

最近の工業用調節計について

Recent Industrial Controllers

佐 藤 芳 男* 小 野 寺 進*
Yoshio Sato Susumu Onodera

内 容 梗 概

工業用調節計としては電気式、空気圧式、油圧式などの種類があるが、これらのうち日立製作所で製作している電気式、空気圧式の調節計と、操作端についてその概要を述べる。それぞれの調節計の応用に際しての長所の要点をあげ、最後に自動制御の今後の進み方についてもふれておいた。

1. 緒 言

各種工業において企業の合理化、品質の向上、作業の安全確保などのために工業用調節計のもたらす利益が大きくなることが認められ、その需要は年々増加の傾向にある。これは単なる機械化または自動化と異なり従来人間が経験により目で見て判断し、そして操作していた訂正動作を調節計が自動的に行うためである。一方測定手段の開発、改善と生産技術の向上により工業用調節計の性能の向上はめざましく、その応用分野も拡大しつつある。最近の傾向としては使用個数の増加に伴い必然的に集中管理方式が採用され、グラフィックパネル用小型調節計の要求が増大しつつある。

日立製作所においては各種プロセスに応用の広い電気式および空気圧式調節計として温度、流量、液面、圧力、比重 pH など各種のものを製作している。以下日立調節計の二、三についてその原理、特性の概要について紹介し参考に供したいと思う。

2. 調節計の概要

2.1 自動制御系の構成

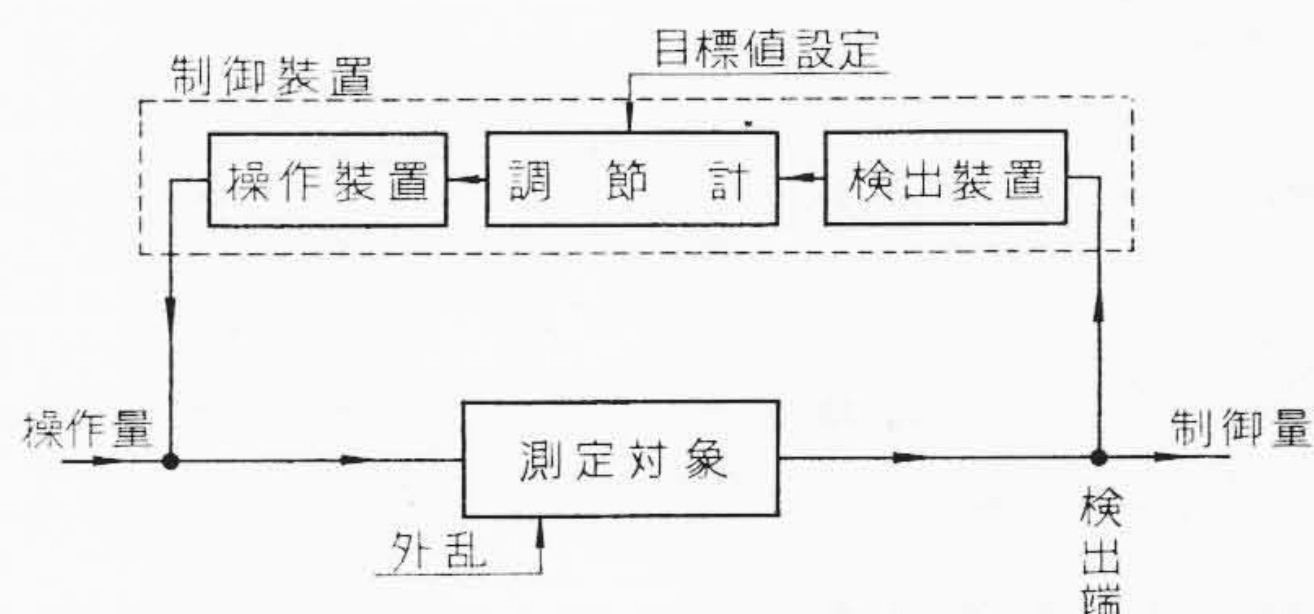
調節計は第1図に示すように制御対象と組合されて自動制御系を構成する。ただし調節計によつては検出装置、操作装置いずれか、または両者を含めた形で存在するものもある。検出装置、調節計、操作装置を含めて制御装置という。制御対象と制御装置の組合せのいかんは直接制御結果の良否に関係する。

2.2 調節計の分類

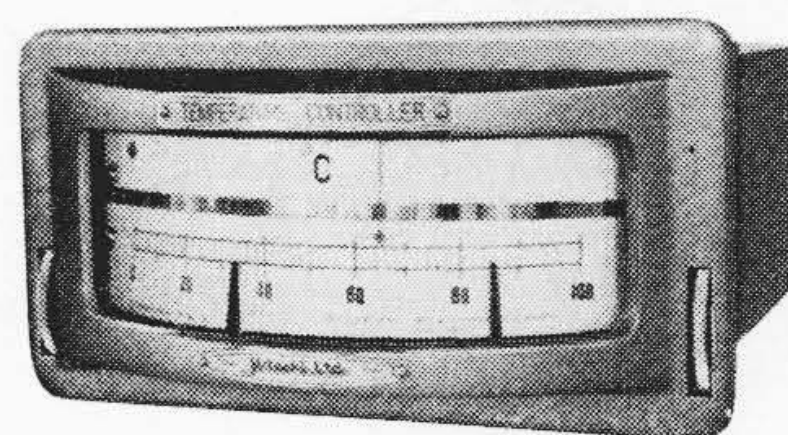
調節計は種々の観点より分類される。

操作用補助エネルギーを用いるか否かによつて、補助エネルギーを用いないものを自力制御、用いるものを他力制御とする。他力制御はさらに補助エネルギーの種類により、空気圧式、油圧式、電気式（電子管式あるいは電子式）およびこれらの複合された電気—空気式、電気—油圧式などに分類される。

* 日立製作所多賀工場



第1図 自動制御系の構成



第2図 EOI型 発振式調節計

制御動作の面からは動作信号の大きさによつて操作量または操作速度が段階的に変化するものを不連続動作とし、時間的にも空間的にも連続的に変化するものを連続動作とする。不連続動作はさらに2位置動作、多位置動作、単速度動作、多速度動作などに分類される。連続動作も比例動作(P動作)、積分動作(I動作)、微分動作(D動作)およびこれら動作を併用した比例—積分(P1)動作、比例—微分(PD)動作、比例—積分—微分(P1D)動作に分類される。

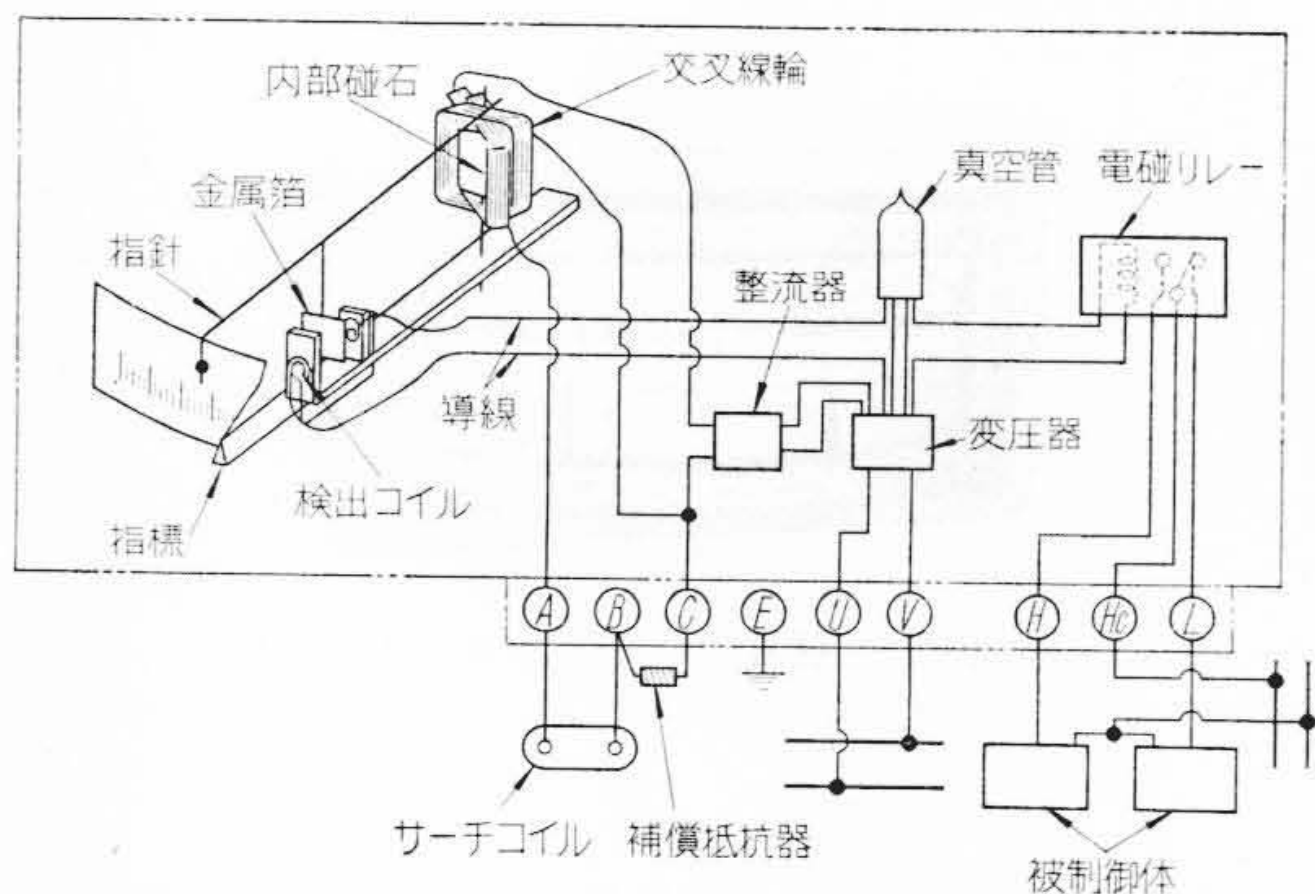
制御方式の面からは希望値が時間とともにどのように変化するかによつて、希望値が時間とともに変化せず一定であるものを定値制御とし、時間とともに変化するものを追値制御とする。追値制御はさらに追従制御、比率制御、プログラム制御に分類される。

