

HTD 型 自 動 電 圧 調 整 装 置

広 吉 秀 高*

Type HTD Automatic Voltage Regulator

By Hidetaka Hiroyoshi

Kokubu Branch Works of Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The extension of the electric power system in its scope in recent days has made necessary the use of automatic voltage regulator which keeps the voltage constant and a good responsivity. To comply with this trend, Hitachi, Ltd., had developed some time ago the Type HTD (Hitachi Tuning Dynamo) Automatic Voltage Regulator, which has been yielding satisfactory results in its practical application to synchronous machines in use at power plants and substations.

By means of this device the voltage regulation error is held within $\pm 1\%$ over the whole range on which the main machine is used. In the governor test at full load of 48,500 kVA generator, the apparatus could restrict the overvoltage at 19% and after 6.5 seconds restored the machine to the original state of stability.

As a result of such experimental tests and others the writer could testify the excelling characteristics of the HTD regulator over the conventional ones, especially in the ability to keep the voltage constant, responsivity and stability of the equipment.

〔I〕 緒 言

電力系統の正常な運営のためには周波数と電圧が常に予定値に保たれた良質で安定した電力の供給されることが最も望ましい。この問題は根本的には需要とよく釣合つた供給、即ち発電力の確保に帰するのであるが、定電圧の確保と安定度向上のために自動電圧調整装置の使用は不可欠であり、これに要求される責務は益々重大となつてきた。

従来広く使用されてきた振動型或は抵抗器型等は何れも主検出部又は操作部に多くの接点を有するので保守、消耗部品の交換等に煩雑不便であり、その特性に於ても速応性を欠くなど得失相半ばし今日の大容量同期機用としての要求に対しては漸く不満足なものとなつてきた。

即ち今日の電力系統は極めて複雑大規模となり従つて包含される同期機の数も多く容量、特性に於て多種多様である。これ等の間の調整分の分担を合理的にし、異常時の安定度向上と更に能率的な系統並びに機器の運転の

ためには自動電圧調整装置に一段の定電圧保持能力と大きい速応性が要望されるようになった。

これらの要望に応じて日立製作所に於ては鋭意研究を重ね増幅発電機 HTD (Hitachi Tuning Dynamo) を主体とする定位連続調整方式の自動電圧調整装置を完成し、神通川第一、丸山両発電所発電機を始め多くの発電所同期機用として製作納入し電圧調整誤差 $\pm 1\%$ で速応性も良好な実績を得ることができたので以下その概要を紹介する。

〔II〕 標準仕様及び調整方式

HTD 型自動電圧調整装置は定位連続調整方式で電磁型継電器は一切使用していない。

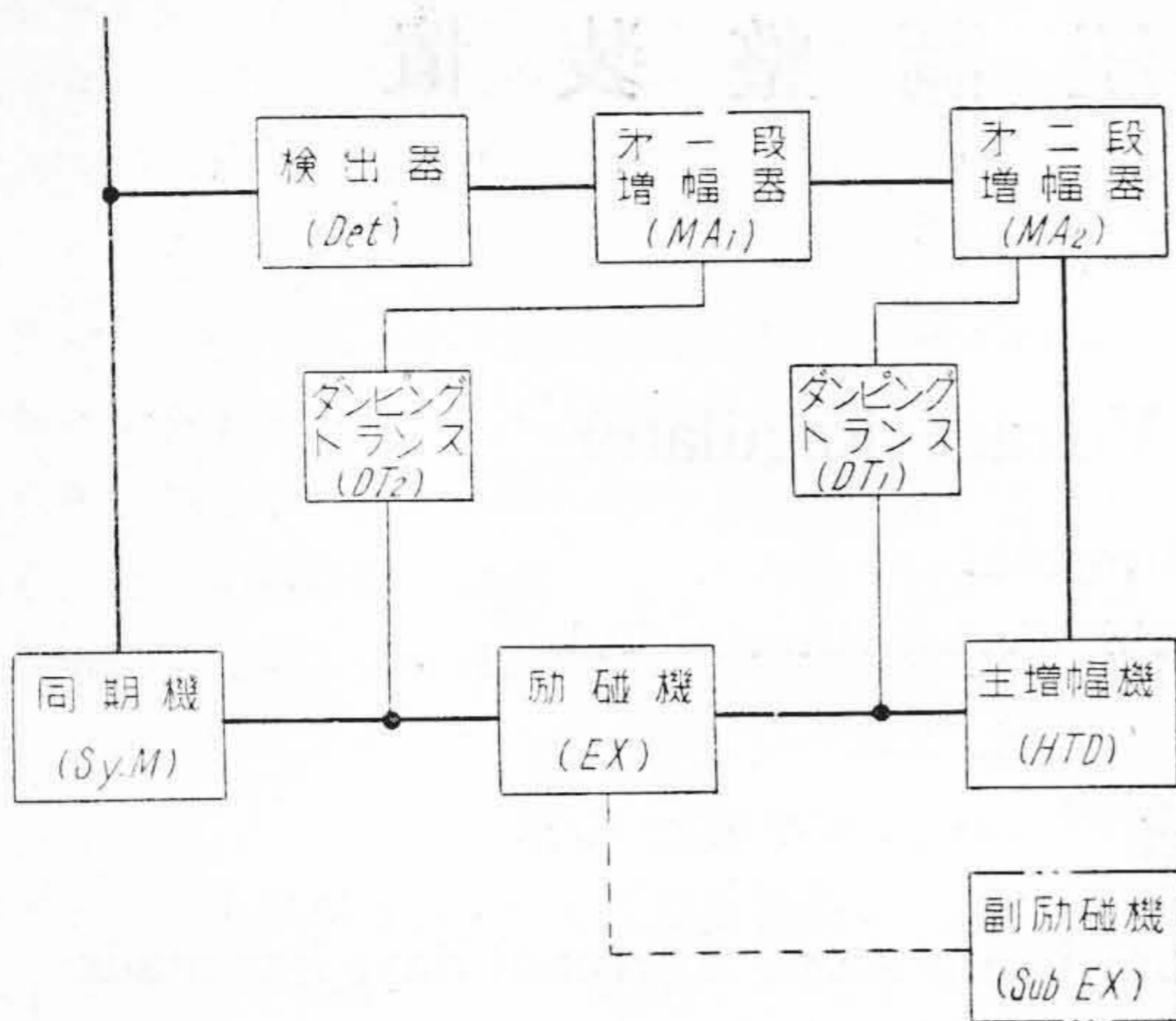
この標準仕様は下記の通りである。

調整方式....HTD 型増幅発電機による定位連続調整

電圧調整誤差..... $\pm 1\%$ 以内
(無負荷より全負荷間に於て)

