

各種産業への水銀整流器の応用

Application of the Mercury Arc Rectifier in Various Industries

小野田 芳光*
Yoshimitsu Onoda

岩城 秀夫**
Hideo Iwaki

守田 啓一**
Kēichi Morita

内 容 梗 概

水銀整流器は電力効率が非常に高く、自動移相器と組み合わせることによりすぐれた特性の電力増幅器となる。かかる点から、単なる整流器としてでなく、制御機器として新分野を開拓しつつある。

日立製作所では各種産業へ水銀整流器を応用することを研究し、交流電気機関車、線材圧延設備用静止レオナード、極強磁場発生装置などいずれも世界に誇りうる性能のものを開発製作した。

ここでは、水銀整流器応用装置の基礎となる制御特性と自動移相器についてのべ、次に、日立製作所で開発または製作した代表的な装置についてのべる。

1. 緒 言

水銀整流器はよく知られているように、初期においては単なる交流より直流への変換装置として開発されたものであるが、格子制御が実用化されるに及び、その高効率と高電力増幅度および速応性を有することからその用途は非常に広がってきた。すなわち、格子制御を行うことにより電圧の調整はもちろん可能となったが、直流より交流への逆変換装置として使用したり、あるいは自動移相器と組合せて制御要素として使用し、各種の産業へ応用することが可能となってきた。特に、最近では信頼性の高い封じ切り整流器や、特性のすぐれた磁気的自動移相器が開発され、その用途は格段に広げられてきている。

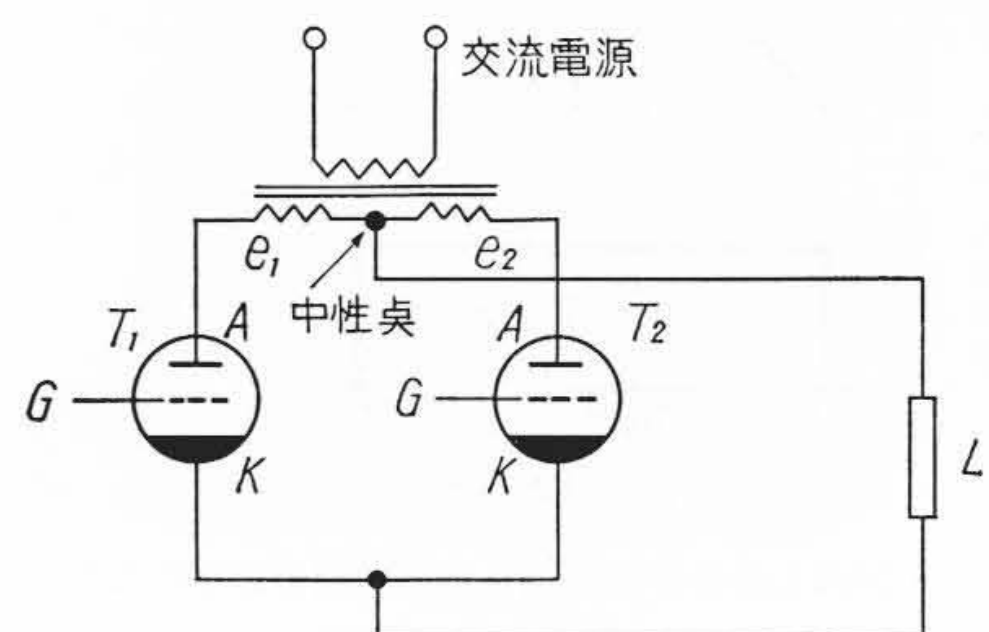
したがって、それらをすべてのべることは容易でないもので、ここでは、水銀整流器応用装置の基礎となる水銀整流器の制御特性と自動移相器、および最近、日立製作所で製作あるいは開発した装置の代表的なものについてのべる。

2. 水銀整流器の制御特性

第1図において、水銀整流器の陽極が陰極に対して正電位であるとき、その格子に正の電位を与えると陽極、陰極間がほぼ短絡された状態になる。そして、この短絡状態は水銀整流器に流れる電流、すなわち陽極より陰極へ向かって流れるアーク電流が0になるまで続く。

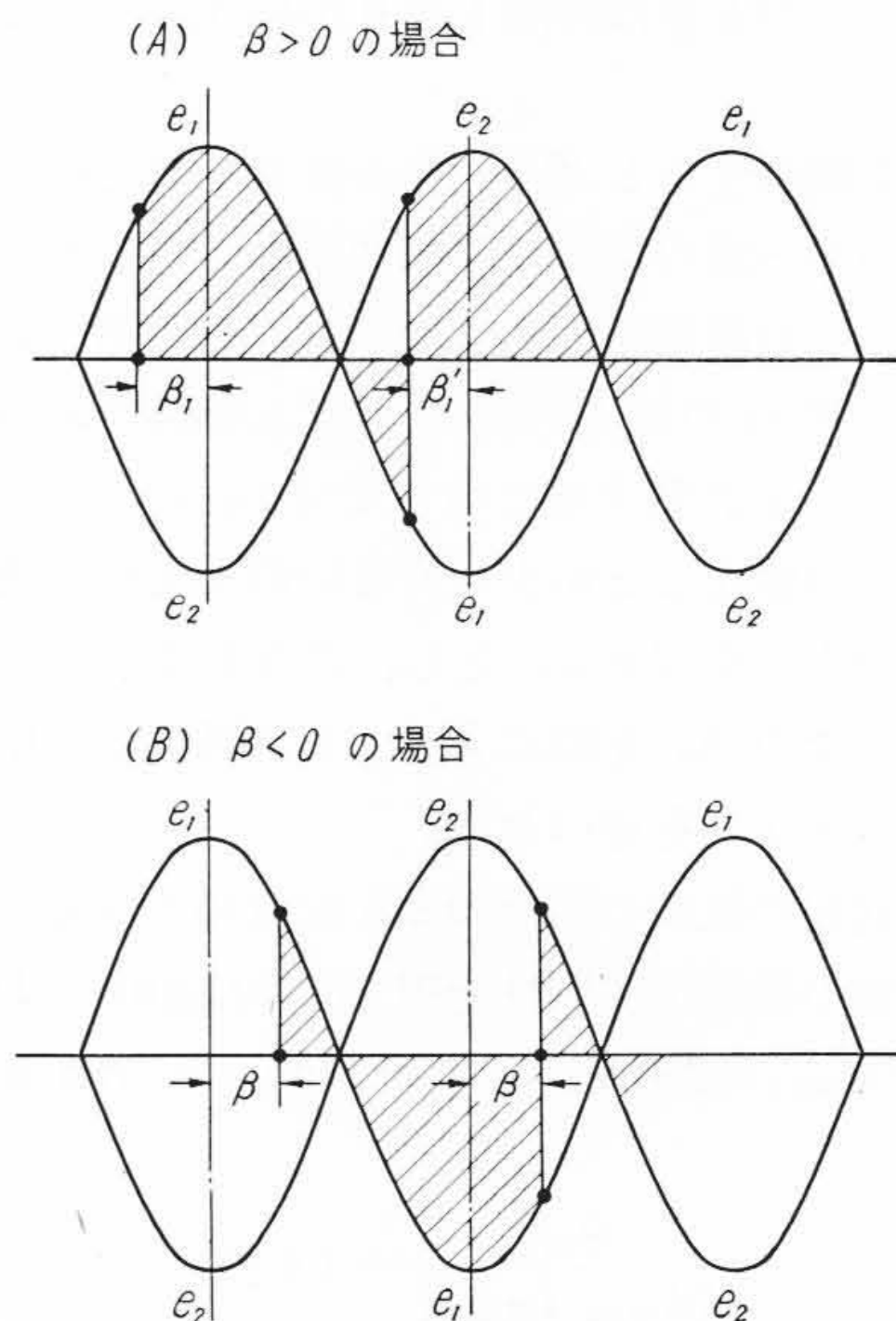
いま、負荷 L が理想的な誘導性である場合について考えてみる。両者の整流タンクの格子が負電位の状態であり、負荷に起電力がなければ、整流タンク T_1 の陽極陰極間の電圧は第2図 e_1 のようになり、 T_2 の陽極陰極間の電圧は e_2 のようになる。

この状態で、 T_1 の格子を β_1 の位置で正電位にすると T_1 はそこで短絡状態になり L には e_1 の電圧が与えられ



e_1, e_2 : 変圧器二次電圧 L : 負荷
 T_1, T_2 : 水銀整流器タンク
 A : 陽極 K : 陰極 G : 格子

第1図 負荷に起電力がない場合の水銀整流器回路

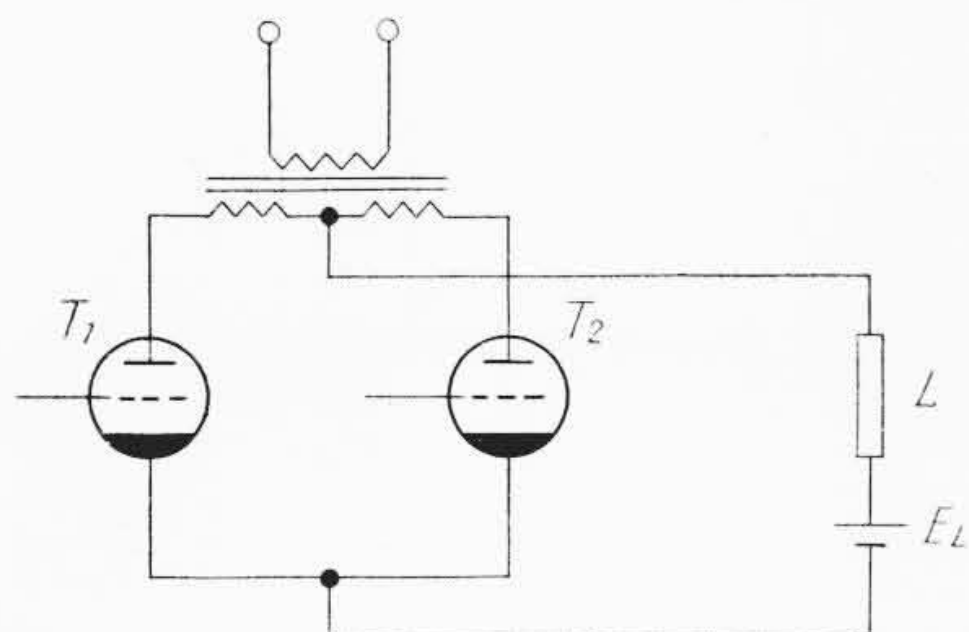


第2図 水銀整流器の転流の様様

る。 L は誘導性であるから e_1 が負の電圧になっても電流が持続される。次に、 β_1' の位置でタンク T_2 の格子を正

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所日立工場



E_L : 起電力

第3図 負荷に起電力がある場合の水銀整流器回路

電位にすると T_2 は短絡状態になり、負荷には e_1 と e_2 の電圧が与えられることになるが、

$$e_2 - e_1 > 0$$

であるから、 T_2 から T_1 へ向かって電流が流れようとする。しかし、陰極から陽極へ向かって電流は流れ得ないから、 T_1 の電流は 0 となるのみで、そこで T_1 の短絡状態は終る。その後は T_2 が通流し、以下同様に動作する。

$\beta < 0$ の状態では第2図(B)のようになり、電圧が負の期間が長くなり、 T_2 の格子を正にする前に電流が 0 になって、そのままでは動作が異なる。

しかし、負荷 L に第3図のように起電力 E_L があるときは、この状態でも転流されるまで電流が流れ、前と同様の動作が行われる。すなわち、連続電流が流れているときは β の正負にかかわらず同様な転流を行う。そして β の変化に伴い、水銀整流器の出力電圧の平均値が変化する。

いま、変圧器の電圧降下がないものとして、その出力電圧の平均値を求めると、

$$E_R = \frac{E_0}{\pi} \int_{-(\pi-\beta)}^{\beta} \cos \beta \, d\beta = (2E_0/\pi) \cdot \sin \beta \quad (1)$$

