

揚水発電所用デジタル式高能率運転装置

High-Efficiency Digital System Operation Equipment for Pumped Storage Power Station

宮 坂 一 彦* 高 橋 正 樹*
Kazuhiko Miyasaka Masaki Takahashi

小 松 凱** 松 尾 六 郎**
Gai Komatsu Rokurô Matsuo

内 容 梗 概

揚水発電所では上部ダムおよび下部ダムの水位差に応じて案内羽根開度を調整して高能率運転を行なう必要がある。今回関西電力株式会社三尾発電所にデジタルテレメータ方式高能率運転装置が設置され、運転にはいった。

本装置は水位差応動案内羽根開度調整装置と、デジタルテレメータ方式の水位計からなっている。

水位差応動案内羽根開度調整装置は発電電動機の許容量内で最大効率の揚水が行なわれるよう水位差と案内羽根開度に折線特性をもたせている。

デジタルテレメータ方式の水位計は従来のアナログ方式に比べ高精度のもので、無接点化により接点障害の心配をなくしたものである。

1. 緒 言

関西電力株式会社三尾発電所は出力 34,000 kW で同社では最大の揚水発電所であり、1.6 km 下流に計画中的の木曽発電所ダムより豊水期や夜間の余った水を 2.7 km 上流の愛知用水公団牧尾ダムに揚水し、渇水期や日中のピーク時に発電して下流の出力増加を期待するとともに電力系統運用の高能率化を目的としている。

揚水発電所ではポンプ水車の特性に応じて揚水時にはできるだけ運転効率を高めるために、あるいは発電時の円滑確実な起動のために上、下両ダムの有効水位差に応じて案内羽根開度を最適値に整定する水位差応動案内羽根開度調整装置が必要である。このためには水位差を高い精度で検出することが前提条件であり、三尾発電所では最大 143 m の水位差に対し 1 cm の高精度測定が必要である。

従来のアナログ形水位記録計などの組合せでは、検出部、操作部を総合して 2% 以上の精度は望めないのがデジタル方式を採用することにした。これにより上、下両ダムのそれぞれの水位はもとより、水位差においても精度 1 cm 以内、0.02% 以上の高精度が得られるようになった。

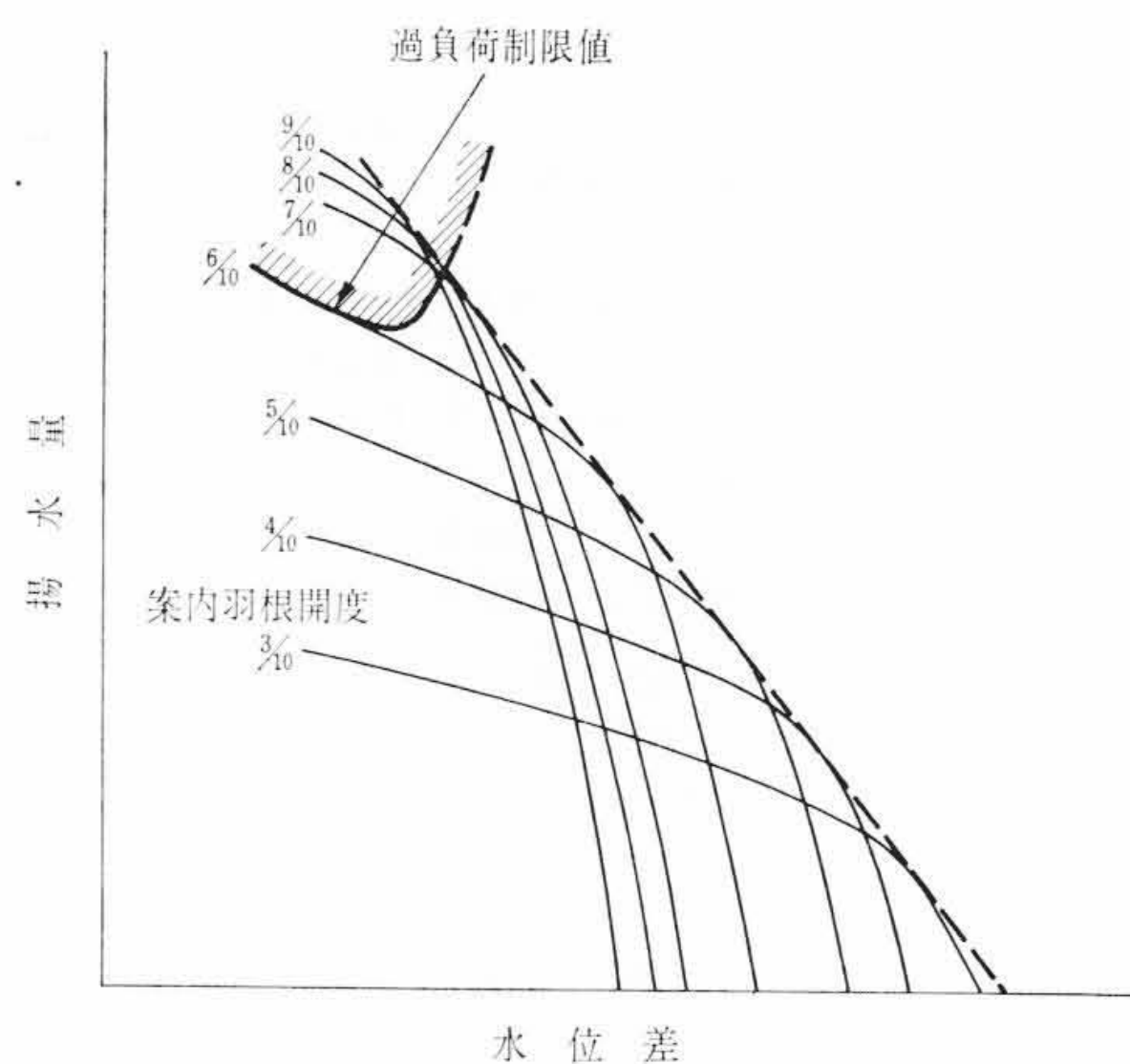
デジタル水位計は常時伝送表示のため、繰返し掃引を必要とするが、トランジスタを使用して無接点化することにより接点障害の心配をなくし、高精度の制御を行なうことができた。

2. 揚水発電所の水量制御

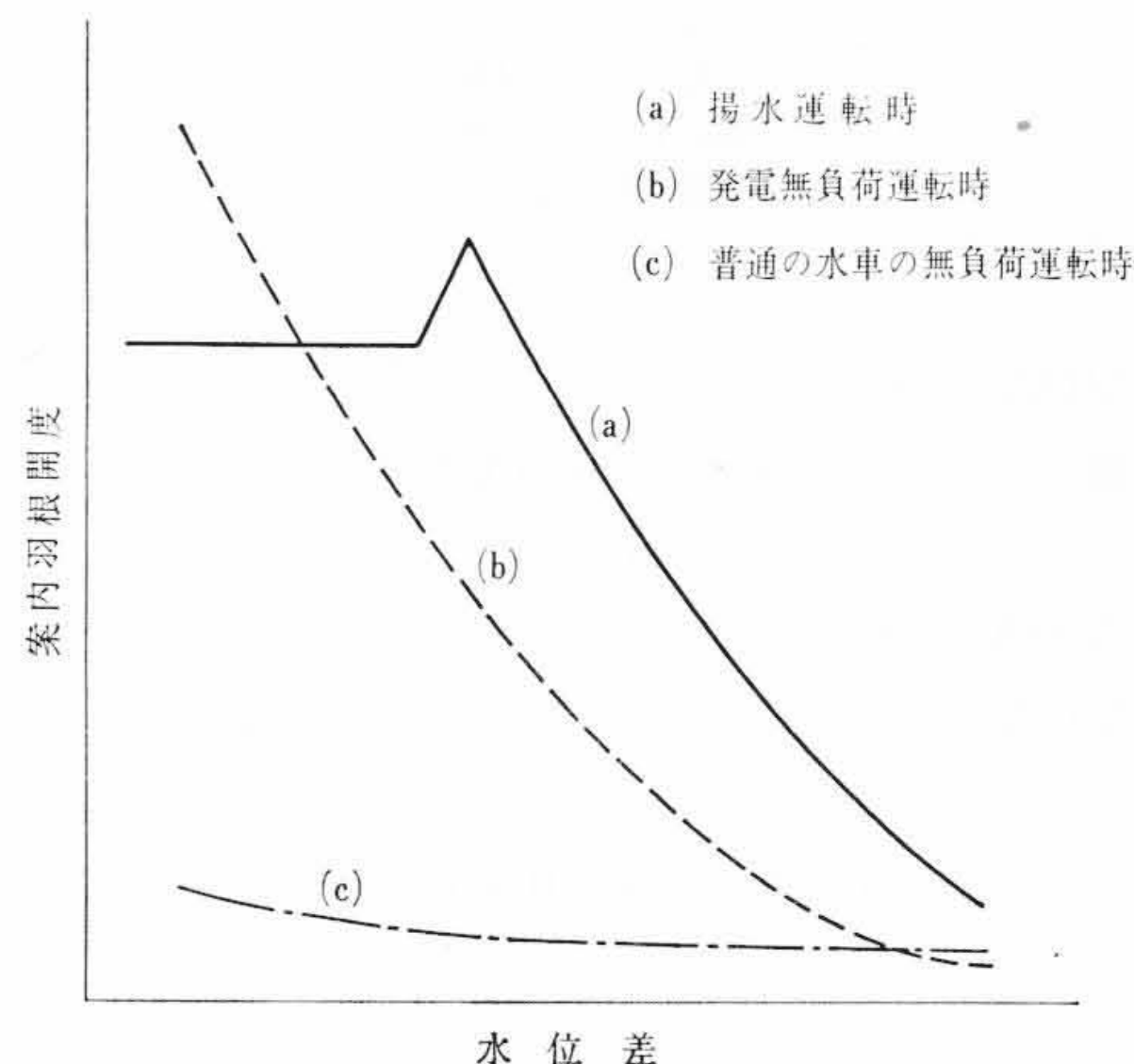
一般に揚水発電所では上、下両ダム水位変動が大きく、特に本発電所では水位差が 143 m から 93 m に、変動幅が 50 m にも及ぶのでこれに対して揚水運転を効率よく行なうため、また水車運転時、起動並列制御を円滑確実に行なうために、あらかじめ上、下両ダム水位差に応じて最適のポンプ水車案内羽根開度に調整しておく必要がある。

