

# 合理化された火力発電所の制御装置

森 山 一 夫\*

## Rationalized Controlling Equipment for Thermal Power Plant Operation

By Kazuo Moriyama

Kokubu Branch Works of Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

### Abstract

The centralized control system had come now to be adopted in general for the rational operation of thermal power station. As it involves some difficulty, however, to centralize in this system all of the control equipment solely at one place in the station, measures must be taken first to automatize each component equipment. Meanwhile, control boards are provided separately for turbine generators, turbines, boilers and the like, and the main switch board and supervisory board for auxiliaries are simplified into a miniature, contracted type. By such arrangement, any single operator can have a comprehensive grip upon the whole system of generating plant being able to accomplish an efficient, rational operation using a centralized control board which controls such simplified and contracted main and supervisory boards.

On top of this, high speed high sensitive protective device for turbo-generator has recently been completed to add to the safe and positive operation, used side by side with other protections.

For the switching service on the circuits in the station for auxiliaries, compound filled type switchgears have been discarded for the cubicle type metal clad type on account of the latter's advantages in promoting safety of operation and cutting down of the construction expenditure for the power station.

### 〔I〕 緒 言

水力電源開発に並行して、火力電源の建設は渇水期の補給電源として又流水式の多い、我国の水力発電を最も経済的に運転するためにも重要である。火力電源のユニットは能率向上を目指して益々大容量を採用し、ターボ発電機に対しては水素冷却方式を採用する傾向にある。又事業会社に於ては変動の多い我国の電力事情に左右されない確実にして良質の電源を確保するため、工期が短く建設費が安く、需要地の近くに建設し得る自家用火力発電所を計画し相次いで建設されつゝある。

又一方制御様式は主機並びに所内補機の運転制御、タービン並びにボイラの熱管理等複雑多岐に亘る火力発電

所全体の運転制御に対して制御の集中化即ち総括制御方式を採用することにより、運転の合理化と安全確実、保守の簡素化を計り安定電源の確保に遺憾なきを期している。以下火力発電所制御装置の一般を概述する。

### 〔II〕 制 御 様 式

制御様式は最も合理的な運転制御が行われるような総括制御方式が採用されるようになった。即ち中央に重要な計測並びに指示制御装置を装備した総括制御盤を設け、ここで発電所全体を良く把握して予定負荷の指示、出力調整等を行うようにして、発電所全体としての予定負荷に対する運転体制を整え同時に出力制御、必要によつては周波数制御等を行い能率のよい合理的な運転が出来るよう考慮することが望ましい。

\* 日立製作所日立国分分工場

しかし火力発電所に於ては多種多様な補機を有しているため、水力発電所の如く原動機から発電機に至るまですべてを配電盤に集中して制御することは困難である。従つてボイラ、タービン、発電機の各室に於て、各々集中した監視制御を行い、更に中央配電盤室で総括する方式とすることが最も当を得たものである。このためには各装置の自動化は勿論なるも電気室と機械室の連絡を密にするため信号装置を設け、又所内補機監視盤を設ける等発電所全体を良く把握出来るようにして総括制御を容易にし、更に各種保護装置を完備して運転操作を完全確実なものとするのが肝要である。

かように中央で集中制御するためにはすべてを監視制御することは配電盤が大きくなり、一人では監視が容易でなくなり、従つて全体を把握することは困難となる。かゝる目的のためには計測用指示計は最小限に止め、監視盤を簡素化し縮小して小型に纏めることが必要である。又色彩調節を行い気分の沈滞をなくすることは制御を一層円滑化するのに効果的である。

### 〔III〕 主機制御装置

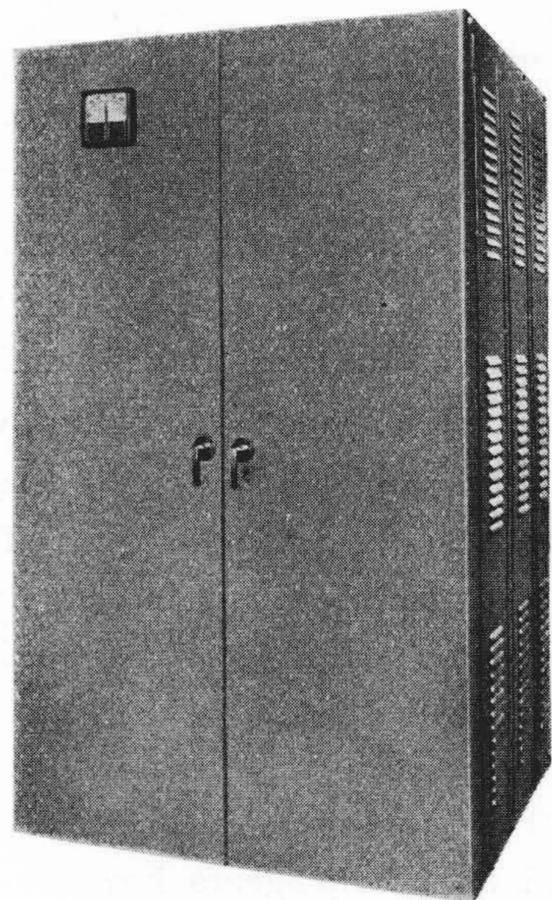
接続方式はユニット式が最も適当として推奨出来る。而して低圧側の開閉設備を省略して低圧側回路を簡易化すればそれだけ事故の軽減に役立ち、又建設費の節減も出来る。従つて同期は高圧側同期となるが高圧遮断器も圧縮空気操作式が採用されている今日では、投入速度も高速度化され何等问题はない。又同期検定装置も5VA程度の小勢力のものが製作されているから、高圧側の電圧を取るにも最も経済的な静電型電圧変成器が使用出来る。

