

東北電力仙台変電所  
15,000 kVA 同期調相機について

高橋昭吉\* 池田正一郎\*\*

15,000 kVA Synchronous Condenser for  
Tohoku Denryoku Co. Ltd.  
Sendai Substation

By Shokichi Takahashi and Shoichiro Ikeda  
Hitachi Works and Taga Works, Hitachi, Ltd.

**Abstract**

The synchronous Condenser furnished by Hitachi, Ltd. to the Sendai sub-station of Tohoku Denryoku K.K. is not only largest in capacity among those built after the termination of the War, but also has many features embodied with various new designs. It was designed for the following data;-

Capacity at leading zero power factor	15,000 kVA
Capacity at lagging zero power factor	7,500 kVA
Speed (8 poles, 50 cycles)	750 r. p. m.
Type	Outdoor type

A 600 kW starting induction synchronous motor is directly coupled to the condenser, and this is also used for stopping the condenser in a short period of time by effecting dynamic braking on it.

Besides the motor, 90 kW main exciter, 3 kW sub-exciter and 3 kW HTD are also mounted on the condenser shaft. The HTD is a d.c. generator with special field windings and is used for automatic voltage control.

Because of the outdoor type, it is designed to be able to disassemble easily within the narrow housing without help of a crane. It is also provided with such devices as noise absorber, air filter and oil cooler without water.

As the control system of this condenser, so called one man control system is adopted, that is, safe and correct operation is capable using the sequence controller and the perfect protective devices.

The description of the condenser and control devices are dealt herein.

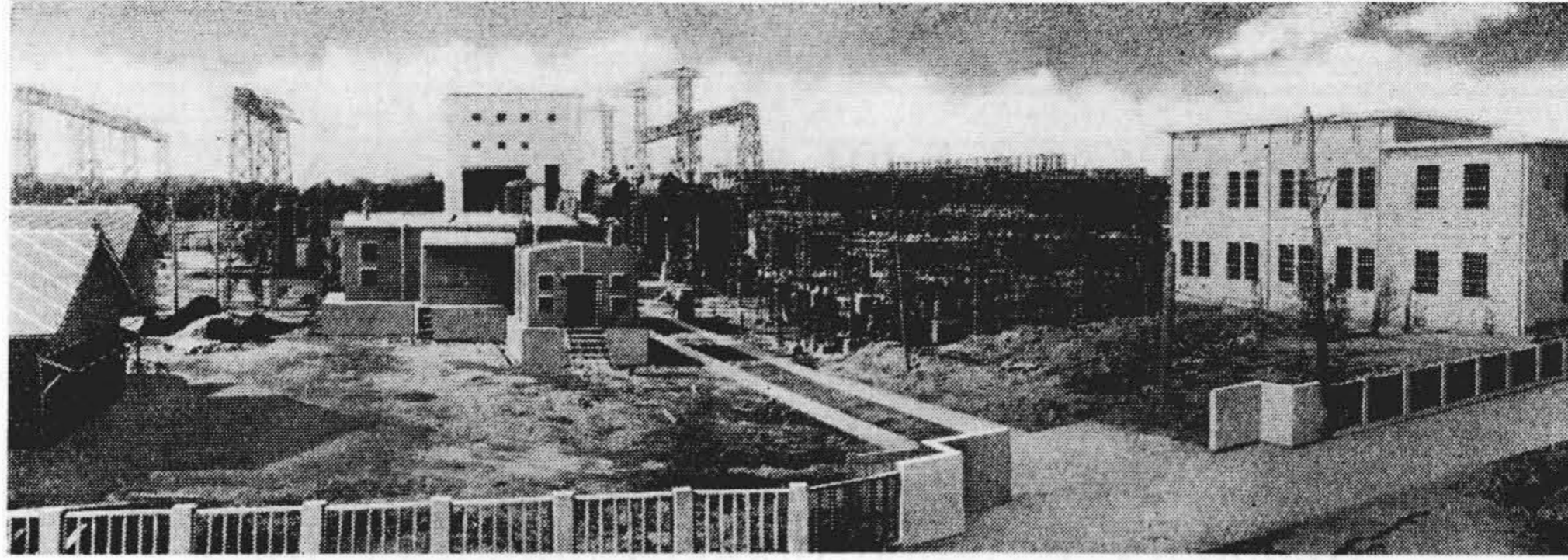
〔I〕 緒 言

送電損失 30% にも及ぶ我が国の電力系統に於いては調相機の果たす役割は非常に重要である。日立製作所が東

北電力仙台変電所に納入した 15,000kVA 同期調相機は屋外型であると共に、その分解組立、防音、通風、油冷却等に独特の設計を行つたものであり、且戦後の最大容量のものであるので、ここに簡単にその概要を紹介する。

\* 日立製作所日立工場

\*\* 日立製作所多賀工場



第 1 図 東北電力仙台変電所全景

Fig. 1. General View of Sendai S.S.

〔II〕 機器の仕様

主機及び附属機器の概要は次の如くである。

同期調相機

- 進み零力率に於ける容量 15,000 kVA
- 遅れ零力率に於ける容量 7,500 kVA
- 回転数 750 r. p. m.
- 極 数 8
- 周波数 50 サイクル毎秒
- 型 式 EFB-RD
- 閉鎖風道循環型回転界磁式制動巻線付
- 中性点 抵抗接地

起動用電動機

誘導同期電動機

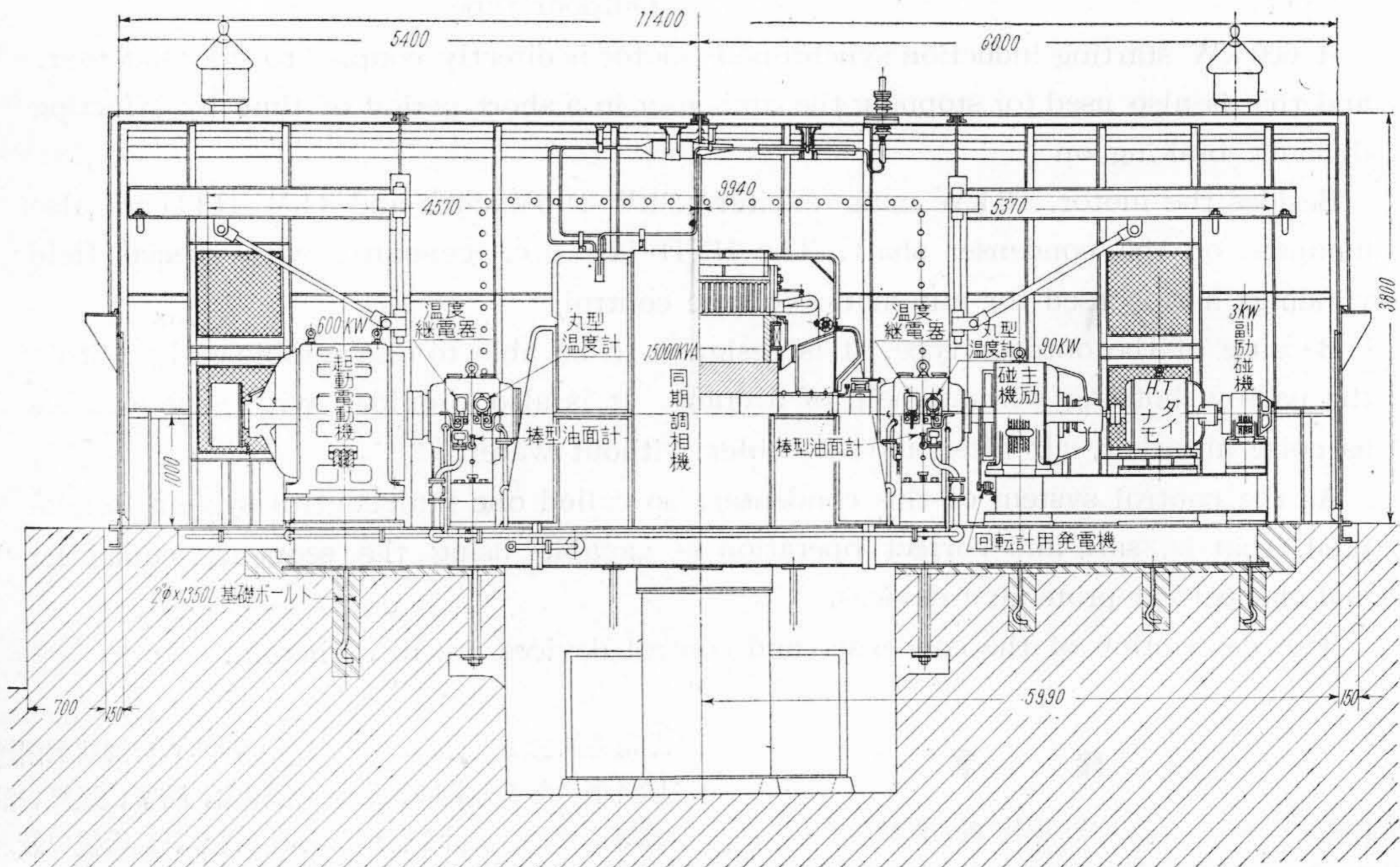
- 馬 力 600kW 30 分定格
- 電 圧 3,300V
- 周波数 50 サイクル毎秒
- 回転数 750 r. p. m.
- 力 率 1.0
- 型 式 SC<sub>1</sub>-DQ<sub>30</sub>

