

水力発電所の自動制御方式に就て

川 井 晴 雄^{*}

On Automatic Control Systems for Hydraulic Power Stations

By Haruo Kawai
Taga Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

For the controlling schemes of hydraulic power stations, following items must be satisfied :

1. Easiness and accuracy of controlling for starting and synchronizing of generators.
 2. High efficiency and stability for running of generators.
 3. Speedy and accurate treatments for electrical and mechanical faults.
 4. Saving of number of attendants and running cost.
- etc.

These requirements have been induced the prominent development of automatic control systems of hydraulic power stations, and nowadays, they became very reliable.

In this paper, the automatic control systems classified in five kinds, that is, (a) full automatic control system, (b) mechanical semi-automatic control system, (c) one man control system, (d) remote control system, and (e) supervisory control system, and the features of these five systems are mentioned here with their appliances.

[I] 緒 言

水力発電所の運転に當り要望される事項は、起動並列操作の簡単且確實なこと、能率のよい安定な運転の出来ること、保守の容易なこと、電氣的、機械的事故に對する處置が迅速適確で危険を伴わないこと、及び保守員を最少限度に止め運転費を可及的節減すること等が主なものである。これ等の要請に應えるため、水車、發電機等の主機の設計製作は勿論、發電所の神経系統ともいふべき制御装置には充分の考慮が拂われている。制御方式としては、手動制御は上記の目的に副い得ないため、現今の發電所は總てその様式に多少の差こそあれ、自動制御方式を採用している。又、既設の手動式發電所も運転合

理化の見地より續々自動化が計畫され、その發電所の規模と系統の状況を勘案して、これに最も適合した自動制御方式のものに改造される趨勢にある。既に弊社に於ても新箇所に對し實施済である。茲に水力発電所の自動制御方式につき、その大要を記述し御参考に供したいと思う。

[II] 自動制御の理由

水力発電所に自動制御装置の設備される理由は、次の如き技術的觀點が主體となつている。

- (1) 起動及び停止に際し操作の過誤を避けること。
- (2) 起動及び停止に要する時間を節約すること。これにより機械を尖頭負荷に對應せしめ、又機械が停止した場合に豫備機を迅速に起動して系統と接續することが

* 日立製作所多賀工場

出来る。迅速な停止は特に故障に際して重要である。

(3) 數箇所の発電所を、一中央地點より總括的に制御することが出来る。

(4) 適確な制御が行える。特に自動調整に於て然りである。例えば上水位を一定に保持することを要する小容量発電所に於て特に必要である。これにより使用する水量から最大の電力量を得ることが出来る。

(5) 小容量発電所に於ける労力の節減が出来る。而してこれにより生じた餘剰労力は、定期的な點檢巡視と故障時の應急措置に重點的に振向けることが出来る。

斯くの如く、自動制御は労力の節減を主眼とするものでなく、操作を簡易化乃至單一化して過誤を防止し、完全な保守と適確な調整及び制御を行うことを最大の目標としたものである。

[III] 自動制御方式の分類と適用

水力発電所の自動制御方式發達の初期に於ては、親発電所から連絡送電線を活かす等の方法により起動操作を行えば自動的に起動し、運轉中は取水量に應じ負荷をとる所謂全自動制御方式が小容量発電所に専ら採用された。その後出力等の主要なものを親発電所から監視し乍ら制御する方式も用いられ、更に進んで起動、停止等の諸操作を監視し乍ら制御し、事故の場合は故障の種類を親発電所に警報表示する遠方監視制御方式が採用されるに到つた。一方に於て自動起動、停止の便利さと、故障時に於ける處置の敏速、確實さが認められて、運轉員を常駐せしめる中容量以上の発電所にも自動制御方式が採用され、所謂一人制御方式が適用されるようになり、現在では新設発電所は總て自動制御装置を有している。この間、自動制御方式並にその装置に對しては種々の改良が加えられ長足の進歩を遂げたが、他方、出力の増大と自動制御装置完壁化の意欲と兩々相俟つて装置は巧妙になると共に相當複雑化して來た。更に最近の傾向として小容量発電所に對しては、資材の節約と人件費の輕減を主眼とした簡易な自動制御方式たる一人制御の機械半自動方式が採用されるに到つた。

水力発電所の運轉方式として現今最も一般に採用され

ている方式には全自動方式と半自動方式がある。

全自動制御方式は運轉操作を専ら機器独自の判斷により行い、監視人常駐の必要のないよう設備せる方式である。

また半自動制御方式は運轉操作に當り、運轉員の判斷により行う部分と、機器独自の判斷により行う部分とを併用した方式であつて、制御機器の種類及び數、制御距離其他系統に關連する諸條件により機械半自動方式、一人制御方式、遠方制御及び遠方監視制御方式の四種類がある。

