

## 生産技術研究所における

## 水晶共振子研究の現状

高木 昇・尾上 守夫

数年来行ってきた濾波器用水晶共振子の研究に関連して得られた成果を概観する。最近本邦で実用化されたある水晶濾波器の相当部分はこの成果に基いて製作されている。

## 1. 共振子と発振子

水晶振動子は大別して発振器用の発振子と濾波器用の共振子に分けることができる。両者の主な相違を考えてみると

(1) 発振子は周波数、発振強度及びそれらの温度特性が問題になるのに対して、共振子ではその他に等価インダクタンス、等価直列抵抗、容量比等の等価定数や、場合によってはそれら箇々の温度特性も問題になる。

(2) 共振子では主共振以外の副共振は濾波器の特性に悪影響を与えるので、その位置、大きさを精密に規定する必要がある。これは低域または高域濾波器の場合にとくに問題になる。発振子でも似た要求はあるが、その程度ははるかにゆるい。

(3) 使用時の電流レベルが共振子の方が発振子より低い。

(4) 発振子の周波数は発振器の調整用コンデンサーである程度の補整が可能であるが、共振子では多くの場合共振周波数を直接規定値に合せる必要がある。

もちろんこの比較は一応のものであって両者の間に確然たる境があるわけではないけれども、一般に言って共振子の方が発振子よりも細密に規定されている。これに刺戟されて、発振子を次第に共振子的に扱うようになってきたのが最近の傾向である。

## 2. 線支持水晶共振子

共振子の周波数、等価定数等はその寸法によって定まってしまうが、損失や安定性は支持法の如何に左右される。従来使用されてきた空隙型や、クランプ型の保持器はこの点で不満足なものであった。たとえば衝撃に対して共振子がずれやすく、安定性に乏しいこと、損失があまり下げられないこと等の点があげられる。この欠点をなくし、また前節に述べた諸要求を満足させるために共振子の節点に直接細い線を銲接して、支持線と導入線をかねさせ、電極は密着電極を使用する線支持法が発達してきた。その実用化はドイツが最も早く、その後アメリカ、イギリス、オランダ等で相ついで使用されるにいった。筆者も水晶濾波器の研究の途上、共振子の支持

の問題を解決する必要に迫られて、昭和25年に研究を開始したが、最近ではほぼ所要の特性を満足したものが得られるようになった。

## 3. 線支持の工程

線支持法に関しては各国のおおの特色ある方法が発表されているので、ここでは当研究所で発展させた事項を主眼にして述べることにする。その製造工程は大別して、洗滌、銀点焼付け、電極形成、線付け、封入の5段階に分けることができる。

洗滌は研磨の終わった共振子から研磨剤、油脂等の汚物を取除いて清浄にするためのもので、普通のガラス器具の洗滌と大差ない。たゞこの際、弗化水素によるエッチングを行うと特性の改善にも役立つことを指適しておく。この洗滌の良否は銀点及び電極の附着強度に大きな影響を及ぼすから注意して行う必要がある。

