

# 音片発振器の周波数制御コイルの音片 に及ぼす影響に就いて

木村 瑞雄

(信州大学助教授 工学部)

EFFECTS OF FREQUENCY CONTROL COIL UPON THE TUNING BAR

by

Mizuo KIMURA

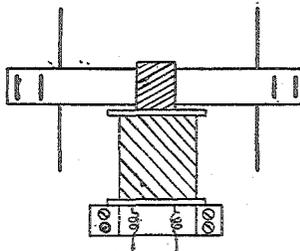
## 1 緒 言

音片（又は音叉、音環）発振器の発振周波数の調整法として、その周波数変化を主として振動振幅の変化によって行う振幅制御法、位相変化によって行う位相制御法、ステフネス変化によって行うステフネス制御法の三つに大別される。此の中のステフネス制御法の一つとして、音片に周波数制御コイルを取付けて、之に電流を流すことにより、音片の実効ステフネスを変化して、発振周波数を変化出来る。此の方法は周波数を連続的に可成り広い範囲に変化出来る点有効な方法であり、又ビート饋還制御周波数通降装置<sup>(1)(2)</sup> 或いは対標準周波数調整装置<sup>(3)(4)</sup>の如く、標準周波数との自動同期等に用いて便利な方法である。所で周波数制御コイルに電流を流して之を磁化すれば、その影響のため音片の周波数が低下すると簡単に考えては大きな間違いを生ずる。即ち実際には周波数の低下する場合もあり上昇する場合もある。之は主として発振用コイルを制御コイルの磁極の配列の仕方によってきまる事が分り、周波数を連続的に一様な方向に変えようとする吾々の目的に最も適当な配列法が見出された。又制御コイルに電流を流すことによって、音片の特性に如何なる変化を生ずるかを調べたので、之等に就いて報告する。

## 2 発振用コイルの配列と制御コイルの極性に就いて

後述する如く制御コイルに電流を流した場合生ずる発振周波数の変化の方向と大きさは、発振用コイルの磁極の配列の仕方と、之に対する制御コイル磁極の極性によって著しく異って来る。次に測定に用いた各コイルのデータを挙げる。

### (a) 発振用コイル



第 1 図

ドライブ及びピックアップコイルは共にテレフンケン型受話器のコイルピースを用い、太さ 0.06 mm エナメル線 5600 ターン、その直流抵抗は 2000 Ω 自己インダクタンスは 700 mH である。

### (b) 制御コイル

#### (イ) 単極型

単極型は第 1 図の如き型式のもので B S #35 エナメル線 6500 ターン、直流抵抗 700 Ω、自己インダク

タンス1.75Hである。

(ロ) 二極型

二極型は発振用コイルと同型のものを用いた。又永久磁石の有するものと有しないものを用いた。

制御コイルの取付け位置は単極、二極とも音片の中央部とした(第1図)。次に発振用コイルの配列の仕方によって次の如く分類する。

(1) 直角配列

第2図の如く発振用両コイルの主磁束の方向が音片の巾方向と直角となる如き配列法。この直角配列を更に次の如く分類する。

(イ) 対称配列

第2図 (a) 又は (b) の如く直角配列の磁極の配列が  $\widehat{NS} \widehat{SN}$  は  $\widehat{SN} \widehat{NS}$  の如く音片の中央に対し左右対称となる配列法。

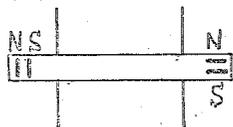
(ロ) 非対称配列

第2図 (c) 又は (d) の如く磁極の配列が  $\widehat{NS} \widehat{NS}$  又は  $\widehat{SN} \widehat{SN}$  の如く音片の中央に対し左右非対称となる配列法。

