

関西電力株式会社春日出火力発電所納

遠方制御式自動負荷調整装置

Automatic Remote Controlled Load Regulator for Kasugade Thermal Power Station,
Kansai Electric Power Co., Inc.

水谷 桂三* 中野 修 一**
Keizō Mizutani Shūichi Nakano
浜岡 尊** 久保田 哲**
Takashi Hamaoka Tetsu Kubota

内 容 梗 概

関西電力株式会社春日出火力発電所に遠方制御式の自動負荷調整装置を納入した。本装置は中給から別チャンネルで送られる ELD, AFC 信号をうけて相互の協調を保ちながら発電機出力を制御するもので、これらの信号がこない間は自動的にガバナフリーを行なうようになっている。この装置はいろいろな特長をもっているがそのおもなものをあげると下記のとおりである。

- (1) モータ機構部のバックラッシュ、起動電圧などの悪影響を除くためパルス制御方式を採用している。
- (2) パルス信号の電力増幅には特性のすぐれた SCR 回路を用いている。
- (3) 短周期変動に対する応動はこれを一定のバンド以内におさえ、長周期変動に対しては変化量が大いので変化率を一定限度内におさえて主機の安全を図っている。
- (4) 上記の特性をもたせるため信号演算には磁気演算増幅器を用いて無接点、静止形としているので信頼度が高い。

今後、火力発電所が系統制御の一翼をになうことになるのでこの種装置の役割はきわめて大きい。

1. 緒 言

最近電力系統の自動制御が進み、自動周波数調整 (AFC) や経済負荷配分 (ELD) に火力発電所を協力させるようになった。中央給電指令所から送られてくる AFC, ELD 指令信号には周期の短い変動 (フリッジ変動と称す) と周期は長いが変化率の大きい変動 (サスティンド変動と称す) が含まれている。火力発電所では主機の熱的強度から、これらの変動に対してそれぞれ制御上の制限があり、その範囲内で AFC, ELD の協調をとる必要がある。今回関西電力株式会社春日出火力発電所に納入した自動負荷調整装置 (第2号機 156MW 用) はこれらの条件を考慮して製作したもので、ELD, AFC, ガバナフリー運転の自動選択を行ないながら、たえず系統の合理的運用に協力するものである。本装置はいろいろな特長をもっているが、以下その概要を説明する。

2. 制 御 内 容

本装置の制御内容は

- (1) ELD 制御
- (2) AFC 制御
- (3) ガバナフリー運転

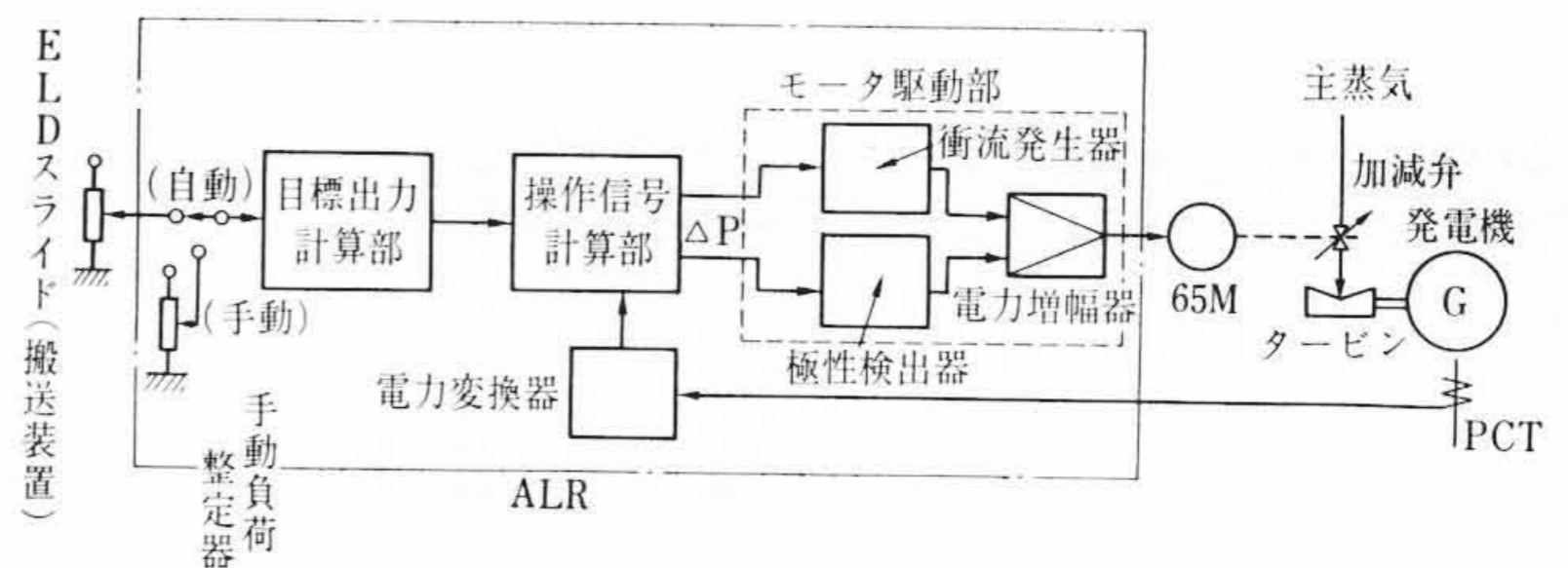
の3種を主体としている。

2.1 ELD 制御

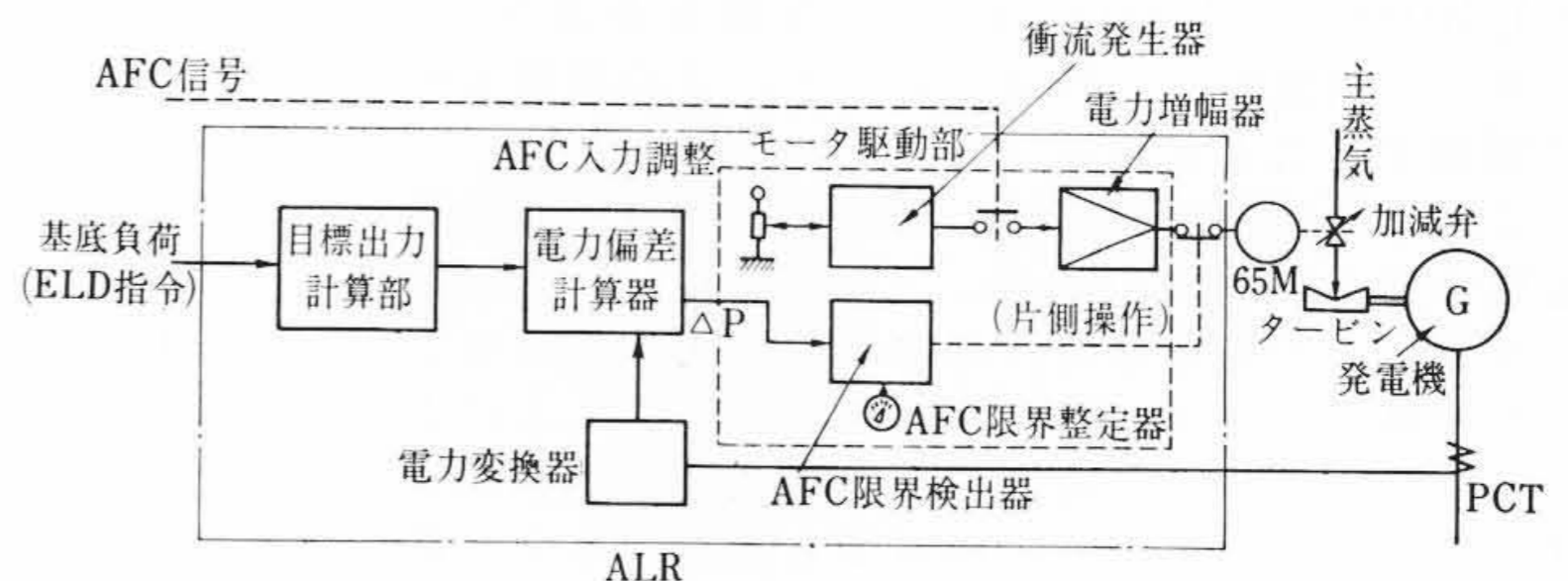
これは中給より ELD 指令値を受けて安全な変化速度で指令値まで出力を移行させる制御で、第1図はこのために本装置内で構成される制御ブロック図である。

