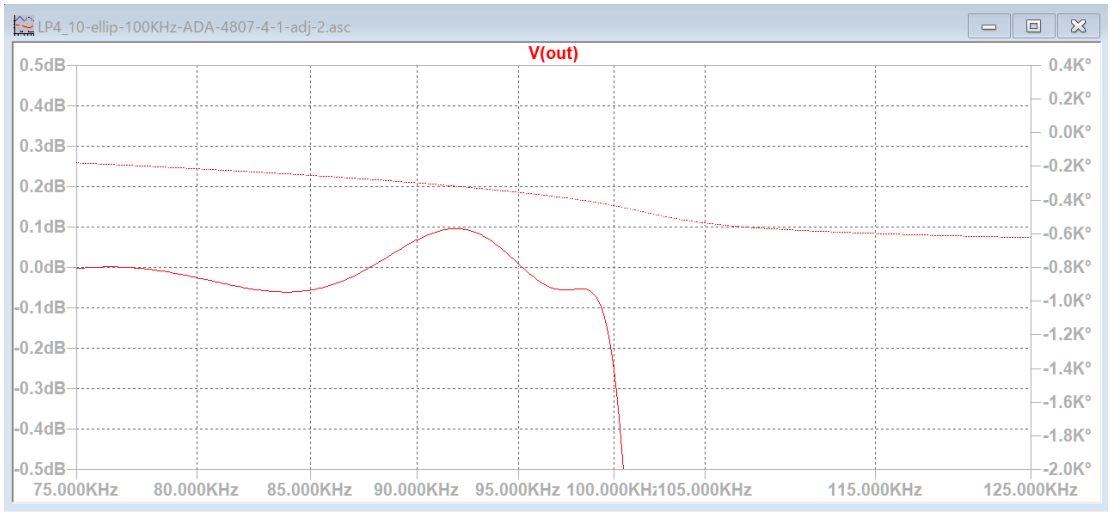
ブロック 1 の C1_1＝1.995n, R2_1=2.2K に調整しました。



基本回路「et2」―「LP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

LP4_10-ellip-100KHz-ADA-4807-4-1-adj-2

ブロック 1 の C1_1＝1.993n, R2_1=2.22K、ブロック 5 の R4_5=3.95K に調整しました。

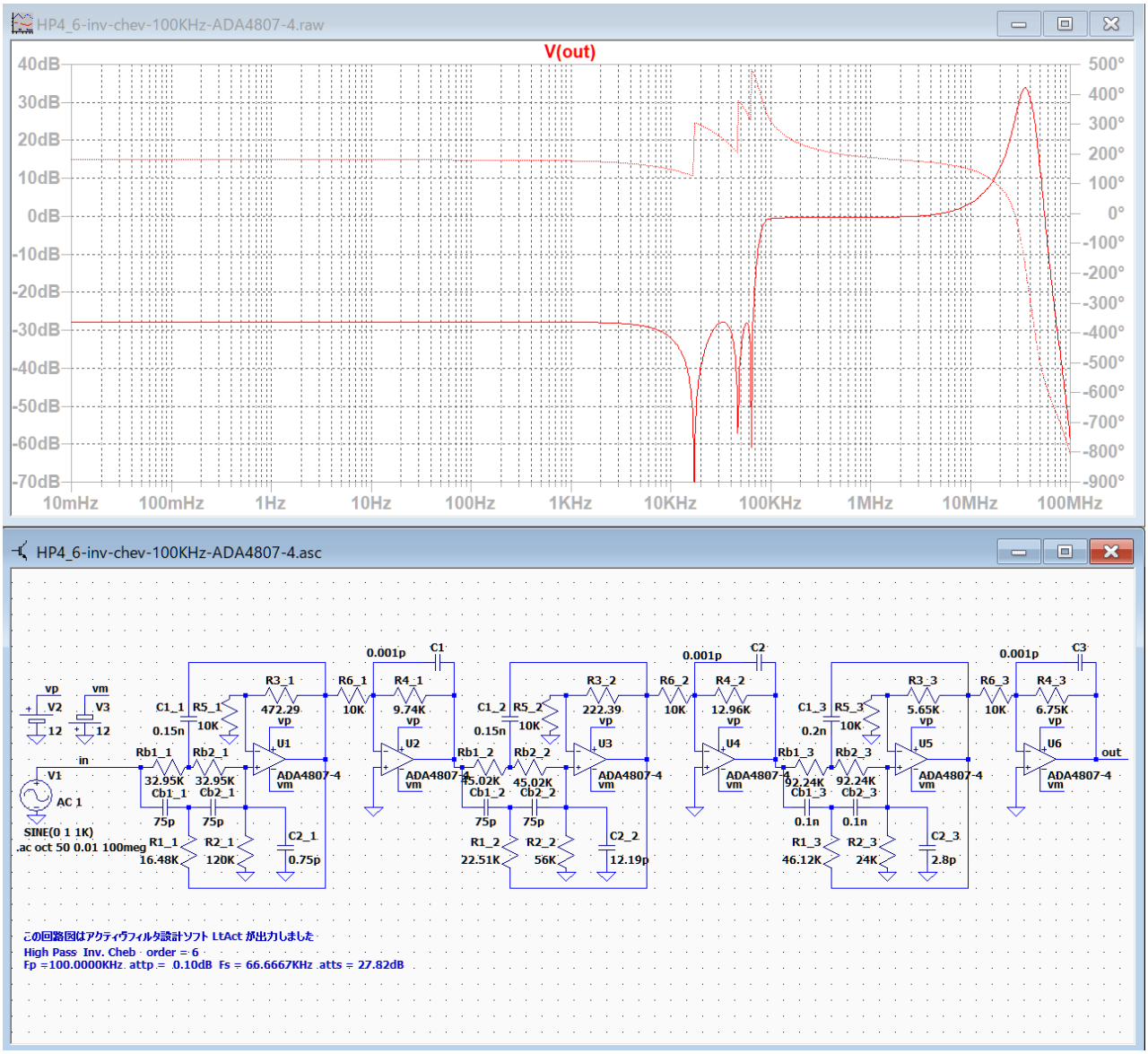


「BE2 のための回路図作成方法　まとめ」以降を参照してください。

基本回路「et2」―「LP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

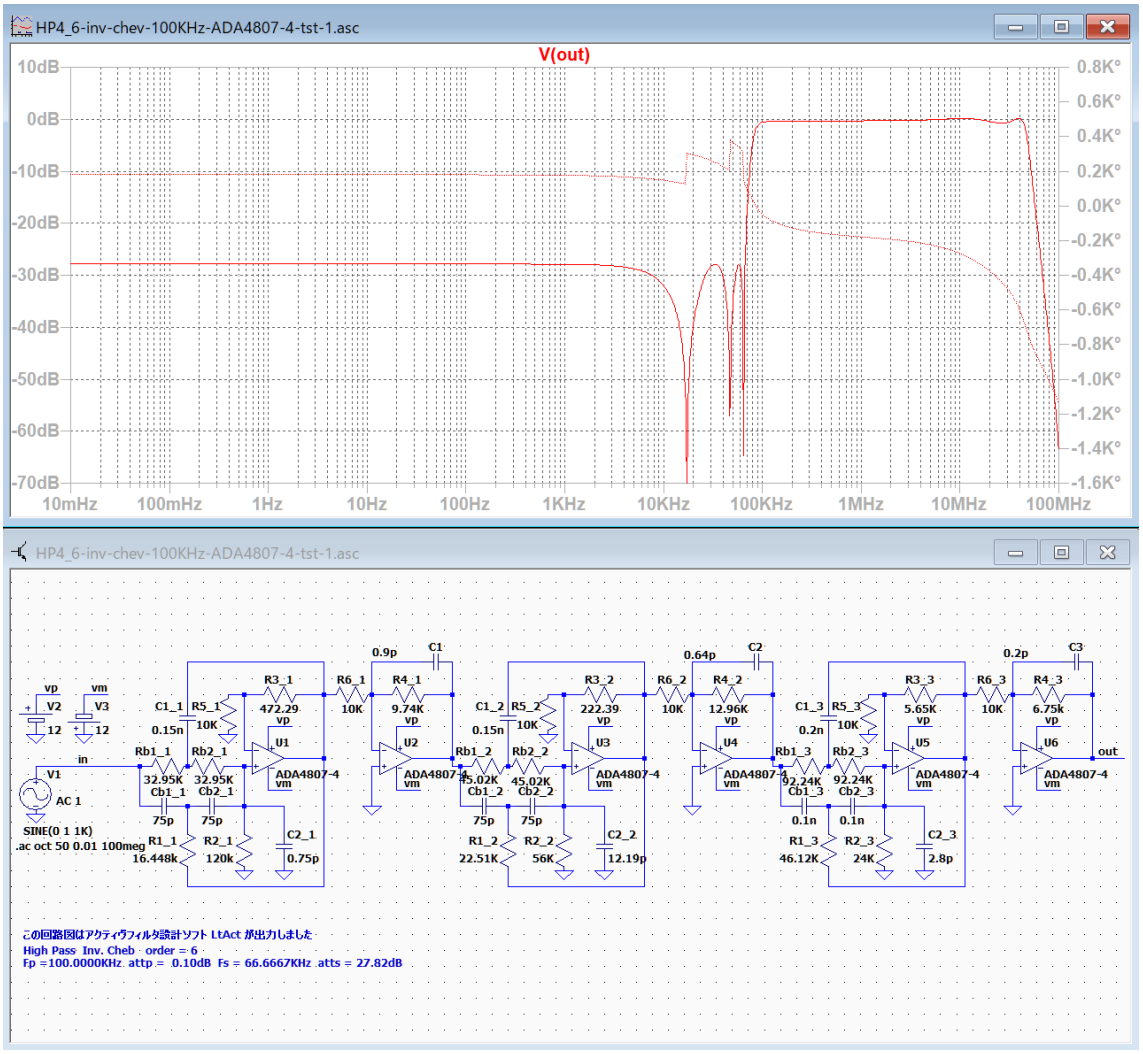
基本回路「et2」―「HP4」逆チェビシェフ

HP4_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4

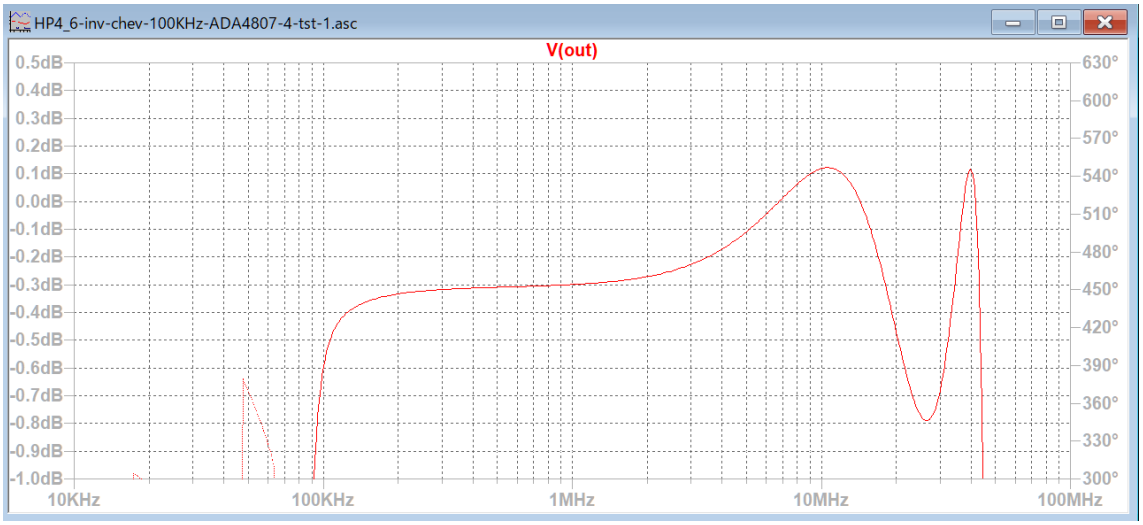


通過域の高域にピークが発生しています。
C1～C3 を調整してピークを除去します。

HP4_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-tst-1

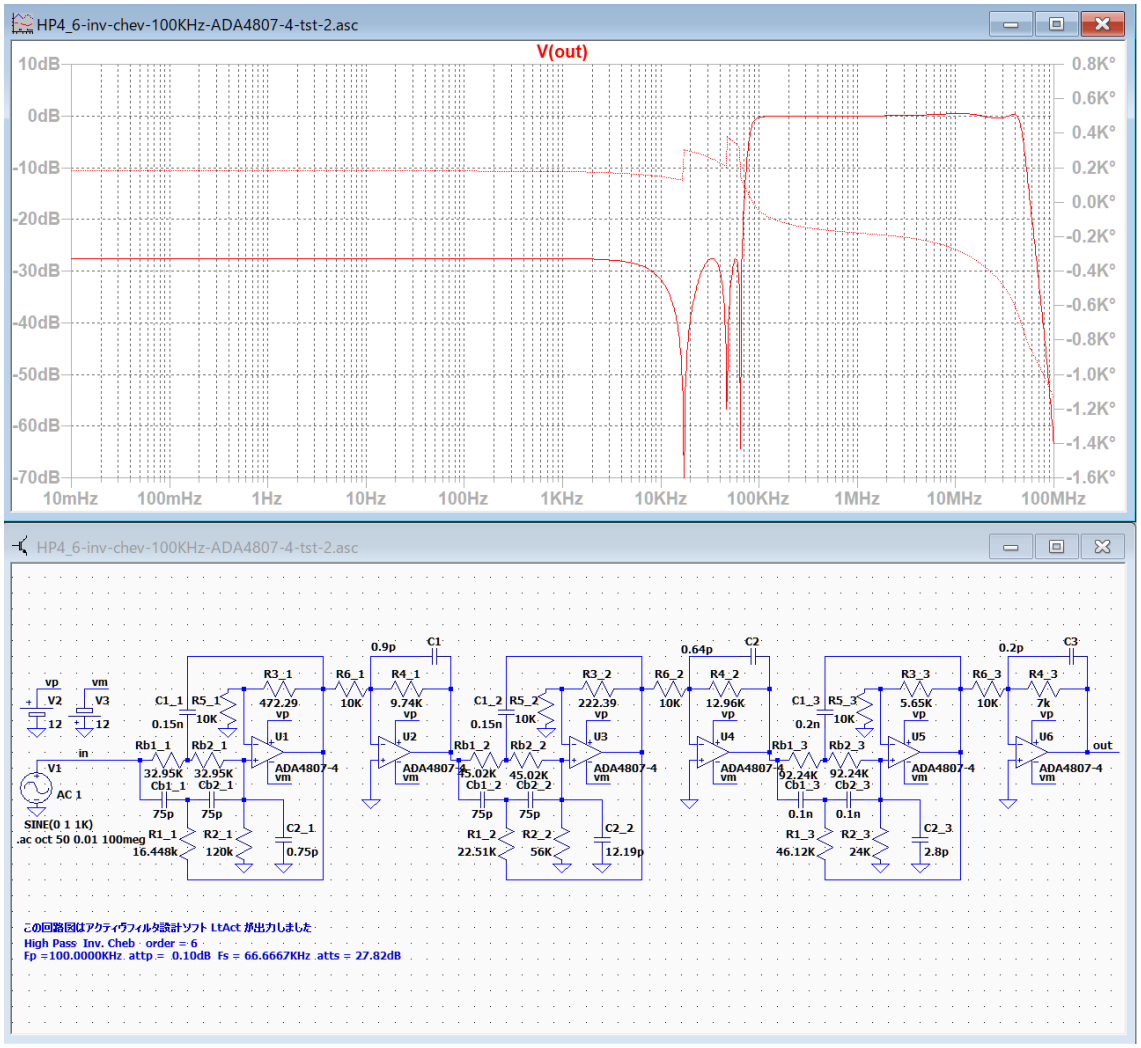


C1=0.9p, C2=0.64p, C3=0.2p に設定してピークが消えましが、さらに調整します。

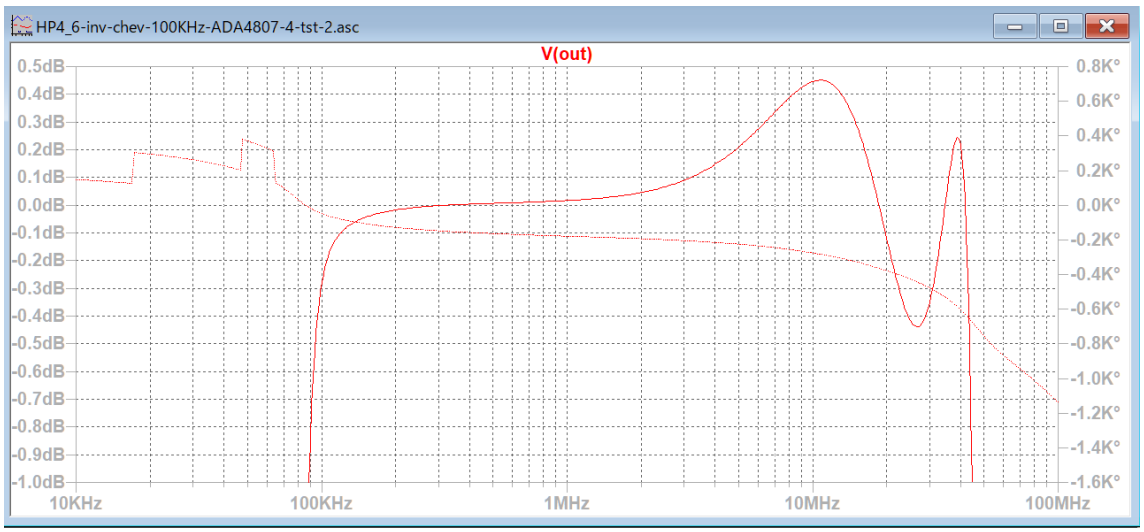


基本回路「et2」―「HP4」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

HP4_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-tst-2

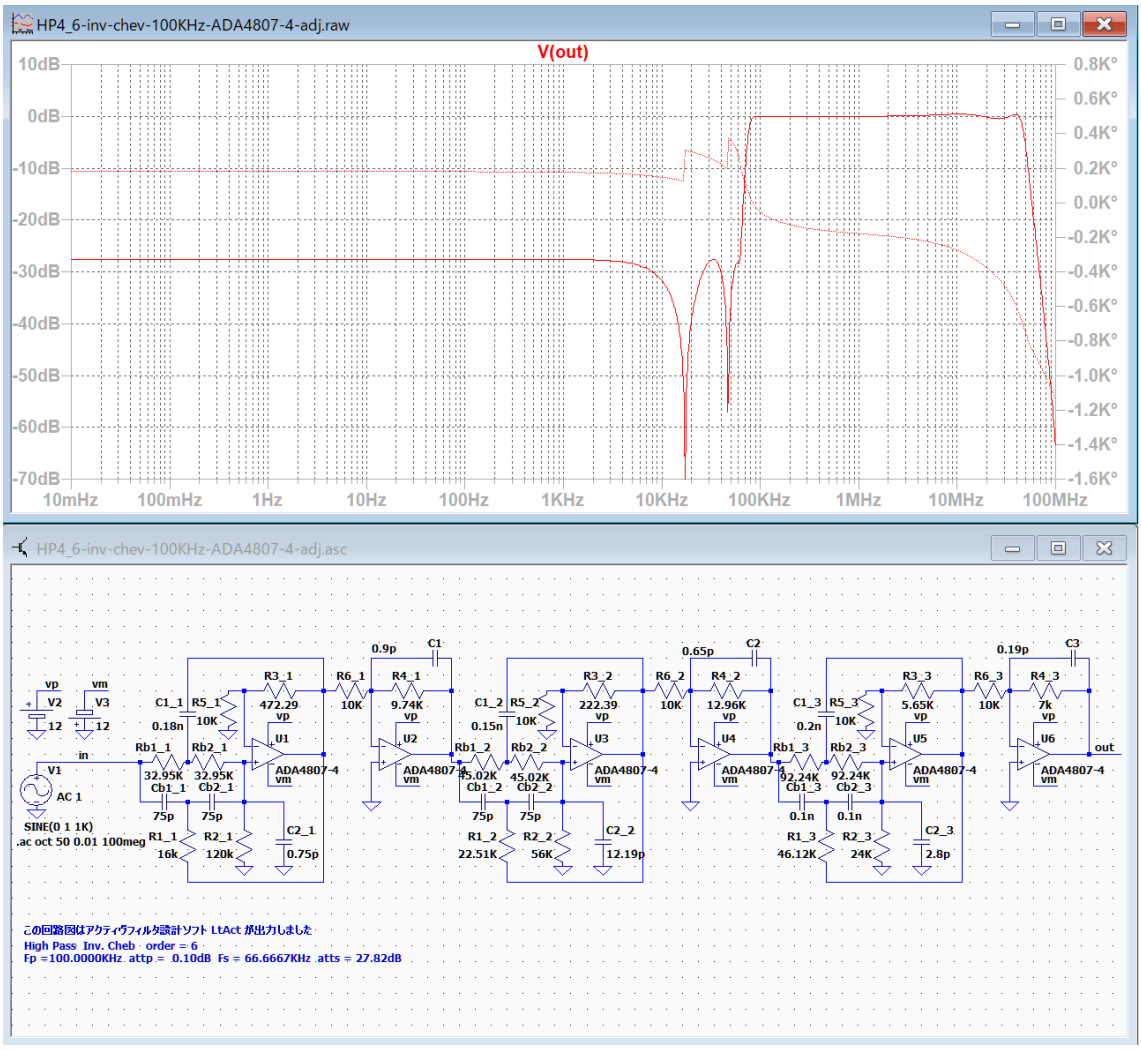


100KH から 1MHz の通過域のゲインが -0.3dB なので、R4_3=7K に変更しました。

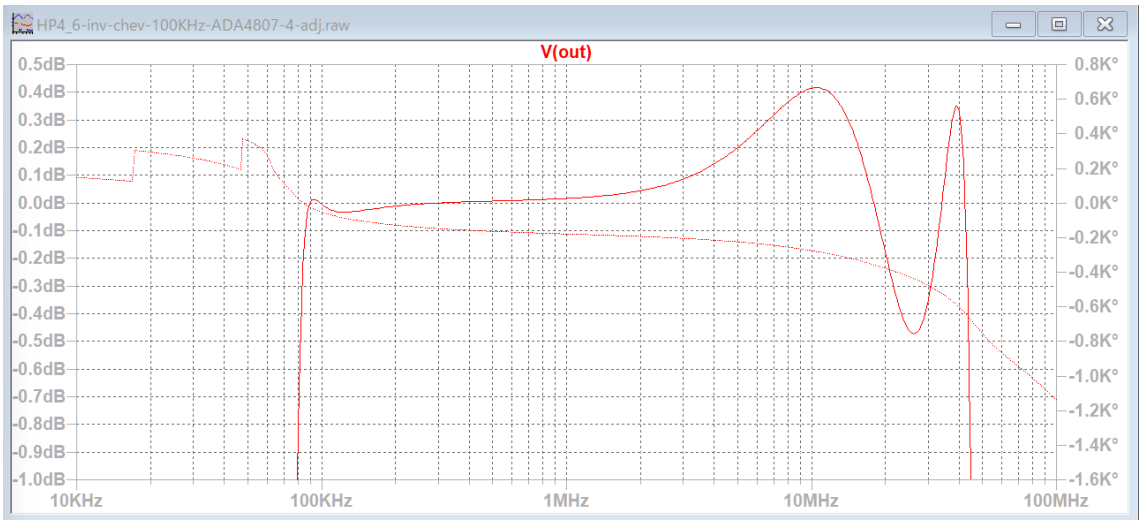


基本回路「et2」―「HP4」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

HP4_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-adj

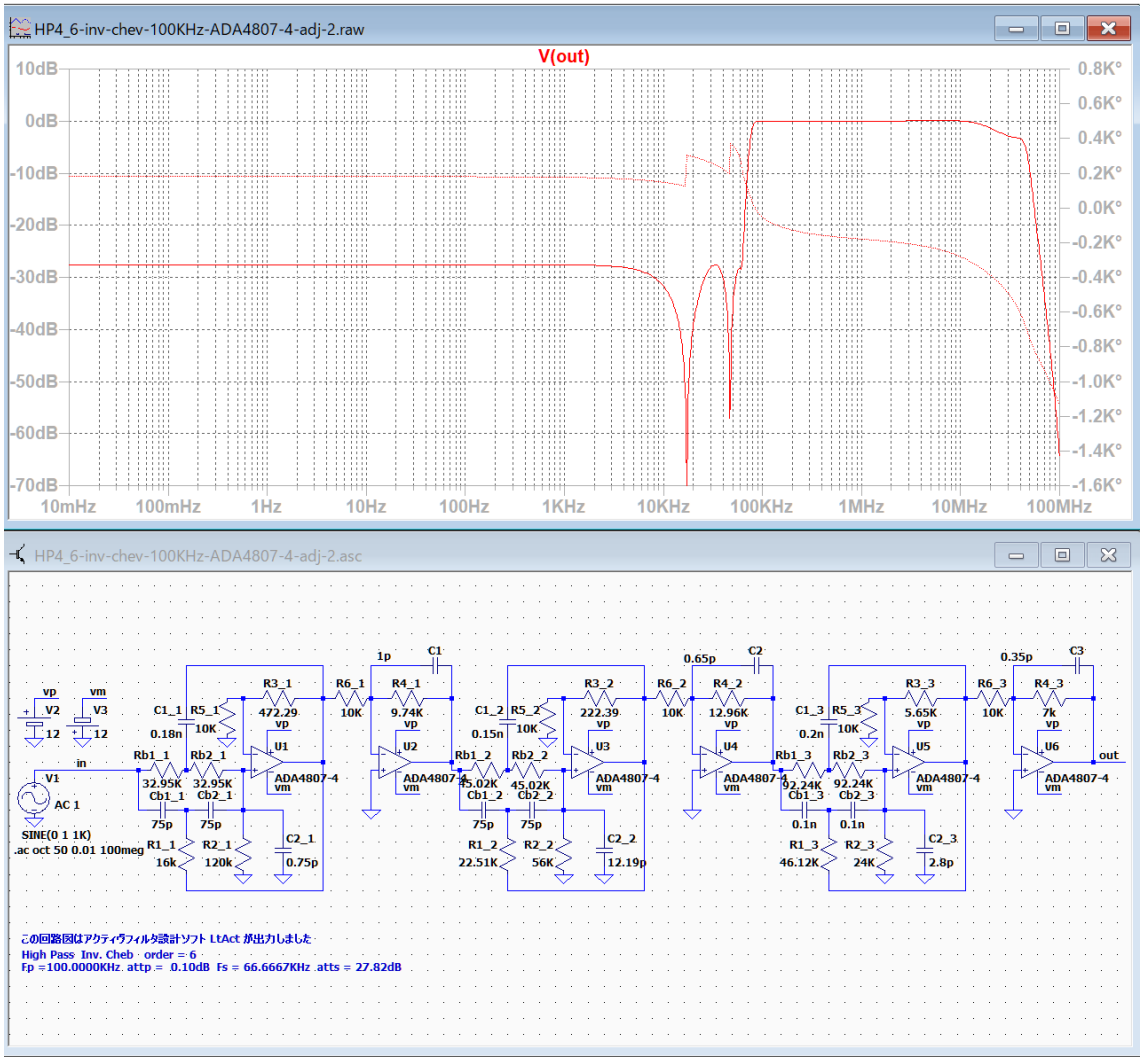


R1_1=16K に変更して、100KHz のゲインを調整しました。47MHz で -3dB です。

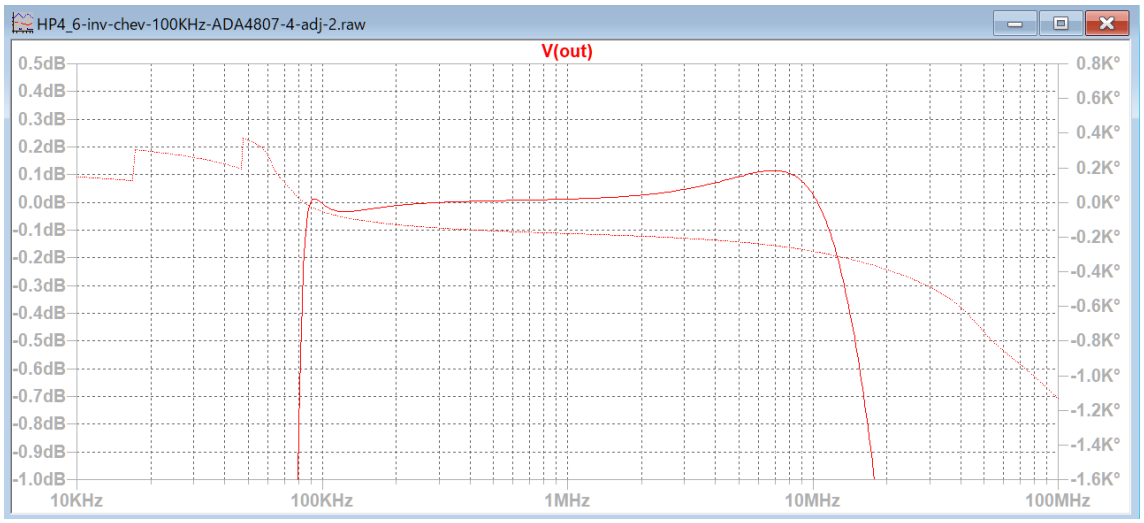


基本回路「et2」―「HP4」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

HP4_6-inv-chev-100KHz-ADA4807-4-adj-2

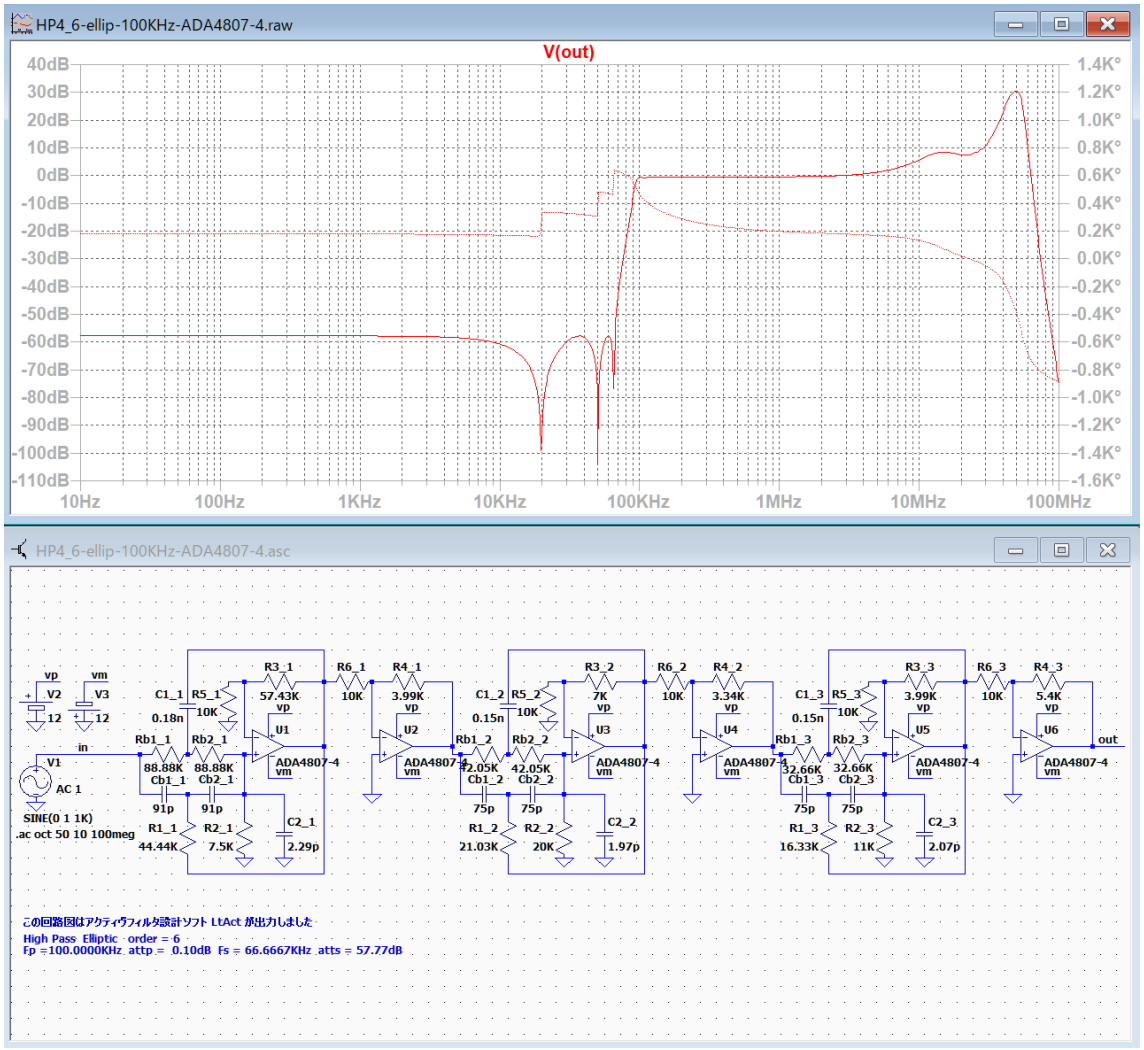


C1 から C3 を微調整して通過域をさらに平坦にしました。30MHz で -3dB です。



基本回路「et2」―「HP4」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

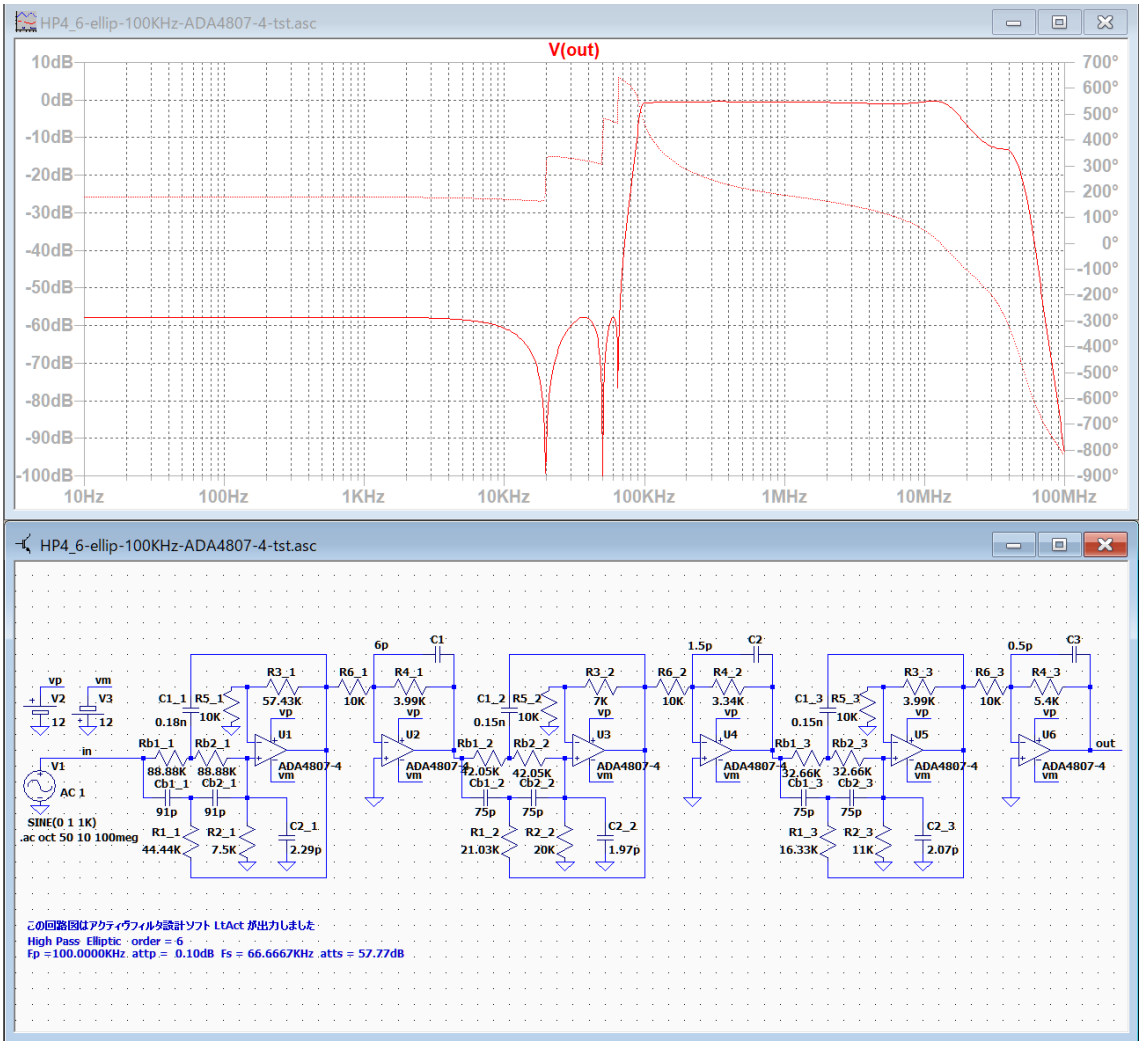
基本回路「et2」―「HP4」楕円関数
HP4_6-ellip-100KHz-ADA4807-4



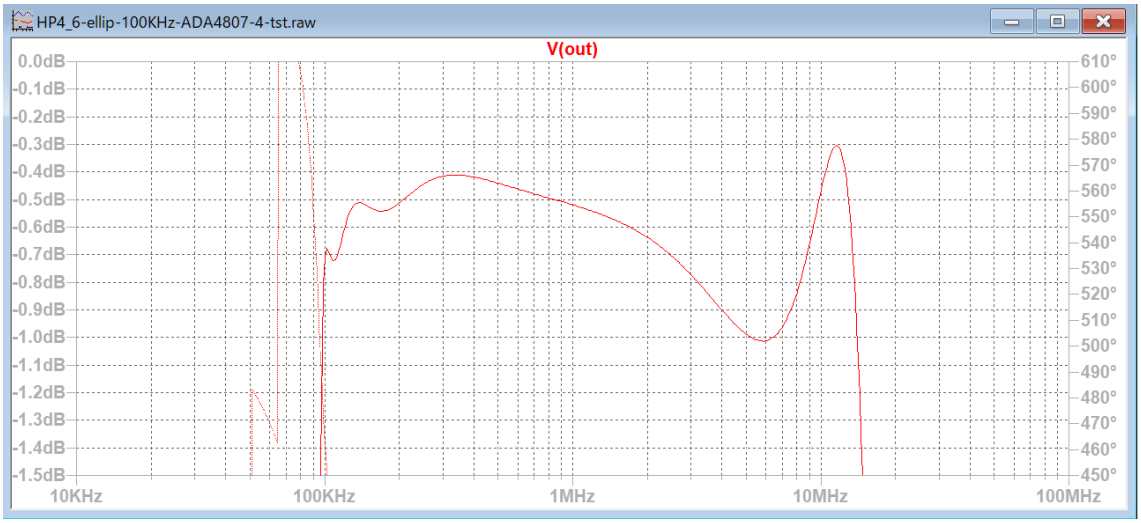
通過域の高域にピークが発生しています。

ブロック 1 からブロック 3 の R4_1～R4_3 に C1～ C3 を並列に接続して、
C1～C3 を順に調整してピークを除去します。

HP4_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-tst

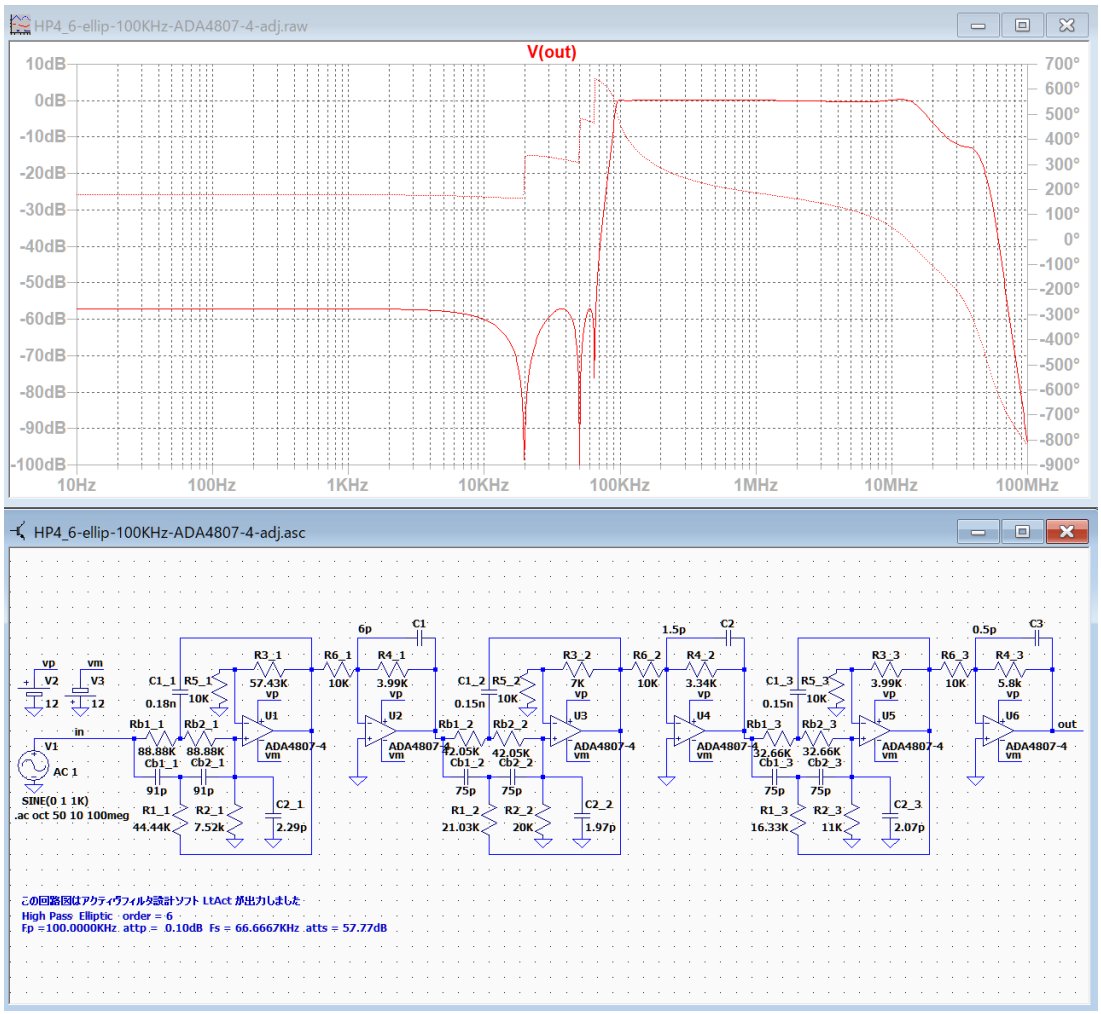


C1=6p, C2=1.5p, C3=0.5p に設定しました。次に、通過域ゲインを調整します。

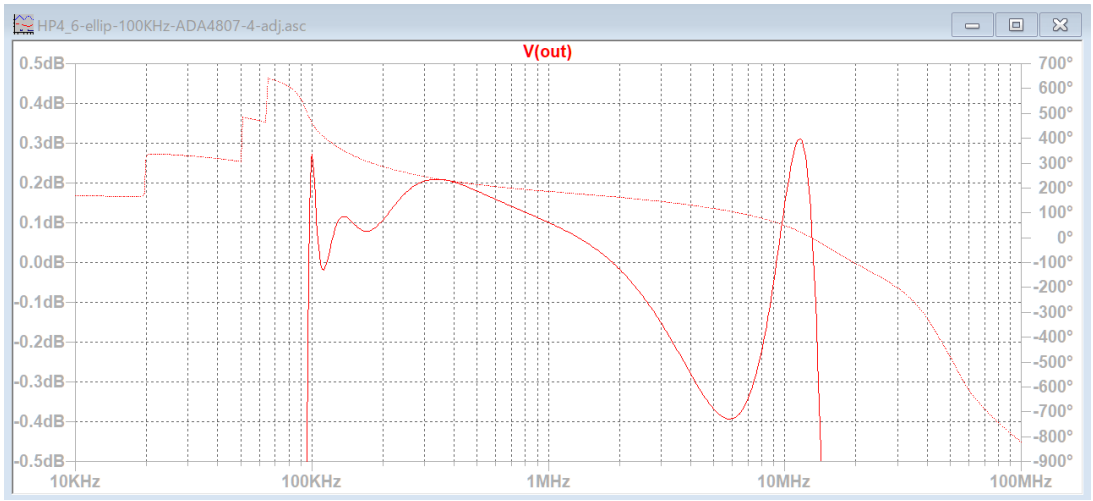


基本回路「et2」―「HP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

HP4_6-ellip-100KHz-ADA4807-4-adj



R4_3=5.8K に変更して、通過域のゲインを調整しました。



「BE2 のための回路図作成方法　まとめ」以降を参照してください。

基本回路「et2」―「HP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

基本回路「BP1」―バターワース・チェビシェフ
BP1_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4

LtAct で回路図を作成中に「変換不能」のメッセージが表示されて正しい回路図が作成できませんでした。通過域上端と通過域下端の周波数の比が 3 以上では作成出来ません。

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BP1_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4.asc 作成日時 Sat Apr 16 09:25:55 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Butterworth 次数=6　　参照モード=0

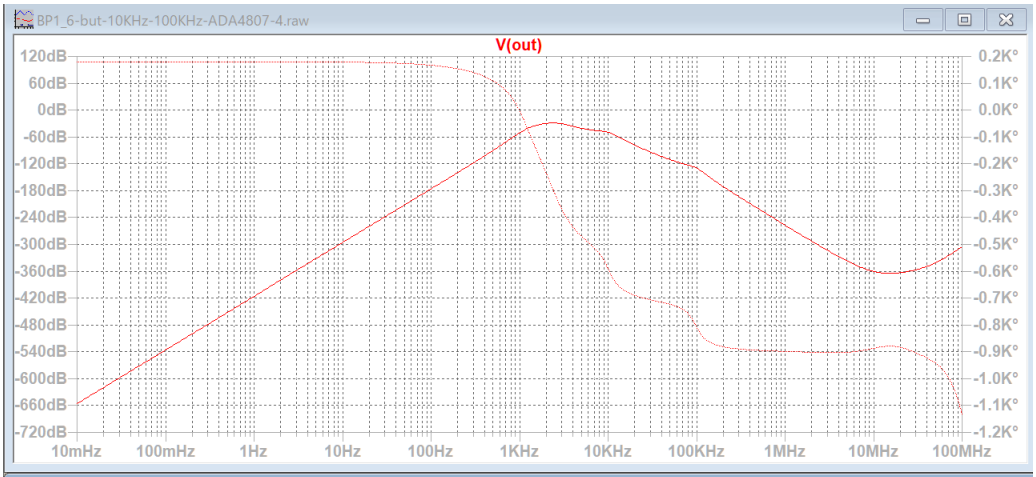
Fp1 = 10.0000KHz Fp2 =100.0000KHz attp = 3.0103dB

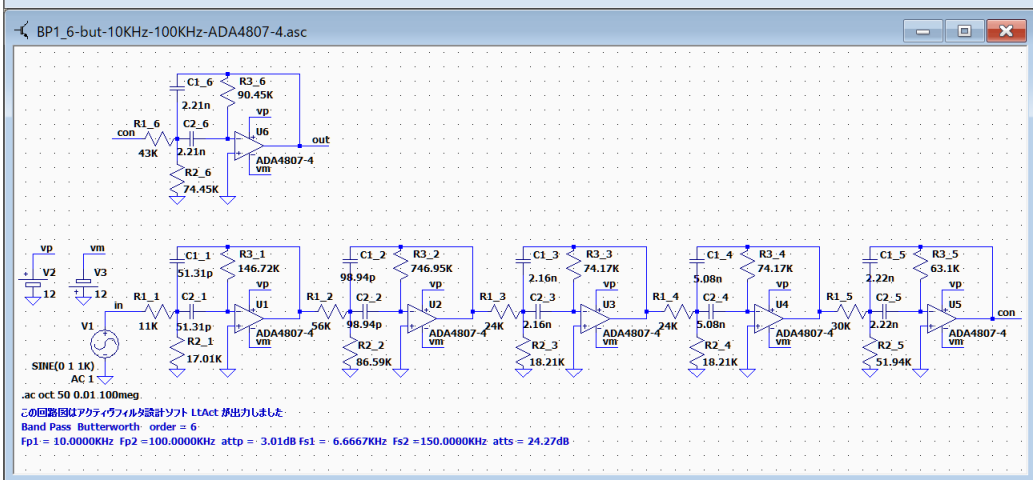
Fs1 = 6.6667KHz Fs2 =150.0000KHz atts = 24.27dB

1(BP1)「BP1-1-1」 R1_1 = 11.0000K C1_1 = 51.3118p R2_1 = 17.0090K R3_1 = 146.7223K 誤差=6.27 %

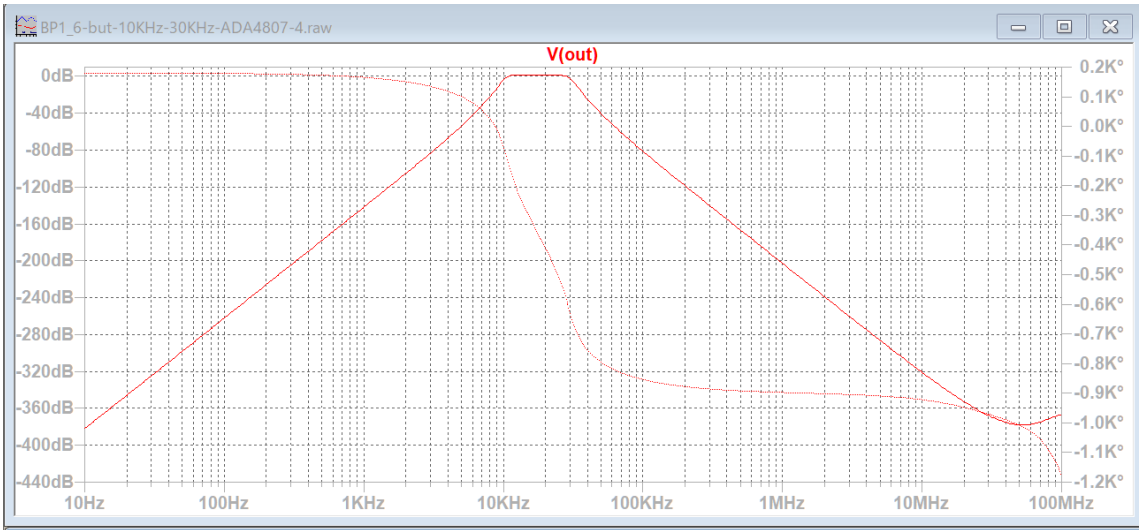
2(BP1)「BP1-1-1」 R1_2 = 56.0000K C1_2 = 98.9366p R2_2 = 86.5915K R3_2 = 746.9499K 誤差=5.22 %

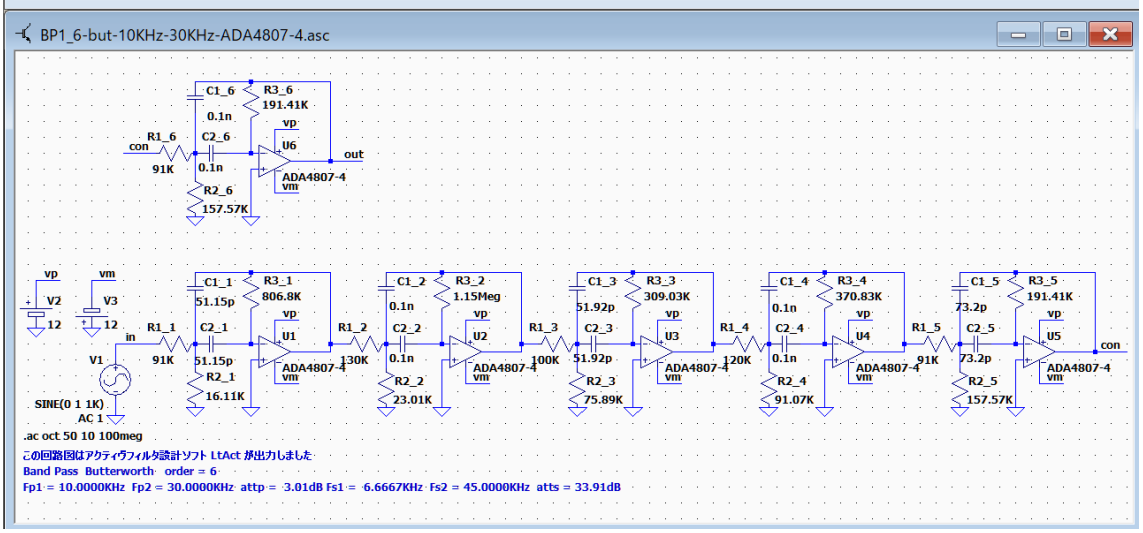
bpat1 で 変換不能, j = 2



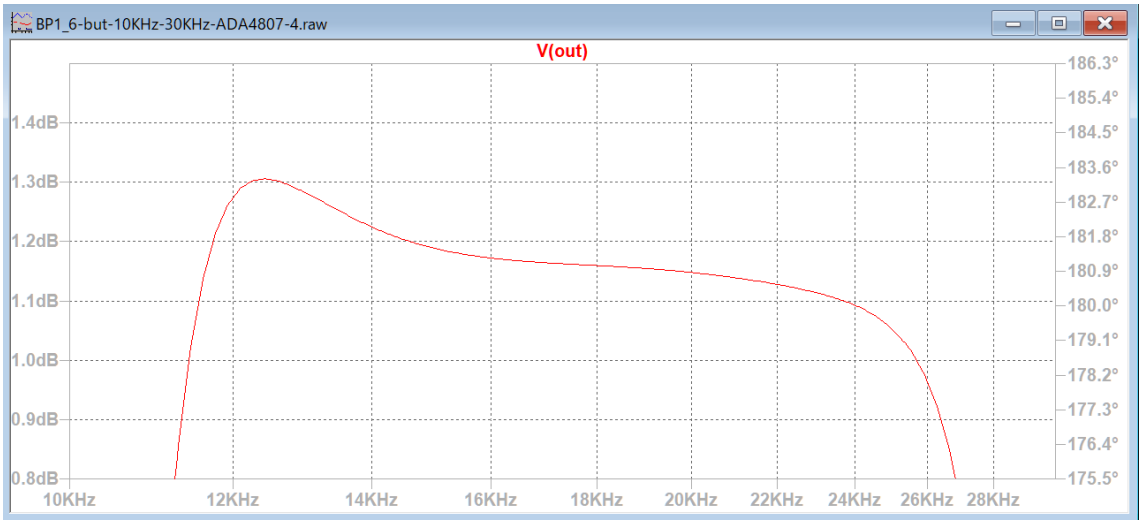


BP1_6-but-10KHz-30KHz-ADA4807-4



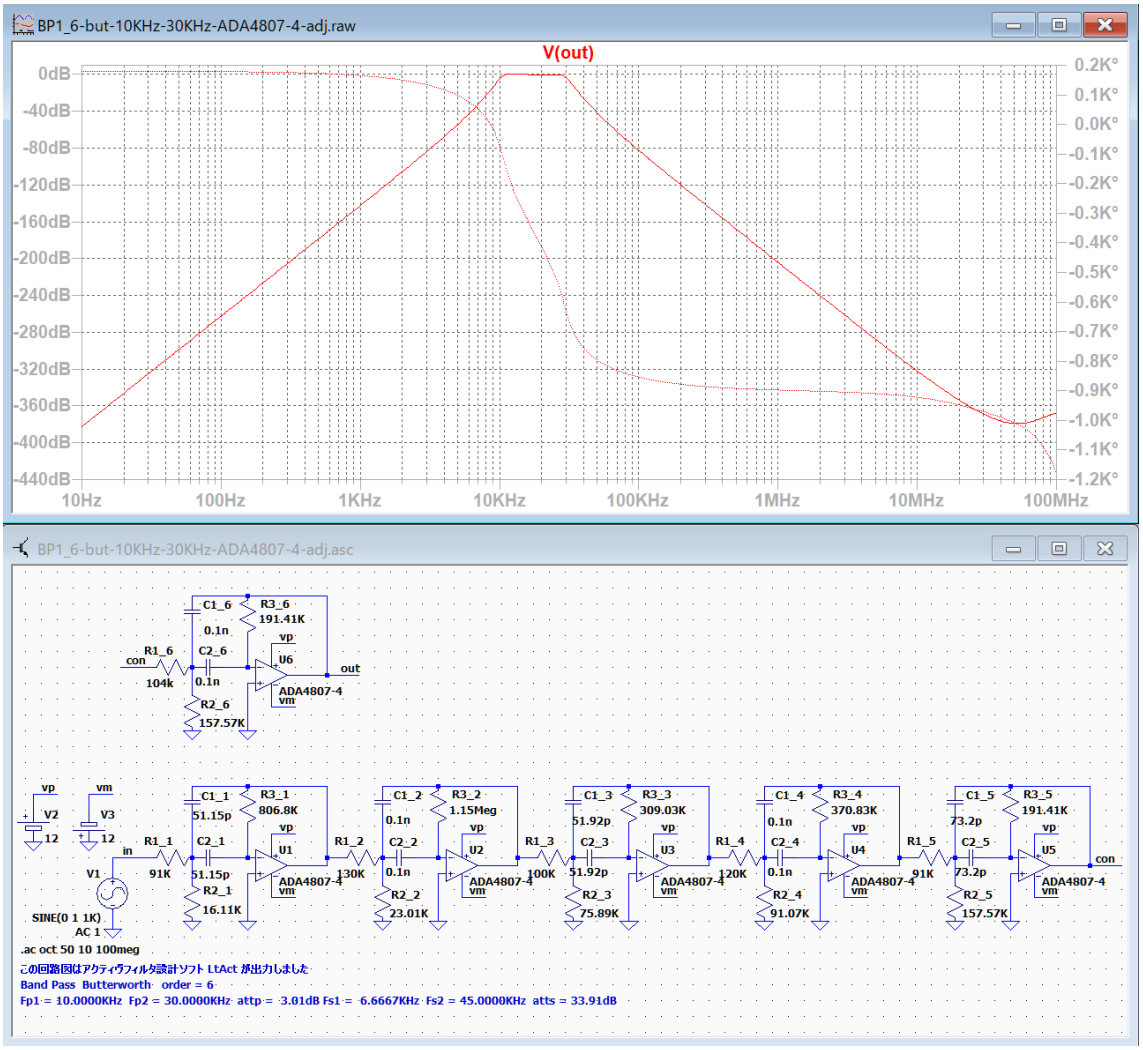


通過域のゲインが 0dB からずれています。

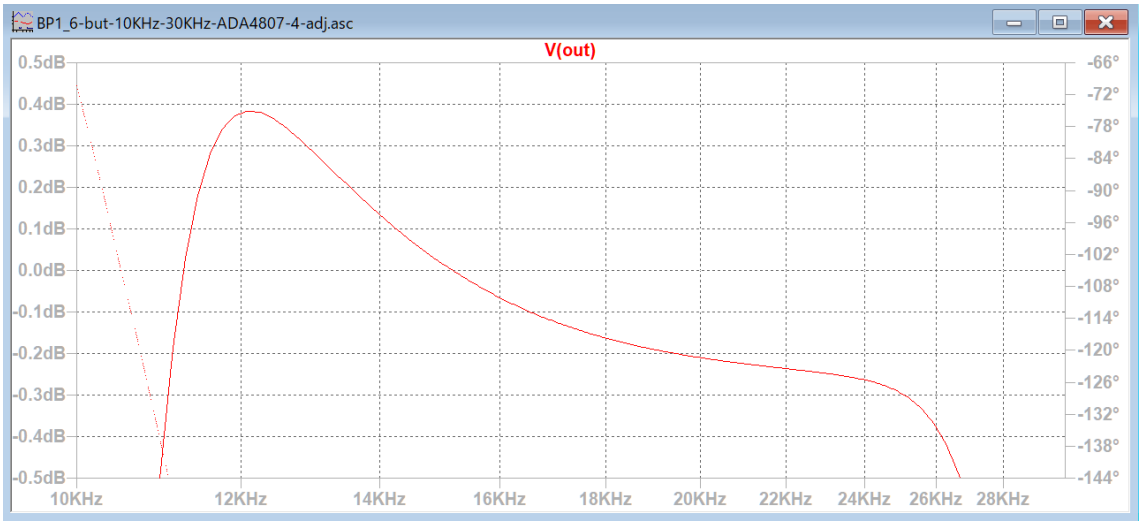


基本回路「BP1」―バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP1_6-but-10KHz-30KHz-ADA4807-4-adj

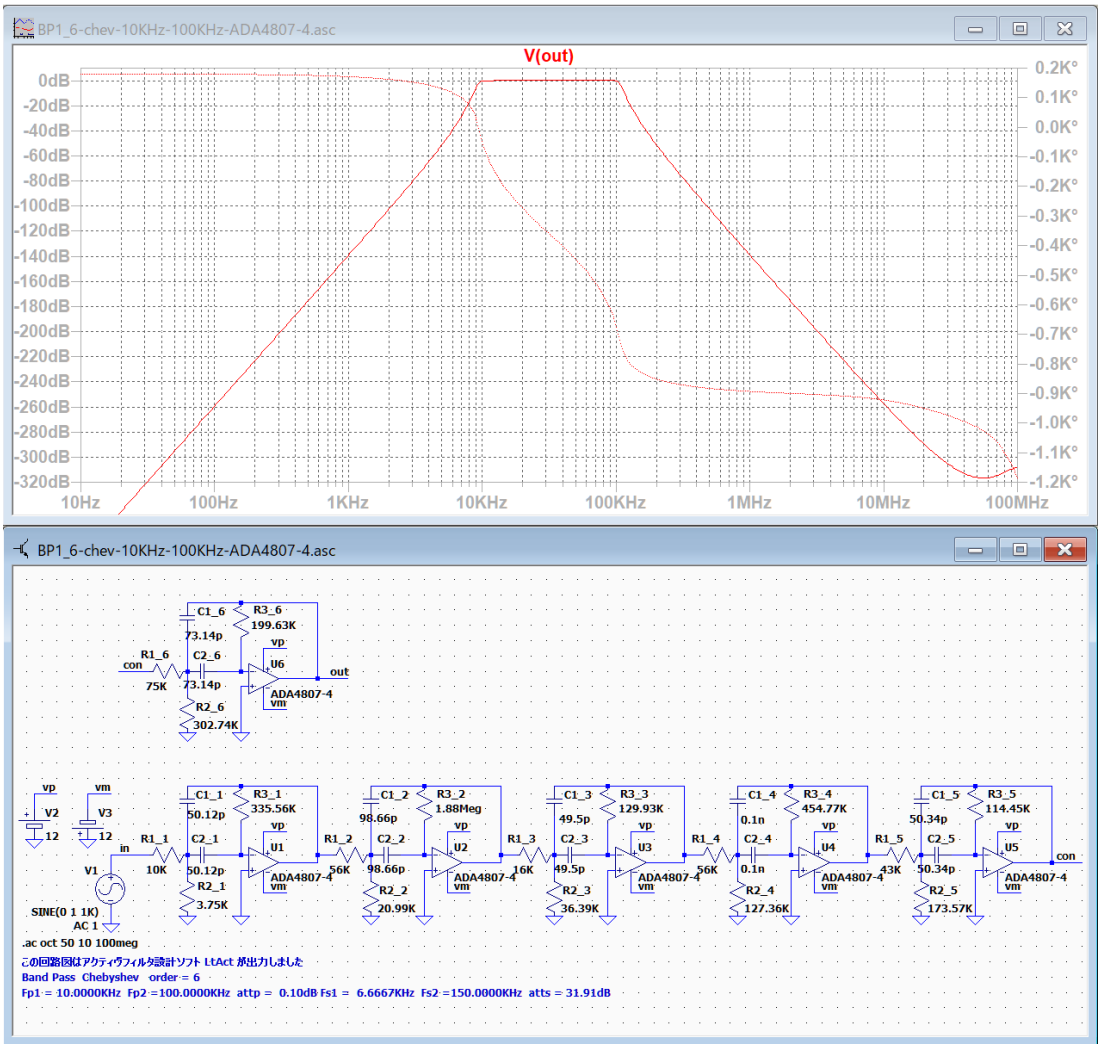


ブロック 6 の R1_6 を 91k から 104K に変更して、通過域のゲインを調整しました。

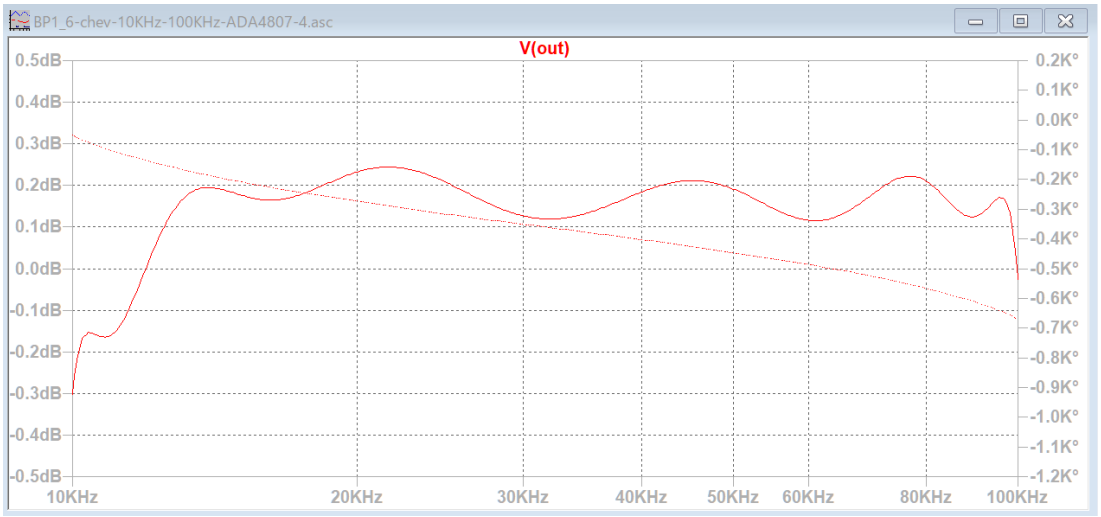


基本回路「BP1」―バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP1_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4

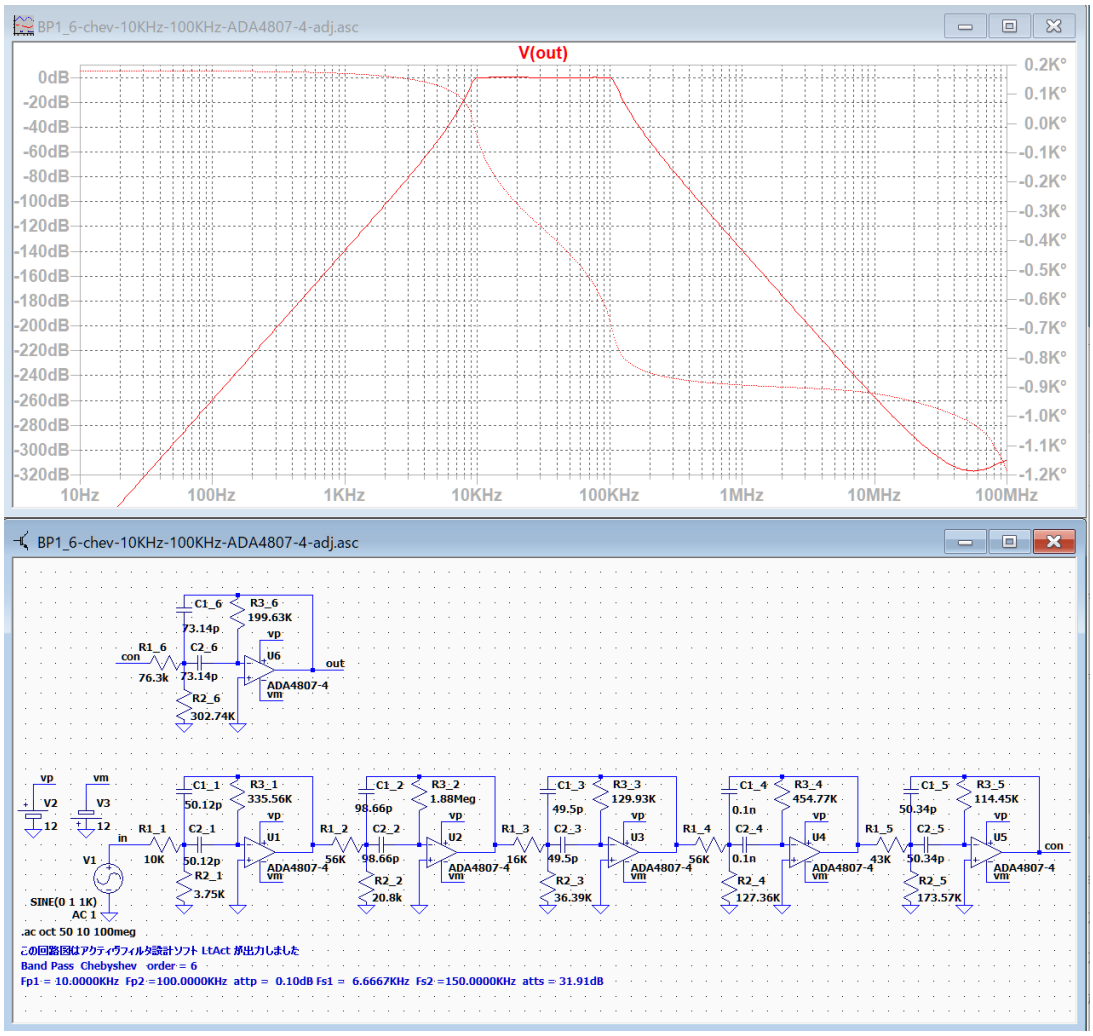


未調整でも、通過域のゲインはほぼ 0dB です。

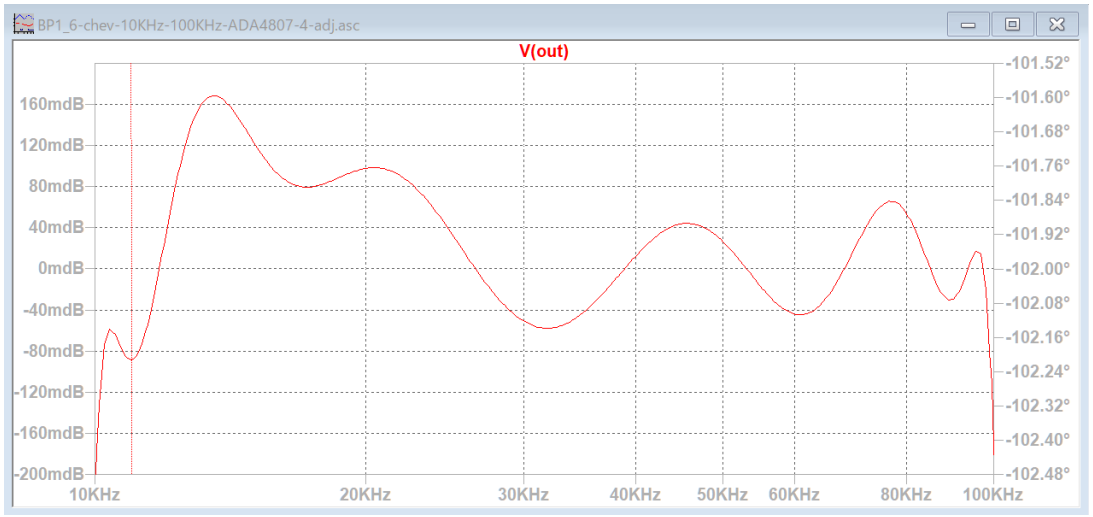


基本回路「BP1」―バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP1_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj



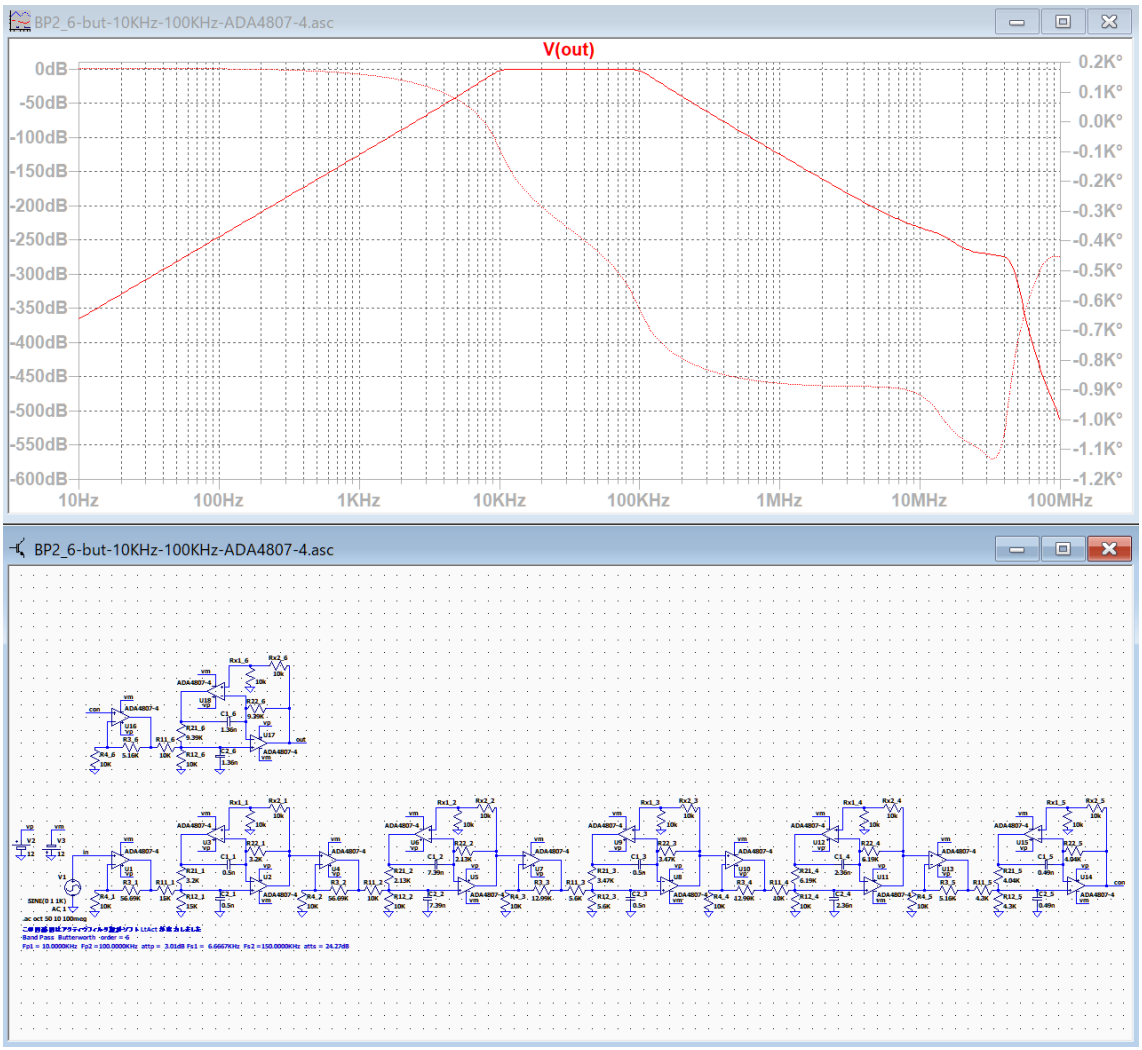
R2_2 を 20.99k から 20.8K、R1_6=76.3K に変更して、10KHz を調整しました。



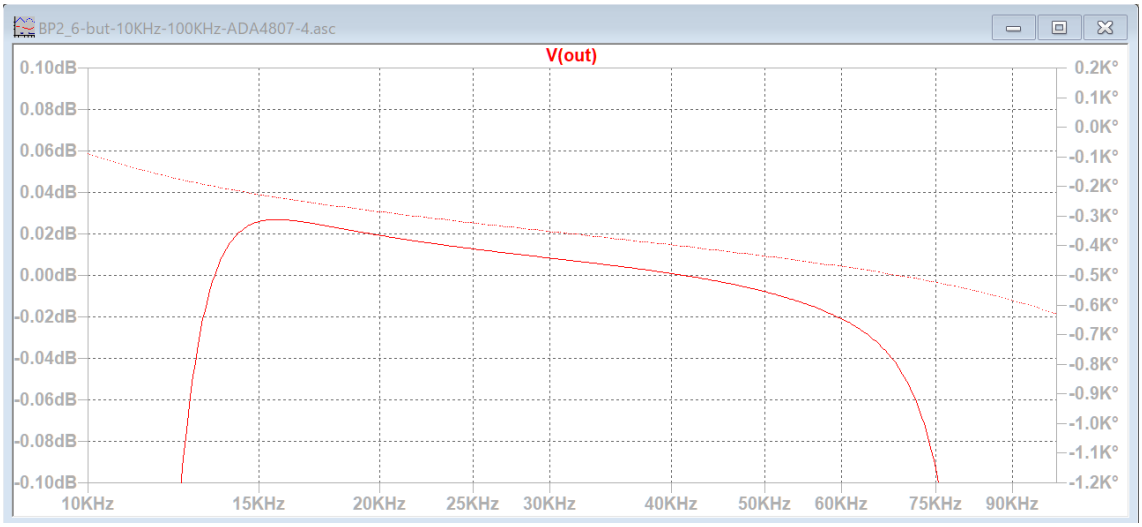
基本回路「BP1」―バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

基本回路「BP2」―バターワース・チェビシェフ

BP2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4

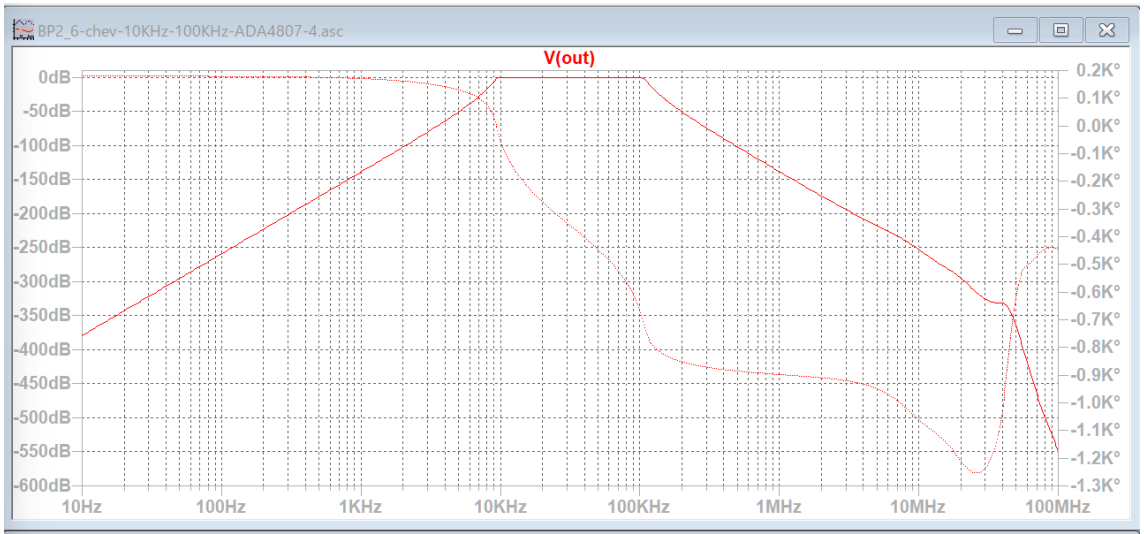


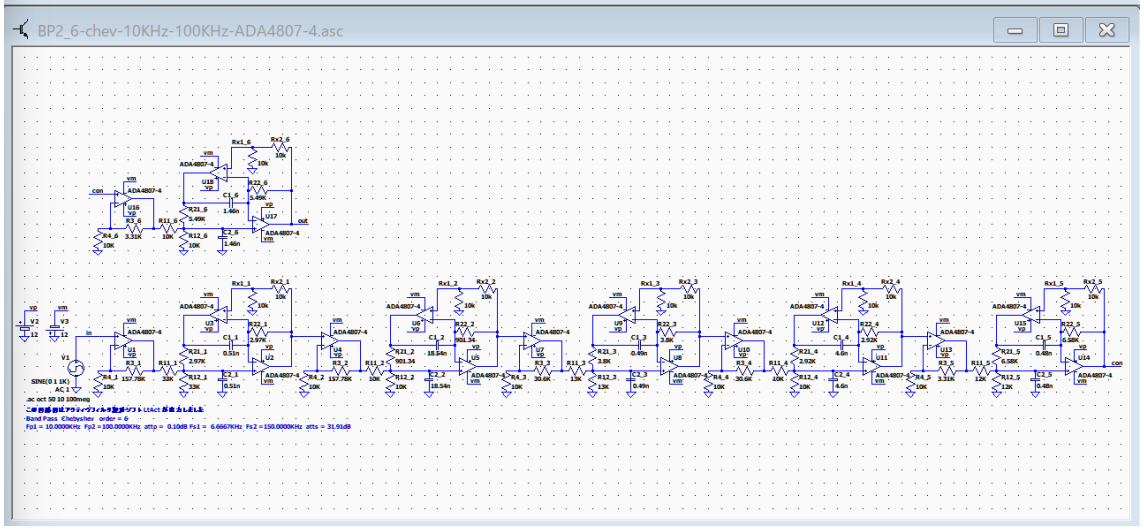
未調整でも、通過域のゲインはほぼ 0dB です。



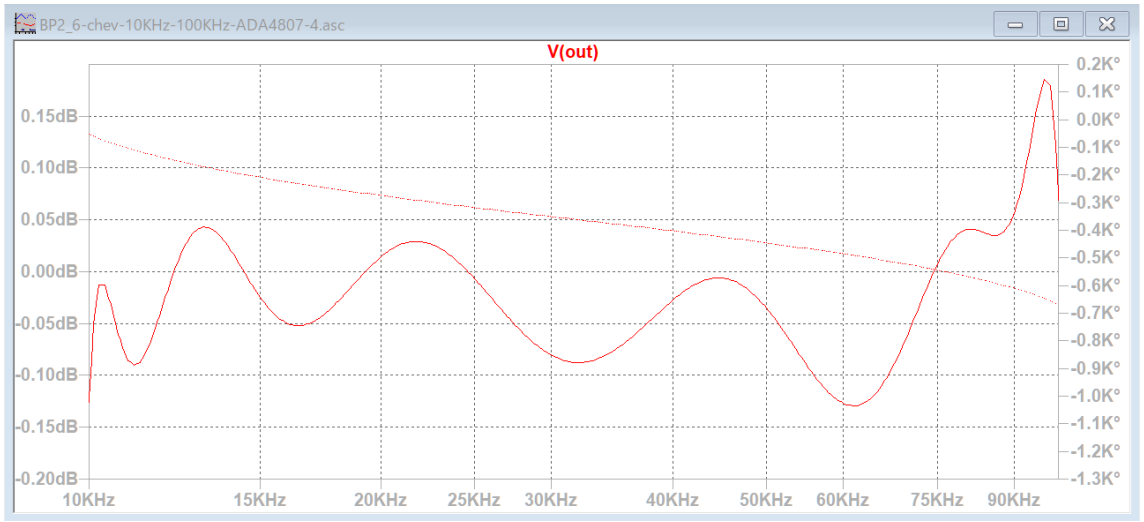
基本回路「BP2」―バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4



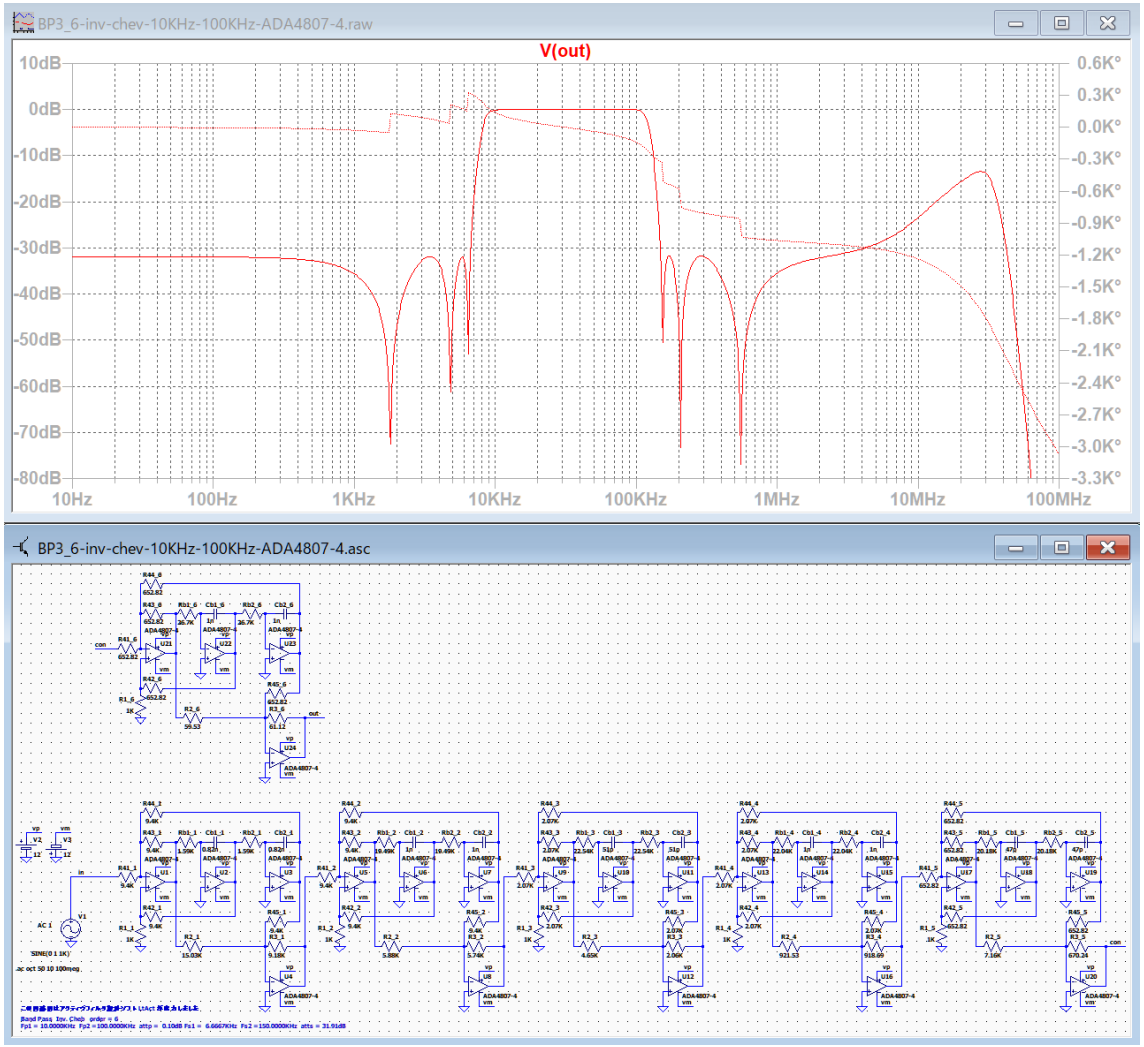


未調整でも、通過域のゲインはほぼ 0dB です。



基本回路「BP2」―バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

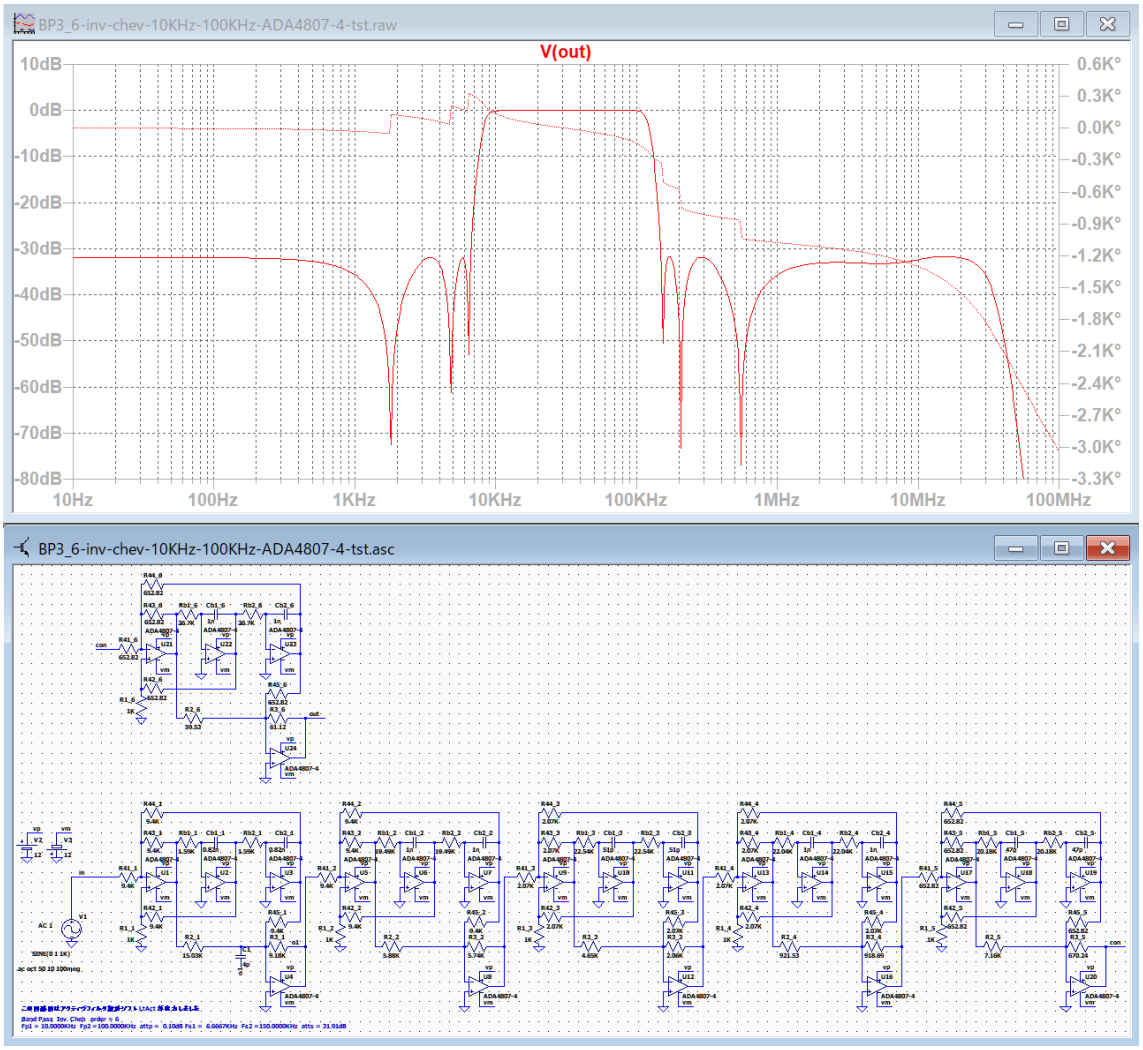
基本回路「et1」―「BP3」逆チェビシェフ
BP3_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4



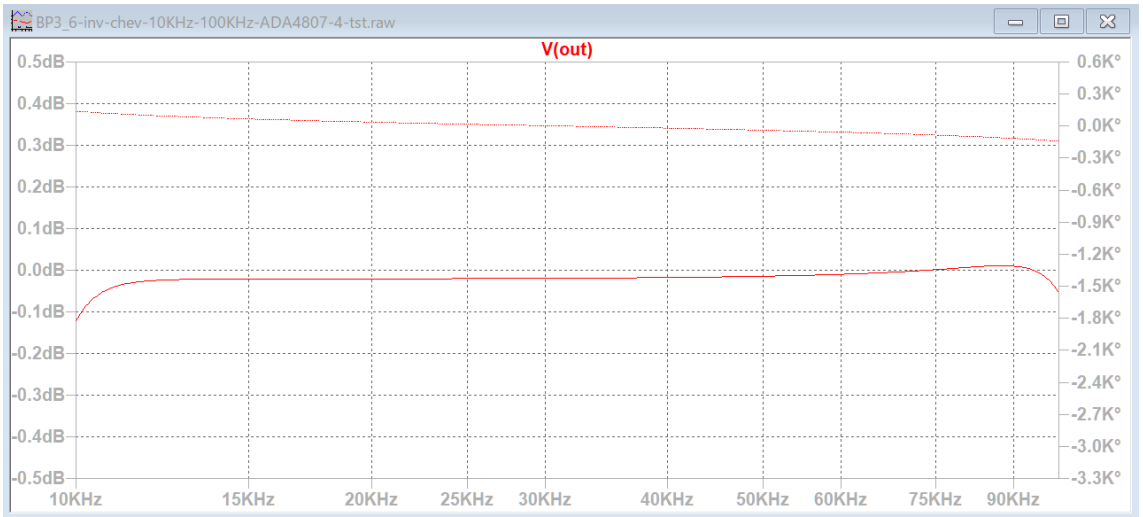
遮断域の高域にピークが発生しています。

ブロック 1～6 の R3_1～R3_6 に C1～C6 を並列接続してピークを除去します。

BP3_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-tst

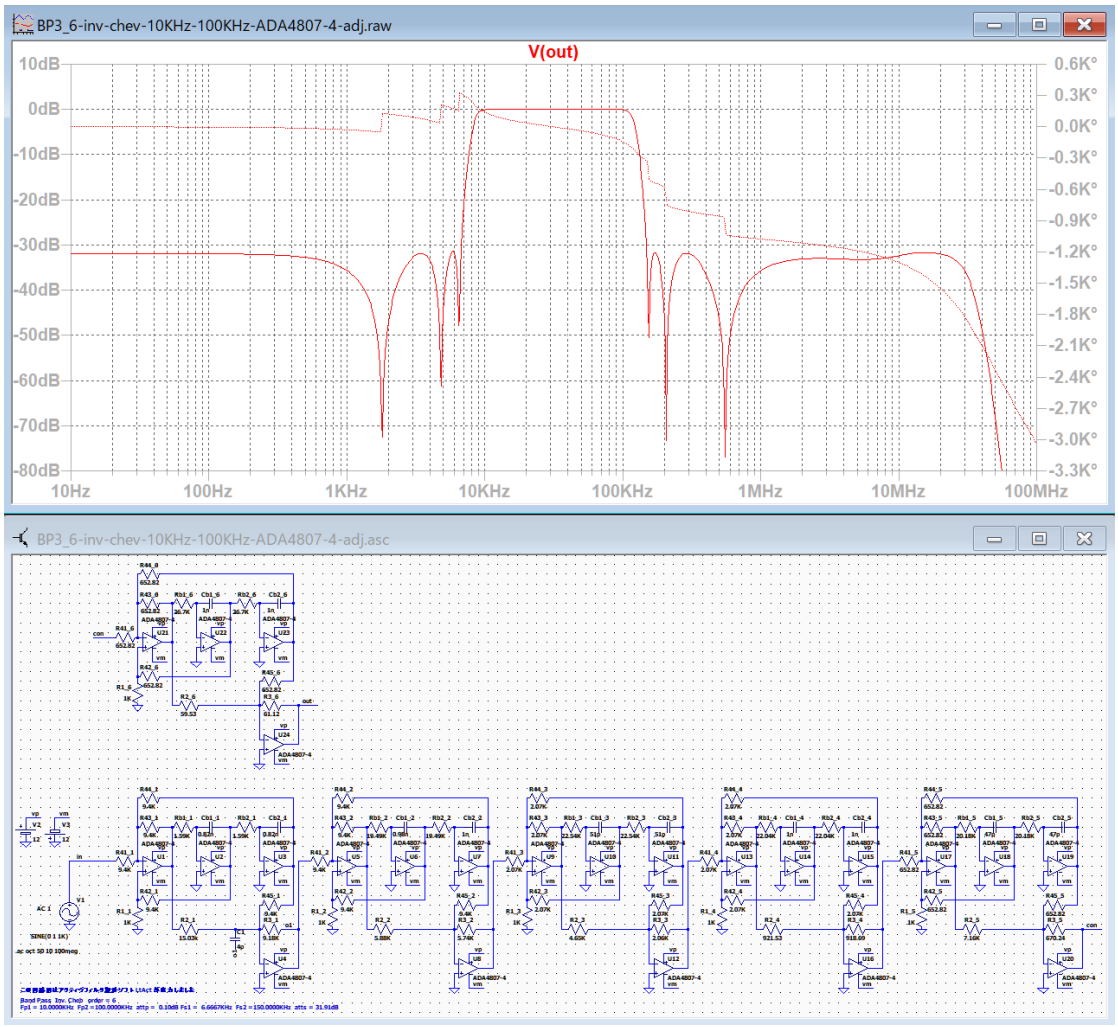


ブロック 16 の R3_1 に C1=4p を接続してピークを除去しました。10KHz を調整します。

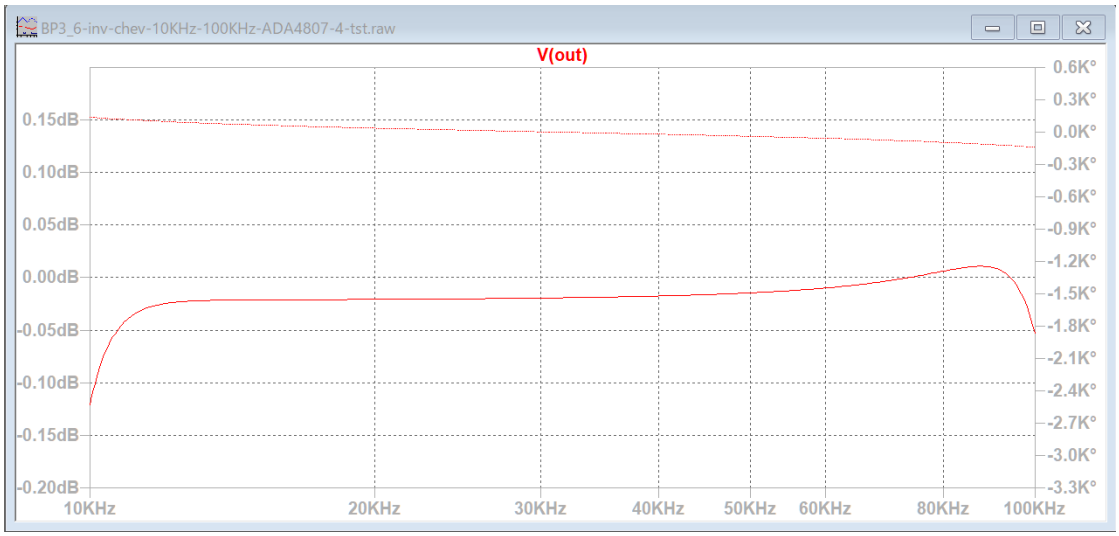


基本回路「et1」―「BP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP3_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj



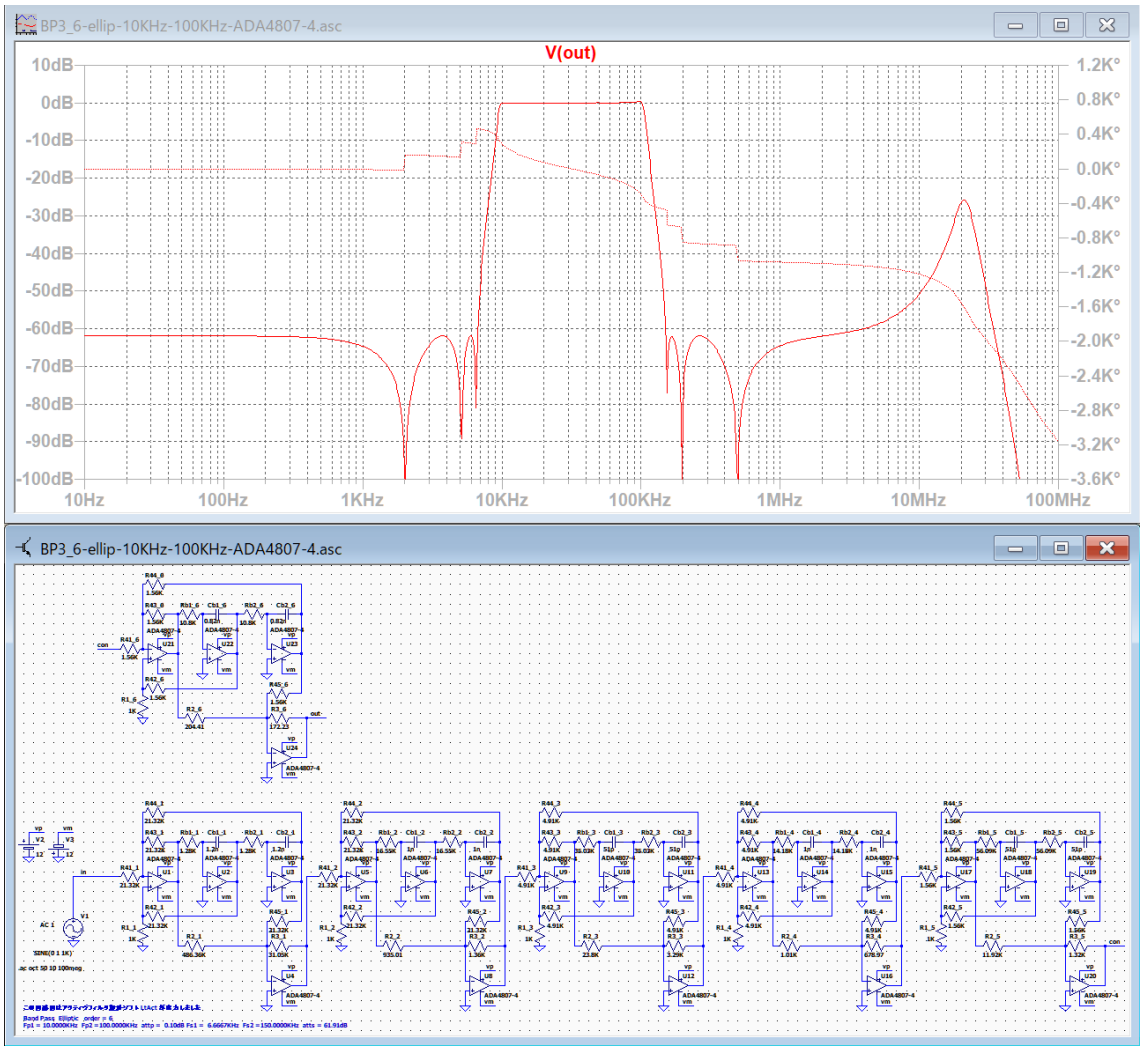
ブロック 2 の Cb1_2 を 1n から 0.98n に変更して 10KHz のゲインを調整しました。



