

日立EB形電気式調速機について

Performance and Construction of Hitachi Electric Governor (Type EB) for Hydraulic Turbine

大 石 朝 男* 小 松 豪**
Asao Ôishi Gai Komatsu

内 容 梗 概

比較的中容量以下の新設発電所および既設発電所の機械式調速機の代替用を主目的として開発された日立EB形電気式調速機の構造、構成部の特性、総合性能を明らかにし、現地試験結果について述べた。

1. 緒 言

当社ではすでに関西電力株式会社市川発電所、中部電力株式会社久野脇発電所に各1台ずつ日立EB形電気式調速機を納入し、いずれも所期の性能を発揮し好調な運転を続けている。また同一形式の調速機を目下据付中の新潟県企業局笠堀発電所にも納入した。この機会に日立EB形電気式調速機の構造、特性などについて紹介する。

日立EB形電気式調速機の特長は、機械部分の増幅度を上げることによって電気部分の増幅度を下げ、全体の特性を整定範囲を実用上さしつかえない範囲まで切り詰め、かつ操作方式もできるだけ従来の機械式調速機程度に簡単化し価格の低減をはかったところにある。したがって用途として、中容量以下の新設発電所および既設発電所の機械式調速機の改造用に目標をおいている。

2. 装置の構成

ガバナ・キューピクルの中に電気部分と機械部分が収納されており、検出、增幅、ダンピング、調定率、負荷制限の各装置、二次配圧弁および補助サーボモータが含まれている。第1図はキューピクルの外観、第2図は内観を示す。

3. 構成装置の動作概要

第3図に制御回路の説明図を示す。

3.1 周波数偏差検出装置

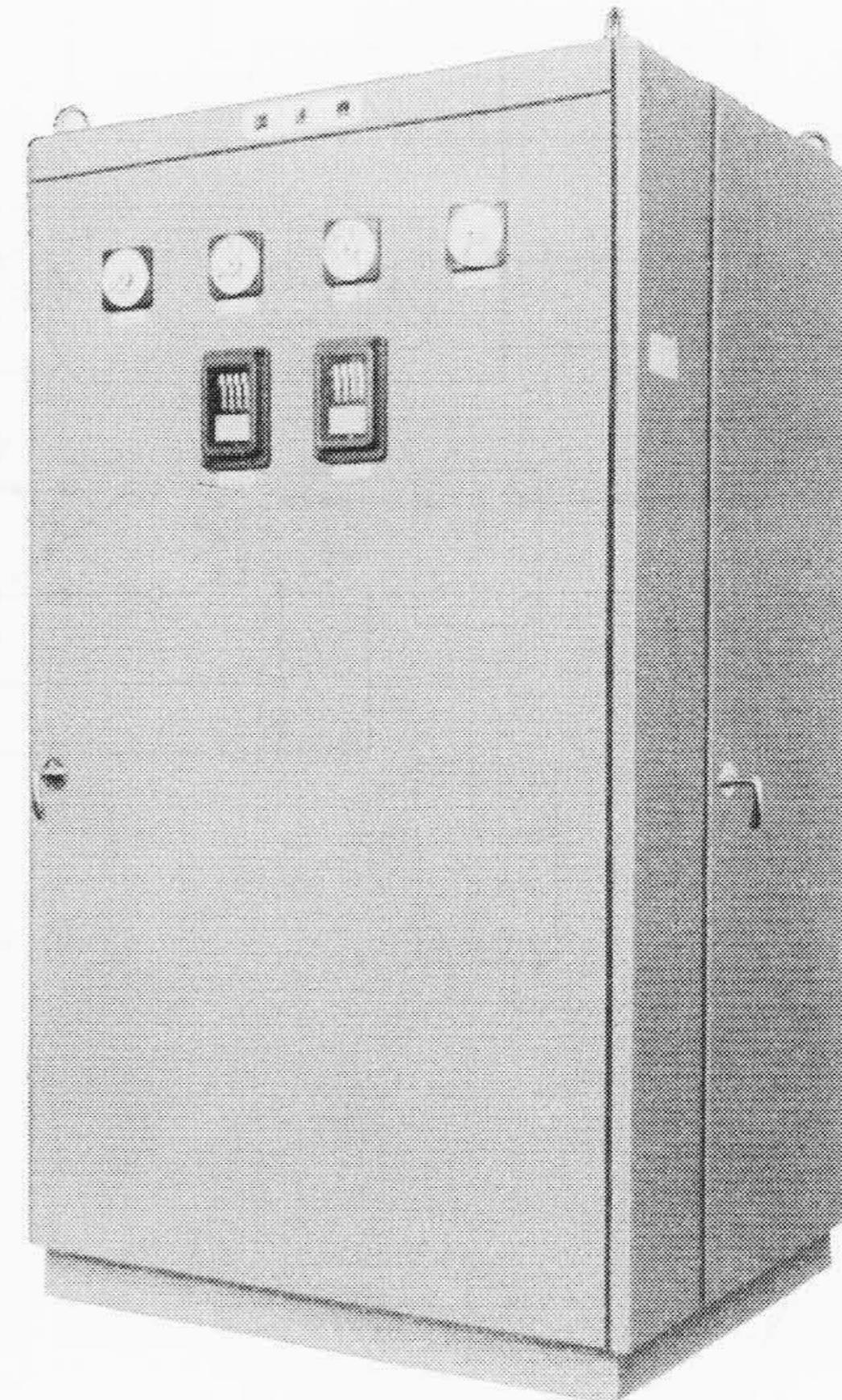
標準形電気式調速機と同様に、周波数偏差の検出には L_R , C_R の並列共振回路を使用し、周波数の偏差を抵抗 R_0 の電圧位相の進み遅れで検出している。この出力を位相弁別増幅装置に送り所期の特性を得ている。

