

1. はじめに

日ごろお世話になっているOMとのQSOでラダーフィルタの話がでて、あたしや経験無いよと言ったらラダーフィルタキットとレシピを御下賜いただきました。

6MHzの水晶振動子14枚と70pF程度のトリマコンデンサ、コイルなどです。

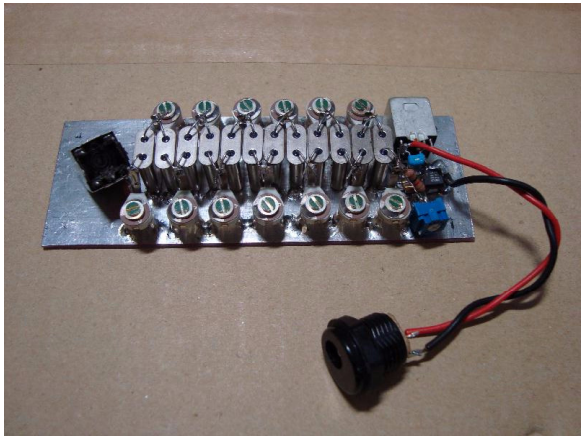
何事も経験、好奇心のみが原動力ということでチャレンジしました。

2. 組み立て

SSB用に使用しますので、BPFです。その場合はフィルタはLSBタイプとなります。

写真のように組んで見ました。

何しろ初めてなのでどんな風に構成したらよいのか分かりませんので、インターネットで他の方の配置を参考にしました。全くの実配です。水晶のケースははんだ付けで接地してあります。



3. 試行錯誤

少ないpole数から実験を兼ねて始めました。

1) 4pole

組み上げてから、何も考えずひたすら形が良くなるように、調整箇所を回しました。

最終の形(周波数特性)が分かりません。

こんなものかと思って止めた結果です。フィルタになることはわかりました。

2) 8pole

水晶を4個追加してこれもひたすら形が良くなるように調整箇所を回したのですが、なかなか良い形になりません。しかし何回も試行錯誤をしたら、こんなふうになりました。

この程度でしたら十分使い物になると思います。シェープファクタが1.6弱程度です。

考えていたよりも良いようです。

3) 12pole

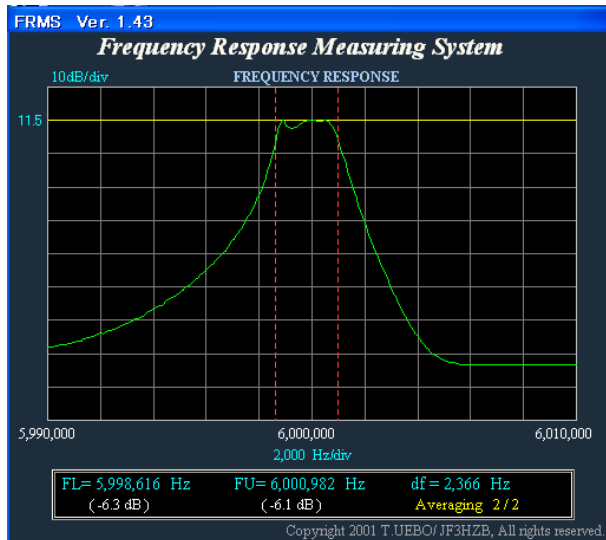
経験豊富な先駆者の皆さんから12poleなら十分という話を伺っていたので、最終目的としました。

これもひたすら回しました。所がうまく形が出ません。考えてみれば14個の調整箇所を闇雲に回しても、うまく行くはずがないのです。それで後述の調整方法を実施してみました。