揚水運転時の水位差と流量の関係を、案内羽根開度をパラメータとして表わしたのが第 1 図である。本図から明らかなように水位差が大きいたくには、かえって案内羽根開度を小さくしたほうが揚水量が大きくなり、各水位差において最適の開度があることがわかる。

ポンプ水車ではポンプ入力案内羽根開度を変えてもほとんど変わらない。したがって第 1 図において各水位差の最大流量の点を結べば最適の案内羽根開度がえられる。しかし、低水位差ではそのま



第 1 図 水位差-揚水流量特性



第 2 図 水位差-案内羽根開度特性

までは流量が増大するので、これに必要なポンプ駆動入力が増大するため、発電電動機が過負荷にならないよう案内羽根開度を制限する必要がある。三尾発電所について水位差と最適の案内羽根開度との関係を第 2 図(a)に示す。発電電動機の過負荷制限があるため、ある水位でピークがあることが明らかとなっている。揚水時の効率を高く保つためには上述の運転特性に対し少なくとも $\pm 2\%$ の精度内で追随制御することが望ましい。

次にポンプ水車ランナは普通の水車ランナより羽根の長さが長い

* 関西電力株式会社

** 日立製作所国分工場

特異な形状になっているため水車運転時の無負荷開度は水位差によって大幅に変化する。この関係を同じく第2図(b)に示す。したがって水車起動、调速および自動揃速を円滑かつ迅速に行なわせるために、あらかじめ案内羽根を水位差に応じた所要無負荷開度に整定しておく必要がある。比較のために普通の水車の無負荷開度特性を第2図(c)に示してあるが、その相異がよくわかる。

三尾発電所では上、下両ダムはかなり遠距離にあるので、揚水開始時あるいは負荷遮断時の圧力変動は大きくなる。これを押えるために近くにサージタンクを備えているが、特に揚水開始時のサージタンク水位変動を小さくするために、案内羽根を少し開いた後、一定時間をおいて、はじめて開度調整装置を付勢し、動作を開始させる。その後の案内羽根の開く速度も後述のように可変として、いっそう安全なものとしている。

3. 高能率運転装置

3.1 制御原理

高能率運転装置の制御方式を第3図に示す。デジタル水位差発信D-A変換器で水位差に比例した抵抗値の抵抗を得て、案内羽根開度調整装置の水位差検出用を使用する。一方、案内羽根には開度に応じて変化する揚水運転用と発電無負荷運転用の折線スライド抵抗を取り付けており、この水位差用抵抗と案内羽根のスライド抵抗とでブリッジを形成している。

ブリッジの対応する辺の抵抗値が平衡していないとき、すなわち水位差に応じた案内羽根開度がえられていないときには、ブリッジに差電流が流れて検出用小入力磁気増幅器MAD、電力増幅用磁気増幅器MARおよびMALによって増幅されて、調整用リレー77Wが動作する。77Wが動作すれば操作用リレー77Wあるいは77WLを介して負荷制限用電動機77Mが動作し、案内羽根が水位差に応じた開度まで開いて平衡する。

案内羽根の開き方も第4図(a)実線のように上、下ダム用サージタンクの水位があまり変動しないように案内羽根を一たん小開した後、一定時間そのままの開度にしておいてから徐々に最終の規定開度まで開くよう制御速度について考慮されている。一定の休止時間をおかないときは第4図(b)点線のように大きな水位変動があるのでその害を防ぎ、安全な運転をさせているのである。

3.2 制御装置

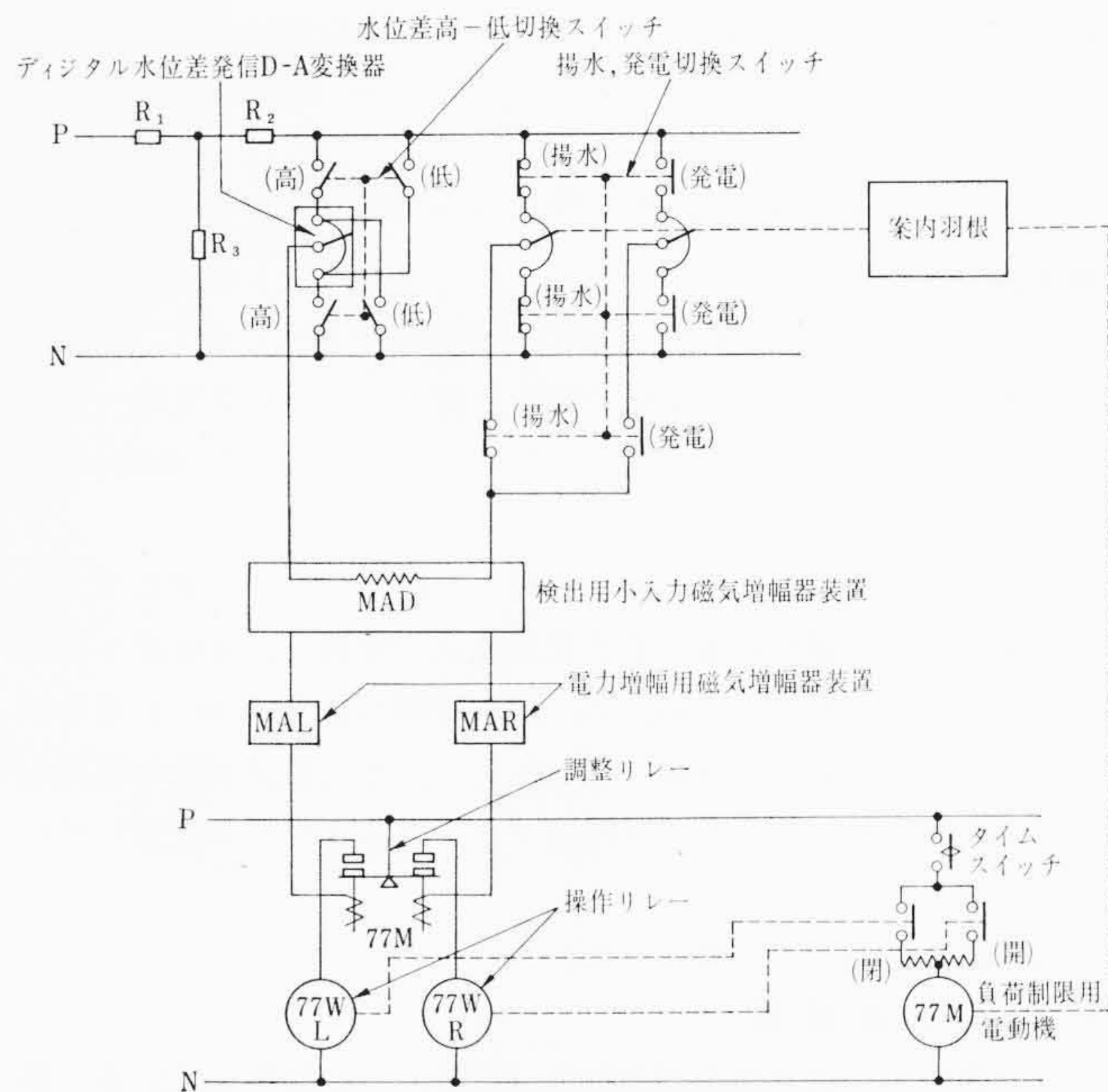
三尾発電所用水位差応動案内羽根開度調整装置の構成は次のとおりである。

- (1) 水位差発信D-A変換器
- (2) 案内羽根開度発信折線スライド抵抗（揚水運転用および発電無負荷運転用各1個のサーボモータに取付）
- (3) 検出用小入力磁気増幅器装置
- (4) 電力増幅用磁気増幅器装置
- (5) 調整用リレー、操作用リレーおよびタイムスイッチ
- (6) 負荷制限装置
- (7) 揚水-発電切換装置、高-低水位差切換装置

