

アナログ電気演算器による電動機自動制御装置の解析

前川 敏明* 三浦 武雄** 藤木 勝美*** 西 政隆****

Analysis of the Automatic Motor Control Equipment by the Electronic Analog Computer

By Toshiaki Maekawa

Hitachi Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Takeo Miura

Central Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Katsumi Fujiki and Masataka Nishi

Hitachi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The automatic control system has been finding a greatly widened field of application. One of the important problems of the automatic control is in its transient behaviours, such as stability, quick response, etc. For the analysis and investigation into such behaviours the electronic analog computer has had much to help.

Although there is a multitude of applications for which the use of automatic control is welcome, electric motor driving system offers the most important field. Its control necessitates several extremely delicate characteristics, hence its design involves complicate problems and regulations, for whose solution the rapid function of analog computer is much depended. The writers introduce here some of the cases they had in solving such problems, using the analog computer they had completed.

〔I〕 緒 言

自動制御における重要問題の一つは、その安定度や速応性などの過渡特性の良否であるが、この解析、検討にはアナログ演算器を用いると非常に便利である。われわれはかねて電子管式アナログ演算器の試作研究を進めて来たが⁽¹⁾、すでに実用段階に入り、目下各方面に利用しつつある現状である。

自動制御の対象は多種多様であるが、電動力応用設備もその重要な一つであり、各種のきわめて精巧な特性を要求されるので、その設計や調整には複雑微妙な問題が多く、したがってアナログ演算器がきわめて重要な利器として活用されている。

以下電動機自動制御の解析検討にアナログ演算器を使用する場合の諸問題を概説し、若干の代表的制御装置に対する実用例を述べる。

〔II〕 アナログ演算器の概要

本報告はアナログ演算器の使用面を述べるのが主であるから、演算器自体についての細説は他にゆずるが、順序として以下に概要を説明しておく。

自動制御装置の動作は一般に微分方程式で表わされるので、その安定度、速応性などの問題を解決するには方程式の解を、パラメータを種々変えて連続的に求める必要があるが、比較的簡単な制御系に対してもこれを数学的に扱うことはかなり困難である。ところが演算器による場合は、その特性が方程式を満足するごとく構成された相似回路に生ずる現象を観察するだけでよく、パラメータを変えるには、それに相当した部分の回路定数を変えればよいのであり、きわめて迅速容易である。

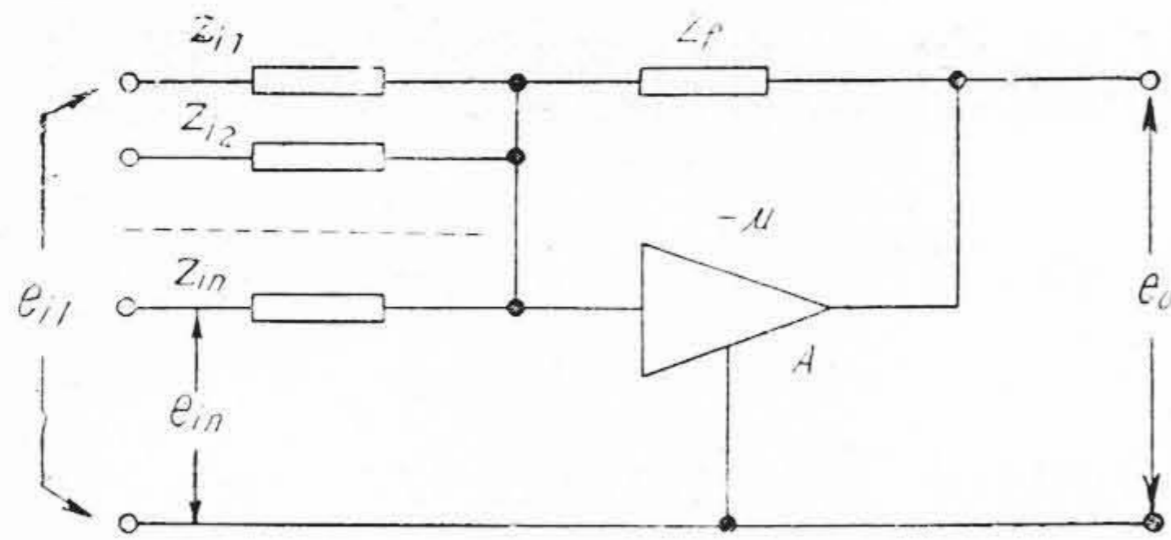
われわれの用いているアナログ演算器は、その相似回路の基本として饋還演算回路を用いるものと、直接相似回路を用いるものと二通りある。

前者は第1図(次頁参照)に示すような演算回路を用いるものである。図において増幅器 A の利得 μ を非常に

* 日立製作所日立研究所

** 日立製作所中央研究所

*** **** 日立製作所日立工場



A: 増幅器 μ: Aの利得
 Zi1, Zi2, ..., Zin: 入力インピーダンス
 Zf: 饋還インピーダンス
 ei: 入力電圧 eo: 出力電圧

第1図 饋還演算回路

Fig. 1. Operational Amplifier

大きくしておき, $\mu \rightarrow \infty$ と考えると

$$e_o = -Z_f \sum \frac{e_i}{Z_i} \dots \dots \dots (1)$$

となる。Z_i および Z_f に抵抗または容量を用いることにより種々の演算が可能である。たとえば積分回路は Z_i を抵抗 R, Z_f を容量 C にすれば

$$e_o = -\frac{1}{CR} \frac{e_i}{p} \dots \dots \dots (2)$$

として実現でき, また加算回路や符号変換回路は Z_i, Z_f をそれぞれ抵抗 R_i, R_f にすることにより

$$e_o = -\sum \frac{R_f}{R_i} e_i \dots \dots \dots (3)$$

として実現しうる。

一般に微分方程式を解く場合には, 積分回路を基本とした演算回路網が用いられ, 微分回路は誤差が生じやすいので用いられない。しかし自動制御装置の解析にあつては, その微分方程式を立てる手順をふむことなく, 制御系をそのままの形で相似回路に組立てた方が便利である。この場合には上記の饋還演算回路は種々の伝達函数の相似回路として用いることができる。第1表に種々の伝達函数の相似回路を例示しておく。

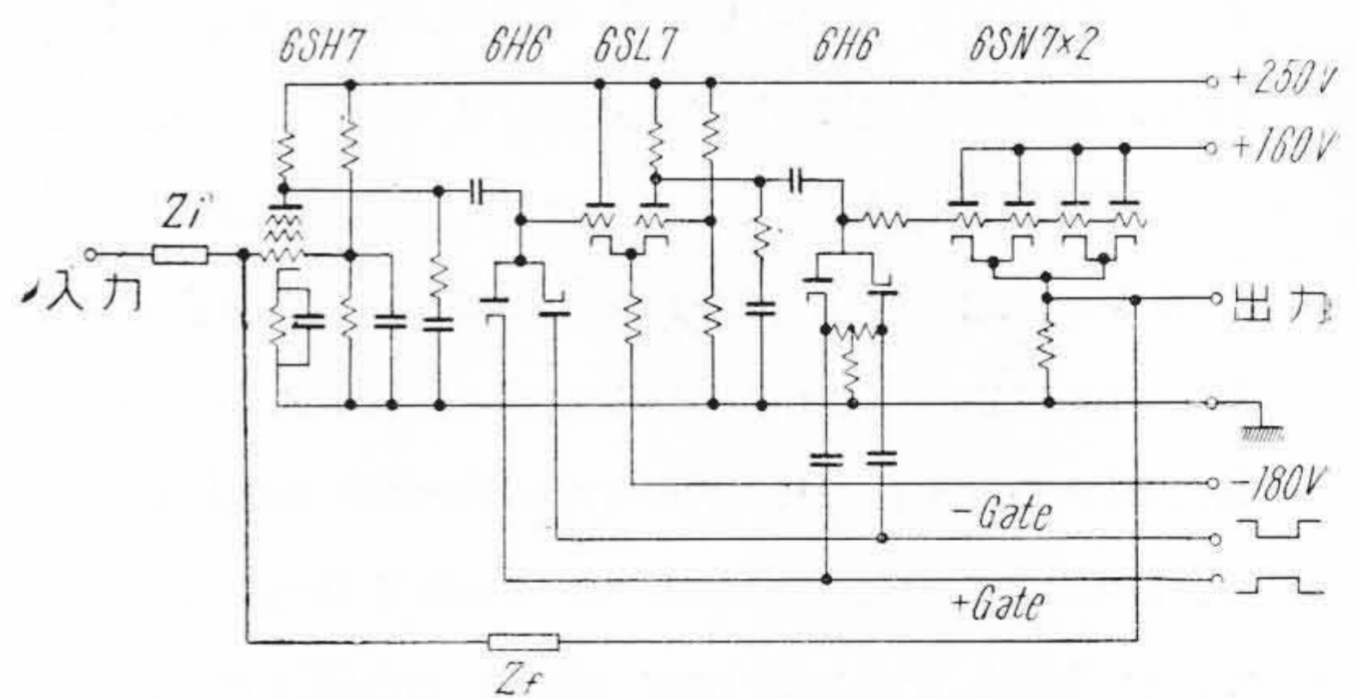
第2図はこの饋還演算回路に用いる増幅器の接続図であり, 第3図はアナログ演算器の外観図である。

われわれは上記の演算器の他に, 自動制御系の解析を主目的とした直接相似型演算器を用いている。これは相似回路要素として5極真空管1本を用いるもので, プレート回路に L, C, R 等を適当につなぎ, 第2表に示すような伝達函数の相似回路をつくるものである。この増幅器の接続図を第4図に示す。双2極管はゲートとして使用している。この演算器の係数の設定は, 真空管自体の特性に多分に依存するため, 注意深く使用する必要があり, また精度も相当おちるが, 簡単な自動制御系の大体の傾向をみるには手軽に使用しえて便利である。

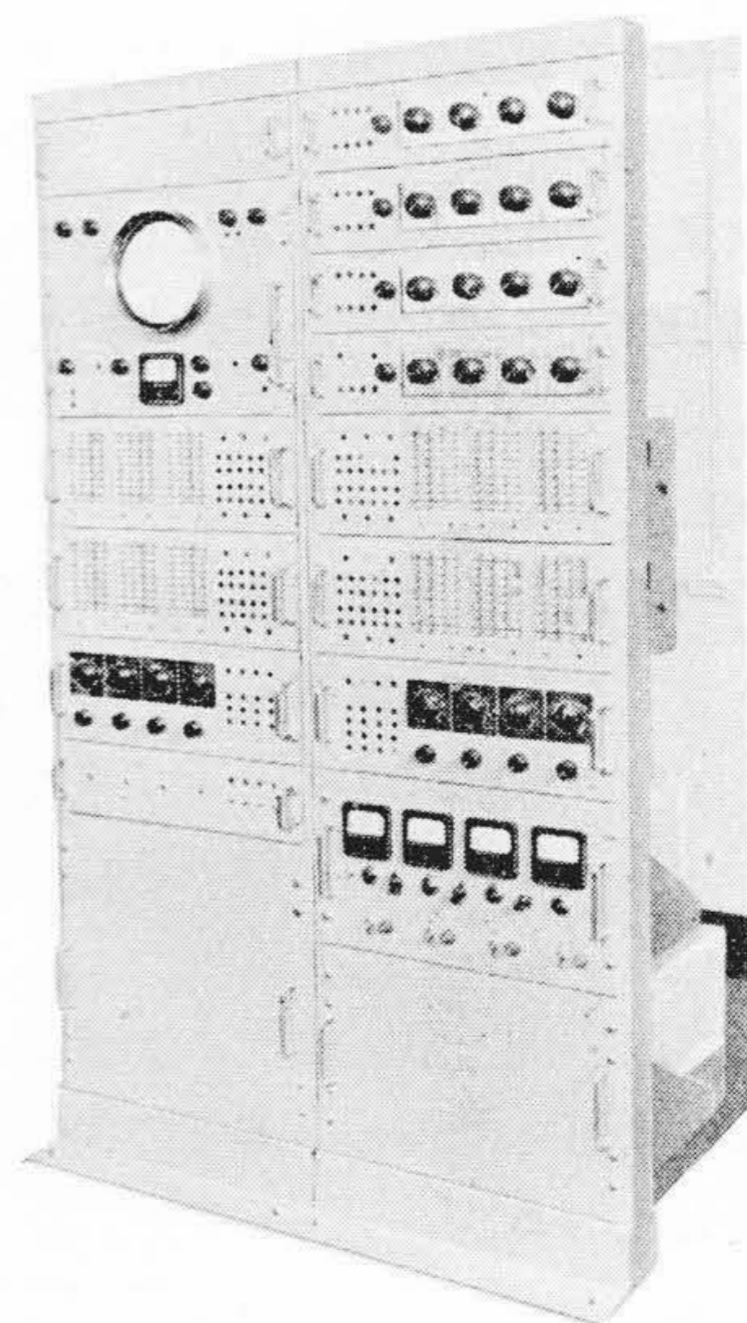
以上いずれのアナログ演算器も繰返し型に属し, その演算は 50 周で繰返し行われるものであるから, ブラウン管上に静止像として解を観測することができる。また

第1表 饋還演算増幅器による伝達函数の構成例
 Table 1. Transfer Function by Operational Amplifier

	相似回路	伝達函数	入力波形	出力波形
1		$-\frac{R_2}{R_1}$		
2		$-\frac{1}{RCp}$		
3		$-\frac{R_2}{R_1} \frac{1}{1+R_2Cp}$		
4		$-\frac{1+R_2Cp}{R_1Cp}$		
5		$-RCp$		
6		$-\frac{R_2Cp}{1+R_1Cp}$		
7		$-\frac{R_2}{R_1} (1+R_1Cp)$		



