

九州電力株式会社納

諸 塚 揚 水 発 電 所 の 制 御 装 置

The Control Equipments for Morozuka Pumped Storage Power Station,
Kyushu Electric Power Co., Inc.

大 瀬 賢 也*
Kenya Ōse

内 容 梗 概

最近季節的、または日ごとの余剰電力を有効に利用するための方策として揚水発電所の建設が盛んである。九州電力株式会社諸塚発電所はわが国最大容量の揚水発電所であり、最近運転に入ったが、その制御装置、制御方式は発電、揚水の運転切替時間を短縮するためにいろいろ新しい試みをしているので、この装置の特長、特に電気制動装置、急速切替方式について述べ、かつ配電盤の大要について述べる。

1. 緒言

急増する電力の需要に応ずるためにあいついで建設される火力発電所は、最近ますます大容量化しているが、これを高能率に運転するためには一定出力で運転する必要がある、いっぽう負荷電力は季節的にも、また一日のうちでも大幅に変化するので、昼休み深夜などにおける余剰電力の増加が著しくなってきた。この余剰電力をできるだけ有効に利用する方策として、揚水発電所の建設がさかんになっているが、さきの大森川揚水発電所に引続き九州電力株式会社諸塚揚水発電所が最近完成、運転に入った。

諸塚発電所は立軸ポンプ水車別置式の揚水発電所で、昭和27年に完成している同形式但し横軸の東北電力株式会社沼沢沼発電所⁽⁴⁾をしのぐ、わが国最大容量の設備を有するものである。その制御方式は一人制御を基にして簡単、確実な制御ができ、かつ保守点検が容易なものとしていることはもちろんであるが、揚水発電所制御の特殊性から特に発電、揚水の切替時間の短縮について検討を行い、種々新しい試みがなされている。以下その設備、制御装置、配電盤の主要についてのべる。

2. 設備概要

主要機器の概要は次のとおりで、第1図は発電所の主回路接続を示す。

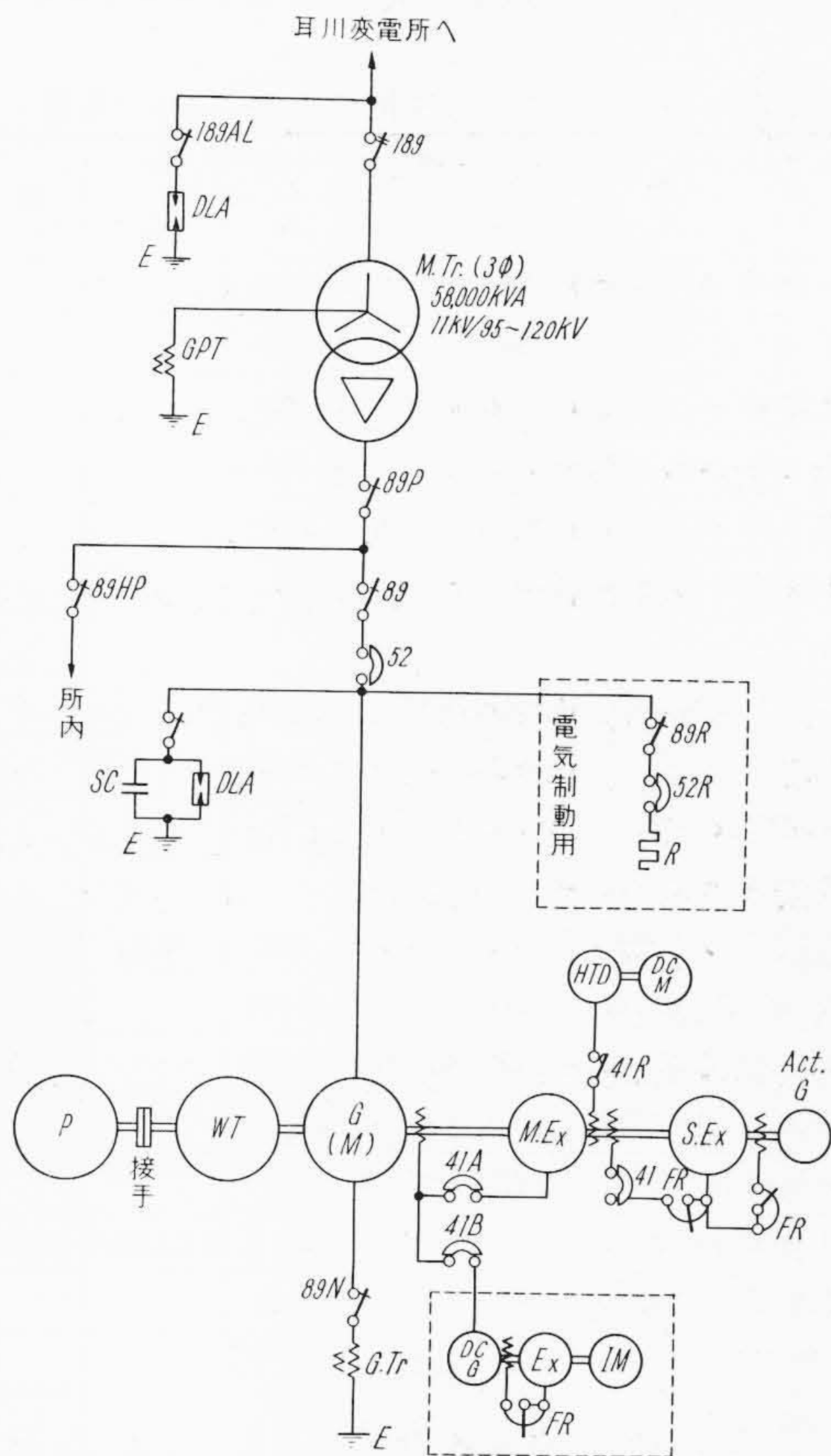
2.1 主要機器の仕様

ポンプ	立軸片吸込形 2 段タービンポンプ 基準揚程 234.9m, 揚水量 18.6m ³ /s 回転数 300 rpm
水車	立軸単輪単流渦巻フランス水車 出力 54,000 kW
発電電動機	立軸回転界磁閉鎖風道循環形 発電機としての仕様 58,000 kVA 11 kV, 3φ 60～ p.f 90% 電動機としての仕様 56,500 kW 11 kV, 3φ 60～ p.f 100%
主 励 磁 機	250 kW, 220 V
副 励 磁 機	15 kW, 110 V
主 変 圧 器	58,000 kVA, 11kV/95～120kV, 3 φ 60～ △-人 接続(他社製)

