

北陸電力・常願寺川第二, 三, 四発電所納入 無接点運転制御装置

鈴木 勇* 桜木 俊男** 丘本 昶**
Isamu Suzuki Toshio Sakuragi Akira Okamoto

Contactless Control Device for Joganjigawa No. 2, 3, 4 Power Station, Hokuriku Electric Power Co., Inc.

Synopsis

Recently, requests for automatic control system become more and more high-accuracy, complicated and highclass. In order to meet these requests for power system control, this contactless control device has been made.

This paper reports contactless control device for Joganjigawa No. 2, 3, 4 power station, Hokuriku Electric Power Co., Inc.

I. ま え が き

各種高性能半導体素子の進歩に伴い、電力機器および保護継電装置の静止無接点化が各方面において進められている。

当社においてもこの面において鋭意開発を進め、各種の安定な論理素子と保護継電器を製作してきた。昭和36年2月、電力系統の保護装置としては初めて、関西電力・関開閉所に系統分離継電装置を納入し特異な方式による脱調現象の掌握もトランジスタなどの半導体を利用することにより可能であることを証明し、以後これらの技術をもとに各方面においてご使用いただき、昭和37年10月には電源開発・奈半利幹線 180kV 直接接地系統に距離方向比較搬送保護継電装置を納入するに至り、保護継電装置の無接点化にいささかなりともパイオニアとしての役割をはたしてきた。

この間制御装置の面における無接点化についても研究を進めていたが、今度北陸電力・常願寺川第二, 三, 四発電所に制御装置全体を無接点化した運転制御装置を納入し、昭和39年3月中旬から営業運転に入った。

以下これらの制御装置につき説明する。

II. 運転制御方式の概要

本発電所はすぐ上流にある常願寺川第一発電所(既設)の下流に位置し、有峰貯水池から期間調整されて流下する水量と、常願寺川本流から取水した水量とが合わされて水路により常願寺川第二発電所用水そうに導入し、さ

らにこの水を順次第三, 第四発電所にも利用できるようにしたものであって、平地に設置された地下発電所としての特長はもとより、その容量も5,340kWとチューブラ形水車として最大容量のものである。そして各発電所主要機器は全く同一定格の設計になっている。

本発電所群の設置位置は常願寺川の最下流にあるため、利用し得る水量は年間を通して豊富に得られ、常に安定な電源として利用されることが期待されている。

それと同時に穀倉地帯に位置するため同一水路より一部が農地かんがい用水として利用されるので、水路の利用には相当きびしい制限が要求されている。

運転方式としては流入流量に応じた完全自動運転を主体とした監視断続方式がとられ、運転員は保守を主業務とし、昼間のみ駐在し、夜間は完全無人運転となることになっている。

これら3発電所の中心は第三発電所におかれ、第二, 第四発電所の状態は第三発電所にテレコンにより連絡してくることになっており、第三発電所において、第二, 第四発電所の状態監視ができるようになっている。

III. 制 御 方 式

第二, 第四発電所は第三発電所まで20kVの送電線により連絡され、第三発電所より20kV系統に連系されている。発電所の運転は各発電所において1人制御方式および全自動運転方式の2方式がとれることになっている。

1. 1人制御方式

通常の1人制御方式であり主幹開閉器を操作することにより主幹開閉器の各位置に応じた動作を順次行なって運転、停止が行なわれる。

* 総合技術部

** 豊田工場

負荷位置においては、手動制御による操作の他に、水調運転が可能で、水調使用条件により、流入量に応じた負荷を負うことができる。

2. 全自動運転方式

主幹開閉器を無人位置に置いておけば上水そう水位、および上流発電所の運転一停止に応じ下流発電所の運転、停止も追従することになっている。すなわち上流の発電所が運転したことをテレコンにより直ぐ下流の発電所に連絡し、一方下流の発電所は上流よりの運転の通知に合わせ上水そう水位が始動条件水位以上になっていることを検出し、準備動作を行ない、準備完了により、自動始動し、順次条件の成立とともにシーケンスが進み、周波数安定、電圧確立により自動同期検定装置が動作して自動並列される。その後は水調回路が自動的にできて流入流量に応じた発電を行なうことになっている。

また、流入流量が減少し、水調指令により無負荷開度付近まで出力が減少してきた場合には、低負荷状態が一定時間継続していることにより、調速機ソレノイド類を落とし、水車を停止方向に操作するとともに、並列しゃ断器を開いて停止する。

水車停止時は水調回路は余水吐ゲート制御に切り換わり、上水そう水位を一定に保持する操作を継続することになっている。

このように同一定格の発電所が3か所ほぼ同一地点に設置され、また、無人運転が採用されるなどの条件により制御回路はできるだけ簡単であって、故障の心配が少なく、安定な運転が継続できる運転制御装置が必要である。

これらの点に鑑み、本発電所においては運転制御装置としてトランジスタを主体とする無接点制御方式を採用することにした。

無接点方式の採用に際してはすでに開発の終わった各種の論理素子を初めとして、

- (1) 無接点リミットスイッチ
 - (2) 無接点操作、切換開閉器、および主幹開閉器
 - (3) 無接点式自動揃速装置(＃15)
 - (4) 無接点式自動同期投入装置(＃25)
 - (5) 無接点式3位置調節器(水調などの制御に使用)
 - (6) 操作電動機の無接点制御装置(65M, 77Mなど)
- などの各装置を使用している。

そのほかに、トランジスタ制御装置の電源としては、SCRを使用した定電圧DC—ACインバータ装置を採用している。

これらの各装置は論理素子により有機的に結合され、

発電所の運転、停止をつかさどっている。

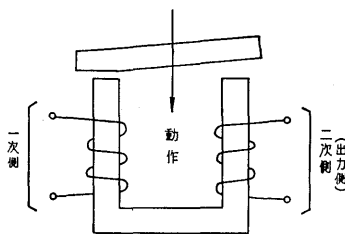
IV. 各装置について

1. 無接点リミットスイッチ

無接点リミットスイッチは、

- 1) 開閉時のアークが発生せず接点消耗がなく、付近の可燃物、金属に悪影響をおよぼす恐れがない。
 - 2) 悪いふんい気内においても動作不良などはなんら起こさない。
 - 3) これらの点より保守、点検が不必要である。
- などのすぐれた特長を有している。

無接点装置内の一要素として使用する場合、リミットスイッチの電氣的出力はごく小さくてすみ、そのため形状も小形、軽量になり、しかも堅ろうなものとすることができる。



第1図 無接点リミット
スイッチの原理

Fig. 1.
Principle of contactless
limit switch

本発電所に用いている無接点リミットスイッチの動作原理は第1図のごとくであって、U字形鉄心に一次巻線と二次巻線(出力巻線)をまき、U字形鉄心の開放部に別の鉄片を吸着、開放させることにより生じる二次巻線誘起起電力の変化を利用するものである。

