U.D.C. 621.314.63.07 : 546.28 : 621.316.726

自動周波数調整装置におけるSCR素子の応用

An Application of SCR to Automatic Frequency Control Equipment

浜岡 尊* 大沢 晃* 鈴木正義*
Takashi Hamaoka Akira Ôsawa Masayoshi Suzuki

内 容 梗 概

近年多数の火力発電所が次々と建設されて電力系統の規模もますます大きくなってきた。これら大系統の安全な運転のためには従来水力発電所のみを対称としていた自動周波数調整（AFC）に火力発電所を含めることが必要となってきた。しかし，特性の異なる水力発電所，火力発電所を協調して制御を行なうためには，従来よりもさらに周波数特性の良好な制御装置が要求される。最近日立製作所ではSCRを利用した二種類のガバナ制御用電動機駆動装置を開発してこれらの課題を解決することに成功した。本稿ではこれらの新形制御装置の概要を説明し，これらの装置におけるSCRの重要な役割について報告する。

1. 緒 言

最近電力需要の急激な増大に伴い，この数年間に火力発電所の建設が進み，その発電力も電力会社によっては水力発電所を上回る現況である。したがって，AFCに対してもELDに対しても火力発電所を無視しては調整できないようになってきた。火力をAFC制御する場合には，火力の特性上から制御電動機のもつ起動電圧やバックラッシュによる弊害をさけるために，演算用積分器を設けて制御特性を変え制御の安定をはかる必要がある。このため火力発電所に設置する負荷調整装置（ALR）の電力増幅器は速応性があり，精度の高いものが必要となる。この目的のために今回下記の二つの装置を開発した。