2.2 設備の特長

この発電所の制御設備の特長は、第1図に示すように停止操作の時間を短縮するため電気制動を採用したことで、このため制動用抵抗器、同用投入遮断器ならびに制動用励磁装置が組合わされた電気

* 日立製作所国分工場



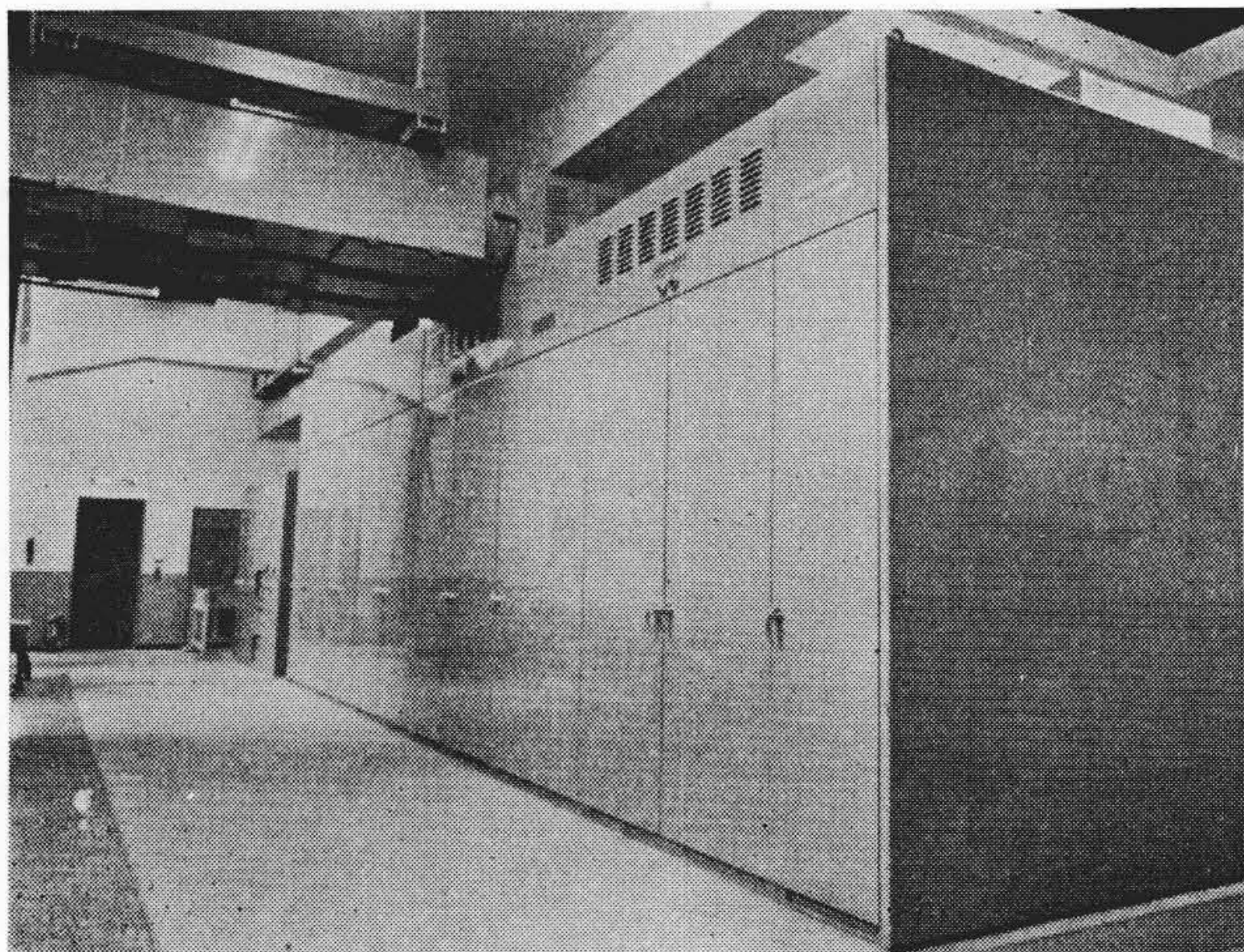
第1図 諸塚発電所単線結線図

制動装置を設けている。このほか、110 kV 1 回線送電線用遮断器が受電端の耳川変電所母線側にのみ設置され、諸塚発電所側を省いて簡略化している。

同期投入用遮断器(52)は 11.5 kV, 4,000A の大電流容量の空気遮断器を用いているので、接点の消耗は少なく同期並列のためひんぱんな操作を行っても、たびたびの点検は不要である。

11 kV および 3 kV 主回路開閉器具は屋内用メタルクラッドスイッチギヤに収納して安全なものとし、界磁開閉器、界磁調整抵抗器もそれぞれキュービクルに収納して、HTD 形自動電圧調整装置キュービクルと併置し整然と取りまとめられている。これら発電電動機周りのメタルクラッドスイッチギヤ、キュービクルは同一の床面に設置されているために点検が非常に容易である。第 2 図はこれらメタルクラッドスイッチギヤの外観を示す。

