

高調波水晶振動子を用いた水晶濾波器

Quartz Crystal Filters Employing Overtone Quartz Vibrators

橘 篤 志*
Atsushi Tachibana

内 容 梗 概

数百 kc 付近で広く使用されている水晶振動子としては輪郭すべり振動をする CT カット, DT カットの振動子がある。本報告は, 長形状薄板の水晶振動子の長辺方向の高次縦振動を上記輪郭すべり振動の代わりに使用した場合について述べたものである。まず X カット系振動子の高次縦振動系は, CT カットあるいは DT カット振動子などの輪郭すべり振動系より容量比が小さく, したがって濾波器を構成したときに通過帯域幅が広くとれ, また 4 端子構成に適していることを述べた。次にこの高調波振動子の等価回路を説明し, +5° X カット振動子における実験結果について述べ, 最後に +5° X カット振動子を用いた水晶濾波器を実験し, 従来のものに比して帯域幅を約 2 倍広げられることを示した。

1. 緒 言

水晶濾波器はコイルとコンデンサの組合わせからなる濾波器では得られないきわめて急しゅんな減衰特性を有し, また温度などの周囲条件の変化に対して安定な周波数特性を有しているので広く電気通信に利用されている。

水晶濾波器に使用される水晶振動子は, 振動子の共振周波数に応じて各種の振動様式が利用されているが, とくに 200 kc から 600 kc くらいまでの周波数範囲で使用する振動子としては, 正形状薄板の輪郭すべり振動を利用した CT, DT, ET, FT などの諸カット⁽¹⁾⁽²⁾, あるいは長形状薄板の高次の縦振動を利用したもの^{(3)~(6)}などがある。なかでも上記輪郭すべり振動の諸カットは, いわゆる零温度係数の振動子であるので共振子として, また発振子として広く利用されている。

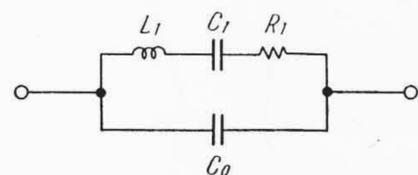
濾波器用振動子としては, 共振周波数の温度特性, 容量比, 副共振特性が問題になる。いうまでもなく共振周波数の温度特性は濾波器の周波数特性の温度変化にきいてくるものであり, 容量比は後述するように帯域濾波器の実現可能な帯域幅に関係してくる。また副共振特性は濾波器の減衰域における保証減衰量に関係してくるものである。上記の諸特性のほかに, 格子形回路形式の濾波器の場合には, 1 個の振動子が容易に格子形回路として実現できるかどうかなどの点も問題となる。

いま上述した振動子についてこれらの諸特性を比較してみると, 容量比および格子形回路の点については縦波の高調波振動子のほうが有利であり, また共振周波数温度特性および副共振特性に関しても, 振動子の寸法比を適当に選ぶことによりこの高調波振動子にすぐれた特性をもたせることができる。

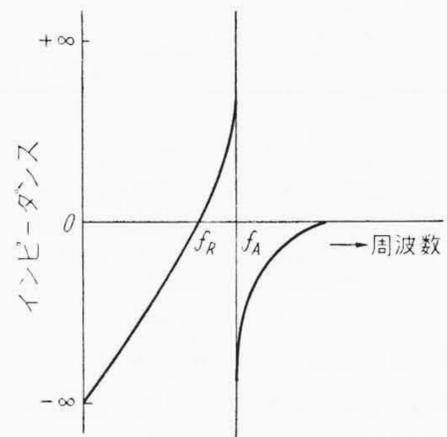
このように縦波の高調波振動子は濾波器用としてすぐれているにもかかわらず, 実際に使用している例はあまり多くないようである。本報告は +5° X カットの高調波振動子の特性と, これを使用した帯域通過濾波器の実例について述べようとするものである。

2. 容 量 比

一对の電極にはさまれた水晶振動子は, その一つの共振周波数の近くでは第 1 図に示すような等価回路で表わされる。一般に水晶振動子の Q 値は非常に高いので, 振動損失を表わす抵抗 R_1 は省略して考えても一般にはさしつかえない。そうすると水晶振動子の 2 端子インピーダンスの周波数特性は第 2 図のように表わされる。ここで f_R は共振周波数, f_A は反共振周波数であり, その間には次式



第 1 図 水晶振動子およびその等価回路



第 2 図 水晶振動子のインピーダンス

が成立する。

$$f_A = f_R \left(1 + \frac{c_1}{c_0} \right)^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (1)$$

