

## アナコンによる巻取り張力制御系の解析

沢井善三郎・稲葉 博・川瀬 太郎

張力を直接検出せず巻取り動力を検出値とする張力制御系には多くの特徴があるが、送り出しロールのスピード変動をいち早くとらえて巻取り側へ伝達するので、張力の過渡的变化がたいへん小さく、特に高速度巻取り機構の自動化に適している。しかしこの系は掛算を含む非線形系なので解析的に扱うのはむずかしい。そこでアナログ計算機（アナコン）を使ってその動特性を明らかにし、補償要素の設計を行なった。演算の結果は実験とよく一致し、設計した補償要素で十分の補償効果が得られた。

### 1. 緒 言

巻取り機は鋼帯圧延機、伸線機、抄紙機等の各種製造機械の主要部として工業的に大きな役割を果たしている。これら巻取り装置においては、製品の均一化のため、巻取り張力の調整が必要である。ことに最近、各種製造工業の品質管理と生産スピードの向上に伴い、精度が高くて信頼のおける巻取り張力自動制御装置の開発が望まれている。従来から張力の制御には多くの試みがなされており、第1表にその主なものを分類した。開ループ制御はシステムの自己平衡性を利用する方式で、精度は低いが装置が簡単なのが特徴である。閉ループ制御のうち、直接法は張力を直接にフィードバックするもっともオーソドックスな方式である。間接法は操作用電動機として直流電動機を使用した場合、巻取り張力と電動機の電機子電圧、電機子電流および動力とは密接な関係があるので、これらを制御して張力を間接的に制御する方式である。

第1表 張力制御方式

開ループ制御	閉ループ制御……	直接法
		間接法 <ul style="list-style-type: none"> <li>電圧、電流制御</li> <li>動力制御</li> </ul>

これらの制御方式にはそれぞれ一長一短があり、要求される精度、設備費、保守の難易等を考えて選定されるべきで、いちがいに優劣は決め難い。しかし動力によって巻取り張力を制御する方式には、他の間接法には見られない特徴があり、大きな将来性が考えられるので、沢井研究室では数年にわたりこの研究を続けてきた<sup>2)~7)</sup>。

間接的張力制御法は張力測定をしないので、測定装置の機械的振動による制約から解放されている。しかし、電圧、電流制御においては張力に最も大きな影響を及ぼす送り出しロールのスピード変動に対して制御性能が悪い。それはこれらの制御系では送出し線速度の変化が張力の変動を招き、この張力の変動が電流変化、電圧変化となって初めて制御動作が開始されるからである。

これに対し、動力制御方式では送り出し線速度に関す

る情報が設定値の変動として制御装置に与えられているので、線速度の変動は張力の変化となって検出されるのを待たずに、制御装置を介して巻取り側へ直ちに伝達されるので、巻取り張力の偏差を非常に小さくすることができる。ただしこの場合、巻取りプロセスのダイナミクスと制御装置の伝達特性をうまくマッチングさせないと、かえって悪い結果を招くおそれも十分にある。したがって、制御系の設計は慎重を要する。

しかも、動力制御系はその中に掛算要素を含むので、本来非線形である。また、送り出し線速度が同時にシステムの二点に入るので、単純なフィードバック系としても扱えない。したがって、これが解析と設計にはアナログ計算機（アナコン）を使うのがもっとも適している。

そこで、低速度形アナコン ALS-10 を使って、われわれの張力制御実験装置の動特性を明らかにし、かつ、その制御性能を向上させるために補償要素の設計を行なった。また、補償要素の設計の理論的バックグラウンドとして V.S. Kulebakin の Invariance 理論を使ってみた。

### 2. 実験装置とそのブロック線図

#### (1) 実験装置

いま、巻取り張力を  $f$ 、巻取り速度を  $v$ 、巻取り動力を  $p$  とすれば、次の関係がある。

$$p = fv \quad (1)$$

また、設定動力を  $p_0$  として、設定張力  $f_0$  と送り出し速度  $v_0$  の積とする。すなわち、

$$p_0 = f_0 v_0 \quad (2)$$

巻取り動力  $p$  を検出して、設定動力  $p_0$  に常に等しくなるよう制御したとすると、(1)、(2)より、

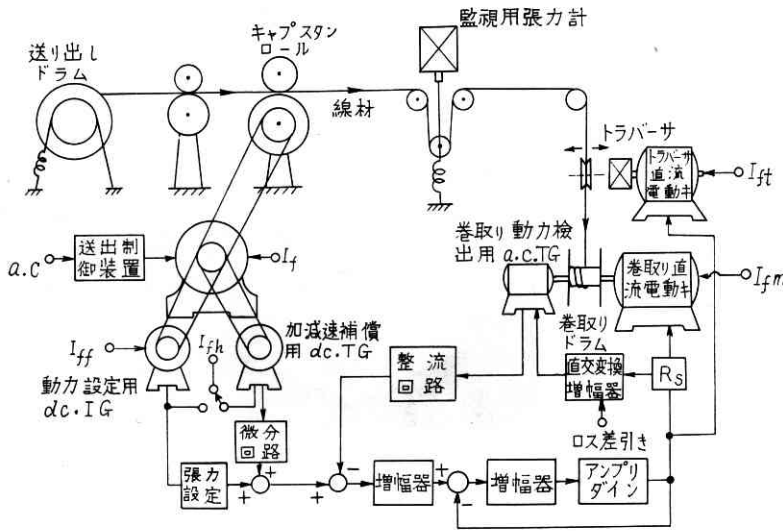
$$f = \frac{p}{v} = \frac{p_0}{v} = \frac{f_0 v_0}{v} \quad (3)$$

