

VKP₂₁ 形 理 化 学 用 記 録 計 の 特 性

Characteristics of Type VKP₂₁ Electronic Recorder
for Precision Scientific Instruments

柏 迫 一 民* 藤 岡 健 夫*
Kazutami Kashiwasako Takeo Fujioka

内 容 梗 概

理化学分野における技術の発展に伴い、理化学装置専用の記録計が要求されるようになり、日立製作所では、このたび理化学用 VKP₂₁ 形電子管式自動平衡形記録計の生産を開始した。VKP₂₁ 形記録計の仕様、構造について記すとともに、その応答特性、測定ブリッジ内部に発生する熱起電力につき一、二の考察を述べる。

1. 緒 言

電子管式自動平衡計器⁽¹⁾は、自動制御、特に生産工場のいわゆるオートメーション化と相まってその技術は急速に発展した。すなわち強力な駆動力を持ち、精度、感度とも高性能である自動平衡計器は安定で確実な動作を要求し、遠隔制御を必要とする工業計測器としてふさわしい特性を持つため、工業計測の進歩とともに大きく発達した。

さらに計測技術の発達は、精密分析用、研究用、特殊制御用などいわゆる理化学装置用としてもこのような高性能計器を必要とし、ここに新しい分野を持つにいたったのである。

工業計測用計器は第一に安定で確実な性能が要求されるが、理化学装置用計器はどちらかといえば、高性能、高精度が要求される。従来理化学装置用に使用される電子管式自動平衡計器は、すべて工業計器用に設計製作されたものが使用されていた。この場合要求される性能の相違もさることながら、設置方法、取扱に関しても、前者は盤取付形で、必要最小限に単純化されており、また後者はラックが多く使用され、操作方法も計器の性能を高度に発揮するため、各種のアクセサリが用いられる。

ここにいて専用自動平衡計器の開発が急務となり、安定した工業計器用記録計⁽²⁾を基礎として理化学機器専用の VKP₂₁ 形電子管式自動平衡形記録計を開発し、生産を開始した。

VKP₂₁ 形記録計は構造、性能ともに大きく改良向上されており、理化学装置用記録計としてはもちろん、サーキットテスタのように単独で使用可能な計器としても、実験室用に新しく用途を持つものとする。

以下 VKP₂₁ 形記録計の性能を述べるとともに、電子管式自動平衡形記録計の最も重要な特性の一つである応答特性と、構成要素として重要なスライド抵抗に関しての一、二の考察を行う。

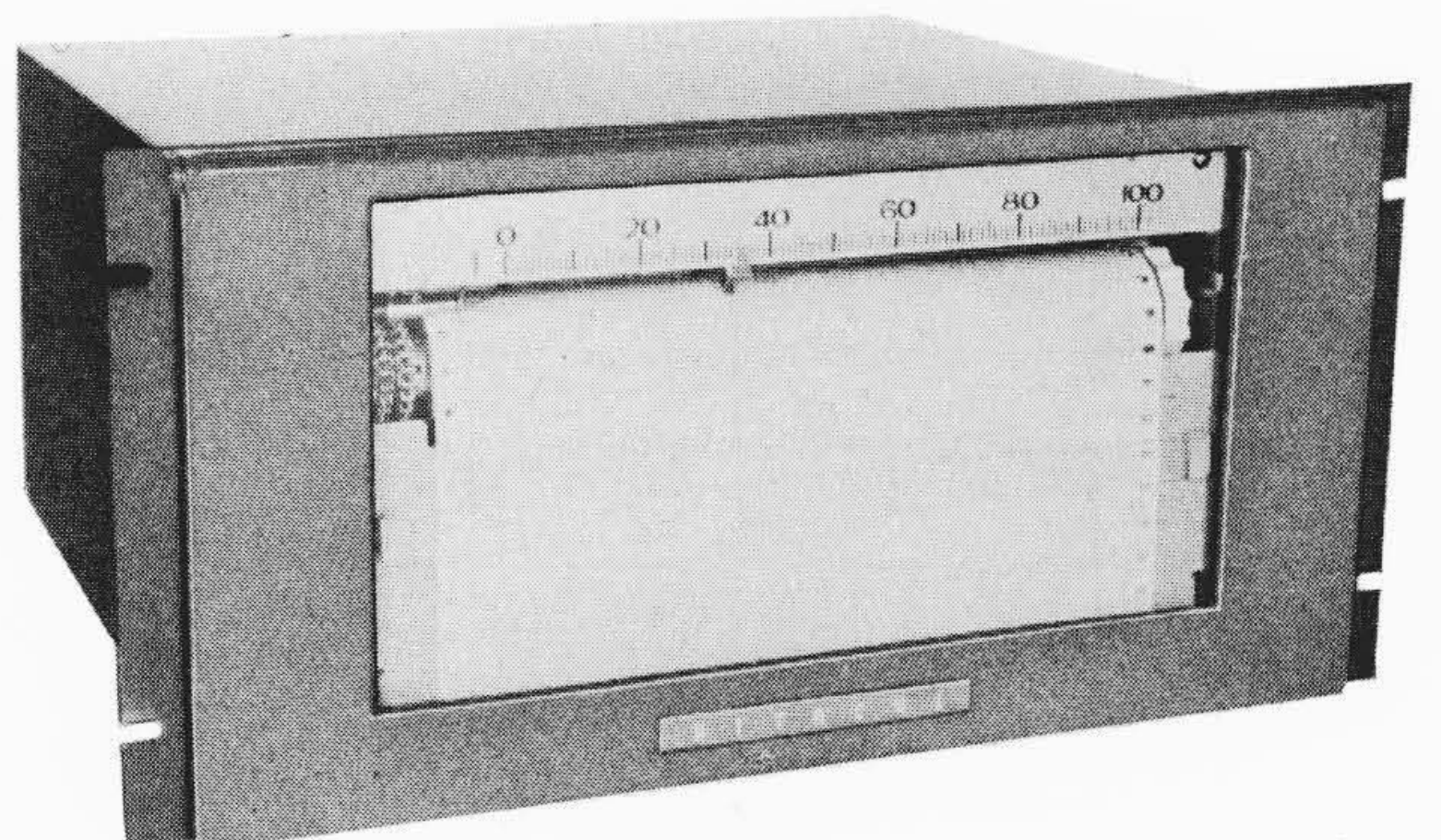
2. VKP₂₁ 形記録計の概要

本器は第1図に示すように横長形ラックタイプで、構造は大別してケース、増幅器および記録機構部より構成される。増幅器および記録機構部は一体となってケースより引き出し、または取りはずすことができる(第2図)。計器の操作に必要な機構はすべて計器前面に配置されており、向って左側には電源スイッチおよび記録紙速度変更機構、右側には測定関係スイッチ類が設置されている。本計器は高平衡速度形であるため、電気的には速度発電機による速度帰還回路が使用されており、非常に良好な制動を得ることができる。仕様および主要機構部の構成を簡単に次に記す。