$\beta = \pi/2$ のとき最大となり

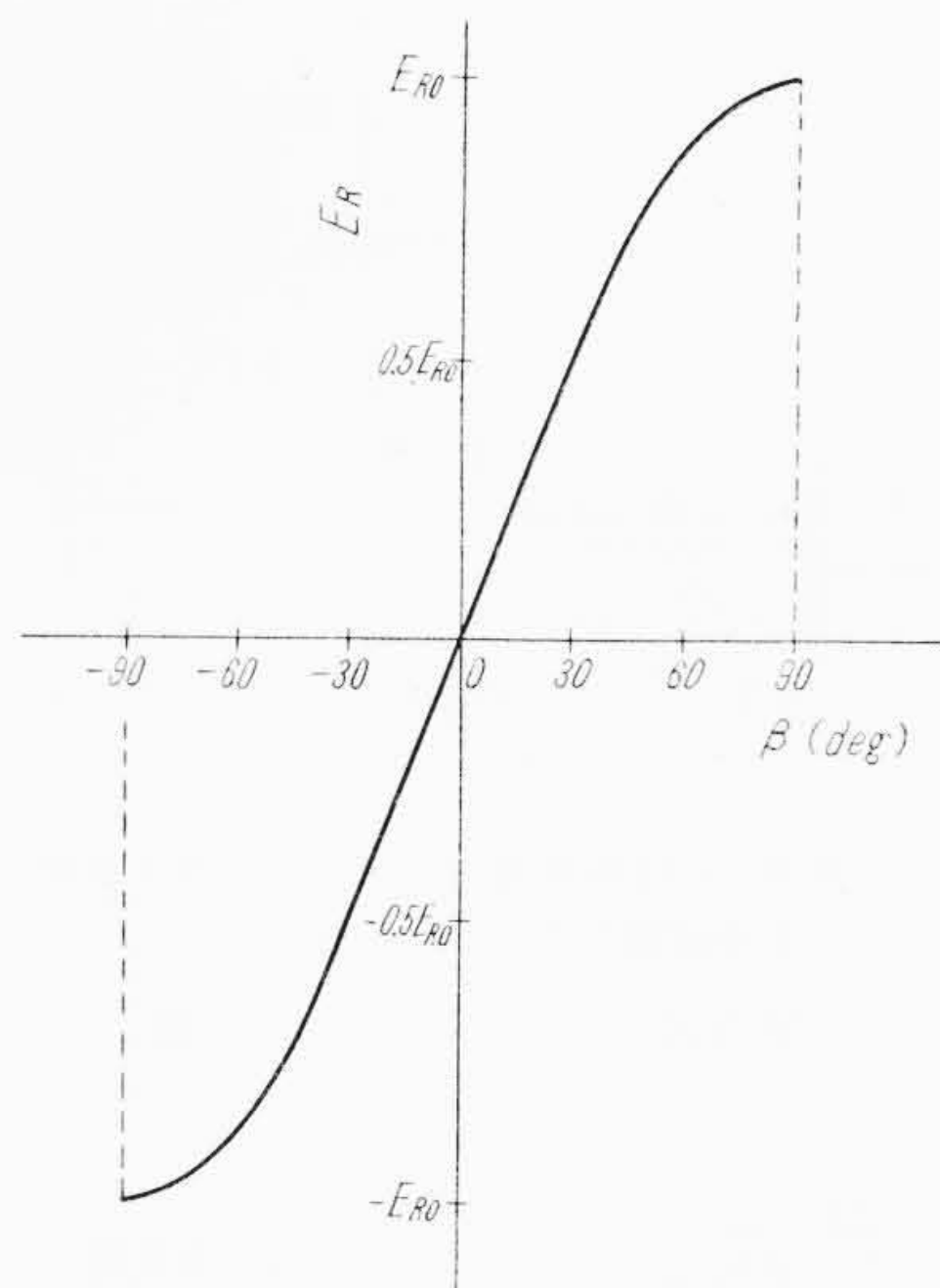
$$E_R = (2E_0/\pi) \quad (2)$$

となる。このときの E_R を E_{R0} とすれば、

$$E_R = E_{R0} \sin \beta \quad (3)$$

この E_R を水銀整流器の等価無負荷電圧と呼び、 E_{R0} を $\beta = \pi/2$ のときの E_R とすれば、上記の関係は二相の場合のみならず多相の場合においても成立する。そして $\sin \beta$ を格子率と呼び、普通%で表わす ($1 - \sin \beta$ を制御率という)。

β を変化すれば(3)式にしたがって第4図に示すように E_R が変化するが、この制御に要する格子入力鉄槽形で1タンク当たり数ワットである。この入力最大数千キロワットの出力をほとんどおくれなしに制御できるから自動制御要素、すなわち電力増幅器として使用するとすぐれた性能を発揮できることになる。



第4図 水銀整流器の制御特性

しかしながら、その制御が上述のように一般の電力増幅器と異なり単なる電圧の変化でなく、位相を変化することにより行われ、かつ、通流期間は制御が不能で、さらに出力波形が第2図のように鋸歯状波であるため簡単にはいかない。

すなわち、通流期間は制御できないことから、平均

$$\Delta\tau = 1/2f \quad (4)$$

ここに q : 相数

f : 電源周波数 c/s

だけのむだ時間を有し、出力波形に基本角速度

$$\omega_h = 2\pi q f \text{ (rad/s)} \quad (5)$$

なる交流分を含むことより、この周波数以上に対しては十分減衰するように制御系の周波数特性を決めねばならないので、水銀整流器を使用した場合の制御速度には理論的な限界がある。

また、位相を変化させるために特殊な制御要素を必要とする。

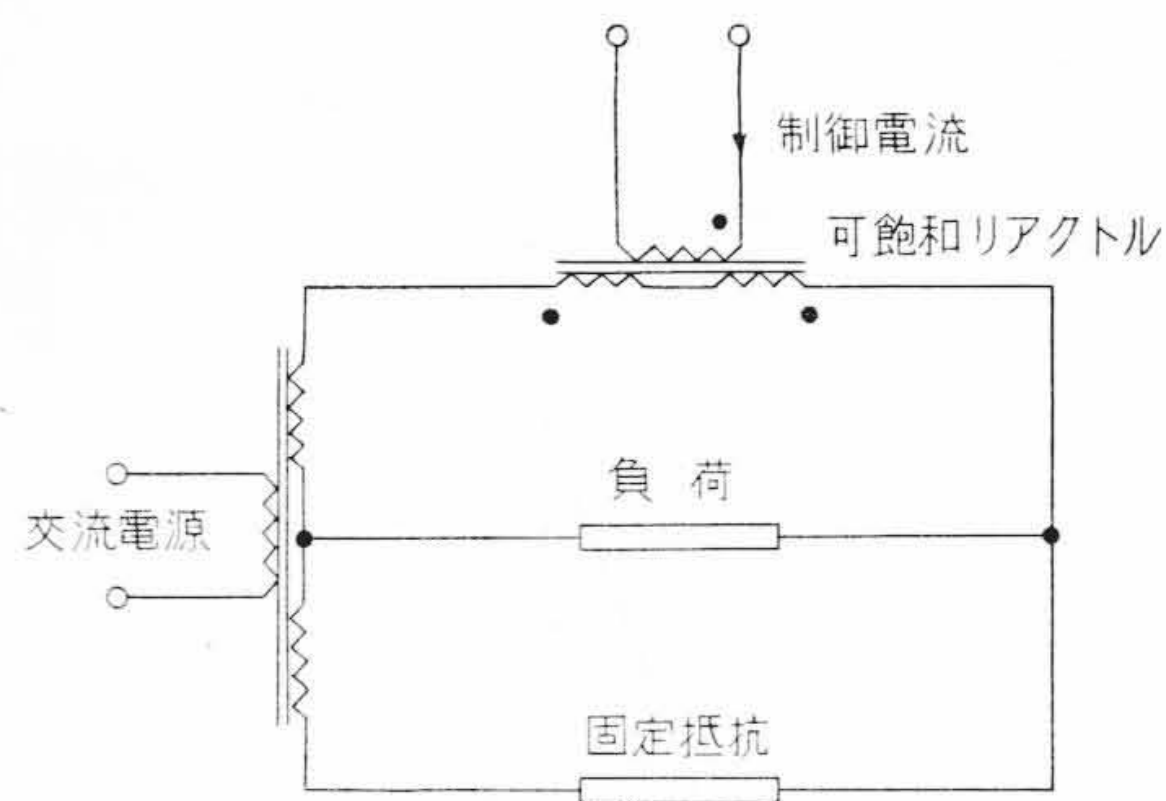
なお、水銀整流器の伝達関数 $g_R(p)$ は(3)式および(4)式から次のようにあらわされる。

$$g_R(p) = E_{R0} \cos \beta \, e^{-p\Delta\tau} \text{ (V/rad)} \quad (6)$$

3. 自動移相器 (APS)⁽¹⁾⁽²⁾

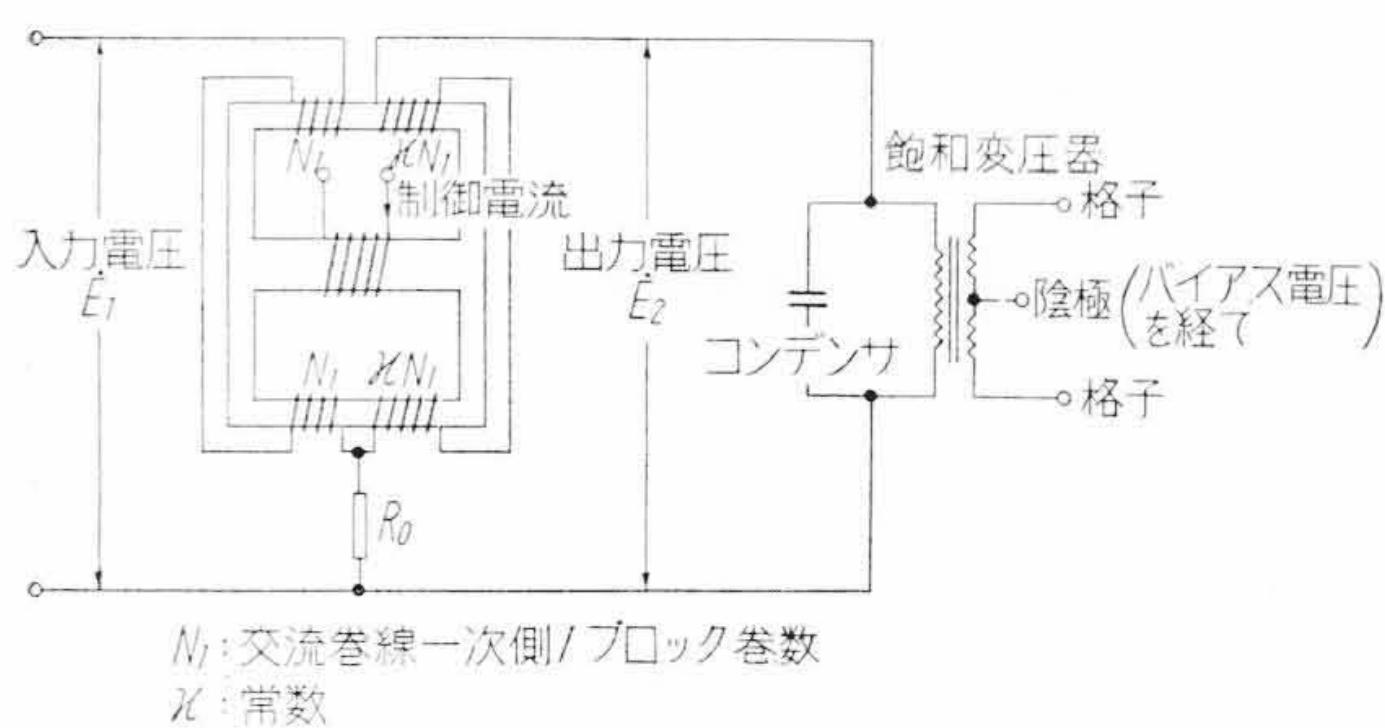
水銀整流器の自動格子制御には電力の変化を位相の変化に変換する自動移相器 (APS) が必要である。

この自動移相器には、最初、誘導位相調整器を電動機で動かす電動移相器が用いられ、続いて電子管式のものが用いられたが、現在ではほとんどが速応性と信頼度のともに十分な磁氣的自動移相器が使用されている。そして、この自動移相器の性能が水銀整流器の自動格子制御



黒丸・は制御電流が流れ込んだときに生ずる起電力の方向を示す。

第5図 ツーロン回路



N_1 : 交流巻線一次側/ブロック巻数
 κ : 常数

第6図 可飽和相互誘導形定電圧自動移相器

の上に大きく影響するので、いろいろなものが考えられているが、現在のところ可飽和リアクトルを可変インピーダンス素子として使用したツーロン回路がもっとも広く使用されている。

このツーロン回路は第5図に示すもので、可飽和リアクトルのリアクタンスが0から ∞ まで変化すると出力電圧の位相が0から -180 度まで変化するが、負荷抵抗が大きくなると出力電圧の絶対値が移相とともに変化する⁽¹⁾。さらに、電源側に変圧器が必要であり、また、電源の高調波の影響を受けやすい欠点があるので、日立製作所ではこれらの欠点のない可飽和相互誘導形自動移相器を開発した⁽²⁾。この自動移相器は結線方式により定電圧自動移相器と広角度自動移相器に分けられる。

