

中国電力株式会社

## 潮発電所自動負荷周波数調整装置

Automatic Load Frequency Control Equipment for Ushio  
Power Station, Chugoku Electric Power Co.

大木 正\*      大月 清一\*      静間 敏男\*\*  
 Tadashi Oki      Seiichi Otsuki      Toshio Shizuma  
 小沢 重樹\*\*      竹村 克巳\*\*\*  
 Shigeki Ozawa      Katsumi Takemura

## 内 容 梗 概

中国電力株式会社では系統運営の質的向上を計るため系統周波数の自動調整 (F. F. C.), 他系統との連絡線の負荷自動調整 (F. T. C.), およびこの両者を総合した周波数偏倚連絡線負荷自動調整 (T. B. C.) を実施する計画をたて昭和30年1月および7月の2回にわたって大規模な実地試験を行つた。日立製作所ではこの試験で得られた資料を基礎にして上記3種の調整が可能な AFC 装置を製作し昭和31年8月潮発電所 (18 MW×2) に納入した。

この装置は磁気増幅器を主体とした連続制御式のもので、連絡線電力のプログラム調整もできるようになっている。納入後の現地試験は搬送装置未完のため中国単独系 (540 MW) について F. F. C. のみを行つたが良好な成績を収め、ただちに営業運転に入つた。

- (1) 平常運転試験では周波数変動  $\Delta F$  を  $\pm 0.06\%$  以内 (整定値  $60\%$ 、整定不動帯  $\pm 0.05\%$ ) に保持し、かつ1, 2号機間の負荷平衡を各機の定格出力の  $\pm 5\%$  以内に収めることができた。
- (2) 過渡特性試験 (明塚発電所 15 MW トリップ) ではトリップ後11秒以内で周波数が回復した。

## 〔I〕 緒 言

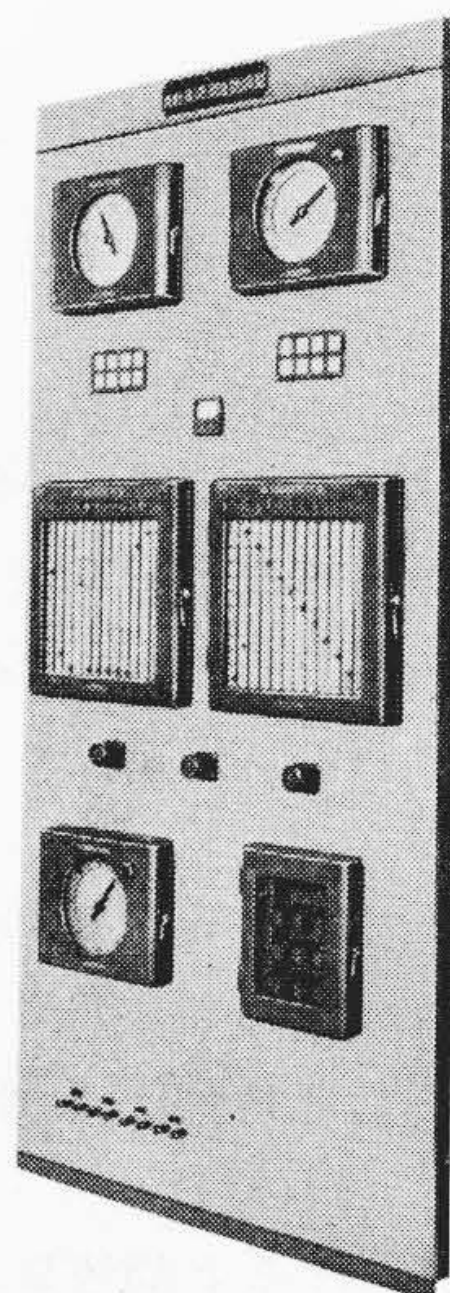
日立製作所ではさきに四国電力松尾川第一、第二発電所に日本最初の定周波数自動調整装置<sup>(1)</sup> (断続制御式) を納入して斯界の注目を受けたが、さらに中国電力の計画に沿って昭和30年1月および7月の2回にわたる大規模な実地試験<sup>(2)</sup>の後、定周波数自動調整 (Automatic Flat Frequency Control 略して F. F. C.), 定連絡線負荷自動調整 (Automatic Flat Tie Line Load Control 略して F. T. C.), 周波数偏倚連絡線負荷自動調整 (Automatic Frequency Biased Tie Line Load Control 略して T. B. C.) および伊岡連絡線電力のプログラム調整も可能な連続制御型 AFC 装置を製作し昭和31年8月潮発電所 (18 MW×2) に納入した。

本装置は中国電力で計画中の AFC 集中制御案の一環をなすもので、中国給電指令所に設置される検出部と潮発電所に設置される操作部より成立つているが、中給—潮間の搬送装置未完のため目下両者を潮発電所に併置して F. F. C. だけを行つている。本装置のおもな特徴を挙げると (1) 操作部に磁気増幅器を用いて無接点連続制御式としたため機械的、電氣的の信頼度が向上し  $\Delta F, dF/dt$ , 負荷平衡, 乱調防止などの各種要素の同時加味が容易となり不動帯の調整も簡単でアナコン解析も容易である。(2) 検出部に電子管平衡方式を使用したため計測器は精度が高く特に周波数の検出は  $0.01\%$  以上で他方式に