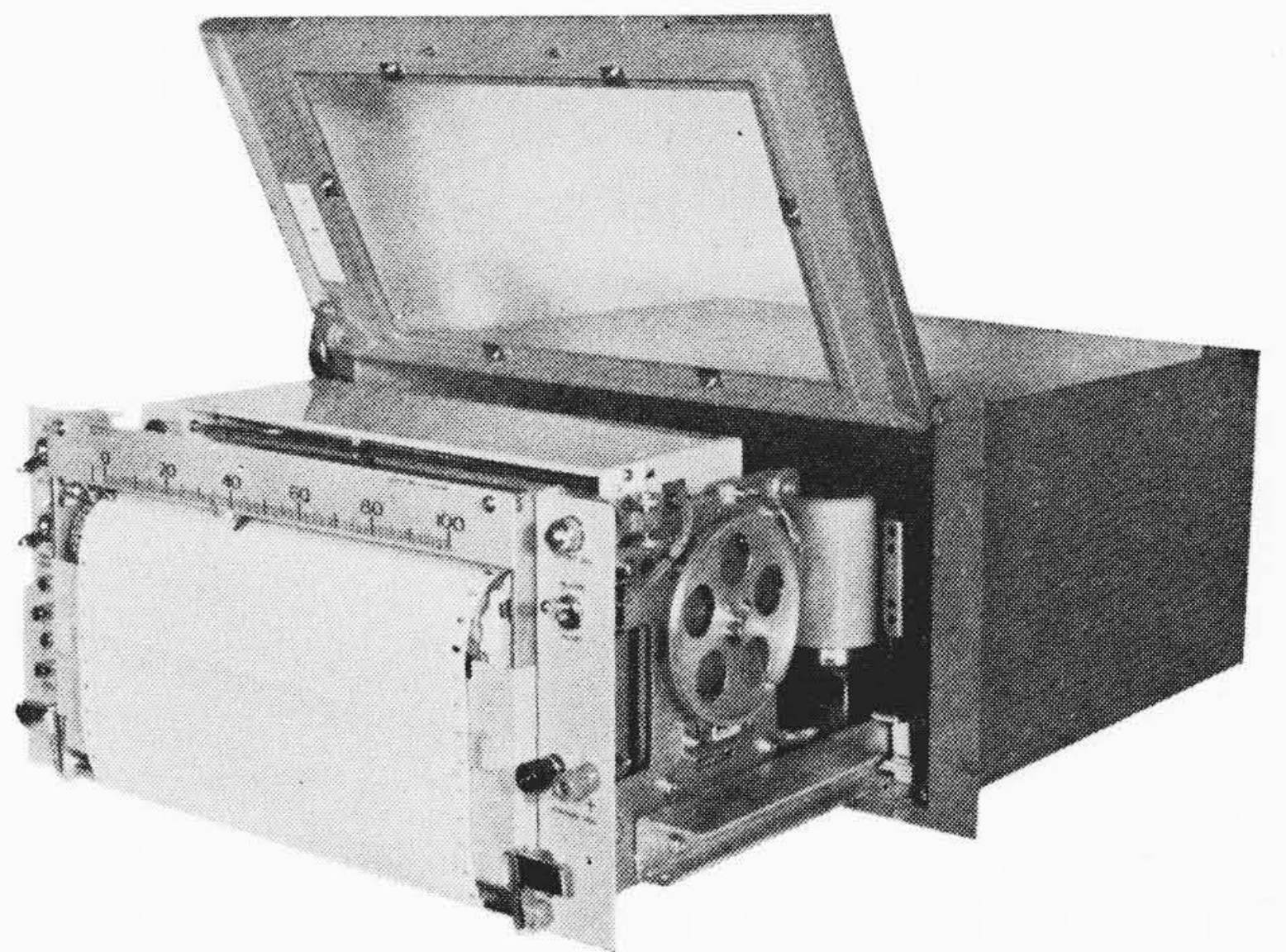
VKP₂₁ 形記録計仕様

電源電圧 A. C. 100 V または 110 V

* 日立製作所那珂工場



第1図 VKP₂₁ 形電子管式自動平衡形記録計



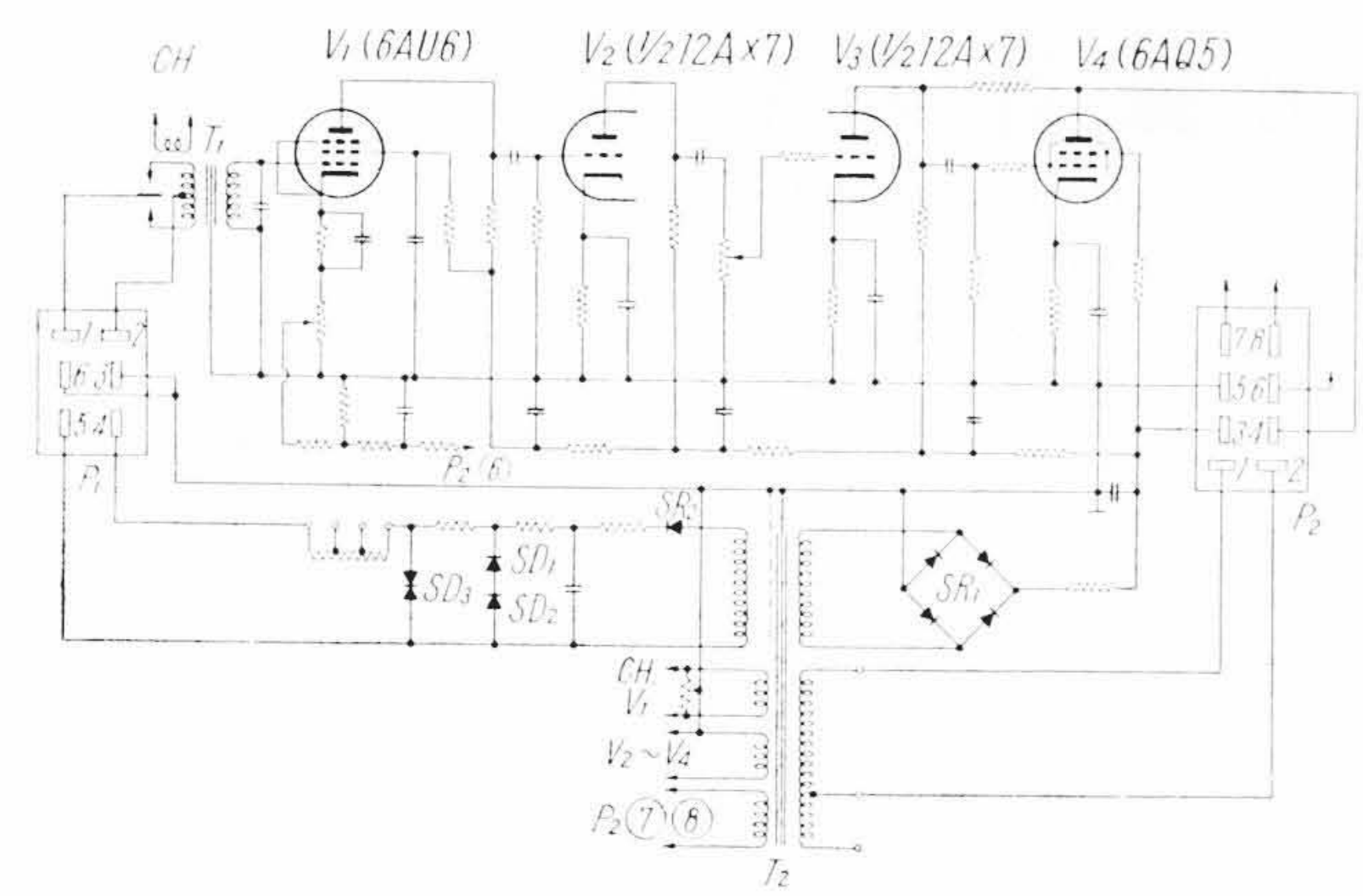
第2図 VKP₂₁ 形記録計内部機構引出図

周 波 数	50 c/s または 60 c/s
目 盛 幅	250 mm
記 録 方 式	1 点ペン書き
記録紙速度	300/600/1,200/2,400 mm/h
平 衡 速 度	約 1.5 秒/フルスケール
入 力 電 圧	DC 10 mV (その他の電圧、ブリーダ抵抗によるレンジ切替付)
許 容 誤 差	±0.5%
不感動範囲	0.1%
消 費 電 力	約 25 W
塗 色	灰色 マンセル記号 N 3.7/0
そ の 他	タイムマーカ付 外部信号 AC 12 V 0.5 A にて動作