発電機の中性点接地方式としては抵抗接地方式が最も一般的に採用されている。この抵抗接地方式に於て抵抗値を幾何にすべきかは発電機側から見れば、なるべく故障電流を小さくしたいし、又保護継電器側からいえばなるべく故障電流を大きくして早期に然も高速度で選択遮断したいわけである。保護継電器としては最近100A接地で巻線の95%まで保護出来るIGY型高速度比率差動電流継電器が完成されたので、抵抗接地方式に於ては発電機の容量を問わず、すべて100A接地を採用している。100Aの故障電流では早期に高速度遮断すれば、発電機の鉄心の焼損程度は問題にならないと考えてよい。

又最近米国で多く採用されている接地方式として柱上変圧器接地方式がある。我国に於ても現地人工故障試験が行われ又既に一部には実施されているが、この接地方式はサージ電圧に対しては発電機の中性点が高インピーダンスで接地されることになるから好ましくないが、発

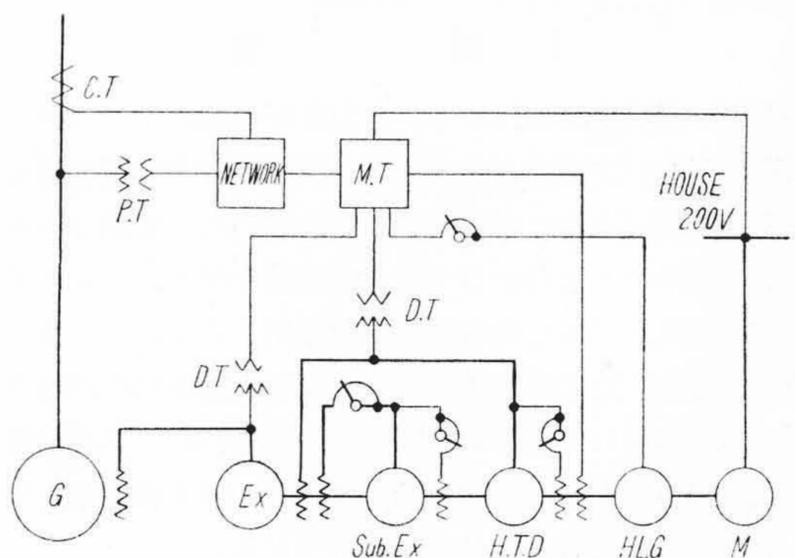
電機の故障を軽微にするためには大いに役立つ。而して100A抵抗接地の場合も同様であるが外部から侵入する異常電圧や開閉サージに対しては蓄電器及び避雷器の組合わせによるサージ吸収装置を設けて発電機を保護するよう考慮する必要がある。

機器の起動、停止並びに運転の制御を円滑に行うために中央主配電盤室とタービン、ボイラ室との間には信号装置をそれぞれに設け、指令応答が簡便に行われるようにしてある。又ボイラ室には予想負荷と実負荷指示の二重指針型電力指示計を設け、なおタービン室には実負荷指示電力計を設けて中央総括制御の指示並びに制御を円滑に遂行出来る体制が整えられている。



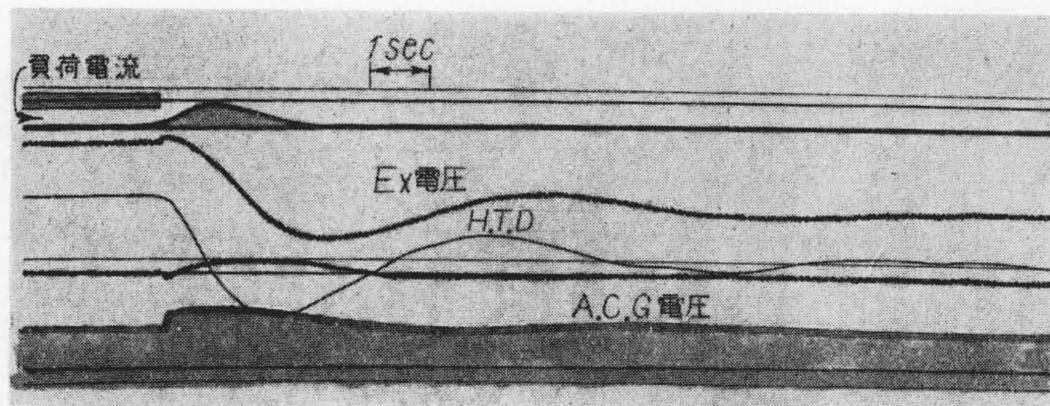
第1図 HTD型自動電圧調整装置制御用キュービクル

Fig. 1. Control Cubicle for Type HTD Automatic Voltage Regulating Device



第2図 HTD型自動電圧調整装置動作説明図

Fig. 2. Schematic Diagram for Type HTD Automatic Voltage Regulating Device



第3図 HTD型自動電圧調整装置動作  
オシログラム

Fig. 3. Oscillogram for Type HTD  
Automatic Voltage Regulat-  
ing Device

発電機の自動電圧調整には従来の無定位型接点式即ち抵抗器型又は振動型に代り定位型無接点式が即応性があり、保守が容易な点から多く採用されるに至つた。日立定位型無接点式自動電圧調整器としてはHTD, 回転磁気増幅機型又は静止磁器増幅器型がある。第1図はHTD型自動電圧調整装置の制御キュービクル、第2図はその動作説明図、第3図はその動作オシログラムにして制御誤差1%以内で従来の接点式に比し性能は勝れ、保守は一段と容易になつている。