電圧整定範囲..... $(+10)\sim(-20)\%$

* 日立製作所日立国分分工場



第1図 HTD型自動電圧調整装置構成
 Fig.1. Block Diagram of Type HTD Automatic Voltage Regulator

横流補償効果...変流器二次電流 3.5A 力率 0
 にて ±15% 以内調整可能

駆動装置..... { 直 結
 誘導電動機駆動
 直流電動機駆動

電圧調整系の構成は第1図に示す通り検出部, 整定部,

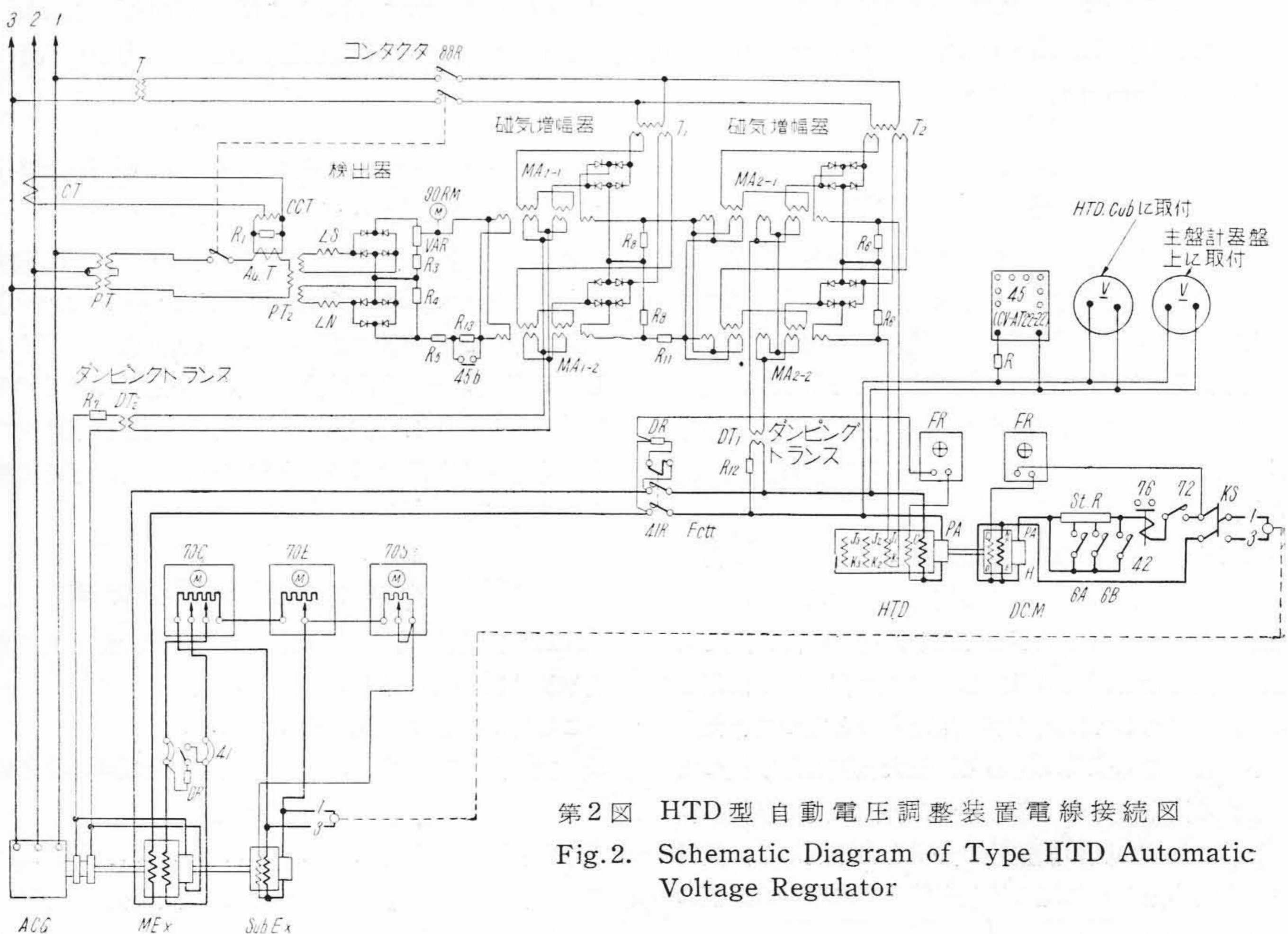
第 1, 2 段増幅部, HTD, 励磁機, 同期機の閉調整系を主としダンピングトランスよりなる内側系の二系を備えている。

先ず装置の性能即ち調整能力, 安定性に就いて述べる。本装置に於て被調整量は同期機電圧であり従つて当然励磁調整である。この同期機励磁分担は副励磁機で行う同期機無負荷定格電圧分の定励磁と, HTD で行う負荷応動分の補償励磁としている。

即ち主励磁機は他励とし2つの独立した界磁を備え一方は副励磁機に接続されこの励磁電流は運転中調整せず固定される。他の界磁は HTD に接続され負荷変動に対し電圧が整定値より変動すれば微少な検出偏差分もこれに応じて HTD は極めて大電力の調整量に増幅して励磁機に与え同期機励磁を補償する方式としている。この検出偏差量を調整量に変換する HTD の増幅能力は極めて大きく, 従つて総合増幅度を主機動作全範囲に亘り十分大きく選んでいるので, 電圧は整定値に保持されその調整誤差は 1% 以内である。

調整誤差と相関連する装置の安定性は2組のダンピングトランスと HTD 前段の磁気増幅器との組合せにより極めて安定に保たれている。

以上の通り定位連続式を採用し装置の確実性の面に於てはその励磁分担を直結副励磁機による無負荷分の定励



第2図 HTD型自動電圧調整装置電線接続図
 Fig.2. Schematic Diagram of Type HTD Automatic Voltage Regulator

磁と HTD による負荷分応動の調整励磁としているので、万一事故により HTD 駆動力、増幅器電源を失うような場合でも主機は無励磁となることはない。HTD の駆動装置は大容量機に対しては信頼性あるものとして副励磁機を電源とする直流電動機とし増幅器の交流電源は専用変圧器を設け主機端子より直接取っている。

〔III〕 装置各部の説明

本装置の検出部は単純な電圧応動式と正相電圧応動式がある。又 HTD 駆動方式には主機に直結、誘導電動機又は直流電動機駆動がある。

第 2 図に本装置の電線接続図を示す。

(1) 主増幅装置

HTD (Hitachi Tuning Dynamo) は直流増幅発電機でその動作原理及び特性は既に屢々紹介されている⁽¹⁾。本装置に適用する場合は検出々力を制御界磁に加え純然たる増幅器として使用されその増幅度は極めて大きく、材料、構造に特殊な考慮が払われていて、制御入力全範囲に亘つて直線的に比例する正逆対称の出力を得ることができる。更に速応調整を可能ならしめるため増幅度は大きく時定数は十分小さくしているが、これ等の間の協調は全系としての観点より最適値に整定している。HTD の容量は主機全使用範囲に亘り十分なものが選ばれているのは勿論であるが、1 kW 及び 2 kW を標準とし、これ以上の容量が要求される場合には必要容量の HTD 型直流発電機を直結して電力増幅用として縦続接続使用する。第 3 図にこの一例を示す