励磁機

- 主励磁機 90kW 220V
- 副励磁機 3kW 110V
- HTD 3kW

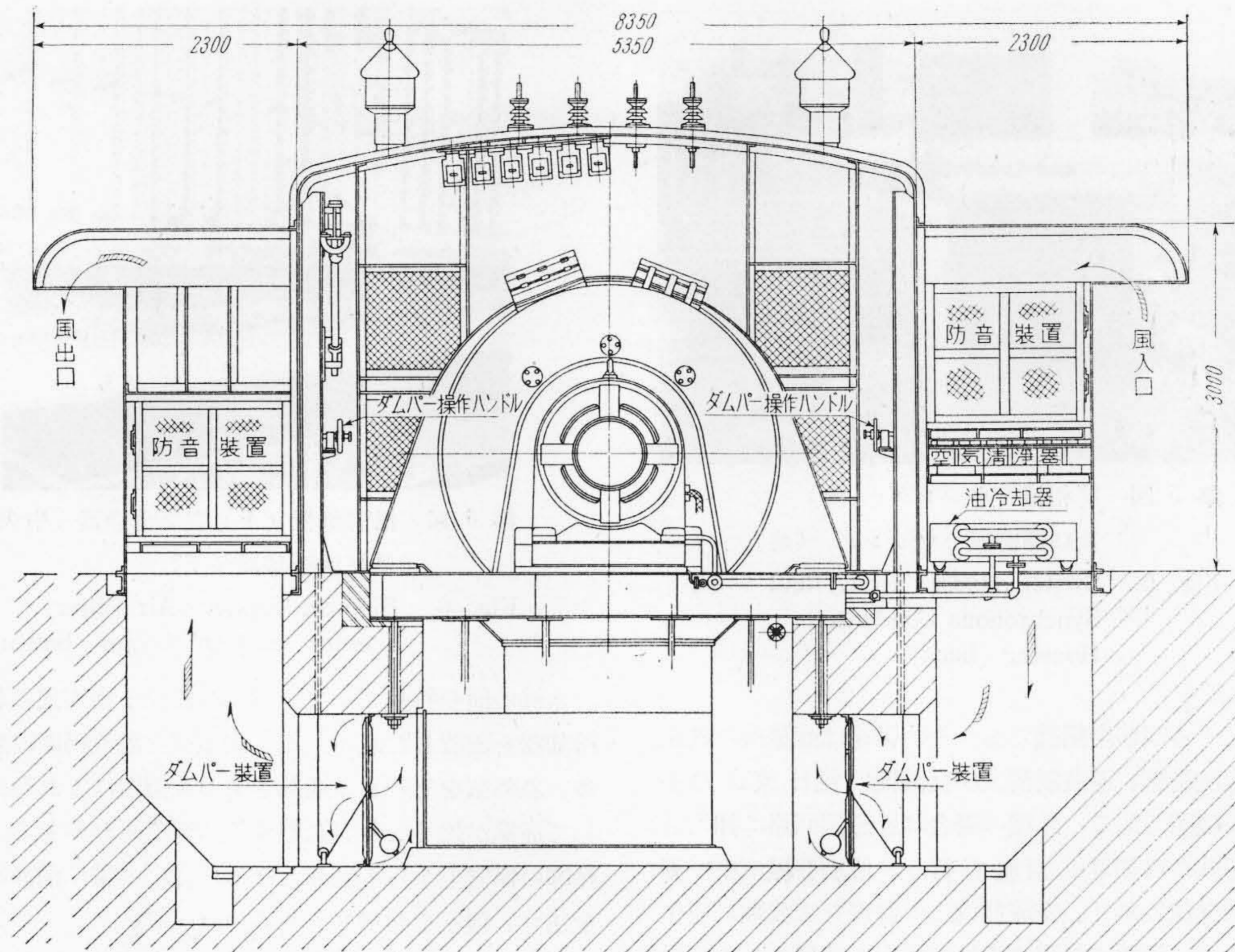
〔III〕 構造大要

1. 同期調相機



第 2 図 15,000 kVA 同期調相機全体配置図正面図

Fig. 2. Longitudinal Section View of 15,000kVA Synchronous Condenser Plant



第3図 15,000 kVA 同期調相機全体配置図側面図  
Fig. 3. End Section View of 15,000 kVA Synchronous Condenser Plant

本機の構造の特長に就いて述べると、先ず界磁極面には多年の経験と研究による優秀なる構造の制動巻線を有する。

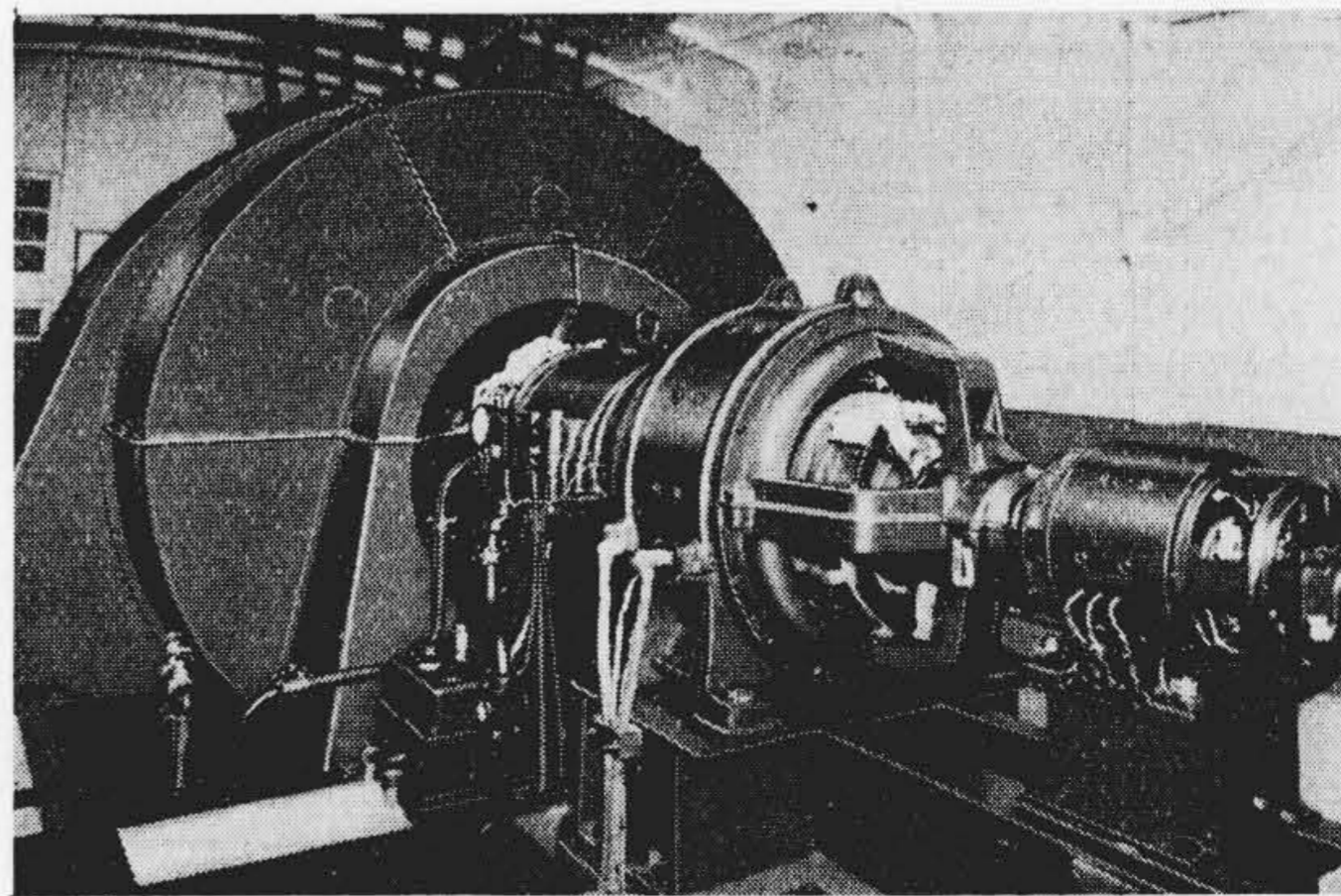
即ち、一極のダンパーバーの先端を銅のアンクルに熔接し、このアンクルをエンドリングにリーマーボルトを用いて接続してあり、突発短絡等の場合に於いても何等電氣的にも機械的にも損傷のない構造となつている。界磁巻線の極間の亘り線もヨーク端面の溝に挿入して遠心力による変形、断線の絶無を期している。固定子巻線はB種絶縁を施し、その渦流損失に対しては完全なる交叉を行つてある。各相は二つの並列巻線より成り兩回路の電流に差が生じた時、即ち巻線中に層短絡が起つた場合直ちに検出動作する差働継電器が附してある。固定子枠は全鋼板熔接製であり各部の強度は運転中の如何なる事故による力に対しても十分余裕あるものである。

起動用の誘導同期電動機は調相機主軸の一端に直結される。本電動機は又調相機を停止させる場合に起動用抵抗器を固定子巻線に接続し回転子巻線を直流励磁して発電制動を行う様になつている。