以上の分類のほかに測定対象によるもの、目盛方式によるものなどがある。

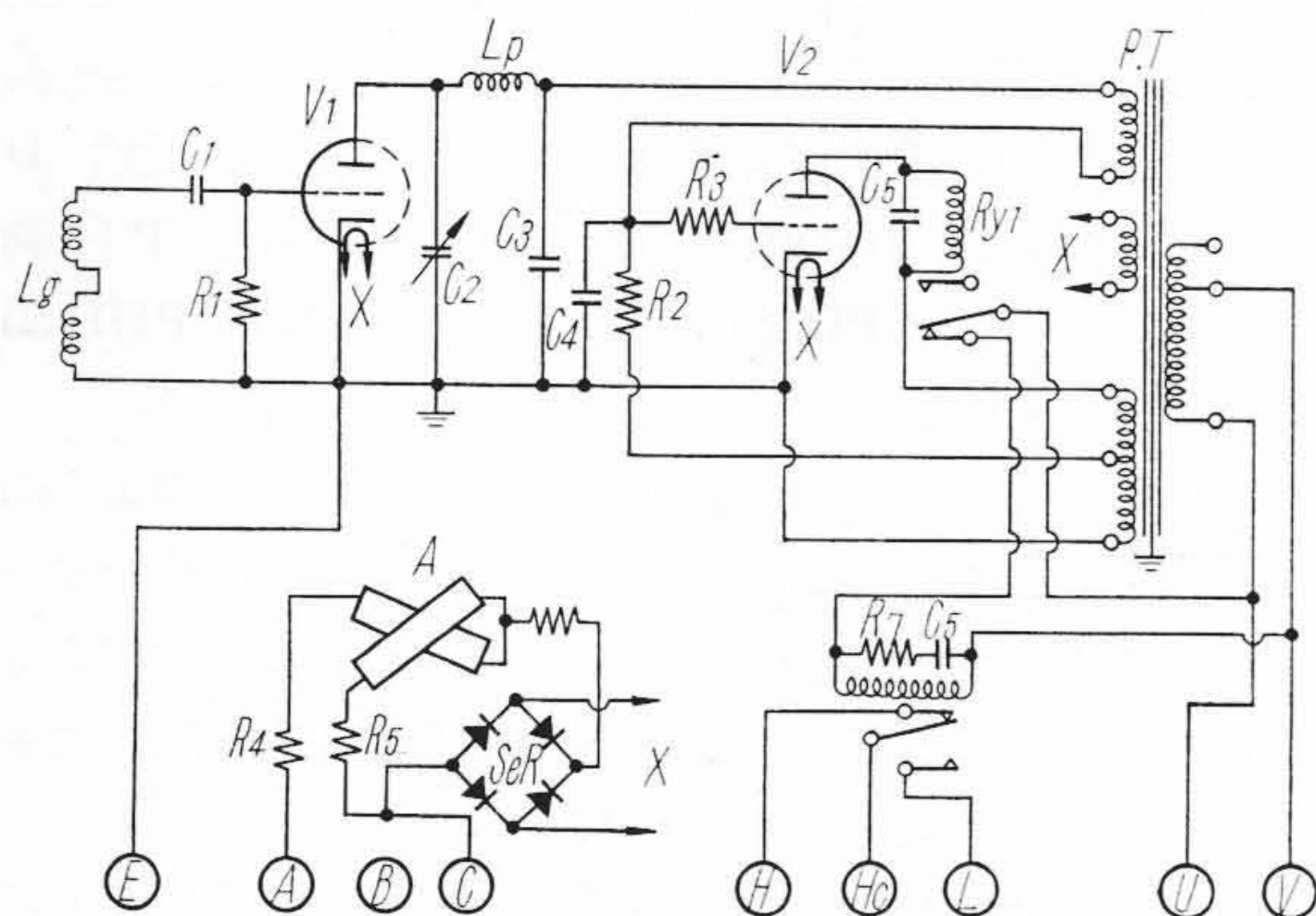
第1表 日立調節計の分類

型 名	目 盛 方 式	測 定 方 式	調 節 方 式	制 御 動 作	正面外形寸法
DT-A	指 示	可 動 線 輪 型	機械式水銀スイッチ	1 点 2 位置, 1 点 3 位置 2 点 2 位置動作	横 × 縦mm 255×300
DT-G	無 指 示		DT-A, EOI と組合せ使用 円板カム	プログラム	255×300
EOI	指 示	可 動 線 輪 型	高周波発振式マイクロスイッチ	1 点 2 位置, 2 点 2位置 2 点 3 位置動作	225×120
EVB	無 指 示	電 子 管 式	復原ブリッジ, 水銀スイッチ	位置動作 比例動作 比例帯 0~200%	300×220
EVG	無 指 示	電 子 管 式	TVK-A 型 電子管式計器と組 合せ使用 円筒カム リレー	プログラム 比例帯 0~10%	400×305
PB ₄₁ -P	無 指 示	ブルドン管 ペローズ	空 気 作 動 式	比例動作 比例帯 0~∞%	260×280
PXQ-A	指 示 記 録	ブルドン管 ペローズ 電 気 誘 導 式	空 気 作 動 式	比例動作 比例帯 0~∞% プログラム 積分動作 20 秒 ~ 50 分 比率 微分動作 10 秒 ~ 10 分	400~500
PKB ₄₁ -P	指 示 記 録	ペ ロ ー ズ	空 気 作 動 式	比例動作 比例帯 0~∞% 積分動作 20 秒 ~ 50 分 微分動作 10 秒 ~ 10 分	150×150
PVQ-A	指 示 記 録	電 子 管 式	空 気 作 動 式	比例動作 比例帯 0~∞% プログラム 積分動作 20 秒 ~ 50 分 比率 微分動作 10 秒 ~ 10 分	400×500

上記中 PXQ-A は測定対象により PFQ-A (流量), PTQ-A (温度), PPQ-A (圧力) となる。



第3図 EOI型 調節計原理説明図



第4図 EOI型 調節計回路図

2.3 日立調節計の種類

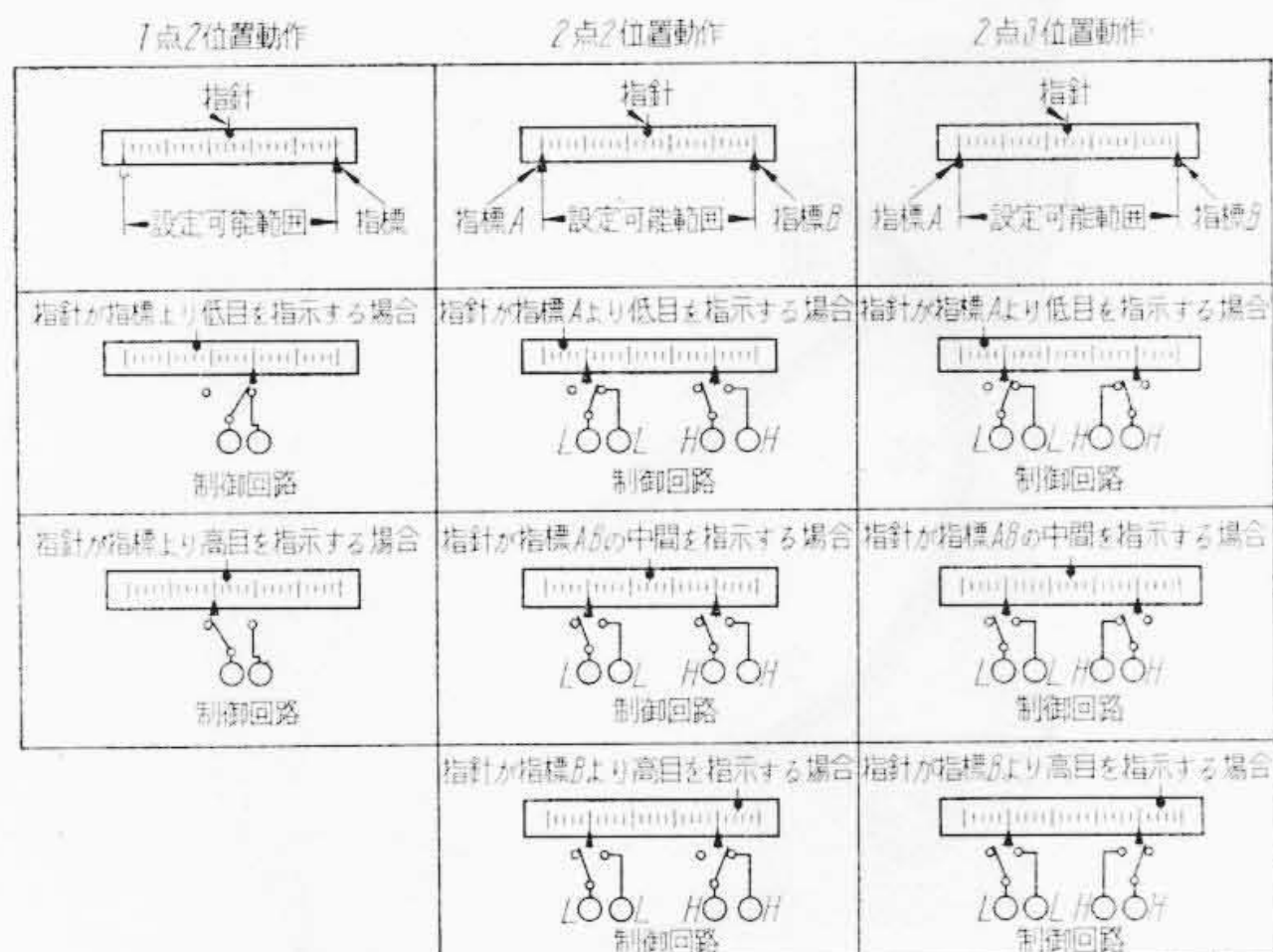
調節計には各種のものがあ、測定対象および制御対象により制約をうけるので、一概には分類することは困難であるが比較的広範な目的に使用できる調節計について分類すれば第1表のとおりである。このほか警報接点を有する指示計、記録計は各種あり、調節計として使用することができる。

