

磁気増幅器式演算増幅器 (MOA) の制御系への応用

Application of the MOA to the Control System

前川 敏明* 宅間 豊** 北之園 英博**
Toshiaki Maekawa Yutaka Takuma Hidehiro Kitanosono

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 (Magnetic Operational Amplifier 略名 MOA) は制御装置の各部に応用されているが、本稿では MOA がどのように用いられているか、またどのように用いることによってその特長が生かされるかについて述べる。

1. 緒 言

磁気増幅器式演算増幅器 (MOA) は、高性能磁気増幅器を増幅素子としてこれに抵抗、コンデンサなどを付加接続することにより加減、微分、積分、関数発生器などのアナログ演算器としたものである。信頼性が高く、長寿命で雑音や周囲温度の変動に強く、そのほか多くの特長を有することは近時広く認識されるに至ったが、その応用面は、今なお見のがされている分野が相当ある。以下に流量制御、原子炉自動起動、生産管理装置、演算制御装置などのプロセス制御および加減速指令装置、加減速制御装置、鋼帯厚み制御、シャシダイナモ制御などの電動力応用制御にどのように応用されているかを述べる。

2. プロセス制御

2.1 流量演算と圧力制御

配水管、ガス圧送管が非常に長く、しかも複雑な場合、その終端圧力を規定値以上に保つことは、終端圧力そのものの検出が困難であるから計算制御による自動制御が採用されている。われわれは管路の全圧力降下を計算し、吐出圧力を制御することによって終端圧力を規定値以上に保つ。

このとき関係式は次式で与えられる。

$$P_1 = P_0 + h Q^n \quad 1.5 < n < 3 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし P_1 : 吐出圧力
 P_0 : 終端圧力
 Q : 吐出流量
 h : 定数

ここに n は 1.5~3 の範囲にある半固定の定数で、配管系が決まれば設定できる。上式により所定の吐出圧力を求め、これと現在値との差をなくすよう制御系を構成する。系全体の制御系の動特性についてはここでは触れない。上記(1)式の演算は、いかに行なわれるか。それは n が定まっているときと定まらないうちとで違ってくる。

n が固定のときは MOA を用い関数発生器で簡単に解決できる。 n が可変のときも関数発生器を用いるが、1.5~3 程度の調整を要するときは、むしろ次の方法によるほうが操作が簡単である。

いま流量 Q が Q^2 の形で検出されると (一般に差圧として検出されるから Q^2 の形となる)、(1)式は次のように変形され近似化される。

$$\begin{aligned} P_1 &= P_0 + h Q^{1.5 \sim 3} \\ &= P_0 + h (Q^2)^{0.75 \sim 1.5} \\ &= P_0 + h e^{(1+\Delta x) \ln Q^2} \\ &\doteq P_0 + h Q^2 + h Q^2 (\ln Q^2) \Delta x + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 P_1}{dx^2} \right)_{x=1} \Delta x^2 + \dots\dots \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2)$$

(2)式の第3項までとる。

この方式と(1)式を関数発生器で計算する場合と比較すると操作のしやすさは(2)式のほうが Δx を1個のポテンショで設定するだけであるのに反し、(1)式では数個のポテンショを設定する必要がある。さらに精度については(1)式では絶対値に対してきくのに対し(2)式では第3項の掛算精度が Δx の変分に対してきくだけとなっている。この方法は各種の場合に応用できる。

2.2 原子炉自動起動への応用

原子力プラントでは近時自動起動化が進められており⁽⁴⁾、系統全体の自動起動は、デジタル計算機を用いた方式が検討されているが、原子炉自体の起動についてはアナログ方式で相当の成果が得られている。原子力の制御は特にその装置の信頼性が重要で、MOA はその意味においても最も適した制御要素である。

詳細は別報にまとめる予定であるが、概略は次のとおりである。すなわち、起動領域を炉周期一定領域、出力上昇率一定領域に分け、この切り替えを自動的に行ない、炉周期、出力上昇率、定出力をそれぞれ調整可能とする。第1図に概略の構成を示す。一般的には