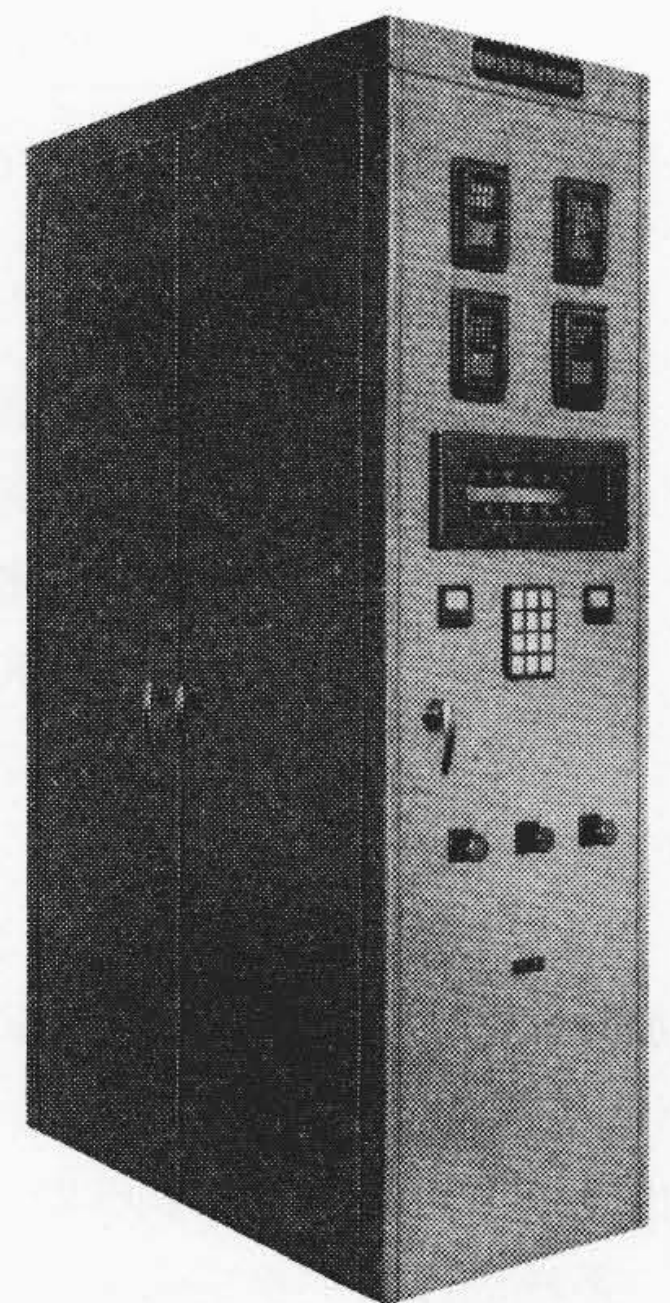
\* 中国電力株式会社

\*\* 日立製作所日立国分分工場

\*\*\* 日立製作所日立研究所



第1図 自動負荷周波数調整盤



第2図 自動負荷周波数調整キュービクル

比し操作量の時間的漂遊変動はきわめて少ない。

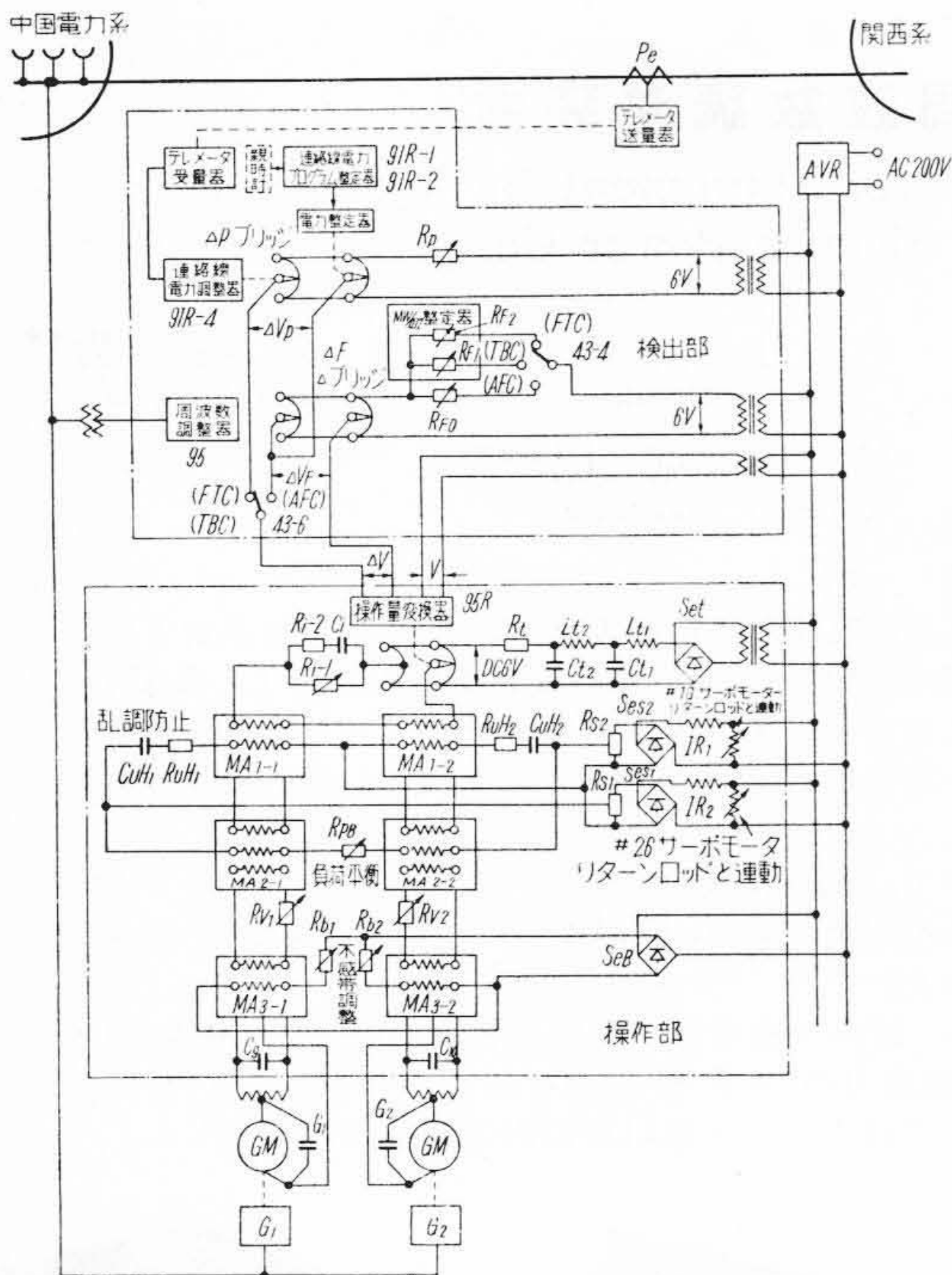
以下本装置の構成ならびに納入試験の概要を述べる。

## 〔II〕 自動負荷周波数調整装置

## (1) 装置の概要

本装置は大別して検出部と操作部に二分され将来の集中制御計画を考慮して、前者を“自動負荷周波数調整盤”1面に、後者を“自動負荷周波数調整キュービクル”に分けて収めてある。第1図および第2図はこれらの外観を示し、また第3図は方式説明図である。各部の構成は次のごとくである。





第3図 日立 AFC 装置構成説明図

(A) 検出部

周波数要素: 周波数調整器

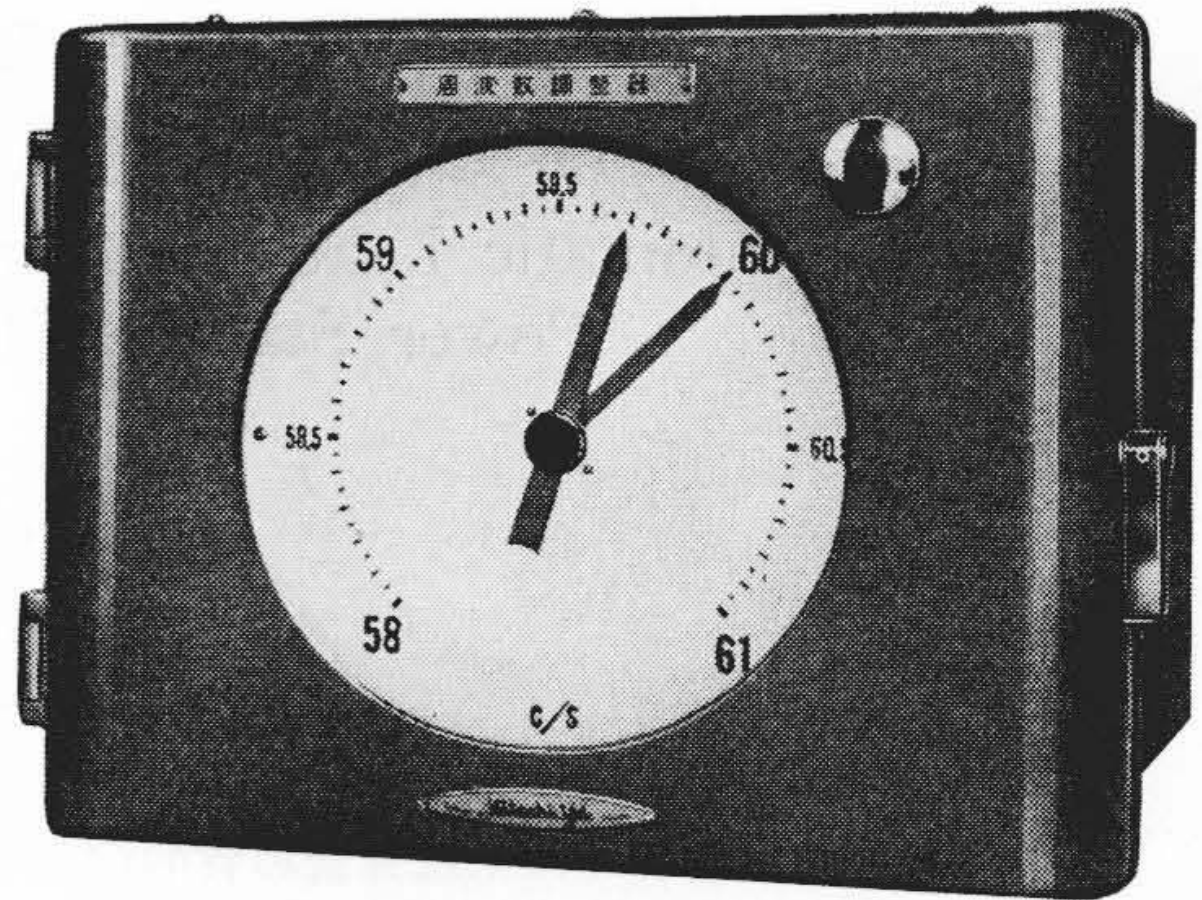
連絡線電力要素: 連絡線電力プログラム整定器, 連絡線電力整定器, 連絡線電力調整器

制御特性整定要素: MW/0.1~ 整定器, F. F. C., F. T. C., T. B. C. 操作切換器

(B) 操作部

- (i) 操作量変換器 (ii) 磁気増幅器 (iii) dF/dt 加味回路 (iv) 乱調防止回路 (v) 負荷平衡回路 (vi) 磁気増幅器利得調整器 (vii) 不動帯調整器 (viii) 出力検出用誘導電圧調整器

系統周波数が整定値より  $\Delta F$  だけ偏れると周波数調整器の出力には  $\Delta F$  に比例した正(負)の電圧  $\Delta V_F (\equiv a\Delta F)$  が  $\Delta F$  ブリッジの出力端子間に現れる。また連絡線電力についても同様に、整定値よりの偏れ  $\Delta P_L$  に比例した正(負)の電圧  $\Delta V_P (\equiv b\Delta P_L)$  が  $\Delta P$  ブリッジの出力端子間に現れる。これら二つの操作用電圧は F. F. C., F. T. C., T. B. C. 切換開閉器 43-6 によつて適当な比率で合成され総合操作量  $\Delta V (= a\Delta F + b\Delta P_L \equiv \Delta V_F + \Delta V_P)$ , A.C. 60~ が作られる。ただし  $a, b$  は比率定数で,  $(a/b)$  (MW/0.1~) の値により制御特性が決まる。またこの値は MW/0.1~ 整定器により整定される。特に F. T. C. の場合, 連絡線電力プログラム整定器および電力整定器によつて整定値は1時間ごとにプログラムにそつて自動的に切換えられる。検出部で作られた総合



第4図 周波数調整器

操作量  $\Delta V$  は操作量変換器により正(負)の直流操作量電圧に変換され  $dF/dt$ , 加味回路を通して三段磁気増幅器に印加される。そしてその出力はガバナモータに与えられ,  $\Delta F, \Delta P_L$  を零にもどすよう制御する。また発電機出力は水車のサーボモータリターンロッドと機械的に結合された誘導電圧調整器により電圧のかたちで取出され,  $C_{uH}, R_{uH}$  を通して初段磁気増幅器制御巻線に加えられて乱調防止作用を行う一方, 第二段磁気増幅器にも加えられて負荷平衡用回路を形成している。なお, サーボモータの動きから上下限の負荷制限用スイッチを働かし, 整定された負荷範囲内で AFC を行うようになっている。終段磁気増幅器には偏倚電流を流して可調整の不動帯を与えるようになっているが, この不動帯を適当に整定することにより制御特性(平常運転時の  $\Delta F, \Delta P_L$  変動幅)を損うことなく機器の磨耗を著しく軽減することができる<sup>(2)</sup>。

