

磁気演算増幅器の電動機制御への応用

Application of the Magnetic Operational Amplifiers to Motor Control

前川 敏 明* 川野 滋 祥**
Toshiaki Maekawa Shigeyoshi Kawano

内 容 梗 概

最近演算用制御素子として開発された磁気増幅器式演算増幅器(略名 MOA)はオンラインで使用できる高信頼、高精度の装置として各種の自動制御装置に組み込まれて盛んに用いられている。ここでは変化率の自動調整の可能な新しい指令信号発生装置と、その好適な応用として、ワードレオナード装置の加減速制御に用いた例について述べる。

1. 緒 言

磁気演算増幅器(MOA)は、アナログ演算器の増幅素子としてつくられた高性能磁気増幅器で、これに抵抗、コンデンサ、ダイオードなどを付加接続することにより、加減算、微積分、関数発生などの各種の基礎演算を高精度で実施しうるものである⁽¹⁾。

これらは有機的にまとめられ、ある目的に応じた高度の演算機能を発揮し、オフライン計算機としてはもちろん、特にオンライン用として制御設備の一部を構成する計算機として最適の装置である。この演算増幅器はすでに実用面において定評ある磁気増幅器を主体とするものであるから、上述のような完成した計算機能の利用以前に、単体の基礎演算機能を制御回路に持ち込み、制御装置自身に演算的機能を持たせるものとしても利用できる⁽²⁾。

本報告は上のような点に着目した応用例を紹介しようとするものであるが、その対象は種々多様できわめて広範囲にわたるため、ここでは直流電動機の加減速制御系に適用した例についてその方法を述べ、この種の利用面開拓の参考に供する次第である。

2. 直流電動機の加減速制御方式

まずはじめに制御の対象としてとりあげた加減速制御装置は、従来どのような方式が多く、またその問題とされる点はどこであったかなどを略述する⁽³⁾。

正逆転を含む広範囲の速度調整が必要な設備、たとえば圧延機、巻上機などの高級駆動装置にはほとんどすべてワードレオナード方式がとられている。第1,2図において電動機Mの加減速は、発電機Gの界磁を調整して、その電圧を変化させ、さらに広範囲の速度領域にわたるときには、電動機の界磁電流を調整してその磁束を変化させることにより行なわれる。この場合の諸変数の関係を整理すると次のようになる。

$$I_M(S) = \frac{V(S)}{R_a} \cdot \frac{\frac{R_a \theta}{(\zeta \phi)^2} S}{1 + \frac{R_a \theta}{(\zeta \phi)^2} S} = \frac{1}{R_a} \cdot \frac{T_M S}{1 + T_M S} V(S)$$

$$\omega(S) = \frac{V(S)}{\zeta \phi} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_a \theta}{(\zeta \phi)^2} S} = \frac{1}{\zeta \phi} \cdot \frac{1}{1 + T_M S} \cdot V(S)$$

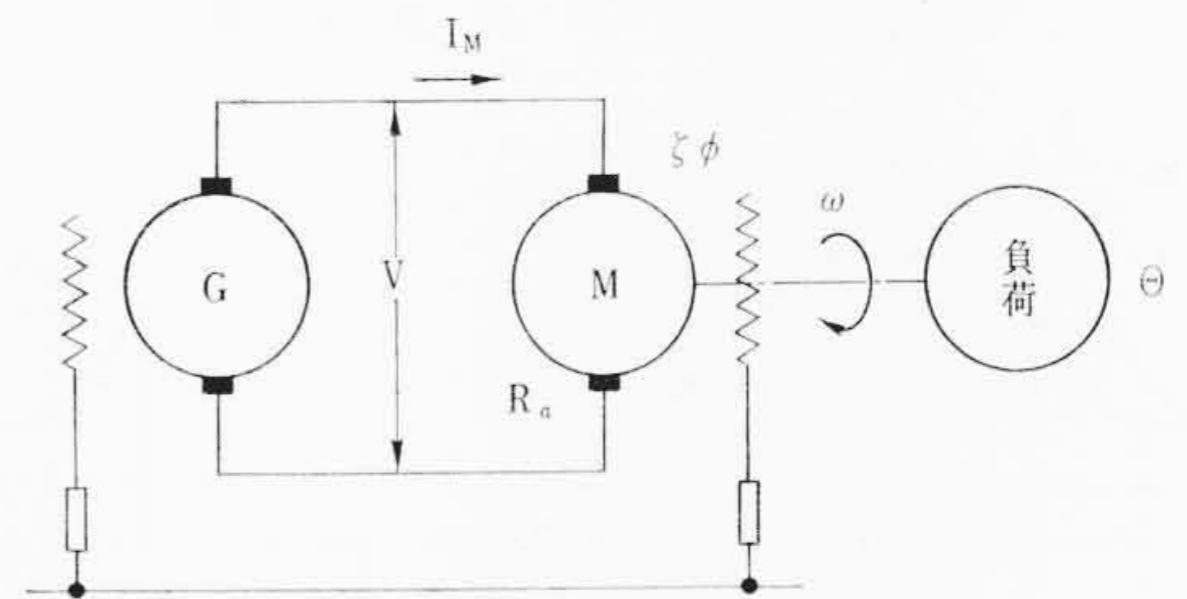
ただし

$$T_M = \frac{R_a \theta}{(\zeta \phi)^2} \quad (\text{機械的時定数})$$

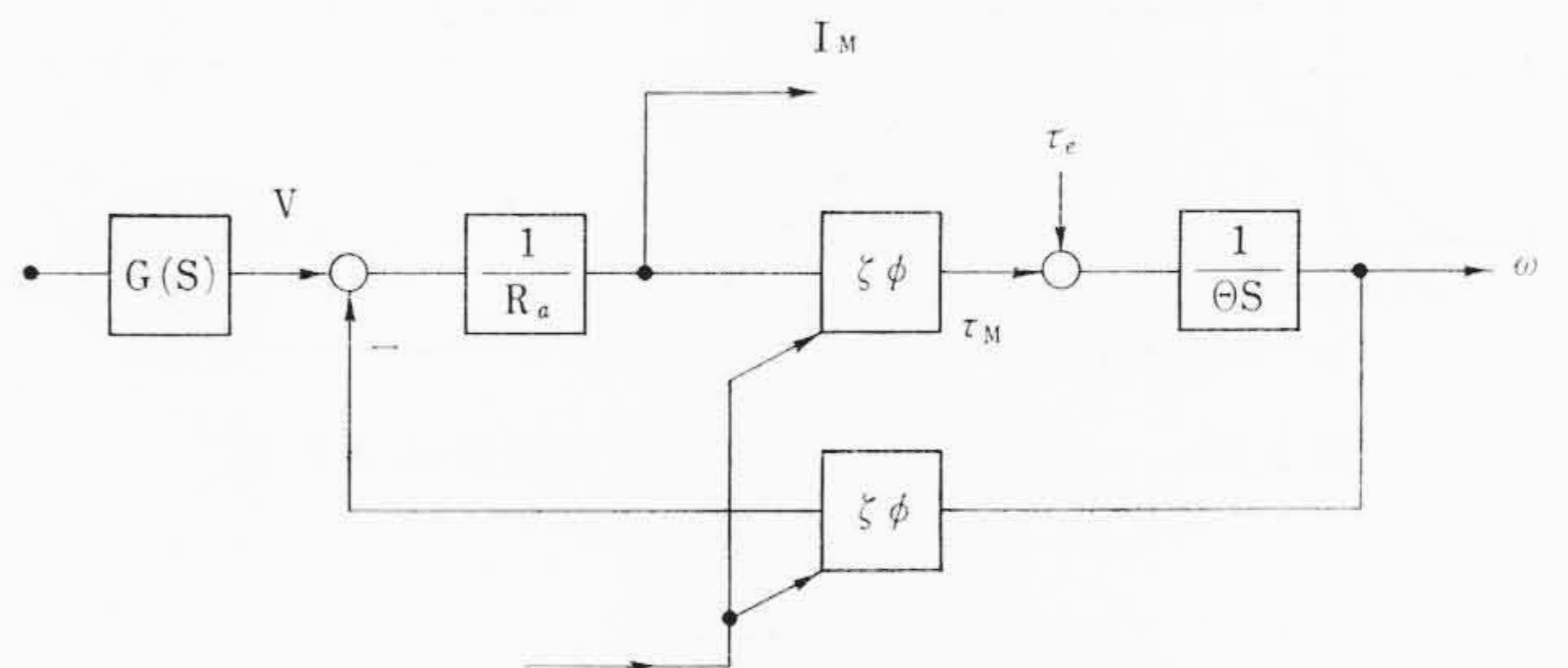
V: 発電機起電力 (V)

I_M: 電機子電流 (A)

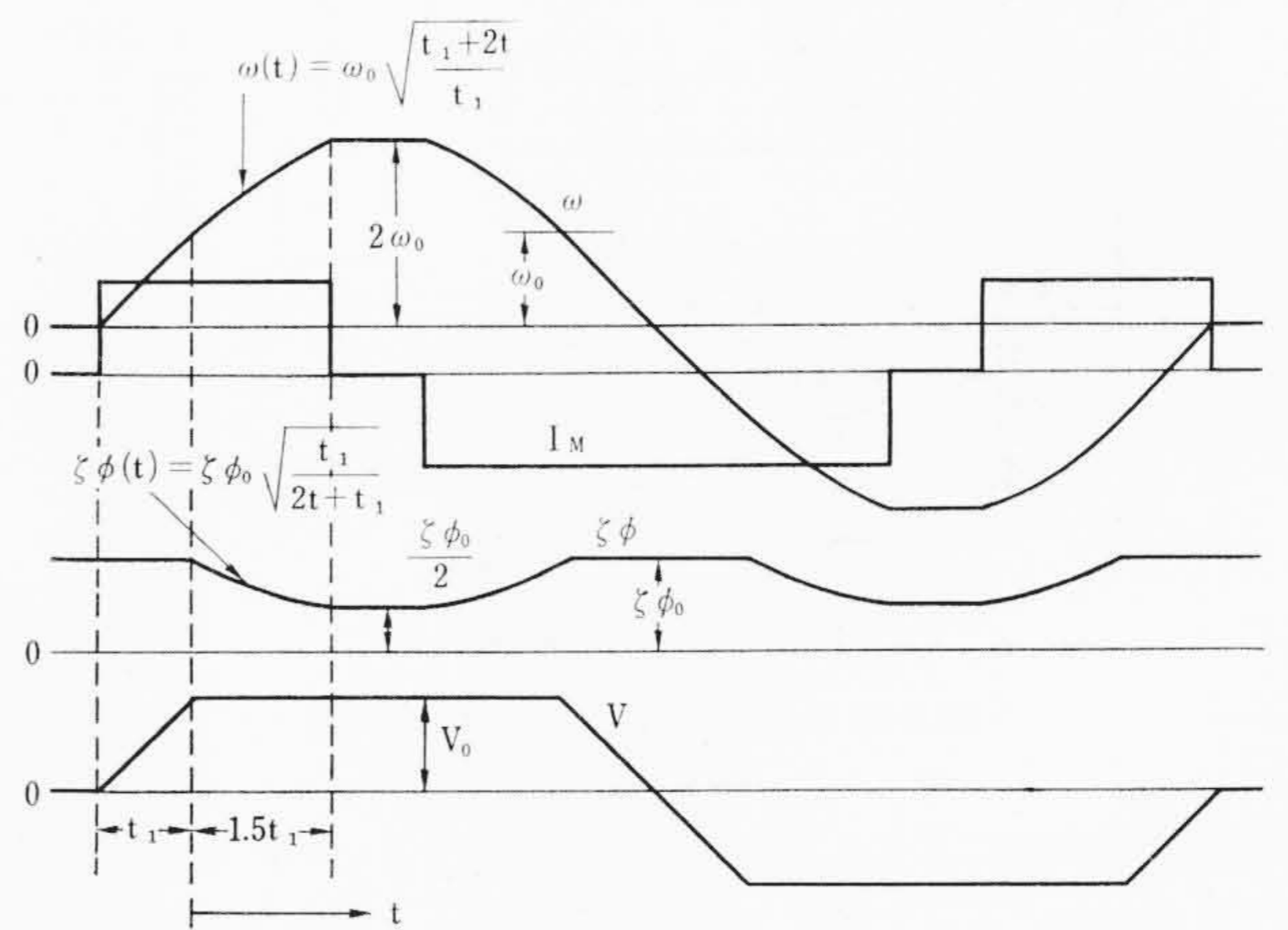
ω: 電動機の回転速度 (radian/s)