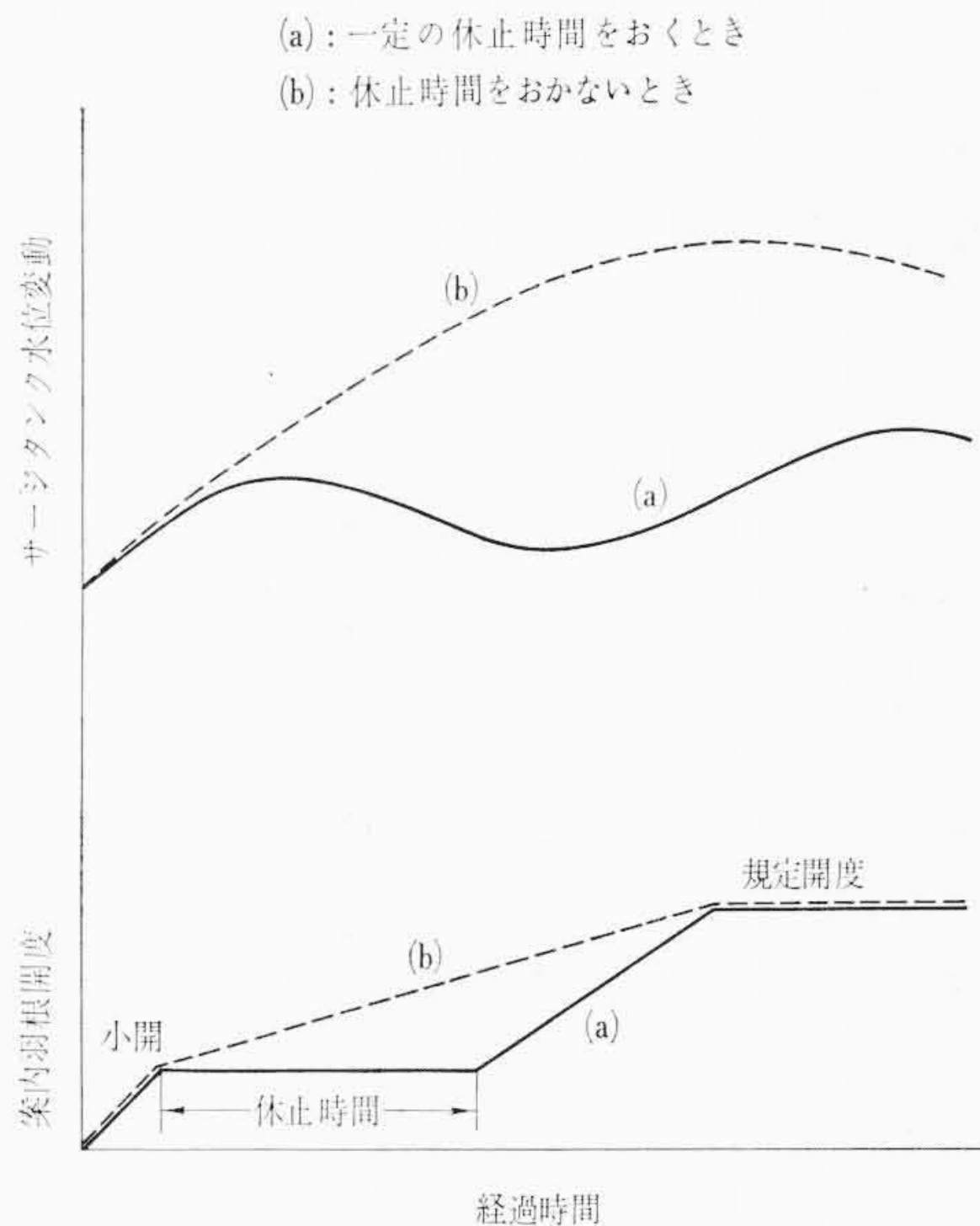
(1)は後述のデジタル水位指示装置に収納され、(2)、(6)はガバナキャビネットのサーボに装着されている。そのほか(3)～(5)、(7)はすべて開度調整器キュービクルに収納され、保守点検に便利なものとなっている。開度調整器キュービクルの外観を第5図に示す。

3.3 制御特性

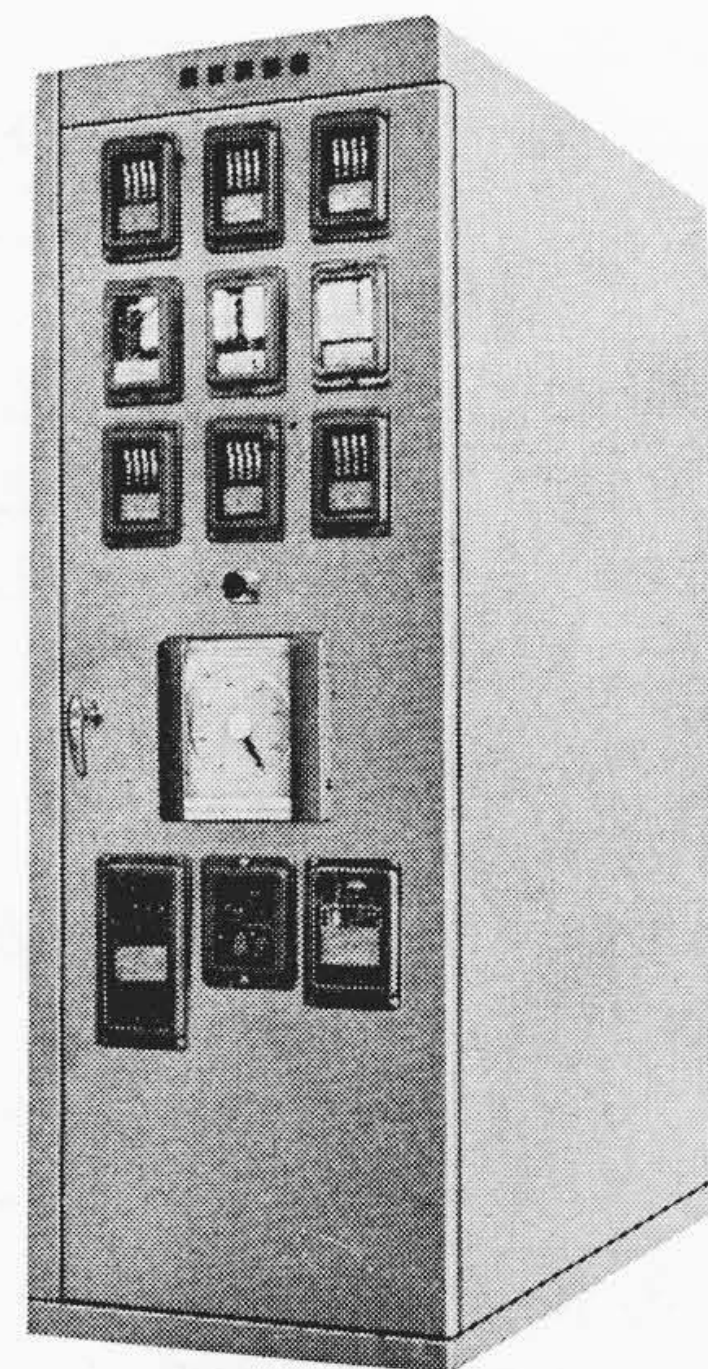
水位差-案内羽根開度特性の工場試験結果を第6図に示す。この試験においては水位差に応ずる抵抗値、すなわち水位差を横軸にと