(1) 全自動制御方式

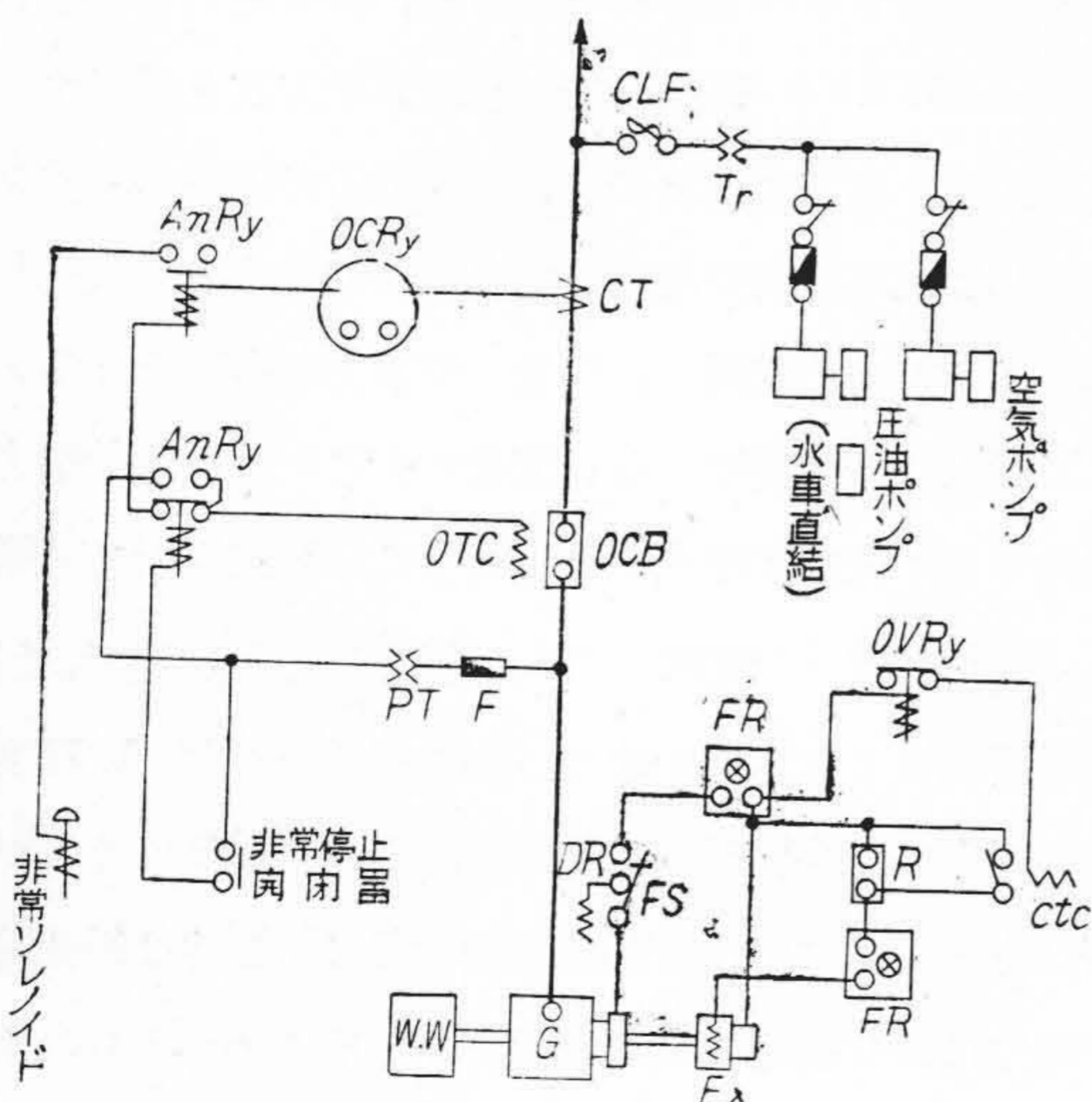
全自動制御方式の場合は、水車の起動停止、同期並列及び負荷の調整より故障時の處置に到る迄一貫して自動制御され、保守員の常駐を要しない。2,000 kVA 程度以下の比較的小容量の発電所に本方式を適用する場合は、自動同期化装置は使用せず、發電機に制動巻線を附した所謂自己同期化方式が採用される。この場合、交流遮斷器を投入し發電機を線路に接ぎ同期に入れる際、系統を擾亂させないだけの同期化用背後電力が必要である。これは線路に接續された発電所の安定度によるもので、單に容量のみで決定されるものでなく、背後電力によつて考慮さるべきものであつて、背後電力の大きい場合は 3,000 kVA 程度まで自己同期化方式を採用することがある。本方式に於ては、親発電所で連絡送電線を充電すれば水車は自動起動して同期並列に入る。負荷制御は水位調整器を使用し、流量に相當する負荷をとる。

又勵磁は一定勵磁とし、流量が少ない時は無効電力を供給する。従つて停止させる場合には親発電所で連絡線を遮斷すれば一定勵磁なるため過電壓となるので、過電壓繼電器により全停止する。容量が 2,000 kVA 程度以上の場合は力率調整器を設け一定力率に調整するのが賢明な方法であつて、自動電壓調整器による時は系統電壓の變化により過電流又は過勵磁となることがあり、全自動方式に對しては不適當である。又、この場合の停止は親発電所で連絡送電線を遮斷すれば無負荷となるので、低電流繼電器により全停止となる。制御電源として蓄電池を設けることは最も好ましい方法であるが、その保守

及び設備費が高價になるので、簡單確實な方法としては交流遮斷器及び非常ソレノイドに勵磁機電壓保持式を適用し全停止するようになってゐる。

(2) 機械半自動方式

1,000 kVA 程度以下の小容量發電所の簡易自動方式として最も適當なものであつて、入口弁の開閉及び水車の起動停止等の機械部分の制御は總て機械室で操作弁の手動操作鈕を直接手動操作して行い、同期化及び負荷制御等の電氣分子の制御のみを配電盤から行うのである。而して機械的の事故に對しては入口弁を閉鎖して水車を停止せしめ、水車案内羽根全閉すれば非常停止用油壓開閉器及び位置開閉器により夫々確認の上交流遮斷器を遮斷し全停止する。又電氣的の事故に對しては交流遮斷器を遮斷すると同時に非常用停止操作弁ソレノイドを附勢し、入口弁の閉及び水車の停止操作を自動的に行うものである。即ち本方式は上述の如く機械設備と電氣設備間の連繫は非常開閉器と非常停止操作弁ソレノイドにより行われるので、制御線は大幅に節減されるに拘わらず、保安、保守上は從來と何等異なる處のない簡易な方式である。本方式は又、既設の小容量手動發電所の自動化に用いられる。この場合交流遮斷器は既設の過負荷線輪引



第 1 圖 機械半自動發電所の單線電線接續圖

Fig. 1 Skelton Diagram of Mechanical Semi-Automatic Control System for Hydraulic Power Plant.