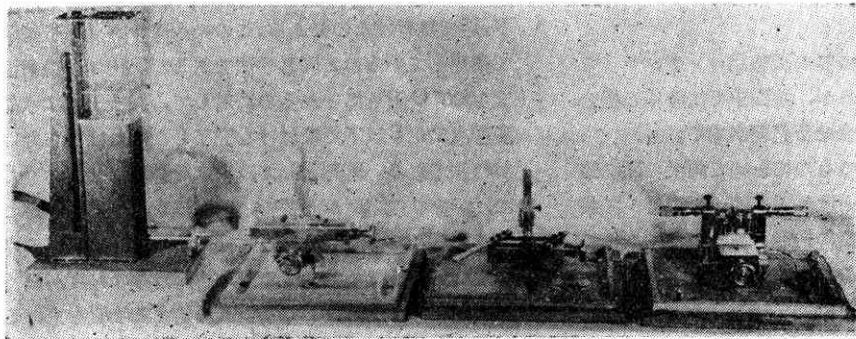
銀点焼付けは支持線をハンダ付けするときの足掛りを設けるためのもので、銀粉と低熔点ガラス粉との混合物を、適当な溶剤に懸濁させた銀ペーストを、節点に塗り、炉で焼付けるのである。この技術はチタコンや碇子等で使用しているのと同じ手法であるが、後者が焼付温度を $1000^{\circ}\text{C}$ 附近にとれるのに対して、共振子では水晶の変態点 $570^{\circ}\text{C}$ 以下で焼付けを完了しなければならない点特殊である。溶剤としては粉末を懸濁させておくために、かなりの粘度が心要で、樹脂等を加える方法がこれまでとられて来た。しかし灰分や、長期間の保存の点で必ずしも満足でなかったため、溶剤自身の粘度が高く、しかも焼付け温度以下で完全に蒸発する物質を求めめる方向に研究を進め、種々検討の結果、グリセリンがこの目的に適っていることを見出した。ペーストの調整が非常に簡易なのも一つの特色である。この処法は各所で採用されるにいたり、最近聞いたところでは標準電波用の共振子の製作にも使用されている由である。

焼付けの終わった共振子には電極を形成させる。これは金又は銀の真空蒸発法によっているが、厚味の均一さを確保するために蒸発源の配置に考察を加え、偏差10%以内に収めている。後述のような分割電極を形成させたり、あるいは表裏の絶縁をうするためには、特別のマスクを使用する方法の他に、予め可溶性の物質を絶縁すべき場所に塗っておき、電極を蒸着した後にその部分のみ溶剤で溶し去るようにしている点が目新しい点であろう。

この方法によれば、従来の研磨や電気火花による方法に比して格段に容易に、しかも共振子を傷ける恐れなしに目的を達することができる。

電極形成が終れば支持線をハンダにより銀点に線付けする。銀点の直径は $0.5\sim 1.5\text{m/m}$ 程度であるから、節点の位置をさらに正確に求めるために通常のケガキ法によって銀点上に交叉線をケガキ、それと3軸直交するように支持線をつける。ハンダの量を正確にするため、予め規定の重量に細分したハンダを支持線の先につけておき、それを銀点に押しあてたまま全体を電熱で均一に加熱して銲接する方法をとっている。この方法は共振子に局部加熱が起きない点が優れている。

線付けの終わった共振子は、線付けの際使用した松脂等を除去するため十分洗滌し、ついで周波数、及び必要ならば等価インダクタンスの最終調整を済した後に封入する。この洗滌にはトリクロール・エチレンが賞用されているが、この他にクロロホルムも同様に優れていることを見出した。人間に対する毒性も同じようなものである。封入は真空封入と気密封入とある。前者は封入の際の温度上昇が共振子においてハンダの融点以上にならぬよう若干の注意を払えば、真空管製造技術がそのまま活用できる。後者は大気圧の乾燥空気中に封入するもので、従来の濾波器の製造技術の範囲内のものである。真空封入すれば $Q$ が10万以上のものが容易に得られるが、濾波器用共振子としては特に急峻な遮断特性が要求されない限り、気密封入で十分なことが多い。