(2) 駆動装置

HTD に高い増幅度と速応性を発揮させるために高速度の安定確実な駆動装置が必要である。駆動装置は下記の何れかが適用される。

主機の回転数が高く構造的に容易な場合は直結方式とする。この場合は最も簡単且つ確実で別に駆動装置を必要としないが、主に適用できるのは同期調相機等の場合である。

所内交流電源が確保される場合は簡便な誘導電動機駆

動方式が採用される。これは装置が簡単な反面電圧及び周波数変動に伴う回転数変化の影響を受ける。電動機容量は一般に小さくて済むので開閉装置は簡単な直入式とする。

直流電動機駆動は上記両方式によれない場合に採用される方式で副励磁機を電源とする。電動機は定速度特性として速度変化による影響を極めて小さくし総合特性を良好に保ちうる利点がある。主に一般発電所に適用される最も確実な方式であり抵抗起動式とし自動起動装置を設け円滑に起動させている。

(3) 検出及び整定装置

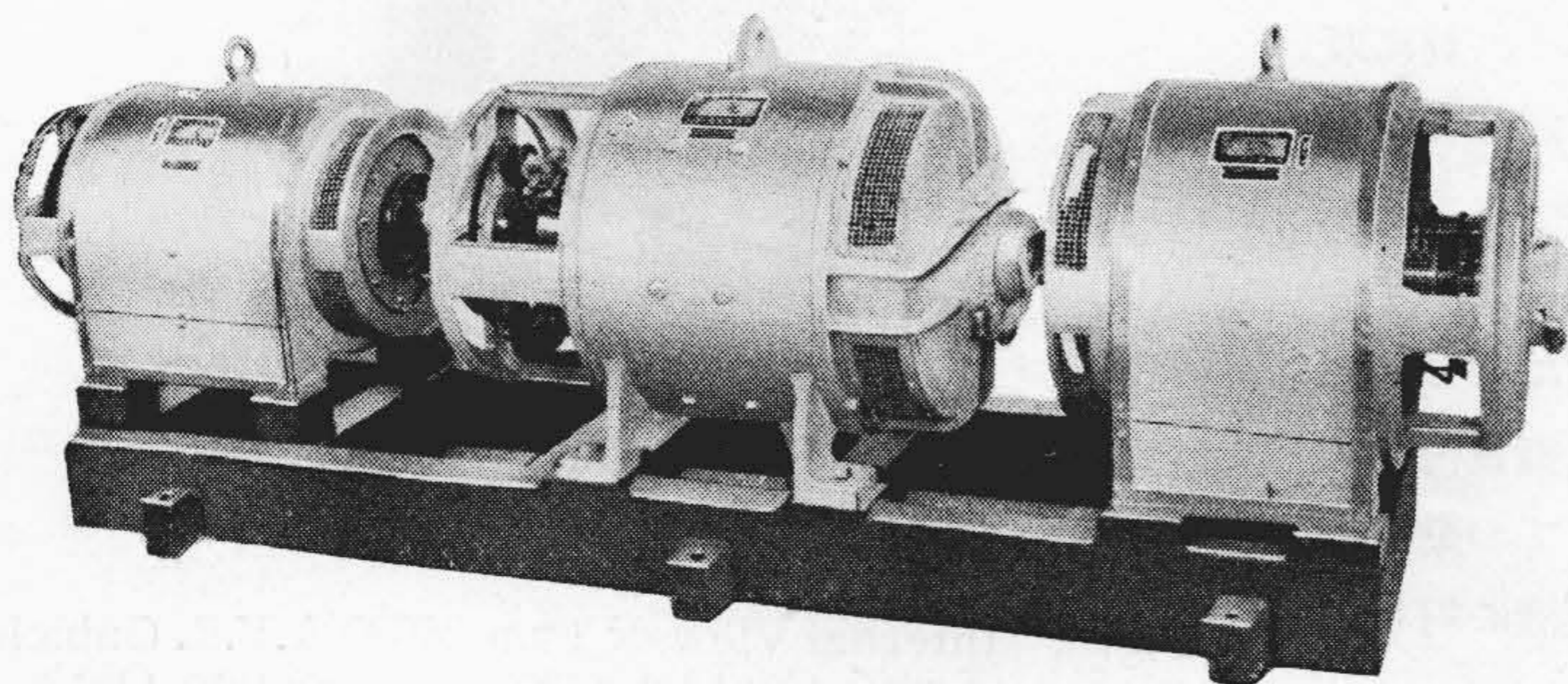
主機電圧の所望整定値よりの偏差を検出する部分で計器用変圧器 (PT_2) 二次回路を一は飽和リアクトル (L_s) による非直線インピーダンス回路とし、他は非飽和リアクトル (L_N) による直線インピーダンス回路としそれぞれの整流直流電流を比較する方式である。従つて両回路電流の等しい電圧は整定点であり、この加減は電動操作の電圧加減抵抗器 (VAR) により (80~110)% の間任意に選ぶうる。

以上の通り本方式は他の比較標準量を何等必要とせず確実簡便であり又両回路ともリアクトルを用いているので周波数の影響は実用的には問題ない程度で 10% の周波数変動に対し影響値は 1% 以内である。この装置の入力は横流補償装置も含め定格電圧に於て 250 VA である。

(4) 磁気増幅装置

HTD の前段増幅装置で 2 組の静止型磁気増幅器 (MA_1, MA_2) よりなつている。各 1 組はプッシュプル接続した 2 組の外部饋還型磁気増幅器の組合わせで使用範囲内では飽和せず又対称の特性を有している。各部はあらゆる使用状態に対し十分な容量を有することは勿論であるが、特にセレン整流器は電圧電流を最大使用状態に於て定格以下となるよう決定しているので、寿命及び劣化の点は何等心配する要はなく対称両回路の特性誤差は終端抵抗の調整により補正することができる。

又各段とも乱調防止用の巻線を具えダンピングトランスに接続されて負饋還回路をなしている。



第 3 図

HTD セット (DCM-DCG-HTD)

Fig. 3.