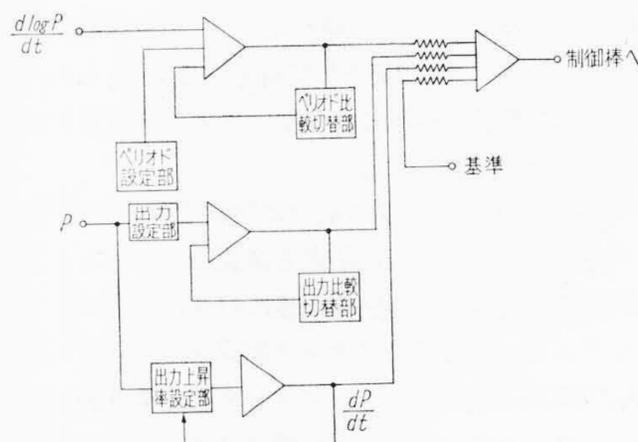
$$k_1 p + k_2 \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} + k_3 \frac{dp}{dt} = k_4 \quad \dots\dots\dots (3)$$

ただし p : 炉出力
 k_1, k_2, k_3, k_4 : 定数

で与えられる。第1図で起動初期では定炉周期系のみ自動制御がかかり、他の二系統は十分クランプされている。ゆえに(3)式は近似的に

$$k_2 \frac{1}{p} \frac{dp}{dt} \doteq k_4 \quad \dots\dots\dots (4)$$

となるよう制御を行なうが、次第に出力が上昇すると(3)式、第3項が効果を持ち、第2項は次第に小になるよう制御系が働く。さらに出力が上昇すると第1項が効果を現わし、第2項、第3項が零になる所で出力定値制御が続けられる。本装置の写真を第2図に示す。



第1図 原子炉自動起動ブロック図

* 日立製作所日立研究所 工博
** 日立製作所日立工場

式中 $X_1 \sim X_{12}$ は独立変数でメタルの初期温度, 終点温度, チャージ重量, ランス高さ, 塩基度, 初期の C, Si, P, Mn, Ti, S などを示す。また $k_0 \sim k_6$ は可変の係数で吹錬時間, フレーム温度, ロスなどを示し, $C_1 \sim C_{37}$ は定数である。

この演算を行なわせるのに一度に演算するやり方と時分割演算をするやり方とある。そしてそのいずれのやり方も HIMATROL により容易に実現できる。

なお終点温度を認識するために, 排ガス中の一酸化炭素を検出して予測制御することができる。予測制御を行なうには MOA を巧みに組み合わせて行ないうが, 説明は省略する。

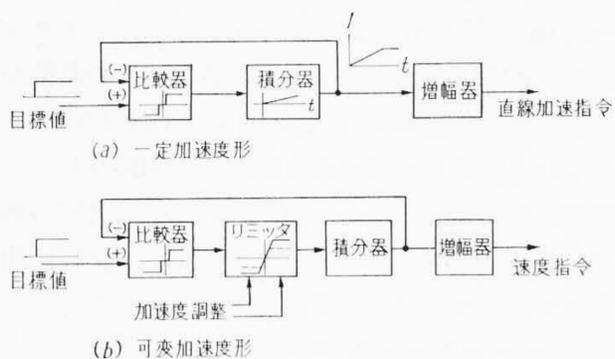
3. 電動力応用制御

電動力応用制御分野における演算増幅器の応用は, 指令と帰還との加減算, 増幅器としての一般的な用途のほか, 入出力の関係を任意の関数形とする場合や, 任意の時間関数を発生しようとする場合などに大きな特長を発揮し, 最近次第に広く応用される傾向にある。一般に電動力応用の分野においては, 動作ひん度もはげしいうえに高い信頼性を要求されるので, 過酷な周囲条件における安定性, 寿命, 雑音に対する強さなど要求がきびしい。磁気増幅器式演算増幅器はこの要求にこたえるもので, 他の制御部品と同程度の信頼性が得られる点できわめてすぐれている。電動力応用制御におけるもう一つの要求は応答速度の速いことであるが, 磁気増幅器演算増幅器では, 要求に応じて電源周波数の高いものを使用することが必要である。以下, 例によりその応用について説明する。