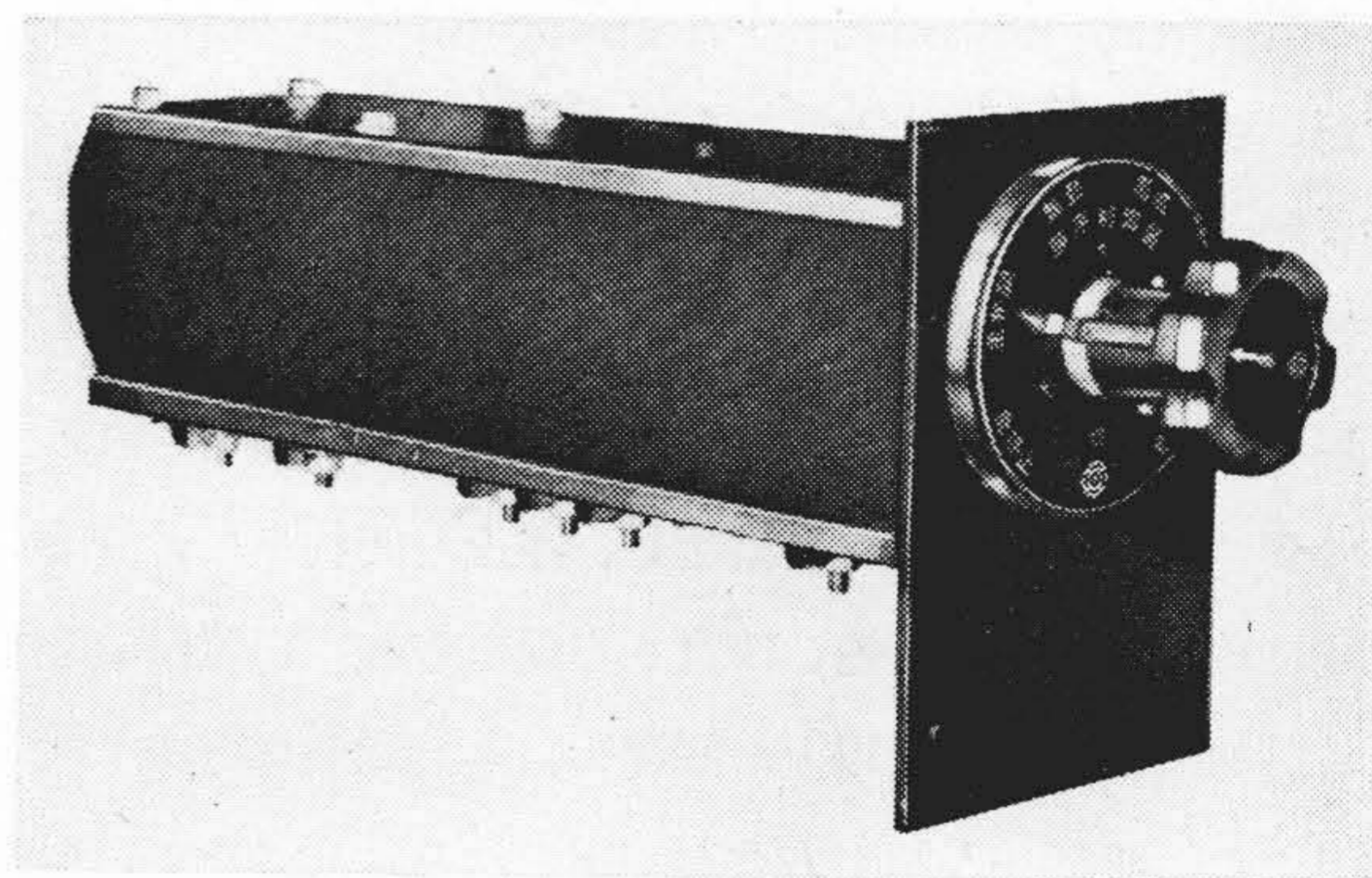
外式のものをもそのまま使用出来、又操作電源若しくは遮斷器引外電源として蓄電池を新設する必要がない。本方式の操作概要を第 1 圖に示す。

(3) 一人制御自動方式

一人制御方式もその細部に亘つては種々の考え方があるが、その基本をなすものは機械の優秀の機能に人間の判断力を有機的に結合して最も信頼度の高い制御體系を形作るにある。茲に弊社が推奨する一人制御方式の内容を記述し、最近の傾向を辿つてみたいと思う。

(A) 操作の概要

先ず主機の運轉に先立ち、電動機駆動の油系設備が起動される。これは配電盤上に取付けられた操作開閉器により行われる。従つて油系の運轉は主機のそれとは切離して行われ、常用と豫備との切換えは油壓装置により自動的に行われる。次に入口弁の開閉及び水車發電機の起動停止は電磁弁により遠方制御されるが、その電磁弁は所謂複電磁石式とし主機運轉の安定性を一層増大させている。而してこれ等の操作は總て配電盤上の順序制御器(第 2 圖)の回動及び引の二段操作によつて行われるから

