

高調波振動を用いた水晶振動子の等価回路

Equivalent Circuits of Quartz Vibrators in Harmonic Vibration

橋 篤 志*
Atsushi Tachibana

内 容 梗 概

縦振動の高調波振動を利用せる水晶振動子の種々な電極配置における等価回路定数について述べたものである。一般に高調波振動の場合には、弾性波波長が水晶板の幅寸法と同程度のものとなるため単純な縦振動としては取扱われない。それで基本振動の場合を標準にとり、高調波振動の場合の等価回路を求めた。これを+5度Xカット水晶振動子の第3高調波振動の場合に適用し、実験と比較し、その結果は良く一致することを確めた。

〔I〕 緒 言

水晶振動子を濾波器の素子として利用するとき、特に電氣的等価回路を知ることが必要である。水晶振動子およびそのほかの圧電気振動子の電氣的等価回路については相当古くから多くの人により研究されてきており、特に一般的な場合を取扱つたものとして尾上氏⁽¹⁾の論文があるがいずれも振動状態を表わす変位ベクトルが振動子の各部において既知でなければならない。特に簡単な場合を除き、一般に固有振動の厳密解を得ることはきわめて困難であり、この困難性は高調波振動となるとさらに増大する。

400 kc 以上 1 Mc 以下の周波数範囲に共振周波数を有する水晶振動子を輪廓振動水晶振動子で製作しようとする寸法が相当小さくなり製作は困難になる。また厚味振動を用いると厚くなりすぎる。それでこのような周波数範囲のものは輪廓振動の高調波振動を利用すると適当な寸法にすることが可能である。高調波振動で水晶を振動させることは Giebe & Scheibe の古くから行われてきており、また実際に濾波器用共振子としても二、三使用されている。しかしその等価回路については、単純な縦振動の場合の高調波に対し、長さ方向に沿つて半波長ごとに対の電極を置き、圧電励振可能なように交互に電極を接続した場合のみを Cady氏^{(2),(3)}が与えているにすぎない。水晶が十分長い場合、あるいは-18.5度Xカットの場合を除いて一般には単純な縦振動とはみなされない。さらに高調波振動となると、弾性波長は基本波の場合に比して高調波次数だけ短くなつているので、ほかの寸法たとえば幅と同程度のものとなり、幅の影響を大きく受けることになる。本文では特に輪廓振動で近似的には縦振動と見なされる場合に問題を限り、基本振動と高調波振動との間にある仮定を置き、二、三の電極配置における基本振動と高調波振動の等価回路定数の関係およ

び高調波振動における電極配置と等価回路定数との関係について述べる。

〔II〕 水晶振動子等価回路

平行な二平面を有する矩形板状水晶振動子の一頂点を原点にとり、厚さ方向をX軸、幅方向をY軸、長さ方向をZ軸に一致させる。厚さ、幅、長さの寸法をそれぞれ t , w , l で表わす。

水晶の圧電効果を表わす関係式は、歪および電場の強さを独立変数にとると次式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} -T_{\alpha} &= -\sum_{\beta=1}^6 C_{\alpha\beta} S_{\beta} + \sum_{j=1}^3 e_{j\alpha} E_j \\ D_i &= 4\pi \sum_{\alpha=1}^6 e_{i\alpha} S_{\alpha} + \sum_{j=1}^3 K_{ij} E_j \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

ここで T_{α} : 歪力, S_{β} : 歪, E_i : 電場の強さ,
 D_i : 電気変位, $C_{\alpha\beta}$: 弾性係数, $e_{i\alpha}$: 圧電係数, K_{ij} : 誘電率,

である。 $C_{\alpha\beta}$, $e_{j\alpha}$, K_{ij} などは水晶の電気軸、機械軸主軸をそれぞれ X, Y, Z 軸にとつたときの値から座標変換により求まるものである。

水晶のX軸に垂直な2平面上には真空蒸着などの方法により電極膜を付け、X軸方向の電場成分により励振可能な輪廓振動をさせる。今長さ方向の縦波による第 n 次高調波振動の振動姿態について次のような仮定を置く。この第 n 次高調波振動がほかの固有振動から十分離れている時の振動姿態は、寸法が l/n , w , t である同一カットの水晶振動子を基本振動させたときの振動姿態と類似の姿態が n 個長さ方向に連つたものと見なされるであろう。ただし相接する振動姿態において振動の位相は π ずつ異つているものとする。この高調波振動における n 個の類似の振動姿態の一つを単一振動姿態と名付ける。

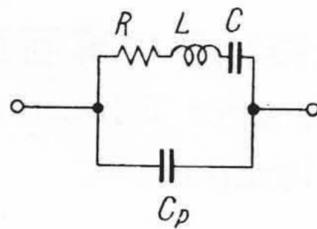
X, Y, Z 方向の振動の変位成分を u_1 , u_2 , u_3 とすると、一般にはこれらは x , y , z の函数であるけれども、

