

通信機器の運動解析用シャドウグラフ

A Shadowgraph for Mechanical Motion Analysis of Communication Instruments

北 条 徳*
Toku Hojo

内 容 梗 概

高速度で運動する物体の運動状態を記録する方法の一つに光源とレンズの中間に運動体を置いてその影をスリットの背後で定速移動する感光膜上に結ばせる流し写真法またはシャドウグラフ法と呼ばれるものがある。本報告の新しいシャドウグラフは日立製作所で通信機器の運動解析に使っている研究装置であつて、最高記録速度 12 m/s, 分解能 4.2 μ s, 変位倍率 50 倍の記録性能をもっており、現象同期制御シャッター、光量変調タイムマーカと自蔵の電気現象記録用単線型電磁オシログラフによつて、今までほとんど知られていなかったクロスパー交換機用各種リレーを初めそのほかの通信機器の数千分の一秒といった極微の過渡運動も一目でわかるような鮮明なシャドウグラムが得られ、運動解析の有力な武器となつている。ここにはその概要とこれによつて得られたリレーそのほかの二、三のシャドウグラムについて簡単に述べてある。

〔I〕 緒 言

電気通信装置には微少な電流で鋭敏な運動をする多種多様な継電器、高速の自動選択動作をする自動電話交換スイッチをはじめ電話機の電鈴、ダイヤルあるいは移動無線機の電源用パイプレータなどのように、非常に複雑微妙でしかも正確な動作をする各種の機器が使われている。これらの機器の動作がうまくいくかどうかは通信装置全体の信頼性と寿命を支配する決定的要素である。したがつてそれらの動作特性を詳細に解析して、その欠陥を改善除去することによつて、はじめてすぐれた通信装置を製造できることはいふまでもない。

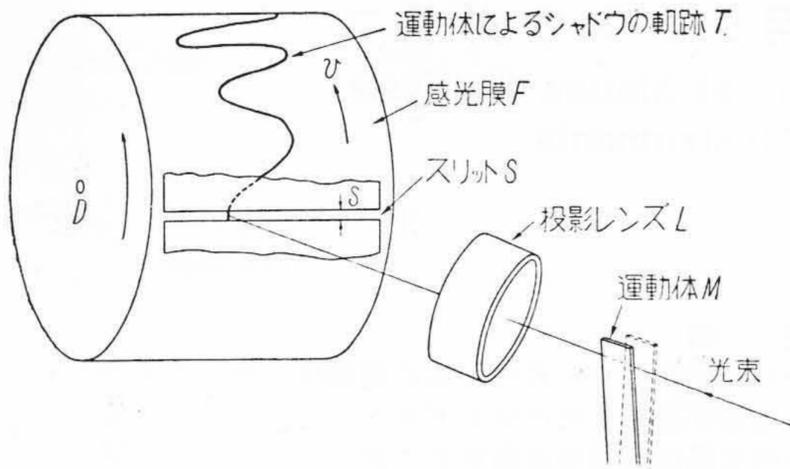
高速度で運動する物体の運動状態を観測するには種々の方法が考えられている。たとえば運動体の変位を

- (i) 静電容量あるいはインダクタンスの変化に変えて電氣的に観測する方法⁽¹⁾
- (ii) 光電管などを使つて光電流の変化に変えて電氣的に観測する方法⁽²⁾
- (iii) 高速度カメラで撮影記録する方法
- (iv) ストロボ光源で照射して繰返し運動をスローモーション化して観測する方法
- (v) 運動方向に平行に置かれたスリットを通して感光膜上に投影し感光膜をスリットと直角方向に等速移動させて時間に関する変位を記録する流し写真法⁽³⁾などがある。(i), (ii)の方法は電子管による拡大増幅と陰極線オシログラフが利用できるために高速微小変位の観測記録に有利であるが、その電気変換部に色々の制約があり、(iii)の方法は各方向の動きを記録できる特長をもっているが、その解析に非常な長時間の労力を必要とし、多量のフィルムを消費するため膨大な費用がかかり、撮影装置も数万分の一秒程度の高速現象を記録す

* 日立製作所戸塚工場

るものは非常に大がかりなものとなる欠点がある。(iv)の方法は比較的安価な装置で高速の繰返し運動をスローモーション化して肉眼で全般的に観察できる特長をもっているが、繰返し回数が毎秒25回以下の低速度現象はチラッキを生じて具合が悪く、繰返しのない過渡現象の観測は不能という欠点をもっている。(v)の流し写真法は(i), (ii)法のような電気変換部による制約がなく、単に運動体を光源と投影レンズの中間に置いてその光の影の一断面をスリットを通して等速運動する感光膜上に純光学的に拡大投影するのであるから、運動体の時間的変位を最も忠実にしかも解析しやすい波の形で記録できる特長があり、すでに戦前から運動体の過渡現象の研究に実用されており⁽⁴⁾、米国のベル電話研究所でもこの方法によるシャドウグラフ⁽⁵⁾を機械的運動の解析に使用している。この方法の欠点と考えられていた“分解能を上げるためにスリットの幅を狭くすると光量が少なくなるために感光膜の移動速度をあまり高くできない”という制約も、最近の光学レンズと感光材料の急速な進歩によつて大幅に拡張され、一動作に数分を要するようなきわめてゆるやかな運動から数万分の一秒といった高速度の過渡運動まで数十倍の高拡大記録が可能となり、(iii), (iv)法のような欠点もなく、通信機器の微妙な運動測定に好適と考えられる。

この観点に立つて筆者が完成した新しいシャドウグラフ装置は理論計算の困難な各種リレー、スイッチなどの実用状態でのきわめて高い過渡振動成分を含んだ微小運動を迅速明確に記録し、ある部分を改変したときの動作特性に及ぼす効果も適確に知ることができ、問題点の解析の有力な武器となつている。ここにはこの新しいシャドウグラフの概要と、これによつて得られたシャドウグラムの数例を報告しこの方面に関心をもたれる各位の御参考に供する次第である。



第1図 シャドウグラフの原理

〔II〕 シャドウグラフの問題点

(1) シャドウグラフの原理⁽³⁾

順序としてシャドウグラフの原理を簡単に述べる。第1図で D は感光膜 F をその外周に巻きつけられた回転円筒で遮光函中で矢印の方向に定速回転している。遮光暗函はスリット S のところに窓があつて撮影の時だけ開くようになっている。光源から出た光束によつて照射された運動体 M の影は投影レンズ L によつてスリット S の細隙を通して感光膜 F 上にその一断面を結像するようになっているので、感光膜上に運動体の影の軌跡 T が記録されることとなる。

スリットは感光膜に接近して置かれているので、その幅を S mm, 感光膜の移動速度を v mm/s とすれば感光膜上の一点が露光される時間 R は

$$R = \frac{S}{v} \text{ (s)} \dots\dots\dots (1)$$

となる。この R は流し写真の分解能と呼ばれ、その時間が短いほど短時間内の急激な変位を分解記録することができる。 v , S , R の関係は第2図のとおりである。