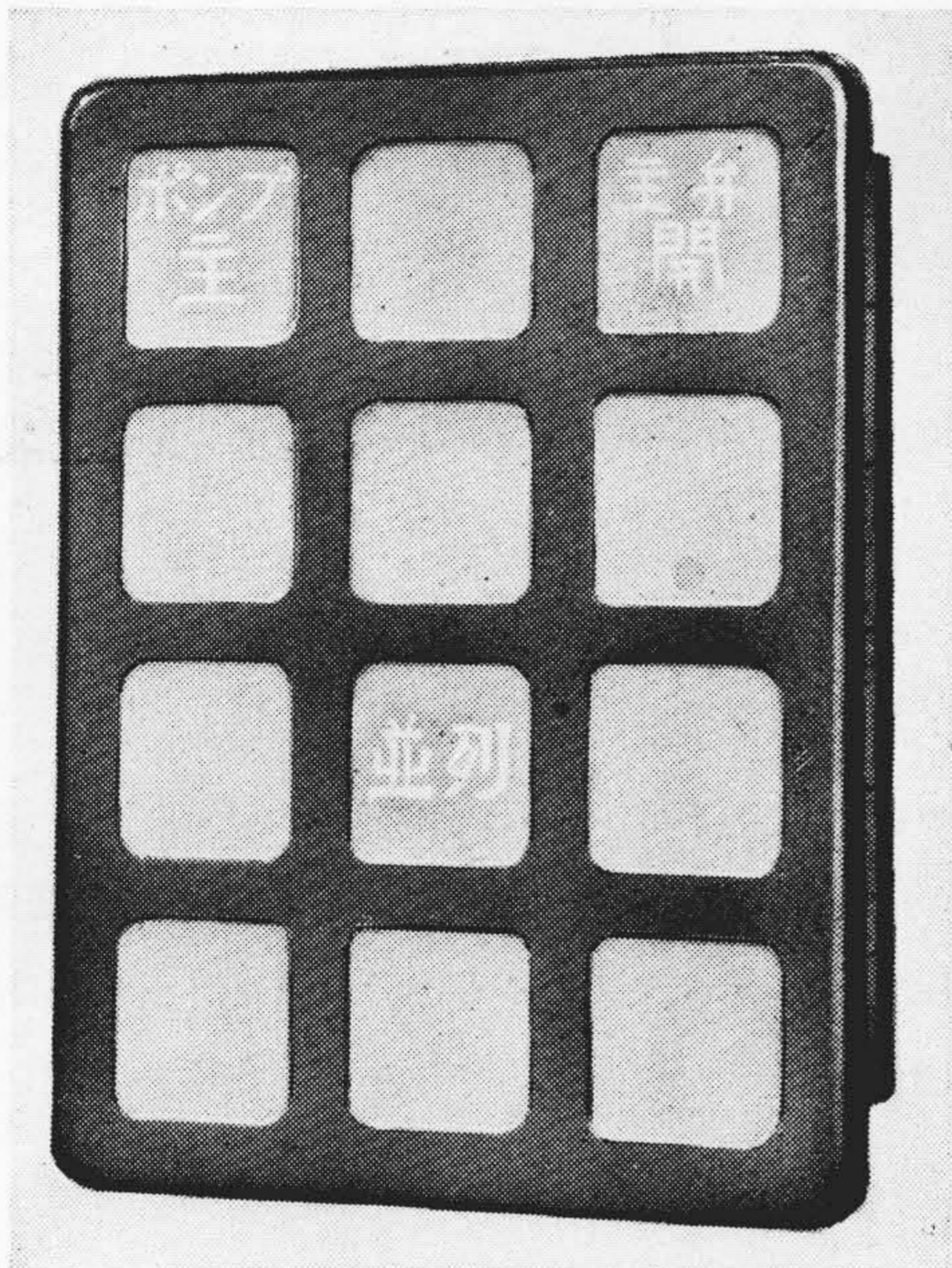


第 2 圖 順序制御器

Fig. 2 Sequence Controller.

誤動作の心配は全くない。この順序制御器では上記の制御の外に發電機の勵磁、並列、緩停止及び急停止も自動制御出来る。なおこの制御器は階段的自動制御は勿論、任意の段階迄の自動連續制御が出来、且これを逆方向に行うことも可能である。自動制御装置には主制御繼電器のようなものは一切使用せず、交流遮斷器の及び切操作と同様、總ての制御は複電磁石式で壓油保持となつてい

るために各段階に於てその段階の制御が終了すれば電氣的保持回路は何一つ存在しないように設計されているから、何れの段階に於ても隨時手動、自動の切換えが出来常時保持制御電源を必要としない。これ等の各制御の経過は、配電盤上のランプ式集合順序表示器（第3圖）に



第3圖 ランプ式集合順序表示器

Fig. 3 Lamp Type Sequence Indicator

より逐次動作状態が表示されるから、進行状態を監視し乍ら何等の不安もなく迅速確實に制御することが出来る。因にこの表示器には次の表示を行わしめる。

- | | |
|-------------|------------------|
| (a) 主ポンプ運轉 | (f) 勵磁 |
| (b) 豫備ポンプ運轉 | (g) 並列 |
| (c) 入口弁開 | (h) 停止 |
| (d) 入口弁閉 | (i) 自動電壓調整器動作 |
| (e) 起動 | (j) 水位調整器の使用、不使用 |

(B) 同期化装置

最近の傾向として、ユニット式に於ては低壓側の交流遮断器を取止め設備を簡素化し高壓同期とすることが一般に行われている。高壓同期の場合は、高壓側の電壓は靜電電壓變成装置からとるのが有利であるが、そのためには同期化装置を小勢力とすることが必要である。この

要求に對し、同期檢定器は消費電力數 VA 程度のものを製作している。又自動同期化装置としては電子管式の小勢力のものが實用化されている。電子管式自動同期化装置は揃速装置、電壓平衡装置及び同期繼電装置からなり、消費電力は全装置で數 VA 程度で、電子管式獨特の漸進特性を有し周波數差に應じ同期化用交流遮断器の投入相差角を自動的に變化せしめるようになつている。

第4圖に本装置の動作オッシログラムの一例を示す。この場合の同期化條件は系統と發電機の周波數差 1/8 サイクル（8 秒につき唸周波數 1）であつて、揃速装置が動作を開始してより同期投入迄の所要時間は 1 分 36 秒、突入電流は 191 A（全負荷電流の 18.2%）である。

なおこの外に條件を種々變えて數十回に亘る試験を行つたが、その結果は殆ど同様で、同期投入時間及び突入電流は均一な數値を示した。因に本例に於ける發電機の定格は次の通りである。