調速機は日立 EFA 形電気式調速機⁽²⁾を採用し、そのレギュレータキュービクルは配電盤室に設置されているので整定、点検ともに



第 2 図 諸塚発電所 11 kV メタルクラッドスイッチギヤ

第 1 表 諸塚発電所遠方監視制御選択項目一覧表

選択位置 群 個別	内 容	記 号	操 作		表 示		備 考
			C	D	R	G	
1	1 非常停止事故	861			861		
	2 急停止事故	862			862		
	3 普通停止事故	864			864		
	4 警報事故	30A			30A		
	5 遠方直接切替	直接			直接		
	6 発電機用遮断器	52					
	7 予 備						
	8 非常停止事故 (復帰可能)	861R	復帰		861R		
	9 普通停止事故 (復帰可能)	864R			864R		
	10 調速機負荷調整	7-65P	増	減	65P LTS		
2	1 試 験		試験				
	2 水車運転ポンプ運転切替	43-1	発電	揚水	発電	揚水	開度指示 テレメータ切替
	3 水車発電機	1G	起動	停止	表示器		運転順序 テレメータ
	4 ポンプ電動機	1P	起動	停止	表示器		運転順序 テレメータ
	5 急速切替準備	43-2	入	切	急速切替 準備完了		
	6 調速機負荷制限	7-77M	増	減			
	7 ELD(経済制御装置)				ELD 使用	ELD除外	将来用
	8 予備電源用遮断器	252			252		
	9 水車用圧油ポンプ	88Q	運転	停止	水車用圧 油ポンプ		
	10 自動電圧調整装置	7-90R (7-55R)	増	減	90R LTS		
テレメータ種別			水車負荷制限装置位置 (電圧平衡形) 水車案内羽根位置 (電圧平衡形) ポンプ吐出弁位置 (電圧平衡形) 被制御所操作電圧 (直流直送式) 水車運転順序 (電圧平衡形) ポンプ運転順序 (電圧平衡形)				常時測定 切替測定 切替測定 常時測定 選択測定 選択測定