3.2 位相弁別増幅装置

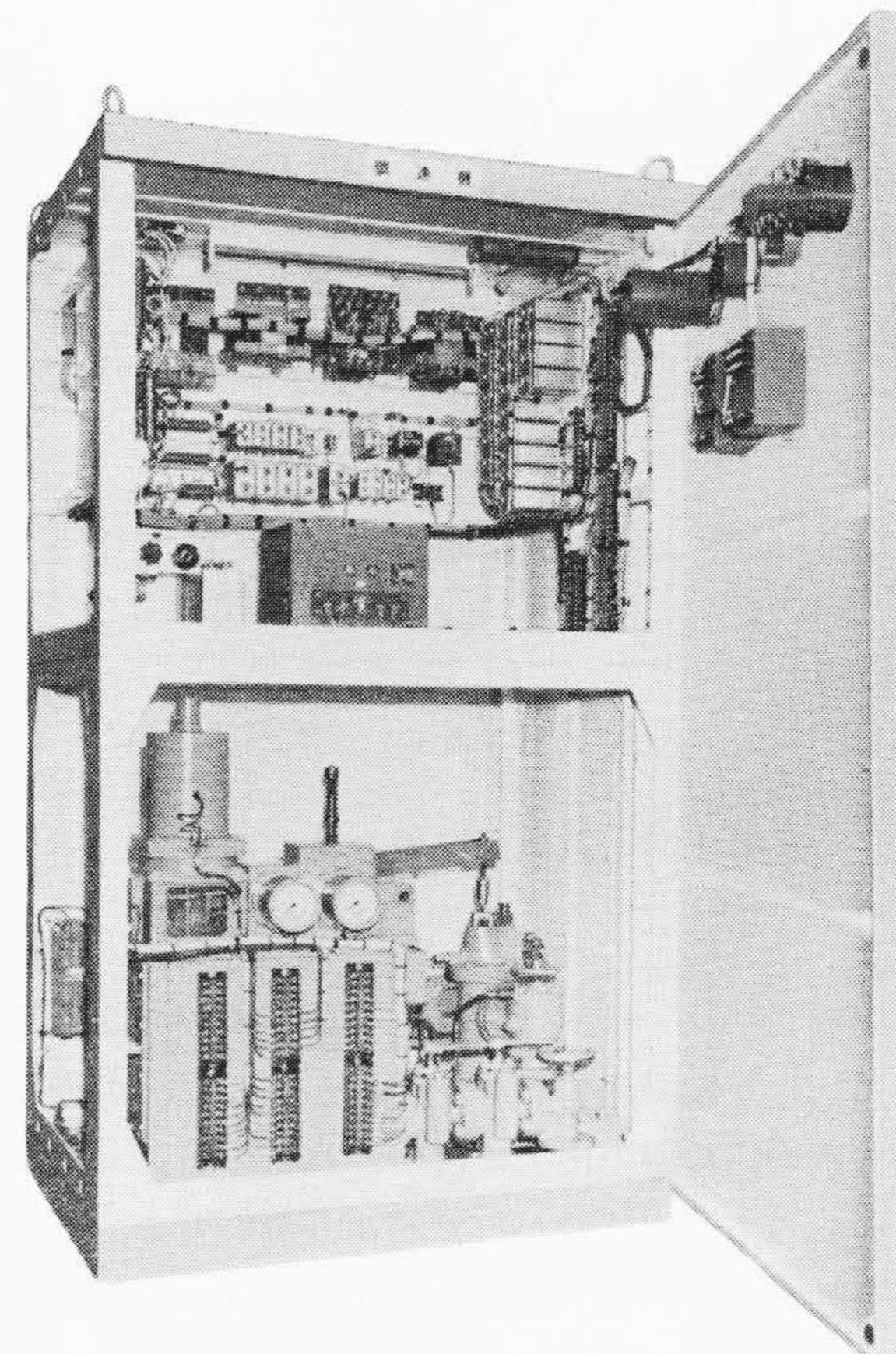
三脚鉄心の可飽和変圧器を主体とし、3個の制御巻線にはそれぞれ共振回路からの周波数偏差、出力整定回路からの整定電圧、ダンピング回路からの信号が印加される。第3図において、変圧器の一次電圧すなわち制御電圧 e_c は電源電圧 e_0 に対し約 90° の位相進みをもっている。入力信号がほぼ整定周波数にあるときは、負荷 R_3 , R_4 にかかる電圧は等しくアクチュエータ・ソレノイドの制御コイルには電流が流れない。整定周波数より高くあるいは低くなると一次電圧 e_c の位相が進みあるいは遅れて負荷 R_3 , R_4 にかかる電圧に差が生じ、ソレノイドの制御コイルに正あるいは負の電流が流れる。したがって周波数とアクチュエータ・ソレノイドストロークとの関係は第4図に示すようになる。

