

最近のアナログ制御

Recent Analog Control

電子計算機、プログラマブル、コントローラの登場により、最近のアナログ制御は機能、構成面で変革の時期をむかえている。本論文では監視操作部と制御部の分離による制御部及び監視部の小形化、計算機との結合性及び遠隔操作性の配慮、モジュール、ユニットごとのビルディングブロックによる拡張性を特徴とする最近のアナログ制御素子及びその応用につき説明した。

吉岡孝幸* Takayuki Yoshioka
橋本忠雄* Tadao Hashimoto
川瀬信秀* Nobuhide Kawase
野元康德* Yasunori Nomoto

1 緒 言

電動力応用の分野においては、過去に回転増幅器、磁気増幅器が一時代をなしたが、その後、半導体の出現によってトランジスタ増幅器に移り変わり、更にリニア集積回路(以下、ICと略す)の発達によりアナログ制御素子は順次IC化に移行し、現在ではほとんどのアナログ制御素子がIC化されている。アナログ制御素子がIC化された結果、小形化され高密度実装が可能となり、1枚の基板上である単位機能をもった機能素子を製作することが容易となった。

その結果、次の点を図ることができた。

- (1)機能、性能の向上 (2)小形化 (3)信頼性の向上
(4)経済性の向上 (5)保守取扱いの簡略化

一方、制御用電子計算機、遠方制御装置などの発達と普及により、制御の規模はますます広域化し、プラントを総合的に監視制御する動向にある。

このような要請にこたえ得るよう、従来の電動力応用技術の分野で実績のあるIC化シリーズの体系的整備を行ない、プロセス制御、電子計算機制御及び遠方制御とも結合を可能にした。

以下、この論文では最近の制御素子及びこれらの演算素子を組んだアナログ制御システム、“HIACS”とその応用例などについて紹介する。

2 制御素子

最近の電動力応用技術に利用される自動制御装置には、高度な性能と多様な機能が、ともに要求されるようになった。

これにこたえるため、エレクトロニクス技術の進展は目覚ましく、電動力応用技術の質的向上と小形化とに果たした役割は極めて大きいものがある。

既に昭和45年、日立製作所ではトランジスタ式からIC化へと移行し、演算増幅器及び演算増幅器の多目的性を生かしたシリーズを開発し、以来多様化されるシステムの構成に十分対処できるよう体系的な整備を行なってきた。

以下、このIC化アナログ制御素子シリーズの概要について紹介する。

2.1 シリーズの特長

(1) 高信頼性

IC化によって小形・軽量化するとともに、採用部品は厳重なスクリーニング、ディレーティングにより初期不良の除去と長寿命化を図っており、更に耐湿・耐ガス構造をとって

表1 演算増幅器一覧 4種類の標準演算増幅器の仕様、機能が分かり、負帰還増幅器として使用することにより種々の演算回路を構成することができる。

名 称	形 式	回路数	機 能	仕 様
演算増幅器	AOA-01	4	汎 用	出力 ±10V 5mA
	AOA-02	2	高 精 度	出力 ±10V 5mA
	AOA-03	4	中 出 力	出力 ±10V 50mA
	AOA-04	1	大 出 力	出力 ±10V 500mA

いる。

(2) 保守、点検が容易

基本的にはプラグイン構造であり、交換が容易で、且つ点検も簡単である。また前面からの調整、設定及びチェックが可能である。

(3) 機種が豊富

演算増幅器及び演算増幅器応用回路、移相器、並びにチェック素子、及び直流電源回路などの豊富な機種を用意しているので、システムの構成が容易である。

2.2 IC化アナログ制御素子シリーズ

以下、主要制御素子の概要について説明する。

2.2.1 演算増幅器

アナログ制御器具の基本素子は、演算増幅器である。演算増幅器は使用目的により、表1に示す4機種を標準化しており、演算インピーダンスと結合して、負帰還増幅器として使用することにより、種々の演算回路を構成することができる。

2.2.2 インピーダンス パック

演算増幅器と結合する演算インピーダンスを取り付ける素子で、システムの多様化に対処できるように空スペースだけを設けており、各種演算インピーダンスの取付けが容易にできる。

2.2.3 演算増幅器応用回路

多様化されるシステムの構成に対処できるように、演算増幅器の多目的性を十分生かして、表2に示すような素子を標準化している。

(1) 変化率制限器

操作端などからの急激な変化を避け、システムの安定化を

*日立製作所大みか工場

表 2 演算増幅器応用回路一覧 演算増幅器を使用した応用回路の機能が分かる。

名 称	形 式	回路数	機 能
信 号 発 生 器	ASG000A	4	基準信号発生
変 化 率 制 限 器	ARL000A	1	入力信号の変化速度を制限して追従する。
	ARL001A	"	低変化率用(0.025~100%/min.)
関 数 発 生 器	AFG-01	"	ダイオード折線近似方式 折点 7 本
	AFG-020A	"	理想化ダイオード折線近似方式 折点 4 本
比 較 器	ACP-01	4	2 信号の比較 無接点出力
	HND-02	2	2 信号の比較 有接点出力
乗 算 器	AMT-01	1	変調方式
	AMT-02	"	ダイオード 1/4 二乗方式
	AMT040B	"	乗算素子採用、高精度用
除 算 器	ADV000A	"	$E_0 = \frac{20(E_1 + 10)}{E_2 + 10} - 10$ なる演算を行なう。
開 平 器	ART000A	"	$E_0 = \sqrt{20(E_1 + 10)} - 10$ なる演算を行なう。
アナログ ゲート	AGT-01A	6	ダイオードブリッジ方式
	AGT-03	"	FET方式*
D-A 変 換 器	ADA-01	1	純 2 進コード 11 ビット
	ADA-02	"	BCD コード 3 けた
PI コントローラ	AIC020A	"	比例積分演算を行なう。
アナログ メモリ	AMY010A	"	アナログ信号の長時間保持、遠隔操作を行なう。
アイソレータ	AFA-02B	"	入力 0~±100mV, 0~±10V, 出力 0~±10V, 回路電圧 820V
	AFA-030A	"	入力 4~20mA, 0~±10V, 出力 0~±10V, 回路電圧 250V
チ ャ ッ カ	MCK-02	"	±1.5V, ±15V 擬似信号発生, 電圧計にてチェック可能。
	ACH-01	"	アナログ プラグイン チェッカ

注：*FET=Field-Effect Transistor

図るため、信号の変化速度（変化率）をある規定値以下に制限する回路である。変化率の制限値は、外部電圧信号により定まり、正の変化率、負の変化率をそれぞれ独立に設定が可能である。