* 日立製作所戸塚工場

水晶の厚さはほかの寸法に比して十分小さいとすると、その方向の変位は無視されるから、

$$\left. \begin{aligned} u_2 &= u_2(y, z) \cdot \tau \\ u_3 &= u_3(y, z) \cdot \tau \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

第 1 図 水晶振動子等価回路



と書けるであろう。ここで τ

は時間因子を表わす。第 n 次高調波振動においては、前の仮定にしたがつて

$$u_i(y, z + \frac{l}{n}) = u_i(y, z) \dots \dots \dots (3)$$

$$i = 2, 3$$

と表わされる。ただし相接する単一振動姿態の変位の位相は π だけ異つている。

水晶振動子に電極膜を施し 2 端子として考えると、ある固有振動数がほかの固有振動数から十分離れているときには、その固有振動数の近くでは水晶振動子の等価回路は第 1 図のように表わされる。 L を等価インダクタンス C を等価容量、 R を直列共振抵抗、 C_p を並列容量という。 R は水晶体内部における振動損失、電極膜、支持物および周囲の空気などによる損失からなつているが、水晶振動子の場合一般に Q は非常に大きいから以下の議論で簡単のため省略して考えることにする。等価インダクタンス、 L は振動による運動エネルギーを電磁エネルギーに等しく置くことによつて求め、等価容量 C は固有振動数と今求めた L とから求める⁽⁴⁾。

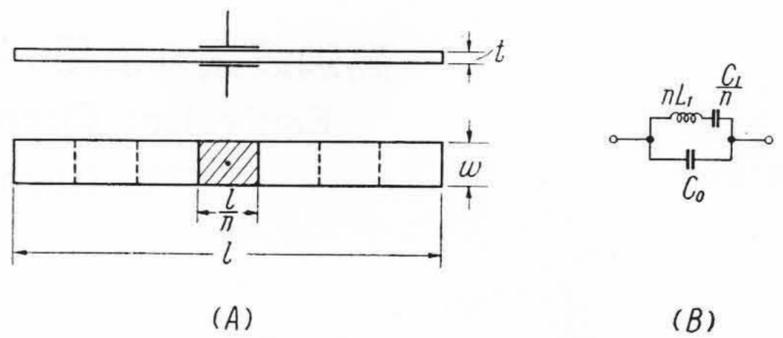
(1) 1 個の単一振動姿態上へのみ一對の電極を置いたとき

水晶振動子に第 n 次高調波振動を起させて、第 2 図 (A) に示したようにその中の 1 個の単一振動姿態上へのみ電極を置いたときの等価回路を求める。長さの方向に n 等分するとそれぞれの部分は同じ振動姿態で振動していると考えられるが、実際には電極にはさまれている部分では、水晶表面が等電位になるため、水晶の弾性係数が見掛上変化してくる。すなわち電極にはさまれている部分のヤング率は電極にはさまれていない部分のヤング率の $(1 - k^2)$ 倍となる⁽⁵⁾。たとえば X カット系水晶振動子では $k = \frac{d_{14}}{2} \left(\frac{4\pi}{KS_{22}^2} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.099$ であるから、この変化はごくわずかであり、等価回路定数を問題にするときはこの違いは無視して差つかえない。しかし共振動周波数はこのために電極面積が減少すると高くなる傾向がある。

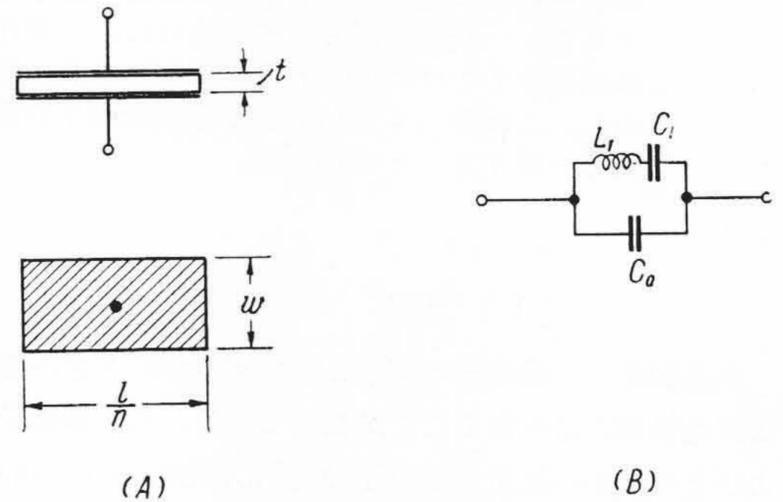
水晶の共振時の運動エネルギー K は水晶の密度を ρ とすると次式で表わされる。

$$K = \frac{1}{2} \rho \int_0^w \int_0^l \left[\left(\frac{\partial u_2}{\partial t} \right)^2 + \left(\frac{\partial u_3}{\partial t} \right)^2 \right] \cdot t \cdot dy \cdot dz$$

$$= \frac{n \rho t}{2} \int_0^w \int_0^{l/n} \left[u_2^2(y, z) + u_3^2(y, z) \right]$$