中給からの ELD 指令信号は搬送装置からスライド位置として本装置に渡され、これをアナログ電圧としたのち目標出力計算部で所定の安全速度で指令値に移行する目標信号に変換される。この目標信号は操作信号計算部で実出力相当の電圧と比較してその偏差 ΔP が求められる。

この偏差信号はモータ駆動部で ΔP に比例した操作量を持つパル



第1図 ELD 制御時の ALR ブロック図



第2図 AFC 制御時の ALR ブロック図

ス信号に変換され、電力増幅ののちガバナモータ 65 M に印加して出力の制御が行なわれる。

2.2 AFC 制御

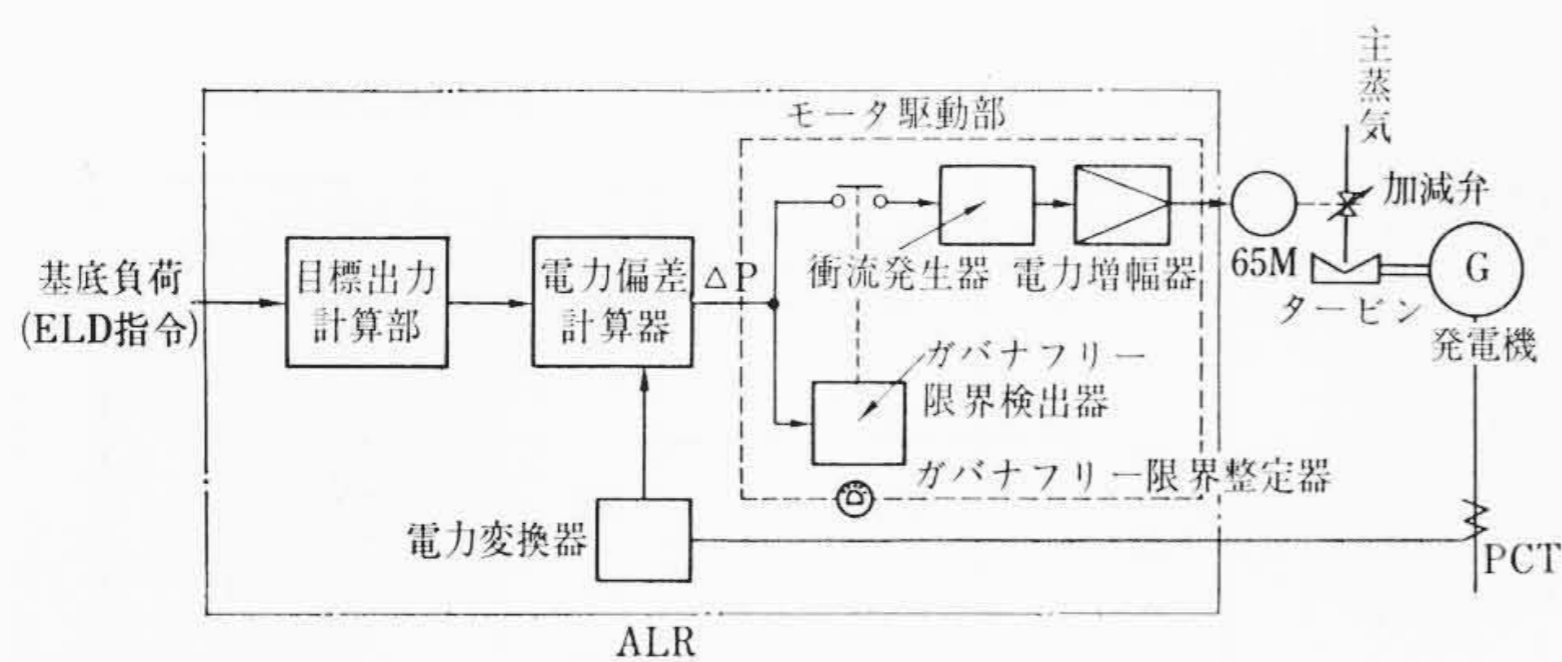
これは中給より AFC (FFC または TBC) 操作信号を受けて上記 ELD 指令値を中心に許容幅 (AFC 制御限界と称す) 内で AFC 負荷を分担させる制御である。

