

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 凱**
Asao Ôishi Gai Komatsu

内 容 梗 概

比較的中容量以下の新設発電所用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・キュービクルの中に電気部分と機械部分が収納されており、検出、増幅、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図はキュービクルの外観、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

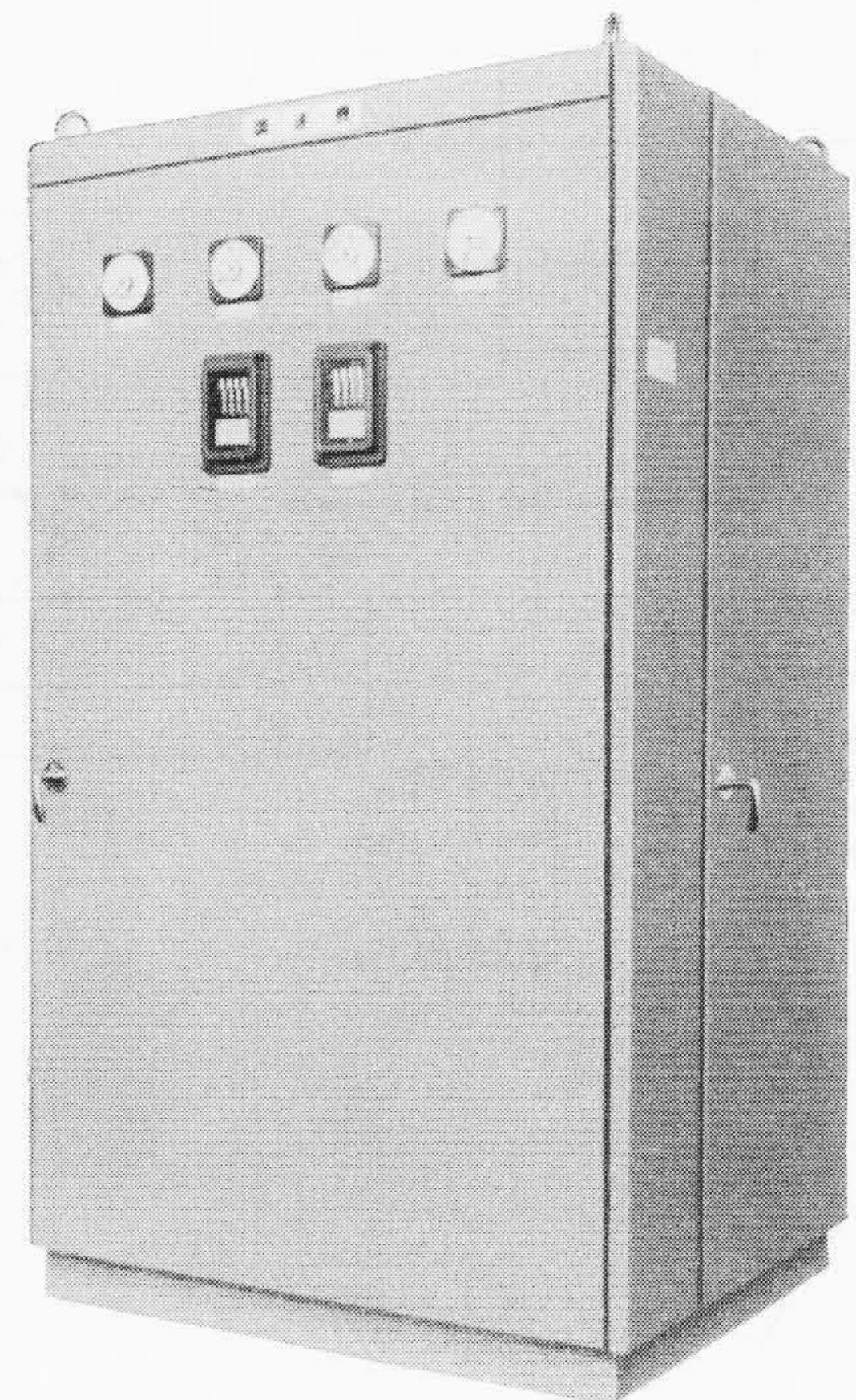
三脚鉄心の可飽和変圧器を主体とし、3個の制御巻線にはそれぞれ共振回路からの周波数偏差、出力整定回路からの整定電圧、ダンピング回路からの信号が印加される。第3図において、変圧器の一次電圧すなわち制御電圧 e_c は電源電圧 e_0 に対し約 90° の位相進みをもっている。入力信号がほぼ整定周波数にあるときは、負荷 R_3 、 R_4 にかかる電圧は等しくアクチュエータ・ソレノイドの制御コイルには電流が流れない。整定周波数より高くあるいは低くなると一次電圧 e_c の位相が進みあるいは遅れて負荷 R_3 、 R_4 にかかる電圧に差が生じ、ソレノイドの制御コイルに正あるいは負の電流が流れる。した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

