

## ビート饋還制御周波数通降装置

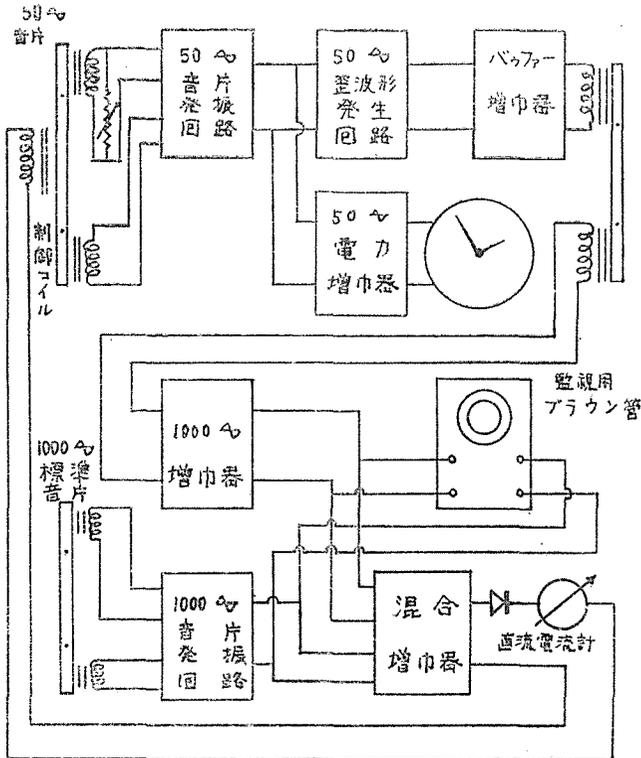
木 村 瑞 雄

## 1. 緒 言

例えば市販の 50 サイクル同期電気時計を高い精度を以てて運転したい場合、正確且つ安定な 50 サイクルを得ることが必要であるが、これを音片（又は音叉）を用いて得ようとすれば先ず下記の如き方法が考えられる。

- (1) 50 サイクル音片より直接 50 サイクルを得る方法。
- (2) 50 サイクルだけ発振周波数の隔つた二台の音片発振器より 50 サイクルのビート周波数を取り出す方法。
- (3) 1000 サイクル標準音片発振器より適当な周波数通降器（例えばマルチバイブレータの如き）を用いて 50 サイクルまで通降する方法。

さて(1)の方法は 50 サイクル音片では共振尖鋭度  $Q$  の低くなることと支持の不安定の増加等のため高度の安定度を得ることが困難となる。(2)の方法はビート周波数の安定度



第 1 図

が夫々の発振器の安定度より約一桁程度、或いはそれ以上低下するという根本的欠点の外に周波数温度係数の調節も又厄介である。(3)の方法によれば最も正確に 50 サイクルが得られるが、一方同期の問題があり、電源電圧の急激な変動又は真空管特性の変化等のため、同期の外れることがしばしば起り特に長期運転の場合困難となる。

以上の如き点をかんでみてここに L. Rohde u R. Leonhardt 両氏の論文<sup>(1)</sup>に示唆を受けビート饋還制御周波数通降装置なる方式

により、1000サイクル標準周波数を正確にその 20分の1たる 50サイクルに通降し、しかも長期間安定に動作せしめることができた。

## 2. 原 理

第1図は本装置の動作原理を示す系統図である。50サイクル音片発振器より得た出力を歪ませて、これを 1000サイクル選出音片に加える。これより取出された 1000サイクルを増幅して標準 1000サイクル音片発振器の出力とともに混合増幅器に入れ、これより得たビート周波出力を整流して、この整流電流を制御コイルに流す。

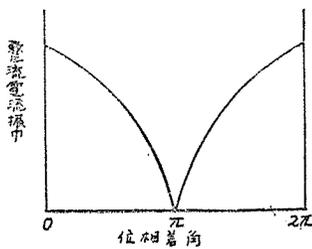
制御コイルに電流が流れるとこれが帯磁して、そのため 50サイクル音片の周波数が変り、電流が増加すれば、その周波数は低下する。若し 50サイクル音片より得た 1000サイクルが標準 1000サイクルより僅かに高いとすると、その制御コイルを流れる電流が増加するに従つて、50サイクル音片の周波数が次第に下り、ある所で 50サイクルが正確に標準 1000サイクルの 20分の1となり、二つの 1000サイクルが完全に同期する。両 1000サイクルが一致した場合の整流電流の振幅は両電流の位相差によつてきまる。