注: ()内は特殊仕様を示す。

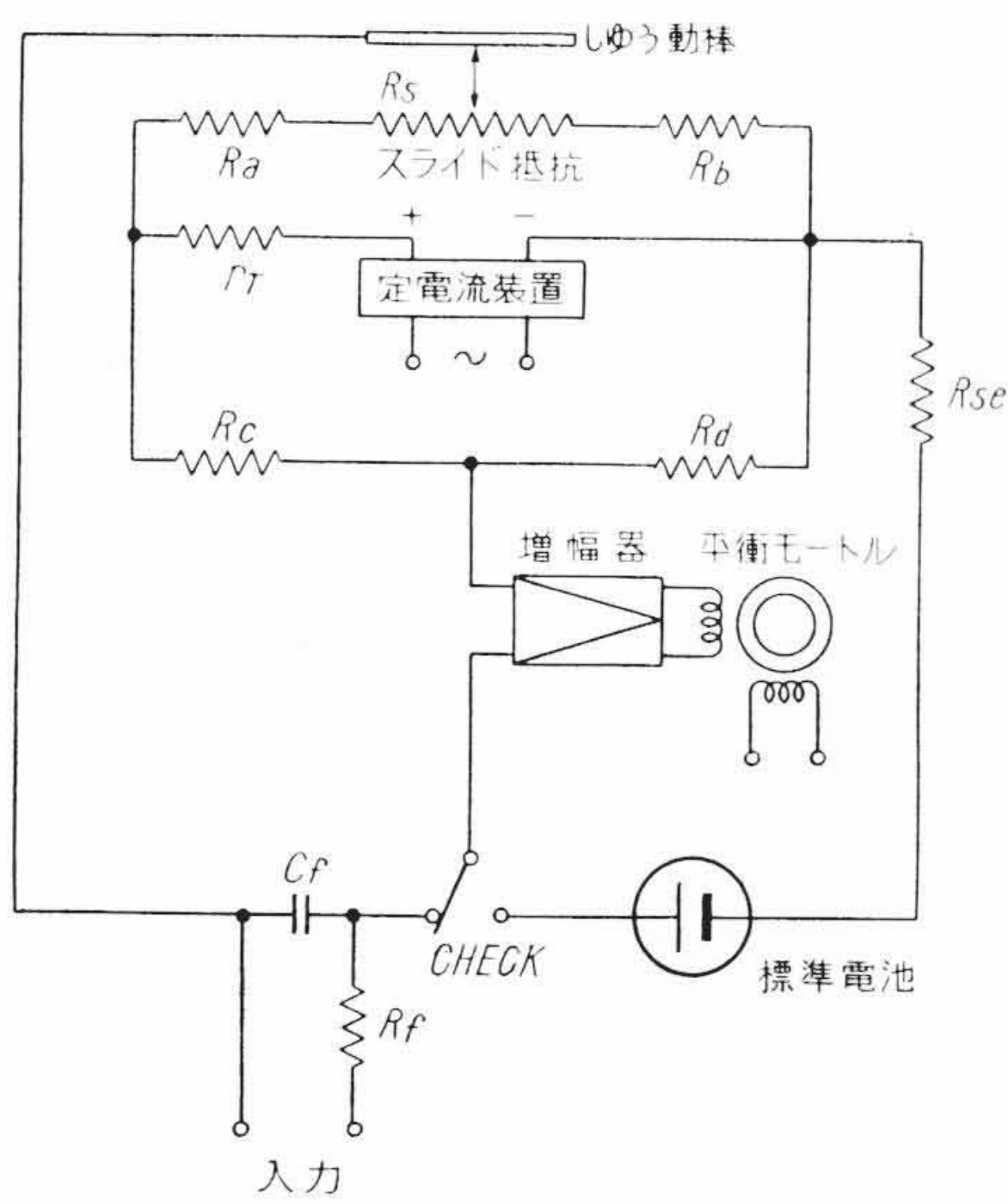
2.1 ケ ー ス

ケースは先に述べたようにラックタイプで、CESおよびRETMA

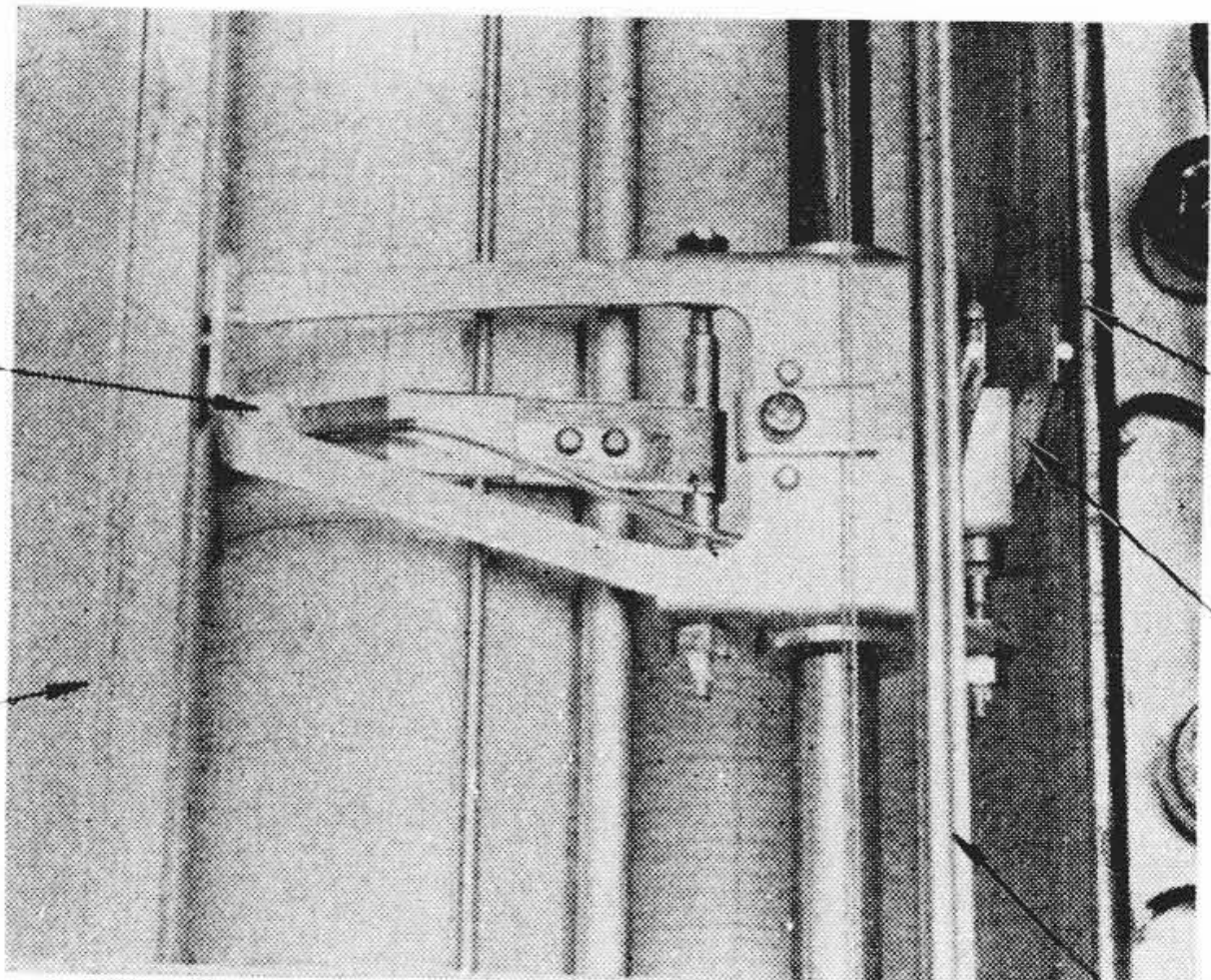


P₁, P₂: 接続コンセント
 T₁: 入力トランス
 T₂: 電源トランス
 CH: チョップ
 SD₁~SD₃: ツェナーダイオード
 SR₁, SR₂: セレン整流器

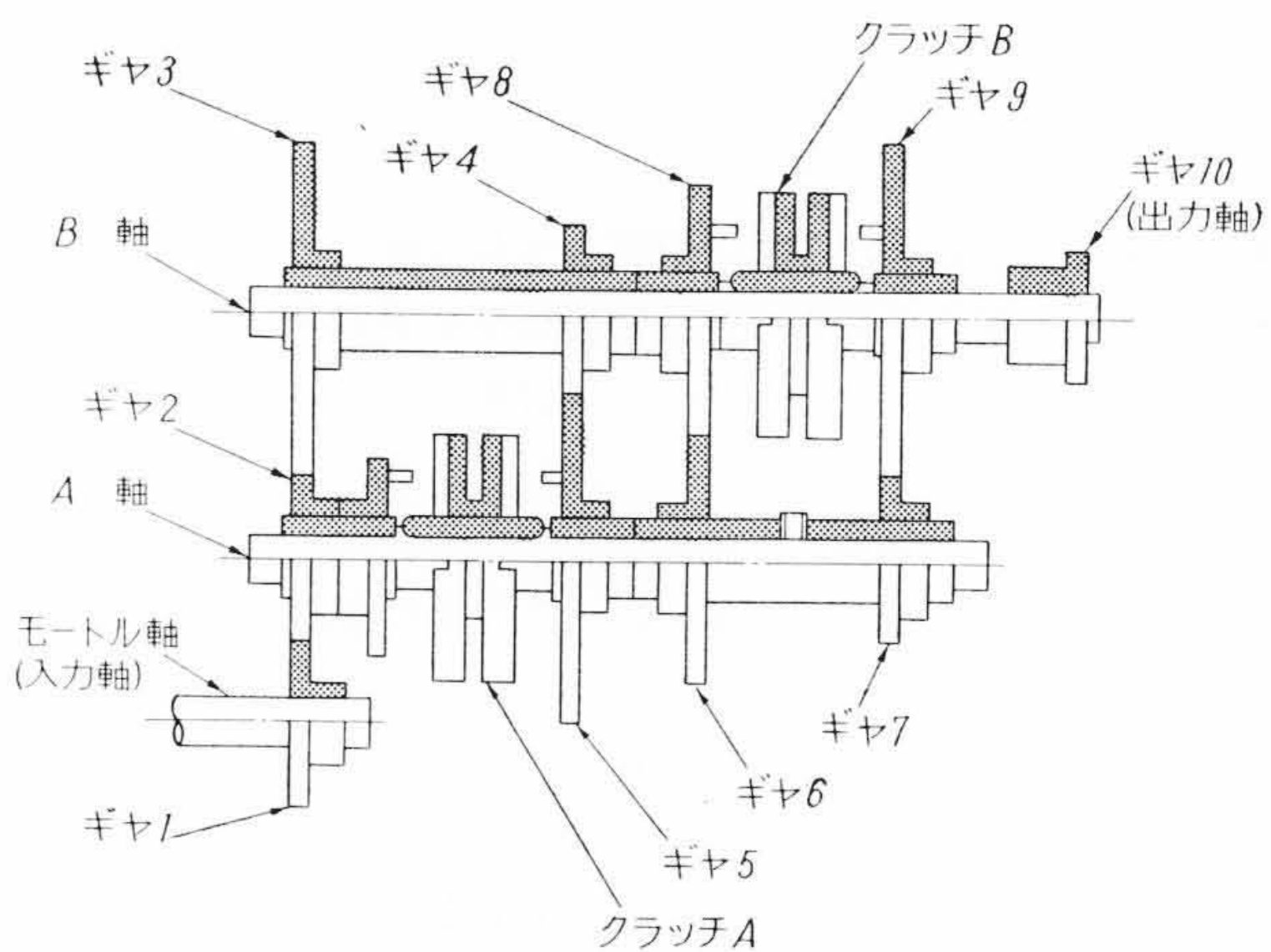
第3図 増幅器内部接続図



第4図 測定回路



第5図 記録ペン機構



減速比	クラッチ位置		駆 動 順 序	チャート速度 (mm/h)
	A	B		
1	左	左	①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧→⑨→⑩	2,400
1/2	左	右	①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧→⑨→⑩	1,200
1/4	右	左	①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧→⑨→⑩	600
1/8	右	右	①→②→③→④→⑤→⑥→⑦→⑧→⑨→⑩	300

第6図 変速機構説明図

規格の二種が用意されている。計器全重量は約 25 kg であるが、150kg 以上の保持強度を有する設計を行っているため、計器の取付けに当っては、後部に特にささえ金具を必要とせず、前面パネルのみにてラックに取付けることが可能である。

記録計は人間工学的な立場から、目の高さ、すなわちラックにおいては最上段に取付けられることが好ましく、また実際にも多いことから、カバーはほかの装置に邪魔にならぬように上方に開く構造となっている。