第1図 ワードレオナード回路



第2図 ワードレオナード回路のブロック線図



第3図 レオナード回路の定電流加減速曲線

R_a: 電機子回路の全抵抗 (Ω)

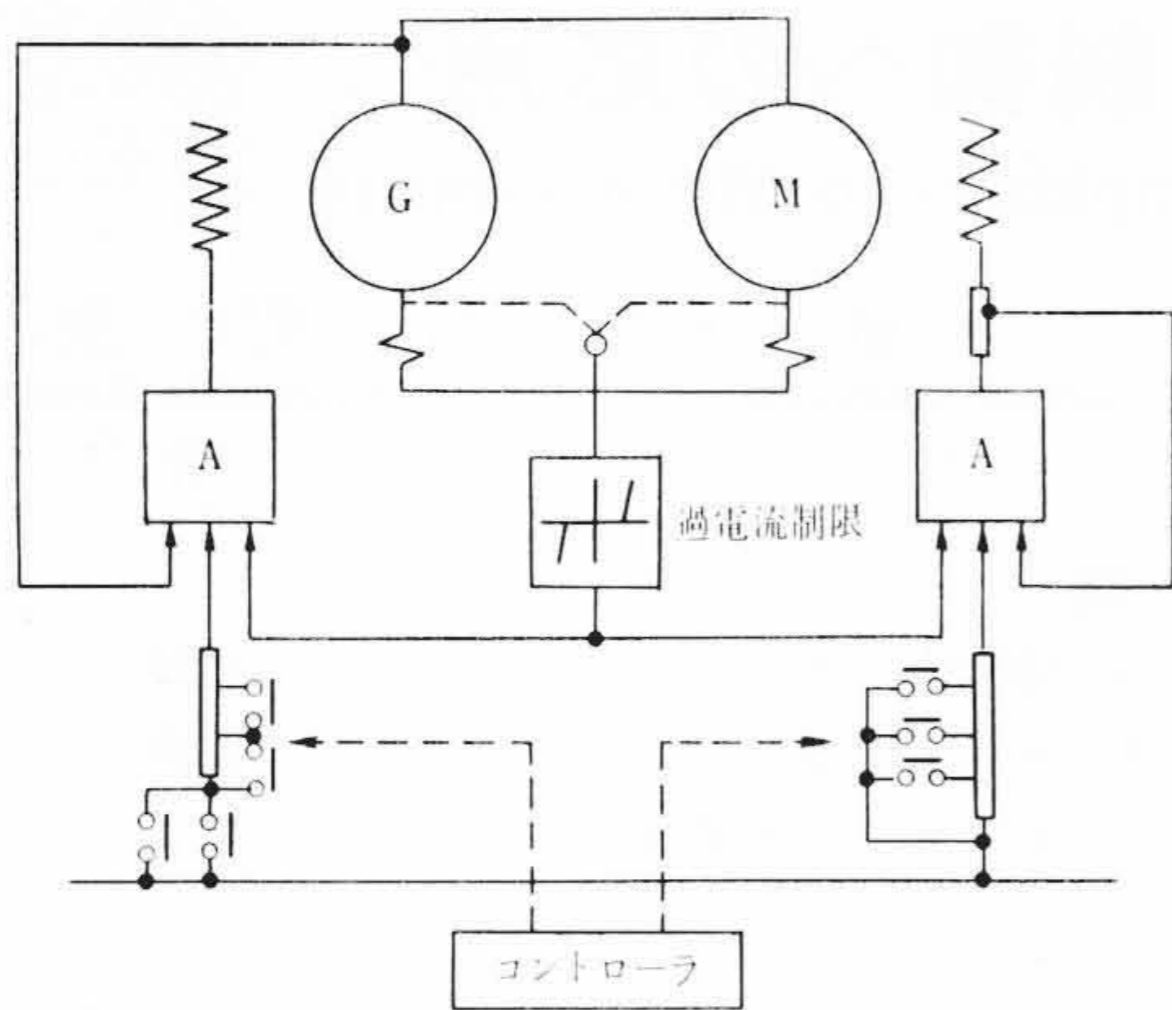
ζφ: 電動機の磁界の強さ (V-s/radian)

θ: 慣性モーメント (kg-m²)

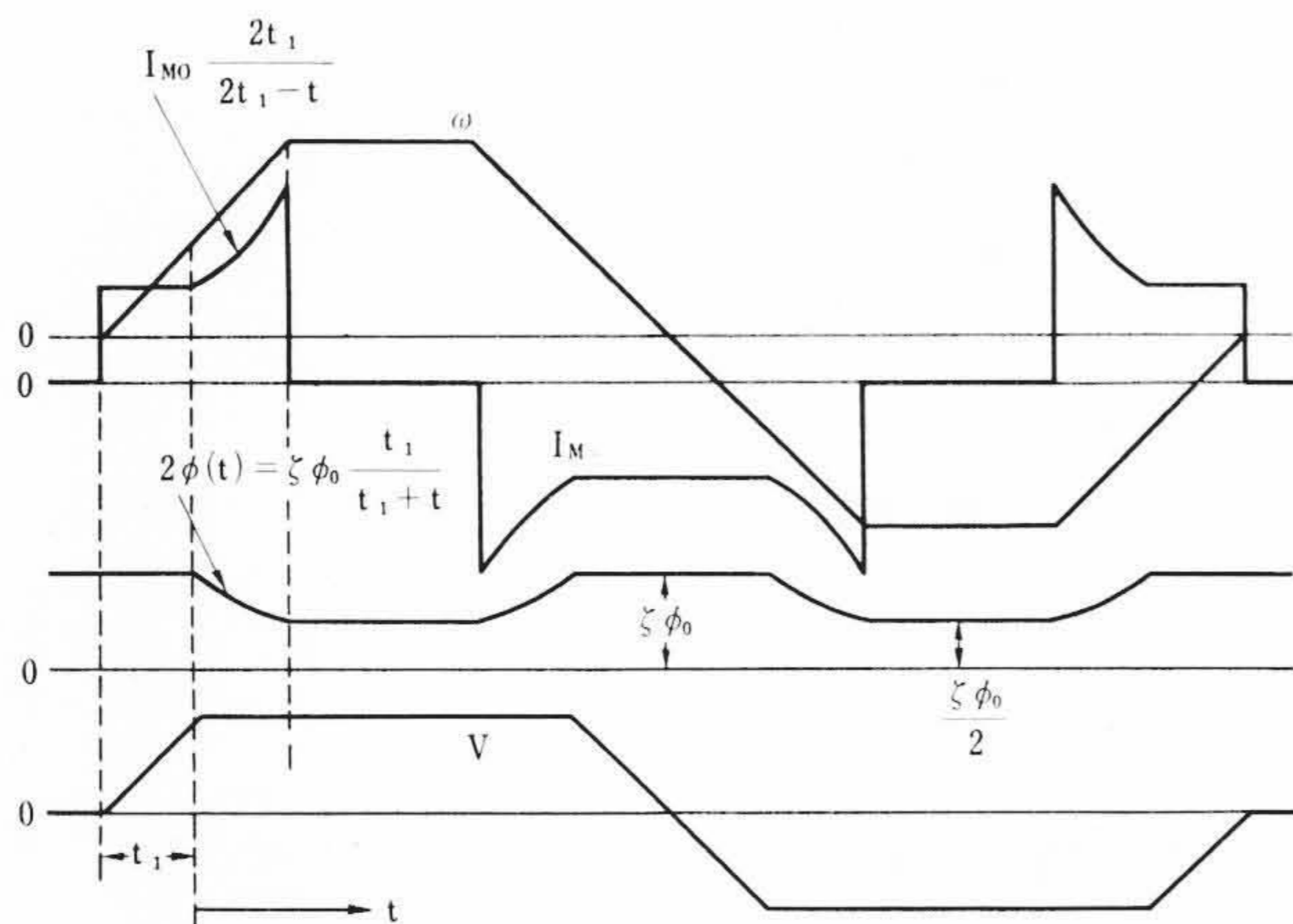
ここで、電動機の定格最大磁束をζφ₀、両回転機の定格最大電圧をV₀、加速電流をI_{M0}として、界磁弱めを50%まで行なう場合の加減速曲線を示すと第3図のようになる。この曲線は一定の加減速電流を使って変速する場合であるが、ここでI_{M0}が回転機の許容最大電流であるとき、もっとも速く加減速しうる制御方法であり、分塊圧延機などの急速加減速制御の理想形とされるものである。