#### [IV] 補機制御装置

所内電源の信頼度の重要なことは今更申すまでもないが、火力発電所の補機電源は特に信頼度を必要とするものであるから、その設備に対しては特に考慮が払われている。

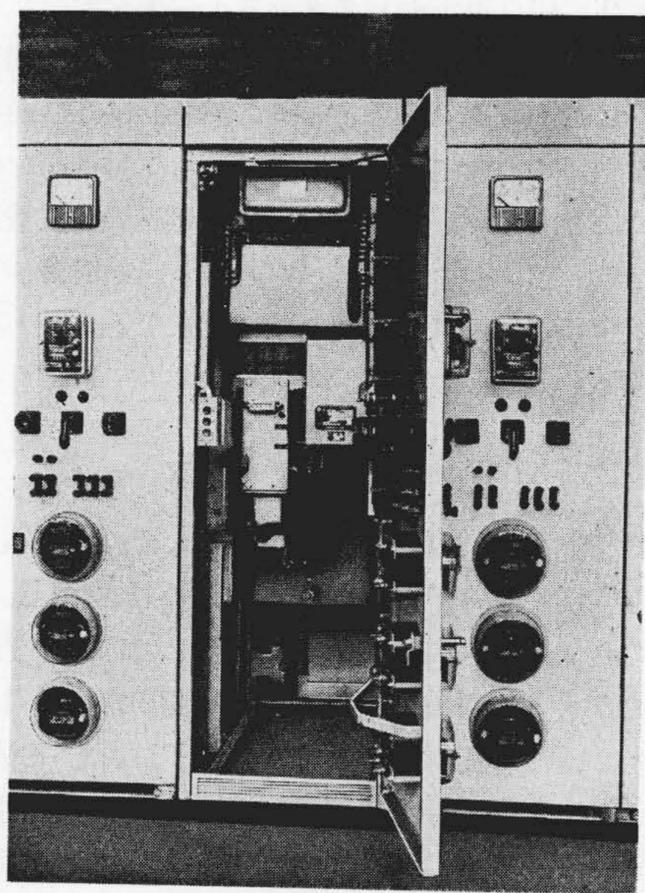
所内高圧補機回路の母線接続方式は二重母線として各ユニット毎に所内高圧変圧器を、又必要に応じては所内高圧用発電機を設け、各ユニット間は母線区分、遮断器を又二重母線間は母線連絡遮断器を設けて、ユニットは常時単独運転とし、ユニット又は母線の故障停電時は他のユニット又は他の母線に切換え使用するよう連絡遮断器の自動制御を行う等配電不断に対しては特に装備されている。

火力発電所の如く割合に塵埃が多く且つ又複雑多岐な所内補機高圧回路に対しては、防塵型にして据付面積も小さく安全で保守の容易な、函型メタルクラッドスイッチギヤが最も適当なものとして推奨出来る。従来火力発電所補機制御用高圧回路スイッチギヤとしてはコンパウンド充填型が多く採用されて来たが函型の利点が認められ採用されるように至つた。このメタルクラッドは電気室に設備し計器、継電器を装備せしめ、その制御はメタルクラッドからも出来るが、常時は現場近くに設置された操作スタンド又は制御盤から行われるように切換えられ各関係機器と連動して操作される。危急の際は何れからでも遮断出来るよう考慮されている。而してこれ等補機運転状態は主配電盤室の補機監視盤に表示される。かくして主配電盤室に於ては主機は勿論補機に至るまで複雑多岐な運転状態を掌握出来るので総括制御体制

は整えられ円滑な運転制御が迅速に行われ、又非常時に際しては保護装置の動作は勿論であるが、その対応処置も誤りなく敏速に遂行することが出来る。

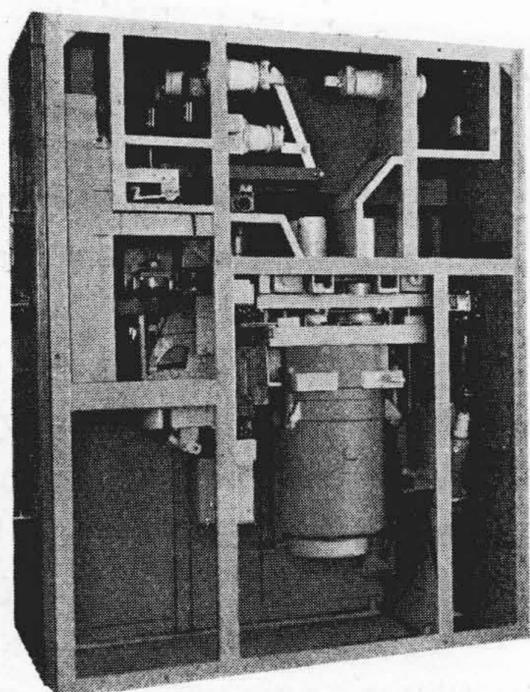
所内高圧回路即ち所内変圧器二次、所内発電機、高圧母線回路、タービン補機、ボイラ補機、給水ポンプ、所内動力並びに運炭灰捨等の高圧回路用スイッチギヤとして推奨するメタルクラッドスイッチギヤには単一母線用としてはVS<sub>25</sub>型(遮断容量250MVA), VS<sub>15</sub>型(遮断容量150MVA), VS<sub>10</sub>型(遮断容量100MVA), がある。

二重母線二重遮断器の場合はこの単一母線用が使用出来るが二重母線単一遮断器の場合は母線切換えはギヤング操作の両母線切換用セレクタスイッチを装置せしめてこれにより母線切換えを行うようにしている。二重母線単一遮断器用としてはVD<sub>25</sub>型、VD<sub>15</sub>型、VD<sub>10</sub>型がある。VS型は第4図に示す如く上部に絶縁母線を配置し、その下部に昇、降装置付遮断器を備え断路部を経て接続している。後部はケーブルヘッド及び変流器室とな



