

水晶濾波器

菅田昌次郎*

Crystal Filter

By Shojiro Sugata

Totsuka Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

It is the purpose of this paper to introduce the general properties of the narrow band quartz crystal filter. Experimental data on several filters of this type are shown.

In examples 1 and 2 are shown narrow band quartz crystal filters which are used for carrier communication. They have the characteristics to pass 140.0 kc signal but to eliminating disturbing waves which are only $400 \sim$ apart from the signal. It is preferable to use the so called low temperature coefficient quartz crystals, namely CT cut and DT cut, rather than that of X cut system.

Examples 3 and 4 show radiog frequency quartz crystal filters. They are used as wave traps for receiver, inserting them between the antenna and the receiver input. The low temperature coefficient AT cut quartz crystals were used. It is common to have closely adjacent parasitic resonances on the upper side of the principal resonance in quartz crystals utilizing thickness vibrations. It is to be noticed that sharp attenuation dips are caused by the parasitic resonances of quartz crystals in a crystal filter.

[I] 緒言

水晶濾波器は米國ベル電話研究所に於てつとに發明、發達⁽¹⁾したものである。通常の線輪 L 、蓄電器 C から成る濾波器では到底企及し得ない急峻な減衰特性を實現することができる。水晶共振子固有振動の損失係數 $\tan \delta$ が極めて小さく、所謂 Q が極めて高いことを利用するものである。 LC 回路の Q が普通 50 乃至 200 程度であるが水晶共振子の Q は 5,000 乃至 50,000 に達する。斯かる水晶共振子を適當に組合せ、見掛上無損失の LC から成る、理想濾波器を構成するものである。米國では發明後間もなくこれを各種装置に利用し、殊に長距離通信幹線の基礎器材たるケーブル用 K 型並びに裸線用 J 型搬送端局装置に全面的にとり入れるに及び大規模な工業生産が行われる様になつた。

我國に於ては水晶濾波器の主な適用對照である 30 kc 以上の高周波搬送の需要が少なく、しかもその數少ない

* 日立製作所戸塚工場

高周波搬送装置が多重變調方式の採用により、水晶濾波器を使わないで済ます方向に進んだため、水晶濾波器の技術は殆んど發展しなかつた。しかし乍ら昨今更めてその優秀な性能を再認識し各方面で研究を始めた様である。我社に於てもこれが試作研究を行い、既に二三の製品を出し好評を得ている。本文に於てはこの中、狭帯域型水晶濾波器につき一般性質並びに二三の實驗結果を紹介し、參考に供することとする。この型的水晶濾波器は構成簡單で斯種濾波器の特徴をよく發揮し、パイロット濾波器その他として差當り最も需要の多いものである。

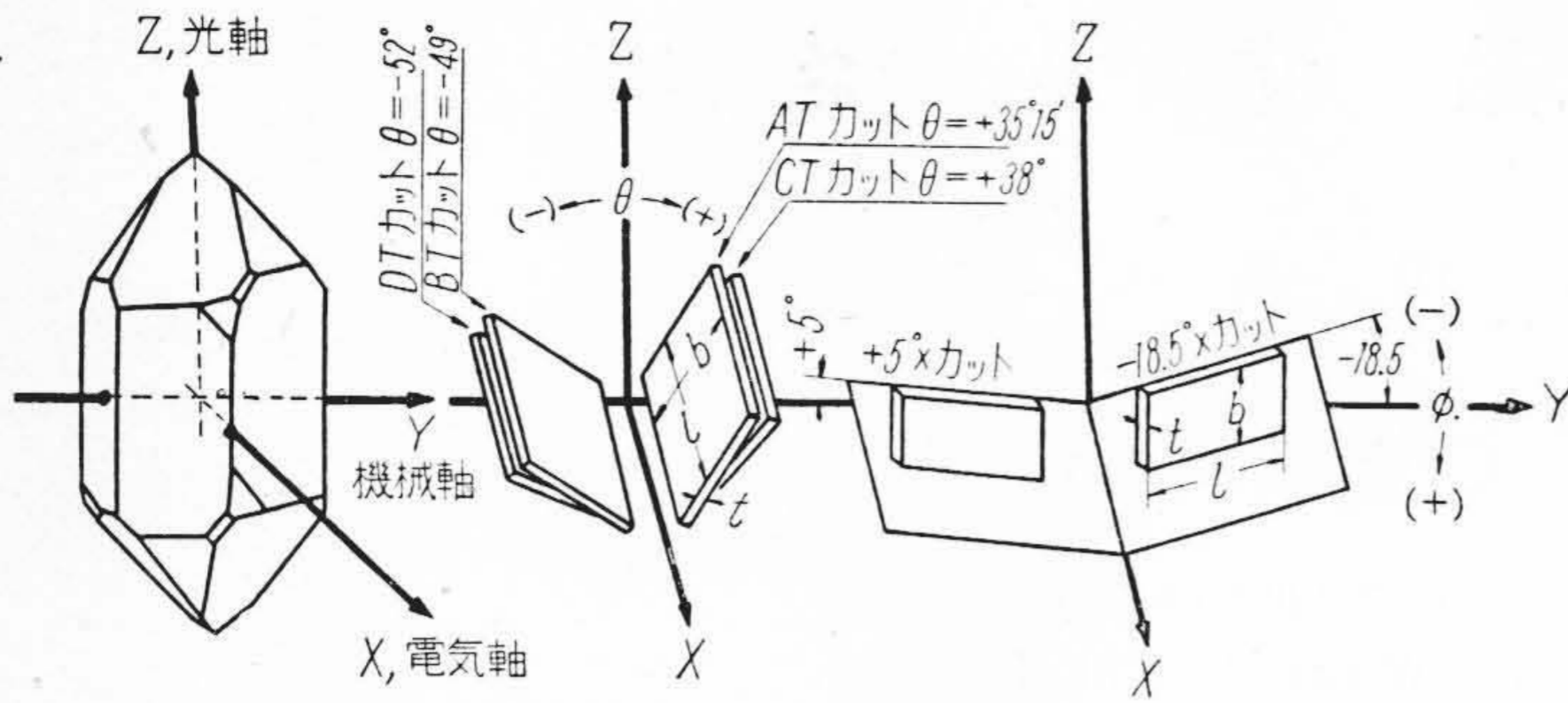
[II] 狭帯域型水晶濾波器の一般性質

(1) 水晶共振子及びその等價回路⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾
濾波器用水晶共振子として

搬送周波用...-18.5°X カット, +5°X カット, CT
カット, DT カット

無線周波用...AT カット, BT カット

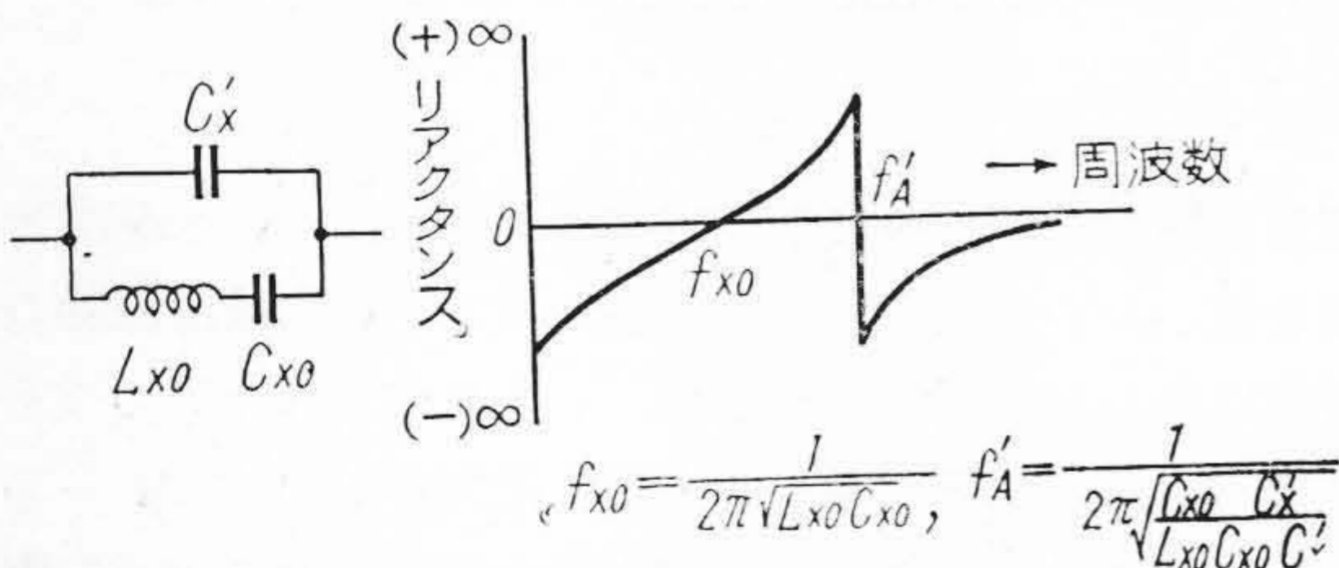
等が用いられている。これ等水晶片の、水晶原石結晶軸



第 1 圖 濾 波 器 用 水 晶 片
Fig. 1 Quartz Crystal Cuts used for Filters.

との関係は第 1 圖に示す如くである。濾波器用共振子は發振用水晶片と異なり所要周波數帯内に於て顯著な只一つの共振をなし、近接寄生振動の存在しないことが必要である。-18.5°X カットは X カット系水晶片として比較的寄生振動が弱くて離れており、+5°X カットは同じく X カット水晶片として周波數溫度係數を小さくし得る特徴を持つものである。CT カット、DT カット、AT カット、BT カットは所謂零周波數溫度係數水晶片で溫度變化に對し周波數變化が極めて小さいものである。

水晶共振子はその外部作用につき、共振周波數 f_{x0} の近くでは、第 2 圖に示す如き電氣的等價回路を以て表わすことができる。



第 2 圖 水 晶 共 振 子 の 電 氣 的 等 價 回 路
Fig. 2 Equivalent Electrical Circuit of Piezoelectric Crystal Resonator.

