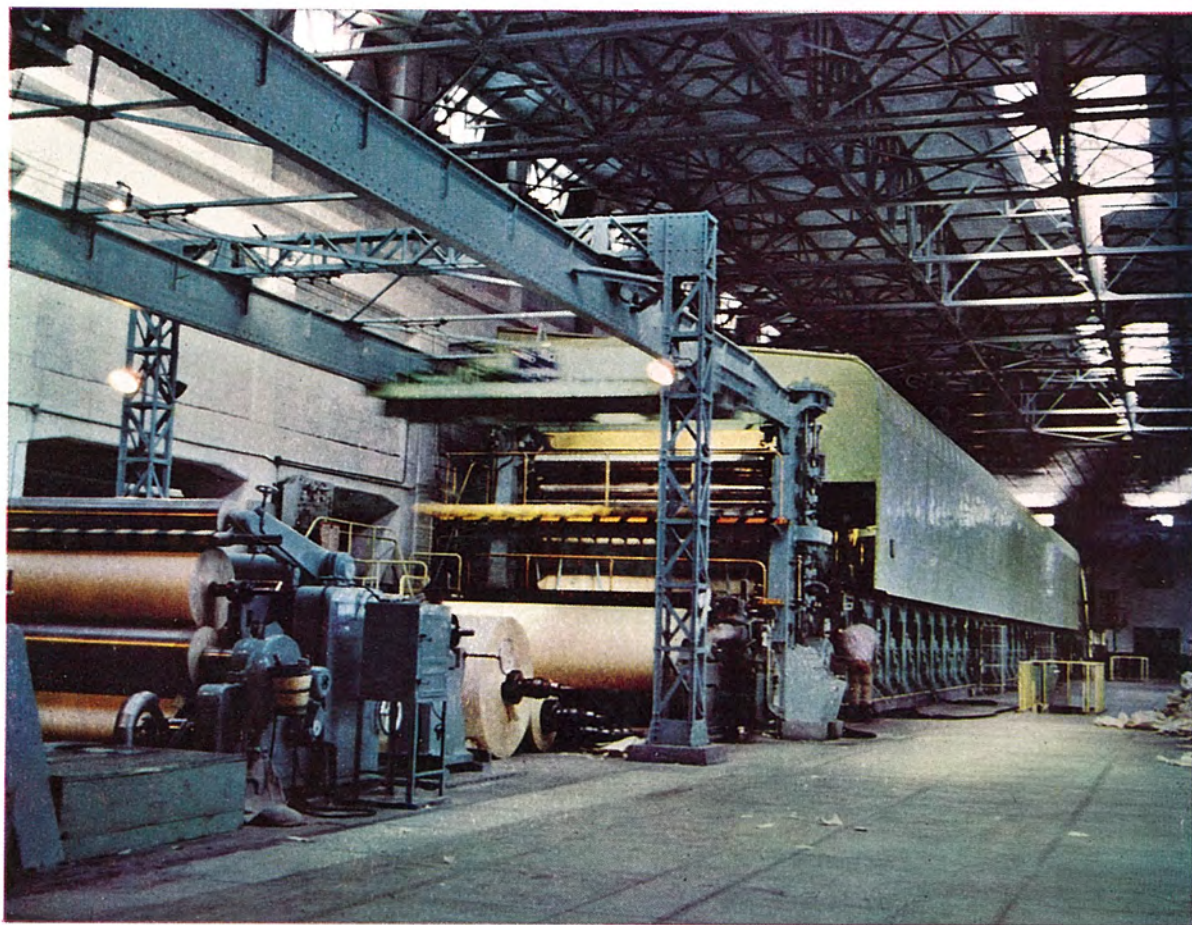


MITSUBISHI DENKI

三菱電機



142 in 2,000 ft/min 新聞紙抄紙機全景(東北パルプ石巻工場納)

5

VOL 32 1958



表紙説明

東北パルプ株式会社石巻工場において昨年末据付完了し、好成績に稼働中の142 in 2,000 ft/min 新聞紙抄紙機の全景である。この抄紙機のセクショナルドライブ電機品は一括当社が納入し、その直流電源として水冷式密封形イグナイトロン整流器を使用し当社独得の差動歯車式速度調整器により相当広範囲な電源電圧、周波数および負荷の変動に対しても各セクションの速度を $\pm 0.02\%$ 以内に押えうることが実証され完璧なる機能を発揮している。

三菱電機株式会社

本社 東京都千代田区丸の内(東京ビル)
(電) 和田倉(20) 代表 1631・2331
研究所 兵庫県尼崎市南清水
神戸製作所 神戸市兵庫区和田崎町
名古屋製作所 名古屋市東区矢田町
伊丹製作所 兵庫県尼崎市南清水
長崎製作所 長崎市平戸小屋町
無線機製作所 兵庫県尼崎市南清水
大船工場 神奈川県鎌倉市大船
世田谷工場 東京都世田谷区池尻町
郡山工場 福島県郡山市字境橋町
姫路工場 兵庫県姫路市千代田町
福山工場 福山市沖野上町
中津川工場 岐阜県中津川市駒場
和歌山工場 和歌山市岡町
福岡工場 福岡市今宿青木
静岡工場 静岡市小島 110
家庭電器工場 名古屋市東区矢田町
無線機製作所 東京都世田谷区池尻町
札幌工場 札幌市北二条東 12
大阪営業所 大阪府北区堂島北町 8 番地 1
(電) 大阪(34) 代表 5251
名古屋営業所 名古屋市中区広小路通
(電) 本局(23) 代表 6231
福岡営業所 福岡市天神町
(電) 福岡(5) 代表 2431
札幌営業所 札幌市大通西1丁目(大通ビル)
(電) 札幌(2) 代表 7236
仙台営業所 仙台市東一番丁 63
(電) 仙台(2) 代表 6101
富山営業所 富山市安住町 23 の 2
(電) 富山 4692・5273・2550
広島営業所 広島市袋町 6(富国生命ビル)
(電) 中(2) 2211
高松営業所 高松市寿町 1 丁目(第一生命ビル)
(電) 高松 3178・3250
小倉出張所 小倉市京町 10 丁目(五十鈴ビル)
(電) 小倉(5) 8234

MITSUBISHI DENKI

三菱電機

昭和 33 年 第 32 卷 第 5 号

目次

| | | |
|-----------------------------|-----------------|----|
| 自動制御系のアナリシスとシンセシス | 真鍋舜治 | 2 |
| 磁気論理要素による計数指令装置 | 浜岡文夫・大野栄一 | 12 |
| 磁気増巾器形サーボ | 浜岡文夫・今出昭彦・大野栄一 | 22 |
| 帯鋼のループコントロール装置 | 武藤 哲 | 29 |
| ビスコースプラントのプロセス制御 | 蟹江邦雄 | 35 |
| 電気式衡器 | 吉山裕二 | 40 |
| 阪神ビルにおける最新式電気室設備 | 平木 寛・立石行男・糸岡義太郎 | 45 |
| 160 in 厚板圧延用 10,000 HP 電気設備 | 竹内真一・片岡高示 | 50 |
| 衝撃波比較試験器 | 浅見辰巳・蔭山長三郎 | 59 |
| 電力用シリコン整流器 | 加藤又彦 | 64 |
| H 種絶縁乾式変圧器 | 荻野 脩・神谷友清 | 75 |
| 極光分光器自動露出装置 | 八島英之・安東 滋・村西有三 | 87 |

技術解説

| | |
|-------------------------------|----|
| 火力発電シリーズ：発電機と励磁機(5) 発電機の不平衡負荷 | 95 |
|-------------------------------|----|

原子力情報

| | |
|---------------------------------------|----|
| 加圧水型原子力発電所について(4) 木村久男・前沢芳一・川口 修・迎 久雄 | 97 |
|---------------------------------------|----|

W社文献抄訳

| | |
|----------------------------|-----|
| 最近の用途に適した直流電動機 通風機の形式選定 | 108 |
|----------------------------|-----|

ニュースフラッシュ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 台湾電力納 11.5 kV, 1,500 MVA 4,000 A C 形空気遮断器, 交流電車用 23 kV 空気遮断器完成, 関門海底国道トンネル用エレベータ活躍し出す, 事故時に発生する内雷を処理しうる新形直流避雷器国鉄技術研究所における試験に優秀なる成績をおさむ, 電源開発株式会社(南川越変電所)向本邦記録の大容量屋外キュービクル受注 | 110 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

特許と新案

| | |
|----------------|-----|
| (特) 電気機器並列運転装置 | 113 |
|----------------|-----|

| | |
|-----------------|-----|
| 最近における当社の社外寄稿一覧 | 114 |
|-----------------|-----|

| | |
|-----------------|--------|
| 最近における当社の社外講演一覧 | 21, 94 |
|-----------------|--------|

| | |
|------|-----|
| 次号予定 | 107 |
|------|-----|

自動制御系のアナリシスとシンセシス

研 究 所 真 鍋 舜 治*

Analysis and Synthesis of Automatic Control Systems

Engineering Laboratory Shunji MANABE

Various methods of analysis for automatic control systems have been concerned too much with given mathematical models. Recent development of analog computers, however, has greatly cut down the labors in the solution of the mathematical models, influencing the efficiency and accuracy of analysis. So far synthesis-technique has been little systematized and only the design of compensation networks and the setting of loop gains are taken into account for the automatic control system design. Establishment of an ideal system would be a key to a well-balanced system. The writer has suggested a combination of "Bode Diagram" and analog computer as the best conceivable method.

1. ま え が き

自動制御系のアナリシスに関しては、現在までにいろいろな手法が研究され、実用に供せられている。代表的なものをあげれば、Nyquist Diagram, Routh Hurwitz の安定判別法, Bode Diagram, Nichols Chart, および根軌跡法などであり、これらに関しては、よい著書が数多ある。しかしながらこれらの方法は与えられた数学的モデルの解析を扱うものであり、いかにして数学的モデルを作るかについてはあまりのべられていない。ことに最近になってアナログコンピュータが広く用いられるようになると、数学的モデルの解析は一挙に解決せられ、解析の正確さと労力は、数学的モデルをいかに現実的に作るかに関係するようになる。さらに解析を能率よく行うには、諸常数の計算が簡単に誤りなくなされ、不明な常数に関しては現実的な仮定が設けられなければならない。

さらに自動制御系のシンセシスに関しては、一般にアナリシスの延長のように扱われ、ただか補償回路の設計とかループゲインの設定のみが考えられてきた。実際に自動制御系を設計する場合には、これらよりも大きな自由度が与えられており、最初から目標を定めて出発すれば、全体として協調のとれた設計をすることができる。

すなわち仕様が与えられたら、これを満足するような数学的モデルを選定し、つぎにこれを満足する機器の組合せを調べて、設計を完成するのである。

以上の点を考慮し、この報告ではアナコムが使用できる場合の自動制御系のアナリシスとシンセシスの一方法について述べる。この場合もっとも便利な方法は折線近

似による Bode Diagram とアナコムとの組合せで、前者で系の大体の性質をつかみ、考慮すべきパラメータとその変化範囲の目安をたて、後者で主として過渡特性を調べ、系の応動についてより精密なデータを得て、最終的な決断を下すのである。

2. 単 位 法

自動制御系の特長はこれが1個以上の閉ループで構成されていることである。一例として、水銀整流器による直流電動機速度制御を考えてみよう。直流電動機の軸に直結された速度発電機は、回転数に比例した電圧をだし、これが標準の電圧と比較され、その偏差は、増幅部をとって、水銀整流器の格子角を制御し、直流電動機の電流をかせ、トルクを変化し、電動機を加速または減速して、設定された速度へもってゆく。このようなループでの諸量は、電気量と機械量が入りまじっており、ディメンションと単位の大きさを異にしているので相互間の比較をすることが困難である。直流電動機の10 m·kgのトルクと速度発電機の1 Vの変化との比較、あるいは格子角10度と直流電動機速度8 rpmの大きさの比較はこのままの単位系を用いては不可能である。このように単位の異なった要素が組立てられていることは、自動制御系の一つの特長であって、饋還増幅器と理論面では多くの共通点をもっているが、応用面ではかなり異なった取扱を必要とする理由の一つである。

このように異なった性質の量を共通の単位で表わすには、現在電力系統の解析に広く用いられている単位法を用いると便利がよい。電力系統ではまず基準kVAを定め、各線路の基準電圧より、その点の基準電流と基準

インピーダンスを定め、これらをもとにして、kVA、電圧、電流、インピーダンスなどをすべて単位あるいは％で表わす、これと同様に自動制御系でも、ある標準の状態を仮定し、そのときの諸量を基準として、単位で表わす。これに応じて抵抗、慣性能率などの常数も異なった値にかき直されるわけである。ただし電力系統と異なりすべての変数と常数を単位法で表わし、無次元化することは自動制御系ではかならずしも得策ではないことは注意しなければならない。一般に自動制御系は微分方程式の系で表わされるので、従属変数を無次元化しても、独立変数である時間を無次元しないかぎり、系数に時間のディメンションが現われる。これらは一般には時定数と呼ばれるものと同一か、少くとも何かの関係をもつものであって、系の応動を具体的に把握するには、時間はそのまま残しておく方が好都合である。すなわち従属変数は無次元の単位で表わし、常数は無次元か、時間の単位で表わす。

この手法の一例として、前記の直流電動機の数値に関する微分方程式を変形してみよう。一般に用いられている形では微分方程式は式(2.1)のようになる。

$$J \frac{dn}{dt} = T - T_L \dots \dots \dots (2.1)$$

ここに

| | |
|-------|------------|
| J | 直流電動機の慣性能率 |
| n | " " 回転数 |
| T | " " トルク |
| T_L | 負荷のトルク |

式(2.1)中で変数は回転数とトルクであるから、これのもっとも都合のよい値(普通は定格値)を基準とし、これを n_0 および T_0 とする。式(2.1)を T_0 で割り、 n の前に n_0/n_0 を乗じて、整理すれば、式(2.2)を得る。

$$J \frac{n_0}{T_0} \frac{d(n)}{dt} = \frac{T}{T_0} - \frac{T_L}{T_0} \dots \dots \dots (2.2)$$

ここで変数および常数を単位法で表わしたものは、上に「-」をつけて表わすと、

$$\bar{J} \frac{d\bar{n}}{dt} = \bar{T} - \bar{T}_L \dots \dots \dots (2.3)$$

ここで混乱の起らないかぎり「-」のついた記号を用いる必要はなく、そのときは式(2.3)は式(2.1)と同じ形になる。電力系統では変数である電流、電圧の基準より、常数であるインピーダンスの基準も直ちに求められ、これをもとにして単位法によるインピーダンスが計算できるが、自動制御系の場合は、変数の種類が多いので、インピーダンスに相当するものの種類も多くなり、このおのおのについて基準を定めるよりは、個々の微分方程式について前記の手法を用いる方が便利なようである。このようにして求められた \bar{J} は $K_M^{注(1)}$ とも呼ばれ、時間の単位(sec)を持ち、速度制御系、位置制御系の性質を示す重要な因子である。

注(1) 当社研究所電気第一研究室で用いている記号で普遍的なものではない。

表 2.1 単位法による常数の計算法

| 常 数 | 記号 | 計算式および物理的意味 |
|---------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 慣 性 能 率 | \bar{J} | $\frac{GD^2 \cdot \text{rpm}}{375 \cdot \text{m} \cdot \text{kg}} \cdot \text{sec}$ |
| | | $\frac{(\text{kg} \cdot \text{m}^2)(\text{rpm})^2}{\text{kW}} \times 1.1 \times 10^{-5} \cdot \text{sec}$ |
| | | $\frac{(\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{sec}^2)(\text{rpm})}{\text{m} \cdot \text{kg}} \times 0.1047 \cdot \text{sec}$ |
| | | $\frac{1}{2} \cdot \frac{\text{定格回転数での運動エネルギー}}{\text{定格出力}}$ |
| | | 定格トルクで定格回転数に達する時間 |
| 電 圧 係 数 | \bar{k}_V | $k_V(\text{volt/rpm}) \cdot \frac{\text{定格 rpm}}{\text{定格電圧}}$ |
| トルク係数 | \bar{k}_T | 定格 rpm における逆起電力(p.u)でほぼ 1 となる |
| 時 定 数 | | 定格トルクを発生する電流を基準に選ぶことにより 1 となる |
| 抵 抗 | \bar{R} | 一般の方式で求めたものをそのまま用いる |
| | | $\frac{R \cdot \text{定格電流}}{\text{定格電圧}}$ $1/\bar{R}$ は定格電圧を加えたとき定格電流の何倍の電流が流れるかを示す |

単位法を用いた場合、上記の \bar{J} のように、時間の単位をもつ定数が現われると、かならずなんらかの物理的意味をもつものである。式(2.3)において $\bar{T}_L=0$ とし $\bar{T}=1$ とすれば、 \bar{n} は時間とともに、直線的に増大し、 $t=\bar{J} \text{ sec}$ において $\bar{n}=1$ となる。すなわち電動機が無負荷の状態、定格トルクで加速されると $\bar{J} \text{ sec}$ で定格回転数に達するのである。

さらに $\bar{J}=Jn_0/T_0$ であるから、分母分子に n_0 を乗じれば

$$\begin{aligned} \bar{J} &= J \frac{n_0^2}{n_0 T_0} = 2 \frac{\frac{1}{2} J n_0^2}{n_0 T_0} \\ &= 2 \frac{\text{定格回転数での運動エネルギー}}{\text{定格出力}} \end{aligned} \quad (2.4)$$

となり、一般に単位慣性常数と呼ばれるものの2倍である。これと同様に他の常数も単位法で表わすことにより、物理的意味を明確にできるもので、おもなものについて計算法を表2.1に集めた。

3. 解析の方法

解析の方法は、前述のように折線近似による Bode Diagram とアナコンの組合わせで、準備段階も入れてつぎのような順序で行うとよい。

- (1) 方程式
- (2) 常数の計算
- (3) ブロックダイアグラム
- (4) Bode Diagram
- (5) アナコンの計算
- (6) 結果の検討

これらの各段階について、以下説明を加えよう。

3.1 方程式

自動制御系は結局微分方程式の系であって、解析の第一歩は、現在もっている経験をもとにして、系の微分方程式を全部記述することである。この段階では、系全体

としてどうなるかということは全然考えず、系を構成する各要素を一つ一つとりだし、その入力と出力との関係を表わす方程式を作る。このときもちろん数式で表わせない場合、また全然不明である場合もあるが、そのときは、適当な記号（たとえば $F(x)$ 等）でその関係を記述し、その性質について、わかっていることを文章でかくにとどめ、つぎの段階に移る方が得策である。往々にして、ブロックダイアグラムをかく段階になって、不明であった関数形が、系全体の応動に大きな影響を与えないことがわかることがある。微分方程式を記述する段階では、普通どの要素が重要で、どの要素が重要でないかはわからないので、あまり詳しく考えない方がよい。

このようにしてできた式は、普通一階（多くて二階）の連立微分方程式であるが、これを高階の微分方程式に直す必要はない。また後の常数の計算の便宜のため、各従属変数および常数を表わす記号の定義はもちろん、その単位もあわせて記述する方がよい。

つぎに、これらの式を単位法を用いて変換する。この場合、式が簡単ならば、最初に記述した式の変数と常数を、単位法によってかきかえたものと解釈し直すことによって、この変換を省略することができる。さらに非線形要素を含む系で、解析を容易にするため、ある定常状態を規準にし、その付近での微小変化を論じるような場合には、そのような形に式を変形する。このようにしてつぎの常数計算に進む準備ができたわけである。つぎに簡単な例を示そう。

〔例 1〕電圧による直流電動機速度制御

$$J \frac{dn}{dt} = T - T_L \quad (3.1)$$

$$E_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + k_v n \quad (3.2)$$

$$T = k_r i_a \quad (3.3)$$

| | | | |
|-----|-------|--------------------|------------------------------------|
| ここに | J | 慣性能率 | $GD^2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$ |
| | n | 回転数 | rpm |
| | T | トルク | m-kG |
| | T_L | 負荷トルク | m-kG |
| | E_a | 端子電圧 | V |
| | i_a | 電機子電流 | A |
| | R_a | 電機子抵抗 | Ω |
| | L_a | 電機子インダクタンス | H |
| | k_v | 電圧係数 | V/rpm |
| | k_r | トルク係数 | m-kG/A |
| 基準 | トルク | T_0 定格トルク | m-kG |
| | 回転数 | n_0 定格回転数 | rpm |
| | 電機子電流 | $i_{a0} = T_0/k_r$ | A |
| | 電圧 | E_{a0} 定格電圧 | V |

したがって式 (3.1), (3.2), (3.3) はラプラス変換した後つぎのようになる。

$$J S \bar{n} = \bar{T} - \bar{T}_L \quad (3.4)$$

$$\bar{E}_a = \bar{R}_a (1 + T_a S) \bar{i}_a + \bar{k}_v \bar{n} \quad (3.5)$$

$$\bar{T} = \bar{k}_r \bar{i}_a \quad (3.6)$$

表 2.1 を用いれば

$$\bar{J} = \frac{J}{375} \frac{n_0}{T_0} \text{ sec} \quad (3.7)$$

$$\bar{R}_a = \frac{i_{a0} R_a}{E_{a0}} \quad (3.8)$$

$$T_a = \frac{L_a}{R_a} \text{ sec} \quad (3.9)$$

$$\bar{k}_v = \frac{k_v n_0}{E_{a0}} \quad (3.10)$$

式 (3.4), (3.5), (3.6) は式 (3.1), (3.2), (3.3) とほとんど同じ形である。一度単位法にかきかえれば、各記号の上につけられた「 $\bar{}$ 」はとり去っても、混乱は起らないから、以後はこれを除く。

〔例 2〕界磁制御による直流電動機速度制御

$$J \frac{dn}{dt} = T - T_L \quad (3.11)$$

$$E_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + k_v \phi n \quad (3.12)$$

$$T = k_r \phi i_a \quad (3.13)$$

$$\phi = f(i_f) \quad (3.14)$$

$$E_f = R_f i_f + N \frac{d\phi}{dt} \quad (3.15)$$

ここで〔例 1〕に示していない記号のみを記せば

| | | |
|----------|--------|--------------|
| k_v | 電圧係数 | V/rpm weber |
| k_r | トルク係数 | m-kG/A weber |
| ϕ | 界磁磁束 | Weber |
| $f(i_f)$ | 界磁飽和曲線 | |
| E_f | 界磁電圧 | V |
| R_f | 界磁抵抗 | Ω |
| N | 界磁巻数 | |

この式に単位法を適用すれば、常数が変わるのみで式の形はほとんど変わらない。常数の関係についておもなものを記せば

$$\bar{k}_v = \frac{k_v n_0 \phi_0}{E_{a0}}, \quad \bar{E}_a = 1, \quad \bar{k}_r = 1$$

$$\bar{f}(\bar{i}_f) = \frac{1}{\phi_0} f(i_{f0} \cdot \bar{i}_f)$$

$$\bar{N} = \frac{N \phi_0}{E_{f0}}, \quad \bar{R}_f = \frac{R_f i_{f0}}{E_{f0}}$$

この式のままで、アナログを用いることにより容易に解析できるが、ある定常状態を規準にしてその付近の微小変化が問題になるときは、つぎのようになる。

$$J \Delta n = \Delta T - \Delta T_L \quad (3.16)$$

$$0 = R_a (1 + T_a S) \Delta i_a + k_r (\bar{n}_1 \Delta \phi + \phi_1 \Delta n) \quad (3.17)$$

$$\Delta T = i_{a1} \Delta \phi + \phi_1 \Delta i_a \quad (3.18)$$

$$\Delta \phi = \frac{df}{di_f} \Big|_{i_{f0}} \Delta i_f \quad (3.19)$$

$$i_f = i_{f1}$$

$$\Delta E_f = R_f \Delta i_f + N \frac{d\Delta \phi}{dt} \quad (3.20)$$

ここに式 (3.16)~(3.20) はすべて単位法を用いて表わしてあり、正確には「-」をつけなければならない。添字の「1」は問題にしている定常状態についての値で、定格値（あるいは基準値）とは普通異なっている。これらの関係を、例で示せば、 $\phi=\phi_1+\Delta\phi$ のようになる。

3.2 常数の計算

自動制御系の解析に当って、常数を現実的な値に選ぶことはきわめて重要なことである。一般に自動制御系の解析結果に要求されている確度はかなりゆるやかである上、非線形性の影響その他の不確定な要素の影響で、常数は系の状態によってかなり変るものであるから、個々の要素の常数を必要以上に精密に計算することはあまり意味がない。この一応の限度としては 10% を考えてよいと思われる。

常数の計算を単位法で行うときは、前節の例あるいは表 2.1 を用いればよいが、結果はほぼ 1 を中心とする値となる。またディメンションはかならず無次元か sec に関するものとなり、その他の単位が現われればどこか計算途上に誤があったことになる。制御系の解析に、頻繁に表われる常数の数値をまとめると表 3.1 のようになる。

3.3 ブロックダイアグラム

常数の計算を行った後、単位法で記述された式から、ブロックダイアグラムを書くことができる。この段階で常数を入れてみると、一般に相当程度系が簡単になるものである。前述のように用いている常数がかなりの幅をもっているので、あまり影響の大きくないループは除外して考えた方が、系の特性を適確に把握することができる。

一般に用いられている制御機器について、そのブロックダイアグラムを表 3.2 に示す。

3.4 Bode Diagram

ブロックダイアグラムが与えられれば、直ちにアナコンの結線を行って、系の解析ができるが、その前に準備として折線近似による Bode Diagram をかけば、系の応動に大きな影響を与える要素が何であるかがよくわかり、しかもこれがある方向にかえたとき、系の応動がどうなるかが予測できるものである。また後のシンセシスの項に述べるように、過渡特性についてもほぼ目安はたつものであって、このような予備知識をもってアナコンの計算を行えば、非常に能率を上げることができる。

Bode Diagram の作製に関しては、すでによい著書⁽¹⁾があり、一般的な説明は省略するが、たとえば図 3.1 のように、内部に閉ループをもつ系の開路特性を求める場合には、考えられる二つの道筋についてそれぞれ伝達関数 (G_1, G_2 および G_1/H) を求め、その小なる方の特性をとるという手法を用いると便利である。この方法は一般に内部ループの数が多いときも適用できる。

3.5 アナコンの計算

単位法を用いて、ブロックダイアグラムを書いた場合

には、各変数は自動的にスケール、ファクタがかけられており、常数でも一つのループのある要素で 1,000 倍して、つぎの要素で 1/1,000 するというような、不合理が是正されて、アナコンのプログラムが自動的になされたことになるので、ブロックダイアグラムからアナコンの接続図をうることは、普通の手法⁽⁴⁾で容易に行うことができる。

アナコンで計算する場合、これが計算機というよりも非常に抽象化された、実験装置であることを念頭におき現実的な取扱いをすることが大切である。往々にして、系を記述する数式をアナコンの系が完全に正確には代表していないにもかかわらず、その系の応動に対してよい近似を示すことがあり、ブロックダイアグラムが実物の数学的モデルにすぎないことをつねに忘れてはならない。

Bode Diagram より、系の応動に対して影響の大きなパラメータは大体推量がつくので、これを適当に変化して計算を行う。その詳細は個々の問題によって異なるが、一般の自動制御系の計算ではパラメータの変化は、1, 2, 5, 10, ……、1/2, 1/5, 1/10, ……といった段階で行ってよい。またたとえば 3 個のパラメータがあったならば、まず 1 個をいろいろかえて調べた後これを標準状態にもどし、つぎに、つぎのパラメータを変化してみるというようにして最初からすべての組合わせについて考えない方が得策である。

アナコンの計算を行う前に、これが正しく系を代表しているか否かを確かめることが必要である。すなわち常数

表 3.1 制御系要素の諸常数

| 常 数 | 機 器 | 数 値 | 備 考 |
|---------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------|
| 慣性率 $J=2H \text{ sec}$ | 直 流 電 動 機 | 0.5~2 sec | 10 W 以下 |
| | 小型サーボモータ | 0.01~0.1 | |
| | 誘 導 機 | 1~2 | タービンを含む 水車を含む |
| | タービン発電機 | 8~16 | |
| | 水車発電機 | 5~7 | |
| | 同期調相機 | 2~4 | |
| 界磁回路時定数 | 同 期 電 動 機 | 1~2 | |
| | 直 流 機 | 0.2~1 sec | 100 kW 程度 |
| | タービン発電機 | 3~9 | |
| | 水車発電機 | 3~9 | |
| | 同期調相機 誘 導 機 | 6~12 0.6~1.2 | |
| 主回路時定数 | 直 流 機 | 0.02~0.1 sec | |
| 磁気増巾器時定数 | 自 己 飽 和 形 速 応 形 | 1/15 0.1 sec 1/15 0.01~0.02 | 実際はむだ時間要素である |
| | | | |
| インピーダンス | 直流機主回路抵抗 | 0.05~0.1 | 励磁リアクタンス 拘束リアクタンス |
| | タービン発電機 | $x_d = x_q = 1.20$ $x_d' = 0.15$ $x_d'' = 0.10$ | |
| | 水車発電機 | $x_d = 1.25$ $x_q = 0.7$ $x_d' = 0.30$ $x_d'' = 0.20$ | |
| | 同期調相機 | $x_d = 1.80$ $x_q = 1.15$ $x_d' = 0.40$ $x_d'' = 0.25$ | |
| | 誘 導 機 | $x = 3 \sim 6$ $x' = 0.20$ | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

表 3.2 制御機器のブロックダイアグラム

| 回 路 | ブロックダイアグラム | 備 考 |
|---------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 直流電動機 電圧による 速度制御 | | $J = \frac{GD^2}{375} \frac{n_0 \text{ (RPM)}}{10 \text{ (m-kg)}}$ $k_v = k_v n_0 / E_{a0}$ $R_a = R_a I_{a0} / E_{a0}$ $T_a = L_a / R_a$ |
| 直流発電機 一版 | | $J = \frac{k_g N_f I_{a0}}{k_g g_0}$ $T_j = \frac{L_j}{R_j} \quad j=1,2,3$ $E_{a0} = R_a I_{a0}$ $E_{f0} = R_f I_{f0}$ |
| 直巻同調 トロール | | $r_j = \frac{k_g N_f I_{a0}}{g_0}$ $T_j = \frac{L_j}{R_j} \quad j=1,2,3$ $T_n = \frac{L_n}{R_n}$ |
| イグナイ トロン | | $\alpha = \begin{cases} 1 & \alpha < 0 \\ \cos \alpha & 0 < \alpha < \frac{\pi}{2} \\ 0 & \frac{\pi}{2} < \alpha \end{cases}$ $K = \begin{cases} 1.17 & 3 \text{ 相} \\ 1.35 & \delta \text{ 相} \\ 1.40 & 12 \text{ 相} \end{cases}$ $\bar{X} = X I_{d0} / E_{d0}$ |
| 同期 発電機 三相平衡 負荷接続 | | $A = \frac{E_{a0} + X}{(C d + X X_g + X) + (r + k)^2}$ $B = \sqrt{1 + \left(\frac{R + r}{X_g - X}\right)^2}$ $C = \sqrt{X^2 + R^2}$ $E_{a0} = E_{f0} - (X_d - X_q) I_{d0}$ $I_{d0} = I_{d0} \left[\frac{(r + R)^2 + (X_d + X_q)^2}{(r + R)^2 + (X_d - X_q)^2} \right]$ |
| 制動 変圧器 | | $T_1 = \frac{L_1}{R_1}$ $T_2 = \frac{L_2}{R_2}$ |
| 誘導 電動機 | | $J = \frac{GD^2 n_0 \text{ (RPM)}}{375 10 \text{ (m-kg)}}$ $n_0 = \text{同期速度}$ $n_s = \text{定格速度}$ ただしスリップの小さい範囲 |
| 微分 回路 | | $T = CR$ |
| 進み 回路 | | $T_1 = CR_1$ $T_2 = \frac{C R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ $T_1 > T_2$ |
| おくれ 回路 | | $T_1 = (R_1 + R_2)C$ $T_2 = CR_2$ |

注 混乱を防ぐのに必要ある時に限り単位法で表わした量に「—」をつける。ブロックダイアグラムはすべて単位法を使っているから正確には「—」が必要になる

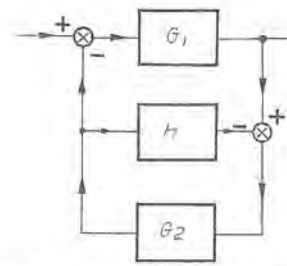


図 3.1 内部饋還のある閉ループ

Fig. 3.1 Closed loop with internal feedback.

の計算中の誤りとか誤結線などがあれば、実際の系で予想される応動とはかなり違ったものが現われるので、アナコンの結果が常識的なものであるかどうかを考えてみるとよい。一般に行って便利のよい方法は、第一に定常状態についての各変数の予想値をあらかじめ計算しておいて、アナコンの結果と合わせてみることで、第二に Bode Diagram より予想される応動の形と大体一致しているか否かを調べることで、第三に系内の各変数の過渡状態の値をオシロにかかせて、各変数の変化が、つじつまがあっているか否かを調べることである。とくに定常状態での変数の値は、一般に非常に正確に求められるもので、多少でも予想値と違いがあれば、一応どこかに誤りがあったとして、十分吟味することが望ましい。

3.6 結果の検討

アナコンの計算によって、パラメータをどのような値にとったとき、応動がどうなるかについて、かなり詳しいデータが得られるので、系の特質というものがいかなるものか、具体的にいえば、系を構成する種々のループのうちどれがおもなものかわかる。したがってその系を構成する要素の伝達関数の確かさと常数の正確さについて、もう一度考え直し、十分幅のある結論を下すことが望ましい。ことに注意を要するものはむだ時間の影響とヒステリシスで、これが無視されて計算されている場合には、ここでもう一度吟味してみるとよい。一般に飽和の存在はとくに過度なものでないかぎり、あまり重要でない。

系を構成する要素の常数は、一般に設計の進むにつれて、いろいろ変るものであるから、結論はパラメータのある値についてのものではなく、ある範囲についてのものとするのが望ましいことはいうまでもない。ことに系の安定に関するものは、十分安全度を見こして行わなければならない。

以上で解析の手法について説明を試みたが、これをまとめれば表 3.3 のようになる。つぎに自動制御系のシンセシスについて考えてみよう。

表 3.3 アナリシスの手順

| 段階 | | 内 容 |
|----|--------------|---------------------------------------------------|
| 1 | 方 程 式 | 方程式の記述、記号の定義と単位、単位法による変換、要すれば微小変位の式。 |
| 2 | 常 数 の 計 算 | 変数の基準値の計算、常数の単位法による値の計算、常数の単位は無次元か sec に関するものになる。 |
| 3 | ブロックダイアグラム | ブロックダイアグラムの作製と簡略化。 |
| 4 | Bode Diagram | 折線近似による Bode Diagram の作製、応動の予測、考慮すべきパラメータの決定。 |
| 5 | アナコムの計算 | 過渡応動の計算。 |
| 6 | 結果の検討 | 各パラメータの影響、数学的モデルが系を代表しているかの吟味。 |

4. 自動制御系の性質

自動制御系は1個以上のループで形成されており、しかも安定でなければならない。このことより一般に自動制御系と呼ばれているものの形式は数多いが、これを伝達関数の性質から考えると一つの形が存在する。すなわち現実の系では、非線形の影響をうけても系が安定でなければならない、またなるべく簡単なものが望まれる結果、一つの形ができるのであろう。本章ではこの点に関して考察し、この“形”のもっている性質について述べよう。

4.1 一次おくれ系

いろいろの自動制御系の伝達関数を調べると、その主ループを構成するものは、図4.1aのように1個の積分器であることがわかる。この系の開路特性は

$$KG(S) = \frac{K}{S} \dots\dots\dots (4.1)$$

であって、 $s=jw$ として Bode Diagram をかくと図4.1bのように、 w の増大につれて 20 db/decade で減衰する。位相特性は -90 度で、一定である。この系の重要な性質は、ループの利得がかわっても、 $KG(S)$ が上下に移動するのみで、位相余裕は 90 度に保たれつねに安定である。

実際閉ループの特性を求めれば、

$$\frac{e_0}{e_i} = \frac{KG(S)}{1+KG(S)} = \frac{K/S}{1+K/S} = \frac{1}{(1/K)S+1} \dots\dots\dots (4.2)$$

式(4.2)のように一次おくれの系となり、 e_i の階段入力に対して、いかなる利得 K についても overshoot することなく、単調に増大して最終値に落ち着く。そして利得の変化は、時定数を変えて応動の速さに影響を与えるのみで、応動の形はまったく同じである。

実際の自動制御系は、各要素の飽和などの非線形性によりループゲインは、入力のレベルによってかなり変動

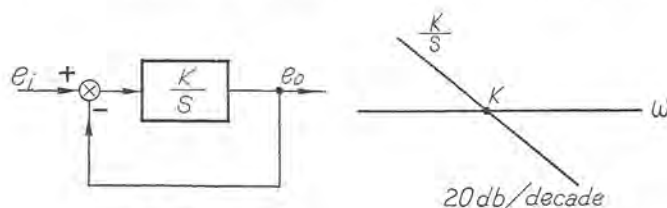


図 4.1 a

図 4.1 b

するものであり、また非線形性のまったくない系を考えたとしても、利得の設計値と実物の値とが一致することは、きわめてまれであるので、ループゲインは最初から変るものとして設計しなければならない。したがって実際の系は少なくともある周波数帯域に着目すれば、図4.1の系で近似されるように作られてある。たとえば一般の速度制御装置において、電動機の回転数は電動機トルクの積分に比例し、また検出器から電動機トルクに至る伝達関数は磁気増幅器・電子管増幅器・ダンピングトランスなどいずれを使うにせよ、かなりの周波数範囲で、トルクは検出された速度（正確にいえばこれの設定値よりの偏差）に比例しているので、結局積分1個と利得を含むループとなる。また副励磁機、励磁機および主界磁よりなる発電機電圧制御の系でも、適当な場所にダンピングトランスを入れたり、また一つの時定数を非常に大きくすることによって、かなりの周波数範囲で積分特性をもたせている。さらに低速度アナコムに用いられる演算増幅器は、このもっとも極端な例で、饋還要素がコンデンサになったり、抵抗になったりするので、等価的にはループゲインが非常に大幅に変ることになり、このようないろいろな状態でも系を安定にするため、増幅器に積分動作をさせている。

以上の三つの例から、図4.1の系が制御系設計の出発点になることは容易に想像されよう。しかし実際の系はこのような簡単な系とはかなり違っており、いろいろの時定数などが伝達関数の分母分子にかかってくる。次節以下ではこのような時定数がいかなる影響を与えるかについて検討してみよう。

4.2 むだ時間の影響

自動制御系の基本形は図4.1に示すように、1個の積分器より成るものであるが、現実の系では、このほかにいろいろの伝達関数をもつ要素がカスケードにつながる結果、異なった特性を示すようになる。その要素のもっとも基礎的なものとして図4.2に示すような、むだ時間 T_d を含む系が考えられる。この系の開路特性で振幅特性は図4.1bと同じであるが、位相特性は

$$\text{Arg } KG(jw) = \left(-T_d w - \frac{\pi}{2}\right) \text{rad} \dots\dots\dots (4.3)$$

式(4.3)で表わされ、周波数の増大とともに、 -90 度からだんだんおくれしていく。現在は $K=1$ なる場合を考えているから、 $w=1$ において開路特性の振幅は 0 db となる。したがって $T_d = \pi/2 = 1.57$ sec であるとき、位相が 180 度おくれ、系が持続振動を起しうる状態になる。

この系の性質を調べるため T_d をいろいろかえた場合の階段状入力に対する応動を求めたものを、図4.2cに示す。 $T_d \leq 0.25$ sec ならば、系の応動はむだ時間のない系 ($T_d=0$) と同じと考えてよく、また $T_d > 0.8$ ならば系は振動的になりすぎる。ここで一般に K が1と異なる場合は T_d の代りに KT_d を用い、時間の尺度をそれに応じて変更すればよい。

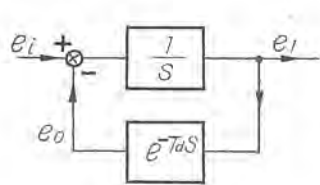


図 4.2 a

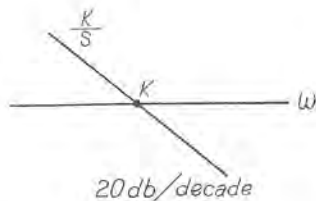


図 4.2 b

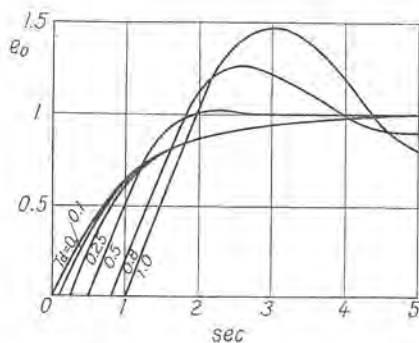


図 4.2 c むだ時間要素を含む系の応動
Fig. 4.2 c Response of system involving wasteful time.

たとえば $K=2$ で $T_d=0.25$ の場合は、 $KT_d=0.5$ であるから同図の $T_d=0.5$ の曲線を用い、時間尺は 5 sec のところに 2.5 sec と記入すればよい。

一般にむだ時間要素というものは、時定数の要素に比べ自動制御系において、あまり一般的なものではない。しかし一般に時定数をもつ要素が系の中にはいて、応動の模様をかえるのは、そのもつ位相特性の影響であって、振幅特性にはあまり関係しない。とくに開路特性が 0 db をきる点付近で 20 db/decade の傾斜をもっており、時定数がこれからかなり離れた点にあるような系、ことばをかえれば比較的安定な系では、これら時定数の影響はほとんど位相特性によるとみてよい。したがって時定数をもつ要素がいくつあっても、これらと等価な位相特性をもつ要素 1 個でこれらの影響を代表させることができる。むだ時間要素は位相特性のみをかえるものであるから、結局、多数の時定数に対して 1 個のむだ時間要素を考慮することができる。したがってむだ時間要素をもつ系の解析は、現実の系を抽象化して扱うという意味で重要である。

4.3 時定数の影響

基本形をかえる要素で、つぎに重要なものは、時定数をもつ要素と積分要素がある。前者のはいった系では図 4.3 b に示すように、 $w=1/T_1 > 1$ の周波数領域で 40 db/decade の傾斜をもち、後者では $w=1/T_2 < 1$ において 40 db/decade となる。これらが組合わさって系にはいった場合、その代表的なものについて、伝達関数、Bode Diagram および階段状入力に対する応動を図 4.3 ~ 図 4.7 に示す。

Bode Diagram の折線近似の振幅特性が 0 db を切る点の w を w_0 とするとき (いまの例では 1 rad/sec),

これらの時定数および積分要素は、 w が w_0 の近傍において 20 db/decade の傾斜へと折点を作ることによって、系の応動に影響を与えている。安定の条件から考察すれば、20 db/decade である区間が、 w_0 の両側に広くあればあるほど、系が安定であることがわかる。いま折点が w_0 から離れている程度を示す尺度として γ をつぎのように定義する。

$$\gamma = \begin{cases} T_1 w_0 & \text{時定数の場合} \\ \frac{1}{T_2 w_0} & \text{積分要素の場合} \end{cases} \quad \dots (4.4)$$

つぎに折点の性質を示す尺度として A をつぎのように定義する。いま w_0 より周波数の高いところに

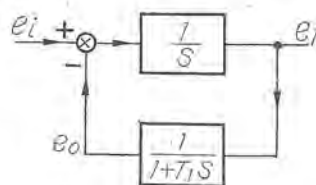


図 4.3 a

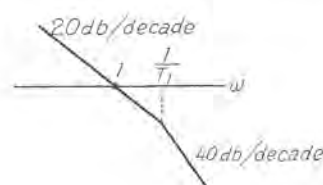


図 4.3 b

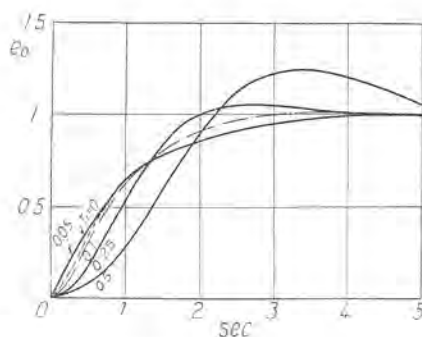


図 4.3 c 時定数を含む系の応動 (1 個の場合)
Fig. 4.3 c Respons of system involving time constant. (in case of one)

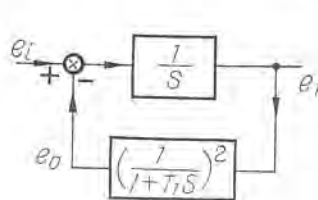


図 4.4 a

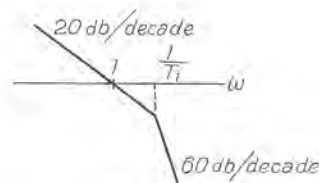


図 4.4 b

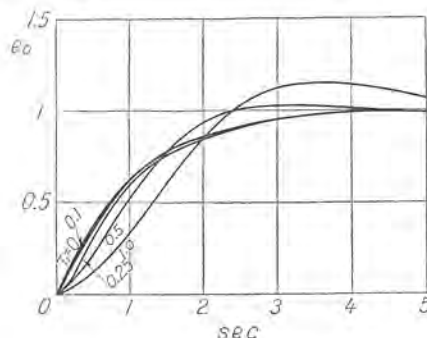


図 4.4 c 時定数を含む系の応動 (2 個の場合)
Fig. 4.4 c Response of system involving time constant. (in case of two)

ある折点に関しては ω を増加させる方向にもっていき、折点で傾斜が 20 db/decade より 40 db/decade に変化したら $A=1$, 60 db/decade に変化したら $A=2$ とする. すなわち A は一般には折点での傾斜の変化量を 20 db/decade 単位で表わしたものになる. したがって 40 db/decade より 20 db/decade に傾斜がゆるやかになるものには $A=-1$ というように負数をとる. ω_0 より低い周波数領域にある折点に関しては, ω を減少させる方向にもって行って, 上記と同様のことを行う. このように定

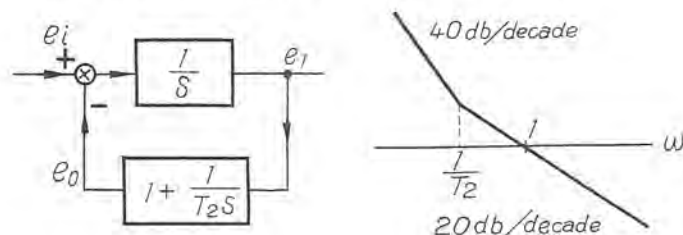


図 4.5 a

図 4.5 b

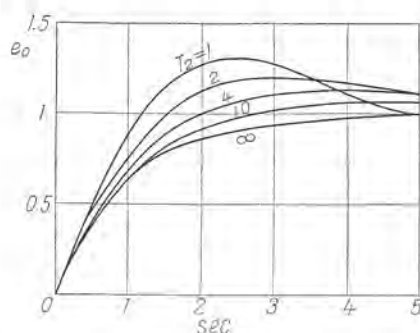


図 4.5 c 積分要素を含む系の応動 (1 個の場合)

Fig. 4.5 c Response of system involving integrated element. (in case of one)

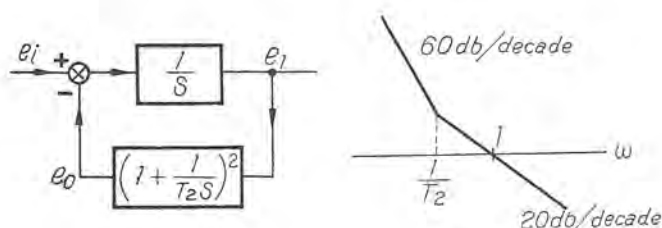


図 4.6 a

図 4.6 b

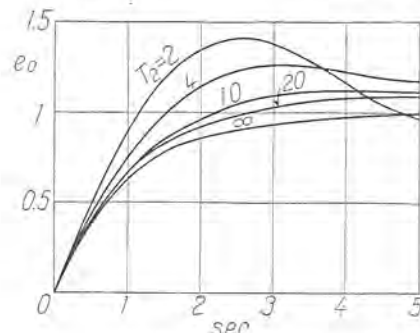


図 4.6 c 積分要素を含む系の応動 (2 個の場合)

Fig. 4.6 c Response of system involving integrated element. (in case of two)

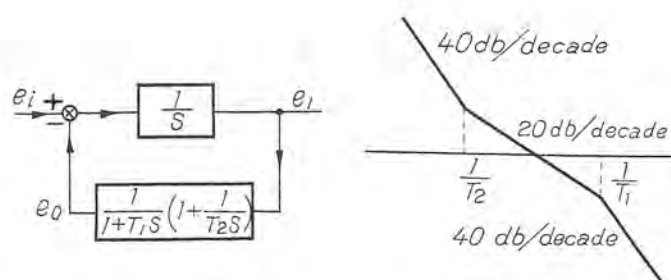


図 4.7 a

図 4.7 b

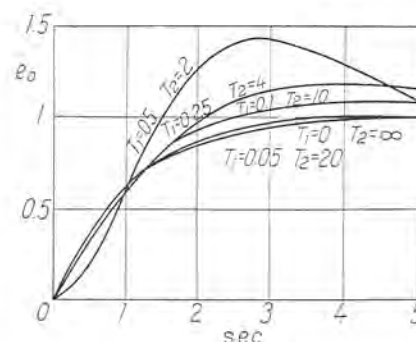


図 4.7 c 積分要素と時定数を含む系の応動

Fig. 4.7 c Response of time involving integrated element and time constant.

義された γ と A を用いることにより, 系の安定度を定量的に表わすことができるが, このことについて図 4.3 ~ 図 4.7 の例によって考察しよう.

図 4.3 の系については $A=1$ であって $\gamma < 0.25$ については, 折点の影響がほとんどないといってよく, $\gamma > 1$ については系は振動的になる. 図 4.4 の系では $A=2$ で $\gamma < 0.1$ では, 折点の影響は現われず, $\gamma > 0.5$ のときは振動的になる. 図 4.5 の系では $A=1$ で $\gamma < 0.25$ のときは系はほぼ単調に変化するとみてよく, $\gamma > 1$ のときは振動的になる. 図 4.6 に関しては $A=2$ で $\gamma < 0.1$ でほぼ単調に変化するとみてよく, $\gamma > 0.5$ で振動的になる. 図 4.7 については 2 個の折点があり, おおの $A=1$ であるが, $\gamma < 0.1$ ではほぼ単調で $\gamma > 0.5$ では振動的になる. 以上のことを総合すれば, これらの折点の安定度に及ぼす影響の目安としてつぎのことがいえる.

$A \cdot \gamma < 0.25$ ほとんど系の応動に変化を与えない.

$A \cdot \gamma > 1$ 系を振動的にする.

ただし折点の数が 2 個以上のときは $A \cdot \gamma$ の代りに $\sum A_i \gamma_i$ を用いる.

5. 設計の方法

設計の方法は, 解析の場合と同じく, Bode Diagram とアナコムとの組合わせであるが, つぎのような順序で行うとよい.

- (1) 仕様と拘束条件の記述
- (2) 数学的モデルの作製
- (3) 実際の系の設計

(4) 系の解析;アナコムによる計算

これらの段階のうち(4)についてはすでにのべたから、それまでの各段階について説明を加えよう。

5.1 仕様と拘束条件の記述

自動制御系設計の第一段階は、その仕様と拘束条件を記述することである。一般に仕様としては、ある指定された入力信号に対する系の出力が、理想的出力にどれだけ近似していなければならないかを規定するものと、ある種の擾乱に対し、系内のある変数の偏差の限界を規定するものと2種類ある。そして前者は一般に系を構成する要素がカスケードにつながって、ループを形成するとき、そのループの伝達関数を規定するものであるに反し、後者はどちらかといえば、ループの中で個々の要素のもつべき伝達関数を指定するものである。一般に入力信号や擾乱として考えられている関数形は、正弦波・階段関数・ランプ関数で、その他の信号については、これらの関数に対する応動を知っていれば、重畳の理を用い、容易に類推することができる。

つぎに拘束条件についていえば、制御系に使用すべき機器の種類を大体定めた場合、機器の周波数特性にはおのずから制限があるもので、これは表3.1の各種機器の時定数の値より求められる。一般に制御系の利得に関しては、割合制限がゆるやかで、たとえば設計のかなり進んだ段階で、利得に不足が生じた場合には、適当な増幅器を追加することによって、他に大きな変更を行うことなく、設計を完成することができるが、周波数特性をかえることは割合むずかしく、拘束条件としてはもっとも有力である。つぎに重要なものは、各機器の信号対雑音比で、その他に各機器の入出力の最大値があるが、これらの拘束条件は、設計の第一段階においては単に記述するにとどめ、系の設計がほぼ終り、解析にうつって、アナコムを用いて計算するときに考慮すればよい。

5.2 数学的モデルの作製

仕様と拘束条件が与えられたら、これを満足するような数学的モデルを作ることができるが、この問題にはいる前に、前章でのべた基本形が、いろいろの入力信号に対していかなる応動をするかを調べてみよう。そのブロックダイアグラムは図4.1aに示すもので、閉路特性は式(4.2)より、

$$\frac{e_0}{e_i} = \frac{1}{(1/K)S+1} \quad \dots\dots\dots(5.1)$$

したがって e_i の種々な関数形に対する応動は、つぎのようになる。

(1) $e_i = \sin wt$ 定常状態

$$e_0 = \frac{1}{\sqrt{1+\left(\frac{w}{K}\right)^2}} \sin(wt-\varphi) \quad \tan \varphi = \frac{w}{K} \quad \dots\dots\dots(5.2)$$

(2) $e_i = u(t)$

$$e_0 = 1 - e^{-Kt} \quad \dots\dots\dots(5.3)$$

(3) $e_i = tu(t)$

$$e_0 = t - \frac{1}{K}(1 - e^{-Kt}) \quad \dots\dots\dots(5.4)$$

したがってある仕様が与えられた場合、これを基本形で満足しようとすれば、式(5.2)~(5.4)を用いて K が得られるから、系が定ってしまうわけである。ここで K は振幅特性が 0 db を切る点の w 、すなわち w_0 rad/sec と同じものであるから数学的モデルを作る第一段階は、系を基本形として、設計することである。

このようにして求められた基本形は、かならずしも規定された拘束条件を満足するものとは限らない。すなわち制御系の要素として用いる機器が本質的にもつ時定数により、 w_0 の値にはおのずから制限がある。とくに重要なものはむだ時間と時定数で前章の記号を用いれば

| | |
|------------------|---------------|
| $w_0 T_d < 0.25$ | 影響のない範囲 |
| < 0.8 | 過度に振動的にならない範囲 |
| $w_0 T_1 < 0.25$ | 影響のない範囲 |
| < 1 | 過度に振動的にならない範囲 |

ただしこれは1個の場合で多数のときは、その総和について制限が加えられる。したがって仕様から求められた w_0 と機器の T_1 , T_d などの値が、上記の制限を、大きくこえるときは、機器をかえないかぎり、所望の特性は得られない。

しかしあるむだ時間なり、時定数をもった要素が、ループの中にはいったとき、なんらかの方法で補償できないかという問題がある。これは個々の問題により異なるのではっきりした結論を下すことはできないが、ダンピングトランスで安定化した回路では、大きい方の時定数を変化して小さい方の時定数にしたような結果になるようである。

すなわち

ダンピングをかけない前の伝達関数

$$\frac{K_1}{(1+T_1S)(1+T_2S)} \quad T_1 > T_2 \quad \dots\dots\dots(5.5)$$

適当なダンピングをかけたときの伝達関数
(閉路特性)

$$\frac{K_1'}{(1+T_2S)^2} \quad \dots\dots\dots(5.6)$$

直列補償を用いるときも、ほぼ同様のことがいえるようであって、このような補償回路は結局、一番大きな時定数をつぎに大きな時定数まで、小さくする程度の改善しか期待できないようである。

このようにして w_0 が大体求められたならば、Bode Diagram を書いてみる。一般に制御系の応動の形を決定するものは w_0 付近の周波数特性である。したがって制御系の大体の形が与えられたら、 w_0 付近でよく似た周波数特性を示す系を、図4.2~図4.7より探しだし、過渡特性についての大体の目安を立てることができる。このときたとえば $w_0=2$ の場合は図4.2~図4.7の時間軸は 5 sec のところを 2.5 sec とかきかえるというように、時間軸の変更を行わなければならない。この場合

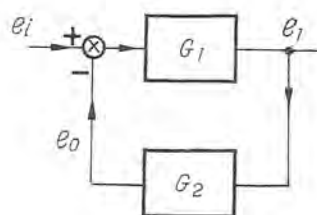


図 5.1 a

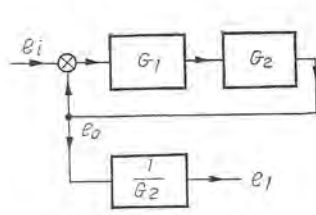


図 5.1 b

応動があまりに緩慢であったり、振動的であったりすれば、 w_0 を適当に変更するが、一般に制御ループの利得は、系の状態によっていろいろかわることを考慮し、十分の余裕をみて、 w_0 を選ばなければならない。一般に 20 db/decade の傾斜をもつ範囲が ± 12 db 以上あるように w_0 を選べば系は十分安定である。このようにして仕様をほぼ満足し、実現の可能性のある系の開路特性が得られるのである。

最後に図 5.1 a のような系で e_i に対する e_0 の応動ではなく、 e_1 の応動が指定された場合について考えてみよう。これは一般にある擾乱に対して、系の変数の偏差の限界を定めた場合に起る問題である。このときは図 5.1 b のようにかき直すことにより、まず伝達関数 $G_1 G_2$ についての設計を行い、つぎにこれをもとにして G_2 の設計を行うことができる。

5.3 実際の系の設計

数学的モデルができたならば、これをもとにして実際の系を作るが、制御系が結局積分器 1 個の基本系に、他の要素が組合わさったものであることから、どの機器に積分器としての動作をさせ、どの機器に時定数の要素の動作をさせるかを適確に定めなければならない。このことは、本質的に基本形からまったく違った形である、位

置サーボ系とか、時定数のみより成る系については、とくに注意しなければならない。

具体的な問題については、設計者の個々の判断にまつところが多く、これ以上一般的な考察を進めることは控えたい。実際の系の大体の設計ができたならば、系の解析の章でのべた方法で、アナコンの計算を行い、trial and error の方法で、パラメータを少しずつ変化して、所望の系に到達するわけである。

6. む す び

以上アナコンが利用できる場合の自動制御系の解析法と設計法について、現在行っている手法をもとにした考え方を述べた。しかしこのような方法が、実際の系をどれほど正確に予測するかについては、今後さらに検討が必要と思われる。ことに各要素の常数と伝達関数について、より信頼できる data が得られることを、切に希望する次第である。

参 考 文 献

- (1) Chestnut and Mayer, Servomechanisms and Regulating System Design, Vol. 1, John Wiley and Sons, New York, 1951
- (2) Brown and Campbell, Principles of Servomechanisms, John Wiley and Sons, New York, 1948
- (3) James, Nichols and Phillips, Theory of Servomechanisms, McGraw-Hill Book Co., New York, 1947
- (4) Korn and Korn, Electronic Analog Computers, McGraw-Hill Book Co., New York, 1956
- (5) Truxal, Automatic Feedback Control System Synthesis, McGraw-Hill Book Co., New York, 1955
- (6) Newton, Gould and Kaiser, Analytical Design of Linear Feedback Controls, John Wiley and Sons, New York, 1957

磁気論理要素による計数指令装置

研究所 浜岡 文夫* 大野 栄一**

Counter and Director Devices using Magnetic Logical Elements

Engineering Laboratory Fumio HAMAOKA Eiichi ONO

A static switching system with magnetic elements is an up-to-date, superior control system to the relaying. Composed of magnetic material with rectangular hysteresis loop and germanium diodes, the logic elements are of five kinds: AND, OR, NOT, MEMORY and TIME DELAY. They are used in the design of counter and director devices for winding machines. From the detection of rotation of the machine shaft to the output pulse for the control of the machine at a preset number of rotations the magnetic logic circuits play the role to eliminate moving contacts. The counting capacity is 7th power of 2, i.e., 128, and the maximum counting speed is 300 rpm.

1. ま え が き

磁気論理要素とは最近リレー制御系に代って新しく開発されてきた無接点継電要素⁽¹⁾⁽²⁾ともいうべきものであるが、ここではとくに速応性磁気増巾器を応用したものを指すこととする。磁気増巾器は元来はアナログな増巾器として用いられてきたものであるが、論理制御系においては最小出力と最大出力の二つの状態にのみ注目してバイナリなデジタル要素として扱う。このような磁気論理要素を用いた制御系のおもな特長としてはつぎのような点があげられる。

- (1) 可動部や消耗部を持たないため、寿命は長く、保守の必要は皆無で、信頼度はきわめて高い。
- (2) 各要素はアラウドイトキャスティングによるプラグイン方式を採用しており、取扱いに便利である。
- (3) 電力消費量はきわめて小さく、各要素について最大 30 mW をこえない。
- (4) 応答時間は各要素とも電源の 1/2 サイクルである。
- (5) スイッチインと同時に起動して瞬間運転にはいることができる。

このような特長をもつ磁気論理要素は従来のリレー制御系に代るべき新しい制御方式として各方面に応用される趨勢にあるが、とくに信頼度の高いことが要求される複雑なシーケンス制御の分野においてもっともよくその真価を発揮できるであろう。Westinghouse 社においてはすでにサイバックシステム⁽³⁾の名称で各方面に実用化されている。

以下に説明する計数指令装置は軸の回転数を二進法計数回路で計数し、あらかじめ設定した回転数において所定のパルス出力を得るものであるが、回転の検出から計

数、比較、選択および出力回路に至るすべての部分を磁気論理要素によって無接点化している。

2. 装置の概要

装置の仕様を列記すると

- (1) 計数方式 二進法
- (2) 桁 数 7 桁
- (3) 計数容量 0~127
- (4) 最大回転速度 150 rpm
- (5) パルス出力 125 V, 97 mA
- (6) パルス出力はあらかじめ設定した回転数に達したとき発生する。その回転数設定は全計数範囲において任意の数に、しかも容易に設定できることが必要である。
- (7) 回転数設定回路は独立な 4 組よりなり、その中の 1 組だけが順次選択されて動作状態に置かれる。

以上のような各項目に基づいて作成されたのが図 2.1 のブロック線図である。装置全体は回転数の検出および計数を行う計数部と、計数部の出力から所定の出力パルスを得るまでの出力部の二つに大別されるが、以下これらの各回路について簡単に説明を加えておく。

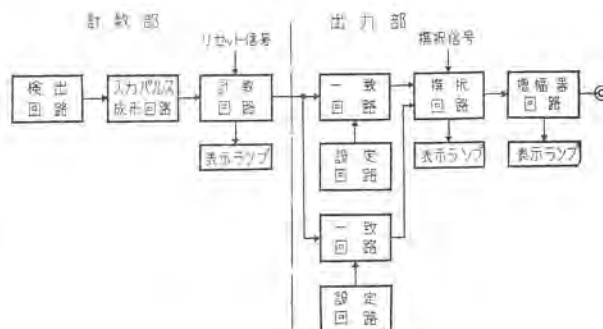


図 2.1 計数指令装置のブロック線図

Fig. 2.1 Block diagram of counter and director device.

2.1 計数部

(1) 検出回路

回転数の検出を回転軸に取付けられた鉄片と固定されたコイルによって行うもので、LC 共振回路によってインダクタンス変化を有効に取り出している。

(2) 入力パルス成形回路

検出回路の出力を計算回路に必要な形の入力パルスに成形する。

(3) 計数回路

この装置の中心部で、後述する並列形計数回路により二進法7桁の計数を行う。計数された数はフリップフロップに記憶され絶えず表示ランプにより読み取ることができる。

2.2 出力部

(1) 設定回路

出力パルスが必要とする回転数の設定を行う回路で、図 2.1 には 2 組しか示されていないが実際には一致回路とともに 4 組設けられている。各組は二進法の各桁に対応する 7 個の差し込み式スイッチより成り簡単に任意の数を二進数にて設定できるようになっている。

(2) 一致回路

計数回路の出力を絶えず設定回路の出力と比較し両者が一致したときに出力を生じるようなゲート回路である。

(3) 選択回路

外部よりの選択信号によって、4 組の一致回路の中の 1 組を順次選択して行く回路で、表示ランプにより選択中のものの表示を行うようになっている。

(4) 増巾器回路

選択回路により選択された一致回路の出力を増巾して所要最終出力を得るもので、磁気増巾器を用いている。これの出力も同様表示ランプに表わされる。

3. 論理要素とブール代数学⁽⁴⁾⁽⁵⁾

磁気論理回路はバイナリな論理要素によって構成される論理制御系であるからブール (Bool) によって研究された二値論理数学 (Bool 代数学) によって解析やシンセシスを行うことができる。論理数学における基本的関数関係として (1) 論理和 (OR), (2) 論理積 (AND), (3) 論理否定 (NOT) の三つがある。いま 0 または 1 のどちらかの値をとり得る変数を x_1, x_2, \dots, x_n としたとき上述の三つの関係を下記のように表示することにする。

$$(1) \text{ OR } y = x_1 \parallel x_2 \parallel \dots \parallel x_n \dots\dots\dots (3.1)$$

$$(2) \text{ AND } y = x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n \dots\dots\dots (3.2)$$

$$(3) \text{ NOT } y = \bar{x} \dots\dots\dots (3.3)$$

このほかに AND と NOT を組み合せた INHIBIT や、NOT と OR を組み合せた NOR がよく用いられる。

$$(4) \text{ INHIBIT } y = x_1 \cdot \bar{x}_2 \dots\dots\dots (3.4)$$

$$(5) \text{ NOR } y = \overline{x_1 \parallel x_2 \parallel \dots \parallel x_n} \dots\dots\dots (3.5)$$

表 3.1 論理要素とブロック記号

| 種類 | ブロック記号 | 動作表示 |
|-----|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| OR | | $Y = X_1 \parallel X_2 \parallel X_3$ |
| AND | | $Y = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$ |
| NOT | | $Y = \bar{X}$ |
| NOR | | $Y = \overline{X_1 \parallel X_2 \parallel X_3}$ $= \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2 \cdot \bar{X}_3$ |
| INH | | $Y = X_1 \cdot \bar{X}_2$ |
| FF | | $Y_1 = D(X_1 \parallel X_2 \parallel \bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2)$ $Y_2 = D(\bar{X}_1 \cdot \bar{X}_2)$ $= D(\bar{X}_1 \parallel X_2)$ |
| TD | | $Y = D^n X$ |

(表 3.1 の D は 1/2 サイクル遅れを示す)

これらの論理関数の間にはブール代数学で研究されたいくつかの基本定理が成立し、式の変形を行うことができる。ここではその説明は省略する。

これらの論理関数関係を満足する磁気論理要素をそれぞれ OR 要素, AND 要素, NOT 要素, INH 要素および NOR 要素と呼び表 3.1 に示したような記号で表わす。磁気論理要素では OR 要素を除き他はすべて 1/2 サイクルの遅れをもつからこれを D で表わすと、表 3.1 に示したような入出力関係となる。

実際に論理制御回路を構成するには、以上のような論理要素のほかに、情報を貯える記憶要素および情報の伝達に一定時間の遅れを与える遅延要素が必要である。要素としては二安定の Eccles Jordan 形フリップフロップを 1/2 サイクル遅れの速応性磁気増巾器で実現したものを、遅延要素には鉄心内の磁束のラチェット機構を利用した TD 要素を用いている。これらのブロック記号も表 3.1 にまとめて記されている。

4. 計数部の設計

磁気論理要素の動作はリレーの動作とは異なり、論理関数の示す関係をそのまま実現する。したがって回路の設計方法もリレーの場合とはかなり異なってくる。設計に当たっての基本段階を簡単に記述すると下記のようなになる。⁽⁶⁾

- (1) 問題の末端まで完全に理解する。
- (2) 問題を整理し、相互の論理関係に基づいていくつかの項目に書き下す。
- (3) それらの項目のうち、たがいに重畳したものや、むじゅんしたものがあれば整理修正して、最小限必要なものにする。
- (4) それらの最少限必要項目を論理関数によって表現する。
- (5) それらの論理関数関係を満足するブロック線図を作成する。これはかならずしも一つだけとは限らず、同じ関数関係を満足する二つ以上の

ブロック線図が得られる場合もある。

(6) 得られたブロック線図に磁気論理要素固有の特殊性を加味して検討し、最終的回路を得る。

以下各部の回路を考える場合にもこの原則に従って考察を進めていく。

4.1 計数回路

計数回路はこの装置の中心で頭腦的役割を果たすものであるから、まずその回路方式から考察を始める。二進法計数回路には直列形と並列形の2種類が考えられる。この装置では2パルス式の並列形を使用しているが、まず直列形を簡単に説明してから並列形について述べることにする。

(1) 直列形計数回路

二進法計数回路としてもっとも普通に用いられているもので、二安定マルチバイブレータを周波数分割器として使用し、周波数 f のパルス入力を一段ごとに $1/2$ の周波数にして二進法計数を行うものである。この回路を実現するには一つの入力端子からの信号によって交互に出力状態を変化させる周波数分割器が必要であるが、磁気論理要素中にはこのような動作を直接行うものは存在しない。したがって、表 3.1 に示したような基本論理要素によって同等の働きをする回路を構成しなくてはならない。

いま直列形計数回路における周波数分割器の動作を記述すると下記ようになる。

“その出力が 0 (OFF) であったとき入力パルスが到達すれば出力は直ちに 1 (ON) となる。その出力が 1 であったとき入力パルスが到達すれば出力は直ちに 0 になる。そしてそのつぎのパルスが到達して上述の動作を繰り返すまでは、そのまゝの出力状態を維持する。”

これを記憶要素を用いて行い、その出力状態を変化させる条件を上述により求めると

出力を 1 にするときの条件は

“入力パルスが存在し、しかもそのパルス到来以前には出力が 0 であった場合”[A]

となり

出力を 0 にするときの条件は

“入力パルスが存在し、しかもそのパルス到来以前には出力が 1 であった場合”[B]

となる。

いま入力パルスを X 、記憶要素の出力を Y 、その出力を 1 に変化させる入力を x_1 、0 に変化させる入力を x_2 とすると、

[A] の条件から

$$x_1 = X \cdot D\bar{Y} = X \cdot DY_2 \quad \text{.....(4.1)}$$

[B] の条件から

$$x_2 = X \cdot DY = X \cdot DY_1 \quad \text{.....(4.2)}$$

と表わされる。ここに Y_1 および Y_2 は表 3.1 に示した FF 要素の二つの出力でたがいに共転関係にある。ここでは $Y = Y_1$ であるから $Y_2 = \bar{Y}$ となる。

式 (4.1) および (4.2) で時間遅れ D は入力パルス X の継続時間 τ 以上の遅れ時間を持ち、一つの入力パルスにより FF 要素が 2 回以上動作するようなことが生じないようにする役割を果たしている。この遅れ時間はもちろん入力パルス間隔 T より小さく選ばなければならない。すなわち D の遅れ時間を t とすると

$$\tau < t < T \quad \text{.....(4.3)}$$

を満足することが必要である。

以上の考察により、図 4.1 のブロック線図で表わしたような計数回路の単位 (1 桁分) が得られる。

つぎに図 4.1 の計数単位を用いて、 n 桁の二進法計数回路を得るための直列接続について考えてみる。いま第 i 桁目の記憶要素の出力を Y_i とし、第 $i+1$ 桁目への入力パルスを X_{i+1} をすると、二進法の数え方により “ X_{i+1} は Y_i が 1 から 0 になるときに生じる。”[C] ということがわかる。これはまたつぎのように書き換えてもよい。

“ X_{i+1} は \bar{Y}_i が 0 から 1 になるときに生じる。”[C']

電子管回路による場合には、[C] または [C'] に相当することを微分回路によって行っているが、磁気論理回路では普通の微分は行えないから、回路構成によって微分に相当する操作を行う。すなわち [C'] の条件により、 \bar{Y}_i が 0 から 1 になった時出力を生じるが、 τ 時間後にはその出力は消えてしまうような回路、図 4.2 を用いればよ

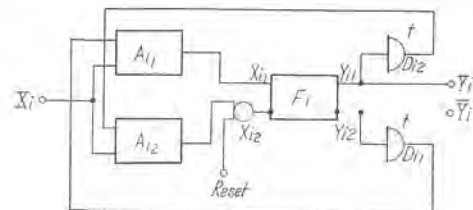


図 4.1 直列形計数回路

Fig. 4.1 Series counting circuit.

