

中国電力における中央制御 AFC
Centralized Automatic Load Frequency Control for the System
of the Chugoku Electric Power Co. Inc.

木村三郎* 大月清一* 網本歳典*
Saburō Kimura Seiichi Ōtsuki Toshisuke Amimoto
小林栄二** 静間敏男*** 小沢重樹****
Eiji Kobayashi Toshio Shizuma Shigeki Ozawa

内容梗概

わが国ではじめて AFC を実施した当時は直接制御式のものであったが、急速な技術的進歩によって、現在では数箇所の発電所を中央制御する段階にまで発展した。

中国電力では他社にさきがけすでに 4 発電所の中央比例制御を実施しているが、半年余の営業実績は下記のとおり良好である。

- (1) FFC では周波数変動は整定値 ± 0.05 c/s
- (2) FTC では融通電力変動は整定値 ± 7 MW
- (3) TBC では周波数変動は整定値 ± 0.1 c/s、融通電力変動は整定値 ± 0.7 MW (併列された関西系または九州系では FFC を実施)
- (4) 比例制御中の負荷分担はほぼ整定比率どおりとなっており、関西、中国、九州の全系を併列した場合でも上記制御は安定に行われている。

1. 緒言

わが国ではじめて AFC を実施した当時は検出部を発電所に設置して、直接その操作部を制御するものであったが、最近遠方制御用搬送技術の進歩にともない、十分な調整容量を確保するため、数箇所の発電所を中央より協調制御する方式が採用されるようになった。

中国電力では、はやくより AFC 中央制御の計画をたて第 1 表のような過程を経て昭和 33 年 9 月わが国ではじめて中央比例制御による営業運転を開始した。

この装置は中国電力と日立製作所の緊密な協力と数多くの現地試験にもとづいて完成されたもので、すでに数箇月余の良好な運転実績をおさめたので、ここに全装置を総括して主要な内容と性能の概要を紹介し大方の参考に資せんとするものである。

2. 制御の種類

本装置は中国系統の周波数または他系統 (関西系、九州系将来は四国系) との連絡線負荷を自動調整するもので、4 箇所 (将来は 5 箇所) の調整発電所 (第 2 表参照) を任意の基準出力を中心として所望の比率で負荷分担させながら行うことができる。制御の種類は大別して下記のとおりである。

2.1 AFC 比例制御

潮、神野瀬、柴木川第 1、滝山川発電所の負荷分担比

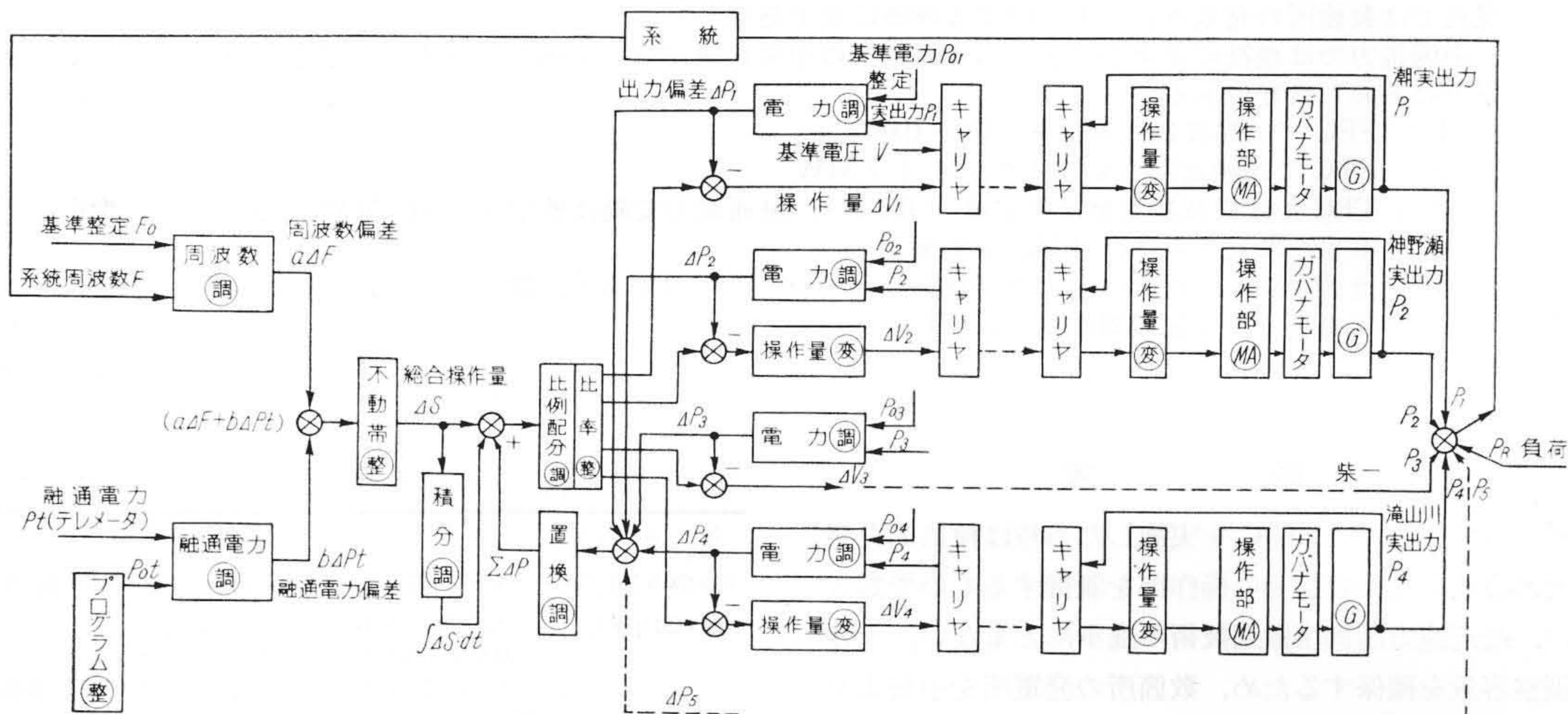
* 中国電力株式会社
** 日立製作所日立研究所
*** 日立製作所国分工場
**** 日立製作所多賀工場

第 1 表 中国電力 AFC 計画進捗経過表

年 月 日	項 目
昭和30年1月,7月	AFC (FFC, FTC, TBC) 現地予備試験 ⁽¹⁾
昭和31年 8 月	AFC 検出部盤 潮発電所操作部キュービクル } 完成 ⁽²⁾ 上記装置を潮発電所に設置して FFC 営業運転を開始
昭和32年10月	中央給電指令所—潮発電所間遠方制御用搬送装置 (2 周波方式) 完成 ⁽³⁾ 検出部盤を潮発電所に置いたまま FFC, FTC, TBC の営業運転を開始 一方遠方制御回線の雑音長期記録をとり始める
昭和32年12月	中央給電指令所—神野瀬発電所間遠方制御用搬送装置 (1 周波方式) および神野瀬発電所操作部キュービクル完成 遠方制御回線の雑音長期記録をとり始める
昭和33年 2 月	AFC 検出部盤を潮発電所より中央給電指令所へ移設 中央給電指令所—柴木川第一発電所間遠方制御用搬送装置および柴木川第一発電所操作部装置 (東芝製) 完成 潮、神野瀬、柴木川第 1 発電所の遠方制御による AFC 営業運転開始
昭和33年 6 月	60c/s 系の 4 社 (北陸、関西、中国、九州) 並列し自動制御装置による系統試験を行った。中国は関西融通電力を制御したが、その結果は良好であった
昭和33年 8 月	AFC 比例配分盤および同用制御機完成 (中央給電指令所に設置) 潮、神野瀬発電所の遠方比例制御による AFC 営業運転開始
昭和33年 9 月	関西、九州融通電力の切換えおよび総合ができるよう変換装置を設置した。この結果、3 社並列 (関西、中国、九州) の場合でも、中国電力の装置で自系統内の負荷変動分だけを制御することができるようになった (この場合、融通電力の代数和を利用する)。
昭和33年12月	中央給電指令所—滝山川発電所間遠方制御用搬送装置 (1 周波方式) および滝山川発電所操作部キュービクル完成
昭和34年 6 月現在	潮、神野瀬、柴木川第 1、滝山川 4 発電所の遠方比例制御による AFC 営業運転を実施中

