

パルス電流による地震計起動機の調速装置について*

小 関 桂 三 郎**

矢 崎 敬 三**

550.34 : 534.647

On a New Regulating Method of the Recording Drum Rotation of the Seismograph by the Pulsating Current

K. Koseki and K. Yazaki

(Weather Instrument Plant)

A new method for the speed regulation of the recording drum rotation of the seismograph was experimented. The regulation mechanism is composed of the 1 sec period conical pendulum governor with an iron rotor and the electro-magnet which is excited every second by the pulsating current. The pulsating current is discharged from the RC (resistance and capacitance) circuit by the relay which is closed every second by the precise chronometre. The pulse enough to regulate the pendulum is cut in a short time not to disturb any more the free rotation of the pendulum as it is likely to occur when the pulse is longer. The circuit diagram, discharged voltage and current, torque variation in relation with the position of rotor and magnet, torque variation in relation with the combination of the position and the discharged current are shown in Fig. 1, 8, 9a and 10^a respectively. The successful result was attained as shown in Fig. 3, 4, 5, and 6 a.

§ 1. 緒 言

地震観測の精度を向上させるための一環であるドラム回転速度の一樣さを保つ方法としては、今までいろいろな方法が試みられてきた。交流周波数を一定に保って、ワーレンモーターを用いる方法があり、正確な周波数を保つ交流装置として音叉、弦振動、水晶振動子などを用いる方法が試みられているが、これらの装置は経費がかさみ、あるいは取扱、保守などの点でルーチン観測用として広く実施するには困難である。構造も簡単で高い精度の得られる方法としては、精密時計を利用し、その精度をそのまま起動機に移しうるような方法が考えられる。その一案として考えられるのがパルス電流による調速装置で、時計の秒接点を利用し、1秒ごとにパルス電流を送り電磁石を働かせ、これを1秒周期の円錐振り子式調速機の回転軸と磁氣的に結合して、その回転を制御する方法である。

* Received Aug. 22, 1957.

** 気象測器製作所

この方法はさきにウィーヘルト式地震計起動機について試みられ、その第1回試作品が当所に保管されてあったので、これに筆者の一人、小関の発案により、(1) 円錐振子の質量を増し、摩擦板を除いて自由振子とし、(2) パルス電流の発生方法に RC 回路を用いて、パルスの時間幅を狭くし(3) ローターの幅を固定電磁石極の幅より広くして規正を円滑にする、などの改良を行った結果、簡単な装置で容易に高い精度が得られ、十分に目的を達することができた。

§ 2. 構造および機能

この装置の総合回路は Fig. 1 に示すとおりで、その主な要素は、電磁石、調速機側回転軟鉄片(ローター)、制御用時計、接点リレーおよびパルス発生用 RC 回路である。

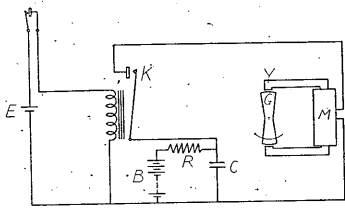


Fig. 1. Circuit diagram

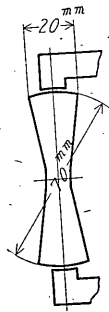


Fig. 2.
Iron rotor

電磁石は断面積 1cm^2 のチャコール鉄心に 0.37mm のエナメル銅線を約 $5,000$ 回巻いたもので、試作起動機のもをそのまま用いた。

回転軟鉄片は厚さ 3mm のチャコール板で作ったもので Fig. 2 のような形にし、円錐振子駆動軸に固定される。

パルス発生用 RC 回路は直流高圧電池 B 、高抵抗 R 、油入蓄電器 C から成り、常時、高抵抗 R を通じて微弱電流をもって蓄電器 C を充電し、その電荷をリレーが働いたとき、瞬間的に電磁石回路にパルス大電流を供給する。

T は時計の秒接点で、接点リレー K と 2V の電池 E に直列に結線されている。蓄電器 C は高圧電池 B より高抵抗 R を通じて常時充電され、また、接点 K (常時開放) を経て電磁石線輪 M と閉回路を作っている。