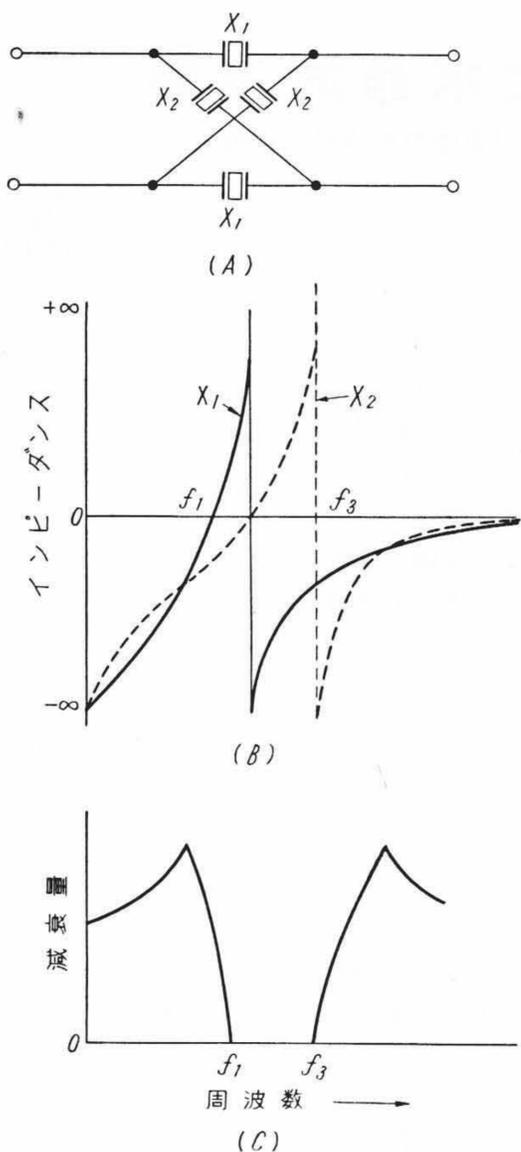
ここで c_1/c_0 は水晶振動子では一般に 10^{-2} 以下の量であるので上式は近似的に

$$\frac{\Delta f}{f_R} = \frac{f_A - f_R}{f_R} \approx \frac{c_1}{2c_0} \dots \dots \dots (2)$$

とかける。このように c_0/c_1 は水晶振動子の共振周波数と反共振周波数のひろがりの幅を定める量で, その振動子の容量比と呼ばれる。一般に容量比は振動子の截断方位振動様式, 電極配置, そのほかの物理的特性に依存する量で, 水晶振動子では 125 以下にすることはできない。振動子に直列にあるいは並列に外部容量を付加すると, f_R が上昇するかあるいは f_A が低下するので, 付加容量をも含めて第 1 図の回路に表わしたときに定義される容量比は常に元の値より増大する。

この容量比の値に下限が存在するという事は, 水晶振動子を用いた帯域通過濾波器の通過帯域幅に上限を与えることになる。すなわちある程度以上広げることにはできない。たとえば, 第 3 図(A)に

* 日立製作所戸塚工場



第 3 図 狭帯域水晶濾波器の一例

第 1 表 振動子の振動様式と容量比

カット	形状	振動様式	容量比
-18.5°X	長方形薄板	縦振動	140
+5°X	長方形薄板	縦振動	130
CT	正方形薄板	輪郭すべり振動	350
DT	正方形薄板	輪郭すべり振動	400

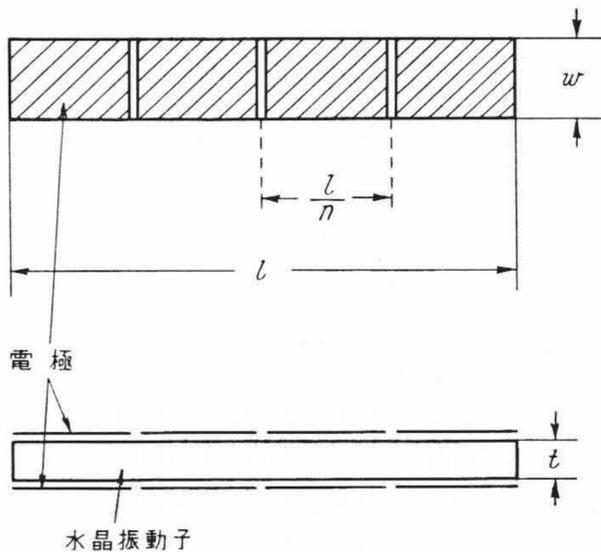
示すような濾波回路の場合には、同図(B)に示すリアクタンス特性からわかるように、その帯域幅は容量比の逆数以下となる。帯域幅の広いものが要求されるときには、容量比は小さいほうが好ましいわけである。