(2) 構成要素の説明

(A) 周波数調整器

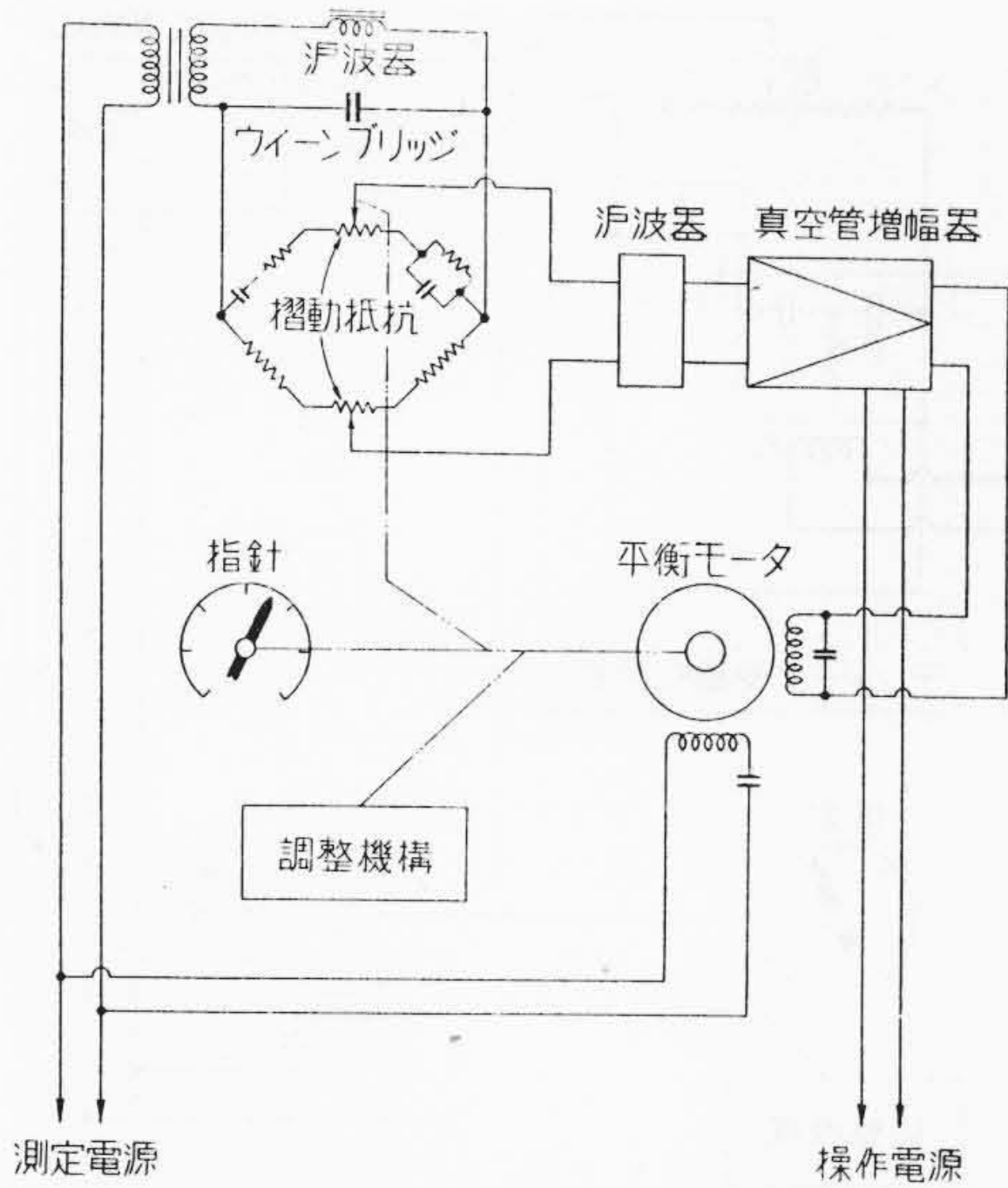
第4図は周波数調整器の外観を示したものである。

本器は高感度の電子管式自動平衡計器であり, 系統の周波数を検出して指示するとともに, 整定周波数からの偏差に相応した信号を発生する。第5図は本器の動作原理を示す。系統の周波数はウィーンブリッジにより検出され, ウィーンブリッジの共振周波数との差にほぼ比例した不平衡電圧が生ずる<sup>(1)</sup>。この電圧は濾波器を経て増幅器で増幅され, 平衡モータを回転させる。平衡モータはブリッジの摺動子を動かし, その不平衡電圧が零になるまで動作する。第6図はウィーンブリッジの説明図である。ブリッジに加えられる電圧を  $E$  とし, ブリッジの共振周波数  $\omega_0 (= 2\pi f_0)$  より  $\Delta\omega$  だけ周波数が変わったときの不平衡電圧を  $\Delta V$  とすると

$$\frac{\Delta V}{E} \div -j \frac{1}{4} \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \quad (1)$$

ただし  $\omega_0^2 R_1 R_2 C_1 C_2 = 1$





第5図 周波数調整器動作原理図

となる。周波数が  $f_0$  のときは、電流  $I$  および  $C_1$ ,  $R_1$  の電圧ベクトルは第6図 (b) のごとくになる。したがって  $R_3$  および  $R_4$  を

$$R_3/R_4 = ac/cd$$

なる値にすれば、 $\Delta V$  は零になる。

周波数が  $f_0$  より変化すると、電流は  $I'$  となり各ベクトルは第6図 (b) 破線のごとくになり、不平衡電圧  $\Delta V$  が発生する。しかし  $R_1$  および  $R_3$  上には第6図 (b)  $P$  点に相当するところがあるから、 $R_1$  および  $R_3$  の一部を摺動抵抗にして摺動子の位置をこの位置に移動させれば、ブリッジを平衡させることができる。この場合  $C'P$  および  $CP$  は  $\Delta V (= CC')$  に比例するから、摺動子の位置は周波数と比例的に変化することがわかる。

したがって摺動子と連動した指針および調整機構により周波数を指示させるとともに、整定周波数からの偏差を検出することができる。

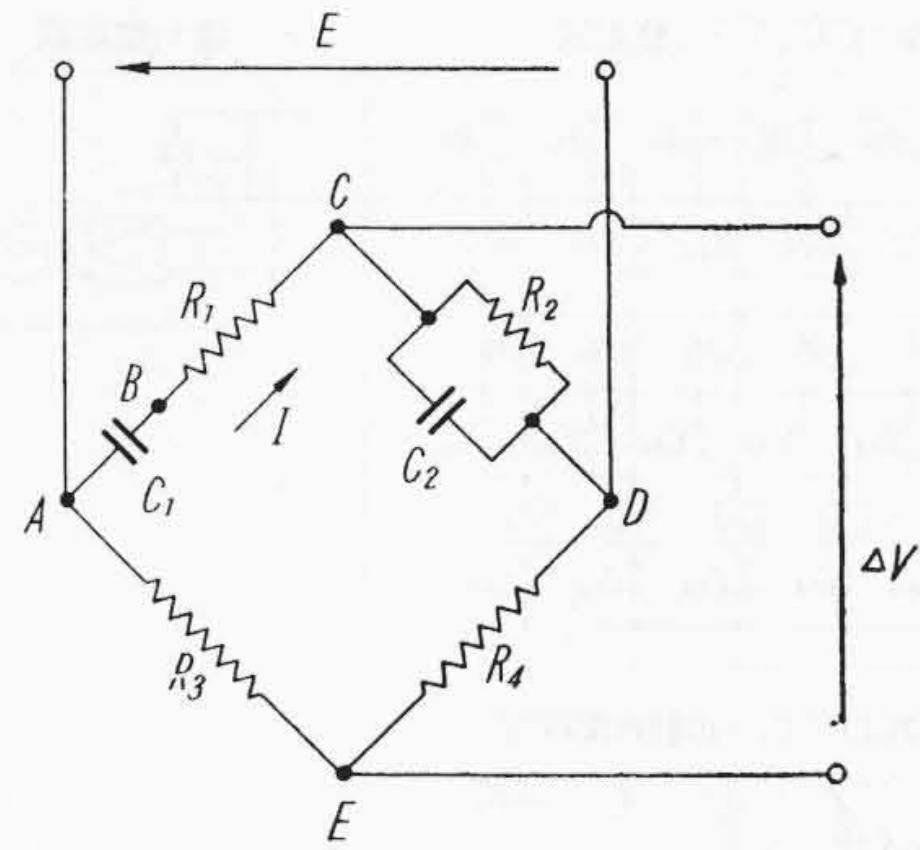
本器の周波数目盛は 58~61~ であり第4図に示すごとく右上部つまみにより 58.5~60.5~ の間任意に整定することが可能である。整定値の指針は赤色であり周波数指示の指針とともに2針機構になっている。

なお本器の周波数検出感度は 0.01~ 以上であり、周波数調整を行うのに十分な性能をもっている。

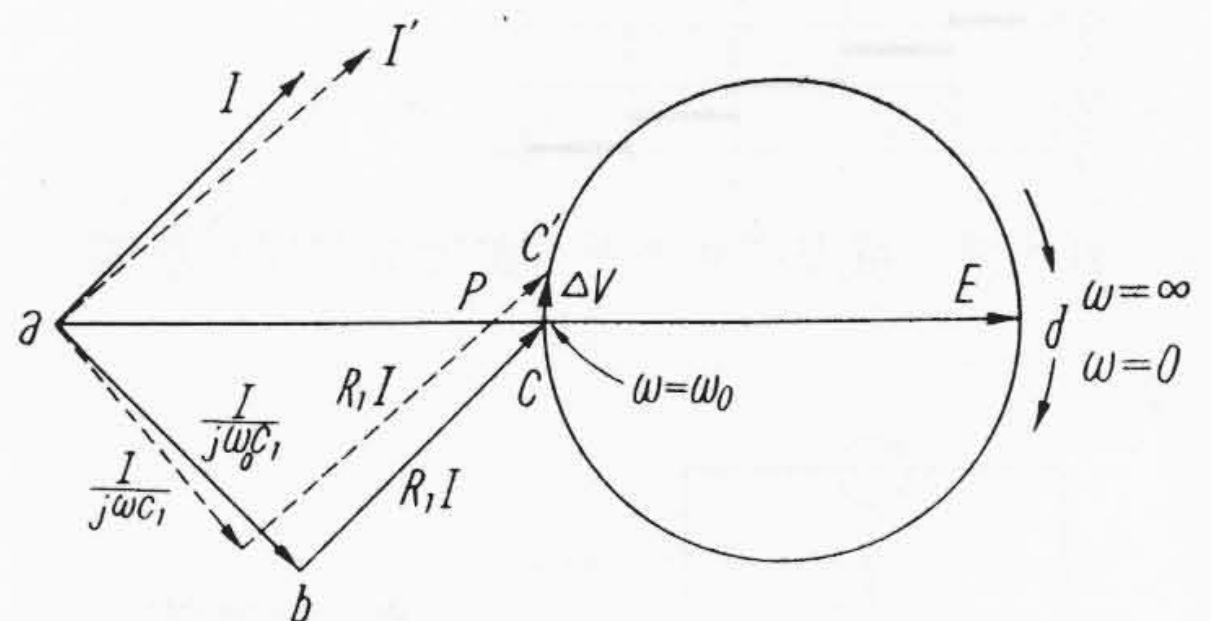
(B) 連絡線電力プログラム整定器

第7図は本器の外観を示したものである。本器は連絡線電力をプログラム制御するために電力整定器と組合せ、その整定値を1時間ごとに自動的に切換える装置である。第8図は本器の動作原理を示している。