第2図はこのために本装置内で構成される制御ブロック図である。

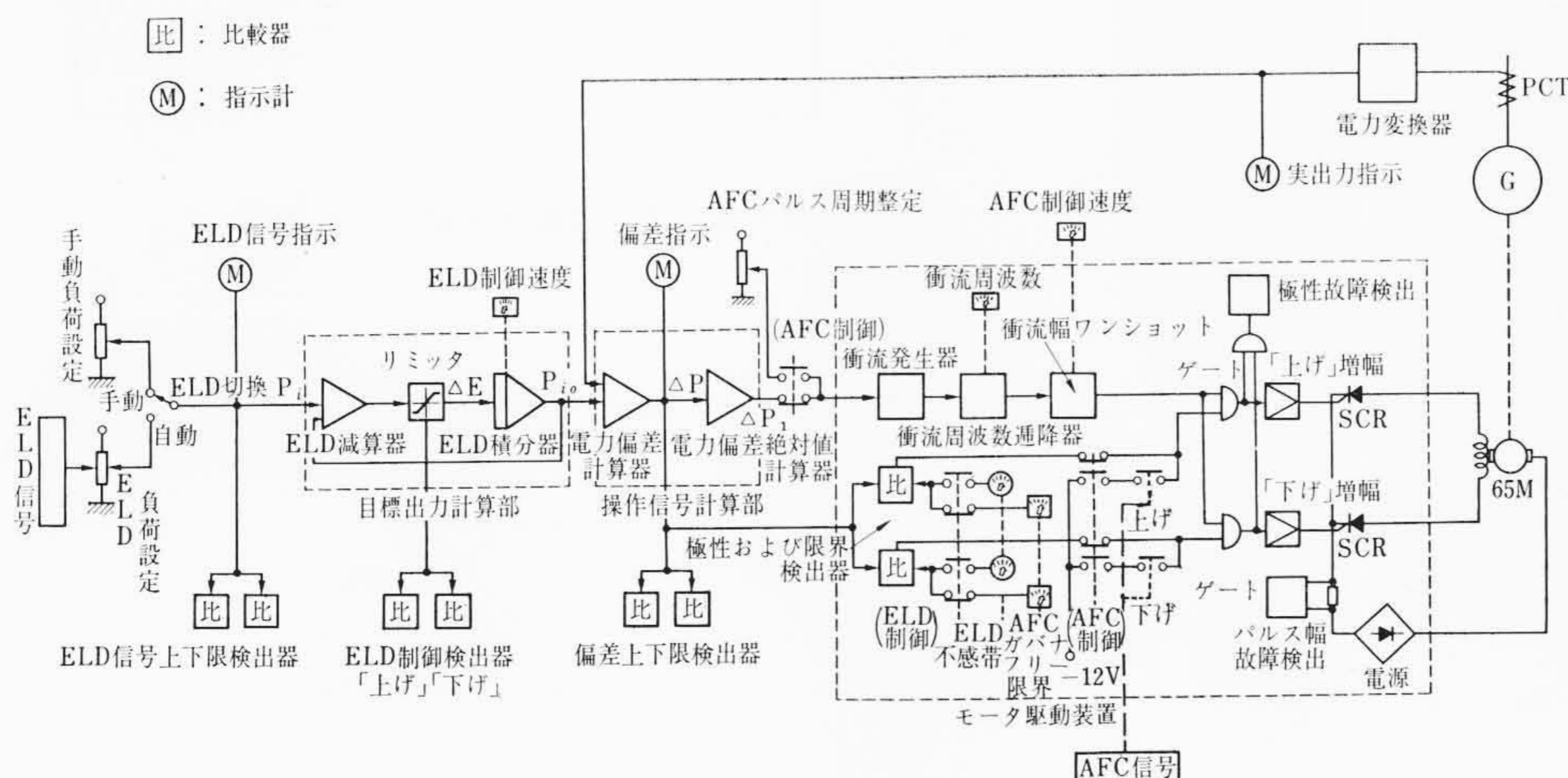
AFC 信号は ELD 信号とは別の回線を介してリレー接点開閉の形で伝達される。これら接点開閉の組み合わせで「上げ」または「下げ」操作回路を開閉し別に設けた衝流発生器で作った一定操作量のパルス信号をガバナモータ駆動回路に加える。ガバナモータ駆動回路はこのパルス信号を受けて電力増幅ののちガバナモータ 65 M を操作する。

* 関西電力株式会社春日出火力発電所

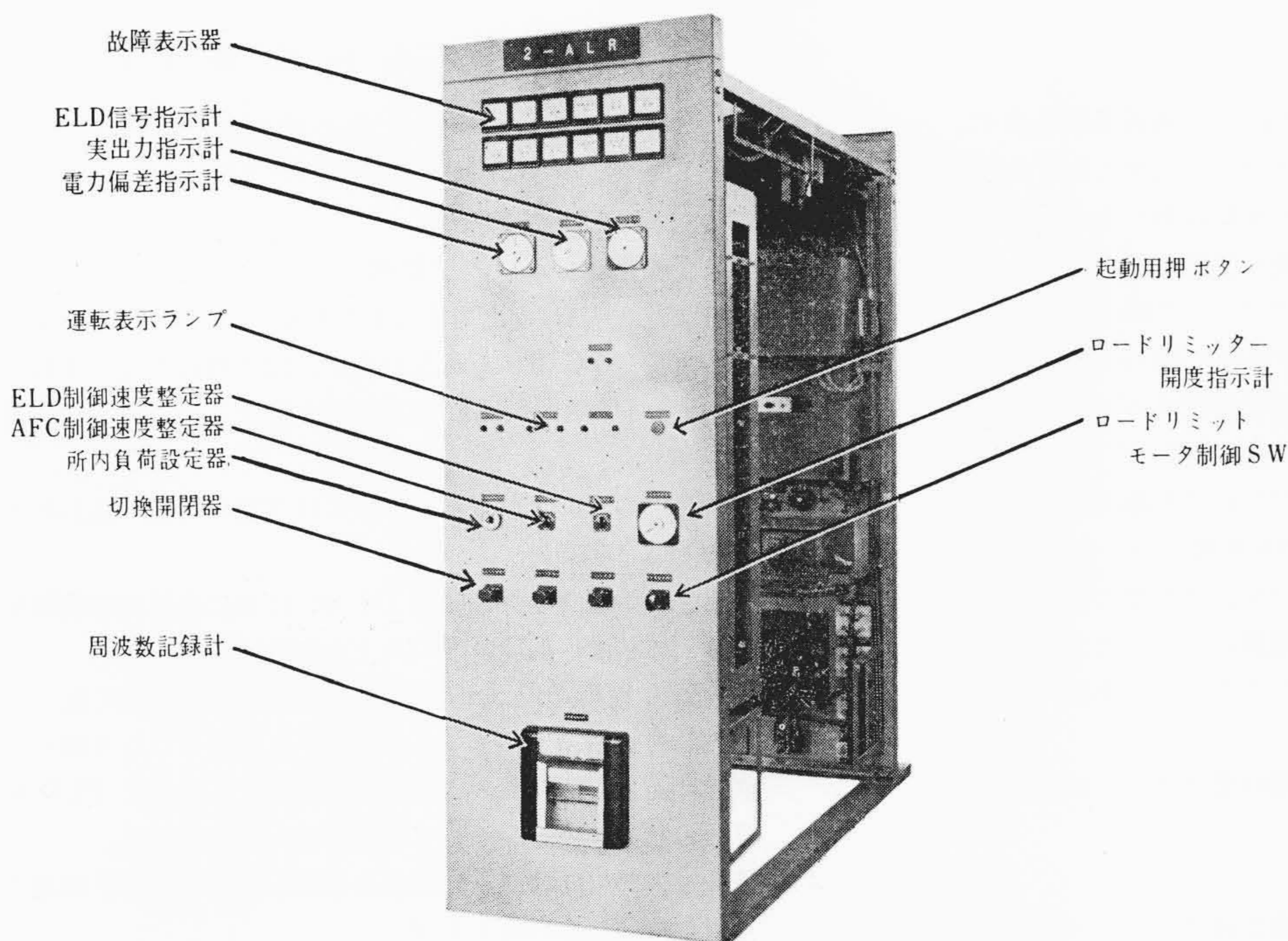
** 日立製作所国分工場



第3図 ガバナフリー運転時の ALR ブロック図



第4図 ALR 総合ブロック図



第5図 ALR 前面盤

一方発電機出力は電力変換器で電圧に変換され、電力偏差検出器で基底負荷 (ELD 指令出力) と比較し偏差 ΔP が計算される。 ΔP が AFC 制御限界に達すれば出力をその限界内に戻すよう制御する。