第2表 AFC調整発電所設備概要

発電所名	水系	形式	使用水量		出力		有効落差		調整池		水車		発電機	
			最大 (m³/s)	常時 (m³/s)	最大 (kW)	常時 (kW)	最大 (m)	常時 (m)	有効貯水量 (10³m³)	利用水深 (m)	容量 (kW)	台数	容量 (kVA)	
潮	神戸川水系	堰堤水路式	15.0	4.71	36,000	10,400	278.12	268.04	21,180	25	フランスス 20,500	2	20,000	2
神野瀬	江川水系	堰堤水路式	20.0	6.8	20,000	6,180	121.58	111.83	35,829	33.2	フランスス 12,500	2	12,000	2
滝山川	大田川水系	堰堤水路式	19.0	7.9	51,500	16,400	314.40	294.45	26,100	30.5	フランスス 52,000	1	58,000	1
柴木川第一	滝山川および 大田川水系	堰堤水路式	7.0	2.44	24,000	7,900	403.8	401.3	17,500	15	ペルトン 26,600	1	27,000	1



注：略号説明

- 調整器

変換器
- 整定器

発電機

第1図 AFC 比例制御説明図

$\Delta P_1 : \Delta P_2 : \Delta P_3 : \Delta P_4$ を整定比率 $K_1 : K_2 : K_3 : K_4$ ($K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = 1$) に保ちながら AFC を行うものである (ただし $\Delta P_1, \Delta P_2, \dots$ は各発電所基準出力よりの実出力の偏差を示す)。

ここでいう AFC とは次の3種を総称したものである。

- (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)
- (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)

中国電力は関西、九州の2系統にはさまれ、これらの両方またはいずれか一方と連繫して運転されるため制御対象となる融通電力にはつぎの3種がある。切換えによりそのいずれをも制御することができる。

- (1) 関西との融通電力
- (2) 九州との融通電力
- (3) 関西融通、九州融通の代数和

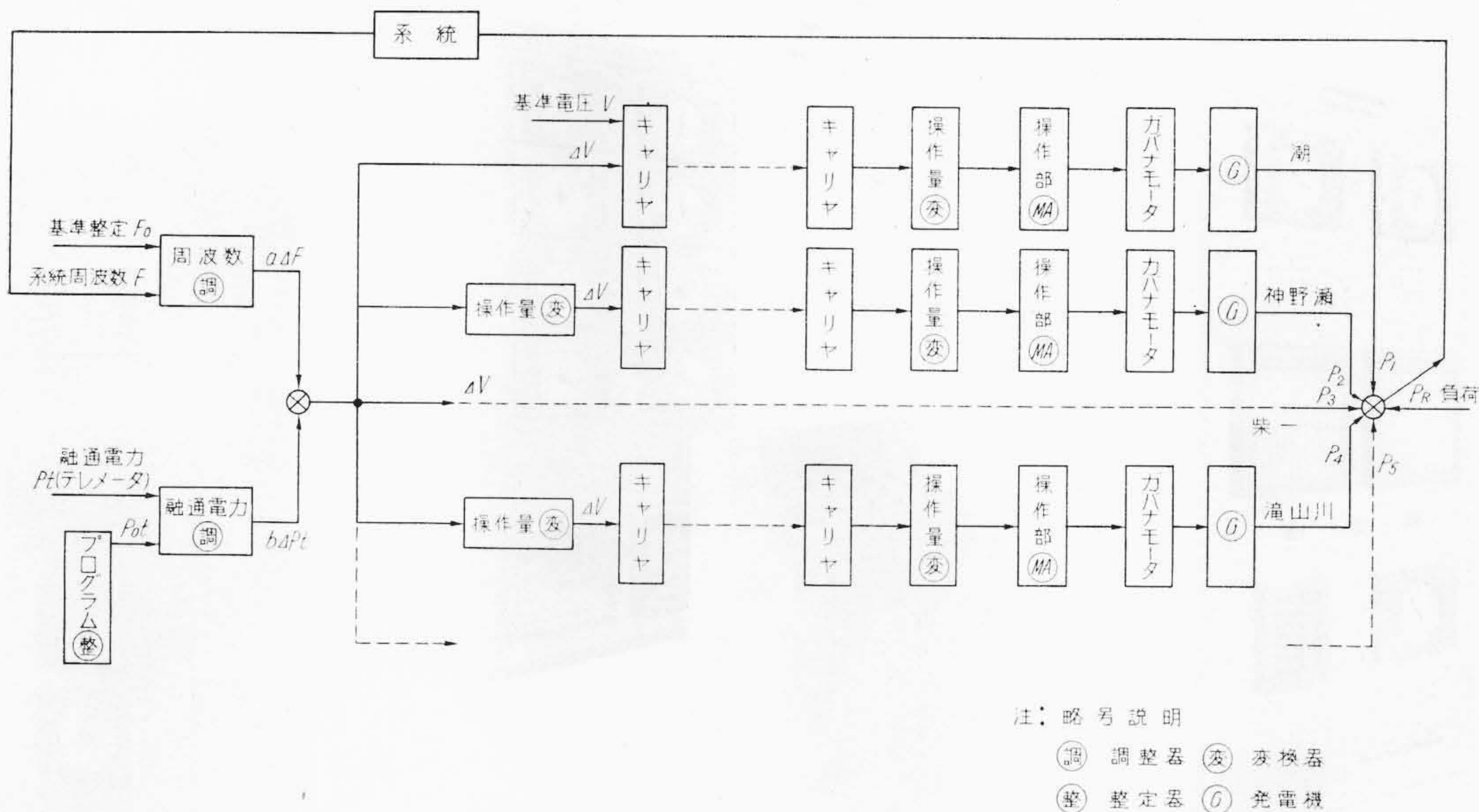
第1図は本制御の説明図である。

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_i は適当な比率で合成され、不動帯を与えたのち、比率整定器で整定した比率に分割し、各発電所へ送られる。各発電所の出力はテレメータで中央へ送り返され、各基準出力値と比較して偏差 $\Delta P_1, \Delta P_2, \Delta P_3, \Delta P_4$ が求められる。これらが所望の比率になっているか否かをチェックするため $\sum_{i=1}^4 \Delta P_i$ を置換調整器で求め、これを整定比率 (K_i) に分割して、 $K_i \cdot \sum \Delta P_i$ と ΔP_i を比較し、この差をなくする補正操作量が作られる。この比率補正信号は上記の被制御量偏差信号とともに発電所へ送られ、所望の制御を行うことができる。置換調整器には数種の予備ギャが準備され、時定数を変えうるようになっている。これにより総合制御速度を大幅に変化させることができる。