(2) 関数発生器

演算増幅器とダイオード回路より構成された、折点近似方式の任意関数発生器である。

AFG-01は、7本の折点をもつ非直線近似方式、またAFG-020Aは、4本の折点をもつ理想化ダイオード近似方式で、ともに二象限動作が可能である。

(3) 乗算器・除算器・開平器

乗算器は、変調方式のAMT-01、ダイオード二乗関数のAMT-02、乗算素子を使用したAMT-040Bの3機種を標準化している。

除算器及び開平器は、基本的には乗算器と同一であり、乗算素子と演算増幅器から構成される。

(4) D-A変換器

デジタル信号をアナログ信号に変換するもので、デジタル制御回路とアナログ制御回路の信号変換器として使用される。

このシリーズでは、純2進11ビット方式とBCD3けた方式の2機種を標準としている。いずれも演算増幅器を使用したダイオードスイッチによる重み重畳方式である。

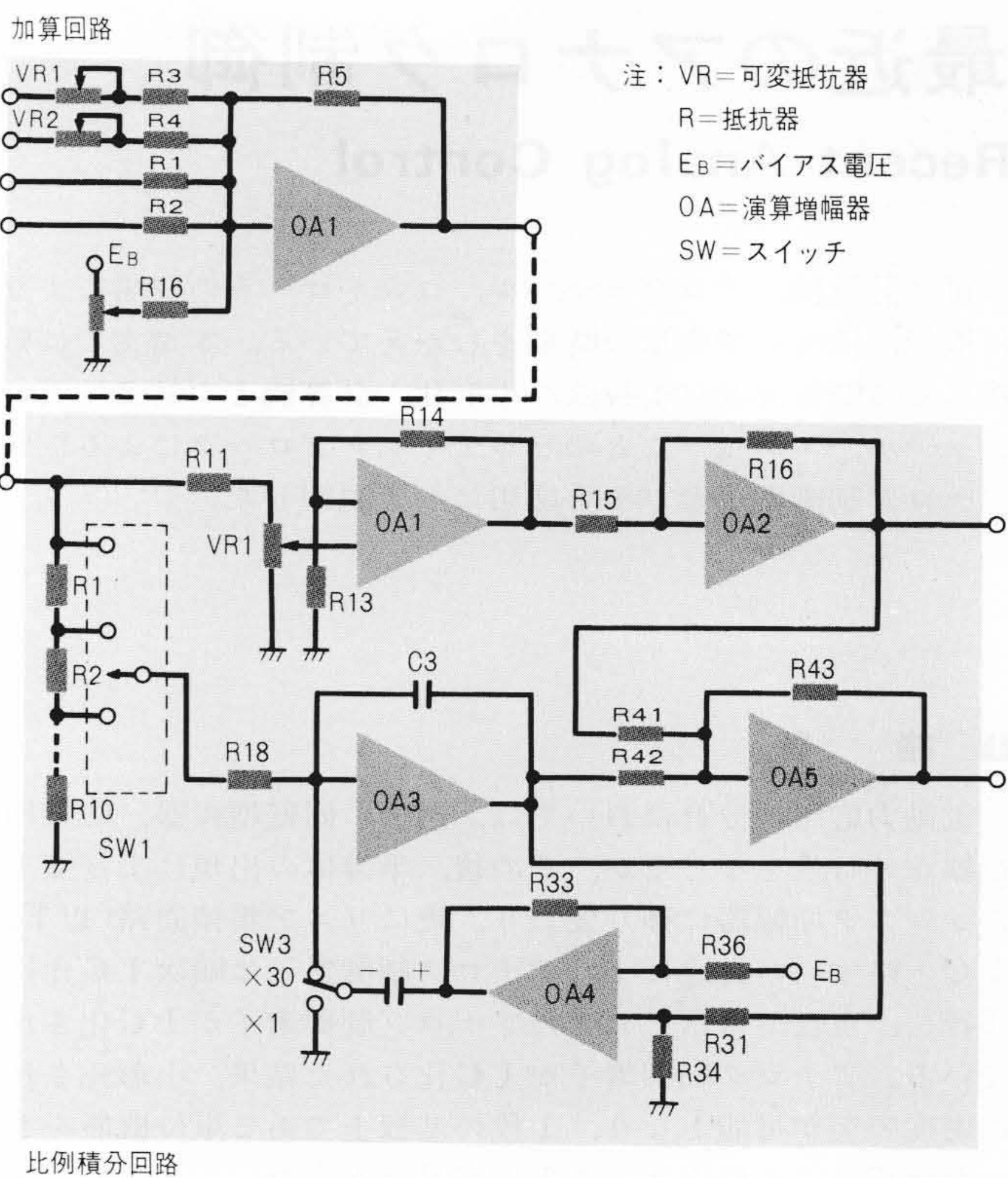


図 1 PIコントローラ構成図 PIコントローラの回路構成を示す。

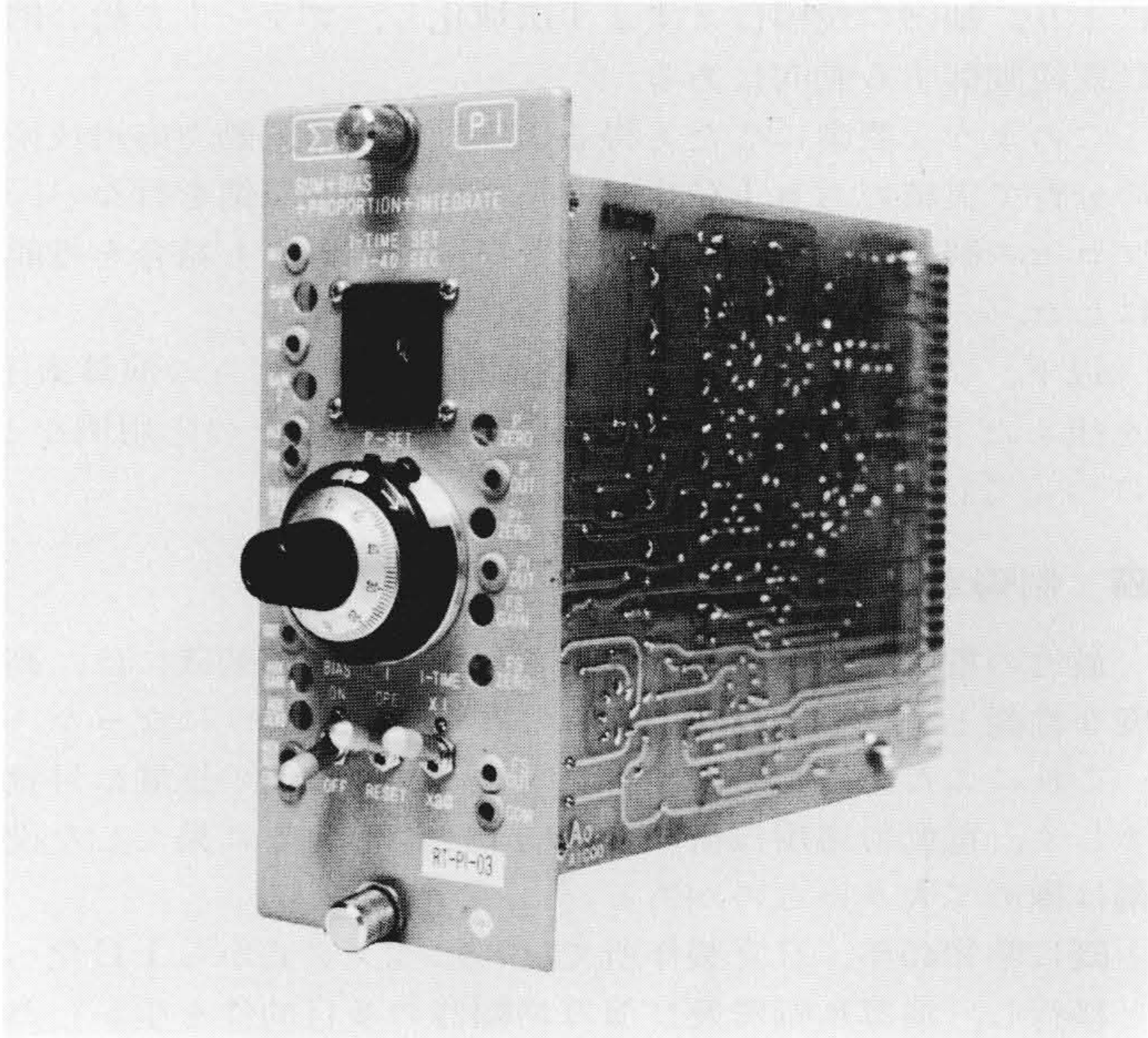


図 2 PIコントローラ PIコントローラの外観を示す。

(5) P I コントローラ

この機器は、目標値と帰還値の偏差を演算する加算部分、及びPI演算を行なう比例積分部分より構成され、比例ゲインは0~25、積分時間は1~1,200秒の範囲で可変できる。またアナログメモリと組み合わせて、自動-手動パンプレス切換回路を構成できる。図1に基本構成を、図2にその外観を示す。