また前述の ELD 指令値が更新し基底負荷が新しい値に移行するときは、実出力が新しい指令値に到達するまで AFC 信号が送られて来ても AFC による制御は行なわれない (換言すれば ELD 制御が AFC 制御に優先して行なわれる)。

2.3 ガバナフリー運転

ELD, AFC 制御信号が送られて来ない間は自動的に ELD 指令出力を中心とする一定限界 (ガバナフリー限界と称す) 内でガバナフリー運転を行なう。出力がこの限界幅に達すれば自動的に限界内に戻すよう操作を加える。

第3図はこのために本装置内で構成される制御ブロック図である。

電力偏差計算器で ELD 指令出力と実出力が比較されその偏差 ΔP が一定値を越えるまでは自由にガバナフリー運転が行なわれる。この限界に達すればガバナフリー限界検出器でこれを検出し ΔP に比例した操作量のパルス信号を作り電力増幅ののちガバナモータを操作して出力を限界内に戻すよう制御する。 ΔP がガバナフリー限界内に戻れば上記の操作をやめ自由にガバナフリー運転を行なわせる。

第4図は本装置の総合ブロック図である。

3. 装置の構成

本装置は信号送受量変換部、目標出力計算部、操作信号計算部、モータ駆動部、電力変換部で構成され、前後面盤に実装されている。第5, 6図に ALR 前面盤、後面盤の正面図を示す。

3.1 信号送受量変換部

信号送受量変換部は

- (1) 信号受量変換部
- (2) 信号送量変換部

よりなっている。

3.1.1 信号受量変換部

(1) ELD 信号受量変換部

これは中給からの ELD 信号を搬送装置より発信スライド位置として受け、これに直流電圧を印加してアナログ電圧に変換する部分である。

(2) AFC 信号受量変換部

これは中給から別チャンネルで送られてくる下記4種の信号をうけて、この組み合わせにより操作指令を作る部分である。

- ① “上げ信号なし” で閉成するリレー接点信号
- ② “上げ信号あり” で閉成するリレー接点信号
- ③ “下げ信号なし” で閉成

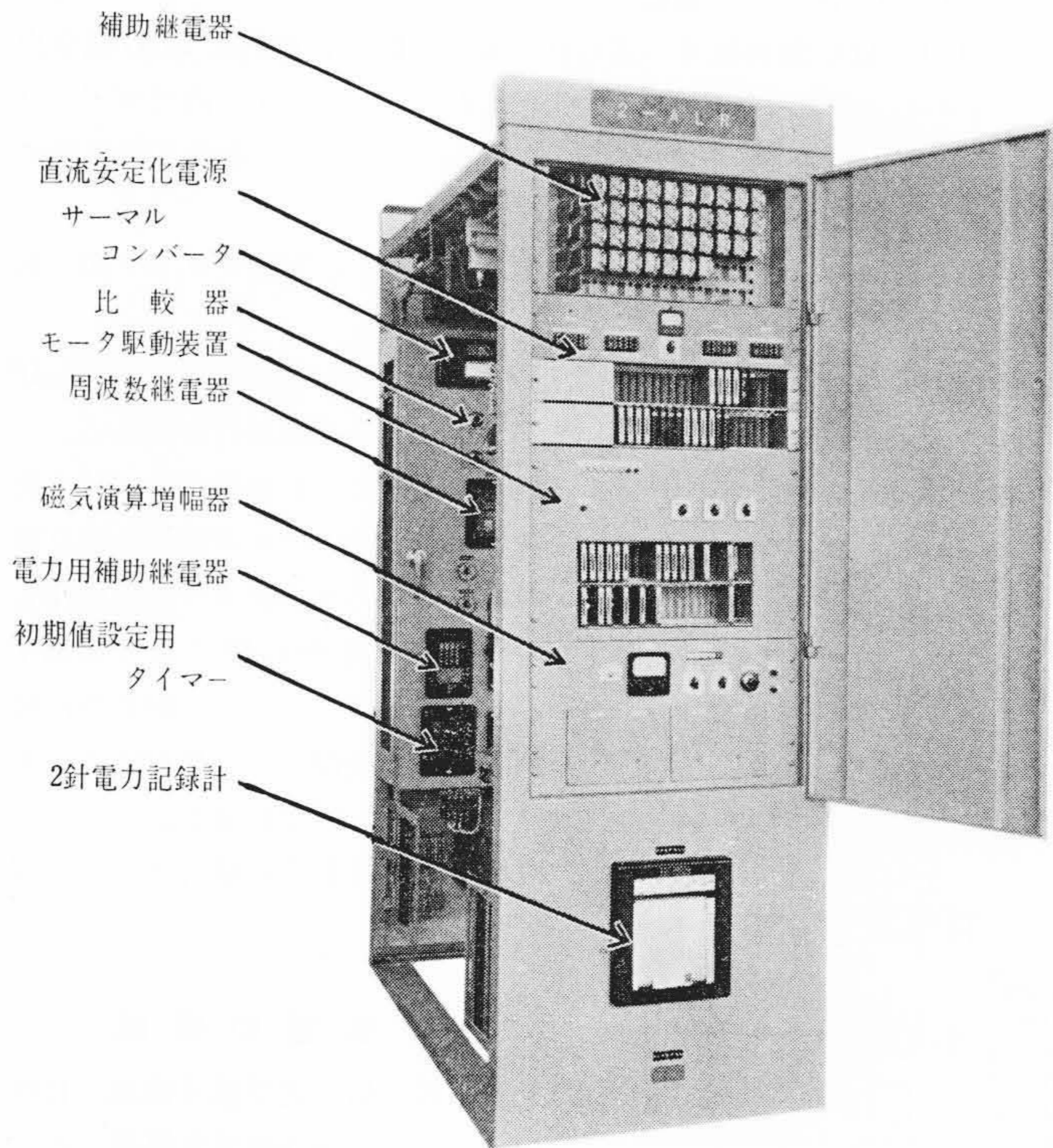
するリレー接点信号

- ④ “下げ信号あり” で閉成するリレー接点信号

このうち、①+④で AFC 下げ操作、②+③で AFC 上げ操作、①+③でガバナフリー運転を行ない、どの接点も付勢しない場合は回線異常 (ノイズ過大、回線断) とみなして ALR を自動的に除外する。