3.3 アクチュエータ・ソレノイド

周波数偏差を増幅した電気的出力を機械的出力に変換して一次配



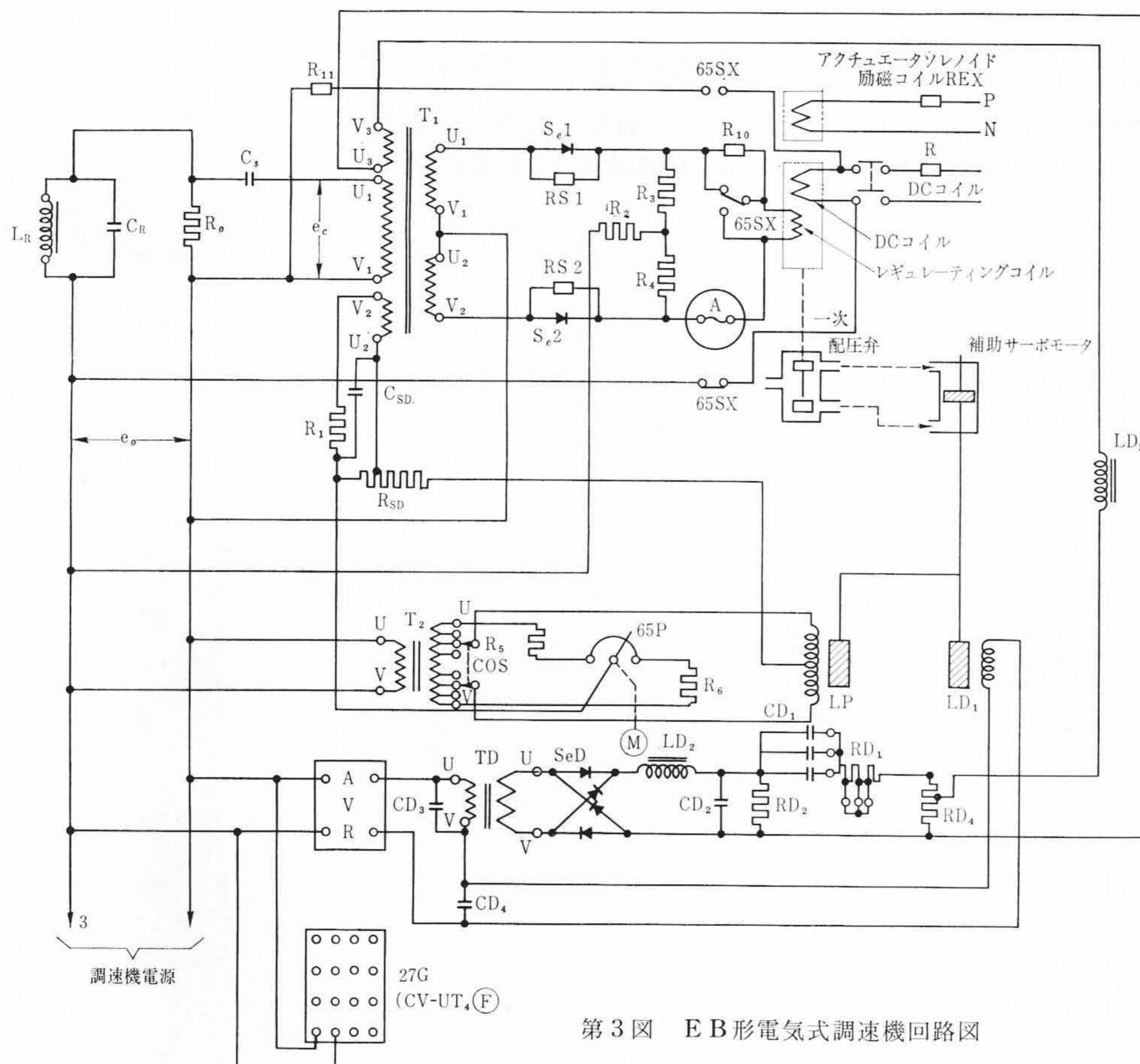
第1図 EB形電気式調速機外観



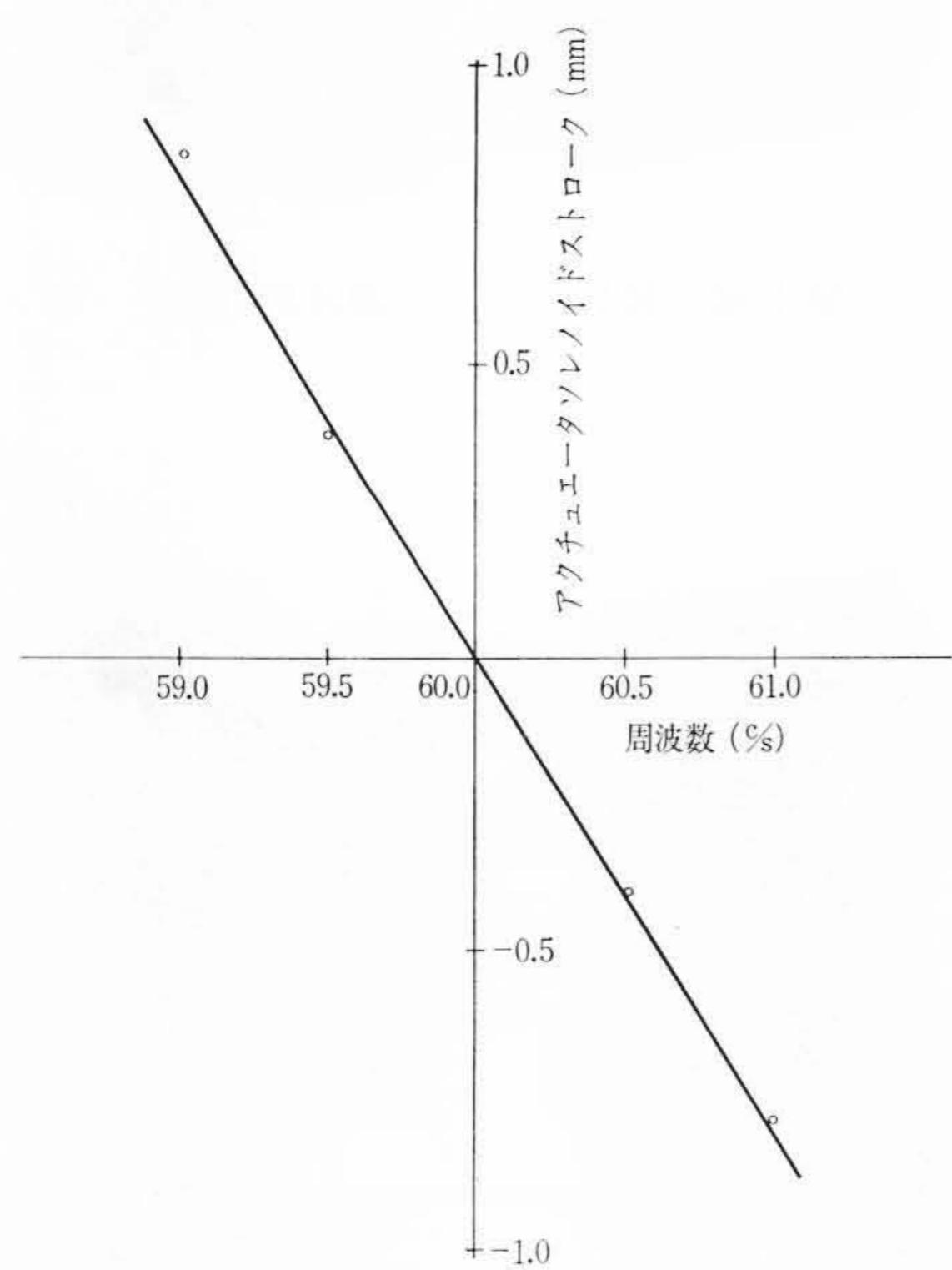
第2図 EB形電気式調速機内観

* 日立製作所日立工場

** 日立製作所国分工場



第3図 EB形電気式調速機回路図



第4図 電気回路総合特性曲線

压弁を操作する。ソレノイドは磁界と一次配压弁の前置油圧增幅器キャップを連結した制御用可動コイルとからなり、可動コイルには前述の位相別增幅装置の出力電流が流れる。可動コイルは磁界中に置かれているので、周波数が整定値より高いとき、すなわち $I > 0$ のときには可動コイルには下向きの力が働き周波数が整定値より低いときには反対に可動コイルには上向きの力が働いて一次配压弁のキャップを押し下げあるいは押し上げて、補助サーボモータを閉方向あるいは開方向に動作させる。

向あるいは開方向に動作させる。

3.4 速度垂下率調整および出力調整装置

第3図に示すとおり、タップ変圧器 (T_2)、可変抵抗器 $65P$ と可変インダクタンス (L_P) とのブリッジ回路からなっており $65P$ の位置、あるいは L_P の位置に応じて不平衡電圧が生じ、この電圧は三脚トランジスト (T_1) の入力側に電源電圧 e_c と同方向の電圧が印加され検出回路からの電圧と合成される。 L_P を移動させることにより速度垂下率特性をうるが、また $65P$ を操作することにより無負荷運転時の周波数整定が可能となる。速度垂下率の切り替えは変圧器のタップを切り替えることにより容易に行なうことができる。

3.5 ダンピング装置

第3図に示すように、補助サーボモータの移動によって可飽和リアクトル (L_{D1}) のインダクタンスが変化するため変圧器 (T_D) の二次電圧が変化する。この電圧は全波整流平滑化され

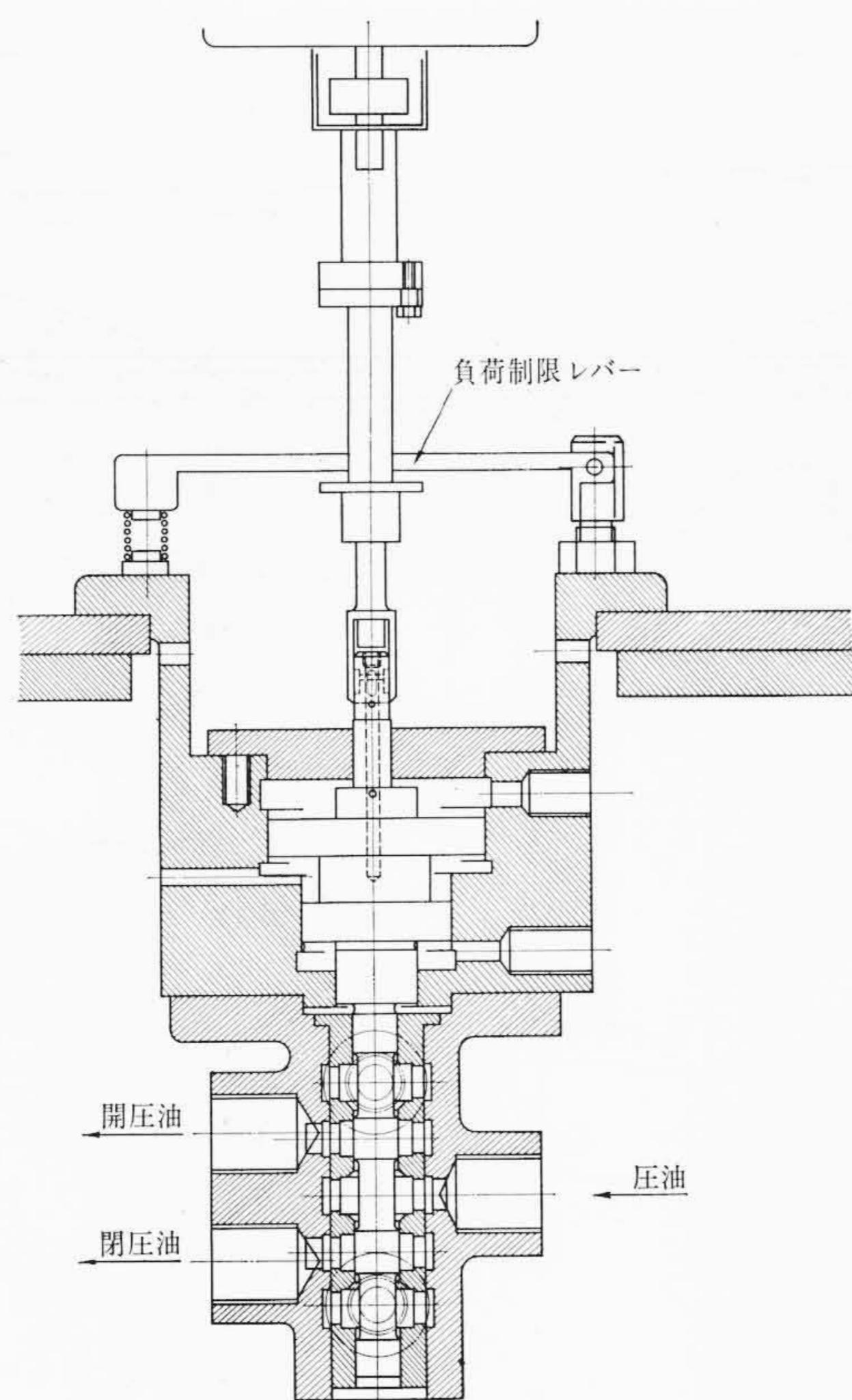
た後、抵抗 (R_{D1}) とコンデンサ (C_{D1}) によって不完全微分され、従来の機械ガバナのダッシュポットとほぼ同じ伝達関数のダンピング効果を与える。