今 50サイクル音片より得た 1000サイクル及び標準 1000サイクルの電圧を夫々  $E_1$  及び  $E_2$  とし、又両者の位相差を  $\theta$ 、角周波数を  $\omega$  とすれば制御電圧  $e$  は次の如くなる。

$$e = E_1 \sin(\omega t + \theta) + E_2 \sin \omega t$$

若し  $E_1 = E_2 = E$  なら

$$e = 2E \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin\left(\omega t + \frac{\theta}{2}\right)$$



第 2 図

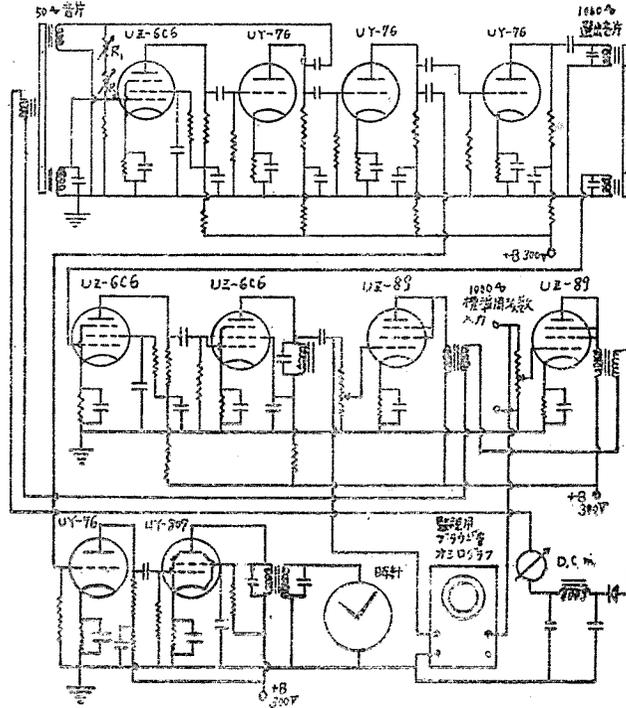
この振巾は  $\theta=0$  及び  $2\pi$  で最大、 $\theta=\pi$  で零となる。即ち整流電流の  $\theta$  に対する関係は第2図の如くなる。

同期を保たせるためには  $\pi < \theta < 2\pi$  なる如く調節する。この間に調節すれば 50サイクル音片の周波数が上り位相が進み出すと整流電流が増加して周波数の上昇を妨げる。又逆に周波数が下り位相がおくれ出すと整流電流が減少して、周波数の降下を妨げる。かくして 50サイクル音片は自動的に標準 1000サイクルの 20分の1に

同期せしめられる。最も良好な調節は整流電流の最大値の 2分の1附近であるから、大体  $\theta$  を  $4\pi/3$  附近に調節すればよい。位相差を 0 と  $\pi$  との間に調節することは不安定であるので採用しないが、実際問題としても 0 と  $\pi$  との間に調節することはできない。この位相調節並びに 50サイクル音片の周波数調節は 50サイクル音片の駆動コイルに並列に入れた可変抵抗を加減することその他の方法によつて行われる。又この位相調節が適當であるか否かを見るには、両 1000サイクルのリサージュ 図形を監視用ブラウン管上に表わすか、又は制御コイルに直列に挿入した直流電流計の電流値を見れば容易にわかり、特にリサージュ 図形で見るのが都合良い。

3. 実験例

50サイクル同期電気時計駆動用として試作した装置に就いての実験データを掲げる。なお本装置の全回路を第3図に示す。



第 3 図

(1) 50サイクル音片

材料 Elinvar 系  
 Ni 36%  
 Cr 10%  
 Fe balance

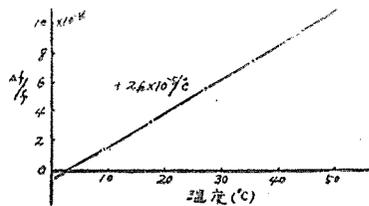
寸法 { 長さ  $l \approx 48.0$  cm  
 厚さ  $b \approx 2.5$  mm  
 幅  $d \approx 1.0$  cm