基本回路「et1」―「BP3」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

基本回路「et1」―「BP3」楕円関数

BP3_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4

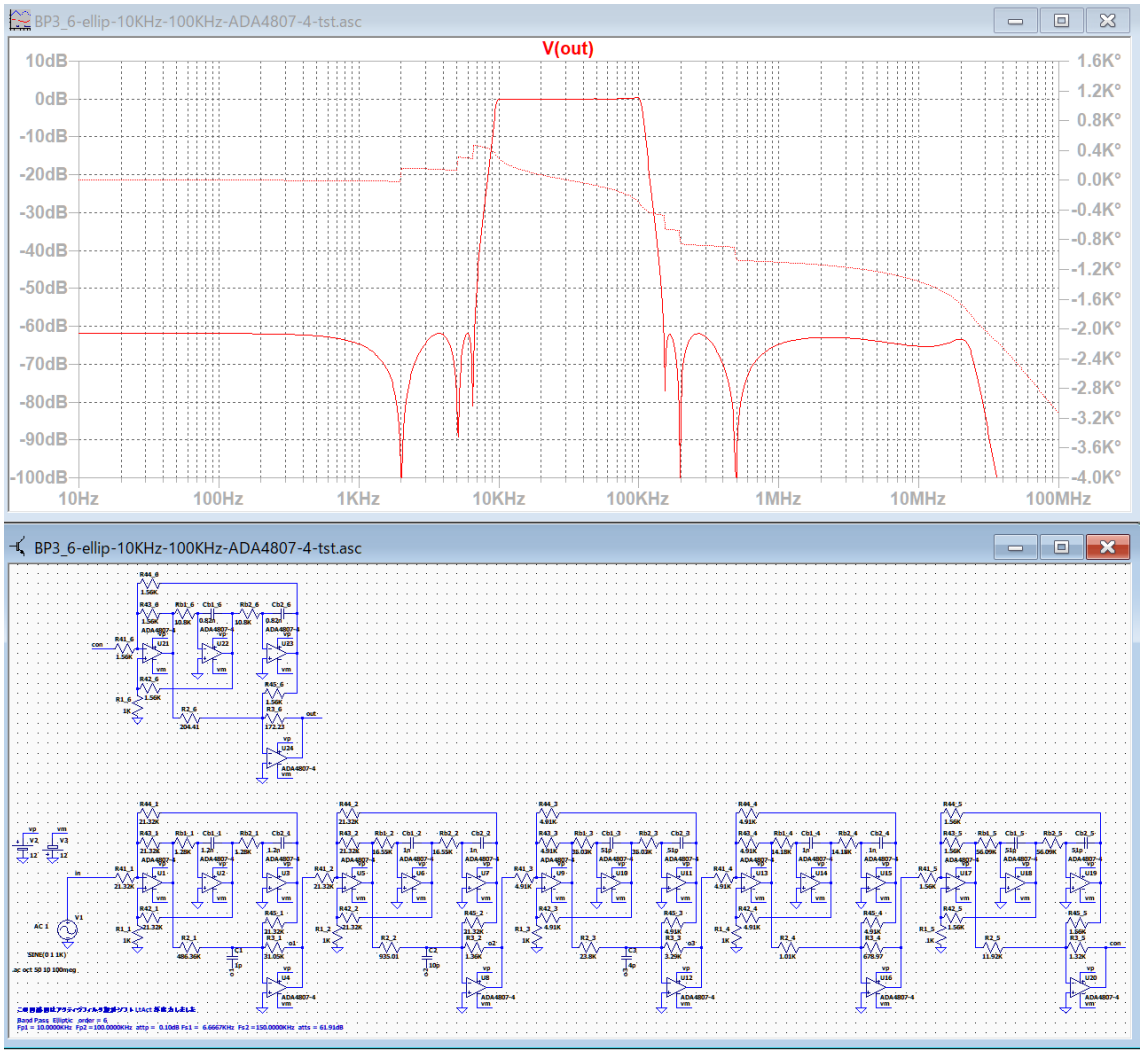


遮断域の高域にピークが発生しています。

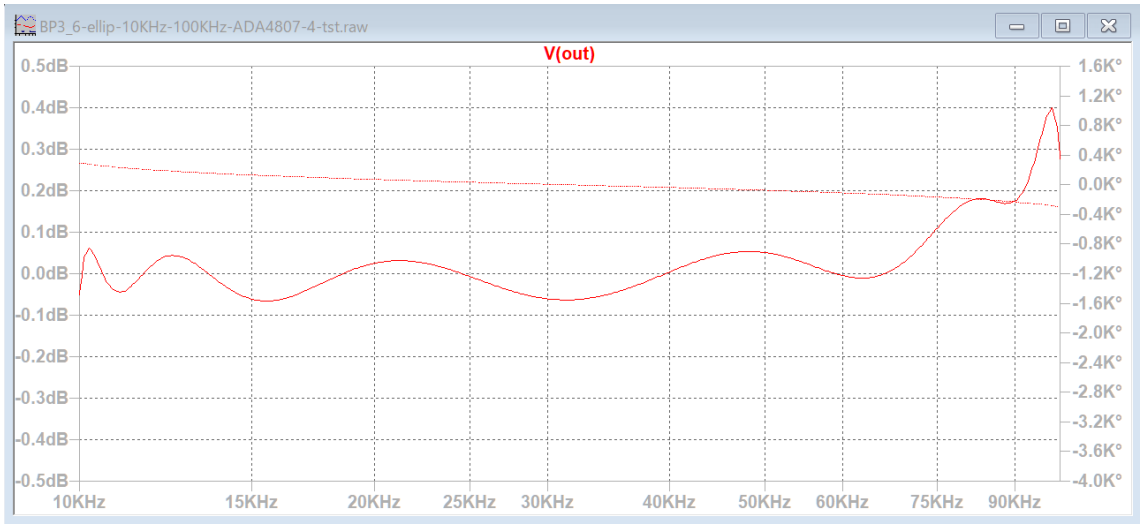
ブロック 1～6 の R3_1～R3_6 に C1～C6 を並列接続してピークを除去します。

基本回路「et1」―「BP3」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

BP3_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-tst

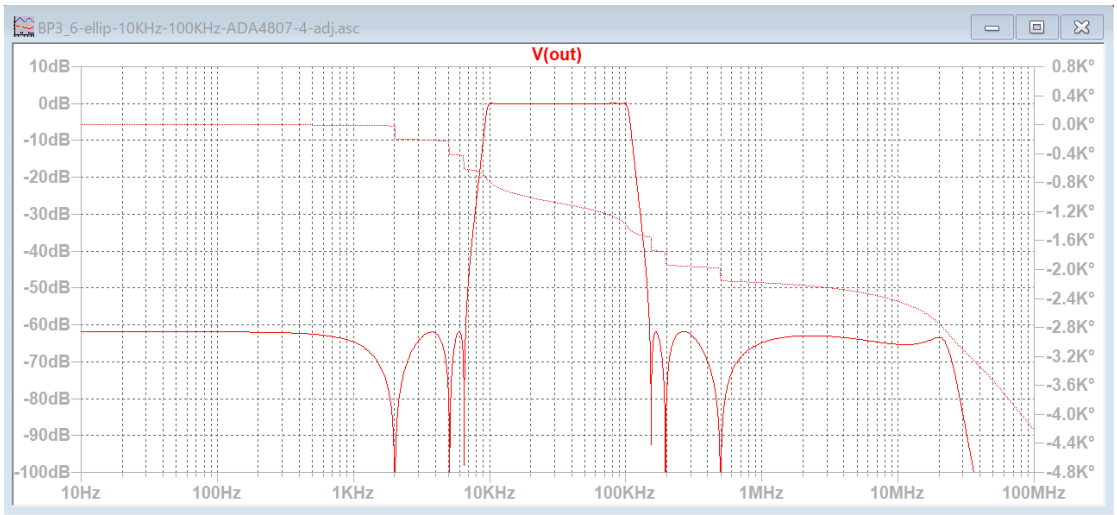


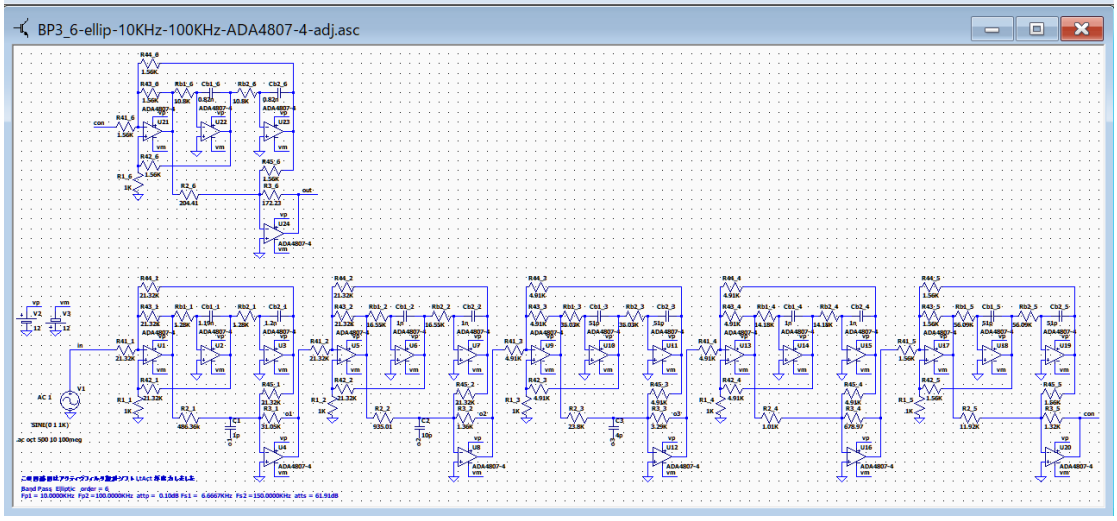
C1=1p, C2=10p, C3=4p に設定してピークを除去しました。100KHz を調整します。



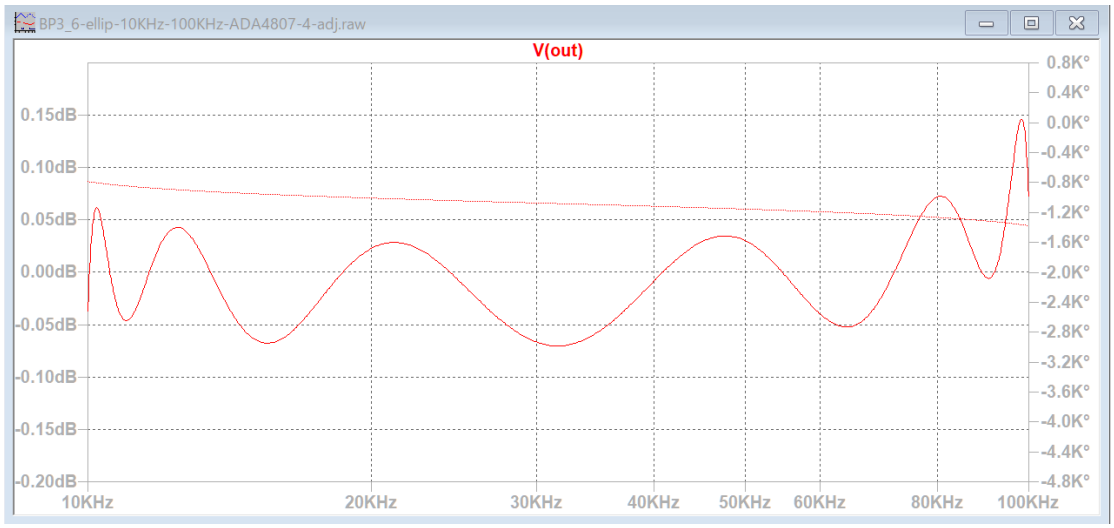
基本回路「et1」―「BP3」楕円関数基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP3_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj



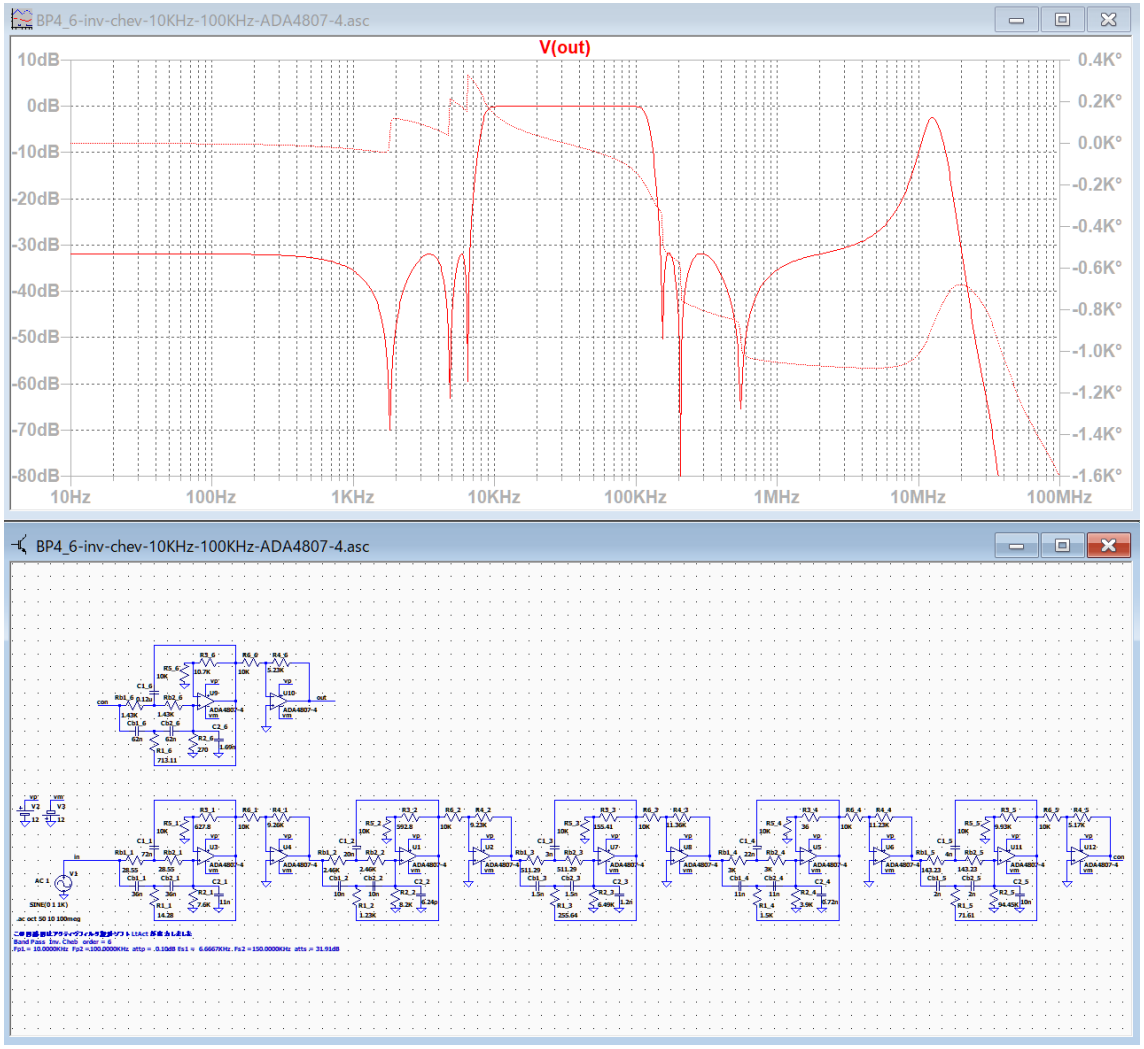


ブロック 1 の Cb1_1 を 1.2n から 1.19n に変更して、100KHz を調整しました。



基本回路「et1」―「BP3」楕円関数基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

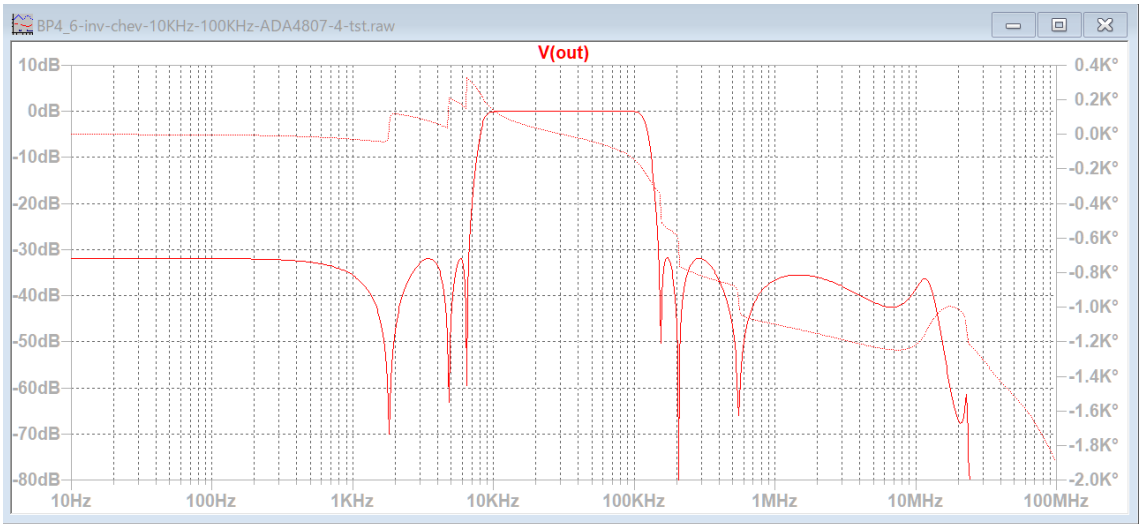
基本回路「et2」―「BP4」逆チェビシェフ
BP4_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4

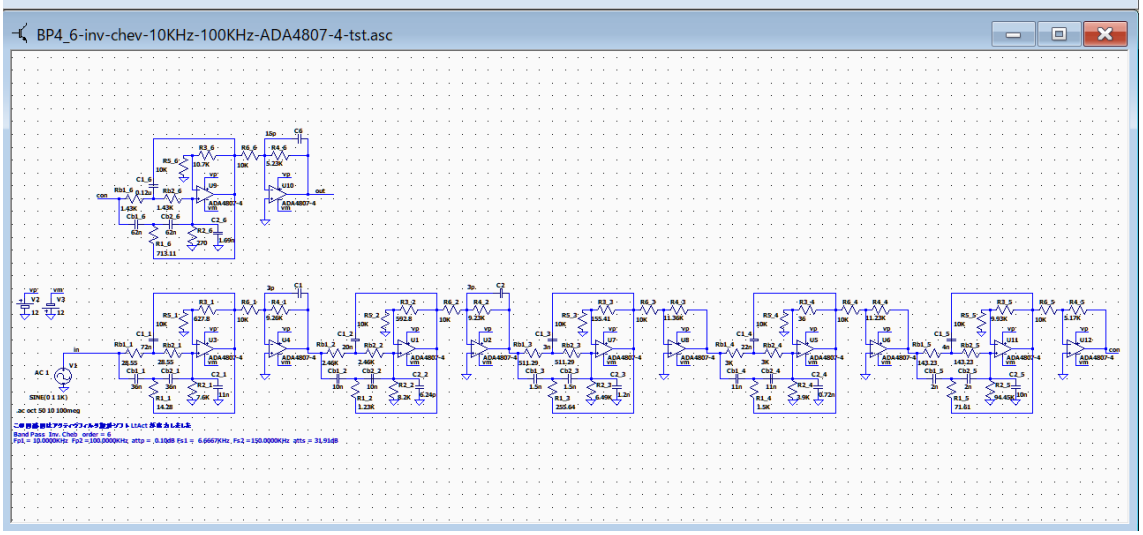


遮断域の高域にピークが発生しています。

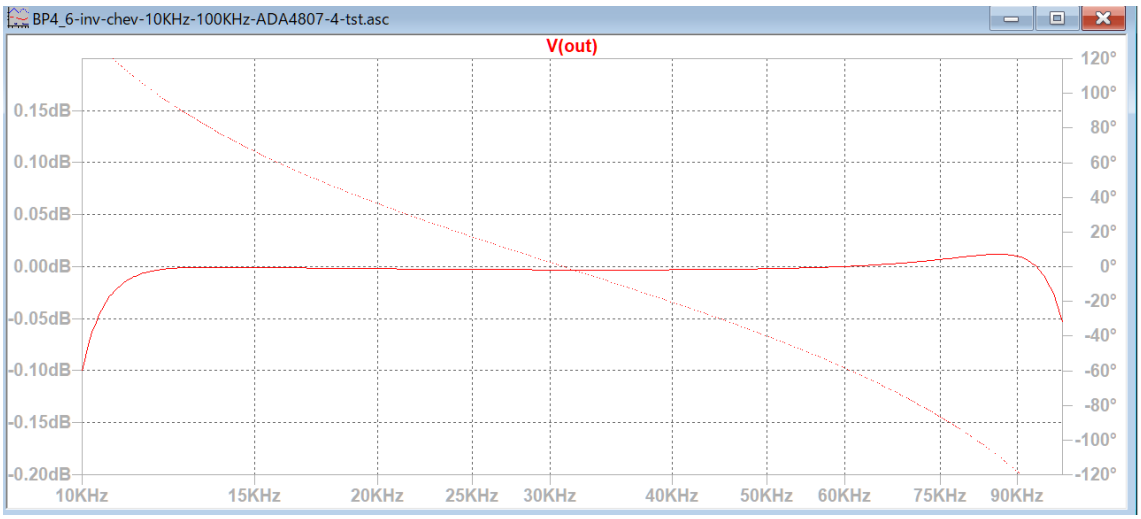
ブロック 1～6 の R4_1～R4_6 に C1～C6 を並列接続してピークを除去します。

BP4_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-tst



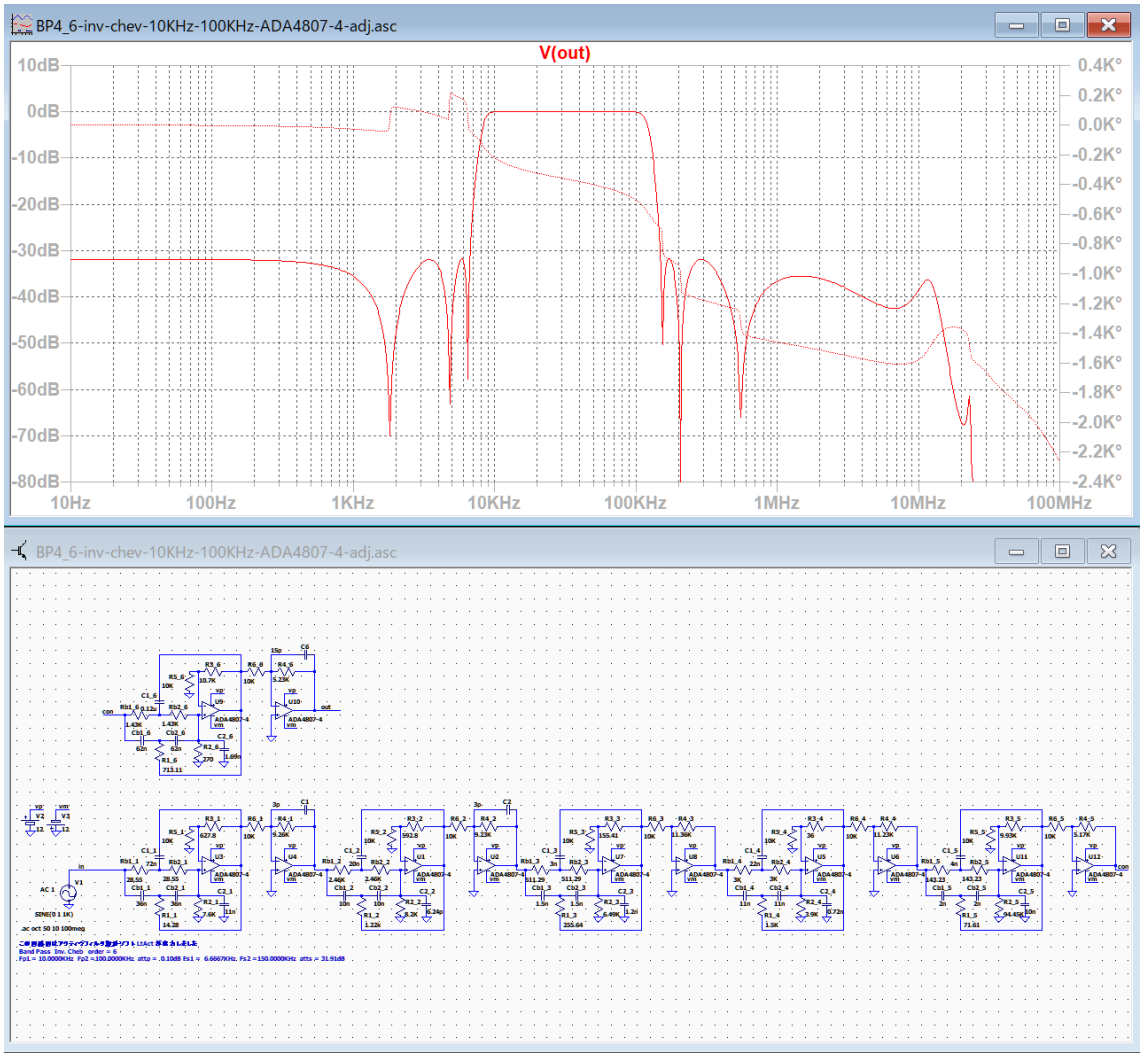


C1=3p, C2=3p, C6=15p に設定してピークを除去しました。10KHz の調整をします。

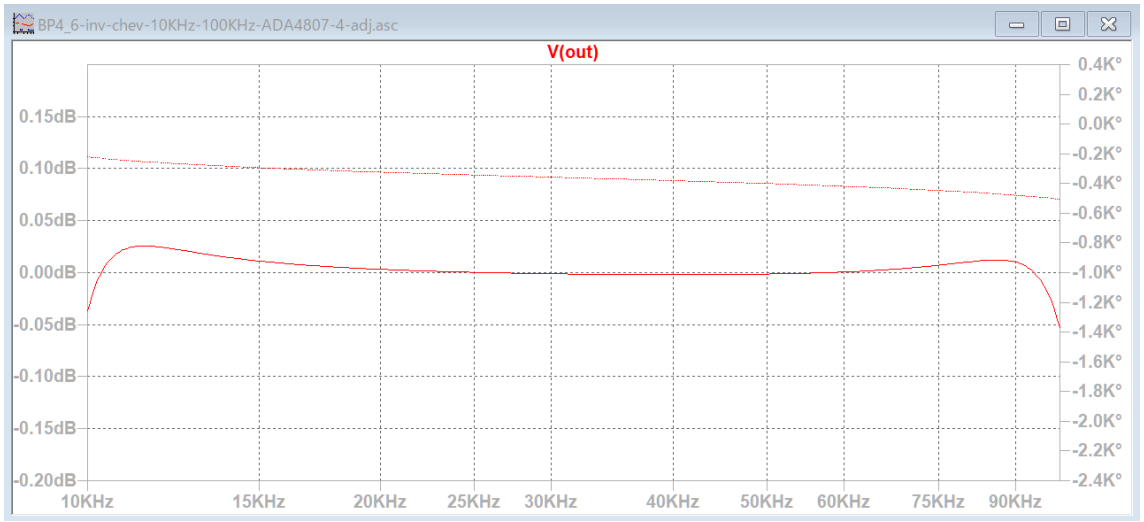


基本回路「et2」―「BP4」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP4_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj



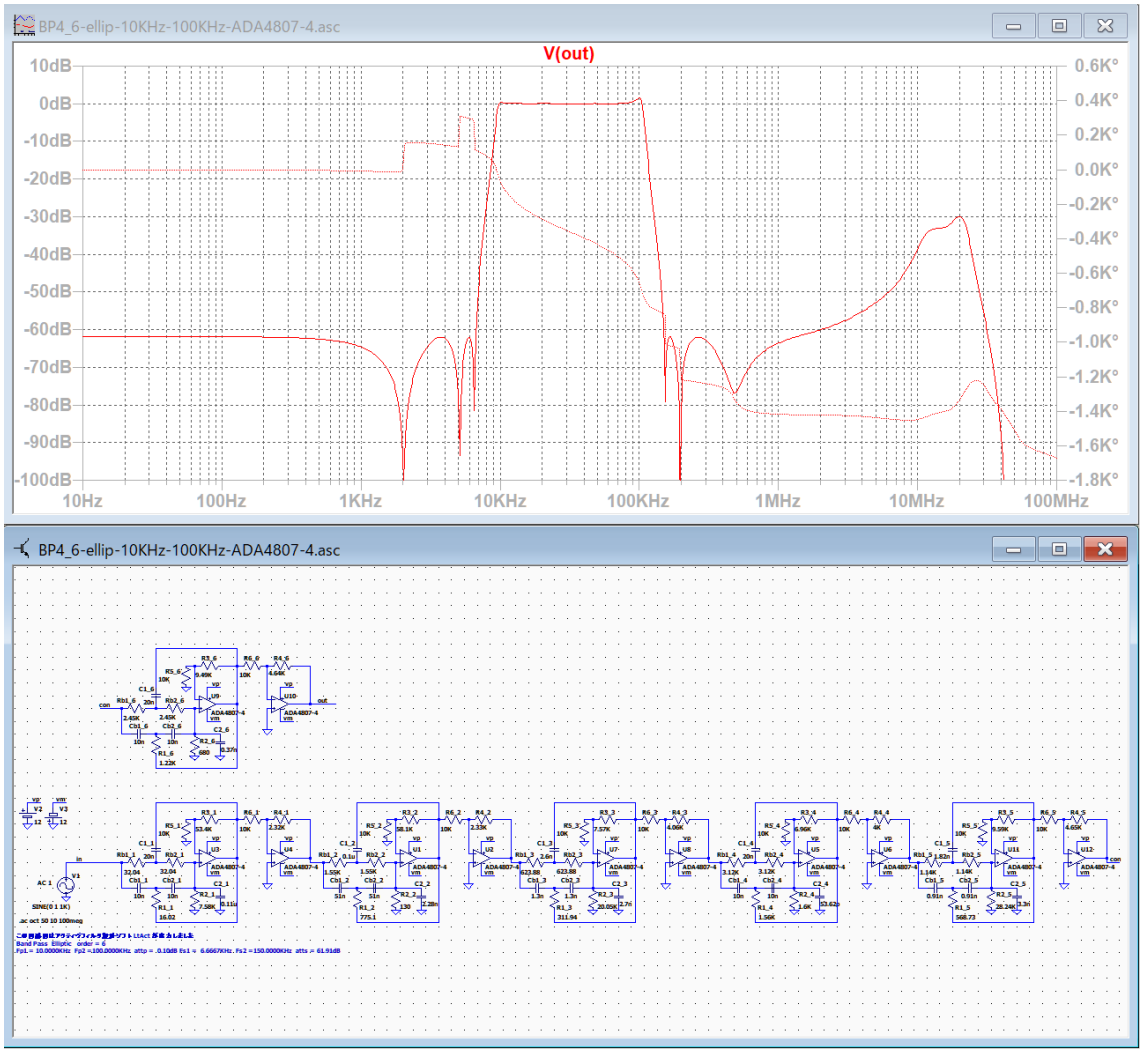
ブロック 2 の R1_2 を 1.23k から 1.22K に変更して 10KHz の調整をしました。



基本回路「et2」―「BP4」逆チェビシェフ基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

基本回路「et2」―「BP4」楕円関数

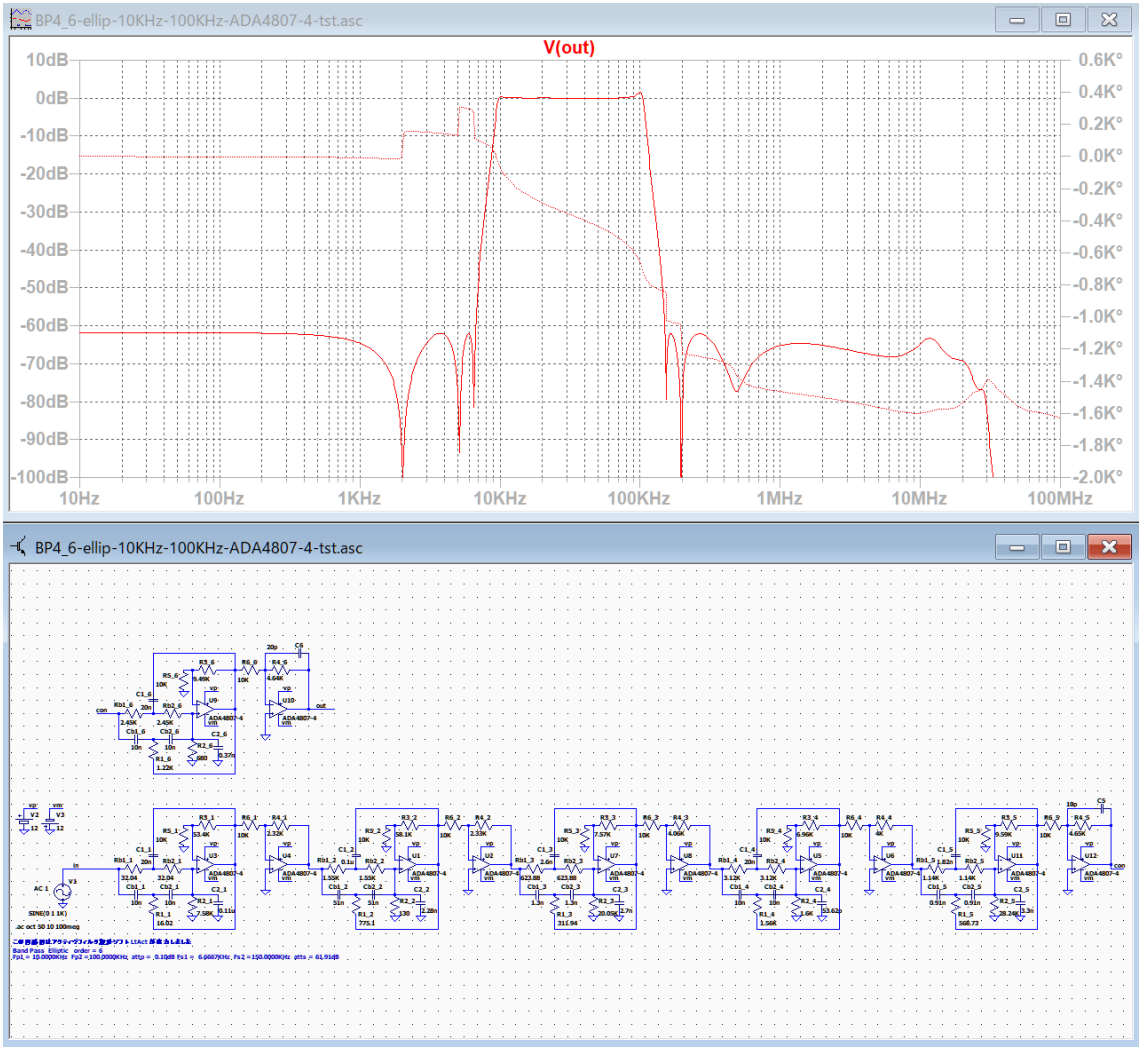
BP4_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4



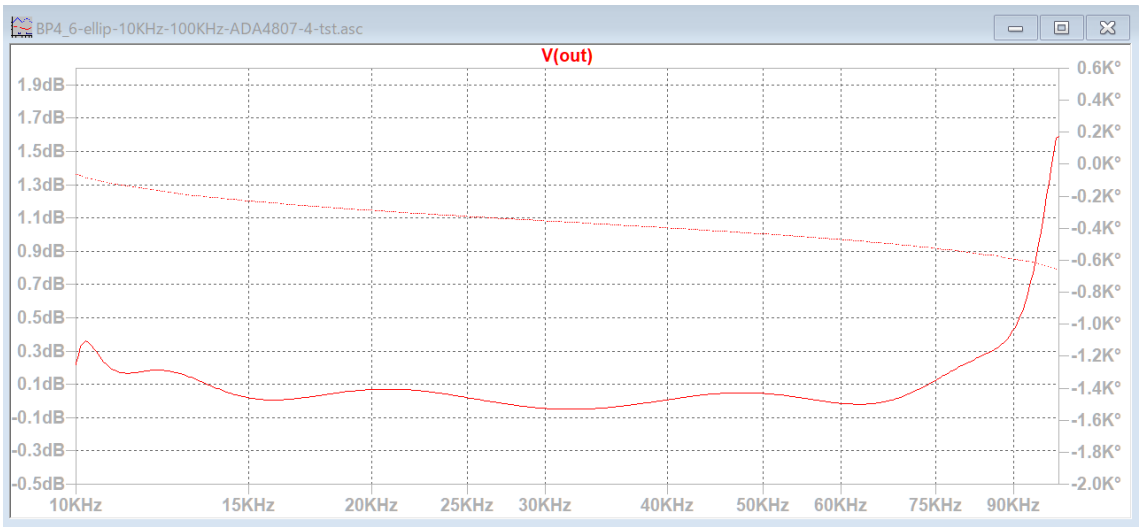
遮断域の高域にピークが発生しています。

ブロック 1～6 の R4_1～R4_6 に C1～C6 を並列接続してピークを除去します。

BP4_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-tst

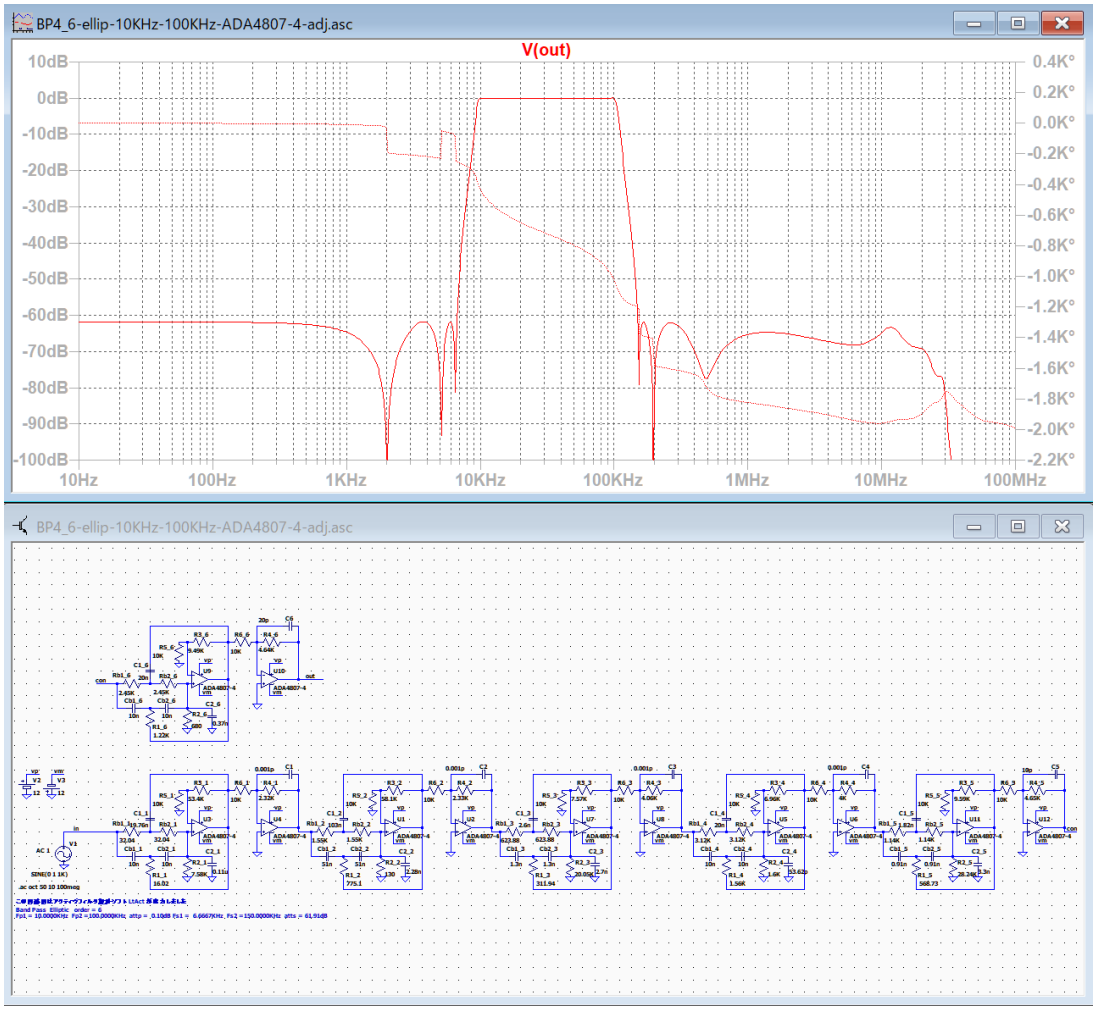


C5=10p, C6=20p に設定してピークを除去しました。10KHz と 100KHz を調整します。

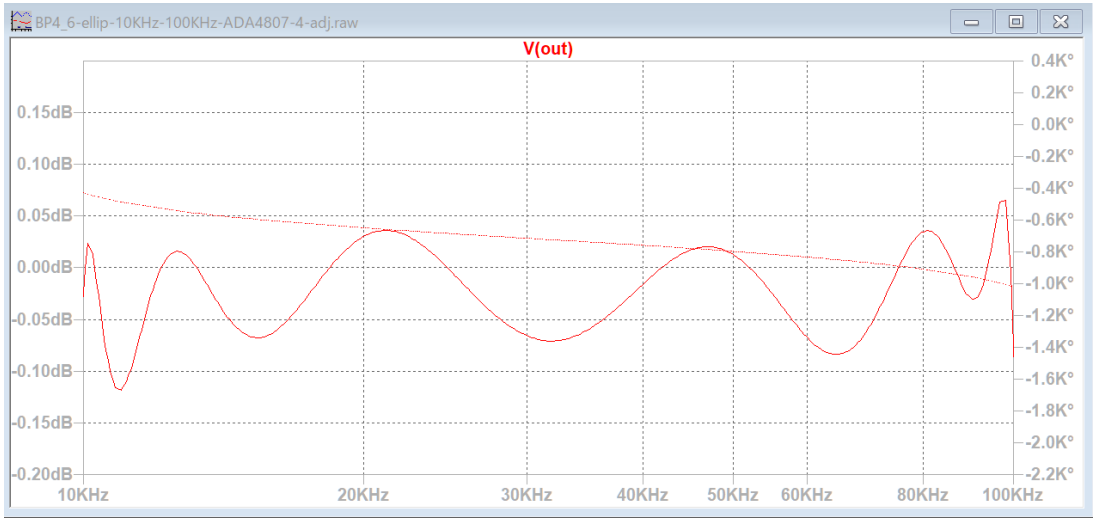


基本回路「et2」―「BP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BP4_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj



C1_1=19.76n, C1_2=103n に変更して 10KHz と 100KHz を調整しました。

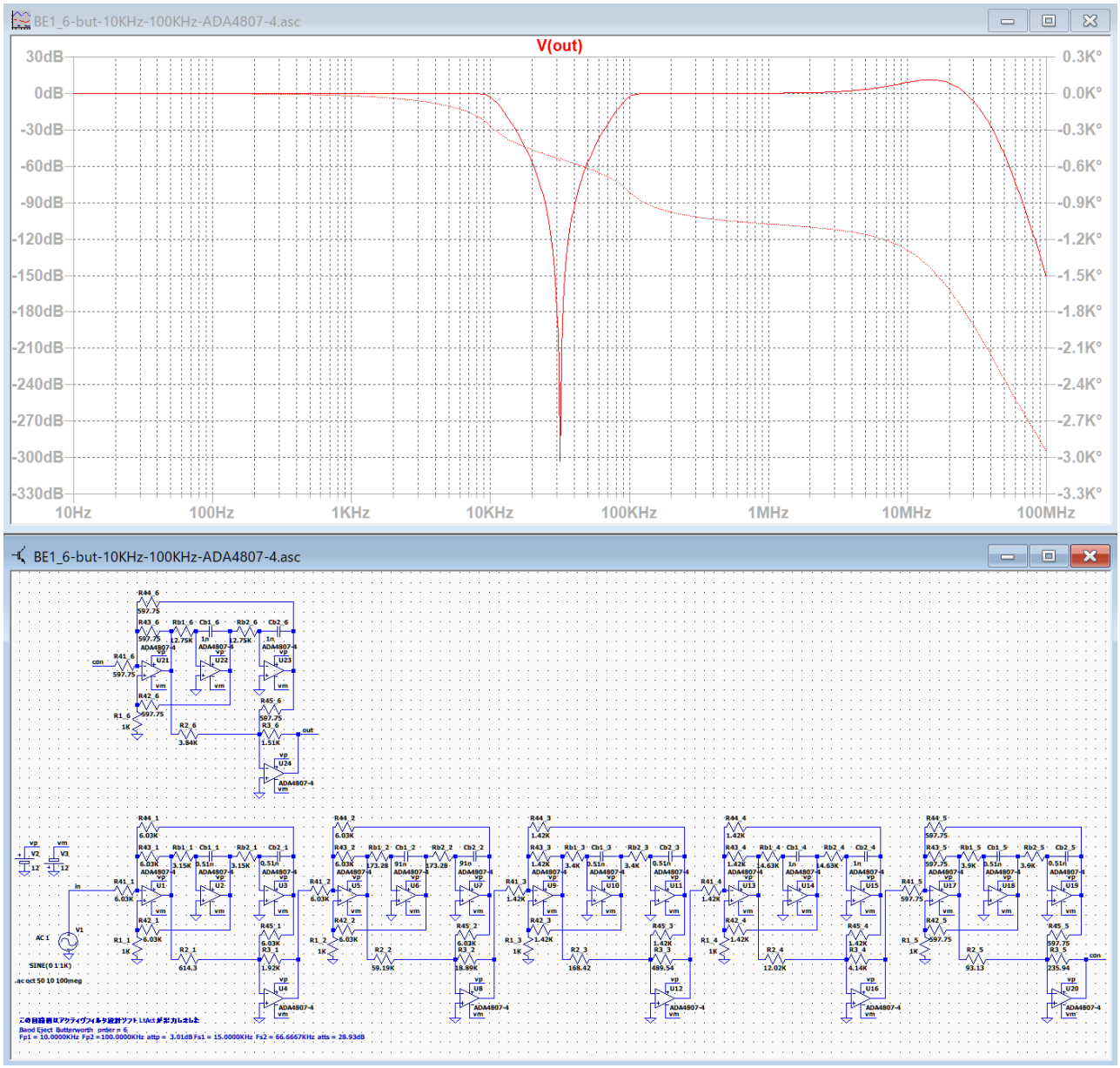


「BE2 のための回路図作成方法　まとめ」以降を参照してください。

基本回路「et2」―「BP4」楕円関数基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

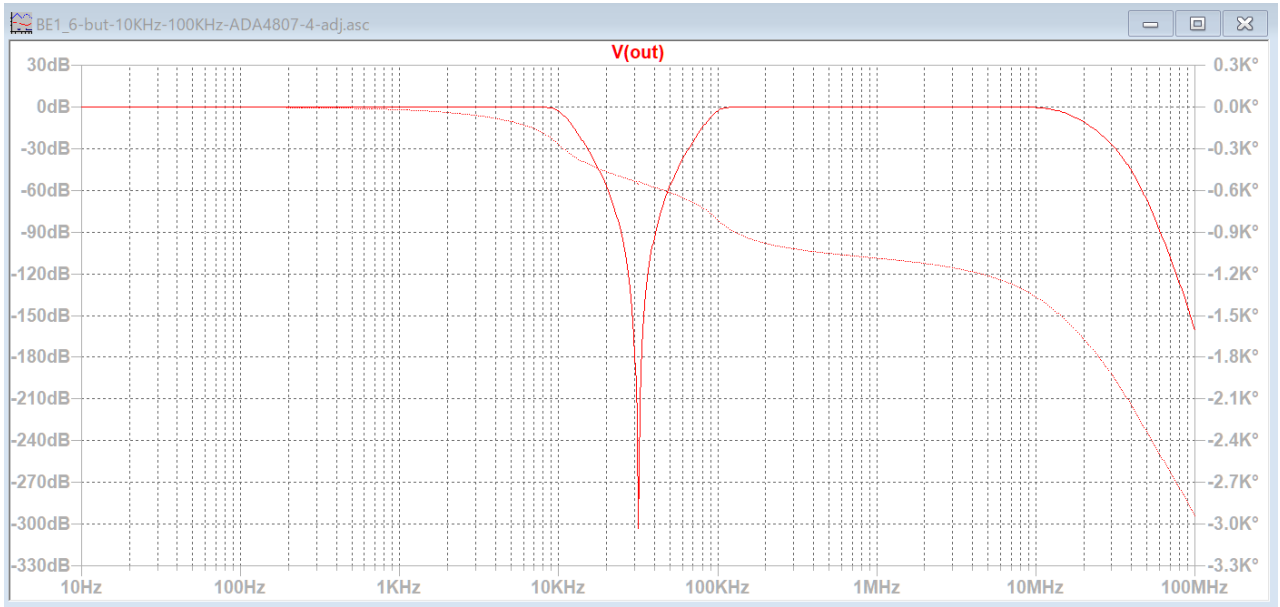
基本回路「et1」―「BE1」バターワース・チェビシェフ

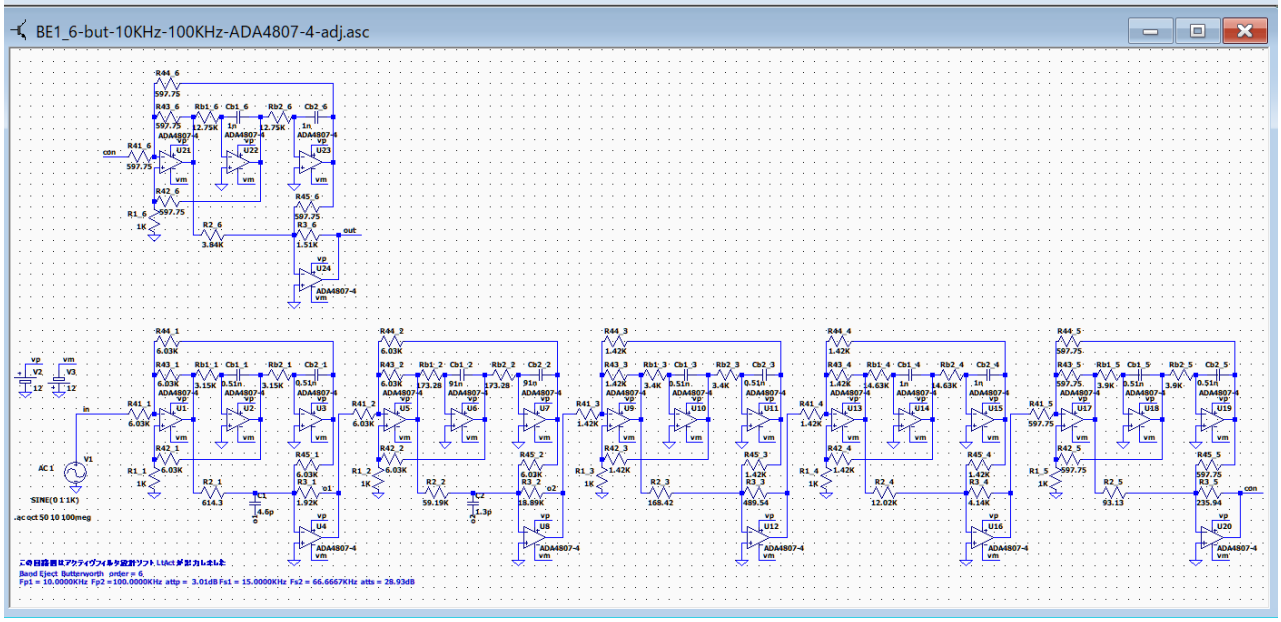
BE1_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4



通過域の高域にピークが発生しています。

BE1_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj

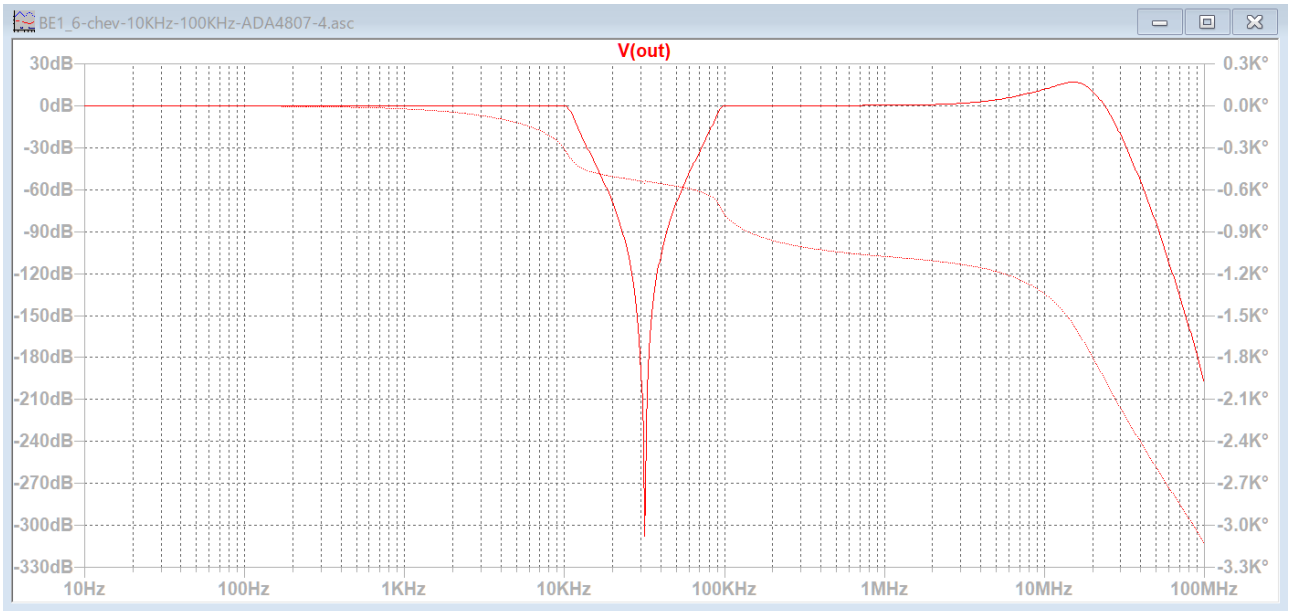


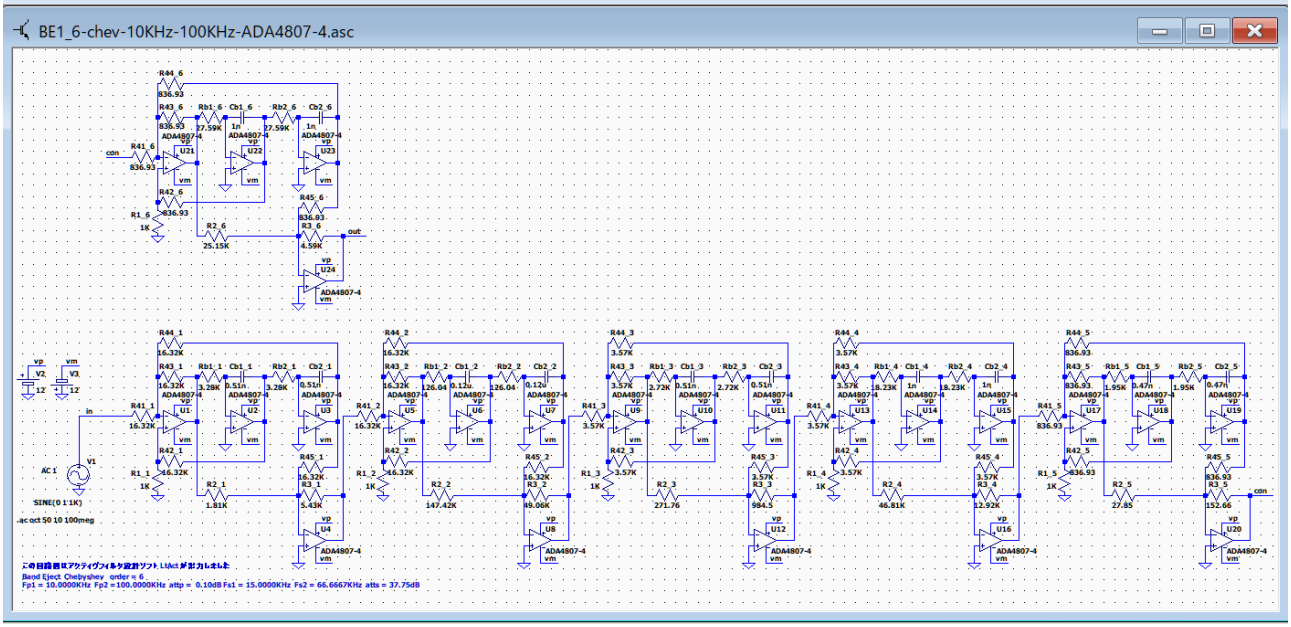


ブロック 1 の R3_1 に C1=4.6p、ブロック 2 の R3_2 に C2=1.3p を並列接続してピークを除去しました。

基本回路「et1」―「BE1」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE1_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4

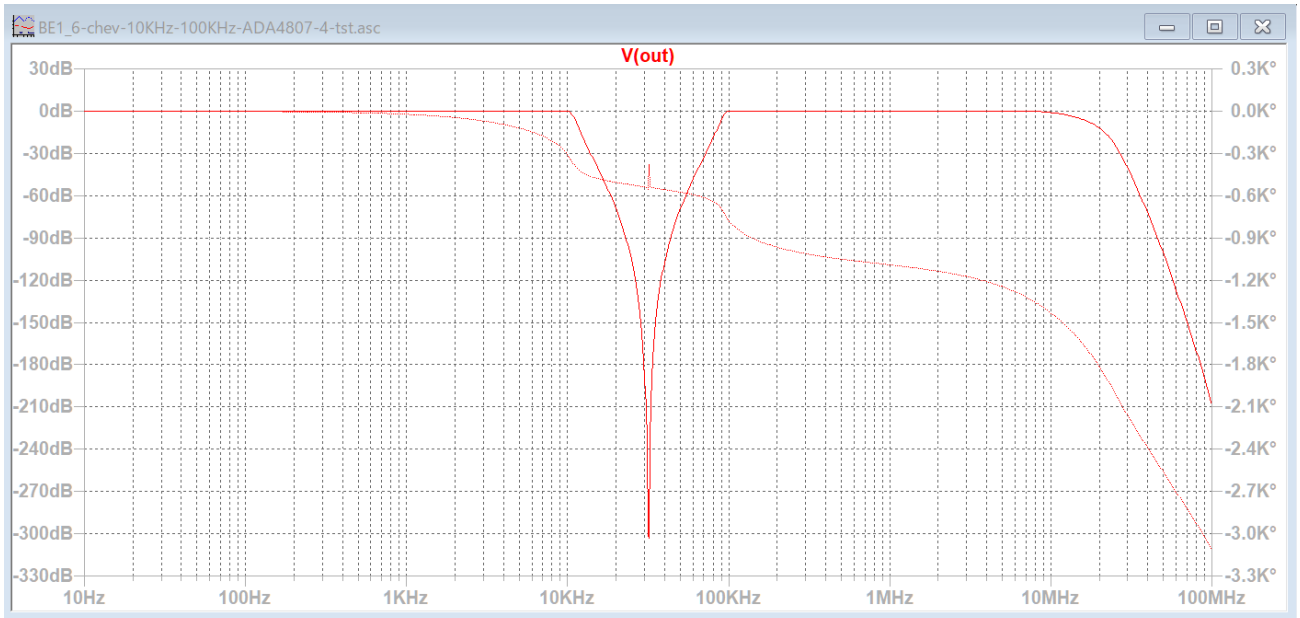


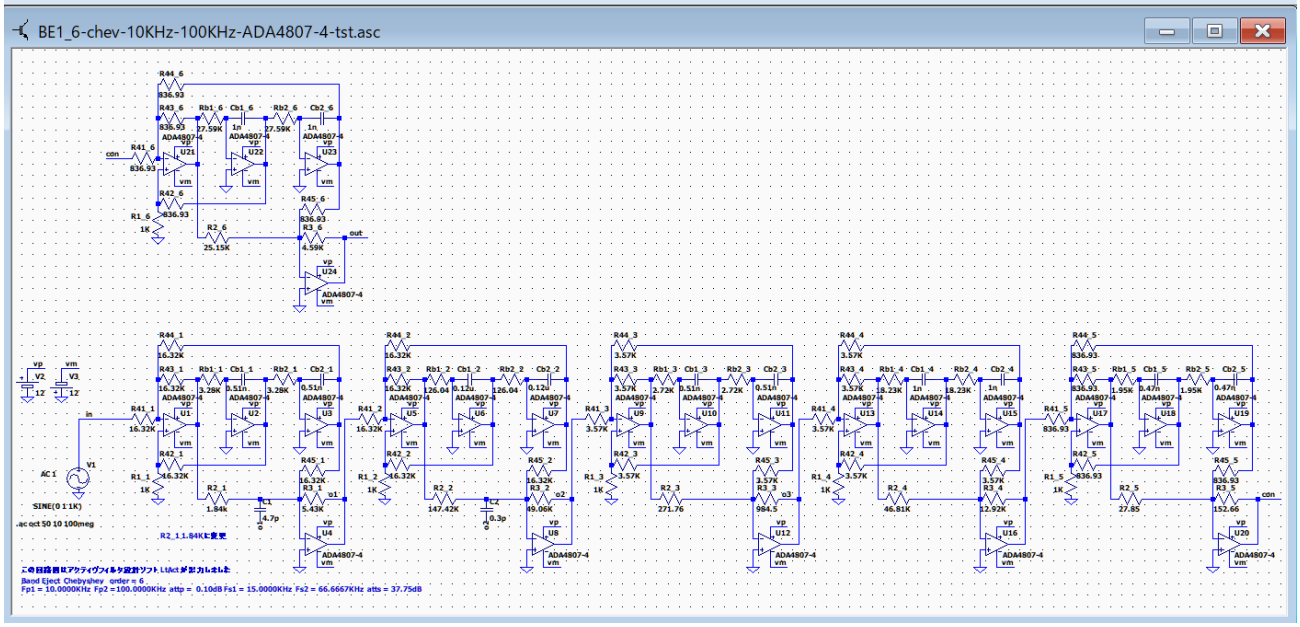


通過域の高域にピークが発生しています。

基本回路「et1」―「BE1」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE1_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-tst



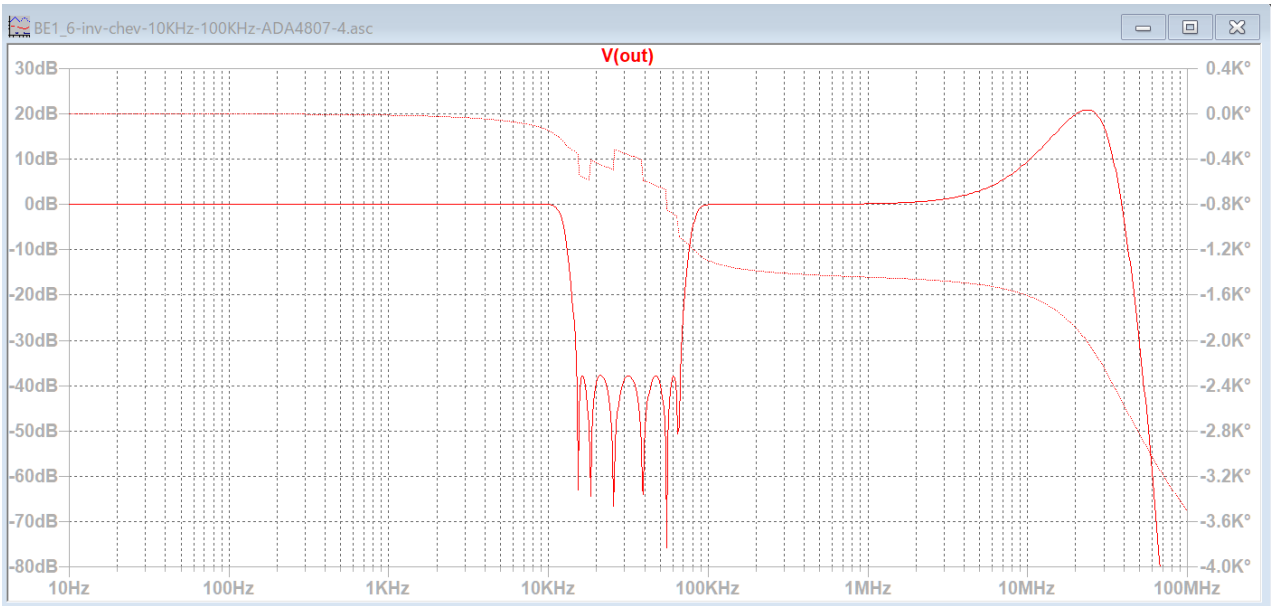


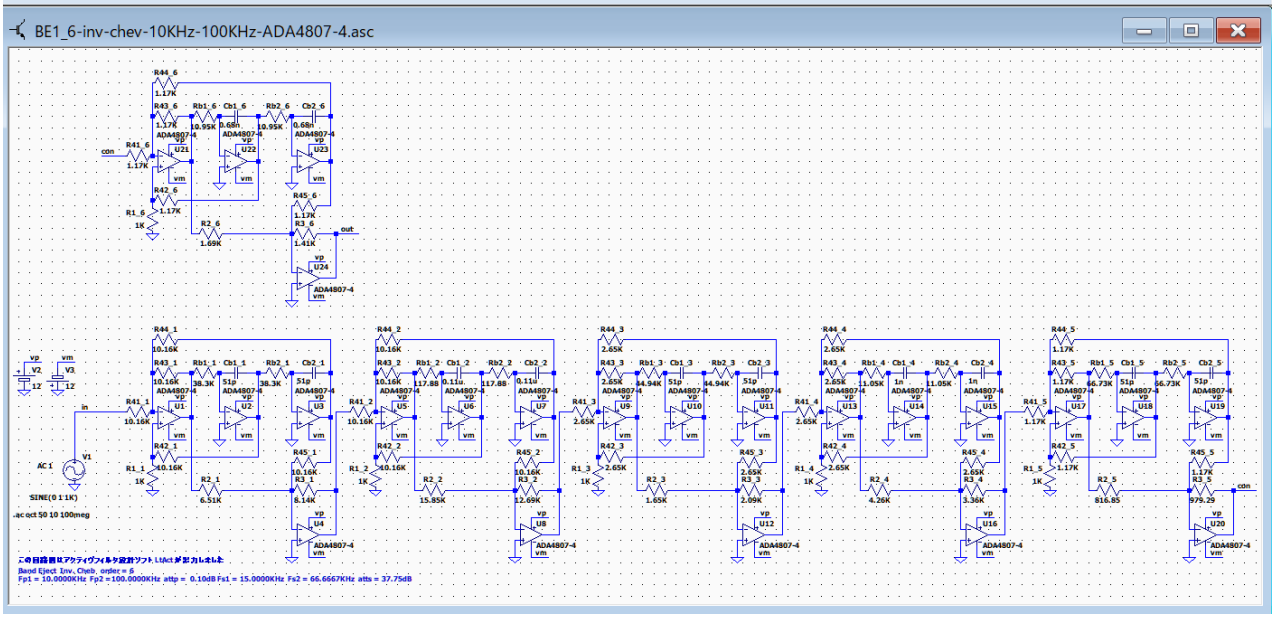
ブロック 1 の R3_1 に C1=4.7p、ブロック 2 の R3_2 に C2=0.3p を並列接続してピークを除去しました。

基本回路「et1」―「BE1」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

基本回路「et1」―「BE1」逆チェビシェフ・楕円関数

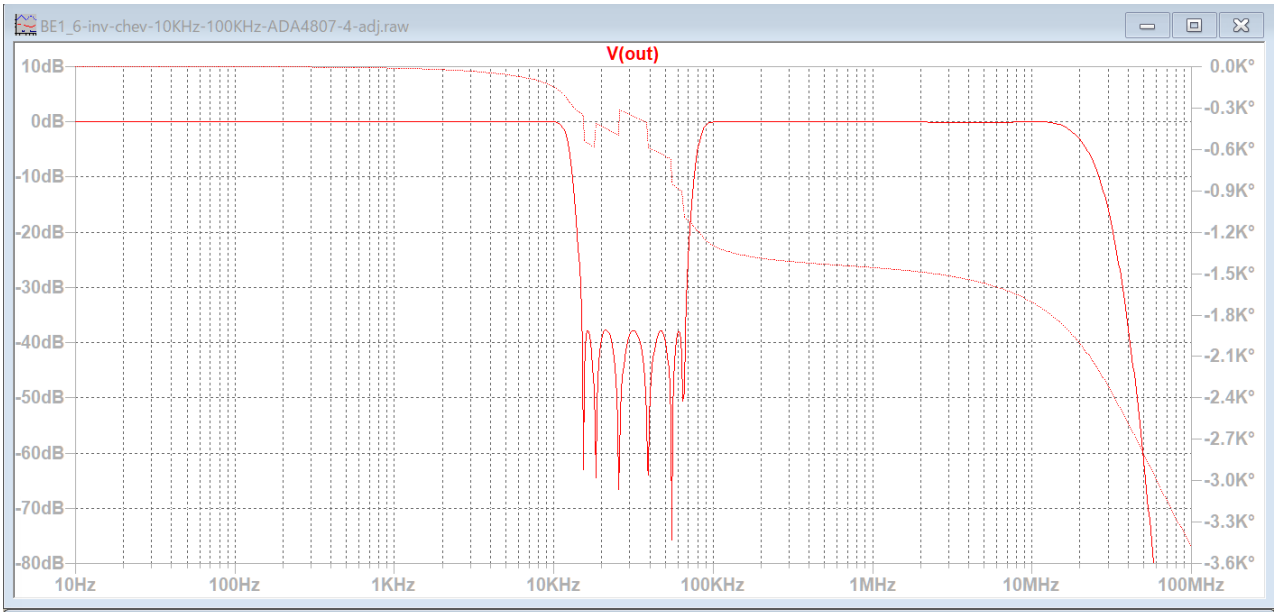
BE1_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4

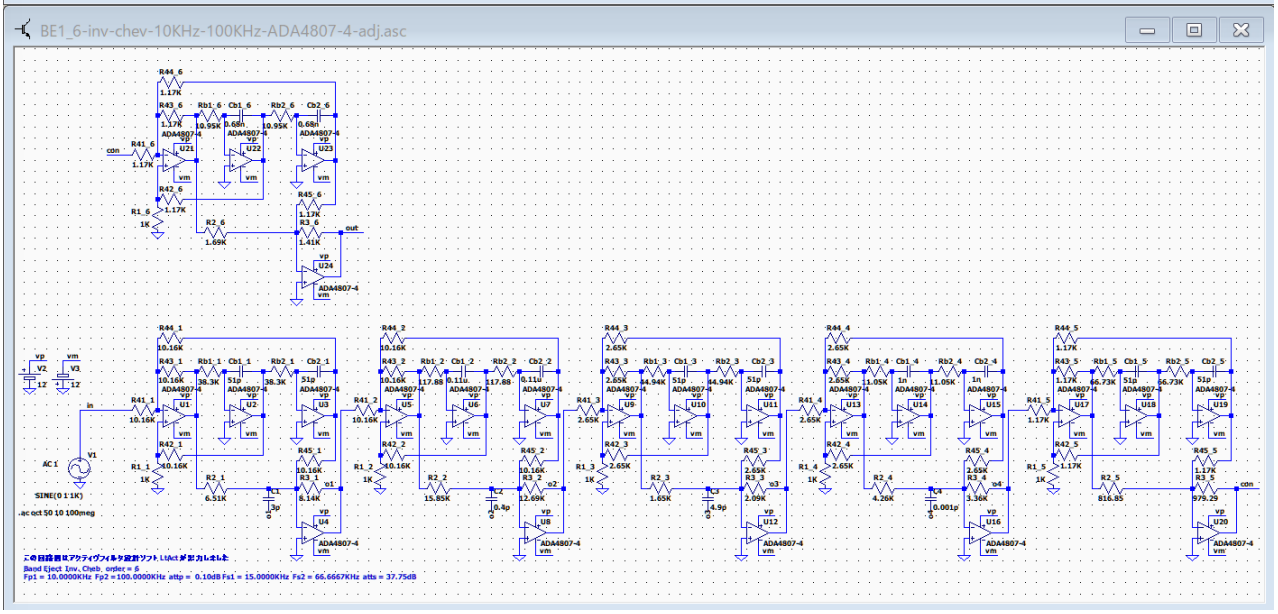




通過域の高域にピークが発生しています。

BE1_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj

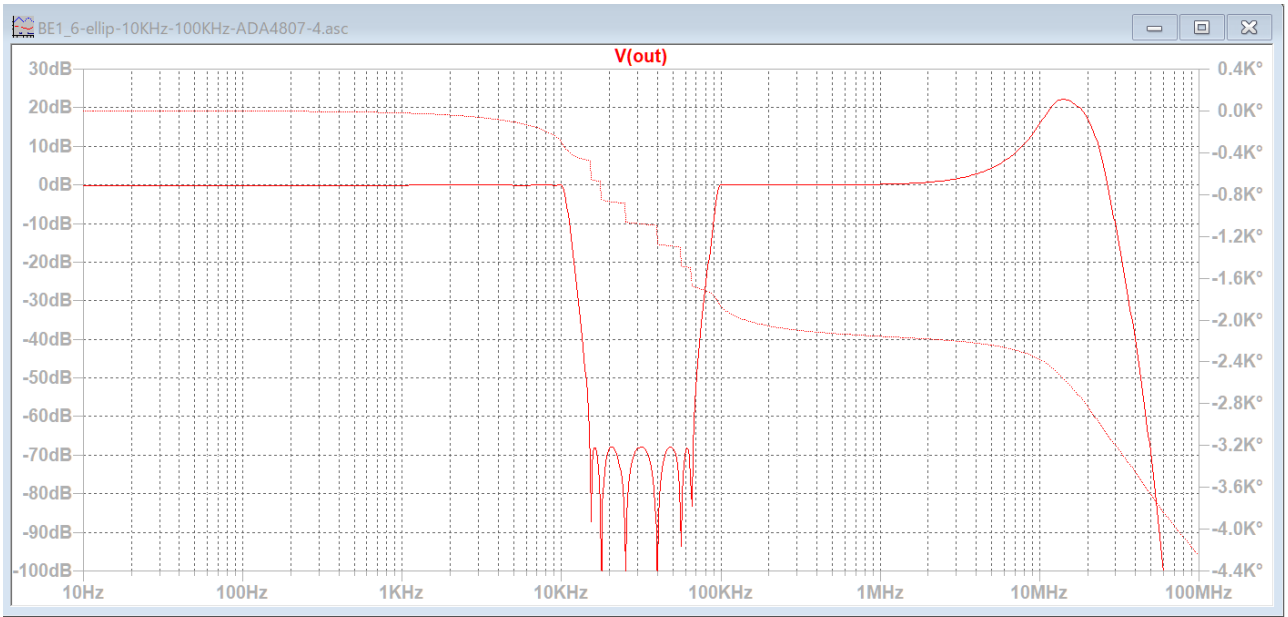


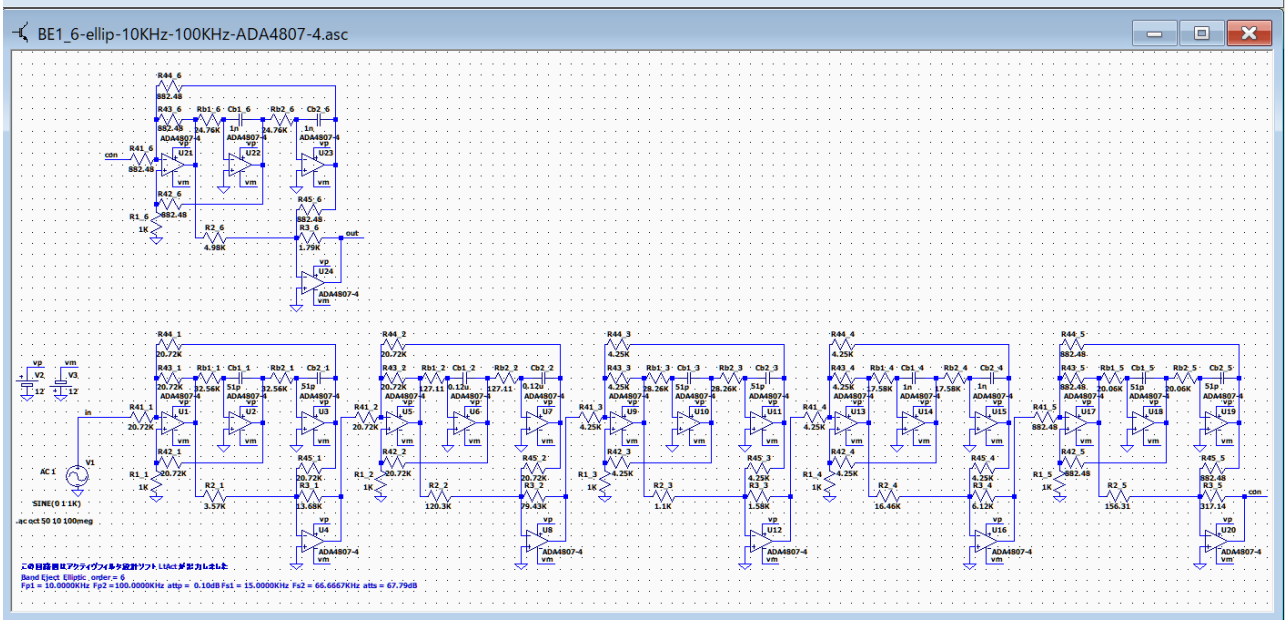


ブロック 1 の R3_1 に C1=3p、ブロック 2 の R3_2 に C2=0.4p を並列接続してピークを除去しました。

基本回路「et1」―「BE1」逆チェビシェフ・楕円関数
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE1_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4

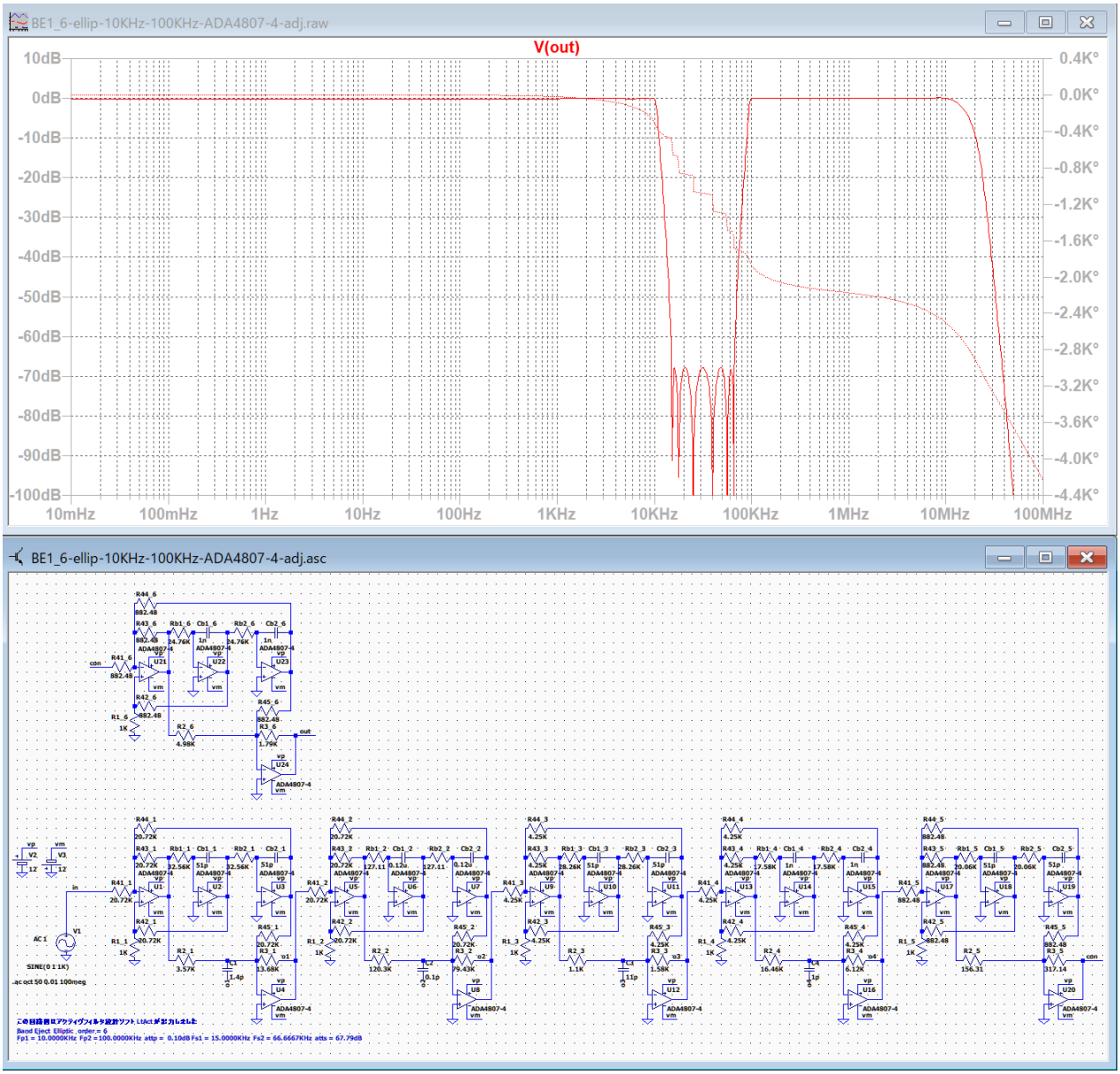




通過域の高域にピークが発生しています。

基本回路「et1」―「BE1」逆チェビシェフ・楕円関数
基本回路「LP2」バターワース・チェビシェフ

BE1_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-adj

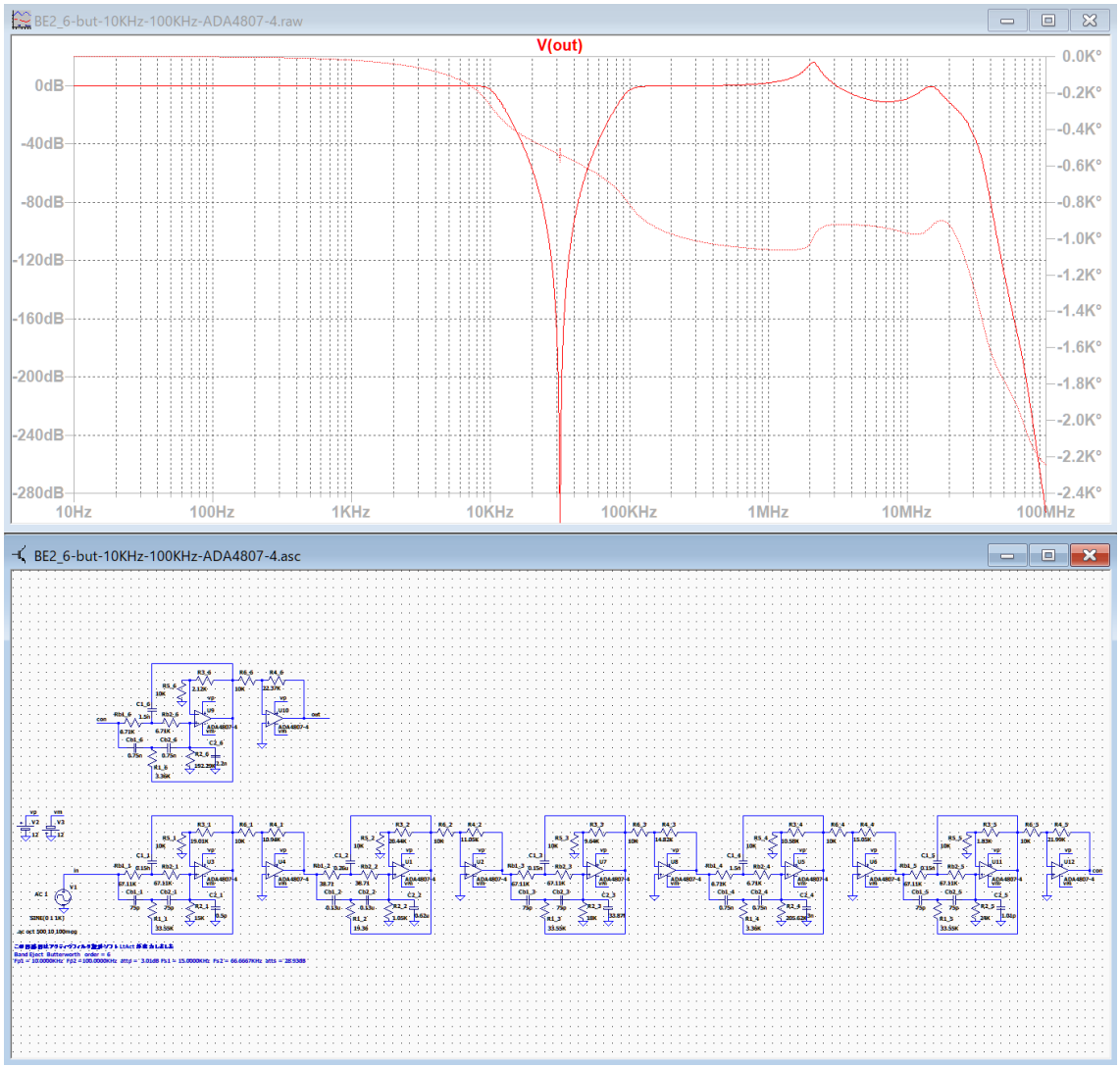


ブロック 1 の R3_1 に C1=1.4p、ブロック 2 の R3_2 に C2=0.1p、ブロック 3 の R3_3 に C3=11p、ブロック 4 の R3_4 に C4=1p を並列接続してピークを除去しました。

基本回路「et1」―「BE1」逆チェビシェフ・楕円関数
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

基本回路「et2」―「BE2」バターワース・チェビシェフ

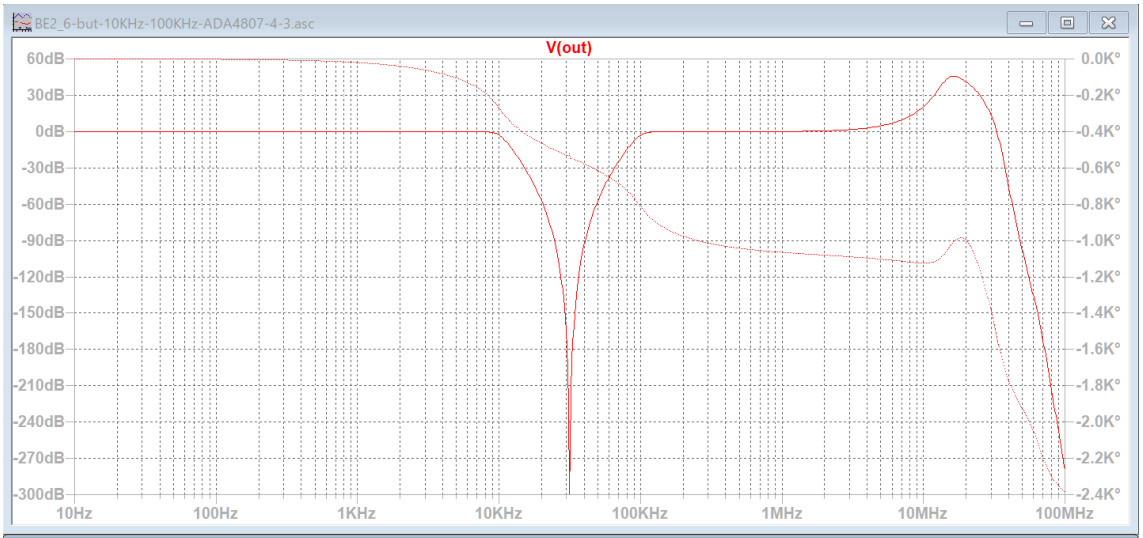
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4

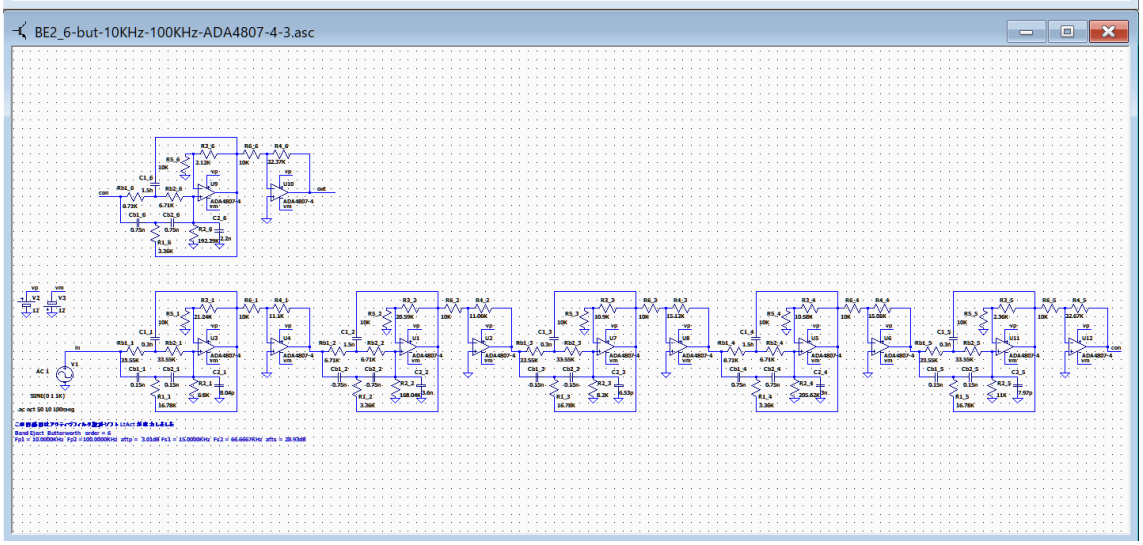


通過域の高域に 2 つのピークが発生しています。回路が正常に動作していないと考えられます。

ブロック 1, 3, 5 の C2_1=0.5p, C2_3= 33.87f, C2_5= 1.01p は値が小さすぎるので、最低 6p に指定して回路図を作成し直します。

BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-3

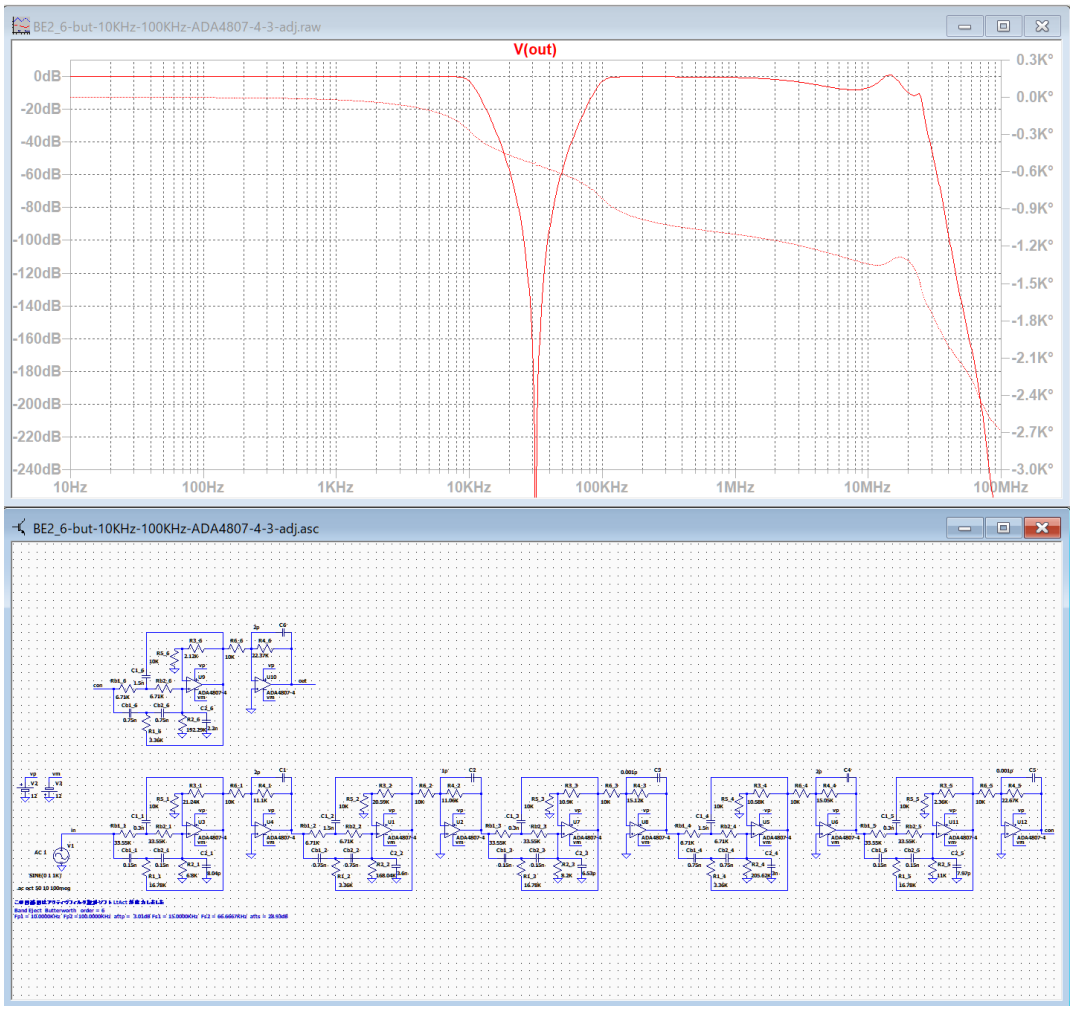




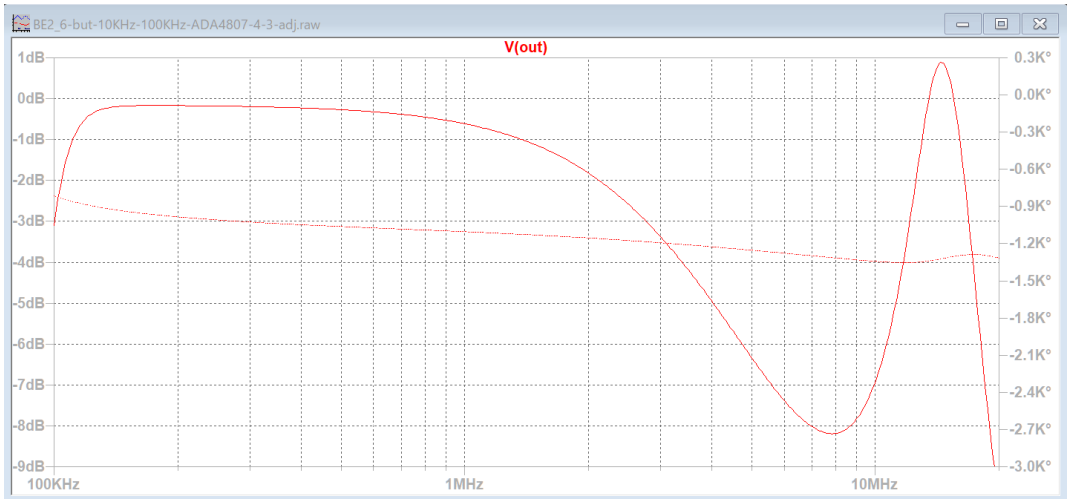
ブロック 1, 3, 5 で Cb1_??=75p が候補値として表示されますが、150 を入力して「OK」を 2 回クリックします。次に C2_??=xxx と小さな値が示されるので、6 を入力して「OK」を 2 回クリックします。

Cb1_??=75p のままで、C2_??だけを 6p 以上に設定してもピークが 2 つ発生します。
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2.asc　を LtSpice で確認してください。

BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-3-adj

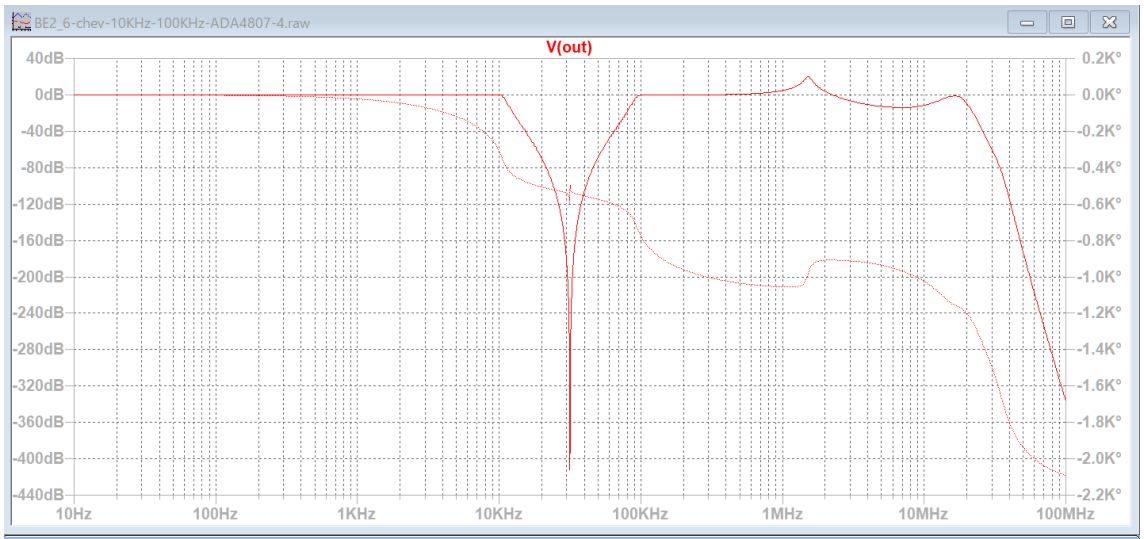


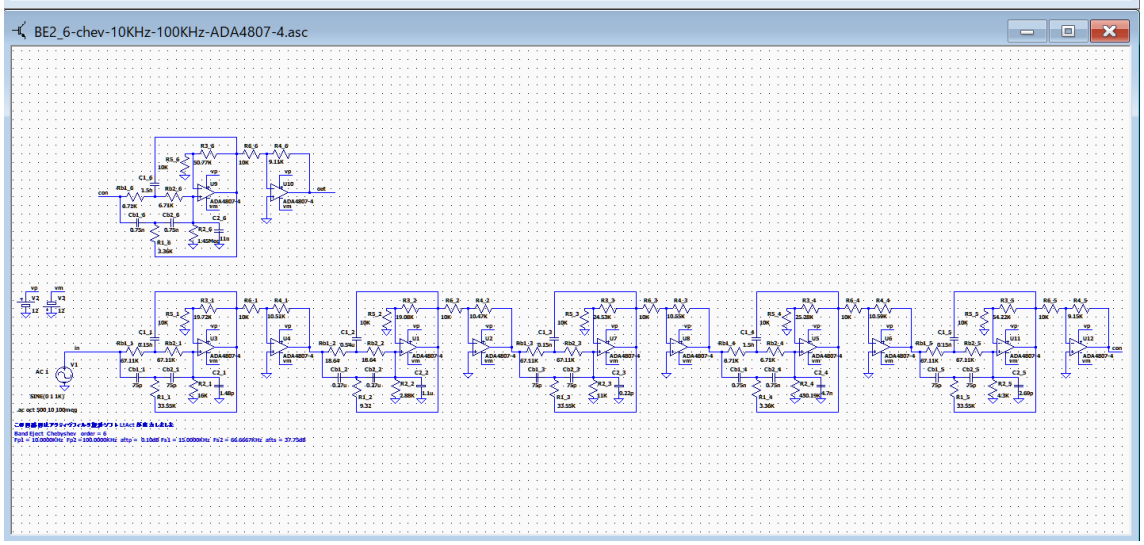
ブロック 1, 2, 4, 6 の C1, C2, C4, C6 を調整してピークを除去しましたが、
通過域の高域を平坦に調整出来ませんでした。



基本回路「et2」―「BE2」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4



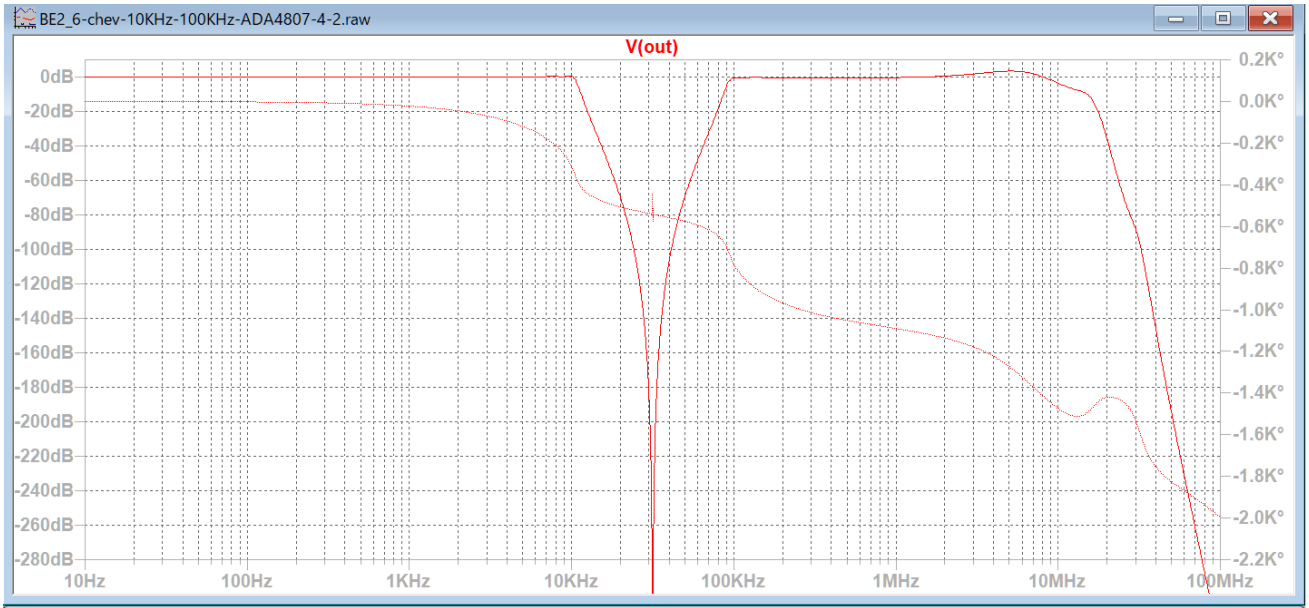


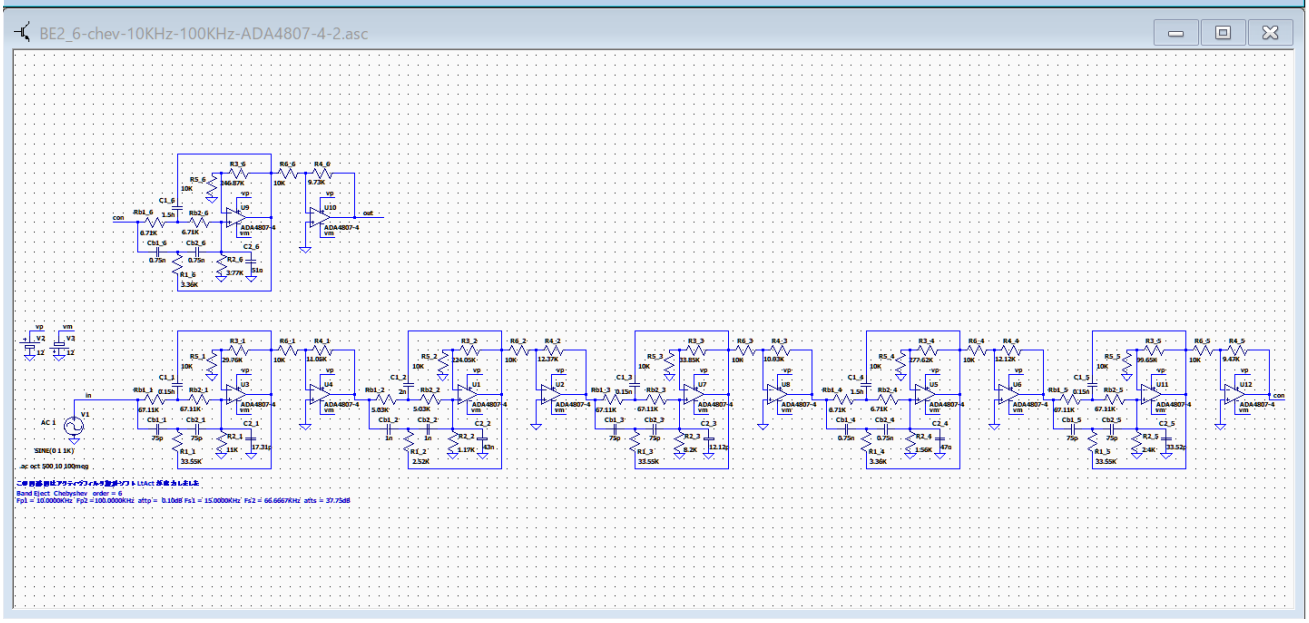
通過域の高域に 2 つのピークが発生しています。回路が正常に動作していないと考えられます。

ブロック 1, 3, 5 の C2_1=1.48p, C2_3= 0.22p, C2_5= 2.69p は値が小さすぎるので、最低 6p に指定して回路図を作成し直します。