X カット系の長さの方向の縦振動 (-18.5°X カット +5°X カット等) に對して

$$\left. \begin{aligned} L_{x0} &= \frac{1}{8} \frac{\rho}{\epsilon_\phi^2} \frac{lt}{b} \times 9 \times 10^{11} & (H) \\ C_{x0} &= \frac{8}{\pi^2} \frac{\epsilon_\phi^2}{C_\phi} \frac{bl}{t} \times \frac{1}{9 \times 10^{11}} & (F) \\ C_{x'} &= \frac{K}{4\pi} \frac{bl}{t} \times \frac{1}{9 \times 10^{11}} & (F) \\ f_{x0} &= \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{x0}C_{x0}}} = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{C_\phi}{\rho}} & (\approx) \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

Y カット系の厚み方向の迂り振動 (AT, カット BT

カット等) に對して

$$\left. \begin{aligned} L_{x0} &= \frac{1}{8} \frac{\rho}{\epsilon_\theta^2} \frac{t^3}{bl} \times 9 \times 10^{11} & (H) \\ C_{x0} &= \frac{8}{\pi^2} \frac{\epsilon_\theta^2}{C_\theta} \frac{bl}{t} \times \frac{1}{9 \times 10^{11}} & (F) \\ C_{x'} &= \frac{K}{4\pi} \frac{bl}{t} \times \frac{1}{9 \times 10^{11}} & (F) \\ f_{x0} &= \frac{1}{2t} \sqrt{\frac{C_\theta}{\rho}} & (\approx) \end{aligned} \right\} \dots (2)$$

となる。但し C_ϕ, C_θ は水晶片の振動に對する彈性定數 (dyne/cm²), $\epsilon_\phi, \epsilon_\theta$ は壓電定數 (e.s.u/dyne), K は誘電率

で b, l, t の單位は (cm) である。水晶共振子固有の反共振周波數 $f_{A'}$ は

$$\begin{aligned} f_{A'} &= \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{x0} \frac{C_{x0}C_{x'}}{C_{x0}+C_{x'}}}} \\ &= f_{x0} \sqrt{1 - \frac{C_{x0}}{C_{x'}}} \approx f_{x0} \left(1 + \frac{1}{2} \frac{C_{x0}}{C_{x'}} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

となる。

特に -18.5°X カット並びに AT カットに對して定數の値を代入すると

-18.5°X カットに對して

$$\left. \begin{aligned} L_{x0} &= 0.1390 \frac{lt}{b} \times 10^3 & (H) \\ C_{x0} &= 0.2924 \frac{bl}{t} \times 10^{-14} & (F) \\ C_{x'} &= 0.4020 \frac{bl}{t} \times 10^{-12} & (F) \\ f_{x0} &= \frac{249.0}{l} \times 10^3 & (\approx) \end{aligned} \right\} \dots (4)$$

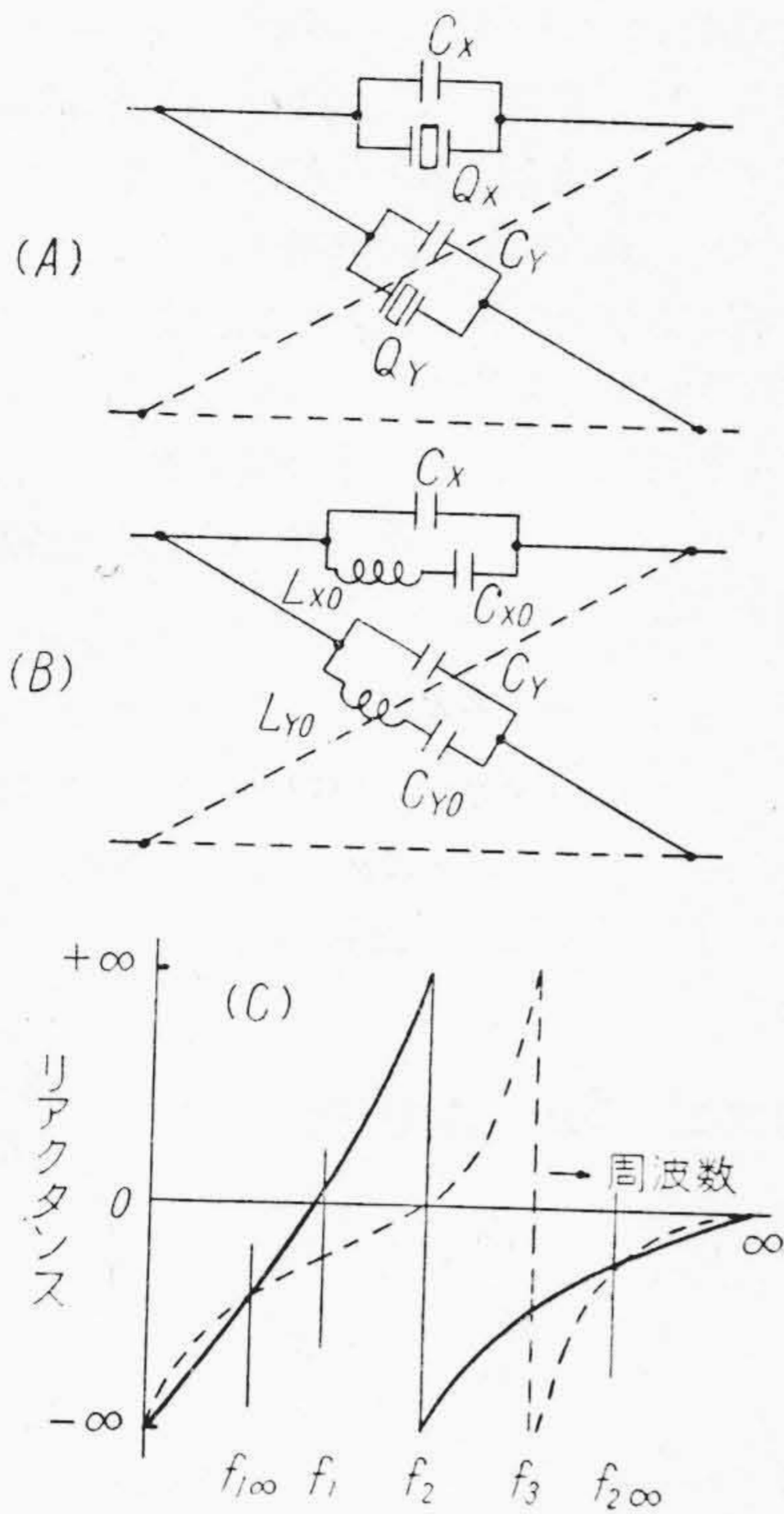
AT カットに對して

$$\left. \begin{aligned} L_{x0} &= 0.4350 \frac{t^3}{bl} \times 10^3 & (H) \\ C_{x0} &= 20.0 \frac{bl}{t} \times 10^{-14} & (F) \\ C_{x'} &= 0.4020 \frac{bl}{t} \times 10^{-12} & (F) \\ f_{x0} &= \frac{170.5}{t} \times 10^3 & (\approx) \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

となる。

(2) 狭帯域型水晶濾波回路及びその影像パラメータ - (4)

狭帯域型水晶濾波器として通常第 3 圖 (A) に示す如き、各邊が水晶共振子と容量の並列接続から成る、格子回路が用いられる。各邊を等價回路で表わすと第 3 圖 (B) の様になる。各邊リアクタンスの周波數に對する變



第3圖 狭帯域型水晶濾波回路
Fig. 3 Narrow Band Crystal Filter Network.

化は第3圖 (C) の如くなる。

一般に直列邊のインピーダンスを \dot{Z}_X 、格子邊のインピーダンス \dot{Z}_Y をとすると映像パラメーターたる映像インピーダンス \dot{Z}_K 及び傳播定數 \dot{P} は

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_K &= \sqrt{\dot{Z}_X \dot{Z}_Y} \\ \dot{P} &= 2 \tanh^{-1} \sqrt{\frac{\dot{Z}_Y}{\dot{Z}_X}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

となる。水晶共振子の損失係數が極めて小さいので \dot{Z}_X 、 \dot{Z}_Y は純リアクタンスと見做し得る。従つて \dot{Z}_X 、 \dot{Z}_Y が同符號の範圍では \dot{Z}_K ・虚數、 \dot{P} ・實數となつて減衰域となり \dot{Z}_X 、 \dot{Z}_Y が異符號の範圍では \dot{Z}_K ・實數、 \dot{P} ・虚數となつて通過域となる。

狭帯域型水晶濾波器では第3圖 (C) に示す如く直列邊の反共振周波數と格子邊の共振周波數を f_2 に於て合致せしめるのであつて、この場合には直列邊の共振周波數 f_1 と格子邊の反共振周波數 f_3 との間で \dot{Z}_X 、 \dot{Z}_Y が同符號となるが故に通過域となり f_1 、 f_3 の外側で \dot{Z}_X 、 \dot{Z}_Y が同符號となるが故に減衰域となり f_1 及び f_3 が遮斷周波數となる。

(A) 映像インピーダンス
フォスターのリアクタンス定理⁽⁵⁾により

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_X &= \frac{-j(\omega_1^2 - \omega^2)}{\omega C_X (\omega_2^2 - \omega^2)} \\ \dot{Z}_Y &= \frac{-j(\omega_2^2 - \omega^2)}{\omega C_Y (\omega_3^2 - \omega^2)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (7)$$

と書表わせる。但し ω_n は f_n に對應する角周波數で $\omega_n = 2\pi f_n$ である。

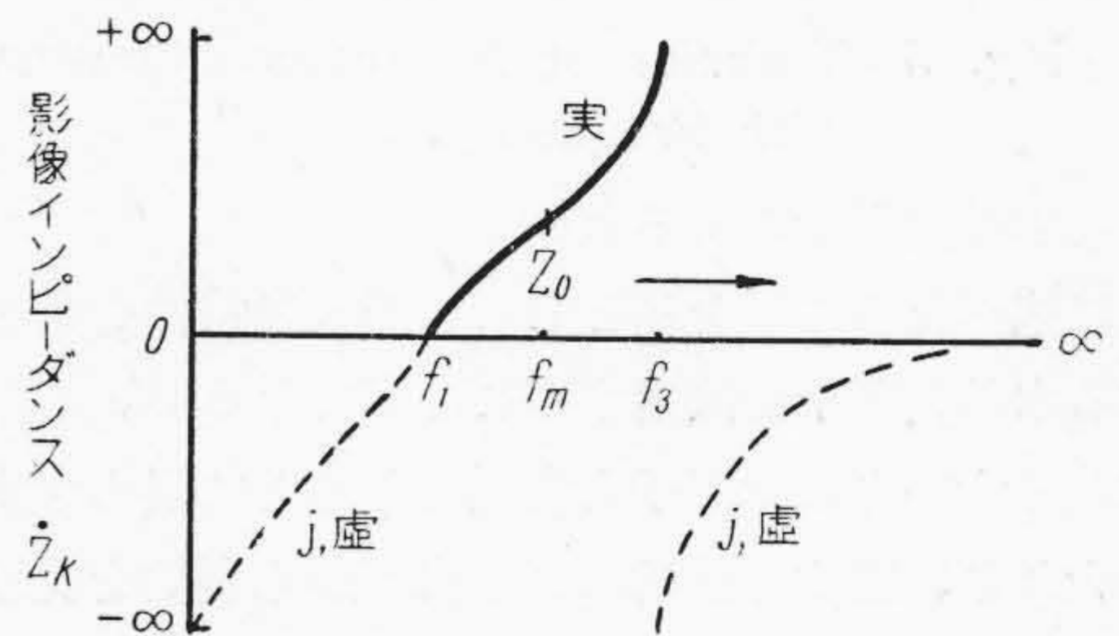
(6) 式に(7)式を代入し映像インピーダンス \dot{Z}_K は

$$\dot{Z}_K = \sqrt{\dot{Z}_X \dot{Z}_Y} = \frac{-j}{\omega \sqrt{C_X C_Y}} \sqrt{\frac{\omega_1^2 - \omega^2}{\omega_3^2 - \omega^2}} \dots\dots\dots (8)$$

となり $f_m = \sqrt{f_1 f_3}$ なる中間周波數に於ける映像インピーダンス、即ち所謂公稱インピーダンス Z_0 は

$$Z_0 = \frac{1}{\omega_m \sqrt{C_X C_Y}} \dots\dots\dots (9)$$

となる。周波數に對し \dot{Z}_K の變化の様態を示すと第4圖の如くなる。



第4圖 映像インピーダンス周波數特性
Fig. 4 Variation of Image Impedance with Frequency.