(6) アナログ メモリ

アナログメモリは、デジタル回路を介してアナログ信号

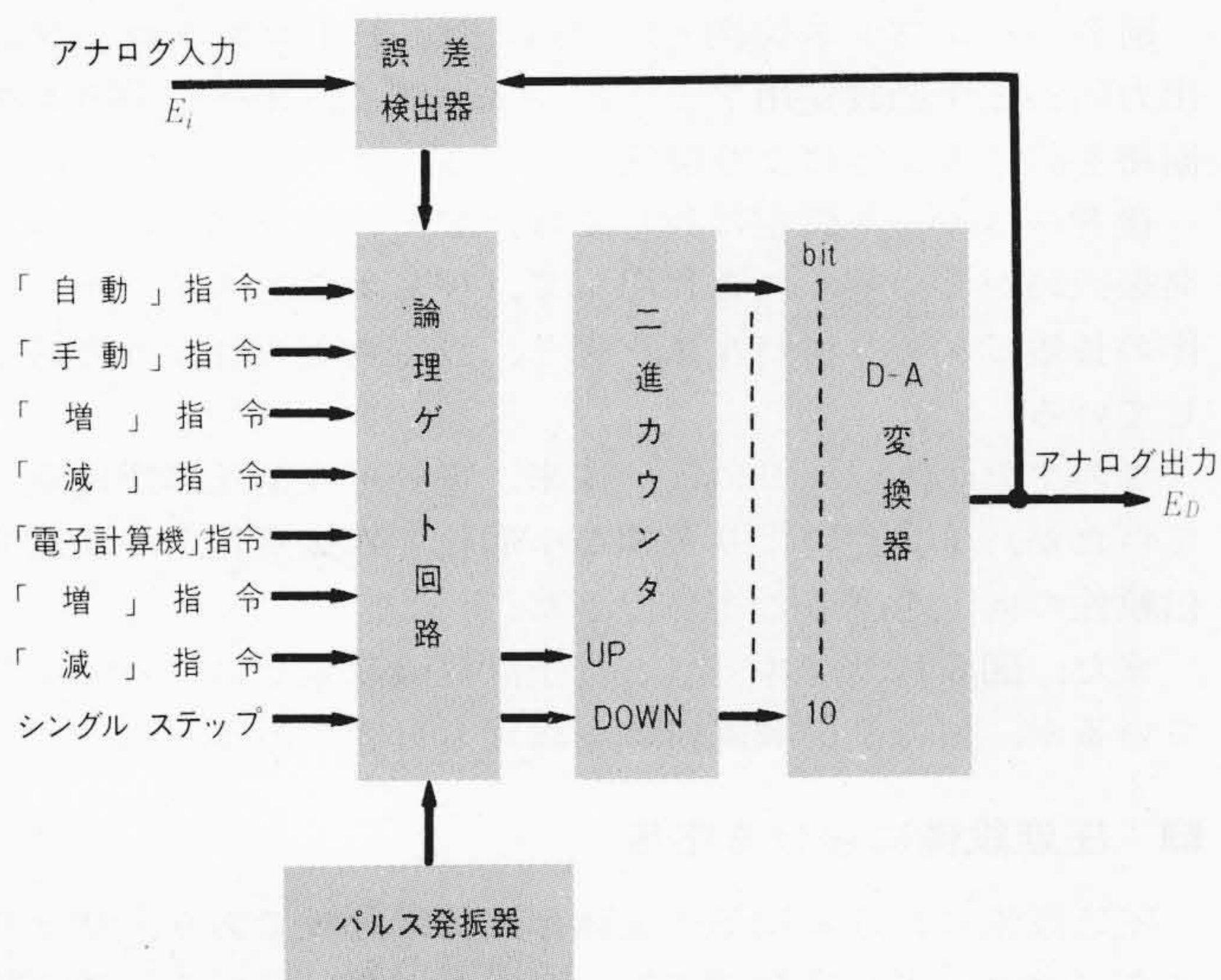


図3 アナログメモリブロック図 アナログメモリの基本構成を示す。

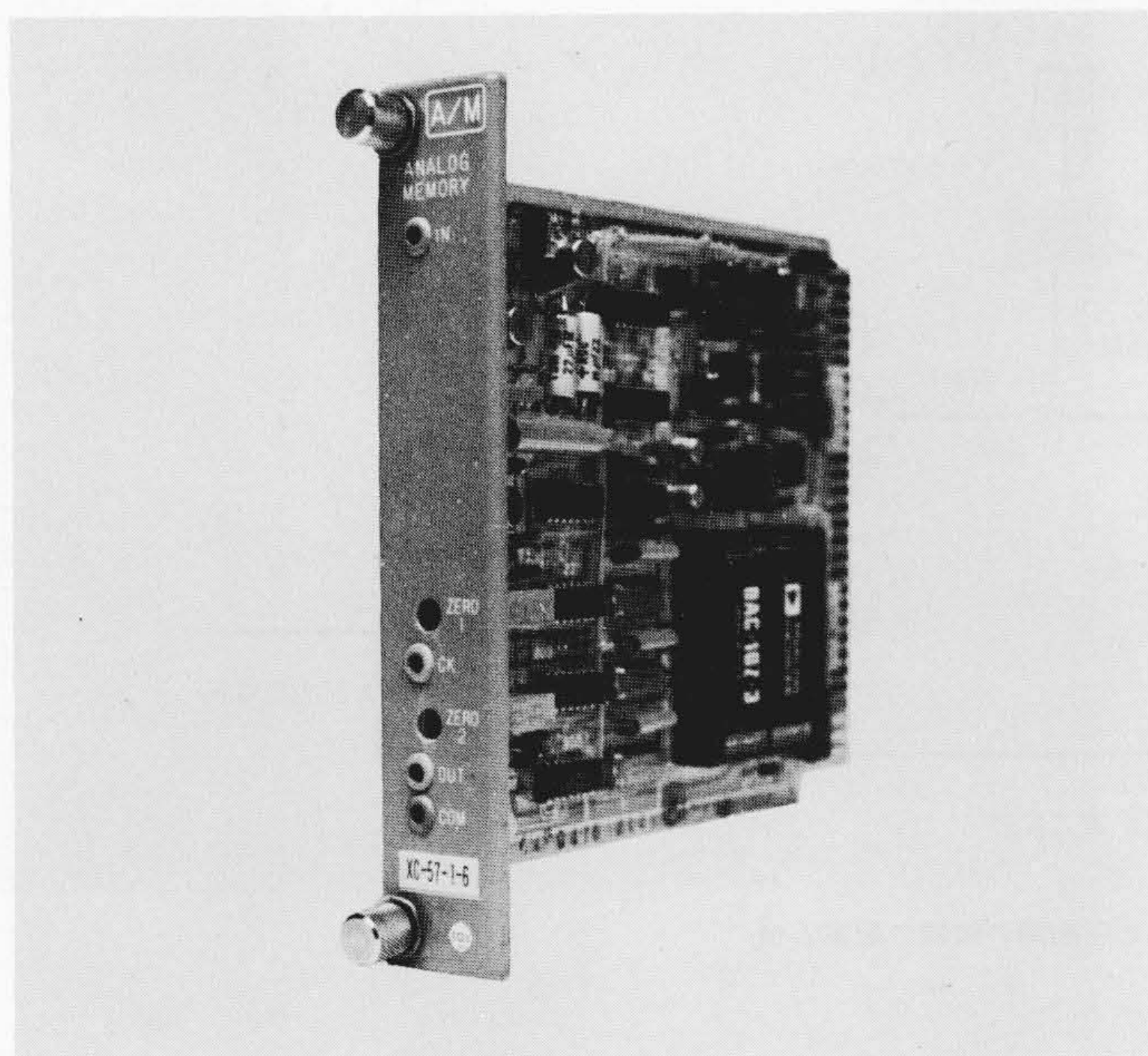


図4 アナログメモリ アナログメモリの外観を示す。

の長時間保持を行なう記憶回路である。

通常、出力信号は入力信号に追従しており、外部からの指令信号により、指令が与えられる直前の信号を保持する。更に別の指令信号により、この保持出力信号を可変することも可能である。

図3にそのブロック図を、図4に外観を示す。

(7) アイソレータ

この機器は、相異なるシステム間の結合、及び電力回路と弱電回路との結合に使用する絶縁増幅器である。

回路電圧、入力信号により2機種を標準化している。

(8) 専用素子

圧延機プラント用標準の制御回路を、1枚のプリント板に実装し標準化している⁽¹⁾。

3 上下水道における応用

最近の上下水道設備の特徴は、遠隔取水による長距離送水、広域配水、大規模化の点であり、合理化運営のために遠方集中監視制御が行なわれ、取水・送水・配水ポンプ所などはすべて無人化される傾向にある。そのため、これらのポンプ所に使用される速度、水位、圧力、流量などのアナログ制御装置は、無人化と大規模化による制御ループ数の増大化により、次の事項が必要となっている。

- (1) 信頼性、安定性の大幅向上
- (2) 保守の簡易化
- (3) 電子計算機と遠方制御装置との結合
- (4) 小形化

一方、下水道設備においては、流域化・広域化・大容量化が特徴で、合理化運営のための集中制御及び高度浄化を目標とした質的制御が始められている。そのため、雨水・汚水中継ポンプ所の水位制御、終末下水処理場のブロワの風量制御、返送汚泥制御、及び余剰汚泥制御などの各アナログ制御に対しても上水の場合と同様に、前記に述べたような事項が必要となっている。

このような目的のために適用した一例として、ポンプ場の制御システムについて述べる。

図5にそのシステムキャビネットを示すとともに、構造について次に述べる。

制御ループごとにユニット化されており、制御ループの機能の変更はユニットに制御素子を追加変更すればよく、制御ループの追加はユニットの増設で拡張できるようになっている。

