

自動制御を応用した計測器について

Instruments based on Feedback Control Theory

井 沢 尊 生* 河 井 陽 一* 小 沢 重 樹*

Takaki Izawa

Yoichi Kawai

Shigeki Ozawa

内 容 梗 概

計測器の分野における自動制御理論の適用は、計測器自体の性能の飛躍的向上にとどまらず、自動制御系の中核的要素として使用されつつある。自動制御を応用した計測器はフィードバック回路をもつ閉回路を形成していることが特長であり、測定方式上平衡モートルのような無定位式とフィードバック増幅器を使用した定位式の二つに分類される。いずれも精度、感度の点からその利得を定め、速度、安定度については各部伝達函数の諸常数、補償回路の付加など制御理論に基づいて決定される。

応用例として電子管式平衡計器を主体とし、遠隔測定装置そのほかの計測器について代表的実施例を説明し、あわせて将来の動向にも言及した。

1. 緒 言

計測器としては測定量の変化に速応して正しく指示記録できることが、具備すべき第一の条件であるが、常に正確な指示を与えうするためには周囲条件や操作電源の変動、経年変化の影響などを受けにくい方式、あるいはそれらの影響を自動的に補償しうる方式をとることが望ましい。また最近の計測器の使命は単に測定量をその場で指示させることから、遠隔測定（テレメータリング）、測定瞬時値の記録、高級な自動制御装置、自動調節計の検出機構、測定機構として種々の電気量や工業量の自動制御などに及びさらに計測器自体に計算能力や記憶能力をもたせ、複雑な電気計算機械や資料処理機械の一要素として知的立場に使用されようとしている。

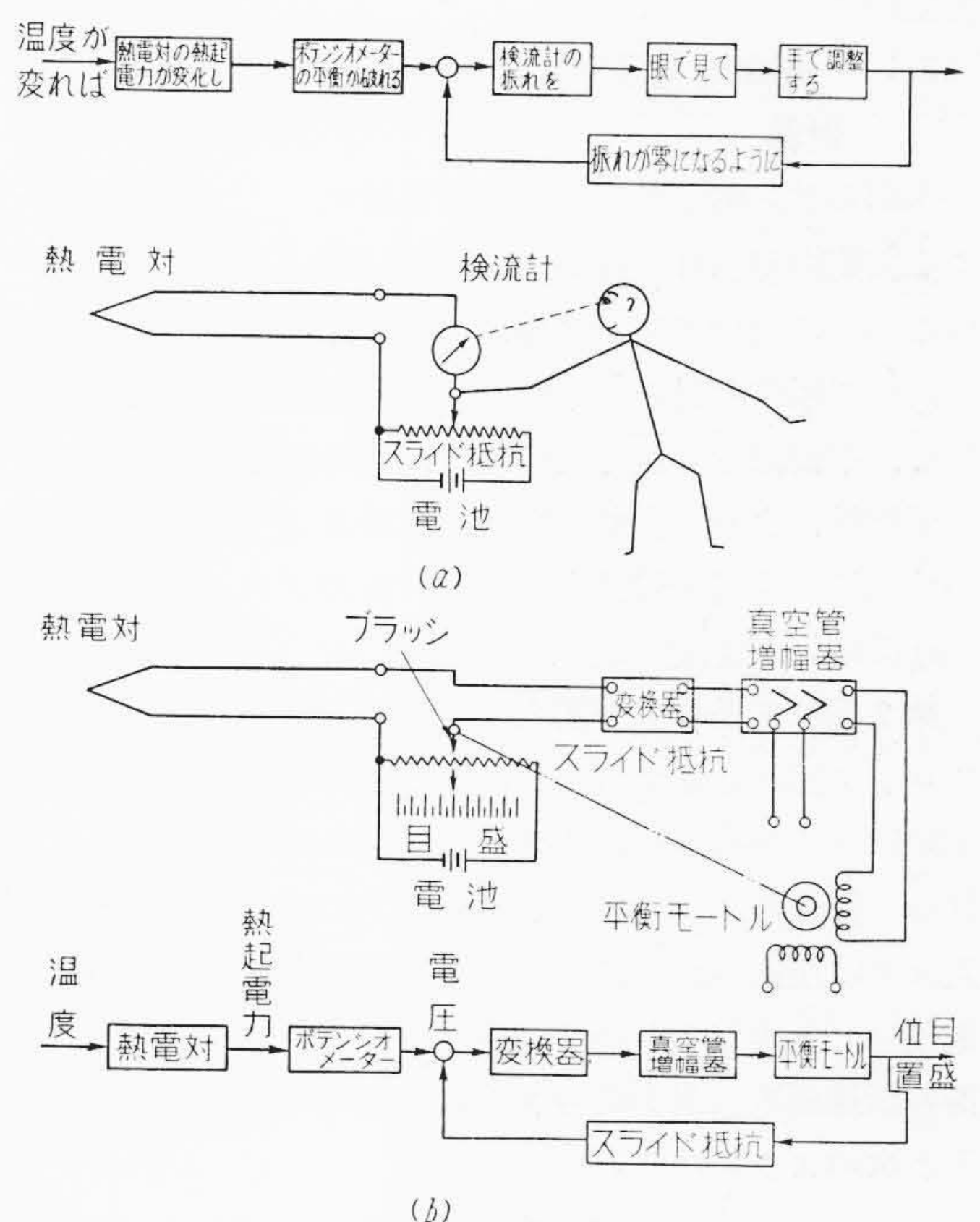
ここまで計測器の使用目的が拡大化されてきたのも、電気応用計測技術の急速な発展によることはもちろんであるが、計測器自体に自動制御理論を応用した新しい方式の計測器が開発され、なかんづく時代の寵児である電子管工学と最近急速に発達してきたサーボ回路の理論とが結びついて生れた電子管式自動平衡計器の出現に負うところ大なるものがある。計測器の王座を占めつつある本器の発展によつて大半の電気量、工業量の自動制御に高級な自動制御理論を自由に適用することが可能となったといえる。

以下電子管式計器を中心として自動制御理論を適用した計測器の数例について記述し、あわせて日立計測器の実例を紹介する。

2. 計 測 原 理

計測器の測定方式は大別すると偏位法、補償法および零位法の三方式に含まれるが、自動制御を応用した計測器の大半は零位法に属し、フィードバック回路をもつ閉回路系であることが特長である。

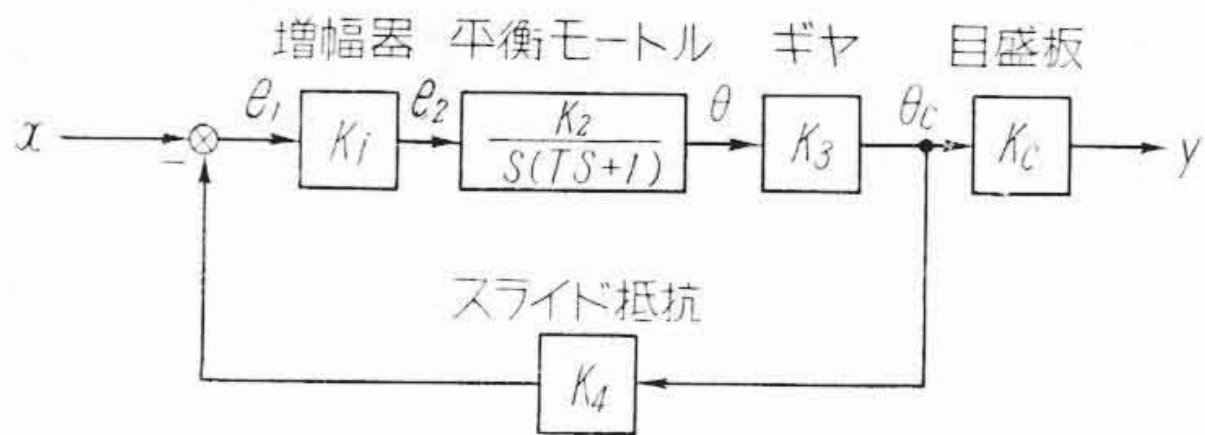
* 日立製作所多賀工場



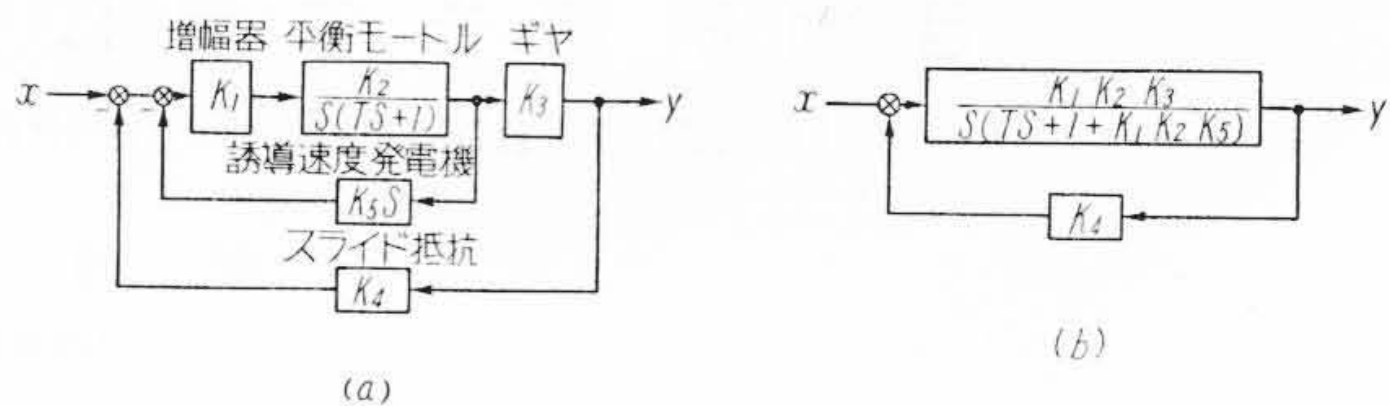
第1図 電子管式自動平衡計器の動作原理

一般に自動制御には定位制御と無定位制御とがあるが、計測器自身の場合でも同じくこの2方式が考えられる。定位制御では定常状態において利得が有限であり、無定位制御は無限のものをいうことは周知のとおりであるが、計測上その精度を高めるためには定常位置偏差を零にすることが望ましい。無定位方式ではこの偏差は零になるが、定位方式ではオフセットを生じることは避けられない。したがって計測器としては無定位方式が望ましい。定位方式を用いる場合には偏差が測定上無視しうるように考慮する。

その他応答度、安定度などについては各要素の特性に留意するとともに補償回路を付加することにより特性を



第2図 電子管式自動平衡計器のブロック線図



第3図 微分要素の補償回路を付記した平衡計器のブロック線図

向上させることは一般の自動制御の場合と同様である。

以下一般に広く用いられている測定方式のうち、その代表的なものについて説明する。

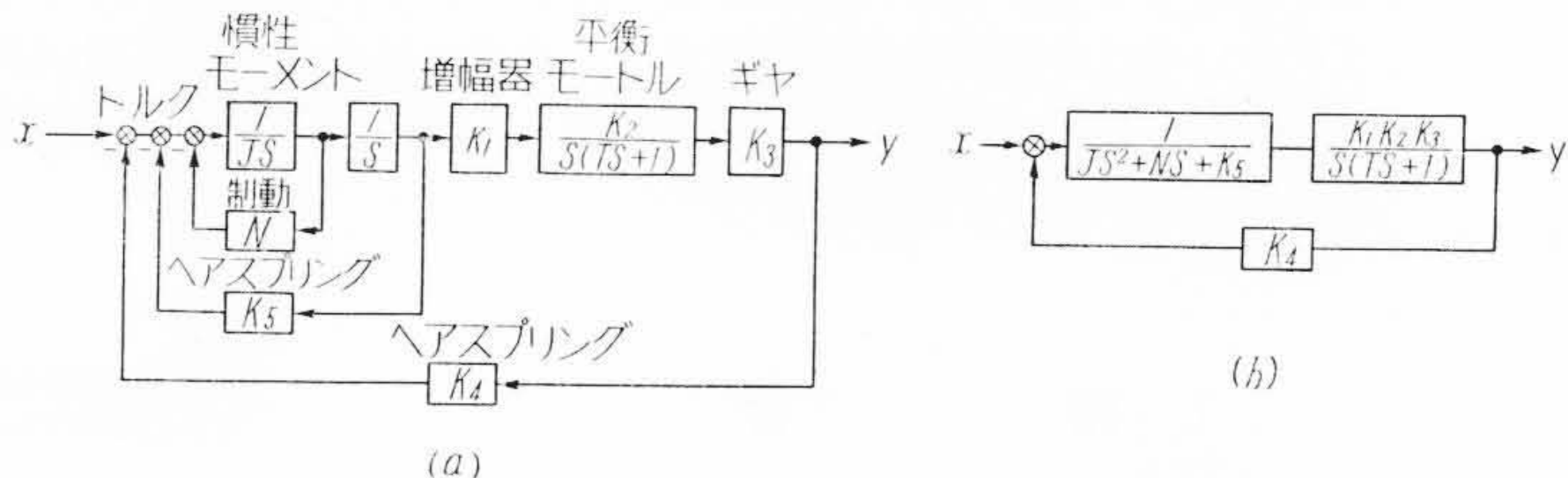
2.1 一般的な電子管式自動平衡計器

本器の代表的な例として電位差計による熱電温度（直流起電力）の測定原理ならびにそのブロック線図を第1図に示す。(a)図において電位差計の不均衡度を観測者が目で見えて手で調整し、平衡点を見出しているが、この観測者に代つてサーボ機構により自動的に平衡せしめるようにしたものが(b)図に示す電子管式自動平衡計器でブラッシの位置から直接測定量を読み取りうる。