(2) 分解能の限界

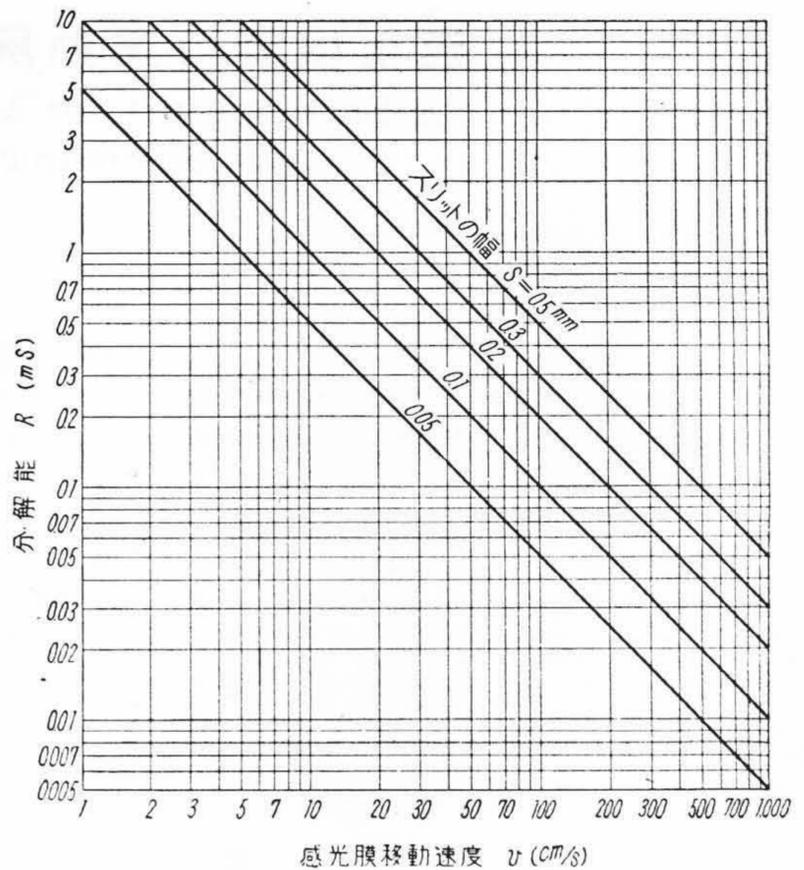
高速度の過渡運動を忠実に記録するためには分解能 R をできるだけ小さく、すなわちスリットの幅 S を小さく感光膜の速さ v を大きくすれば良いわけであるが、 S には感光膜の解像力や光の回折による制約があつて今のところ、およそ 0.05 mm 程度以下にすることができず、 v にも回転円筒の大きさや機械的強度などの関係で限界があり実用の点から電磁オシログラフ用の大型ドラム (円周長約 45 cm) を使うとすれば毎秒25回転が最高限度であつて、この場合の分解能の極限は

$$R_{lim} = \frac{0.05}{450 \times 25} \approx 5 \times 10^{-6} \text{ (s)} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

(3) 拡大倍率の限界

投影レンズの焦点距離 f , 物体からレンズまでの距離



第2図 記録速度と分解能の関係

a およびレンズから感光膜までの距離 b の間には周知のように次の関係がある。

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \dots\dots\dots (3)$$

また物体の変位を d , 投影像の変位を d' , 拡大倍率を m とすれば

$$m = \frac{d'}{d} = \frac{b}{a} \dots\dots\dots (4)$$

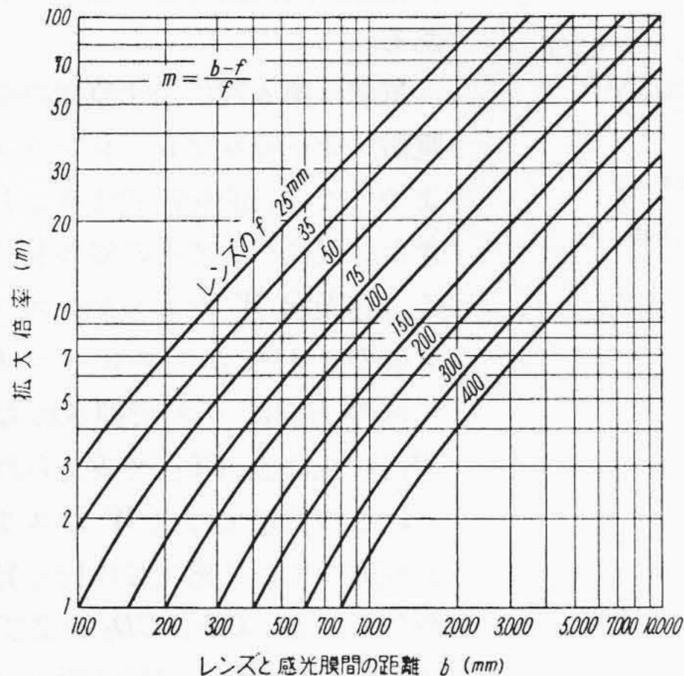
であるからこれを (3) 式に入れて整理すると

$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{f}{a-f} = \frac{b-f}{f} \\ a &= f \left(\frac{m+1}{m} \right) \\ b &= f(m+1) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

となり、任意の m , f に対応する a , b が与えられる。種々の f のレンズに対する b と m の関係を第3図に示す。

物体の変位が小さい場合には解析可能な大きさまで変位像を拡大しなければならない。拡大倍率 m は (5) 式で与えられ f を小さく、 b を大きくすれば無限に大きくなるわけであるが、実際には次の諸点で制限を受ける。

- (i) 光源の光度を一定とすれば感光面の受光量は倍率 m の自乗に逆比例して急激に減少し、ある倍率以上になると感光膜の限界光量以下となつて感光像が得られなくなる。
- (ii) 複雑な凹凸のある物体に対しては、物体とレンズの間をある程度離すことが必要であり、高倍率では $a \approx f$ となり f をこれ以下に短くすることはで



第3図 レンズと感光膜間の距離と拡大倍率の関係

きない。

(iii) f を長くすると第3図で明かなように高倍率ではレンズと感光膜間の距離 b が非常に大きくなる。

しかしこれらの制約も最近のレンズと感光材料および増感現象法の急速な進歩によつて大幅に改善され、分解能20万分の1秒で100倍の倍率を得ることができるようになった。

(4) 感光膜の幅と記録長さ

感光膜の幅をどの位にするかは解析する運動体の変位量と拡大倍率で決るがあまり広くすることは装置が大きくなつて具合が悪い。大型電磁オシログラフ用の125mm幅程度が実用的である。

記録方式としてはフィルムをエンドレスに流すものと回転円筒に一定長のフィルムを巻つけておいて円筒の一回転の間だけシャッタを開いて記録するものとあるが、前者は任意の長さの記録ができる便利さはあるがフィルムを定速で走らせることが困難で長尺のフィルムを必要とし、フィルムの無駄がでやすく現像設備も大がかりとなる欠点がある。回転円筒式は目的の運動変位を有効に記録するための精密な同期シャッタ機構に特別の工夫が必要であるが、これさえうまく行けば短尺フィルムで十分その目的を達することができ現像設備も特別のものを要せず経済的であり、通信機器の運動解析用としては記録長さ0.5m程度の回転円筒式で十分であらう。