3.6 一次配压弁および補助サーボモータ

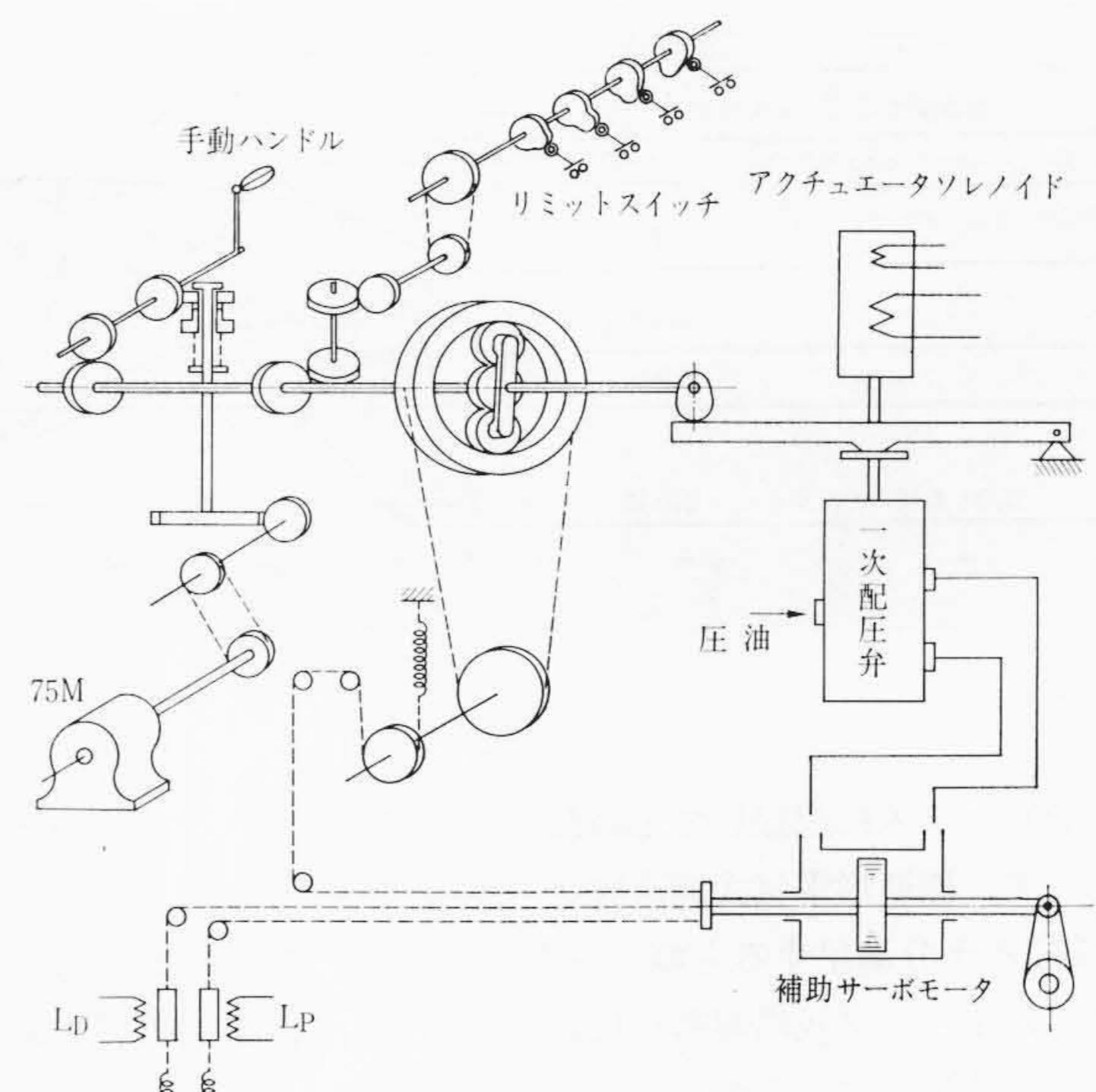
一次配压弁にはキャップ式油圧増幅器を前置し、アクチュエータ・ソレノイドに直結させて、微小な操作力を増幅して一次配压弁の静摩擦に打ち勝ち所定の感度を出す構造を採用した。構造の概略を第5図に示す。キャップ式増幅器は、現在では広く採用されているものであるが、微小径の穴を用いているため操作油に含まれるゴミなどに影響されやすいので、ストレーナを2段とし、最終段では200メッシュの金網を用いている。補助サーボモータはストローク80mmとし、二次配压弁と主サーボモータからの復原位置の中央に配置し二次配压弁の操作量を大きくとれる配列とした。すなわち速度垂下率5%のとき補助サーボモータまでの不動帯を無視して、二次配压弁に与え得る許容ラップ量を概算してみると主サーボモータまでの不動帯を0.01%にしたいときには、二次配压弁中心の動作量は約0.3mmとなるので、二次配压弁のラップ量も最大0.3mmまで許容される。したがって二次配压弁の中立位置における漏油量をできるだけおさえ、圧油ポンプの動作ひん度を少なくすることができる。