* 日立製作所日立研究所 工博

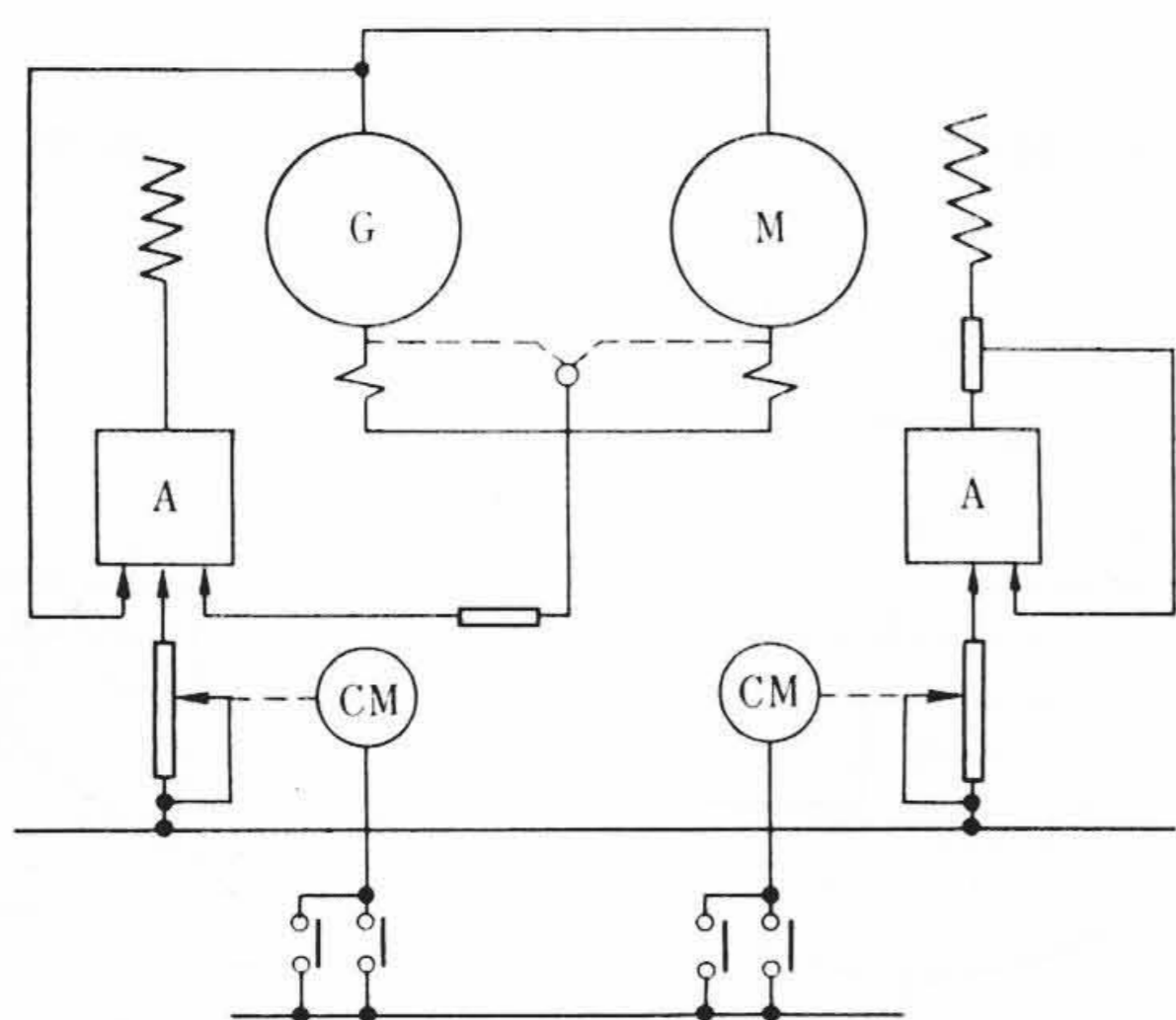
** 日立製作所日立研究所



第4図 急速加減速装置



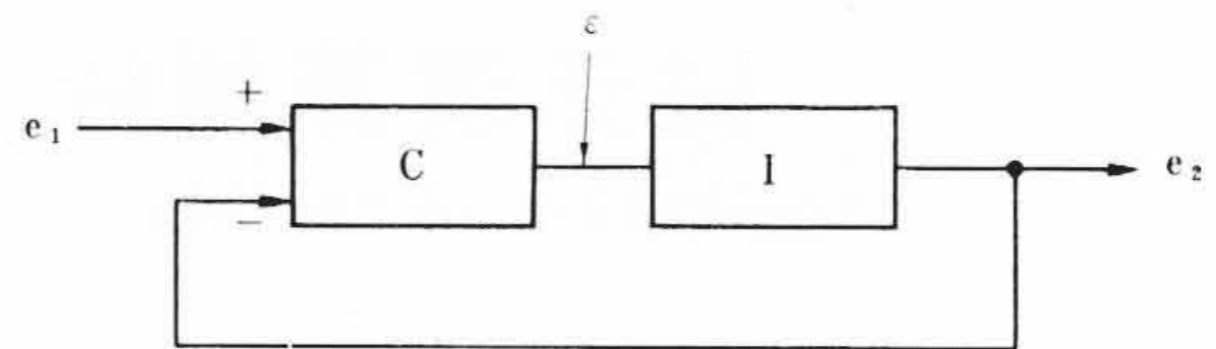
第5図 レオナード回路の定加速度加減速曲線



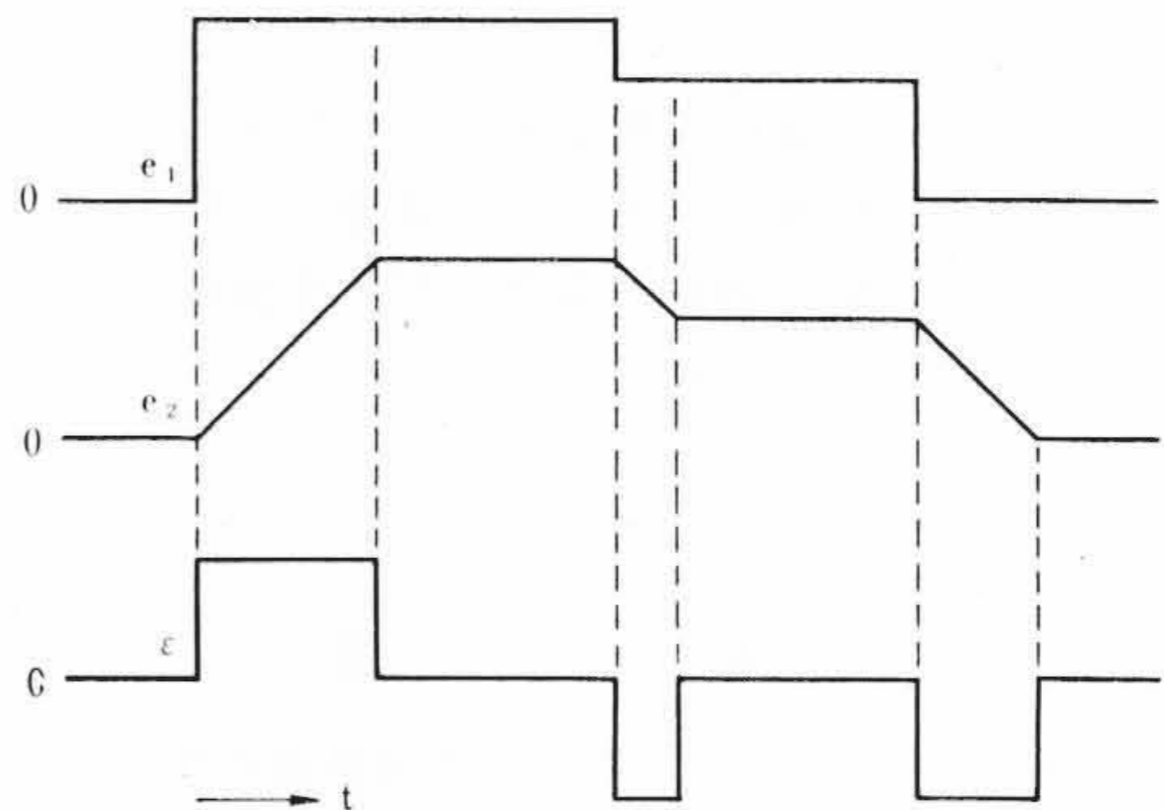
第6図 直線加減速制御

電圧変化は図にみるとおり直線状の調整でよいが、電動機の界磁は1/2乗曲線にそって変化させる必要がある。通常急速加減速制御装置は第4図に示すような構成で、制御指令としては目標値のみがステップ状に与えられ、所定値までの加速調整は制御回路の特性に依存するものが多いので、速度曲線は前述のような理想曲線から、著しくかけ離れる場合が多い。また、もし加減速中にすでにある程度の負荷電流をもっていった場合には、それが上述の加減速電流 I_{M0} に加算されることになる。したがって加速時には過電流の危険があり、減速時には余裕があり過ぎることになる。

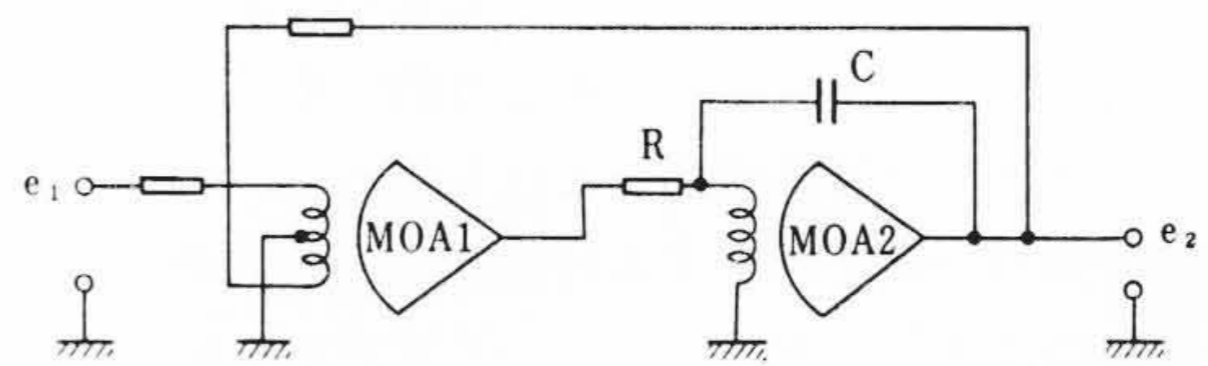
一方、ストリップミルや巻上機などの加減速制御は、比較的小さい加速度であるが円滑な変化をさせる必要がある。一例を定加速度で界磁弱め領域まで変化する場合の動作にとると第5図に示すような曲線となる。



第7図 直線指令装置ブロック線図



第8図 直線指令装置動作説明図



第9図 MOAによる直線指令装置

このような場合、第6図に示すような装置で、電圧あるいは界磁電流の指令を電動界磁抵抗器を用いて連続的に調整する方法がとられる。電動抵抗器の制御モータの回転速度は主機の速度変化の時間的な関係を与える要素であるが、回転しゅう動部分があるため高速度高ひん度の操作に不适当であり、また変化率の調整が面倒である。

3. MOAによる指令信号発生装置

3.1 直線指令装置の構成と動作原理

第7図に示すような比較器と積分器を組み合わせた簡単な回路によって、一定変化率を持つ直線状の信号電圧をつくることができる。すなわち、比較器Cは二つの入力信号を比較し、その差の正負に応じて所定の出力信号 $+\epsilon$ または $-\epsilon$ を出すような回路であり、積分回路Iは入力信号 ϵ を積分する回路である。すなわち

$$e_2 = \frac{1}{T_k} \int_0^t \epsilon dt = \epsilon \cdot \frac{t}{T_k}$$

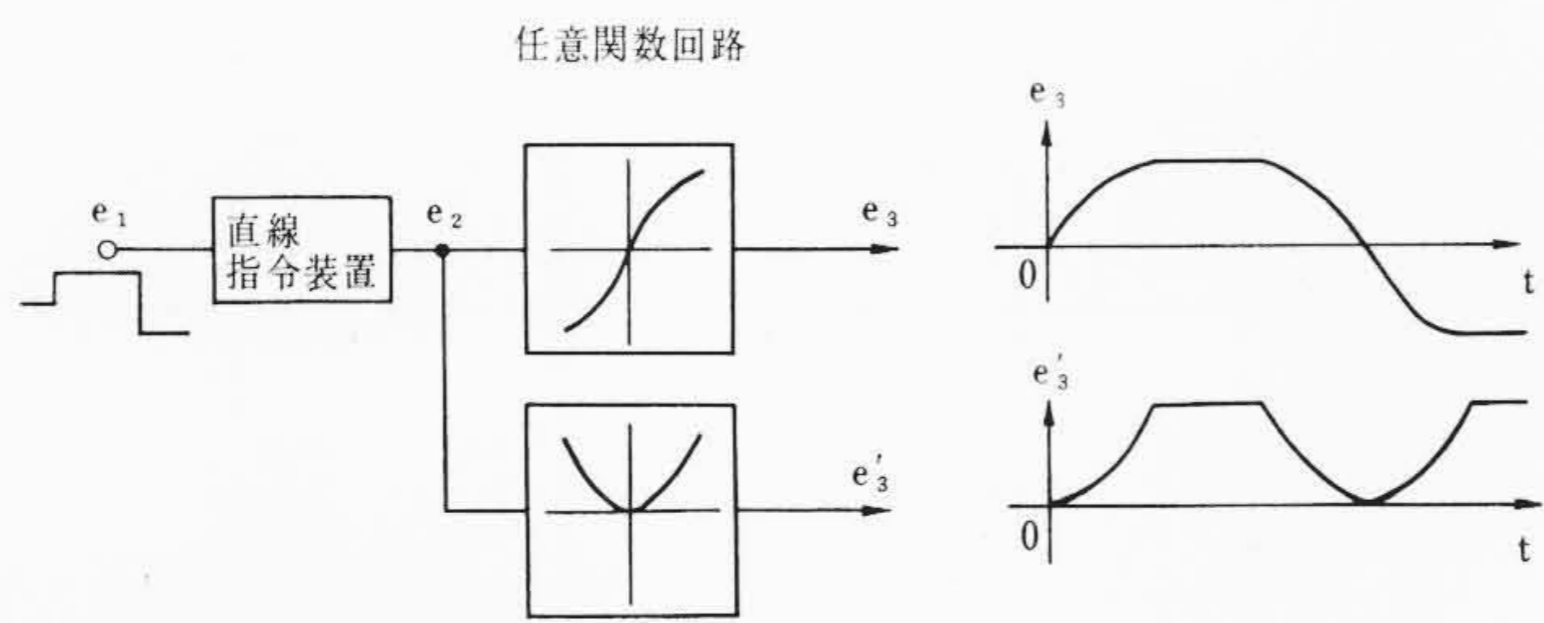
いまCに第8図に示すような階段状電圧 e_1 を与えると、 ϵ は
 $e_1 - e_2 > 0$ のときは $+\epsilon$
 $e_1 - e_2 = 0$ のときは 0
 $e_1 - e_2 < 0$ のときは $-\epsilon$