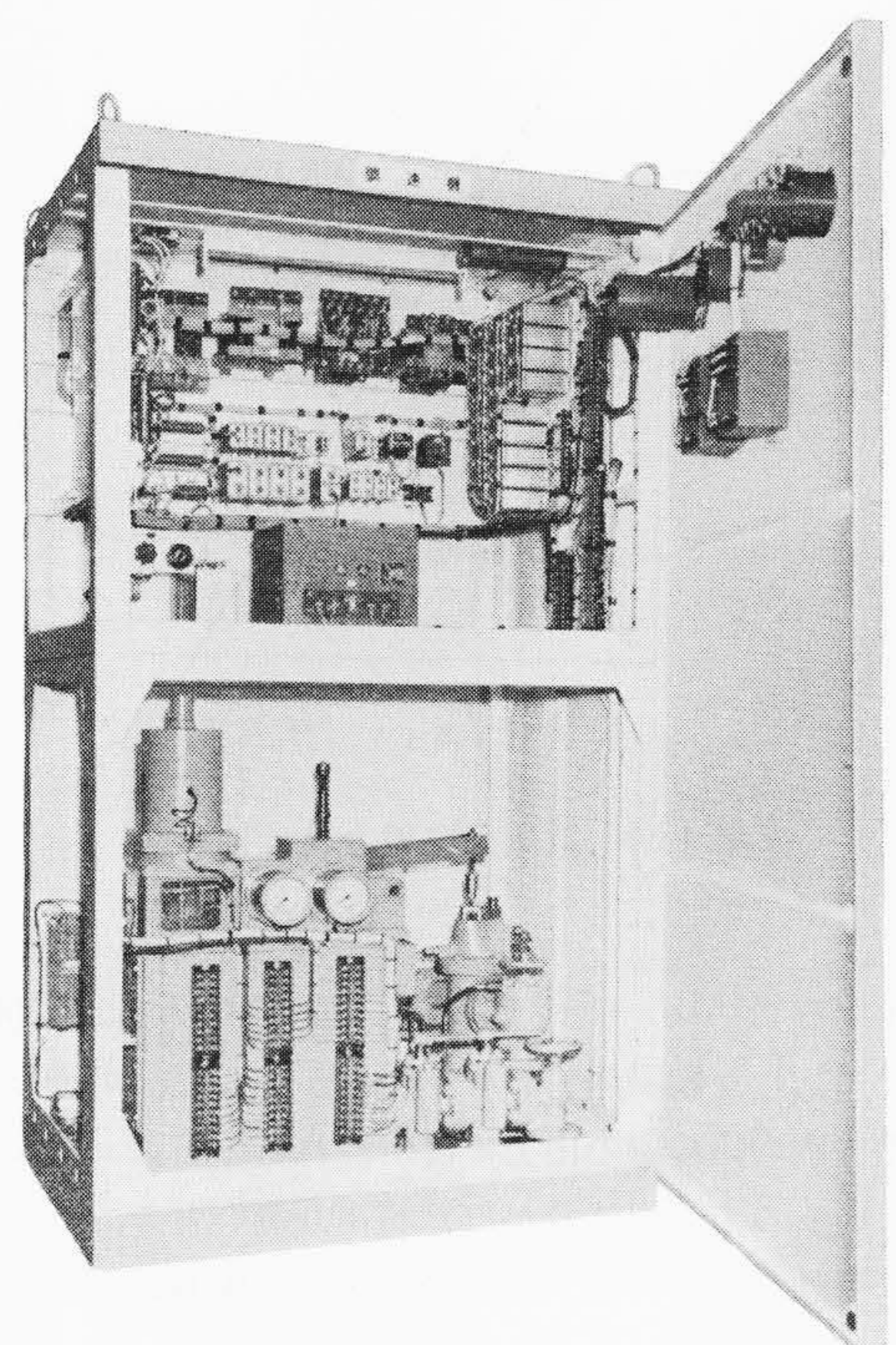
周波数偏差を増幅した電氣的出力を機械的出力に変換して一次配

* 日立製作所日立工場

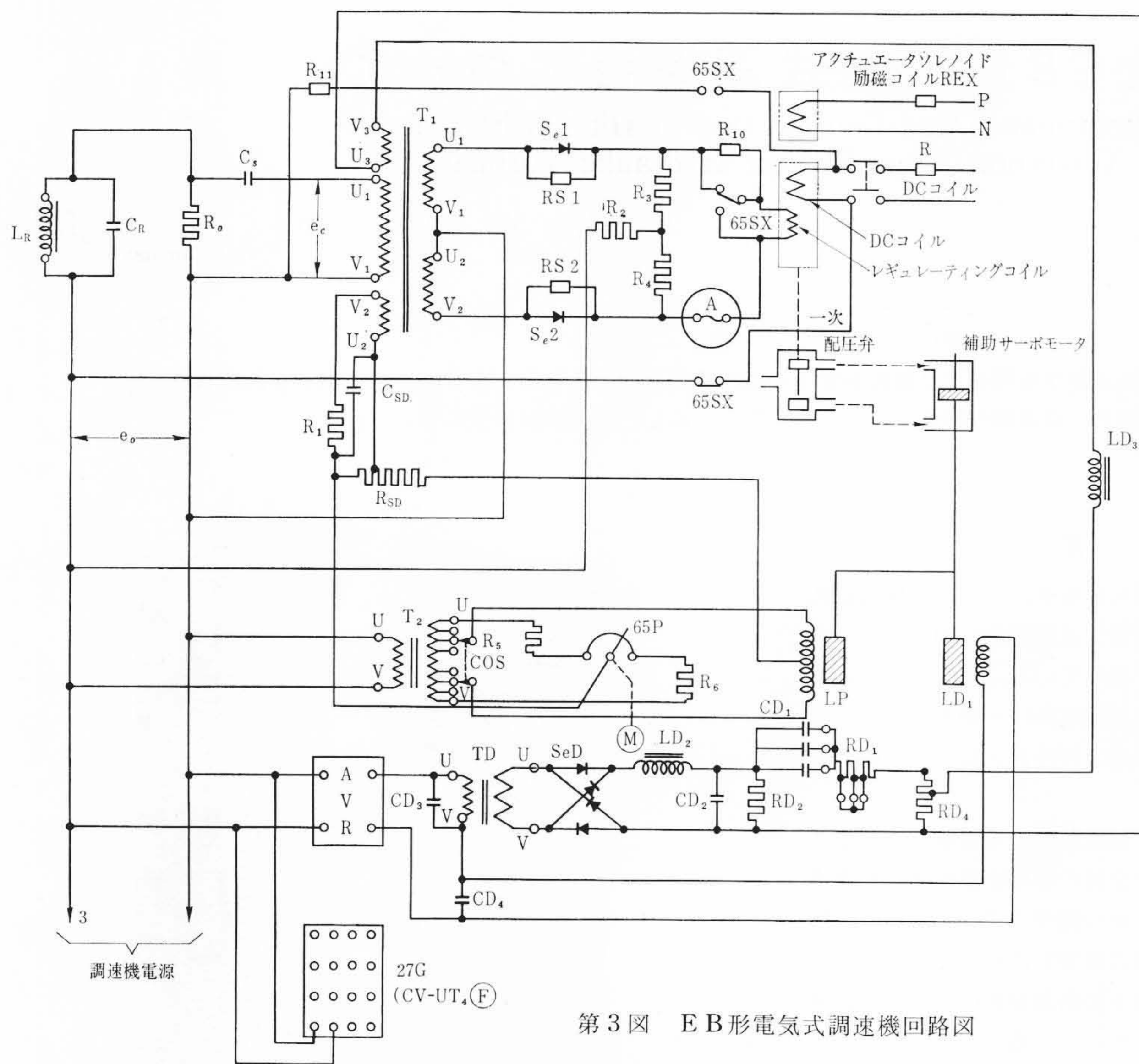
** 日立製作所国分工場



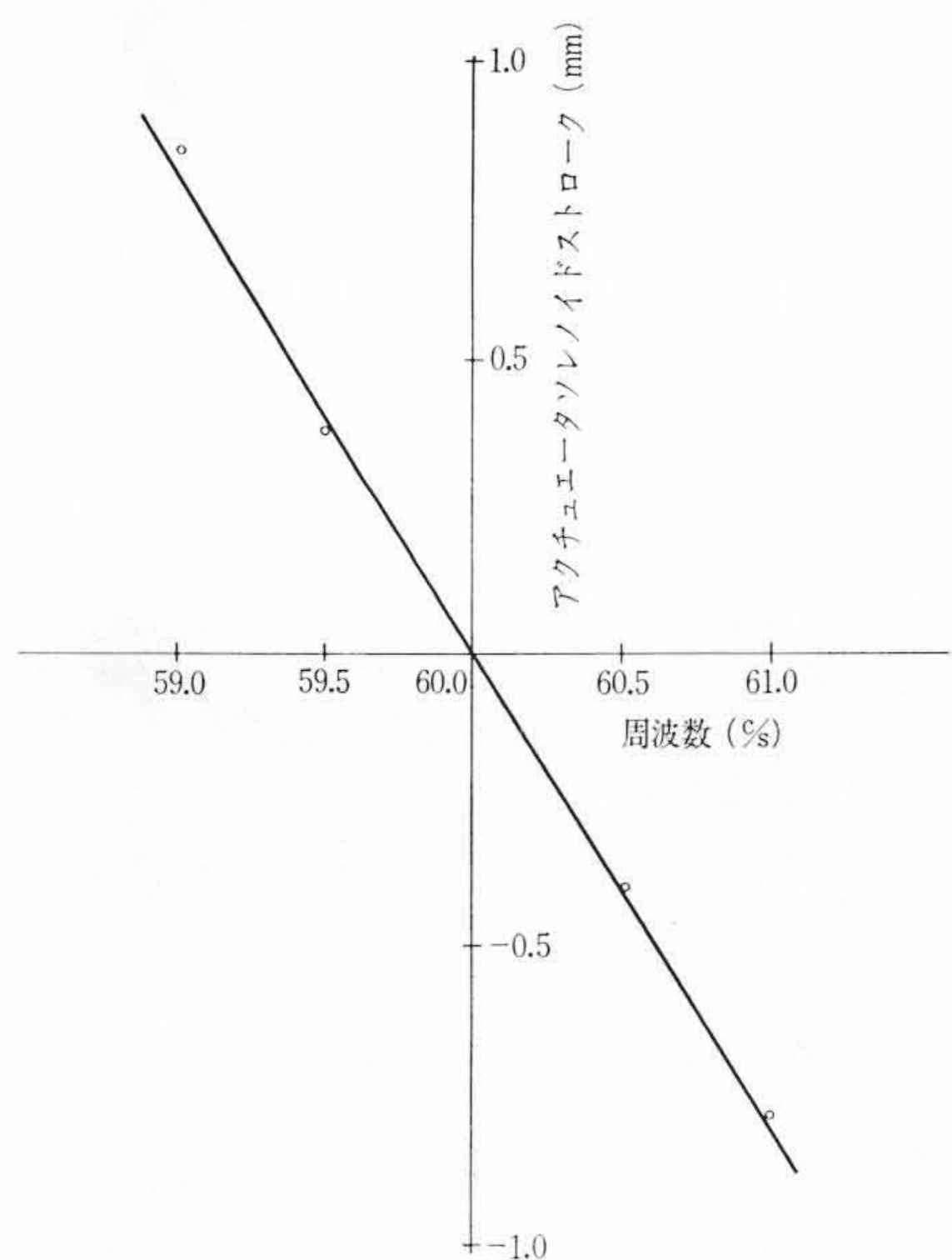
第1図 EB形電気式調速機外観



第2図 EB形電気式調速機内観



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

圧弁を操作する。ソレノイドは磁界と一次配圧弁の前置油圧増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弁別増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圧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。