2.2 AFC 分離制御

比例制御のように各発電所負荷分担の協調をとることなく AFC を行うもので第2図はこの説明図である。万一調整器の故障で比例制御ができなくなっても検出器が健全であれば本制御によって AFC を継続することがで



第2図 AFC 分離制御説明図

きる。

2.3 その他

2.3.1 定出力制御

比例制御の特別な場合として負荷分担比率を零にすると、その発電所を電力調整器で整定した値に一致した出力で運転させることができる。

2.3.2 時差補正運転

系統周波数で駆動される電気時計の時差をなくするため、系統周波数と標準周波数の差を時間積分し、これに比例した操作量を作って時差補正を行いながら AFC 運転を続けることができる。

2.3.3 融通電力のプログラム制御

プログラム整定器によって 24 時間分の希望値を 1 時間刻みに整定すれば、自動的に融通電力のプログラム制御を行うことができる。

2.4 異常事態発生時の自動操作

2.4.1 発電所負荷リミット

AFC 制御中発電所出力が上(下)限に達すると、発電所側装置の上げ(下げ)操作回路だけが自動的に開路され、それ以上出力が増加(減少)しないようになっている。

2.4.2 調整池水位リミット

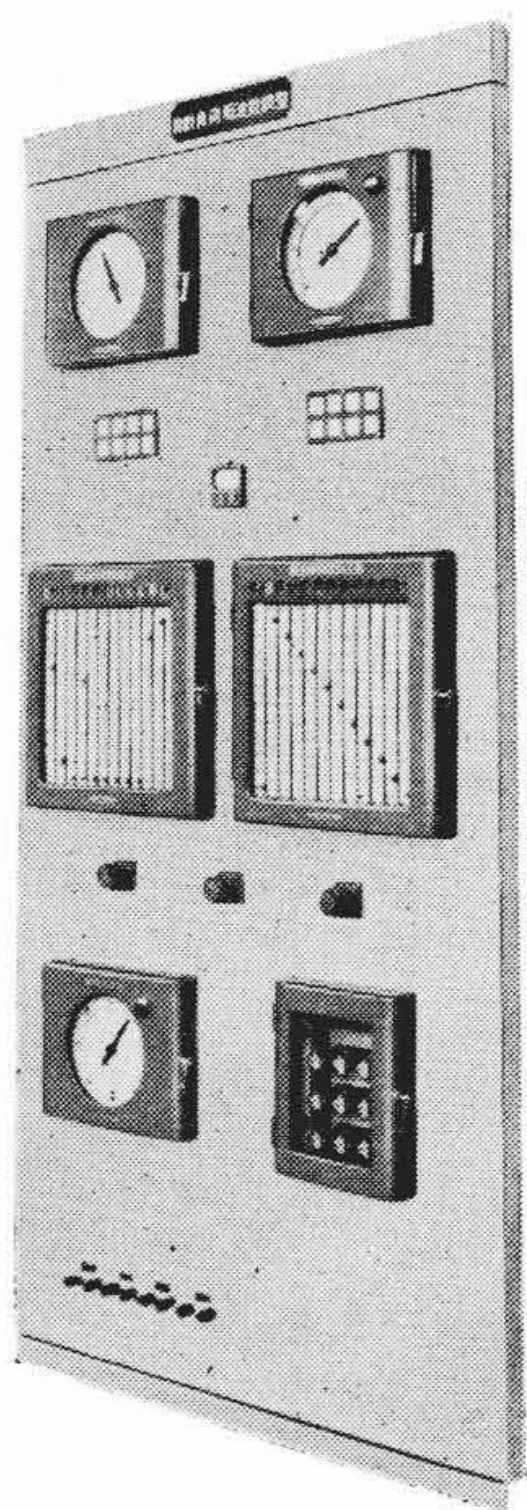
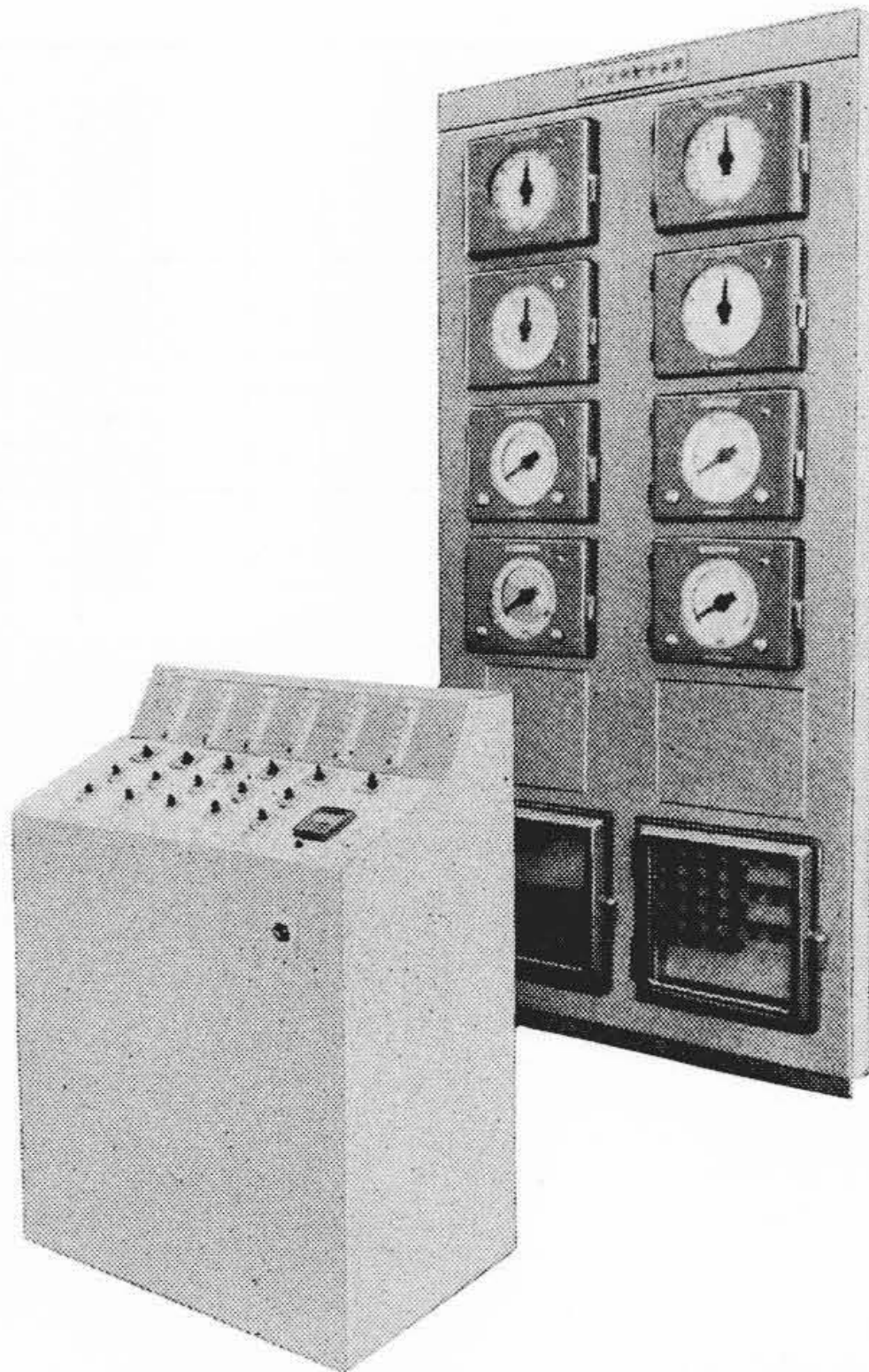
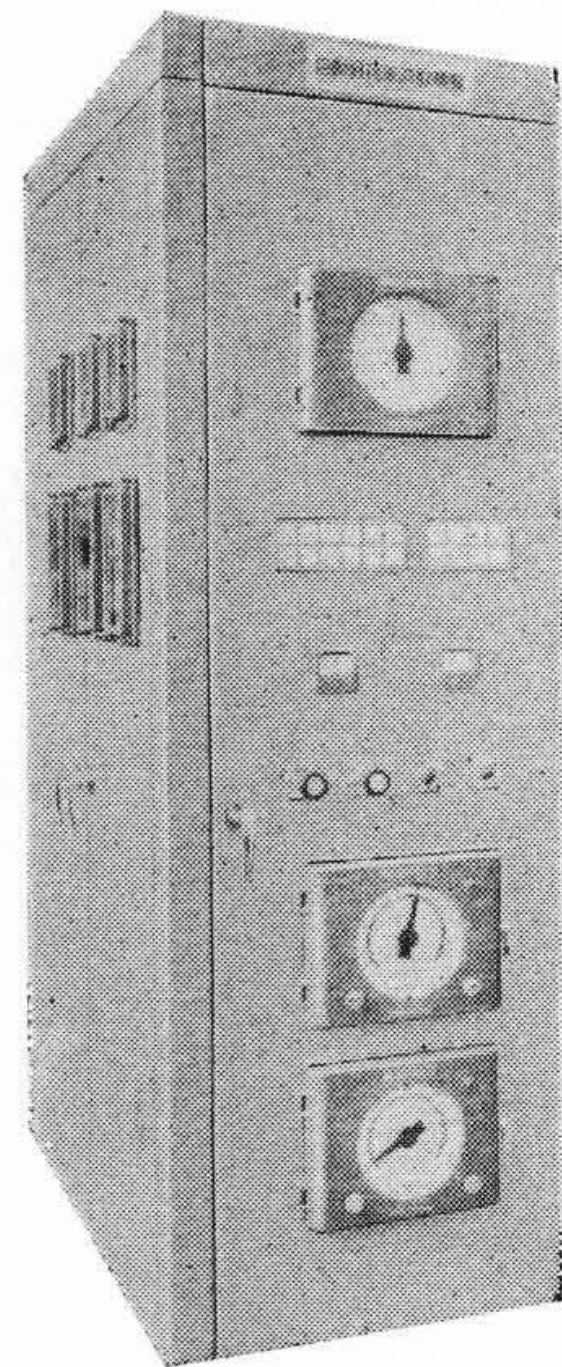
調整池水位がリミットにかかれば、発電所側装置の操作回路が自動的に開路され、その発電所の AFC 操作が停止される。