第2図に電子管式計器内における信号の授受を表わすブロック線図を示す⁽¹⁾⁽²⁾。測定回路の不均衡電圧 e_1 は増幅回路で増幅され、平衡モートルは回転を始め、 θ 変位して停止し、その位置を目盛板上の読み y で表わす。変位 θ は復原されてスライド抵抗の変化となり、不平衡電圧 e_1 を零ならしめている。このブロック線図から計器の伝達函数（出力信号 y と入力信号 x との比）を求めると次のようになる。

$$\frac{y}{x} = \frac{K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_c}{TS^2 + S + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4} \quad \dots\dots\dots (1)$$

平衡モートルに積分要素($\frac{1}{S}$)が存在することからこの系は無定位制御方式で、偏差は零となり増幅器の利得を十分大きく選ぶことができ高精度の測定が可能である。このことは(1)式からも導かれる。すなわち計器の定常状態における誤差は、その静特性のみを問題とすれば良いゆえ(1)式において $S=0$ と置いて静特性に対する伝達函数を求めると K_c/K_4 となる。 K_4 すなわちスライド抵抗の利得は一定であるから、目盛板の伸縮 K_c が影響を及ぼすのみで、変動しやすい増幅器の利得 K_1 や K_2 , K_3 などは静特性には関係しないことを示す。計器の安定化、過渡応答などの特性（動特性）に関しては平衡モートルの Torque-Inertia ratio および系の全利得により決定されるので、これらに十分な考慮を



第4図 トルクバランス法による平衡計器のブロック線図

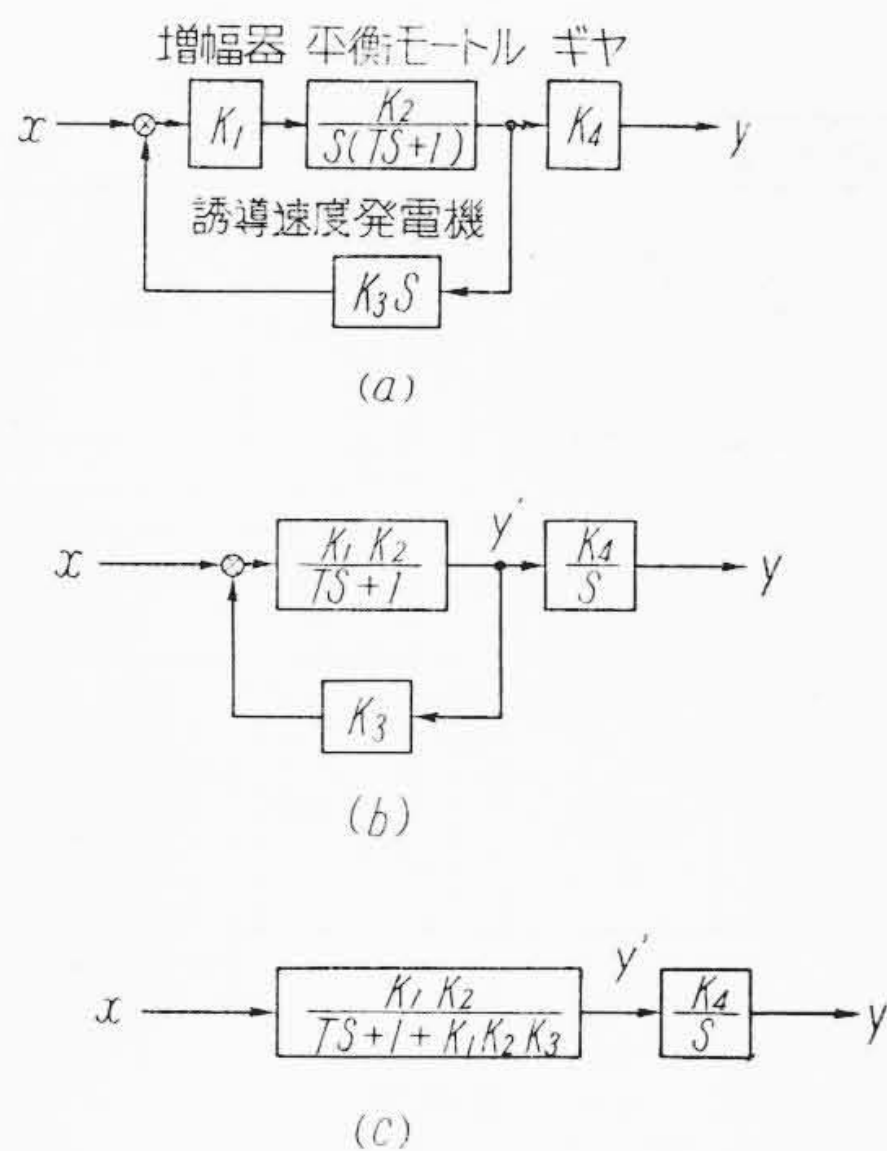
払う必要がある。

2.2 補償回路として微分要素を付加した平衡計器

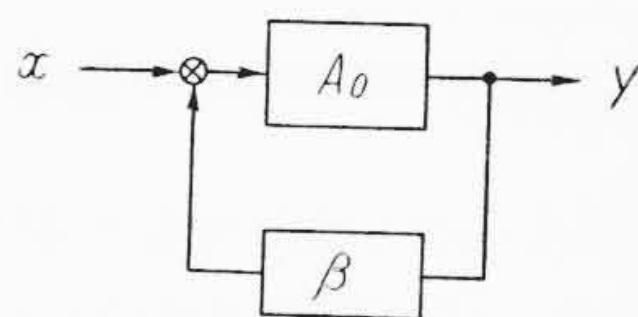
2.1 項の平衡計器の入力に平衡モートルの出力、すなわち回転角の微分値をフィードバックするといわゆる制動作用が増し、系の安定化、速応度の向上が大いに改善される。第3図(a)は平衡モートルに直結された誘導速度発電機により微分値を取り出す方式のブロック線図を示したものである。同図(b)はこれを簡略化したもので、一般の平衡計器の場合と比較すると時定数、利得ともに $1/(1+K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)$ に減少しており、安定性が向上することがわかる。これはさらに K_1 あるいは K_3 を大きく採りうる余裕のあることを示し、高感度、高速応度の測定が可能であることを意味している。

2.3 トルク・バランス法による平衡計器

電力、無効電力などの電氣的測定量を一般には電流計型計器でトルクに変換し、変位に比例した電圧を増幅して平衡モートルを駆動し、これにより発生する前記トルクと逆方向のヘヤスプリングのトルクとを比較する方式の平衡計器である。第4図(a)にこの方式のブロック線図を示し、同図(b)はこれを簡略化したものである。いま $K_5=0$ と置けば系の伝達函数には $\frac{1}{S^2}$ の項を生じ、Nyquist の判定法からも知られるとおりに周波数軌跡は $-j\infty$ から出発し、安定上思わしくないことは明らかである。したがってこの系を安定化するためには K_1 を十分に大きくして電流計型計器部分を安定にし、かつ利得 $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ を適当な値に選定することが必要となる。具体的には可動部にヘヤスプリングを取り付けることにより安定な動作が得られるが、ヘヤスプリングの強さにも限度があるので、可動部の Torque-



第5図 連続積算計器のブロック線図



第6図 フィードバック増幅器のブロック線図

Inertia ratio をできるだけ大きくするように留意しなければならない。

2.4 連続積算計器

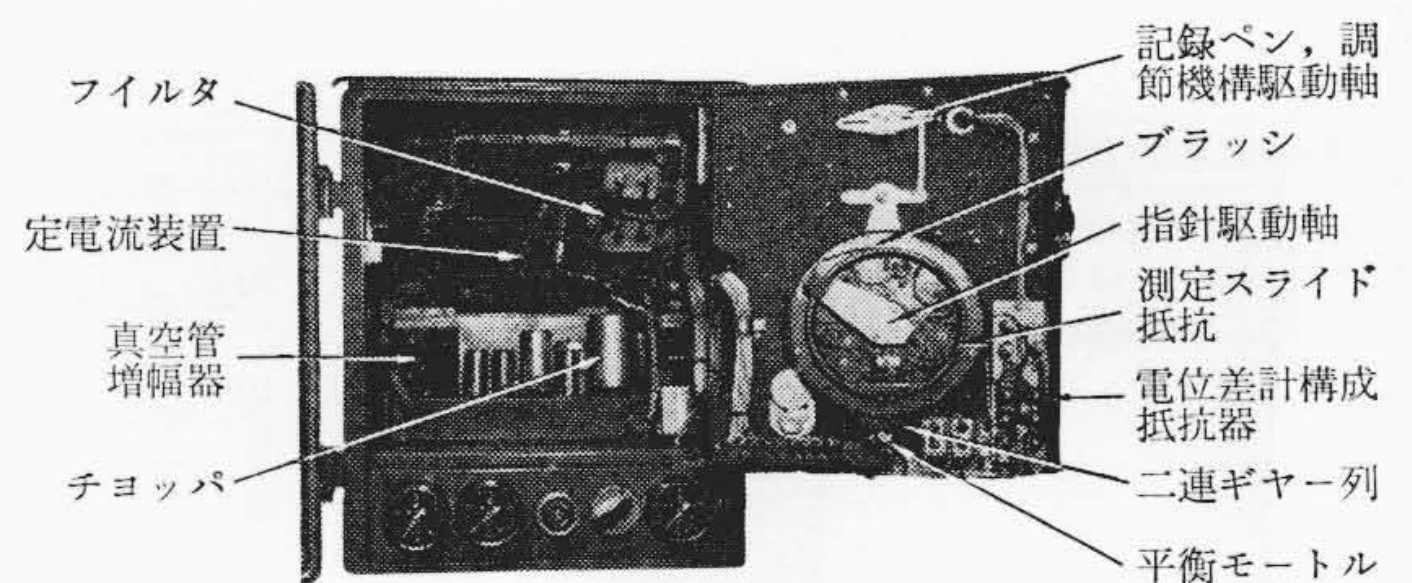
アナログ量（たとえば流量などをこれと一定の関係にある電気量に変換したもの）を連続的に積算するもので、平衡モートルに直結した誘導速度発電機の出力を入力側にフィードバックする方法がとられている。そのブロック線図は第5図（a）のように示されるが、さらに（b）図、（c）図のように簡単化される。図で y' は回転速度に相当し、この点から考えると方式的には定位制御であるが、利得 $K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ を十分に大きくとることにより偏差を無視することができ、入力 x と y' とはまったく比例的関係にあるとみなすことができる。したがって y は x の積算値を表わすことになる。

2.5 フィードバック増幅器を用いた計測器

一般に増幅器の利得の安定化、周波数特性の向上を計るために広く使用されているが、計測器にも pH 計などに一定利得の増幅を行う目的で使用されている。ブロック線図は第6図に示すものでその伝達函数は $\frac{A_0}{1+\beta A_0}$ で表わされる。ここで利得 A_0 を十分に大きくして $1 \ll \beta A_0$ とすれば、利得は $\frac{1}{\beta}$ となり、安定化することは良く知られているところである。

