

北陸電力株式会社神通川第1, 第2発電所納
水系制御付自動負荷周波数調整装置
 Automatic Load Frequency Control Equipment with
 Water Level Control of Reservoirs

宮崎 俊男* 静間 敏男** 磯崎 薫***
 Toshio Miyazaki Toshio Shizuma Kaoru Isozaki
 小沢 重樹**** 竹村 克己*****
 Shigeki Ozawa Katsumi Takemura

内 容 梗 概

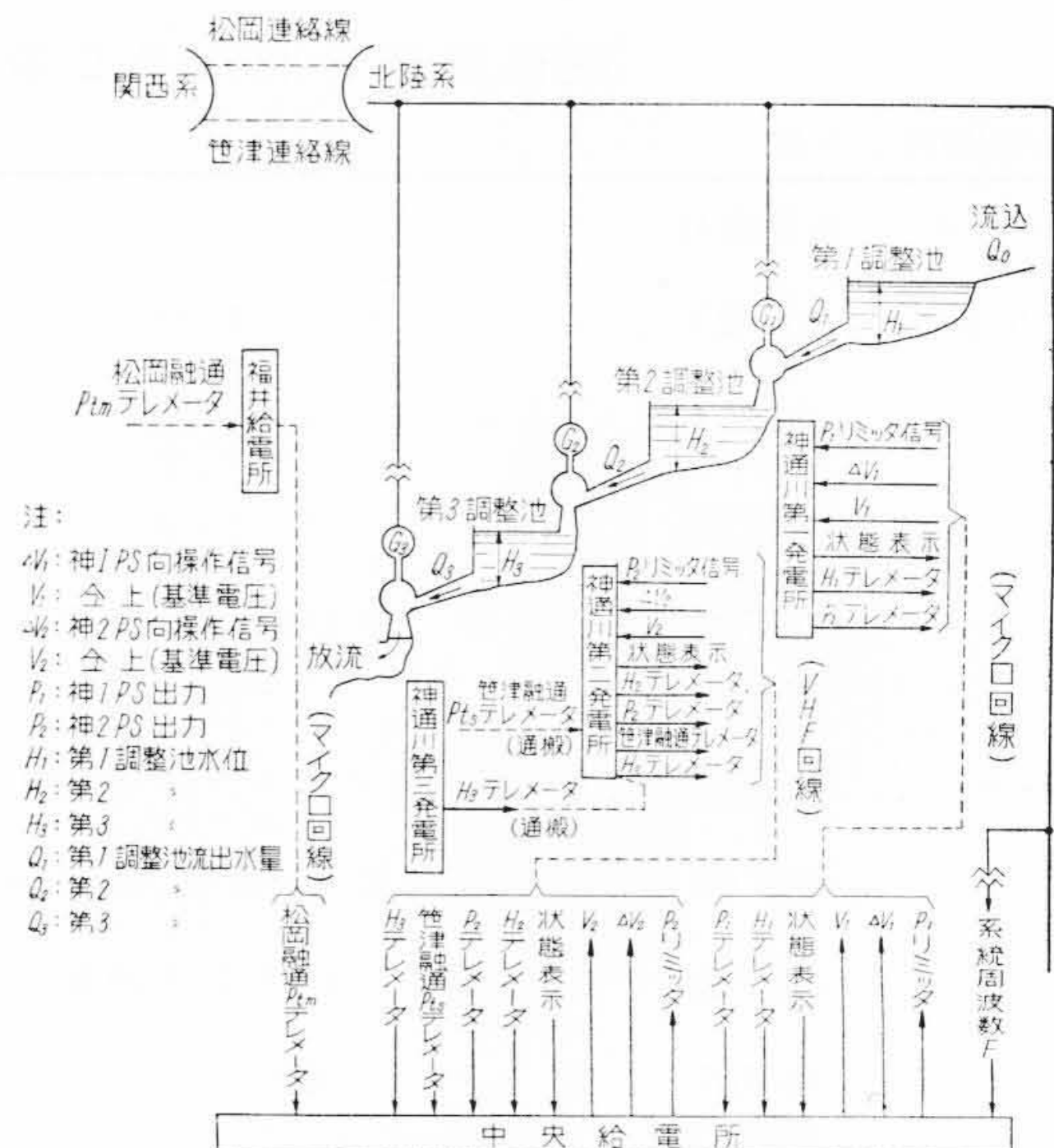
北陸電力株式会社神通川第1, 第2発電所の複雑な水系条件をみたしつつ遠方制御する画期的な自動負荷周波数調整 (AFC) 装置が完成した。多岐にわたる制御内容をそれぞれの条件に応じて使い分けるため徹底した自動方式が採用され画期的なものとなっている。据付後3回にわたる現地試験を経て昭和33年7月上旬好調のうちに営業運転に入った。

1. 緒 言

神通川第1 (40 MW×2), 第2 (20 MW×2), 第3 (9.4 MW×1, 7.1 MW×1) 発電所は第1図に示すように同一河川に沿い、それぞれの上に調整池を有している。最下流の神通川第3発電所は逆調の関係で制御対象とならないが神通川第1, 第2発電所はAFC用に使用される。この場合各調整池水位の変動を協調させて一つの調整池だけが早く限界水位に達することのないようにしなければならない。

遠方制御によるAFCは昭和33年2月はじめて中国電力株式会社汐発電所, 神野瀬発電所—中央給電所間で日立製作所製装置によって実施されたが, ここで得られた各種の経験が本装置の製作に有効に生かされた。

また上記各種の総合操作を円滑に行わせるため高度の自動方式が採用され, 中央給電所, 神通川第1, 第2発電所に分散設置される大規模な装置となっている。



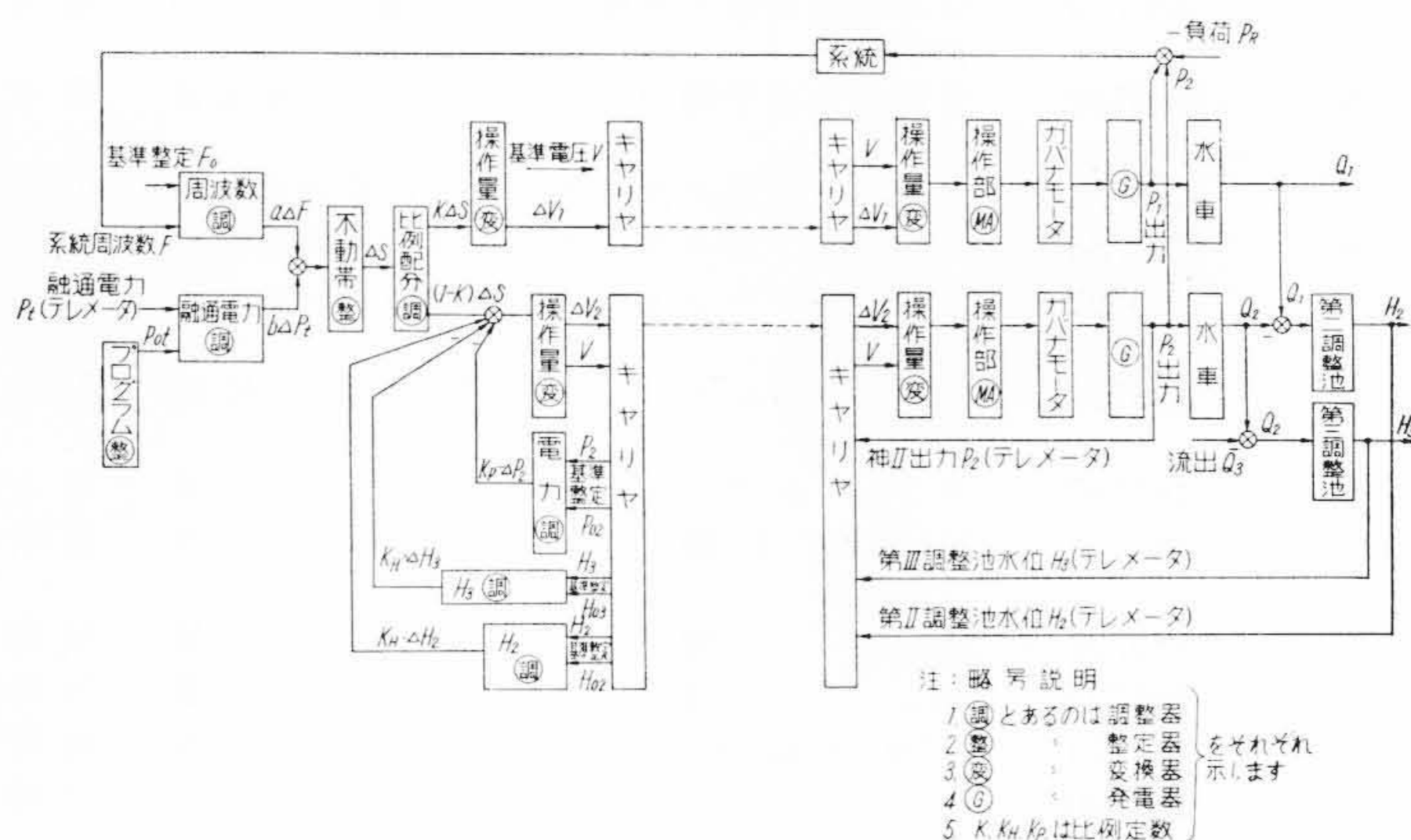
第1図 発電所調整池配置および伝送量説明図

2. 制御の種類

本装置は多くの機能を備えるよう計画されたため, 使用される調整器の種類も多く, 制御範囲もきわめて広い。

2.1 水位制御AFC

第2, 第3調整池水位の変動 ΔH_2 , ΔH_3 (有効水深に対する百分率変動) を同一にしながらAFCを行うものである。またここでいうAFCとは下記の3種類を総称したものである。



第2図 水位制御AFC説明図

- (1) 系統周波数を規定値に維持する制御 (FFC)
- (2) 融通電力を規定値に維持する制御 (FTC)