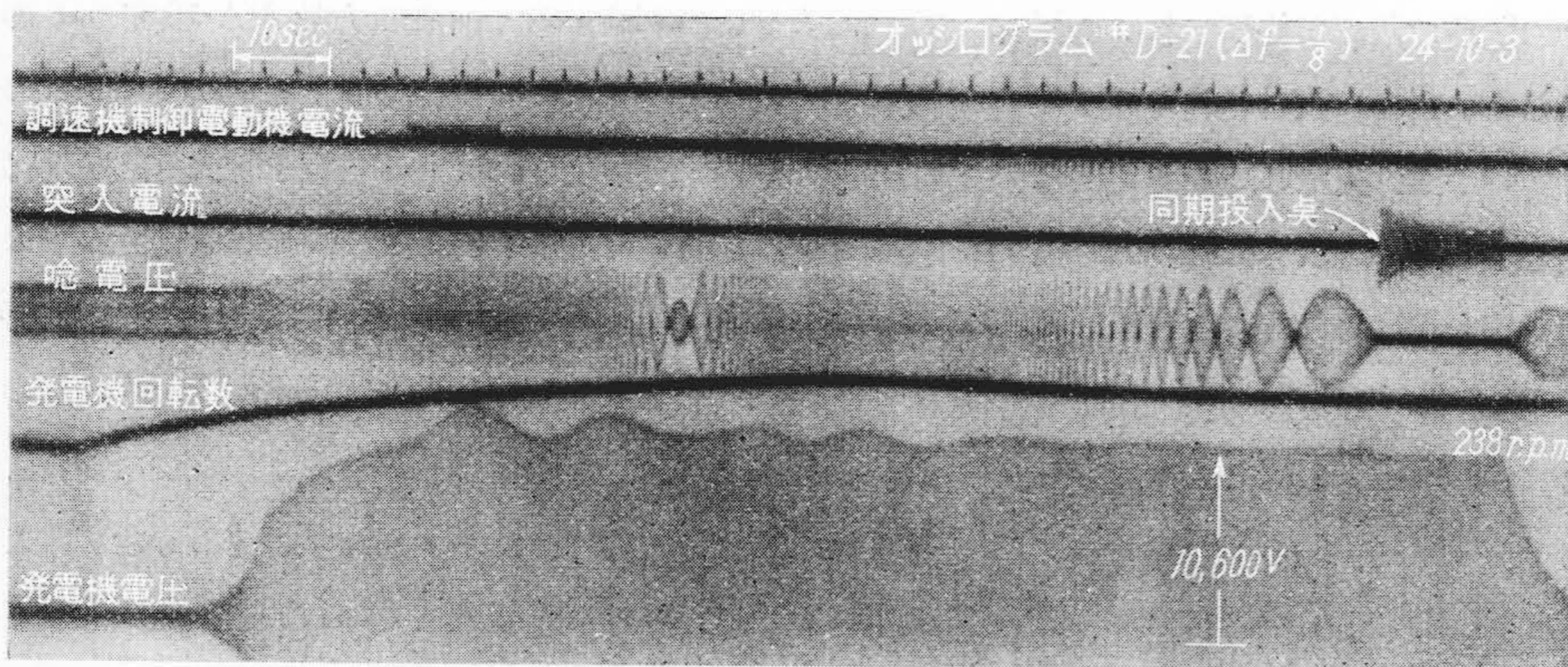
型式	豎軸フランス水車直結
電壓	AC 11,000 V
出力	20,000 kVA
周波數	50/60 サイクル
回轉數	200/240 r.p.m.

このように電子管式自動同期化装置は、從來の電磁型のものに比し同期投入時間が短く且投入時の位相角の把握が確實で、従つて突入電流も小さい特長を有している。

(C) 電壓調整装置

發電機の電壓調整は系統の電壓を調整し得る程度の容量を有する發電所に對しては自動電壓調整器を設け電壓を自動調整させるが、然らざる發電所に對しては、自動電壓調整器を使用すると系統の電壓の變化に對し過電線又は過勵磁となる危険があるから、力率調整器に設けて負荷の變化に對し一定力率となるよう發電機の勵磁を調整するのが得策である。自動電壓調整器には振動型及び抵抗器型があるが、何れも三相電壓を金屬整流器で整流し、その直流電壓を電壓變化の檢出要素として使用する。

而して横流の補償は金屬整流器の交流側で行う。又、抵抗器型自動電壓調整器を使用する場合には、自動復歸



第 4 圖 電子管式自動同期化装置の動作オシログラム

Fig. 4 Oscillogram of Operation of Valve Type Automatic Synchronizer.

性點接地用交流遮斷器 (52 N) を順次遮斷すると同時に水車發電機を停止し入口弁を閉鎖し全停止する。消火及び制動は人爲的に行う。但し制動は入口弁全閉、案内羽根全閉、交流遮斷器開路及び 30% 以下に回轉數が降下したことを條件とする。