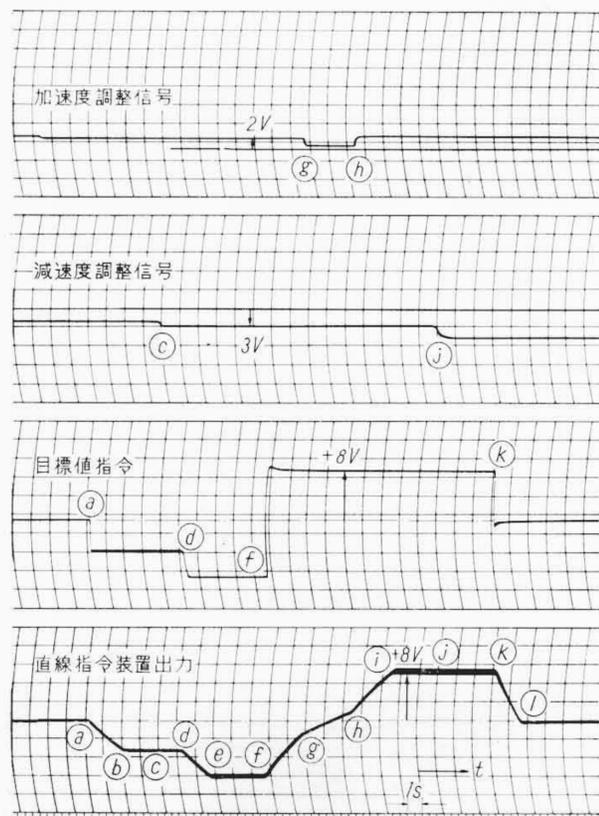
3.1 加減速指令装置⁽⁹⁾

本装置は演算増幅器により, 時間的な関係を与える応用の一例である。一般に電動機の加減速は, 一定の速度変化率で直線的に行なわれるのが望ましい。このような場合, 従来は電動界磁抵抗器により速度指令を変化せしめるか, 多段の電磁接触器による階段状の指令変化を用いていた。電動界磁抵抗器の制御電動機の回転速度, あるいは電磁接触器のステップ間の時延継電器が速度変化率の時間的な関係を与える要素であるが, 前者は回転しゅう動部分があるため高速度高ひん度に不適當であり, 後者は出力が不連続なステップ状であり, また変化率の調整が面倒である。第6図に原理を示すような演算増幅器を用いた加減速指令装置は, 連続的な出力が得られ, 機械的動作部分がないので長寿命であり, 速応性が高く, また調整が容易である。第6図において, 速度の到達目標の指令電圧は比較器入力として与えられ, 比較器は, この入力と積分器出力とを比較し, その大小により正あるいは負の一定電圧を発生する。