共振尖鋭度  $Q \approx 950$

(使用振幅について)

周波数温度係数

$\beta \approx +2.6 \times 10^{-5} / \text{C}^\circ$  (第4図)



第 4 図

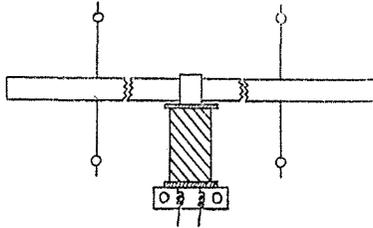
50サイクル音片は標準音片とともに恒温槽中に封入してある。

(2) 制御コイル

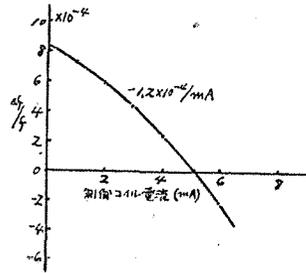
制御コイルには第5図に示す如きBS#35エナメル線 6500ターン、直流抵抗 700Ω、自己インダクタンス 1.75Hの有り合せの平型継電器のコイルを利用した。音片に対する取付け位置は同図に示す如く音片の中央部に取付け、音片との空隙は約1mmである。又制御コイルを流れる電流値に対する 50サイクル音片の周波数変化の関係は第6図の如くであ

る。第6図より分る如く電流 1mA 当りの周波数変化量は約  $1.2 \times 10^{-4}$  ( $\Delta f/f$ ) である。本装置に於て整流電流は 8.0mA まで変化するのでその自動同期制御範囲は  $\pm 4.8 \times 10^{-4}$  ( $\Delta f/f$ ) であつて、50サイクルに対しては周波数で次の如くなる。

$$50 \text{ サイクル} \times (\pm 4.8 \times 10^{-4}) = \pm 0.024 \text{ サイクル}$$



第 5 図



第 6 図

この自動制御範囲は制御コイルを流れる電流の変化量、制御コイルの構造、音片の  $Q$  の大小、音片の材料、或いは空隙の大小等により異なるものである。自動制御範囲は上述の如く可成り大きいので、50サイクル音片発振器の周波数安定度はそれほど高度のものを要求しなくともよく、又周波数温度係数も小さいにこしたことはないが  $10^{-5}/C^{\circ}$  程度あれば十分である。

(3) 1000サイクル選出音片

材料 Steel-Invar 接着型

$$\text{寸法} \begin{cases} l \approx 9.5 \text{ cm} \\ b \approx 2.0 \text{ mm} \\ d \approx 1.0 \text{ cm} \end{cases} \quad Q \approx 7600 \text{ (使用振幅附近で)}$$

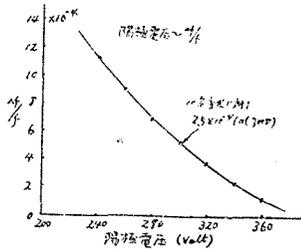
通過周波数幅は約 1 サイクルで入力電圧  $v_1$  と出力電圧  $v_2$  との比  $v_2/v_1$  は共振の最大振幅のところでは約 0.5 である。

選出音片の  $Q$  は余り高過ぎると通過幅がせまくなり、又  $Q$  が余りに低いと通過幅は広くなるが、 $v_2/v_1$  が減少し又高次振動及び音片を質量とする所の支持針の振動等が強く入つて来るので不適當である。選出音片も恒温槽中に封入すれば最も宜しいが、必ずしも恒温槽中に封入しなくとも実用上差支えない。