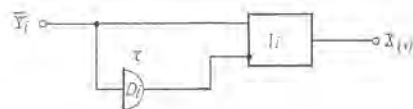


図 4.2 直列形結合回路

Fig. 4.2 Coupling circuit in series counter.

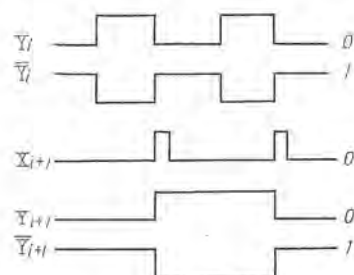


図 4.3 直列形計数回路各部の信号

Fig. 4.3 Relations of signals in series counter.

いことがわかる。その場合の $Y_i, \bar{Y}_i, X_{i+1}, Y_{i+1}$ および \bar{Y}_{i+1} の関係を示したのが図 4.3 である。

この直列形計数回路は桁数が増しても同じ形の図 4.1 および図 4.2 の回路を縦続接続すればよいので便利であるが、磁気論理回路で構成した場合には 1 桁に 3 個の TD 要素を必要とすることと、動作時間遅れが加算されるという欠点がある。

(2) 並列形計数回路

この回路は周波数分割器を用いずに直接的に二進法計数の回路を実現したものである。二進法計数における各桁の動作を要約すると下記ようになる。

“(i-1) 桁以下がすべて 1 となったとき、つぎの計数パルスにより i 桁は 0 から 1 となり、同時に (i-1) 桁以下の各桁はすべて 1 から 0 になる。”……………[D]

したがってこの関係 [D] を満足する論理回路を構成すれば、二進法計数回路が実現できる。

直列形の場合と同様記憶要素 FF によって二進法の各桁の状態を表わすことにすれば [D] は次のように書き換えられる。

第 i 桁目の状態を表わす記憶要素を F_i とし、その出力を 0 から 1 にする ON 入力を x_{i1} とすると x_{i1} はつぎの条件を満足するとき信号を発する。

- “(i) 計数パルス $X=1$ のときで、しかも
- (ii) その前の計数パルスによって $F_1 \sim F_{i-1}$ がすべて 1 になっており、さらに
- (iii) F_i 自身は 0 である。”

……………[E]

これを論理方程式に表わせば

$$x_{i1} = X \cdot F_1 \cdot F_2 \cdots F_{i-1} \cdot \bar{F}_i \cdots \cdots (4.4)$$

となるが、実際には直列形の場合と同様な関係を満足する遅延要素が必要で

$$x_{i1} = X \cdot DF_1 \cdot DF_2 \cdots DF_{i-1} \cdot \overline{DF}_i \cdots \cdots (4.5)$$

となる。D の遅れ時間は式(4.3)を満たすものとする。

つぎに F_i の出力を 1 から 0 にする OFF 入力を x_{i2} とすると、 x_{i2} が働くべき条件は

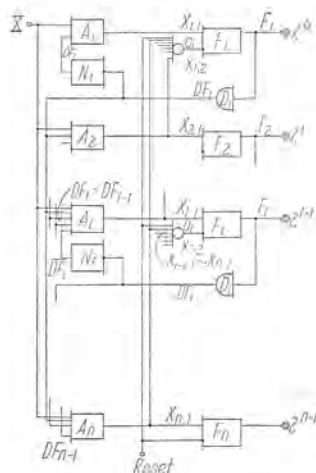


図 4.4 並列形計数回路

Fig. 4.4 Parallel counting circuit.

“ $F_{i+1}, F_{i+2}, \dots, F_n$ のいずれかが 0 から 1 になるとき、すなわち $x_{i+1,1}, x_{i+2,1}, \dots, x_{n,1}$ のいずれかが信号を発したとき。”……………[F]

となる。これを同様論理方程式に表わすと

$$x_{i2} = x_{i+1,1} \vee x_{i+2,1} \vee \cdots \vee x_{n,1} \cdots \cdots (4.6)$$

となる。式(4.5)および(4.6)により並列形計数回路が実現される。式(4.5)は右辺各項の論理積を、式(4.6)は論理和を表わしているから、それぞれ AND 要素および OR 要素により具体化される。また式(4.5)の D は t 時間遅れの TD 要素により、また右辺最後の項は論理否定を含むから NOT 要素により実現できる。

これをブロック線図に書き表わしたのが図 4.4 であるこの方式では

- (i) TD 要素は各桁 1 個でよい。
- (ii) どの桁も計数パルスにより直接動作し桁数が増加しても動作遅れは累積しない。

点ですぐれているが、

- (iii) $x_{i,1}$ を与える式(4.5)の右辺の項数は i と共に増加し、 A_i の入力数は (i+1) 個となる。

- (iv) 式(4.6) から $x_{i,1}$ は、 $x_{i+1,2}, x_{i+2,2}, \dots, x_{i-1,2}$ ままで (i-1) 個に関係するため、 A_i の負荷数も i とともに増加する。

そのため各桁は直列形のように相似でなくなる点が欠点である。

(3) 2 パルス式並列形計数回路

この方式は 1 回転に 1 個の計数パルス X と、さらにもう 1 個の補助パルス Y を設けて、図 4.4 に残っている TD 要素を他の要素に置きかえ、パルス間隙の大巾な変化によっても誤動作を生ずることのないものにした並列形改良回路である。いま図 4.4 の TD 要素 D_i の働きを調べてみると、

- (i) $F_i=0$ のとき D_i は出力を生じない。
- (ii) $F_i=1$ のとき D_i は X の t 時間後に出力を生じる。

t は $\tau < t < T$ の関係を満たすから、(ii) は X と X の間に存在する補助パルス Y を用いてつぎのように書き換えることができる。

- (ii) $F_i=1$ のとき Y が到達したら出力を生じる。

この (i) と (ii) とをさらに書き換えてつぎの (iii) および (iv) を得る。

- (iii) Y からそのつぎの X までの間に、その前の X によって規定された F_i が 1 ならば出力を生じ、0 ならば出力を生じない。
- (iv) X からそのつぎの Y の直前までの間は、(iii) の状態を維持する。

すなわち図 4.4 の TD 要素の代りに上記 (iii), (iv) の関係を満足する要素を置いても計数方式には変りない。この新しい要素としては記憶要素を用いることができ、これを F_{i2} とする。また図 4.5 に示すように X から Y まで出力を生じ、Y から X までは出力を生じない信号

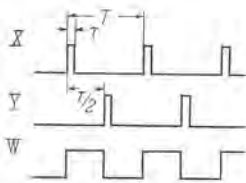


図 4.5 2パルス方式による入力パルス
Fig. 4.5 Input pulses in 2-pulses system.

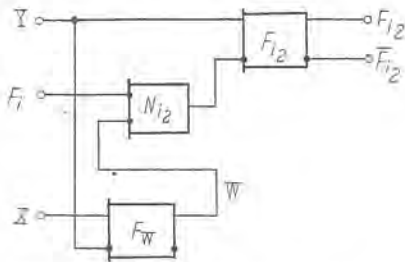


図 4.6 TD に代る 2 パルス方式回路
Fig. 4.6 Circuit for time Delay in 2-pulses system.

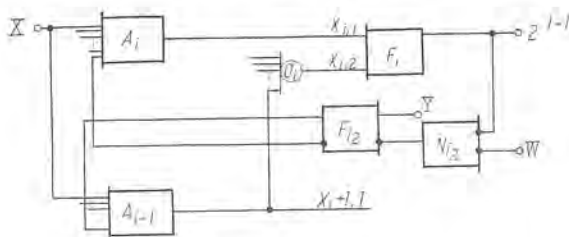


図 4.7 2-パルス式並列形計数回路
Fig. 4.7 2-pulses parallel counting circuit.

を W とすると (iii) (iv) はさらに

(iii)' Y により F_{i2} は出力を生じ、もし $F_i=1$ ならばそのままの状態を保ち、 $F_i=0$ ならば F_{i2} の出力を 0 にする。

(iv)' $W=1$ の間は F_{i2} の出力状態は変化しない。となり、 F_{i2} の入力は次式を満足すればよい。

$$X_1(F_{i2}) = Y \cdot \bar{W} = Y \quad (4.7)$$

$$X_2(F_{i2}) = \bar{F}_i \cdot \bar{W} \quad (4.8)$$

これらの関係から図 4.6 に示すブロック線図が得られる。またこれを計数回路と組み合わせたのが図 4.7 に示したものである。

この方式では $X-Y-X-$ の順に入力パルスを生じるから、回転数が増減してパルス巾やパルス間隔が変化しても誤動作の原因となることはない。

(4) AND-NOR 変換

前に並列形の欠点としてあげた特長 (iii) の AND の入力数の問題を考える。第 i 桁目の AND 要素 A_i の満足すべき論理方程式は式 (4.5) であるが、これに De Morgan の定理⁽⁴⁾による変換を行うと

$$x_{i1} = X \cdot DF_1 \cdot DF_2 \cdots DF_{i-1} \cdot \bar{DF}_i \\ = \bar{X} \parallel \bar{DF}_1 \parallel \bar{DF}_2 \parallel \cdots \parallel \bar{DF}_{i-1} \cdot DF_i \quad (4.9)$$

となり、式 (4.5) の論理積の関係は式 (4.9) のように論理和と論理否定の関係に変換され、これは NOR 要素に

より実現される。2 パルス方式により TD 要素を消去した回路では DF_i の代りに F_{i2} と置いた

$$x_{i1} = \bar{X} \parallel \bar{F}_{1,2} \parallel \bar{F}_{2,2} \parallel \cdots \parallel \bar{F}_{i-1,2} \parallel F_{i,2} \quad (4.10)$$

とすればよい。

一般に AND 要素よりも NOR 要素の方が回路要素が少く簡単であるためとくに入力数が増したときには、この変換を行って NOR 要素を用いた方が有利となることが多い。この場合入力も上の関係式から明らかなように互に否定の関係にあるものに変換されるが、FF 要素を用いた場合には両方の出力を有しているから入力変換用の要素は必要ない。このような変換を行った回路を図 4.8 に示す。この図の各要素の入力および出力に記した θ および ϕ の記号は各部記号の位相関係を示すものである。磁気論理要素の結合に際してはこの位相を合致させることが必要で、位相の異なった信号を結合しても動作しない。図 4.8 の中、 A_{i1} および A_{i2} はこの位相を合致させるため位相反転要素として用いられた AND で理論的な意味は持たない。

また図 4.8 中の A_{i3} は計数出力表示用の豆ランプを点灯するための増巾器として転用された AND 要素である。この豆ランプには 1.2 V、50 mA の特殊小形ランプを用いている。

4.2 検出回路

回転を検出して計数パルスを生じさせるための回路で、ここでは無接点リミットスイッチを用いている。無接点リミットスイッチは、U 字形の鉄心とコイルから成り外部から鉄片が近づくときインダクタンスが変化することを利用し、図 4.9 のように LC 直列共振回路を形成し、その出力を NOT 要素を通じて得ている。コンデンサ C は鉄片 M が近づいた時に共振条件を満たすように選んである。したがって鉄片 M がリミットスイ

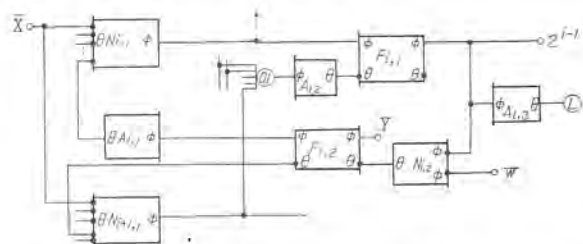


図 4.8 AND-NOR 変換を行った 2 パルス式並列計数回路
Fig. 4.8 AND-NOR Transformed 2-pulses parallel counting system.

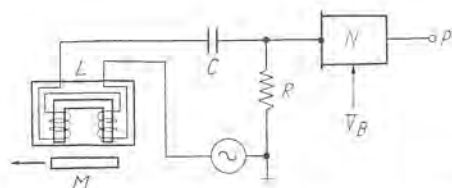


図 4.9 直列共振形無接点リミットスイッチ回路
Fig. 4.9 Series resonance type limit switch.

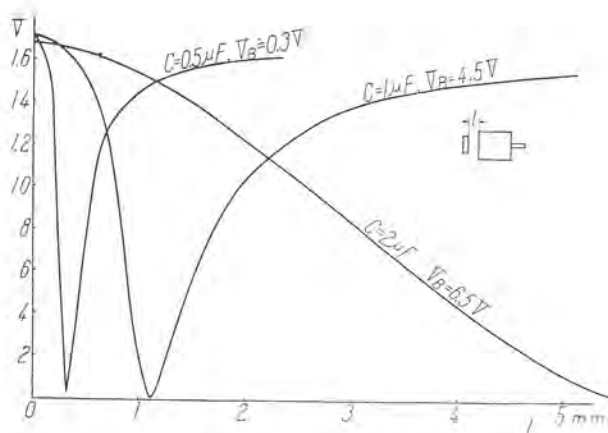


図 4.10 リミットスイッチの特性 (1)
Fig. 4.10 Limit switch characteristics. (1)

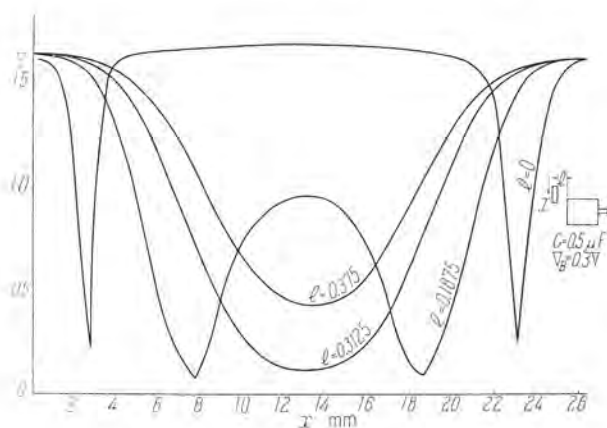


図 4.11 リミットスイッチの特性 (2)
Fig. 4.11 Limit switch characteristics. (2)

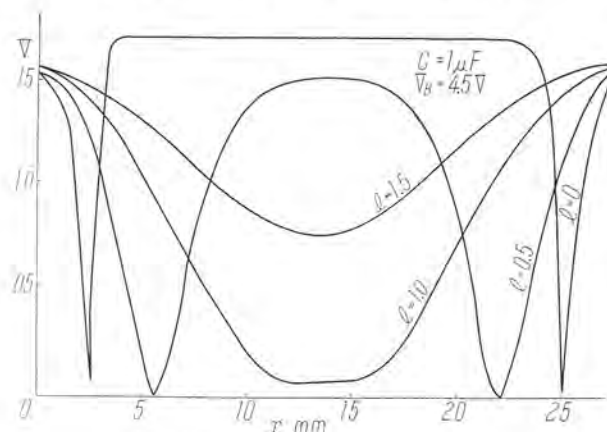


図 4.12 リミットスイッチの特性 (3)
Fig. 4.12 Limit switch characteristics. (3)

ッチから離れているときにはリミットスイッチのインダクタンス L は小さく共振条件から外れているため、 R 両端の電圧は小さくまた電源より進み位相になる。そのため NOT 要素 N は出力を生じ $P=1$ に相当する。鉄片 M がリミットスイッチに近づくとき L は大きくなり共振状態となり、 R 両端の電圧は上昇して N の出力を 0 にする。この装置に使用したリミットスイッチによる特性は図

4.10~4.12 に示すとおりである。図 4.10 は鉄片をリミットスイッチの真下に置いてその空隙長を変化した際の特性で、 $C=0.5 \mu\text{F}$ のときは空隙 0.3 mm で、 $C=1 \mu\text{F}$ のときは 1 mm で最小出力となることが示されている。しかし $C=1 \mu\text{F}$ の場合には NOT 要素に加えるバイアス電圧を 4.5 V にする必要がある。(普通は 0.3 V である) さらに C およびバイアス電圧を大きくすると、最小出力を与える空隙長は大きくなるが、空隙無限大となっても出力は低下したままとなる。図 4.11 および 4.12 は空隙長を一定として、鉄片を横方向に移動させた時の出力特性である。空隙が小さい所ほど出力の変化率は大きくなる。図 4.10 の最小出力点より小さい空隙では特性は双頭形となって動作点が 2 か所できるから、鉄片の一回通過によって一つのパルスを生じさせたいときには、空隙をちょうど図 4.10 において最小出力を与える値に調整すればよい。実際には 0.4 V 以下は 0 、 1.2 V 以上は 1 と見なして差し支えないから、この範囲内での変動は問題でなく、したがって空隙調整もそれほど厳密であることは必要ない。

この無接点共振形リミットスイッチを用いて回転の検出を行うには、鉄片 M を回転軸に取りつけて軸と共に回転させ、これと上述の適当な空隙を置いてリミットスイッチを固定すればよい。2 パルス計数方式ではリミットスイッチを 2 個用いて 2 個のパルス X および Y を得る。図 4.13 に回転検出部の写真を示す。

ウ. パルス成形回路

パルス成形回路は検出回路よりの信号から計数回路の



図 4.13 回転検出部
Fig. 4.13 Pick up device of rotation.

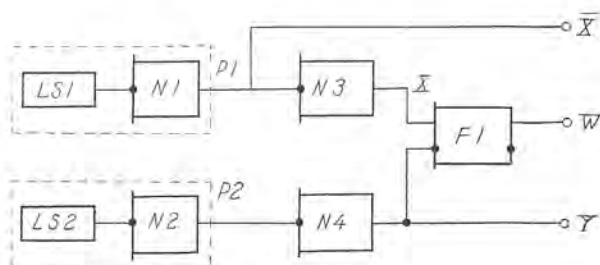


図 4.14 パルス成形回路
Fig. 4.14 Pulse formation circuit.

動作に必要な信号を発生する回路で両者を結合するものである。計数回路として図 4.8 の AND—NOR 変換された 2 バルス式並列形を使用するものとすれば、計数入力パルスとして \bar{X} , Y および W の 3 種が必要である。それらの相互関係はすでに式 (4.7), (4.8) および図 4.6 に示したとおりであるから、それからただちに図 4.14 のパルス成形回路が得られる。

5. 出力部の設計

5.1 一致回路および設定回路

ここでは信号を必要とする回転数の設定を行い、その回転数に達したとき動作する一致回路について述べる。

回転数の計数は二進法で行われるから設定も二進法で行い、計数回路の各桁の出力が相当する桁の設定値とすべて一致したとき出力を生じるようにすればよい。いま設定数の二進法表示による各桁を r_1, r_2, \dots, r_n と表わし、計数回路の出力を p_1, p_2, \dots, p_n とすると、論理数学における「対等」の関係をを用いて一致回路の出力を示すことができる。すなわち一致回路の出力を Q とすると

$$Q = (r_1/p_1) \cdot (r_2/p_2) \cdot \dots \cdot (r_n/p_n) \quad \dots (5.1)$$

となる。ここに (r_i/p_i) は r_i と p_i の対等を示すもので (1/1) または (0/0) のときにのみ 1 となり (1/0) または (0/1) のときには 0 となる。式 (5.1) は各桁の対等の論理積になっているが、任意の桁のみについて考えると対等の定義から

$$\left. \begin{array}{l} r_i=1 \text{ のとき } p_i=1 \\ r_i=0 \text{ のとき } p_i=0 \text{ すなわち } \bar{p}_i=1 \end{array} \right\}$$

$$\text{のとき } q_i = (r_i/p_i) = 1 \text{ となる。} \quad \dots (5.2)$$

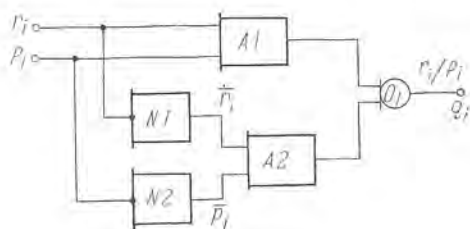


図 5.1 対等回路
Fig. 5.1 Parity circuit.

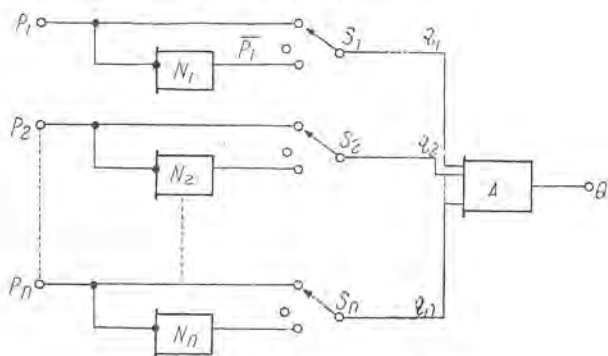


図 5.2 スイッチによる一致回路
Fig. 5.2 Coincidence circuit with contact-switch.

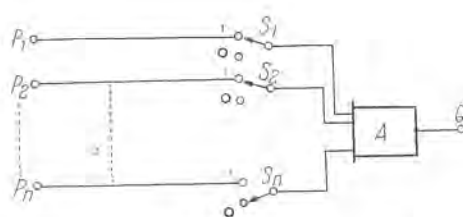


図 5.3 簡単化した一致回路
Fig. 5.3 Simplified coincidence circuit.

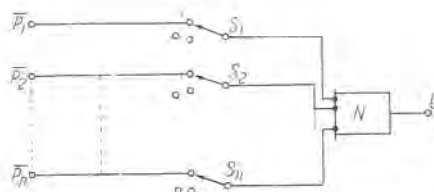


図 5.4 AND-NOR 変換した一致回路
Fig. 5.4 AND-NOR transformed coincidence circuit.

これを論理回路で実現したブロック図が図 5.1 である。ここで設定値 r_i を与えるのに接点を用いると、図 5.1 の AND 要素は直列接点で置きかえられて図 5.2 のように簡単化できる。この装置では、設定値の変更はまれにしか行われなからこの設定には接点を使用してもさほど障害を与えることはないとの考えから簡単な図 5.3 の回路を使用している。この接点是小形のプラグイン形スイッチで、1 または 0 の設定値に従って上列または下列に差し込むようになっている。

一致信号 Q は式 (5.1) および式 (5.2) から

$$Q = q_1 \cdot q_2 \cdot \dots \cdot q_n \quad \dots (5.3)$$

であるから、図 5.3 に記入した AND 要素により実現される。

ここで、計数回路の出力は必ず小さい数から大きい数に向って増加することに注意すれば $r_i=0$ に対する条件は不要となることに気付く。したがってこれを省略すると図 5.4 となる。また前節で行ったような AND-NOR 変換を行って AND を変換すると図 5.5 のようになる。

この装置中に実際設けられている一致回路は下記の 6 組である。

- (i) 起動後つねに 1 回転にて加速用の信号を生ずるもの。
- (ii) 第 1 Form のときのみ起動後、3 回転にて“Looper 下り”の信号を出すもの。

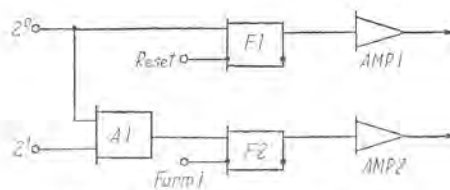


図 5.5 1 および 3 すなわち 01 および 11 にて出力を生ずる回路
Fig. 5.5 Logic circuit for out put at 1 and 3 i.e. 01 and 11.

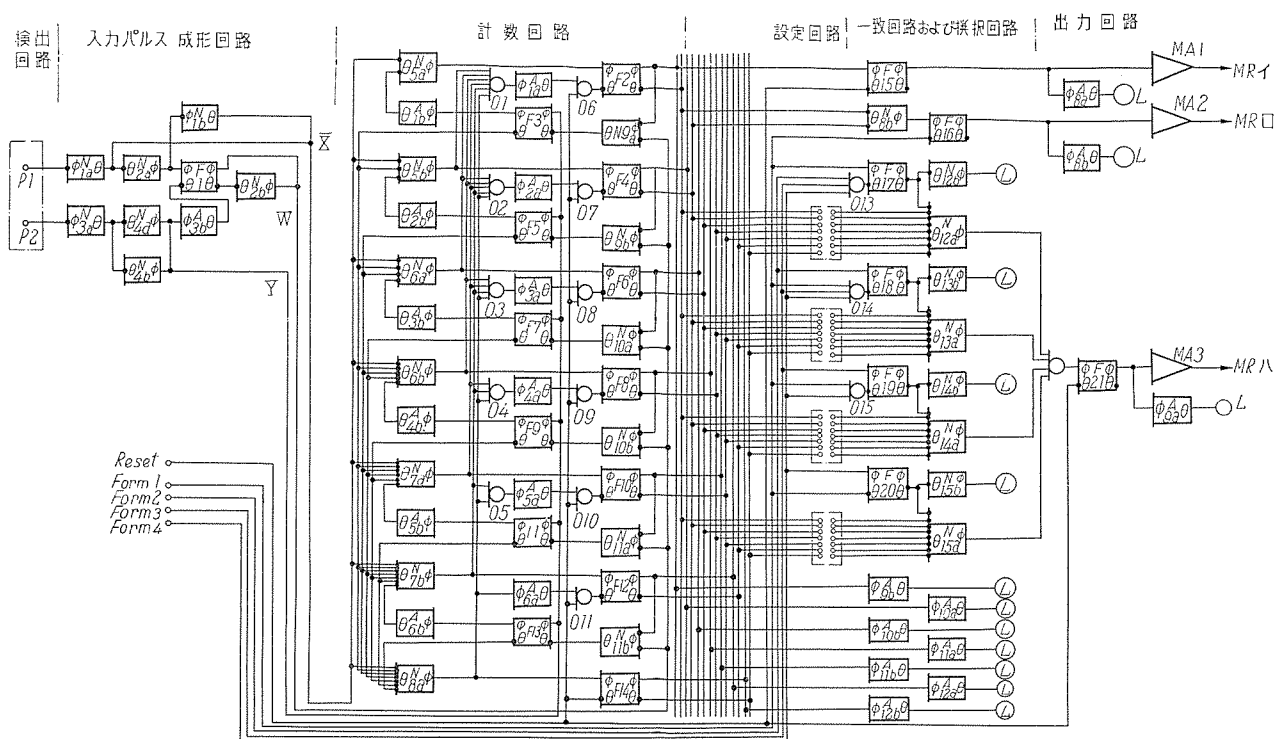


図 5.8 計数指令装置結線図

Fig. 5.8 Connection diagram of counter and director device.

実験結果では 5 pps, 300 rpm が限界として得られた。また電源電圧が低下すると検出部出力の性能が低下してパルス巾が短くなるため限界回転速度が低下する。電源が 80 V 以下になると論理要素の動作が不正確になり計数不能になる。この間の関係を図 6.1 に示す。

またリミットスイッチの空隙を変化しても限界回転速度は低下する。実験では $-0.1 \text{ mm} \sim +0.05 \text{ mm}$ の変化によって 50 rpm の限界回転数低下が認められた。

6.2 外形その他

装置全体は図 6.2, 6.3 および 6.4 の写真に示したようなケースに収められている。また磁気論理要素は GT 管ベース上にモールドされており外形寸法は図 6.5 に示す。この内には鉄心 2 個を組み込むことができるので、AND および NOT (NOR) 要素は 2 要素はずつ封入され、双三極管形式になっている。また各要素は着色

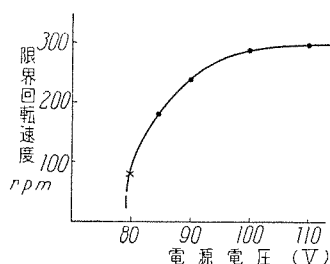


図 6.1 電源電圧と限界回転速度

Fig. 6.1 Relation of maximum counting speed and source voltage.

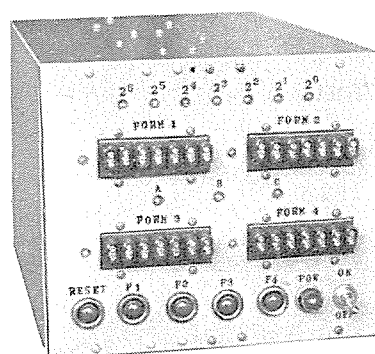


図 6.2 計数指令装置 (正面)

Fig. 6.2 Counter and director device (front view).

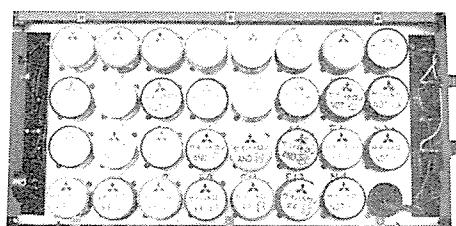


図 6.3 計数指令装置 (左側面内部)

Fig. 6.3 Device left side interior counter and director.

アララダイトにより色分けされ認別に便利になっている。各要素の接続図を表 6.1 に示す。この装置では全部で 47 個のブロックを用いた。

7. む す び

以上説明した磁気論理要素による計数指令装置は、動



図 6.4 計数指令装置 (右側面内部)
Fig. 6.4 Counter and director devices
right side interior.

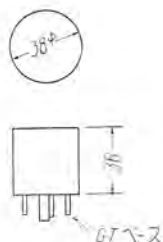


図 6.5 磁気論理
要素の外形
Fig. 6.5 Molded
magnetic logic
element.

作速度においては本質的に電子管式フリップフロップやデカトロンを使用したものに比べて劣るため、計数の高速化を望むことは不可能であるが、装置の信頼度、寿命または保守の点に重点を置いて考えれば、おのずからその存在価値が生ずるであろう。またこの装置において用いた基本的回路は他の磁気論理要素を用いた制御回路にも応用できるので、この装置が設計どおり動作することが確かめられたことは大いに意義がある。今後この装置の特性変化などについて研究するとともに、さらに各種の制御回路の無接点化を進めて行きたいと思っている。

最後にこの装置について援助願った名電工作技術課の方々に紙上より御礼申あげたい。

参 考 文 献

- (1) 横須賀, 浜岡, 大野: “無接点継電方式” 三菱電機 Vol.

表 6.1 磁気論理要素の接続表

| 種 類 | 接 続 | 着 色 |
|--------------|-----|-----|
| AND | | 赤 |
| NOT (NOR) | | 青 |
| FF | | 黄 |

①～⑧ はベースピン番号を示す

31, No. 12, 1957.

- (2) W. G. Evans, W. H. Hall, R. I. Van Nice: “Magnetic Logic Circuit for Industrial Control Systems” AIEE Vol 75, 1956.
- (3) J. P. Baker: “Cypak System. An Application of Logic Function”, Westinghouse Engineer July, 1956.
- (4) 菅野正雄: “論理数学における主な関係とそれに対応する基本回路” 三菱電機 Vol. 31, No. 4, 1957.
- (5) Keister, Ritchee, Washburn: “The Design of Switching Circuit” Bell. Lab. Series.
- (5) R. I. Van Nice, “Magnetic Logic Circuit Control System Design Consideration” AIEE Trans. Paper 56-727

最近における当社の社外講演一覧

| 講演月日 | 主催または開催地 | 演 題 | 講 演 者 | 所 属 |
|---------------|-------------|-----------------------------------------|------------------|------|
| 32 年 12 月 4 日 | 規格協会 | 品質管理と標準化セミナー 社内規格 | 前田幸夫 | 本 社 |
| 12 " 6 " | 大阪税理士会館 | " 社内規格について | 松尾準一 | " |
| 12 " 7 " | 日本計測学会 | 無方向性 Fe-Ni50-50 板 (当社名ハイパーロイ) の歪取焼鈍について | 尾島学二, 加藤伸司, 小倉忠利 | 世田ヶ谷 |
| 12 " 9 " | 北陸電力本社会議室 | ヤンキー原子力発電所の安全性について | 川口 修 | 本 社 |
| 12 " 17 " | 日刊工業新聞大阪支社 | パルス回路技術講習 | 植田英雄 | 無線機 |
| 12 " 19 " | 規格協会 | 品質管理セミナー QC 教育法 | 和田 巖 | 本 社 |
| 12 " 24 " | 山武ハネウエル K/K | マイクロスイッチについての映画による説明会 | | 無線機 |
| 33 年 1 月 10 日 | 規格協会福岡支部 | 標準化 (品質管理と標準化セミナー) | 前田幸夫 | 本 社 |
| 1 " 21 " | 日本建鉄船橋工場 | 品質管理の進め方 | 和田 巖 | " |
| 1 " 23 " | 阪大工学部 | Error Correction | 三谷尚正 | 無線機 |
| 1 " 23 " | 北海道電力 KK | 134 MW 加圧水型発電所について | 前沢芳一 | 本 社 |
| 1 " 24 " | 蔵前工業クラブ | 社内研修について | 和田 巖 | " |
| 1 " 27 " | 東北電力 KK | 134 MW 加圧水型発電所について | 前沢芳一 | " |

磁気増巾器形サーボ

研究所 浜岡文夫*・今出昭彦*・大野栄一*

Magnetic Amplifier Type Servo

Engineering Laboratory

Fumio HAMAOKA・Akihiko IMAIDE・Eiichi ÔNO

There are various types for servo-motors playing a vital role of converting electric energy to mechanical energy in the automatic control system: pneumatic type, oil pressure type and electric type. Two phase a-c servo motors, the most popular at present, are mostly driven by output amplifiers operating on electronic tube principle. But recent increase in the motor rating finds it necessary to substitute them by magnetic amplifiers in view of higher reliability and easier maintenance. Being a static apparatus the magnetic amplifier has a number of advantages over the predecessor except response speed, which, however, is on the improvement to promise future popularity.

1. ま え が き

自動制御系の電氣的エネルギーと機械的エネルギーの変換装置として重要な役割をするサーボモータには空気式、油圧式または電気式など各種のものがあるが、電気式のものをもっとも広く用いられているようである。電気式の中でも交流二相誘導電動機は、制御および保守を容易になしうるため現在もっとも多く使用されている。このサーボモータを駆動する出力増巾器のことをサーボ増巾器と称し、従来小形サーボモータを用いた平衡回路などではほとんど電子管増巾器が使用されてきた。しかし最近のように自動制御が発達してくると、モータ定格が増大してくるとともに、増巾器の信頼度および保守の点についても要求が厳しくなってきたため、電子管増巾器では制御が困難となり、かわって磁気増巾器による方法が注目され広く一般化されつつある。

磁気増巾器は衆知のとおり、完全な静止器であるため信頼度が非常に高く、一段あたりの増巾率も大きく、また周囲の塵埃やガス、または温度変化に対する影響も少

ないなどの特長を持っているが、一方真空管増巾器に比べて応答速度がおそい欠点がある。しかし現在速応性の各種の回路が発表され、高性能サーボ系にも十分使用しうようになってきた。

本文では磁気増巾器によるサーボ増巾器回路の若干を紹介し、つぎに磁気増巾器形サーボを実際に使用した各種の応用例について述べる。

2. サーボ増巾器

二相サーボモータは誘導電動機的一种で、その二次抵抗を非常に高くして、いわゆる比例推移の原理によって速度—トルク特性を図2.1のように端子電圧を E_1 , E_2 および E_3 と種々に変化することにより、負荷 T_L に対する回転速度を n_1 , n_2 , n_3 と広範囲に選ぶことができる。二相モータはこのように速度が垂下特性を有するから、電圧制御のみで安定に速度制御を行うことができ、また回転部の慣性能率をできるだけ小さく作られている。

いまこのような特性のモータを制御する増巾器として必要な性能を列挙してみると、

- (i) 出力は位相可逆転の交流基本波分をもつこと。
- (ii) 入力回路は極性可逆転の直流、または位相可逆転の交流信号で動作すること。
- (iii) 応答ができるだけ速いこと。サーボモータの伝達函数は近似的に、

$$G_M(s) = \frac{1}{1 + T_M s}$$

と表わされる。 T_M はモータ定数で $T_M = J n_0 / T_0$ となり、回転子の慣性能率 J 、基準回転数 n_0 、および基準トルク T_0 から求められる。 T_M の値は実際はトルクおよび速度の函数であって、制御電圧または回転数によって相当変化するが、現在市販されているサーボモータの無

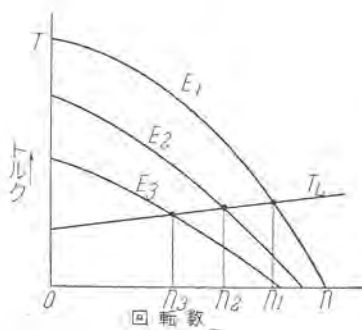
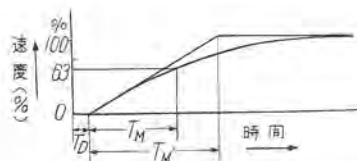


図 2.1 二相サーボモータ速度トルク特性
Fig. 2.1 Speed-torque characteristics of two phase servo-motor.

表 2.1 二相サーボモータ時定数

| サーボモータ 種 類 | $T_D(\text{sec})$ | $T_M(\text{sec})$ | $T'_M(\text{sec})$ |
|---------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| M_1 | 0.008 | 0.1 | 0.12 |
| M_2 | 0.01 | 0.125 | 0.17 |
| M_3 | 0.008 | 0.1 | 0.17 |
| M_4 | 0.017 | 0.17 | 0.24 |
| M_5 | 0.01 | 0.18 | 0.28 |
| M_6 | 0.017 | 0.27 | 0.37 |



負荷における T_M の実測値は表 2.1 のとおりである。したがって増巾器の時定数は T_M に比して無視できるであろう。

自己飽和形を用いた増巾器の伝達函数は、

$$G_A(s) = \frac{1}{1 + T_A s}$$

で表わされ、 T_A は普通電源周波数の数サイクルである。また速応性形の増巾器では、

$$G_F(s) = e^{-sT_F}$$

となり、 T_F は最大電源周波数の 1 サイクルとなる。制御系がこれ以上小さな時定数を要求する場合は電源周波数を高くして、 T_A または T_F を短くすることができる。

(iv) 増巾器はモータから要求される最大出力を十分出し得るものでなくてはならない。すなわちモータ拘束時が増巾器にとってもっとも大きな負荷となるから拘束インピーダンスに対しても定格電圧を供給できることが必要である。

(v) 前置増巾器が磁気増巾器の場合は入力インピーダンスが低くてもよいが、電子管増巾器の場合はできるだけ高いことが望ましい。

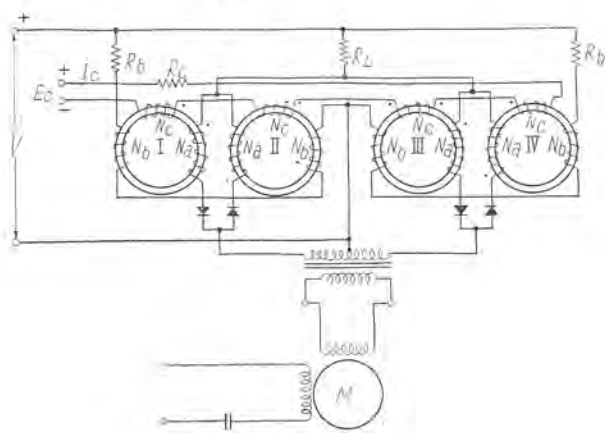


図 3.1 自己飽和形磁気増巾器を用いたサーボ増巾器回路 (変圧器負荷側)

Fig. 3.1 Servo-amplifying circuit using self-saturated magnetic amplifier.

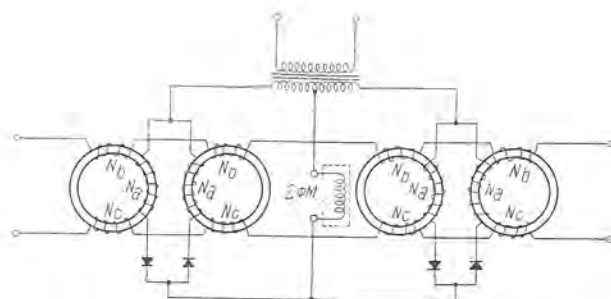


図 3.2 自己飽和形磁気増巾器を用いたサーボ増巾器回路 (変圧器電源側)

Fig. 3.2 Servo-amplifying circuit using self-saturated magnetic circuit.

3. 各種磁気サーボ増巾器の概要

3.1 自己飽和形サーボ増巾器

この方式は現在もっとも一般化されている自己飽和形磁気増巾器を用いるもので、位相可逆転の交流出力を得るために、センタタップ付変圧器を用いて、プッシュプル接続をする。この変圧器を負荷側に入れたのが図 3.1 の回路で、電源側に入れた回路を図 3.2 に示す。図 3.1 はモータインピーダンスが高い場合に適し、図 3.2 の方法はインピーダンスの低いものに適している。一般にモータが大形になればそのインピーダンスが低くなるから、図 3.2 の回路は出力の比較的大きいものに用いられる。図 3.1 の回路に用いられるモータは電子管増巾器用に製作されたようなインピーダンスの高い小形モータである。図 3.1 の回路では交流バイアスを用いているが、これは直流バイアスにしても差支えない。

一般にプッシュプル増巾器の解析は複雑になるから、詳しいことは他書にゆずって、ここでは簡単に各鉄心の磁気状態に注目して動作を考察してみる。図 3.1 で電源電圧 V が図の極性のときには、鉄心 I および III に電圧がかかり、その前の半サイクルでリセットされた磁束レベルをしだいに引き上げる。制御電圧 $E_c = 0$ のときは電気角 90 度で鉄心 I および III は同時に飽和に達するので、出力変圧器の二次に電圧を生じない。この間に鉄心 II および IV は R_b および N_b のバイアス回路によってリセットされ、このときも $E_c = 0$ ならばリセットレベルは前と等しく、つぎの半サイクルでも同様に出力を生じない。

もし入力電圧 E_c が図 3.1 のような極性で印加されたとすると、鉄心 I および II のリセットレベルは上り、III および IV のリセットレベルは下るから、まず III よりも I が早く飽和に達し、III が遅れて飽和するまでの間の電圧が出力電圧として出力変圧器の二次側から負荷に供給される。またつぎの半サイクルでは II が早く飽和し、IV が遅れて飽和するから、この間の差が出力となる。 E_c が逆極性ならば飽和の順序が逆になり逆位相の出力を生ずる。またリセットレベルの上下は制御アンペアターン AT_c にほぼ比例して行われるから、出力もまた

E_c ほぼ比例する。すなわち磁束変化量 $\Delta\Phi$ は、

$$\Delta\Phi = k\Delta AT_c = kN_c\Delta I_c \quad (3.1)$$

と表わされる。ここに k は比例常数である。一方電源周波数を f 、交流巻線数を N_a とすると、出力電圧の変化分 ΔV_L との間に、

$$\Delta V_L = 4fN_a\Delta\Phi \quad (3.2)$$

の関係が成立する。したがって、

$$\Delta V_L = 4kfN_aN_c\Delta I_c \quad (3.3)$$

$$G_v = \frac{\Delta V_L}{\Delta E_c} = 4kfN_a \frac{N_c}{R_c} \quad (3.4)$$

$$T = \frac{1}{2f} \frac{N_c}{N_a} G_v = \frac{2kN_c^2}{R_c} \quad (3.5)$$

$$M = G_v^2 \frac{R_c}{R_L} \frac{1}{T} = \frac{8kf^2N_a^2}{R_L} \quad (3.6)$$

となる。式 (3.4)、(3.5) および (3.6) において、 G_v は電圧利得、 T は時定数、 M は性能系数 (Figure of Merit)、 R_c は制御回路抵抗、また R_L は負荷抵抗である。上式では R_L と直列になっている巻線抵抗および整流器正方向抵抗は無視してあるが、正確にはこれらの分を補正する必要がある。

この自己飽和形による回路は、利得をかなり高く取り得るが、時定数が比較的長い欠点がある。したがってループゲインのわりに低いサーボ系では問題はないが、ループゲインの高い高性能サーボ系では応答速度の速い増巾器が必要になってくる。

3.2 Lufcy の速応性サーボ増巾器

Ramey の半サイクル応答の速応性回路が発表されていらい、いろいろの速応性回路が考案実用化されて磁気増巾器の応用面が一段と広がってきた。Lufcy の考案になる速応性回路は Ramey のそれと並んできわめて重要なものである。

この回路の動作方式は、毎サイクルすべての鉄心を飽和させて制御回路のインダクタンス分を 0 にして、この回路インダクタンス 0 の期間中に過渡現象をすばやく終らせようとするものである。

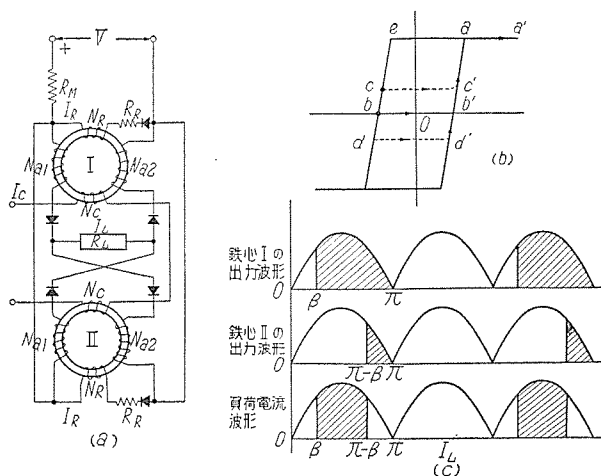


図 3.3 Lufcy の速応性回路

Fig. 3.3 Lufcy's fast response circuit.

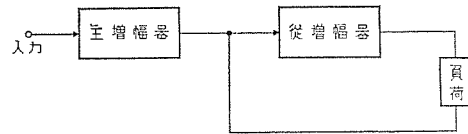


図 3.4 Barnhart の回路のブロック線図

Fig. 3.4 Block diagram of Barnhart's circuit.

回路は図 3.3 (a) に示すように、2 個の鉄心 I および II から成り、交流巻線を 2 分割して、 N_{a1} および N_{a2} とし、図のようにそれぞれ対角線に接続する。入力電流 0 のときには、鉄心 I および II はともに電源の位相 $\pi/2$ の点で飽和するようにリセット電流 I_R により調整する。すなわちリセットにより鉄心 I および II の磁束は図 3.3 (b) の b 点まで下げられ、 e, b, b', a, a', a, e のループをたどる。 a' 点は回路の電流制限抵抗 R_M によって決められる。もし入力 I_c が与えられると、鉄心 I および II の平衡が破れて出力を生ずる。すなわち鉄心 I は c 点までリセットされるのに対し、鉄心 II は d 点までリセットされるため、つぎの出力サイクルで図 3.3 (c) のように飽和位相角 β に差を生じ、これが出力として負荷に与えられる。入力 I_c ははじめのリセット点 b 点を c および d 点に動かすだけであるから、きわめて微小なエネルギーでよい。この回路は完全な電圧リセット形でも電流リセット形でもなく、したがって利得は制御アンペアターンのみでは決らない。一般に最大利得を与える制御線数 N_c は鉄心の特性などから経験的に決められる。 N_c は自己飽和形増巾器に比べてきわめて小さな値であるため、この回路の入力インピーダンスは数 Ω から数十 Ω 程度の低い値となる。もちろん直列抵抗を入れてインピーダンスを大きくすることは差支えない。

この回路の出力波形図 3.3 (c) をフーリエ解析すれば、

$$V_L = \pm \frac{1}{\pi} \cos \beta \pm \frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} - \beta + \frac{1}{2} \sin 2\beta \right) \sin \omega t + \dots$$

となり、第 1 項の直流分と第 2 項の基本波分および高調波分を含む。しかも基本波分は入力の極性によって位相を反転するから、これをサーボモータの制御に用いることができる。しかしこの回路では基本波分の増加につれて直流分も増加し、制動作用が大きくなりモータの応答を遅らすので好ましくない。この直流分を除去するために、Lufcy の回路を二組用いて全波出力とした回路がすぐれた特性を示す。

3.3 Barnhart の回路

この回路は図 3.4 のブロック線図に示すように、二組の Lufcy の回路を用いて全波出力を得るようにしたので、もちろん応答は Lufcy の回路と同じ速応性を保っている。すなわち一組の主増巾器の出力で従増巾器を駆動し、両者の出力を合わせて負荷に与えている。このさい主増巾器の通電半サイクルでは、従増巾器はリセッ

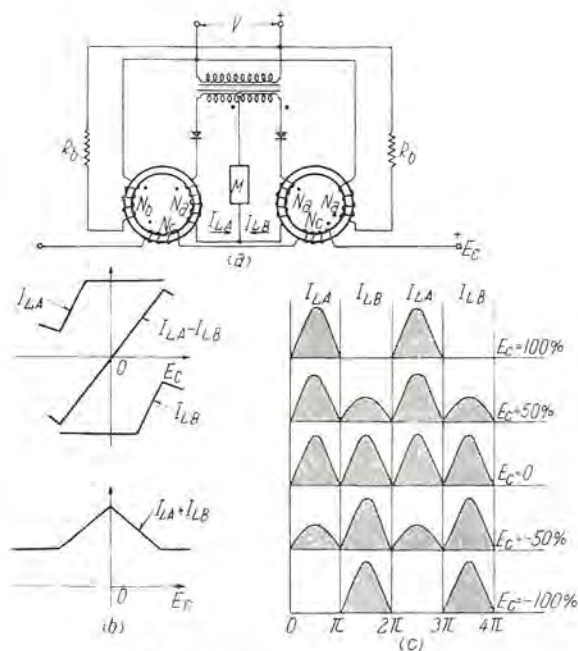


図 3.5 Geyger のサーボ増巾器
Fig. 3.5 Geyger's servo-amplifier.

ト半サイクルとなり磁束の設定を行うようになってい
る。この回路では両者のバランス調整を正しく行えばほ
んど直流分が消去され、全波出力増巾器としてすぐれた
特性を発揮する。

3.4 Geyger の回路

サーボモータの制御回路の直流分は回転子に電流を生
じ、この電流によって粘性制動力を生じて制御系の安定
度を助ける作用をするから、この特性を利用して、二相
モータがある目標値に近づいたとき直流分を増加させて
十分に制動をかけるようにすると、きわめて応答の速い
制御系を作ることができる。

Geyger は半サイクル応答で、この直流分を有効に利
用した回路を考案した。すなわち基本波分が大きいとき
には高速回転をさせるために直流分を減少させ、逆に基
本波分が小さいときには直流分を大きくして制動をかけ
るようにしたもので、その回路および動作を図 3.5 (a)
および (b) に示す。図 3.5 (c) はその出力波形で、入
力 0 のときには直流分および偶数高調波分のみで基本波
分は 0 となりモータは静止する。入力が増えられると直
流分が減少し、基本波分が生じてモータはトルクを発生
する。理想的には出力変化の方向に応じて直流分を増減
させることが望ましいが、これはこんごの研究課題であ
ろう。

4. サーボ増巾器の応用例

以上のように磁気増巾器を用いたサーボ増巾器はその
すぐれた特長から、応用面は際限なく考えられるが、わ
れわれが実際にこれらの回路を用いて各種の制御に応用
したもののなかから、その 2, 3 の実施例について説明
する。

磁気増巾器形サーボ・浜岡・今出・大野

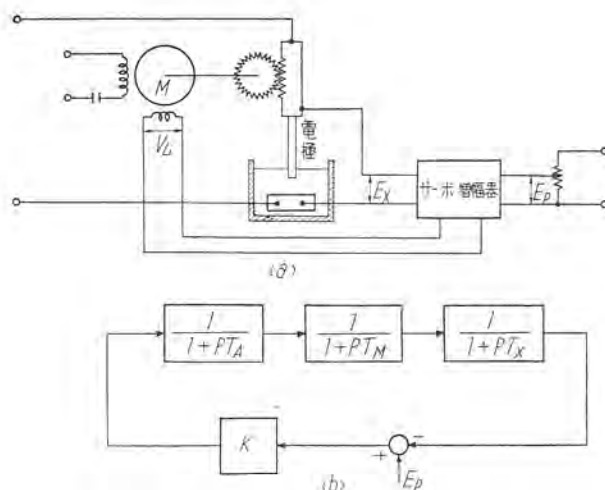


図 4.1 放電加工機制御回路
Fig. 4.1 Control circuit of spark machining device.

4.1 放電加工機電極制御用サーボ

放電加工機はその加工中に被加工物および電極が消耗
して行くが、加工を正確に行うためには極間電圧をつね
に一定に保たなければならない。このために電極電圧を
検出して、これを一定に保つよう電極送りを自動化した
制御装置にサーボ増巾器を使用した。

制御回路は図 4.1 (a) に示すとおりで、電極間電圧 E_x
を規準電圧 E_p と比較し、その大小によってサーボモ
ータを正逆転させ、たえず E_x と E_p の差を 0 にするよ
う電極送りを制御するものである。

この制御系のブロック線図を作ると図 4.1 (b) のよう
になる。ここに T_A はサーボ増巾器の時定数、 T_M は二
相モータ定数、 T_X は放電電極間電圧と電極送り速度の
間を一次遅れ要素に近似したさいの時定数である。全体
のループゲインを K とすれば特性方程式は、

$$(1+PT_A)(1+PT_M)(1+PT_X)+K=0$$

となる。ここで Hurwitz の行列により安定限界を求め
ると、

$$1+K=\frac{(T_A+T_M+T_X)(T_AT_M+T_MT_X+T_XT_A)}{T_A \cdot T_M \cdot T_X}$$

となる。 $T_M=0.15$, $T_X=0.03$ とし、 $K=12$ にとると、
安定限界としては、

$$T_A \leq 0.08$$

が得られる。したがって、サーボ増巾器の時定数は 0.08
以下にすべきことが要求される。

ここに使用したサーボモータは K 社のもので、制御
界磁は 100 V、37 mA でインピーダンスは 2.7 k Ω と
高いもので、図 3.1 の自己飽和形回路を用いた。これに
よれば増巾器の電源電圧を 100 V のままで負荷に最大
100 V 以上の出力電圧を得ることができる。

この増巾器の出力特性は図 4.2 (a) に示すとおりで、
直線部では 200 V/AT の利得をもつ。いま $N_c=200$ T、
 $R_c=500 \Omega$ とすると、

$$G_r=\frac{\Delta V_L}{\Delta E_c}+\frac{\Delta V_L N_c}{N_c \Delta I_c R_c}+\frac{\Delta V_L N_c}{\Delta A T_c R_c}$$

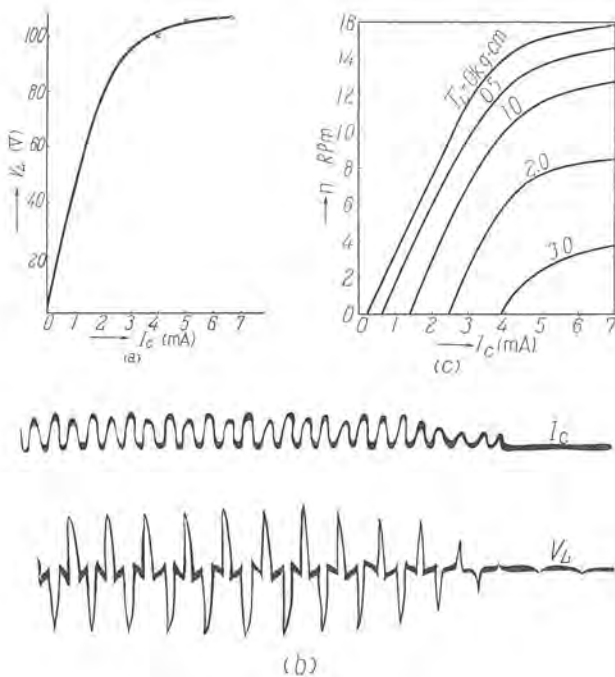


図 4.2 サーボ増巾器特性
Fig. 4.2 Servo-amplifier characteristics.

$$=100 \times \frac{200}{500} = 40$$

また $N_a = 2740$ T であるから、式 (3.5) から

$$T = \frac{1}{2f} \frac{N_c}{N_a} G_v = \frac{1}{120} \times \frac{200}{2740} \times 40 = 0.025$$

となる。図 4.2 (b) にその応答を実測したオシログラムを示す。この結果からは約 2 サイクル、すなわち、0.032 秒となり要求を満足している。また図 4.2 (c) はこの増巾器でモータを駆動した特性曲線である。図 4.3 は放電加工機に取り付けられたこの装置の外観を示す。

4.2 モータ式積分器

積分時間の非常に長い積分制御を必要とする場合がしばしばあるが、このような場合電子管回路のみでは実現困難となり、モータを用いた電気—機械方式のものが有利となる。ここでは交流誘導発電機を直結した二相サーボモータを磁気増巾器で制御して、速度サーボ系を形成し、積分動作を行わせている。積分出力はモータに直結



図 4.3 放電加工機用サーボ増巾器
Fig. 4.3 Servo-amplifier for spark machining control.

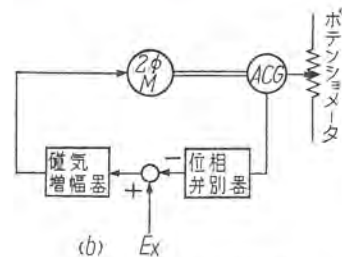


図 4.4 モータ式積分器
Fig. 4.4 Motor type integrator.

されたポテンショメータから得られる。図 4.4 (a)。

このブロック線図は図 4.4 (b) のようになり、発電機出力を位相弁別器をとおして極性を持った直流信号とし、これを入力信号 E_x に対して負帰還している。この増巾器回路は図 3.1 の方式を使用している。

4.3 原子炉制御棒駆動装置

原子炉の出力を所要の値に保つために、その制御棒の位置をつねに調整する必要がある。ここでは簡単に制御棒を駆動するサーボ増巾器関係のみについて述べる。駆動用モータは最大出力約 10 W の二相サーボモータを使用し、増巾器への入力には ± 5 V, 1 mA で、入力の 1% でモータが起動することが要求されている。したがって ± 0.01 mA の入力に対してモータの端子電圧で 20 V 以上のゲインを増巾器に持たせる必要がある。増巾器は二段増巾とし、前段増巾器は演算形、出力増巾器は図 3.2 の方式を使用している。

(1) 前段増巾器

前段増巾器は演算形増巾器を使用している。この増巾器は負帰還をかけて動作を安定化するとともに入力インピーダンスを高くしている。てきとうな正帰還と負帰還を併用して、電圧増巾率を 150 倍、入力インピーダンスを約 1 MΩ にしている。この場合鉄心その他の非線形要素の影響のため、入力インピーダンスはかなり変化するが、この変化を防止する必要があるときは入力回路にてきとうな抵抗を並列に入れることによって一定に保つことができる。

前段増巾器の回路を図 4.5 (a) に、またそのブロック線図を (b) に示す。増巾器のループゲイン K は正帰還率 β と増巾器利得 A から、

$$K = \frac{A}{1 + \beta} \quad \text{ただし} \quad A = \frac{V_L}{I_c}$$

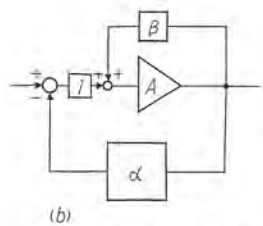
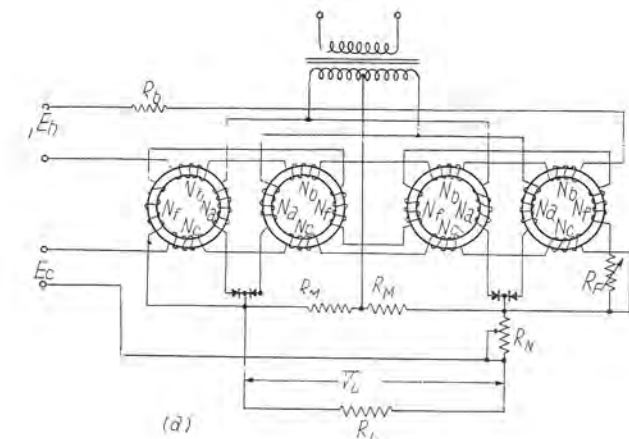


図 4.5 原子炉制御棒駆動装置用
前段増巾器
Fig. 4.5 Re-amplifier for driving
nuclear reactor control nod.

で与えられる。また負帰還率 α は負荷抵抗 R_L と帰還抵抗 R_F から、

$$\alpha = \frac{R_L}{R_F}$$

となり、制御回路の入力インピーダンス Z_i は、

$$Z_i = \frac{K}{1 + \alpha}$$

となる。この増巾器では前述のように Z_i は $500 \text{ k}\Omega \sim 1 \text{ M}\Omega$ の値を有している。

増巾器の出力特性は十分負帰還をかけることによって図 4.6 に示すようにきわめてすぐれた直線性を有している。この増巾器は中性子束検出器から直流増巾器で増巾された信号を受けて動作する。

(2) 出力増巾器

この増巾器は 10 W のサーボモータを駆動するためにその最大出力は 40 W 供給できるものである。増巾器

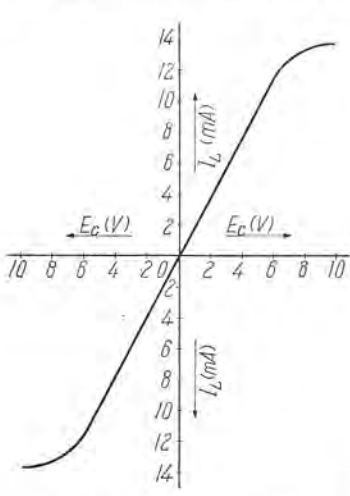


図 4.6 前段増巾器出力特性
Fig. 4.6 Output characteristic
of pre amplifier.

にとってもっとも大きな負荷状態はサーボモータの速度が 0 のときであるから、モータの拘束インピーダンスを対象として増巾器は設計されている。ここに使用したモータの拘束インピーダンスは 250Ω である。

この増巾器は図 4.7 に示すプッシュプル回路を用い、その時定数は約 0.15 秒 、また出力特性は図 4.

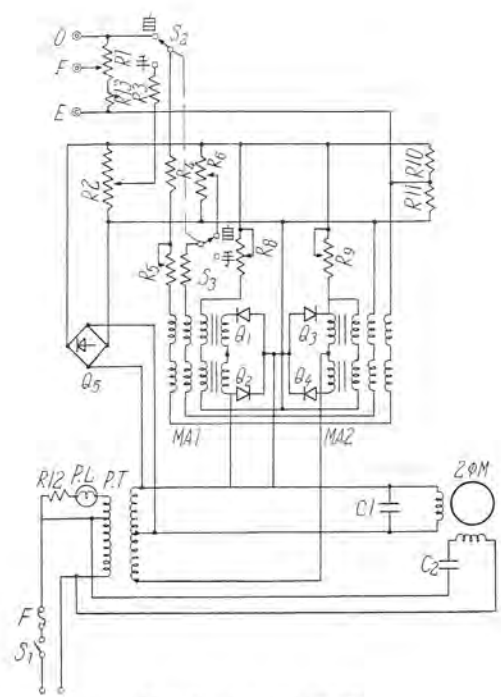


図 4.7 出力増巾器回路
Fig. 4.7 Output amplifying circuit.

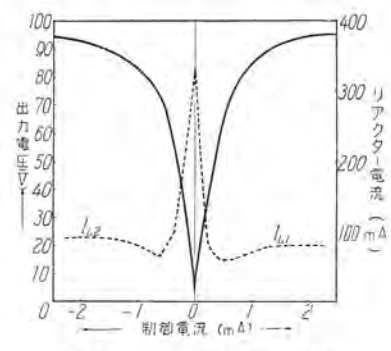


図 4.8 出力増巾器出力特性
Fig. 4.8 Output characteristic of output amplifier.



図 4.9 原子炉制御棒駆動装置用サーボ増巾器
Fig. 4.9 Servo-amplifier for driving control
nod of nuclear reactor.

8 に示すとおりである。図 4.9 はこの装置の外観を示す。

4.4 サーボ掛算機用出力増巾器

以上述べた例はいずれも比較的ループゲインが低いため、応答時間も数サイクルの自己飽和形増巾器で十分満足な性能を得ることができたが、サーボ掛算機ではきわめて高い精度が要求されるため、高利得で速い応答速度の増巾器が必要になってくる。

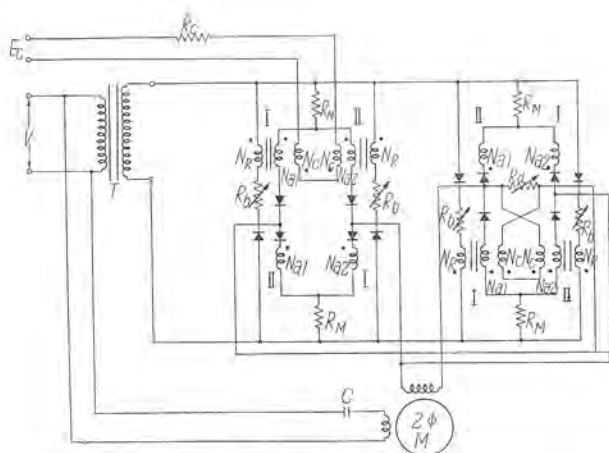


図 4.10 掛算機用サーボ回路

Fig. 4.10 Servo-amplifier circuit for multiplier.



図 4.11 掛算機用サーボ増巾器

Fig. 4.11 Servo-amplifier for multiplier.

このように高性能なサーボ増巾器ではとうぜん半サイクル応答の磁気増巾器を用いなければならない。ここでは前述の Barnhart の回路に直流バランス抵抗 R_d を付加した回路を用いて、所望の性能を得ている。増巾器の回路を図 4.10 に、また装置を図 4.11 に示す。図 4.12 は増巾器の出力特性であり、図 4.13 はその過渡現象のオシログラムで、1 サイクル以内に現象が完了していることを示している。

5. む す び

磁気増巾器形サーボの出力は制御入力によって位相が変り、また多くの高調波を含んでいるためモータに鉄損銅損の増加または異常トルクの発生などが考えられるが、これらの現象は実用上ほとんど問題なく、むしろ直流分のように有効に利用される場合もある。ただ応答速度において電子管式に劣るが、寿命、信頼度、または保守などいろいろの点においてきわめてすぐれた特長を有し、かつ容易に大出力のものを作りうる利点を持っている。その欠点とされている応答速度に関しても、速応性回路の発達によって一段とすぐれたものが得られるようになってきたが、こんどさらに高い周波数電源の応用などによって、より良い増巾器が開発されこの方面におけ

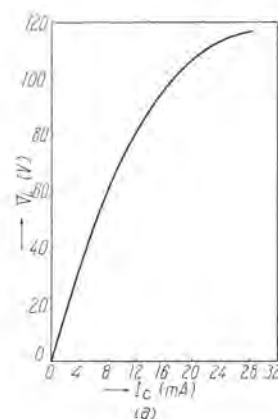


図 4.12 掛算機用増巾器出力特性

Fig. 4.12 Output characteristic of multiplier amplifier.

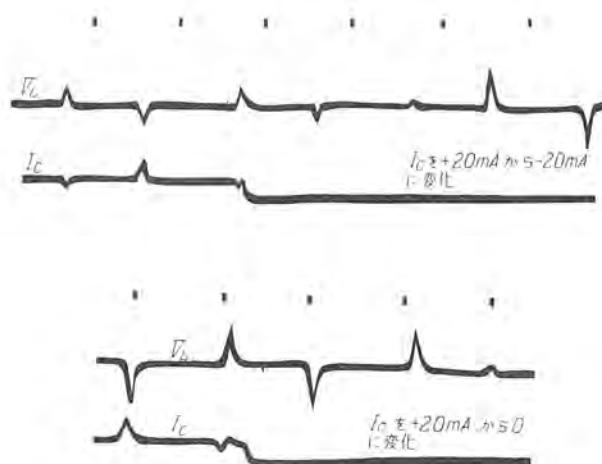


図 4.13 掛算機用増巾器の過渡応答オシログラム

Fig. 4.13 Transient response oscillogram of multiplier amplifier.

る応用範囲がますます拡大されるものと期待される。

参 考 文 献

- (1) W. A. Geyger: Elimination of Asymmetry. Zero Drift in Magnetic Amplifier, TAIEE, Pt 1, 1952, P. 239.
- (2) J. J. Suozzi: Magnetic Amplifier Two-Speed Servo-System, Electronics, Vo. 29, No. 2, Feb. 1956, P. 140.
- (3) R. M. Hubbard: An Operational-type Magnetic Amplifier for Air-Born Servo-Control System, Communication & Electronics, Nov. 1945, P. 425.
- (4) W. A. Geyger: A New-type of Maynetic Servo-Amplifier. TAIEE, 71, 1952, P. 383.
- (5) P. W. Barnhart: A New Full-Wave Magnetic Amplifier Output Stage, TAIEE, Mar. 1955, P. 139.
- (6) C. W. Lufcy, A. E. Schmid, P. W. Barnhart: An Improved Magnetic Servo Amplifier. ATIEE, Pt 1 Sept. 1952, P. 281.
- (7) W. A. Geyger: Sixty Cycle Self-Balancing Magnetic Servo Amplifier. TAIEE, Commitee of the special technical Conference on Magnetic Amplifier. P. 221.

帯鋼のループコントロール装置

神戸製作所 武 藤 哲*

Loop Control Device of Steel Strip Mill

Kobe Works Tetsu MUTO

As various industries have made a great stride of late, rationalization of equipment has been steadily taken up even in steel mills. Complicated automatic operation, quick response to control and accuracy for electric control equipment have come in as an outcome of the above. Of varied requirements, automatic control of a steel strip mill in the course of shearing and pickling stands out, which calls for operation of maintaining always a definite loop in spite of varying diameters of the winder by providing a constant loop between the winder and a trimmer. An electromagnetic detector working on the changes of d-c leakage flux together with a photoelectric loop control device play vital parts in this arrangement.