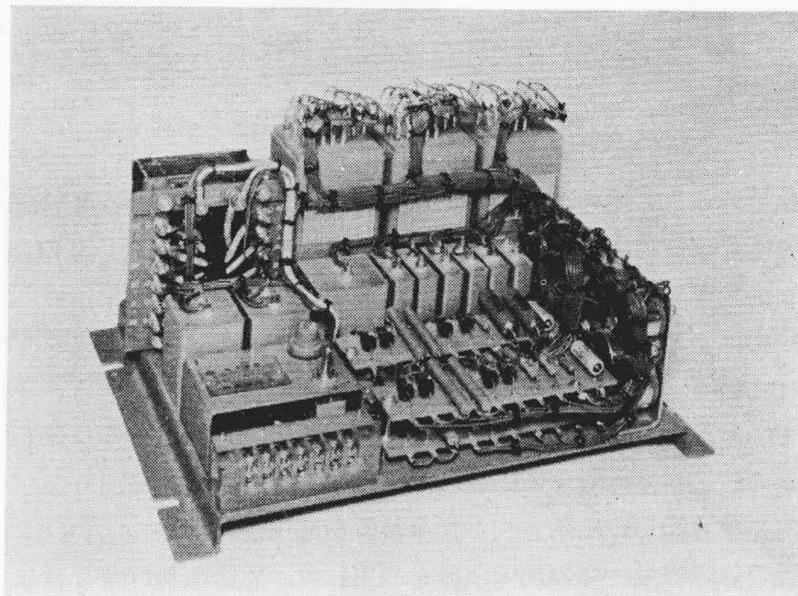
積分器はその一定電圧を設定された積分定数により積分するので, その出力は時間に対して直線的に変化する。積分器出力が増加し, 比較器入力のあらかじめ設定された速度指令値に達すると, 比較器は出力を失い, 積分器出力の増加を停止する。したがって, この積分器出力を増幅器により電力増幅し, 速度制御装置に与える速度指令とすることにより直線的な速度上昇制御を行なうことができる。また比較器と積分器の間にそう入したリミッタ回路の制限値



第6図 加減速指令装置ブロック線図



第7図 直線指令装置のオシログラム



第8図 加減速指令装置

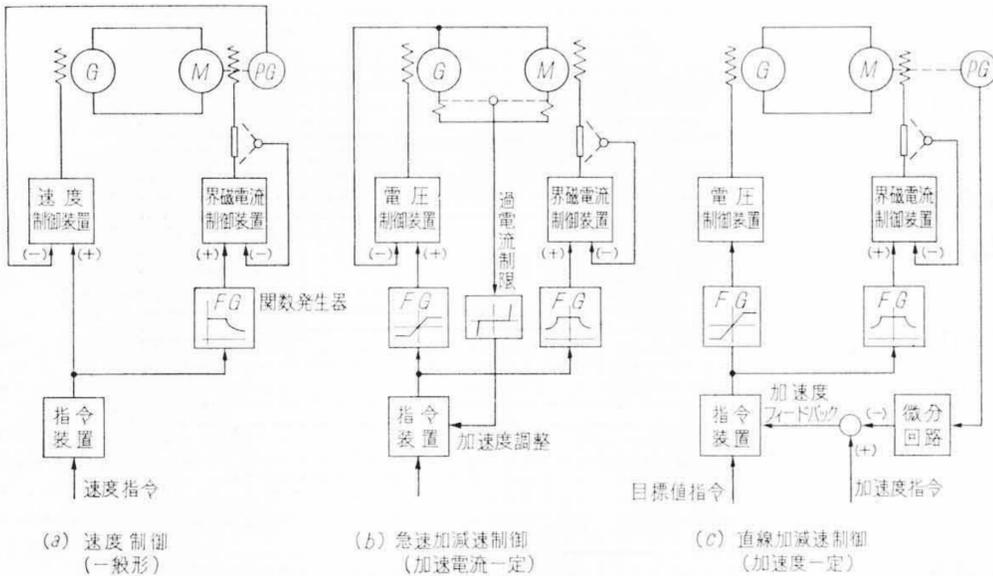
を外部から, 手動あるいは自動的に調整することにより, 随時加減速度を自由に変更することができる。この機能は, 後述のような加速度制御系, あるいは加減速電流制御系などとして活用しうる。第7図は本装置の動作を示すオシログラムである。

本装置は比較的急速な加速を行ない, かつオーバーシュートの少ないことを必要とする分塊圧延機スクーフアテーブルや, 円滑な加速を行なうことが必要なタンデム圧延機などの全体速度の昇降速指令に, 電動界磁抵抗器, 励磁機, 電磁接触器などにかわって用いられる。第8図に装置の一例の写真を示す。