2.2 増 幅 器

チョップ変換器を使用した直交変換形直流増幅器（第3図）を使用しており、最大約 120 dB の利得を有する。初段増幅管回転には速度発電機よりの負帰還回路が設けられており、この回路にはチョップ変換器の位相遅れ約25度を補正する特性が持たされている。測定ブリッジ回路に用いる標準電圧は、増幅器内部において交流電源より得た直流電圧を、ツェナーダイオードを2段カスケードに使用した回路より取り出しており、安定度は電源電圧変動±10%または周囲温度 30°±20 deg に対し、出力電流 5 mA±0.1%以下と非常に安定な特性を有している。

2.3 測 定 回 路

測定回路を第4図に示す。R_a, R_b, R_c, R_d はそれぞれブリッジ

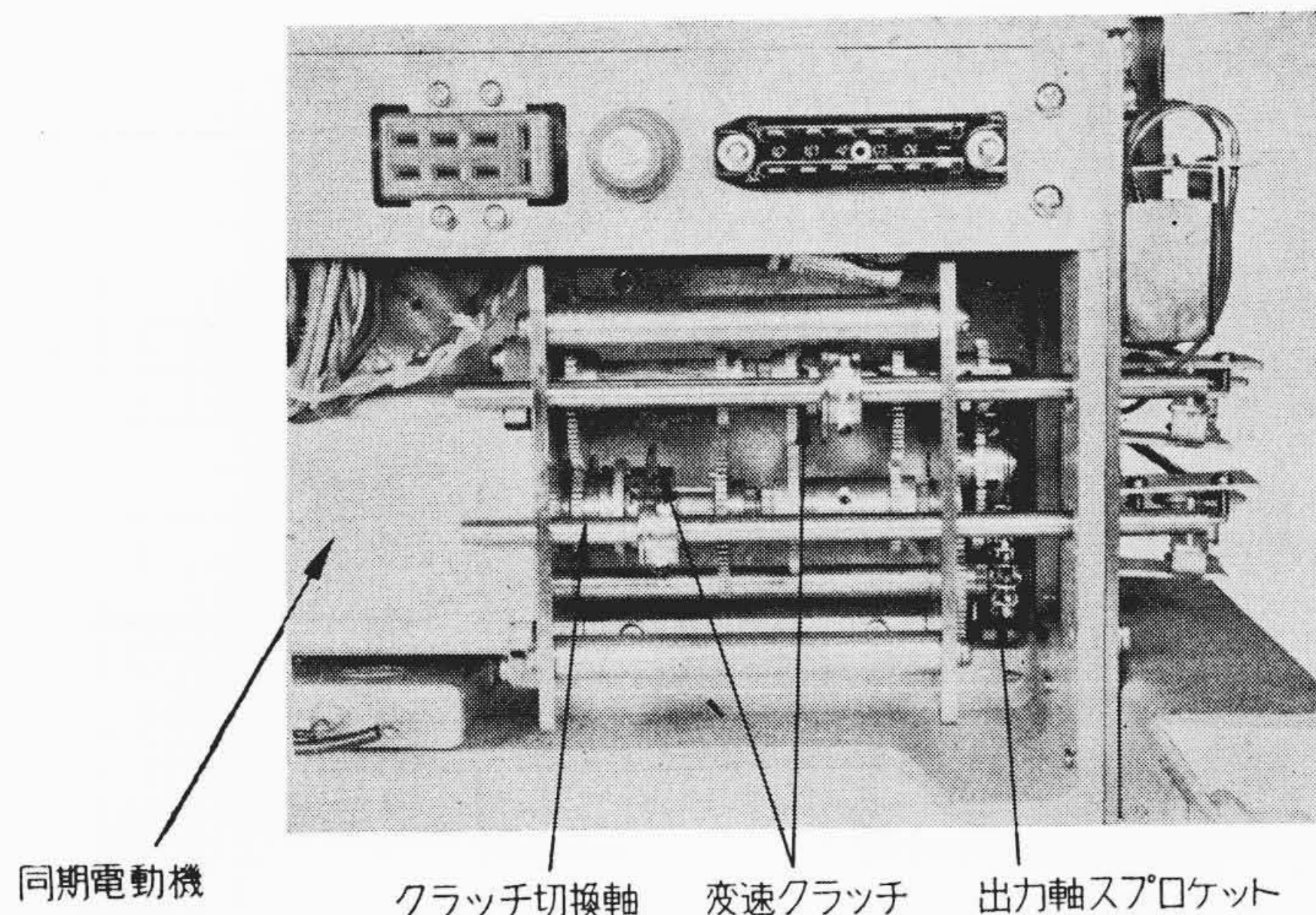
辺抵抗、R_s は機械的変位を電気量に変換する直線形スライド抵抗である。周知のようにスライド抵抗は、機械的接触を介して電気量を取り出す要素であるため、接触不良、分解能、摩耗、熱起電力の影響が問題となる。本器においては後述するように、新しい抵抗材料を使用してこの問題を解決している。

2.4 指示、記録機構

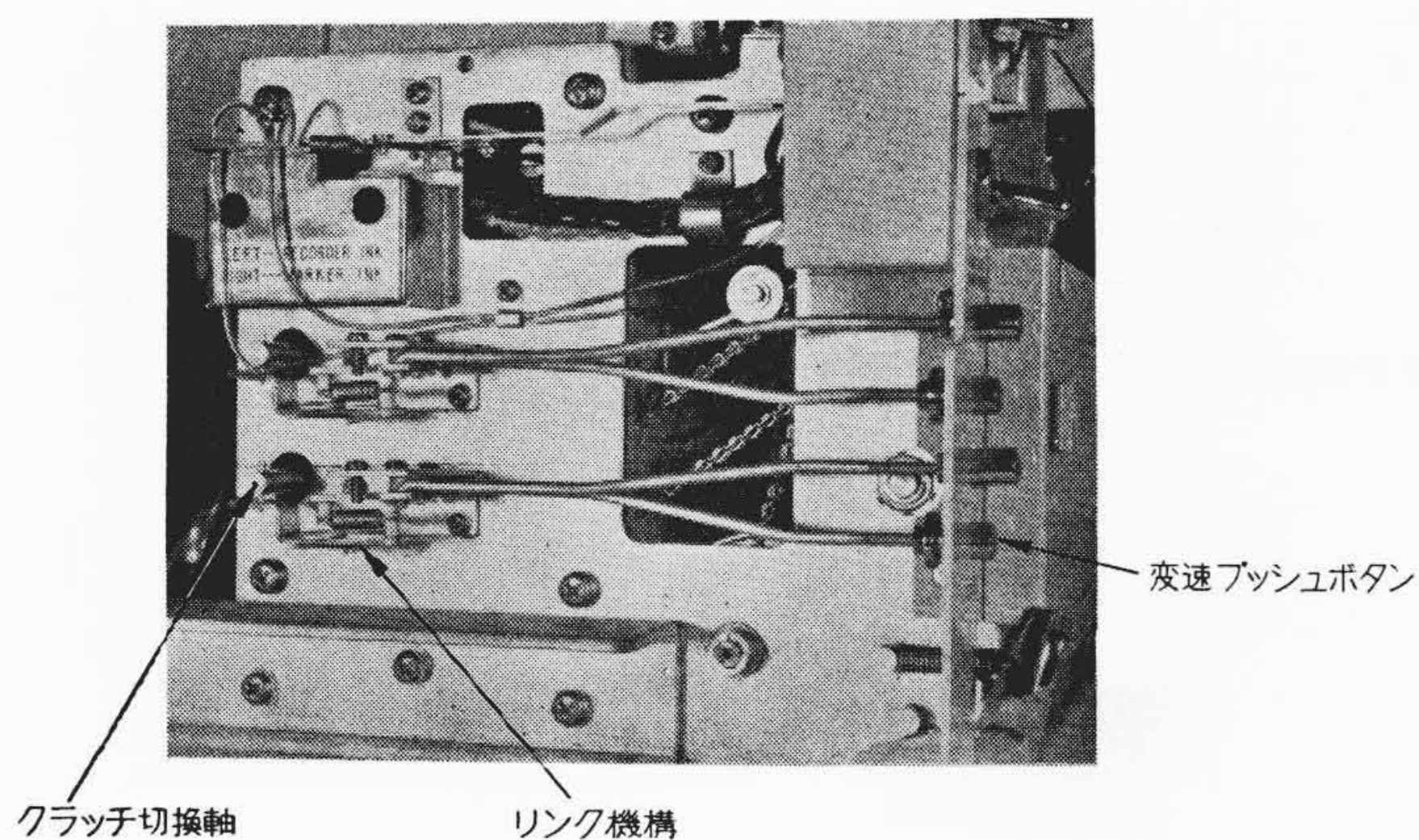
本器は直線形スライド抵抗を採用しているため第5図に示すように指示、記録ペン機構とスライド抵抗接触ブラシとを一体構造とすることができ、線条による伸び誤差をうけない。制動特性を良好とするため可動部は極力軽量に設計されており、振切れに対する保護装置としては最大、最小目盛側ともダンパ付ストップスイッチを設け、増幅器の出力を減少し、安全な動作をさせることが可能である。

2.5 記録紙送り機構

記録紙送り機構は、同期電動機の回転力を 1~1/8 の 4 段変速機構を通し駆動ドラムの回転とする。変速機構は第6、7図に示すが、クラッチの移動はプッシュボタンに連動した機械的クイック・モーション機構により行っている（第8図）。記録済記録紙は通常巻取りロールにより処理されるが、理化学用または実験用としては、短時間の測定を行うことが多いため、垂れ流しで使用されることも多く、この場合記録紙はカバー下部スリットを通して計器外部に流出