HTD Set (DCM-DCG-HTD)

(5) 乱調防止装置

HTD に接続したダンピングトランス (DT_1) 及び第二段磁気増幅器 (MA_2), 励磁機端子に接続したダンピングトランス (DT_2) 及び第一段磁気増幅器 (MA_1) よりなる 2 組の負饋還回路により乱調を防止している。而してこれらの増幅度, 時定数を適当に選り大きな増幅度を有する本装置をして速応且つ安定な精密調整をさせている。

(6) 横流補償装置

並列運転及び調整無効分の分担を安定且つ合理的とするためこの装置が必要であり主機電圧と 90° 異相の相電流による電圧降下を変圧器 (AuT) を介してベクトル的に加えているので遅相又は進相の無効分電流に応じ整定値を適当に調整する。補償効果は力率 0 電流 3.5A に於て $\pm 15\%$ まで補償変流器 (CCT) のタップにより任意整定できる。

(7) 開閉及び制御装置

本装置は各部要素の特性を適当なものとすると共に調整, 使用を容易にするよう開閉, 制御装置を備えている。

駆動電動機の起動停止, 検出増幅装置, HTD の使用除外等の制御は順序を追い各段毎に必要な条件を満足させて進められる。特に HTD を以て主励磁機を励磁する制御最終段階に於ては主機の励磁を急変させ擾乱を起させぬよう FP 型極性継電器を以て HTD 端子電圧の極性及び大きさを検出, 電圧加減抵抗器を自動操作し HTD 電圧を 0 近くにして界磁接触器 (41R) を開路又は閉路させている。

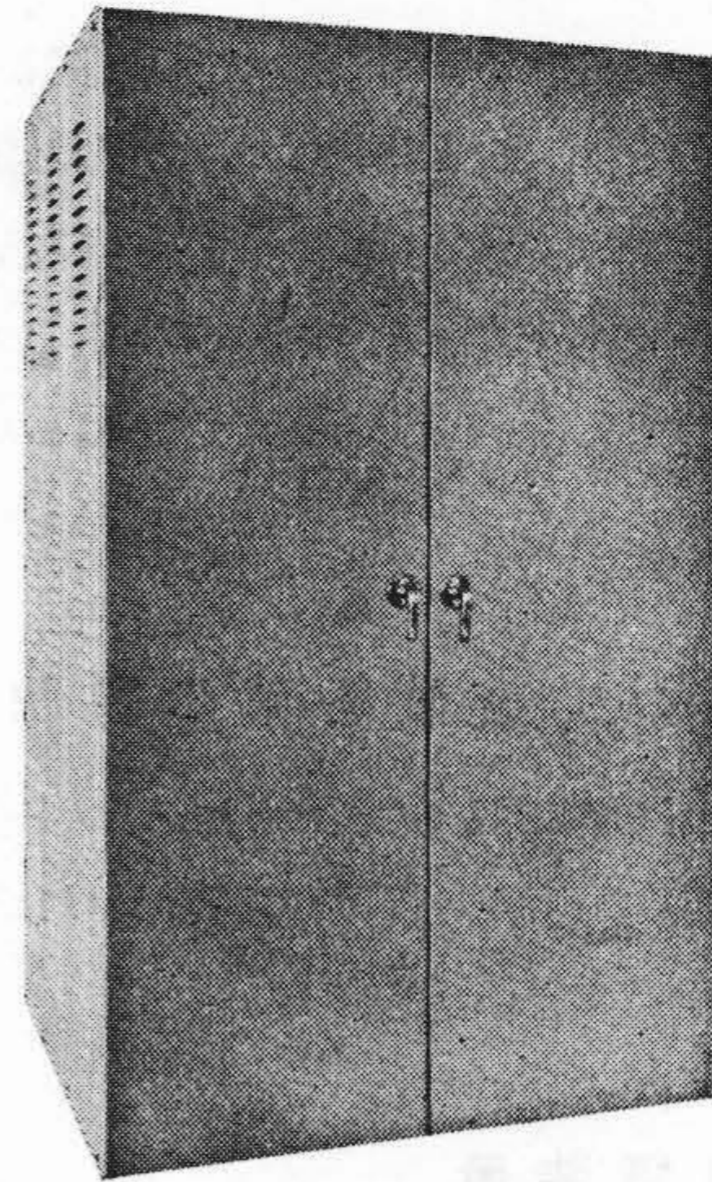
(8) 制御キュービクル

全装置は HTD, 駆動電動機及びキュービクルよりなり制御装置は上述の各部要素, 抵抗器, 界磁調整器, 開閉器等一切をキュービクルに納め極めてまとまりよくしている。キュービクルは誘導電動機駆動の場合は HTD 制御用 1 台となるが, 直流電動機駆動の場合は小型の電動機制御用 1 台を併せ使用する。

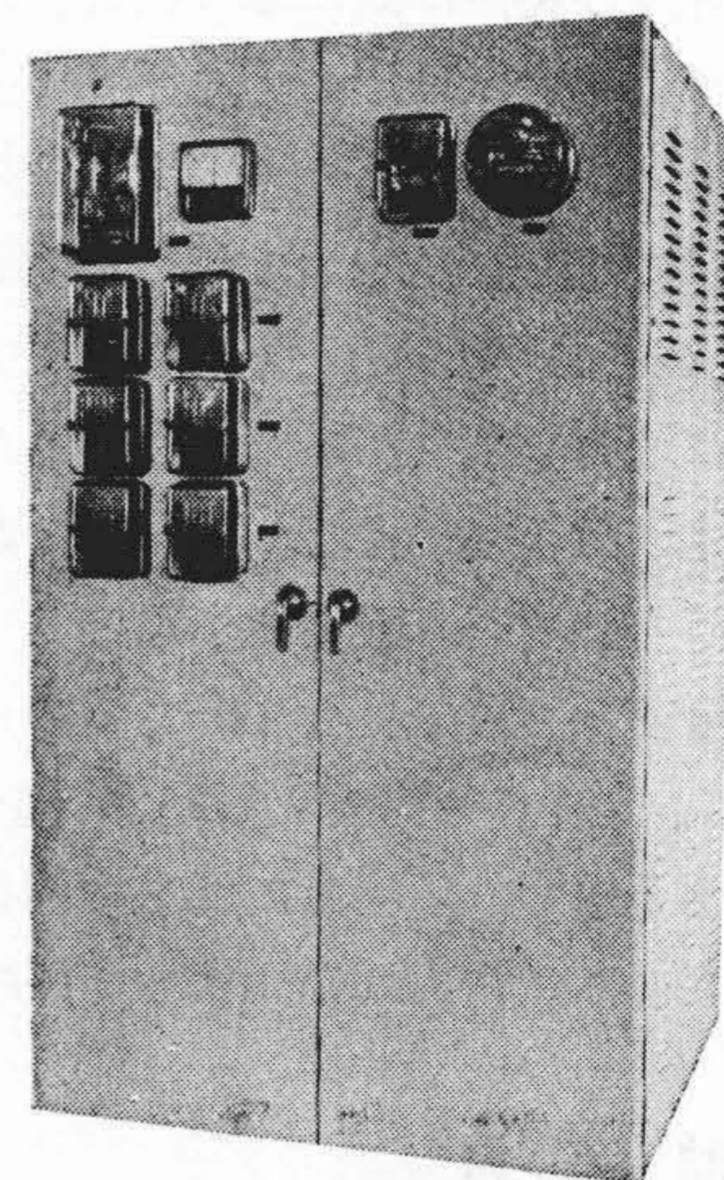
キュービクルは何れも鋼板製の堅牢優美なものとし前面, 背面には扉を備えている。又接触器類は小型可動盤取付としまとまりよく必要に応じ開いて配線点検, 内部要素点検調整に便としている。更に回路要素各段には試験用端子を挿入しこれをキュービクル前面の小型盤に取纏めているので装置の点検, 調整時の測定に好都合である。