* 北陸電力株式会社
 ** 日立製作所国分工場
 *** 日立製作所戸塚工場
 **** 日立製作所多賀工場
 ***** 日立製作所日立研究所

(3) 系統周波数, 融通電力を同時に規定値に維持する制御(TBC)

第2図は本制御の説明図である。周波数調整器, 融通電力調整器で検出された周波数偏差 ΔF , 融通電力偏差 ΔP_t は適当に合成され, 不動帯を付加したのち整定比率どおりに配分される。神通川第1発電所向信号 $K \cdot \Delta S$ はそのまま発電所側へ伝送されるが, 神通川第2発電所向信号 $(1-K) \cdot \Delta S$ は第2, 第3調整池平衡用信号 $K_H(\Delta H_2 - \Delta H_3)$ と, 制御安定に必要な神通川第2発電所出力の負帰還電圧 $-K_p \cdot \Delta P_2$ と合成されたのち発電所側へ伝送される。平衡に達すれば被制御量偏差は零となり K_p の値を適当に小さく選んでおけば実用的に $\Delta H_2 \div \Delta H_3$ とすることができる。

2.2 比例制御 AFC

神通川第1, 第2発電所の負荷分担比 $\Delta P_1 : \Delta P_2$ を整定比率 $K : (1-K)$ に保ちながら AFC を行うものである。

第3図は本制御の説明図で, 被制御量偏差より作られた操作量 ΔS は, 置換調整器よりくる各発電所出力偏差 $\Delta P_1, \Delta P_2$ 相当の電圧と, 再配分調整器よりくる各発電所向け信号 $\Delta V_1, \Delta V_2$ を加えたのち, 比例配分調整器で所望の比率 $K : (1-K)$ に配分される。配分された電圧はそれぞれの発電所出力偏差 $\Delta P_1, \Delta P_2$ 相当の電圧を引いたのち, 発電所側へ伝送される。

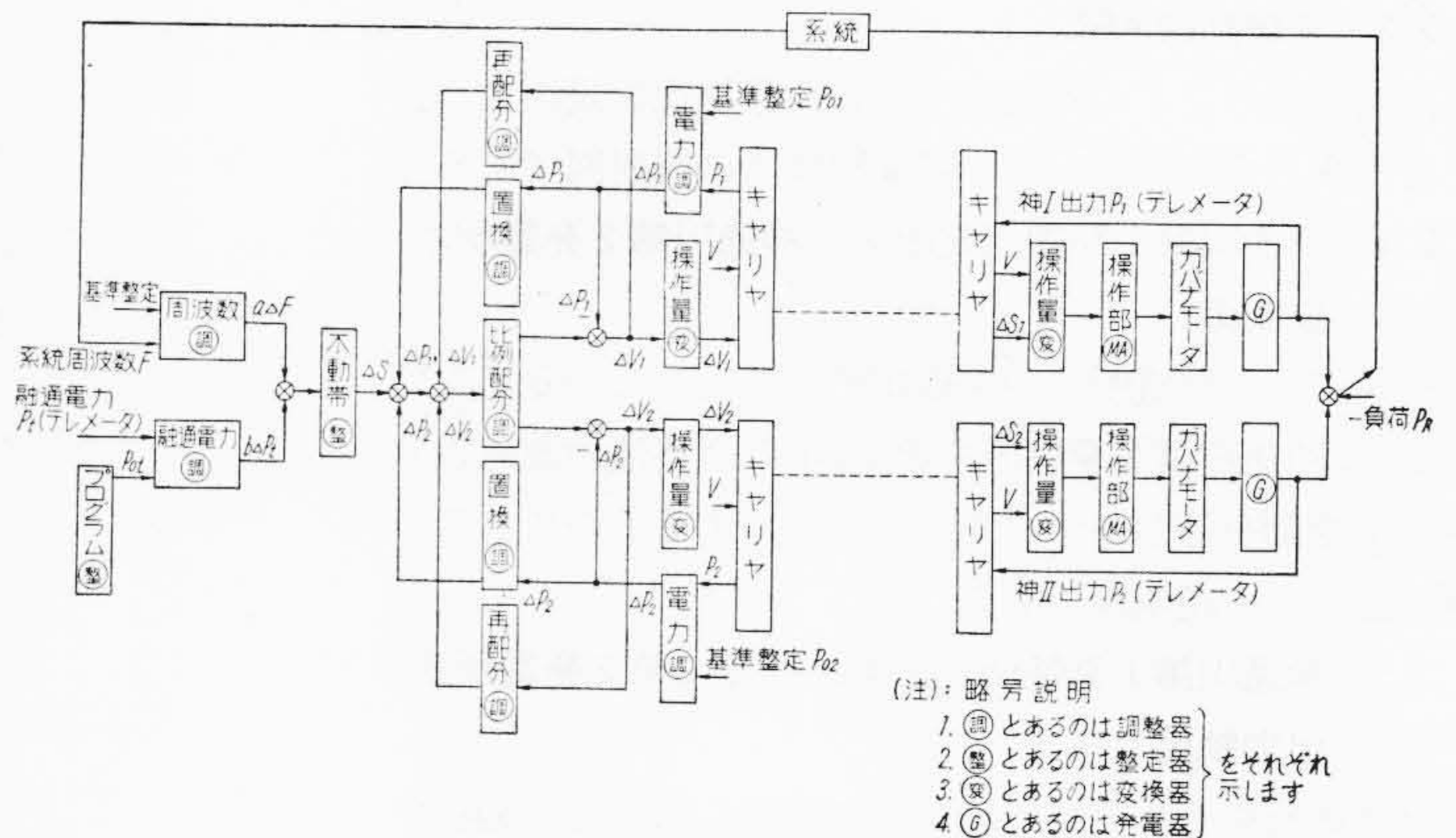
神通川第1発電所向伝送信号 ΔV_1

$$\Delta V_1 = -\Delta P_1 + K[(\Delta P_1 + \Delta P_2) + (\Delta V_1 + \Delta V_2) + \Delta S] \quad \dots\dots\dots (1)$$

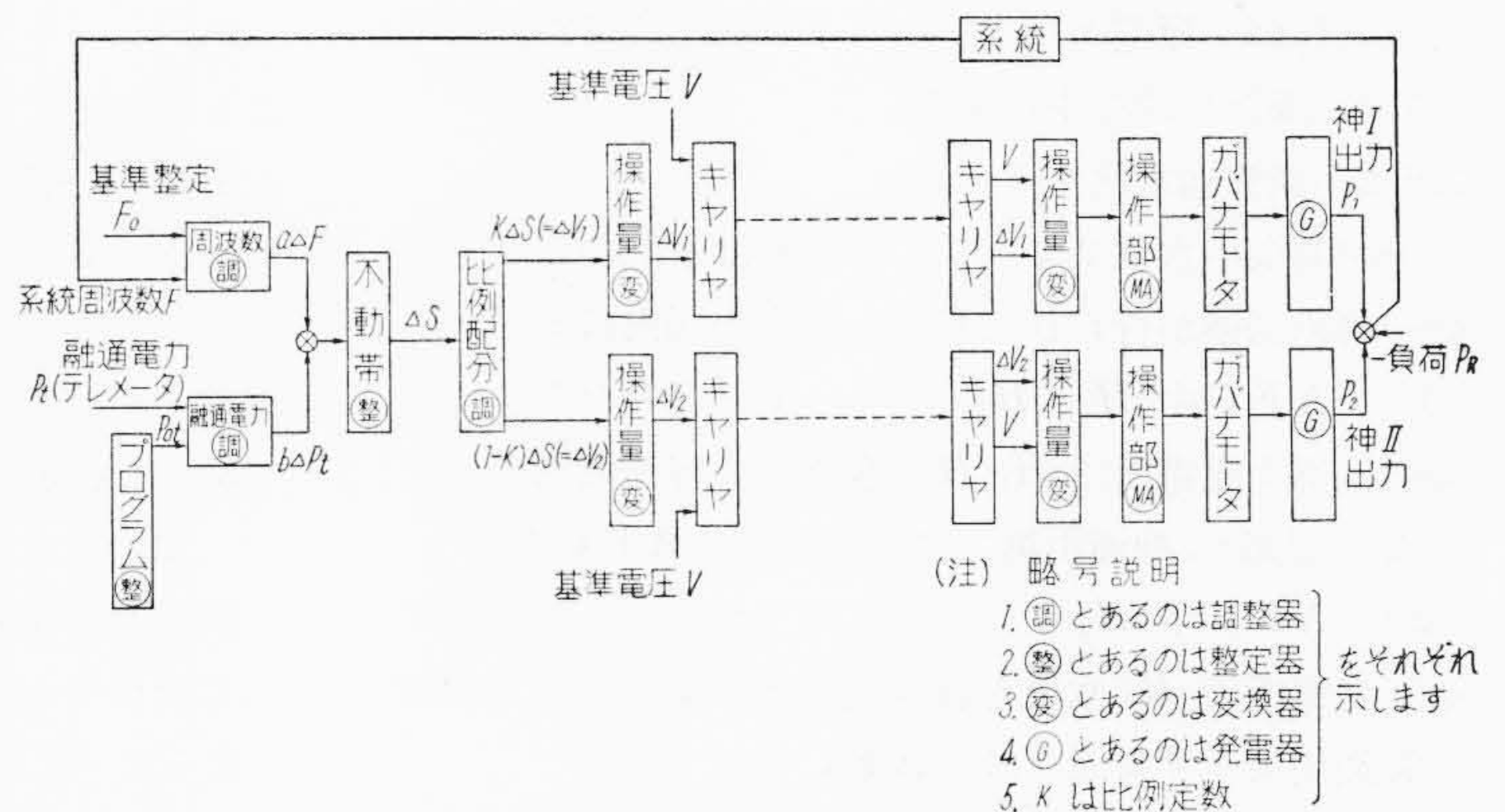
神通川第2発電所向伝送信号 ΔV_2

$$\Delta V_2 = -\Delta P_2 + (1-K)[(\Delta P_1 + \Delta P_2) + (\Delta V_1 + \Delta V_2) + \Delta S] \quad \dots\dots\dots (2)$$