容易である。

なお、この発電所は約 4 km 上流の耳川変電所から日立パルスコード式遠方監視制御装置⁽³⁾によって遠方制御される。

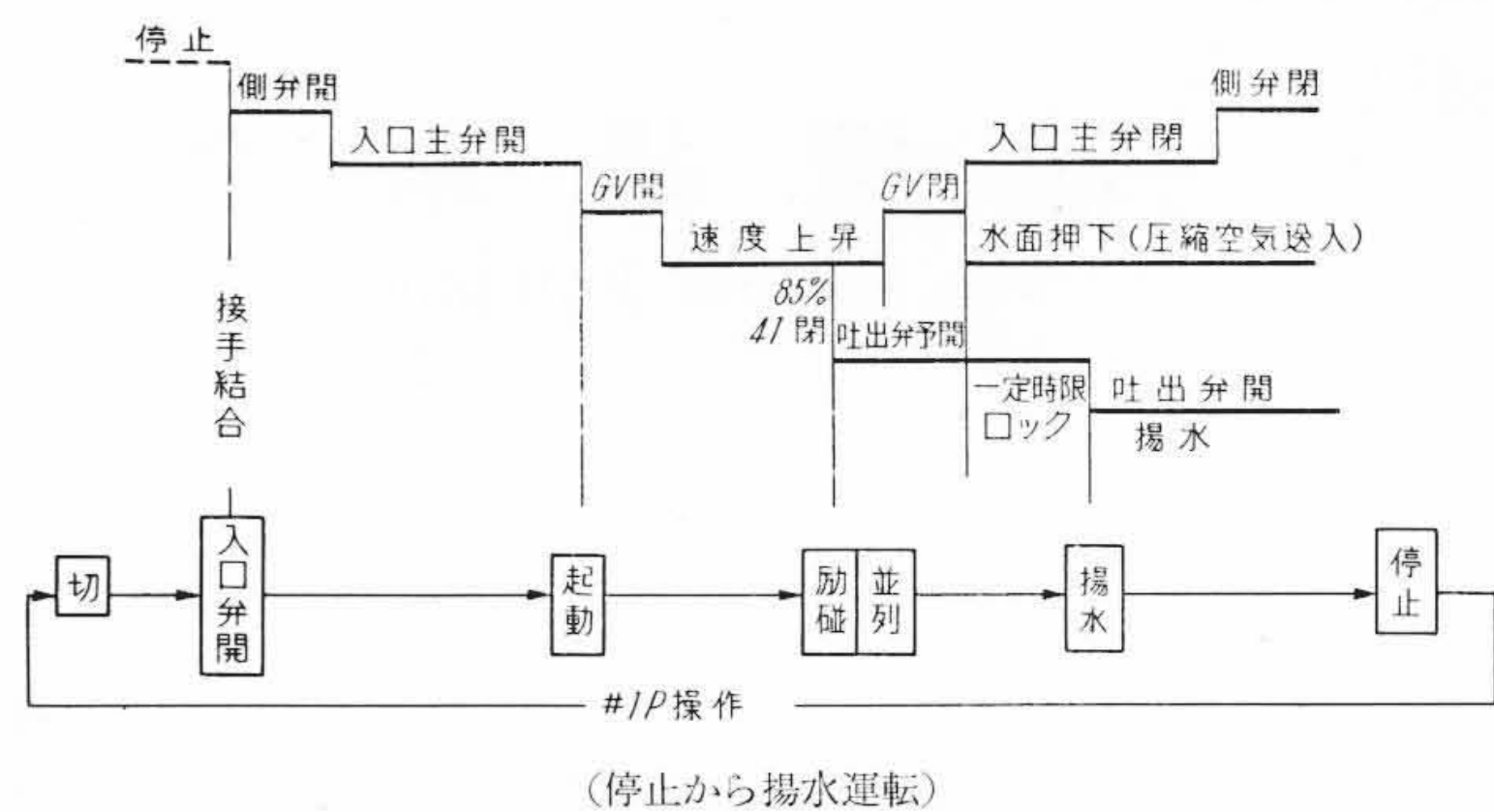
3. 制 御 装 置

3.1 制御装置の特長

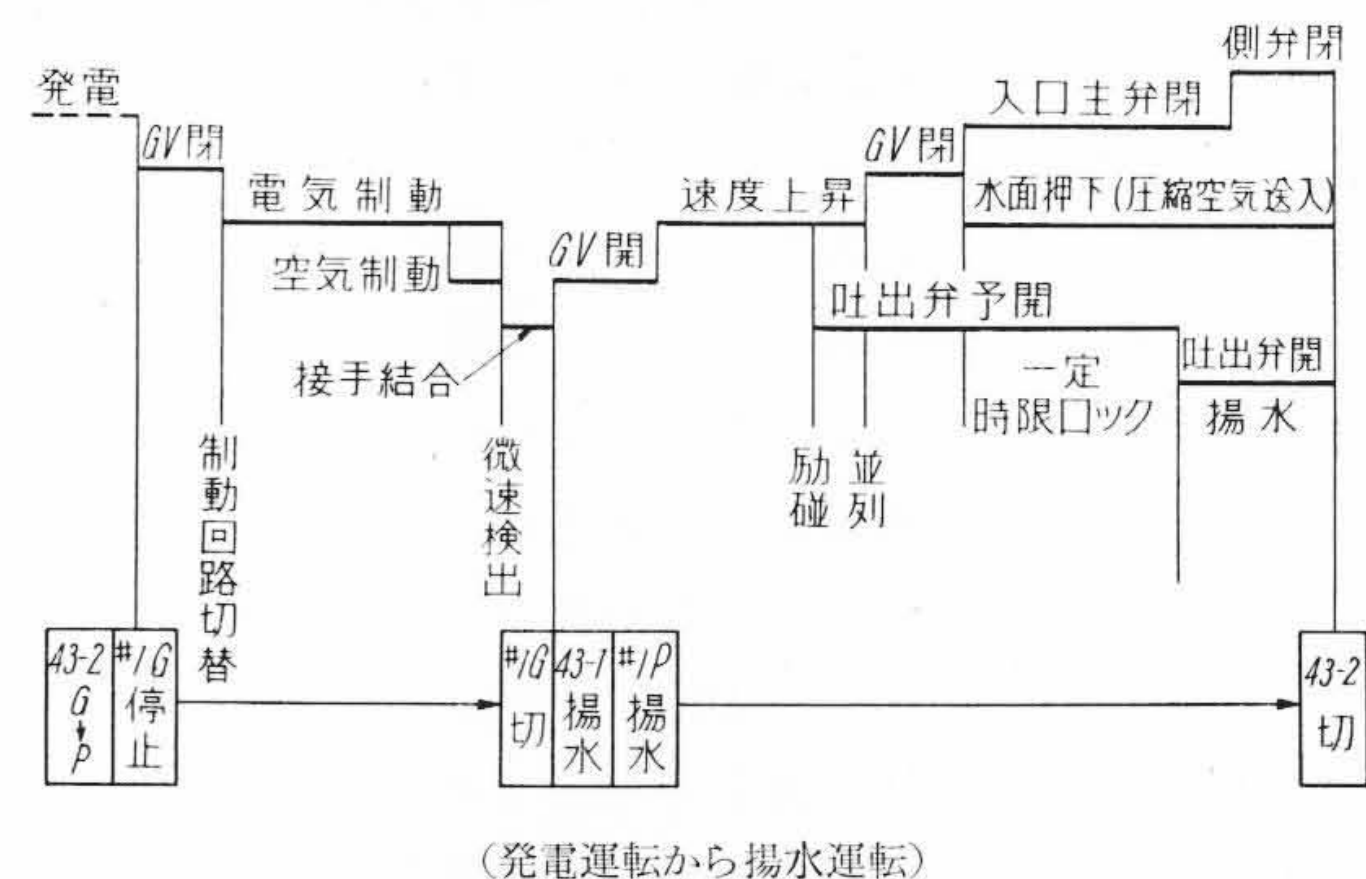
揚水発電所としての特殊性を考慮し、下記のように種々新しい試みが実施されている。

(イ) 接手の離合とポンプ推力軸受押上装置

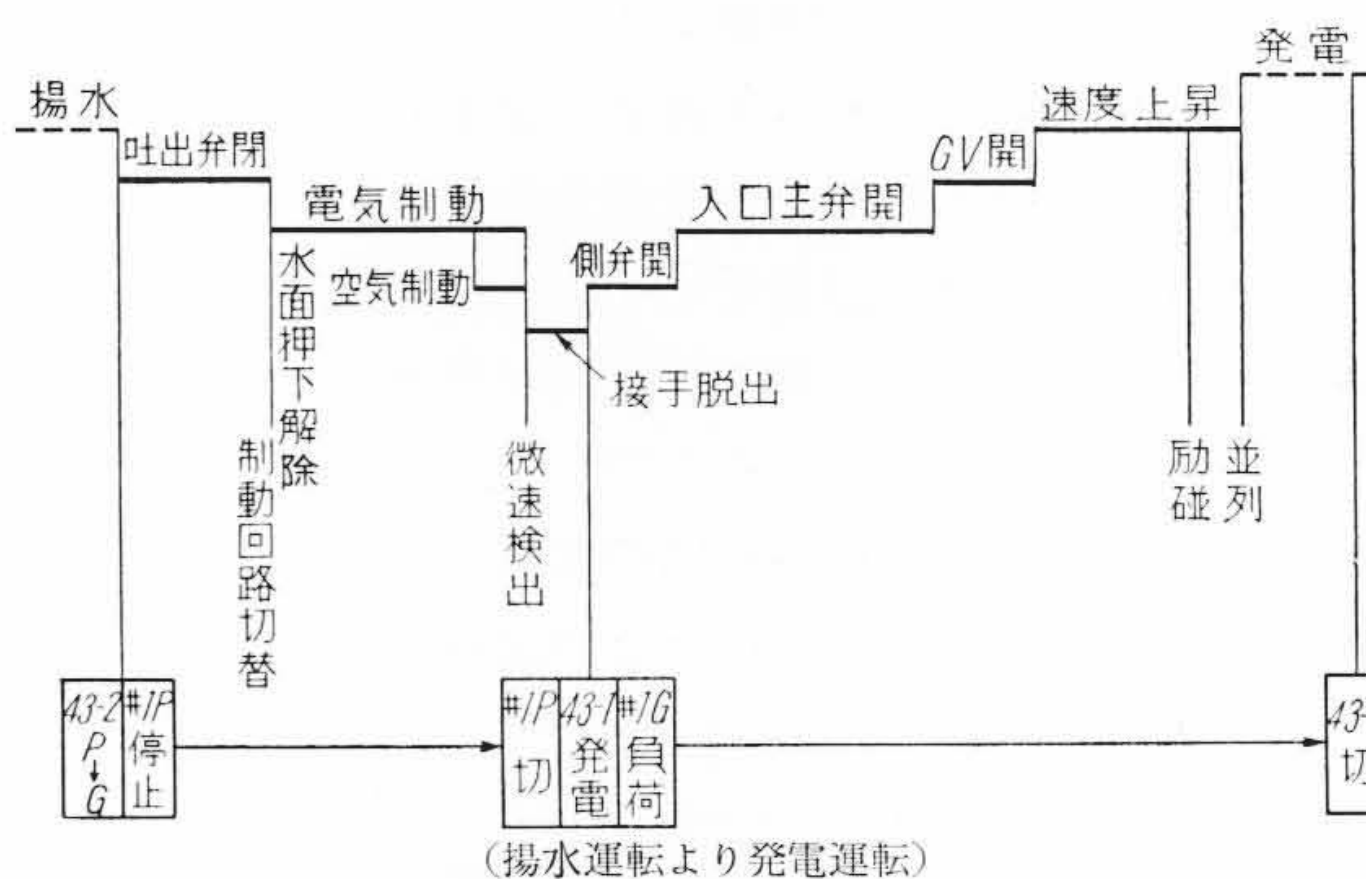
ポンプと水車が串形に直結されているため、その結合接手装置の制御は重要な問題である。この接手の離合操作はすべてポンプ、水車の停止状態で行われるが、特に連結の際には微動装置により



第 3 図 揚水運転制御順序説明図



第 4 図 揚水運転制御順序説明図



第 5 図 揚水運転制御順序説明図

ポンプ本体をわずかずつ回転しながら接手歯車を合致させ、油圧操作により接手歯車を押上げて完全に連結させる。

この微動回転を容易にするため、および揚水運転起動のとき起動トルクを軽減するため接手連結、揚水起動の際 60 kg/cm² の高压油を送油して推力軸受の押上を行っている。

(ロ) 電気制動装置

揚水運転、発電運転の切替に際して停止までの減速時間を短縮するためのものである。

(ハ) 急速切替方式

切替時間短縮の効果をさらにあげる目的で、電気制動を行うと同時に、入口弁の開閉は行わないものとし切替操作の途中での入口弁の開閉操作を除外する制御方式である。

(ニ) 遠方監視制御装置の適用

すでに述べたように本発電所は耳川変電所より遠方制御されて無人運転を行う。第 1 表は遠方監視制御装置の操作および監視とテレメータの内容である。

この表でみるように耳川変電所からの遠方制御は平常運転のときに調整を要する項目、すなわち発電機、ポンプの起動、停止そのほかすべて遠方から選択制御できるようにし、故障表示は個々の内容別には表示せず、非常停止故障、急停止故障など一括して故障種別が判断できる分類としている。

動 作 内 容	時 間 (秒)
1 P 操作より接手結合まで	17"