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 65 P 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 65 P 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ス (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調整性をうるが、また 65 P 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

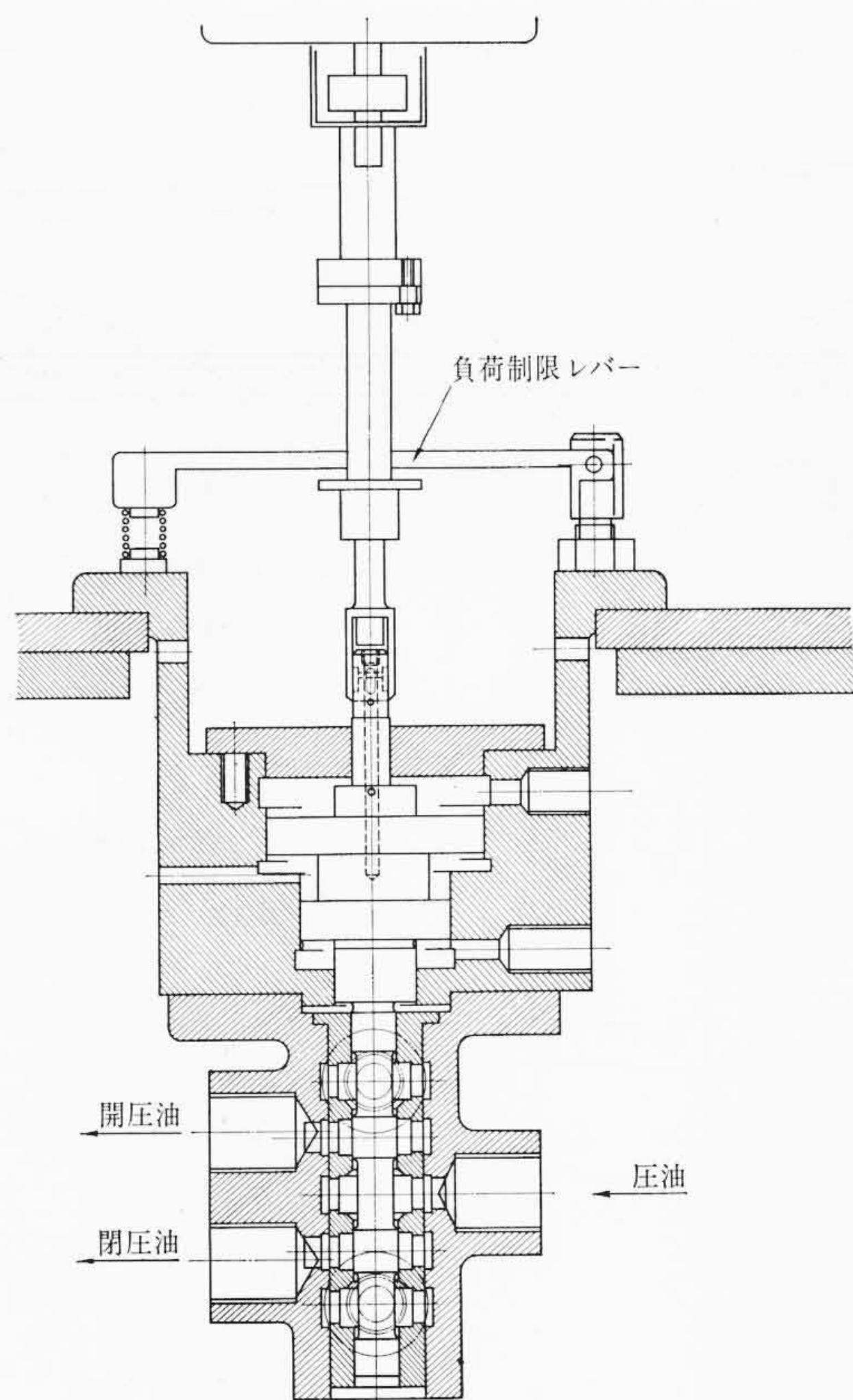
た後、抵抗 (R_{D1}) とコンデンサ (C_{D1}) によって不完全微分され、従来の機械ガバナのダッシュポットとほぼ同じ伝達関数のダンピング効果を与える。