基本回路「et2」―「BE2」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2



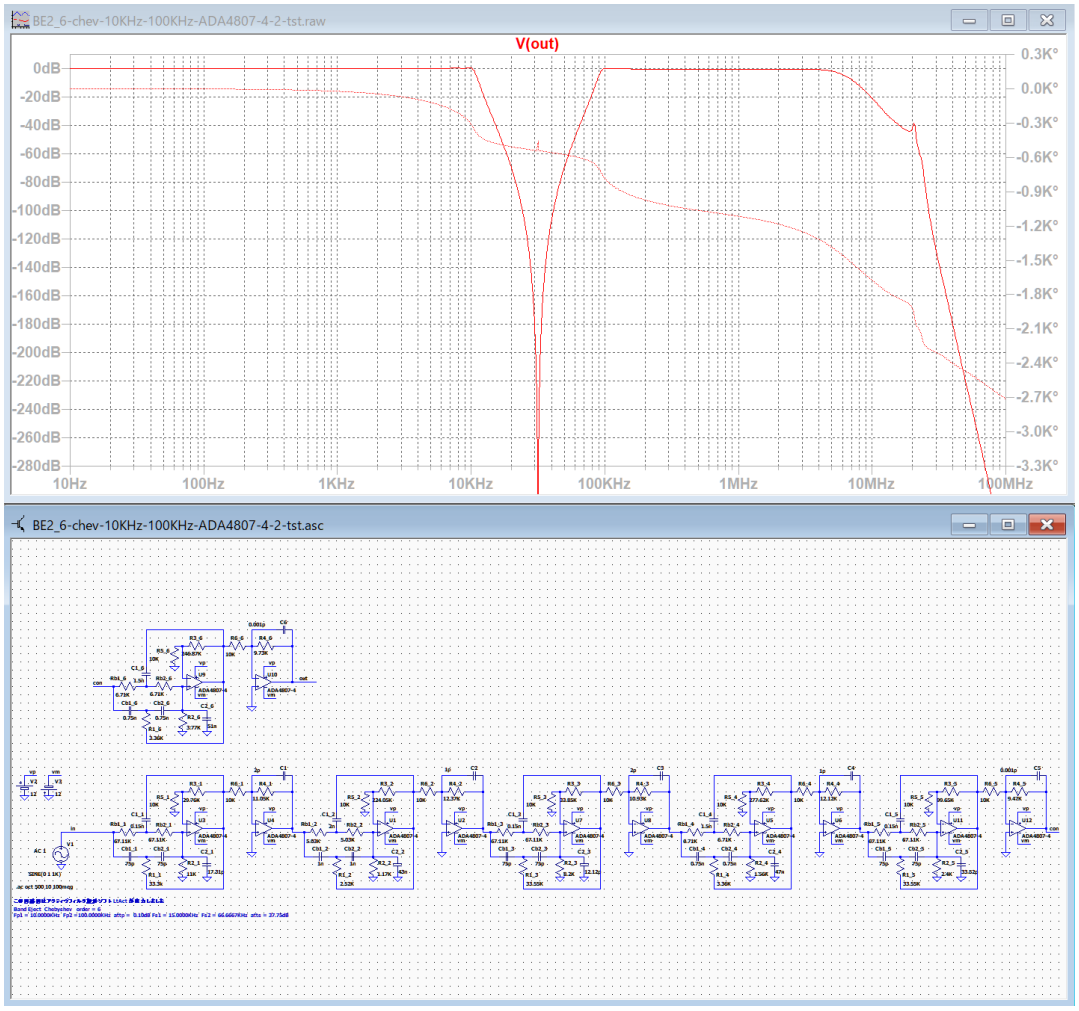


ブロック 1 を C2_1=17.31p に設定すると、ブロック 2 の候補値が Cb1_2=1n に変わりましたがそのまま「OK」をクリックしました。ブロック 3 は C2_3=12.12p に設定しました。ブロック 4 は間違えて C2_4=47n に設定しました。ブロック 5 は C2_5=33.52p に設定しました。ブロック 6 は間違えて C2_6=51n に設定しました。

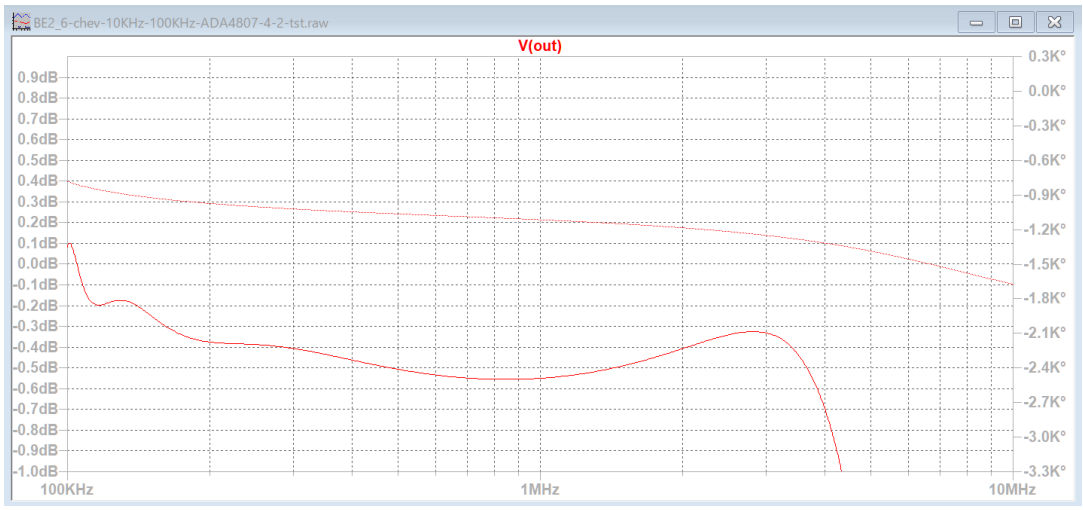
このように設定時の操作間違いによって、偶然ピークが低くなりました。
少し寝ぼけていたので、二度とこのような設定は出来ないと思います。

基本回路「et2」―「BE2」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst

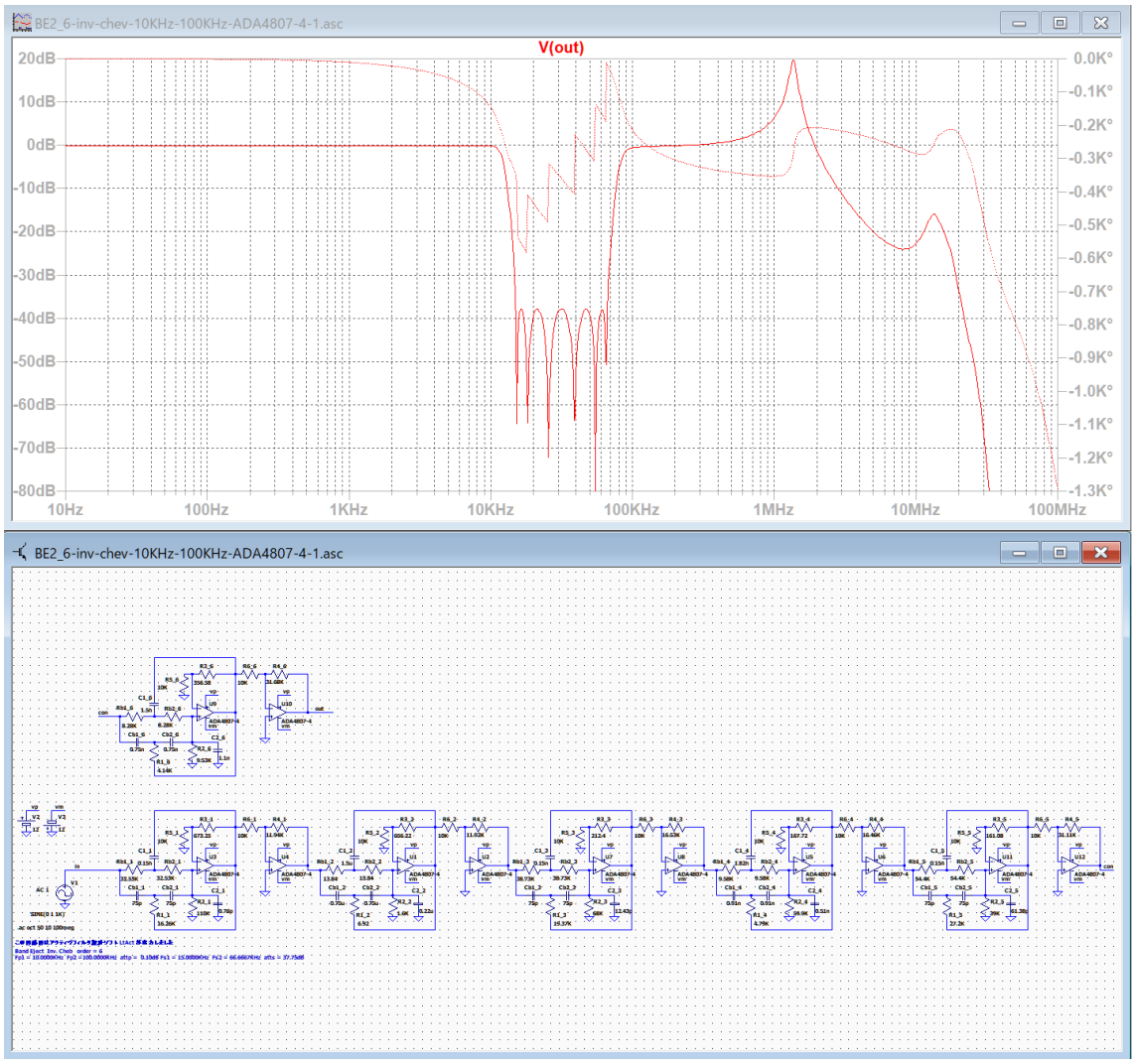


R1_1=33.3K, C1=2p, C2=1p, C3=2p, C4=1p に設定してピークを除去し、通過域を平坦に調整できました。



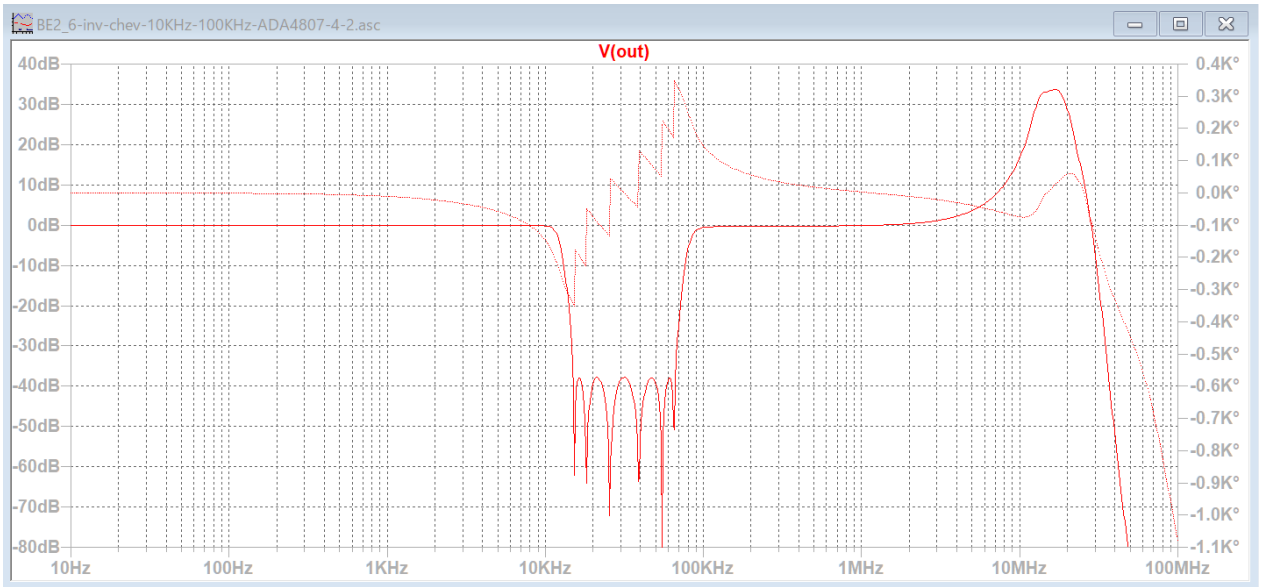
基本回路「et2」―「BE2」バターワース・チェビシェフ
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

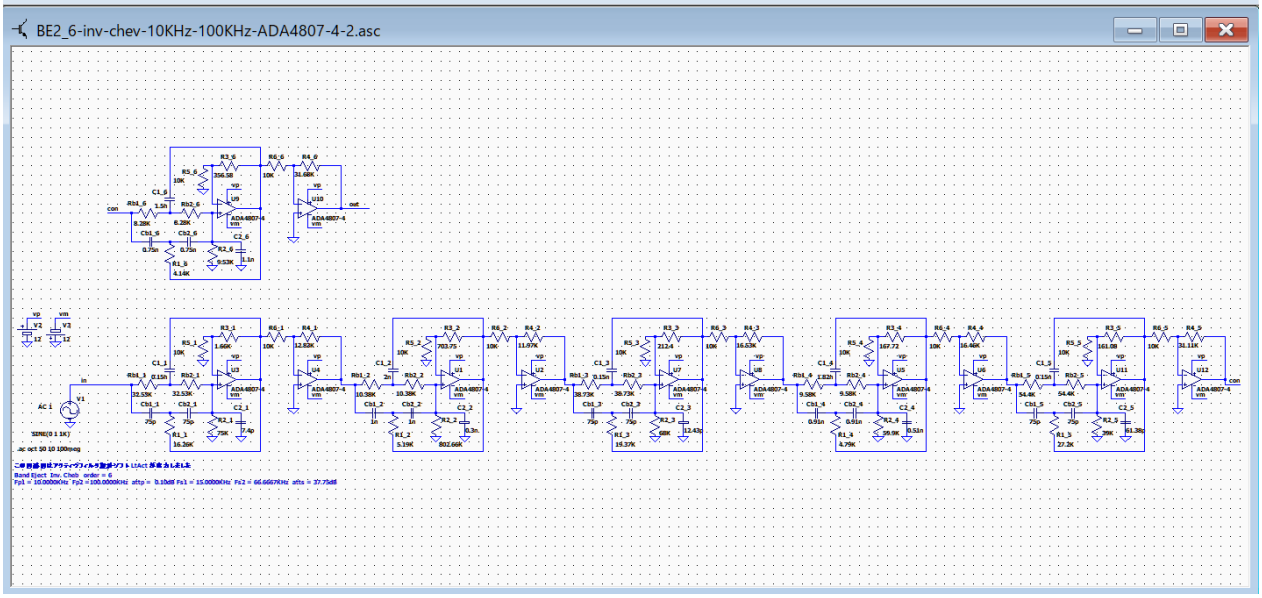
基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-1



通過域の高域に 2 つのピークが発生しています。回路が正常に動作していないと考えられます。
ブロック 1 の C2_1=0.76p は値が小さすぎるので、「フィルターの種類選択」の画面で「参照モード　1」に切り替えて「回路図作成」では最低 6p に指定します。

BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2

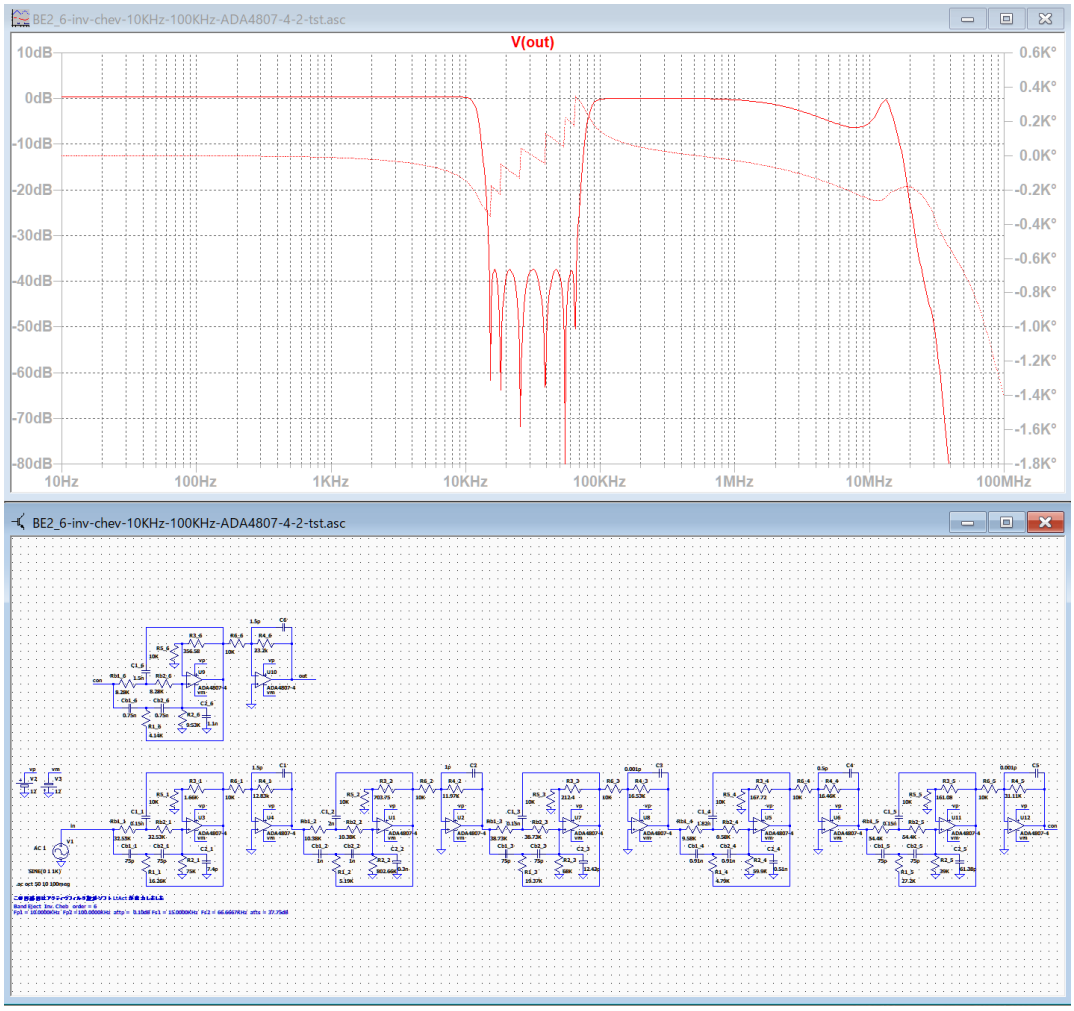




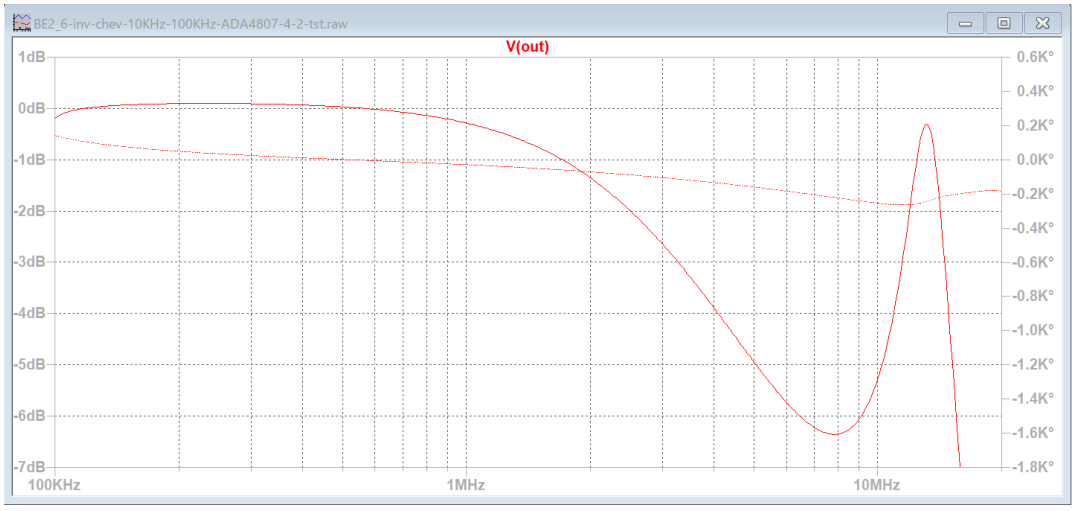
通過域の高域にピークが 1 つだけ発生しています。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst

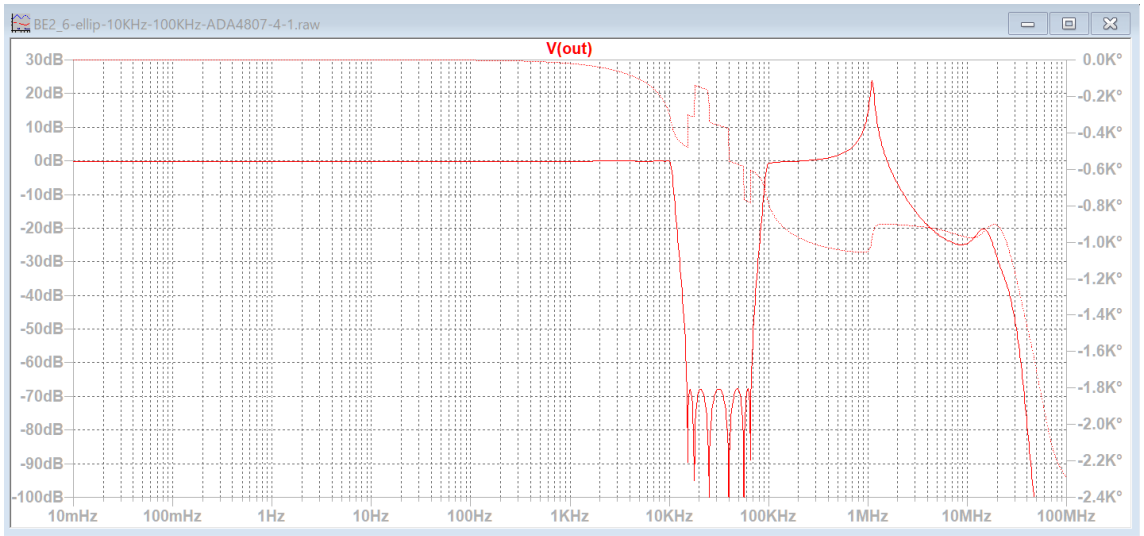


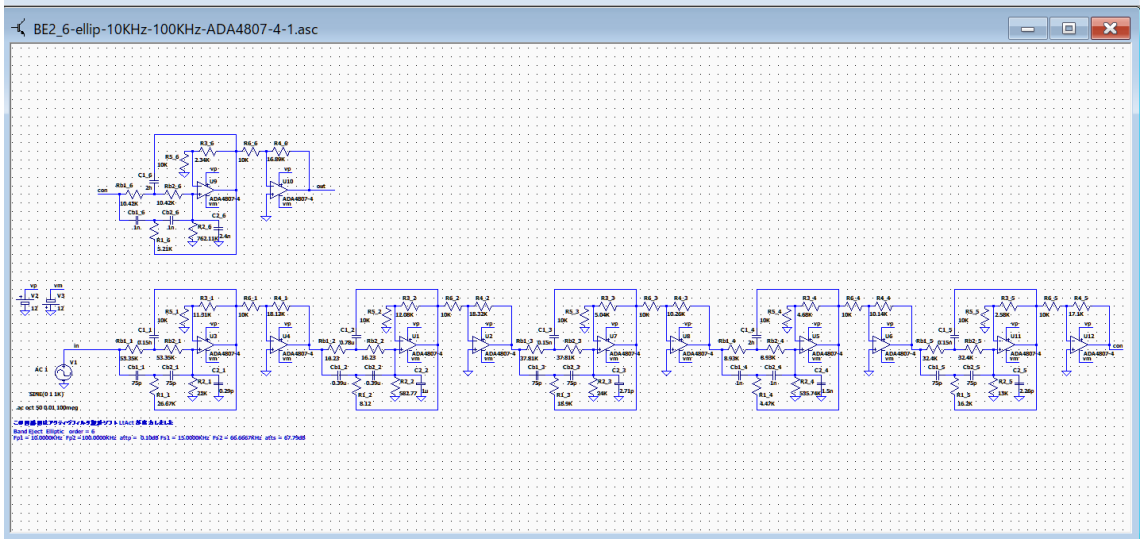
ブロック 1, 2, 4, 6 の C1, C2, C4, C6 を調整してピークを除去しましたが、
通過域の高域を平坦に調整出来ませんでした。



基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-1

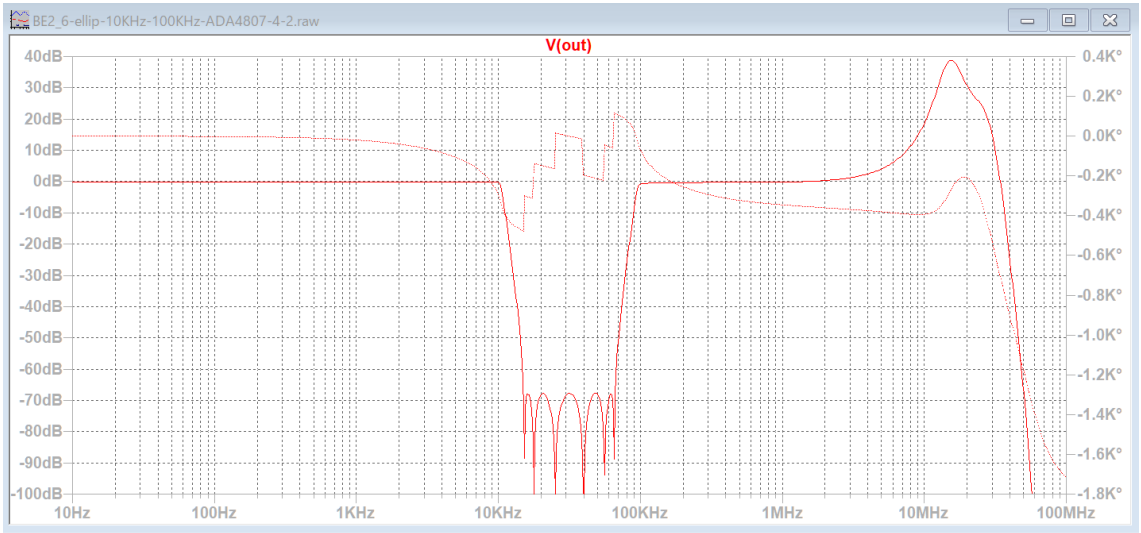


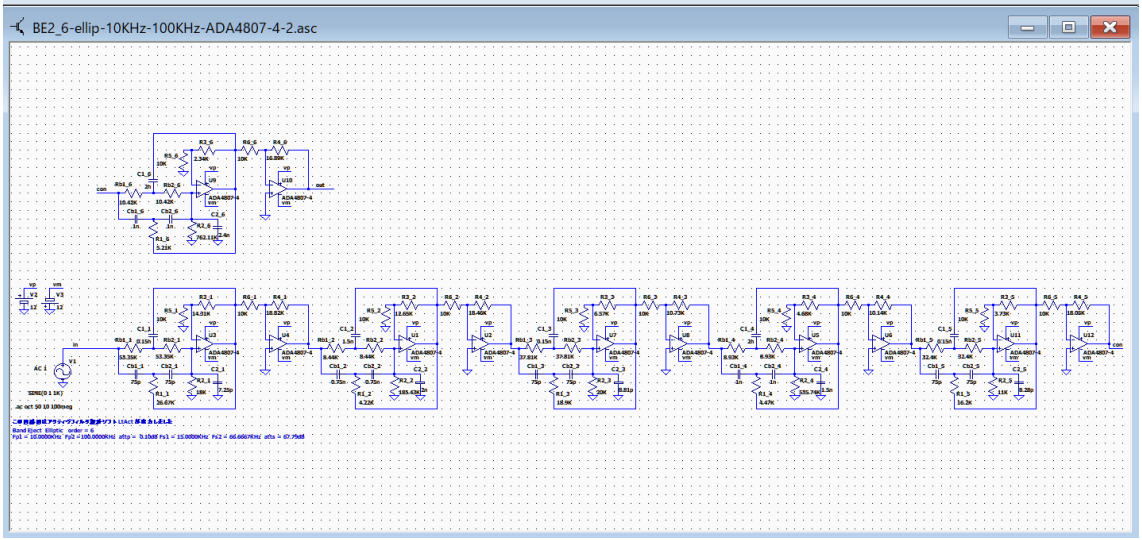


通過域の高域に 2 つのピークが発生しています。回路が正常に動作していないと考えられます。

ブロック 1, 3, 5 の C2_1=0.29p, C2_3= 2.71p, C2_5= 2.26p は値が小さすぎるので、「フィルターの種類選択」の画面で「参照モード　1」に切り替えて「回路図作成」では最低 6p に指定します。

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2

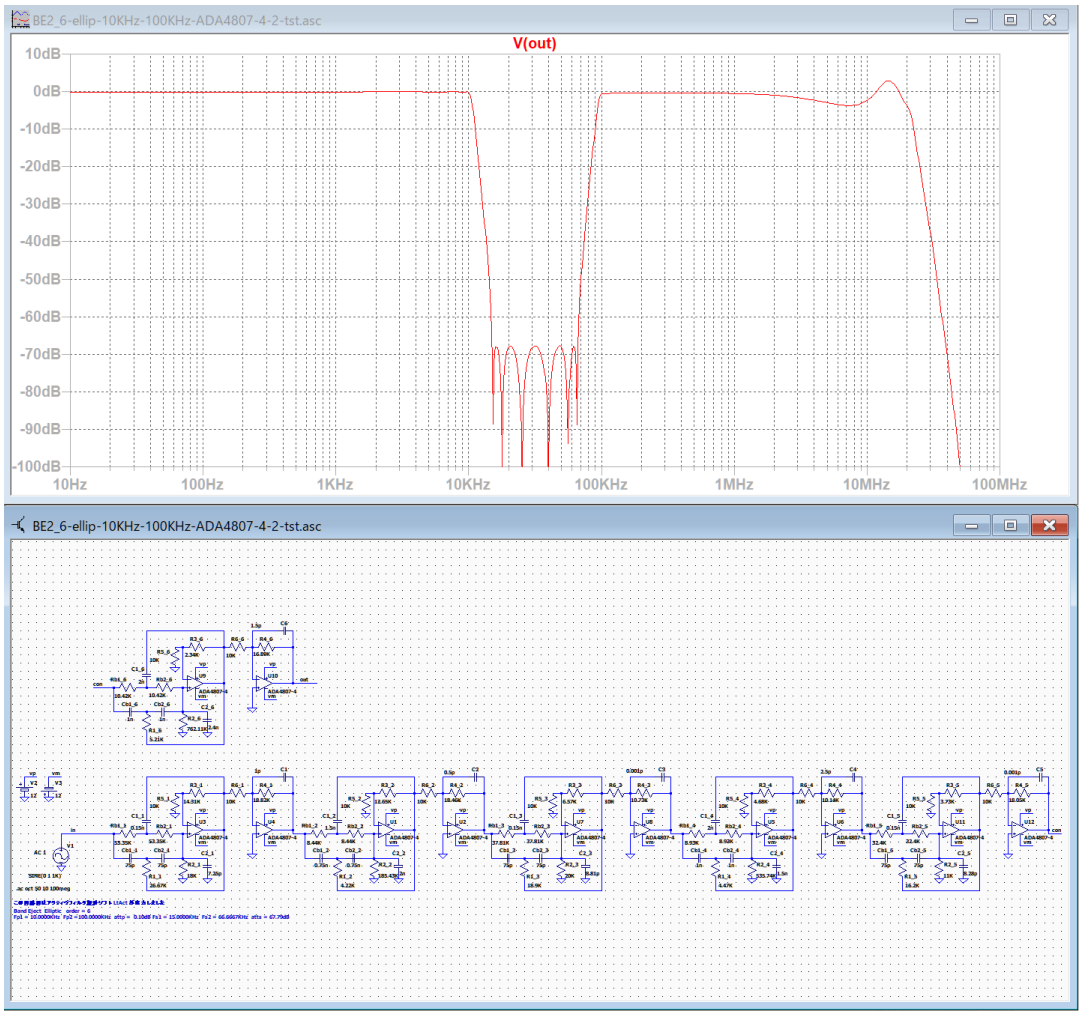




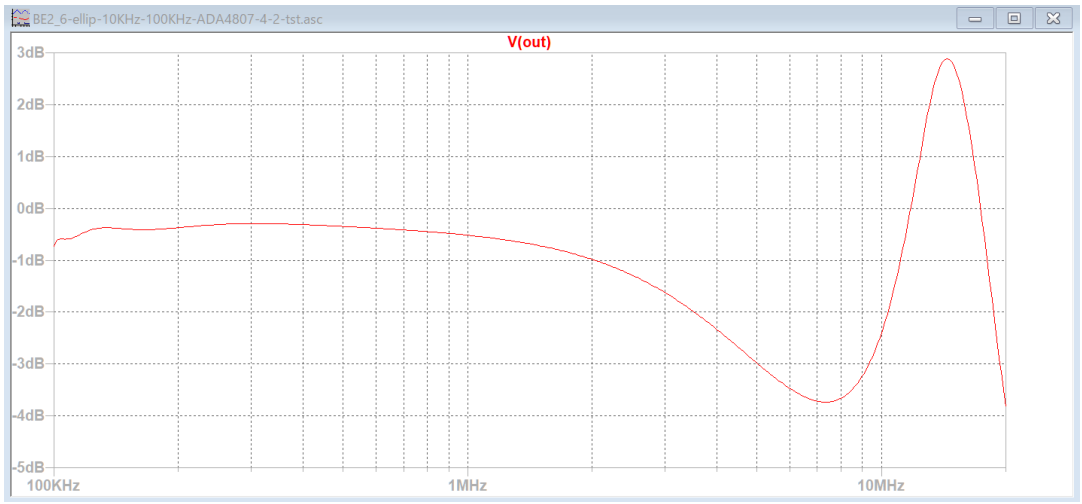
通過域の高域にピークが 1 つだけ発生しています。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst



ブロック 1, 2, 4, 6 の C1, C2, C4, C6 を調整してピークを除去しましたが、
通過域の高域を平坦に調整出来ませんでした。



基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
基本回路「LP2」バターワース･チェビシェフ

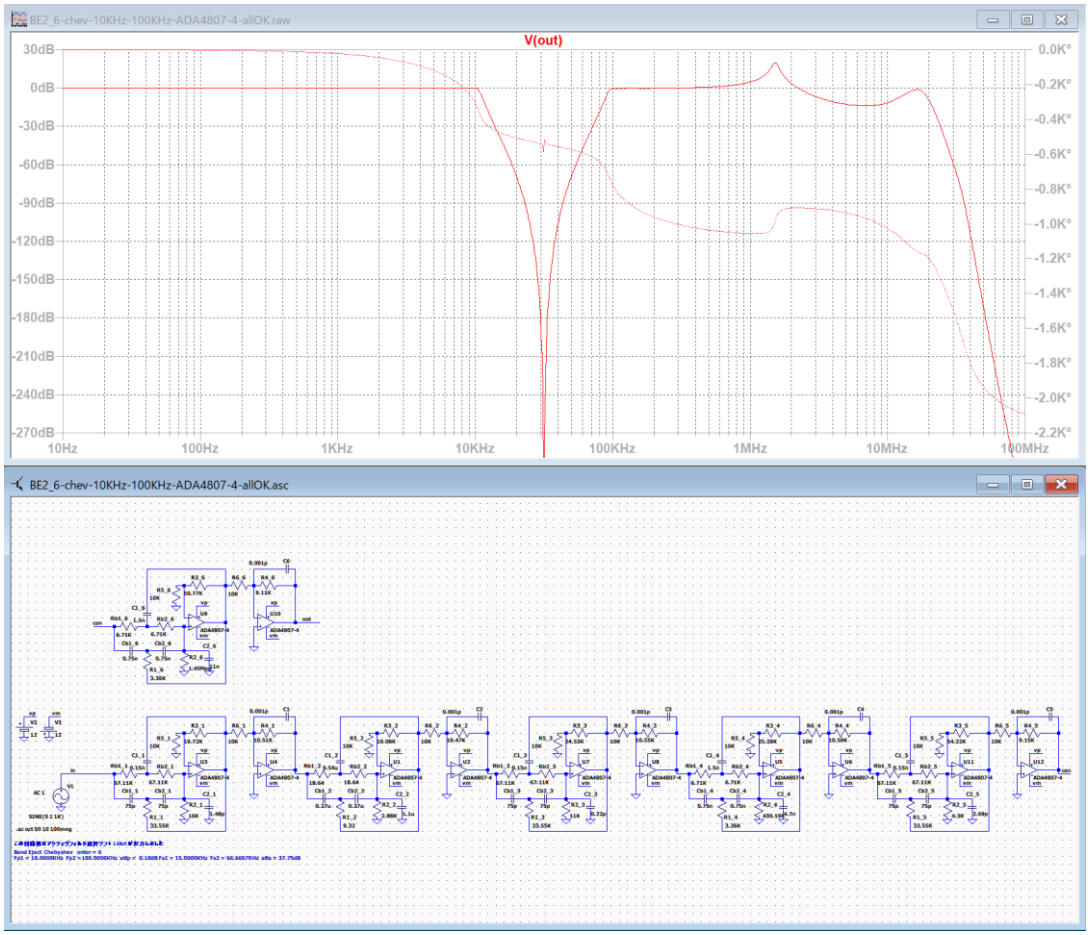
最後の調整

「BE2」では通過域の高域を平坦に調整できませんでした。
唯一、チェビシェフの回路図 BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2（以後、**成功例**と記す）だけは偶然ピークの小さい回路図が作成出来て、うまく調整できました。

通過域のピークが低い回路図を作成する方法を確立する必要があります。

回路図を作成する時に全ての候補値に「OK」をクリックして作成した回路図（以後、**allOK** と記す）と「成功例」を使用して、「成功例」のブロック 1 からブロック 6 まで、1 ブロックづつ順に「allOK」の該当するブロックの素子値を設定して、周波数特性の変化を確認します。

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-allOK　（allOK）



ピークが高くて、先が尖っている。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-allOK　（allOK）

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-allOK.asc 作成日時 Thu Apr 21 06:58:08 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Chebyshev 次数=6　　参照モード=0

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 =100.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 = 66.6667KHz atts = 37.75dB

1 (et2)「HP4-1-0」 Rb_1(2 個)= 67.1056K Cb_1(2 個)= 75.0000p R1_1 = 33.5528K C1_1 = 0.1500n 誤差=2.12 %

1 R2_1 = 16.0000K C2_1 = 1.4819p 誤差 = 1.22 %

1 R3_1 = 19.7168K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 1.44 %

1 R4_1 = 10.5125K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 4.64 %

2 (et2)「LP4-1-0」 Rb_2(2 個)= 18.6404 Cb_2(2 個)= 0.2700u R1_2 = 9.3202 C1_2 = 0.5400u 誤差=5.58 %

2 R2_2 = 2.8819K C2_2 = 1.1000u 誤差 = 4.10 %

2 R3_2 = 19.0848K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 4.80 %

2 R4_2 = 10.4663K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 4.45 %

3 (et2)「HP4-1-1」 Rb_3(2 個)= 67.1056K Cb_3(2 個)= 75.0000p R1_3 = 33.5528K C1_3 = 0.1500n 誤差=2.12 %

3 R2_3 = 11.0000K C2_3 = 0.2204p 誤差 = 0.17 %

3 R3_3 = 24.5324K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 2.17 %

3 R4_3 = 10.5523K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 4.24 %

4 (et2)「HP4-1-1」 Rb_4(2 個)= 6.7106K Cb_4(2 個)= 0.7500n R1_4 = 3.3553K C1_4 = 1.5000n 誤差=2.12 %

4 R2_4 = 430.1940K C2_4 = 4.7000n 誤差 = 0.05 %

4 R3_4 = 25.2759K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 5.05 %

4 R4_4 = 10.5900K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 3.87 %

5 (et2)「HP4-1-2」 Rb_5(2 個)= 67.1056K Cb_5(2 個)= 75.0000p R1_5 = 33.5528K C1_5 = 0.1500n 誤差=2.12 %

5 R2_5 = 4.3000K C2_5 = 2.6902p 誤差 = 0.36 %

5 R3_5 = 54.2197K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 3.28 %

5 R4_5 = 9.1492K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 0.54 %

6 (et2)「HP4-1-2」 Rb_6(2 個)= 6.7106K Cb_6(2 個)= 0.7500n R1_6 = 3.3553K C1_6 = 1.5000n 誤差=2.12 %

6 R2_6 = 1.4532Meg C2_6 = 11.0000n 誤差 = 3.22 %

6 R3_6 = 50.7660K R5_6 = 10.0000K 誤差 = 0.46 %

6 R4_6 = 9.1053K R6_6 = 10.0000K 誤差 = 0.06 %

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-allOK　（allOK）

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\BE2\バターワース-チェビシェフ\BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2.asc 作成日時 Sat Apr 16 19:25:19 2022

ｱﾅﾛｸﾞ Band Eject Chebyshev 次数=6　　参照モード=0

Fp1 = 10.0000KHz Fp2 =100.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 = 15.0000KHz Fs2 = 66.6667KHz atts = 37.75dB

1 (et2)「HP4-1-0」 Rb_1(2 個)= 67.1056K Cb_1(2 個)= 75.0000p R1_1 = 33.5528K C1_1 = 0.1500n 誤差=2.12 %

1 R2_1 = 11.0000K C2_1 = 17.3135p 誤差 = 3.97 %

1 R3_1 = 29.7550K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 0.82 %

1 R4_1 = 11.0494K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 0.45 %

2 (et2)「LP4-1-0」 Rb_2(2 個)= 5.0329K Cb_2(2 個)= 1.0000n R1_2 = 2.5165K C1_2 = 2.0000n 誤差=4.82 %

2 R2_2 = 1.1660K C2_2 = 43.0000n 誤差 = 2.92 %

2 R3_2 = 224.0494K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.81 %

2 R4_2 = 12.3690K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 2.98 %

3 (et2)「HP4-1-1」 Rb_3(2 個)= 67.1056K Cb_3(2 個)= 75.0000p R1_3 = 33.5528K C1_3 = 0.1500n 誤差=2.12 %

3 R2_3 = 8.2000K C2_3 = 12.1248p 誤差 = 1.03 %

3 R3_3 = 33.8528K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 2.52 %

3 R4_3 = 10.9321K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 0.62 %

4 (et2)「HP4-1-1」 Rb_4(2 個)= 6.7106K Cb_4(2 個)= 0.7500n R1_4 = 3.3553K C1_4 = 1.5000n 誤差=2.12 %

4 R2_4 = 1.5559K C2_4 = 47.0000n 誤差 = 2.84 %

4 R3_4 = 277.6245K R5_4 = 10.0000K 誤差 = 2.75 %

4 R4_4 = 12.1244K R6_4 = 10.0000K 誤差 = 1.03 %

5 (et2)「HP4-1-2」 Rb_5(2 個)= 67.1056K Cb_5(2 個)= 75.0000p R1_5 = 33.5528K C1_5 = 0.1500n 誤差=2.12 %

5 R2_5 = 2.4000K C2_5 = 33.5197p 誤差 = 1.55 %

5 R3_5 = 99.6464K R5_5 = 10.0000K 誤差 = 0.35 %

5 R4_5 = 9.4693K R6_5 = 10.0000K 誤差 = 3.90 %

6 (et2)「HP4-1-2」 Rb_6(2 個)= 6.7106K Cb_6(2 個)= 0.7500n R1_6 = 3.3553K C1_6 = 1.5000n 誤差=2.12 %

6 R2_6 = 3.7719K C2_6 = 51.0000n 誤差 = 3.40 %

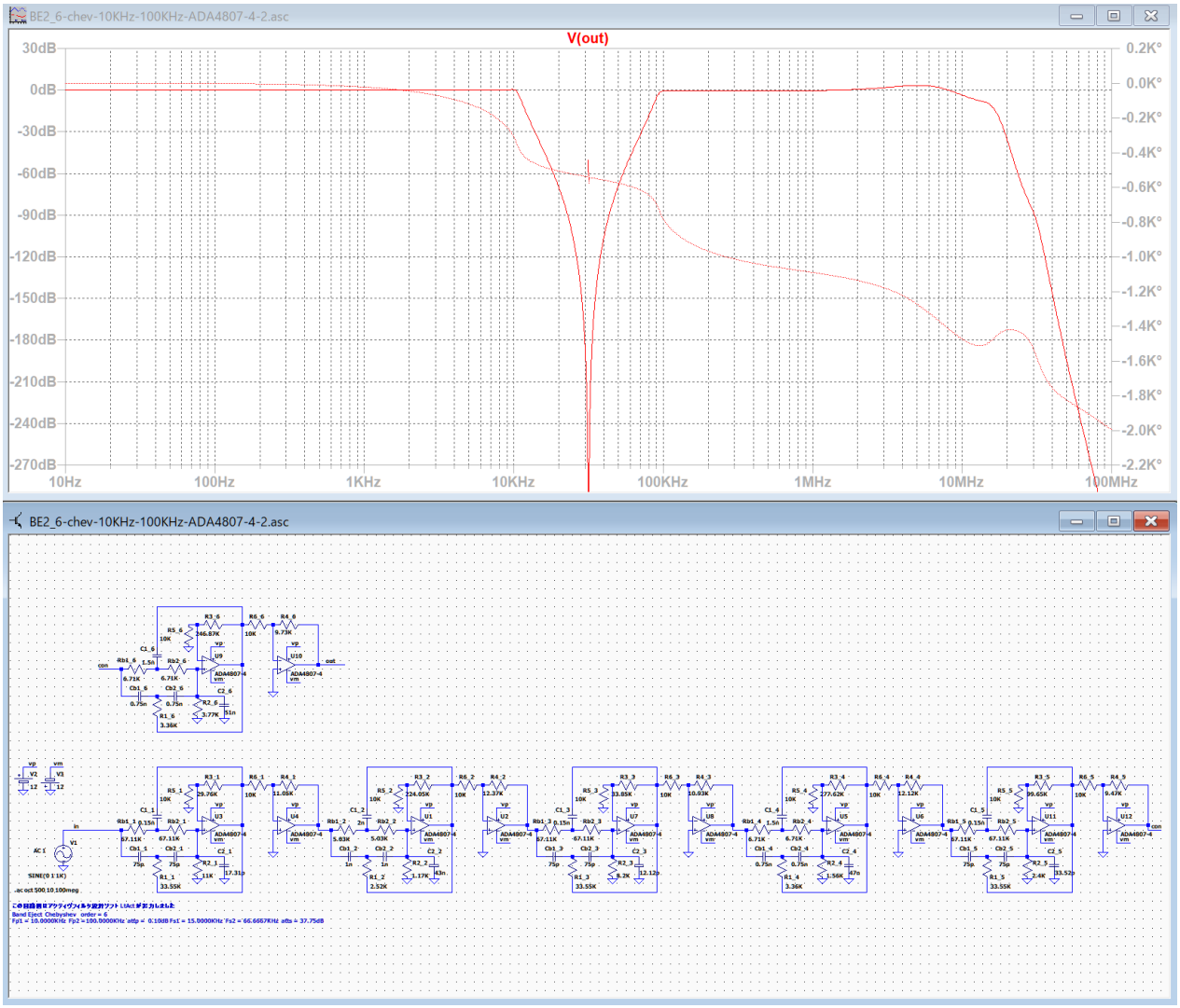
6 R3_6 = 246.8662K R5_6 = 10.0000K 誤差 = 2.78 %

6 R4_6 = 9.7286K R6_6 = 10.0000K 誤差 = 2.79 %

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-allOK　（allOK）

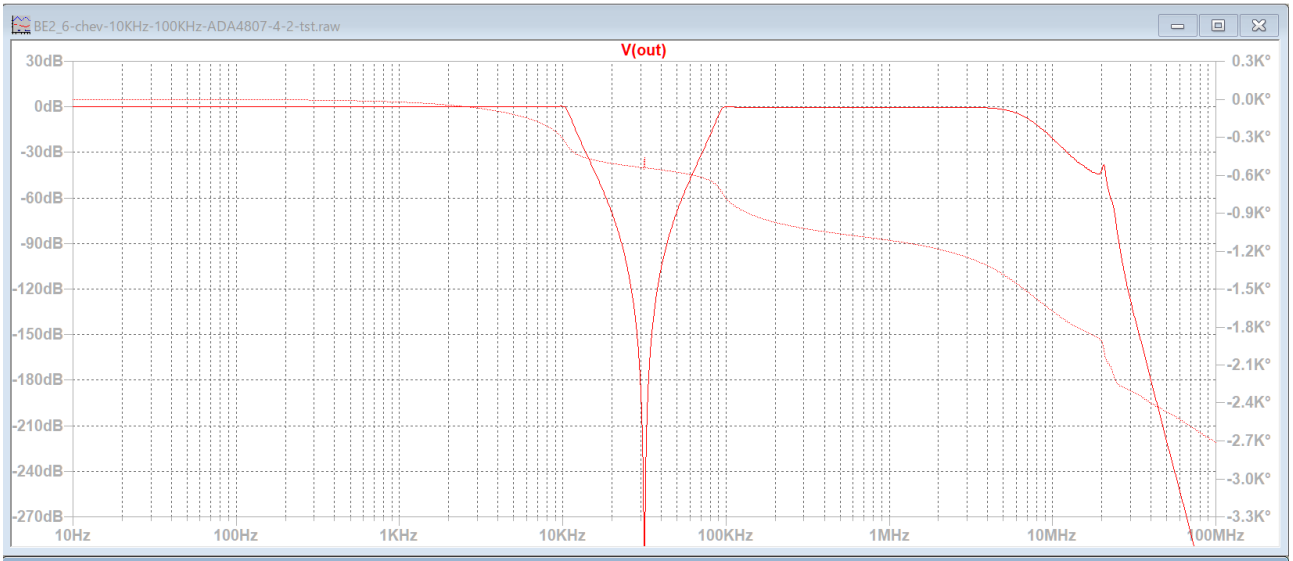
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2　（成功例 無調整）

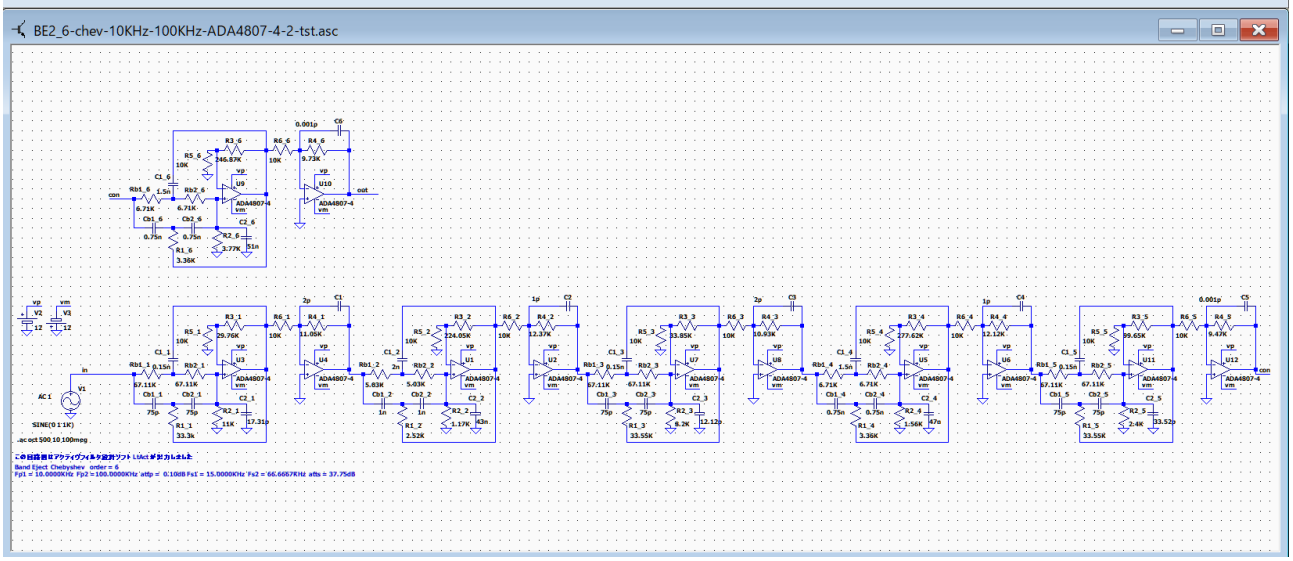


通過域高域のピークは 3.4dB

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2　（成功例 無調整）

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst　（成功例 調整後）

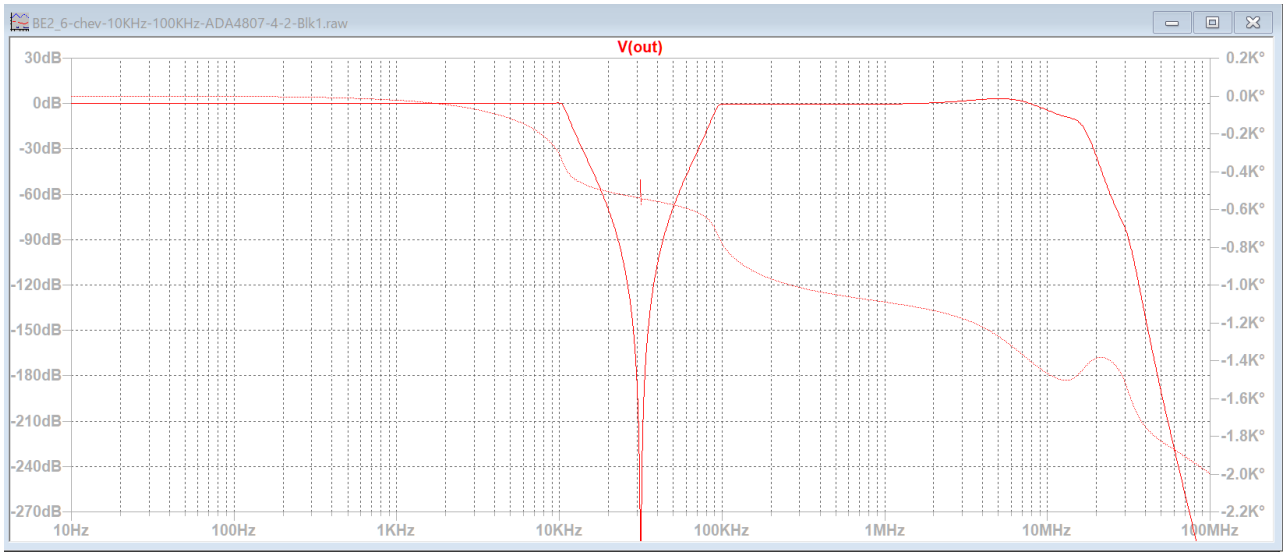


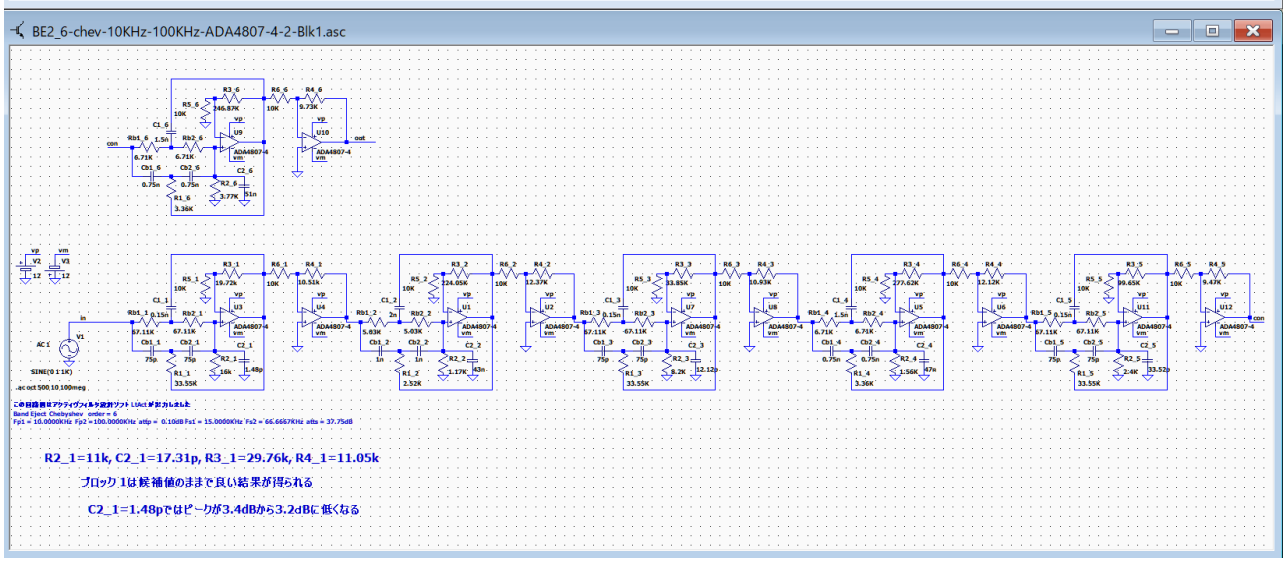


通過域のゲイン変化は、 -0.55dB から 0.09dB の範囲です。

5.5MHz で -3.0dB です。

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk1（ブロック 1 を allOK に交換）



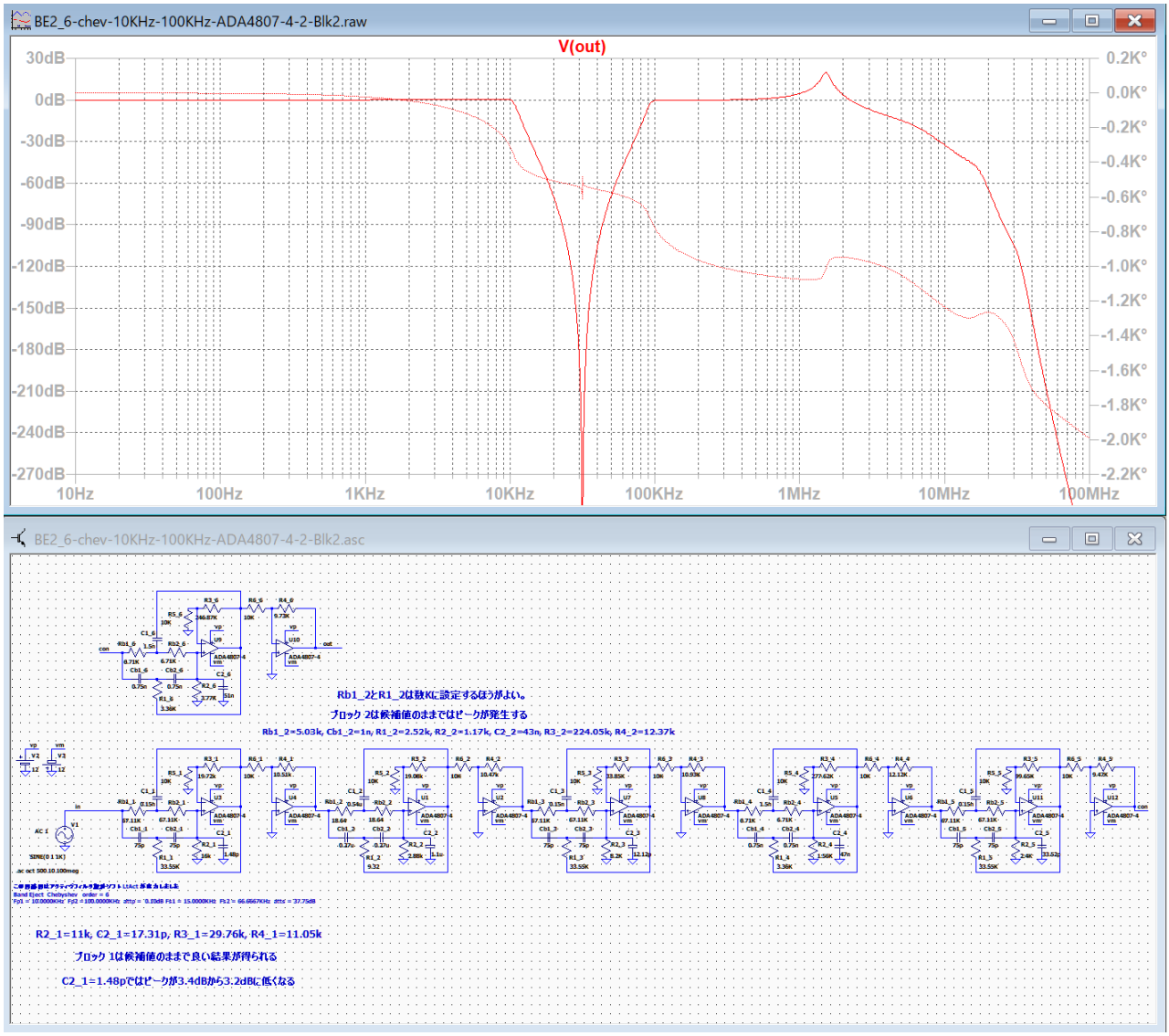


ブロック 1 は候補値のままで良い特性が得られます。

C2_1 が 17.31p から 1.48p に変わり、ピークが 3.4dB から 3.2ｄB に低くなります。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk1（ブロック 1 を allOK に交換）

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk2（ブロック 2 を allOK に交換）



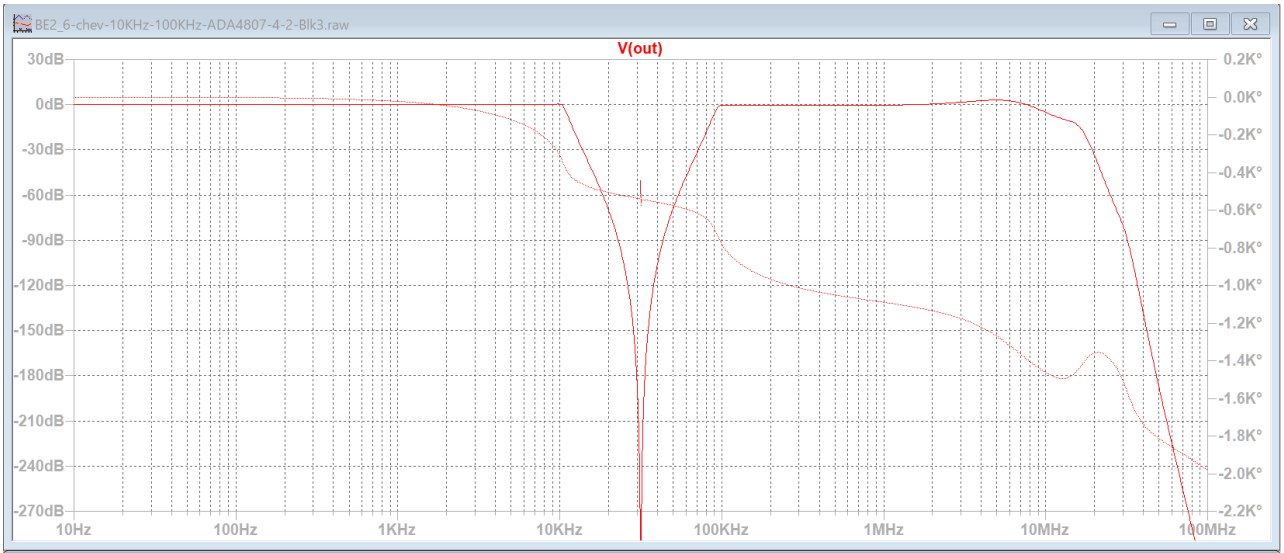
ピークが高くて、先が尖っている。

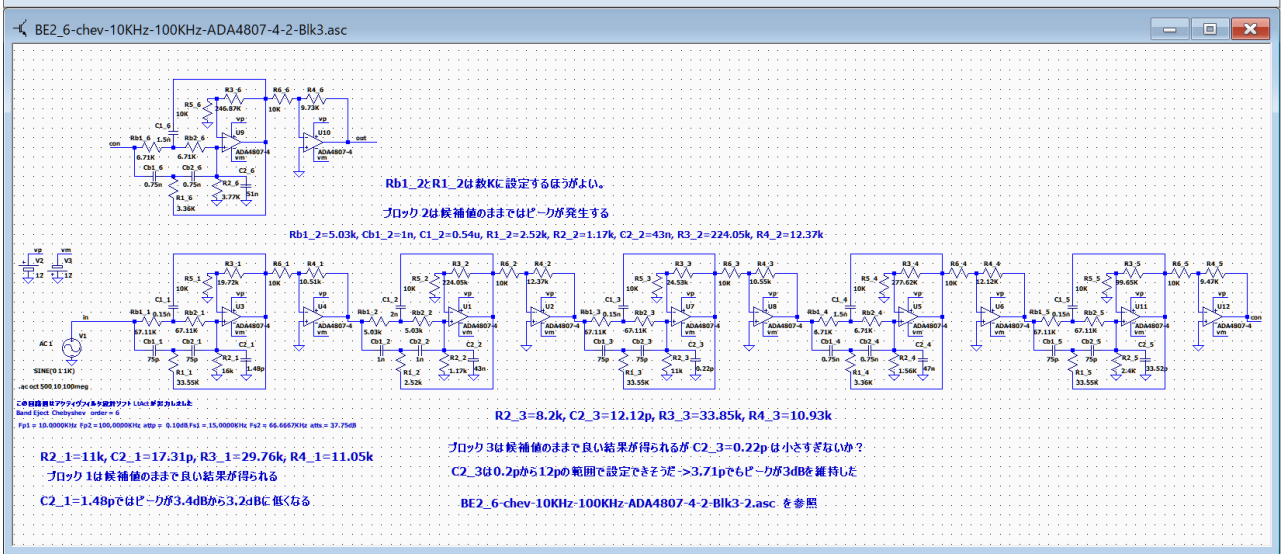
ブロック 2 は候補値のままではピークが発生します。

Cb_2 と C2_2 を候補値から変更して Rb1_2 と R1_2 を数 K に設定するのが良いと思われる。（参照モード 1 なら、Cb_2 はそのままでも良いと思われる）

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk2（ブロック 2 を allOK に交換）

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk3（ブロック 3 を allOK に交換）





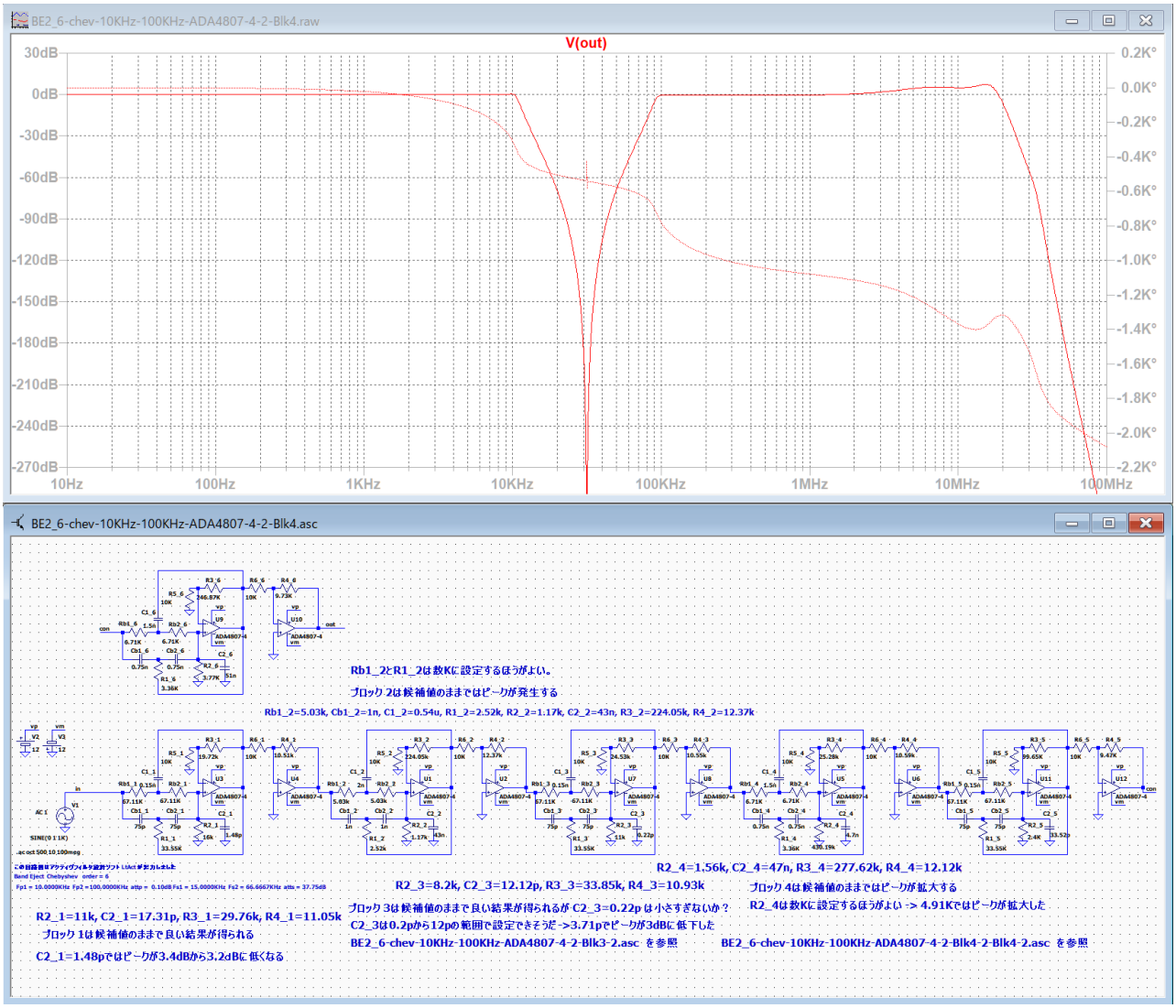
ブロック 3 は候補値のままで良い特性が得られる。

C2_3 が 12.12p から 0.22p に変わり、ピークが 3.2dB から 3.0ｄB に低くなります。

C2_3=3.71p に設定してもピークが 3dB をキープしました。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk3（ブロック 3 を allOK に交換）

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk4（ブロック 4 を allOK に交換）

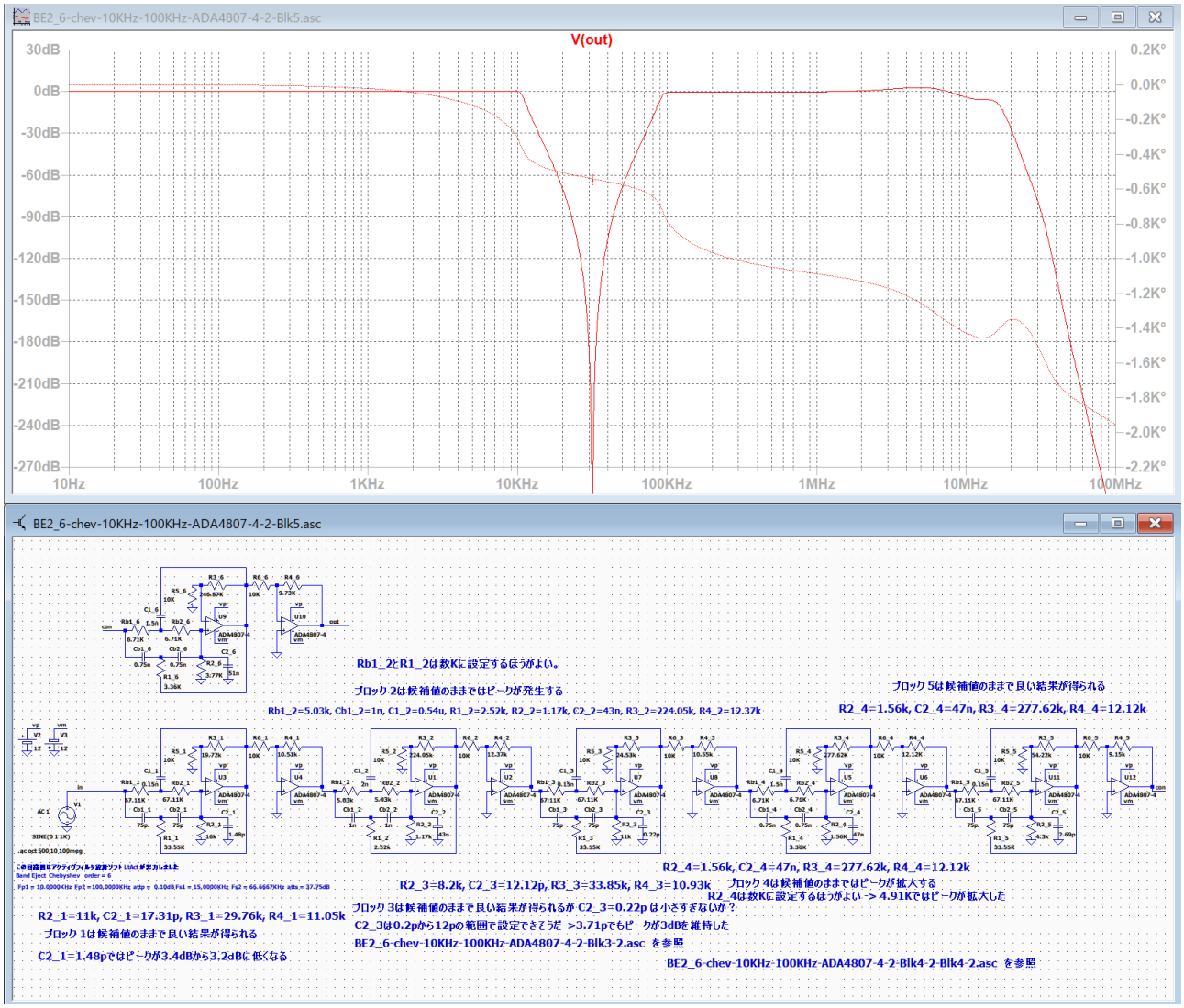


ブロック 4 は候補値のままではピークが高くなります。

C2_4 を候補値から変更して、R2_4 を数 K に設定するのが良いと思います。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk4（ブロック 4 を allOK に交換）

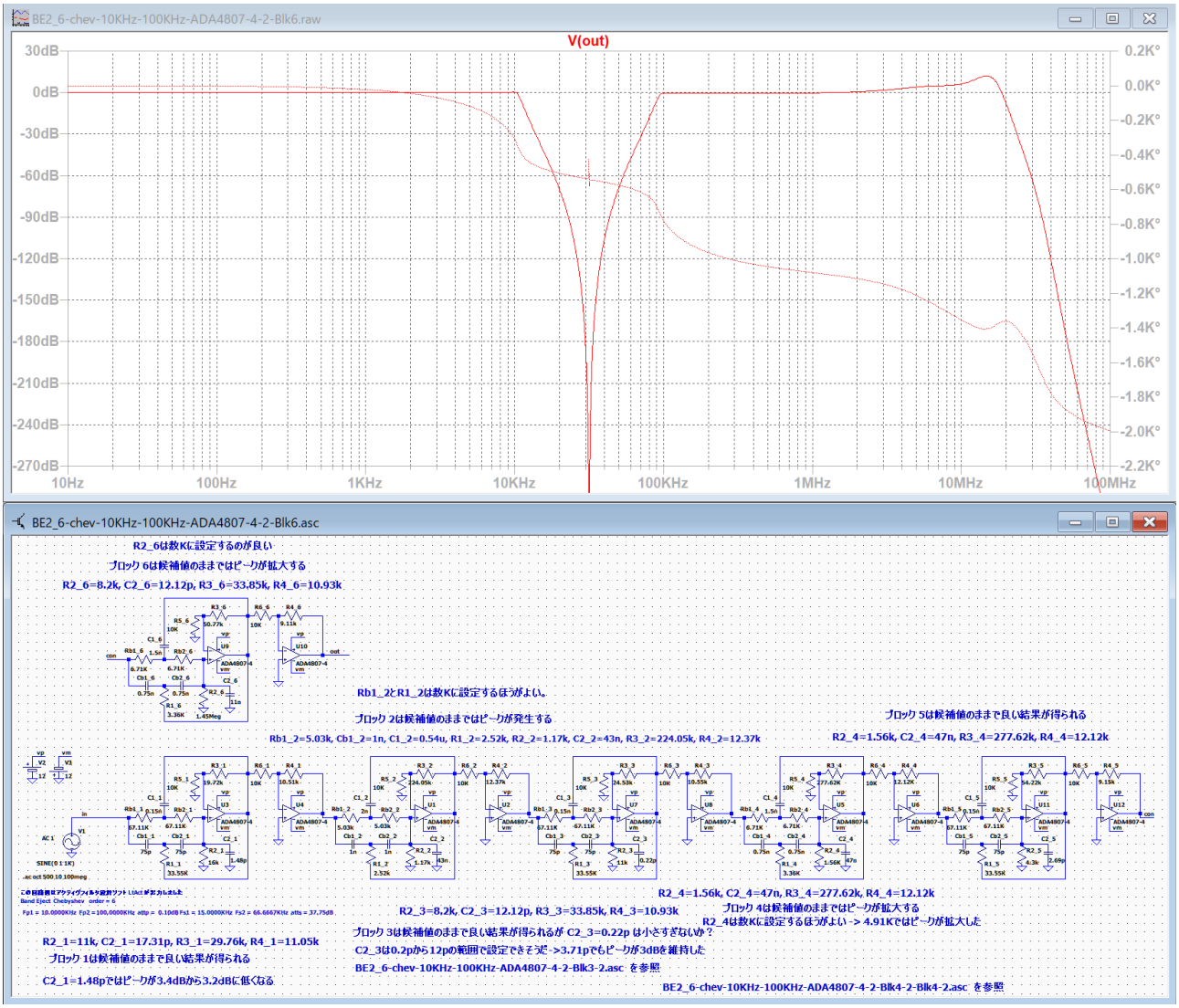
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk5（ブロック 5 を allOK に交換）



ブロック 5 は候補値のままで良い特性が得られます。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk5（ブロック 5 を allOK に交換）

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk6（ブロック 6 を allOK に交換）



ブロック 6 は候補値のままではピークが高くなります。

C2_6 を候補値から変更して、R2_6 を数 K に設定するのが良いと思います。

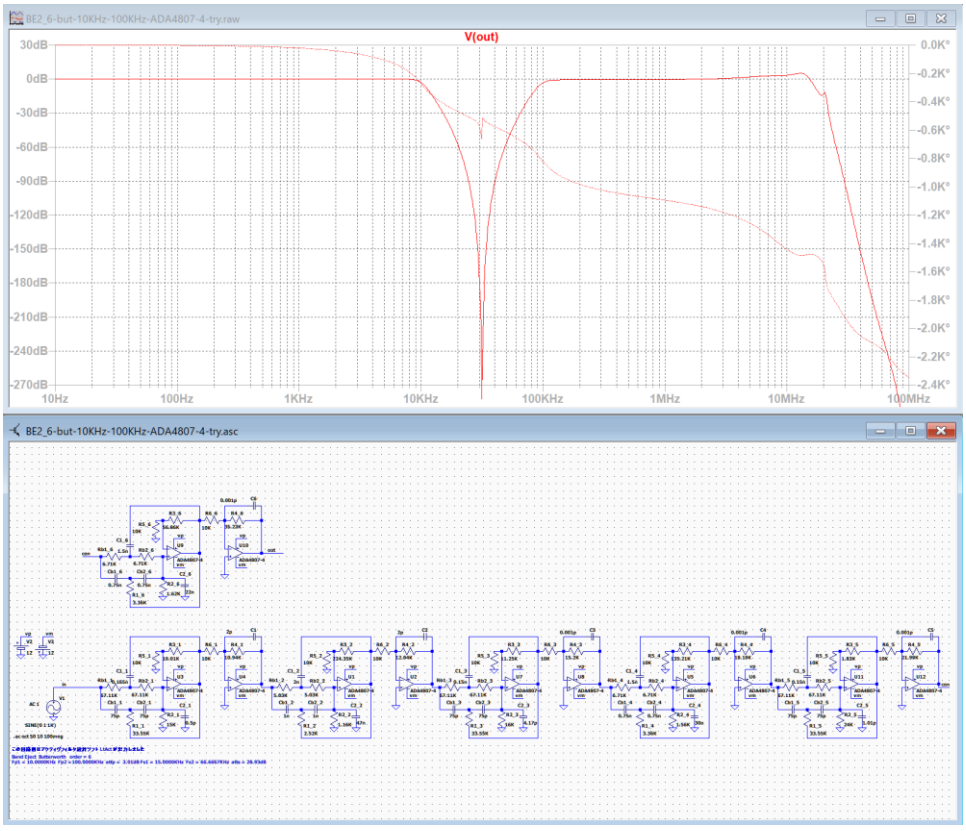
基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-Blk6（ブロック 6 を allOK に交換）

BE2 のための回路図作成方法　まとめ

ブロック	設定方法
1	候補値のままで良い
2	Cb_2を小さく設定し、C2_2を大きく設定して Rb1_2とR1_2を数Kに設定する
3	候補値のままで良い
4	C2_4を大きく設定して R2_4を数Kに設定する
5	候補値のままで良い
6	C2_6を大きく設定して R2_6は数Kに設定する

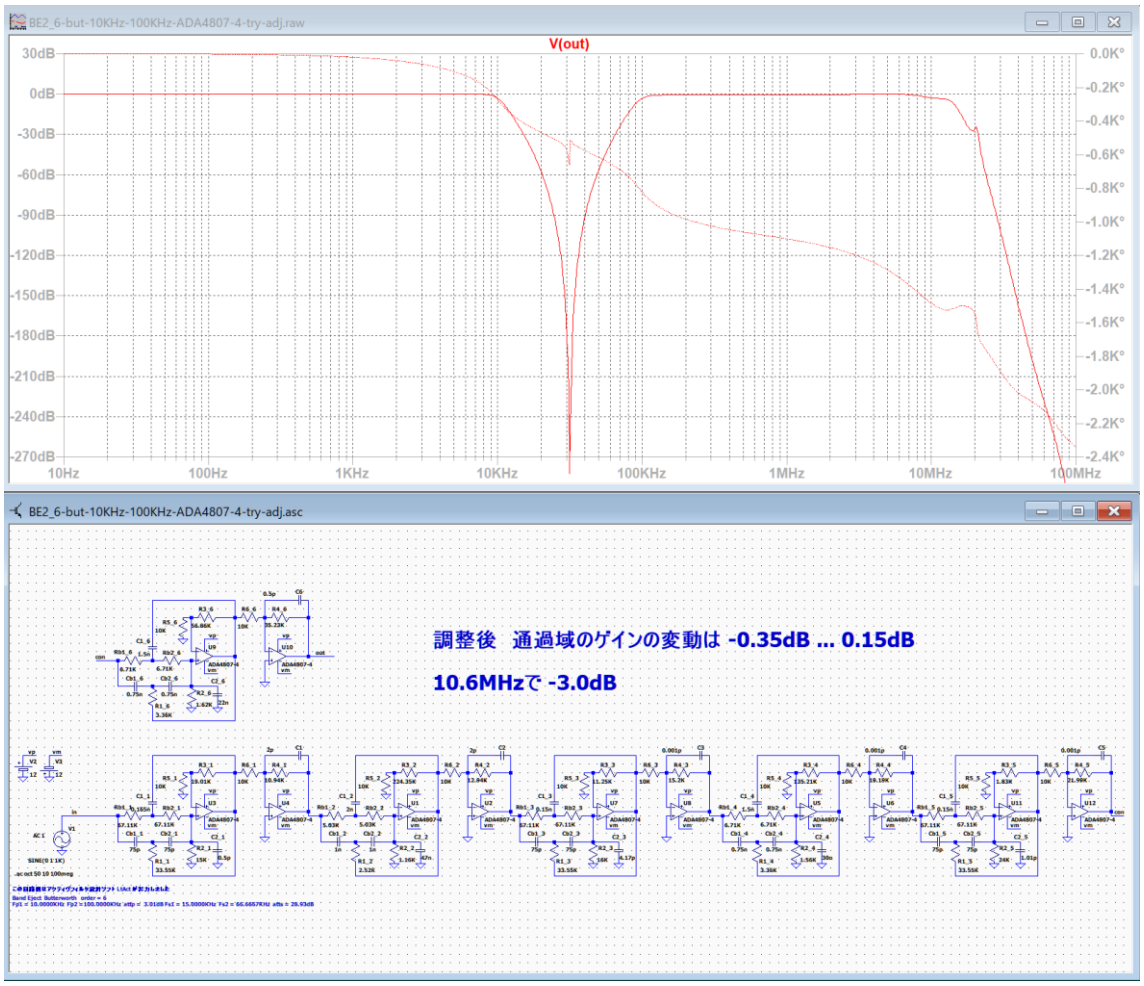
上記作成方法により回路図を作成して周波数特性を確認する。

BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try



通過域の高域のピークが小さくて、先が尖っていない。

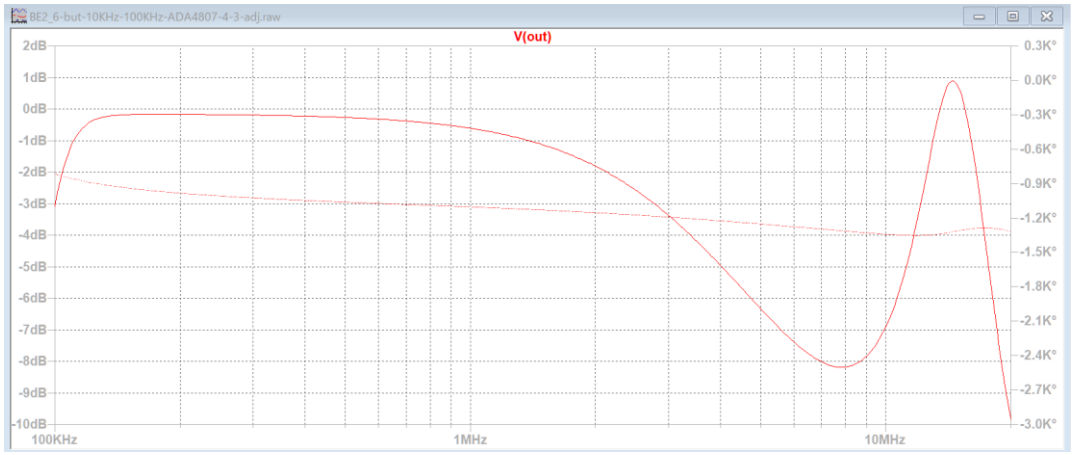
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj



調整後の通過域のゲインの変動は -0.35dB ... 0.15dB　10.6MHz で -3.0dB

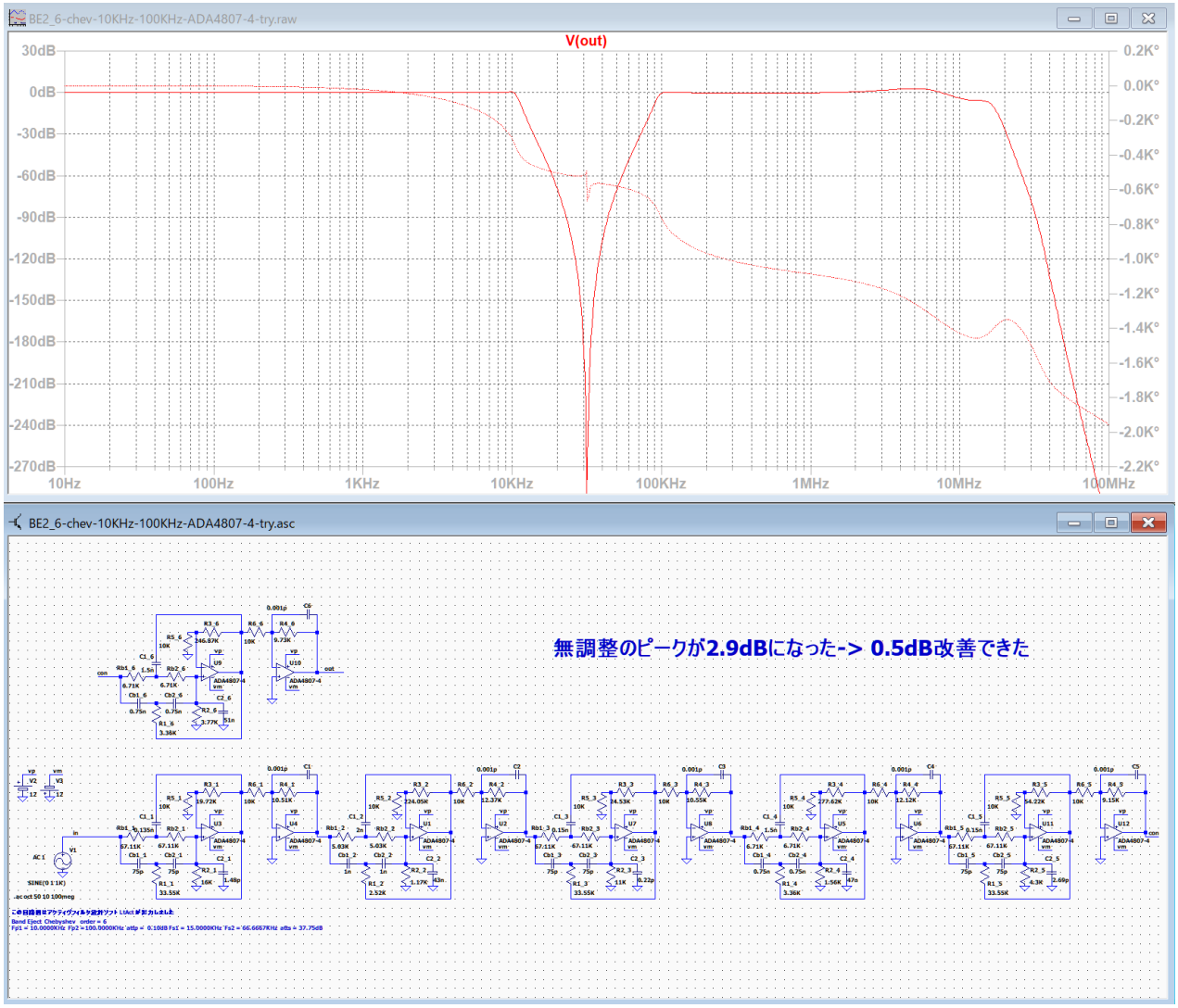
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-3-adj（最初の実験）

調整後の通過域のゲインの変動は -8.5dB ... 1dB



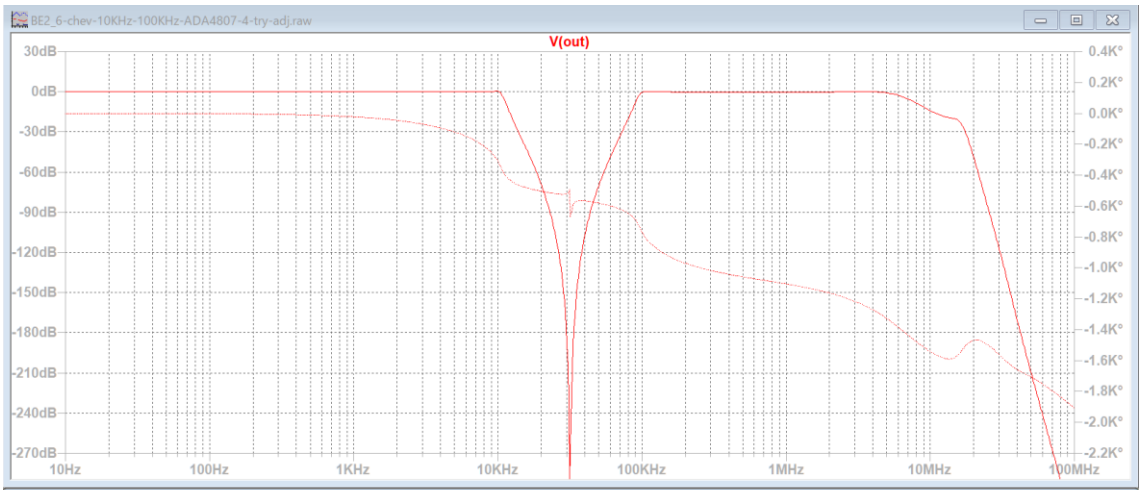
基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-but-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj

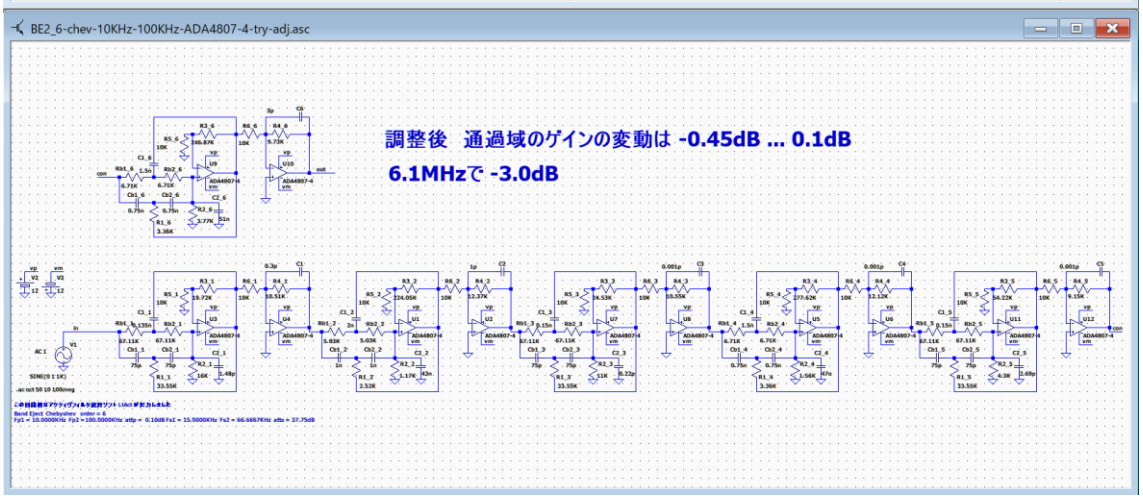
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try



無調整のピークが 2.9dB になった。「成功例」よりも 0.5dB 改善できた。

BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj

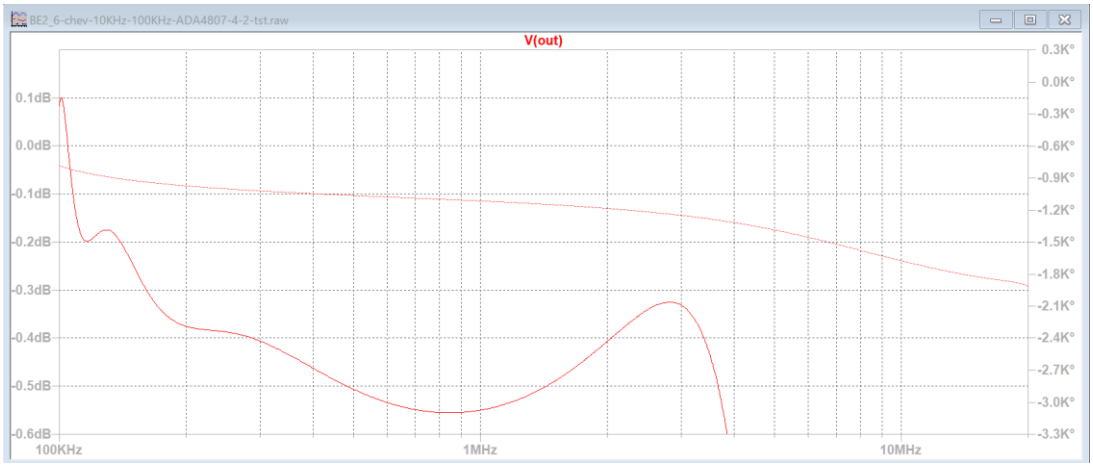




調整後の通過域のゲインの変動は -0.45dB ... 0.1dB　6.1MHz で -3.0dB

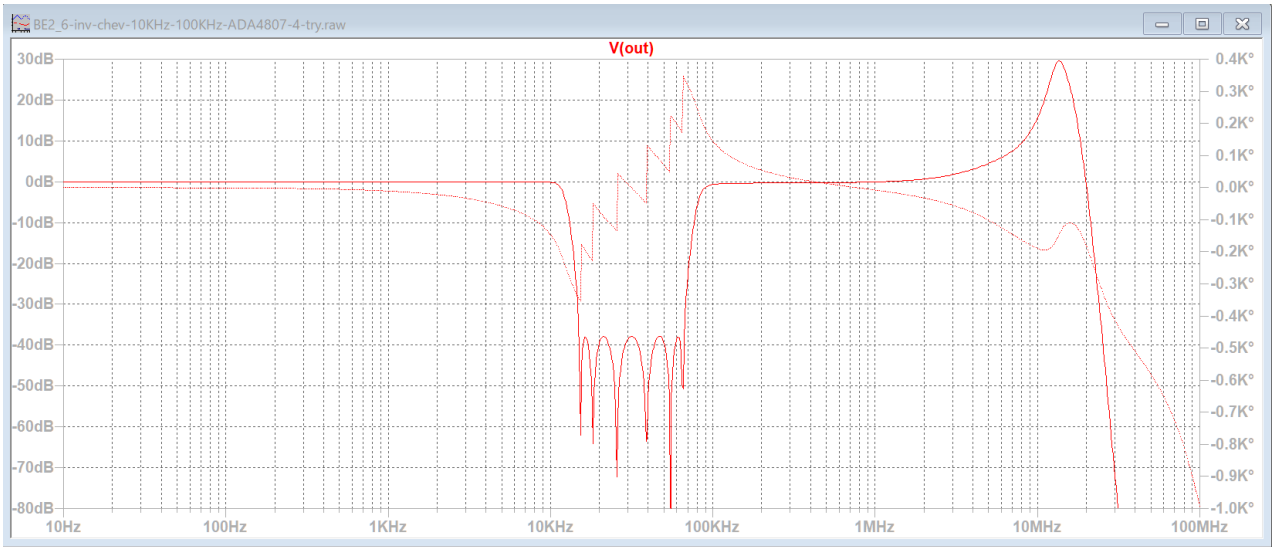
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst（最初の実験）

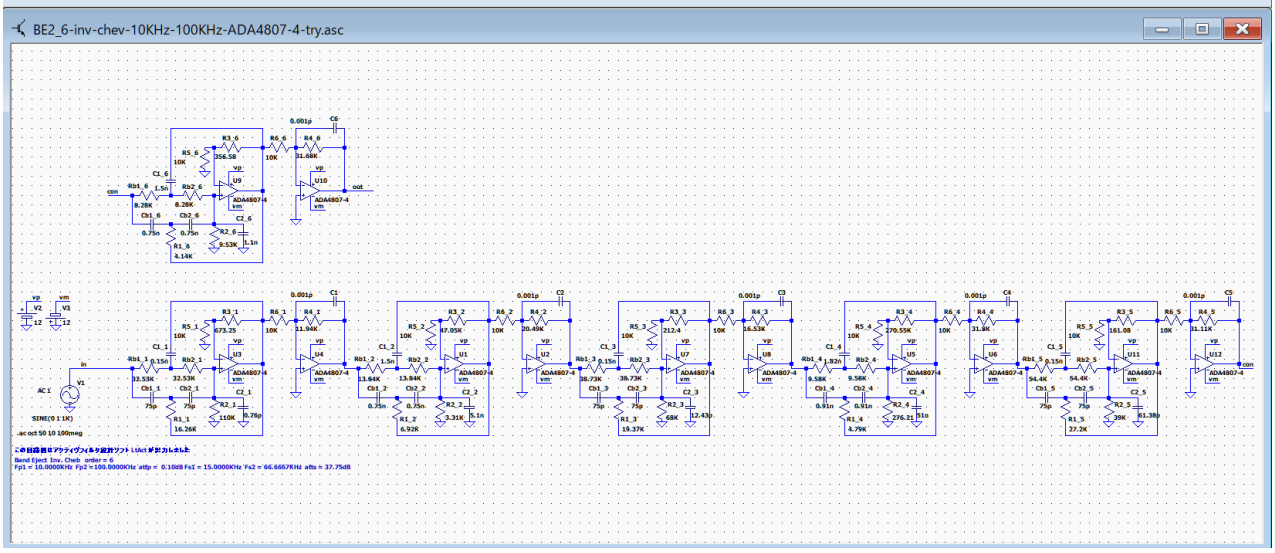
調整後の通過域のゲインの変動は -0.6dB ... 0.1dB



基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj

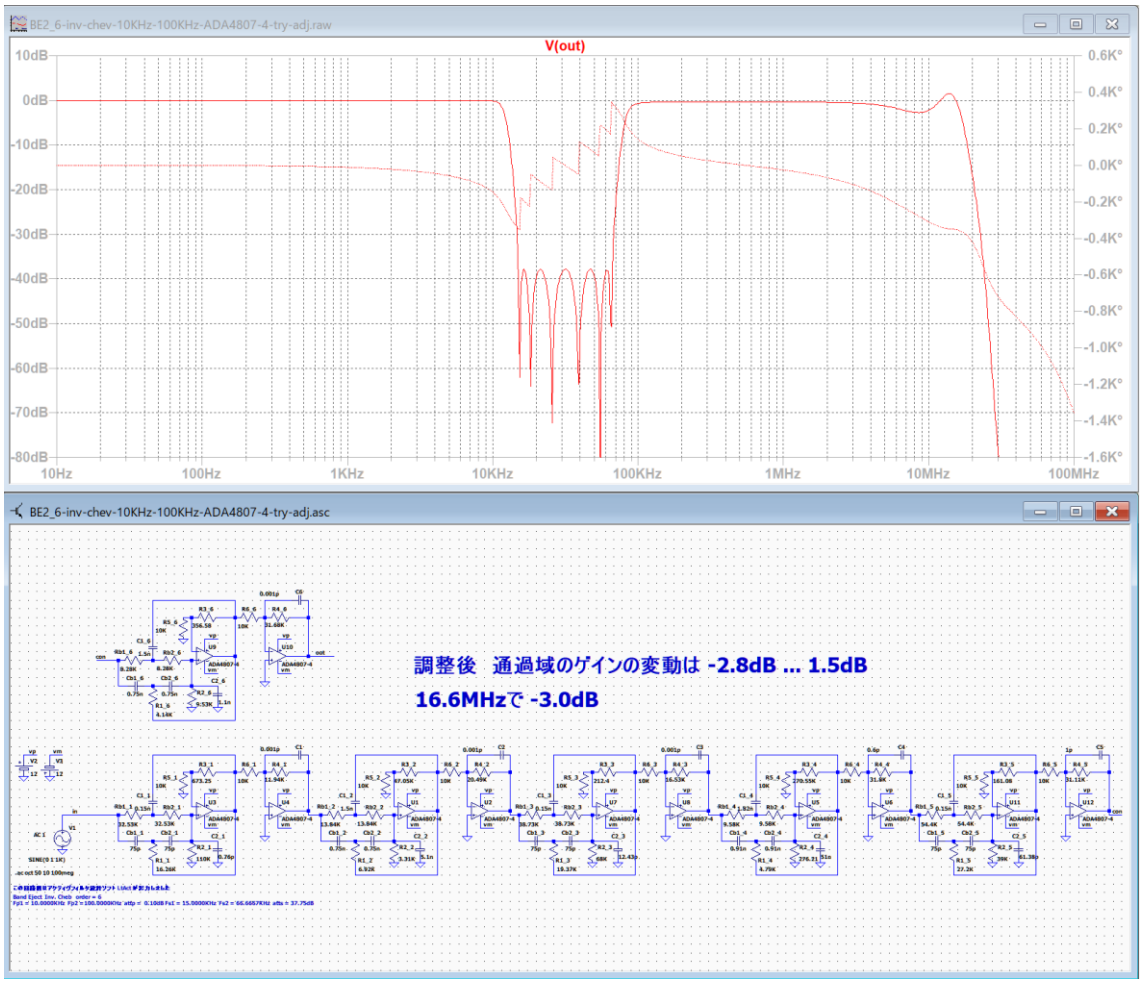
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try





通過域の高域のピークは高いけれど、なんとか調整できるだろう。

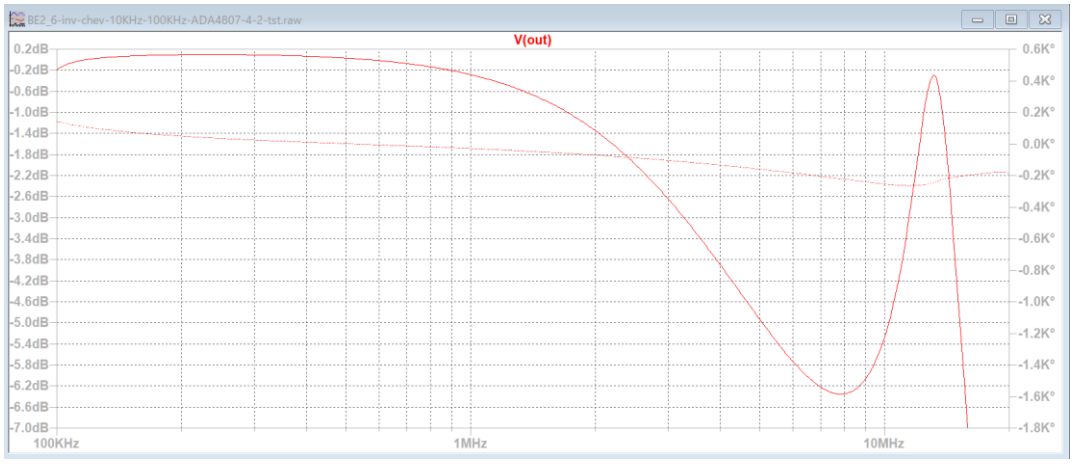
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj



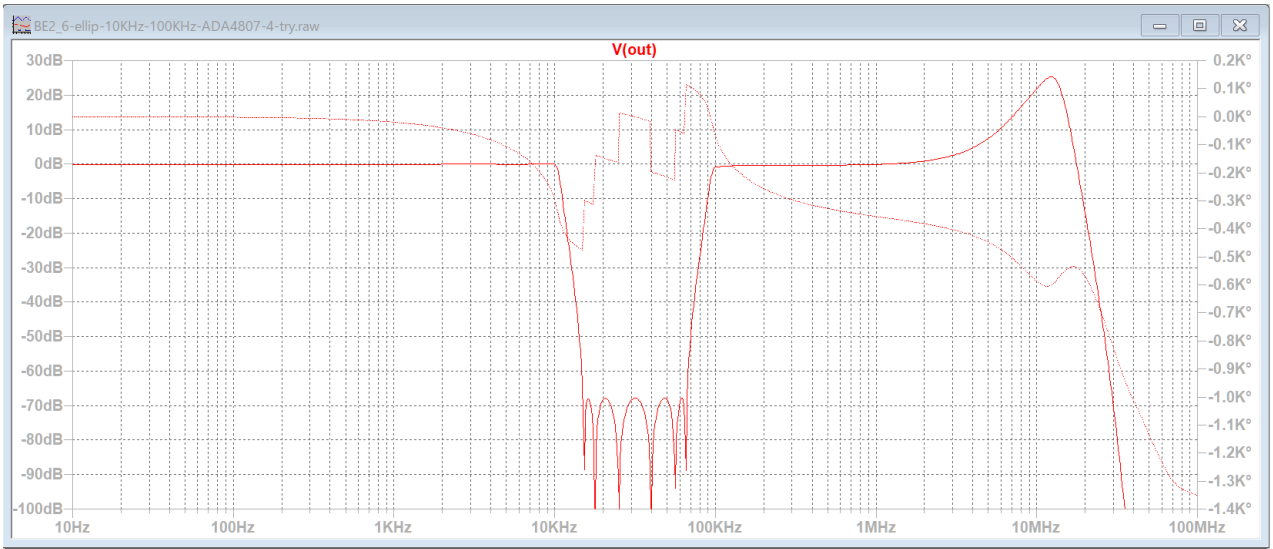
調整後の通過域のゲインの変動は -2.8dB ... 1.5dB　16.6MHz で -3.0dB

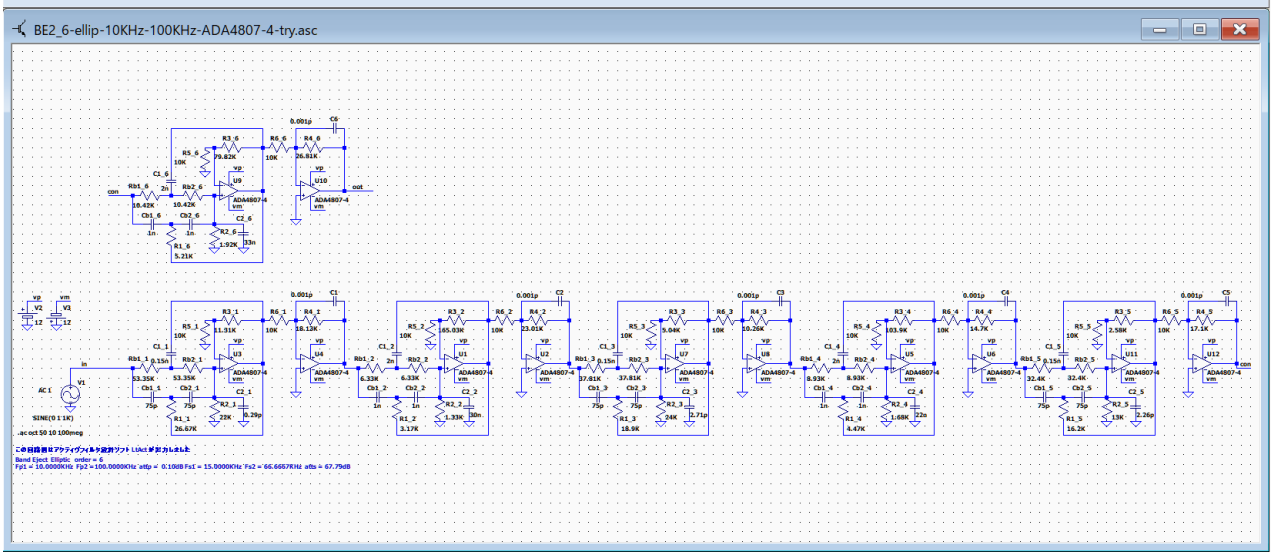
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst（最初の実験）

調整後の通過域のゲインの変動は -6.5dB ... 0.2dB



BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try

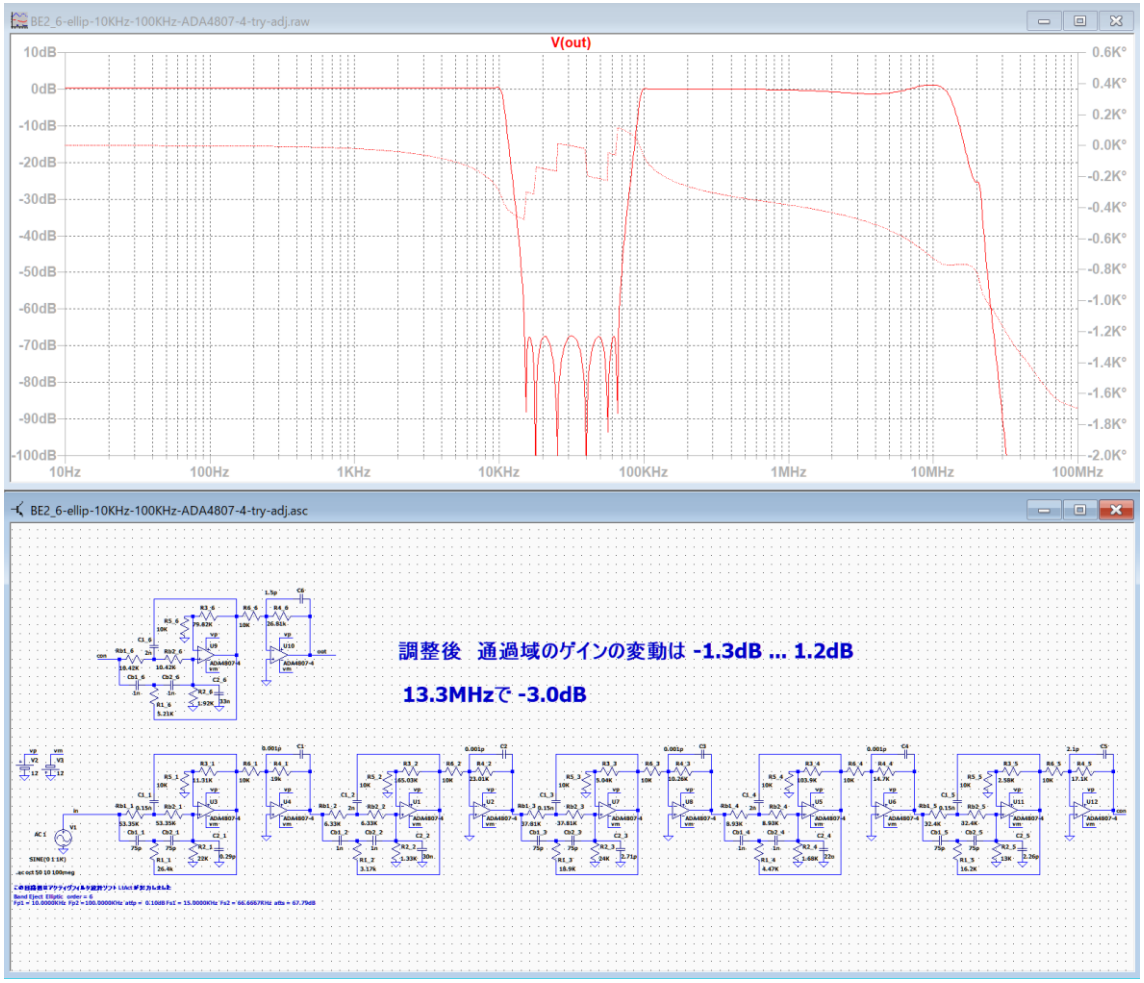




通過域の高域のピークは高いけれど、なんとか調整できるだろう。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try

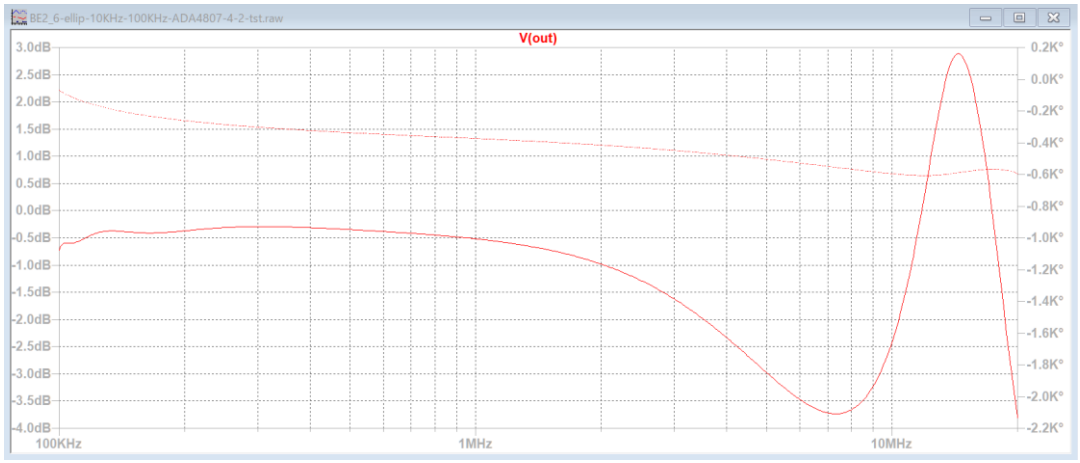
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj



調整後の通過域のゲインの変動は -1.3dB ... 1.2dB　13.3MHz で -3.0dB

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-2-tst（最初の実験）

調整後の通過域のゲインの変動は -4dB ... 3dB



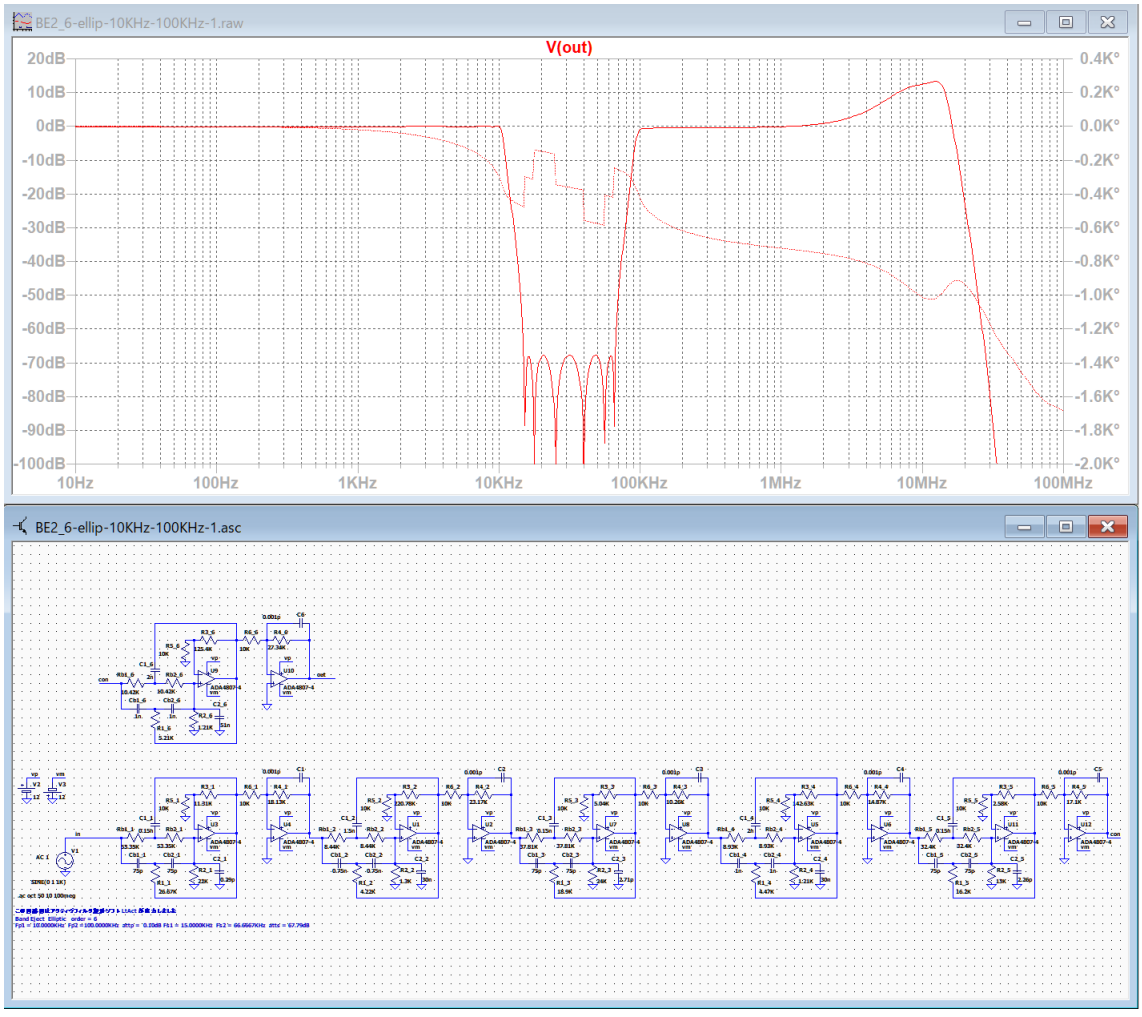
基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-ADA4807-4-try-adj

逆チェビシェフと楕円関数はピークの高さが 25dB 以上の回路図で調整をしましたが、もう少しピークの低い回路図を作成することも出来ると思います。

もしもピークの高さが 10dB 以下の回路図を作れたら、調整後の通過域のゲインの変動は -0.5dB ... 0.5dB 以内に調整できると思います。

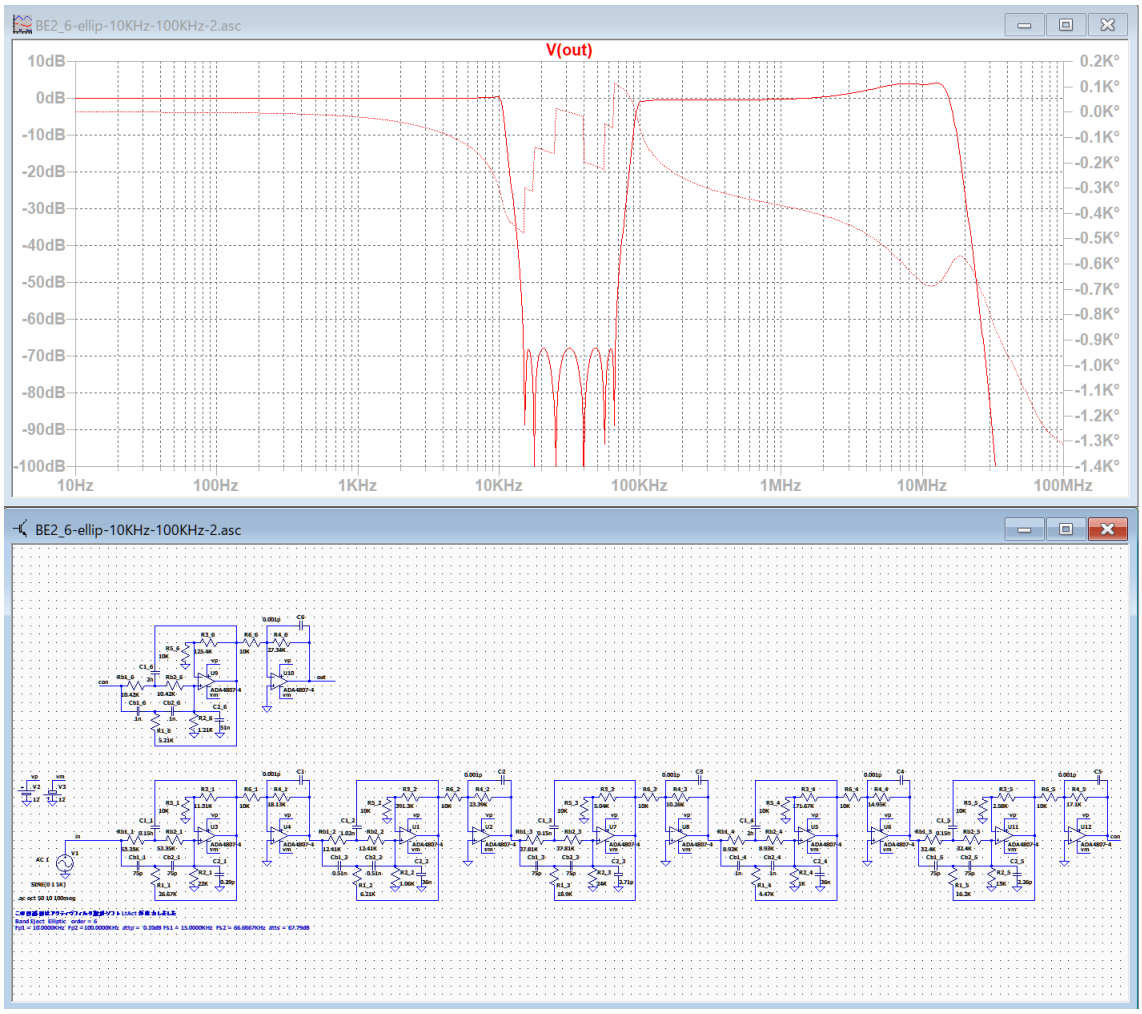
BE2 ellip ピークの低い回路図

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-1（BE2 ellip ピークの低い回路図）



ピークが 13dB の回路図が出来ました。

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-2（BE2 ellip ピークの低い回路図）

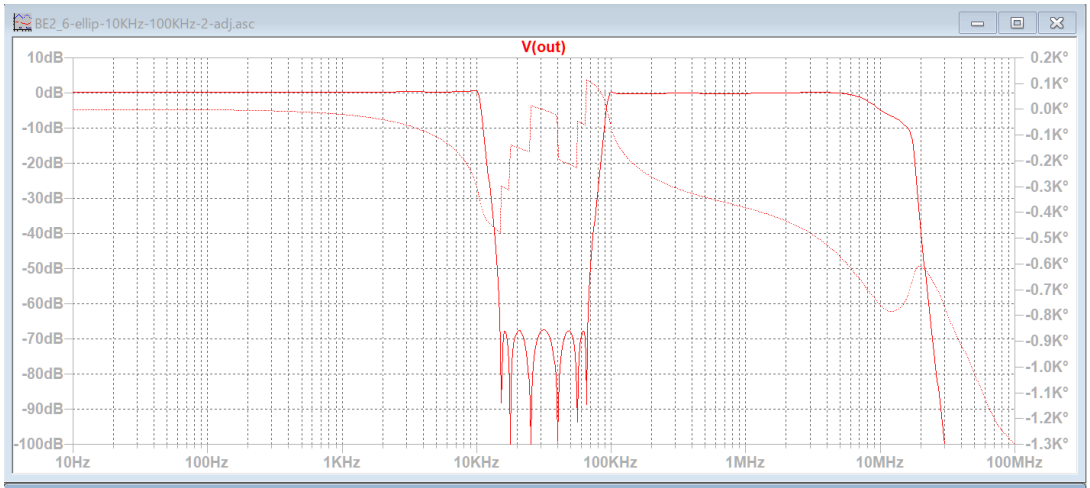


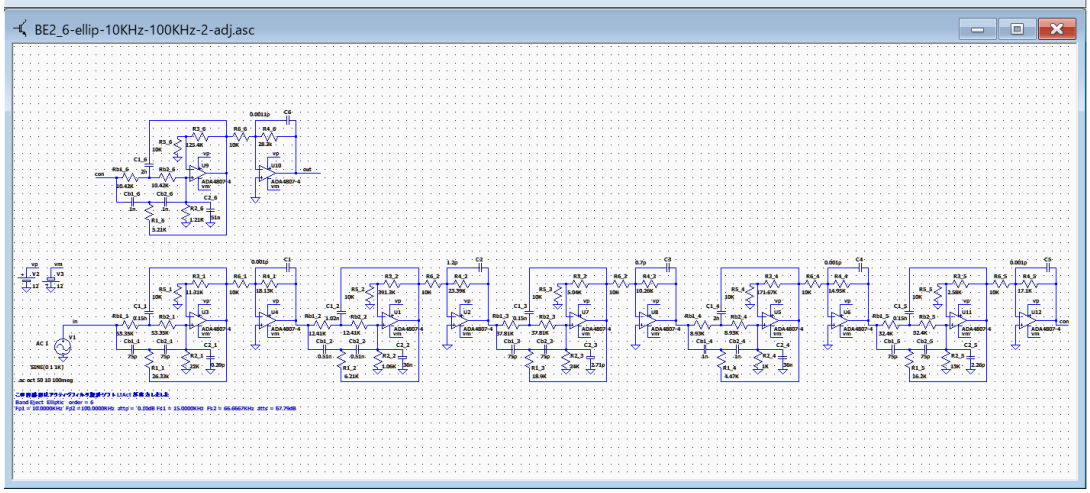
ピークが 4.2dB の回路図が出来ました。

Cb_2= 0.51n, C2_2 = 36n, C2_4 = 36n, C2_6 = 51n に設定しました。

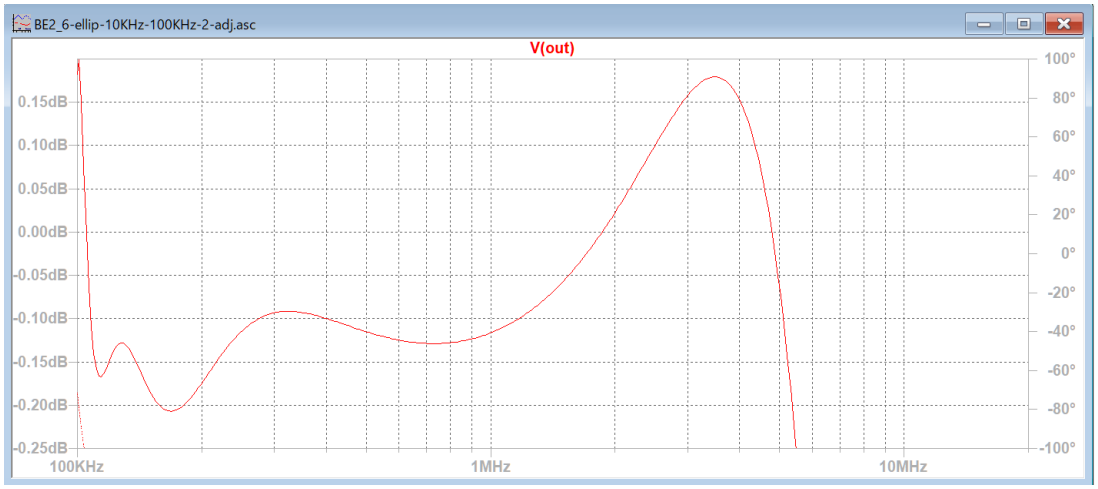
この回路図を調整すれば、調整後の通過域のゲインの変動は -0.5dB ... 0.5dB 以内に調整できると思います。

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-2-adj（BE2 ellip ピークの低い回路図）

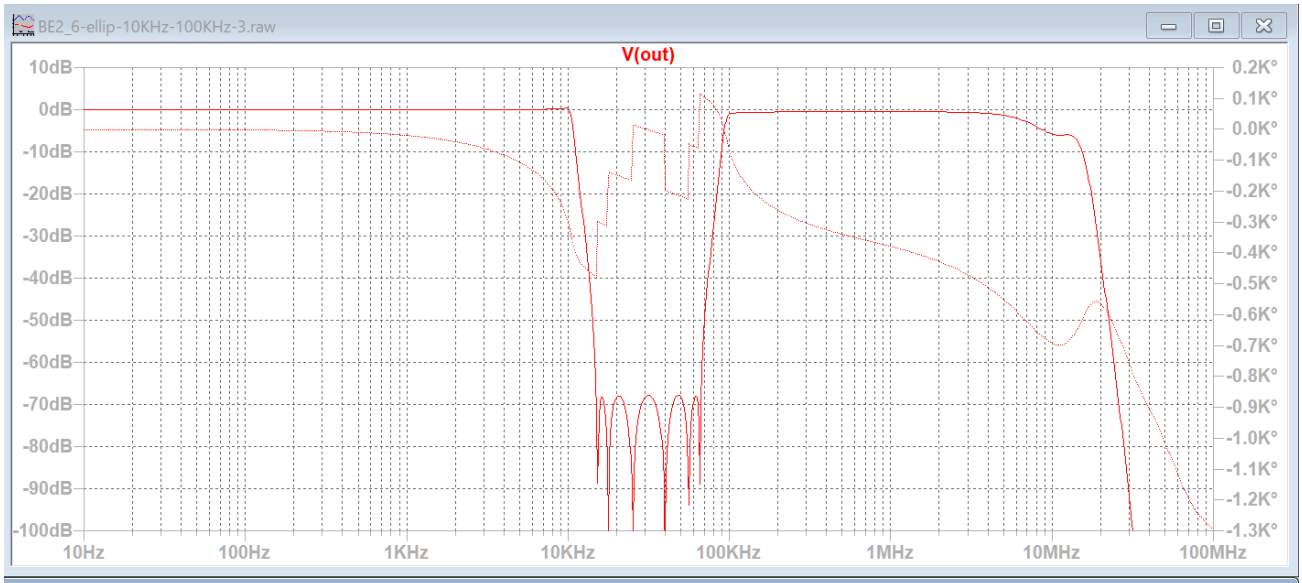


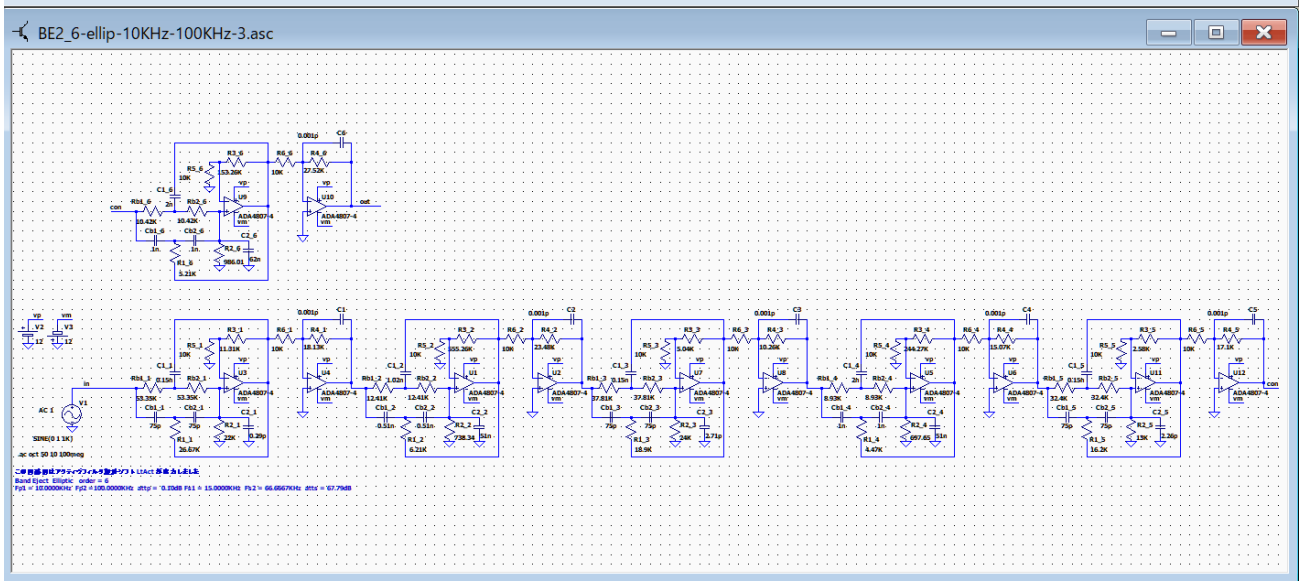


調整後の通過域のゲインの変動は -0.2dB ... 0.2dB　8.5MHz で -3.0dB



BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-3（BE2 ellip ピークの低い回路図）





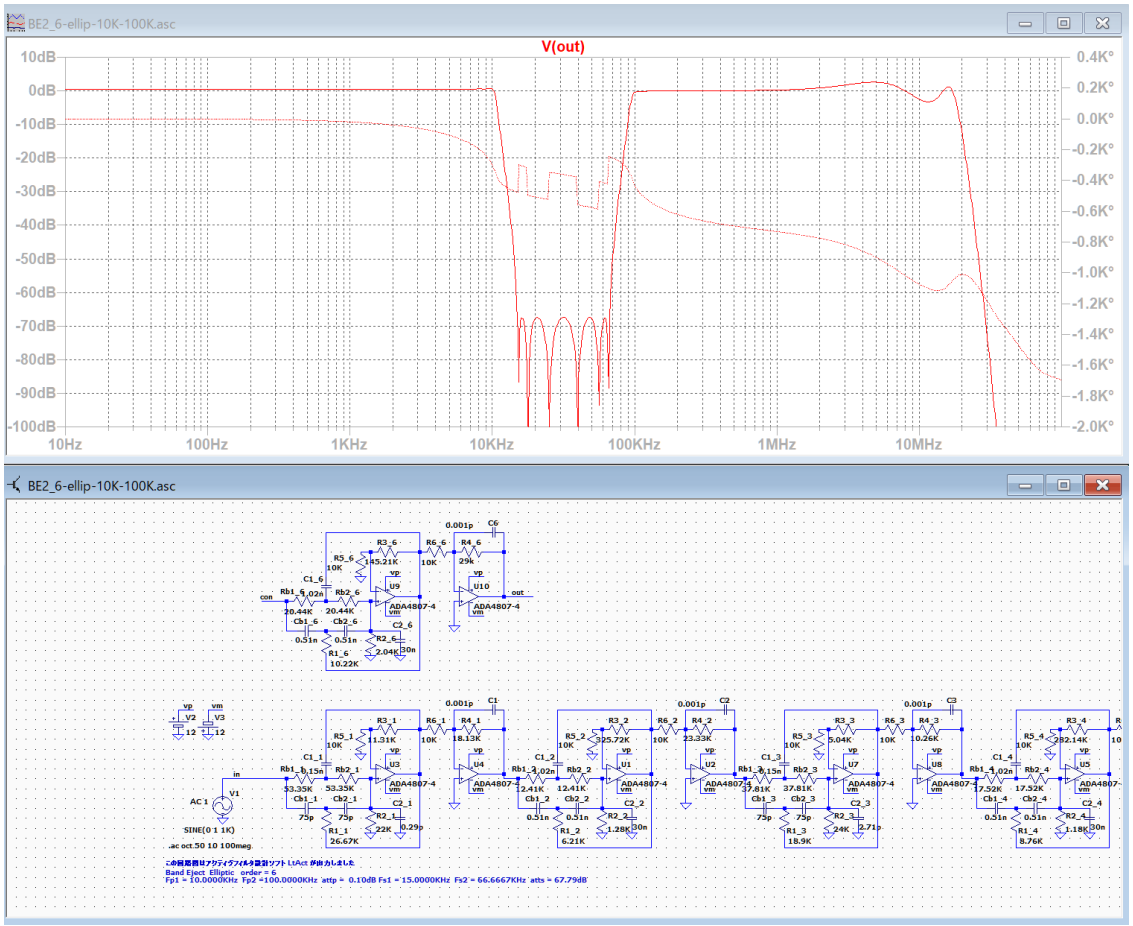
C2_2=51n, C2_4=51n, C2_6=62n に設定しました。

少し大きすぎたようですが、通過域の高域にピークの無い回路図が作成できました。

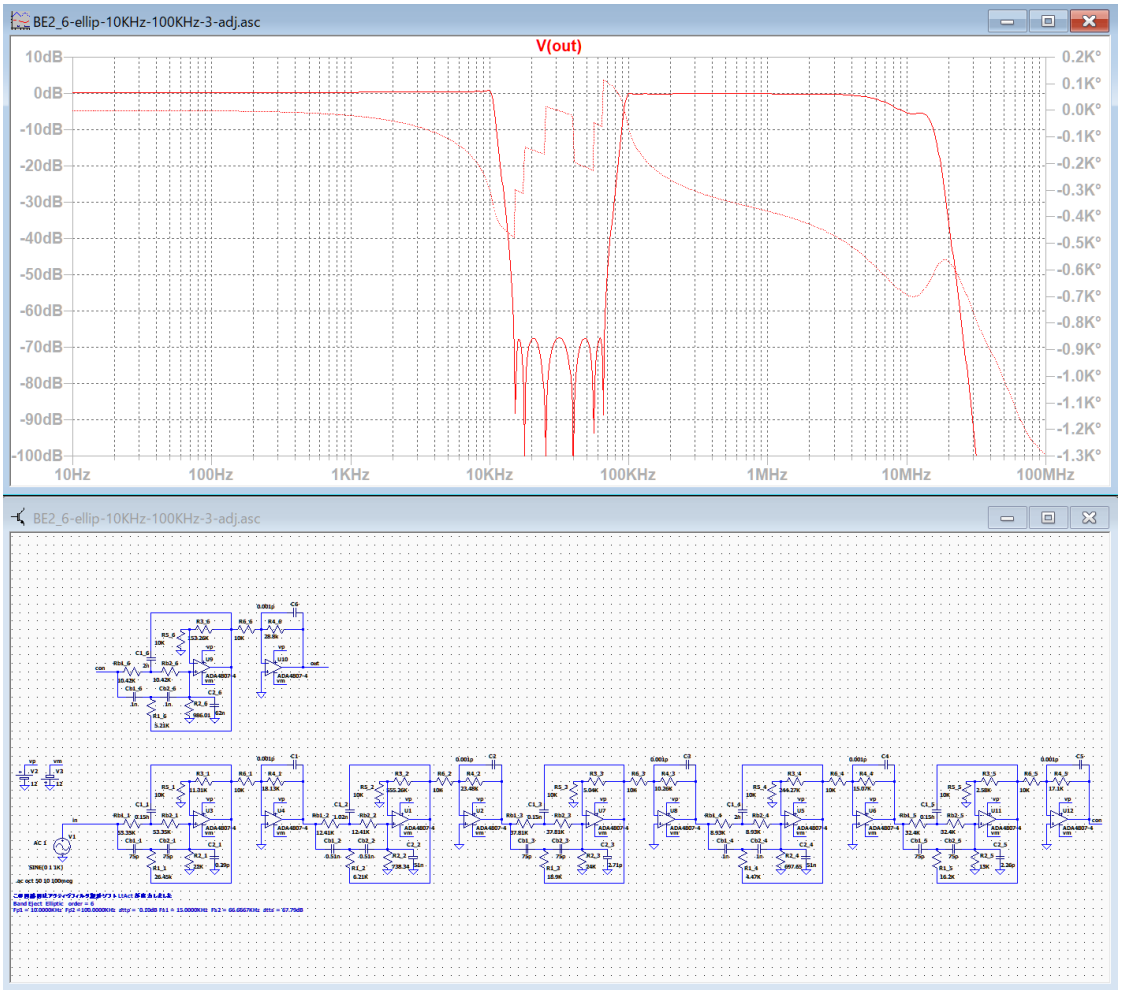
もう少し小さめに設定すると通過域の帯域を広げられたと思います。
通過域のゲインが出来るだけ マイナスにならない程度に調整するのが良いと思います。

100KHz 以上の通過域のゲインが -0.5dB なのでゲイン調整します。
しかしゲイン調整では帯域は広くなりません。

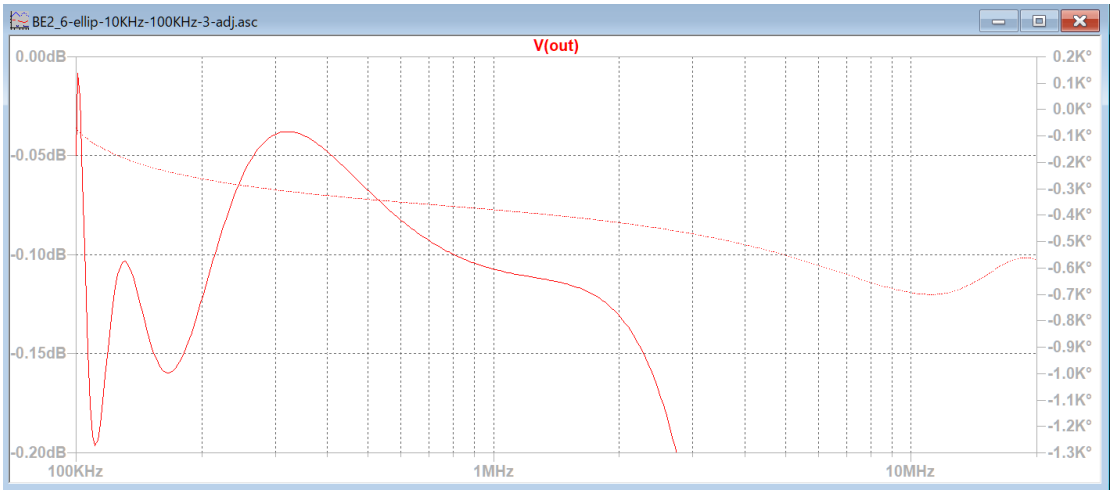
Cb1_2,4,6 を 0.51n に設定してから、C2_2,4,6 を 30n に設定した。通過域の高域に多少のうねりが見られるが、通過帯域は広くなっている。



BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-3-adj（BE2 ellip ピークの低い回路図）



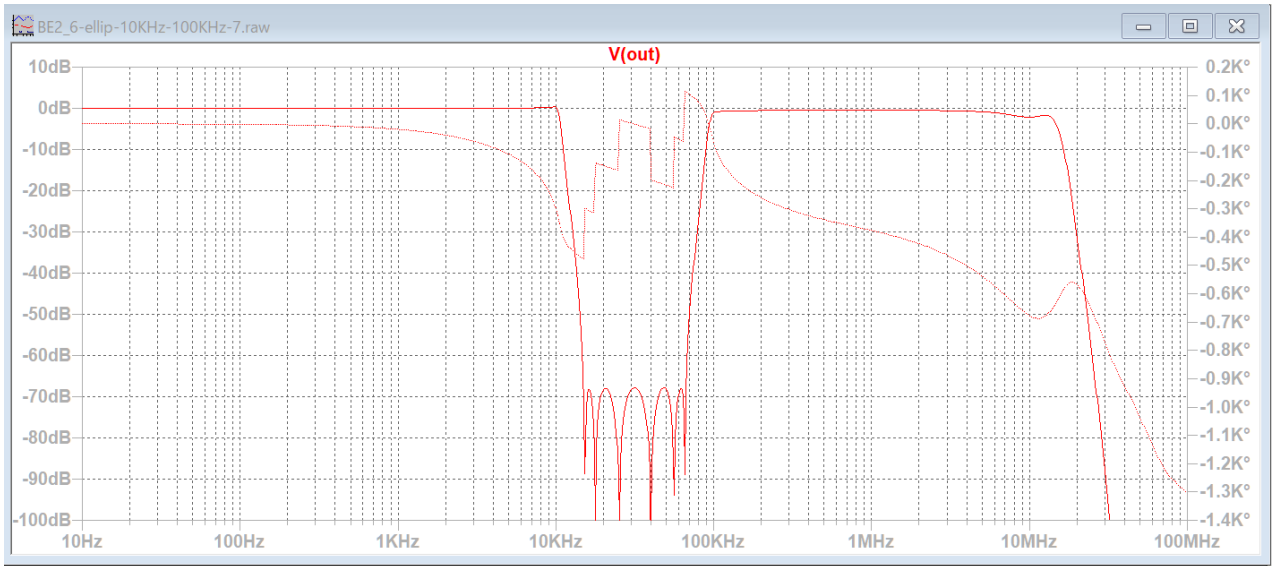
R1_1 を 26.67K から 26.45k に、R4_6 を 27.52K から 28.8K に変更して通過域のゲインを -0.10dB に調整しました。C1 から C6 は調整不要でした。
調整後の通過域のゲインの変動は -0.2dB ... 0dB　7.5MHz で -3.0dB

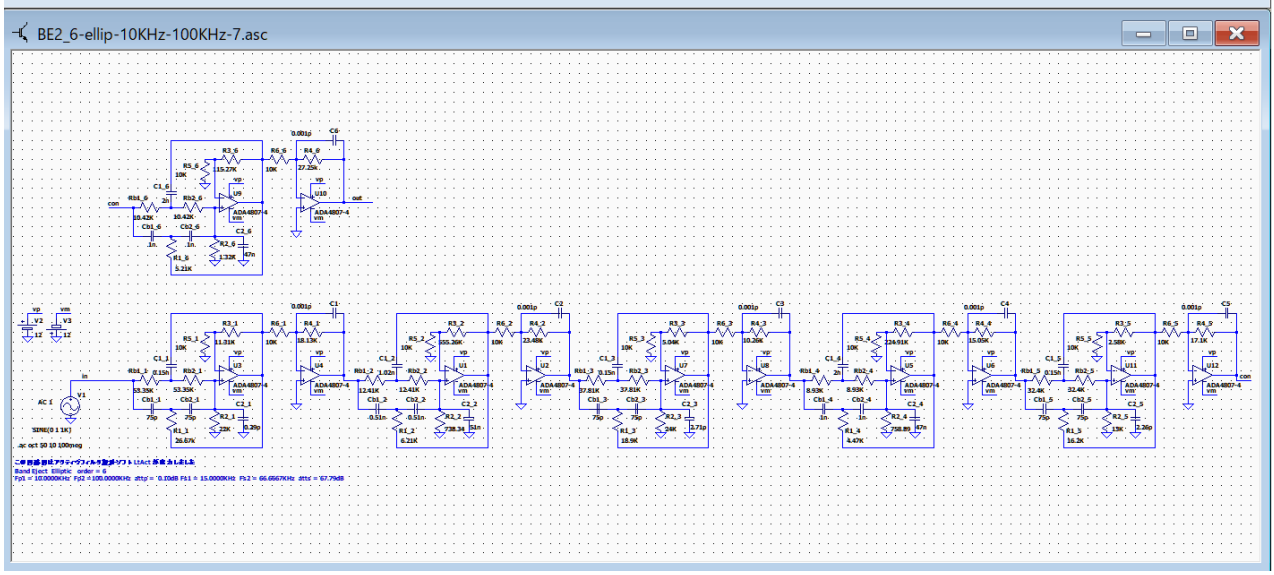


基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-3-adj（BE2 ellip ピークの低い回路図）

BE2 ellip ピークの低い回路図

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-7.asc



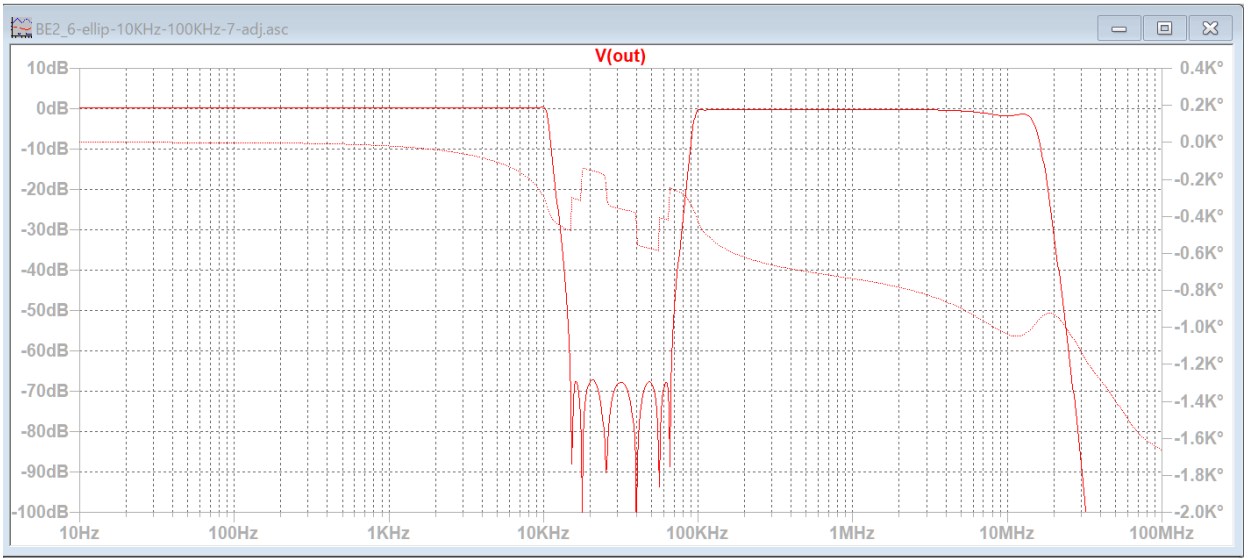


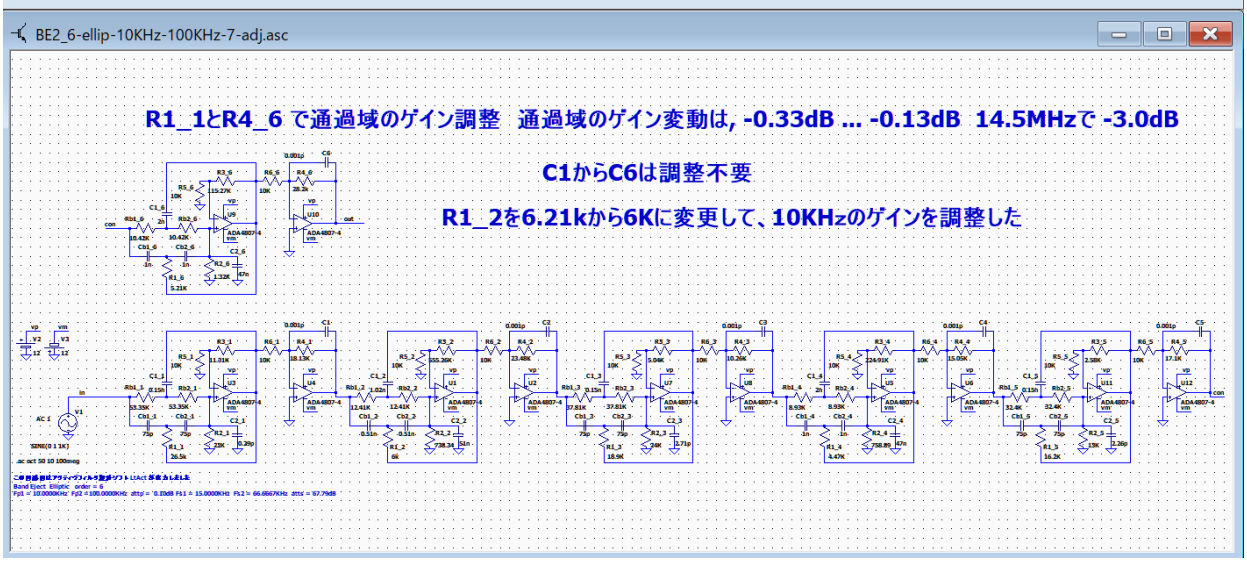
C2_2=51n, C2_4=47n, C2_6=47n に設定しました。

通過帯域幅が広くなったように見えます。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-7.asc

BE2_6-ellip-10KHz-100KHz-7-adj.asc





R1_2 を 6.21k から 6K に変更して、10KHz のゲインを調整した。

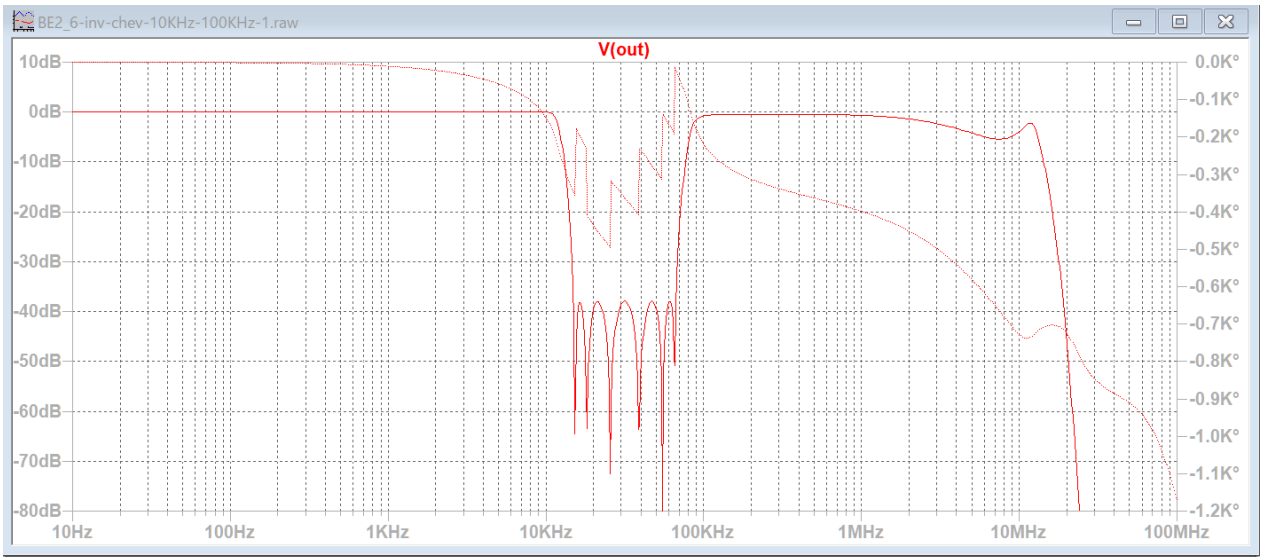
R1_1 を 26.67K から 26.5K に、R4_6 を 27.25k から 28.2k に変更して、100KHz 以上の通過域のゲインを調整した。C1 から C6 は調整不要だった。

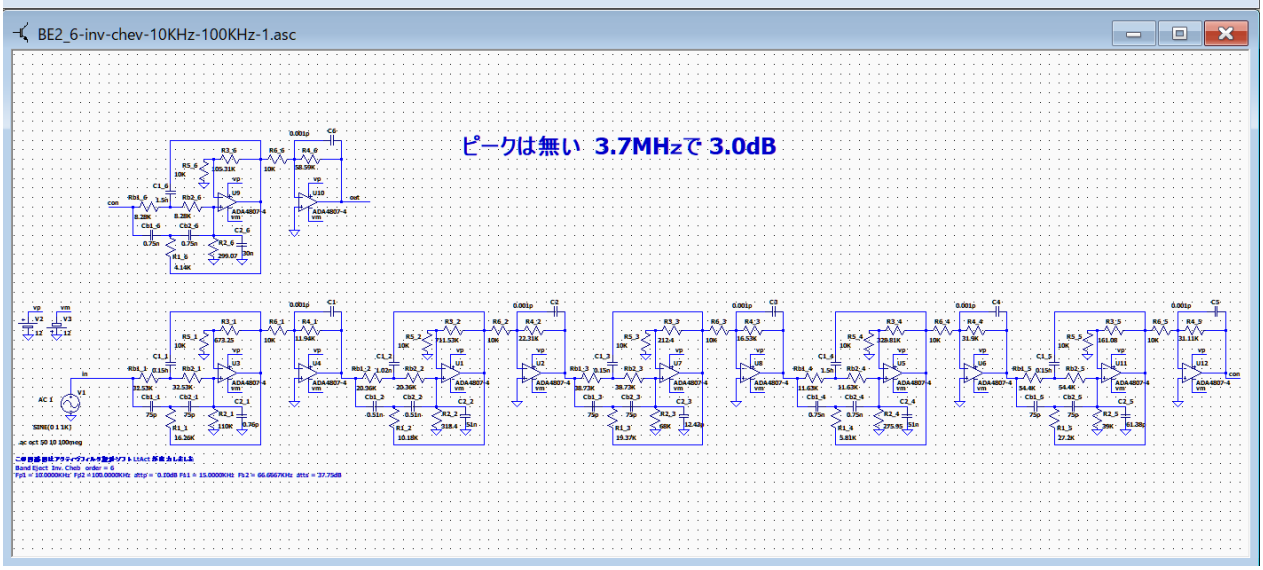
通過域のゲイン変動は, -0.33dB ... -0.13dB 14.5MHz で -3.0dB

C2_2, C2_4, C2_6　を微調整して、100KHz 以上の通過帯域幅を広げる事ができた。

BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-1.asc

チェビシェフの作成例

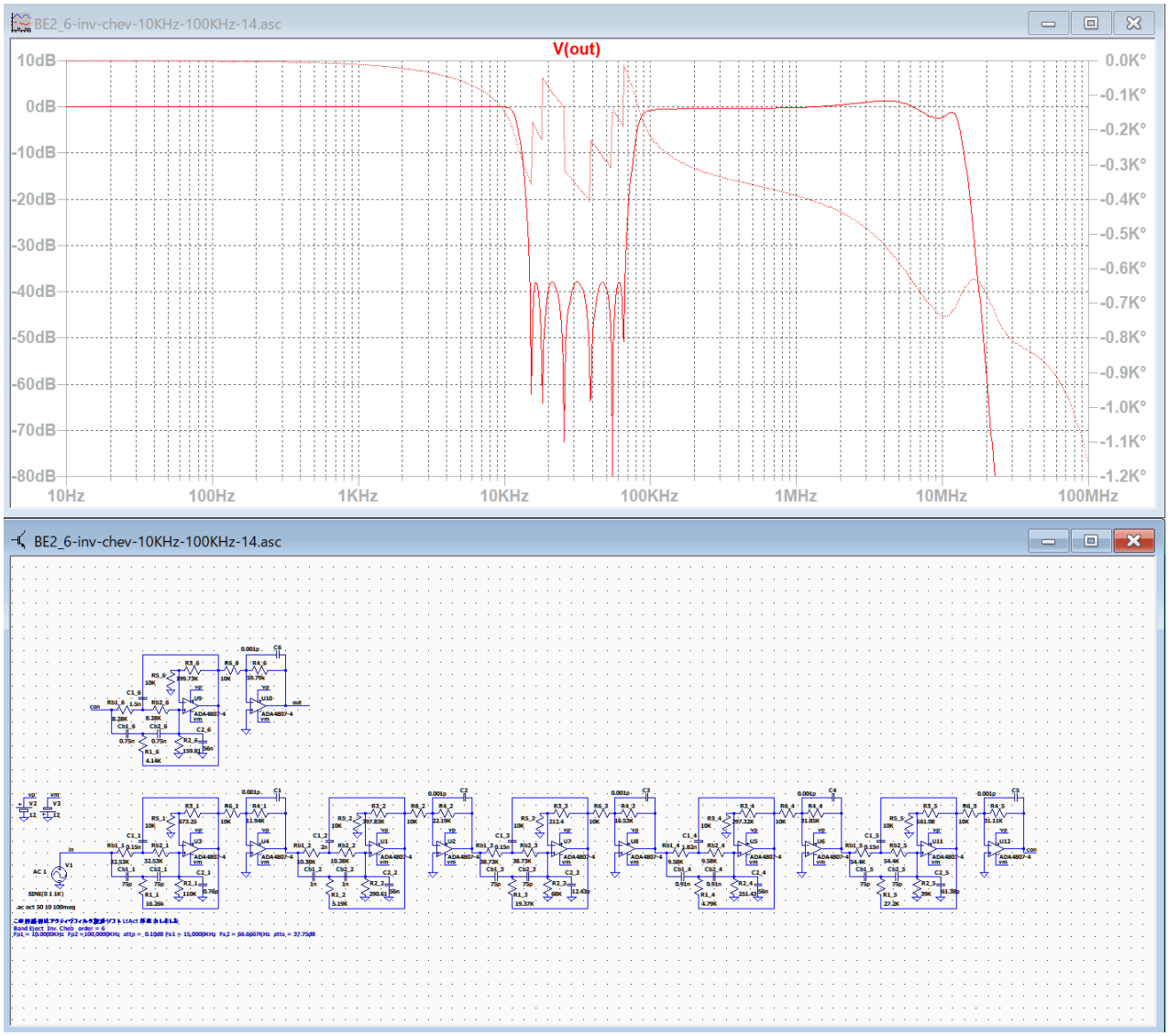




C2_2, C2_4, C2_6　が大きすぎたので、100KHz 以上の通過帯域幅が狭くなった。

BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-14.asc

チェビシェフの作成例

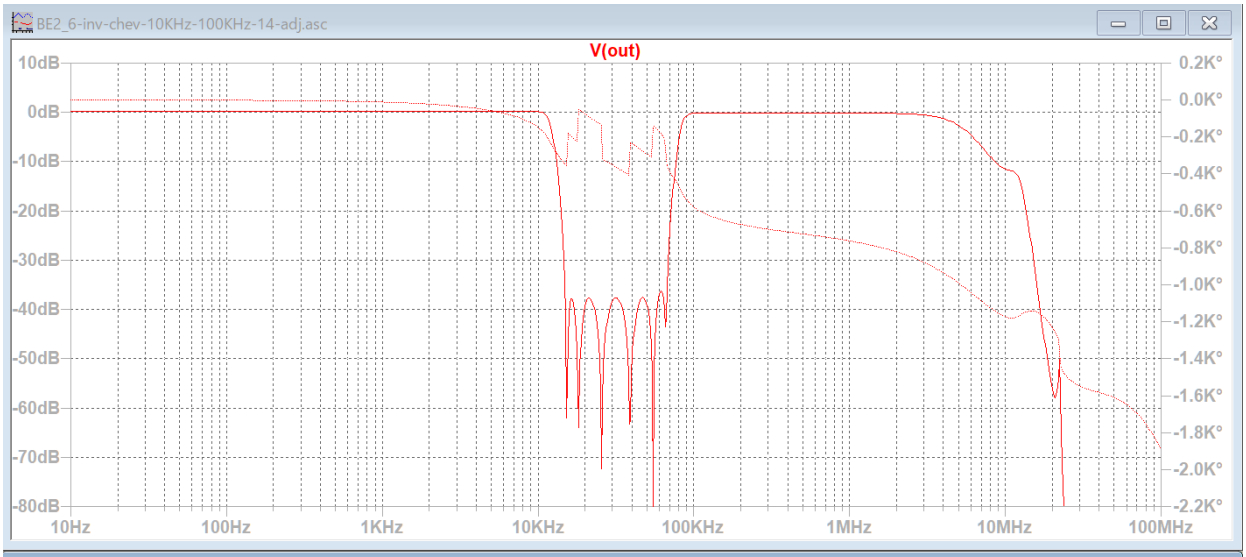


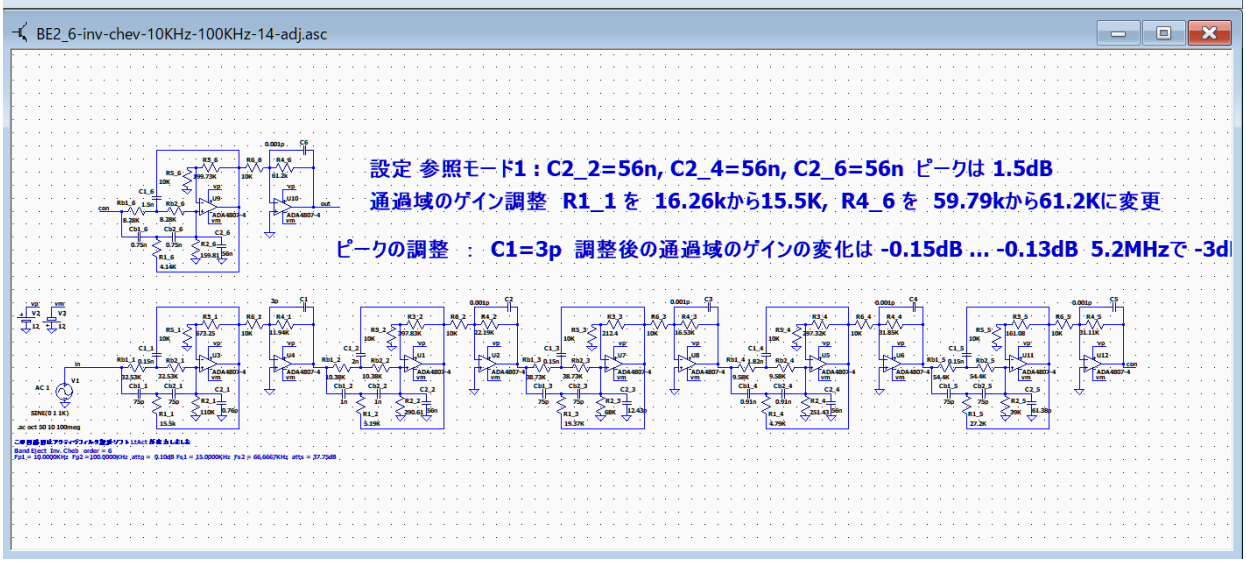
設定 参照モード 1：C2_2=56n, C2_4=56n, C2_6=56n

ピークは 1.5dB 残っているが、100KHz 以上の通過帯域幅が広くなった。

BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-14-adj.asc

チェビシェフの調整例





通過域のゲイン調整 ： R1_1 を 16.26k から 15.5K, R4_6 を 59.79k から 61.2K に変更

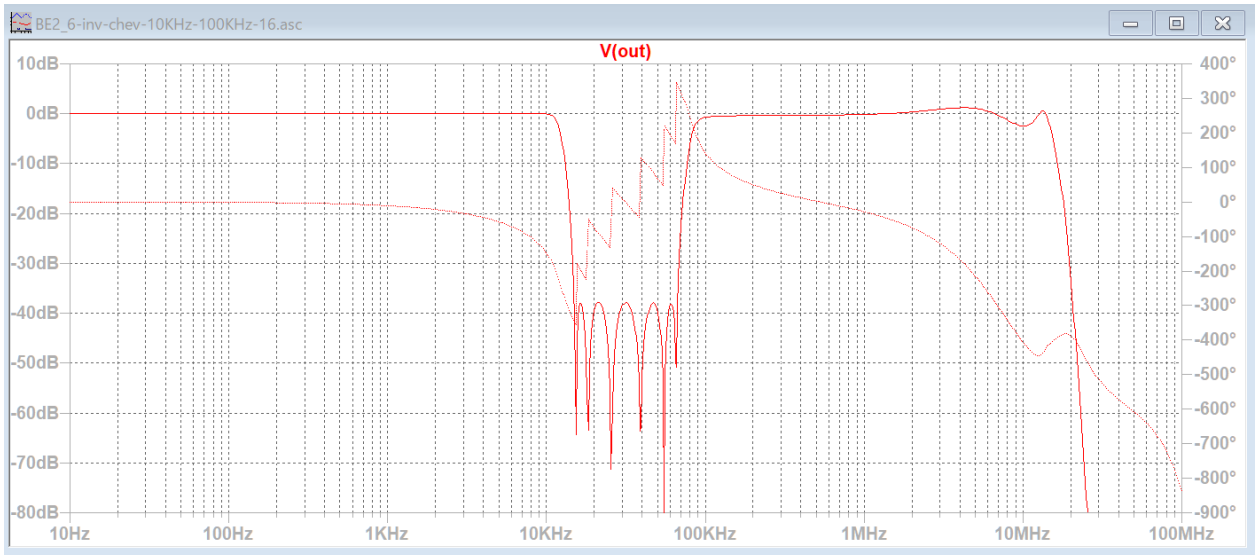
ピークの調整　：　C1=3p

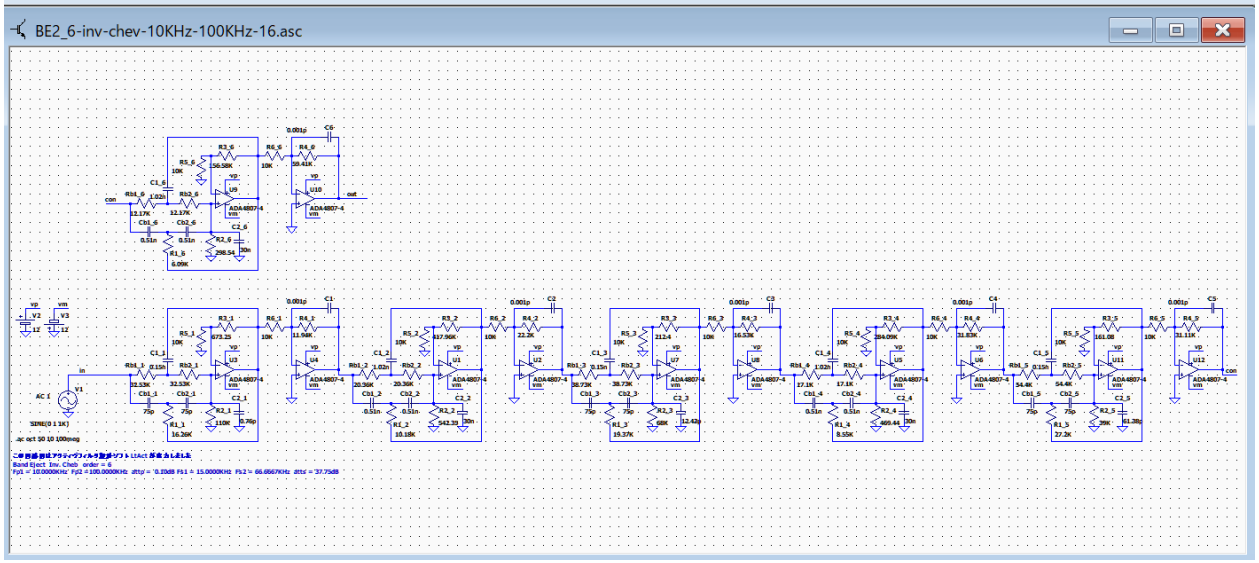
調整後の通過域のゲインの変化は -0.15dB ... -0.13dB 5.2MHz で -3dB

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-14-adj.asc

BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-16.asc

チェビシェフの作成例





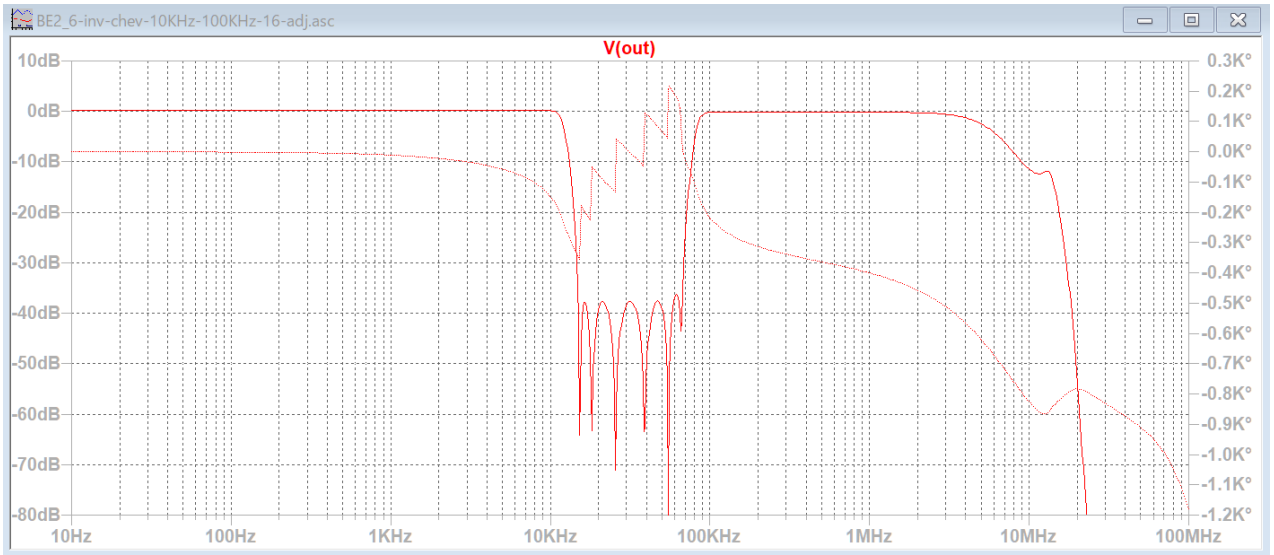
設定 参照モード 1：Cb1_2= Cb1_4= Cb1_4=0.51n, C2_2= C2_4= C2_6=30n

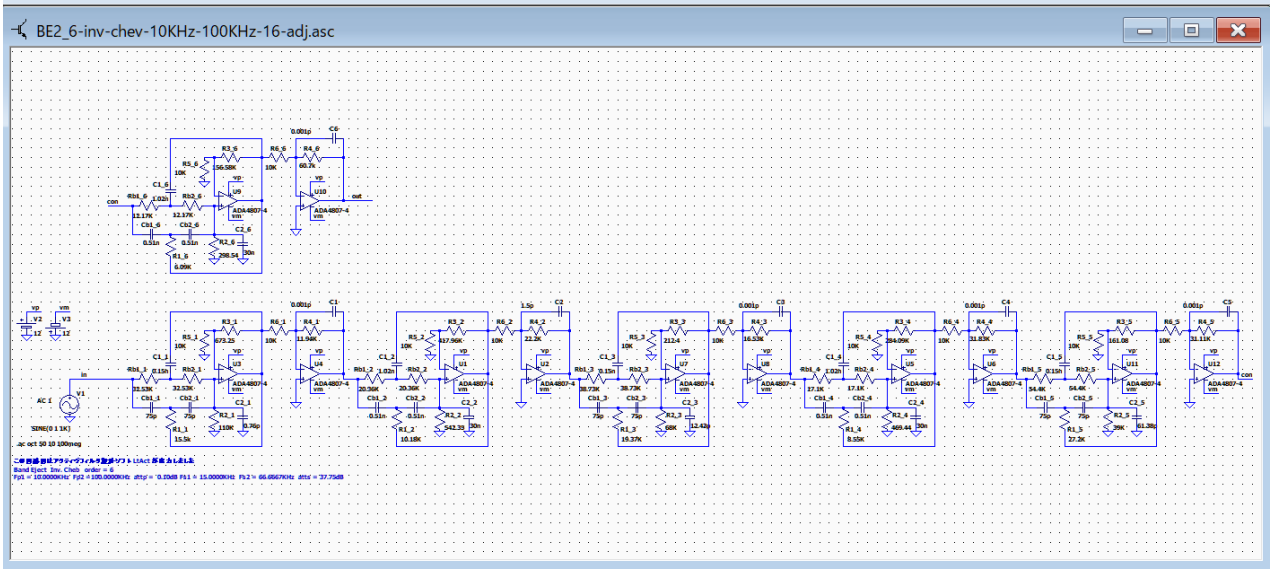
ピークは 1.2dB 残っているが、100KHz 以上の通過帯域が広くなった。

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-16.asc

BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-16-adj.asc

チェビシェフの調整例





通過域のゲイン調整 ： R1_1 を 16.26k から 15.5K, R4_6 を 59.41k から 60.7K に変更

ピークの調整　 ：　C2=1.5p

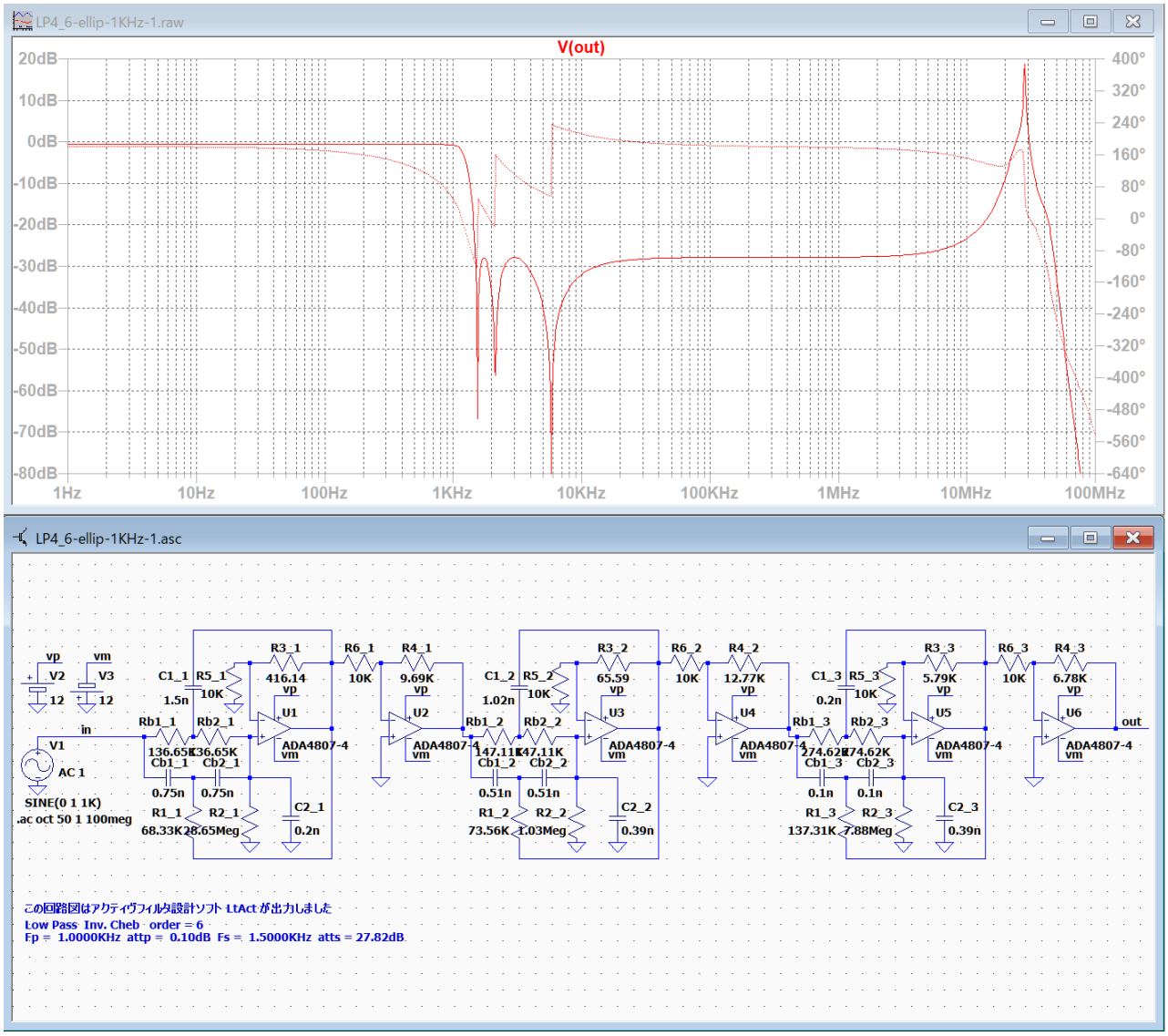
100KHz 以上の通過域のゲインの変動は、-0.166dB ... -0.148dB　5.3MHz で -3.0dB

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数
BE2_6-inv-chev-10KHz-100KHz-16-adj.asc

BE2 ellip ピークの低い回路図

LP4_6-ellip-1KHz-1.asc

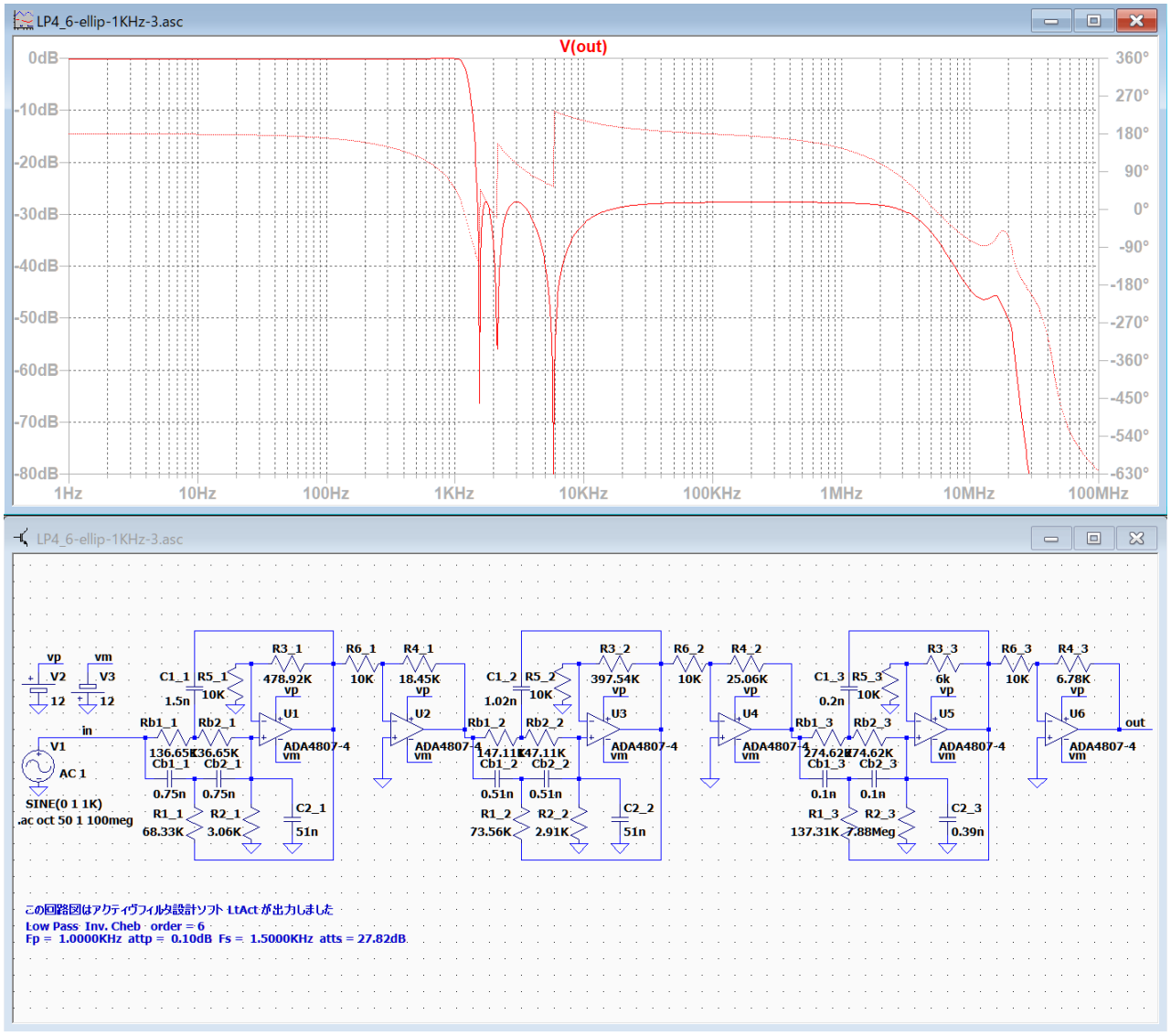
LP4 の作成例



阻止域の高域にピークが発生している。

LP4_6-ellip-1KHz-3.asc

LP4 の調整例

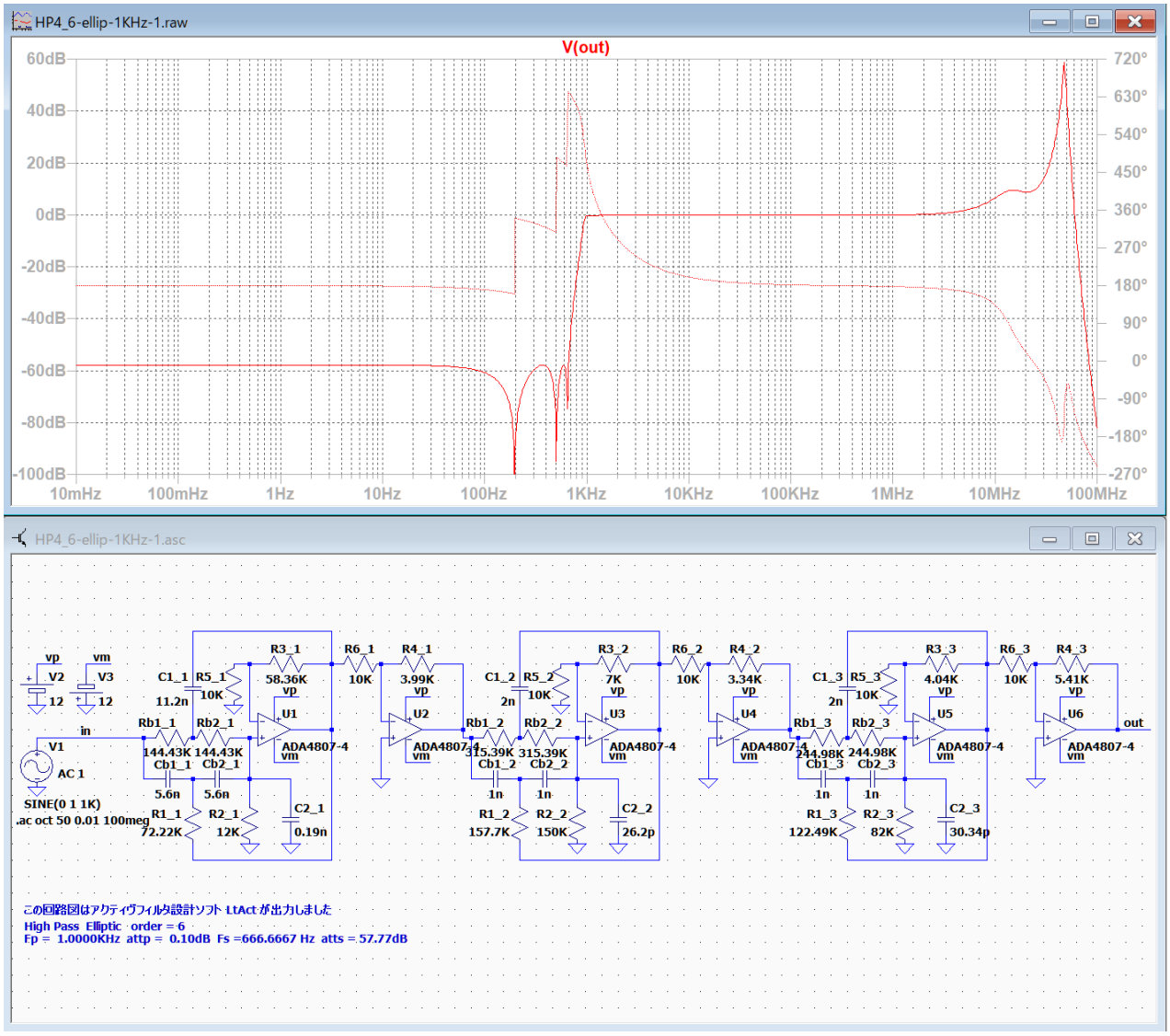


C2_1 を 0.2n から 51n, C2_2 を 0.39n から 51n　に変更してピークを除去した。

R4_3 = 6.78K に変更して、通過域のゲインを調整した。

HP4_6-ellip-1KHz-1.asc

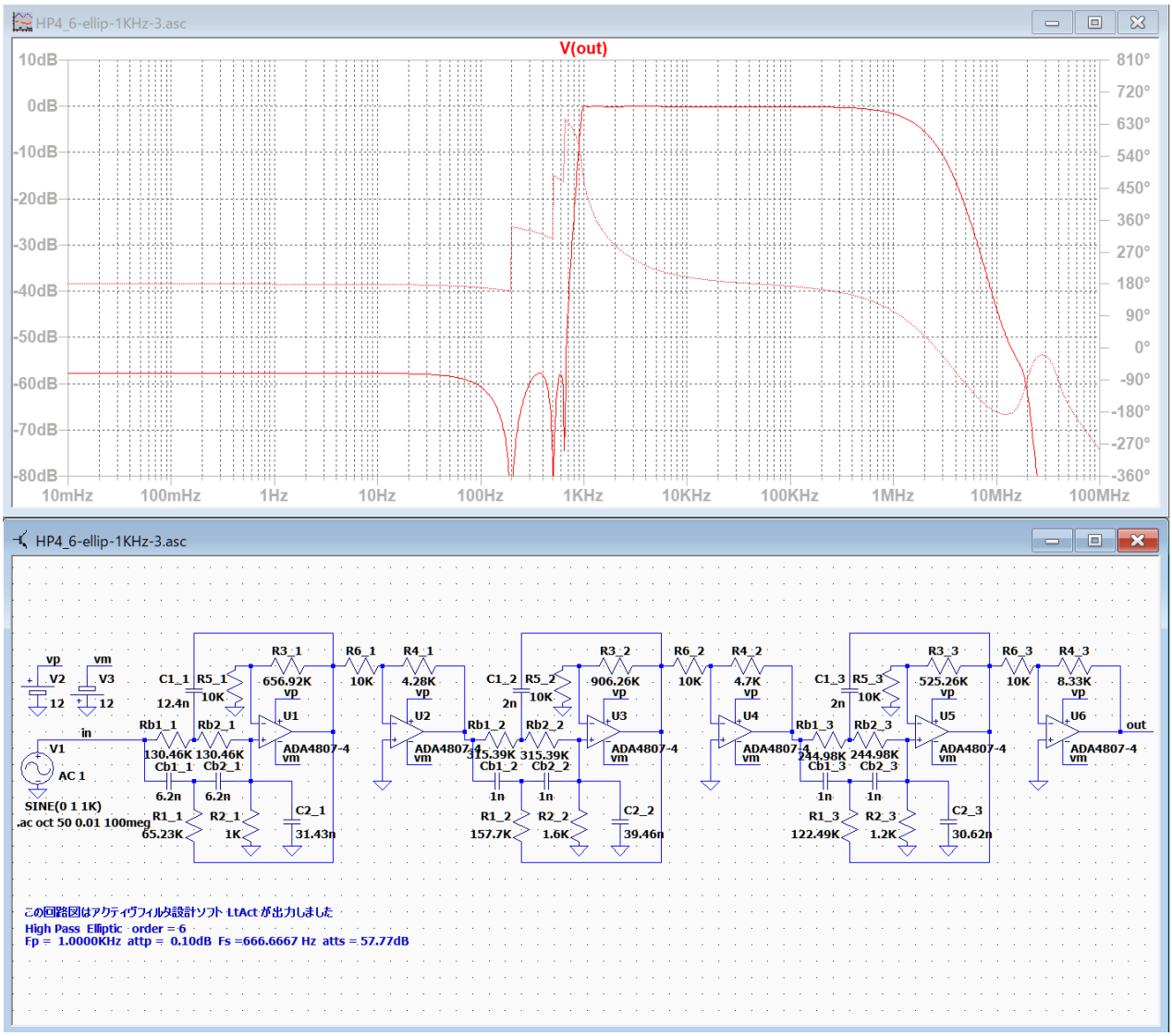
HP4 の作成例



通過域の高域にピークが発生している。

HP4_6-ellip-1KHz-3.asc

HP4 の調整例



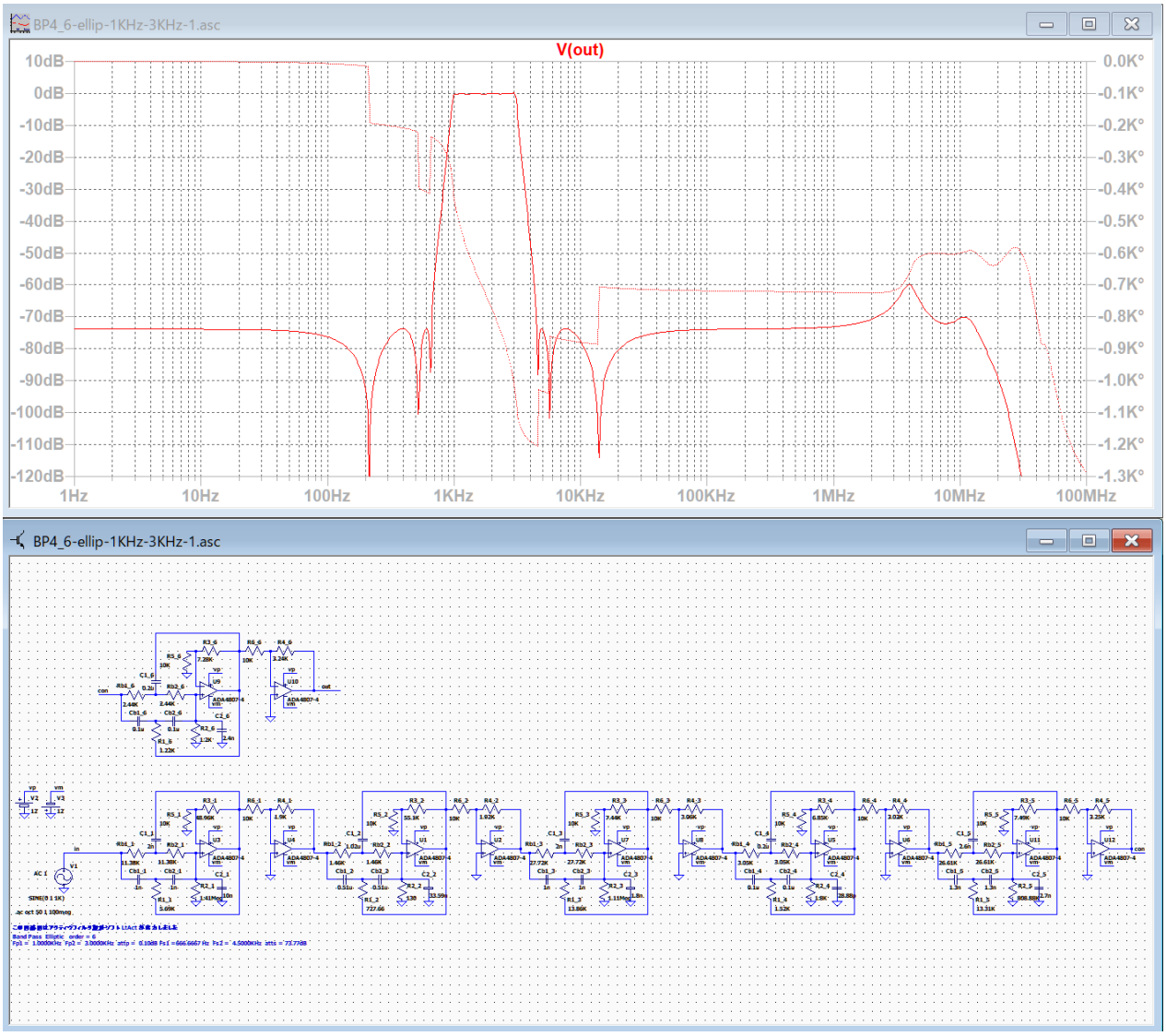
C2_1 を 0.19n から 31.43n, C2_4 を 26.2p から 39.46n, C2_6 を 30.34p から 30.62n に設定してピークを除去した。

C2_1, C2_4, C2_6 を少し小さめに調整すれば、通過帯域幅を広げることが出来るだろう。

BE2 ellip ピークの低い回路図

BP4_6-ellip-1KHz-3KHz-1.asc

BP4 の作成例

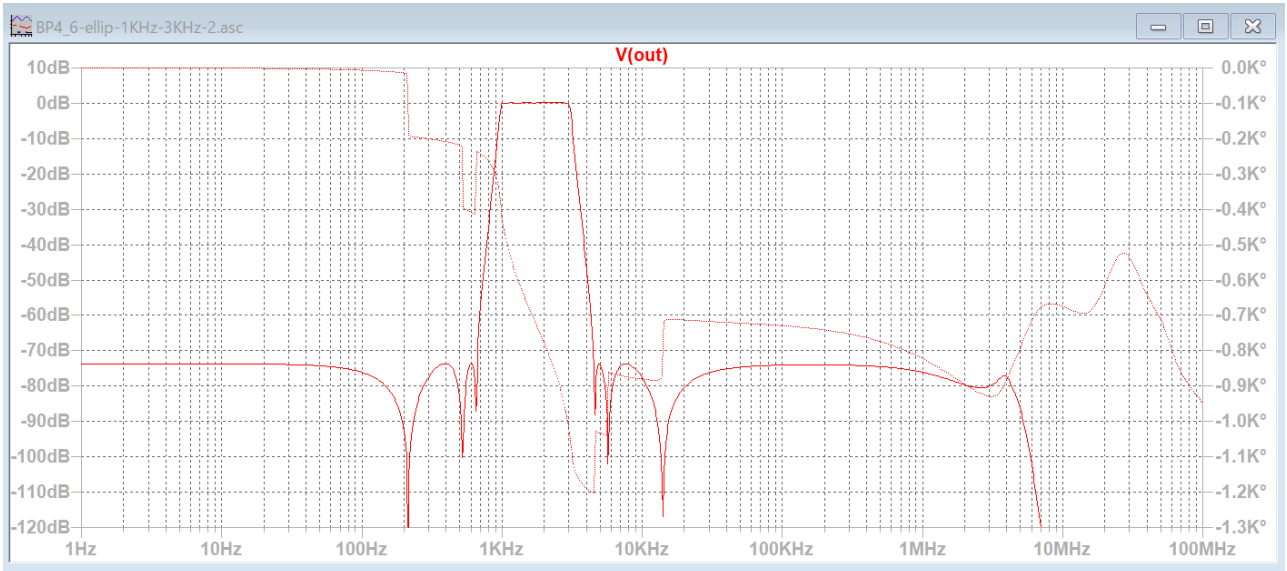


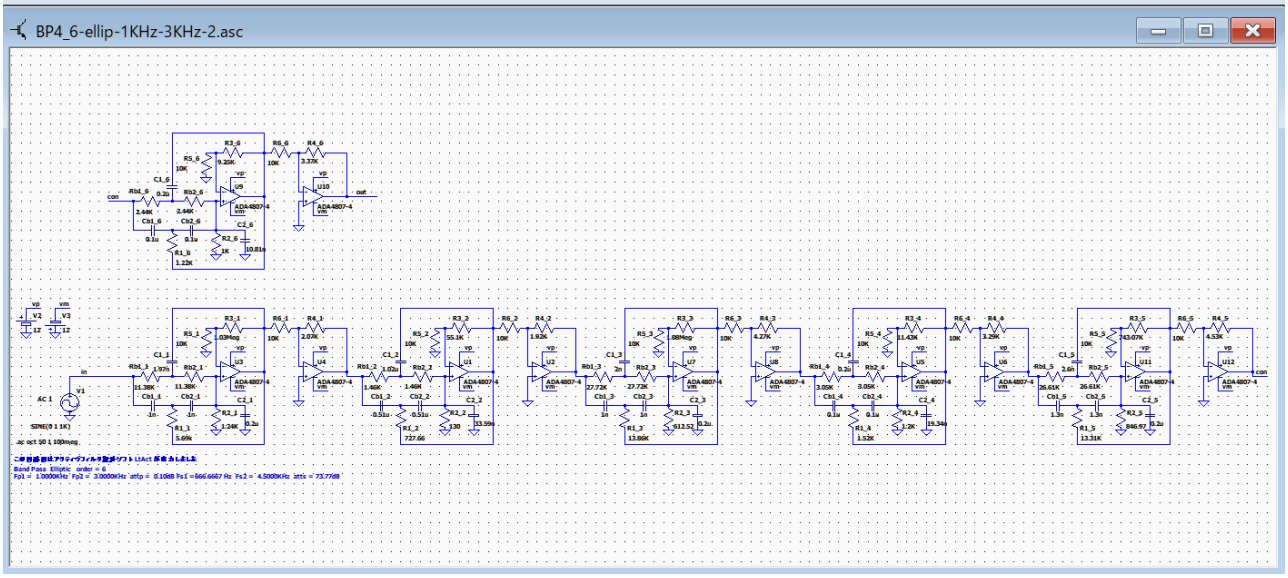
高域の遮断域にピークが発生している。

BE2 ellip ピークの低い回路図

BP4_6-ellip-1KHz-3KHz-2.asc

BP4 の調整例





C2_1 を 10n から 0.2u, C2_3 を 1.8n から 0.2u, C2_4 を 28.88p から 19.34n,
C2_5 を 2.7n から 0.2u, C2_6 を 2.4n から 10.81n
に設定して遮断域のピークを除去した。

C1_1 を 2n から 1.97n に変更して、3KHz のピークを調整した。

バターワースとチェビシェフは、偶数ブロックの C2_2, C2_4, C2_6 を少し大きめに設定すると、無調整でピークの無い回路図が作成できる可能性があります。

逆チェビシェフと楕円関数は参照モード 1 で、偶数ブロックの C2_2, C2_4, C2_6 を少し大きめに設定すると、無調整でピークの無い回路図が作成できる可能性があります。

C2_?　を大きく設定するとピークが低くなりますが、大きすぎると通過域のゲインが 0dB 以下になります。
Cb1_?, Cb2_?　を小さくすると、通過帯域が広くなる傾向があります。

無調整時に通過域のゲインが出来るだけ高い周波数まで 0dB 以下にならない程度に調整し、その後必要に応じて各ブロックの C1 から C6 を調整するのが良いと思います。

LP4、HP4 および BP4 では高域にピークが発生することがありますが、BE2 と同様に、参照モード 1 で、偶数ブロックの C2_2, C2_4, C2_6 を少し大きめに設定すると、無調整でピークの無い回路図を作成できます。

基本回路「et2」（LP4, HP4, BP4, BE2）は、回路図作成時に「BE2 のための回路図作成方法　まとめ」に従って素子値を設定すると、通過域や阻止域のピークを抑制することが出来ます。素子値を少しづつ調整して何度も回路図を作成すると、最終的にピークが発生せず、通過帯域幅の広い回路図を作成できます。

回路図でコンデンサの値が、C1 = 0.001p またはそれ以下（30f など）に設定されている場合には、回路図からその素子を取り除いても構いません。LtSpice では素子値を 0 に設定できないので、回路図に素子を残したまま数値を 0.001p に設定したものです。

ver.3.00 以降の実験 4 終わり

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数

ver.3.10 基本回路図を追加

基本回路図を追加して 12 次以上の偶数次数の回路図を出力可能としました。

ローパス	従来使用できた基本回路	LtAct ver.3.10で追加した次数	追加した基本回路数	合計の基本回路数
バターワース・チェビシェフ LP1 と LP2	2次から10次まで18個 奇数次数も偶数次数も可能	12次から40次まで 偶数次数のみ可能	30	48
逆チェビシェフ・楕円関数 LP3 と LP4	2次から10次まで 18個 奇数次数も偶数次数も可能	12次から40次まで 偶数次数のみ可能	30	48
ハイパス	従来使用できた基本回路	LtAct ver.3.10で追加した次数	追加した基本回路数	合計の基本回路数
バターワース・チェビシェフ HP1 と HP2	2次から10次まで 18個 奇数次数も偶数次数も可能	12次から40次まで 偶数次数のみ可能	30	48
逆チェビシェフ・楕円関数 HP3 と HP4	2次から10次まで 18個 奇数次数も偶数次数も可能	12次から40次まで 偶数次数のみ可能	30	48
バンドパス	従来使用できた基本回路	LtAct ver.3.10で追加した次数	追加した基本回路数	合計の基本回路数
バターワース・チェビシェフ BP1 と BP2	2次から10次まで 18個 奇数次数も偶数次数も可能	12次から20次まで 偶数次数のみ可能	10	28
逆チェビシェフ・楕円関数 BP3 とBP4	2次から10次まで 18個 奇数次数も偶数次数も可能	12次から20次まで 偶数次数のみ可能	10	28
バンドエリミネーション	従来使用できた基本回路	LtAct ver.3.10で追加した次数	追加した基本回路数	合計の基本回路数
バターワース・チェビシェフ BE1 とBE2	2次から10次まで 18個 奇数次数も偶数次数も可能	12次から20次まで 偶数次数のみ可能	10	28
逆チェビシェフ・楕円関数 BE1 と BE2	2次から10次まで 共通 奇数次数も偶数次数も可能	12次から20次まで 共通 偶数次数のみ可能	合計 150 個　追加	合計 276 個

基本回路「et2」―「BE2」逆チェビシェフ・楕円関数

基本回路図を 2 次から 40 次までに増加しました。10 次以上は偶数次数になります。
BP1～BP4 および BE1～BE2 は 20 次まで増加しました。

高次数のフィルタでは、初段の Q が非常に大きな値になるので、素子の値を設定する時に、 LtAct が表示する推奨値を全て「OK」をクリックすると、希望する周波数特性が得られない事があります。

「ver.3.00 以降の実験 1 から 4」を参考にして、根気よく素子値を調整してください。
素子値は小さすぎたり大きすぎない値を設定してください。

「LtAct」をインストールしたフォルダーの「ver3.10 サンプルデータ」フォルダーに、「追加した基本回路の動作確認」フォルダーとサンプルの回路図などを格納しました。

基本回路ごとの調整のヒント

1．LP2：カットオフ周波数付近のゲインが 0dB 以下に低下する場合は、オペアンプを AD8648 に交換してみる。

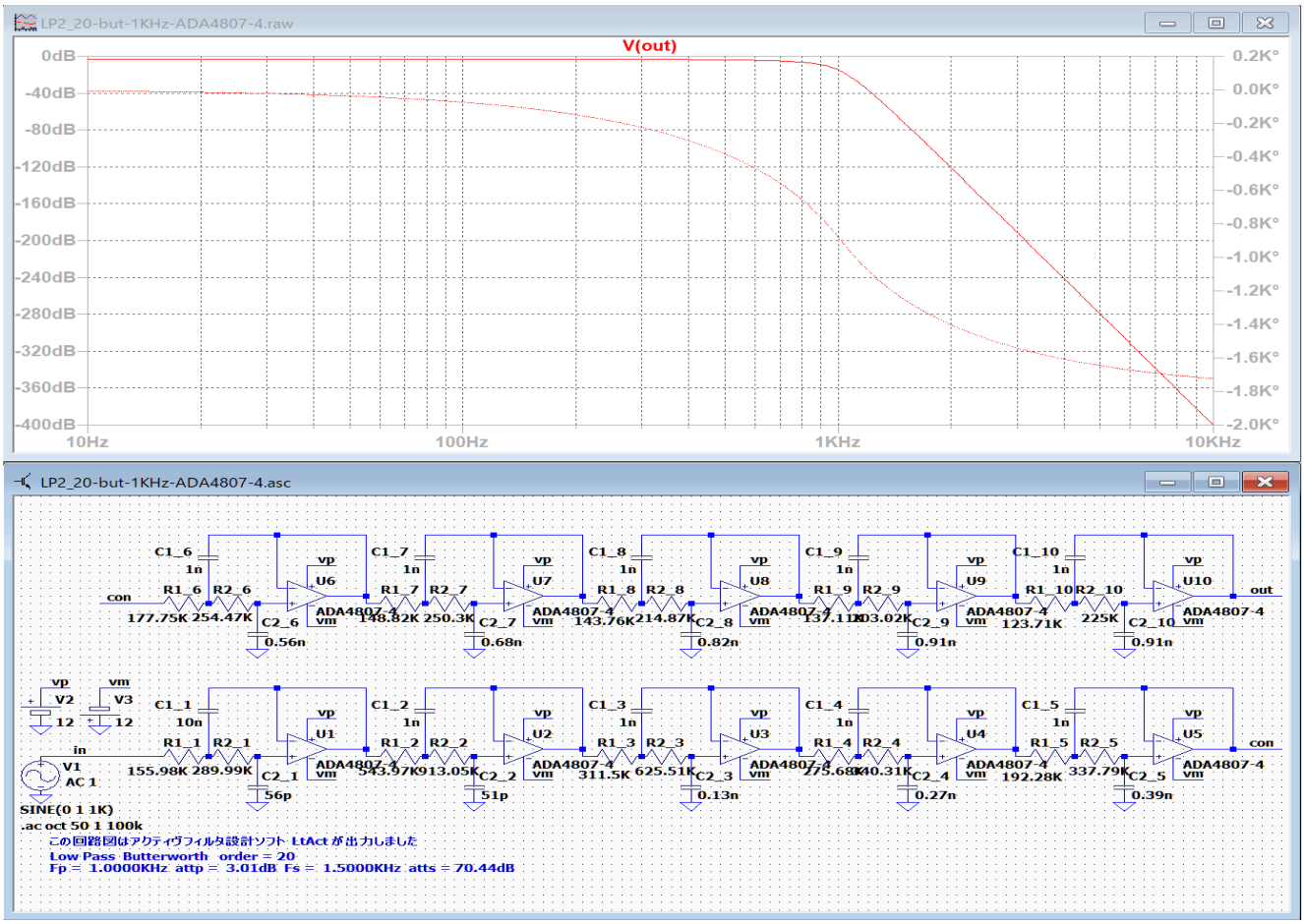
2．HP2：高次数のチェビシェフフィルタでカットオフ周波数付近にピークが発生したら、オペアンプを AD8648 に交換してみる。

3．HP3：高次数のチェビシェフまたは楕円関数フィルタでは、R1_x を設定する時に R3_x の値が 100 以上になるように「次の候補値」を押してから「OK」押す。