3.7 負荷制限装置

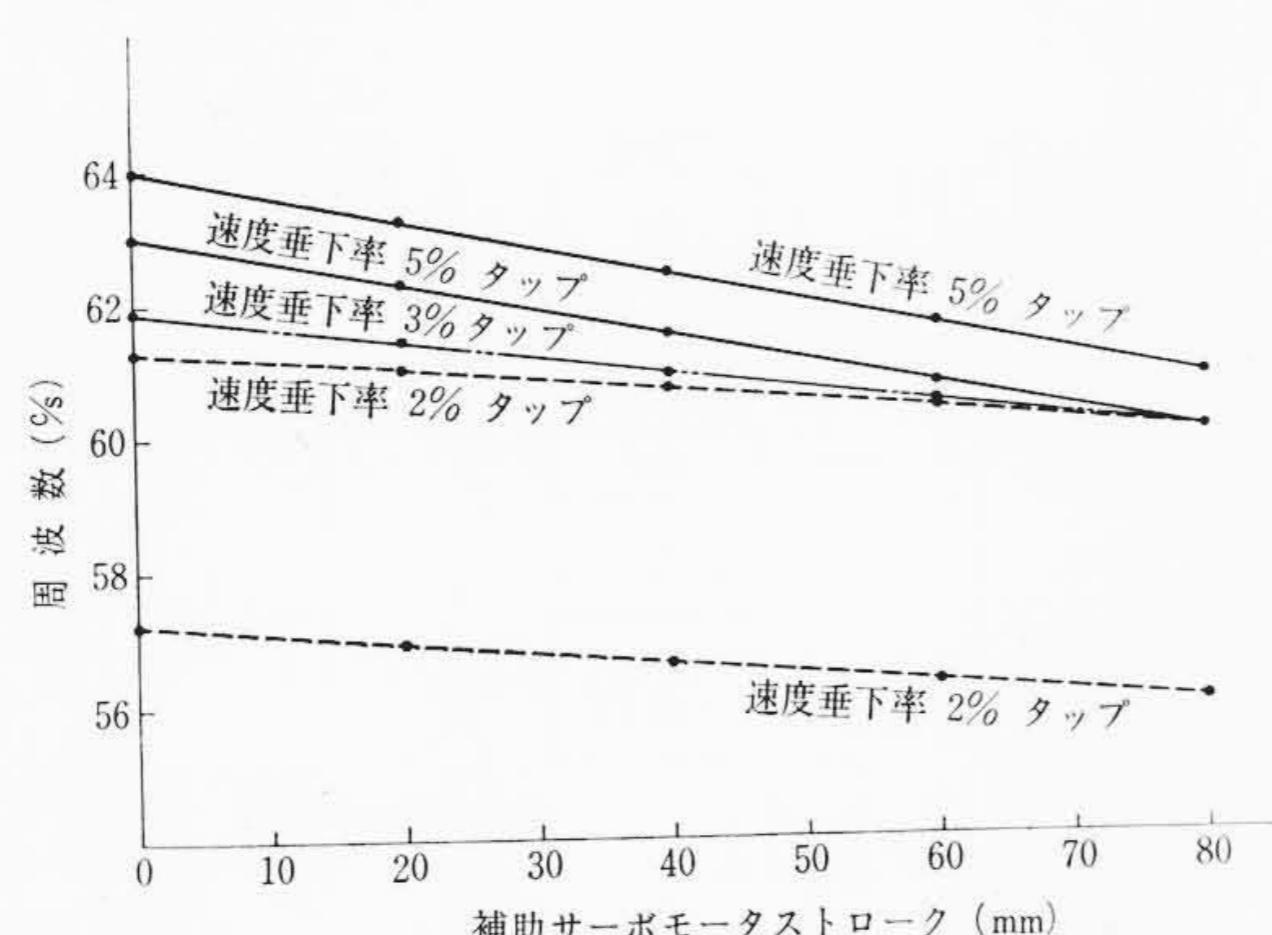
負荷制限装置は第6図に示すようにキャップ式増幅器のキャップをレバーでおさえる位置に配置し、遊星歯車機構を採用している。設定量と復原量から操作量を機械的に検出して操作カムに伝え、それにより負荷制限レバーをおさえる機構である。本装置はこの遊星歯車機構の採用によって、開度送信装置遠方操作用モータを含めてコンパクトになり、点検時には一体として取りはずし、キャビネット外部で分解点検を行ない、あらためて組み込むことができ、保守が