水晶振動子と容量のみから構成される濾波器は、インダクタンスと容量からなる普通の濾波器では得られないきわめて狭帯域のものが実現できることが長所であるが、使用目的によっては濾波器を通じてきた出力信号の波形ひずみとか、時間おくれの問題などのため減衰域に影響を及ぼすことは少なくして通過帯域幅を極力広くとることが要求されることがある。もちろんインダクタンスを水晶振動子と併用すれば帯域幅はずっと広くとれるわけであるが、インダクタンスは使用しないで済むことができれば濾波器の素子数も少なく安定性も倍加されるわけである。

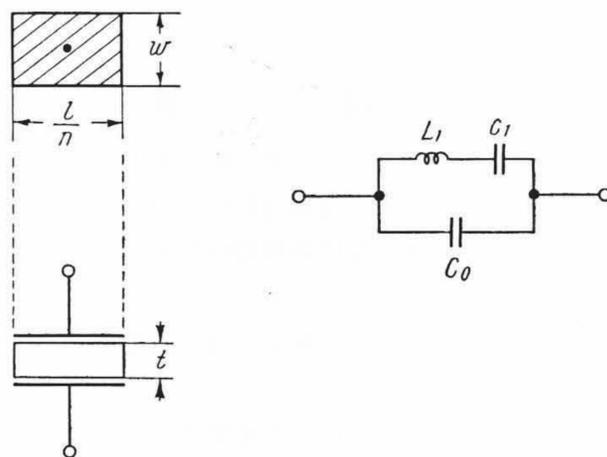
第 1 表は、輪郭すべり振動の振動子と X カット系縦振動の振動子の容量比の実例を示したものである⁽⁷⁾。X カット系振動子にくらべて輪郭すべり振動系振動子は 2.5~3 倍の容量比となっている。したがって X カット系縦振動を用いたほうが帯域幅は広くとれることがわかる。

3. 高調波振動子

前章で述べたように、X カット縦振動系は輪郭すべり振動系より容量比の点ですぐれていることがわかった。しかし基本振動の共振周波数が数百 kc 以上のものを上述のように縦振動系で製作しよう



第 4 図 高調波水晶振動子



第 5 図 水晶振動子

第 2 表 電極配置と等価回路定数の例 (2 端子の場合)

次数 (n)	電極配置図	等価 L	等価 C	並列容量 cp
2		$2L_1$	$\frac{C_1}{2}$	C_0
2		$\frac{1}{2}L_1$	$2C_1$	$> 2C_0$
2		$2L_1$	$\frac{C_1}{2}$	$> \frac{C_0}{2}$
3		$3L_1$	$\frac{C_1}{3}$	C_0
3		$\frac{3}{4}L_1$	$\frac{4}{3}C_1$	$> 2C_0$
3		$\frac{1}{3}L_1$	$3C_1$	$> 3C_0$
3		$3L_1$	$\frac{C_1}{3}$	$> \frac{C_0}{3}$

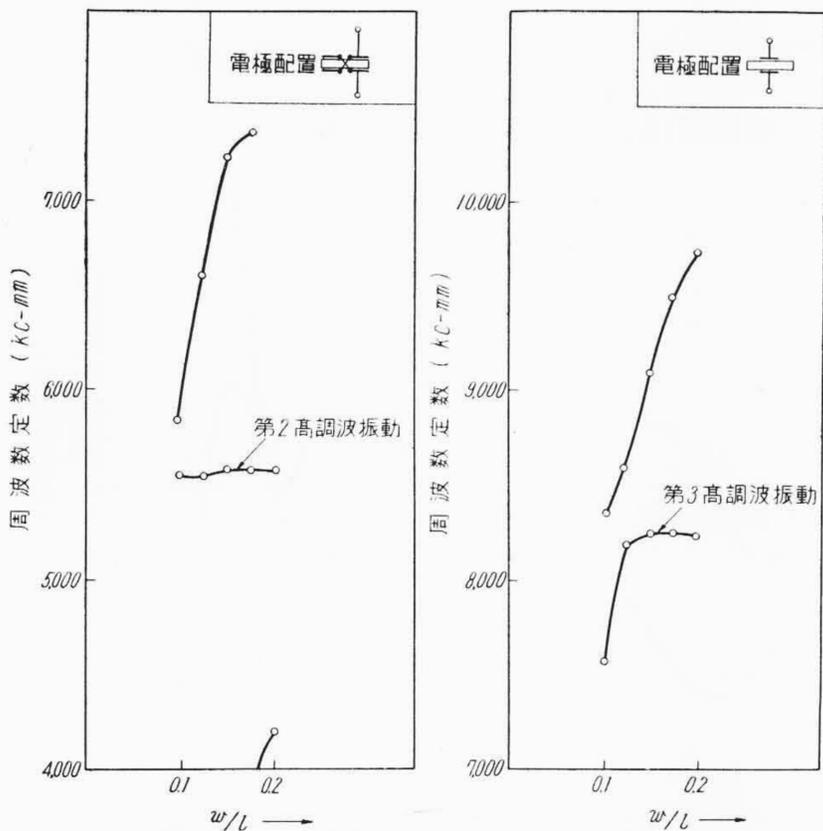
とすると、振動子の寸法が小さくなり製造上有利でなくなる。たとえば保持器や電極などの付加物により水晶本来の特性がゆがめられる度合いが大きくなる。このような欠点を救う一つの方法としては、高調波振動を用いる方法がある。すなわち細長い長方形板状振動子が第 n 次高調波の振動をすることは、この振動子を n 等分して考えたとき、各部がその長さに相当する基本振動をしているとほぼ考えられる⁽⁵⁾⁽⁶⁾。したがって第 n 次高調波振動子を用いれば、n 等分された部分の容量比をほぼ元の値に保ったまま寸法を n 倍にすることができるわけである。