3. 発振式調節計

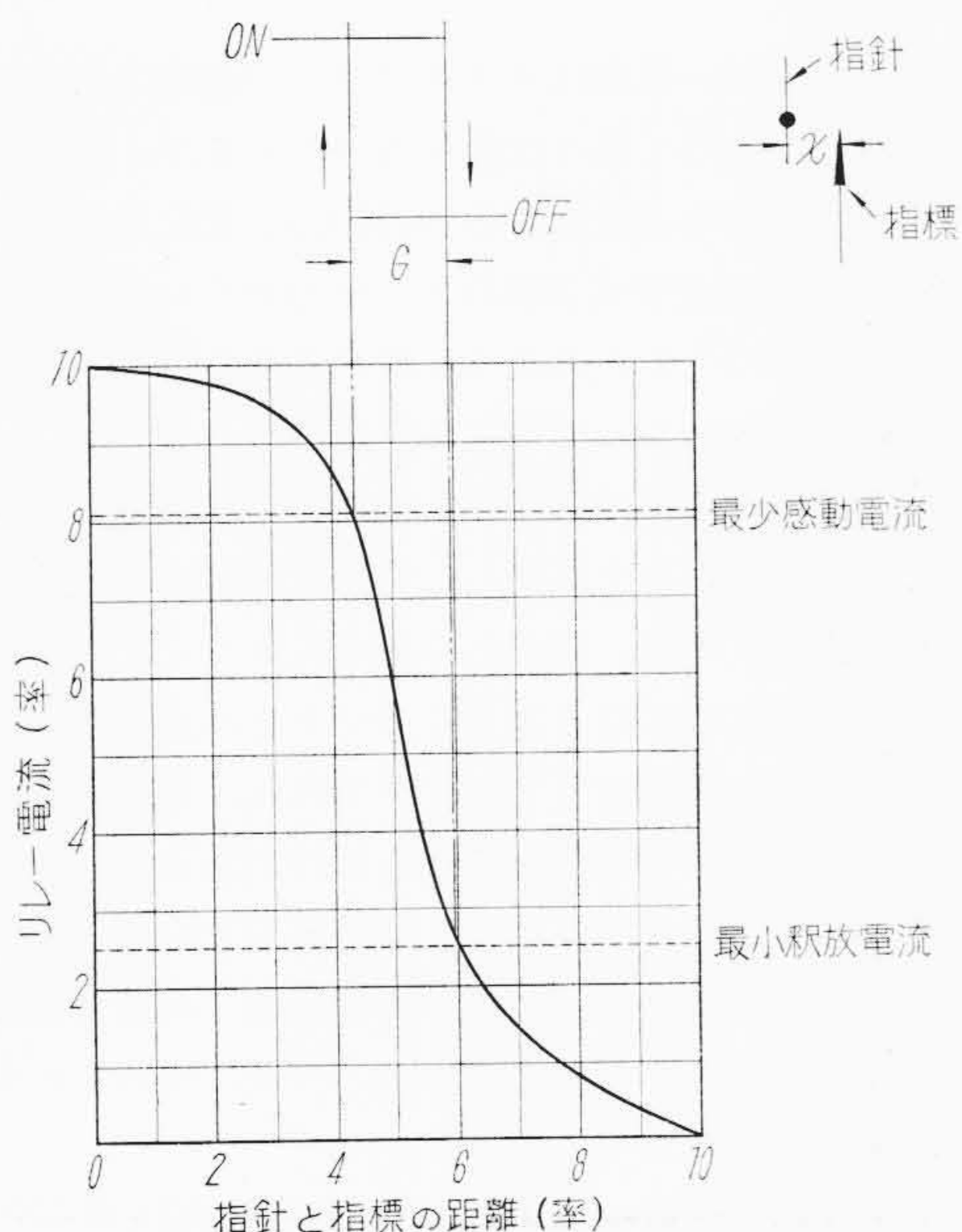
高周波を応用して微小変位を正確に検出し位置動作をする調節計で、第2図に外観を示す。温度調節計の場合第3図に示すように、指標に取り付けられた検出コイルは双3極真空管の一方の素子とともに高周波発振回路を構成する。温度変化により指示に取り付けられた金属箔が検出コイルに近づく、そのインダクタンスが減少する。それにより発信強度が変化し、発振管の陽極電流が変化し、増幅に使用されている他方の素子を介し電磁リレーを動作し調節動作を行う。調節回路を第4図に示す。

制御動作は1点2位置、2点2位置、2点3位置動作の3種があり、調節計の指示と制御回路の関係を第5図に示す。

調節部は高周波発振器とリレーの組合せで構成されているので、機械式に比較して位置検出のために指針を抑圧することなく、したがって測定機構部には全然無理がかからない。また検出が連続的で調節動作に時間遅れが



第5図 指示と制御回路の関係



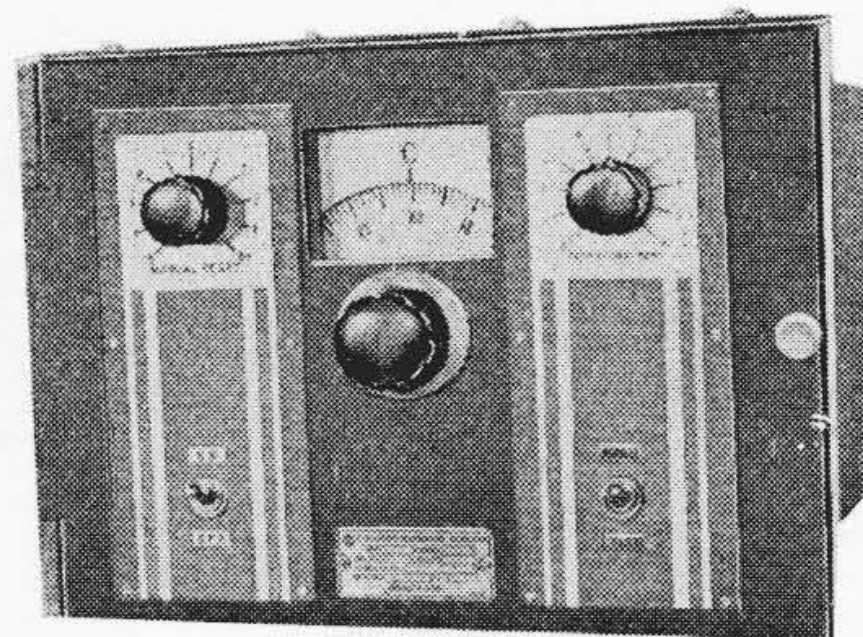
第6図 指針、指標の関係位置と調節動作の関係

ないすぐれた特長を有する。

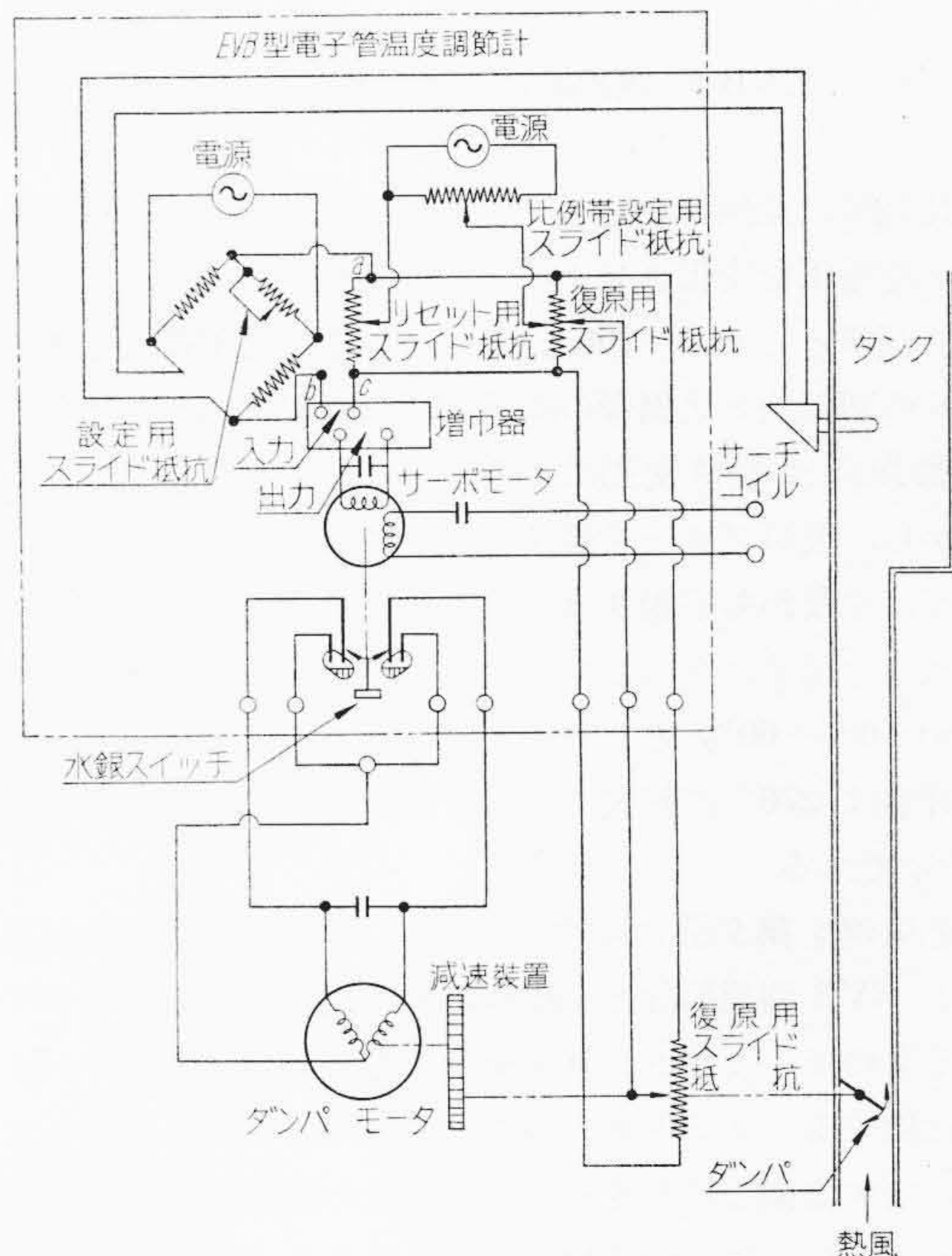
指針と指標の関係位置と調節動作の関係を第6図に示す。動作幅Gの値は検出コイル、箔の形状、リレーの最小感動電流、最小釈放電流など各種条件により支配されるが、調節計としてはせまいことが望ましい。Gの値を現品について測定した結果は0.15 mm以内の特性を有している。2点3位調節計の場合は設定可能な指標最小間隔が問題となるが箔の形状を眼鏡型として、電流分布を規正し、相互干渉による誤動作を防止している。その結果指標最小間隔は0.75 mmとすることができる。