1. ま え が き

近年各種産業の急速な発展にともない、製鉄工業においても設備の合理化が着々実施せられ、それにもない電気制御装置に対しても複雑な自動運転や、制御の速応性、精度などに対する要求も一段と強くなってきた。その一例として帯鋼の処理加工途中における帯鋼ループの自動制御があげられる。帯鋼の剪断あるいは酸洗装置などにおいては巻取機とトリムマとの間に一定のループを持たせ、巻取機の径が変化してもつねに一定のループを保たせて運転する必要があるが、酸洗装置では酸タンク内の帯鋼が一定のループを維持するように自動制御を行わなければならない。帯鋼のループ位置を検出する装置としては、種々の方式が考えられるが、ここでは光束の変化を光電管によって検出する光電式ループコントロール装置と、直流漏洩磁束の変化を利用した電磁式検出装置について述べることにする。

2. 光電式ループコントロール装置

帯鋼の酸洗工程におけるループコントロール簡略図を図 2.1 に示す。巻取機から取り出された帯鋼は、ピンチ

ロールを通していったんルーピングピットに蓄えられ、酸洗タンクを通過させて鉄板の酸洗処理を行い、巻取機の前に一定のループを保たせ、その高さを一定に維持するよう調整しつつ巻取機により一定のテンションで巻き取られる。上記工程においては、少くとも二つのループが作られる。一つは酸タンク内のループであり、他は巻取機の前ループでいずれも処理工程中つねに一定の高さを保持しなければならない。光電式ループコントロール装置は図 2.1 における No. 2 ループの高さを一定に保つための調整器で、帯鋼ループの下部に光線を通し、これを光電管に投射しループの高さの変化に対し光電管に投射される光束量の変化を光電管で検出し、増巾器で増巾した出力を No. 3 ピンチロール駆動電動機の界磁に与え、つねにループの高さが一定に保持されるよう速度制御される。

2.1 構 造

この装置は光源装置および光電装置より成るループ検出部と、検出された信号を増巾し電動機界磁に供給するための増巾部の二つに大別される。増巾部は真空管による電圧増巾部と、サイラトロンを使用した電力増巾部よ

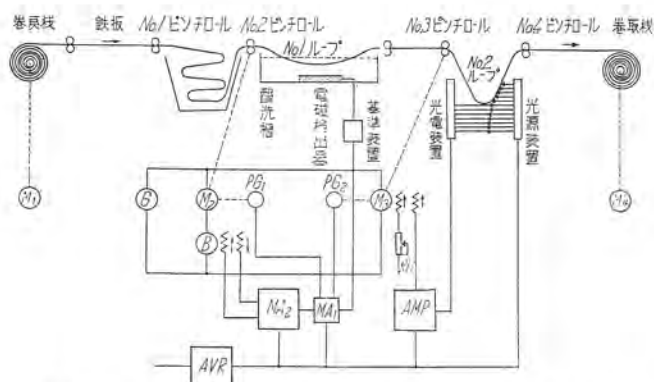


図 2.1 帯鋼ピッキングラインループコントロール簡略図
Fig 2.1 Skelton diagram of pickling line loop control.



図 2.2 ループコントロール装置外観
Fig 2.2 View of loop control device.

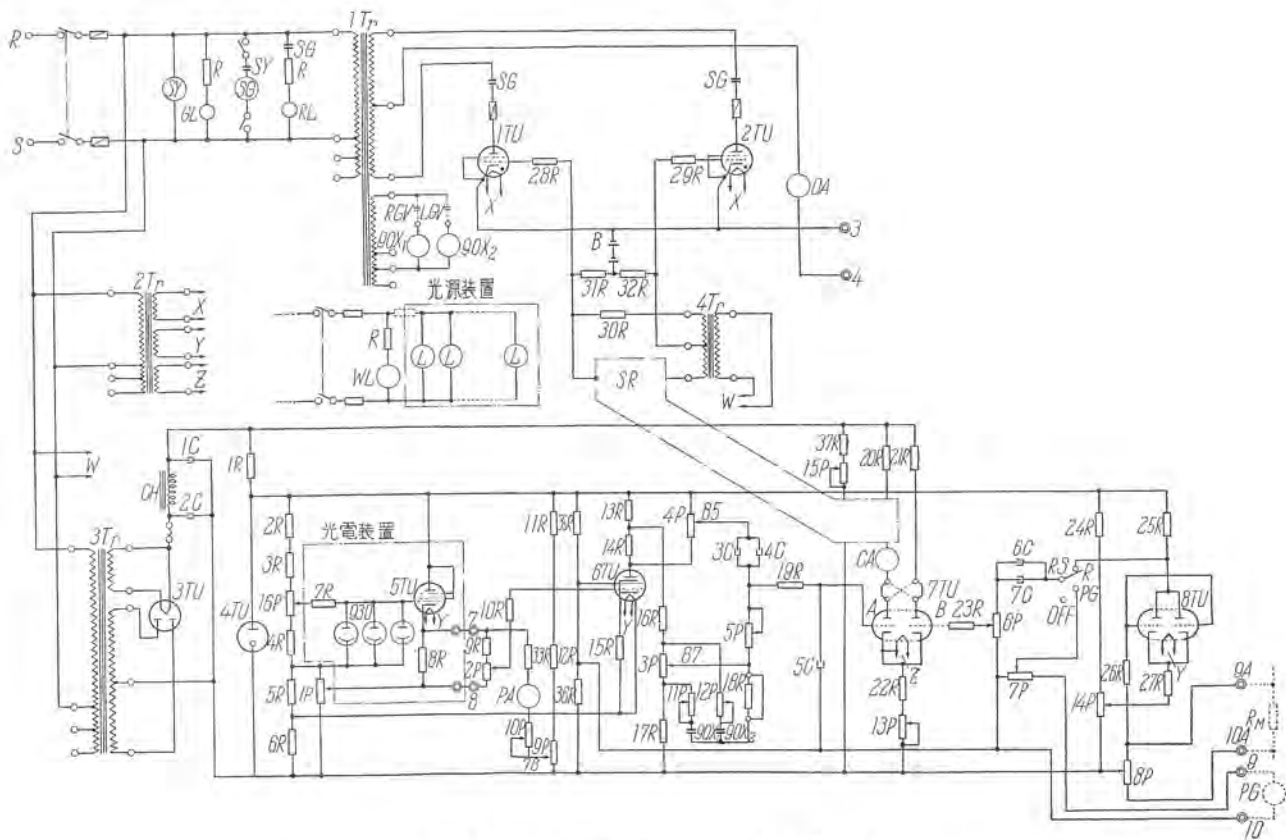


図 2.4 光電式ループコントロール装置接続図
Fig 2.4 Circuit of photoelectric loop control.



図 2.3 光源および光電装置外観
Fig 2.3 View of light source and photoelectric apparatus.

管, 930 は光電管, L は光源ランプ, 1~7C はコンデンサ, 1~37R は抵抗器, 1~16P は可変抵抗器, SR は直流励磁可飽和リアクトル, CA, PA, OA はそれぞれ指示電流計である。R_M は電動機電流要素を得るための電圧降下用抵抗, PG は電動機に直結された速度発電機でいずれも乱調防止のためのものである。

り成っている。この装置の外観を 図 2.2 および 図 2.3 に示す。図 2.4 はその接続図である。

2.2 動作および特性

図 2.4 について各部の名称ならびに動作の概要を述べれば、

1Tr, 2Tr, 3Tr, 4Tr は変圧器, SY は限時継電器, SG は電磁接触器で限時継電器の動作によりサイラトロンの陰極が十分熱せられた後プレート電圧を付勢するための保護装置, 1TU, 2TU はサイラトロン, 1~8TU は増巾真空管, ただし 4TU は定電圧放電管,

接続図において点線で囲まれた部分が光電装置で, 7 個の光電管を取付けたユニットを制御の種類に応じて 1 個または 2 個並列に接続し, 検出部の出力インピーダンスを低くするための真空管 5TU のグリッド, カソード間に接続している。光源装置も 7 個の白熱電球を取付けたユニットを必要に応じて 1 個または 2 個使用している。光電装置では各光電管の前に集光レンズを設け, 光源より投射された光束を集光して光電管に与えている。

光電管により検出されたループ位置は 5TU によって電圧に変換され, 6TU のグリッドに与えられる。6TU で増巾された電圧を抵抗器で分圧し, 7TUA のグリッドに与え同管のプレート電流を制御し, あとで述べるサイラトロングリッド制御回路の可飽和リアクトルの直流励磁を制御し, サイラトロンの出力電流を変化させるようになっている。いま図 2.1 に示す制御回路において, なんらかの原因でループ位置が下がったと仮定すれば, 帯鋼によって光線が遮蔽せられるため光電管に投射される光束量が減少し, したがって 5TU による検出電圧が減少し, 7TU のグリッド A の電圧が上り同管のプレート電流すなわち可飽和リアクトルの直流励磁を増し, サイラトロンの出力電流が増加し No. 3 ピンチロール駆動電動機 M₃ の界磁を強め速度を減少させるため, ループ位置は上昇しふたたび整定位置に回復する。ループ位置が高くなった場合は上記とまったく反対の動作が行われ, M₃ の界磁を弱めて速度を増加し, ループ位置を下げ整定位

ソードフォロア回路である。これは普通プレート側に抵抗を入れる代りにカソード側に抵抗を入れ、その抵抗の両端電圧を出力として取り出すものである。いま真空管が動作特性の直線部で動作し、負荷インピーダンスが無限度とすれば、増巾率 A は、 $A = \frac{\mu}{\mu+1} \div 1$ となる。また出力インピーダンス Z は、 $Z = \frac{r_p}{\mu+1} \div \frac{1}{G_m}$ となり非常に低い値となる。すなわち、カソードフォロア回路を使用すれば増巾作用は得られないが出力インピーダンスはかなり低い値にすることができ、所期の目的が達せられる。

(3) 乱調防止回路

ループ制御の安定度を増すためのもっとも簡単な方法は、ループ位置の変動に応ずる光電検出部の感度を下げればよく、この場合は光電装置により検出された信号電圧の大きさを可変抵抗により減じて増巾部に供給するようにしている。図 2.4 における可変抵抗器 $2P$ がそれである。帯鋼の巻取り速度がおそい場合は上記の方法で十分安定な運転を行うことができるが、最近では帯鋼の処理速度はほとんど 1,000 f/m 以上 2,000 f/m 程度の場合が多く、このような高速運転を行う場合は上記方法のみでは制御の安定性を得ることは非常に困難である。このため運転速度や使用機械定数などいろいろな要素によって適当な安定回路を追加する必要があるが、この装置ではそれらの要素に応ずる安定回路として大体三通りの回路を有し、運転条件により適宜切替え調整して使用することができる。

a. ピンチロール駆動電動機に直結する速度検出発電機の電圧変化を増巾部に饋還する方法。

b. 駆動電動機の電機子回路に直列抵抗を挿入し、電機子電流変化を増巾部に饋還する方法。

c. 増巾部内部に進み回路網を設ける方法。

などで、a. および b. は電動機速度変化あるいは速度変化による電機子電流変化の微分値を検出し、その割合に応じた信号を増巾部に饋還し、7 TUA のプレート電流を変化させることによって電動機界磁に制動を与えるものである。図 2.4 において PG は電動機に直結する速度発電機で電圧変化の微分値がコンデンサ 6C、7C を

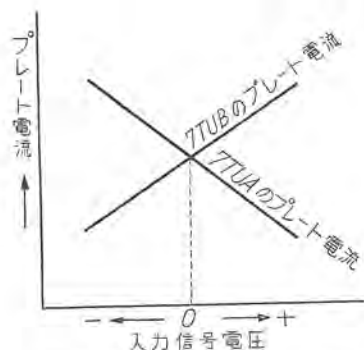


図 2.8 Long-tailed pair 回路の入力信号対出力電流曲線
Fig. 2.8 Relations between signal voltage and out put current at the circuit of "long-tailed pair".

介し抵抗 6P の両端に生じ、7 TUB のグリッド電圧を変化させ、したがって 7 TUA のプレート電流を変化させる。7 TUA および B はカソードが共通の抵抗に結ばれ、long-tailed pair 回路と呼ばれている。7 TUA のグリッド電圧を一定とし、7 TUB のグリッド電圧を変化させた場合、それぞれのプレート電流は図 2.8 のようになる。図より明らかなように、7 TUA のグリッド電圧が一定の場合でも、7 TUB のグリッドに信号が与えられれば、7 TUB のプレート電流にほぼ反比例して 7 TUA のプレート電流が変化する。

電機子電流による抵抗 R_m 間の電圧降下は 8P によって分圧され、8 TU のグリッド-カソード間に与えられ変化電圧は 8 TU によって増巾され、コンデンサ 6C、7C を介し 6P の両端に生じ、前述の場合と同様 7 TUB のグリッド電圧を変化させサイクロンの出力電流を変化させる。

またコンデンサ 3C、4C および抵抗 5P による進み回路網は端子 85-87 間に生ずる信号電圧の変化速度に応じ、コンデンサ容量と抵抗器の値によって決まる一定の期間だけ 7 TUA のグリッド電圧を入力信号の絶対値以上に高めあるいは低くする働きをし、制御系の安定度を増加させるものである。

以上に述べたいわゆる乱調防止回路は運転条件によって、切替スイッチ RS により適宜切替えられると共に調整抵抗によって広範囲に饋還量の調整を行うことができる。

(4) 加減速補償回路

運転開始または停止あるいは運転中帯鋼の巻取り速度を加減する場合は、ループが突張ったり、ビット底部に接触するのを防止するため、電動機界磁を急速に強めあるいは弱める必要がある。この場合は運転操作盤に設けられた加減速操作押しボタンと連動する接触子 90 X₁、90 X₂ によって 7 TUA のグリッド電圧を必要量だけ増減するようにしている。電子管装置は一般に高抵抗の組合せによって回路が構成されているので、外部より別の信号を供給する場合はできるだけ絶縁し、不測の漏洩電流による誤動作を防止するよう考慮する必要がある。この装置では操作ボタンと連動する接触子 RGV、LGV により増巾部に取付けられた補助接触器 90 X₁、90 X₂ を動作させ、その接触により 7 TUA のグリッド回路電圧を変化させる方法を採用している。

(5) 検出部取付距離に対する入力-出力特性調整回路

ルーピングビットの長さにより光源と光電管の取付距離はさまざまに変化することが考えられる。この場合距離が短かければ光電管を 1 本遮蔽するのみでサイクロンの出力が零より最大まで変化してしまい、制御が非常に不安定となりやすい。このような場合取付距離に応じて光源の明るさを強弱適当に調整すればよいのであるが、外部光線の影響を考えると光源の明るさは一定値以下に暗くすることは制御上非常に不安である。したがって光

源の明るさは外部光線の影響が無視できる程度に強くしておく必要がある。この装置では取付距離に関係なく、光量を一定のままにしておきループ位置の変動による入力-出力特性を一定の関係に保たせるための調整回路を設けている。図 2.4 において 2P および 16P がそれぞれある。ただし 2P のみの調整では距離が短い場合数本の光電管よりの入力のみで 5TU のプレート電流が飽和してしまうので、距離の遠近によって調整の限界を生ずる。16P はこの欠点を補うためのもので、取付距離の遠近によって光電管のプレート電圧を調整する可変抵抗である。光束一定とすれば光電管のプレート電流はほぼプレート電圧に比例するため、光束量に応じてプレート電圧を変化させ、距離に無関係にループ位置の変動に対する入力-出力特性を同一に調整することができる。

(6) ループ位置指示計

運転中動作が確実に行われているかどうか点検する場合とか、ループ位置を調整したい場合、ピット内のループを見ながら調整することは現場においてはなかなか困難である。この場合調整器盤または運転盤に取付けられたループ位置指示計(図 2.4 における PA)を見れば、ピット内のループ動作状態を容易に観察でき、また抵抗器 3P により任意にループ位置を決めることができる。これは帯鋼ループの位置が変化することによって、光電管に投射される光束量が変化し、カソードフォロア方式により検出された電圧が変化するのを利用し、図 2.4 において端子 7 と、一定電圧を維持する端子 78 間の高抵抗を介して微小電流計を接続し、そこに流れる電流値ならびに変化値によりループ位置ならびにループ変動の状況を等価的に観察するものである。

3. 電磁検出装置

帯鋼の酸洗工程においては、酸タンク内の帯鋼ループの高さがつねに一定に保持されることが、酸洗能率を良くするためにも、帯鋼がタンク底部に接触することを防止するためにも必要なことである。従来酸タンク内のループ位置を調整する方式としては、ダンサーロールと組合された界磁調整器によって、入口側ピンチロール駆動の電動機界磁または電動機電機子回路と直列に接続されたブースタ発電機の界磁を制御する方法が用いられてき

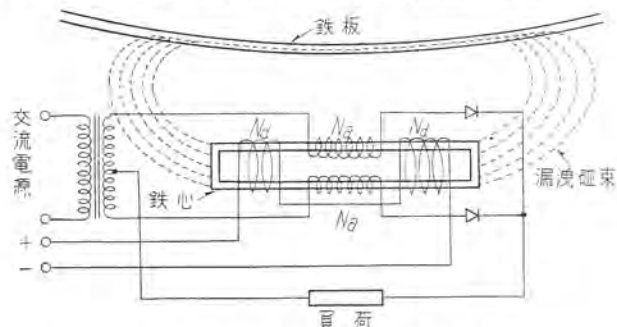


図 3.1 電磁検出装置原理図

Fig 3.1 Theoretical diagram of magnetic loop detector.

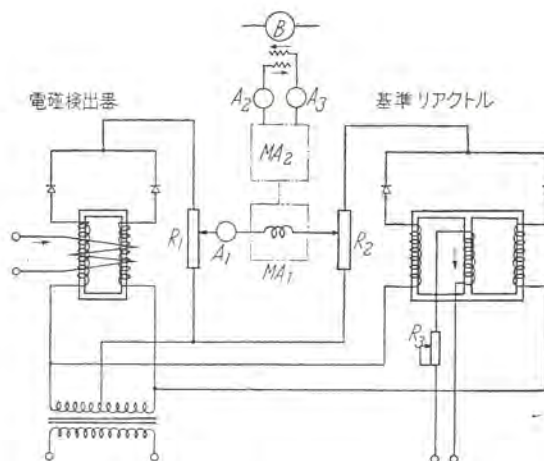


図 3.2 電磁検出装置接続図

Fig 3.2 Schematic diagram of magnetic loop control device.

た。しかしこの方法では帯鋼の高速度処理を行う場合は適当でなく、保守もめんどろであるし製品むらの出るおそれも多い。そこで最近では機械的要素を含まない静止形制御方式が採用されてきた。

これは磁気増巾器の原理を応用した電磁形検出装置を用いて酸タンク内の帯鋼位置を検出し、プッシュプル磁気増巾器で増巾しブースタ発電機界磁に供給し、ピンチロール駆動電動機速度を制御する方式である。

この装置の原理図および概略回路図を 図 3.1, 3.2 に示す。電磁検出装置の構造は 図 3.1 よりわかるように、長方形鉄心の両脚にそれぞれ交流巻線 N_a を巻き、両脚をまたいで直流励磁巻線 N_d を施した特殊リアクトルと、センタータップダブル形磁気増巾器に見られるような整流回路を構成するセレン整流器より成っている。直流励磁による磁束は大部分が漏洩磁束となるため、検出部の付近に磁性体のない場合は鉄心は飽和することなく、したがって交流巻線の有するインピーダンスは非常に大きい。外部より鉄板のような磁性体が接近すると、鉄板が磁束通路として働くため鉄心内部の直流磁束が増加して鉄心の飽和度を増すため、交流巻線の有するインピーダンスは急に小さくなり、出力電流が増加する。鉄心の飽和度は鉄板と検出部との距離にほぼ比例するため、交流巻線のインピーダンスがそれに応じて変化し、したがって出力電流も鉄板の近づくにつれて増加することとなる。ゆえにこの装置を酸タンク底部に据付けておけば帯鋼ループ位置の変動を、ほぼループ位置に比例した電流変化として検出することができる。電磁検出部は電源電圧および周波数変動の影響を受けやすいので、電源には普通定電圧装置を設けるが、さらに電源変動の影響を除く目的で、検出電流を基準電源と比較して磁気増巾器に供給する場合、基準電源としてこの装置とほとんど同一特性を有するリアクトル装置を設けている。これは 図 3.2 に示すような 3 脚鉄心形リアクトルで、外側脚に交流巻線を巻き、中央脚に直流励磁巻線を施したもので、この直流励磁を変えることによってループ位置の設定を調

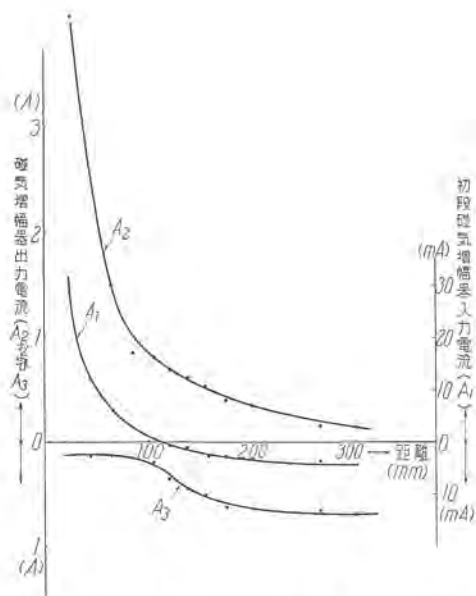


図 3.3 電磁検出装置特性曲線 (第10図参照)

Fig 3.3 Characteristic curve of magnetic loop control regulator.

整することができる。このようにして電源変動の影響を打消し、ループ位置を正確に検出した出力を磁気増幅器 MA_1 , MA_2 により増巾しブースタ発電機の界磁に与え、電動機速度を制御し安定な運転を維持することができる。図 3.3 にこの装置の特性曲線を示す。

なおさらに安定な運転をうするため、図 2.1 に示すように、No. 2, No. 3 ピンチロール駆動電動機に速度発電機 PG_1 , PG_2 をそれぞれ直結し、その差電圧を磁気増幅器 MA_1 に供給している。したがって両電動機に速度差を生ずれば直ちにブースタ発電機界磁を制御して M_2 電動機速度を変化し、 M_3 電動機と同一速度になるよう調整し、ループ位置を一定に保持するよう動作する。このように電磁検出装置と速度発電機とを並用することによりいっそう安定な運転を行うことができる。

この装置は酸タンク内に取付けられるため、とくに耐酸構造に留意し、加熱乾燥樹脂で固めたリアクトルをさらに鉛管で密閉し、リード線は細長い鉛管を通して外部に取出す構造にしている。図 3.4 にこの装置の取付要領を示す。

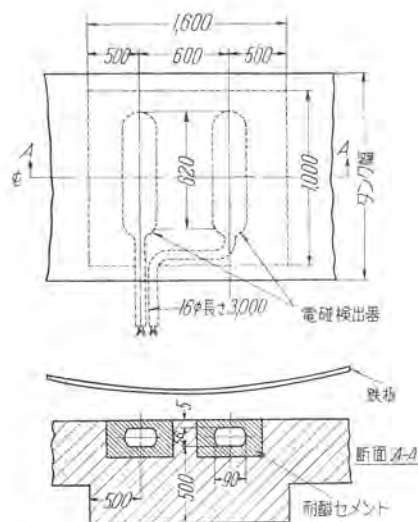


図 3.4 電磁検出器据付要領図

Fig. 3.4 Installation diagram of magnetic loop detector.

4. む す び

以上最近の製鉄工業における帯鋼ループ制御の一例について述べたが、これらの装置は前記応用例のみでなく各種方面に利用できるものと思う。従来電子管装置を工業方面に使用する際不安がられた寿命や信頼性の問題も電子管に対する熱心な研究とともに、使用条件に応じた回路構成の改良などによって、ほとんど心配のないまになってきたが、さらに近年トランジスタその他真空管におきかえられるべき優秀なものが生産されるようになったので、信頼度はいっそう高いものとなり、寿命もほとんど永久的なものとして考えられる時期も遠い将来ではあるまい。また磁性体のいちじるしい進歩と共に、磁気増幅器の原理を応用した各種の制御器具も考えられており、これらの出現によって従来の制御器具に対する考えを一変できる日も近いものと思う。

参 考 文 献

- (1) Electronic motor and welder controls (chap. 13)
by George M. Chute
- (2) Theory and application of industrial electronics (chap. 2)
by John M. Cage
- (3) Magnetic amplifiers (chap. 27)
by H. F. Storm

ビスコースプラントのプロセス制御

名古屋製作所 蟹 江 邦 雄*

Process Control of Viscose Plants

Nagoya Works Kunio KANIE

In the plants of staple fiber and rayon based on the viscose method, automatic and continuous operation of productive equipment is taken up in a full scale. However, in the process of xanthation and resolution to make viscose from alkali cellulose, automatization has been regarded the most difficult. In the cooperation of the Mitsubishi Heavy Industry Reorganized and Raycon company a standard process has been at last worked out recently. For this, Mitsubishi Electric manufacturing has taken charge in the production of electric apparatus, establishing a circuit system to realize the required process control.

1. ま え が き

紡績工業において化学繊維部門の占める比重は年々増大しつつあり、とくに最近では生産も需要も急速に上昇して、いまや綿の生産を凌駕しようとしている。同時に化学繊維品質と生産能率の向上を目指して、各工場とも最新式生産設備の整備に力を注いでおり、ビスコース法によるスフ、人絹部門においては、原液工程のうち、最初のバルブからアルカリセルローズにするまでの工程が、三菱重工業により Raycon 方式のいわゆるスラリー装置として合理的な連続生産が可能となり、多数実施された。

つぎの老成、硫化、溶解によりビスコースとする工程についても、連続化、自動化が考慮されていたが、三菱重工業と Raycon 社により標準方式として具体化される運びとなり、順調に運転を続けているので、プロセス制御の一例としてその概要をご報告する。

2. 硫化溶解の概要

短時間老成装置により連続的に均一な老成反応を終ったアルカリセルローズはついで硫化溶解工程に移され、ウェットチェーンの並んでいる硫化室の上階に送られ、ふたを開き、サイクロンホッパを経てチェーン内に投入される。老成後のアルカリセルローズを冷却する目的でチェーン外套に冷水あるいは冷媒を通じる。アルカリセルローズの投入を終ればふたを閉じ、真空ポンプを運転して減圧する。所定の温度、真空度に達すると真空ポンプの運転をやめ、チェーンを低速度で運転し、あらかじめ計量槽によって測定された二硫化炭素の定量が短時間に注入される。反応の進行状態は普通着色の程度によって知られ、その終点はライトイエロを呈したときが最適とされている。この反応時間には約 1.5 時間前後を必要とするが、温度によって大きく影響される。適当な硫化反応を終れば、ふたたび真空ポンプを運転して過剰の二硫化炭素を排出し、つぎに所定量の苛性ソーダを注加し

て、生成された繊維素キサントゲン酸ソーダを溶解させる。

溶解の操作は短時間に均一なビスコースを調整することが必要であり、一度溶解操作中に未溶解の部分を多数に混じたビスコースを作ると、その後の完全な溶解に意外の時間を空費しなければならない。

一般にはまず濃い苛性ソーダ溶液を用いて十分に攪拌し、一様に膨潤させてその後に適量の水を加え、規定された濃度のビスコースを調整する。この苛性ソーダ溶液としては 20% 前後の液が用いられるが、その添加は発熱反応になるから徐々に行われなければならない。溶解に必要な時間は当然セルローズによって異なるが、通常 3~5 時間程度である。

硫化溶解工程の機械配置は図 2.1 のごときものであり、アルカリセルローズは圧縮空気によって空輸される。

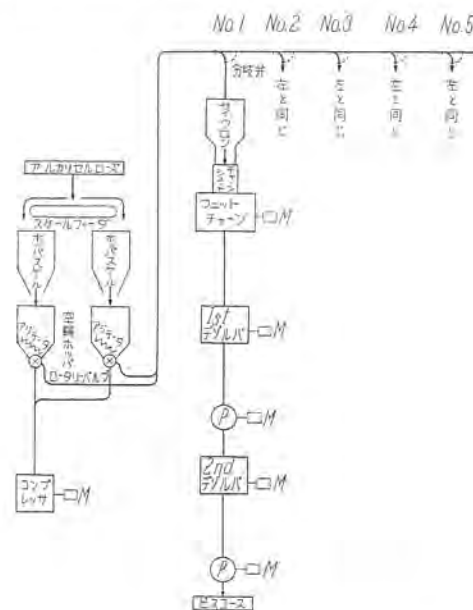


図 2.1 ビスコースプラント機械配置図

Fig 2.1 Viscose plant machine layout.

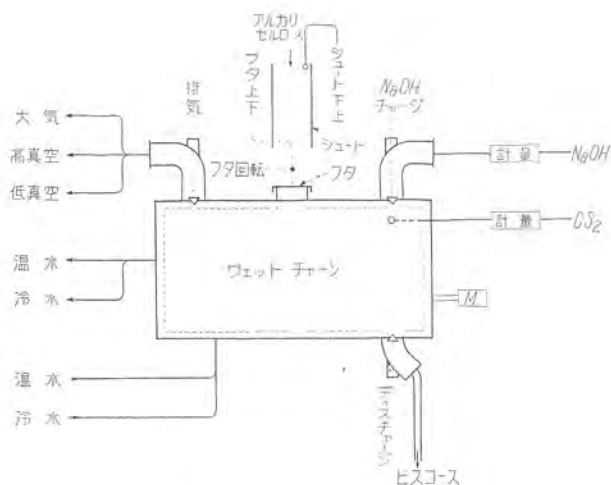


図 2.2 ウェットチャーン配管図
Fig. 2.2 Wet churn piping diagram.



図 2.3 ウェットチャーン
Fig. 2.3 Wet churn.

ようになっている。すなわちホップスケールに所定量投入されて秤量を受けると、あらかじめ切替選択された分岐弁の経路に従っていずれかのウェットチャーンへと送られる。

図 2.2 はウェットチャーンの各配管、図 2.3 はその写真を示しており、二段速度電動機によって運転される。アルカリセルローズの投入にあたっては、ふたの上下および回転、シュートの下上など機械的な順序動作がすべての電磁弁操作の空気弁によって自動的に行われる。

真空形成のための排気系統、温度調節のための温水、冷水系統、二硫化炭素と苛性ソーダの計量注入系統およびディゾルバへの排出まですべて電磁弁操作になっており、所定のスケジュールに従って規定時間どおりの順序動作が行われ、この間に減速装置付きの電動機により高速あるいは低速回転を行えるように全自動化されている。図 2.4 に示すディゾルバも減速装置を通してアジテータが回転し、限時継電器の規定する時間運転した後、ギャポンプによってつぎの工程へビスコースを送り出す。ポンプの運転時間も限時継電器によって規定されている。

なお、硫化工程に使用される薬品すなわち二硫化炭素

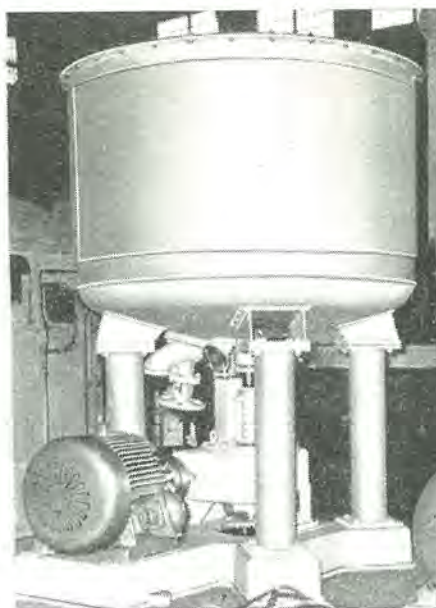


図 2.4 ディゾルバ
Fig. 2.4 Dissolver.

は最低発火温度（空気との混合）が 120°C であり、発火点が低いので機械の摩擦熱、激突、衝撃などにより酸素がなくても爆発する性質を有するが、電気的火花によっても爆発しやすい。したがって昭和 30 年 10 月に労働省安全研究所技術指針として発表された「工場電気設備防爆指針」においても、二硫化炭素は発火度 D（発火点 120°C 超過 175°C 以下）、爆発等級 3（スキの値 0.5 mm 以下）といずれも一番危険な級に分類されている。その上二硫化炭素は爆発を起す空気との混合割合 $0.8\sim 52\%$ に対し、 $0.32\sim 0.39\%$ の濃度においてすでに人体に対して有害である（連続作用 $1/2\sim 1$ 時間で意識不明に陥る）から、作業現場はつねに通風をよくして室内の各部にガスの停滞を起さないようにし、それによって爆発の危険も最小限度にすることが望ましい。

3. 主要電機品

電機品の防爆構造については耐圧、内圧および油入などあるが、二硫化炭素のような爆発等級 3 のガスに対しては、制御盤、配電盤などの大形キュービクルを安全な構造にすることは困難であるから、機械から遠く離して中央管理方式とし、機械の現場には押しボタンスイッチ、リミットスイッチなど必要最小限のものにとどめることが肝要である。

3.1 電動機用配電盤

3,000 V 級の高压電動機用は 1 台ごとに図 3.1 のごときコンビネーションラインスタータを設



図 3.1 LH-332-P 形 高压コンビネーション ラインスタータ外観
Fig. 3.1 Outward view of type LH-332-P high-pressure combination line starter.

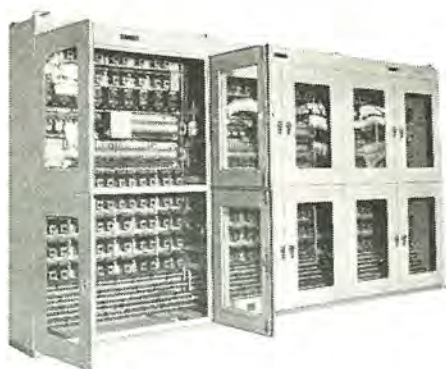


図 3.2 主 制 御 盤
Fig. 3.2 Main control switchboard.

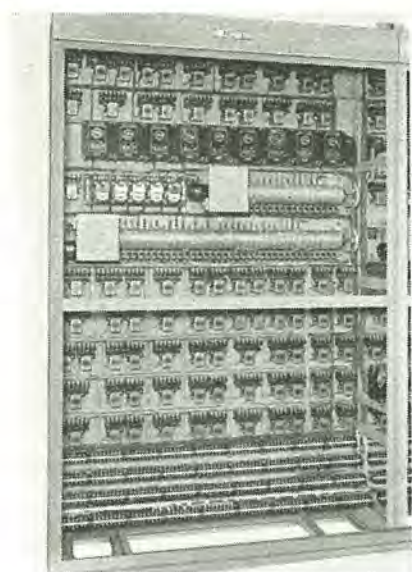


図 3.3 主 制 御 盤 内 部
Fig. 3.3 Main control switchboard interior.

け、高圧電力ヒューズと電磁接触器および計器、継電器類を納めている。低圧電動機用は集合してコントロールセンタにまとめ、各電動機ごとに NF 形ノーヒューズ遮断器と電磁接触器その他のコンビネーションユニットとして抽出し構造としている。配電盤はすべて爆発の危険性のある機械現場より隔離して電気室その他にまとめて据付け、安全と保守点検の便をはかっている。

3.2 制 御 盤

制御盤には電動機操作のドラム形カムタイマを初め、制御電源遮断器、限時継電器、交流多接点継電器、整流器、端子など、スケジュール制御を行うのに必要な数百の器具を一括して収納し、図 3.2 のごとく防湿バック入り扉を持った自立形制御盤構造とし、扉には全面的に有機ガラス窓を付けている。図 3.3 は空輪よりディゾルバまでの一系統分を示し、カムタイマは空輪系統用、チャーン系統用に各 1 個、限時継電器は中間タイマおよびディゾルバ、ポンプ系統用として計 9 個取り付けており、さらに後記のような各電動機回路の無停電切替用として直流限時継電器を 5 個使用している。

多数の交流継電器にはすべて NR 形電磁継電器を用ビスコースプラントのプロセス制御・蟹江

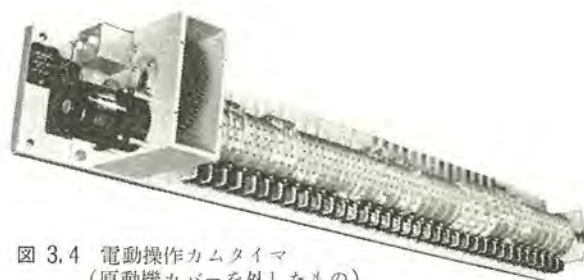


図 3.4 電動操作カムタイマ
(原動機カバーを外したもの)
Fig. 3.4 Motor driven cam timer.



図 3.5 カムタイマ詳細
Fig. 3.5 Cam timer detail.



図 3.6 電動操作カムタイマ
Fig. 3.6 Motor driven cam timer.

いて、動作の確実を期している。

3.3 カムタイマ

カムタイマは図 3.4～図 3.6 に示されており、コンデンサ付きの小形同期電動機より減速歯車を経て運転される。カム接点にはマイクロスイッチを使用し、各カムごとに取付ドラムに刻んだ目盛に沿って移動調整が可能であり、組合せカムによって時刻、時限ともに変えられるようになっている。カム取付ドラム部分の手動操作もできるようにクラッチとハンドルを取り付け、また起動位置を決めるための指針も設けてあるから、順序動作を中断または停止する場合にはカムタイマを手動によってもリセットすることができる。

3.4 操 作 盤

操作盤は空輪およびチャーン系統用として 1 面、ディゾルバ用として 1 面用意し、図 3.7、図 3.8 に示するようなデスク形の構造を取っている。各操作盤には系統選択開閉器、自動—手動切替開閉器、タイマ開閉器および警報開閉器を付け、また各電動機の信号灯と手動操作押しボタンスイッチおよび各種弁類の動作表示灯と手動操作押しボタンスイッチを配置して、すべての中央管理がこの操作盤のみでできるようになっている。

硫化溶解工程に使用される薬液類は前述のように危険



図 3.7 操作盤
Fig. 3.7 Control switchboard.

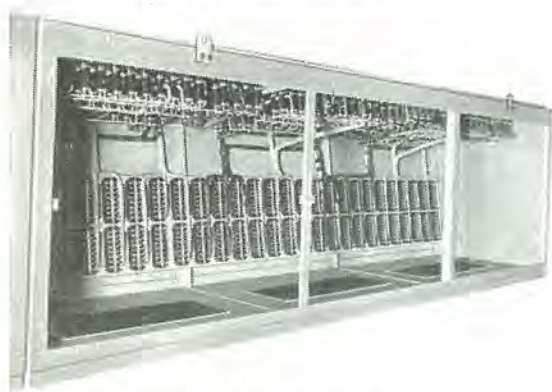


図 3.8 操作盤内部
Fig. 3.8 Control switchboard interior.

なものが多いので、その通路および送りを規定する各種弁類の操作はもっとも確実でなければならない。これら弁類は大部分圧縮空気操作のもので、空気の開閉を電磁弁によって制御する形式が多い。動作表示灯には弁類の機械的な開閉限界をリミットスイッチにより確認する信号灯とともに、誤動作の場合の警報信号灯も含んでいる。

3.5 押しボタンスイッチ、リミットスイッチ

機械の近くに取り付けて、保守調整などのために単独運転する必要のあるものには現場押しボタンスイッチを用意するが、図 3.9 に示す防湿気中形のものと、図 3.10 図 3.11 に示す油入形のものとを取付現場の安全度に応じて使い分け使用している。

リミットスイッチは前項操作盤で説明したように各弁類の動作確認用として数十個必要であり、安全構造についても十分に考慮されている。

以上の電機品の中で、中央管理室に据付けられるものは制御盤、操作盤および保安警報用のベル、ブザーであり、すべての遠方監視制御ができるようになっている。

4. 運転動作の概要

4.1 自動運転

操作盤上の切替開閉器を“自動”ノッチにすることにより空輸、チャーン、ディゾルバの各系統ごとにプロセス制御を行わせることができるが、さらに回路の選択により空輸ホッパよりディゾルバに至るまで、直列に一貫した自動運転を行わせることも可能である。ただしチャーン以降は数系統あり、空輸ホッパよりのアルカリセルローズは逐次1系統ずつ送られる。すなわち老成工程を終ったアルカリセルローズがホッパスケールに所定量蓄

積されると検出装置が働いて自動運転を開始し、あらかじめ系統選択開閉器により規定された系統順序に応じて分岐弁が切替えられ、所望のチャーンのふた、シュートの操作が自動的に行われてアルセルが送られる。老成よりのアルセルがふたたびホッパスケールを満量にすると、つぎのチャーンへアルセルが送られるように分岐弁が切替わり、同様にしてチャーンへアルセルが送られる。

かくして選択されただけのチャーン系統へ順次アルセルが送られると、ふたたび最初の系統へもどってアルセルが送られ、周期的にプロセス制御を繰返すことになる。

チャーンにアルカリセルローズの投入が終ると、続いて硫化、溶解工程を自動的に行うため、真空排気、温冷水による加熱冷却、二硫化炭素、苛性ソーダの自動的計量投入、チャーン電動機の高速および低速回転などの各種の操作が所定のスケジュールに従って順次あるいは平行的に行われる。各操作の順序、時限、回数などは生成されるビスコースに重大なる関係があり、各プラントによって異なるが、電動カムタイマと限時継電器の組合せになるこの方式によれば、各工程ごとに調整がきわめて容易であり、しかも一度整定されれば確実に順序動作



図 3.9 OT 形防湿押しボタン
Fig. 3.9 Moistureproof push button.

図 3.10 PNO 形 2 点油入押しボタン
Fig. 3.10 D.P.Oil immersed push button.



図 3.11 PNO 形 3 点油入押しボタン
Fig. 3.11 T.P. Oil immersed push button.



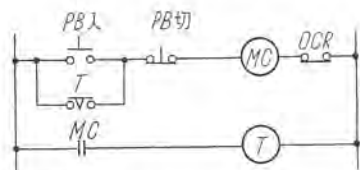


図 5.1 無停電切替回路 (その 1)
Fig. 5.1 No-power-failure change-over circuit (1).

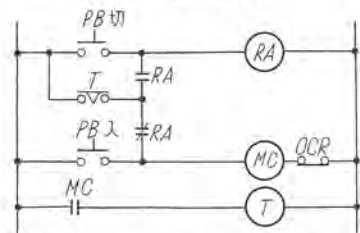


図 5.2 無停電切替回路 (その 2)
Fig. 5.2 No-power-failure change-over circuit (2).

PB 押しボタン
MC 電磁接触器
T 限時継電器
OCR 過電流継電器
RA 電磁継電器

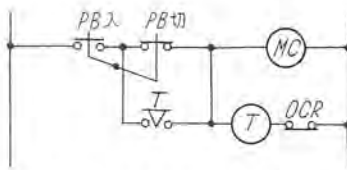


図 5.3 無停電切替回路 (その 3)
Fig. 5.3 No-power-failure change-over circuit (3).

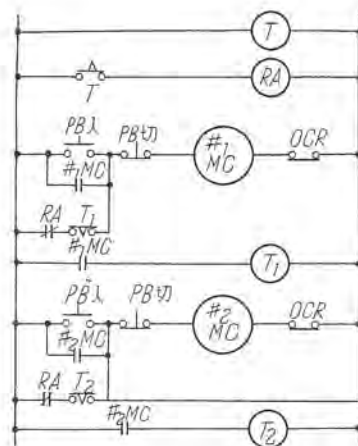


図 5.4 無停電切替回路 (その 4)
Fig. 5.4 No-power-failure change-over circuit (4).

を行わせて優良なビスコースを得ることができる。ディゾルバ工程における送りと運転時間は、各個に限時継電器によって任意に調整することができる。

4.2 手動運転

切替開閉器を“手動”ノッチにすれば、各電動機および空気弁用電磁弁をすべて操作盤上の押しボタンスイッチまたは機械の近くに取り付けた単独運転のボタンスイッチにより個々に操作することができ、保守、点検、調整などに便利である。

5. 保安信号装置、無停電切替回路

硫化溶解工程は危険を伴うものであるとともに誤動作を許さない非可逆の化学変化である。したがっていずれの操作に誤りがあっても直ちに発見して正しい工程にもどすことが肝要であり、そのためには完備した保安信号装置が望ましい。また不時の停電による操作の中断も大量の不良品を発生することになるから、操作中は運転を一刻も止めてはならない。そのために自家発電設備を用意して万一商用電源が停止した場合には直ちに切替を行いそのまま運転を続けることが望ましい。

5.1 保安信号装置

前記のように各種空気弁の開閉限界にはすべてリミットスイッチを取り付けて、その動作完了を確認するようになっている。すなわち圧縮空気入切用の電磁弁が働いてから空気弁の動作完了までの時間を規定し、それに若干の余裕時間を見込んで後に警報信号回路を作るようにし、万一そのときまでに動作し終わらない場合には警報ベルを鳴らし、操作盤上の危険信号灯をつけ、制御盤のカムタイマを停止してそれ以上順序動作が進行しないようにしている。警報ベルは共通であるが信号灯は各弁のリミットごとに個々に付いているから、どこに誤動作があるのかを直ちに判別することができる。動作完了までの余裕時間は当然弁の使用箇所によって差異があるが各個に調整できるようにしてある。

5.2 無停電切替回路

通常の制御回路では停電すると保持回路が開放されるので、電源が復活してもふたたび押しボタンスイッチなどによって起動しなければならない。硫化溶解工程では、運転を中断して放置すると大きい損害を受けることになるから、買電電源が停電した場合数秒以内に自動的に自家発電源に切替え、制御回路も自動的に再開路して運転を継続できるように考慮している。そのための接続方式を例示すると図 5.1～図 5.4 のように種々あるが、所要器具の数量、種類、操作の便利（停止時にタイマ時限だけ押しボタンスイッチを押し続ける必要の有無）などで一長一短があるから、適用負荷の容量、台数などの条件に応じて選択することが望ましい。

6. む す び

ビスコース法によるスフ、人絹の製造工程中、自動化、連続化のもっとも遅れていた硫化、溶解工程についても新三菱重工と Raycon 社により全自動化が図られ、生産能率と品質の向上に寄与するところきわめて大きいものがある。この方式の一例はわが国でもすでに某社で実施され、運転開始以来相当期間を経過し、十二分の成果を挙げている。回路方式、タイムスケジュールなど定量的なデータについてはいまだ発表の自由を得ないので概略をご紹介しますにとどまったが、なんらかのご参考になれば幸いです。

この方式による全自動化は主として動作順序と時間のプログラムを対象としているが、さらに時間的に変化する動作個々についてのプログラム、あるいは進行過程の変化に応じて以後の動作順序、時間を選定する自動制御も今後の課題として要望されているので、大方各位の一層のご指導、ご援助をお願いする次第である。

引用文献

- (1) “人絹工場の設計と機械設備” 1937 紡織雑誌社
- (2) “化繊便覧” 1953 丸善

電 気 式 衡 器

研 究 所 吉 山 裕 二*

Electric Scales

Engineering Laboratory Yuji YOSHIYAMA

Automation is now a catch phrase of modern productive industry. In line with the trend the scales to weigh materials are required automatic operation in accord with varied functions; such as remote indication, remote control, integration and printing. Based on the principle of an electric balancing method, Mitsubishi has been successful in the formation of these associated elements and put them in practical use in response to varied requirements. For examples, electronic scales for blast furnaces, electronic conveyor scales, electronic crane scales and weighing feeders are the most conspicuous ones. The emphasis is laid on high sensitivity, accuracy, robust construction and reliability in the design of the equipment.

1. ま え が き

近年、各種工業の生産工程における自動化がますます盛んになってくるとともに、秤もこれら自動設備の一環としての機能を果たすことが強く要望され、わが国においても各メーカーから各種各様の特色ある計量機器が考案され実用に供されている。これらの機能とは瞬時秤量の遠隔表示、制御装置の駆動、間歇および連続積算、印字記録などである。

これらの要求は機械的計量器のみでは得られず、電気的変換装置と併合して始めて可能であるが、秤である以上計量法によって最低限 200 分の 1 の精度は要求され、精度が高いほどその秤は良好とされ、また自動設備に使用される以上、連続昼夜運転に耐え、あくまで堅牢かつ安定であることが不可欠要件である。当所において、アナログサーボの原理を基礎とし上記の諸要素を有する一連の装置を作成し、随時使用目的に応じて組合せ実用に供している。以下作成した装置およびその応用例について述べる。

2. 瞬時秤量の検出および遠隔表示装置

瞬時秤量を検出し印字装置、リミットスイッチなどを駆動するに足る強力な回転力を有する回転角位置に変換する部分は全装置の精度を決定する生命となる最重要部で、変換方法としては種々考えられるが、つぎの二つの方法を使用している。

2.1 差動変圧器方式

重量を機械的のばねの変位に変換し、この変位を差動変圧器の鉄心の変位に伝達し、二次側から重量に比例した差電圧を検出する方式である。差動変圧器は構造が簡単、堅牢かつ軽量であるので激しい振動のある場所でも十分

使用に耐え、分解能および直線性の精度がきわめて高い。

差動変圧器の二次側差電圧はブリッジの不均衡電圧に変換され増巾器を経て平衡電動機を駆動する。電動機回転軸はブリッジの平衡回路と連動し、ブリッジの出力が最小となる位置で停止し、指針により目盛板上に重量に比例した鉄心の変位を指示する。またこの電動機軸は印字用文字車、積算カウンタ、制御用リミットスイッチなどを駆動するのに使用される。

指示部分の運動方程式は回転抵抗器のガタ、クーロン摩擦、歯車のバックラッシュ、増巾器の飽和などを考慮に入れると複雑になるがこれらの影響を無視すると次式のように簡単化される。

$$\theta_{\epsilon} = \frac{s(JS+f)\theta_i - T_L}{s(JS+f) + K_m AV_0} \quad (2.1)$$

ここで

J : 回転部分の慣性能率 ($\text{gr}\cdot\text{cm}^2$)

f : 回転部分のダンピング係数
($\text{gr}\cdot\text{cm}/\text{radian}/\text{sec}$)

T_L : 負荷回転力

θ_i : 秤量に対する指針の正確な回転角位置 (radian)

θ_{ϵ} : 実際の指針位置の θ_i からの角度誤差 (radian)

V_0 : 単位角度誤差により増巾器に与えられる電圧 (V)

A : 増巾器の増巾度

K_m : 平衡電動機の回転力係数 ($\text{gr}\cdot\text{cm}/\text{V}$)

である。定常状態における誤差角 θ_{Ess} は次式で示される。

$$\theta_{Ess} = \frac{T_L}{K_m AV_0} \quad (2.2)$$

この θ_{Ess} は感度を表わし、 θ_{Ess} が小なるほど感度が高い。 T_L は印字用文字車、リミットスイッチ、回転抵抗、歯車列などの負荷の構造により決まるが、文字車等を駆

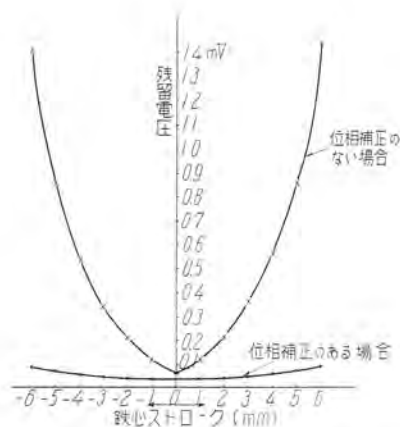


図 2.1 ブリッジ回路の平衡点残留電圧対差動変圧器鉄心ストローク特性

Fig. 2.1 Relations between residual voltage at balancing point of bridge circuit and strokes of iron core of differential transformer.

動する場合には回転力むらがあり、平衡電動機の起動回転力は最大負荷回転力の数倍以上に取る必要がある。増巾度 A が高いほど感度が増加するが、差動変圧器と抵抗のブリッジ回路などでは鉄心位置により差動変圧器二次側のインダクタンスが変化し、位相誤差に起因するブリッジの平衡点の残留電圧が異なり、残留電圧が大きくなると増巾度を高くしてもただ飽和させるだけで感度を増加させることができない。したがって抵抗の回転角に対応して位相補正を行い、目盛の全域にわたって残留電圧を均一に下げている。図 2.1 は位相補正を施さない場合と施した場合の平衡点残留電圧の変化状態を示す。

増巾度が高く、また負荷回転力の軽い場合ハンチングを起す可能性があり、ハンチングを起さないよう最適応答速度にするためには制御系が線形と仮定してつぎの条件が望まれる。

$$1.5 > f/2\sqrt{JK_m AV_0} > 0.4 \quad \dots\dots(2.3)$$

f の中には平衡電動機の回転力/速度係数 ($\partial t/\partial n$) が含まれ、全目盛走行時間が 4 秒以上でよいときは平衡電動機の特性的みで式 (2.3) の条件を満足させることができる。一般に計量器の場合は特別の場合を除いてとくに速い応答速度を要求されることは少ないが、制動回路を挿入して f を増加させ全目盛走行時間を 1 秒内に縮めることは容易である。

以上より差動変圧器を使用し定格範囲内で感度 1/800、精度 1/400 程度の性能を持たすことができ、重量が変位に変換されるならば、どのような秤量機構にも適合できる。

2.2 抵抗線ひずみ計方式

3~20 t のような大荷重計測用には機械的秤量機構では非常に大きく複雑になりまた値段が高くなる。抵抗線ひずみ計を応用したいいわゆるロードセルは小形軽量で定格荷重が大きくなっても寸法および値段はほとんど増さない。指示部は目盛板のみ変換すればいずれの定格のロードセルにも適用できる特長がある。

表 2.1 ロードセルの仕様

| 容量 | 形状 | 外径 | 高さ | ネジ又は孔径 |
|------|----------|--------|--------|---------------|
| 3 t | 引張, 圧縮兼用 | 130 mm | 165 mm | 26mm 細目1号山メネジ |
| 5 " | " | " | " | " |
| 10 " | 引張 | " | 195 | 46mm 細目1号7山 |
| 10 " | 圧縮 | " | 165 | 荷重棒孔径 26mm |
| 15 " | " | " | " | " |
| 20 " | " | " | " | 27 |
| 25 " | " | " | " | 23 |

(1) ロードセル

ロードセルは当所で作成したものは表 2.1 に示すように 3 t から 25 t まで 7 種類ある。荷重を受ける荷重棒に抵抗線ひずみ計素子 Active gage および Dummy gage を対称に貼布し、セル 1 箇単独で使用するときにはセル内でブリッジに組み、曲げ方向および温度の影響を除去している。セルは 1 箇単独で使用してもよいし 2 箇以上組み合わせ使用してもよい。3 t, 5 t のものは引張、圧縮兼用であり、10 t は引張用と圧縮用の 2 種で、15 t から 25 t までのものは圧縮のみに使用できる構造になっている。定格荷重に対する荷重棒の応力はどの定格のものに対しても一定で、過負荷特性は 120% までは精度に影響がなく、200% 過負荷でも 1 回程度であれば十分に使用に耐える。このロードセルの特長はゲージを貼布して完全脱湿防湿処理の後、真空管技術を応用して完全密封してあることである。したがってこの種抵抗線ひずみ計応用機器にみられる湿気侵入が最大原因である零点移動や短寿命を完全に防止している。ロードセルの写真を図 2.2 に、外形寸法を表 2.1 に示す。

(2) 指示装置

測定回路の原理を図 2.3 に示す。荷重棒に荷重が加わることにより生ずるロードセル側ブリッジの不平衡電圧を、平衡用ブリッジの不平衡電圧で平衡させるダブルブリッジ方式を使用している。この回路の特長は平衡用抵抗が回転角に比例すれば



図 2.2 ロードセル
Fig. 2.2 Load cell.

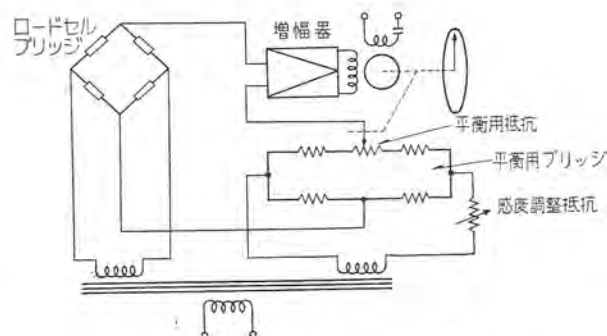


図 2.3 ロードセル測定指示回路

Fig. 2.3 Measuring circuit for strain gauge load cell.

増巾器にはいる入力電圧 E_{in} は次式で示される。

$$E_{tn} = \frac{V \varepsilon \lambda Z_g}{2(R_s + R_b + Z_g)} \dots \dots \dots (2.4)$$

ただし

 R_s : ロードセルブリッジの出力側からみた抵抗 R_b : 平衡用ブリッジの出力側からみた抵抗 Z_n : 増巾器の入力インピーダンス

V : ロードセルブリッジの電源電圧

 ϵ : ゲージの伸び変化 λ : ゲージファクタ

増巾器の利得が高いほど E_{in} を小さくでき、感度が増加するが実際には避けられない雑音および誘導などによって限界があり、入力側浮遊レベルを約 $10\mu V$ に抑えている。指示装置およびロードセルを組み合わせた総合特性は感度 1,000 分の 1、精度 400 分の 1 程度であるが、ロードセルをつり下げるときは取付部分やロープの摩擦などにより精度が上記の値より下る。

3. 印字機構

生産量を正確に数字で記録に残すために、毎回の計重、累加積算などを自動印字することはきわめて重要であるが、ここに作成したものは回転角に変換された計量値を数字で自動印字する装置である。文字車は要求の桁数からなり、転位歯車により平衡電動機回転軸と連動し、軸の回転角度を数値化する。印字動作は印字用電動機の1回転で行われる。印字信号を受けて印字用電動機が起動すると平衡電動機の励磁巻線を切断して回転を停止し、カムで文字車をそろえて固定し、打印ハンマを落下させて記録紙に印字する。つぎに文字車から打印ハンマが離れ、記録紙を1回送り、またカーボンテープも1回送られ、文字車の固定がはずれ、平衡電動機の励磁巻線が接続されて印字サイクルが完了し、印字用電動機が自動停止する。

したがって印字された数字に端数が出ることがなく、また印字中に計量値が変化しても文字車がずれることもない。カーボンテープはその送り方向が自動的に切り替えられるようになっているから、片方のリールにテープ

Fig. 3.1 Schematic diagram of printing mechanism.

全部が巻き取られ切断する懸念はない、記録紙には必要に応じて、製品番号や種類、日付などを付加することができる。

印字機構の原理図を図 3.1 に示す。

4. 積算装置

4.1 間歇積算

間歇積算は瞬時秤量用平衡電動機と積算カウンタ間に電磁クラッチを介して重量が一方方向、たとえば上昇するときのみクラッチを自動投入して行っている。積算時のスリップを避け、カウンタ駆動回転力が増加しても差支えないよう噛合接手と固定電磁石を併用している。

4.2 連續累加積算

連続累加積算の原理を図 4.1 にブロック図で示す。積算値指示計数器を駆動する平衡電動機は誘導発電機と連結し、この誘導発電機の出力電圧と瞬時値に比例した電圧との差電圧が増巾器を通して平衡電動機の制御巻線に導かれる。したがってこの回転角が瞬時値を積分し、適当な歯車比で計数器に伝達され、累加積算値として指示される。平衡電動機の回転角と瞬時値比例電圧の関係は次式で示される。

$$\frac{\theta_c}{V_R} = \frac{K_A K_M - T_e / V_R}{I_V S^2 + (K_A K_M K_G + F) S} \quad (4.1)$$

ただし、

 θ_0 : 平衡電動機の回転角 (radian)

V_R : 瞬時値比例電圧 (V)

 K_1 : 增中器增中度

K_M : 平衡電動機回轉力係數 (gr-cm/V)

 K_g : 発電機出力係数 (V/radian/sec)
$$J_M$$
 : 回転部分の慣性能率 (gr-cm²)
$$F: \quad \text{〃} \quad \text{〃} \text{ のダンピング係数}$$
 $(\text{gr-cm-sec/radian})$

T_r : 負荷回轉力 (gr-cm)

である。増巾度 K_1 を大きくとると定常状態において

$$\theta_c \doteq \frac{1}{K_G S} V_R \dots\dots\dots (4.2)$$

となり、回転角が瞬時値の積分値に比例し、 K_i が大きいほど積分精度が増加する。実際には積分特性は発電機の特
性により押えられる。瞬時値比例電圧と発電機出力

Figure 1 is a block diagram of the control system for the motor. It shows a feedback loop where a reference voltage V_R is compared with the motor's output at a summing junction. The error signal is amplified by a '増幅器' (Amplifier) and sent to the '電動機' (Motor). The motor's output is also fed back through a '位相調整器' (Phase Adjuster) to the summing junction. Additionally, the motor is connected to a '計数器' (Counter), which is represented by a box with four circles inside.

图 4.1 連續積算原理图

Fig. 4.1 Block diagram of integrator.

電圧間の位相誤差および搬送波成分以外の高調波成分不平衡による残留電圧の限界により K_A が限定され、また温度上昇による drift を補償する配慮が必要であるが、定常状態において $\pm 0.5\%$ 内の積分精度を持たせることができる。

しかし、この装置は計数器駆動部分が平衡電動機で回転を強力になし得るから、摩擦の影響をなくすることができ、遠隔表示ができるため塵埃の多い計測現場から隔離して配置ができる。また平衡方式であるから電源電圧の変動の影響が軽減され、増巾器は直接交流で駆動され、直交変換部などのこわれやすい要素を使用していない特長がある。

5. 応 用 例

以上述べた各要素を組み合わせて、いろいろな応用例ができるが、つぎに実際に使用した例について述べる。

5.1 高炉用計重機

この装置は、製鉄所の高炉にコークスを一定量装入するプラントにおいて、制御装置の一切の司令を行う装置である。差動変圧器方式により計重ホッパ内に投入されるコークスの量を運転室へ遠方表示するとともに、積算累加表示、毎回計重回数表示、瞬時重量の自動印字を行い、また定格値の 0, 90, 100% においてリミットスイッチを動作させて制御信号を発するようになっており、仕様はつぎのとおりである。

| | |
|-----------|--------|
| 計 重 範 囲 | 0~3 t |
| 指示最小目盛 | 10 kg |
| 全目盛指示所要時間 | 10 sec |
| 印字最小単位 | 10 kg |
| 印 字 桁 数 | 4 桁 |
| 印字所要時間 | 4 sec |
| 積 算 桁 数 | 6 桁 |
| 積算最小単位 | 100 kg |

装置のブロック図を図 5.1 に、写真を図 5.2、図 5.3 に示す。

この装置により 0% において制御装置を始動させ、コ

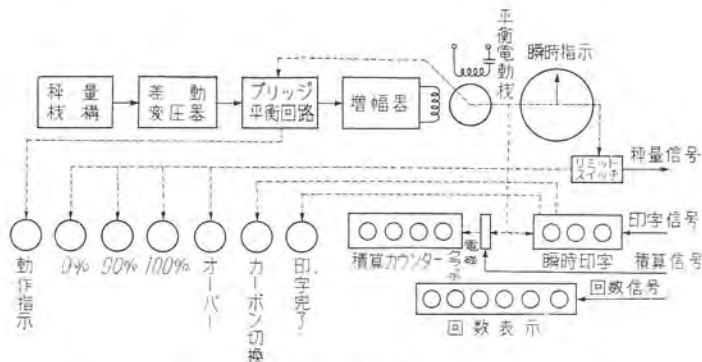


図 5.1 高炉用計重機ブロック図

Fig. 5.1 Block diagram of electronic scale for blast furnace.



図 5.2 高炉用計重機前面

Fig. 5.2 Front view of electronic scale for blast furnace.

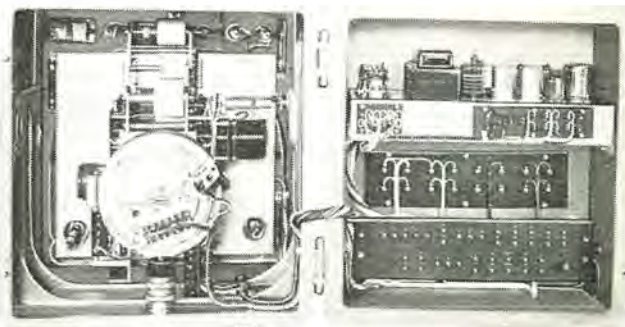


図 5.3 高炉用計重機内面

Fig. 5.3 Inside view of electronic scale for blast furnace.

ークスを槽よりフィーダで排出し、コンベヤを経てスクリーンで粒度をそろえ、受ホッパを経て計重ホッパで計重し、定格装入量の 90% に到達すると装入速度を減少させ、100% に到達したとき、受ホッパゲートを閉じて装入を停止し、自動印字完了後、チュートを経て装入バケット内に払い出し、スキップで高炉に運び込むまでの一連の作業を自動的にに行わせることができる。コークス装入の系統図を図 5.4 に示す。

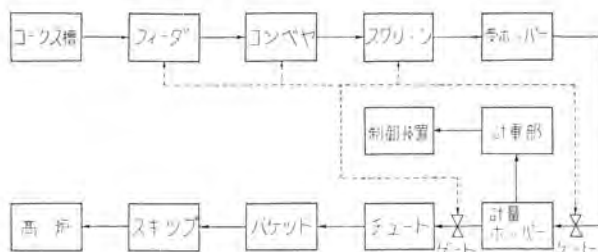


図 5.4 コークス装入系統図

Fig. 5.4 Schematic diagram of feeding system of cokes for blast furnace.

5.2 装炭車用印字装置

この装置は装炭車で計重したコークスの重量を印字記録する装置で差動変圧器を検出器に使用している。秤量 20,000 kg、印字最小単位 50 kg で、計重車の種類により符号が印字されるようになっている。写真を図 5.5 に示す。

5.3 電子管式クレーンスケール

抵抗線ひずみ計を使用したロードセルと指示装置はクレーンスケールに使用した。装置の写真を図 5.6 に示す。

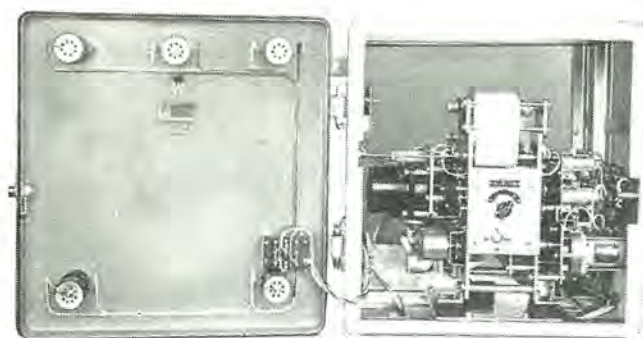


図 5.5 装炭車印字装置
Fig. 5.5 Digital printing device cokes weighing car.



図 5.6 電子管式クレーン
スケール外観
Fig. 5.6 Outside view of
electronic crane
scale.

5.4 電子管式コンベヤスケール

連続積算累加装置は瞬間重量指示装置と組合せて、コンベヤ上を流れる原料の一定時間にわたり運搬された全重量を指示するのに使用できる。原理図を図 5.7 に示す。

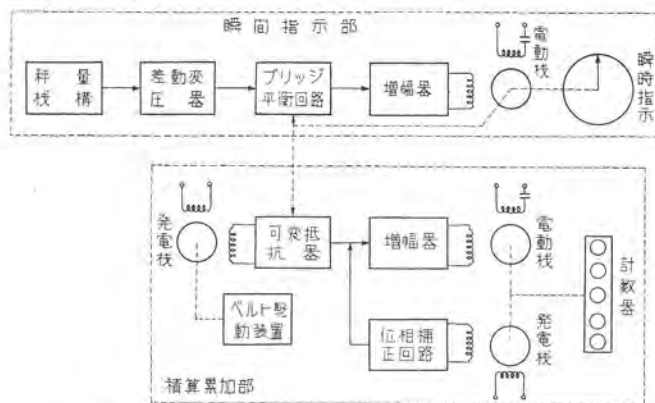


図 5.7 電子管式コンベヤスケールブロック図
Fig. 5.7 Block diagram of electronic conveyor scale.

コンベヤベルト駆動歯車に誘導発電機を連結し出力巻線にベルト速度に比例した電圧を発生させ、この出力巻線に瞬間重量指示部の平衡電動機により駆動される回転抵抗を接続すると、回転抵抗の可動腕には瞬間重量とベルト速度の積に比例した電圧が発生する。この電圧を連続累加装置の増巾器の標準電圧にすれば計数器に積算値が表示される。ベルト速度一定の場合はベルト速度検出用発電機の代り



図 5.8 電子管式コンベヤ
スケール
Fig. 5.8 Electronic con-
veyor scale.

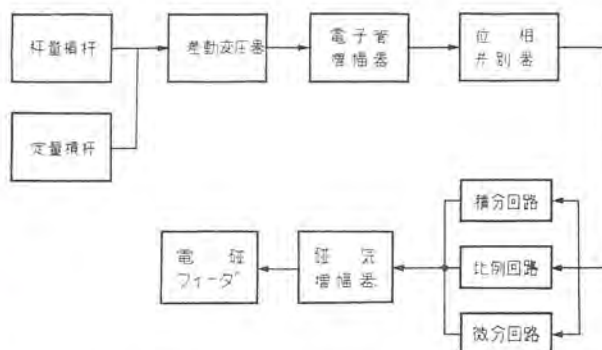


図 5.9 定量供給装置ブロック図
Fig. 5.9 Block diagram of constant weighing feeder.

に定電圧を供給する。図 5.8 に装置の写真を示す。

5.5 定量供給装置

化学薬品、化繊原料、化薬などの粒度の細かい被計重物を一定時間に一定量供給することは原料の配合などではとくに重要でこのような装置は一般にウェイフィードと呼ばれている。図 5.9 は制御装置の例をブロック図で示したもので、一定速度で送られるコンベヤベルト上に積載された重量



図 5.10 ウェイフィード
制御箱
Fig. 5.10 Control box of
weighing feeder.

を計る横杆と定量横杆との差の動きを差動変圧器でピックアップし、発生した不平衡電圧を電子管増巾器、位相弁別器を通じて磁気増巾器に導入し、パイプレータの振動振巾を自動調整して供給量を一定に保っている。制御回路には比例、微分および積分要素を導入して制御特性を安定化している。図 5.10 に装置の写真を示す。

6. む す び

以上、いままでに開発した電気式衡器の例について述べたが、これらの装置は機械式計重機では得られない種々の利点のために、操作員は従来よりはるかに少なくすみ、危険が少なくなり、最高能率を上げることができる。

今後オートメーションがますます進展し、かつ複雑化するとともに一層高性能の電気式衡器の出現が期待される。

最後にご懇切なるご指導を賜った大野所長、横須賀電気第一研究室長、ロードセルを担当された材料研究室前田研究員、荻原技師、印字装置および一切の機械部門を担当された工務課高部技師、中田氏始め関係各位のご協力に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- (1) Harold Chestnut and Robert W. Mayer: "Servomechanisms and Regulating System Design", Vol. II, p. 209~p. 212
- (2) Brown Campbell: "Principle of Servomechanisms", 1948. p. 46~p. 58
- (3) Roosdorp: "An Automatic Recording Potentiometer for Industrial Use", Philips Technical Review, Vol. 15, No. 7.
- (4) William R. Ahrendt: "Servomechanism Practice", p. 115~p. 123

阪神ビルにおける最新式電気室設備

阪神電気鉄道株式会社電気部 平木 寛・立石行男・糸岡義太郎

The Most Up-to-Date Electric Equipment in Hanshin Building

Hanshin Electric Railway Co. Hiroshi HIRAKI・Yukio TATSUISHI・Yoshitaro ITOOKA

The terminal building of the Hanshin Electric Railway has been extended recently with a floor space more than doubled the old arrangement. Accompanying the reconstruction, 3,300 volt power receiving equipment has been entirely changed to 22 kV installation, which consists of all the most up-to-date Mitsubishi electric apparatus having features of: perfect non-inflammable machines, extra high tension cubicles, metalclad switchboards, reduced size benchboards, illuminated mimic buses, no-fuse breakers, load breaking disconnecting switches and automatic recording instruments. All these machines helped reduce necessary floor space a great deal so as to increase live space of a department store run by the company in the building.

