

PSN方式などのSSB送信機では、帯域の制限のために音声周波数に対して周波数制限を行う必要があります。現在製作中のPSNの発生器のためにLPFとHPFを作りました。結果はあたりまえのものができただけですが(電気通信基礎実験その1程度)、送信音質や雰囲気を送達するための重要な部分ではありません。この部分とマイクでいわゆる音の感じをきめてしまいます。

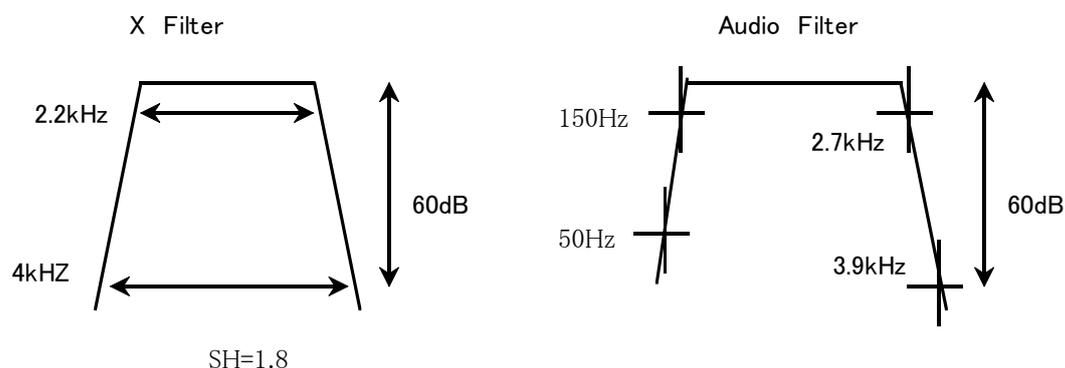
1. どんなフィルタが必要か

- a) HPF (Highpass Filter)
 - b) LPF (Lowpass Filter)
- a) ば unnecessary 低域を除去するために使用します。これが無い場合は低域が強く出た信号となります。また不要サイドバンドの漏れの発生原因となる場合があります。
- b) は unnecessary 高域を除去するために使用します。PSN方式やWeaver方式では法定の3KHzの帯域を守るために高域をカットしなければなりません。

2. 必要な特性

SSBの帯域は3kHzとなっていますので特にLPFではその点を考慮します。減衰特性をどの程度にすれば良いかという、勿論急峻であればそれにこしたことはないのですが、今回はフィルタタイプの特性程度を目標にしたいと思います。

少し前のハイフレのXtal Filter (6ポール程度)の特性は図のようになります。これに準じた特性として、右の様に目標を設定しました。



3. フィルタの種類

オーディオ周波数のフィルタの実現の方法としては次の2種類が一般的です。

- a) OP-AMPのActive Filter
- b) L-C Passive filter

a) ではCRとOP-AMPで実現できます。

回路形式で有名なものとしては

- 1) Selen-Kay
- 2) 多重帰還
- 3) state-valuable

等があります。それぞれ特徴があつて、また設計方法も確立しています。

色々なホームページや参考文献がいっぱいありますのでそちらを参考にしてください。

b) ではL-Cを使って実現します。これもa)と同様にホームページや参考文献がいっぱいあります。

今回はHPFにOP-AMPを使用し、LPFにはL-Cフィルタを使用しました。

理由はHPFにL-Cを使用すると大きなインダクタンスのLが必要になるので形が大きくなるのと、Lの入手の困難があるためです。

また、LPFをL-Cを用いたのはOP-AMPを使用すると急峻な特性が必要のために、回路規模が大きくなると考えたためです。

4. LPF L-C Passive filter

いろいろな形式があつて一般的なものでは、1)バターワース、2)チェビシェフ、3)エリプティック、4)定Kなど有名ですが、設計はいろいろな方法があつてこれも実際に作る場合は作りやすさがあります。