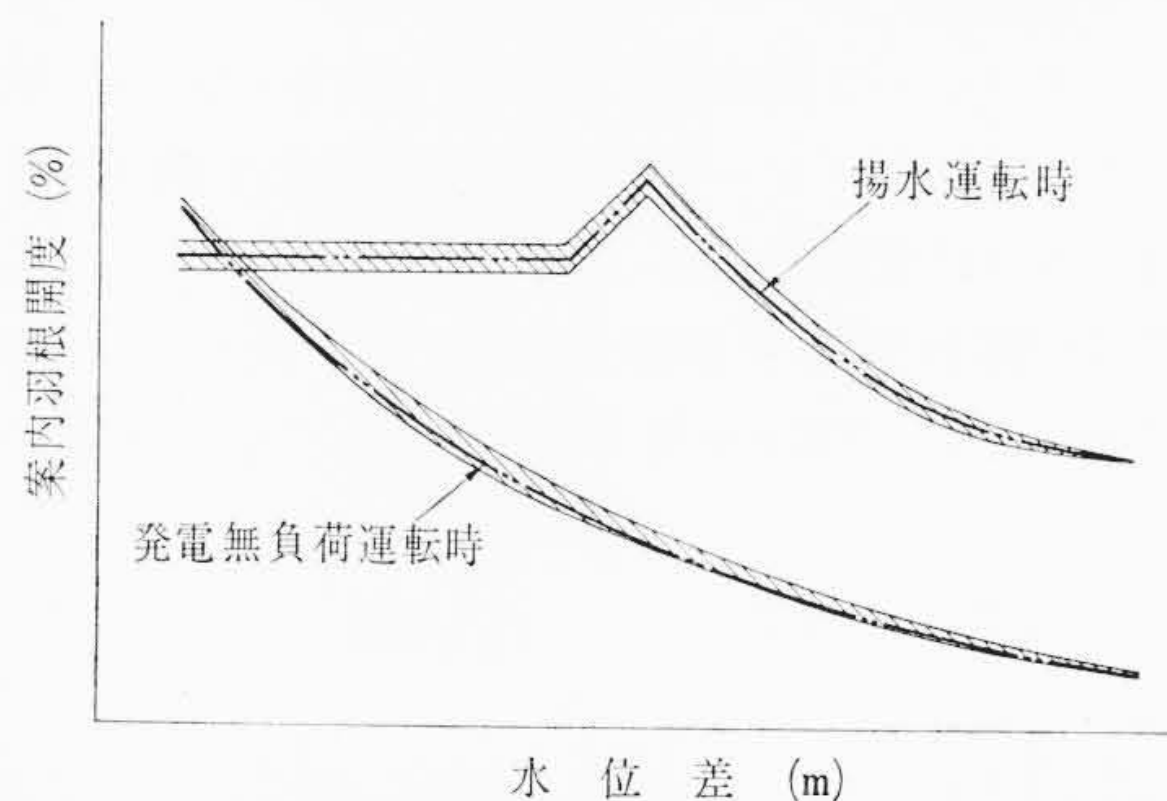
第3図 水位差応動案内羽根開度調整装置制御方式説明図



第4図 案内羽根制御速度とサージタンク水位変動特性



第5図 開度調整器キュービクル



第6図 水位差-案内羽根開度制御特性工場試験結果

り、案内羽根開度用折線スライド抵抗値、すなわち案内羽根開度を縦軸にとってある。一点鎖線で示すものが、揚水運転時の理想的な水位差-案内羽根開度特性であり、二点鎖線で示すものが、発電無負荷運転時の理想的な水位差-案内羽根開度特性である。斜線を施してある部分へ案内羽根が整定されており、実測制御誤差は $\pm 0.2\sim$

±1.8%におさまり、要求性能の誤差±2%を十分満足する結果をえている。

4. デジタルテレメータ装置

第7図のブロックダイアグラムに示すとおり、約10km離れた測水範囲50mの上部ダム水位と、約2km離れた測水範囲17mの下部ダム水位を、それぞれ1cmの精度で測定して三尾発電所へ伝送している。たとえば、872 m 18 cm などのように、EL(標高)で表示する。

従来の方式と異なる点は、約1.3秒ごとにサンプリングして、信号伝送装置により雑音に強いFS変調方式で変調し、常時繰り返して伝送している点である。このため、伝送時間が短く、呼出し用の回線および装置が不要で、機構が簡単になり、また伝送回線の監視も可能である。なお、上部ダム水位はプリンタにより印字記録している。

次に各部の詳細について述べる。

4.1 水位送信器⁽¹⁾

水位の数値化にはコードプレート(符号板)を使用している。第8図は説明図、第9図は外観図である。水位の変化により、測水孔に浮べたフロートが上下し、テープを介してホイールが回転し、ブラシに伝えられる。ブラシは0.5 cm, 1 cm, 10 cm, 1 m, 10 mの各けたにわかれ、回転しつつ符号板を走査し、止った位置のコードプレート回路により、10進法0~9に相当する ${}_5C_2$ (2 out of 5)符号を作る。これを第1表に示す。表中「1」は回路閉、「0」は回路開で、この符号を使用すれば、5個の符号の内、「1」が必ず2個あるので正誤をチェックできる。

なお、符号板による数値化の際、2数字の境界における符号誤りをさけるため、0.5 cmの変化ごとに2個のブラシを切替へ使用して不確実な符号の読み取りをしないよう留意している。

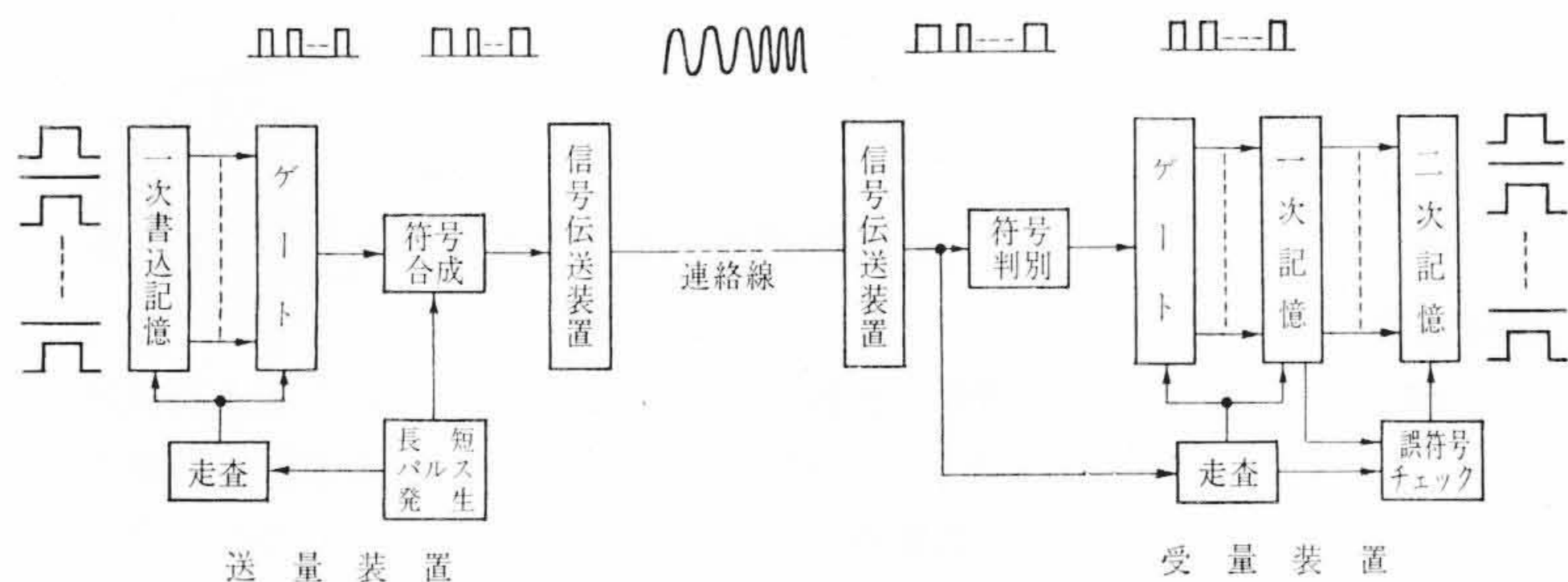
4.2 送量装置

送量装置はコードプレートで得られる、並列信号を直列信号に変換する装置で、第10図に送受量装置のブロックダイアグラムを、第11図に送量盤を示す。

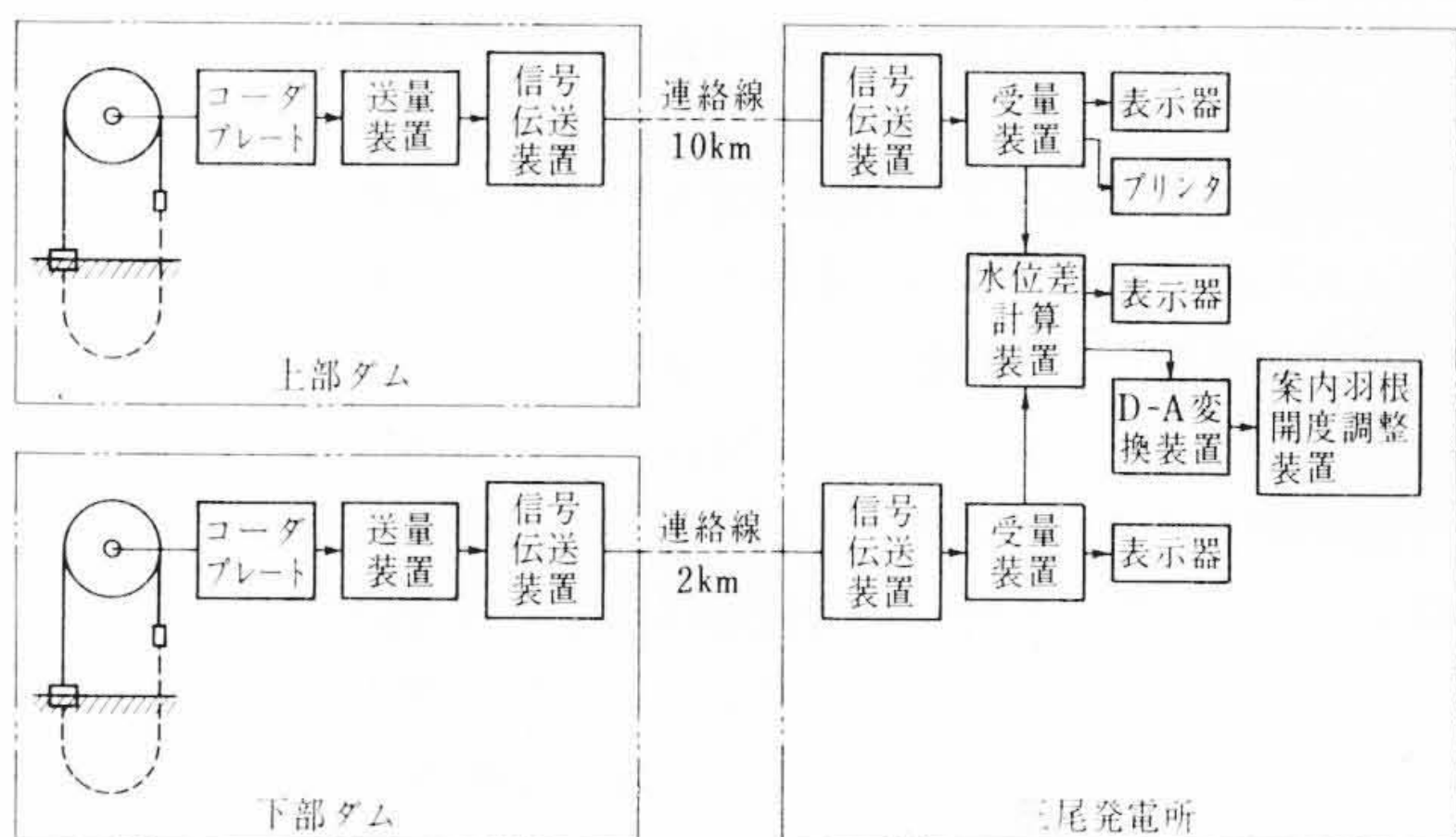
コードプレートの出力は4けたの ${}_5C_2$ 符号で、これを送量中水位が変化しても符号誤りがないよう、いったん一次記憶回路に記憶する。次にゲート回路を順次走査すると、コードプレートが回路閉のときゲートが開くので、出力には符号の「1」、「0」とパルスの有無が対応して時間的に直列なパルス列が発生する。