回転軟鉄片 G が 1 秒周期で円錐振子とともに矢印の方向に回転しているとき、時計の秒接点は正確な 1 秒間隔で断続するので、 K が動作し、その接点が同様に開閉し、 C から M に向かって毎秒パルス電流が送り込まれ、したがって、電磁石はパルス磁界を発生して、 G を引き込み、あるいは引き戻し、毎秒、定刻には常に双方の中心を一致させるように働き、遅速を調整する。

いま、 G が Y の極中心より僅かに遅れた位置にあるとき規正パルスがはいると、 Y に生ずる磁界により G が吸引されておくれを補正する。逆に G が進んだ場合には、これを引き戻し、 1 秒に 1 回ずつ G 、したがって円錐振子の回転が規正される。しかし、規正パルスには時間幅があるので、その幅が広すぎると、 G が Y の極中心より前で増速されても、 Y の極中心を過ぎてなおパルスが働いており、かえって引戻し作用を受けてわざわざ周期を乱すことになる。それを避けるため、

この実験ではパルスの時間幅を狭くし, かつ, 回転軟鉄片の幅を Y の極幅より広くした.

起動機の駆動には, 設置場所のつごうから, 4 kg の重錘を 2 本づりにして, 重力を用いた. し
たがって, 直接の駆動力は 2 kg-wt で, ローター軸では $1630\text{gr-cm}^2/\text{s}^2$ のトルクに相当する.

なお, 制御用時計にはルロア時計を, 刻時用時計にはクロノメーターを用いた. パルスの時間幅
は実測したところ 1/100 秒で接点 K が開かれる.

§ 3. 実験結果

実験によって得られた記象紙の一例を Fig. 3, Fig. 4 および Fig. 5
に示す. Fig. 3 はパルスによって, 調速を行った記象紙全体を, Fig. 4
はその一部を拡大して示したものである. Fig. 5 ははじめパルスをいれ
ないで駆動し, 途中からパルスをい
れた場合で, パルスによって, 短時
間に極めて良く調速されていること
が明らかである.

Fig. 3 の記象紙から毎分の長さを
読みとり, これからドラムの周期の
誤差を除いたものを Fig. 6 a に示
す. これからみると, 誤差は常に 1
分 59.75mm の長さに対し $\pm 0.2\text{mm}$
の幅のなかに収まっている. Fig. 6b
は他の重力駆動のカラクリ式ガバナー
調速による記象紙からの 1 例,
Fig. 6c はゼンマイ駆動で同じカラ
クリ式ガバナー調速によるもの 1
例である. b, c についてはドラムか
らの誤差などが除いていないから, 直接三者を比較することはできないが, 参考として並べてみた.

なお, B 電池の電圧を 270V に高め, R を $250\text{K}\Omega$ にし, パルスを強めて, 駆動力を 4 kg の重錘
から $\pm 2\text{kg}$ 変えてトルク変動として調速させたが, この幅のトルク変動は調速することができた.