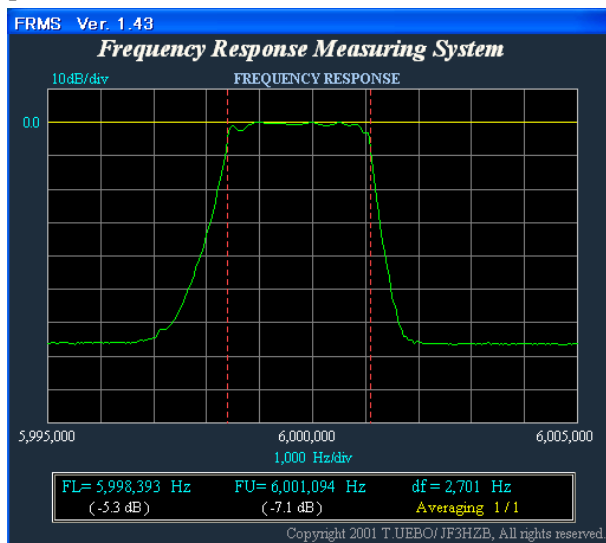
設計式によると結合コンデンサの値が皆同じなので、それではそこから始めてみようかと考えただけです。

実は、今回は資料をほとんど読んでいません。 資料を調べればどこかに掲載されているかもしれませんが。

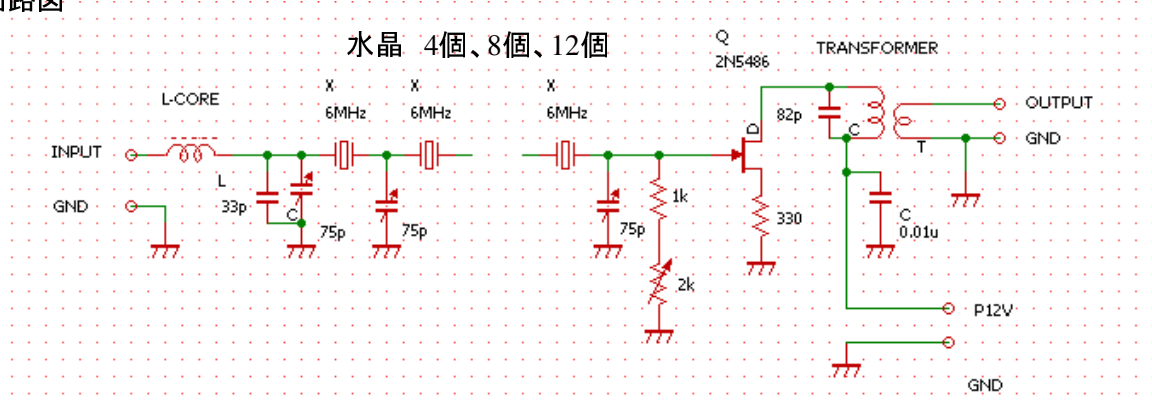
4poleの特性



8poleの特性



回路図



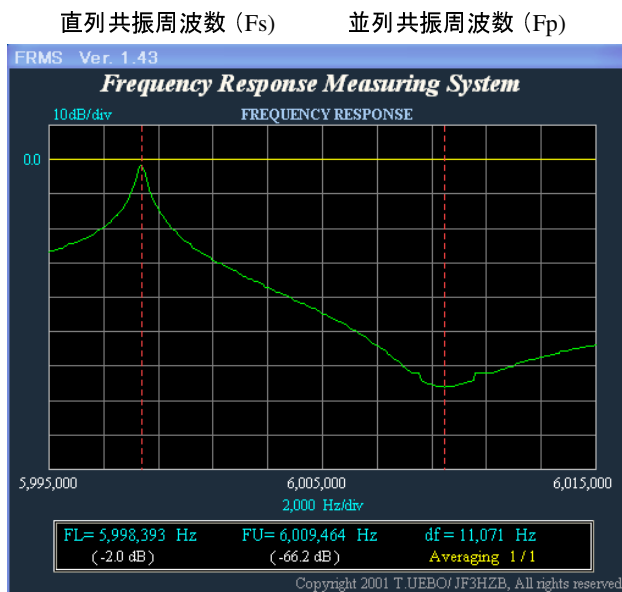
4. 調整方法

私は次のように調整しました。

私が勝手に行ったもので正しいか否か分かりません。再現性もどうか分かりません。結果のみです。

1) 水晶の直列共振周波数、並列共振周波数を測定します。

FRMS(埼玉県久喜市のCytecさんで販売している周波数特性を直視する測定器。キットです)を使用して測定しました。周波数分解能はこのあたりでおよそ23Hzですが、そのまま使用しました。電極間容量は、Cメータで測定しました。(後出)