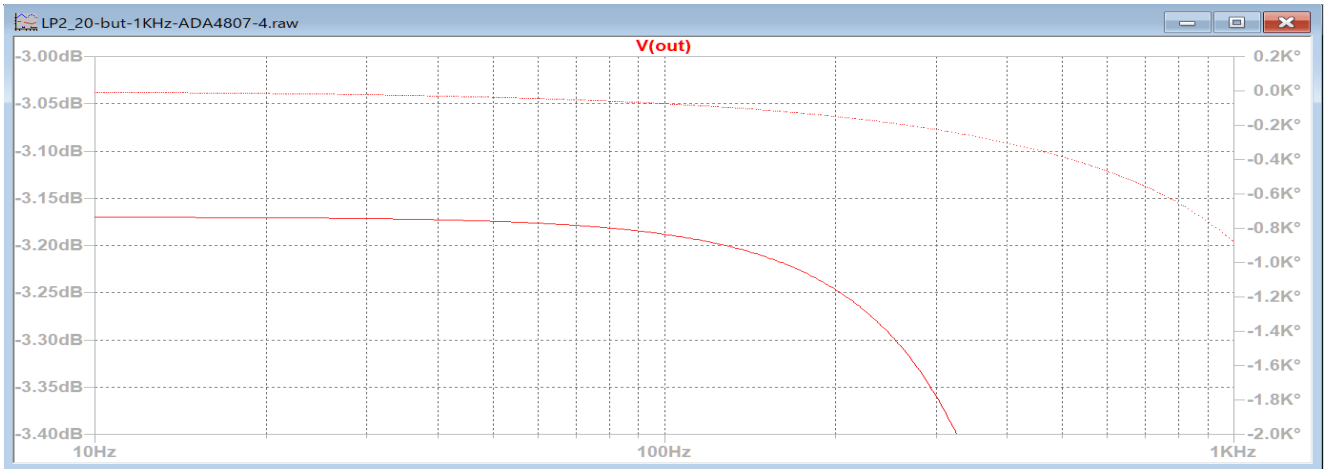
4．HP4：例えば、カットオフ周波数が 1KHz の時には、R2_x を設定する時に C2_x の値が 50p 以上になるように「次の候補値」を押してから「OK」押す。

LP2_20-but-1KHz-ADA4807-4.asc

20 次バターワース･ローパス・フィルタ　Fc = 1KHz



通過域のゲイン（設計では 0 dB のはず）を拡大表示して確認します。

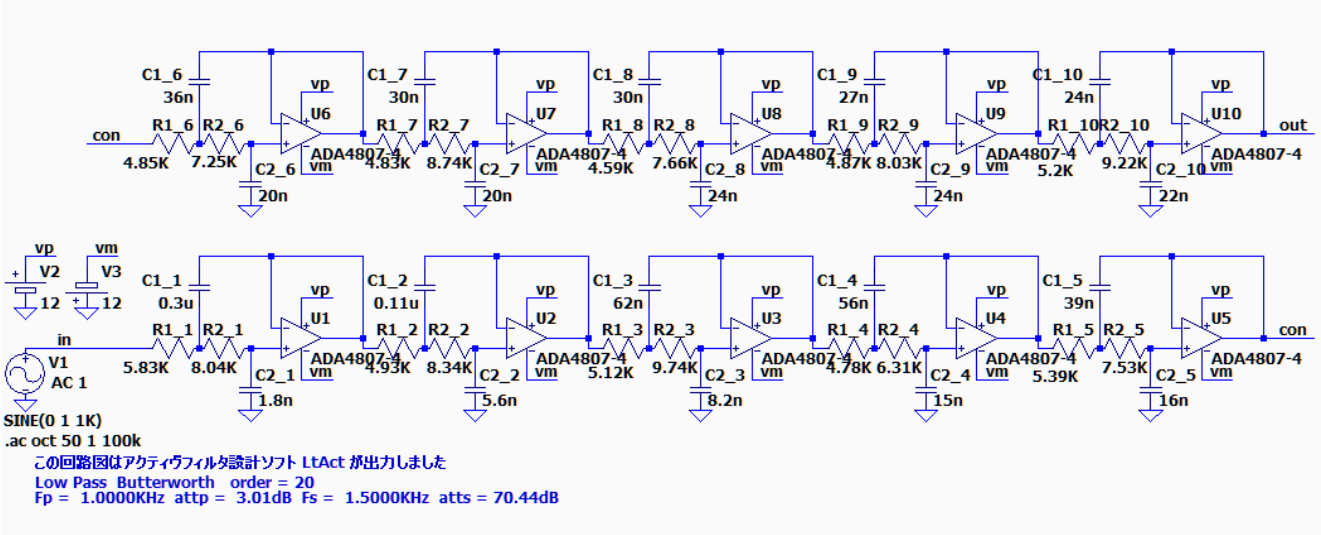


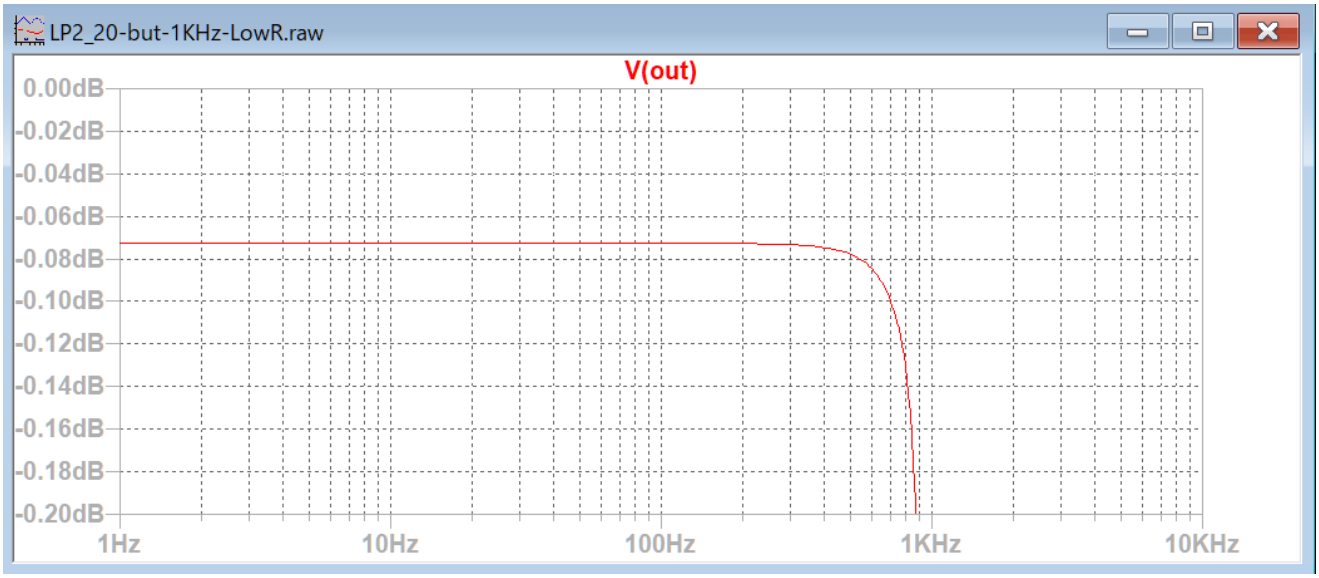
オペアンプに ADA4807-4 を使用すると通過域のゲインが -3.17dB に低下しています。
(R1_x+R2_x)経由でオペアンプ ADA4807-4 に入力電流 1.6uA を供給できないためと考えられます。

LP2_20-but-1KHz-ADA4807-4.asc

LP2_20-but-1KHz-LowR.asc

オペアンプに ADA4807-4 を使用する場合、素子値を決定する時にすべての R1_x を 5 K から 1 K の値にセットして「OK」で決定すると、良好に動作する回路が得られます。
(R1_x+R2_x)の値が小さいので、入力電流 1.6uA を十分に供給できるようになります。

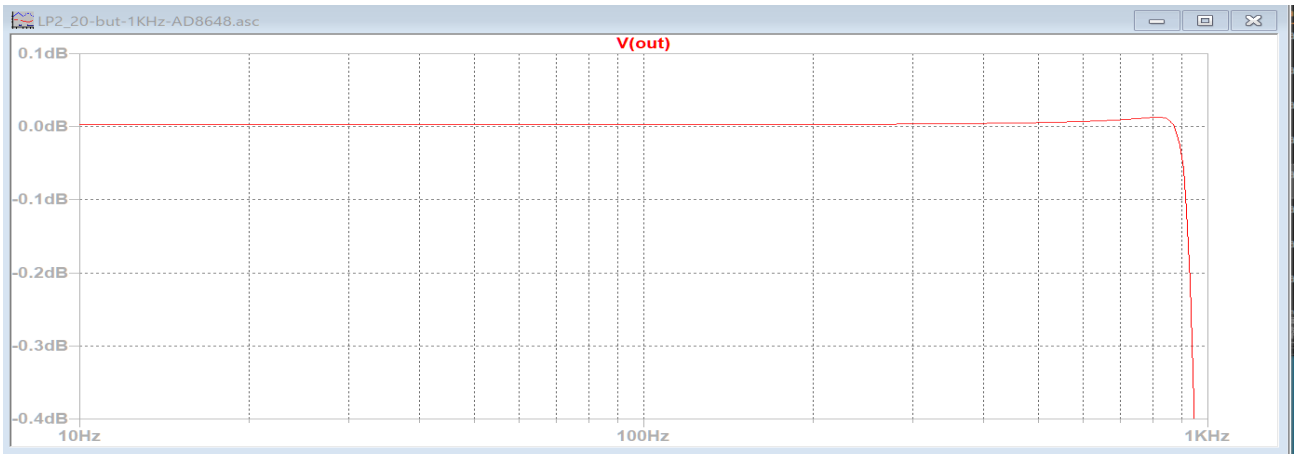




それでも、通過域のゲインは完全に 0dB にならず、-0.07dB になっています。

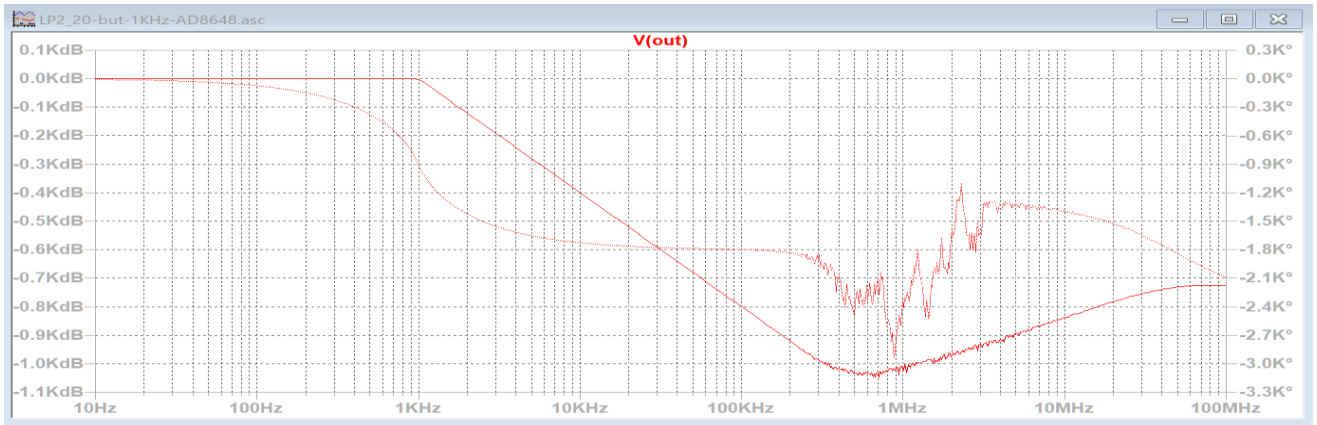
LP2_20-but-1KHz-AD8648.asc

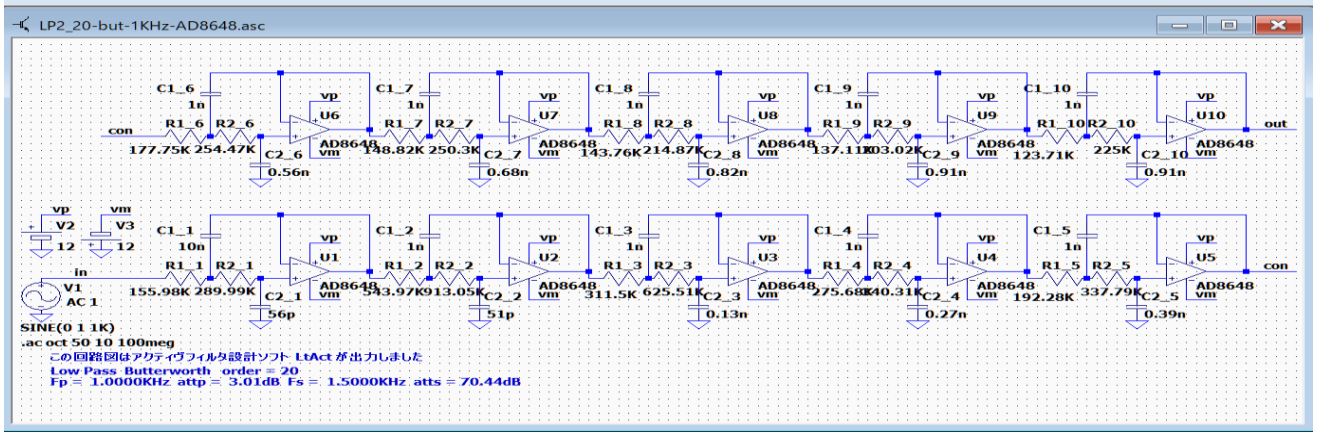
オペアンプを AD8648 に変更すると通過域のゲインが正確に 0dB になります。



AD8648 の入力電流は 1pA なので十分に供給できて、通過域ゲインが 0dB になります。

しかし、「ver.3.00 以降の実験 4」で基本回路 LP2 の不具合について述べたように高周波数域で減衰量が低下します。



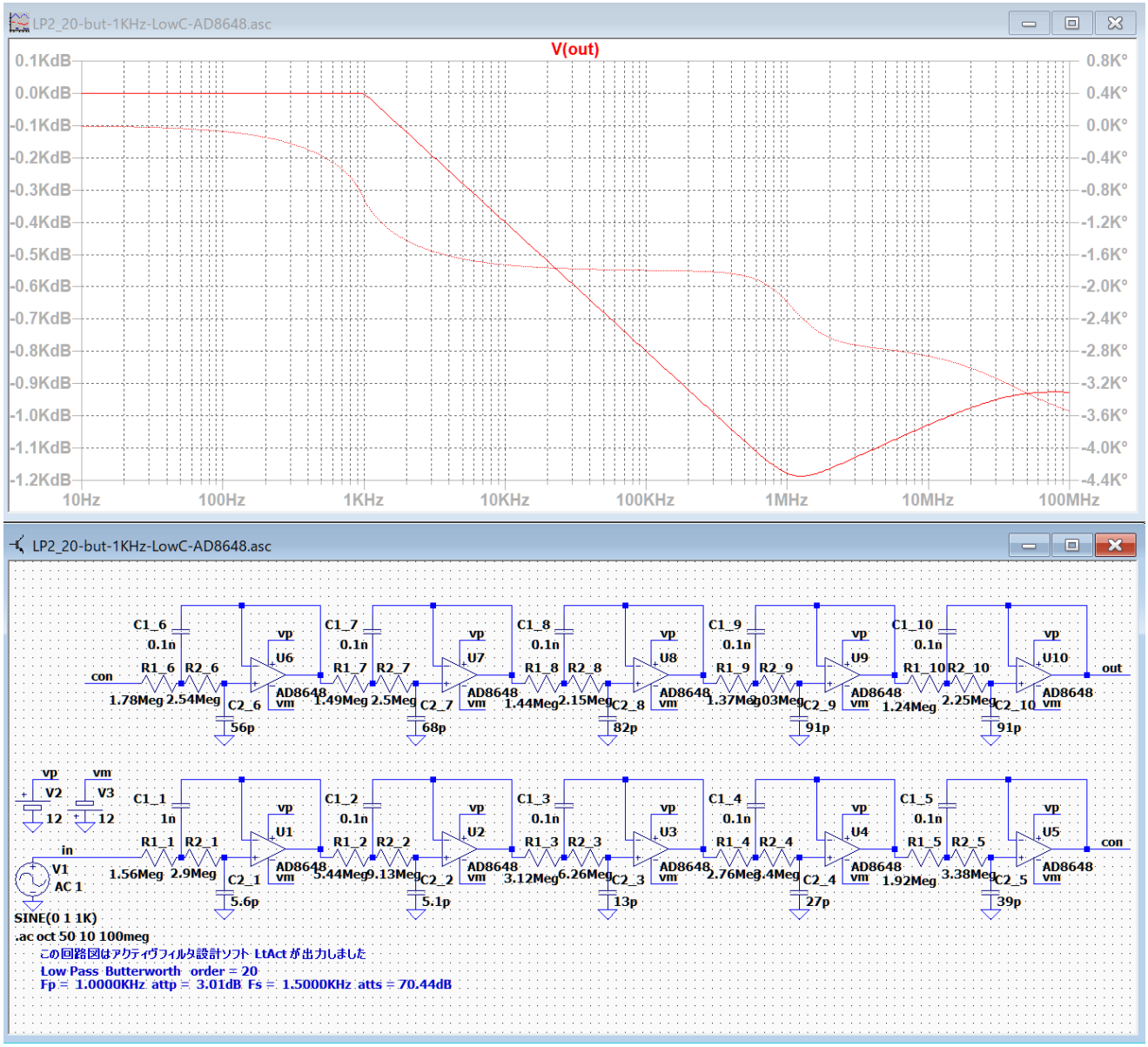


この回路の減衰量は 1KHz から 1MHz の手前までは直線的に約 1000dB まで増加しますが、その後 100MHz では約 720dB まで低下します。

さらに、100KHz 位から 10MHz 付近までの位相のグラフに振動が見られます。

LP2_20-but-1KHz-LowC-AD8648.asc

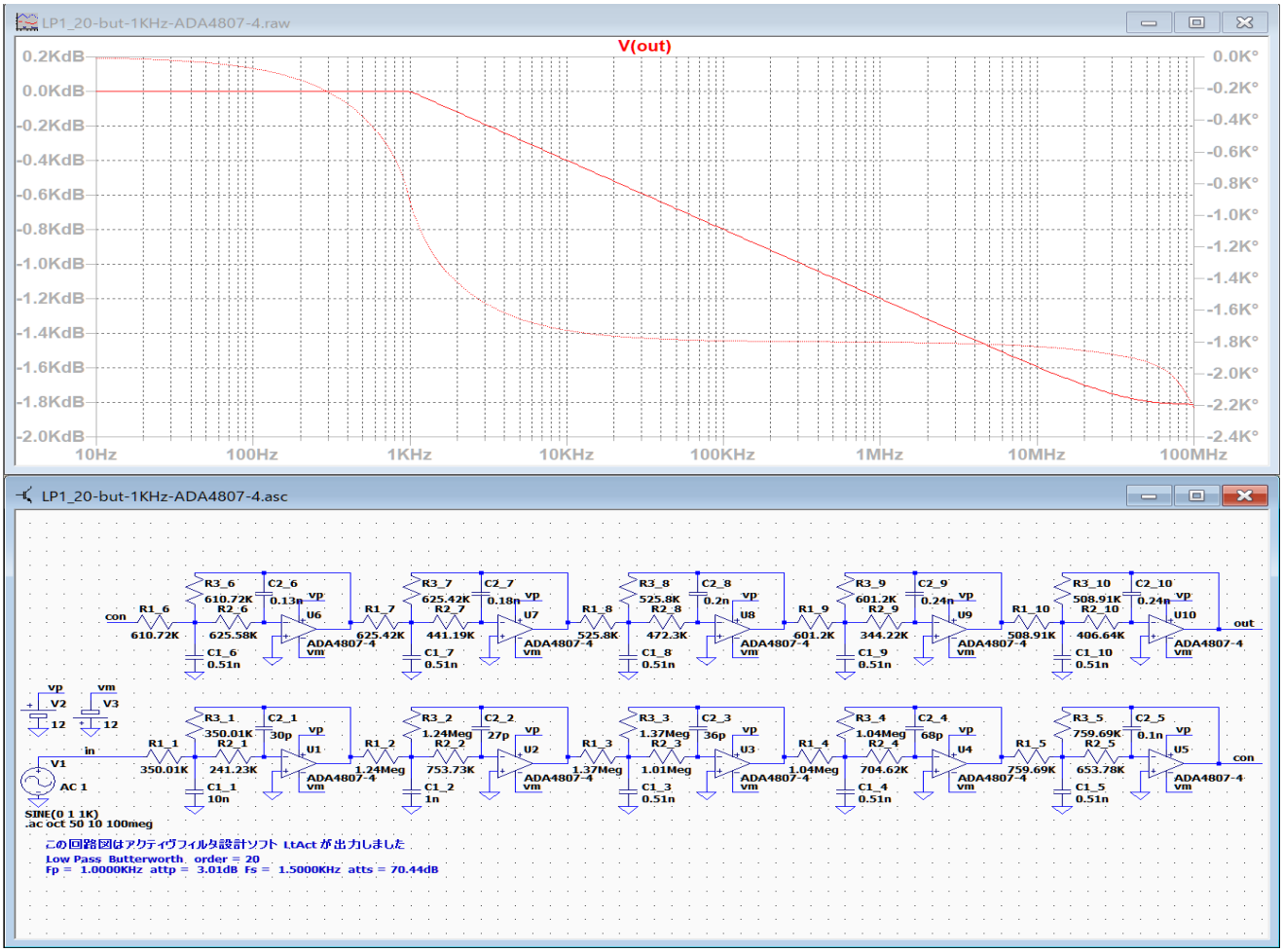
LtAct で C1_x の素子値を設定する時に、表示された候補値の 10 分の 1 に変更して「OK」を押して作成した回路図です。



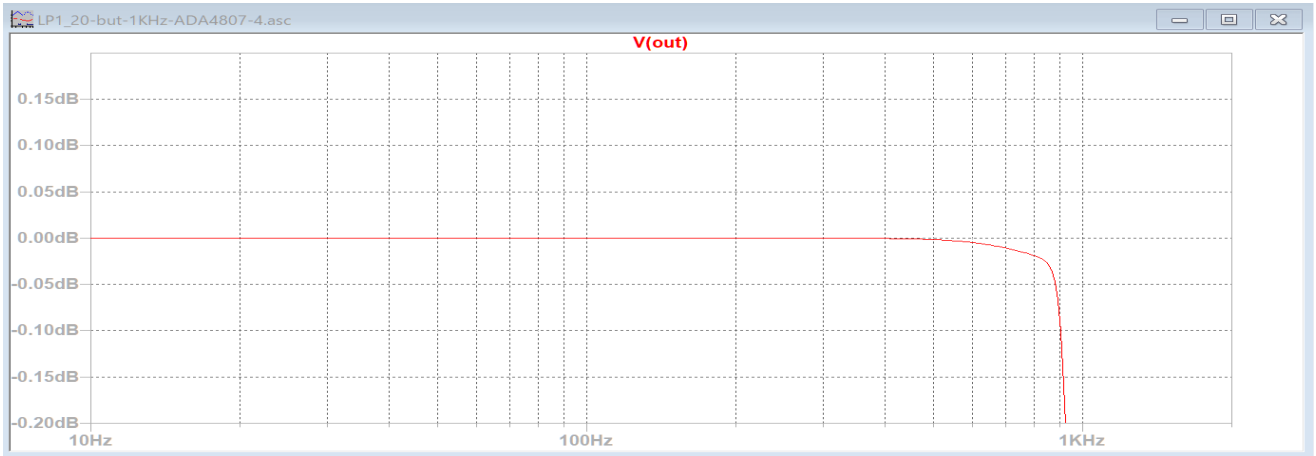
この回路の減衰量は 1KHz から 1MHz までは直線的に約 1200dB まで増加しますが、その後 100MHz では約 920dB まで低下します。前の回路より 200dB 改善されました。
さらに全周波数範囲において、位相のグラフが滑らかになりました。

LP1_20-but-1KHz-ADA4807-4.asc

最初の回路図で基本回路を LP1 に変更すると、ADA4807-4 を使用しても通過域のゲインは 0 dB が実現出来ました。R3_x を通して入力電流が補給されるためと思われます。



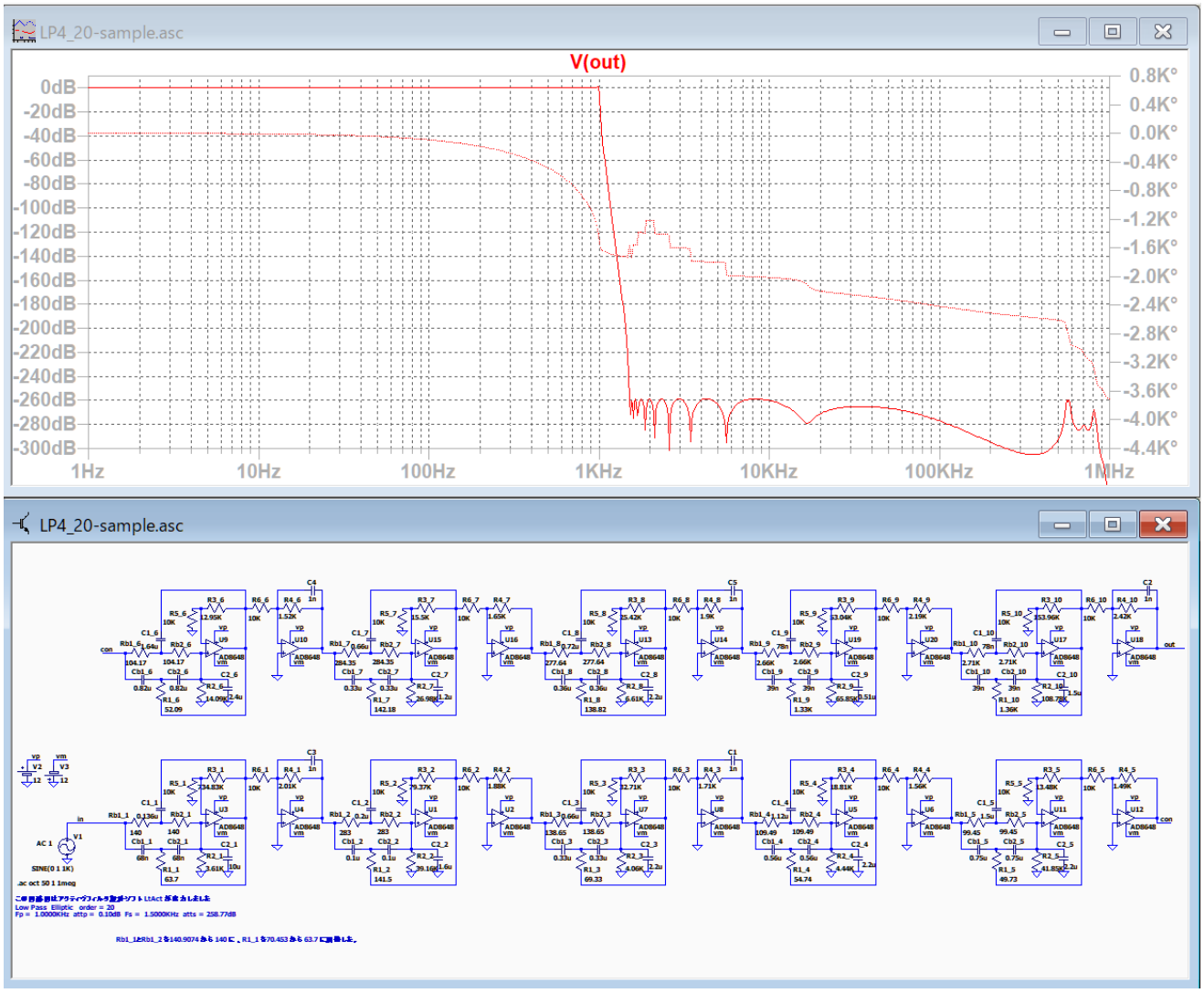
この回路では、通過域から 100MHz 付近まで直線的に減衰量が増加しています。しかも、位相のグラフが滑らかに変化しています。通過域のゲインを拡大して確認します。



LP1_20-but-1KHz-ADA4807-4.asc

LP4_20-sample.asc

次に、20 次の楕円関数ローパスフィルタを調整した参考例を紹介します。



この例では、LtAct が計算した素子値を 2 箇所だけ調整しました。
初段の Rb_1(2 個) を 140.9074 から 140 に 、R1_1 を 70.453 から 63.7 に調整した。

周波数が高いフィルタではオペアンプの GB 積などの影響で、調整が複雑になったり、最悪の場合、調整しきれない事もあります。

LP4_20-sample.asc

LP4_20-sample.asc の伝達関数の係数など

++++++++++++ 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=20
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 258.77dB
２次式の形式

$$Hn = \frac{Pn\_2 * s^2 + Pn\_3 * s + Pn\_4}{s^2 + Pn\_0 * s + Pn\_1}$$

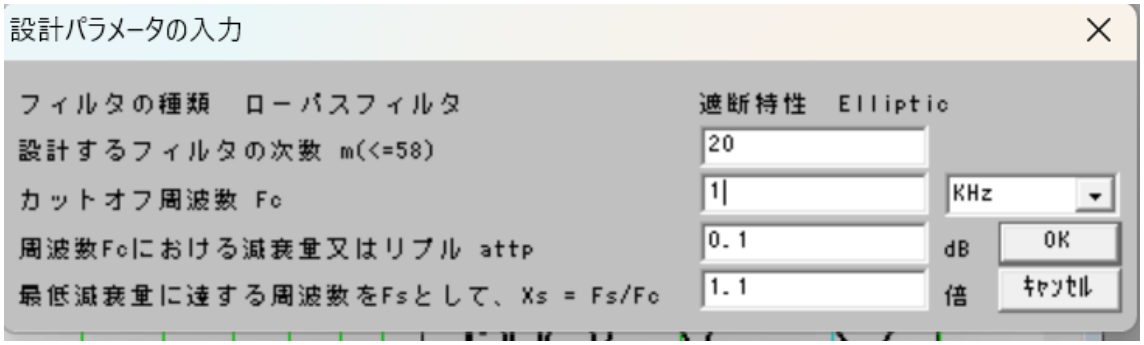
２次式

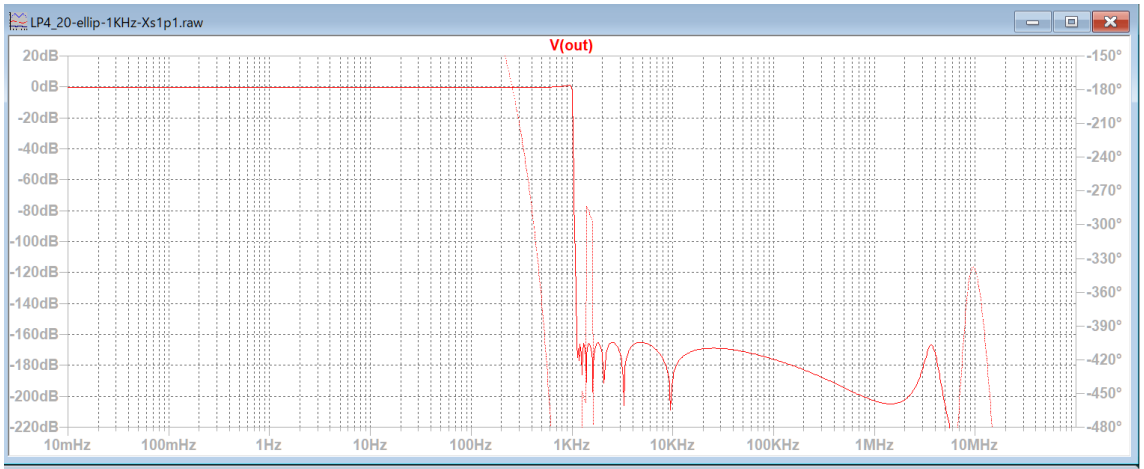
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	93.5689	39.7868Meg	50.8353m	0	553.7074Meg
	Fc= 1.0039KHz	Fc ゲイン= 59.4138 dB	Q = 67.4121	GB 積= 6.7675MegHz	
2	284.4534	38.3827Meg	50.8353m	0	63.4721Meg
	Fc= 986.0248 Hz	Fc ゲイン= 30.8589 dB	Q = 21.7799	GB 積= 2.1476MegHz	
3	485.8219	35.5997Meg	50.8353m	0	24.2821Meg
	Fc= 949.6057 Hz	Fc ゲイン= 17.7890 dB	Q = 12.2813	GB 積= 1.1662MegHz	
4	702.0314	31.5140Meg	50.8353m	0	13.5220Meg
	Fc= 893.4535 Hz	Fc ゲイン= 9.6134 dB	Q = 7.9964	GB 積=714.4422KHz	
5	933.1977	26.3005Meg	50.8353m	0	9.1373Meg
	Fc= 816.2103 Hz	Fc ゲイン= 4.2431 dB	Q = 5.4955	GB 積=448.5493KHz	
6	1.1733K	20.2908Meg	50.8353m	0	6.9665Meg
	Fc= 716.9182 Hz	Fc ゲイン= 1.0075 dB	Q = 3.8393	GB 積=275.2462KHz	
7	1.4087K	14.0174Meg	50.8353m	0	5.7732Meg
	Fc= 595.8727 Hz	Fc ゲイン=- 0.3588 dB	Q = 2.6578	GB 積=158.3703KHz	
8	1.6187K	8.2067Meg	50.8353m	0	5.0886Meg
	Fc= 455.9380 Hz	Fc ゲイン= 63.8816mdB	Q = 1.7698	GB 積= 80.6907KHz	
9	1.7786K	3.6864Meg	50.8353m	0	4.7077Meg
	Fc= 305.5773 Hz	Fc ゲイン= 2.4359 dB	Q = 1.0795	GB 積= 32.9878KHz	
10	1.8654K	1.2023Meg	50.8353m	0	4.5361Meg
	Fc= 174.5112 Hz	Fc ゲイン= 6.8003 dB	Q = 0.5878	GB 積= 10.2577KHz	

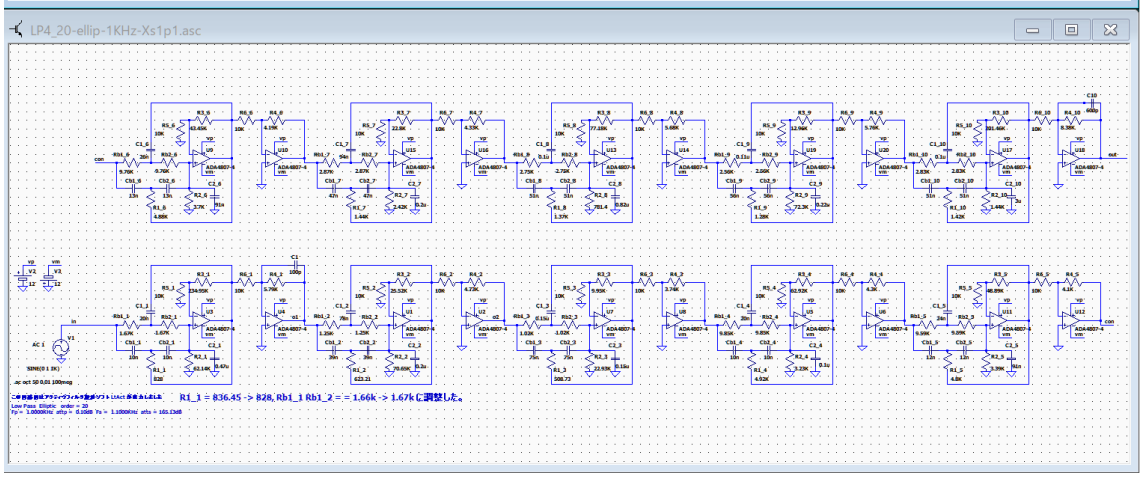
Q は比較的高い数値だが、GB 積が低い値なので容易に調整が出来た。

LP4_20-ellip-1KHz-Xs1p1.asc

LP4_20-sample.asc の遮断特性を急峻にした例。

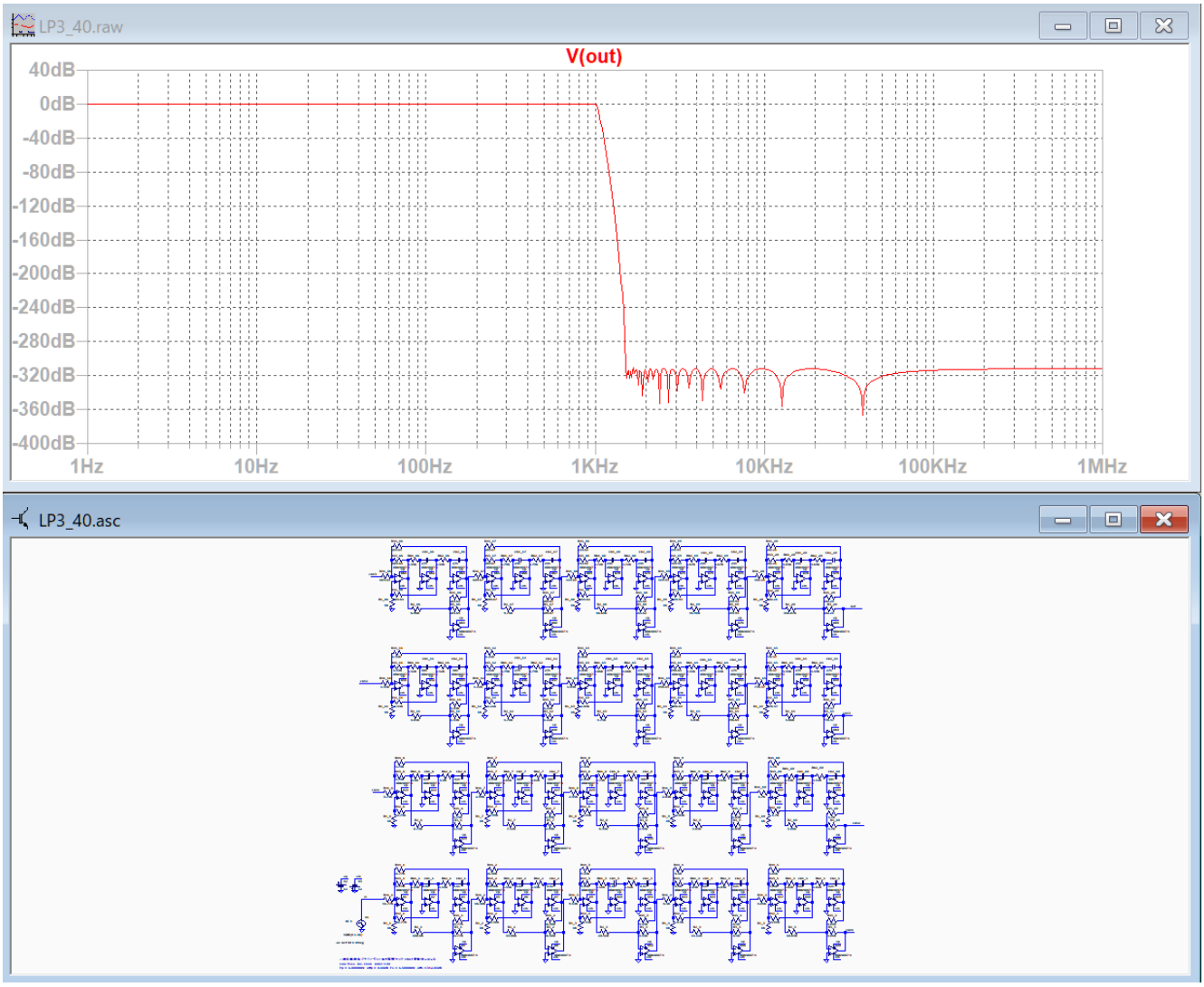






LP3_40-inv-chev-1KHz.asc

次の 40 次の逆チェビシェフ・ローパスフィルタは、無調整で完全に動作しました。



フィルタの Q と要求される GB 積が低いためだと考えられます。

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	369.8678	42.3318Meg	0.4758	0	42.3318Meg

Fc= 1.0355KHz Fc ゲイン= 19.2951 dB Q = 17.5909 GB 積= 1.8215MegHz

2	1.1138K	42.5809Meg	0.4727	0	42.5809Meg

Fc= 1.0386KHz Fc ゲイン= 9.7960 dB Q = 5.8585 GB 積=608.4336KHz

3	1.8705K	43.0816Meg	0.4665	0	43.0816Meg

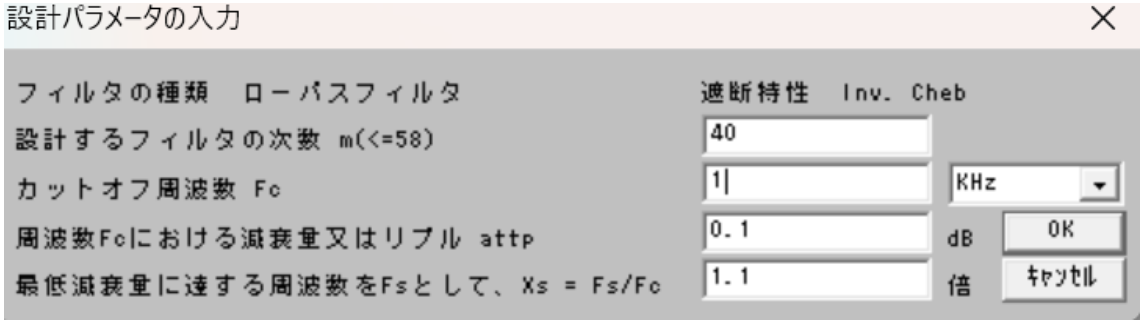
Fc= 1.0446KHz Fc ゲイン= 5.4456 dB Q = 3.5090 GB 積=366.5671KHz

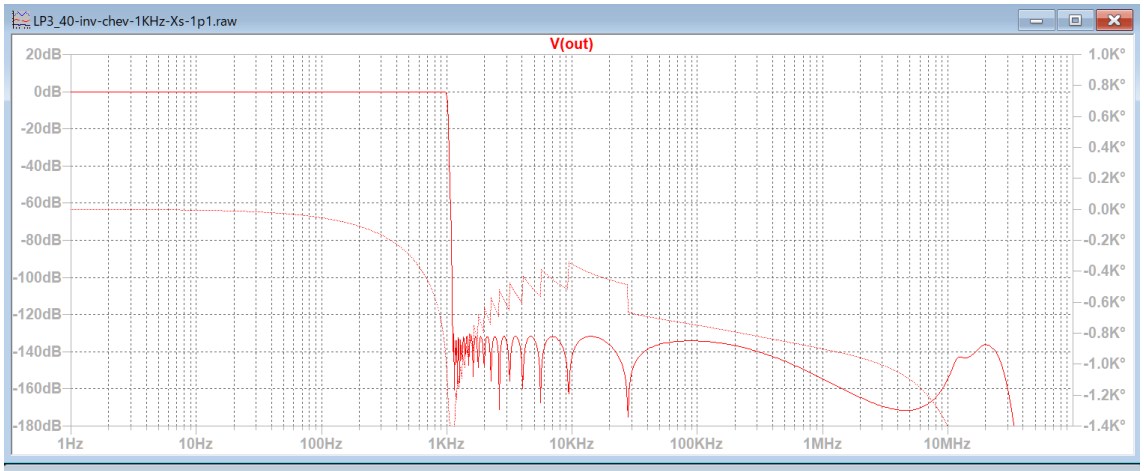
Q は比較的高い数値だが、GB 積が低い値なので無調整で完全に動作した。

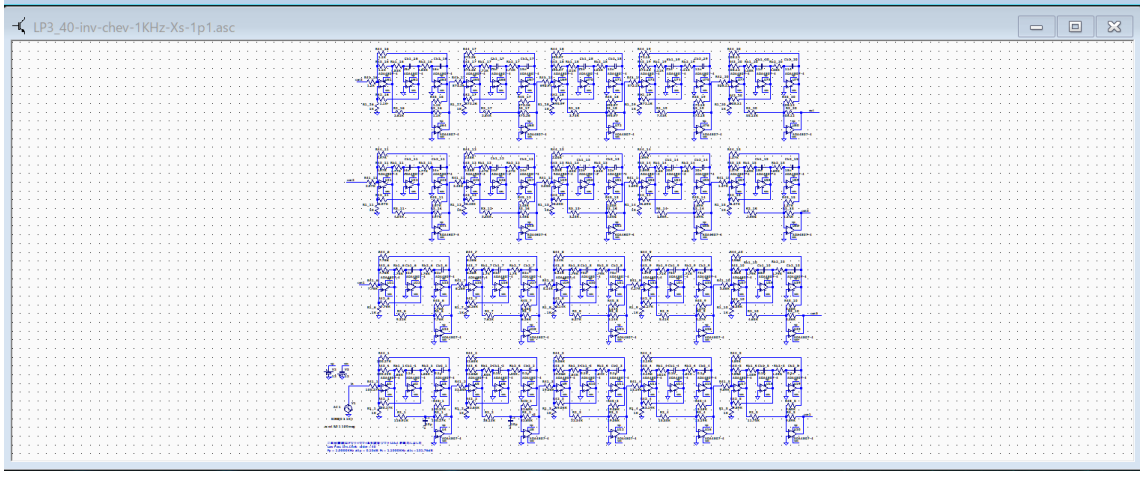
LP3_40-inv-chev-1KHz.asc

LP3_40-inv-chev-1KHz-Xs-1p1.asc

LP3_40-inv-chev-1KHz.asc の遮断特性を急峻にした例。

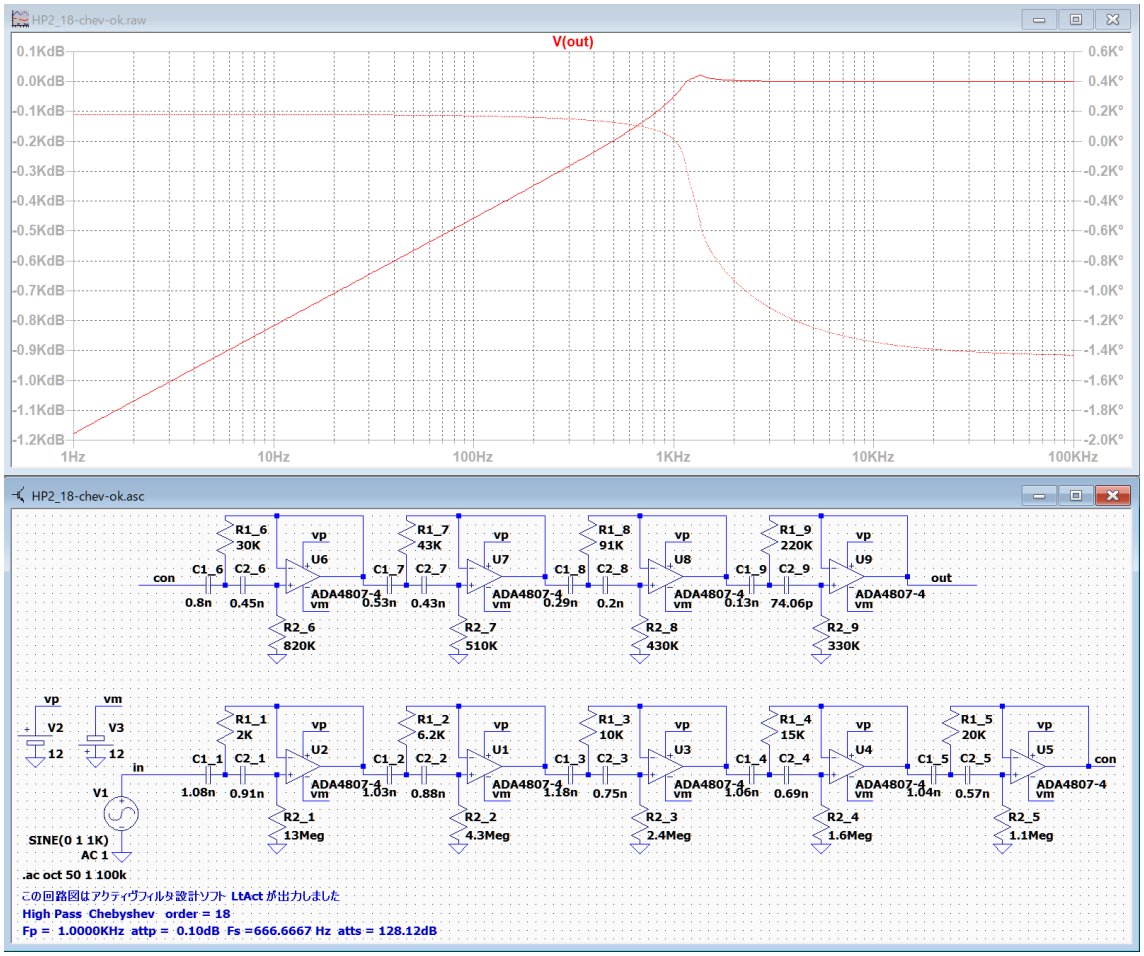




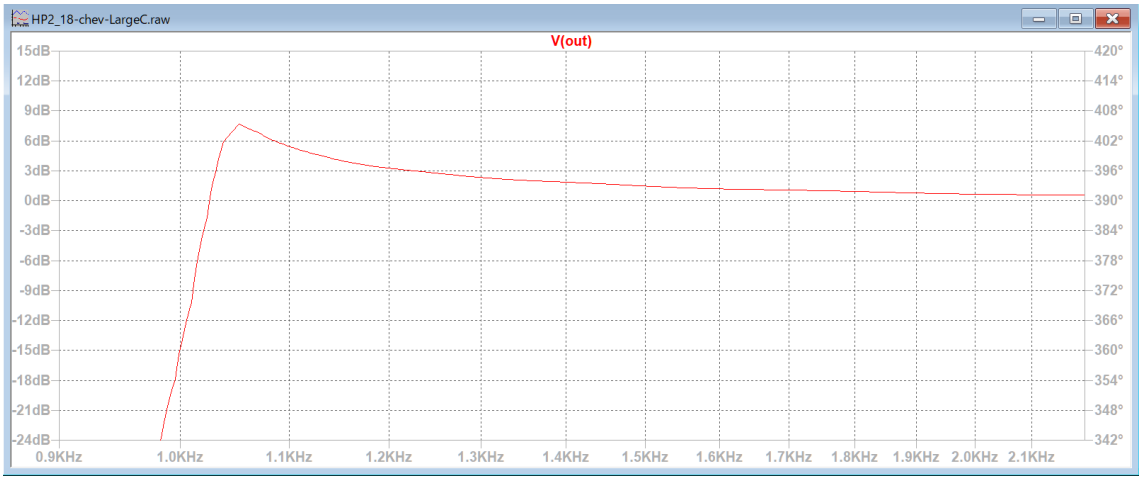


HP2_18-chev-ok.asc

18 次チェビシェフ・ハイパスフィルタはカットオフ周波数付近にピークが発生して、カットオフ周波数も設計値からずれています。

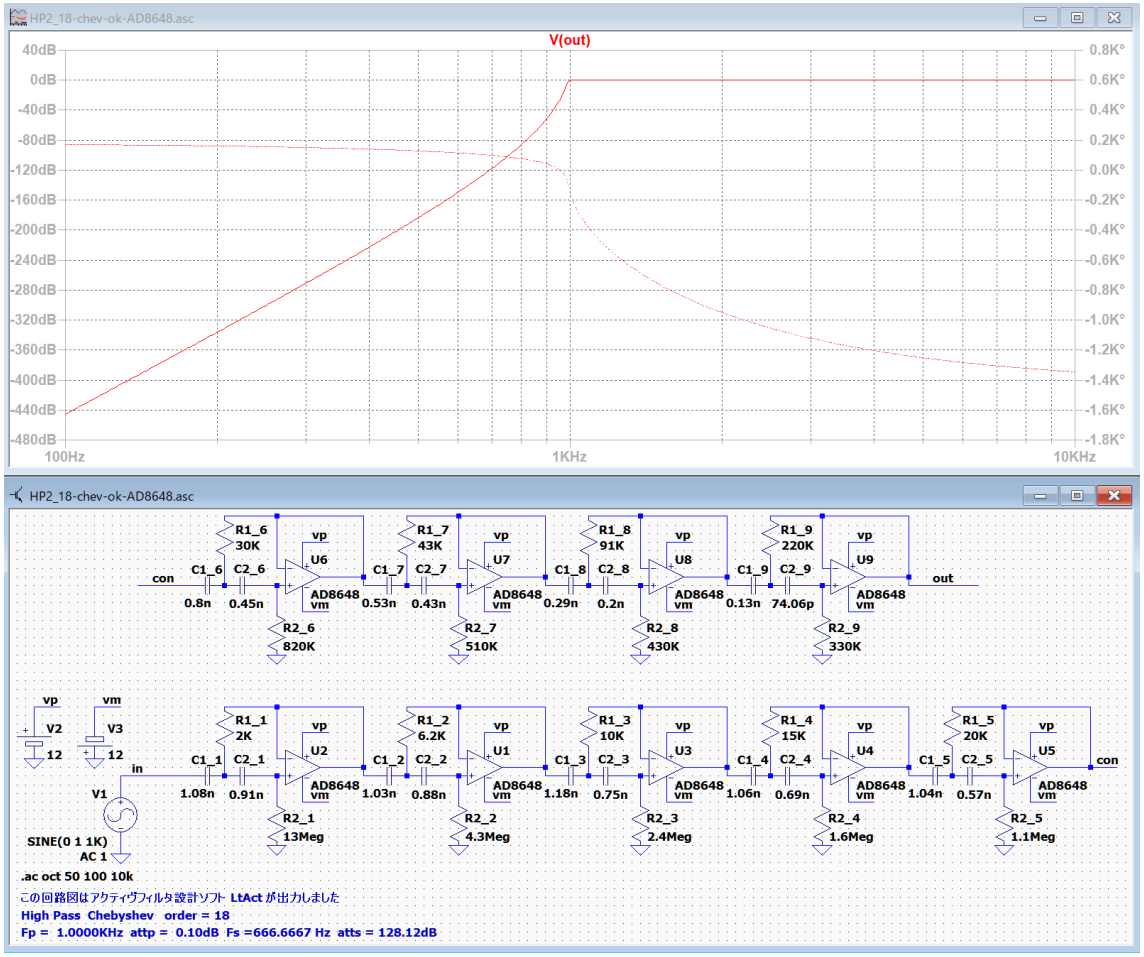


C1_x と C2_x を 10 倍くらいの値に設定するとピークが低くなりましたが、除去することは出来ません。R2_x の値が大きいので ADA4807-4 に十分な入力電流を流せないため。



HP2_18-chev-ok-AD8648.asc

オペアンプを AD8648 に交換すると、ピークを除去することが出来ました。



カットオフ周波数も設計値の通り 1KHz になりました。

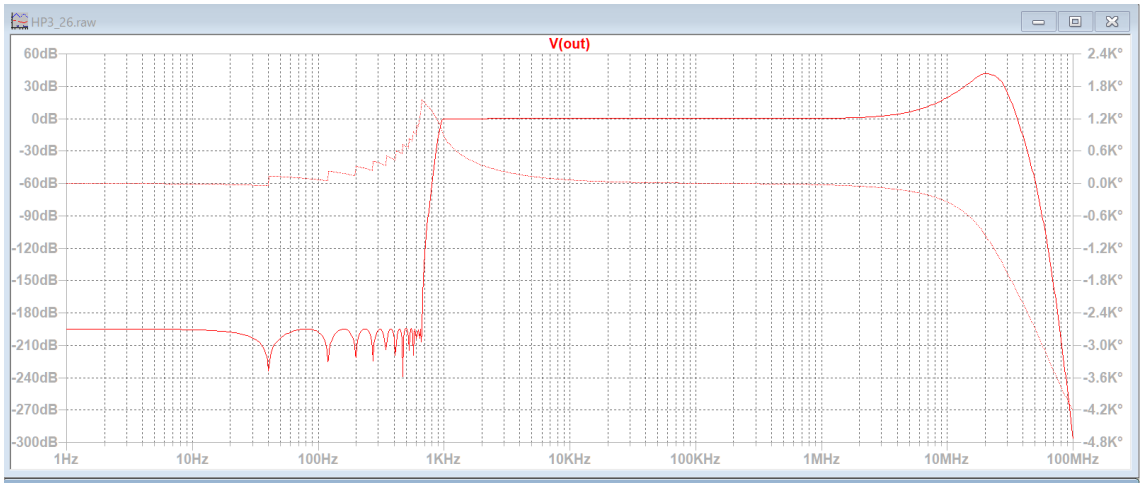
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	155.4116	38.9691Meg	1.0000	0	0
	Fc= 993.5292 Hz	Fc ゲイン= 32.0775 dB	Q = 40.1677	GB 積= 3.9908MegHz	
2	490.2539	41.3960Meg	1.0000	0	0
	Fc= 1.0240KHz	Fc ゲイン= 22.3612 dB	Q = 13.1238	GB 積= 1.3439MegHz	

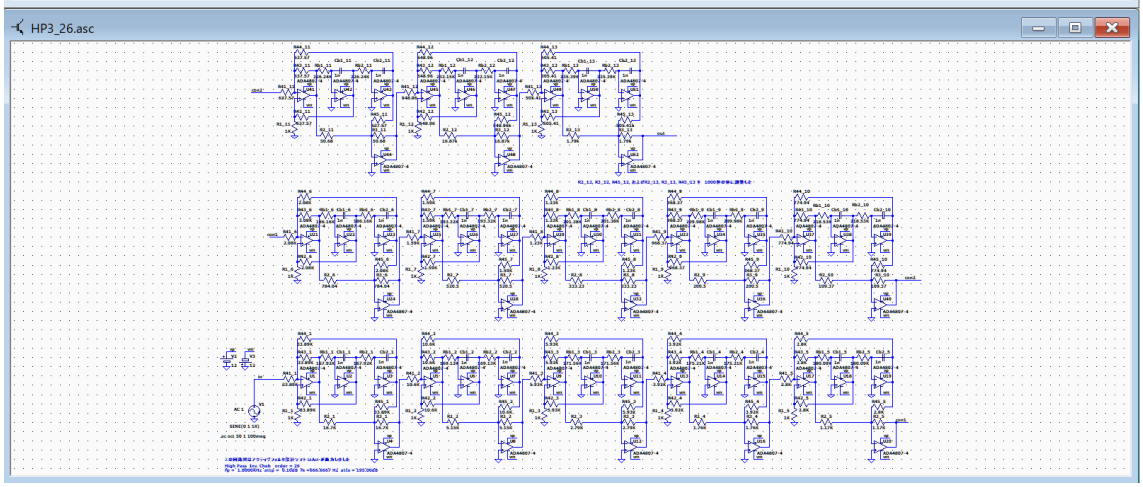
Q は比較的高い数値だが、GB 積が低い値なので無調整で完全に動作した。

HP3_26.asc（et-1 の調整）

基本回路が HP3 の時は、高次数になると後段の R2_x と R3_x の値が 10 以下の小さな数値になり正常に動作しなくなります。
R1_x の値を設定する時に R2_x が 100 以下ならば、「次の候補」を押して 100 以上になったら「OK」を押す。全ての数値を 1K 以上に設定しても良い。

全て「OK」を押してしまった時は、最終段の R2_x, R3_x および R45_x を編集して数字の後ろに「k」を追加して 1000 倍の値に変えればよい。

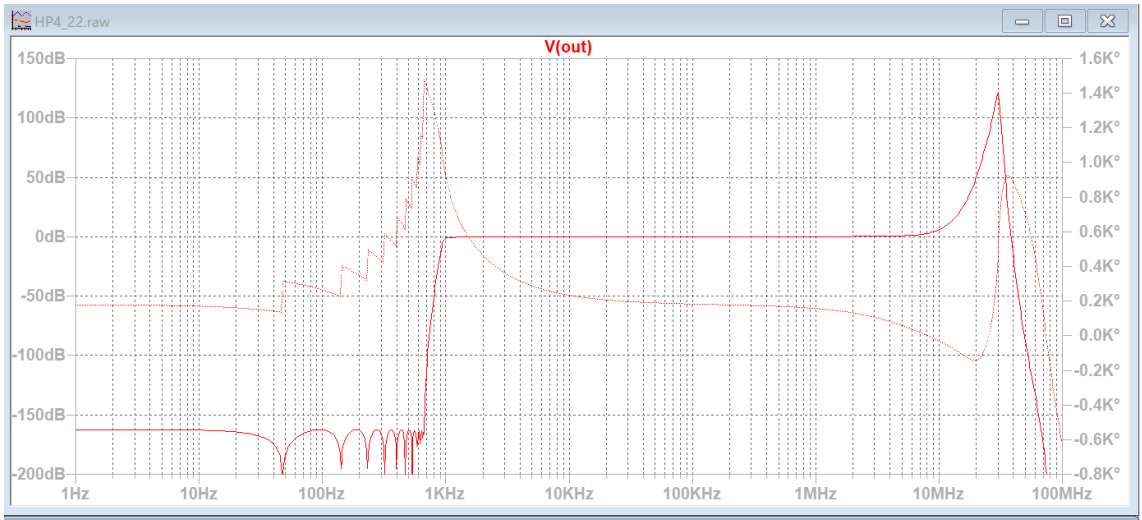


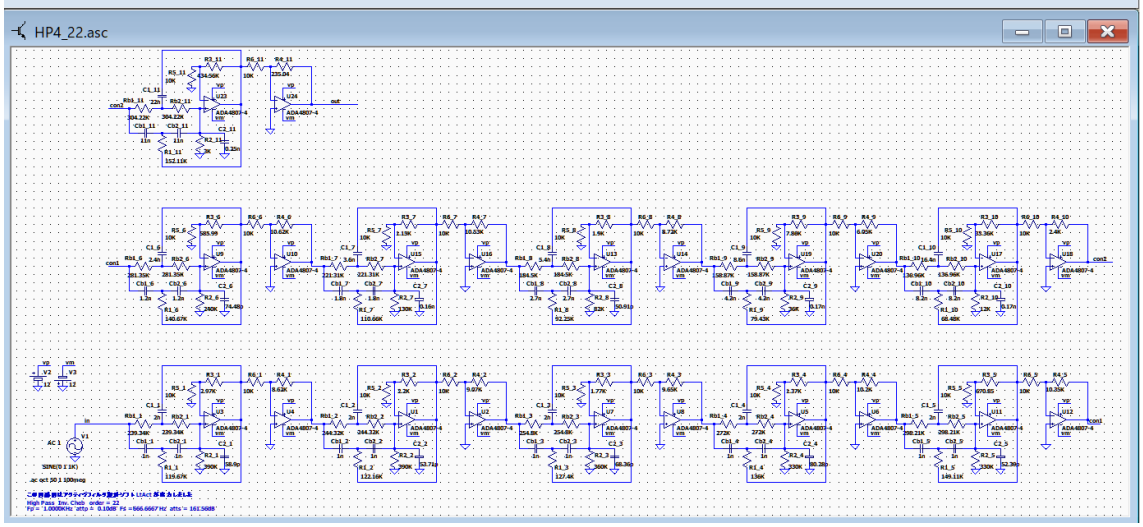


通過域のピークについては、「ver.3.00 以降の実験 1 から 4」を参考にして、根気よく素子値を調整してください。

HP4_22.asc

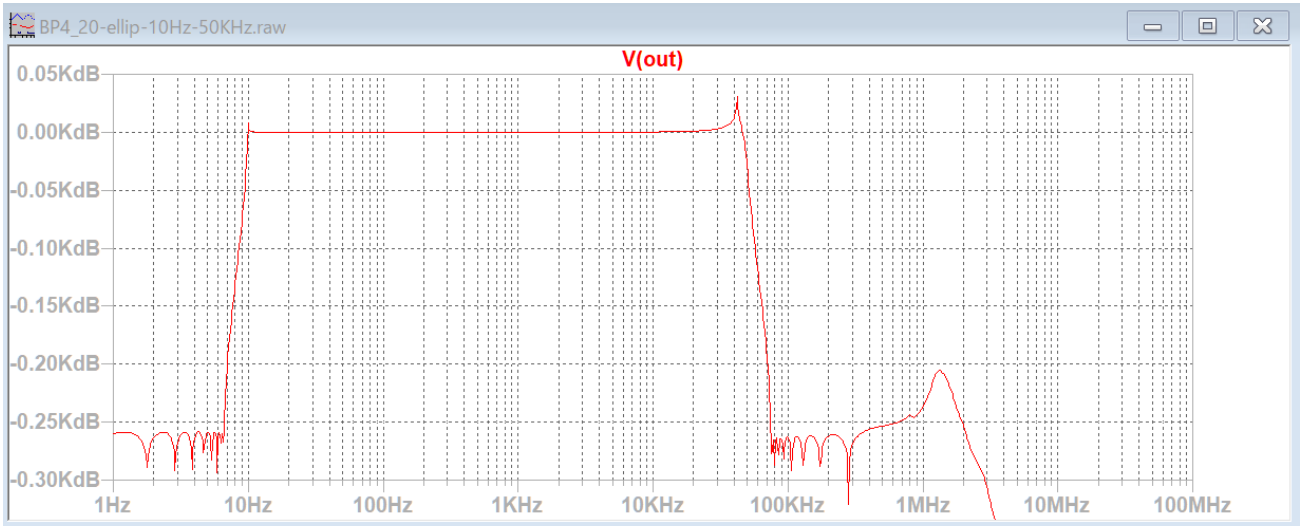
基本回路が HP4 でカットオフ周波数が 1KHz とすると、R2_x を設定する時に C2_x が 50p 以上となるように「次の候補」を押してから「OK」を押す。

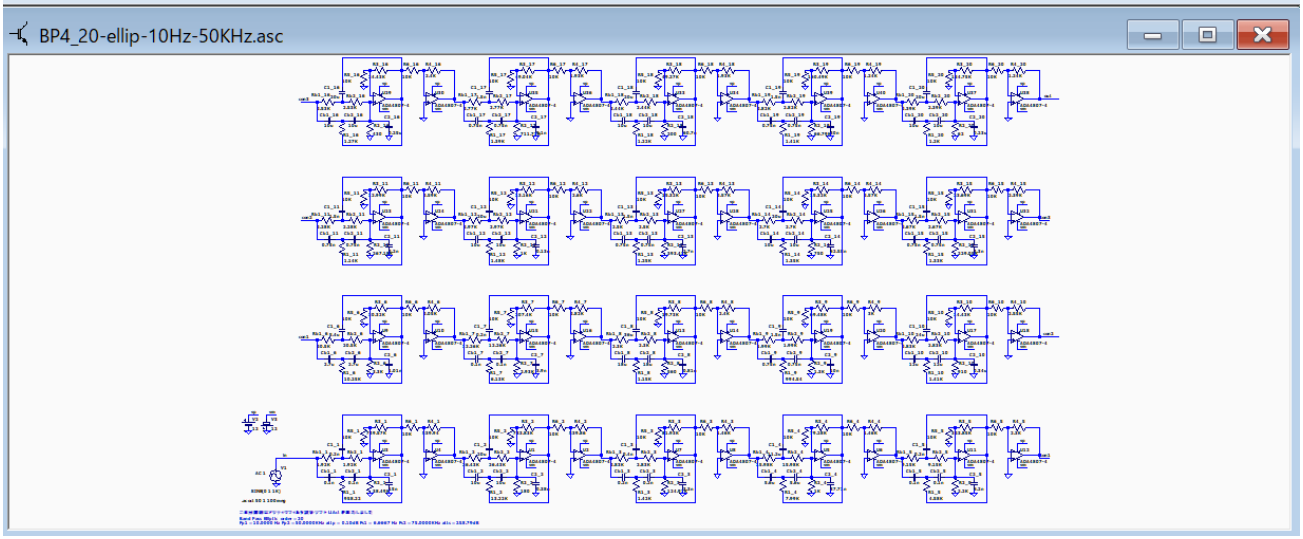




BP4_20-ellip-10Hz-50KHz.asc

次の 20 次の楕円関数・バンドパスフィルタの例では、10Hz と 50KHz の周辺にピークが発生しましたが、50KHz 付近のピークを除去するのは非常に困難です。





10Hz 付近のピークは、C1_2 を 20u から 20.5u に調整すると除去できました。
なんとか 50KHz のピークを除去しても、通過帯域上端が 45KHz 程度になります。
オペアンプの GB 積が不足していると考えられます。

n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	4.6770K	99.4667G	13.6254m	0	370.9907G

Fc= 50.1948KHz Fc ゲイン= 47.9793 dB Q = 67.4324 GB 積=338.4758MegHz

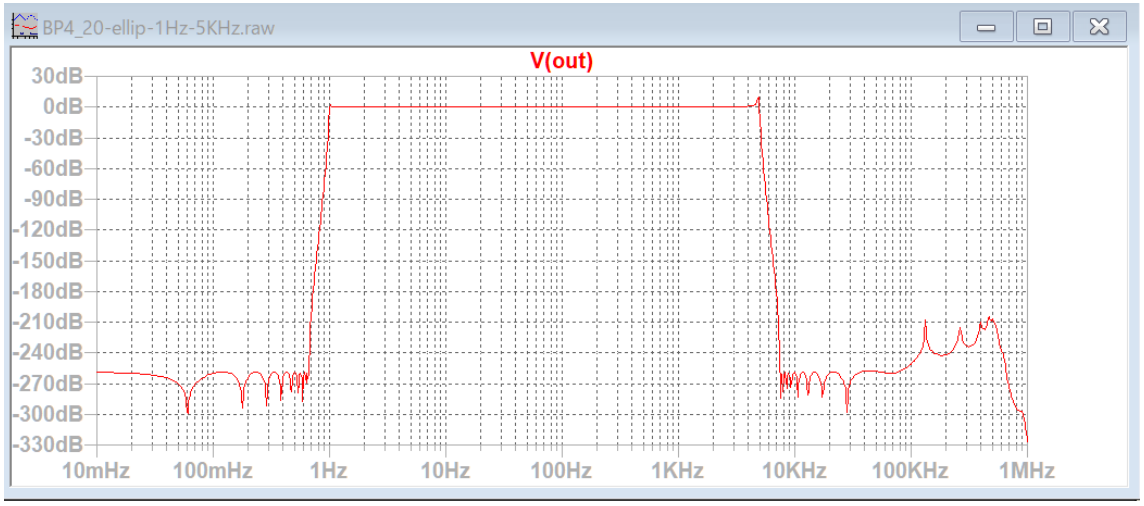
2	0.9282	3.9173K	3.7298	0	53.3742

Fc= 9.9612 Hz Fc ゲイン= 47.9793 dB Q = 67.4324 GB 積= 67.1707KHz

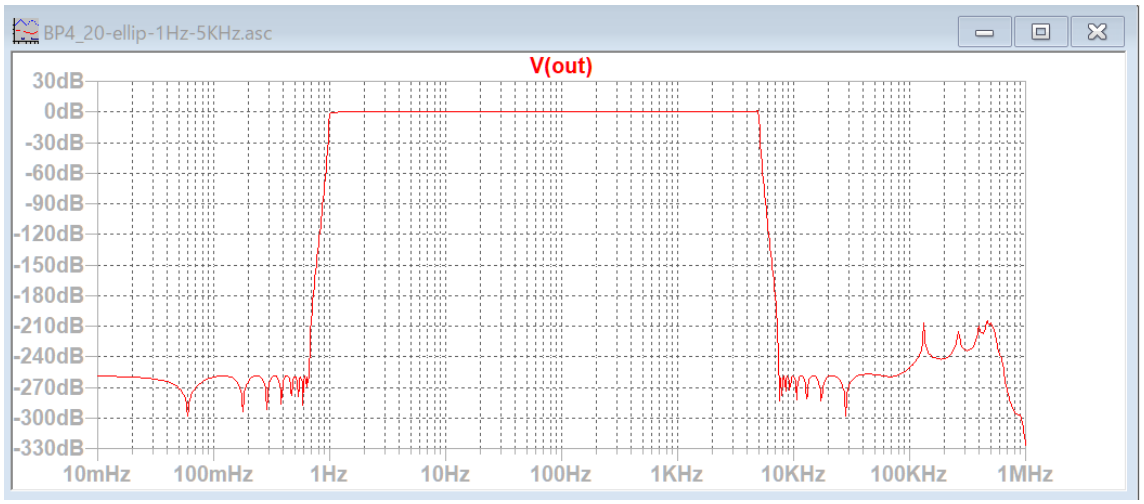
BP4_20-ellip-1Hz-5KHz.asc

バンドパスフィルタの通過帯域を 1Hz から 5KHz に変更してみました。

未調整では、10Hz から 50KHz の場合と同様に通過域の両端にピークが発生しますが、調整することでピークを両方とも除去することが出来ました。



調整後の周波数特性



C1_1=0.2u -> 0.199u, Rb1_1=Rb1_2=19.16 -> 18.8, R1_1=9.58 -> 9.3, C1_2=2m -> 2.05m に調整した。

通過帯域を変更したので、必要な GB 積が低くなったためと思われる。

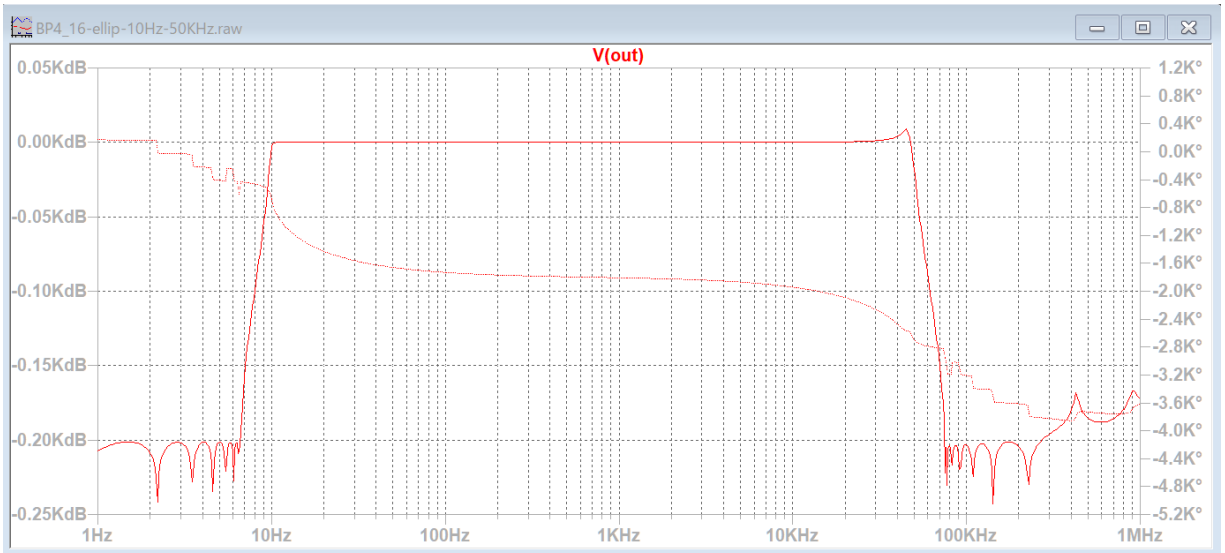
n	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4
1	467.7031	994.6669Meg	13.6254m	0	3.7099G

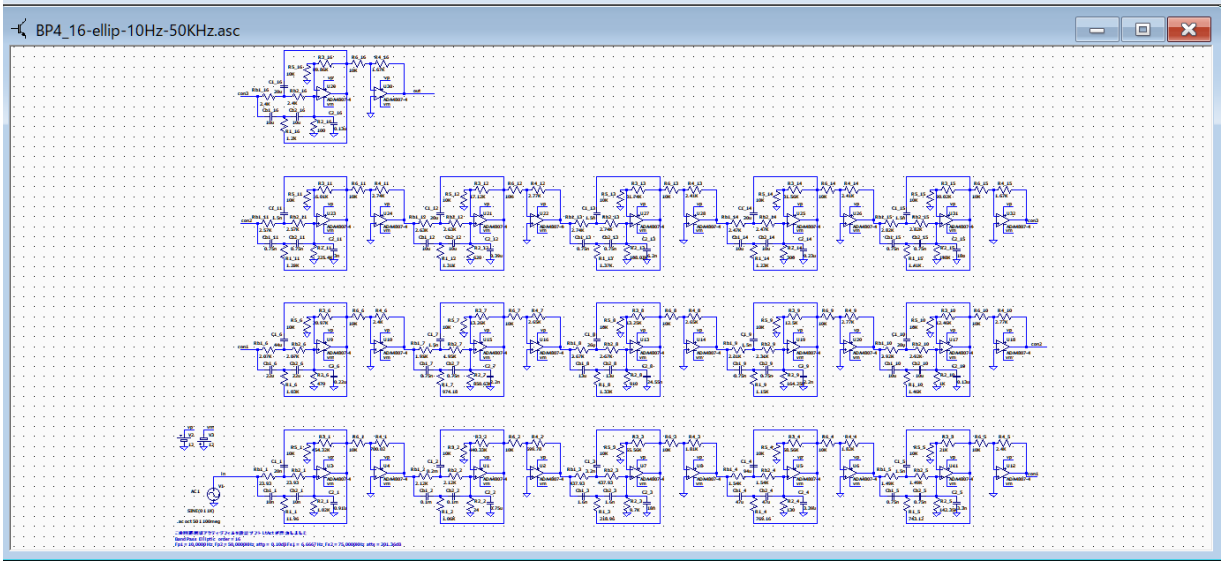
Fc= 5.0195KHz Fc ゲイン= 47.9793 dB Q = 67.4324 GB 積= 33.8476MegHz

前の例では、GB 積が高いオペアンプを使用すればピークを除去できると思います。

BP4_16-ellip-10Hz-50KHz.asc

次の例は、少し GB 積の低いフィルタを設計して調整してみました。





n　　Pn_0　　Pn_1　　Pn_2　　Pn_3　　Pn_4

1　　7.2963K　　99.9089G　　17.7612m　　0　　310.1895G

Fc=　50.3063KHz　Fc ゲイン=　42.5247 dB　Q =　43.3214　GB 積=217.9339MegHz

2　　1.4415　　3.8999K　　3.1047　　0　　69.2673

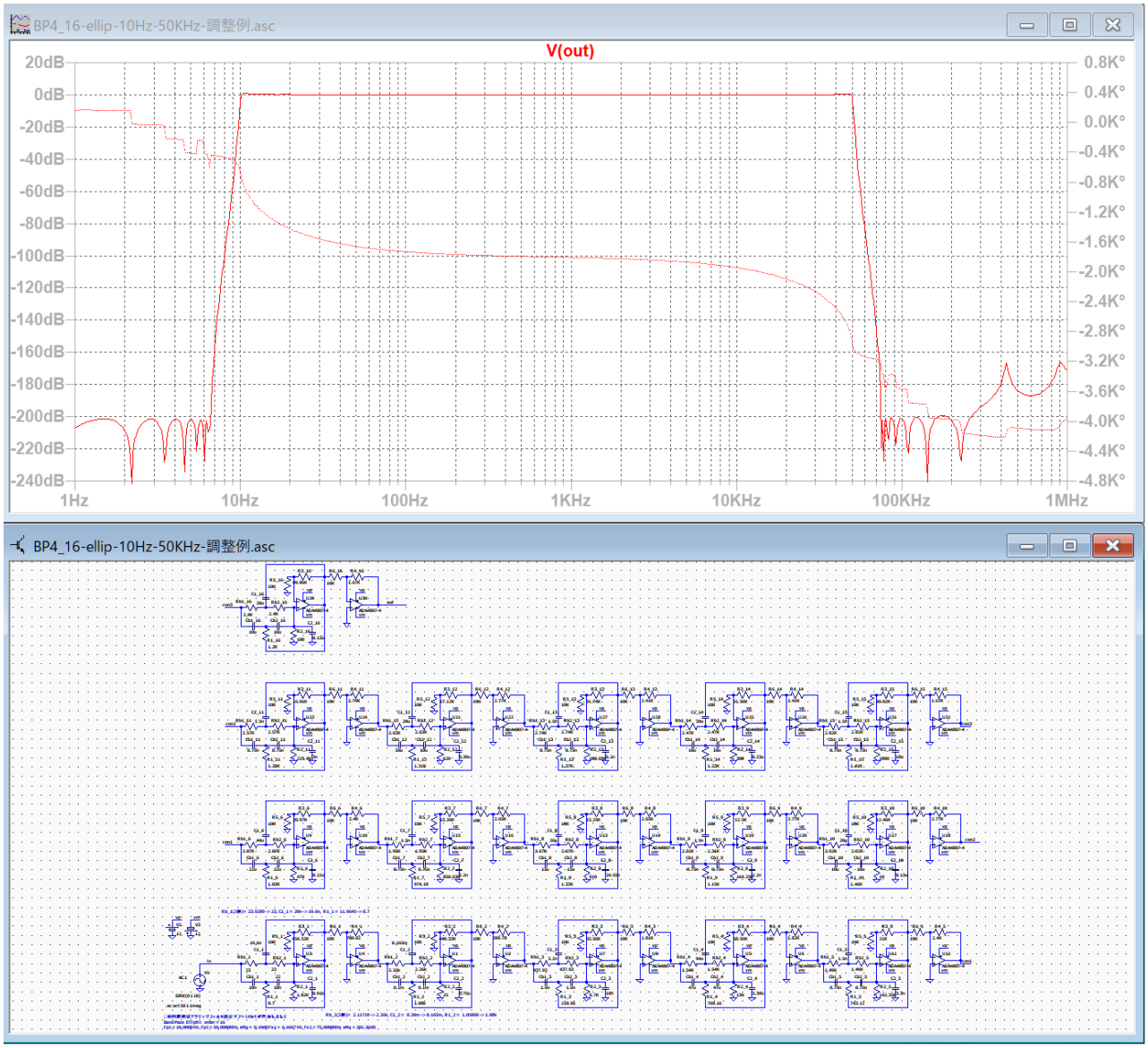
Fc=　9.9391 Hz　Fc ゲイン=　42.5247 dB　Q =　43.3214　GB 積= 43.0576KHz

20 次の楕円関数・バンドパスフィルタ 10Hz―50KHz と比較すると、GB 積が 110MHz 位低くなっています。それでもカットオフ周波数付近にピークが発生しており、カットオフ周波数が設定値よりも通過域の内部に食い込んでいます。

まだ GB 積が不足しています。

BP4_16-ellip-10Hz-50KHz.asc

BP4_16-ellip-10Hz-50KHz-調整例.asc



大変苦労して次のように素子値を調整しました。
ピークを除去すると共に、カットオフ周波数を設計値に合わせ込むことが出来ました。
Rb_1(2 個)= 23.9289 -> 23, C1_1 = 20n -> 19.6n, R1_1 = 11.9645 -> 8.7
Rb_2(2 個)= 2.1171K -> 2.26k, C1_2 = 0.20m -> 0.165m, R1_2 = 1.0586K -> 1.08k

ピークが発生して、カットオフ周波数が通過域の内部に食い込んでしまった回路図を設計した特性に調整するのはかなり大変な作業です。
調整作業を軽減するためには、できるだけ GB 積の高いオペアンプの利用を推奨します。

BP4_16-ellip-10Hz-50KHz-調整例.asc

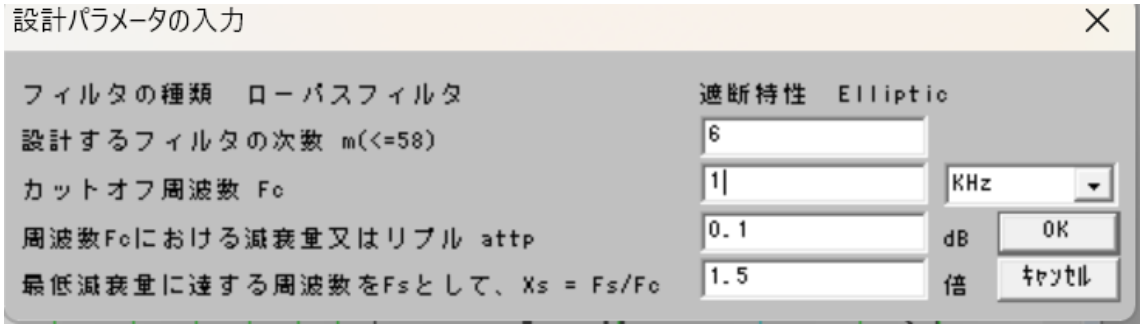
Ver.3.10　終わり

Ver.3.10　終わり

素子値を E シリーズに近似する

データはフォルダ「OP のテストデータ」の「E シリーズに近似する実験」に格納

楕円関数ローパスフィルタ 1KHz, atts=0.1dB, Xs=1.5 を設計する場合



++++++++++ 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=6

Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 57.77dB

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	1.0101K	43.3580Meg	0.1089	0	111.0642Meg

Fc= 1.0480KHz Fc ゲイン= 24.0757 dB Q = 6.5185 GB 積=683.1331KHz

2	3.4858K	31.3449Meg	0.1089	0	16.8874Meg

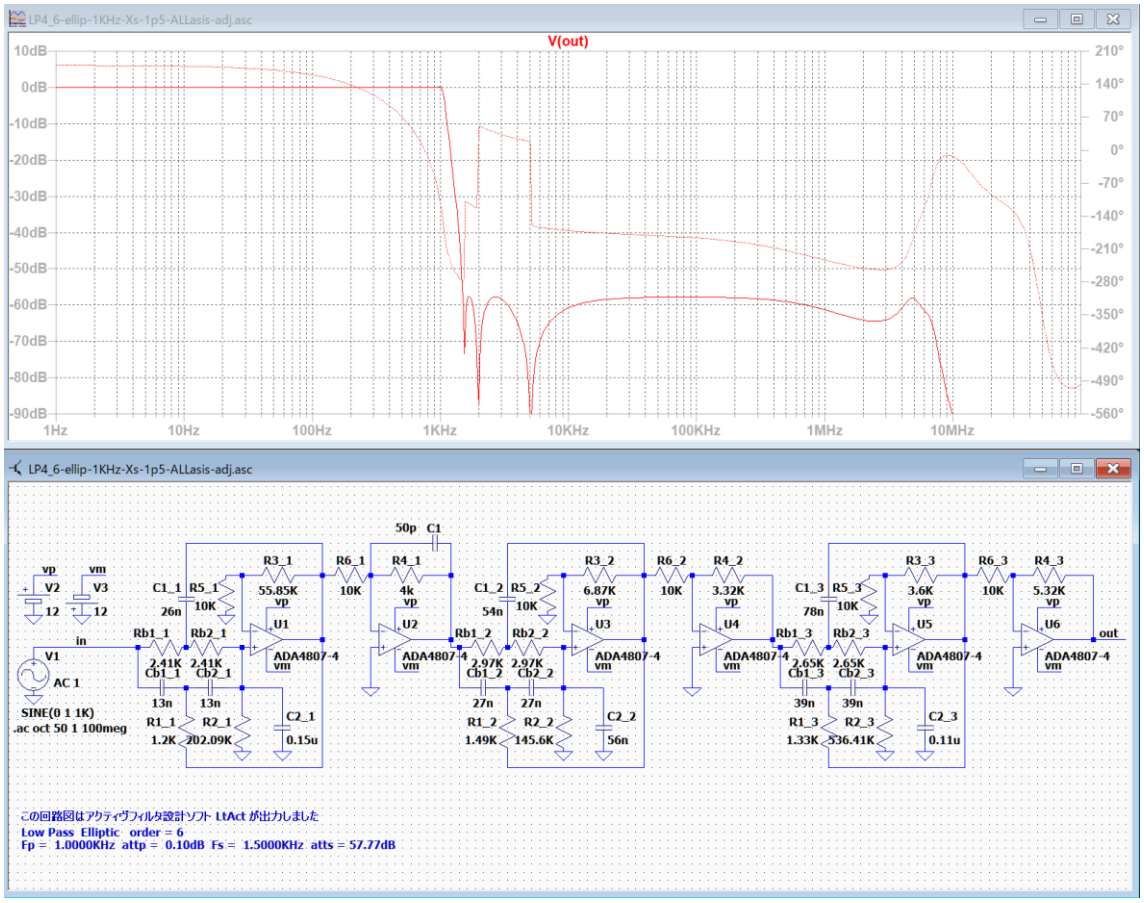
Fc= 891.0537 Hz Fc ゲイン=- 3.2183 dB Q = 1.6062 GB 積=143.1168KHz

3	6.1303K	14.2238Meg	0.1089	0	10.1886Meg

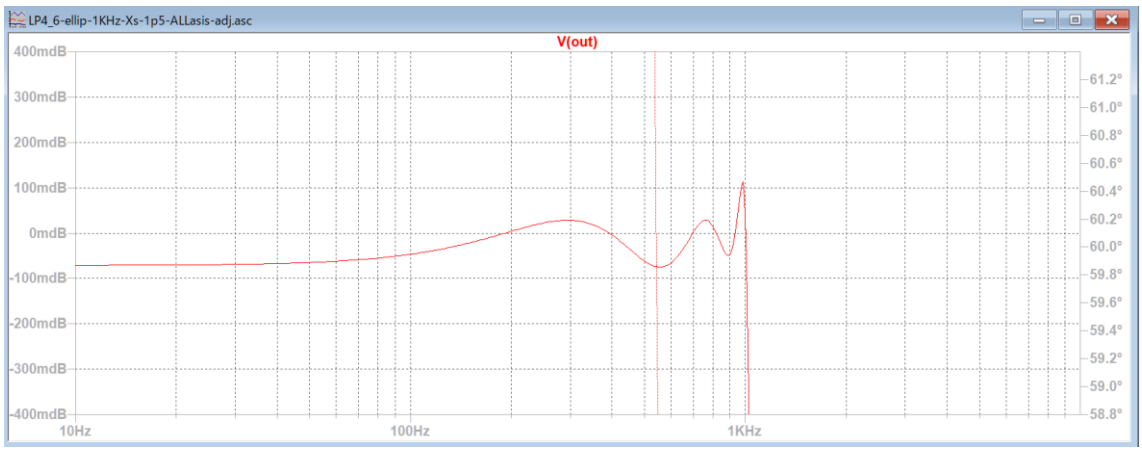
Fc= 600.2435 Hz Fc ゲイン=- 8.5502 dB Q = 0.6152 GB 積= 36.9279KHz

素子値を E シリーズに近似しない場合

周波数特性　高域のピークを C1=50p で調整した。

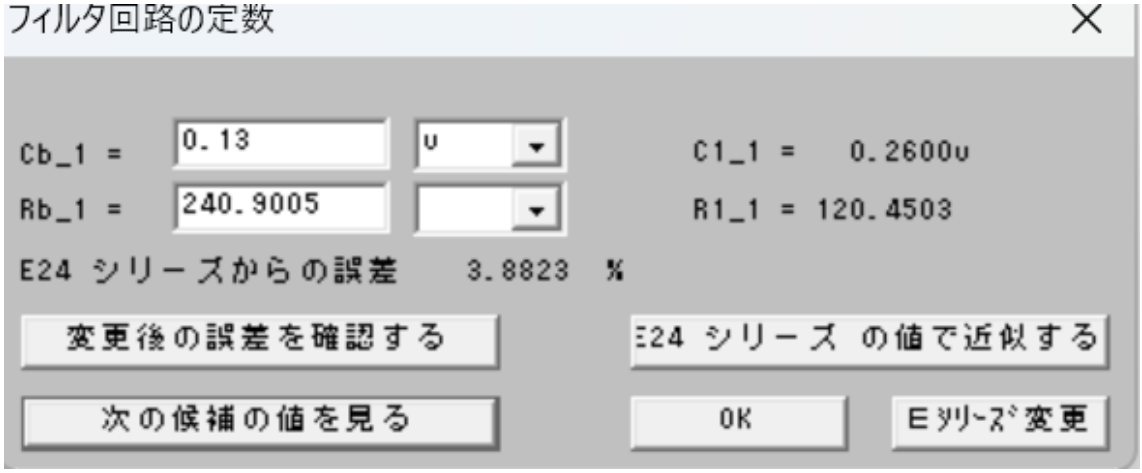


通過域のリプルは設計値の±0.1dB の範囲に収まっている。

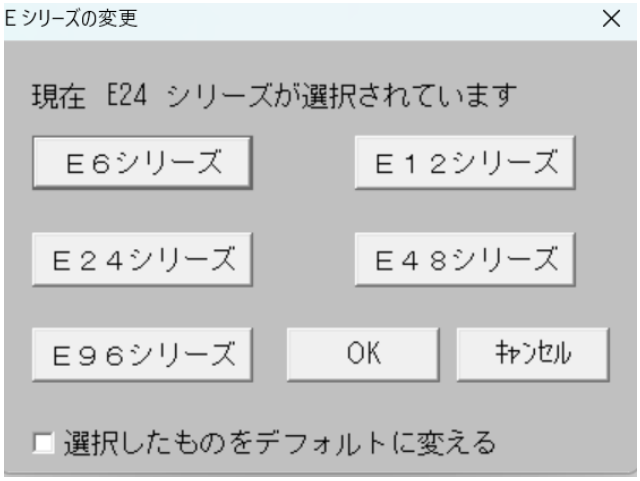


次に、素子値を E シリーズに近似する場合の例を示す。

素子値の決定画面

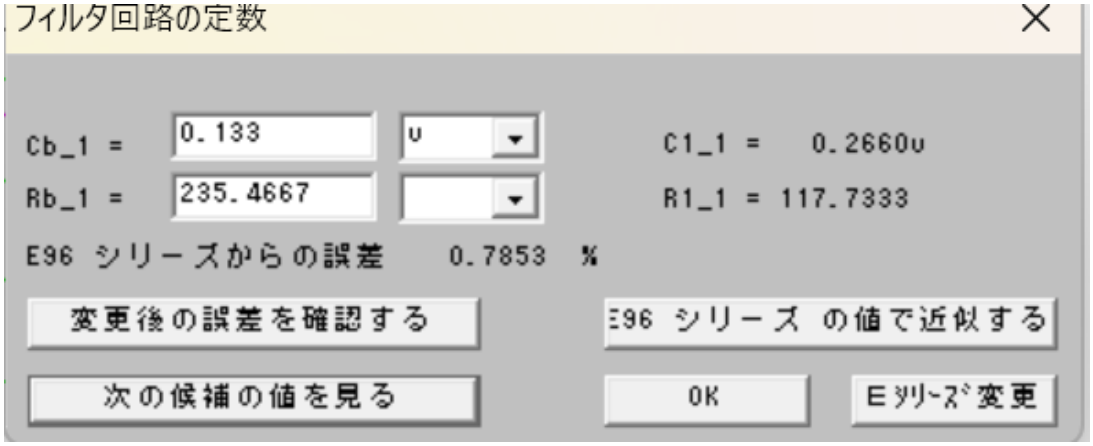


E24 シリーズに近似する時は、「E24 シリーズの値で近似する」をクリックします。
E96 シリーズに近似する時は、「E シリーズ変更」をクリックします。

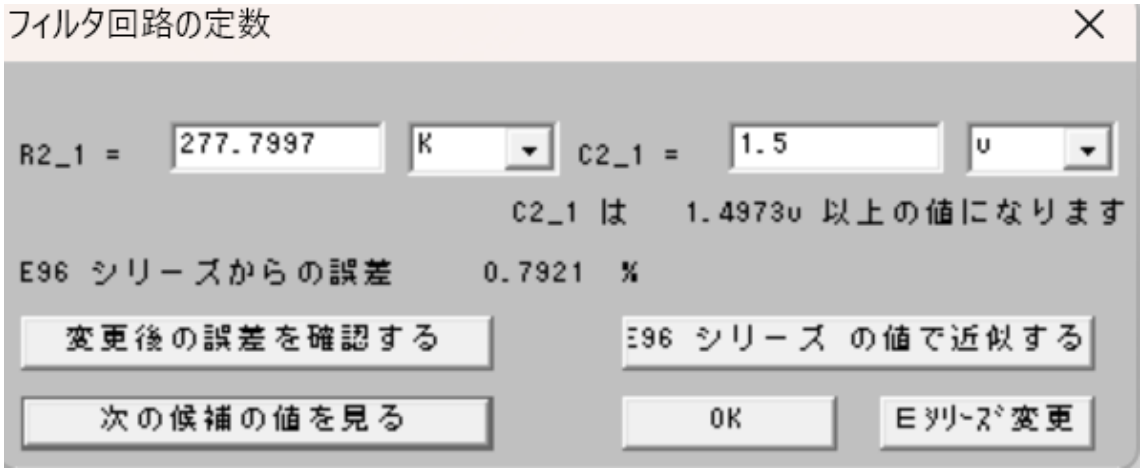


「選択したものをデフォルトに変える」をチェックしてから「E96 シリーズ」をクリックして「OK」をクリックします。

「E96 シリーズからの誤差」が 1.0563%なので「次の候補を見る」をクリックします。



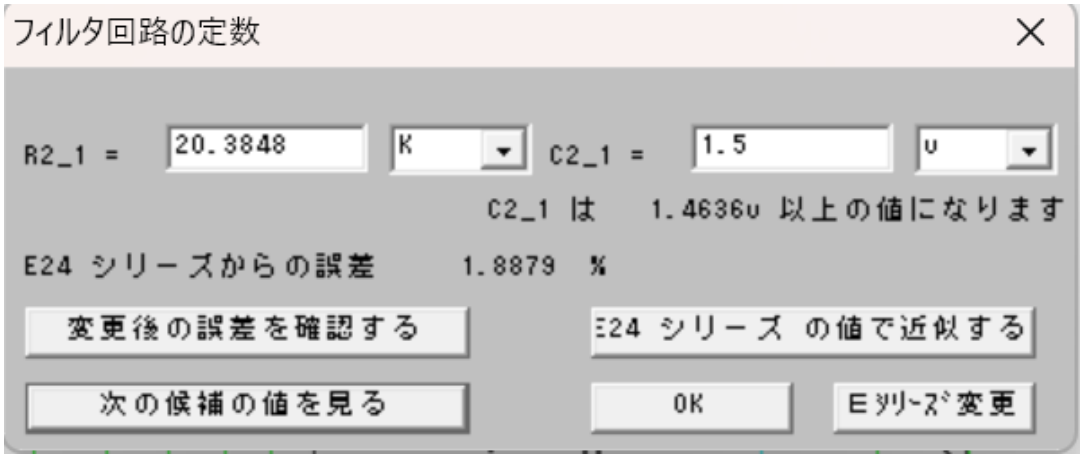
再び「次の候補を見る」をクリックして、誤差がより小さい候補が無いかを調べます。
良い候補が無い時は、「Cb_1」に 0.133 を入力して「次の候補を見る」をクリックしてから、「E96 シリーズの値で近似する」をクリックして、「OK」をクリックします。



次の素子の候補値が表示されるので、同様に誤差の少ない候補値を探して「E96 シリーズの値で近似する」をクリックして、「OK」をクリックします。

E24 シリーズに近似する時は、「E シリーズ変更」をクリックして、「選択したものをデフォルトに変える」をチェックしてから「E24 シリーズ」をクリックして「OK」をクリックします。

素子値の決定画面



このように、希望する E シリーズを選択して近似を行います。

次に、この楕円関数 6 次ローパスフィルターの素子を全て E24 シリーズに近似して第 1 ブロックの特定の素子だけを微調整した回路図と、第 1 ブロックの素子を E96 シリーズで近似して第 1 ブロックの特定の素子だけを微調整した回路図と、第 1 及び第 2 ブロックの素子を E96 シリーズで近似して第 1 ブロックの特定の素子だけを微調整した回路図を作成してその周波数特性を紹介します。

近似の例 1

素子を全て E24 シリーズに近似した例

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\2024-07-12 実験\LP4_6-ellip-1KHz-alle24.asc 作成日時 Fri Jul 12 11:02:06 2024

ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6　　参照モード=0

Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 57.77dB

1 (et2)「LP4-0-0」 Rb_1(2 個)= 240.0000 Cb_1(2 個)= 0.1300u R1_1 = 120.0000 C1_1 = 0.2700u 誤差=3.88 %

1 R2_1 = 20.0000K C2_1 = 1.5000u 誤差 = 0.66 %

1 R3_1 = 56.0000K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 0.27 %

1 R4_1 = 3.9000K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 2.08 %

2 (et2)「LP4-0-1」 Rb_2(2 個)= 300.0000 Cb_2(2 個)= 0.2700u R1_2 = 150.0000 C1_2 = 0.5600u 誤差=3.90 %

2 R2_2 = 15.0000K C2_2 = 0.5600u 誤差 = 2.15 %

2 R3_2 = 6.8000K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.01 %

2 R4_2 = 3.3000K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.73 %

3 (et2)「LP4-0-2」 Rb_3(2 個)= 2.7000K Cb_3(2 個)= 39.0000n R1_3 = 1.3000K C1_3 = 75.0000n 誤差=4.68 %

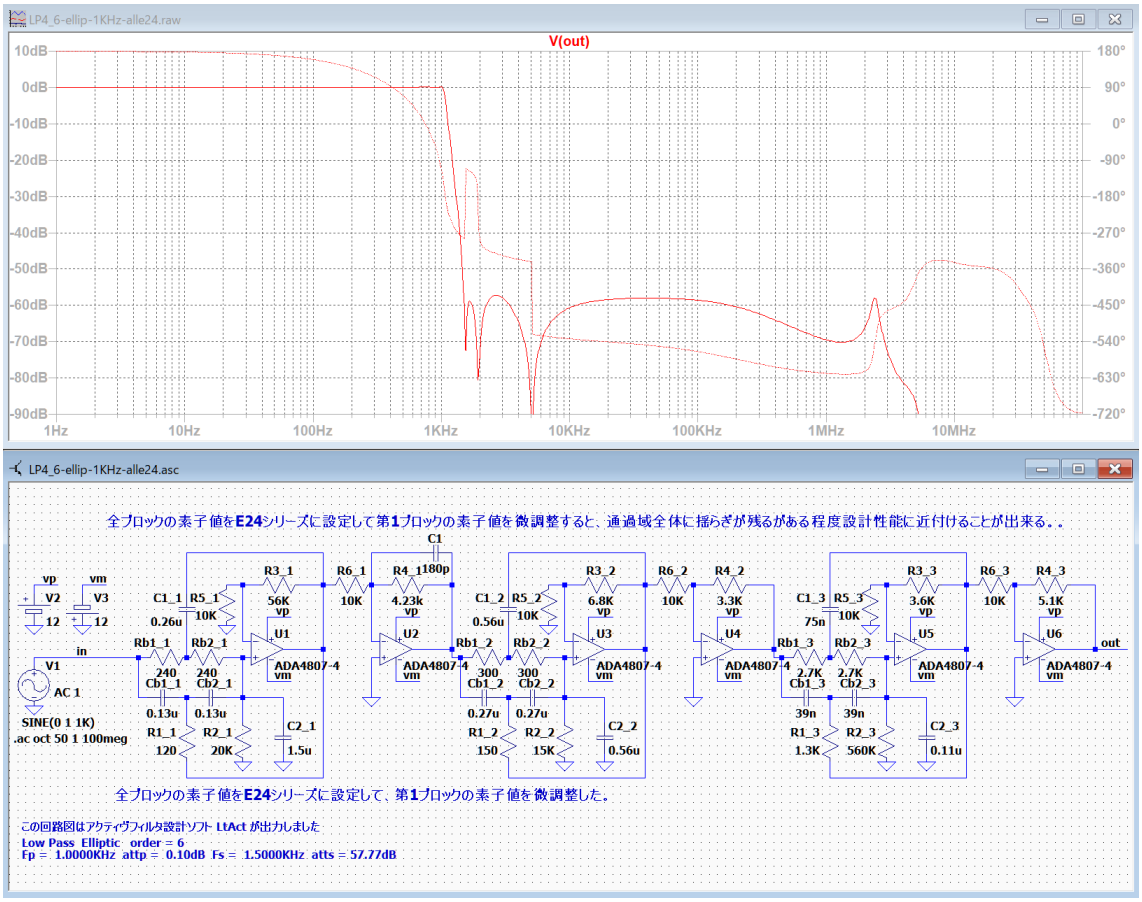
3 R2_3 = 560.0000K C2_3 = 0.1100u 誤差 = 2.51 %