3.6 一次配圧弁および補助サーボモータ

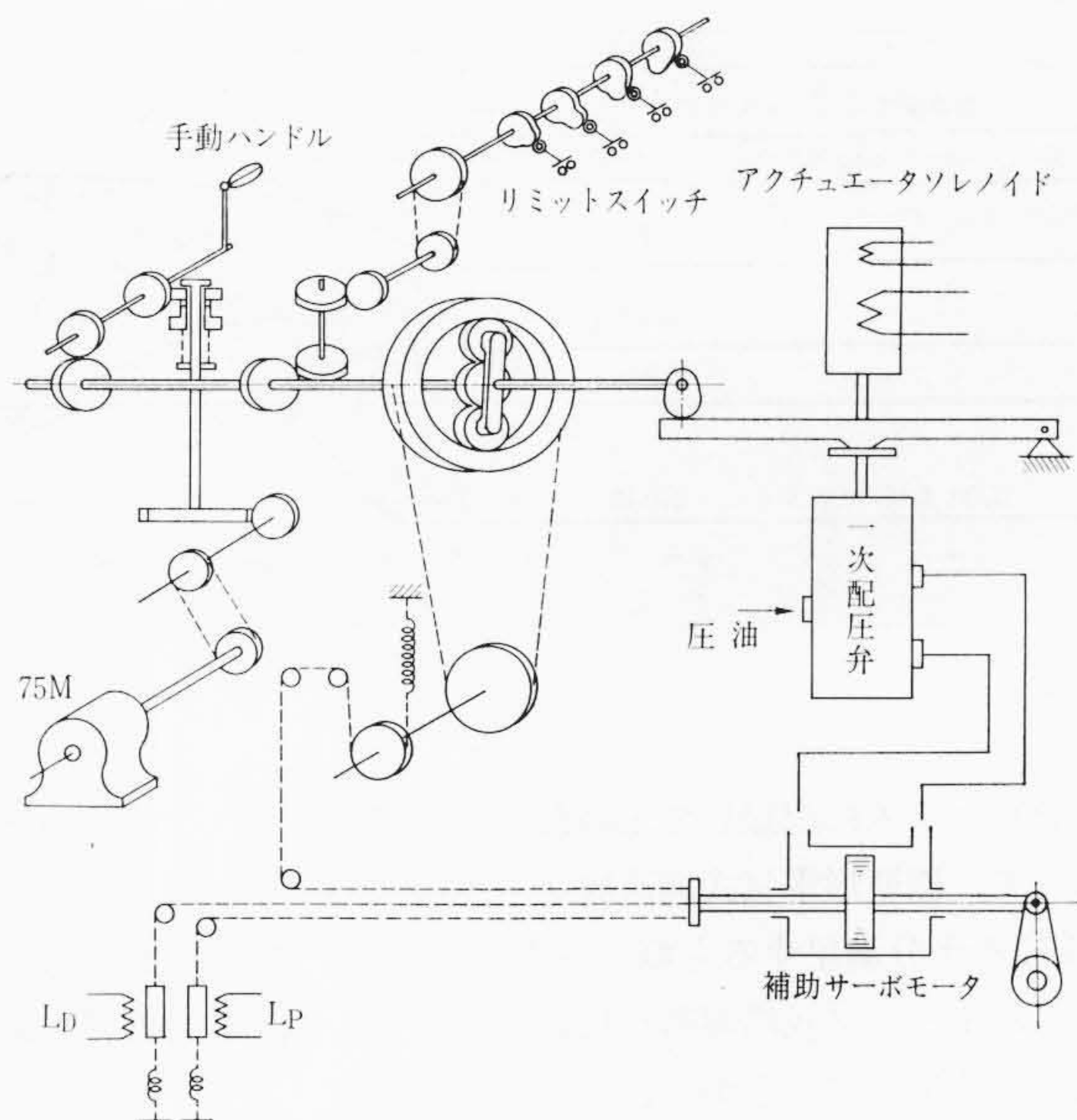
一次配圧弁にはキャップ式油圧増幅器を前置し、アクチュエータ・ソレノイドに直結させて、微小な操作力を増幅して一次配圧弁の静摩擦に打ち勝ち所定の感度を出す構造を採用した。構造の概略を第 5 図に示す。キャップ式増幅器は、現在では広く採用されているものであるが、微小径の穴を用いているため操作油に含まれるゴミなどに影響されやすいので、ストレーナを 2 段とし、最終段では 200 メッシュの金網を用いている。補助サーボモータはストローク 80 mm とし、二次配圧弁と主サーボモータからの復原位置の中央に配置し二次配圧弁の操作量を大きくとれる配列とした。すなわち速度垂下率 5 % のとき補助サーボモータま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