（1） SCR連続制御式制御電動機駆動装置

（2） SCRパルス制御式制御電動機駆動装置

これらはいずれもSCRをうまく利用して従来得られなかった特性を出すようにしたもので以下その概要を説明する。

2. SCR連続制御式制御電動機駆動装置

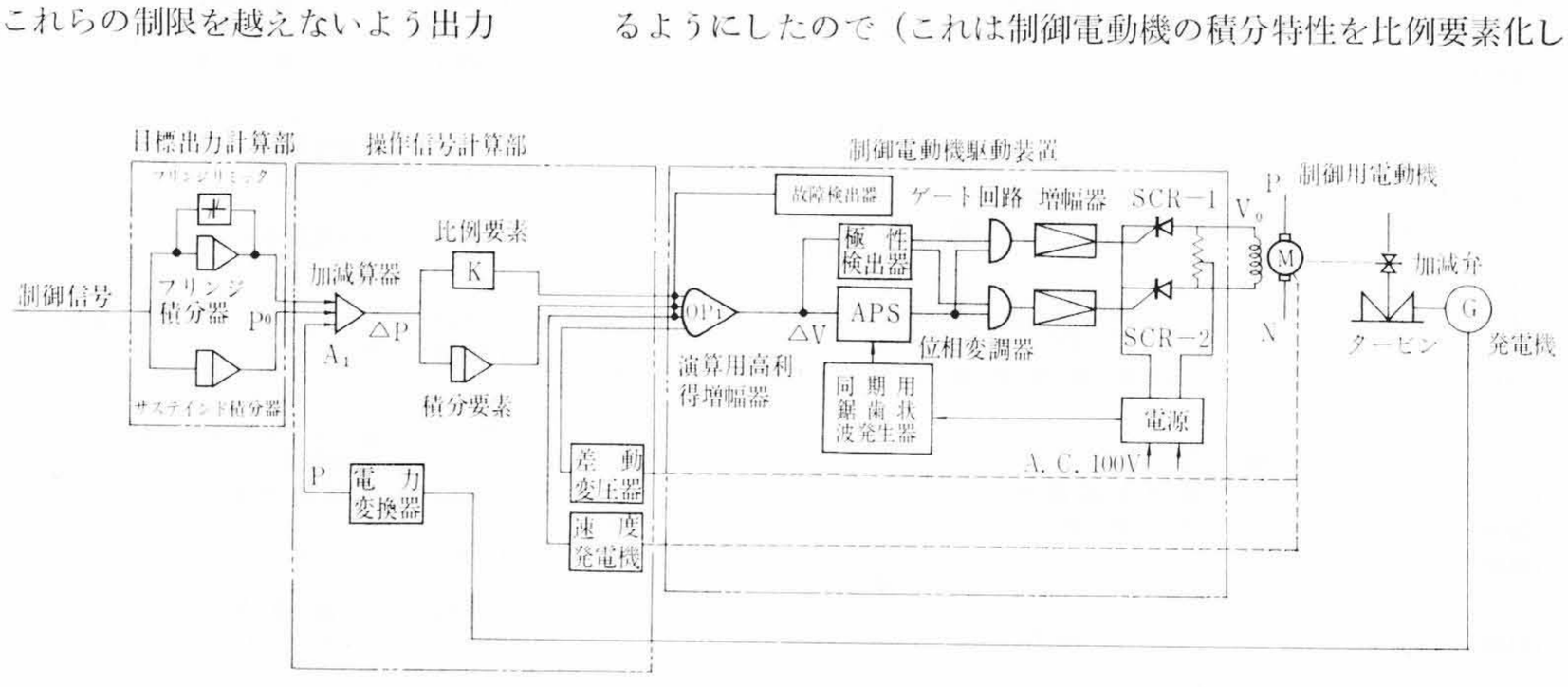
2.1 本装置を用いる制御系

AFC，ELD制御においては中央より目標出力値（P_0）または上げ下げ操作量（ΔP）が各調整発電所に指令される。この指令のなかには短周期で変動する成分（フリンジ変動と称す）と長い周期で大きく変化する成分（サスティンド変動と称す）が含まれているが火力発電所の場合にはボイラ，タービンの熱的制限よりフリンジ変動は限られた振幅以内でなければならず，また，サスティンド応動は変化量は大きくてもよいが発電機が危険とならないようその変化率を一定限度以下に押える必要がある。このため火力発電所では自動負荷調整装置(ALR)を設置して，これらの制限を越えないよう出力の自動制御を行なっている。

第1図は目標出力値(P_0)が指令される場合についてALR装置のブロック図を示したものである。この装置は大別して目標出力計算部，操作信号計算部および制御電動機駆動装置よりなっている。目標出力計算部は指令出力値P_0と実出力Pとの差を求めて，これを二つの積分要素の並列回路に入れ，その出力としてフリンジ目標値，サスティンド目標値を計算する。これらの目標値は発電機がとるべき出力の目標を示すもので上記の制限条件を満たすよう計算される。すなわち，フリンジ応動目標はかなり早い変化速度まで許容できるが変動振幅は所定幅以内に押えられ，サスティンド応動目標は振幅の制限はないが変化率が一定限度以下になるよう計算される。このフリンジ目標値とサスティンド目標値の和が総合目標値として操作信号計算部に送られる。操作信号計算部では上記総合目標値を実際の発電機出力と比較し，その偏差を操作量として取り出し，比例要素と積分要素の並列回路へ印加する。この積分要素は定常状態で制御電動機が落ち着くべき目標回転角を計算しこれを制御用電動機の実回転角（差動変圧器で検出される）と比較してその偏差を操作量（ΔV）として制御用電動機駆動装置へ送り込む。また比例要素は制御の安定化と速応性を上げるために付加されたものである。ΔVは電力増幅ののち制御用電動機に加えられ制御用電動機を制御する。制御電動機の回転角は差動変圧器で電気量に変換し，既述のように目標回転角と比較され，操作量（ΔV）の計算に使用される。一方，制御電動機に連動した速度発電機で乱調防止信号を作り制御回路の安定をはかっている。この制御方式は従来の方式に比しいろいろな特長を持っている。そのおもなものをあげると下記のとおりである。

（1） 従来は操作信号計算部（**第1図**）の加減算器（A_1）で求めた電力偏差ΔPをそのまま電力増幅して制御電動機を操作していたが，これでは起動電圧や機構部のバックラッシュの影響を直接受け制御の円滑を欠き応動速度の調整も容易に行なうことができなかった。

本方式では電力偏差ΔPから制御電動機の目標回転角を計算し応答の速いSCR電力増幅回路で電動機をこの目標値に追従させるようにしたので（これは制御電動機の積分特性を比例要素化し



第1図 SCR連続制御方式ブロック図

* 日立製作所国分工場

たことになるので定位化方式と称する)，上記の問題が解決し，さらに短周期の実動に対する応動特性も一段と改善できるようになった。

(2)　定位化方式においては制御電動機を駆動する電力増幅部は速応性のすぐれた回路でないと安定な制御を行なうことができない。最近電力増幅用に磁気増幅器が用いられるが，これでは速応性が悪いため定位化方式には使用することができない。真空管増幅器は速応性はよいが保守上に問題がある。本方式はSCRを用いてこれらの問題を解決したもので，本方式におけるSCRの役割はきわめて大きい。