(B) 傳播定數

傳播定數 \dot{P} は(6)式から

$$\dot{P} = 2 \tanh^{-1} \sqrt{\frac{\dot{Z}_Y}{\dot{Z}_X}} = 2 \tanh^{-1} \sqrt{k} \dots\dots\dots (10)$$

と表わし得べく、この場合 k は \dot{Z}_X 、 \dot{Z}_Y に(7)式を代入し

$$k = \frac{\dot{Z}_Y}{\dot{Z}_X} = \frac{C_Y (\omega_1^2 - \omega^2) (\omega_3^2 - \omega^2)}{C_X (\omega_2^2 - \omega^2)^2} \dots\dots\dots (11)$$

となる。

減衰定數を A 、位相定數を B とすると

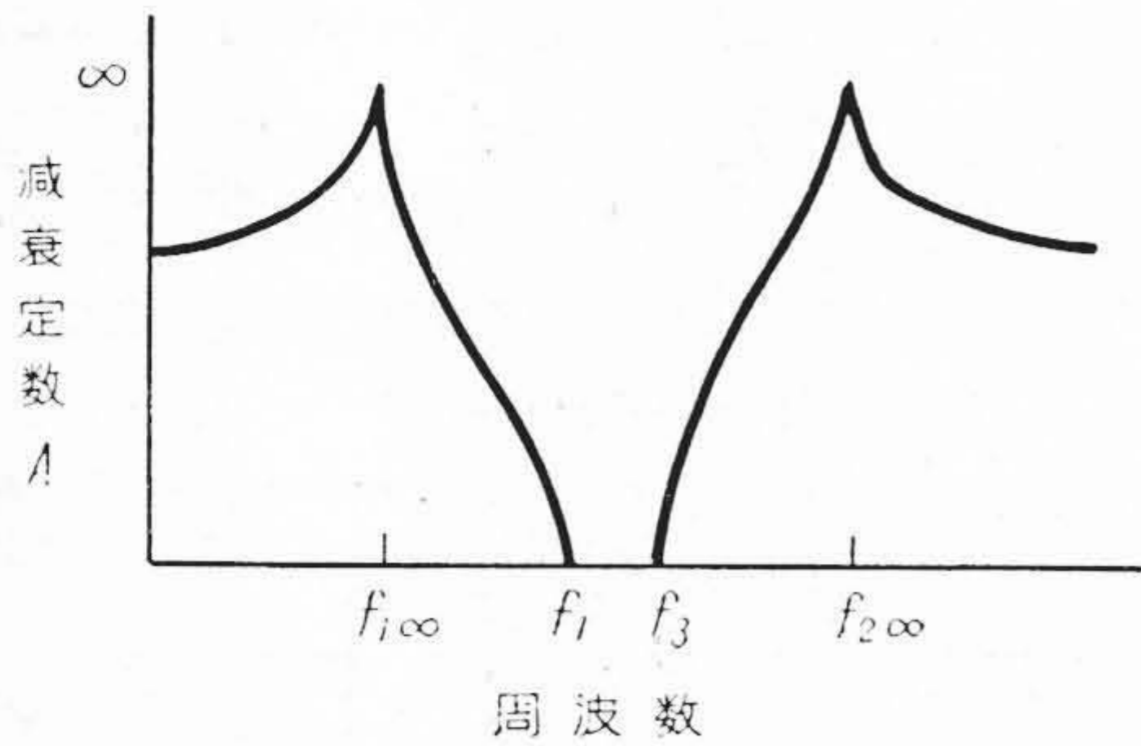
$$\dot{P} = A + jB = 2 \tanh^{-1} \sqrt{k}$$

となり、 k の値により

$$\left. \begin{aligned} 0 < k < 1 &\dots\dots A = 2 \tanh^{-1} \sqrt{k} \\ &\dots\dots B = \pm 2 n \pi \\ k > 1 &\dots\dots A = 2 \coth^{-1} \sqrt{k} \\ &\dots\dots B = \pi + 2 n \pi \\ k = 1 &\dots\dots A = \infty \\ &\dots\dots B = \text{不定} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (12)$$

$$\left. \begin{aligned} k < 0 \quad A = 0 \\ B = 2 \tanh^{-1} \sqrt{-k} \end{aligned} \right\}$$

となる。 Z_X と Z_Y が等しくなる周波数に於て無限大減衰を生じる。減衰定数 A は一般に周波数に對して第 5 圖の如くに變化する。



第 5 圖 減衰定数周波数特性

Fig. 5 Variation of Attenuation Constant with Frequency.

(3) 水晶共振子による制約

上に述べたことを基として所望減衰特性を興えるに要する水晶共振子を決定することができるが、この場合如何なる大いさの共振子も實現できるとは限らず水晶原石の大きさ、工作の難易により自づから制約を受ける。通常用いられている水晶片は厚さ……0.5~4.0 mm, 幅及び長さ……10~35 mm のものである。

又通過帯域幅 $f_3 - f_1$ も共振子によつて制限を受け、ある値以上にはなし得ない。(3) 式を参照し

$$f_2 \doteq f_1 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{C_{X0}}{C_X} \right)$$

$$f_3 \doteq f_2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{C_{Y0}}{C_Y} \right)$$

故に通過帯域幅は

$$f_3 - f_1 \doteq \frac{1}{2} \left(\frac{C_{X0}}{C_X} + \frac{C_{Y0}}{C_Y} \right) f_2 \doteq \frac{C_{X0}}{C_X} f_2 \quad (13)$$

となる。 C_X, C_Y は共振子それ自身の静電容量 C_X', C_Y' と保持器その他による漂游容量 C_{Xs}, C_{Ys} の和から成りこの値が大きくなると通過帯域幅が狭くなる。漂游容量 C_{Xs}, C_{Ys} が零なる場合に最も廣くなり

$$(f_3 - f_1)_{\min} \doteq \frac{C_{X0}}{C_X'} f_2 \quad \dots \dots \dots (14)$$

となる。従つて $-18.5^\circ X$ カットでは $0.0073 f_2$, AT カットでは $0.0050 f_2$ が限度である。實際には漂游容量はある値以下にはなし得ず最大可能通過帯域幅はこれより相當狭くなる。

(4) 兩端に於ける反射損失

(2) 節に述べた如く濾波器の影像インピーダンスは周波数に對し (8) 式及び第 4 圖に示す如くに變化する、

しかして終端インピーダンスは公稱インピーダンスに等しく一定なるのが普通である。従つて濾波器兩端に於てインピーダンス不整合に基き反射損失を生ずる。尙水晶共振子の Q が極めて高く、無損失と見做し得るので通過帯域に於ける減衰定数 A は殆んど零である。通過帯域の損失は大部分反射損失によるものであつて遮斷周波数の近くに於て減衰特性が丸味を帯びる。

終端インピーダンスを $Z_0 = R$ とすると各端に於ける反射損失 L_r は一般に

$$L_r = \log_e \left| \frac{R + Z_K}{2\sqrt{RZ_K}} \right|_{(nep)}$$

$$= 20 \log_{10} \left| \frac{R + Z_K}{2\sqrt{RZ_K}} \right|_{(db)} \quad (15)$$

で表わされる。

通過帯域では Z_K が純抵抗性であるから $\frac{Z_K}{R}$ は正

の實數で

$$\frac{Z_K}{R} = \alpha$$

とおくと (15) 式は

$$L_r = \log_e \left| \frac{1 + \alpha}{2\sqrt{\alpha}} \right|_{(nep)} = 20 \log_{10} \left| \frac{2 + \alpha}{2\sqrt{\alpha}} \right|_{(db)} \quad (16)$$