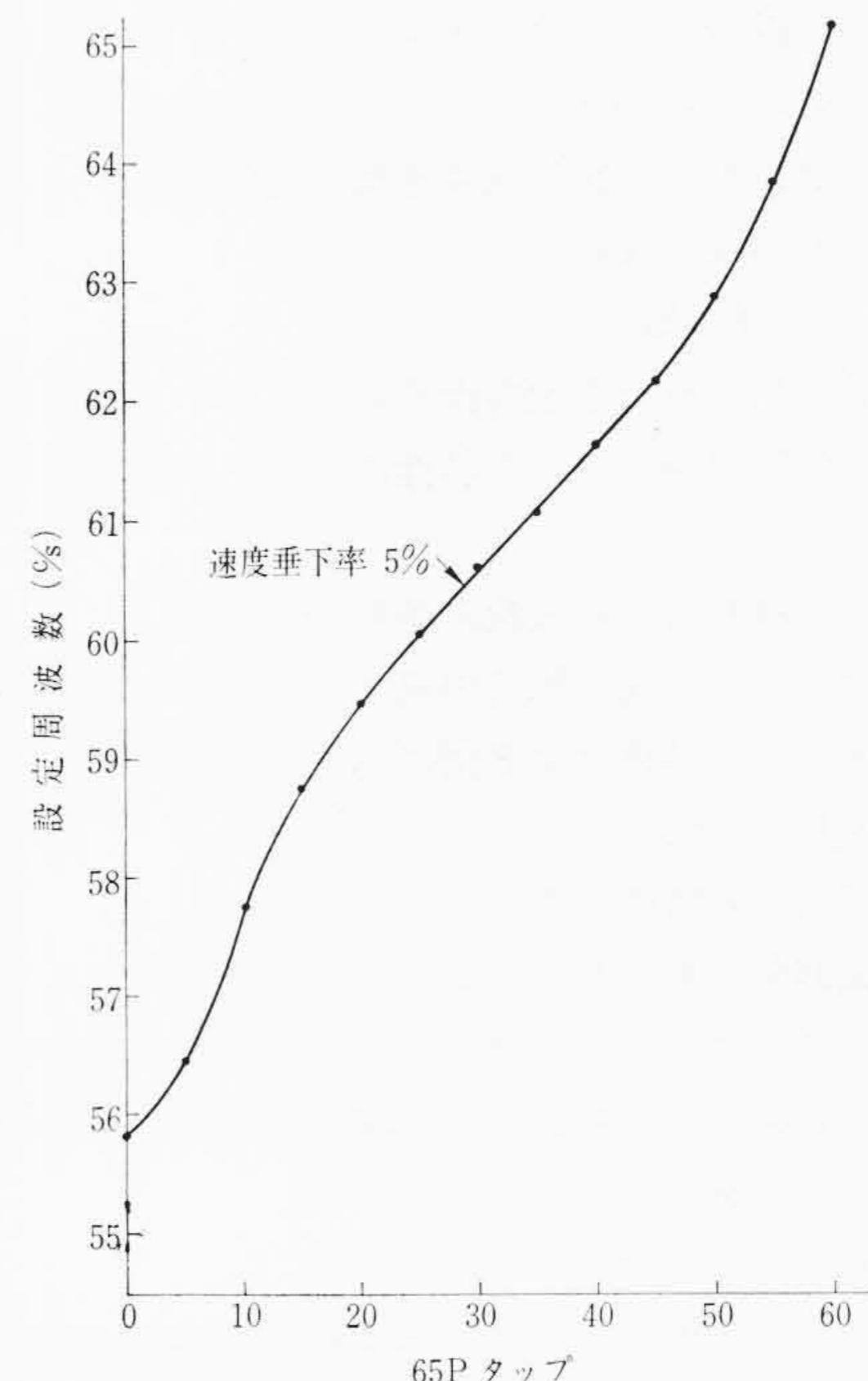
第5図 一次配圧弁組立図



第6図 負荷制限装置説明図



第7図 速度垂下率特性



第8図 65P タップと設定周波数の関係

容易である。

4. 性能試験結果

4.1 工場試験

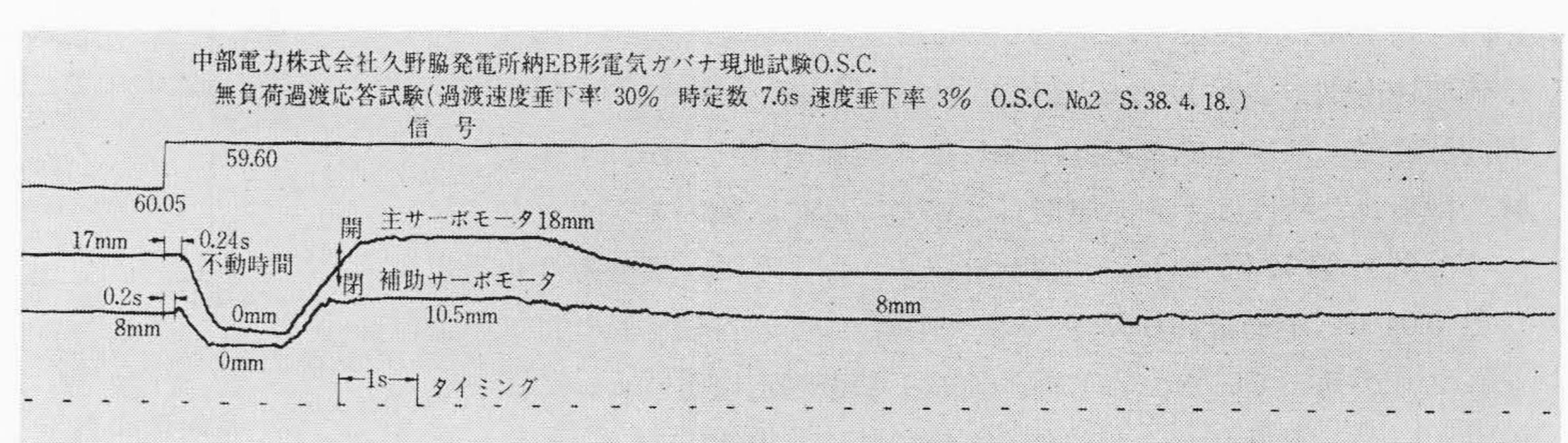
性能試験のうちおもな項目について述べる。

(1) 速度調整範囲および速度垂下率

無負荷運転時、速度垂下率2, 3, 5% の各タップで56~から64~の範囲に調整できるようになっている。56, 60, 64の各~で速度垂下率を変えたときの測定値を第7図に示す。速度垂下率の直線性は十分得られていることがわかる。

(2) 過渡速度垂下率ダンピング強さおよび弾性復原の時定数

補助サーボモータの変位とアクチュエータソレノイドに流れる電流の関係を実測し、別に求めた周波数変化とアクチュエータソ



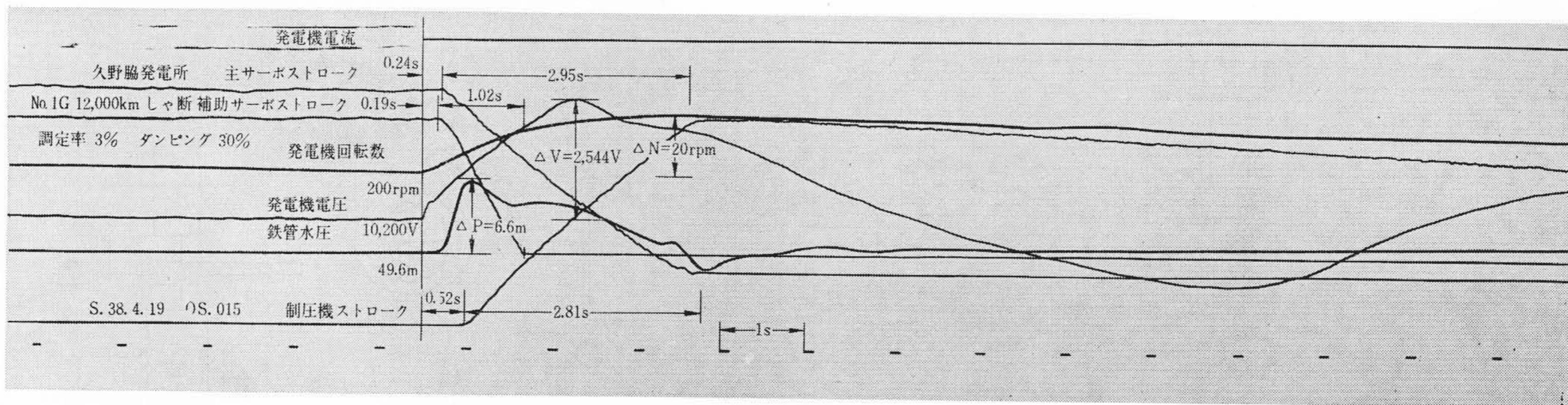
第9図 無負荷過渡応答試験の一例

レノイド電流曲線と比較して、ダンピング強さを計算した。

時定数は微分回路の電流変化をオシログラムに記録し、その減衰曲線から求めた。ダンピング強さが56%のとき6.4, 10.8, 17秒の時定数が得られた。

(3) 不動帶

周波数をゆるやかに変化したときの補助サーボモータの動きを



第10図 負荷遮断

オシログラムに記録して求めた。基準周波数60～では0.018%であって、標準形電気式調速機よりわずかに劣るが、保証値感度0.1%を十分満足するものである。このように高感度が得られたのは、キャップ式増幅器を用いたためであり、電気式調速機の特長を十分生かすことができた。

(4) 不動時間

同調回路に小さな周波数変化を与えて補助サーボモータの動作開始までの時間をオシログラム上で求めた。測定の結果、速度垂下率3%，ダンピング強さ24%，時定数4秒の条件で0.1秒が得られた。これは標準形電気式調速機と比較していくぶん劣るが実用上全くさしつかえない。

4.2 現地試験

工場試験で得られた上記特性を現地において再度確認すると同時に、水車運転時の閉ループの特性について試験を行なったので下記する。

(1) 無負荷運転時の周波数調整範囲

65Pによって無負荷運転時の速度調整を行なっているが、65Pの目盛と速度との関係は第8図に示すとおりである。保証範囲を十分に満足している。

(2) 無負荷運転時の過渡応答

並列共振回路にわずかなコンデンサ容量を付加して補助サーボモータおよび主サーボモータの応答をオシログラムに記録した。速度垂下率3%，過渡速度垂下率30%，時定数7.6秒のときのオシログラムを第9図に示す。

(3) 負荷遮断試験

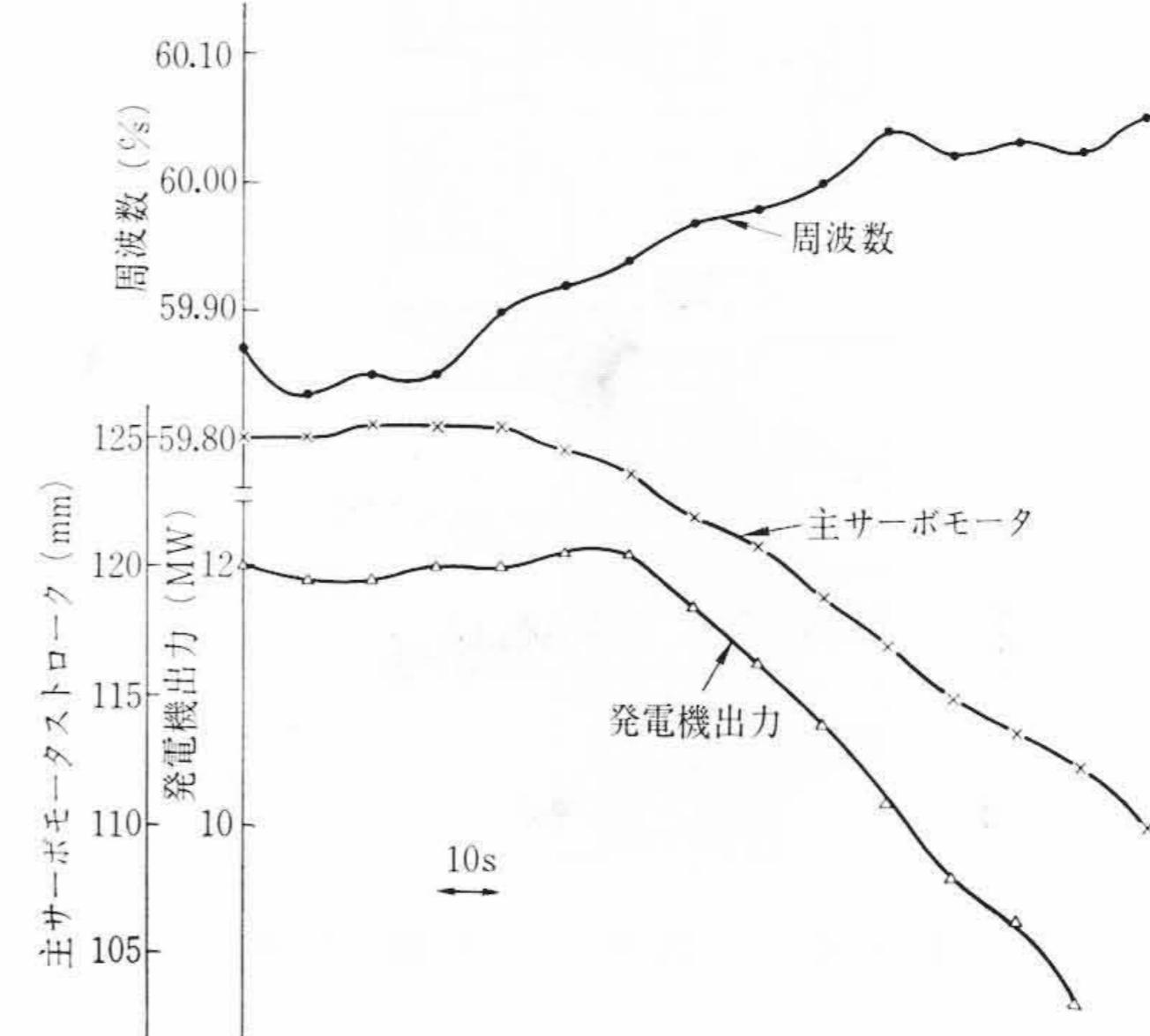
負荷遮断試験結果のオシログラムの一例を第10図に示す。調速機の定数設定値は第9図の過渡応答試験に対応するもので、不動時間はほぼ一致している。