2.4.3 発電所故障

複数個の発電所で比例制御を行っているとき、どれ

第3表 中央給電指令所設置調整器の概要

名 称	員数	機 能
周波数調整器	1	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。
電力プログラム整定器	2	連絡線の融通電力をプログラム制御するためのもので 24 時間分の計画電力値を 1 時間刻みに整定するもの。本器は午前、午後別の箱にわかれている。
電力整定器	1	電力プログラム整定器に整定された電力値を時刻の経過にしたがって、順次指示し、これをその時刻の制御に使用するものである。
融通電力調整器	1	連絡線融通電力のテレメータを受けてこれを指示するとともに、電力整定器と組合わせて連絡線融通電力偏差に応じた信号を発生する。
不動帯整定器	1	周波数偏差および融通電力偏差の合成された信号を受けて、これを指示し可調整の不動帯をもった出力に変換する。この不動帯により発電所機器の無用な損耗をさけることができる。
時差補正装置	1	系統周波数で駆動される電気時計と標準時計との時刻差を検出し、この時差を補正する信号を発生する。
積分調整器	1	不動帯整定器の出力を受けてこの積分値に相当した電圧を出力として出すものである。本器を挿入することにより比例制御中に脱落発電所ができたときなどに生ずる定常的誤差を吸収して、被制御量の偏差を零にすることができる。
置換調整器	1	基準負荷整定値と実出力との差を入力とし、これに比例した出力を比例配分調整器の入力側に正帰還して比率配分を正確に行うものである。本器の出力は大きなレスポンスを持たせてあり系全体の制御速度 (MW/S) を調整することができる。
比例配分調整器	1	総合操作信号 (不動帯整定器、積分調整器、置換調整器の出力の和) を指示するとともにこれに比例した電圧を正確に比率整定器に与えるものである。
比率整定器	5	比率整定器は比例配分調整器出力の総合操作信号を各調整発電所向に任意の比率で抵抗分圧するものである。
電力調整器 電力整定器	4 5	各発電所出力のテレメータを受けてこれを指示し、基準負荷整定値との偏差を取出し、比率整定器、置換調整器と組合せて各調整発電所の出力偏差を整定比率で運転させるものである。
送量操作量変換器	2	発電所向け操作信号の大きさを指示するとともに操作信号 ΔV を搬送装置に与えるものである。

第3図 中央給電指令所
設置検出部盤第4図 中央給電指令所設置比例
配分盤および制御機第5図 滝山川発電所設置操
作部キュービクル第4表 発電所設置操作キュービクル
に取付けられる調整器の概要

潮 発 電 所			
名 称		員数	機 能
受量操作量 変換器		1	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。
誘導電圧 調整器 (電力変換器 に相当)		2	サーボモータリターンロッドのストロークをギヤ機構を用いて回転子の回転角度、したがって二次電圧に変換して発電機出力相当の電圧をうるもので、この電圧を用いて乱調防止負荷平衡作用を行うことができる。
神野瀬発電所、滝山川発電所			
受量操作量 交 換 器		1	搬送装置で再現された操作量 ΔV を受けて指示するとともに、これを直流操作量に変換して磁気増幅器に印加する。
電力変換器 神野瀬 滝山川		2 1	発電機の出力を指示するとともに上下限界を整定する。
水位制限器 神野瀬 滝山川		1 1	直送式テレメータを受けて調整池水位を指示するとともに上下限界を整定する。

かの発電所が故障またはリミットにかかって調整機能を失っても、ほかの健全な発電所で円滑に負荷分担を再配分して被制御量を規定値に維持することができる。

3. 装置の構成

3.1 中央給電指令所装置

直立盤2(検出部盤, 比例配分盤), 制御機1よりなり, 第3表の各種調整器が組込まれている。第3, 4図はこれらの外観を示す。

3.2 発電所側装置

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を受けてこれに応じた直流電圧を作り, 磁気増幅器で増幅したのち, ガバナモータを制御する。磁気増幅器には微分要素, 乱調防止および各機間の負荷平衡要素などが付加され, 初段にはとくに小勢力形を用いてドリフト防止に万全の考慮を払っている。

操作キュービクルに取付ける各種調整器の概要は第4表に示すとおりで, 第5図は滝山川発電所操作部キュービクルを示す。なお柴木川第1発電所のみは東芝 AFC 装置となっている。

