

密閉型音片発振器に就いて

木 村 瑞 雄*

(信州大学 工学部通信工学科教室)

1. 緒 言

安定正確な周波数発生を目的とする音片又は音叉の如き機械振動子を用いた発振器に於いて、振動子を大気中に開放しておく時は、気圧変動のため若干の周波数変動を生じ、特に高度の安定度を要求せられる時は無視できない。之を防ぐためには、従来振動子を真空容器中に封入する方法が用いられて来た。此の方法は振動子の共振尖鋭度の向上を伴う利点があるが、一方その共振周波数が大気中の値と可成り異つた値となり、周波数調整が六ヶ敷く、又場合によると周波数温度係数が多少変化する欠点もある。又真空封入では何と言つても真空容器を有する事が厄介であり、振動子の出し入れ、装置の取扱い、製作も容易でない等、実用上の困難が少くなかつた。

之に対し我々は、振動子を内部を真空にせず単に気密にした容器中に封入する事により、外気圧変動の影響を除くと共に、周囲温度の変化に対しては、密閉振動子装置全体としての実効温度係数を微少ならしめる如くした密閉型振動子を用いる事によつて、真空封入の欠点を補う事ができ、又之によりその発振周波数安定度は著しく向上せられ、例えば1ヶ月間無調整で放置した密閉型音片発振器の周波数安定度を1,000万分の7以内に保つ事もできた。

2. 音片振動に及ぼす気圧の影響

実験によれば音片の如き機械振動子の共振周波数は外気圧増加に対し直線的に比例して低下する。又その周波数変化率はその振動子の種類、形状、寸法、振動様式等によつて異なるが、与えられた振動子については振動振巾等に無関係に一定の値を有する。なお音叉に就いて同様の報告が E. Norrman⁽¹⁾, D. W. Dye⁽²⁾ 氏等によつてなされている。

従つてこのような場合簡単に周囲媒質は音片に対し等価的に一つの附加質量として作用するものと考えられる事ができる。即ち気圧が増加すれば、附加質量も増加し、従つて音片の等価質量も増加して、その共振周波数は低下する。次に各記号を下記の如く定める。

p	: 気圧	mmHg
f_0	: 音片の真空中に於ける共振周波数	c/s
f_a	: 気圧 P mmHg の空气中に於ける音片の共振周波数	c/s
m_0	: 音片の等価質量 (音片の全質量の4分の1に相当する)	g
S_0	: 等価ステフネス	dyne/cm
Δm_a	: 気圧 1mmHg 当りの等価附加質量	g
r	: 周波数気圧係数 (気圧 1mmHg 当りの変化に対する共振周波数の変化率)	

しかる時は次の関係式を得る。

* 信州大学助教授

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s_0}{m_0}} \quad (1)$$

$$f_a = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s_0}{m_0 + \Delta m_a \cdot p}} \quad (2)$$

$$\text{又 } f_a = f_0 (1 + \gamma p) \quad (3)$$

(2) 式より

$$\begin{aligned} f_a &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s_0}{m_0 \left(1 + \frac{\Delta m_a}{m_0} \cdot p\right)}} \\ &= f_0 \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta m_a}{m_0} \cdot p}} \end{aligned} \quad (4)$$

(3) 式と (4) 式を対照して

$$1 + \gamma p = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\Delta m_a}{m_0} \cdot p}} \quad (5)$$

之より

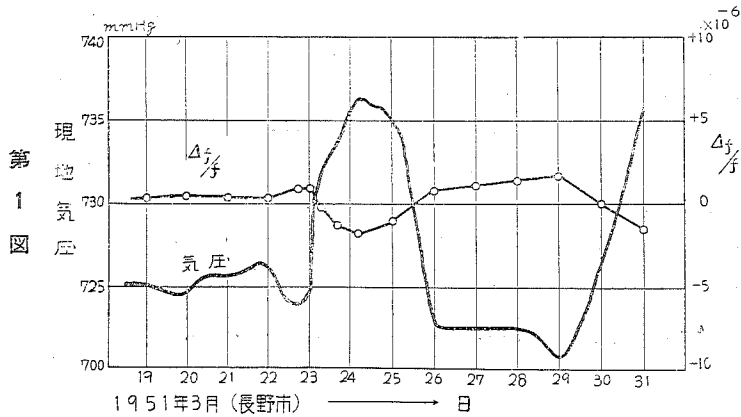
$$\gamma = -\frac{1}{2} \frac{\Delta m_a}{m_0} \quad (6)$$