摺動抵抗  $RV_1, RV_2, \dots$  の摺動子は目盛板の指標と連動し、あらかじめ整定された位置に固定される。これ

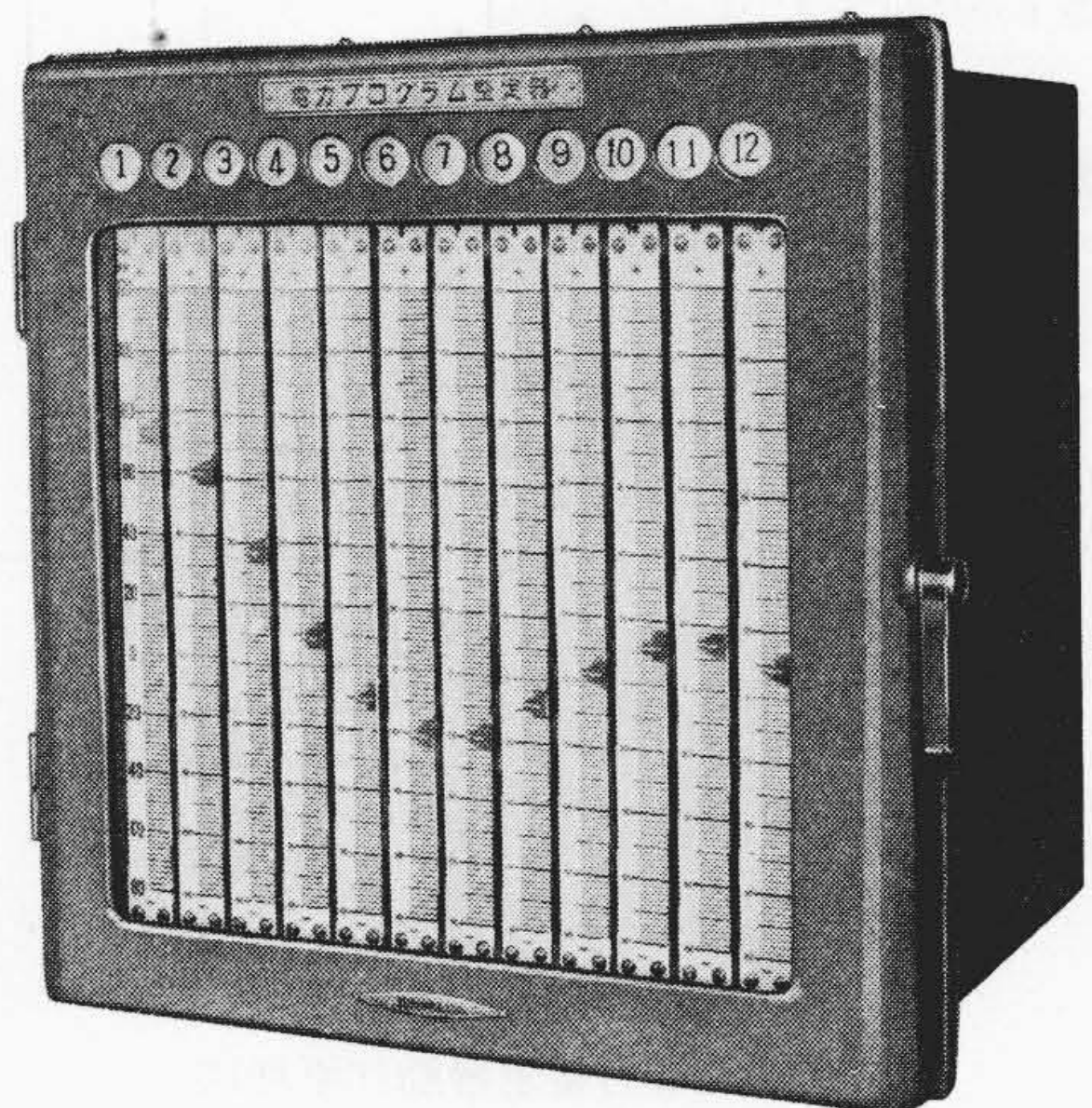


(a) ウィーンブリッジ説明図



(b) ウィーンブリッジベクトル図

第6図 ウィーンブリッジ説明図

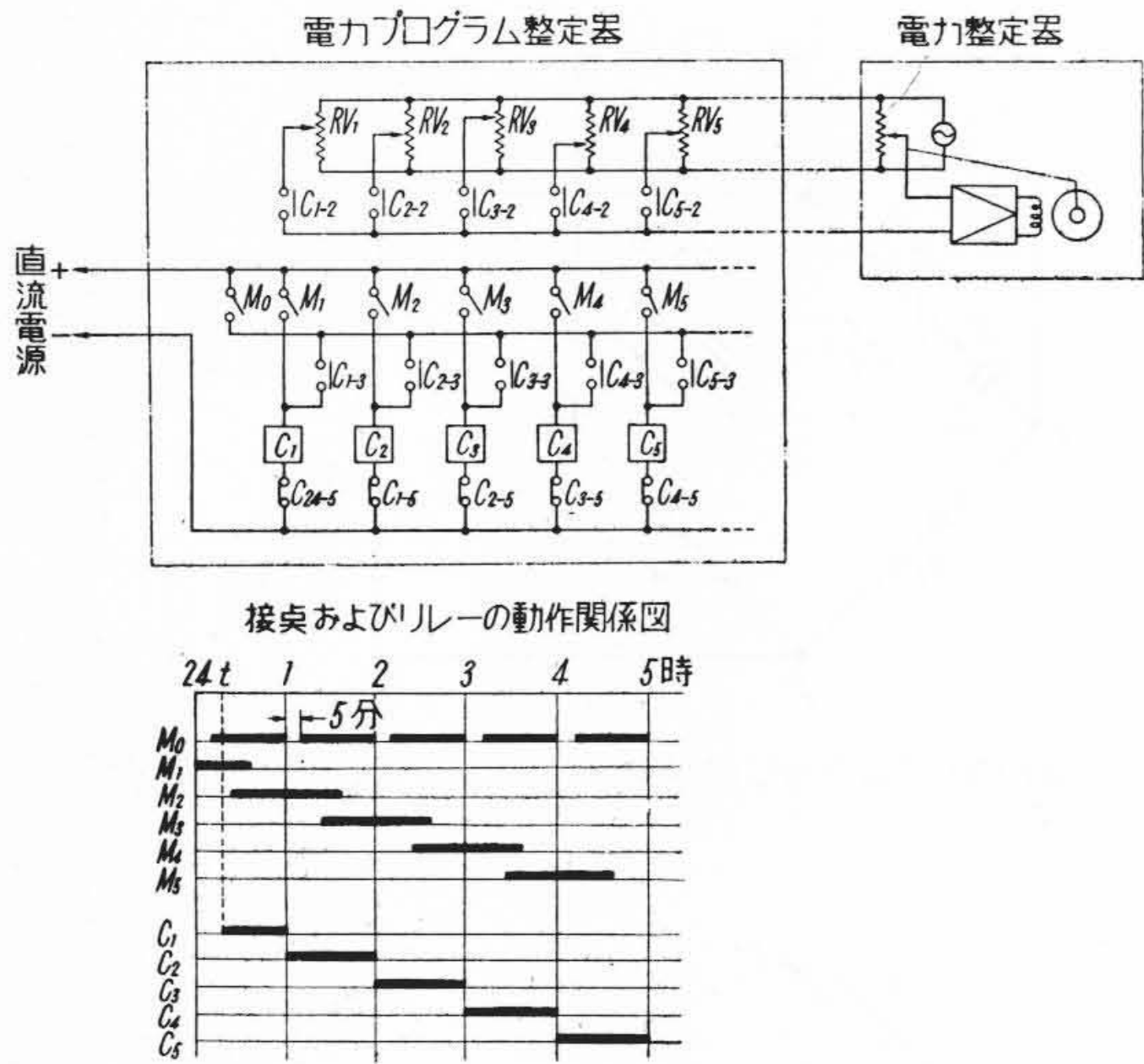


第7図 連絡線電力プログラム整定器

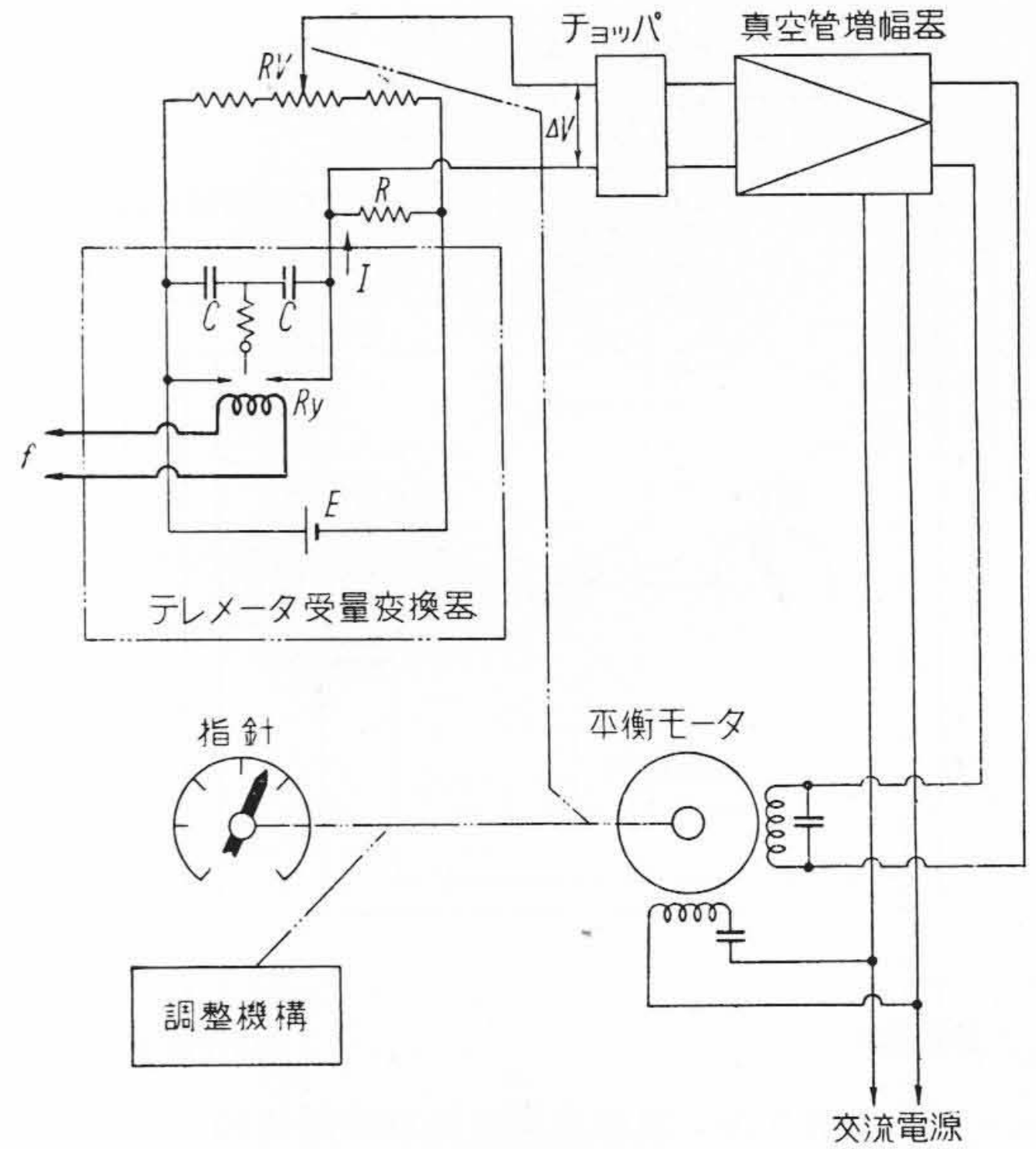
らの摺動子の電圧は1時間ごとに正確に切換えられ、電力整定器に接続される。切換動作は親時計から与えられるパルス信号によりパルスモータを駆動し、これにより回転するカムにより働く接点  $M_0, M_1, M_2, \dots$  により行われる。

まず接点  $M_0$  は1時間ごとにある時間だけ開き、接点  $M_1, M_2, \dots$  は時間とともに順次開閉し、その関係は第8図のようになっている。いま時間  $t$  にて電源を入れたとすると  $M_1$  が閉じているからリレー  $C_1$  が動作し、接

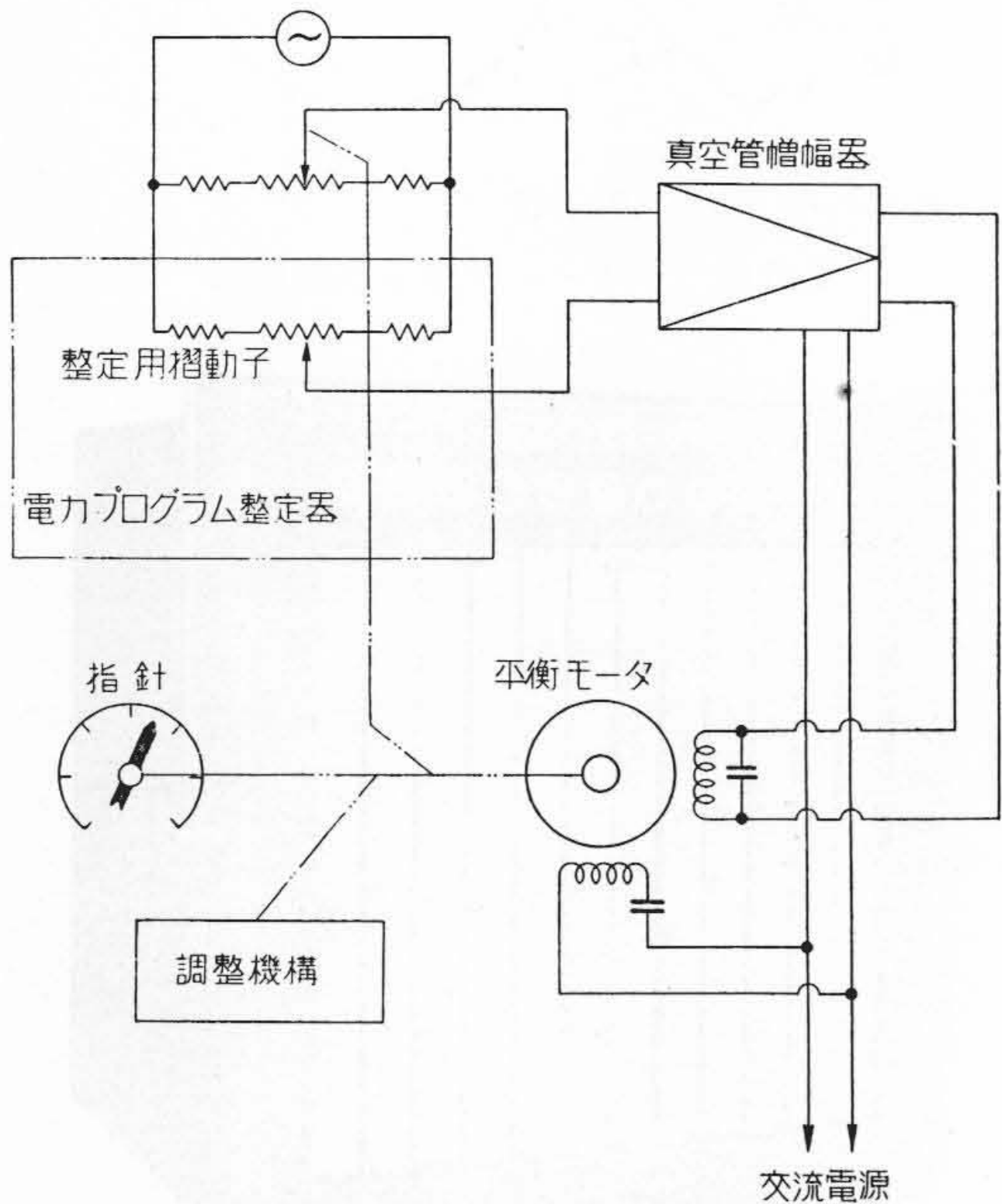




第8図 電力プログラム整定器動作原理図



第10図 電力調整器動作原理図