第2図 饋還演算回路接続図
 Fig. 2. Circuit of Operational Amplifier



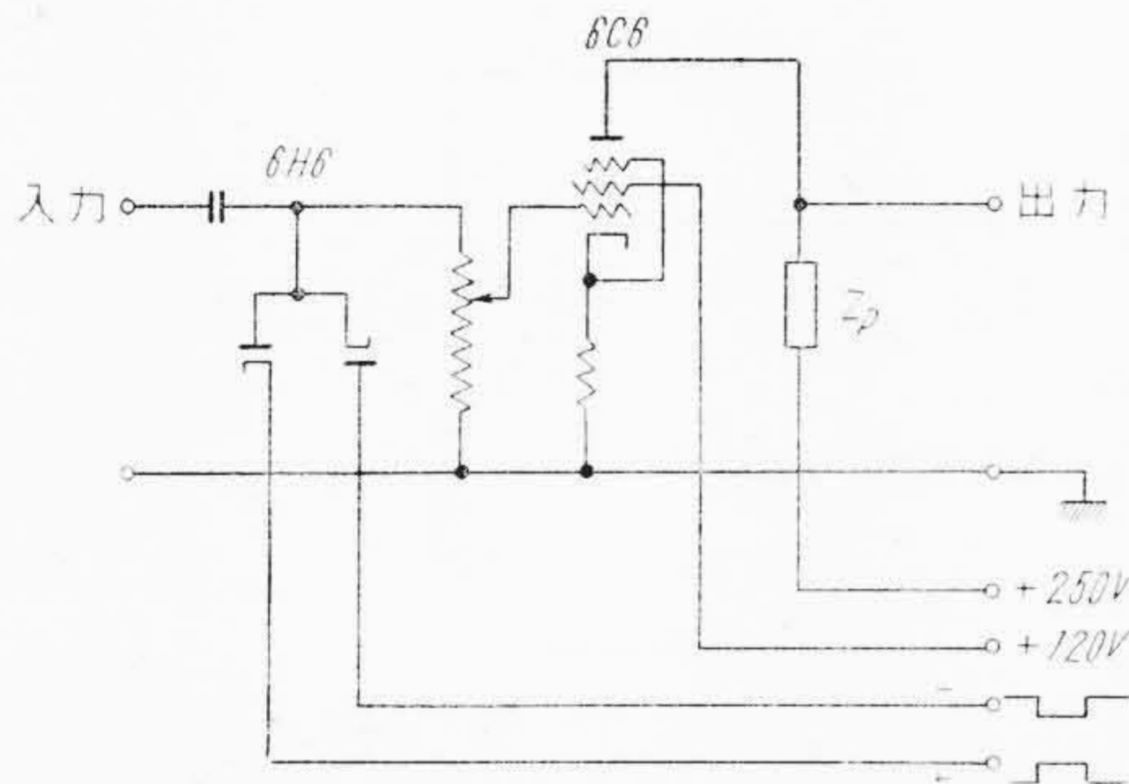
第3図 電子管式アナログ演算器外観図
 Fig. 3. View of Hitachi Electronic Analog Computer

第2表 直接相似型演算器の伝達函数構成例

Table 2. Transfer Function by Direct Analog Circuit

相似回路	伝達函数	入力波形	出力波形
	$-gmR$		
	$e_0 = -\sum e_n gmR$		
	$-\frac{gmR}{1+RCp}$		
	$-\frac{gmR \cdot \frac{L}{R} p}{1 + \frac{L}{R} p}$		
	$-\frac{gmR_p R_g C p}{1 + R_g C p}$		

gm 相互コンダクタンス



第4図 直接相似型演算器用増幅器接続図

Fig. 4. Circuit of Amplifier of Analog Computer by Direct Analog Circuit

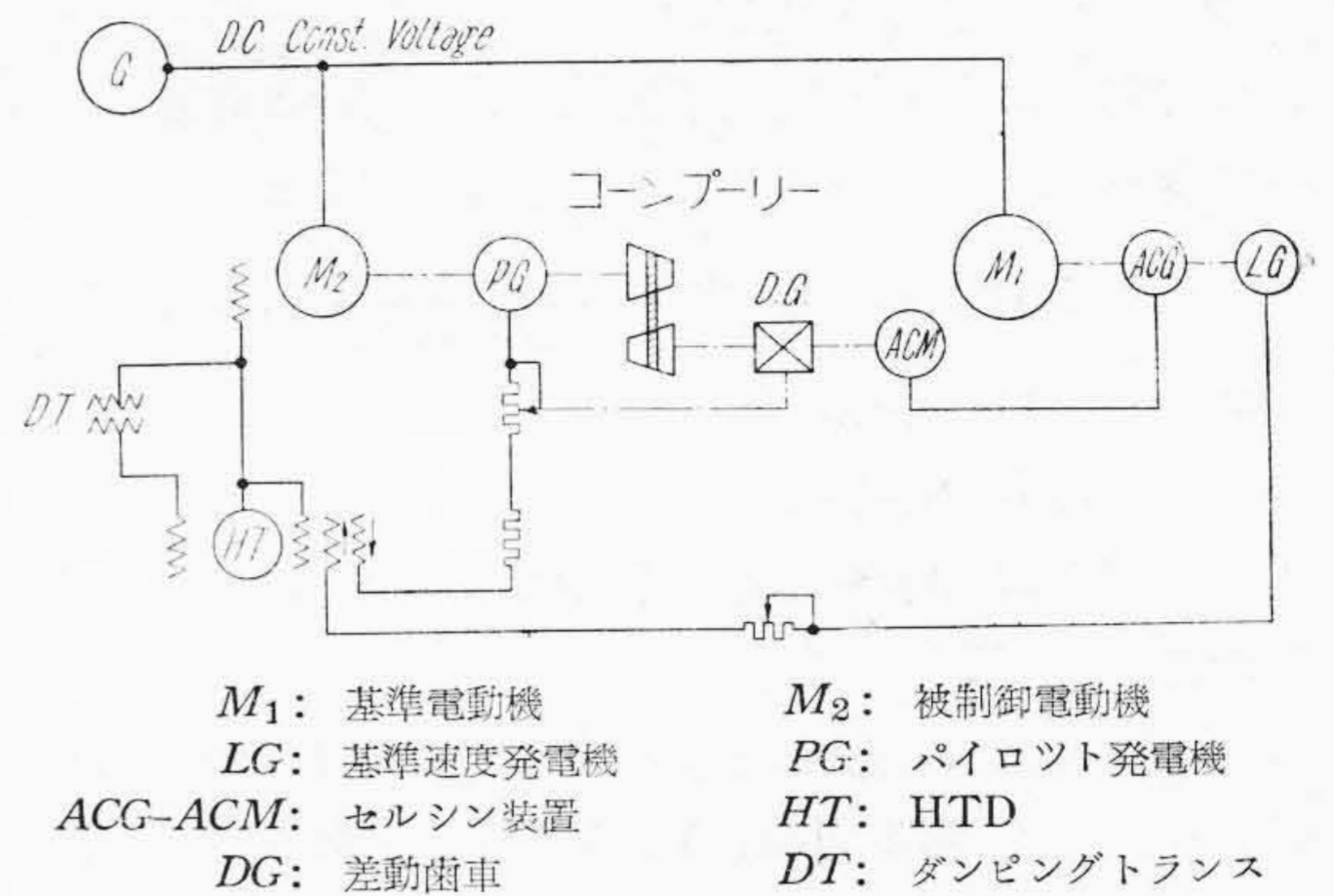
演算中にもパラメータの変更が可能で、その場合解の変化を時々刻々観測しうる。このことは自動制御装置の検討に際して非常に便利である。

〔III〕 アナログ演算器による解析方法

つぎに一つの実例（十条製紙伏木工場納抄紙機の自動速度制御装置）⁽²⁾により、アナログ演算器による解析法の手順ならびに問題となる点などについて述べてみよう。

(1) 実装置の説明

第5図はこれから検討しようとする装置の概略接続図である。これはある一定速度で駆動されている基準電動機 M_1 の速度を基準とし、これと完全に同速度、または一定の速度差（ドロワー）をもつように M_2 の速度制御を行う装置である。 M_2 の速度はパイロット発電機の電圧 V_{PG} として検出され、増幅発電機 HTD の饋還界磁



M_1 : 基準電動機
 M_2 : 被制御電動機
 LG : 基準速度発電機
 PG : パイロット発電機
 $ACG-ACM$: セルシン装置
 HT : HTD
 DG : 差動歯車
 DT : ダンピングトランス

第5図 抄紙機速度制御装置

Fig. 5. Speed Control System of Paper Machine

巻線に与えられる。HTD の基準界磁巻線には M_1 の速度による電圧 V_{LG} が興えられており両者は互いに逆方向になっている。 M_1, M_2 に速度差が生ずれば上記両界磁のアンペアターンの差によつて HTD が励磁され、 M_2 の界磁電流を変えてその速度差をなくする作用をする。しかしこの制御装置は定位制御系であるから完全に速度差を零とすることはできない。一方 M_1 と M_2 の回転は差動歯車の二軸に入っているから、この速度差の積分値で第三軸が変位する。この変位によつて PG 出力回路の抵抗値を変え、 V_{PG} の饋還量を変えている。これは無定位制御系であるから完全に速度差零の制御ができる。あるドロワーを与える必要があるときには、コーンプーリのベルト位置および V_{LG} の直列抵抗を変更すればよく、この場合にも変化分のみについて考えれば制御系の動作は上述の場合と同様に考えてよい。

上のような制御装置の動作をアナログ演算器で解析するには以下述べるような手順による。

(2) 伝達函数の決定

制御装置の各要素の性質はその伝達函数によつて表わすことができる。一般に実用される装置の伝達函数を厳密に考えると非直線型の複雑なものとなる場合が多いが、実際問題としてはある程度の近似化をしなければ、いたずらに問題を複雑化するのみである。

(A) HTD の伝達函数⁽³⁾

ヒステリシス、飽和などを無視すれば大体つぎのように表わせる。

$$G_H(p) = \frac{\mu A_H}{1 + p\mu T_H} \dots \dots \dots (4)$$

ただし A_H : 固有増幅率
 μ : 同調率
 T_H : 界磁の時定数
 p : d/dt

(B) M_2 界磁の伝達函数

入力信号は HTD の出力電圧, 出力信号は界磁のアンペアターンと考え, 飽和の影響を無視すると

$$G_{MF}(p) = \frac{n/R_{MF}}{1+pT_{MF}} = \frac{A_{MF}}{1+pT_{MF}} \dots\dots(5)$$

ただし n : 界磁巻数

R_{MF} : 界磁抵抗

T_{MF} : 界磁回路の時定数

となる。

この場合飽和の影響を考えに入れるには, 出力信号を磁束 ϕ として, 第6図(a)のような伝達函数を考えねばならない。これは微分回路を含むものであつてアナログ演算器の相似回路に不適當であるから(微分演算回路は一般に誤差が大きい)。第6図(b)のように変換して, 積分回路と磁界の飽和特性による $\phi \rightarrow ni$ の関係をあらわす非直線要素とを組合わせて相似回路を実現すればよい。

(C) M_2 回転部の伝達函数

これは本質的に直線性を持たない系であるが微分変動分のみについて考えるとつぎのように近似できる。すなわち第7図において

$$I_a R_a = E - K_1 \phi \omega \dots\dots(6)$$

$$K_2 \phi I_a = J \frac{d\omega}{dt} = \tau \dots\dots(7)$$

ただし I_a : 電機子電流

E : 電機子電圧(一定)