即ち γ は $\Delta m_a / m_0$ に比例する。

音片を大氣中に開放しておく時は、気圧変動による周波数変動が小さいためには γ の小さい程良いわけであるが、 γ を小にするためには (6) 式より明かな如く Δm_a を小にするか、 m_0 を大にする必要がある。即ち与えられた共振周波数を有する音片に於いて、 m_0 を大にする事は厚さの厚い長さの長い音片を用いる事であり、又 Δm_a を小にする事は音片の巾を狭くして空気をたたく面積を小にする事である。実験によれば、巾 (3~12) mm、厚さ (1~8) mm 程度の音片では $\gamma = - (1\sim 8) \times 10^{-7} / \text{mm Hg}$ 程度である。然し実際問題として、余り巾の狭い音片を用いる事は、支持損失が増し Q が低下する欠点があり、又余りに長さの長い、厚さの厚い音片を用いる事も、寸法の点或いは共振に要する駆動力が大きくなる等の点から制限を受ける。従つて通常の音片では巾 10 mm 内外、厚さ 2~4 mm 即ち $\gamma = - (4\sim 6) \times 10^{-7} / \text{mmHg}$ 程度のものが多く使用されている*。従つて今、年間の気圧変動の巾を 40mmHg、又 $\gamma = - 5 \times 10^{-7} / \text{mmHg}$ とすると、気圧変動により 2×10^{-5} 程度の周波数変動は免れない。

* 必然的に長さが短くなる高振動数音片では、充分厚さの厚い、巾の狭い音片を用いる事がある。⁽⁴⁾

第1図は研究室内に於ける大気圧の変動と大気中に開放された 1,000 c/s 音片発振器の周波数変動の測定結果の一例である。



3. 密閉型音片発振器の理論

尙上述の外気圧変動の影響を除くため、機械振動子を容器中部を真空にせず、単に気密にして外氣と遮断し、且つ振動子の出し入れの容易なる如き構造の気密容器中に封入する時は、真空容器封入の欠点は除かれるが、一方周囲温度の変化により内部気圧が変化し、之が振動子周波数を変化せしめる。即ち気密容器内部気圧が変化する場合は、一定容積なる故空氣密度は変化しないが、氣體分子の運動の速度が変化し、音片に対する気圧変化として、開放された音片に対する気圧変化と全く同様の影響を及ぼすのである。

今音片自体の周波数温度係数を β 、密閉音片装置全体の実効温度係数を β_e 、又温度 1°C の変化によつて生ずる内部気圧変化に基く周波数変化率を η とすれば、 β_e は次式の如く表される。

$$\beta_e = \beta + \eta \quad (7)$$

$\beta_e = 0$ 即ち密閉型音片の周波数温度係数が零となるためには $\beta + \eta = 0$ なるを要する。又温度 0°C に換算した気密容器内部気圧を P_0 mmHg、温度 $t^\circ\text{C}$ に於ける内部気圧を P_t mm Hg とすれば次式の如く表される。

$$P_t = P_0 \left(1 + \frac{1}{273} t \right) \quad (8)$$

従つて η は次式の如くなる。

$$\eta = \frac{1}{273} \cdot P_0 \cdot r \text{ } /^\circ\text{C} \quad (9)$$

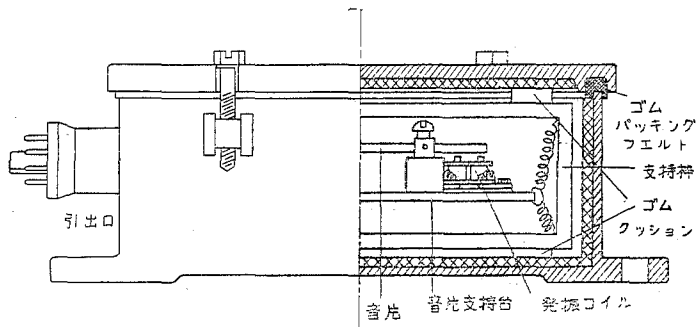
例えば $r = -5 \times 10^{-6} / \text{mmHg}$ 、 $P_0 = 700 \text{ mmHg}$ の場合は $\eta = -13.0 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ となる。従つて $\beta_e = 0$ なるためには $\beta = +13.0 \times 10^{-7} / ^\circ\text{C}$ に選ばばよい。

以上に於いては r 及び P_0 が与えられて β を選ぶ場合を示したが、一般には P_0 、 r 及び β の三者の値を適当に選ぶことによつて $\beta_e = 0$ に近づけるのである。なおこの