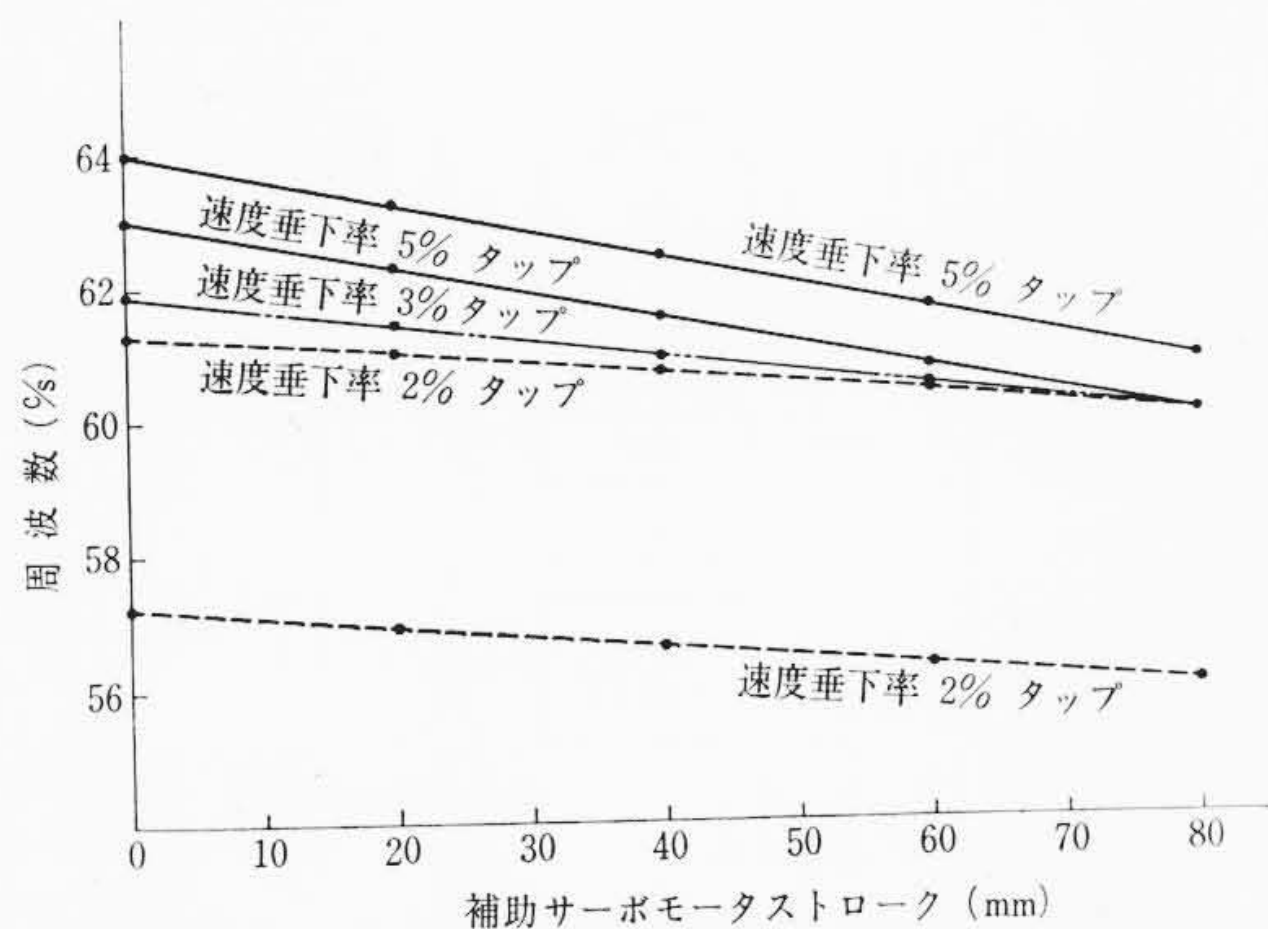
負荷制限装置は第 6 図に示すようにキャップ式増幅器のキャップをレバーでおさえる位置に配置し、遊星歯車機構を採用している。設定量と復原量から操作量を機械的に検出して操作カムに伝え、それにより負荷制限レバーをおさえる機構である。本装置はこの遊星歯車機構の採用によって、開度送信装置遠方作用モータを含めてコンパクトになり、点検時には一体として取りはずし、キャビネット外部で分解点検を行ない、あらためて組み込むことができ、保守が