3.1.2 信号送量変換部

発電所から中給へ下記信号が伝送される。



第 6 図 ALR 後面盤

(1) 電力テレメータ

発電機実出力を PCT を介してサーマルコンバータで電圧に変換し、搬送装置に渡す。

(2) 運転状態表示信号

ALR の運転状況を下記の接点信号として搬送装置に渡す。

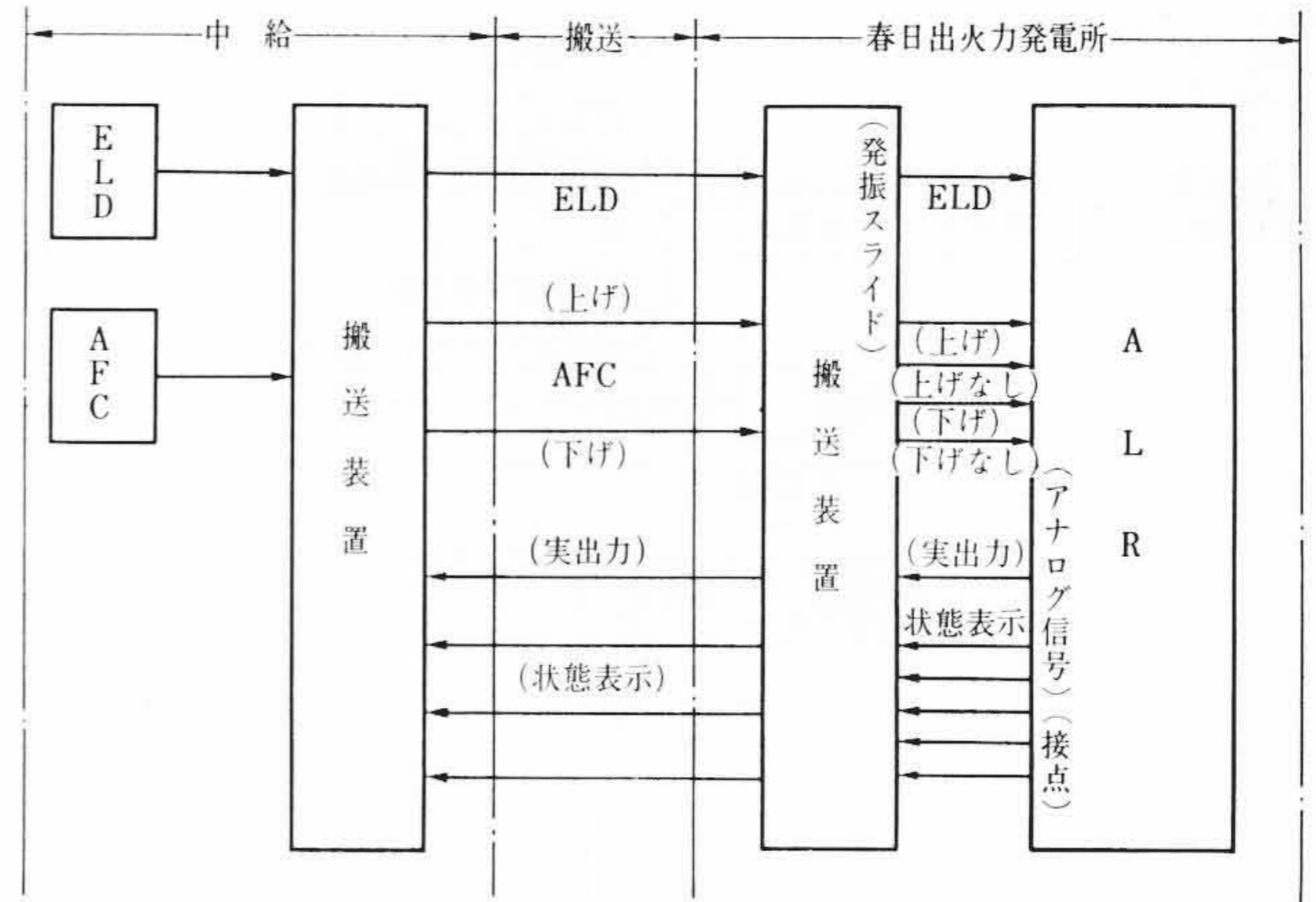
- ① “ガバナフリー上限” (ガバナフリー上限になったときこれを中給に知らせて基底負荷の変更を要請する)
- ② “ガバナフリー下限” (ガバナフリー下限になったときこれを中給に知らせて基底負荷の変更を要請する)
- ③ “AFC 可能” (2 台の発電機の内 1 台でも AFC 可能であれば中給に通知する)
- ④ “ELD 可能” (2 台の発電機の内 1 台でも ELD 可能であれば中給に通知する)
- ⑤ “出力上下限” (全発電機がともに出力上下限に達したときこれを中給に通知する)