今回、次のように考えました。要求は段数を増せばどこかで満足する点がありますが……。

1)は、段数と特性の効率がわるい。しかし特性が素直である。

2, 3)素子感度が高く、コイルの調整が必要になりそうである。

4) 1、や2の中間。

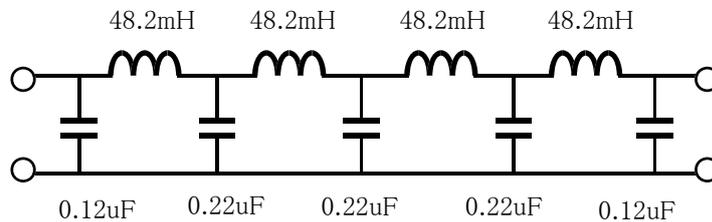
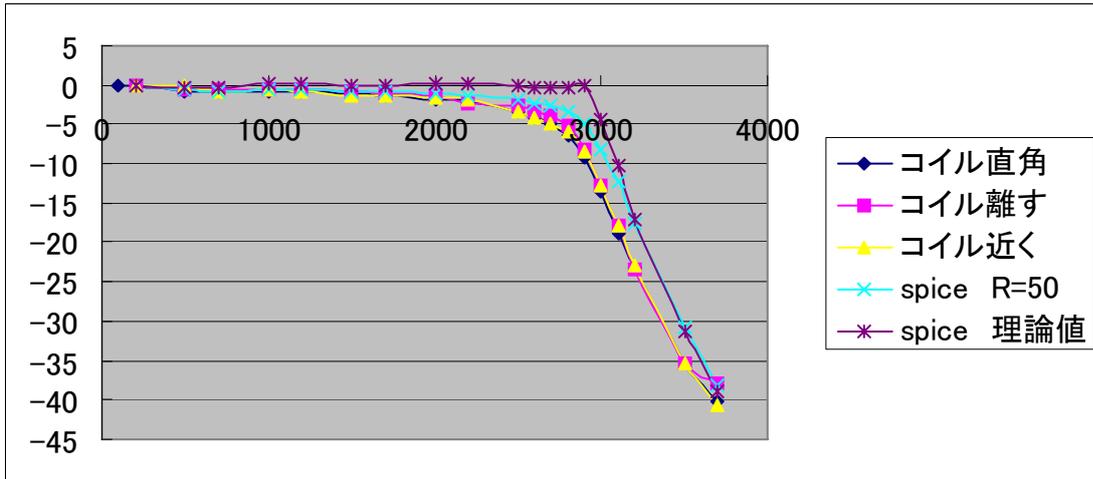
ということで、4を実験してみることにしました。

シミュレーション

せっかくPCで使用できる回路シミュレータがあるので、活躍してもらうことにします。

パッシブの回路は、素子のモデルが単純なので正確な結果が得られます。

定K型でもコイルを4個以上使用すると、前の条件を満足するようなものができます。



低周波のLはインダクタンスが大きく、数十mHのものが必要になる場合が多く、自作するのは手間がかかります。また、インダクタンスが多いゆえに巻線の抵抗も大きくなりますので考慮が必要です。小型のインダクタでは、このような用途には向かないかもしれません。

本来ならばポットコアなどに太い線を巻けばQが高く、おそらくサイドバンドのフィルタに使用できるようなものができるが高価のものになってしまい、普及型のXtalフィルタが買えるほどになります。第一最近はどこでコアが入手できるかわかりません。昔はラジオデパートのオバサンの店で売っていましたが……

spiceでの理想フィルタと、巻線の抵抗が50Ωのときのシミュレーションをグラフにいれてみました。(上図)