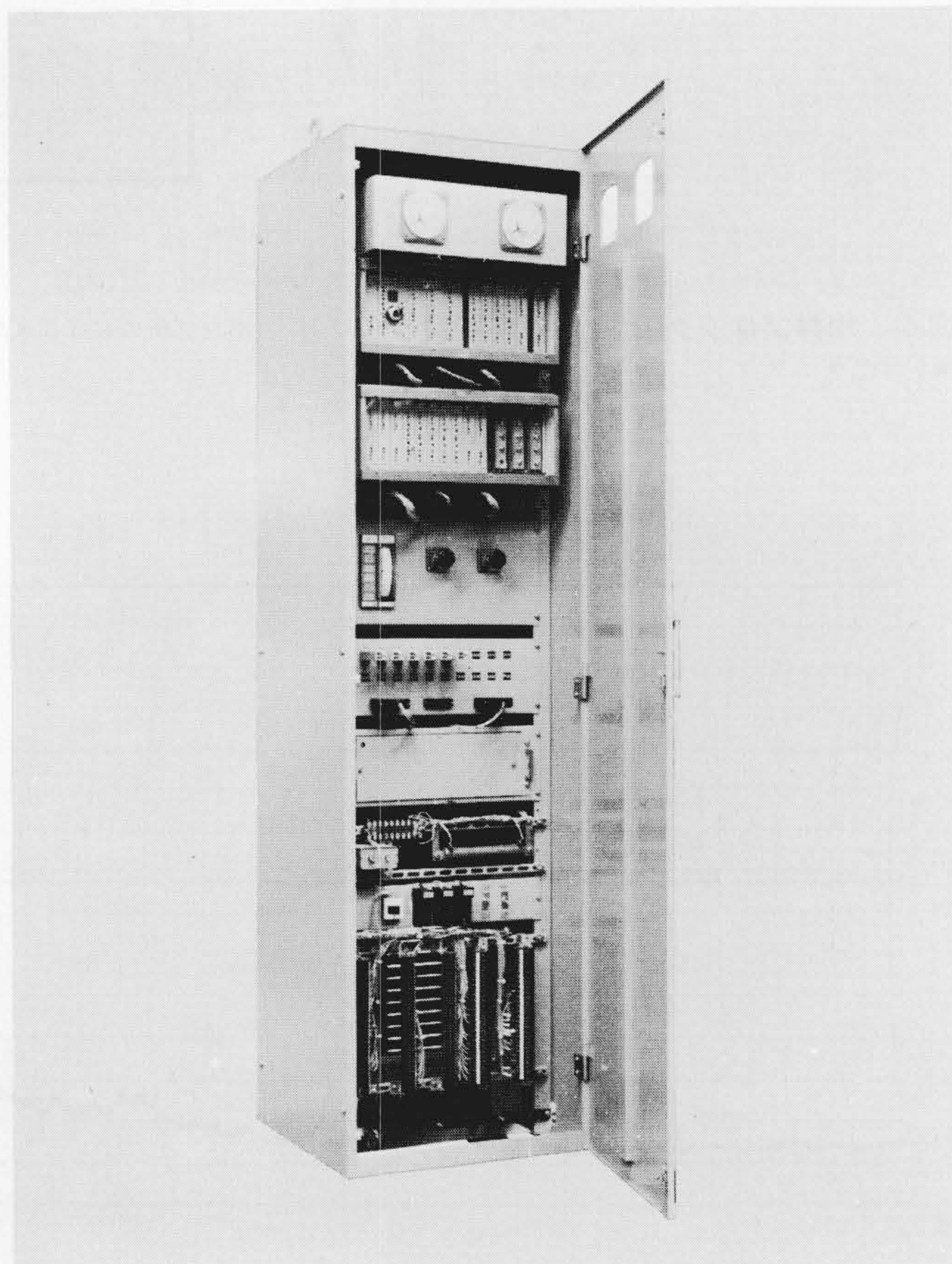


図5 システムキャビネット アナログ制御装置をキャビネットに収納した一例を示す。上部に制御素子を実装したユニットが見られる。

る。また、このユニットは防塵構造となっており、据付工事中の扉の開閉などで侵入する塵埃から制御素子を保護する。

保守の面では、ユニットとシステム キャビネット本体との接続はコネクタで行なっており、必要に応じてユニット自体の交換が可能となっている。また、動作チェックや常数設定については制御素子の前パネルのチェック端子により行なう方式としている。

3.1 制御方式

図6に圧力制御の制御ブロック図を、図7にこの装置の試験結果を示す。

少数のオペレータで運転する場合、取扱い上、安全面から操作性の向上が必要である。このシステムでは「自動-手動」、あるいは「サブループ-計算機設定」の切換えはすべてバンプレス切換としている。また、設定値変更を行なう場合は、押しボタンスイッチによりリモート設定としている。

そのため、手動操作や電子計算機とのインタフェースにアナログメモリを設けている。

前者のバンプレス切換えについては、PIコントローラの実出力回路と手動設定用アナログメモリ間で、オートバランス回路を設けることにより解決している。

後者のリモート設定に対しては、アナログメモリのパルス発振回路からのパルスを利用して、押しボタンスイッチの操作の長短でメモリにパルスを送り、設定変更を行なう方式としている。