となる。この電圧 ϵ が積分器Iの入力となるから、 e_2 は第8図に示すように与えられた入力 e_1 に等しくなるまで一定の変化率をもって変化してゆく。

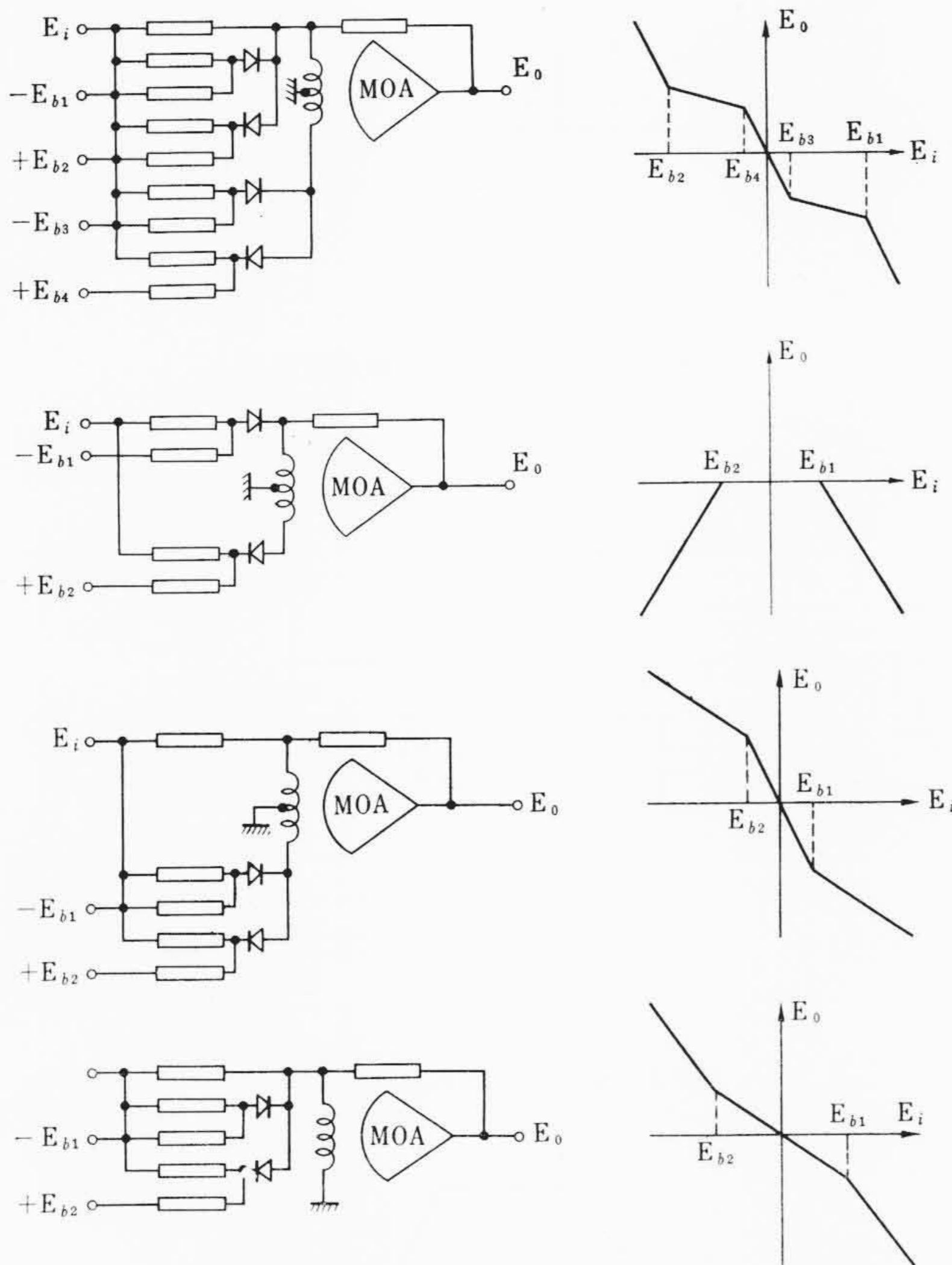
この回路を磁気演算増幅器によって具体化したものが第9図である。この場合変化率の大きさは、回路定数によって定まるが、MOA 1の出力電圧飽和値の変更、または、MOA 2のRあるいはCの変更によって調整できる。

3.2 任意指令発生装置

前節の直線指令信号をうけて、これを任意の曲線指令信号に変換する方法を第10図に示す。入力信号は目標値を与えるだけでよく、これをうけて現在値から目標値までの出力信号の変化はそう入され



第10図 任意指令発生装置



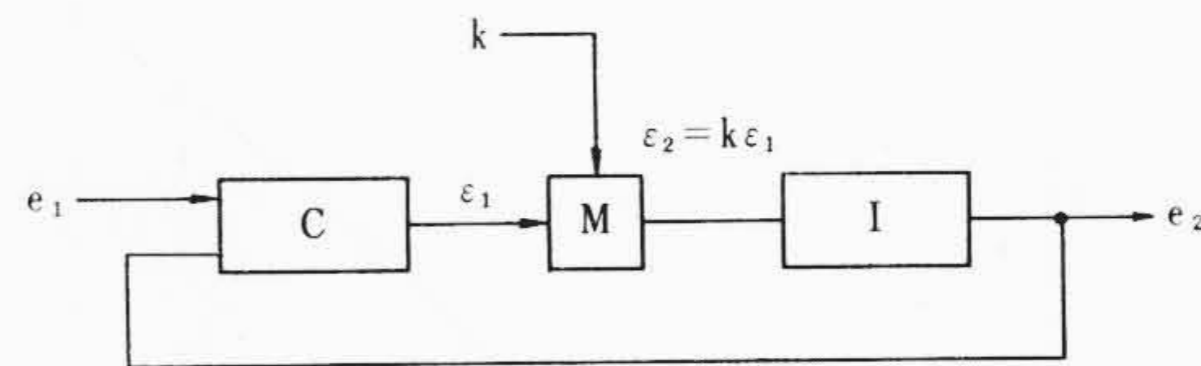
第11図 任意関数回路の一例

た関数回路の形によって定まる。任意関数回路は演算増幅器に非直線インピーダンスを組み合わせて容易に高精度の回路をつくることのできる。第11図にその回路例を示す。

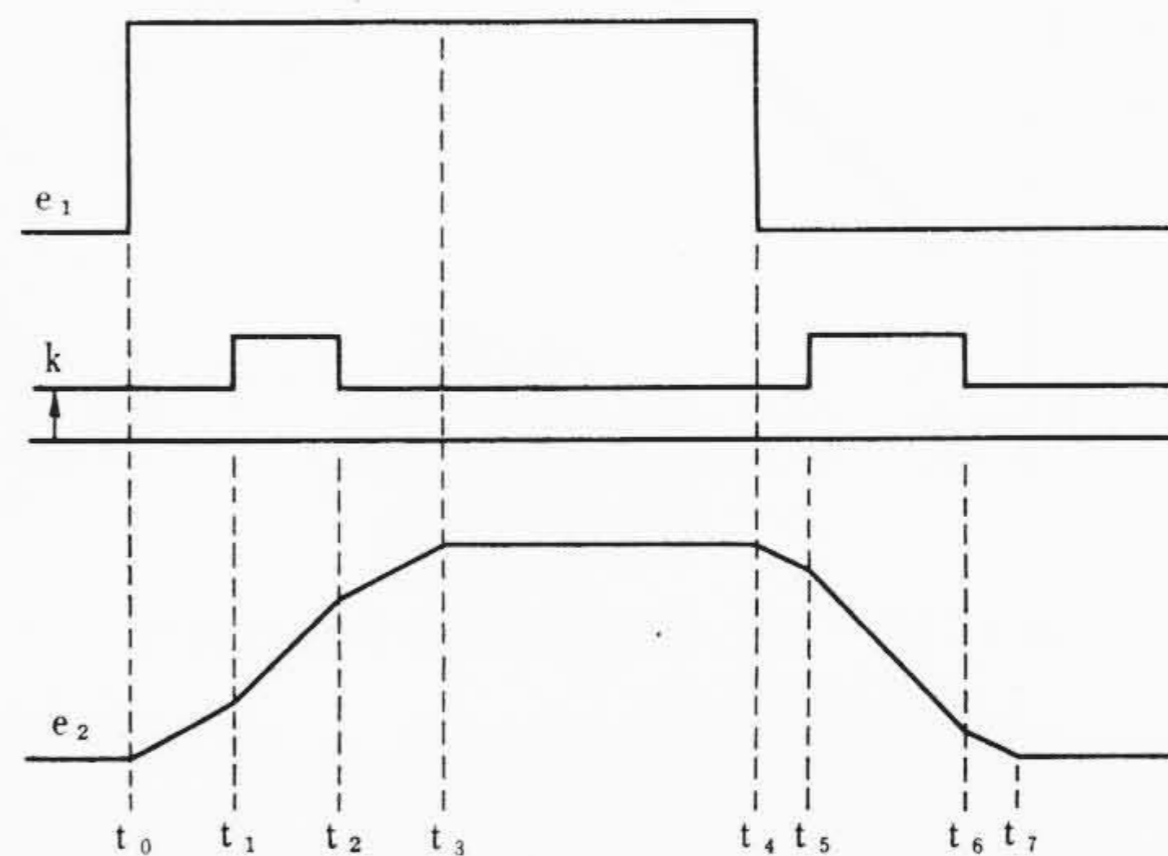
3.3 変化率調整形指令発生装置⁽⁴⁾

前述の指令装置は、出力信号の変化率が回路定数によって固定されたものであり、これを変更するには、回路の切換え、もしくはサーボポテンシオメータなどの機械的手段を必要とする。ここに述べる指令装置はこれを純電氣的な微小入力によって速応的かつ連続的に行ないうるものである。

第12図はその一方式で前述の第7図において比較器Cと積分器Iの中間に乗算器Mを介在させたものである。第12図において乗算器Mの出力 ϵ_2 は、比較器Cの出力 ϵ_1 とMへの変化率指令 k との



第12図 変化率調整形指令装置ブロック



第13図 変化率調整形指令装置動作説明図

積であらわれる。したがって

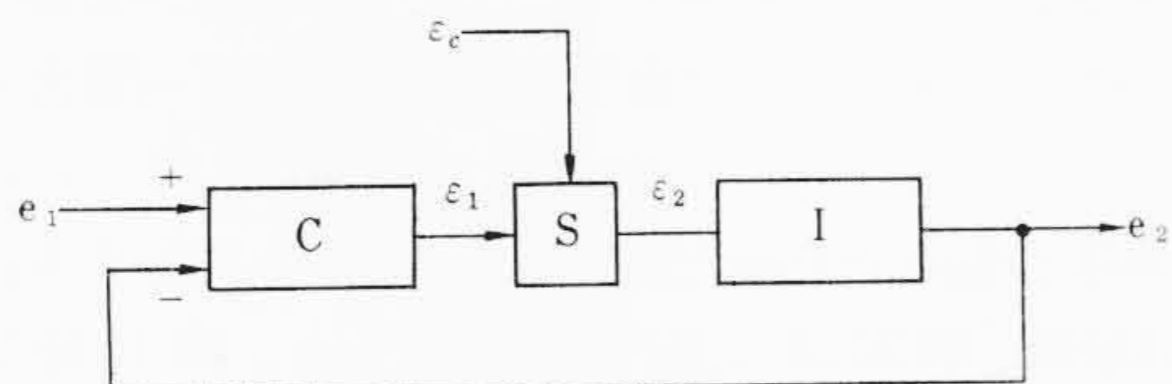
$$e_2 = \frac{1}{T_k} \int_0^t k \epsilon_1 dt = \frac{k \epsilon_1}{T_k} t$$

k が一定値であればこの回路の動作は前述第7図の場合となら変わらないが、 k は e_2 の変化中と否とにかかわらず随時変更できるから、たとえば第13図に示すような e_1 と k を与えると、 k に比例して e_2 の変化率が増減して、第13図のような信号 e_2 をうる事ができる。乗算器Mとしてはアナログ計算器に用いられる種々のタイプのものが利用できるが、速応性の高い静止形のものがよく、MOAを用いてつくられる。