第7図 記録紙変速機構



第8図 変速クラッチ切換機構

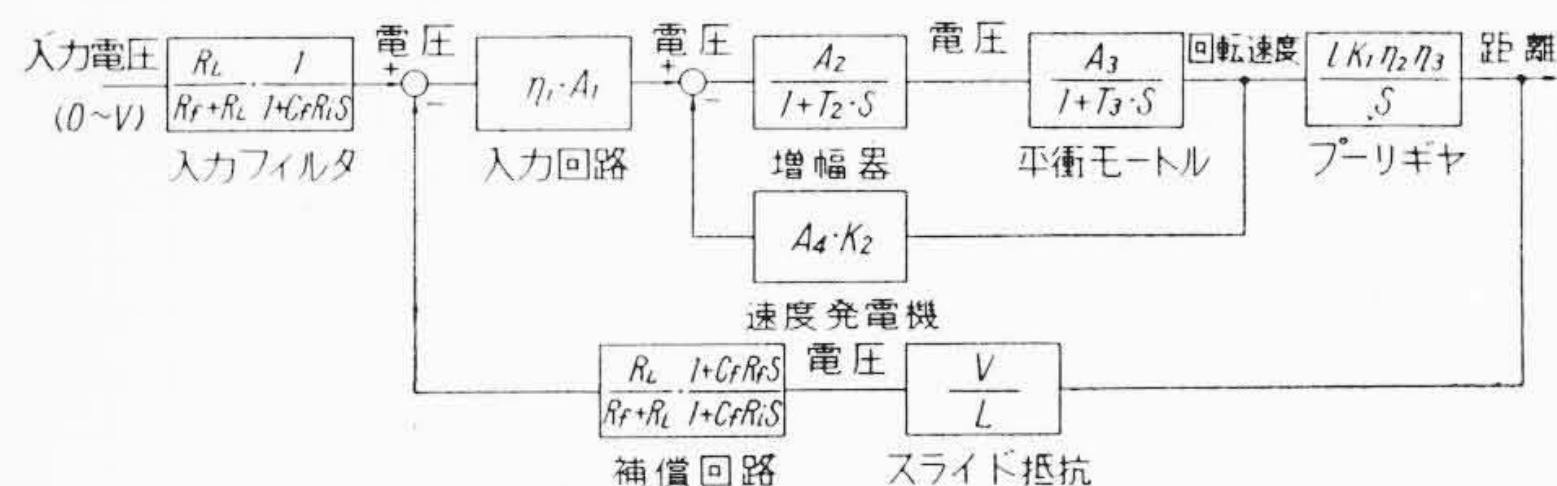
させることができる。

2.6 そ の 他

VKP₂₁ 形記録計は標準装備として、ペン書き式タイムマーカを持ち、記録紙左側に記録する。動作信号は外部より必要とされる周期で断続する AC 12 V 0.5 A が必要である。特殊仕様としては、ガスクロマトグラフ用記録計として入力電圧積分値同時記録機構、その他入力電圧切換などが付属する。

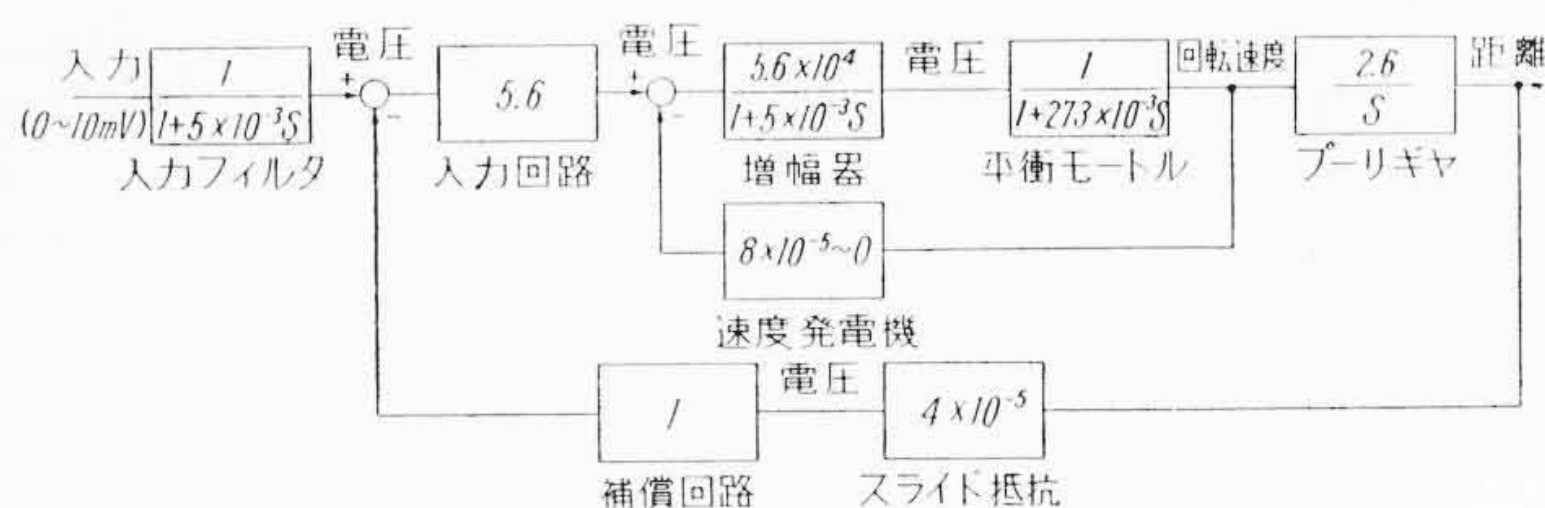
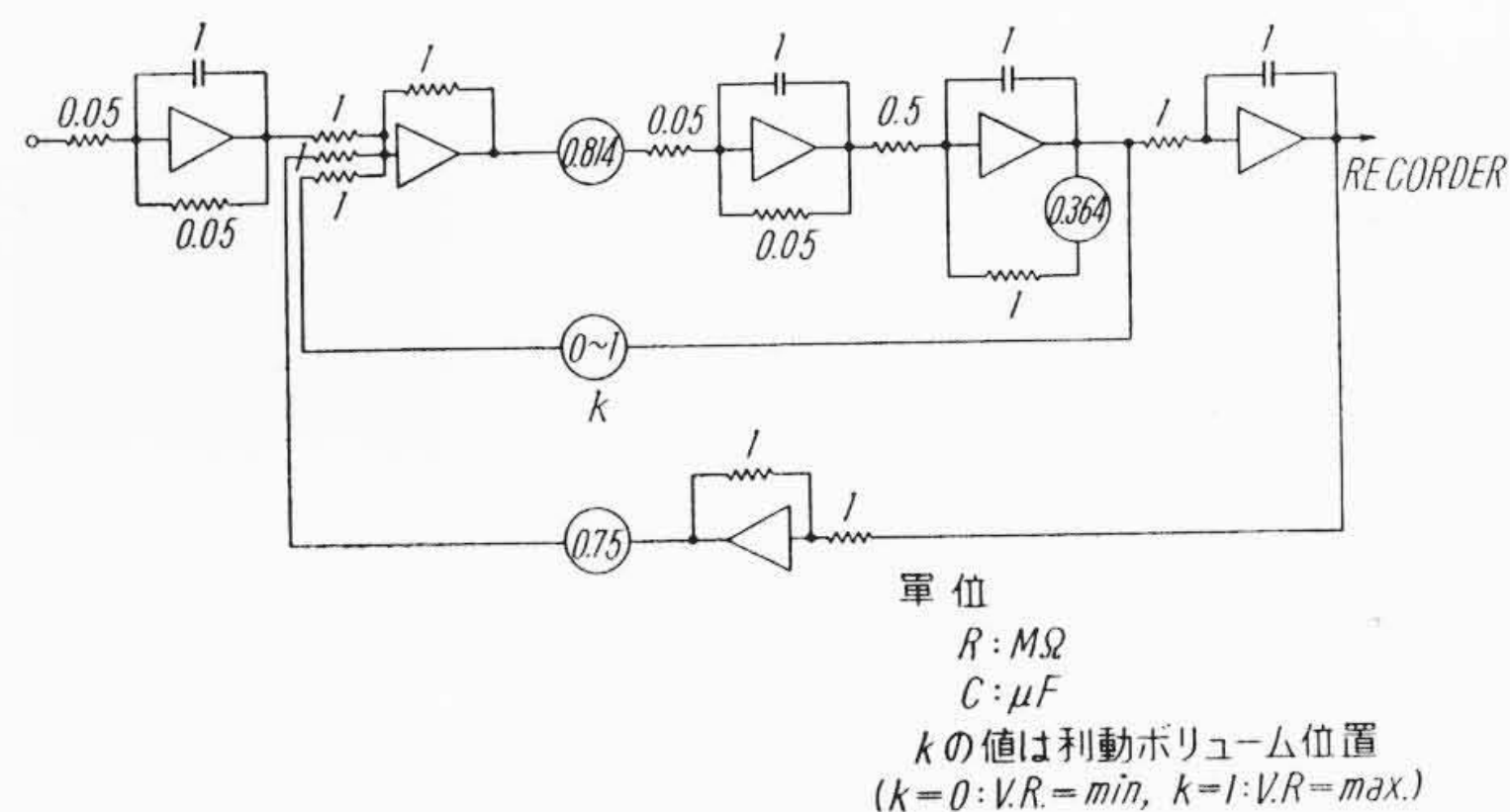
以上述べたように VKP₂₁ 形記録計は、従来の工業計器用記録計と比べて多少異なった点があり、主として理化学用記録計として見た場合の特長を簡単に次に記す。