4. 電気式無指示調節計

第7図にEVB型電子管式無指示調節計の外観を示す。

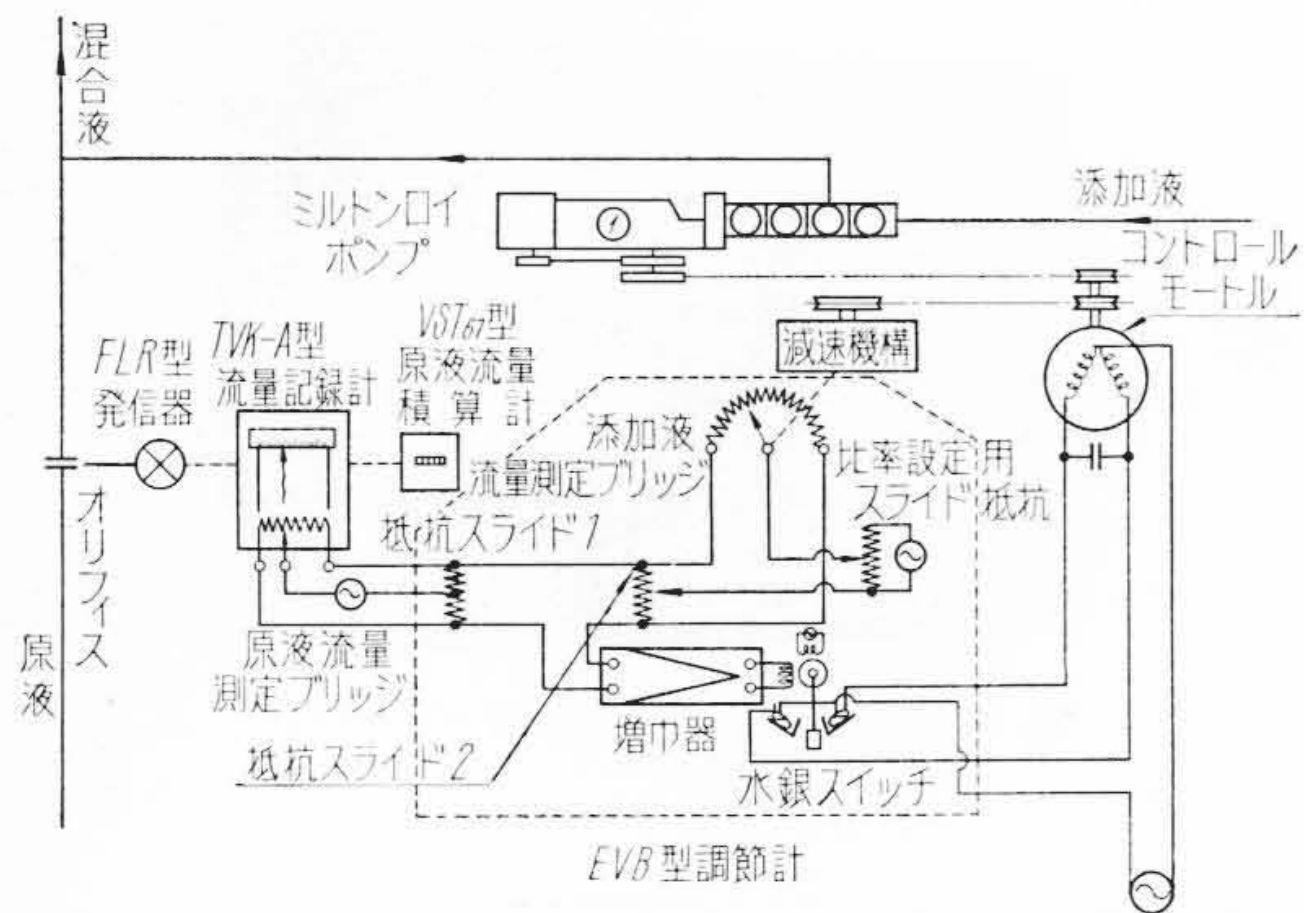


第7図 EVB型電子管式調節計



第8図 EVB型調節計原理説明図

温度調節計として使用する場合は第8図に示すようにサーコイルで測定ブリッジの一边を形成する。温度が変化しサーコイルの抵抗が変化すると測定ブリッジの平衡がくずれa b間に電圧を生ずる。復原スライド抵抗はダンパなどに取り付けられ、その開閉動作により抵抗値が変化する。この抵抗は測定ブリッジと同様に復原ブリッジの一边を形成しているから、a c間にはダンパの開度に比例した電圧を生ずる。したがって二つのブリッジにより生じた電圧の差がb c間にかかる。このb c間の電圧は増幅器を通しサーボモータを正転または逆転させ、右または左の水銀スイッチを閉じる。水銀スイッチの動作により、ダンパ作動用二相モータが正転または逆転し、ダンパの開度を増減させb c間の電圧が零になるまで動作し続ける。すなわち設定温度と測定温度との偏差に比例してダンパが動作する。



第9図 EVB型調節計による流量比率制御の応用例

比例帯は比例帯設定スライド抵抗，すなわち復原ブリッジ用電圧を変化させることにより任意に変更できるが，標準として0～200%としている。比例帯設定ダイヤルの回転角と比例帯の関係はほぼ直線である。比例位置動作には負荷変動によるオフセットが付きものであるから，復原ブリッジのリセットスライド抵抗を変化させて，すなわち手動リセットダイヤルの設定によりオフセットを消すようにしてある。手動リセットの標準は-60～0～+60%としている。目盛方式は無指示型で設定目盛は270°回転式である。動作感度は全目盛の約0.1%である。

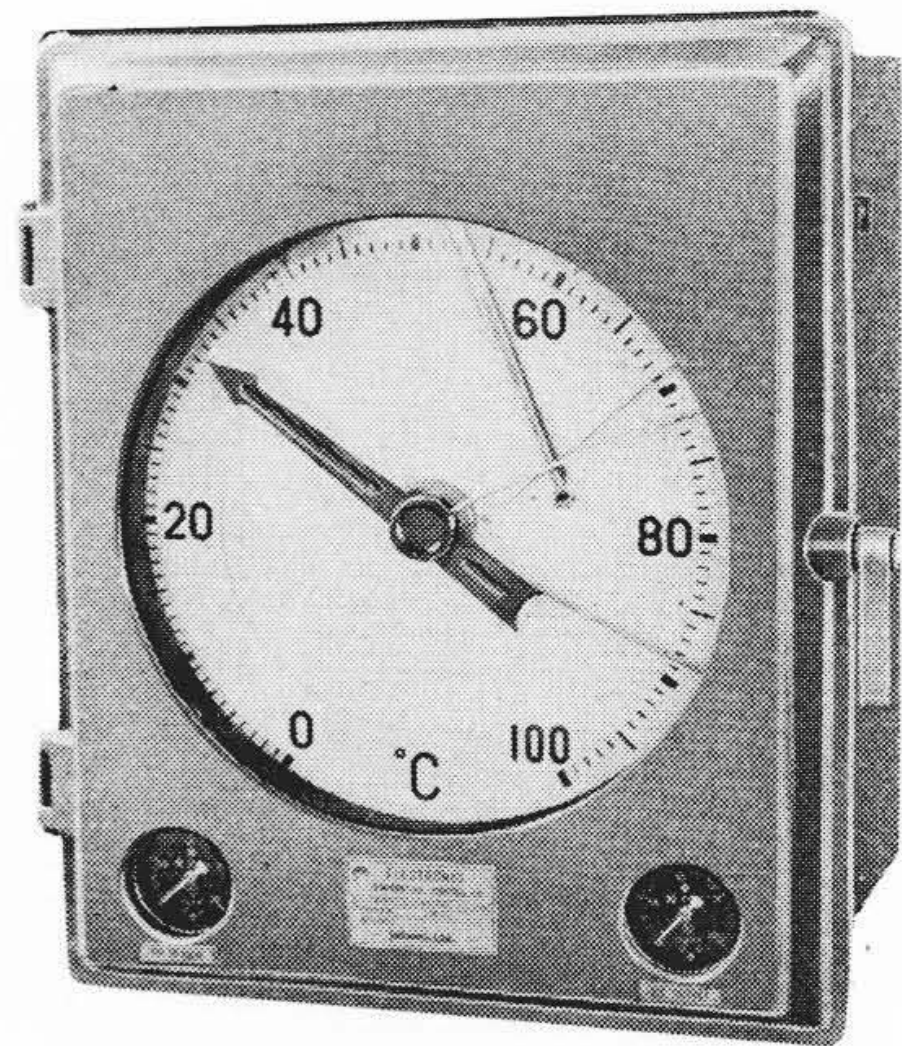
応用例を第9図に示す。これはTVK-A型流量記録計とEVB型調節計とを組合わせて比率制御を行わせているもので，ミルトンロイポンプの吐出量はストロークに比例する。コントロールモートルによつてストロークを決定する偏心量を変える。添加液の流量は添加液流量測定ブリッジによつて検知され，スライド抵抗2に添加液流量に比例した電圧が発生する。一方オリフイスからFLR型発信器によつて検知された原液流量は，電子管式自動平衡計器によつて指示記録され，スライド抵抗1には原液流量に比例した電圧が発生する。このスライド抵抗1と2の偏差電圧を等しくするように水銀スイッチが働き，コントロールモートルを駆動する。