第4図 VS<sub>10</sub>型 MA式メタルクラッドスイッチギヤ

Fig. 4. Type VS<sub>10</sub> Form MA Metalclad Switchgear



第5図 VD<sub>15</sub>型 MA式 メタルクラッド  
スイッチギヤ

Fig. 5. Type VD<sub>15</sub> Form MA Metalclad  
Switchgear

り、これ等は各々接地鋼板で区劃されている。断路部の開閉は遮断器の上下によつて行われる。これは従来の手動を電動操作に改良し押釦によつて 30 sec 位で軽快に操作される。断路部と遮断器は互に連動され操作を誤るようなことはない。遮断器は互換性を有し、トラックに乗せて簡単に外部に引出し可能で他の遮断器と入れかえも出来る。その他断路部、シヤッター、テストングキャビネット、函内照明灯等も完備し操作保守に安全且つ至便である。VD 型は第5図に示す如く上部に2組の絶縁母線及び母線切換用セレクタスイッチを配置し、その下部に昇降装置付遮断器を備え断路部を経て接続されている。このセレクタスイッチと遮断器は互に連動され操作を誤るようなことはない。何れも据付面積を縮減するため極めてコンパクトに設計され建屋の建設費節減に役立つ。特に VS<sub>10</sub> 型はコンパクトに設計製作され保守と安全に何等の支障を及ぼすことなく、一段と据付面積の縮減に成功した。

### 〔V〕 配 電 盤

中央総括制御を円滑に遂行せしめるためには発電所全体の運転状況を良く把握しなければその目的は達し難い。このためには中央制御用配電盤としては縮小型を採用するのが最も適当である。而して計測用指示計は最小限に止め、その他記録を要するものは記録計を採用して別設置とし、又保護継電器等も別設置乃至は各主回路附近のキュービクル又はメタルクラッドに取付け故障表示装置のみを中央配電盤に設けるようにし、操作はなるべく自動化すれば中央制御配電盤は簡素化されると同時に、コンパクトに纏り一人でも監視は容易に行われる。

### (1) 配電盤の色彩調節

働く意欲と能率は環境の物的条件に支配される。明るさが不十分であつたり、同色ばかり使つてあつたりすると眼が緊張して、その疲れが神経を通じて身体全体が疲れる。所内の環境が単調で陰気であると気分が沈滞するものであるが、彩色により眼の緊張が緩和され、注意力が喚起されて、気分は冷静活潑となり機に応じて迅速的確な制御が行えるようになる。

配電盤の色彩調節は色の機能的応用という面からは多少離れるきらいはあるが、種々考察研究の結果次の彩色が最も適当なものとして推奨出来る。この彩色は鉄道電化協会の推奨するものと一致している。

配電盤	7.5B G	6/1.5	(淡灰色)
計器枠	7.5B G	4/1.5	(青灰色)
計器目盛板			(銀梨地に黒文字)
継電器枠	7.5B G	4/1.5	(青灰色)
操作把手	2.5Y R	4/5	(茶色)
銘板			(クローム梨地に黒文字)
その他盤面 取付のもの	7.5B G	4/1.5	(青灰色)

配電盤の色彩調節は配電盤のみの色彩調節ではその効果は少なく、配電盤室もその対象として総合的に色彩調節を行うと同時に室の照明をも考慮して始めてその目的が達せられる。配電盤室の彩色は地方的寒暖の差により多少異なるが、一般的に無難なものとして次の彩色を推奨出来る。

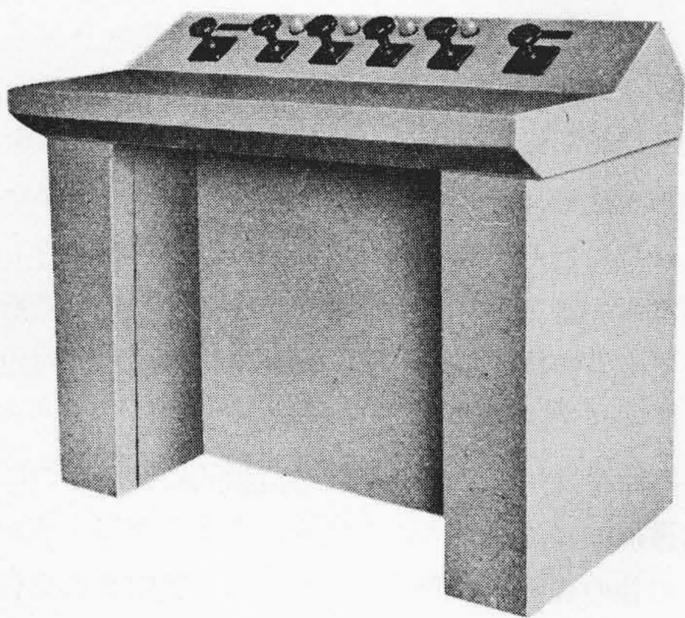
天井	N	9/0
壁	7.5G Y	8/2
腰羽目	7.5G Y	6/3
幅木	7.5G Y	4/2
床	7.5G Y	5~6/3~0