第9図 電力調整器動作原理図

点  $M_0$  および  $C_{1-3}$  を通して自己保持される。そこで  $C_{1-2}$  により  $RV_1$  が電力調整器に接続される。時間とともに  $M_2$  が閉じるが  $C_1$  は自己保持されているから接点  $C_{1-5}$  は開いており、リレー  $C_2$  は動作せず、時間が1時のとき  $M_0$  が開くからリレー  $C_1$  の自己保持回路が切れ、リレー  $C_2$  が動作する。そこで摺動抵抗は  $RV_2$  に移り以下同様に  $RV_3, RV_4, \dots$  と移動して行く。

(C) 連絡線電力調整器

本器は電力プログラム整定器の整定値を指示し、電力調整器との組合せにより連絡線電力の偏差を検出するも

のである。

第9図は本器の動作原理を示したものである。

電力プログラム整定器のその時選択されている摺動抵抗と本器の摺動抵抗によりブリッジが形成されている。この両者の摺動子が全く同じ位置にない時は不平衡電圧が現れ、増幅器により増幅され、平衡モータを駆動する。平衡モータの回転により摺動子は移動し、電力プログラム整定器の摺動子の位置と全く対応した位置で不平衡電圧は零となり平衡モータは停止する。指示および調整機構を摺動子と連動させ、電力プログラム整定器の整定値を指示させるとともに電力調整器の調整機構と組合せてその偏差を検出することができる。