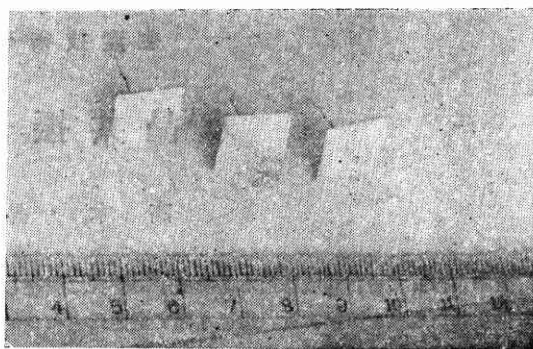


第1図 作業機械の一部

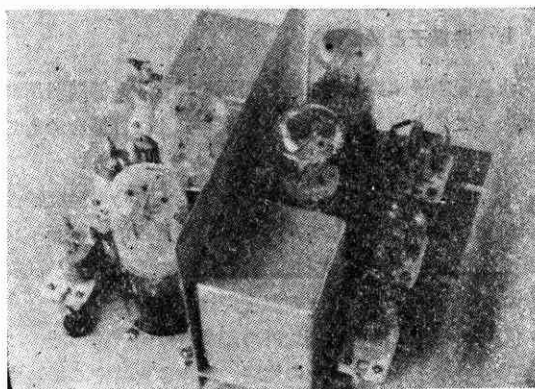
以上の工程は何れも手細工では要求される精度を満すことは困難であるので、種々の作業機械や治具を活用する。第1図はその一部であって、右から線付け、銀点付け、分割線の作製に使用する機械である。左端は支持線の引張り強度試験機である。現在のところ引張り強度はハンダ量により $1\text{kg}$ 以下の任意の値にえらぶことができる。逆に言えば、共振子の重量、支持線の数より予想される衝撃に対して生じる引張り応力を求め、それに耐え、しかも最少になるハンダ量を採用するのである。

#### 4. 二三の実例

第2図は上述のようにして線支持を行った輪廓滑振動



第2図 250 kc CT板共振子

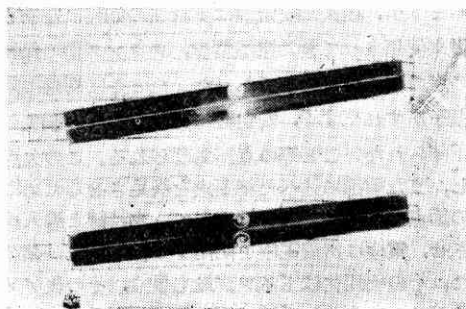


第3図 試作水晶濾波器

のCT板で、周波数は250kcである。それを使用した濾波器が第3図である。図中真空管のように見えるのが共

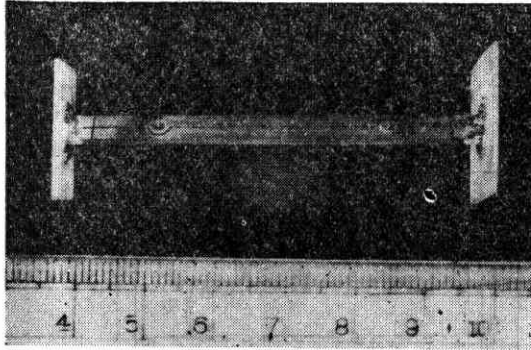
振子の封入容器である。第4図は縦振動のX板で周波数は60kc、相関器に使用する目的で電気通信研究所から製作の依頼を受けたものである。濾波器の方の要求から分割電極にしてある。寸法は巾が $5\text{m/m}$ 、分割線の巾は $0.2\text{m/m}$ 、真上から見

たので図ではよく見えないが支持線の間隔が $3\text{m/m}$ であ



第4図 60kc X板共振子

る。このように支持線が4本の場合でも前述の線付け機に、若干の附属具を附加すれば容易に4本同時の線付けを行うことができる。第5図はまた試作の域を出ないものであるが、音声周波用の共振子である。10kcの屈曲

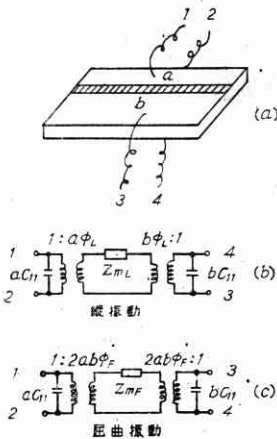


第5図 音声周波用共振子

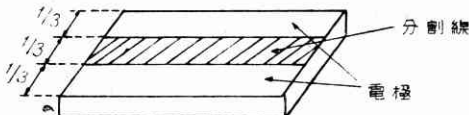
振動共振子の両端に更に質量を附加して周波数を約40%に低下せしめたものである。これも分割電極を使用しているが、屈曲振動のため第4図の場合と支持線の位置が相違していることに注意せられたい。