1. ま え が き

阪神電鉄、梅田阪神ビルは従来 6,500 坪程度の中規模のビルであったが、これを一躍、地下 2 階、地上 8 階、塔屋 3 階延 16,000 坪の本格的ビルに増築し、阪神百貨店として新発足することになった。

これに伴ない 3,300 V 受電の旧配電室を廃止し、22 kV 受電、設備容量 6,000 kVA の最新式ビル電気室を建設することとなったが、これら主要機器はすべて三菱電機株式会社に発注し 32 年末に完全納入を終え、同設備は目下順調な運転を続けている。以下これら機器の特長と設備の概要を紹介する。

特長と設備の概要

1. 完全不燃性機器
2. キュービクル (特高), メタルクラッド形配電盤 (高圧)
3. 縮小形ベンチボード, 照光形模擬母線盤
4. NF ブレーカ
5. 負荷遮断断路器 (LCB 形)
6. 自動記録計器

(図 1.1 単線接続図, 図 1.2 据付平面図 参照)

2. 特高変圧器 (図 2.1)

22 kV/3.3 kV 三相 2,000 kVA 3 台
H 種絶縁による乾式変圧器, 風冷式, キュービクル収納

3. 特高遮断器 (図 3.1)

22 kV 600 A 1,000 MVA 1 台

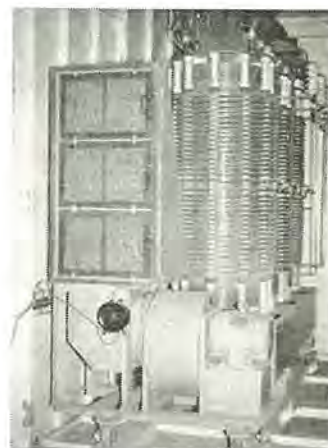


図 2.1 特高変圧器

Fig. 2.1 Extra high voltage circuit breaker.

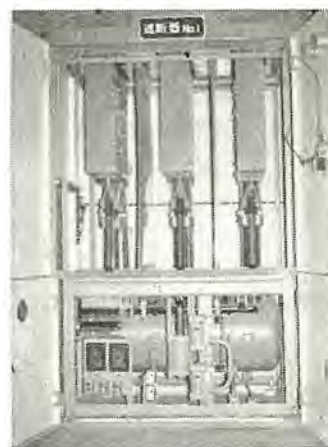


図 3.1 特高遮断器

Fig. 3.1 Extra high voltage transformer.

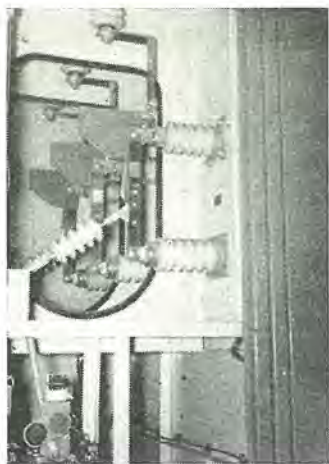


図 4.1 LCB

Fig 4.1 Load breaking disconnecting switch (LCB).



図 5.1 キュービクル

Fig. 5.1 Cubicle.

空気吹付形気中遮断器，空気操作式，キュービクル収納

4. LCB (図 4.1)

前記特高遮断器は受電用 1 台のみとし（将来ループ受電方式となれば 2 台）各特高トランス一次遮断器は省略して今回三菱電機にて開発した 22 kV, 600 A の LCB を使用し設備の簡素化を図った。

この方式は配電用変圧器およびフィーダ回路にも応用した。すなわち 3.3 kV 200 A, LCB を 16 台使用し，少くも高圧用遮断器 9 台の節約に成功した。LCB は特高トランス，高圧トランスの励磁電流，負荷電流の開閉はもちろん，コンデンサの充電電流も容易に開閉できる性能をもち，配電室設計上，遮断器台数の節約，据付面積の減少，建設費の節減を図る目的としてはまことに当を得たものであって，今後ますます利用度は高まるものと思われる。

5. キュービクル (図 5.1)

その構造配置にはとくに苦心が払われ，将来 27,000 坪に増築した際の気中遮断器増設，特高トランスの増設も



図 6.1 変圧メタルクラッド配電盤

Fig. 6.1 High voltage metalclad switchboards.



図 7.1 総括制御盤

Fig. 7.1 Central control panel.

きわめて簡単容易に行われるよう製作された。なお扉，断路器，気中遮断器の間には厳重な電氣的インターロックが施されており，感電事故，誤操作の絶無を期している。特高変流器はすべて套管形を採用しスペースの減少を図った。

6. 高圧メタルクラッド形配電盤 23 台 (図 6.1)

JEM-1114 規格 G 形，すなわち最高級の単位閉鎖形配電盤である。収納機器はいずれも完全不燃性で，とくに高圧遮断器としては 3,450 V, 600 A, 100 MVA の磁気吹消形 18 台を使用した。また CT, PT 類はダイアレジン処理のきわめて絶縁性能のすぐれたものである。扉，断路器，遮断器とのインターロックはキュービクル同様厳重に施工されていることはもちろんである。なお磁気遮断器は試験位置に引出せば完全に充電部分と切離され，テストプラグを挿入することにより簡単に諸試験が行われる構造となっている。

7. 総括制御盤 (図 7.1)

操作の容易，据付面積の減少，美観等を目的に縮小形ベンチボードと照光形模擬母線盤を採用した。とくにベンチボードは前面，後面，机面を開閉可能とし，保守点検に便ならしめてある。

8. NF ブレーカ

低圧配電盤 (図 8.1) および分電盤のスイッチは全面的にノーヒューズブレーカを採用した。とくに低圧配電



図 8.1 低圧配電盤

Fig. 8.1 Low voltage panel.

盤用としては遮断容量の関係およびバスダクトの採用等から勢い大電流単位のスイッチを使用する必要が生じたため、三菱独特の 600 A フレームを多数設置することとなった。また屋上分室 (10 階) の低圧配電盤用 NF ブレーカは全面的に電動操作として、地下 2 階の電気室から遠隔制御する方式とした。運転員は地下 2 階電気室にしながら屋上分室の低圧スイッチの操作が可能であって停電時間の減少に多大の効果があるものと思われる。また電源停電時に用いられる交直切換装置としてはいずれも電動操作方式の 600 A, NF ブレーカを使用し、電気的に相互にインターロックを行った。

9. 配電用変圧器 (図 9.1) および蓄電器 (図 9.2)

単相 100 kVA 24 台, 150 kVA 12 台

蓄電器 200 kVA 4 台, 400 kVA 1 台

いずれも鐘淵化学の不燃性油を充填したもので、事故による火災の絶無を期している。

10. 自動記録計器

自動記録積算電力計 3 台

” 電流計 3 台

保守員の手間を省くため、できるだけ自動計器による

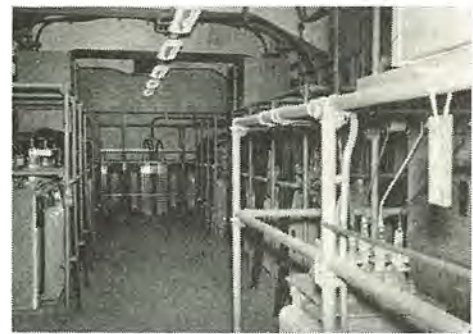


図 9.1 配電用変圧器

Fig. 9.1 Switchboard transformer.

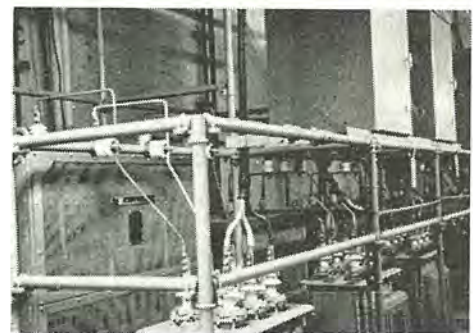


図 9.2 蓄電器

Fig. 9.2 Capacitors.

こととし、いずれもベンチボードに設置した。

11. む す び

キュービクル、メタルクラッド配電盤、縮小形ベンチボード、特高乾式変圧器、LCB の採用により電気室全体の据付面積は少くも 100 坪を減少することができた。貴重な百貨店売場の面積がそれだけ増加した訳で、将来に得る利益は莫大なものと思われる。ここにその製作、設計に当り終始ご協力下さった三菱電機株式会社に対し深甚の謝意を表する次第である。

160 in 厚板圧延用 10,000 HP 電気設備

神戸製作所 竹内 真一*・片岡 高示**

10,000 HP Electric Equipment for 160 inch Heavy Plate Rolling Mill

Kobe Works Shinichi TAKEUCHI・Takashi KATAOKA

As demands increase, steel rolling mill in Japan are expanding year after year with higher efficiency and more up-to-date equipment. Throughout the past record, however, none has surpassed a rolling mill apparatus completed last year the Yawata Steel Works. This is for rolling 38×60×160 inch heavy plates. Principal equipment of them is a quadruple reversible mill driven by 10,000 HP d-c motors of Ilgnor system. Among prewar Mitsubishi products was a single unit 7,000 HP motor for blooming mill, but the new equipment uses two motors for the upper and lower rolls respectively which is called twin drive and the largest of the kind in the orient.

1. ま え が き

わが国における鉄鋼圧延設備はその需要の増加にともない年々高効率、最新式の設備が増設せられているが、昨年八幡製鉄所に完成された 38×60×160 in 厚板圧延設備はわが国はもちろん東洋一の大容量のもので、その中心となる四重逆転式圧延機は 10,000 HP 直流電動機によって駆動せられるイルグナ式電気設備である。

当社は圧延設備電気品として戦前すでに単機 7,000HP の分塊圧延電動機を製作し現在なお好成績で運転が続けているが、これは単機容量として今日においてもわが国最大の記録品であるが、今般製作の上記 10,000 HP 圧延電動機は厚板圧延機の上部および下部ロールを別個の電動機で運転する方式 (Twin Drive) であって、こ

の方式の双子形圧延電動機としてわが国最大の記録品である。

なおこの電気設備は正逆時間の短縮はもちろん、付属設備との関連自動運転方式による能率の向上を図るとともに負荷平衡制御の新方式を採用したが、全設備の完成とともにきわめて好成績な運転が続けている。ここにその大要を述べる。

2. 設 備 概 要

この設備の 160 in 厚板圧延機は米国 UE 社より輸入、その他の付属機械は国産であるが、この全設備の電気品の大部分は当社が一括製作したものである。図 2.1 はこの設備の全体を示したものでその主要機械はつぎのとおりである。

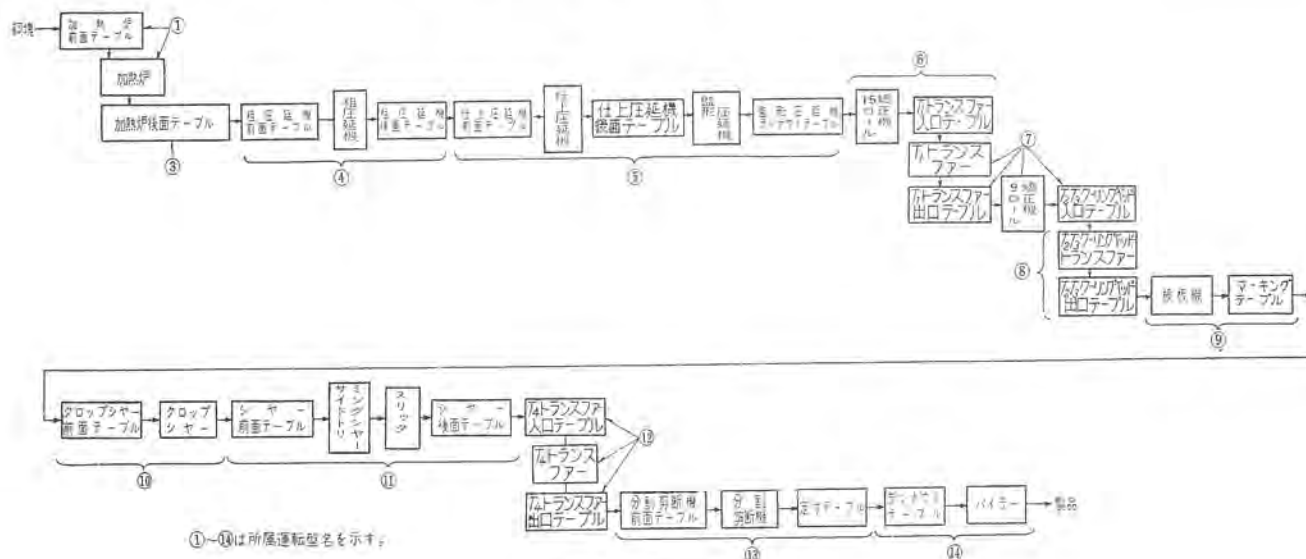


図 2.1 圧延機全体配置図

Fig. 2.1 Total Arrangement rolling mill motor

加熱炉関係
粗圧延機関係
仕上圧延機関係
15 ロール矯正機およびトランスファー関係
9 ロール矯正機およびクーリングベッド関係
検板機関係
クロップシャー関係
サイドトリミングシャーおよびトランスファー関係
分割剪断機およびパイラ関係

これらの各機械はその配列順序に従い第1運転盤より第14運転盤に分けて運転される。

つぎにこの設備の中心となる厚板仕上圧延機械仕様は

形 式 四重逆転式

ロール寸法

主ロール 38×60×160 in

立てロール 42×28 in

速 度

主ロール 毎分 0/400/800 ft

立てロール 毎分 0/263/789 ft

上記圧延機用電気設備としての特長を列記すれば

- (1) 10,000 HP としてわが国最大の出力である。
- (2) 5,000 HP 2 台よりなる双子形駆動方式である。
- (3) 上下ロール用各電動機は 2 台並列に接続した一組の発電機から別個に電力が供給される。
- (4) 上下ロール用各電動機の負荷平衡装置は定回転力制御でも、定出力制御でも任意に切替えができる。
- (5) 軸方向の振動をおさえる振動ダンパを付けた。
- (6) 電動機および発電機の磁気回路はすべて成層とした。
- (7) 付属機械用電動機として JEM 標準ミル形直流電動機約 150 台が使用されている。

3. 主圧延用回転機の仕様

(1) 主圧延電動機 (図 3.1)

2 台 5,000 HP 750 V 40/80 rpm

B 種絶縁 50°C 双子形

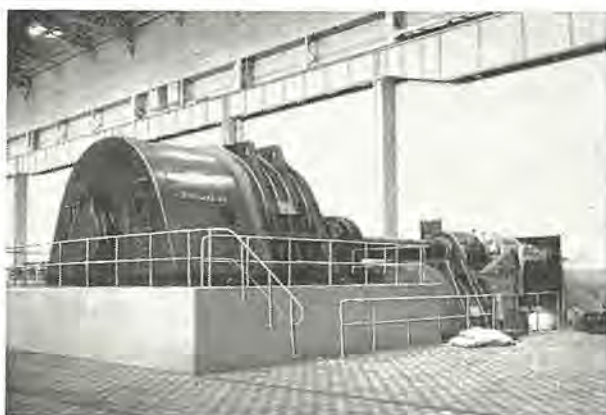


図 3.1 5,000 HP 主圧延電動機

Fig. 3.1 5,000 HP main rolling mill motor.

160 in 厚板圧延用 10,000 HP 電気設備・竹内・片岡

定格回転力 181.6 TM

常用最大回転力 410 TM (225%)

非常最大回転力 500 TM (275%)

(2) 立てロール圧延電動機

1 台 1,500 HP 750 V 150/450 rpm

B 種絶縁 50°C

定格回転力 7.26 TM

常用最大回転力 16.3 TM (225%)

非常最大回転力 20 TM (275%)

(3) イルグナ式電動発電機

a. 直流発電機

4 台 2,250 kW 750 V 3,000 A

B 種絶縁 50°C 最大出力 275%

1 台 1,250 kW 750 V 1,667 A

B 種絶縁 50°C 最大出力 275%

b. 誘導電動機

1 台 9,000 HP 6,300 V 60 c/s 514 rpm (同期)

ダイアレジン絶縁 50°C 最大回転力 300%

c. 蓄勢輪

1 個 GD² 460 TM², 225,000 HPS (同期速度にて)

d. 始動装置

一式 50 HP 200 V 720 rpm 最大回転力 250%

全閉巻線形誘導電動機

その他減速装置

(4) 主ロール用励磁機

a. 圧延電動機用励磁機

2 台 140 kW 440 V AO-HS 形

b. 発電機用励磁機

1 台 90 kW 440 V AO-HS 形

c. 駆動用誘導電動機

1 台 400 HP 6,300 V 1,750 rpm SBA 形

(5) 主ロール用ロートロール励磁機

a. 電動機界磁調整用

1 台 10 kW 220 V AO-KS 形

b. 電動機界磁電流調整用

1 台 5 kW 110 V AO-KS 形

c. 発電機電圧調整用

1 台 5 kW 220 V AO-KS 形

d. 発電機バイアスロートロール

1 台 3 kW 800 V AO-KP 形

e. 発電機負荷平衡用

1 台 5 kW 440 V AO-KS 形

f. 電動機負荷平衡用

1 台 3 kW 220 V AO-KS 形

g. 駆動用誘導電動機

1 台 50 HP 200 V 60 c/s 1,750 rpm

(6) 立てロール用励磁機およびロートロール

a. 電動機用励磁機

1 台 20 kW 220 V AO-KS 形

b. 発電機用励磁機

- 1 台 9 kW 220 V AO-KS 形
- c. 定電圧発電機
- 1 台 10 kW 220 V AO-KS 形
- d. 電動機界磁調整用ロートコントロール
- 1 台 3 kW 220 V AO-KS 形
- e. 発電機電圧調整用ロートコントロール
- 1 台 3 kW 220 V AO-KS 形
- f. 発電機バイアスロートコントロール
- 1 台 3 kW 800 V AO-KP 形
- g. 駆動用誘導電動機
- 1 台 50 HP 200 V 60 c/s 1,750 rpm

(7) 誘導電動機制動用発電機

- a. 制動用発電機
- 1 台 50 kW 70 V AO-KS 形 30 分定格
- b. 駆動用誘導電動機
- 1 台 75 HP 3,300 V 60 c/s 1,150 rpm

4. 主圧延用回転機の特徴

4.1 本邦最大の出力

1 スタンドの動力として 10,000 HP は本邦最大の出力である。本邦既設で最大のものは 7,000 HP である。なお本機の駆動方式は双子形 (Twin Drive) であって、双子形としても本邦最大の出力である。なお双子形既設は 7,000 HP が最大であった。

4.2 中心間距離 (図 4.1 参照)

双子形駆動方式であるから上下電動機の間隔は機械メーカーより指定せられる。今回は 94 in (2387.6) と指定せられた。これは既設の 7,000 HP 双子形の場合の中心間隔 2,400 mm より小さい。したがって電動機の外径もこのために制限せられて電動機的设计として非常に苦しい設計となった。

なお現在わが国では本機よりさらに出力の大きい 12,000 HP の双子形が計画されているが、これは単機出力 6,000 HP で 6,000 HP は二電機子形である。すなわち

全出力は本機より大きいが単電機子当りの出力は 3,000 HP で本機より小さい。双子形になると前述のように外径の制限があるから単電機子形としては単機出力 5,000 HP が最大でそれ以上は二電機子形となる。すなわち本機は単電機子として今後とも最大出力となるであろう。

なお単機 5,000 HP 以上 7,000 HP までのものもすでに製作されているがこれらはすべてビニオンスタンド駆動式であるから外径には制限はなかった。

4.3 軸方向の振動を吸収する油ダンパをつけた

主ロール用電動機の構造性能に関しては昭和 29 年に神戸製鋼所に納入した分塊ミル用 3,500 kW に近似であるが一つの大きな相違点は本機には振動ダンパをつけたことである。

当社では一般的にロールと電動機との中間に減速機が存在しないときは電動機の負荷側軸受にスラスト軸受をつけてある。これは電動機とロールとの間のスピンドル (動力伝達軸) が折損したような事故に際して電動機を保護するためである。

つぎにビニオンスタンドのない双子形において圧下装置の働きによって上ロールが上下するときはロールネックと電動機との距離は増減する。この距離の差は可撓継手のすき間によって逃げられるようにできているが、可撓継手の撓動面にかかるスピンドルの重量による面圧と面の摩擦係数との相乗積に相当する力によって電動機は軸方向に押されたり引かれたりする。この引かれる力に耐えるために整流子側軸受にもスラスト軸受をつけてある。

図 4.1 の付表

| 直 流 電 動 機 | | | |
|-----------------|------------------------|--------|-----------------|
| 台 数 | 2 台 | 励磁方式 | 他励 440 V |
| 出 力 | 5,000 HP | 形 式 | CS-LP |
| 電 圧 | 750 V | 定 格 | 連 続 |
| 電 流 | 5,450 A | 温度上昇限度 | 50°C |
| 回 転 数 | 40/80 rpm | 用 途 | 主圧延用 |
| 常用最大回転力 | 204 ton-m | 1 台 | 178ton |
| 非常最大回転力 | 250 ton-m | 計画重量 | 最大部(電機子体) 68ton |
| GD ² | 270 ton-m ² | 全 重 量 | 405ton |

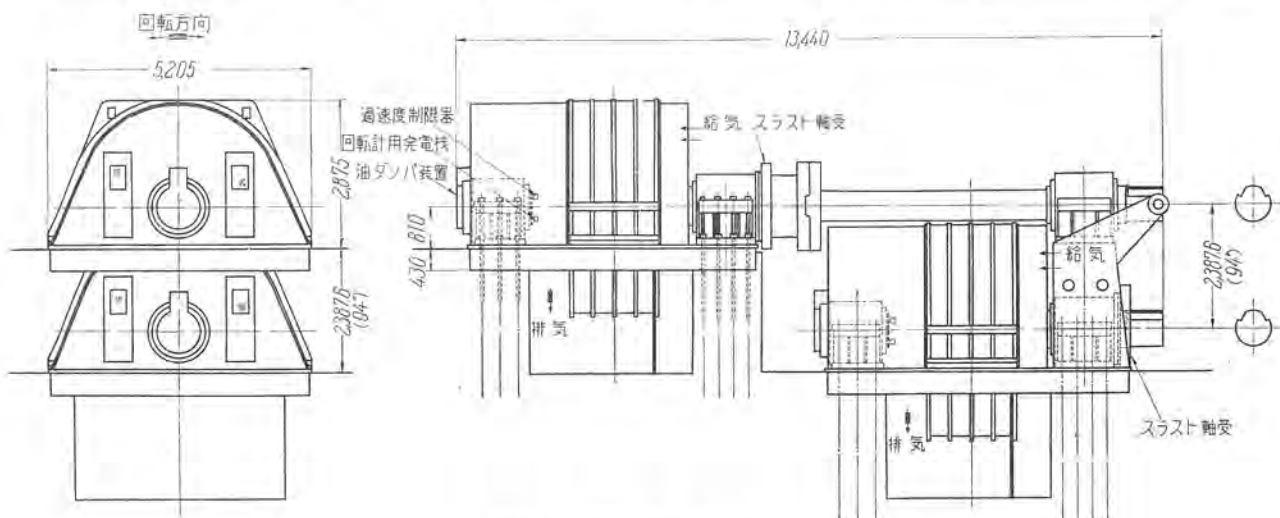


図 4.1 10,000 HP 外形図

Fig. 4.1 10,000 HP outline.

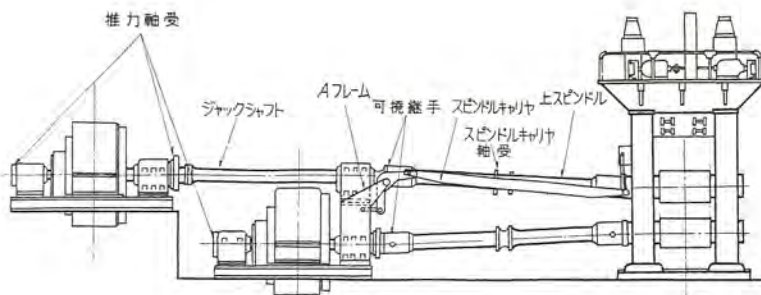


図 4.2 双子形圧延電動機運転圧延機
Fig. 4.2 Rolling mill twin drive.

また可撓継手が回転力を伝達しているとき、回転軸を中心として両側の面の面圧は完全に同一でない。その原因としては

- (1) 可撓継手のスリッパの両端の面の機械的不均一
- (2) 潤滑状態の不均一
- (3) スピンドルの調整不十分 (図 4.2)

などが考えられる。

ロールと電動機間のスピンドルは Spindle Carrier によって支えられていてその自重が可撓継手の摺動面にかからないような構造にはなっているが、この Carrier の調整が不十分でスピンドルの自重の幾分でも可撓継手の摺動面にかかる上記第3項の原因となる。以上三つの原因によって発生する軸方向の振動を吸収する目的で付けられたものが油ダンパである。

油ダンパの原理は油のダッシュポットと同一で、整流子側軸端に設けた円板が軸受台に取付けた円筒内を左右し円筒の両側には油を封入してある。さらにこの円板は前述のスラスト軸受の摺動面にもなっている。

4.4 新しい構造の整流子カバー

図 3.1 に見られるように主電動機の整流子側カバーを軸方向に長く軸受まで内蔵している。これは整流子の点検およびブラシの取替えに便利のようにスペースを広くするためである。カバーの内部には電燈を設けてあるから外部から照明用具を持込む必要はなく内部が点検できる。

4.5 イルグナ電動発電機 (図 4.3, 図 4.4)

従来のイルグナ電動発電機では蓄勢輪を一番端におい

て、電動機あるいは発電機と蓄勢輪との間は可撓継手で結合していた。今回は継手はすべて固定継手とすると同時に誘導電動機と蓄勢輪とを直結しセットの中央においた。図 4.3 参照。この方式にすることによって可撓継手の寿命の問題も除去できるしまた原動機を中央にして右左に比較的負荷が平衡されることになる。

4.6 成層構造の継鉄

主発電機はもちろん主ロール圧延電動機、主励磁機は継鉄を成層構造とした。

これら主機の継鉄は厚板構造にするとそれを流れる磁束の変化の定数は 0.2~0.5 秒の値になるので成層構造は磁束変化に対して有効であることがわかる。また同時に過渡時の整流に対しても有効であった。

5. 制御装置

厚板用主圧延電動機の運転について考慮すべき要点は

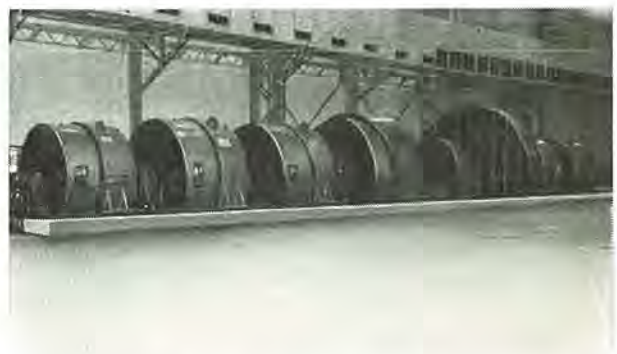


図 4.3 イルグナ電動発電機
Fig. 4.3 Ilgner motor generator.

図 4.4 の付表

| | ①直流発電機 | ②直流発電機 | ③三相誘導電動機 | 予定重量 |
|-----|-----------|----------|--------------|---------------------|
| 出力 | 2,250 kW | 1,250 kW | 9,000 HP | 2,250kW 発電機 29.6ton |
| 電圧 | 750 V | 750 V | 6,300V 60c/s | 1,250kW 発電機 18.5ton |
| 電流 | 3,000 A | 1,650 A | | 誘導電動機 49.2ton |
| 回転数 | 514 rpm | | | 勢車 (軸受共) 71.9ton |
| 定格 | 連 続 | | | 〃 (最大部分) 60.8ton |
| 形式 | CS-LS | CS-LS | | 始動装置 9.0ton |
| 枠番 | 168E42-10 | 142D34-8 | 14-105-37 | 合 計 267ton |

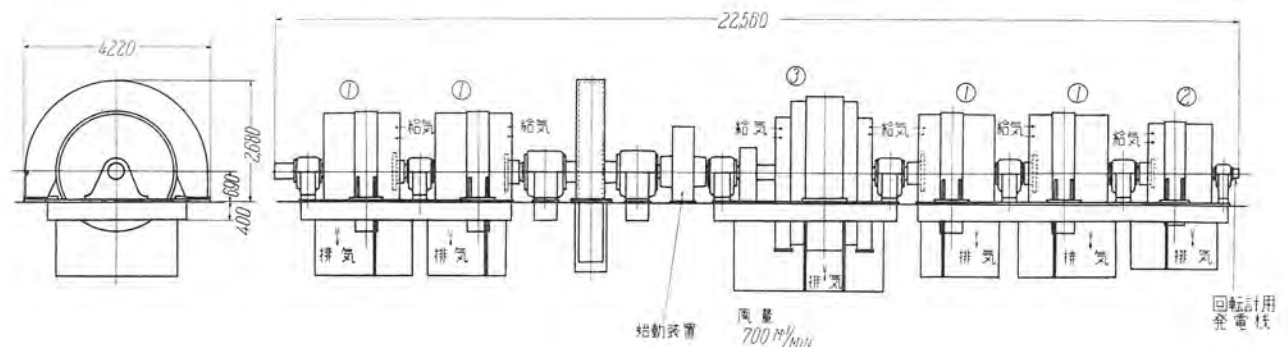


図 4.4 イルグナ電動発電機外形図
Fig. 4.4 Ilgner motor generator outline.

分塊圧延機と同様発電機および電動機については整流の問題であり、制御装置としては高加減速、負荷平衡、負荷電流制限などの制御特性を満足するもので、確実にしてできるだけ簡単な制御方式が望ましい。ことに双子形電動機方式においては負荷平衡の問題に対する制御方式の決定に重点がおかれる。図 5.1 に示す接続図は 10,000 HP 厚板用主圧延電動機の制御方式である。

5.1 主回路接続方式

10,000 HP 圧延電動機に電力を供給すべき発電機容量および台数は上記の点を考慮して 2,250 kW, 514 rpm, 750 V 発電機 4 台とした。この 4 台の発電機と上下ロール用 5,000 HP 電動機 2 台との組合せ接続について、4 台の発電機を並列にして共通母線を通して圧延電動機 2 台に接続する方式が考えられる。この方式の唯一の利点とされる点は発電機 1 台故障時欠台運転方式が簡単に得られる点であるが、一方この利点を生かすためには各発電機の負荷平衡装置も簡単に切離しができるように考慮する必要がある。各発電機ごとに発電機用負荷平衡装置が必要となり、補助発電機の数が多く複雑な回路となる。

他の方式として上下各圧延電動機に対し 2 台の発電機を交叉接続方式として並列に接続して各発電機の負荷平衡を行うとともに 1 台の圧延電動機に電力を供給する方式であり、各発電機に対しては負荷平衡用としてとくに補助発電機は不用となりきわめて回路が簡単になる。この制御方式もこの方式を採用した。

5.2 発電機電圧制御

4 台の発電機界磁は全部直列に接続し、1 台の励磁機により励磁される。発電機界磁を並列に接続する方式もあるが、界磁回路の故障に対して直列の場合は全部の発電機電圧が同一条件におかれ界磁電流の不平衡を生ずる恐れがない利点がある。

発電機電圧の制御方式としてその接続を簡単のために 1 台の発電機として 図 5.2 に示す。励磁機界磁制御用

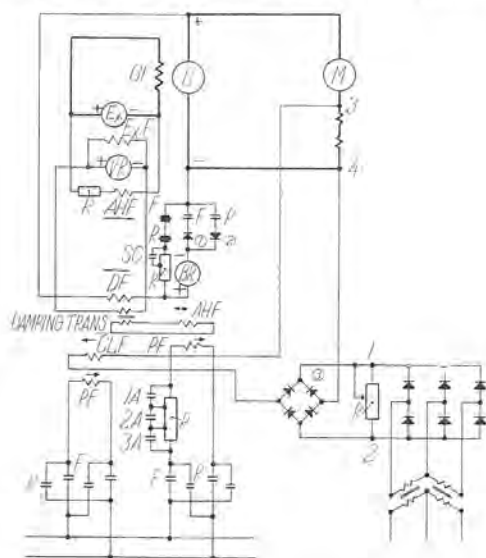


図 5.2 発電機制御接続図

Fig. 5.2 Connection diagram of generator control.

として電圧調整ロートロール (VR) と発電機電圧よりの饋還回路に設けたバイアスロートロール (BR) の 2 台の増巾発電機を設け強制励磁を行い発電機の電圧上昇率を大にし電動機の急加減速を容易にし、電動機基準速度 +40 rpm から -40 rpm までの逆転時間約 1 秒を目標として計画した。発電機の電圧はバイアスロートロールの基準界磁によって制御され、250 V, 500 V, 750 V の三段階に主幹制御器により制御される。

主幹制御器を前進 1 ノッチに進めれば VR および BR ロートロールの基準界磁 PF は F および 1 A 電磁接触器接点が開いて励磁される。VR ロートロールの差動界磁 (DF) は主発電機電圧と BR ロートロールの電圧との差電圧によって励磁される。この場合発電機電圧が BR ロートロールの電圧に打勝つ値に達するまでは界磁 DF に電流が流れないようにセレン整流器 ① が作用し、その間 VR ロートロールの電圧は基準界磁に与えられた励磁により急速に電圧を発生し発電機励磁機に強制励磁を与える。ロートロールおよび励磁機は定常時発電機最高電圧に必要な電圧の 10 倍以上の電圧を十分発生しうるように設計されているので強制励磁によって 10 倍程度の電圧を瞬時発生し通常 2~3 秒の時常数を有する発電機界磁を励磁し、最大電圧上昇度 2,500 V/sec 以上の高い上昇率をもって発電機は電圧を発生する。発電機電圧が BR ロートロールの電圧より高くなれば界磁 DF に電流が流れ界磁 PF の作用を弱め、したがって発電機電圧の上昇率も減じ、界磁 PF と DF との合成が所要の発電機電圧相当の値に達して平衡する。主幹制御器を後進に入れば、R およびセレン整流器 ② によって上記と同様な作用によって発電機は逆方向の電圧を発生する。なおロートロールには強制励磁による乱調を防ぐために乱調防止界磁 AHF を設けて安定な特性を得るように設計されている。

また急速な発電機電圧の上昇にともない電動機の加速時には大きな尖頭電流が流れる。この値を発電機ならびに電動機の許容しうる範囲内に自動的に制限し、できるかぎり平均した加速トルクを保って急速かつ円滑な加速を行うために VR ロートロールに電流制限界磁 CLF を設け、電動機の負荷電流に比例する電圧として補極および補償巻線の電圧降下と交流定電圧を整流して得る一定規準直流電圧とを比較してセレン整流器 ③ を通して界磁 CLF と接続される。負荷電流による 3-4 間の電圧が 1-2 間の規準電圧以下である場合には③のセレン整流器によって阻止され界磁 CLF には電流が流れず、もし過大な負荷電流のために 3-4 間の電圧が 1-2 間の電圧より高くなれば 1-2 間を通じて界磁 CLF に電流が流れ界磁 DF と逆極性に作用して発電機の電圧上昇を減少する効果を与えて、負荷電流を制限する。

5.3 電動機界磁制御

電動機界磁制御は 図 5.3 に全体の接続を、図 5.4 にその制御の基本接続を示す。2 台の励磁機を図のように

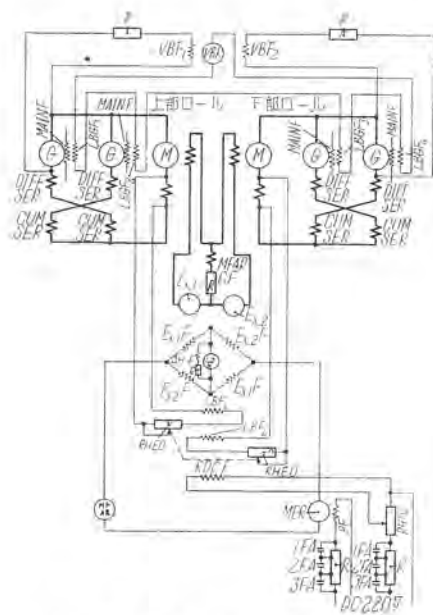


図 5.3 電動機制御接続図 (その 1)

Fig. 5.3 Connection diagram of motor control. (1)

接続し電動機界磁を励磁する。界磁制御は発電機界磁制御と同様励磁機界磁を界磁調整ロートトロール (*MFR*) と界磁電流ロートトロール (*MFAR*) によって強制作用を行いつつ制御される。

2 台の各励磁機はそれぞれ界磁を二分割しブリッジ接続とし相対向する端子の一組は上記ロートトロールに、他は負荷平衡ロートトロールに接続する方式は、2 台の励磁機を使用する場合には負荷平衡制御と強制励磁制御とを行う方式として簡便である。

MFAR ロートトロールは電動機界磁電流に比例した電圧を発生し、*MFR* ロートトロールはその基準界磁 *PF* の値に比例した電圧を発生する。2 台のロートトロールは励磁機界磁に対し直列に、かつ両電圧が差動的に接続されて強い強制励磁が行われる。界磁電流制御は *MFR* ロートトロールの基準界磁 *PF* によって四段に、すなわち電動機速度を 40 rpm から 80 rpm まで制御される。*MFR* ロートトロールには基準界磁のほかに、調整界磁 (*MDFF*)、界磁制限界磁 (*FLD LIMIT*) および電流制限界磁 (*CLF*) を設けて電動機界磁制御に必要な作用を与えている。

調整界磁は弱め界磁の高速運転から急速に主幹制御器を強め界磁にもどした場合 *MFR* ロートトロールの基準界磁は直ちに強められ、電圧は急速に上昇したがって励磁機を非常に強制励磁する。その結果電動機界磁は急速に増加し電動機は発電機として作動し大なる制動電流を流して減速されるが、この場合過大な制動電流によって発電機および電動機のフラッシュオーバの危険を防止するため界磁電流の急増を防止する作用を持たせている。この *MDFF* 界磁は励磁機電圧と *MFR* 電圧の差によって励磁され、*MFR* 電圧が励磁機電圧とを比較して或る値以上になればセレン整流器を通して調整界磁

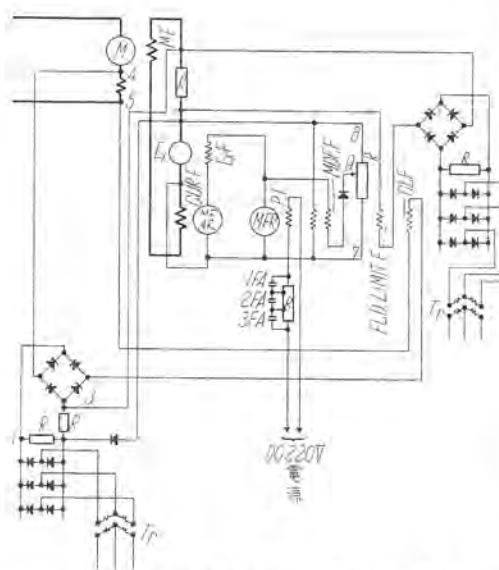


図 5.4 電動機制御接続図 (その 2)

Fig. 5.4 Connection diagram of motor control. (2)

電動機の界磁制御の場合には弱め界磁において整流上許容最大電流は漸減せしめる必要があるので、制限電流値に垂下特性を持たせている。

5.4 負荷平衡制御

(1) 定出力負荷平衡方式

上下各ローラ用圧延電動機に対して各 2 台の発電機の負荷平衡制御についてはすでに (1) 項に述べたが、圧延電動機に対する負荷平衡については電動機電圧を一定とし電動機界磁電流調整による定出力制御の方式を採用した。ローラ径の相違する場合にも電動機の負荷平衡を保つこの方式は、双子形電動機の負荷平衡装置として従来から一般に用いられている。

図 5.3 において 2 台の励磁機界磁がブリッジに接続された相対向する一組の中性点に負荷平衡ロートトロール (*LBR*) が接続され、その二つの界磁 *LBF*₁ および *LBF*₂ は各上部および下部ローラ電動機の負荷電流に比例した励磁が与えられる。上部ローラの負荷が増加すれば *LBF*₁ の励磁が増加し、*LBR* は電圧を発生し励磁機界磁 *EX*₁*F* および *EX*₂*F* には外部より与えられる励磁電流に *LBR* よりの電流が重畳し、界磁 *EX*₁*F* は強められ、*EX*₂*F* は弱められ、したがって上部ローラの界磁電流は増加し、下部ローラの界磁電流は減ぜられ上下ローラの負荷電流は平衡する。

この場合二組の発電機電圧をつねに同一に保つために電圧調整ロートトロール *VBR* によって制御される。*VBR* の界磁 *VBF*₁ および *VBF*₂ は各発電機の電圧によって励磁され、もし電圧の不平衡が生ずれば、*VBR* は電圧を発生し発電機界磁 *LBGF* を調整し発電機電圧を合致せしめるように作用する。

電動機界磁の *LBR* にはさらにローラ径補償界磁 *RDCF* を設け、ローラ径の相違する場合手動調整器によって補償界磁に径の相違に相当する補償励磁を行い、あらかじめ *LBR* の電圧を発生せしめ電動機の界磁電

MDFF に電流が流れる。この界磁は基準界磁 *PF* と逆極性に作用しているので *MFR* ロートトロールの出力電圧を減じ界磁電流の急増を抑え、許される制御電流によって電気制動が行われる。界磁制限界磁は電動機の基本速度に相当する界磁電流以上に電流が流れないように制限し電動機界磁の過熱を防止する作用をなし、電流制限界磁は発電機の場合と同様主回路電流の過大電流を制限する効果を与えている。電

流を変化し、その結果生ずる上部および下部ロールの回転数の比がちょうどロール径の比に逆比例する調整をして負荷平衡を容易ならしめている。

(2) 定回転力負荷平衡方式

ロール径の相違がわずかであり、またロール径の相違が相当あった場合には上記のロール径補償調整器によってその径の補償を手動にて調整すれば、その負荷平衡を発電機電圧にて行うことが考えられる。もちろんこの方式は電圧制御によって負荷平衡をはかる方式であるから理論的には、もしロール径に相違があればロール径の小さい方はロール径の大きい方よりも負荷電流は同一であっても馬力として多くかかり、馬力の点では不平衡で使用することになる。しかし発電機電圧による負荷平衡方式は電動機界磁による方式よりも速度度が高いために安定した負荷平衡が行われ、その点非常に有利である。したがってロール径の違いによる不平衡の原因を手動で電動機界磁にて補償を行えば幾分のロール径の食違いによ

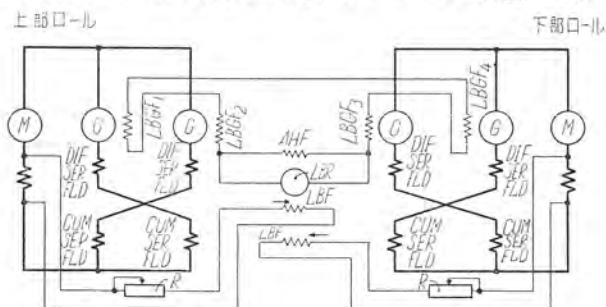


図 5.5 負荷平衡制御接続図

Fig. 5.5 Connection diagram of load balance control.

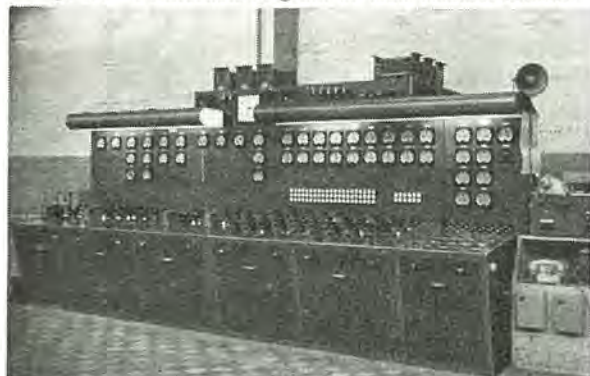


図 5.6 総合監視盤

Fig. 5.6 Control supervisory board.

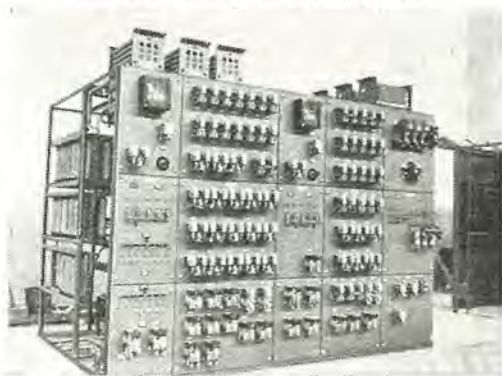


図 5.7 主圧延機用制御盤

Fig. 5.7 Main rolling mill control panel.

160 in 厚板圧延用 10,000 HP 電気設備・竹内・片岡



図 5.8 主圧延機運転台

Fig. 5.8 Main rolling mill operation desk.

る馬力の不平衡は実用上問題とならず、実際の運転においても満足な運転を行うことができる。1 個の切替開閉器によって簡単にいずれの方式をも行うことができる制御方式とした点はこの 10,000 HP 双子形電動機の負荷平衡方式としての特長である。

発電機電圧による負荷平衡を行うときは、図 5.5 のように、VBR ロートロールの界磁を発電機電圧によって励磁される回路から、負荷電流で励磁する回路に切替え、電動機界磁負荷平衡 LBR の界磁を切放せば直ちに変更することができるから、いずれの負荷平衡方式をもならほかに特別の装置を必要とせずきわめて簡単に行いうる。

5.5 立て形圧延電動機制御

この圧延機の制御方式は原理的には主圧延機のものでまったく同一であるが、電動機励磁機は 1 台でその界磁を 1 台のロートロールで制御する点が異なっている。

この圧延機の制御で重要な点は厚板が長くなり主圧延機にまたがって作業が行われる場合で、その間の速度を同期化させ、立て形圧延電動機に過大な負荷がかからないように制御する必要がある。

立て形電動機は速度制御範囲 150~450 rpm は主圧延機の圧下率約 30% を補償することができる。この圧下率補償に対しては、電動機界磁調整ロートロールの基準界磁 PF に圧下率補償調整用抵抗器を設けて調整するとともに、発電機に垂下特性を持たせて自動的に同期化をはかる制御となっている。その値は大体 100% 負荷に対して 15% 程度の垂下特性とした。

6. レオナード制御による補助電動機関係

下記に示す補助電動機は各個発電機によるレオナード制御を行うもので、電動機はすべて JEM 標準のミル形直流電動機で B 種絶縁、温度上昇は 75°C、最大回転力 250% である。

- (1) 粗圧延ロール圧下用 2 台
100 HP 220/440 V 485/970 rpm F#614
- (2) フィードローラ 2 台
150 HP 220/440 V 460/920 rpm F#616
ただし運転条件は 25/50 V 76/152 rpm



図 6.1 補助直流電動機電源電動発電機
Fig. 6.1 Auxiliary d-c motors and power supply motor generators.



図 6.2 補助直流電動機電源電動発電機および
ロートロール
Fig. 6.2 Auxiliary d-c motors, power supply motor generators and rototrol.

- (3) 3 ローラセクション 1 台
150 HP F#616
ただし運転条件 27/54 V 83/66 rpm
- (4) ミルアプローチテーブル 4 台
150 HP 220/440 V 460/920 rpm F#616
- (5) フロントミルテーブル 2 台
150 HP 220/440 V 460/920 rpm F#616
- (6) ロール圧下 2 台
150 HP 220/440 V 460/920 rpm F#616
- (7) バックミルテーブル 2 台
150 HP 220/440 V 460/920 rpm F#616
- (8) エッジデリベリテーブル 2 台
150 HP 220/440 V 460/920 rpm F#616

粗圧延ロール圧下以外のこれらの電動機の電源発電機は 80 kW の定電圧発電機を含めて 4 セットの電動発電機となっている。駆動用電動機は 700 HP 誘導電動機である。また強制励磁用ロートロールは 30 HP 誘導電動機によって駆動される 4 セットになっている。(図 6.1, 図 6.2) 上記補助電動機の世界制御は発電機電圧により制御され主幹制御は 3 ノッチである。

この種補助電動機は主圧延機とともに急速な加速、減速を繰返しその時間は圧延機設備の生産能力に直接関係するので、ロートロールを使用し急速な発電機電圧制御をなし、これに伴う過大な加速および制動電流は電流制限装置により制御し、円滑な制御を行っている。

7. 定電圧補助直流電動機関係

定電圧補助直流電動機はすべて JEM 標準ミル形直流電動機で電磁制動機は当社新形 SA 形を使用した。電動

機定格は 5 HP (枠番 2) より 150 HP (枠番号 616) ま で 9 種類、台数は 122 台である。

定電圧電動機種の制御は当社の標準として DK-9500 方式を採用している。

| | |
|---------|------------------|
| DK-9505 | 非可逆 |
| DK-9510 | 非可逆、発電制動 |
| DK-9515 | 可逆、ブラッキング制動 |
| DK-9530 | 可逆、発電制動 |
| DK-9560 | 可逆、ブラッキングおよび発電制動 |

8. 補助設備

8.1 通風冷却設備

電気室の通風方式は Down Draft 方式である。この方式の優秀なことは神戸製鋼納入イルグナ設備ですでに経験済みであるので今回もこの方式を採用することにした。電気室は粗圧延用電機品と共通であるから、電気室用送風機およびフィルタは粗圧延用と共通である。

各送風機の仕様はつぎのとおりである。

2-5,000 HP 電動機用

1 台 TV-115 形 2,600 m³/min 90 mm

1-1,500 HP 電動機用

1 台 TV-80 形 350 m³/min 90 mm

4-2,250 kW 発電機用

2 台 TV-95 形 1,100 m³/min 80 mm

1-1,250 kW 発電機用

1 台 TV-85 形 300 m³/min 80 mm

1-9,000 HP 誘導電動機用

1 台 TV-90 形 800 m³/min 60 mm

4-700 HP 誘導電動機用

1 台 TV-85 形 500 m³/min 60 mm

電気室用

6 台 TV-125 形 2,500 m³/min 50 mm

補助直流電動機用

1 台 TV-95 形 900 m³/min 140 mm

空気ろ過器は American Air Filter の DD 形を輸入した。その仕様は、

電気室用 6 台 17-148 形 96,400 cfm

補助電機用 1 台 8-110 形 31,760 cfm

8.2 軸受潤滑油循環設備

潤滑油の系統は圧延用電動機とイルグナ電動発電機と別にした。各系統には油ポンプ、油冷却器、油濾過器、油タンクを設けてあるのは従来の設備と同様である。以上のほかイルグナ電動発電機の系統には動力油タンク (Head Tank) を設けて停電時でも約 30 分給油を続けることができ軸受メタルの焼損を防止することができる。

9. む す び

以上 160 in 厚板圧延用 10,000 HP 電気設備について述べたが、この電機品にたいして当社多年の圧延機用電機品に対する経験の下にさらに新しい方式を採用したがきわめて好成績で運転にはいっている。本機の完成により当社が製鉄用電機品として従来幾多の記録品を製作してきたがさらに新しく東洋一を誇る大容量圧延電機品を完成し当社の製作記録に加えるとともにわが国の鉄鋼製産設備の増強に寄与できたことを喜びとする。

衝 撃 波 比 較 試 験 器

研 究 所 浅 見 辰 巳*・蔭 山 長 三 郎**

Surge Comparison Tester

Engineering Laboratory Tatsumi ASAMI・Chozaburo KAGEYAMA

Impressing surges on the windings of generators, motors and transformers, their impedance balance is tested for the detection of faults in them. Simultaneously their insulation is tested by means of the impressed surge voltages. On two similar windings alternately are impressed surges generated by a surge generator through the change-over of a synchronous switch. Oscillation waves produced in them are viewed as stationary images on the Braun tube. If the windings to be tested are similar and balanced, two wave-forms are superposed. But any fault in one of the samples make them unsymmetrical different waveforms are observed. This is a principle of surge comparison testers developed by the company.

1. ま え が き

衝撃波比較試験器は衆知のように発電機、電動機および変圧器などの巻線にサージを印加して、これらのインピーダンスバランスを検査することにより、故障を検出するもので、同時にサージ電圧による絶縁試験も行いうるものである。これは2個の相似の巻線にサージ発生器よりのサージを各サイクルごとに同期スイッチにて交互に切替えて印加し、被試験巻線におこる振動波形をブラウン管上に静止像として描かしめるもので、2個の試料が相似であり、平衡しているときは二つの波形は重なり合い、どちらかの試料に故障があり、非対称となったときは異なる二つの波形が現われ、これをブラウン管上に一つの視界で比較観測して、試験するものである。

切替用の同期スイッチとしては、同期電動機あるいはシンクロナス・バイブレータを使用する機械的な方式と、電子管を使用する電気的な方式がある。これらのうち、バイブレータを使用するものは比較的簡単であるが、切替の不確実、接点の磨耗、損傷などをまねがれがたく、故障の原因となることが多い。

また同期電動機を使用する同期回転式スイッチは確実に切替えを行うことができるが形が大きくなる。以上の2方式とも接点を使用する関係上接触不良となることがあり、ブラウン管上の波形が歪曲することがある。電子管を使用するものは可動部分がないため接点による故障はないが、補助回路がやや複雑となり、試験電圧を数kVより高くとれない欠点がある。これらを考慮して当所において同期電動機を使用するもの（標準形）と、電子管を使用するもの（準標準形）との2方式を開発した。すなわち標準形は発生電圧は10kVまで上げることができ、したがって高電圧の大形の機器についても試験することができる。準標準形は発生電圧は1kVであるが、比較

的軽量で持運びが容易であり、100Vあるいは200V級の小型機器に使用するのに便利である。

これらの製品につきそれぞれの構造、仕様を紹介し、併せて実測した一例を報告する。

2. 仕 様

標準形（SCM形）と準標準形の仕様は次の通りである。

SCM形

| | | |
|----------|-------|------------------------|
| 寸法 | 本 体 | 巾 350×高さ 450×奥行 700 mm |
| | 同期切替部 | 350× 450× 700 mm |
| 重量 | 本 体 | 70 kg |
| | 同期切替部 | 70 kg |
| 電 源 | | AC 100 V |
| サージ発生電圧 | | 0~10 kV |
| サージ発生器容量 | | 0.5 μ F |
| タイム・マーク | | 100 kC |
| 観 測 装 置 | | 120 F-BIB ブラウン管 |
| SCT形 | | |

寸 法 巾 350×高さ 450×奥行 700 mm

重 量 55 kg

電 源 AC 100 V

サージ発生電圧 0~1 kV

サージ発生器容量 0.1~3 μ F

タイム・マーク 100 kC

観 測 装 置 120 F-BI ブラウン管

以上のように SCT 形は SCM 形に比して大きさは $\frac{1}{2}$ 、重量は 40% になっており持運びに便利であるが、発生電圧は 1kV までである。小コイル、小形電動機などに使用する場合は SCT 形の方が便利である。図 2.1 に SCM 形 図 2.2 に SCT 形の外観および内部の写真を示す。



外観 Outside view.



内部 Indside view.

図 2.1 SCM 形
Fig 2.1. Standard type.



外観 Outside view.



内部 Inside view.

図 2.2 SCT 形
Fig 2.2 Substandard type.

3. 構造および動作原理

SCM 形の全体の接続図を図 3.1 に示す。主要部はつぎの 5 部分よりなっている。

1. 衝撃波発生回路
2. ブラウン管時間軸電圧発生回路
3. 制御波発生回路
4. 切替装置
5. 観測用ブラウン管装置

つぎにこれらの動作の概要を述べる。

3.1 衝撃波発生回路

電源変圧器 T_1 、整流管 G_7 、蓄電器 C_1 で高圧直流電源を形成している。 G_5 (4G78) は高圧サイラトロンで制御波発生回路より蓄電器 C_9 を通じて各サイクルごとに印加される + パルスにより点火し試料にサージを印加

する。陽極の直列抵抗は、サイラトロンの保護およびサージの波頭峻度緩和用の抵抗である。

3.2 ブラウン管時間軸電圧発生回路

サイラトロン G_1 および G_2 よりなっている。両サイラトロンともおのおの T_7 により適当にバイアスが与えられ、グリッドに正のパルスがこないときは、電流阻止の状態にある。サイラトロン G_4 は G_1 へのパルス発生回路であり、位相器 T_{10} で G_4 の制御格子電圧の位相を適当にずらして G_4 の動作により生ずるパルスを、 G_1 の陽極電圧が正の波高値付近で点弧するように G_1 のグリッドに加える。 G_1 の通電によりその陰極に現われる正のパルスで同じように G_2 が動作する。このときの G_1 の陰極電圧と G_2 の陽極電圧が掃引電圧としてブラウン管の時間軸偏向板に与えられる。このようにして交流電源より簡単に対称掃引電圧を得ている。掃引速度は可変抵抗器 VR_1 および VR_2 を調整することにより変えることができる。

3.3 制御波発生回路

時間軸発生回路の変圧器 T_8 とサイラトロン G_3 により回路が形成され G_1 に発生した陰極電圧、すなわち掃引電圧の一部が G_3 の制御格子に加えられ G_3 は通電し抵抗 R_3 および蓄電器 C_3 の時定数だけ掃引開始時刻より遅らされ

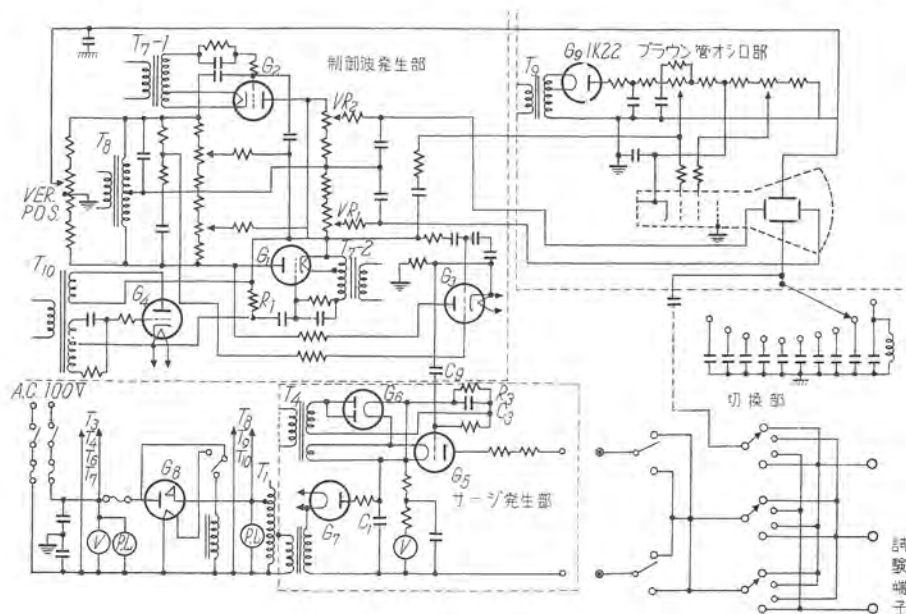


図 3.1 SCM 形接続図
Fig 3.1 The circuit diagram of the SCM type.

を抵抗 R_s 端子に正のパルスが発生する。このパルスが 3.1 に述べた衝撃波発生回路のサイラトロン G_s のグリッドに加えられる。

3.4 切替装置

SCM 形は小形同期電動機により同期速度で回転する円板上に接点を設け、印加電圧の切替えおよび観測点の切替えを行っている。

SCT 形は切替装置として電気的方式を用い小形軽量を図っている。すなわち 2 本のサイラトロンを用い、これをフリップフロップ回路からの出力により交互に動作させることによって切替えを行っている。この場合フリップフロップ回路の段数を増すことにより切替回数を $1/2$, $1/4$ と順次おそくすることができる。これはサージ発生器の主蓄電器の容量を大きくした場合、充電時間を長くしないと充電しきらないことがあり、発生電圧が低くまた浮動する恐れがあるときに切替回数を減じて充電時間を延ばすために使用する。

3.5 観測装置

120 mm ブラウン管(120 F-BIB) の陽極には整流管(1 k 22) にて整流した直流高圧を供給して、ブラウン管のグリッドは常時負電位にしておき、掃引と同時に輝度変調を行う。垂直偏向は容量分圧器により加減し、現象を適当な振巾にして観測できるように切替がついている。掃引時間は $20 \sim 400 \mu\text{s}$ の範囲に調整することができ、100 kc のタイムマークにより掃引速度を比較できるようにになっている。

4. 試験および実測例

試料の種類、結線様式、形態などにより試験方法を選定し、その試料に最適の方法により行うことが必要である。比較試験方法を大別するとつぎの 3 方法がある。

1. 二巻線の直接比較法
2. 三相機器の各相巻線の比較法
3. サーチコイル法⁽¹⁾(電圧誘導法)

4.1 二巻線の直接比較法

図 4.1 に示す方法でいろいろの寸法の線輪が試験できる。試料の巻回数、インピーダンスにより検出能力が異なり、高いインピーダンスのものは検出しにくい。この場合は後に述べるサーチコイル法によればよい。

4.2 三相機器の各相巻線比較

図 4.2 に示すように二相ずつ比較してゆく方法で図の

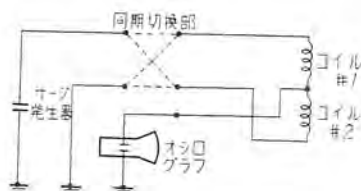


図 4.1 二つの巻線の比較

Fig 4.1 Comparison method of two windings.

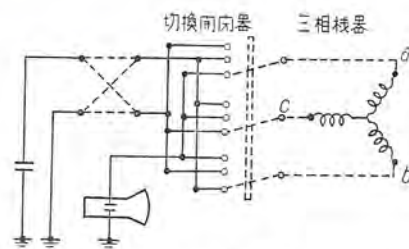


図 4.2 三相機器の巻線比較

Fig 4.2 Connection diagram for the three phase machine.

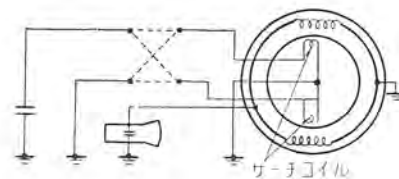


図 4.3 サーチコイル法

Fig 4.3 Search coil method.

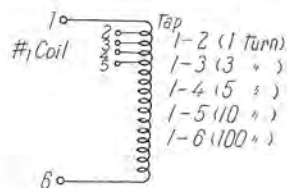


図 4.4 試験コイル

Fig 4.4 Tested coil.

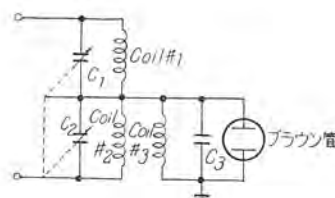


図 4.5 試験回路

Fig 4.5 Test circuit.

状態では b 相と c 相との比較で、c 相を接地し b 相からサージを印加し a 相端子をブラウン管で観測している。

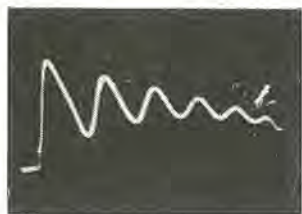
4.3 サーチコイル法(電圧誘導法)

図 4.3 に示すようにサーチコイルを各被試験巻線につぎつぎと結合させてゆき、サージ発生器よりサーチコイルに流す電流により結合している巻線に電圧を誘起させその電圧をブラウン管オシロで観測するものである。被試験巻線の故障の有無により、その誘起電圧が異なるものを利用する。この方法によると故障がどの巻線にあるかがたちどころに知ることができる。

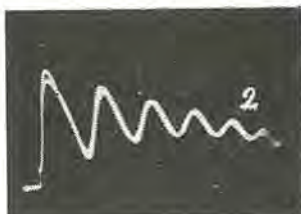
つぎに SCT 形を用い空心コイルおよび扇風機用小形モータを実測した例を示す。

(1) 空心コイル

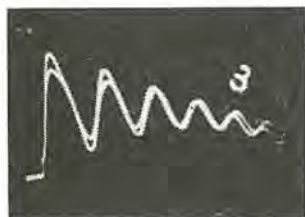
被試験コイル #1 に図 4.4 のようにタップを出して人工的に層短絡を起させた。図 4.5 は試験回路でコイル #1, #2, #3 はおのおの別の 210 mm ϕ のペークライトの円筒に外径 3 mm ϕ , 心線 0.18 \times 20 撚りのビニール電



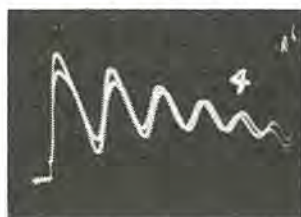
1. 故障のない場合



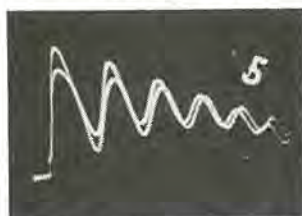
2. 1 ターン短絡 タップ
1-2 間を短絡した場合



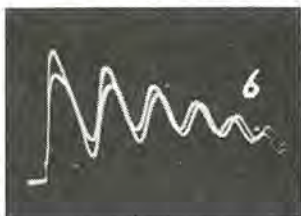
3. 2 ターン短絡 タップ
2-3 間を短絡した場合



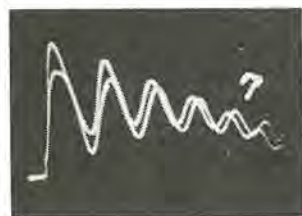
4. 3 ターン 短絡タップ
2-3 間を短絡した場合



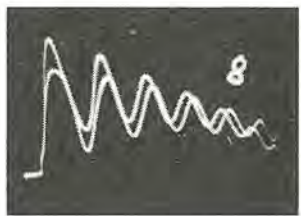
5. 4 ターン短絡 タップ
2-4 間を短絡した場合



6. 5 ターン 短絡タップ
1-4 間を短絡した場合



7. 5 ターン短絡 タップ
4-5 間を短絡した場合



8. 10 ターン 短絡タップ
1-5 間を短絡した場合

図 4.6

線を 100 回巻いたもので約 1mH のコイルである。図 4.5 はコイル #1 と #2 の比較を行う場合であり、コイル #3 の端子電圧をブラウン管で観測した。コイル #1 および #2 にそれぞれ C_1 および C_2 の二連可変蓄電器を挿入したのは、コイル #1 と C_1 、コイル #2 と C_2 の並列共振を利用して検出感度を上げるためであり、蓄電器 C_3 はさらにこの相違を C_3 とコイルの並列共振により大きく取り出すためのものである。コイル #3 は別に試料と同一のものでなくともよいのであるが同一のイ

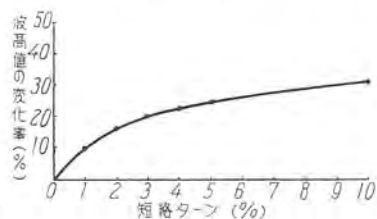


図 4.7 短絡ターン数による波高値の変化

Fig 4.7 Variation of peak voltage vs No. of short circuited turn.

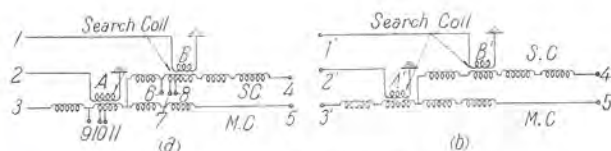


図 4.8 試験回路

Fig. 4.8 Test circuit.