水晶の直列共振周波数(Fs)、並列共振周波数(Fp)、電極間容量(Cs)

No.	Cs (pF)	Fs (kHz)	Fp (kHz)	ΔF (kHz)
1	2.8	5998.315	6009.531	11.216
2	2.7	5998.315	6009.587	11.272
3	2.6	5998.371	6009.029	10.658
4	2.6	5998.315	6009.308	10.993
5	2.7	5998.315	6009.141	10.826
6	2.7	5998.259	6009.308	11.049
7	2.6	5998.371	6009.475	11.104
8	2.6	5998.315	6009.531	11.216
9	2.7	5998.371	6008.973	10.602
10	2.6	5998.315	6009.42	11.105
11	2.7	5998.315	6009.42	11.105
12	2.8	5998.315	6009.531	11.216
13	2.7	5998.371	6009.308	10.937
14	2.7	5998.371	6009.531	11.16
Average	2.7	5998.331	6009.364	11.033

水晶のケースを開放するか、GNDに接続するかによって並列共振周波数が変わります。

今回は開放で測定しました。どちらが正しいかわかりません。

14枚いただきましたので、差が大きい2枚(No.3, No.9)を除いて12個を使用しました。

2) 計算します。

計算式をExcelに入れておきます。

ラダーフィルタ設計式

パラメータ

Fs (kHz) = 5998.331
Fp (kHz) = 6009.364

Fs, Fpの平均値です

ΔF (kHz) = 11.033
Bw (kHz) = 2.8

希望する帯域幅(-6dBの帯域周波数)

Cs (pF) = 2.7
Cg (pF) = 0

Csは水晶の電極間容量
Cgは水晶の電極-ケース間の容量(今回 0)

Cd (pF) = 2.7

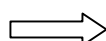
Cd = Cs - Cg

結果
Ct (pF) = 15.88
Cc (pF) = 31.76
Rt (Ω) = 1669.5

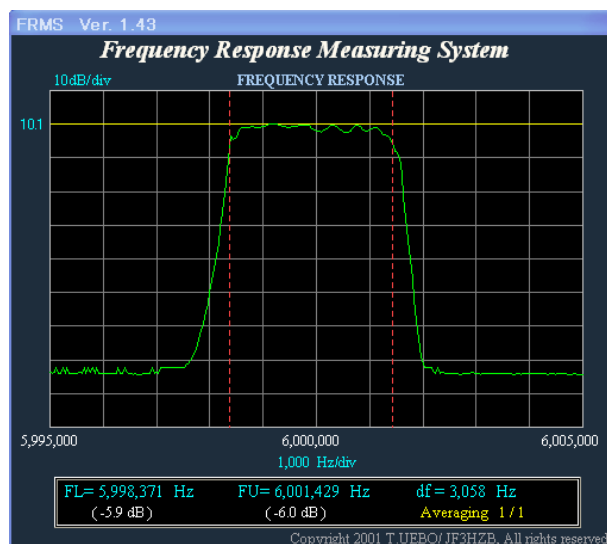
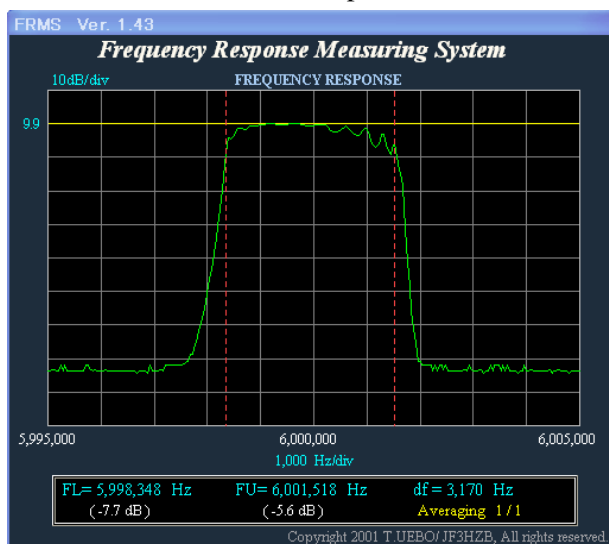
Ct = 2 * Cd * ((ΔF / Bw) - 1)
Cc = 2 * Ct
Rt = 1 / (2 * pi * Fs * Ct)