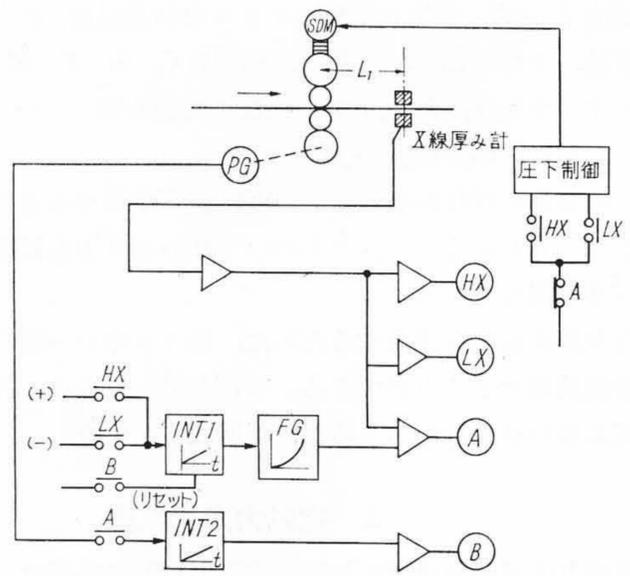
3.2 電動機の加減速制御装置

本装置は関数発生器を用いて入出力に特定の関係を与える応用の一例である。

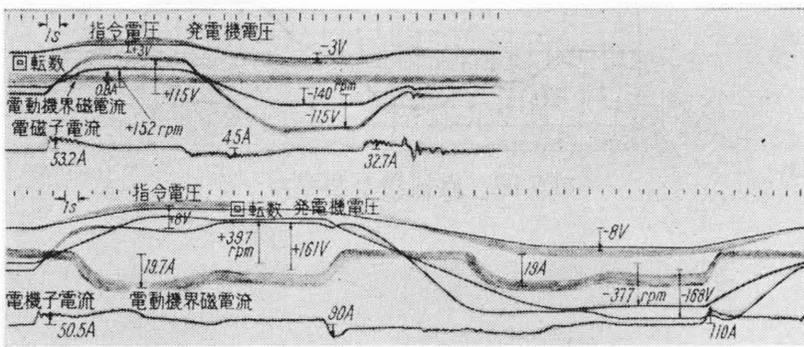
電動機速度の制御は, 電圧制御による範囲と界磁制御による範囲とを併用することが多い。その場合, 従来は電動界磁抵抗器あるいは電磁接触器により最初は発電機電圧に対する指令のみが変化し, 電圧制御範囲が終わると電動機界磁電流指令が変化するようにして電動機のトルクを有効に利用するようにしてその目的を達していた。界磁抵抗器の抵抗配列, あるいは電磁接触器による短絡抵抗の配分は, 電動機の飽和曲線上の目的速度に対応した界磁電流を与えるものでなければいけない。第9図は演算増幅器を利用した各種速度制御装置のブロック線図であり, 制御装置には設定速度の値のみ