適当な β の値を有する音片は、例えばスプリング支持接着型音片⁽⁵⁾、⁽⁶⁾を用いる事により容易に得る事ができる。又密閉型音片に於いて外部温度が急激に変化すると、内部気圧変化に対する振動子温度変化の時間的遅れのため過渡的な周波数変動を生じ、ある時間の後安定常態に達する。この過渡的周波数変動を小にするためには振動子の τ の値が小さい程良い。又 τ の小さい程 η が小さくなり、大氣中に開放した場合と気密容器中に封入した場合との周波数温度係数の差が少く、実用上好都合である。従つて密閉型音片としても支障のない限り、巾の狭い厚さの厚い音片を用いる事が望ましい。なお上述の過渡的周波数変動を免れるためには、密閉型音片といえども、恒温槽中に封入する事が最も望ましく、室温中に放置する場合は、気密容器を充分熱遮蔽して、内部への熱伝導を可及的に緩慢ならしめる必要がある。

4. 密閉型音片の周波数温度係数の測定例

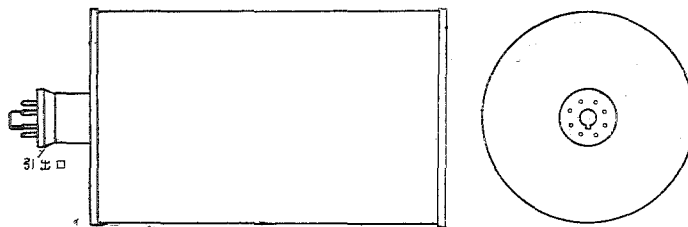
第 2 図



第 3 図

(a) 正面図

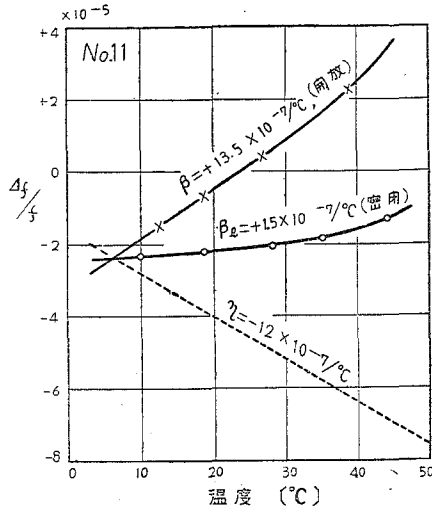
(b) 側面図



第2図に実験に用いた気密容器の構造の一例を示す。本容器は音片の出し入れが容易なので、特に調整用に適する。又第3図に他の形状のものを示した。本容器は厚さ 0.5 mm の錫メッキ鉄板製丸罐である。密閉型の場合は、真空封入の場合と異り、温度による容器内気圧変化を考慮に入れても、容器内外の気圧差は最大 150 mmHg 程度になればよいから、上記の如き簡単な容器で差支えない。

第4図及び第5図は密閉型 1,000c/s 接着音片の β_e と β の関係を示す温度対周波数偏差の測定例である。図中点線はこの二つの温度特性曲線より算出した η を示す直線である。このように密閉型音片により、外気圧変動の影響を防ぐと共にその実効温度係数を微少にできる。

第 4 図

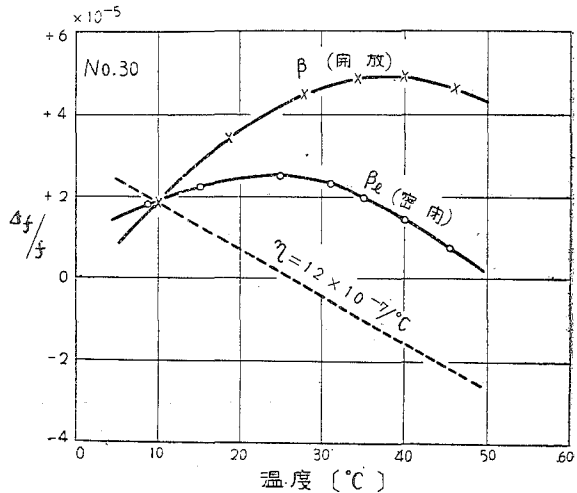


之等の測定結果より分る如く一ヶ月間の安定度（周波数の最高偏差と最低偏差の差）は 7×10^{-7} 以内、10時間の安定度は 4×10^{-7} 以内で、密閉型音片を用いる事によつて安定度が著しく改善せられた。然し以上の結果は安定度の良好な一例を示したものであり、大多数の音片発振器をこの程度の安定度まで持つて来るためには、更に多くの研究をまたねばならないであろう。

5. 密閉型音片発振器の安定度

密閉型音片発振器の長期間安定度を測定した。第6図は音片装置を恒温槽中に封入して温度並びに電源電圧を略々一定に保つた場合の一ヶ月間の安定度の測定結果である。使用音片は steel-Invar 接着 1,000c/s 音片で、気密容器は丸罐を用いた。この罐詰音片の使用温度に於ける実効周波数温度係数は約 $-1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ であり、又恒温槽は約 0.5°C の温度の変動巾を持つていた。発振周波数は測定開始後全く無調整で放置したものであり、又周波数変動の測定は標準電波の 1,000c/s と比較した。又第7図に約10時間に亘つての測定結果を示した。