F=2200kHz RT=660Ωです。このときのL,Cは 47.7mH、0.11uFとなります。

シミュレーションではカットオフより少し低い周波数で若干減衰が発生します。

フィルタの段数を増やすと顕著になります。

直列抵抗50Ωという値はこのために購入したコイルの実測抵抗値です。

抵抗があるとパスバンド内が若干傾斜して、肩のところ丸くなっています。

実際のLPFに仕立てたときの特性です。

L,Cは 48.2mH、0.11uFです。RT=670Ωで作成しました。コイルの直流抵抗は約50Ωでした。

全体にカットオフ周波数が低くなっています。コイルの値の違いの割合よりも大きくずれています。

コンデンサの値も大きめなのでしょうか。よくわかりません。

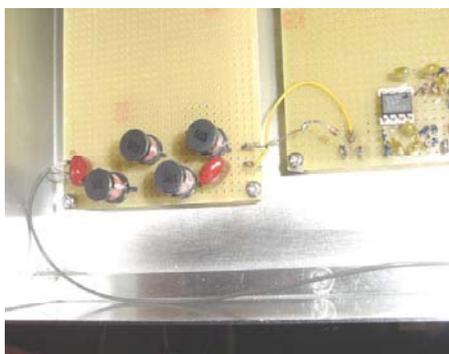
肩のところの丸が少し顕著です。

可能な範囲でコイルを離したり、曲げてみたりしましたが、有意な変化はみとめられませんでした。

Lに関してはインダクタンスをそろえています。1個のCにコイルをつけて同じ周波数で同調するように、巻き数を減らしています。下図のようにしてピークを検出します。この場合は、コイルのリアクタンスは1kΩ以下なので、このような方法で十分だと考えます。DDSの発振器がここでも活躍します。



コアを使用したコイルでは、大きな振幅でドライブするとひずみが発生すると言われています。私は体験したことは無いのですが、一度チェックしておきたいと思います。



L-Cフィルタの実装

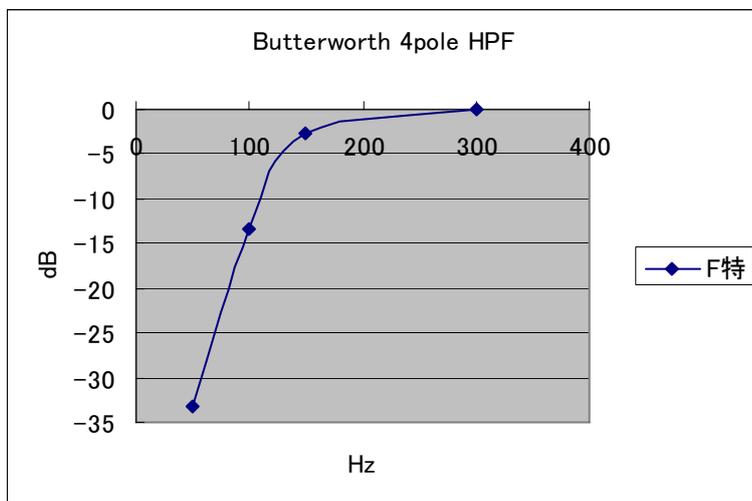
コンデンサはフィルムコンデンサを使用し、基板の裏につけてあります。コアの直径は10mm程度です

右の基板の回路はHPFです。

5. HPF OP-AMP使用のアクティブフィルタ

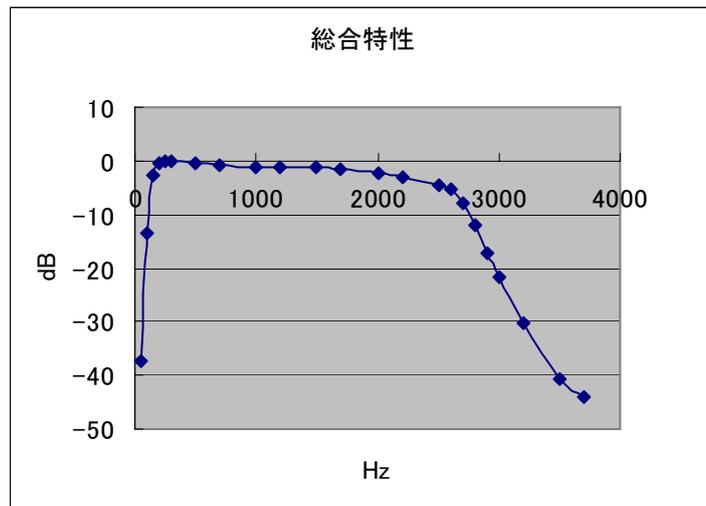
HPFはカットオフ周波数が数100Hzと低いので、L-Cフィルタですと素子の値に大きなものが必要となるので、アクティブフィルタにしました。ロールオフの特性もあまり急峻でなくてよいので段数も少なくてすみます。