2. 開閉器類

開閉器には

- 1) 操作開閉器
- 2) 切換開閉器
- 3) 主幹開閉器

がある。

これらの開閉器は通常一つの開閉器で種々の回路の開閉を行なう必要があるため必要な数だけ何段にも重ねて構成されている。特に多数の回路に使用する場合には、操作が確実に行なえるように、形体を大きくしたりして、強度的な点に関しても充分なる考慮を払っている。

また、接点についても、接点共通の種々の問題について、やはりいろいろと考慮を払う必要がある。

配電盤に使用する開閉器は操作ひん度も比較的多いので堅ろうである必要があり、また小形軽量で取り扱いの便利なものが最適であり必要でもある。

無接点开閉器はこのような観点から判断すれば最もこ

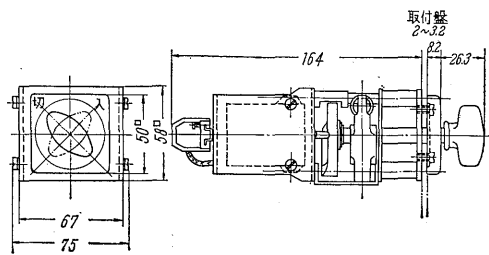
これらの要求に適合するものであるといえる。
無接点装置に組み合わされる場合には各種の操作信号につき、ただ一つの信号を送るだけで、あとは装置内の論理素子により、いろいろの回路に割り当てられて各種の制御が行なわれることになる。

そのため、本開閉器は1操作信号につき1個の素子が内蔵されており、操作されることにより、その素子が働いて装置内の論理素子回路に操作信号を送ることになる。

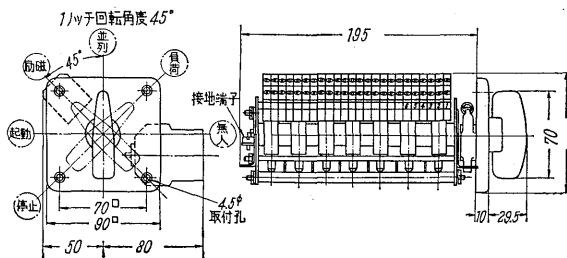
この素子は無接点リミットスイッチとして製作しているものの普通形を使用している。

そのため性能的にも無接点リミットスイッチと全く同じ性能を有している。

第2図は2点切換開閉器、主幹開閉器の外形図である。第3図は無接点開閉器を使用する場合の接続方式である。

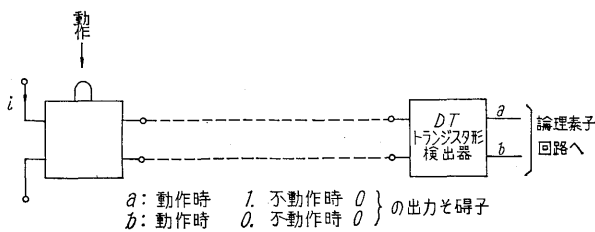


(a) 2点切換開閉器



(b) 主幹開閉器

第2図 無接点開閉器
Fig. 2. Contactless switches



第3図 無接点スイッチ類の動作方式
Fig. 3. Operating method of contactless switches

3. 無接点式自動揃速装置

発電機を系統に並列する条件の一つとして発電機の周波数と系統の周波数とが一致していることが必要である。

始動した水車、発電機の周波数を系統の周波数と一致させるために、両者の周波数差の大きさと発電機側周波数の遅速を判別してガバナ電動機 65M を操作する指令をだすのが本装置である。

シーケンスがトランジスタ論理素子を使用して組んであるところから、本装置の出力も 1, 0 の論理出力としてある。

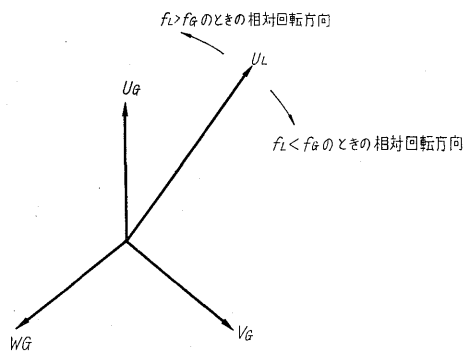
周波数の大、小によりその制御時間を変えるようにし、水車、発電機を含めた慣性定数を考慮して、円滑に系統周波数と合致する周波数になる速度に制御される。

その制御出力信号と周波数との関係は

- 1) 周波数の絶対値 $|4f|$ が $4f_h$ より大きいときは連続の指令
- 2) $|4f|$ が $4f_h$ と $4f_l$ との間にあるときは、1 すべり周期に τ_1 時間の指令
- 3) さらに周波数が接近して $|4f|$ が $4f_l$ より小さくなったときは、2 すべり周期に τ_1 sec 間の指令（ただし $0 < 4f_l < 4f_h$ ）がでるようになっている。

これを行なうためには水車発電機周波数の遅速判別回路と、周波数の大小を判別する回路が必要である。

第4図は発電機周波数 f_g 、および系統周波数 f_L の遅速を判別する原理を示すベクトル図である。



第4図 遅速判別原理を示すベクトル図
Fig. 4. Vector diagram of frequency comparison

図においてベクトル U_g , V_g および W_g は発電機の3相の各電圧を、またベクトル U_L は系統の1相の電圧を示す。いま f_g と f_L 間に周波数差 $4f$ がある場合には、たとえば発電機電圧 U_g , V_g , W_g を基準として考えれば、系統の電圧ベクトル U_L は

$f_L > f_G$ のとき 反時計方向

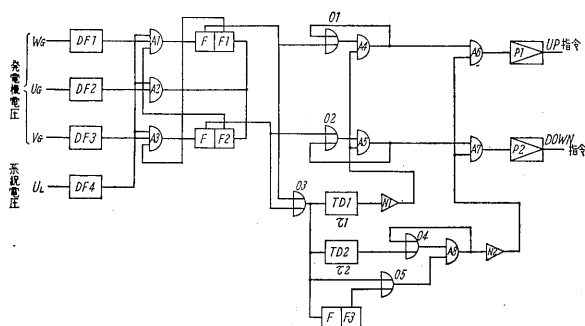
$f_L < f_G$ のとき 時計方向

に、かつ、 $T=1/|4f|$ sec のすべり周期で回転する。

すなわち、系統電圧 U_L は $f_L > f_G$ のときは $U_G \rightarrow W_G \rightarrow V_G \rightarrow U_G$ の順で、また $f_L < f_G$ のときは $U_G \rightarrow V_G \rightarrow W_G \rightarrow U_G$ の順で発電機の各相電圧と同相となり、かつ、その間隔は $T/3$ sec ごととなる。