ンピーダンスの場合に感度が最良となる。 C_1, C_2, C_3 は測定コイルにより適当に変えればよい。実測オシロを図 4.6 1~6 に示す。図 4.7 は短絡ターン数による波高値の変化を示す。コイルの電圧分布が一様でないため変化は短絡ターン数に比例していない。また変化は波高値のみでなく周波数にも変化が現われるが、この例では周波数の変化はわずかである。

(2) 扇風機モータ、ステータ

図 4.8 の (a), (b) は比較する 2 組のステータで図のように (a) の方の M. C (Main Coil) および S. C (Starting Coil) の 2 番目のコイルにタップを出し、外部より人工故障を与えられるようにした。タップ 6-7, 7-8, 9-10, 10-11 間はそれぞれ 10 ターンである。A, A' B, B' はサーチコイルで M. C および S. C と同形に巻いた 2 回巻のコイルである。これを M. C および S. C にもっともよく結合するようにステータの内部より密着させた。試験はつぎの順序により行った。

a. 図 4.8 において 4, 4' を接地し、3, 3' よりサージを印加し 5, 5' 端子をブラウン管オシロで観測した。このときのオシロを図 4.9 1~4 に示す。

b. 図 4.8 において 5, 5' を接地し、4, 4' 端子をブラウン管オシロで観測した。このときのオシロを図 4.9 5~8 に示す。

c. (a) および (b) においてはあまり感度がよくないので、サーチコイル法によって測定した。

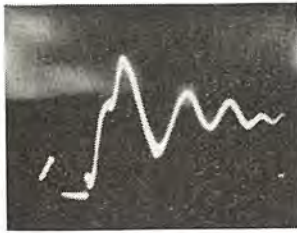
図 4.8 において 2, 2' よりサージを印加し、3, 3' をブラウン管オシロで観測した。4, 4' は接地し 5, 5' は開放した。このときのオシロを図 4.9 9~12 に示す。なおこの測定の場合に主蓄電器の充電々圧対被測定コイルの誘起電圧の比は約 $1/2$ であった。

d. (c) と同様のサーチコイル法において図 4.8 の 1, 1' より印加し、3, 3' 端子をブラウン管オシロで観測した。5, 5' は開放、4, 4' は接地した。このときのオシロを図 4.9 13~16 に示す。

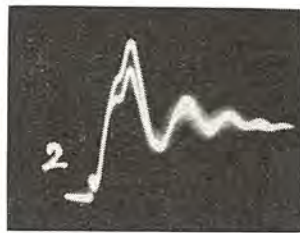
試料のインピーダンスが高い場合は少しの故障は検出しにくい。かかる場合はこの例のようにサーチコイル法によると検出感度を増すことができる。

5. む す び

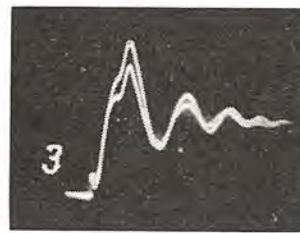
当研究所で開発した衝撃波比較試験器について概要を記した。この試験器はその用途により、それに適した試験法を用いることにより、従来できなかったわずかの層短絡が直視にてわずかの時間で検出できるようになり、



1. 故障がない場合
まったく重なりあうのが普通であるが少し波形に違いを生じている。これは両コイルに多少の差異があるためである。



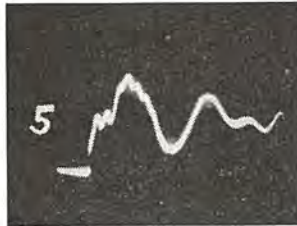
2. 10ターン短絡 タップ 9
~10 間を短絡した場合
故障巻線の割合は $1/11$ となるが、5 および 5' に現われる電圧の差は約 $1/15$ ぐらいになっている小さい方の波形が故障コイルである。



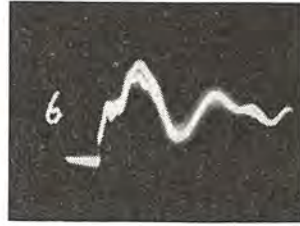
3. 10ターン短絡 タップ10
-11 間を短絡した場合



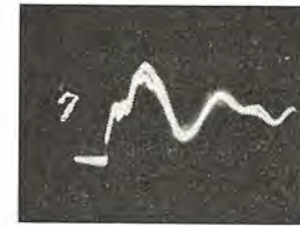
4. 20 ターン絡短
図2および3に比して2倍の短絡であるが、5, 5' 間に現われる電圧差は約 1.5 倍程度である。これより電圧差は短絡したターン数に比例しないことがわかる。



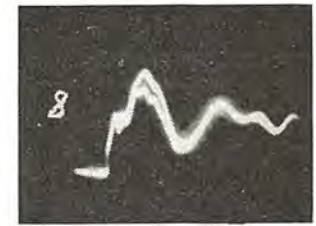
5. 故障がない場合



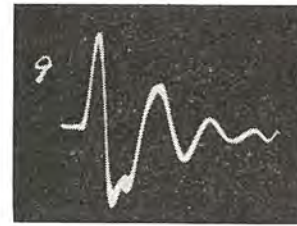
6. 10ターン短絡 タップ
6-7 間を短絡した場合



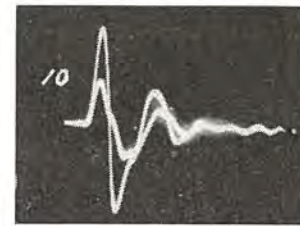
7. 10ターン短絡 タップ
7-8 間を短絡した場合



8. 20ターン短絡 - タップ
6-8 間を短絡した場合



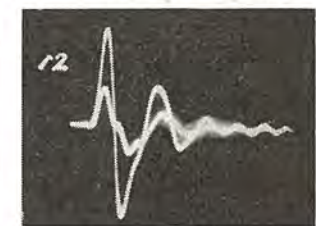
9. 故障のない場合
第2波より多少の差異があるのは両コイルに多少の相違があるのと、サーチ・コイルとの結合度に僅少ながら相違があるためである。



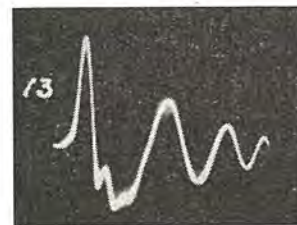
10. 10 ターン短絡 タップ
9-10間を短絡した場合
小さい方が故障コイルである。この程度の短絡でも 50 % 以上の変化が現われる。



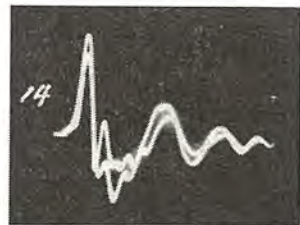
11. 10ターン短絡 タップ10
-11 間を短絡した場合
図 10 と同じ 10 ターン短絡であるが位置が相違するため多少の違いがある。



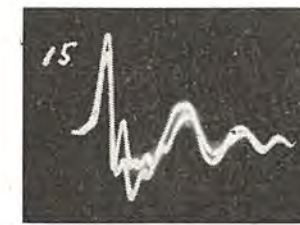
12. 20 ターン短絡
波形の相違は短絡したターン数には比例しない。この方法によればたとえ 1 ターンの短絡でも大きく変化する。



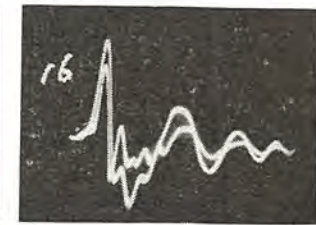
13. 故障のない場合



14. 10 ターン短絡 タップ
6-7 間を短絡した場合



15. 10 ターン短絡 タップ
7-8 間を短絡した場合



16. 20 ターン短絡 タップ
6-8 を短絡した場合

図 4.9

量産工程の巻線工程が非常に簡易になった。直読式メータに比して装置がやや複雑高価となり、故障の判定にもある程度経験を要するが、使いなれば便利なものとなる。

最後にご指導を賜った研究所電気第一研究室横須賀室長に対し深く感謝するとともに装置の完成に協力された研

究所電気第一研究室川根清氏ならびに工務課田井昌輝氏に感謝の意を表す。

文 献

- (1) 横須賀・原・蔭山: 搜索コイルによる回転機ターン間絶縁の故障検出, 電学誌 72, 592 (昭 27-10)

電力用シリコン整流器

伊丹製作所 加 藤 又 彦*

Silicon Power Rectifiers

Itami Works Matahiko KATO

Silicon rectifiers have been lime-lighted of late because of their wide sphere of application, dependability and efficiency which satisfy requirements for low voltage, high current converting equipment. Based on solid state electronics, their function as a rectifier is as marvellous as that of germanium units. Those semi-conductor rectifiers have made an epoch in the latest engineering. The one recently built by Mitsubichi is rated at 125 V 2100 A, being of a liquid cooled type suited for installation at an outdoor unmanned d-c substation. They have a bright future ahead of them.

1. ま え が き

現用の直流変換装置としては回転変流機、水銀整流器、接触変流器などがある。この中水銀整流器は水銀蒸気を使い、真空中の電子、イオンの運動を利用した直流変換装置であって真空工学に立脚している点が特長であったがこれに対して固体中での電子の運動を利用せんとする新しい着想と長年にわたっての研究が着々と結実し、具体化されて固体内部での電子現象を中心にした学問体系が構成され、“Solid state electronics” とよばれるにいたった。これが半導体とよばれる分野であり、その応用製品にはトランジスタ、ゲルマニウム整流器、シリコン整流器などがある。最近にいたってゲルマニウムおよびシリコン整流器はともに大きな期待をもって直流電力界に進出し、その将来性は注目されるにいたった。なかでも直流大電流を利用する電解工業部門に新しい、低廉かつ高能率の直流電源を供給しえたことは近來における画期的事柄であった。

今般、三菱化成黒崎工場のご支援によって低電圧の電解電源用として 125 V, 2,100 A の液冷式シリコン整流器を試作し、日本で最初に運転するにいたった。この装

置は全機器が屋外式で無人直流変電所である点が在来の直流変換装置にはみられない特長であり、制御方式もこれに準拠した設計になっており安全性と信頼性に重点がおかれている。今回使用したシリコンダイオードはウエスチングハウス社製の風冷式標準のものであるが使用状況の関係でとくに液冷方式を採用して、風冷式再冷器付の閉路循環方式の冷却系としたものである。

本文は上記の液冷式シリコン整流器の概要と三菱において実施した試験結果の一端をご報告するとともに試験結果の検討、特殊試験、およびこの種整流器の応用分野とこれが将来性について言及したものである。

2. 125 V, 2100 A 液冷式シリコン整流装置の仕様

主要機器および装置は次のとおりである。

- (a) 3.3 kV 受電 60 サイクル, 80 kVA
誘導電圧調整器 1 台
- (b) 300 kVA 油入自冷式変圧器 1 台
一次巻線 星形; 二次巻線 三角形結線
- (c) 液冷式シリコン整流器 1 台
262.5 kW, 125 V, 2100 A 125% 過負荷
- (d) 速応ヒューズ 1 台
- (e) サージ吸収装置 1 台
- (f) 風冷式再冷器 1 台
- (g) 循環水ポンプ 1 台
- (h) 定電流装置 1 台
- (i) 可溶片ヒューズ 1 台

外形寸法(キュービクル)および重量は次のとおりである。

- (a) シリコン整流器本体(冷却装置を含む)
1,600×2,000×2,500 mm(H) 重量=1,000 kg
- (b) 同上用変圧器 1470×910×1,980 mm(H)
重量=2,300 kg

3. シリコンダイオードの種類とその構造

今回使用したシリコンダイオード(一整流体)は図 3.1



図 2.1 三菱化成黒崎工場納シリコン整流器装置

Fig 2.1 Silicon rectifier delivered to Kurosaki factory, Mitsubishi Kasei Co.



図 3.1 W社製風冷式シリコンダイオード 150A 平均電流値 P. I. V.=250V
Fig. 3.1 Westinghouse air cooled silicon diode.

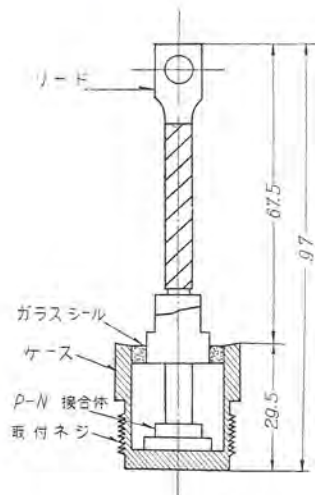


図 3.2 ダイオード断面図
Fig. 3.2 Cross section of diode.

に示したもので平均電流値は約 150 A/1 ダイオードである。この平均電流値は連続定格値を示したもので回路条件、過負荷耐量によって必要量の低減を要する。また同一形式、同一電流定格の 1 ダイオードについてもその許容尖頭逆電圧値 (P. I. V.=peak inverse voltage) により区分され、価額も P. I. V. の数値により変化するものである。よってこの種整流体単独の種類は 1 個あたりの電流定格 (冷却条件を含む)、P. I. V. 値、取付構造などによって区分されることになる。シリコンダイオードは風冷式構造が標準であるが浸油可能構造のものもある。表 3.1 はウエスチングハウス社製シリコンダイオード“N-319”形の P. I. V. 値による区分を示したものである。

表 3.1

| P. I. V. の値 | 50 V | 100 V | 150 V | 200 V | 250 V | 300 V | 350 V | 400 V |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 形名 | A | B | C | D | E | F | G | H |

シリコンダイオードの内部構造は P-N 接合体を製作する方法の差異によって相違するものであるが今回使用したシリコンダイオードは合金形 (fused type) の接合体であり、その特長を列挙すれば次のとおりである。

- (a) P-N 接合体の熱的膨張と歪力を考慮した合金および半田を使用していること。
- (b) P-N 接合体の冷却を十分考えた構造であること。

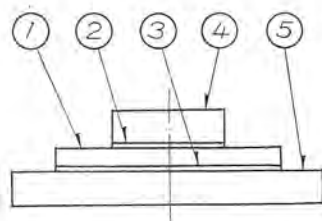


図 3.3 合金形 P-N 接合体の構造
Fig. 3.3 Construction of alloy P-N junction body.

- (c) P-N 接合体の防湿、電気的絶縁を考えたケース構造であること。

図 3.2 はシリコンダイオードの断面図を示したものであり、P-N 接合体は円筒形の凹形のケースの底部に接着されており、その上部は P 形で陽極リードに接続される。正方向電流はリードよりケースの方向にながれ、ケースとリードの間はガラスシールされて絶縁作用を併用している。ケース内で空白の部分は普通特殊ガスが封入されている。

シリコン P-N 接合体の構成を説明すれば次のとおりである。すなわち合金形 P-N 接合体は N 形基本シリコンを中心として次の 5 要素より構成されている。この構成図を図 3.3 に示す。

- (a) シリコン

シリコンは N 形で直径 1/2 インチ程度で薄く切断されその両面は磨かれて上下の電極接合半田と密接に接着するようにしてあり、ライフタイムは約 20 μ s、それが製品化されたときには 5 μ s 程度である。

問題となる点はシリコン自体の機械的性質、すなわち機械的応力と周期的温度変化に対する強度であるが、これらは上下電極構成材料に依存する。

- (b) 対向電極合金

この合金は基本シリコンに溶け込んで P 形の層を形成せしめ P-N 接合体を基本シリコンの一端に構成する合金であって、融点、シリコンの合金性、可溶性不純物に対する特性、熱伝導性などが問題とされる。

- (c) ベース接合半田

この接合用合金は (b) 項で述べた機械的諸特性をすべて保有する必要がある、普通三元合金が使用されている。

- (d) 対向電極

この電極はリードに接合されるもので普通モリブデンが使用されている。この金属材料に必要とされる諸性質は動作中、製作中に遭遇する全温度域においてシリコンと同一熱膨張係数を持ち、高度の熱伝導率を有し、シリコンの P-N 接合体を汚損させず、かつ入手容易でリードとの接着が自由な材料であることが必要である。

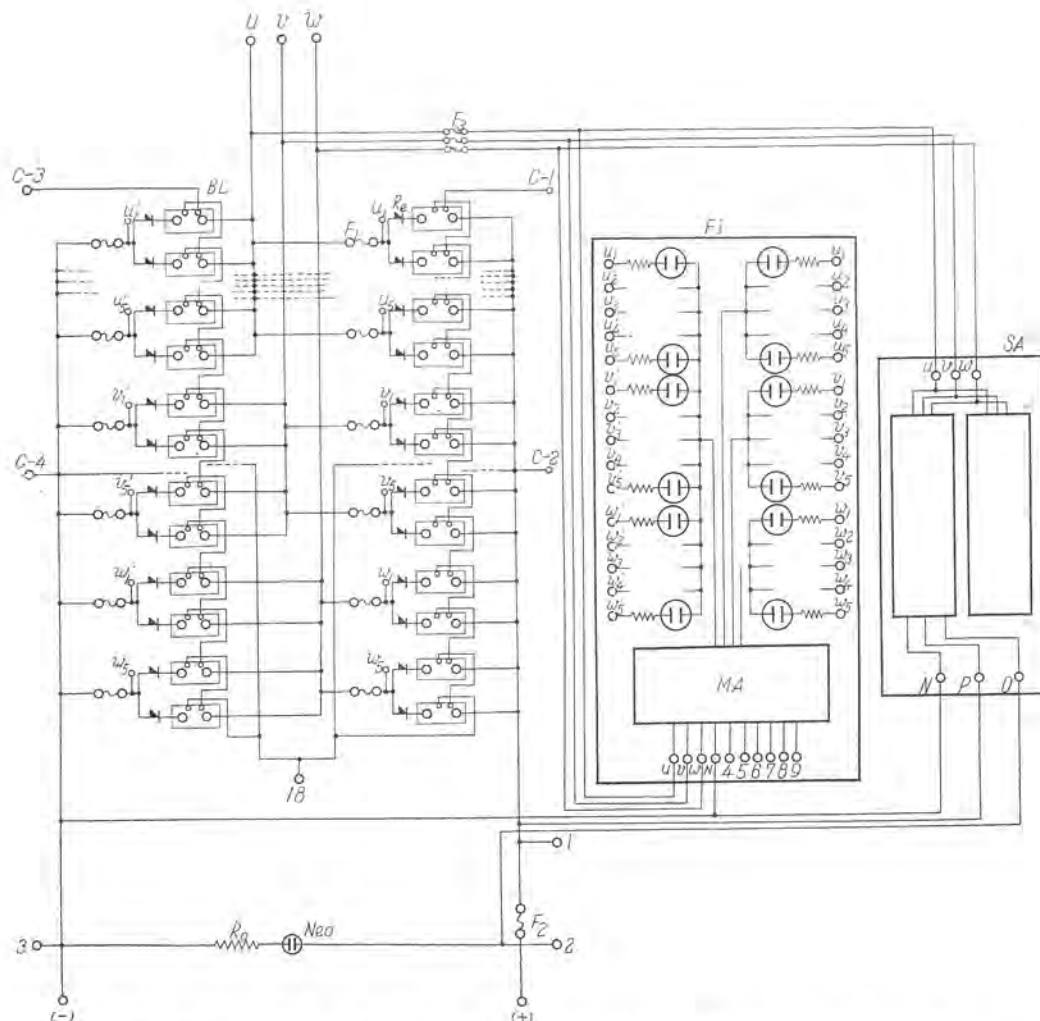
- (e) ベース電極

この電極材料としては (d) 項の要望内容と大体一致しており、モリブデンが使用されている。

以上の P-N 接合体は図 3.2 に示したような銅製の円筒形ケースに入れて最適温度で動作し、かつ湿気ならびに汚損を防止すべく密封してある。P-N 接合体部で発生した熱は上記接合金属の伝熱、輻射、円筒形ケース側面より冷媒への伝熱によって放散せしめられる。

4. シリコン整流器の構成

シリコン整流器の構成はその使用目的と直流出力電圧値とその制御方式とによって一般に主回路方式が選定される。主回路方式が決定すればシリコンダイオードの並



| 記号 | 名称 | 定格形名 | 個数 | 記号 | 名称 | 定格形名 | 個数 |
|----------------|---------|----------|----|----------------|----------|------|----|
| BL | 平衡リアクトル | | 60 | MA | 磁気増巾器 | | 1組 |
| Re | シリコン整流器 | WN-5082形 | 60 | SA | 異常電圧吸収装置 | | " |
| F ₁ | 可溶器 | (速応性) | 30 | Ro | 抵抗器 | | 1 |
| F ₂ | " | " | 1 | NeO | 運転表示燈 | | 1 |
| FI | 故障指示装置 | | 1組 | F ₃ | 可溶器 | 10A | 1組 |

図 4.1 125V, 2100A 液冷式シリコン整流器結線図
Fig. 4.1 Connection diagram of silicon rectifier.

列個数と直列個数とが計出される。今回三菱化成へ納入したシリコン整流器の定格は直流 125V, 2,100A であったため所定の P. I. V. のシリコンダイオードをもっとも有効に使うためにはブリッジ結線方式が選定された。また冷却条件と過負荷耐量、保守条件を勘案して次式でシリコンダイオード所要個数が決まる。すなわち

$$K \cdot \frac{I}{P \times A} \times 6 \times n = \text{所要ダイオード数} \cdots (1)$$

しかし K = 過負荷耐量の常数

I = 直流出力電流値 (A)

A = 1 ダイオードの平均直流電流値 (A)

P = 相数すなわち主回路方式による常数

n = ダイオード直列個数

今回は 60 個のシリコンダイオードを使用し並列個数 (= $I/P \times A$) は 10 個, $n=1$ とした。

よって全ダイオードを 6 群に分けて 6 系統の水系を作り 1 系列内の 10 個のダイオードはバランスを挿入して電

流の平衡をはかり、これらダイオードの故障時の保護方式として 2 ダイオードにつき一つ速度ヒューズを接続した。この結線方式は図 4.1 に示すとおりである。

これに対してダイオードの冷却系も並列群 10 個のダイオードを図 4.2 に示すように一つの U 字形冷却溝にそれぞれ絶縁して並置した。図 4.3 はダイオードの配置を示す写真である。液冷式のシリコン整流器ではあるがシリコンダイオード自体は直接冷却液に接触しておらず図 4.2 のように間接冷却である。そして通水部は不銹鋼または銅製金属の耐電食材で構成している。したがって P-N 接合体内で発生した熱はその大部分がダイオード取付座および取付銅板(電極)を経て冷却媒体に伝達され、ダイオード内は定常状態に保持されるのである。他の一部は円筒形ケースおよびリードより大気中に放散されることになる。

冷却系は風冷式再冷却器付の閉路循環方式で 6 系統の水套は直、並列にされて、1 台の循環ポンプによって冷却

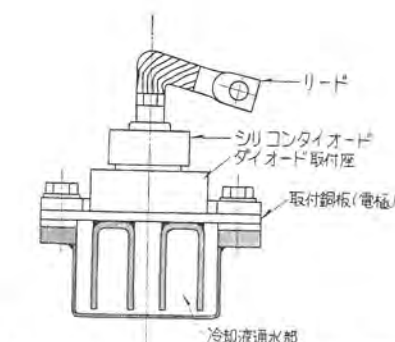
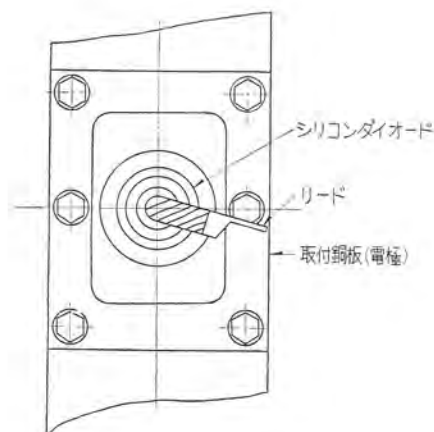


図 4.2 シリコンダイオード取付枠断面図
Fig. 4.2 Silicon diode mounting frame.

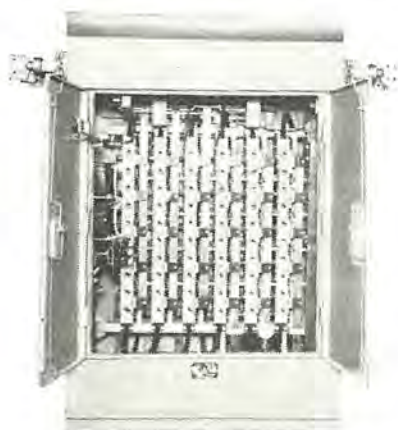


図 4.3 125V 2100A シリコン整流器のシリコンダイオード配列を示したもの
Fig. 4.3 Arrangement of silicon diodes.
(125V 2,100A silicon rectifier)

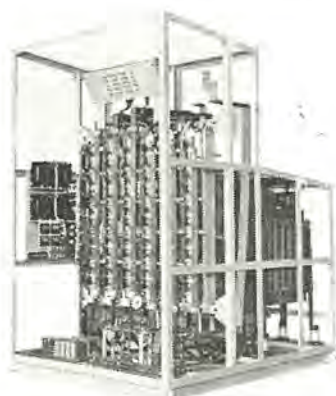


図 4.4 シリコン整流器内部
Fig. 4.4 Interior of silicon rectifier.

液を循環させている。図 4.4 はシリコン整流器本体と風冷式再冷器、循環水ポンプおよび母線のつながぎを示したものである。

以上は製作した液冷式シリコンダイオードの基本内容の説明であるがシリコンダイオードは高温冷却条件下で使用する特性があるため風冷式が最も有望視されている。またその他油冷式、油浸漬式が使用されるであろう。このように外部冷却条件の差異は式 (1) の K と A の数値が変化するにすぎず、(1) 式によってダイオード使用個数がやはり決定される。

5. 整流回路の構成

今回製作した液冷式 125V, 2,100A シリコン変換装置は (2) の項で述べたように交流側遮断器、誘導電圧調整器、シリコン整流器用変圧器、シリコン整流器、および直流側開閉保護装置より構成される。在来の水銀整流器変換装置の主回路との根本的な差異は誘導電圧調整装置と直流側の保護装置とである。すなわちシリコンダイオードは自分自身で通電開始時間の制御、換言すれば出力直流電圧の制御はできないし、また故障電流の遮断機能はもっていないのである。しかし水銀整流器のように真空工学を背景にした放電現象でないだけに安定性は強い利点がある。

しかしシリコンダイオードの P.I.V. はイグナイトロン整流タンクのそれに比して 1/10 以下である点と電流容量が 1/3 程度であるためその特性を生かした主回路方式が選定されなくてはならない。シリコンダイオードの逆耐電圧値、許容電流値が上記の程度である限り電力用シリコン整流器としてはダイオードが直、並列に接続されることは必然的である。直、並列につなぐことがさけられないものであればシリコンダイオードの電気的特性をもっとも有効に使用しうる回路とすべきである。代表的な主回路方式を列挙すれば図 5.1 の四通りがある。このうち三相ブリッジ整流回路が比較的高電圧のものに利用されるが直流出力電圧 80 V 以下のものには相間リアクトル付二重星形結線回路が使われる。そしてダイオードの並列接続に対してはバランスが、直列接続に対して

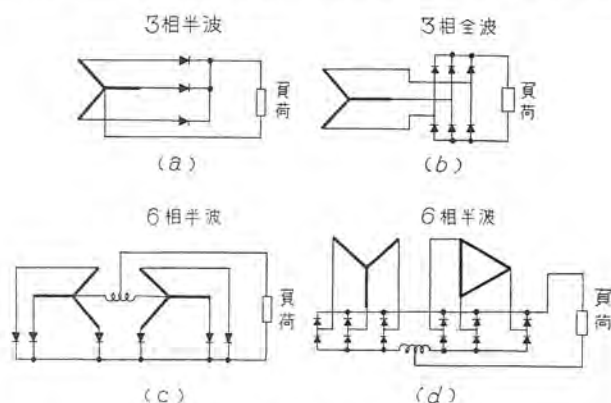


図 5.1 半導体整流器主回路方式

Fig. 5.1 Main circuit system of semi-conduction rectifier.

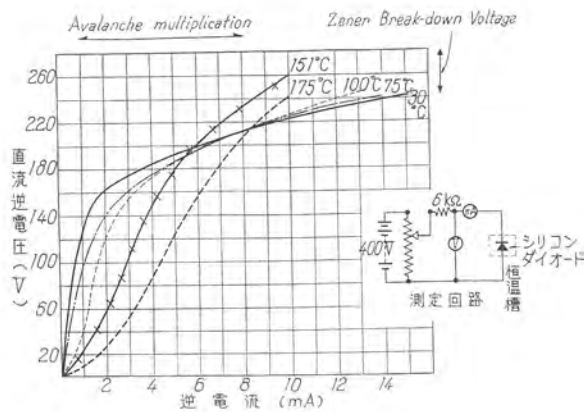


図 6.1 逆方向特性曲線

Fig. 6.1 Reverse direction characteristic curves.

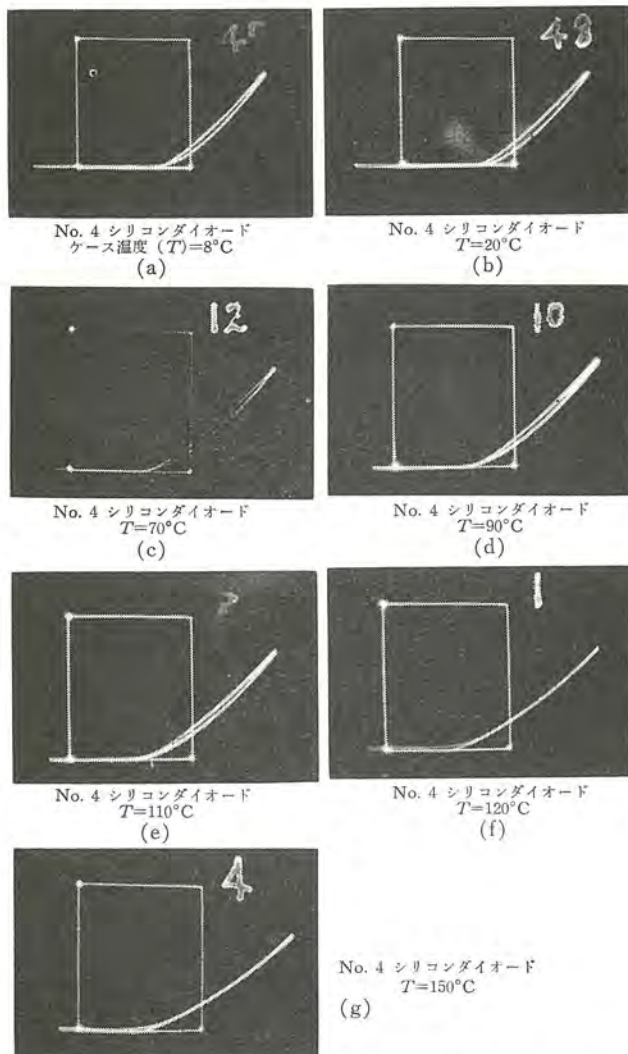


図 6.2 シリコンダイオードケース温度 (T) の変化による
正方向降下のオシログラム

Fig. 6.2 Osillograms of positive direction drop due to
change of silicon diode case temperature

は電圧分割装置が図 7.1 に示すように使用されるのが普通であるが、特殊設計に対しては除去されるときがある。

今回の 125V, 2,100A のシリコン整流器は三相ブリッジ整流回路で 1 直列, 10 個並列方式を採用して, パラコンサを挿入した。

6. 試験および運転状況

6.1 シリコンダイオード静的特性試験

シリコンダイオードの全数に対して正方向, 逆方向電圧-電流特性を一定の周囲温度下(ケース温度を示す)で測定し, 抜取試験として数個のダイオードに対してケース温度を 30~175°C にわたって変化せしめて静的電圧-電流特性を実測した。その内の一例を示したものが図 6.1 である。ブラウン管直視装置で測定した静的正方向特性を図 6.2 に, 静的逆方向特性を図 6.3 に示す。静的と実際負荷時との差はジャンクション温度差によって若干生じている。静的逆電圧-逆電流特性は図 6.1 のようにケース温度でかなりの差が生じている。また絶縁破壊電圧値(zener 電圧とよぶ)はケース温度とともに上昇する傾向をもっており, さらに定格 P. I. V. 値を超過して逆電圧 380V を印加した場合, 許容逆電流 40mA を越して 500mA になるが, ダイオードの特性は変化せず再使用可能であることを立証した。図 6.4 はこれを示した図である。

なお P-N 接合体の静的な一時的破壊の試験ならびに永久的破壊, サージ電圧による絶縁破壊試験を実施した。一時的絶縁破壊というのはシリコンダイオードに定格 P. I. V. 電圧値以上の直流逆電圧を印加したときに 30 秒~3 分間程度して P-N 接合体が急激的に逆電流値が増加する。その時試験回路を開放すればまた復元する。ダ

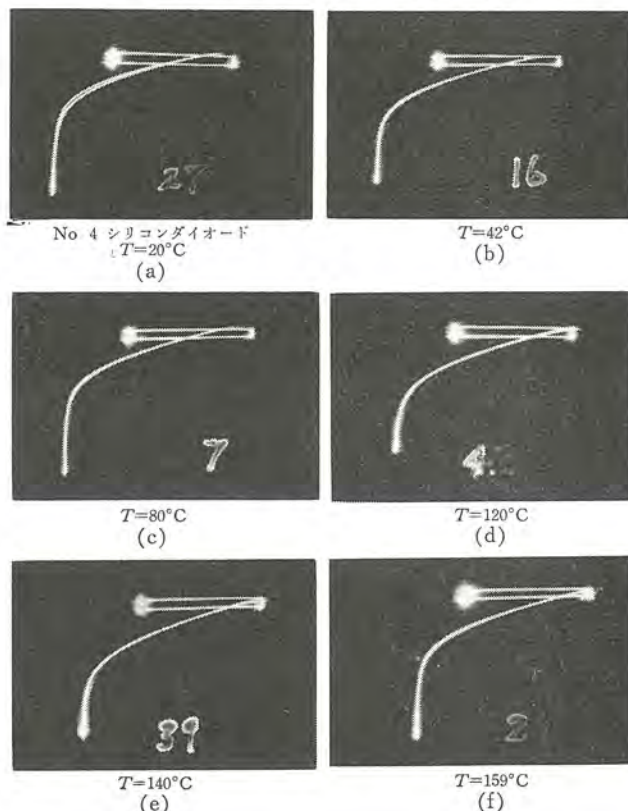


図 6.3 ケース温度 (T) を変化したときのシリコレダイオード
逆方向特性のオシログラム

Fig. 6.3 Osillograms of reverse direction characteristics
of silicon diode when case temperature is changed.

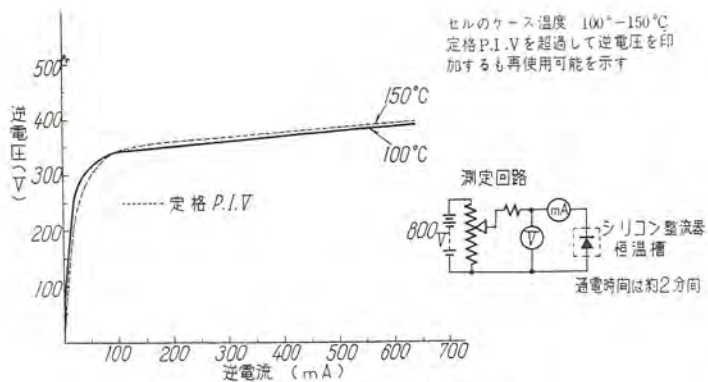


図 6.4 静的逆電圧-電流特性曲線

Fig. 6.4 Static reversevoltage-current characteristic curve.

イオードの永久的破壊は整流特性の復元性がない破壊であって両者は明瞭に区別される。この一時的絶縁破壊は今回の試験ではその現象は根本的に解明されていない。

耐サージ電圧特性の測定はダイオードの正方向にサージを印加したときと逆方向に印加したときとの両者について実施したが、正方向に対しては波高値 1,000V の $1 \times 40 \mu$ のサージ電圧を印加してもなんらダイオードに対しては異常なく、逆方向に印加したときには波高値 600V を限界として絶縁破壊を意味する波形があらわれるがダイオード自体の整流特性はこれによって完全に失われるものではないことが明かにされた。一般的にいてシリコンダイオードは通電中のものは正方向にサージ電圧が印加されても破壊するにいたらないが非通電期間に逆方向にサージ電圧が印加されるときには一定時間経過して破壊し、回路条件によってはダイオードの永久破壊にいたることがある。図 6.5 は上記の関係を立証したオシログラムである。



図 6.5 サージ電圧を通電中に印加してシリコンダイオードの破壊の有無をみたオシログラム

Fig. 6.5 Oscillograms examining the damage of silicon diode by impressing surges during currents flowing.

6.2 負荷試験

シリコンダイオード 6 個を一組として実施した基本試験ではダイオード記載の定格どおりの試験を行った。今回のものは二組にわけて一度実施した後全数について 125V 2,100A, 110% 過負荷の試験をも実施し設計内容の確認を行ったのである。図 6.6 はこの時の負荷試験のチャートである。さらに冷却条件を変化せしめ入口冷却水温を 40~50°C として負荷試験を行い、夏季の状況下の耐量を確認したがなんら異常はなかった。断水、停電時を仮想して負荷時中に断水、停電せしめて冷却条件を急変せしめたがこれまた、異常な現象は発生しなかった。

異常電圧吸収装置と外雷侵入（交流側よりのサージ電圧）との関係をサージアナライザによって試験したのが表 6.1 である。これは誘導電圧調整器、変圧器を経て外

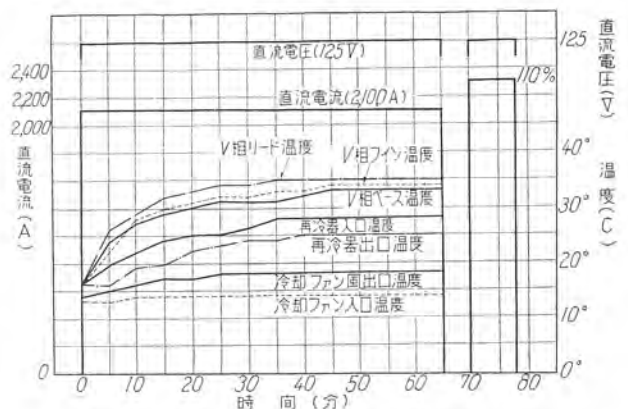


図 6.6 125V 2100A シリコン整流器光会試験資料

Fig. 6.6 Various performances tested on 125V 2100A silicon rectifier.

表 6.1 シリコン整流器サージ電圧試験

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A) 被試験シリコン整流器 | |
| (a) 125V 2100A 水冷式シリコン整流器 | |
| (b) 80kVA (3.3kV 60 ϕ 受電) 誘導電圧調整器 | |
| (c) 300kVA 油入自冷式変圧器 一次 Δ /二次 Δ | |
| B) 試験回路 | |
| | |
| 10 \times 50 μ s または 10 \times 50 μ s のサージ電圧を印加した端子付号を示す | |
| C) 測定結果 | |
| (a) シリコン整流器（サージ吸収装置をつないだとき） | (b) シリコン整流器を切りはなしたとき |
| (1) 一線印加 U_1 に印加 V_1, W_1 open $U_1=100\%$ $U_2=94.5\%$ $U_3=U_3=0=W_2$ | (1) 同 左 $U_1=100\%$ $U_2=102$ $V_2=68.3$ $U_3=47.7$ $V_3=53.3$ $W_3=60.8$ |
| (2) 3 線一括印加 $U_1=100\%$ $U_2=80=V_2=W_2$ $U_3=0$ | (2) 3 線一括印加 $U_1=100\%$ $U_2=118\%$ $V_2=110\%$ $U_3=69.7\%$ $V_3=67.4\%$ $W_3=78.7\%$ |
| (3) 一線印加（他線大地電位） $U_1=100\%$ $U_2=90.6\%$ $V_2=43.7\%$ $W_2=28.2\%$ $U_3=0$ | (3) 同 左 $U_1=100\%$ $U_2=84.5\%$ $V_2=40\%$ $W_3=32.2\%$ $U_3=33.3\%$ $V_3=32.2\%$ |



図 6.7 異常電圧吸収装置

Fig. 6.7 Abnormal voltages absorbing device.

雷がシリコンダイオードに到達する移行電圧の状況を実測したものであり、図 6.7 に示した異常電圧吸収装置の動作を示し、保護作用の有効性を立証したものである。また負荷側に短絡事故が発生した場合を想定してシリコン整流器の出力端子を小抵抗を介して短絡せしめた。そのときには上記の速応ヒューズの二相分が動作して故障電流を遮断した。そのときシリコンダイオード自体には根本的な不良は一つ発生しなかった。したがって保護方式としてこの速応ヒューズは適当であることが明かにされた。ダイオードの通流電流を均等化するバランサの平衡式作用はバランサコイルに誘起される電圧波形と直流電流値によって表示される。図 6.8 はバランサの作動時の波形の一部を示したものである。工場試験における総合規約能率は 95% であり、電圧変動率は装置全体で 12% であった。

6.3 特殊試験

液冷式シリコン整流器としての過負荷限度試験は三相半波または三相ブリッジ回路で行い、シリコンダイオード 1 個あたり 142A まで行ったが、液冷式ではリードの電流容量が過負荷電流容量を左右する結果となった。また過冷状況下の液冷も使用上難点とされることがある。つぎに上記のシリコンダイオードを図 6.9 に示すブリッジ回路で強制風冷式として過負荷耐量を測定したがこの時はケースの温度上昇によって連続負荷許容電流値が左右された。

ダイオード直列方式の試験は目下実施中であるが電圧分割装置は理論的には必要ではないが実用上は抵抗分割式が有利である点が多いという結論をえている。この点については別稿で発表する予定である。

6.4 現地運転状況

上述したとおりこのシリコン整流器は屋外式、無人変

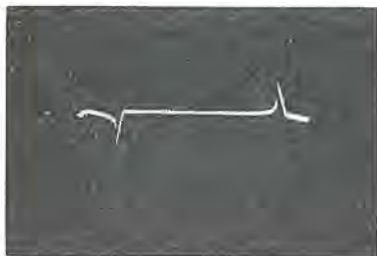


図 6.8 バランサの作動時の波形

Fig. 6.8 Waveform when balancer in operation.

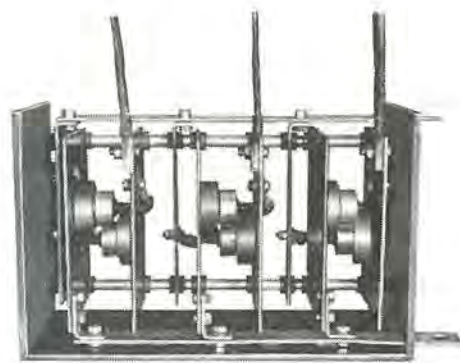


図 6.9 ブリッジ結線に組立たシリコンダイオード
変換単位出力定格 350A 150V DC

Fig. 6.9 Silicon diode rectifier unit assembled in bridge connection.

電所をたてまえにしたため保守上、設計的立場がかなりかわっている。しかし現在までなんら故障なく連続運転しており、無人変電所としての使命をはたしている。負荷状況の詳細については後日許可をえて発表する予定である。

7. 試験結果の考察

以上は液冷式シリコン整流器についての工場試験および現地運転の一部であるがこの整流器の主回路方式と冷却方式についていま一度設計的立場より考察、検討することにする。

7.1 整流回路

半導体整流器一般論としてその整流回路は図 5.1 に示す 4 種類があることは上述したとおりであるがいま少し具体的内容について考察してみよう。シリコン変換装置としては交流側の遮断器、誘導電圧調整器、シリコン整流器用変圧器、直流側開閉保護装置より構成されるがこれらの構成の基本要素はダイオードの P.I.V. と電流容量であり、さらに用途より要求される責務として電圧調整の度合、信頼性、能率などが合せ検討されなくてはならない。一般に電解用電源は約 50% の出力直流電圧が調整できることが必要である。その場合に負荷時電圧調整方式としては次の 4 種類がある。すなわち

- (1) 誘導電圧調整器、 (2) 負荷時タップ切替機
- (3) 直流励磁リアクトル、 (4) (2) と (3) とを組合せる方式。

小容量のものには (1)、(3) が使用されるが受電電圧からの制限は 22kV が最高値である。(2) と (4) とは大電流の大容量のものに主として使用される。今回はその容量と受電電圧の関係よりみて (1) が最適と考えられたのでこれを採用した。

ダイオードの組合せは手持のダイオードの P.I.V. の値よりして 125V 直流出力電圧は一直列のブリッジ回路で構成しうること基礎試験によって確認していたので採用したが 150V 以上になれば図 7.1 のような諸回路方式が採用されなくてはならない。この場合ダイオードの直列接続と保護方式の関係は速応ヒューズの性能と関

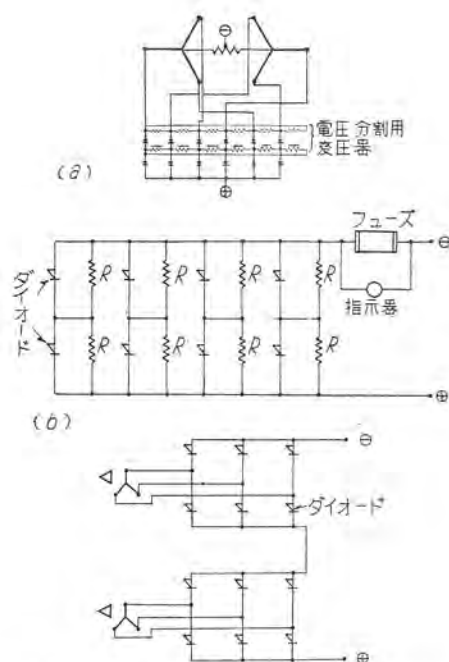


図 7.1 ダイオード接続方式 a 図は変圧器による分割方式; b 図は抵抗による分割方式; c 図は変圧器直列方式

Fig. 7.1 Diode connection systems.

連し、その目的とすることは外部回路の短絡事故からダイオードを保護するというのではなく、1 個または直列のダイオードの故障時に通電回路を開放し並列ダイオードに影響が波及するのを防止するのが主目的である。

また運転中に一つのダイオードに印加される逆電圧最大値 (E_m) は図 5.1 に示した回路方式によって変化する。すなわち図 5.1 b のブリッジ結線では式 (2) のようになる。

$$E_m = \sqrt{3} \sqrt{2} E_s = 1.047 E_{d0} \dots\dots(2)$$

図 5.1 c の相間リアクトル付二重星形結線では式 (3) のようになる

$$E_m = \sqrt{6} E_s = 2.09 E_{d0} \dots\dots(3)$$

しかし E_s = 相電圧実効値

E_{d0} = 無負荷直流電圧

E_{d0} = 等価無負荷直流電圧

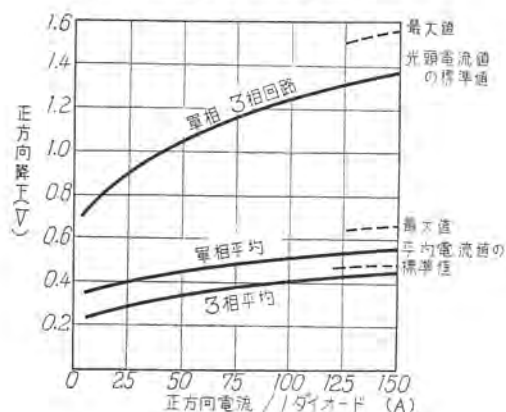


図 7.2 シリコンダイオードの静的特性、冷却条件として 25°C、強制風冷下の特性曲線

Fig. 7.2 Static characteristics of silicon diode under forced air cooling.

以上の諸式よりしてブリッジ結線方式が P. I. V. の観点から検討すると有利である。しかし変圧器の一相に通る平均電流値は相間リアクトル付二重星形結線の場合はブリッジ結線の 1/2 である点が魅力である。すなわち並列ダイオード数が半部でよいことである。

ダイオードの並列接続は正方向の直流電圧—電流特性に依存し、正方向降下の僅少な変化でも正方向電流値は大巾に変化することは図 7.2 に示した特性のとおりである。並列ダイオードの通流電流を十分均等にするためにはバランスの採用と銅帯接続に対称性を賦与することが大切である。ことに電流、温度の正常な動作範囲ではもちろんのこと、故障状態でも電流が各ダイオードに均等化されるためには上記の条件が必要である。この線にそって設計が進められた。

7.2 熱的安定度の検討

連続負荷運転の定常状態下では外部冷却システムに対するダイオード内部、外部の温度上昇値は正方向降下損失と直線的関係にある。正方向電流と正方向電圧降下の瞬時値との関係は図 7.2 のとおりであり、それが温度によって変化する状況を示したものが図 7.3 である。

D. K. Bisson 氏の関係式を引用すれば式 (4) のとおりである。

$$V = 1.18 - \frac{T}{5800} \ln \frac{k}{i} + iR \dots\dots(4)$$

V = 瞬時正方向降下 (V)

i = " 電流 (A)

T = 接合体の温度 (ok)

k = 常数, $R = 200^\circ\text{C}$ の常数 = 0.00145

式 (4) は 0.1~1,000A の範囲でよくあてはまるといわれている。この場合 $i \cdot R$ の項は i の値がかなり大きくなったところできいてくるもので小電流値ではあまり関

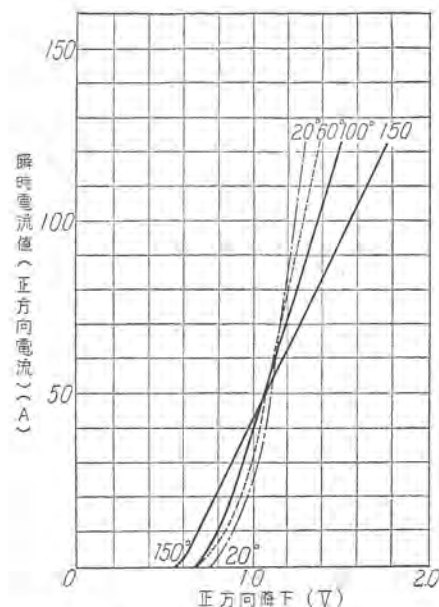


図 7.3 シリコンダイオードの正方向特性

Fig. 7.3 Positive direction characteristics of silicon diode.

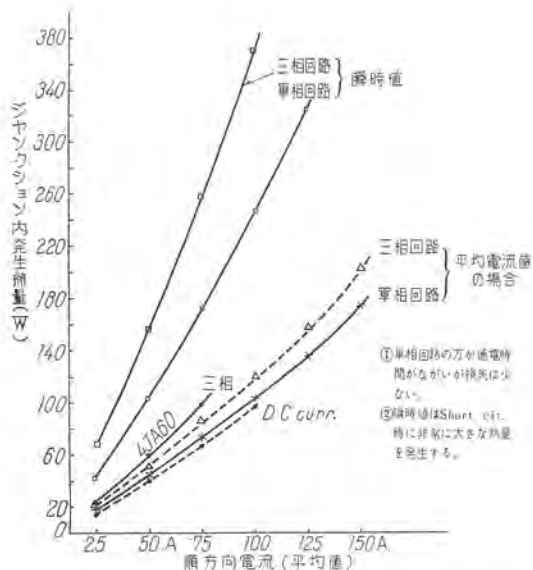


図 7.4 N-322E 形 Silicon diode 発熱量平均電流値および瞬時値の関係曲線

Fig. 7.4 Relations between generated heat and mean current value and instantaneous current value of silicon diode.

係がない。図 7.3 では冷却条件を 20~150°C の間に变化させたときに 50 A 以上では正方向電圧—電流特性曲線が交叉しているのは一応上式で説明されよう。

三相、単相回路方式のダイオード内発生熱量の差を計出したものが図 7.4 であり、単相回路の方が通電時間は 1.5 倍長いが発生熱量は図のように少ない。したがって単相全波回路を三つ組合せた相間リアクトル付三重二相二次接続が将来使用されることになるであろう。

また逆方向損失もみのがすことができないときがある。よってダイオード内の全損失は式 (5) のようになる。

$$P = P_f + P_r \quad (5)$$

しかし P_f = 正方向損失

P_r = 逆方向損失 (接合体温度 T_j のとき)

また

$$P = K_j(T_j - T_f) \quad (6)$$

$$= K_f(T_f - T_a) \quad (7)$$

(5)(6)(7) より

$$P = K(T_j - T_a) \quad (8)$$

しかし K_j = 接合体と放熱体との熱伝導度

K_f = 放熱体と T_a の冷媒との熱伝導度係数

T_j = 接合体の温度

T_f = 放熱体の温度

T_a = 冷却媒体の温度

$$K = \frac{K_j \cdot K_f}{K_j + K_f}$$

上式が成立し T_j が許容値を超過しないならば発熱と放熱が平衡する点まで上昇し動作安定点に達する。以上は連続定格の定常状態のときであるが過渡的過負荷時やサージ電圧の侵入時には一時的に T_j の温度が許容値をこして thermal runaway が発生することがある。ther-

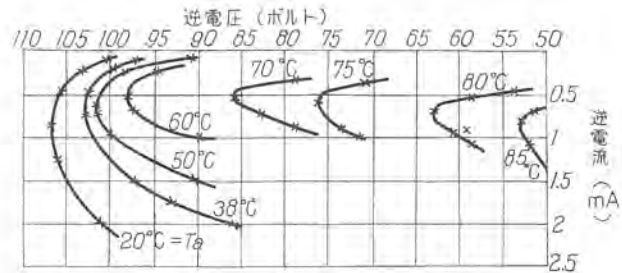


図 7.5 合金形ゲルマニウムダイオードの turn-over points を示す特性曲線 温度 (T_a) は冷媒温度を示す

Fig. 7.5 Characteristic curves showing turn-over points of alloy type germanium diode.

mal turn over point とよぶ変曲点はシリコンダイオードでは明確に確認していないがゲルマニウムダイオードでは図 7.5 のように発表されている。この点からゲルマニウムダイオードの直列の難易性が決められる。またダイオードの取付個所の接触抵抗による電圧降下と発熱は定常運転に大小かなりの影響をおよぼすものであることは正方向降下の絶対値からみて明瞭である。

7.3 過渡定格

この定格に關する要素としては次の三つが考えられる。すなわち

(1) ダイオードの熱インピーダンス

(2) サージ電流値

(3) サージ電圧値

連続負荷が印加されているとき急に負荷が増加すればダイオード接合部温度は一定の時間的遅れによってその温度は上昇し、予想されたある値に落着く。こうした時間的關係はダイオードを構成する材料の物理的特性に依存し、左右されるが簡単な熱時常数ですべての内容を律することはやはり困難である。しかし一般的にいて熱時常数に相当するものはミリ秒の時間から秒の時間の数値であるから 10~15 秒程度の過負荷は定常状態と同一視した設計をしなくてはならない。ダイオード内の電力損失と内部熱インピーダンスを知ることによって接合部の温度上昇を決めることができる。すなわち一定条件下

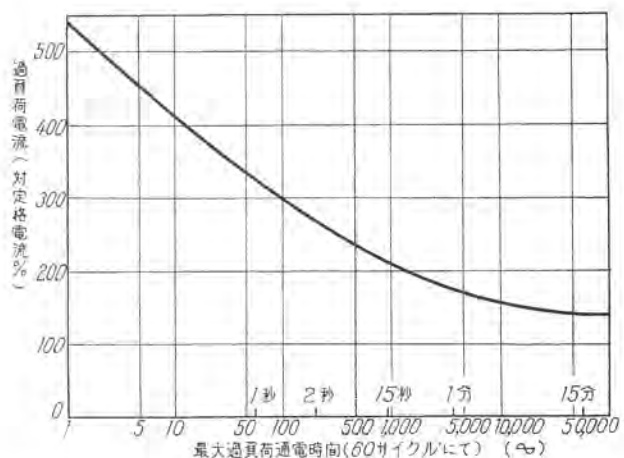


図 7.6 シリコン整流器の過負荷特性 (3 相全波ブリッジ回路)

Fig. 7.6 Overload characteristic of silicon rectifier.

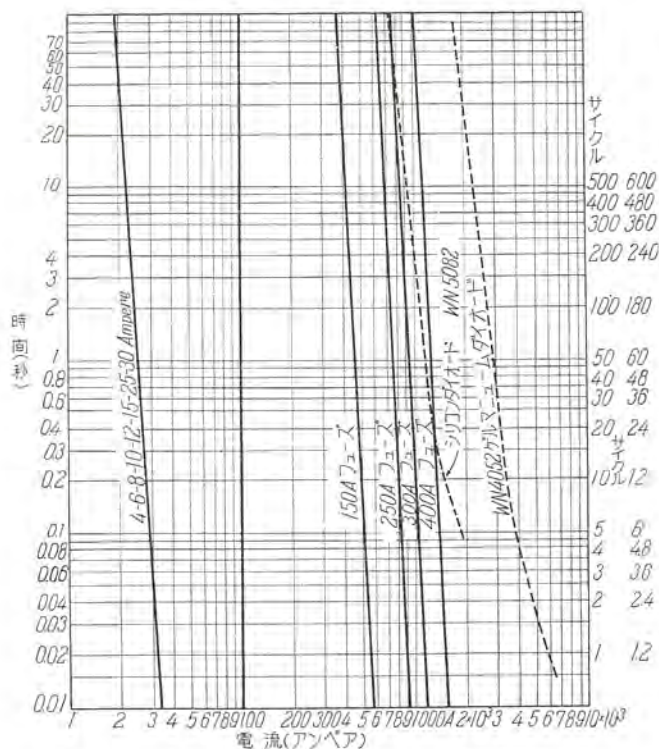


図 7.7 シリコンゲルマニウムダイオード過負荷特性と速度フェーズ溶断時間特性

Fig. 7.7 Overload characteristic of silicon, germanium diodes and quick response fuse melting time characteristic.

の接合体の温度 T_1 , T_2 とそれに対応した正方向降下 V_1 , V_2 との間には式 (9) が成立する。しかし k =常数。

$$T_2 = T_1 \frac{k - V_2}{k - V_1} \dots\dots\dots (9)$$

つぎにサージ電流であるが 1ブリッジ結線回路において 130% 負荷を基調として時間一過負荷電流値曲線が図 7.6 に示してある。そして過負荷時のリレー動作時間、遮断器の動作時間を合計して 5 サイクルから 10 サイクルの間ダイオードの瞬時過負荷能力を超過しては保護装置としては不満足である。この瞬時過負荷能力を保持するためには現在の技術では速応ヒューズの溶断時間一電流特性に依存しなくてはならない。図 7.7 はダイオードの瞬時過負荷耐量と速応ヒューズの関係曲線を示したものである。これによってダイオードの過負荷特性より一段と低位のヒューズを選定することが必要である。また受電側遮断器と上記ヒューズとシリコン整流器のサージ電流耐量との関係を示せば図 7.8 のようにならなければならない。適切な調整が問題である。サージ電圧に関してはダイオードの絶縁破壊は次の二つに区分される。すなわち

- (1) 定格 P. I. V. 以上の衝撃電圧値の印加時の破壊
- (2) 定格 P. I. V. 以下の逆電圧値の連続印加時の破壊

このうち後者の絶縁破壊が基本的な課題であり, thermal runaway をおこさない最大逆電力損失は熱インピーダンスに逆比例すると考えられている。またダイオードを構成する材料の熱的疲労が主要原因であるとも考えられ

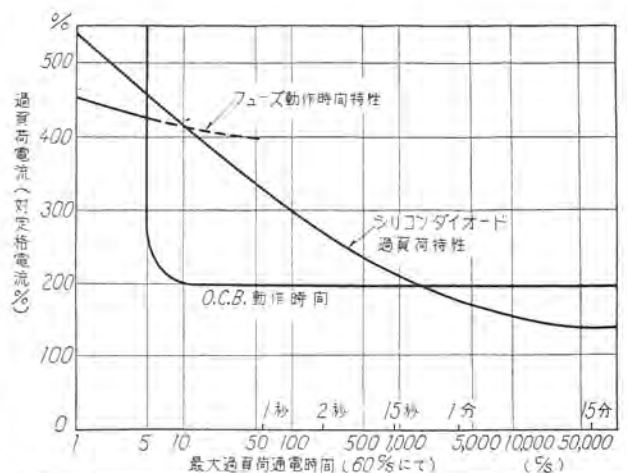


図 7.8 シリコン整流器過負荷特性 (3 相全波ブリッジ回路)

Fig. 7.8 Overload characteristic of silicon rectifier.

ている。定格 P. I. V. 以上のサージ電圧の印加は当然ダイオードの絶縁破壊を意味するがこれは一時的絶縁破壊という現象でおわることもあり、静的試験では実現しうる状態にあるがこれは一般的な現象ではない。

上記のサージ電圧は交流側よりの移行電圧のときと直流側よりの開閉サージの場合とがありうる。そして変圧器自体の構造とサージ吸収装置と系統の転流インピーダンスに依存する要素とによってそれぞれ異なり、ダイオードの許容逆耐電圧は一つの確率曲線によって律せられるとみなしうる。それがために安全率という考えは現実の設計に対して必要条件である。図 7.9 はバリスタ(サージ吸収装置)とダイオードの P. I. V. との関連性を図示したものであり、正方向電流通流時と逆電圧印加時のバリスタの動作を示すものである。ここに留意すべきはバリスタの動作特性は正、逆方向共に対称的であるがシリコンダイオードは非対称である。

8. 将来性について

ここではシリコン整流器の将来性について考察することにする。シリコンダイオードの製法が日進月歩であり、ますます大電流用で逆耐電圧値が大きいダイオードが製作される可能性が十分ある点であらゆる分野に利用され、発展することが期待される。しかし上述のように

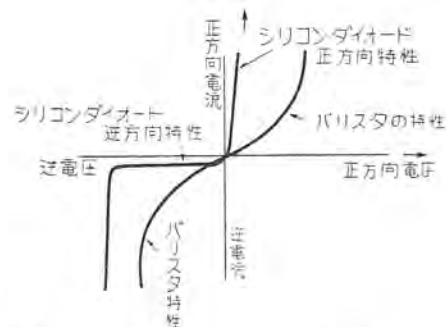


図 7.9 バリスタの特性とシリコンダイオードの特性

Fig. 7.9 Characteristics of varistor and silicon diodes.

表 8.1 シリコン電力用整流器実施代表例
(アメリカ W 社)

| No. | 直流電圧 (V) | 直流電流 (A) | 用 途 | 備 考 |
|-----|-------------|-------------|-----------|---------------------------------|
| 1 | 250 | 600 | 直流モータ駆動 | 150kW 150%・2時間 通統定格 200%・1分間 |
| 2 | 250 | 1,200 | " | 300kW 150%・2時間 通統定格 200%・1分間 |
| 3 | 125 | 1,200 | " | 150kW 2台 |
| 4 | 125 | 5,000 | 金 属 電 解 | ダウケミカル会社 変換単位 |
| 5 | 535 | 5,000 | アルミの電解 | アルコア会社・変換単位 |
| 6 | | 400/ユニット | 溶 接 機 電 源 | 抵抗溶接機 单相全波 3 相 " |

熱的疲労がダイオードの故障の原因の一つに考えられるべき性格のものである限り、連続定電流負荷がダイオードの信頼性という観点からみて理想的応用分野であることは事実である。シリコン整流器の 1957 年のアメリカにおける実施例を挙げれば表 8.1 のとおりであり、この表は在来のゲルマニウム整流器の実施例と比較してみても直流出力電圧のたかい用途に有利であることが指摘できる。ことに 535V のアルミ電解用に使用されている実例からみてその将来性は期待できる。ただ保護方式が確立されているようでまだ未完成といえよう。直流出力電圧の制御は現在のところダイオード自体ではできないが将来は水銀整流器と同様にある程度実施できる見通しである。したがって可変速度調整を必要とする部門にも進出することがあるであろう。

現在のシリコン整流器はダイオードの使用個数すなわち価格と整流器の効率とによってゲルマニウム整流器との応用分野が決定される。そしてシリコンダイオードの価額は現在より低下するであろうことはその実績よりみて明かである。そうした場合低電圧、大電流分野の直流電源の採否の判定の基準の一つは総合効率によることに

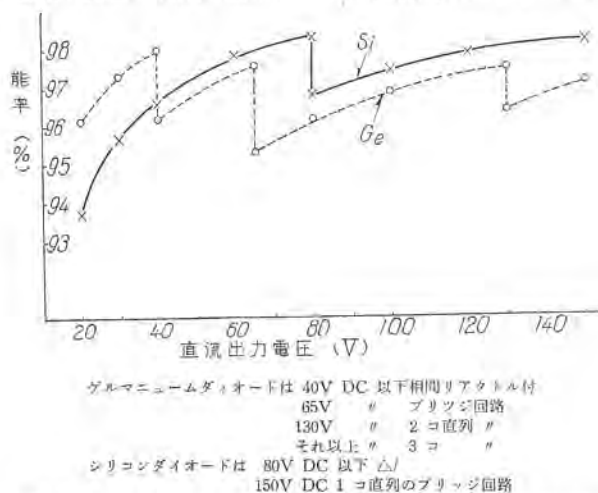


図 8.1 シリコンおよびゲルマニウム整流器本体の能率比較
Fig. 8.1 Comparison of efficiency of silicon and germanium rectifier diodes.

なるがこれがまた主回路方式に全面的に依存している。図 8.1 は回路方式とシリコン、ゲルマニウム整流器の効率を直流出力電圧によって示したものである。

冷却方式としてはシリコンダイオードは風冷式が標準となり、ゲルマニウムダイオードの大電流容量のものは水冷式が標準となるであろう。

9. む す び

今回新しく製作した液冷式シリコン整流器は日本で最初のものであるという点と新分野への開拓という両面で特筆すべき記録品である。本文で説明したようにシリコン整流器は特別な理由によって液冷式冷却方式を採用したがこの構造はダイオード自体の電食は考えられない特長がありかつキュービクル形、全屋外方式の無人変電所であるという時代の新しい感覚と要望をすべて満足せしめている点が留意されなくてはならない。また 125V, 2,100 A のシリコン整流器の製作決定に際しては三菱化成黒崎工場の方々の絶大なるご協力とご支援とによって初めて今日の完成をみたものであり、これに対し関係者一同を代表して厚く御礼申上げる次第である。なおまたシリコンダイオードの基礎的研究はすべて研究所岡久雄技師をはじめとして関係各位のご尽力によって行われ、定量的設計の基礎を確立した。またダイオードの冷却関係の設計から製作に、すすんで運転し良好なる成績をおさめるまでの間、小林凱技師、青木俊之技師ならびに各方面関係各位より多大のご協力をいただいたことに対し深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) 三菱電機、第 31 巻、第 11 号、加藤：『電力用ゲルマニウムおよびシリコン整流器』。
- (2) 日本電気協会、『生産と電気』12 月号『半導体整流器の現状とその将来性』。
- (3) 昭和 32 年度電気関係学会関西支部連合大会・加藤・小林青木：『電力用シリコン整流器』。
- (4) 昭和 32 年度電気関係学会関西支部連合大会・阿部・岡・池田：『電力用シリコン整流器の特性について』。
- (5) The Institution of Electrical Engineers Paper No. 2431R Nov. 1957; A. W. Matz M. Sc. "Thermal turnover in germanium P-N junctions."
- (6) A. I. E. E. Conference Paper 57-843 June 24-28 1957; R. P. Stratford "Application of semiconductor power rectifiers in electrochemical industry."
- (7) A. I. E. E. Transaction Paper 56-975; Herbert W. Henkels; "The Fused Silicon Rectifiers".
- (8) オーム 3 月号 1958; 加藤：『電力用シリコン整流器』。

H 種 絶 縁 乾 式 変 圧 器

伊丹製作所 萩野 脩*・神谷友清**

Class H Insulation Dry Type Transformers

Itami Works Osamu OGINO・Tomokiyo KAMIYA

Class H insulation dry type transformers have gradually come to earn recognition in this country, their capacities in practical operation amounting to 300,000 kVA. Their non-inflammable feature outweighs other designs by assuring the freedom from the horror of fire and explosion indispensable with the latter. This is the most favorable achievement. Since 1954 Mitsubishi has built more than 400 units of this kind, the largest capacity reaching 2,000 kVA. These transformers are mostly placed in a cubicle of the same style and together with air blast circuit breakers, magnetic breakers or low voltage air circuit breakers for the use as a power center.

1. ま え が き

H種絶縁乾式変圧器はわが国においてもようやく実用期にはいり、すでに約 30 万 kVA が運転にはいつている。乾式変圧器の特色の第一にあげられる不燃性は、今までの油入変圧器に付随する火災、爆発よりの恐怖を取

除いた点でとくに高く評価されている。

油入変圧器の油は冷却と絶縁の目的に用いられ、この油を利用することによって今日のような超高圧、大容量の変圧器の製作が可能となったわけであるが、変圧器に用いられている鉱油は引火点 130°C 程度のきわめて可燃性の液体であるため、油入変圧器は事故のおこる機会はきわめて僅少であるとはいえ、火災、爆発の恐怖よりまぬがれることができない。このため最近鉱油にかわり不燃性合成絶縁油（ダイヤクロール（当社）、Inerteen（米 W 社）、シバノール（東芝社）、Pyranol（米 G. E. 社）などの商品名で呼ばれ Askarel と総称される）が研究されかなり利用されるようになった。これで変圧器不燃化の目的は一応達せられるわけであるが、この不燃性油の取扱いにはかなり難点があり、高圧変圧器および小容量のわりに電圧の高い変圧器などのほかは乾式変圧器が用いられることが多い。

乾式変圧器には上述の不燃性のほかに油を使用しないため油の点検、油洩れ、油による汚損などがなく、保守点検が簡単で運搬、据付も便利であるから設置場所にも制約を受けることが少い。その上、洗練された外観は近代人の感覚によくアピールし、百貨店、劇場、ホテル、事務所などのビルジングをはじめ、発電所内、地下鉄、病院、炭坑内、特殊工場など火災を極度に恐れる場所には広く使用される勢にある。

当社では終戦後米国における珪素樹脂の発達の諸事情が判明するとともにこれを使用したいいわゆる H 種絶縁乾式変圧器の製作についていろいろ研究的試験を進めていたが、先に実用化に確信を得たので昭和 29 年以来各方面の注文を受け製作を開始した。それ以来今日までに 22 kV/3.3 kV 2,000 kVA 三相変圧器 3 台、13 kV/3.3 kV±10% 2,000 kVA 三相負荷時電圧調整器付変圧器 2 台などを含め 400 台余、延容量 100,000 kVA あまりの H 種絶縁乾式変圧器を製作、ご需要家の要求に応じてき



図 1.1 20 kV 変圧器キュービクル外観

Fig. 1.1 Outside view of 20 kV transformer cubicle.



図 1.2 20 kV 変圧器キュービクル内部

Fig. 1.2 Interior of 20 kV transformer cubicle.

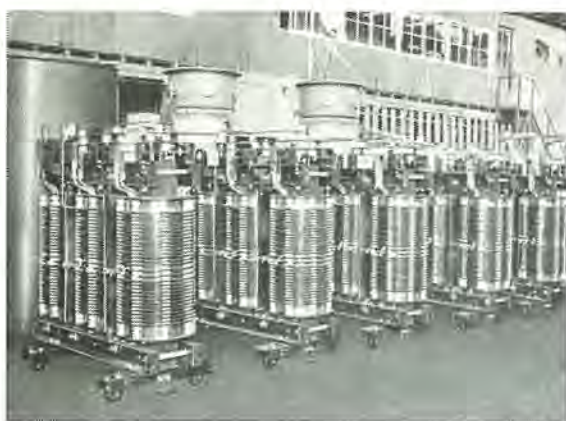


図 1.3 工場で組立中の三相 500kVA H 種絶縁乾式変圧器
Fig. 1.3 3 phase 500kVA class H insulation dry type transformer under construction at the factory.