なお本器は平衡モータの回転を減速し、平衡計器としての移動速度を落し、調整発電所に過度の出力変化を与えないよう考慮されている。

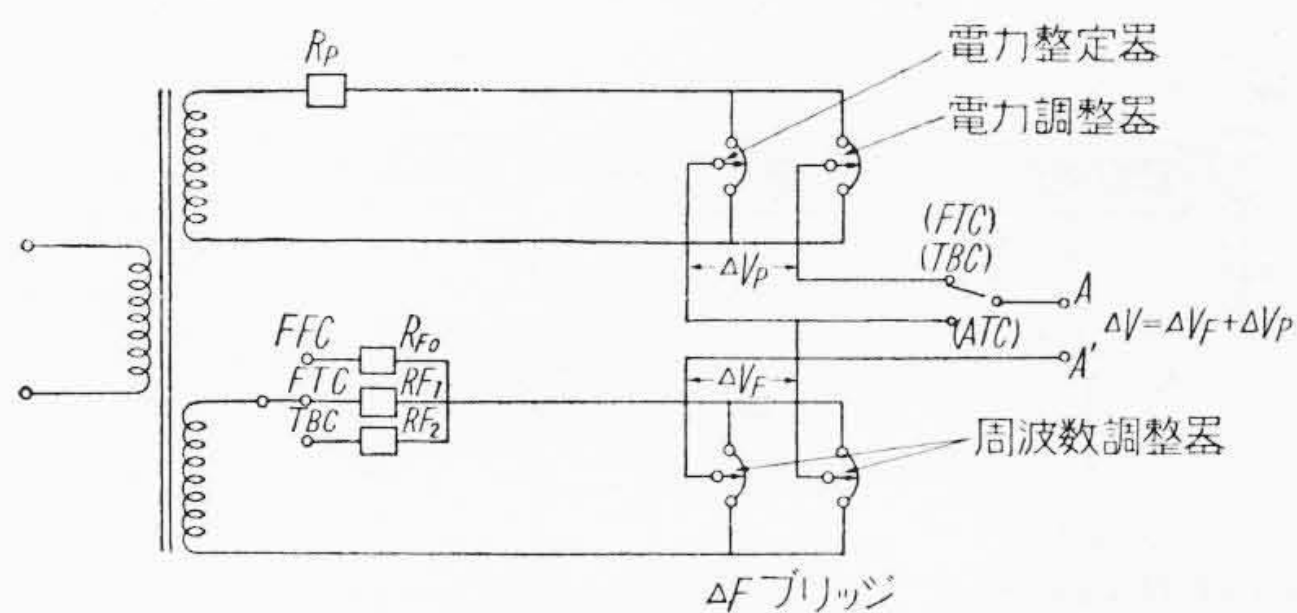
(D) 連絡線電力調整器

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連絡線電力を指示するとともに、電力調整器と組合せその整定電力との偏差を検出するものである。

第10図は本器の動作原理を示したものである。

テレメータ受量変換器において衝流周波数はコンデンサの充放電により、それに比例した直流電流  $I$  に変換される。そこで抵抗  $R$  には衝流周波数に比例した電圧が生ずる。いまこの電圧と摺動子の電圧がひとしくないとするとその差電圧  $\Delta V$  はチョッパにより交流に変換され増幅器により増幅され平衡モータを駆動する。平衡モータの回転により摺動子は移動し、差電圧  $\Delta V$  が零になったとき平衡モータは停止する。このとき摺動子の位置は連





第11図 操作切換部説明図

絡線電力と全く対応するから、指針および調整機構を摺動子と連動させると連絡線電力を指示するとともに電力調整器の調整機構と組合せ整定値からの偏差を検出することができる。

(E) 操作切換器

本器は F. F. C., F. T. C., および T. B. C. を行うため検出部をそれぞれ必要な要素に切換えるとともに、制御特性 MW/0.1 ~ を整定するものである。

第11図はその動作原理を示したものである。図の摺動抵抗は周波数要素と、連絡線電力要素とにわかれ、それぞれブリッジを形成しており、またそれぞれの摺動子は前項まで説明した各調整器および整定器の調整機構により駆動される。 $\Delta F$ ブリッジにおいて周波数偏差  $\Delta F$  のときの出力電圧を  $\Delta V_F$  とすると、

$$\Delta V_F = a \cdot \Delta F$$

また  $\Delta P$ ブリッジにおいて電力偏差が  $\Delta P$  のとき出力電圧を  $\Delta V_P$  とすると、

$$\Delta V_P = b \cdot \Delta P$$

ここで  $a$  および  $b$  は比例常数であり、それぞれ  $R_{F1}$  および  $R_P$  を変えることによりその値を調節することができる。

操作電圧  $\Delta V$  は  $AA'$  間にあらわれるのであるが、第11図のごとき切換開閉器により F. F. C., F. T. C. および T. B. C. を行うに必要な操作量がえられる。

(i) F. F. C. の場合

$\Delta V = \Delta V_F = a \cdot \Delta F$  が操作量として現れる。

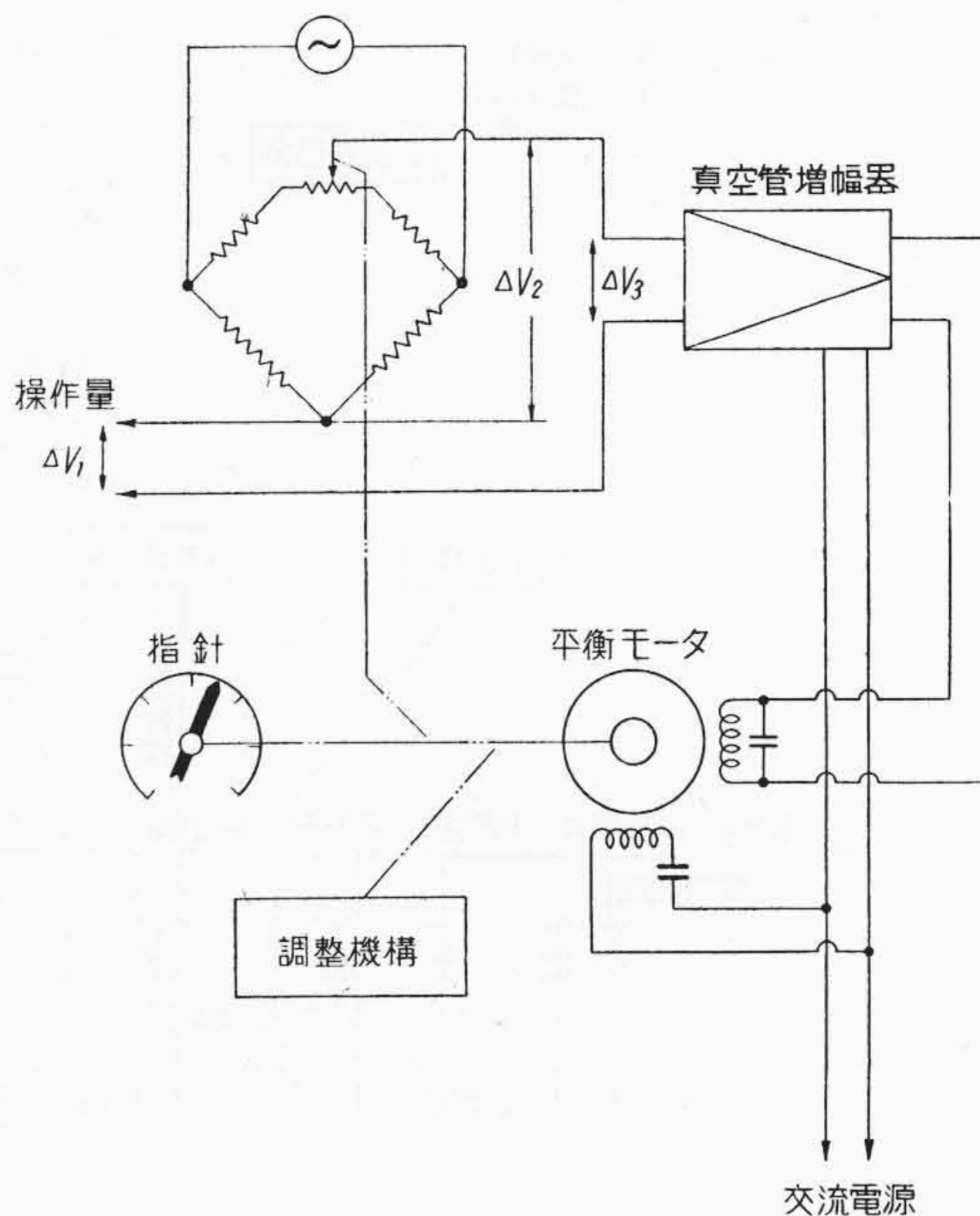
このときの  $a$  は  $R_{F0}$  により決定される。

(ii) F. T. C. の場合

完全な F. T. C. では  $\Delta V = \Delta V_P = b \cdot \Delta P$  なる操作量でよいが、本装置では若干の周波数偏倚をかけるため、 $a \cdot \Delta F$  なる操作量が合成されている。この場合の  $a$  および  $b$  はそれぞれ  $R_{F1}$  および  $R_P$  により決定される。

(iii) T. B. C. の場合

$\Delta V = \Delta V_F + \Delta V_P = a \cdot \Delta F + b \cdot \Delta P$  なる操作量がとり出される。この場合の制御特性は  $\Delta V = 0$  となるように選定されているので  $\Delta P / \Delta F = -a/b$  となる。したがって MW/0.1 ~ の整定は  $a/b$  の値を変えればよく、本器では  $R_{F2}$  の値を増減して  $a$  の値を変え、所望の制御特性



第12図 操作量変換器動作原理図

がえられるようになっている。

(F) 操作量変換器

本器は交流の操作量を直流に変換し、磁気増幅器の入力として与えるものである。第12図は本器の動作原理を示したものである。操作量  $\Delta V_1$  が零のときは摺動子は  $\Delta V_2$  が零になる位置にあるが、 $\Delta V_1$  が零でないとき増幅器により増幅され平衡モータを駆動する。平衡モータにより摺動子は移動し  $\Delta V_1$  を打消すように  $\Delta V_2$  が現われ両者が全く等しくなったとき平衡モータは停止する。したがって摺動子の位置は操作量  $\Delta V_1$  に全く対応するから指針および調整機構を摺動子と連動させることにより操作量を指示するとともに操作量に比例した直流電流に変換することができる。

〔III〕 現地試験の概要

現地試験は昭和31年7月下旬、潮一中給間搬送装置未完のため検出部も潮に仮設置して F. F. C. のみ行われた。第13図はこの時の系統図であり第1表は潮発電所の設備概要を示す。

(1) 静特性試験

後述の各種試験のほか、予備試験として制圧機動作試験および調圧水槽水位変動試験を行い現地にもつとも適した各部定数の決定を行つた。第14図の実線はこの最適定数を用いた時の操作部制御特性を示し、点線は納入装置で与える最低利得の特性である。