第 4 図～第 6 図にキュービクル外観及び内部を示す。

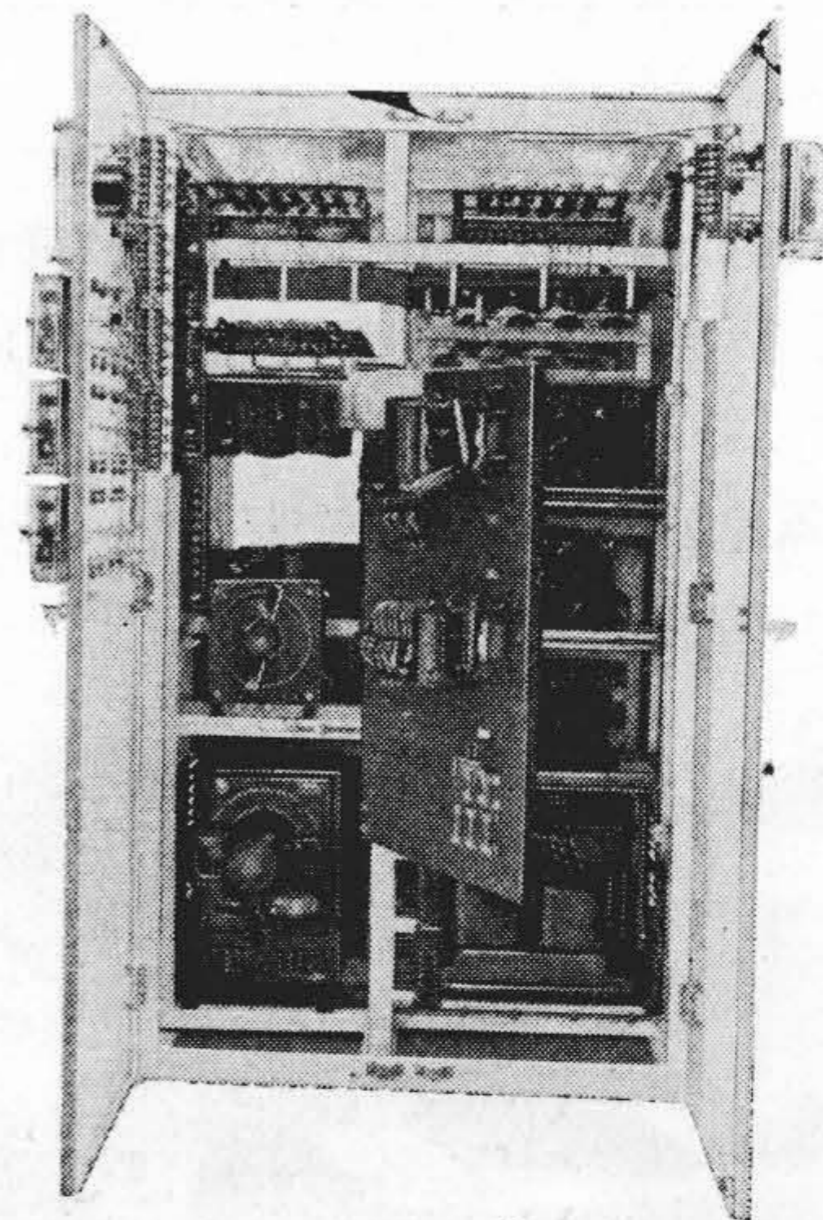
自動電圧調整装置としては単に電圧を一定に保つのみでなく, 正相分を一定に保持すれば平常の平衡負荷時は勿論不平衡負荷時に於て同期機, 系統に対しての動作を適当なものとする事ができるので主要同期機に対しては本方式の採用が望ましい。



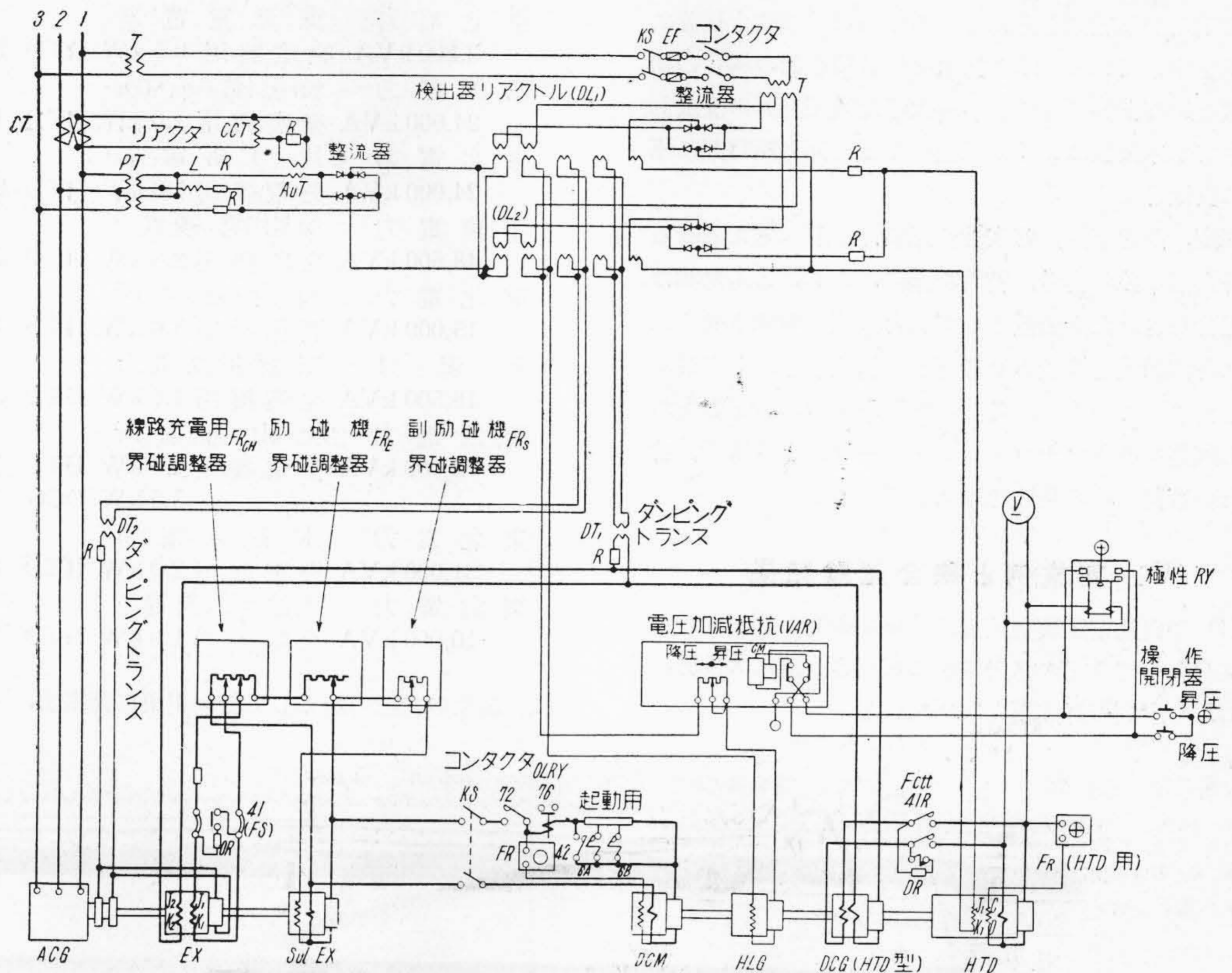
第 4 図 HTD 型自動電圧調整装置キュービクル正面
Fig. 4. Front View of Type HTD A.V.R. Cubicle