(5) 電圧、電流波形およびタイムマークの同時記録

通信機器の運動解析には同時に電圧、電流波形を記録することが望ましい。その方法としては (i) 通常の反射鏡型電磁オシ

ログラフ, (ii) 単線型電磁シャドウグラフ, (iii) 陰極線オシログラフなどが考えられる。(i)は比較的高感度であるが応動周波数上限が低く光量がやや不足で高速の過渡現象の記録には不向である。(ii)は本質的に運動体のシャドウグラフと同一であつて定数さえ適当に選ばばかなり満足なものができる筈である。(iii)は高輝度の出せる10kV級の高圧加速型のものであれば理想的であるが非常に複雑高価である。分解能20万分の1秒程度までのシャドウグラフ用としては(ii)の方式が最も手頃であらう。

タイムマーカとしても色々の方式が考えられるが、シャドウグラフの光源を同期モータで回転する羽根で変調するのが最も簡単である。

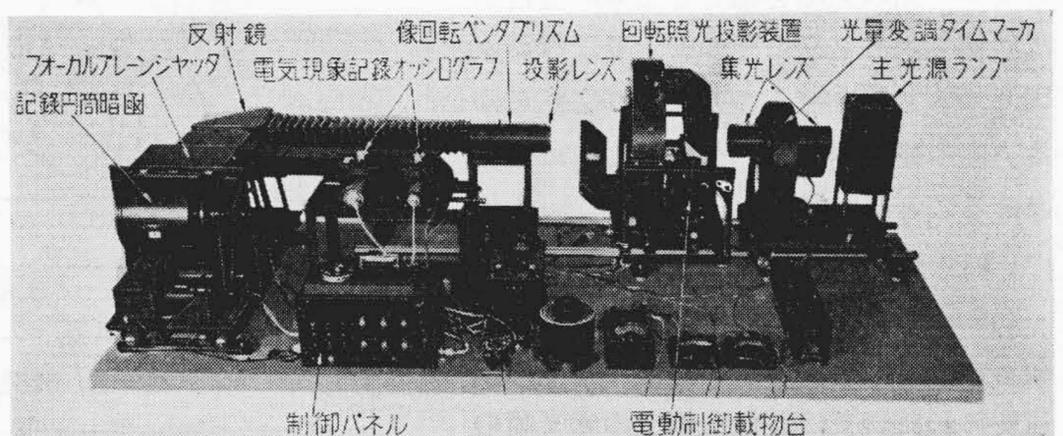
〔III〕 新しいシャドウグラフ

前述の諸点を考えて完成した新しいシャドウグラフの性能および外観はそれぞれ第1表および第4図のとおりであり、その光学系は第5図のようになっている。

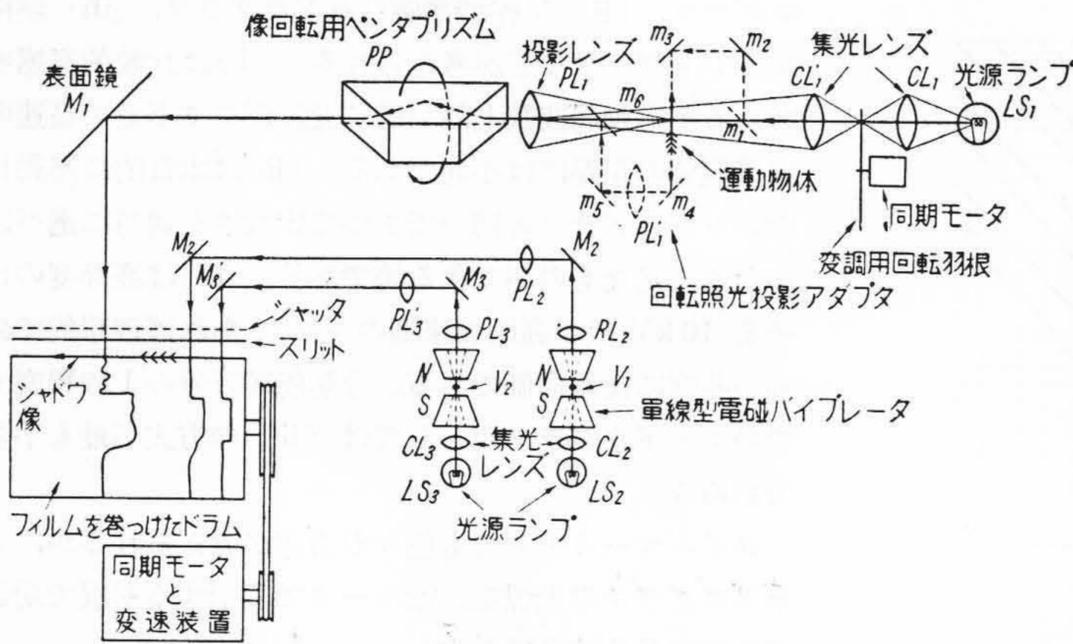
以下この装置の特長中興味のある部分について述べる。

第1表 シャドウグラフ性能一覧

記録方式	定速回転円筒式
円筒直径 D (mm)	150
記録幅 W (mm)	125
記録長 L (mm)	450
記録速度 v (mm/s)	95~11,800 (10段階)
スリット幅 s (mm)	0.05~0.20
分解能 R (μ s)	4.2 (最高速時)
拡大倍率 m	1~50
常用レンズ f (mm)	50 (F1.8), 75 (F3.5), 90 (F4.5), 180 (F4.5)
像方向調整角 θ ($^\circ$)	± 180 (ペンタプリズムによる)
焦準方式	全電動遠隔制御
タイムマーカ	回転セクタ光量変調 1, 5, 10 ms
シャッタ	全速度同調電磁フォーカルプレーン式
現象遅延制御	シャッタ同調全回転角調整可能
電圧、電流記録	単線型電磁オシログラフ2組自蔵
主光源	100V 500W 映写電球 (電圧調整式)
電磁オシロ光源	6V 30W (スライドトランス調整式)
全電源入力	AC 50~100V 700W



第4図 新しいシャドウグラフの外観



第5図 新しいシャドウグラフの光学系略図

(1) 影像回転用ペンタプリズム

色々の機器のシャドウグラムを撮す場合に、その変位方向は種々でスリットに投影される影像の変位がスリットの方にピッタリと一致する場合は少い。運動体の向を変えて像の変位をスリットの方に合わせることは実用状態と異なる結果を招きやすい。第5図で、投影レンズの背後に置かれた直角罫の両端面を45度の角度で切り取ったペンタプリズム PP は、このような場合に運動体の向を変えないで、その屈折反射作用を利用してプリズムを光軸を中心として回すことによつて影像の向を純光学的に回転させてスリットの方に一致させる役目をする。ペンタプリズム ± 90 度の回転で影像は ± 180 度回転する。

(2) 回転照光投影アダプタ

運動体の変位方向が光軸に直角の面内にある場合はペンタプリズムだけで像変位をスリットの方に合せられるが、変位方向が光軸に平行な面内にある場合にはこのままではどうにもならない。第5図中に点線で示した m_1, m_2, \dots, m_6 および PL_1' はこのような場合に照明光線および投影光線の軸方向を変換するためのアダプタで、全体が一体となつて元の光軸を軸として360度自由に回転できるようになっており、ペンタプリズムと組合せることによつてあらゆる方向の運動変位をスリットの方に一致させることができる。