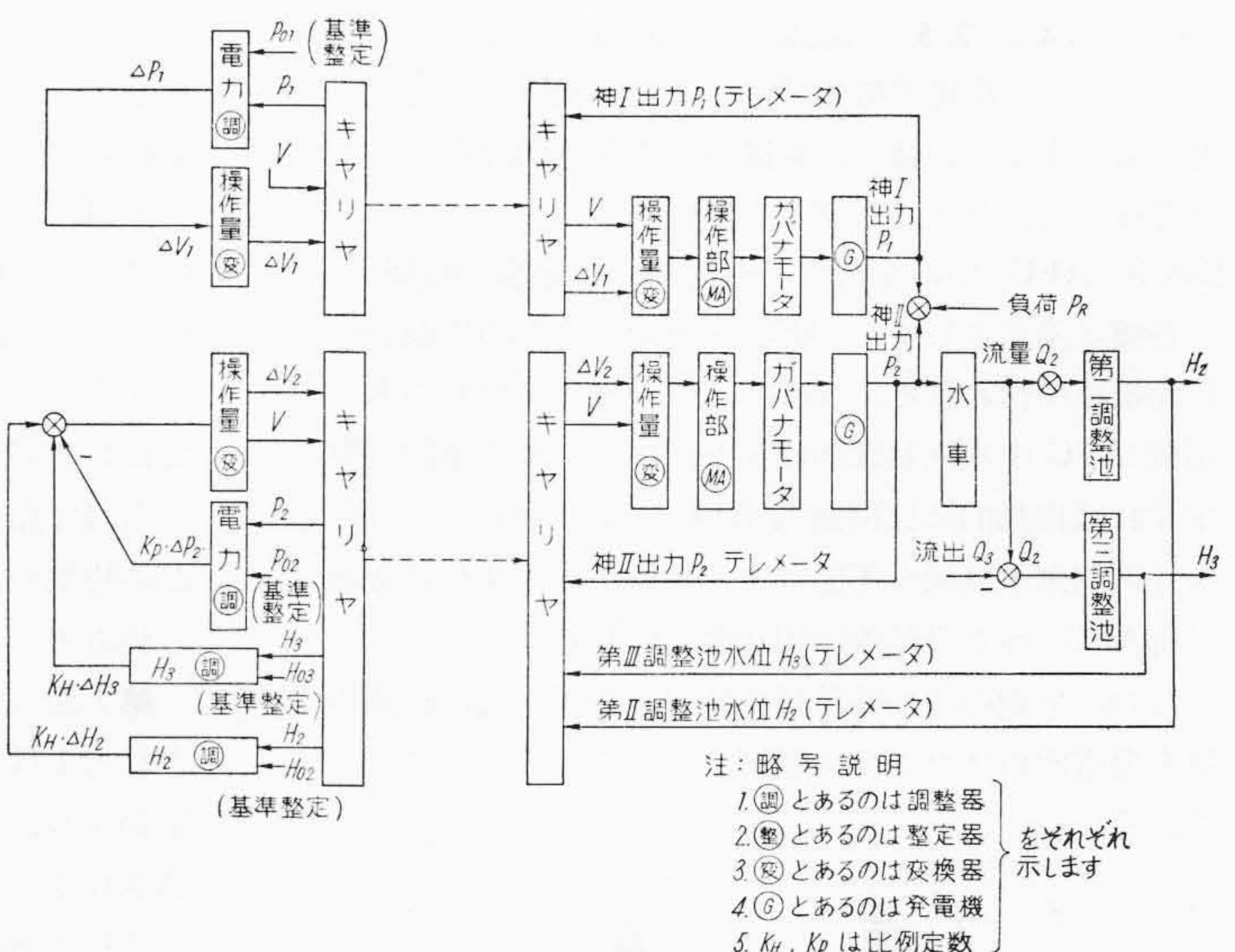
(1)(2)式より少なくとももいづれか一つの発電所が正常に運転しておれば被制御量が零 ($\Delta S=0$) となることがわかる。



第3図 比例制御 AFC 説明図



第4図 分離制御 AFC 説明図



第5図 神通川第1発電所定出力, 神通川第2発電所水位制御説明図

2.3 分離制御 AFC

比例制御のごとく両発電所の負荷分担比を規正することなく AFC を行うもので第4図はこの説明図である。

2.4 神通川第1発電所定出力, 神通川第2発電所水位制御

神通川第1発電所を中央給電所で整定した一定出力で運転し, 神通川第2発電所を第2, 第3調整池の前記百分率水位変動を等しくするよう遠方制御するものである。第5図はこの説明図である。

2.5 神通川第1発電所定出力, 神通川第2発電所定出力制御

両発電所をそれぞれの整定値に合致した出力で運転するよう遠方制御するものである。

2.6 異常事態発生時の制御転移

2.6.1 発電所負荷リミット

上記制御中発電所出力が上(下)限に達すればあげ(さげ)操作だけを中止する。

2.6.2 調整池水位リミット

上記制御中水位リミットにかかれば下記のごとく制御の自動切換が行われて水位を許容範囲内にもどす。

(1) AFC 中 H_1 (H_2) リミットとなったとき——神通川第1発電所で H_1 (H_2) 水位を許容範囲内にもどすよう制御し, 神通川第2発電所だけで AFC を行う。

(2) AFC 中 H_3 リミットとなったとき——神通川第2発電所で H_3 水位を許容範囲内にもどすよう制御し神通川第1発電所だけで AFC を行う。

(3) (2.4), (2.5) 項記載の制御中 H_1 (H_2) リミットとなったとき——神通川第1発電所で H_1 (H_2) 水位を許容範囲内にもどすよう制御し, 神通川第2発電所はそのときまで行っていたと同じ制御を継続する。

(4) (2.4), (2.5) 項記載の制御中 H_3 リミットとなったとき——神通川第2発電所で H_3 水位を許容範囲内にもどすよう制御し, 神通川第1発電所はそのときまで行っていたと同じ制御を継続する。

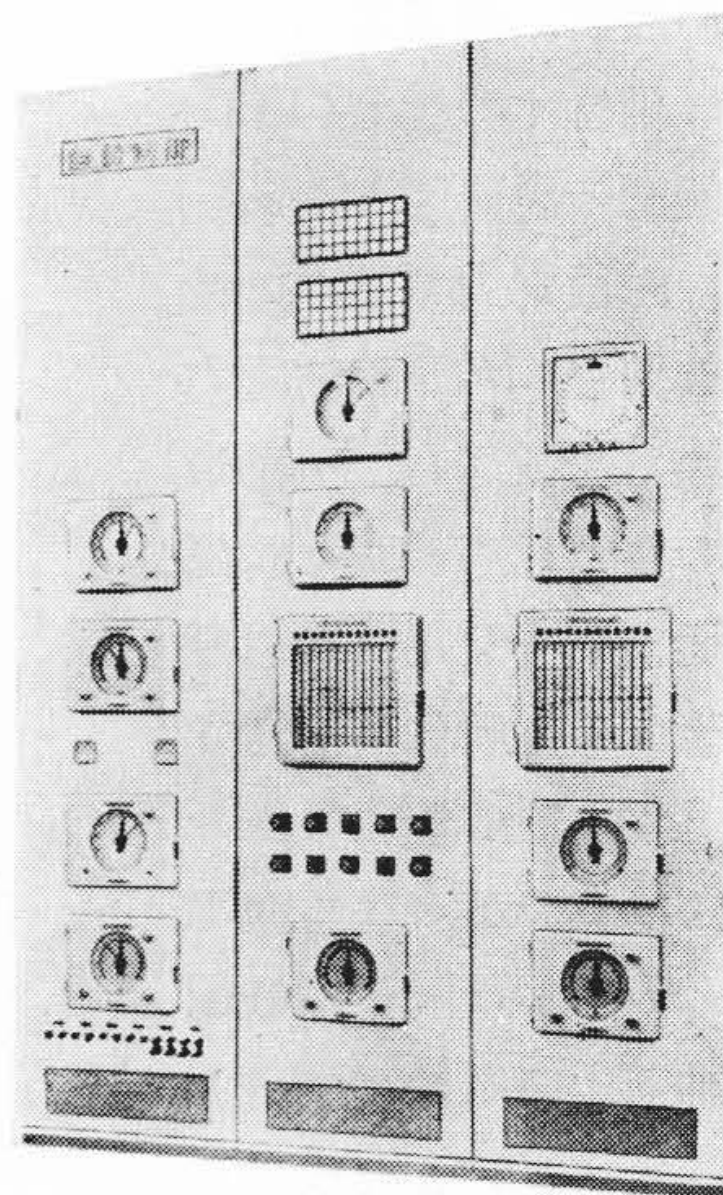
2.6.3 AFC 中の「水位」→「比例」→「分離」転移

各種支障が生じてても AFC を継続するために前記の自動転移が行われるようになっている。すなわち水位制御 AFC 中水位制御継続を不能ならしめる事態が発生すれば自動的に比例制御 AFC に切り換わり, さらに比例制御の継続を不能にする事態が発生すれば分離制御 AFC へと自動的に切り換えられる。

なお, 上記のほか時差補正装置, 融通電力, 神通川第1発電所のプログラム制御などができるようになっている。

3. 装 置

全装置は3箇所に分散して設置されその構成は下記の



第6図 中央給電所設置 AFC 検出部直立盤

ごとくなっている。

3.1 中央給電所装置 (除搬送装置)

直立盤3, キュービクル1よりなり, 第6図は検出ならびに操作信号の合成を行う各種調整器を取り付けた直立盤を示す。

3.1.1 周波数調整器⁽¹⁾

本器はウィーンブリッジで周波数を検出し, 系統の周波数を指示するとともに整定周波数からの偏差に応じた信号を発生する自動平衡計器である。

3.1.2 電力プログラム整定器と電力整定器⁽¹⁾

電力プログラム整定器は連絡線電力または神通川第1発電所の電力をプログラム制御するためのもので, 電力整定器と組み合わせて電力の整定値を1時間ごとに自動的に切り換える装置である。