(2) 平行配列



第 3 図



第 4 図

第3図の如く発振用両コイルの主磁束方向が音片の巾方向と等しくなる配列法。

(3) 直角平行配列

第4図の如く発振用コイルの一方が直角配列で他のコイルが平行配列となる配列法。

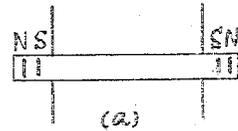
(4) 中央同極と中央異極

前述(1)(イ)の対称配列に於て、単極制御コイルを用いた場合、制御コイルに電流を流した時生ずる磁極の極性が、発振用両コイルの音片の中央部に近い側の磁極の極性に等しい時、之を中央同極(第5図 (a)), しからざる場合を中央異極(第5図 (b))と名付ける。

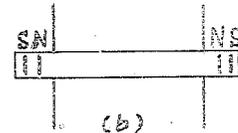
3 各配列に対する周波数変化特性

次に前述の各配列に於て、制御電流に対する周波数変化の関係測定した。なお測定に用いた音片は特に断らない限り長さ12 cm, 厚さ2 mm の1,000 c 鋼針支持接着型音片を用いた。

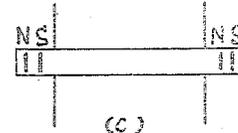
(1) 単極型制御コイルの場合



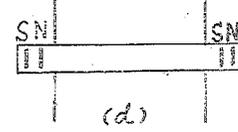
(a)



(b)

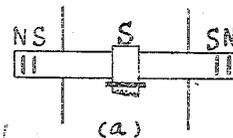


(c)

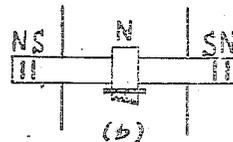


(d)

第 2 図



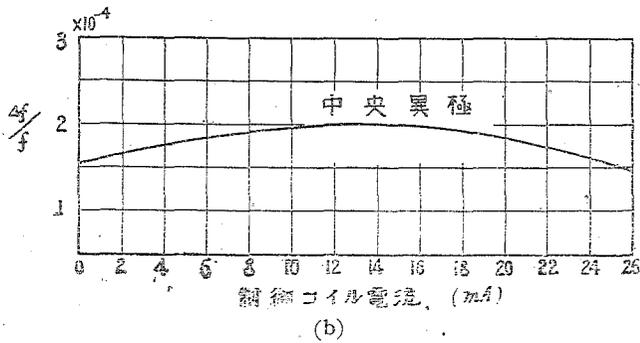
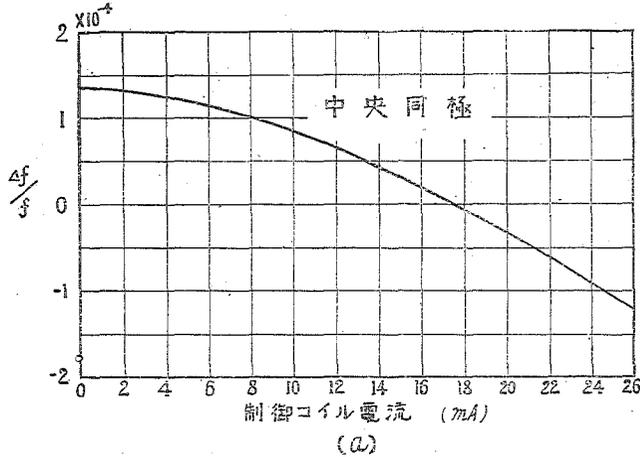
(a)



(b)

第 5 図

- (a) 対称配列の場合
- (イ) 測定結果



第 6 図

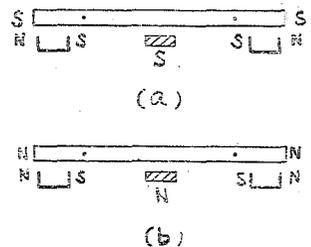
第 6 図(a)は対称配列中央同極の場合、同図(b)は同じく中央異極の場合の制御電流対周波数変化の関係を示す曲線である。(a)図より明かなように中央同極の場合は制御電流の増加と共に周波数は一様に低下する。その低下の状態は電流が大きくなるに従って、周波数低下の割合は著しく大きくなる。之に反し中央異極の場合は(b)図より分る如く、最初制御コイル電流の増加と共に周波数も上昇し、個々の場合によって異なるが大体10~15mAで最大となり、之より電流が増加すると周波数は逆