R_a : 電機子抵抗

ϕ : 磁束

ω : 回転数

J : 負荷をも含めた回転部の慣性

τ : トルク

K_1, K_2 : 定数

(6), (7) 式から ω を求めると

$$\omega = \frac{EK_2\phi}{JR_a p + K_1 K_2 \phi^2} \dots\dots(8)$$

ここで $\phi = \phi_0 + \Delta\phi$ とおき $\Delta\phi \ll \phi_0$ とすれば

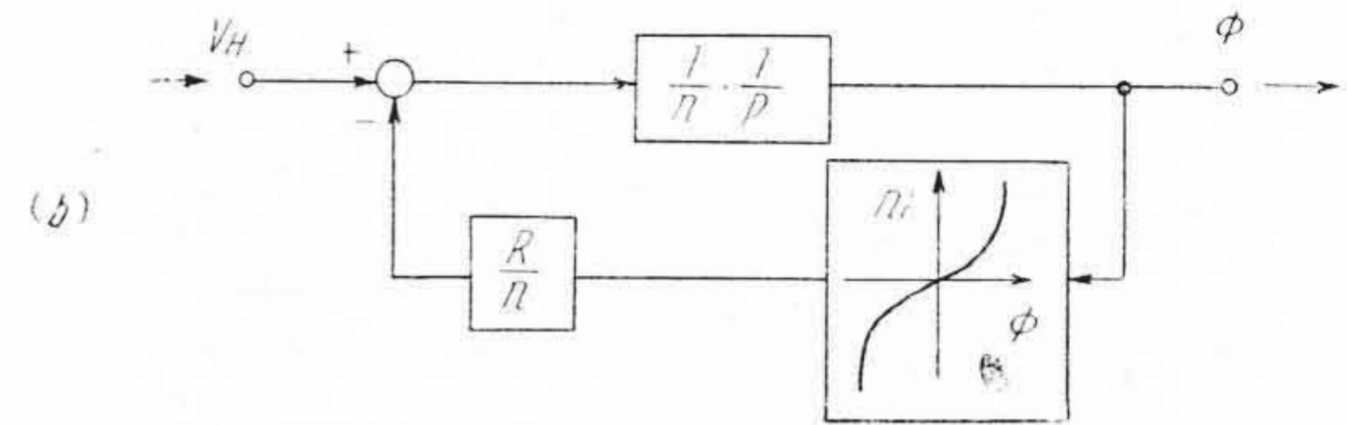
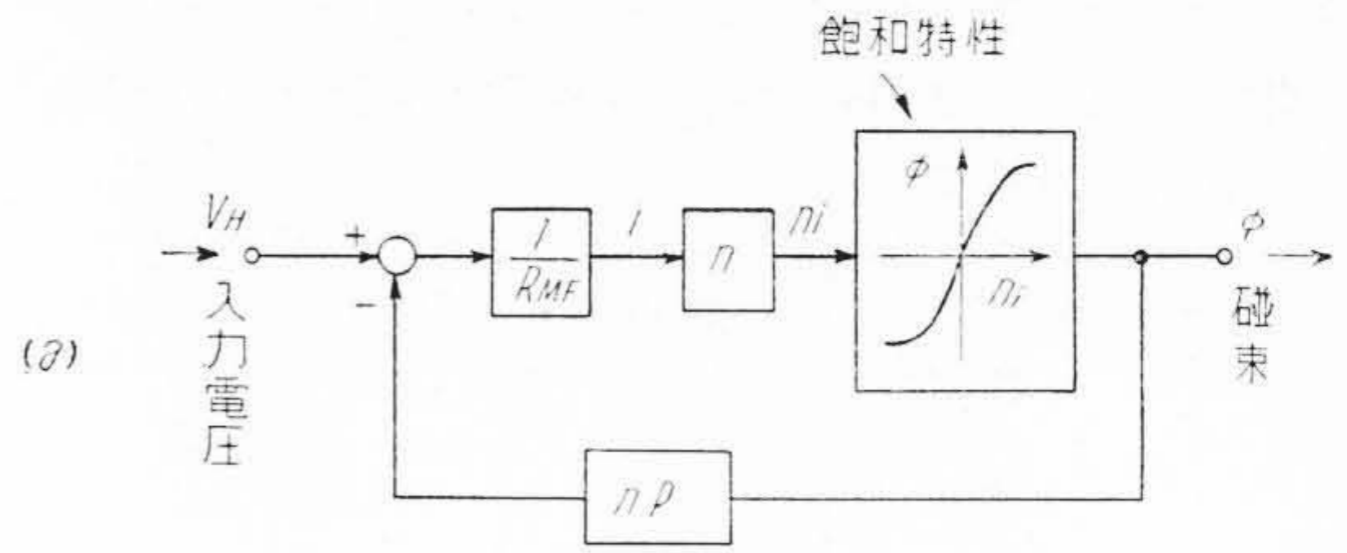
$$\omega \approx \left(\frac{E}{K_1} \cdot \frac{1}{\phi_0} - \frac{E}{K_1} \frac{\Delta\phi}{\phi_0^2} \right) \frac{1}{\frac{JR_a}{K_1 K_2 \phi_0^2} p + 1} \dots\dots(9)$$

すなわち $\Delta\phi$ に対する ω の変化 $\Delta\omega$ は

$$G_M(p) = \frac{\Delta\omega}{\Delta\phi} = -\frac{E}{K_1 \phi_0^2} \cdot \frac{1}{\frac{JR_a}{K_1 K_2 \phi_0^2} p + 1} = -\frac{A_M}{1+pT_M} \dots\dots(10)$$

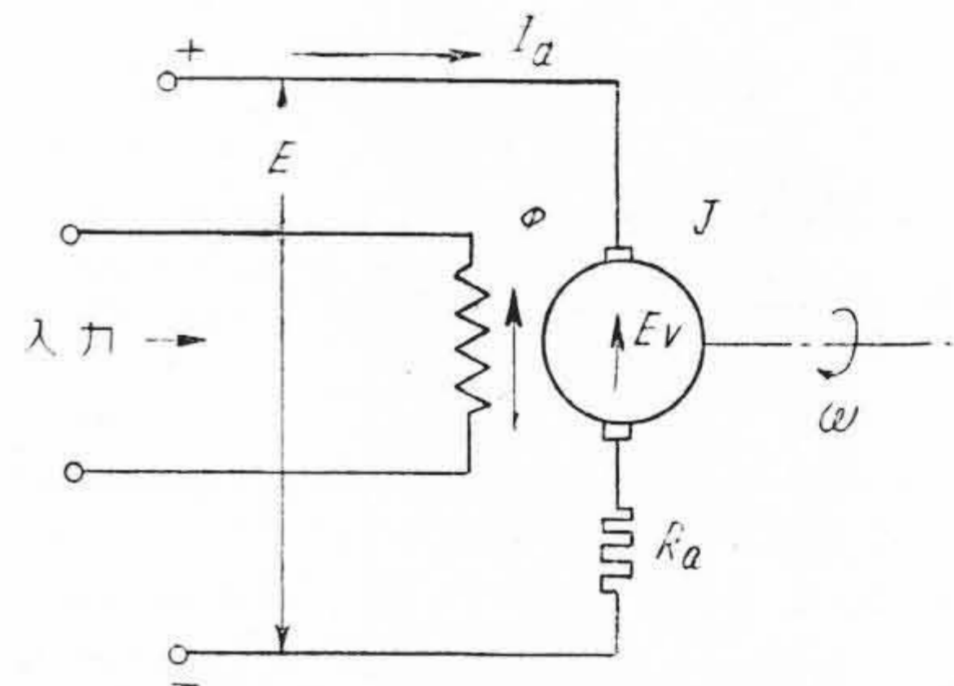
$$\left. \begin{aligned} A_M &= \frac{E}{K_1 \phi_0^2} \\ T_M &= \frac{JR_a}{K_1 K_2 \phi_0^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots(11)$$

界磁の飽和を無視する場合は上式の ϕ をすべてアンペアターンにおきかえて考えることができる。



R_{MF} : 界磁巻線抵抗 i : 界磁電流
 n : 界磁巻数 p : d/dt

第6図 飽和を考慮した場合の界磁のブロック線図
Fig.6. Block Diagram of Saturable Magnetic Field



ϕ : 界磁の磁束 E : 電機子の電圧(一定)
 I_a : 電機子の電流 R_a : 電機子の抵抗
 E_V : 逆起電力(= $K_1 \phi \omega$) ω : 回転数
 J : 負荷をも含めた慣性モーメント
 τ : トルク(= $K_2 \phi I_a$)

第7図 界磁制御される直流電動機の伝達函数の説明図

Fig.7. Schematic Diagram of Transfer Function of Field Controlled Motor

(D) ダンピング・トランスの伝達函数

厳密に考えると一次二次回路定数や, 鉄心の飽和などのため非常に複雑となり, またこの伝達系は可逆系であるから, 他の装置の伝達函数にも影響を与えるものとなるが, 近似的にはつぎのような形となる。

$$G_D(p) = \frac{A_D p T_D}{1+pT_D} \dots\dots(12)$$

ただし T_D : ダンピング・トランスの時定数

A_D : ダンピング・トランスの電圧増幅率

(E) PG および差動歯車系の伝達函数

これは速度差の積分値によつて PG \rightarrow HTD 間の利得制御も行うことになるから, 厳密に考える場合には乗

算器などが必要となり相当複雑である。しかし速度差をきわめて小さいものとし、また差動歯車系によつて変化する抵抗値がその回路全抵抗に比し十分小さいものとするればつぎのような近似化ができる。

この部分を第8図のように書き表わし、 ω の微小変化 $\Delta\omega$ に対するHTD入力電圧 V_1 の変化 ΔV_1 を考える。

$$V_1 = V_{10} + \Delta V_1 = \frac{RA_{PG}(\omega_0 + \Delta\omega)}{R+r} \dots\dots\dots (13)$$

ただし V_{10} : V_1 の定常値

A_{PG} : PGの電圧定数

r : 差動歯車によつて変化する抵抗

$(r = -\frac{A_{DG}}{P}\Delta\omega)$ A_{DG} : 差動歯車系の定数

R : PG出力回路の r 以外の固定抵抗

(13)式は $r \ll R$ の場合には

$$\begin{aligned} V_1 &\doteq A_{PG}(\omega_0 + \Delta\omega)\left(1 - \frac{r}{R}\right) \\ &= V_{10} + A_{PG}\Delta\omega + \frac{A_{PG}(\omega_0 + \Delta\omega)}{R} \frac{A_{DG}\Delta\omega}{P} \end{aligned}$$

$\Delta\omega \ll \omega_0$ ならば

$$\doteq V_{10} + A_{PG}\Delta\omega + \frac{A_{PG}\omega_0}{R} \frac{A_{DG}}{P}\Delta\omega \dots\dots\dots (14)$$

したがつて伝達函数は

$$G_{PD}(P) = \frac{\Delta V_1}{\Delta\omega} = A_{PG}\left(1 + A_{DG}'\frac{1}{P}\right) \dots\dots\dots (15)$$

ただし $A_{DG}' = \frac{\omega_0}{R}A_{DG}$

(3) ブロック線図の作成

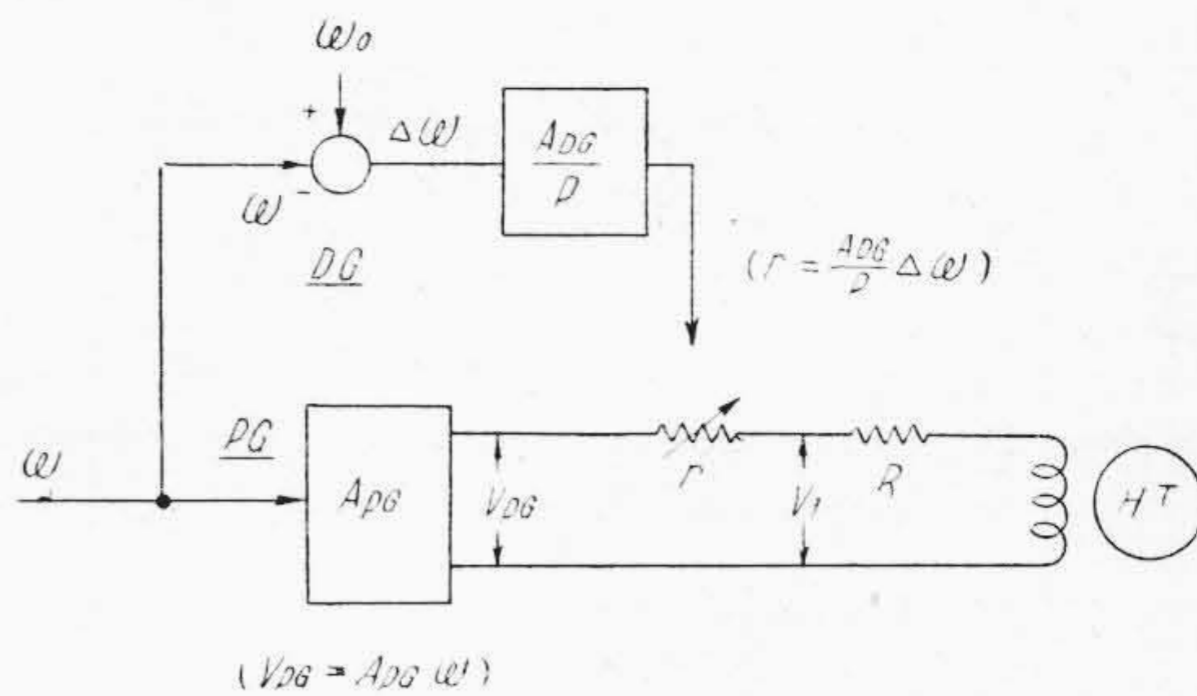
各要素の伝達函数がえられれば制御系のブロック線図をつくることは簡単である。制御装置の接続図をみながら信号の伝達方向にそつて各部の伝達函数を組合わせればよく、第9図のようなブロック線図ができる。

(4) アナログ演算器による解析の準備

前節のようにブロック線図化された装置の解析を行うには、微分方程式を立てる手順をふまずにこのブロック線図通りの相似回路を組立てて、それについて解析していつた方が便利である。