電力整定器は各時間ごとに電力プログラム整定器に整定された電力値を指示する自動平衡計器である。

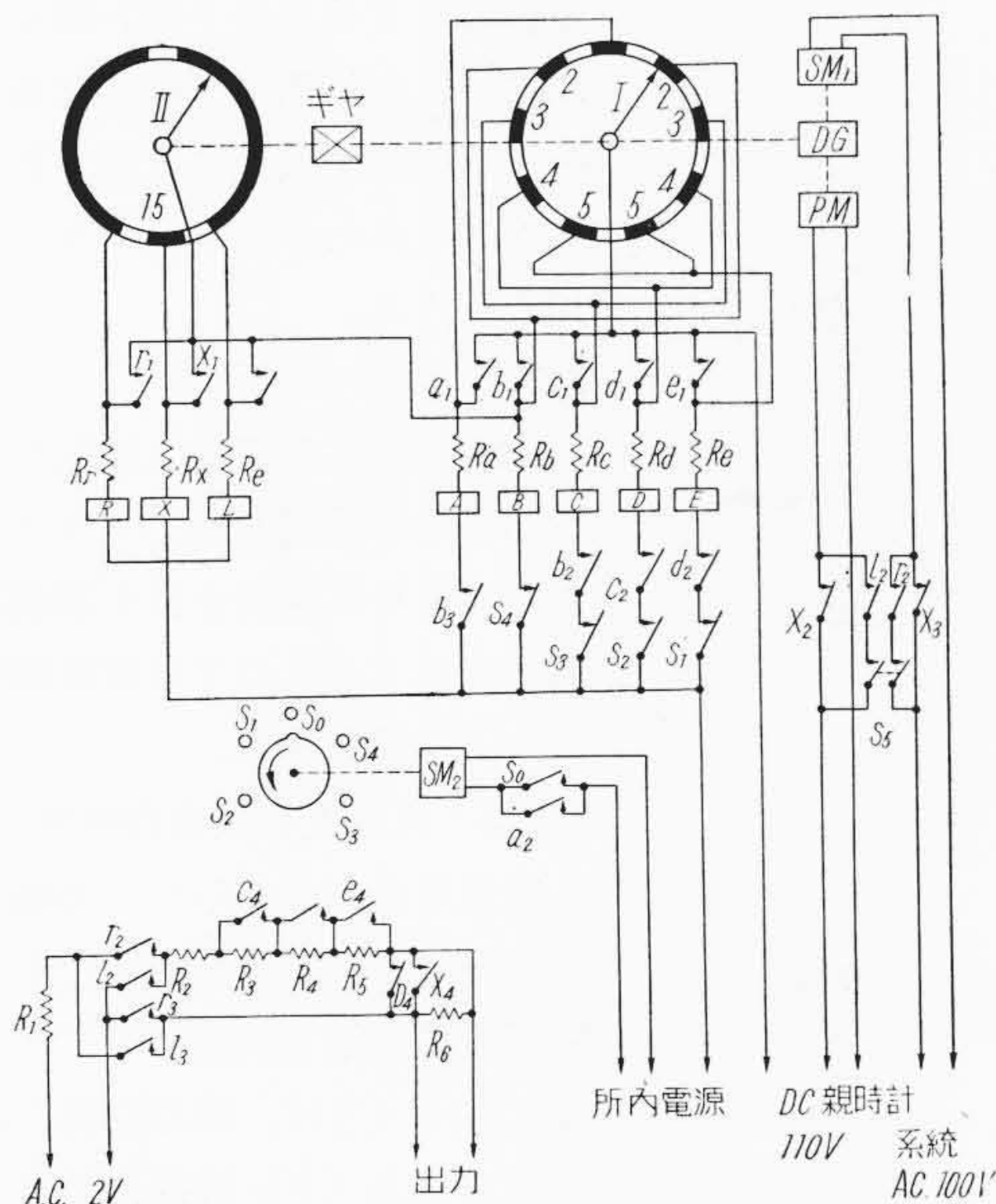
3.1.3 連絡線電力調整器⁽¹⁾

本器はテレメータ受量変換器で変換された直流電流を受けて連絡線電力を指示するとともに電力整定器と組み合わせ, その整定電力との偏差に応じた信号を発生する。

3.1.4 時差補正装置

本器は標準時計と系統周波数で駆動される電気時計との時刻の差を検出し, この時差を補正する信号を作る装置である。

第7図は本器の動作原理を示す。標準時計から送出される1秒1パルスの信号によりパルスモータ PM が駆動され, 系統周波数電源により同期モータ SM が駆動される。両者の回転差でブラッシ I が回転し時差が ±2 秒以上1秒増すごとにリレー B, C, D, E が順次動作 (自己保持) する。ブラッシ II は時差の正負を



第7図 時差補正装置動作原理図

検出するものである。リレーB～Eの動作により、抵抗 R_1 ～ R_6 よりなる回路の出力には時差に応じた電圧が出力として取り出されることになる。次に時差が補正されてブラッシ1が零になるとリレーAが動作し接点 a_2 により同期モータSM₂を回転させそれに駆動される円板の凸部によりスイッチ S_1 , S_2 , ……の順でその接点を開きリレーE, D, C, B, Aが順次復帰する。以上のように時差による出力は階段的に漸次増減するので急激な出力変化により制御結果に擾乱を与えることはない。

3.1.5 不動帯整定器

本器は周波数と連絡線電力の合成された偏差を指示し、可調整の不動帯をもった出力に変換するものである。第8図は本器の外観を示し表面右上のつまみを回して不動帯整定を行う。その整定幅は円形目盛にそって開閉する青地によって明示される。

第9図は本器の入出力特性である。

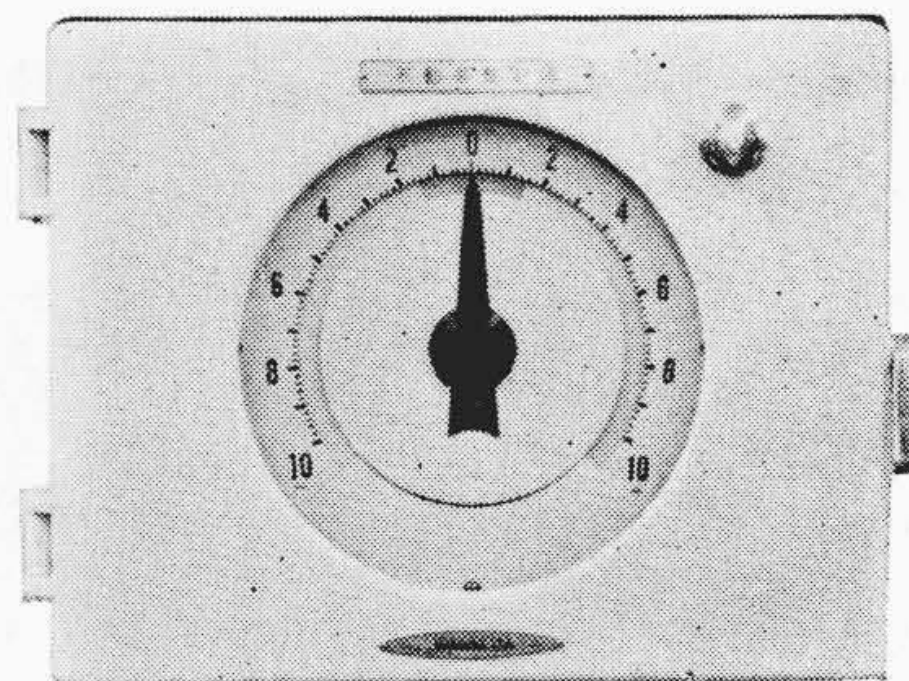
3.1.6 比例配分調整器

本器は不動帯整定器、置換調整器および再配分調整器の出力の和が入力となりこれを指示するとともに入力を整定した比率に分圧し、これを出力として取り出す装置である。

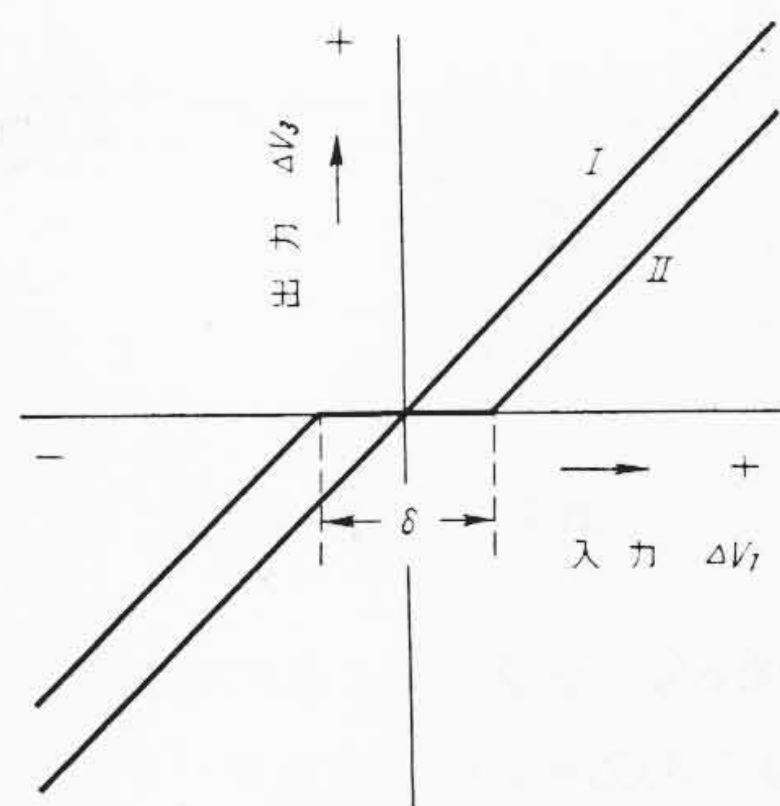
3.1.7 置換調整器と再配分調整器

置換調整器は発電所の基底負荷と実際の負荷との差を入力として動作し入力に比例した出力を比例配分調整器の入力側に正饋還し比例配分動作を正確に行わせるものである。

再配分調整器の入力は操作量変換器の入力と並列に



第8図 不動帯整定器



第9図 不動帯整定器動作原理図

接続されている。一つの発電所が操作量に応動しなくなったとき、その発電所向けの操作量を比例配分調整器の入力側に饋還して、ほかの発電所にその分の負荷をとらせ、制御偏差を生じないようにすることができる。