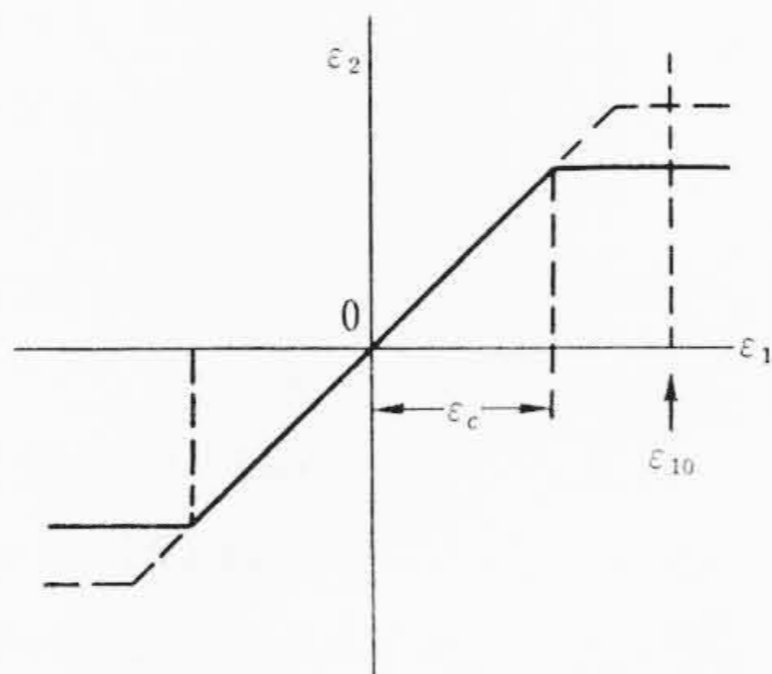
乗算器は回路構成が比較的複雑であるから、これを簡単な飽和要素で置き換えたものを次に説明する。

第14図はその構成図、第15図は飽和要素Sの特性説明図である。Sの入出力特性は外部より与える制限電圧 ϵ_c によってその飽和値を自由に調整できるものとする。比較器Cの出力 ϵ_1 は $e_1 \neq e_2$ の場合は常に正または負の一定値 ϵ_{10} を持つものである。そこで $|\epsilon_{10}| \geq |\epsilon_c|$ なる範囲では ϵ_2 は ϵ_c に比例する値か、または零の値をとる。したがって ϵ_c を前述第12図の場合の変化率指令 k と同様に使うことができる。この回路は乗算器よりも著しく簡単な回路で実現できるうえに、正側の制限値と負側の制限値とをまったく独立に与えることができるから、上昇時の変化率と下降時の変化率を別々に設定しておくことも可能になる。

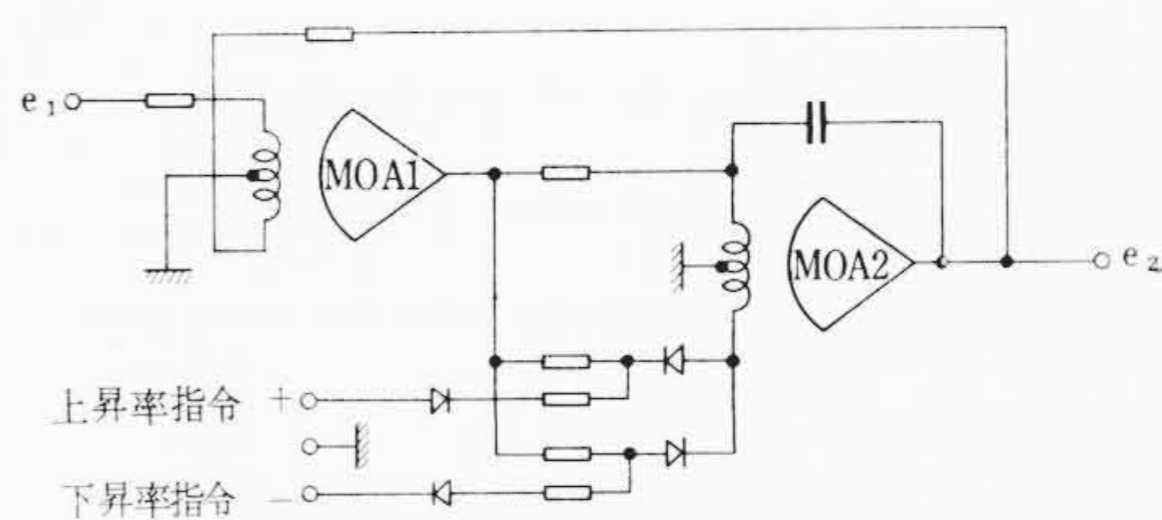
第16図は磁気演算増幅器を用いた変化率調整形指令発生装置の回路図である。MOAの入力には正、負の信号用巻線が設けられているから、これを利用することにより、さきに述べた第9図の直線指令装置にわずかの回路部品を追加するのみで簡単に実現されている。第17図はその静特性を、第18図はその動作の一例を示すオシログラムである。