5. 等価回路

上記のような分割電極においては分割線が正しく中心にないと等価回路定数が平衡しない。その影響を考察するために、分割比が1:1でない一般の場合の4端子等価回路を求めた。第6図(a)のように分割比がa:bの場合、縦振動に対しては(b)、屈曲振動に対しては(c)の等価回路が得られる。ここに  $C_{11}$  は全面電極の場合の等価並列容量、 $Z_m$  は機械インピーダンス、 $\phi$  は結合係数で、添字のL、Fははそれぞれ縦振動、屈曲振動を表す。(c)では結合を表す理想変成器の巻線比が何れの端子に対しても同一であり、また位相関係が(b)と逆になっているのが特色である。分割線の形状がさらに複雑になったり、数が増した場合の解析も同様にして



第6図 共振子の4端子等価回路

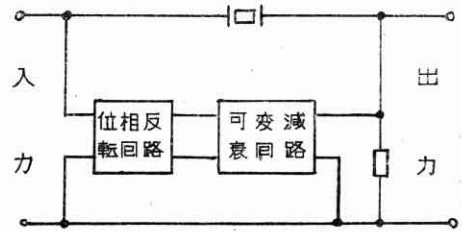


第7図 屈曲振動共振子の容量比を改善する電極配置

行つた。たとえば第7図のように分割線の中を広くして電極部分と同じ巾にした屈曲振動共振子では容量比を約20%低下せしめうることが明かになった。容量比とは共振子の等価並列容量と直列容量との比であつて、水晶濾波器で実現しうる最大の帯域巾は容量比の逆数もしくはその平方根に比例するからこのような共振子を使えば、従来よりもさらに広帯域の濾波器の設計が可能になるわけである。

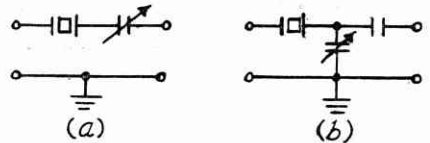
6. 測定法

共振子の共振周波数、等価定数の測定法に関しても従来よりさらに精度の高い方法を考案した。第8図はその原理図で位相反転回路と可変減衰回路からなる側路によつて共振子に加わる電圧と逆相可変振巾の電流を発生させ、共振子を流れる電流とベクトル的に加算してその合



第8図 測定回路

成値が零になる点を求めるようにする。従つて共振子インピーダンスのリアクタンス分零の点を求めていることに相当する。零位法であるために検出感度は非常に高く、共振周波数の測定精度は $5 \times 10^{-7}$ 以上に及ぶ。このとき減衰回路の減衰から等価直列抵抗が0.5~1%の精度で算出できる。等価定数の測定によく使用されるものに直列容量を附加したときの共振子の共振周波数の上昇を測定する方法があるが、従来は第9図(a)のような接続で可変蓄電器の両端が高周波電位になって構造上からも較



第9図 直列容量の接続法

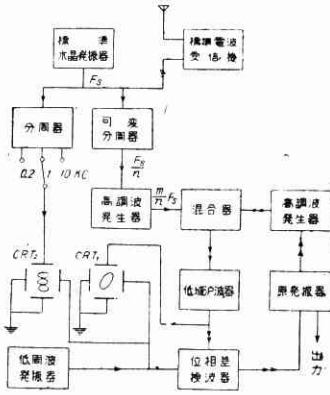
正確度の点からも好ましくなかつた。これに対し(b)のような接続を案出して一端接地型の可変蓄電器の使用を可能にした。

これらの手段により等価インダクタンスの測定精度は条件のよい範囲内で0.1%以上に達している。

測定用電源としては自動位相制御による安定化可変周波発振器を使用し、水晶発振器と同程度( $10^{-7}$ 以上)の安定度を有する任意の周波数を発生できる。第10図はその構成図である。標準電波で較正した標準水晶発振器の

出力Fsを二つの分周器により分周し、一つは補間用低周波発振器の較正用に、他は標準周波数発生用に使用する。後者の高調波と原発振器の高調波を混合して低周波の

ビートをとり、それと低周波発振器の出力Δとを位相差検波器に加える。その検波出力で原発振器の周波数制御を行うようにすれば、図中二重矢印で示した制御ループが完結して原発振器