置換調整器、再配分調整器はともに制御系の正饋還要素として用いられており速度発電機で負饋還をかけて、大きな時定数をもたせているので広範囲の入力量にたいしても増幅器が飽和せず、直線性要素として動作し連続制御方式の要素として好ましい特性にしてある。

3.1.8 電力調整器（発電所電力）と水位調整器

本器はテレメータ受量変換器で変換された直流電流を受けて、神通川第1, 第2発電所の電力および神通川第1, 第2, 第3調整池水位を指示するとともに整定値からの偏差に応じた信号を取り出す自動平衡計器である。

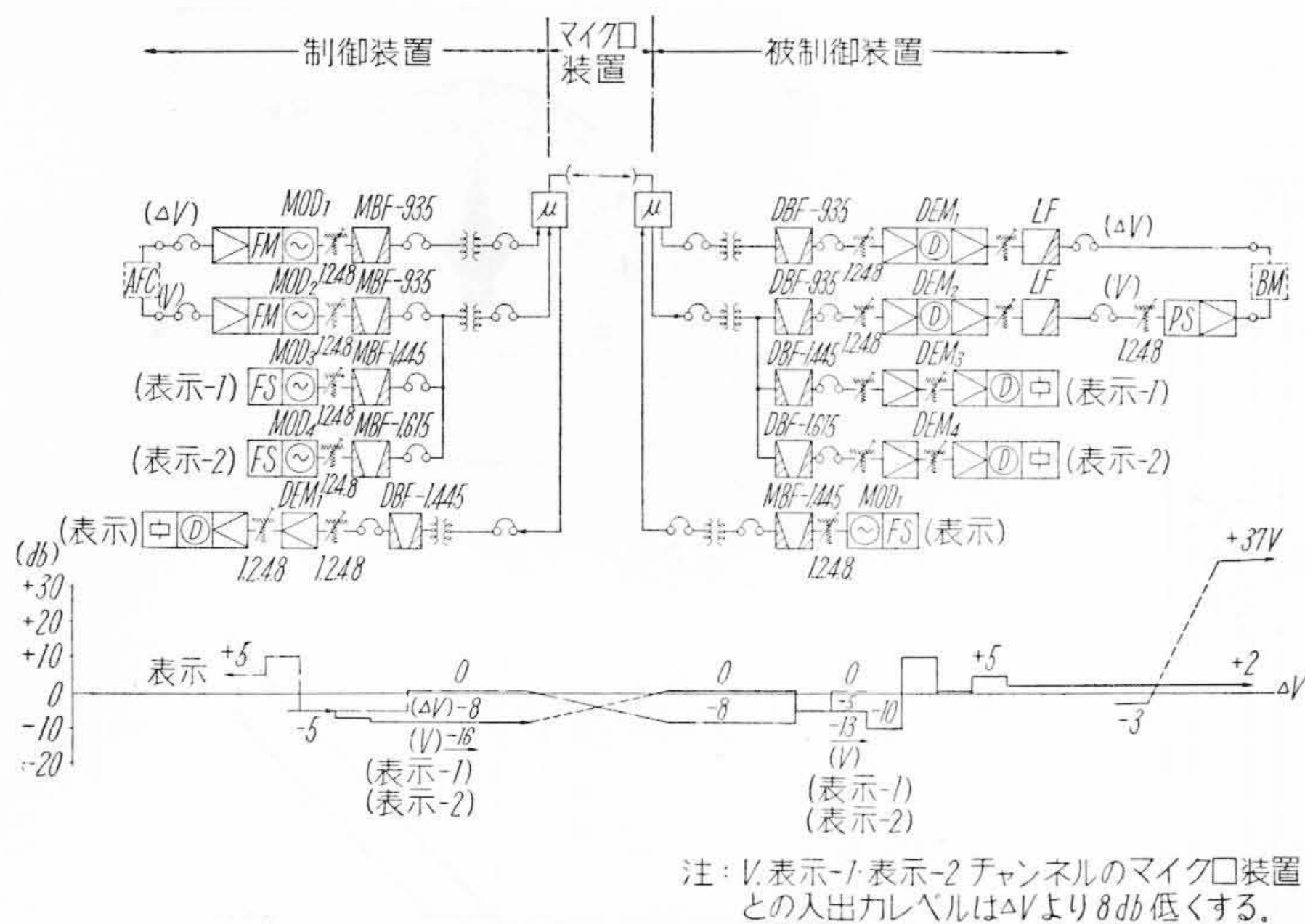
基底負荷、基準水位、上下限の整定はカバー前面のつまみによって容易に行うことができる。

3.1.9 送量操作量変換器

本器は発電所向けの操作信号の大きさを指示する自動平衡計器で操作信号を搬送装置に渡す役目をしている。

3.2 発電所装置（除搬送装置）

各発電所には操作部キュービクルが1台ずつ設置され伝送されてきた操作信号 ΔV , 極性判別用基準信号 V (い



第 10 図 搬送装置方式説明図

ずれも AC 60 c/s) を受けてこれに応じた直流電圧を作り磁気増幅器で 3 段増幅したのちガバナモータを制御するようになっている。磁気増幅器には 1, 2 号機間の負荷平衡, 乱調防止, 微分操作の各要素が加味されている。

3.2.1 受量操作量変換器⁽¹⁾

本器は搬送装置で再現された操作量 ΔV と基準信号 V を受けて操作量を指示するとともにこれを直流操作量に変換して磁気増幅器に印加する自動平衡計器である。

3.2.2 電力変換器

本器は 2 素子式鉄心入電流計形メータパートとこの可動コイルの変位に応じた不平衡電圧によって駆動されるモータ機構よりなっている。このモータの回転は制御スプリングをひねり上記可動コイルを最初の中央位置に戻して平衡に達し発電力を指示する。また本器によって上下限負荷の整定を行うことができる。

3.3 搬送装置⁽²⁾ (中央給電所, 発電所設置)

本装置は AFC を行うに必要な制御信号, ならびに表示を伝送するためのもので第 10 図はその概要を示す。中央給電所, 神通川第 1, 第 2 発電所に分散して設置される各装置はいずれも高さ 2,350 mm, 幅 600 mm, 奥行 600 mm のキュービクルに収容された架に組み込まれる。

3.3.1 AFC 制御信号

中央給電所 (制御所) で検出された被制御量偏差はこれに応じた交流 60 c/s の電圧 ΔV として送量操作量変換器より取り出され, 制御方向決定用基準電圧 V (交流 60 c/s, 100 V) とともに周波数変調方式によってマイクロまたは VHF 端局より被制御所に送られる。被制御所ではこれを復調し, $\Delta V, V$ を再現して受

量操作量変換器の平衡計器をこれに相当した位置で平衡させる。この位置は直流電圧に変換され, 磁気増幅されたのちガバナモータに加えられる。

3.3.2 動作表示信号

AFC 装置が正規に運転しているか否かを発電所側よりマイクロまたは VHF 端局を経て制御所へ通報表示するもので周波数偏倚方式により伝送する。

3.3.3 負荷上下限操作信号

発電所出力があらかじめ整定された上 (下) 限值を越えたとき制御所設置の電力調整器でこれを検知しあげ (さげ) 操作回路だけを開路する上 (下) 限操作信号を周波数偏倚方式によって伝送する。

4. 現 地 試 験

現地据付後 3 回にわたる調整試験を経て昭和 33 年 7 月上旬営業運転に入った。以下これらの試験結果をまとめて報告する。

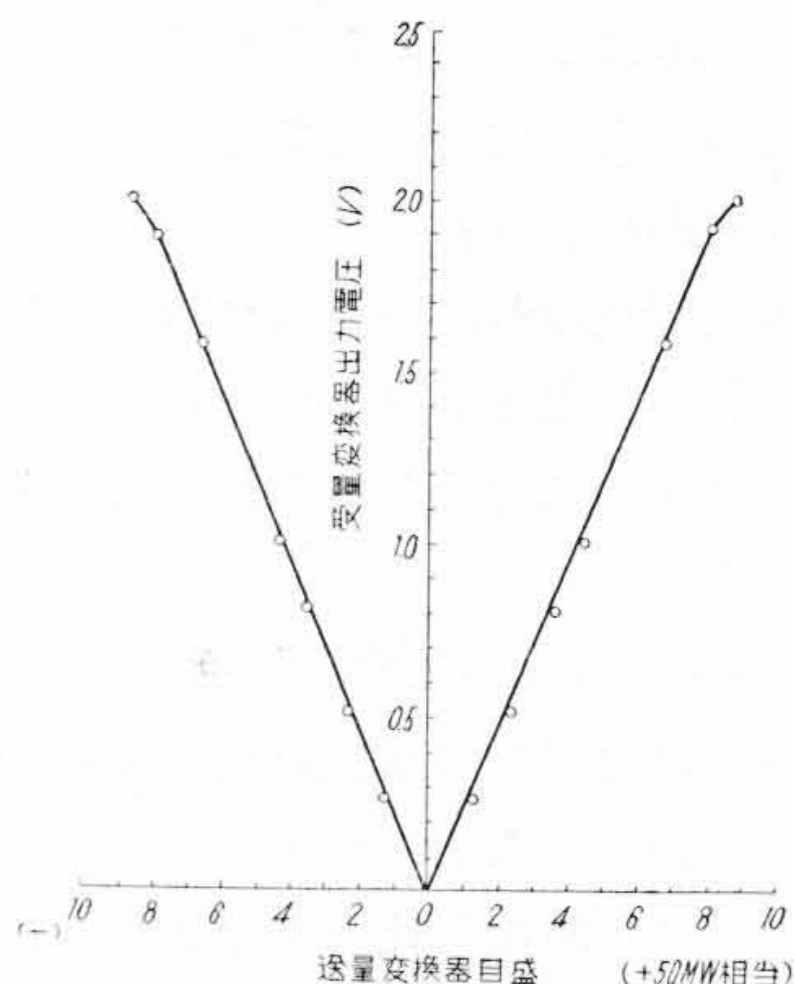
4.1 制御信号回線特性

4.1.1 標準状態における伝送特性

制御信号回線の平常 S/N は神通川第 1 発電所用は 46 db, 神通川第 2 発電所用は 41 db であるがこの状態において送受量操作量変換器間の指示対応を測定したところ実用範囲において良好な直線的対応をしていることがわかった。第 11 図は神通川第 1 発電所用回線の特性である。