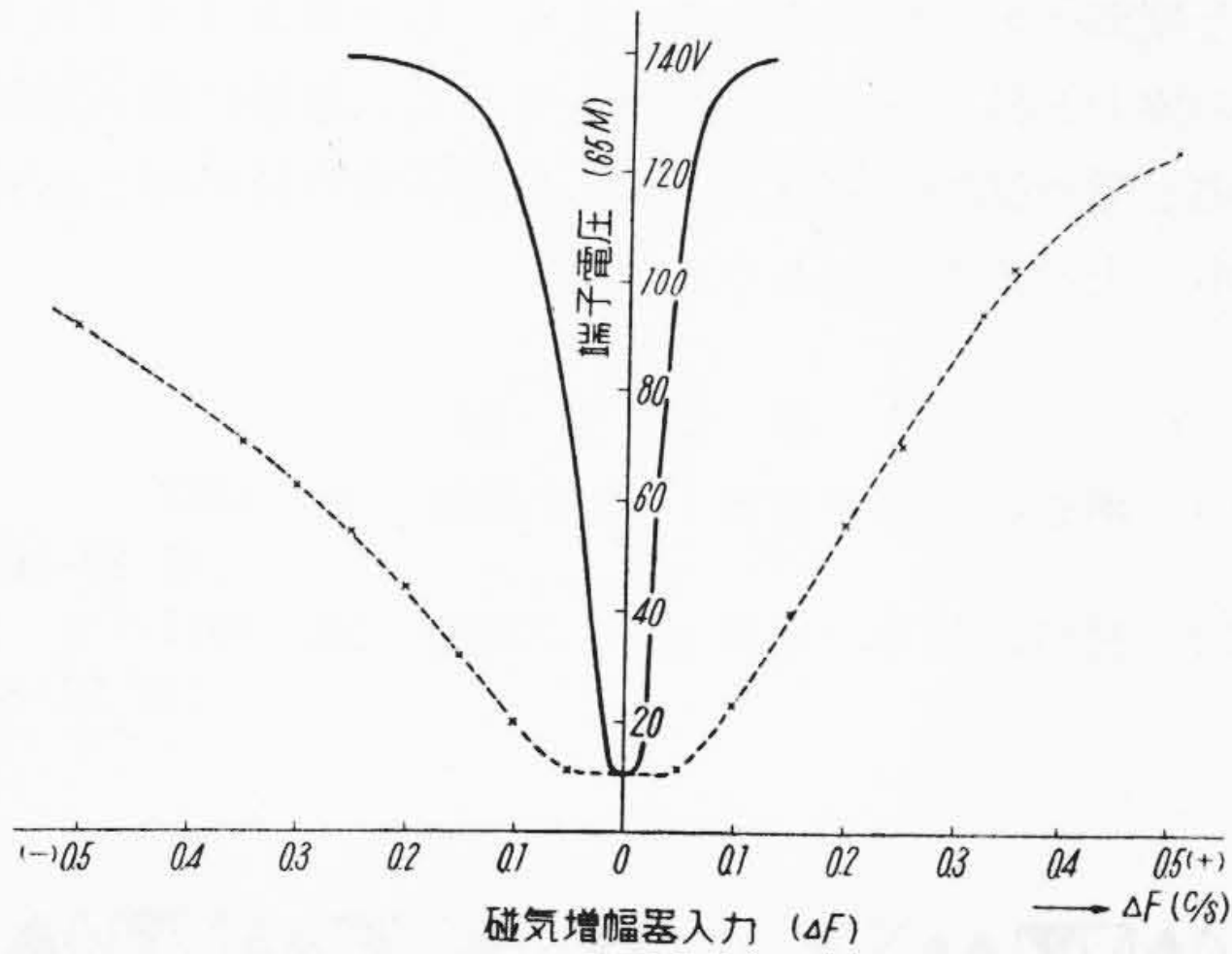
(2) 平常運転試験

この試験では各部定数を最適値に固定し不動帯調整タ

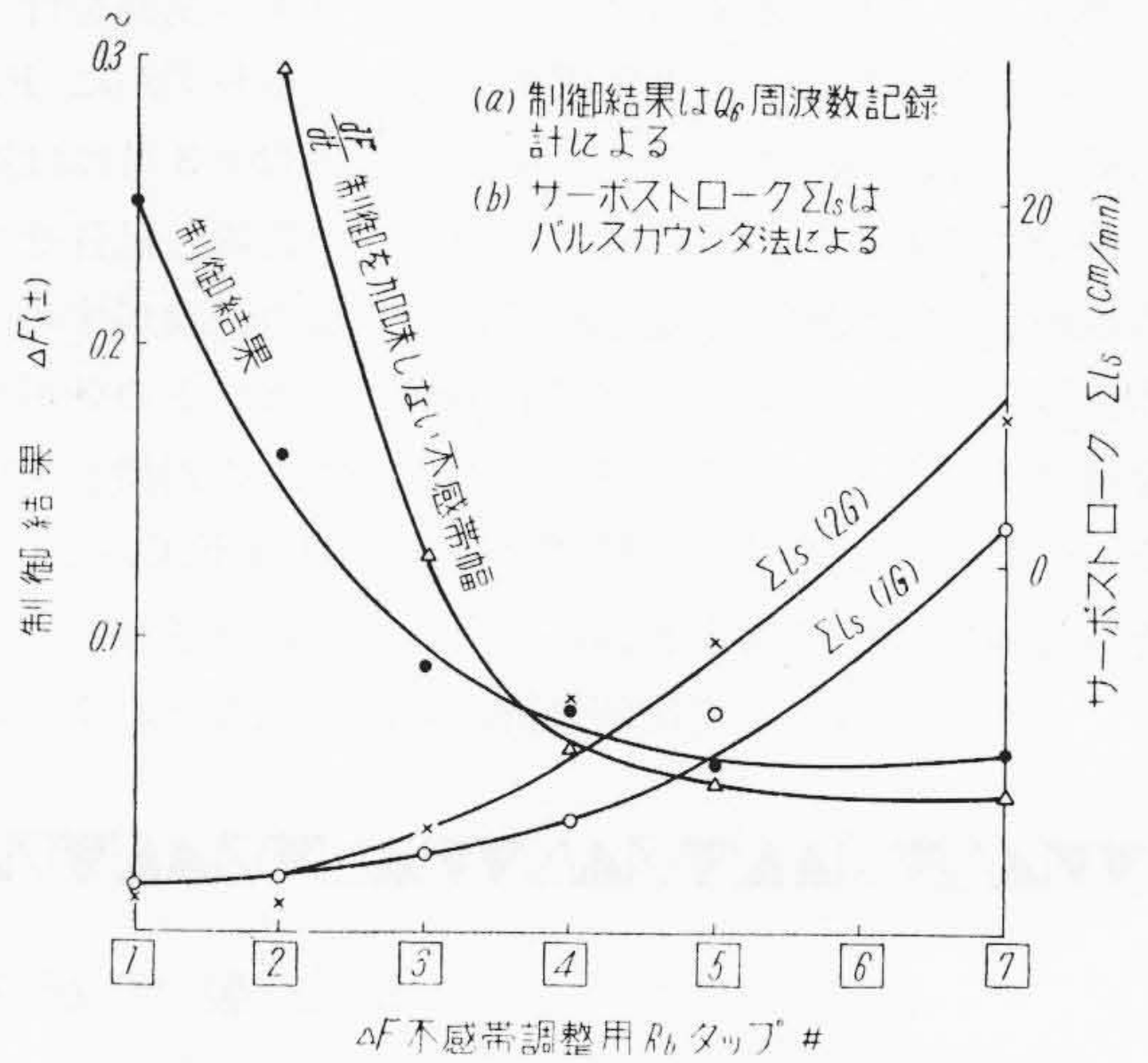




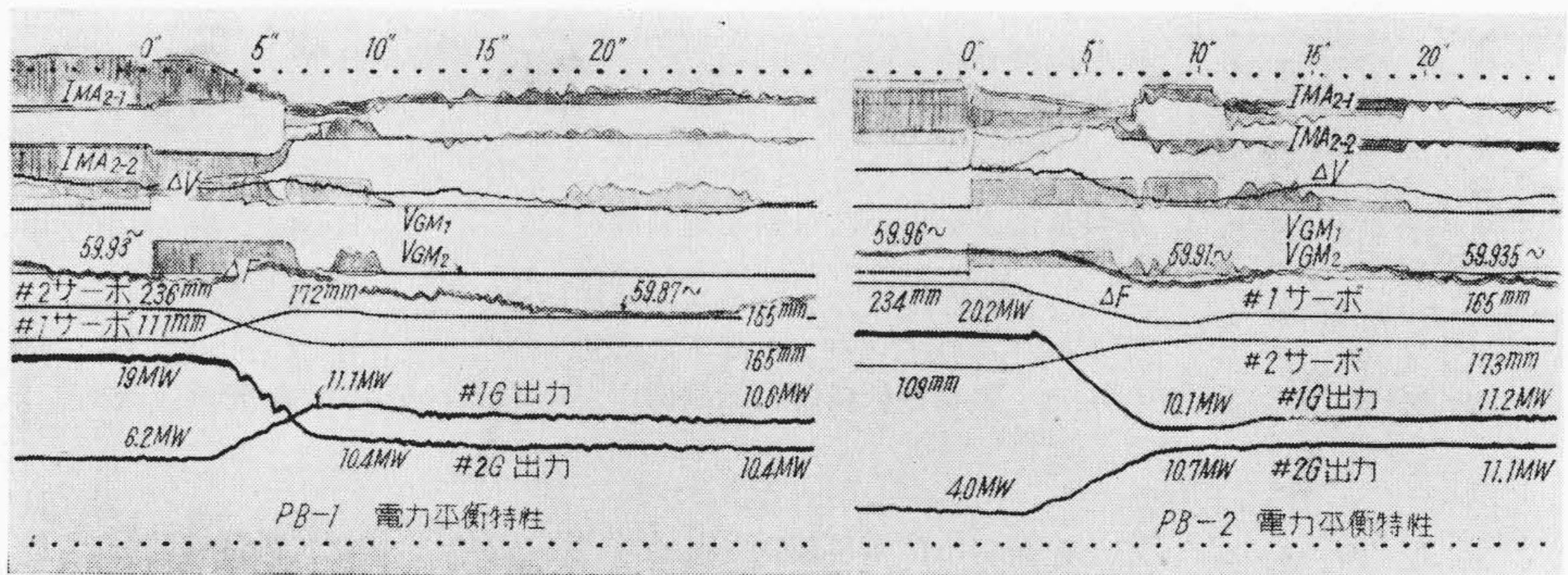




第14図 操作部制御特性

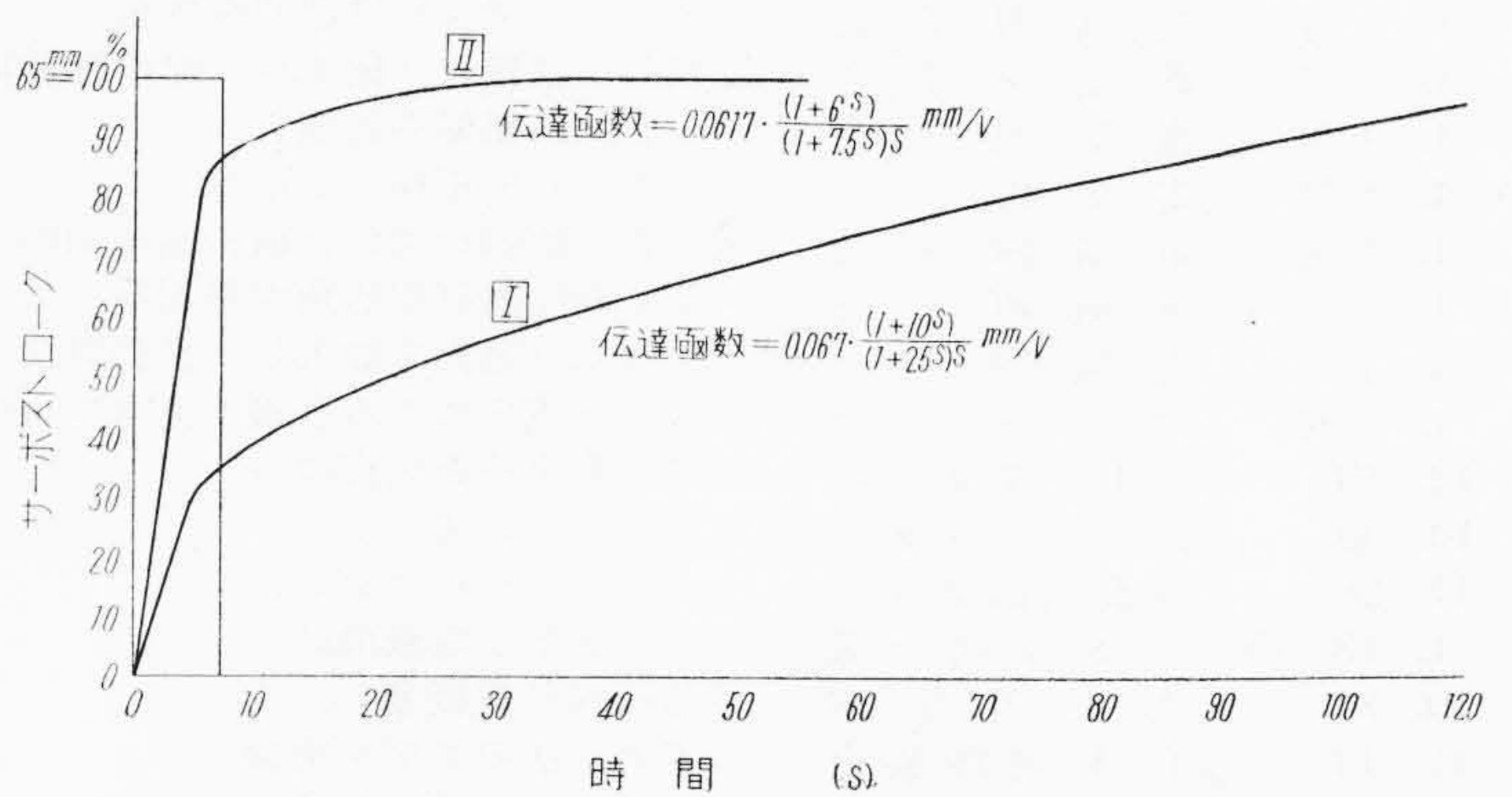


第15図 #1G, #2G 並列 F.F.C. 運転制御特性



第16図 1, 2号機間電力平衡過渡特性試験オシログラムの一例

ものであるが、弾性復原カムの形状を変えダッシュポットタイムを変化させてサーボストロークの移動特性がいかに変るかを試験した。第17図(I)曲線は従来の弾性復原カムの形状を用いてガバナモータ信号に対するサーボモータ、ストロークの応答をプロットしたものであり、安定まで約数分を要しAFC用としては適当なものとはいえない。そこで全閉より1.5MWまでは弾性復原特性をもたせ1.5MW以上においては弾性復原をなくしてサーボストロークの応答を速くするときカムを作つて試験した。(II)曲線はその場合の特性を示し信号に対する応答は(I)曲線に比し非常にすぐれている。したがつて現地ではこの(II)曲線のカムを用いてAFCを行つている。



第17図 AFC出力に対するサーボストローク移動特性 (AFC出力信号150V 7秒)

〔IV〕 結 言

潮発電所納入装置は既述のごとく F.F.C., F.T.C.,

第3表 F.F.C. 過渡特性試験結果

試 #	トリップ電力	ΔF max (‰)	回復時間 (s)	備 考
1	明塚 15 MW	0.23	11	(1) 各試 # 共各部定数
2	"	0.28	11	を変えた
3	"	0.16	7	(2) 試 # 4 の定数を最
4	"	0.24	7	絡決定値とした



T. B. C. の3種の制御および電力プログラム制御を行うためのものであるが搬送装置の未完のためわずかに F. F. C. の試験を行つただけである。昭和32年3月には潮一中給間の搬送装置が完成するのでこの装置と組合せて大規模な現地試験が予定されている。この試験がすめば本装置のすべての試験は完了し100パーセントの効用を発揮することとなるのでその成功を大いに期待している。しかし、この潮一中給間の遠隔制御 A. F. C. は元来多数発電所の中央集中制御の一環として計画されたもので、つぎの段階として比例制御、経済運転など、より高

級な制御へと進展するものであるから今後ますます各方面の協力と総合的研究が必要とされる。最後に納入試験に際し種々御指導御協力を戴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) 国近, 西堀外四名: 日立評論 36, 1452 (昭 29-10)
- (2) 村田, 川井, 小林: 日立評論 38, 1011 (昭 31-8)