第 2 図 第 n 高調波水晶振動子 (電極を 1 対有する場合)



第 3 図 基本波水晶振動子

$$\left(\frac{d\tau}{dt} \right)^2 \cdot dy \cdot dz \dots \dots \dots (4)$$

また振動によつて端子間を流れる電流 i は、(1) および (2) 式から

$$i = \int_0^w \int_0^{l/n} \left[e_{12} \frac{\partial u_2}{\partial y} + e_{13} \frac{\partial u_3}{\partial z} + e_{14} \left(\frac{\partial u_2}{\partial z} + \frac{\partial u_3}{\partial y} \right) \right] \left(\frac{d\tau}{dt} \right) \cdot dy \cdot dz \dots \dots \dots (5)$$

となる。したがつて等価インダクタンス L は

$$L = n \rho t \frac{\int_0^w \int_0^{l/n} [u_2^2(y, z) + u_3^2(y, z)] dy \cdot dz}{\left\{ \int_0^w \int_0^{l/n} \left[e_{12} \frac{\partial u_2}{\partial y} + e_{13} \frac{\partial u_3}{\partial z} + e_{14} \left(\frac{\partial u_2}{\partial z} + \frac{\partial u_3}{\partial y} \right) \right] dy \cdot dz \right\}^2} \dots \dots \dots (6)$$

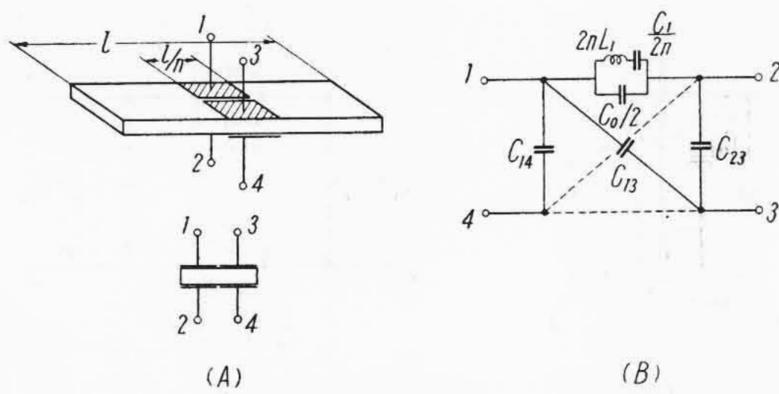
となる。一方同一カットで長さ l/n 、幅 w 、厚さ t なる水晶振動子に第 3 図 (A) に示したように全面電極をつけて基本振動をさせたとすると、前の定仮からその変位は (2) 式で与えられるから、等価インダクタンス L_1 は

$$L_1 = \rho \cdot t \cdot \frac{\int_0^w \int_0^{l/n} [u_2^2(y, z) + u_3^2(y, z)] dy \cdot dz}{\left\{ \int_0^w \int_0^{l/n} \left[e_{12} \frac{\partial u_2}{\partial y} + e_{13} \frac{\partial u_3}{\partial z} + e_{14} \left(\frac{\partial u_2}{\partial z} + \frac{\partial u_3}{\partial y} \right) \right] dy \cdot dz \right\}^2} \dots \dots \dots (7)$$

となる。したがつて (6) 式で求めた L と (7) 式の L_1 との間には次の関係が成立する。

$$L = n L_1 \dots \dots \dots (8)$$

ゆえに長さ l/n 、幅 w 、厚さ t の水晶振動子の等価回路を第 3 図 (B) で表わすと、長さ l 、幅 w 、厚さ t の水晶振動子の第 n 次高調波振動の時の等価回路は第 2 図 (B)



第4図 電極分割型第n高調波水晶振動子

となる。 C_0 は電極間にはさまれた静電容量である。したがって容量比は後者の場合は前者の場合のn倍になる。コンデンサと水晶のみで構成する濾波器では実現可能な帯域幅は、このような第n次高調波振動を用いることにより、基本振動を用いた場合の $1/n$ に減少する。また第4図(A)に示したように中央電極を長さの方向に沿って二等分すると、その等価回路は同図(B)となる。 C_{ij} は端子*i*と*j*間の静電容量を表わす。