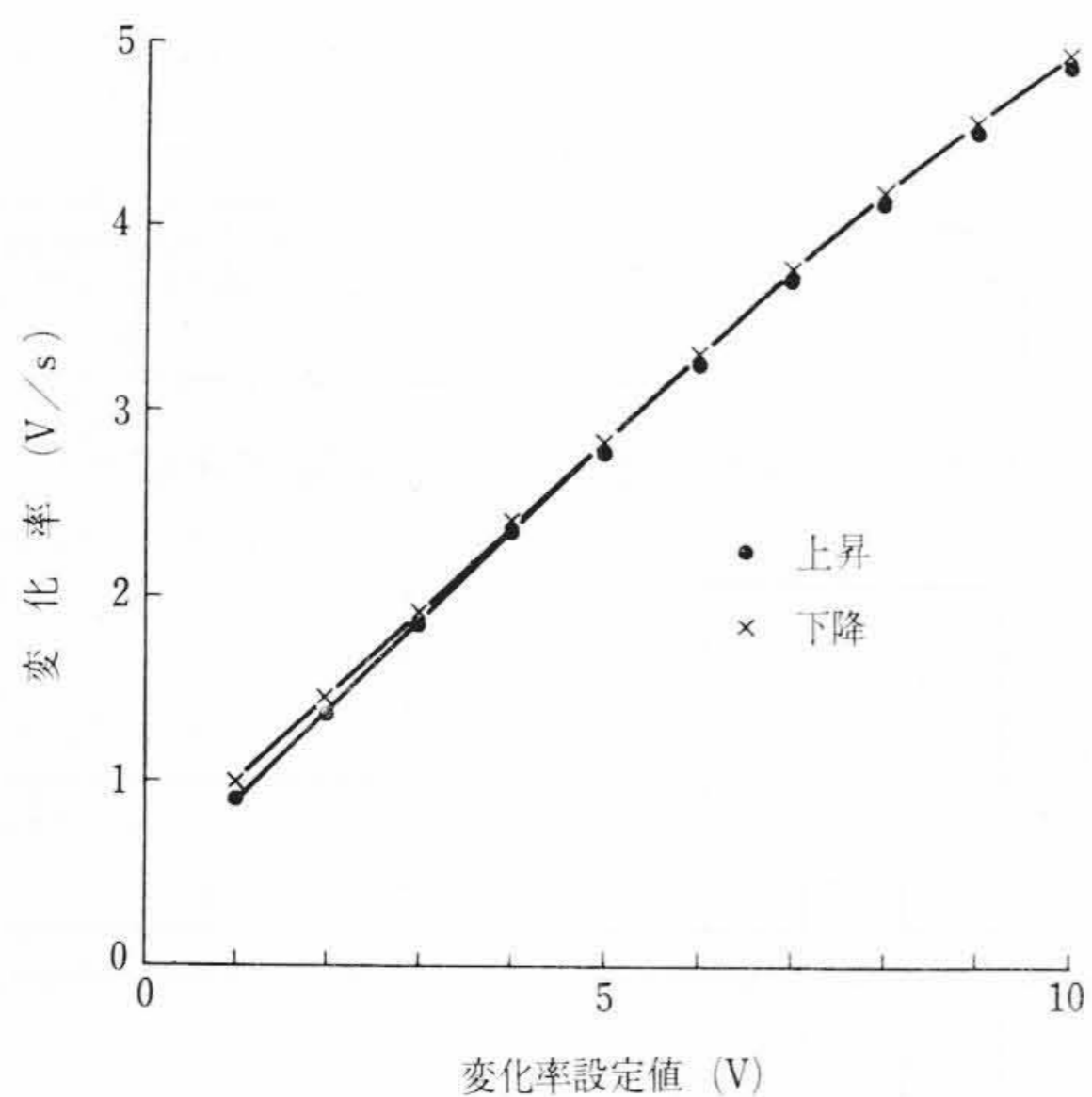
第14図 変化率調整形指令装置ブロック線図



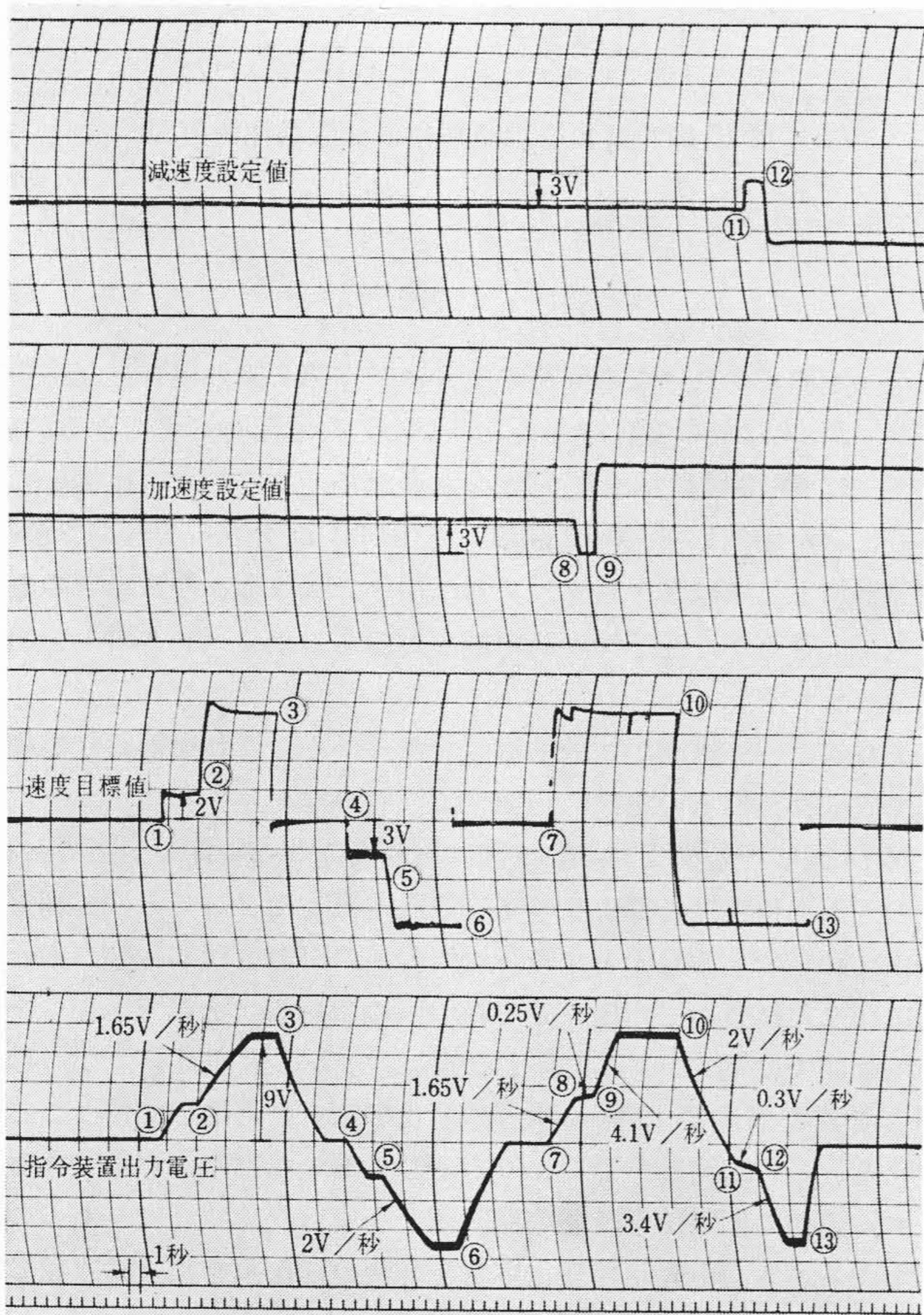
第15図 飽和要素特性説明図



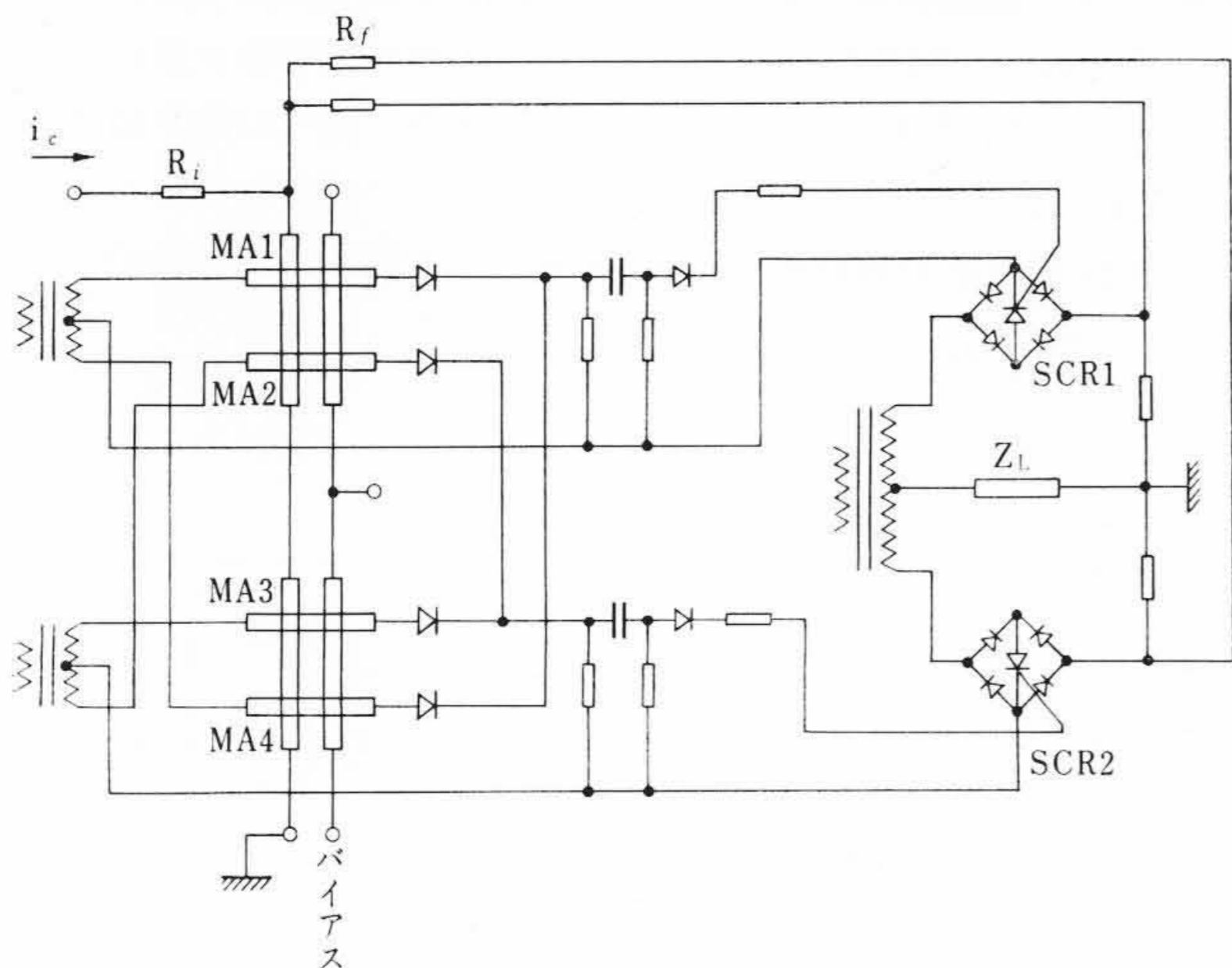
第16図 変化率調整形指令装置回路図



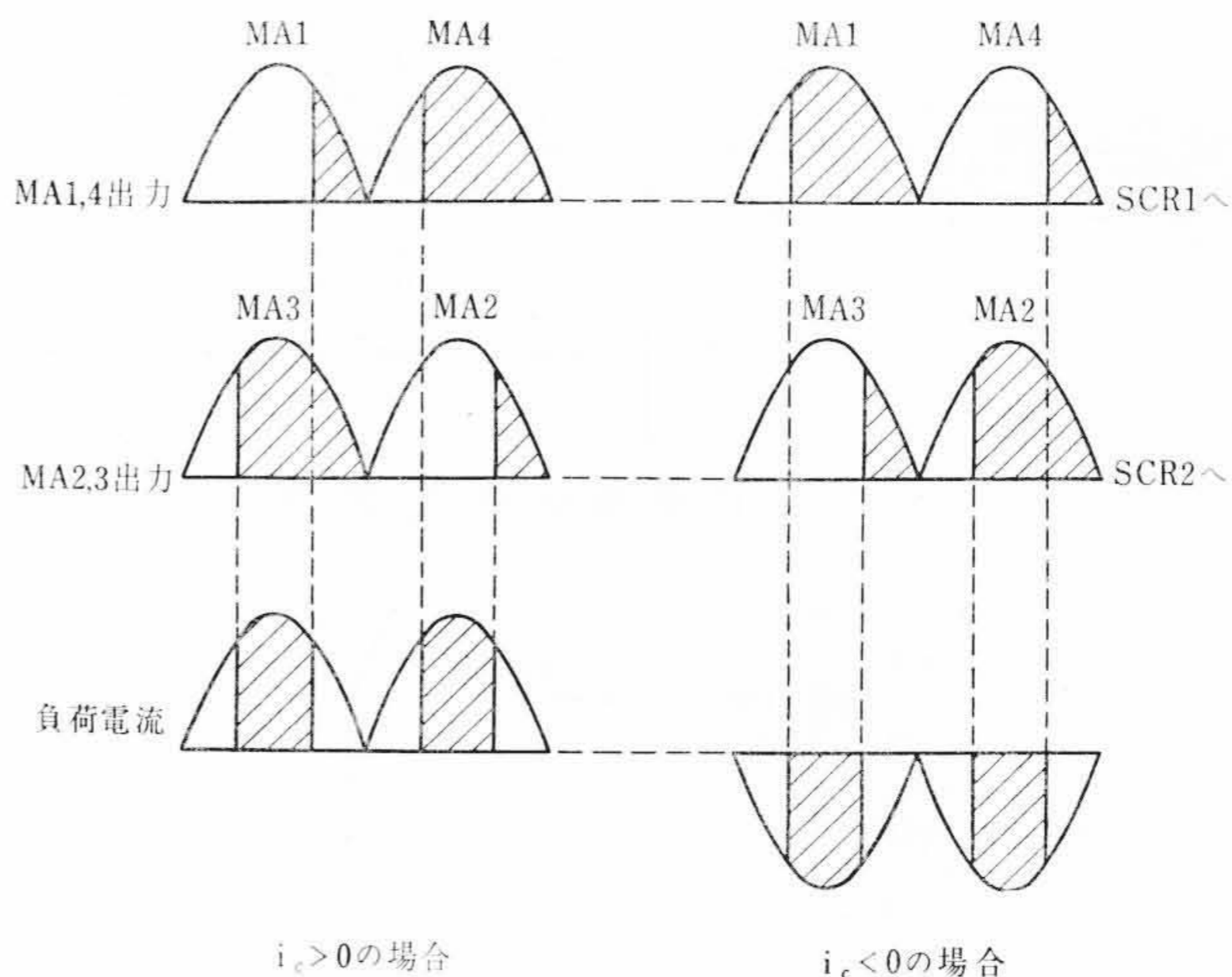
第 17 図 変化率調整形指令装置の特性



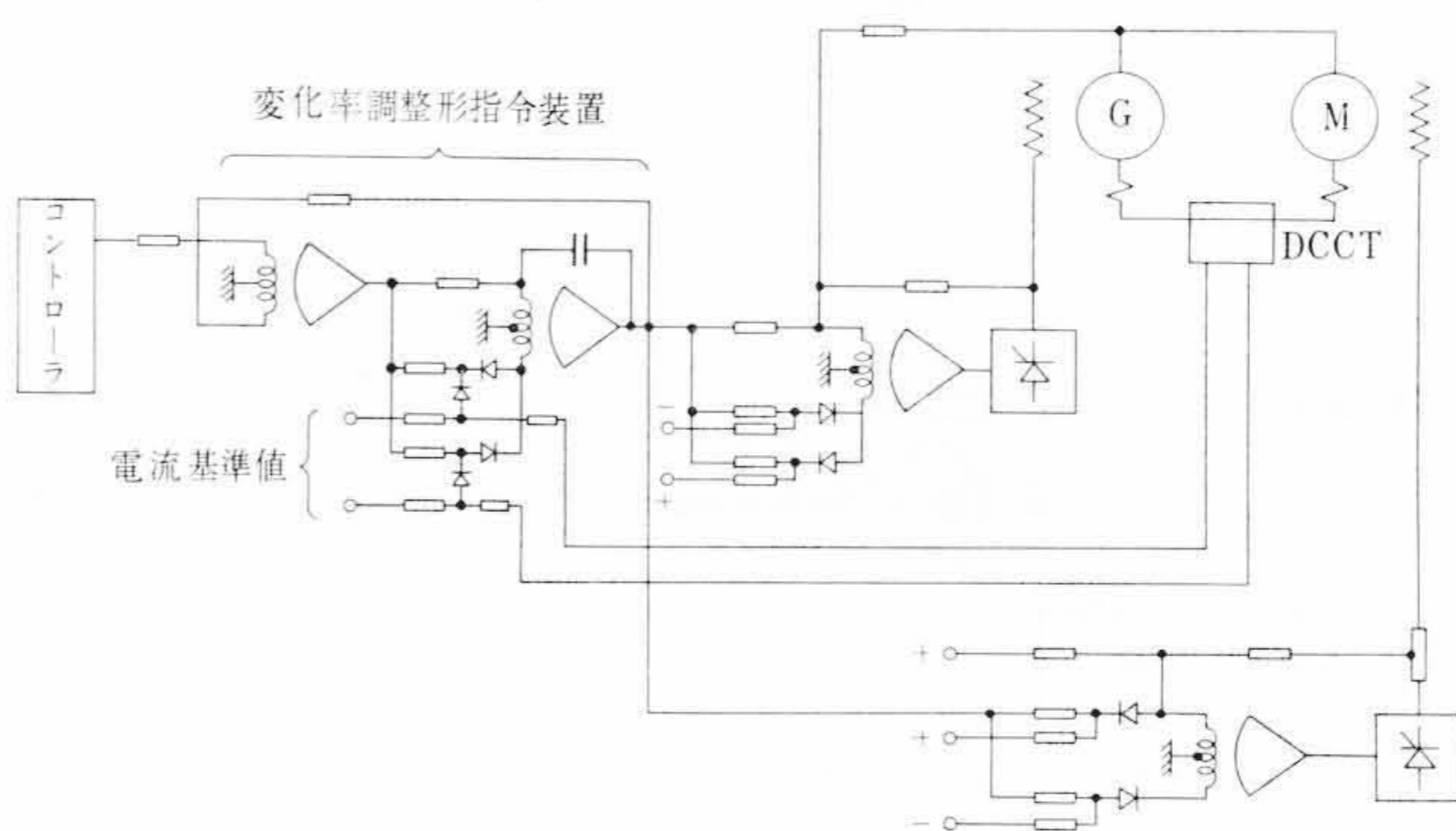
第 18 図 変化率調整形指令装置のオシログラム



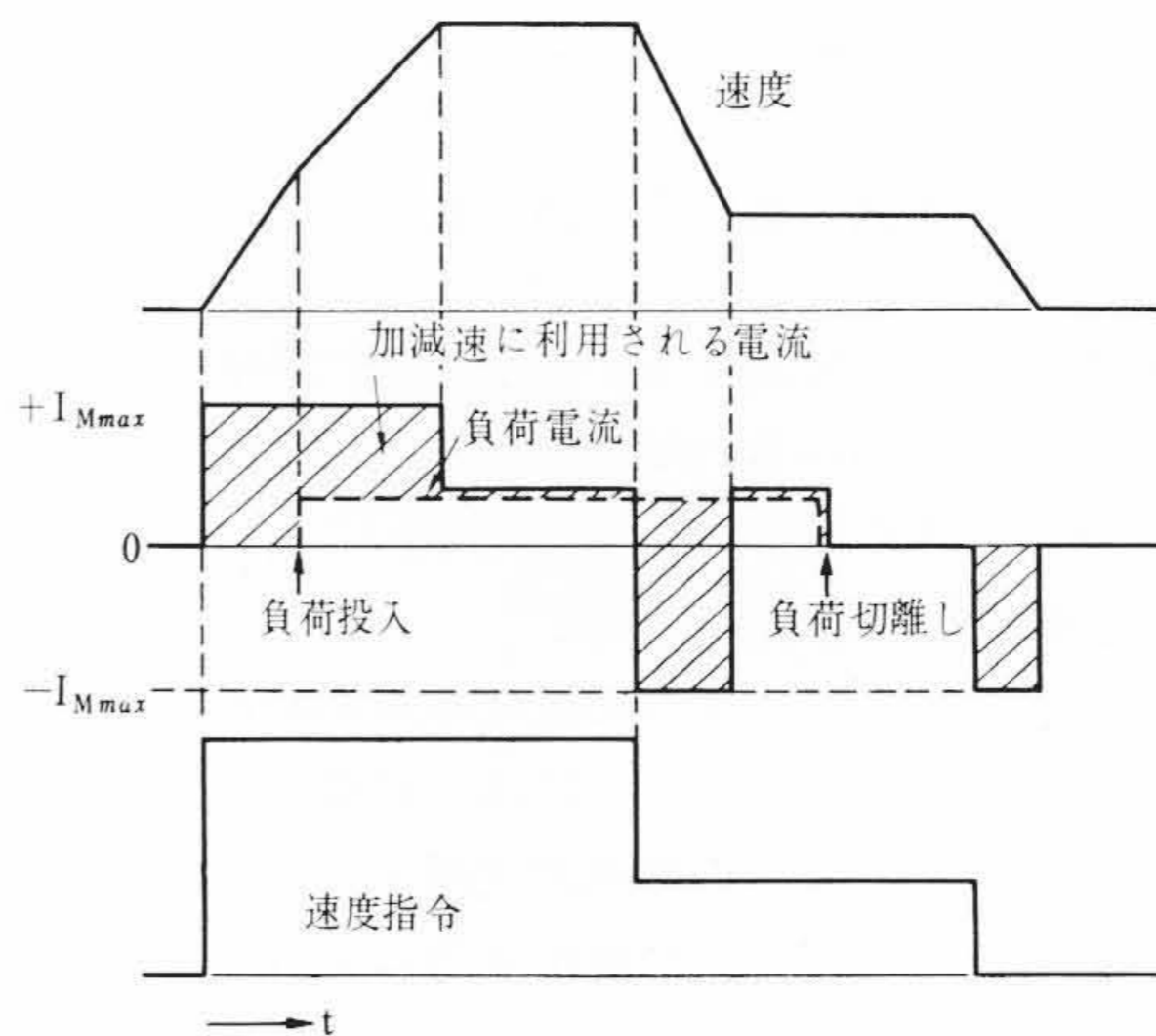
第 19 図 出力変換器回路図



第 20 図 出力変換器動作説明図



第 21 図 定電流加減速制御装置



第 22 図 最大電流加減速制御説明図

3.4 MOA 出力変換器⁽⁵⁾

MOA は元来演算機能を主とするものであるから、その信号レベルはきわめて小さく設計されており、電圧動作方式をとっている。この演算結果を制御信号として利用するには出力変換器が必要である。これには同系統の技術を使った磁気増幅器式の電圧—電流変換器や、パワートランジスタを用いたものがあるが、ここには MOA 構成素子に SCR を組み合わせた独特な回路装置を紹介する。