したがって、系統の 1 相の電圧が発電機の各相電圧と位相が一致する順序により、系統と発電機の周波数の遅速が判定でき、また位相一致点の時間間隔により両者の周波数差の絶対値 $|4f|$ の大小を判定することができる。

第 5 図は本装置の内部接続図でありその FF_1, FF_2 の出力は前述の判定を行なって P_1 または P_2 より制御指令が発せられる。その間にある各回路は前述 1)~3) 項までの制御を行なわせる補助回路である。



第 5 図 トランジスタ式自動揃速装置展開接続図

Fig. 5. Sequence diagram of transistor type automatic speed matcher

P_1 または P_2 よりの出力はトランジスタより直接得られるので 65 M を駆動する回路は後述する SCR 回路により行なわれ微少な出力も確実に伝達され、ひいては円滑な制御を可能としている。

本装置の仕様は下記のごとくである。

$4f_h$: 3~6 (‰) 連続可調整

(τ_1 に換算して 110~220 m sec)

$4f_l$: 0.5~3 (‰) 連続可調整

(τ_2 に換算して 0.22~0.3 sec)

τ_1 : 110~220 m sec 連続可調整

(装置各部の詳細な動作については近号予定の“全トランジスタ式自動同期投入装置、自動揃速装置”参照)。

4. 無接点式自動同期投入装置

始動した発電機を衝撃なしに系統に連系するには並列瞬時において、周波数、位相が一致している必要があり電圧も一致していることが望ましい。

本装置では両系統の周波数差、および電圧差が一定値

以内の条件で自動的に両系統の位相一致点から投入しゃ断器の投入時間に相当する、所定の前進時間に投入指令を発するものである。したがって本装置は次の四つの部分より成り立っている。すなわち

- 1) 周波数差に関係なく、位相一致点よりしゃ断器の投入時間 $4T$ に相当する時間だけ前に投入指令パルスを発生する回路 ($4T$ 回路)
- 2) 両系統の周波数差が一定値以内にある場合のみ上記 1) 項の出力を通過させる回路 (周波数差制限回路)
- 3) 両系統の電圧差が設定値以下であることを検出する回路 (電圧平衡検出回路)

である。

本装置の仕様は

$4T=0.2$ sec (0.1~0.5 sec の間製作可能)

$4v=2\sim6$ V (連続可調整)

$4f_0$ (制限周波数=0.25, 0.20, 0.15‰ 可調整)

投入指令継続時間=1 sec

である。

(本装置の各種条件回路の論理素子による構成部については近号予定の“全トランジスタ式自動同期投入装置、自動揃速装置”参照)

5. 無接点式 3 位置調節器

論理素子により各装置ならびに制御回路が構成されている場合、アナログ式調節器によって自動一手動切換回路を作ったりすることはアナログ調節器出力が微少な場合ならともかく、電力用に使用するような数 W の出力を利用して行なうことは現段階においては相当困難である。たとえできるとしてもきわめて複雑にして高価なものとならざるを得ない。

デジタル式調節器を用いる場合には制御回路において各種のインタロック条件と合わせ、これらの制御を自由に選択することができる。

今回使用した調節器は、このような点に考慮を払いデジタル式調節器とし、その制御時間を被制御系の時定数その他に合わせることによりじん速にして適確な制御が行なえることになった。

1) 3 位置調節器について

ここに使用した調節器はトランジスタ 3 位置調節器と呼び、出力をトランジスタのオンオフでだす無接点式断続調節器で特長として

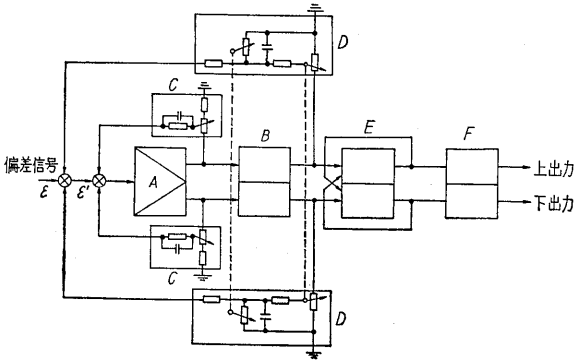
- (1) オンオフの動作すきま、不感帯を自由に変わることができ、最大感度の時は $\pm 0.5\%$ まで不感帯をせばめられる。
- (2) 不感帯をせまくしても充分安定のとれるだけの負帰

還回路を持っていて、オンオフ動作と相まって偏差の大きいときは急速に偏差を小さくし、偏差が小さくなるとゆっくり補正動作をするような、非線形安定回路を形成している。

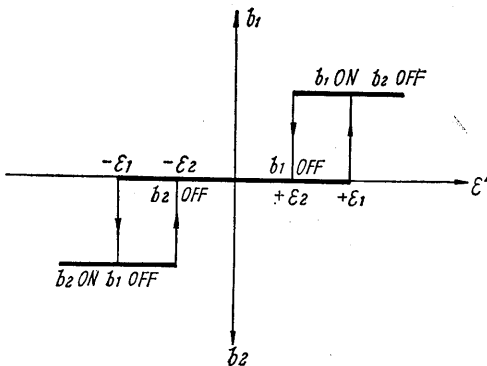
- (3) さらに付加要素を追加することによって出力がオフしている期間を任意に設定することができ一種のサンプリング制御を行なえる。
- (4) 全体は標準の箱にコンパクトにおさめられていて、なかのユニットアンプも含めプラグイン方式を採用し保守に便利にしている。

2) トランジスタ 3 位置調節器の動作

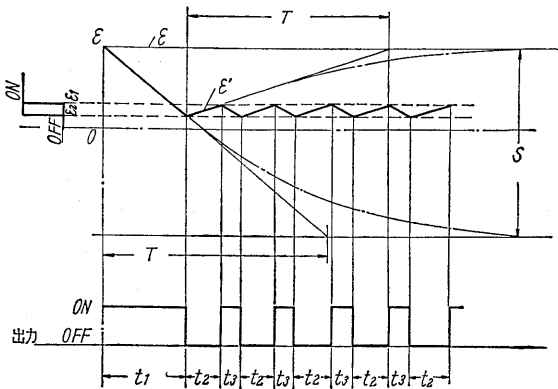
トランジスタ 3 位置調節器は前述のように付加要素の有無によって動作が異なるので、まず付加要素のない基本形から述べることにする。第 6 図はこの場合のブロック線図を示し回路はまったく正負対称である。左より入る偏差信号は A の直結直流増幅器に入り、増幅されて B の跳躍増幅器に入る。この二つの増幅器が 3 位置調節器の主要部で第 7 図は偏差に対する跳躍増幅器の出力の関係を示す。いま偏差が 0 であると跳躍増幅器の出力はともにおフしているが偏差が増大し $+\epsilon_1$ を越えると出