- 3)コンデンサの値をあらかじめ合せておきます。
 両側の2個以外の中間の11個のトリマコンデンサを、Cメータを使用して同一値に調整します。
 私は表示値で±1%以内に合せました。
 最初は計算値+浮遊容量として、33pFとしました。
- 4)入力Lマッチと出力側のターミネータはおよそ計算値とします。
 また、FETのドレインの同調回路は、フィルタの周波数に同調させておきます。
- 5)FRMSに接続して特性を確認します。
 帯域内リップルはありますが、12poleともなるとそこそこフィルタの形になっています。
 また、帯域幅は計算と違いました。
- 6)調整箇所(すべてのトリマコンデンサと入力のコイル)を1箇所ずつ、少しずつ回して特性を整えます。
 基本的にはリップルが少なくなるように調整します。
 特性が悪くなった時と変化が無い時は戻します。手の感覚とFRMSの波形で元の位置に戻します。
 あまり何回も調整してゆくと元に戻らなくなるし、場合によってはどんどん特性が悪くなります。
 これは戻すときに正しく戻っていないわけで、ある程度どうしようもなくなったら、3)コンデンサ合せから、再調整したほうが早い場合もあります。
- 7)これで調整した特性が次のようです。

コンデンサあわせ直後(33pF)



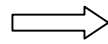
調整後(もう少し調整すれば特性改善可能)



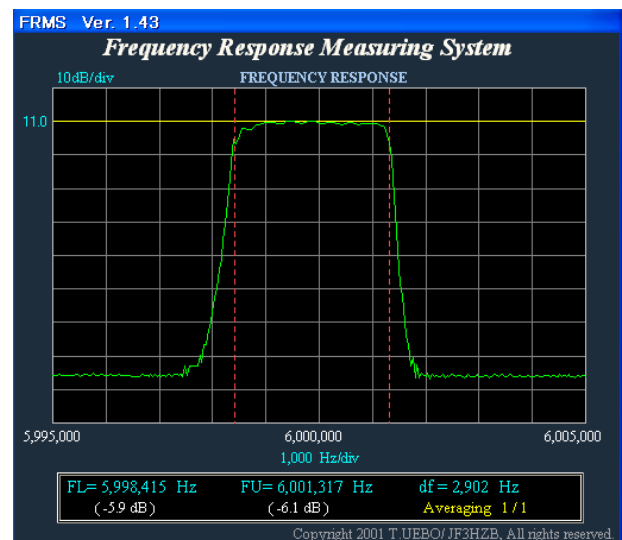
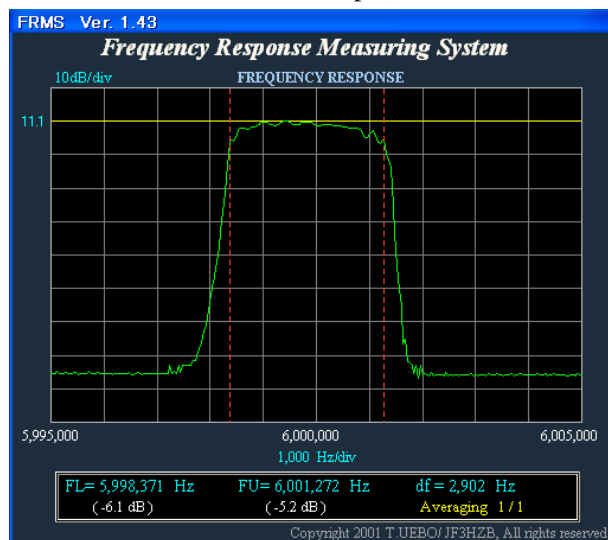
8)帯域がちょっと広いので、狭くします。

コンデンサの値を3pF増やして36pFで合せたときが次の結果です。

コンデンサあわせ直後(36pF)