(2) 各単一振動状態上に電極対を置いたとき

第5図に示したような電極配置の時の種々な連結状態における等価定数を求める。

(i) 水晶板の同一表面上の電極をすべて連結したとき(第5図A)。

nが偶数の時には圧電的に励振することはできない。nが奇数の時には運動エネルギーは(4)式、また電極相互の間隔は十分小さく電極の個々の長さがほとんど l/n と見なされるときには、振動によつて流れる電流は(5)式で表わされるから、等価インダクタンスLは(7)式で与えられる L_1 のn倍となる。ただし並列容量は nC_0 となるから、容量比は n^2C_0/C_1 となる。この時にも電極を長さの方向に沿って2等分すると、等価回路は、第4図(B)で $C_0/2$ を $nC_0/2$ で置換したものとなる。

(ii) 上下の相接する各電極を交互に連結したとき(第5図(B))。

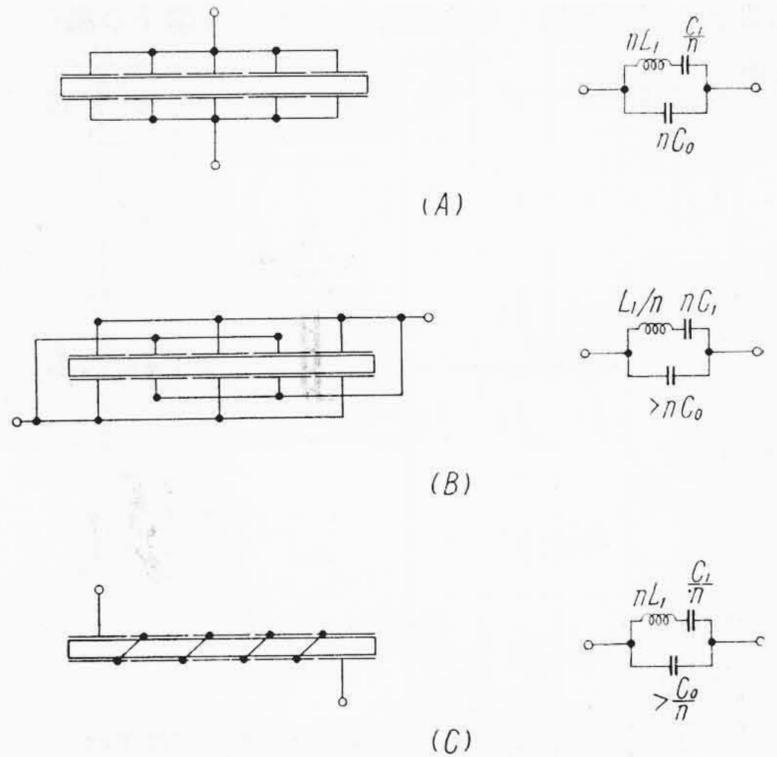
この場合に関しては Cady 氏⁽²⁾も与えているように等価定数 L, C は

$$\left. \begin{aligned} L &= nL_1 \\ C &= nC_1 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (9)$$

となる。並列容量は nC_0 であるから、容量比は C_0/C_1 となり、基本振動を用いた時と同じである。しかし実際には並列容量は対向電極間以外の電極間にも存在するから、一般に nC_0 より大きくなり、したがって容量比も C_0/C_1 より大となる。

(iii) 上下相接する電極を順次に連結したとき(第5図(C))。

この時も前述したのとまったく同じ方法により



第5図 第n高調波水晶振動子(電極をn対有する場合)

第1表 電極配置と等価定数との関係(2端子の場合)

高調波次数 (n)	電極配置図	等価 L	等価 C	並列容量
2		$2L_1$	$\frac{C_1}{2}$	C_0
2		$\frac{1}{2}L_1$	$2C_1$	$>2C_0$
3		$3L_1$	$\frac{C_1}{3}$	C_0
3		$\frac{3}{4}L_1$	$\frac{4}{3}C_1$	$>2C_0$
3		$\frac{1}{3}L_1$	$3C_1$	$>3C_0$
4		$4L_1$	$\frac{1}{4}C_1$	C_0
4		L_1	C_1	$>2C_0$
4		$\frac{4}{9}L_1$	$\frac{9}{4}C_1$	$>3C_0$
4		$\frac{1}{4}L_1$	$4C_1$	$>4C_0$
5		$5L_1$	$\frac{1}{5}C_1$	C_0
5		$\frac{5}{4}L_1$	$\frac{4}{5}C_1$	$>2C_0$
5		$\frac{5}{9}L_1$	$\frac{9}{5}C_1$	$>3C_0$
5		$\frac{5}{16}L_1$	$\frac{16}{5}C_1$	$>4C_0$
5		$\frac{1}{5}L_1$	$5C_1$	$>5C_0$

次の関係が得られる。

$$\left. \begin{aligned} L &= nL_1 \\ C &= \frac{C_1}{n} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