に低下する。かくの如く中央同極の場合周波数が電流の増加と共に一様に低下するのに、中央異極の場合は電流増加と共に周波数は一旦上昇して後低下する。かくの如き現象は略々同一寸法の他の1,000c音片に於いても常に現れるもので、発振用コイルの何れがドライブコイル、ピックアップコイルに用いられて居るかと言う事、或いは制御コイルが音片に対し、発振用コイルと同じ側に取付けられて居るか、或いは反対の側に取付けられて居るかと言う事等には関係がない。

(ロ) 制御コイル極性により周波数変化の状態が二通りになる理由。

しからば何故にこのように制御コイルの磁極の極性の種類によって、周波数変化の状態が異って来るかと言う事は次の如く説明出来る。

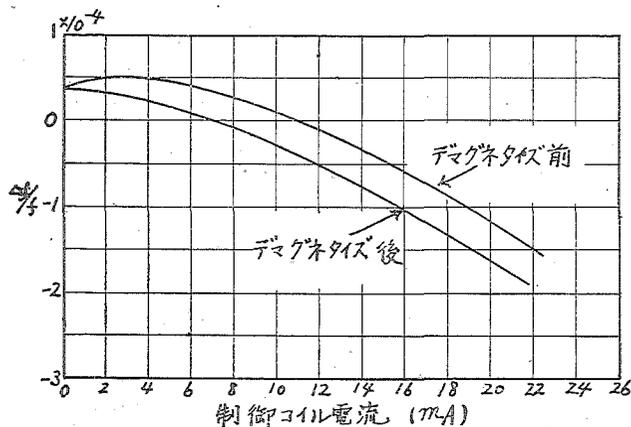
先づ制御コイルに電流を流すと鉄心は磁化せられるが、その漏洩磁束の多くが音片の中央より左右に分れて通るため、音片の両端には制御コイルの磁極と同種の極性が現れ、その



第 7 図

ため中央同極の場合は、第7図(a)に示す如く、発振コイルの外側の磁極と音片の両端の磁極は異種の極となり、発振用コイルの音片と鎖交する磁束の数が増加し、振動振巾が増加すると共に、発振コイルの磁極の影響による所謂音片の負ステフネスの増加が生じ、更に之に制御コイルの影響による負ステフネスの増加とが相加って、周波数は電流増加と共に一様に低下する。然るに中央異極の場合は同図(b)の如く、発振用コイルの外側の磁極と音片端の磁極とが同種の極となり、そのため発振用コイルの音片と鎖交する磁束の数が減少し、音片の振動振巾は減少し、又発振用コイルの影響の減少に基く音片の負ステフネスの減少が生じ、之等が制御コイルの影響による周波数低下を充分打ち消して発振周波数は増加する。然し制御コイルの磁極がある程度強くなると、この磁極の影響による周波数低下の割合が大きくなって、周波数が低下し始める。そのため一旦上昇した周波数が低下し始める事になるのである。

(ハ) 音片が強く磁化せられる場合



第 8 図

3mA) で生ずる。又この現象は音片の両端の磁極の影響のため、制御コイル磁極より音片の中央部の両側に通る磁束の数が不平均となるためと考えれば説明出来る。なお又この現象は音片の取付け向きを反対にしたり、発振用コイルの空隙を変化したりすると消失する事が多い極めて不安定な現象である。若し音片をデマグネタイズすれば完全に消失する。なおこの音片が磁化せられて居ると発振中にその磁化の状態が変化して行き、周波数不安定の原因となるから、音片は取付け前に完全にデマグネタイズする事が望ましい。