第 6 図 3 位置調整器ブロック線図
Fig. 6. Block diagram of three point controller



第 7 図 増幅器特性
Fig. 7. Characteristic of amplifier



第 8 図 階段信号に対する出力の応答
Fig. 8. Output response for step input

力 b_1 がオンとなる。偏差が減少し $+\epsilon_2$ より小さくなると出力 b_1 はオフし、もとの状態にもどる逆極性の場合も同様に動作する。このように偏差によって 3 位置の状態をとり得る。不感帯 $\pm\epsilon_1$ は直流増幅器の出力にある不感帯調整回路 C の可変抵抗を変えて自由に調整できる。この帰還回路にあるコンデンサは偏差信号にある雑音によってひんぱんに跳躍増幅器が動作するのを防いでいる。

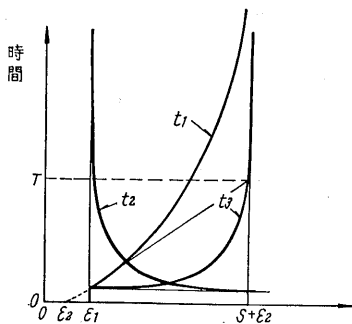
跳躍増幅器の出力にある帰還回路 D を接続すると調節器として動作し偏差信号の ϵ 階段変化に対する跳躍増幅器の出力は第 8 図に示すようになる。すなわち不感帯 ϵ_1 を越える一定の偏差 ϵ が入ると跳躍増幅器が動作し出力がオンすると同時に帰還回路 D のコンデンサは充電され、時間とともに指数関数状に負帰還量は増大し ϵ' は減少する。 t_1 時間後 ϵ' が ϵ_2 より小さくなると出力はオフし同時に帰還回路 D のコンデンサも放電し、時間とともに指数関数的に負帰還量は減少し ϵ' は増大する。 (t_1+t_2) 時間後に ϵ' が ϵ_1 より大きくなると出力はふたたびオンし以後くり返えしオンオフする。いま帰還回路 D の飽和出力を S、充放電時定数を T とすれば、初パルス、休止、次パルスの時間 t_1, t_2, t_3 は直流増幅のフィルタ効果を見れば

$$t_1 = -T \ln \left(1 - \frac{\epsilon - \epsilon_2}{S} \right)$$

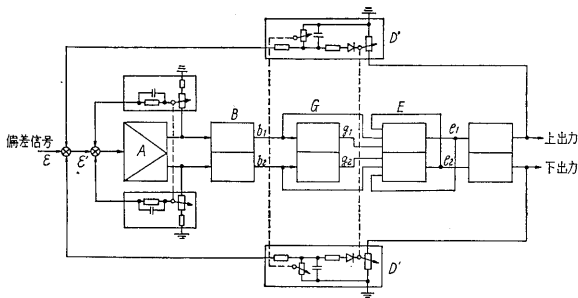
$$t_2 = -T \ln \left(\frac{\epsilon - \epsilon_1}{\epsilon - \epsilon_2} \right)$$

$$t_3 = -T \ln \left(\frac{S - \epsilon + \epsilon_2}{S - \epsilon + \epsilon_1} \right)$$

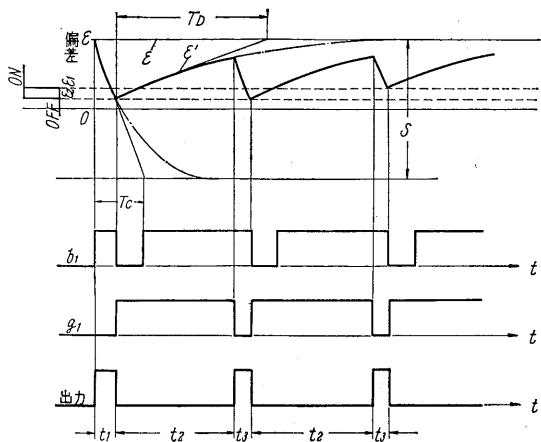
で示される。第 9 図はこの関係を図示したものである。跳躍増幅器の出力は E の禁止回路を通り F の出力増幅器を通して出力標示ランプを点滅させ外部に出力を与える。



第 9 図
初パルス, 次パルス
ならびに休止の各時間
Fig. 9.
1st and 2nd ON time,
OFF time



第 10 図 時限回路を持った 3 位置調節器のブロック線図
Fig. 10. Block diagram of three point
controller with timer



第 11 図 階段信号に対する出力の応答
Fig. 11. Output response for step input

この第 10 図のブロック線図に示すものは電圧調整装置として使用している。

この基本形に付加要素をつけて一種のサンプリング動作を行なわせる場合のブロック線図を第 10 図に示す。直流増幅器 A, 跳躍増幅器 B, 不感帯調整回路 C, 禁止回路 E, 出力増幅器 F については全く基本形と同一で, 基本形にさらに時限回路 G を付加しさらに帰還回路 D' を外部に付加している(内部の帰還回路はこのとき使用せず零にしばっておく)。この場合の動作は第 11 図に示すように働く。

まず不感帯 ϵ_1 を越える一定の偏差 ϵ が入ると跳躍増幅器がオンになる。禁止回路 E は跳躍増幅器の出力

b_1 がオン, 時限回路の出力 g_1 がオフ, 禁止回路の反対側出力 e_2 がオフのときにのみしか出力 e_1 はオンしないようになっている。それで跳躍増幅器がオンになると上の条件がみたされているから出力に現われる。と同時に帰還回路 D' を通して指数関数的に増大する負帰還がかかり, t_1 時間後 ϵ' が ϵ_2 より小さくなると跳躍増幅器はオフし, 出力もオフとなる。一方時限回路 G は跳躍増幅器出力がオフした瞬間にオンし, ある一定時間 t_2 の後オフするように組まれているので, 負帰還量が減少し ϵ' が ϵ_1 をこえて跳躍増幅器がふたたびオンしてもただちに禁止回路の出力には現われず, t_2 sec 後時限回路がオフして初めて出力に現われる。ふたたび負帰還量が增大し跳躍増幅器はオフし出力もオフする。以後同様のことがくり返される。帰還回路 D' には第 10 図の D と異なりダイオードがあってコンデンサの充電時間に対し放電時間が長くなるようにしてある。いま帰還回路の飽和出力を S, 充電時定数, 放電時定数, 時限時間をそれぞれ T_c, T_D, T_T とすれば, 初パルス, 休止, 次パルスの時間 t_1, t_2, t_3 は直流増幅器のフィルタ効果を無視すれば

$$t_1 = -T_c \ln \left(1 - \frac{\epsilon - \epsilon_2}{S} \right)$$

$$t_2 = T_T \text{ または } -T_D \ln \frac{\epsilon - \epsilon_1}{\epsilon - \epsilon_2}$$