### (2) 総括制御盤

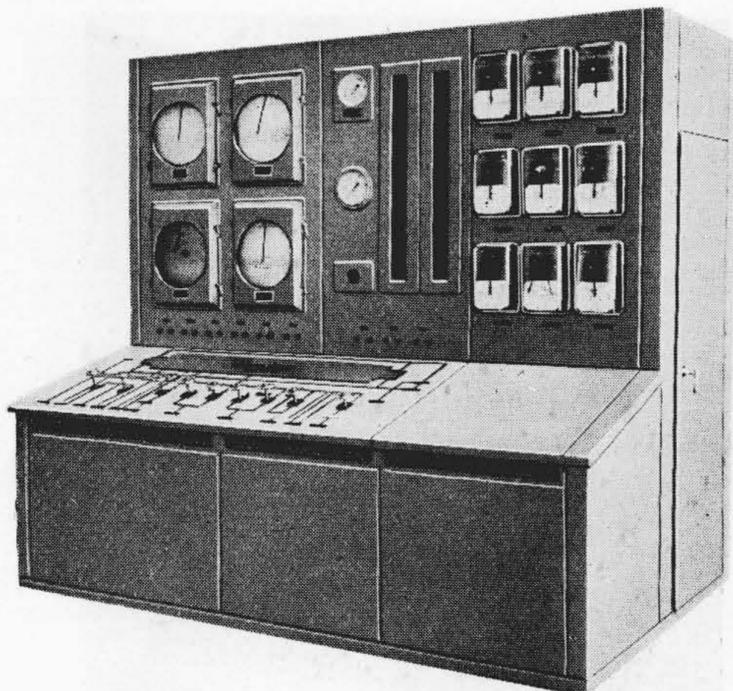
発電所全体即ち主機並びに補機の運転状態をよく把握しながら発電所全機器の予想負荷指示並びに出力制御又必要に応じ周波数制御を行うよう考慮されてある。第6図は総括制御用 BD 型机盤の一例を示すものである。

### (3) 主配電盤

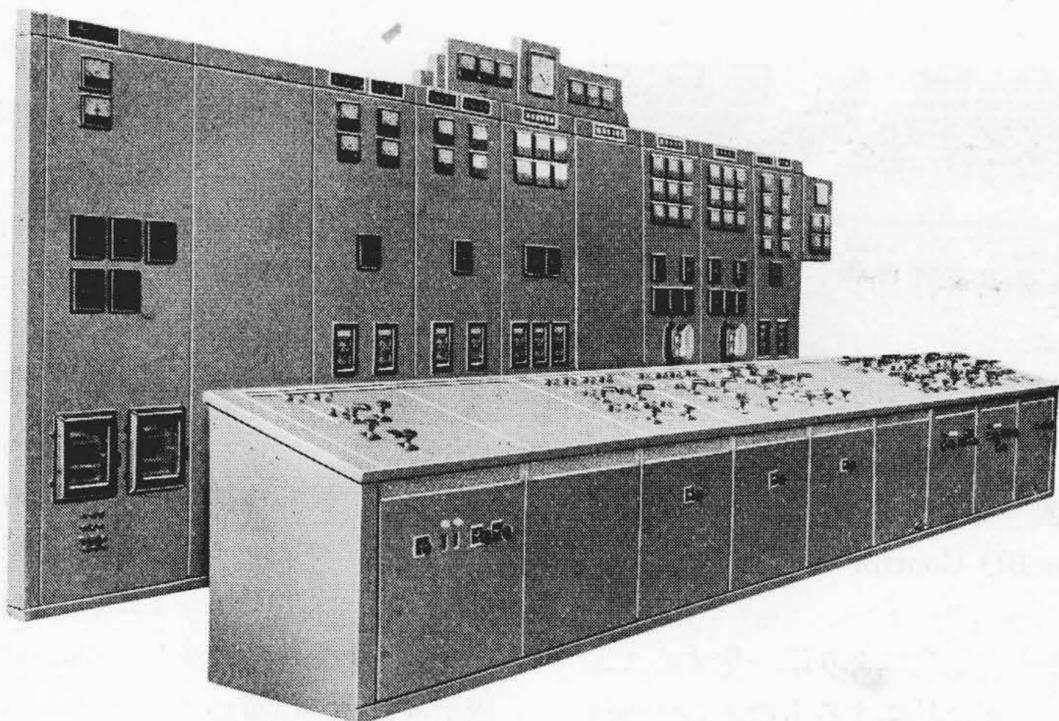
縮小型配電盤様式を採用し主機の運転制御並びに補機の運転監視を行い、発電所全体の状態をよく把握して能率のよい合理的な運転が出来るように考慮してある。このためには指示計器は必要最小限に止めると同時に80角の小型を採用し記録を必要とするものは、記録計を採用して別設置とし、又継電器等も別設置とするか、更に一步進んで主回路附近のキュービクル又はメタルクラッドに取付けて、故障表示装置のみを主盤に取付けるよう工夫すれば制御ケーブルの節減にもなり、主盤は簡素化され縮小して小型に纏めることが出来るので総括制御は一



第6図 BD型 総括制御盤  
Fig. 6. Type BD Centralized Control Board



第7図 BC型 水素冷却式ターボ発電機監視盤  
Fig. 7. Type BC Control Board for Turbine-generator with Hydrogen Cooling Device



第8図 BD+EF型 主配電盤  
Fig. 8. Type BD+EF Main Switchboards

層容易になる。第8図は主配電盤の一例を示すものである。

#### (4) 発電機監視盤

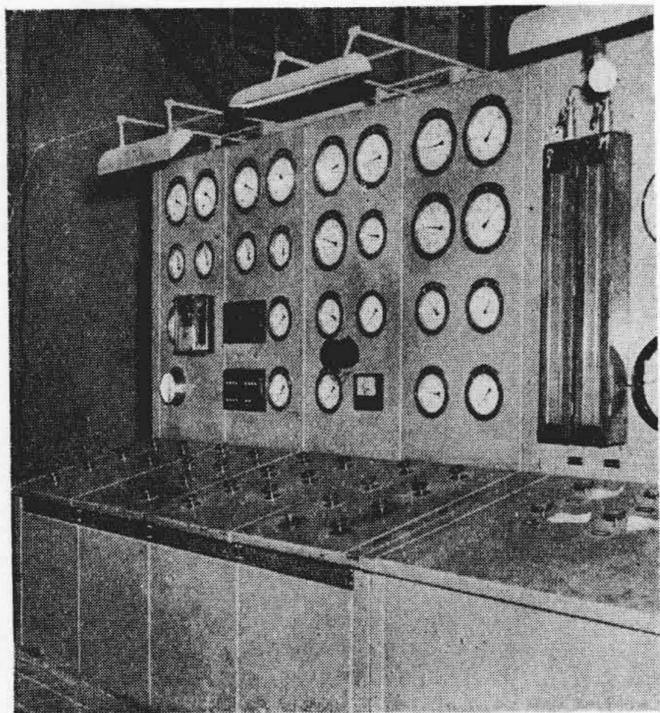
タービン発電機各部の温度計及び水素冷却式の場合は水素、炭酸ガス並びに軸受給油系統の運転状態指示計、模擬系統並びに模擬系統中にガス操作弁の把手を介在させ、いながらにして水素冷却装置のガス置換、運転制御が計器の指示によりその状態を監視しながら容易に制御出来るようになってきている。勿論水素ガス圧或は純度の調節は自動制御され、各種の保護装置が完備され運転操作を安全確実なものとしている。尚模擬系統は水素、炭酸ガス、油等をそれぞれ色別して監視を一層容易にしている。第7図は水素冷却式タービン発電機の監視盤の一例を示す。