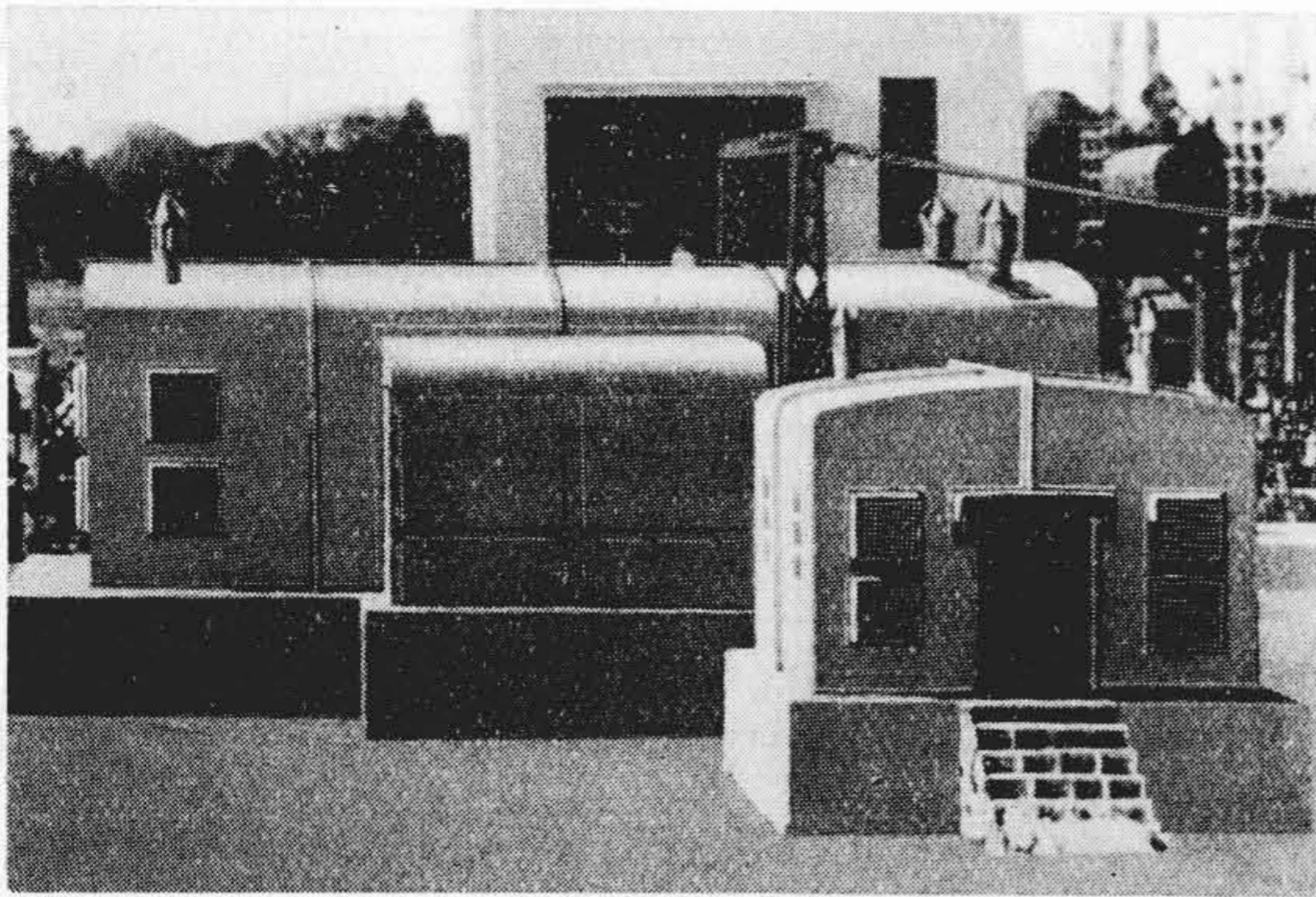
主、副励磁機共に調相機の起動用電動機と反対側の軸端に直列に接続され、常時は調相機に励磁電流を供給し

ているが、起動の際には起動用誘導同期電動機を同期化するに十分なる励磁を与え、又発電制動を行わせる時にも十分に界磁電流を与える役目をする。尚主励磁機は速応励磁型である。

HTD も又励磁機と同様主機に直列に接続される。HTD は分巻の自励界磁巻線と二つ或は三つの他励巻線を持ち定速で駆動される直流発電機で、他励巻線に加えた僅少の電力変化を、速応的に大きな電力変化に増幅し



第4図 15,000 kVA 同期調相機  
Fig. 4. 15,000 kVA Synchronous Condenser



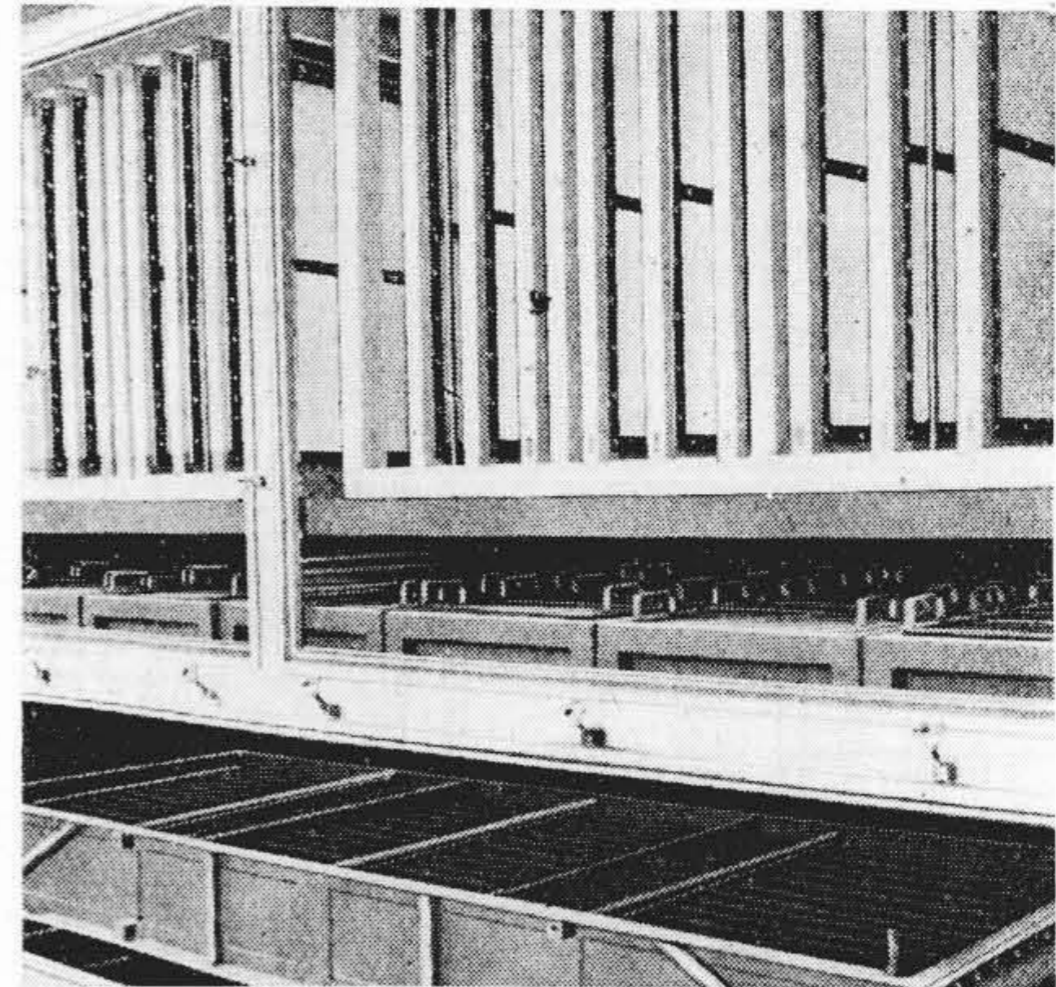
第5図 調相機ハウジング（後）  
及び制御室ハウジング（前）  
Fig. 5. Switch House (front) and  
Synchronous Condenser  
Housing (back)

て出力とする回転増幅機でありその用途は直流機の電圧制御、電流制御、速度制御及び交流機の電圧或は力率調整等広範囲である。本機の場合は励磁機回路に挿入され、調相機の自動電圧調整を行う。他励巻線の中一箇は主制御巻線であり、交流側電圧の偏差を周波数の変化に影響されず鋭敏に検出する検出装置に接続される。界磁回路は極めて低飽和に設計され自励巻線の抵抗線は飽和曲線と一致する様設計調整されている。このため磁路のヒステリシスを極めて小にする必要があり、磁路は特殊の成層鉄心で作られる。斯くして主制御巻線に与えられる微少な検出入力は極めて迅速に大きな出力に増幅され励磁機に与えられて調相機交流側出力電圧を一定に調整する。無論調整装置を構成する制御系全体の安定な制御には細心の注意を払い励磁機出力をダンピングトランスを通じて HTD に饋還し乱調を防止せしめている。