符号合成回路では、ゲート回路の出力にパルスがある場合は(コードプレート回路閉)長パルス信号発生回路が、またパルスがない場合は(コードプレート回路開)短パルス発生回路が、それぞれ接続されるので、コードプレート出力の水位信号は第12図のような長短の直列パルスに変換される。

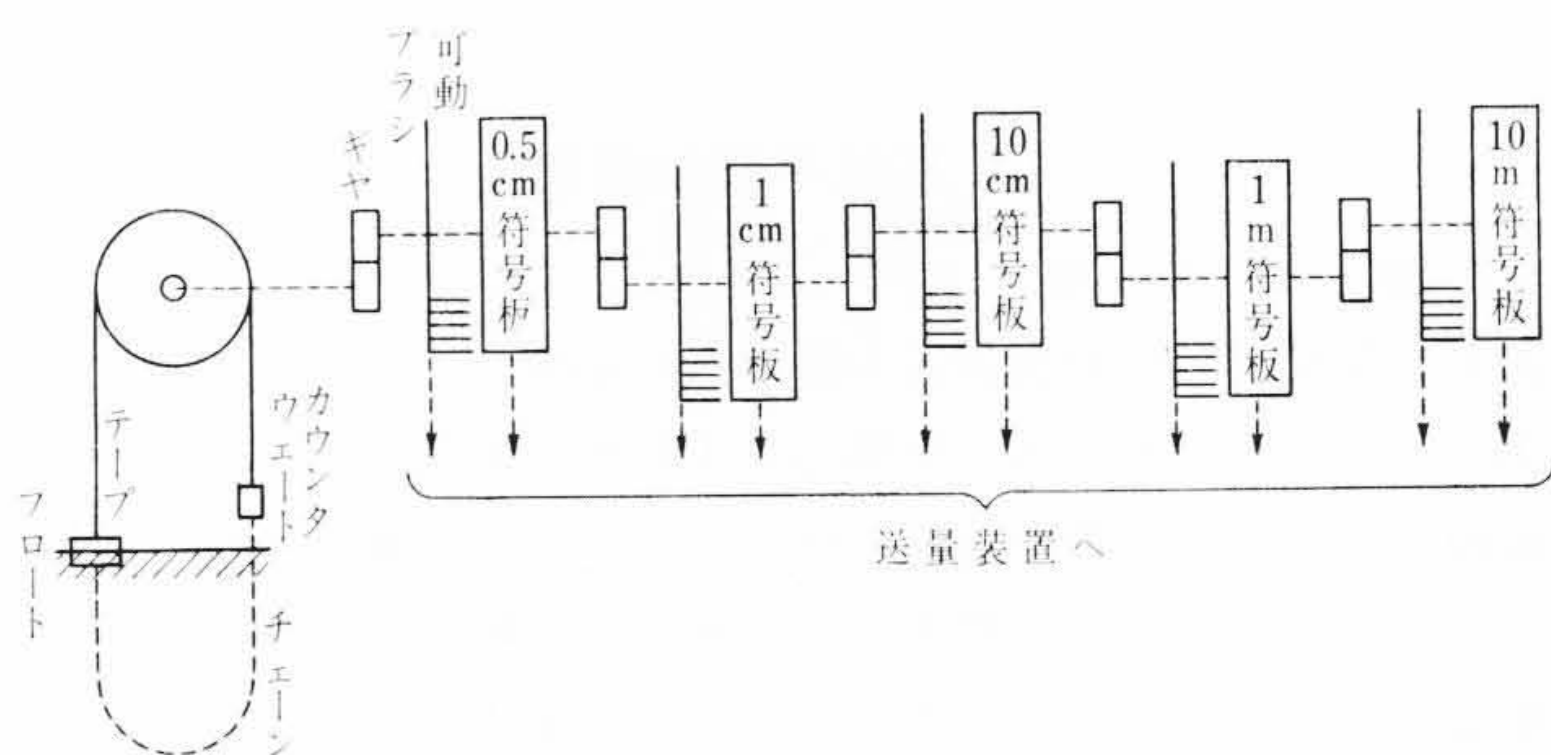
なお、信号回線が50ボウ回線であるため、長パルスを40 ms、短パルスを20 msとし、120 ms 符号を送らないで、1周期のスタート