#### (5) タービン監視盤

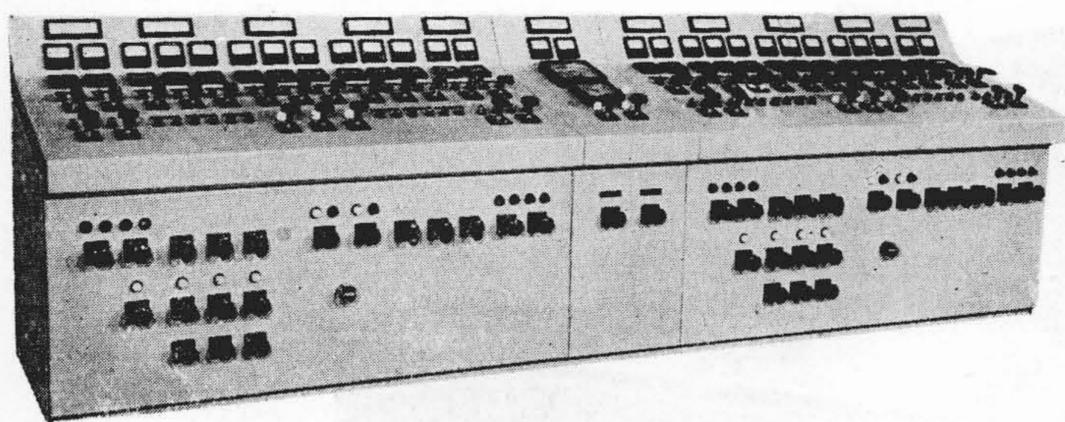
タービンの圧力、真空、温度並びに制御の圧油等の運転状況を集中監視することはタービンの起動並びに運転には是非必要なことで、更に蒸気系統、軸受、潤滑油等その他補助系統の模擬系統を作りタービンの主体及び補助の複雑な装置を一見して解り易くすることが出来るから、監視は一層容易になり能率のよい合理的な運転が行える。第9図(次頁参照)はタービンの監視盤の一例を示すものである。

#### (6) ボイラ制御盤

ボイラの制御は熱計器盤と罐前制御盤により予想負荷の指示と実負荷の表示に従い熱管理を最も合理的に行うようになってきているが、自動燃焼装置を併用すれば更に熱管理を合理的に能率化することが出来る。このことはか



第9図 BC型タービン監視盤  
Fig. 9. Type BC Control Board for Turbine



第10図 BD型罐前制御盤  
Fig. 10. Type BD Control Desk Boards for Boiler

かる複雑な運転制御系統を自動化により単一化することが出来るから総括制御を一層容易にするものとして推奨したい。第10図は罐前制御盤の一例を示すものである。

#### 〔IV〕保護装置

保護装置の優劣は発電所の性能の優秀さを決定する一つの要素となるものである。優秀なる特性の継電器を使用すると同時にこれ等保護継電器の動作による処置を適当ならしめることが必要である。即ち故障によつては継電器の動作と同時に機器の停止を必要とし、又単に遮断器のみを遮断するを可とし、或は又単に警報を与えて監視者の処置を俟つを適当とするものである。これ等の適用に十分の考慮を払い、なるべく故障時の停電時間を減少するよう努めている。

故障による交流遮断器の自動遮断その他機器の異常に対しては敏速なる処置を必要とするので、各機器の保護継電器の動作は故障表示器により各盤に表示せしめ、且つ自動遮断した遮断器の信号灯を点滅させ、いながらに

して動作継電器及び遮断器を監視出来る仕組となつている。

故障表示器には照明式集合表示器とターゲット式集合表示器がある。

照明式集合表示器の特長は我々の最も感じ易い光を取入れたことで一度保護継電器が動作すれば動作した保護継電器の器具番号を明瞭に表示する。而して遮断又は停止するものは赤色、単に警報表示するものは橙色に色別して監視を一層容易にしている。

遮断又は停止の如く処置を自動的に行うものにあつては復帰釦スイッチにより任意に表示を復帰するが、機器その他の異常状態表示にあつては、異常状態継続中は故障を表示しているが、一度故障が消滅して保護継電器が復帰すれば、故障表示は点滅して故障の消滅を知らせるから復帰釦スイッチにより、任意に表示を復帰すれば消灯して無表示となるために、保護継電器回路の閉器の操作を失念したために起り得る警報表示の怠りはない。従つて故障の対応処置も何等の過誤を生ずることなく敏速に行うことが出来る。

ターゲット式集合表示器には単一ターゲット式と二重ターゲット式があり、前者は遮断又は停止の如く処置を自動的に行う故障表示に使用され、釦により任意に表示を復帰する。後者は機器その他の異常状態表示に使用され、第一ターゲットは釦により任意復帰出来る。第二のターゲットは故障継続中は故障を表示して

