

### はじめに

ある周波数を他の周波数と混合して目的の周波数を作り出すミキサーや、てい倍して目的の周波数を作るダブラー、トリプラー等のてい倍器では目的の周波数のみを取り出し不要な周波数を取り除く為にフィルターが必要になって来ます

このフィルターの形式としてはバンドパス型が一般的ですがその他にローパス型、ハイパス型や特定の周波数だけを取り除くリジェクション型が単独で又は組み合わせて使われています、構造的にはマイクロ波では主としてマイクロストリップラインによる物と、メカニカルな物に大別されます、周波数的には2.4GHz位まではどちらも使われていますが、マイクロストリップラインによるものは周波数が高くなるに従って基板のロスが増えて来ると、エッチング加工によるギャップやライン幅の精度を出すのが難しくなって来て全体としてロスを3dB以下にする事は難しくなります、その上調整が難しい等の点でメカニカルな物に劣ります

メカニカルなフィルターの代表的な物にインターデジタル型やコムライン型があります、これも2.4GHz以上ともなると流石に小さくなってきて製作が難しくなるので、使用される周波数に対応した導波管を使った空洞型共振器(キャビテーター)型が主流となって来ます、

キャビテーター型にも幾つかのタイプがありますが、ジャンクで良く見かける導波管の中に棒を立てた物や、穴をあけた仕切り板(アイリスプレート)で区切った物は、いずれも機械加工の精度の良し悪しがフィルターの特性に大きな影響を及ぼすので、アマチュアの手作りではロスが少ない特性の良い物を作ることは非常に難しい様です

### 分割型フィルターについて

そこでアマチュアでもロスが少なく特性の良いフィルターを作る事が出来ないかと考えて実験して見た結果、これならばと言う物が出来ましたので以下に紹介します

このフィルターの原型は前述のアイリスプレート型ですが、導波管の中に仕切り板を入れる型ではなく導波管に相当する部分と、アイリスプレートを別々に作って組み立てる様にしました、更に導波管部分は加工の難しい角穴の代わりに丸穴とする事で、ドリル加工だけで出来る様にしました、基本形は2枚のアイリスプレートの中に導波管部分をサンドイッチした物を1ユニットとして、これを2段3段と重ねる事でよりシャープなフィルターを作る事が出来ます

このフィルターの共振周波数は主として導波管部分の体積で決まります、従って既成の導波管を使った時は角穴の大きさを変える事は出来ませんので厚み(長さ)決まっています

一方丸穴の場合は穴の直径はかなり自由に選べますから(市販のドリルは0.1mmおき位にあります)板の厚さは規格の物が使える利点があります、これで厚みの有る板から

ヤスリ等で必要な寸法に平行に削り出す作業から開放されるわけです

フィルターの周波数特性は主としてアイリスプレートの穴の大きさで決まります、プレートの厚さは出来るだけ薄いほうが望ましいので、0.1mm~0.3mmくらいが適当です、この厚さが増えると穴の大きさが小さくなった様に働きます、

必要な特性からキャビテীর数や大きさ、アイリスプレートの穴径、厚みなどの計算をする計算式がありますが、私はRSGBのマイクロウエーブハンドブックにあったBASICプログラムを98用に書き直した物を使っています、但しこれは角型導波管タイプのみでしたので丸穴用に作り直しました、しかし元の計算式の解析が不充分だったのでQの計算が出来無いなどの不満が有りますが実用的には使えます

フィルターの材質としてはアイリスプレート、キャビテীর共、加工のし易さからはしんちゅうに分が有りますが、ロスは銅、アルミ、しんちゅう、の順に多くなります、メッキが出来るならばしんちゅうに銀または銅メッキをお勧めします

加工上の問題点としてはQを上げる為にキャビテীর内面を出来るだけ綺麗に仕上げると、アイリスプレートがキャビテীরに密着する事が必要で、キャビテীর面がデコボコだったりアイリスプレートが一部分のみしか接触しない様ではロスが非常に大きくなるので注意が必要です

このプログラムを使って幾つかの周波数で計算した結果を第1図に示して置きました  
共振モードについて

このフィルターを作って実験をしている内に幾つかの点に気がつきました、その一つに同じアイリスプレートを使っても角型よりも円形の方がフィルターの切れが良い事でした（ここで具体的なデータを示せば良いのですが私の手持ちの測定器では広帯域に渡って一定の出力を出す信号源が無い為確実な値を示す事が出来ないのが残念です）