## 2. 屋外型ハウジング

屋外型ハウジングは内に同期調相機、励磁機、起動用誘導同期電動機等を納めてあり、各機器は別個に設けられたハウジング内の配電盤及開閉器にリード線で連絡されており、自動的に運転制御される。このハウジングは各機器を起重機なしに分解組立出来る構造を持ち、少しの空間の無駄もなく出来上っている。又ハウジングは全鋼板製であり、両側面に冷却空気の出入口、空気清浄器、軸受油冷却器、及び消音装置を含むケースがついている。軸受冷却器は後述の如く全然水を使用せぬ新構想のものである。尙上部及び四面には換気装置をつけて室内の暖気を排除するのに役立たせている。又噪音を極力小にするため、所々に補強材を施して振動を抑えている。

## 3. 空気清浄器及び油冷却器



第6図 消音装置（上）空気清浄器（中央）  
及び油冷却器（下）  
Fig. 6. Silencer (upper) Air Filter  
(center) and Oil Cooler (bottom)

本機の他の特長として空気清浄器及び新方式の軸受油冷却器を設置した点がある。調相機の設置場所は塵埃が多い為外気をそのまま通風させると機器にこれらが堆積して通風が悪くなり、過熱するに至る恐れがある。又掃除等の保守上からも厄介となる。従つて常に清浄な空気を送り、機器を冷却せしめる装置を設けた。この方法には種々あり、近時は回転式のものも多くあるが、最少の空間を利用して最大の効果をねらい簡単な構造を採用した。この構造は多数の波打鉄板を箱に収め適当な粘度の油で湿したものを単位とし、これを必要単位取付枠に挿入したものである。又軸受油冷却方式は従来の方法を用いず、油循環風冷式とした。即軸受油を油冷却器に導いて冷風で冷やし、圧油ポンプで再び軸受へ送る。油冷却器はひれのついたパイプを数列数段に配列した構造を有する。

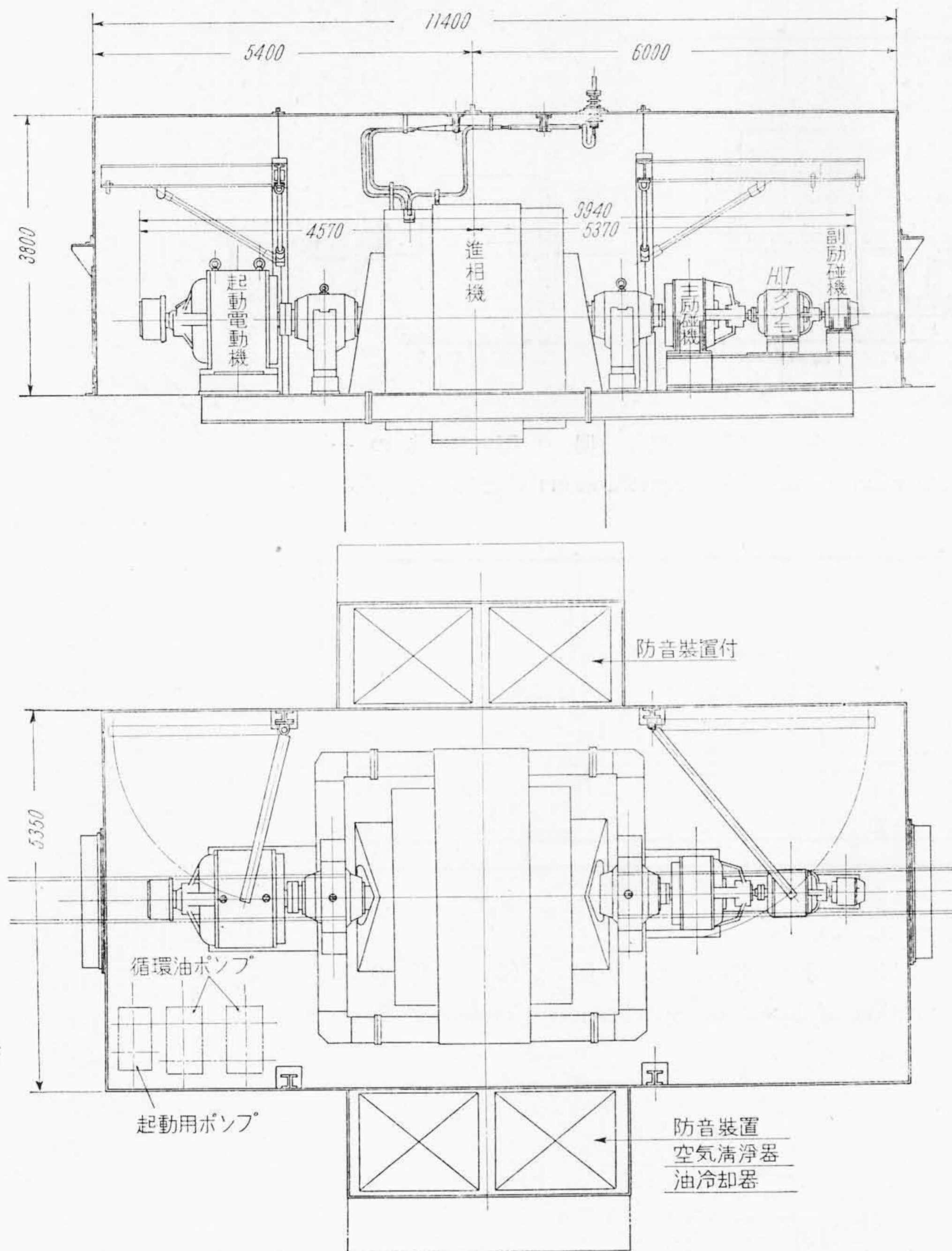
本冷却方式では全然水を用いていないため、水冷式に附属して起る汚水による腐蝕、水洩れ等の問題が完全に解消される。一般に変電所に於いては、取水及び清浄化は厄介な問題であり、之が解決された事は大きな特長と云えよう。

## 4. 消音装置

機械により生じた噪音は冷却空気の出入口に設けられた本装置によつて軽減される。之は第6図に見られる如く吸音係数の大なる材料を両側面に貼つた板を多数平行に並べたものであつて、噪音を伝える気流はこの装置内で多数の岐路に分たれ、広い面積で吸面材料と接触するので噪音は吸収される。

## 〔IV〕 機器の分解組立

極力建設費を軽減する目的で、起重機なしに組立、据付、或は分解を行う劃期的な設計を行つたもので、屋外



第7図 機器分解説明図 (配置図)

Fig. 7. Illustration of Installing Synchronous Condenser

型による建築費の逡減と共に今後の方向を示すものとして注目すべきものである。屋外型であるために、ハウジング内の制限された空間内で容易に分解組立を行う事は困難な問題であるが、この点予め十分なる考慮を払って第7図に見られる如く起重機を用いず、電動機或は軸受程度のものを吊る様にしたチェンブロックを取付けられる二個の可動腕をハウジングから出し、組立式台車を用いて重量物を運ぶ方式を採用した。据付には先ず床盤が定置されれば、その上に軌条をのせ次に台車を置き固定子を積んで定位置に運び込み、ジャッキボルトにて固定子を浮かせ台車及び軌条を取り去り、固定子を徐々におろして床盤の定位置にのせる。次に回転子を持込むには回転子を台車にのせ、その軸端に継ぎシャフトを取付け

て第8図の位置に運ぶ。この位置に来た時継ぎシャフトの先に台車をおき、中間の台車を外す。即ち第9図の如くする。更に引き込んで第10図の位置迄持ち込みここでジャッキにて軸端を持ち上げて継ぎシャフトを外し、軸受を取付ける。主機の据付が完了した後、起動用電動機、主副励磁機等のベースを取付け、各機を可動腕のチェンブロックによつてベース上にのせ第7図の如く主機に直結する。分解の時は各補助機を取去つた後、継ぎシャフトをつけジャッキにて少し持ち上げれば軸受台の下のブロックベースが取れるため、後は据付時の作業を逆行して簡単に分解出来る。