本方式は静止無接点式であるので信頼度が高く保守も簡単である。

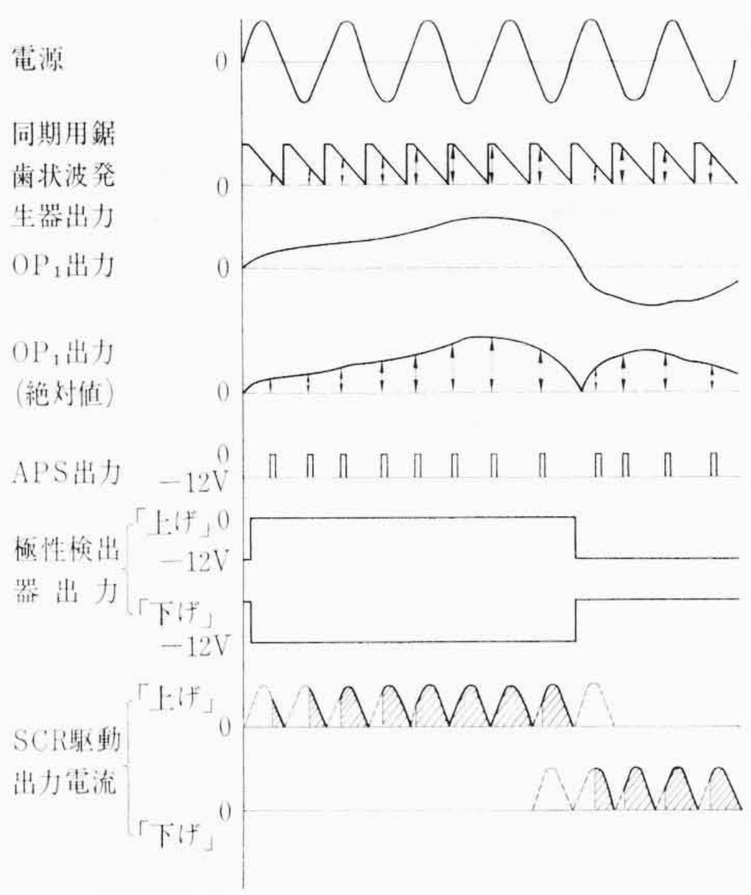
次に本方式の主要部である制御電動機駆動装置について説明する。

2.2　制御電動機駆動装置

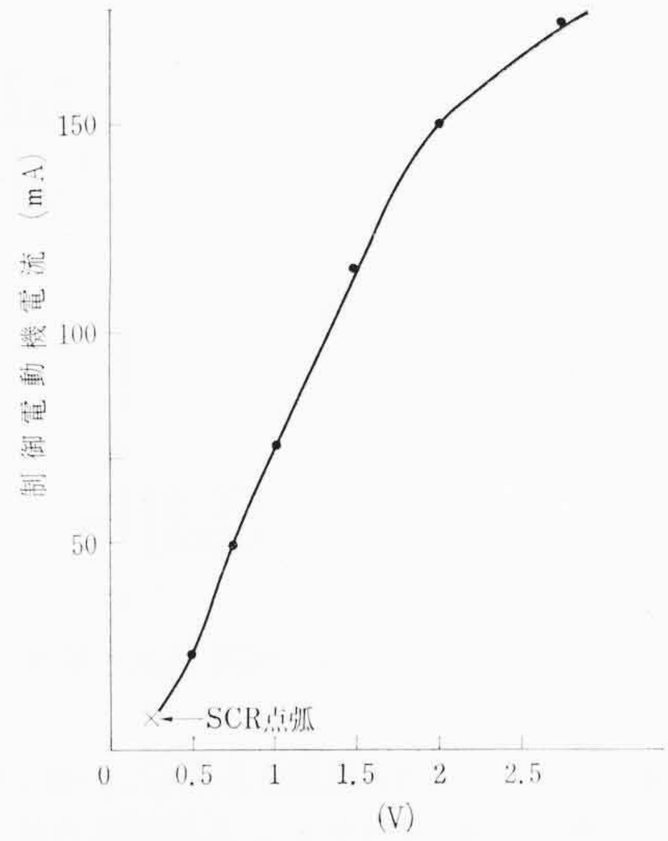
この装置は操作信号計算部より操作量 ΔV (制御電動機の目標回転角と実回転角の差)を受けて電力増幅し制御電動機を駆動する回路である。