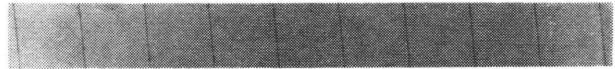


Fig. 3

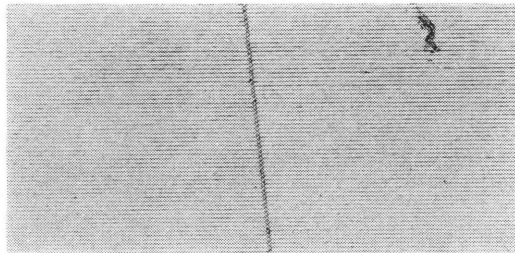


Fig. 4

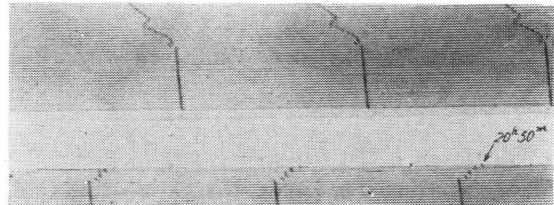


Fig. 5

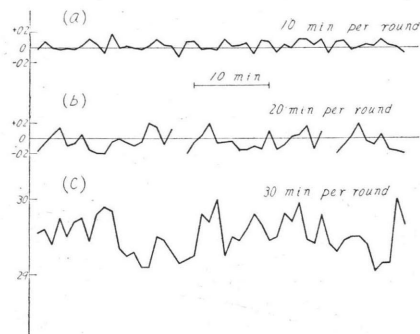


Fig. 6. Reading of the records

§ 4. 実験の検討

i) Fig. 1 の総合回路中、放電回路において、 r_1, L_1 をコイルの抵抗およびインダクタンス、 r_2, l_2 を鉄損失の等価抵抗ならびに等価インダクタンスとする。実測では $r_1=70\Omega, L=L_1+l_2=1.24$ 2H である。この回路に 50V、100V の電源から、電圧を変えて電流を測定した結果は Fig. 7 のごとくで、この関係から

$$I = \frac{E}{\sqrt{(r_1+r_2)^2 + (2\pi fL)^2}}$$

よって、 $r_1+r_2=1740\Omega$ 、したがって $r_2=1670\Omega$ である。鉄心がチャコール鉄のブロックであるため鉄損失がきわめて大きい値になったものと考えられるので、珪素鋼板等を積層することによって、この点は改善することができよう。

さきに得られた $R=r_1+r_2=1740\Omega$ の値から、

$$R^2 - 4 \frac{L}{C} = 1.925 \times 10^6$$

となるから、時計の接点が閉じて放電が起ったときの電圧 e 、電流 i の変化は次式で表わされ、

$$e = \frac{2\sqrt{\frac{L}{C}}}{\sqrt{R^2 - 4 \frac{L}{C}}} e_c \varepsilon^{-\alpha t} \sinh(\gamma t + \varphi),$$

$$i = -\frac{2e_c}{\sqrt{R^2 - 4 \frac{L}{C}}} \varepsilon^{-\alpha t} \sinh \gamma t,$$

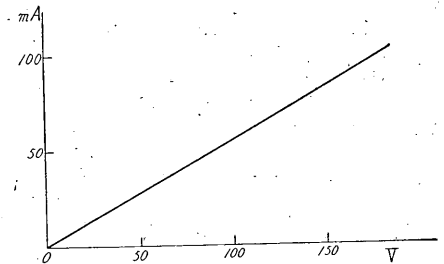


Fig. 7: Exciting voltage and current (50V)

$$\alpha = \frac{R}{2L}, \quad \gamma = \frac{1}{2L} \sqrt{R^2 - 4 \frac{L}{C}},$$

$$\coth \varphi = \frac{\alpha}{\gamma}, \quad \varepsilon \text{ は自然対数の底,}$$

e_c 放電開始時の電圧.

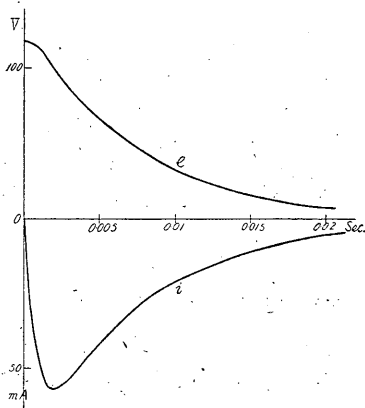


Fig. 8. Discharged voltage and current

その模様は Fig. 8 のようになり、放電が始まって 0.00196 秒後に電流は最大値 57mA に達し、1/100 秒後には 20.6 mA に、2/100 秒後には更に小さい値に落ちる。

ii) 次に交流定常電流を流して、電磁石がローターに作用するトルクを測定した結果を Fig. 9 に示す。ローターと極との相対位置とトルクとの関係は (a) 図のごとくで、電圧に伴う最大トルクの変化は (b) 図のごとくになる。(a) 図から、ローターが極と重なる位置をはずれるとトルクは急