式の過電壓抑制装置を設ける。なお過電壓が繼續するときは自動電壓調整器の事故と見做し、交流遮斷器及び界磁開閉器を遮斷し發電機は無負荷無勵磁運轉とする。

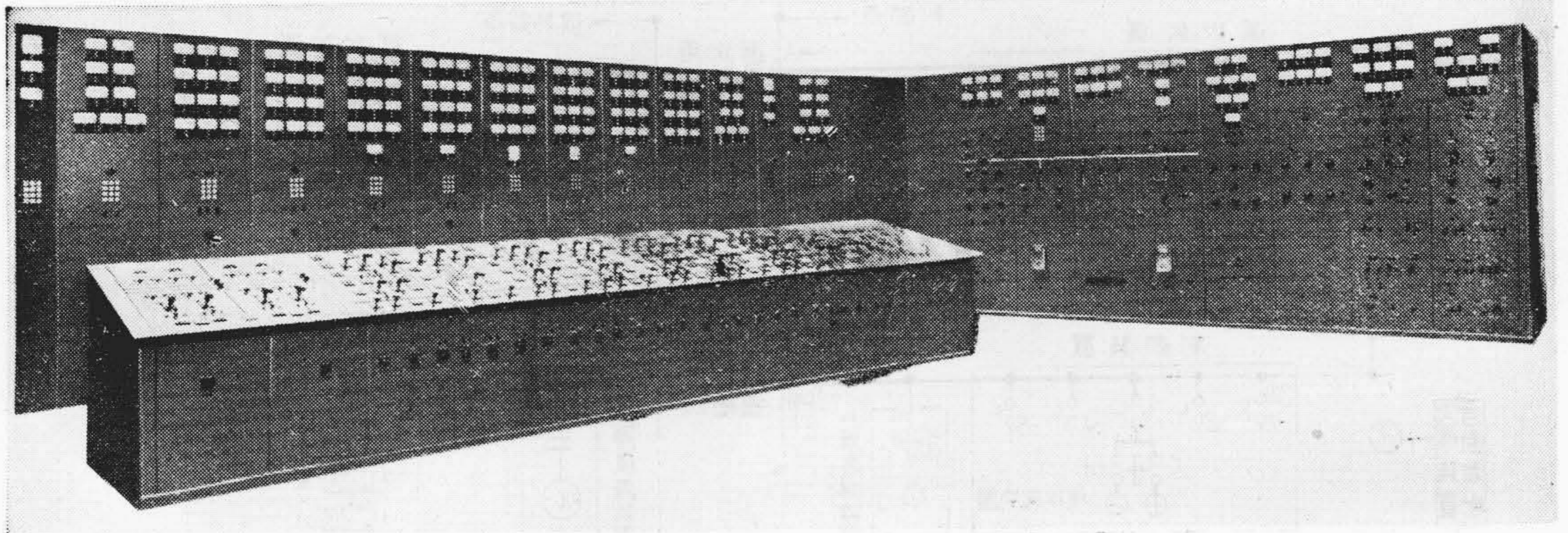
(D) 保護連動要項

保護装置としては特性の優秀な繼電器を使用すると同時に、これ等保護繼電器が動作した場合の處置を適切にすることが必要である。即ち故障によつて繼電器動作と同時に機器の停止を必要とするもの、又單に交流遮斷器及び界磁開閉器のみを遮斷するを可とするもの、或は單に警報を發して保守員の處置を待つを適當とするもの等がある。これ等の適用には十分の考慮を拂い、出來得る限り、故障時の停電時間を減少するよう努めねばならない。保護繼電器の動作表示は集合表示器に取纏めて監視を容易にし、警報により直ちに動作した繼電器を知り故障に對する處置を敏速に行い得るようにしている。

(a) 次の場合は水車發電機を停止し入口弁を閉鎖する。而して水車の案内羽根が無負荷以下の開きとなれば交流遮斷器(52)、界磁開閉器(41)を逐次遮斷し全停止する。制動は配電盤から人爲的に行うが、これは入口弁全閉、案内羽根全閉、交流遮斷器開路及び 30% 以下に回轉數が降下したことを條件とする。

- (イ) 過速度 (12)
- (ロ) 軸受過熱 (38)
- (ハ) 油壓降下 (63 Q₃)
- (ニ) 調速機驅動装置の事故
- (b) 次の場合は交流遮斷器(52)、界磁開閉器(41)中

- (イ) 相間短絡 (87 G₁)
- (ロ) 線輪の層間短絡 (87 G₂)
- (ハ) 線輪接地 (64 G₁)
- (ニ) 接地事故 (64 G₂)
- (c) 次の場合は交流遮斷器 (52)、界磁開閉器 (41) を順次遮斷すると同時に、水車發電機を停止し入口弁を閉鎖する。
 - (イ) 變壓器内部故障 (87 T)
 - (ロ) 變壓器内部故障によるガス發生の急激なるとき (63 QT₁)
- (d) 次の場合は交流遮斷器 (52) 及び界磁開閉器 (41) を逐次遮斷し、無勵磁、無負荷運轉とする。
 - (イ) 交流過電壓 (59)
- (e) 次の場合は交流遮斷器 (52) のみを遮斷し、無負荷運轉とする。
 - (イ) 交流過電流 (51 G)
- (f) 次の場合は警報表示とする。
 - (イ) 油壓降下 (63 Q₂)
 - (ロ) 軸受過熱 (38 D)
 - (ハ) 冷却水の斷水 (63 WC)
 - (ニ) 潤滑用油槽の油位低下 (33 QF)
 - (ホ) 發電機界磁線輪の接地 (64 F)
 - (ヘ) 空氣冷却器の溫度が規定値を超過したとき (98 A)
 - (ト) 變壓器過熱 (26 D)
 - (チ) 變壓器内部故障による



第5圖 一人制御水力発電所の配電盤（一例）

Fig. 5 Switch Board for Hydraulic Power Plant under One Man Control System. (an Example)

ガス発生緩漫なるとき (63 QT₁)

第5圖に本方式による発電所盤の外観の一例を示す。

(4) 遠方制御方式

遠方制御方式は、起動、停止及び調整が遠方の制御所から指令される。この場合は部分的自動制御例えば水車発電機の自動起動が併用され、制御所からは餘り數多くの制御は行わないようにする。遠方制御及び測定の主な利點は、數箇の連繫運轉された発電所の負荷の分配を適當にするにある。制御所としてはその地方の最大発電所或は、負荷の配分點が選ばれる。本方式は操作さるべき機器の種類及び數によつて制御所と被制御所を結ぶ制御線の多くなるのは當然であつて、兩所間の距離が遠くなればなる程制御線の布設に多額の費用を要するから、本方式を採用するには實用的見地より自ら限度がある。茲に於て、制御距離にも又制御する機器の數にも實用上制限のない遠方監視制御方式が採用される。