2.2.1　方　　式

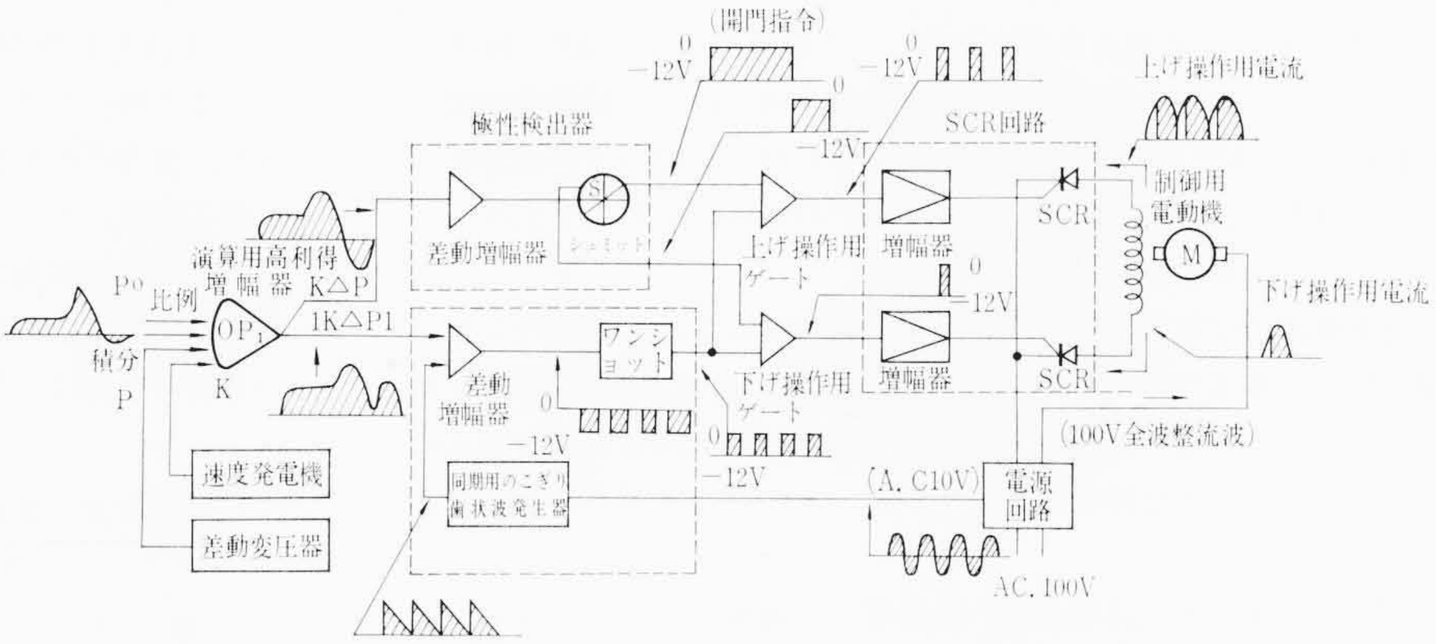
第1図について方式の説明をする。操作量 ΔV は高利得の演算増幅器 OP_1 で増幅したのち，極性検出器と位相変調器(APS)に加えられる。前者で ΔV の極性を判定し，後者で $|\Delta V|$ に応じた位相で点弧する信号が作られる。これらの信号の組み合わせにより「上げ」または「下げ」操作用のゲートを開き，それぞれのSCR制御極に点弧信号を印加する。制御電動機駆動電源回路にはこの点弧位相に応じた電流が流れ指令出力 P_0 に実出力 P を合致させるよう制御電動機を操作する。**第2図**はこれら各信号の時間的関係を示し **第3図**はSCR出力回路の入力(操作電圧 ΔV) と実出力電圧(V_0) の関係を示す。本装置は半導体を主体とする無接点方式となっており回路の異常検出，誤操作防止には特別の考慮を払っている。すなわち，目標回転角と実回転角の差が異常に大きくなったとき高利得増幅器 OP_1 と並列に入っている故障検出回路でこれを検出し必要な警報と鎖錠を行なっている。これにより定位化回路のどこで発生した故障でも検出することができ誤操作を未然に防止することができる。



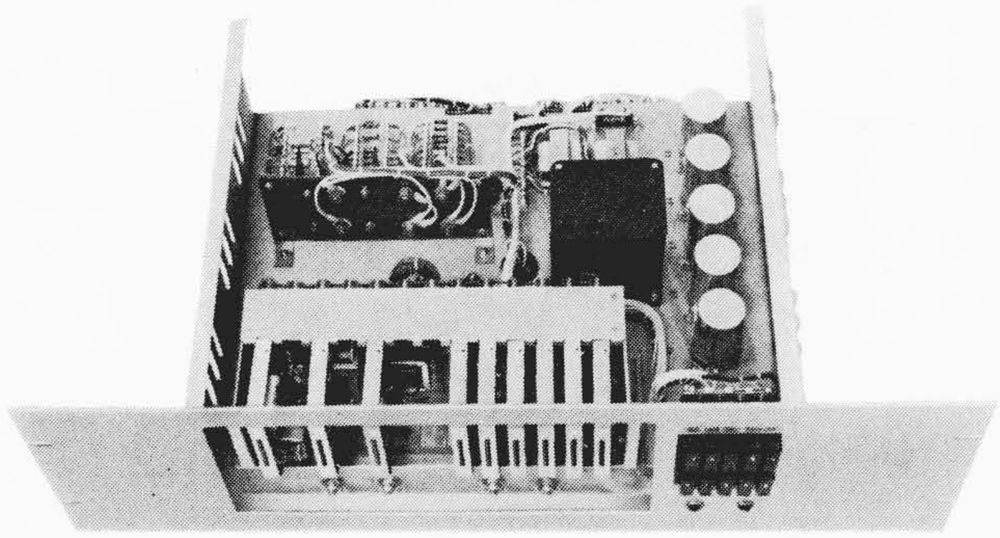
第2図　連続制御方式の各部のタイムチヤート



第3図　APS入力対SCR出力特性(電動機負荷)



第4図　SCR連続制御方式制御電動機駆動装置の回路構成と各部信号波形



第5図　SCR連続制御式制御電動機駆動装置

2.2.2　各部の機能

第4図は本電動機駆動装置の回路構成，**第1表**はその機能を示したものである。

2.2.3　本装置の仕様と納入状況

本装置の仕様は下記のとおりである。

(1)	入　　力	DC 0～±8 V，入力インピーダンス 50 kΩ 以上
(2)	出　　力	25～100 W の直流直巻ないし分巻電動機の制御，負荷 50 Ω のとき負荷電流 0.5 A
(3)	使用温度範囲	0～40℃
(4)	消費電力	300 VA