第6図に可飽和相互誘導形定電圧自動移相器を示す。

負荷である飽和変圧器はその励磁電流を並列に接続されたコンデンサで補償されているので等価的に第7図のように抵抗とみなすことができる。

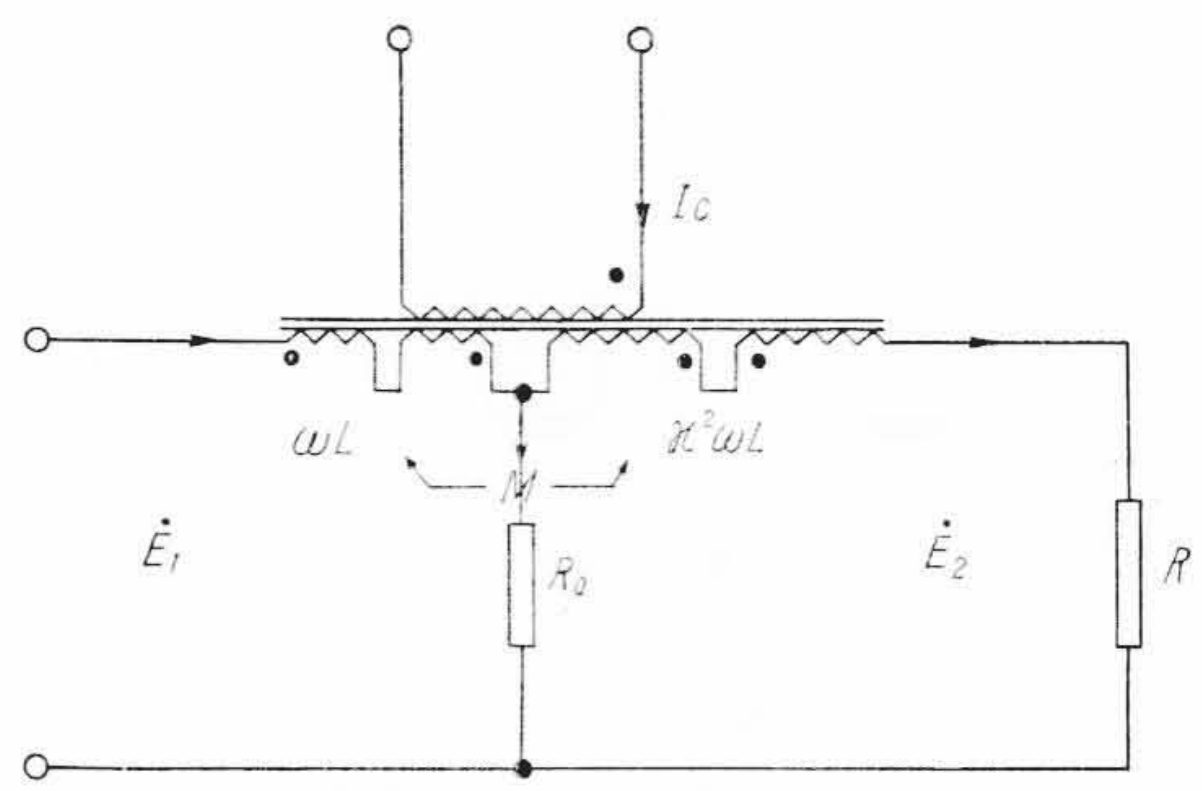
ここで、交流回路は線形であるとして入力電圧 $\dot{E}_1$ と出力電圧 $\dot{E}_2$ の関係を求めると次のようになる。

$$\dot{E}_2 = \sqrt{\frac{\alpha^2 + \kappa^2 \chi^2 \alpha^2}{\alpha^2 + \chi^2 \{\alpha + (1 + \kappa)^2\}^2}} \dot{E}_1 \angle \theta \quad \dots (7)$$

ここに、

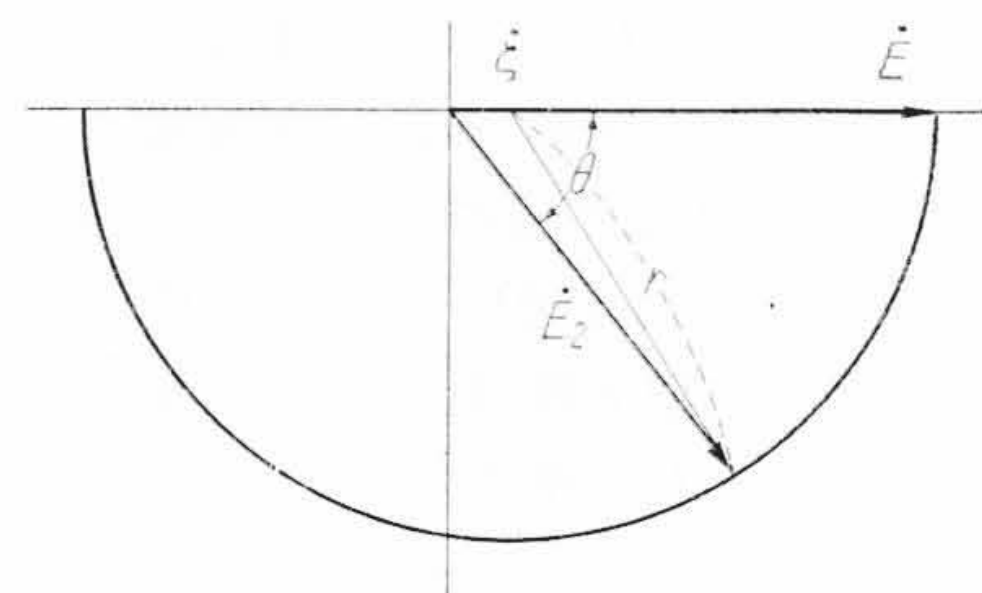
$$\theta = -\tan^{-1} \kappa \chi - \tan^{-1} \chi \{1 + (1 + \kappa)^2 / \alpha\} \dots (8)$$

$$\alpha = R / R_0 \dots (9)$$



L : 交流巻線入力側インダクタンス
 M : 相互インダクタンス R : 負荷抵抗

第7図 可飽和相互誘導形定電圧自動移相器の等価回路



$$\begin{aligned} \xi &= \frac{\alpha(1 - \kappa) + (1 + \kappa)^2}{2\{\alpha + (1 + \kappa)^2\}} \dot{E}_1 \\ r &= \frac{(1 + \kappa)(\alpha + 1 + \kappa)}{2\{\alpha + (1 + \kappa)^2\}} \dot{E}_1 \\ \alpha &= \frac{(\kappa + 1)^2}{\kappa - 1} \text{ のときは } \xi = 0, r = \dot{E}_1 \end{aligned}$$

第8図 (7) 式の軌跡

$$\chi = \omega L / R_0 \dots (10)$$

制御電流 I_c を変化すると鉄心が飽和するので交流巻線のリアクタンス ωL が変化する。このとき $\dot{E}_2$ の軌跡は第8図に示すようになり、0から -180 度まで移相することが知られる。

$\dot{E}_2$ の絶対値が $\dot{E}_1$ の絶対値に等しいためには第8図において、

$$\left. \begin{aligned} \xi &= 0 \\ r &= \dot{E}_1 \end{aligned} \right\} \dots (11)$$

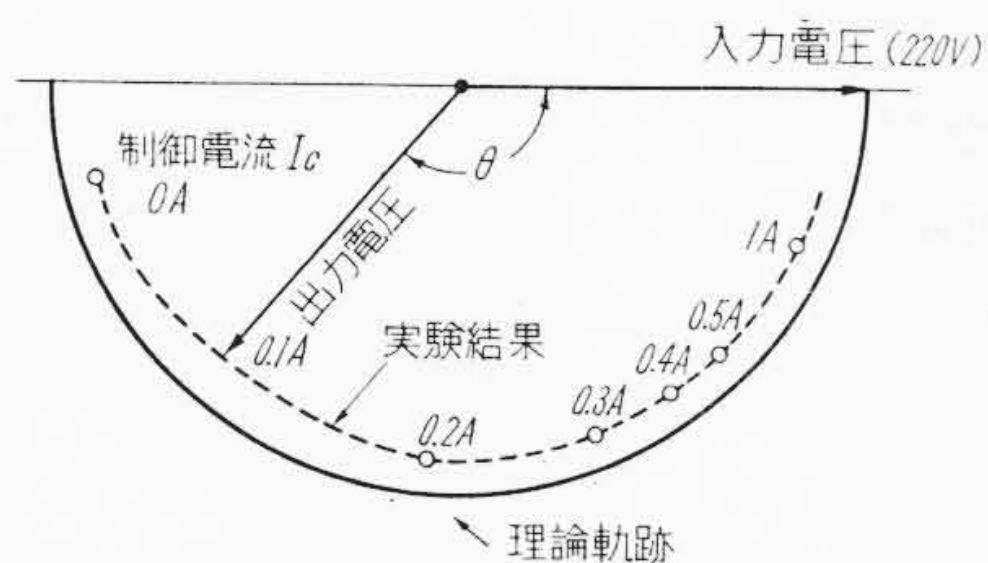
であることが必要である。この条件を満足する κ と α の関係を求めると次のようになる。

$$\alpha = \frac{(\kappa + 1)^2}{\kappa - 1} \dots (12)$$

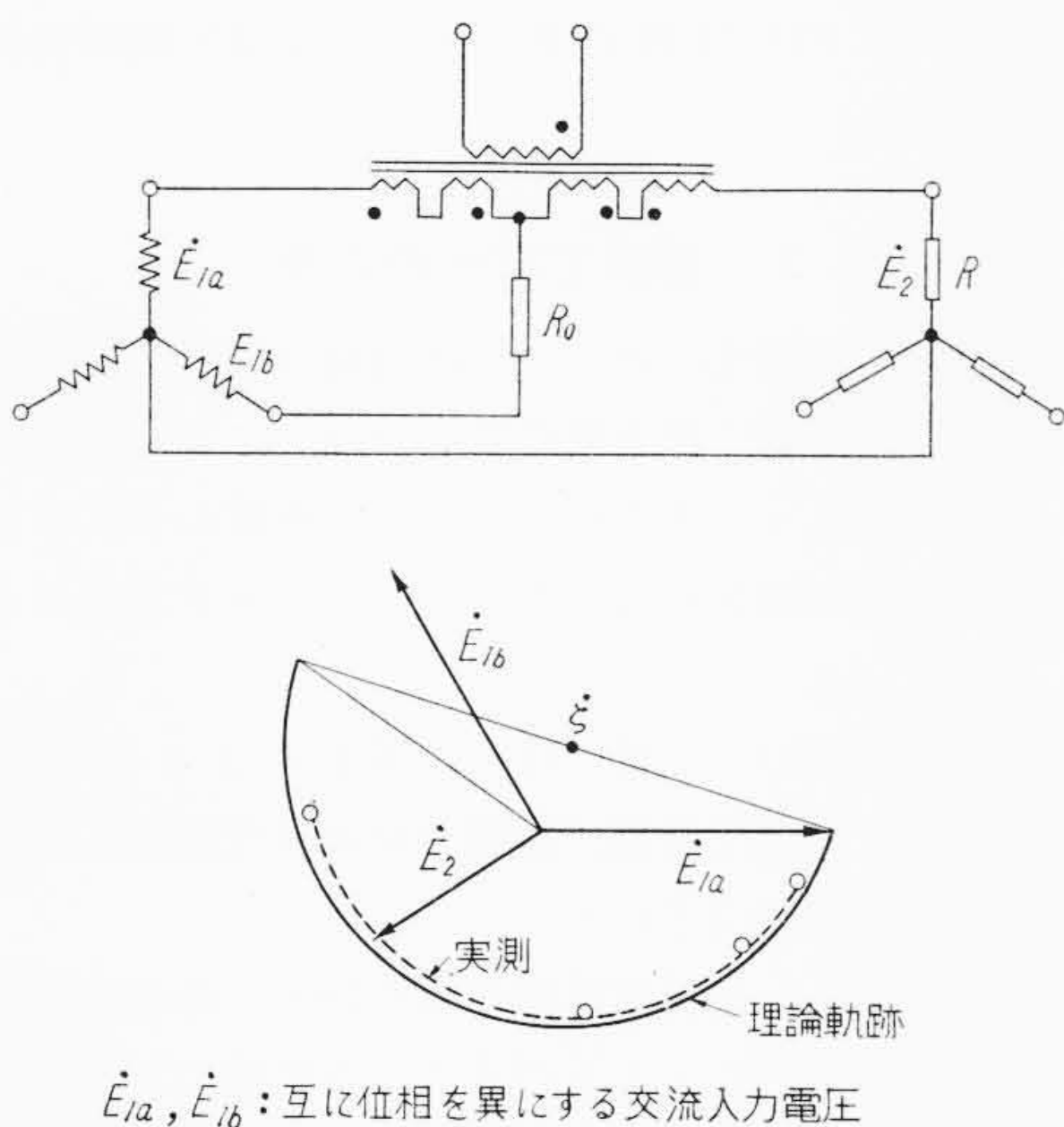
この条件を満足する κ と α の組合せは多数あるが、この移相器の効率を考え、最良の効率を与える場合を求めると、巻線比 κ が