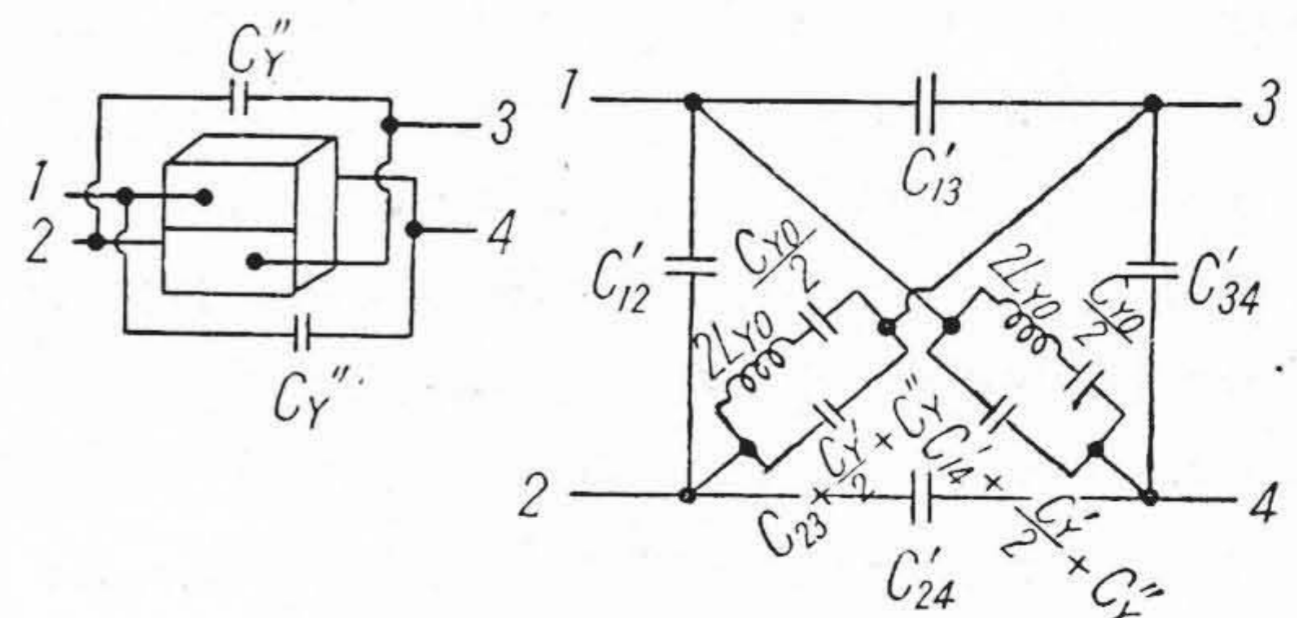
となり

$$\alpha = 0.38 \text{ 若くは } 2.65 \text{ に於て } L_r = 1.0 \text{ db}$$

となる。

(5) 分割電極共振子を使用せる狭帯域水晶濾波器⁽⁶⁾

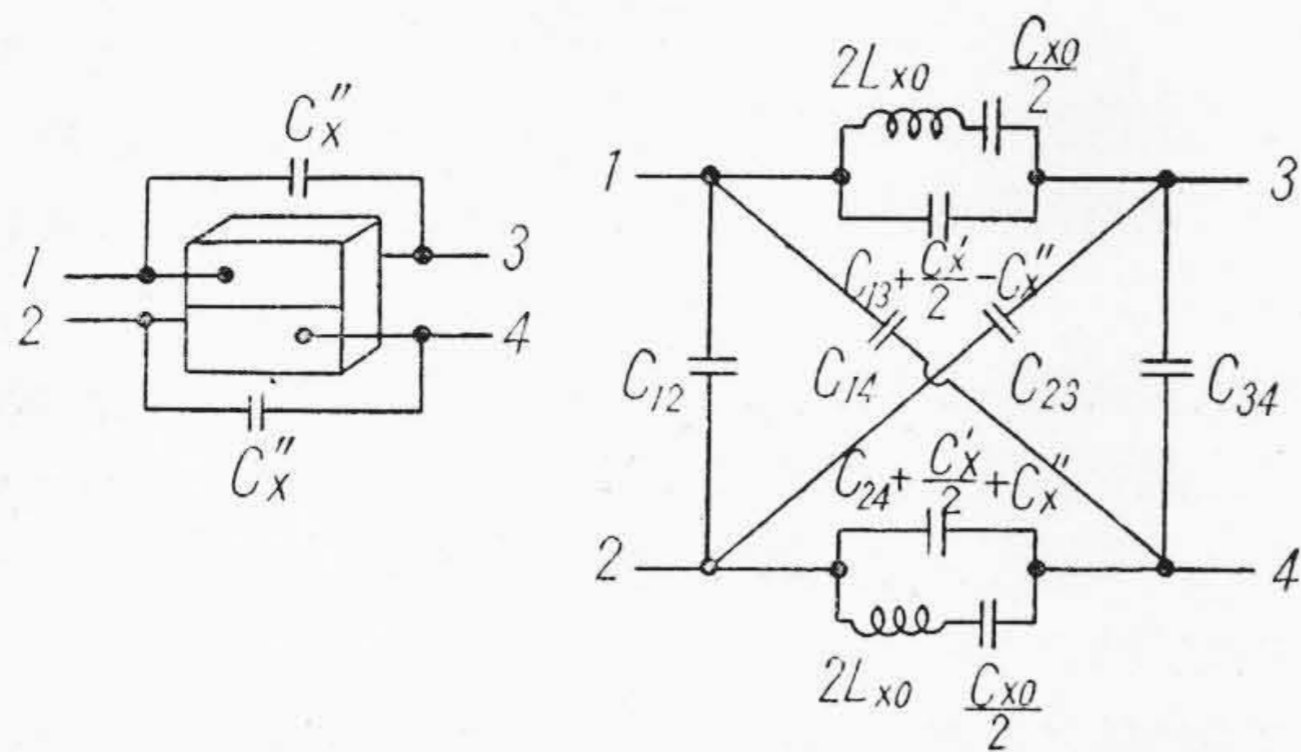
第 2 圖 (A) の狭帯域水晶濾波回路では 4 個の水晶共振子を用いている。この内直列邊の 2 個及び格子邊の 2 個は夫々全く等しいものであるから夫々 1 個の共振子に 2 組の電極を設けた所謂分割電極共振子を以て置換えることができる。斯くすることにより所要共振子數を 1/2 に減ずることができる。第 6 圖、第 7 圖は夫々直列邊、



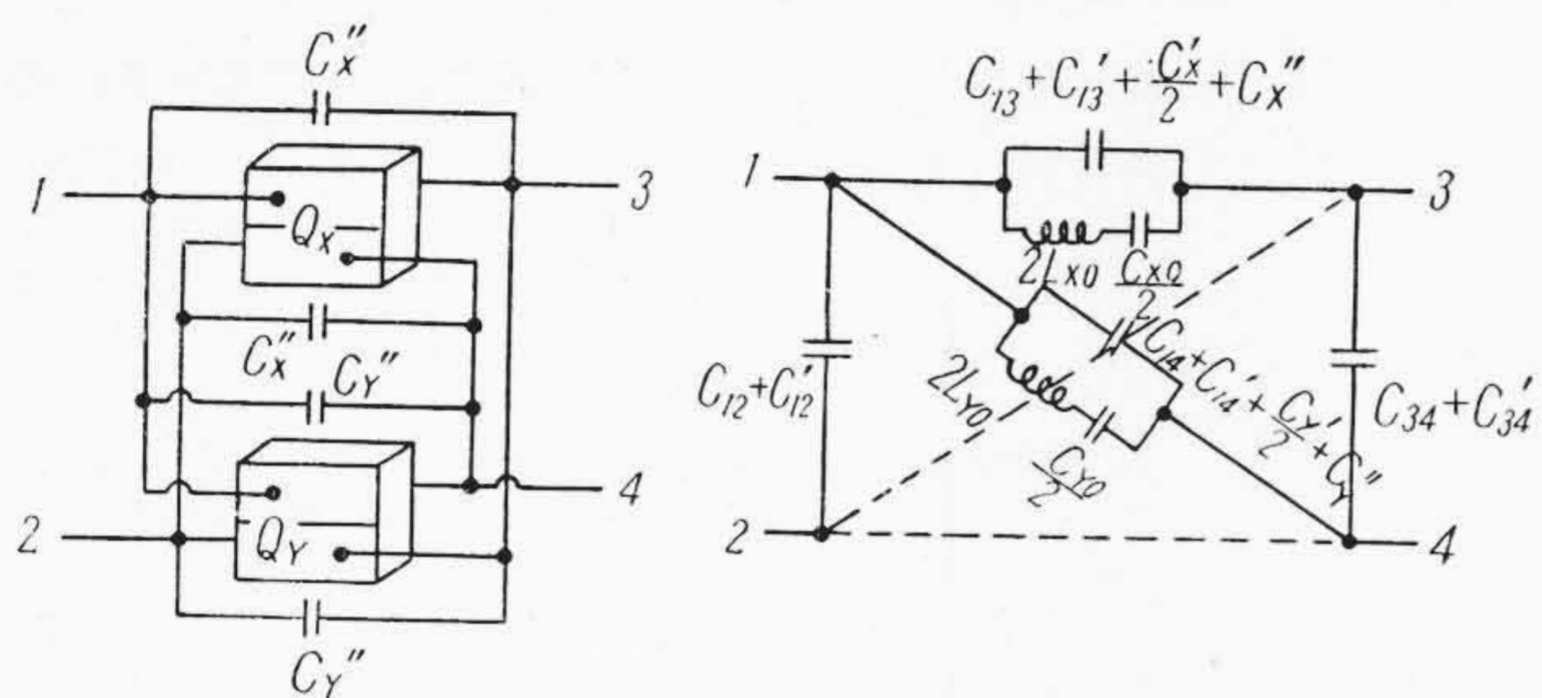
第 6 圖 分割電極を用いた直列邊共振子

Fig. 6 Method for Using Divided Plate Crystal in Series Arm.

格子邊共振子を分割電極共振子に置換えた場合の電極接續及びその等價回路である。引出線が 4 本で關係上漂



第7圖 分割電極を用いた格子邊共振子
Fig. 7 Method for Using Divided Plate Crystal in Lattice Arm.



第8圖 分割電極共振子を用いた狭帯域型水晶濾波器
Fig. 8 Narrow Band Crystal Filter Network Employing Divided Plate Crystals.

游容量が複雑した構成になる。第8圖は分割電極共振子を用いた場合の狭帯域型水晶濾波回路である。この場合各邊共振子のインピーダンスは全面電極共振子のその2倍になる。

【III】 狭帯域型水晶濾波器的實驗例

(1) 例 1...-18.5°X カット共振子使用、140 kc 狭帯域濾波器

本濾波器は 140.0 kc の通信波を通し、これから僅か 400 \sim 隔つた妨害波を除去するものである。所要減衰特性と前 [II] 章に述べたる所を勘案し第9圖に示す如き寸法の -18.5°X カット鍍金式分割電極共振子を用いた。機械的には中心をピボットで支持し、鍍金電極の振動節點に細い銀線をハンダ付けして引出線としてある。米國の最近の製品⁽⁷⁾⁽⁸⁾では引出線を以て機械的な支持をも兼ねさせる様にし構造を簡單にしてある。我國に於ては鍍金技術、ハンダ付け技術が未だその様な構造となし得る迄に至っていない。早急に斯種技術の完成が望まれる次第である。

(4)式により全面電極として等價回路定數を算出すると

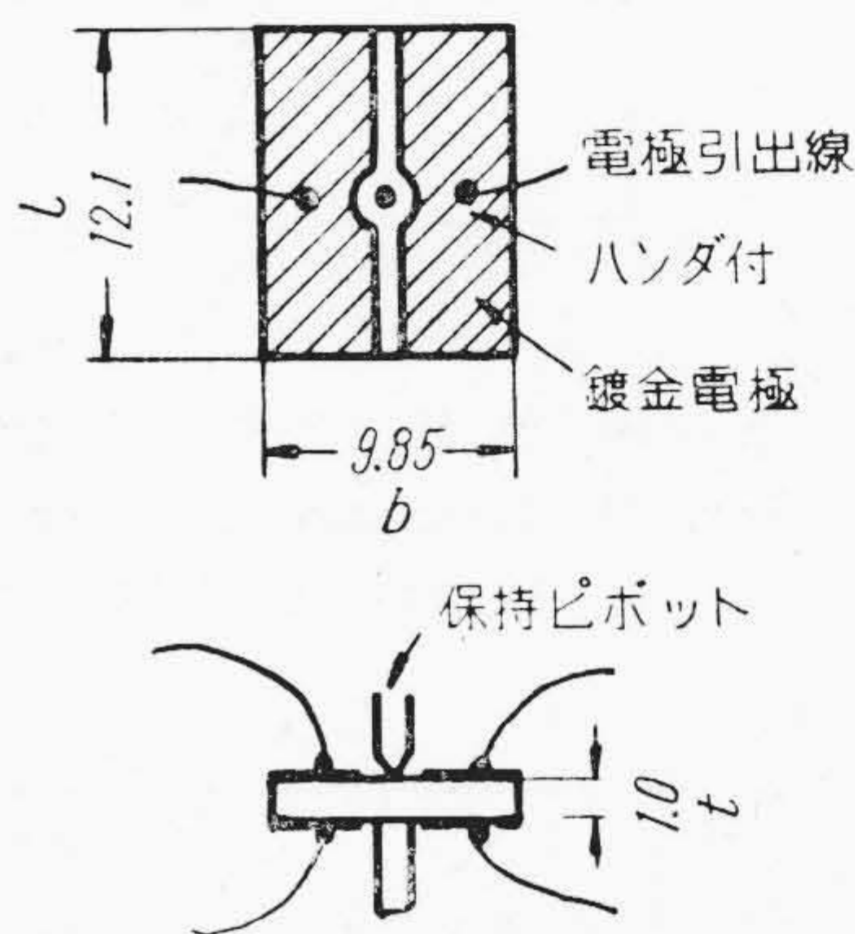
$$L_{X0} = 34.34 \text{ H}, \quad C_{X0} = 0.00387 \mu\mu\text{F},$$