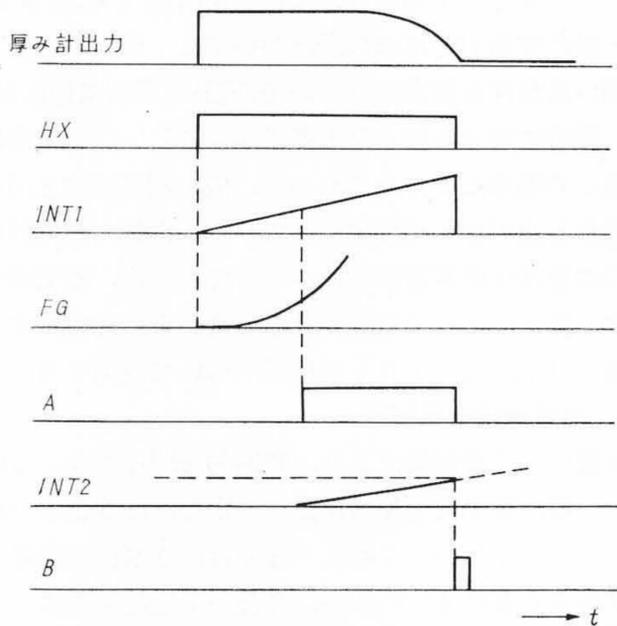
第 9 図 電動機速度制御装置ブロック線図



(a) 鋼帯厚み制御ブロック線図



第 10 図 直線加減速制御オシログラム



(b) ステップ状厚み変化の場合の動作説明

第 11 図 鋼帯厚み制御ブロック線図

が与えられる。速度指令が上昇して電動機界磁制御による速度範囲に達すると電動機飽和曲線に合わせて設定された関数発生器 FG により電動機界磁電流制御系に対する界磁電流指令値が変化して、界磁制御による速度上昇が行なわれる。(a)においては電動機速度指令はそのまま発電機側の速度制御回路に与えられ、パイロット発電機 PG からの速度の帰還値と比較され、界磁設定の誤差や負荷変動などのじょう乱に対する応答の早い補正を行なっている。(b),(c)は前述第 6 図(b)に示された指令装置を応用したもので、(b)は電動機の許容容量一杯の加速電流を利用して、急速に加減速を行なわせる制御装置である。また(c)は目標値までの速度変化率を一定に制御しつつ、直線加減速を行なわせるもので、加速度制御は電圧、界磁の両調整範囲にわたって行なわれる。第 10 図は直線加速制御の実験結果の一例である。

また関数発生器の使用による界磁設定により、圧延電動機 2 台の間のロール径補償制御にも、界磁飽和曲線の設定値による変化にも無関係に常に一定の補償率を与えることができる⁽¹⁰⁾。

3.3 鋼帯厚み制御

時間関数を発生する他の応用の一つに鋼帯厚み制御の例がある。第 11 図に示すように、鋼帯厚み制御においては、圧延終了後の鋼帯厚みを X 線厚み計により測定し、偏差量に相当するだけ圧延ロールの間げきを増減して、常に一定厚みの鋼帯を得る制御が行なわれる。この場合、圧延された鋼帯は X 線厚み計の位置まで輸送されて後、はじめて測定されるため、必然的に制御とその結果の測定との間に時間遅れが存在するのが問題となる。そのため予定関数による制御量の決定と、一種のサンプリング制御とが用いられる。第 11 図において、ある時点において測定された偏差量の符号に応じてリレー HX あるいは LX が投入され、ロール間げきを設定する圧下電動機が駆動される。圧下量は偏差に適應した値だけ変化すればよいのであるが、上述のように制御結果をただちに知ることができないため、予定関数により圧下量を想定する。すなわち、HX あるいは LX が投入すると、積分器 INT 1 に入力を与えられ、一定の割合で増加する出力を生じ、これが関数発生器 FG を通ることにより任意の時