$$\kappa = 3 \dots (13)$$

となり、そのときの α は8となる。したがって、定電圧自動移相器はこのように選ばれる。第9図は実験結果の



第9図 可飽和相互誘導形自動移相器の出力電圧の理論軌跡と実験結果（出力電圧の絶対値は抵抗および漏洩リアクタンス降下だけ入力電圧のそれより小さい）



第10図 可飽和相互誘導形広角度自動移相器

一例である。

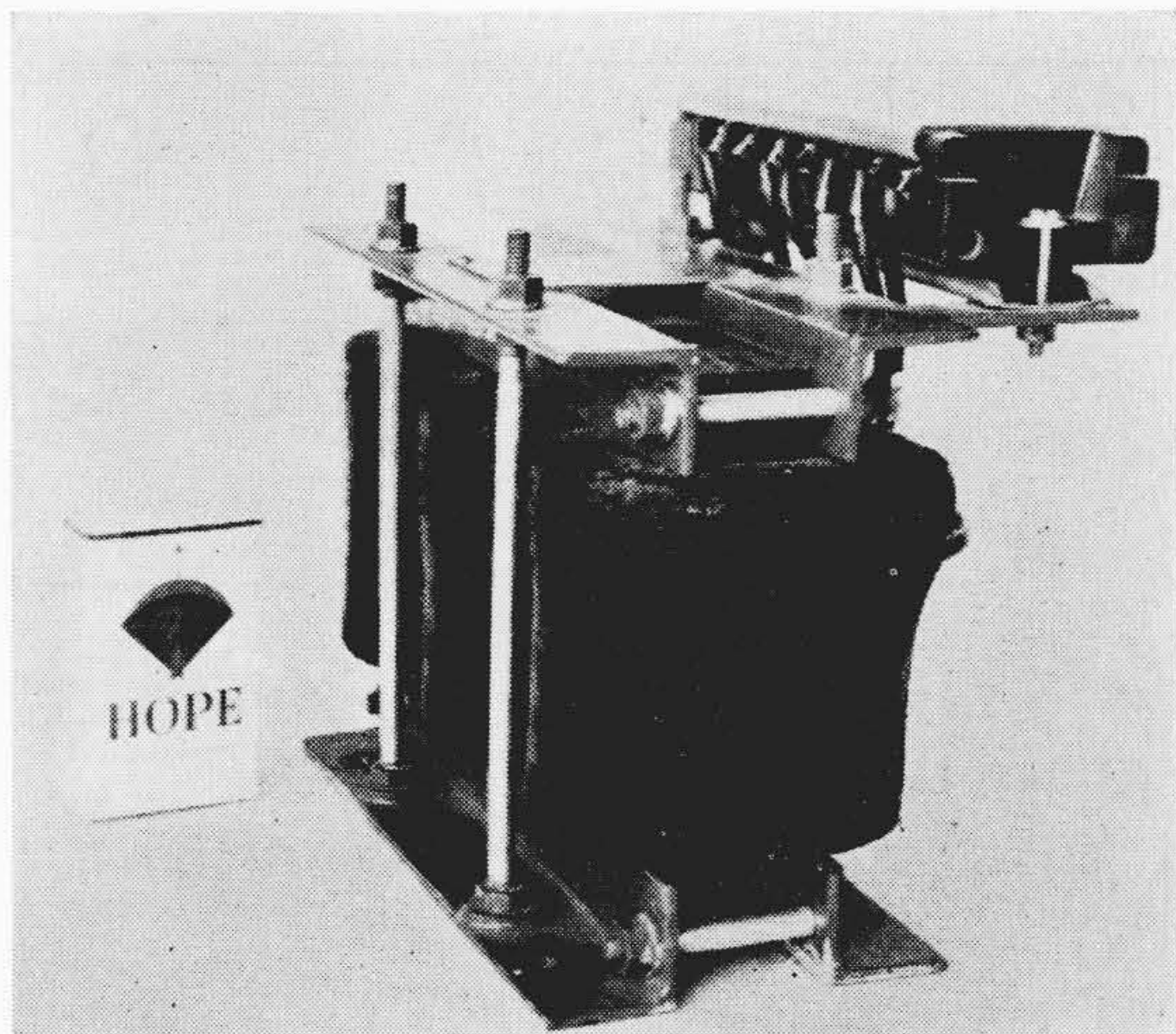
この自動移相器は理論的移相範囲が 180度であるが、第10図のように結線すると 180度以上になる。これが広角度自動移相器で κ を小さくするほど移相範囲が広がるが、移相途中で出力電圧の絶対値が変化する欠点が生じ、理論的移相範囲は 215度程度が適当である。このときの κ は3であるので定電圧自動移相器がそのまま流用できる。第11図がこの自動移相器の標準品である。

この自動移相器は上述のように、定電圧結線のときは出力電圧の絶対値が変化せず、広角度結線のときは出力電圧の絶対値が多少変化するが移相範囲が広い。

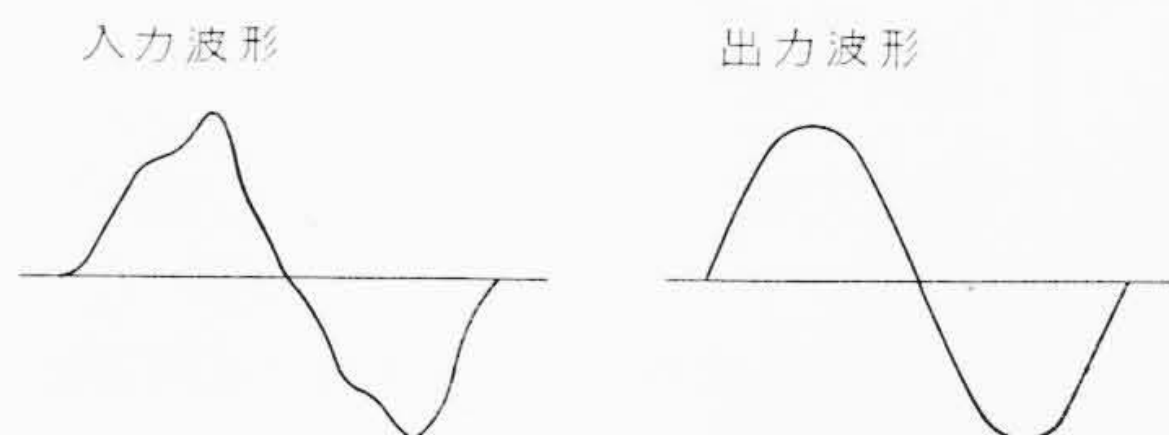
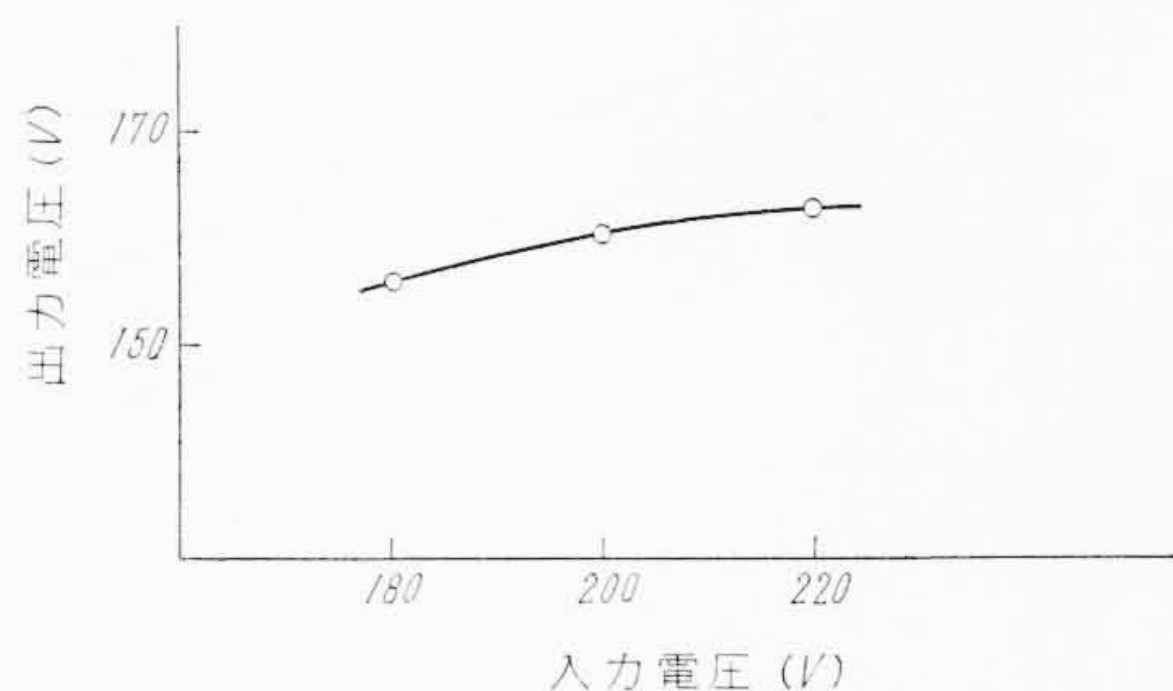
そして、電源側に変圧器が不要であり、効率もよく、その上、電源電圧の高調波を汜波し、電圧変動を補償して飽和変圧器に適当な電圧を与える作用をしている。

すなわち、電源電圧の高調波分は、まず、自動移相器のインダクタンスで阻止され、次に、並列共振回路のコンデンサでバイパスされてしまう。

電源電圧が変動すると飽和変圧器の励磁電流が変化するため、自動移相器に生ずる電圧降下が変化し、結局、



第11図 可飽和相互誘導形自動移相器



第12図 可飽和相互誘導形自動移相器を用いた格子回路の電源変動補償作用

飽和変圧器の入力電圧はほとんど変化しないことになる。

第12図にこの実験結果を示す。

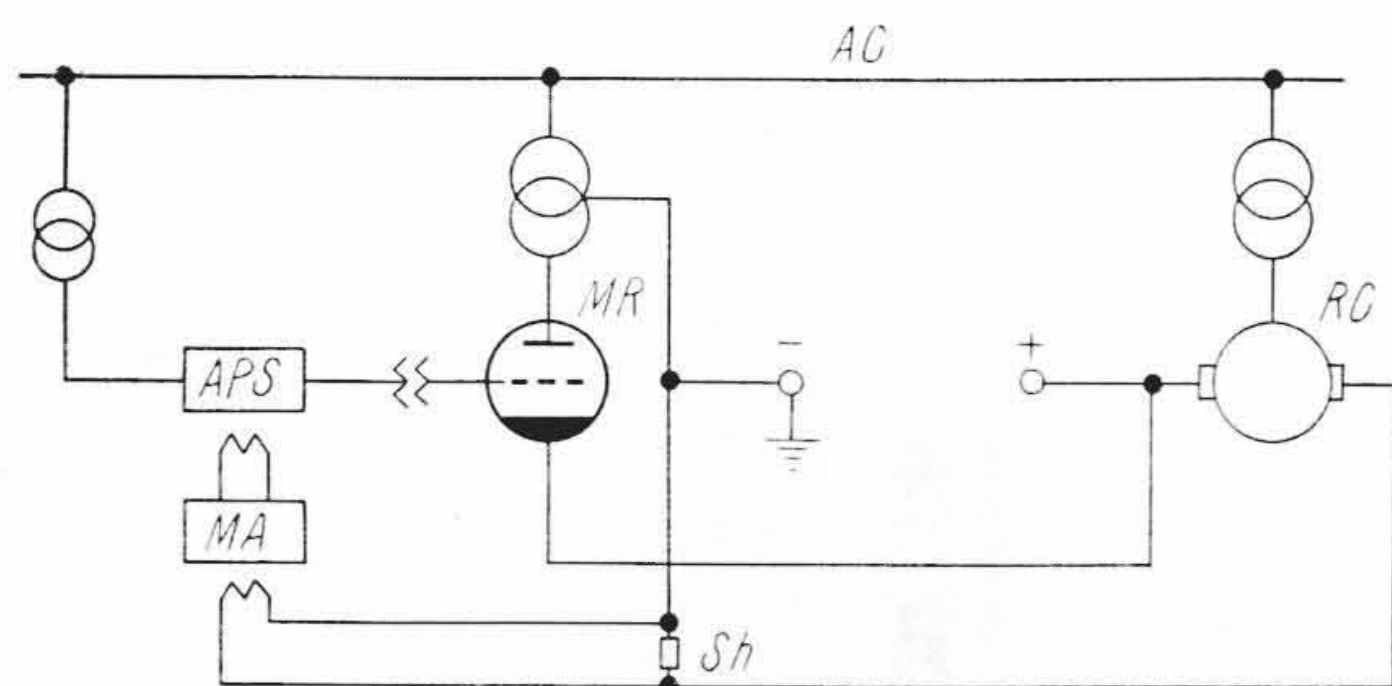
4. 電気鉄道への応用

水銀整流器が実用化された最初の応用は電気鉄道の直流電源装置で、その歴史はすでに半世紀になっている。

当時は、地上変電所において交流から直流への変換としてのみ使用されたのであるが、それでも逆弧、消弧、失弧などの事故が非常に多く使用にかなり困難があった。

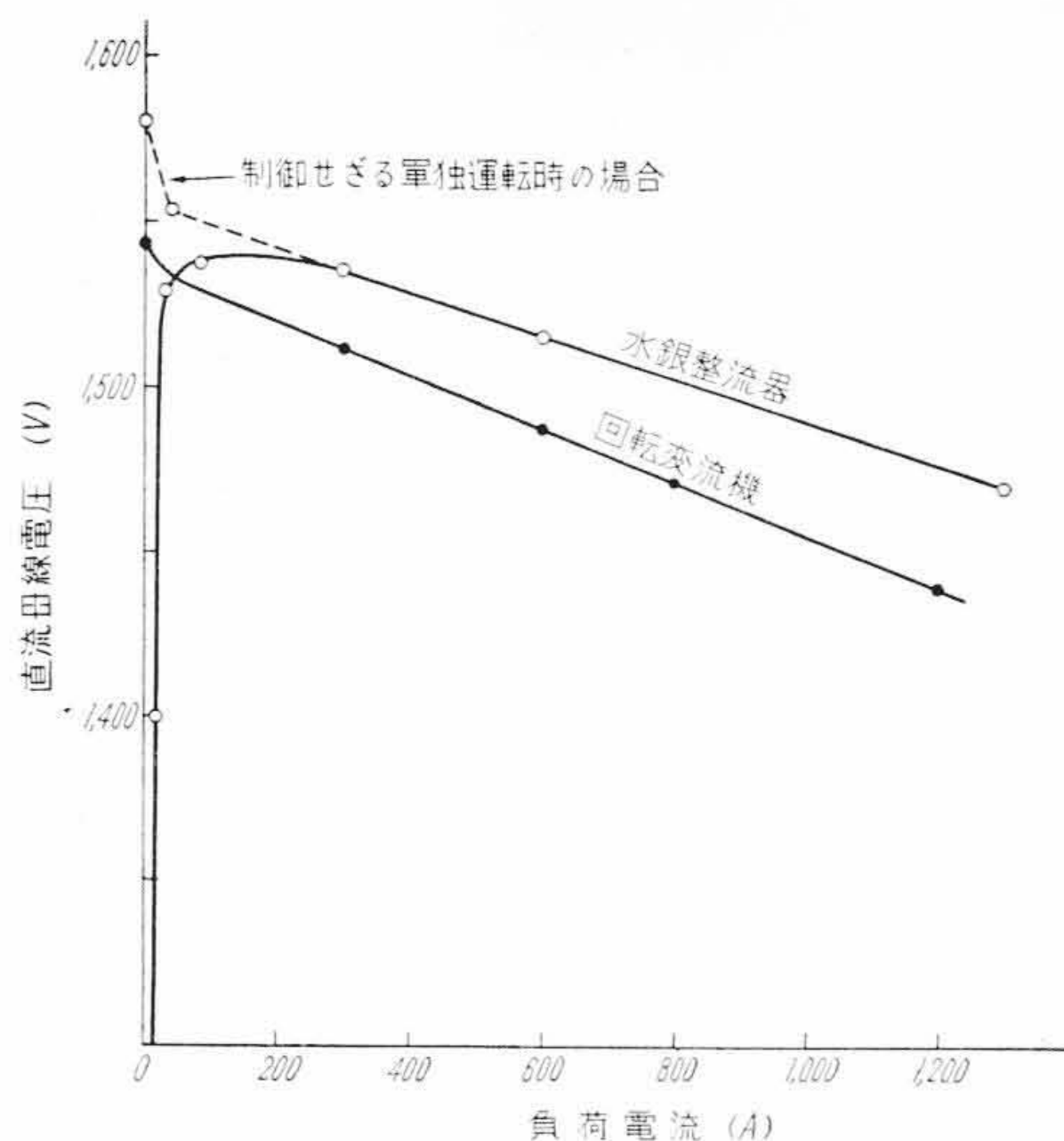
しかし、回転変流機に比較し効率が相当よいため、その性能の向上とともに次第に普及され、今日では直流変電所の大部分が水銀整流器を使用している。