いるが一度故障が消滅して保護継電器が復帰すれば故障表示は自動的に復帰する。第一と第二のターゲットは色別して監視を容易にしている。

発電機の巻線事故は層間短絡から接地事故に進展する場合と、直接々地事故となる場合がある。従つて巻線保護装置としては、層間及び相間短絡並びに接地保護装置が設けられている。巻線事故による損傷を軽減するために保護継電器としても高感度高速度のものが採用されるように至り前者に対しては第11図に示すKY型高速度比率差動電流継電器により1ターンの層間短絡を高速度で検出することが笠置発電所に於ける発電機の人工故障試験により確認された。又後者に対しては故障接地等の鉄心の損傷を軽減するためにも最大接地電流を極力小さくすることが望ましい。この接地保護として特別小勢力の第12図に示すKGY型高速度比率差動接地継電器を採用することにより、高比率要素で誤動作の惧れをなくし、又変流器三次巻線では変流比に無関係に最高の特性が得られ、発電機の中性点を抵抗接地式とし、接地電流を

100A に制限しても十分高感度のものとする事が出来た。笠置発電所の人工故障試験に於て巻線の 95% まで高速度で検出保護出来る事が確認された。

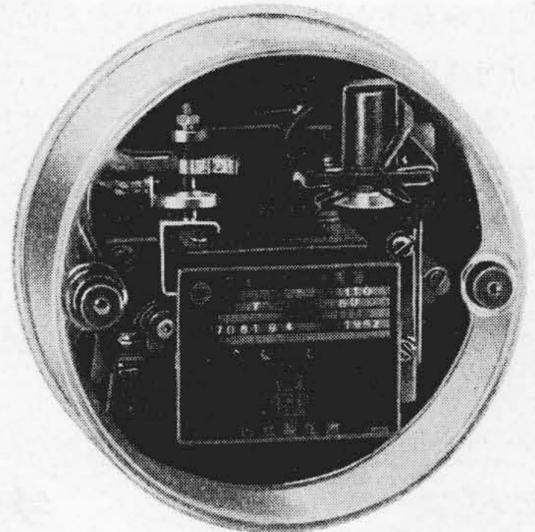
発電機の故障を更に軽減するため、柱上変圧器をもつてその中性点を接地する方式に於ても、第 13 図に示す KGV 型高速度接地電圧継電器を採用すれば巻線の 95% まで検出保護出来る事も確認されている。柱上変圧器接地方式に於ては高圧側の一線接地時に於ては、中性点電圧が変圧器の高、低圧巻線間の静電容量と対地容量及び発電機の対地静電容量とに分圧されて柱上変圧器の端子にかゝりそのため継電器が動作する。又高調波電圧が二次に出るからこれ等の対策としては柱上変圧器の二次に  $1\Omega$  程度の抵抗を挿入し、且つ又高圧側中性点電圧により抑制を行えば保護継電器を十分高感度とすることが出来る。

タービン発電機は高速度であるから事故の拡大を未然に防止する観点から界磁巻線に対しても特に CG 型接地電圧継電器により検出して警報表示している。

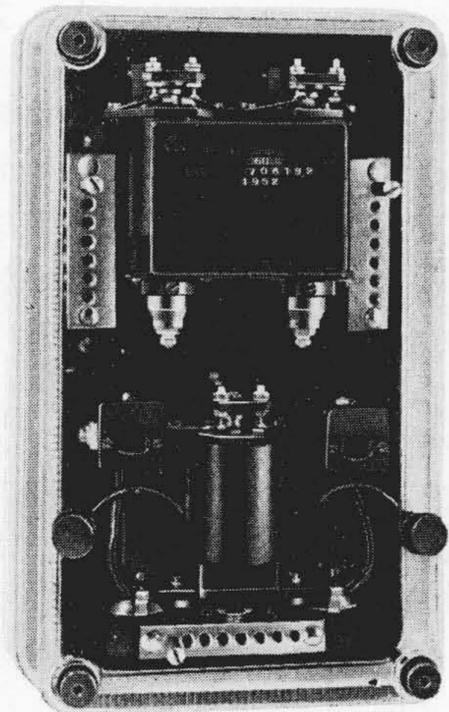
発電機、タービン並びに主変圧器の保護装置の動作に対する処置は次のようになっている。

- (A) タービン発電機を停止するもの
  - 発電機巻線事故
    - (層間及び相間短絡、接地)
  - 主変圧器の内部事故
    - (差動保護動作並びにブッフホルツ継電器による重故障)
  - 非常调速機
    - (過速度又は油圧低下で動作する。又必要により手動で操作する)
  - 推力軸受の磨耗
  - 復水器真空破壊
- (B) タービン発電機を無負荷運転するもの
  - 発電機の過電流
- (C) タービン発電機を無負荷、無励磁運転するもの
  - 発電機の過電圧
- (D) 警報表示のみを与えるもの
  - 界磁巻線の接地
  - 水素ガス圧力の低下
  - 水素ガス純度の低下
  - 主変圧器の過熱
  - 主変圧器の軽故障 (ブッフホルツ継電器による)
  - 主変圧器冷却油の循環停止
  - 主変圧器冷却水の断水