4.1.2 雑音特性

制御信号の大きさを色々の値に固定し回線の S/N を

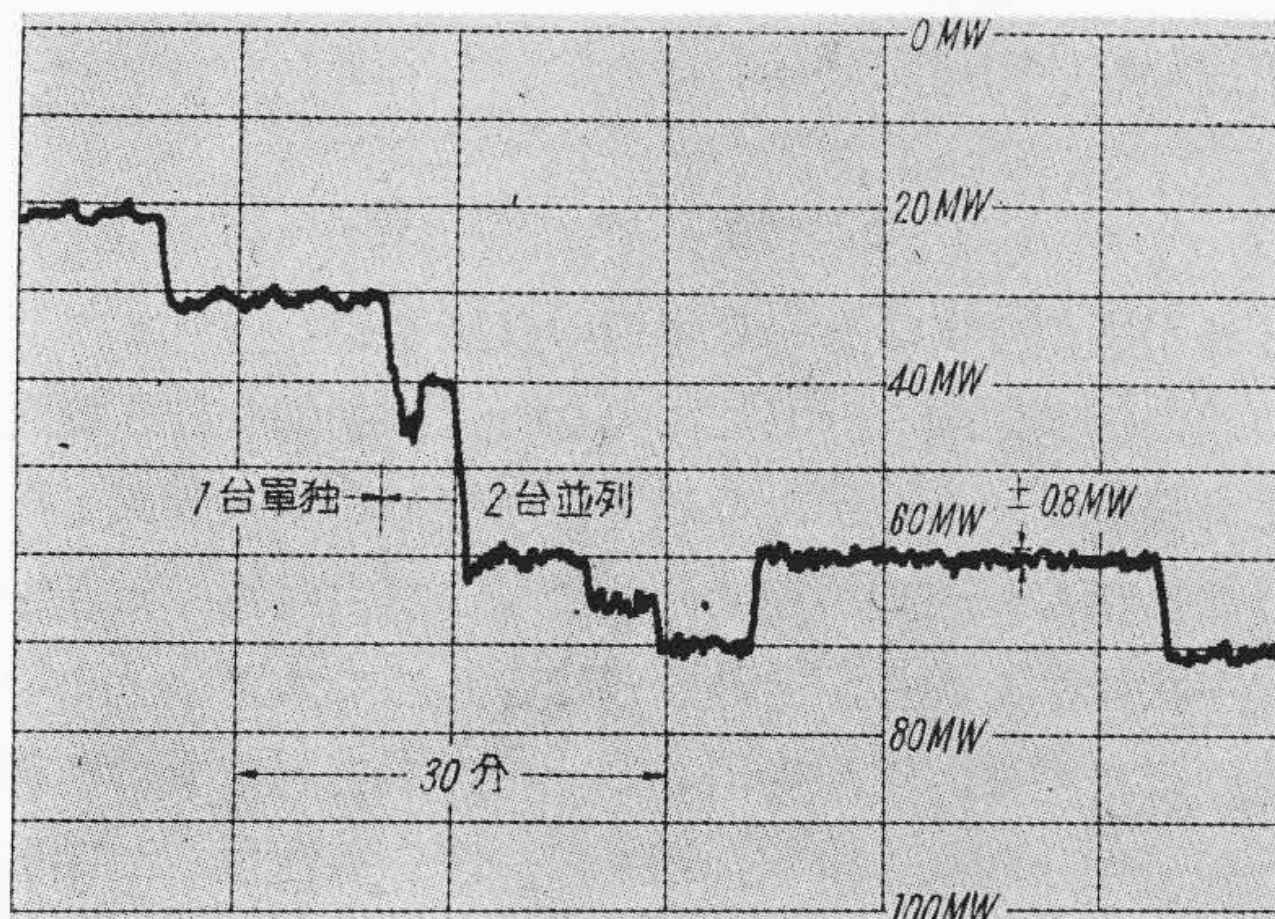


第 11 図 神通川第 1 発電所送受量操作量変換器目盛対応特性

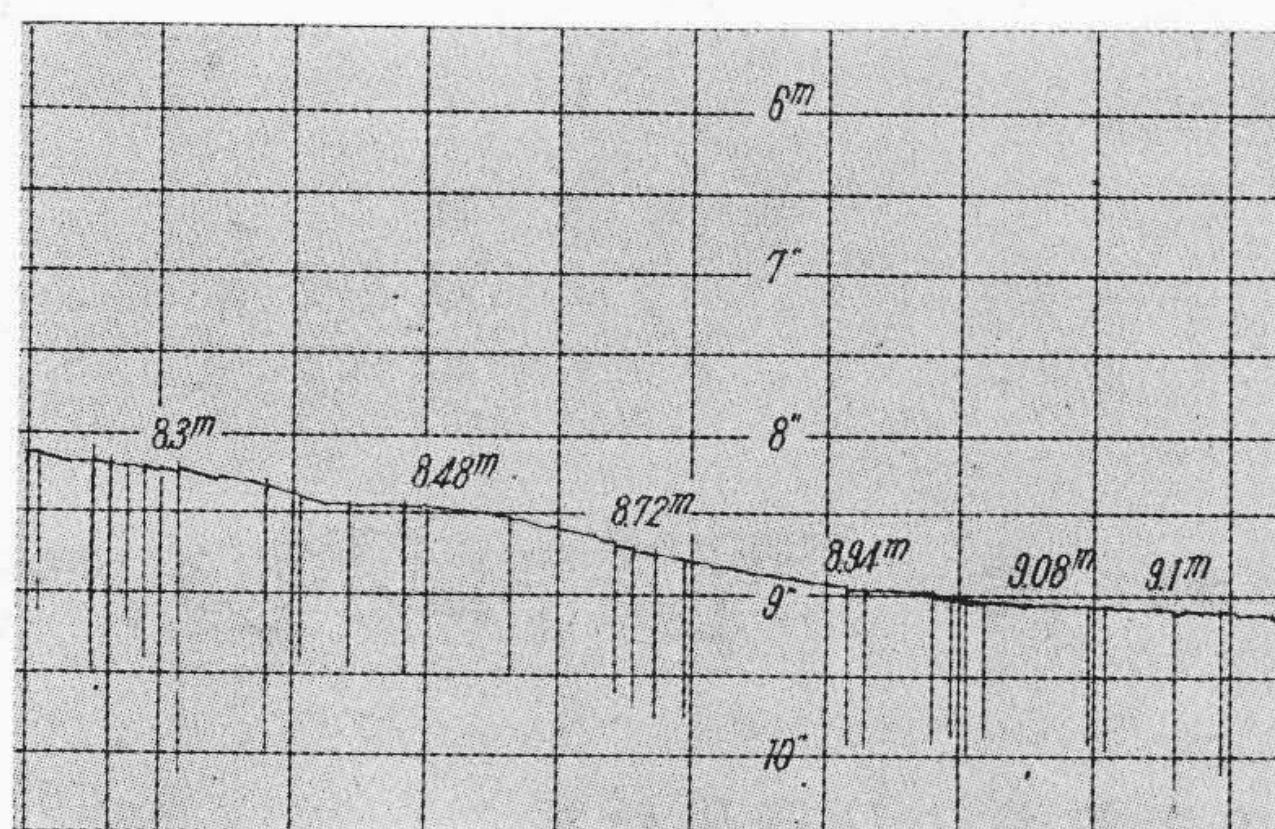
人為的に低下させて受量操作量変換器指示の変動を調べた。その結果、神通川第1, 第2発電所用両回線とも S/N 35 db 以上あれば誤差の生じないことがわかった。