3. 応用効果

計測器に自動制御を応用した効果としては2章で述べ



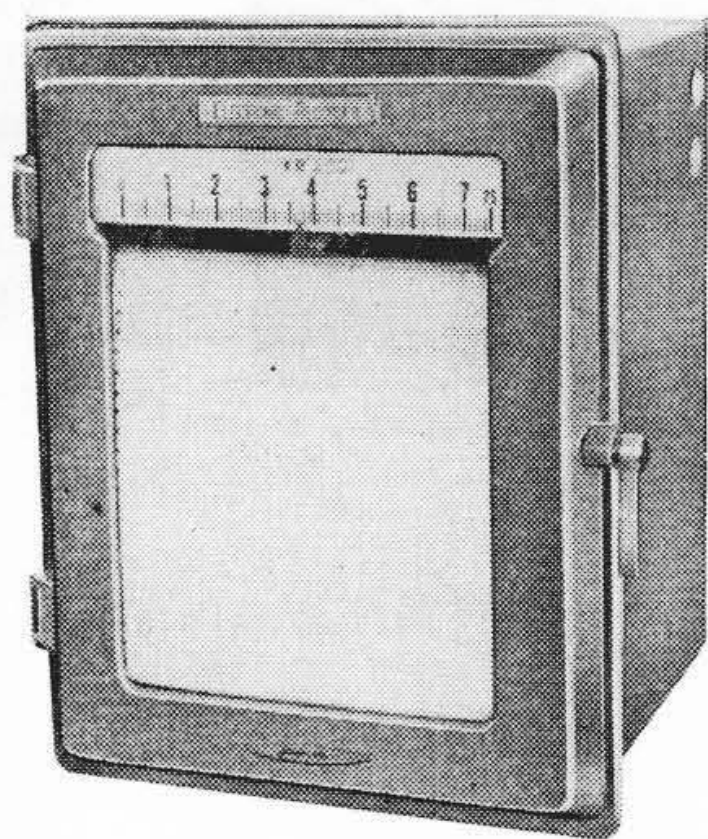
第7図 PVQ-A 型電子管式調節計の内部構造

た各方式によりそれぞれの特長を有しているが、一般的には下記の点を改良することが応用された目的であり、かつ効果をあげている。

- (1) 精度の向上
- (2) 安定度の改善
- (3) 速応度の選択向上

これらのうちたとえば特に精度を向上させる目的で適用し、そのほかの項目にはあまり改善の必要を認めないものなど計測器の用途からいつて個々についての応用効果はまちまちである。一例として電子管式自動平衡計器について考えればその特長としている事項はすべて下記のように自動制御の応用効果にほかならない。

- (1) すぐれた感度、精度。すでに2.1で述べたが、数mV全目盛という高感度用計器でも現場での連続使用が可能となつた。
- (2) 計器自体で多目的の仕事を行なうこと。長期連続記録に必要なインクを容れうる記録ペンや、各測定箇所に応じた打点ペン、多色インク、測定箇所を明示するインデックスなどすべて指針と一体にすることができ、記録状態の監視も楽にできる。これは計器自身が仕事をする能力を有するため、偏位法では入力信号により直接指針やペンを動かすのに反し、自動平衡計器ではほかから供給されるエネルギーによつて駆動しているので大きいトルクが得られるゆえである。
- (3) 自動制御面に対する大きな役割。従来の温度計などでは間歇式の動作のみに頼る以外になかつた自動制御も、連続的に3項動作の標準調節計などを駆動することが可能となり、自動調節計の応用面は急速に広まつた。第7図にこの応用製品の一つとしてPVQ-A型電子管式空気作動3項動作付熱電温度指示記録調節計の自動平衡機構部を示す。
- (4) 外部条件や電源変動の影響、経年変化が少ない。
- (5) 等価入力インピーダンスが無大とみなしうるので、測定対象からエネルギーを吸収せず、したがって相手に擾乱を与えることがない。
- (6) 遠隔測定では精度および信頼度の高いものが実現され、中央集中管理が簡単に計画できる。



(目盛0~0.075%CO)

第8図 TVK-A 型電子管式CO記録計

(7) 要素相互間の変換や、直接警報(調節)用接点などを駆動することなどが容易である。

4. 応 用 例

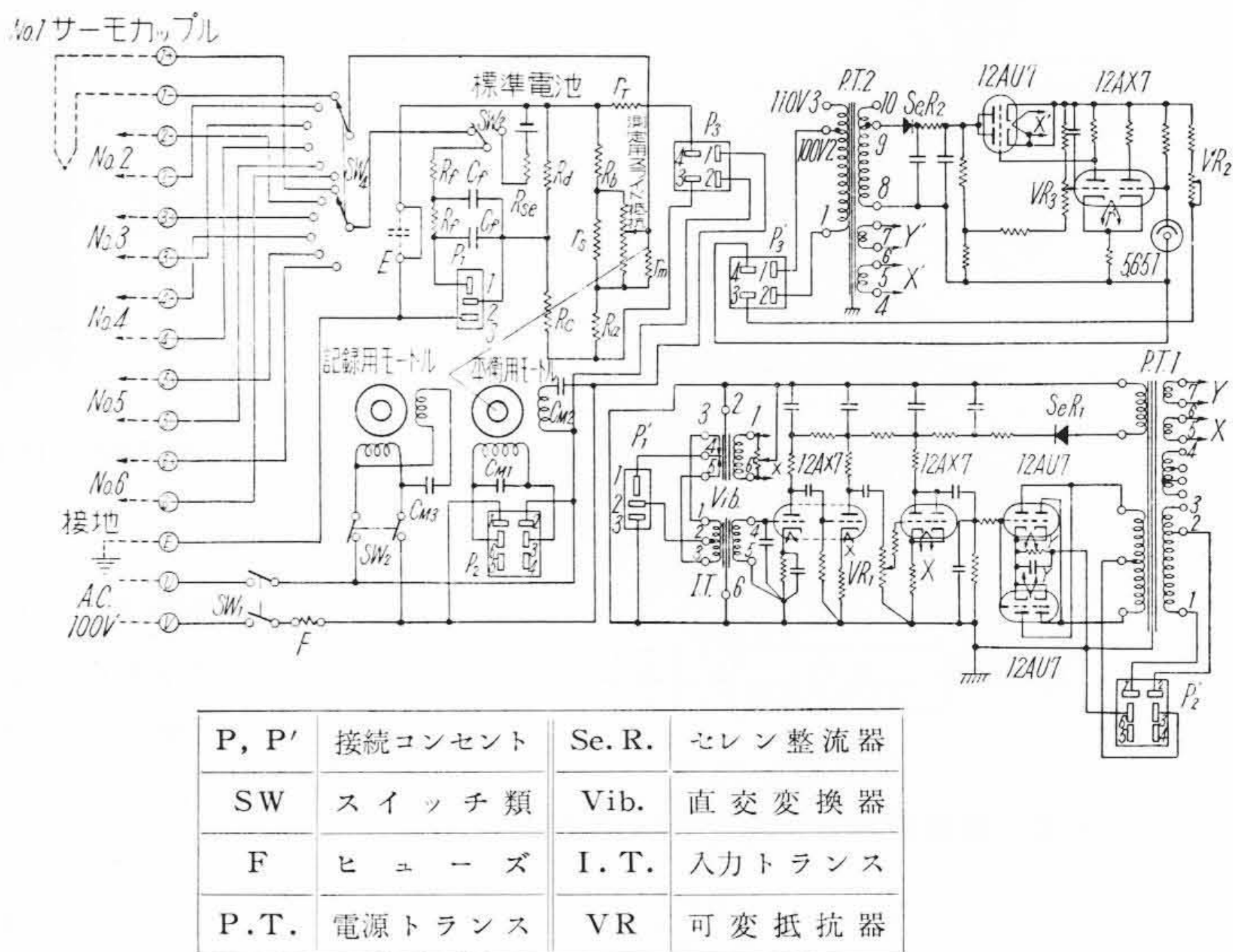
4.1 電子管式自動平衡計器^{(3)~(5)}

自動平衡計器の基礎的な考えは H. L. Callender 教授の設計になる継電器型連続自動平衡記録計(1897)に始まる。その後ケルビン式電流平衡計など独特な製品が発表されているが、工業的応用に対し十分使用に耐えるものとしては M. E. Leeds 氏の特許(1909)にかかる Micromax 記録計がある。しかし現在計測器の王座を占めるに至った電子管式計器は W. Geyger 氏と G. Keinath 氏の考案になる Numo 記録計(1938)に端を発し、現在の方式が確立したのが 1945~50 年と考えられる。

自動制御を応用した計測器の大半はこれに属するか、またはその応用とみられるわけであるが、そのうち比較的基礎的な数種類をこの項にまとめて以下説明する。

4.1.1 直流電位差計方式

微弱な直流入力を電位差計で測定する方式で、測定原理は前述のとおりである。この方式で最も多く使用されているのは熱電温度計であるが、このほか輻射高温計、pH 計、各種ガス分析計、あるいは研究所などで使用される理化学機器に組込まれている記録計の大半がこれに属する。第8図に一例として TVK-A 型電子管式 CO 記録計の外観を示す。また回路例として6点打点式熱電温度記録計の内部接続図を第9図に示す。この種の計器の精度はすでに説明したように電位差計回路を流れる電流値の変動によつて決定される。第9図に示すものは交流電源を整流して得られる直流電流を一定負荷に流し、この変動を検出、増幅し



第9図 TVK-A 型電子管式熱電温度記録計内部接続図

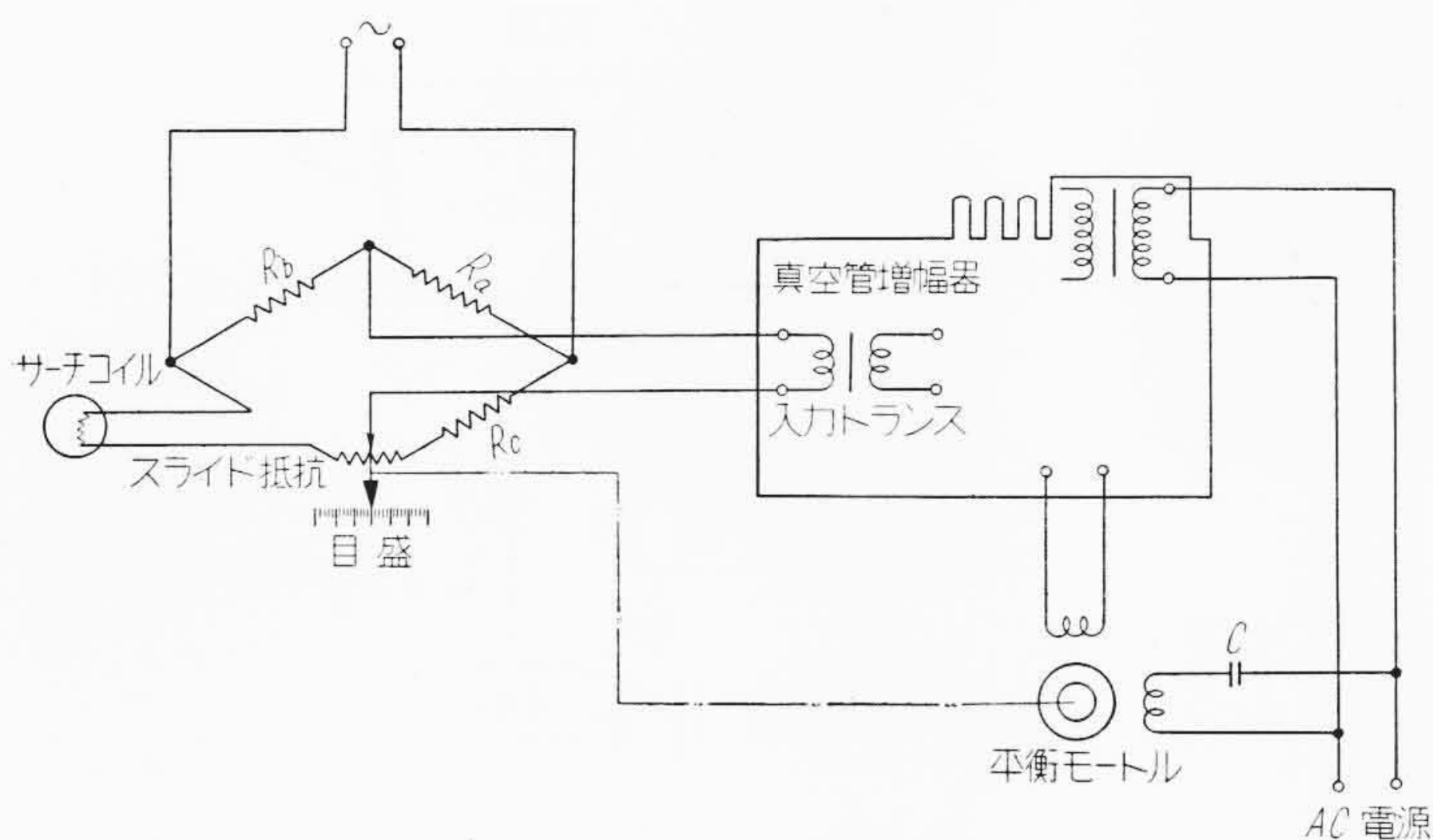
て入力直流電流を制御し定電流をうる方式で電源電圧 $\pm 10\%$ の変動ならびに連続使用に対し $\pm 0.1\%$ 以下の精度を保持できる。電位差計の不均衡直流電圧は真空管増幅器で増幅しやすく、かつ平衡モータの駆動を可能とするため交流電圧に変換されるが、この直交変換器としてはバイブレータ型チョッパ、あるいはリストン・チョッパが使用されている。後者を採用したものでは全目盛 500 μV 相当の記録調節計で 0.01% の高周波加熱炉の温度制御も可能である⁽⁷⁾。平衡モータとして誘導速度発電機を使用し、そのフィードバック量を適当に選定すれば、全目盛の走行時間1秒以下の高速応度記録計や、逆に緩慢な入力変化のみに応じうる記録計の製作が可能である。