バターワースの4ポールで、カットオフ周波数は150Hzとしました。方式は多重帰還型にしました。、素子数も少なくしかもNFB方式なので、Sellen-keyのPFBと比べてなんとなく良さそう。(気分の問題です) 実測値で-3dB 150Hz、24dB/octであり、計算値と良くあっています。50Hzが33dBも減衰しているのが、ハムに対して有利です。



6. 総合特性

下図のようになりました。



7. 感想

- 1) 特性的には実用になるものができたと考えます。これでPSNタイプのジェネレータでon-airできました。
- 2) 欲をいえば、LPFをもう1段位段数をふやしてみたい。
さらにもっとQの高いコイルと、選別したコンデンサを使ってみたい。
- 3) できると何のことはないが、これになるまで結構大変でした。
トロイダルコアに線を巻いて作ったのは良いが、コアの温度特性が悪く、手で触っているうちに周波数はずれたり、入力レベルを変えると周波数が変わったり初歩的なミスがいっぱい発生しました。
コアがよくなかったのですが、自分のやっていることを良く認識していないのが原因でしょう。
- 4) ジェネレータに装備してモニターしたところ、 ハム！！
トランスからずいぶんはなれているのに・・・
コイルが野放しに置いてあると、ハムセンサになることがわかりました。磁気シールドを行なうか、さらに遠く離すか、方向を変えるかなど。
良くみたら、何と MICAMP > HPF > LPF の順に接続されています。これではHPFの50Hzの減衰の恩恵が受けられない。HPFで50Hzは30dB以上減衰できるので、接続を変更して逃げることにしました。
完全にはとりきれませんが、でも実用上はOKなのでしばらくこれで使用します。
根本的には前記の対策を実施しないといけません。
- 5) 写真のようにコイルをこんなに並べてしまっているのでしょうか？ コイル間の結合がありそうな気がします。
でもトータルな特性は一部のコイルを横にしても有意な変化はみとめられないが・・・
前記のようにハムを誘導しているのならば、コイル間に結合が発生しても不思議ではないのですが。
減衰の大きなところでは違ってくるのでしょうか？
- 6) 現在の特性は、図のようになっているが、300Hz > 3kHz にかけて減衰があります。
モニタしてみると、低音が強調されているように聞こえました。
LPFのカットオフをもう少し高い周波数に上げるとか 2.7kHz > 2.9kHz またはHPFのカットオフを 150kHz > 200Hz に上げれば良いかもしれません。このあたりマイクの特性和関係していきはじめるときりがなくなるので、今回これでやめておきます。
カットオフの周波数が設計によって自由に変更できるというところまでとします。
- 7) HPFはもう良いので、LPFの特性のきれいなものにチャレンジしてみたい。
いちどFDNRあたりにチャレンジしてみたい。また少し勉強しないといけません。

7. フィルタの計算式

どこの資料にもある式ですが、これをExcelにプログラムしておく、パラメータの変更などに便利です。

下図は2ポールの場合であり、4ポールのときはQを変えた2組を用意して従属接続します。

バターワース 4ポールの場合は、2組の回路を用意して ゲイン=1.0とし、(バターワースはゲイン1で作ることが多い)

1段目 Q=0.5412

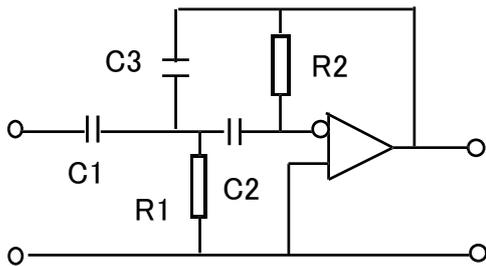
2段目 Q=1.3065

としてパラメータを計算して従属接続すると、4ポールのバターワースのフィルタが得られます。

チェビシェフ特性も同様に各段のゲインとQを与えて計算すればよいことになります。 Excel等でプログラムしておくといろいろなパラメータを計算してくれるので便利です。