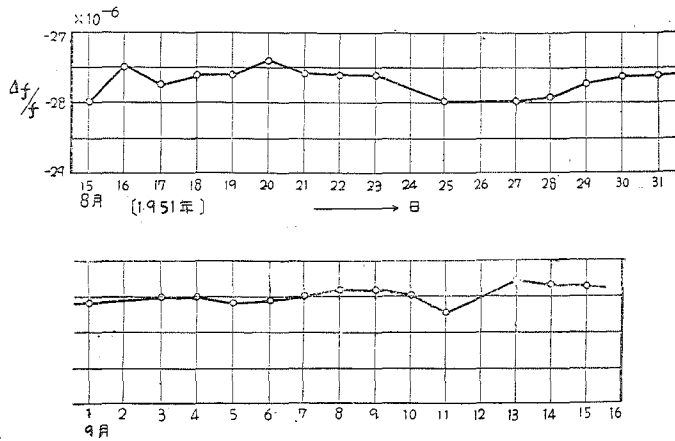
第 5 図



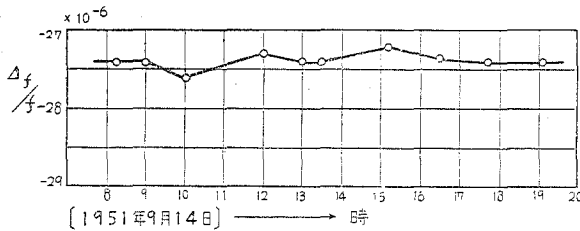
6. 結 言

音片振動に対する気圧変化の影響を除くために従来の真空封入音片に対し、密閉型音片は、真空部を持たぬ事、振動子の出し入れの容易な事、装置の簡易な事、製作取扱い

第 6 図



第 7 図



の簡単な事等実用的に優れた多くの特長を有し、その発振周波数の安定度向上に対し大きな価値を有するものと思われる。又本方式は音片だけでなく音叉、音環等の如き振動子にも適用できる事は言うまでもない。

最後に本研究に対し御懇篤なる御指導を戴いた東北大学永井教授に深謝する次第である。又本研究に協力された清水正博君に対し厚く感謝する。

文 献

- (1) E. Norrman : Electronics . Jan (1940)
- (2) D.W.Dye : Proc. Roy. Soc. 103. (1923)
- (3) 永井・松谷 : 電気通信東北支部連合大会講演要旨, 35 (昭27—10)
- (4) 永井・木村 : 電気三学会東京支部連合大会講演論文集, 10.27, (昭27—10)
- (5) 永井・木村 : 電気通信学会誌, 35. 257. (昭27—6)
- (6) 木村 : 信州大学紀要第1巻第1号 (昭26—6)

ON CLOSED TYPE TUNING BAR OSCILLATOR

By

MiZUO KIMURA *

(Institute of Electrical Communication
Engineering, Faculty of Engineering)

The oscillator which has the highest frequency stability, at the range of

* Assistant Professor of Shinshu University.

audio frequency, is the one which is controlled by mechanical vibrator as tuning bar or tuning fork. However, when the vibrator is exposed in the atmosphere, the frequency stability is affected by the change of atmospheric pressure, and this effect is unable to neglect, if higher frequency stability is demanded. To insulate from the effect of atmospheric pressure change, the vibrator is sealed in vacume vessel at present. But this vacuume sealed vibrator has some troubles at practice use as the following: (1) the resonance frequency of vacuume sealed vibrator becomes much higher than the one in the atmosphere, and the adjusting of the frequency becomes difficult, (2) having the vacuume vessel is not suitable to the simplification of the oscillator, (3) the taking in and out of the vibrator, and the handling or the making of the device are not easy.

Against the vacuume sealed vibrator, author enclosed the vibrator in mere airtight vessel, which is not vacuume, to separate from the effect of the atmospheric pressure change, and for the temperature effect, by selecting the value of the temperature coefficient of frequency of the vibrator as to cancel the frequency change, which depends upon the atmospheric pressure change inside of the vessel due to the temperature change, the effective temperature coefficient of the frequency of the whole closed vibrator device was reduced to negligible small.

By employing the closed type tuning bar oscillator, which depends upon the above-mentioned principle, the troubles of the vacuume sealed vibrator were desolved, and the frequency stability was remarkably improved, namely for example, the frequency was maintained constant over one month to better than 7 to 10,000,000 without any adjusting.