最近、半導体整流器が使用されはじめてきたけれども



MR: 水銀整流器 RC: 回轉變流機 APS: 自動移相器
MA: 磁気増幅器 Sh: 分流量器

第13図 水銀整流器と回轉變流機の並列運転装置



第14図 水銀整流器と回轉變流機の並列運転負荷特性曲線

水銀整流器は格子制御を行うことにより各種の自動制御が可能であり、かつ、尖頭負荷の自動制限、回轉變流機との並列運転、定電圧制御などの各種の自動制御の要求が増加してきており、今後も少なからず使用されることが期待される。

第13図はその一例としてあげた、最近、近畿日本鉄道諏訪変電所はじめ数変電所に納入し好成績を納めている回轉變流機との並列運転装置である。

回轉變流機は逆流があると閃絡事故を起しやすくなるので、軽負荷になったとき水銀整流器の電圧を下げ、回轉變流機に逆流が流れないようにするものである。第14図はこの装置の試験結果である。

一方、鉄道の電化の現状は直流電化から交流電化へ移行している。

1951年フランス国鉄がアンシー線で商用周波交流電化の試験に成功して以来、急速に交流電化の気運が生じてきた。わが国鉄ではフランス国鉄におくれること4年、

1955年仙山線で国産品のみによる交流電化の試験に成功し、大規模な交流電化が実施されつつある。

交流電気機関車にはいろいろな方式のものが考えられるが、現在のところ、水銀整流器式が最も多く使用されている。今後も自動格子制御装置の開発により機関車のもっとも重要な特性である粘着性能が改善できる水銀整流器式が大いに使用されるものと考えられる。

日立製作所では国産の交流電気機関車第1号機を製作したのを初め、各種の交流電気車を製作している。特に水銀整流器式では世界でも珍しい試みである格子制御による速度制御に成功し、現在、この装置を施した標準交流電気機関車ED-71形29両の水銀整流器と制御装置を製作中である。

5. 製鉄工業への応用

製鋼設備の合理化に伴い、圧延設備は圧延速度の高速化、製品の高精度、電力所要量の少ないことなどが要求されるようになってきたが、この目的を満たすには水銀整流器の位相制御を利用した静止レオナード方式がもっとも適している。

ところで、鋼材の圧延にはその種類により分塊圧延機、熱間連続線材圧延機、熱間連続鋼帯圧延機、冷間鋼帯圧延機などが使用される。

これらのうち、分塊圧延機や冷間鋼帯圧延機などを駆動するには、ものにもよるが大抵、電動機の電機子電流を反転させる必要があり、一方向電流のみを通す水銀整流器にとってやっかいな問題があるが、熱間連続線材または鋼帯圧延機はそのようなことがなく、水銀整流器を応用するに適当なものである。

したがって、最近、熱間連続圧延機の駆動はほとんど静止レオナード方式になってきている。

しかし、ほかの圧延機駆動に静止レオナード方式が不適当というのではなく、制御技術の進歩とともに次第に使用される機運にある。特に、ヨーロッパでは電力料金が比較的高く、電源が比較的安定であるため静止レオナード方式の採用にはなはだ適しており、かなり使用されている。

次に、熱間連続線材圧延設備についてのべる。

日立製作所では1958年、住友金属工業株式会社に世界最高速度に属する30 m/s (6,000 feet/min) の圧延速度を有する総合出力7,320 kWの静止レオナード方式の連続線材圧延設備を納入した⁽³⁾⁽⁴⁾。その後、神戸製鋼株式会社他数社より連続圧延設備を受注し、製作中である。

これらの直線配列の連続線材圧延設備では圧延されている素材に不必要な張力を与えてはならず、また、許されるゆるみの量も非常に小さいので精密な速度制御が必要である。

さらに、素材の圧延列が数列になっているので、そのうちの一つの素材が圧延機にかみ込まれると速度が降下し、ほかの素材に張力およびゆるみを与えることになる。

このときの速度降下はインパクト降下といわれているが、この設備ではこれを小さく抑え、かつ、すみやかに回復させることが必要である。特に、建屋所要面積を小とするために圧延機スタンド間隔が小となり、かつ、生産能率の点より圧延速度が高速化されるので、インパクト降下および回復時間の問題が重要となる。

このインパクト降下の最大値 σ_i と回復時間 T_i には次のような関係がある。

$$\sigma_i \doteq \sigma_n / T_M \omega_0 \quad (T_M \omega_0 > 1) \\ = W_i / \Theta n_s^2 \omega_0 \dots\dots\dots (14)$$

$$T_i \doteq 4 / \omega_0 \dots\dots\dots (15)$$

ここに、 σ_n ： 制御しないときの速度降下

T_M ： 負荷をも含めた機械的時定数 (s)

ω_0 ： 制御系の自由振動角速度 (rad/s)

W_i ： インパクト負荷 (Watt)

Θ ： 回転部分の慣性能率 ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

n_s ： 設定速度 (rad/s)

したがって、インパクト降下を小さくするには、回転部分に貯えられるエネルギー ($\Theta n_s^2 / 2$) を大きくするか、あるいは ω_0 を大きくすることが必要である。

静止レオナードでは ω_0 がワードレオナードに比べ相当大きく、このことがインパクト降下補償制御に用いて有利な理由の一つである。

ところで、連続線材圧延設備では通常第15図に示すように、まず、初段の粗圧延機群で圧延し、次に中間圧延機群を通り、さらに、仕上圧延機群で仕上げするのであるから、初段の粗圧延機群ではインパクト降下に対する要求が終段の仕上圧延機群ほど強くない。

それで、一般に、効率、保守、設備費の点から前段の圧延機群に対しては図に示すように1台～数台の水銀整流器で多数の電動機を運転し、水銀整流器は一定の電圧を電動機に供給するのみで速度制御は行なわないか、あるいは行っても電動機の界磁制御、または昇圧機を電動

機に直列に挿入してその昇圧機の電圧制御によって行う共通母線方式が採用されている。

終段の仕上圧延機では精度が要求されるばかりでなく、圧延速度も大きいのでインパクト降下に対する要求が強いから、図のように電動機1台ごとに水銀整流器1台を接続し、急速な制御の可能な位相制御により ω_0 を大きくして速度を制御する各個運転方式が採用されている。

しかし、前にものべたように、水銀整流器はその出力電圧に脈動分を含み、また、通流期間中は位相制御ができないことから ω_0 を大きくするには理論的な限度がある。その限度をこえて ω_0 を大きくすることはできないから、さらにインパクト降下を小さくしたいときは、インパクト負荷 W_i を小さくするか、あるいは Θn_s^2 を大きくする必要がある。

特に、 Θn_s^2 を大きくすることは、設計上許されるならば、はなはだ好ましいことである。

たとえば、住友金属工業株式会社へ納入した装置では仕上圧延機用 1,850 kW 電動機において、回転速度 690 rpm (73 rad/s) のとき、100% 負荷に対してインパクト降下 2.4%、回復時間 0.5 秒を要求された。