(4) 系統応動試験

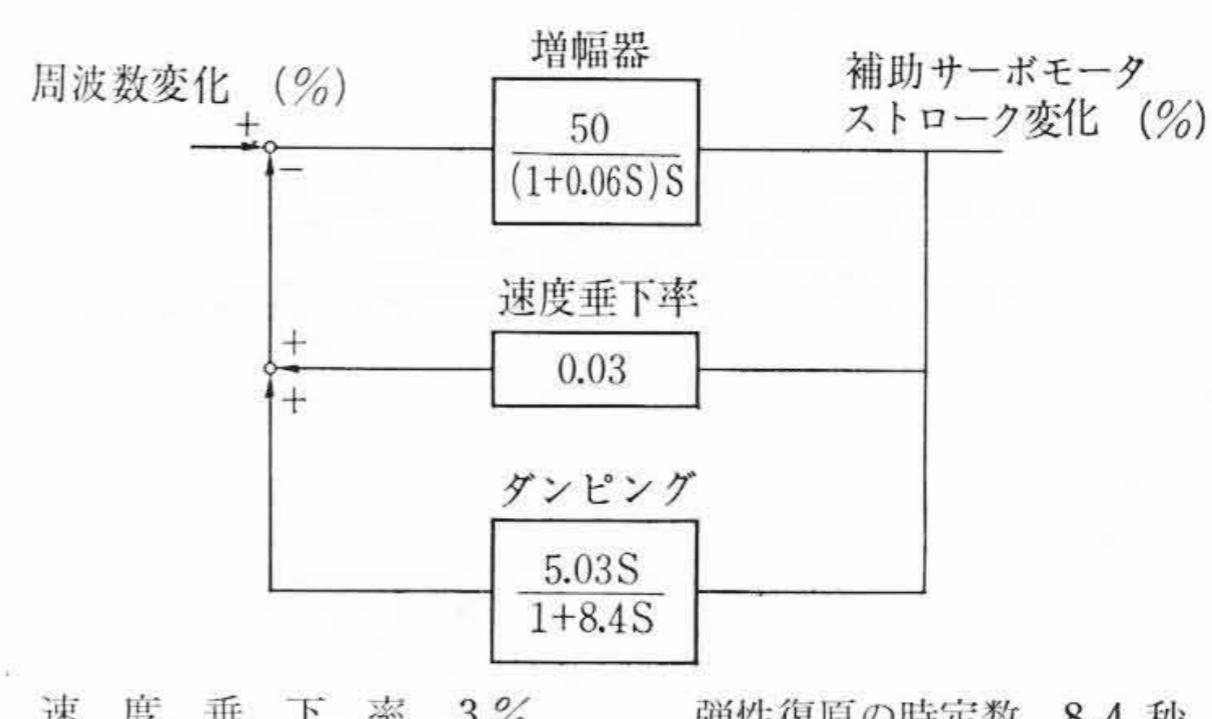
過渡速度調定率を30%程度にして常時運転するので、系統の周波数変動に対する応答特性はそれほど鋭敏ではないが、工場試験で得られた特性は十分に發揮している。応動試験のオシログラムの一例を第11図に示す。図から明らかなように、周波数変化が約0.04～(不動帯約0.03%)以上の場合には応答しており、ダンピングが効いているため工場試験の不動帯測定値よりもいくぶん大きいが、実用上十分満足すべき値であると思う。

4.3 ブロック線図およびボード線図

ブロック線図の一例を第12図に示す。角速度 ω が2.5 rad/s以下では、時定数の小さい項を省略し、第12図の簡単化された表示で十分である。第13図は第12図に示す系の ω に対する利得および位相遅れ角の実測値曲線と計算点を併記したものである。計算値と実測値との差違は角速度 ω が5 rad/sをこえると増し、第12図のブロック線図では不十分であるが、 ω が2.5 rad/s以下では利得で2 dB、位相遅れ角で10度以内におさまっている。国際電気標準