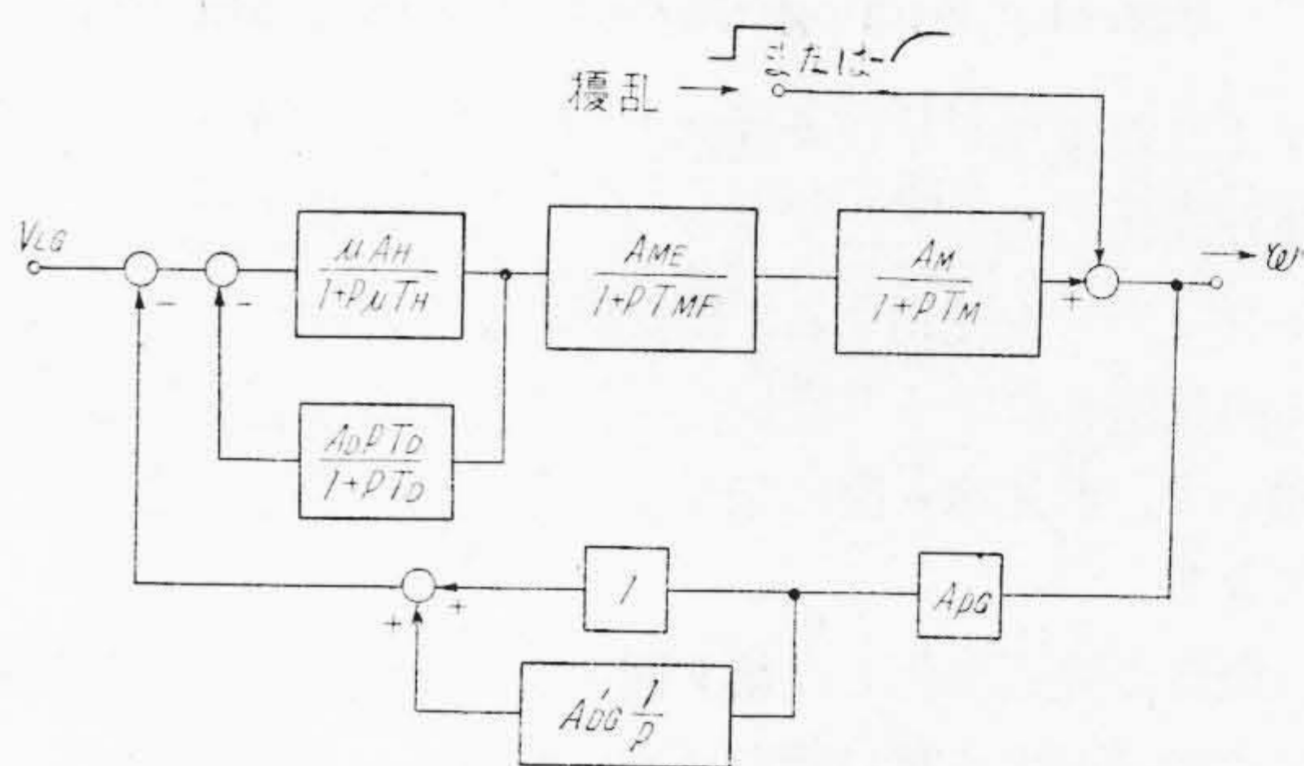
第9図は第1表または第2表に示すような接続によつて演算増幅器を用いて相似回路とすることができる。この場合本演算器は50の繰返し型であるから、その演算時間は1/50秒であることを考え、この時間内に所要の解を求められるように、相似回路の時間尺度を適当に伸縮する必要がある。一般に電動機制御系では $10^{-2} \sim 10^{-4}$ くらいに縮尺すればよい。

ブロック線図中に非直線要素を含む場合にはその特性の如何によつてそれぞれ適当な函数要素を用いる。比較的簡単なものとしては、与えられた函数を折線で近似するファンクションフィッターがある。これは第10図に示



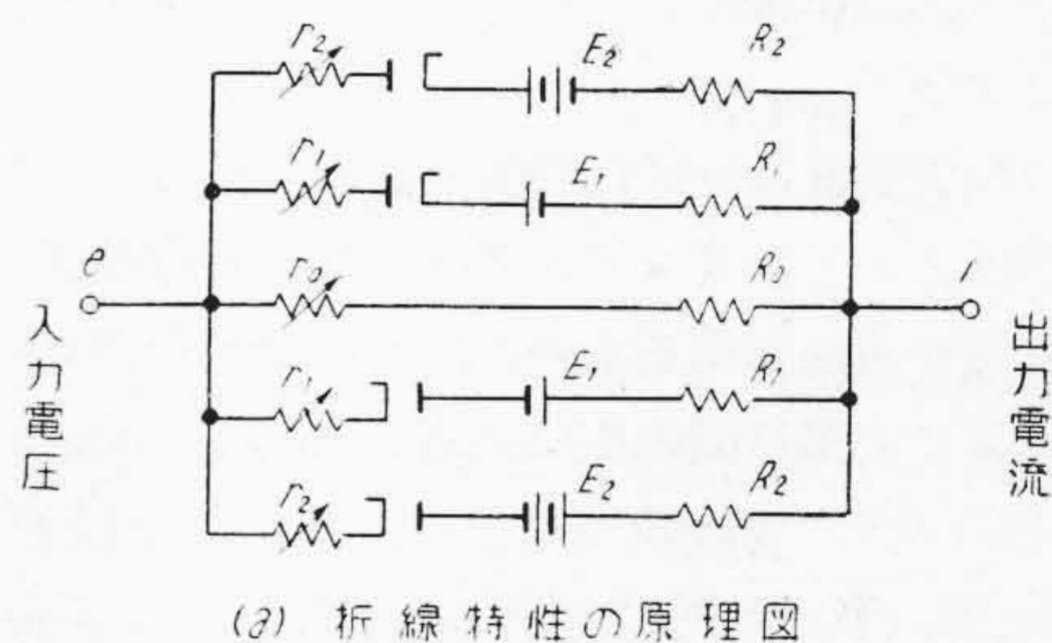
第8図 差動歯車系の伝達函数説明図

Fig. 8. Schematic Diagram of Transfer Function of Differential Gear System

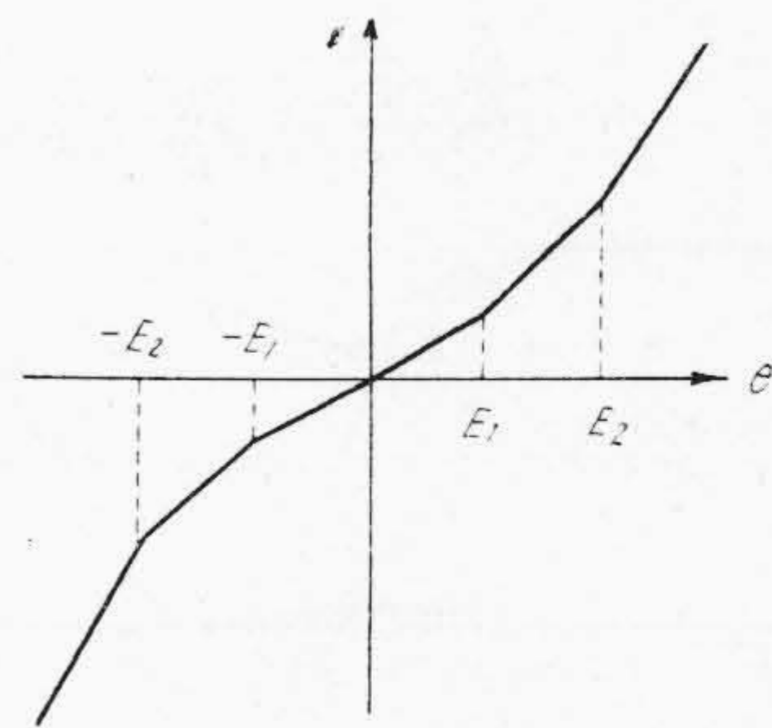


第9図 抄紙機制御系のブロック線図

Fig. 9. Block Diagram of Paper Machine



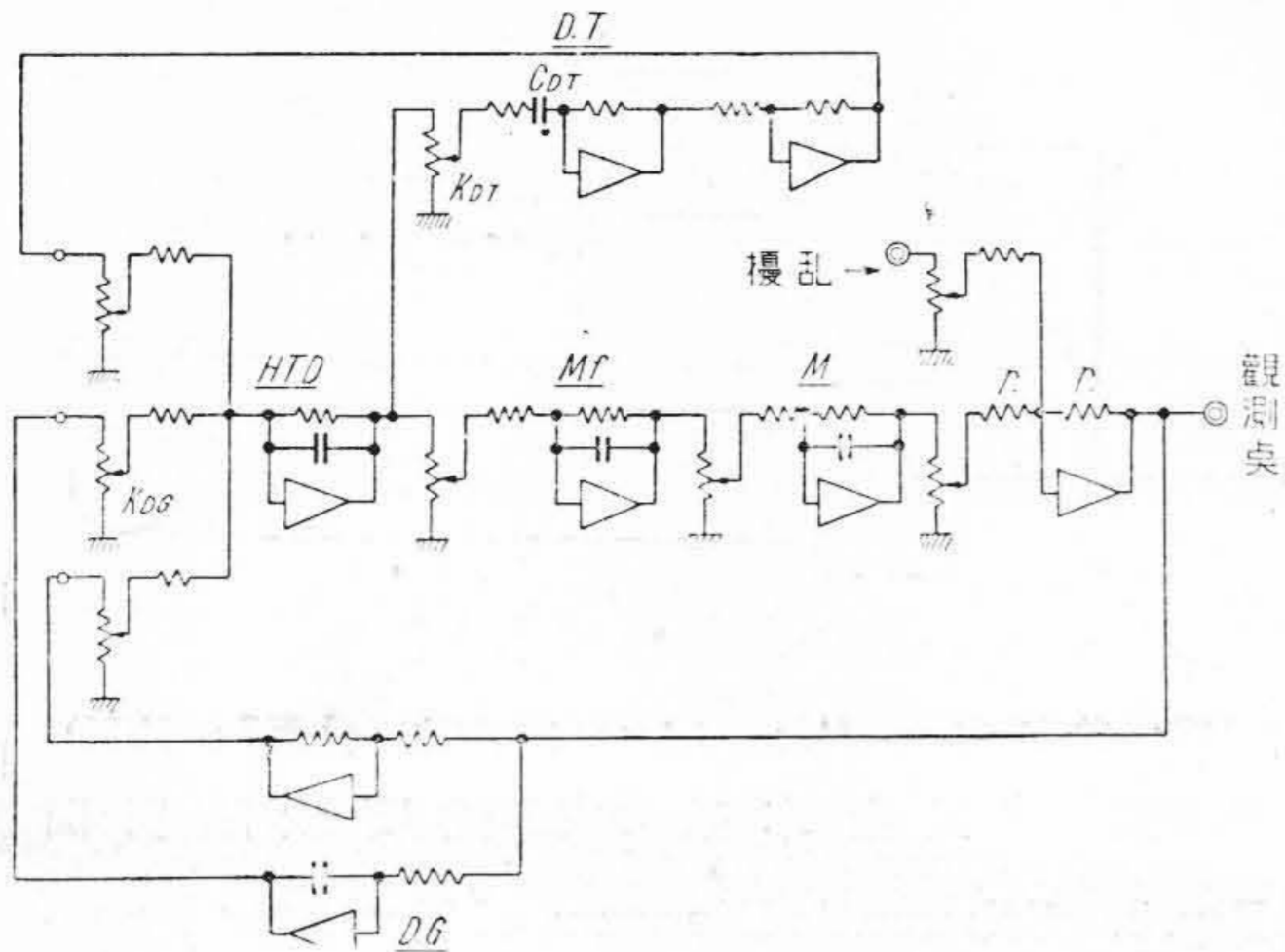
(a) 折線特性の原理図



(b) 折線特性

第10図 ファンクションフィッターの原理図

Fig. 10. Operating Principle of Function Fitter



第11図 抄紙機制御系の相似演算回路
Fig.11. Analog Circuit of Paper Machine

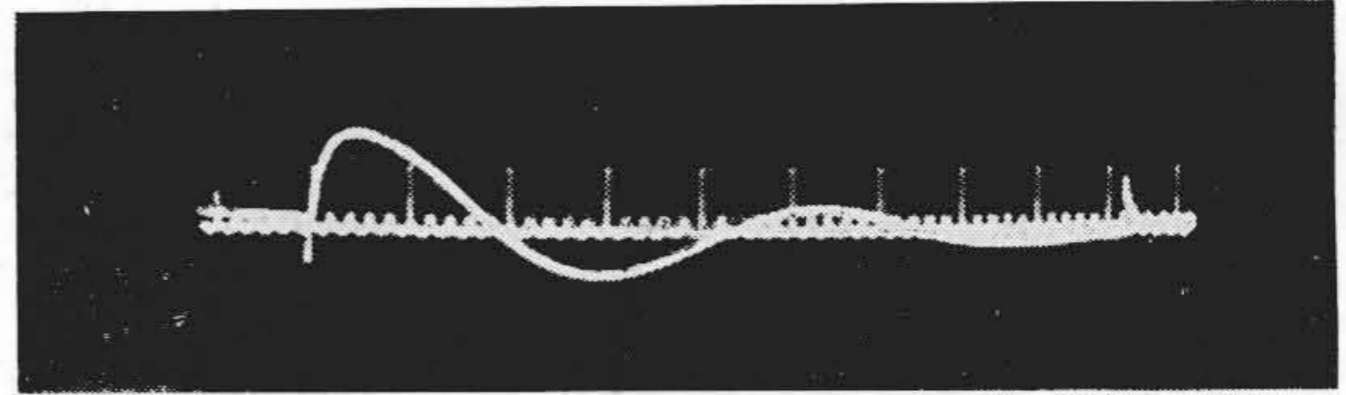
すような電流リミッタ回路を用いたものである。また複雑な函数の近似にはブラウン管と光電管を利用したフォトフォーマを使用する。電動機応用制御系でよくでてくる磁気飽和による非直線特性は上述の任意函数要素を利用して、前述第6図に示すような相似回路とすることができる。