この比率設定には，比率設定用スライド抵抗を移動することによつて，添加液流量に比例する電圧の比例常数を変化する。この制御でオフセットが生じた場合には，スライド抵抗2を調整することによつて消去することができる。

このような比率制御は原液基準として行つているので，スライド抵抗1（普通の使用状態の時は設定点となる）は動かさずに初期調整のみ行うことになる。

5. 空気作動式調節計

空気作動式調節計は，制御用補助動力として圧縮空気

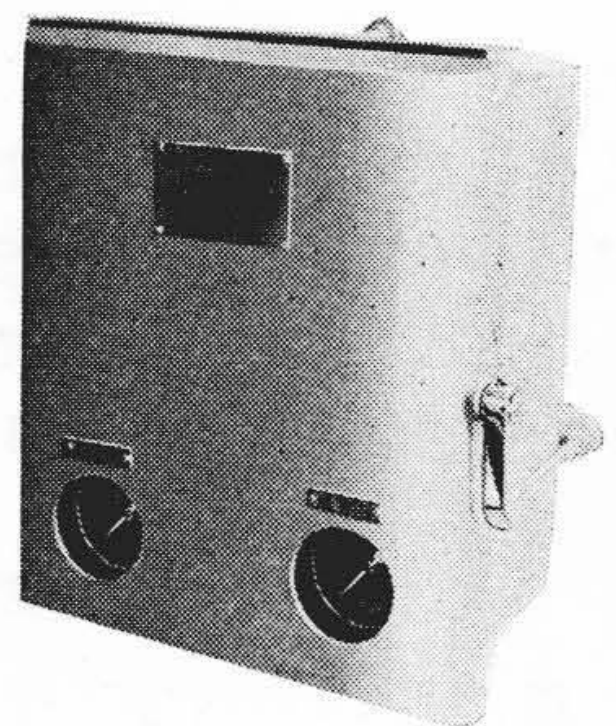


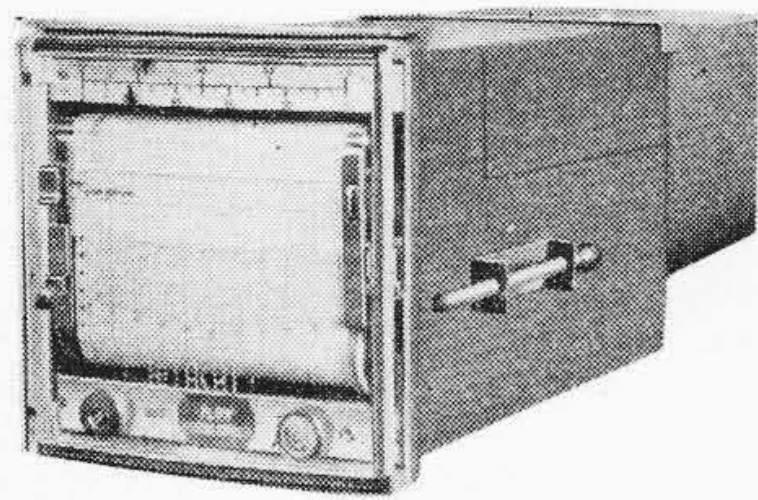
第10図 PVQ-A型電子管式空気作動温度記録調節計

を用いるもので，原理はノズルフラップ機構である。測定する対象によつて色々な検出方法をとるが，調節機構はいずれも同一の方式である。抵抗方式，電位差方式などのPVQ-A型電子管式調節計と，圧力やインダクタンスコイルの鉄心のうごきによつて指示させるPPQ-A型，PFQ-A型その他の調節計に分けられる。

この調節機構の構成については別号⁽¹⁾を参照していただきたいが，これらを応用した比率調節計は，親子一組の計器からなりたち，親からの指令によつて子の設定指標が常に一定比率になるようにセットされるもので，ノブ一つで比率の設定を行うことができる。普通の親調節計は指令空気圧を子調節計に送るだけであるが，親が検出している量そのものも変動して困る場合には，親調節計に，発信用調節機構と制御用調節機構（たとえば比例積分動作機構）の両者を内蔵させ，一定比率にしかも一定量に保たせることもできる。

プログラム調節計はカムによつて設定指標を時間的に既知プログラムカーブにそわせるもので，この調節計の特長は設定指標が内外に2本あることである。外側の指標にはカムに接触するローラがついており，内側の指標は外側の指標とふだんは一体となつて動いている。上部のノブによつて内外の指標の関係位置をずらすと，調節

第11図 PB₄₁-P型
圧力無指示調節計



第 12 図 PKB₆₁-P 型 空気作動式記録調節計

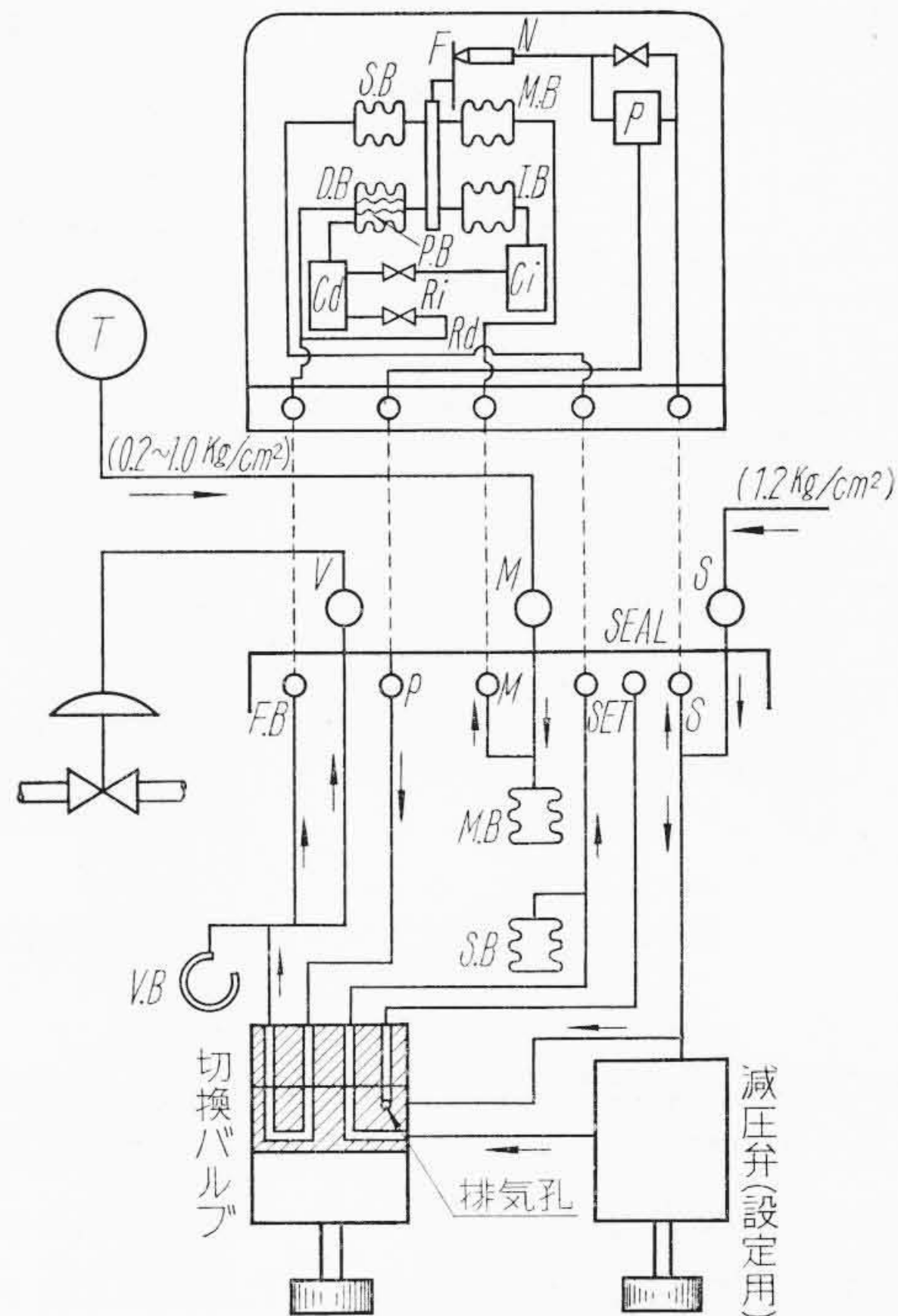
機構の制御動作は常に内側の指標で行われ、カム接触の指標はプログラムカーブ追跡用であるから、カーブはその上下に平行移動することができる。また上部ノブのセットによつて定値制御に切り換えることも可能で、1台の計器で多様の制御を行わせようよう考慮されている。

このように比率やプログラムの制御を行わしめることは、いわば定値制御から一歩進んだ関係制御であり、時代の進歩に適合した一つの趨勢であろう。その他一つのプラントに沢山の簡単な調節計を取り付ける例が多くなり、現場用無指示調節計(PB₄₁-P型)が使用されている。普通の調節計の $\frac{1}{4}$ 程度の大きさで、傍設指示計で制御量を看視しながら制御をするもので、この内部に蔵している調節機構も普通のものと同じである。したがつて比例帯 $\infty\%$ まで広げることが可能で、この $\infty\%$ があることによつて自動制御に入れる場合の操作が非常にやりやすくなっている。

プラントの規模が複雑高次化しつつある現在調節計の個数も増加し、諸制御量を中央において管理する集中管理方式が採用され、さらにグラフィックパネルの要求が増大している。必然的に従来の大型計器ではパネル面積が大となるため小型調節計が必要となつてきている。