このアナログメモリには、従来、電動可変抵抗器を使用していたが、IC化により大幅な小形化と無接点化という点で信頼性の向上を図ることができた。

また、図6はサブループと電子計算機設定とについて示しているが、遠方制御装置による設定も可能である。

4 圧延設備における応用

圧延設備における制御の主体は直流電動機であり、サイリスタレオナードの自動制御がその中心となっている。この制御方式は既に確立し標準回路となっているので、各種基本素

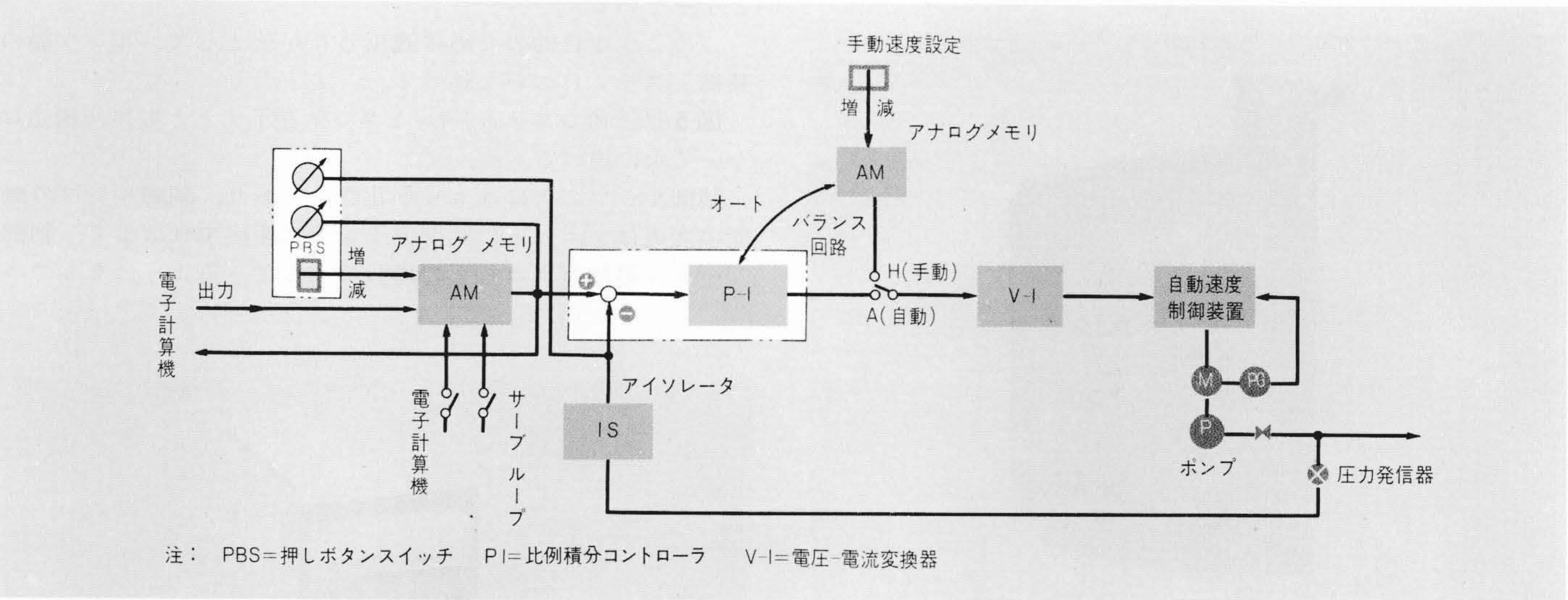


図6 制御ブロック図(吐出し圧制御ループ) ポンプ所における水の吐出し圧制御の機器の配置と機能が分かる。

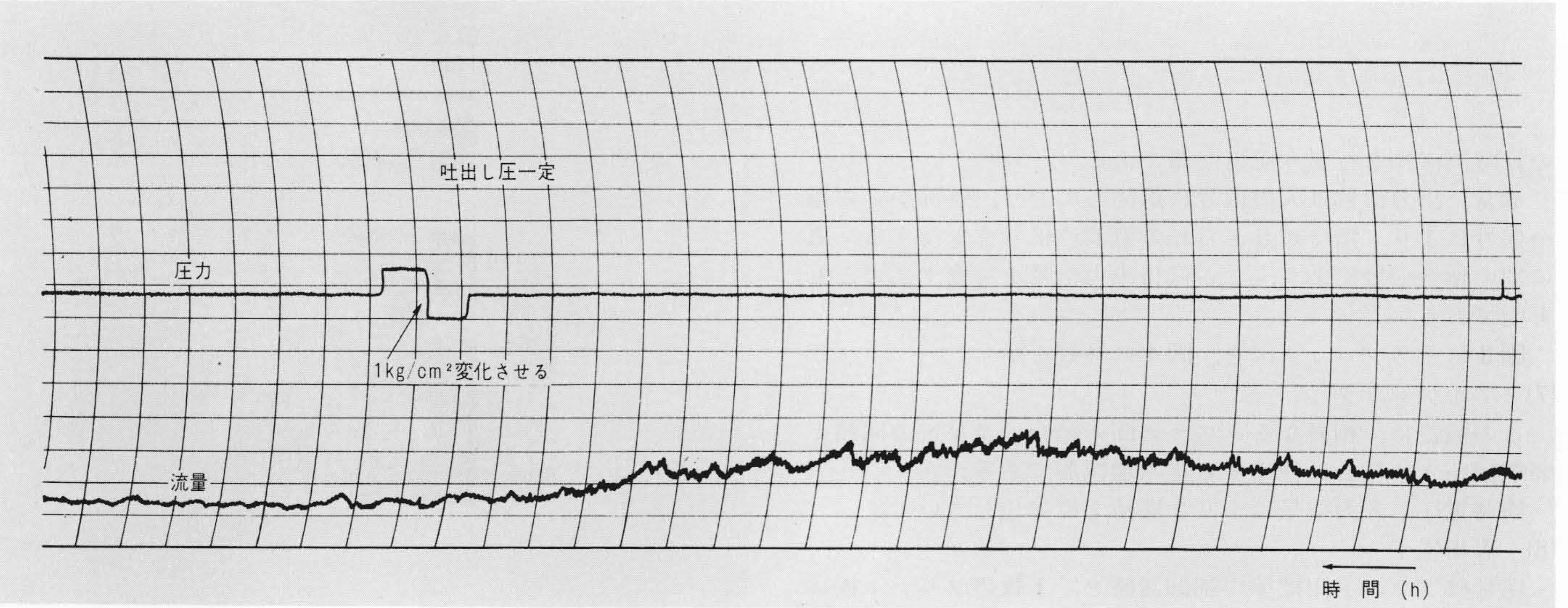


図7 圧力制御の試験結果 流量が変化しても、吐出し圧が目標値に一定に制御されているのが分かる。

子のほかに、使用頻度の高い標準回路を機能別にまとめた指令装置、自動電流制御 (ACR) 回路、自動速度制御 (ASR) 回路、張力パターン回路、EMF 回路などの専用素子を組み合わせてアナログ回路を構成している。制御回路としての面からとらえた場合には以上のとおりであるが、実装的にとらえた場合、基本回路と補助回路、オプション回路などに分離し、それぞれの制御素子の挿入個所を固定しユニットとしての標準化を進め、信頼性及び経済性の向上を図ってきた。また、従来は独立した制御盤として強電部分とは分離されていた IC 制御装置は、強電リレー、コンタクト及びサイリスタなどと一体化して組み込む方向に移ってきている。すなわち、「制御装置としては基本素子から専用素子へ、専用素子からその集合であるユニットへ、ユニットから更に制御盤へと総合的機能をコンパクトにまとめ一つの装置として考える。」ということである。以下、アナログ回路を構成するに当たっての特長について述べる。

4.1 特 長

- (1) 専用素子内には調整部分を設けずに制御素子に互換性をもたせる。
- (2) アナログ回路の閉ループチェックを容易にする (アンプ出力をロータリ スイッチなどによりメータ部へ出力するなど)。