- (1) 記録計の高さが非常に低く、ラックタイプとなっているため、理化学装置に取付けが容易でスペースファクタが良い。
- (2) 記録紙は短時間の測定観察に便利のように垂下、巻取両用可能である。
- (3) 記録紙速度変更はプッシュボタンにより容易に切換えることができる。
- (4) 平衡速度が速いため、急激な入力の変化に対し忠実な記録が可能である。
- (5) 入力電圧レンジは6段まで切換をつけることができ、各種の測定が可能である。
- (6) 内部機構部は手前に引き出すと定位置で止まり、記録紙の交換または保守などに便利で、ロックをはずすと内部機構部全部を外に取り出すこともでき、詳細な点検を行うことができる。
- (7) 標準電源としてツェナーダイオードを使用した定電流回路を使用しているので、保守が容易でありきわめて安定である。



- | | |
|---------------------|------------------------|
| R_f : フィルタ抵抗 | T_2 : 増幅器時定数 |
| R_L : 入力トランス抵抗 | T_3 : 平衡モートル時定数 |
| C_f : フィルタ容量 | K_1 : 平衡モートルギヤ減速比 |
| A_1 : 入力トランス利得 | K_2 : 電圧低減比 |
| A_2 : 増幅器利得 | l : プーリ円周長 |
| A_3 : 平衡モートル利得 | L : スライド抵抗長 |
| A_4 : 速度発電機利得 | V : 目盛幅電圧 |
| η_1 : チョッパ変換効率 | θ : 信号電圧位相回転 |
| η_2 : ギヤ効率 | ω_0 : ハンチング角周波数 |
| η_3 : 負荷効率 | |

$$R_i = \frac{R_f \cdot R_L}{R_f + R_L} \quad T_2 = \frac{\theta}{\omega} \quad T_3 = \frac{1}{\omega_0^2 T_2}$$

第9図 VKP₂₁ 形記録計ブロック線図 I第10図 VKP₂₁ 形記録計ブロック線図 II

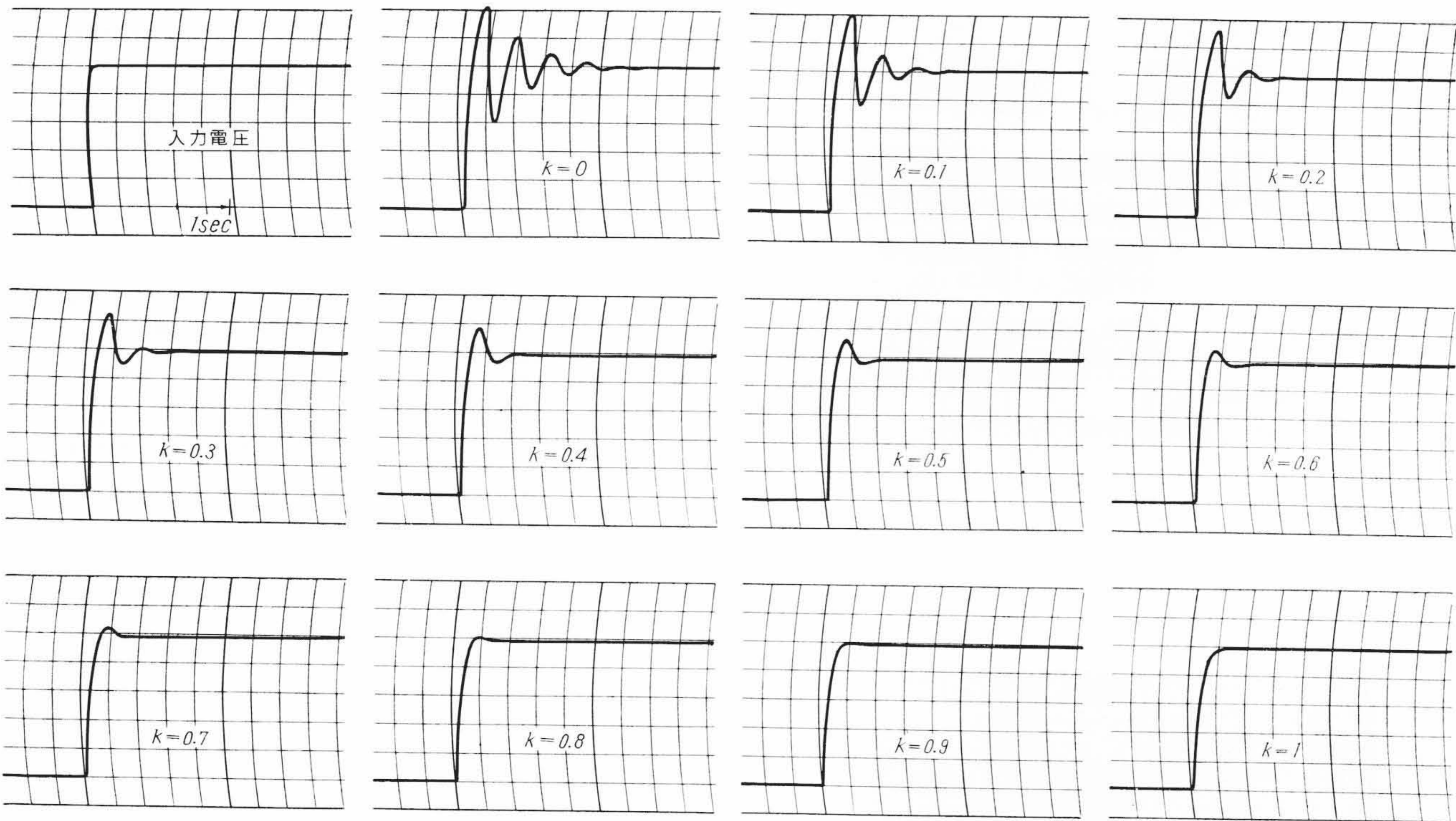
第11図 アナログコンピュータ計算回路

3. 応 答 特 性

工業計器としての記録計の場合、発信器の信号電圧は、たとえば熱電対の熱起電力のように時間的変化が比較的ゆるやかであるため応答特性はほかの特性に比べさほど問題にならない。一方理化学用の記録計では、信号電圧が急激に変化するものが多く、この信号電圧の振幅、変化の状態を正確に測定するために、応答特性の良いものが要求される。VKP₂₁ 形記録計は、特にこの点に留意して設計されており、本器の制動特性、周波数特性に対して解析した結果を次節に述べる。