高調波振動を用いた水晶振動子については前に報告⁽⁶⁾してあるように、第 n 次高調波振動をさせる場合には、第 4 図に示すように長さ方向に n 等分された電極を設けておくと、電極の配置によって種々な等価回路定数が得られる。たとえば第 2 表に第 2 および第 3 高調波の場合の若干例を示しておく。同表での等価定数値 L_1 , C_1 および C_0 は、第 5 図に示すように第 n 次高調波振動子の長さを n 分の 1

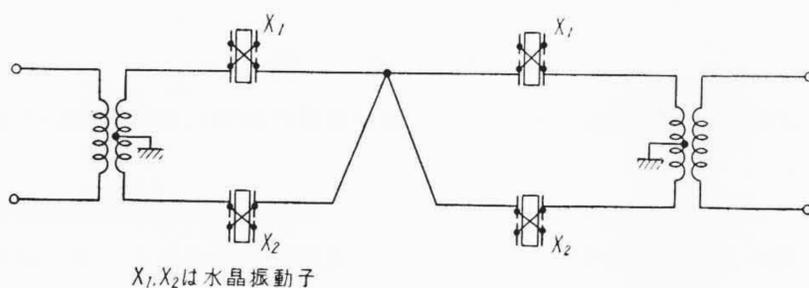
第3表 電極配置と等価回路定数の例
(4端子の場合)

次数 (n)	電極配置図	L'	C'	C_0'	等価回路
2		L_1	C_1	C_0	
3		$\frac{3}{2}L_1$	$\frac{2}{3}C_1$	C_0	
3*		$\frac{2}{3}L_1$	$\frac{3}{2}C_1$	$>\frac{3}{2}C_0$	

個々の電極の長さは l/n , ただし*印をつけたものは中央電極の長さ $l/2n$ である。



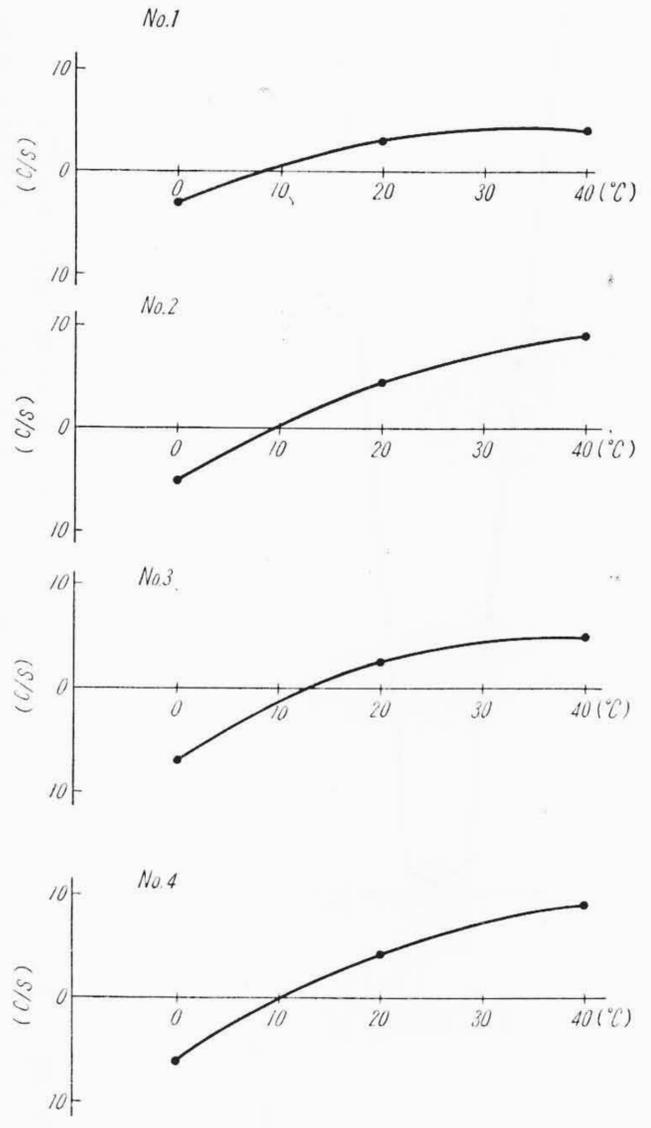
第6図 周波数定数と辺比との関係 (第2次高調波振動子) 第7図 周波数定数と辺比との関係 (第3次高調波振動子)