第1表 定出力制御試験結果

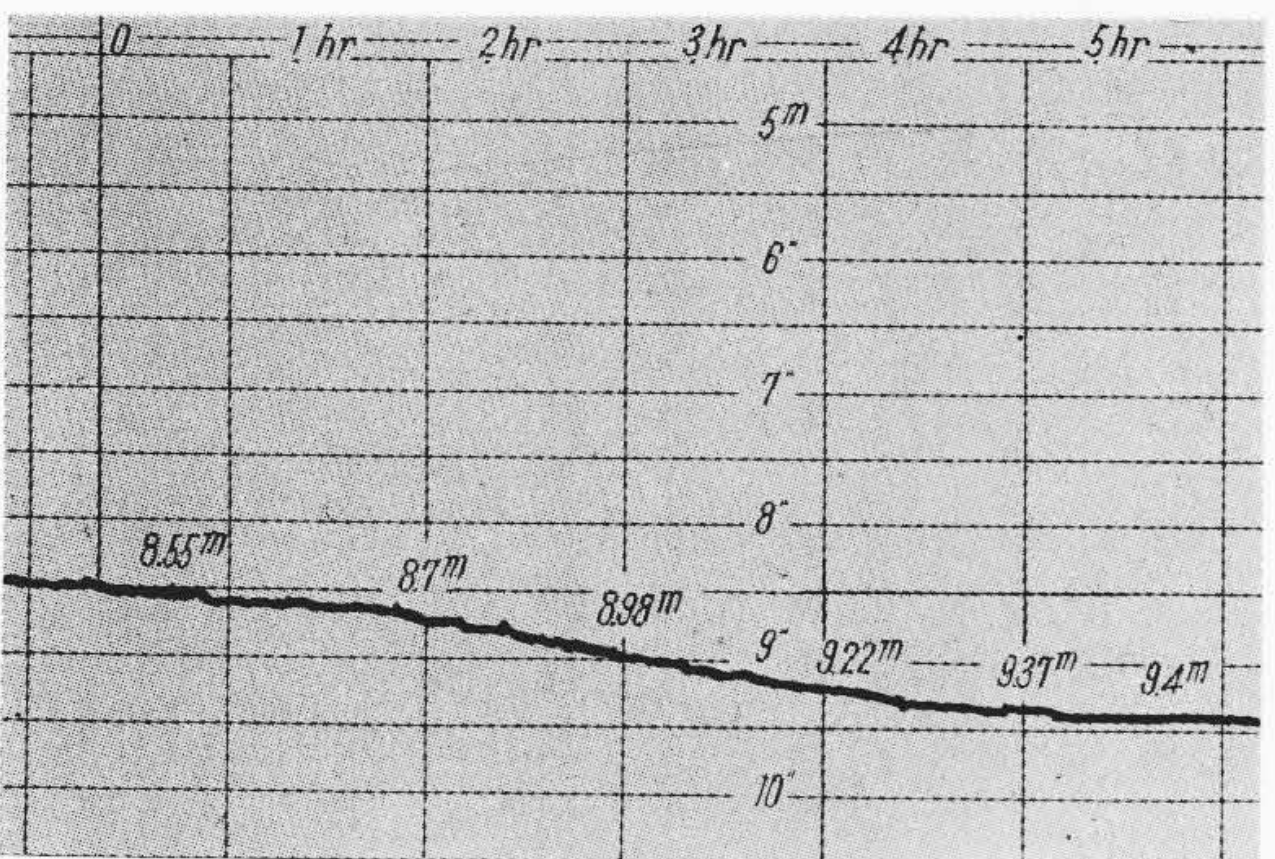
	神通川第1発電所 定出力制御結果	神通川第2発電所 定出力制御結果
平常運転	整定値 $\pm 0.8\text{MW}$ (発電所定格出力の $\pm 1\%$)	整定値 $\pm 0.8\text{MW}$ (発電所定格出力の $\pm 2\%$)
整定値変更時の過渡特性	整定変更	動作安定までの時間
	50MW $\rightarrow$ 60MW 60MW $\rightarrow$ 50MW	約 45 秒 約 45 秒
	整定変更	動作安定までの時間
	37MW $\rightarrow$ 32MW 32MW $\rightarrow$ 37MW	約 35 秒 約 45 秒



第12図 神通川第1発電所定出力制御記録の一例



神通川第3発電所水位



神通川第2発電所水位

第13図 水位制御記録の一例

4.2 定出力制御

両発電所にたいして行った試験結果を第1表に示す。第12図は神通川第1発電所定出力制御試験記録の一例である。

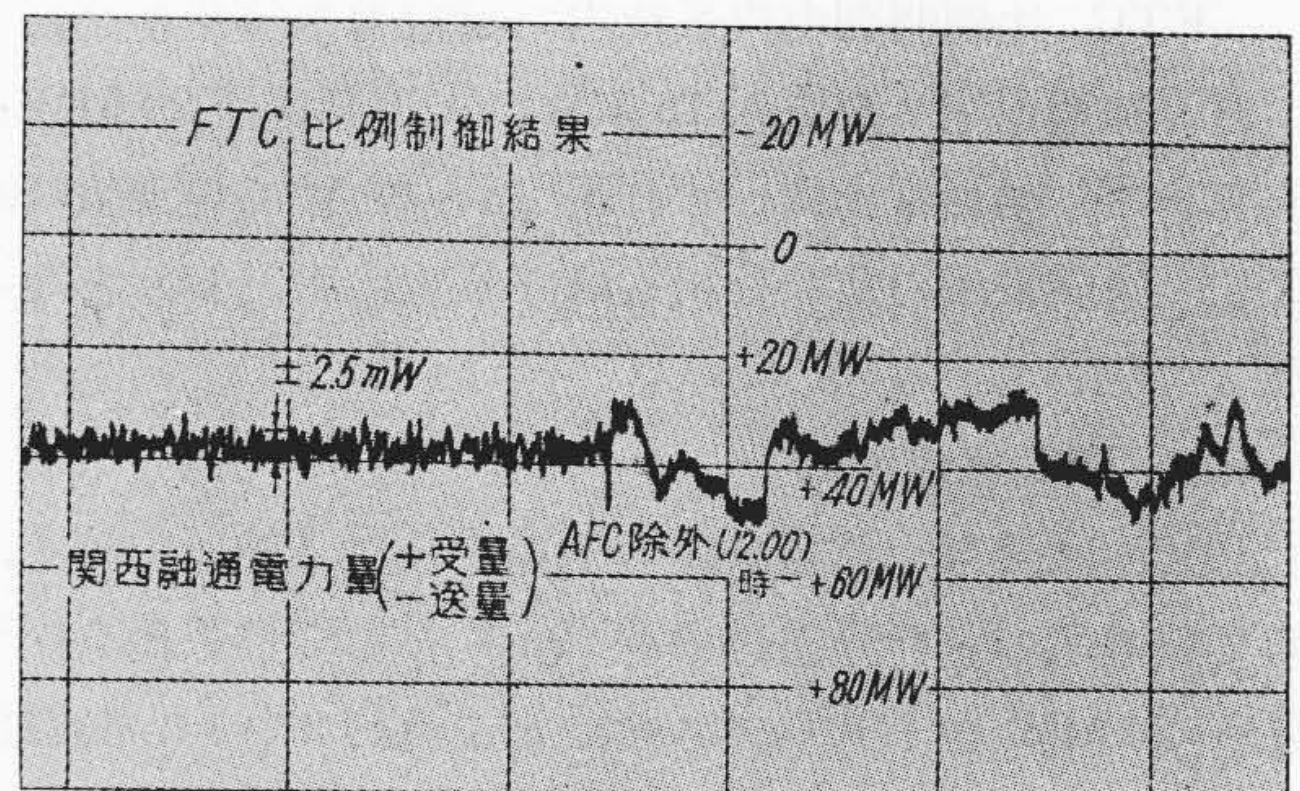
4.3 水位制御

数時間の連続運転を行ったところ第2, 第3調整池水位の有効水深にたいする百分率変動はそれぞれ 15%, 16%で, 所期の制御をすることが確認された。第13図はその記録である。