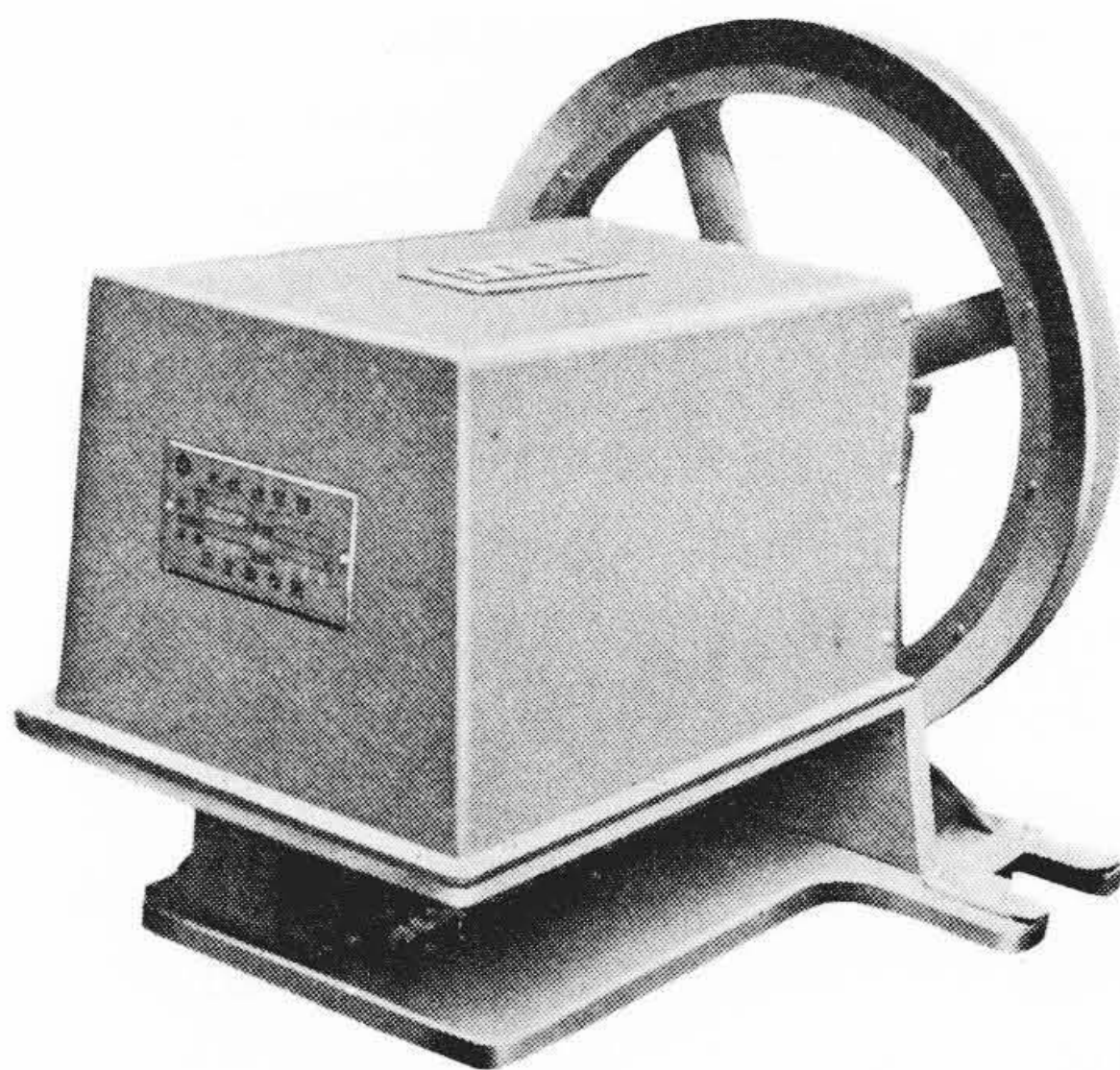
第10図 送受量装置ブロックダイアグラム



第7図 デジタルテレメータブロックダイアグラム



第8図 コードプレート説明図



第9図 水位送信器

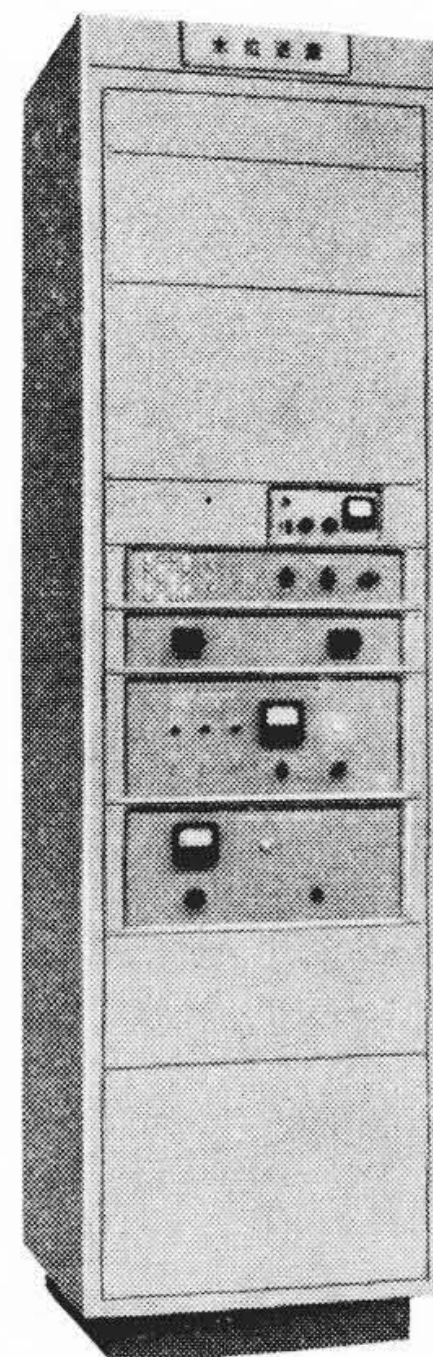
とストップを定める同期信号を得ている。

4.3 信号伝送装置

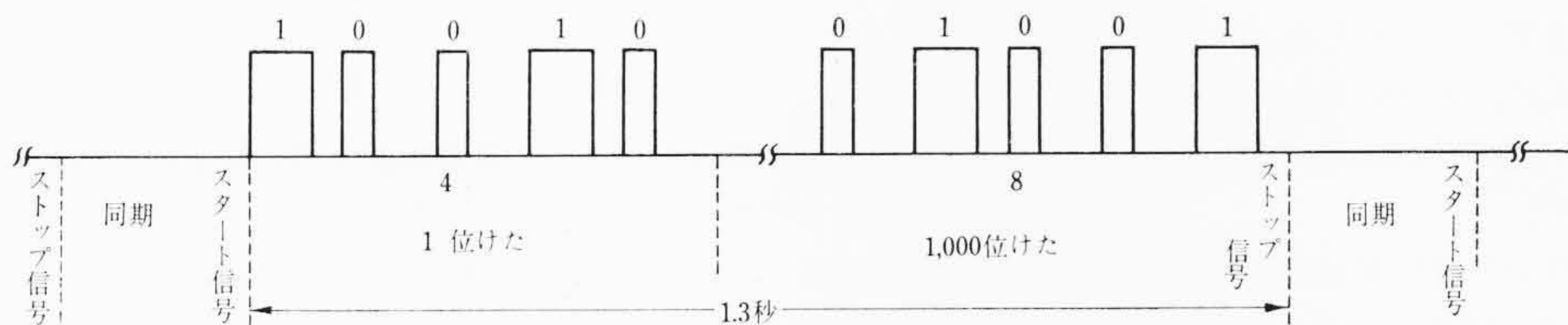
425 c/sを基準とし、170 c/s間隔で副搬送波群を音声帯域内に並べ、パルス伝送に使用するもので、信号方式は周波数偏移(FS)信

第1表 ${}_5C_2$ 符号構成表

${}_5C_2$	R	1	2	4	7
10進数					
1	1	1	0	0	0
2	1	0	1	0	0
3	0	1	1	0	0
4	1	0	0	1	0
5	0	1	0	1	0
6	0	0	1	1	0
7	1	0	0	0	1
8	0	1	0	0	1
9	0	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1



第11図 水位送量盤



第12図 伝送波形

号方式である。

本テレメータ用としては、伝送特性のよい 1,150 c/s のチャンネルを使用している。周波数偏移は ± 35 c/s で、マーク時 1,070 c/s、スペース時 1,140 c/s である。

4.4 受量装置

受量装置は直列信号を並列信号に戻す装置である。第13図の左側が水位受量盤、右側が後述の水位計算盤、机上が上部ダム水位を印字するプリンタである。

信号伝送装置により復調された長短の直列信号を符号判別回路で判別し、長パルスのときゲート回路に出力を与える。一方、入力信号によってトリガされる走査回路でゲート回路を順次制御すれば、判別回路の出力があるとき(1符号のとき)条件が成立して、ゲートを開き一次記憶回路に記憶する。ここで送受量装置の走査回路は互いに同期しているので、一次記憶回路の出力には、もとの並列信号が組み立てられる。

次に、この一次記憶回路に記憶されている信号が $5C_2$ を満足した正符号であるかどうかチェックし、さらに二次記憶回路に記憶されている符号と比較して、違った符号だけが同期信号のストップ信号で移し替えられ、符号変換回路で純10進数に変換される。したがって水位が変化した場合、変化しただけが瞬間的に表示を更新し、水位差を計算する。

一次記憶回路の記憶内容は、スタート信号でリセットされて次に送られてくる信号を順次記憶する。

5. 水位差計算装置

上部ダム水位は EL 831.00 より 881.00 m まで、下部ダム水位は 734.00 から 751.00 m まで、それぞれ任意に変化する。本装置ではこの水位差を常に計算して表示するとともに、アナログ量に変換して案内羽根の開度調整に供している。

第14図は本装置のブロックダイアグラムである。水位は前述のとおり $5C_2$ 符号で送られてくるが、これを純10進数に変換して計算する。

上、下部ダム水位の E_L をそれぞれ H 、 L 、水位差を D とし、

$$H = 10^4 A_h + 10^3 B_h + 10^2 C_h + 10 D_h + E_h$$

$$L = 10^4 A_l + 10^3 B_l + 10^2 C_l + 10 D_l + E_l$$

$$D = 10^4 A_d + 10^3 B_d + 10^2 C_d + 10 D_d + E_d$$

で表わせば、 $A_h=8$ 、 $A_l=7$ であるから、常に $A_h > A_l$ 、したがって $H > L$ 、 $D > 0$ である。しかし、 B_h 、 B_l …… E_h 、 E_l は 0 から 9 まで任意に変化するので、 $E_h < E_l$ のときは D_h より、 $D_h < D_l$ のときは C_l より、…… $B_h < B_l$ のときは A_h より、それぞれけたを借りなければならない。