第8図 水晶濾波器構成図

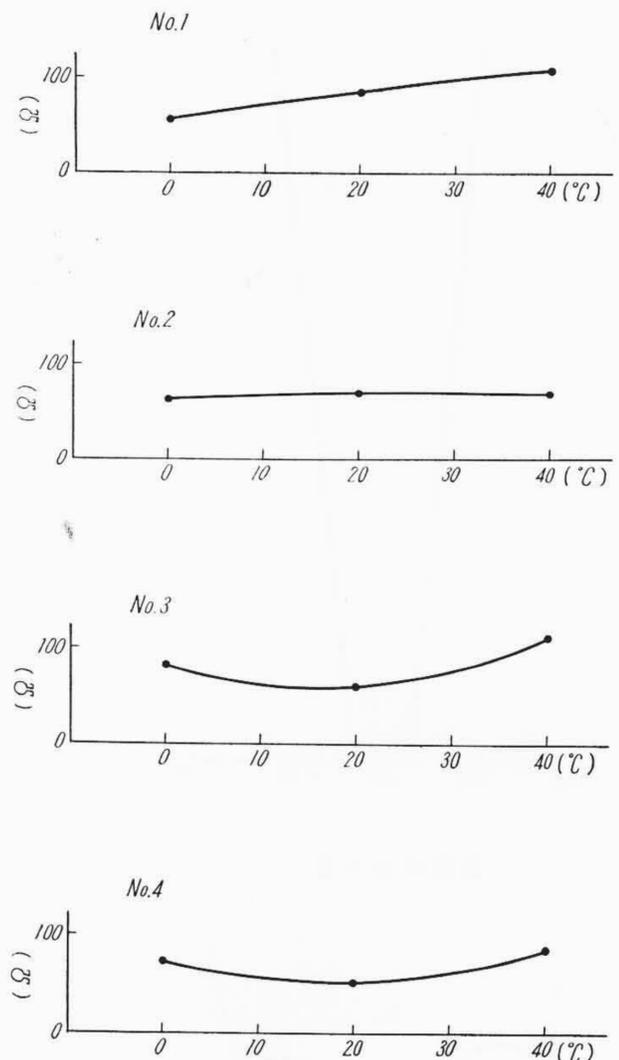
として、全面電極を付けて基本振動をさせたときの振動子の2端子インピーダンスの等価定数値にほぼ等しい。また高次縦振動のときには、振動の節部が2箇所以上現われるから、ワイヤマウントの方法などにより支持を兼ねた電気端子としてのリード線を振動の節部にとりつけることにすると、リード線による影響を少なくして4端子回路としての振動子をうる事が容易にできる。第3表はこの場合の電極配置と等価回路定数に関する若干例を示したものである。

第6図および第7図に第2および第3次高調波振動子の実例として+5°Xカット振動子について測定した共振周波数定数と辺比との関係を示す。電極配置は同図中に示してあるとおりである。辺比が大きくなると共振周波数の温度係数は大きくなり、また副共振が増加してくる。