以上の如き方式を用いる事によつて起重機は不要で据付及び分解組立作業が比較的容易であるため、今後のものにはこの様な方式が広く用いられるに至るものと考えられる。

### [V] 制御装置

#### 1. 制御装置

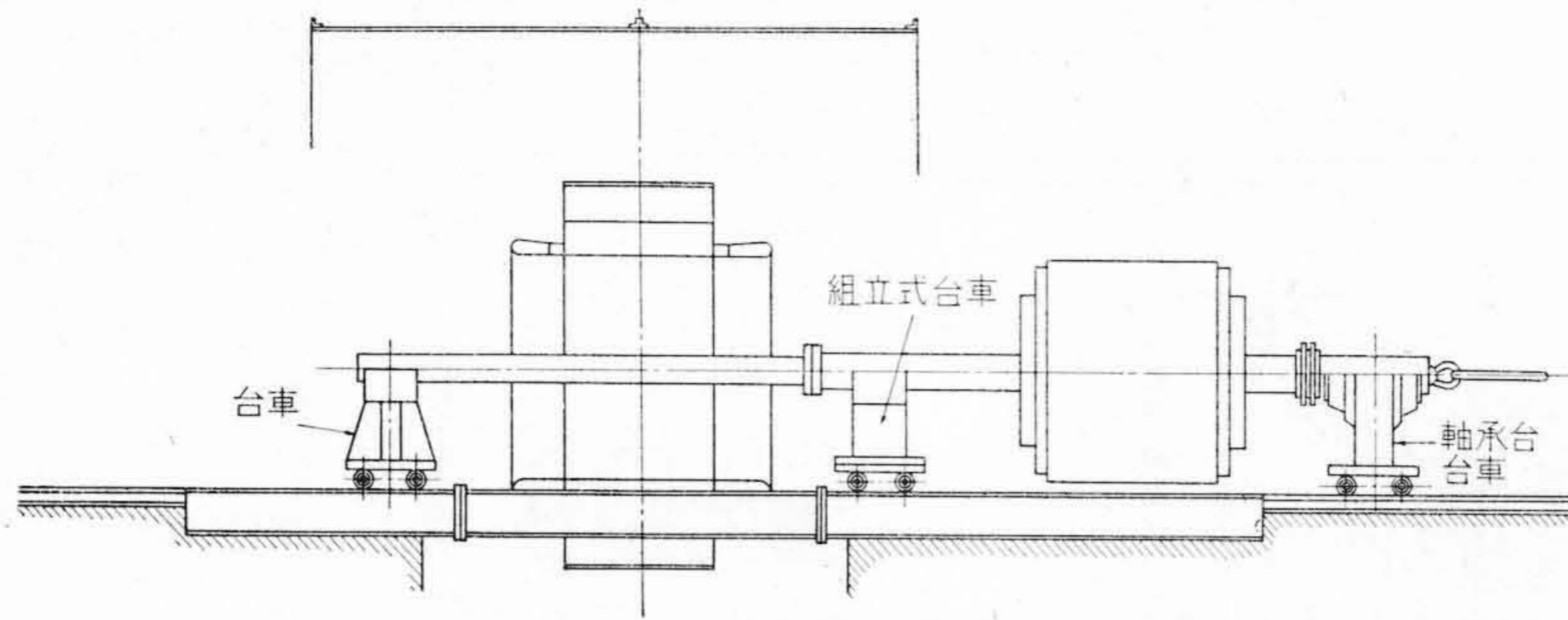
第11図は同期調相装置の電線接続図を示すものである。従来調相機の制御には起動操作開閉器に依る一人制御方式を採用するのが一般であつたが今回は

より便利な二段操作式順序制御器に依る一人制御方式を採用した。

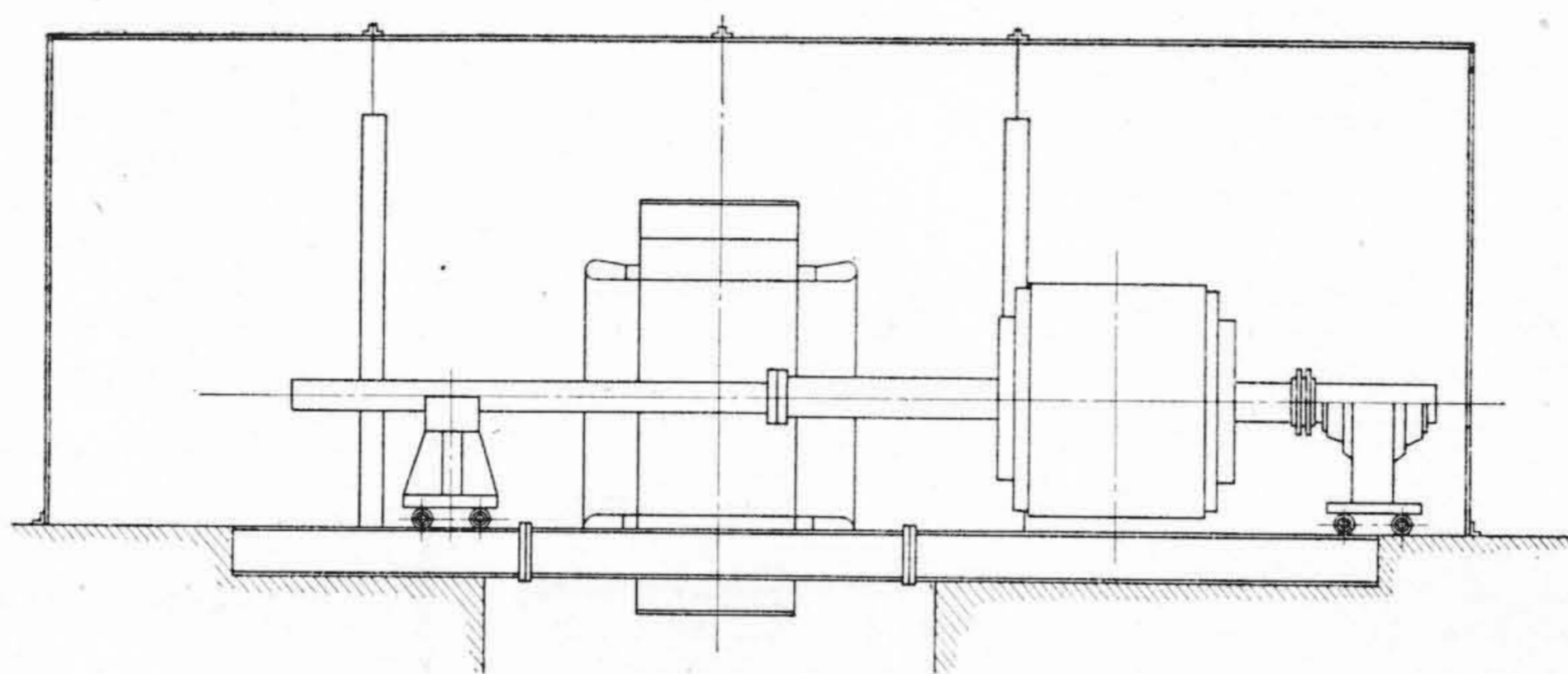
#### A 制御設備

主配電盤：—15,000kVA 調相機及び起動用誘導同期電動機制御用主配電盤は分離机型で、各種操作開閉器を取付けた机型操作盤と直立型盤からなり、直立型盤は正面が計器盤、背面は継電器盤となつている。第12図はその正面である。盤の裏面配線としてはPVC線(塩化ビニール絶縁電線)を使用している。このPVC線はゴム絶縁電線に比し仕上り外径は小さいが性能は同等或はそれ以上で色別も自由であり耐酸、耐湿、耐燃の特性を持っている。

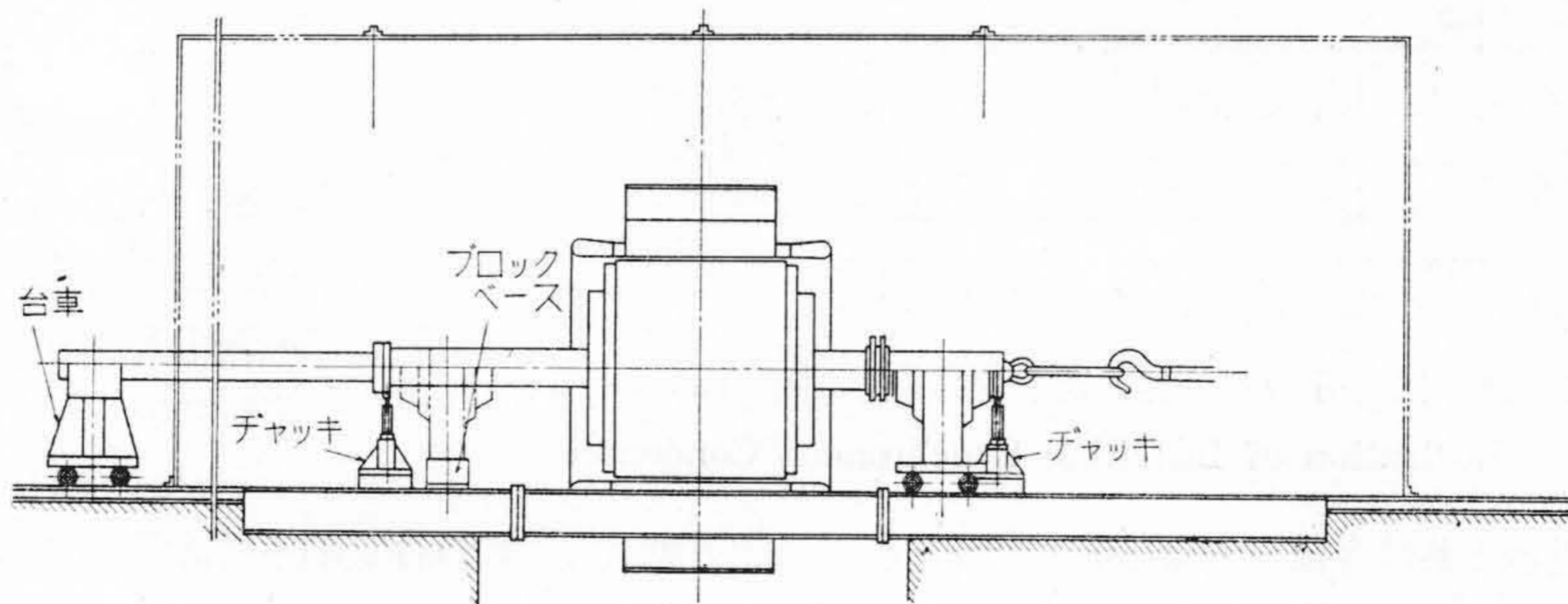
起動用接触器盤：—起動抵抗短絡用 6A 乃至 6F の



第 8 図 機 器 分 解 説 明 図 (其 の 一)  
 Fig. 8. Illustration of Installing Synchronous Condenser (No. 1)