$$C_{X'} = 5.325 \mu\mu\text{F}$$

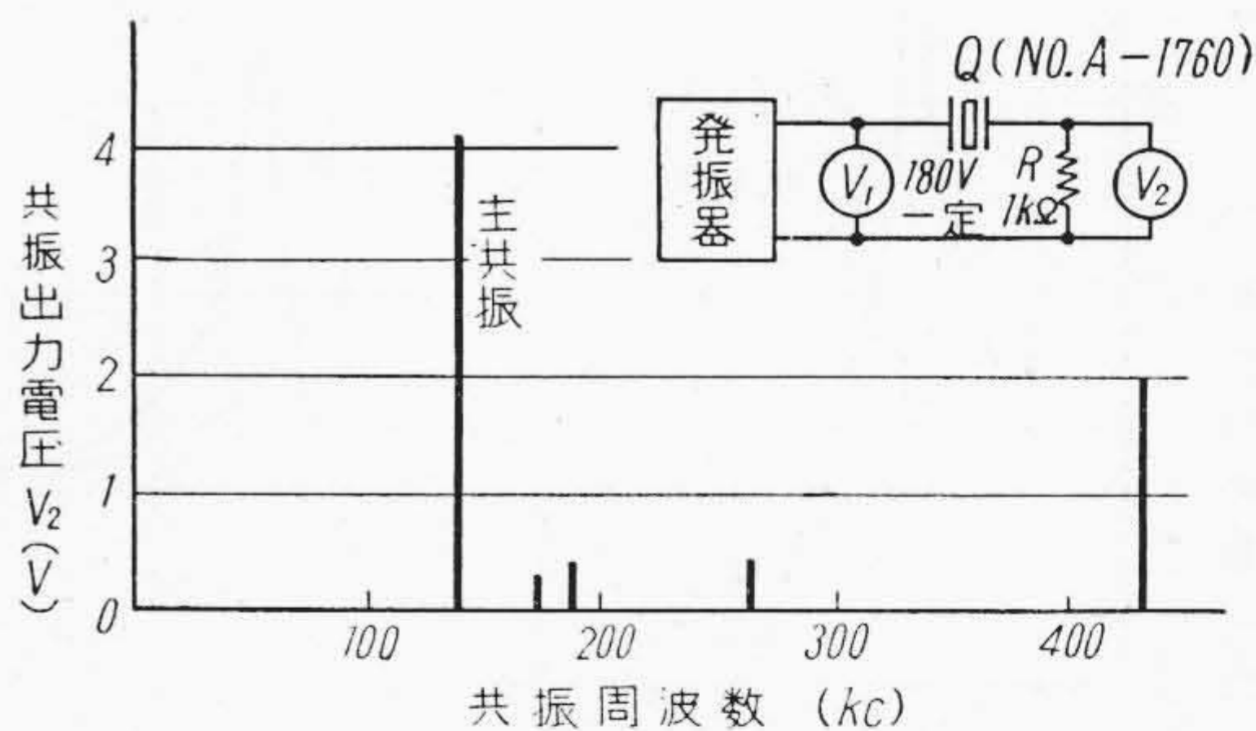
となる。

水晶共振子は機械的振動を利用する關係上、目的とする主共振の他に寄生共振、即ち高調波共振乃至は振動様式の異なる共振、が存在する可能性がある。主共振に極く接近して寄生共振を持つ共振子は濾波器には適さない。本濾波器に使用した共振子の寄生共振分布は第10圖に示す如くであつた。最も近接したのもでも 30 kc 以上離れているので何等支障とならない。

第11圖は主共振の共振特性である。漂游容量 C_{Xs} が約 $12.5 \mu\mu\text{F}$ ありこれがため反共振周波數が共振子固

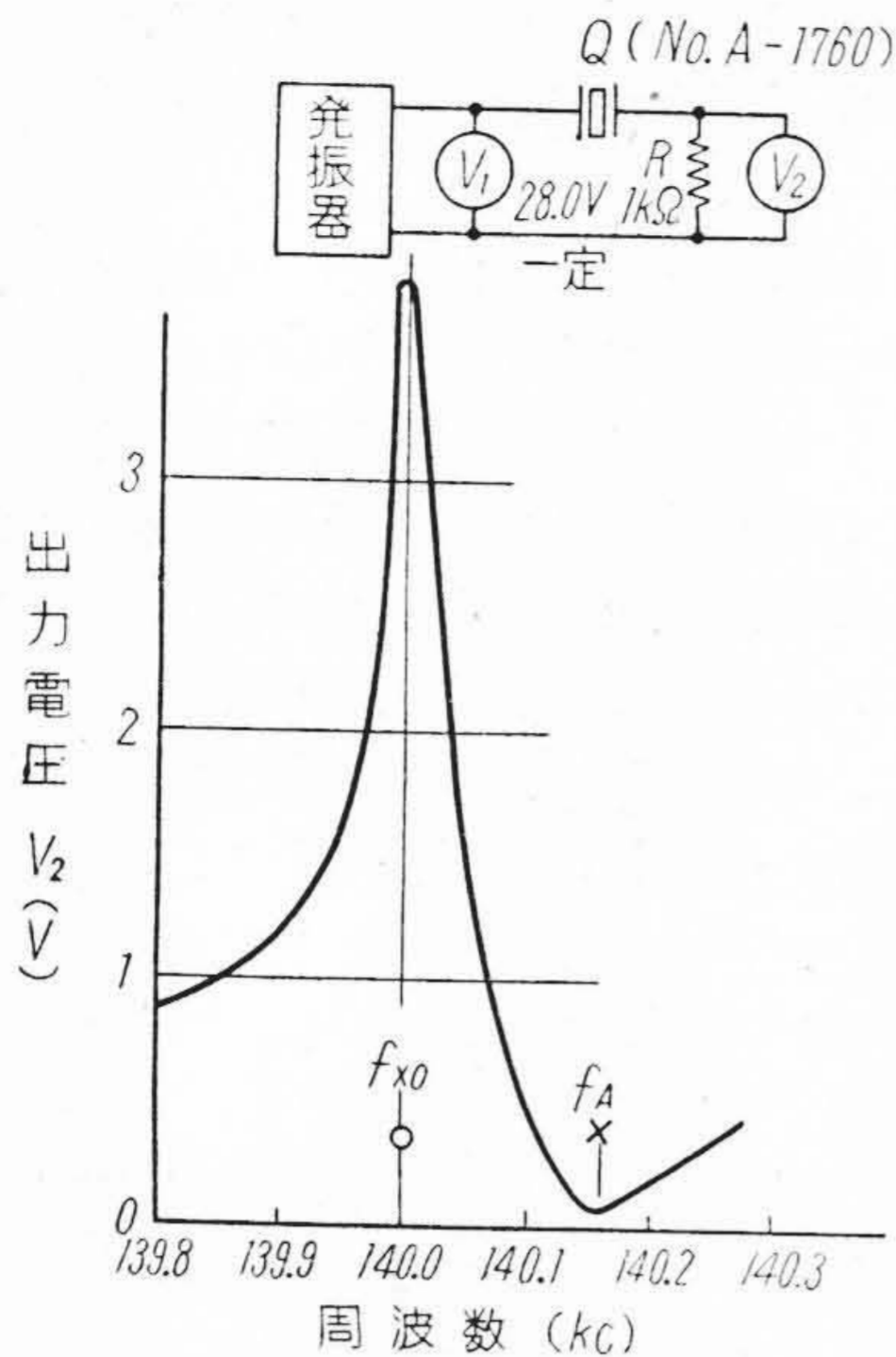


第9圖 140 kc 分割電極水晶共振子
Fig. 9 140 kc Divided Plate Quartz Crystal Resonator.

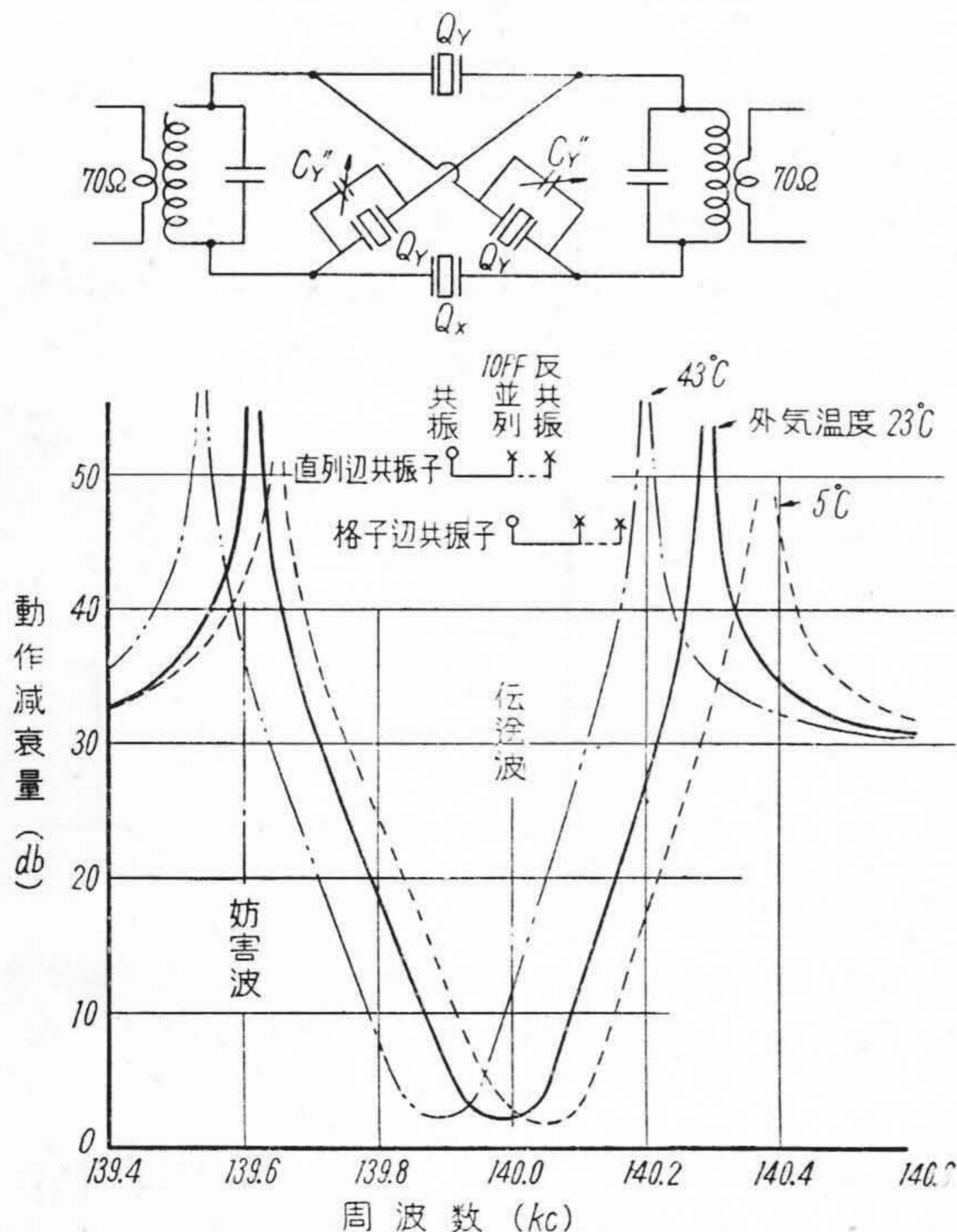


第10圖 -18.5°X カット水晶共振子の寄生共振分布
Fig. 10 Parasitic Resonances of -18.5°X Cut Quartz Resonator.