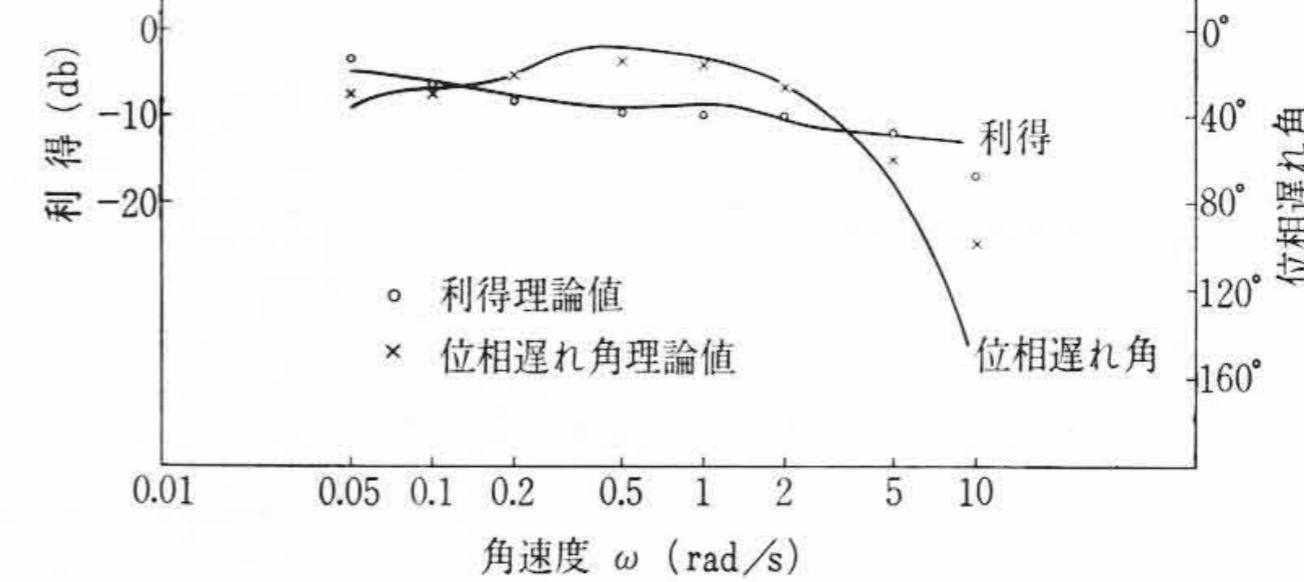


第11図 系統周波数応動試験結果例



速度垂下率 3% 弹性復原の時定数 8.4秒
過渡速度垂下率 6%

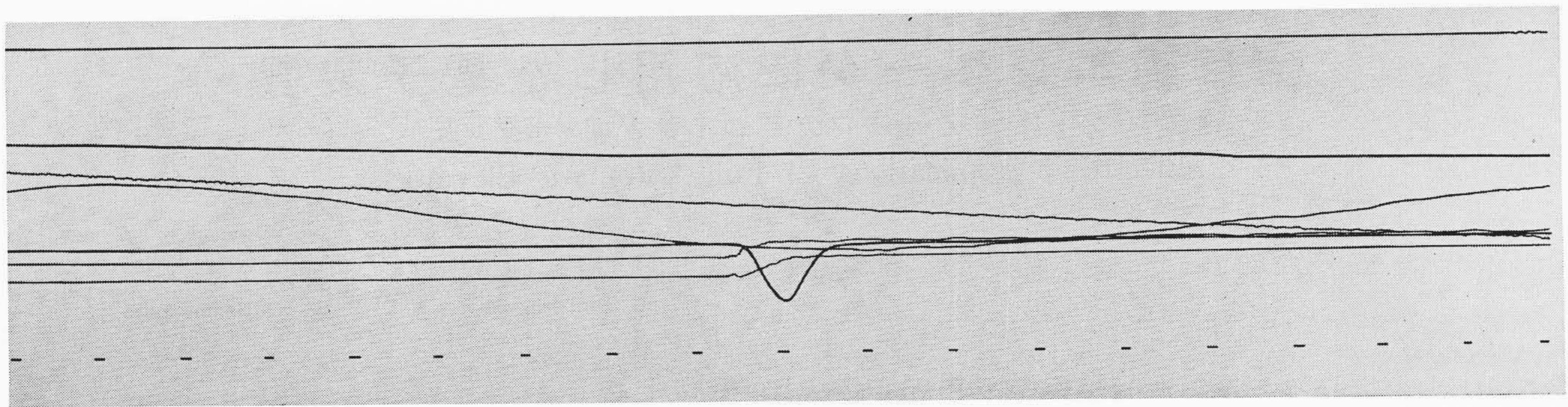
第12図 EB形電気式調速機ブロック線図例



速度垂下率 3% 弹性復原の時定数 8.4秒
過渡速度垂下率 6%

第13図 ボード線図の実測例

規格委員会(I.E.C)の水車調速機試験規格案(1963)によれば、実測値は保証値の上下について振幅比で±10% (±0.9 dBに相当)、位相遅れ角で±10度の範囲内になければならないと規定されているが、日本から利得±2 dB、位相遅れ角-20度の変更意見が出されている。本意見に従えば第13図に示す結果は妥当なものである。計算値と実測値の差違の原因は推定される事項として下記が考えられる。



試験の一例

- (1) 配圧弁の不動帶、配圧弁パイロットリフトとサーボモータ速度の関係の非線形特性
- (2) インダクタンス・コイルストロークと電圧特性の非直線性
- (3) 上記非線形量に対する入力量の大小
- (4) ひずみ波形が生じた場合の基本波形の描き方

さらに調速機によっては不動帶を設けて機器の動作ひん度をおさえている例もあり、実測に先だってこれらの点を十分に協定する必要があろう。ともあれ、現在の段階では国内規格は未制定であるから、系統周波数に応動させて調速機の特性を生かして使用する場合、工場試験時に周波数応答試験を実施して、調速機の動的特性を調査しておくことが必要である。

5. 結 言

以上日立E形電気式調速機の概要を述べたが、要約すれば、

- (1) 標準E形に比べコンパクトである。
- (2) E形に比べ静特性、動特性ともに劣るが従来の機械式調速機に比すれば、はるかによい性能をもっている。
- (3) 補助サーボモータ、二次配圧弁まで収納しているので、既設機械式調速機の代替として採用することができる。
- (4) 水位調整機も従来の電気式水位調整機と同じ方式が採用できるので、代替の場合には、これに関する新設備を要しない。

などの利点があるが、さらに一段と進んだ方式を開発し、研究を続けている。

特許と新案

最近登録された日立製作所の実用新案(その1)

登録番号	名 称	氏 名	登録年月日	登録番号	名 称	氏 名	登録年月日
586196	発振器を内蔵する受像管	山崎 映嘉 一彦	38. 11. 15	727112	道 路 掃 除 車	平岩 敬義	38. 11. 15
586197	二 周 波 選 択 增 幅 器	田中 徳山 永崎 間野 大阿 部多	"	727113	電 池 収 納 箱	松崎 平岩 沢村 村田 上増	"
586198	中継線装置閉塞及び試験装置	本間 武誠 一郎 清孝	"	727114	電 磁 ク ラ ッ チ 付 電 動 機	坂井 民英 田中 実 増	"
586199	ポンプのケーシング	木本 博彦 一郎	"	727115	電 磁 ク ラ ッ チ 付 電 動 機	田澤 高相 田中 増	"
586200	超音波送受波器	高橋 多橋 木澤	"	727116	電気集塵器における電線張架装置	橋馬 高相 青若	"
586201	気化器	木本 清彦 一郎	38. 11. 30	727117	電気車のデットマン制御装置	森尾 高相 青若	"
586478	短絡器	宮澤 浩一	38. 12. 9	727118	可逆制御器	木森 高相 青若	"
586489	ガスクローカウント	岡藤 健一	"	727119	水平垂直移動式立体駐車場	尾駒 上増 荒高 相青	"
586490	有機高分子物質の流動温度測定装置	岡山 陽一	"	727120	熱動過電流継電器	毛上 俊昌 田上 恒宏	"
586491	多点式個別警報装置	山井 健一	"	727121	避電器動作責任試験装置	田駒 俊昌 田中 実	"
586492	ボータブルラジオ受信機	木崎 健一	"	727122	避電器動作責任試験装置	木崎 勝義 田中 実	"
586493	磁気ヘッド	崎見 二郎	"	727123	ブレーーキ付電動機	崎見 一昌 田中 実	"
586494	直流機器保護装置	村増 朝比奈	"	727125	連続破碎機	木崎 一昌 田中 実	"
586495	一斉指令に於ける指令者識別装置	野野村 昭好	"	727126	トランスマシンにおけるワークテーブルのクリンプ面清掃装置	渡田 克昌 田中 実	"
586496	超音波送受波器	橋高一	"	727127	型鋼圧延機出口案内装置	田中 真加谷 英潤	"
586497	超音波送受波器	橋博一	"	727128	無電極放電型加熱装置	田中 孝哲 田中 晴勝	"
727104	相分離形密閉母線の除湿装置	橋香一	38. 11. 15	727129	レコードプレイヤーに於けるシートレコード滑り止め装置	木暮 勇本 田中 直仁	"
727105	密閉母線の接続装置	橋芳一	"	727130	自動車用座席	木暮 勇本 田中 直仁	"
727106	十字型接手	橋芳一	"	727131	自動車用座席	木暮 勇本 田中 直仁	"
727107	整流子電動機のロッカー支え調整装置	橋青一	"				
727108	連動運転電動機群の制御装置	橋人生一	"				
727109	回路遮断器	橋雄一	"				
727110	扇風機スタンド支柱	橋浩一	"				
727111	相分離形密閉母線	橋幸太郎	"				

(40頁へつづく)