第 9 図 機 器 分 解 説 明 図 (其 の 二)  
 Fig. 9. Illustration of Installing Synchronous Condenser (No. 2)



第 10 図 機 器 分 解 説 明 図 (其 の 三)  
 Fig. 10. Illustration of Installing Synchronous Condenser (No. 3)

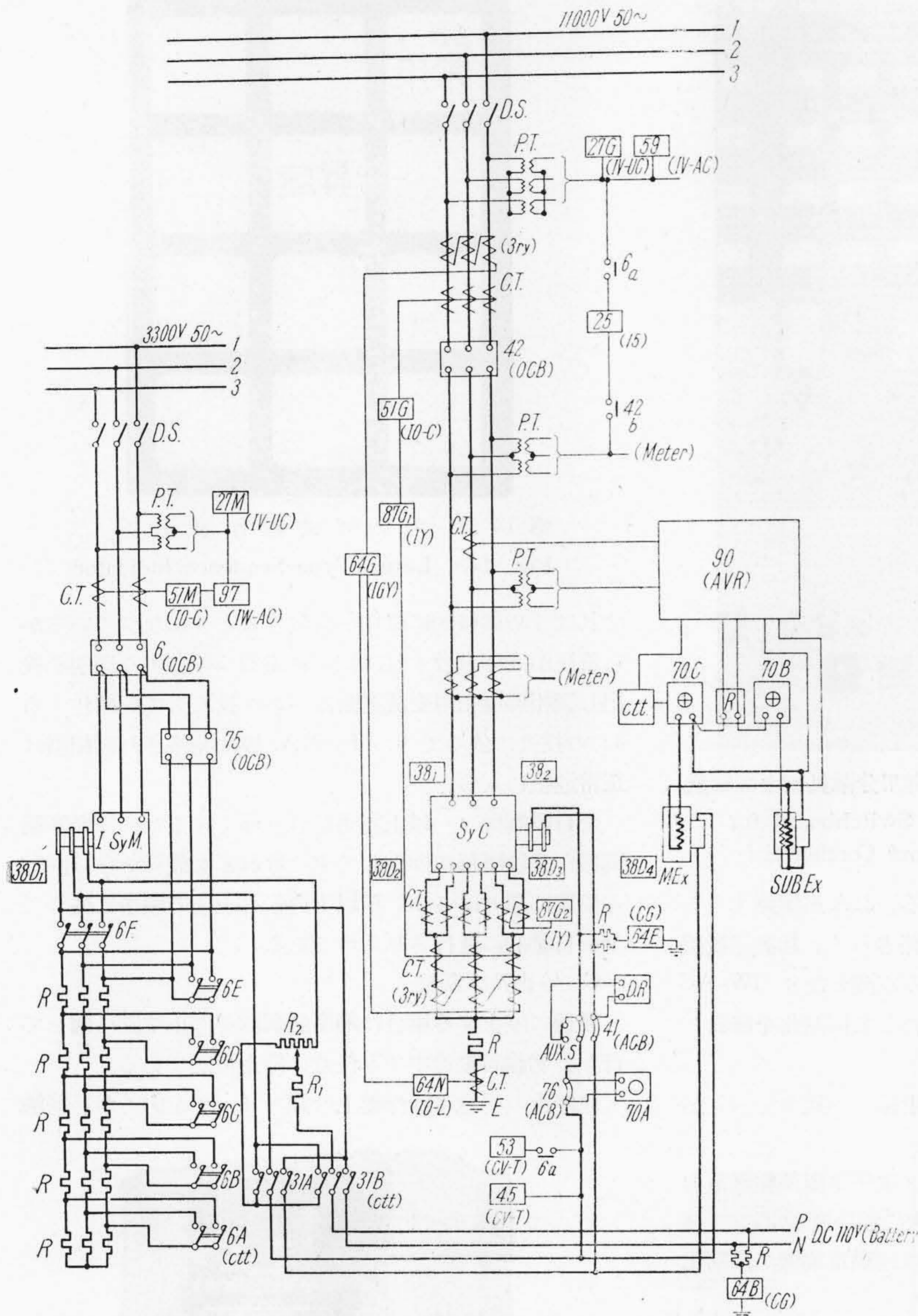
電磁接触器と、起動時に使用する 31 A, 制動時に使用する 31B の界磁接触器を取付けてある。

順序制御器と動作表示器：一 第 13 図に示すのが最も主要な役目をなす順序制御器で第 14 図は順序制御器と相対応して起動順序進行状況を確認して行く、ランプ式動作表示器、である。

ランプ式表示器は内部の小型電球に依つて透明文字を浮き出し起動進行状態を次々に表示して行く。表示は、油ポンプ常用、油ポンプ予備、軸浮、起動、昇速、同期

速度、励磁、運転、制動、の 9 項目 8 段階になつている

順序制御器は二段操作式で回して引く事に依り初めて操作回路が出来るもので、引いたままでは回せない様になつているから誤操作は絶対に起らない。操作は、停止軸浮、起動、同期速度、励磁、運転、の 6 段階になつている。ランプ式表示器を見乍ら一段ずつ操作して行く事も可能であり、又任意の位置に選定して置けばその位置迄自動的に進行して行く、勿論最後の運転の位置を選定すれば起動電動機の起動から調相機の同期投入迄の操作



第 11 図 15,000 kVA 調 相 機 電 線 接 続 図  
Fig. 11. Skeleton Diagram for 15,000 kVA Synchronous Condenser

を全部自動的に行う事も出来る。その進行状況はランプ式表示器に依つて次々に表示されて行く。尚自動操作の途中から手動操作に切替える事も反対に手動操作の途中から自動操作に切替える事も簡単であり起動途中任意の点で停止する事も可能である。

**B 自動起動操作**

- 起動準備 :—
- 順序制御器を停止位置に置く
- 操作電源回路の開閉器類を閉路する

自動電圧調整器用切換開閉器を自動側へ入れる  
70B 70C の界磁調整器を定められた位置に置く  
手動ハンドルに依りダムパーを全開とする  
操作開閉器に依り潤滑油ポンプを起動する

油圧ポンプ起動 :— 以上を行つた後順序制御器を「軸浮」の位置に廻して軸浮油圧ポンプを起動する。油圧が 30 kg/cm<sup>2</sup>に達すると油圧継電器が動作するが次の操作に移る前に各軸受に対し圧油を均一にかけるために限時継電器に依つて約 10 秒の時間を置く。

起動 :—  
順序制御器を「起動」の位置に廻すと 6 が閉路し起動電動機は二次側に全抵抗を入れた状態で回転し始める。

6 の投入と同時に電動制御器 34 A が回転し始め其のドラム上の接点に依つて電磁接触器 6 A より順次閉路し昇速に従い起動抵抗を短絡して行く。

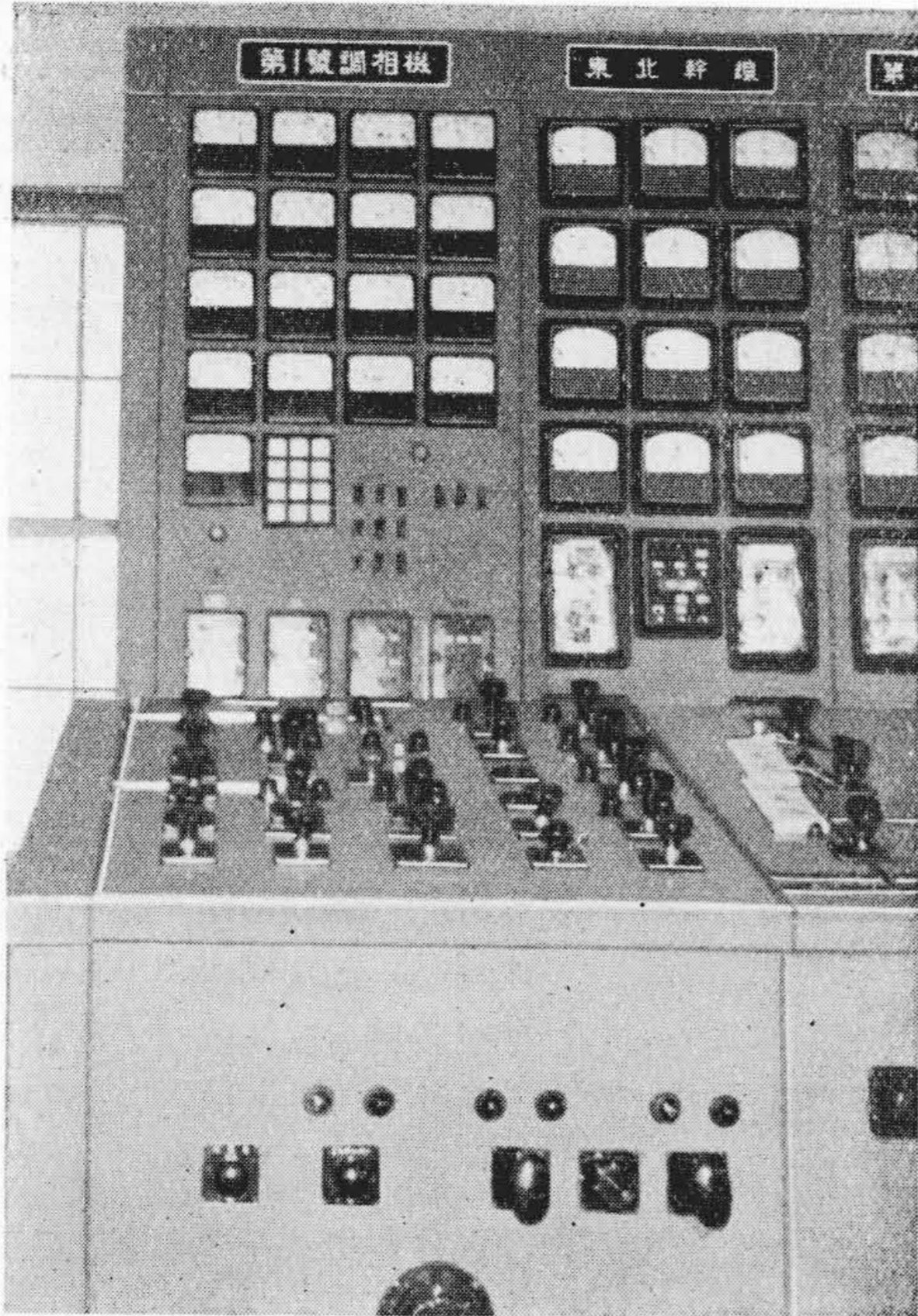
各段階の時間は加速に最も適当なる如く設計されている。且突入電流は 200% 程度に押えられている。