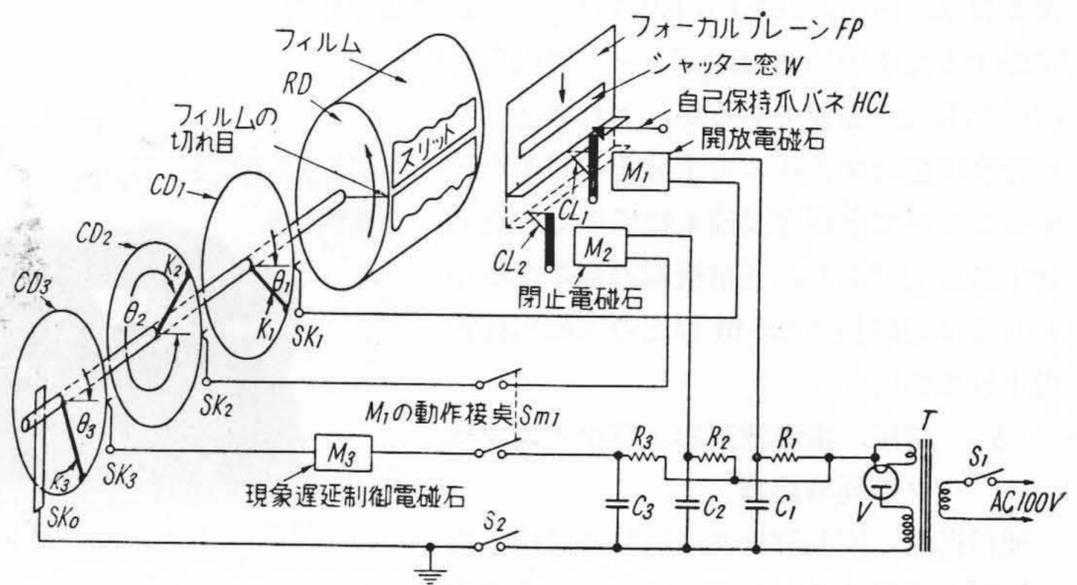
(3) 全速度同調シャッタ

回転円筒式シャドウグラフで最も重要なものは最低速から最高速までの全回転速度にわたつて、記録円筒上の感光膜の継ぎ目にかからないように一回転中の所要回転角度の間だけ開いて運動体の変位

を確実に同調露光させるシャッタである。

筆者は第6図に示す原理の全同調電磁フォーカルプレーンシャッタによつてこの目的を達成することができた。図についてその概要を説明する。露光窓 W をもつたジュラルミン製のフォーカルプレーン FP は矢印の方向にバネで押されながら M_1 の止め金 CL_1 で支えられており、この状態では窓 W はスリットと喰違つていて感光膜に行く光を遮断している。 CD_1, CD_2 および CD_3 は記録円筒 RD と同軸に取り付けられた絶縁円板でそれぞれ外周上に接点

K_1, K_2 および K_3 があり、感光膜の継目 X と θ_1, θ_2 および θ_3 だけ位相を異にした位置に調定され、導電バネ SK_0 によつてトリガースイッチ S_2 を経て整流電源の負極に接続されている。電源スイッチ S_1 を閉じると高圧大容量の蓄電器 C_1, C_2 および C_3 は高抵抗 R_1, R_2 および R_3 を通してじよじよに高電位に充電される。記録円筒が起動して完全に定速回転となつた後に S_2 を閉じると M_1 の回路が準備される。フィルムの継目 X がスリットを通過して円筒が θ_1 だけ回転すると K_1 と SK_1 が接触し M_1 回路が完結し C_1 の放電電流によつて瞬間的に M_1 が動作し止め金 CL_1 を引はずすと同時に自己保持バネ HCL によつて動作状態に保持され Sm_1 接点が閉じて M_2, M_3 の回路を準備する。フォーカルプレーン FP は CL_1 がはずれるので止め金 CL_2 のところまで下降し窓 W がスリットの位置にきて露光が開始される。円筒が θ_3 だけ回転すると K_3 と SK_3 が接触し M が瞬間的に励磁されこれによつて制御された運動体の変位が始まる。さらに円筒が回転してその角度が θ_2 に達



第6図 全速度同調シャッタの図解

すると M_2 の回路が完結し M_2 が瞬間的に働いて止め金 CL_2 を引はずすので FP はさらに下降し光をふたたび遮断し露光を終る。 FP が下降しきつた後はこれを手動復帰させない限り再露光は行われぬ。高電位に充電された大容量蓄電器のエネルギーを瞬間的に放出させる本方式は M_1, M_2, M_3 の動作所要時間が非常に短く、記録速度 $10,000 \text{ mm/s}$ の高速でも確実に過渡運動を捕えることができ、 θ_1, θ_2 および θ_3 を適当に調定することによってフィルム全長の $1/2, 1/3$ などの部分露光も可能で非常に経済的である。

(4) 全電動三方向移動載物台

高倍率拡大で運動体と記録部が遠く離れて手が届かなくなる場合にピント硝子面を見ながら自由に目的部位をスリットの位置に照準できるように、運動物体をのせたまま上下、左右、前後の三方向に電動操作で移動する大型載物台が用意されている。この照準方式では投影レンズ系を所望の一定倍率に固定しておくのでピント合せによつて倍率が変わることがなく、制御キーを押すだけで簡単に照準できる。

(5) 電気現象同時記録装置

機器の運動に関連する電気現象の同時記録用として強大なアルニコ磁石をもつた単線型電磁オシログラフ2組が用意されており、その影像をフィルム面の任意の位置に同時記録できるようになつてゐる。

(6) 光量変調タイマー力

集光レンズで集められた光の一部を同期モータで回転する細いセクタで一定時間々隔で遮断してフィルム面にタイムマーク線がでるようになつてゐる。時間間隔はセクタと駆動電源の周波数を変えることによつて1, 5, 10, 50 ミリ秒など自由に変えられる。また回転セクタを切り込みの狭いものに交換することによつてストロボ光源を得ること

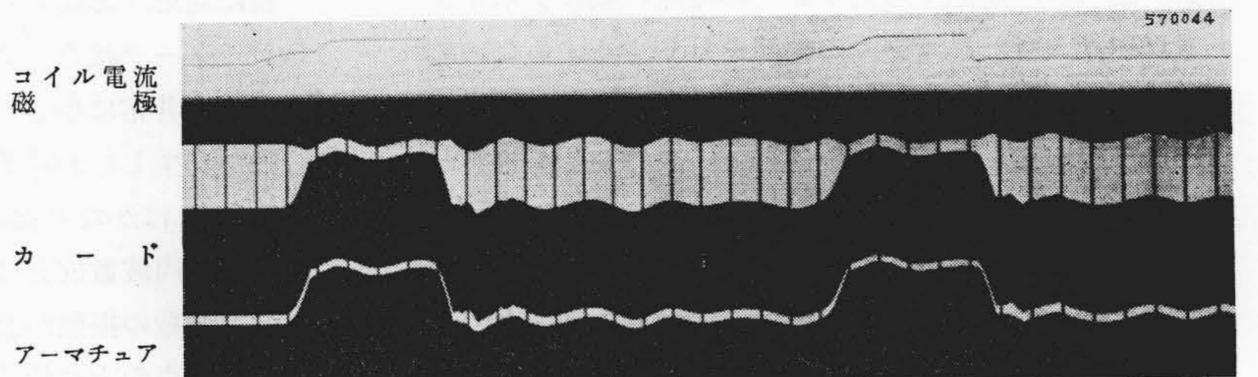
ができ、これによつて一定速度の繰返し運動をする機器の運動をスローモーション化して観測ならびに撮影することができる。