4.1.2 抵抗ブリッジ方式

サーコイルやサーミスタを使用した比較的低温用の温度計、関係湿度計、液濃度計、水質計、歪計などがこの方式に属する。測定対象と一定の関係でその抵抗値が変化する検出要素をいずれかの辺に含むホイートストン・ブリッジなどの抵抗ブリッジの不均衡電圧は真空管増幅器で直接増幅され、平衡モータを駆動してブリッジをふたたび自動的に平衡させる。この方式の代表的な抵抗温度計の場合の動作原理を第10図に示す。ブリッジ電源としては一般に商用周波電圧がそのまま使用されるが、これを整流して直流電源が使用される場合もある。後者の場合には電位差計方式と同様に直流不平衡電圧はチョッパによつて商用周波交流不平衡電圧に変換される。

4.1.3 インピーダンスブリッジ方式

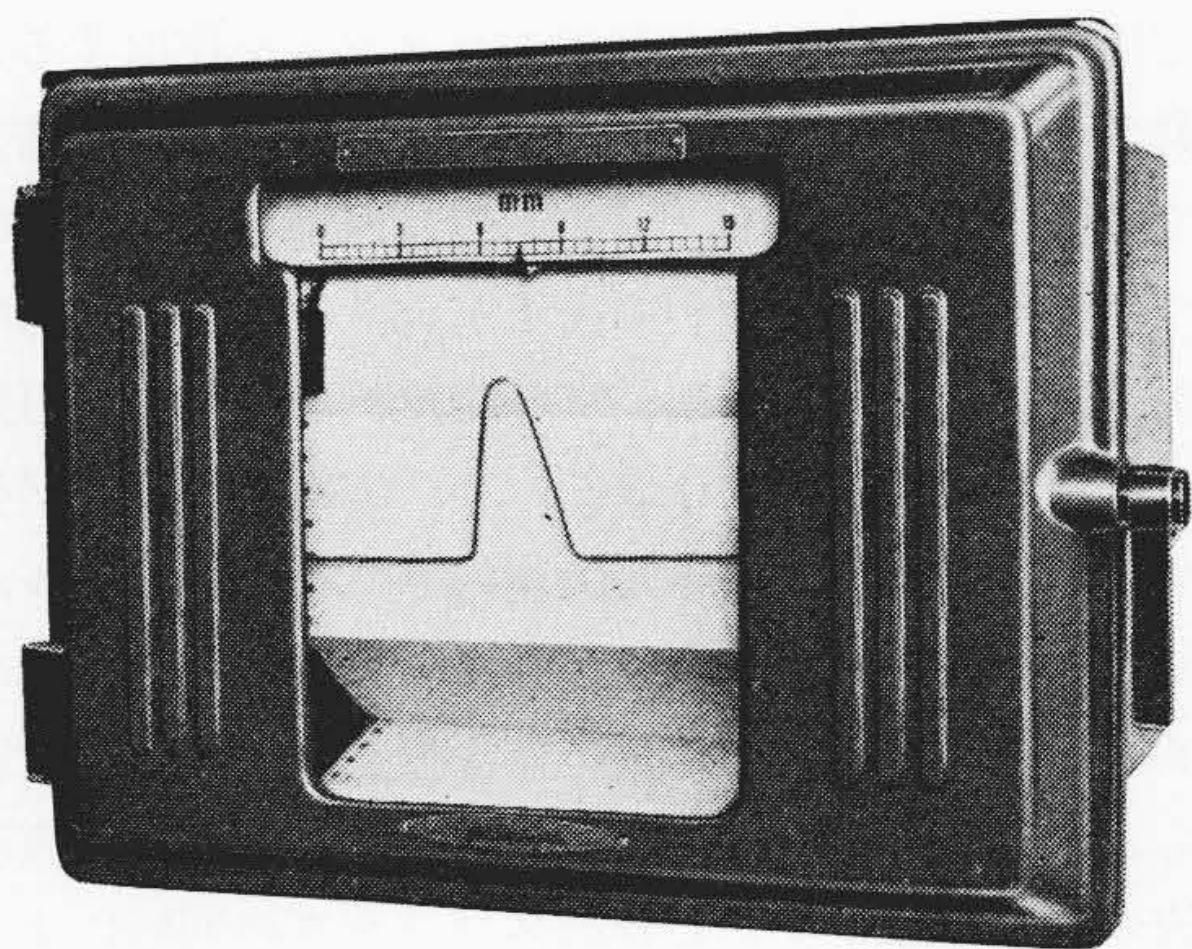
インピーダンスブリッジの応用例としてタービン監



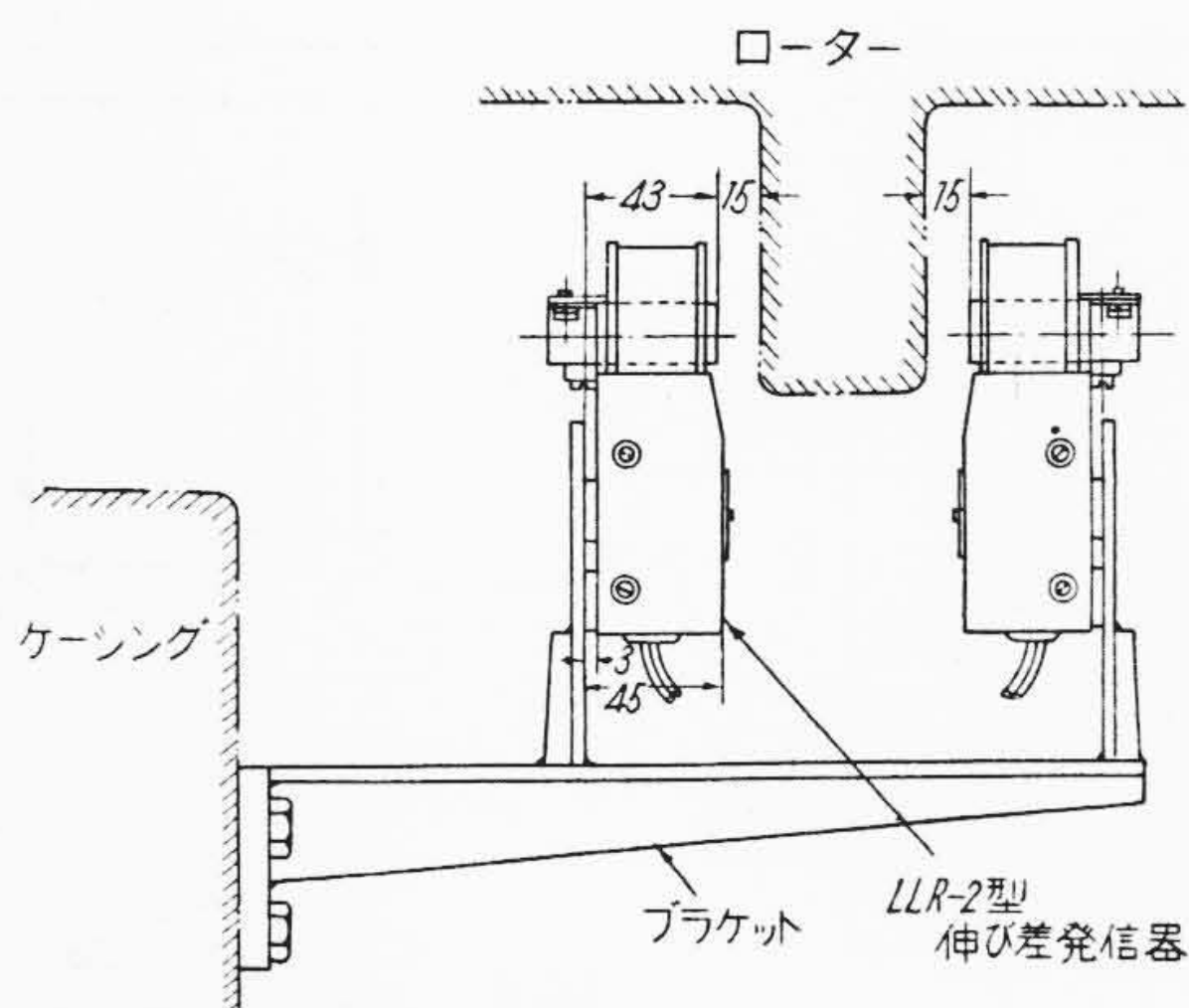
(抵抗ブリッジ方式—抵抗温度計)
第10図 電子管式計器の動作原理

視用計器として使用される伸び計、伸び差計およびタービン軸位置計について述べる⁽⁸⁾。第11図に Q₆ 型伸び記録計の外観を示す。

これらは原理的には同一であり、検出器は第12図に示す伸び差発信器のごとく二個の検出コイルの中間



第11図 Q₆ 型 伸び 記録 計



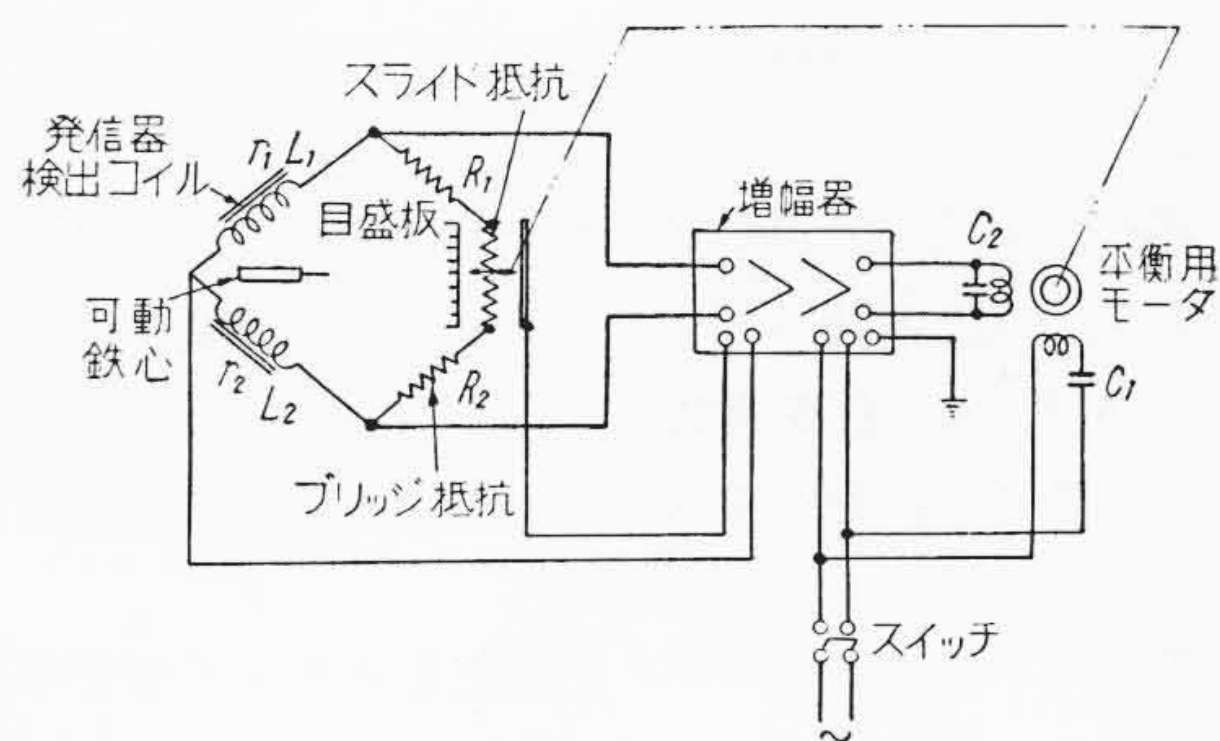
第12図 伸び 差 発 信 器

に可動鉄心を設け、検出コイルと鉄心の相対位置の変化による検出コイルのインダクタンス変化を利用する。すなわち検出コイルはそのほかのブリッジ構成要素と第13図のように組合され、可動鉄心の変位はブリッジに変位量に応じた不平衡電圧を生ずる。