第 19 図はその回路図、第 20 図は動作説明図である。第 19 図で入力電流 $i_c = 0$ で電源が正の場合には MA 1, 3 が同時に出力を出し、負の場合には MA 2, 4 が同時に出力を出すようにパイアスが

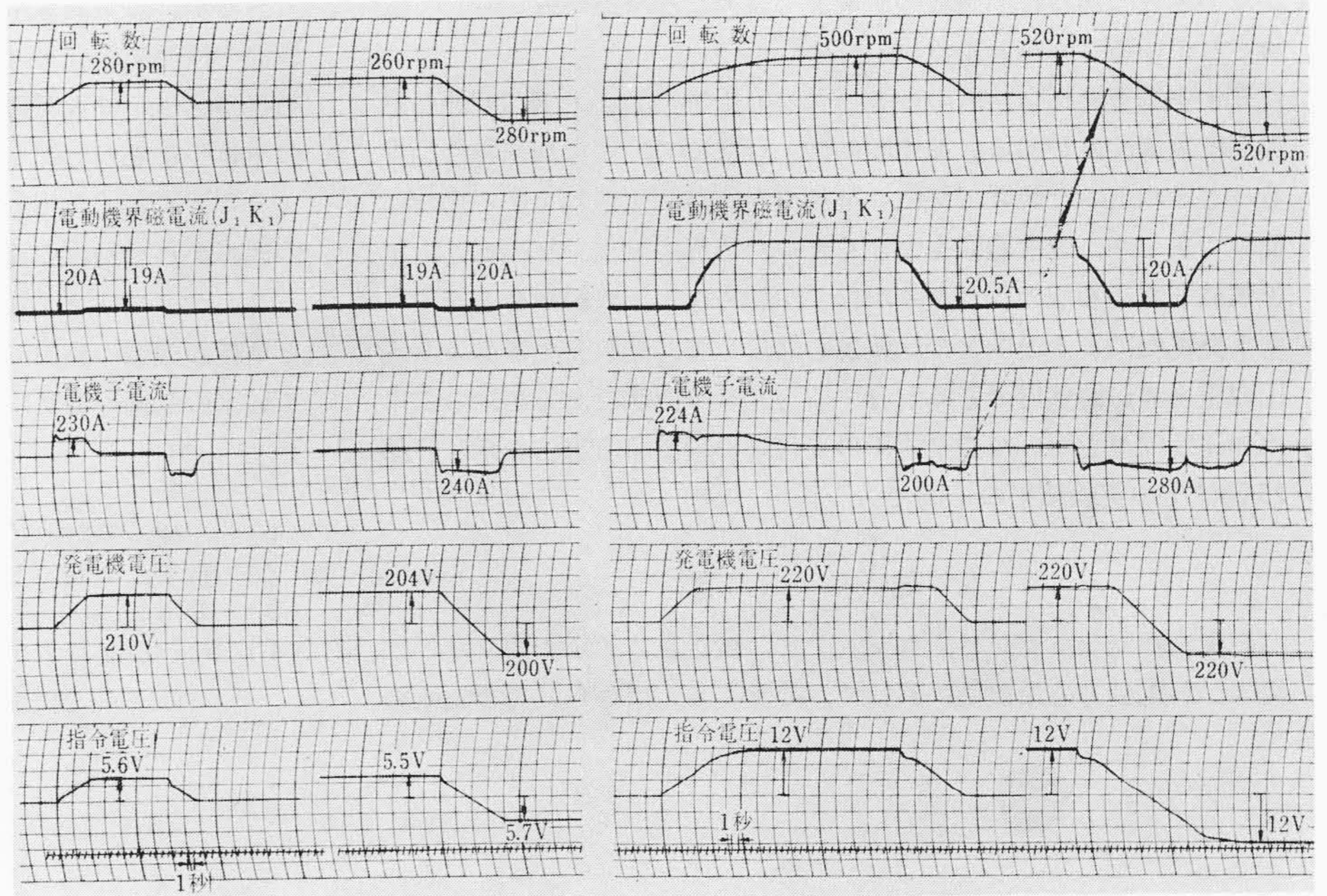
調整してある。この状態ではSCR 1, 2は同時にゲートされるので負荷 Z_L には電流は流れない。第20図に示すように $i_c > 0$ で電源電圧が正の場合にはMA 3が先に出力をだし、次にMA 1が出力を出す。したがって Z_L には正方向に電流が流れる。すなわちこの電流はゲートのずれ期間だけ流れる。電源電圧が負の場合にはMA 4, つぎにMA 2が出力をだし、 Z_L にはやはり正方向の電流が流れる。

$i_c < 0$ の場合には、上述の関係が逆になり、 Z_L には負の電流が供給されることになる。出力電流値は R_f によって負帰還されているから、入力 i_c と出力電流との間には正確な対応があり、SCRの大きな電力変換能力によって、演算要素の微小信号は一挙に大電力に変換される。