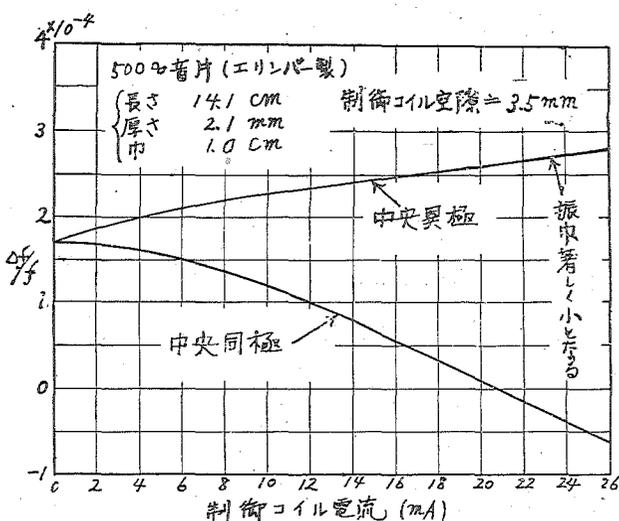
(ニ) 中央異極の場合の周波数変化の他の例

前述の場合には中央異極の場合は制御電流の増加と共に最初周波数が増加して後低下した。然しこのような特性は普遍的のものでなく、音片の寸法、音片の共振尖鋭度等によつて異つた様子をとるものである。例えば第9図は500c エリンパー製長さ14.1cmの音片の場合である。即ち中央同極では電流増加と共に一様に周波数が減少しておるが、中央異極の場合は制御電流増加と共に周波数は上昇する一方で、之と共に振動振巾は著

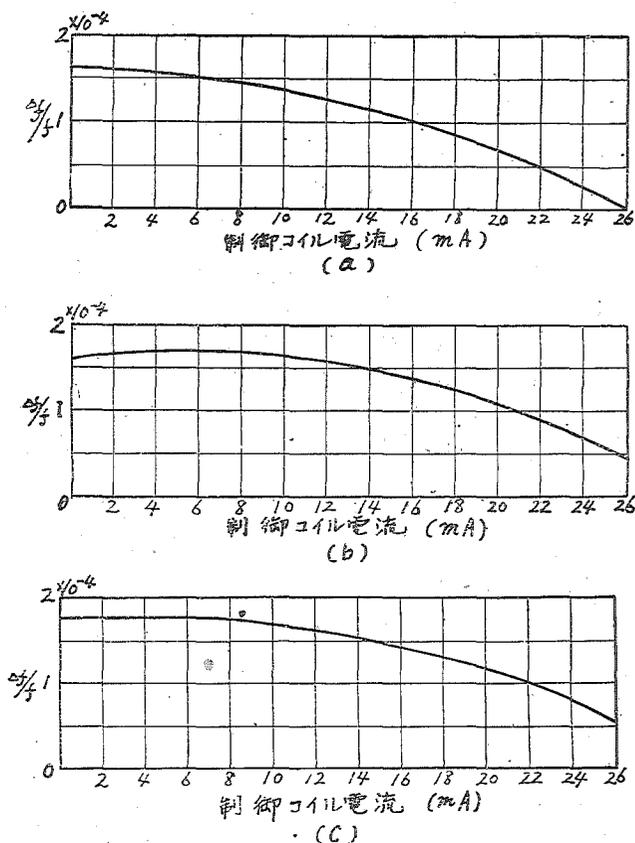
音片が最初より強く磁化を受けて居ると、稀にはあるが中央同極の場合でも第8図の如く最初制御電流の増加と共に周波数が上昇して、中央異極の場合と似た変化をする場合があるから注意を要する。然しこの場合は曲線の山の生ずる点、一般に制御電流の極めて小さい所(例えば1~