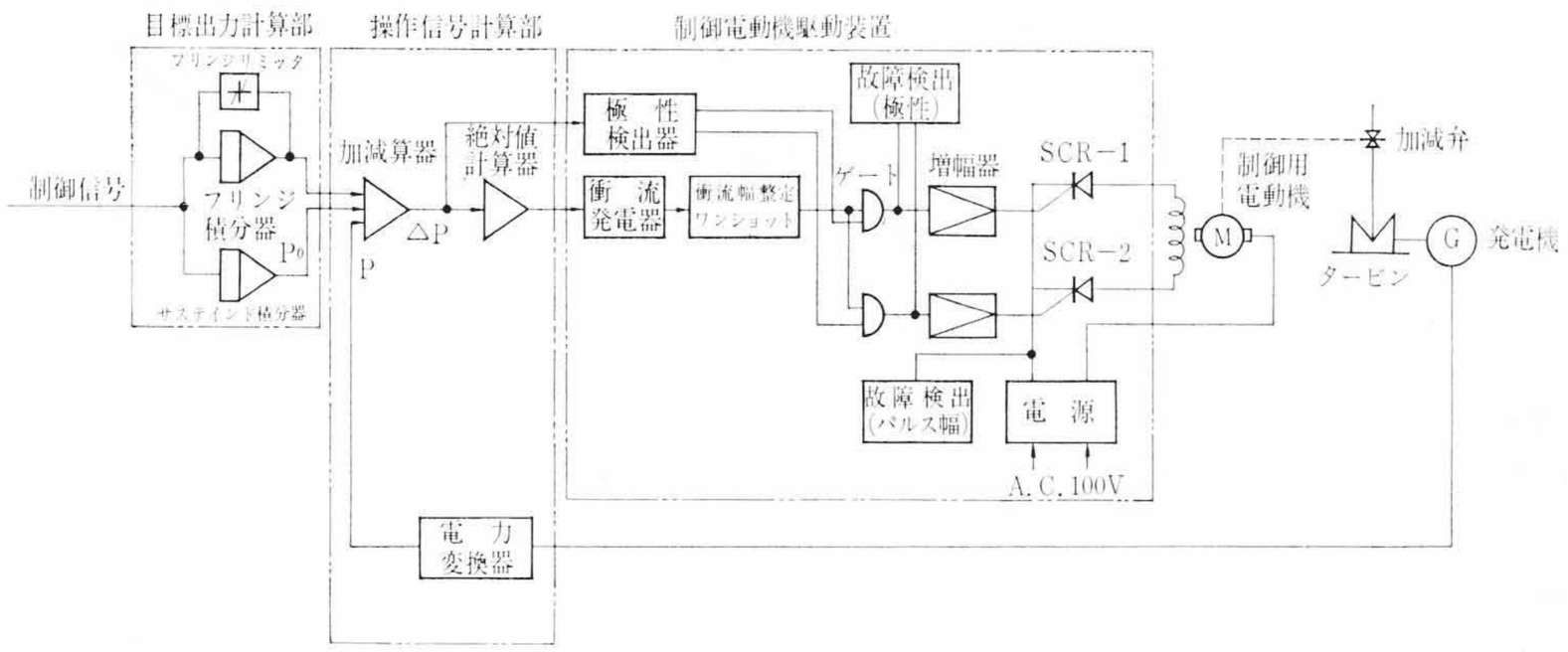
第5図に本装置の外観を示す。

本装置は昭和38年7月東北電力株式会社本名他発電所AFC装置に9台，北海道電力株式会社滝川，新江別発電所ALR装置に4台納入し，現在好調に営業運転中である。

3.　SCRパルス制御式制御電動機駆動装置

3.1　本装置を用いる制御系

本装置は前章記載の装置と同様火力発電所でELD，AFC制御を行なう場合に火力発電所の自動負荷調整装置(ALR)の一部として使用するものである。**第6図**は本装置を用いるALR装置のブロック図で目標出力計算部，操作信号計算部および制御電動機駆動装置より成っている。この図は中央よりELD, AFCを総合した上げ(下げ) 操作量 ΔV が送られてくる場合を示したものである。この操作