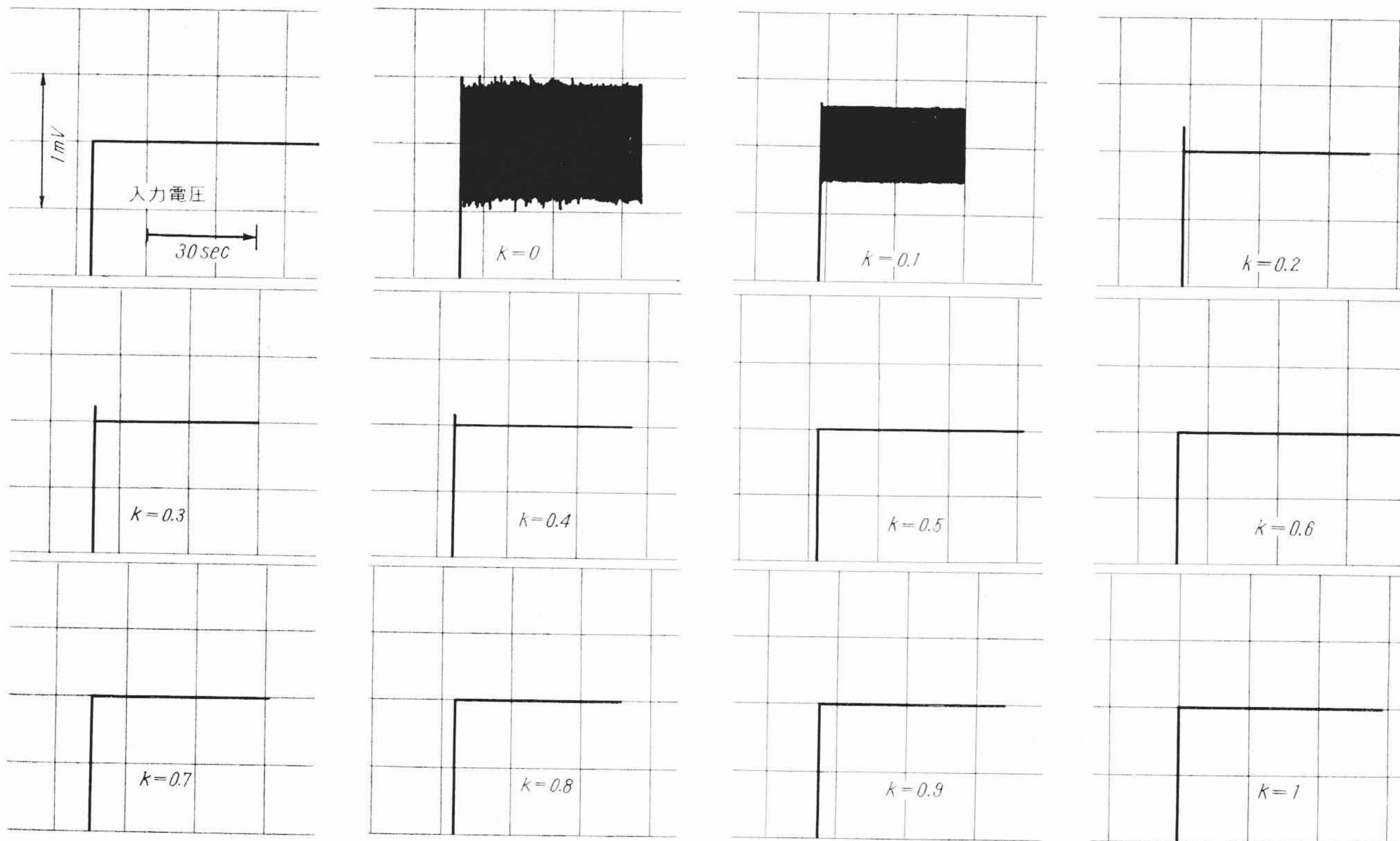
3.1 制 動 特 性

制動特性とは、ステップ入力印加時に計器の指針が移動し、平衡点に達して静止しようとする際の動特性をいう。理想的には入力変化と同一の動きをなすことが好ましいが、実際には計器内部の遅れ要素のため異なった応答を行う。制動特性の解析法表示方法は従来より種々述べられているが、ここでは VKP₂₁ 形記録計において、速度発電機の電圧負帰還量の変化に対し、どのような制動特性を示すかをアナログコンピュータによる計算結果で示す。計算にあたっては線形サーボ機構としての仮定の下に行った。実際には増幅器、平衡モートルの飽和要素、機械的ヒステリシス要素を含むためこの解析方法では不十分と考えられるが、平衡点付近のダンピング特性



第 12 図 アナログコンピュータによる制動特性計算結果

k の値は制動ボリュームの位置を示す



第 13 図 制 動 特 性 実 測 値

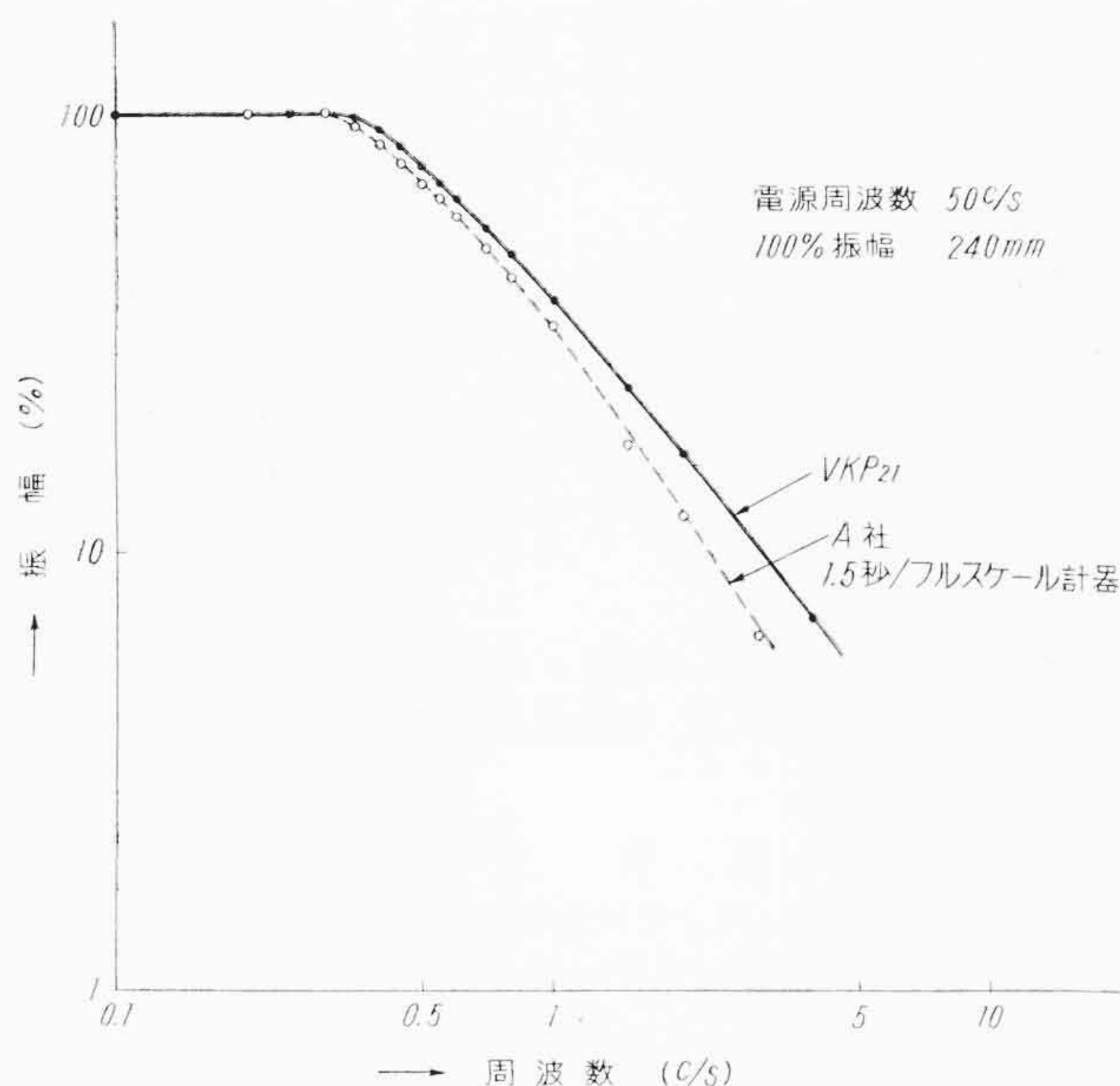
全目盛幅 : 10mV

k の値は制動ボリュームの位置を示す。

を検討するにはこれらの要素を省略しても、ほぼその考察は可能で、計算結果によれば実際とよく一致し、簡単な解法としては十分な方法と考えられる。

本器の構成は、速度帰還を有する 1 形制御系で表わすことができる⁽³⁾。本器のブロック線図を第 9 図に示す。同図においては、増幅器の負帰還電圧帰還点以前を入力回路、以後を増幅回路として取り扱っている。ここで実際の計器の各定数を代入し、計器の目盛幅を

10mV とした場合のブロック線図を第 10 図に示す。なお平衡モータの時定数は、負荷慣性モーメントを含むものとし、速度帰還量零の場合のハンチング周波数から増幅器の位相回転を $2^\circ/\text{c/s}$ と仮定して、メインループの特性方程式より時定数を逆算したものである。第 10 図をアナログコンピュータにかけるため、時間軸を 10 倍して書き改めると第 11 図となる。同図における k の値はダンピングボリュームの位置を示し、 $k=0$ は制動零、 $k=1$ はボリューム



第14図 周波数特性実測値

最大の場合を示す。計算結果を第12図に示す。同図から $k=0.8$ 程度で十分な制動が得られることが考察される。この計算は特性の線形範囲、すなわち平衡点付近の動作を示すものであることを考えれば、ハンチングの振幅は非常に小さなものであり、実際には $k=0.5$ 程度で十分制動が得られるものと考えられる。第13図に実際の制動特性を示すが、 $k=0.5$ で良好な制動が得られており、計算結果と良く一致する。

3.2 周波数特性

次に動特性として重要な他の特性をあげれば平衡速度がある。平衡速度は指針が全目盛幅、またはその90%を移動する時間として通常定義されており、平衡速度が大ということは、急激な入力信号変化に対する応答が良好であることを意味している。平衡速度1秒/全目盛幅の平衡計器の場合、全目盛幅に相当するステップ入力に加えられ、1秒後に計器の指針は測定量を指示する。すなわちステップ入力の印加時間が1秒以上であれば指針は与えられた最高振幅を指示することが可能である。このように実際の用途に適した意味を持つため使用されることが多い。

実際の平衡計器では、増幅器および平衡モータの飽和により線形応答範囲⁽⁴⁾は全目盛の約1%で、ほとんどコンタクタサーボ系の特性を示す。したがってこのような系で、周波数特性を表わすことには問題があるが、動特性の目安として第14図に VKP₂₁ 形記録計の周波数特性を示す。同図において振幅減衰開始周波数 f_c は約 0.35 c/s であり、これから平衡時間 T_0 を求めると

$$T_0 = \frac{1}{2f_c} = 1.43 \text{ 秒 (50 c/s 時)} \quad (1)$$

で十分仕様 1.5秒/全目盛幅を満足している。

4. スライド抵抗に発生する熱起電力

電子管式自動平衡形計器において精度、寿命の面で最も重要な要素は、測定回路に使用するスライド抵抗である。スライド抵抗はいうまでもなく、機械的接触を介して、電気回路を構成する回路要素であり、しかも信号レベルの低い入力回路に用いられるために、接触不良、熱起電力の問題が計器に大きく影響してくる。接触不良に関しては時間経過およびふん囲気、使用状態による影響が大きく作用し、良否の表示方法はかなり困難で、統計的手段による解析を必要とするため、本文では接触不良に関する考察は割愛し、後者の熱起電力が計器に対し、いかなる影響を及ぼすかを述べる。なお、

VKP₂₁ 形記録計では、後述するように新しい材料を使用することによりこれらの問題を全く解決している。

4.1 ブリッジ回路に発生する熱起電力

VKP₂₁ 形記録計は高感度直流計器であるため、測定ブリッジ回路内に銅に対して熱起電力を有する金属を使用すると、内部温度差により熱起電力が発生し、計器に悪影響を及ぼす。計器に及ぼす熱起電力の影響の具体的な例をあげる。