第 7 図は中央制御に必要となる信号の受け渡しを示したものである。

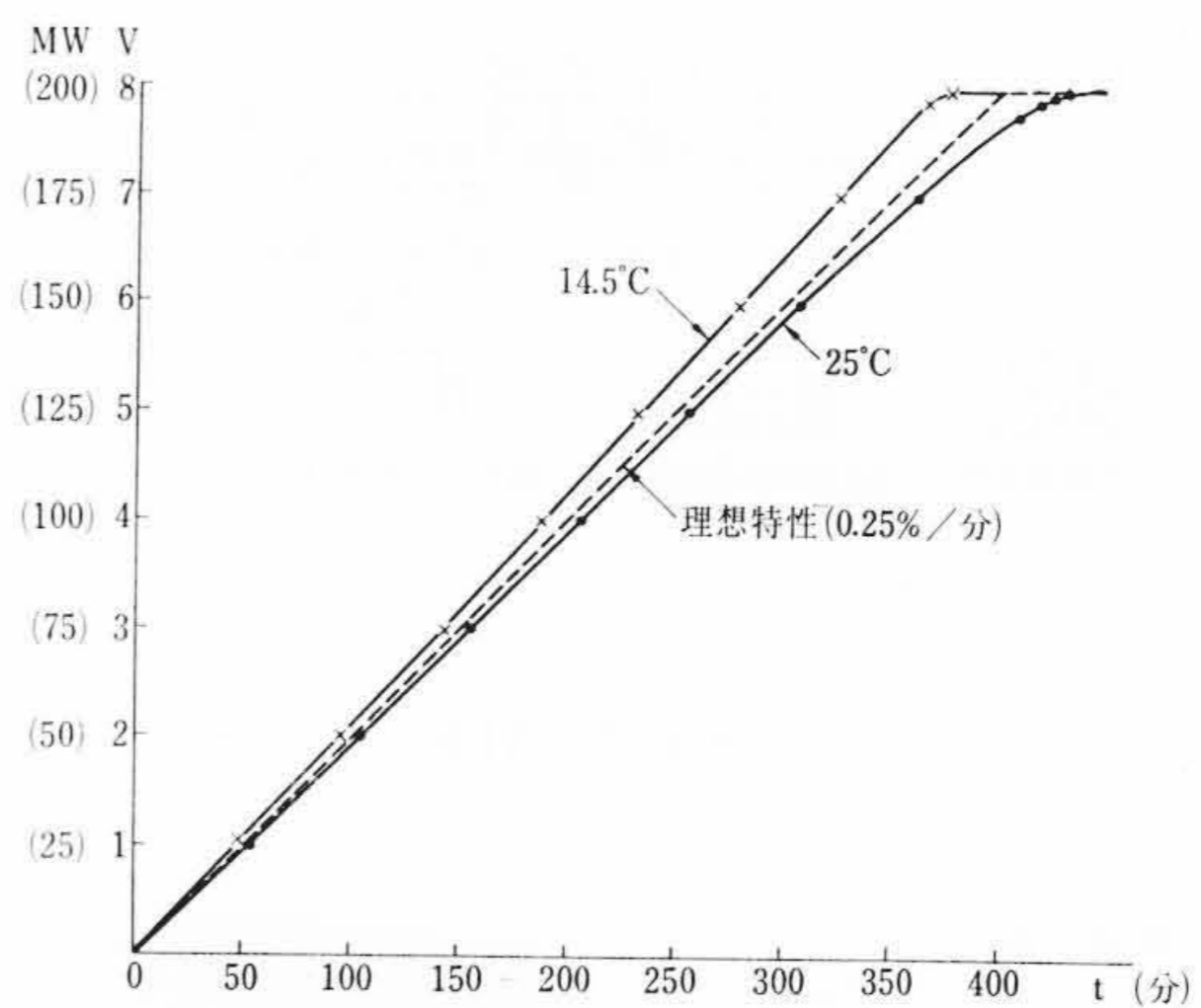
3.2 目標出力計算部

目標出力計算部は中給よりくる ELD 指令信号がステップ状に変化しても所定の変化速度で新しい目標値に移行するよう指令信号を変換する部分である。

第 4 図において、中給より送られてきた ELD 指令信号は ELD 減算器で ELD 積分器出力と比較され、その差がリミッタで一定電圧 ΔE におさえられて ELD 積分器に加えられる。積分器は ΔE と時定数 R, C で定まる積分速度で積分し、その出力として発電機がとるべき目標出力 P_{i0} が求められる。発電機出力はこの P_{i0} に追従するよう制御されるので積分速度を主機に安全な速度に整定しておけば、安全に基底負荷を動かすことができる。変化速度は 0.25~1.75%/分 の間で自由に選定することができる。なお、ELD 信号が



第 7 図 ALR 搬送回線ブロック図



第 8 図 目標出力計算部の積分特性 (制御速度 0.25%/分)

更新されて安全な速度で新しい目標値に出力が移行している間は ELD 制御検出器(比較器)で出力移行中であることを検出して AFC 信号が到来しても AFC 制御を行なわない。出力移行が完了すれば上記検出器でこれを検出し AFC 制御を行なうよう回路が自動切換される。

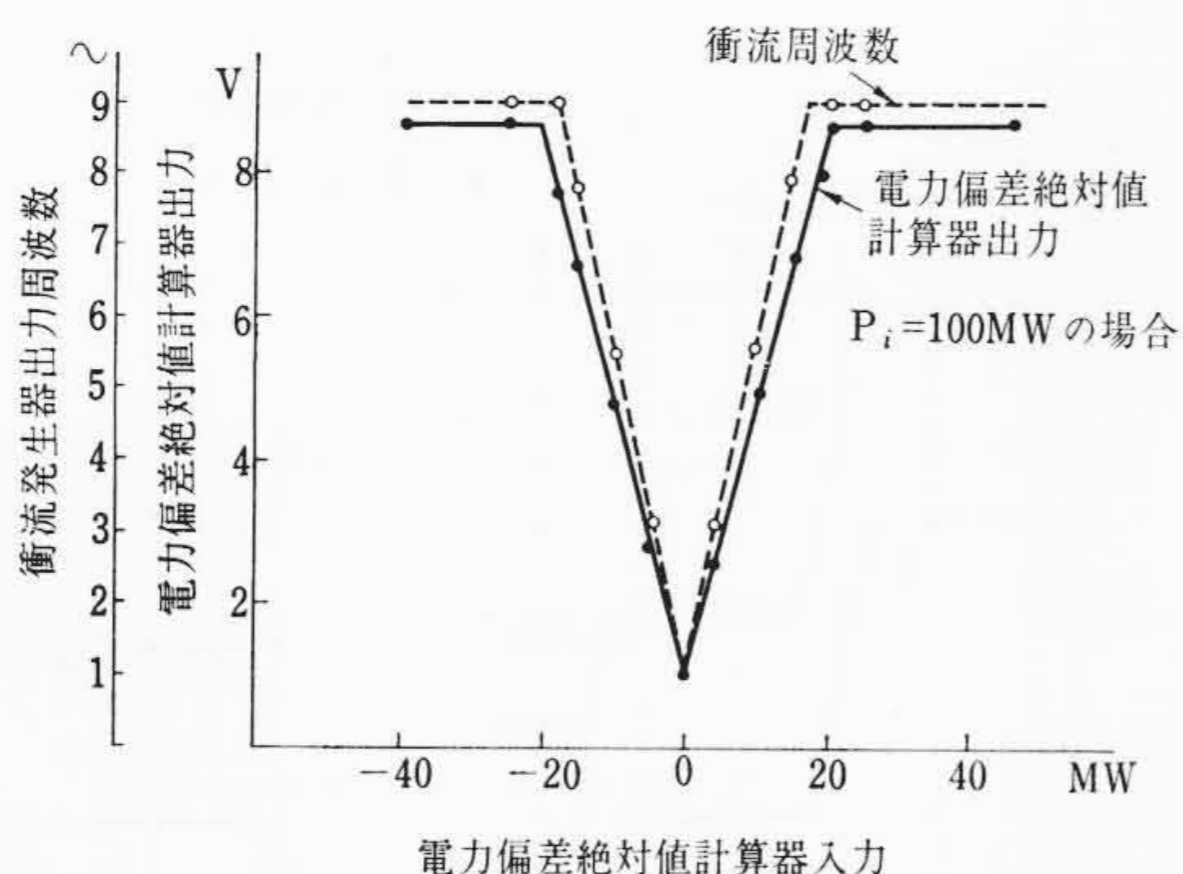
目標出力計算部の ELD 積分器については下記の考慮が払われている。

- (1) 使用される磁気演算増幅器 (MOA) は特に巻線の巻回数を多くして精度、温度特性の向上を図る。
- (2) 積分器出力 P_{i0} が入力指令値 P_i に近づき平衡状態に近くなると、その偏差がリミッタ電圧 ΔE より小さくなり積分の直線性が失われる。この程度を軽減するために ELD 減算器の利得を極力高くして積分特性を向上させる。
- (3) 積分コンデンサの漏えい抵抗を MOA 内部の電圧正帰還で補償し積分特性の向上を図った。

上記の処置により、第 8 図に示すように、最もゆるやかに積分する場合 (0 出力から全目盛 8V まで積分するのに 400 分) でもその積分時間誤差を $\pm 10\%$ 以内 (周囲温度 $20 \pm 5^\circ\text{C}$) に収めることができた。

3.3 操作信号計算部

目標出力計算部で求められた目標信号 P_{i0} は電力偏差計算器で実出力相当の電圧と比較され、その偏差 ΔP が計算される。この ΔP より電力偏差絶対値計算器で偏差の絶対値 $|\Delta P|$ 相当の電圧が作られ、 $\Delta P, |\Delta P|$ 相当の電圧が次段のモータ駆動装置に送られる。特に電力偏差絶対値計算器は零入力近辺においては良好な入出力特性が