有値より大分低くなつている。この共振子を濾波器に組立した場合各邊全容量 C_X, C_Y が最低約 $14.85 \mu\mu\text{F}$ なることが測定により推定された。各邊共振子の周波數微細調整は分割電極を並列接続して全面電極とし、これに $2C_{X\min} - (C_{Xs} + C_{X'}) = 12.5 \mu\mu\text{F}$ を添加し、直列邊共振子に對しては反共振周波數が 140.0 kc になる様、格子邊共振子に對しては共振周波數が 140.0 kc になる



第 11 圖 水晶共振子共振曲線
Fig. 11 Resonance Curve of Quartz Crystal Resonator.



第 12 圖 狭帯域水晶濾波器減衰特性
Fig. 12 Insertion Loss Characteristics of Narrow Band Crystal Filter.

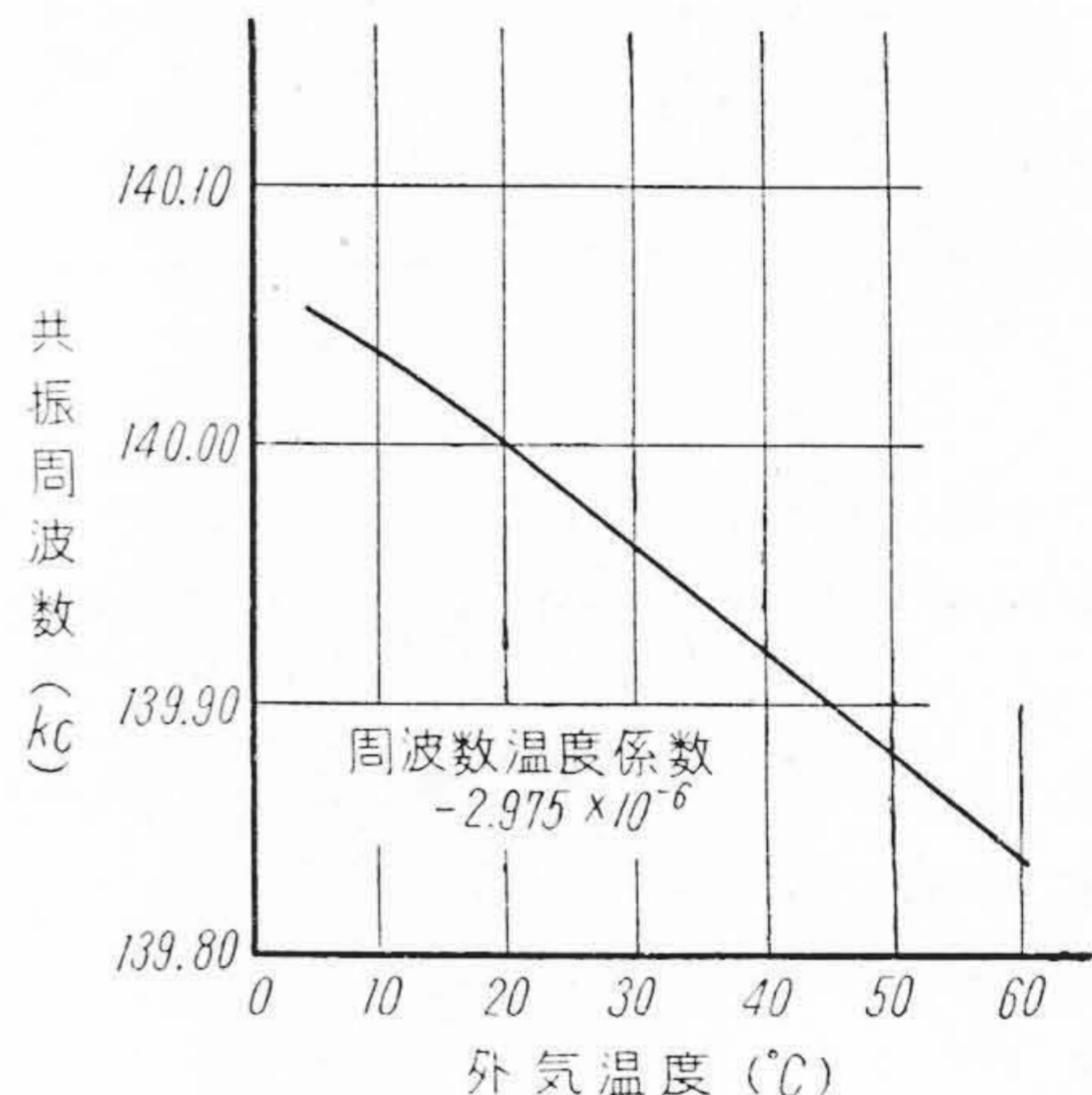
様に行つた。

各邊容量が約 $14.85 \mu\text{F}$ であるから (9) 式により公

稱インピーダンス Z_0 は $Z_0 = 76.5 \text{ k}\Omega$ となる。しかるに本濾波器の終端インピーダンスが 70Ω であるので両端に並列共振回路から成るインピーダンス整合回路を挿入した。

無限大減衰點は格子邊に挿入した最大約 $1 \mu\text{F}$ の微小蓄電器を調整し、妨害波に對應する $140.0 \text{ kc} - 400 \sim$ に合致する様にした。第 12 圖は斯様にして得た濾波器の減衰特性である。

圖中實線は常溫 23°C の場合の特性で、點線及び鎖線は夫々 5°C 及び 43°C に於ける特性である。溫度が上ると減衰曲線が全體として周波數の低い方に移動する。水晶共振子自身の共振周波數溫度特性は第 13 圖の如くで周波數溫度係數 -29.75×10^{-6} である。溫度變化による第 12 圖の減衰特性の移動と第 13 圖の共振周波數の變化とが略合致している。これから第 12 圖の減衰特性の

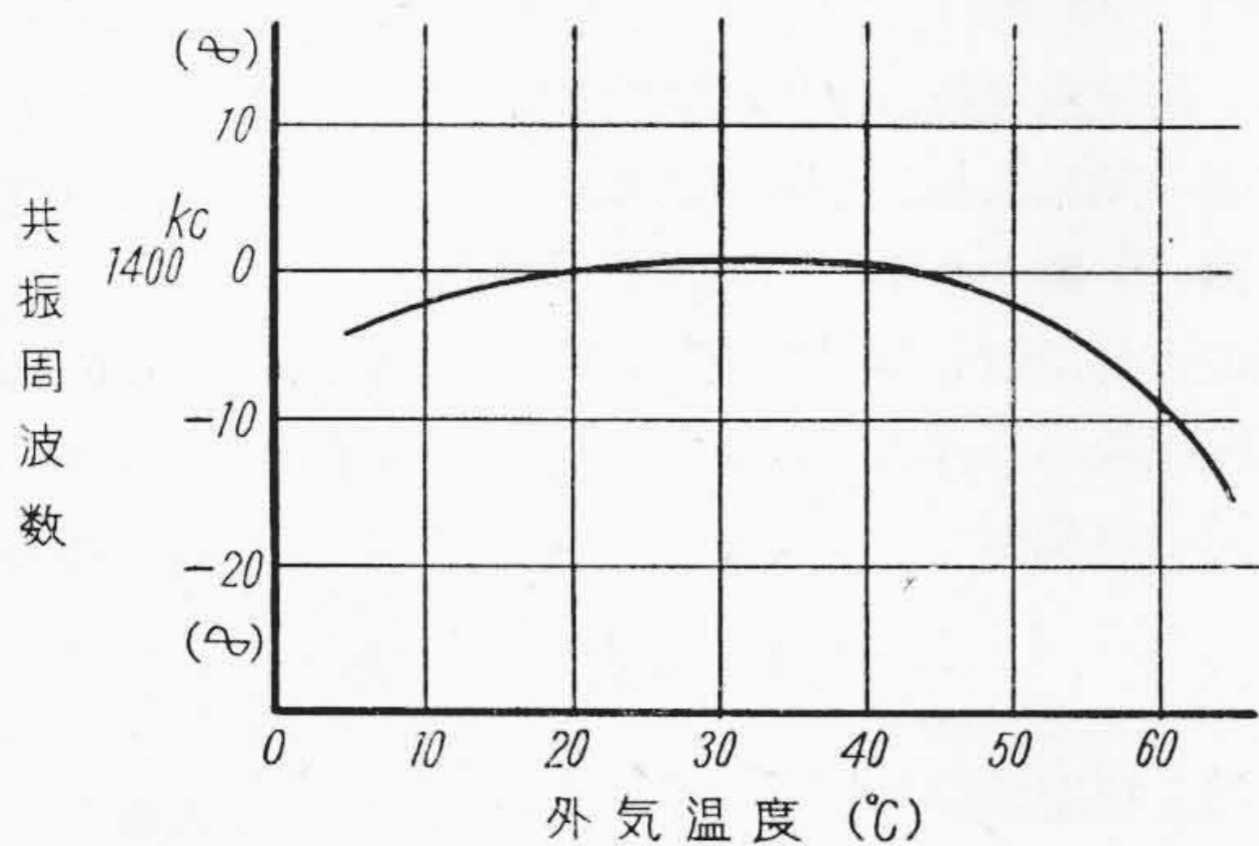


第 13 圖 -18.5°X カット共振子の周波數溫度特性
Fig. 13 Temperature Frequency Characteristic of -18.5°X Cut Crystal.

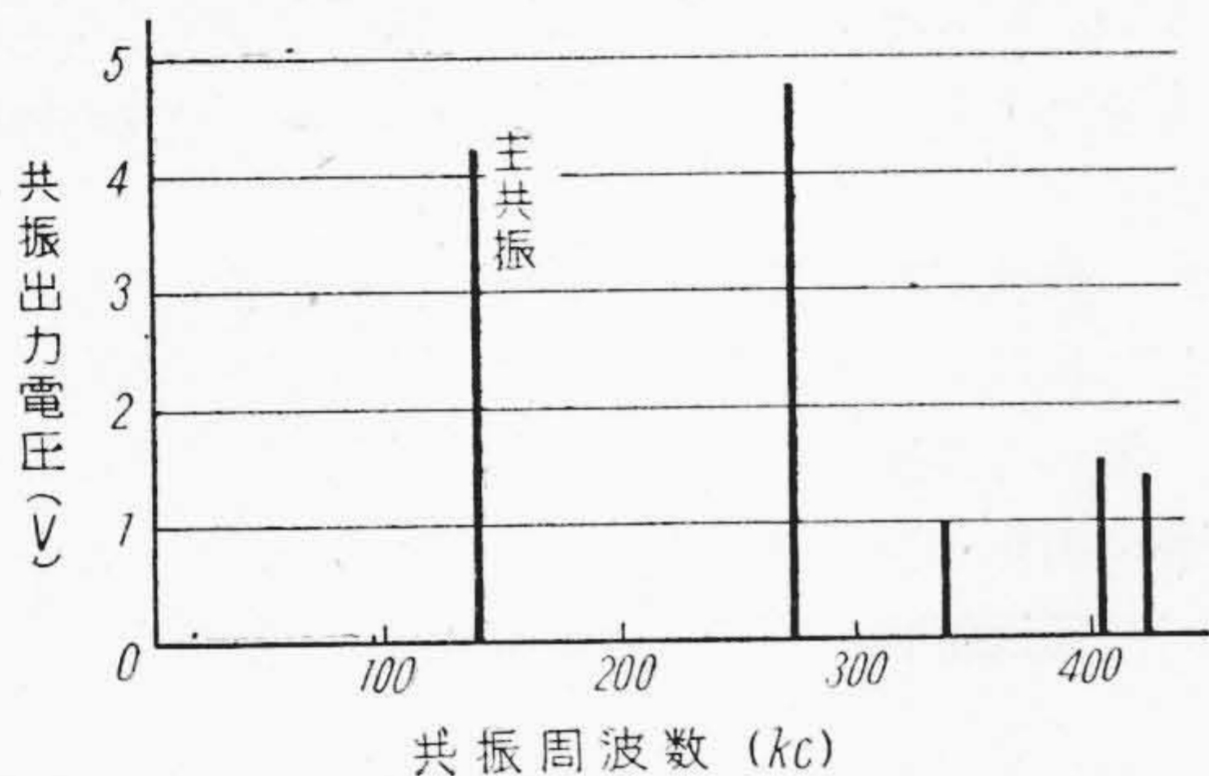
移動は水晶共振子の周波數溫度特性によるものとみることが出来る。室溫として -10°C 乃至 $+40^\circ\text{C}$ の範圍を考慮せねばならないから溫度に關する限り本濾波器は不良である。斯種狭帯域水晶濾波器に對しては次に述べる如く CT カット、DT カットの様な所謂零周波數溫度係數の水晶片を用うべきである。