第 5 図 HTD 型自動電圧調整装置キュービクル裏面
Fig. 5. Rear View of Type HTD A.V.R. Cubicle



第 6 図 HTD 型自動電圧調整装置キュービクル内面
(小型盤を開いた所を示す)
Fig. 6. Internal View of Type HTD A.V.R. Cubicle
(Small Contactor Panel is Swung Out)



第7図 正相電圧応動式 HTD 型 自動電圧調整装置電線接続図

Fig.7. Schematic Diagram of Type HTD A.V.R. with Positive Sequence Voltage Responding Device

正相電圧応動の HTD 型自動電圧調整装置の接続図を第7図に示す。

調整方式、動作は上述と同様であるが検出、整定装置に於て大きく異っている。

検出装置は正相回路網を経て整流された正相分電圧に正比例した電流と定電圧発電機 (HLG) より電圧加減抵抗器 (VAR) をへて整定された基準一定電流と比較する方式としている。基準定電圧電源としては種々の方式が考えられるが交流所内電源は電圧周波数の変動が大きく又信頼度にも問題があるので特に HL 型定電圧発電機を HTD と直結駆動して使用する。HL 型発電機は独自の動作原理になる特殊発電機で HTD セットの全使用状態下の速度並びに負荷変動に対しよく電圧変動を 0.5% 以下の範囲に保ち且つその信頼性に於て他の如何なる方式より優れたものである。

〔IV〕 綜 合 特 性

本調整装置は同期機の電圧調整を司る重要な責務を負い又要求される特性も極めて高度なものである。従つてその要素各部はそれぞれ単独の特性殊に増幅度と時定

数に於て優れたものである許りでなくこれ等を一貫した全装置として主機をも含めて安定確実で且つ優秀な総合特性を具備しておらねばならない。

本装置は自動電圧調整装置で電圧又はその正相分の定値調整を本来の目的とする。その方式は定位連続調整方式であり電圧調整誤差は一般に下記により表わされる。

$$\alpha = \frac{R}{1 + \sum A_v}$$

但し α : 電圧調整誤差 (%)

R : 外部電圧擾乱 (%)

$\sum A_v$: 総合電圧増幅度

外部擾乱 (R) は同期機の最大使用範囲に亘る電圧変動率として表わされ総合電圧増幅度 ($\sum A_v$) は検出器より HTD, 励磁機, 同期機を含む全系の電圧増幅度で極めて大きな値であり、又従来の接点型等に見られる不感動帯に相当する各部ヒステリシスの影響も小さく優に電圧調整誤差を $\pm 1\%$ 以内に収めている。

この精密な定電圧保持能力を有する装置を使用しうるか否かは一に安定性に懸っている。一般に此種各要素の時定数はその増幅度と共に増大する特性を有し、特に同期機は大容量になれば長大な界磁時定数があるため精度

よく安定な調整能力を発揮させるために乱調防止装置に特に意を用いている。水車発電機の負荷遮断の場合の如く急激な速度上昇に伴う急峻大幅な電圧上昇の擾乱ある場合でも本装置はよく電圧上昇を低く抑え短時間に原状態に安定させている。

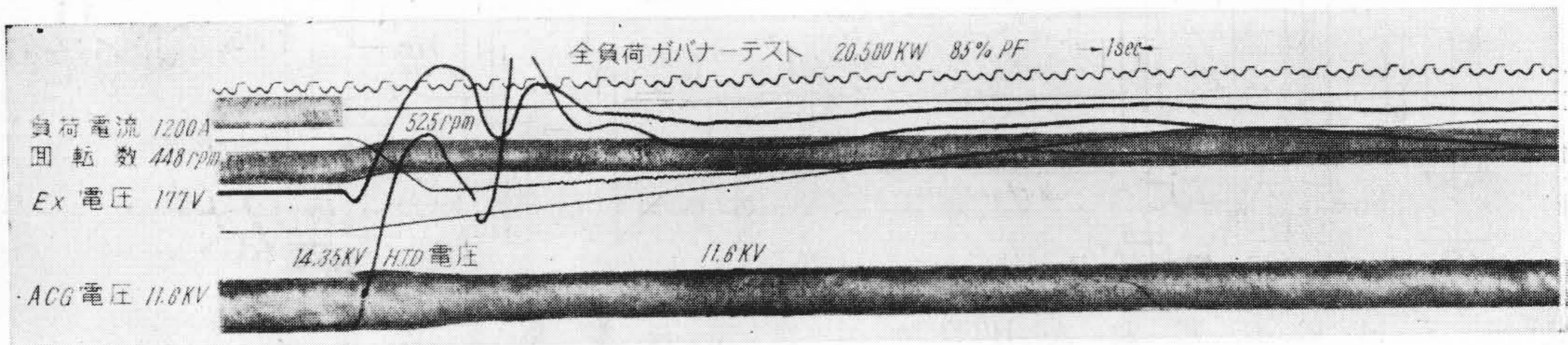
高精度、高速応性、安定性の三特性を兼ね備えさせるため各機器単独の容量、特性を適当に選ぶことも勿論ながら組合わされた全装置として総合機能を発揮させるためには各部特性を協調させ最適値に整定することが最も大切である。このために各部の電圧増幅度、時定数を以て相似回路を構成アナログコンピュータにより解析、合成を行い容易にその特性を確認している。