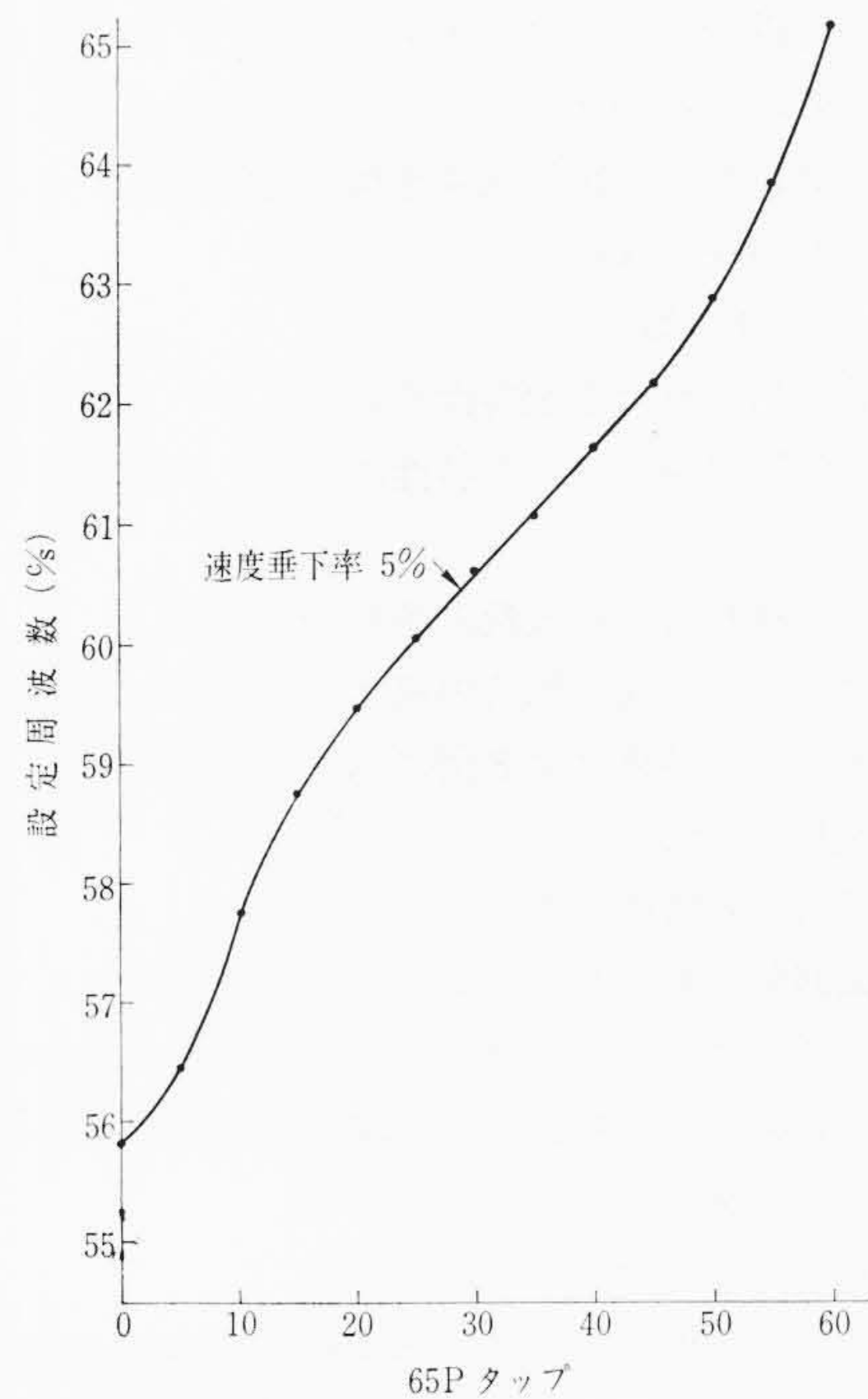
第5図 一次配圧弁組立図



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

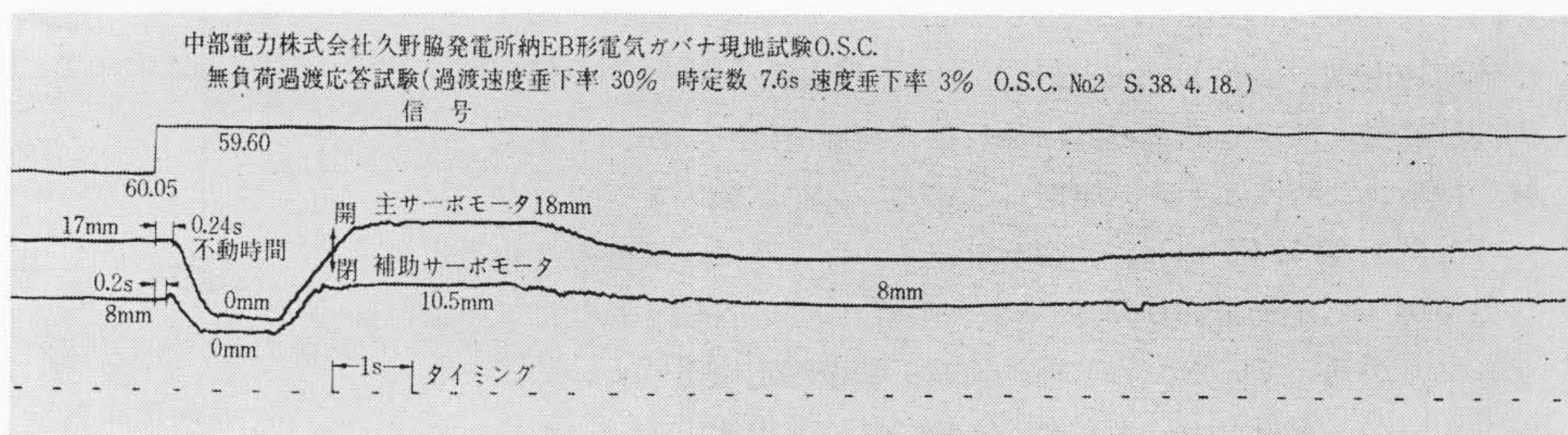
性能試験のうちおもな項目について述べる。

(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



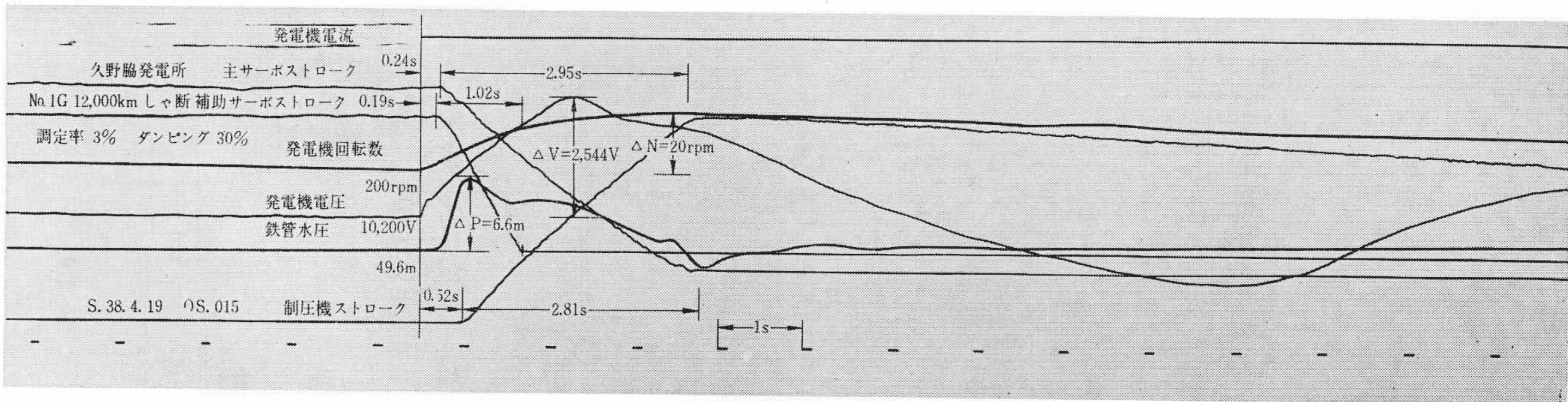
第9図 無負荷過渡応答試験の一例

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) 不動帯

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

65 P によって無負荷運転時の速度調整を行なっているが、65 P 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

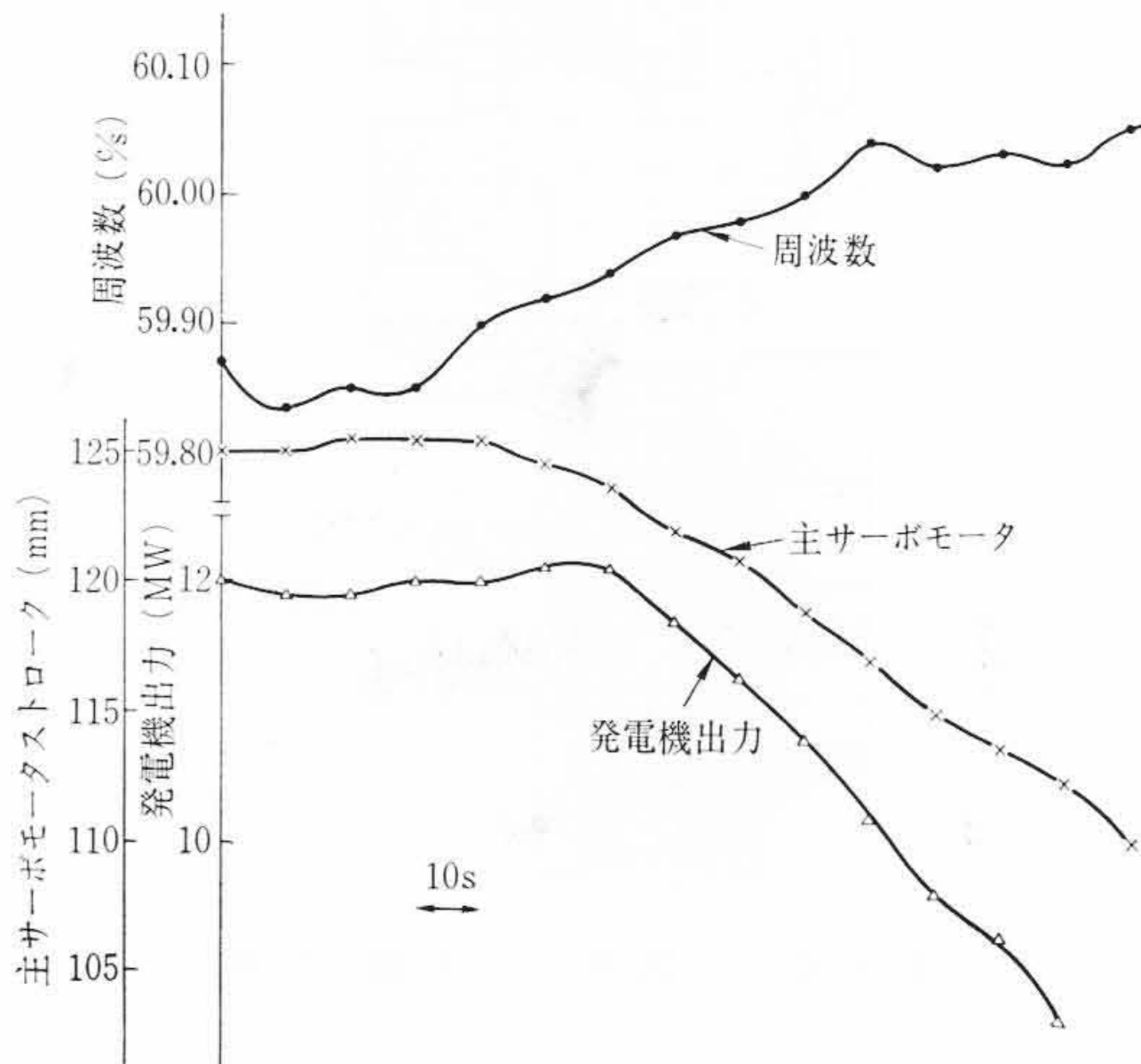
負荷遮断試験結果のオシログラムの一例を第 10 図に示す。調速機の定数設定値は第 9 図の過渡応答試験に対応するもので、不動時間はほぼ一致している。