た、以下各方面のご要求で各種用途に応じて製作した H 種絶縁乾式変圧器を例にとって当社の乾式変圧器をその一般的諸性質とともに紹介することとする。

2. H 種絶縁物

最近の合成化学の進歩により数多くの新しい絶縁材料が紹介され、また、それらを効果的に使用する必要性からも現在の各国の絶縁材料温度区分の規格は十分でないばかりかその解釈が困難で不明確である。したがってこのような温度区分を実情に合致するように設定しようとする提案が行われてもいる。たとえばスイスらは、従来の A, B, ..., H という区分の中間に新たに E, F 種を設け、これらの種別に相当する材料の分類を過去の経験とある程度の実験から主として材料の化学組成に基づいて行うことを提案している。

しかしながら現在の国内規格 (JEC-86 (1950)) より見て、乾式変圧器の製作に用いられる絶縁材料は表 2.1 に示すように、A 種, B 種, H 種の材料に分けられる。これらの材料を用いた乾式変圧器の温度上昇限度は、その絶縁物の温度による劣化特性から 3 項の規格で説明している表 3.1 のように規定されている。

A 種絶縁物を用いた乾式変圧器は昔から製作されてき

表 2.1 絶縁材料の種類

| 種 別 | 材 料 の 種 類 |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A 種絶縁 | 木綿、絹、紙または類似の有機質材料で構成され、ワニス類を含浸し、またはつねに油中に浸したものをいう。有機合成樹脂 (例：ペークライト) および絶縁エナメルは A 種絶縁材料と見なす。 |
| B 種絶縁 | 雲母、石棉、ガラス繊維または類似の無機質材料を接層材料と共に用いたものをいう。 B 種絶縁材料と共に A 種絶縁材料が用いられても、後者が単に構造上の目的に少量使用されていて、それが損することであっても、全体として電気的および機械的性質を害しないものは B 種絶縁と見なす (例、マイカナイト、石棉紙)。 |
| H 種絶縁 | 雲母、石棉、ガラス繊維または類似の無機質材料を、珪素樹脂または同等の性質をもった材料より成る接層材料と共に用いたものをいう。ゴム状および固体状の珪素樹脂または同等の性質をもった材料を単独に用いた場合をも含む。 H 種絶縁材料と共に A 種絶縁材料が用いられても、後者が単に構造上の目的に少量使用されていて、それが損することであっても、全体として電気的および機械的性質を害しないものは H 種絶縁と見なす。 |

たが、そのほとんどは小容量、低電圧のものに限られていた。すなわち A 種絶縁物を用いた乾式変圧器はわが国のような湿度が高い場所においてはそれら絶縁物が漸次吸湿して絶縁耐力が低下するので、その絶縁特性に信頼がおけぬことと、変圧器本体に発生する熱の放散がきわめて悪く、容量が少し大きくなると低い温度上昇限度内に押えることが困難のためにその利用度が非常に狭い範囲に限られていたのである。

ところが近年になってマイカ、アスベスト、ガラス繊維などの耐熱性の高い絶縁物に優秀なものができるようになり、これらを用いて温度上昇限度を高めた B 種絶縁乾式変圧器が製作されるようになった。さらに、耐熱度が高くしかも耐湿性および高絶縁性の珪素樹脂が発見され工業的に生産されるようになった。珪素樹脂はこれを化学的に見ると、従来一般に多量生産されている合成樹脂がその分子骨格が炭素—炭素結合 (—C—C—) から成っているのに対して、ごくに岩石結合と呼ばれる珪素—酸素結合 (—Si—O—Si—) が構造の根幹となり、この Si 原子のおおのにおにメチル、エチルあるいはフェニール基のような有機基が結合したものである。このように珪素樹脂はいわば無機物と有機物の混血的な構造をもっているため耐熱性、耐久性が大で、しかも可撓性、耐湿性、柔軟性にすぐれた性質をもっているのである。

この珪素樹脂で前記の耐熱性の高いマイカ、アスベスト、ガラス繊維をこれら絶縁物が吸湿しないように、電気絶縁物としての形状を保ち得るように処理すれば、相当高い温度および湿度の下で使用しても差支えない絶縁物が得られるわけである。これがいわゆる H 種絶縁物で、これを用いた H 種絶縁乾式変圧器が急速に注目を浴びて製作されるようになったのである。

H 種絶縁乾式変圧器では A 種にくらべ約 2.5 倍の 140°C の温度上昇が許され、かつ耐湿性もすぐれているので 30 kV 以下数千 kVA までの電力用変圧器が実用的に製作できるのである。

以下本文でいう乾式変圧器は主として H 種絶縁乾式変圧器を意味する。

3. 乾式変圧器の規格

乾式変圧器はその構成材料は油入変圧器と幾分異なっているが、その電圧変換目的は電力用の油入変圧器と異ならない。それゆえ製作にあたっては「JEC-120 静止誘導機器」に準拠し、電気工作物規定に従って使用されるのが当然である。しかして「JEC-120」には乾式変圧器に対する諸条件も規定されているのである。A 種絶縁で低電圧、小容量の乾式変圧器が主として製作されていた頃はこれでなんら問題はなかったのである。しかしながら 2 項で述べた H 種絶縁が生れたことと、H 種絶縁でかなり高圧、大容量の変圧器が製作され始めると、第一に「JEC-120」に H 種絶縁変圧器に対する温度上昇限度の規定がないこと、第二に乾式変圧器には空気絶縁

が介在するので乾式変圧器特有の絶縁特性があり、油入器の絶縁特性に多分に基礎をおいて制定せられた「JEC-120」の耐電圧試験値が乾式変圧器にきわめて都合が悪いことなどの問題が生じた。

以上第一の問題に対しては「JEC-86 (1950) 電気機器一般」に規定されている 105°C、第二の問題に対しては「JEC-120」に準拠して暫時製作を続けてきたのである。しかし昭和 31 年以來、これらの問題に対して日本電機工業会において種々論議がなされ、昭和 32 年に日本電機工業会標準規格として「JEM-R2005 (1957) 乾式変圧器の温度上昇限度および試験電圧」が制定され、製作者としてもまた使用者としても一つの規程ができたのである。以下この規則を引用してこれらの主要点を説明する。

表 3.1 乾式変圧器の温度上昇限度

| 項 | 機 器 の 部 分 | 温度上昇限度 (°C) | | |
|-----|------------------------|------------------|-------|-------|
| | | A 種絶縁 | B 種絶縁 | H 種絶縁 |
| 乾 式 | 1 乾式自冷および風冷式巻線 | 55 | 75 | 140 |
| | 2 鉄心その他絶縁物に近接した部分 | 近接絶縁物に許された温度 | | |
| | 3 2 に含まれない金属部分 | いかなる点でも損傷を起さない温度 | | |
| 油 入 | 油入自冷式、油入風冷式および 油入水冷式巻線 | 55 | | |
| | 送油自冷式、送油風冷式および 送油水冷式巻線 | 60 | | |

注 周囲温度 40°C 以下、標高 1,000 m 以下の場所において使用する乾式変圧器に適用する。

乾式は JEM-R2005 (1957)、油入は JEC-120 (1952) による。

3.1 乾式変圧器の温度上昇

まず第一に温度上昇の問題では連続定格または短時間定格の乾式変圧器の温度上昇限度は油入変圧器と比較して示すと表 3.1 のように規定された。

H 種絶縁物の最高許容温度は NEMA 規格では 220°C、IEC、BSS、VDE 規格および JEC-86 (1950) では 180°C となっている。最高許容温度はモデル変圧器などによる総合的な寿命試験により決定されるべきであるが、わが国ではまだこの種の十分な資料は得られていない。しかし最近の国産 H 種絶縁材料については米国品と同等の耐熱性を持つことが確められている。

したがって JEM-R2005 では NEMA 規格と現行 JEC-86 の中間の値をとり、最高許容温度を 200°C としたのである。また抵抗法による温度上昇と最高温度部の温度上昇との差を 20°C とし抵抗法による温度上昇限度を 140°C に決めたのである。巻線およびこれに接する絶縁物の温度は抵抗によって測定することとし、温度計法による値は単に参考値とすることになっている。この理由は温度計法により絶縁物表面の温度は測定できるが、その内部の温度は正確には測定できないためである。

3.2 乾式変圧器の耐圧試験値

H 種絶縁乾式変圧器・荻野・神谷

つぎに第二の耐圧試験値に対する問題であるが、乾式変圧器には空気絶縁が介在するためその構造上衝撃電圧と交流電圧とによる破壊電圧の比、すなわち衝撃比は、油または油と固体絶縁物との組合せになる油入変圧器の 1.8~2.4 に対し、空気または空気と固体絶縁物との組合せになる乾式変圧器では 1.1~1.5 程度である。現行 JEC-120 の試験電圧値では油入変圧器の場合は商用周波の試験電圧を考慮して変圧器の主絶縁を考慮しておけば、大体衝撃試験電圧に対しても主絶縁は大丈夫である。しかし乾式の場合は同じ商用周波試験電圧の油入に

表 3.2 乾式変圧器の商用周波および衝撃波試験電圧値

| 絶縁階級 | 乾 式 | | 油 入 | | |
|------|-------------|--------------|-------------|------------|---------|
| | 商用周波電圧 (kV) | 衝撃波全波電圧 (kV) | 商用周波電圧 (kV) | 衝撃波電圧 (kV) | |
| 号 | | | | 全 波 | 截断波 |
| 0.2 | 2 | — | 2 | — | — |
| 1 | 4 | — | 4 | — | — |
| 3 | 10 | 25 | 10 | 45 [30] | 55 [40] |
| 6 | 15 | 35 | 15 | 60 [45] | 70 [55] |
| 10 | 25 | 55 | 25 | 90 | 105 |
| (12) | (30) | (65) | — | — | — |
| (15) | (38) | (80) | — | — | — |
| 20 | 50 | 95 | 50 | 150 | 170 |
| 30 | 70 | 130 | 70 | 200 | 230 |

乾式は JEM-R2005 (1957)、油入は JEC-120 (1952) による。

乾式 () 内のは発電所内用にかぎり適用される。

油入 [] 内のは柱上配電用変圧器に対してのみ適用される。

表 3.3 米国における乾式および油入変圧器の商用周波および衝撃波試験電圧値

| 線路電圧 | 乾 式 | | 油 入 | | | | |
|------|-----------------|-----------------------|-----------------|----------------|-----|------------|-----|
| (kV) | 商用周波電 圧 (kV) | 衝 撃 波 全波電圧 (kV) | 商用周波電 圧 (kV) | 衝 撃 波 電 圧 (kV) | | | |
| | | | | 500 kVA 以下 | | 500 kVA 以上 | |
| | | | | 全 波 | 截断波 | 全 波 | 截断波 |
| 1.2 | 4 | 10 | 10 | 30 | 36 | 45 | 54 |
| 2.5 | 10 | 20 | 15 | 45 | 51 | 60 | 69 |
| 5.0 | 12 | 25 | 19 | 60 | 69 | 75 | 88 |
| 8.66 | 19 | 35 | 26 | 75 | 88 | 95 | 110 |
| 15 | 31 | 50 | 34 | 95 | 110 | 110 | 130 |

比べて相当に低い衝撃試験電圧値を規定しなければ商用周波試験電圧との平衡が保たれない。もし乾式に現行の JEC-120 の耐衝撃電圧強度を要求すると勢い商用周波試験電圧に対しては極度に余分に絶縁を施したことになり、製作も困難で割高となる。

ところが一般に乾式変圧器は市街地とか坑内とか、ケーブルによって配電される場所、または一般屋外配電線に直接接続しない場所など、原則として衝撃電圧または開閉異常電圧の大きさおよび頻度の少ない場所に使用されるのが普通である。それゆえこのような場所に使用される乾式変圧器に油入器と同様の高い衝撃電圧強度を持たせる必要がないとの考えから JEM-R2005 の試験電圧値が規定された。これらの値を油入器と比較して示したのが表 3.2 である。

ケーブル系統における異常電圧の調査によれば持続異

表 3.4 異常電圧計算値

| 絶縁階級 (号) | 3 | 6 | 10 | (12) | (15) | 20 | 30 |
|--------------------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|-------|
| $\frac{3.5 \times \sqrt{2} U_n}{0.8}$ (kV) | 12.32 | 24.64 | 41.1 | 49.4 | 61.6 | 82.2 | 123.2 |
| JEM 試験電圧 (kV) | 25 | 35 | 55 | (65) | (80) | 95 | 130 |

常電圧は一相対地電圧の 2 倍近くのものが発生するので、商用周波試験電圧としては従来の油入変圧器とほぼ同じ電圧に決められた。また開閉異常電圧は一相対地電圧 U_n のほぼ 3.5 倍以下であり、中性点を抵抗接地した系統ではさらに低い値と考えられる。

いま $\frac{3.5 \times \sqrt{2} U_n}{0.8}$ により衝撃電圧値に換算すれば表 3.4 のようになり JEM 試験電圧の値より下回っている。この試験電圧で差支えないものと考えられる。

参考までに米国における乾式変圧器の試験電圧を油入器と比較して示すと表 3.3 のごとくである。

なお乾式変圧器の截断波衝撃電圧試験であるが、乾式変圧器はすでに述べたように元來衝撃電圧侵入の危険の少ない場所に使用するので前としているし、とくにケーブル系統において使用する場合は急峻波頭の異常電圧の侵入する機会は非常に少なく、したがって截断波の印加されるような場合はほとんどあり得ないと考えられる。それゆえ JEM 規格においては $1 \times 40 \mu s$ の標準波形による全波試験のみを行うこととしている。截断波のような急峻波頭をもった電圧波形で試験すれば巻線内部の電位傾度もかなり高まり、実際使用状態におけるよりもかなり酷な試験をしたこととなる。これに加えて截断波試験を行うことは必要以上に酷な試験を行うことになると考えられるのでこれを省略することに決められた。米国においても乾式変圧器に截断波衝撃電圧試験は規定されていない。

当社においては昭和 32 年以降乾式変圧器の温度上昇限度、および試験電圧はご需要家の特別の要求のないかぎり JEM に基づいて製作している。

4. H 種絶縁乾式変圧器の特長

H 種絶縁乾式変圧器の諸特長を列記すればつぎのとおりである。

1. 不燃性、非爆発性である。

銅線、珪素鋼板のほかマイカ、アスベスト、ガラス繊維、磁器製品など不燃性の材料のみで作られているから、万一変圧器内に事故を生じたときとか、系統に短絡事故を生じ過大電流による機械力で変圧器が破壊されることがあっても、また長時間過電流が流れ過熱したときでも単に巻線の破壊に止まり、油入変圧器のように爆発、燃焼などの不慮の災害をひき起し事故を拡大するような憂はまったくない。

2. 重量、寸法が縮小できる。外観が美しい。

乾式変圧器は冷却ならびに絶縁の一部を油より効果の悪い空気に頼っている。たとえ H 種絶縁物をいれ温度上昇を高くとっても変圧器のコイルおよび鉄心自体は

油入式よりも大きくなる。しかし油入変圧器においては、コイルおよび鉄心より油に伝わった熱を比較的低い温度で放熱器および外箱表面より大気中へ放散させなければならぬので、かなり高い温度で直接空気中へ熱を放散する乾式のコイル、鉄心に比べ、非常に大きな冷却面積を持つ外箱および放熱器が必要となる。それゆえ外箱、放熱器、および必要な油を考慮に入れると乾式は油入式に比べ、全体として重量において 70~80%、床面積において 70~80% に小さくできる。

また乾式変圧器の外箱は、ただ感電の恐れをなくし、異物の侵入を防ぎ、外傷より保護するのが目的であるので構造は簡単でよく、自由な体裁、仕上を選ぶことができ、近時美麗となった変電室内の配電盤その他の機器との体裁上の釣合もとれる優美な外観にできる。

高圧側遮断器、または断路器、変圧器、二次側遮断器を同一キュービクルに並べ、一体として据付床面積を縮小できるのも乾式変圧器なるがゆえである。

3. 据付、保守点検が容易である。

油を使用しないから、油の点検、汙過の必要がなく、油洩れ、油による汚損などの心配がない。据付後の保守点検はきわめて容易で、開放形のものではときどき変圧器本体上に堆積する塵埃を真空掃除器または圧搾空気ですすぐ程度でよい。このときも油入式のようにコイル、鉄心をつり上げる手数は要せず、外箱周囲の扉または囲いを開けるだけでコイル、鉄心の周囲が点検でき、清浄できる。密封式の乾式変圧器ではほとんどなんら保守の手数を要しない。

油を使っていないこと、油入より軽量小形なことは、運搬、据付を容易にし、基礎も簡単となり、特別な防火設備の必要がなく安全にどこへでも設置できる。

4. 配線材料が節約でき、電圧変動率、銅損が小さくなる。

設置場所に制約を受けることが少ないので負荷中心に近く設備することが可能である。それゆえ低圧母線を短くすることができ、材料の節減ならびに配線中の損失、電圧変動率を少なくすることができる。

5. 耐熱、耐湿性、過負荷耐量、寿命が大である。

耐熱性、撥水性の大なる珪素樹脂で処理したマイカ、アスベスト、ガラス繊維、磁器などの無機物ばかりで絶縁が構成されているから、周囲温度の高い場所へも設置することができ、劣化の恐れが少なく長い寿命を有する。とくに油入式に比べて過負荷耐量は非常に大きい。

5. 乾式変圧器の利用

乾式変圧器の規格、特長の項で述べてきた事柄より必然的におよそ乾式変圧器の有効な利用法、利用場所は決ってくるわけであるが、とくに注意しなければならない事項とともに、具体的な利用用途を述べることにする。

まず、衝撃電圧侵入の危険の少ない場所に使用すべきであり、また多少ともその危険のある場所は適当な避雷

器、サージアブソーバなどによって保護することが望ましい。乾式変圧器に油入器と同様の耐衝撃電圧強度を要求することは价格的に非常に割高となる。

つぎに、乾式変圧器は絶縁の一部に空気を利用するため、電圧の非常に高い変圧器においては絶縁距離が相当大きくなりきわめて不経済となる。このため目下のところ高圧側の電圧は一般的には最高 30 kV までを製作することにしている。また小容量の割に電圧の高い変圧器では、絶縁距離が割合大きくなり不経済である。数十 kVA よりは数百 kVA、数千 kVA と容量の大きくなるほど製作は容易となり油入変圧器と比較して価格も割安となる。

さらに珪素樹脂は相当量産されてきたとはいえ今のところ一般の絶縁ワニスにくらべ相当高価である。また変圧器絶縁を組立てているマイカ、アスベスト、ガラス繊維は油入器の主要絶縁物である紙に比べかなり高価な材料である。それゆえ同一容量の油入変圧器に比べて乾式は 3~10 kV 級で約 1.2~2 倍、20 kV、30 kV 級では容量によっては 2 倍以上にも高価となっている。

近い将来これら材料原価は低減されることと思われるが、このような価格事情であるので乾式変圧器の特色が価格を補って余りある設置場所に利用されるのが普通である。

このような経済的理由から乾式変圧器はおのずから製作限度がある。当社で一般的に製作する容量を電圧別に示したのが表 5.1 である。この範囲外でもとくに要求があるときは製作するが、この範囲外で不燃性を要求され

表 5.1 H 種絶縁乾式変圧器の製作準備容量

| 電 圧 | 製 作 準 備 容 量 | | |
|---------|--------------|--------------|----------------|
| | 最 小 容 量 | | 最 大 容 量 |
| | 単 相 | 三 相 | 単 相, 三 相 |
| 3, 6 kV | 10 kVA 以上 | 20 kVA 以上 | 約 6,000 kVA 以下 |
| 10 kV | 100 kVA 以上 | 150 kVA 以上 | 約 6,000 kVA 以下 |
| 20 kV | 500 kVA 以上 | 750 kVA 以上 | 約 6,000 kVA 以下 |
| 30 kV | 1,000 kVA 以上 | 1,500 kVA 以上 | 約 6,000 kVA 以下 |

るとき、または不燃性でかつ油入同様の耐衝撃電圧強度を要求されるときは、不燃性油入(ダイアクロール入)変圧器を利用されることを推奨する。

それでは乾式変圧器はいかなる場所に利用するのがもっとも適当であるかを具体的に述べると、

1. 変圧器の火災、爆発による被害を極度におそれている場所に使用してもっとも効果がある。すなわち高層ビルディング、百貨店、病院、劇場、ホテル、地下鉄または一般駅舎、発電所内変電設備などは最適の利用場所である。またこれらの場所ではたとえ変圧器自体の価格が油入式より割高となっても、高価な床面積を縮小することができて残余の床を他に利用することによる利益が生じてくる。また防火壁を設けるなどの必要がなく付帯設備上の利益も考えられる。

このような場所では特高または高圧側に空気遮断器ま

たは磁器遮断器を、低圧側に気中遮断器を用いて乾式変圧器とともに同一体裁のキュービクルに収納するのが床面積も少なくすみ保守も容易である。

2. 油を使用しないので耐圧防爆形、内圧防爆形変圧器が製作できる。おもに炭坑用として使われ、切羽近くに変圧器を設備することができるので二次キャブタイヤケーブルの節約は非常に大きく、電圧変動率が減少するほか変圧器座が簡単となり、防火設備の必要がなく、移設が手軽に行える利点がある。

3. 小形、軽量、不燃性、短時間過負荷を要求される船舶用、航空機搭載用、溶接機用などにも広く利用して効果がある。

4. 塵埃、湿気、油気、水滴、悪ガスなどの多い工場内でも密封構造乾式変圧器が引火、爆発、劣化の心配なく利用できる。

6. 乾式変圧器と油入変圧器の比較

乾式変圧器、不燃性油入変圧器、油入変圧器についてその主要事項を比較表示すれば表 6.1 のごとくである。

表 6.1 乾式、不燃性油入、油入変圧器の比較

| | 油 入 | 不 燃 性 油 入 | 乾 式 |
|---------------------------------------------|----------|-----------------------|----------------------|
| 不 燃 性 | 可 燃 性 | 不 燃 性 | 不 燃 性 |
| 爆 発 性 | 爆発の可能性あり | 小さな爆発の可能性あり、他に災をおよぼさぬ | 非 爆 発 性 |
| 保 守 | 容 易 性 | 普 通 以 上 | 普 通 以 下 |
| 点 検 | 点検頻度 | 普 通 以 下 | 普 通 以 上 (開放形の場合) |
| 使 用 場 所 | 屋 外, 屋 内 | 屋 外, 屋 内 | 主として屋内用 (開放形の場合) |
| 商用周波試験電圧 | 同 一 | 同 一 | 同 一 |
| 衝撃波試験電圧 | 大 | 大 | 小 |
| 価 格 | 普 通 | 高 価 | 高 価 |
| 3 kV 三相 500 kVA 標準設計品 (指示を 要する) | 損 失 | 100 | 110 |
| | 床面積 | 100 | 75 (含外箱) |
| | 高 さ | 100 | 90 (含外箱) |
| | 重 量 | 100 (含油) | 125 (含油) 70 (含外箱) |

7. H 種絶縁乾式変圧器の一般構造

7.1 形式、および外箱一般

当社で製作している乾式変圧器には表 7.1 の形式のものがある。

表 7.1 三菱乾式変圧器形式

| 形 記 号 | 形 名 | 説 明 |
|-------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| D 形 | A 種, B 種絶縁乾式自冷式 | 開放構造、自然通風 (Air Ventilated) 自冷式 (Self-Cooled) で外箱は屋内用防滴構造 (Drip-Proof) を標準としている。要求により屋外用を製作する。 |
| A V 形 | H 種絶縁乾式自冷式 | |
| AVB 形 | H 種絶縁乾式風冷式 | 強制風冷式 (Forced-Air-Cooled) で 500 kVA 以上に採用して経済的である。 |
| A S 形 | H 種絶縁密封自冷式 | 密封構造 (Sealed Tank) 箱内に収納したもので通常箱内に塗素を封入している。 |
| ASB 形 | H 種絶縁密封風冷式 | |



図 7.1 AV 形 H 種絶縁乾式変圧器
1φ 50c/s 300kVA 3.3kV/210—105V

Fig. 7.1 Class H insulation self-cooled dry type transformer.

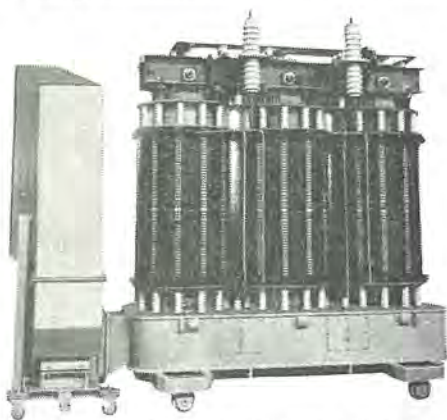


図 7.2 AVB 形 H 種絶縁乾式変圧器
3φ 50c/s 1,500kVA 22kV/3.3kV

Fig. 7.2 Class H insulation forced-air-cooled dry type transformer.



図 7.3 AS 形 H 種絶縁乾式変圧器
3φ 60~450kVA 3.3kV/220V

Fig. 7.3 Class H insulation sealed tank type dry type transformer.

一般には内鉄形で製作するが、溶接機、電気炉用などの大電流用は外鉄形で製作する。

AV 形の自冷式がもっとも一般的な構造で、銅板製外箱の下部に冷却空気取入用として、また上部に空気出口用としての網窓をもっている(図 7.1)。この外箱は感電の危険を除くとともに変圧器の運転をさまたげる異物の侵入を防ぐ役目をしている。これら外箱の四周または表裏の側壁は簡単に取除くことができ、容易にコイル、鉄心の点検ができるようになっている。

500 kVA 以上には経済的見地から AVB 形(風冷式)がしばしば採用される(図 7.2)。これは容量に応じて 1/4 HP (500 kVA 程度)~3 HP (数千 kVA 程度)の冷却扇を本体横下に設け、変圧器下部の密封ダクトを通じ

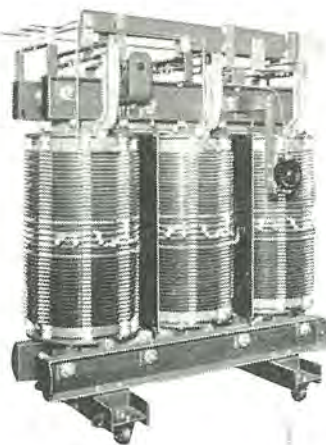


図 7.4
AV 形 H 種絶縁乾式変圧器
3φ 50c/s 1,000kVA
3.3kV/210V

Fig. 7.4
Class H insulation
self-cooled dry type
transformer.

図 7.5
AV 形 H 種
絶縁乾式変圧器
1φ 50c/s
3.3kV/210~105V

Fig. 7.5
Class H insulation self-
cooled dry type
transformer.



て各コイル、鉄心脚へ冷却風を送り込む構造となっている。送風式のもの是一般に送風機を停止して自冷式としても運転できる二重定格となっている。送風式の場合の出力は自冷式時の 130~140% にしているのが標準である。

AS 形および ASB 形はコイルおよび鉄心を密封外箱に収納したもので、箱内の湿気を完全に追出すために乾燥窒素を大気圧で封入している(図 7.3)。外箱は 2.5 kg/cm² 6 時間の漏洩試験を行い完全密封を保証している。運転、保守の都合上で外箱の密封を開封した場合はかならずしも窒素を封入しなくても大気のはいまま密封運転して差支えない。この場合、運転休止の冷却時箱内に露を結ぶのを防ぐため箱内にシリカゲルなどの吸湿材を入れておくことが望ましい。塵埃、湿気、油気、水滴、悪ガスなどの多い場所でも安全に使用できる。耐圧防爆形変圧器はこの例である。

7.2 コイル、および鉄心

コイルは円筒巻 (Cylindrical Winding) または連続円板巻 (Continuous Pancake Winding) が標準である。冷却効果の点から内側コイルは円筒巻、外側コイルは円板巻が多く採用される。図 7.4、図 7.5 はそれぞれ外側円板コイル、円筒コイルの写真である。

導体絶縁としては電圧階級によりガラス繊維、マイカテープ、あるいはアスベストテープを用い、素線自体のみでもシリコンワニス処理を行い、さらにコイルに巻き上げてからワニスに浸し熱処理を行う。このワニスは高



図 7.6 十分の冷却が行われる広い空隙をもったコイル
Fig. 7.6 Cutaway view showing large air ducts and path of ventilating draft.



図 7.7
AV 形 H 種絶縁乾式変圧器
1φ 50 c/s 50 kVA
3.3 kV/210—105 V
Fig. 7.7 Class H insulation self-cooled dry type transformer.

度の絶縁，耐湿性を持つのみでなく，表面をなめらかにして塵埃が付着しにくくし，また機械的強度をいじりしく増大する。

低圧コイルは絶縁筒を介して鉄心に外接して巻かれ，高圧コイルはその周囲に低圧コイルと同心に配置され，絶縁筒で隔てられている。これら鉄心と低圧，低圧と高圧間の絶縁筒はマイカおよびガラスクロスにシリコンで処理したものである。円筒コイルの層間はマイカで絶縁され，円板コイルの板間は磁器スペーサで絶縁されている。円筒コイルは端部絶縁物の上下を，円板コイルは上下を碍子で支持してそれぞれ一部を欠いたリング状のコイル締付板で強固に締付け，短絡時の機械的衝撃に対しても十分安全なるよう考慮されている。枯化する材料を使用していないのでゆるみの生じる恐れはない。

コイルは冷却の目的で十分の通風空隙が設けてあり，上下の支持碍子部よりの空気の環流が自由で局部的温度

上昇の恐れはない(図 7.6)。

6 kV 100 kVA 以下のコイルには豊富に通風空隙を設けた矩形コイルを採用している(図 7.7)。

鉄心は矩形コイル以外は段付円形断面鉄心を用い，数百 kVA 以上の鉄心には，断面内に冷却空隙を設けて温度上昇を押えている。これら鉄心は絶縁コーティングの上にシリコンワニス処理を行い防錆の効果を持たせている。

電圧切替のためのタップは小容量のものは本体側面または上面の端子板に接続され(図 7.5)，容量の大きなものはコイルより出したタップ腕で直接切替えできようになっている(図 7.4)。切替えはタップに面した外箱側壁を外して簡単に操作できる。

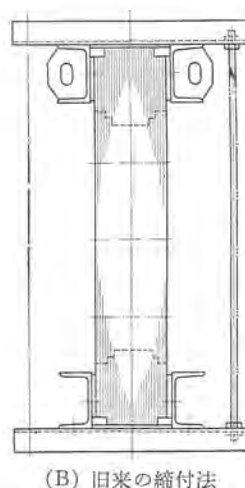
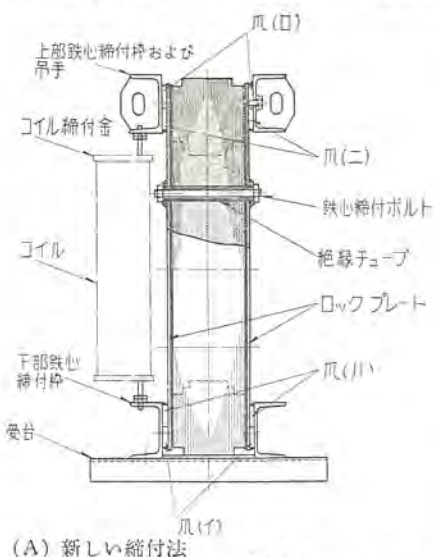
7.3 コイル，鉄心締付およびつり上構造

鉄心締付およびコイル，鉄心つり上方法としては図 7.8 に示すように従来の油入変圧器に長く採用されてきている方法をまったく改善，大きな効果をあげている。すなわち鉄心のレッグ部分に從來なかった非磁性のロックプレートに設け，絶縁ボルトによりレッグとともに締付けている。このロックプレートの上下に爪(イ)，(ロ)が溶接されており，鉄心締付棒に溶接された爪(ハ)(ニ)とかみ合うようになっている。

コイルを締付ける場合，上下鉄心締付棒は押し開く方向に力を受けるが，この力は爪でかみ合ったロックプレートで受けるようになっていて，従来の上下鉄心締付棒連結ボルトのない構造のもののように薄板を積層したレッグに張力がかからないので十分締付けることができゆるみが生じるようなことがない。また従来の上下鉄心締付棒連結ボルト付構造のものでも連結ボルトの締め方いかんでレッグに張力または圧縮力が働き十分でない。

コイル，鉄心つり上げ時にも同様のことがいえる。コイル重量は下部鉄心締付棒で受け，ロックプレートを通して上部鉄心締付棒に溶接されたつり手でつられるからレッグはなんらの力を受けない。レッグ重量は絶縁ボルトおよび受台，下部鉄心締付棒を通してロックプレートに受けられ上部鉄心締付棒でつり上げられる。

レッグに沿った厚板がないとレッグはそれ自体のみで自重を支えなければならずとかく撓みを生じやすい。この撓みを防ぐ平板と，上下鉄心締付棒連結ボルトの役目を兼ねそなえ，しかもその効果をよりいっそう発揮するロックプレートの採用は，特性はいじりしく良好であるが，しかしひずみによって特性の悪化する方向性珪素鋼帯が全面的に採用されようとしている今日きわめて意義深いことである。製作途中における特性の悪化，運搬時における特性の悪化を防ぐに役立っている。



(A) 新しい締付法
図 7.8 鉄心締付構造図
Fig. 7.8. Sectional view of the core construction showing the method of tightening the core.

8. H 種絶縁乾式変圧器の製作例

8.1 特高変電設備としての乾式変圧器

近代ビルは高層化し大形化する一方，照明，温

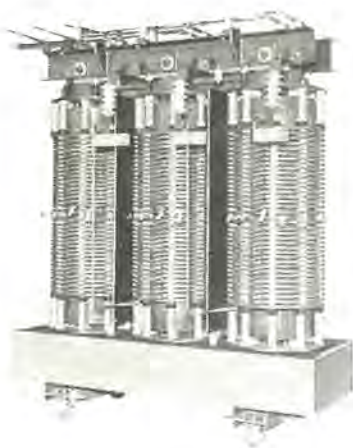


図 8.1 AVB 形 H 種
絶縁乾式変圧器
3 ϕ 60 c/s 2,000 kVA
22 kV/3.3 kV
Fig. 8.1 Class H
insulation forced air
cooled dry type
transformer.

度、湿度の調節、輸送能力の増大に意を用いる結果、使用電力は飛躍的に増大し、受変電設備も非常に大きくなり、30 kV、20 kV 受電と特別高圧が採用されるようになった。これら変圧器はその容量と経済的見地からほとんど風冷式が用いられる。20 kV 8,000 kVA 受変設備を例にとり、その乾式変圧器の定格、構造、設置について述べる。(6,000 kVA 分のみ完成)

H 種絶縁乾式風冷式 内鉄形変圧器

三 相 60 c/s 2,000 kVA \times 3 台

高 圧 22-21-20 kV 三角結線

低 圧 3,300 V 三角結線

試験電圧

高 圧 側 AC 50 kV 1 分間 Surge 95 kV 全波

低 圧 側 AC 10 kV 1 分間 Surge 25 kV 全波

温度上昇限度 140°C 以下

能 率 100% pf, 100% 負荷にて 98.6%

電圧変動率 同 上 1.5%

インピーダンス 9.7%

送風機容量 3 HP

本体重量 約 5,500 kg

キュービクル収納構造

その外観は図 8.1 のごとくである。一般構造と異なる点のみについて説明する。

高圧側導体被覆にはガラス繊維およびマイカテープが使用されている。コイルは双成円板巻線であり、それぞれマイカおよびガラスでよくテーピングされているのでコロナの発生は見られない。各セクションを密接させた双成巻線は十分な空隙を設けて積み重ねられているので、巻線直列方向の静電容量が大きく、衝撃電圧の電位分布も良好となり、絶縁材料の使用を減少させコイルの寸法を縮小することができた。

写真下部の鉄心継鉄部をおおっているのが風洞である。その上面には鉄心および各相一次、二次コイルに冷却風が均等に分布するように吹出口が設けてある。図 7.2 左部分に見られると同様の収塵器および 3 HP の送風機が設けられていて、こ

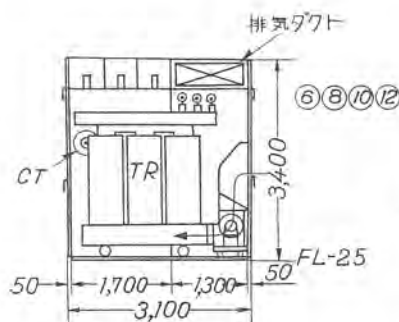


図 8.2 変圧器キュー
ビクル側面図
Fig. 8.2. Side view
of transformer cubicle

れにより風洞に送られた冷却風は鉄心、巻線に沿って下より上に風を吹き上げ冷却する。冷却風は変圧器キュービクルの正面網窓より室内空気を取り入れ、変圧器を冷却後キュービクル天井部に設けられた排気ダクトを通して室内排気ダクトに連なり外気中に放出される。冷却風洞、気道は十分広くしてあるのでわずかの風圧で十分な冷却風が送られ、冷却風の温度上昇は約 25°C 以下に押えられているので、熱せられた空気が周囲に障害を与えるようなことはない。

キュービクルの網窓内に設けられた収塵器は 4 \times 35 \times 40 cm のユニット 6 個よりなっている。ユニットは外側は金網でできていて、中に外径 12 mm ϕ 長さ約 15 mm の薄肉亜鉛メッキ鋼管がつまっている。このユニットを油に浸してから枠に取付け、空気が鋼管の間を通るうちに塵が管表面の油に吸着されるようになっている。各ユニットは重量約 10 kg で簡単に取外しでき、油の中で振動させて洗浄しまた取付ける。

送風機は停止しても収塵ユニットおよび送風機を排除くことにより約 70% 出力で運転が継続できるが、収塵

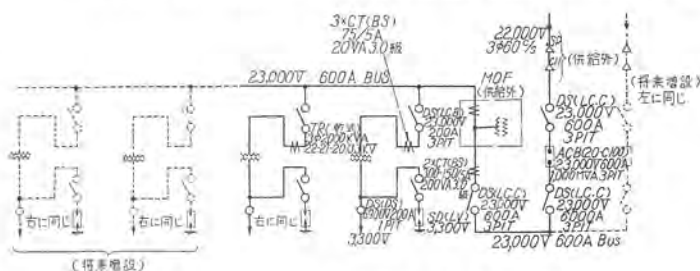


図 8.3 キュービクル配電盤の単線接続図
Fig. 8.3 Single line wiring diagram of cubicle switchboard

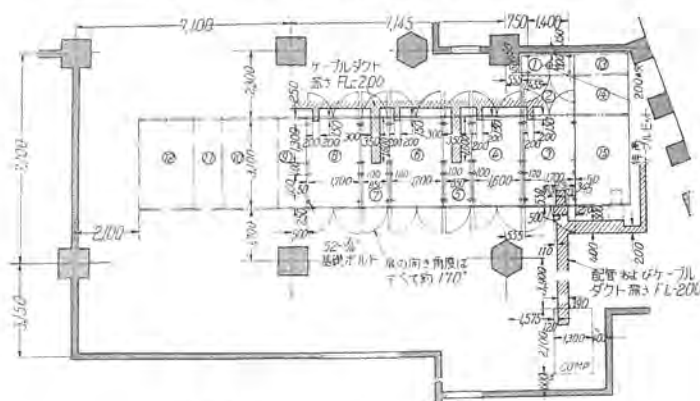


図 8.4 20 kV キュービクル平面図
Fig. 8.4 Layout of 20 kV cubicle.

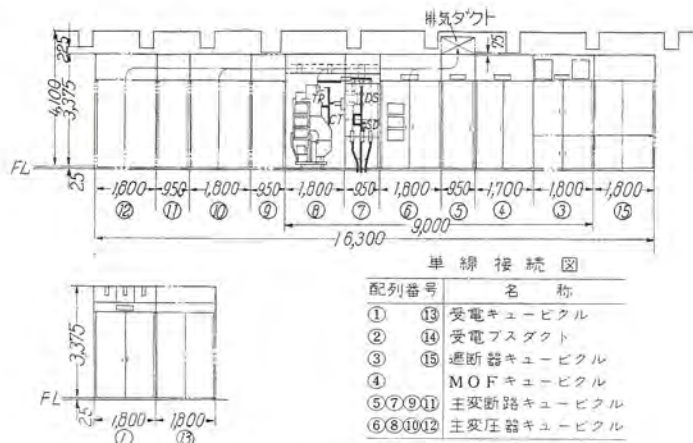


図 8.5 正面図
Fig. 8.5 Front view.

ユニット、送風機は1台分標準として予備用に供給している。

キュービクル内における変圧器の取付け状況を図 8.2 に示す。変圧器本体はキュービクルに入れたままその四囲を係員が点検できるスペースがとってあるが、本体と送風機とはそれぞれに車輪が設けてあり、別個にキュービクルより引き出しうるようになっている。

この変圧器が乾式不燃変電設備としてどのような他機器と組合せ使用されているか、その配置法、据付寸法の参考として、単線結線図、および配置図を図 8.3, 8.4, 8.5 に示す。

なお目下製作中の乾式負荷時電圧調整器付変圧器があるので、その主要事項のみを紹介しておく。

H 種絶縁乾式風冷式内鉄形変圧器

三相 50 c/s 2,000 kVA×2 台

高 圧 13,000 V 三角結線

低 圧 3,300 V ±10% 乾式負荷時電圧調整器付星形結線

試験電圧

高 圧 側 AC 50 kV 1 分間 Surge 120 kV 全波

低 圧 側 AC 15 kV 1 分間 Surge 45 kV 全波

温度上昇限度 140°C 以下

能 率 100% pf 100% 負荷にて 97.8 以上

電圧変動率 " " 2.4 以下

インピーダンス 約 10%

送 風 機 容 量 3 HP

変圧器本体重量 約 7,000 kg

制御装置内蔵キュービクル収納構造

キュービクル外形 2,800×3,550 (床) 3,000 (高) mm

乾式負荷時電圧調整器としては当社で新しく開発した URD 形を付し ±五段 11 点 2% ステップ 66 V 間隔で負荷時に切替えるようにしている。

8.2 普通所内電源としての乾式変圧器

一般動力または電燈負荷に供給する普通用途乾式変圧器としては 10~2,000 kVA のものが多く使用される。これらのほとんどはその屋内排気設備および保守の簡便

H 種絶縁乾式変圧器・荻野・神谷



図 8.6 三相 500 kVA パワーセンタ
Fig. 8.6 3 phase 500 kVA power center.

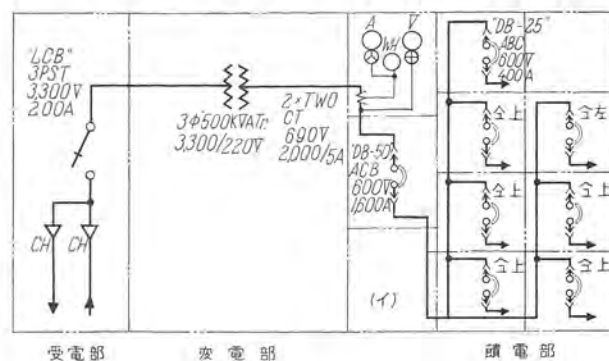


図 8.7 500 kVA パワーセンタ単線結線図
Fig. 8.7 Single line wiring diagram of 500 kVA power center.



図 8.8 500 kVA パワーセンタ AV 形乾式変圧器
3 φ 60 c/s 3.3 kV/220 V

Fig. 8.8 500 kVA power center dry type transformer.

さから自冷式が用いられている。

前掲の図 7.4 は数百~2,000 kVA 程度の標準的本体構造を示すものである。本体自体に車輪が付してあり、定位置に据付けられたキュービクルに運び込み設置するようになっている。

これら変圧器は引込用断路器または遮断器、二次遮断器、および饋電線遮断器数台を 1 ユニットとする配電盤に収納してパワーセンタとして利用されるのがもっとも好ましい。図 8.6 はこの例を示すもので図 8.7 はその単線結線図、図 8.8 は変圧器キュービクルの扉を開いて変圧器の設置状態を示す写真である。工場動力用電源、火



図 8.9 AV 形 H 種
絶縁乾式変圧器
3 ϕ 50 c/s 500 kVA
11 kV/3.3 kV
Fig. 8.9 Class H
insulation self-cooled
dry type transformer.

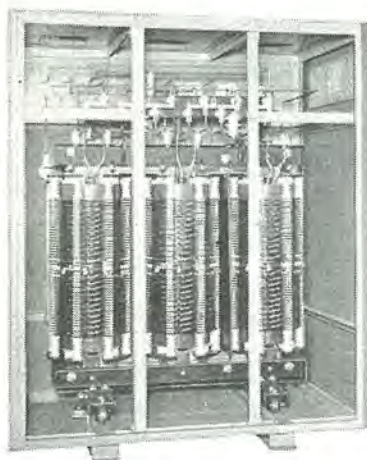


図 8.10 AV 形 H 種
絶縁乾式変圧器箱内部
3 ϕ 50 c/s 500 kVA
11 kV/3.3 kV
Fig. 8.10 Coil and
core of class H
insulation self-cooled
dry type transformer.



図 8.11 AV 形 H 種
絶縁乾式変圧器
1 ϕ 60 c/s 150 kVA
3.3 kV/210-105 V
Fig. 8.11 Class H
insulation self-cooled
dry type transformer.

力発電所の補器用電源などに多数製作した。また乾式変圧器と当社コントロールセンタを組合せ使用するものも多数製作している。

図 8.7 の(イ)部に送風機を設置すると外形を大きくすることなく風冷式とすることができる。

旧来の油入変圧器の機器配置をそのまま踏襲する乾式変圧器は図 8.9, 8.10, 8.11 のような構造となっている。図 8.9 は床下ケーブルダクトより立ち上ったケーブルヘッドに接続するに便にしたもので、リードはブスダクトにより完全に保護される。図 8.10 は変圧器の箱内状況を示す。図 8.11 は旧来の油入変圧器にもっとも類似し

た形状であるが、200 kVA 以下の容量に対しては角のない曲りを持ったきわめて洗練された外観を持つ外箱に収納している。この種の外箱は変圧器本体を収納したまま外箱つり手で全重量がつれるようになっている。しかし外箱重量を極力軽減するため、従来採用されていた L 形鋼で箱枠を作り、これに鋼板を張った構造と異なり、中身構造を外箱強度に利用した特殊構造となっている。前掲の図 7.7 にこの外箱構造の大略が示されている。この構造の外箱は、リード接ぎと、外箱下部四周のボルトを外せば四周壁を中身および受台を残して取除くことができる。

8.3 整流器用乾式変圧器

市街地の地下鉄用変電設備は地下に設けられることが多い。また市街地の路面電車用変電設備も繁華街近くに設置する必要が起ってくる。最近また保守員のいない自動変電所も設置されつつあるので故障時の事故の拡大は極力避けられるようにしておかなければならない。このような整流器用変圧器としては小形、軽量な不燃性の乾式変圧器が最適である。

当社ではわが国最初の地下鉄、地下変電所用イグナイtron 整流器用変圧器として下記定格の乾式変圧器を製



図 8.12 AVB 形 H 種
絶縁整流器用変圧器
3 ϕ 60 c/s 860/1200 kVA
3.3 kV/564 V
Fig. 8.12 Dry type
rectifier transformer
exterior view.

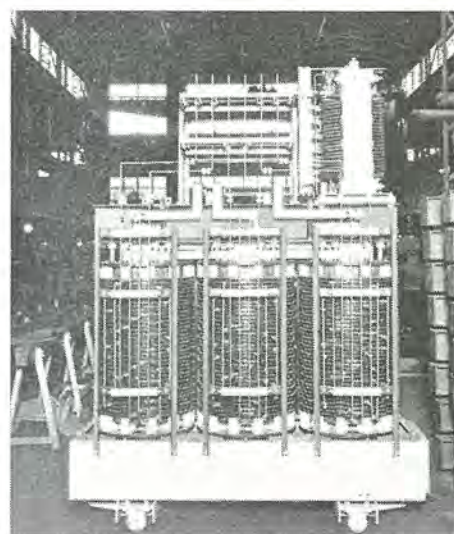


図 8.13 860/1220 kVA 整流器用変圧器中身
Fig. 8.13 Coil and core of dry type rectifier transformer.

作した。

H 種絶縁乾式風冷式内鉄形 重負荷公称定格

3/6 相 60 c/s 860/1220 kVA

一次電圧 3.3—3.15—3.0—2.85 kV 三角結線

二次電圧 564 V 二重星形結線 (相間リアクトル内蔵)

詳細は本誌にも紹介されたことがあるので省略するとして、本文に述べてきている構造上参考になる点のみを記することとする。

整流器用変圧器は短絡、逆弧時に大きな機械力を受けるのが普通であるから、巻線構造としては一次、二次とも円板巻線で、二次巻線は分割配置に考慮が払われている。風冷式であるが、150% 2 時間の過負荷時のみ送風冷却を行い、100% 負荷に対してはそのまま自冷式で運転できるようになっている。このため図 8.12 でわかるように自冷時の冷却空気網窓が外箱の上下に設けられている。本器の冷却風は別室に設けた送風機で床下ダクトを通し変圧器に送られるようになっている。これは変圧器に近接して他にも冷却風を必要とする機器があるので

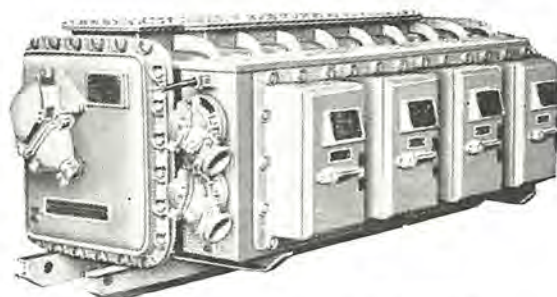


図 8.14 マインパワーセンタ (耐圧防爆形)
3 φ 50/60 c/s 150 kVA 3.15 kV/440—220 V 600 A 225 A
遮断容量 10,000 A 気中遮断器 4 個付

Fig 8.14 Mine power center.

図 8.14 付表 油入変圧器とマインパワーセンタ採用の
ばあいのある炭坑における比較事例

| | 油入変圧器採用の場合 | マインパワーセンタ採用の場合 | 備 考 |
|---------------|------------|----------------|---------------------------------------|
| 変圧器および開閉器類一切* | 100% | 230% | このばあいのマインパワーセンタは乾式変圧器と集団切開閉器とよりになっている |
| 操作用キャブタイヤケーブル | 69% | 23% | |
| 高低圧用主要回路ケーブル | 370% | 150% | |
| 所 用 費 用 合 計 | 539% | 403% | |

注 以上のほか、電気室の作成費、架線費、移設費などの設備費用がマインパワーセンタの場合小さくなるがこの比較は除外している。
* 印を 100 としたときの割合を示す。

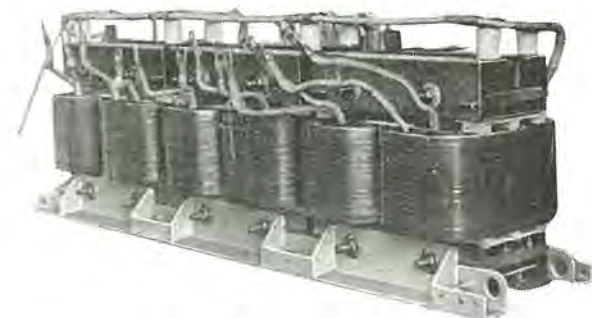


図 8.15 AS 形 H 種絶縁乾式変圧器
150 kVA マインパワーセンタ中身

Fig 8.15 Coil and core of mine power center.

H 種絶縁乾式変圧器・荻野・神谷

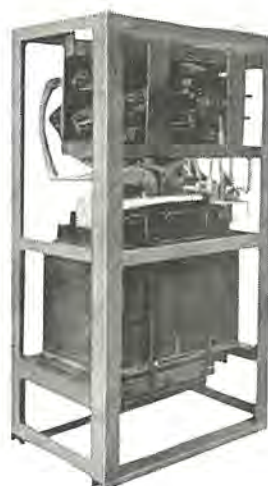


図 8.16 AV 形溶接機電流調整用
H 種絶縁乾式変圧器 1 φ 60 c/s
400 V/調整電圧

Fig. 8.16 Class H insulation self-cooled shell form dry type transformer.

図 8.17
AV 形 H 種
絶縁乾式変圧器移動枠付
3 φ 60 c/s
6.6—3.3kV/210—105V
Fig. 8.17 Class H insulation self-cooled transformer.



取まとめて送風機が設けられたのである。このため 8.1 で述べた送風機を内蔵する変圧器キュービクルに比べ変圧器据付寸法は非常に小さくなっている。自冷時のため外箱上部に網窓を設けたので 8.1 で述べたのと逆に外気をエアダクトを通して受け、変圧器を冷却した後上部網窓より室内に排出している。室内の空気は天井部より換気扇で室外に排出されている。

この変圧器は遮断器キュービクル、整流器キュービクルと同一体裁のキュービクルに収納し、側面よりの点検の便を考え各キュービクルの間隔を若干離して一列に配列されている。各キュービクル間は短いブスダクトで接続されている。床面積も少なく、保守に便利なしかもはなはだ美麗な変電設備となっている。

8.4 坑内用乾式変圧器

乾式変圧器と開閉器群を一体にしたマインパワーセンタは坑内の合理化促進に必要欠くべからざるものとしての認識が高まり需要は急速に伸びてきた。また開閉器をつけない耐圧防爆形変圧器も要求されている。当社では 50~200 kVA のこれら耐圧防爆形変圧器をすでに百余台製作各鉱山でご使用願っている。

現在三相 50/60 c/s 100 kVA, 150 kVA, 200 kVA, 3.45—2.85 kV/440—220 V を標準として製作している。坑内での運搬に便利な構造とするため単相変圧器 3 台を直線に並べ △—△ 接続したもので、巾と高さが小さく台車上に据付けて運搬できる形態としている。図 8.14,

表 9.1 H 種絶縁乾式変圧器製作実績

| 納入先 | 容量 (kVA) | 相数 | 周波数 (c/s) | 電 圧 | 台数 | 製作年 | 備 考 |
|------------------|-------------|-------|--------------|--------------------|----|------|--------------------|
| 阪 電 電 鉄 | 2,000 | 3 | 60 | 22kV/3.3kV | 3 | 昭 32 | 風冷式 |
| 電 発 (田子倉) | 2,000 | 3 | 50 | 13kV/3.3kV ±10% | 2 | 製作中 | 風冷式 負荷時切 替器付 |
| 鉄 道 会 館 | 1,500 | 3 | 50 | 22kV/3.3kV | 2 | 昭 29 | 風冷式 |
| 関西電力(大阪) | 1,500 | 3 | 60 | 3.3kV/480 | 2 | 製作中 | |
| 東北電力(八戸) | 1,200 | 3 | 50 | 3.3kV/480 | 1 | 昭 32 | |
| 名古屋市交通局 | 860/1,220 | 3/6 | 60 | 3.3kV/560 | 2 | 昭 31 | 風冷式 整流器用 |
| 産 経 ビ ル | 1,000 | 1 | 50 | 22kV/3.3kV | 3 | 昭 29 | 風冷式 |
| 東北電力(八戸) | 1,000 | 3 | 50 | 3.3kV/210 | 4 | 昭 32 | |
| 関西電力(大阪) | 1,000 | 3 | 60 | 3.3kV/480 | 4 | 昭 32 | |
| 九州電力(福岡) | 1,000 | 3 | 60 | 3.3kV/480 | 3 | 製作中 | |
| 大 和 証 券 | 750 | 3 | 50 | 22kV/3.3kV | 2 | 昭 31 | 風冷式 |
| 中 国 電 力 (新宇部) | 750 | 3 | 60 | 3.3kV/480 | 2 | 昭 32 | |
| 中 国 電 力 (新宇部) | 750 | 3 | 60 | 3.3kV/480 | 1 | 製作中 | |
| 国際観光会館 | 600 | 1 | 50 | 22kV/3.3kV | 3 | 昭 29 | 風冷式 |
| 住 友 共 電 | 600 | 3 | 60 | 3.3kV/240 | 3 | 製作中 | |
| 近 江 朝 糸 (加古川) | 500 | 3 | 60 | 3.3kV/220 | 3 | 昭 30 | |
| 国 鉄 (川崎) | 500 | 3 | 50 | 3.3kV/210 | 3 | 昭 32 | |
| 中国電力 (新宇部) | 500 | 3 | 60 | 3.3kV/240 | 2 | 昭 32 | |
| 東京都交通局 | 500 | 3 | 50 | 11kV/3.3kV | 2 | 昭 32 | |
| 東北電力(八戸) | 500 | 3 | 50 | 200/210 | 4 | 昭 32 | |
| 日 清 紡 (徳島) | 500 | 3 | 60 | 3.3kV/500 | 8 | 昭 32 | |
| 九州電力(福岡) | 500 | 3 | 60 | 3.3kV/240 | 3 | 製作中 | |
| 中国電力 (新宇部) | 500 | 3 | 60 | 3.3kV/240 | 1 | 製作中 | |
| 東 洋 工 業 | 400 | 1 | 50/60 | 440/溶接電圧 | 2 | 昭 29 | |
| 電発(秋葉第二) | 400 | 3 | 50/60 | 3.3kV/420-210 | 2 | 昭 32 | |
| 住 友 共 電 | 400 | 3 | 60 | 3.3kV/240 | 1 | 製作中 | |
| 電 発 (田子倉) | 400 | 3 | 50 | 3.3kV/420-210 | 8 | 製作中 | |
| そ の 他 | 300 kVA 以上 | 11 台 | | | | | |
| | 200 kVA 以上 | 15 台 | | | | | |
| | 150 kVA 以上 | 124 台 | | | | | |
| | 100 kVA 以上 | 37 台 | | | | | |
| | 100 kVA 以下 | 146 台 | | | | | |

図 8.15 はその外観および変圧器本体のみの構造を示す。

三相三脚形の 30 kVA, 50 kVA の防爆形変圧器も製作を始めた。

8.5 そ の 他

その他特長のある構造としては、図 8.16 に示す溶接

機用外鉄形構造、図 8.17 に示すキュービクルに収納する制御電源用変圧器などがある。この制御電源用変圧器はキュービクルに収納されるので外箱は持たないが、簡単に引出しできるような車輪のある保護枠で囲んでいる。

9. む す び

以上 H 種絶縁乾式変圧器の一般事項とともに当社の製作例について大要を記した。思えば昭和 29 年製作開始以来、まったくの新機種製品であるにもかかわらず、幸いご需要家のご理解を得て年々飛躍的に製作台数の増したことは、製作関係者として誠に喜びにたえないところである。表 9.1 に製作実績を掲げて、進んで新規製品を採用下され有益なご指示、ご批判を賜った各位に深く感謝する次第である。

H 種絶縁乾式変圧器はきわめてすぐれた幾多の特長を有するにもかかわらず、油入式より相当割高なため採用願えない場合がしばしばあるのは誠に残念なことである。製作関係者としてさらに設計、工作、材料に価格を引き下げうるよう研究を続けることを期している次第である。

量産に移っている米国においては、油入と十分競争しうる価格となっている。わが国においてもさらに需要の一般化とともに価格が安くなるものと期待できるが、製品の単一化は価格を下げる有効な手段であると考える。従来とかく日本人本来の趣味感覚から規格品や既製品では満足せず、自己の好みによる個別需要が多く、製造業者もこの傾向に同調して製品を必要以上に複雑化してきたように思われる。とくに乾式変圧器は新機種で規格上判然としない点が多く、ご需要者、製造業者ともども迷惑に感じて来た点が多々あった。ご需要家各位のいっそうのご理解を得て、製品の単一化を進め価格の低減と品質の安定向上に努めたいと思っている。

最後に当社 H 種絶縁乾式変圧器誕生以来、短期間にかくも日ざましく発展し、本稿を発表するに至ったのは設計、材料の改善、工作法の改良、その他に尽力をいただいた関係各位のご協力によるものであり、謝意を表するとともに、さらに今後のご援助をお願いする。

極光分光器自動露出装置

研 究 所 八 島 英 之*・安 東 滋**・村 西 有 三**

Unit of Aurora Spectrograph for Automatic Exposure

Engineering Laboratory Hideyuki YASHIMA・Shigeru ANDO・Yuzo MURANISHI

On the occasion of the International Geophysical year a unit for automatic exposure to be used with spectrograph for observing aurora has been completed by Mitsubishi. The principal design of the unit has been directed by the Aurora and Airglow Committee of I.S.R.U. and apparatus are to be manufactured in various countries partipating in the project. The Japan Optical Industry Co. has taken up the job with a cooperation of Mitsubishi which has manufactured all the necessary electric components. This spectrograph is assigned a work to keep taking pictures on as long as the aurora is in sight through perfect automatic observation extending over to the extent of two months. In design of the apparatus stress is emphasized on the sensitivity of light with the automatic exposure device which is possessed of a number of vital features.

1. ま え が き

国際地球観測年における極光観測用分光器の自動露出装置を開発完成したのでその詳細について報告する。

主要部の設計は The Aurora and Airglow Committee (I.S.R.U.) で作られ、同じような規格のものを各国とも製作して地球観測年に用いることが勧告され、日本においては日本光学工業株式会社が製作を担当し、そのうち電気部分一切を当社で完成納入した。

この分光器は明るいカメラで極光の分光写真を撮影し主として極光中の各輝線の強度変化を統計的に観察することを目的とするものである。したがって、極光の出現しているかぎり、できるだけ多くの分光写真をつぎつぎと自動的に撮影する。必要ならば、1~2ヵ月程度の完全自動無人観測も可能である。

本器の性能上にとくに問題となる点は、極光強度を絶えず監視し、入射光量を積算計数して分光器に一定の露光量を与える自動露出装置の感度いかにあるが、極光の主要スペクトル線 $5,577 \text{ \AA}$ の光子毎秒 10,000 個程度に相当する微弱な入射光に対しても十分計数可能で、南極の極光よりきわめて微弱な国内の夜光の観測にも実用されて成功を収めた。

2. 極 光 分 光 器

極光観測は全天カメラによる毎分の撮影と、極光分光器による地磁気子午線に沿った南北 180 度の天空の露出時間の許すかぎり多数の分光撮影より成る。極光現象に

とってはこのような帯状の天空がもっとも重要であるから、その部分の分光写真と全天写真との組合せにより統計的な資料を作成する。

極光分光器の光学系について述べると、本体頭部にある魚眼レンズによって 180 度の帯状の天空の光をスリット ($0.36 \times 30 \text{ mm}$) に導き、コリメーターレンズを通して透過グレーチングに当てる。カメラは $f: 49.2$, $F10.65$ ソリッド・シュミットカメラを用いている。得られるスペクトルは分散度 330 \AA/mm であり、スリットの像の長さ 2.5 mm の間に 180 度の空の強度がうつるようになっている。



図 2.1 極光分光器
Fig. 2.1 Aurora spectrograph.

極光は強度がいちじるしく変化するので、主要スペクトル線 $5,577 \text{ \AA}$ に対する露光量を一定にするように、自動露出装置によってシャッタの開閉を行う。すなわち分光器スリットに落ちると同じ部分の空間からの光を円錐反射鏡によって $5,577 \pm 35 \text{ \AA}$ 干渉フィルタを備えたフォトメーターヘッドの光電子増倍管に入射し、増巾器によって増巾し、積算回路によって光度に比例した計数率(毎分パルス数)のパルスとし、パルス数が 1,000 に達したときシャッタ

を閉じ、データの撮影を行う。分光撮影とデータ撮影は 16 mm コダック 103 a-F フィルムを使用する。16 mm フィルムの 4 駒が 1 組の資料となり、1 番目に分光写真、2 番目に撮影時刻、撮影番号、積算パルス数の三者を表わす 3 個のカウント指示面、3 番目にフィルム感光校正を目的とする階段光楔子透過光の分光写真をそれぞれ撮影し、4 番目は予備のための空白とする。以上の撮影が終ればただちにフィルムを巻上げて分光器シャッタを開き、つぎの露光および積算を開始する。また昼間は装置を休止させ、夜間作動させるためにタイムスイッチを用いている。さらに月が出た場合はその明るさが分光撮影を不可能にするから、一時撮影を中止する装置も付けることができる。この間、シャッタの開閉、フィルムの巻上げなどはすべて電気的パルスによって動作するロータリー・ソレノイドによって自動的に行われ、観測中はまったく人手を必要としない。

3. 自動露出装置

自動電圧調整器、電源および制御部、フォトメーターヘッド、増巾器、専用試験器の各部からなり、別にロータリーソレノイドも完成納入した。

自動電圧調整器は磁気増巾器形で、発電機からの入力変動 100 ± 15 V、 50 ± 2 c/s に対して出力の実効値を 100 ± 1 V 以内に調整するものである。電源および制御部は増巾器、各照明燈、ロータリーソレノイドなどの電源の供給およびリレー回路による分光器各部の制御を行う。フォトメーターヘッドは $5,577 \text{ \AA}$ 干渉フィルタ、光電子増倍管、前段増巾器から成る。フォトメーターヘッドへの入射光は迷光の影響を消し、増巾を容易にするため 375 c/s で断続される。したがって増巾器は 375 c/s 同調増



図 3.1 右から増巾器、電源および制御部、専用試験器
Fig. 3.1 Amplifier power source and control section (from right to left) testing equipment for exclusive use.

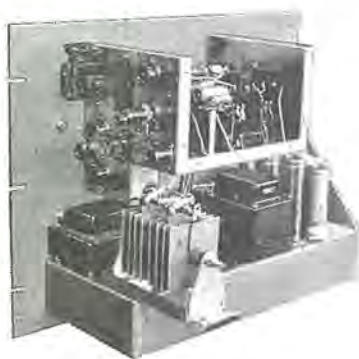


図 3.2 電源および制御部裏面
Fig. 3.2 Rear view of power source and control section.

巾器を使用し、これに積算回路を付属させたものである。専用試験器は各部の電圧点検用電圧計と計数率校正用カウンタより成る。以下各部について詳細に説明する。

4. 電源および制御部

自動露出装置制御部はその機能としてつぎの動作を行う。

1. 極光スペクトルの自動撮影および手動撮影
2. 自動露出中に月、太陽、その他極光以外の光が出た場合の手動中断（ムーンエリミネータを併用すれば自動中断）
3. 起動時データの自動撮影
4. 停止時データの自動撮影
5. 任意のときに自動露光を終了せしめデータ・レコーディング・サイクル（以下 D.R.C. と略称する。2 駒目のデータ撮影から 4 駒目を終りつぎの分光写真撮影用フィルムが所定の位置にくるまでをいう。）を始動させること
6. 任意のときに D.R.C. を始動させること、
7. 極光スペクトルデータおよび光楔子写真を撮影せずにフィルム巻取り
8. マスタークロック使用による夜の始まり、夜の終りの自動起動および停止

4.1 自動露出装置用電源および制御部はつぎの各部よりなっている

(1) 直流電源回路

700 mA 負荷で出力電圧は 30 V

(2) 熱遅延リレー（以下 T.D.R. と略す）

起動時、増巾器の真空管のヒータが加熱されて後、制御部へ直流を送り、また停止の際最後の D.R.C. が終了して後、直流を切る作用を行う。

(3) 光楔子照明燈、データ照明燈

(4) 各種スイッチ

交流主電源の開閉、直流電源の開閉（夜の始めの起動終りの停止）、ムーンエリミネータ操作（任意のときおよびムーンエリミネータ動作時の露光中断）、露光の自動、手動切替、フィルム交換、任意のときの露光終了および D.R.C. 始動押しボタンスイッチ（Single Cycle）などを有している。

(5) 各種リレー

起動および停止時の D.R.C. 始動、手動露光終了時の D.R.C. 始動、ムーンエリミネータにより極光以外の強い光が出た場合の露光中断、および自動露光終了時の D.R.C. の始動などの作用を行わせる各種リレー系を有している。

(6) 露出駒数計

(7) 標示燈

交流電源、直流電源、手動露光、カメラモータの回転を標示。

4.2 動作方式はつぎのとおりである

(1) 起動

正規の起動は夜が始まるとともに行われ、増巾器、チョッパーモータに交流 100 V を供給し、かつ T. D. R. のヒータを加熱する。やがて T. D. R. が閉じて直流回路に 30 V が与えられ、極光スペクトル撮影前の最初の D. R. C. を行う。もし空が明るければその間は MOON-EILM. スイッチにより、露光および計数を行わないようにすることができる。

(2) 停止順序

朝になり空が明るくなると、増巾器、チョッパーモータ、および T. D. R. のヒータ電源を切り、同時にリレー接点を閉じ、最後の D. R. C. を行う。D. R. C. 終了後しばらくすると T. D. R. が開くので直流は切れ、D. C. POWER 標示灯は消える。

(3) データレコーディングサイクル (D. R. C.)

D. R. C. が行われるのはつぎの 6 条件の場合である。

1. 起動時、T. D. R. が閉じて回路に始めて直流が生じたとき
2. フォトン・カウンタが 1,000 に達して、内蔵接点を閉じたとき
3. 夜が終り、D. C. Power スイッチを Manual にしたとき
4. Single Cycle 押しボタンスイッチを押したとき
5. Film-lead-in Switch を off にしたとき (このときはロータリーソレノイドには連続的に直流が加わる。)
6. 手動露光が終って Manual Exposure Switch を off にしたとき、D. R. C. の動作はつぎのような順序で行われる。直流パルスでロータリーソレノイドを働かせ、マイクロスイッチ操作カム、ロッキングレバーを引外し、マイクロスイッチを操作し、スカイシャッタを閉じ、また、フォトンカウンタ回路も断ちカウントを中止する。同時に別のマイクロスイッチにより、カメラモータが回転し、光楔子照明灯、データ照明灯、カメラモータ標示灯が点灯する。フィルムが動いて最初に引留められたとき、データシャッタを開き、データを撮影する。1 秒後 2 回目のフィルムが停止すると光楔子シャッタを開き光楔子

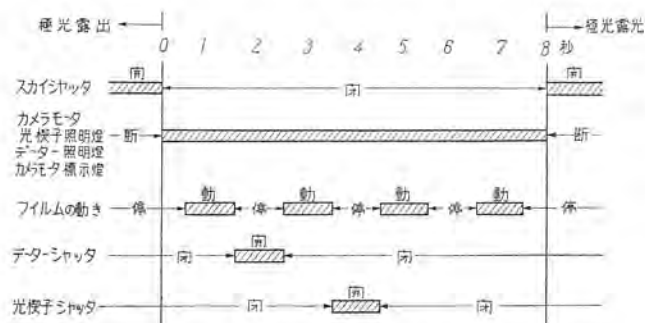


図 4.1 データレコーディングサイクル

Fig. 4.1 Data recording cycle.

極光分光器自動露出装置・八島・安東・村西

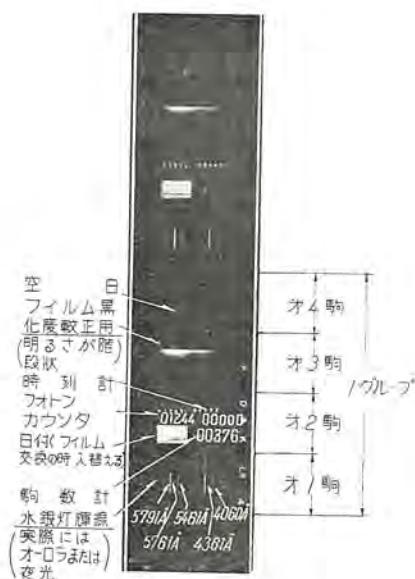


図 4.2 測定の一例

Fig. 4.2 Example of measurement.

写真を撮影する。同時にパネル面とデータ記録部について露光駒数計を一つ進め、つぎのフォトンカウンタに備え、リセットコイルでフォトンカウンタを零にする。第3回目のフィルム停止のときはなんら撮影を行わずつぎの駒が送り込まれる。これらの D. R. C. が終ると、カメラモータは停止し、各ランプは消えスカイシャッタを開き、露光計数を開始する。

(4) 自動露光

フォトンカウンタが 1,000 に達すると内蔵接点を閉じ、リレーを働かす。リレー接点が閉じてロータリーソレノイドを働かすと各マイクロスイッチを働かし自動露光を終了せしめ D. R. C. を行う。D. R. C. が終了するとただちにつぎの自動露光にはいる。フォトンカウンタの内蔵接点は電流容量が小さいため中継リレーを挿入し、また内蔵接点の接触時間が短いためにリレーに並列に、コンデンサ 50 μ f (50 V) を挿入してリレー接点の接触時間を長くした。

(5) 手動露光

Single Cycle 押しボタンスイッチを押すと D. R. C. を始める。カメラモータ回転標示灯が消えてから、Manual Exposure Switch を on にすると、スカイシャッタは開き、フォトンカウンタはカウントを開始し手動露光が開始される。手動露光が自動露光と異なる点はフォトンカウンタが 1,000 に達しても、リセットせずにいつまでもカウントを続けることである。

(6) フィルム交換

Film-lead-in Switch を off にすると、カメラモータを連続回転させフィルムを巻きとる。このときデータシャッタ回路を開き、データ撮影を行わない。また、光楔

予シャッタ回路を開き光楔子撮影は行わない、すなわちなんらの撮影も行わずフィルムは巻き取られる、この間スカイシャッタは開かず、かつフォトンカウントは行わない、この動作は D.C. Power Switch に無関係にいつでも行わせうる。

5. 増巾器、フォトメーターヘッド、専用試験器

フォトメータ光学系によって集められたオーロラ光は干渉フィルタで、5,577 Å 付近だけ透過し、チョップパによって 375 c/s に断続され、フォトメーターヘッドに入射する。この部分はオーロラ光を受ける光電子増倍管と前段増巾器より成り、断続して入射する光の信号を 375 c/s の交流信号に変えて増巾器に送る。

増巾器は 375 c/s に同調した選択増巾回路、整流回路、積算回路の三つよりなり、375 c/s の信号だけが増巾され、整流されて、入射するオーロラ光の強さに比例した直流出力電圧として積算回路に加えられる。積算回路ではこの直流信号で積分コンデンサを充電し、一定値に達するごとに放電して分光器本体のフォトンカウンタにパルスを送る。

以上が増巾器の動作の概略であるが、ほかに専用試験器があり、増巾器および電源の調整、故障の発見に使用する。

増巾器およびフォトメーターヘッドの仕様はおおよそつぎのようなものである。

| | |
|------------|-----------------------|
| 電源電圧 | 100 V |
| 周波数 | 50 c/s |
| 消費電力 | 約 60 W |
| B 電圧 | 255 V |
| 光電子増倍管用高電圧 | 800~1200 V 可変 |
| 電圧増巾度 | |
| フォトメーターヘッド | 33 db (最大) |
| 増巾器 | 50 db (最大) |
| 選択増巾回路半値巾 | 375 c/s を中心として 80 c/s |
| 計数率 最大 | 200 count/min |
| 最小 | 0.2 count/min |
| | (この範囲で直線性 ±5%) |

増巾器寸法重量

440 mm (巾) × 220 mm (高) × 250 mm (奥行), 12.8 kg

5.1 フォトメーターヘッド (図 5.1)

光電子増倍管の光電流を三極管増巾器で一段増巾し、カソードフォロワで出力インピーダンスを低くして増巾器へ送る。図 5.1 の回路の電圧増巾度は 375 c/s に対して約 33 db である。

5.2 選択増巾回路および電流回路 (図 5.2)

選択増巾回路の周波数特性は図の R_K の値および Twin T 回路の常数值によって定まる。

R_K の値を小さくすると電圧増巾度が上り、半値巾が小さくなる。図 5.2 の回路で $R_K=2.5 \text{ k}\Omega$ 程度にすると半値巾は 10 c/s 程度の鋭い同調が得られるが、不安定で発振しやすく、また実際にはチョップパによる断続周波数が変動することもあるのでここでは不適当である。この装置では $R_K=4 \text{ k}\Omega$ にえらび、半値巾約 80 c/s 程度として使用する。(図 5.3)

中心周波数 f と Twin-T 回路の常数值 C, R との間には次式の関係がある。

$$f = \frac{1}{2\pi RC}$$

この場合、値の等しい二つのコンデンサの容量と二つの抵抗値は ±0.5% の精度で一致させ、2C のコンデンサの値も同程度に合せてある。その上で可変抵抗を調節して中心周波数を 375 c/s に一致させたものである。

整流管 6AL5 は熱電子の自然放射による電流を抑えるためヒータ電圧 4.5 V で使用するが、それでも入力 0 のときにこの電流による出力電圧約 200 mV 程度はまぬがれない。また入力対出力の関係が直線性を保つために整流回路の直流出力電圧は 0~60 V の範囲で使用する。

図 5.2 の回路で $R_0=1 \text{ M}\Omega$ の場合、フォトメーターヘッドからの入力電圧 (375 c/s) と直流出力電圧の比は

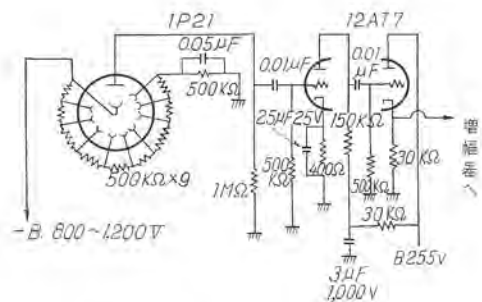


図 5.1 フォトメーターヘッド
Fig. 5.1 Photometer head.