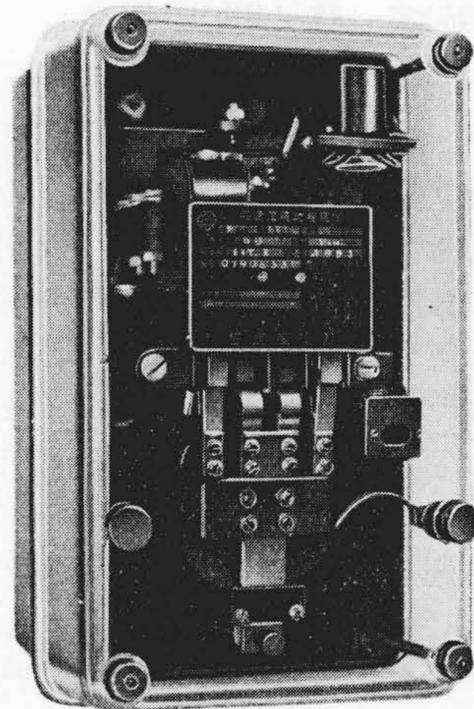
所内高圧回路に対してはメタルクラッドを採用し、安全が保証されているが、所内高圧回路は特に信頼度を必要とするので回路及び機器に対しては、短絡等の過電流に対する保護装置の他に超小勢力の IGF 型接地継電器



第 11 図 KY 型 高速度比率差動電流継電器  
Fig. 11. Type KY High Speed Ratio Differential Current Relay



第 12 図 KGY 型 高速度比率差動接地継電器  
Fig. 12. Type KGY High Speed Ratio Differential Ground Relay



第 13 図 KGV 型 高速度接地電圧継電器  
Fig. 13. Type KGV High Speed Ground Voltage Relay

を設けて地気の発生を選択して、これを主配電盤室に表示せしめ所内高圧回路の監視を十分に行い、故障対策を早期に行い事故の拡大を防止するよう考慮され、かくして運転の安定を期している。

〔VII〕 結 言

以上述べた如く、総括制御様式を取入れ運転の合理化

を行い安定電源を確保するよう考慮を払つてあるが今後更に計測装置並びに自動制御装置の進歩発達と、その信頼度の向上により更に一段と能率のよい運転の合理化が行われるよう研究されている。

参 考 文 献

- (1) 斎 藤：日立評論 34 1259 (昭 27-11)
- (2) 森山他：日立評論 35 1153 (昭 28-8)



実用新案 第400262号

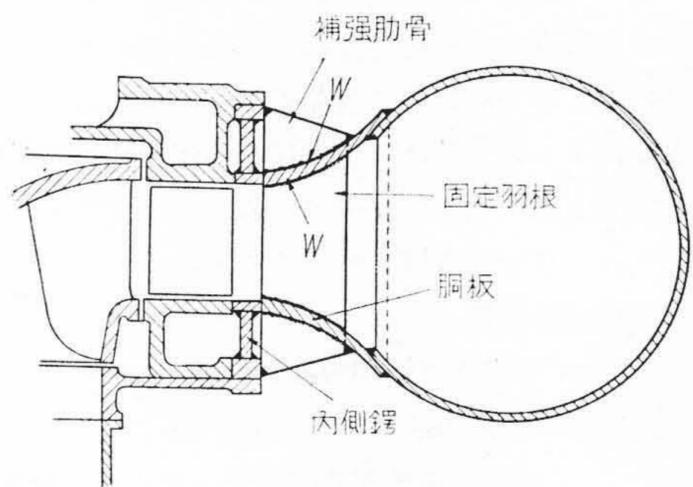
深栖俊一・田中重三・鳥山忠次

水 力 機 械 用 速 度 環

固定羽根の上下両端を、速度環上下彎曲胴板の内面に於て熔接した鋼板全熔接速度環は、従来水車及びポンプに実施されているが、この構造では、外匣及び速度環上下胴板等に作用する水圧により、固定羽根が過度の引張応力を受けるため、中落差以上の水力機械に使用することは不可能とされていた。

本案はこの点に鑑み、図面に示すように、速度環の上下胴板に固定羽根の両端を嵌合する貫通溝孔を設け、この溝孔を貫通して固定羽根両端を外部に突出し、貫通部を内外両面で熔接肉盛りし、胴板と羽根とを堅固に接着すると共に、突出端を内側鑿と胴板との間の補強肋骨を兼ねさせたものである。

本案の構造では速度環は高水圧に十分耐え得るから、



これを中落差及び高落差の水力機械にも適用し、全熔接速度環の効果を全面的に収めることができる。

(滑川)

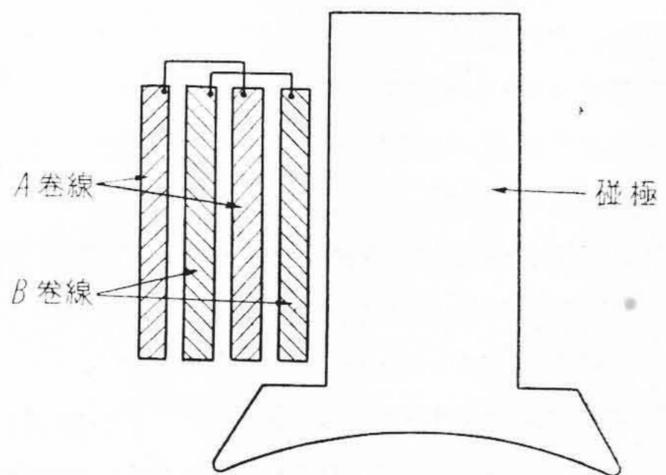
実用新案 第401937号

田 附 修

回 転 電 機 の 界 磁 巻 線

例えば増幅発電機のように、一つの磁極に二種以上の性格異なる界磁巻線を有する場合、従来は各種巻線をそれぞれ1箇の線輪に巻装し、これ等を磁極に嵌着したが、この構造では巻線の相互誘導作用のため、外部から1箇の巻線に加えた変化に対し、応答が遅れる嫌いがある。

本案は前記遅延をなくするため、図面に示すように各種巻線をそれぞれ2箇以上の線輪に分割し、これら分割線輪を交互に配列し、所謂サンドイッチ巻きとしたもので、かくすることにより、巻線の相互誘導作用を相殺することができるから、巻線に外部から加えた変化は、時間の遅れなく発生電圧の変化として顕われ、従つて敏速制御の目的を達することができる。



(滑川)