(4) 系 統 応 動 試 験

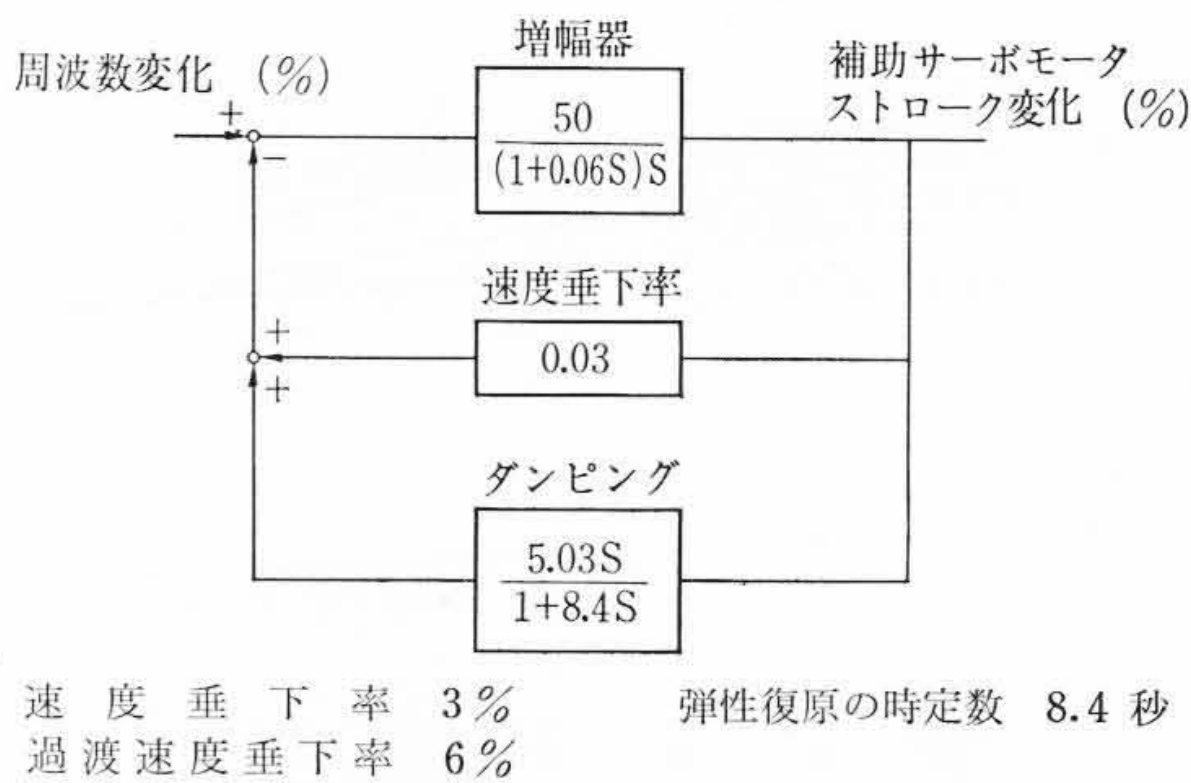
過渡速度調定率を 30% 程度にして常時運転するので、系統の周波数変動に対する応答特性はそれほど鋭敏ではないが、工場試験で得られた特性は十分に発揮している。応動試験のオシログラムの一例を第 11 図に示す。図から明らかなように、周波数変化が約 0.04%（不動帯約 0.03%）以上の場合には応答しており、ダンピングが効いているため工場試験の不動帯測定値よりもいくぶん大きい、実用上十分満足すべき値であると思う。

4.3 ブロック線図およびボード線図

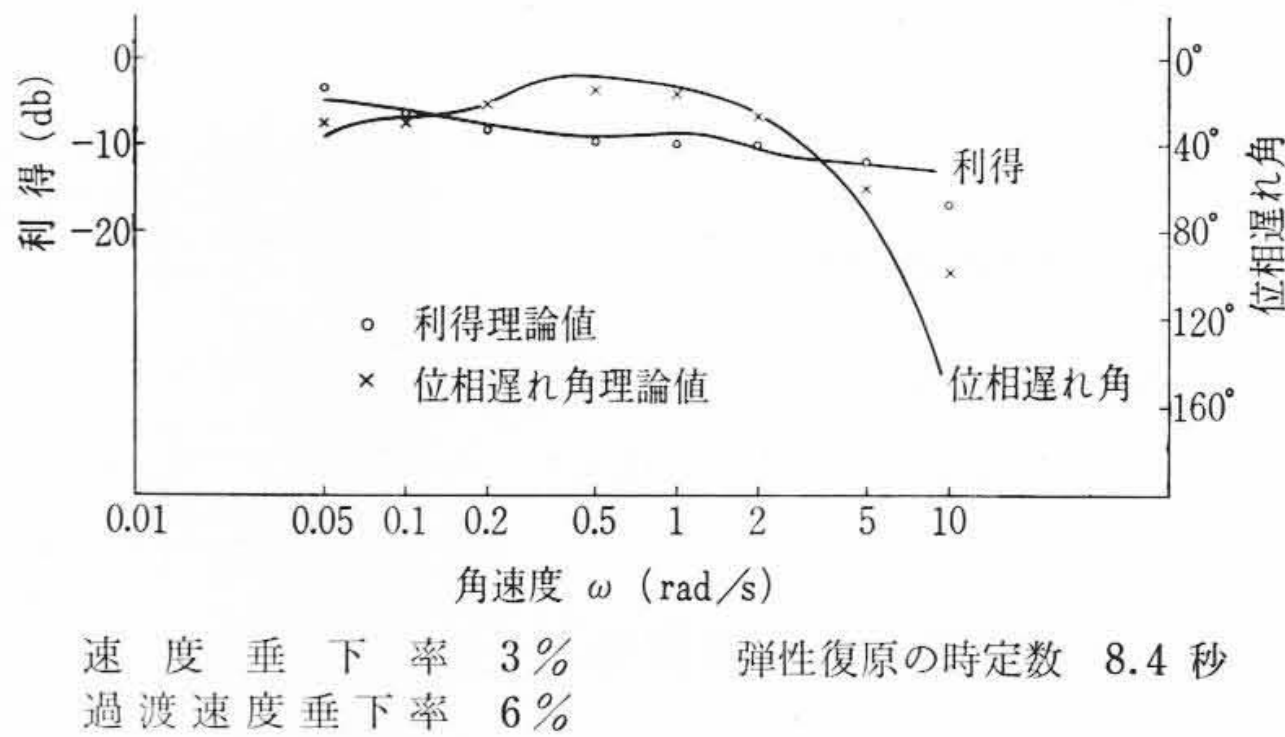
ブロック線図の一例を第 12 図に示す。角速度 ω が 2.5 rad/s 以下では、時定数の小さい項を省略し、第 12 図の簡単化された表示で十分である。第 13 図は第 12 図に示す系の ω に対する利得および位相遅れ角の実測値曲線と計算点を併記したものである。計算値と実測値との差は角速度 ω が 5 rad/s をこえると増し、第 12 図のブロック線図では不十分であるが、 ω が 2.5 rad/s 以下では利得で 2 dB、位相遅れ角で 10 度以内におさまっている。国際電気標準