〔V〕 実施例と総合試験結果

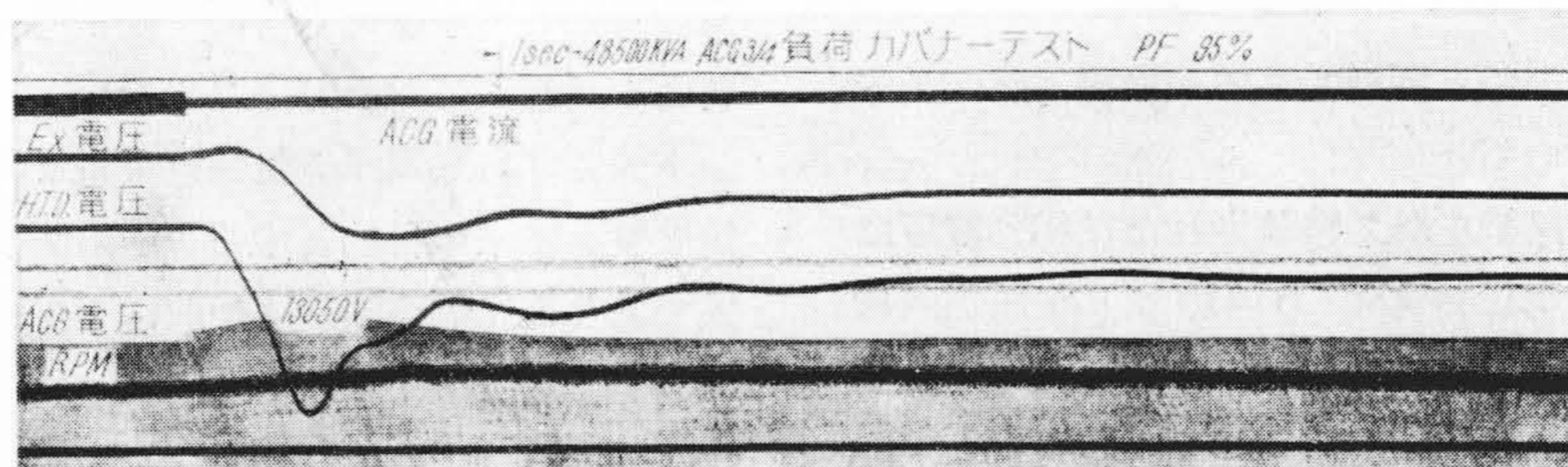
HTD 型自動電圧調整装置は慎重な研究と綿密な現地総合試験をへて次記の諸発電所に採用され既に大部分は運転に入り所期の好成績を収めている。

- 東北電力 滝淵発電所
3,200 kVA 発電機用 0.5 kW HTD 2 組
- 四国電力 松尾川第二発電所
24,000 kVA 発電機用 1.0 kW HTD 1 組
- 東北電力 片門発電所
24,000 kVA 発電機用 1.0 kW HTD 2 組
- 北陸電力 神通川第一発電所
48,500 kVA 発電機用 2.0 kW HTD 2 組
- 東北電力 仙台変電所
15,000 kVA 調相機用 3.0 kW HTD 1 組
- 新潟県 三面川発電所
18,500 kVA 発電機用 1.0 kW HTD 2 組
- 関西電力 丸山発電所
72,500 kVA 発電機用 1.0 kW HTD 及び
5.0 kW DCG 1 組
- 東北電力 本名発電所
31,000 kVA 発電機用 2.0 kW HTD 2 組
- 東北電力 大池第二発電所
10,000 kVA 発電機用 1.0 kW HTD 1 組

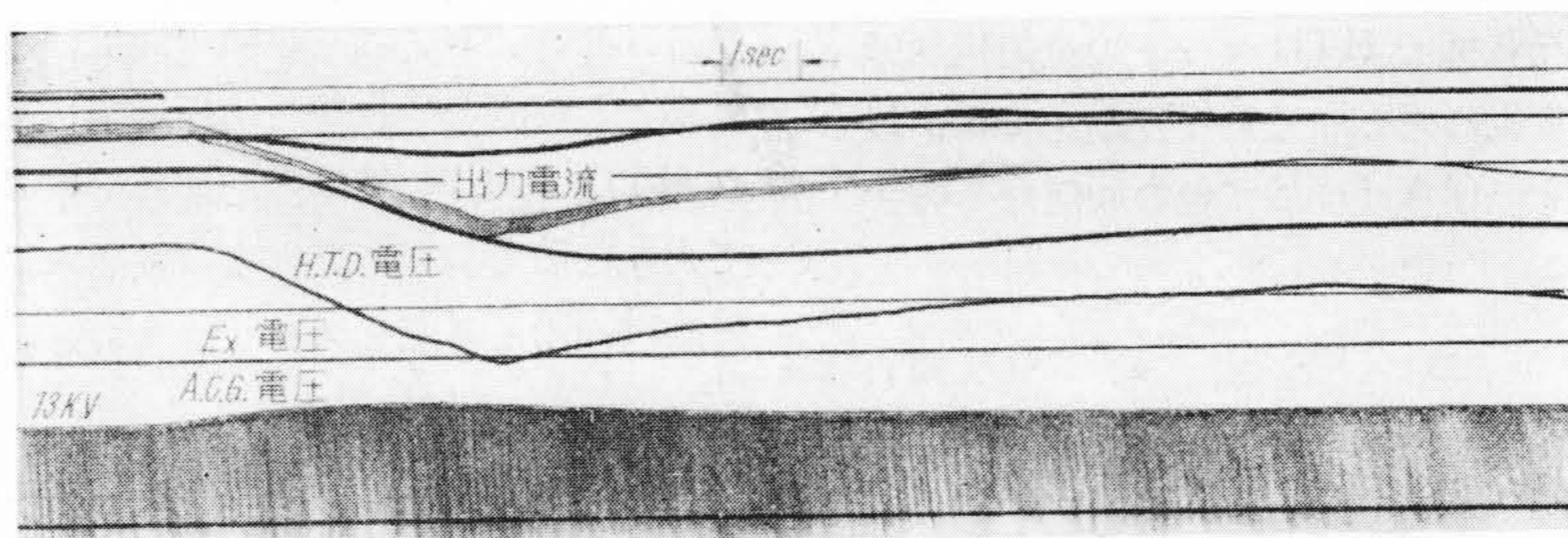
試験結果の二三の例として松尾川第二発電所、神通川



第 8 図 HTD 型自動電圧調整装置による 24,000 kVA 水車発電機全負荷遮断オシログラム
Fig. 8. Type HTD A.V.R. Performance Oscillogram on 24,000 kVA Water Turbine Generator Full Load Governor Test



第 9 図 HTD 型自動電圧調整装置による 48,500 kVA 水車発電機 3/4 負荷遮断オシログラム
Fig. 9. Type HTD A.V.R. Performance Oscillogram on 48,500 kVA Water Turbine Generator 3 Quarter Load Governor Test



第 10 図 HTD 型自動電圧調整装置による 72,500 kVA 水車発電機動作オシログラム
Fig. 10. Type HTD A.V.R. Performance Oscillogram on 72,500 kVA Water Turbine Generator

第一発電所に於ける現地実負荷遮断試験及び丸山発電所納発電機との工場組合せ試験に於けるオシログラムを第8図～第10図に示す。第10図は工場試験に於て全負荷遮断に相当する電圧擾乱を与えた場合の動作オシログラムで約 7.6 sec で原状態に復し安定し調整誤差は全て 0.2 % 以下であつた。