第6図　SCRパルス制御方式ブロック図（直捲式電動機制御の場合）

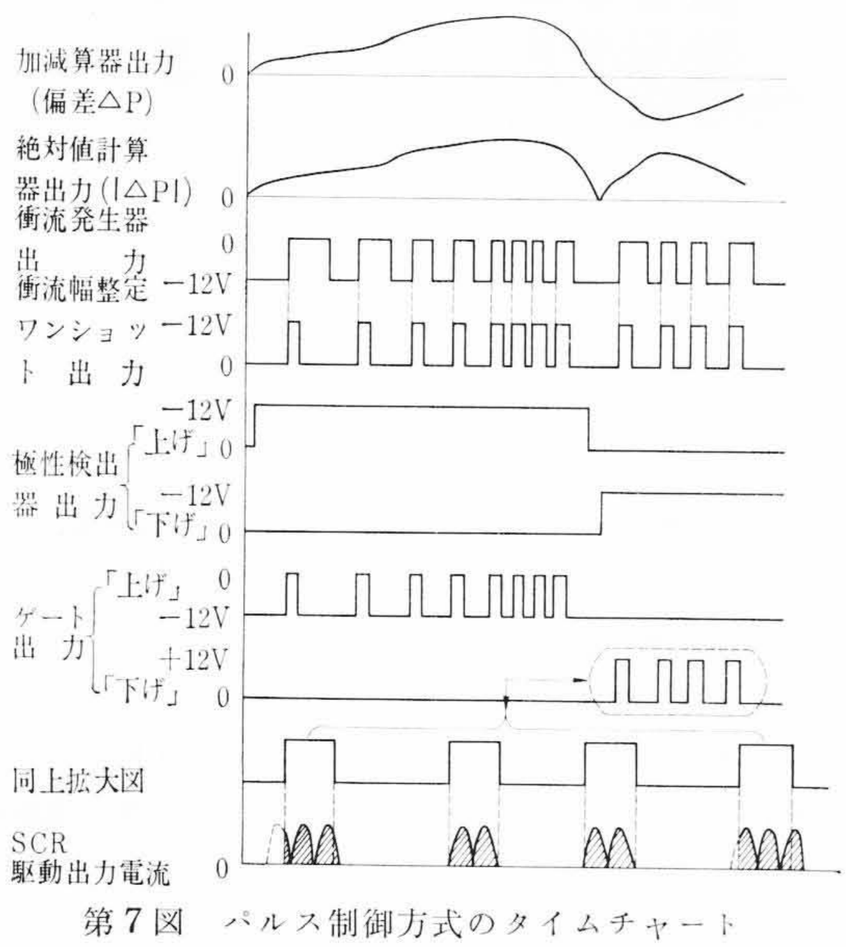
量 ΔV は目標出力計算部にある二つの積分要素の並列回路でフリンジ目標出力値，サスティンド目標出力値に変換され，これらの和（総合目標出力値 P_0）が操作信号計算部に送られる。操作信号計算部ではこの総合目標出力値 P_0 と実出力 P とを比較し，その差 ΔP（$=P-P_0$）が計算される。この ΔP は絶対値計算器でその絶対値 $|\Delta P|$ に相当する電圧に変換され，一方極性検出器で ΔP の極性信号をつくりいずれも制御電動機駆動装置へ送られる。制御電動機駆動装置では $|\Delta P|$ に逆比例した間隔をもち幅一定のパルス信号をつくり，SCR回路で電力増幅したのち ΔP の極性に応じて「上げ」または「下げ」操作を行なう。

発電機出力は電力変換器で電気量として検出され，前述のごとく操作信号計算部で総合目標出力値 P_0 と比較され電力偏差 ΔP の計算に使用される。この電動機駆動装置も前章の装置同様従来の方式にくらべていろいろな特長をもっている。そのおもなものは下記のとおりである。

（1）　従来の方式は電動機の起動電圧，機構のバックラッシュの影響を受け制御速度の調整も自由に行なえなかったことは既述のとおりであるが，本方式によればこれらの弊害を避けることができる。制御速度は目標出力計算部の積分速度の設定によって任意に変えることができる。また起動電圧，バックラッシュの影響は適当に調整したパルス信号によって回避することができる。

（2）　本方式ではパルス信号を電力増幅する必要があるが，磁気増幅器では波形がくずれ，真空管では保守上に問題があるのでSCRを用いることによりはじめてこれらの問題を解決することができた。したがってこの方式においてもSCRの役割は重要である。この方式は無接点式となっているので信頼度が高い。

次に本方式の主要部となっている制御電動機駆動装置の説明をする。



第7図　パルス制御方式のタイムチャート

3.2　制御電動機駆動装置

この装置は操作信号計算部から電力偏差 ΔP（$=P-P_0$）の極性とその絶対値 $|\Delta P|$ 相当の電圧をうけてこれに応じたパルス信号を作り，電力増幅ののち制御電動機を駆動するものである。

3.2.1　方　　式

第6図について方式の説明をする。まず，衝流発生器で偏差の絶対値 $|\Delta P|$ に比例した周波数の衝流をつくり，ワンショット回路で幅一定のパルスに変換する。一方，偏差 ΔP の正負極性を極性検出器で検出し「上げ」または「下げ」操作用のゲートを開き，それぞれのSCR制御極に印加する。制御電動機駆動電源回路にはこのパルス周期，パルス幅によって定まる操作量の電流が流れ，出力 P が目標出力 P_0 に一致するよう操作が続けられる。

第7図はこれら各部信号の時間的関係を示したものである。

この電動機駆動装置も半導体のパルス増幅器を主体とする制御装置であるため回路の異常，誤動作の防止に一段と注意を払っている。たとえば「上げ」「下げ」操作用ゲートが同時に働いたとき