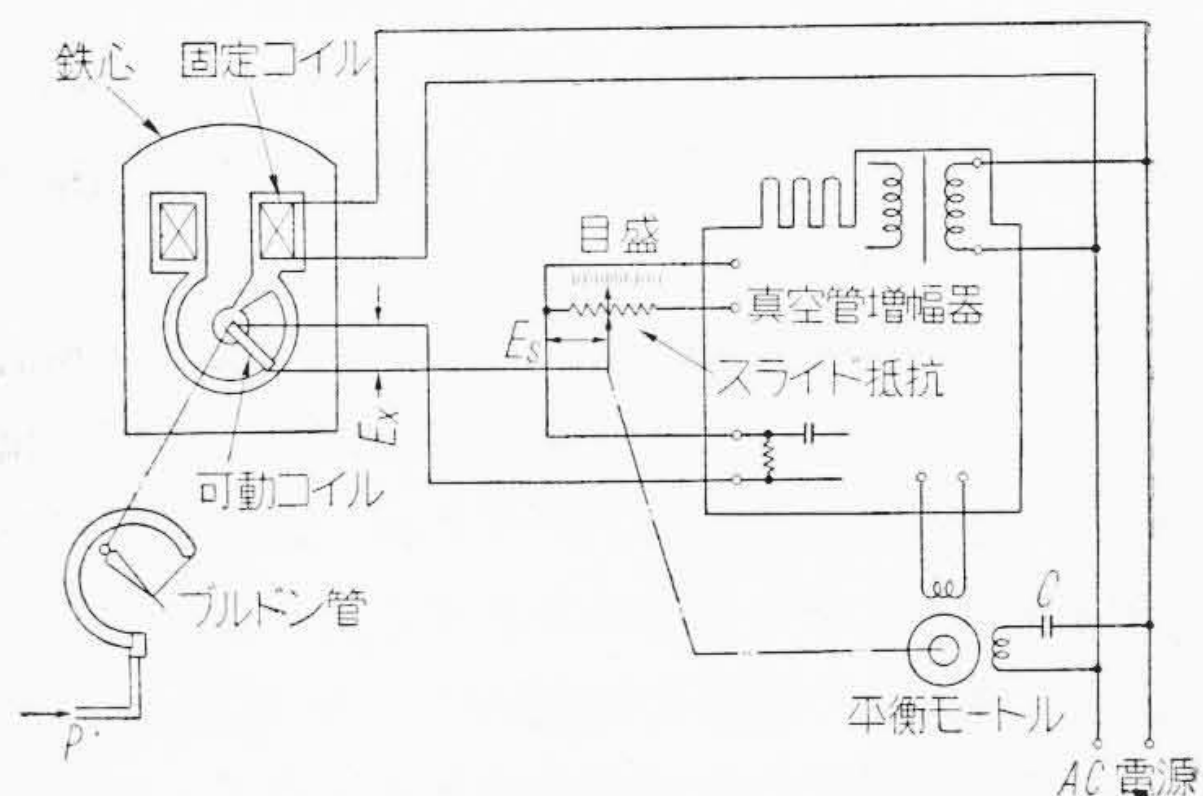
この不平衡電圧は増幅されて平衡モートルを駆動し、指針を移動させるとともにスライド抵抗を変化させてふたたびブリッジを平衡させる。

一般にインピーダンスブリッジを電子管式自動平衡計器に使用する

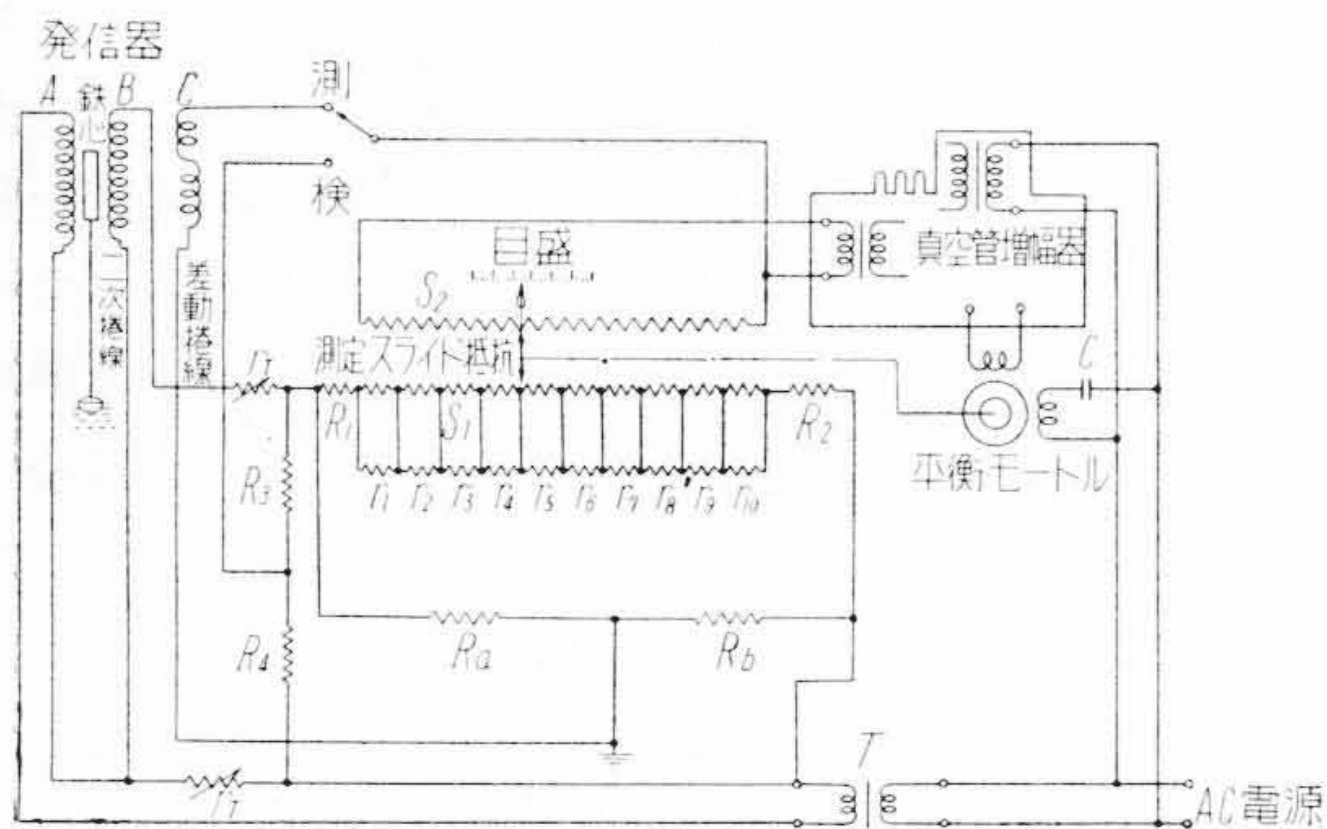
場合、ブリッジの残り電圧に注意しなければならない。すなわち平衡モートルが停止し、ブリッジが見かけ上平衡している状態でも平衡モートルに回転力を発生しない位相の残り電圧が大であると、増幅器が飽和し計器の応答度を悪くし、また真空管の寿命を短くする。したがってブリッジの選定にあたっては、測定量変化の範囲内において不平衡電圧の位相変化が少ないものを使用しなければならない。



(インピーダンスブリッジ方式)
第13図 測定原理説明図



(交流電位差計方式—ブルドン管式圧力計)
第14図 電子管式計器の動作原理



(交流電位差計方式—電気誘導式流量計)

第 15 図 電子管式計器の動作原理

4.1.4 交流電位差計方式

測定量がインダクタンスの変化に変換される測定方式ではインピーダンスブリッジのほかに、交流電位差計方式が採用される。この場合問題となることは位相差の点であり、工業計測法としては一般に信号変換電源と電位差計電源を同一とするか、なんらかの補償装置を付加して位相を合わせ、直流電位差計と同じ取り扱いができるようにしている。

第 14 図は圧力または液面変化をブルドン管で受圧する場合の例を示す。ブルドン管の指針と連動する可動コイルには回転角に比例した交流電圧、すなわち測定圧力（または液面）に比例した電圧 E_x を発生する。

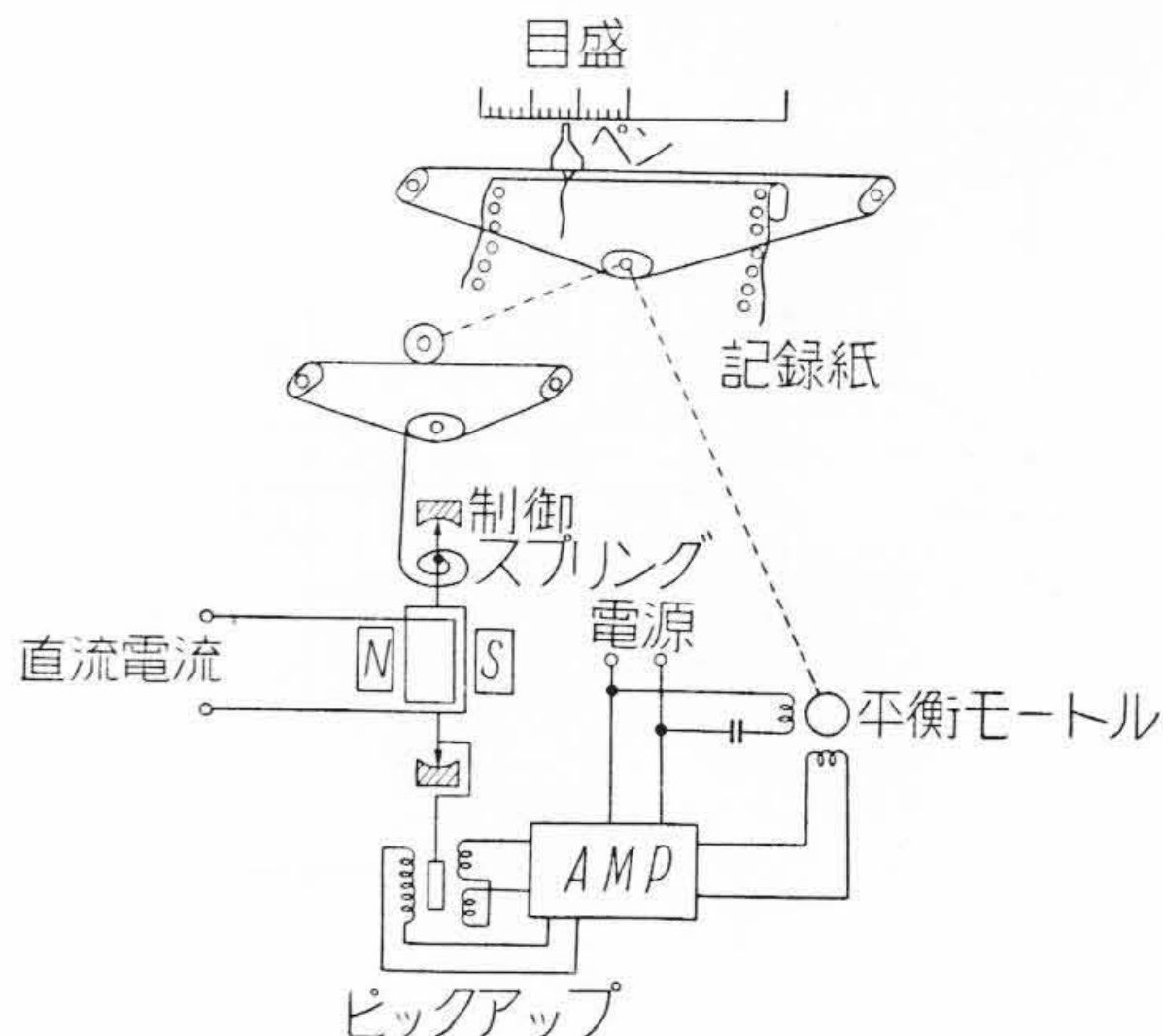
$E_x = k_1 PV$, ここに k_1 : 比例常数, P : 圧力, V : 電源電圧, 電位差計のスライド抵抗には電源電圧に比例した $k_2 V$ (k_2 : 比例常数) なる電流が流れており、図示位置にブラッシュがあり、この点で回路が平衡したとすれば