第12図に PKB₆₁-P 型空気作動式小型記録調節計の外観を示す。正面外形寸法は 150 mm 角、チャート幅 100 mm を有する。調節部の差動検出機構部は4個のベローズ(設定、測定、比例、積分ベローズ)の組合せよりなり、微分動作は比例ベローズを二重とし、内側が比例、外側が微分ベローズとしている。設定値の設定は減圧弁により空気圧で動作される。また測定は温度、液面、流量などすべて発信器(変換器)により $0.2 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の空気圧として調節計に導入される。そのほかの動作は大体大型調節計と同様である。

空気作動式小型調節計の特長は小型であることはもちろんであるが、各種測定量がすべて $0.2 \sim 1.0 \text{ kg/cm}^2$ の空気圧として導入されるので、調節計の共通化、互換性が得られる。すべて空気圧を使用しているので耐爆性で



文 字 の 説 明			
S.B	設定圧ベローズ	M.B	測定圧ベローズ
P.B	比例ベローズ	I.B	リセットベローズ
D.B	レートベローズ	P	パイロット
N	ノズル	F	フラップ
Cd	レートタンク	Ci	リセットタンク

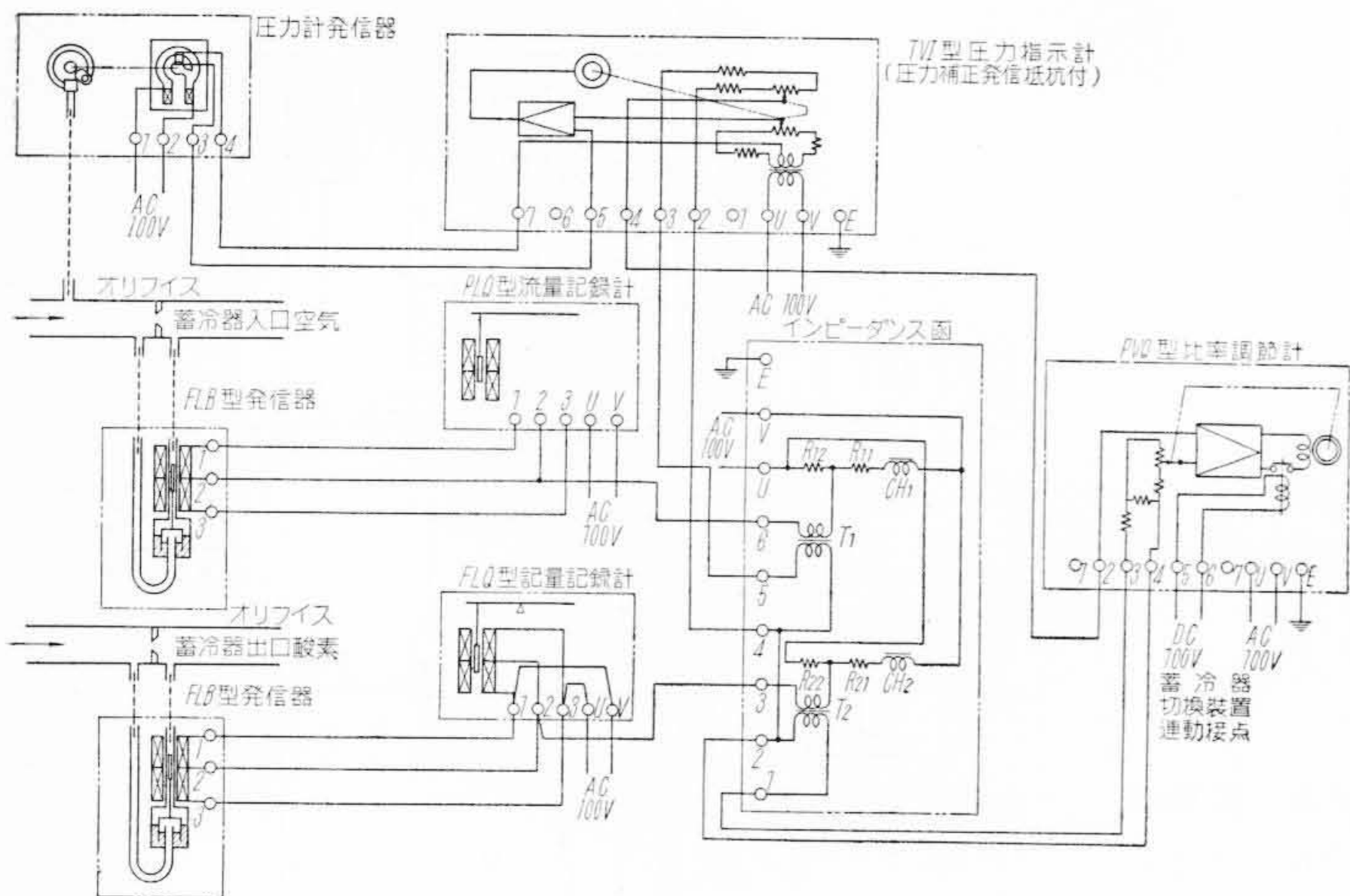
第 13 図 小型調節計空気系統図

ある。また記録部と調節部が分離できるので、調節部のみを現場に取り付けることができ、制御動作を短縮することができる。

6. 計算制御調節計

計算回路を有する調節計の一例として、TO プラント(酸素製造装置)用調節計について説明する。TO プラント酸素蓄冷器を安全運転するために、酸素流量と空気流量の値を適当な比率に保つ必要がある。本装置で酸素圧力はほぼ一定に保たれるが、空気圧力は変化する。したがつて空気圧力を補正しながら比率制御を行う必要がある。

第14図にその原理図を示す。酸素流量計と空気流量計より出た流量に応じた電気信号は、それぞれインピーダンス関によつて流量に比例した電圧に変換される。空気流量に比例する電圧は、さらに圧力補正装置により標準常態の圧力に換算される。これら二つの信号電圧を比率計回路によつて比較し、その値を空気作動式調節計で指示するとともに、設定値との偏差に応じた操作圧力を発生し、一定比率となるように調節弁を動作する。



第 14 図 TO プラント用流量比率計原理説明図

空気流量に応じた電圧は圧力補正回路によつて標準状態の圧力に換算された流量の 2 乗に比例した電圧に変換される。流量比率調節計においては、圧力補正された空気流量に応じた電圧と酸素流量に応じた電圧が比較される。

$$E_1 = K_1 (P_1 - P_2) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$E_1' = E_1 \times P_1 = K_1 (P_1 - P_2) \times P_1 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$E_1' \propto Q_{1N}^2 \quad E_2 \propto Q_{2N}^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$E_1' = n E_2 \quad \text{とすると} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$n \propto \left(\frac{Q_{1N}}{Q_{2N}} \right)^2 = R^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに

E_1 : 空気流量に応じた電圧

E_1' : 圧力補正された空気流量に応じた電圧

E_2 : 酸素流量に応じた電圧

P_1 : 空気圧力

$P_1 - P_2$: 空気流量測定オリフィスの発生差圧

K_1 : 比例常数

Q_{1N} : 標準状態圧力に換算した空気流量

Q_{2N} : 標準状態圧力に換算した酸素流量

R : 空気と酸素の流量比率

上式から明らかなように、 n により指示が変化し、これより比率 R を求めることができる。

蓄冷器の切換操作時には、蓄冷器切換装置連動接点によつて、指計駆動モータを遮断して比率調節計の動作をそのままの状態に休止し、切り換え後ふたたび動作する方式としてある。