接手結合完了より案内羽根起動開度まで	93"
案内羽根起動開度より並列投入まで	90"
並列投入後案内羽根全閉	122"
案内羽根全閉より吐出弁開操作開始までの鎖錠時間	191"
吐出弁予開開度より全開まで	79"
	9'52"

(停止より揚水運転)

第 6 図 揚 水 運 転 制 御 時 間 の 一 例

(ホ) 照光運転表示器

ポンプ、水車、発電機の運転状態をつねに容易に判断できるばかりでなく、数多くある補機類の、特に自動運転されているものの状況をも確実に監視するために照光動作表示器を使用している。

3.2 揚 水 運 転

揚水運転には次の 4 つの場合がある。

- (イ) 停止状態から揚水運転
- (ロ) 揚水運転から停止
- (ハ) 発電運転から揚水運転への切替
- (ニ) 揚水運転から発電運転への切替

制御順序の内容を簡単に図示したものが第 3, 4, 5 図である。第 3 図に示す停止から揚水運転までの操作について説明する。まず停止の状態で作動切替器 43-1 を「揚水」側に、水車発電機用主制御開閉器「1 G」を「切」の位置にして発電運転との誤操作のおこらないように電氣的インターロックを完全にする。操作スイッチを操作し圧油ポンプ空気圧縮機などを起動し、圧油を始め、圧縮空気、冷却水などの起動条件が満足されれば、ポンプ用主制御開閉器「1 P」を、「入口弁開」、「起動」、「励磁」、「並列」、「揚水」と段階的に、あるいは一度に進めて操作することによりポンプ軸受押上装置が働いて起動トルクの低減をはかり、圧油によるポンプ接手の連結を行ってから水車、ポンプ、発電電動機直結の状態出入口弁、水車案内羽根を開いて水車により起動する。速度上昇すれば自動同期装置により発電機電圧の系統側との平衡、水車の揃速を自動的にを行い同期を検出して並列投入する。

この途中において水車が規定速度以上に達すればポンプ締切運転による振動を小さくするため、あらかじめ吐出弁を少し開いて運転が続けられる。並列投入後は電動機運転とするため、再び案内羽根を閉鎖し、圧縮空気を吸出管に送入して水面押下げを行ういっぽう、吐出弁を全開して揚水を開始する。なおこの際吐出弁予開位置から全開までの操作開始を、案内羽根全閉のあと一定時間だけロックして、水路の動揺をしずめるようにしている。