全部直線近似化した第9図のような制御系の相似回路は比較的簡単で第11図のようになる。

(5) アナログ演算器による解析

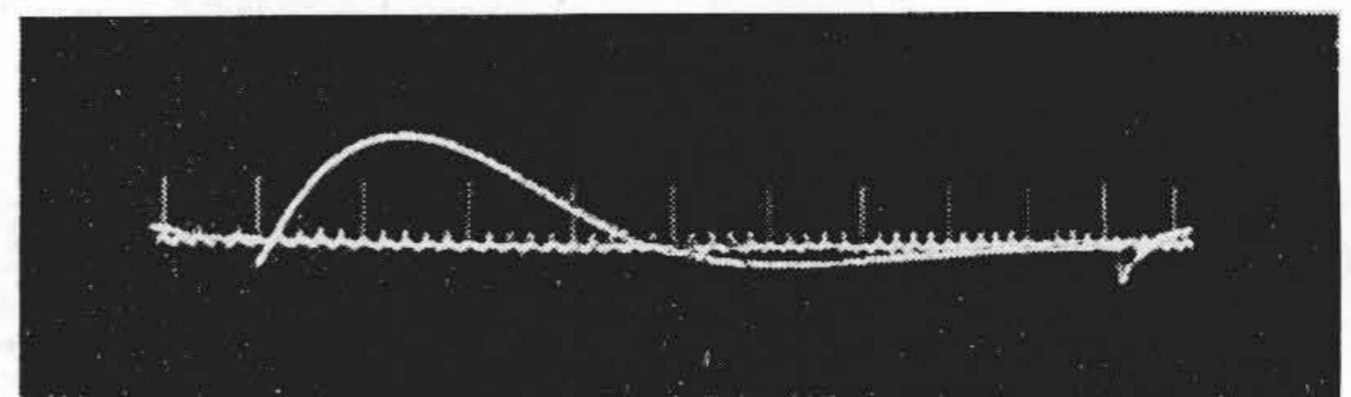
この抄紙機の制御装置において、電動機 M_2 の負荷が急変した場合に速度がどのように変化するかを知るには第11図の入力点に擾乱を入れて、出力点の電圧変化を観測すればよい。

今この制御装置に良好な制御性能を与えるために調整しうる箇所として、ダンピングトランスと差動歯車系の係数の変更が可能であるものとしその係数を演算器で決定してみよう。第11図の相似回路上で、 C_{DT} 、 K_{DT} および K_{DG} を種々変えてブラウン管上にあらわれる波形が最もよい制御経過を示すような点を見出せばよい。 C_{DT} から T_D 、 K_{DT} から A_D 、 K_{DG} から A_{GD} を求めることは容易



第12図 アナログ演算器で求めた抄紙機セクショナル・ドライブの速度制御経過 (最高速度, 全負荷遮断)

Fig.12. Transient Speed Curve of Sectional Drive Paper Machine by Analog Computer (full load off at full speed)



第13図 アナログ演算器で求めた抄紙機セクショナル・ドライブの速度制御経過 (1/2速度, 1/2負荷遮断)

Fig.13. Transient Speed Curve of Sectional Drive Paper Machine by Analog Computer (half load off at half speed)

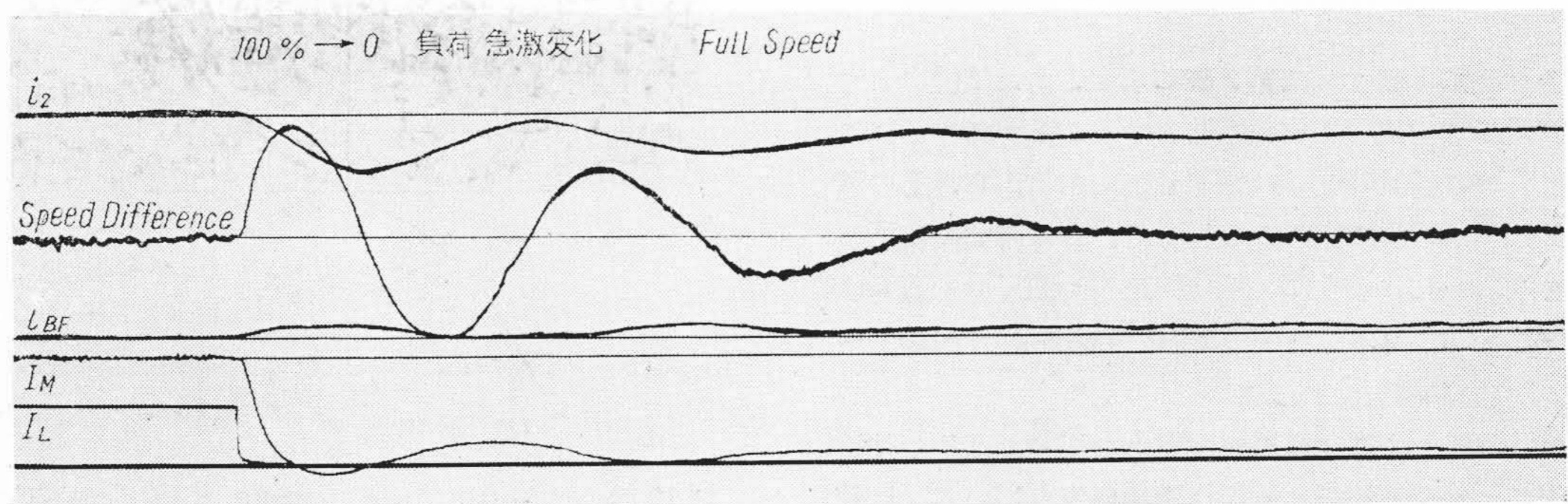
で、このようにして実装置に与えるべき最適定数値をきめることができる。

〔IV〕 各種電動機制御装置の解析実例

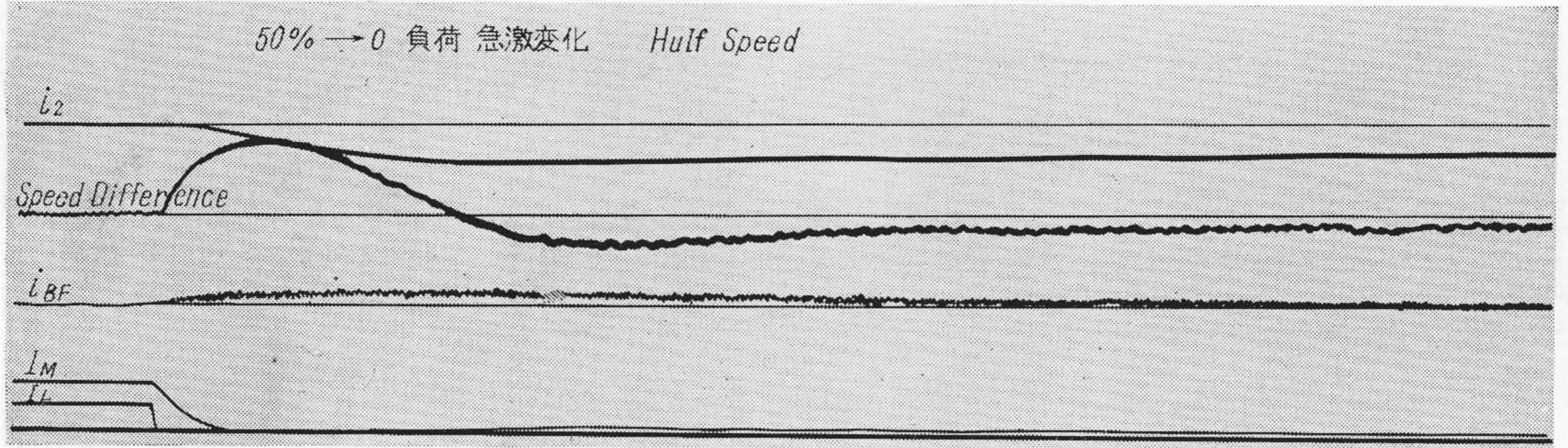
電動力応用制御装置の代表的な実例として、抄紙機のセクショナル・ドライブ、巻上機のプログラム制御、圧延機の急速励磁および張力制御などの解析実例について述べる。

(1) 抄紙機セクショナル・ドライブ

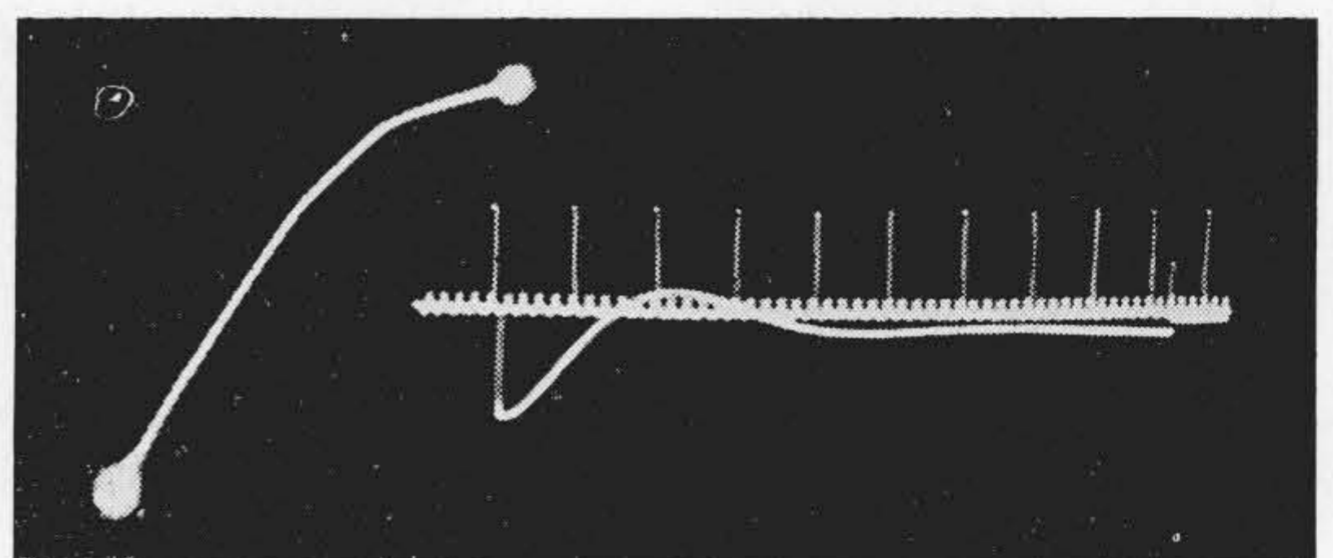
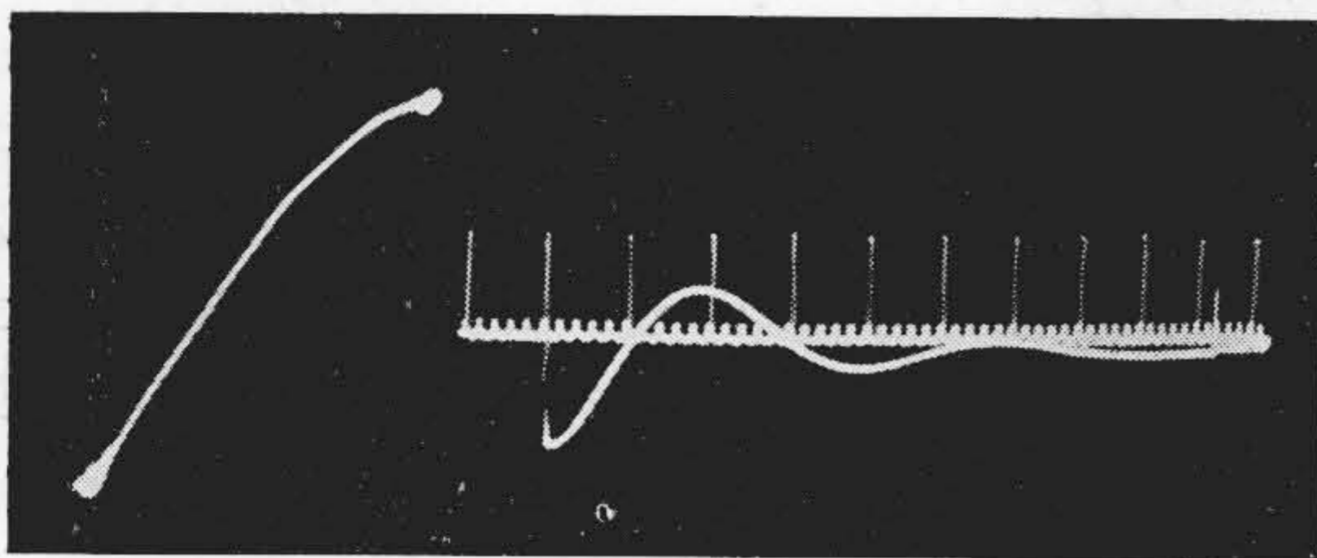
本装置の速度制御系については前章までに詳述したからここにはその結果だけを述べる。第12図および第13図はアナログ演算器で求めた制御経過で、これに対する実