(2) 例 2...CT カット共振子使用、 140 kc 狭帯域濾波器

前節例 1 の濾波器の溫度特性を改善するため使用水晶片を CT カットのものに換えて實驗を行つた。第 14 圖は該水晶共振子の共振周波數溫度特性である。 5°C 乃至 55°C の範圍で周波數變化約 $5 \sim$ で極めて小さい。常溫で第 12 圖實線と略等しい減衰曲線を得た。外氣溫度變化による減衰特性の移動は殆んど認められぬ様になつ



第14圖 CT カット共振子の周波数温度特性
Fig. 14 Temperature Frequency Characteristic of CT Cut Crystal.



第15圖 CT カット水晶共振子の寄生共振分布
Fig. 15 Parasitic Resonances of CT Cut Quartz Resonator.

た。第15圖は本共振子の寄生共振分布を示す。最も近いもので、120 kc 以上離れている。-18.5 °X カットのものに比べ著しく良好である。測定法は第10圖の場合と同様である。

(3) 例 3...AT カット共振子使用、2,920 kc 水晶濾波器

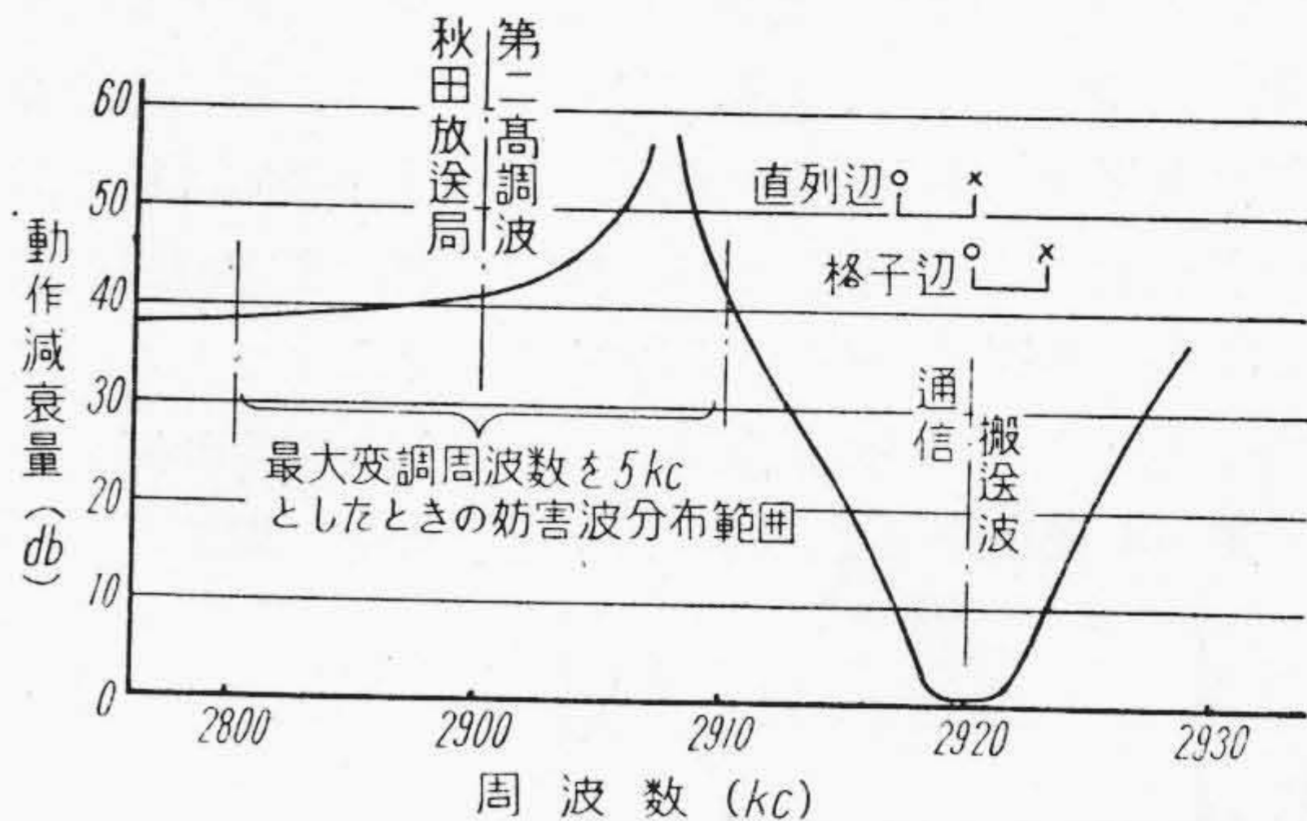
秋田管林局納防災用無線電話装置に採用したものである。本機の通信搬送波は2,920 kc であるが、施設個所のすぐ近くに秋田放送局があり(搬送波 1,450 kc) その第2高調波によつて強い混信妨害を受けた。これを除去するため受信空中線と受信機間に所謂ウェーブトラップとして挿入したものである。水晶共振子には厚みより振動を利用する、零周波数温度係数水晶片に屬する、AT カットを用い

た。全面電極型で厚み $t \dots 0.57 \text{ mm}$, 長さ l 及び幅 $b \dots 15 \text{ mm}$ である。(5) 式によつて等価回路定数を算出すると

$$L_{X0} = 35.8 \text{ mH}, \quad C_{X0} = 0.0789 \mu\mu\text{F}, \\ C_{X'} = 15.87 \mu\mu\text{F}$$

となる。

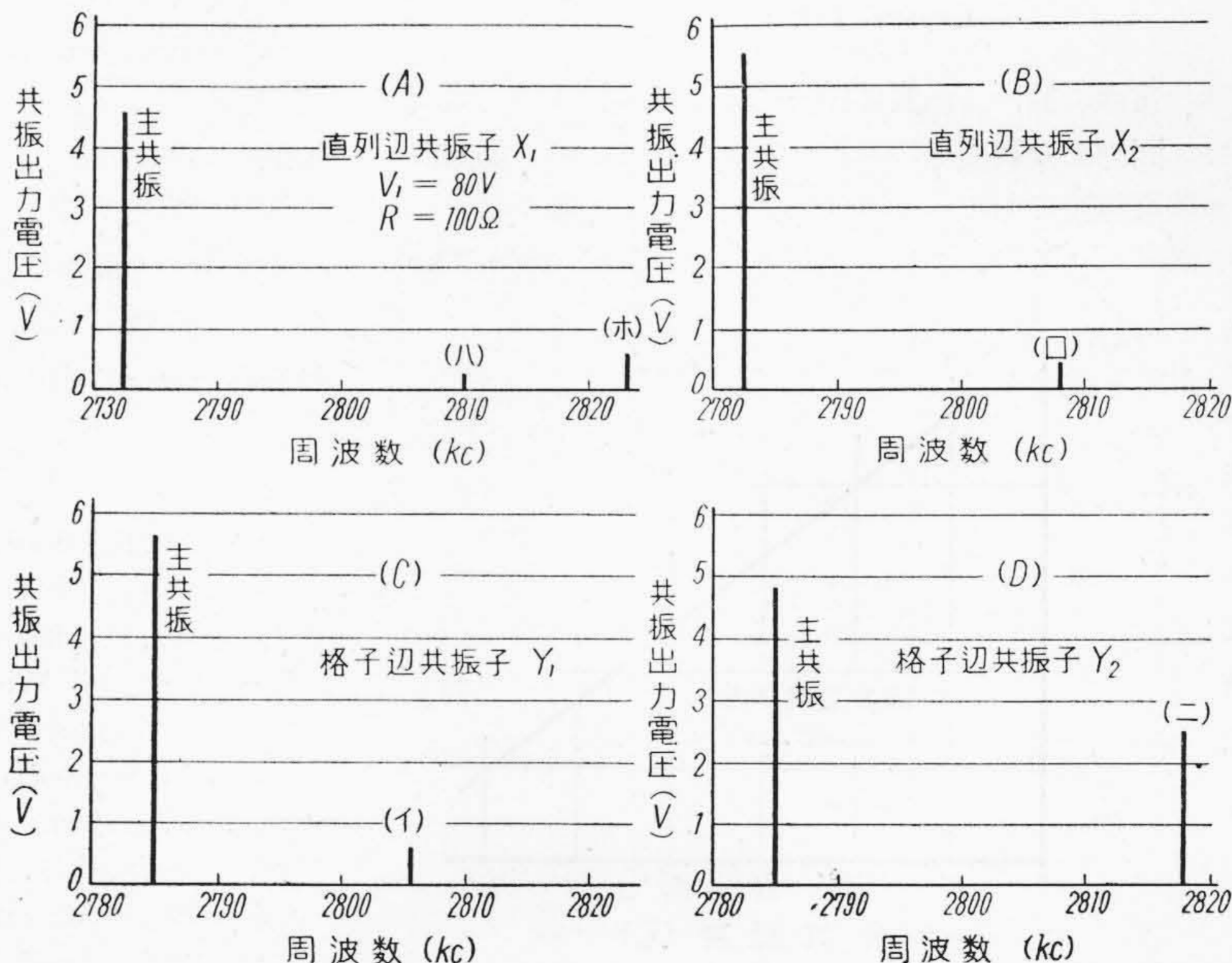
回路構成は前例と同様である。第16圖は濾波器の減



第16圖 2920 kc 水晶濾波器減衰特性
Fig. 16 Insertion Loss Characteristic of Radio Frequency 2,920 kc Crystal Filter.