ゲインとQの表は資料で与えられています。

1) 多重帰還 HighPassFilter



決定する値は C, G0, F0, Qの4項目

C: コンデンサの値(任意)

G0: この段のゲイン

F0: -3dBの周波数

Q: この段のQ

$$K = 1/(2 * \pi * F0 * C1)$$

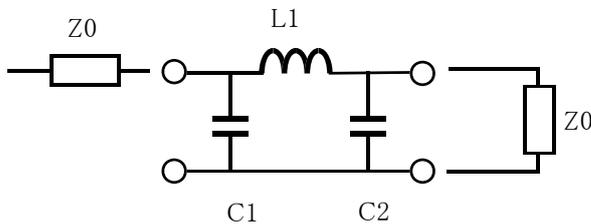
$$C1 = C2 = C$$

$$C3 = C1/G0$$

$$R1 = K/(Q * 2 + 1/G0)$$

$$R2 = Q * K * (2 * G0 + 1)$$

2) 定K型フィルタの計算式



$$L1 = Z0 / (2 * \pi * F0)$$

$$C1 = C2 = 1 / (2 * \pi * F0)$$

F0は-3dbの周波数の約1/1.35となるので注意が必要です。

参考

トランジスタ技術 SPECIAL No.44

トロイダルコア活用百科

アナログ・デバイスズ アプリケーションノート

CQ出版社

山村 英穂

part1では、LPFをLCフィルタで作成しました。

ところがトランスのリーケージフラックスの影響をうけて、どうもハムが取れません。電源を離したり、方向を変えたりなど努力をすればよいのですが、そういうのは面倒！ ということでop-ampのLPFを作りました。

1. 目標特性

part1と同じ特性を目標とします。この特性では不満と思われる方もいらっしゃるかもしれませんが、まずは電波を出すという点に主眼をおいています。

Ripple : 0.01dB

cuttoff周波数 : 2700Hz

減衰特性 : -40dB @ 3.68kHz

2. 回路

チェビシェフ特性の2ポール*5ブロックとします。即ち10ポールです。

設計方法はよくわからないので、設計ツールを使用しました。私の使用したツールは一般的でないので、インターネットでは、いろいろと計算してくれるHPがありますのでそちらをご利用ください。

チェビシェフ特性の場合、リップルとポール数によって減衰特性が決まります。

従って同じポール数でリップルを大きく設計すれば、減衰特性のよいものができます。

たとえばリップルを0.5dBとすると、-40dB@3.18kHzとなります。

今回はあえてなだらかなものにした。

急峻な減衰特性を得ようとする、その分位相の急激なシフトが発生します。これがどのような影響を与えるかわかりませんが、必要最小限の減衰特性としました。

前記の特性を計算し、回路を実現しました。

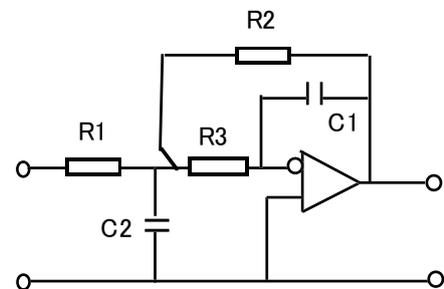
フィルタの方式は、多重帰還型としました。

下記回路を表の定数を用いて1ブロックとし、A-Eまでをこの順に従属接続します。Aが入力側ブロックです。op-ampは NJM4580 (Dual-OPAMP)と1%金属皮膜抵抗、コンデンサは5%のフィルムコンデンサ(選別なし)です。

10ポール・チェビシェフLPF ripple 0.01dB cutoff 2.7kHz

回路	R1	R2	R3	C1	C2
A	6.2	6.2	10	0.01	0.033
B	10	10	20	0.0022	0.022
C	8.2	8.2	20	0.001	0.033
D	9.1	9.1	18	470pF	0.047
E	10	10	9.1	220pF	0.15