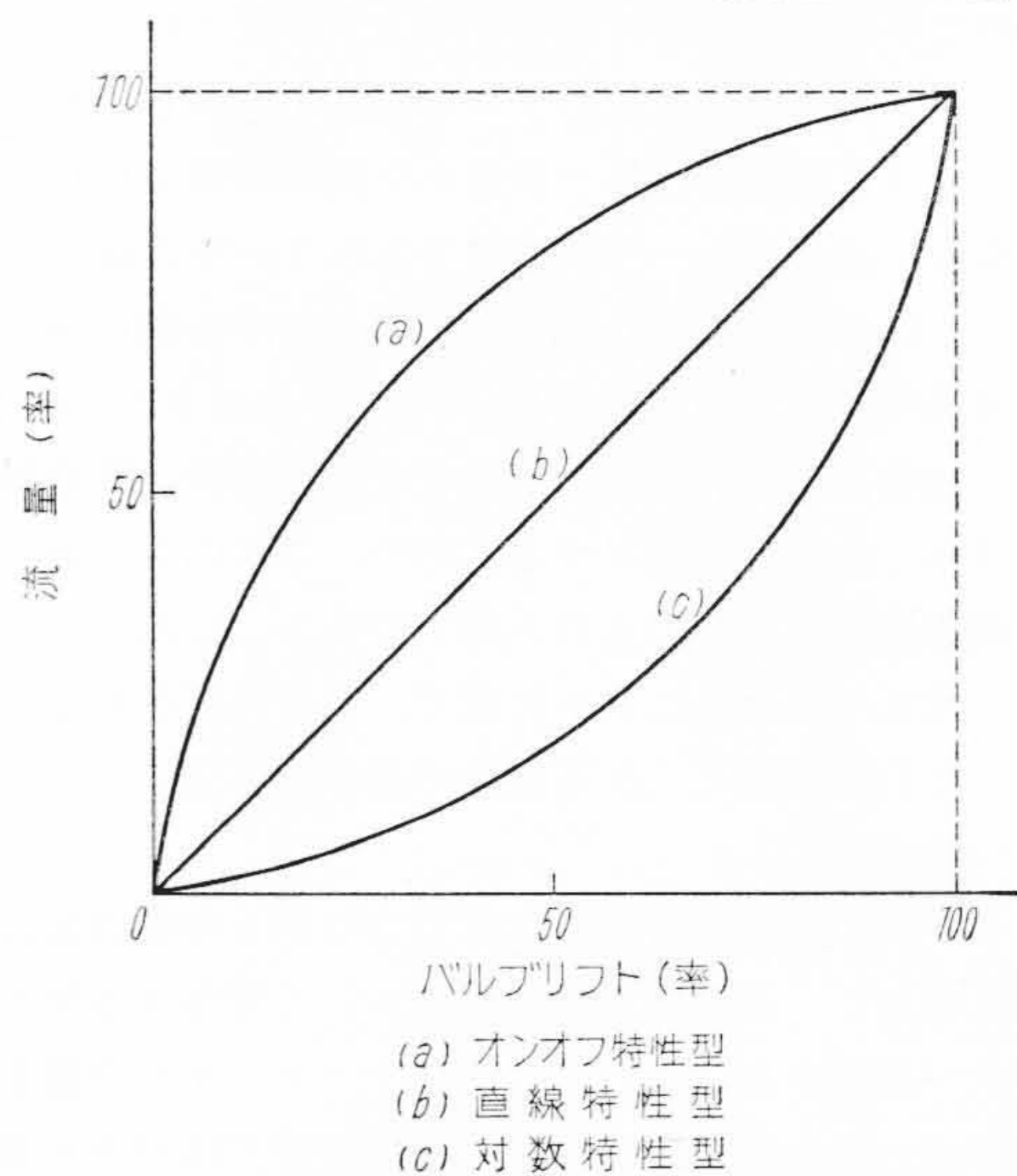
7. 調節計用操作端

自動制御を最も良好な状態で運転させるためには、調

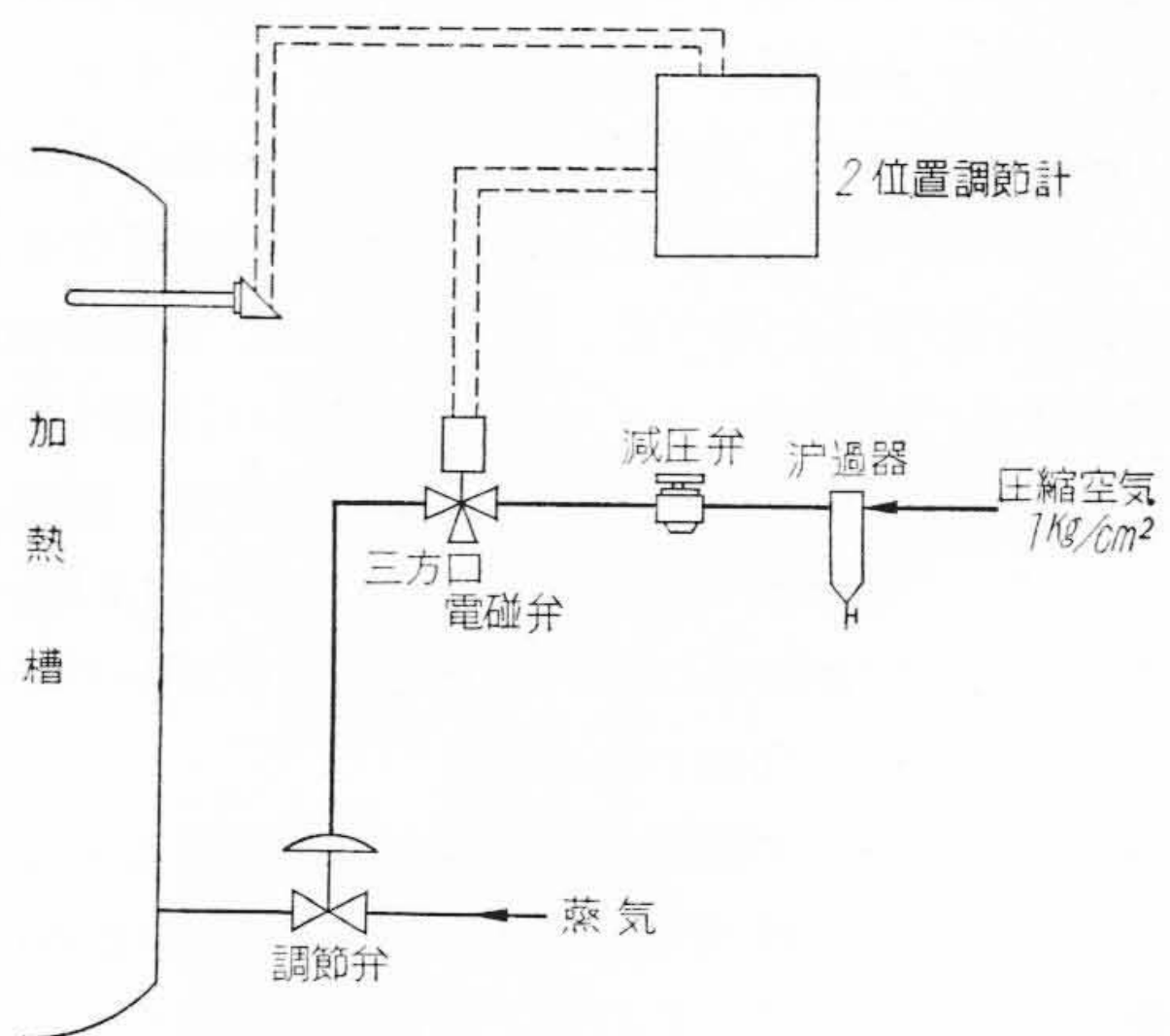
節計の手足となつて実際に調節動作を行う操作端の選択にも十分に考慮を払わなくてはならないことは当然である。操作端としては一般に次のようなものが使用されている。

7.1 空気作動式調節弁

管路にとりつけて、プラントに送入されるスチームやその他の液体を制御するもので、この選択にさいしての注意事項として、最大流量の決定、調節弁前後の圧力差があげられる。常時流量に対して調節弁の通しうる最大流量を過大にとりすぎると常時弁の少ない開度の位置で使用する事になり、良い制御結果を得られないことが多い。最大流量は常時流量の 1.4 倍位に



第 15 図 調節弁の流量特性



第 16 図 2 位置制御系統の一例

とるのが普通で、弁前後圧力差も配管全体の圧力降下とほぼ等しいくらいにとらないと最良の制御は行わせることはできない。

調節弁の流量特性はバルブリフトに対して、オンオフ特性、直線特性、対数特性などがあり、調節計動作の種類、プラントの条件によつて使い分けられる。

弁径は小流量ニードル弁から 8in まで各種あるが、いずれも頂部にある成形ダイヤフラムに計器二次圧を受けてバネを圧縮しながら弁開度を変えることにはかわりない。高温流体に対してはグランドシールを確実にするために空冷フィンをつけ、腐蝕性流体に対しては接液部を不銹鋼で製作している。特に漏洩を嫌うものに対しては、ベローズシールも行っている。

電気式 2 位置制御にこの弁を使用する場合には、第 16 図に示すような系統で使用される。2 位置制御にはオンオフ特性の弁を使用することが多い。

7.2 操 作 機

調節計の二次圧をダイヤフラムに受けてスピンドルを上下させることは調節弁と同じであるが、スピンドルの動きをレバーの動きに変えて、機械的な動きで操作するもので、この応用範囲は非常に広い。たとえばバーナの開度を変更したり、小型ダンパを開閉したり、時にはモートル回転数の制御用摺動抵抗やスライダックを回転させることもある。先端ストロークは 120mm で 30kg の力を出すことができる。

7.3 パワシリンダ

大型ダンパ、大型バタフライ弁を操作するもので、調節計二次圧を受けてパイロットバルブを操作し、強力にピストンを移動させる。ピストンロッドの動きは主軸に伝えられ、ドライブアームを 90 度回転させる。

角型のケースに組込まれ、手動操作用アーム、手動ロック機構を備えて使用に便利になつている。パワシリンダには別に圧縮空気を供給するが、 4kg/cm^2 の供給圧力を加えたときの操作トルクは、最小 15mkg から 200mkg までである。シリンダ内径は、100, 150, 200φ の 3 種で、取り付けも容易にできる構造になつている。

パワシリンダはボイラ自動燃焼制御装置用操作端としても多く使用されており、誘引通風制御用ダンパ、強制

通風制御用ダンパの開閉にも広く用いられている。

7.4 バタフライバルブ

計器二次圧で動くスピンドルで直接バタフライバルブの回転軸を動かすもので、内径 400φ 程度までは、パワシリンダによらずに制御操作を行わせることができる。バタフライバルブは完全閉止が困難であり、特に使用中は開度 30% 以上で使えるようプラント設計上も考慮する必要がある。

内部風量が大きく、バタフライ部分に相当大きな抵抗を受ける場合には、バルブポジションナを付加して使用するのが望ましい。

7.5 バルブポジションナ

大型弁、高粘度流体、高圧力差の状態のときには、調節弁やバタフライ弁に取り付けるもので、ヒステリシスが非常に少なくなる。また操作速度も速くなり、制御上有利になる。このほか流量制御のように比例帯を広くして使用し、偏差に対して操作端の動きが小さい場合にも有効である。

8. 結 言

以上、自動制御用各種調節計と操作端について述べたが、自動制御の趨勢は、新しい時代に適応して、純電気式調節計（3 項動作）や、デジタル調節計が注目されてきている。自動制御の最終目的は、複雑な関係制御や、計算制御の組合せによる終点制御である。このためには調節用機器の研究とともに、プラントの研究、被制御物の化学的研究もなされなくてはならない。

製品の品質そのものの検出方法も日進月歩の状態で、連続分析装置、微量分析装置なども着々と実用の域に到達している。日立製作所においても検出端の開発とともに、電気式調節、それに用いる電気空気変換器、デジタル計器の開発に力を注いでいる。各位の御指導、御協力によりさらに良き自動制御に努力するつもりである。

本文が各位に多少なりとも御参考になれば、筆者の喜びこれにすぐるものはない。

参 考 文 献

- (1) 小野寺：日立評論 39, 1253 (昭 32-11)