3 R3_3 = 3.6000K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 0.10 %

3 R4_3 = 5.1000K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 4.09 %

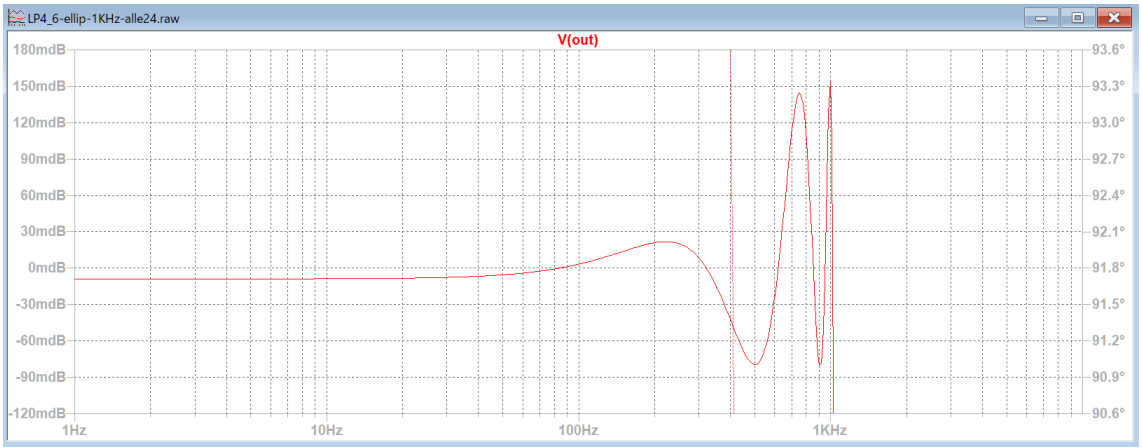
誤差が 1%を越える素子が沢山ある。

周波数特性



微調整した素子は、C1_1, R1_1, R4_1 及び C1。

通過域のリプルは設計値の±0.1 から±0.2dB に拡大している。



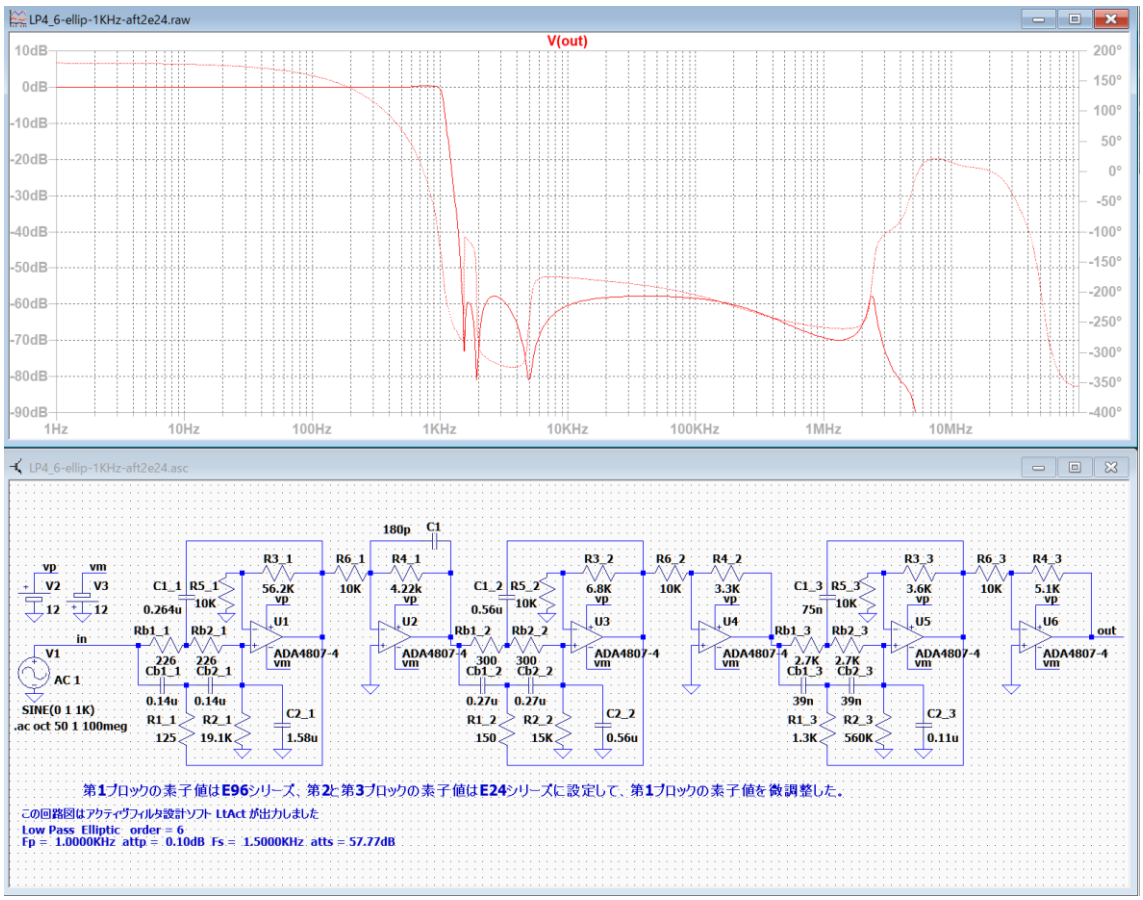
近似の例 2

第 1 ブロックの素子を E96 シリーズで近似して、第 2 と第 3 ブロックは E24 シリーズで近似して、第 1 ブロックの特定の素子だけを微調整した例

********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\2024-07-12 実験\LP4_6-ellip-1KHz-aft2e24.asc 作成日時 Fri Jul 12 10:46:38 2024
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6　　参照モード=0
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 57.77dB

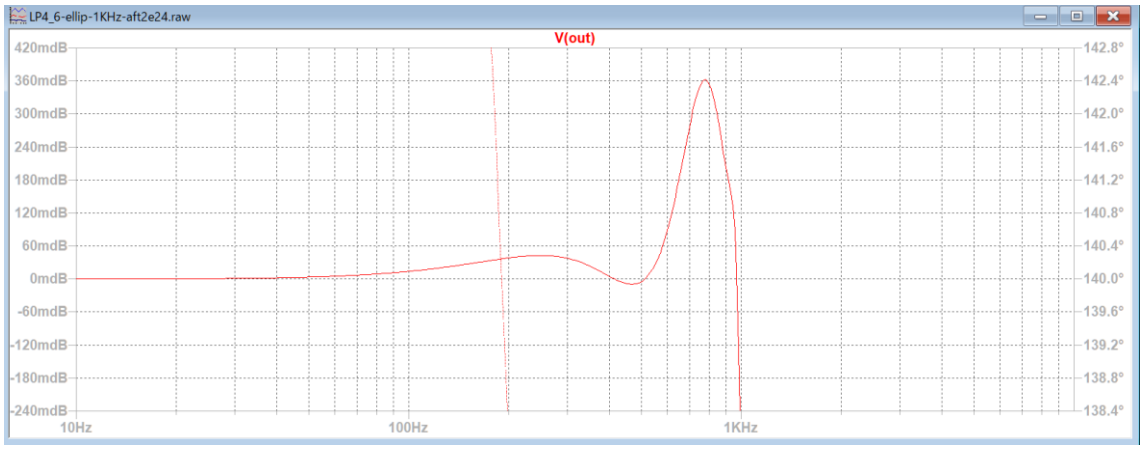
1 (et2)「LP4-0-0」 Rb_1(2 個)= 226.0000 Cb_1(2 個)= 0.1370u R1_1 = 115.0000 C1_1 = 0.2740u 誤差=1.29 %
1 R2_1 = 19.1000K C2_1 = 1.5800u 誤差 = 1.27 %
1 R3_1 = 56.2000K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 0.68 %
1 R4_1 = 4.0200K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 0.94 %
2 (et2)「LP4-0-1」 Rb_2(2 個)= 300.0000 Cb_2(2 個)= 0.2700u R1_2 = 150.0000 C1_2 = 0.5600u 誤差=3.90 %
2 R2_2 = 15.0000K C2_2 = 0.5600u 誤差 = 2.15 %
2 R3_2 = 6.8000K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 1.01 %
2 R4_2 = 3.3000K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.73 %
3 (et2)「LP4-0-2」 Rb_3(2 個)= 2.7000K Cb_3(2 個)= 39.0000n R1_3 = 1.3000K C1_3 = 75.0000n 誤差=4.68 %
3 R2_3 = 560.0000K C2_3 = 0.1100u 誤差 = 2.51 %
3 R3_3 = 3.6000K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 0.10 %
3 R4_3 = 5.1000K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 4.09 %

周波数特性



微調整した素子は、C1_1, R1_1, R4_1 及び C1。

通過域のリプルは設計値の±0.1 から±0.2dB に拡大している。



近似の例 3

第 1 及び第 2 ブロックの素子を E96 シリーズで近似して、第 3 ブロックは E24 シリーズで近似して、第 1 ブロックの特定の素子だけを微調整した例

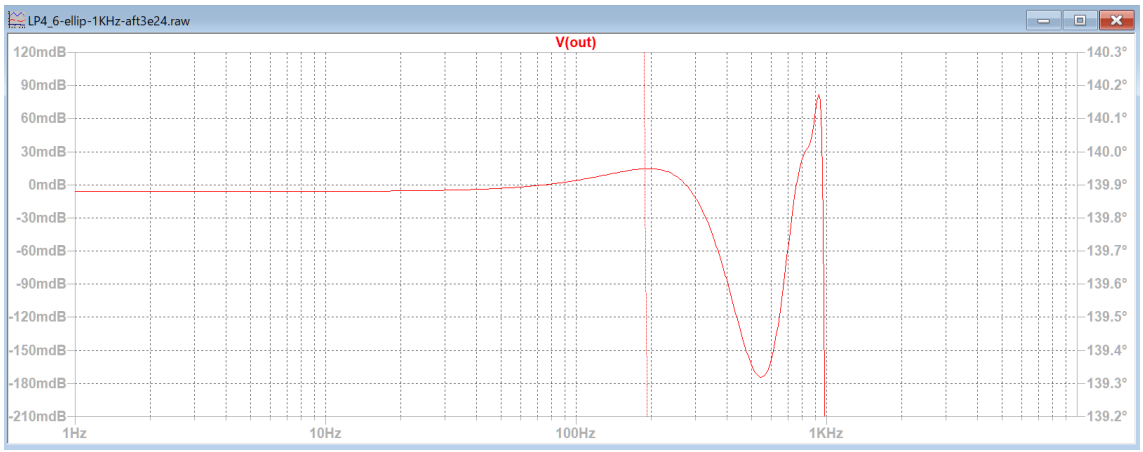
********** 回路の構成と素子値 **********
回路図ファイル名 E:\LT test\2024-07-12 実験\LP4_6-ellip-1KHz-aft3e24.asc 作成日時 Fri Jul 12 10:36:46 2024
ｱﾅﾛｸﾞ Low Pass Elliptic 次数=6　　参照モード=0
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 57.77dB

1 (et2)「LP4-0-0」 Rb_1(2 個)= 243.0000 Cb_1(2 個)= 0.1300u R1_1 = 121.0000 C1_1 = 0.2610u 誤差=1.06 %
1 R2_1 = 115.0000K C2_1 = 1.4700u 誤差 = 0.26 %
1 R3_1 = 54.9000K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 0.40 %
1 R4_1 = 4.0200K R6_1 = 10.0000K 誤差 = 1.08 %
2 (et2)「LP4-0-1」 Rb_2(2 個)= 294.0000 Cb_2(2 個)= 0.2740u R1_2 = 147.0000 C1_2 = 0.5490u 誤差=0.46 %
2 R2_2 = 47.5000K C2_2 = 0.5490u 誤差 = 0.03 %
2 R3_2 = 6.4900K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 0.84 %
2 R4_2 = 3.3200K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.71 %
3 (et2)「LP4-0-2」 Rb_3(2 個)= 2.7000K Cb_3(2 個)= 39.0000n R1_3 = 1.3000K C1_3 = 75.0000n 誤差=4.68 %
3 R2_3 = 560.0000K C2_3 = 0.1100u 誤差 = 2.51 %
3 R3_3 = 3.6000K R5_3 = 10.0000K 誤差 = 0.10 %
3 R4_3 = 5.1000K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 4.09 %

周波数特性

微調整した素子は、C1_1, R1_1, R4_1 及び C1。

通過域のリプルは設計値の±0.1 から±0.15dB に拡大している。



本書で紹介しているほとんどの回路図は、素子値を E シリーズに近似していない。

参考例の結果より、全ての素子を E96 シリーズなどに精密に近似しなくても、設計した特性に近い周波数特性を実現できることが分かる。

この参考例では、3 つのブロックで構成されるローパスフィルターの内、第 1 と第 2 ブロックを E96 シリーズに近似して、第 3 ブロックは E24 シリーズに近似した。

参考例では、近似する時に表示される誤差が最も小さくなる候補値を探さずに、最初に表示された候補値を E シリーズに近似したので、周波数特性を改善する余地がある。

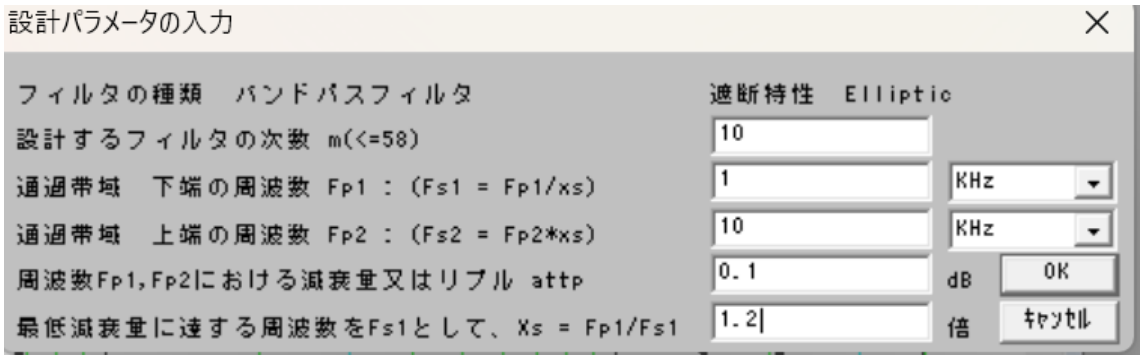
バンドパスフィルタやバンドエリミネーションフィルタ及び高次数のフィルタを設計する場合には、できるだけ候補値との誤差が少ないほうが設計した周波数特性に近付けることができると思われる。

E シリーズに近似する前に、表示された誤差が出来るだけ小さい候補値を探してから近似を行うと後の微調整が楽になると考えられる。

E96 シリーズに近似するのは第 1 と第 2 ブロックまたは第 1 から第 4 ブロックの素子に限定して、以降のブロックは E24 シリーズに近似して、最後に微調整するのも第 1 と第 2 ブロックまたは第 1 から第 4 ブロックの素子に限定すれば希望する周波数特性に近付けられると考える。

高次数のフィルターの例

楕円関数 10 次バンドパスフィルター 1KHz-10KHz , atts=0.1dB, Xs=1.2 を設計する場合



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

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10

Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 =833.3333 Hz Fs2 = 12.0000KHz atts = 90.23dB

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	2.3260K	4.0295G	63.3597m	0	7.9647G
	Fc= 10.1029KHz Fc ゲイン= 34.3558 dB Q = 27.2908 GB 積= 27.5716MegHz				
2	227.8866	38.6787Meg	1.9766	0	2.4507Meg
	Fc= 989.8193 Hz Fc ゲイン= 34.3558 dB Q = 27.2908 GB 積= 2.7013MegHz				
3	7.7805K	3.6965G	0.1643	0	2.8181G
	Fc= 9.6765KHz Fc ゲイン= 13.3932 dB Q = 7.8143 GB 積= 7.5614MegHz				
4	830.9516	42.1625Meg	0.7624	0	6.9262Meg
	Fc= 1.0334KHz Fc ゲイン= 13.3932 dB Q = 7.8143 GB 積=807.5534KHz				
5	15.1983K	2.9773G	0.2081	0	1.7916G
	Fc= 8.6843KHz Fc ゲイン= 3.0039 dB Q = 3.5902 GB 積= 3.1178MegHz				
6	2.0152K	52.3468Meg	0.6017	0	10.8947Meg
	Fc= 1.1515KHz Fc ゲイン= 3.0039 dB Q = 3.5902 GB 積=413.4131KHz				
7	23.3258K	1.8950G	0.1921	0	1.2353G

Fc=　6.9282KHz　Fc ゲイン=-1.3304 dB　Q=　1.8662　GB 積=　1.2930MegHz

8　4.8595K　82.2461Meg　0.6519　　0　15.8014Meg

Fc=　1.4434KHz　Fc ゲイン=-1.3304 dB　Q=　1.8662　GB 積=269.3663KHz

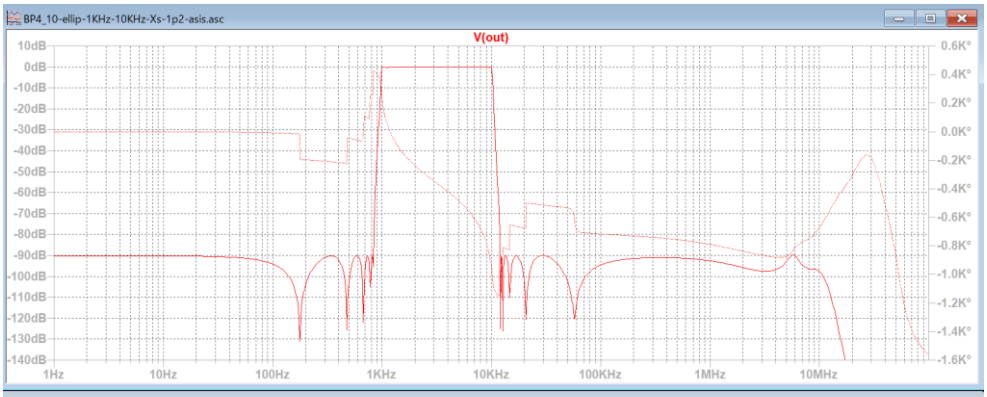
9　24.5506K 774.9011Meg　0.1298　　0　747.3974Meg

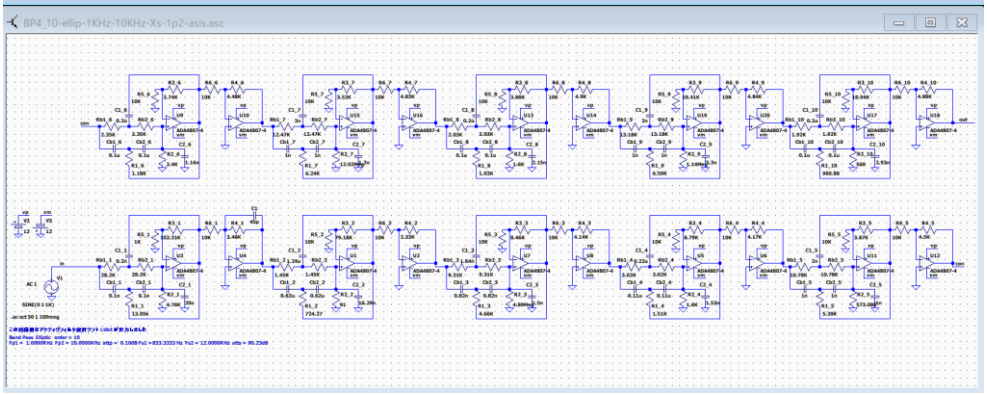
Fc=　4.4304KHz　Fc ゲイン=-0.4786 dB　Q=　1.1339　GB 積=502.3474KHz

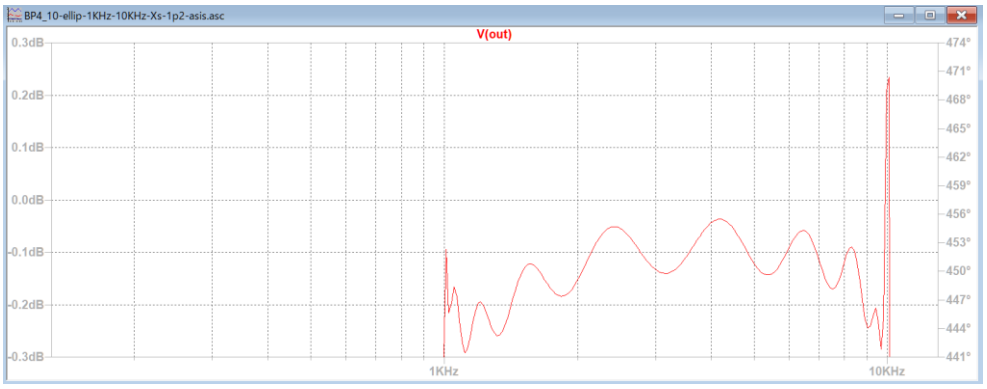
10　12.5077K 201.1283Meg　0.9645　　0　26.1159Meg

Fc=　2.2571KHz　Fc ゲイン=-0.4786 dB　Q=　1.1339　GB 積=255.9279KHz

E シリーズに近似しない時の周波数特性







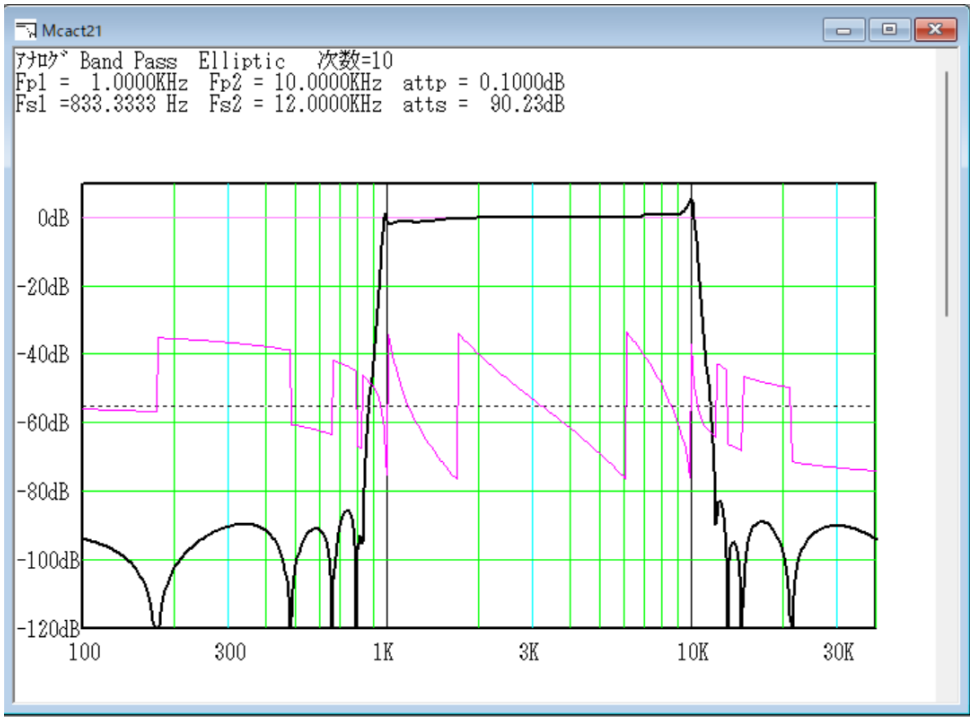
素子値は未調整だが、通過域のリプルは設計値の±0.1 から±0.3dB に拡大している。

E シリーズに近似しない時の周波数特性

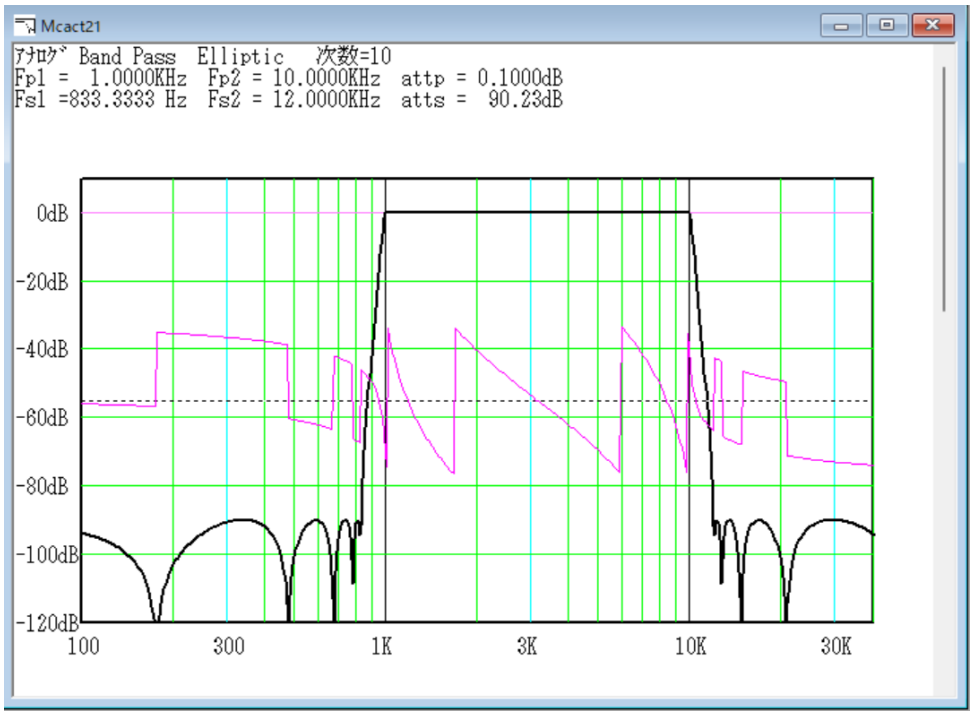
近似した場合の周波数特性

第 1 と第 2 ブロックを E96 シリーズに、第 3 ブロック以降は E24 シリーズに近似した。

LtAct の画面表示では、通過域の下端と上端に大きいリプルが確認できる。



全ブロックを E96 シリーズに近似すると、LtAct の画面表示ではリプルが確認できない。



近似した場合の周波数特性

********** 回路の構成と素子値 **********

回路図ファイル名 E:\LT test\2024-07-13 実験\BP4_10-ellip-1KHz-10KHz-Xs-1p2-B1B2-E96.asc 作成日時 Sat Jul 13 11:10:50 2024

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10　　参照モード=0

Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 =833.3333 Hz Fs2 = 12.0000KHz atts = 90.23dB

1 (et2)「LP4-1-0」 Rb_1(2 個)= 2.4900K Cb_1(2 個)= 1.1300n R1_1 = 1.2400K C1_1 = 2.2600n 誤差=0.68 %

1 R2_1 = 53.6000K C2_1 = 18.7000n 誤差 = 0.07 %

1 R3_1 = 82.5000K R5_1 = 10.0000K 誤差 = 0.10 %

1 R4_1 = 2.4900K R6_1 = 10.7000K 誤差 = 0.45 %

2 (et2)「HP4-0-0」 Rb_2(2 個)= 6.0400K Cb_2(2 個)= 0.1500u R1_2 = 3.0100K C1_2 = 0.3010u 誤差=1.09 %

2 R2_2 = 383.0000 C2_2 = 3.2400n 誤差 = 0.30 %

2 R3_2 = 78.7000K R5_2 = 10.0000K 誤差 = 0.35 %

2 R4_2 = 2.3200K R6_2 = 10.0000K 誤差 = 0.50 %

3 (et2)「HP4-1-0」 Rb_3(2 個)= 7.5000K Cb_3(2 個)= 1.0000n R1_3 = 3.9000K C1_3 = 2.0000n 誤差=2.79 %

3 R2_3 = 91.0000K C2_3 = 2.2000n 誤差 = 0.76 %

3 R3_3 = 13.0000K R5_3 = 12.0000K 誤差 = 2.13 %

3 R4_3 = 4.3000K R6_3 = 10.0000K 誤差 = 0.11 %

4 (et2)「HP4-0-0」 Rb_4(2 個)= 3.0000K Cb_4(2 個)= 0.1100u R1_4 = 1.5000K C1_4 = 0.2200u 誤差=0.75 %

4 R2_4 = 1.6000K C2_4 = 1.3000n 誤差 = 0.52 %

4 R3_4 = 13.0000K R5_4 = 15.0000K 誤差 = 0.71 %

4 R4_4 = 5.1000K R6_4 = 12.0000K 誤差 = 2.01 %

5 (et2)「HP4-1-0」 Rb_5(2 個)= 6.8000K Cb_5(2 個)= 1.6000n R1_5 = 3.3000K C1_5 = 3.3000n 誤差=3.84 %

5 R2_5 = 360.0000K C2_5 = 1.6000n 誤差 = 0.43 %

5 R3_5 = 6.2000K R5_5 = 16.0000K 誤差 = 0.25 %

5 R4_5 = 9.1000K R6_5 = 20.0000K 誤差 = 1.04 %

6 (et2)「HP4-0-0」 Rb_6(2 個)= 2.4000K Cb_6(2 個)= 0.1000u R1_6 = 1.2000K C1_6 = 0.2000u 誤差=3.00 %

6 R2_6 = 2.2000K C2_6 = 5.1000n 誤差 = 1.49 %

6 R3_6 = 5.6000K R5_6 = 13.0000K 誤差 = 2.16 %

近似した場合の周波数特性

6 R4_6 = 5.1000K R6_6 = 11.0000K 誤差 = 0.84 %
7 (et2)「HP4-1-1」 Rb_7(2 個)= 11.0000K Cb_7(2 個)= 1.1000n R1_7 = 5.6000K C1_7 = 2.2000n 誤差=3.21 %
7 R2_7 = 47.0000K C2_7 = 2.2000n 誤差 = 1.19 %
7 R3_7 = 7.5000K R5_7 = 10.0000K 誤差 = 0.63 %
7 R4_7 = 8.2000K R6_7 = 15.0000K 誤差 = 0.14 %
8 (et2)「HP4-0-1」 Rb_8(2 個)= 2.0000K Cb_8(2 個)= 0.1000u R1_8 = 1.0000K C1_8 = 0.2000u 誤差=2.17 %
8 R2_8 = 1.6000K C2_8 = 1.5774n 誤差 = 1.43 %
8 R3_8 = 5.6000K R5_8 = 15.0000K 誤差 = 1.33 %
8 R4_8 = 6.2000K R6_8 = 13.0000K 誤差 = 2.24 %
9 (et2)「HP4-1-2」 Rb_9(2 個)= 11.0000K Cb_9(2 個)= 1.2000n R1_9 = 5.6000K C1_9 = 2.4000n 誤差=1.97 %
9 R2_9 = 3.3000K C2_9 = 33.0000n 誤差 = 1.91 %
9 R3_9 = 120.0000K R5_9 = 11.0000K 誤差 = 0.50 %
9 R4_9 = 6.2000K R6_9 = 10.0000K 誤差 = 1.08 %
10 (et2)「HP4-0-2」 Rb_10(2 個)= 1.6000K Cb_10(2 個)= 0.1200u R1_10 = 820.0000 C1_10 = 0.2400u 誤差=2.41 %
10 R2_10 = 430.0000 C2_10 = 8.2000n 誤差 = 0.13 %
10 R3_10 = 12.0000K R5_10 = 10.0000K 誤差 = 0.96 %
10 R4_10 = 7.5000K R6_10 = 15.0000K 誤差 = 0.88 %

第 1 ブロックと第 2 ブロックは E96 に近似したので、各素子の誤差は 1%以内である。
第 3 ブロック以降は E24 に近似したので、各素子の誤差は 1～3%程度である。

近似した場合の周波数特性

ゲインリスト

ｱﾅﾛｸﾞ Band Pass Elliptic 次数=10

Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 10.0000KHz attp = 0.1000dB

Fs1 =833.3333 Hz Fs2 = 12.0000KHz atts = 90.23dB

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

	Pn_0	Pn_1	Pn_2	Pn_3	Pn_4		
Blk No. 1	1.9831K	4.0486G	63.1301m	0	7.9741G	Fc= 10.1269KHz	Fc ゲイン= 35.7308 dB Q = 32.0860 GB 積= 32.4930MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
5.0634K,	8.3145
5.4688K,	8.7983
5.9066K,	9.4006
6.3795K,	10.1632
6.8903K,	11.1503
7.4419K,	12.4704
8.0377K,	14.3259
8.6812K,	17.1673
9.3762K,	22.3796
10.1269K,	35.7308
10.9376K,	20.9527
11.8133K,	14.3111
12.7590K,	10.0358
13.7805K,	6.7390
14.8838K,	3.9674
16.0754K,	1.5154
17.3624K,	- 0.7290
18.7524K,	- 2.8348
20.2537K,	- 4.8486

Pn_0　　Pn_1　　Pn_2　　Pn_3　　Pn_4

Blk No. 2　109.6875　38.0014Meg　1.9726　　0　2.4032Meg Fc= 981.1155 Hz　Fc

ゲイン=　40.6127 dB　Q = 56.2008　GB 積=　5.5140MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
490.5578 ,	- 4.8342
529.8317 ,	- 2.8199
572.2499 ,	- 0.7135
618.0640 ,	1.5318
667.5461 ,	3.9853
720.9897 ,	6.7596
778.7119 ,	10.0622
841.0554 ,	14.3540
908.3901 ,	21.0826
981.1155 ,	40.6127
1.0597K,	22.5095
1.1445K,	17.2102
1.2361K,	14.3524
1.3351K,	12.4911
1.4420K,	11.1683
1.5574K,	10.1797
1.6821K,	9.4163
1.8168K,	8.8133
1.9622K,	8.3291

Pn_0　　Pn_1　　Pn_2　　Pn_3　　Pn_4

Blk No. 3　5.7161K　3.8348G　0.1659　　0　　2.9492G Fc=　9.8559KHz　Fc ゲイン=　16.3043 dB　Q = 10.8336　GB 積= 10.6775MegHz

周波数 Hz	ゲイン dB
4.9279K,	- 0.2799
5.3225K,	0.1283
5.7486K,	0.6402
6.2088K,	1.2933
6.7059K,	2.1460
7.2427K,	3.2955
7.8226K,	4.9187
8.4489K,	7.3803
9.1253K,	11.5211
9.8559K,	16.3043
10.6449K,	9.4415
11.4971K,	3.1854
12.4176K,	- 1.4674
13.4117K,	- 5.4093
14.4855K,	- 9.0783
15.6452K,	- 12.7691
16.8977K,	- 16.7953
18.2506K,	- 21.7000
19.7117K,	- 29.0951

Pn_0　　Pn_1　　Pn_2　　Pn_3　　Pn_4

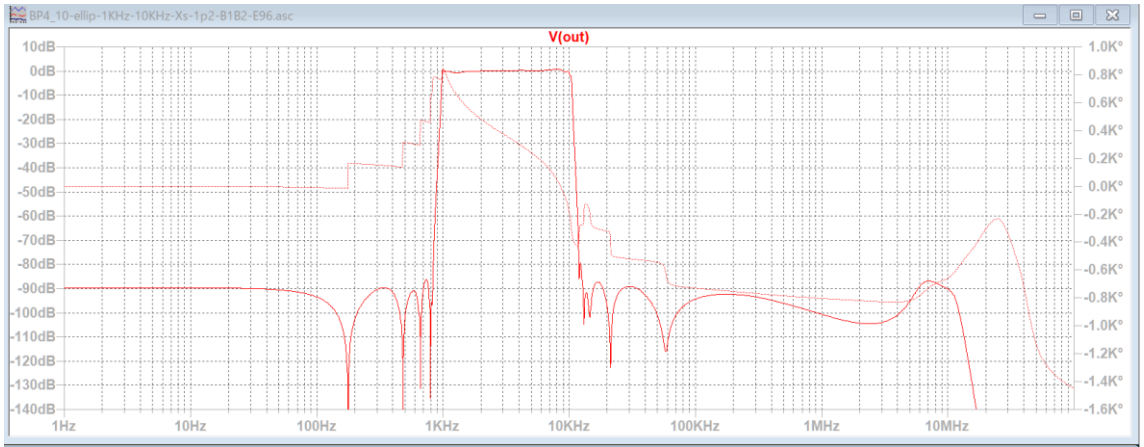
Blk No. 4　908.7321　42.6108Meg　0.7750　　0　7.1168Meg Fc=　1.0389KHz　Fc

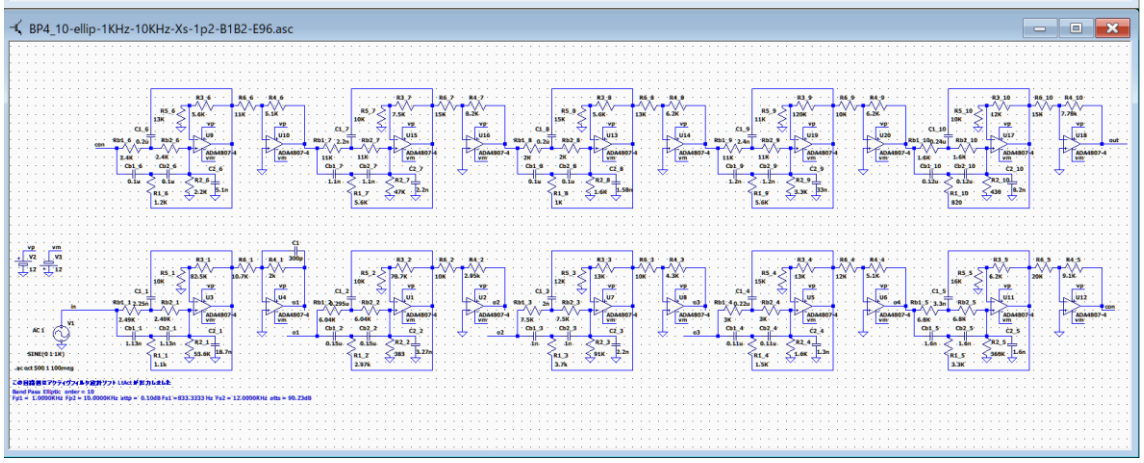
ゲイン=　12.8045 dB　Q =　7.1833　GB 積=746.2844KHz

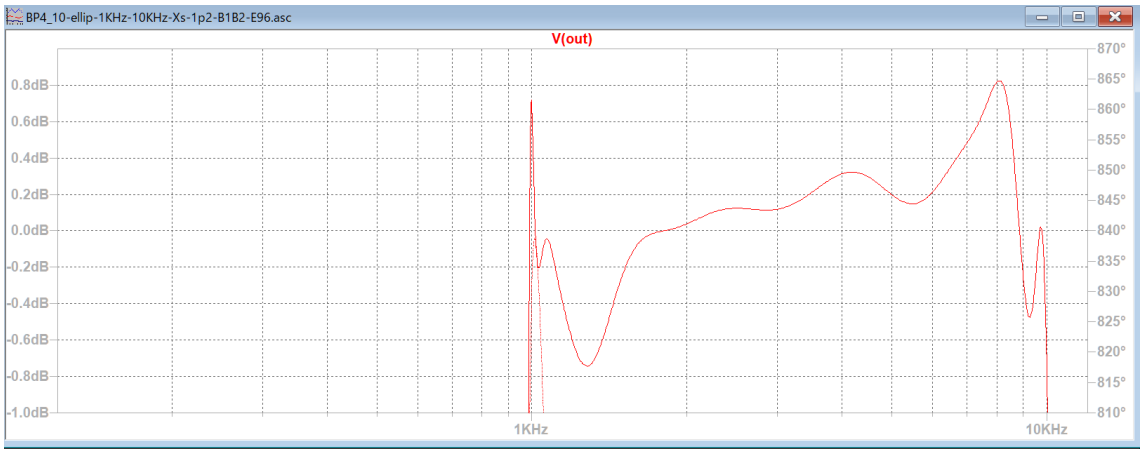
周波数 Hz	ゲイン dB
519.4578 ,	- 28.9965
561.0454 ,	- 21.6365
605.9626 ,	- 16.7504
654.4758 ,	- 12.7429
706.8729 ,	- 9.0781
763.4650 ,	- 5.4530
824.5878 ,	- 1.6001
890.6041 ,	2.8252
961.9056 ,	8.2523
1.0389K,	12.8045
1.1221K,	10.3310
1.2119K,	7.0182
1.3090K,	4.7830
1.4137K,	3.2473
1.5269K,	2.1398
1.6492K,	1.3103
1.7812K,	0.6713
1.9238K,	0.1686
2.0778K,	- 0.2333

近似後の周波数特性

第 1 から第 4 ブロックを調整した。







4 つのブロックだけを微調整して、リプルを±0.8dB 未満にすることができた。

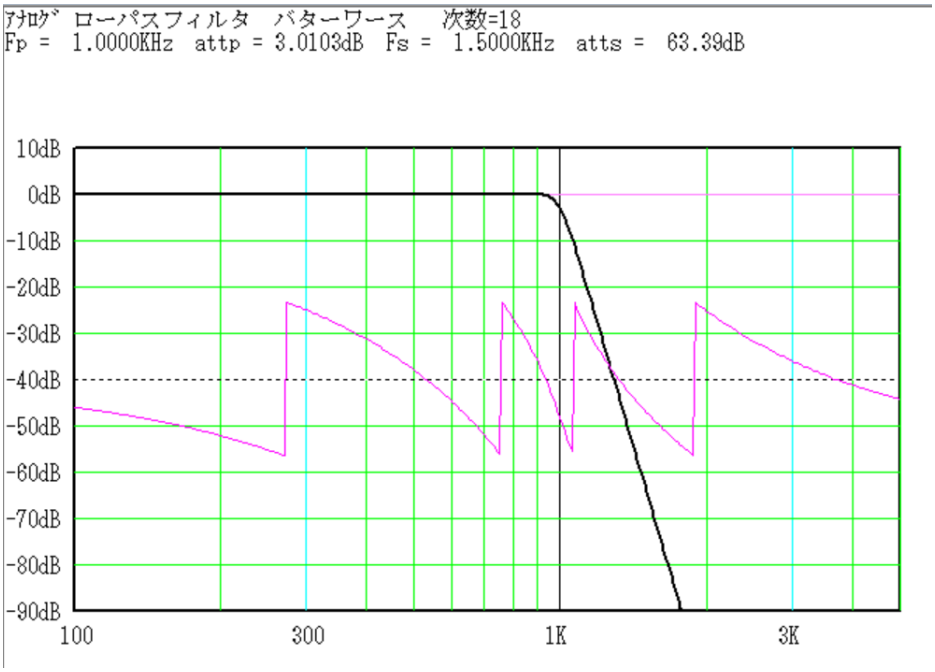
リプルを設計値に収めるには、全素子を E96 に近似して入念に微調整する必要がある。

周波数特性のグラフを比較する

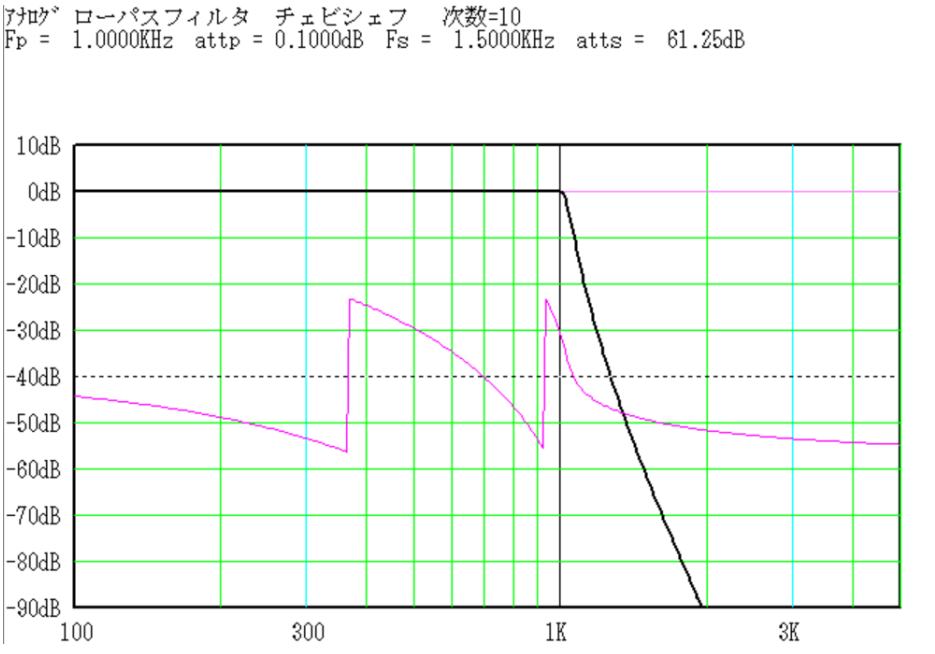
フィルタの次数を入力しないで、カットオフ周波数 1KHz, 減衰を指定する周波数の倍率 Xs を 1.5 、Fs における減衰量 60dB に設定すると、遮断特性ごとにフィルタ次数が大きく異なることが分かります。

ローパスフィルタ

バターワース特性では 18 次フィルター

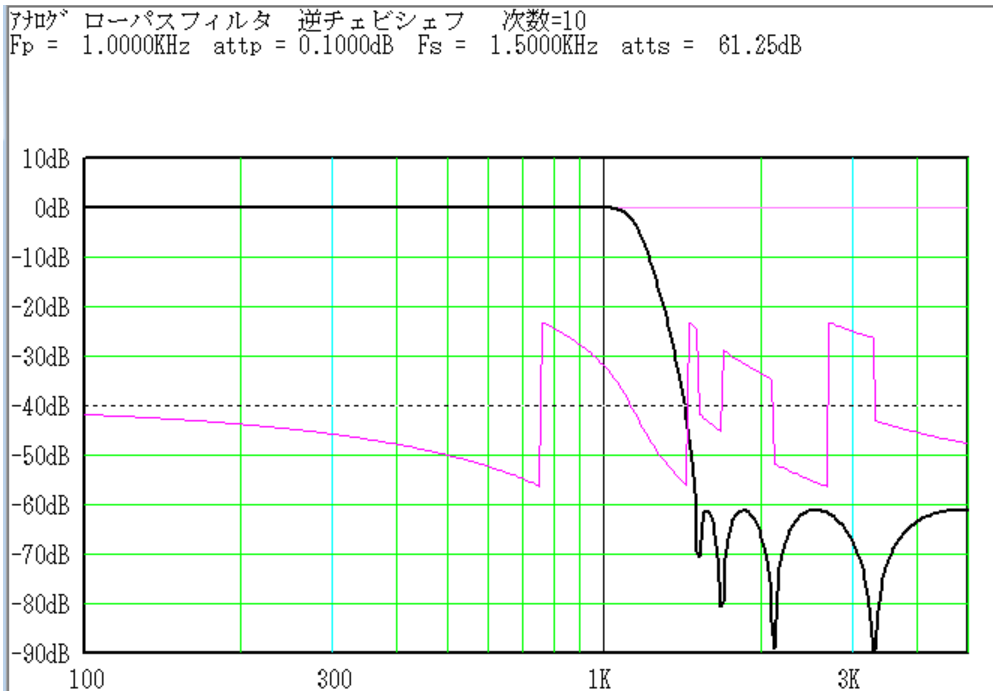


チェビシェフ特性では 10 次フィルター

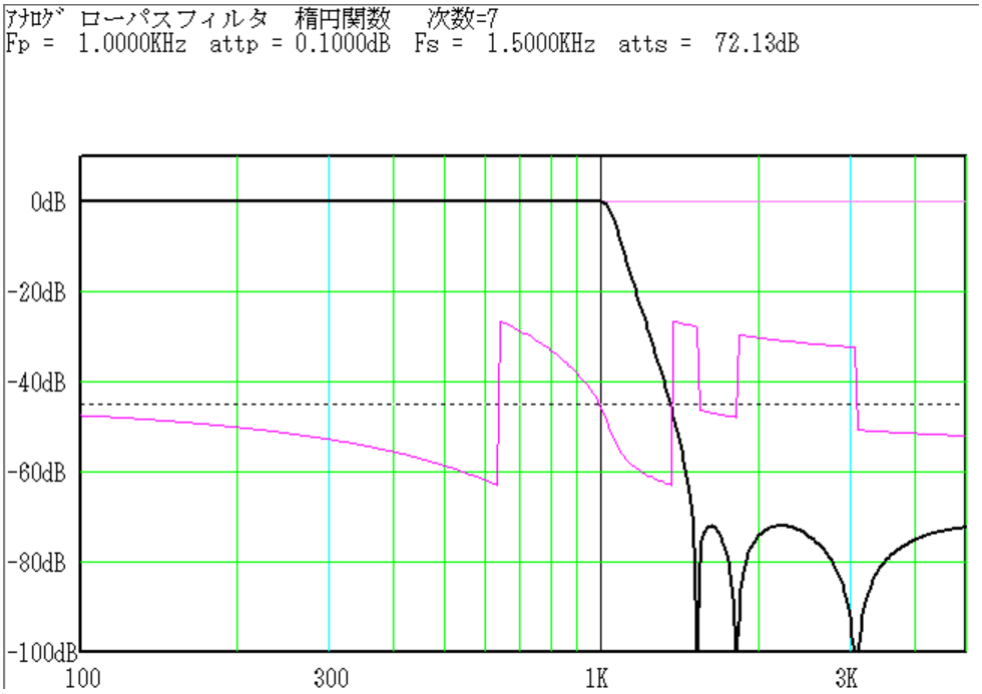


近似後の周波数特性

逆チェビシェフ特性では 10 次フィルター



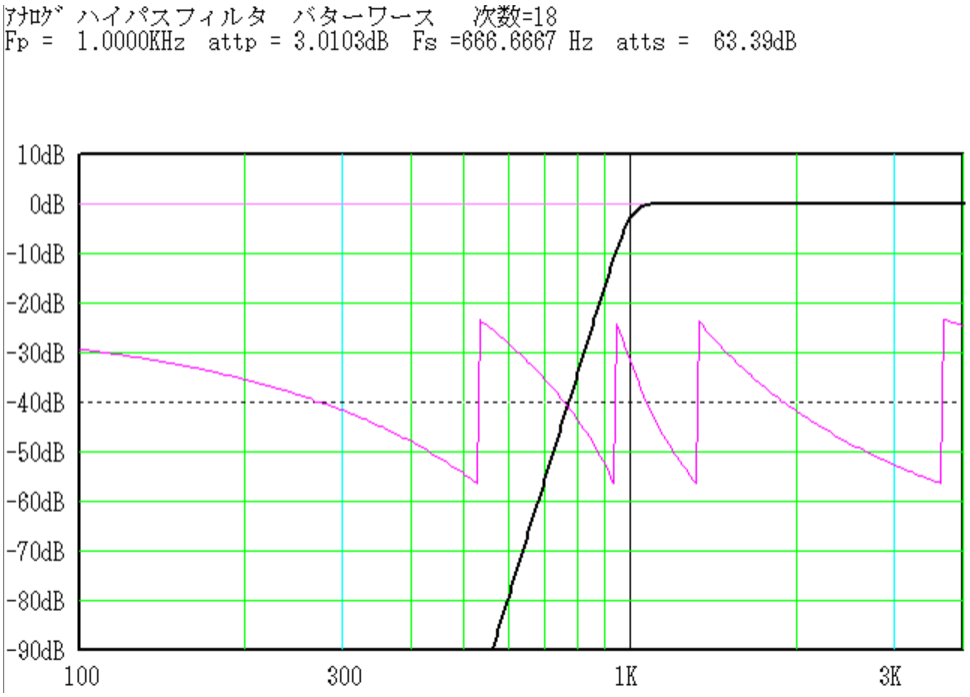
楕円関数特性では 7 次フィルター



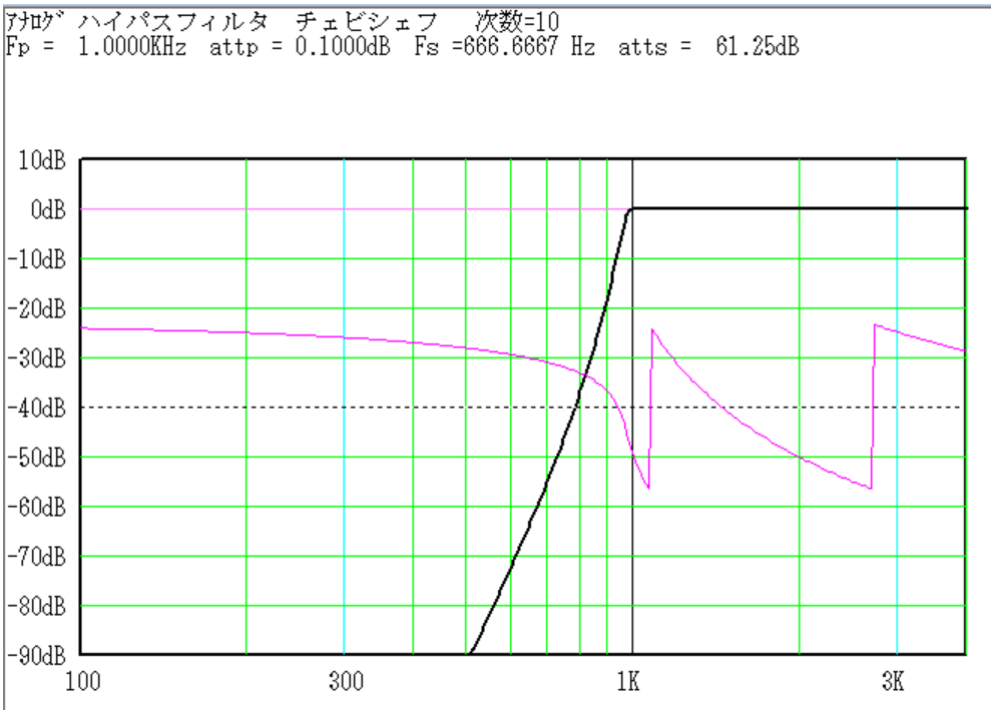
近似後の周波数特性

ハイパスフィルタ

バターワース特性では 18 次フィルター

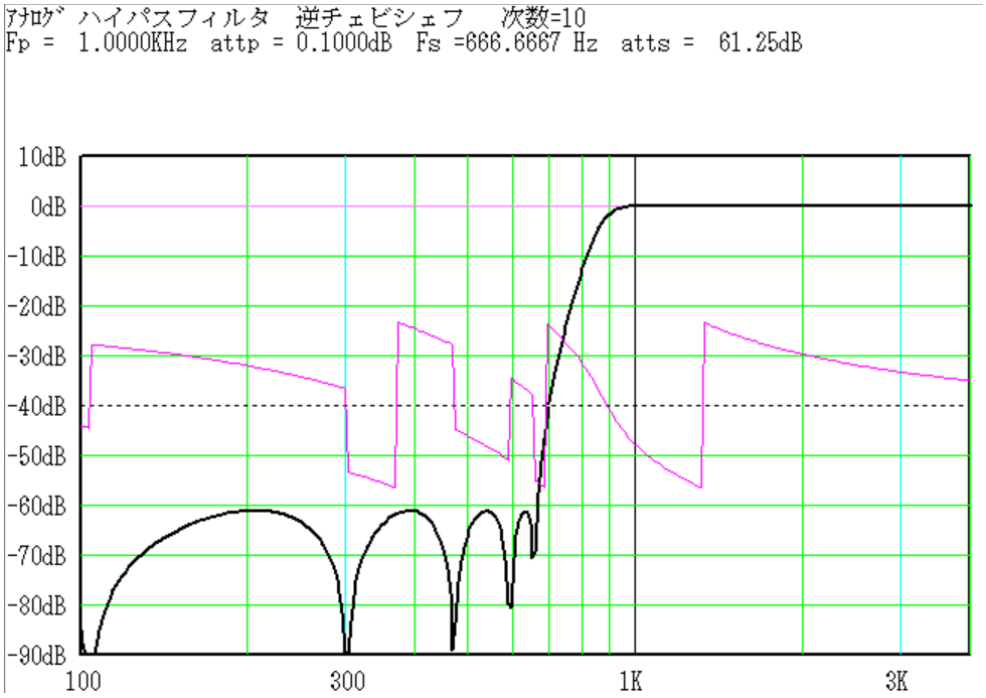


チェビシェフ特性では 10 次フィルター

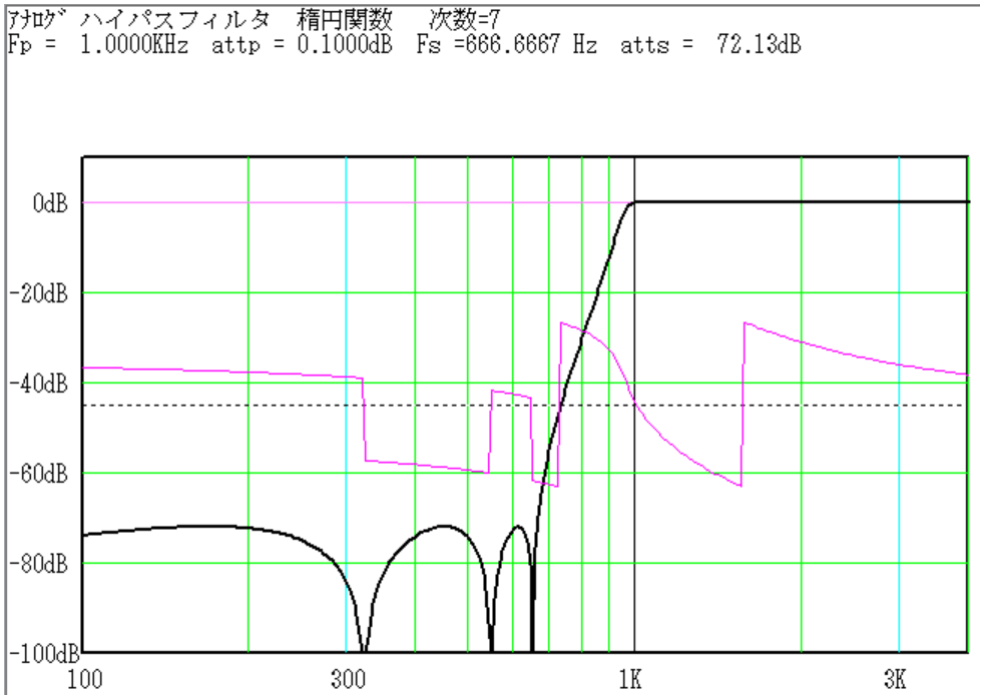


近似後の周波数特性

逆チェビシェフ特性では 10 次フィルター



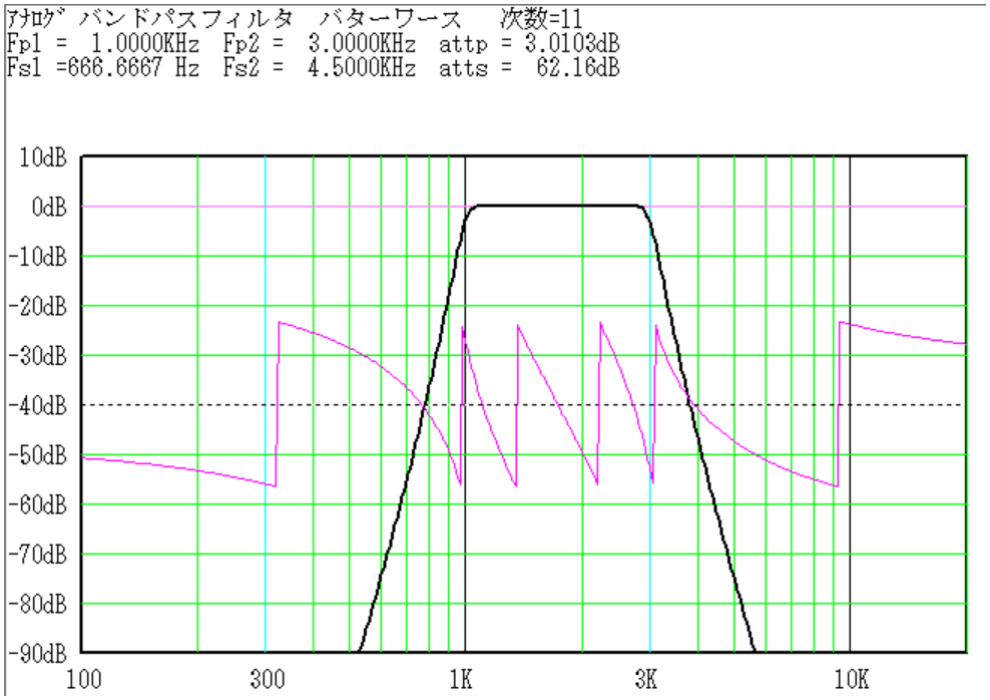
楕円関数特性では 7 次フィルター



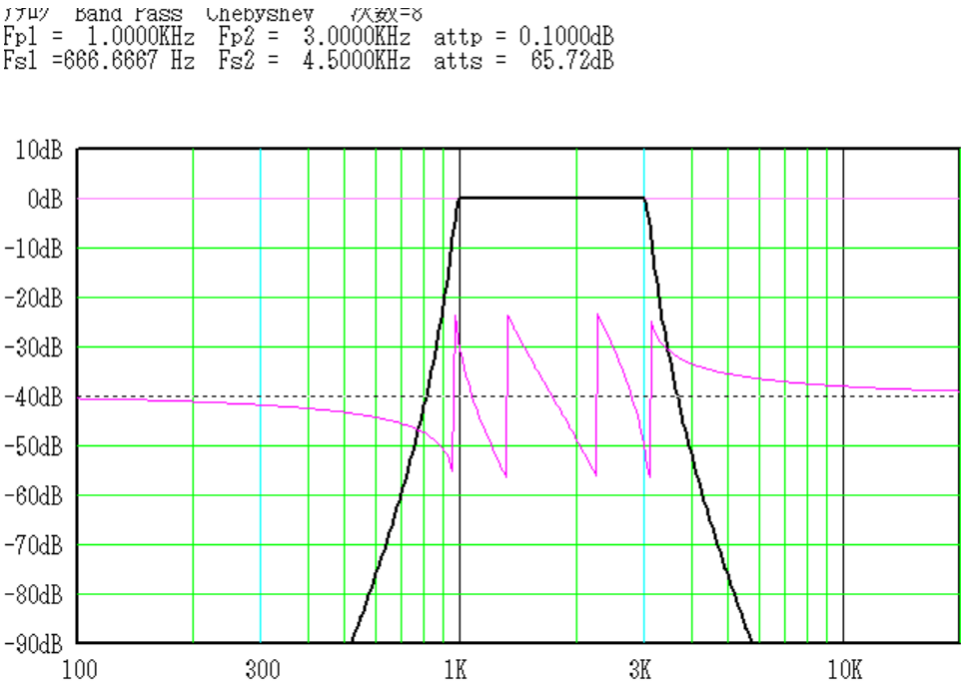
近似後の周波数特性

バンドパスフィルタ

バターワース特性では 11 次フィルター

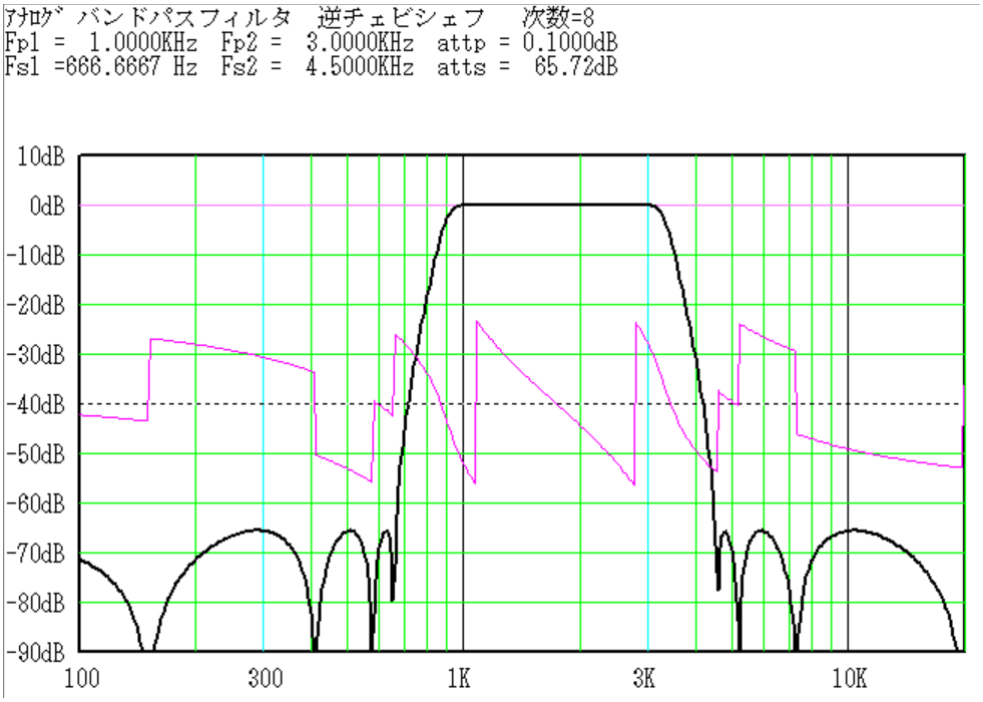


チェビシェフ特性では 7 次フィルター

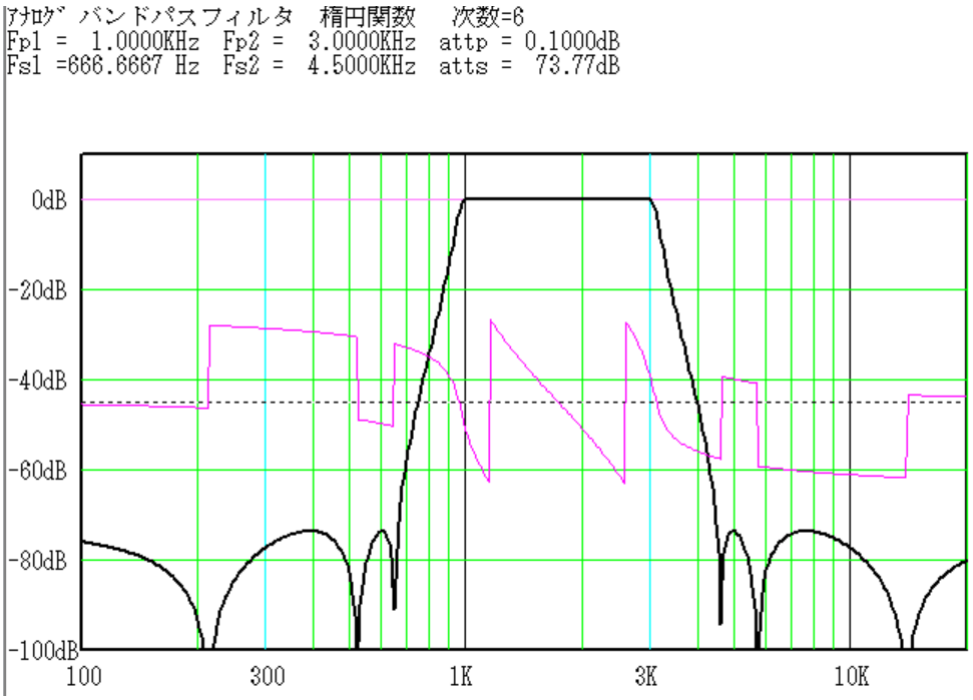


近似後の周波数特性

逆チェビシェフ特性では 8 次フィルター



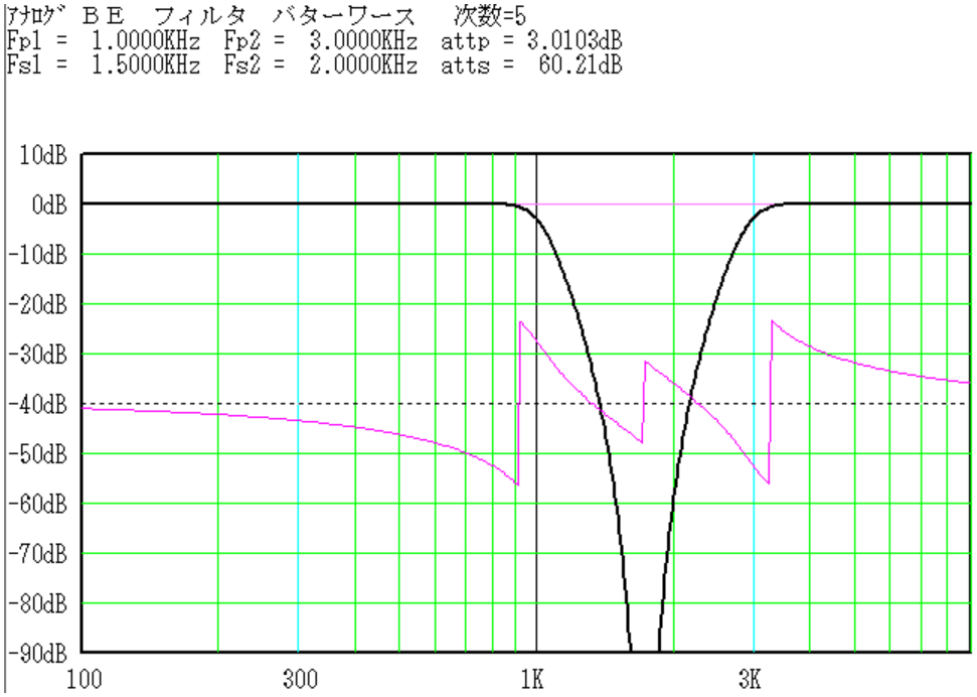
楕円関数特性では 6 次フィルター



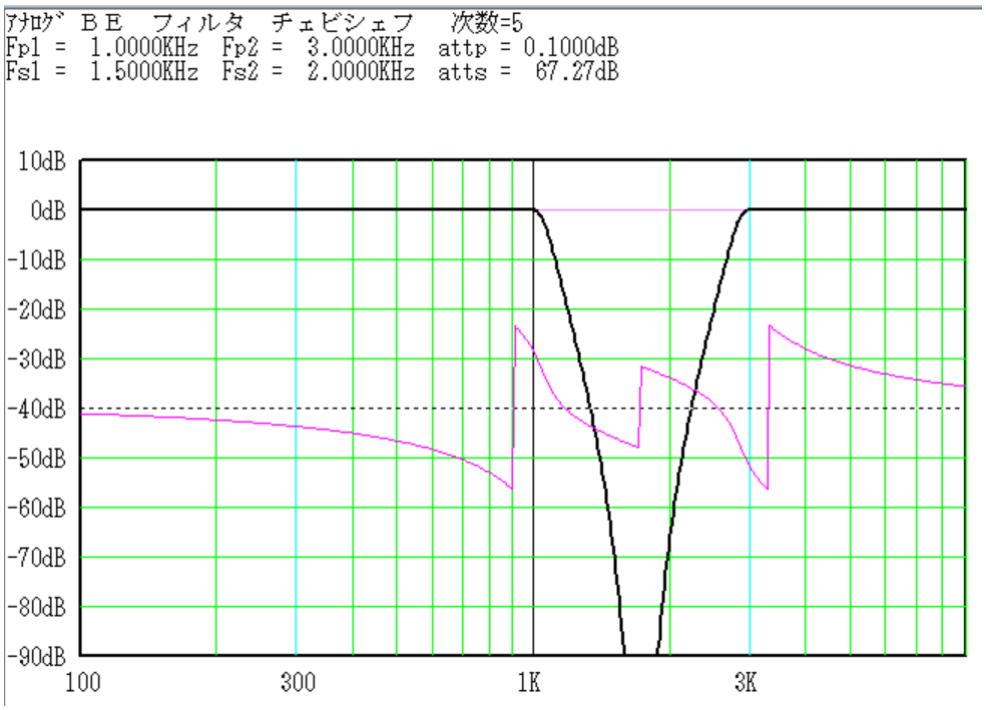
近似後の周波数特性

バンドエリミネーションフィルタ

バターワース特性では 5 次フィルター

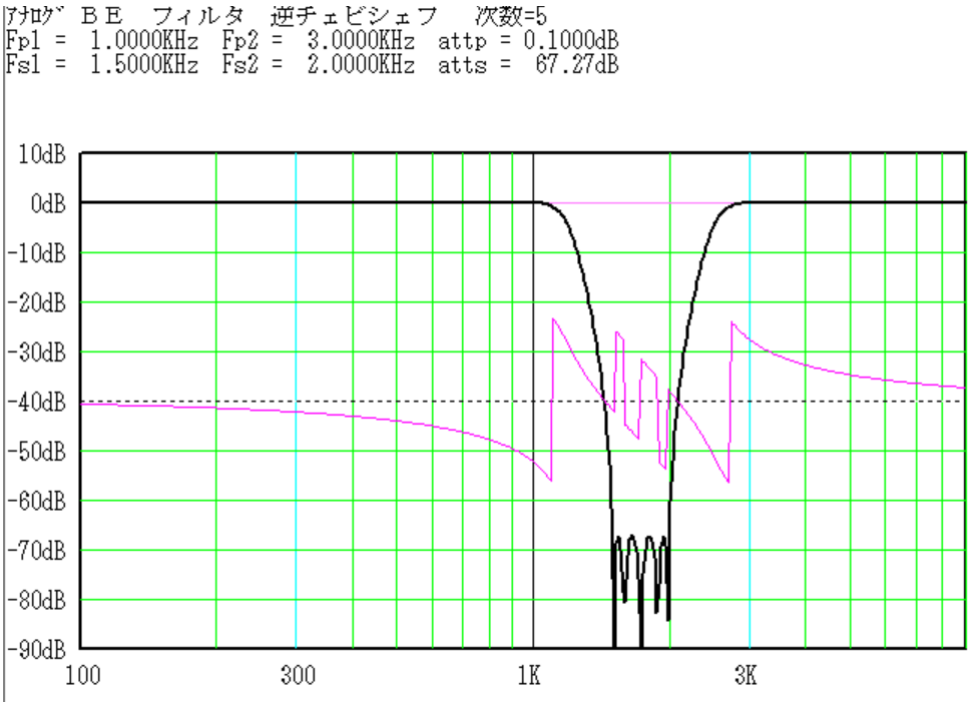


チェビシェフ特性では 5 次フィルター

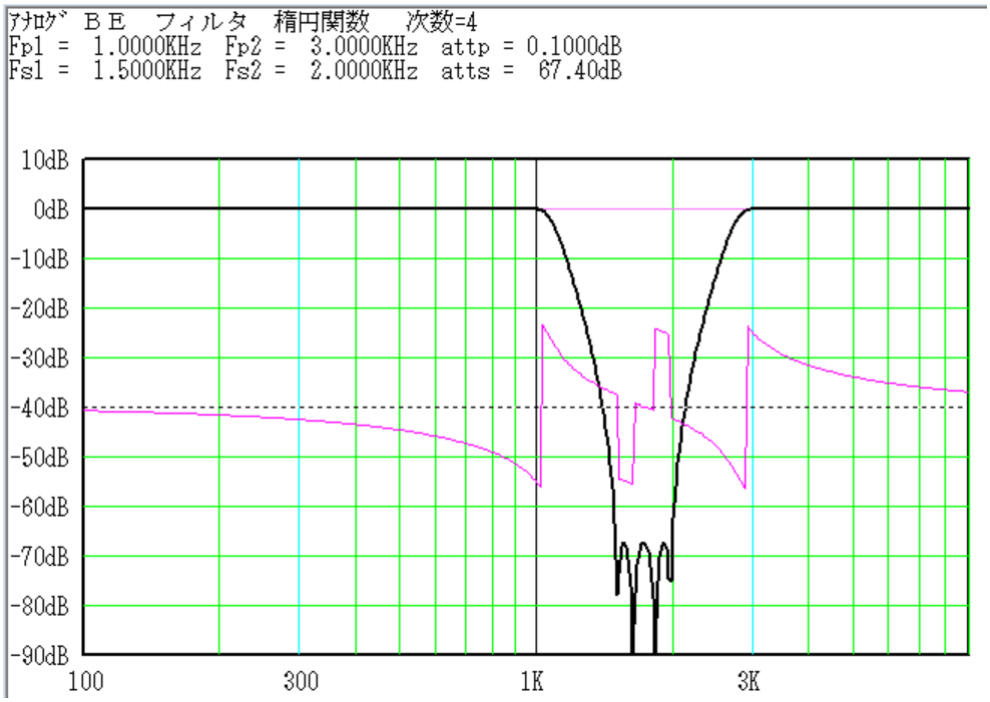


近似後の周波数特性

逆チェビシェフ特性では 5 次フィルター



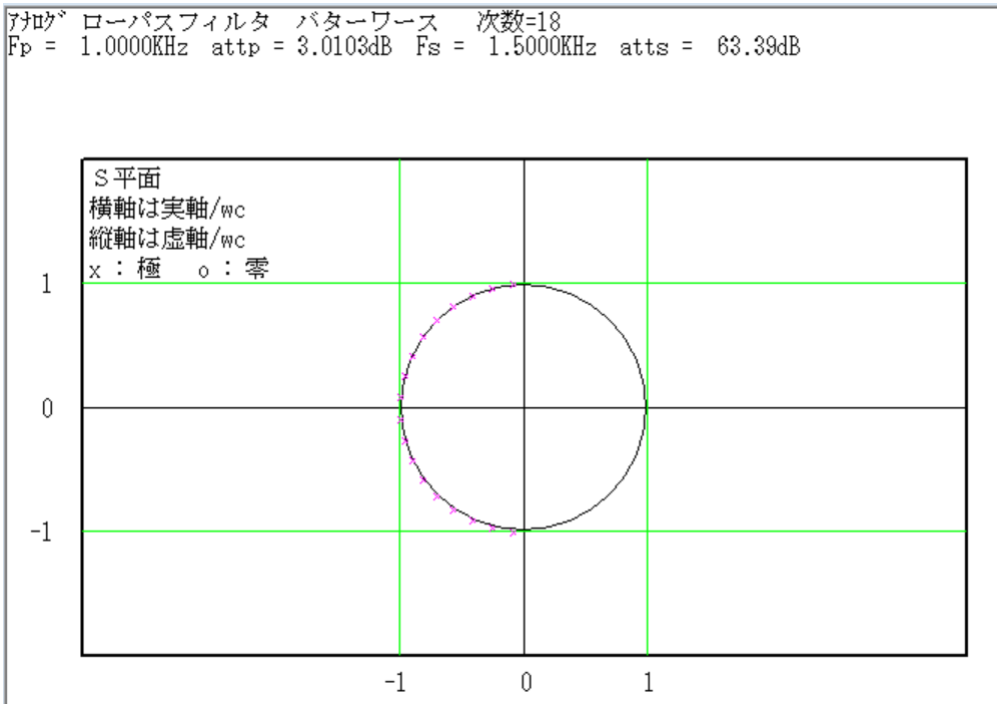
楕円関数特性では 4 次フィルター

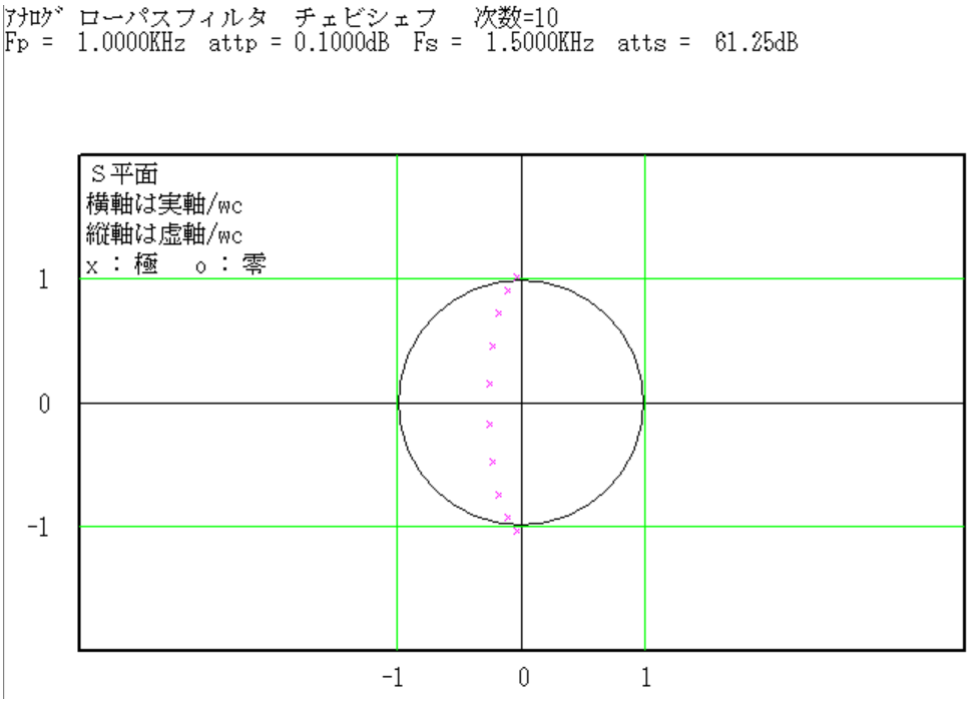


近似後の周波数特性

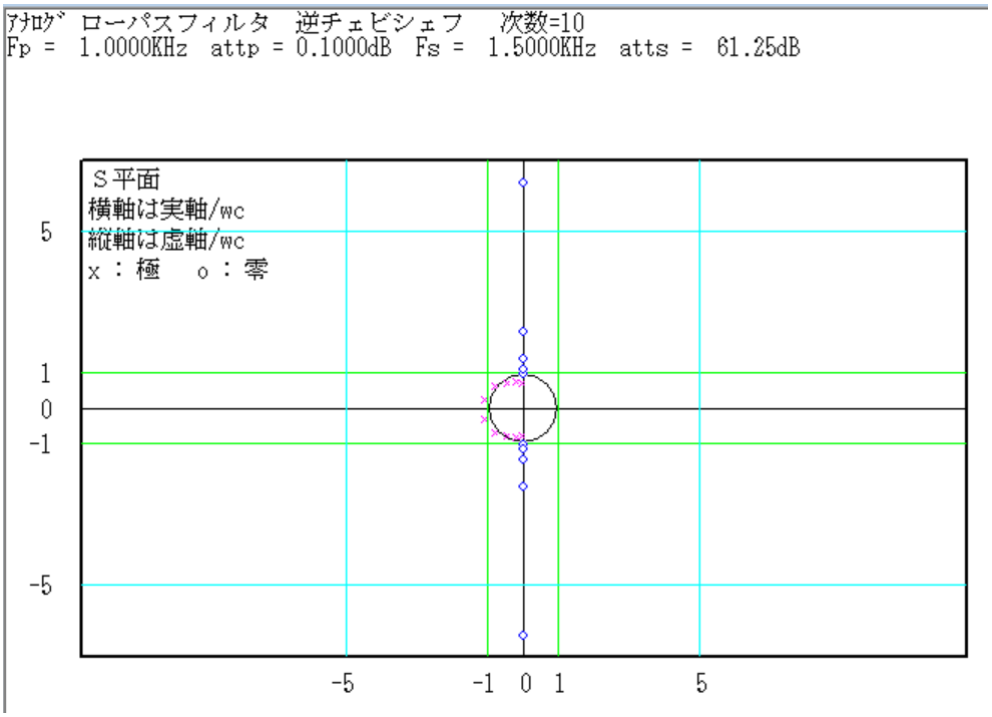
極とゼロ点の表示

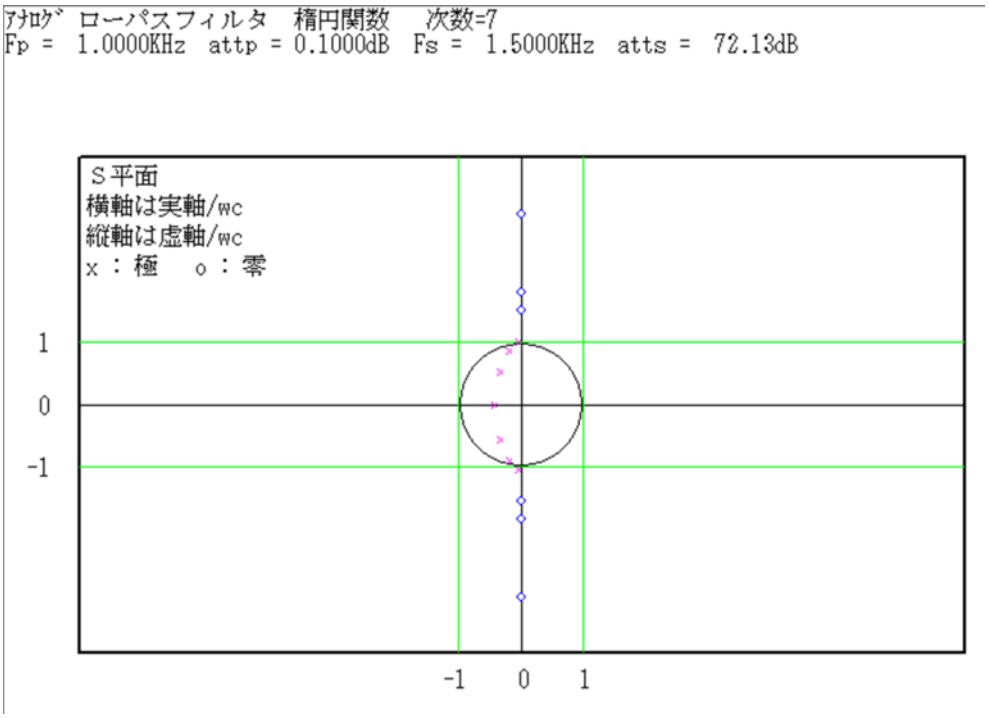
ローパスフィルタ





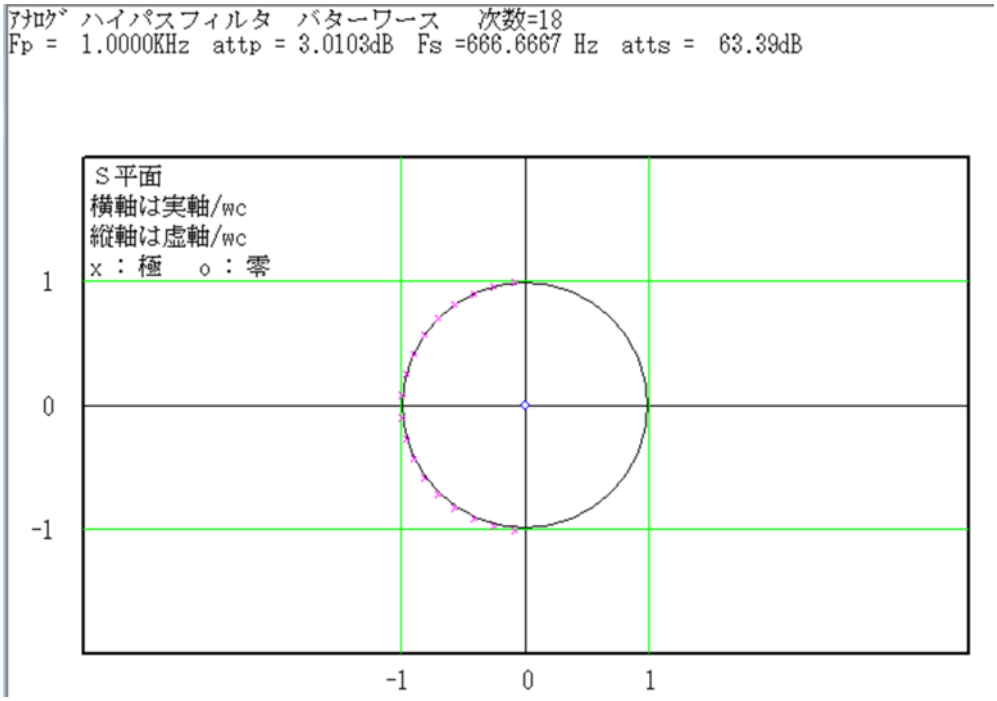
近似後の周波数特性


ｱﾅﾛｸﾞ ローパスフィルタ　逆チェビシェフ　次数=10
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 61.25dB
S平面
横軸は実軸/wc
縦軸は虚軸/wc
x : 極　o : 零
5
1
0
-1
-5
-5
-1
0
1
5

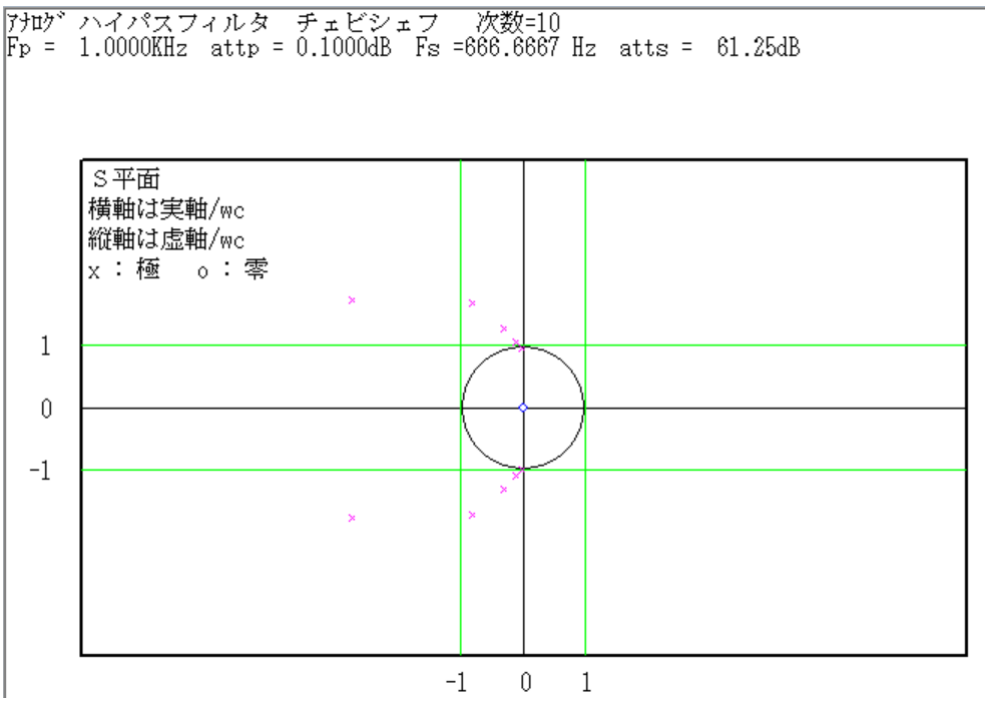

ｱﾅﾛｸﾞ ローパスフィルタ　楕円関数　次数=7
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 72.13dB
S平面
横軸は実軸/wc
縦軸は虚軸/wc
x : 極　o : 零
1
0
-1
-1
0
1

近似後の周波数特性

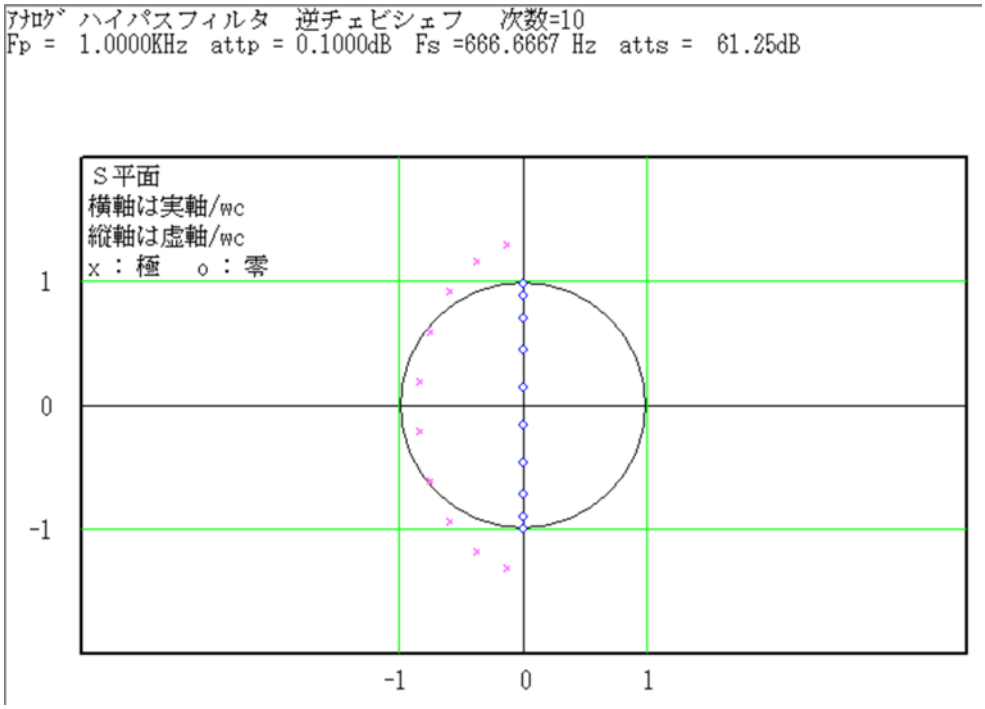
ハイパスフィルタ

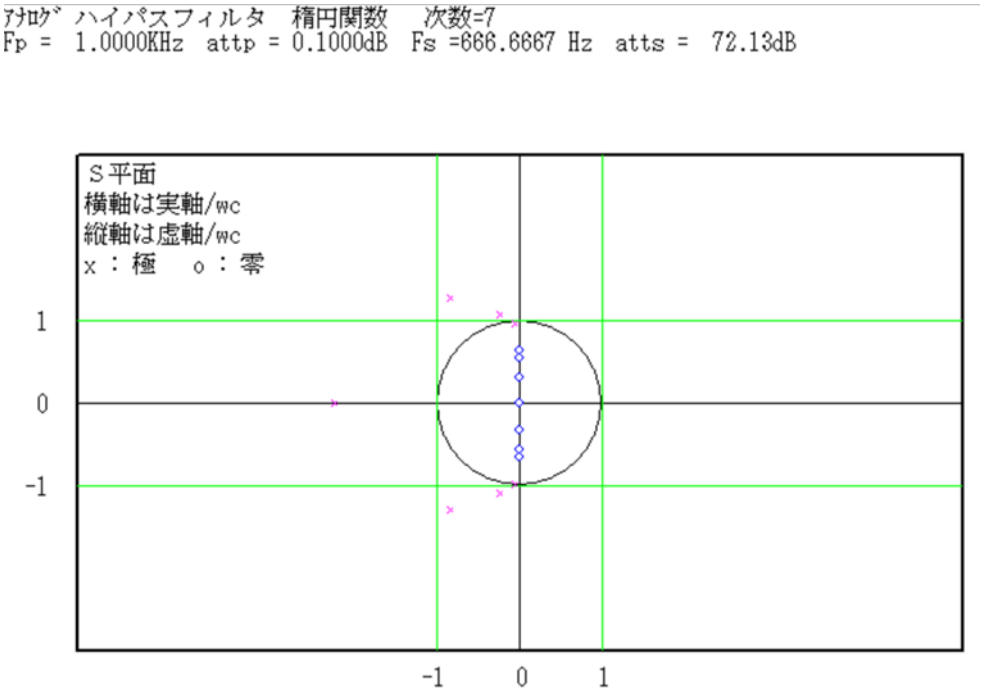


ハイパスでは、原点にゼロ点が追加されている。



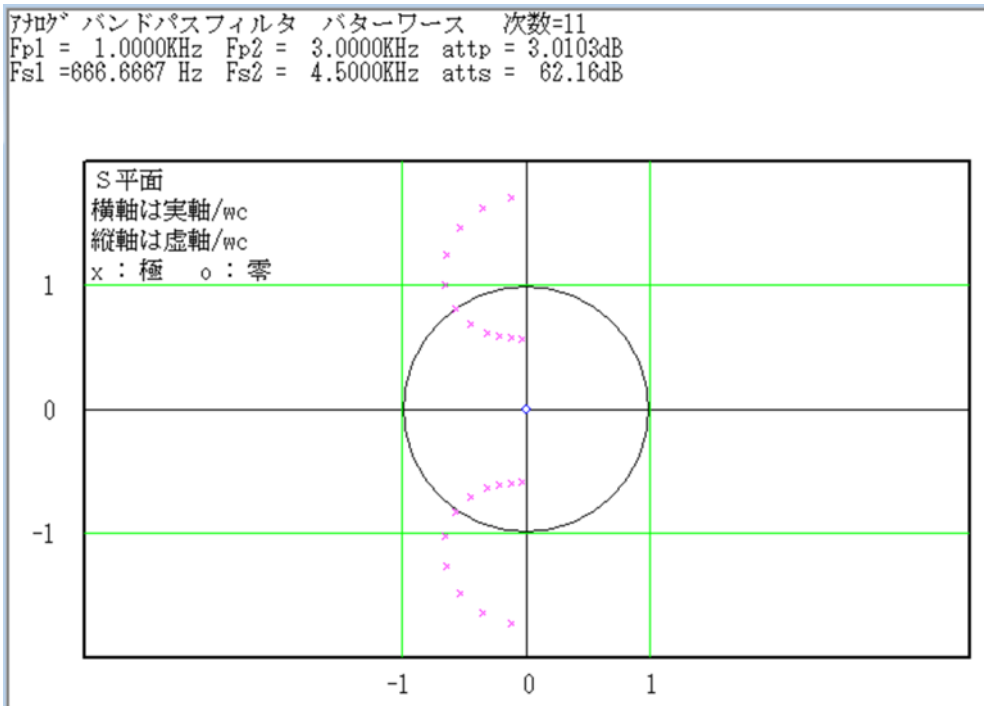
近似後の周波数特性

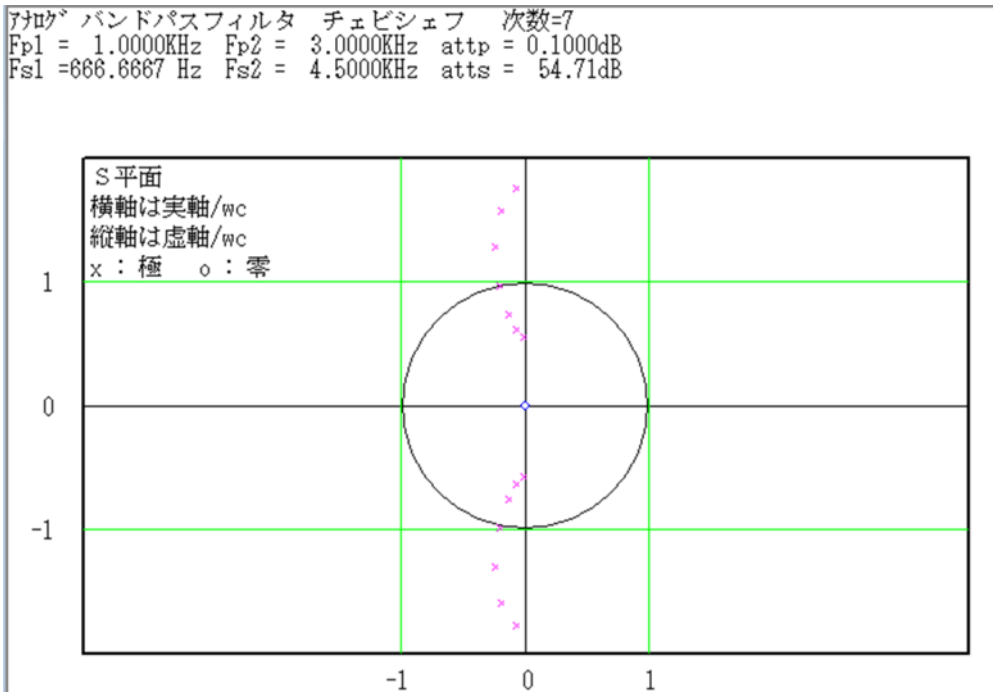

ｱﾅﾛｸﾞ ハイパスフィルタ　逆チェビシェフ　次数=10
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 61.25dB
S平面
横軸は実軸/wc
縦軸は虚軸/wc
x : 極　o : 零
1
0
-1
-1
0
1


ｱﾅﾛｸﾞ ハイパスフィルタ　楕円関数　次数=7
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 72.13dB
S平面
横軸は実軸/wc
縦軸は虚軸/wc
x : 極　o : 零
1
0
-1
-1
0
1

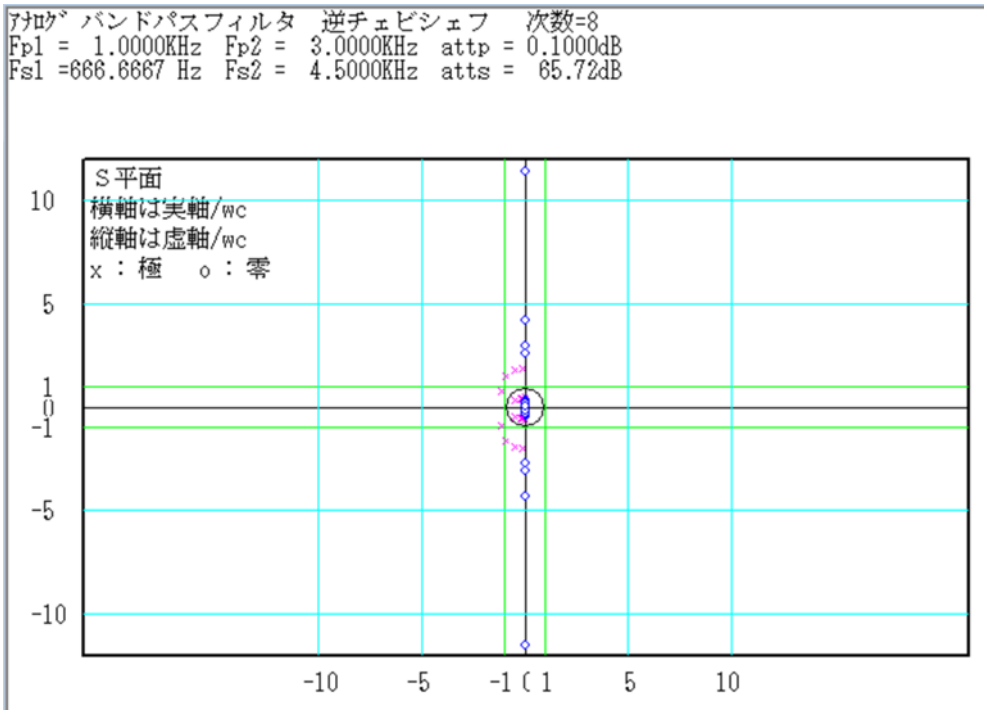
近似後の周波数特性

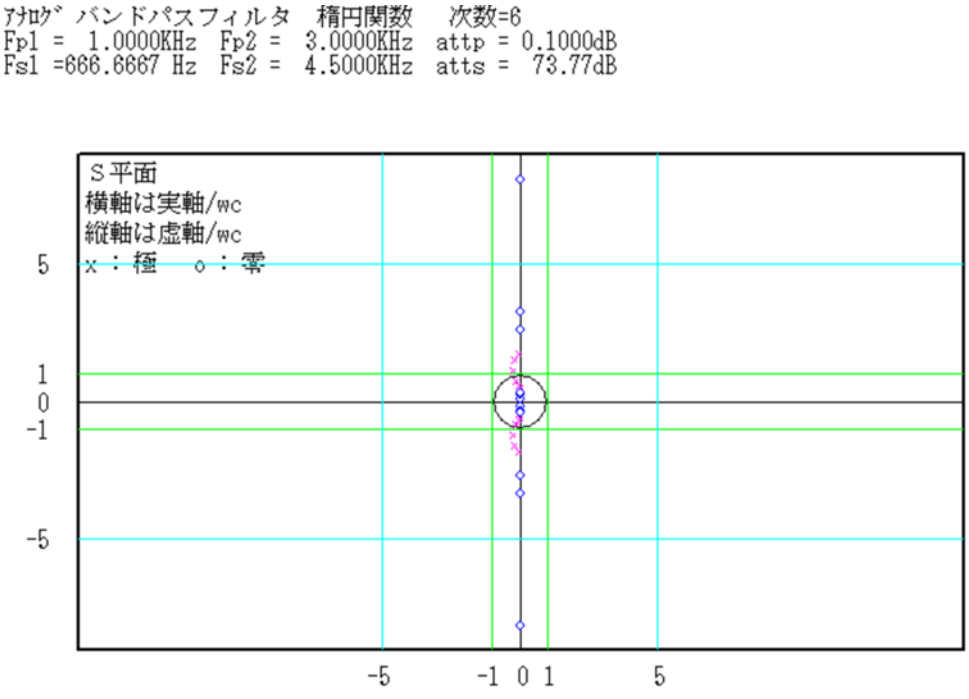
バンドパスフィルタ





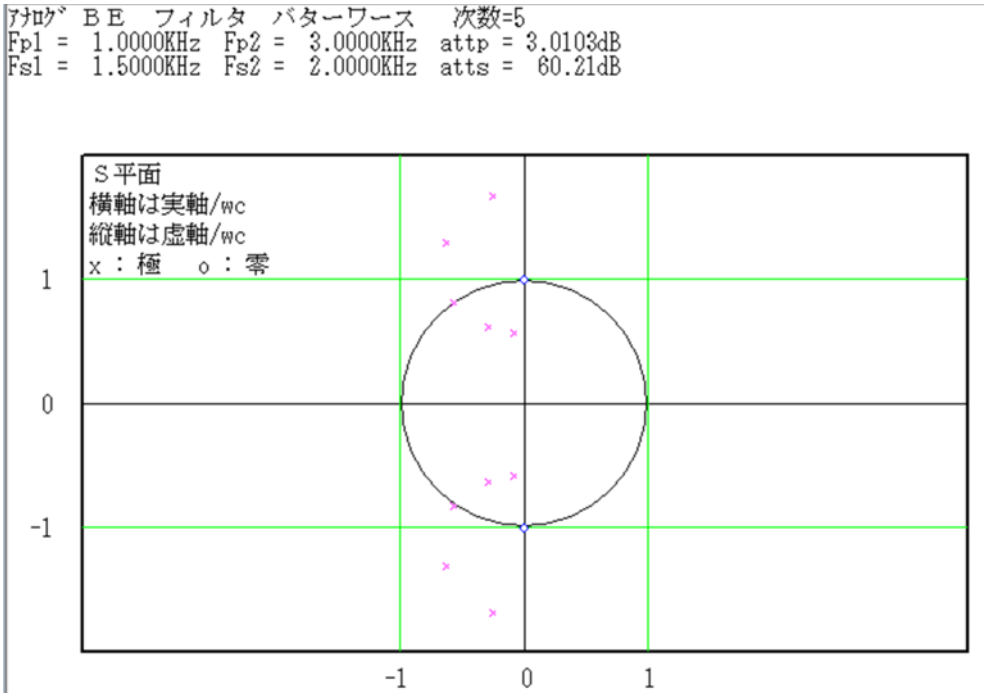
近似後の周波数特性

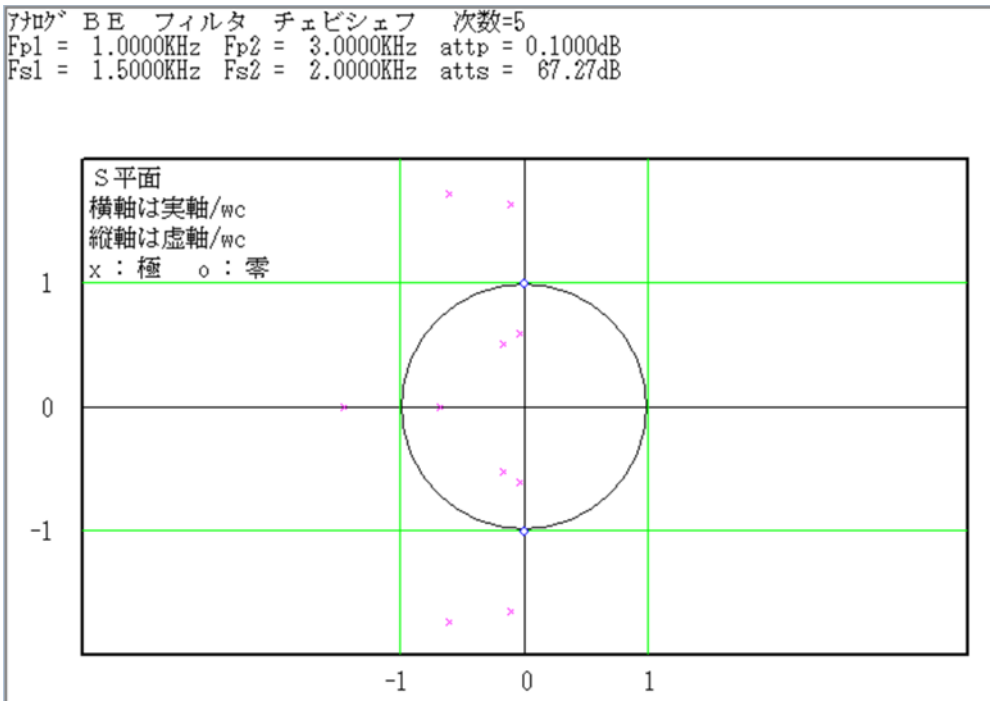

ｱﾅﾛｸﾞ バンドパスフィルタ　逆チェビシェフ　次数=8
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 65.72dB
S平面
横軸は実軸/ωc
縦軸は虚軸/ωc
x : 極　o : 零
10
5
1
0
-1
-5
-10
-10
-5
-1
1
5
10