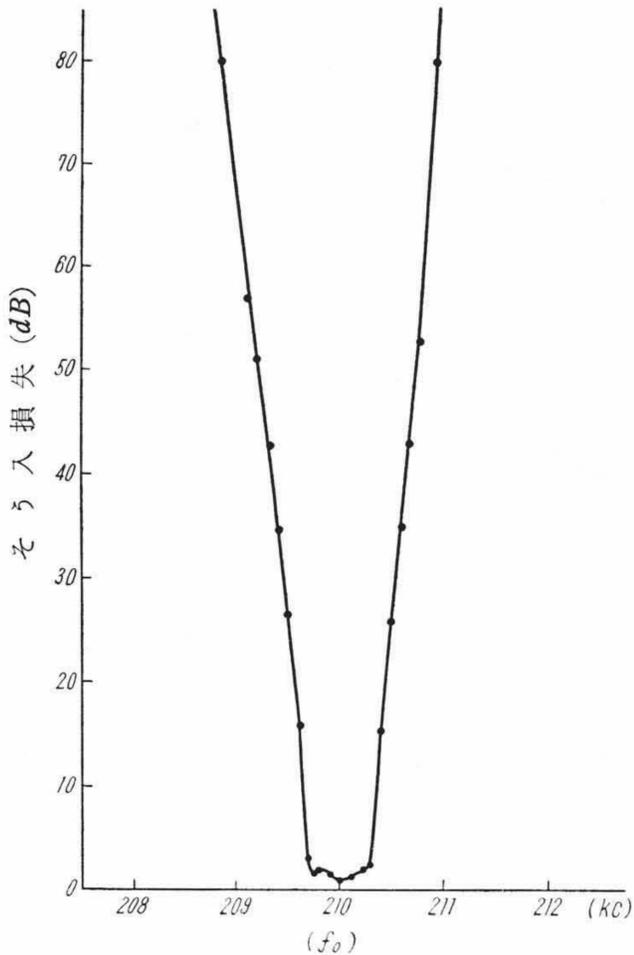
縦軸 Δf は共振周波数偏差
横軸は温度

第9図 共振周波数温度特性

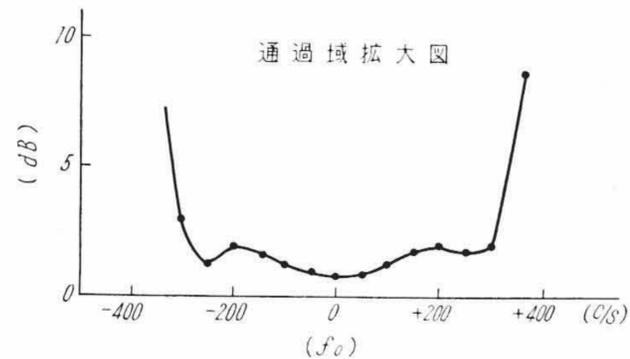


縦軸は共振抵抗
横軸は温度

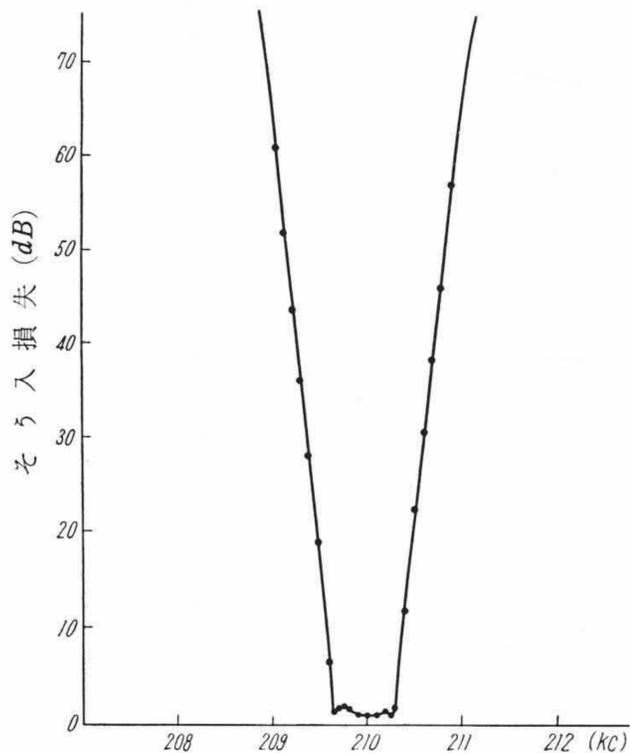
第10図 共振抵抗温度特性



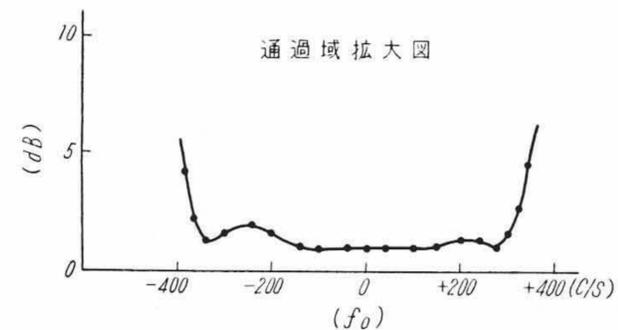
通過域拡大図



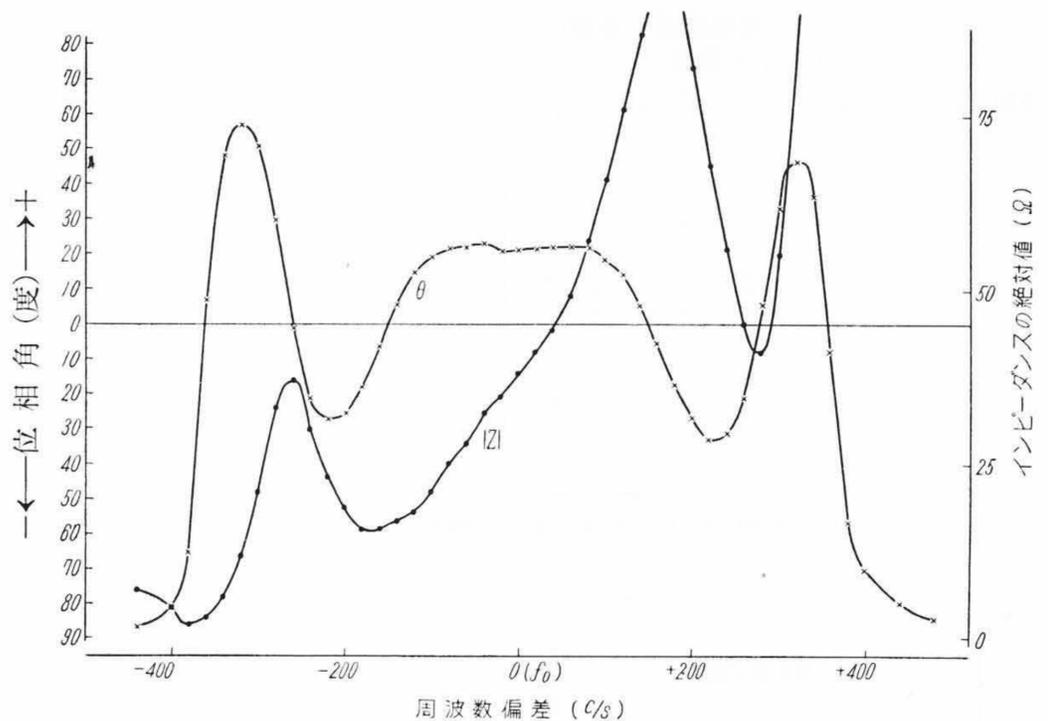
第 11 図(A) 減衰特性