第 11 図 系 統 周 波 数 応 動 試 験 結 果 例

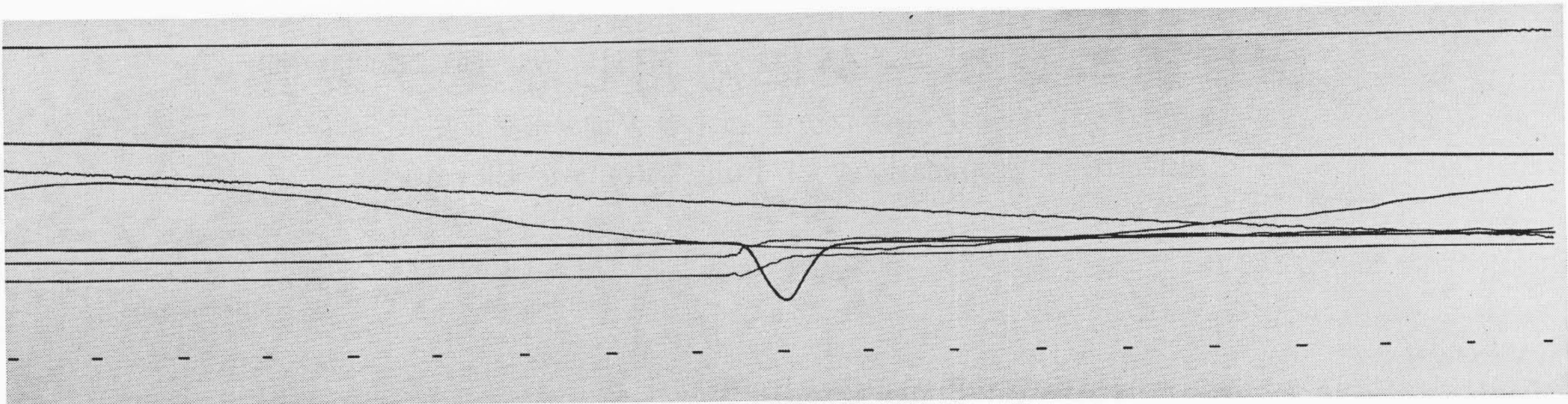


第 12 図 E B 形 電 気 式 調 速 機 ブ ロ ッ ク 線 図 例



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 $\pm 10\%$ (± 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) 配圧弁の不動帯，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帯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る。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 B 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	山宮 映 一 彦	38. 11. 15	727112	道路掃除車	平岩 敬 之 治	38. 11. 15
586197	二周波選択増幅器	崎田 永 迪 夫	"	727113	電池収納箱	松崎 沢 正 英	"
586198	中継線装置閉塞及び試験装置	山宮 永 迪 武	"	727114	電磁クラッチ付電動機	上村 村 民 夫	"
586199	ポンプのケーシング	大本 野 部 清 孝	"	727115	電磁クラッチ付電動機	増上 村 民 夫	"
586200	超音波送受波器	阿本 多 博 一	"	727116	電気集塵器における電線張架装置	増上 村 民 夫	"
586201	気化器	高橋 橋 一 博	"	727117	電気車のデットマン制御装置	荒 沢 稔 郎	"
586478	短絡器	鈴木 彦 彦	38. 11. 30	727118	可逆制御器	高 橋 健 造	"
586489	ガスフローカウンタ	宮 沢 淨 夫	38. 12. 9	727119	水平垂直移動式立体駐車場	相 馬 正 雄	"
586490	有機高分子物質の流動温度測定装置	藤岡 健 夫	"	727120	熱動過電流継電器	青若 神 俊 昌	"
586491	多点式個別警報装置	岡山 山 守 一	"	727121	避電器動作責務試験装置	居石 駒 恒 史	"
586492	ポータブルラジオ受信機	河 井 陽 一 夫	"	727122	避電器動作責務試験装置	寺 上 義 和	"
586493	磁気ヘッド	高山 越 見 井 郎	"	727123	ブレーキ付電動機	益 田 淳 一	"
586494	直流機器保護装置	二 荒 村 逸 夫	"	727125	連続破砕機	益 田 淳 一	"
586495	一斉指令に於ける指令者識別装置	朝比 野 昭 義	"	727126	トランスフォーマシにおけるワークテーブルのクランプ面清掃装置	増 田 英 四 郎	"
586496	超音波送受波器	水小 野 林 好 次	"	727127	型鋼圧延機出口案内装置	安 部 克 郎	"
586497	超音波送受波器	高橋 橋 一 博	"	727128	無電極放電型加熱装置	中 村 昌 夫	"
727104	相分離形密閉母線の除湿装置	高田 鎖 香	38. 11. 15	727129	レコードプレーヤーに於けるシートレコード滑り止め装置	石 渡 田 孝 之 二	"
727105	密閉母線の接続装置	田 崎 芳 男	"	727130	自動車用座席	加 藤 孝 哲	"
727106	十字型接手	藤 居 哲 人	"	727131	自動車用座席	菅 原 理 夫	"
727107	整流子電動機のロッカー支え調整装置	武 居 哲 秀	"			山 高 橋 浩 久	"
727108	連動運転電動機群の制御装置	青 山 雲 恒 男	"			佐 藤 晴 勝	"
727109	回路遮断器	南 河 村 恒 男	"			加 藤 義 直	"
727110	扇風機スタンド支柱	大井 田 浩 夫	"			村 内 直 中	"
727111	相分離形密閉母線	四 倉 輝 夫	"			横 井 章 一	"
		村 中 幸 太 郎	"			河 外 山 仁	"

(40頁へつづく)