(7) 部分撮り枠

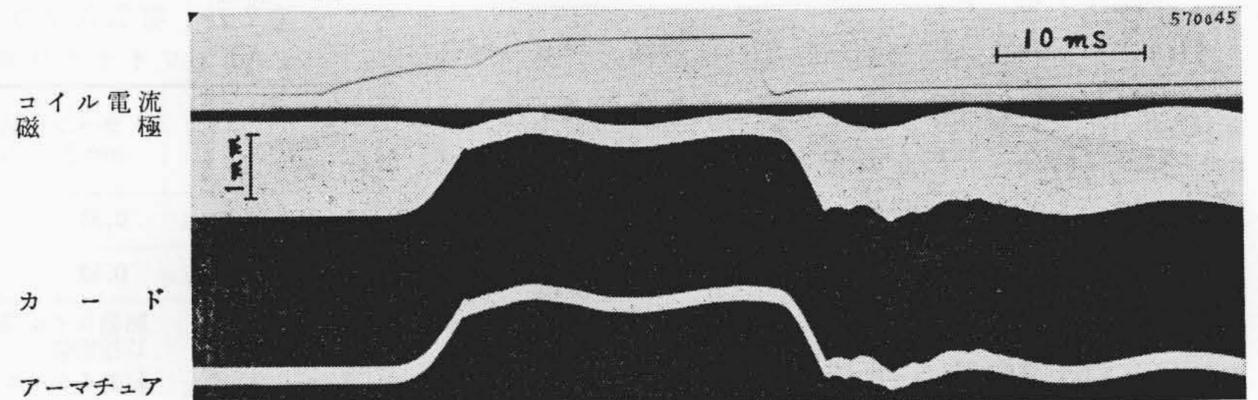
フィルム全幅の $1/2, 1/3, 1/4, 1/6, 1/12$ の部分露光をするための移動遮光枠がフォーカルプレーンシャッタ部に附加されている。これによつて一枚のフィルム上に種々の条件を変えたときの運動体の変化を比較対照しやすい形に並べて記録したり、フィルムをむだなく経済的に利用することができる。

[IV] シャドウグラフの実例

次にこの新しい装置で撮した通信機器の運動のシャド

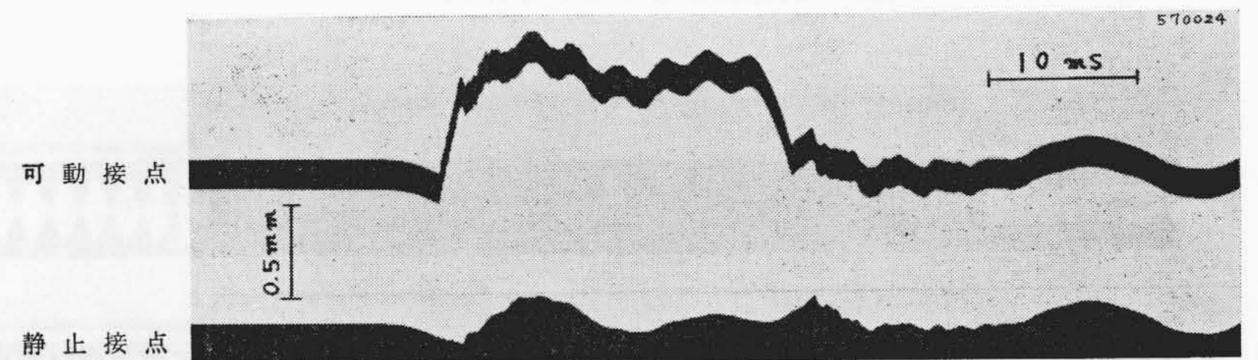


(A) 一連のインパルス第1第2インパルスに対応する運動

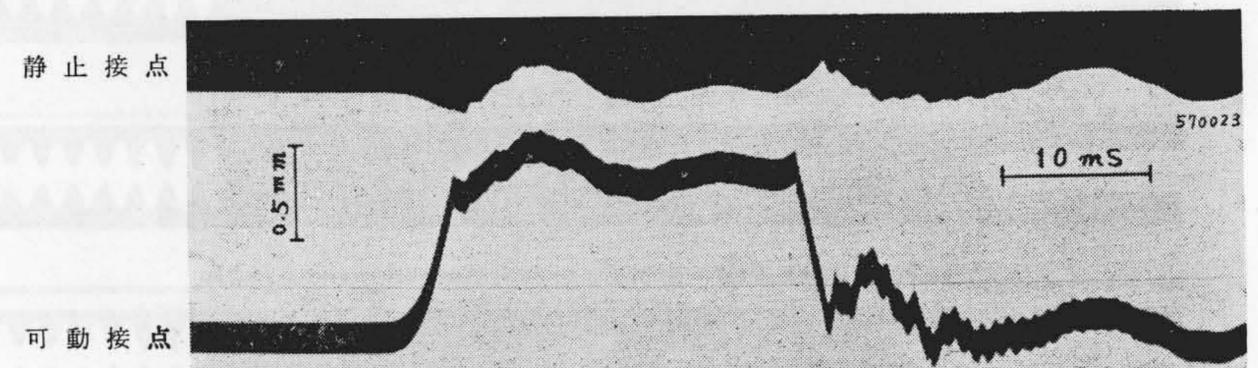


(B) (A) の第1インパルス部の拡大記録

第7図 AJ型ワイヤスプリングリレーの運動のシャドウグラム (1)



(A) ブレーク接点の運動



(B) メーク接点の運動

第8図 AJ型ワイヤスプリングリレーの運動のシャドウグラム (2)

ウグラムの二、三の実例を掲げて簡単に説明する。

(1) ワイヤスプリングリレーの運動

第7,8図は、クロスバー交換機に使われるワイヤスプリングリレー⁽⁶⁾の一つであるAJ型リレーに直流48Vのインパルスを加したときの各部の運動を示すシャドウグラムの一例で、第7図(A)は一連のインパルスを与えたときの第1,第2インパルスに対応する駆動コイル電流と磁極、アーマチュアおよびカードの運動を示し黒の縦線は5ミリ秒間隔のタイムマークであり、同図(B)はその第1インパルスの部分をさらに拡大記録したもので、いずれも便宜上磁極、アーマチュア、カードの代わりにそれぞれの先端中央部に同一面上に並ぶように接着した微小なジユラミン箔の動きが記録されている。第8図は第7図(B)に対応する同リレーの接点の動きを示すシャドウグラムで、過渡運動の細部を見やすくするために変位の倍率をさらに大きくしてある。