ｱﾅﾛｸﾞ バンドパスフィルタ　楕円関数　次数=6
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 73.77dB
S平面
横軸は実軸/ωc
縦軸は虚軸/ωc
x : 極　o : 零
5
1
0
-1
-5
-5
-1
0
1
5

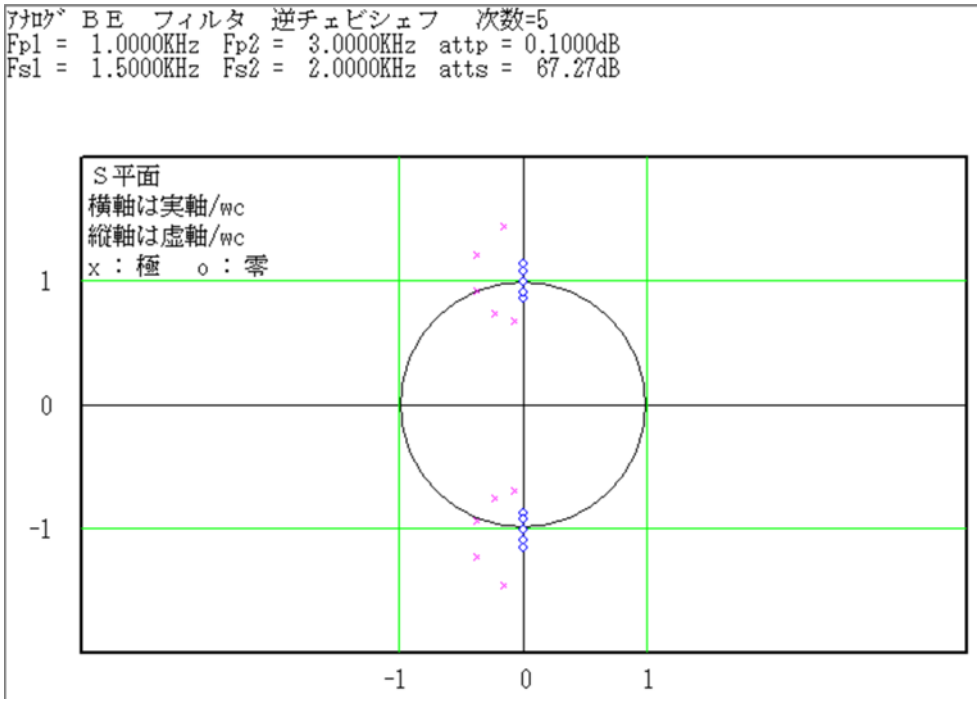
近似後の周波数特性

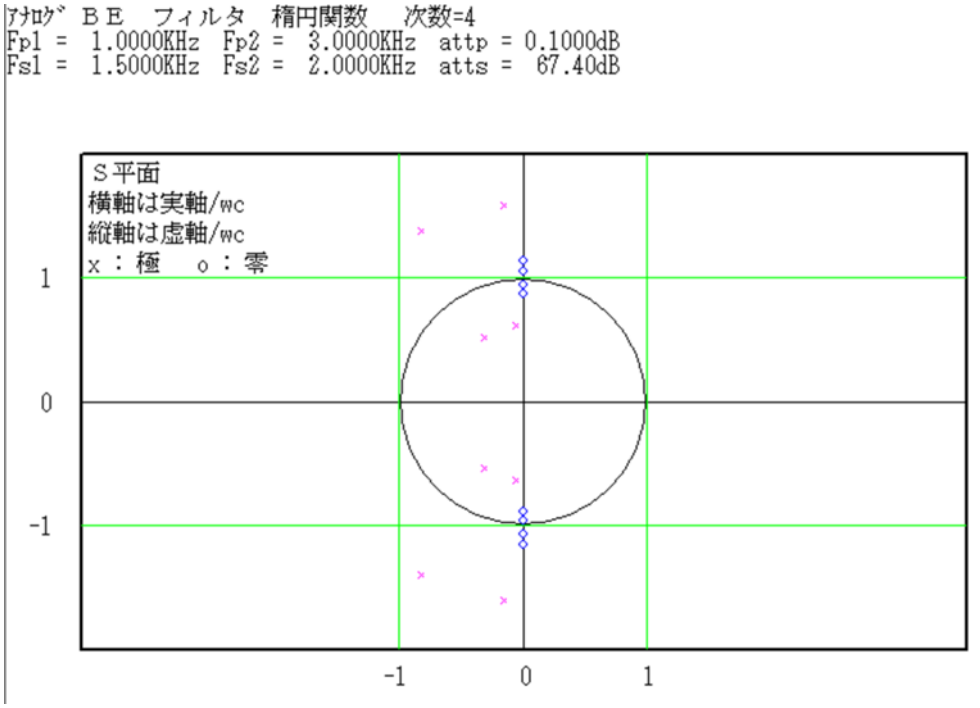
バンドエリミネーションフィルタ





近似後の周波数特性


ｱﾅﾛｸﾞ ＢＥ フィルタ 逆チェビシェフ 次数=5
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 2.0000KHz atts = 67.27dB
Ｓ平面
横軸は実軸/wc
縦軸は虚軸/wc
x : 極 o : 零
1
0
-1
-1
0
1


ｱﾅﾛｸﾞ ＢＥ フィルタ 楕円関数 次数=4
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 2.0000KHz atts = 67.40dB
Ｓ平面
横軸は実軸/wc
縦軸は虚軸/wc
x : 極 o : 零
1
0
-1
-1
0
1

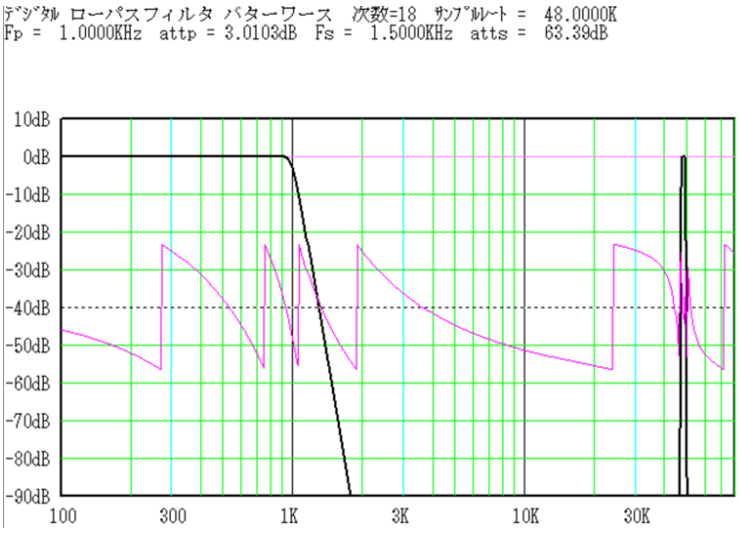
近似後の周波数特性

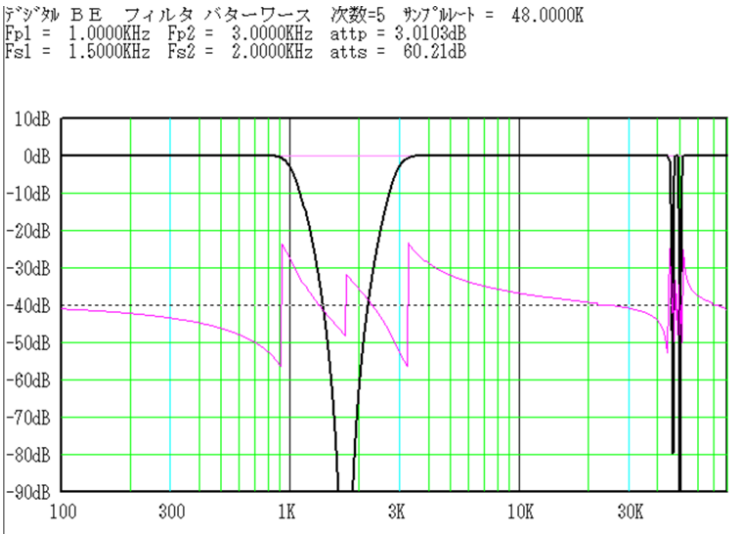
フィルタの変換

デジタルフィルタはサンプリング周波数の半分以下の周波数の信号を処理する。

しかし、下図のデジタルフィルタの周波数特性グラフを見るとサンプリング周波数の半分以上の周波数成分に対して信号を除去する働きがないことが分かる。

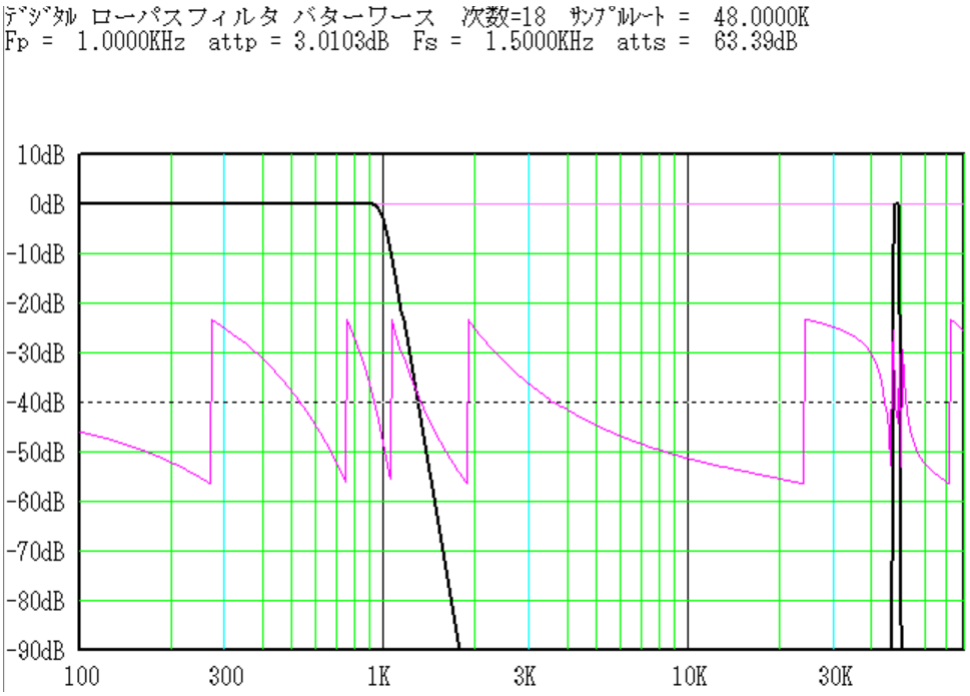
従って、フィルタ処理を施すアナログ信号はアナログフィルタによってサンプリング周波数の半分を超える信号を含まないようにあらかじめフィルタ処理してからデジタル信号に変換して、それをデジタルフィルタ処理しなければならない。

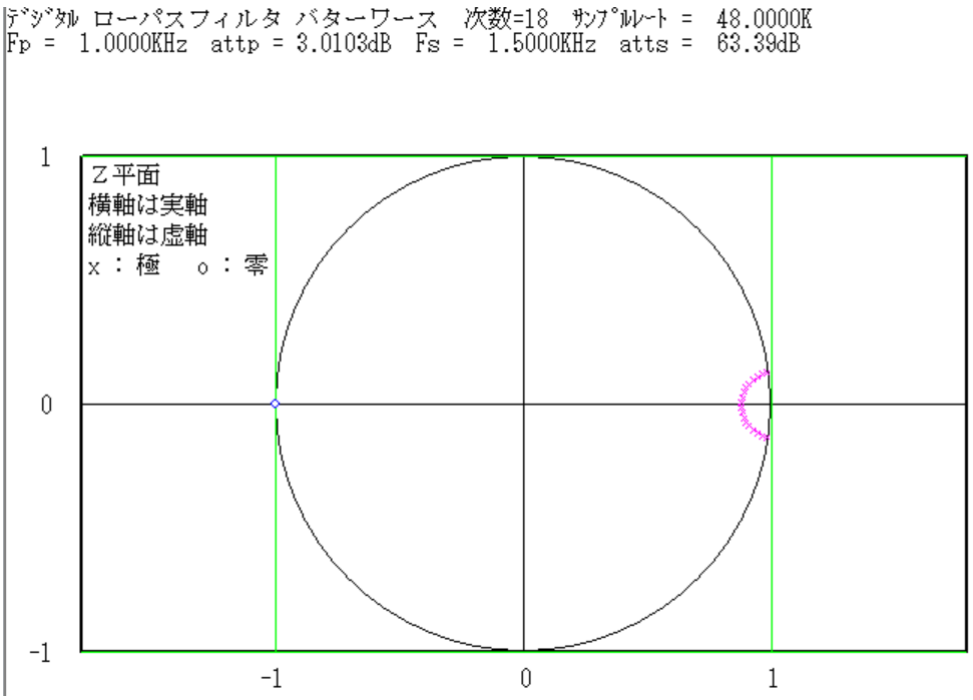




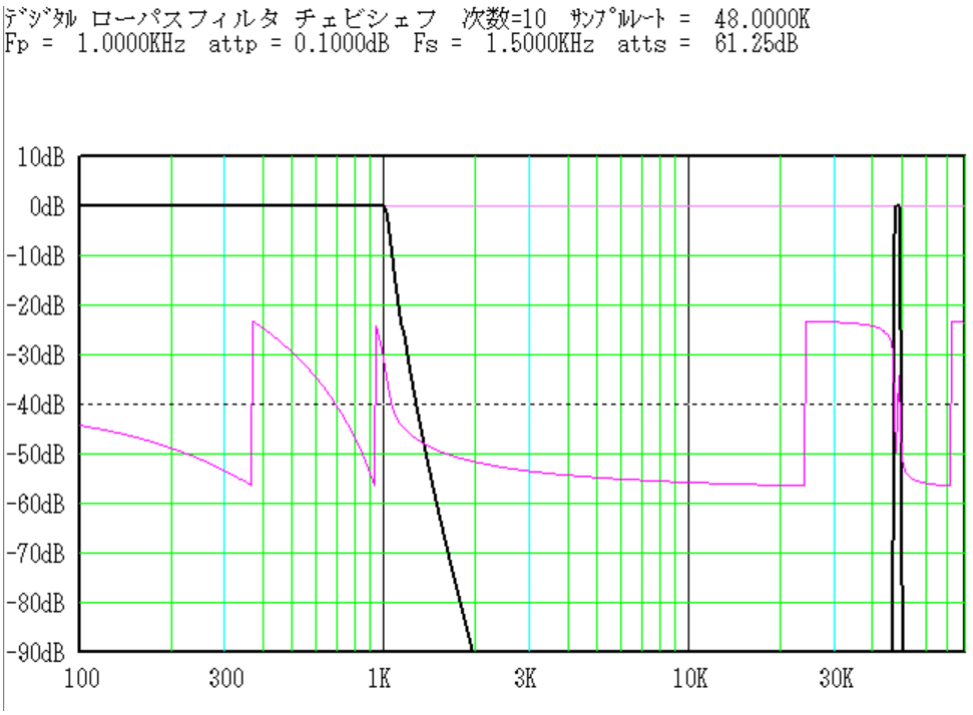
近似後の周波数特性

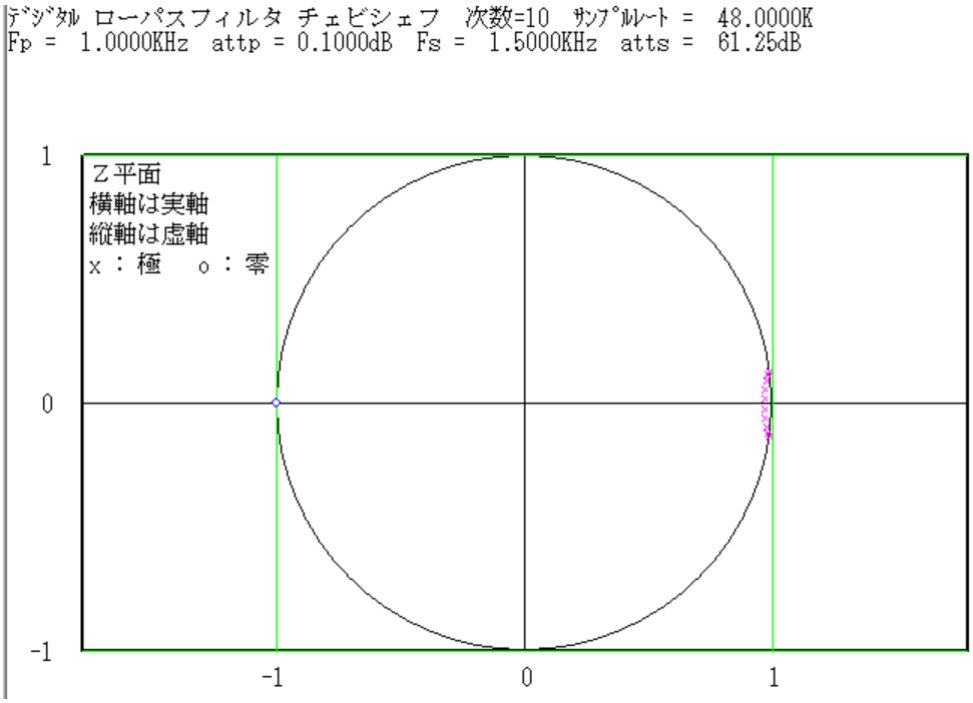
ローパスフィルタ





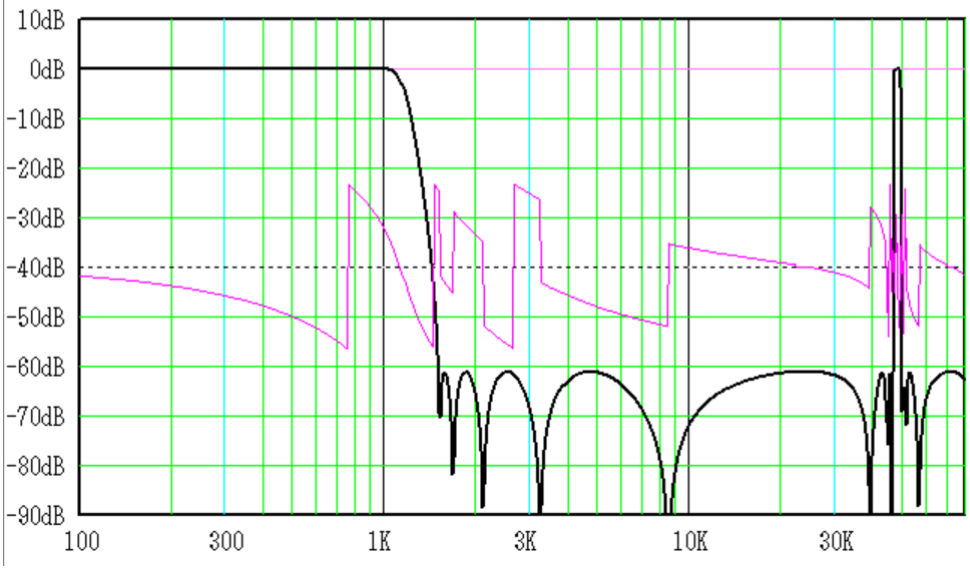
近似後の周波数特性


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ローパスフィルタ チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 61.25dB
10dB
0dB
-10dB
-20dB
-30dB
-40dB
-50dB
-60dB
-70dB
-80dB
-90dB
100
300
1K
3K
10K
30K

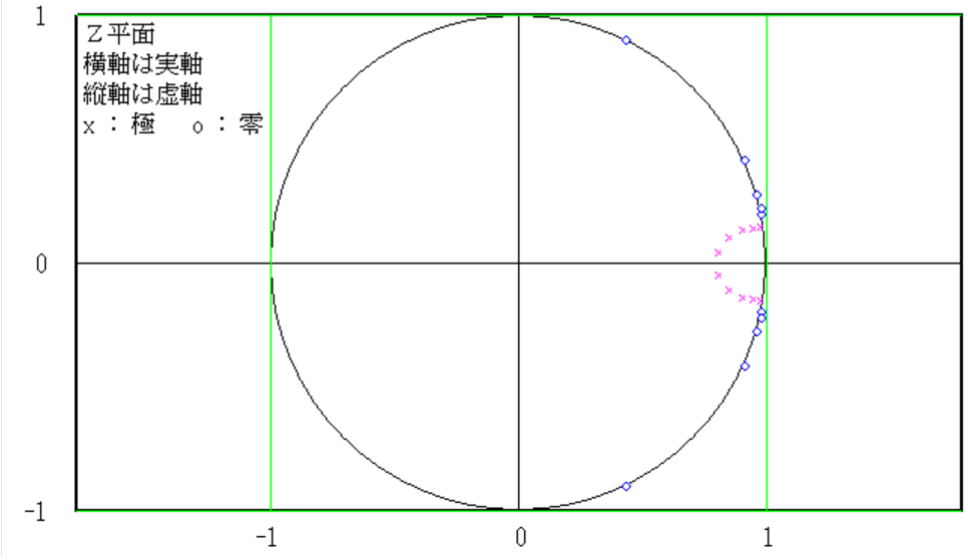

ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ローパスフィルタ チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 61.25dB
Z平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x：極 o：零
1
0
-1
-1
0
1

近似後の周波数特性

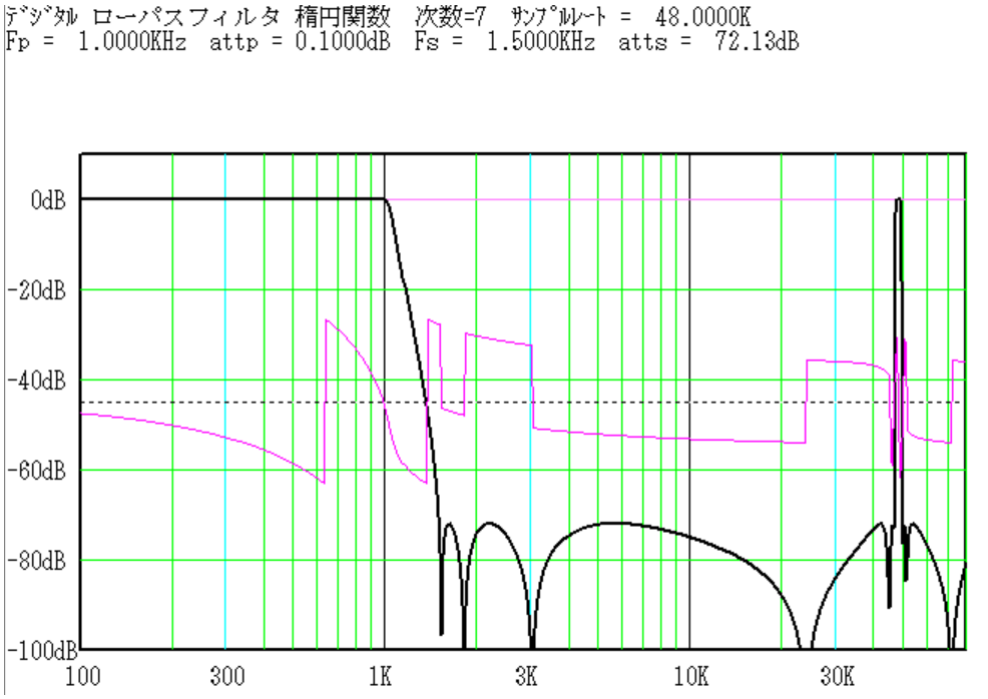
ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ローパスフィルタ 逆チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 61.25dB

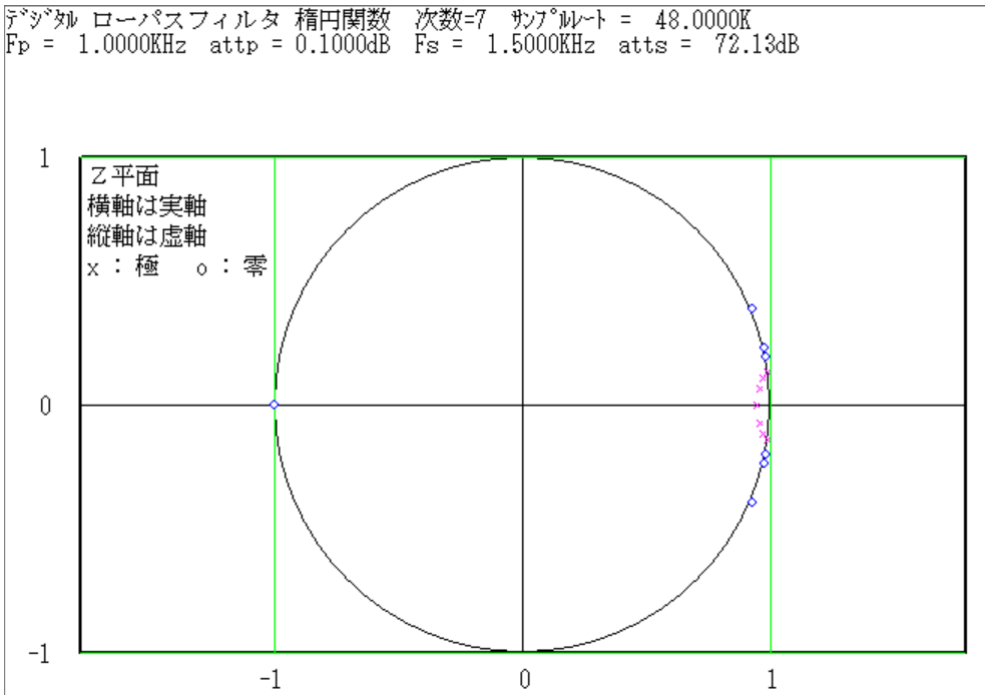


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ローパスフィルタ 逆チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 61.25dB



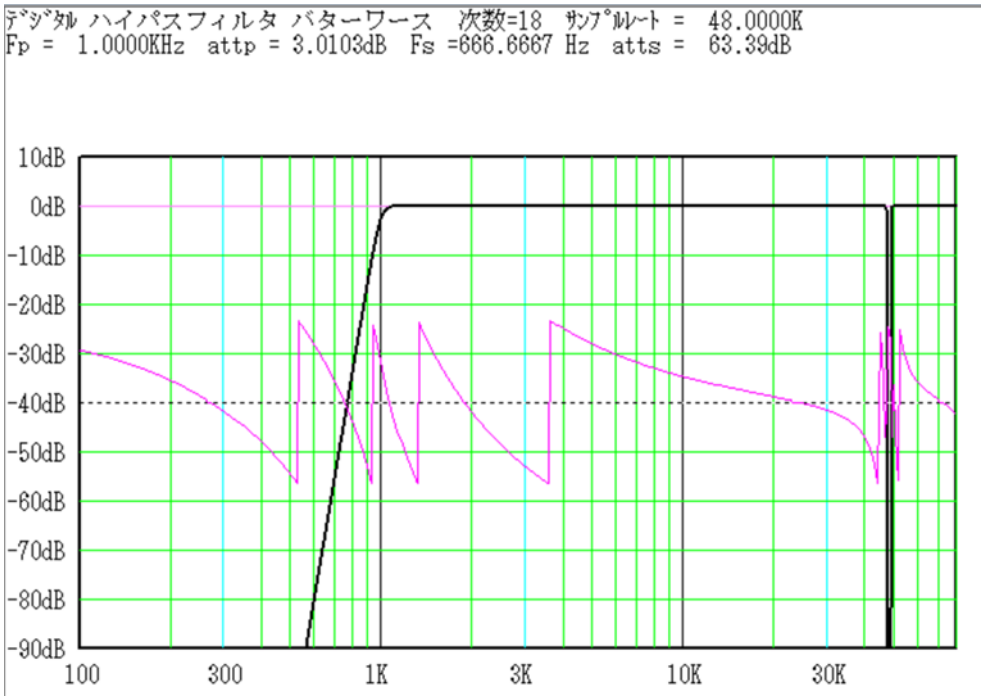
近似後の周波数特性

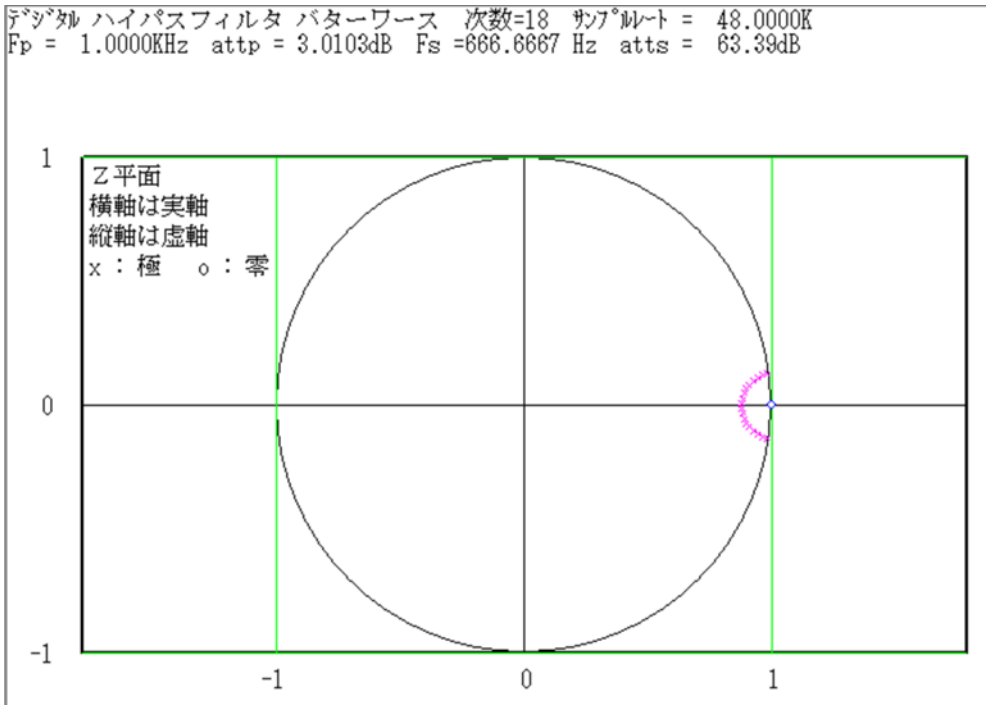

ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ローパスフィルタ 楕円関数 次数=7 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 72.13dB
0dB
-20dB
-40dB
-60dB
-80dB
-100dB
100
300
1K
3K
10K
30K


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ローパスフィルタ 楕円関数 次数=7 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs = 1.5000KHz atts = 72.13dB
Z平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x : 極 o : 零
1
0
-1
-1
0
1

近似後の周波数特性

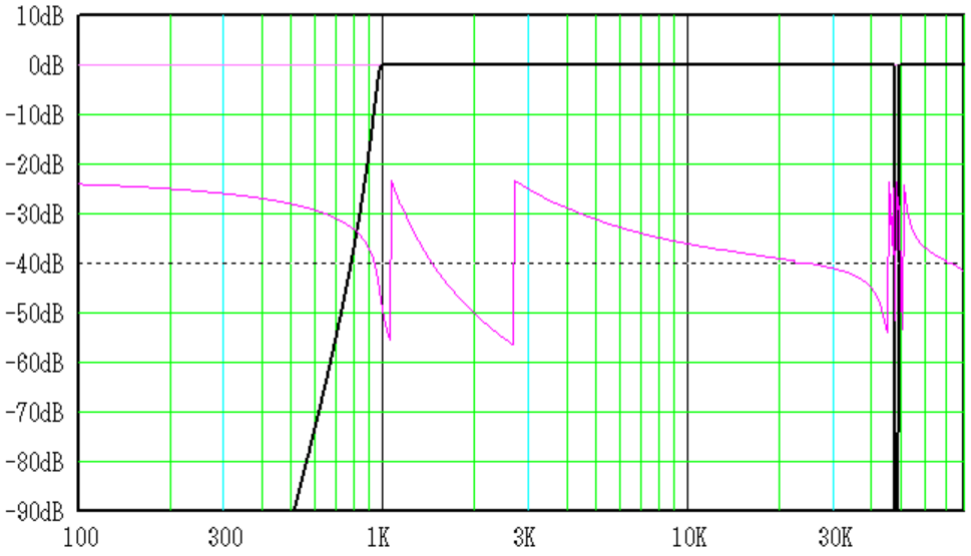
ハイパスフィルタ



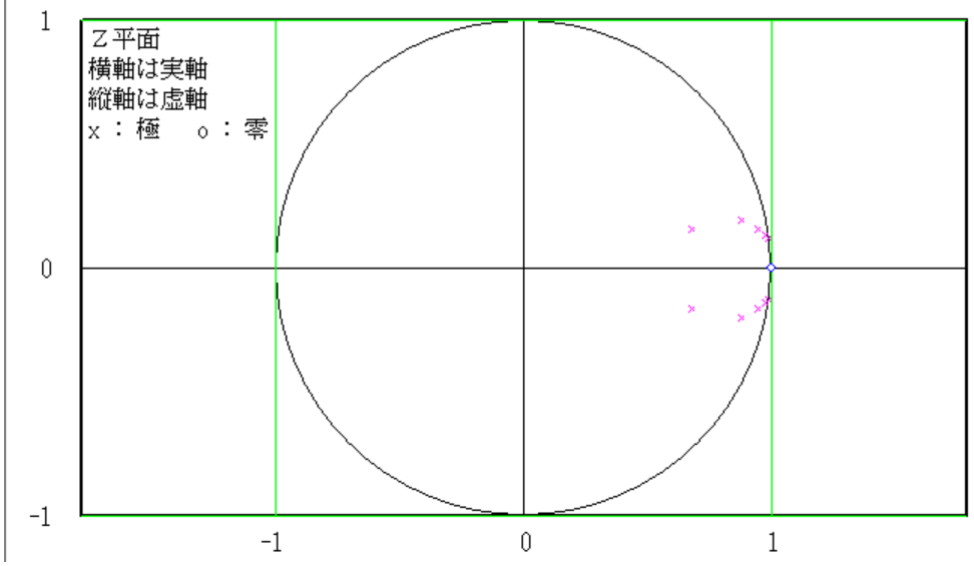


近似後の周波数特性

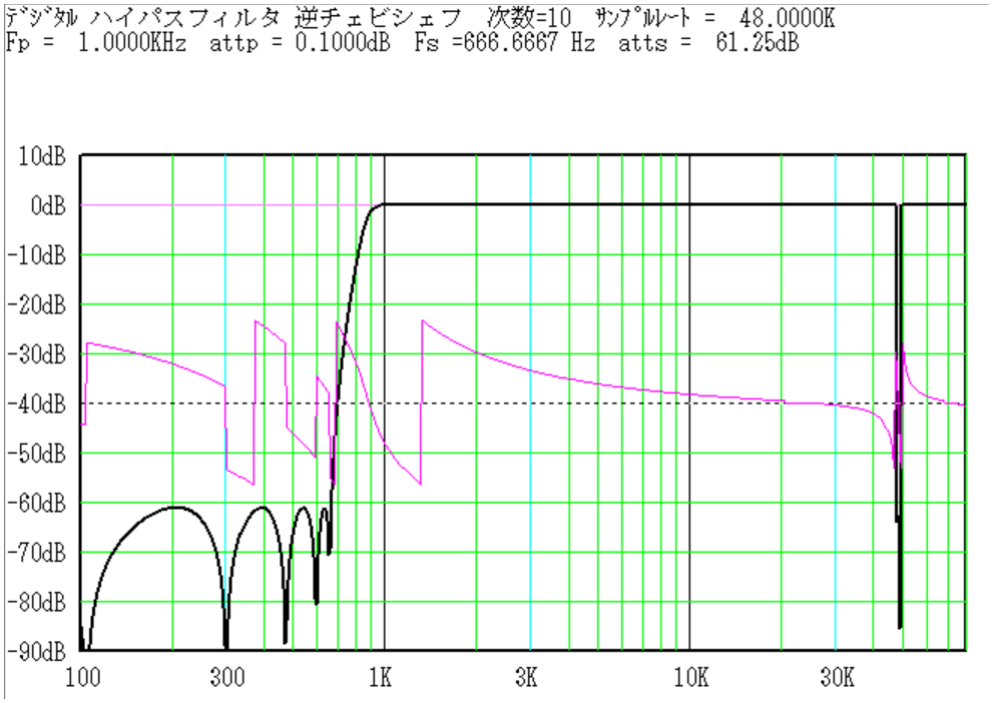
ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ハイパスフィルタ チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 61.25dB

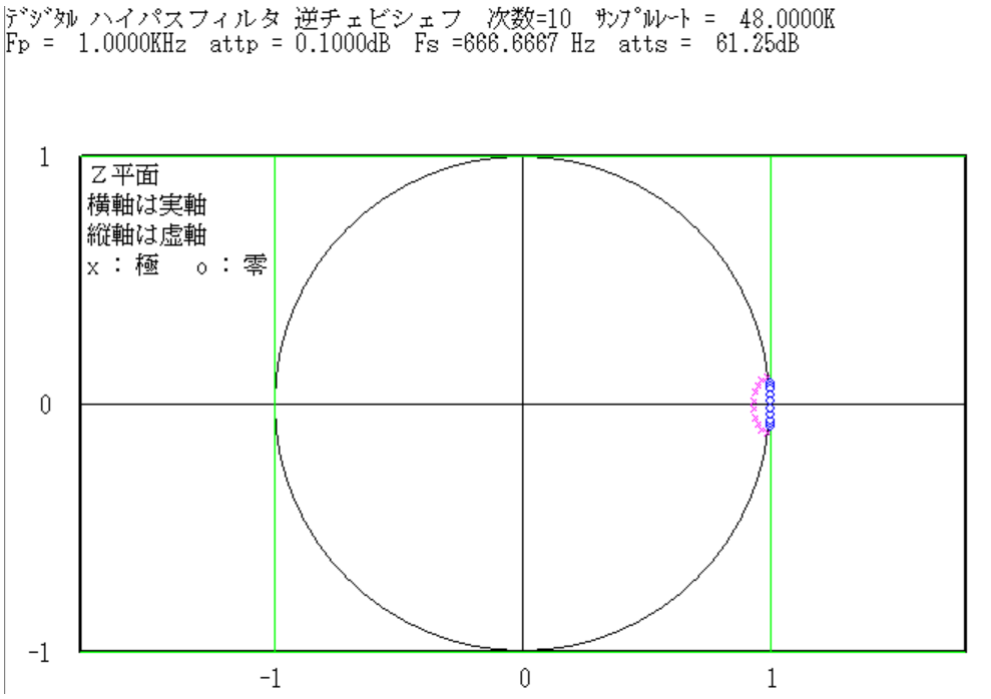


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ハイパスフィルタ チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 61.25dB

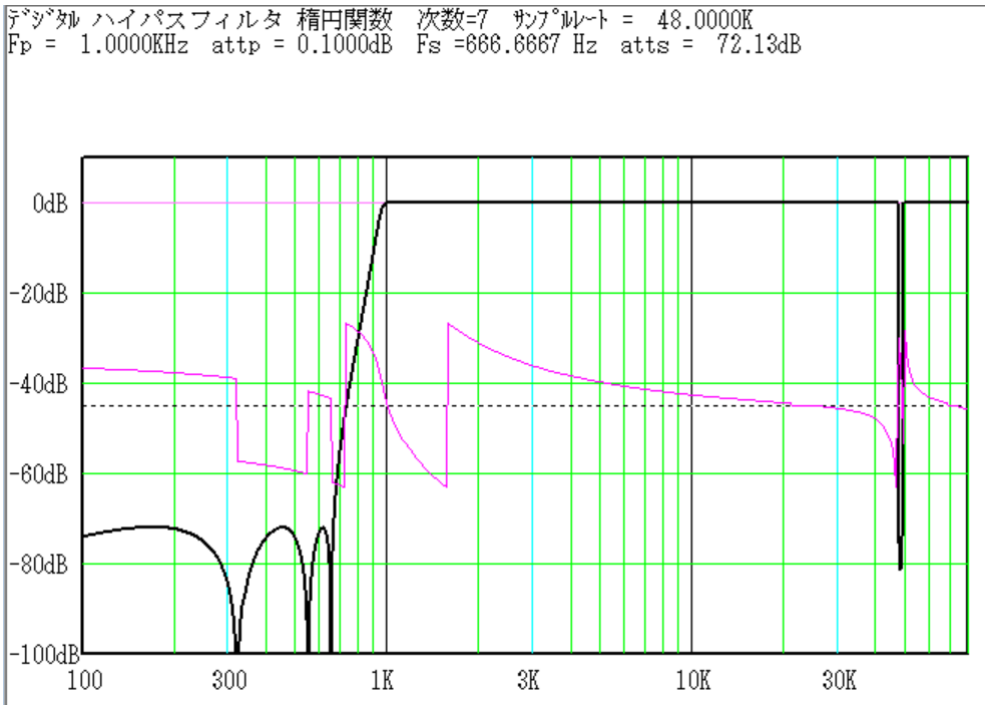


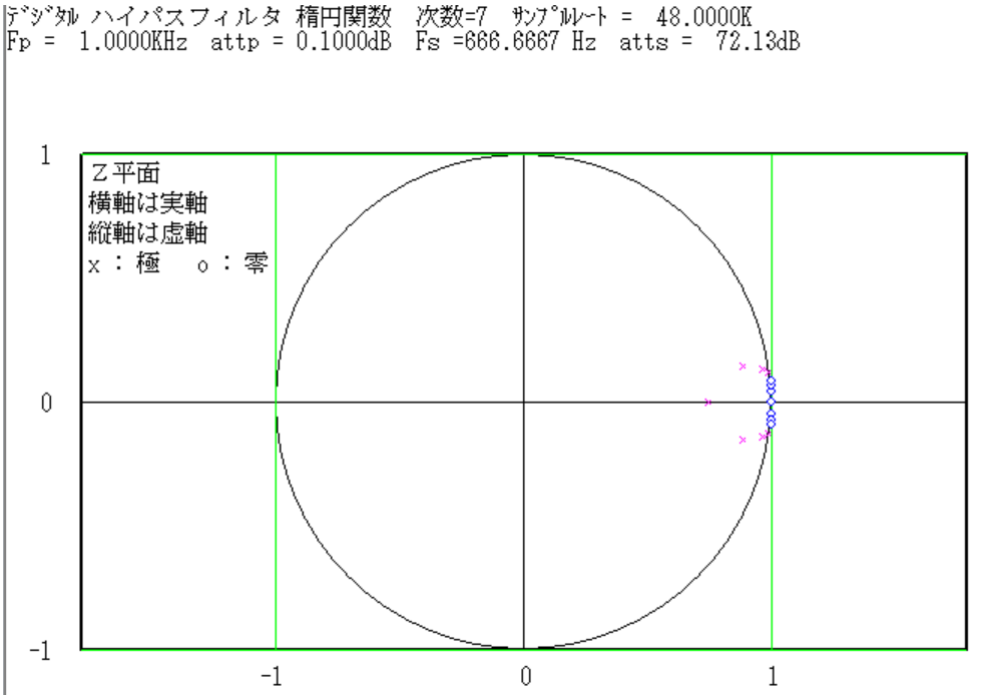
近似後の周波数特性


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ハイパスフィルタ 逆チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 61.25dB
10dB
0dB
-10dB
-20dB
-30dB
-40dB
-50dB
-60dB
-70dB
-80dB
-90dB
100
300
1K
3K
10K
30K


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ハイパスフィルタ 逆チェビシェフ 次数=10 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp = 1.0000KHz attp = 0.1000dB Fs =666.6667 Hz atts = 61.25dB
Z平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x : 極 o : 零
1
0
-1
-1
0
1

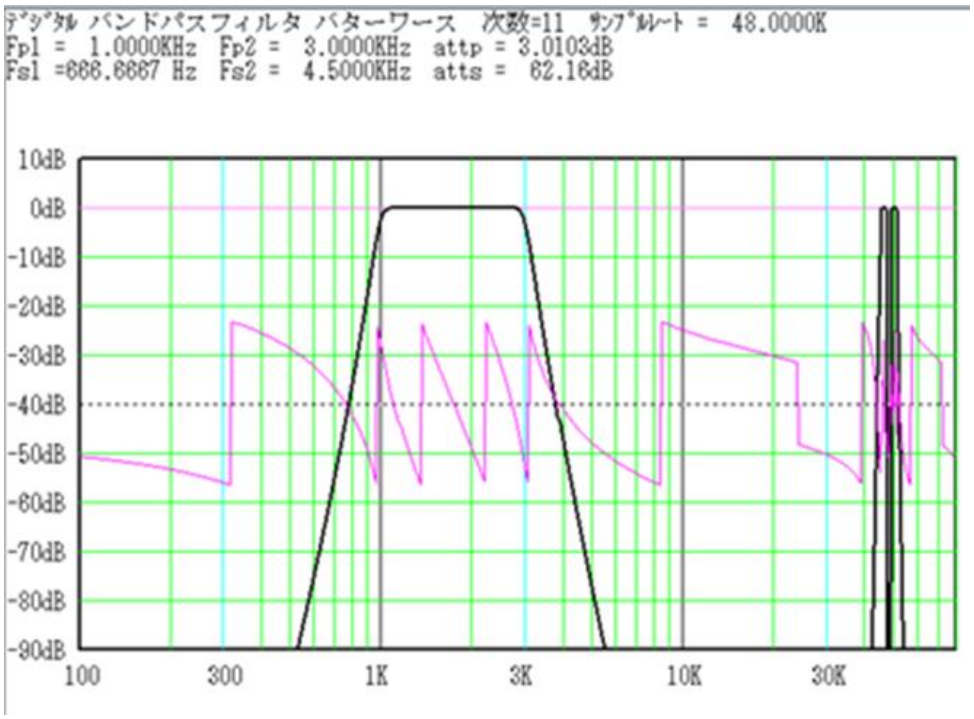
近似後の周波数特性

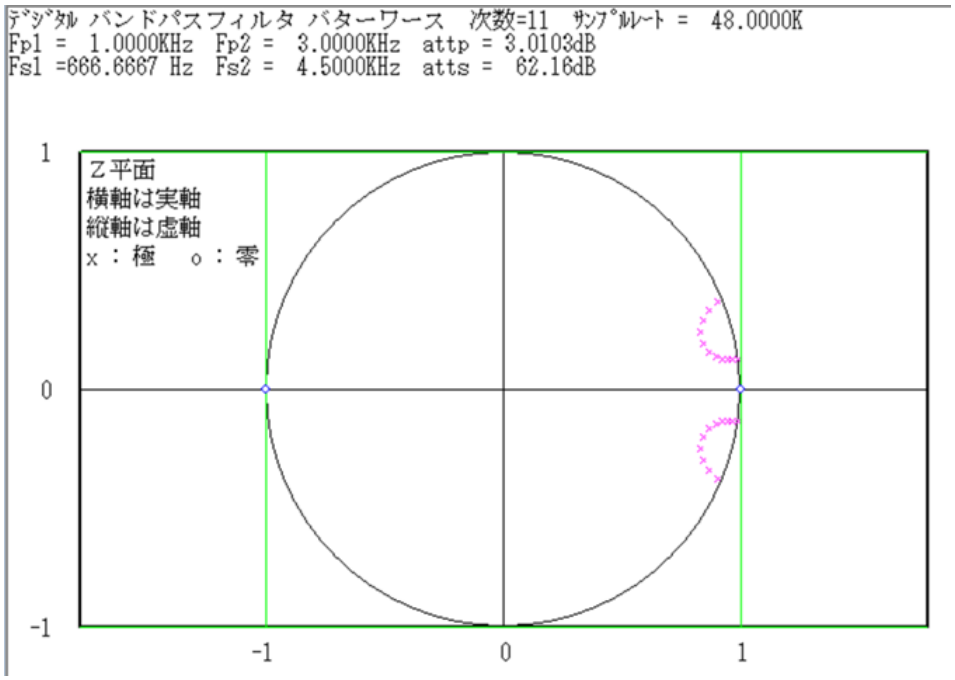

ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ハイパスフィルタ 楕円関数　次数=7　ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ =　48.0000K
Fp =　1.0000KHz　attp = 0.1000dB　Fs =666.6667 Hz　atts =　72.13dB
0dB
-20dB
-40dB
-60dB
-80dB
-100dB
100
300
1K
3K
10K
30K


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ハイパスフィルタ 楕円関数　次数=7　ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ =　48.0000K
Fp =　1.0000KHz　attp = 0.1000dB　Fs =666.6667 Hz　atts =　72.13dB
Z平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x : 極　o : 零
1
0
-1
-1
0
1

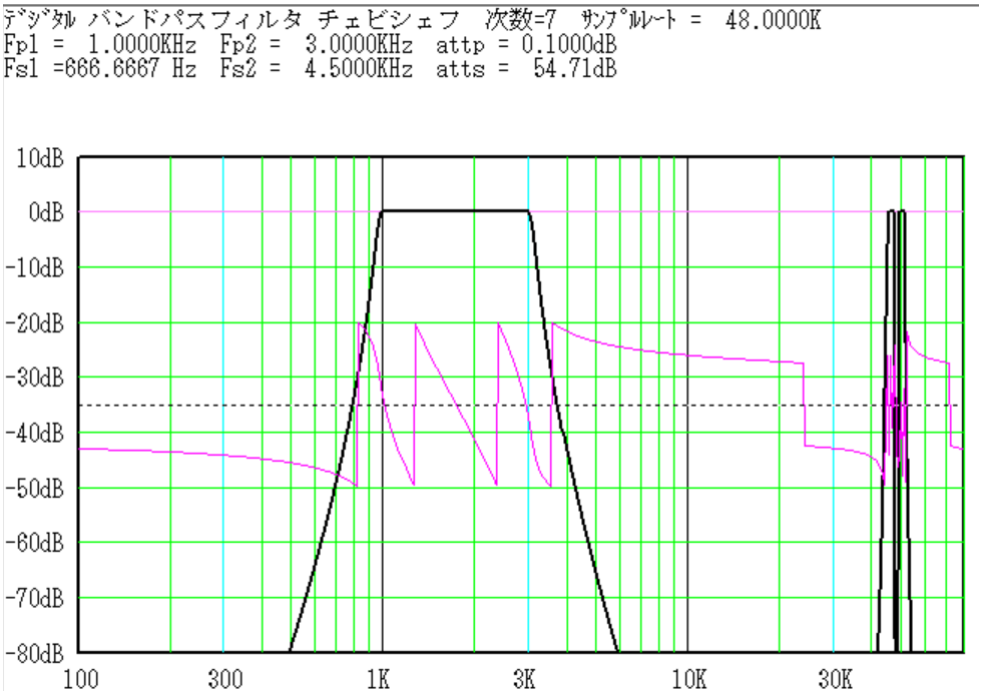
近似後の周波数特性

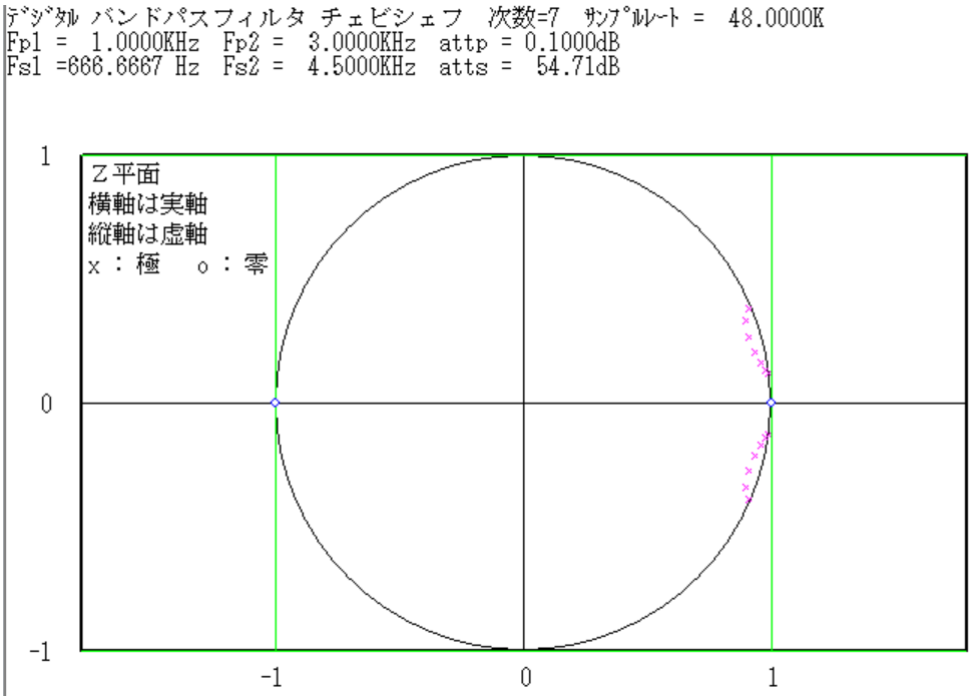
バンドパスフィルタ



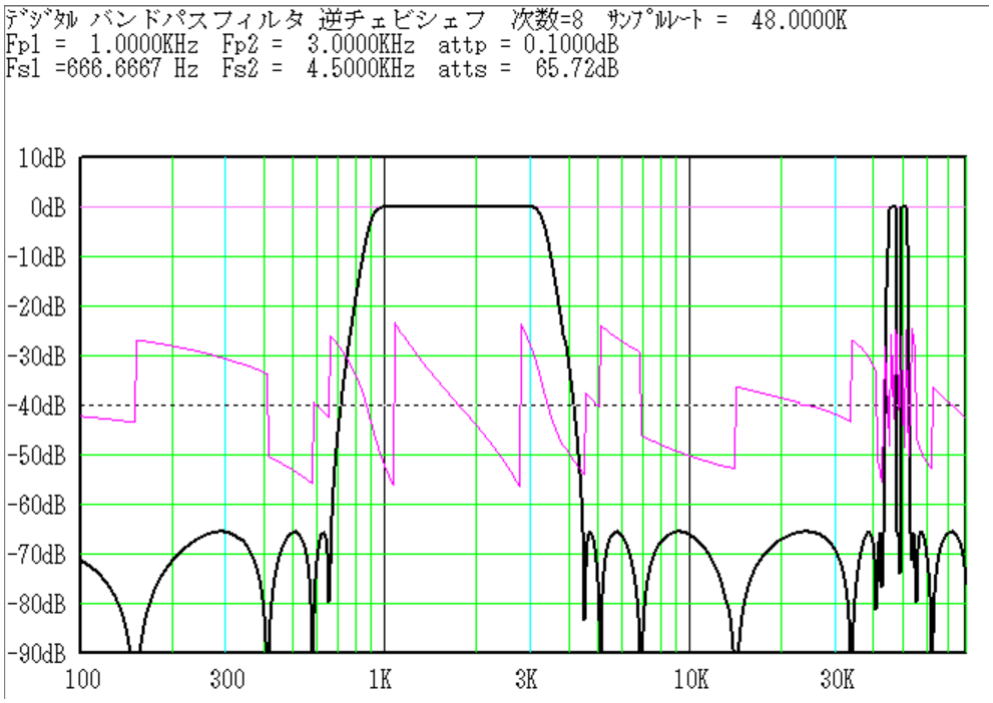


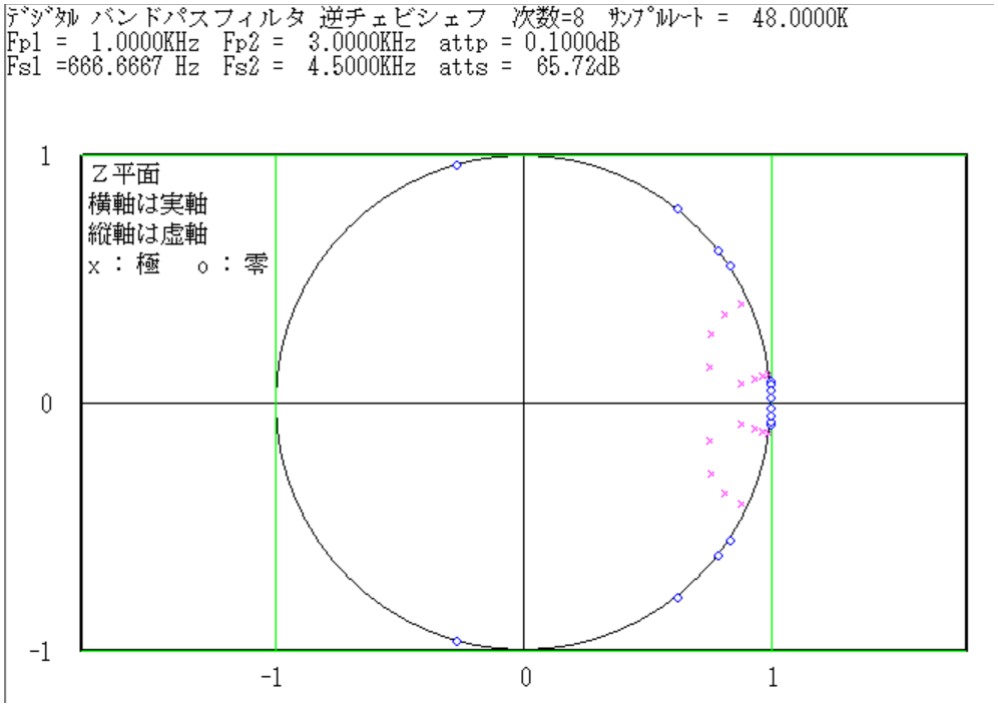
近似後の周波数特性


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ﾊﾞﾝﾄﾞﾊﾟｽﾌｨﾙﾀ ﾁｪﾋﾞｼｪﾌ 次数=7 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 54.71dB
10dB
0dB
-10dB
-20dB
-30dB
-40dB
-50dB
-60dB
-70dB
-80dB
100
300
1K
3K
10K
30K

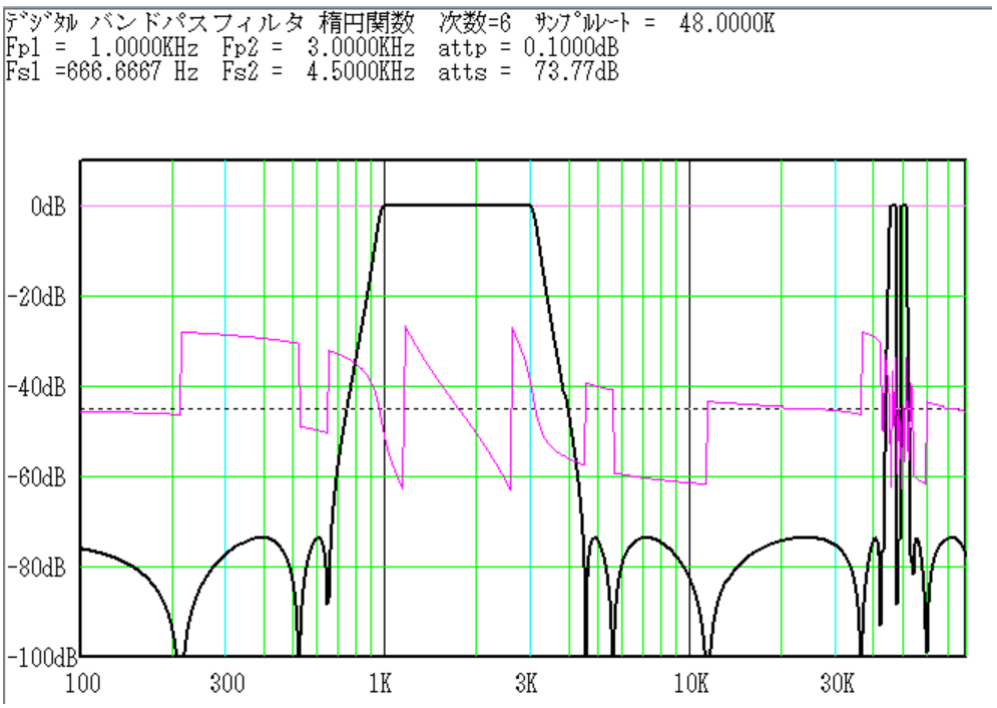

ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ﾊﾞﾝﾄﾞﾊﾟｽﾌｨﾙﾀ ﾁｪﾋﾞｼｪﾌ 次数=7 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 54.71dB
Z平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x : 極　o : 零
1
0
-1
-1
0
1

近似後の周波数特性

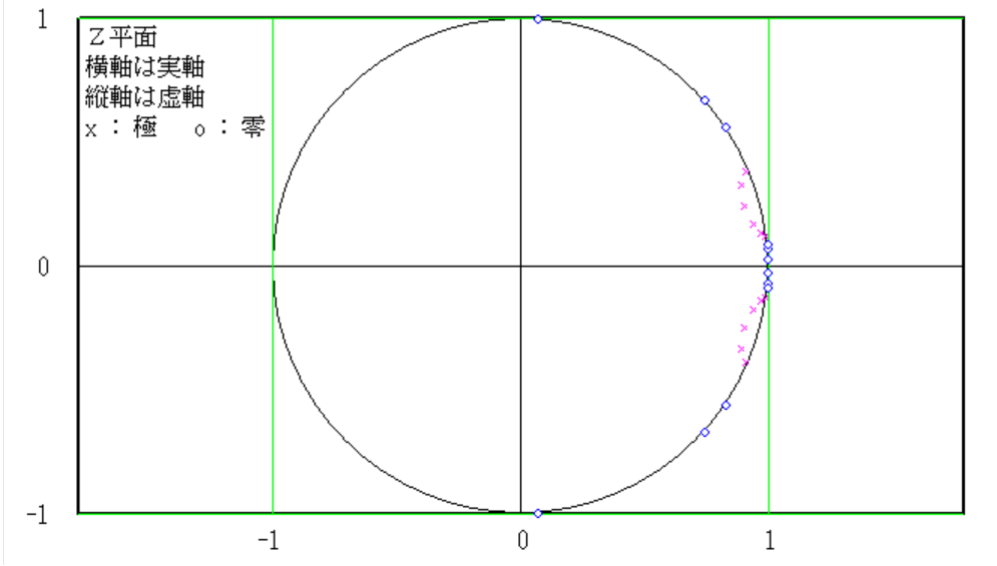

ﾃﾞｼﾞﾀﾙ バンドパスフィルタ 逆チェビシェフ 次数=8 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 65.72dB
10dB
0dB
-10dB
-20dB
-30dB
-40dB
-50dB
-60dB
-70dB
-80dB
-90dB
100
300
1K
3K
10K
30K


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ バンドパスフィルタ 逆チェビシェフ 次数=8 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 65.72dB
Z平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x：極 o：零
1
0
-1
-1
0
1

近似後の周波数特性

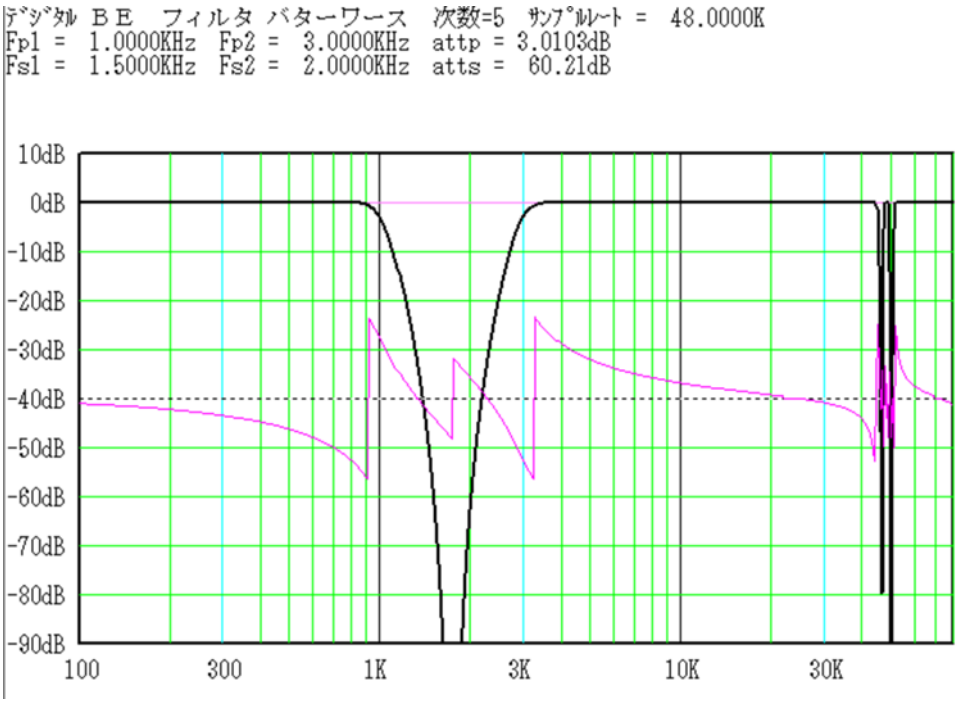


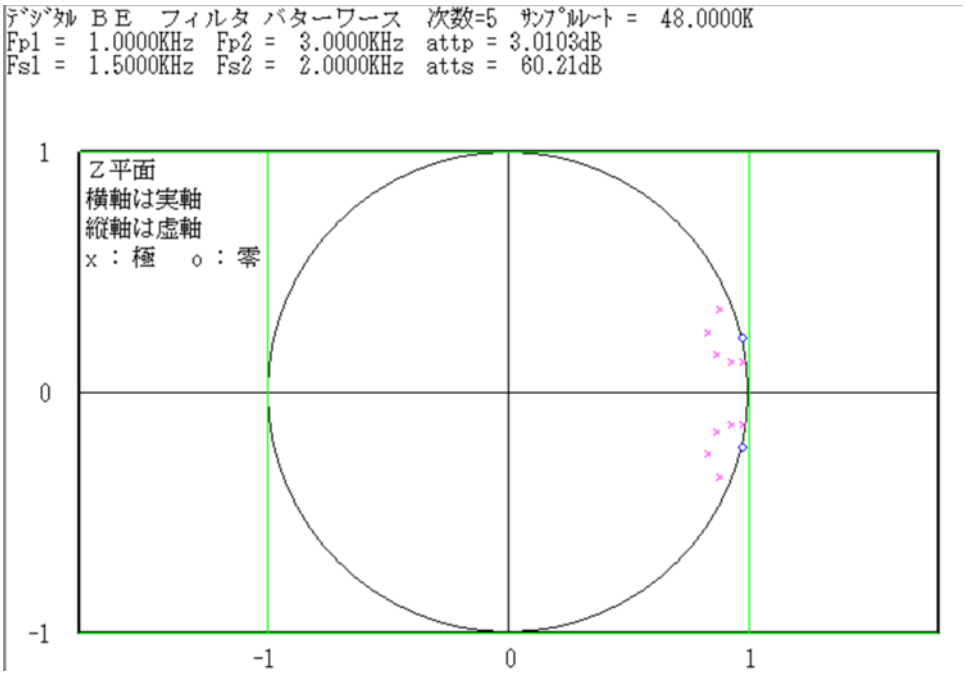
ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ﾊﾞﾝﾄﾞﾊﾟｽﾌｨﾙﾀ 楕円関数 次数=6 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 =666.6667 Hz Fs2 = 4.5000KHz atts = 73.77dB



近似後の周波数特性

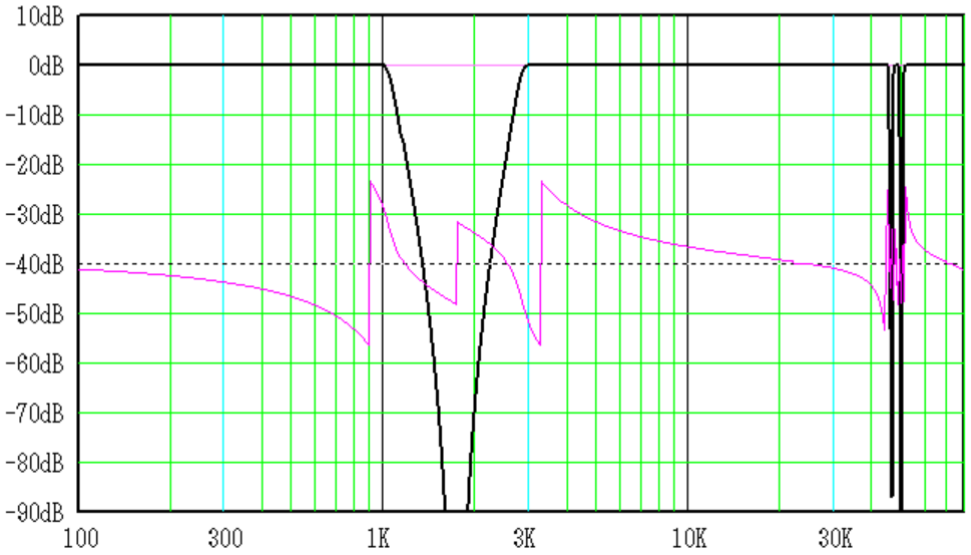
バンドエリミネーションフィルタ



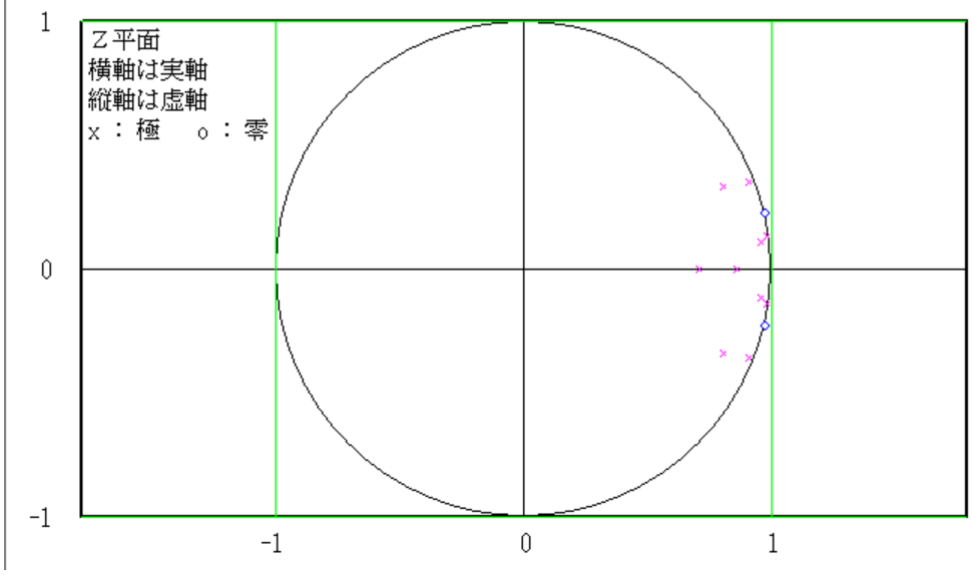


近似後の周波数特性

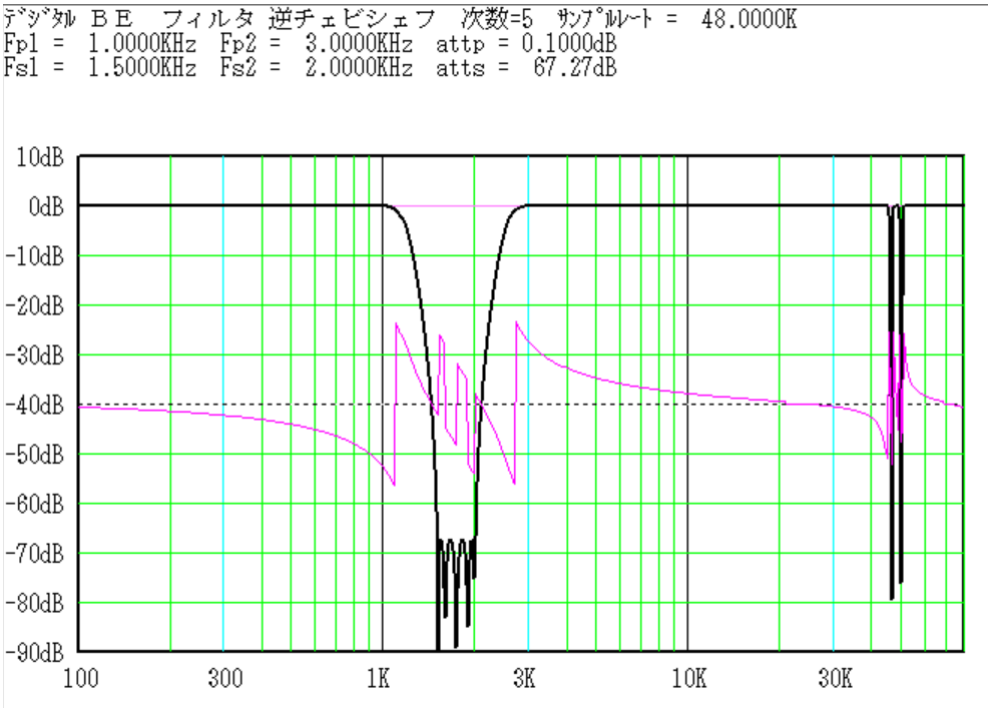
ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ＢＥ　フィルタ チェビシェフ　次数=5　ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ =　48.0000K
Fp1 =　1.0000KHz　Fp2 =　3.0000KHz　attp = 0.1000dB
Fs1 =　1.5000KHz　Fs2 =　2.0000KHz　atts =　67.27dB

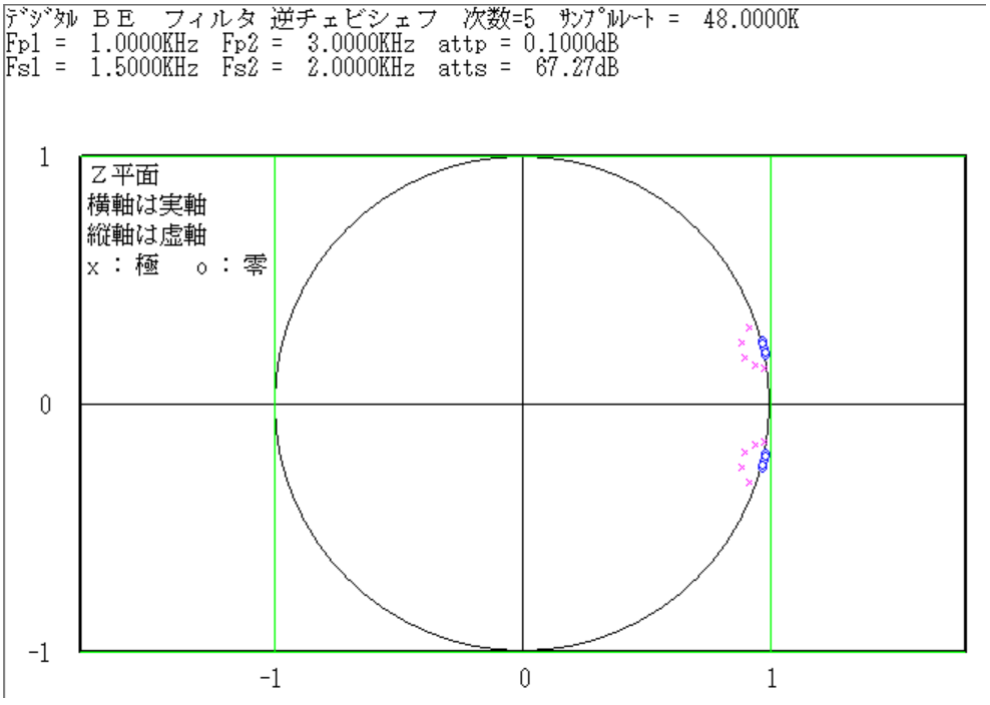


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ＢＥ　フィルタ チェビシェフ　次数=5　ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ =　48.0000K
Fp1 =　1.0000KHz　Fp2 =　3.0000KHz　attp = 0.1000dB
Fs1 =　1.5000KHz　Fs2 =　2.0000KHz　atts =　67.27dB

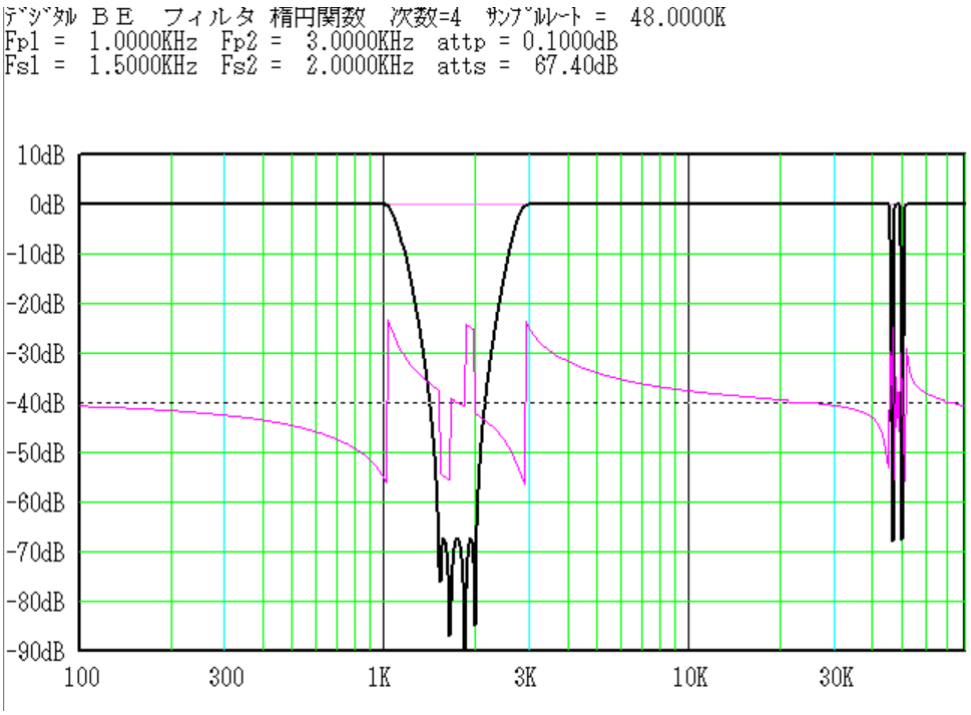


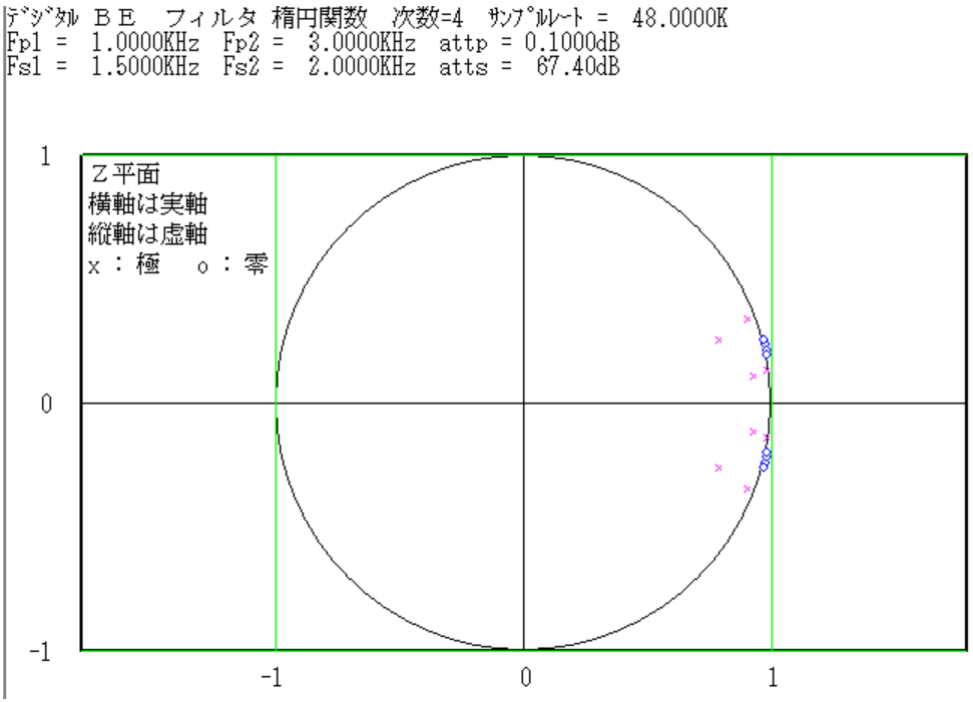
近似後の周波数特性


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ＢＥ フィルタ 逆チェビシェフ 次数=5 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 2.0000KHz atts = 67.27dB
10dB
0dB
-10dB
-20dB
-30dB
-40dB
-50dB
-60dB
-70dB
-80dB
-90dB
100
300
1K
3K
10K
30K


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ＢＥ フィルタ 逆チェビシェフ 次数=5 ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ = 48.0000K
Fp1 = 1.0000KHz Fp2 = 3.0000KHz attp = 0.1000dB
Fs1 = 1.5000KHz Fs2 = 2.0000KHz atts = 67.27dB
Ｚ平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x : 極 o : 零
1
0
-1
-1
0
1

近似後の周波数特性


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ＢＥ　フィルタ 楕円関数　次数=4　ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ =　48.0000K
Fp1 =　1.0000KHz　Fp2 =　3.0000KHz　attp = 0.1000dB
Fs1 =　1.5000KHz　Fs2 =　2.0000KHz　atts =　67.40dB
10dB
0dB
-10dB
-20dB
-30dB
-40dB
-50dB
-60dB
-70dB
-80dB
-90dB
100
300
1K
3K
10K
30K


ﾃﾞｼﾞﾀﾙ ＢＥ　フィルタ 楕円関数　次数=4　ｻﾝﾌﾟﾙﾚｰﾄ =　48.0000K
Fp1 =　1.0000KHz　Fp2 =　3.0000KHz　attp = 0.1000dB
Fs1 =　1.5000KHz　Fs2 =　2.0000KHz　atts =　67.40dB
Ｚ平面
横軸は実軸
縦軸は虚軸
x：極　o：零
1
0
-1
-1
0
1

近似後の周波数特性

参考文献

1。アナログフィルタの設計 著者 M．E．VAN VALKENBURG
監訳者 柳沢 健、訳者 金井 元
発行所 秋葉出版株式会社、１９８５年３月２５日 初版発行
〒１０１ 東京都千代田区神田和泉町１－２－５ 電話(03)866-5491

2。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４－１４－１１（七十七ビル）電話(03)542-8821

3。実用アナログフィルタ設計法 著者 今田 悟／深谷 武彦
発行所 ＣＱ出版株式会社、１９８９年1月３０日 初版発行
〒１７０ 東京都豊島区巣鴨１－１４－２ 電話(03)5395-2121

4。アクティブフィルタの設計 著者 柳沢 健／金光 磐
発行所 株式会社 産報、１９７３年１２月５日 初版印刷
〒１０５ 東京都港区浜松町１－１０－１７ 電話(03)436-4151

5。MANUAL OF ACTIVE FILTER DESIGN
著者 Ｊｏｈｎ Ｌ．Ｈｉｌｂｕｒｎ＆Ｄａｖｉｄ Ｅ．Ｊｏｈｎｓｏｎ
発行所ＭｃＧｒａｗ－Ｈｉｌｌ Ｂｏｏｋ Ｃｏｍｐａｎｙ
１２２１ Ａｖｅｎｕｅ ｏｆ ｔｈｅ Ａｍｅｒｉｃａｓ Ｎｅｗ Ｙｏｒｋ，
Ｎｅｗ Ｙｏｒｋ １００２０

6。トランジスタ技術 １９８８年2月号
（保存版 アナログフィルタのすべて）
著者 深谷 武彦／今田 悟／林 宏／岩室 光／池田 哲夫
発行所 ＣＱ出版社

7。Approximation Methods for Electronic Filter Design
著者 Ｒ．Ｗ．Ｄａｎｉｅｌｓ
発行所ＭｃＧｒａｗＨｉｌｌ、１９７４

８。ディジタル信号処理のポイント 著者 石田 義久／鎌田 弘之
発行所 産業図書株式会社、１９８９年７月３１日初版第１刷
〒１０２ 東京都千代田区飯田橋２－１１－３ 電話(03)3261-7821

９。Handbook of Filter SYNTHESIS 著者 Anatol I. Zverev
発行所 ＪＯＨＮ ＷＩＬＥＹ ＆ ＳＯＮＳ、１９６７

■ＭＳ－ＤＯＳは米国マイクロソフト社の登録商標です。
■LTSPICE は米国リニアテクノロジーが開発した SPICE シミュレータソフトウエアで、現在は、アナログ・デヴァイセズの登録商標になっています。

MCACT 関数ドキュメント　　１９９４／０５／０４ 三浦 高志

（1）パラメータの入力

パラメータを入力して、伝達関数を計算するのに必要なパラメータを更新する

入力形式１は次数を入力しない、２は次数を入力する

１－１ ローパスフィルタ及びハイパスフィルタ

ａ。バターワース　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ１（）

１。ｆｐ，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ｆｃを更新する

２。ｍ，ｆｃを入力する

ｂ。チェビシェフ　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ２（）

１。ｆｐ，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ａｔｔｐ，ｆｃを更新する

２。ｍ，ｆｃ，ａｔｔｐを入力する（ｆｐも更新する）

ｃ。逆チェビシェフ　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ３（）

１。ｆｐ，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ａｔｔｓ，ｆｃを更新する

２。ｍ，ｆｃ，ａｔｔｐ，ｘｓを入力して

ｍ，ａｔｔｓ，ｆｃを更新する（ｆｐも更新する）

$$\frac{1}{\varepsilon} = \sqrt{10^{attp/10} - 1}\cosh\left\{m\cosh^{-1}(xs)\right\}$$

$$atts = 10\log 10\left(1 + \frac{1}{\varepsilon^2}\right)$$

$$f_c = f_s$$

ｄ。楕円関数　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ４（）

１。ｆｐ，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ａｔｔｐ，ｆｃ、ｘｓを更新する

２。ｍ，ｆｃ，ａｔｔｐ，ｘｓを入力する（ｆｐも更新する）

１－２ バンドパスフィルタ

ａ。バターワース　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ５（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃを更新する（ａｔｔｐ＝３．０１０３とする）

２。ｍ、ｆｐ１、ｆｐ２を入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃを更新する（ａｔｔｐ＝３．０１０３とする）

ｂ。チェビシェフ　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ６（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

２。ｍ，ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐを入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

ｃ。逆チェビシェフ　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ７（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｓを更新する

２。ｍ，ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓを入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｓを更新する

$$\frac{1}{\varepsilon}=\sqrt{10^{attp/10}-1}\cosh\left\{m\cosh^{-1}\left(\frac{f_{s2}-f_{s1}}{f_{p2}-f_{p1}}\right)\right\}$$

$$atts=10\log10\left(1+\frac{1}{\varepsilon^2}\right)$$

$$f_c=\sqrt{f_{p2}f_{p1}},bw=2\pi\left(f_{s2}-f_{s1}\right)$$

ｄ。楕円関数　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ８（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

２。ｍ，ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓを入力して

ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

１－３ バンドエリミネーションフィルタ

ａ。バターワース　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ９（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃを更新する（ａｔｔｐ＝３．０１０３とする）

２。ｍ、ｆｐ１、ｆｐ２を入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃを更新する（ａｔｔｐ＝３．０１０３とする）

ｂ。チェビシェフ　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ１０（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

２。ｍ，ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐを入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

ｃ。逆チェビシェフ　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ１１（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｓを更新する

２。ｍ，ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓを入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｓを更新する

$$\frac{1}{\varepsilon}=\sqrt{10^{attp/10}-1}\cosh\left\{m\cosh^{-1}\left(\frac{f_{p2}-f_{p1}}{f_{s2}-f_{s1}}\right)\right\}$$

$$atts=10\log10\left(1+\frac{1}{\varepsilon^2}\right)$$

$$f_c=\sqrt{f_{p2}f_{p1}},bw=2\pi\left(f_{s2}-f_{s1}\right)$$

ｄ。楕円関数　　ｉｎｐ＿ｐａｒａ１２（）

１。ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓ，ａｔｔｓを入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

２。ｍ，ｆｐ１，ｆｐ２，ａｔｔｐ，ｘｓを入力して
ｍ，ｂｗ，ｆｃ，ａｔｔｐを更新する

（２） パラメータから伝達関数の係数を計算する

１次式の係数は次の様に保存する

$$\frac{Bs+C}{s+A} \rightarrow \frac{\mathrm{Pr}[1]s+\mathrm{Pr}[2]}{s+\mathrm{Pr}[0]}$$

２次式の係数は次の様に保存する

$$\frac{Cs^2+Ds+E}{s^2+As+B} \rightarrow \frac{Sc[v][2]s^2+Sc[v][3]s+Sc[v][4]}{s^2+Sc[v][0]s+Sc[v][1]}$$

（３） 伝達関数をディジタルフィルタに変換する

１次式の係数は次の様に保存する

$$\frac{\mathrm{Pr}[1]s+\mathrm{Pr}[2]}{s+\mathrm{Pr}[0]} \rightarrow \frac{\mathrm{Pr}[1]+\mathrm{Pr}[2]z^{-1}}{1+\mathrm{Pr}[0]z^{-1}}$$

２次式の係数は次の様に保存する

$$\frac{Sc[v][2]s^2+Sc[v][3]s+Sc[v][4]}{s^2+Sc[v][0]s+Sc[v][1]} \rightarrow \frac{Sc[v][2]+Sc[v][3]z^{-1}+Sc[v][4]z^{-2}}{1+Sc[v][0]z^{-1}+Sc[v][1]z^{-2}}$$

（２）から（３）への変換式は次のとうり

サンプリング周波数をｆｓとして、$ts=1/fs$ を用いて

１次式については、$p_0=\mathrm{Pr}[0]$　$p_1=\mathrm{Pr}[1]$　$p_2=\mathrm{Pr}[2]$ として

$$\mathrm{Pr}[0]=\frac{-2+p_0*ts}{2+p_0*ts} \quad \mathrm{Pr}[1]=\frac{2p_1+p_2*ts}{2+p_0*ts} \quad \mathrm{Pr}[2]=\frac{-2p_1+p_2*ts}{2+p_0*ts}$$

２次式については、$p_0=Sec[v][0]$　$p_1=Sec[v][1]$　$p_2=Sec[v][2]$
$p_3=Sec[v][3]$　$p_4=Sec[v][4]$ として

$$Sc[\nu][0]=\frac{2\left(-4+p_1t_s^2\right)}{4+2p_0t_s+p_1t_s^2}\qquad Sc[\nu][1]=\frac{4-2p_0t_s+p_1t_s^2}{4+2p_0t_s+p_1t_s^2}$$

$$Sc[\nu][2]=\frac{4p_2+2p_3t_s+p_4t_s^2}{4+2p_0t_s+p_1t_s^2}\qquad Sc[\nu][3]=\frac{2\left(-4p_2+p_4t_s^2\right)}{4+2p_0t_s+p_1t_s^2}$$

$$Sc[\nu][4]=\frac{4p_2-2p_3t_s+p_4t_s^2}{4+2p_0t_s+p_1t_s^2}$$

（４）アナログフィルタの角周波数ｗにおけるゲインの計算

$s = j\omega$　　$j = \sqrt{-1}$として、Ａ＝０

１次式については、$p_0 = \mathrm{Pr}[0]$　　$p_1 = \mathrm{Pr}[1]$　　$p_2 = \mathrm{Pr}[2]$として

$$A+ = 20\log_{10}\left\{abs\left(p_1 * s + p_2\right)\right\}$$
$$A- = 20\log_{10}\left\{abs\left(s + p_0\right)\right\}$$

２次式については、$p_0 = Sc[\,v][0]$　　$p_1 = Sc[\,v][1]$　　$p_2 = Sc[\,v][2]$
$p_3 = Sc[\,v][3]$　　$p_4 = Sc[\,v][4]$　として

２次式の個数を$lp+1$とすると、

```
for(v = 0; v <= lp; v++){
    A+ = 20log10{abs(p2 * s^2 + p3 * s + p4)};
    A- = 20log10{abs(s^2 + p0 * s + p1)};
}
```

（５）アナログフィルタの角周波数ｗにおける位相の計算

$s = j\omega$　　$j = \sqrt{-1}$として、Ａ＝０

１次式については、$p_0 = \mathrm{Pr}[0]$　　$p_1 = \mathrm{Pr}[1]$　　$p_2 = \mathrm{Pr}[2]$として

$$A = \mathrm{arg}\_adjust\left\{A + \arg\left(p_1 * s + p_2\right)\right\}$$
$$A = \mathrm{arg}\_adjust\left\{A - \arg\left(s + p_0\right)\right\}$$

```
arg_adjust(double A){
    if(A > π)A- = 2π;
    if(A < -π)A+ = 2π;
    return(A);
}
```

２次式については、$p_0 = Sec[\,v][0]$　　$p_1 = Sec[\,v][1]$　　$p_2 = Sec[\,v][2]$
$p_3 = Sec[\,v][3]$　　$p_4 = Sec[\,v][4]$　として

２次式の個数を$lp+1$とすると、

$$
\begin{aligned}
&for(\nu = 0; \nu <= lp; \nu++)\{ \\
&\quad A = \arg\_adjust\left\{A + \arg\left(p_2 * s^2 + p_3 * s + p_4\right)\right\}; \\
&\quad A = \arg\_adjust\left\{A - \arg\left(s^2 + p_0 * s + p_1\right)\right\}; \\
&\}
\end{aligned}
$$

（５）ディジタルフィルタの角周波数ｗにおけるゲインの計算

$z^{-1}=\exp(-j\omega * t_s)$　　$j=\sqrt{-1}$ として、Ａ＝０

１次式については、$p_0=\mathrm{Pr}[0]$　　$p_1=\mathrm{Pr}[1]$　　$p_2=\mathrm{Pr}[2]$として

$$A+=20\log_{10}\left\{abs\left(p_1+p_2*z^{-1}\right)\right\}$$
$$A-=20\log_{10}\left\{abs\left(1+p_0*z^{-1}\right)\right\}$$

２次式については、$p_0=Sc[\nu][0]$　　$p_1=Sc[\nu][1]$　　$p_2=Sc[\nu][2]$
$p_3=Sc[\nu][3]$　　$p_4=Sc[\nu][4]$ として

２次式の個数を$lp+1$とすると、

$$for(\nu=0;\nu<=lp;\nu++)\{$$
$$A+=20\log_{10}\left\{abs\left(p_2+p_3*z^{-1}+p_4*z^{-2}\right)\right\};$$
$$A-=20\log_{10}\left\{abs\left(1+p_0*z^{-1}+p_1*z^{-2}\right)\right\};$$
$$\}$$

（６）ディジタルフィルタの角周波数ｗにおける位相の計算

$z^{-1}=\exp(-j\omega * t_s)$　　$j=\sqrt{-1}$ として、Ａ＝０

１次式については、$p_0=\mathrm{Pr}[0]$　　$p_1=\mathrm{Pr}[1]$　　$p_2=\mathrm{Pr}[2]$として

$$A=\arg\_adjust\left\{A+\arg\left(p_1+p_2*z^{-1}\right)\right\}$$
$$A=\arg\_adjust\left\{A-\arg\left(1+p_0*z^{-1}\right)\right\}$$
$$\arg\_adjust(double\quad A)\{$$
$$if(A>\pi)A-=2\pi;$$
$$if(A<-\pi)A+=2\pi;$$
$$return(A);$$
$$\}$$

２次式については、$p_0=Sc[\nu][0]$　　$p_1=Sc[\nu][1]$　　$p_2=Sc[\nu][2]$
$p_3=Sc[\nu][3]$　　$p_4=Sc[\nu][4]$ として

２次式の個数を$lp+1$とすると、

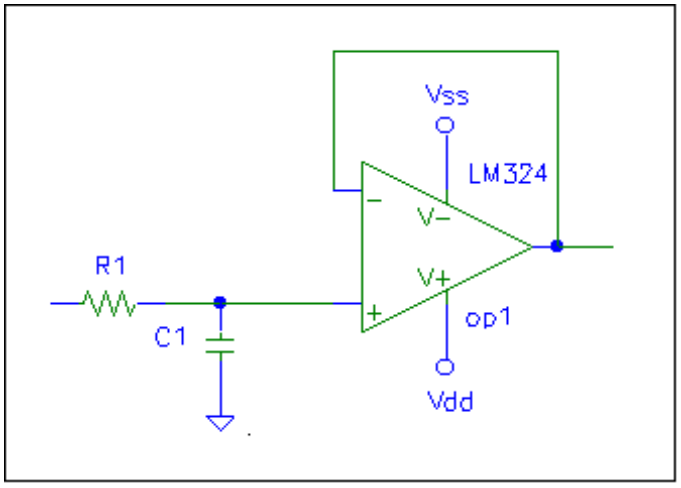
$$for(\nu = 0; \nu <= lp; \nu++)\{$$
$$A = \arg\_adjust\left\{A + \arg\left(p_2 + p_3 * z^{-1} + p_4 * z^{-2}\right)\right\};$$
$$A = \arg\_adjust\left\{A - \arg\left(1 + p_0 * z^{-1} + p_1 * z^{-2}\right)\right\};$$
$$\}$$

アナログフィルタの合成

（素子値をＥ２４シリーズに合わせる）

第１１章 ローパスフィルタの合成

１次のローパスフィルタ基本回路



ｌｐ１＿１．ｃｉｒの伝達関数

$$H_1(\omega_p, s) = \frac{(1/C_1R_1)}{s+(1/C_1R_1)}$$

バターワース ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_c, s) = \frac{\omega_c}{s+\omega_c}$$

上の２つの式から、

$$\omega_c = \frac{1}{C_1R_1} \qquad \therefore R_1 = \frac{1}{\omega_c C_1} \qquad (11-1)$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　　**「手順１」**

１　$C_1 = 0.01uF$ から、スタートする。

２　　ｉｅ＝１
　　Ｃｍ＝Ｃ１の仮数部、Ｃｙ＝Ｃ１の指数部とする。
　　Ｃｍ＝Ｅ２４［ｉ０］に最も近いｉ０を求める。
　　ｉ＝０、Ｃｍ＝Ｅ２４［ｉ０＋ｉ］

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順１」

３ （１１ー1）により、$R_1=\frac{1}{\omega_c C_1}$を計算する。ｅｒ＝０．００２＊ｉｅ

４ Ｒｍ＝Ｒ１の仮数部、Ｒｙ＝Ｒ１の指数部として、ＲｍがＥ２４［ｉ１］に最も近いｉ１を求める。その時の誤差 ｆａｂｓ（ｅｒｒ）＜ｅｒ なら ７にいく。

５ そうでなければ、ｉ＋＋； ｉ＜２４ なら、Ｃｍ＝Ｅ２４［ｉ０＋１］、Ｃ１＝Ｃｍ＊Ｃｙとして、３に戻る。

６ ｉ＝２４ ならば、ｉｅ＋＋；ｉ＝０、Ｃｍ＝Ｅ２４［ｉ０＋ｉ］、Ｃ１＝Ｃｍ＊Ｃｙ として、３に戻る。

７ Ｃ１、Ｒ１および誤差を表示して、確認を求める。

Ｃ１を変更するなら、入力してもらい ２ に戻る。

Ｒ１を変更するなら、入力してもらい $C_1=\frac{1}{\omega_c R_1}$として ２ に戻る。

次の候補を確認するならば、５ に戻る。

変更がなければ完了。

チェビシェフ及び逆チェビシェフ ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_c,s)=\frac{\omega_d}{s+\omega_d}$$

従って、

$$\omega_d=\frac{1}{C_1R_1}\qquad \therefore R_1=\frac{1}{\omega_d C_1} \qquad (11-2)$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順１」において、ω_cの代わりにω_dを使用します。

楕円関数 ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_c,s)=\frac{\sigma}{s+\sigma}$$

従って、

$$\sigma=\frac{1}{C_1R_1}\qquad \therefore R_1=\frac{1}{C_1\sigma} \qquad (11-3)$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順１」

「手順１」において、ω_cの代わりに σ を使用します。

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

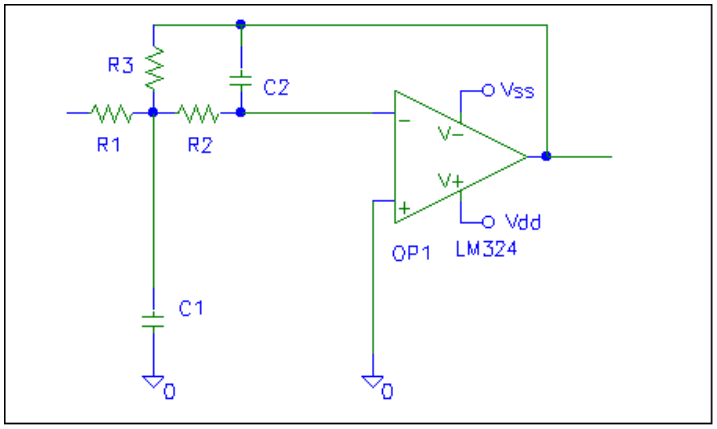
「手順１」

```
／＊　　「手順１」の２ の処理プログラムの例
　　ｇｅｔｃｌ（Ｃ１，＆Ｃｙ，＆ｉ０）
　　関数値として誤差を返す　　＊／
double  getcl(double    d,double        *yd,int *i)
{
double  md,ld,mc,err1,err2;
int     nd,i0;
        ld = log10(d);
        nd = (int)floor(ld);
        md = pow(10.0,ld - nd);
        i0 = (int)((ld - nd) * 24.0);
        err1 = fabs((md-e24[i0])/md);
        err2 = fabs((md-e24[i0+1])/md);
        if(err1>err2)   {
                i0++;
                err1 = err2;
        }
        if(i0 >= 24){
                nd++;
                i0 -= 24;
        }
        *i = i0;
        *yd = pow(10.0,nd);
        return err1;
}
```

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順１」

２次のローパスフィルタ基本回路　ｌｐａｔ１＿２．ｃｉｒ



ｌｐａｔ１＿２．ｃｉｒの伝達関数

$$H_2(\omega_p, s) = \frac{-\left(\frac{R_3}{R_1}\right)\left(\frac{1}{C_1 C_2 R_2 R_3}\right)}{s^2 + \frac{R_1R_2 + R_2R_3 + R_3R_1}{C_1R_1R_2R_3}s + \left(\frac{1}{C_1C_2R_2R_3}\right)}$$

バターワース 及びチェビシェフ ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_c, s) = \prod_{k=0}^{l} \frac{{\omega_{ck}}^2}{s^2 + (\omega_{ck}/Q_k)s + {\omega_{ck}}^2}$$

従って、$R_1 = R_3$

$C_2 = C$　　$C_1 = mC$

$R_1 = R$　　$R_2 = kR$　　とすると、

$$\omega_{ck}^2 = \frac{1}{mk(CR)^2} \qquad (11-4)$$

$$\frac{\omega_{ck}}{Q_k} = \frac{1+2k}{mkCR} \qquad (11-5)$$

（１１－４）と（１１－５）から、

$$4Q_k^2k^2 + (4Q_k^2 - m)k + Q_k^2 = 0 \qquad (11-6)$$

$k > 0$ より、$m \geq 8Q_k^2$ 　　（１１－７）

このとき、

$$k = \frac{m - 4Q_k^2 + \sqrt{m(m - 8Q_k^2)}}{8Q_k^2} \qquad (11-8)$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順
「手順２」