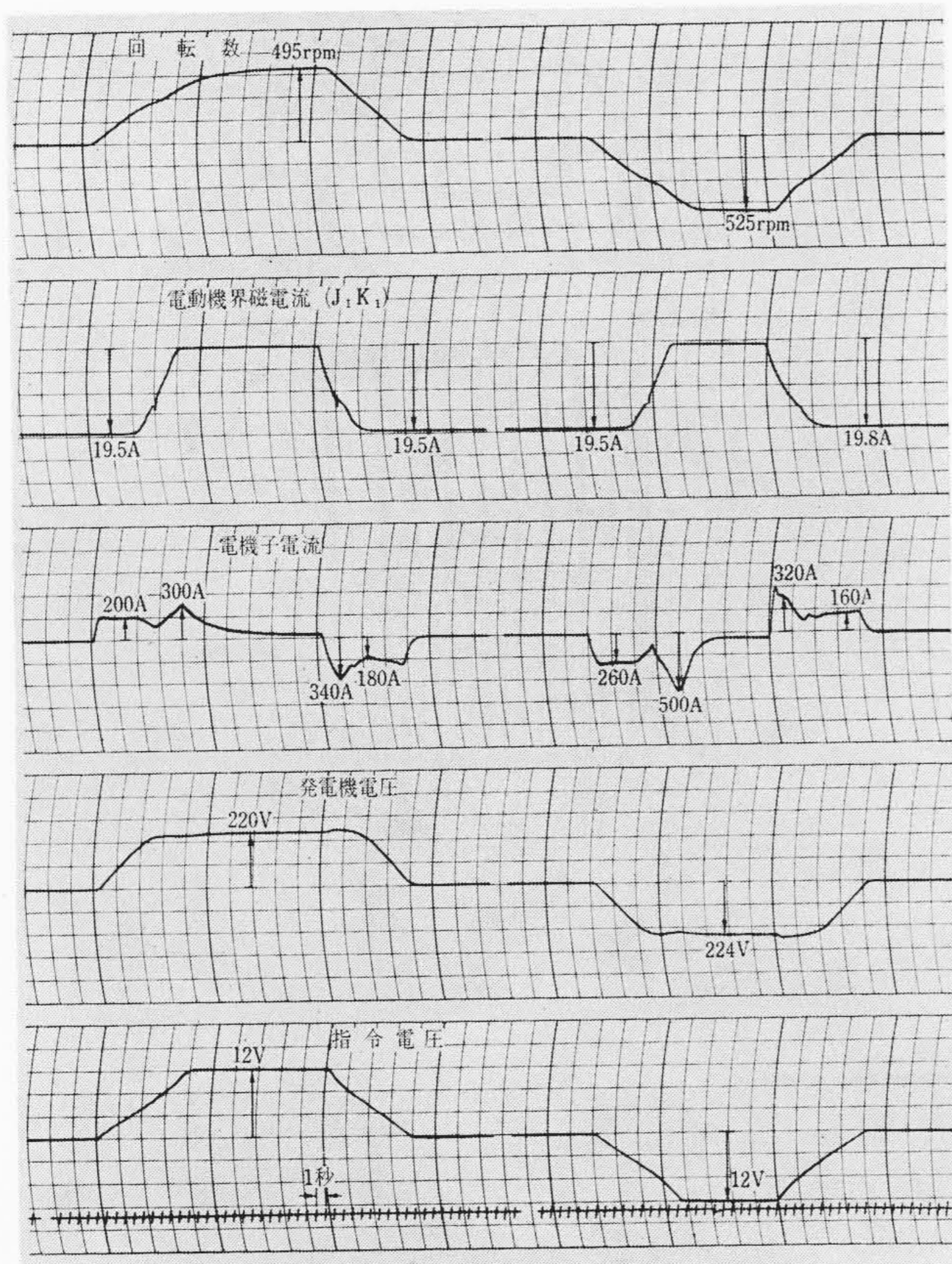
4. MOA 指令装置を用いた直流電動機の加減速制御⁽⁶⁾

変化率調整形指令発生装置は、変化率信号の自動調整が可能であるから種々の新しい使い方が考えられる。第2章に述べた加減速制御系をこの指令発生装置の導入によって改良したものが第21図である。

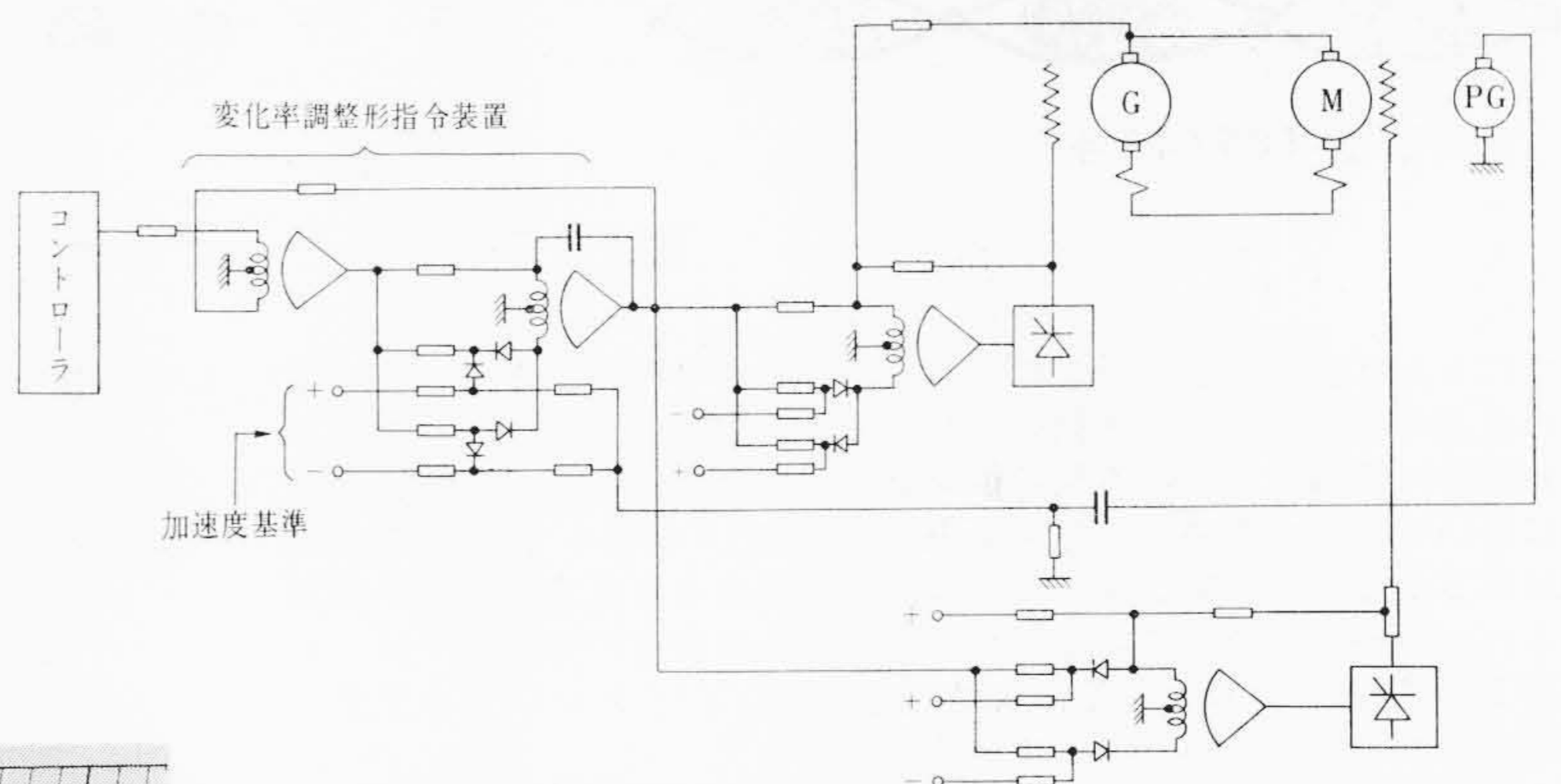
コントローラによって与える命令は目標値のみであり、指令発生装置の出力は新しい目標値に向かって直線状に変化する。この出力絶対値がほぼ50%以下の範囲では調整信号はレオナード発電機の電圧制御系のみを送られ、電動機界磁は不変である。指令出力が50%に達し発電機電圧が定格値を越えると、電圧制御系の



第23図 定電流加減速制御の実験結果



第25図 定加速度制御の実験結果



第24図 定加速度制御装置

基準値は不変となり、指令出力変化分はすべて電動機界磁制御系へ送られる。電圧制御系の基準値変化は直線状でよいが、電動機界磁制御系へ送る信号は前述のように1/2乗曲線による必要があるから、ここに関数発生器を用いる。また界磁の方向は正逆回転に関係しないから、ここで絶対値回路をそう入して指令信号の方向を規正する。

以上の装置で関数発生器の設定と、主回転機制御系の速応性が十分であれば、一応所定の制御が行なわれるわけであるが、この場合の加速電流は系の応答特性によって規制される。ここで電機子電流値を検出して基準値と比較し変化率調整信号として用いると、次のような特長が生れてくる。すなわち、変化率調整信号は加減速時の電機子電流を所定の基準値に合わせるように働くから、上述の関数発生器などの多少の誤差をカバーして一定電流による加減速曲線が得られる。また、いま一つの大きな特長は電動機の負荷の大小に関係なく加減速時の電機子電流が電流基準値によってきまることである。このことを図示すると第22図のようになる。電流基準値を最大許容電流に設定しておけば、常に加減速に利用しうる最大電流を使った急速加減速が行なえるわけである。この電流制御系は加減速期間中のみ働く制御系であるから一定速度運転中には制御系になんらの影響も及ぼさず、従来の過電流制限装置とも独立に併用できる。

第23図はこの新制御方式による実験結果の一例である。従来と

かく不十分であった界磁弱め領域まで含めた加減速曲線が著しく改善されていることがわかる。

変化率調整形指令装置のいま一つの応用例として、第24図の定加速度制御装置がある。加速度制御を行なって、直線加速特性を得ることをねらった装置である。電動機界磁が固定されている場合は簡単であるが、速度範囲を大きくとるため界磁調整を加えると、電圧領域と界磁領域の移り替りがむずかしくなる。直線指令とパイロット発電機による速度との比較値を帰還して、関数発生器により電圧調整と界磁調整信号とに配分する方式も一方法であるが、ここには加速度帰還を用いて指令電圧の変化率を調整する方法を示す。第25図はその実験結果の一例である。

5. 結 言

磁気増幅器やトランス、コンタクタ、無接点スイッチ要素などは従来から電動力応用設備において、非常に多く用いられてきたもの

であるが、磁気演算増幅器単体はこれらと同程度の規模をもち、信頼性や機能においては数段とまさる新しい要素である。磁気演算増幅器の応用には電気計算機として完成して用いられるところと、その単体の機能の一部を前述の制御用諸器具の中に介在あるいは置換することによって用いられる新しい制御系とがある。本報告は後者の観点から電動機の世界に利用した一例である。PIDコントローラ、サンプリング調節計などから微分器、関数発生器、比較器など単純な機能の利用に至るまで、磁気演算増幅器は今後各所において従来の制御用器具にとけ込んで利用されて行くものと考えられる。

参 考 文 献

- (1) 三浦, 平野, 佐野: 日立評論 44, 1101 (昭37-7)
- (2) 前川, 宅間, 北之園: 日立評論 45, 1535 (昭38-9)
- (3) 前川: 電学誌 82, 1285 (昭37-8)
- (4)(5)(6) 特許申請中



特許第406148号

特 許 の 紹 介



浜田邦雄・杉野栄美

原 子 炉 圧 力 容 器

たとえば沸騰水形原子炉のように、冷却材の少なくとも一部が炉心通過中に蒸発し、気水混合の状態では別置される気水分離器に循環されている原子炉プラントを構成する原子炉压力容器においては、燃料の交換作業を上蓋(ぶた)17を取って行なう必要があることから、フランジ接手8, 9で結合される上蓋構造が採用され、炉心を経由して気水混合状態にある冷却材の導出口7は、上蓋17の取外し時における作業の便を考慮してフランジ8の下部に形成されているのが一般的である。

しかし、かかる構造は、運転中上蓋17下部に蒸気で充満される部分を形成することになり、つまり沸騰水形原子炉を例にとれば、炉心部における冷却材は50%前後の蒸気が混入した状態にあり、強制循環されるにもかかわらず、冷却材上部に蒸気の滞留する部分ができることになる。

しかるに炉心を浸漬してその熱除去を行なう冷却材は、一般に減速材および放射線遮へい材としてもその効果を有するものであるが、蒸気は液体に比べ、著しく放射線の遮へい効果が劣るものであり、かくして压力容器上部に蒸気の充満された部分の形成は放射線遮へいの面からみるとはなはだ不利な構造というほかはない。

本発明は、これを改善して有利な原子炉压力容器を提供するもので、上蓋17下部に、実質的にこの部にできる空間を満し、設置された状態における最上部に開口14の形成されたドラム10を設け、この開口14に対し上流から連通する導管11を設けて冷却材を注入しオーバフロー状態を保持するようにしたものである。

かかる構成によれば、压力容器上部における放射線遮へいを有利に行なうことができる。すなわちドラムは、容易に取外せる構造故、燃料交換時など上蓋17の取外しを要求される場合においても、取扱いのための労力は少く、遮へいの効果を得られる。しかも

冷却材を炉心上流から導いてドラムにオーバフローさせることは、ドラム内の冷却材が蒸発して減少することによる問題を、冷却材の炉心における圧力損失に着目し注入圧力を得て行なうよう解決して装置を簡単にした効果は大である。(郷古)