速度上昇につれて主励磁機の電圧は直流電圧調整継電器によつて調整される。

6 E が閉路して起動抵抗が全部短絡され、且 CV-T 型直流電圧継電器 (53) に依つて励磁

電圧が 30% に達した事が確認されるとランプ式表示器に「昇速」を表示し励磁に依つて起動電動機を同期化する準備が完了した事を知らせる。

同期速度 :— 「昇速」の表示を見て順序制御器を「同期速度」の位置へ廻すと、最終段の 6E のみを開路し、続いて 31A が投入され起動電動機は同期化される。励磁電流は R<sub>2</sub> に依つて予め調整されている。且この抵抗 R<sub>2</sub> は試運転当初起動電動機と調相機との間の位相のズレを調節合致せしむるためにも使用される。同期化を



第 12 図 15,000 kVA 調相機制御用分離机型主配電盤  
 Fig. 12. Separated Desk Type Switchboard for 15,000 kVA Synchronous Condenser

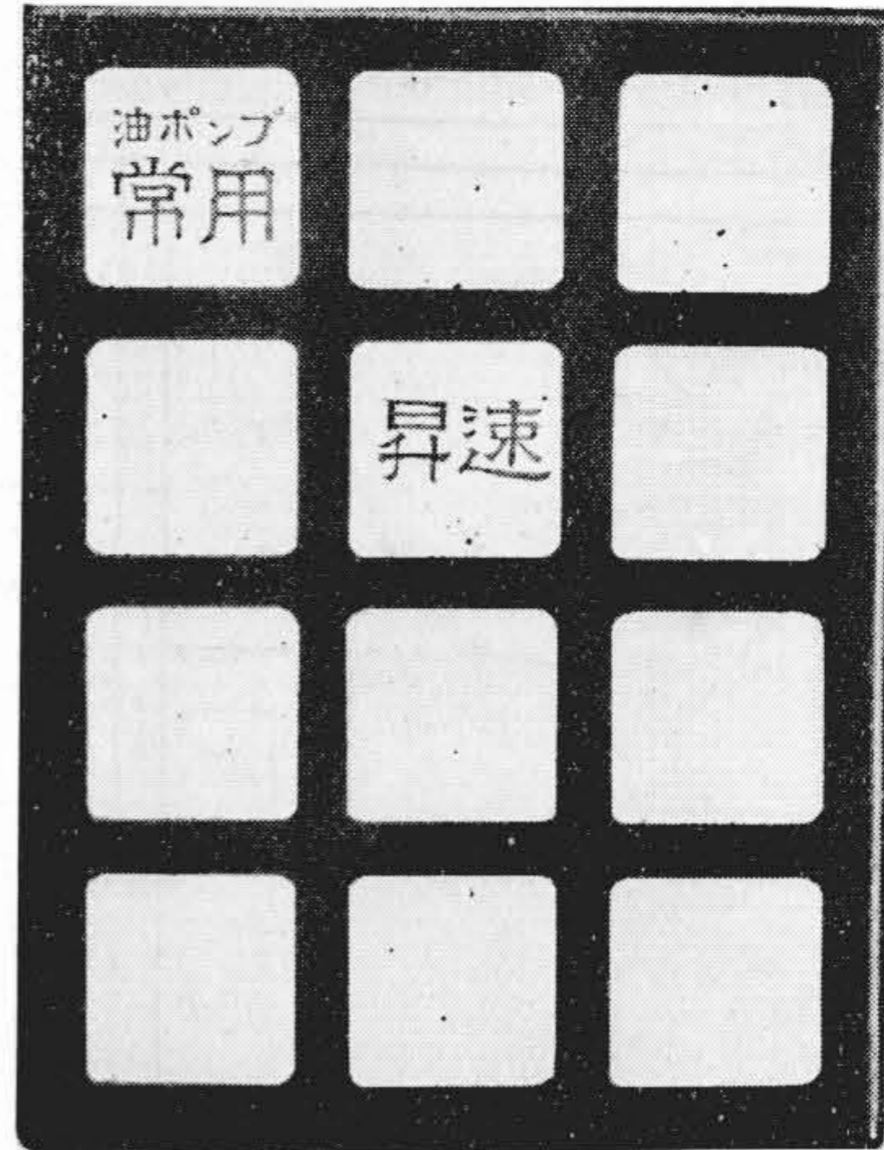
確実にする為若干過励磁されている。31A が閉路すると 6F を残し 6A 乃至 6E は全部開路される。起動電動機が同期化されると過励磁のため進み電流となり IW-AC 型進み無効電力継電器 (97) が動作して同期化を確認し次の操作へ移す様になつている。

調相機励磁：一順序制御器を「励磁」へ廻すと 41 が閉路され調相機は電圧を誘起する。

運転：一調相機電圧が上昇すると電圧平衡調整継電器 98 に依つて線路電圧に合わせる。次に順序制御器を「運転」の位置に廻す。調相機の場合は起動電動機が同期化



第 13 図 順序 制 御 器  
 Fig. 13. Sequence Controller



第 14 図 ランプ式動作表示器  
 Fig. 14. Lamp Type Sequence Indicator

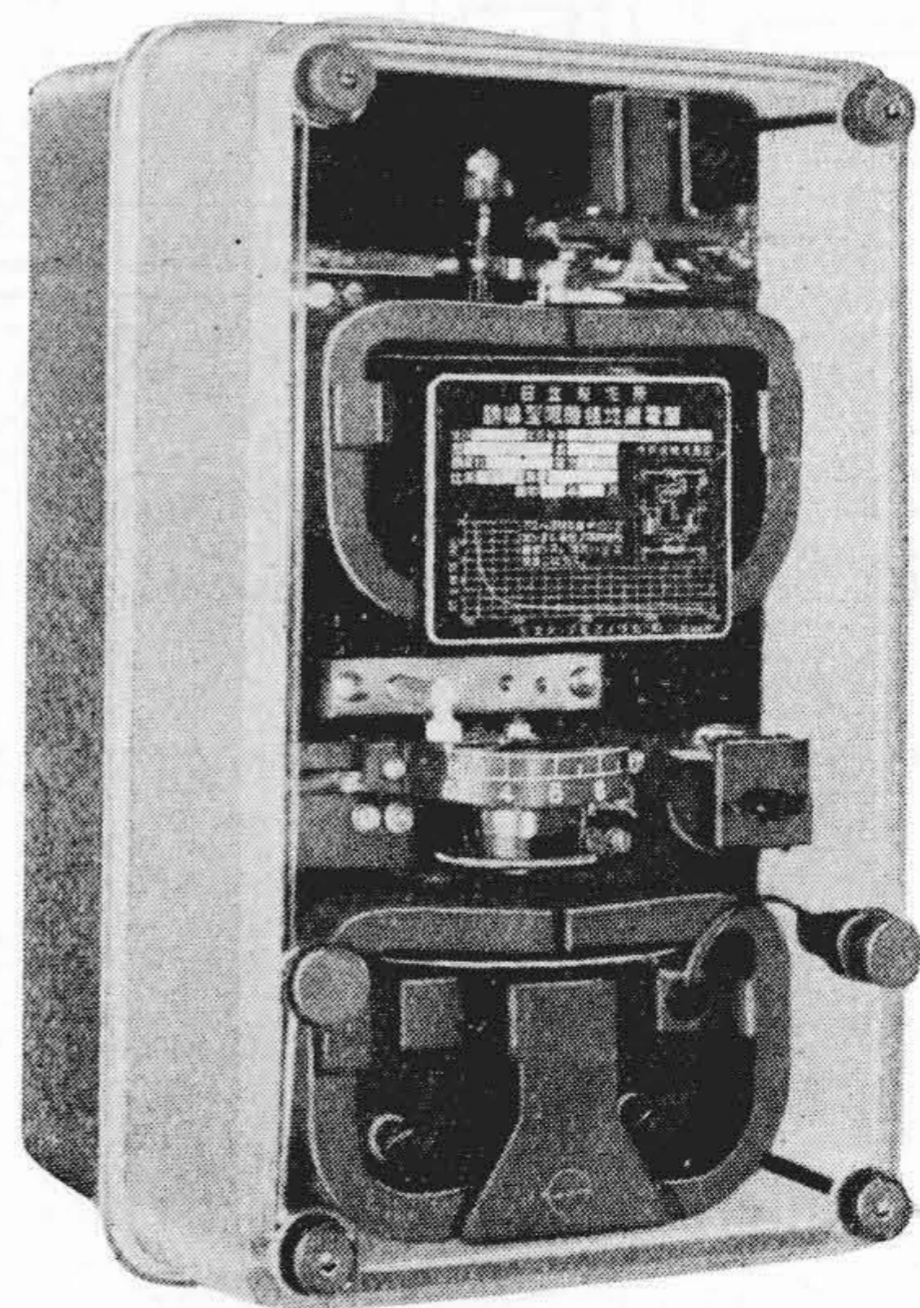
すれば予め機械的に位相が合致するようになつているから電圧が大体合致すれば同期継電器 25 に依り同期を検出し調相機運転用交流遮断器 42 を投入して同期化する。42 の投入に依つて 6, 6F, 31A, 等は開路され調相機は正常運転に入る。