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　　「手順２」

２次のローパスフィルタ回路形式１　ｌｐａｔ１＿２．ｃｉｒ 用

１ 与えられた、ω_{ck}, Q_kから$Q_{k2}=8Q_k^2$を計算する。

$C_2=0.01uF$ から、スタートする。ｅｒ０＝０．００２５

２ Ｃ２ｍ＝Ｃ２の仮数部、Ｃ２ｙ＝Ｃ２の指数部とする。

Ｃ２ｍ＝Ｅ２４［ｉ０］に最も近いｉ０を求める。

ｉｅ＝１； ｉ０２＝０； ｅｒ＝ｅｒ０

３ Ｃ２＝Ｅ２４［ｉ０＋ｉ０２］＊Ｃ２ｙ

ｍ＝Ｑｋ２； Ｃ１＝ｍ＊Ｃ２

Ｃ１より小さくない、最小のＥ２４シリーズの値を求める。

Ｃ１ｍ＝Ｅ２４［ｉ１］；

ｉ１２＝０

４ ｍ＝Ｅ２４［ｉ１＋ｉ１２］＊Ｃ１ｙ／Ｃ２

もしも、ｍ＞１００＊Ｑｋ２なら

もしも、＋＋ｉ０２＜２４なら ３ に戻る。

ｅｒ＝ｅｒ０＊（＋＋ｉｅ）； ｉ０２＝０； ３ に戻る。

（誤差の許容範囲を拡大している）

$$k=\frac{m-4Q_k+\sqrt{m\left(m-8Q_k^2\right)}}{8Q_k^2}\text{、}R_1=\frac{1}{\sqrt{mk}\,\omega_{ck}C_2}$$

Ｒ１ｍ＝Ｅ２４［ｉ２］に最も近いｉ２と誤差を求める。

誤差が ｅｒ より小さければ、６ に行く。

５ そうでなければ、＋＋ｉ１２＜２４ なら、４ に戻る。

ｉ１２＝２４になったら、ｉ１２＝０； Ｃ１ｙ ＊＝ １０．０； ４に戻る。

６ Ｒ２＝ｋ＊Ｒ１；

Ｒ２ｍ＝Ｅ２４［ｉ２］に最も近い、ｉ２と誤差を求める。

誤差が ｅｒより大きければ、 ５ の戻る。

７ Ｃ１＝Ｅ２４［ｉ１＋ｉ１２］＊Ｃ１ｙ

８ Ｃ１、Ｃ２、Ｒ１、Ｒ２および誤差を表示して、確認を求める。

Ｃ２を変更するなら、入力してもらい ２ に戻る。

Ｒ１を変更するなら、入力してもらい $C_1=\frac{1}{\sqrt{mk}\,\omega_{ck}R_1}$ として ２ に戻る。

次の候補を確認するならば、５ に戻る。

変更がなければ完了。

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順２」

```
／＊　　「手順２」の３ の処理のプログラム例
        関数値として、与えられた数値より小さくなくて、
        Ｅ２４シリーズに該当する数値を返す。
        与えられた数値の指数部を表わす変数を書き換える　＊／
double  getg(double     d,double        *yd,int *i)
{
double  mc,yc;
int     i0;
        mc = d;
        getcl(mc,&yc,&i0);      mc = e24[i0] * yc;
        if(mc < d)      i0++;
        mc = e24[i0] * yc;
        *yd = yc;
        *i = i0;
        return mc;
}
```

／＊　　「手順２」全体の処理のプログラム例

２次ローパスフィルタの回路形式１用　　lpat1_2.cir

$$\frac{-\left(\frac{R_3}{R_1}\right)\left(\frac{1}{C_1C_2R_2R_3}\right)}{s^2+\frac{R_1R_2+R_2R_3+R_3R_1}{C_1R_1R_2R_3}s+\left(\frac{1}{C_1C_2R_2R_3}\right)}=\frac{{\omega_{ck}}^2}{s^2+\left(\omega_{ck}/Q_k\right)s+{\omega_{ck}}^2}$$

＊／

```
void    cal_rc_b1(int   j)
{
int     x,y,i0,i1,i2,i02,i12,kp,ie;
long    int     count=0L;
double  Qk,wck,Qk2,R1,R2,R3,C1,C2,R1y,R2y,C1y,C2y,mm,kk;
double  er,er0,rcin,ert1,ert2;
        er0 = 0.0025;
        y=wherey();
        kp = j + 1;
        wck = pow(co[j][1],0.5);
        Qk = wck/co[j][0];
```

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順２」

```
        Qk2 = 8.0*Qk*Qk;
        C2 = pow(10.0,-8.0);
loop_b1_0:
        getcl(C2,&C2y,&i0);     count++;
        if(j == 8)      y = 7;
        i02 = 0;        ie = 1; er = er0;
loop_b1_1:
        C2 = e24[i0+i02] * C2y;
        mm = Qk2;
        C1 = mm * C2;
        C1 = getg(C1,&C1y,&i1); count++;
        i12 = 0;
loop_b1_2:
        mm = e24[i1+i12] * C1y/C2;
        if(mm > 100.0 * Qk2){
                if((++i02) < 24)        goto    loop_b1_1;
                er = er0 * (double)(++ie);      i02 = 0;
                goto    loop_b1_1;
        }
        kk = (mm-Qk2/2+sqrt(mm*(mm-Qk2)))/Qk2;
        R1 = 1.0/C2/wck/sqrt(mm*kk);    count += 2;
        if(getcl(R1,&R1y,&i2) < er)     goto    loop_b1_3;
loop_b1_21:
        if((++i12) >= 24){
                i12 = 0;        C1y *= 10.0;
        }
        goto    loop_b1_2;
loop_b1_3:
        R2 = kk * R1;   count += 2;
        if(getcl(R2,&R2y,&i2) < er)     goto    loop_b1_4;
        goto    loop_b1_21;
loop_b1_4:
        C1 = e24[i1+i12] * C1y;
loop_b1_41:
        locate(1,y);    clrblw();
        ert2 = getcl(R1,&R1y,&i2);
```

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順２」

```
        ert1 = ert2 * ert2;
        ert2 = getcl(R2,&R1y,&i2);
        ert1 += ert2 * ert2;
        ert2 = getcl(C1,&C1y,&i2);
        ert1 += ert2 * ert2;
        ert2 = getcl(C2,&C2y,&i2);
        ert1 += ert2 * ert2;
        ert1 = sqrt(ert1) * 100.0;
        ert2 = sqrt(1.0/C1/C2/R2/R1);
        ert2 = (wck-ert2)/wck*100.0;    count += 5;
        printf("R1_%d=%-9s R2_%d=%-9s R3_%d=%-9s¥n",
                kp,i_unit(su[0],R1),kp,i_unit(su[1],R2),kp,i_unit(su[2],R1));
        printf("C1_%d=%-9s C2_%d=%-9s  Err= %lf erwc %lf count %ld¥n",
                kp,i_unit(su[0],C1),kp,i_unit(su[1],C2),ert1,ert2,count);
        locate(1,23);   clrblw();
        printf("R1_%d を変更するなら R, C2_%d なら C, 係数 なら k, OK なら G  ",
                kp,kp);
        x = wherex();
        if((j == 7) && (m != 8)){
                locate(1,24);
                printf("G なら、計算値の表示を初期化します");
        }
        locate(x,23);
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':    goto    loop_rc_r;
                case    'c':    goto    loop_rc_c;
                case    'k':    goto    loop_b1_21;
                case    'g':
                if(ert1 > 1e-10){
                        locate(1,23);   clrblw();
                        printf("E24 シリーズの値で近似しますか Y/N ");
                        get_lower_string(buf);
                        if(buf[0] == 'y')       {
                                getcl(R1,&R1y,&i2);     R1 = e24[i2]*R1y;
                                getcl(R2,&R2y,&i2);     R2 = e24[i2]*R2y;
```

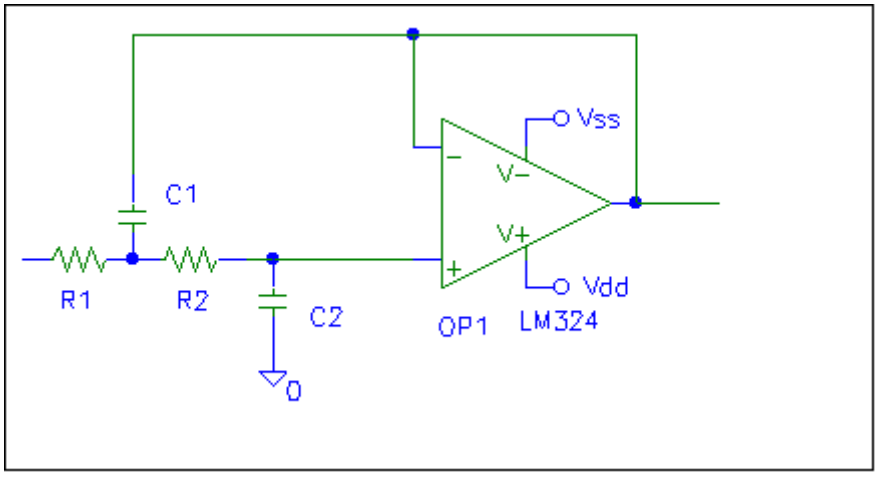
素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

```
                                        「手順２」
                                getcl(C1,&C1y,&i2);     C1 = e24[i2]*C1y;
                                getcl(C2,&C2y,&i2);     C2 = e24[i2]*C2y;
                                count   += 4;
                                goto    loop_b1_41;
                        }
                }
                locate(1,y+2);  clrblw();
                wrt_ckt_fl(kp,R1,R2,R1,C1,C2);
                return;
                default:        goto    loop_b1_4;
        }
loop_rc_r:
        locate(1,23);   clrblw();
        printf("R1_%d=%-9s  ",kp,i_unit(su[0],R1));
        rcin = r_num(get_lower_string(buf));
        if(buf[0] == '¥0')      goto    loop_b1_0;
        if(rcin<=0)     goto    loop_rc_r;
        R1 = rcin;      C2 = 1.0/R1/wck/sqrt(mm*kk);
        count   += 2;
        locate(1,23);   clrblw();
        goto    loop_b1_0;
loop_rc_c:
        locate(1,23);   clrblw();
        printf("C2_%d=%-9s  ",kp,i_unit(su[0],C2));
        rcin = r_num(get_lower_string(buf));
        if(buf[0] == '¥0')      goto    loop_b1_0;
        if(rcin<=0)     goto    loop_rc_c;
        C2 = rcin;
        R1 = 1.0/C2/wck/sqrt(mm*kk);
        count   += 2;
        locate(1,23);   clrblw();
        goto    loop_b1_0;
}
```

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順２」

２次のローパスフィルタ基本回路　ｌｐａｔ２＿２．ｃｉｒ



ｌｐａｔ２＿２．ｃｉｒの伝達関数

$$H_2(\omega_p, s) = \frac{\dfrac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}}{s^2 + \dfrac{R_1 + R_2}{C_1 R_1 R_2} s + \dfrac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2}}$$

バターワース 及びチェビシェフ ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_c, s) = \prod_{k=0}^{l} \frac{{\omega_{ck}}^2}{s^2 + (\omega_{ck}/Q_k)s + {\omega_{ck}}^2}$$

従って、$C_1 = mC, C_2 = C, R_1 = R, R_2 = kR$ とすると、

$${\omega_{ck}}^2 = \frac{1}{C_1 C_2 R_1 R_2} = \frac{1}{mk(CR)^2}$$

$$\frac{\omega_{ck}}{Q_k} = \frac{R_1 + R_2}{C_1 R_1 R_2} = \frac{1+k}{mkCR}$$

よって、与えられた正の実数ｍに対して、ｋは

$Q_k{}^2 k^2 + \left(2Q_k{}^2 - m\right)k + Q_k{}^2 = 0$ を満足するはずです。判別式から、

$$D = \left(2Q_k{}^2 - m\right)^2 - 4Q_k{}^4 = m\left(m - 4Q_k{}^2\right) \geq 0$$

$$\therefore m \geq 4Q_k{}^2$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順２」

上記のｍに対して、$k=\dfrac{m-2Q_k{}^2+\sqrt{m\left(m-4Q_k{}^2\right)}}{2Q_k{}^2}$

$FSF=\sqrt{mk}\,\omega_{ck}, R_1=Z, R_2=kZ, C_1=m/Z/FSF, C_2=1/Z/FSF$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順
「手順３」

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　　「手順３」

２次のローパスフィルタ回路形式１　ｌｐａｔ２＿２．ｃｉｒ 用

１ 与えられた、ω_{ck}, Q_kから$Q_{k2}=4Q_k^2$を計算する。

$C_2=0.01uF$ から、スタートする。ｅｒ０＝０．００２５

２ Ｃ２ｍ＝Ｃ２の仮数部、Ｃ２ｙ＝Ｃ２の指数部とする。

Ｃ２ｍ＝Ｅ２４［ｉ０］に最も近いｉ０を求める。

ｉｅ＝１；ｉ０２＝０；ｅｒ＝ｅｒ０

３ Ｃ２＝Ｅ２４［ｉ０＋ｉ０２］＊Ｃ２ｙ

ｍ＝Ｑｋ２；Ｃ１＝ｍ＊Ｃ２

Ｃ１より小さくない、最小のＥ２４シリーズの値を求める。

Ｃ１ｍ＝Ｅ２４［ｉ１］；

ｉ１２＝０

４ ｍ＝Ｅ２４［ｉ１＋ｉ１２］＊Ｃ１ｙ／Ｃ２

もしも、ｍ＞１００＊Ｑｋ２なら

もしも、＋＋ｉ０２＜２４なら ３ に戻る。

ｅｒ＝ｅｒ０＊（＋＋ｉｅ）；ｉ０２＝０； ３ に戻る。

（誤差の許容範囲を拡大している）

$$k=\frac{m-2Q_k+\sqrt{m\left(m-4Q_k^2\right)}}{4Q_k^2}\text{、}R_1=\frac{1}{\sqrt{mk}\,\omega_{ck}C_2}$$

Ｒ１ｍ＝Ｅ２４［ｉ２］に最も近いｉ２と誤差を求める。

誤差が ｅｒ より小さければ、６ に行く。

５ そうでなければ、＋＋ｉ１２＜２４ なら、４ に戻る。

ｉ１２＝２４になったら、ｉ１２＝０；Ｃ１ｙ ＊＝ １０．０； ４に戻る。

６ Ｒ２＝ｋｋ＊Ｒ１；

Ｒ２ｍ＝Ｅ２４［ｉ２］に最も近い、ｉ２と誤差を求める。

誤差が ｅｒより大きければ、 ５ の戻る。

７ Ｃ１＝Ｅ２４［ｉ１＋ｉ１２］＊Ｃ１ｙ

８ Ｃ１、Ｃ２、Ｒ１、Ｒ２および誤差を表示して、確認を求める。

Ｃ２を変更するなら、入力してもらい ２ に戻る。

Ｒ１を変更するなら、入力してもらい $C_1=\frac{1}{\sqrt{mk}\,\omega_{ck}R_1}$ として ２ に戻る。

次の候補を確認するならば、５ に戻る。

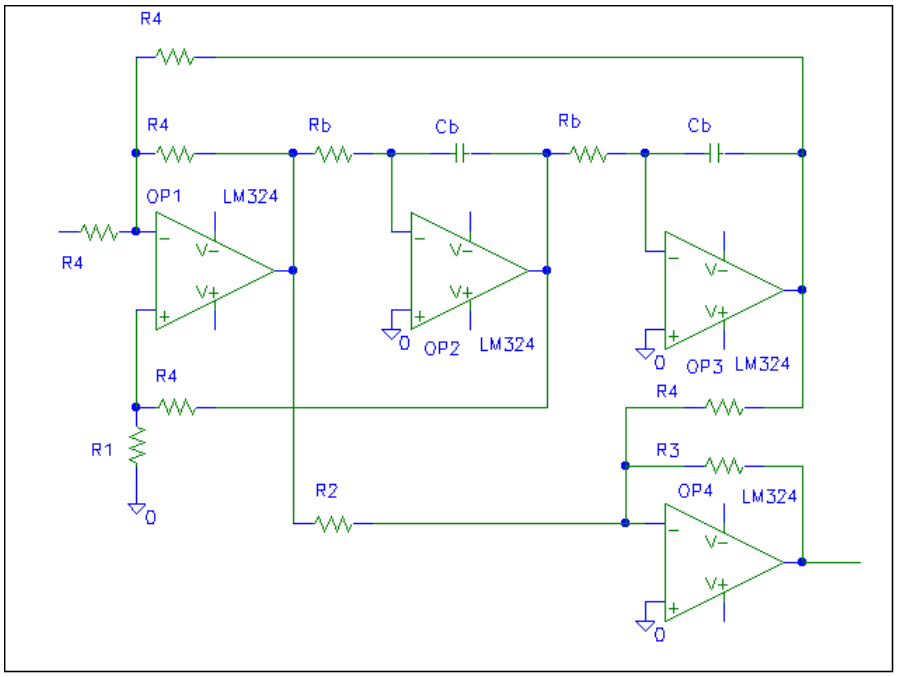
変更がなければ完了。

＊＊ 「手順２」とは、１ のＱｋ２、４ のｋの式が異なるだけ。

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順３」

２次のローパスフィルタ基本回路 lpet1_2.cir



ｌｐｅｔ１＿２．ｃｉｒの伝達関数

$$H_2(\omega_p,s)=\frac{R_3}{R_2}\frac{s^2+\dfrac{R_2}{C_b{}^2R_b{}^2R_4}}{s^2+\dfrac{3R_1}{C_bR_b(R_1+R_4)}s+\dfrac{1}{C_b{}^2R_b{}^2}}$$

逆チェビシェフ ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_c,s)=\prod_{k=0}^{l}\frac{\omega_{ck}{}^2\left(r_k{}^2s^2+1\right)}{s^2+(\omega_{ck}/Q_k)s+\omega_{ck}{}^2}=\prod_{k=0}^{l}\frac{\omega_{ck}{}^2r_k{}^2\left(s^2+1/r_k{}^2\right)}{s^2+(\omega_{ck}/Q_k)s+\omega_{ck}{}^2}$$

２つの式の係数を比較して、

$$\frac{R_3}{R_2}=\omega_{ck}^2r_k^2、\ \omega_{ck}{}^2=\frac{1}{C_b{}^2R_b{}^2}、\ 1/r_k{}^2=\frac{R_2}{C_b{}^2R_b{}^2R_4}=\frac{R_2}{R_4}\omega_{ck}{}^2、\ \frac{\omega_{ck}}{Q_k}=\frac{3R_1}{C_bR_b(R_1+R_4)}$$

$$\therefore R_1=\frac{R_4}{3Q_k-1}\quad\left(Q_k>\frac{1}{3}\right)、\ R_2=\frac{R_4}{r_k{}^2\omega_{ck}{}^2}$$

$$FSF=\omega_{ck},R_b=Z,C_b=1/Z/FSF,R_3=R_4$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順３」

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順４」

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順　　「手順４」

２次のローパスフィルタ回路形式１　ｌｐｅｔ１＿２．ｃｉｒ 用

伝達関数の係数は、$\frac{co[j][2]\left(s^2+co[j][3]\right)}{s^2+co[j][0]s+co[j][1]}$の形で与えられるものとします。

各係数を $\frac{R_3}{R_2}\frac{s^2+\frac{R_2}{C_b{}^2R_b{}^2R_4}}{s^2+\frac{3R_1}{C_bR_b\left(R_1+R_4\right)}s+\frac{1}{C_b{}^2R_b{}^2}}$ と合わせます。

１ 与えられた係数から、

$\omega_{ck2}=co[j][1], G=co[j][2], \omega_{b2}=co[j][3]$を代入する。次に、

$\omega_{ck}=\sqrt{\omega_{ck2}}, Q_k=\omega_{ck}/co[j][0]$を計算する。

２ Ｃｂ＝０．０１ｕＦ； Ｒ３＝１０Ｋ； ｅｒ０＝０．００２５

３ Ｃｂｍ＝Ｃｂの仮数部、Ｃｂｙ＝Ｃｂの指数部とする。

　　Ｃｂｍ＝Ｅ２４［ｉ０］に最も近いｉ０を求める。

　　ｉ０２＝０； ｉｅ＝１； ｅｒ＝ｅｒ０

４　　Ｃｂ＝Ｅ２４［ｉ０＋ｉ０２］＊Ｃｂｙ； Ｒｂ＝１．０／ｗｃｋ／Ｃｂ

　　Ｒｂｍ＝Ｒｂの仮数部、Ｒｂｙ＝Ｒｂの指数部とする。

　　Ｒｂｍ＝Ｅ２４［ｉ１］に最も近いｉ１を求め、

　　ＲｂｍのＥ２４シリーズからの誤差がｅｒ以下ならば６に行く。

５ 誤差がｅｒより大きい時

　　＋＋ｉ０２； ｉ０２＜２４なら、４ に戻る。

　　ｉ０２＝２４なら、ｉ０２＝０； ｅｒ＝ｅｒ０＊（＋＋ｉｅ） ４ に戻る

６ Ｃｂ，Ｒｂ及びｗｃｋからの誤差を表示して確認を求める。

　　Ｒｂを変更するなら、入力してＣｂ＝１．０／ｗｃｋ／Ｒｂ； ３ に戻る

　　Ｃｂを変更するなら、入力して ３ に戻る

　　次の候補を確認するなら、 ５ に戻る

　　これで良ければ、７ に行く

７ Ｅ２４シリーズの値で近似するなら

　　Ｒｂ＝Ｅ２４［ｉ１］＊Ｒｂｙ； ６ に戻る

　Ｅ２４シリーズに近似しなければ、８に行く

８ Ｒ４ｍ＝Ｒ４の仮数部、Ｒ４ｙ＝Ｒ４の指数部とする。同様に、Ｒ１、Ｒ２、Ｒ３の仮数部、指数部をＲ１ｍ、Ｒ２ｍ、Ｒ３ｍ、Ｒ１ｙ、Ｒ２ｙ、Ｒ３ｙとする。

　　Ｒ４ｍ＝Ｅ２４［ｉ０］に最も近いｉ０を求める。

　　ｉ０２＝０； ｉｅ＝１； ｅｒ＝ｅｒ０

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順４」

９ Ｒ４＝Ｅ２４［ｉ０＋ｉ０２］＊Ｒ４ｙ； Ｒ１＝Ｒ４／（３＊Ｑｋ－１．０）；

　　Ｒ１ｍ＝Ｅ２４［ｉ１］に最も近いｉ１を求める

　　Ｅ２４シリーズからの誤差がｅｒより小さければ、１１ に行く

１０ 誤差がｅｒより大きければ、＋＋ｉ０２； ｉ０２＜２４ なら ９ に戻る

　　ｉ０２＝２４ なら、ｉ０２＝０； ｅｒ＝ｅｒ０＊（＋＋ｉｅ）； ９ に戻る

１１ Ｒ２＝Ｒ４＊ｗｂ２／ｗｃｋ２； ｉｅ２＝１； ｅｒ＝ｅｒ０＊ｉｅ２；

１２　Ｒ２ｍ＝Ｅ２４［ｉ２］に最も近いｉ２を求める

　　Ｅ２４シリーズからの誤差がｅｒより小さければ、１５ に行く

１３ 誤差がｅｒより大きければ、

　　＋＋ｉｅ２； ｉｅ２＜１９なら、ｅｒ＝ｅｒ０＊ｉｅ２； １２ に戻る

１４ ｉｅ２＝１９ならば、ｅｒ＝ｅｒ０＊ｉｅ； １０ に戻る。

１５ Ｒ３＝Ｇ＊Ｒ４＊ｗｂ２／ｗｃｋ２； ｉｅ３＝１； ｅｒ＝ｅｒ０＊ｉｅ３

１６ Ｒ３ｍ＝Ｅ２４［ｉ３］に最も近いｉ３を求める。

　　Ｅ２４シリーズからの誤差がｅｒより小さければ、１９ に行く

１７ 誤差がｅｒより大きければ、

　　＋＋ｉｅ３； ｉｅ３＜２０ なら、ｅｒ＝ｅｒ０＊ｉｅ３； １６に戻る

１８ ｉｅ３＝２０ならば、ｅｒ＝ｅｒ０＊ｉｅ； １０ に戻る

１９ Ｒ１、Ｒ２、Ｒ３、Ｒ４を表示して、確認を求める。

　　Ｒ１を変更するなら、入力して、Ｒ４＝（３＊Ｑｋ－１．０）＊Ｒ１

　　　　８ に戻る。

　　Ｒ２を変更するなら、入力して、Ｒ４＝Ｒ２＊ｗｃｋ２／ｗｂ２

　　　　８ に戻る。

　　Ｒ３を変更するなら、入力して、Ｒ４＝Ｒ３＊ｗｃｋ２／ｗｂ２／Ｇ

　　　　８ に戻る。

　　Ｒ４を変更するなら、入力して、８ に戻る。

　　次の候補を確認するなら、１０ に戻る

　　これで良ければ、２０ に行く

２０ Ｅ２４シリーズの値に近似するなら

　　Ｒ１＝Ｅ２４［ｉ１］＊Ｒ１ｙ； Ｒ２＝Ｅ２４［ｉ２］＊Ｒ２ｙ；

　　Ｒ３＝Ｅ２４［ｉ３］＊Ｒ３ｙ；　　１５ に戻る

２１ Ｅ２４シリーズの値に近似しなければ、完了

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順４」

楕円関数ローパスフィルタの場合

$$H_m\left(\omega_p, s\right) = \frac{\prod_{\nu=1}^{m/2}\left[s^2 + \left(x_\nu \omega_p\right)^2\right]}{\prod_{\nu=1}^{m/2} \sqrt[m/2]{C_H}\left[s^2 + p_\nu s + q_\nu\right]} \qquad \left(m = even\right)$$

$$H_m\left(\omega_p, s\right) = \frac{\prod_{\nu=1}^{(m-1)/2}\left[s^2 + \left(x_\nu \omega_p\right)^2\right]}{\prod_{\nu=1}^{(m-1)/2} \sqrt[(m-1)/2]{C_H \sigma}\left[s^2 + p_\nu s + q_\nu\right]} \qquad \left(m = odd\right)$$

伝達関数の係数は、$\frac{co[j][2]\left(s^2 + co[j][3]\right)}{s^2 + co[j][0]s + co[j][1]}$ の形で与えられるものとします。

各係数を $\frac{R_3}{R_2}\frac{s^2 + \frac{R_2}{{C_b}^2 {R_b}^2 R_4}}{s^2 + \frac{3R_1}{C_b R_b\left(R_1 + R_4\right)}s + \frac{1}{{C_b}^2 {R_b}^2}}$ と合わせます。

「手順４」がそのまま使用可能です。ｃｏ［ｊ］［２］をフィルタの次数が偶数か奇数かによって正しく計算しておきます。

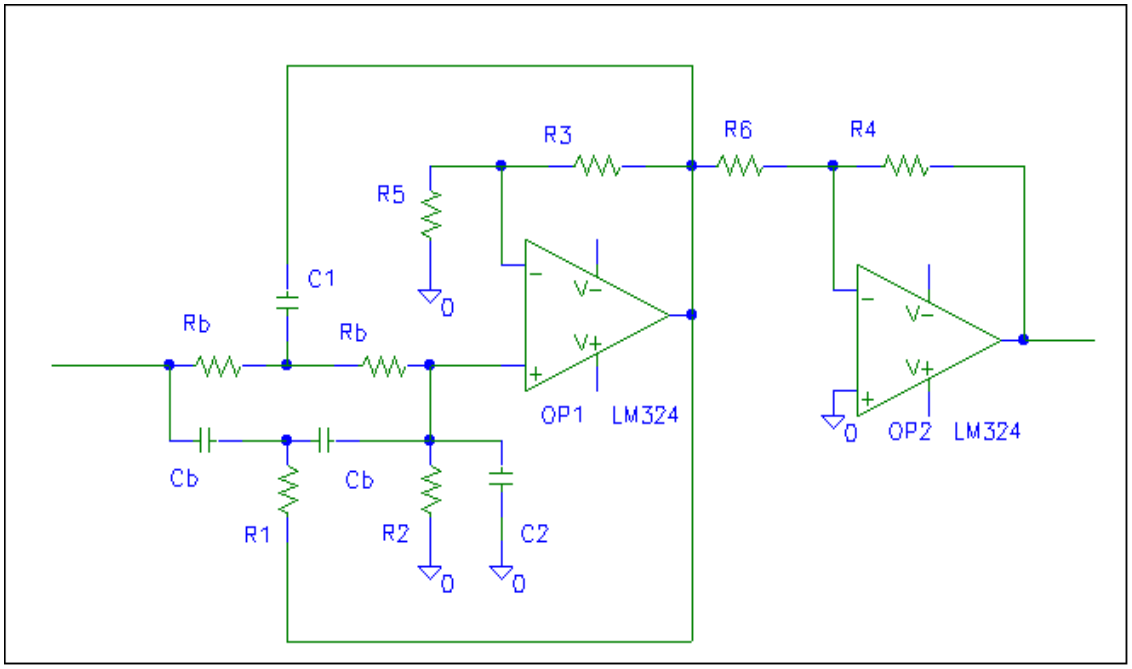
$$co[j][2] = \frac{1}{\sqrt[m/2]{C_H}}\left(m = even\right), \quad co[j][2] = \frac{1}{\sqrt[(m-1)/2]{C_H \sigma}}\left(m = odd\right)$$

$$co[j][0] = p_\nu, \quad co[j][1] = q_\nu, \quad co[j][3] = \left(x_\nu \omega_p\right)^2$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順４」

２次のローパスフィルタ基本回路 lpet2_2.cir



R1=Rb/2, C1=2Cb, R2=2Rb/kr, C2=kdCb/2, R3=(kk-1)R5

ｌｐｅｔ２＿２．ｃｉｒの伝達関数

$$H_2(\omega_p,s)=-\frac{kk}{1+kd}\frac{R_4}{R_6}\frac{s^2+\left(\frac{1}{C_bR_b}\right)^2}{s^2+\frac{kd+kr+4-4kk}{C_bR_b(1+kd)}s+\frac{1+kr}{{C_b}^2{R_b}^2(1+kd)}}$$

逆チェビシェフ ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_c,s)=\prod_{k=0}^{l}\frac{{\omega_{ck}}^2\left({r_k}^2s^2+1\right)}{s^2+\left(\omega_{ck}/Q_k\right)s+{\omega_{ck}}^2}=\prod_{k=0}^{l}\frac{{\omega_{ck}}^2{r_k}^2\left(s^2+1/{r_k}^2\right)}{s^2+\left(\omega_{ck}/Q_k\right)s+{\omega_{ck}}^2}$$

楕円関数ローパスフィルタの場合

$$H_m(\omega_p,s)=\frac{\prod_{\nu=1}^{m/2}\left[s^2+\left(x_\nu\omega_p\right)^2\right]}{\prod_{\nu=1}^{m/2}\sqrt[m/2]{C_H}\left[s^2+p_\nu s+q_\nu\right]}\qquad(m=even)$$

素子値をＥ２４シリーズに合わせる手順

「手順４」

$$H_m\left(\omega_p, s\right) = \frac{\prod_{\nu=1}^{(m-1)/2}\left[s^2 + \left(x_\nu \omega_p\right)^2\right]}{\prod_{\nu=1}^{(m-1)/2}\sqrt[(m-1)/2]{C_H \sigma}\left[s^2 + p_\nu s + q_\nu\right]} \qquad \left(m = odd\right)$$

伝達関数の係数は、$\frac{co[j][2]\left(s^2 + co[j][3]\right)}{s^2 + co[j][0]s + co[j][1]}$ の形で与えられるものとします。

各係数を $\frac{kk}{1+kd}\frac{R_4}{R_6}\frac{s^2 + \left(\frac{1}{C_b R_b}\right)^2}{s^2 + \frac{kd + kr + 4 - 4kk}{C_b R_b\left(1+kd\right)}s + \frac{1+kr}{{C_b}^2 {R_b}^2\left(1+kd\right)}}$ と合わせます。

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ****************************************************************
        関数名：lp_hp_1(Filt_param      &px, Trans      &tx)
        機能：w で与えられる周波数に対応する１次のローパス又はハイパス
              フィルタ回路の定数を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
              最も近い値に近似する
              得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
              fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ****************************************************************
*/
void    Cir::lp_hp_1(Filt_param &px, Trans      &tx)
{
double  w;
        w = tx.Pr[0];
        C1 = 1e-8;
lp_hp_1_ag:
        getcl(C1, C1y, i0);
        ie0 = 1;        i2 = 0;
lp_hp_1_loop_e:
        err = 0.002 * (double)ie0;
lp_hp_1_loop:
        C1 = e24[i0 + i2] * C1y;
        R1 = 1.0 / C1 / w;
        if((err1 = getcl(R1, R1y, i1)) <= err)  goto    lp_hp_1_exit;
lp_hp_1_next:
        if((++i2) < 24) goto    lp_hp_1_loop;
        ie0++;  i2 = 0; goto    lp_hp_1_loop_e;
lp_hp_1_exit:
        switch(lphp1_disp(w, px, tx)){
                case    1:goto  lp_hp_1_ag;
                case    2:goto  lp_hp_1_next;
                case    3:goto  lp_hp_1_exit;
                default:break;
        }
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ********************************************************************
        関数名：lphp1_disp(double       &w, Filt_param  &px, Trans      &tx)
        機能：lp_hp_1() で計算された定数の値を表示して，R1または C1 を変更するか
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        完了の場合には，得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
        fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lphp1_disp(double  &w, Filt_param  &px, Trans      &tx)
{
int     mode, y, y1;
        y = wherey();   locate(1,y);    clrblw();
        printf("１次のフィルタ回路¥n");
        if(px.fil_type == 1)
                printf("%2d  R1_1 = %-9s  C1_1 = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                        1,i_unit(su[0],R1),i_unit(su[1],C1),err1 * 100.0);
        else
                printf("%2d R1_1 = R1_2 = %-9s  C1_1 = %-9s  誤差 = %.4lf %%¥n",
                1,i_unit(su[0],R1),i_unit(su[1],C1),err1 * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("R1_1 を変更するなら R, C1_1 なら C, 他の候補を見るなら N¥n");
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&R1,26,1,0.0);
                        C1 = 1.0 / R1 / w;      mode = 1;       break;
                case    'c':px.inp_para(&C1,27,1,0.0);
                        mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':R1 = e24[i1] * R1y; mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
```

```
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        if(px.fil_type == 1){tx.Pr[0] = tx.Pr[2] = 1./C1/R1;}
        else    {tx.Pr[0] = 1./C1/R1;   tx.Pr[1] = 1.;}
        printf("¥n");
        fprintf(fdat,"１次のフィルタ回路¥n");
        if(px.fil_type == 1)
                fprintf(fdat,"%2d R1_1 = %-9s  C1_1 = %-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                        1,i_unit(su[0],R1),i_unit(su[1],C1),err1 * 100.0);
        else
                fprintf(fdat,"%2d R1_1=R1_2=%-9s  C1_1=%-9s  誤差 = %.4lf %%¥n",
                        1,i_unit(su[0],R1),i_unit(su[1],C1),err1 * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(1,"R1_%-d",R1);      search_wrt(1,"C1_%-d",C1);
                if(px.fil_type == 2)    search_wrt(1,"R2_%-d",R1);
        }
        return(mode);
}
/*      ****************************************************************
        関数名：cal_lpat_k(int  i, double &Qk2, double  m, double &k)
        機能：２次のローパスフィルタ回路 lpat1_2, lpat2_2 において
                m, Qk2 における，２つの抵抗の比 k = R2/R1 を求める

                ２次のハイパスフィルタ回路 hpat1_2, hpat2_2 において
                K, Qk2 における，２つのキャパシタの比 m = C1 / C2 を求めるには
                引き数を与える時に，m と k の順番を入れ替えればよい
        ****************************************************************
*/
void    Cir::cal_lpat_k(int     i, double       &Qk2, double    m,          double
        &k)
{
        if(i == 1)      k = ( m - Qk2/2. + sqrt(m*(m - Qk2)) ) / Qk2;
        else    k = ( m - Qk2/2. + sqrt(m*(m - Qk2)) ) * 2. / Qk2;
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ************************************************************
        関数名：cal_lpat_Qk2(int i, double &Q,double &Qk2)
        機能：２次のローパスフィルタ回路 lpat1_2, lpat2_2 において
                ２つのキャパシタの比 m = C1/C2 の最小値 Qk2 を求める

                ２次のハイパスフィルタ回路 hpat1_2, hpat2_2 において
                ２つのキャパシタの比 m = C1 / C2 の最小値 Qk2 を求める時も
                このまま使用出来る
        ************************************************************
*/
void    Cir::cal_lpat_Qk2(int   i, double       &Q,double       &Qk2)
{
        if(i == 1)      Qk2 = 8. * pow(Q, 2.);
        else    Qk2 = 4. * pow(Q, 2.);
}
/*      ************************************************************
        関数名：Cir::lpat(int i, int j, Filt_param &px, Trans   &tx)
        機能：２次のローパスフィルタ回路 lpat1_2, lpat2_2 において
                フィルタ回路の定数を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
                最も近い値に近似する
                i = 1 なら LP1, i = 2 なら LP2
                得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
                fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ************************************************************
*/
void    Cir::lpat(int   i, int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
double  w, Q, Qk2, m, k;
        w = sqrt(tx.Sc[j][1]);  Q = w / tx.Sc[j][0];
        cal_lpat_Qk2(i, Q, Qk2);
        C1 = 1e-8;
lpat_ag:
        getcl(C1, C1y, i0);     ie0 = 1;        i2 = 0;
lpat_loop_e:
        err = 0.002 * (double)ie0;
lpat_loop1:
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
        C1 = e24[i0 + i2] * C1y;
        m = Qk2;        C2 = C1 / m;
        getcl(C2, C2y, i1);     i1 += 24; i3 = 0;       C2y /= 10.;
lpat_loop2:
        C2 = e24[i1 - i3] * C2y;
        m = C1 / C2;
        if(m < Qk2){
                if((++i3) == 24)        {C2y /= 10.;    i3 = 0;}
                goto    lpat_loop2;
        }
        if(m > 100. * Qk2){
                if((++i2) < 24) goto    lpat_loop1;
                ie0++;  i2 = 0; goto    lpat_loop_e;
        }
        cal_lpat_k(i, Qk2, m, k);
        R1 = 1. / C2 / w / sqrt(m * k);
        if((err1 = getcl(R1, R1y,i4)) <= err)   goto    lpat_loop4;
lpat_loop3:
        if((++i3) == 24){i3 = 0;        C2y /= 10.0;}
        goto    lpat_loop2;
lpat_loop4:
        R2 = k * R1;
        if((err2 = getcl(R2, R2y, i5)) > err)   goto    lpat_loop3;
lpat_exit:
        switch(lpat_disp(i, j, w, m, k, px, tx)){
                case    1:goto  lpat_ag;
                case    2:goto  lpat_loop3;
                case    3:goto  lpat_exit;
                default:break;
        }
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ********************************************************************
        関数名：lpat_disp(int   i, int  j, double       &w, double      &m,
                        double  &k, Filt_param  &px, Trans      &tx)
        機能：lpat() で計算された定数の値を表示して，R1 または C2 を変更するか
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        完了の場合には，得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
        fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        i = 1 なら LP1, i = 2 なら LP2
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lpat_disp(int      i, int  j, double       &w, double      &m,
                double  &k, Filt_param  &px, Trans      &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        ord = j + 1 + tx.odd;
        y = wherey();   if(y > 20)      {clr(); y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  C1_%-d = %-9s  C2_%-d = %-9s¥n",
                ord,ord,i_unit(su[0],C1),ord,i_unit(su[1],C2));
        if(i == 1){
                printf("  R1_%-d=R3_%-d=%-9s  R2_%-d = %-9s  誤差 = %.4lf %%¥n",
                        ord,ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2),
                        sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
        }       else    {
                printf("    R1_%-d = %-9s  R2_%-d = %-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                        ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2),
                        sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
        }
        y1 = wherey();
        printf("R1_%-d を変更するなら R, C1_%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
```

```
switch(buf[0]){
        case    'r':px.inp_para(&R1,26,1,0.0);
                        C1 = m / R1 / w / sqrt(m * k);
                        mode = 1;       break;
        case    'c':px.inp_para(&C1,27,1,0.0);  mode = 1;
                        break;
        case    'n':mode = 2;   break;
        case    'e':R1 = e24[i4] * R1y;
                        R2 = e24[i5] * R2y;
                        mode = 3;       break;
        case    'g':
        default:        mode = 4;       break;
}
if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
locate(1,y1);   clrblw();
if(i == 1){
        tx.Sc[j][0] = (R1 + 2.*R2)/R1/R2/C1;
        tx.Sc[j][1] = tx.Sc[j][4] = 1./R1/R2/C1/C2;
}       else    {
        tx.Sc[j][0] = (R1 + R2)/R1/R2/C1;
        tx.Sc[j][1] = tx.Sc[j][4] = 1./R1/R2/C1/C2;
}
printf("¥n");
fprintf(fdat,"%2d  C1_%-d = %-9s  C2_%-d = %-9s¥n",
        ord,ord,i_unit(su[0],C1),ord,i_unit(su[1],C2));
if(i == 1){
        fprintf(fdat,
                "  R1_%-d=R3_%-d=%-9s  R2_%-d=%-9s  誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
}       else    {
        fprintf(fdat,"  R1_%-d=%-9s  R2_%-d = %-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
}
```

```
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R1_%-d",R1);    search_wrt(ord,"R2_%-d",R2);
                if(i == 1)      search_wrt(ord,"R3_%-d",R1);
                search_wrt(ord,"C1_%-d",C1);    search_wrt(ord,"C2_%-d",C2);
        }
        return(mode);
}
/*      ************************************************************
        関数名：Cir::hpat(int   i, int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：２次のハイパスフィルタ回路 hpat1_2, hpat2_2 において
                フィルタ回路の定数を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
                最も近い値に近似する
                i = 1 なら HP1, i = 2 なら HP2
                得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
                fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ************************************************************
*/
void    Cir::hpat(int   i, int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
double  w, Q, Qk2, m, k;
        w = sqrt(tx.Sc[j][1]);  Q = w / tx.Sc[j][0];
        cal_lpat_Qk2(i, Q, Qk2);
        R1 = 1e3;
hpat_ag:
        getcl(R1, R1y, i0);     ie0 = 1;        i2 = 0;
hpat_loop_e:
        err = 0.002 * (double)ie0;
hpat_loop1:
        R1 = e24[i0 + i2] * R1y;
        k = Qk2;        R2 = k * R1;
        R2 = getg(R2, R2y, i1); i3 = 0;
hpat_loop2:
        R2 = e24[i1 + i3] * R2y;
        k = R2 / R1;
        if(k > 100. * Qk2){
                if((++i2) < 24) goto    hpat_loop1;
```

```
                ie0++;  i2 = 0; goto    hpat_loop_e;
        }
        cal_lpat_k(i, Qk2, k, m);
        C2 = 1. / R1 / w / sqrt(m * k);
        if((err1 = getcl(C2, C2y,i4)) <= err)   goto    hpat_loop4;
hpat_loop3:
        if((++i3) >= 24){i3 = 0;        R2y *= 10.0;}
        goto    hpat_loop2;
hpat_loop4:
        C1 = m * C2;
        if((err2 = getcl(C1, C1y, i5)) > err)   goto    hpat_loop3;
hpat_exit:
        switch(hpat_disp(i, j, w, m, k, px, tx)){
                case    1:goto  hpat_ag;
                case    2:goto  hpat_loop3;
                case    3:goto  hpat_exit;
                default:break;
        }
}
/*      ********************************************************************
        関数名：hpat_disp(int   i, int  j, double       &w, double      &m,
                        double  &k, Filt_param  &px, Trans      &tx)
        機能：hpat() で計算された定数の値を表示して，R1 または C2 を変更するか
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        完了の場合には，得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
        fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        i = 1 なら HP1, i = 2 なら HP2
        ********************************************************************
*/
int     Cir::hpat_disp(int      i, int  j, double       &w, double      &m,
                double  &k, Filt_param  &px,    Trans   &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        ord = j + 1 + tx.odd;
```

```
y = wherey();   if(y > 20)      {clr(); y = wherey();}
locate(1,y);    clrblw();
printf("%2d  R1_%-d = %-9s  R2_%-d = %-9s¥n",
        ord,ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2));
if(i == 1){
        printf("  C1_%-d=C3_%-d=%-9s  C2_%-d=%-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord,i_unit(su[0],C1),ord,i_unit(su[1],C2),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
}       else    {
        printf("  C1_%-d = %-9s  C2_%-d = %-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,i_unit(su[0],C1),ord,i_unit(su[1],C2),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
}
y1 = wherey();
printf("R1_%-d を変更するなら R, C1_%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
        ord,ord);
printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
get_lower_string(buf);
switch(buf[0]){
        case    'r':px.inp_para(&R1,26,1,0.0);
                        mode = 1;       break;
        case    'c':px.inp_para(&C1,28,1,0.0);
                        R1 = m / C1 / w / sqrt(m * k);
                        mode = 1;       break;
        case    'n':mode = 2;   break;
        case    'e':C1 = e24[i5] * C1y;
                        C2 = e24[i4] * C2y;
                        mode = 3;       break;
        case    'g':
        default:        mode = 4;       break;
}
if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
locate(1,y1);   clrblw();
if(i == 1){
        tx.Sc[j][0] = (C2 + 2.*C1)/C1/C2/R2;    tx.Sc[j][3] = 1.0;
        tx.Sc[j][1] = 1./R1/R2/C1/C2;
```

```
        }       else    {
                tx.Sc[j][0] = (C2 + C1)/C1/C2/R2;       tx.Sc[j][3] = 1.0;
                tx.Sc[j][1] = 1./R1/R2/C1/C2;
        }
        printf("¥n");
        fprintf(fdat,"%2d  R1_%-d = %-9s  R2_%-d = %-9s¥n",
                ord,ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2));
        if(i == 1){
                fprintf(fdat,
                        "  C1_%-d=C3_%-d=%-9s  C2_%-d=%-9s  誤差 = %.4lf %%¥n",
                        ord,ord,i_unit(su[0],C1),ord,i_unit(su[1],C2),
                        sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
        }       else    {
                fprintf(fdat,"  C1_%-d=%-9s  C2_%-d = %-9s  誤差 = %.4lf %%¥n",
                        ord,i_unit(su[0],C1),ord,i_unit(su[1],C2),
                        sqrt(err1*err1 + err2*err2)*100.);
        }
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R1_%-d",R1);    search_wrt(ord,"R2_%-d",R2);
                search_wrt(ord,"C1_%-d",C1);    search_wrt(ord,"C2_%-d",C2);
                if(i == 1)      search_wrt(ord,"C3_%-d",C1);
        }
        return(mode);
}
/*      ****************************************************************
        関数名：lpet1_RbCb(int  j, double       w, Filt_param   &px)
        機能：lpet1
        w で与えられる周波数に対応する極零型の２次のローパス又はハイパス
        フィルタ回路の Rb と Cb の定数を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
        最も近い値に近似する
        ****************************************************************
*/
void    Cir::lpet1_RbCb(int j, double w, Filt_param &px, Trans &tx)
{
        Cb = 1e-8;
lpet1_RbCb_ag:
```

```
        getcl(Cb, Cby, i0);
        ie0 = 1;        i2 = 0;
lpet1_RbCb_loop_e:
        err = 0.002 * (double)ie0;
lpet1_RbCb_loop:
        Cb = e24[i0 + i2] * Cby;
        Rb = 1.0 / Cb / w;
        if((err1 = getcl(Rb, Rby, i1)) <= err)  goto    lpet1_RbCb_exit;
lpet1_RbCb_next:
        if((++i2) < 24) goto    lpet1_RbCb_loop;
        ie0++;  i2 = 0; goto    lpet1_RbCb_loop_e;
lpet1_RbCb_exit:
        switch(lpet1_RbCb_disp(j, w, px, tx)){
                case    1:goto  lpet1_RbCb_ag;
                case    2:goto  lpet1_RbCb_next;
                case    3:goto  lpet1_RbCb_exit;
                default:break;
        }
}
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet1_RbCb_disp(int j, double &w, Filt_param &px, Trans &tx)
        機能：lpet1_RbCb() で計算された定数の値を表示して，Rb または Cb を変更
                するか他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了
                とするかを選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として
                返す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lpet1_RbCb_disp(int j,double &w, Filt_param &px,   Trans &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        if(px.fil_type < 3)     ord = j + 1 + tx.odd;
        else    ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  Rb_%-d = %-9s  Cb_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
```

```
                ord,ord, i_unit(su[0],Rb),ord,i_unit(su[1],Cb),err1 * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("Rb_%-d を変更するなら R, Cb%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&Rb,29,1,0.0);
                                Cb = 1.0 / Rb / w;      mode = 1;       break;
                case    'c':px.inp_para(&Cb,30,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':Rb = e24[i1] * Rby; mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        fprintf(fdat,"%2d  Rb_%-d = %-9s  Cb_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],Rb),ord,i_unit(su[1],Cb),err1 * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"Rb_%-d",Rb);    search_wrt(ord,"Cb_%-d",Cb);
        }
        return(mode);
}
/*      ************************************************************
        関数名：Cir::lpet1(int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：２次のローパスまたはハイパスフィルタ回路 lpet1_2 において
                フィルタ回路の定数を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
                最も近い値に近似する
                得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
                fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ************************************************************
*/
int     Cir::lpet1(int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
double  w, Q, k1, k2, k3;
int     l;
        w = sqrt(tx.Sc[j][1]);  Q = w / tx.Sc[j][0];
        if(Q <= 1./3.)  {
                fprintf(fdat,"lpet1 で 変換不能, j = %d¥n",j);
                return(1);
        }
        lpet1_RbCb(j, w, px, tx);
        k1 = 1. / (3.*Q - 1.);  k2 = tx.Sc[j][4] / tx.Sc[j][1] / tx.Sc[j][2];
        k3 = tx.Sc[j][4] / tx.Sc[j][1];
        R1 = 1e3;
lpet1_ag:
        getcl(R1, R1y, i0);     ie0 = 1;        i2 = 0;
lpet1_loop_e:
        err = 0.002 * (double)ie0;
lpet1_loop1:
        R1 = e24[i0 + i2] * R1y;
        R4 = R1 / k1;
        if((err1 = getcl(R4, R4y, i1)) > err)   goto    lpet1_loop2;
        R2 = k2 * R4;
        if((err2 = getcl(R2, R2y, i3)) > err)   goto    lpet1_loop2;
        R3 = k3 * R4;
        if((err3 = getcl(R3, R3y,i4)) <= err)   goto    lpet1_exit;
lpet1_loop2:
        if((++i2) >= 24){ie0++; i2 = 0; goto    lpet1_loop_e;}
        goto    lpet1_loop1;
lpet1_exit:
        switch(lpet1_disp(j, px, tx)){
                case    1:goto  lpet1_ag;
                case    2:goto  lpet1_loop2;
                case    3:goto  lpet1_exit;
                default:break;
        }
        return(0);
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet1_disp(int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：lpet1() で計算された定数の値を表示して, R4 を変更するか
        他の候補を探すか, E24 シリーズに近似するか, 現在の値で完了とするかを
        選択し, それぞれの処理を行い, それを mode の値として返す
        完了の場合には, 得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
        fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lpet1_disp(int     j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        if(px.fil_type < 3)     ord = j + 1 + tx.odd;
        else ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  R1_%-d = %-9s R2_%-d = %-9s R3_%-d = %-9s R4_%-d = %-9s  誤
差 = %.4lf %%¥n",ord,ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2),
        ord,i_unit(su[2],R3),ord,i_unit(su[3],R4),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2 + err3*err3) * 100.);
        y1 = wherey();
        printf("R1_%-d を変更するなら R, 他の候補を見るなら N¥n",ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&R1,26,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':R4 = e24[i1] * R4y;
                                R2 = e24[i3] * R2y;
                                R3 = e24[i4] * R3y;
                                mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
```

```
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        tx.Sc[j][0] = 3.*R1/(R1 + R4)/Cb/Rb;
        tx.Sc[j][1] = pow(Cb * Rb, -2.);
        tx.Sc[j][2] = R3 / R2;  tx.Sc[j][4] = R3 / R4 * tx.Sc[j][1];
        printf("¥n");
        fprintf(fdat,"%2d  R1_%-d = %-9s R2_%-d = %-9s R3_%-d = %-9s R4_%-d = %-
9s  誤差 = %.4lf %%¥n",ord,ord,i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],R2),
        ord,i_unit(su[2],R3),ord,i_unit(su[3],R4),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2 + err3*err3) * 100.);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R1_%-d",R1);    search_wrt(ord,"R2_%-d",R2);
                search_wrt(ord,"R3_%-d",R3);    search_wrt(ord,"R4_%-d",R4);
        }
        return(mode);
}
/*      ************************************************************
        関数名：Cir::lpet2(int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：２次のローパスまたはハイパスフィルタ回路 lpet2_2 において
                フィルタ回路の定数を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
                最も近い値に近似する
                得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
                fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ************************************************************
*/
int     Cir::lpet2(int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
double  lpG, wz2, wp2, wz, wp, lpQ, kk, kd, kr;
        lpG = tx.Sc[j][2];
        wz2 = tx.Sc[j][4] / lpG;
        wp2 = tx.Sc[j][1];
        lpQ = sqrt(wp2) / tx.Sc[j][0];
        if(lpQ <= 0.5)  {
                fprintf(fdat,"lpet2 で 変換不能, j = %d¥n",j);
                return(1);
        }
```

```
        lpet2_c1(j, sqrt(wz2), px, tx);
        if(wz2 >= wp2)  lpet2_L(j, wp2, wz2, lpQ, kk, kd, px, tx);
        else    lpet2_H(j, wp2, wz2, lpQ, kk, kd, px, tx);
        lpet2_c2(j, kk, kd, lpG, px, tx);
        kk = R3 / R5 + 1.;      kd = 2.* C2 / Cb;       kr = 2.* Rb / R2;
        wz = 1./ Cb / Rb;       wz2 = wz * wz;
        tx.Sc[j][0] = (kd + kr + 4. - 4.* kk) * wz / (1. + kd);
        tx.Sc[j][1] = (1.+ kr) / (1.+ kd) * wz2;
        tx.Sc[j][2] = kk * R4 / (1.+ kd) / R6;
        tx.Sc[j][4] = tx.Sc[j][2] * wz2;
        return(0);
}
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet2_c1(int    j, double       w, Filt_param   &px)
        機能：w で与えられる周波数に対応する極零型の２次のローパス又はハイパス
              フィルタ回路の Rb と Cb , R1, C1 の定数を求めて,
              必要に応じて E24 シリーズに最も近い値に近似する
        ********************************************************************
*/
void    Cir::lpet2_c1(int j, double w, Filt_param &px, Trans &tx)
{
int     y, y1;
        Cb = 1e-8;
lpet2_c1_ag:
        getcl(Cb, Cby, i0);
        ie0 = 1;        i2 = 0;
lpet2_c1_loop1:
        Cb = e24[i0 + i2] * Cby;
        Rb = 1. / Cb / w;
        err1 = getcl(Rb, Rby, i1);
        if(err1 <= 0.002 * (double)ie0) goto    lpet2_c1_loop2;
lpet2_c1_loop4:
        if((i2++) >= 24)        {ie0++; i2 = 0;}
        goto    lpet2_c1_loop1;
lpet2_c1_loop2:
        C1 = 2.* Cb;    ie1 = 10;
```

```
        err2 = getcl(C1, C1y, i3);
lpet2_c1_loop3:
        if(err2 <= 0.002 * (double)ie1) goto    lpet2_c1_loop5;
        ie1 += 5;
        if(ie1 < 21)    goto    lpet2_c1_loop3;
        goto    lpet2_c1_loop4;
lpet2_c1_loop5:
        R1 = Rb / 2.;   ie2 = 10;
        err3 = getcl(R1, R1y, i4);
lpet2_c1_loop6:
        if(err3 <= 0.002 * (double)ie2) goto    lpet2_c1_exit;
        ie2 += 5;
        if(ie2 < 21)    goto    lpet2_c1_loop6;
        goto    lpet2_c1_loop4;
lpet2_c1_exit:
        switch(lpet2_c1_disp(j, w, px, tx)){
                case    1:goto  lpet2_c1_ag;
                case    2:goto  lpet2_c1_loop4;
                case    3:goto  lpet2_c1_exit;
                default:break;
        }
}
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet2_c1_disp(int j, double &w, Filt_param &px, Trans &tx)
        機能：lpet2_c1() で計算された定数の値を表示して，Rb または Cb を変更
                するか他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で
                完了とするかを選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値
                として返す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lpet2_c1_disp(int j, double &w, Filt_param &px, Trans &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        if(px.fil_type < 3)     ord = j + 1 + tx.odd;
        else    ord = j + 1;
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  Rb_%-d = %-9s Cb_%-d = %-9s R1_%-d = %-9s C1_%-d = %-9s  誤
差 = %.4lf %%¥n",ord,ord, i_unit(su[0],Rb),ord,i_unit(su[1],Cb),
        ord,i_unit(su[2],R1),ord,i_unit(su[3],C1),
        sqrt(err1*err1 + err2*err2 + err3*err3) * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("Rb_%-d を変更するなら R, Cb_%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&Rb,29,1,0.0);
                                Cb = 1.0 / Rb / w;      mode = 1;       break;
                case    'c':px.inp_para(&Cb,30,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':Rb = e24[i1] * Rby; mode = 3;
                                C1 = e24[i3] * C1y;     R1 = e24[i4] * R1y;
                                break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        fprintf(fdat,"%2d  Rb_%-d = %-9s Cb_%-d = %-9s R1_%-d = %-9s C1_%-d = %-
9s  誤差 = %.4lf %%¥n",ord,ord, i_unit(su[0],Rb),ord,i_unit(su[1],Cb),
        ord,i_unit(su[2],R1),ord,i_unit(su[3],C1),
        sqrt(err1*err1 + err2*err2 + err3*err3) * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"Rb_%-d",Rb);    search_wrt(ord,"Cb_%-d",Cb);
                search_wrt(ord,"R1_%-d",R1);    search_wrt(ord,"C1_%-d",C1);
        }
        return(mode);
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ****************************************************************
        関数名：Cir::lpet2_L(int j, double wp2, double wz2, double Q,
                        double  &kk, double     &kd, Filt_param &px)
        機能：lpet2_2 において、フィルタが２次のローパス回路の場合
                フィルタ回路の定数 R2, C2  を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
                最も近い値に近似する
        ****************************************************************
*/
void    Cir::lpet2_L(int j, double wp2, double wz2, double Q,
                double &kk, double &kd, Filt_param &px, Trans &tx)
{
double  wp, wz, kda, kdb, kr, C2yorg;
        wp = sqrt(wp2); wz = sqrt(wz2);
        kda = wz2 / wp2 - 1.;
        kdb = (Q*(wz2 - wp2) + wz*wp) / (Q*(wz2 + wp2) - wz*wp);
        if(wz2 == wp2)  kdmin = 1./(2.*Q - 1.);
        else    kdmin = ((kda > kdb) ? kda:kdb);
        C2 = kdmin * Cb / 2.;
lpet2_L_ag:
        getcl(C2, C2y, i0);     ie0 = 1;        i2 = 0; C2yorg = C2y;
lpet2_L_loope:
        err = 0.002 * (double)ie0;
lpet2_L_loop1:
        C2 = e24[i0 + i2] * C2y;
        if((kd = 2.*C2 / Cb) > kdmin)   goto    lpet2_L_loop2;
lpet2_L_loop3:
        if((++i2) >= 24){
                C2y *= 10.;     i2 = 0;
                if(C2y > 100.*C2yorg) {C2y = C2yorg;    ie0++;  goto
        lpet2_L_loope;}
        }
        goto    lpet2_L_loop1;
lpet2_L_loop2:
        kr = wp2 * (1. + kd) / wz2 - 1.;
        R2 = 2.*Rb / kr;
        if((err1 = getcl(R2, R2y, i1)) > err)   goto    lpet2_L_loop3;
```

```
lpet2_L_exit:
        switch(lpet2_L_disp(j, wp2, wz2, px, tx)){
                case    1:goto  lpet2_L_ag;
                case    2:goto  lpet2_L_loop3;
                case    3:goto  lpet2_L_exit;
                default:break;
        }
        kk = (kd + kr + 4 - wp * (1 + kd) / wz / Q) / 4.;
}
/*      ****************************************************************
        関数名：lpet2_L_disp(int        j, double       wp2, double     wz2,
                        Filt_param      &px, Trans      &tx)
        機能：lpet2_L() で計算された定数の値を表示して，R2 を変更するか，C2 か
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        ****************************************************************
*/
int     Cir::lpet2_L_disp(int j, double wp2, double wz2,
                Filt_param &px,Trans &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        if(px.fil_type < 3)     ord = j + 1 + tx.odd;
        else    ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  R2_%-d = %-9s  C2_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R2),ord,i_unit(su[1],C2),err1 * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("R2_%-d を変更するなら R, C2_%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&R2,32,1,0.0);
                                C2 = Cb * (wz2*(1+2.*Rb/R2)/wp2 - 1.0) / 2.;
```

```
                        mode = 1;       break;
                case    'c':printf("C2 は %-9s 以上の値になります¥n",
                        i_unit(su[0],kdmin * Cb / 2.));
                        px.inp_para(&C2,28,1,0.0);
                        mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':R2 = e24[i1] * R2y; mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        fprintf(fdat,"%2d  R2_%-d = %-9s  C2_%-d = %-9s     誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord,  i_unit(su[0],R2),ord,i_unit(su[1],C2),err1 * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R2_%-d",R2);    search_wrt(ord,"C2_%-d",C2);
        }
        return(mode);
}
/*      ****************************************************************
        関数名：Cir::lpet2_H(int  j,  double wp2,  double wz2,  double Q,
                        double &kk,  double &kd,  Filt_param &px,  Trans &tx)
        機能：lpet2_2 において、フィルタが２次のハイパス回路の場合
                フィルタ回路の定数 R2,  C2   を求めて，必要に応じて E24 シリーズに
                最も近い値に近似する
        ****************************************************************
*/
void    Cir::lpet2_H(int  j,  double wp2,  double wz2,  double Q,
                double &kk,  double &kd,  Filt_param &px,  Trans &tx)
{
double  wp,  wz,  kra,  krb,  kr,  R2yorg;
        wp = sqrt(wp2);  wz = sqrt(wz2);
        kra = wp2 / wz2 - 1.;
        krb = (Q*(wp2 - wz2) + wz*wp) / (Q*(wz2 + wp2) - wz*wp);
        krmin = ((kra > krb) ? kra:krb);
        R2 = 2.* Rb / krmin;
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
lpet2_H_ag:
        getcl(R2 / 10., R2y, i0);
        i2 = 24;        ie0 = 1;        R2yorg = R2y;
lpet2_H_loope:
        err = 0.002 * (double)ie0;
lpet2_H_loop1:
        R2 = e24[i0 + i2] * R2y;
        if((kr = 2.* Rb / R2) > krmin)  goto    lpet2_H_loop2;
lpet2_H_loop3:
        if((--i2) == 0) {
                R2y /= 10.;     i2 = 24;
                if(R2y < R2yorg/100.)   {ie0++; R2y = R2yorg;   goto
        lpet2_H_loope;}
        }
        goto    lpet2_H_loop1;
lpet2_H_loop2:
        kd = wz2 * (1. + kr) / wp2 - 1.;
        C2 = kd * Cb / 2.;
        if((err1 = getcl(C2, C2y, i1)) > err)   goto    lpet2_H_loop3;
lpet2_H_exit:
        switch(lpet2_H_disp(j, wp2, wz2, px, tx)){
                case    1:goto  lpet2_H_ag;
                case    2:goto  lpet2_H_loop3;
                case    3:goto  lpet2_H_exit;
                default:break;
        }
        kk = (kd + kr + 4 - wp * (1 + kd) / wz / Q) / 4.;
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet2_H_disp(int j, double wp2, double wz2,
                        Filt_param &px, Trans &tx)
        機能：lpet2_H() で計算された定数の値を表示して，R2 を変更するか，C2 か
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lpet2_H_disp(int j, double wp2, double wz2,
                Filt_param &px,Trans &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        if(px.fil_type < 3)     ord = j + 1 + tx.odd;
        else    ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  R2_%-d = %-9s  C2_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R2),ord,i_unit(su[1],C2),err1 * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("R2_%-d を変更するなら R, C2_%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':printf("R2 は %-9s 以下になります¥n",
                                i_unit(su[0],2.* Rb / krmin));
                                px.inp_para(&R2,32,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'c':px.inp_para(&C2,28,1,0.0);
                                R2 = 2.* Rb / (wp2*(1+2.* C2/Cb)/wz2 - 1.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':C2 = e24[i1] * C2y; mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
```

```
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        fprintf(fdat,"%2d  R2_%-d = %-9s  C2_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R2),ord,i_unit(su[1],C2),err1 * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R2_%-d",R2);    search_wrt(ord,"C2_%-d",C2);
        }
        return(mode);
}
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet2_c2(int    j, double       kk, double      kd,
                        double  G, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：w で与えられる周波数に対応する極零型の２次のローパス又はハイパス
                フィルタ回路の R3 と R4 , R5, R6 の定数を求めて,
                必要に応じて E24 シリーズに最も近い値に近似する
        ********************************************************************
*/
void    Cir::lpet2_c2(int       j, double       kk, double      kd,
                double  G, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
        R5 = 1e4;
lpet2_c2_ag:
        getcl(R5, R5y, i0);
        ie0 = 1;        i2 = 0;
lpet2_c2_loop1:
        R5 = e24[i0 + i2] * R5y;
        R3 = (kk - 1) * R5;
        err1 = getcl(R3, R3y, i1);
        if(err1 <= 0.002 * (double)ie0) goto    lpet2_c2_loop2;
lpet2_c2_loop3:
        if((++i2) == 24)        {ie0++; i2 = 0;}
        goto    lpet2_c2_loop1;
lpet2_c2_loop2:
        switch(lpet2_c2_disp1(j, kk, px, tx)){
                case    1:goto  lpet2_c2_ag;
```

```
                case    2:goto  lpet2_c2_loop3;
                case    3:goto  lpet2_c2_loop2;
                default:break;
        }
        R6 = 1e4;
lpet2_c2_ag2:
        getcl(R6, R6y, i0);
        ie0 = 1;        i2 = 0;
lpet2_c2_loop4:
        R6 = e24[i0 + i2] * R6y;
        R4 = (1. + kd) * G * R6 / kk;
        err1 = getcl(R4, R4y, i1);
        if(err1 <= 0.002 * (double)ie0) goto    lpet2_c2_exit;
lpet2_c2_loop5:
        if((++i2) == 24)        {ie0++; i2 = 0;}
        goto    lpet2_c2_loop4;
lpet2_c2_exit:
        switch(lpet2_c2_disp2(j, kk, kd, G, px, tx)){
                case    1:goto  lpet2_c2_ag2;
                case    2:goto  lpet2_c2_loop5;
                case    3:goto  lpet2_c2_exit;
                default:break;
        }
}
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet2_c2_disp1(int j, double kk, Filt_param &px, Trans &tx)
        機能：lpet2_c2() で計算された定数の値を表示して，R3 または R5 を変更
        するか他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とする
        かを選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lpet2_c2_disp1(int j, double kk, Filt_param &px, Trans &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        if(px.fil_type < 3)     ord = j + 1 + tx.odd;
```

```
        else    ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  R3_%-d = %-9s  R5_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R3),ord,i_unit(su[1],R5),err1 * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("R3_%-d を変更するなら 3, R5_%-d なら 5, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    '3':px.inp_para(&R3,33,1,0.0);
                                R5 = R3 / (kk -1.);
                                mode = 1;       break;
                case    '5':px.inp_para(&R5,34,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':R3 = e24[i1] * R3y; mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        fprintf(fdat,"%2d  R3_%-d = %-9s  R5_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R3),ord,i_unit(su[1],R5),err1 * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R3_%-d",R3);    search_wrt(ord,"R5_%-d",R5);
        }
        return(mode);
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ********************************************************************
        関数名：lpet2_c2_disp2(int  j,double kk,double kd,double G,
                        Filt_param &px, Trans &tx)
        機能：lpet2_c2() で計算された定数の値を表示して，R4 または R6 を変更
        するか他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とする
        かを選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::lpet2_c2_disp2(int  j,double kk,double kd,  double G,
                Filt_param &px, Trans &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        if(px.fil_type < 3)     ord = j + 1 + tx.odd;
        else    ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  R4_%-d = %-9s  R6_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord,  i_unit(su[0],R4),ord,i_unit(su[1],R6),err1 * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("R4_%-d を変更するなら 4, R6_%-d なら 6, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    '4':px.inp_para(&R4,35,1,0.0);
                                R6 = kk * R4 / G / (1. + kd);
                                mode = 1;       break;
                case    '6':px.inp_para(&R6,36,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':R4 = e24[i1] * R4y; mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
```

```
        locate(1,y1);   clrblw();
        printf("¥n");
        fprintf(fdat,"%2d  R4_%-d = %-9s  R6_%-d = %-9s    誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R4),ord,i_unit(su[1],R6),err1 * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R4_%-d",R4);    search_wrt(ord,"R6_%-d",R6);
        }
        return(mode);
}
/*      ************************************************************
        関数名：bpat1(int       j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：１次のバンドパスフィルタ回路の定数を求めて,
                必要に応じて E24 シリーズに最も近い値に近似する
                得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
                fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ************************************************************
*/
int     Cir::bpat1(int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
double  wp2, wp, lpG, lpQ, kc2, kr2;
        wp2 = tx.Sc[j][1];      wp = sqrt(wp2);
        lpQ = wp / tx.Sc[j][0]; lpG = tx.Sc[j][3] / tx.Sc[j][0];
        if(lpQ <= sqrt(lpG / 2.))       {
                fprintf(fdat,"bpat1 で 変換不能, j = %d¥n",j);
                return(1);
        }
        R1 = 1e4;       kc2 = lpQ / lpG / wp;
        kr2 = lpG / (2.* lpQ * lpQ - lpG);
bpat1_ag:
        getcl(R1, R1y, i0);
        i2 = 0; ie0 = 1;
bpat1_loope:
        err = 0.002 * (double)ie0;
bpat1_loop1:
        R1 = e24[i0 + i2] * R1y;
        C1 = kc2 / R1;
```

```
        err1 = getcl(C1, C1y, i1);
        if(err1 <= err) goto    bpat1_loop2;
bpat1_loop3:
        if((++i2) == 24){ie0++; i2 = 0; goto    bpat1_loope;}
        goto    bpat1_loop1;
bpat1_loop2:
        R2 = kr2 * R1;
        err2 = getcl(R2, R2y, i3);
        if(err2 > err)  goto    bpat1_loop3;
        R3 = 2.* lpG * R1;
        err3 = getcl(R3, R3y, i4);
        if(err3 > err)  goto    bpat1_loop3;
bpat1_exit:
        switch(bpat1_disp(j, kc2, px, tx)){
                case    1:goto  bpat1_ag;
                case    2:goto  bpat1_loop3;
                case    3:goto  bpat1_exit;
                default:break;
        }
        return(0);
}
/*      ********************************************************************
        関数名：lpat1_disp(int j,double kc2, Filt_param &px, Trans &tx)
        機能：lpat1() で計算された定数の値を表示して，R1 または C1 を変更するか
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        ********************************************************************
*/
int     Cir::bpat1_disp(int j,double kc2, Filt_param &px, Trans &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
```

```
        printf("%2d  R1_%-d = %-9s C1_%-d = %-9s R2_%-d = %-9s R3_%-d = %-9s  誤
差 = %.4lf %%¥n",ord,ord, i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],C1),
                ord,i_unit(su[2],R2),ord,i_unit(su[3],R3),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2 + err3*err3) * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("R1_%-d を変更するなら R, C1_%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&R1,26,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'c':px.inp_para(&C1,27,1,0.0);
                                R1 = kc2 / C1;
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':C1 = e24[i1] * C1y;
                                R2 = e24[i3] * R2y;     R3 = e24[i4] * R3y;
                                mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        printf("¥n");
        tx.Sc[j][0] = 2./C1 / R3;
        tx.Sc[j][1] = (R1 + R2) / R1 / R2 / R3 / C1 / C1;
        tx.Sc[j][3] = R3 / 2./R1 * tx.Sc[j][0];
        fprintf(fdat,"%2d  R1_%-d = %-9s C1_%-d = %-9s R2_%-d = %-9s R3_%-d = %-
9s  誤差 = %.4lf %%¥n",ord,ord, i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],C1),
                ord,i_unit(su[2],R2),ord,i_unit(su[3],R3),
                sqrt(err1*err1 + err2*err2 + err3*err3) * 100.0);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R1_%-d",R1);    search_wrt(ord,"C1_%-d",C1);
                search_wrt(ord,"R2_%-d",R2);    search_wrt(ord,"R3_%-d",R3);
        }
```

```
        return(mode);
}
/*      ************************************************************
        関数名：bpat2(int       j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：１次のバンドパスフィルタ回路の定数を求めて,
                必要に応じて E24 シリーズに最も近い値に近似する
                得られた定数の値を fckt で示される回路図ファイルと
                fdat で示される設計履歴ファイルに書き出す
        ************************************************************
*/
int     Cir::bpat2(int  j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
double  wp2, wp, lpG, lpQ, kc2, kr2;
        wp2 = tx.Sc[j][1];      wp = sqrt(wp2);
        lpQ = wp / tx.Sc[j][0]; lpG = tx.Sc[j][3] / tx.Sc[j][0];
        if(lpG < 1)     {
                fprintf(fdat,"bpat2 で 変換不能, j = %d¥n",j);
                return(1);
        }
        R1 = 1e4;
bpat2_ag:
        getcl(R1, R1y, i0);
        i2 = 0; ie0 = 1;
bpat2_loope:
        err = 0.002 * (double)ie0;
bpat2_loop1:
        R1 = e24[i0 + i2] * R1y;
        C1 = 2.* lpQ / R1 / wp;
        err1 = getcl(C1, C1y, i1);
        if(err1 <= err) goto    bpat2_loop2;
bpat2_loop3:
        if((++i2) == 24){ie0++; i2 = 0; goto    bpat2_loope;}
        goto    bpat2_loop1;
bpat2_loop2:
        R2 = R1 / (2.* lpQ);
        err2 = getcl(R2, R2y, i3);
```

```
        if(err2 > err)  goto    bpat2_loop3;
bpat2_loop4:
        switch(bpat2_disp1(j, lpQ, wp, px)){
                case    1:goto  bpat2_ag;
                case    2:goto  bpat2_loop3;
                case    3:goto  bpat2_loop4;
                default:break;
        }
        R4 = 1e4;
bpat2_ag2:
        getcl(R4, R4y, i0);
        i2 = 0; ie0 = 1;
bpat2_loope2:
        err = 0.002 * (double)ie0;
bpat2_loop5:
        R4 = e24[i0 + i2] * R4y;
        R3 = (lpG - 1.) * R4;
        if(R3 == 0)     err1 = 0;
        else    err1 = getcl(R3, R3y, i1);
        if(err1 <= err) goto    bpat2_exit;
bpat2_loop6:
        if((++i2) == 24){ie0++; i2 = 0; goto    bpat2_loope2;}
        goto    bpat2_loop5;
bpat2_exit:
        switch(bpat2_disp2(j, px, tx)){
                case    1:goto  bpat2_ag2;
                case    2:goto  bpat2_loop6;
                case    3:goto  bpat2_exit;
                default:break;
        }
        return(0);
}
/*      ****************************************************************
        関数名：bpat2_disp1(int j,double lpQ, double wp,Filt_param &px)
        機能：lpat2() で計算された定数の値を表示して，R1 または C1 を変更するか
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
```

```
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        ************************************************************************
*/
int     Cir::bpat2_disp1(int j,double lpQ, double wp,Filt_param &px)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
       printf("%2d  R1_%-d = %-9s  C1_%-d = %-9s  R2_%-d = %-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],C1),
                ord,i_unit(su[2],R2),sqrt(err1*err1 + err2*err2) * 100.0);
        y1 = wherey();
        printf("R1_%-d を変更するなら R, C1_%-d なら C, 他の候補を見るなら N¥n",
                ord,ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&R1,26,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'c':px.inp_para(&C1,27,1,0.0);
                                R1 = 2.* lpQ / wp / C1;
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':C1 = e24[i1] * C1y;
                                R2 = e24[i3] * R2y;
                                mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
        locate(1,y1);   clrblw();
        fprintf(fdat,"%2d   R1_%-d = %-9s   C1_%-d = %-9s   R2_%-d = %-9s    誤差
= %.4lf %%¥n",          ord,ord, i_unit(su[0],R1),ord,i_unit(su[1],C1),
                ord,i_unit(su[2],R2),sqrt(err1*err1 + err2*err2) * 100.0);
```

```
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R1_%-d",R1);    search_wrt(ord,"R2_%-d",R2);
                search_wrt(ord,"C1_%-d",C1);
        }
        return(mode);
}
/*      ************************************************************************
        関数名：lpat2_disp2(int j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
        機能：lpat2() で計算された定数の値を表示して，R1 または C1 を変更するか
        他の候補を探すか，E24 シリーズに近似するか，現在の値で完了とするかを
        選択し，それぞれの処理を行い，それを mode の値として返す
        ************************************************************************
*/
int     Cir::bpat2_disp2(int    j, Filt_param   &px, Trans      &tx)
{
int     ord;
int     mode, y, y1;
        ord = j + 1;
        y = wherey();   if(y > 20){clr();       y = wherey();}
        locate(1,y);    clrblw();
        printf("%2d  R3_%-d = %-9s  R4_%-d = %-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R3),ord,i_unit(su[1],R4),err1 * 100.);
        y1 = wherey();
        printf("R4_%-d を変更するなら R, 他の候補を見るなら N¥n",ord);
        printf("E24 シリーズにするなら E, これで良ければ G を入力して下さい  ");
        get_lower_string(buf);
        switch(buf[0]){
                case    'r':px.inp_para(&R4,35,1,0.0);
                                mode = 1;       break;
                case    'n':mode = 2;   break;
                case    'e':if(R3 != 0) R3 = e24[i1] * R3y;
                                mode = 3;       break;
                case    'g':
                default:        mode = 4;       break;
        }
        if(mode != 4)   {locate(1,y);   clrblw();       return(mode);}
```

```
        locate(1,y1);   clrblw();
        printf("¥n");
        tx.Sc[j][0] = 2./C1 / R1;
        tx.Sc[j][1] = pow(C1 * R2, -2.);
        tx.Sc[j][3] = (R3 + R4) / R4 * tx.Sc[j][0];
        fprintf(fdat,"%2d  R3_%-d = %-9s  R4_%-d = %-9s   誤差 = %.4lf %%¥n",
                ord,ord, i_unit(su[0],R3),ord,i_unit(su[1],R4),err1 * 100.);
        if(out_mode == 2){
                search_wrt(ord,"R3_%-d",R3);    search_wrt(ord,"R4_%-d",R4);
        }
        return(mode);
}
/*      ********************************************************
        関数名：getcl(double    d, double       &yd, int        &i)
        機能：与えられた d の仮数部の値が、E24 シリーズのどれと
                最も近いかを計算して、i にその番号を、yd に指数部の
                値 10^nd をいれて、誤差を関数値として返す
        ********************************************************
*/
double  Cir::getcl(double       d, double       &yd, int        &i)
{
double  md,ld,nd,err1,err2;
int     i0;
        ld = modf(log10(d), &nd);
        if(ld < 0)      {nd -= 1.0;     ld += 1.0;}
        md = pow(10.0, ld);
        i0 = (int)(ld * 24.0 + 0.5);
        if(md < e24[i0])        i0--;
        err1 = (md - e24[i0]) / md;
        err2 = (e24[i0+1] - md) / md;
        if(err1 > err2) {i0++;  err1 = err2;}
        if(i0 >= 24){nd++;      i0 -= 24;}
        i = i0; yd = pow(10.0, nd);
        return (err1);
}
```

ＭＣＡＣＴにおけるＥ２４近似ルーチンの例

```
/*      ****************************************************
        関数名：getg(double d,double     &yd,int &i)
        機能：与えられた d の仮数部の値に対して、E24 シリーズ
                でそれよりも小さくない値の番号を計算し、
                i にその番号、yd に指数部の値を入れ、
                関数値として、d より小さくない E24 シリーズの
                値を返す
        ****************************************************
*/
double  Cir::getg(double        d,double        &yd,int &i)
{
double  mc,yc;
int     i0;
        getcl(d, yc, i0);       mc = e24[i0] * yc;
        if(mc < d)      i0++;
        if(i0 >= 24){ yc *= 10.0;       i0 -= 24;}
        mc = e24[i0] * yc;
        yd = yc;
        i = i0;
        return mc;
}
/*      ****************************************************
        関数名：search_def(void)
        機能：forg で示されるファイルから, １行読み込んで
                .define の文字列があれば, ckt_prt を .define の
                次まで進めて戻り, なければ
                fckt で示されるファイルにその１行を書き出す
        ****************************************************
*/
int     Cir::search_def(void)
{
        while(!feof(forg)){
                fgets(ckt_str,250,forg);
                if((ckt_ptr=strstr(ckt_str,ckt_def)) != NULL){
                        ckt_ptr += ckt_len;
                        return(1);
```

```
                }
                fputs(ckt_str,fckt);
        }
        return(0);
}
/*      ****************************************************************
        関数名：search_wrt(int  i,char  *s1,double      d)
        機能：i が負なら, s1 を文字列として使い,
                零または正なら書式として i を適用させ
                d を単位付きの文字列に変換したものと結合して
                forg で示されるファイルから読み込んだ１行の文字列の
                .define の後ろに追加してから, fckt で示されるファイルに書き出す
        ****************************************************************
*/
void    Cir::search_wrt(int     i, char *s1, double     d)
{
        if(search_def() == 0)   return;
        if(d <= 1e-9)   sprintf(ckt_buf1,"%-.4lfp",d * 1e12);
        else    if(d < 1e-3)    sprintf(ckt_buf1,"%-.4lfu",d * 1e6);
        else    if(d < 0.1)     sprintf(ckt_buf1,"%-.4lfm",d * 1e3);
        else    if(d    >= 1e9) sprintf(ckt_buf1,"%-.4lfG",d / 1e9);
        else    if(d    >= 1e6) sprintf(ckt_buf1,"%-.4lfMEG",d / 1e6);
        else    if(d    >= 1e3) sprintf(ckt_buf1,"%-.4lfK",d / 1e3);
        else    sprintf(ckt_buf1,"%-.4lf",d);
        if(i < 0)       sprintf(ckt_buf2,"%s %s¥n",s1,ckt_buf1);
        else    {
                sprintf(ckt_buf3,s1,i);
                sprintf(ckt_buf2,"%s %s¥n",ckt_buf3, ckt_buf1);
        }
        strcpy(ckt_ptr,ckt_buf2);
        fputs(ckt_str,fckt);
}
```

LtAct 一式の内容

１．LtAct.exe　　実行プログラム
２．LtAct 説明書.txt　　この文書
３．LtAct 操作説明書.pdf　　操作説明書
４．Sys フォルダ　　基本回路図ファイル
５．アクティブフィルタの設計.pdf　　LtAct.exe の原型である McAct2W.exe の開発資料
６．OP のテストデータフォルダ　　設計したフィルタのテストデータ等
７．LtAct 設計例-ver145.pdf　　LtAct ver.1.45 による設計例と説明
８．LtAct 設計例-ver210.pdf　　LtAct ver.2.10 による設計例と説明
９．ローパスフィルターの次数決定方法.pdf　与えられた周波数と最低減衰量を満足する次数を計算する数式
１０．「ver3.10 サンプルデータ」フォルダ　　追加した基本回路図の実験データ
１１．緊急対策-Emergency measures.pdf　　不具合のお知らせ
１２．LtAct-ver210-OK.exe　　実行プログラム HP1 と HP2 の回路図作成用

取り扱い種別　フリーソフト
動作可能機種・動作可能 OS　Wondows 10
作者のメールアドレス
　　miura-_@lapis.plala.or.jp
注意：　miura の次の２文字は、半角マイナス「－」と半角アンダースコア「＿」です。

Vector の作者のページ
https://www.vector.co.jp/vpack/browse/person/an008575.html

プログラムの起動
ダウンロードした ZIP ファイルを解凍して、使用するドライブ（例えば e:）のルートフォルダに解凍します。
ドライブ e: にフォルダ「LtAct」が作成されます。
「LtAct」フォルダに含まれている実行ファイル LtAct.exe をダブルクリックします。
「Windows によって PC が保護されました」と表示されるので、「詳細情報」をクリックして「実行」をクリックします。

LtAct 概要

LtAct はアナログフィルタの設計において、所望の特性パラメータを入力するだけの簡単な操作により、自動的に回路を設計して、リニアテクノロジー（現在はアナログ・デヴァイセズ）が開発した、フリーで利用できる電子回路シミュレータ「LTSpice」で利用可能な回路図ファイルを自動作成します。

このプログラムでは以下のフィルタが設計出来ます。

１。フィルタの種類

ａ．ローパス・フィルタ

ｂ．ハイパス・フィルタ

ｃ．バンドパス・フィルタ

ｄ．バンドエリミネーション・フィルタ

２。フィルタの特性

ａ．バターワース・フィルタ

ｂ．チェビシェフ・フィルタ

ｃ．逆チェビシェフ・フィルタ

ｄ．楕円関数・フィルタ

また、おまけの機能として、

１。周波数・利得特性のグラフ表示機能

２。フィルタの伝達関数の極とゼロの配置グラフ表示機能

３。アナログフィルタをディジタルフィルタに変換する機能

４。フィルタの伝達関数の係数の表示及びファイル出力機能

があります。

＊＊ 回路の素子値はＥ６シリーズからＥ９６シリーズまでの標準的なシリーズ値へのフィッティングが自動計算されます。

LtAct 来歴

ver.1.0(2020/08/18)

ver.1.2(2020/08/26)では
フィルターの回路図で使用するオペアンプを「LT1115」から「ADA4807-4」など、
他の品種に変更して回路図を作成できるようにしました。
伝達関数の係数をファイルに出力する時に、回路ブロックごとにフィルタの Q 値を追加しました。

ver.1.3(2020/09/02)では
「ファイル」→「データファイルを開く」では、
　　選択したファイルを別ウィンドウに表示するように変更しました。
これにより、伝達関数の係数や「journal.txt」だけでなく、
「LtAct」で作成した回路図のファイルを選択すると、
　　「LTSpice」が起動して回路図を確認できます。
その他、様々な技術資料の PDF ファイルなどを選択することも出来ます。

ver.1.32(2020/09/11)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
「LtAct 操作説明書.pdf」の間違いを訂正して、「見出し」を改善しました。

ver.1.44(2020/10/14)では
「表示・出力」の「伝達関数の係数表示」を廃止して、「回路図のオペアンプ交換」を新設しました。
作成した回路図を選択して、使用されているオペアンプを別のオペアンプに交換します。
交換するオペアンプの種類は、1 度に 20 種類まで指定が出来ます。
「OPExchange.txt」というテキストファイルに交換するオペアンプ名と交換後のオペアンプ名を記録して、
回路図が保存されているフォルダに置いておきます。

それから、「ヘルプ」を、「LtAct 操作説明書」、「LtAct 設計例」、
「アクティブフィルタの設計」または、「バージョン情報」の表示に変更しました。
「LtAct 設計例」では、各種フィルタの設計を行って、設計した特性が実現できた回路図を紹介しています。
回路の素子値を選択する時の参考になれば幸いです。

ver.1.32 までは、回路図の素子値の選択において E24 シリーズを利用しても、E シリーズとの誤差が少ない 数種類の候補値しか表示されませんでした。このため、素子値を微調整できないという不都合がありました。
ver.1.44 では、入力した素子値が利用可能になりました。

ver.1.45(2021/01/15)では
「LtAct 設計例」に、周波数ごとに基本回路のコンデンサの推奨値を表にまとめました。
LtAct を利用してアクティブフィルタを設計する時は、基本回路の特定のコンデンサの値を適切に設定すれば、回路図を作成することが出来ます。
しかし、適切なコンデンサの値は未知なので、希望するフィルタ特性を実現できない場合が多いと思います。
今回作成した推奨値の表を利用すると、回路図の作成が短時間で完了できると思います。
今回はこの表を利用して、設計例を全て新しく作成しました。
さらに、1 次フィルタ lp1 と hp1 の推奨値を「LtAct」のプログラムに組み込みました。

ver.2.40(2021/01/20)では
「LtAct ver.1.45」の「LtAct 設計例」で紹介した各ブロックのコンデンサの推奨値の表を全てプログラム内に組み込み、周波数による配分計算を追加すると共に、フィルタの種類によって推奨値の適用アルゴリズムを微調整することで、LtAct が表示する候補値の精度を改善しました。
この結果、「回路図」を作成する時に、素子値の設定ダイアログでは全て「OK」をクリックすれば希望する特性が得られます。　特性を改善したい時は「journal.txt」を参照して、使用されている Cb_?
（フィルタにより C1_?）の最大値または最小値をすべてのブロックに設定して、好結果が得られた値の上下をさらに確認すると好結果が得られると思います。
「LtAct ver.2.20」で作成した設計例は「ヘルプ」→「LtAct 設計例 ver210」により確認できます。
「LtAct ver.2.20」で作成した 10MHz 以上のローパスフィルタの調整例を追加しました。
「journal.txt」に、基本回路名に加えてコンデンサの推奨値を参照したテーブル名を表示しました。
「et1／et2」に対して参照テーブルを変更する「参照モード」を追加しました。

ver.2.50(2021/01/22)では

「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」にカットオフ周波数と Q 値に加えて、オペアンプに必要となる「BG 積」を表示しました。
作成した回路図を LTSpice で周波数特性を確認した時に期待していた性能が得られない場合、 使用するオペアンプの GB 積が足りないことが原因である可能性があります。
LtAct で「伝達関数の係数をファイルに出力する」によって、オペアンプに必要となる GB 積の値を確認して、 できるだけその値に近いオペアンプを使用して回路図を作成して下さい。

ver.2.60(2021/02/10)では
バターワースとチェビシェフの BE1 フィルタで阻止域の上端と下端の倍率を大きく設定すると、 作成されたフィルタが正常に動作しないことが分かったので、プログラムを修正しました。
それから、回路図の設計例を追加しました。

ver.2.70(2021/03/19)では
「ファイル」→「データファイルを開く」で、ファイルを開く時に「パス + ファイル名」の文字数が 70 バイトを超えると「LtAct.exe」が異常終了することが分かったので修正しました。
「LtAct ver.2.60」で回路図を多数作成して、C1_?（または Cb_?）を増減して周波数特性の変化を確認する実験を行って「LtAct 設計例-ver210」に「LtAct ver.2.60 追加実験」を追加しました。
「LtAct.exe」で作成した回路図の周波数特性を改善する際のヒントになると思います。

ver.2.80(2021/03/31)では
「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」に 1 次フィルタのカットオフ周波数を追加して、 カットオフ周波数 Fc と GB 積に Hz の単位を追加表示しました。
「LtAct 設計例-ver210」の「LtAct ver.2.60 追加実験」に「LP1_9-100KHz.asc」、
「LP2_9-100KHz.asc」、
「HP1_9-10KHz.asc」と「HP2_9-10KHz.asc」を追加しました。

ver.2.81(2021/04/21)では
「LtAct 設計例-ver210」に次の設計例を追加しました。
「LP3_8-100KHz.asc」,「LP3_10-100KHz.asc」,「LP4_8-100KHz.asc」,「LP4_10-100KHz.asc」,
「LP3_8-1MHz.asc」,「LP3_10-1MHz.asc」,「LP4_8-1MHz.asc」,「LP4_10-1MHz.asc」,
「LP3_6-10MHz.asc」,「LP4_6-10MHz.asc」,「LP3_6-10MHz-inv.asc」,「LP4_6-10MHz-inv.asc」

「LP3_6-10MHz.asc」と「LP4_6-10MHz.asc」の設計例では、「伝達関数の係数と Q 値」を用いてフィルタの各ブロックのピーク周波数とピークの大きさを調整することで、10MHz のフィルタの特性を改善する方法を説明しました。
全ての実験データは「LtAct」を解凍したフォルダの「OP のテストデータ」→「LtAct Ver.2.10 設計例」→「LtAct ver260 追加実験」→「2021-04-02-LP4_10-100KHz 他」に収納しました。

ver.2.90(2021/05/12)では
「伝達関数の係数、カットオフ周波数、Q 値、GB 値」にカットオフ周波数における Fc ゲインを追加しました。
作成した回路図の周波数特性が期待した特性を実現できない場合には、このデータを活用すると、周波数特性を改善する指針になります。
「LtAct 操作説明書.pdf」の「6-2 伝達関数の係数をファイル(test.txt)に出力する」に続けて、「ver.2.90 で追加した機能と利用方法」を追加して、回路図の調整手順を説明しました。
調整例として、「LP1_6-but-4MHz.asc」、「LP2_6-chev-4MHz.as」、「LP4_6-inv-4MHz.asc」、「LP3_6-ellip-4MHz.asc」および「LP3_6-ellip-4MHz.asc」を紹介しました。

ver.3.00(2021/09/09)では
「操作説明書」の「表示・出力」に「Fc 付近のゲインリストを出力する」を追加しました。
「LtAct」で作成したフィルタの周波数特性を改善したい時には、複数の周波数でゲイン調整するほうが設計性能に近づけられるのでこの機能を追加しました。
各ブロックのカットオフ周波数 Fc の半分から 2 倍の範囲で 19 点のゲインリストを出力します。
周波数特性のピークやディップの正確な周波数とゲインを確認するには、設計するフィルタの周波数が高い場合には、周波数の桁を下げて 10KHz 台のフィルタの回路図を作成して、「LTSpice」を利用して確認してください。
10MHz のローパスフィルタの調整例を「LP1_6-but-10MHz.asc」から「LP4_6-ellip-10MHz.asc」
まで 8 例示しました。

ver.3.02(2022/03/09)では
「Fc 付近のゲインリスト」の「周波数」と「ゲイン」の間に「,」を挿入することで、Excel を利用してゲインリストからグラフを作成しやすく改善しました。
「操作説明書」の「表示・出力」に「ver.3.00 以降の実験 1 と 2」を追加しました。
周波数が 1MHz 以下の例計例で、回路図ファイルの素子値をわずかに調整するだけで、設計した周波数特性を忠実に実現出来た例を紹介しました。

注意：LTspice のバージョンによっては、「操作説明書」や「LtAct 設計例」で紹介した結果が得られない可能性があります。
先日「バージョン 17.0.32」をダウンロードして、作成した回路図ファイルをシミュレーションしたところ、
オペアンプに「ADA4807-4」を使用すると正しい結果が得られませんでした。
たまたまパソコンに旧バージョン「June 17 2020, 17:05:54 US Pacific」が残っていました。
これをインストールしたところ、正しい結果が得られるように復旧しました。
そこで、このバグ情報を ANALOG DEVICES に連絡しようと思いました。
「LTspice」の「Help」の「Click here to e-mail comments and bug reports to LTspice...」をクリックすると、「アカウントの追加」のポップアップが表示されたので、詐欺のサイトだと感じて中断しました。

「ADA4807-4」を使用する回路のシミュレーション結果が不良の場合は、「LTspice」のバージョンを変更するか、なんとかして ANALOG DEVICES に連絡して問題を解決する必要がありそうです。

最新の「バージョン 17.0.33」をインストールして見ましたが、「バージョン 17.0.32」と同様に「ADA4807-4」を使用すると正しい結果が得られませんでした。

ver.3.03(2022/03/14)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
OP アンプ「ADA4807-4」の「ADA4807-4.asy」を「ADA4665.asy」と「LT6238.asy」を参考にして、テキストエディタを使用して新しく作成しました。この時、元のファイルの「√Hz」を「rtHz」に変更しました。
「OP のテストデータ」の「asy-original」と「asy-修正後」を更新しました。
最新の「バージョン 17.0.33」をインストール後に、「LtSpice」をインストールしたフォルダの「C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps」に「asy-修正後」のファイルをコピーして下さい。これによって、「ADA4807-4」を使用する回路のシミュレーション結果が正常に戻ると思います。
もしも、うまく動作しない場合には「asy-original」のファイルに戻してください。

ver.3.04(2022/04/05)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
「OP のテストデータ」に「ver.3.00 以降の実験 3」を追加しました。
潮汐や地震・風力発電による長周期振動などを観測する際に、信号以外の高周波数成分を除去するフィルターとして利用できると考えます。

「LtSpice」のバージョンによっては、「ADA4807-4」を使用するローパスフィルタのシミュレーションを実行すると、 通過域のゲインが 0dB にならず、-80dB などになる不具合がありました。そこで、LtAct ver.3.03 では「OP のテストデータ」内の「asy-original」と「asy-修正後」を更新して、不具合を改善しました。
最新の「LtSpice バージョン 17.0.34」をインストール後に、「LtSpice」をインストールしたフォルダの
「C:\Users\miura\Documents\LTspiceXVII\lib\sym\OpAmps」に「asy-修正後」のファイルをコピーして下さい。これによって、「ADA4807-4」を使用する回路のシミュレーション結果が正常に戻ると思います。
もしも、うまく動作しない場合には「asy-original」のファイルに戻してください。

ver.3.05(2022/05/03)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
「OP のテストデータ」に「ver.3.00 以降の実験 4」を追加しました。
LtAct 操作説明書.pdf に「ver.3.00 以降の実験 4」を追加しました。
LtAct が回路図を作成する時に使用する各種の基本回路について、周波数特性の調整方法などを説明しました。
説明した基本回路は「LP1」、「LP2」、「LP3」、「LP4」、「HP1」、「HP2」、「HP3」、「HP4」、
「BP1」、「BP2」、「BP3」、「BP4」、「BE1」、「BE2」です。
フィルターの形式は「ローパスフィルタ」、「ハイパスフィルター」、「バンドパスフィルター」および「バンドエリミネーションフィルタ」、フィルターの遮断特性は「バターワース」、「チェビシェフ」、「逆チェビシェフ」および「楕円関数」です。

LtAct 操作説明書.pdf の「6-5 ver.3.00 Fc 付近のゲインリストを出力する」から「ver.3.00 以降の実験 4」までを参照すると、LtAct で作成した回路図の周波数特性を改善するためのヒントが得られると思います。

ver.3.06(2022/11/01)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
「アクティブフィルタの設計.pdf」の、「第 1 章ローパスフィルタの設計」に「次数の決定方法」を追加しました。
約 30 年前にこの文書を書いた時は、数式を導出する過程をページに加えるのはページの無駄だと考えていました。
しかし、先日、この数式を導出してみたところ意外に苦労したので、導出方法を追加することにしました。
また、「ローパスフィルターの次数決定方法.pdf」を追加しました。

ver.3.07(2022/11/22)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
「アクティブフィルタの設計.pdf」の「第 1 章ローパスフィルタの設計」と「ローパスフィルターの次数決定方法.pdf」の「次数の決定方法」において、バターワースローパスフィルタの数式（１）に誤記がありましたので訂正しました。

ver.3.08(2023/02/01)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
「アクティブフィルタの設計.pdf」の「第 1 章ローパスフィルタの設計」と「ローパスフィルターの次数決定方法.pdf」に追加で、バターワースローパスフィルタの利得関数が次数ごとに定義された数式になるかを「確認」しました。

ver.3.10(2023/03/01)では
LtAct のプログラムは何も変更していません。
10 次までだった基本回路図を 2 次から 40 次までに増加しました。BP1..BP4 と BE1..BE2 は 20 次まで増加しました。10 次以上は偶数次数になります。

「LtAct 操作説明書.pdf」の「LtAct の操作」→「6 表示・出力」の最後に、
「ver.3.10 基本回路図を追加」を加えました。
実験データを「ver3.10 サンプルデータ」フォルダに格納しました。

高次数のフィルタでは、初段の Q が非常に大きな値になるので、素子の値を設定する時に、 LtAct が表示する推奨値を全て「OK」をクリックすると、希望する周波数特性が得られない事があります。
「ver.3.00 以降の実験 1 から 4」を参考にして、根気よく素子値を調整してください。

20 次の楕円関数ローパスフィルタを調整した例では、LtAct が設定した素子値を 2 箇所だけ調整しました。
初段の Rb_1(2 個) を 140.9074 から 140 に R1_1 を 70.453 から 63.7 に調整しました。

周波数が高いフィルタではオペアンプの GB 積などの影響で、調整が複雑になったり、最悪の場合、調整しきれない事もあります。

ver.3.13(2023/05/03)では
チェビシェフバンドパスフィルタを「次数を入力しない」で設計すると、
必要な次数より低次数のフィルタが設計されていたので、プログラムを訂正しました。

「LtAct の操作」に「フィルタの設計から回路図の作成までの手順」を追加しました。
「LtAct の操作」の「3 パラメータ入力」を出来るだけ詳しく説明文を追加しました。

ver.3.14(2023/06/07)では
バターワースまたはチェビシェフのハイパスフィルタ（基本回路が HP1 または HP2）の回路図を作成する時、プログラムが異常終了する現象が発生していました。
ver.3.14 ではこの不具合を修正しました。

ver.3.30(2025/05/05)では
基本回路図の R 素子と C 素子の値の種類を減らすために、LP1 は R1=R2=R3、HP1 は C1=C2=C3、ET1 は R41=R42=R43=R44=R45 となるように回路図を合成しています。
ver.3.14 を使いたい場合は、「LtAct-ver314」を同梱しましたので利用して下さい。

Vector で公開中のソフトとデータ

作者: 三浦 高志

汎用データ/画像＆サウンド

●キャプチャ NX の使用方法

ニコンキャプチャ NC と NX の使用方法の説明

●キャプチャ NX の画像調整データ

「キャプチャ NX の使用方法」の本文中で使用した画像と調整データ

●ニコンキャプチャ NX2-調整手順

ニコンキャプチャ NX2 の操作に慣れるための調整手順を説明

●ニコンキャプチャ NX2-撮影練習

ニコンデジタル一眼レフカメラの撮影練習 ― 露出設定を重点的に説明

汎用データ/学習＆教育

●LTSpice 操作入門

アナログ電子回路のシミュレーション操作入門

●アクティブフィルタの設計と合成

フィルターの伝達関数を回路の素子値に変換して回路図ファイルを出力する

WindowsMe/98/95 用ソフト/学習＆教育

●Sim for DOS

アナログ回路の DC 及び AC 解析の出来るシミュレーションソフト

●SimPack

フリーソフトとして公開中の Sim.exe の開発資料とプログラムソースを公開する

Windows11/10/8/7/Vista/XP/2000/NT/画像＆サウンド

●ぬり絵ビルダー

画像データ(BMP または JPG)を自動的にぬりえに変換する

Windows11/10/8/7/Vista/XP/2000/NT/学習＆教育

●McAct2W

アナログフィルタ(回路図出力付き)及びディジタルフィルタの設計支援ソフト

●LtAct

アクティブフィルタの設計と LTSpice 用の回路図作成

●ActDoc

フリーソフトとして公開中の McAct2W.exe のプログラム開発資料を公開する

●ActiveFilter-Design-Schematics
LtAct の名称を変更し、取扱説明書の一部を英文に翻訳しました

Windows11/10/8/7/Vista/XP/2000/NT/パーソナル
●電卓プログラム Dt_.exe
複素数の計算が出来て、関数も自作できる 組み込み関数は複素数処理に対応

Windows11/10/8/7/Vista/XP/2000/NT/画像＆サウンド
●カラーコーディネイタ
色彩調整における「色と補色の確認」ツール
●TIFF 圧縮
RGB 各 16 ビットの TIFF データを高画質に圧縮/伸張するプログラム
●EV 計算
デジタル一眼レフの露出情報を入力すると EV 値(撮影環境の明るさ)を計算する

汎用データ/学習＆教育
●英語-地球の歴史
辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います
●星の王子さま-スペイン語
辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います
●異邦人-スペイン語
辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくる
●星の王子さま-ドイツ語
辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います
●星の王子さま-英語
辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います
●スペイン語学習
構文解析によるスペイン語学習
●星の王子様-フランス語
辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います
●フランス語学習
構文解析によるフランス語学習
●星の王子様-イタリア語
辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います
●英語-アル・ゴアからのメッセージ
気候危機に関するアル・ゴア元副大統領の講演

●異邦人-フランス語
　辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います
●異邦人-英語
　辞書なしでも、何度も読むだけで単語と文法が分かってくると思います

Windows11/10/8/7/Vista/XP/2000/NT/画像＆サウンド
●HDPhotoTool (HD フォトツール)
　TIF(RGB48bit または RGB24bit)または BMP ファイルを HDP 形式に圧縮して TIF 形式に伸張

汎用データ/家庭＆趣味
●北海道の家庭菜園
　寒冷地における苗の植付と栽培方法および野菜の育苗を体験に基づいて説明

終わり