のいずれか大なる値

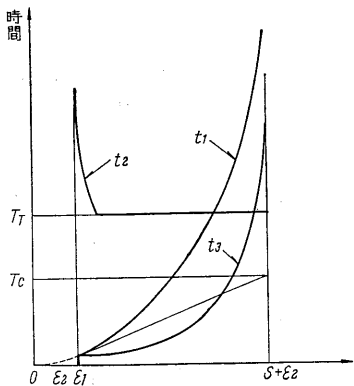
$$t_3 = -T_c \ln \left\{ \frac{S - \epsilon + \epsilon_2}{S - (\epsilon - \epsilon_2) e^{-\frac{T_T}{T_D}}} \right\}$$

または

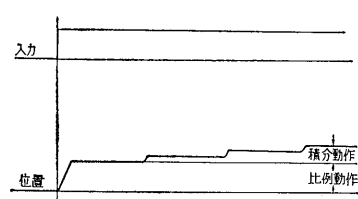
$$-T_c \ln \left(\frac{S - \epsilon + \epsilon_2}{S - \epsilon + \epsilon_1} \right)$$

のいずれか大なる値で示される。第 12 図はこの関係を図示したものである。

この第 10 図のブロック線図に示すものは水位制御装置に使用している。



第 12 図
初パルス, 次パルス
ならびに休止時間
Fig. 12.
1st and 2nd ON
time, OFF time



第 13 図
調節器入力より電動機
軸までの過渡応答
Fig. 13.
Transient response
from controller input
to motor shaft

これらの 3 位置調節器はトランジスタロジック回路を経て当該電動機の駆動回路に与えられる（水位制御の場合は負荷制限器あるいは水門を駆動する電動機に接続される）。調節器の入力から電動機軸の回転位置までの応答は前述のことから明らかに一種の比例積分動作をすることがわかる。すなわち階段状入力変化に対して初め大きく動き（比例動作）その後ゆっくりと動く（積分動作）。（第13図参照）。比例動作は初パルスの時間で決まり、比例感度は次式で与えられるから

$$\text{比例感度} = \frac{t_1}{\epsilon}$$

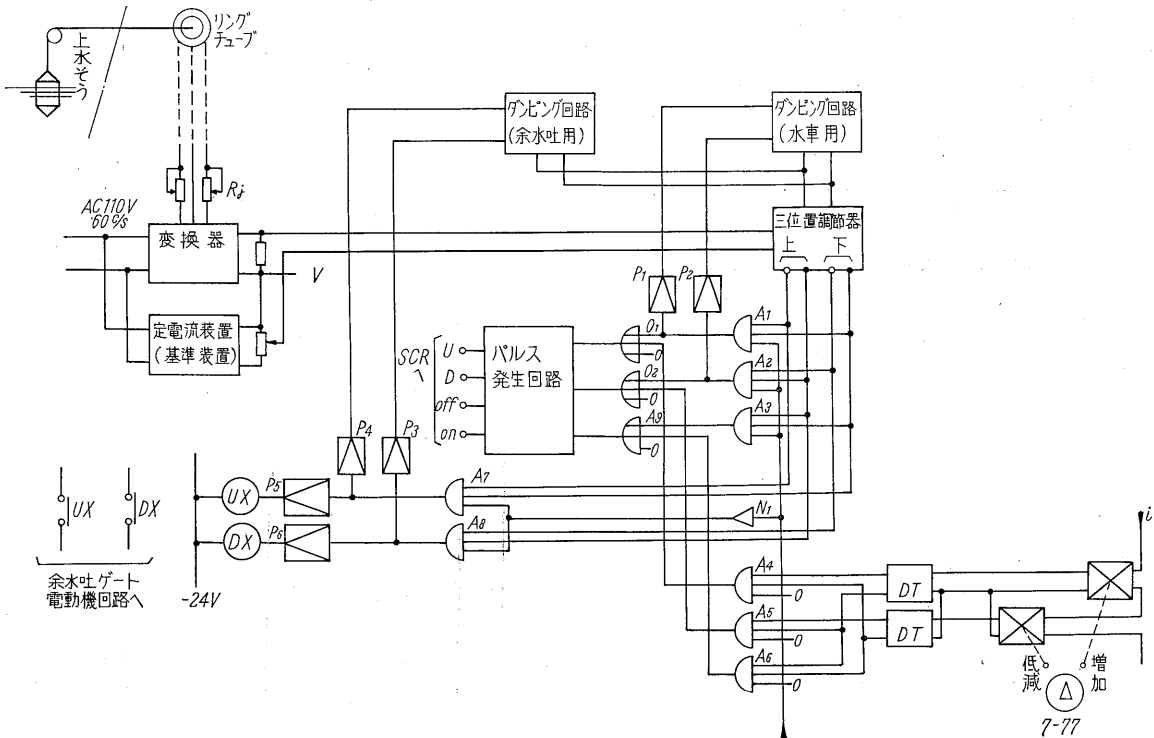
偏差が大きいときは比例感度が大きくなり急速に偏差を小さくするように働く。

3) 各ユニットアンプの構成と調節器の性能
ブロック図で示した A,B,E,F,G はおのの同一寸法のケースに収納されている。直流増幅器はトランジスタ 6 石よりなる直結差動増幅器で、温度ドリフトを極小

に押えるためシリコントランジスタを使用している。跳躍増幅器はシュミット回路を使用し、出力増幅器はコレクタ接地 2 段、時限回路は単安定回路でパネル面に取付けたコンデンサの切り換えと抵抗の連続可変により自由に時限を設定できるようになっている。いずれも上げ下げ同一回路を一体に組み込んでいる。

- 調節器としての性能は下記のとおりである。
- (1) 入力 DC 10V, 入力抵抗 20 kΩ
 - (2) 出力 DC 24V, 80 mA
 - (3) 出力標示 上げ下げそれぞれランプにて標示
 - (4) 不感帯 ±0.5~2.5%
 - (5) 内部帰還 飽和 0~40%
時定数 2~24 sec
 - (6) 時 限 4~30 sec
 - (7) 外部帰還 飽和 0~50%
充電時定数 7~70 sec
放電時定数 20~400 sec

4) 水位調整装置（水調）
本発電所は流入流量に応じた発電を行なう、いわゆる流込み式発電所であるが、同時に同一水路より用水路が分岐しているため、常に用水を確保する必要がある。
用水の水量を所定の値に常に一定にするためには、上水そうの水位を常に一定に保てば、用水路ゲートの開度