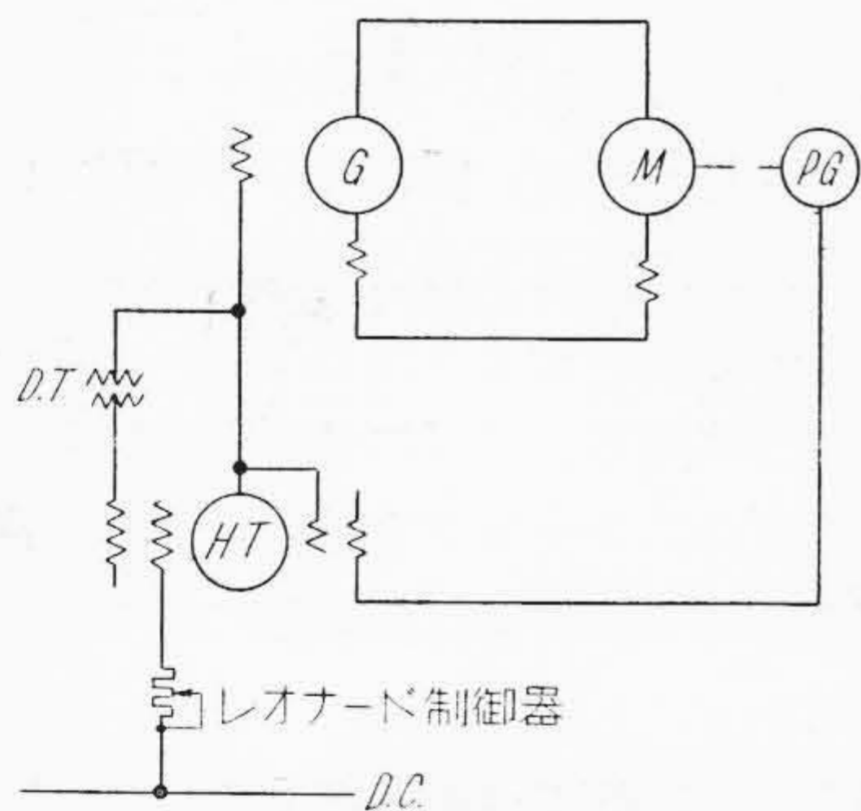
第14図 抄紙機の負荷急変時のオシログラム (最高速度, 全負荷遮断)
Fig.14. Oscillograms of Paper Machine (full load off at full speed)



第15図 抄紙機の負荷急変時のオシログラム (1/2速度, 1/2負荷遮断)
Fig. 15. Oscillograms of Paper Machine (half load off at half speed)



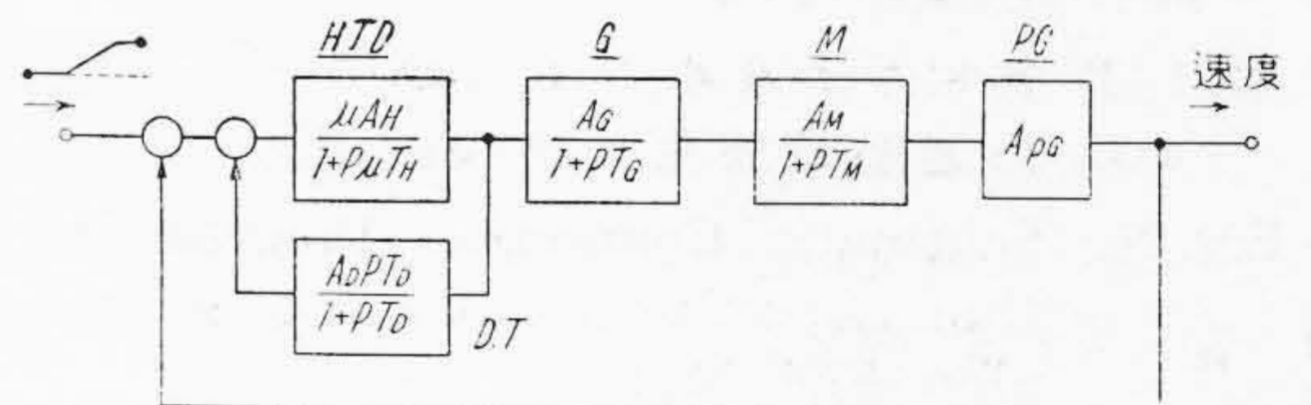
第16図 定電圧制御装置の制御経過 (飽和要素を入れてアナログ演算器で求めたもの)
Fig. 16. Voltage Transient Curve of Automatic Voltage Regulator with Saturable Element



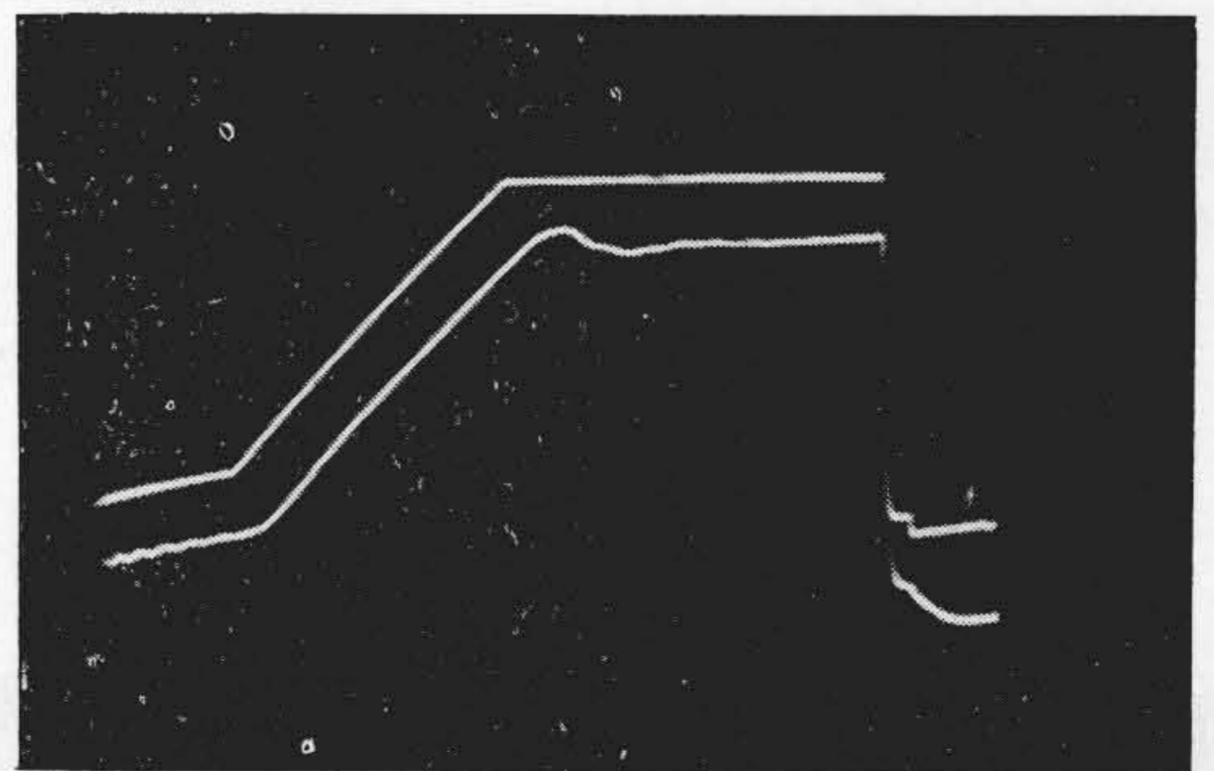
M: 巻上電動機 750 kW 500 V 30.6 rpm
G: 主発電機 HT: HTD
DT: ダンピングトランス PG: パイロット発電機

第17図 三井田川納縦坑巻上機プログラム速度制御装置概略接続図

Fig. 17. Schematic Connection Diagram of Speed Control System for Winder



第18図 第17図のブロック線図
Fig. 18. Block Diagram of Fig. 17.



第19図 アナログ演算器で求めた巻上機プログラム速度制御の制御経過 (上....入力信号, 下....速度曲線)

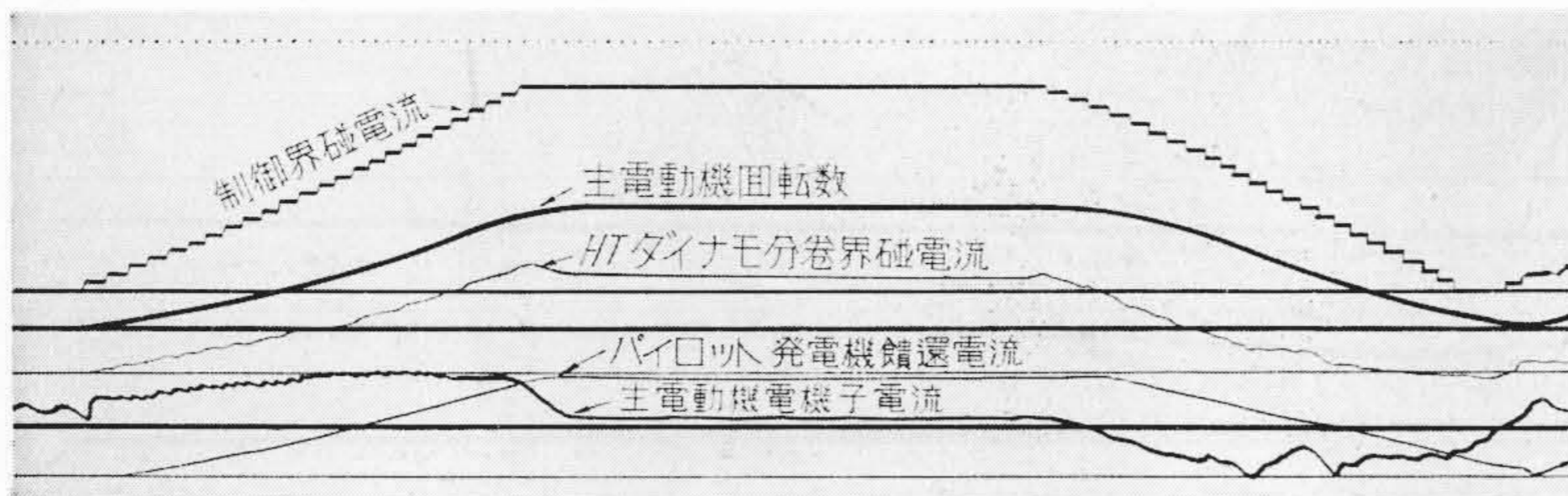
Fig. 19. Speed Curve of Program Speed Control of Winder, by Analog Computer

装置のオシログラムはそれぞれ第14図および第15図である。両者を比較すると細部の相違はあるがその傾向はよく一致している。

第16図は本装置の定電圧制御系 (発電機Gの定電圧装置) の解析結果で, これはファンクション・フィットにより発電機の飽和特性を加味して求めたものである。図中左側の曲線がそれぞれの場合の飽和曲線を示す。動作位置によつて制御経過が大いに異つてくることあきらかである。

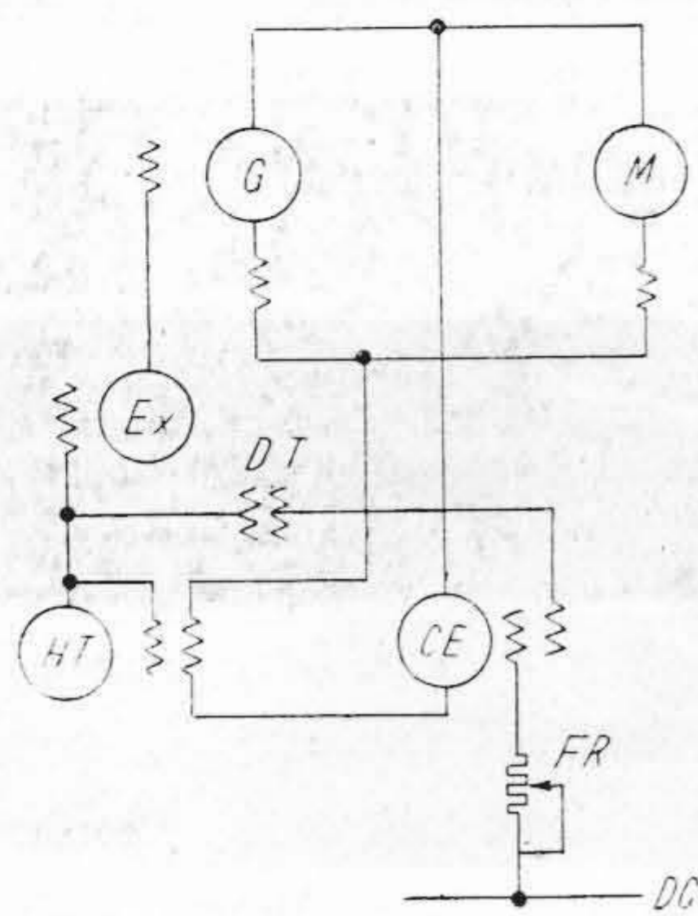
(2) 巻上機のプログラム制御

実例として三井田川納 720 kW 縦坑巻上機⁽⁴⁾の概略接続図を第17図に示す。本装置は手動または自動により



第 20 図
巻上機プログラム速度制御のオシ
ログラム

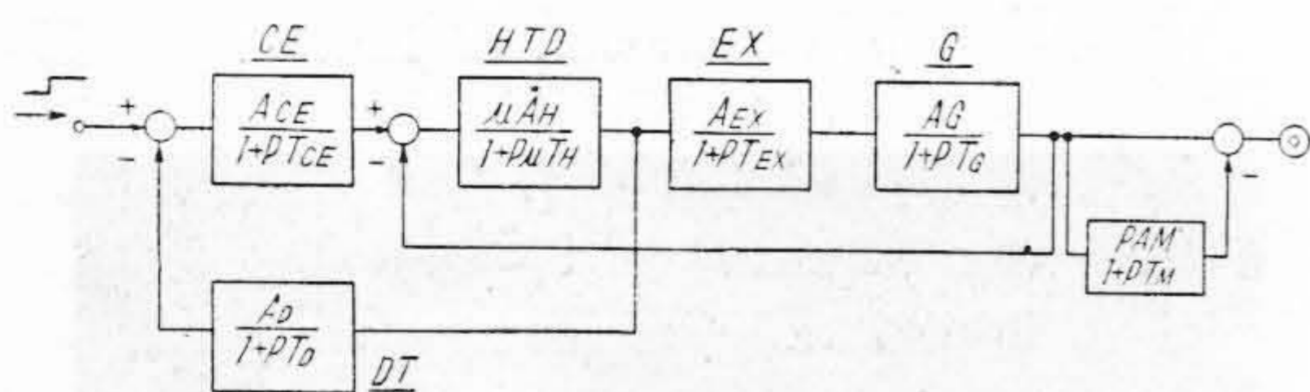
Fig. 20.
Oscillograms of Program
Speed Control of Winder