第 6 図は停止から揚水までの各段階の所要時間分布の実測値である。

次に揚水運転から停止への操作は主制御開閉器「1 P」を停止の位置に進めると、吐出弁開度制限電動機 77 PM により吐出弁を除々に閉じ、全閉後並列用遮断器 52 を開路し、同時に水面押下げ用圧縮空気を排気する。解列後速度 30% 以下となれば、圧縮空気により機械的な制動をかけ停止確認のあとに、ポンプ接手ははずされる。

以上は普通の起動、停止の場合の概要であるが、(ハ)(ニ)に相当する切替操作の場合には次の急速切替が組合わせられている。

3.3 急速切替方式

発電運転から揚水へ、または揚水運転から発電への切替運転をするとき、特に昼休みのような短時間の余剰電力をも利用して揚水を行う場合など、その切替所要時間を短縮するため下記のような急速切替の制御方法がとられている。すなわち操作に長時間を必要とす

動 作 内 容	時 間 (秒)
1 G “停止” 操作より案内羽根全閉まで	87"
案内羽根全閉より制動、スイッチ切換接手結合まで	120"
接手結合完了より案内羽根起動開度まで	103"
並列投入まで	95"
並列投入後案内羽根全閉まで	124"
案内羽根全閉より吐出弁開操作開始までの鎖錠時間	188"
吐出弁予開開度より全開まで	75"
	12'20"

(発電運転より揚水運転)

第 7 図 揚 水 運 転 制 御 時 間 の 一 例

るものの一つである入口弁の開閉操作は発電運転から揚水運転への切替の場合は除外し、また電氣的な急制動をかけて完全停止までの時間を短縮する。

第 4 図は発電運転から揚水運転への急速切替の場合の制御順序を示したものである。

まず運転切替に際し、急速切替用操作開閉器 43-2 を「G→P」側に操作して急速切替の条件を満足させ、かつ制動用励磁機の運転を開始する。「1 G」を「停止」操作すると案内羽根を負荷制限器 77 M により除々に閉鎖し、全閉後電気制動をかけて急速に速度を低下させ、30% 以下では機械的制動(圧縮空気による)も併用する。ついで微速検出装置で 0.5 回転以下を確認後に「1 G」を「切」位置に、43-1 を「揚水」側においたのち「1 P」を「揚水」位置まで操作すると、停止の状態から揚水する場合と同様の順序で制御が進行し揚水運転に入る。

この場合、普通の発電停止の際には、案内羽根の全閉に引続き入口弁の閉鎖が行われるが、次の揚水運転の起動のときすぐに再びあける必要があるので、この開閉動作をはぶくようにしてその開閉動作に要する時間 3 ～ 4 分の短縮を計っている。

第 5 図は揚水運転から発電運転への急速切替をする際の制御順序を示す。

すなわち急速切替用操作開閉器 43-2 を「P→G」側に操作して急速切替の条件を満足させ、制動用励磁機の運転を開始する。「1 P」を停止操作すると吐出弁を吐出弁開度制限器 77 PM により閉鎖し、全閉後電気制動をかけると同時に吸出管内の水面押下げ圧縮空気を排気する。

したがって速度は急速に低下する。ついで微速検出装置による停止確認後にポンプ接手をはずしたのち「1 P」を「切」位置に、操作開閉器 43-1 を「発電」側において「1 G」を「並列」に操作すればあとは普通の発電起動とまったく同じ順序で制御が進行する。