しく低下して行き、制御電流 30mA 附近では殆んど振動停止するに至つた。之は音片の長さが比較的長くなつたため制御コイルの影響によつて生ずる音片の負ステフネスの増加に基く周波数低下の効果が小さく、音片の両端の磁化の影響に基く振動振幅減少によつて生ずる周波数上昇の効果が押えられたためと考えられる。

しかるに又長さ49 cm



第 9 図



第 10 図

の 50c エリンバー製音片の場合、中央異極でも電流増加と共に周波数は最初より低下した。此の場合は音片が極端に長いため、制御コイル磁極と音片との鎖交する磁束は、殆んど音片の途中からの漏洩となり、音片の両端に磁極が表れぬため、制御コイルの影響による周波数低下の効果のみが存在し、且つ音片の Q が低いため(約数百)単位電流当り周波数低下の割合が大きくなるものであろう。

以上の如く中央異極の場合は、周波数変化の状態が極めて不定であるため吾々の目的に適しないが、之に対し中央同極は吾々の目的に充分適うものである事が分る。

(b) 非対称配列の場合

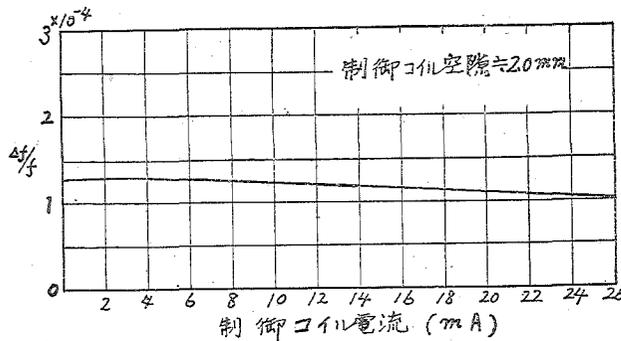
第10図に非対称配列の場合の実測例を示す。この非対称配列は制御コイルの磁極に対し、一方の発振用コイルは中央同極、他の発振用コイルは中央異極の関係となるので、周波数変化の状態もこの両者の性質を現す。即ち各発振コイルの空隙の大きさ、或いは磁極の強さ等の異なる事により、同一音片でもある時は対称配列の中央同極の性質を(第10図(a))又ある時は中央異極の性質を(第10図(b)),更に又ある時はその中間の性質(第10図(c))を示す。

(c) 平行配列と直角平行配列

平行配列の場合は制御コイルの磁極によつて音片の両端に現れる磁極は、発振コイルN, S両極に略々反対の効果を与えるので互に打ち消され、周波数変化の方向は前の非対称配列の場合と同様、個々の場合によつて異り不定である。直角平行配列の場合も同じく周波数変化の方向が明確に現れない。

(2) 二極型制御コイルを用いた場合

第11図に二極型制御コイルを用いた場合の例を示す。二極型制御コイルを用いた場合は、制御コイルによつて生ずる磁束は、その両極間に集中して漏洩磁束は殆んどなく、従つて音片両端の磁化される事もないので、周波数変化は制御コイルの磁極による負ステプネスの増加によるもののみで、電流増加と共に周波数は一樣に低下する。然しその低下の割合は極めて小さいので、特に単位電流当りの周波数変化の少い事を望む場合を除いては吾々の目的には余り適しない。

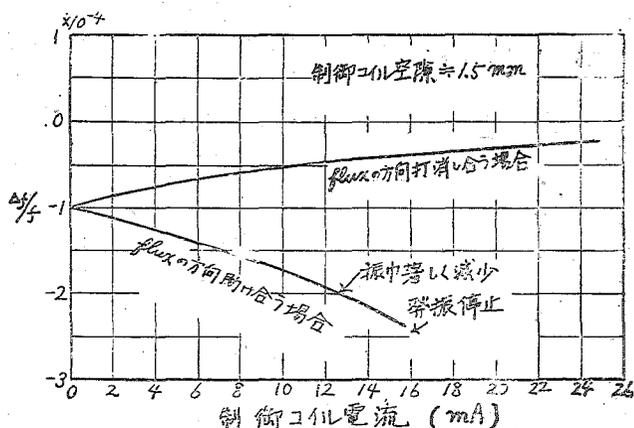


第 11 図

の増加によるもののみで、電流増加と共に周波数は一樣に低下する。然しその低下の割合は極めて小さいので、特に単位電流当りの周波数変化の少い事を望む場合を除いては吾々の目的には余り適しない。