このように、けた借の必要が生じた場合は、すぐ上位けたの数を減らすとともに、けた借条件も変えて計算する。

なお、計算可能範囲は

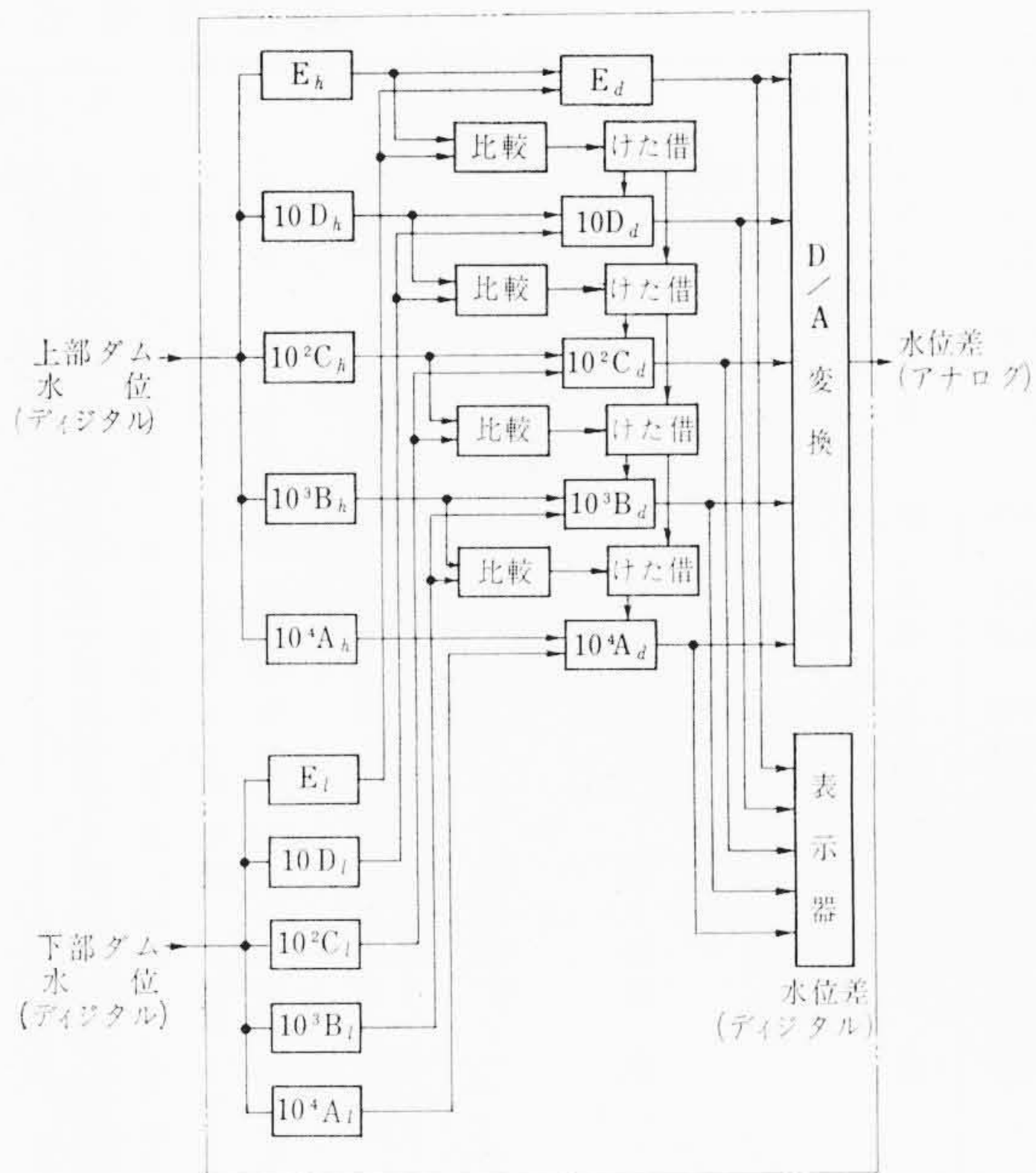
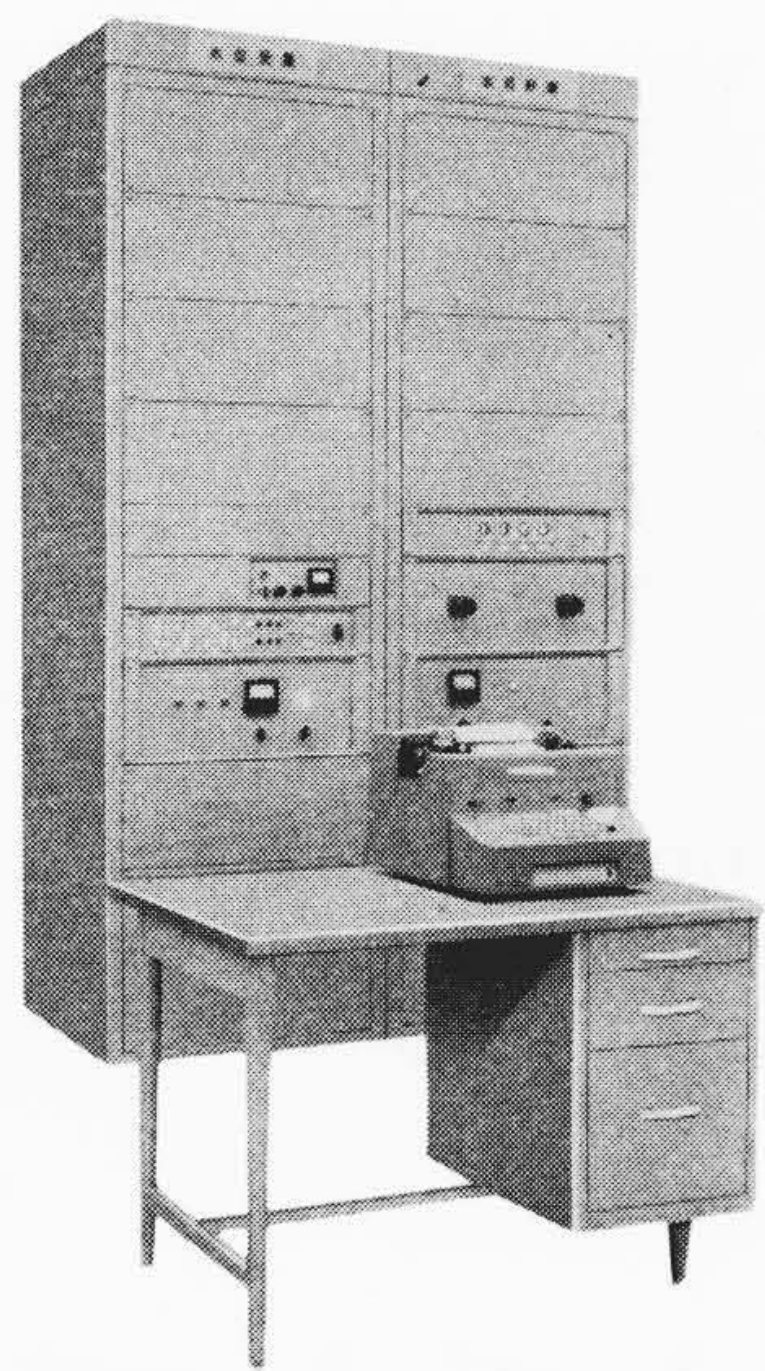
$$H = 899.99 \sim 800.00$$

$$L = 799.99 \sim 700.00$$

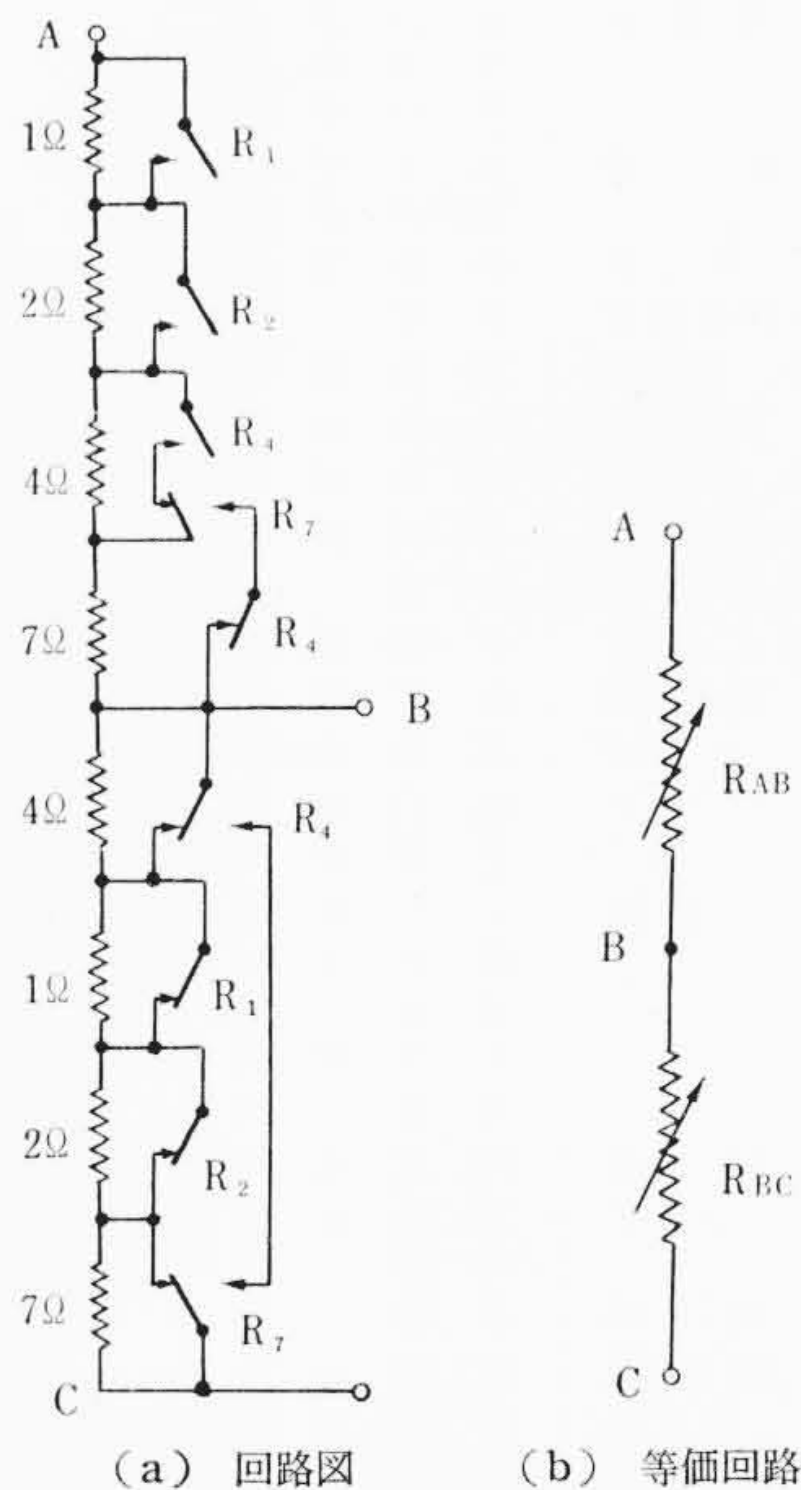
$$D = 199.99 \sim 000.01$$

で、所要時間は 20 ms 以下である。

第13図 三尾発電所設置
水位受量盤および水位
計算盤、プリンタ



第14図 水位差計算回路ブロックダイアグラム



第15図 D-A変換回路説明図

第2表 D-A変換対照表

出力 入力	R_{AB} (Ω)	R_{BC} (Ω)	$R_{AB} + R_{BC}$ (Ω)
1	13	1	14
2	12	2	14
3	11	3	14
4	10	4	14
5	9	5	14
6	8	6	14
7	7	7	14
8	6	8	14
9	5	9	14
0	14	0	14