第 7 図は急速切替方法により、50MW の発電運転状態から揚水運転までの切替操作をした場合の各段階における所要時間の実測値で約 12 分で切替完了している。

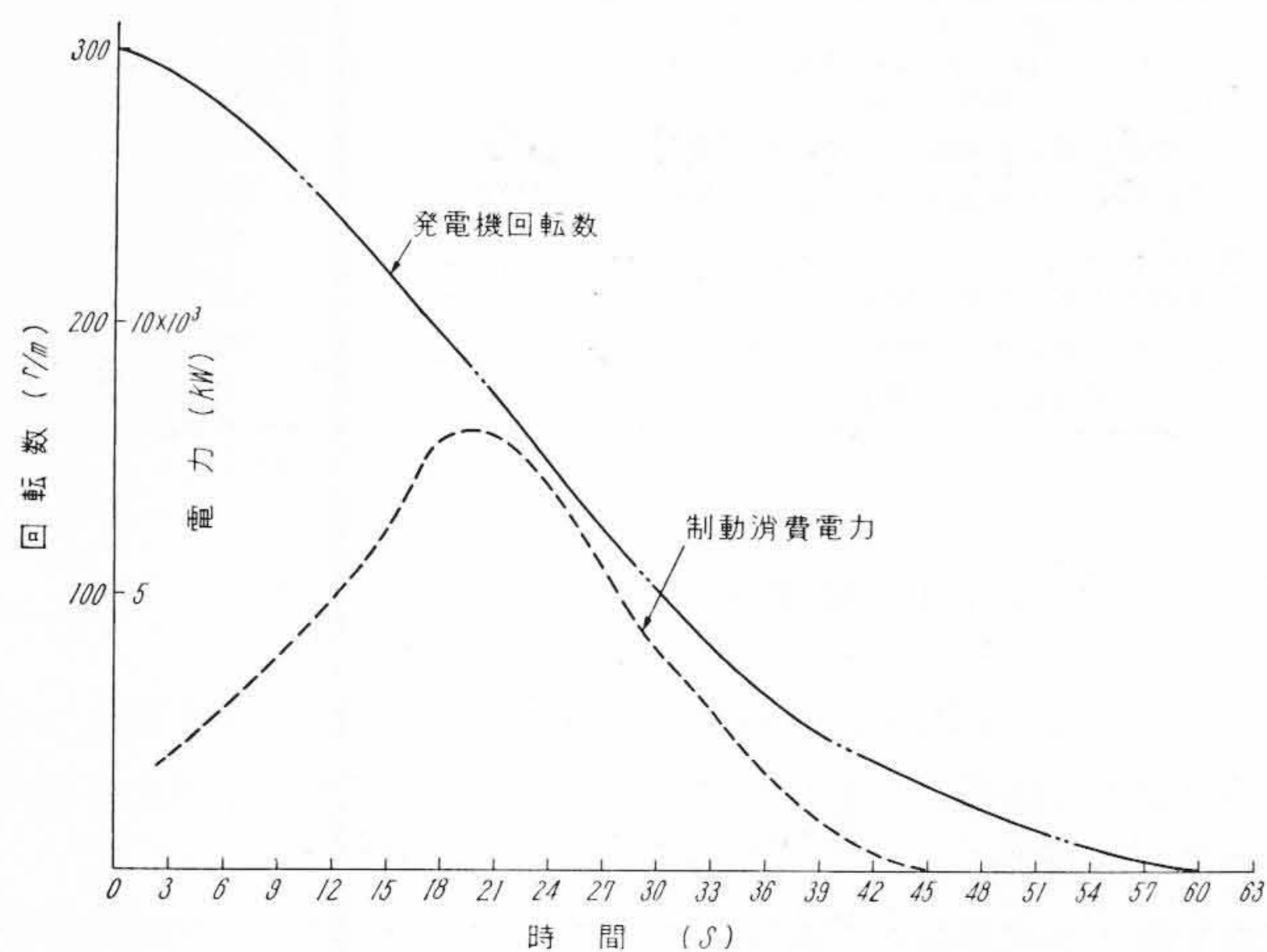
3.4 電気制動装置

急速切替のとき回転数低下を早めて停止までの時間短縮をはかるため、別置の励磁装置を使用して電気制動をかけている。

電気制動装置は第 1 図に点線で示している。主回路に分岐接続されている制動用グリッド抵抗器、投入用空気遮断器および引出形界磁開閉器を通して発電機界磁回路に接続されている 150 kW 3 φ 誘導電動機駆動 120 kW 直流発電機の励磁装置からなっている。

この制動装置の制御は急速切替用操作開閉器 43-2 を操作してまず電動発電機を起動する。

制動のときは案内羽根全閉(または吐出弁全閉)ののち並列投入用遮断器 52、界磁開閉器 41 を順次開路し、ついで直結主励磁機回路の界磁開閉器 41 A を開路、グリッド抵抗器用遮断器 52 R を閉路する。最後に別置励磁機側の界磁開閉器 41 B を閉路して励磁を加える。これらの遮断器開閉器の操作は「1 G」または「1 P」の停止操作と連動



第8図 電気制動回転数低下曲線

して自動的に行われる。

制動用励磁機電圧は励磁時の衝撃を少なくするため、初めは低くしてあるが、41B閉路後は界磁調整器を電動機駆動により自動操作して端子電圧を規定値まで上昇させ発電制動として、急激に回転数を低下させる。

第8図は電気制動をかけたときの回転数低下の状態と制動消費電力の変化を実測した結果である。回転数が低下して停止するまで約60秒かかっているが、普通停止の場合に30%速度のところから機械的制動をかけて停止にいたるまでの時間約7分に比較すると大幅に短縮されていることがわかる。

4. 配電盤の概要

主配電盤は第9図に外観を示すとおり、主機並びに補機類の運転状態を直観的に容易に判断できるように、その中央に照光運転表示盤を取付けている。この照光盤は各機器の形をそれぞれ形どっており、かつ運転進行に伴ってその状態が順次照光表示されるので、揚水発電所などのように操作上変化の多い場合にも、誤りなく確実な制御ができるようになっている。

また新しい計器として案内羽根開度、吐出弁開度の位置の遠方指示に用いられている日立TEV₅₁形電圧平衡式のテレメータがある。これは発信器の摺動抵抗を介して被測定量がそれに比例した直流電圧に変換されて、送量器に導入され、送量器においてこれを0～2mAの直流電流として受量側に送り遠方指示をさせる。この送量器は出力が入力側に負帰還されているので非常に安定した動作を行う特長をもっている。