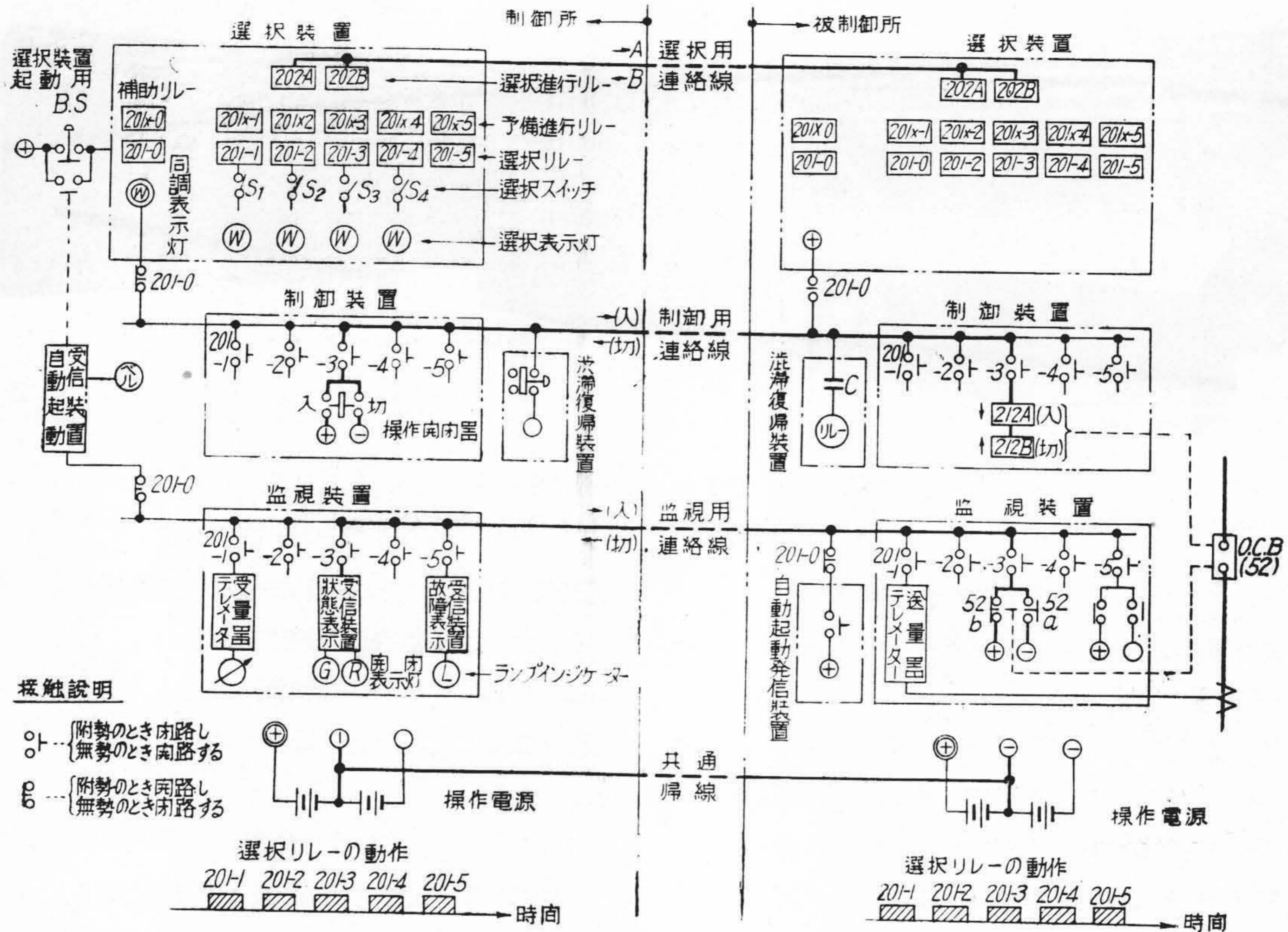
(5) 遠方監視制御方式

発電所の遠方監視制御を行う場合、先ず被制御発電所は一人制御方式として完備されていることが必要である。而して制御所よりの制御の種類は最少限度に止め、自動発電所としての機能を十分發揮せしめるよう考慮すべきである。以下弊社が推奨する繼電器型遠方監視制御方式による水力発電所の制御につきその大要を述べよう。

日立繼電器型遠方監視制御装置⁽¹⁾は全部繼電器のみの組合せよりなり、制御所から被制御所に於ける多數の機器を制御するために兩所に選擇進行繼電器、豫備動作繼

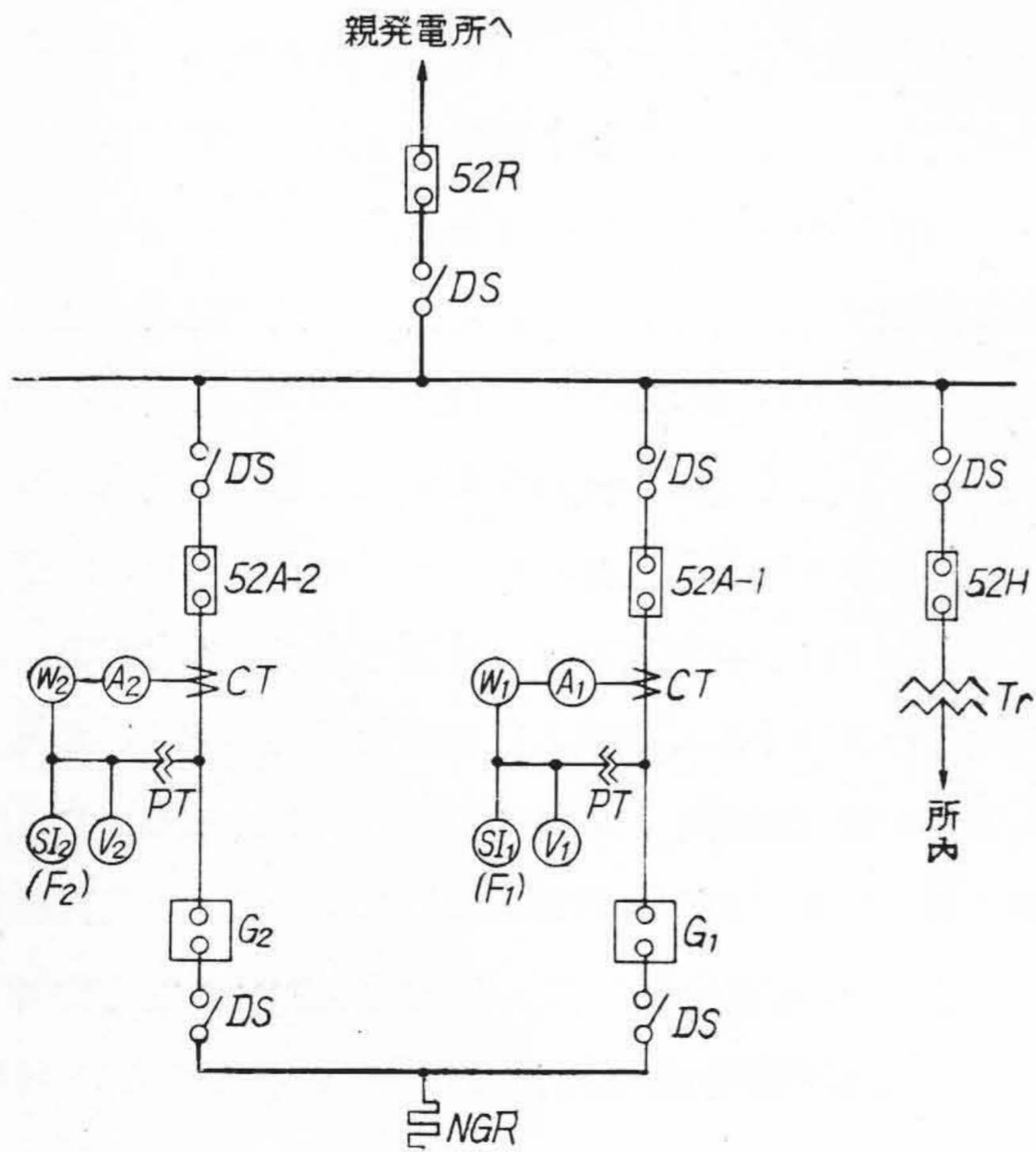
電器及び選擇繼電器の三重要部分よりなる繼電器群を設け、二組の選擇進行繼電器を交互に動作せしめて豫備動作及び選擇繼電器を順次同期的に切換え、任意所要の回路を構成せしめて操作又は測定を行うようになつてゐる。