並列容量は C_0/n より大である。したがって容量比は基本振動を用いた時より大となる。

(iv) その他の場合

いくつかの単一振動状態上に電極対を置いて、連結の仕方を変化させた場合のいくつかの例について、電極配置と等価定数との関係を求めたもの

第2表 電極配置と等価定数との関係(4端子の場合)

高調波次数 (n)	電極配置	L'	C'	C ₀ '	高調波次数 (n)	電極配置	L'	C'	C ₀ '
2		L ₁	C ₁	C ₀	5		5/8 L ₁	8/5 C ₁	> 2C ₀
3		3/2 L ₁	2/3 C ₁	C ₀	5*		2/5 L ₁	5/2 C ₁	> 5/2 C ₀
3*		2/3 L ₁	3/2 C ₁	> 3/2 C ₀					
4		2L ₁	1/2 C ₁	C ₀					
4		1/2 L ₁	2C ₁	> 2C ₀					
4*		8/9 L ₁	9/8 C ₁	> 3/2 C ₀					
5		5/2 L ₁	2/5 C ₁	C ₀					

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

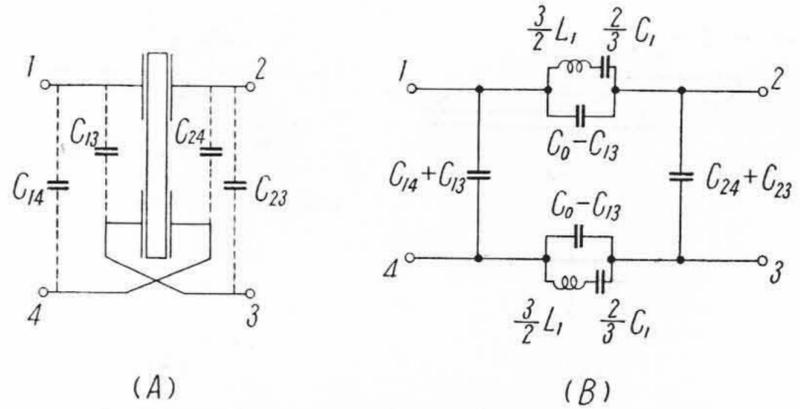
が第1表である。同表において、水晶側面をよぎる実線および点線は、それぞれの線の端の黒丸のついている電極が連結していることを示している(点線と実線とは連結していない)。高調波振動では副共振の影響を避けるため、寸法比に対する制限が基本波の場合に較べて強くなる。したがって等価定数値の大きく異なるものを必要とする時、上の関係は有効なものである。

さらに格子型回路の場合に便利な4端子回路とした場合の等価回路定数を第2表にまとめておいた。その中のたとえば第2表左欄上から2番目のnが3の場合について説明しよう。そのほかの場合も同様にして説明される。

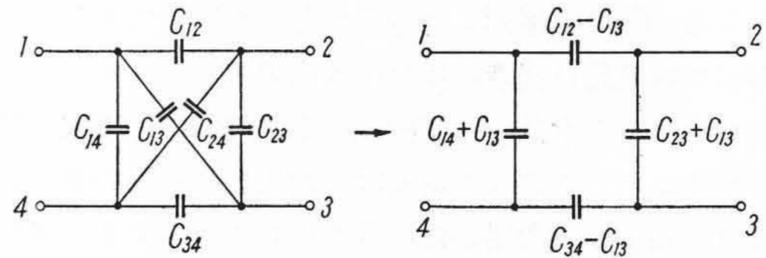
第6図(A)に示すように、両端の電極はそれぞれ水晶板の端より1/3の長さを占めている。同図のように端子番号をつけると、対向電極間以外の容量 C_{ij} は電極配置の幾何学的対称性から