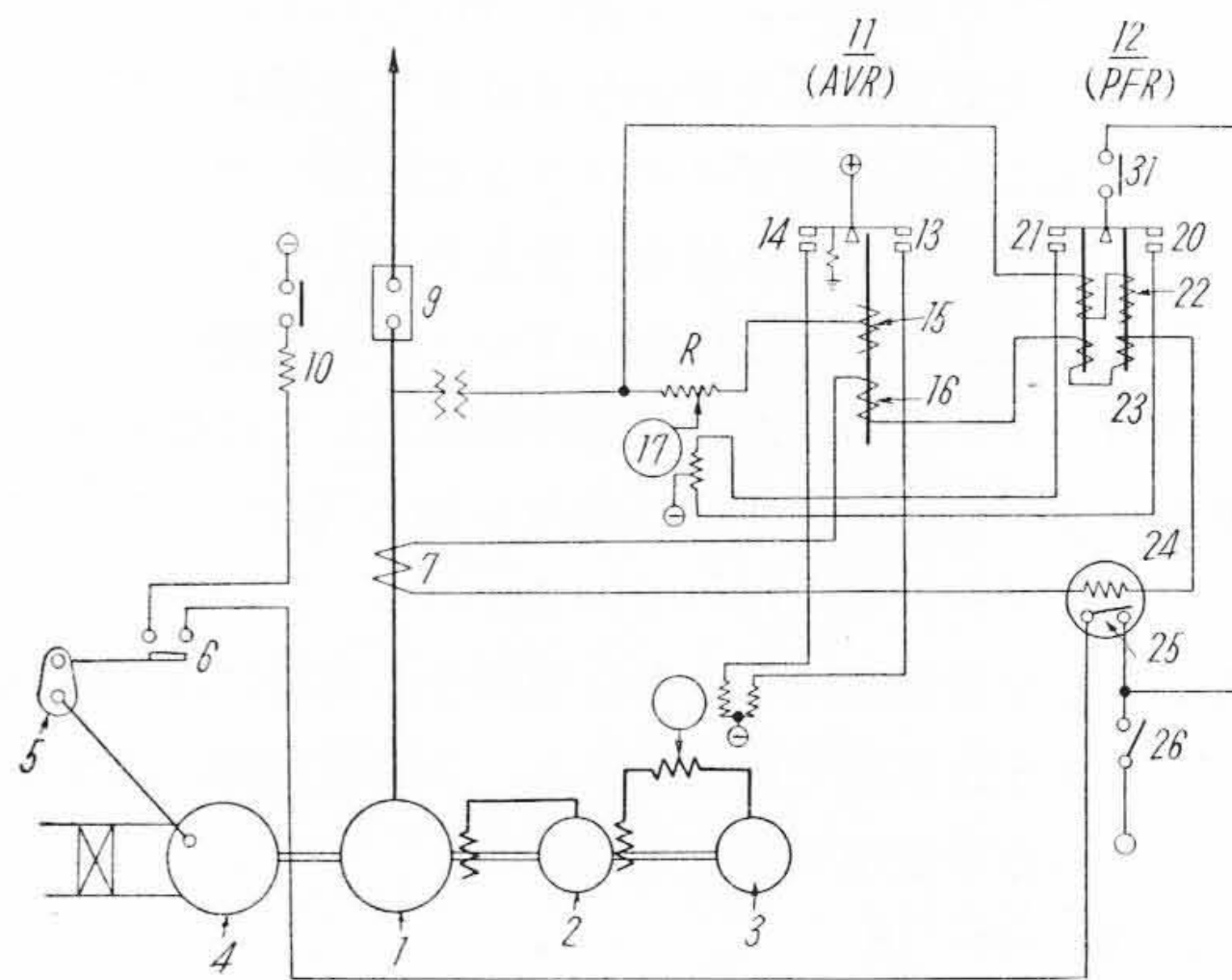


特 許 第 225791 号

齋 藤 武

発 電 機 の 停 止 制 御 装 置

水車発電機を系統から切り出す場合すなわち同期解列に際しては従来系統電圧と発電機自身の誘起電圧との関係から生ずる無効分電流について特別に考慮されることがなかった。それゆえ遮断器はその開路に当つて相当の無効電流を切らねばならぬことがあつた。これは当然むだな電流の遮断であるばかりでなく、時としては系統に大なるショックを与える害がある。この発明は以上の事情に鑑み、自動電圧調整器に対して無効電力調整器を組合わせ、両調整器を協調させることにより水車発電機緩停止の際に無効電力の授受をなからしめ、これによつて遮断器の責務を軽減し、かつ系統に対して擾乱の原因を与えぬように企図したものである。交流発電機1、主、副励磁機2、3、水車4の一連があつて、4は水車導水弁開閉装置5を具える。6は装置5の閉動作の最終より若干手前で閉じられて遮断器9のトリップコイル10の回路の一点をととのえる。低電流継電器24には接点25があつてこれが上記の6と10とに直列に入れられ、さらに水車発電機を停止する際に閉路する接点26をも直列に包含する。いま26を閉じ、この閉じ動作に関連して装置5を導水弁絞りにもつていくとその極限位置で6を閉じる。一方発電機1はその励磁調整を自動電圧調整器11および無効電力調整器12によつて行いながら徐々に電圧を低減する。この場合の発電機の励磁調整はただその端子電圧を下げるだけのことでなく、むしろそれよりも無効電力 VAR



を絞るという方向をもつ。このようにして発電機1の出力回路を流れる電流が零またはそれに近い一定値となれば継電器24はその接点25を閉じる。26-25-6-10なる回路がかくして完結すれば遮断器9は自動遮断して同期解列は完了する。この遮断に際しては外部に悪影響を与えぬことはもちろんのこと遮断器自身の責務は軽減される。(宮崎)

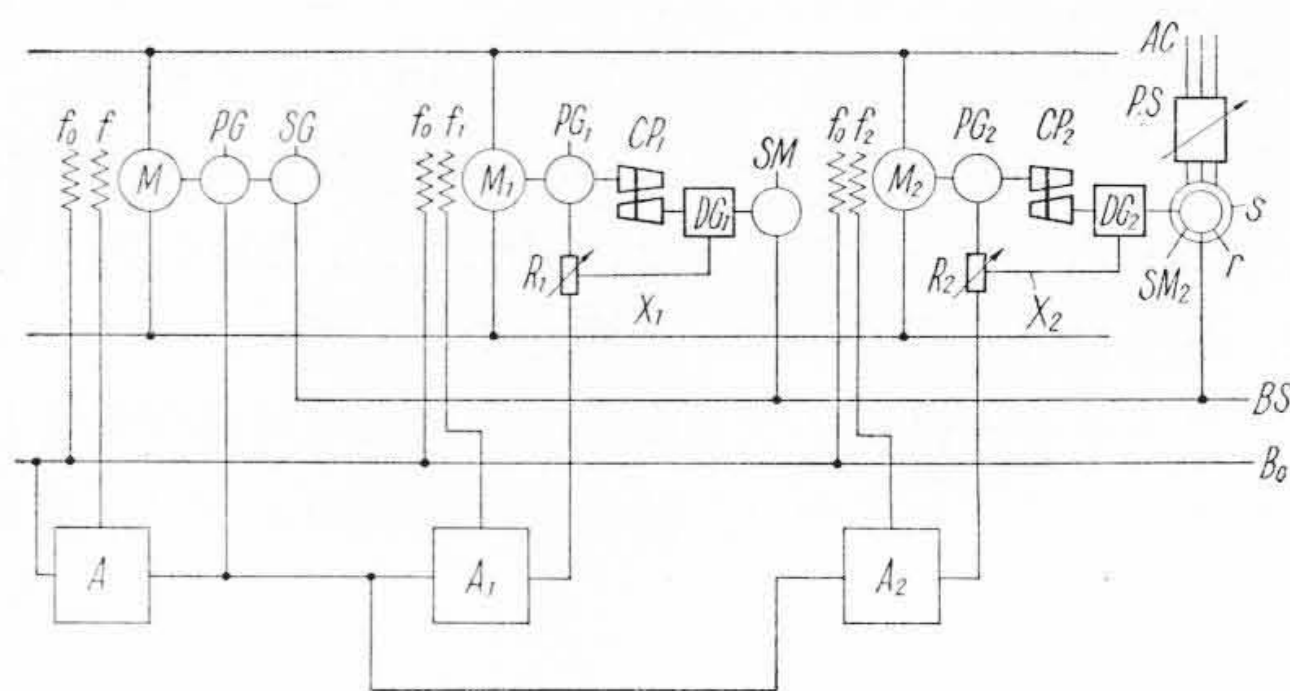
特 許 第 222465 号

稲 木 利 一・田 附 修

抄 紙 機 運 転 た る み 制 御 装 置

この発明はセクショナルドライブ式抄紙機の運転において運転中紙に生ずる“たるみ”を取り去り、また必要に応じて“たるみ”をあるていど故意に与えることを運転中に自由円滑に行わしめるものである。各セクション電動機 M_1 , M_2 などは指導電動機 M に対して給与電圧、速度などの関係で互に抜き差しならぬようにタイアップされている。しかし各電動機の運転上の誤差は僅少であつても時間とともに積分されればそこに紙の“たるみ”が生じ、ないしは逆に“張り過ぎ”も生ずるのは避けにくいことである。

この発明は以上のようにして生じた“たるみ”を除くために互に有機的にタイアップしている各電動機の任意のものを選んで計画的に一時歩調を乱させることによつて目的を達せんとしたものである。このためにはたとえば今 M_2 だけの速度を任意に一時的に変調するために SM_2 (セルシン) の固定子 s の給電回路 AC 内に移相器 PS を設けてこれを可調的となしたものである。このようにすれば必要に応じて PS を調整することにより SM_2



の固定子 s の回転磁界は任意角度だけ空間的に進められ、あるいは遅らせられるから回転子 r は M のセルシンゼネ SG の電圧制御下にあつて定回転しつつあるが、これによつて一時制約から自由にされるので必要なだけ進めあるいは遅らせられ、これが紙の“たるみ”付けまたは紙の“たるみ”取り作用となるのである。(宮崎)