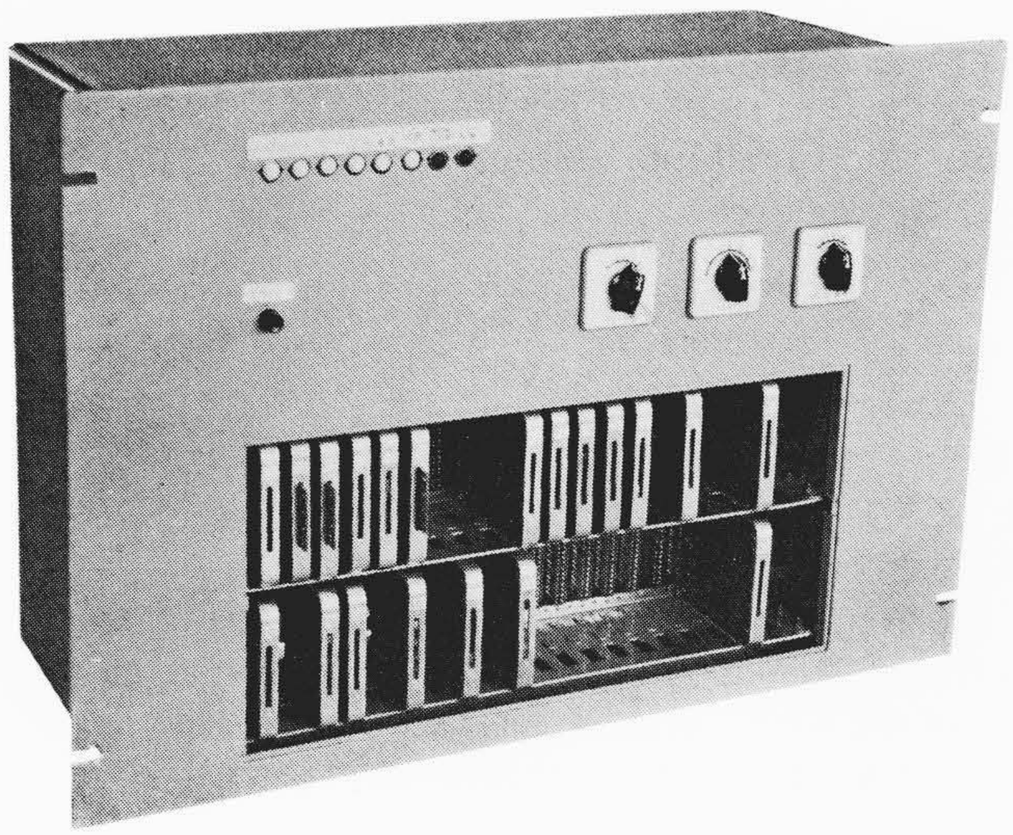
第1表　2種類の制御電動機駆動装置の回路構成

SCR連続制御式制御電動機駆動装置

回路名	機能
演算用高利得増幅器（OP_1）	比例，積分要素出力と差動変圧器出力（DC 0～±8V）を受け，その偏差（ΔP）をとりだす高利得トランジスタ式チョッパ増幅器の加算係数器
極性検出器	高利得増幅器のアナログ出力（ΔP）を受けて差動増幅器で感度を上げ，シュミット回路で入力の正負極性を判別し，操作用SCRの一方を点弧するための信号（−12～0V）をゲート回路に送りだす
位相変調器	高利得増幅器の絶対値出力（ΔP）と電源に周期した鋸歯状波電圧を差動増幅器で比較し，その一致点でワンショット回路を働かせて整形し，所定幅のパルスを発生する（このパルスはゲート回路へ送られる）
ゲート回路	極性検出器の出力と位相変調器の出力パルスとのアンド条件で「上げ」または「下げ」用のSCRをトリガーするパルスを作るNOR回路
SCR回路	ゲート回路のパルス出力を受けて増幅し，これをSCRの制御極に加え，SCRのスイッチ動作により全波整流電源波形の点弧角制御を行なう（SCRはZCSR-15Eを使用）
電源回路	入力AC 100Vを受けて必要な次の電源を作る ① トランジスター回路電源用DCスタビ（+6V，−12V） ② 周期用鋸歯状波発生電源（AC 10V） ③ 電動機駆動用電源　（100V 全波整流波）

SCRパルス制御式制御電動機駆動装置

回路名	機能
衝流発生器	絶対値計算器の出力電圧（0～−8V）を受けて偏差の絶対値 $|\Delta P|$ に比例した周波数のパルス（8へ/8V）を発生し，シュミット回路で波形整形した後，フリップフロップで周波数逓降し，その出力を衝流幅整定ワンショット回路へ送る
衝流幅整定ワンショット回路	衝流発生器の衝流出力を受けて，波形整形した一定幅のパルス（100～300ms）を発生するワンショット回路でこのパルス出力をゲート回路へ送る
極性検出器	操作信号計算部で計算した電力偏差 ΔP（−8～0～+8V）を受けて，その正負極性をトランジスター比較器で検出し，その極性に応じて2つの出力回路の一方に−12Vの出力信号を与え，操作用SCRの一方を点弧する信号をゲート回路に送る
ゲート回路	ワンショット回路の出力パルスと極性検出器出力とのアンド条件により「上げ」「下げ」一方のSCRをトリガーするためのゲートパルスを作るNAND回路
SCR回路	ゲート回路のパルス出力を増幅器を介してSCRの制御極に加え，SCRのスイッチ作用で全波整流電源のパルス制御を行なう（SCRはZCSR-15Eを使用）
電源回路	AC 100Vより電動機駆動用電源（125V全波整流）を作る他にトランジスター用電源として直流 −12，+6，+12V が必要である