$E_s = k_2 VR$, R : スライド抵抗上ブラッシュまでの抵抗値

$E_s = E_x$ すなわち $k_1 PV = k_2 VR \therefore P = \frac{k_2}{k_1} R$

R , すなわちブラッシュの位置で直接圧力を指示することができ、式中 V を含まないことは電源電圧の影響を受けないことを意味する。ただし E_s と E_x の位相が一致していることが必要で、増幅器内に位相補償器が入っている。

第 15 図は電気誘導式の流量計、液面計、比重計、圧力計などに使用される回路で、測定量と一定の関係をもつて発信器の鉄心が上下すれば、差動巻線には鉄心の位置により一定の関係を有する電圧が発生し、二次巻線には鉄心の位置に無関係に一定電圧が発生する。この両電圧間の位相差はほとんどなく、かつ残り電圧も無視できる程度であるため、二次巻線発生電圧を電源とする電位差計回路を構成し、高精度の測定を

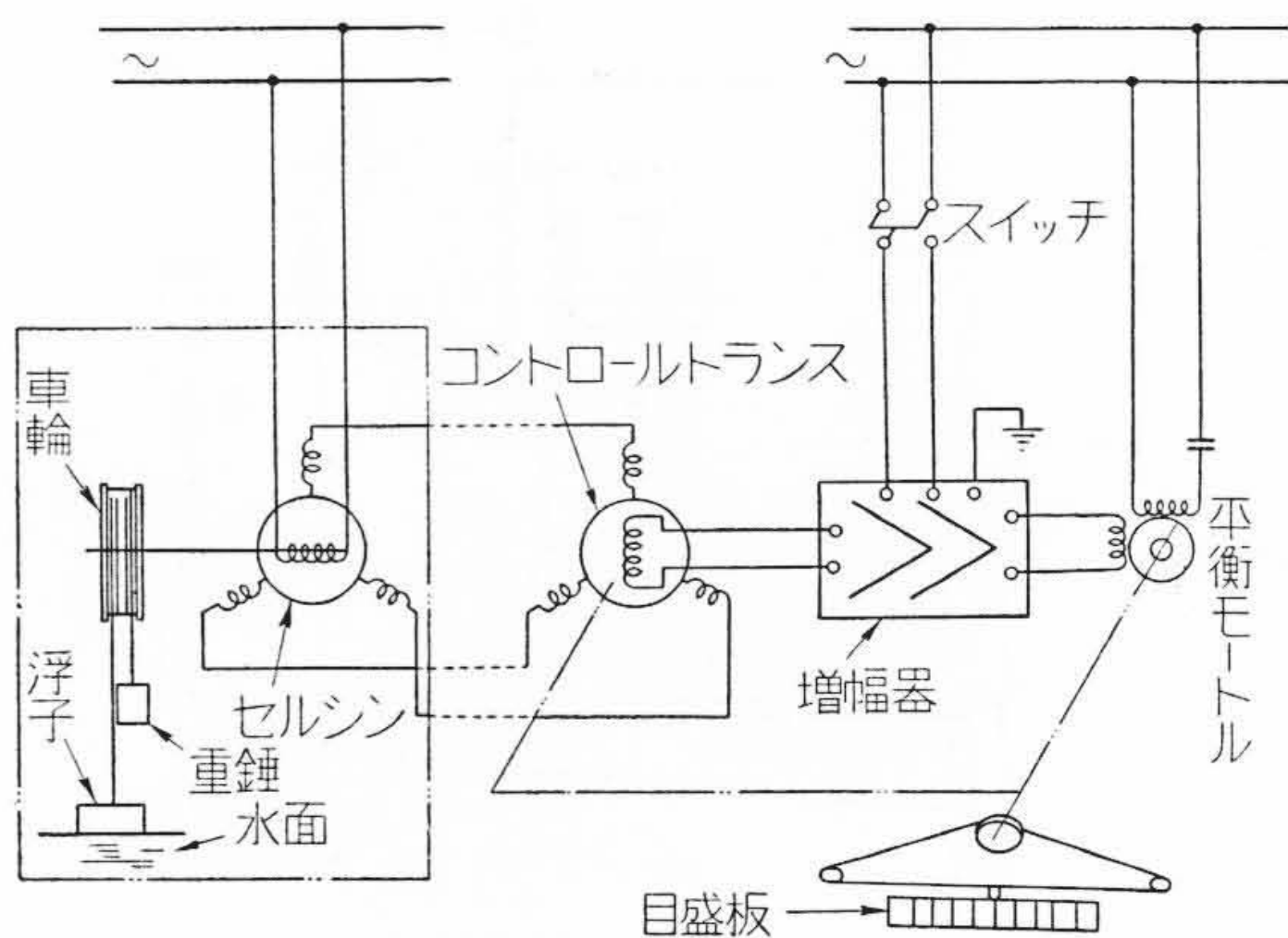


第 16 図 直流電流計の原理説明図

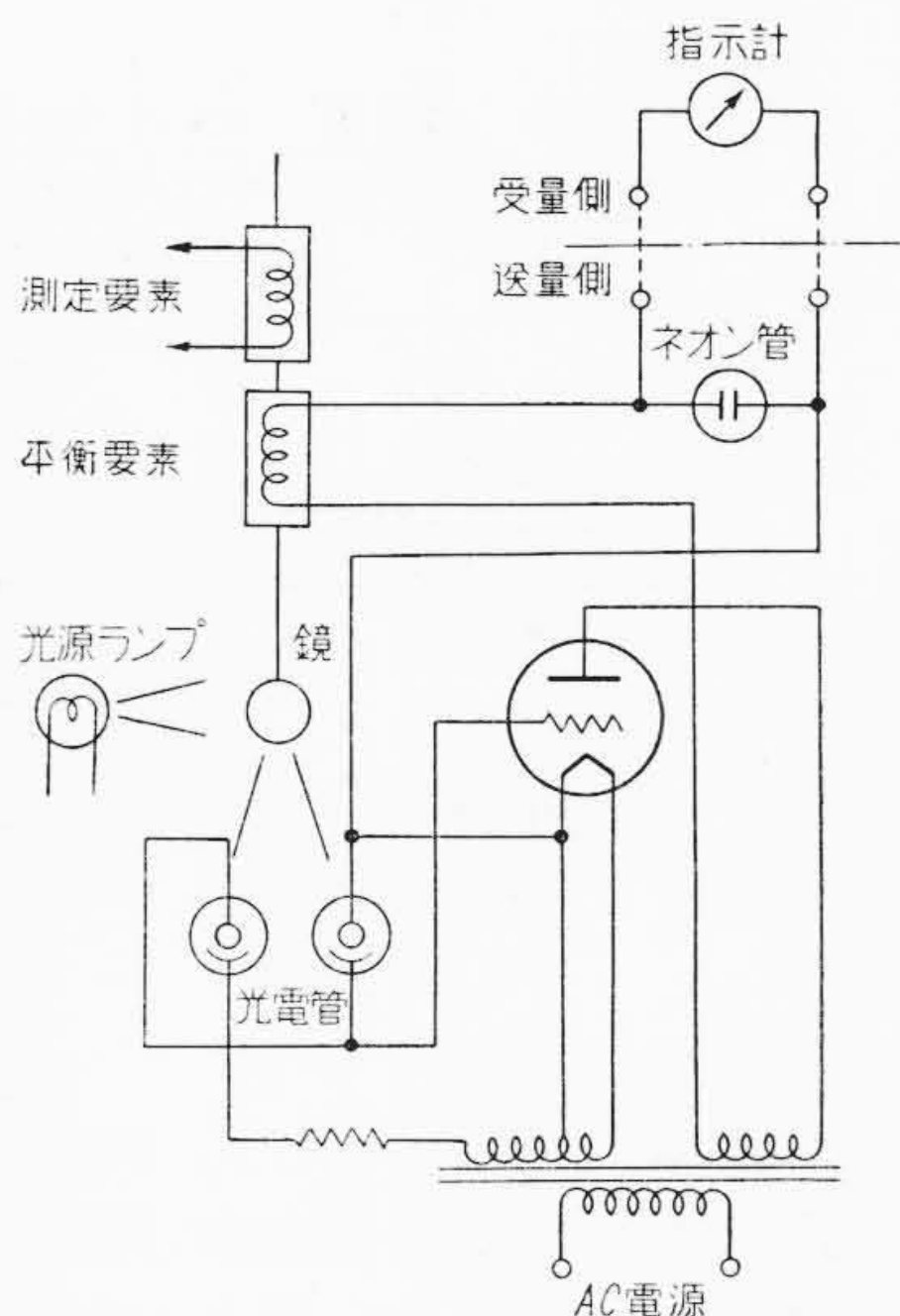
行うことができる。

4.1.5 トルクバランス方式

直流電流、電圧、交流電流、電圧、電力、無効電力などの測定にはトルクバランス方式が採用される。この例として直流電流計の原理を第 16 図に示す。直流電流を可動コイル型のメータエレメントに流す（交流測定量の場合には電流力計型エレメントを使用する）。可動コイル軸にはピックアップ部の可動鉄片が直結されている。ピックアップコイルの二次巻線は差動巻線になっており、可動鉄片が中央平衡位置にある場合には二次誘起電圧は発生しない。測定量が増加すると可動コイルが振れ、可動鉄片が偏位し、二次誘起電圧が発生する。この電圧が増幅器で増幅され平衡モートルが回転して指針を駆動する。一方平衡モートルは制御スプリングを回転して可動コイルを最初の中央平衡位置にもどさんとする。このようにして測定量である直流電流の発生するトルクと制御スプリングの回転によって発生するトルクが平衡した位置でピックアップの二



第 17 図 水位計原理説明図



第18図 トルクバランス式テレメータ動作説明図

次誘起電圧が零となり、平衡モータが停止し、測定量を指示する。

4.1.6 コントロールトランス方式

水位計として使用される場合について説明する。

送信器はセルシンモータを使用し、その回転子が歯車を介して浮子および重錘用ロープが巻きつけられているドラムに連結されている。したがって水位の変化がセルシンモータの回転子の回転に変化する。第17図に示すごとく送信器セルシンモータの二次側は連絡線を経て、受信器の中のコントロールトランスの一次に接続されている。コントロールトランスは一次が固定子で三相巻線、二次は回転子で単相巻線がなされており、その回転子軸は平衡モータ軸に連結されている。コントロールトランスの一次側に送信器セルシンの二次電圧を加えると、セルシンモータとコントロールトランスの電気的不平衡（送信器セルシンモータの回転子の回転角度とコントロールトランスの回転子の位置が電氣的に不平衡になるため）によりコントロールトランスの二次単相巻線に電圧を誘起する。この電圧を増幅して平衡モータを駆動すればコントロールトランスの二次回転子誘起電圧が零になるまで回転して停止する。このときはセルシンモータとコントロールトランスの回転子の位置は電氣的に平衡していることになる。すなわち回転角度の伝達を行うことができるので水位の測定や、位置指示用として使用される。

4.2 遠隔測定装置

遠隔測定装置（テレメータ）において最も苦心するのは被測定量を伝送に適した量に変換することである。たとえば、直送式では直流電流、搬送式では周波数に変換して伝送するのが通例であるが、この電流あるいは周波数にいかにして高精度の変換を行うかがその中核となっている。

最近テレメータにおいても自動制御理論が取り入れられ、出力をフィードバックすることにより高精度のしかも経年的にも安定なものが得られるようになった。方式として各種のものがあるが、トルク平衡式と電位平衡式が多く用いられている。いずれも入力と出力のフィードバックされた量とを平衡させるものであるが、前者はトルク、後者は電位により平衡させる方式である。

以下これらの方式のうち代表例を説明する。

4.2.1 トルクバランス式テレメータ⁽⁹⁾

被測定量を直流電流に変換して伝送するものであり、トルク平衡式の一例である。

第18図は本器の動作説明図である。

測定要素、平衡要素および鏡は同一可動軸に取り付けられているから、測定、平衡両要素のトルクが等しいとき軸は静止する。両者のトルクが異なると鏡の位置が動くから、光電管に投入する光の割合が変わり真空管のグリッド電圧を加減し、陽極電流を変化させる。陽極電流は平衡要素に流れるから、そのトルクが変化し測定要素のトルクと等しくなつて平衡する。