- (3) 調整用端子は一個所に集中し、設定変更などを容易にする。
- (4) シミュレータ端子を設け、回路のシミュレーションを容易にする。
- (5) 耐雑音性に強い制御素子及びその実装について考慮する。など、特に保守・点検調整の簡便さに重点をおいている。

4.2 制御回路

電流制御 (ACR) 付速度制御 (ASR) 回路あるいは自動電

圧制御 (AVR) 回路などについては、既に報告している⁽²⁾ ので、ここではその他の回路について一、二の例を示す。

(1) 自動板厚制御 (AGC) 回路

図 8 は冷間圧延機における压下装置に適用されるゲージメータ方式による AGC 回路図である。压下荷重と压下位置より基準板厚を設定するためのロック オン システムとしてのアナログ メモリ、目標値との板厚偏差補正用としての乗算器や積分器、加減器による変化量を補正するための関数発生器などや演算増幅器などから構成されて、油圧压下装置 “HYROP” への指令を与えている。

(2) 自動張力制御 (ATR) 回路

図 9 に中央部に炉をもつプロセッシング ラインにおいてその炉内張力をダンサロールを用いて一定に保つための ATR 系の回路図を示す。張力制御は P I コントローラにより比例積分制御を行ない、その出力により電圧-電流 (V-I) 変換器、電流-圧力 (I-P) 変換器を経て調節弁の開度をコントロールし、エア シリンダ圧を制御している。ダンサロール位置制御系は、張力制御範囲を確認するためのもので、乗算器と演算増幅器とで構成されている。

(3) ACR 回路

図 10 は直流電動機の ACR 用回路図であり、プロセッシング ライン設備用に開発された “HILECTOL-L” に適用された電流レート制御 (ACRR) 付の電流制御回路部分を示している。演算増幅器とその他の演算素子からなる専用素子にまとめられ、1 枚の基板には正逆転切換への論理回路をも含んでいる。

4.3 実装例

図 11 は、図 10 の回路構成で電動機の ASR、又は AVR を行なう場合のアナログ部分の実装例である。下段の 1 ユニットには自動パルス移相器 (APPS) と制御回路とをまとめ、