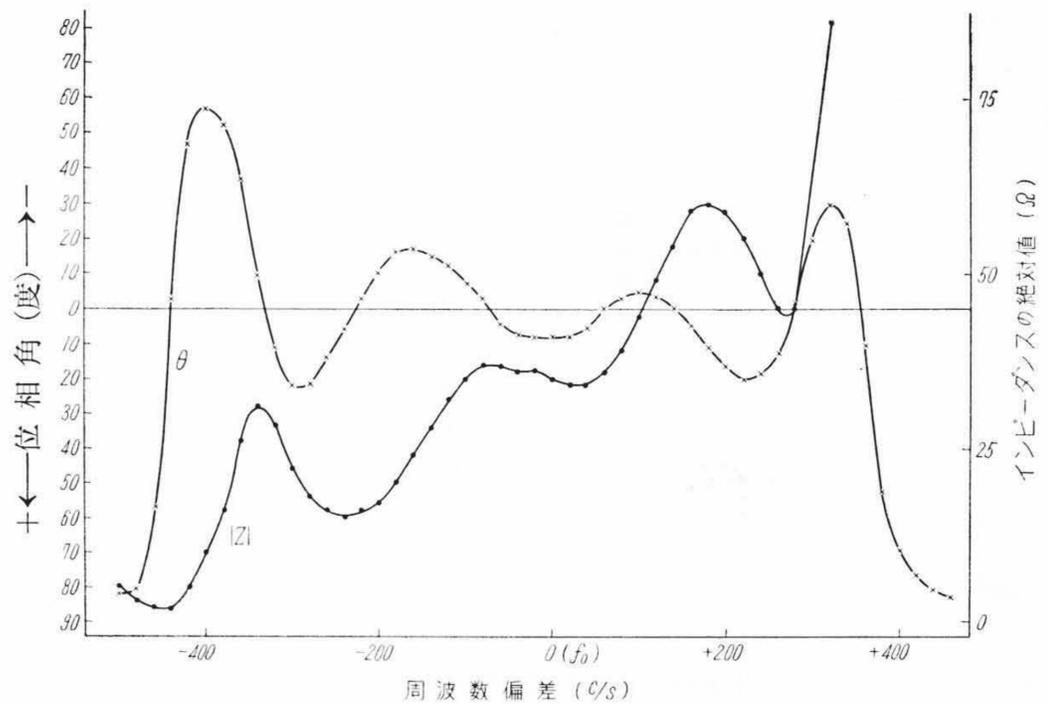
通過域拡大図



第 11 図(B) 減衰特性



第 12 図(A) 入力インピーダンス特性



第 12 図(B) 入力インピーダンス特性

4. 応 用 例

次に第 2 次高調波振動子を狭帯域濾波器に応用した例について述べる。

ここで注意しなければならぬことは、振動子の容量比はその電極配置によって変化することで、へたに電極配置をすれば、せっかく小さくした容量比を大きくしてしまうことになる。第 2 表で、並列容量におのおのの電極間の静電容量を考慮すれば容易にわかるように、最小の容量比を与えるものは、同表の上から 2 番目の場合である。最上欄は最大の容量比を与える。