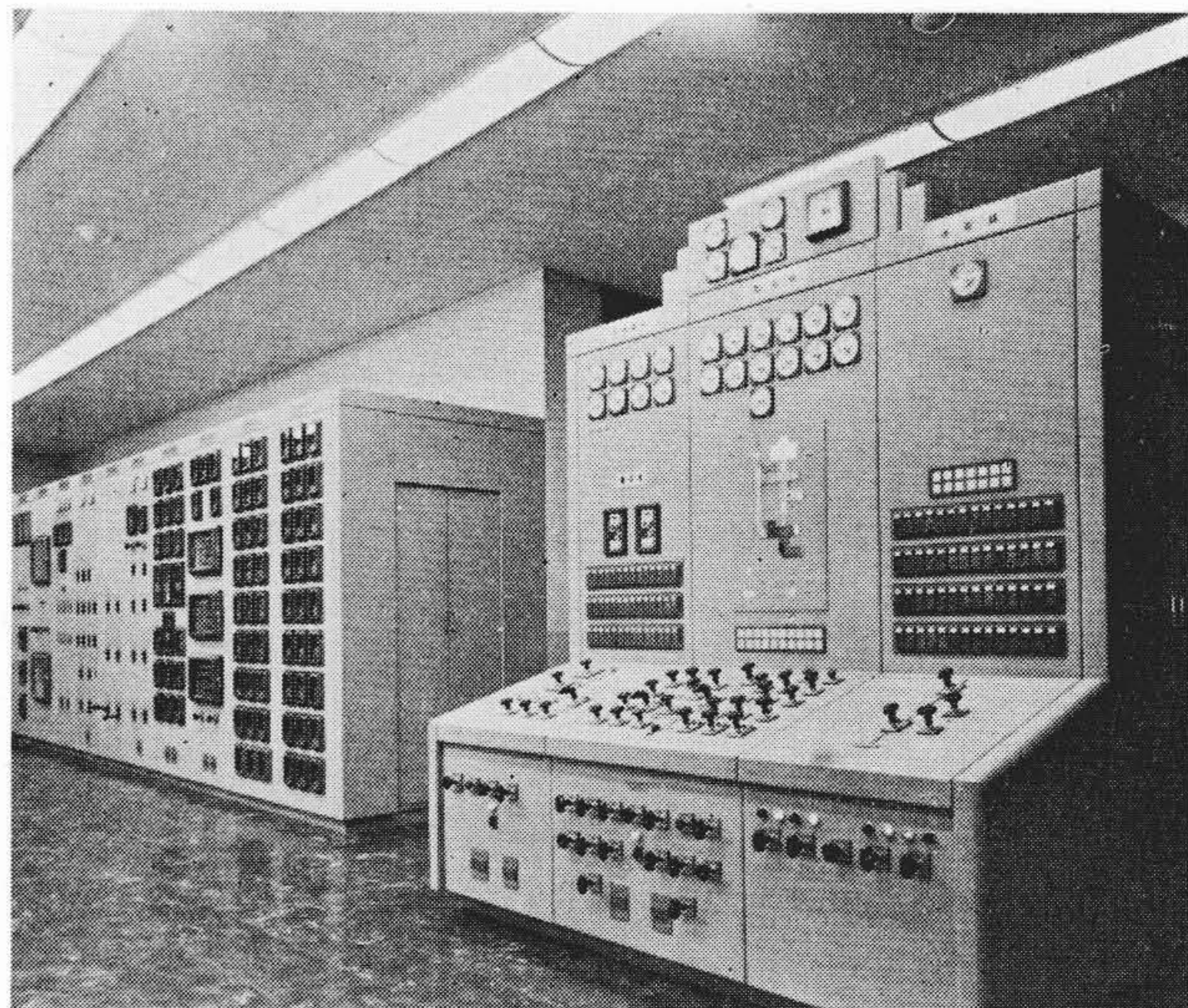
保護装置としては、揚水運転の場合を考慮して、

(イ) 低電圧がある時間継続したときは系統の異常とみなして急停止をする。

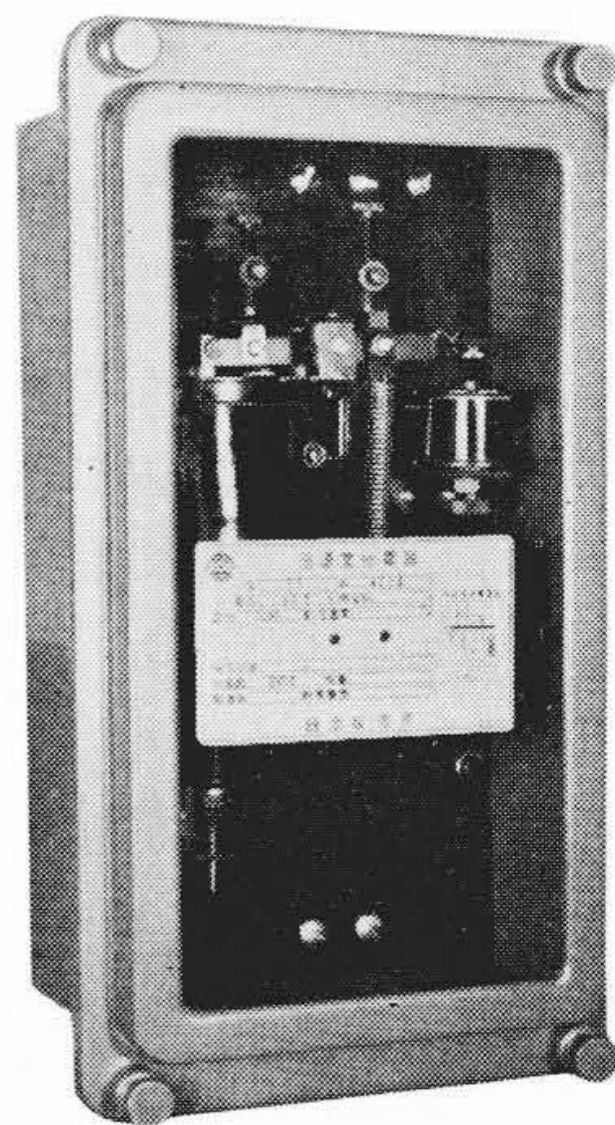
(ロ) 発電電動機駆動用の系統電源喪失すれば電動機は短時間で同期はずれを起すので急停止をする。

などの保護が加えられており、IV-UC形低電圧継電器、KW-UC形電力継電器をそれぞれその検出用として使用している。

また保護上はもちろん運転制御上からも重要な役割をはたす速度の検出には、従来の機械式のものにかわり調速機用電源発電機を発信器として利用した。FF形電気式速度継電器が使用されている。この電気式速度継電器はその電源が電圧値、周波数ともに主機回転



第9図 諸塚発電所配電盤

第10図
FF形速度継電器

数に比例するから、LCの同調回路を利用して共振周波数を適当に選ぶことにより、動作点において線輪に流れる電流を急峻に立ちあがらせて、正確な検出感度をもたせるようにしたもので、第10図にこの速度継電器の外観を示す。

5. 結 言

わが国最大の容量をもつ諸塚揚水発電所の制御装置について、その大要と特長を述べたが、この制御装置は揚水発電所として最も重要な運転切替時間の短縮も所期どおり達成し、電気式調速機、HTD形自動電圧調整器などの機能とあいまって順調な運転を続けている。

今後ますます揚水発電所の建設が盛んになりその重要性が増大するときあたり、本発電所の制御方式および経験が今後の発展に大いに役立つことを期待している。

終りに臨み、本制御装置について終始ご助言を賜った九州電力株式会社の関係者各位に厚くお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 森井：“沼沢沼発電所の制御装置”日評第34巻5号(昭27年)
- (2) 小林，海老名，小松：“電気式調速機について”日評第41巻4号(昭34年)
- (3) 竹原：“日立パルスコード式遠方監視制御装置”日評第42巻8号(昭35年)