第9図 電力偏差絶対値計算器入出力特性と衝流周波数特性

得がたいが入力回路のダイオードに並列にCを入れ、さらにゲイン低下を防ぐため帰還回路にもダイオードを入れて入力ダイオードの電圧降下分を相殺することとしたので第9図の実線のようなすぐれた特性を得ることに成功した。

3.4 電力変換部

発電機出力はサーマルコンバータで2電力計法により直流電圧に変換される。この出力は中給より来る ELD 指令信号とともに2針電力記録計で記録し発電所の運転管理を行なう。また、記録計付属の発信スライドで出力相当の電圧を電力偏差計算器へ送って電力偏差の計算に使用する。この出力は初期値設定(ALR 運転開始に先立ち目標出力計算部の ELD 積分器出力をその時点の実出力に一致させる設定) 時の信号としても使用される。一方、サーマルコンバータの出力を逆テレメータで中給に送り、中給における AFC 信号計算用に使用する。発電機出力が上下限に達したときには前記記録計の上下限接点 (0~180 MW 可変) でこれを検出し、ALR 除外操作を行なうとともに「出力上、下限」の信号を中給に送り返す。

3.5 モータ駆動装置

これは ELD, AFC, ガバナフリーの場合にそれぞれの操作信号を受けて SCR で電力増幅し、ガバナモータを駆動する装置である。第4図について説明する。

(1) ELD 制御の場合

電力偏差絶対値計算器より $|ΔP|$ に比例した電圧を受け、衝流発生器でこれに比例した周波数の衝流 (1~8~) に変換する。この周波数を衝流周波通降 (フリップ・フロップ) 回路で周波数通降し、これを衝流幅ワンショット回路に加えてあらかじめ整定されたパルス幅のパルス信号を造る。一方、電力偏差計算器から $ΔP$ 相当の電圧を受け、極性検出器でその正負極性を検出し、これに応じて「上げ」または「下げ」の操作ゲートを開閉し上記パルス信号を SCR 制御極に送る。ここで、パルスを電力増幅し $ΔP$ に応じた極性と操作量でガバナモータ 65 M を操作する。

(2) AFC 制御の場合

AFC 制御の場合には衝流発生器に常時一定入力を加えて、一定周波、一定幅のパルスを出しておき、「上げ」「下げ」のゲートを AFC 信号に応じて開閉して上記パルス信号を SCR 制御極に加える。この信号を電力増幅し、AFC 信号が継続する限りガバナモータを操作する。AFC 制御速度は整定されたパルス周期とパルス幅によって定まる。偏差 $ΔP$ が所定の限界に達すれば、これを AFC 制御限界検出器 (ELD 制御の場合の極性検出器) で検出し、上限の場合には「上げ」操作ゲートを、下限の場合には「下げ」操作ゲートを開いて、それ以上の範囲まで制御を行なわないよう片側方向の操作を停止する。

(3) ガバナフリー運転の場合

ELD, AFC 信号が来ない期間はガバナモータになんらの制御信号をも加えずガバナを系統周波数に応じて自由に応動させる。ガ

第1表 SCR パルス制御式モータ駆動装置各回路の機能

回路名	機能
衝流発生器および周波数通降用フリップフロップ	絶対値計算器の出力電圧(0~8V)をうけて偏差の絶対値 $ ΔP $ に比例した周波数のパルス(8~8V)を発生し、シュミット回路で波形整形後衝流周波数通降用フリップフロップ回路で周波数通降しその出力を衝流幅整定用ワンショット回路に送る。発振周波数は $f = ΔV / 4Nφ_m$ である(ただし、 $ΔV$ は入力電圧、 N は鉄心巻回数、 $φ_m$ は飽和磁束)。
衝流幅整定用ワンショット回路	衝流発生器からの衝流出力をうけて波形整形後一定幅のパルス(120~400 ms)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に送る。パルス幅は $w = 0.7RC$ (ただし、 R, C はモノステブルマルチの時定数抵抗コンデンサー容量) である。
極性検出器 (AFC 限界検出器ガバナフリー限界検出器)	これは操作信号計算部で計算した電力偏差 $ΔP$ (-8~0~+8V) をうけてこれが所定の大きさに達したとき検出するトランジスタ比較器であり、極性に応じた出力回路から SCR 点弧用信号を出しこれをゲート回路に送る。比較器の検出レベルは AFC ガバナフリー時別個に設定できる。
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つくる 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、この信号の継続する間、全波整流電源回路に電流を流してガバナモータ 65 M を制御する。
電源回路	これは AC 100V より電動機駆動用電源 (100V 全波整流) をつくる回路で、ほかにトランジスタ用電源として直流 -12, +12, +6V が必要である。
故障検出回路	下記事態が発生したときこれを検出して表示し、ALR 制御を停止する。 (1) 「上げ」「下げ」のゲート回路に同時に2出力がでたとき(極性故障検出回路で検出する) (2) パルスが所定幅(0~1" 整定可能)より長くなったとき(パルス幅故障検出器で検出する)

バナフリーによる制御量がガバナフリー限界に達すればガバナフリー限界検出器でこれを検出し、上限か下限かによってそれに相当するゲートを開く。このとき、衝流発生器には $|ΔP|$ 相当の電圧が加えられ、偏差に応じた周波数のパルスを出して基準出力値に引き戻す操作が行なわれる。出力がガバナフリー限界内に戻ればこの補正操作をやめて再びガバナフリー運転にはいる。この方式により基準出力を中心とした一定変動幅内で自由にガバナフリー運転が行なわれる。

モータ駆動装置を構成する各回路の機能は第1表に示すとおりである。第9図の点線は電力偏差絶対値計算器の入力に対する衝流発生器出力周波数の特性を示している。

4. 本装置の特長と一般仕様

本装置の特長は下記のとおりである。

(1) この装置には ELD, AFC の協調制御が考慮されている。従来の ALR は発電所で目標値 (基底負荷) を設定し安全な制御速度で出力を目標値まで移行させるために使用されてきたが、本装置の開発により、基底負荷を ELD でとらせ、それを中心にして AFC 負荷を分担し、AFC でとり得ない短周期負荷に対しては、AFC 制御を行なわない期間にガバナフリー運転を行なってこれを吸収する。このように ELD, AFC, ガバナフリーに対し有機的な協調制御ができるので、調整用火力発電所を系統制御に有効に生かすようになった。

(2) パルス制御方式を採用しているためガバナモータ起動電圧などの悪影響を避けることができる。従来の方式では、目標信号と実出力の偏差 $ΔP$ をそのまま電力増幅して制御電動機に加えていたが、これでは起動電圧や機構部のバックラッシュなどの影響を直接に受けて応答速度の調整も困難であった。本方式では、制

第 2 表 A L R の 仕 様

項 目	単 位	仕 様
ELD制御速度整定	MW/分	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5
AFC制御速度整定	MW/分	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10
AFC, ガバナフ リー制御限界整定	MW	3.5, 5, 6.5, 8, 9.5, 11, 1 (1MW は定値 制御に使用す)
パルス周波数整定	~ /8V	4, 2, 1, 0.5
パルス幅整定	ms	126, 158, 189, 220, 250, 282, 313
手動負荷設定	MW	0~200 (連続)
ELD上下限整定	MW	0~200 (連続)
ELD制御限界整定	MW	0~20 (連続)
出力上・下限設定	MW	0~180 (連続)
第1段周波数限界	~	59.5 (下限), 60.5 (上限)
第2段周波数限界	~	59 (下限), 61 (上限)