$$C_{14} = C_{23}, C_{13} = C_{24} \dots\dots\dots (11)$$

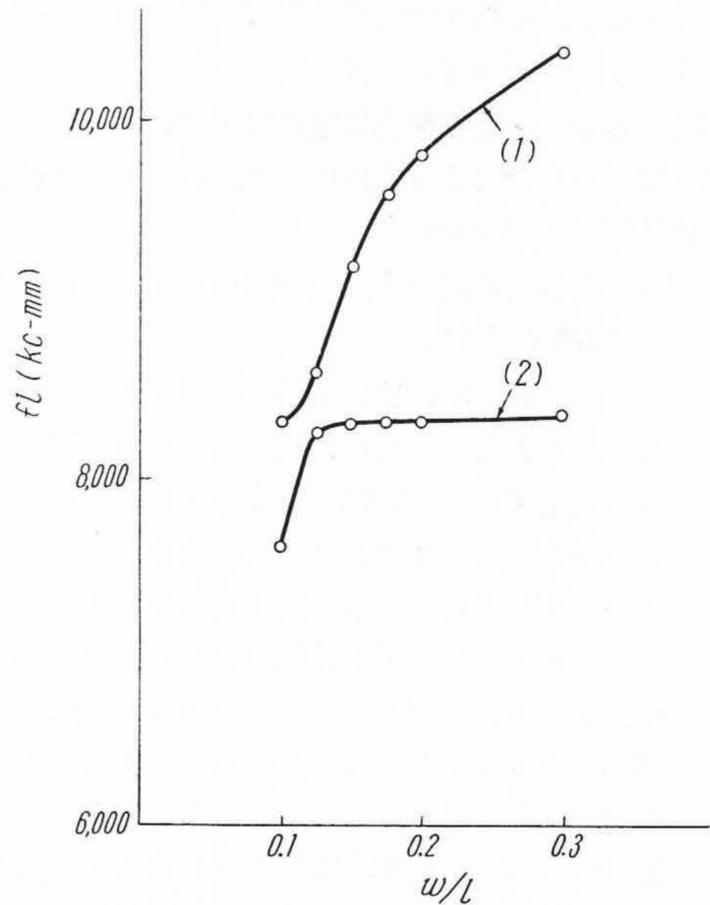
なる。ゆえにこの4端子は格子型回路に変換できる。C₁₄ および C₂₃ はこの4端子の入出力に並列に入っているし、また C₁₃ および C₂₄ は第7図に示すように格子型回路の入出力に並列な容量として取り出すことができる。それとともに端子1と2間の、および端子3と4間の静電容量は減少する。このようにして各電極相互間容量は対向電極間容量のみ考えればよいことになる。このような状態に変換しておいて格子型回路の具体的な形を求めよう。まず端子2と3を短絡した時の端子



第6図 第3高調波水晶振動子



第7図 格子型等価回路



第8図 +5度Xカットの第3高調波周波数定数対辺比測定値

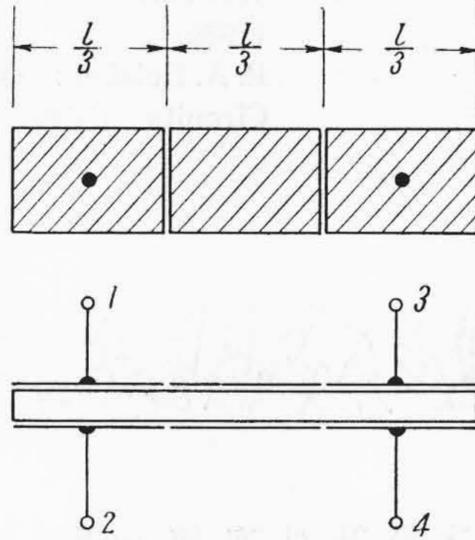
1と4から見たインピーダンス Z_S は L および C よりなる直列共振回路に並列に容量 (C₀ - C₂₄)/2 が入った回路のインピーダンスに等しくなる。ここで L は 3L₁ に等しく、C は C₁/3 に等しい。したがって Z_S は

$$Z_S = \frac{-j}{\frac{C_0 - C_{24}}{2} \omega \left(\omega^2 - \frac{1}{L_1 C_1} - \frac{2}{L_1 (C_0 - C_{24})} \right)} \dots (12)$$

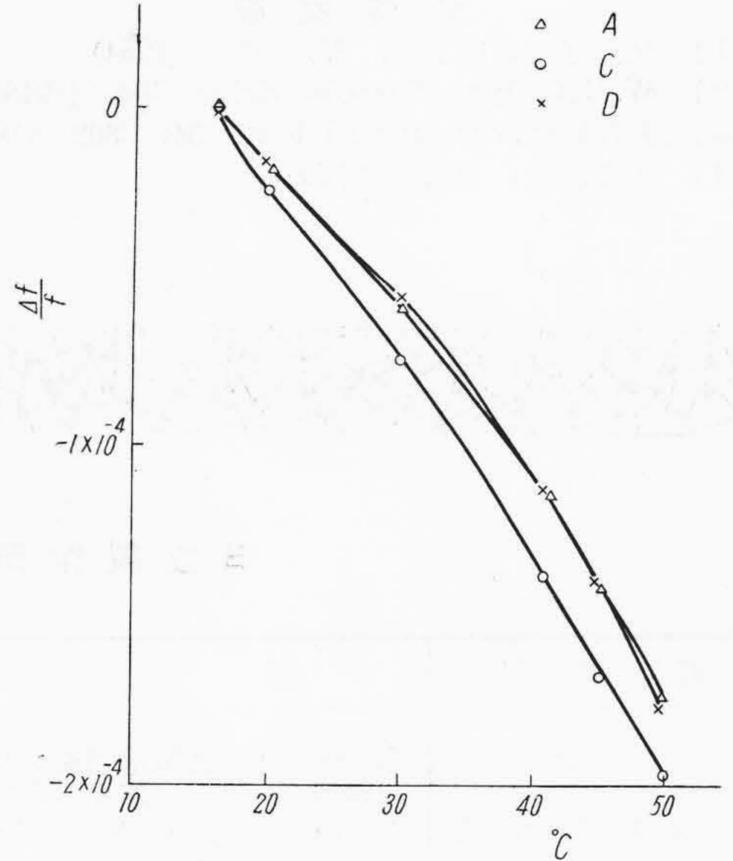
となる。次に端子2と3を開放したとき、端子1と4から見たインピーダンス Z₀ は明らかに無限大である。したがって求める格子型回路の直列辺および格子辺インピーダンス Z_a および Z_b は