これらのシャドウグラムから直ちに次のことが読みとれる。

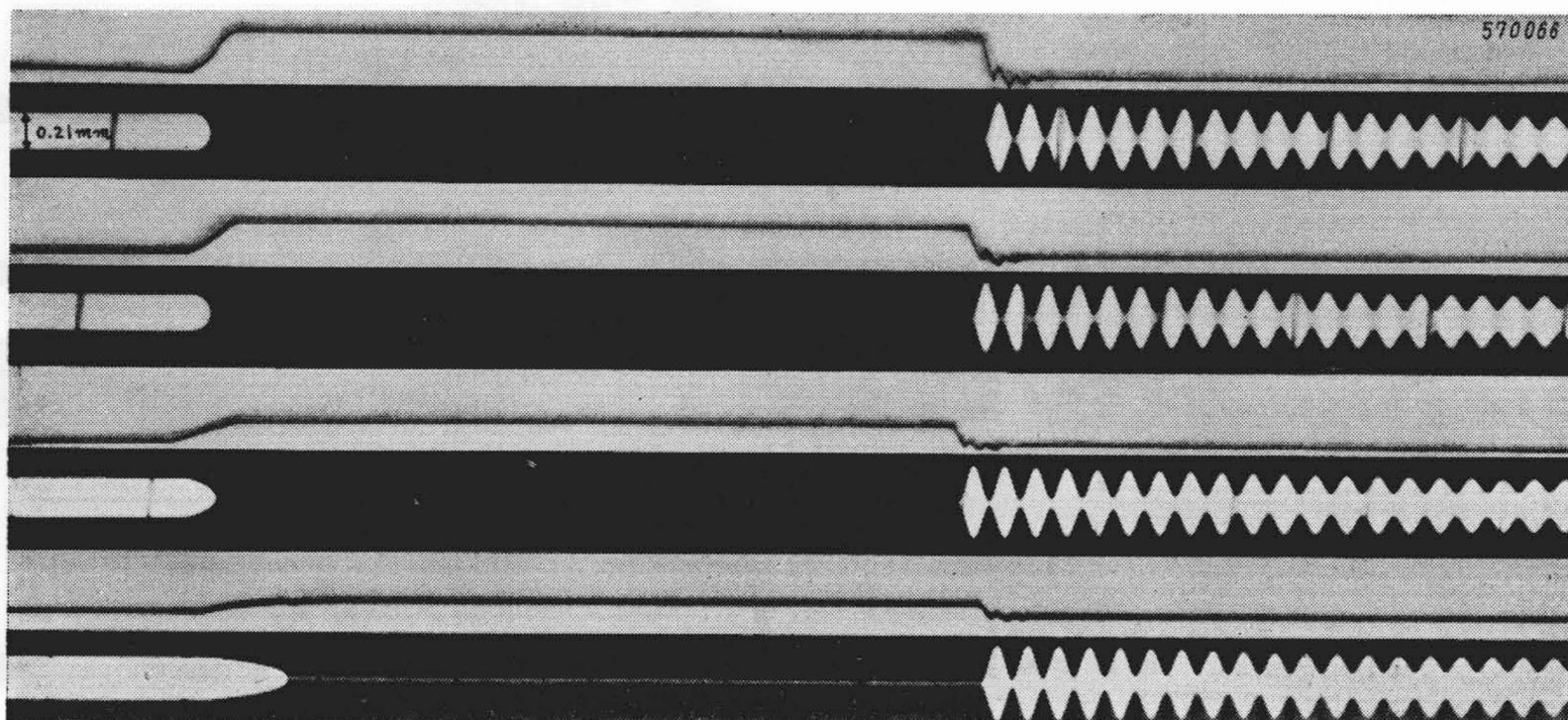
- (i) 磁極も静止接点も静止空間に対してかなりの変位運動をすること、および静止接点の変位は大体において磁極変位と同形であるがやや複雑な過渡振動が随伴すること。
- (ii) インパルスが与えられてから磁極とアーマチュアの相対吸引運動が徐々に開始され吸着完了するまでには約9ミリ秒を要すること、およびインパルスが終つてからアーマチュアが復旧するまでの時間はこれより短く約4.7ミリ秒であること。
- (iii) アーマチュアが磁極に衝突する瞬間のアーマチュアの反撓運動は、衝突速度がかなり速いにもかかわらずその特殊なアーマチュア支持方式のエネルギー変換作用が有効に働いて、極微となつていること、

およびアーマチュア復旧の場合にはこのエネルギー変換作用がないためにバックストップに衝突するときと比較的大きな反撓運動が発生すること。

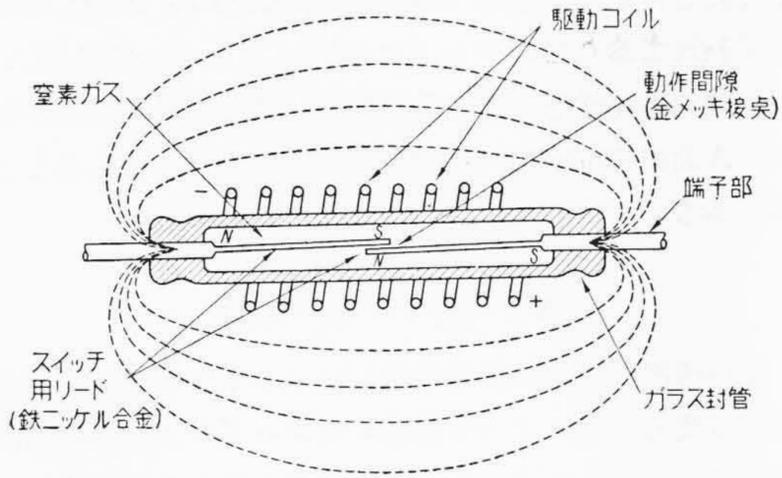
- (iv) カードの変位はアーマチュアの動きとほぼ一致するが、磁極とアーマチュアの衝突時に約50マイクロンのオーバーシュートとこれに随伴する約5ms持続する小さな過渡振動をすること、およびアーマチュアがバックストップに衝突するときアーマチュアとの間に複雑な反撓運動が数回繰返されこの過渡振動の振幅と持続時間は吸着時のそれよりはるかに大きく長いこと。
- (v) 静止接点の運動は大体において磁極のそれと同形であるが、アーマチュアおよび可動接点の衝突、離脱に対応する複雑微少な過渡振動が随伴すること。
- (vi) メーク接点、ブレーク接点ともに閉成の瞬間に振幅は非常に小さいが数千サイクルの複雑な反撓運動が発生しいわゆるチャッタを起すこと、および開離時にはかなり振幅の大きな過渡振動が発生するが高い周波数成分は比較的速かに減衰しそれより低い周波数の振動が長く尾をひき、その振動数はブレーク接点の方は低く、メーク接点の方は高いこと。