調整後

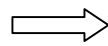


9)帯域がまだちょっと広いので、狭くします。

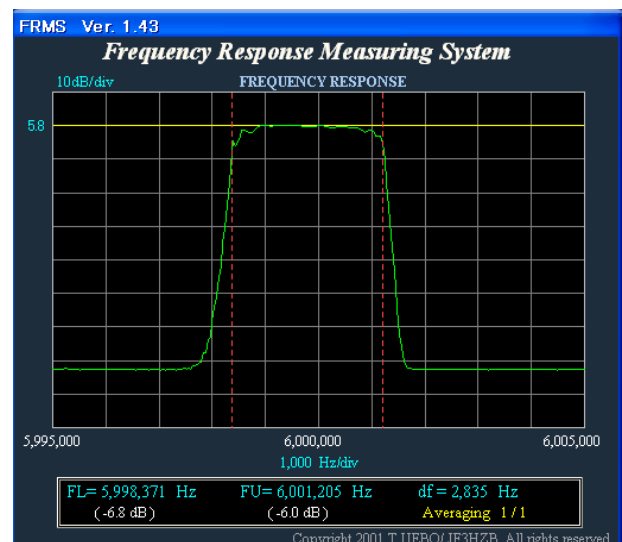
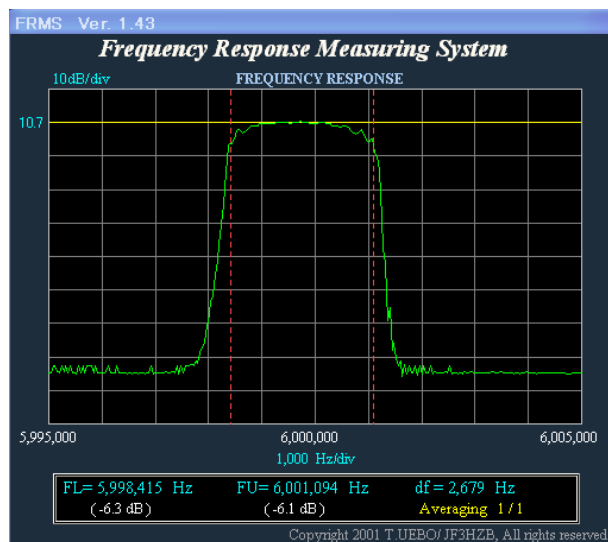
コンデンサの値を3pF増やして39pFで合せたときが次の結果です。

これで終了とします。(切がありません)

コンデンサあわせ直後(39pF)



調整後



5. 結果

現在の結果としては上図右です。

-6dB帯域 : 2.83kHz

-60dB帯域 : 3.53kHz

Shape Factor : 1.25

もう少し根気良く調整すれば、リップルはもう少し形が改善される余地がありそうです。

6. 感想

いじった感想です。

- 1)特性としては良好。 といってよいと思います。 思ったよりも簡単に良いフィルタが得られました。
何も調べず、単にレシピ通りに行ないました OMありがとうございました。 お礼を申し上げます。
- 2)水晶によってはこのようになるかどうかわかりません。 最近の水晶は特性が変わっていて、場合によってはうまく特性が取れないといった報告がハムジャーナルNo.106にありました。
- 3)どこが終点か分らない。 もう少し良くなるのではないか？ という“もうちょっと亡霊”に付きまといわれて調整が終わらない、だんだん悪くしてしまうことがありました。 (単に意思が弱いだけなのか？！)
- 4)固定コンデンサでのみを使用して、無調整というふうにはならないでしょう。
- 5)水晶のデータを取りましたが、最終的にはこの調整では使いませんでした。
最初に水晶の選別のみに使用することだけになりました。
- 6)TG付きスペクトラム・アナライザかFRMSなど、特性が直視できるものが無いと満足できる特性までには調整できないと思われます。
- 7)Cメータは最近自作したもので、内容は VK3BHRさんのHPに発表されたL/Cメータです。