御速度を目標出力計算部の積分速度の設定できめ、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り回避できるので、わずかな負荷変動に対する応答を改善することができる。

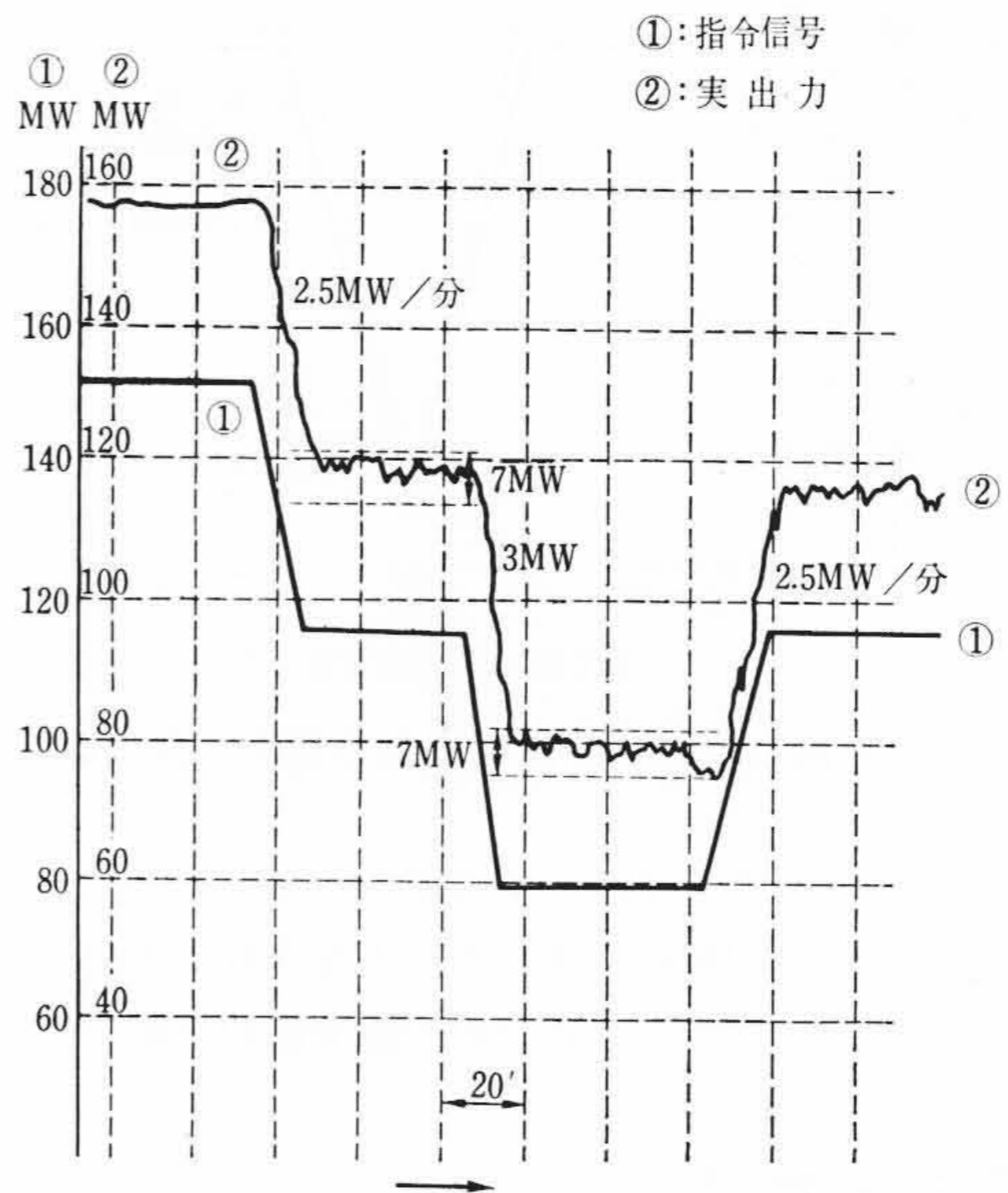
(3) 制御電動機駆動用電力増幅器にシリコン制御整流素子(SCR)を用い無接点、静止形としたので信頼度が高い。従来、電動機駆動用電力増幅器には磁気増幅器、真空管増幅回路が使用されたが、磁気増幅器ではパルス増幅に対して波形の劣化がひどく応答速度も遅くなり、真空管では保守上に問題があるので本装置には使用しなかった。本装置ではSCRを使用してこれらの問題を一挙に解決した。その結果、装置が小形化し、消費電力も軽減した。

第2表は本装置の一般仕様を示したものである。

5. 現 地 試 験

本装置は、昭和39年1月より営業運転に入っているが、その運転実績はきわめて良好である。第10図は50MW幅の「上げ」, 「下げ」制御を本装置で行ない、ELD制御停止中は±3.5MWの幅でガバナフリー運転させた場合の運転データである。

ELD制御については、指令信号に対して整定された制御速度(2.5, 3MW/分)で良好な追従が行なわれており、ガバナフリー運転についても整定限界(±3.5MW)内で十分応動している。AFC制



第 10 図 A L R 運 転 デ ー タ
(S. 38. 11. 24 チャートスピード 30 mm/H)

御は、中給、伝送回線が完成され次第、現地試験が行なわれる予定であるが、ELD, AFC 協調制御に関連して水、火力連繫運転の成果が大いに期待される。

6. 結 言

わが国の AFC 制御も発電所での直接制御からテレコンによる中央制御へ、さらに、水力発電所から大容量の火力発電所の制御へと飛躍的な進歩をみせている。ELD との連繫運転を考慮したとき、この制御装置の役割はますます増大し今後の実績が大いに期待される。

本装置の完成にあたり、ご指導とご援助をいただいた関係者各位に厚くお礼を申しあげるとともに、いっそうのご協力を切望するものである。

Vol. 25

日 立 造 船 技 報

No. 1

- 三 角 形 プ ラ ケ ッ ト の 圧 壊 強 さ
- 耐食アルミニウム合金加工硬化材の MIG 溶接における軟化域
- 波形炉筒および鏡板接合部の強さ (第2報)
——接合部の応力解析——
- 原 油 燃 焼 の 前 処 理 法 (第1報)

——ガラス器具による前処理試験——

- 主機ディーゼル機関の振動および騒音 (第1報)
——排気騒音を中心にした実船騒音計測結果——
- 高バナジウム鋼の研削条件
- 国産ジソクリッチエポキシプライマの性能試験
- 8kW の ZcC 放電加工回路の試作

………本誌に関する照会は下記に願います………

日 立 造 船 株 式 会 社 技 術 研 究 所
大 阪 市 此 花 区 桜 島 北 之 町 60