第2表 第7,8図のシャドウグラムから得られたAJ型ワイヤスプリングリレー接点の動作一覽

	トラベル (mm)	閉成速度 (cm/s)	開離速度 (cm/s)	動作の遅れ (ms)	
				動作時	復旧時
メーク接点	0.81	25	51	8.6	2.8
ブレーク接点	0.52	35	44	7.9	3.2
記事	駆動コイル 10,000回 420Ω メーク, ブレーク接点各12組実装 駆動インパルス電圧 DC48V アーマチュアトラベル 1.07mm 吸着所要時間 9.4ms, 復旧所要時間 4.7ms				



第9図 リードリレーの接点運動のシャドウグラム



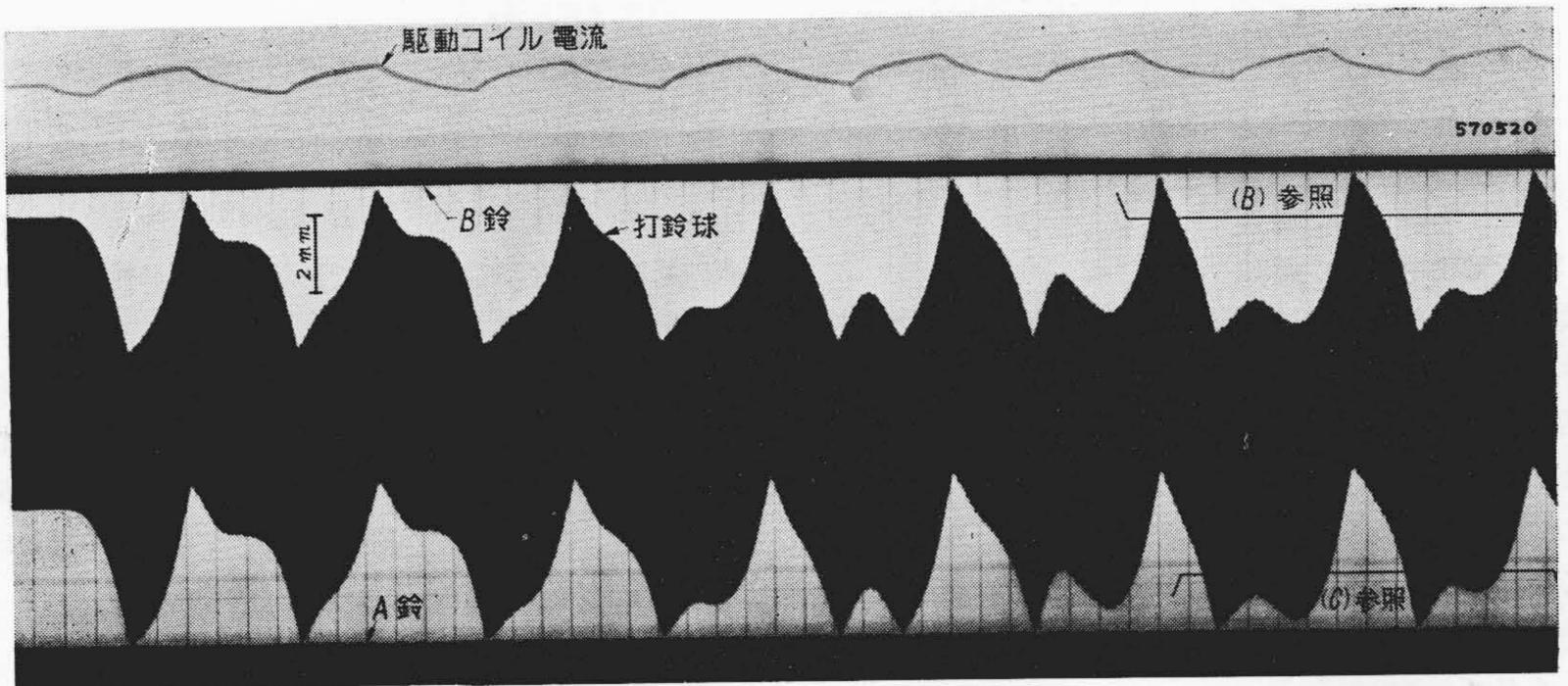
第10図 リードリレーの説明

さらにこれらのシャドウグラムを引伸器にかけて拡大解析することによって第2表のような結果が得られる。

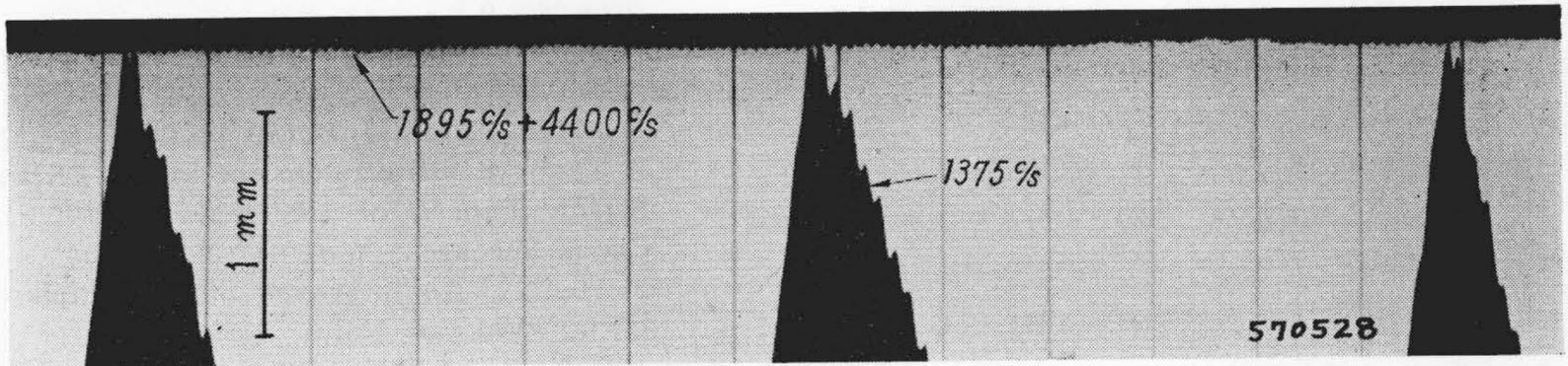
(2) リードリレーの運動

第9図は、クロスバー交換機の高速制御回路などに使われる第10図に示す原理構造をもつたリードリレーと呼ばれる特殊高速動作リレー⁽⁷⁾を、10,000回 1,000Ωの駆動コイルで働かせたときのリード先端接点部の運動を高倍率で記録したシャドウグラムの一例で、接点部を光が透るように真中に約1mmの隙間を設けた駆動コイルを使つて撮影したものである。動作状態の比較を容易にするために一枚のフィルム上に駆動電圧を変えたときの駆動電流と運動波形を並べて記録してある。ガラス管壁を透しているために5ミリ秒間隔のタイムマークを示す黒の縦線がやや不鮮明となつているが、この図からただちに次のことがわかる。