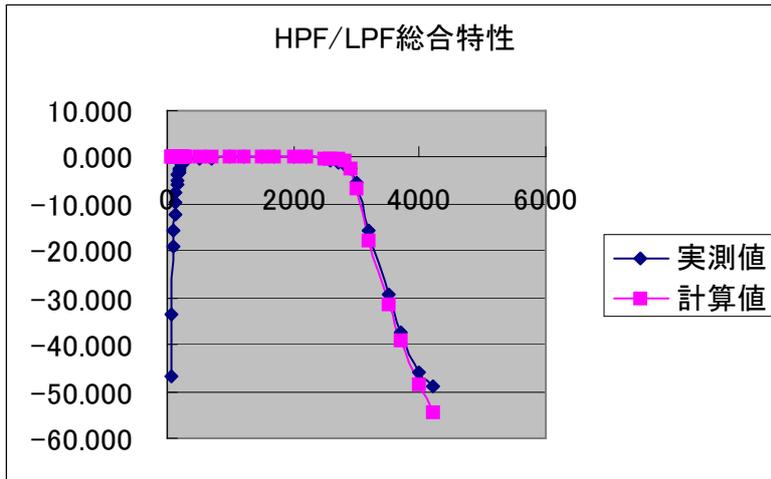
抵抗 : kΩ コンデンサ : uF



3. 総合特性

得意のDDS発振器と菊水のミリバルを使用しました。周波数特性は次ページのようにになりました。

HPF/LPFの総合特性 (LPFの計算値と実測値)

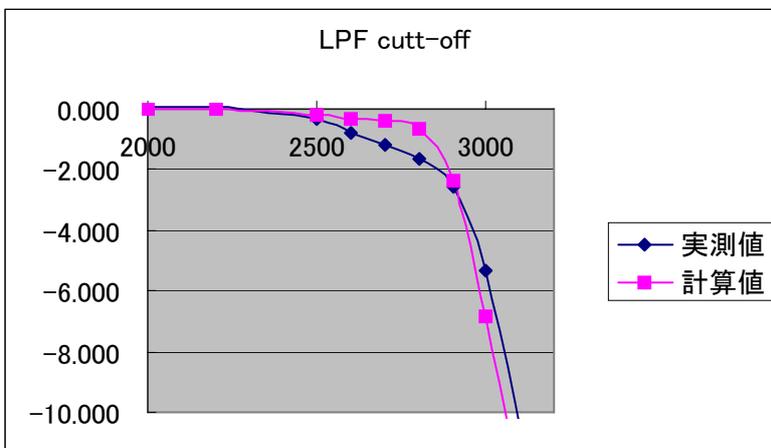


減衰特性

計算値 : -39dB@3.7kHz

実測値 : -37dB@3.7kHz

LPFのCut off付近の特性拡大



減衰特性

計算値 : -0.68dB@2.8kHz

実測値 : -1.64dB@2.8kHz

4. 感想

- 1) 全体的にはこれでOKとします。
- 2) 高い周波数のカットオフ付近のF特がちよっと計算値と合いませんが、1dB程度なのでこれもよしとします。CR類は前記のもの、しかも設計ツールのほうでもE24系などとまとめてくれてしまっていますので、最初っからすこしずれています。今から考えるとコンデンサだけでも容量合わせをしたほうが良かったと思います。でも、今回は改善しません。シミュレーションが簡単にできるのでそのうちやってみようと思います。(暇ができればです)
- 3) 何しろ部品が多くて作っていて、いいかげんいやになります(PSNほどではないけれど)。使命感だけでつくったような感があります。
- 4) 写真です。容量の大きなコンデンサや一部の部品を裏につけています。op-ampが1個あまっています。
- 5) 最近良い特性のフィルタが無くて、少しバンド幅の広い3.4kHzなどの搬送用なるフィルタをよくみかけます。このようなフィルタを送信用として使用する場合に適当と思われれます。