激に減少し、ほとんどすぐに制御がきかなくなるから、パルスによって生ずるトルクが常に有効であるためには振子の固有周期は

$$2\pi R \pm \{(\text{ローターの幅}) \times 2 + (\text{ステーターの幅})\} / 2\pi R$$

の間になければならない。

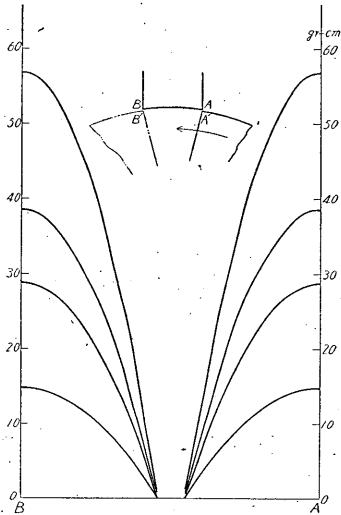


Fig. 9 a. Torque variation in relation to the rotation of rotor

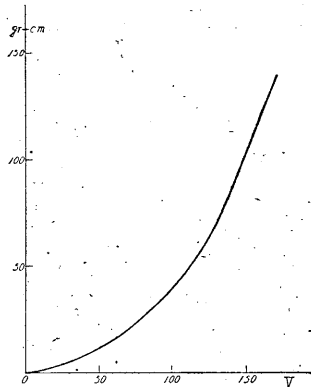


Fig. 9 b. Relation between discharged voltage and induced max. torque

(a) 図からローターとステーターとの相対位置によるトルク変動は、最大トルクを Q_0 として、

$$Q = Q_0(1 - \alpha' t^2), \quad \alpha' = 2.35 \times 10^3$$

で表わされる。放電回路が閉じて、電流が Fig. 8 のように変化する場合には、トルク変動は Qi に従って変化する。ローターが放電開始時刻から t_0 秒遅れて A-A' の関係位置に達したとすると、A-A' の位置に来た時を時間の原点として、吸引トルクの変動は

$$Q = \frac{\varepsilon^{-\alpha(t+t_0)} \sinh \gamma(t+t_0)}{\varepsilon^{-\alpha \times 0.00196} \sinh 0.00196\gamma} Q_0(1 - \alpha' t^2)$$

で表わされる。

放電開始 0.00196 秒後に A-A' の状態が生ずると、このとき、吸引トルクは最大となり $54 \times 980 \text{ gr-cm}^2/\text{s}^2$ である。

円錐振子の慣性モーメントを I 、質量を M 、振子の振りさおの長さを l 、角速度を ω とすると。

$$I \frac{d\omega}{dt} = Q = \frac{\varepsilon^{-\alpha(t+t_0)} \sinh \gamma(t+t_0)}{\varepsilon^{-0.00196\alpha} \sinh 0.00196\gamma} Q_0(1 - \alpha' t^2)$$

また、
$$I = M \left(l^2 - \frac{g^2}{\omega^4} \right)$$

であるから,

$$M\left(l^2 - \frac{g^2}{\omega^4}\right) \frac{d\omega}{dt} = Q$$

$$M\left(l^2\omega + \frac{g^2}{3\omega^3}\right) = \int Q dt + C$$

$\omega = \omega_0 + \Delta\omega$ とし, かつ $\Delta\omega$ は ω_0 に比べて小さいときには, $t=0$ で $\omega = \omega_0$ から

$$M\left(l^2 - \frac{g^2}{\omega^4}\right) \Delta\omega = I_t - I_0$$

$$I_t = \int \frac{\varepsilon^{-\alpha(t+\omega_0)} \sinh \gamma(t+t_0)}{\varepsilon^{-0.00196\alpha} \sinh 0.00196\gamma} Q_0 (1 - \alpha' t^2) dt$$

である.

振子の固有角速度を ω_0 とすると, A-A' の位置で振子が受ける加速度は最大で, 実験の場合の値を入れると,

$$M = 280 \text{ gr}, \quad T_0 = 0.993 \text{ sec.}$$

$$\text{したがって, } \omega_0 = 6.324 \text{ rad/s}, \quad l = 24.85 \text{ cm}$$

から

$$\frac{d\omega}{dt} = 10.5 \text{ rad/s}^2$$

である.