全自動制御：一以上説明を判り易くするために順序制御器を各段階毎に操作して来たけれども最初から「運転」の位置に廻せば (2) 項以下運転迄上述の順序に従つて全部自動的に進行されるのである。

C 停止及び制動

普通に停止する場合は順序制御器を停止位置へ廻して行ふ。勿論起動途中でも任意に停止可能である。

急停止の場合は操作盤上の釦スイッチを引くか、接触



第 15 図 IGY 型接地継電器  
 Fig. 15. Type IGY Ground Relay



器盤上の釦スイッチを引けば自動的に全停止操作をなし制動を行う様になつている。之等の非常停止用釦スイッチは釦を赤色として他のスイッチと区別し誤操作の起らぬ様にしてある。釦スイッチを引くと補助継電器を介して遮断器を総べて開路した後、75 が投入され起動電動機の一次側を起動抵抗に接続する。続いて 31B が閉路し蓄電池に依り励磁し発電制動を行う、又同時に 34B が起動し 6A で抵抗一段のみ短絡する。斯くして調相機は停止し、34B は 75, 31B 6A 乃至 6C を開路した後停止する。

尙調相機の内部故障の場合は自動的に制動急停止を行う様にしてある。

D. 手動制御

手動制御の場合は潤滑油ポンプを起動し、次に順序制御器に依つて油圧ポンプを起動する。それ以後は前述せる各段階に於て、計器類及びランプ式表示器を見乍ら各々別箇の操作開閉器に依つて操作を行う。自動手動切換開閉器等は必要としない。或る段階迄自動制御を行い其の次の段階から手動操作を行う事も可能である。

2. 保護装置

調相機の巻線事故は一般に層間短絡より地絡又は相間短絡に移行する。又直接地絡となる事もある、従つて調相機の巻線保護装置としては層間短絡保護と接地保護装置を設けている。接地故障に対しては鋭敏確実な IGY 型接地継電器を採用した。接地電流を大きくする事は保護継電器の立場から言えば保護範囲を拡大し高速にすることは容易であるが調相機自体に取つては鉄心の焼損が大きくなり好ましくない。接地電流を 100A 程度に減少せしめ乍ら而も保護範囲は従来以上を確保せしめたのが IGY 型継電器による接地保護継電方式である。第 15 図はその写真である。即ち中性点接地回路の接地電流に依つて故障を検出し、且巻線両側の比率差電流に依つて内部の接地故障を選択する方式のものである。

故障種類と処置

調相機を停止し自動制動を行い、電鈴に依つて警報し且動作継電器を計器盤上の集合表示器に表示するもの。

- 調相機軸受過熱 38-1 38-2 VT 型 温度継電器
- 調相機相間短絡故障 87G<sub>1</sub> IY 型比率差動継電器

- 調相機層間短絡故障 87G<sub>2</sub> 同上
  - 調相機巻線接地故障 64G IGY 型接地継電器
  - 調相機回路接地故障 64N IO 型小勢力過電流継電器
- 尙上記に対しては自動的にダムパーを閉鎖する。

停止を行い、電鈴にて警報し、且集合表示器に表示するもの。

- 調相機回路低電圧 27G IV 型 低電圧継電器
- 調相機過電流 51G IO 型 過電流継電器
- 電動機回路低電圧 27M IV 型 低電圧継電器
- 電動機過負荷 51M IO 型 過電流継電器
- 調相機回路過電圧 59 IV 型 過電圧継電器
- 励磁機過電圧 45 CV 型 過電圧継電器

停止は行わずブザーに依つて警報を与えると共に集合表示器に表示するもの。

- 調相機軸受温度上昇 38D<sub>2</sub> 38D<sub>3</sub> } ダイヤルサーモ
- 励磁機軸受温度上昇 38D<sub>4</sub> } メーター
- 電動機軸受温度上昇 38D<sub>1</sub> }
- 運転中のダムパー閉鎖 20A<sub>1</sub> 20A<sub>2</sub> 制限開閉器
- 励磁機回路接地故障 64E CG 型 接地継電器
- 潤滑油停止 64QC FL 型 油流継電器
- 直流操作回路故障 64B CG 型 接地継電器

[VI] 結 言

以上述べた如く本機は経済的に有利な諸構造を有する最新式の屋外型であり、コンパクトなハウジングに納められ、分解組立は起重機を用いず特殊工具により簡単に行う事が出来る。又水を使用せぬ軸受油冷却器、自動電圧調整を行う回転増幅器 HTD の使用等新構想を幾多盛つた設備である。試験の結果は調相機の諸特性温度上昇、損失等優秀な成績であり、更に加えて補助機特性も良く発電制動も短時間で行い得ると云う成績を示した。

今後の屋外型の進む方向を示唆したものとして本機が大なる意義をもつ事を信ずるものである。

終りに本機の製作に当つて種々の御援助を頂いた旧日発東北支店工務部並びに仙台変電所の関係各位に深甚の謝意を表す。




 特 許 月 報

## 最近登録された日立製作所の特許及び実用新案 (1)

区 分	登録番号	名 称	工場名	発 明 考 案 者	登録年月日
特 許	193646	分散用液体プリズム装置	中 央 研 究 所	角 野 正 夫	27. 3. 15
〃	193647	液体プリズム分光器波長表示装置	〃	角 野 正 夫	〃
〃	193648	切 羽 積 込 機	亀 有	大 西 昇	〃
〃	193649	線輪層間短絡検出方式	日 立	{片 木 劍三郎 西 堀 博	〃
〃	193650	被 膜 形 成 装 置	戸 塚	{山 辺 知 定、佐 藤 要、船 木 章 介	〃
〃	193651	巻上機の操縦装置	亀 有	澁 谷 英 寅	〃
〃	193652	ホイストの巻胴装置	多 賀	{横 内 直 中 古 市 光 之	〃
〃	193653	ケーブルクレーンの主索の支持装置	亀 有	安 井 厚	〃
〃	193654	スキップ巻上装置における計量ホッパーの扉操作装置	〃	田 中 春 雄	〃
〃	193655	複式ケーブルクレーン	〃	赤 木 進	〃
〃	193656	流量積算測定装置	日 立	田 中 貞之助	〃
〃	193657	流量積算測定装置	〃	{田 中 貞之助 滑 川 清	〃
〃	193658	木管巻糸量の増減に伴うテープテンション変化装置	川 崎	{薄 正 四 松 本 源次郎	〃
〃	193659	糸篠巻取装置に於ける爪車の送り量変換装置	〃	薄 正 四	〃
実用新案	391100	切 羽 積 込 機	亀 有	小 林 喜 八 郎	27. 3. 20
〃	391101	揚水装置に於けるポンプの運転状態点検装置	〃	田 中 栄 吉	〃
〃	391102	受 話 器 振 動 板	日 立	田 中 貞之助	〃
〃	391103	ナット廻り止め装置	栃 木	栗 本 正 雄	〃
〃	391104	水車入口弁開閉装置	日 立	小 野 正 喜	〃
〃	391105	天井走行起重機	〃	滑 川 清	〃
〃	391106	恒 温 槽	多 賀	黒 羽 逸 平	〃
〃	391107	軸 流 圧 縮 機	日 立	藤 井 修 郎	〃
〃	391108	自 動 給 水 調 整 装 置	〃	{杉 沼 八三郎 村 山 原 家 次 道	〃
〃	391109	交流電弧溶接器電流調整装置	多 賀	菅 山 正 道	〃
〃	391110	車 軸 窓 遮 蔽 装 置	笠 戸	安 達 義 雄	〃
〃	391111	真空粒体吸揚装置用吸口	川 崎	西 岡 富 士 夫	〃
〃	391112	粉体空気輸送機の圧力検出用濾過器清掃装置	〃	{酒 井 真 平 西 岡 富 士 夫	〃
〃	391113	吸引サイクロン式粉体空気輸送機	〃	{酒 井 真 平 西 岡 富 士 夫	〃
〃	391114	カップリングの連結装置	亀 有	栗 野 義 六 郎	〃
〃	391115	遠心分離機のカバー	多 賀	川 崎 光 彦	〃