本装置は純10進数の論理回路によって計算しているため、計算の誤りがなく、また回路がシンプルであるため、保守が容易である。

第 15 図に D-A 変換の原理図を示す。(a)図が回路図、(b)図が等価回路、第 2 表は D-A 変換対照表である。

水位差が増加すれば、BC間の回路が開いて抵抗 R_{BC} が増加し、またAB間の回路は閉じて抵抗 R_{AB} は、AC間の抵抗 $R_{AB}+R_{BC}$ を一定に保ちつつ減少する。たとえば、デジタル符号が5の場合は、AB間の接点 R_1 と R_4 が閉じて R_{AB} は 9Ω 、BC間の接点 R_1 と R_4 は開いて 5Ω となる。なお0の場合は、AB間は R_4 と R_7 が付勢されて 14Ω 、BC間は R_4 と R_7 でショートされて 0Ω となる。本装置の誤差は1%以下である。

6. 結 言

以上、関西電力株式会社三尾発電所用水位差応動案内羽根開度調整装置および水位テレメータ装置からなるデジタル式高能率運転装置について述べた。有効水位差143 mから93 mに及ぶ広い水位差変動範囲において揚水効率を最大にするために、水位差応動案内羽根開度調整装置を使用した。特に用水効果を高めるため新しく水位測定精度1 cmのデジタル方式を採用して、総合誤差2%の精密調整を可能とした。この装置はまたポンプ水車の特異性による起動制御にも必須のもので、揚水、発電運転においてともに大きな効果をあげることが期待される。

参 考 文 献

(1) 中野, 鈴木: 日立評論 42, 1272 (昭 35-12)



特 許 と 新 案



最近登録された日立製作所の特許

特許番号	名 称	氏 名	特許登録日	特許番号	名 称	氏 名	特許登録日
586726	回 転 機 微 速 度 検 出 装 置	清 水 勝 良	38. 12. 27	729645	漏 洩 防 止 装 置	逢 沢 喜 子	38. 12. 27
586727	気 化 器	宝 諸 幸 男	"			原 尚 一	
586728	ブラウン管と保護ガラス間の防塵パッキング装置	片 桐 治 雄	"	729646	万 能 支 持 金 具	多 治 見 貞 夫	"
586729	摺 動 弁 式 気 化 器	佐 藤 清 勇	"	729647	軸 封 装 置	湯 池 恒 夫	"
586730	自 動 周 波 制 御 装 置	川 井 文 義	"	729648	加 熱 炉	伊 藤 芳 安	"
729610	熱 交 換 器	安 井 立 口	"	729649	自 動 車 格 納 用 枠 組	林 川 富 久	"
729611	放 射 線 利 用 レ ベ ル 計 室	関 田 義 哉	"	729650	音 響 機 器 の 表 示 装 置	石 森 俊 郎	"
729612	電 子 顕 微 鏡 試 料 室	松 林 実 公 男	"	729651	転 軸 受 取 付 装 置	若 神 大 二	"
729613	自 動 極 性 切 換 装 置	三 村 哲 雄	"	729652	空気遮断器を収納するスイッチキュービクル	神 大 本 政 治	"
729614	ロ ー タ リ ー ス イ ッ チ	鷲 見 嘉 義 昌	"	729653	X 線 透 視 台 の テ ー ブ ル 移 動 制 限 機 構	大 本 原 昭 男	"
729615	懸 架 装 置	海 野 原 幸 明	"	729654	粉 体 排 出 装 置	石 塚 達 洋	"
729616	制 限 開 閉 器 作 動 装 置	岩 地 雅 幸	"	729655	コ ン ク リ ー ト パ ケ ッ ト	矢 内 正 二	"
729617	同 調 ダ イ ヤ ル 変 速 装 置	海 野 重 久	"	729656	制御極付半導体整流器を用いた直流リレー	片 岡 崎 勇	"
729618	風 圧 継 電 器	木 村 浩 治	"	729657	小 型 リ レ ー 接 触 子	山 崎 新 雅	"
729619	温 度 継 電 器	大 井 田 繁 雄	"	729658	電 子 線 加 速 装 置	山 谷 中 田	"
729620	感 熱 器	関 渡 幸 房	"	729659	磁 気 吹 消 用 カ ー ド	藤 中 又 伸	"
729621	圧 力 開 閉 器	渡 猿 山 誠	"	729660	複 式 気 化 器	菅 俣 博 陽	"
729622	原子炉制御棒の位置指示装置	渡 山 信 一	"	729661	のぞき穴せん兼潤滑環おさえ	山 路 通 三	"
729623	電子顕微鏡等の試料冷却装置	平 井 嘉 代 治	"	729662	押 釦 開 閉 器	木 下 忠 夫	"
729624	マイクロモジュール用基板	西 井 一 郎	"	729663	小 形 電 磁 リ レ ー	館 堀 伊 藤	"
729625	空 気 汙 過 装 置	新 井 修 澄	"	729664	小 形 電 磁 リ レ ー	伊 藤 山 寛	"
729626	ユニット引抜治具	岡 村 香 定	"	729665	誘 導 型 過 電 流 継 電 器	森 山 井 崎	"
729627	昇降機駆動用分巻電動機の制御装置	岡 村 存 哉	"	729666	小形電磁リレーにおけるアーマチュアの支持装置	渡 矢 森	"
729628	手 動 制 御 器 操 作 装 置	池 外 上 立 郎	"	729667	板 状 燃 料 に よ り な る 燃 料 要 素	江 米 頭	"
729629	横 形 手 動 制 御 器	黒 光 明 雄	"	729668	電 気 缶 切 機 永 久 磁 石 支 持 装 置	高 橋 達 一	"
729630	手 動 制 御 器 の デ ッ ド マ ン 装 置	稲 野 寛 美	"	729669	端 子 接 続 盤	秋 谷 田 山	"
729631	車輛両手動制御器のデッドマン操作装置	森 山 寛 造	"	729670	配 線 端 子 接 続 装 置	三 中 川 右	"
729632	電子顕微鏡等の試料保持装置	高 橋 健 造	"	729671	押 釦 開 閉 器 の 押 釦 取 付 装 置	松 井 政 博	"
729633	電子顕微鏡等の試料熱変化装置	高 橋 健 造	"	729672	ベ ー タ ト ロ ン 電 子 入 射 装 置	金 沢 井	"
729634	電子顕微鏡等の試料支持筒	高 橋 健 造	"	729673	電 気 缶 切 機	桜 俣 又 伸	"
729635	メ カ ニ カ ル シ ー ル	高 木 村 力	38. 12. 28	729674	電 気 缶 切 機 の ス イ ッ チ 装 置	菅 橋 達 隆	"
729636	速 断 性 ヒ ュ ー ズ	白 石 香 澄	"	729675	電 氣 的 空 気 清 浄 装 置	高 萩 谷 隆	"
729637	ウエスコポンプの騒音防止装置	白 石 香 澄	"	729676	電 氣 的 空 気 清 浄 装 置	萩 谷 藤 文	"
729638	ウ エ ス コ ポ ン プ	武 田 政 次 郎	38. 12. 27	729677	空 気 清 浄 装 置	安 松 本 一	"
729639	ウ エ ス コ ポ ン プ	綿 引 重 彦	"	729678	電 氣 集 塵 器 の 放 電 極	安 松 本 一	"
729640	パ ッ キ ン グ 装 置	伊 藤 勝 俊	"	729679	線 型 電 子 加 速 器 用 組 立 式 加 速 管	稲 野 辺 房	"
729641	ブ ロ ヲ の ケ ー シ ン グ	小 藤 川 勝 俊	"	729680	小 型 空 気 清 浄 機	若 木 松 義	"
729642	堅 型 電 磁 制 動 機	清 水 勝 一	"	729681	電 氣 集 塵 器 の 集 塵 極	牧 田 見 文	"
729643	遠 隔 操 作 に よ る 蓋 開 閉 装 置	竹 添 夫 夫	"			逸 藤 彦 生	"
729644	堅 型 電 磁 制 動 機	門 馬 光 雄	"			斎 荒 持 也	"
		高 井 昌 茂	"			諫 大 牧 二 清	"
		服 部 一 恒 三	"				
		江 内 藤 風	"				
		服 部 一 恒 三	"				