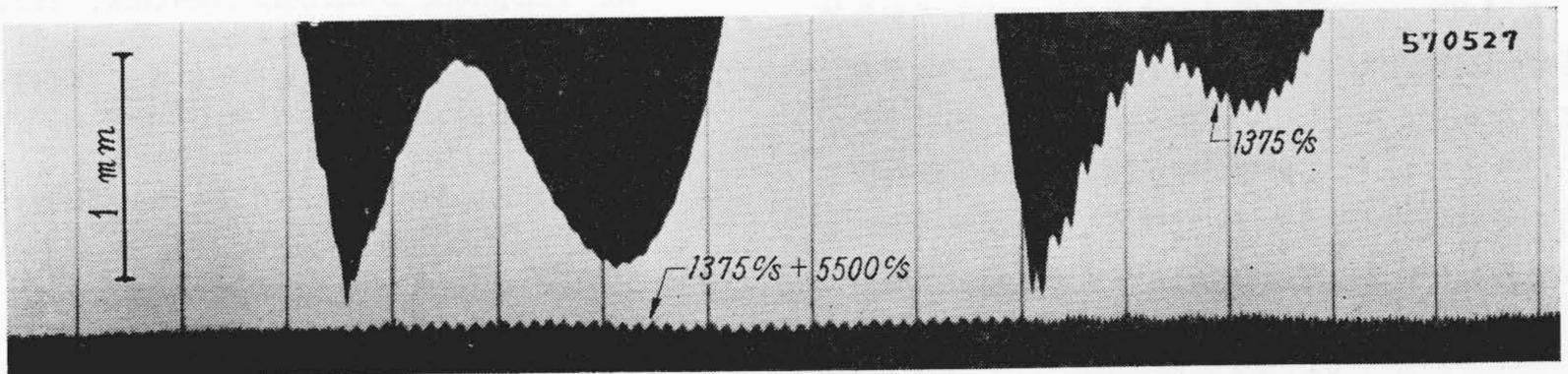
(vii) メーク、ブレイク両接点ともに可動接点の閉成時の変位はスムーズな経過をたどるが開離時の変位には微少な段々が現われること。



(A) 駆動電流と電鈴の運動概観



(B) B鈴の運動細部拡大



(C) A鈴の運動細部拡大

第11図 4号磁石電鈴の運動シャドウグラム

- (i) インパルスが与えられてから接点が閉じるまでの時間遅れは最小感動電圧に近い電圧では約3ミリ秒であるが、電圧を高くすると1.5ミリ秒以下となり高速動作の名のとおり動作遅れは非常に短い。
- (ii) 両接点が閉じる瞬間の衝突速度が非常に速いにもかかわらず、接点リード自身が磁性体で強大な相互吸引力が作用することと質量が非常に小さいために、衝突による接点の反撓はほとんど認められない位に小さい。
- (iii) 復旧時の遅れは駆動電流の大きさにほとんど無関係で、非常に短く0.1ミリ秒以下で高速復旧の名に恥じない速復動作である。
- (iv) 復旧時には単純な片持梁構造の当然の結果として減衰の非常に少い純粹の正弦的減衰振動が発生し、その振動周波数は約840 c/s である。
- (v) 接点の閉じる瞬間の速度は最小感動電圧に近い電圧で、すでに50 cm/s 以上で非常に速いが、開く瞬間の速度ははるかに遅く10 cm/s 以下である。磁極自身が接点を兼ねているリードリレーではこうなるのは無理もないが、電流接断のためにはむしろこの逆であることが望ましい。

(3) 電話機ベルの運動

次にやや趣を変えて誰もが聴きなれている電話機の呼出ベルの運動の一例をお目につけよう。第11図は4号電話機用の磁石電鈴に30 c/sの交流電圧110 Vを印加したときの駆動コイル電流波形とこれに対応する打鈴球と二つの鈴の運動を示すシャドウグラムで、(A)は鳴りはじめる時の過渡運動の概観、(B)、(C)は二つの鈴の運動の細部を拡大記録したもので、黒の縦線は5ミリ秒のタイムマークである。

駆動電圧が十分大きいので最初の半サイクルですでに打鈴球は鈴を叩きA鈴を振動させる。A、B両鈴の振動は減衰が非常に小さく叩かれるたびに振幅が増大するが3回目ではほぼ定常態に到達する。黄銅製のA、B両鈴はそれぞれの固有振動周波数が1,350 c/sおよび1,800 c/sの4度の完全調和音となるように肉厚が設計されているのに対して、両鈴の運動の細部を示す(B)、(C)図はA鈴は1,375 c/sと5,500 c/sの複合振動、B鈴は1,895 c/sと4,400 c/sの複合振動を示しており基本振動周波数比はほぼ3:4の4度の調和音となり設計値にかなりよく一致しているが、非常に高い振動成分が多分に含まれていて打鈴球で叩かれるごとに高低両振動成分の位相関係が変つて行く有様はなかなか興味深いものがある。なおこの電鈴の鳴音をマイクロホンを通して

周波数分析した結果は4,400 c/sと5,500 c/sが最も強勢に現われておりこのシャドウグラムとよく一致している。両鈴の定常態の複合全振幅は(B)、(C)両図から大体A鈴が40マイクロン、B鈴が25マイクロンであることがわかる。

〔V〕 結 言

通信機器の運動解析用の新しいシャドウグラフ装置の性能概要とこれによつて撮されたシャドウグラムの二、三について簡単に述べたが、本装置の最大の特長は

- (i) 運動体の高速微妙な運動を運動体にまったく触れることなく純光学的に忠実に正確な時間の関数となる波形で記録できること。
- (ii) 同一面内にある運動は変位運動体が幾つでも感光膜幅の許す範囲内で自由に同時記録できること。
- (iii) 繰返し運動でもただ一回限りの過渡運動でも意のままに記録できること。
- (iv) 感光膜の解像力と装置の分解能が高いので記録像をさらに光学的に引伸すことによつて数百倍の拡大解析が楽にできること。

であつて、今まで知ることのできなかつた多くの通信機器の精妙な運動状態が一目でわかる記録が簡単に得られるということである。

本装置は現在日立製作所において通信機器の研究の有力な武器として引続き各種機器の運動解析に活用されている。感光材料や現像処理などについては紙数の関係で触れなかつたが、ほかの解析結果とともに次の機会に報告する予定である。

参 考 文 献

- (1) 岡修一郎他訳：フリール“機械量の電氣的計測”：(昭和28年9月) コロナ社
- (2) 西口 薫：日立評論 Vol. 37 No. 5 P. 35 (1955)
- (3) 科学写真便覧応用編 P. 630 (昭和28年9月) 丸善
- (4) Z. Tuzi, M. Nisida: On the Impact of Beam: Scient. Papers of the Inst. of Phy. and Chem. Research, Vol. 34 No. 826
- (5) P. Husta: An Improved Shadowgraph: B.L.R., Vol. 30 No. 5 (1952)
- (6) A.C. Keller: A New General-Purpose Relay for Telephone Switching Systems; B.S.T.J., Vol. 31 No. 6 (1952)
- (7) 渡辺孝正, 吉田足夫: 通信工学講座有線編 3-A “電話交換機とその理論” P. 37 (昭和31年11月) 共立社
- (8) O.M. Hovgaard: Sealed Switch Relay for AMA; .B.S.T.J., Vol. 33 No. 9 (1955)
- (9) 文献(7)の P. 38