これを満足するには、(14) (15) 式より制御系の速度 ω_0 と回転部分の慣性能率 Θ をそれぞれ、

$$\omega_0 \doteq 4 / T_i \geq 8 \text{ rad/s}$$

$$\Theta \doteq W_i / \omega_0 n_s^2 \sigma_i \geq 1,800 \text{ kgm}^2$$

にすべきことが計算される。

それで、余裕をみて ω_0 を

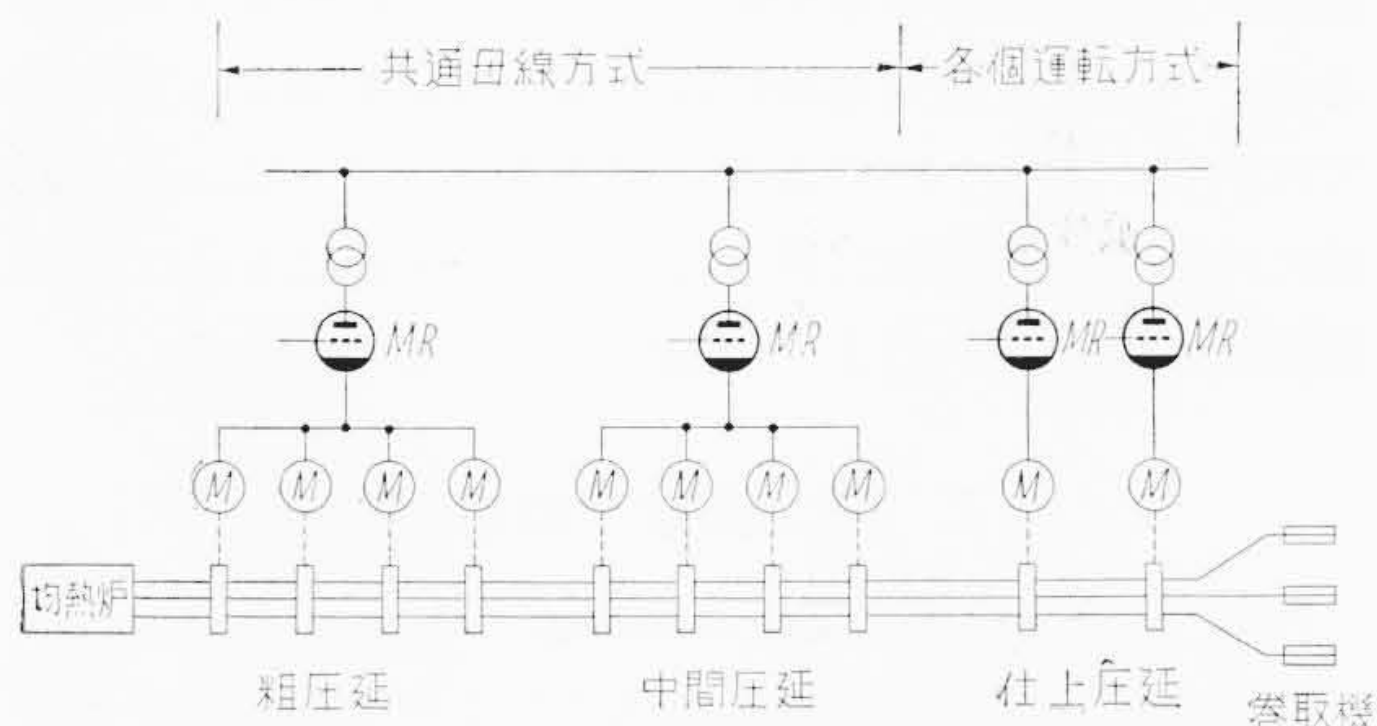
$$\omega_0 \doteq 10 \text{ rad/s}$$

にすると同時に、直流機の設計上容易に実現しうる Θ の最大の値をとり、

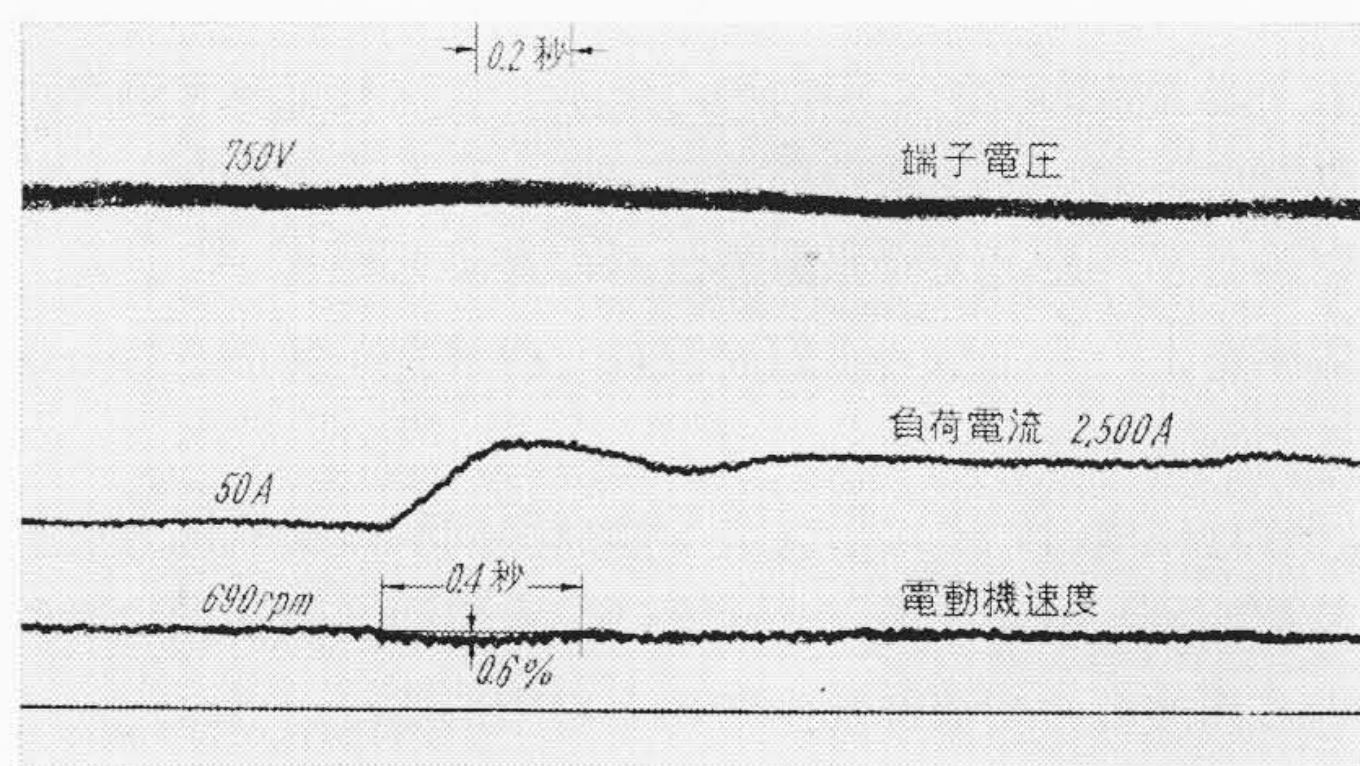
$$\Theta \doteq 5,300 \text{ kgm}^2$$

とし、インパクト降下の最大値 0.6%、回復時間 0.4 秒とすることを計画した。

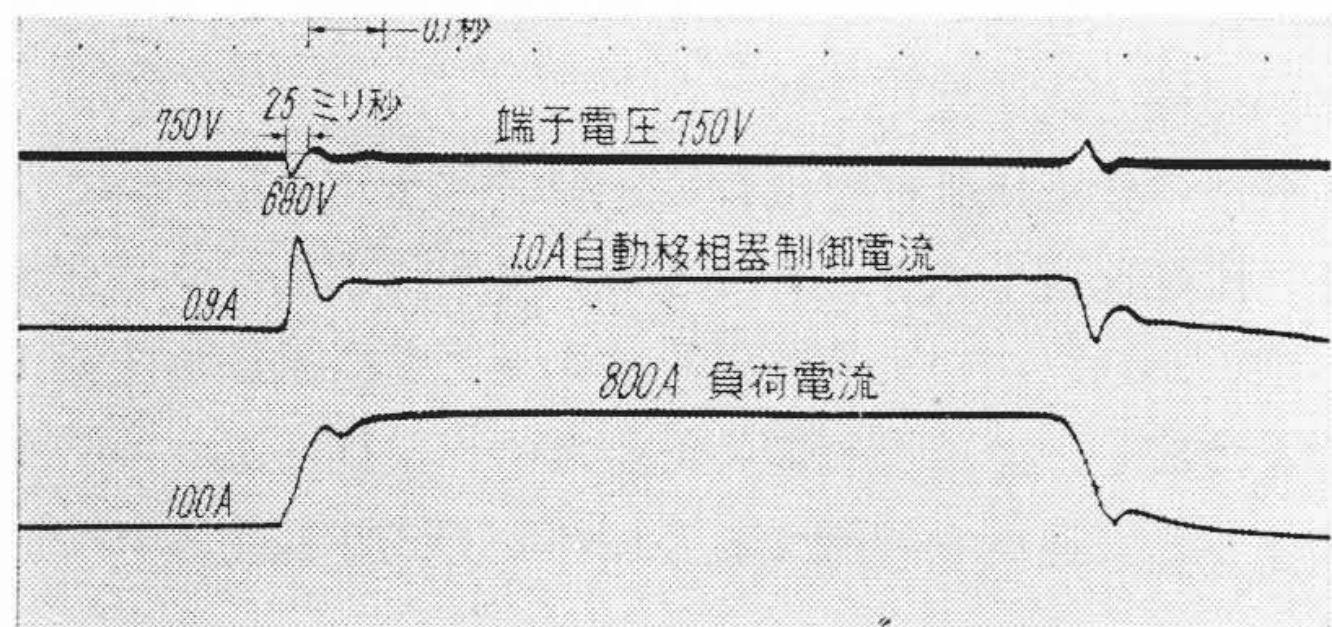
第16図がこの実験結果で、よく計画値に一致した値



第15図 連続線材圧延設備



第16図 住友金属工業納線材圧延設備用静止レオナード 1,850 kW 電動機インパクト降下試験オシログラム



第17図 住友金属工業納線材圧延設備用静止レオナード粗圧延部電圧制御系オシログラム



第18図 住友金属工業納連続線材圧延設備

が得られている。

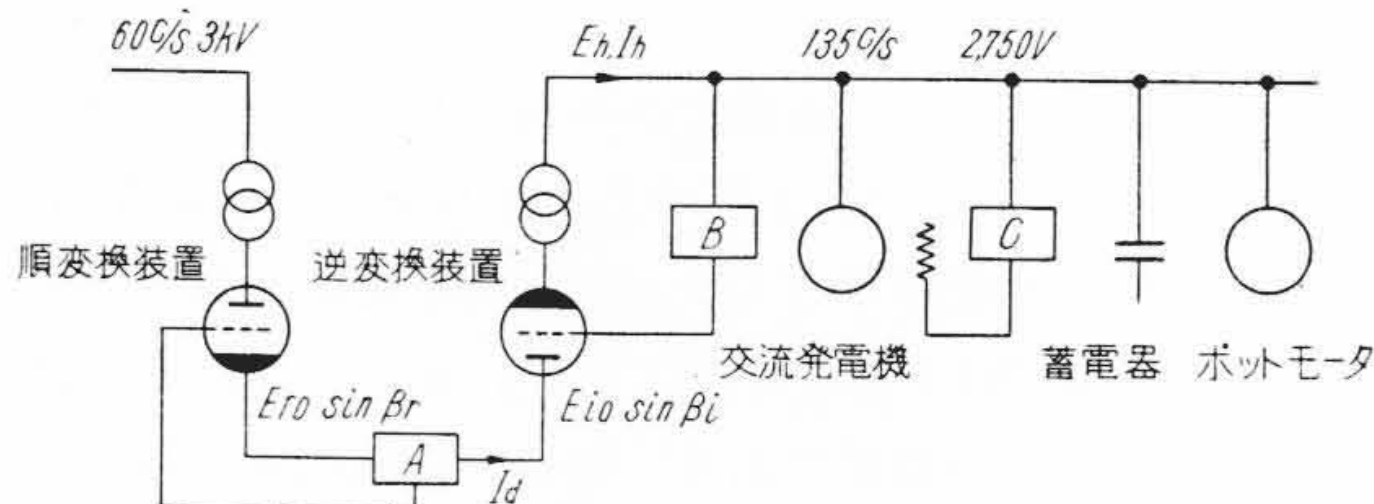
なお、中間圧延機群までは共通母線方式をとったが、第17図はその電圧制御系のオシログラムで回復時間が25msとなつて、従来発表されているものにくらべて非常にすぐれたものが得られている。第18図に本圧延設備を示す。

6. 紡績工業への応用

紡績工業ではポットモータが多数使用されるが、その電源周波数は通常130～165c/sである。したがって、商用周波数より130～165c/sの高周波数へ変換する装置が必要である。このため、従来は交流発電機を誘導電動機で駆動し、所要の周波数の電力をうる方法がとられていたが、最近では水銀整流器の進歩と相まって、電力効率をよくするため水銀周波数変換装置が使用されるようになってきた。

これは第19図に示すように商用周波の交流電力を水銀順変換装置で直流にし、次に、水銀逆変換装置で所要の高周波数の交流に変換するものである。

水銀逆変換装置が直流電力を交流電力に変換できる理由は前にのべたように、 β を負にすると水銀整流器の等価誘起電圧が負になり(陰極から中性点へ向かう方向)、



A: 電流制御系 B: 電源変動補償回路 C: 電圧制御系
 $E_{r0} \sin \beta_r$: 順変換装置誘起電圧 $E_{i0} \sin \beta_i$: 逆変換装置逆起電力
 E_h : 高周波側出力電圧 I_h : 高周波側出力電流

第19図 水銀周波数変換装置回路概略図

電流の方向は正方向(中性点から陰極へ向かう方向)であるから逆変換装置の交流電圧を確立している高周波数の交流母線に電力が送られることによるものである。

したがって、高周波数側には交流電圧を確立するための交流発電機が必要である。

ところで、逆変換装置の出力電流 I_h には、 $I_h \cos \beta_i$ (β_i は逆変換装置の β) だけの進相分が含まれているので、 I_h が増加すると発電機の誘起電圧 E_h が低下する。そのため、発電機の容量が小さく I_h の増加による E_h の降下が水銀周波数変換装置の等価誘起電圧の降下よりも大きいときは I_h がいよいよ増加し、ついには転流失敗に至る。また、水銀周波数変換装置は受電電圧の変動、あるいは装置内部のかく乱で出力がただちに動揺するが、交流発電機の容量が小さいとその動揺があまり緩和されない。

このような点から、交流発電機の容量が大きいほど運転が安定になるが、設備費が増加し、電力効率が悪くなる。これを改善するため、1955年東洋紡績株式会社敦賀工場へ納入した水銀周波数変換装置には第19図に示す制御装置を施した。図において、

$$E_h I_h \sin \beta_i = (E_{i0} \sin \beta_i) I_d \quad \dots\dots\dots (16)$$

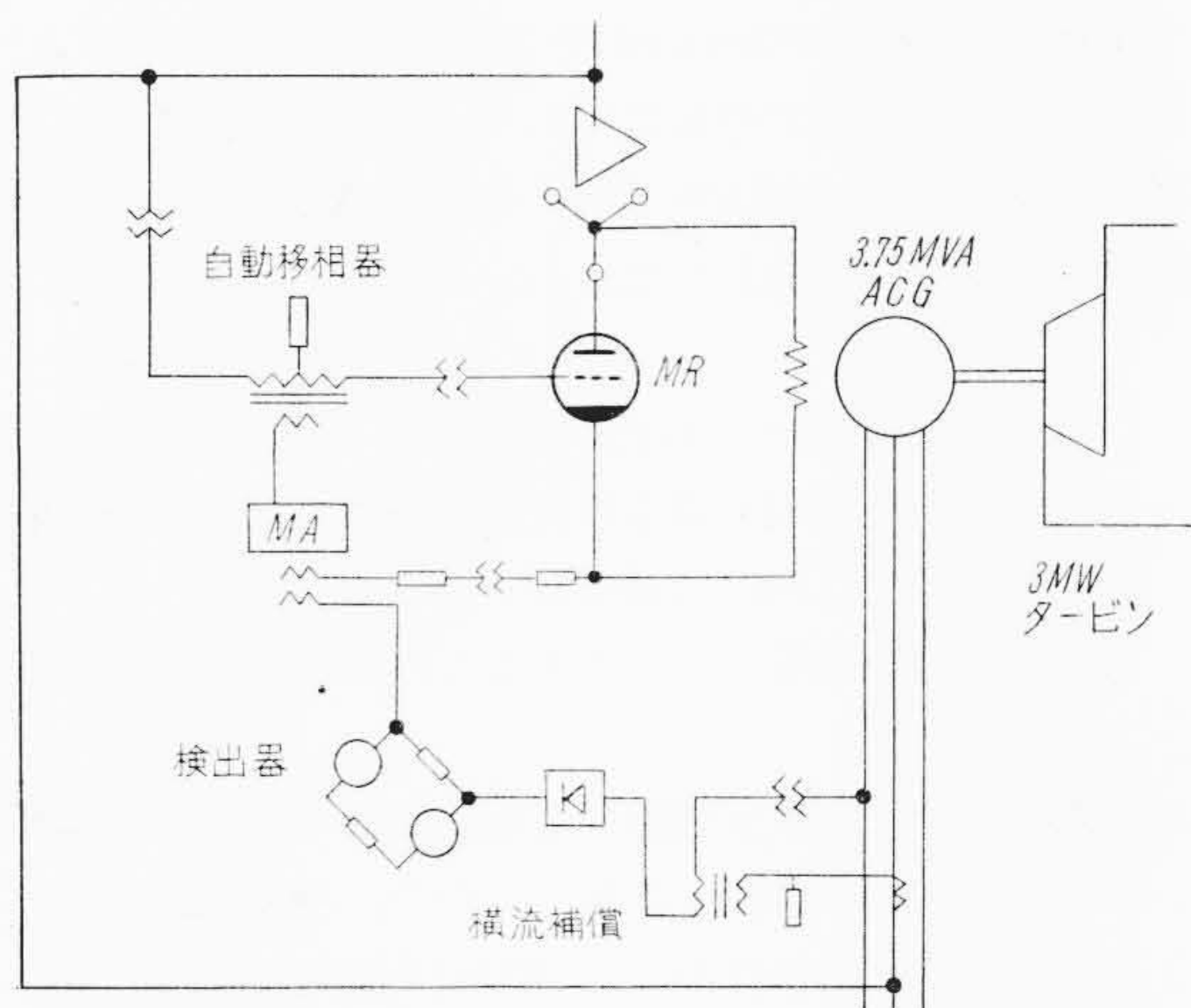
$$I_d = \frac{E_{r0} \sin \beta_r - E_{i0} \sin \beta_i}{R_d} \quad \dots\dots\dots (17)$$