試作した濾波器は中心周波数 210 kc、帯域幅 600 c/s および 680 c/s の 2 種類の帯域通過濾波器である。構成回路を第 8 図に示す。水晶振動子は +5° X カットの長方形薄板で、その幅と長さの比は 0.2、共振周波数は帯域幅 600 c/s の場合には 209.633 kc と 210.000 kc、帯域幅 680 c/s の場合には 209.550 kc と 210.000 kc である。厚さはそれぞれ 0.24 mm から 0.35 mm の範囲にある。試作した水晶振動子の共振周波数と共振抵抗の温度特性を第 9 図と第 10 図に示す。これらの値は第 2 表の上から 2 番目の欄に示したような電極配置で測定した場合の値である。この図からわかるように温度変化に対して非常に安定である。

このような振動子を用いて得られた濾波数の減衰特性をそれぞれ第 11 図(A)および(B)に、また入力側からみたインピーダンス特

性を第12図(A)および(B)に示す。

濾波器の実際の通過帯域幅は、設計上の上下遮断周波数の差よりせまく、また配線そのほかによる浮遊容量のため実際上の振動子の容量比はさらに大きくなる。このようなことで、従来のCTカットなどの振動子を用いると、大体この周波数付近では帯域幅は約340c/sが限度であった。

ここに+5°Xカット縦振動の高調波振動子を用いることにより、通過帯域幅を約2倍に広げることができた。

5. 結 言

以上輪郭すべり振動の振動子と高次縦振動の振動子とを比較し、容量比および格子形回路に使用する場合においては後者がすぐれていることを述べ、次に高次縦振動の例として第2および第3次高調波振動子の等価回路を説明し、+5°Xカット長形状薄板の振動子の実験例を述べた。

最後にこの第2次高調波振動子を用いた狭帯域濾波器の実験結果を示した。これにより従来の振動子に比べて通過帯域幅を約2倍に広げることができることを確認した。

本報告を終るに当りご指導いただいた横浜国立大学飯島健一教授にお礼申し上げるとともに、水晶振動子を製作していただいた金石舎研究所のかたがた、日立製作所戸塚工場西山課長はじめ関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) S. C. Hight and G. W. Willard: Proc. IRE., 25, 549 (1937)
- (2) W. P. Mason: BSTJ, 74 (Jan. 1940)
- (3) J. J. Vormer: Proc. IRE., 36, 802 (June 1948)
- (4) 実用新案 No. 385, 768
- (5) 古賀免策: 庄電気と高周波 80 (昭-13 オーム社)
- (6) 橋篤志: 日立評論 39, 59 (昭 32-10)
- (7) 無線工学ハンドブック 667 (昭 29 オーム社)



最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その3)

(第8頁より続く)

種 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	504110	洗濯機	多賀工場	田 沢 卓	34. 12. 5
"	504117	複式気化器	多賀工場	大 藤 満 雄	"
"	504118	複式気化器用絞弁レバー装置	多賀工場	大 藤 満 雄	34. 12. 15
"	504122	精密直流定電圧装置	多賀工場	小 沢 重 樹	"
"	504144	開閉器固定接触子	多賀工場	萩野谷 重 忠 昭 夫	"
"	504145	開閉器端子	多賀工場	萩野谷 幸 忠 昭 夫	"
"	504133	外被通風形電動機	亀戸工場	宮 沢 石 雄	"
"	504135	ブッシングの塩害防止カバー	亀戸工場	戸 松 波 村 宗 和 昭 男	"
"	504154	直熱式電気炊飯器	亀戸工場	益 田 貞 三	"
"	504097	送風機取付装置	栃木工場	須 松 藤 清 治 功	"
"	504141	テレビジョン受像機の受像局表示装置	横浜工場	丹 野 敏 彰 一 郎	"
"	504142	テレビジョン受像機の受像局表示装置	横浜工場	丹 野 敏 彰 一 郎	"
"	504127	束線受	戸塚工場	関 田 中 一 康 夫 之 博	"
"	504143	ロータリースイッチの切換レバー	戸塚工場	高 橋 東 一 栄 一 明	"
"	504156	特殊ドライバ	戸塚工場	伊 橋 本 英 駒 一 信	"
"	504103	水銀整流器保護装置	日立研究所	今 橋 木 利 正	"
"	504105	ブリッジ回路の検出器保護装置	日立研究所	一 茂 今 三 尾 浦 清 光	"
"	504125	電動発電制御装置	日立研究所	小 野 田 芳 正 省 卓 正	"
"	504132	磁気増幅器用リアクトル	日立研究所	今 三 尾 浦 清 光 界 義 二 弥 登 弘	"
"	504146	直流発電機の電圧調整装置	日立工場	小 野 田 芳 正 省 卓 正	"
"	504158	水位測定装置	日立研究所	山 栗 長 崎 須 瀬	"