而して装置の動作中は勿論常に被制御所の機器を監視せしめている。選擇進行操作装置は直列的關係とし、且制御所の選擇繼電器は被制御所に於ける選擇繼電器に應動せしめ、加うるに一步毎に同期監視を行うから何れの繼電器に故障が起きても直ちに閉鎖して選擇豫定以外の機器を制御するようなことはない。第6圖は本装置の動作説明圖である。次に第7圖に示す如き発電機2臺よりなる発電所を遠方監視制御する場合の適用基準を、第1表に例示する。即ち、先ず制御所より被制御所の送電用遮斷器 (52 R)、次で所内用遮斷器 (52 H) を投入し、次で壓油ポンプを運轉し油壓が規定値に達すれば入口弁を開いて水車を起動し自動同期化せしめる。系統の動搖が大きいときは、自動同期は長時間を要する場合があるから斯るときは手動に切換えて制御所で同期檢定器を見乍ら速度を遠方制御し、手動で同期投入が出来るように考慮されている。負荷の調整は水位調整器により自動的に行うか或は制御所より負荷制限用電動機を遠方制御する。又過電壓繼電器の動作に對しては交流遮斷器を遮斷し無負荷運轉を行い、交流過電壓に對しては交流遮斷器と界磁開閉器を遮斷して無負荷無勵磁運轉とし、制御所にこれを表示する。その他の機械的、電氣的事故に對し



第6圖 日立繼電器型遠方監視制御方式の動作説明圖

Fig. 6 Illustration of Hitachi Relay Type Supervisory Control System.



第7圖 被制御發電所單線電線接續圖

Fig. 7 Skelton Diagram of Hydraulic Power Plant under Supervisory Control.

ては交流遮斷器の遮斷と共に水車を停止し、事故の種類を制御所に表示する。なお又、壓油ポンプ起動、入口弁開、水車起動、勵磁、並列等の動作順序を制御所の動作順序表示器に逐次表示し、制御所に於て運轉狀況を確實に把握出来るよう考慮されている。

[IV] 結 言

水力發電所の自動制御方式は時代と共に進展し、今日に於ては以上述べたような高度の技術的成果を結集した信頼度の高いものとなつた。總てに乏しい我が國に於ても幸に水力資源のみは極めて豊富であつて、これの開發は刻下の急務であるが、これ等の新設發電所の運用も優秀な自動制御設備により合理的に行い、貴重な資源を最高度に利用することを心掛けなければならない。優秀な設備も完全な保守の下に於て始めてその能力を十分に發揮し得るものであつて、方式に對する完全な理解、及び

第1表 水力発電所に對する遠方監視制御方式の適用基準

選擇順序	對 象	制御種類	測 定 種 類	狀 態 表 示	警 報 表 示	備 考
1	送電用遮斷器 52R	入, 切		入 (R), 切 (G)	自動遮斷=對シ (G)フリッカー, ベル	
2	所内用遮斷器 52H	入, 切		入 (R), 切 (G)	自動遮斷=對シ (G)フリッカー, ベル	
3	テレメーター電源	入, 切		入 (R), 切 (G)		
4	水 位		(W _L)			
5	壓油ポンプ	運轉, 停止		運轉 (R), 停止 (G)		
6	51× (1號)	復 歸			ランプ式 集合表示器	無負荷運轉
7	59× (1號)	復 歸			ランプ式 集合表示器	無負荷無勵磁運轉
8	發 電 機 (1號)	起動, 停止	運轉順 序表示	停止 (G) 起動 (R) フリッカー 運轉 (R)	自動遮斷=對シ (G)フリッカー, ベル	12, 38, 63Q ₃ , 64, 87, 33QF, 63WC, 調速機事故
9	發電機電壓 (1號)		(V ₁)			
10	同期化自動 手動切換 (1號)	自動, 手動		自 動, 手 動		
11	手動同期化 52A-1	速度調整 同期化	(SI ₁)			
12	水位調整器 (1號)	入, 切		入 (R), 切 (G)		
13	發電機電流 (1號)		(A ₁)			
14	負荷制御 (1號)	増, 減	(W ₁)			
15~23	2號機=對スルモノデ6~14=同ジ。					
24	94	復 歸				51R, 51H
25~30	(豫 備)					
31	豫備壓油ポンプ運轉				ランプ式 集合表示器	
32	63 Q ₃ 動作				同 上	全 停 止
33	33QF 動作 (1號)				同 上	同 上
34	12 動作 (1號)				同 上	同 上
35	38 動作 (1號)				同 上	同 上
36	63WC 動作 (1號)				同 上	同 上
37	87 動作 (1號)				同 上	同 上
38	64 動作 (1號)				同 上	同 上
39	調速機事故 (1號)				同 上	同 上
40~46	2號機=對スルモノデ 33~39 =同ジ					
47~50	(豫 備)					

保守に對する熱意と技術の向上が自動制御方式の進展と相俟つて要望される所以である。以上水力発電所の自動制御方式の大綱を記し、電力關係各位の御參考に供した

次第である。

參 考 文 獻

- (1) 小林、森井：日立評論 31, 6 (昭 24)