考えられる事は同じ周波数に同調させるのに、角型導波管と円形導波管ではキャビテীর体積がかなり違う事です、例えば2.4GHzでWR42型導波管の内寸は10.67mmX4.3mmで長さ6.5mmですから体積は298.2立方mmなのに対して円形導波管では直径10mm長さ8.2mmの643.7立方mmとなって2倍以上の開きが有ります、この違いはどうやら導波管の特性インピーダンスに関係が有る様で、インピーダンス（高さに関係がある）が高い方がQが高く取れる様です

この事から同じ周波数でキャビテীর体積の大きくなる方法は無いかと考えて文献を探して見ました、というのも第1図の様に47GHz,75GHzと周波数が高くなるに従ってキャビテীরが小さくなって作り難くなりますので少しでも大きく取れる方が加工が楽になるからです

探して見るもので第2図Aの様な空洞型周波数計のモード図が見つかりました、之によると今まで作っていたキャビテীরはH111というモードで働いています、この図はマイクロウエーブの導波管の所に必ず出てきますのでご存知の方も多いと思います  
これ以外に空洞周波計で使われるモードとして第2図BのH011モードが有ります、この二

つのモードを比べて見ると H011 ではキャビテীর前後の側面には電流は殆ど流れません、これに比べて H111 モードでは中心部より側面の電流が大きい事が分かります、この為前述のようにキャビテীরとアイリスプレートの接触抵抗が全体の Q に大きな影響を持つてくる事が分かります

そして更に第 3 図のモードチャートや付録の計算式から H011 の方が H111 より  $F \times D$  の値が大きい事も分かります(周波数が一定ならば直径が大きくなる) この事は探していた物にピッタリでした、

第 4 図にこのモードを使った時のキャビテীর大きさを計算して置きました、ここでも計算式を BASIC に入れて計算しました、ちなみに DB6NT から送って貰った彼らの推奨するフィルターの図面を第 5 図に紹介して置きます

やはりこの H011 モードを使っています、フィルターが全て 2 段構成になっているのは、向こうでは IF 周波数として 1 4 4 MHz を使うのが一般的な様で、その為に切れの良いフィルターが必要とされる為と思われます、実験して見ると確かに切れは良いのですが、アイリスの穴が小さく、その為ロスが大きくなっています、従って IF を 1 2 0 0 MHz で使う場合はキャビテীরは 1 段にしてアイリスの穴径も一回り大きめにした方が使い易い様です

ただ構造的には H111 モードに比べて複雑ですがそれなりの良さは有ります、またこの図から分かる様にこのモードでは前後の導波管との結合の仕方や周波数調整ビスの向きが今までの物と 90 度違ってきます

ここで周波数調整について触れて置きます、キャビテীরの大きさは目的の周波数にドンピシャならば一番良いのですが前後の結合状態からどうしてもずれるので微調整の必要が有ります、一般的にはキャビテীরの中に金属のビスを挿入して調整する事はよく知られている事ですが、このビスがキャビテীরの中に入る部分は出来るだけ少なくする必要が有ります

例えば今 2 4 GHz 用に設計されたキャビテীরにビスを挿入する事で、目的の 2 4 GHz、ローカルの 2 2 . 7 5 GHz、それにイメージの 2 1 . 5 GHz のどれにでも同調させる事は出来ますが、フィルターの切れ(Q)は周波数を下げて行くに従ってどんどん悪くなって行きます、ですからビスによる調整は目的周波数の近辺の微調整をするものと考えてキャビテীরの大きさを決める必要が有ります

この事はジャンクのフィルターの周波数を変えて見ると、運良く目的周波数になってもロスが多くて使い物にならなかった経験をお持ちの方は多いと思います

また H111 モードと H011 モードではビスによる周波数の変化の方向が逆で、H111 ではビスを入れると周波数が下がるのに対して H011 では上がって行きますので注意して下さい

参考文献、参考資料

- 1 WAVEGUIDE BANDPASS FILTERS RSGB MICROWAVE HANDBOOK Vo12 P12-23
- 2 空洞型周波数計 オーム社 マイクロ波基礎回路の設計 P170
- 3 G3WDG IRIS COUPLED FILTER G3WDG MICROWAVE UPDATE 1995 P171
- 4 24GHz WAVEGUIDE FILTER WA5VJB MICROWAVE UPDATE 1993 P116

5 計算式

$$H011 \quad (FD)^2=1336.8362+224.6641/(L/D)^2 \quad ;D,L \text{ cm } F \text{ GHz}$$

$$(L/D)^2=1000/(4.4510894*(FD)^2-5950.3775)$$

$$H111 \quad (FD)^2=308.6708+224.6641/(L/D)^2$$

$$(L/D)^2=1000/(4.4510894*(FD)^2-1373.9213)$$