M: 圧延電動機 600 kV 600 W 100/200 rpm
G: 主発電機 Ex: 励磁機 HT: HTD
CE: 制御励磁機 DT: ダンピングトランス
FR: 界磁抵抗器

第 21 図 高田アルミ納アルミスラブ圧延機
急速励磁装置概略接続図

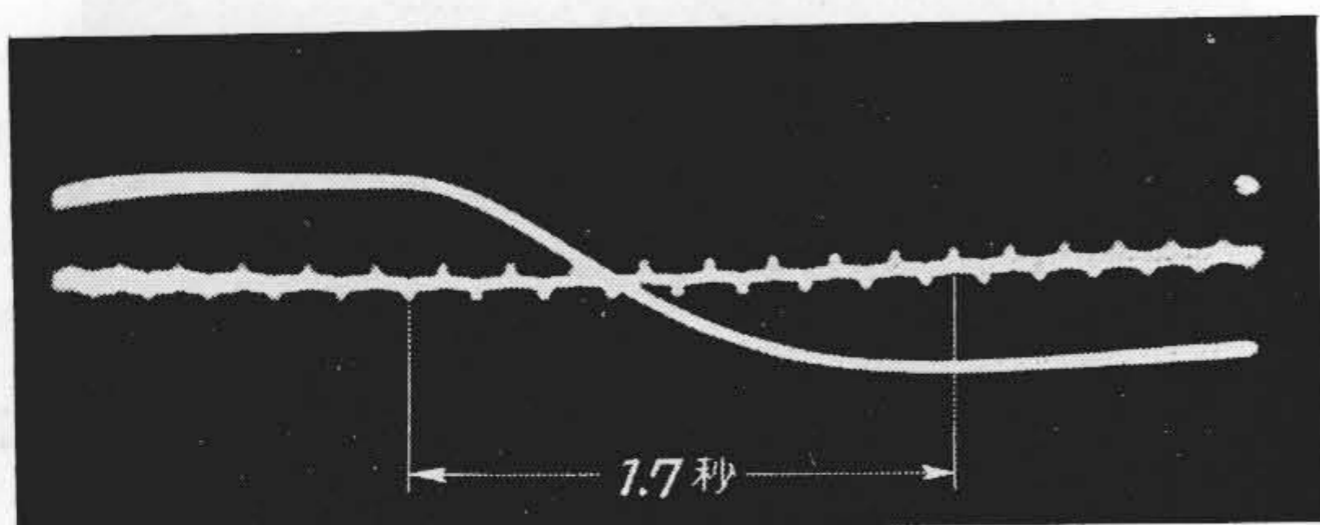
Fig. 21. Schematic Connection Diagram of
Quick Exciting Equipment of Alumi-
nium Slab Mill



A および T はそれぞれの機器の増幅度および時定数を示す。

第 22 図 第 21 図のブロック線図

Fig. 22. Block Diagram of Fig. 21.



第 23 図 アナログ演算器で求めた急速励磁
装置の制御経過

Fig. 23. Voltage Rise Curve of Quick Exciting
Equipment by Analog Computer

レオナード制御器を操作して巻上機の起動および停止を
あるプログラムにしたがって行うものであり、これをブ
ロック線図にすると第18図(前頁参照)のようになる。速
度を上げまたは下げる操作を行う際の現象をみるため、
相似回路に第18図に示すような時間に対し直線的に変化
する入力電圧を与えて出力点の電圧変化(速度変化に相
当する)を観測すると第19図(前頁参照)のようになる。

この装置の実際運転時のオシログラムを第20図に示
す。アナログ演算器による結果は、多少オーバーシュート
気味にでているが、このように動作範囲の広い場合に
は、直線近似による誤差も大きいものと考えねばなら
ない。

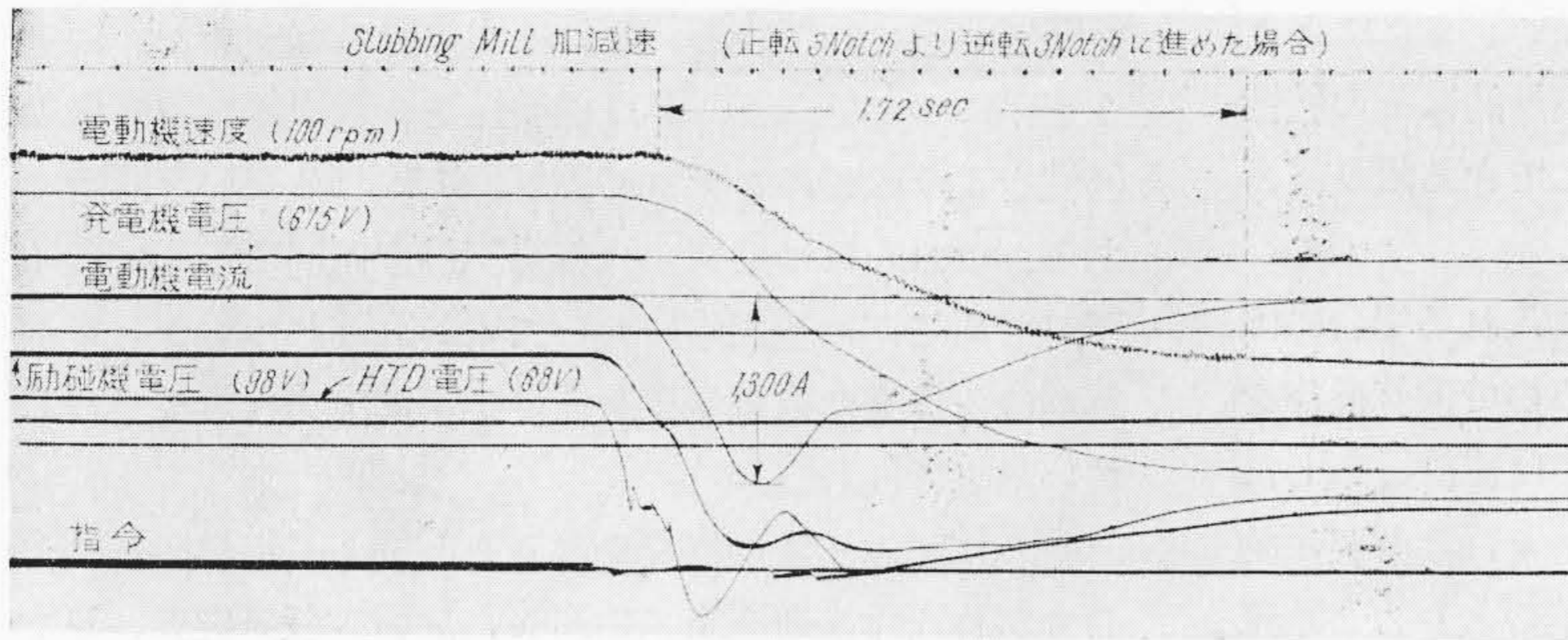
(3) 圧延機の急速励磁

第21図は高田アルミ納アルミスラブ圧延機の急速加減
速制御の概略接続図である。これはワード・レオナード
系で発電機の急速励磁と、電動機の界磁電流制御とによ
つて電動機の急速加減速を行うものである。この中で急
速励磁装置の部分のみを取り出してブロック線図にする
と第22図のようになる。これに矩形状入力信号を入れた
場合の速度変化は、アナログ演算器によると第23図とな
り、実装置のオシログラムは第24図である。両者は良く
一致している。

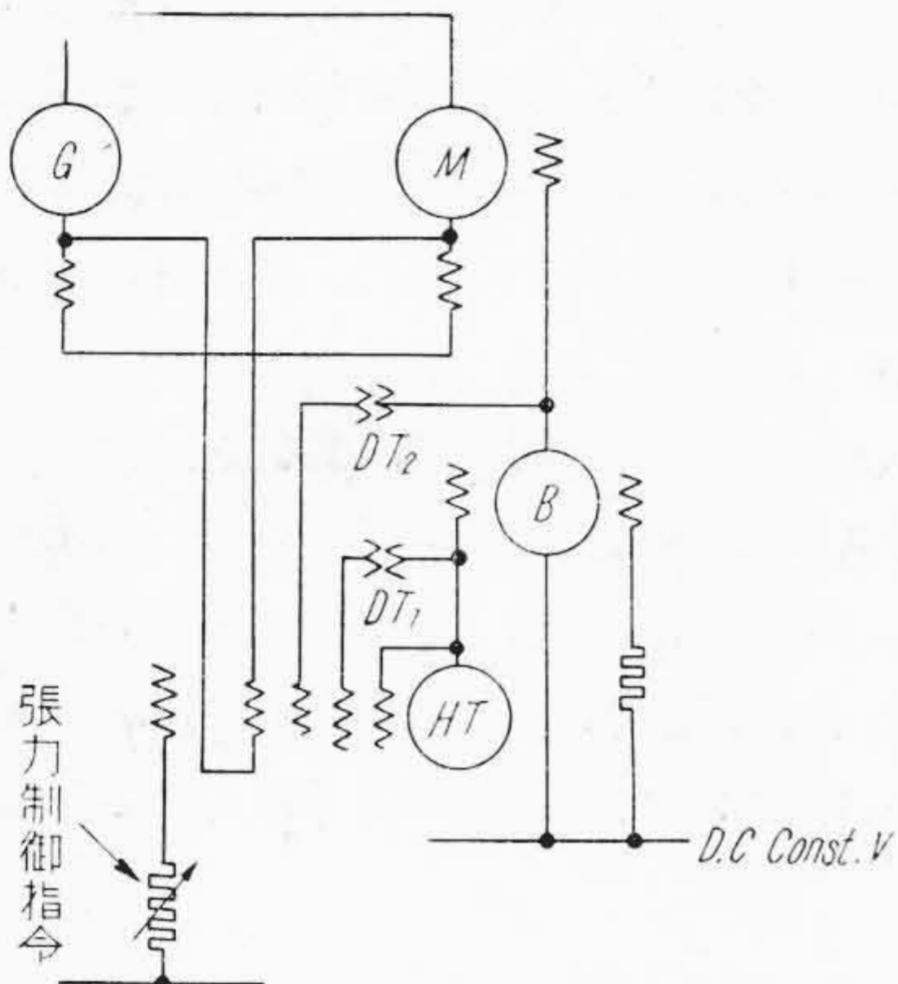
(4) 圧延機の張力制御装置

第25図は日本鉄板納四重冷間可逆圧延機の張力制御装
置の概略接続図である。この装置は、張力指令信号が
HTD に与えられるとリール電動機の界磁が変り、その
電機子電流が変化する。しかるに発電機電圧は一定で、
また鋼帯速度も一定であるから、電機子電流は張力に比
例することとなり、上記張力指令により張力を自由に調
整しうるのである。

今この制御系をブロック線図にすると第26図となる。
張力指令として HTD に矩形状信号を与えたときの電機
子電流(張力)変化をみると、アナログ演算器の結果は第
27図のようになる。実装置の制御経過は第28図のオシ
ログラムに示されている。第28図をみて上げおよび下げ
の場合の制御経過が相当相違をみせているのは制御系の非
直線特性によるものと思われる。このことを考えると制
御系を直線近似したアナログ演算器による結果は相当よ

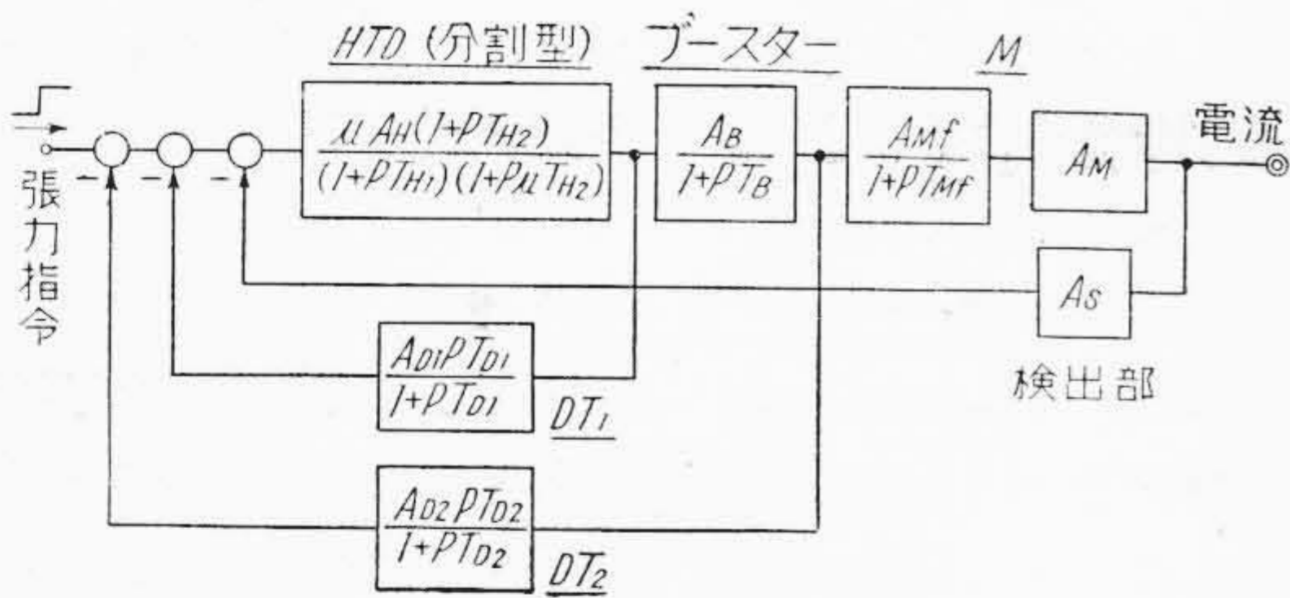


第24図
急速励磁装置の動作オシログラム
Fig.24.
Oscillograms of Quick Exciting Equipment



M: リール電動機 550 kW 750 V 150/600 rpm
G: 発電機 B: 励磁ブースター
HT: HTD DT₁, DT₂: ダンピングトランス
第25図 日本鉄板納四重冷間可逆圧延機リール張力制御装置概略接続図

Fig.25. Schematic Connection Diagram of Tension Control Equipment of 4-high Cold Reversing Mill



第26図 第25図のブロック線図
Fig.26. Block Diagram of Fig. 25.