第8図　SCRパルス制御式制御電動機駆動装置

や電動機駆動回路の操作パルスが異常に長く継続したときはただちに警報し必要な鎖錠を行なう。

3.2.2　各部の機能

各部の機能は第1表に示すとおりである。

3.2.3　本装置の仕様と納入状況

本装置の仕様は下記のとおりである。

（1）　入　　力　　DC 0～−8 V（偏流発生器入力）
　　入力インピーダンス 50 kΩ 以下

（2）　出　　力　　25～100 W の直流直捲ないし分捲電動機の制御

（3）　使用温度範囲　　0～40℃

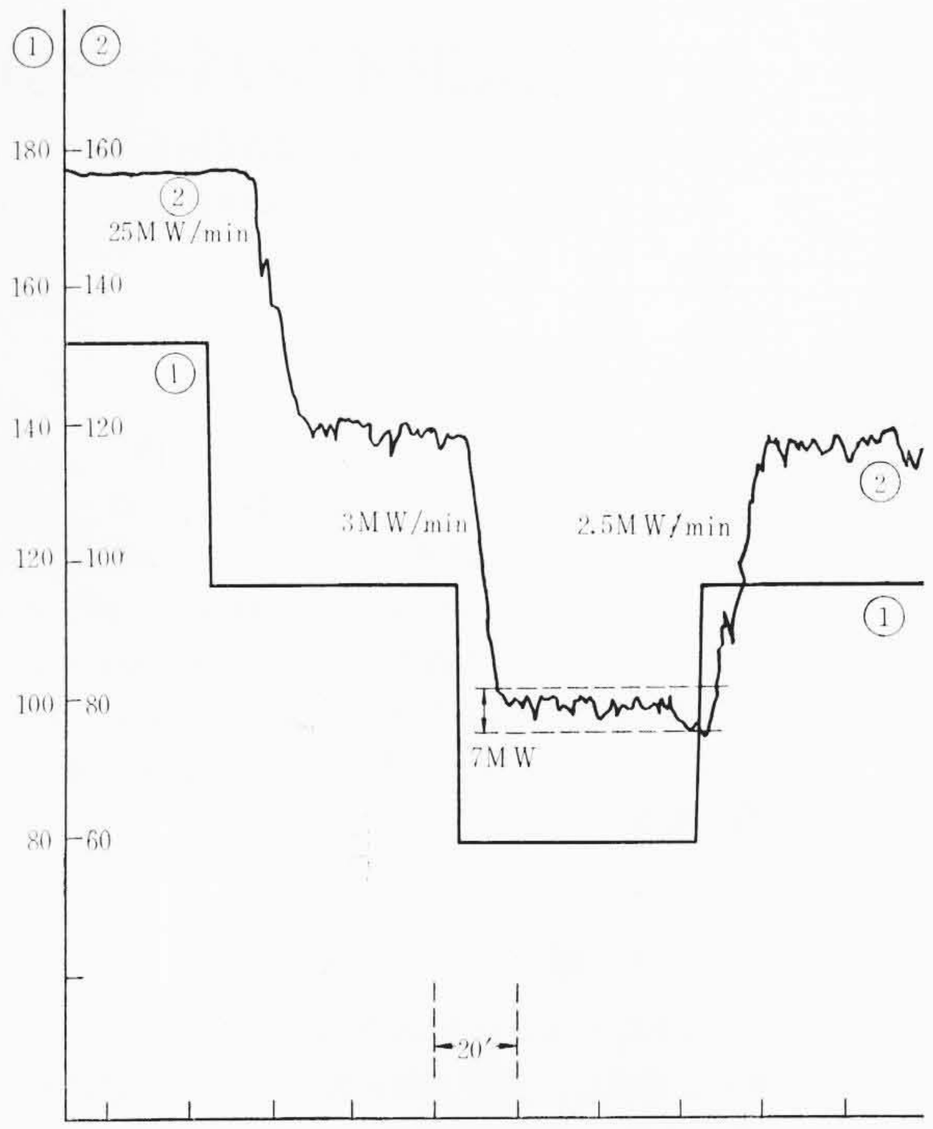
（4）　消費電力　　150 W

第8図に本装置の外観を示す。

本装置は昭和38年7月関西電力株式会社春日出火力発電所に，昭和38年11月四国電力株式会社松山，新徳島火力発電所に各1台ずついずれもALR装置の一部として納入し，目下調整試験中である。東北電力株式会社八戸火力発電所にも2台納入の予定である。

4. 運転実績

第9図はALR装置（SCRパルス制御式制御電動機駆動装置を使用）運転記録の1例を示す。発電機出力②が指令出力①のステップ状況変化にたいして設定変化率で応答し，7 MW 幅のガバナフリー領域でガバナフリー応動も十分行なわれている。さらに今後の稼動実績が期待される。



1　指令信号
2　実出力

第9図　関西電力株式会社春日出火力発電所ALR運転データ
（昭和38年11月24日　チャートスピード30 mm/h）

5. 結　　言

最近電力系統の自動制御に盛んに半導体要素が使用されるようになったが，装置の小形化や信頼度向上のために使用される以外に新しい技術的課題の解決策として使用される場合も多い。本稿に述べた二つの応用はその好例であるが，今後この種の装置の応用が活発になり重要な役割を果たすものと考えられる。関係者各位のいっそうのご協力をお願いする次第である。