3.3 搬送装置(中央給電指令所, 発電所設置)

AFC のために中央給電指令所と各調整発電所間で送受される伝送量は第6図のとおりで, 操作信号の伝送は潮発電所向けは2周波方式, 神野瀬, 滝山川発電所向けは1周波方式, 柴木川第1発電所向けは東芝 AFC 方式となっている。2周波方式は被制御量偏差をこれに比例した交流電圧 ΔV に変換し, これを極性判別用基準電圧 V とともに FM 方式で送って, 受量側2相モータを $\Delta V, V$ に応じた位置で自動平衡させるものである⁽³⁾。また1周波方式は被制御量偏差を衝流周波数に変換し, FS 方式で伝送したのち, 受量側2相モータを信号に応じた位置に自動平衡させる。衝流周波数のチェックには送受量側で共通にとれる系統周波数を用いているので原理上ドリフトはでない。

4. 試験結果

各段階を追って数多く行われた試験結果を総合すると下記のとおりである。

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

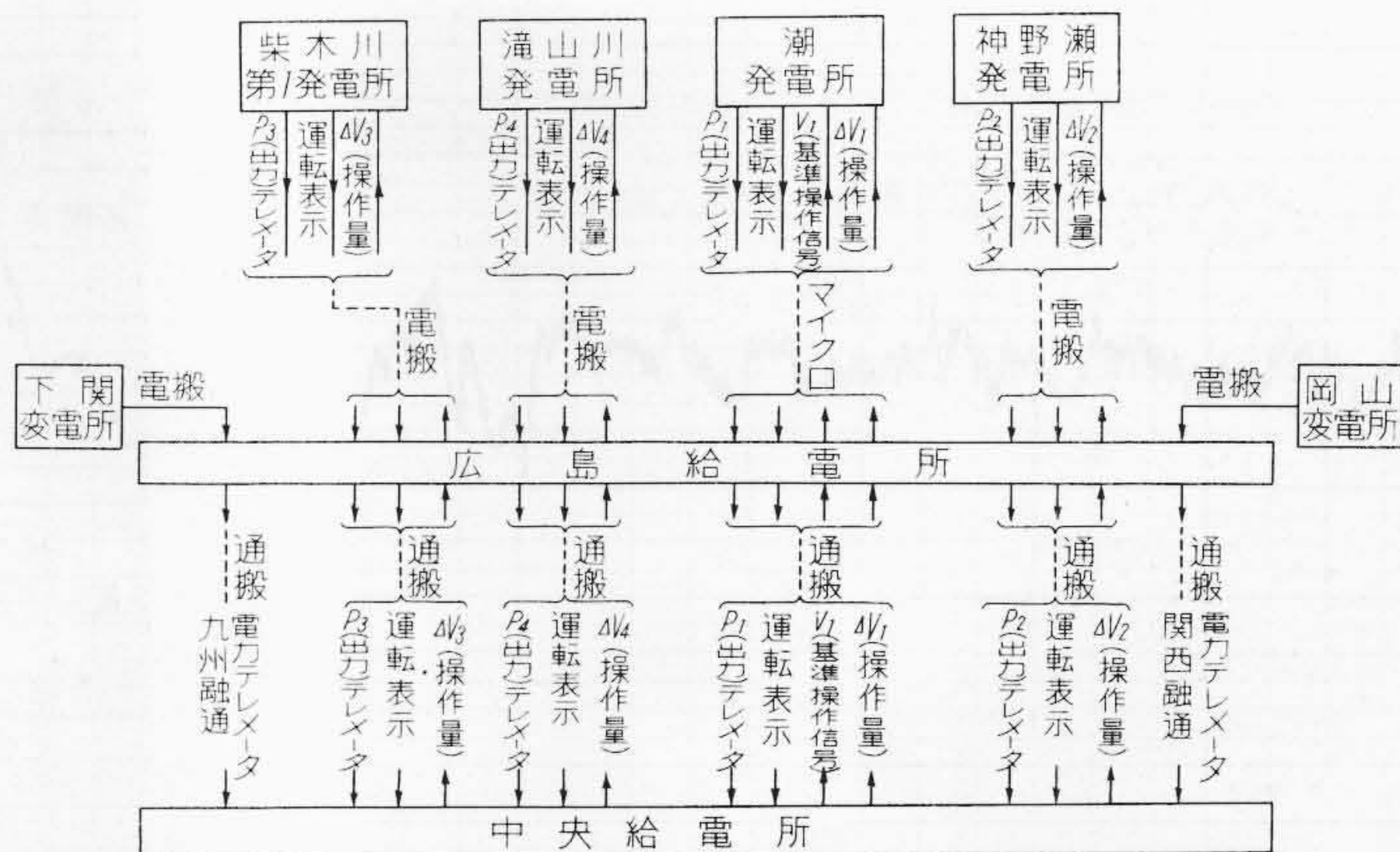
各発電所向制御回線の平常 S/N は潮回線 40 dB, 神野瀬, 滝山川回線は 30 dB あり, この状態で送受量操作量の対応を測った結果, 周波数偏差 $\Delta F = \pm 0.5 \text{ c/s}$, 融通電力偏差 $\Delta P_t = \pm 50 \text{ MW}$ の範囲ではほぼ直線的となっている。

4.1.2 雑音特性

中央給電指令所より送る制御信号 (ΔV) の大きさをいろいろの値に固定し, 回線の S/N を人為的に低下させて受量操作量変換器の指示変動を調べた。その結果 2 周波方式は S/N=15 dB, 1 周波方式は S/N=12 dB 以上あれば伝送特性に誤差の生じないことがわかった。また送側信号 $\Delta V=0$ とし, 受側に記録計を取りつけて長期雑音記録 (約 1 箇月) をとったところ, 両方式とも雑音の影響を受けないことがわかった。