間関数を発生することができる。

圧下電動機駆動による圧下移動量 S は電動機速度を V とすると

$$S = \int_0^t V dt \dots\dots\dots (18)$$

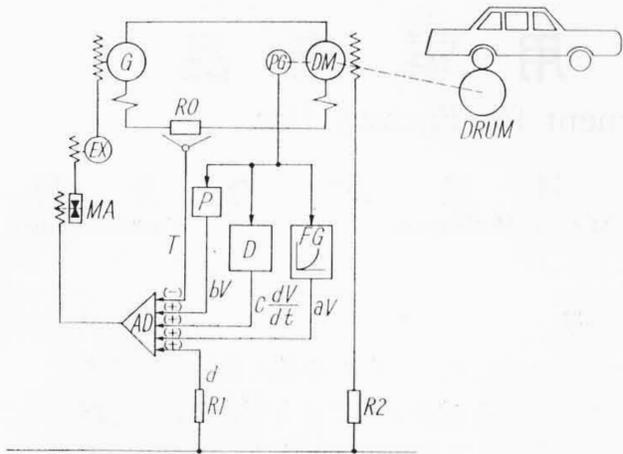
で表わされ、また V は時間に対して定まった変化をするので、 S は特定の時間関数として与えられる。したがって、FG の関数形を S の実測値による関数形に合わせて設定しておけば、FG の出力は圧下の移動量を表わすことになる。したがって、これを測定偏差量と比較し、圧下の移動予想量が偏差値に応じた値となると、リレー A が閉じ、圧下調整が終了する。制御結果は上記の圧下調整が完了したのち圧延鋼帯が X 線厚み計の位置まで移動した後はじめて知られるので、この移動時間の偏差検出を待つことが必要である。圧延速度を v_R とすると、鋼帯の移動距離 L は

$$L = \int_0^t v_R dt \dots\dots\dots (19)$$

であるから、第 11 図の圧延電動機に結合されたパイロット発電機 PG の電圧を積分器 INT 2 により、圧下調整終了の直後から積分を開始し、移動量の計算値 L が、圧延ロールと X 線厚み計間の距離 L_1 に等しくなったときリレー B が投入して A を開路せしめ、再び偏差による圧下調整を開始せしめる。第 11 図(b)に各部の動作の時間的關係を示す。演算増幅器を用いることにより、比較的簡単な回路で、制御量の決定、サンプリング時間の設定などが行なわれる。

3.4 シャンダイナモの制御⁽¹¹⁾

シャンダイナモは、自動車をドラム上に固定し、自動車車輪を駆



第12図 シヤンダイナモ制御ブロック線図

動せしめる際、ドラムを回転させることにより、道路上を走行した場合と同等な効果を得、走行性能その他を測定する装置である。道路走行と等価な状態を得るため、ドラム駆動には種々の性能が要求される。一般に自動車の走行トルクは

$$T_M = aV^2 + bV + c \frac{dV}{dt} + d \dots \dots \dots (20)$$

で表わされる。ここでVは走行速度であり、 aV^2 は風損、 bV はころがり抵抗、 $c \frac{dV}{dt}$ は慣性抵抗、 d はこう配抵抗を表わす。第12図において、ドラムは自動車車輪によって駆動され、駆動エネルギーは直流電動機DM、発電機Gをへて回生制動Fにより吸収される。ここにおいて、直流電動機DMの発生するトルクが常に(20)式の値となるように制御すれば、自動車は道路上走行の場合と等価となる。電動機トルクは電動機電機子電流に比例するので、電機子電流の値を(20)式を満足するように制御すればよいことになる。第12図において、電動機速度をパイロット発電機PGにより検出し、2乗関数発生器Q、微分器D、比例増幅器Pを通して、設定された定数dとともに加算器ADに正符号で与える。また電機子電流Tは同じADに負符号で与えられ、そのAD出力が零となるよう増幅器MA、

磁励機EXを通して発電機Gの電圧を制御すれば電動機トルク、したがって自動車走行抵抗は(20)式を満足し、道路走行状態を実現することができる。2乗関数発生器、微分器は演算増幅器方式を用いることにより、従来の回転機、微分変圧器を用いた方式にくらべ、精度上および応答速度の点ですぐれたものとなっている。

4. 結 言

MOAは磁気コアを本体とするところから、高い信頼度と半永久的な寿命を有するとともに、雑音に強く生産工場の過酷な条件のもとに性能をそこなうことなく使用できるところから、以上述べてきた各種の応用分野に広く使用され、着々と実績をあげている。MOAを用いた最適制御、予測制御などについては稿を改めて述べたい。大方のご批判を期待する。