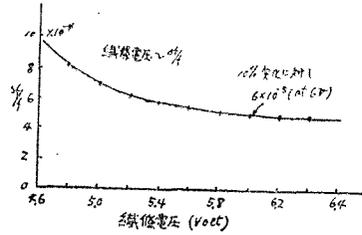
(4) 50サイクル音片発振器

本発振器は 50サイクル音片の  $Q$  の低いためと又電源電圧の変動に対する特別の考慮を拂つて居らぬので電源電圧変化に対する周波数変化は可成り大きい。第7図及び第8図に陽極電圧及び織條電圧の変化に対する周波数変化の曲線を示す。例えば陽極電圧変化による影響が大きく、300V を動作電圧とした場合、 $\pm 20\%$  以上変化すれば、自動制御範囲を逸脱する。又エリミネータを用いて交流電源より供給する場合には、100V を動作電圧として  $\pm 10\%$  の変化を許容する。かくの如く本回路では電源電圧許容範囲が多少せまいので、電源部に定電圧装置を入れてある。又駆動コイルに並列に入れた可変抵抗を加減する事に

より約  $3 \times 10^{-3} \Delta f / f$  変化できる。



第 7 図

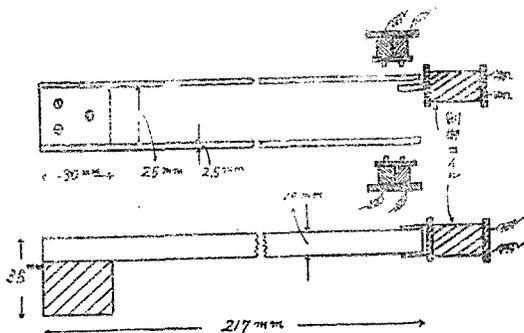


第 8 図

(5) 歪波形発生器, 1000サイクル増幅器及び混合器

歪波形発生器としてはC級増巾器を用い次段増巾管の結合コンデンサ、グリッドリーク抵抗の値を適当に選び充分高調波に富んだ波形にした。又歪波形発生器, 1000サイクル増巾器及び混合器に至る回路に於て、電源電圧の変化に対する影響を調べると、陽極電圧に就いては動作時の電圧は 300V であるが 100V 以上なら十分安定に動作する。又織條電圧に就いては 6.5V から 4V まで安定に動作する。エリミネータで供給する場合は動作電圧交流 100V として約 50V まで安定に動作する。電圧が低くなるに従つて混合器への入力電圧の減少及び混合器の出力の減少のため整流電流が減少し、両 1000 サイクルの位相が変化するが、これはそれほど著しくなく、電圧低下による不安定の原因は、主として 1000 サイクル選出音片に対する入力減少に基く。

以上の如き装置により、標準 1000 サイクルより正確にその 20分の1たる 50 サイクルに通降して極めて安定に動作する。本装置に於てはマルチバイブレータの如く瞬間的な電源電圧の変化による同期外れとか真空管特性の変化に基く同期外れがない。特に都合のよいことはブラウン管に表わしたりサジュ図形を時々監視することによつて、両 1000 サイクルの位相推移を知ることができることである。これによつて 50 サイクル音片発振器の周波数調節装置により常に最も適当な位相差を保つように調節するならば、先ず絶対的に同期の外れる心配はない。



第 9 図

として音片を用いている。

なお 50 サイクル音片は長さが極めて長くなり恒温槽に封入することが厄介なのでこれを音叉でおき代えれば長さが約半減でき、又片持棒の場合の如く Q が著しく低下することがないという利点がある。われわれのところで使用した 50 サイクル音叉の一例を第 9 図に示す。しかし 50 サイクル音片の方が動作安定なので現在は主

#### 4. 結 言

以上述べた如き装置により 50サイクル同期時計を運転して非常に好結果を得ている。なお本報告に於ては一例として、1000 サイクルより 50 サイクルに逡降する場合について述べたが、勿論一般の周波数逡降装置として使用できるものであり、動作の安定確実なこと及び一挙に数十分の一に逡降出来る特長を有し、周波数逡降方式として優れたものと考えられるので、こゝにビート饋還制御周波数逡降装置と題して御報告致した次第である。

最後に御指導戴いた東北大学永井教授並びに実験その他に従事された清水正博君に深謝する。

本研究は文部省科学研究費の補助並びに本学部民生科学研究所の援助を受けて行つたものである。

#### 文 献

- (1) L. Rohde u R. Leonhardt : Quarzuhr u. Normalfrequenz-Generator, E. N. T. 17, 117 (1940)