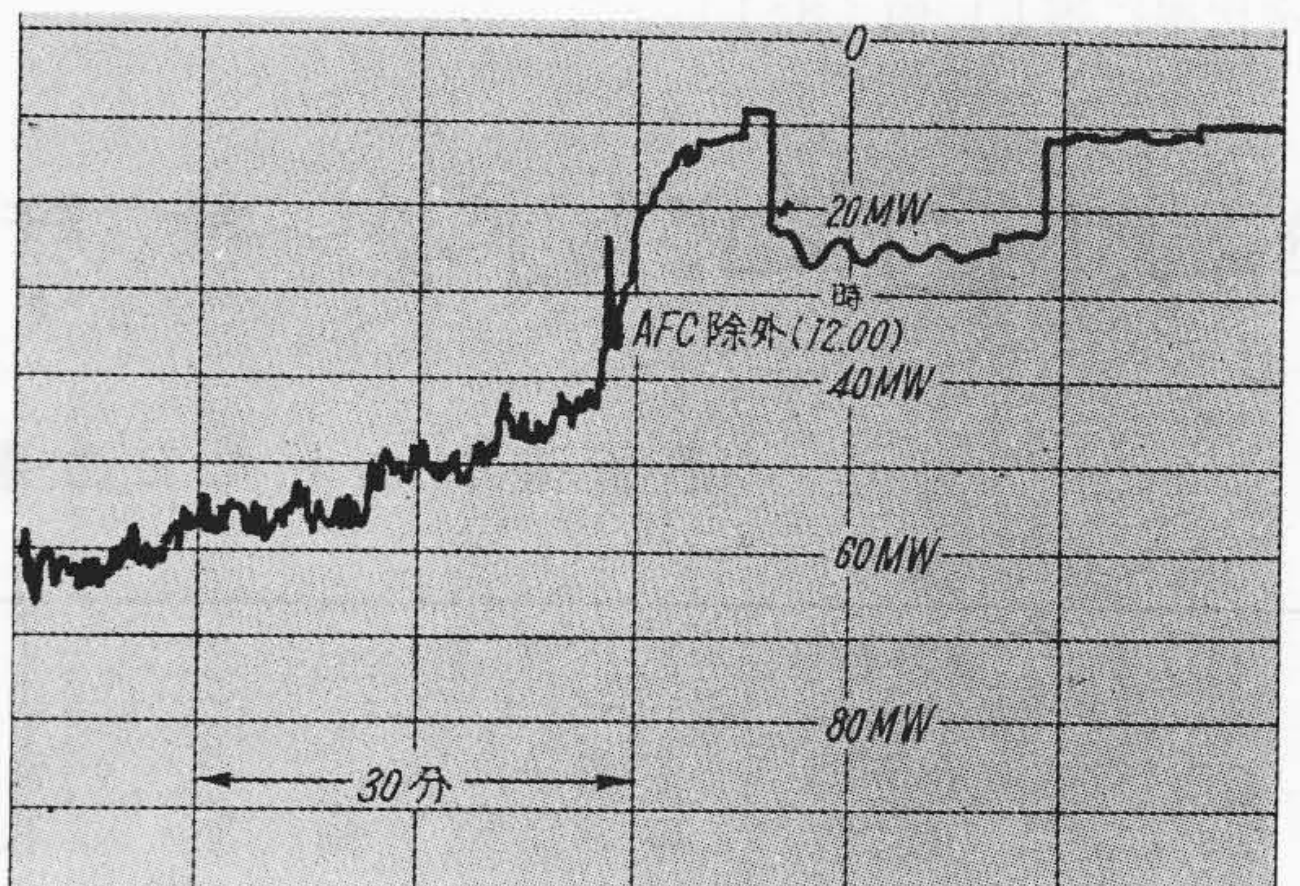
4.4 FTC 比例制御

4.4.1 平常運転試験

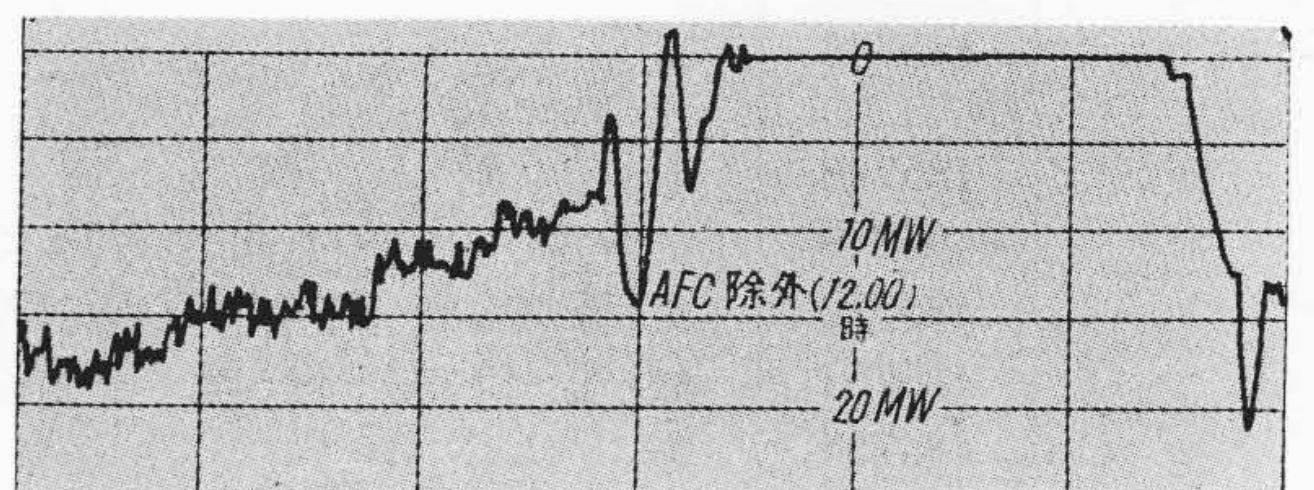
神通川第1, 第2発電所の負荷分担比率を種々変化させて平常運転記録をとったが, 融通電力変動は整定値を中心にして $\pm 4\text{MW}$ 以内におさまる(目盛全幅 200 MW) 負荷分担も整定比率どおりとなることを確かめた。第14図はこの記録の一例である。



神通川第1発電所2台, 神通川第2発電所1台
比例整定 2:1 (比例配分目盛 66.7)
神通川第1発電所電力整定 58 MW
神通川第2発電所電力整定 16 MW

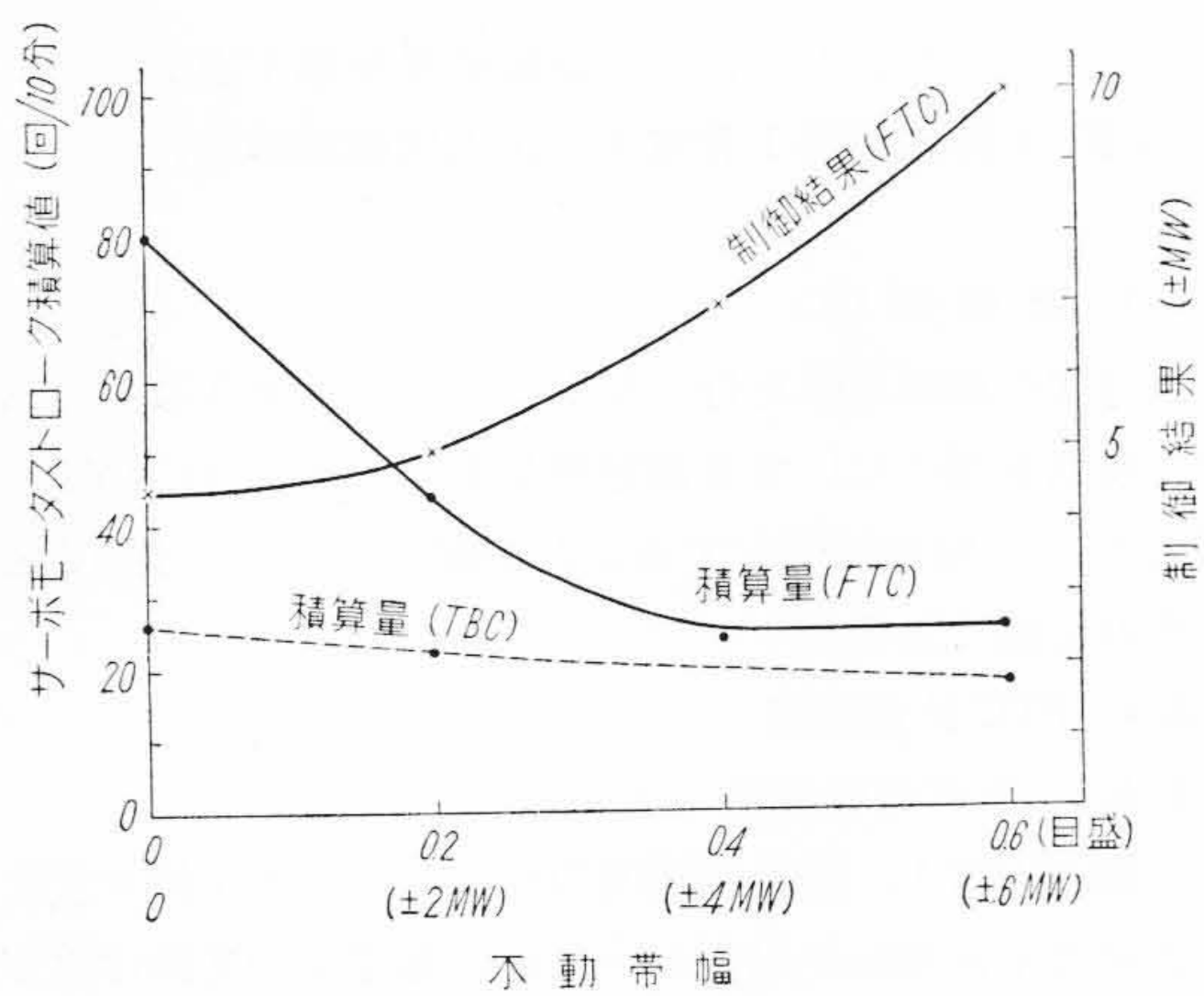


神通川第1発電所発電量



神通川第2発電所発電量

第14図 FTC 比例制御平常運転記録の一例



第15図 不動帯幅と制御結果との関係

4.4.2 発電力急変試験

FTC 比例制御中自系統内で発電力を急変させたところ（神通川第2発電所 15 MW，真川発電所 20 MW をトリップ）融通電力はいずれも 15～40 秒で規定値に回復し，両発電所の負荷分担もほぼ整定比率どおりとなった。

4.5 TBC 比例制御

TBC は発電力急変試験のみを行った。神通川第1，第2発電所の負荷分担比率を 9:1 として自系統真川発電所 20 MW をトリップさせたところ約 30 秒で周波数，融通電力がいずれも規定値に回復した（この結果より関西電力系では FFC またはこれと同等の調整を行っていたものと思われる）。また両発電所の負荷分担もほぼ整定比率に等しい値（8:1）となった。

4.6 不動帯幅と AFC 制御結果の関係

不動帯調整器の不動帯整定幅を種々変化させて FTC 制御結果，発電所応動量および TBC 時の発電所応動量の変化を調べた。第15図はこの結果を示し FTC 時 ±2MW の不動帯を与えると制御結果をほとんど悪化させることなく発電所応動量を半減しうるということがわかる。

4.7 制御転移時に発生する擾乱

TBC 水位制御中手動で比例制御へ切り換えたところ神通川第2発電所出力にはほとんど擾乱が現われず，神通川第1発電所には振幅約 3 MW の過渡振動 1 サイクルが現われたのち新しい制御に入った。また TBC 比例制御より分離制御へ切り換えたところ両発電所とも擾乱が現われず実用上問題とならないことがわかった。

5. 結 言

わが国の AFC も一発電所の直接制御からマイクロその他の伝送回線を介して中央より比例制御を行う段階にまで発展してきたが，今回さらに複雑な水系制御と組合わせた新しい装置が完成したことは水力発電に重きを置く実状にかんがみ，その意義はきわめて大きい。この装置は近き将来，常願寺川有峯一帯の水力発電所群に対する経済配分制御と組み合わせて一段と高度化した制御に運用されることになっており大きな期待がかけられている。かく筆にあたり本装置完成までに種々御指導ならびに御協力をいただいた関係者各位に厚く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 木本ほか四名：日立評論 39, 317 (昭 32-3)
- (2) 静間ほか二名：日立評論 40, 922 (昭 33-8)

特 許 と 新 案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案 (その5)

(第41頁より続く)

区 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	485713	密閉リミットスイッチ軸受潤滑装置	多賀工場	河村三郎	33.12. 9
"	485737	分割刷子	多賀工場	高橋治男	"
"	485740	気化器	多賀工場	森通次清	"
"	485746	刷子保持器	多賀工場	佐藤昌平	"
"	485748	電動機固定子	多賀工場	安高橋喜美雄	"
"	485749	ネジ型ホイスト用マグネットブレーキ	多賀工場	御代田安旦	"
"	485750	誘導型継電器の限時調整装置	多賀工場	横内直中	"
"	485751	継電器動作表示器復帰装置	多賀工場	小島義男	"
"	485754	リミットスイッチ	多賀工場	小島義男	"
実用新案	485755	継電器の補助接触器	多賀工場	河村三郎	33.12. 9

(第84頁へ続く)