(3) 永久磁石を有する制御コイルの場合

永久磁石つきの制御コイルを用いる事は音片に大きな磁化の影響を与え、音片の共振周波数の低下、Qの低下、周波数温度係数の変化等が生ずるので余り望ましくない。ただこの場合は永久磁石なしの場合の電流を非常に大きく流して、制御コイルの磁極を強めた場合に相当し、電流が小なる場合に生ずる周波数変化の方向の不定性がなくなり、発振用コイル及び制御コイルの磁極の配列に無関係に周波数変化の方向が一樣となる利点がある。然し単極型制御コイルで永久磁石を用いる事は、音片両端に現れる磁化が大きくなり過ぎ、又音片のQが低下し、発振が困難となるため面白くない。然し二極型の場合は単極型のように著しい障害はない。第12図に二極型永久磁石つきの場合の例を示す。電流を永久磁石の磁化の強さを助ける如き方向に流すと、電流増加と共に周波数は



第 12 図

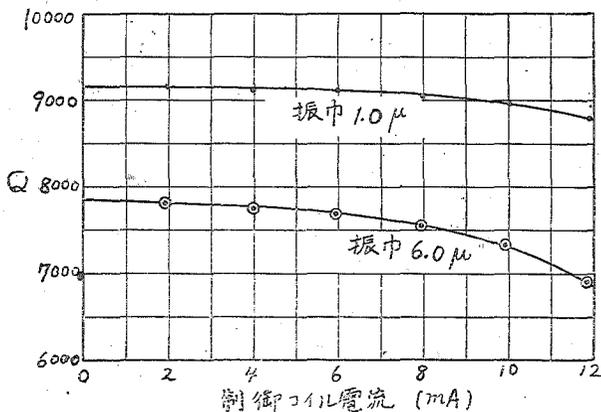
一様に低下するが、之とともに発振振巾も著しく減少して、遂には発振不能となる。逆に永久磁石を打ち消す如き方向に電流を流せば、周波数は一様に増加するが、電流がある程度大きくなると永久磁石は完全に打ち消されて、以後は逆向きに磁化され周波数は低下し始める。

#### 4 対称配列中央同極の場合の制御電流の音片に及ぼす影響等に就いて

以上種々の場合の測定結果より、制御コイルを用いて周波数の微調整を行う方法として、対称配列中央同極の磁極配列法が最も適当と認められた。次に対称配列中央同極の場合、制御コイル電流が音片のQ、周波数温度係数その他に如何なる影響を及ぼすかを調べた。

##### (1) 制御コイル電流に対する共振尖鋭度の変化

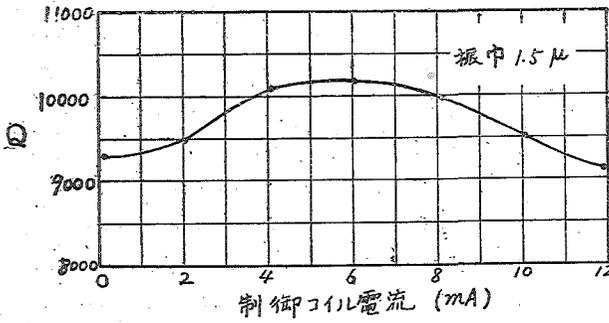
第13図は対称配列中央同極の場合の音片の振動振巾を $1\mu$ 及び $6\mu$ に一定とした場合の、制御コイル電流値に対する共振尖鋭度Qの曲線の一例である。即ち周波数が一様に低下する如き配列法では、制御電流を流すことにより同一振巾に於てQが低下する事が分る。なお比較のため、第14図に非対称配列の電流変化と共に周波数上昇の山を生ずる場合(第10図(b)の場合に相当)の電流対Qの関係を示した。即ちこの場合は制御電流を流すと、同一振動振巾に於いてQが可成り上昇する事が分る。