<http://sites.google.com/site/vk3bhr/>

絶対精度は分りませんが、Cメータとしてでは小容量時で0.1pFと分解能が高いのと、再現性が良いので調法しています。

簡単に製作できます。

今回はプラスチックのケースに入れましたが、これは失敗。

ボディーエフェクトがありますので金属ケースのほうが良いようです。

それでもあまりクリチカルな測定をしない場合は問題なく使えます。

- 8)温度や経時変化がどの程度になるか興味があります。

温度は変えてみました(後出。 付2)

経時変化は時間が経ってみないとわかりませんね。

- 9)この構造ですと、1段おきにC結合が発生しそうです。

でもまあこの特性なので今回はよしとします。

1段おきの結合は一般的に調整ではキャンセルできないので

今は私の測定器の限界で見えませんが、どこかで影響している

はずです。 帯域内リップルとか、最大減衰量とか、ニアバイとか。

本当に厳密に特性を出したい場合は、1段ごとにシールドし、全体を金属ケースに入れるなどの注意を払う必要があると思います。

12poleともなると、作り方によっては結構な場所をとります。 試作は 100*35*25(H) の大きさです。

- 10)初めて、しかも1台だけ作ったものなので、調整の再現性などはわかりません。

- 11)FRMSですが、スキャンを4秒以上しないときれいな波形が見えませんでした。

2秒スキャンでおよその動きをみたり、トリマ回しを行って、最後は4秒で確認です。

- 12)今回の水晶のデータ取ですが、水晶のケースをGNDしませんでした。 ケースをGNDすると並列共振周波数が上がります。 どちらが正しいかわかりません。 またこれが設計計算にどの様に影響するかもわかりません。

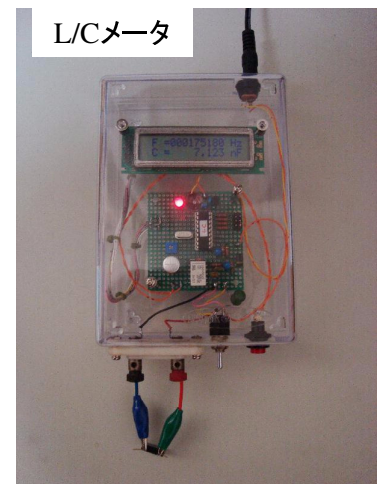
もっと資料を当たると書いてあるかもしれませんが、今回は力づくで調整してしまいました。

- 13)慣れるとコンデンサの値あわせから、調整完了まで1~2時間程度です。

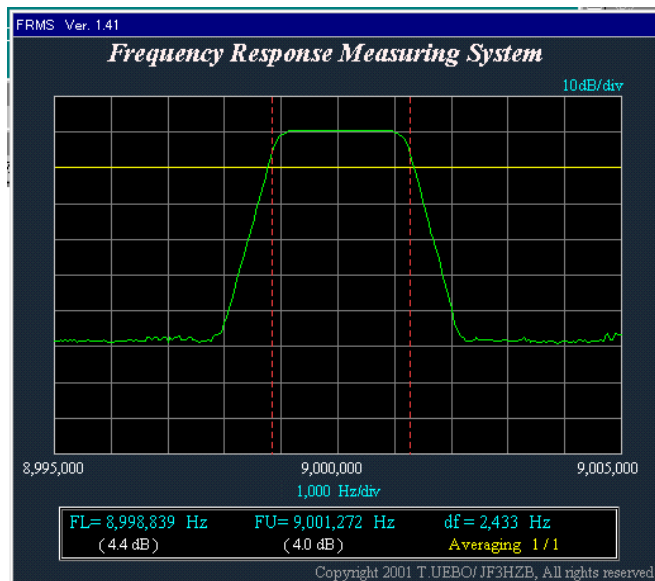
しかしそれまで何回かは各トリマの、全体の特性に対する傾向を知るための試行錯誤が必要でした。 恐らく違った水晶を使ったフィルタは、違った傾向になるように思われます。