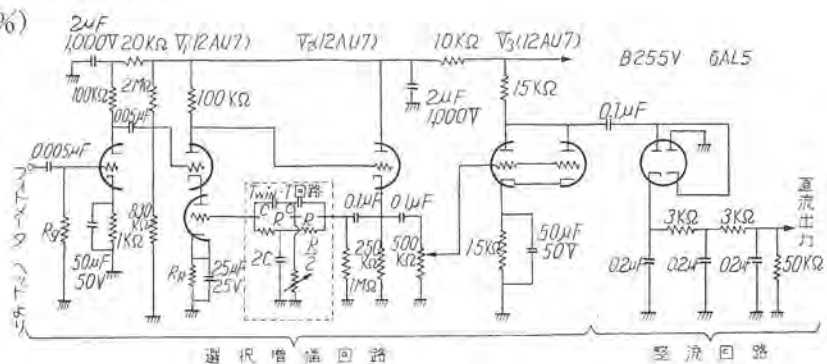


図 5.2 選択増巾回路および整流回路

Fig. 5.2 Selective amplifier and rectifying circuit.

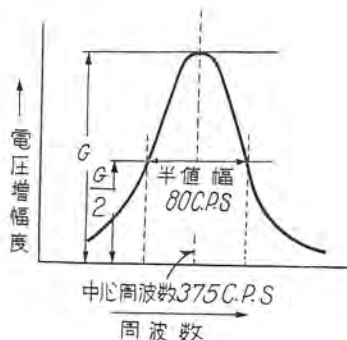


図 5.3 選択増巾回路の特性
Fig. 5.3 Characteristic of selective amplifying circuit.

約 50 db に達する。

5.3 積算回路 (図 5.4)

いま、整流回路からの直流出力電圧 E_d が抵抗 R の一端に加えられたとすると、 V_4 のグリッド電圧 E_g はその時定数 $\tau = R_1 \cdot C_1$ に応じ $\tau = 0$ から $E_d (1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$ により増大する。(図 5.5) この電圧を V_4 により一段増巾して電圧 E_R を 6J6 グリッドに加える。 C_1 が充電されると V_4 のグリッドバイアス E_g は上り、プレート電圧は下る。したがって、6J6 のグリッドバイアス E_R は低くなる。

図 5.4 右半分はいわゆる Schmitt のトリガ回路で、 E_R が E_{R0} より低くなるとトリガされてテレフォンリレーに電流が流れ、接点が閉じて C_1 が放電し、ただちに E_g が 0 となり、 E_R を E_{R0} より大きくしてリレーの電流を断つ。 $E_R = E_{R0}$ になったとき、 $E_g = E_0$ であるとすれば、 E_g は E_0 より大きくなることはなく、図 5.5 点線のように鋸歯的变化をくり返し、その 1 回ごとにテ

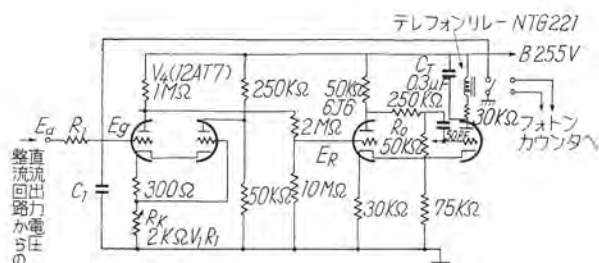


図 5.4 積算回路
Fig. 5.4 Integration circuit.

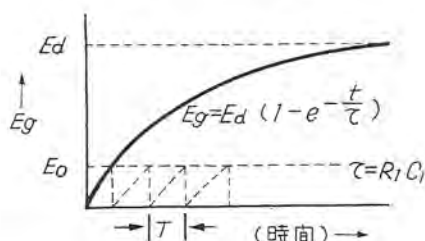


図 5.5 積算回路の入力電圧
Fig. 5.5 Input voltage of integrating circuit.

フォンリレーは一つのパルスをフォトンカウンタに送る。整流回路からの直流電圧が E_d のときに、上記の鋸歯的变化の周期を T とすると、

$$T = \frac{E_0}{E_d} \tau \quad \left(\text{ただし } \frac{E_0}{E_d} \ll 1, \tau = R_1 C_1 \right) \dots (1)$$

1 分間のカウント数すなわち計数率を N とすると、

$$N = \frac{60}{T} = k E_d \quad \left(\text{ただし } k = \frac{60}{E_0 \tau} \right) \dots (2)$$

したがって一定時間内のカウント数は、その間にはいったオーロラ 5,577 Å 光のエネルギーに比例する。しかし、式 (1) は近似式であって $E_d = 3 E_0$ の場合 16.5%, $E_d = 5 E_0$ の場合 10% の誤差を含み、光のエネルギーを実際より上の割合だけ低く評価することはまぬがれない。 E_d の最大値すなわち 60 V の 1% をおおよそ $\pm 10\%$ の精度で正確に積分するために、 $E_0 = 0.2$ V 近くで使用することが望ましい。 E_d に伴われる雑音電圧は整流管の熱電子の自然放射による電圧を含めて大体同程度であるから、 E_0 をそれ以下に下げるとは、積算回路を不安定にすることからも不必要である。

図 5.4 の V_4 の直流増巾回路の構成はヒータ電圧の変動などに起因するプレート電圧のドリフトを自動的に補償する回路で、 $R_k = \frac{1}{g_m}$ (ただし g_m は 12 AT 7 の右半分の相互コンダクタンス) のように調節してあればヒータ電圧が 1~2 V 程度変化してもプレート電圧変動は 0.1 V 以内にすることができる。また、 V_4 はグリッド電流を小さくするために、ヒータ電圧 4 V、プレート負荷抵抗 1 MΩ に選んである。 V_4 は市販の 12 AT 7 約 10 本から 1 本の割合で、この使用状態でグリッド電流 10^{-10} A 以下のものを選び使用している。グリッド電流の測定にはいわゆる浮動法により、この回路をそのまま使用して測定できる。

テレフォンリレーと並列のコンデンサ C_T は、テレフォンリレー接点の閉じている時間を長くするもので、これがないとパルス巾が短くフォトンカウンタが動作しな

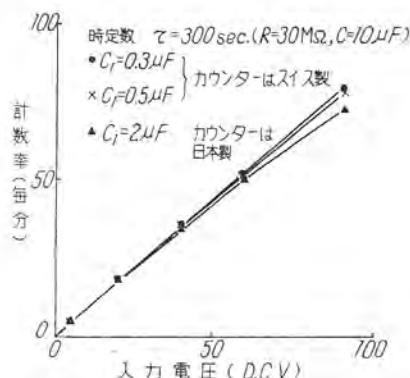


図 5.6 積算回路入力電圧 (D. C. V.) 対計数率 (毎分)

Fig. 5.6 Input voltage vs. counting rate of integrating circuit.

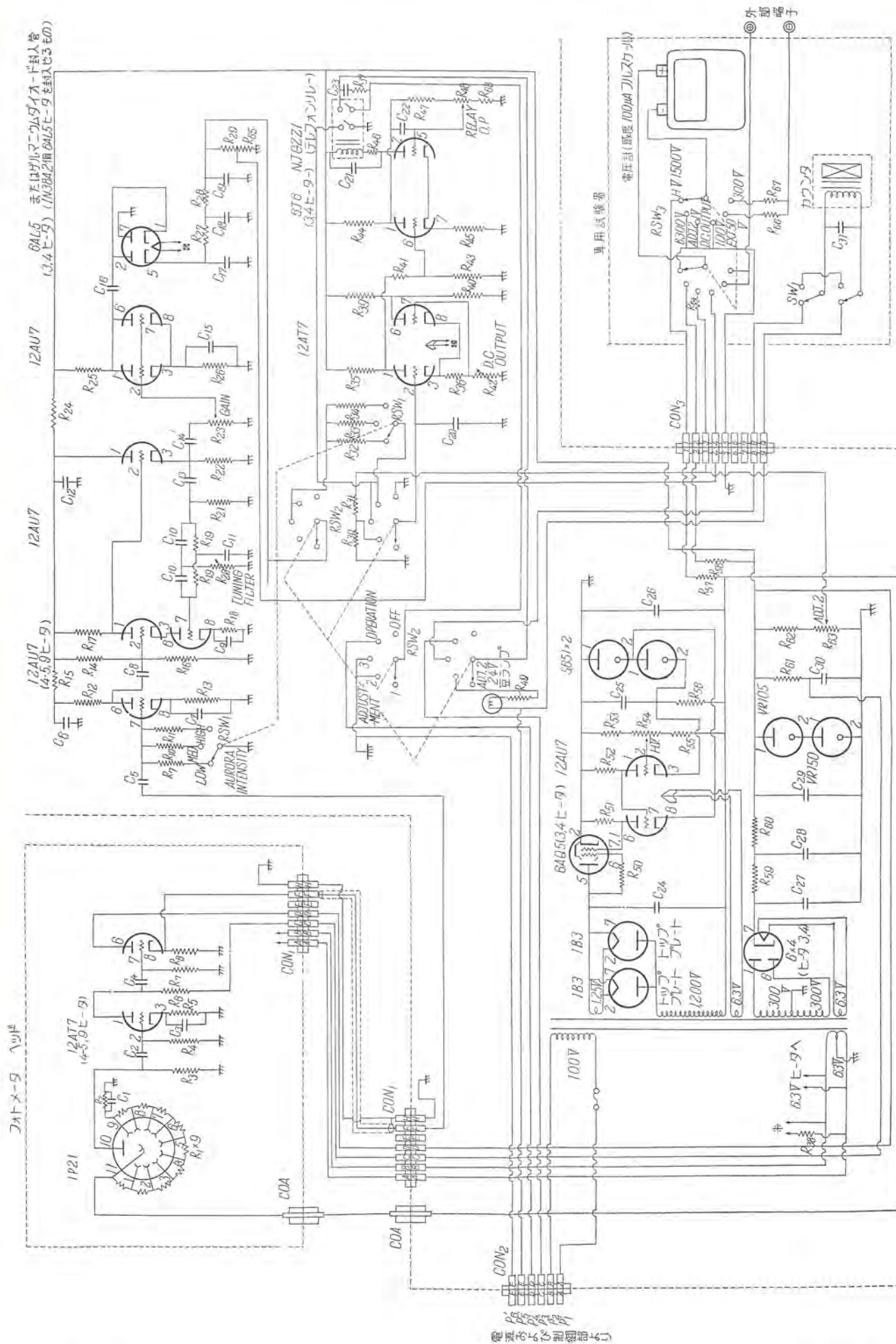


図 5.7 増幅器、フォトメータヘッド専用試験器の回路図
Fig. 5.7 Circuit diagram of amplifier, photometer head, exclusive testing circuit.

いが、あまり大きくすると計数率が大きいほど直線性が悪くなる。(図 5.6) 実験の結果, Sodeco T Ce 25 E 形カウンタに対しては $C_T=0.2 \sim 0.3 \mu F$ が適当である。

また、コンデンサ C_1 は漏洩、分極の少ないスチコンを使用した。

いま、 $R_1=30 M\Omega$, $C_1=10 \mu F$, $E_0=60 V$ とすると式 (1), (2) から計算して $N=60 \text{ count/min}$ をうる。この値はよく実験と一致する。

5.4 オーロラ強度に対する切替スイッチ

オーロラ光の強さに対する測定範囲を大きくするために、図 5.2 の回路の抵抗 R_0 を大, 中, 小, 3 段に切替え、同時に 図 5.4 の回路の抵抗 R もそれに対応して大, 中, 小 3 段に切替え、一定の入射光に対して計数率を一定に保ちながら、測定範囲を変化させる。

5.5 調整および動作の切替スイッチ

このスイッチは Adj. 1, Adj. 2, Operation, Off の 5 段階に分れる。

Adj. 1——整流回路の直流出力は専用試験器の電圧計だけに送られる。このとき V_4 のグリッドは浮動状態にある。

Adj. 2—— V_4 のグリッドに可変抵抗 Adj. 2 によって 0 から 1 V まで変化する電圧を加え、同時にその電圧を専用試験器電圧計で読みとる。そのとき、テレフォンリレーに電流が流れて接点が閉じると Adj. 2 と表示してある豆ランプが点灯する。

Adj. 3——この状態で始めて整流回路の出力が積算回路に送られ、テレフォンリレーが入射光の計数を開始するが、そのパルスはフォトンカウンタには送られず、専用試験器のカウンタに送られる。したがってフォトンカウンタとは無関係に増巾回路の較正、オーロラ光の観測が可能である。

Operation——この状態で完全な動作を行う。すなわち入射オーロラ光の $5,577 \text{ \AA}$ 強度を計算し、パルスをフォトンカウンタに送る。

Off—— V_4 グリッドが接地されて動作が停止する。

5.6 専用試験器

専用試験器はフルスケール $100 \mu A$ の電流計と較正用カウンタよりなる。切替スイッチによって、(1) 光電子増倍管用高圧 (フルスケール $1,500 V$)、(2) B 電圧 (フルスケール $300 V$)、(3) 前述の Adj. 2 における電圧 (フルスケール $1 V$)、(4) 直流出力電圧 (フルスケール $100 V$) をただちに読みとることができ、(5) 外部端子を使用すれば普通の電圧計として $0 \sim 50 V$, $0 \sim 300 V$ の電圧を測定できる。

6. 増巾器、フォトメーターヘッドの実験結果

増巾器の直線性を調べるため、増巾器に 375 c/s 正弦波を入力とし、それに対する計数率を各切替範囲につい

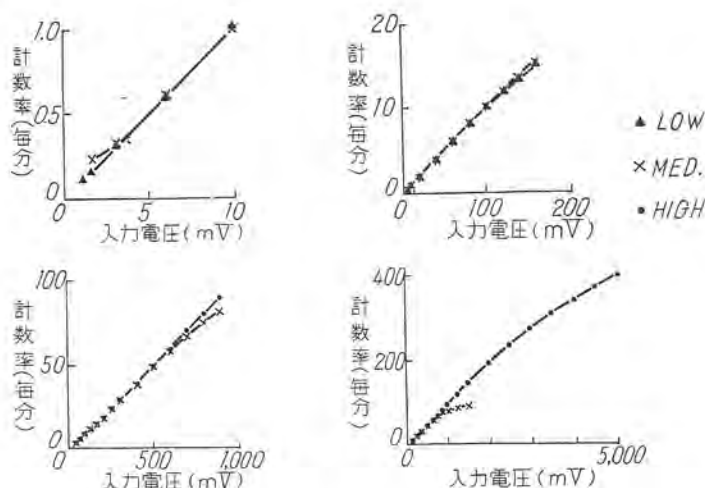


図 6.1 増巾器入力電圧 (375 c/s 実効値) 対計数率 (毎分)

Fig. 6.1 Amplifier input voltage vs. counting factor.

て測定した結果が 図 6.1 である。

完成した自動露出装置をただちにオーロラの下で較正する訳にはゆかないので、図 6.2 のような較正用光源を組立てて実験した。図のように $1/100$ 中性フィルタを使用した場合、光電子増倍管に入射する $5,577 \text{ \AA}$ の光量は 10^7 quanta/sec になるが、フィルタを種々交換することにより入射光量を変え、それに対する計数率を測定した結果を表 6.1 に示した。

この装置はオーロラ観測に先だって、内地における夜光観測にも使用できるように要求されたので、最高感度の限界を確めるため、光電子増倍管としてはもっとも感度の高い 1 P 21 を用い、時定数を短くし、さらに整流管の熱電子による雑音を避けるためゲルマニウムダイオードを使用して、 $5,577 \text{ \AA}$ の光量を 10^4 quanta/sec の桁まで感度をもたせることができる。

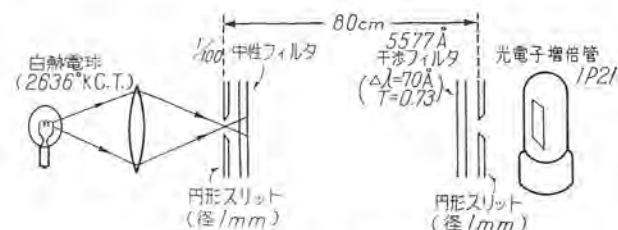


図 6.2 較正用光源 (10^7 quanta/sec)

Fig. 6.2 Light source for calibration. (10^7 quanta/sec)

7. ロータリーソレノイド

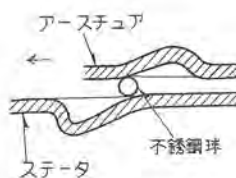
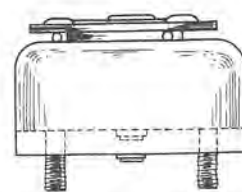
シャッタの開閉、ロッキングレバー操作を電氣的に行わせるのに通常のリレーを用いては、アーマチュアの移動距離、トルクおよび大きさの点において難点があるが、ロータリーソレノイドを用いることにより満足に動作させることができる。

ロータリーソレノイドの原理はつぎのようなものでアーマチュアとステータそれぞれに傾斜溝を設けその間に不銹鋼球を入れて置く。アーマチュアとステータとの間

表 6.1 入射光量対計数率

| 入射光重 ($5,577 \text{ \AA}$ quanta/sec) | 感度時定 数 切 替 | 時 定 数 (sec) | 光電子増 倍管高圧 (DC.V) | 電 流 管 | 計 数 率 (毎分) |
|-------------------------------------------|---------------|----------------|------------------------|----------|---------------|
| 0 | Low | 1,500 | 1,000 | 6 AL 5 | 0.34 |
| 15^3 | " | " | " | " | 0.75 |
| 1.07×10^6 | " | " | " | " | 7.0 |
| 2.0×10^6 | " | " | " | " | 11.5 |
| 5.0×10^6 | " | " | " | " | 26.7 |
| 10^7 | Med. | 300 | " | " | 52.2 |
| 2.5×10^7 | High | 60 | " | " | 122 |
| 6.4×10^7 | High | 60 | " | " | 282 |
| 0 | Low | 27.5 | 750 | " | 0.08以下 |
| 10^7 | " | " | " | " | 8.0 |
| 0 | " | " | 1,000 | 1 N 38 A | 0.25 下 |
| 2×10^4 | " | " | " | " | 5.8 |
| 1×10^5 | " | " | " | " | 22.0 |
| 1×10^6 | " | " | " | " | 167.0 |

に磁氣的吸引力を与えると、縦方向の移動をともしないながらアーマチュアは矢印の方に移動する。この溝のある軸を中心にして配列しておけばアーマチュアは回転する溝の長さとし深さを調節することにより回転角を任意に選ぶことができるがあまり大きくはとれない。回転方向は溝の傾斜方向を変えることにより左右いずれにもなしうる。極光分光器に使用したものはステータの外径 33

図 7.1 溝の断面図
Fig. 7.1 Section of groove.図 7.2 ロータリーソレノイド
Fig. 7.2 Rotary solenoid.

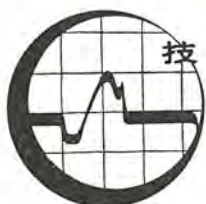
mm, 高さ 15 mm, 電圧 28 V, 電流 400 mA, 起動トルク 200 gr-cm, 終止トルク 1 kg-cm 以上, 回転角 40 度であった。

8. む す び

国際地球観測年における南極の本観測は一時中止のやむなきに到った模様ではなはだ残念であるが、この装置を備えた極光分光器はすでに内地における夜光の観測において十分威力を発揮している。今後南極において活躍する日が来ることを願ってやまない。この装置の完成に際し終始ご指導を賜った東京天文台の古畑博士、日本光学工業株式会社の藤野設計部副長に厚く感謝の意を表したい。

最近における当社の社外講演一覧

| 講演月日 | 主催または開催地 | 演 題 | 講 演 者 | 所 属 |
|-------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------|-----|
| 2月7~9日 | 原子力シンポジウム | 動力炉用密閉電動ポンプ | 横須賀正寿 | 研究所 |
| " | " | 動力炉の動特性 | 真鍋舜治 | " |
| " | " | 原子炉制御装置の試作 | 八島英之 | " |
| " | " | 電子線加速用 Van de Graaff 形加速器 | 篠原健一, 佐伯安男, 今村元, 藤永敦 | " |
| " | " | Van de Graaff 形加速器の電子線エネルギーの測定 | 今村元, 後藤正之, 宮下恭一, 佐伯安男 | " |
| " | " | 粒子加速用イオン電子流切換装置 | 今村元, 藤永敦, 後藤正之, 藤田彪太 | " |
| " | " | 加圧水型原子炉の炉心設計条件の選定 | 小倉成美, 岩城利夫 | " |
| " | " | 熱水路係数に関する考案 | 明石克寛, 下地貞夫 | " |
| " | " | 加圧器の解析 | 長沼辰二郎, 明石克寛 | " |
| " | " | ジルコニウム錫合金の酸化 | 立原芳彦, 秦卓也, 前川立夫 | " |
| " | " | 二酸化ウランペレット試作 | 立原芳彦, 神崎邇, 寺田実 | " |
| " | " | ジルコニウム酸素中高温酸化 | 実博司, 中島陽三 | " |
| 2月10日 | QC 研修会 | QC の進め方 | 前田幸夫 | 本 社 |
| 2月12日 | 北海道釧山保安監督部, 北海道炭鉱技術会 | 炭坑用電磁開閉器の保安と手入 | 平野琢磨 | 福 岡 |
| 2月12, 14, 19, 21日 | 関西能率技師協会 | 作業の標準化, 作業研究 | 奈川敏雄 | 本 社 |
| 2月12, 14日 | 照明学会 | 商店照明について | 佐々木武敏 | " |
| 2月14日 | 阪大工学部 | 騒音中に於ける炭素型マイクロフォンの混変調歪について | 藤木一, 進藤武男 | 無線機 |
| 2月17日 | 日本建鉄船橋工場 | 標準化のために必要な職制 | 松尾準一 | 本 社 |
| 2月24日 | 日本電設工業会 | 高圧水銀灯について | 小椋義正 | 無線機 |
| 2月25日 | ラジオ会館 | RCA カラー TV 受像機 21CS-7815 型について | 武居 明 | " |
| 2月25日 | 規格協会 | 標準数について | 松尾準一 | 本 社 |



発電機と励磁機 (5)

— 発電機の不平衡負荷 —

タービン発電機は単一鍛鋼回転子で回転子溝のありさまを図1に示す。また回転子コイル端部は、回転子本体端部に焼ばめしたリティニングリングで保持される。(図2参照) 回転子歯部、楔部とともに表面に小さな螺旋溝を切り極表面損および負荷損の減少を図ることがある。発電機に単相負荷や不平衡負荷をかけると平衡負荷をかけた場合に比べて、たとえ界磁電流が同一であっても回転子加熱は大きい。これは三相固定子電流に不平衡が起ると固定子に逆相電流が流れ、その結果回転界磁と同一速度で反対方向に回転する回転磁束が回転子を切り2倍周波数の制動電流が図2に示すように流れるからである。ここで制動電流は極中心部、歯部の表面に多く流れるのは磁性鋼に顕著な表皮作用によること、楔、ライナ部を流れた電流はリティニングリングに達するがこの間回転子とリングの接触部を通ること、回転子コイル内を流れる制動電流は非常に小さいことを知らなければならない。すなわち制動電流がいたるところかなりの加熱を生じとくに回転子とリングの接触部で激しい。また線間短絡、一相大地間短絡時にも逆相電流が流れるが、図3に線間短絡時における回転子への入力の一例を示す。なお回転子加熱に関するかぎりもっとも茹酷な故障は線間短絡である。ここで短絡時の逆相電流による回転子加熱を考える。この短時間に対しては回転子表面の温度上昇を P. L. ALGER は次式で与えている。

$$T = (I_2^2 \epsilon q t) \frac{\rho \Delta^2 k^2}{c d^2} \quad (^\circ\text{C})$$

$$\int_0^t I_2^2 dt = I_2^2 \epsilon q t$$

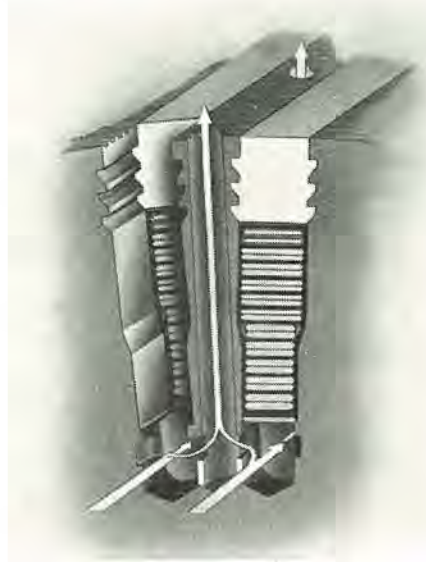


図1 回転子溝

ここで I_2 = 単位法で表わした逆相電流

t = 時間 (s)

$$\Delta = \frac{(1 \text{ 回路あたりの電流}) \times (\text{溝あたりの導体数}) \times \text{溝数} \times K_p K_d}{\pi \times (\text{固定子内径})}$$

K_p = 固定子コイルの短絡係数

K_d = 固定子コイルの分布係数

k = 回転子表面電流と I_2 の比

ρ = 回転子表面電流に対する抵抗

d = 回転子表面電流回路の半径方向深さ

c = 回転子表面の熱容量

タービン発電機の構造がわかり、許容平均温度上昇 T を決めると上式から $(I_2^2 \epsilon q t)$ の値が決まる。したがって短絡条件の相違により $I_2^2 \epsilon q$ がわかるので故障時の許容時間が定義されることになる。(図4参照) タービン発電機では $I_2^2 \epsilon q t = 30$ がなんら回転子に損傷を与えずに安全運転できる範囲で $I_2^2 \epsilon q t = 30 \sim 60$ では相当の損傷をうけるかも知れず $I_2^2 \epsilon q t > 60$ では重大な損傷をうけると考えられる。このため保護継電器を用いて適当な時間内に短絡故障を切り離し発電機を保護する必要がある。過渡時における回転子各部の温度を計算することはむずかしいが実

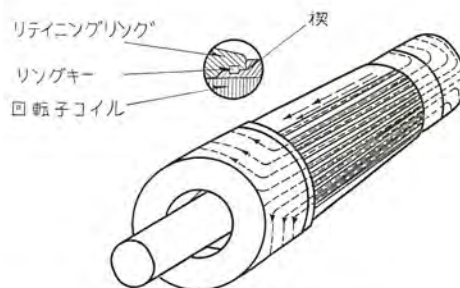


図2 回転子表面の制動電流

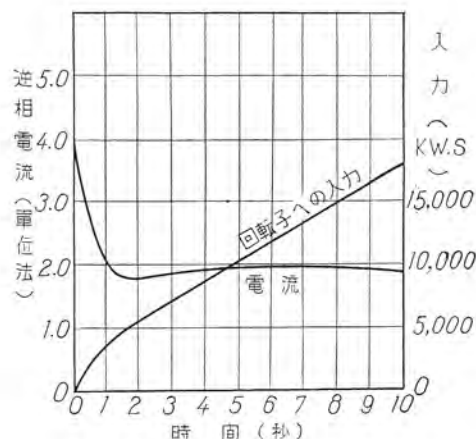


図3 AVR を用いた場合線間短絡時の回転子への熱入力

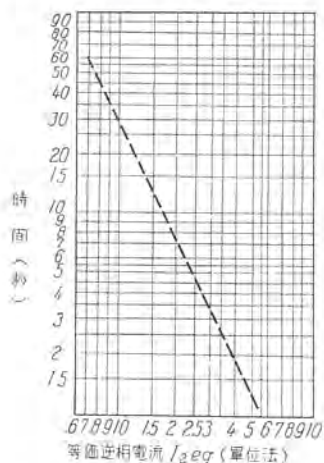
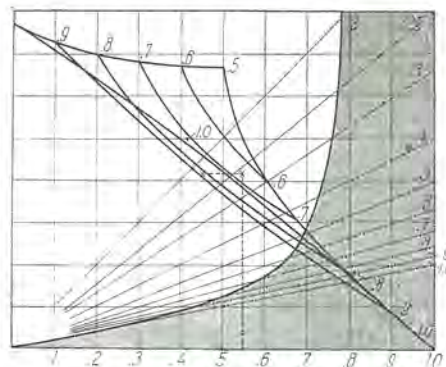


図4 $I_a^2 eg t = 30$ の範囲

験でその値を知ることができる。また前述のように回転子損傷には二つの形があって一つは回転子楔の過熱により楔がなまされて剪断破損を起すこと、いま一つはリティンリングが熱膨張し回転子との焼きばめ部分があまくなってアークのため損傷することである。それゆえ楔材料にはジュラルミンの代りに耐熱特殊材を用いるなり、逆相電流を流すための制動巻線を設けるなど、性能の向上を図った構造を採用するものがある。

発電機がいくらの単相電流を流しうるかというような運転時の不平衡負荷の許容範囲は構造により異なるが、当社では空気冷却機、水素冷却機を問わず線間単相電流は定格電流の20%



例：線電流値を200A, 130A, 110A, 定格電流値を900Aとす
 $K_1 = \frac{110}{200} = 0.55$ $K_2 = \frac{130}{200} = 0.65$ $K_3 = \frac{200}{900} = 0.222$ 点線の
 ように画けばこの不平衡負荷をかけ得る。

図5 不平衡負荷許容限度

まで流しうる。回転子温度を許容値に押えた場合与えられたる不平衡を発電機が出しうるや否やの判定をする目安として図5が役立つ。図において横軸に K_1 = 最小電流値/最大電流値ととりこれらを K_2 = 中間電流値/最大電流値, K_3 = 最大電流値/定格電流値の曲線群と組合せてある。 K_1 値を横軸上にとり図示のように K_1 , K_2 との交点を求める。ついでこの交点よりの水平線が K_3 値と交わる点を求める。この交点が網状範囲にあれば発電機の運転が危険で、網状範囲の左側の範囲にあれば安全運転範囲となる。

(長崎製作所 加賀貞広)

——新刊紹介——

高速度電動機と駆動装置

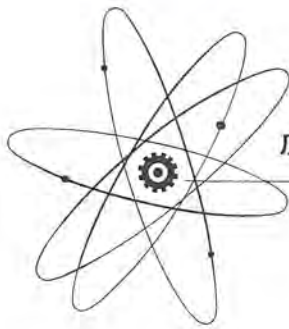
三菱電機伊丹製作所技術部長 松田新市 著

B5判 80 ページ 上製 定価 240 円 ㇔ 30 円

本書は電車、電気機関車、気動車の専門技術雑誌「電気車の科学」(発行所 東京都千代田区丸ノ内3の4 株式会社 電気車研究会)に12回にわたって連載されたものを単行本にまとめたもので、現代電気車界最大のテーマである「高速度電動機と駆動装置」を簡潔に述べたものである。

- (1) 高速度電動機概説
- (2) 電気車の一般特性と減速歯車の関係
- (3) 諸外国における電車電動機の変遷と高速度化の推移
- (4) 日本における高速度電動機の発達
- (5) 高速度電動機
- (6) 駆動装置
- (7) 電車用電動機の標準規程
- (8) 諸外国におけるトロリーバスと高速度電動機

の8章から成っている。



加圧水型原子力発電所について (4) (Yankee 型 134 MW-PWR)

本 社 木村久男*・前沢芳一**・川口 修***・迎 久雄****

第 3 章 立地条件

第 1 節 立地条件概論

最終的な発電所の配置および全地上式あるいは半地下式の建屋、煙突の高さ、蒸気コンテナの構成などの選定は勝手に決めることはできない。これらは発電所の位置、土地の特性、気象条件、地震の問題、冷却水として使用可能な量、電力会社側の要求および地方の条例と密接に関連している。

原子力発電所の用地を選定するときに発電所の用地の特色を発電所の設計に適應させるよりも、発電所の設計を用地の特色に適應させる方が容易である。しかし用地選定にあたって好ましい条件をあげれば次のとおりである。

1. 発電所はその消費市場にできるだけ近いこと。
 2. 発電所は川、湖または海洋に隣接するかあるいはその近傍に存在し水の供給に支障がないこと、水の供給は次の系統からの要求を満たさなければならない。
 - a. タービン復水器および空気調節装置、補助冷却系などの原子炉補助系統の冷却水。
 - b. 発電所研究室および衛生施設の用水。
 - c. 原子炉関係機器の除染用水。
 3. 発電所は一般の居住地域の風下にある方がよい。理想的条件としては発電所から大気に出されるすべてのガスは十分急速に稀釈、分散されるような風があること、放出された大気中の物質を再び地面に降下させるような温度逆転その他の気象条件が実現する確率の小さいこと。
 4. 他の条件をひどく侵さない限り自然の地形上の利点をもっていること、もし発電所を小さい、深い峡谷に設けるならばそれを囲む山は発電所事故の際遮蔽として役立つであろう。しかしこの場合には気象および水理条件がきわめて悪いことが多い。
 5. 発電所の位置はその付近の地下水路がはっきりわかる地域でなければならない。
 6. 蒸気コンテナの配置は局地的条件と費用を考慮して決定される。その実現の確率がほとんど 0 の想定しうる最大のことゆえ
 - a. 炉心の完全な熔融。
 - b. 分裂生成物はすべて蒸気コンテナ内に充満し平衡状態に達する。
- にたいして、蒸気コンテナの配置と立入禁止区域との相関関係の例を次に示す。
- a. 蒸気コンテナを地上につくる場合——ヤンキー発電

所の場合はこの例であるが、この場合はコンテナを中心とする半径 5,000 フィートの地域を発電所が所有しなければならない。半径 1,000 フィートに柵を設ける。

b. 蒸気コンテナを 2/3 地下におく場合——用地半径は 2,500 フィート、柵の半径は 500 フィートである。

c. 蒸気コンテナを完全地下式にし、コンテナ頂部と地面との間に厚さ 6 フィートのコンクリート板を置く場合——用地半径は 250 フィート、柵はコンテナから 50 フィート以内に設けることができる。

以上のような配置を決定するためには地震および経済的条件を考慮しなければならない。選定された用地が固い岩盤の基礎の上にあるときは原子力発電所の原子炉容器は地上におくことが経済的である。他方用地が容易に掘起せる柔らかい岩または土壌の上にあるときは原子炉容器は地下に置くことが経済的である。このときは大地を遮蔽に用いることになり、燃料取扱その建築費も安くなる。

原子力発電所の用地を選定するときその通常の運転条件の下では実際火力発電所とちがう大きな問題はない点注意しておく。

第 2 節 ヤンキー発電所立地条件概要

2.1 位 置

発電所はバーモント州とマサチューセッツ州の境界から約 3 マイル南方にある、ディアフィールド川東岸のマサチューセッツ州ロウにある。これはニューイングランド電力会社のシャーマン水力発電所に隣接している。その位置を図 3.1 に示す。



図 3.1 ヤンキー原子力発電会社とニューイングランド発電会社の所有地の地図

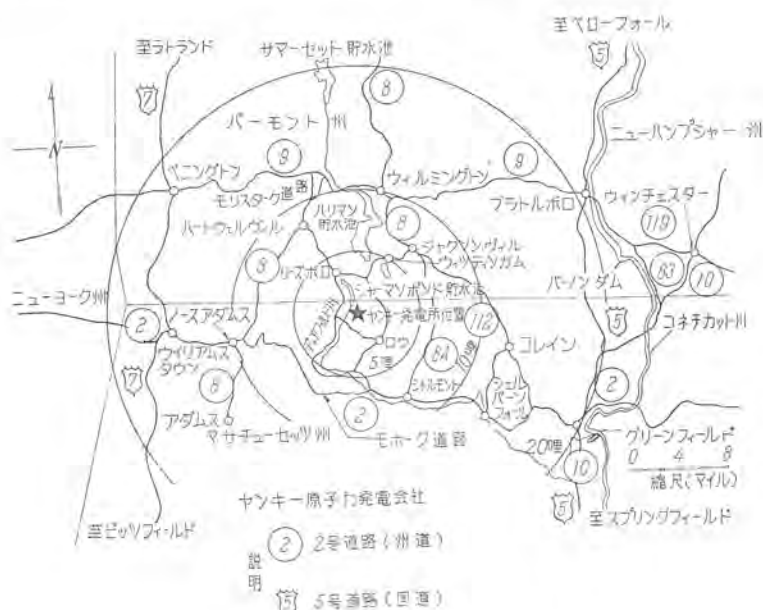


図 3.2 発電所付近の地図

2.2 交通

発電所にはシャーマントを通るマサチューセッツ州の第2号道路とウィルミントンを通るバーモント州の第9号道路とを結ぶ道路から行くことができる。発電所までの距離は第2号道路から13マイル、第9号道路から21マイルである。

フーサクトンネルとウィルミントン鉄道はボストンの幹線およびメーン鉄道とマサチューセッツ州のノースアダムの東方約7.5マイルにあるフーサクトンネルの東側の入口で連絡している。この地点から鉄道はディアフィールド川に沿って北上し、発電所の西方約6.5マイルを通過してリーズボロに達する。この間の距離は約12マイルである。

2.3 人口

発電所からの距離による人口の分布を1950年の国勢調査の資料により表3.1に示す。表にある発電所からの距離は表3.2に示してある。

表 3.1 人口分布

| 発電所からの 距離 (マイル) | 面積 (平方マイル) | 人 | | 人口密度 (人数/平方哩) | |
|-----------------------|---------------|--------------------|----------------------|--------------------|----------------------|
| | | ノースア ダムスを 含む | ノースア ダムスを 含まない | ノースア ダムスを 含む | ノースア ダムスを 含まない |
| 0-1 | 3.14 | | 174 | | 55 |
| 1-5 | 75.6 | | 1,862 | | 25 |
| 0-5 | 78.7 | | 2,036 | | 26 |
| 5-10 | 235 | 26,946 | 6,379 | 115 | 23 |
| 0-10 | 314 | 28,982 | 7,415 | 92 | 24 |
| 10-20 | 946 | | 75,311 | | 80 |
| 0-20 | 1,260 | 104,293 | 82,726 | 88 | 66 |

表 3.2 発電所近傍都市別人口

| 町 | 人口 | 直線距離 (マイル) | 発電所から の方向 |
|-----------------------|--------|---------------|--------------|
| ノースアダマス (マサチューセッツ州) | 21,567 | 9 | 西南西 |
| グリーンフィールド (マサチューセッツ州) | 17,349 | 19 | 南東 |
| ベニングトン (バーモント州) | 12,411 | 17 | 北西 |
| アダマス (マサチューセッツ州) | 12,034 | 12 | 南西 |
| ブラトルボロ (バーモント州) | 11,522 | 20 | 北東 |
| ウィリアムスタウン (マサチューセッツ州) | 6,194 | 13 | 西南西 |

発電所から半径20マイル以内にあり、人口2,500以上の町の発電所からの距離、方向、人口を示せば表3.2のとおりである。

2.4 土地利用

ノースアダマスおよび小さい製材所を除けば発電所の10マイル以内には次の3つの工場があるだけである。すなわちバーモント州ウィルミントンの製箱会社、バーモント州リーズボロの木材会社、マサチューセッツ州モンローブリッジの製紙会社である。

ナイフ製造会社および製鋼会社がシェルバーンフォールの下流にある。これを要するにこの報告書の観点からは製造業の重要な中心地としてはグリーンフィールドとノースアダマスが残されるだけである。ノースアダマスは発電所に近い点、またグリーンフィールドはディアフィールド川沿岸にある点（あとに述べる気象条件に関係がある）で問題があるわけである。

人口密度の大きい地域は各町の中心部のみであるから居住地として使用されている面積の合計はわずかである。その他の土地は鉄道と公道を除けば森林または畠である。各町の詳細な土地利用は不明であるが、1954年の農業国勢調査からとった表3.3は発電所近くの4つの各郡の畠に使用されている土地の百分率を示す。

表 3.3 各郡の農地百分率

| 郡 | 面積 (エーカー) | 耕作面積 (エーカー) | パーセント |
|--------------------|--------------|----------------|-------|
| パークシャー (マサチューセッツ州) | 602,880 | 71,000 | 11.8 |
| フランクリン (マサチューセッツ州) | 452,480 | 56,500 | 12.5 |
| ベニングトン (バーモント州) | 430,080 | 36,800 | 8.6 |
| ウィングダム (バーモント州) | 507,520 | 43,900 | 8.7 |

2.5 公共用水

ディアフィールド川の主流はシャーマンダムからコネカット川との合流点まで41.2マイルを流れている。その下流で一般住民用に川の主流の水を直接汲み上げて使用する町は1つもない。ディアフィールドのミルビレッジに川から1,000フィート以内に掘られた砂利層井戸が1つあり、これはおそらく町の一部に公共用水を供給している。

他の町の中、モンローブリッジ、シェルバーンフォールおよびグリーンフィールドのみが水道をもっているが、これらはすべて支流の、またはその近くの泉、井戸または貯水池から水をとっている。

2.6 発電所の地取り

ヤンキーとその親会社ニューイングランド発電会社は図3.1に示すようにディアフィールド川の両側にまたがる約2,000エーカーの土地を所有している。この土地は地図に示されている道路とモンローブリッジ地域の5戸の部落を除いてはすべて森林または未使用の農地である。発電所の位置は現在のところシャーマンダムの東端に計画されている。この位置の選択は地面の高さ、適当な基盤の条件、冷却用水源であるシャーマンボンド

貯水池に近いことおよび公道と鉄道から近いことを考慮しておこなわれた。

さらにバーモント州リーズボロにあるニューイングランド発電会社のハリマン水力発電所の高圧開閉所に近いために、 Yankee 発電所の電力を買う予定のニューイングランド発電会社の送電網への送電は容易になる。

川の西側に沿っている道路は舗装した州道である。モンローブリッジからダムに至る川の東側の道路はニューイングランド発電会社の私道であって、モンローブリッジとロウの道路の交叉点でその道路の交通を管理することができる。発電所を囲むけわしい山脈のため自動車でもその東および北から発電所に近づくことはできない。発電所から州道への最短距離は約 1,000 フィートである。ニューイングランド発電会社はこの道路の両側のほとんどすべての土地を所有しているから、当会社以外のものがこの地域に家屋や永久的構造物を建設する可能性はほとんどない。シャーマン水力発電所付近の現存する家屋と小屋は発電所従業員により使用されているが、所有権はニューイングランド発電会社にある。

第 3 節 気象条件

3.1 ディアフィールド川流域の汚染に対する気象条件

(1) 地 形

汚染調査の中で考慮すべき最も重要な因子は、用地付近の珍しい地形である。

ディアフィールド川は、マサチューセッツ州西部とバーモント州南部の丘陵地帯を通過して流れている。

用地の標高は、流抜約 1,150 フィートあり、水平距離 1 マイル以内には、谷の両岸に、標高約 2,000 フィートの山がそびえている。このけわしい斜面を持つ峡谷の地勢は、用地の南東直線距離 8 マイルのシャルモントまで、またバーモント州ウィルミントンまで、用地の北方 12 マイルの川の分岐点まで続いている。この二つの町の間で、谷はきわめて不規則な形であるが、南に向って標高は段々と低くなっている。谷の両岸は密林である。このような深い峡谷では、風向と風速が近くの山の上を吹く風としばしば著しく相違するということが考えられる。

(2) 気象資料の入手

用地の南西約 25 マイルにあるビッツフィールドが最も近い定点気象観測所である。1947 年 2 月まで、ビッツフィールドでは 1 日 24 時間の地上観測をしていたが、その後観測回数は減っている。上層の風と温度を観測している最も近くの観測所は、西方約 40 マイルにあるニューヨーク州アルバニーである。上層気温の観測は、1951 年 11 月に中止された。1951 年以降の上層気温の資料は用地の北西約 100 マイルにあるニューヨーク州ロームから入手しなければならない。用地の南西約 3 マイル、ディアフィールド川のフーサクトンネルには昔から依託観測所があるが、1955 年 1 月以降ここで午前零時、午前 8 時および午後 4 時に風と温度の観測を行っている。こゝで調査の結果、風力計を、川の水面上から約 240 フィート上のサージタンク

の上にとりつける方がよいということが示された。この深い谷では、風速の記録によって、風に対する正しい評価が得られるが、風向は規則的な方法では必ずしも観測はできない。資料入手の観点から、シャーマンダム地点の気候上の観察は主として 1945 年から 1947 年の資料に基づき、次のような方法で解析されている。

1. フーサクトンネルからの新しい風の観測資料は、谷の中の無風あるいは微風という望ましい条件を決定するのに利用される。微風に対する温度逆転の重要性は、フーサクトンネルにおける谷底と、ニューヨーク州ロームの 850 ミリバール (標高 5,000 フィート) における温度との間の温度差をとることによって知ることができる。

2. 1955 年までの、フーサクトンネルで入手できる温度の資料はわずかしかないので、1945 年から 1947 年までの間の安定度を求めるには、ビッツフィールドにおける地表温度の資料が用いられる。この手順の正しいことは、表 3.4 に与えられている。ビッツフィールドの温度とフーサクトンネルの温度とを比較することによって立証される。

表 3.4 フーサクトンネルとビッツフィールドの温度の比較 (°F)

| | フーサクトンネル | ビッツフィールド |
|--------------|----------|----------|
| 平均温度 | | |
| 1 月 | 23.2 | 21.2 |
| 4 月 | 42.4 | 42.0 |
| 7 月 | 68.7 | 67.6 |
| 10 月 | 48.7 | 47.5 |
| 最高温度 (3 年平均) | | |
| 1 月 | 30.9 | 30.3 |
| 7 月 | 82.5 | 79.3 |
| 最低温度 (3 年平均) | | |
| 1 月 | 12.2 | 13.7 |
| 7 月 | 55.4 | 55.9 |

空気の通常の安定度はアルバニーにおける 5,000 フィートの温度とビッツフィールドにおける地表温度との間の温度差によって与えられる。高層におけるわずかの温度逆転はニューヨーク州アルバニーにおける 3,000 フィートの温度と 1,500 フィートの温度とを比較することにより見当がつく。

3. 風の基礎資料はアルバニーにおいて 1945 年から 1947 年までの間、2,000 フィートの気球観測で得たものである。汚染を居住地域へ運ぶのは、山頂の空気の動きであるから、観測気球による資料の方が、ビッツフィールドにおける地表の風よりもより的確な風の分布図を与える。これらの基礎資料は地表観測のものではないからアルバニーからシャーマンダムまでの 40 マイルという距離は大して考慮すべき問題ではない。一方、汚染を考えるのに資料が使われるときには、空気の安定度と同様に、地形学上の影響も考慮する必要がある。

(3) 無風または微風に対して起り易い気象条件

表 3.5 は、フーサクトンネルで得た風の資料を解析したものである。この表は、温度逆転状態 (負の温度低減率) の間に無風または微風のときが多いことを示している。こういう条件

表 3.5 フーサクトンネルにおける風の資料

1 月～5 月 (1955 年)

| 温度低減率 | 午前 8 時 | | | 午後 4 時 | | | 午前 0 時 | | |
|-------------------|--------|---------------|----------------|--------|---------------|----------------|--------|---------------|----------------|
| | 無風の% | 平均風速 (哩/時) | V 地表/V2,000 ft | 無風の% | 平均風速 (哩/時) | V 地表/V2,000 ft | 無風の% | 平均風速 (哩/時) | V 地表/V2,000 ft |
| -∞ から 0°F まで | 40 | 2.7 (65) | 0.21 | 38 | 5.1 (8) | 0.21 | 36 | 2.7 (53) | 0.11 |
| +1°F から +10°F まで | 28 | 4.2 (53) | 0.32 | 28 | 5.2 (29) | 0.33 | 45 | 3.0 (66) | 0.14 |
| +11°F から +20°F まで | 12 | 8.6 (33) | 0.48 | 3 | 9.0 (68) | 0.50 | 6 | 10.1 (34) | 0.37 |
| 20°F 以上 | 0 | 15.2 (4) | 0.67 | 5 | 10.4 (43) | 0.70 | 発生せず | | |

括弧の中の数値は低減率階級の観測値の合計である。V 地表は、フーサクトンネルの平均風速、V2000 ft は、ニューヨーク州アルバニーにおける 2000 ft の高さの風速である。温度低減率は、フーサクトンネルの温度と、ニューヨーク州ロームにおける 850 ミリバールの温度との間の温度差である。

の下では、谷は本質的に上空の広々とした空気と隔てられ、汚染は谷のどちら側かの広い大気に消散されるよりも、むしろ谷に沿って漂流するだろうことは明らかである。

温度標準低減率から急峻低減率（乾燥断熱率が 23°F である）の場合には、無風の状態が少くて V 地表面/V2,000 ft の値が大きく、このことは谷の中の空気は上方の空気と混ぜ合わされ、その地域の上空の空気の動きは、2,000 フィートの風によって

表 3.6 (A)

安定度によって分類した、冬季夜間のいろいろな風向の風の発生頻度 (%). 各欄の下側、左寄りの数値は平均風速 (哩/時) を、また括弧内の数値は、各風向と安定度の分類に対する標準偏差 (得られるもののみ) を示す。冬季とは、10 月から 3 月までとする。すべての資料は 1945, 1946, 1947 年の 3 年間の、ニューヨーク州アルバニーにおける、2,000 フィートの高さにおける風である。

| 安 定 度 | | | | |
|---------------|------------------|-------------------|-------------------|-------|
| 風向 (度) | 温度逆転 | 温度安定 | 温度標準低減 | 合 計 |
| 350, 360, 010 | 1.5 17.8 | 2.3 15.3 | 0.9 16.4 | 4.7 |
| 020, 030, 040 | 1.8 14.9 | 1.6 18.2 | 0.4 38.0 | 3.8 |
| 050, 060, 070 | 2.0 11.7 | 1.3 12.6 | — — | 3.3 |
| 080, 090, 100 | 0.9 10.0 | 0.4 14.0 | — — | 1.3 |
| 110, 120, 130 | 1.1 13.0 | 0.2 17.0 | — — | 1.3 |
| 140, 150, 160 | 2.3 17.1 | 1.8 20.6 | 0.5 26.0 | 4.6 |
| 170, 180, 190 | 5.0 21.0(9.6) | 3.2 27.5 | 0.9 32.4 | 9.1 |
| 200, 210, 220 | 3.7 20.4 | 3.6 22.6 | 0.5 19.7 | 7.8 |
| 230, 240, 250 | 3.5 14.3 | 4.5 21.3 | 1.5 27.3 | 9.5 |
| 260, 270, 280 | 2.8 16.5 | 6.6 22.3(10.3) | 5.9 28.7(13.3) | 15.3 |
| 290, 300, 310 | 3.5 17.1 | 11.6 27.8(9.5) | 12.3 27.3(9.1) | 27.4 |
| 320, 330, 340 | 2.3 16.7 | 7.0 22.0(7.8) | 2.8 34.3 | 12.1 |
| 合 計 | 30.4 | 44.1 | 25.7 | 100.0 |

表 3.6 (B)

安定度によって分類した、夏季夜間のいろいろな風向の風の発生頻度 (%). 各欄の下側、左寄りの数値は、平均風速 (哩/時) を、また括弧内の数値は各風向と安定度の分類に対する標準偏差 (得られるもののみ) を示す。夏季とは 4 月から 9 月までとする。すべての資料は 1945, 1946, 1947 年の 3 年間の、ニューヨーク州アルバニーにおける 2,000 フィートの高さにおける風である。

| 安 定 度 | | | | |
|---------------|------------------|-------------------|-------------|-------|
| 風向 (度) | 温度逆転 | 温度安定 | 温度標準低減 | 合 計 |
| 350, 360, 010 | 1.5 10.7 | 2.6 13.5 | 0.9 12.0 | 5.0 |
| 020, 030, 040 | 0.9 16.0 | 5.7 19.7(9.3) | 0.9 19.2 | 7.5 |
| 050, 060, 070 | 0.5 5.0 | 2.2 12.1 | 0.2 10.0 | 2.9 |
| 080, 090, 100 | 0.2 10.0 | 1.1 11.5 | 0.5 12.3 | 1.8 |
| 110, 120, 130 | 0.2 23.0 | 1.5 8.6 | — — | 1.7 |
| 140, 150, 160 | 1.3 21.4 | 3.7 15.8 | — — | 5.0 |
| 170, 180, 190 | 6.2 25.3(8.8) | 9.6 23.6(10.6) | 1.5 27.8 | 17.3 |
| 200, 210, 220 | 4.2 21.4 | 7.0 20.3(8.5) | 0.7 26.0 | 11.9 |
| 230, 240, 250 | 2.6 13.5 | 4.3 16.6 | 0.2 20.0 | 7.1 |
| 260, 270, 280 | 3.7 13.1 | 5.6 16.9(8.5) | 1.8 22.1 | 11.1 |
| 290, 300, 310 | 1.8 13.2 | 11.1 23.4(8.6) | 4.3 31.4 | 17.2 |
| 320, 330, 340 | 1.7 8.7 | 7.6 19.7(7.2) | 2.4 21.4 | 11.7 |
| 合 計 | 24.8 | 61.8 | 13.4 | 100.0 |

十分に表わされることを示している。

(4) 風の特徴

ニューヨーク州アルバニーからの 2,000 フィートの気球観測によって、風の解析に対する基礎資料が与えられている。2,000 フィートの資料が得られず 1,000 フィートにおける観測資料が得られる場合にはこれが用いられ、高さによる風速の標準増加率 10% 増しとられた。1,000 フィートの風を用いる場合は、わずか 3% しかなかった。荒天のために、気球観測ができない場合には、ビッツフィールドにおける地表風速が用いられた。この場合には、風速は 60% 増しとなる。ビッツフィールドの資料はわずか 7% しか利用する必要がなかった。風速と垂

表 3.7 (A)

安定度によって分類した、冬季昼間のいろいろな風向の風の発生頻度 (%). 説明は、表 3.6 を参照のこと。

| 安 定 度 | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-------|
| 風向 (度) | 温度逆転 | 温度安定 | 温度標準低減 | 温度不安定 | 合 計 |
| 350, 360, 010 | 0.7 9.0 | 2.0 14.8 | 1.6 12.2 | 1.6 9.1 | 5.9 |
| 020, 030, 040 | 0.5 9.0 | 0.9 15.0 | 1.1 16.7 | 0.5 9.7 | 3.0 |
| 050, 060, 070 | 1.8 13.6 | 1.3 15.9 | 0.5 3.0 | 0.2 5.0 | 3.8 |
| 080, 090, 100 | 0.4 16.0 | 0.4 9.0 | 0.2 5.0 | — — | 1.0 |
| 110, 120, 130 | 0.2 11.0 | 0.4 12.0 | 0.4 13.5 | 0.4 4.5 | 1.4 |
| 140, 150, 160 | 0.7 20.7 | 1.8 23.7 | 1.1 20.5 | — — | 3.6 |
| 170, 180, 190 | 1.1 40.2 | 4.6 23.5 | 4.0 17.6 | 0.4 6.5 | 10.1 |
| 200, 210, 220 | 0.4 27.0 | 3.1 23.1 | 4.3 16.7 | 0.9 8.8 | 8.7 |
| 230, 240, 250 | 0.5 18.0 | 3.1 18.1 | 4.4 15.4 | 2.2 14.5 | 10.2 |
| 260, 270, 280 | — — | 1.1 24.3 | 10.3 19.7(8.7) | 3.1 17.2 | 14.5 |
| 290, 300, 310 | 0.5 29.7 | 4.3 21.8 | 17.1 24.1(11.1) | 3.3 18.0 | 25.2 |
| 320, 330, 340 | 1.3 18.6 | 2.5 23.8 | 5.9 14.2(5.9) | 2.7 14.9 | 12.4 |
| 合 計 | 8.2 | 25.5 | 50.8 | 15.5 | 100.0 |

表 3.7 (B)

安定度によって分類した、夏季昼間のいろいろな風向の風の発生頻度 (%) 説明は、表 3.6 を参照のこと。

| 安 定 度 | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------------|------------------|-------|
| 風向 (度) | 温度逆転 | 温度安定 | 温度標準低減 | 温度不安定 | 合 計 |
| 350, 360, 010 | — — | — — | 2.2 12.7 | 4.2 8.2 | 6.4 |
| 020, 030, 040 | — — | 0.5 12.7 | 2.6 11.4 | 2.0 11.5 | 5.1 |
| 050, 060, 070 | 0.2 10.0 | 0.9 13.2 | 0.9 10.8 | 0.9 6.2 | 2.9 |
| 080, 090, 100 | — — | 0.9 6.0 | 0.9 7.2 | 0.4 5.5 | 2.2 |
| 110, 120, 130 | 0.4 12.5 | 0.2 13.0 | 0.9 9.8 | 0.7 5.8 | 2.2 |
| 140, 150, 160 | 0.5 23.0 | 3.0 15.3 | 3.3 12.6 | 1.5 8.5 | 8.3 |
| 170, 180, 190 | 0.4 10.0 | 2.0 23.5 | 10.1 16.1(6.9) | 4.2 10.6 | 16.7 |
| 200, 210, 220 | — — | 0.7 18.7 | 4.6 17.7 | 5.5 12.0(7.5) | 10.8 |
| 230, 240, 250 | — — | 0.4 18.0 | 3.5 16.2 | 5.2 11.0(7.4) | 9.1 |
| 260, 270, 280 | — — | 0.2 15.0 | 4.1 19.7 | 7.0 11.5(7.3) | 11.3 |
| 290, 300, 310 | — — | 0.9 16.2 | 6.6 17.6(8.1) | 9.6 13.4(8.9) | 17.1 |
| 320, 330, 340 | — — | 0.2 10.0 | 2.6 15.4 | 5.0 11.3(6.9) | 7.8 |
| 合 計 | 1.5 | 9.9 | 42.3 | 46.3 | 100.0 |

直方向の安定度によって分類した、いろいろの方向からの風の発生頻度を表 3.6 および 表 3.7 に示す。日中の安定度は午後 1 時 30 分の温度を用い、夜間の安定度は、午前 1 時 30 分の温度を用いている。安定度階級は、次のように定義する。

表 3.8 安定度階級

| T 地表面—T 850 mb | 階 級 |
|----------------|-------------|
| —∞～0°F | 温 度 逆 転 |
| +1°F～10°F | 温 度 安 定 |
| +11°F～20°F | 温 度 標 準 低 減 |
| +20°F～∞ | 温 度 不 安 定 |

ここで T 地表面および T850 mb は、それぞれ地表および 850 ミリバール（標高 5,000 フィート）の温度である。

表 3.5, 表 3.6 および 表 3.7 から、谷の中は夜間の 30% はそれぞれ無風状態であるということがはっきりしている。これはフーサクトンネルからの、この 6, 7, 8 月の資料から、はっきりいえることであって、フーサクトンネルでは夜間の 50% が無風と記録されている。疑うまでもなくこういう場合に、空気は静止はしていない。

毎時約 1～2 マイルの谷底の風はこういう夜に生ずるので、最も重大な脅威はモンローブリッジで生ずるであろう。風速が小さいことと、安定な空気とによって拡散は最小となる。こういう状態が非常に頻繁であることから、発煙装置を使用したりする、直接観測によって、谷の中の気流の正確な特性を決定することが望ましい。気象学上の理論によると、リーズボロは用地からの谷の上部にあり、150 度～180 度方向からの風によって影響されるだけであろうから、リーズボロは非常に危険性の少ない地域であるということが指摘できる。日中の温度逆転はめったにないから、こういう無風状態は日が昇った後には普通消滅する。シャルモントは用地から離れているということと川が曲りくねっているということから見て、こういう無風の夜にモンローブリッジのような影響を受けるだろうということは考えられない。表 3.5 の資料を解析することによって、温度逆転または温度安定低減率のようなときでも、谷の中にはしばしばかなりの風が吹いているということがわかる。2,000 フィートの高さの風速が谷の中の無風状態と、微風ないし軟風の状態とを区別するための重要な変数であるということは確かである。高さ平均 2,000 フィート以下では、風は無風状態の場合が多く、平均 2,000 フィート以上では、微風ないし軟風の場合が多い。こういう安定状態の下では、2,000 フィートにおける風向は必ずしも用地付近の風向を表わしてはいない。

空気が山頂をこえて動くよりはむしろ最も抵抗の小さい通路を通して動くという傾向は、よく知られた原理であり、そのため風洞で大気の動きを類似させるのが困難となっている。谷の東西の嶺はほとんど突出部分がないので、安定状態の下において、風向が 2,000 フィートの高さの大気の風向と著しく異なるというようなことはあまり考えられない。表によると、300 度方向からの風の頻度が最も高いから、風はシェルバーンフォールとグリーンフィールドの方に向かって最も多く吹く。夏には、180 度方向から峡谷をこえてリーズボロおよびウィルミントンの方に吹く風が 2 番目に多い。

表 3.9 にのせられているその他の町は発電所の風下になることはめったにない。モンローブリッジとリーズボロを除けば、

表 3.9 居住地域の位置

| | 距 離 (m) | 用地からの 方向 (度) | 標 高 (ft) |
|-------------|------------|-----------------|-------------|
| モンローブリッジ | 1300 | 240 | 1100 |
| リーズボロ | 4900 | 345 | 1200 |
| シャルモント | 12000 | 150 | 600 |
| ノースアダムス | 15000 | 260 | 700 |
| ウィルミントン | 17000 | 20 | 1600 |
| アダムス | 20000 | 230 | 800 |
| シェルバーンフォールス | 21000 | 130 | 500 |
| ペニングトン | 27000 | 305 | 700 |
| グリーンフィールド | 30000 | 120 | 200 |
| ブラッドフォード | 32000 | 65 | 300 |
| ピッツフィールド | 40000 | 220 | 1000 |

すべての居住地域は空気がその地域に到達する前に、山をこえて流動するような所にある。不規則な地形をこえるこの動きで、拡散が増加し、これによって危険は減少する。

表 3.6 から表 3.7 までの各行の中で、非常に観測資料のたくさんあるものについては風速の標準偏差を括弧内に示してある。一般に、標準偏差は平均風速に比べて大きく、いずれも風速は幅が広いことを示している。汚染の移動を評価するためには、気球の速度を調整する必要がある。ニューイングランド山脈における風の解析の結果、この調整を高い精度で行うことはできないことを示している。谷の中を除けば、峰の高さ付近の風速が起りうる汚染の分散を支配するということは明らかである。西の方がずっと高くなっているから、気象理論によれば、西風は東に向かって峰を越えて吹かなければならないから、大気の観測気球速度よりも小さい地形による補正因子は、0.6 と 1.0 の間である。下限の 0.6 は、谷の中で観測された風とピッツフィールドで観測された風とに基づいたものである。東方からの風の場合は地形による補正因子はもっと高いであろう。谷を上り、または谷を下る風に対しては、谷の中の風速を見積るのに表 3.5 の比率を用いることができる。

(5) 温度逆転

谷底から上空の大気までの、温度逆転の意味についてはすでに表 3.5 において論ぜられた。第 2 の重要な温度逆転は、ゆるやかであるが、しかし高層で起る沈降性逆転または前線性逆転である。峰の平均高度付近の温度逆転は、空気の激しい動きを抑制し拡散を減じて、その結果風下の汚染濃度が高くなる。

1,500 フィートと 3,000 フィートの間の温度逆転の頻度を決定するために、ニューヨーク州アルバーニーからのラジオゾンデの観測が解析された。1 年の中で、冬季にはその 20% の時間だけ温度逆転があるが、一方夏にはその頻度が 8% に下る。これらの高層温度逆転の場合が表 3.6 および表 3.7 の資料の中にも含まれている。

予期したとおり、高層温度逆転の大抵の時期に地表と 5,000 フィートの高さの温度差が小さくなる。高層温度逆転の 80% は (T 地表面—T850 mb) の値が 10°F よりも小さく、これは表 3.6 および表 3.7 の“温度逆転”および“温度安定”の項にはいる。よって、温度逆転における安定度の意味はすでに表 3.6 および表 3.7 の安定度の階級によって認められているものである。

表 3.7 の、夏季における幾分意外な“温度逆転”は、こういう高層温度逆転があるからだといえる。地形が地表の温度逆転の頻度を高くし易く、また表 3.6 および表 3.7

の階級で高層温度逆転の安定な状態がわかるから、もう温度逆転の解析は行わない。

地形上の差のために、アルパニーにおける詳細な温度逆転の解析を用地に応用することは困難である。ここで採用された方法によって、用地付近の安定なおよび不安定な空気の動きの発生頻度を知ることができる。

(6) 降水

空気の汚染は降水によって洗い落とされるので、雨季の間の雨の特性を決定するのは重要なことである。風向と降水の発生頻度を決定するために、ピッツフィールドにおける、6 時間の降水量と、その 6 時間の中の 3 時間目の 3,000 フィートの高さの風が用いられた。

1945 年から 1947 年までの降水量を長期平均値と比較してみると、長期平均並みであることがわかる。長期の平均値は、表 3.10 にのせてある。

表 3.10 マサチューセッツ州ピッツフィールドの降水統計

| 月 | 平均降水量 (in) | 平均降水日数 (0.01 in 以上) |
|------|------------|------------------------|
| 1 月 | 3.1 | 17 |
| 2 月 | 2.5 | 15 |
| 3 月 | 3.2 | 15 |
| 4 月 | 3.6 | 15 |
| 5 月 | 3.8 | 15 |
| 6 月 | 4.6 | 12 |
| 7 月 | 4.9 | 13 |
| 8 月 | 4.3 | 10 |
| 9 月 | 4.2 | 10 |
| 10 月 | 2.9 | 9 |
| 11 月 | 4.0 | 13 |
| 12 月 | 3.0 | 14 |

表 3.11 から、冬季降水の 73% および夏季降水の 58% は小雨または吹雪であることがわかる。西ないし北西の風の降水は大部分この形である。温度の急峻低減率と強い風速とが一緒になって、急速な拡散を促進し、したがって降下物の濃度は不安定な状態とわずかな降水率とによって最も小さくなる。よりはげしく、より長く続く降水期は、冬は北東の風、夏は北東および南の風によって生ずる。アダムスおよびピッツフィールドへ向けて吹く北東の風は、不規則な地形をこえて吹いているから、この地形によって強い、はげしい混合が起り、降下物濃度を減少させている。汚染降下物による災害は、主としてリーズボロおよびウィルミントンに向けて吹く、夏の雨を伴う南の風によって発生するであろうことが考えられる。けれども、比較的強い風速は汚染の濃度を最小とするように作用する。

(7) 公衆に及ぼす災害

公衆に及ぼす災害を解析すると、2 つの可能性が考えられる。すなわち、放射性物質の常時放出および一次系配管の破壊の際の放射性物質の瞬間的放出である。サットンの式によって、風下の濃度を推測することができる。一般にサットンの理論は、温度逆転またはきわめて温度安定な状態を除けば、技術的に満足すべきものであるように思われる。ディアフィールド川の峡谷においては 35% の時間がこの状態になる。さらに問題なのは、今ある理論と実験結果は、あまり変化のない地形についての拡散に適用できるようになっているということである。用地付近の地形に対しては、特別な考慮を払う必要がある。

表 3.11 (A)

6 時間の降水量を、4 階級に分け、風向きにより分類した冬季降水の発生頻度 (%)。この表は、1945 年から 1947 年までのピッツフィールドの資料に基いたものである。各欄の下側の数値は、各風向きと降水量階級に対する平均風速 (哩/時) を示す。

| 風 向 | 冬 季 | | | | 合 計 |
|---------------|--------------|------------------|-----------------------|-------------|-------|
| | 極微量 | 降水量 0.01-0.05 | (吋/6 時間) 0.06-0.25 | 0.25 以上 | |
| 350, 360, 010 | 0.9 14.6 | 1.4 16.9 | 0.8 10.3 | 0.2 11.5 | 3.3 |
| 020, 030, 040 | 0.7 17.5 | 1.3 18.9 | 1.5 13.6 | 0.4 15.0 | 3.9 |
| 050, 060, 070 | 0.8 8.0 | 1.7 14.6 | 3.5 15.0 | 1.3 14.7 | 7.3 |
| 080, 090, 100 | 0.2 11.0 | 1.0 11.7 | 0.8 12.6 | 0.1 14.0 | 2.1 |
| 110, 120, 130 | 0.4 12.3 | 0.4 13.0 | 1.0 14.1 | — — | 1.8 |
| 140, 150, 160 | 1.8 31.2 | 1.7 20.9 | 1.6 24.9 | 0.6 22.2 | 5.7 |
| 170, 180, 190 | 4.5 24.6 | 2.6 20.6 | 2.6 29.0 | 0.8 30.1 | 10.5 |
| 200, 210, 220 | 2.4 21.3 | 2.6 29.1 | 1.7 22.3 | 0.7 30.7 | 7.4 |
| 230, 240, 250 | 3.0 21.6 | 3.2 19.9 | 1.6 23.6 | 0.6 14.6 | 8.4 |
| 260, 270, 280 | 6.5 24.5 | 5.5 21.8 | 2.0 24.2 | 0.1 41.0 | 14.1 |
| 290, 300, 310 | 15.0 26.7 | 9.0 30.4 | 3.4 25.4 | 0.5 25.8 | 27.9 |
| 320, 330, 340 | 4.0 20.7 | 2.7 24.0 | 1.1 27.7 | — — | 7.8 |
| 合 計 | 40.0 | 33.1 | 21.6 | 5.3 | 100.0 |

冬季においては、任意の 6 時間の間に降水の起る確率は 30% である。

表 3.11 (B)