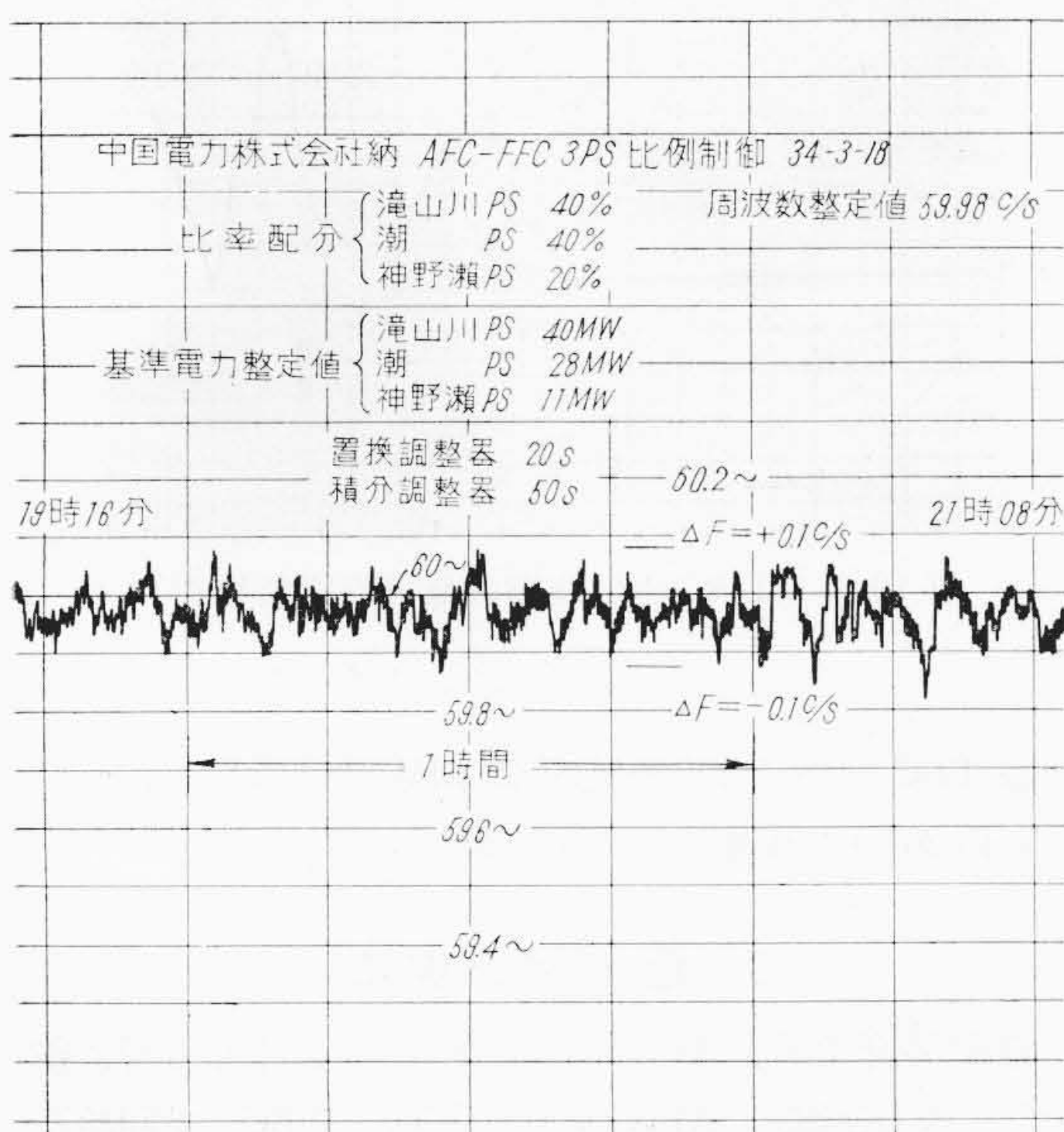
4.1.3 異常雑音にたいする特性⁽³⁾

中央給電指令所—潮発電所制御回線につき $\Delta V=0$ の状態で, マイクロ波端局装置の切換え, 同期はずれ時の異常雑音にたいする動きを調べた。マイクロ波端局切換え時間は 8 秒~1 分 30 秒で, このときの雑音で受