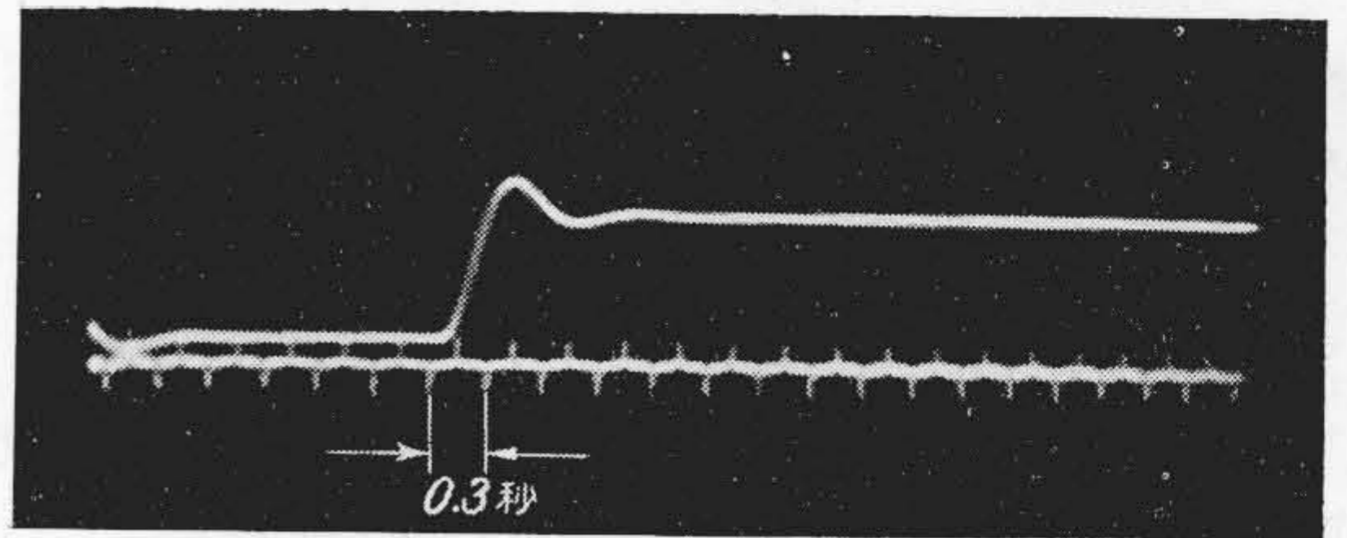
い一致を示しているものと考えてよからう。

〔V〕 結果の検討および今後に残された問題

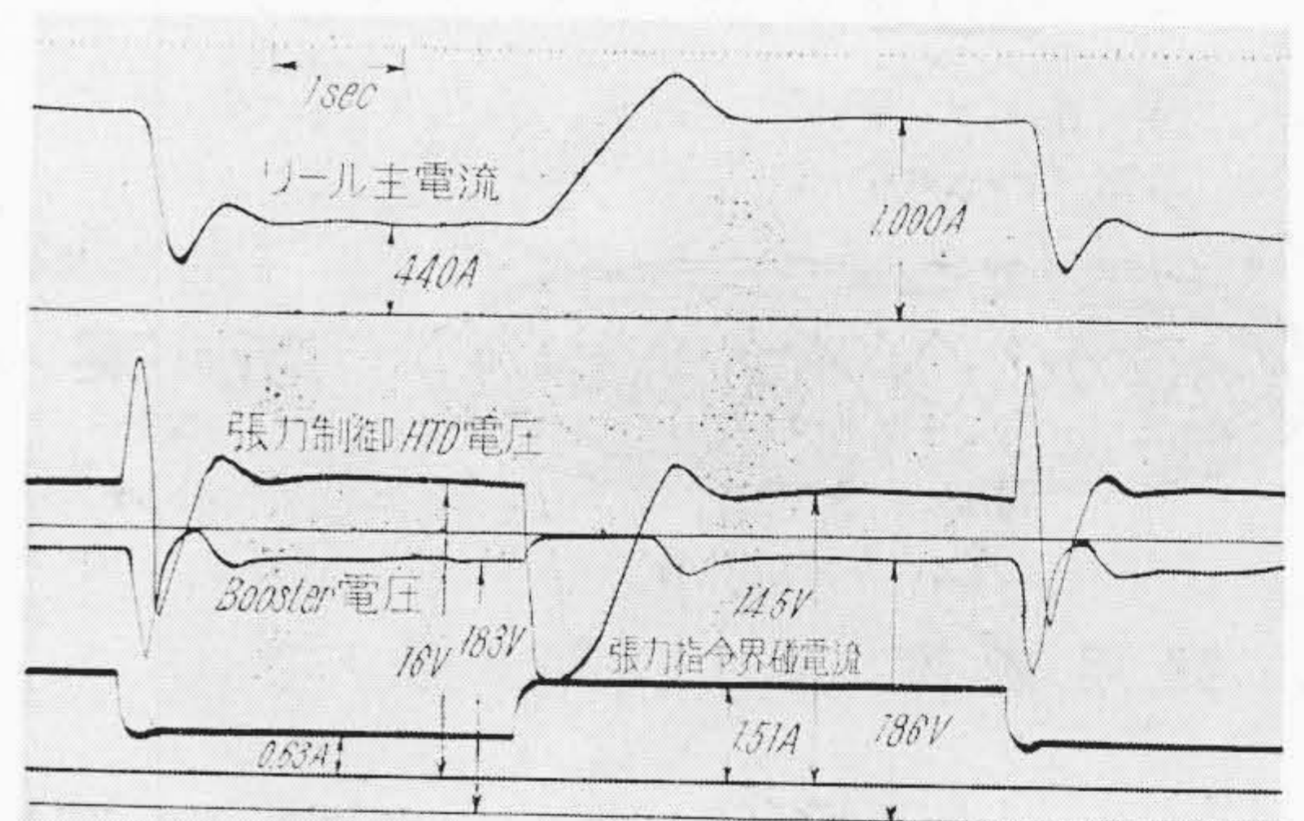
前章で述べた諸例であきらかなようにアナログ演算器はこのような実用面において有効な道具となる。しかしながらこれらの結果はまだ完全とはいえず、その誤差の原因としてはアナログ演算器自体の問題と、演算器に入れるまでの問題との2つが考えらる。

(1) アナログ演算器の誤差について

電子管式繰返し型アナログ演算器の精度としては原理



第27図 アナログ演算器で求めた張力制御装置の制御経過
Fig.27. Transient Curve of Tension Control Equipment by Analog Computer



第28図 張力制御装置の動作オシログラム
Fig.28. Oscillograms of Tension Control Equipment

的に1%以上を望むことは難かしく、また演算器中の相似回路要素の定数自体の誤差などを考えれば、総合誤差数パーセントと考えねばならない。より高精度のアナログ演算器としては、直流型アナログ演算器のようなものもあるが、演算速度の迅速さ、取扱いの簡便さなどから考えて、制御解析は繰返し型の方がその長所をより有効に生かしようと思う。

つぎに実装置は飽和、ヒステリシス、利得変化など多種多様の非直線特性を持つておるのに対しわれわれのアナログ演算器もある程度の非直線要素を備えているが、より多種類の非直線要素をいかにして簡単にアナログ演算器中に実現するかが今後に残された課題である。

(2) 演算器に入れるまでの問題

実用装置の伝達函数を厳密に考えれば、低次の線型微

分方程式で表わしうるものはほとんどない。またたとえ複雑さをいとわないとしても、完全に定量的にその特性をつかむことも非常に難しい。しかしできる限り厳密にその特性を知ることが必要である。

つぎに非直線特性をアナログ演算器に入れる場合にはその取扱いが格段に難かしくなってくるので演算操作をまちがえる可能性も多い。ある程度までは直線近似した方がむしろよい結果を得られる場合もあり、より実用的である。このような場合に用いる近似値のとり方と誤差との関係があらかじめわかっていると都合がよいが、これは一般的に求めうるものでもない。経験的にでも大体の傾向をつかんでおくことと便利であろう。

〔VI〕 結 言

主として電動力応用制御装置の解析にアナログ電気演算器を用いる方法を述べ、代表的な制御装置に利用した例をあげ、アナログ演算器がこの方面の有力な道具となることを示した。

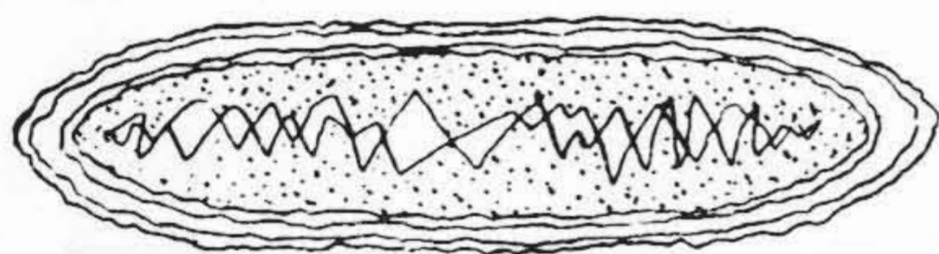
しかしアナログ演算器による解析にはまだ相当難かし

い問題が残されている。それは実装置の諸定数をいつそう正確につかむこと、非直線特性を含む複雑な実装置の特性をより厳密にアナログ演算器に入れるという問題である。これらについて、今後も引続き研究を進めて行く予定であるが、現段階においてもわれわれのアナログ演算器は、優秀な自動制御装置の実現に有力な貢献をなしている。

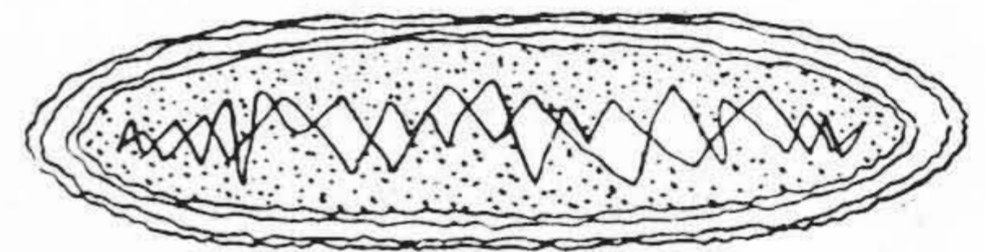
終りに臨み研究の機会を与えられ種々御指導賜わつた日立製作所中央研究所菊田所長、只野主任研究員、日立研究所兼先所長、三浦副所長、今尾主任研究員、小林主任、日立工場稲木部長、泉課長、山本課長また実測データを与えられた日立工場山手検査課の関係諸氏に厚く御礼を申上げる。

参 考 文 献

- (1) 三浦：日立評論 別冊 3 139 (昭 28-6)
- (2) 井上, 西：日立評論 35 671 (昭 28-4)
- (3) 田附, 吉田, 笠原：日立評論 33 1031 (× 26-12)
- (4) 吉田, 中山：日立評論 34 769 (昭 27-6)



新 案 の 紹 介



実 用 新 案 第 412529 号

津 田 信 喜 ・ 小 野 崎 一 男

巻 線 型 豎 軸 誘 導 電 動 機

巻線型豎軸誘導電機機の推力軸受を点検、調整する場合、従来は集電環 2、蓋 8、案内軸受 7などを全部取外していたが、集電環 2は焼嵌めしてあるので、これが取外しおよび再嵌合作業が甚だ厄介である。本案はこの点に鑑み、図面に示すように、蓋 8の内径 D_2 と案内軸受 7の内径 D_3 と集電環 2の外径 D_1 との関係を

$$D_3 > D_2 > D_1$$

として設計したものである。この構造によれば、推力軸受 4の点検および調整に当り、集電環 2はこれを取外す必要なく、蓋 8および案内軸受 7を順次上方に取外すことができるから、前記点検、調整の作業を短時間に、しかも簡単に行うことができる。(滑川)