第 14 図 水 位 調 整 回 路
Fig. 14. Control circuit of water level governor

のみにより水量を常に一定に保つことができる。

このためには、水調の方式としては、水位一定方式をとる必要がある。

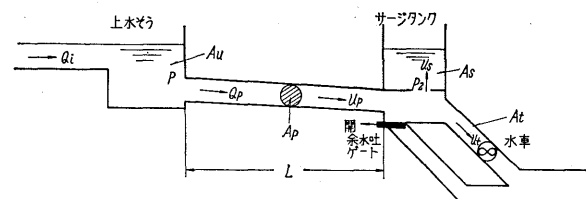
本来、水調は対象水位を常に一定に保つことであるが従来水力発電所では水系との関連で自動制御系の安定がとり難いことや、また有効落差に対し若干の水位低下は問題にならないなどの理由で、水調方式としては水位に応じて負荷を負う方式がしばしばとられていた。

しかし本発電所においては、用水などの理由の他に、低落差であり少しの水位低下も出力に影響し、また、水車を高効率で運転するためにも水位は常に高く保たれることが望ましいところから水位一定方式を採用している。

本水系は 3 発電所が直列につながっているところから、なんらかの理由で発電所を停止しなければならない場合も起り得るが、その場合にも上水そうの水位は一定に保たなければならない。そのために、水車による水調停止時はサージタンク余水吐ゲートに水調の指令が切りかえられ、余水吐ゲートの開閉を行なって水位を一定に保つよう自動的に回路の切り換えが行なわれるようになっている。

第 14 図にその調整回路が示してあるように論理回路において水車による水調運転、余水吐による水調運転がアンド回路の条件により自動的に切り換えられ、同時に安定化のために使用されるダンピング回路も自動的に切り換えられることになる。

これらは調節器をデジタル方式としたことによる大きな特長であって各回路の連絡を完全に無接点にて行なうことができる。



- A_u : 上水そう等価面積 (m^2)
- A_s : サージタンク等価面積 (m^2)
- A_t : 水車流入等価面積 (m^2)
- A_p : 隧道面積 (m^2)
- u_p, u_s, u_t : 各流速 (m/s)
- P : 上水そう出口圧力 (kg/cm^2)
- P_2 : サージタンク入口圧力 (kg/cm^2)

第 15 図 水位調整器使用時の水系の等価図

Fig. 15. Equivalent figure of water course at water level governor operating

各発電所は開放水路の終端に水そう（上水そう）を設け、それより圧力水路により水車、および余水吐に導くわけであるが、水車入口にはサージタンクがあり、水調を行なう場合には上水そうとサージタンクとの間の固有振動があるため、この影響を受ける場合には制御系の安定はとりにくくなる。

すなわち、第 15 図のごとき水路における各部の運動方程式は

$$\rho, L, A_p \frac{du_p}{dt} + \sigma u_p^2 = A_p (P - P_2) \dots\dots\dots(1)$$

およびサージタンクにおいて

$$\rho, A_s, u_s = \frac{A_s}{g} \frac{d(P_2 - P)}{dt} \dots\dots\dots(2)$$

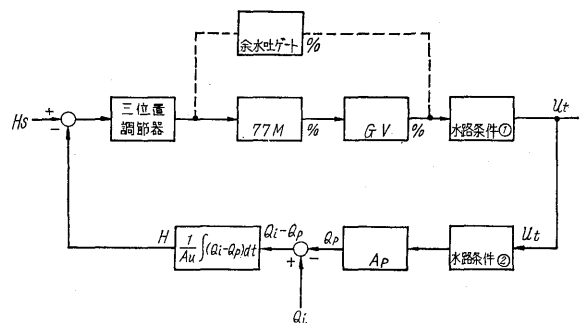
また、連続の定理より

$$\rho, A_p, u_p = \rho, A_s, u_s + \rho, A_t, u_t \dots\dots\dots(3)$$

が成立し、ガイドベーン開度と水車を通過するときの流速との間には次の関係がある。

$$u_t = K \sqrt{P_2} \cdot G \dots\dots\dots(4)$$

- ρ : 水の質量 σ : 損失係数 g : 重力加速度
- K : 定数 G : ガイドベーン開度



第 16 図 水位調整器のブロック図

Fig. 16. Block diagram for water level diagram

水調回路のブロックダイアグラムは第 16 図のごとくで、このうち水路条件 1、および 2 は式(1)~(4)より導いた伝達関数で近似的に次のごとく表わされる。

$$\frac{\Delta u_t}{\Delta G} = \frac{2A}{2A+B} \dots\dots\dots(5)$$

$$\frac{\Delta u_p}{\Delta u_t} = \frac{A}{B} \dots\dots\dots(6)$$

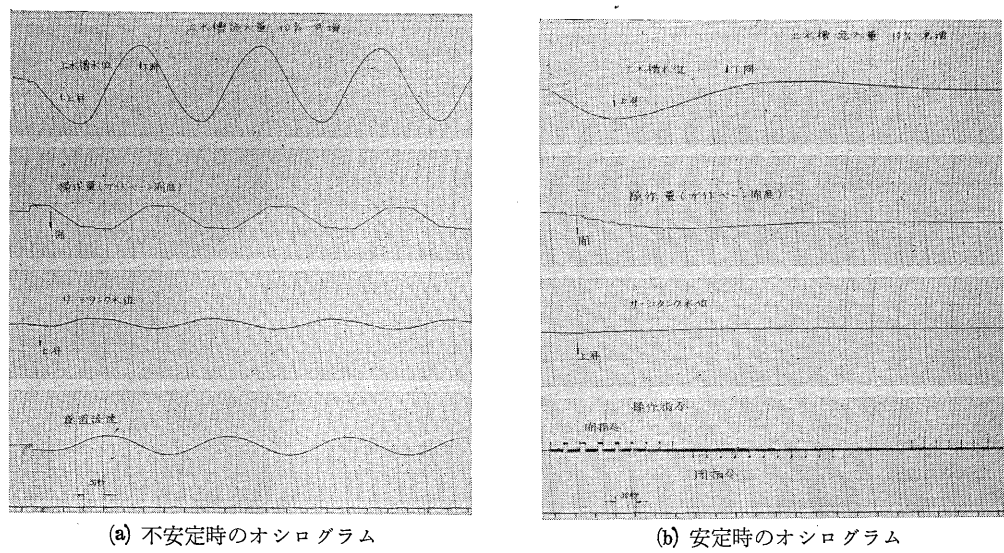
ただし

$$A = \frac{L}{g} \cdot \frac{A_s}{A_p} S^2 + \frac{2\sigma, u_p, A_s}{\rho, g, A_p^2} S + 1$$