このフィルタでも水晶の並びの順番を変えたら、傾向が変わるかもしれません。

- 14)手持ちのいくつかのメーカーのフィルタが、以前にデータをとってあったので参考に載せました。



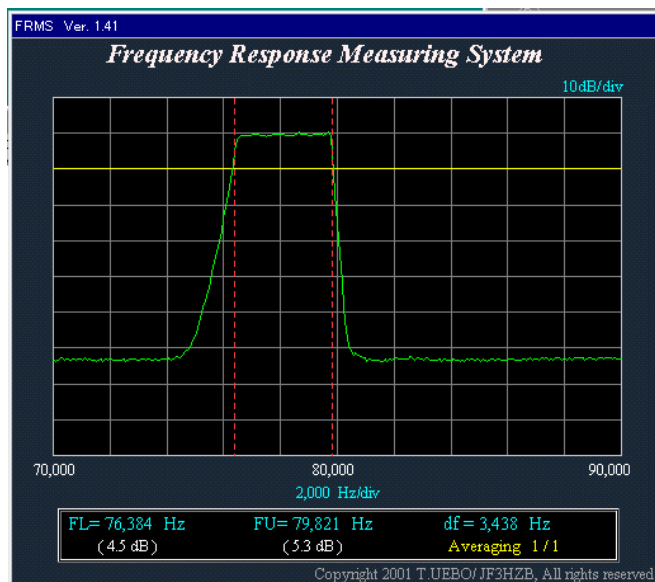
付1. いろいろなフィルタの特性



9MHz 6pole Xtalフィルタ

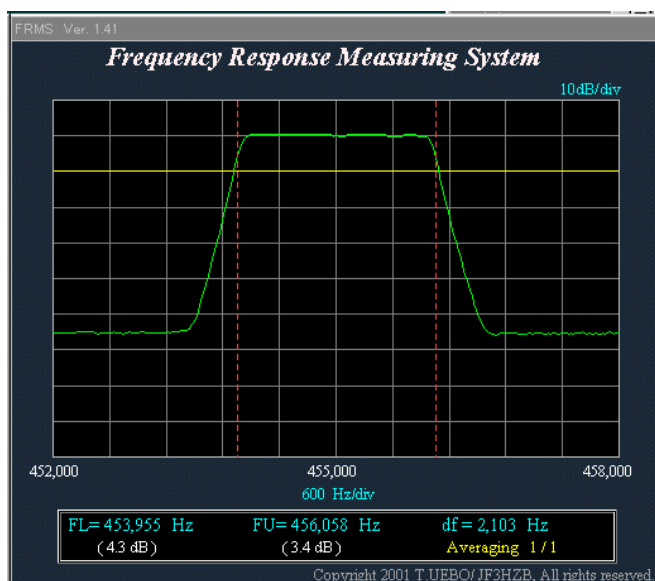
スカートの特徴は広めですが、形は見事です。
メーカー製の、少し古い製品です。
(30年前くらいか)

$60\text{dB}/6\text{dB}=1.77 < 2$ でした。



80kHz コリンズ メカニカル・フィルタ

F80Z7 通称 ちくわ です。
搬送用なので、キャリア側の切れが良くなっています。
帯域は広め(もともとそういう規格)です。



455kHz Xtalフィルタ

メーカー製オプション用SSBナローフィルタです。
最近の製品です。(ここ10年以内くらい)
形はきれいです。

付2. 温度特性

温度計とフィルタを一緒に電気毛布蒸しにしました。あまり精度の高いテストではありません。単に目安です。すこしずれました。恐らくトリマコンデンサがずれたのでしょう。コンデンサをトリマ+固定、或いは温度係数の良いトリマに変更すれば軽減されそうです。実施するとなると、時間がかかると思います。

減衰 (dB)	周波数	温度 (°C)		
		19.2	※ 38.7	41.6
-6	下側 (Hz)	5998480	5998440	5998440
	上側 (Hz)	6001180	6001320	6001290
	帯域 (Hz)	2700	2880	2850
-60	下側 (Hz)	5997990	5998010	5997990
	上側 (Hz)	6001440	6001590	6001550
	帯域 (Hz)	3450	3580	3560
-60/-6		1.28	1.24	1.25

※温度変化の最中 過渡的

帯域幅が本文と違うのは
再度トリマを回してしまったため。