日立製作所社員社外講演一覧 (その1)

(昭和31年11月受付分)

講演月日	主催	演題	所属	講演者	
11. 17	燃料及燃料社 電気学会 電気車両専門委員会	放射線検査について	日立工場	大谷宗大	
11. 17		電動機の新しい傾向	日立工場	牧野田浩	
11. 20	京大自動制御研究会	水銀整流器を用いた自動制御装置について	日立工場	前川敏明	
11. 末	火力技術協会 電気四学会 電気四学会	ボイラ建設に関する米国の熔接技術について	日立工場	沢田昭二	
32~4. 上旬		ミルモータのインパクト降下の解析	日立工場	斎藤奎二	
4. 上旬		ヘルパー駆動抄紙機用電気設備について	日立研究所	白木勇隆 西政博 木村夫 岩城秀夫 高砂常義	
4. 上旬	電気四学会	空気遮断器の閉塞現象	日立研究所	早瀬俊一郎	
4. 上旬		直流遮断器の交流発電機による等価試験	日立研究所	渡辺博彦	
4. 上旬		アーク電力測定法	日立研究所	加子泰彦	
4. 上旬		ガス圧ケーブルの自己回復作用	日立研究所	武政隆一	
4. 上旬		硬銅および銀入り銅トロリ線の磨耗特性	日立研究所	今尾隆男	
4. 上旬		タービン回転偏心計測方式	日立研究所	小野邦明	
4. 上旬		電子管式故障相検出継電器	日立研究所	前川敏明	
4. 上旬		電子管計数器を用いた精密速度制御	日立研究所	小野田芳光	
4. 上旬		可飽和相反誘導型広角度移相器	日立研究所	小林栄二	
4. 上旬		調整池水位制御を加未した自動周波数調整	日立研究所	金沢信二	
4. 上旬		陽極衝撃電圧による水銀整流器の通弧	日立研究所	森田一弘	
12. 13		日刊工業新聞社	新しい歯車検査規格について	亀有工場	伊藤茂
10. 30		高圧ガス協会	圧縮機について	川崎工場	花岡浩
11. 28		自動制御研究会	トランスファーマシンについて	川崎工場	鷺見哲雄
1. 13~15		日本学術会議	自動平衡型γ線液面計	多賀工場	津守徳実
10. 22	北大医学部	診療X線装置概要	亀戸工場	猪瀬実忠	
11. 14	日本規格協会	確率対応法のモデル実験	亀戸工場	鬼頭国忠	
11. 27	電気車両専門委員会	H種乾式変圧器における問題点	亀戸工場		
11. 15	日本能率協会	職能と人	戸塚工場	溝井正人	
11. 15	横浜産業能率協会	文書および帳票管理ならびに執務心得の要点	戸塚工場	太田文平	
12. 7	日本労務研究会	現場監督者層の職責権限問題を中心とした一職長	戸塚工場	溝井正人	
32~4. 上旬	電気四学会 火力技術協会 電気四学会	リレー接点における微小チャッタの一特性	戸塚工場	西口薫	
4. 上旬		SATT方式に使用する数字蓄積磁心	戸塚工場	二見二郎	
32~4. 上旬		陰極被覆層密度および厚さの収縮湿度特性に与える効果について	茂原工場	千秋英一	
12. 中旬	日本規格協会	実験計画法を応用したパラタングステン酸アンモニウムの分光分析条件の決定	茂原工場	小具鋭二	

(第36頁へ続く)