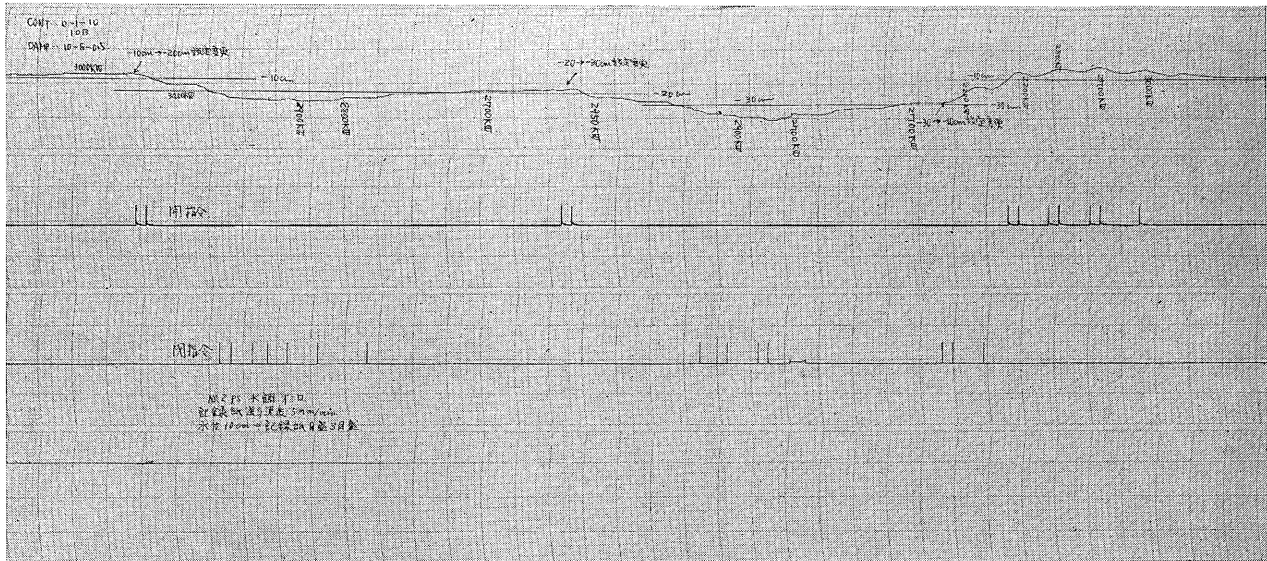
$$B = \frac{\rho, L, u_t, A_t}{P_2 A_p} S + \frac{2\sigma, u_t, u_p, A_t}{P_2, A_p^2}$$

$$S \equiv d/dt$$

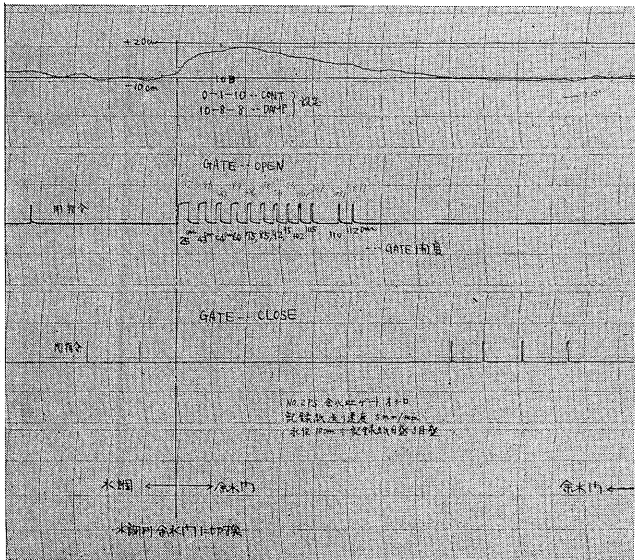
である。



第 17 図 アナコンによる水調の過渡応答の解析
Fig. 17. Analysis of transient response in water level governor by analogue computer



第 18 図 現地における水調試験オシログラム
(水車による場合)
Fig. 18. Oscillogram of water level governor test by water turbine at J2 P.S.



第 19 図 現地における余水吐ゲート制御オシログラム
Fig. 19. Oscillogram of water level governor test by bypass gate valve at J2 P.S.

これらをもとにアナコンにより調節器各部の調整を行なって安定領域の確認を行なったものが第 17 図のオシロである。

また第 18 図は現地における水調運転のオシロである。第 17 図により安定運転の可能なことが証明されるとともに第 18 図からわかるように、このように相当複雑な水系に積分制御の水調を適用する場合にも 3 位置調節器に適当なダンピング回路を付加し、サンプリング時間を調整することにより、従来の接点式調節器とは本質的に異なる良好な結果を得ることになった。この場合 77 M は SCR により駆動される方式としてあるため 3 位置調節器よりでるトランジスタの出力は直接電動機に伝達されることになり、この面でも水位調整回路の安定化に寄与している点大きい。

第 19 図は余水吐ゲートにより水位調整を行なった場合のオシロである。また、チューブラ形水車を使用する水系では落差変動による効率低下を補正するためにランナベーンを動かして高能率運転を行なうのが通例であるが、本発電所においては発電所をはさんだ上流、および下流において常に水位が一定に保たれるところからガイドベーンとランナベーンとの関係はある決った関係に固定しておくだけで、特に、高能率運転装置を設置することなしに、高効率で運転することができる。

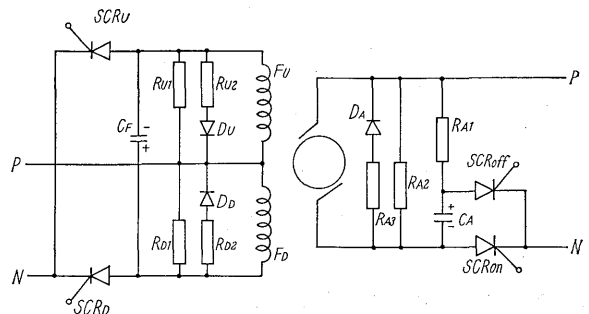
6. 操作電動機の無接点制御装置

前述のトランジスタを用い、無接点化した自動揃速装置、自動水位調整装置および電圧調整装置からの指令により、それぞれ、调速機電動機、負荷制限電動機、ならびに電圧調整用電動機の各電動機を無接点制御する回路としては、これら操作用電動機の制御回路電圧が、一般に DC 110V を定格としているため、現用のトランジスタを用いて直接制御することは電圧の点で不可能であり、したがってシリコン制御整流素子 (SCR) による無接点制御方式を考案、採用した。