$$\left. \begin{aligned} Z_b &= \infty \\ Z_a &= \frac{Z_s}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (13)$$

ととることができる。ゆえに第6図(B)の等価回路が得られる。ここで両側に出ている $C_{24} = C_{13}$ を格子型回路内に入れると、第2表の等価回路が得られる。すなわち直列辺に現れる水晶振動子のインピーダンスは、端子1と4および2と3をそれぞれ連絡して2端子と考えたときのインピーダンスの2倍になっている。



第9図 試作水晶振動子



第10図 共振周波数温度特性

[III] 実験例

+5度Xカットの第3高調波振動の場合について実験を行つた。同カットの第3高調波振動の周波数定数を幅と長さの比に関して測定したものが第8図である。同図の曲線(2)が縦振動であつて、曲線(1)は長さ幅方向の屈曲振動の第4高調波である。したがつて辺比が0.1から0.125の間では屈曲振動との結合が大きいため使用できない。等価定数を測定した水晶振動子の電極配置を第9図に、寸法を第3表に示す。電極は長さの方向に三等分し、その分割間隔は0.2mm以下である。電極は金蒸着膜を使用し支持は図示したとおり両端から $l/6$ に相当するところにワイヤーマウンティング法により取付けてある。この水晶振動子の端子1と3および2と4とをそれぞれ連結した2端子の等価回路定数を測定した。その結果および計算値を第4表に示す。これらの水晶振動子はいずれも $3w/l$ は0.6である。計算値は辺比0.6の水晶振動子のときの単位厚さ当りの等価インダクタンスを20 H/mmとして求めたものである。計算値と測定値との一致は良好である。

第3表 +5度Xカット水晶振動子寸法

水晶	寸法	長さ (mm)	幅 (mm)	厚さ (mm)
A		19.50	3.90	0.62
B		19.50	3.90	0.62
C		19.43	3.88	0.89
D		19.43	3.88	0.89

第4表 等価定数実験値

水晶	共振周波数 (kc)	等価 L	
		実験値	計算値
A	425.760	9.3	9.3
B	425.780	9.1	9.3
C	427.221	13.0	13.3
D	427.215	13.2	13.3

この水晶振動子の共振周波数温度特性を第10図に示す。15度から50度の間で共振周波数はほぼ直線的に減少している。共振周波数温度係数は大体 $-6 \times 10^{-6}/\text{度}$ となる。この温度係数は電極および支持線の影響も含めた値であり、水晶板自身のものと考えすることはできない。

ら高調波振動の等価定数を求めた。このようにすることにより振動姿態に関する不完全さを幾分か少くすることができたと思う。最後に第3高調波振動を利用した場合について実験と比較した。その結果は上の考えによつて導いた計算値と良く一致した。しかし共振周波数および共振周数温度係数は基本振動を用いた場合とは異つていた。すなわち実験例では周波数定数は $8,300 \text{ kc}\cdot\text{mm}$ であり、これを単一振動姿態の場合に換算すると $2,766 \text{ kc}\cdot\text{mm}$ となる。一方辺比が0.6の水晶振動子の基本振動の周波数定数は $2,660 \text{ kc}\cdot\text{mm}$ である。また共振周波数温度係数は $-12 \times 10^{-6}/\text{C}^{(6)}$ であつて前者の場合の2倍の値を示している。これらのことは上述せる仮定が完全には成立していないことを意味しており、両者に対する境界条件の異なることからむしろ当然のことと思われる。

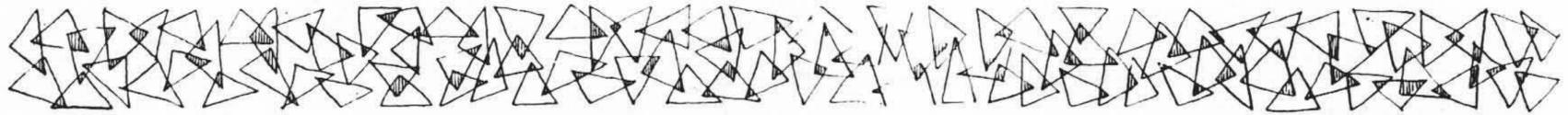
[IV] 結 言

以上縦振動の高調波振動を利用した水晶振動子の等価回路定数を求めた。前述したように一般に純粋な縦振動ではないため、基本振動をさせた場合の等価定数を標準にとり、高周波振動の場合との関係を求めた。基本振動の等価定数に対しては実験値を用い、上に求めた関係か