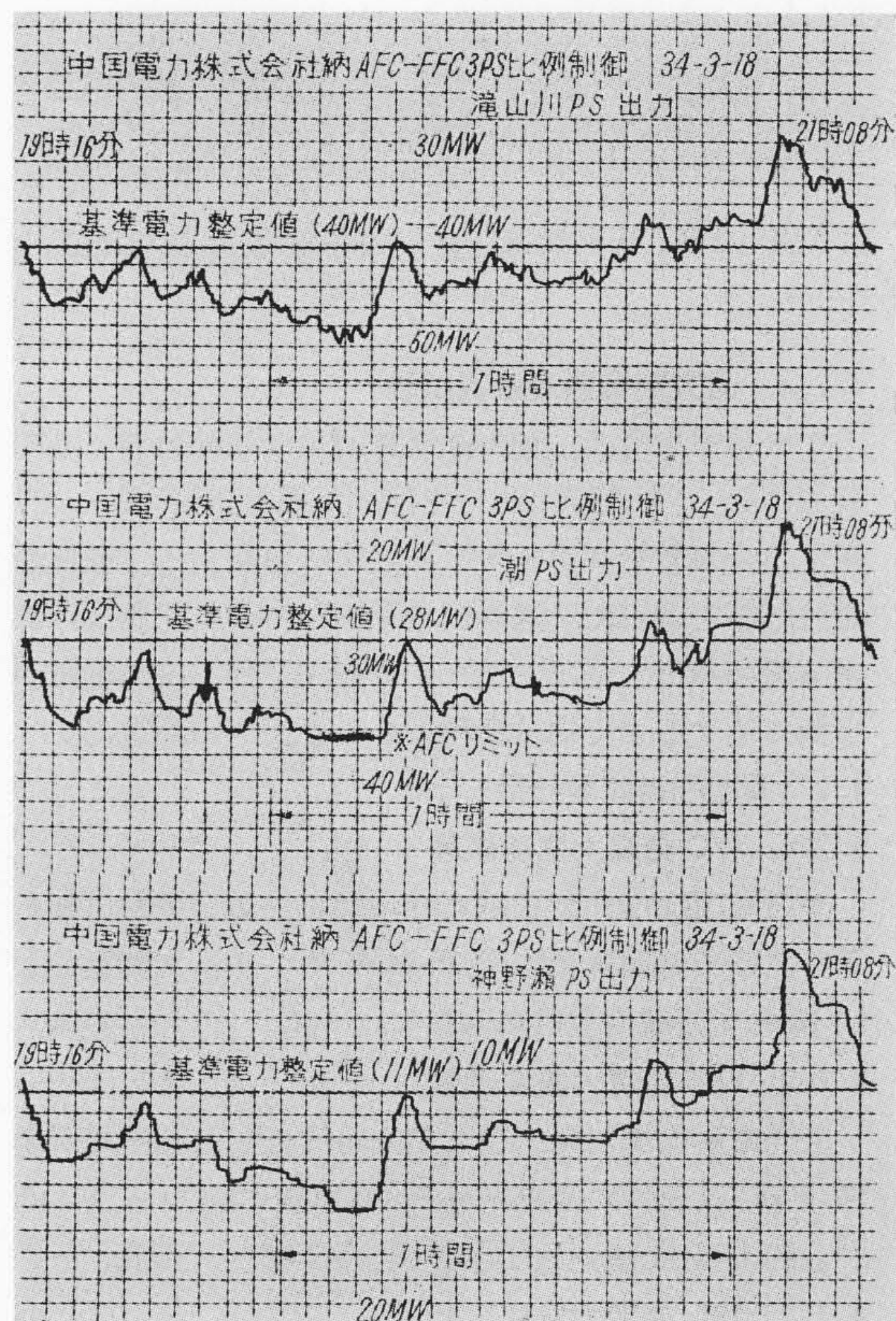


第6図 AFC用伝送量説明図

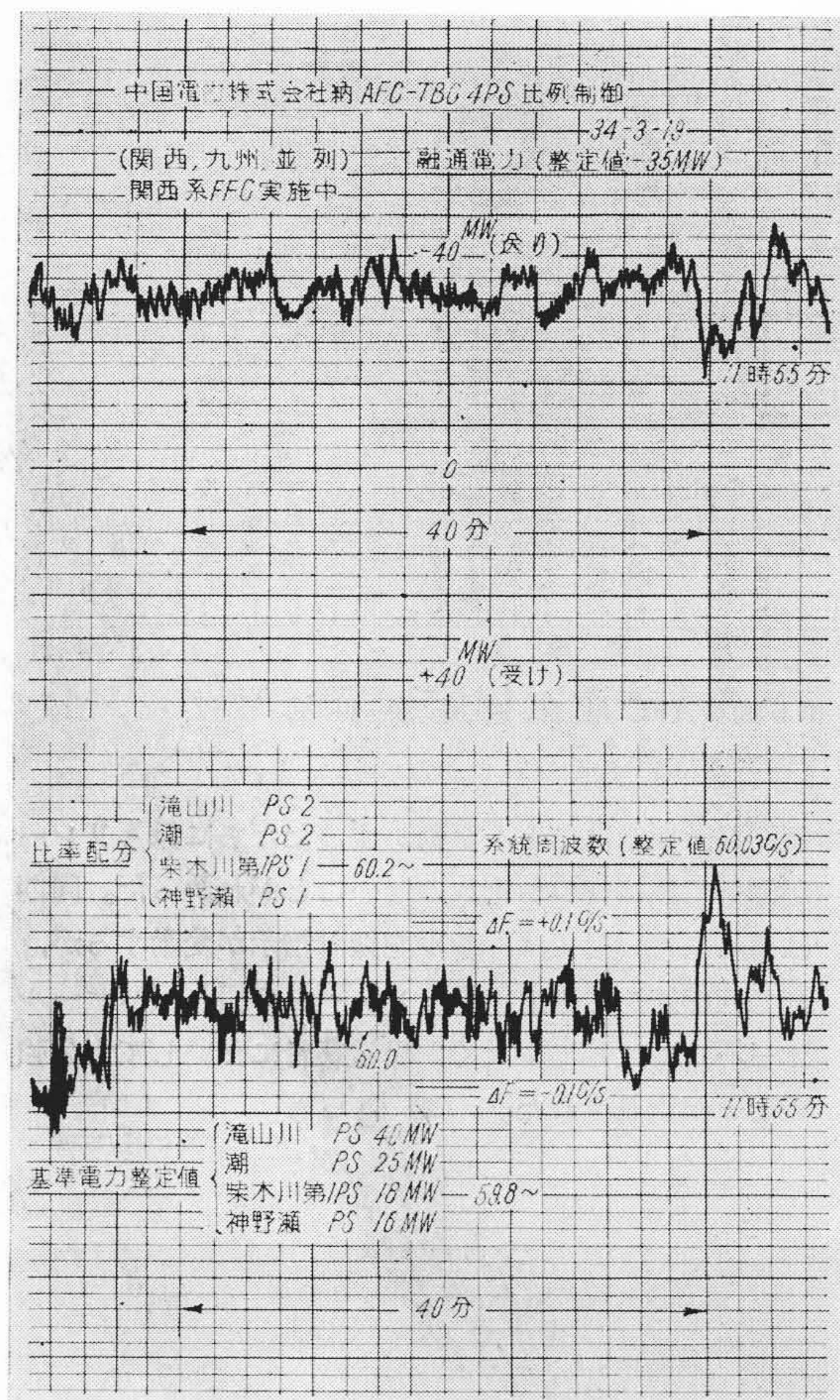
側記録計指示はほとんど動かず, ただちに保護リレーが働いて誤操作のおそれのないことがわかった。同期はずれにたいしては, 多少記録計指示が変動するが, 同じ回線にある融通電力テレメータの振れ (スケールオーバ) に比して少なく, 異常雑音にたいして十分強いことが立証された。



第7図 FFC 比例制御記録 (系統周波数)



第8図 FFC 比例制御記録 (発電所出力)



第9図 TBC 比例制御記録 (融通電力, 系統周波数)

4.1.4 遠方制御過渡応答試験

中央給電指令所—神野瀬発電所制御回線装置 (端局装置は除く) を直接つないで行った工場試験において、送り信号 ΔV を 0 からステップ状に急変して、各部の過渡応答を調べた。送り信号を加えてから受側操作部磁気増幅器出力電圧立上りまで約 0.7 秒、出力電圧が平衡に達するまで約 1.2 秒かかることがわかった。

4.2 系統制御試験結果

4.2.1 FFC 発電電力急変試験

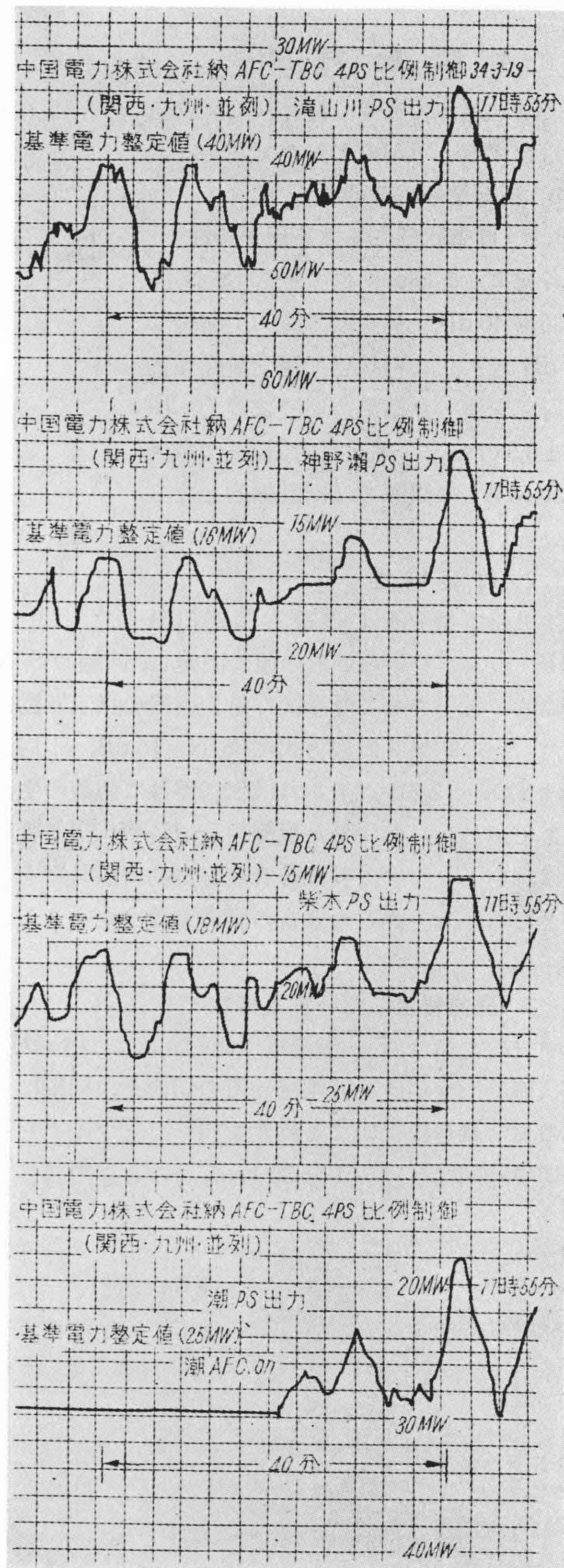
潮発電所操作部装置納入時に行った潮発電所単独 FFC 試験では明塚発電所 15 MW のトリップにたいし約 10 秒で系統周波数が回復した⁽²⁾。

4.2.2 FTC 発電電力急変試験

潮発電所制御用搬送装置納入時に行った潮発電所単独 FTC 試験では湯原発電所 20 MW のトリップにたいし約 15 秒で融通電力が規定値に回復した⁽¹³⁾。

4.2.3 TBC 発電電力急変試験

潮発電所制御用搬送装置納入時に行った潮発電所単



第10図 TBC 比例制御記録 (発電所出力)