なる関係があることから、動作点において I_h が増加しようとしたとき β_r を小さくしてその増加をとめ、水銀周波数変換装置の容量があたかも小さいかのように動作させ、一方、交流発電機には定電圧装置を施し動作点では容量が大きいかのように動作させ、さらに、格子回路には電源変動補償回路を設け、格子回路にとっては母線容量が大きいかのように動作させたものである。

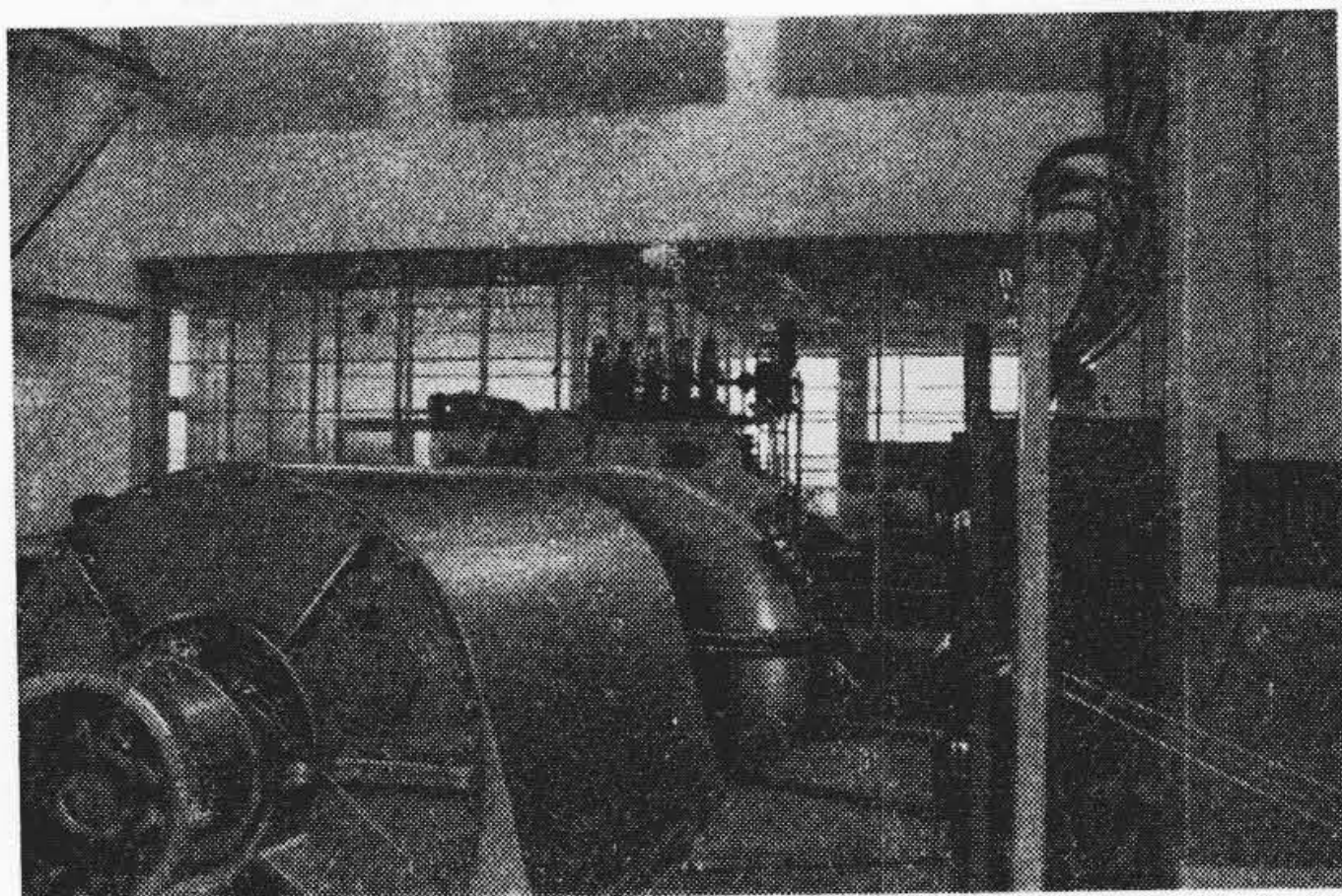
7. 電力系統への応用⁽⁵⁾

7.1 交流発電機の電圧制御装置

将来、水銀整流器が相当使用されるのではないかと予想される分野の一つに交流発電機の電圧制御がある。



第20図 水銀整流器式交流発電機電圧制御装置結線図



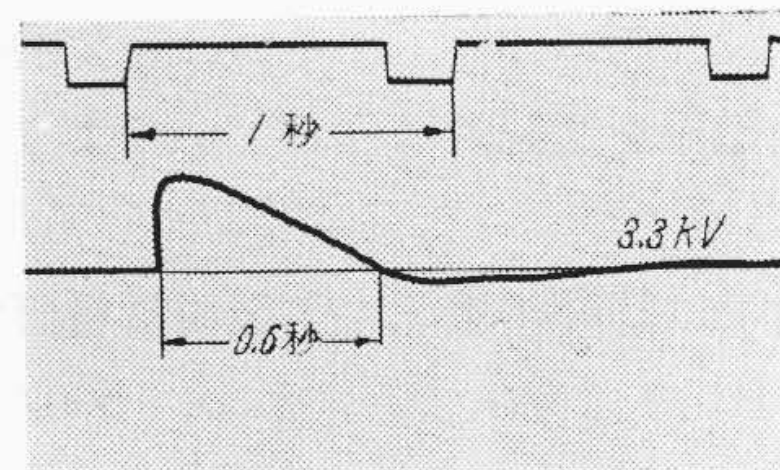
第21図 水銀整流器式電圧制御装置を施した3.75 MVAターボ発電機

これは交流発電機の出力を水銀整流器で整流し、発電機を励磁すると同時に、水銀整流器の格子制御を利用し電圧制御を行うもので、水銀整流器の増幅特性により簡単な制御装置でも非常に速い制御が可能になる。

日立製作所では1956年以来自家発電設備 3,750 kVAターボ発電機に 40 kW 単極三相エキサイترون形整流器を用いた電圧制御装置を施し運転を行っている。

第20図はこの装置の結線図で、第21図にその概観を示す。制御装置は簡単なことを目標として非直線抵抗を利用した検出を行い、磁気増幅器には50 c/s, 50W のものを一個のみ用いた。

励磁回路に抵抗器を持っていないので、この発電機の励磁入力はいささだが、そのため時定数が相当大きく6秒である。この程度の時定数は大容量の交流発電機のそれに相当する。水銀整流器は格子制御に必要な電力が容量にほとんど無関係であるので、この制御装置によって大容量の交流発電機の電圧制御を行うことも可能である。



第22図 水銀整流器式交流発電機電圧制御装置の過度応答オシログラム（発電機界磁時定数6秒）

発電機の出力電圧がなんらかの原因で変化すると非直線抵抗および基準抵抗よりできているブリッジの端子電圧が変化するので、非直線抵抗の抵抗値が変化し、ブリッジの出力端子に電圧があらわれる。これを磁気増幅器で増幅し自動移相器に与えて水銀整流器の出力電圧を変化して発電機の励磁を変え、発電機の電圧をもとの値の近くにまで回復させるのである。

動力線と並列運転するときは横流を防ぐため出力電流を変流器でとりだし電圧に変換したのちブリッジの入力電圧に90度位相をすすめて加え、たとえば遅相電流が流れて行くときは発電機の電圧があたかも高くなったかのように検出させ、励磁を弱めて遅相電流が流れてゆくのを防ぐようにしている。

この装置の単位関数的外乱に対する回復時間は第22図に示すように発電機の界磁時定数が6秒であるにもかかわらず約0.6秒となりすぐれた結果を示している。また、この装置の総合増幅率は約100である。この装置は、現在まで動力線と並列運転を行っているが、その間事故はなくきわめて良好な結果が得られている。

7.2 直流送電

本州、北海道間あるいは九州、屋久島間のような離島間の大電力輸送には直流送電でないと不可能である。

直流送電では送電端において交流の電力を水銀順変換装置で直流に変換して送り、受電端ではこの直流電力を水銀逆変換装置を用いて交流の電力に変換するのであるから、原理的には前記の水銀周波数変換装置とほとんど同じであるが、直流回路が長く、直流電圧が数万ボルト以上になり著しく高いことが特長である。

日立製作所では1954年電気試験所に三相 50 kV 20 A の直流送電用水銀整流器を納入した。

8. 科学研究設備への応用⁽⁶⁾

水銀整流器を使用した装置は応答速度が著しく大きいので、電流あるいは電圧を任意のプログラムにしたがって、ときには急変し、ときには一定にするということが比較的容易である。

このため、たとえば、磁界内における物性の研究のため磁界発生ソレノイドに電流を瞬間的に通電して小空間

内に強磁界を瞬間的に作り、あるいは連続的に一定の電流を流して強磁界を連続的に作るというようなことができる。

日立製作所では1958年東北大学金属材料研究所に最大500,000 Oersted まで発生でき、かつ、500,000 Oersted

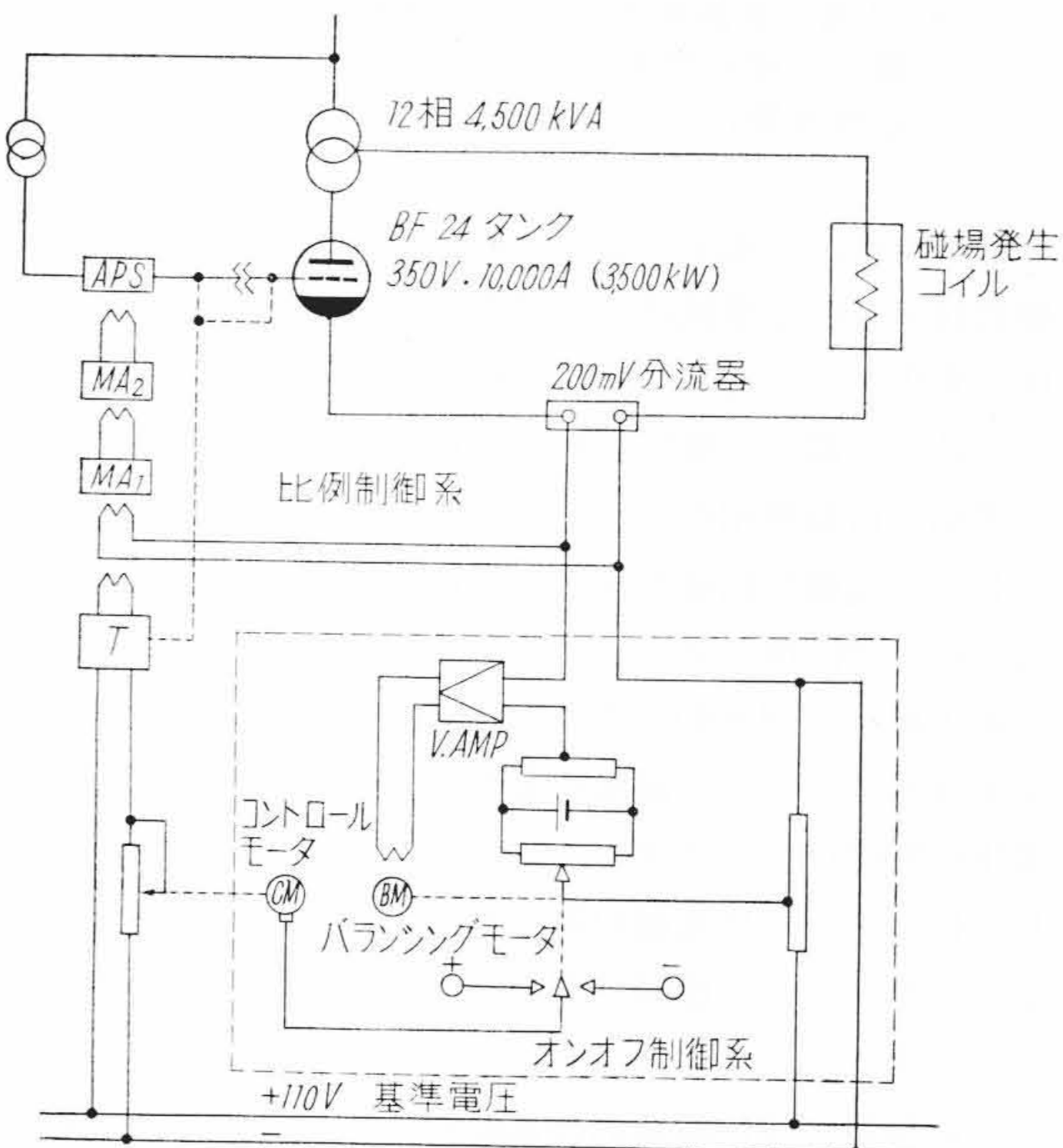
で1秒間、150,000 Oersted で2時間連続使用のできる、容量の点で世界最大の装置であり、また、世界ではじめて水銀整流器 (3,500 kW 350V 10,000 A) を使用した極強磁場発生装置を納入した。