総合試験結果を第9図の神通川第一発電所 48,500 kVA 水車発電機負荷遮断試験に就いて見れば HTD 型自動電圧調整装置はよく電圧上昇を 19% に抑え円滑安定な調整動作をなして 6.5 sec 程度で定常値に復させている。

又電圧の調整誤差は 0.7% で優秀な成績を示し発電機電圧調整、負荷時の無効分調整も円滑安定で容易であり従来型の自動電圧調整器より遙かに優れた特性を示している。

力増幅特性を基本とする全く新しい方式の調整装置であり、その調整精度を誤差 ±1% 以内に保ち円滑、速応調整する優れた特性を有する。更にこの装置は接点部分なく、それ自身点検保守の煩わしさを省き得たのみならず実際使用に当り操作を容易とし、全装置も 1 台又は 2 台のキュービクルに収め極めてまとまりよくしてある等の特長を有している。

最近益々大容量化し、系統構成が複雑となる電力系統の電源同期機用として本 HTD 型自動電圧調整装置の高増幅度と速応性が定電圧保持の目的を達するのみならず系統の安定度向上に大きく貢献することが期待される。

終りに臨み進んでこの新しく開発された装置を御採用になり御指導と御便宜とを賜つた各電力会社の各位に対し厚く感謝の意を表する。

〔VI〕 結 言

HTD 型自動電圧調整装置は HTD の極めて大きな電

参 考 文 献

- (1) 田附, 吉田, 笠原: 日立評論 35 1,031 (昭 26)



日 立 製 作 所 社 員 社 外 寄 稿 一 覧 表 (昭 和 28 年 12 月 分 受 付)

寄 稿 先	題 名	執筆者所属	執 筆 者
中央熱管理協会	火 力 発 電 用 工 業 計 器	本 社	島 津 宏
日本機械学会	超 遠 心 機 の 研 究	中央研究所	須 藤 卓 郎
日本電気工業会	新 型 日 立 モ ー ト ル	亀戸工場	園 山 裕
日本化学会	珪 酸 エ ス テ ル の 研 究 (第 6 報)	中央研究所	高 谷 通
産業機械協会	色 彩 調 節 の 効 果 に 就 いて	亀戸工場	山 田 正 臣
東北七県電力 使用合理化協議会	電力使用合理化よりみた圧縮機設備の考察	川崎工場	山 本 武 男
誠 文 堂	点 火 プ ラ ガ の A B C	本 社	木 邑 仁
日本鉄鋼協会	Al が鉄鋼の機械的性質及び熱間亀裂に及ぼす影響	日立工場	長 島 英 夫
電子顕微鏡学会	電 子 レ ン ズ の 色 収 差 に 就 いて	中央研究所	森 戸 望
日本電機工業会	55,000 kW 火 力 発 電 設 備	本 社	村 山 三 郎
電子顕微鏡学会	角の鈍化を利用したレプリカの解像度表示方法に就いて	中央研究所	土 倉 秀 次
電気通信学会	微 少 音 響 振 動 の 絶 対 測 定 の 一 方 式	戸塚工場	西 山 静 男
超遠心機委員会	日立製作所に於ける研究(超遠心機の改良と応用)	中央研究所	須 藤 卓 郎
超遠心機委員会	電 気 駆 動 超 遠 心 機 の 研 究	中央研究所	須 藤 卓 郎
三重労務基準局 日本労務研究会	鑄造工場に於ける災害減少対策の一例	桑名工場	多 田 辰 雄
高 分 子 学 会	電線用熱可塑性高分子物質のレオロジーと物理的性質 (第 2 報)	日立電線工場	山 本 三 郎

日立製作所社員社外講演一覧表 (昭和28年12月分受付)

講演月日	主催	演題	所属	講演者
12/7	茨城県労働基準局	工業に於ける製図作業に就いて	日立工場	吉沢フキ
4/上旬	日本金属学会	鉄鋼の化学的研究 (第8報)	中央研究所	{米田 登公 北川
4/上旬	日本金属学会	鉄鋼の化学的研究 (第9報)	中央研究所	{柴田 則夫 北川
4/上旬	日本鉄鋼協会	可鍛鑄鉄に及ぼす原材料の影響	戸畑工場	{山本 真之助 岩瀬 昌進 正本 二郎
4/上旬	日本鉄鋼協会	数種の低W-Mo-V高速度鋼の熱処理と切削耐久力に就いて	冶金研究所	{小柴 定雄 永島 裕雄
4/上旬	日本鉄鋼協会	机上模型炉による角型熔鋳炉と丸型熔鋳炉の比較研究	冶金研究所	{中村 信夫 佐藤 豊
4/上旬	日本金属学会	鉄鋼の微量分析化学的研究 (その一)	中央研究所	{北川 公人 相本 吉
4/上旬	日本金属学会	鉄鋼中含有水素の抽出形態に就いて	冶金研究所	{菊田 光男 木村 伸
12/17	神奈川県電気協会	自家用電気設備の合理的使用に就いて	川崎工場	井上博志
5/上旬	電気三学会	結合度を可変とした方向性結合器	戸塚工場	南野幸雄
5/上旬	電気三学会	4号ダイヤルの構造に就いての一考察	戸塚工場	北條徳
4/上旬	日本機械学会	歯車の動荷重試験に就いて	中央研究所	歌川正博
5/上旬	電気三学会	真空管特性の向情の値に就いての推定	中央研究所	{高田 昇平 島田 正三
4/上旬	日本金属学会	高炭素タングステン鋼に於ける炭化物の挙動に就いて	冶金研究所	{牧野 武男 重本 暢正
4/上旬	日本機械学会	超遠心機ローターの破壊試験	中央研究所	須藤卓郎
5/上旬	電気三学会	酸化物陰極塗布厚の温度測定に及ぼす影響に就いて	中央研究所	{高田 昇平 島田 正三
5/上旬	電気三学会	パイロット発電機に直列自励界磁巻線を施した場合の効果	日立工場 日立工場 中央研究所	{藤木 勝美 西浦 政隆 三浦 武雄
4/上旬	日本機械学会	大型精密ホブ盤マスターウオームギヤの割出精度測定に就いて	中央研究所	橋本誠也
5/上旬	電気三学会	電話用炭素粉の動特性	戸塚工場	西山静男
1/27	電気通信学会	現在自動交換機が直面する諸問題に就いて	戸塚工場	渡辺孝正
4/1~5	日本化学会	収着水の透電的性質の研究 (第5報)	中央研究所	黒崎重彦
4/上旬	日本機械学会	歯面に膨みを有する直歯かさ歯車 (第3報)	新潟大学 中央研究所	{山田 金雄 明山 正元
4/1~5	日本化学会	有機過酸化物の分解 (その二)	戸塚工場	山辺知定