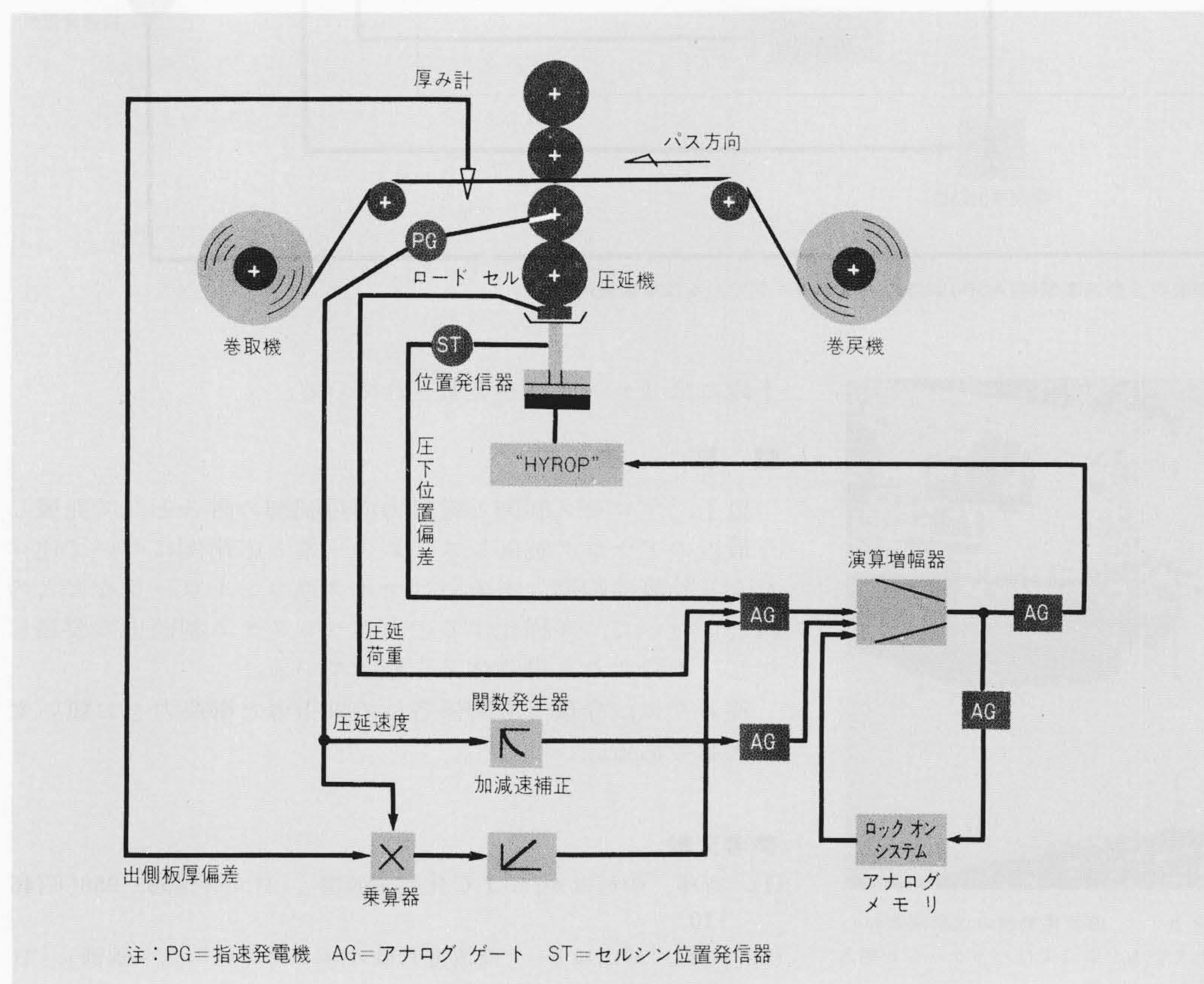


図 8 自動板厚制御回路
4 段冷間圧延機のゲージメータ式自動板厚制御 (AGC) におけるアナログ制御の一例を示す。

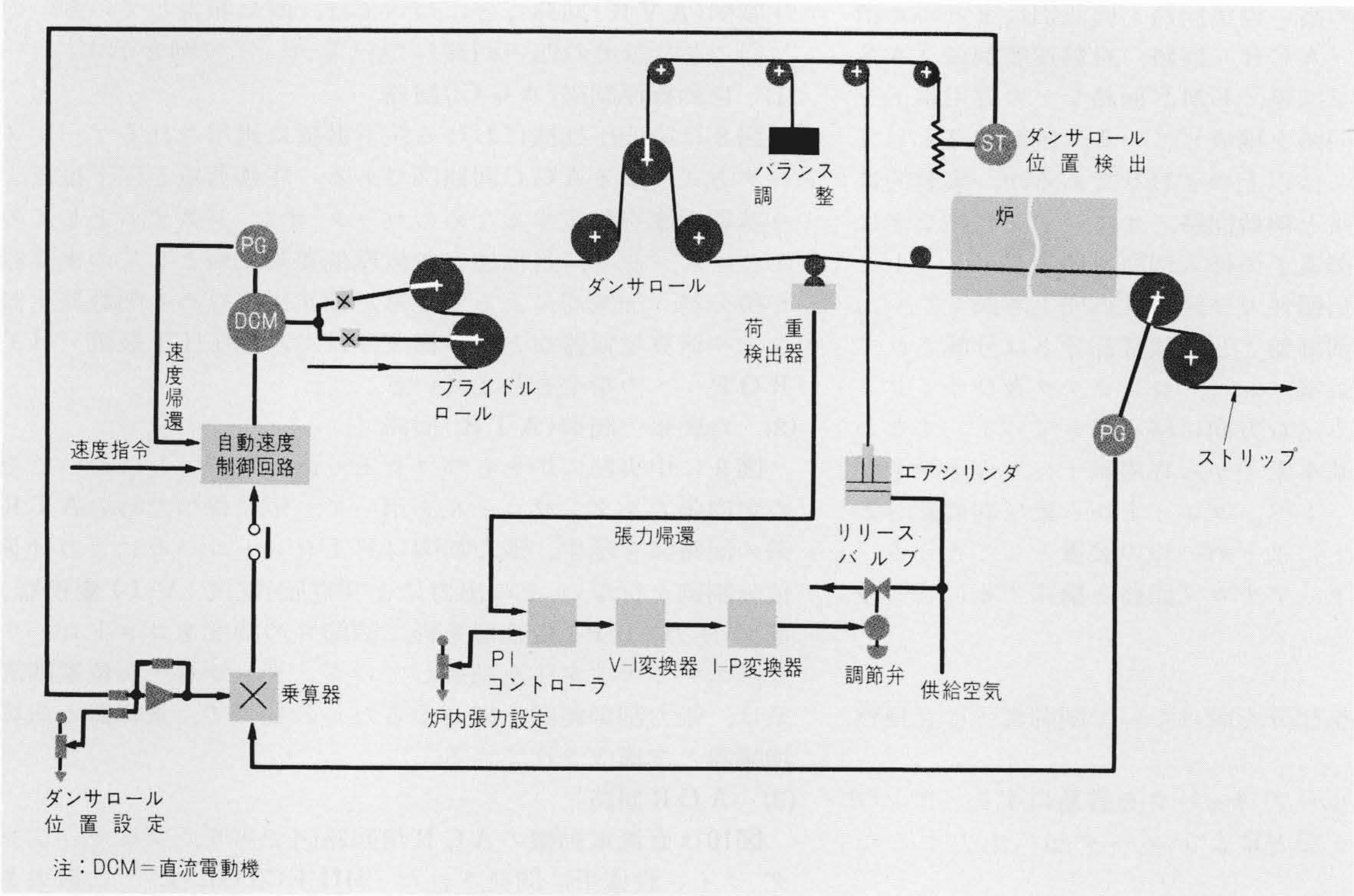


図9 自動張力制御回路 焼鈍ラインなどにおける炉内張力制御を、ダンサロールで行なっている。

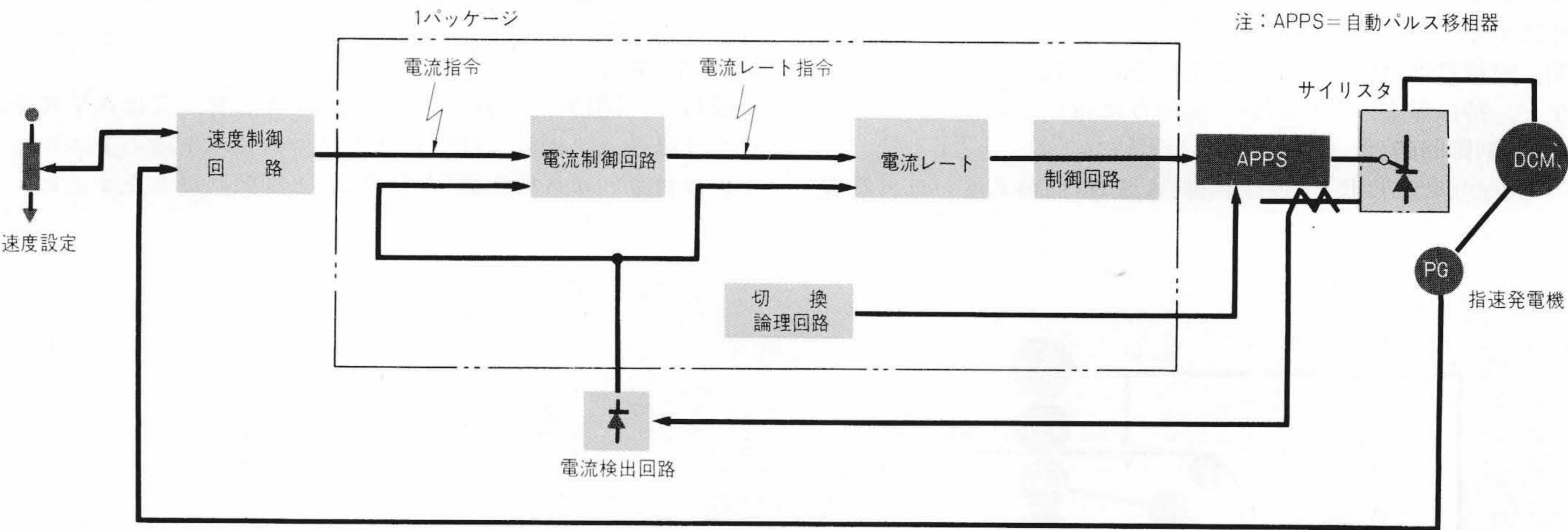


図10 自動速度制御回路 直流電動機の自動速度制御(ASR)回路のマイナーループである二点鎖線内のACR回路を1パッケージにまとめている。

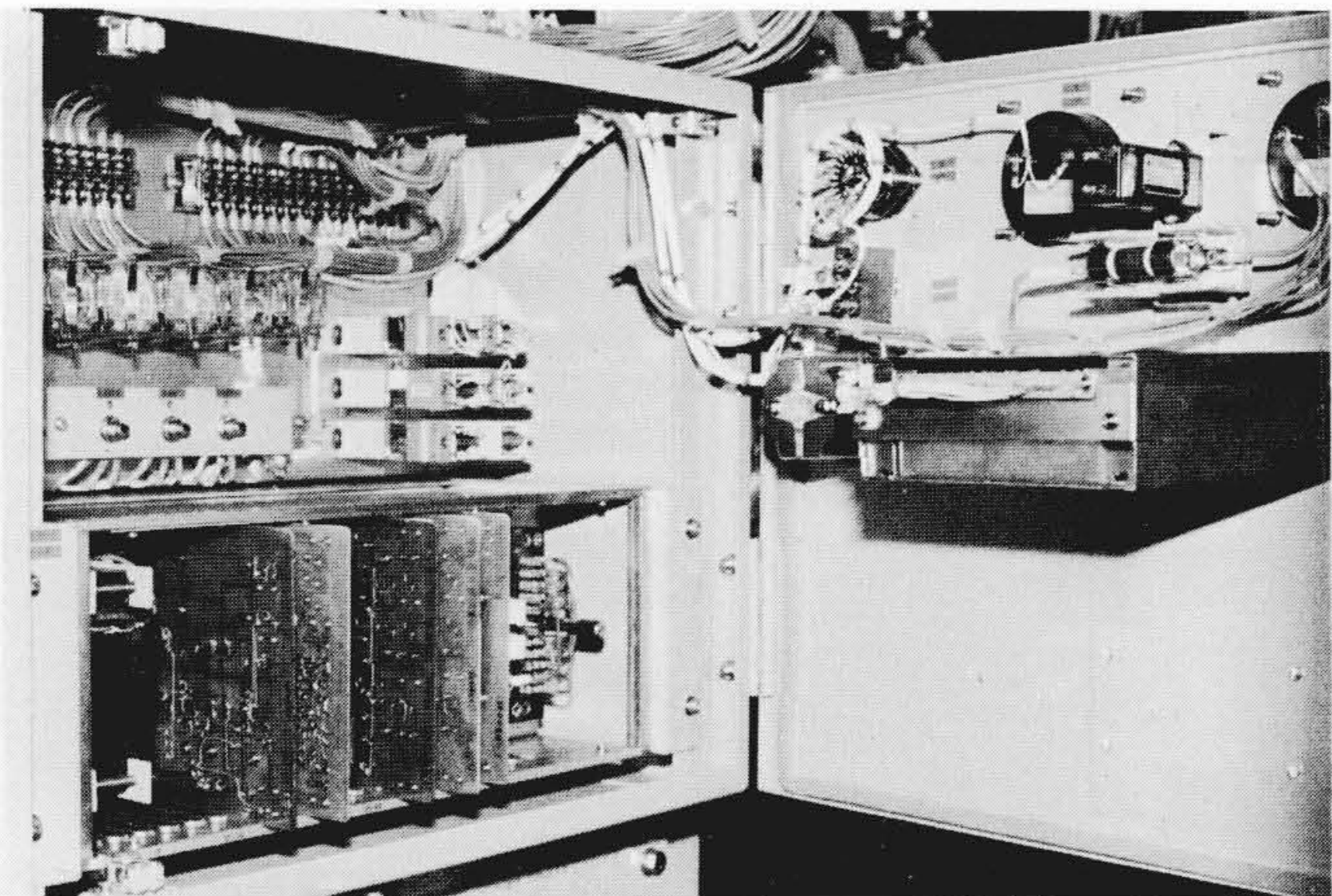


図11 “HILECTOL-L”IC制御ユニット 直流電動機速度制御の心臓部がAPPSも含め、1ユニットに収納されている。ここではパッケージが挿入されることを示している（図10の実装例）。

上段にはリレー回路が実装されている。

5 結 言

以上、プロセス制御と電動力応用制御の融合として発展した最近のアナログ制御システムの一端と応用例について述べたが、計算機制御、あるいはマイクロコントローラなどの結合において、多様化するであろうシステム制御上の要請に対し、十分こたえ得る体系を整えている。

終わりに、今後とも関係各位の御指導と御協力をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 齊藤，中村ほか，「I C 化制御装置」，日立評論53，958(昭46-10)
- (2) 平輪，神山ほか，「直流電動機のエレクトロニクス制御」，日立評論55，646(昭48-6)