独 TBC 試験では自系統内 20 MW のトリップにたいし約 20 秒で融通電力が規定値に回復した⁽³⁾。

5. 営業運転実績

昭和33年2月、AFC 検出部盤を中央給電指令所に移設して遠方制御の AFC (FFC, FTC, TBC) を開始した。比例配分盤未完のため3発電所 (潮, 神野瀬, 柴木

川第1)を水の状況に応じて切換制御したが、昭和33年8月、比例配分盤が完成し、本格的な比例制御にはいった。現在にいたるまで連日運転を続けているが制御結果は良好である。過去1年余の記録を通じて、FFCでは周波数偏差(ΔF)を ± 0.1 c/s以内、FTCでは融通電力偏差(ΔP_i)を ± 7 MW以内、TBCでは ΔF を ± 0.1 c/s、 ΔP_i を ± 7 MW以内に収めている。

第7,8図は発電所(滝山川, 潮, 神野瀬)によるFFC比例制御の一例で、 ΔF は ± 0.1 c/s以内に入り、各発電所の負荷分担も整定比率どおりとなっている。

第9,10図は3社並列(九州—中国—関西)の状態で4発電所(滝山川, 神野瀬, 柴木川第1, 潮)によるTBC比例制御(関西系でFFCを実施)を行った記録の一例である。 ΔF は ± 0.1 c/s、 ΔP_i は ± 7 MW以内に収まり、各発電所の負荷分担も比例的に行われている。

昭和34年に入ってから広域運営が実施され、中国系は関西系または九州系と常時連撃してもっぱらTBCを行うようになった(関西系または九州系ではFFCを実施)。2社並列では、関西、九州いずれの場合も、テレメータを切換えそれぞれの融通電力を制御する。3社並列は送

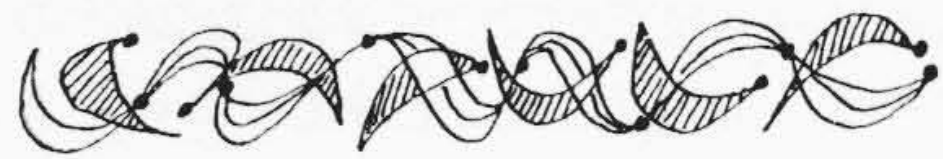
電容量の面より現在に行っていないが、実施する場合は中国系に出入する二つの融通電力の和(代数和)をとり、これを所望値に合わせるようTBCを行う。この方式により、3社並列の場合でも自系統の負荷変動分のみを制御することができる。

6. 結 言

わが国のAFCが単独制御から中央比例制御の実用段階にはいったことは系統運営の自動化に明るい見透しを与えたものである。最近電気ガバナ, AFC, 経済配分制御の総合的協調が論議されているが、今後ますますこの種の自動計算制御が高度化し中央制御の重要性も増してくるので、本装置で得られた実績は広い範囲で活用されることとなろう。最後に本装置の完成まで長期にわたる御指導と御協力をいただいた関係者各位に厚くお礼を申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 村田, 川井, 小林: 日立評論 38, 1011(昭31-8)
- (2) 木本, 大月他3名: 日立評論 39, 317(昭32-3)
- (3) 静間ほか2名: 日立評論 40, 922(昭33-8)



新 案 の 紹 介



実用新案第475925号

河 井 陽 一

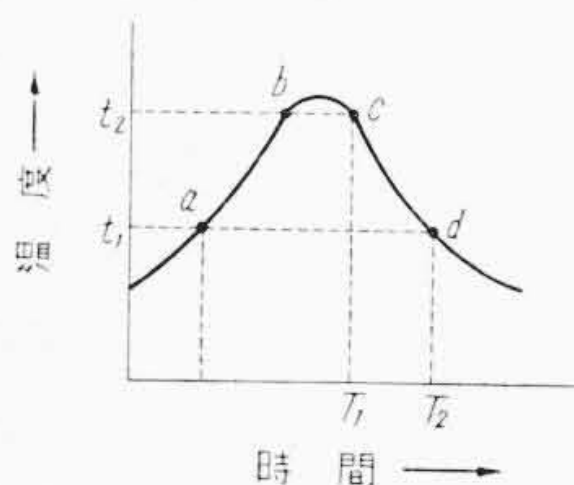
制 御 開 閉 装 置

ある装置が時間に対して第1図に示すような温度変化をなす場合に、温度下降時のC点においてある添加剤を加えると同時に警報または標示を行い、d点において停止するような操作をしたい場合には、温度上昇過程におけるa, b点においては動作しないようにしなければならない。本案はこのような用途に好適な制御開閉装置であって、1は温度計の軸、2および3は1に取り付けられたカム板で、凹部4および5を設けてある。S₁およびS₂はカム板によって開閉されるスイッチであって、直列に標示回路Lに接続されている。6および7は作動子であって、カム板が右方向に回りコロが凹部4に落ち込むと作動子7は直立し、凹部を脱した後もこの姿勢をつづけ、スイッチを閉じるものである。

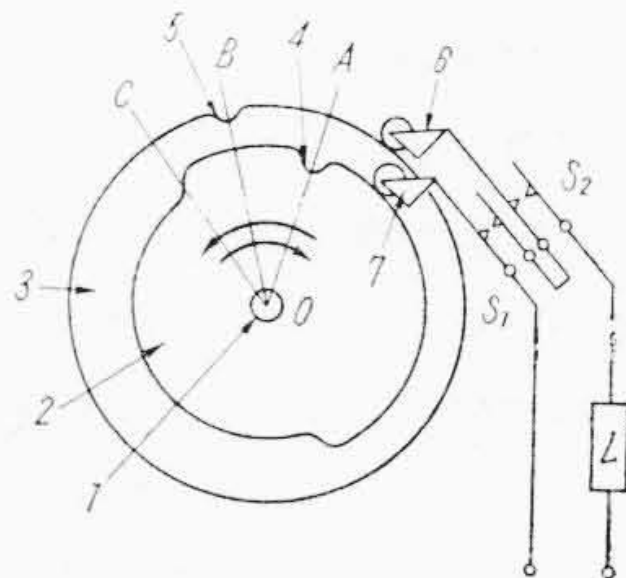
いまカム板2, 3が右回りのときを温度下降時、左回りのときを温度上昇時とすると、温度上昇時にはスイッチS₁, S₂は開いたままである。温度下降時には、作動子7が凹部4に落ち込んで直立してスイッチS₁を閉じ、ついで作動子6が凹部5に落ち込んで直立してスイッチS₂をも閉じたがってカム板が角度BOC回転する間は標示回路Lは閉じられ、この時間が第1図におけるT₁, T₂間の時間である。

このようにこの新案は、カム板が一定方向に回転したときだけ作動する作動子によってスイッチS₁, S₂を開閉せしめるようにしたものであるから、2枚のカム板の相互位置を変えることによって、制御時間を任意に調整できるものである。(田中)

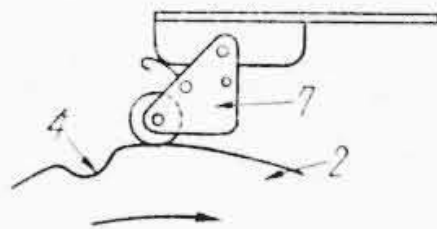
第1図



第2図



第3図



第4図