第 13 図

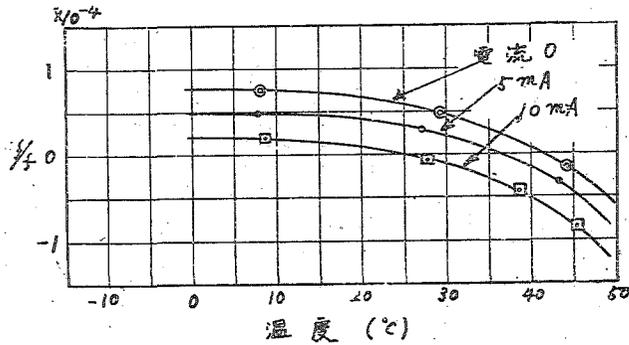
##### (2) 周波数温度係数の変化

制御電流を流すため音片周波数温度係数が著しく変化しては具合が悪い。制御電流を



第 14 図

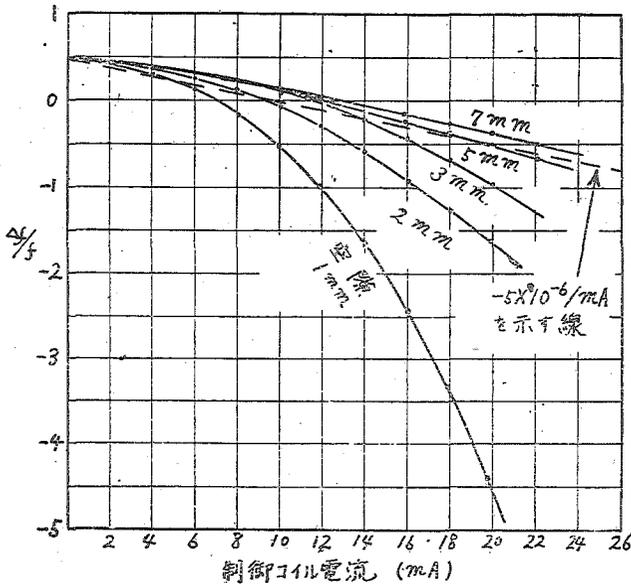
た、電流対周波数変化の曲線を示す。之より分る如く空隙の小さいときは、電流値の小さい間は単位電流当りの周波数変化は比較的小さいが、電流値の大きい所では之が非常に大きくなる。又この空隙の大きさを加減することによつて単位電流当りの周波数変化率を  $\times 10^{-4}$



第 15 図

パラメーターとし温度対周波数変化を実測した一例が第15図である。即ち制御電流の小さい間(10mA程度)は実用上殆んど変化が見られない。

(3) 制御コイルの空隙と周波数変化との関係  
第16図に制御コイルの空隙をパラメーターとし



第 16 図

適當の大きさにすることが出来る。

(4) 磁気ヒステリシスの影響

例えば制御電流の電流零の場合、之にある値の電流を流して、之を再び零に戻した場合、音片の共振周波数は元へ戻らない、即ち磁気ヒステリシスの影響が生ずる事がある。此の影響は制御電流の小さい間は問題にならないが、制御電流を大きく流した場合は無視出来なくなる。それ故制御電流を

流す範囲は出来るだけ小さい程よい。若し誤つて制御コイルに大きな電流を流した場合

は、制御電流を適当値に戻しても、周波数は変つてしまうから充分注意を要する。又音片が最初より磁化を受けて居ると、なお更このヒステリシスの影響が大きく利く場合が多いから此の点も注意を要する。