第 20 図は本制御方式の基本回路を示す。

図において、電動機の始動、停止は電機子電流の開閉により行ない、この目的で、 SCR_{on} (始動)、 SCR_{off} (停止) がそれぞれ設けられている。一方、各調整装置からの“上げ”“下げ”の操作指令に応じて、電動機の正逆運転方向を制御するためには、電動機界磁を図のごとく中間タップ形式とし、それぞれ上げ方向用界磁 F_U 、下げ方向用界磁 F_D の界磁巻線を設け、そのいずれかを選択励磁するための操作用として、 SCR_U (上げ方向)、 SCR_D (下げ方向) をそれぞれ設けている。

いま、たとえば、上げ操作をする場合には、 SCR_{on} 、



第 20 図 SCR による直流電動機制御回路
Fig. 20. DC motor control circuit by SCR

および SCR_U のゲートに“オン”指令をあたえ通電状態にすれば、上げ方向界磁 F_U が励磁されると同時に、電機子電流が流れ、電動機は上げ方向に回転する。この状態では、 SCR_{off} ならびに SCR_D は“オフ”状態であるため、消弧転流用コンデンサ C_A および C_F はそれぞれ図示の極性で充電されている。

次に停止を行なう場合には SCR_{off} のゲートに“オン”指令をあたえれば SCR_{off} は通電状態となると同時に転流用コンデンサ C_A に充電された電位により SCR_{on} に瞬間的に逆電位が印加されるため消弧され“オフ”状態となり、したがって電動機は停止し、また C_A は始動中とは逆の電位に充電され、次の始動指令のとき SCR_{on} の“オン”により SCR_{off} の消弧の作用を行なう。

また、下げ操作の場合には、同様に SCR_{on} のゲートおよび SCR_D のゲートに“オン”指令をあたえれば、 SCR_D が“オン”と同時に SCR_U は転流コンデンサ C_F の充電電位により消弧され、界磁は下げ方向側が励磁され、電動機は下げ方向に回転する。すなわち SCR_U SCR_D はそれぞれ所定の界磁励磁方向の制御を行なうとともに相互に他 SCR の消弧用としても作用する。

各調整装置のトランジスタ回路から SCR にあたえる制御指令はそれぞれ絶縁して加える必要があり、このため、絶縁用パルス変圧器を用い、調整装置出力トランジスタの出力変化を、パルスに変換し、SCR のゲートに加える方式を採った。

本回路の実際の適用にあたっては、調整装置からのひん繁、かつ任意な制御指令に対しても、確実に追従して、各 SCR が所定の“オン”“オフ”動作を行なうことが要求されるため、特に各転流用コンデンサの充放電時定数と制御指令との時間的協調が、トランジスタ指令制御回路において確実に保たれる方式を採用し、また、発電所内において各種併置強電機器の操作などに伴う、サージあるいは制御電圧変動に対する安定性に対しても

充分に考慮した回路構成を採った。

これら各装置を用いて構成したシーケンスは、開閉器類、リミットスイッチ類、調節器類、すべてが無接点で構成され、出力は 1, 0 の論理出力で連絡されているため、操作の初めから終わりまで一貫してなんら電磁開閉器類を使用せずに信号が伝達される。

シーケンスの作成に当たっては

- (1) 論理素子に万一不良が生じて、他の関連素子とのインタロックにより、不正動作の行なわれないような回路構成を全面的に採用し、
- (2) 万一、不良が生じた場合には不良表示を行ない不良個所の取り換えがすぐできるようにし、できるだけ速く健全状態に復帰できるよう考慮を払っている。

ただ、電磁ソレノイドや、しゃ断器の開閉を指令する信号は電流容量、および誘導等に対し、相当きびしい条件があるため、現段階においては出力段増幅器に電磁継電器を接続し、信号の中継を行なっている。

V. む す び

電力系統機器の保護、ならびに機器の制御関係の静止化につき研究を進めていたが、保護継電装置各種の静止化に引き続き発電所機器の制御についても、今度、静止化を実現することができた。

基本的な素子についての実績は保護継電装置より、そ

の性能がすぐれており、またトランジスタ継電器としての種々の利点を確認してきているが、電力機器の一方の中枢となる発電所の運転制御装置の静止化には保護継電器と違った面で説明しなければならない問題も種々あった。

電力用保護、ならびに機器制御の静止化による各種の利点についてはいまさら言を待たない。

保護継電器の面における、いろいろの実績があったとはいえ、発電所の制御装置としては最初のものであるトランジスタ運転制御装置の使用に踏み切られたご英断に敬意を表するとともに据付、調整試験などに際しても多大のご協力をいただいた北陸電力、関係各位に謝意を表する次第である。

今後ますます、この面での静止化は必至のすう勢にある現在、当社において、これら各方面での静止化の実績を持ったことは、安心して、これら装置を実用し得る自信を得たわけであるが、今後とも、各方面でご使用いただいて、忌憚のないご批判をお願いする次第である。

参考文献

- (1) 小沢、大星：最近の水力発電所の制御方式
富士時報 35 No.11 (昭 37)
- (2) 田岡、鈴木、桜木、浜村：電源開発・奈半利幹線トランジスタ式搬送保護継電装置
富士時報 36 No.7 (昭 38)

技 術 論 文 社 外 公 表 一 覧

(昭和 39 年 4 月受付分)

題 目	所 属	執 筆 者	発 表 機 関
NMRによる固体材料中の水分定量法の検討	中央研究所	島 崎 昭 夫 川 田 紀 右	研究発表会口頭発表 昭 39・4・16
NMRによる固体材料中の水分の測定	中央研究所	佐 倉 武 久 島 崎 昭 夫 川 田 紀 右	第13回年次大会口頭発表
NMRによる固体材料の水分定量法の検討	中央研究所	島 崎 昭 夫 川 田 紀 右	FAPIG 誌 第32号
東海発電所原子炉圧力容器の耐圧および漏洩試験について	東海建設事務所	堀 田 修	FAPIG 誌 第32号
マグノックス発電炉プラント動特性の解析	開 発 部	中 野 秀 男 篠 田 津 明 島 津 幸 三	年会講演 昭 39・4・7
マグノックス発電炉の最適設計	開 発 部	中大 野 幸 男 串 田 庸 夫	年会講演 昭 39・4・8
最近の水車	川) 設計部	上 田 庸 夫	機械の研究誌 昭 39・7 月号
連続型設計とそのチェックポイント	生産技術部	高 橋 幸 雄 中 沢 健 二	プレス技術誌 昭 39・8 月号
組成気体のイオン化ポテンシャルとアーク温度との関係	中央研究所	大 沢 久 男 梅 津 雅 彦	光源研究部会講演 昭 39・5・6



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。