衰特性である。放送波が $\pm 5 \text{ kc}$ の側帯波を含むものとするこの第2高調波帯に對し約40 db の減衰を興える。本濾波器の挿入により混信妨害を完全に除くことができ良好な通信が行える様になつた。

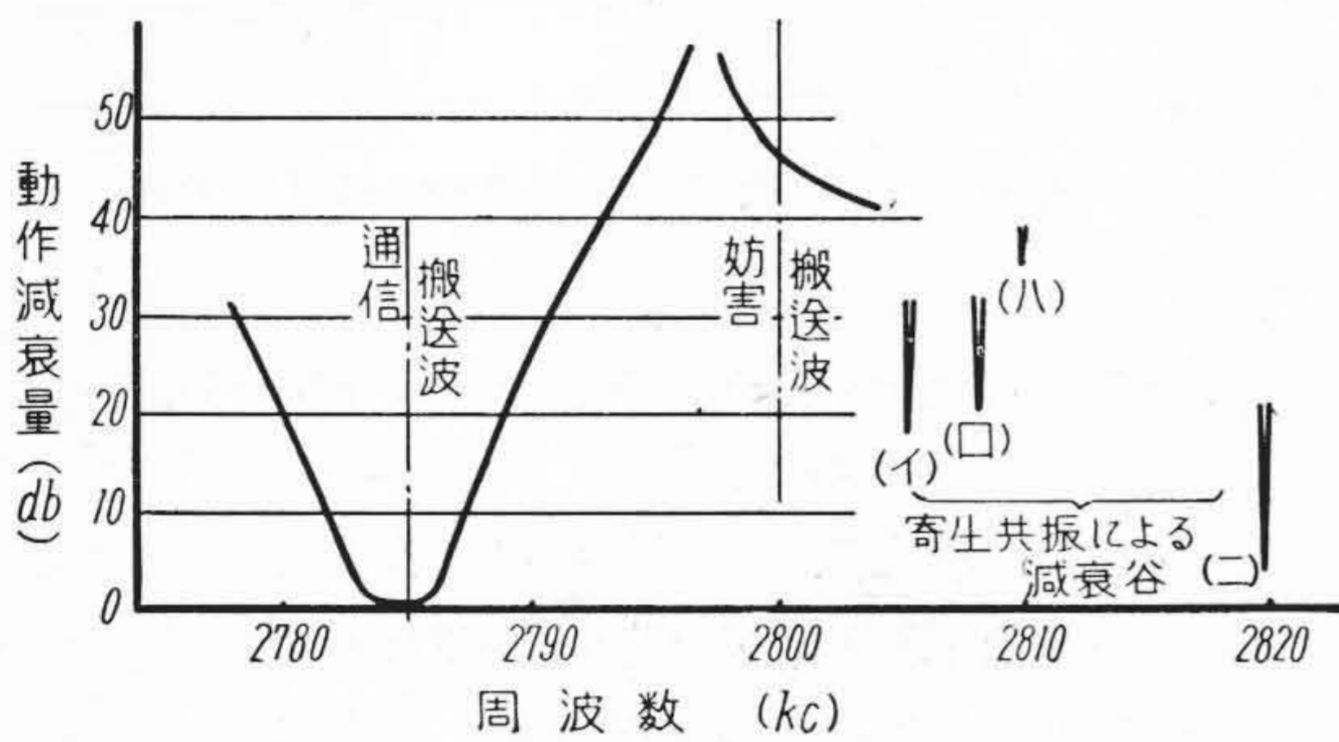
(4) 例 4...AT カット共振子使用、2,785 kc 水晶濾波器



第17圖 AT カット 2785 kc 共振子の寄生共振分布
Fig. 17 Parasitic Resonances of AT Cut 2785 kc Quartz Resonators.

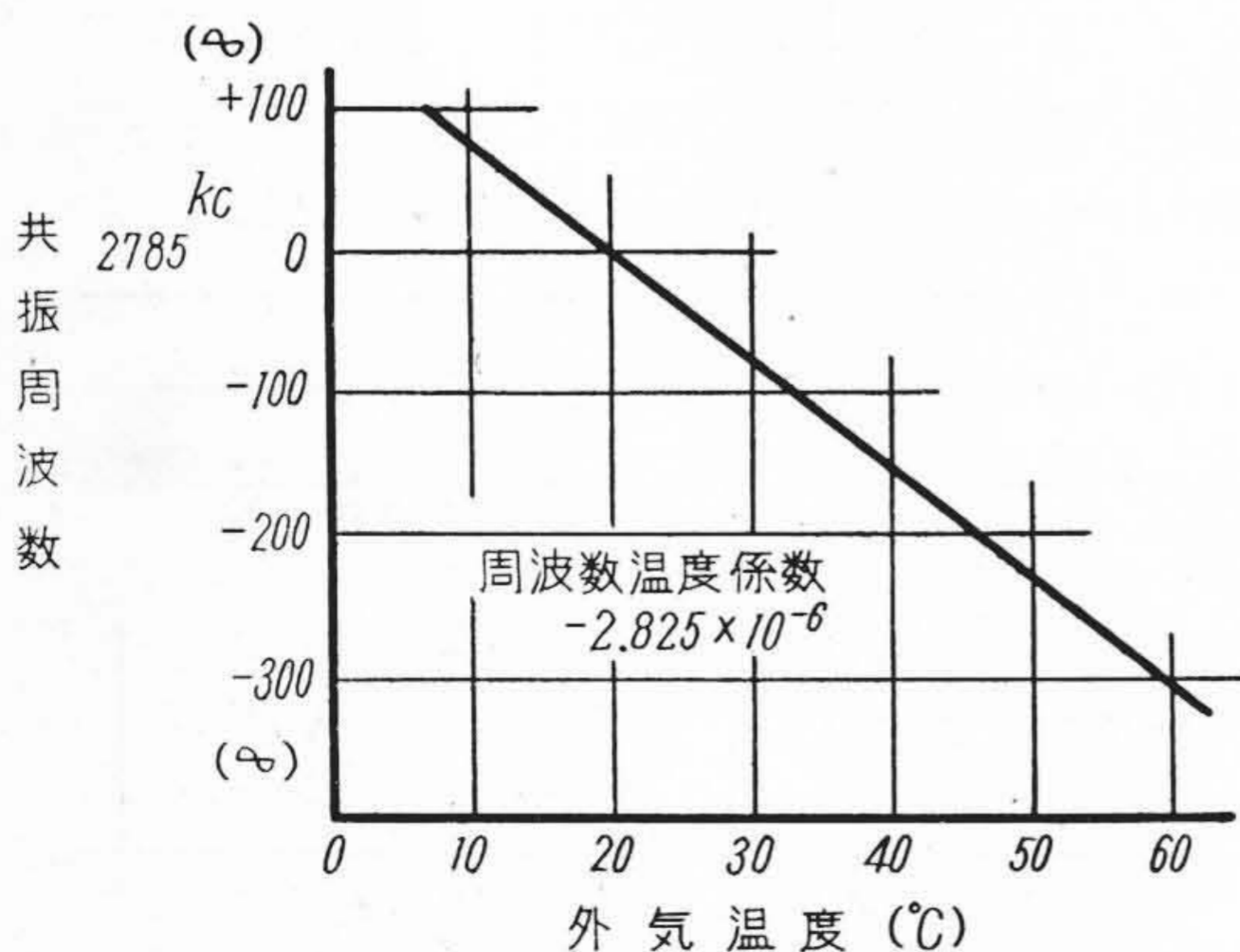
新潟縣漁業會納無線電話裝置に採用したものである。施設個所の近くに 2,800 kc の無線電話局があり、これから強い混信妨害を受けるのでこれを除去するため例 3 と同様に用いた。

前にも述べた如く水晶共振子は主共振以外に寄生共振を有するものである。殊に厚み振動を利用するものでは主共振の上側に主共振に極く接近して存在するものが多い。例 3 の如く所要減衰帯が通信波の下側にあるものでは先づ問題はないが、本例の様に通信波の上側にあるものでは共振子の寄生共振に起因し所要減衰帯内に於て減衰の谷を生ずる可能性がある。第 17 圖は本濾波器に用いた 4 個の共振子の寄生共振分布を示すものである。何れも主共振より 20 kc 前後高い所に最初の寄生共振がある。第 18 圖實線はこれ等共振子を組合せて構成した濾



第 18 圖 2,785 kc 水晶濾波器減衰特性
Fig. 18 Insertion Loss Characteristics of Radio Frequency 2,785 kc Crystal Filter.

波器の常温に於ける減衰曲線である。各共振子の寄生共振點に對應し減衰曲線に顯著な谷を生じている。妨害波が無線電話波であるので 2800 kc ± 2.5 kc の幅を持つものと考えられるが、これに最も近い減衰谷が 2805.7 kc



第 19 圖 AT カット共振子の周波數溫度特性
Fig. 19 Temperature Frequency Characteristic of AT Cut Crystal.

で約 3 kc 離れているので使用上先づ差支えない。偶然にも妨害搬送波の位置に減衰谷が生ずる様な場合には濾波器の効果は甚しく阻害される。

第 19 圖は共振子の周波數溫度特性である。10°C の溫度上昇に對し共振周波數が約 75 \approx 低くなり、周波數溫度係數が -2.825×10^{-6} となる。溫度變化による減衰曲線の移動極めて小さく問題にならなかつた。

[IV] 結 言

以上狭帯域型水晶濾波器について説明を行つたがこれから次のことが云える。

(1) 斯種濾波器に對しては X カット系の共振子より Y カット系の所謂零周波數溫度係數共振子を用いた方がよい。X カット系のは周波數溫度特性悪く寄生共振もカット系のものより主共振に接近しているのが普通である。

(2) 無線周波用水晶片 (厚み振動を利用する) では主共振に接近してすぐ上側に寄生共振の存在するものが多い。斯かる共振子を組合せて濾波器を構成すると寄生共振點に對應し減衰曲線に谷ができるから注意を要する

(3) 通過帯域の損失は大部分兩端の反射損失による。

(4) 斯種濾波器は無線受信機の空中線側に挿入しウエーブ。トラップとして用い有効である。

(5) 電極鍍金技術及び引出線ハンダ付技術を向上し引出線で保持できる様な共振子の完成が望ましい。

我國に於ても次第に水晶濾波器が用いられんとする氣運にありしかも實際的な文獻資料の尠い折柄、極めて概括的ではあるがこゝに述べたことが關係各位の参考ともなれば幸である。

本文中の水晶片は凡て金石舎に製作して貰つたものである。特殊物にも關らず熱心に協力して下さつた工場長秋谷喜一郎氏に謝意を表する次第である。

參 考 文 獻

- (1) W. P. Mason : B. S. T. J., 405, July 1934.
- (2) 古賀 : 壓電氣と高周波, 93, オーム社, 昭 13
- (3) W. P. Mason : Electromechanical Transducers and Wave Filters, 248, D. Van Nostrand Company, 1948.
- (4) H. Stanesby and E. R. Broad : P. O. E. E., 176, Jan. 1941.
- (5) 永井、神谷 : 傳送回路網學, 39, コロナ社, 昭 13
- (6) W. P. Mason and R. A. Sykes : B. S. T. J., 221, April 1940.
- (7) R. A. Heising : Quartz Crystals for Electrical Circuits, 333, 412 D. Van Nostrand Company, 1946.