最後に御検討いただいた横浜国大飯島健一教授に御礼申し上げますとともに、水晶の製作をしていただいた金石舎研究所の方々、および御指導いただいている日立製作所戸塚工場菅田氏に感謝の意を表す。

参考文献

- (1) 尾上守夫: 電通誌 37, 113 (1954)
- (2) W.G.Cady: Piezoelectricity 304 (1946)
- (3) J.J.Vormer: Proc. I.R.E. 36, 802 (1948)
- (4) 古賀逸策: 圧電気と高周波
- (5) W.P.Mason: Phys. Rev. 788 Aprile (1939)
- (6) R.A.Heising: Quartz Crystals for Electric Circuits (1946)



日立製作所社員社外寄稿一覽

(昭和32年8月受付分)

寄稿先	題 目	執筆者所属	執 筆 者
コ ロ ナ 社	水力機械工学便覧応用編プロペラ水車およびカプラン水車の構造, プロペラ水車およびカプラン水車の設計	日立工場	深 栖 俊 一
日本機械学会	人工き裂のある軸材の疲れ強さ(続報)	日立研究所	大内田 又
オーム社	最近のターボ発電機の構造について	日立工場	是 井 良 朗
電気公論社	キュービクルの普及状況について	国分工場	丹 秀 太 郎
日本機械学会	The Fatigue of Rubber Sandwiches on shear (2nd Report)	笠戸工場	桑 江 和 夫 平 塚 幸 哉 斎 田 信 幸
日本建設機械化協会	ドイツにおける建設機械	亀有工場	田 中 成 一
紙・パルプ技術協会	最近の印刷機械の動向	川崎工場	猪 島 正 雄
小峯海外資料KK	コンカルインヴオリュート歯車, S.C. パーキス(翻訳)	川崎工場	松 本 源 次 郎
産業機械協会	往復動型真空ポンプ	川崎工場	伊 藤 璋 彦
日本機械学会	超硬バイトの性能試験法に関する研究(第1報)	川崎工場	葛 上 昉
自動車技術会	自動車用ステアリングホイールについて	多賀工場	佐 藤 忠 吉
日刊工業新聞社	計測器管理の実際	多賀工場	平 野 雄 一
オーム社	工場照明設計	亀戸工場	鈴 藤 繁 靖 藤 原 和 郎 大 木 幸 治
日本繊維機学会	ショックレススターターによる紡機の緩速起動	亀戸工場	鈴 園 山 裕
オーム社	汎用モーターは材料でこう左右される	亀戸工場	園 山 裕
日本事務能率協会	不良事故管理とクレーム処理	戸塚工場	清 水 昌 郎
化学工業社	フロン樹脂	絶縁物工場	鶴 田 四 郎
日本金属学会	クロム銅の研究(第2報)	中央研究所	土 井 俊 雄
日科連	クロム銅の焼鈍軟化と時効硬化について	中央研究所	只 野 文 哉
電気通信学会	自動制御への応用	中央研究所	島 田 正 三
日本分析化学会	A note on estimating the tolerance of turbines and determining the amount of spare tubes	中央研究所	北 川 公 夫 柴 田 則 明 牟 田 章 徳
丸善KK	過塩素酸—リン酸法によるクロムの定量 Box-Wilson 法による酸化条件の決定	中央研究所	鴨 井 健 児 太 西 協 耕 西 崎 重 彦
オーム社	黒鉛	中央研究所	西 崎 重 彦
オーム社	原子炉における制御の諸問題	中央研究所	中 村 純 之 助
高分子学会	混合溶媒中のポリスチレンの沈降と分子会合の問題	中央研究所	渡 辺 宏
照明学会	電気ルミネセンスとその応用(続)	中央研究所	中 村 純 之 助
日本物理学会	Electron Microscopic Observation of Moire Patterns and Crystel Lattices	中央研究所	渡 辺 宏
日本電気協会	西 独 雑 感(随筆)	大営営業所	小 宮 義 和
オーム社	最近のバブ日立型高温高圧ボイラ	バブ日立	村 山 三 郎
モーター毎日出版局	自動車用点火プラグについて	本社	木 邑 仁 一
オーム社	日立の推奨するテレビ用受信管	本社	河 本 誠 一
電気商品連盟	電気井戸ポンプについて	本社	黒 田 尚 次
家庭電気文化会	住宅における照明のあり方	本社	田 中 正 次
通商産業研究社	各種圧延機械	本社	田 本 春 生