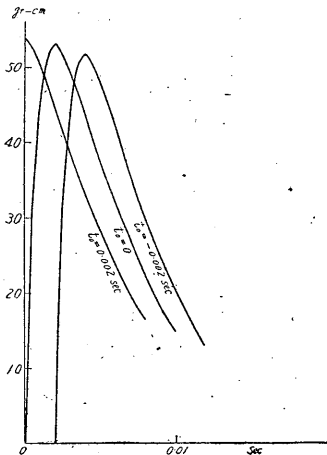


Fig. 10. Torque variation in relation to the rotation of rotor and the discharged current (equivalent to the variation of angular acceleration)

$t_0 = 0$, $t = 0 \sim 1/100$ 秒の間の速度の増加を求めると,

$$\Delta\omega = 0.0621 \text{ rad/sec}$$

となる.

$t_0 = 0$, $t_0 = 0.002$ 秒, $t_0 = -0.002$ 秒などについてトルク-時間の変化を表したものが Fig. 10 で, $t_0 = 0$ の場合が最大加速度が得られ, その値が 0.0621 rad/sec である. 振子の標準角速度は $2\pi \text{ rad/sec}$ であるから上記の $\Delta\omega$ の増減は振子の周期の約 $1/100$ の増減に相当する. この場合には 0.0621 rad/s という値は最大値であり, かつ, $1/100$ 秒後には余分のトルクの働きはなくなるから, 外部からのトルク変動を考えなくても振子の固有周期は $1 \pm 1/100$ 秒以内にあらかじめ調整されていないとパルスによる调速は不可能である. もちろん, この $1/100$ 秒という幅は, トルクはローター, スターターの材質,

コイルの特性によって変り、Fig. 9 b のように電圧によって変る値であるから、それに応じて変えるべき幅である。

iii) つぎに外部からのトルク変動、すなわち、歯車のかみ合い、ドラムの送りなどの不整、あるいは動力が重力でない場合の変動によるトルク変動について考えてみるに、標準荷重 4 kg から ±2 kg 荷重と変化させ、270V の電源電圧で調速してみたが、この範囲のトルク変化はほぼ調速することができた。この場合、放電最大電圧は 170V、電流の最大値は 87mA、その様子は Fig. 8 と同様で、このパルスによって生ずる吸引トルクは A-A' 位置で 140gr-cm、 $t_0 = 0$ の場合、 $t = 0 \sim 1/100$ 秒で角速度の変化は $\pm 0.16 \text{ rad/s}$ となる。また、上記荷重の変化はローター軸では 816gr-cm²/s² のトルク変化に相当し、一様にこのトルク変化が加はると、

$$\Delta\omega = \frac{\pm 816}{M(l^2 - g^2/\omega_0^4)} = \pm 0.16 \text{ rad/s}$$

である。

トルクが標準より 50% も変動すると、パルスが働くことによって、1/100 秒の短時間内に 0.16 rad すなわち、2~3/100 秒に相当する急激な速度変化が生ずる。しかし、一般に毎分のマークから外挿あるいは内挿する読みとりの場合には、まず毎分の長さの精度が問題にされ、その点では Fig. 3, 4, 5 から十分であり、かつ、毎秒間の精度を問題にする場合にも、1分 60 mm の長さでは 1/10 秒は 0.1 mm に相当し 2~3/100 秒の伸縮は 2~3/100 mm に相当するから現在の読みとり方法ではまず看過しえよう。

§ 5. 結 語

以上に述べたように、重力駆動式起動機については良好な成績が得られ、±50%のトルク変動を調速することもできるのが明かになったので、この方法をゼンマイ駆動式起動機に適用すべく準備中である。なお、鉄心に珪素鋼板を積層して使うなど磁性材料を選択して、電源電圧をもっと下げるべく考えている。また、前節終りに述べた速度の急激な変化も、パルス間隔を短かくすることで小さくすることが可能で、その方法についても一応の成案を得ているが、それについては後にゆずることとする。

なお、図面の写図には当所の中村嬢をわずらわした。追記して厚く謝意を表する。