6 時間の降水量を、4 階級に分け、風向きにより分類した夏季降水の発生頻度 (%)。この表は 1945 年から 1947 年までのピッツフィールドの資料に基いたものである。各欄の下側の数値は、各風向きと降水量階級に対する平均風速 (哩/時) を示す。

| 風 向 | 夏 季 | | | | 合 計 |
|---------------|-------------|------------------|-----------------------|-------------|-------|
| | 極微量 | 降水量 0.01-0.05 | (吋/6 時間) 0.06-0.25 | 0.25 以上 | |
| 350, 360, 010 | 1.2 8.5 | 1.7 13.5 | 1.8 14.4 | 0.6 11.0 | 5.3 |
| 020, 030, 040 | 0.9 14.2 | 1.7 12.2 | 2.6 14.2 | 1.1 16.0 | 6.3 |
| 050, 060, 070 | 0.8 8.2 | 2.6 11.6 | 1.7 11.5 | 2.1 14.9 | 7.2 |
| 080, 090, 100 | 0.5 5.0 | 0.8 10.4 | 1.5 9.2 | 0.5 15.3 | 3.3 |
| 110, 120, 130 | 0.9 9.8 | 1.1 13.1 | 0.9 12.3 | 0.3 11.0 | 3.2 |
| 140, 150, 160 | 2.3 21.5 | 4.8 16.2 | 2.6 15.6 | 1.7 15.5 | 11.4 |
| 170, 180, 190 | 4.7 21.0 | 5.1 21.8 | 4.7 25.2 | 2.9 23.3 | 17.4 |
| 200, 210, 220 | 2.6 20.7 | 2.7 21.5 | 2.6 21.5 | 1.5 22.0 | 9.4 |
| 230, 240, 250 | 2.1 13.1 | 2.1 17.3 | 2.7 18.3 | 2.7 20.4 | 9.6 |
| 260, 270, 280 | 3.2 17.7 | 2.6 18.5 | 2.0 22.0 | 0.5 12.0 | 8.3 |
| 290, 300, 310 | 6.1 22.6 | 4.2 24.0 | 1.8 20.3 | 0.9 21.5 | 13.0 |
| 320, 330, 340 | 1.8 16.1 | 1.8 19.4 | 2.0 16.6 | 0.3 13.5 | 5.9 |
| 合 計 | 26.9 | 31.2 | 26.9 | 15.1 | 100.0 |

夏季においては任意の 6 時間に降水の起る確率は 20% である。

不規則な地形では、2 つの極端な状態になり易い。すなわち谷の外へ向っての非常にはげしい流れと谷の中の極端に安定な流れとである。推測される濃度は、サットンの式を用い、これに特別な温度安定度と温度不安定度とを表わすパラメータの値を導入することによって計算される。推測値の程度を知るためには、連続の原理が用いられる。

(8) 瞬間的に放出する点源

$$X_{(x,y,z,t)} = \frac{2Q}{\pi^{3/2} C_x C_y C_z (ut)^{3/2(2-n)}} \exp. - \left[(ut)^{n-2} \left(\frac{x^2}{C_x^2} + \frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right] \quad (3.1)$$

$X_{(x,y,z,t)}$ は、風下の濃度であり、ここで、 x, y, z および t は雲と共に、一定速度 u で動く原点から測られる。 Q は点源の強さである。 C_x, C_y および C_z は拡散係数であり、 n は擾乱によって変化するパラメータである。原点 ($x=y=z=0$) における濃度は次式によって与えられる。

$$X = \frac{2Q}{\pi^{3/2} C_x C_y C_z (ut)^{3/2(2-n)}} \quad (3.2)$$

(9) 連続的に放出する点源

$$X_{(x,y,z)} = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} \exp. - \left[x^{n-2} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right] \quad (3.3)$$

ここで x は点源から風下への距離である。 $y=z=0$ における最大濃度は (3.4) 式で与えられる。

$$X = \frac{2Q}{\pi C_y C_z u x^{2-n}} \quad (3.4)$$

これらの式は、 $x=y=z=0$ におかれた連続的に放出する点源からの拡散に用いられる。峡谷の外側の居住地域は谷のすぐ近くにある峯の高さよりもかなり低い所にある。峯の頂きから低地への普通の気流は、普通の地形の所とは違っているから、(3.2) 式および (3.4) 式から求められる最大濃度の点は、地表よりも大分高く出るであろう。

地表の最大濃度は、 $y=0, z=h$ とすることにより求められる。ここで h は地表と、最大濃度の高さとの間の距離である。無論、 h はあまり精密には求められないが、試算によると、 h の値を内輪に見積っても、とくに峯の近くでは濃度は実際はこれよりもはるかに小さいことがわかっている。地上の人間に関する限り、地形上の効果は汚染が非常に高い煙突から放出されている場合と同じである。この効果は、峡谷の外側に住んでいる人間や動物に与える災害を減らすことにとって重要なものである。

拡散パラメータの値は表 3.12 および表 3.13 に与えられている。擾乱自身に及ぼす地形の影響という観点から 2 組のパラメータが与えられている。

これらの値は実験結果および用地の解析に基づいたものである。谷の外側の“安定な”流れに対して与えられている値は、たとえば地表から 5,000 フィートの高さまでの温度低減率が、表 3.6 および表 3.7 で、安定な領域にはいろいろとも、この地形によって地表付近には強い混合が必ず起るであろうという考えに

基づいたものである。推定濃度は、(ut) または x を点源からの距離 (メートル) で置き替えることによって、点源からの距離として計算できる。 X/Q の単位は、(メートル)⁻³ である。

(10) その他の計算方法

M. I. T. のラウンドヒル観測所における拡散の実験によって、平均風下濃度を満足に推定することは連続の原理から推論しうることが最近わかった。割合 Q で放射されている流出物は風下にはこぼれて広がる。放出物の広がり境界 (濃度の尖頭値の 1/10 と定める) を表わす円錐の縁は風の天頂角および高度による変動の標準偏差から推定することができる。

谷の外側の流れについては、原点から x メートルの平均濃度は、

$$Q = \frac{\pi}{2} u x^2 \tan 2\sigma_y \cdot \tan 2\sigma_z X_{av}$$

で与えられる。ここで σ_y と σ_z は、それぞれ水平方向および垂直方向の風の標準角偏差である。

地表からの反射は、ここではサットンの式 (3.3) の場合のように考える。谷の外側の温度不安定状態に対しては、 σ_y と σ_z はそれぞれ 15 度および 6 度の程度である。

これらの値をとると、用地からシェルバーンフォールまでの距離 21,000 m において $(X/Q)_{平均}$ は 2.7×10^{-8} に等しくなる。表 3.14 の式では、最大値 1.2×10^{-8} が与えられる。谷の中で、温度逆転状態のときには、汚染の雲は垂直に 50 m ないし 100 m 広がり、それから水平に広がる。よって、100 m 以上の距離に対しては、上の式は

$$Q = \pi u x \tan 2\sigma_y \cdot 100 \tan 2\sigma_z \cdot X_{av}$$

となる。谷の中が温度逆転状態の場合には、 σ_y および σ_z はそれぞれ 4 度および 2 度の程度である。これらの値を用いると用地からモンローブリッジまでの距離、1,300 m においては $(X/Q)_{平均}$ は 2.5×10^{-4} に等しくなる。表 3.14 の式は最大値 18×10^{-4} を与える。

最大値は平均値の約 3 倍と考えてよい。

この連続の原理を用いた検算では、このように、サットンの式による値と同じ程度の稀釈率を与える。これらの検算と、前の地形上の効果を考え合わせることによって表 3.14 の式は用地に近い居住区域における濃度の上限を与える。

(11) 気象条件に関する結論

以上を要するに、汚染という点からは、用地は理想に近い場所である。峡谷の外にある人口稠密な町も、遠く離れた農村部落も、川の四方に連った山によって起りうる汚濁から遮蔽されている。汚染は居住地域の方に進む前に必ずこれらの嶺をこえて上昇するから地表での線量率は低くなる。表 3.14 の値は全

表 3.12 谷の中の流動に対する拡散パラメータの値

| 温度低減率 | u (m/sec) | n | C _x | C _y | C _z |
|--------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|
| 温度逆転 | 1 | 0.6 | 0.15 | 0.15 | 0.1 |
| 温度標準低減 | 6 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.2 |
| 温度不安定 | 5 | 0.15 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

表 3.13 谷から出る流動に対する拡散パラメータの値

| 温度低減率 | u (m/sec) | n | C _x | C _y | C _z |
|-------|-----------|------|----------------|----------------|----------------|
| 温度安定 | 8 | 0.3 | 0.25 | 0.25 | 0.2 |
| 温度不安定 | 6 | 0.15 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

表 3.14 稀釈率 X/Q の値

| A. 谷の中 (モンローブリッジおよびリーズバロー) | | |
|----------------------------|------------------|----------------|
| (2) 式および (4) 式より求めた最大濃度 | | |
| | 瞬間的に放出する点源 | 連続的に放出する点源 |
| 温度逆転 | $160/(ut)^{2.1}$ | $42/x^{1.4}$ |
| 温度標準低減 | $29/(ut)^{2.63}$ | $2.1/x^{1.75}$ |
| 温度不安定 | $13/(ut)^{2.78}$ | $1.4/x^{1.85}$ |
| B. 谷の外 | | |
| (2) 式および (4) 式より求めた最大濃度 | | |
| | 瞬間的に放出する点源 | 連続的に放出する点源 |
| 温度安定 | $29/(ut)^{2.55}$ | $1.6/x^{1.7}$ |
| 温度不安定 | $13/(ut)^{2.78}$ | $1.2/x^{1.85}$ |

く控え目であって、これは最大濃度を表わしている。

しかし、谷の中では頻繁な温度逆転状態のときに、重大な災害の起る可能性がある。ニューイングランド電力株式会社の従業員、モンローブリッジおよびリーズボロの住民は高濃度の汚染を受けないとも限らない。コロムビア溪谷の SO_2 濃度を詳細に解析した結果、谷には空気流動に或る特性があることがわかった。たとえば、モンローブリッジにおけるように、斜面に立っている建物は夜間にはほとんど汚染を受けないが夜明けと共に、高濃度に汚染された空気が斜面の方に運ばれるということがある。理論の不完全さと、直接観測による資料不足のために、少くとも 30% の夜間と早朝の空気の流動の性質を信頼することができなくなっている。したがって、谷の中の空気の流動は、発煙機のような装置を使用して直接試験して資料を得ることが望ましい。この実験は汚染を絶えず放出するような原子力発電所に対してはとくに重要である。以上は、MIT の J. M. オースチン教授の調査の概要である。

3.2 気象観測計画

気象観測所は用地から、下流 4 マイルのニューイングランド発電会社、第 5 発電所にある。この場所で入手できる資料は、2 時間おきの温度と降水および 4 時間おきの風速と風向である。これらは予備調査には役立つけれども、谷が曲りくねっていることと、風力計および風車の位置のために、その結果はかなり誤差の多いものとなる。自動気象記録系がヤンキー発電所用地に設備された。この装置は 1 時間ごとに風速、風向および気温

を記録する。次の 3 つの観測点が設けられた。

観測点 1——シャーマンダムの南東端、30 フィートの送電線鉄塔の頂部。この位置は原子炉の北西約 470 フィートである。この観測所は、谷の中の風については基準となる点であり、温度分布決定のための基点である。

観測点 2——原子炉の南南西 1,400 フィートの山腹、ダムの頂上より 276 フィートの高さにあり、局地標高 1,290 フィート（ニューイングランド発電会社によって定められた海拔 105.66 フィートの地点を基準とする）すなわち海拔 1,395 フィートである。この観測所は谷に吹き降ろす風を監視するために設けられている。

観測点 3——隣接地域にある一番高い山の頂上にある。最も近い同じ程度の山は北東 $1\frac{3}{4}$ マイルの所にあるが、これは風の主流からはなれている。観測点の位置は、原子炉の南東 4,200 フィートにあり、ダムの頂上より 956 フィート高く、局地標高は 1,970 フィート、すなわち海拔 2,075 フィートである。この観測所では、谷の上方の風の主流と谷の中の風との相関関係の程度を決定することを目的としている。ここはまた、温度分布の決定のための一番高い地点である。

これら、3 地点からの情報は、有線で送られてシャーマン水力発電所で遠隔測定され、そこで標準の 5 チャンネル穿孔テープに記録される。結果を見て、すぐ判断できるように印字もされる。資料は、穿孔テープから記録の上に表の形で再生することもでき、また穿孔カード系にのせることもできる。

用地における風の状態の細かい解析は 1957 年 2 月から始められ、災害の評価を今後修正する上に役立つであろう。

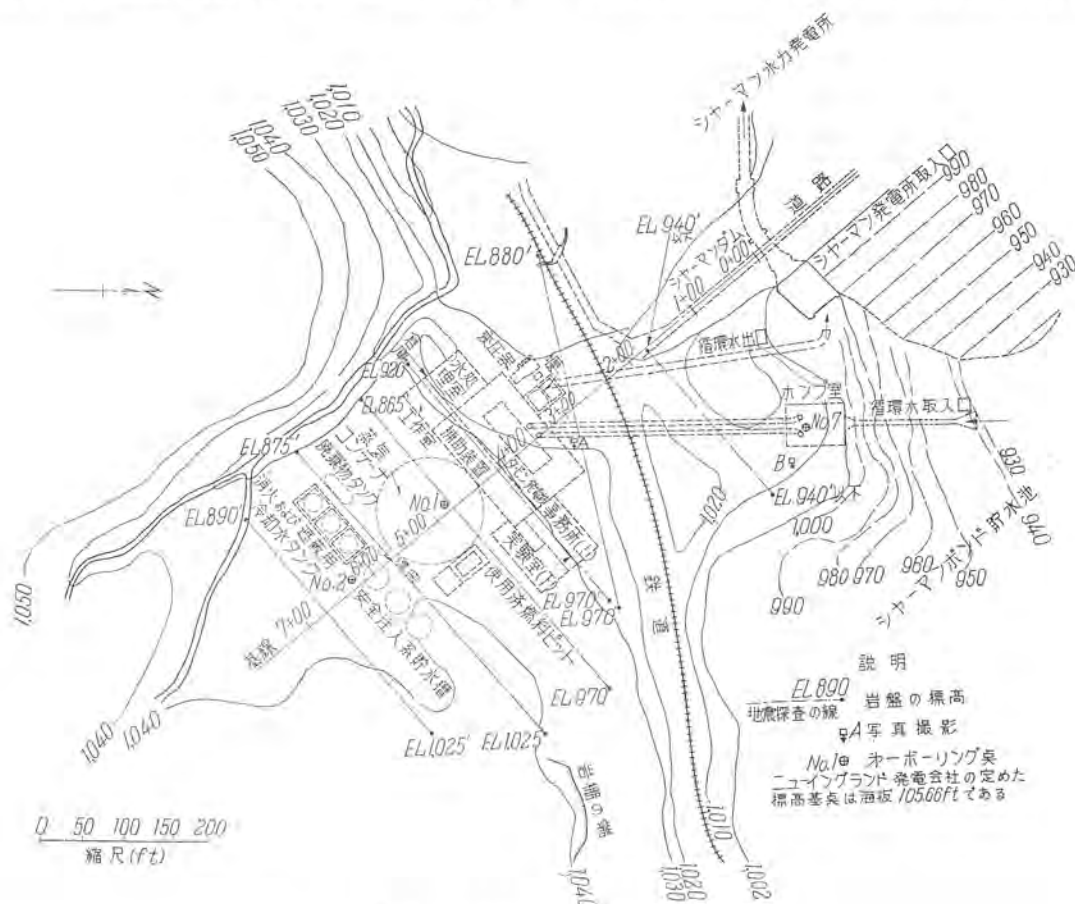


図 3.3 ホーリングおよび地震探査計画

第4節 水 理

4.1 発電所用地

発電所用地は全部ディアフィールド川の流域の中にあり、地表水および地下水は発電所用地の東と南の高地より川に向っている。ボーリングによって地下水位を調査すると、第二ボーリング点より第一に向かって5フィート、第一より第七に向かって10フィートの降下がある。ボーリングが行われた当時は地下水面の勾配は北西へ傾いており、ディアフィールド川へ向う地下水流を示していた。その地点の氷河砂礫はかなり微粒の砂を含み、その下層はシルトおよび粘土級の微粒をもっている。自然排水では、これらの土壌の浸透性は河川の砂礫層よりも低い。ボーリングおよび地震探査の計画を図3.3に示す。

4.2 ディアフィールド川

(1) 流域面積

ディアフィールド川はバーモント州サンダランド付近に源を発し、マサチューセッツ州とバーモント州の境まで南方30マイルを曲って流れ、マサチューセッツ州へ約7マイルを南にとり方向を転じ、シェルバーン、ディアフィールド、グリーンフィールドを経て約36マイル曲りながら東にとり、コネチカット川に合流する。マサチューセッツ州に347平方マイル、バーモント州に317平方マイル、合計664平方マイルの流域面積をもつ。シャーマンポンドより上流の流域面積は236平方マイルである。

(2) 河川工事

ディアフィールド川に沿い8つの水力発電所と2つの大貯水池がある。貯水池と2つの水力発電所は原子力発電所地点の上流にあり、他は下流にある。水力発電所に関する資料を表3.15貯水池の資料を表3.16に示す。

表 3.15 水力発電所

| 発電所名 | 所有者 | 公称能力 (kW) | 標高 (ft) | | 合流点より ダム地点ま での距離 (マイル) |
|----------|---------------|--------------|---------|-------|---------------------------------|
| | | | 満水面 | 渾水面 | |
| シーヤスバーク | ニューイングランド発電会社 | 4,800 | 1,650 | 1,416 | 60.0 |
| ハリマン | " | 45,000 | 1,392 | 1,000 | 47.2 |
| シャーマン | " | 6,500 | 1,002 | 921 | 41.2 |
| No. 5 | " | 15,000 | 922 | 676 | 40.6 |
| No. 4 | " | 6,000 | 368 | 299 | 18.8 |
| No. 3 | " | 6,000 | 297 | 229 | 16.0 |
| ガードナフォール | マサチューセッツ州西部 | 3,700 | 229 | 189 | 14.9 |
| No. 2 | ニューイングランド発電会社 | 7,000 | 189 | 123.5 | 12.9 |

備考 局地標高は海拔 105.66 フィートを基準としている。

表 3.16 貯水池

| 貯水池名称 | 流域面積 (平方哩) | | 貯水量 | |
|--------|------------|-------|-----------|----------|
| | 合計 | 正味 | エーカー×フィート | 百万立方フィート |
| サマーセット | 30.0 | 30.0 | 57,345 | 2.498 |
| ハリマン | 184.0 | 154.0 | 116,075 | 5.056 |

(3) 河川流量

米国政府はマサチューセッツ州シェルモントより1マイル下流に水位観測所を設けている。この地点の詳細な資料は1913

年より今日まで利用することができ、貯水池運転の効果を示している。

第5節 地 質

5.1 発電所の用地

発電所の用地はシャーマンダムの東端にほぼ対面する南東側からディアフィールド川峡谷にはいる小さな谷にある。このダムは1926年ニューイングランド発電会社により水力発電所のため建設されたもので、最高約90フィートある。用地はディアフィールド川峡谷側を除いてはパークシャーの連山に囲まれている。用地のどの方向の山も高さ約1,000フィートあり、用地のすぐ背後に迫っている。この地域は大陸の氷がロングアイランドの中心部に達していたウィスコンシン氷河期大陸の氷河が通過した所である。発電所の用地の位置では恐らく氷盤の表面が少くとも3,000海拔フィートの高さにあったであろう。氷盤はほとんどすべての土壌を持取り、この付近に見られる現在の土壌の表面層は主として氷河砂礫である。

用地における岩盤の表面は、北東方向の小さな山および南東方向の大きい山ではきわめて不規則な岩棚が露出している。したがってこの研究の関心の1つは岩石の掘さくをできるだけ少くするための設計の指針として、この地域の岩盤の高さを決定することであった。図3.3に示すNo. 1, 2, 7の3箇所にボーリングが行われた。地方道路局によりすでに切り開かれていた小さい砂利採掘場は土壌の上層部の調査に役立った。図3.4はこの採掘場における土壌の写真である。岩盤の深さを調べるため地震探査が行われた。この方法は屈折波法をもちいて行われ、岩盤の深さは地震探査線の一端で決定された。決定された



図 3.4 土壌の一例



図 3.5 大きい氷河玉石

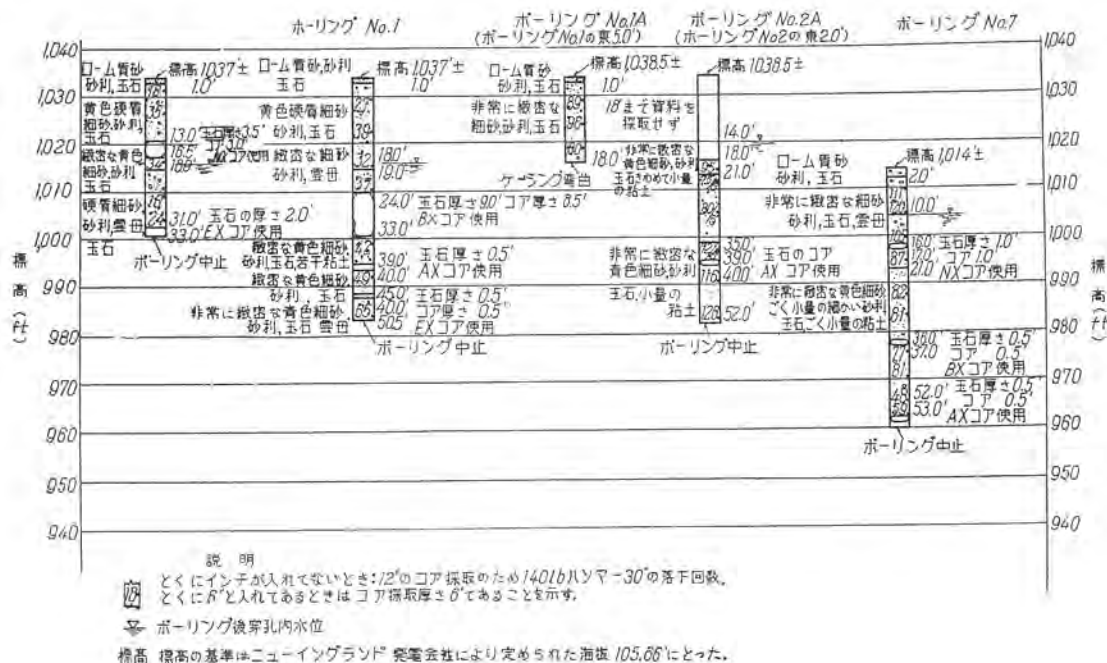


図 3.6 ボーリングによる柱状断面図

各点における岩盤の高さは図 3.3 に示されている。これらの高さを見ると岩石の表面が一般にディアフィールド川に向かって傾斜していることを示している。

ボーリングにより採取された土壌は図 3.6 柱状断面に示すように主として砂利、礫、玉石を交えた中程度および細かい砂である。これらの土壌は氷盤により大抵は堆石床として残された氷河砂礫である。それらは氷河から分離され、その重さで固められた土壌の不均質な塊を含んでいる。玉石の大きさは 10 フィートから 12 フィートに及ぶものもある。図 3.4 は砂利採掘場に露出した土壌の一例を示す、図 3.5 はシャーマンポンド貯水池の岸に沿って露出された氷河の大きい玉石を示す。

ボーリングの結果によれば深い層の土壌は幾分上層の土壌より緻密で、粘土とシルトの含有率は幾分多い。地震探査によればさらに深い層では表面層よりその速度が大きいから幾分より緻密である。

ボーリングは約 50 フィートの深さまで行われた。ボーリングはいずれも最初 4 インチのケーシングと NX コアビットを用い、コア採取を必要とした玉石を貫通した後は可能な限り大きい寸法のものを用いた。この方法によってもなおボーリング 1 と 2 の位置ではこの深さに達するために少し位置を変えてやらねばならなかった。

岩盤は始生代の変成岩で主として片岩と片麻岩からなる。岩石は新鮮で風雨の影響を受けていない。岩盤は接ぎ目はあるが、強い安定な岩石である。

5.2 基礎工事の設計

用地の地面下の土壌は強く安定で、腐食土の表皮と上層の土壌を除去すればよく、それ以上深く基礎工事をして、基礎の安定性と強度に関して利益はほとんどない。したがってすべての構造物および機器は凍結防止のために必要な深さで、広いフーティングをもつことが望ましい。

粒状土の剪断力は剪断面に垂直な応力に比例する。フーティ

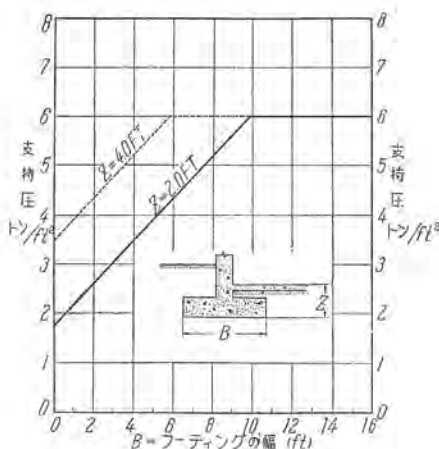


図 3.7 フーティングの土壌支持圧

ングの破断面はフーティングの一端から始まる対数螺旋曲線をなし、他端はフーティングの幅に大体比例する地面下の深さに達する。それゆえ粒状土に据えられたフーティングの支持圧は深くて幅が広いフーティングより浅くて幅が狭いものの方が小さい。

これらの土壌におけるフーティングの支持圧としてとられるべき値は図 3.7 に示されている。図によれば大きくて深いフーティングの最大支持圧は 6 トン/ft² で、より浅いまたは幅の狭いフーティングではこれより小さい値になっている。

フーティングの穴から玉石を除くことは困難なこともあり、また公称のフーティング深さ以下の土壌に乱れを来すことになるであろう。玉石の除去によりゆるんだまたは乱された土壌に重さがかかったとき乱されない土壌よりより圧縮される。たとえばフーティングの一方の縁の下にゆるんだ土壌の区域があると傾斜を生ずるなど好ましくない事態をひき起す。掘鑿に際しては土壌の乱れを最小にするよう注意しなければならない。フーティングの深さ以下で乱されまたはゆるんだ土壌はすべて

45度よりゆるい傾斜で掘鑿し、フーティングの面まで薄いコンクリートで穴を埋めてやらなければならない。

第6節 地震の問題

この地方は一般に地震に対して安定である。ただ、多数の人間の人体に感ずる程度の地震で、用地から50マイル以内が震源地となった地震が2度あった。1回目は1875年7月28日に、コネチカット州キャノン山付近で起り、2回目は1884年11月23日に、ニューハンプシャー州南部で起った。さらに、用地は、1925年2月28日のセント・ローレンス峡谷を震源地として、遠くヴァージニア南部まで感じた地震のような、他の地方が震源地であるが、広汎な地域で感じた地震に伴う震動をももちろん経験している。この地震は、広汎な地方で感じられたけれども、被害はセント・ローレンス川兩岸の狭い地帯、主に軌かい、どちらかといえば不安定な土壌の地域だけに限られた。

この発電所用地は合衆国北東部においては地震の最も少い地域の1つであり、衝撃の危険は非常に少ないが、弱震または中震の可能性は考えなければならない。

経験によって、地震による被害は、柔かい、不安定な土壌にのっている地域で大きく、とくにそれがかなり深い場合に被害が大きいことがわかっている。用地の土壌は、ち密な氷河砂礫であり、岩盤は浅い所かないしはあまり深くない所にある。経験によれば、こういう工合のよい状態においては、中程度の強さの地震でも、かなりの風圧に耐えられるように設計され、近代的に作られている構造物は破壊されることはないということがわかっている。したがって、この発電所の地震に対する設計に対しては、なんら特別な考慮を払う必要はないといえる。

ヤンキー発電所の場合はこのように地震に対しては、ほとんど問題にならない立地条件であるけれども、一般に原子力発電所を日本に建設する場合には十分の注意が必要である。日本は米国東南部と同様に台風が襲来する地域であって、風速毎秒60mというのは電気工作物の標準設計値である。米国の標準もこの数字が採用せられている筈であるが、日本の場合は60m/secの風速に耐えられる構造物が、すべての予想される地震にも耐えられるとはいえないであろう。

地震と同様の衝撃を与えるものとして貨車輸送中の電機品がある。この場合突放し、突当てをきわめて慎重に行っても1.0g

の加速度を考えなければならない。したがって貨車輸送しうるものは1.0gの加速度に耐えるものでなければならない。電機品のうちたとえば組立てたまま貨車輸送する変圧器の耐震装置は1.0gの設計にとるのが普通である。

大正12年の関東大震災の記録の最高値は地表面約0.1gであったが、これはその当時の地震計の最大振幅であって、これ以上どの位の加速度が与えられたか不明であったが0.2gないし0.3gと推定されている。これから見ても、0.2gで設計することは安全率が少なすぎると考えられ、少なくとも安全率を考えるならば、上記電機品のように1.0g位の加速度の設計値および試験値を採用し、さらにそれぞれ妥当と思われる安全率を付加すべきであろうと考えられる。

このように激しい耐震性を持った構造材料として最も好都合なものは鉄鋼である。加圧水型原子炉はその構造材料が鋼製であり、しかも重要な部分は主として強靱なる不銹鋼が用いられている。このことは原子炉を耐震性構造に設計することの容易なことを意味している。米潜水艦ノーチラス等に用いられた加圧水型原子炉は、潜水艦が当然予想される爆雷の衝撃、すなわち関東大震災に数倍する衝撃に耐える設計が可能であったことを意味している。

さらに蒸気コンテナを半地下または全地下式に設計することにより、地震の衝撃を低減することも可能であることを考慮に入れて、加圧水型発電所は地震に対して最もじょうぶな設計が可能で原子力発電所の1つといえることができる。

第7節 予備的放射線監視

空気中の放射能の連続的監視は1956年10月より始められた。シンチレーション形エネルギー分布検知器が自動記録器に直結され、これによりエネルギー分布にわたり積分された計数が永久記録として得られる。これらの資料は気象条件、とくに降水量および積雪量で補正される。これにより発生する変化の多くを説明することができる。

塵埃試料が大量の空気試料採取器によって毎月数回とられている。これらは塵埃粒子のもつ放射能の量と性質の情報を得るために計数される。この作業は核燃料がこの地点にもたらされるまでに、本来の放射能の基礎資料を完全にうるために河水と土壌の周期的試料採取にまで拡張されるであろう。

次 号 予 定

三菱電機 Vol. 32 No. 6

材料特集

- 絶縁油に及ぼす紫外線およびワニス溶解の影響
- 電気絶縁塗料の品質管理
- マイラとそのCombinationの特性
- 硫化カドミウム結晶成長
- ゼレンの金相学的研究(2)
- スリップリング傷損と刷子摩耗(BC3リングと金属黒鉛質刷子)
- ハイパーロイ-O(異方性50Ni-Fe磁性合金)の特性
- コロンビウム含有18-8ステンレス鋼の溶接
- 銅クロム合金の研究
- 国産クロムを用いたニッケルクロム電熱材の試作(1)
- イオン交換分析法の銅合金への応用
- 比色法によるBe-Cu中のBe分析法
- 自記熱膨張計
- 技術解説「火力発電シリーズ」
- 原子力情報 加圧水型原子力発電所について(5)

最近の用途に適した直流電動機

C. B. Hathaway and F. E. Spindler: D-C Motors for Modern Applications (Westinghouse Engineer, July, 1957, P. 98~102)

近代工業はオートメーション化されつつある。オートメーションには直流電動機がもっとも適している理由は、段階のない速度調整ができること、各電動機間の速度の同調が精密にできること、すみやかな加速減速、逆転ができることなどである。オートメーション化された工業では1台の電動機の事故停止はライン全体に影響し生産を阻害する。1台の故障の損害は1台の損失にとどまらない。したがって新しいオートメーション化された工業に使用される電動機には保守上の問題の少ない信頼性のあるものが要求される。ウエスチングハウス社ではこれらの要求を満足するため新たにライフライン H 形直流電動機、発電機を開発した。(図1参照)

NEMA では2, 3年前に1HP から200HP までの直流電動機および $\frac{3}{4}$ kW から170kW までの直流発電機に対して新しい推奨標準を作った。この新しい標準のおもな変わった点は、B 種絶縁を採用し温度上昇は 60°C としていること、開放形を廃し少なくとも防滴形にすること、定格表では一定速度と可変速度の区別を廃し可変速度一本になっていることである。ライフライン H 形はこの新しい標準によっている。

標準仕様

ライフライン H 形の標準仕様は表1のとおりである。現在は150HP および100kW までであるが近い将来に新しいフレームが追加されて NEMA 定格表の全部が含まれるようになる。電動機の電圧は旧形は115V, 230V に対し新形は120V, 240V に変更された。

絶縁方式

絶縁方式はシリコン絶縁を採用したが温度上昇は NEMA の B 種と同一の 60°C におさえてある。モートルレット (Motorettes) による模擬実験ならびに実物実験によって、B 種絶縁に比して寿命が10倍になることが明らかとなった。シリコン絶縁にしたことはつぎの三つの点で意義がある。(1) 普通の使用状態では機械の寿命を制限するものは絶縁物でなくなった。(2) 大きな非常最大負荷あるいは高い室温においても絶縁物が焼損することがなくなった。(3) 負荷の RMS (Root Mean

Square) が限度内にあって、大きな尖頭負荷がかかっても問題はない。



図1
新形電動機
外観

表1 標準仕様表

| 電 動 機 | 発 電 機 |
|--------------|-------------------------------------------------------------------|
| 出 力 | 1/2~150 HP 3/4~100 kW |
| 回 転 数 | ベース速度 300~3,500 rpm 850~3,450 rpm |
| 電 圧 | 120 V, 240 V \cdot 1/2~10 HP 240 V 15~150 HP 125 V, 250 V |
| 温度上昇限度 | 連続使用 60°C 同左 |
| 界 限 | 分巻, 複巻, 直巻 分巻, 複巻 |
| 枠 番 | 186~505 A, 324~505 AS 同左 |
| 保護方式 | 防 滴 同左 |
| 起動電流あるいは突入電流 | 起動電流 500% 以下 突入電流 200% 以下 |
| 最大電流 (1分間) | 200% (各速度において) 200% (各電圧において) |
| 速度, 電圧調整範囲 | 最大 4 対 1 自動 110~80% 他助 110%~残留電圧 |

絶縁物はマイカ、石棉、シリコンゴム、シリコンエナメルメグネット線などすべて H 種のもを使用し、シリコンワニスに 200°C でベークされてある。

通風と保護方式

新形の保護方式は少なくとも防滴形になっている。アルミニウム鋳物のファンによって通風は負荷側からはいり整流子側に出ようになっている。したがってブラシの磨耗によって生じた炭素粉が巻線に付着して絶縁を悪くすることがない。この通風方式では整流子ライザの通風作用が扇車の通風作用を助けることになるから通風効果は旧方式よりよい——旧方式では通風の方向は負荷側から整流子の方に向っている。

後ブラケットの通風入口は、強制通風の場合にはそのままでもそこに通風ダクトを結合することができるよになっている。

改善された特性

新形電動機は旧形にくらべて加速時間が短くなった。すなわち同一定格で GD^2 は45% に減少し、最大回転力 (1分間) は150% から200% に増加しているから加速特性は図2のようになる。この図は50HP 電動機で電動機と同一 GD^2 の負荷を直結して電動機定格回転力と等しい回転力の負荷を加速するときの計算である。新形は旧形の約30% の時間で定格回転数まで加速している。

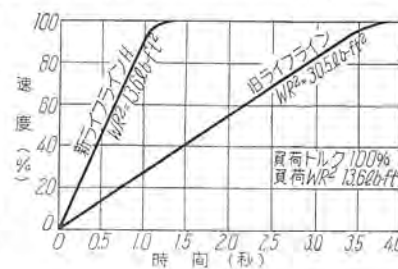


図2 新旧両電動機の起動特性の比較

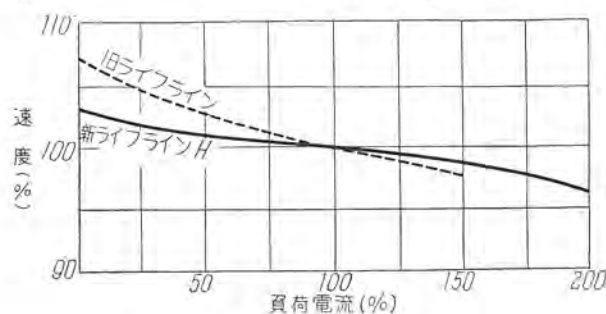


図3 新旧両電動機の負荷特性の比較

新形の負荷特性は旧形にくらべて速度変動率が少なくなっている。これは自動制御には都合のよいことである。新形と旧形との特性の比較は図3のとおりである。新形電動機は主極の特殊な構造によって直巻コイルなしで高速まで安定な特性を出しうるのである。

保守の便

ブラシ保持器の発条は「定圧力形」であるからブラシが磨耗しても発条を調整する必要はない。ブラシ点検窓は大きく開けてあるからブラシの取替えには便利で、またブラシの取替えは片手でできるようになっている。

軸受は密閉形玉軸受を使用しているからグリースを補給する必要はないが、補給できるような構造になっている。

ターミナル部分にはコンジットボックスが取付けてあって、コンジットボックスはいずれの方向にも自由に回転して取付けることができる。ボックスのふたの内面には接続図がはりついている。

(神戸製作所 片岡高示訳)

通風機の形式選定

A. N. Rogers: Selection of Fan Types. (Westinghouse Engineer. Vol. 17, No. 5, Sept. 1957, P. 152~155)

使用条件が決まった場合にこれにもっともよく適合する通風機の形式はただ一種類しかないはずであり、これを誤りなく選定するためには形式による通風機の特性の差異をよく知っておかなければならない。遠心通風機は羽根の形によって、前屈羽根、半径羽根、後傾羽根、の三つの形に分類できる。

前屈羽根

理論特性および実際特性は図1のようになる。風量零の閉込点と最大圧力(最高効率の点)の間で失速状態が起るため、図1-bのようにこの間で圧力曲線に凹んだ部分ができる。このため運転状態が最高効率の点より右側にある場合は問題ないが、左側すなわち閉込点に近い方の側にあるときは他の形式に比べてサージングが起りやすい。またこの場合に風路抵抗が吐出口直後にあればサージングは相当緩和されるが、吐出口からおもな抵抗までのダクトに相当な容積がある場合にはとくにサージングが起りやすい。2台の通風機を並列運転してサージングを起した場合、個々の通風機の風量、軸馬力は異常になるが2台の合計値は設計値で運転している場合とほぼ変りない。2台の通風機を最高効率の点で並列運転をすることはサージングを起しやすいから困難である。

前屈羽根は風量の大きな点で運転するのに適した通風機だと考えている人がときどきあるがこれはまちがいで、小形な割に大風量は出るが大風量小風圧の点では効率は低い。

風が翼車を離れるときの速度の関係で翼車直径に比してケーシングが小形にできると、低速回転で高風圧が出るため翼車が軽量のものですむことが前屈羽根の大きな特長である。

半径羽根

理論特性および実際特性は図2のようになり、風圧は或程度風量に無関係に一定である。最近はこの改良形に羽根先端だ

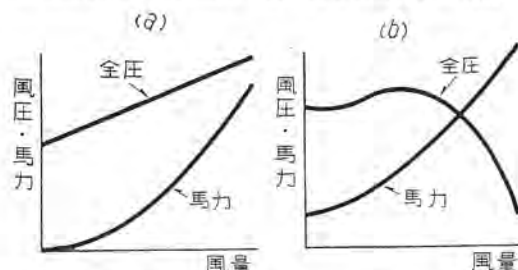


図1 前屈羽根の特性曲線 (a) 理論特性 (b) 実際特性

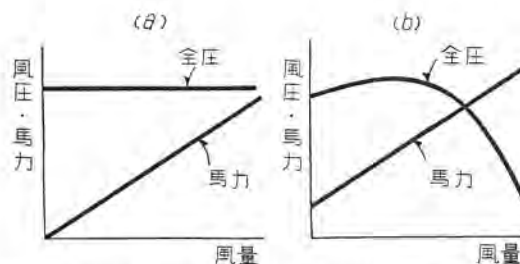


図2 半径羽根の特性曲線 (a) 理論特性 (b) 実際特性

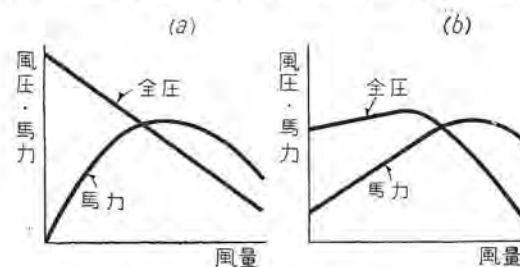


図3 後傾羽根の特性曲線 (a) 理論特性 (b) 実際特性

けを半径方向に向けたものもある。この形の羽根が一番初期から造られた通風機と考えられ、従来ともこの形の静圧効率は70%くらいであり今後も急速にこれ以上になるとは考えられない。この形の特長は、羽根には半径方向の応力しか生じないから高速回転が可能で、運転中翼車内の気流に吹飛ばされて羽根の表面に塵埃が積りにくいことである。

後傾羽根

理論特性および実際特性は図3のようになり、軸馬力は最高効率の点で最大になり、それ以上風量が増すと減少する。この特性のためダクトの抵抗が設計値と異なっても電動機の過負荷する懸念が少ない利点がある。圧力曲線は並列運転に適した形をしている。風量が大きくなっても気流が羽根に沿って流れやすいから効率の高い範囲が広い。欠点はケーシングが大きくなること(この点はケーシング巾を大きくすることによって実際上は或程度は逃げられる)高速回転を必要とするため翼車をがんじょうな構造にしなければならないことである。冷暖房および一般換気の用途に対し後傾羽根と前屈羽根の間には、大きさ、価格、騒音の点については優劣はない。

軸流通風機

軸流通風機は近年急速に進歩してきた。かぎられた紙面で設計上の詳細を述べる余裕はないが、軸流通風機はほとんどの使用目的に対して適合したものが製作可能である。現在のところ遠心形に比べて騒音の点で劣るが将来はこの欠点もなくすることと信じる。

むすび

前屈羽根は高圧の用途に適しており、また小形なため据付空間の限られた場合に有利である。効率はさして高いというほどではなく、また並列運転の場合は最高効率の点より風量の多いところで使用しなければならない。

半径羽根は物を輸送するとき、あるいは固体が気流とともに通風機の中を通る場合に使用される。羽根の応力が低いから遠心圧縮機など高圧のものに使用されるが効率はあまり高くない。

後傾羽根は冷暖房、換気その他一般用として最適の形である。効率も高く、並列運転も問題なくまたダクトの抵抗の変化に対して非過負荷特性をもっている。最近飛行機翼断面の羽根をもったものが製作され、板羽根のものよりなお効率よく、騒音少なく、高圧の用途に適したものが作られている。軸流通風機は大風量低圧で清浄な気体を処理し、しかも騒音が大きく問題にならない場合に非常にすぐれている。(長崎製作所 岩原二郎訳)

■ 台湾電力納 11.5 kV, 1,500 MVA 4,000 A C 形空気遮断器

当社では従来 11.5～34.5 kV 回路用には横吹付形空気遮断器を標準とし遮断容量 500～1,500 MVA 定格電流 400～2,000 A のものを多数製作してきたが、今回その特色を生かした構造簡潔な 11.5 kV, 1,500 MVA, 4,000 AC 形空気遮断器を完成し台湾電力龍洞発電所に納入した。その定格特長はつぎのとおりである。

定 格

| | | | |
|--------|-----------|------|-----------------------|
| 定格電圧 | 11.5 kV | 定格電流 | 4,000 A |
| 定格遮断容量 | 1,500 MVA | 操作気圧 | 10 kg/cm ² |
| 開極時間 | 0.07 sec | | |
| 最高温度上昇 | 34°C | 重量 | 1,850 kg |

特 長

1. 横吹付形空気遮断器のため定格電流が大きくなっても写真に見られるようにきわめて簡潔な構造にまとめられ、最高温度上昇値も余裕のある値に納まっている。
2. 接触部を除き消弧室、操作機構などはすべて標準形遮断器の部品が流用されており互換性、信頼性が高い。
3. 固定フィンガコンタクトには特殊銅クロム合金を加工したものを、可動コンタクト・ヒンジ部には銀ニッケル合金製ブリッジコンタクトを用いて従来のフレキシブル・シャント、スプリングなどを廃止し、きわめて信頼度の高い通電特性が得られた。
4. 可動コンタクトは1個の遮断用コンタクトと2個の主コンタクトからなり遮断用コンタクトに圧縮空気の強力な横吹付が行われて故障電流が遮断されるが、主コンタクトにも弱い空気吹付が行われて励磁電流遮断時の過電圧を抑制する構造が採られた。

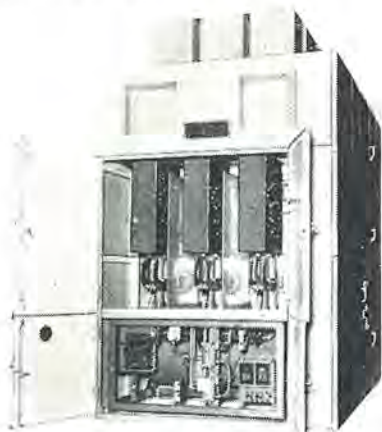


図 1 台湾電力龍洞発電所納
11.5 kV, 1,500 MVA, 4,000 A C 形空気遮断器

5. 接触部は常時外部から点検でき、操作気圧も 10 kg/cm² であるから取扱いが容易で信頼性の高い大電流空気遮断器である。

なお当社では今回の経験を基に電源開発株式会社南川越変電所向け 15 kV, 2,500 MVA, 6,000 A 空気遮断器を受注し現在製作中である。今後発電所容量の増加とともにこの種大電流空気遮断器の需要増加が期待される。



図 2 コンタクトおよび消弧室の点検状況

■ 交流電車用 23 kV 空気遮断器完成

北陸線交流機関車用空気遮断器の製作経験により、種々の改良を加えた結果、交流電車用 23 kV 空気遮断器が完成した。定格はつぎのとおりである。

| | |
|----------|----------------------|
| 定格電圧 | 23 kV |
| 定格電流 | 600 A |
| 定格遮断容量 | 100 MVA |
| 定格投入電流 | 11,000 A |
| 定格操作電圧 | DC 100 V |
| 定格操作圧力 | 7 kg/cm ² |
| 最低遮断保証圧力 | 5 kg/cm ² |
| 気槽容量 | 20 l |

写真に示されるように遮断部と並列に異常電圧抑制用の避雷器を備え、とくに交直電車屋上に取付けるため、操作機構その他を全部取付台上に置き、カバーを付けた。当所の大容量遮断試験場における短絡電流遮断試験、励磁電流遮断試験、その他の機械的試験にもきわめて優秀な成績を得ている。

従来の欧州形空気遮断器と比較して

1. 接触子が常時高気圧中にあり、気槽が消弧室にきわめて

近接して配置されているので消弧能率がよい。また温度上昇も大気中に比して低い。

2. 中空支持棒子内部にも高圧空気が満たされているので絶縁耐力が高く、また湿気その他による絶縁耐力の低下も起りにくいので常時乾燥空気を循環させる必要がない。
- などの特長があげられる。



交直電車 20-AW-10A 形 23kV 空気遮断器

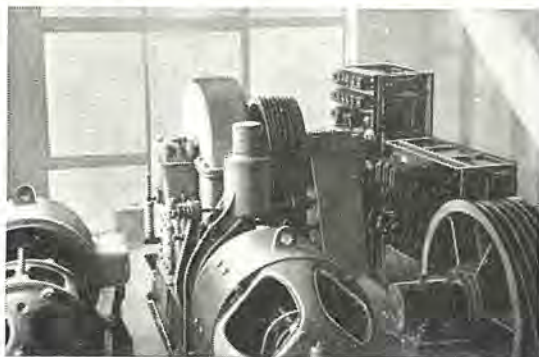
■ 関門海底国道トンネル用エレベータ活躍し出す

本土と九州を結ぶ関門海底国道トンネルは、昭和 12 年 5 月着工以来 21 カ年の長年月を経て去る 3 月 9 日開通式をあげ、自動車やバス関係は 10 日午前零時から有料道路として、また午前 6 時から人道の通行が始った。

これに使用する乗用エレベータは下関門司各 4 台ずつの予定で、現在 3 台ずつが完成、うち大形エレベータ 4 台は当社の製品である。直流可変電圧歯車式、押ボタン制御で定員 40 人を毎分 90 m の速度で、60 馬力の巻上電動機を用いて地上と 60 m 下の地下歩道間を運ぶが、人道を利用する自転車なども同時に運ぶことができる。

扉は 4 枚戸中央開で開口幅 2,200 mm あり同時に多数の乗客が出入しても混雑しない。昇降路内は水蒸気が充満して霧状を呈しこれが水滴となるため据付工事は相当な難渋であったが路内の電気器具はすべて防滴形にしてある。

このトンネルは関門海峡の海底 20~30 m を横断するもので、海底部長さ 780 m、全長 3,461 m で上部は車道、下部は人道よりなり輸送能力は、自動車毎時 2,000 台、エレベータによる通行者は毎時 1,500 名を運ぶことが可能で本土と九州は国鉄鉄道トンネルと相まってまったく陸続きとなり運輸上、産業上に与える利益は計り知れない大きなものであろう。



エレベータ機械室の一部



前面建物の 2 階がエレベータ機械室

■ 事故時に発生する内雷を処理しうる新形直流避雷器 国鉄技術研究所における試験に優秀なる成績をおさむ !!

車両の火災防止を緊急課題として研究を続けている国鉄では、避雷器に從來課せられていた外雷処理能力だけでなく、車両機器が事故を生じた場合の故障大電流をヒューズあるいは遮断器などで遮断した際に発生する内雷をも処理できる直流避雷器の開発を要望するに至った。このため昨年暮国鉄横須賀線久里浜駅構内において異常電圧の実測ならびに避雷器の試験が行われたが、この結果車両機器が事故を生じた場合の故障大電流をヒューズあるいは遮断器などで遮断した際には、さらに他の機器に閃絡を起させるような高い異常電圧が発生しうる場合があること、さらにこの際大電流に伴って回路の大きなインダクタンスに貯えられているエネルギーを避雷器で処理するためには、從來の外雷用の避雷器とは比較にならぬほど強力な避雷器が必要であることなどが明らかにされた。

当社ではこの要望に答えるために、当社研究所において多年にわたり開発に努力してきた独自の方式の永久磁石による放射状磁界を有する直列ギャップと、從來の発電機用より一段と大きい面積をもち放電能力を強化した新しい特性要素とを組合わせた避雷器を完成した。この避雷器は PT 形と呼ばれ、現用の車両機器との絶縁協調を保ちうるように放電開始電圧および制限電圧も從來の避雷器より格段に引き下げたものである。

この避雷器について昭和 33 年 2 月 25 日および 2 月 26 日の両日、国鉄技術研究所大井町分室において試験が行われた。回路のインダクタンスは 19.15 mH、回路の抵抗は久里浜の海水帰路の場合に相当する 0.407Ω とし、使用したヒューズは 20 A で久里浜試験の場合と同じ条件で、約 1,000 A の大電流をヒューズで遮断した場合のサージで避雷器を動作させたが、供試品 2 台とも各連続 3 回の責務に十分耐え、アーク時間も短

かくまたアーク電圧の異常上昇も認められなかった。

引続いて 25A のヒューズを使用して久里浜試験よりも一段と苛酷な条件で試験を行い、約 1,200A の大電流に伴う内雷で避雷器を動作させたが、2 台ともこの責務にも耐えて優秀な成績をおさめた。

なおこのような苛酷な回路条件による責務を必要としない場合や、外雷に対する保護を主体とする場合には、このような大形の避雷器でなくても十分であり、また経済的の見地からみてももっと小形の避雷器が要望されるので、当社では上記の PT 形の姉妹品として PR 形を完成した。(写真参照) この避雷器についてもあわせて試験が行われたが、回路インダクタンス 19.15 mH、回路抵抗 1.089 Ω で 5 A ヒューズを使用した場合、約 400 A の電流遮断に伴うサージで避雷器が動作してもこれに耐えたことが立証された。

当社としては車両用および直流変電所用として今後この二つの形の避雷器を標準製品として製作することとなる。



PR 形 1500 V
直流避雷器

■ 電源開発株式会社(南川越変電所)向 本邦記録の大容量屋外キュービクル受注

急激な電力需要の増加に伴い、山間僻地への電源開発はめざましい進展を遂げつつある。

これらの電源開発は逐次その容量が増大され、また需要都市までの送電線路も長大となるので、送電の電圧降下補償としてその受電端においての力率改善に、同期調相機あるいは電力用蓄電器を使用することになるが、この機器の容量増加につれて、遮断器を初めとする制御器関係も大容量のものが要求されるとともに、人畜に対する安全、機器自体の保全、故障の拡大防止、制御上の安全、保守点検の便宜などの条件を具備した、キュービクル方式が採用されるようになってきた。

今般受注したキュービクルは、只見川水系の開発に伴い、その受電端に南川越変電所が設けられ、この主変圧器 (312,000 kVA) の三次回路の、同期調相機、電力用蓄電器などの制御を行うもので、母線、遮断器、断路器、変流器、計器用変圧器などを合理的に組合せ収納した、本邦記録の大容量キュービクルである。

単線結線図に示す鎖線で囲った部分が、キュービクルにより製作されるものであって、その仕様は下記のとおりである。

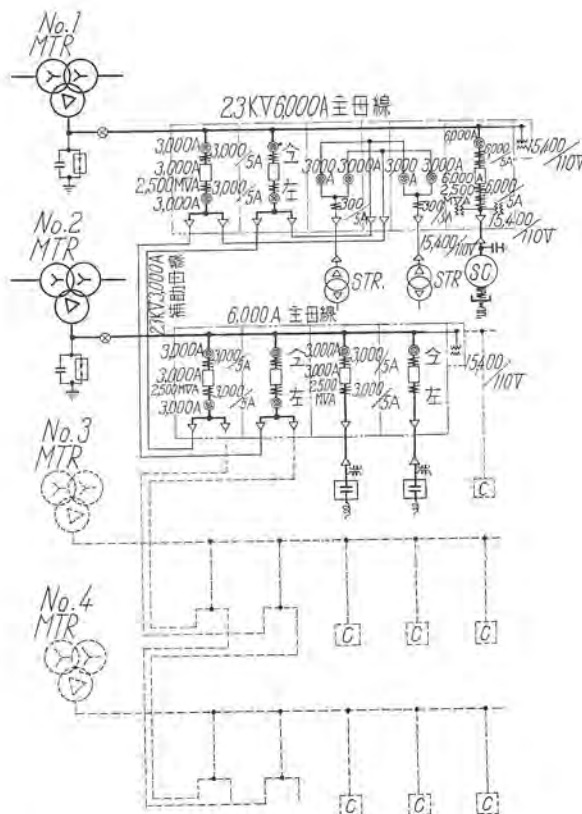
仕様

| | |
|--------|-----------------------|
| 回路方式 | 三相三線式 50 c/s 15,400 V |
| 形式 | 屋外用 単位閉鎖 相間隔壁形 |
| 定格母線電圧 | 23,000 A |
| 定格母線電流 | |
| 主母線 | 6,000 A |
| 補助母線 | 3,000 A |

| | |
|---------|-----------|
| 定格短時間電流 | 120,000 A |
| 定格最大電流 | 300,000 A |
| 商用周波耐圧値 | 50 kV |
| 衝撃波耐圧値 | 125 kV |

キュービクルの内蔵機器

| | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 空気遮断器 | 20-C-250 形 16,100 V 6,000 A (調相機用) 3,000 A (その他用) |
| 断路器 | 2,500 MVA 圧縮空気操作式 DW-N 形 23,000 V 6,000 A (調相機用) 3,000 A (その他用) |
| 負荷断路器 | F-B 接続 圧縮空気操作式 LC-B 形 23,000 V 3,000 A (所内変圧器用) |
| 変流器 | F-F 接続 圧縮空気操作式 開閉能力 励磁電流 10 A 以上 BS 形 乾式套管形 23,000 V 6,000/5A 40VA 1.0 級 (調相機用) 3,000/5A 40VA 1.0 級 (補助母線 およびコンデンサ用) |
| 計器用変圧器 | 300/5A 25VA 1.0 級 (所変用) CSF-IS 形 不燃性油入 单相 15,400/110V 100VA |



南川越変電所にけるお主要変圧器三次回路単線結線図



電気機器並列運転装置

発明者 尾畑喜行

発電機、水銀整流器、ポンプ電動機などの出力または負荷を調整する電気機器を複数機並列運転する場合、全出力には負荷を各機の定格値に応じてそれぞれ分担せしめる必要がある場合が多い。

この発明はこのような場合に各並列機器の出力または負荷を自動的に調整し定格値に対する負荷分担比率を各機とも一致させようとするもので、図1により発電機3台の場合の例について説明する。原動機を含めた発電機 G_1, G_2, G_3 がそれぞれ遮断器 B_1, B_2, B_3 を経て共通母線に並列に接続せられ、各発電機には原動機の入力を制御し発電機の出力を調整する電動機 M_1, M_2, M_3 と、この電動機制御用の電力平衡継電器 P_1, P_2, P_3 をそれぞれ備えている。上記電力平衡継電器 P_1, P_2, P_3 の右側要素は、変流器 CT よりの全出力電流に比例する電流と、変成器 PT よりの母線電圧に比例する電圧とにより付勢され全並列発電機の総出力に比例する電磁力を発生

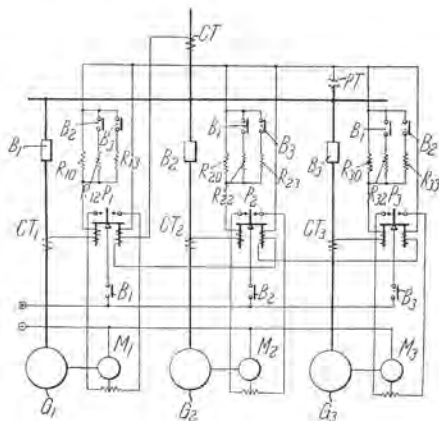


図 1

し、左側要素は変流器 CT_1, CT_2 あるいは CT_3 よりの各発電機の出力電流に比例する電流と、変成器 PT よりの母線電圧に比例する電圧を抵抗 $R_{10}, R_{11}, \dots, R_{32}$ で降下させた電圧とにより付勢され各発電機の出力にそれぞれ比例する電磁力を発生するものとする。

なお、上記 P_1, P_2 あるいは P_3 の両側要素が等しい電力を検出した場合、すなわち G_1, G_2 あるいは G_3 の単機運転のように各発電出力と総発電出力が等しい場合には、それらの左側要素の電圧線回路に R_{10}, R_{20}, R_{30} のみが挿入され

ているとき、 P_1, P_2 あるいは P_3 が平衡するよう各変流器、各平衡継電器の電磁線輪などの巻数および R_{10}, R_{20}, R_{30} の抵抗値を整定するものとする。

したがって B_1 のみ B_2 のみあるいは B_3 のみが閉成し、 G_1, G_2 あるいは G_3 が単機運転する場合には、 P_1, P_2 あるいは P_3 は平衡し電動機 M_1, M_2 あるいは M_3 は回転しない。

つぎに G_1, G_2, G_3 の定格出力をそれぞれ G_{1m}, G_{2m}, G_{3m} として B_1, B_2 が閉路された場合を考える。このとき P_1 の電圧線回路には R_{12} が R_{10} に並列に挿入される。この R_{12} の並列挿入により P_1 の左側電磁力が $(1+G_{2m}/G_{1m})$ 倍に増加するよう整定する。一方 P_2 の電圧線回路には R_{21} が R_{20} と並列に挿入されており、 R_{20} のみの場合の $(1+G_{1m}/G_{2m})$ 倍の電磁力が生ずるものとする。 G_1 の出力を W_1 、 G_2 の出力を W_2 、総出力 $W_1+W_2=W$ とすると、 P_1 の左側電磁力は $K_1(1+G_{2m}/G_{1m})W_1$ 、右側電磁力は K_1W 、 P_2 の左側電磁力は $K_2(1+G_{1m}/G_{2m})W_2$ 、右側電磁力は K_2W となる。ここに K_1, K_2 は比例常数である。したがって W_1, W_2 が定格出力 G_{1m}, G_{2m} に比例し負荷の分担が平衡していれば、 P_1, P_2 の上記両電磁力はすべて等しくなり平衡する。しかしたとえば G_1 の方が G_2 よりもその定格比以上に出力を分担している場合には、 P_1 は左側電磁力が、 P_2 は右側電磁力が大となり、 P_1 は左側接点を閉じて M_1 が G_1 の出力を減らすよう、 P_2 は右側接点を閉じて M_2 が G_2 の出力を増すよう制御し、 G_1, G_2 の出力が平衡される。

同様に G_2 と G_3 、 G_1 と G_3 の並列運転時にも、出力の平衡自動調整が行われる。

G_1, G_2, G_3 の全機並列運転の場合は、抵抗 $R_{10}, R_{12}, \dots, R_{32}$ は全部投入され、 P_1, P_2, P_3 の左側電磁力はそれぞれ $K_1(1+G_{2m}/G_{1m}+G_{3m}/G_{1m})W_1$ 、 $K_2(1+G_{1m}/G_{2m}+G_{3m}/G_{2m})W_2$ 、 $K_3(1+G_{1m}/G_{3m}+G_{2m}/G_{3m})W_3$ となり、右側電磁力は K_1W 、 K_2W 、 K_3W となる。この場合も G_1, G_2, G_3 がそれらの定格比に応じて正しく分担されておれば、各平衡継電器 P_1, P_2, P_3 は平衡し、接点は閉じないが、出力の分担に不平衡があれば、分担の少なすぎる発電機の出力はそれを増すように、大きすぎる発電機の出力はそれを減らすようそれぞれ制御用電動機が出力を自動的に調整する。(特許第 233350 号)

(葛野記)

最近における当社の社外寄稿一覧

| 原稿送付月日 | 寄 稿 先 | 題 名 | 執 筆 者 | 所属場所 |
|-----------|--------------------|------------------------------------------------------------------------|--------------------|------|
| 32年9月4日 | オーム | 三菱製交流電気機関車 | 松田新市 | 伊 丹 |
| 9 〃 9 〃 | 日本金属学会誌 | 三菱電気炉 | 中村幸雄 | 〃 |
| 9 〃 18 〃 | オーム | 三菱ノーヒューズ遮断器の構造と特性 | 篠崎善助 | 名古屋 |
| 9 〃 19 〃 | 電気学会誌 | 交流計算盤 | 早瀬通明 | 伊 丹 |
| 9 〃 19 〃 | 火力発電 | 自家発電タービン発電機の最近の進歩 | 甲斐 高 | 長 崎 |
| 9 〃 19 〃 | 生産と電気 | 新構想のビル用変電設備 | 井上八郎 | 本 社 |
| 9 〃 19 〃 | 日本自動制御協会誌 | 無接点継電方式 | 横須賀正寿・浜岡文夫 大野栄一 | 研究所 |
| 9 〃 21 〃 | 電力 | 設計製作上から見た変圧器騒音防止対策 | 村上 有 | 伊 丹 |
| 9 〃 24 〃 | 産業と電気 | 産業と電子工業 | 馬場文夫 | 無線機 |
| 9 〃 25 〃 | オーム | 新形式の可搬式イグナイトロン整流器変電所 | 加藤又彦 | 伊 丹 |
| 9 〃 27 〃 | 冷凍 | 読売会館付帯設備 (特に冷暖房並にエアードア設備) 紹介 | 内山隆夫 | 本 社 |
| 10月 5 日 | 原子力工業講座 | 加圧水型原子力発電所 | 前沢芳一 | 本 社 |
| 10 〃 28 〃 | 日本物理学会誌 | Crystal growth of Cd S by the vacuum sealed method | 山下博典・伊沢順章 | 研究所 |
| 10 〃 30 〃 | 生産と電気 | 半導体整流器の現状とその将来性 | 加藤又彦 | 伊 丹 |
| 10 〃 31 〃 | 日本繊維機械学会誌 | スラリーおよびケーク精練機における自動制御 | 蟹江邦雄 | 名古屋 |
| 11月 4 日 | 日本原子力産業会議 物理部会誌 | 材料試験炉およびそれに関連した 研究用原子炉 | 岩城利夫 | 研究所 |
| 11 〃 12 〃 | 真空機器協会誌 | 可動形直視式ガス分析計・Van de Graaff 形 加速器・水銀拡散ポンプ FM-800 形 Evapor-Ion Pump | | 研究所 |
| 11 〃 16 〃 | 日本機械学会誌 | エレベータ・エスカレータの展望 | 木村武雄 | 本 社 |
| 11 〃 18 〃 | 電気計算 | パラメトロンを使用したモールス 5 単位 符号変換機 | 津村 隆 | 無線機 |
| 11 〃 18 〃 | 日本規格協会誌 | 社内標準化、品質管理実施例 | 鈴木重宣 | 世田谷 |
| 11 〃 20 〃 | 電気技術者協会会報 | 最近の電動機 (II) 各種電動機の進歩と選定 | 宗村 平 | 本 社 |
| 11 〃 21 〃 | 電力 | 昭和 32 年の技術的成果 | 木村久男・山田栄一 | 本 社 |
| 11 〃 27 〃 | 電気学会時報 | 刷子なし機器へのシリコン整流器の応用 | 横島洋志 | 伊 丹 |
| 11 〃 27 〃 | オーム | 電力用シリコン整流器完成 | 加藤又彦 | 〃 |
| 12月 2 日 | エレクトロ ダイジェスト | 電力線搬送による送電線保護装置について | 津村 隆 | 無線機 |
| 12 〃 5 〃 | 日本金属学会誌 | ジルコニウムの空気酸化の研究 | 前川立夫・秦 卓也・ 立原芳彦 | 研究所 |
| 12 〃 11 〃 | 電気公論 | 最近の距離継電器について | 尾畑喜行・北浦孝一 | 神 戸 |
| 12 〃 18 〃 | オーム | 液冷式シリコン整流器、半導体に関する 海外ニュース | 加藤又彦 | 伊 丹 |
| 12 〃 19 〃 | 広島通商産業局 「広報誌」 | 電子管を利用した電力関係の応用機器 について | 大島羽幸太郎 | 無線機 |
| 12 〃 21 〃 | オーム | セレン整流器 | 竹内真一 | 神 戸 |
| 12 〃 26 〃 | 放送技術 | AM/FM 放送受信機について | 杉多重雄・武居 明・ 藤田恒雄 | 無線機 |
| 12 〃 27 〃 | 防錆技術便覧 | 作業工程中の防錆、冷蔵庫用モートル作業工 程中の防錆について | 脇坂信隆 | 名古屋 |
| 12 〃 29 〃 | 電気工学年報 | イグナイトロン制御盤 | 細野 勇 | 伊 丹 |
| 12 〃 29 〃 | 〃 | 特高キュービクル | 矢野広一 | 〃 |
| 33年1月7日 | 電気計算 | 誘導線の種類とその方式 | 三谷尚正 | 無線機 |
| 1 〃 11 〃 | 通商産業研究 | 原子力開発 | 木村久男 | 本 社 |
| 1 〃 17 〃 | エレクトロニクス | 創造への道 | 津村 隆 | 無線機 |
| 1 〃 31 〃 | 電気音響理論研究 専門委員会 | 騒音中に於ける炭素形マイクロフォンの混変 調歪について | 藤 木一・進藤武男・ 磯崎 真 | 無線機 |
| 2 月 5 日 | エレクトロニクス | 工業用テレビジョンの応用の現状と将来性 | 馬場文夫 | 〃 |
| 2 〃 11 〃 | 電気商品 | パラメトロンの将来 | 磯崎 真 | 〃 |
| 2 〃 12 〃 | 農業電化 | モートルの取扱い方と手入れ | 関野 博 | 名古屋 |
| 2 〃 15 〃 | 電気工学年報 | NC 形コントロールセンタ | 梶田保雄 | 〃 |
| 2 〃 15 〃 | オーム | 小形熱遅延リレー真空管 | | 研究所 |
| 2 〃 20 〃 | オートメーション | 水分計と自動制御 | 馬場文夫 | 無線機 |
| 2 〃 21 〃 | 電気工学年報 | ハイパロイ焼鈍炉の温度制御 | 浜岡文夫 | 研究所 |
| 2 〃 22 〃 | 電気学会誌 | 水銀電極における微少放電の発生および陰極 斑点への発展 | 岡田武夫 | 〃 |
| 2 〃 26 〃 | 日本機械学会誌 | エレベータ・エスカレータの展望 | 木村武雄 | 本 社 |

三菱爆発防止式 オートバルブ"避雷器



図 1
爆発防止装置を備えた
SV-W₂A 形避雷器

事故時に系統内部に発生した異常電圧で避雷器が動作したり、あるいは線路電圧が避雷器の商用周波許容端子電圧を超過した状態でサージが到来して動作した場合のように、避雷器が責務外の動作により焼損する可能性がある。この場合でも避雷器の磁器碍管が爆発飛散して人畜、施設に被害を与えないことが望ましい。この要求に応じて新たに爆発防止装置を備えた SV-W₂A 形オートバルブ避雷器が製作された。(図1)

構造は底板が二重になっていて内側の底板はアルミ鋳物などで一部がとくに薄くつくられており、また特性要素の間には Fusible Metal が挿入されており、万一避雷器が続流遮断不能に陥ったときには Fusible Metal がとけて、特性要素を短絡する。したがって碍管内部には大きな短絡電流が流れ、内部気圧が所定値に達すれば底板の薄い部分が破壊してガスが噴出し、図1に見られるように上下の金具の噴出口が逆向きについているので磁器ケーシングの外部でアークが発生して磁器ケーシングの爆発飛散を防止することができる。

図2は 50,000 kVA 短絡発電機を使用して、回路電圧で避雷器を動作させ 10,000 A の短絡電流を流した場合の写真である。図3は試験後の避雷器の状態であって、磁器ケーシング自体は爆発飛散していないことを示している。



図 2
50,000 kVA 短絡発電機を使用して
回路電圧で避雷器を動作させ 10,000
A を流した場合



図 3
試験後の避雷器の状態
(磁器ケーシング自体は爆発飛散し
ていないことを示している)

昭和 33 年 5 月 17 日 印刷 昭和 33 年 5 月 20 日 発行

「禁無断転載」 定価 1 部 金 100 円 (送料別)

雑誌「三菱電機」編集委員会

| | | | |
|------|------|-------|-----|
| 委員長 | 大久保謙 | 常任委員長 | 宗村平 |
| 副委員長 | 石川辰雄 | 委員 | 岡屋精 |
| 常任委員 | 浅井徳次 | " | 進藤芳 |
| " | 荒井安 | " | 立原真 |
| " | 安藤二雄 | " | 竹内村 |
| " | 堀武雄 | " | 津松又 |
| " | 木村富郎 | 幹事 | 井上八 |
| " | 高井得一 | " | 市村宗 |
| " | 中野光雄 | | |
| " | 馬場文夫 | | |
| " | 松田新栄 | | |
| " | 山田一 | | |

(以上 50 音順)

| | | |
|--------|----------------------|------------------------------|
| 編集兼発行人 | 東京都千代田区丸の内 2 丁目 3 番地 | 市村宗明 |
| 印刷所 | 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 | 大日本印刷株式会社 |
| 印刷者 | 東京都新宿区市谷加賀町 1 丁目 | 長久保慶一 |
| 発行所 | 三菱電機株式会社内 | 「三菱電機」編集部 |
| | | 電話 和田食 (20) 1631 |
| | 日本出版協会会員番号 213013 | |
| 発売元 | 東京都千代田区神田錦町 3 の 1 | 株式会社オーム社書店 |
| | | 電話 (29) 0915・0916 振替東京 20018 |