この磁気ヒステリシスは音片の振動中次第に消失するが、之が完全に消失する時間は加えられた磁気の強さに関係し数分乃至数日要する。よつて誤つて余りに大きな磁化を与えた場合は之をデマグネタイズするのがよい。

#### (5) 制御電流値と電源に就いて

制御電流を流して周波数調節を行う場合は、出来るだけ他の周波数調節装置によつて大体の調節を行い、制御電流による調節範囲は極めて微調整範囲に限るべきである。即ち制御電流はせいぜい 5~10mA 以下におさえる事が望ましい。之は一つには磁気ヒステリシスの影響を防ぐことと、一つには若し制御電流を流すべき電源電圧が変動した場合の、制御電流の変動による周波数変動を防ぐためである。例えば 1mA 当りの周波数変化率が  $-2 \times 10^{-6}$  であつた場合、今 5mA 流して調節をとれば、電源電圧が 5% 変動したとすると、そのため生ずる周波数変動は  $5 \times 10^{-7}$  であり、又若し 10mA で調節してあれば同じく 5% の電圧の変動で  $1 \times 10^{-6}$  の周波数変動を生ずる。よつて周波数変動  $1 \times 10^{-7}$  以下を望む場合は若し 5mA で調節したら電源電圧の変動は 1% 以下におさえねばならぬ事となる。即ち要求せられる周波数安定度によつて制御コイルとの磁極との空隙、流すべき電流範囲、或いは許容すべき電源電圧の変動率がきまつてくる。

## 5 結 言

以上の測定その他より次の如き結論が得られる。

(1) 制御電流によつて周波数の微調整を行う場合、対称配列中央同極を用いる事が最も適當である。

(2) 音片特性に及ぼす影響の少いために永久磁石のない制御コイルを用いるのがよい。

(3) 制御電流を余り大きく流すことは磁気ヒステリシスの影響が生ずるので危険である。

(4) 制御電流の変動のため生ずる発振周波数の安定度の低下の起らぬよう、制御コイル用の電源は十分電圧安定の良いものを用いねばならぬ。又制御電流はこの安定度の面より出来るだけ小さい範囲で用いるべきである。

(5) 音片が最初より磁化せられて居ると、種々の悪影響が生ずるから、取付け前に十分デマグネタイズすべきである。

本研究に対し御指導戴いた東北大学永井教授並びに実験に協力された清水正博君に深謝する。

## 文 献

- (1) 永井、木村：電気三学会東京支部連合大会要旨（昭24—10）
- (2) 木村：信州大学工学部研究報告，第一巻，第一号（昭26—4）

- (3) 木村：電気三学会第24回連合大会講演要旨（昭25—4）  
(4) 木村：信州大学紀要，No.2（1952）

## EFFECTS OF FREQUENCY CONTROL COIL UPON THE TUNING BAR

BY

Mizuo KIMURA\*

The main frequency adjusting methods of the tuning bar oscillator are classified into amplitude control method, phase control method, and stiffness control method. As one of the stiffness control method, the frequency of the tuning bar can be adjusted by changing the control current which flows the control coil attached close by the tuning bar. However, it is great mistake to expect, as is generally supposed, that when control current increases, the frequency decreases affected by the magnetization of control coil. The truth is that, in certain condition the frequency increases, while in other condition decreases. This phenomena is due to mainly the method of arrangement of polarities of magnetic coils and control coil. The most proper arrangement of the polarities of the coils for the purpose to change the frequency in one direction with increasing control current, is the one which is called "symmetrical arrangement center equal polarity".

In this paper, the state of frequency change of the tuning bar due to the method of arrangement of polarities of the coils, and the effects upon the tuning bar which is produced by the control coil are described.

---

\* Assistant Professor of Electrical Communication Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University.