この装置では

(1) 連続通電のときは、電源電圧 $\pm 2.5\%$ 、電源周波数8%、負荷抵抗15%の変化の外乱に対して残留偏差を $\pm 0.2\%$ 以内に急速におさえること。

(2) 瞬時の通電でも、できるだけ定電流が得られるようにすること。

が要求された。水銀整流器の定電流制御でこのように高い性能はこれまで経験しなかったもので、第23図に示すように速応性と信頼性のよい400 c/s 磁気増幅器を用いた比例制御系に、残留偏差を小さくするため高感度電子管自動平衡形検出器を用いたオンオフ制御系を組合せた制御装置を計画し、さらに、この比例制御系のみでも所要の残留偏差内に抑えるには各部の定数をどのようにすべきかを理論的に検討して回路を構成した。



V.AMP: 真空管増幅器

MA₁, MA₂: 初段および第2段目の磁気増幅器

T: 通電時間設定装置

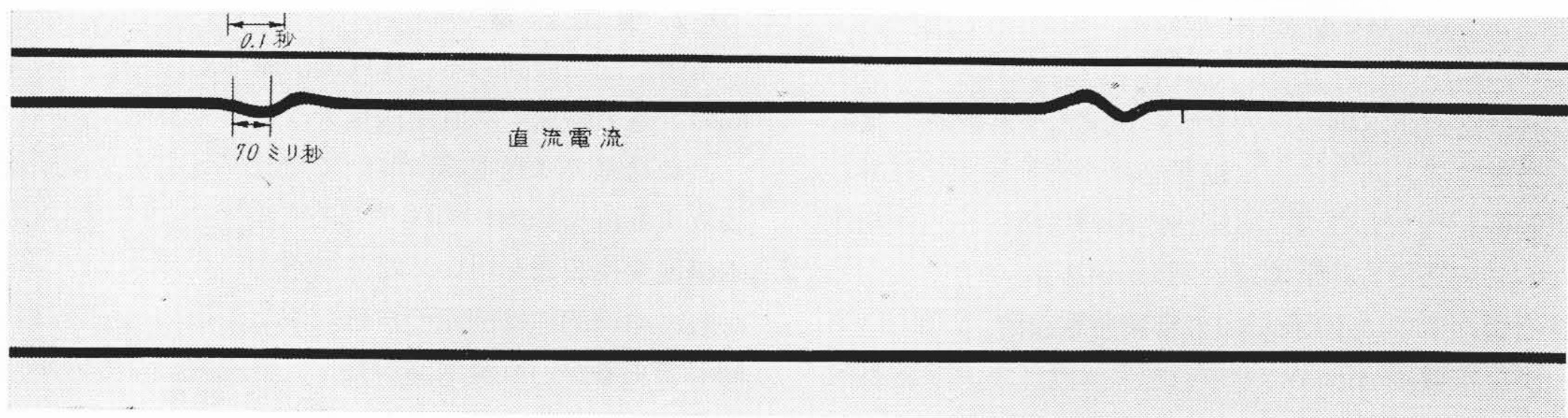
第23図 極強磁場発生装置用水銀整流器電流制御装置概略結線図

第1表 連続通電時の試験結果

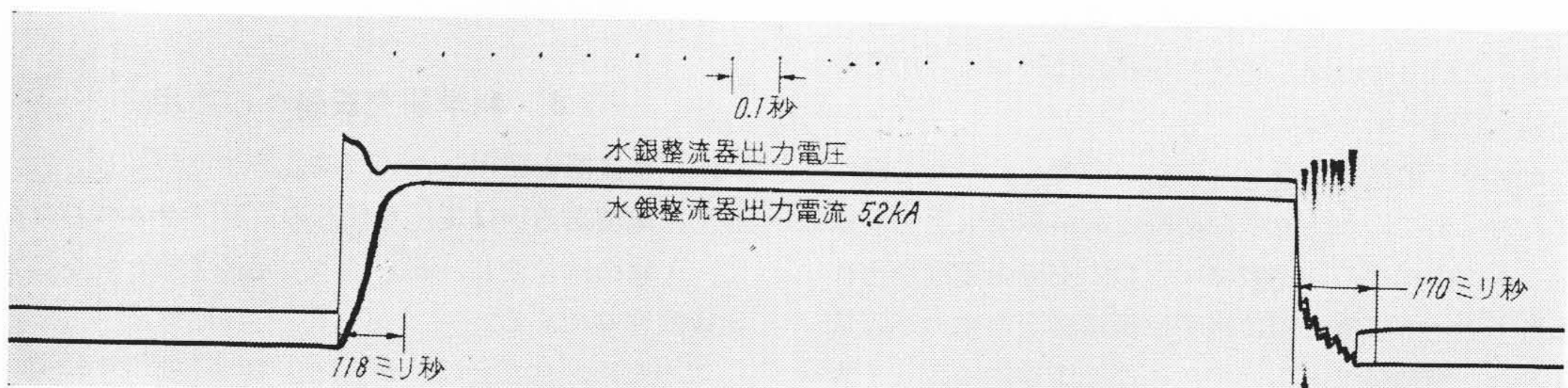
	要 求 性 能	試 験 結 果
外 乱	電 源 電 圧 $\pm 2.5\%$	$\pm 2.5\%$
	周 波 数 8%	8%*
	負 荷 抵 抗 15%	15%
精 度	2時間にわたり $\pm 0.2\%$	2時間にわたり $\pm 0.12\%^{**}$

* 所定の周波数外乱8%が得られなかったので格子電圧を16%変化して等価的に8%の変化とした。

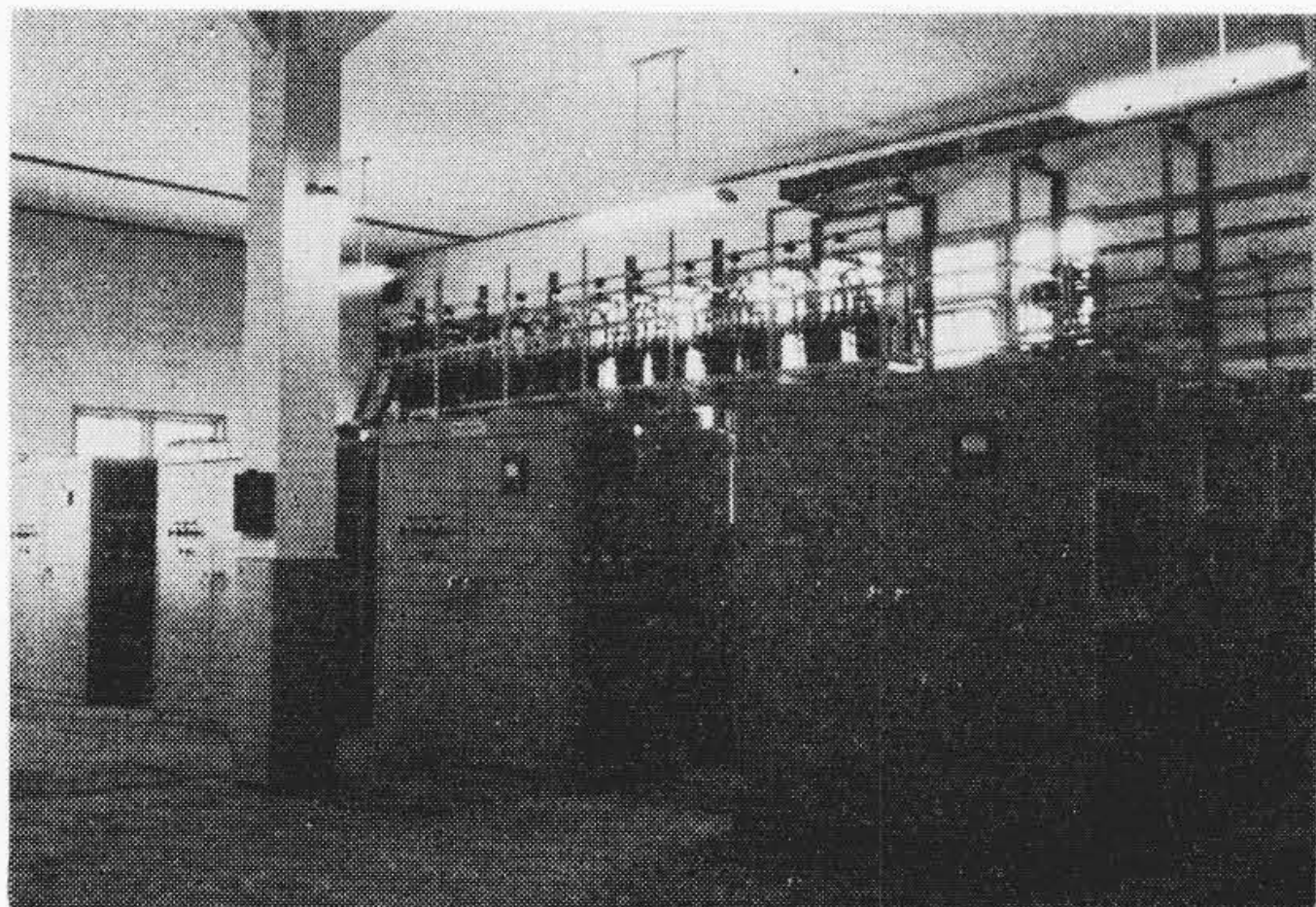
** オンオフ制御系を動作させたときは $\pm 0.05\%$ 以内であった。



第24図 受電電圧を変化させたときの出力電流の変化のオシログラム



第25図 短時間通電オシログラム (設定時間2秒)



第 26 図 東北大学納極強磁場発生装置概観

第 1 表および第 24, 25 図はこの装置の実験結果で所要の値が十分満足されていることが知られる。

9. 結 言

以上、各種産業への水銀整流器の応用の概略についてのべた。すなわち、まず、この基礎になる水銀整流器の制御特性と自動移相器、特に、日立製作所で開発した可飽和相互誘導形自動移相器の概略についてのべ、次に、最近、日立製作所で製作あるいは開発した各種産業へ応

用した装置の代表的なものについてのべた。

最近、半導体整流器が目ざましい勢で開発され、これまでの水銀整流器の分野に進出しつつあるが、一方、水銀整流器もこれまでのような単なる整流器としてでなく、すぐれた性能の制御機器として、半導体整流器に劣らぬ速度で新分野を開拓しつつある。

すなわち、ここでのべた静止レオナード装置、水銀整流器式交流電気機関車、交流発電機の電圧制御装置、極強磁場発生装置、直流送電装置などはいずれも新しい技術として時代の脚光をあびてきている。

それゆえ、かかる点から考えるならば水銀整流器の活躍する時代はこれからであるということができよう。

参 考 文 献

- (1) 小野田：電学誌 78, 873 (昭 33)
- (2) 小野田：電学誌 78, 1534 (昭 33)
- (3) 泉, 毛利, 田附, 小野田：日立評論別冊 No. 26, 85 (昭 33)
- (4) 白木, 川上, 斎藤, 大浜：日立評論別冊 No. 29, 83 (昭 34)
- (5) 小野田, 小林：昭 33 電気 4 学会連合大会 488
- (6) 小野田, 伊沢, 毛利：日立評論別冊 No. 26, 78 (昭 33)

そのほか本特集号内関係論文参照



特 許 第 248277 号

特 許 の 紹 介



泉 千 吉 郎・岩 城 秀 夫
斎 藤 奎 二

静 止 レ オ ナ ー ド 運 転 制 御 装 置

この発明は静止レオナード装置を高効率で運転するために格子率を変えないで自動的に水銀整流器の出力電圧を調整するものである。すなわち図に示すようにプッシュプル接続した磁気増幅器 11, 12 の制御巻線 a, a' は水銀整流器 4 の出力電圧に比例した電流により付勢され、これと差動の制御巻線 b, b' は水銀整流器用主変圧器 3 の一次側より導出した整流器 4 の入力電圧に比例した電流により付勢される。そして格子率が比較的大なる予定の設定値にあるときは巻線 a, b および巻線 a', b' の起磁力は互に打消し合うよう調整しておく。いま整流器 4 の入力電圧が変化すると出力電圧も変化し、基準電圧源 7 からの指令電圧との間に偏差が発生して増幅器 6, 自動移相器 9 によって格子率が増減しようとする。この時磁気増幅器 11 あるいは 12 が出力を出し接触器の励磁巻線 14 あるいは 15 によってその接点 16 あるいは 17 がとじられる。その結果操作電動機 18 が回転して変圧器 1 のタップ 2 が調整され、格子率をもとの設定値に保持ししかも整流器

4 の出力電圧を指令電圧に一致せしめる。また電動機 5 の速度を変えようとするときにも調整抵抗 8 を調整するとタップ 2 が自動的に切り替えられ格子率はあくまでも予定の設定値に保持される。(矢崎)