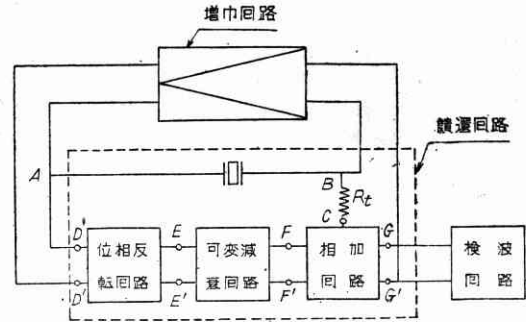
第10図 測定電源

の周波数は  $(\frac{m}{n} Fs \pm \Delta)$  に固定されるのである。こ

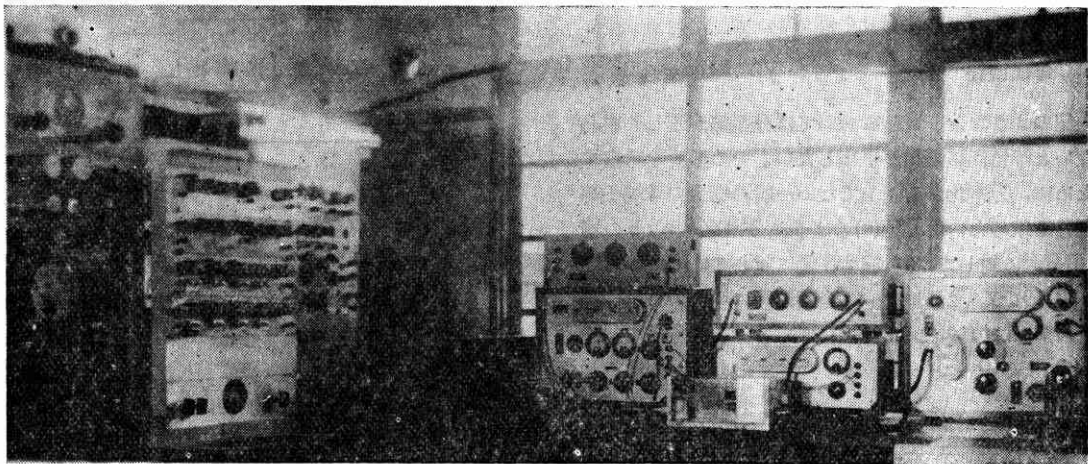
右側が検波増巾器関係で、中央が測定回路である。中央前面の遮蔽箱の中に見える真空管のようなものが測定中の共振子である。なお右端に僅かに見えるベルジヤーは気圧、湿気の影響を調べるときに使う真空容器である。

7. 謝 辞

ここに述べた研究の各部分部分に関連して文部省科学



第11図 直列共振発振器の改良



第12図 測定装置全景

こにmは任意の整数、nは分周比で所要の周波数に応じてえらぶものである。原発振器の側にも高調波発生器を使用しているので混合器は全周波数帯をカバーする必要はなく、1オクターブの範囲で十分である。

この測定電源は水晶共振子、濾波器の特性を測定するのに非常に有用であるが、装置としてはかなり大きなものになる。共振子の測定のみならば共振子を饋還回路に有する発振器を利用すれば、測定電源自蔵の測定回路となつて便利である。直列共振発振器の場合には第8図の原理をそのまま適用することができて精度を上げることができる。第11図はその基本回路例である。

第12図は測定関係の装置を示すもので左側が発振器、

研究費(昭和24~27年度)同科学試験研究費(昭和25年度)の補助を受け、また電通省電気通信研究所から研究を依頼された。通信機製造会社からも研究あるいは技術指導の依頼を受けている。作業用機械の一部の試作には第一精機鹿島氏の御援助に負うところ多く、第3図の濾波器は実習生飯田氏の製作にかゝるものである。実験、試作には当研究室市川、牛島両君の御助力をあおいた。関係者各位の御厚情に深謝するものである。

なおここに述べた方法、回路の一部は特許申請中である。(1953. 5. 1)