参 考 文 献

- (1) T. R. Schuerger: Computing Control Applied to a Suitering Process, Control Eng., 130 (Sept. 1957)
- (2) K. J. Lesemann: Optimalwertregelung eines Sinterprocess mit Hilfe eines Ziffernrechenautomaten, Regelungstechnik, Heft 1 (1961)
- (3) E. W. Voice: Factors Controlling the Rate of Suiter Production, (1953, JIS I)
- (4) C. G. Nennox: NRU Reactor Neutron Level Control System, IRE, NS-5 (1958)
- (5) R. Potter: The Transfer Function of A Steadily Diverging Reactor, J. Nuclear Energy, 6 (1958)
- (6) R. J. Cox: Automatic Start-up of Nuclear Reactors
- (7) W. J. Slatosky: End Point Temperature Control in LD Steelmaking, J. of Metal (March 1960)
- (8) E. J. Borrebach: Electrical Systems and Computer Control for the Basic Oxygen Steelmaking Process, Westing House
- (9) 三浦, 平野, 佐野: 日立評論 44, 1101 (昭37-7)
- (10) 特許出願中
- (11) 特許出願中



特 許 の 紹 介



特許第297238号(特公昭36-4413)

猪瀬文之・阿部善右衛門

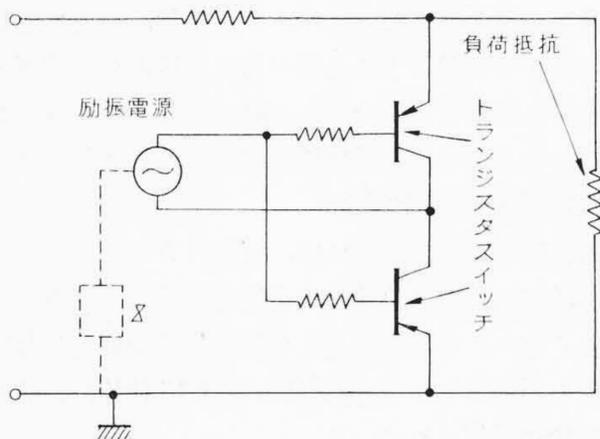
半 導 体 装 置 を 用 いた 直 交 変 換 回 路

一般に半導体装置を回路開閉装置として使用した直交変換回路は例えば第1図のように構成されている。しかしこのような回路においては励振電源と接地端子間に多少点線で示すように、インピーダンスZが存在するため、電源、Z、負荷抵抗とで閉回路が構成され負荷端子には励振電源電圧の一部が加えられ、オフセット電圧の一因を成す。

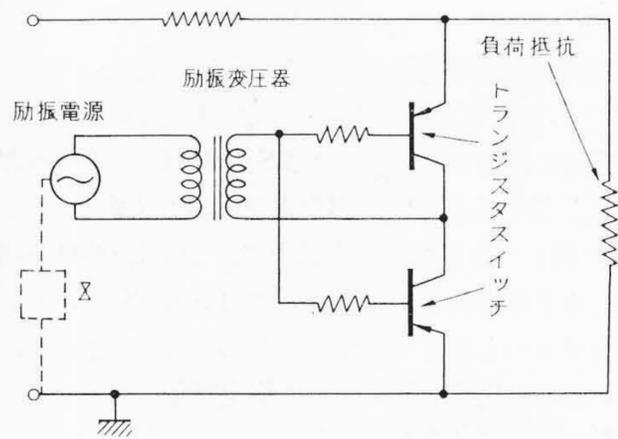
本発明はこの欠点を除くために第2図に示すように励振電源とト

ランジスタスイッチとの間に励振変圧器を介挿し、且つその変圧器の1次、2次巻線間の静電容量を極力小さくするために両巻線間の間隔を充分とり、同時にコアとしてフェライトのように磁気特性が良好で絶縁抵抗の大きなものを使用したものである。(井 沢)

この発明によれば半導体装置を回路開閉装置として用いた場合に免れ難いオフセット電圧を比較的簡単且つ有効に軽減し得る効果がある。(井 沢)



第 1 図



第 2 図