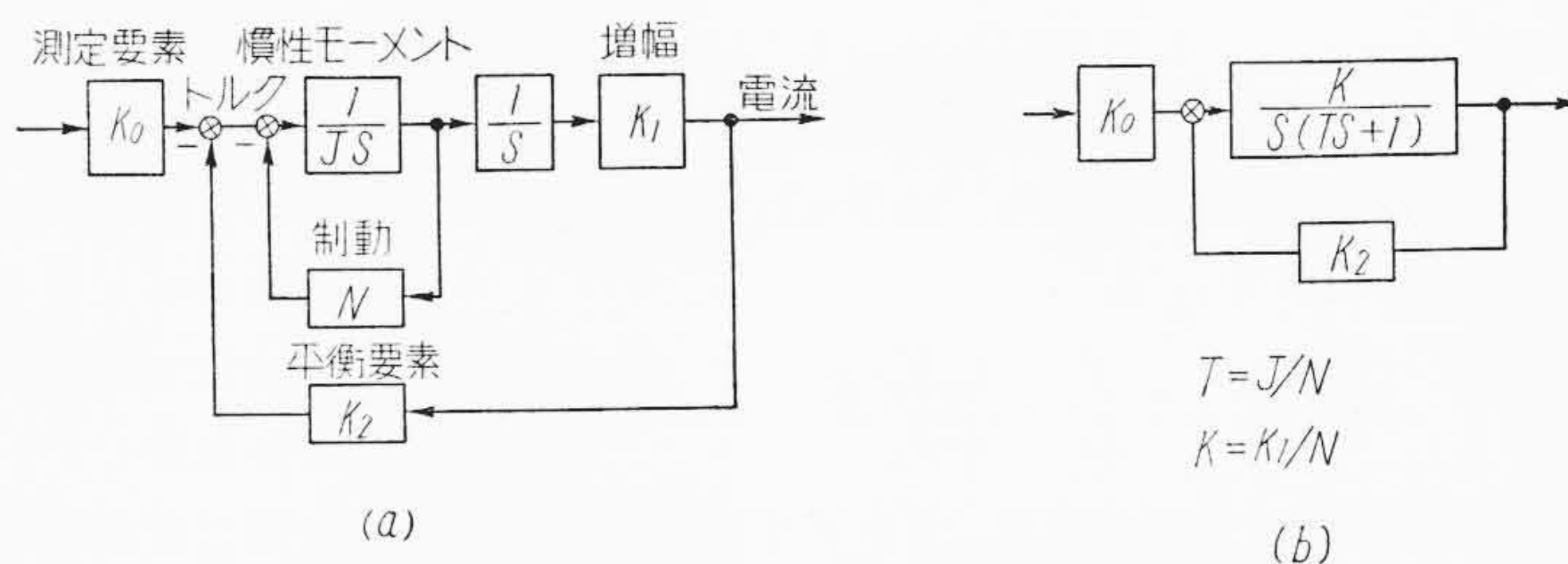
第19図(a)は本器のブロック線図を示したものである。

- ここで K_0 : 測定要素の利得 (トルク/入力)
- J : メータ可動部の慣性モーメント
- N : 制動係数
- K_1 : 真空管回路の利得 (電流/角度)
- K_2 : 平衡要素の利得

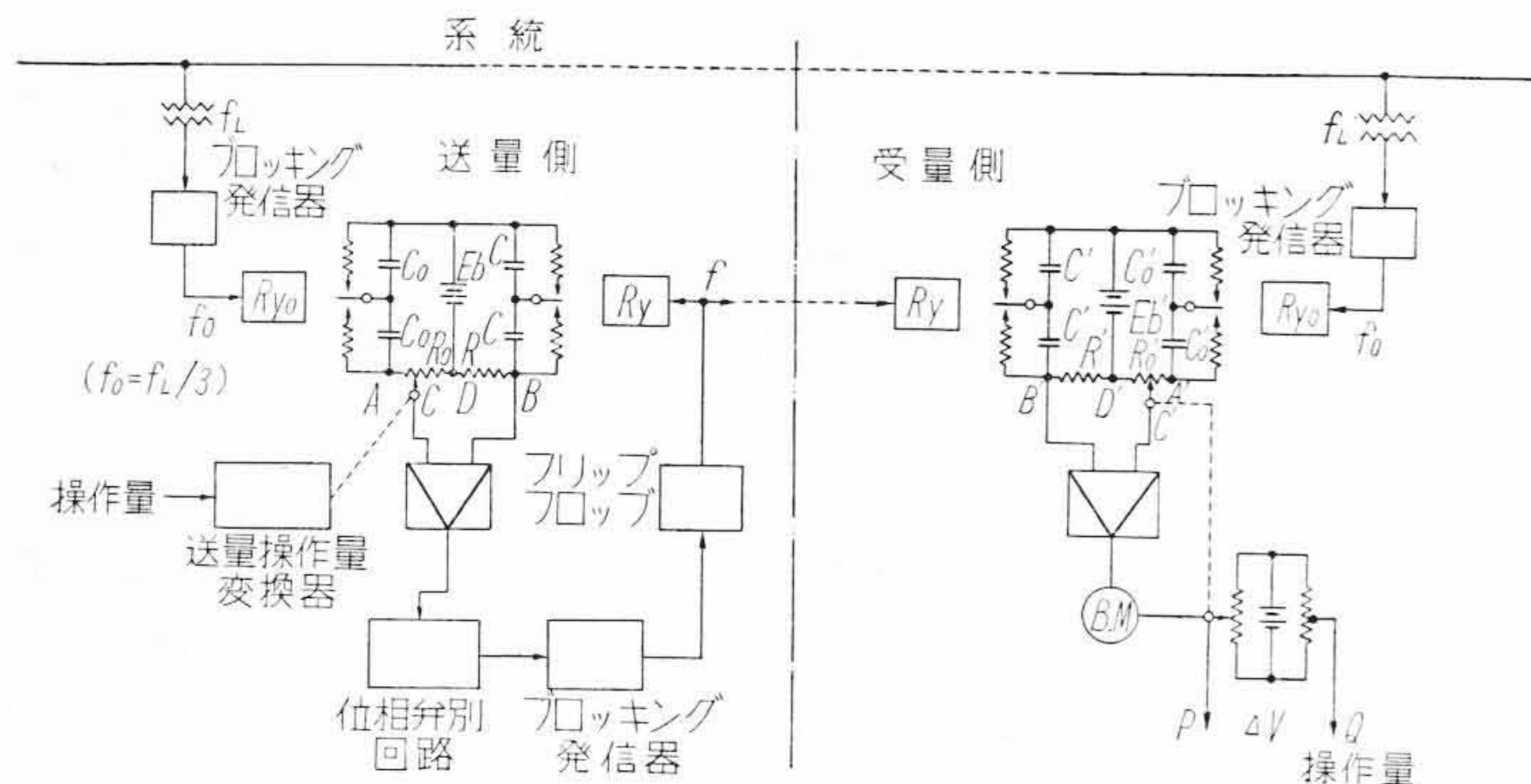
第19図(a)は簡略化すると(b)図のようになる。

$$T = \frac{J}{N} \quad K = \frac{K_1}{N}$$

第19図(b)は電子管式自動平衡計器と同一のブロック線図であり、 $1/S$ の項より無定位であるからオフ



第19図 トルクバランス式テレメータのブロック線図



第 20 図 操作信号テレメータ動作原理図

セットがなく、管球類の劣化などによる影響を受けないことがわかる。また N を大として T および K を小さくすることにより安定性が增大することは制御理論より知られるところであり、安定性、速応性などの要求を考慮して各部の常数を選定する必要がある。

4.2.2 操作信号のテレメータ

自動周波数制御装置など電力系統の制御において、遠方より制御信号を送信するものであり、電位平衡式の一例である。

第 20 図は動作原理図を示したものである。

操作量信号は送量操作量変換器によりスライド抵抗 R_0 のブラシ位置に変換され、抵抗 R_0 には系統周波数 $f_L \cdot 1/3$ の周波数 f_0 に比例した電流 $i_0 = 2f_0 C_0 E_b$ が流れるから、 CD 間の電圧 E_x は次式となる。

$$E_x = 2f_0 C_0 E_b R_0 x \quad (2)$$

x はブラシ C の R_0 における分圧比を示す。

一方送出される周波数 f に比例した電流 $i = 2fCE_b$ は抵抗 R を流れるから、 BD 間の電圧は次式となる。

$$E = 2fCE_b R \quad (3)$$

E_x , E の差 ΔE は増幅され、位相弁別器の出力電圧によりブロッキング発振器の周波数を制御して E_x と E がほとんど等しくなるような周波数 f を発生させる。このループの全利得を G とすると

$$E = G \Delta E = G(E_x - E)$$

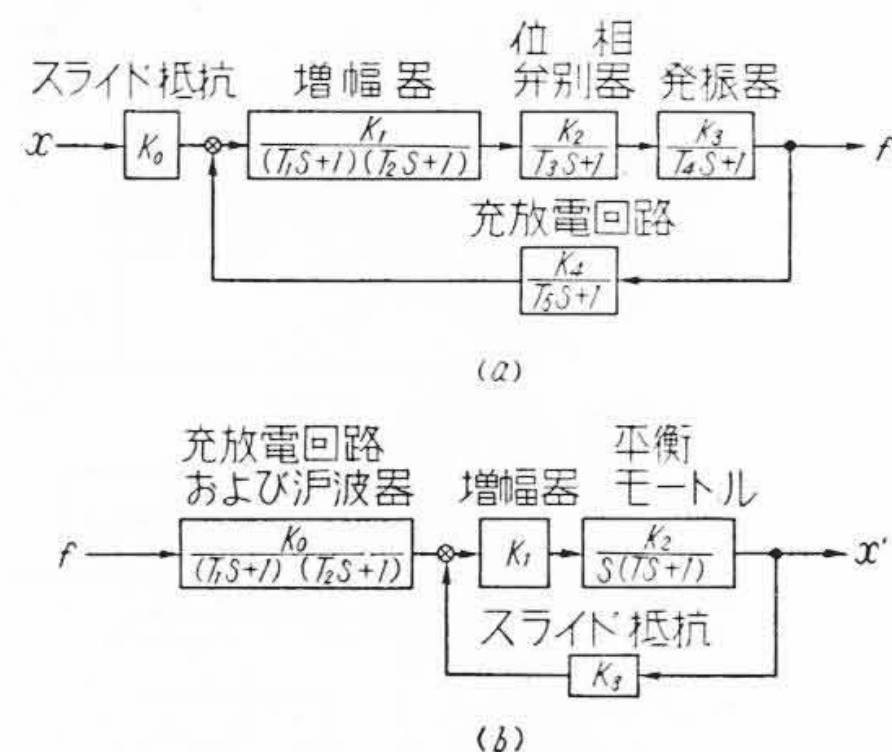
$$\text{したがって } E = \frac{G}{1+G} E_x$$

$$= E_x \left(1 - \frac{1}{G} + \frac{1}{G^2} - \dots \right)$$

利得 G を十分高くとると、第 2 項以下は無視できるから $E = E_x$ となる。

$$(2), (3) \text{ 式より } \frac{f}{f_0} = \frac{C_0 R_0}{CR} x \quad (4)$$

この系は定位制御であり、2.5 にて説明したフィードバック増幅器と同様に考えられる。



第 21 図 操作信号テレメータブロック線図

受量側は送量側と逆の動作を行う。伝送されてきた f および f_0 はこれに比例した電流に変換され、 $C'D$ および $B'D'$ 間に E_x' および E' なる電圧を生ずる。

$$E_x' = 2f_0 C_0' R_0' x' \quad (5)$$

$$E' = 2f C' E_b' R' \quad (6)$$

E_x' , E' の差電圧は増幅され、その正負により平衡モータを正、逆転させ、ブラシ C' を $E_x' = E'$ となるように動作させる。

$$(5), (6) \text{ 式より } \frac{f}{f_0} = \frac{C_0' R_0'}{C' R'} x' \quad (7)$$

$$(4), (7) \text{ 式より } x' = \frac{C_0 R_0}{CR} \cdot \frac{C' R'}{C_0' R_0'} x \quad (8)$$

(8) 式において $(C_0 R_0 / CR) (C' R' / C_0' R_0')$ は一定であるから受量側 C' の位置は正確に送量側 C の位置と対応する。