- (1) 計器内部の温度こう配により熱起電力が発生する。したがって通電後計器内が熱平衡に達するまでドリフトが現われる。またカバー開閉、機構部引き出しなどによって、温度こう配が変化するため、指示変化を生ずる。
- (2) 機構部引出しなどによって、計器内温度が急変した場合、ブリッジ回路各金属の熱容量の不同に基づき異なった温度変化を生じ、その結果熱平衡に達するまでの短時間ドリフトが発生する。
- (3) 計器への測定入力が増加した場合、しゅう動子はスライド抵抗上をしゅう動移動するが、摩擦による局部的な発熱のためその熱が発散し、平衡に達するまでは熱起電力が発生し、計器の指示に誤差を生ずる。

4.2 熱起電力の発生原因

測定回路は一般に複雑な回路網となっているため、通常の熱起電力計算法が適用できず、特殊な計算法による必要がある。この計算法は別の機会に発表するが、ここではその結果および発生原因のみをあげる。

4.3 計器内部温度差による熱起電力

計器内部には各種の発熱源があるため、スイッチン時または熱平衡時においても内部に温度こう配を生じる。内部温度差により発生する熱起電力の計器に及ぼす影響は、比較的長時間(1~2時間)にわたり、ドリフトとして現われるが、内部温度こう配が平衡するとドリフト電圧も一定する。計器内部の温度こう配は比較的ゆるやかであるので、この熱起電力は大きな距離にわたる回路網で発生する。測定ブリッジ回路内で対銅熱起電力を有し、かつ寸法大なるものは通常スライド抵抗である。スライド抵抗材の対銅熱起電能を k_1 、直線スライド抵抗の左端、中央、右端の温度をそれぞれ t_1, t_2, t_3 とすると、計器に影響をおよぼす熱起電力 e_1 は(2)式で与えられる。

$$e_1 = k_1 \left(t_2 - \frac{t_1 + t_3}{2} \right) \quad (2)$$

4.4 内部温度急変時における熱起電力

内部温度急変時における熱起電力は異種金属接合部において両者の熱起電能および熱容量が異なっている場合には、すべての接続箇所発生し、比較的短時間(数分程度)で消滅する。測定ブリッジ回路内で比較的大きな熱容量を持つものには通常スライド抵抗しゅう動子リターン回路のしゅう動棒があり、この熱起電力の大部分がしゅう動棒としゅう動子間で発生する。計器内部温度上昇を T_1 、しゅう動子の対しゅう動棒の熱起電能を k_2 、形状による定数を α とすれば、発生する熱起電力の最大値 e_2 は(3)式で表わされる。

$$e_2 = \alpha \cdot k_2 \cdot T_1 \quad (3)$$

4.5 しゅう動子発熱による熱起電力

この熱起電力は計器に入力が印加され、しゅう動子がスライド抵抗上をしゅう動摩擦した場合に摩擦熱によって発生し、非常に短い時間(0.3秒程度以下)で消滅する。すなわちしゅう動子の移動方向にかかわらず、常に熱起電力は一方向に発生するため、たとえばしゅう動子が左方向に動く場合はアンダーダンピング、右方向に動く場合はオーバーダンピングのような現象を呈し、計器の動特性を見掛け上非常に悪くする。特に高平衡速度計器、高感度計器においてその現象が著しい。この熱起電力の発生する条件として、摩擦によりしゅう動子が発熱すること、スライド抵抗としゅう動子、または

しゅう動棒としゅう動子の熱起電能がそれぞれ異なっている場合で、発生する熱起電力 e_3 は、相接する金属間の熱起電能を k_3 とし、温度上昇を T_2 とすると (4) 式となる。

$$e_3=k_3 \cdot T_2 \dots\dots\dots (4)$$

以上述べたように、測定ブリッジ回路内に対銅熱起電力を有する材料を使用すると、なんらかの形で熱起電力が発生し、計器の動作に悪影響を及ぼす。これらの熱起電力は適当な補償を行うことによりある程度の軽減はできるが、完全に零にすることは不可能であるため VKP₂₁ 形記録計においては Ni 系金属を主成分とするスライド抵抗材および貴金属系接触子で対銅熱起電力零の材料を開発し、これを使用することによって、熱起電力的ドリフトの除去、および完全な制動を得ることに成功している。

5. 結 言

VKP₂₁ 形理化学用記録計の開発にあたっては、理化学装置用記録計の持つべき条件を各方面にわたって調査し、さらにアナログコンピュータによる各種特性解析、新材料の開発を行うなど、基礎的な検討を積み重ね完成したもので、特に制動特性については従来の記

録計に対比し、一段の向上が認められる。

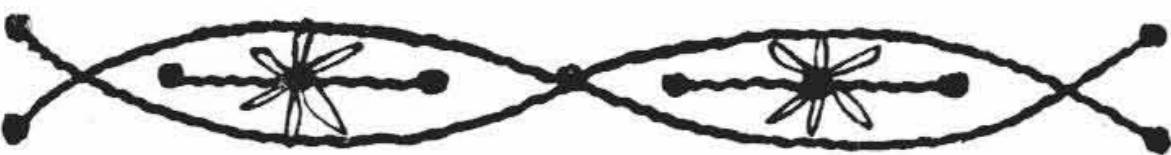
VKP₂₁ 形記録計は、現在ガスクロマトグラフ、γ線スペクトロメータ、その他各種分析計、モニタ用記録計として使用され、十分その性能を発揮している。

さらに VKP₂₁ 形記録計を基礎として設計された平衡速度 0.25 秒/全目盛幅の VKP₂₁-H 形記録計の生産も開始されており、新しい応用分野、たとえば従来はペン書きオシログラフのみが使用されていたアナログコンピュータ用記録計、風洞実験用記録計などとして、その需要が増大するとともに、十分その特性を発揮するものと考えられる。

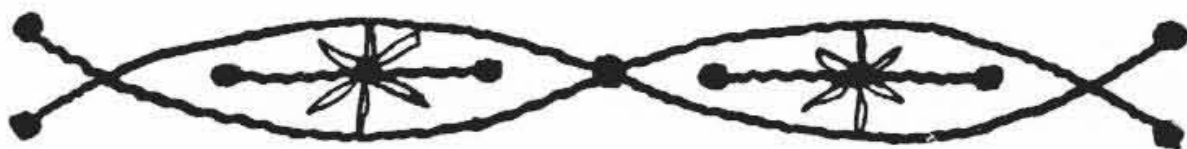
最後に本記録計の完成にあたり、種々ご指導をいただいた日立製作所中央研究所只野副所長、南波部長ほか担当者各位に厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) 日本鉄鋼連盟：電子管計器要覧 1 (昭-34 丸善)
- (2) 阿部，島田，河井，安原：日立評論 別冊 No. 44, (昭36-9)
- (3) 沼倉：日立評論 別冊 No. 26, 12 (昭 33-10)
- (4) 寺尾満，中川隆：電子管自動平衡計器 23 (昭-33 オーム社)



特 許 の 紹 介



特 許 第 272214 号

田 上 八 十 次

空気ばね台車用荷重応動ブレーキ装置

この発明は空気ばね台車を使用する車両において、荷重に応じた適正なるブレーキ制御圧力を自動的に確保し、円滑な制動作用を行なって高減速度運転ができるようにしたものである。

空気ばねの圧力空気は空気管 25 から絞り 29, 30, 31 および空気室 26, 27, 28 を交互に經由して通路 32 から膜板室 33 に達する。すなわち空気ばね作用による圧力空気の波動は、絞り 29, 30, 31 を経ることにより消滅し静止圧力となって膜板 4 を押し、その圧力は棒受 10, 伝達棒 15, 伝達てこ 12, 伝達棒 14, 棒受 9 を経て常時膜板 3 に作用する。膜板 3 に作用する圧力は上記空気ばねによる圧力の外に調整ばね 19 による圧力があり、これらは伝達てこ 12 のてこ比 $l_1:l_2$ の選定およびねじ蓋 18 による調整ばね 19 圧力の調整により、ブレーキ制御圧力に見合う圧力となるように定める。したがって膜板 3 は調整弁 21 を開き、常時空気管 20 と 24 とは連通して制動筒管または直通空気管からの圧力空気は空気管 20, 膜板室 23, 空気管 24 を経て制動筒または中継弁に供給される状態になる。

操作ハンドルを操作して自動ブレーキもしくは電磁直通ブレーキを使用すれば、制動筒管または直通空気管からの圧力空気は空気管 20 に導かれ、調整弁 21 は開かれているので、さらに膜板室 23, 空気管 24 を経て制動筒または中継弁に送られブレーキが作用する。この作用圧力が次第に上昇して膜板 3, 上部に働く圧力より少しでも高くなれば、膜板 3 は押し上げられて調整弁 21 は閉塞しブレーキ作用圧力を制御する。調整弁 21 の閉塞する時期は空気ばね圧力の高低によって定まる。すなわち圧力が高いときには遅く低いときには早く閉塞し、これによって荷重に適応したブレーキ作用圧力を得ることができる。

次に制動筒管または直通空気管の圧力空気を排出すれば空気管 20 内圧力は空気管 24 内圧力より低くなり、したがって調整弁 21 は開放され制動筒または中継弁に送られていた圧力空気は空気管 24,

膜板室 23, 空気管 20 を経て制動筒管または直通空気管により排出される。