第 21 図は本装置のブロック線図であり、(a) は送量側、(b) は受量側を示す。

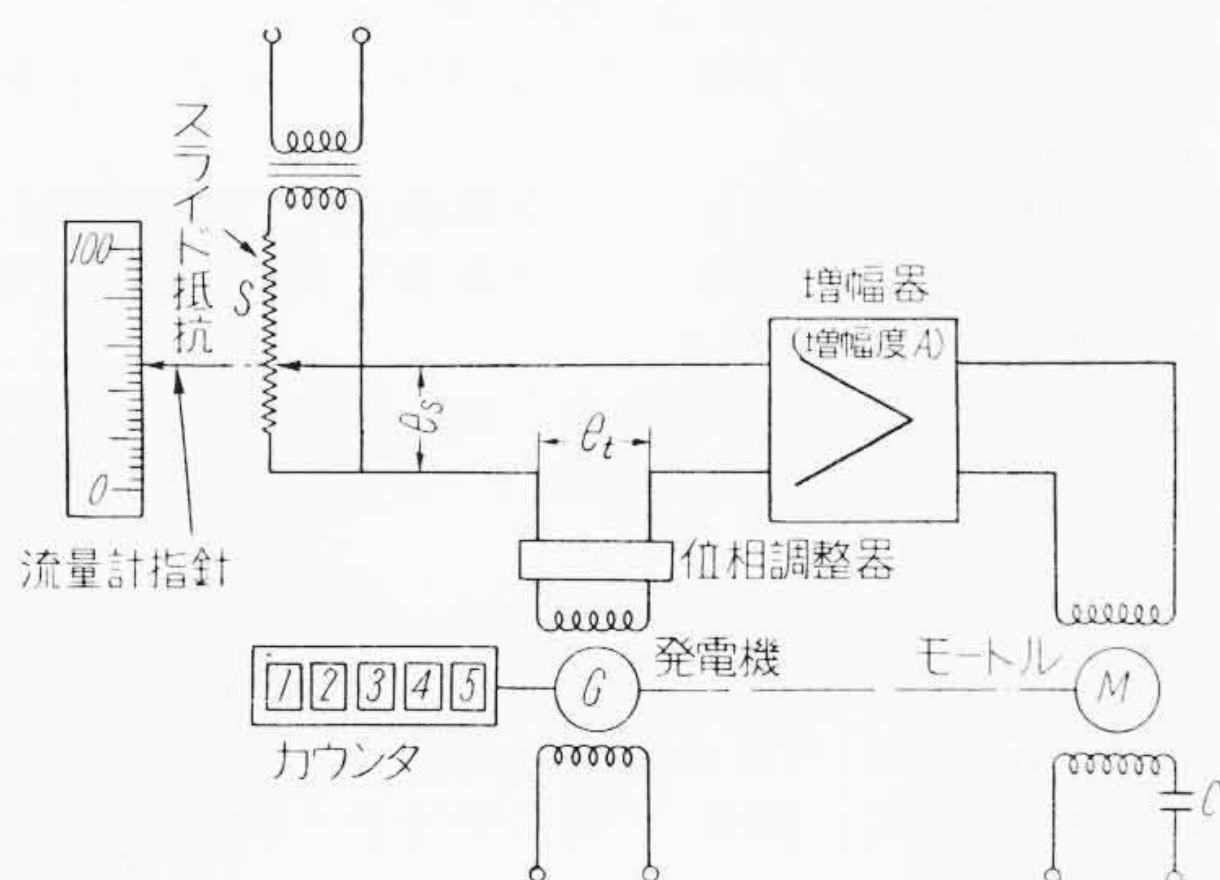
第 21 図 (a) の系は時定数を有する要素が多く、利得を上げると不安定になるおそれがある。しかしオフセットを少なくするため利得を大にする必要があるので、各部時定数の選定は制御理論により検討されねばならない。(b) は一般の電子管式自動平衡計器とまったく同様に扱うことができる。

4.3 その他の応用計測器

既述の製品と特に方式が異なるというものではないが、独得な製品の数例について説明する。

RLS 型 γ 線液面指示記録計⁽¹⁰⁾は放射性アイソトープ (Co^{60}) の応用で、液面を広い範囲にわたって高精度で測定できる。すなわち線源および検出器をタンク外側面のガイドレールに沿って昇降できる機構とし、自動平衡方式で液面に自動追従するようにしたものである。これと連動してインピーダンス・ブリッジ方式の自動平衡計器で指示記録、あるいは調節を行うことができる。

VST₆₁ 型電子管式連続流量積算計は 4.1.4 で説明し



第22図 VST₆₁ 型電子管式連続流量積算計原理説明図

た流量計と組合せて連続積算するもので、第22図に原理図を示す。発電機に発生する回転速度に比例した電圧 e_t をフィードバックし、測定流量に比例した電圧 e_s との差が増幅されてモータが回転、カウンタを駆動する。

EPI-2 型赤外分光光度計⁽¹¹⁾、EPR-1 型分光光電光度計⁽¹²⁾、EPS-2 型分光光度計などは閉回路内に光学系を含む自動平衡方式で分光吸収特性などを記録するもので、自動制御系の追尾遅れはこれを検出して波長送りの速度を制御している。

フィードバック増幅器は EHM-1 型 pH 計など種々な計測器に使用されており、また定電圧、定電流回路は電位差計などの電源として広く活用されている。

5. 将来の動向

計測器の動作原理に自動制御を応用することにより、計測技術上に一つの新紀元を画するに至ったのは事実であつて、従来の偏位法に基く直動式計器を駆逐してあらゆる計測器がフィードバック回路を有する計測器、なかんずくサーボ機構に基く電子管式自動平衡計器の方式に移向しつつある。この電子管式計器も現状は長期にわたり高精度であることと、トルクが強大であることに主眼が置かれており、応答は数サイクル程度、あるいはそれ以下のものが多い。すでに述べたようにサーボ機構の特性向上により、より速い応答を必要とする各種計測器が製作されるに至つて、理化学測器などを工業計器として直接プロセス制御に使用することを可能にし、さらにロケットエンジンテストや放射能特性試験に至つては、現像を必要とするオシログラムに代つて、直接ペン書きできる自動平衡計の時代が訪れようとしている。最近の高度化されたサーボ技術の適用によつて、実際に 30 程度の応答を有する平衡計が実現しつつある⁽¹⁴⁾。

これら自動制御を応用した計測器の大部分は現在電子

管増幅器を有している。電子式調節計となると電子管増幅器のみから成立つていともいえる。これら増幅器の小型化、長寿命化、さらに高性能化が現在の研究課題の一つであり、種々な問題を含んでいる。すなわち直交変換器としてバイブレータ方式のチョップから無接点方式の磁気変調器などが研究され、振幅差変調方式と名付ける新方式の増幅器が実用化されようとしている⁽¹⁵⁾。増幅器構成上の主体をなす電子管もトランジスタの急速な発展、製品化に伴い、全面的にこれに移向するための研究がなされており、合せてプリント配線方式による合理化が計られようとしている。

計測器が自動制御系中の重要な一要素として使用されていることはすでに述べたが、測定記録値を処理するための自動化も採り上げられ、研究されている。すなわち計測器を一つの記憶系として⁽¹³⁾、制御回路や監視用閉回路に測定値をもどしてやることのできる記録計がすでに使用されつつある。これの最もめざましい応用は自動工作機械であろう。さらに測定記録値のデジタル化が実用になつてきている。これは温度、圧力、流量など各種の測定値を数字量に換算し (Analog-Digital Converter)、直接に、または変化が速くてサンプリング周期を極度に短くするときは上記記憶系を介して電気タイプライタを動作し、記録を打出し、同時にそれを孔明きテープに移して IBM 機、その他の後続処理へ送つて龐大な測定値の自動整理や、高速走査による自動監視、複雑な自動制御などを行わせるものである。かくして計測器は計算機と直結し、どこまでが計測器の分野であるか判然とした区分なく、もちろん全体としては自動制御理論に基いて製作されているものである。

以上数例をあげて自動制御を応用した計測器の動向を示したが、単体として高性能、長寿命化された計測器への努力と、データ処理機構のように従来の計測器という概念を超越して自動制御装置そのもののの中に計測器の概念を導入する研究が続けられるであろう。

6. 結 言

以上自動制御を応用した計測器として、電子管式自動平衡計器を主体としてその概要を説明し、日立計測器の実例を紹介した。計器自体の中における自動制御のみでなく、計器が自動制御系の一要素として重要な役目をはたすことが多く、計器に課せられる任務はだんだんと拡大されてゆく傾向にある。すなわち単に測定量を指示するのみでなく、仕事をする計器として変貌しつつあり、装置の自動運転、測定データの自動整理、遠隔地伝達などかつては計器と人力とで行つてきた操作を、計器および付属機構のみで行うようになってきた。

この分野の進歩は日進月歩であり、次々に新しい計器

が開発され、改良されている。われわれは需要家各位の御批判と御指導により、常に時代の要求にそつた計器の製作を念願している次第である。

参 考 文 献

- (1) 寺尾, 中川: 電子管自動平衡計器 (昭 32 オーム社)
- (2) 河井: 日立評論 特集号第3号 125 (昭 28-6)
- (3) G. Keinath: Trans. A. I. E. E. 58, 887 (1939)
- (4) 伊藤, 河井: 日立評論特集号第10号 93 (昭 30-8)
- (5) 河井: 化学工業 6, 1017 (昭 30-11)
1102 (昭 30-12)
- (6) 日立製作: 計測 5, 253 (昭 30-5)
- (7) 阿部, 沼倉, 上田, 田内, 河井: 電学東京支会 40 (昭 32-11)
- (8) 西垣, 井沢, 岩谷: 日立評論 39, 767 (昭 32-7)
- (9) 滝田, 小沢, 福井: 日立評論 特集号第10号, 107 (昭 30-8)
- (10) 鷺見, 諏訪: 日立評論 39, 873 (昭 32-8)
- (11) 吉田, 鎬木, 角野, 阿部: 日立評論 39, 1259 (昭 32-11)
- (12) 角野: 日本物理学会誌 11, 280 (昭 31-7)
- (13) G. Nelson: Electronics 22, 100 (Nov.-1949)
- (14) H. Ziebolt: 日本機械学会誌 56, 716 (昭 28-10)
- (15) 阿部, 桜川, 沼倉: 電四学連会 842 (昭 32-4)

最近の日立製作所社員の自動制御に関する社外寄稿一覧

(その5)

(第38頁より続く)

題 目	氏 名	誌 名	巻 号	頁	年 月	
電 動 力 に お け る 電 子 管 応 用	泉	電 気 学 会 誌	74	793	1,292	29—10
最近のアルミスラブ熱間圧延機電気品について	中 村, 木 田	日 立 評 論	36	12	1,743	29—12
本邦最初の純国産大型ストリップミル用電気設備	山 本	日 立 評 論	37	6	893	30— 6
純国産大型ストリップミル附帯設備用電気機器	平 川, 西	日 立 評 論	37	6	921	30— 6
最近のクレーン電気設備について	泉	機 械 学 会 誌	58	437	466	30— 6
逆転式熱間圧延機電気設備の自動制御 (その1)	前 川, 小野田	日 立 評 論	38	9	1,131	31— 9
逆転式熱間圧延機電気設備の自動制御 (その2)	前 川, 小野田	日 立 評 論	38	10	1,235	31—10
120in 湿部ヘルパ駆動付抄紙機用電気設備	西, 岩城, 木村	日 立 評 論	39	2	221	32— 2
交流巻上機の速度制御 (その1)	洪 谷	日 立 評 論	39	4	441	32— 4
交流巻上機の速度制御 (その2)	横 田	日 立 評 論	39	4	445	32— 4
四重スキンプラス圧延機用電気設備	藤 木, 岩 城	日 立 評 論	39	9	975	32— 9
斜 坑 ス キ ッ プ 設 備	西, 白木	日 立 評 論	39	9	1,009	32— 9
最 近 の ポ ン プ の 自 動 運 転	千 葉, 洪 谷	日 立 評 論	39	9	1,009	32— 9
エ レ ベ ー タ の 速 度 と 自 動 化	小 田	日 立 評 論	別冊第9号 特集号	109	32— 9	
800mmφ×2,400mm ^l 可逆二重分塊	藤 森	日 立 評 論	39	10	1,111	32—10
圧延機駆動用電気設備	西 , 岩 城	日 立 評 論	39	11	1,225	32—11
電 動 機 の 制 御 の 実 際	白 木	オ ー ト メ ー シ ョ ン	2	6	53	32—
磁 気 増 幅 器 応 用 の 新 製 品	藤 木	オ ー ム	45	8	142	33— 6
磁気増幅器の圧延機制御への応用	前 川	オ ー ト メ ー シ ョ ン	3	8	26	33— 8
	佐 野	オ ー ト メ ー シ ョ ン				

(5) そ の 他

題 目	氏 名	誌 名	巻 号	頁	年 月	
水銀整流器変電所の尖頭負荷制限装置について	今 野, 桑 島	日 立 評 論	34	2	353	27— 2
磁気増幅器を用いたグランバーの格子制御装置	吉 岡, 松 村	日 立 評 論	36	3	613	29— 3
無人直流変電所の制御装置	池 田, 渡 辺	日 立 評 論	38	5	661	31— 5
アナログコンピュータによる自動制御系の解析	三 浦	自動制御研究会資料		48	2	27

(第77頁へ続く)