材料の伸びが無視できるほど小さいとすると静的には  $v = v_0$  である。したがって、(3)より  $f = f_0$  が得られ、張力を設定張力に等しくすることができる。

第1図がわれわれの実験装置の構成である。電動機の動力はトルクと角速度との積で表わされ、トルクは電機

子電流に比例し、角速度は電動機の回転数に比例する。したがって、電機子電流と電動機回転数の積を作れば動力は検出される。積の一方が回転数であるから、われわれは掛算素子として交流速度計発電機を利用した。つまり、巻取り電動機と共通の軸に交流速度計発電機を取り付け、このフィールドには電動機電機子電流に比例した交流電圧を加える。こうすれば求める積が発電機の出力電圧となって生じる。設定動力の方は設定張力が定数であるから、単に送り出し速度に比例した電圧をタコジェネで作ればよい。測定動力と設定動力の差は直流増幅器およびアンプリダインで増幅されて巻取り直流電動機の電機子に加えられる。

巻取りリール上で線を軸方向に分布させるためのトラ



第 1 図 実験装置の構成



写真 1 実験装置

バーサは巻取り速度に比例して運転し、送り出し電動機にも独立した速度制御を行なっている。また、アンプリダインの線形性を増すために外部フィードバックを行なった。

(2) ブロック線図の構成

自動制御系の研究の基礎となるのはブロック線図である。われわれの実験装置をまず 4 部分に分けて、そのおのおのブロック線図を構成し、最後に全体のブロック線図を組み立てる。

1) 巻取りプロセス ダンサー・ロールの質量と制動定数がスプリング定数  $k$  にくらべて十分小さいとすれば、つぎの関係がある。

$$2 \Delta f = \frac{k}{2} \int_0^t (\Delta v - \Delta v_0) dt \quad (4)$$

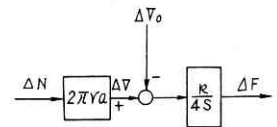
ただし、 $\Delta f$ ,  $\Delta v$ ,  $\Delta v_0$  はそれぞれ定常状態における  $f$ ,  $v$ ,  $v_0$  からの偏差分である。 $r$  を巻取りロールの半径、 $a$  を電動機・ロール間の变速比、 $n$  を電動機の回転数とすれば、

$$v = 2\pi r a n \quad (5)$$

(5) を (4) に代入し、両辺をラプラス変換して整理すると、

$$-4s\Delta F + 2\pi r a k \Delta N = k\Delta V_0 \quad (6)$$

ただし、 $\Delta F$ ,  $\Delta N$ ,  $\Delta V_0$  はそれぞれ  $\Delta f$ ,  $\Delta n$ ,  $\Delta v_0$  のラプラス変換である。第 2 図に (6) 式をブロック線図化する。



第 2 図 巻取りプロセスのブロック

2) トルクと角加速度の

関係 発生トルク  $\tau$  と

電機子電流  $i$  は比例する。

$$\tau = K_1 i \quad (7)$$

この  $\tau$  が加速トルクと負荷トルクになる。

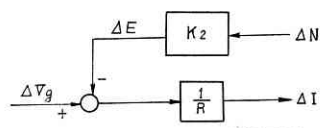
$$\Delta \tau = J \frac{d}{dt} 2\pi \Delta n + a r \Delta f \quad (8)$$

$J$  は回転部分の総合慣性モーメントである。(7) を

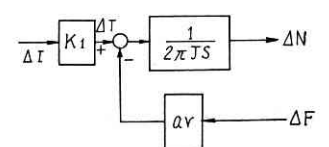
(8) に代入し、両辺をラプラス変換して整理すると、

$$a r \Delta F + 2\pi J s \Delta N - K_1 \Delta I = 0 \quad (9)$$

ただし、 $\Delta I$  は  $\Delta i$  のラプラス変換。第 4 図は (9) 式をブロック線図で表わした



第 3 図 逆起電力と電機子電流のブロック



第 4 図 トルクと角加速度のブロック

のものである。

3) 逆起電力 逆起電力  $e$  は  $n$  に比例する。すなわち、

$$e = K_2 n \tag{10}$$

電機子抵抗を  $R$ 、電機子に供給される電圧を  $v_g$  とすると、

$$\Delta i = \frac{\Delta v_g - \Delta e}{R} \tag{11}$$

(10)を(11)に代入し、両辺をラプラス変換して整理すると、

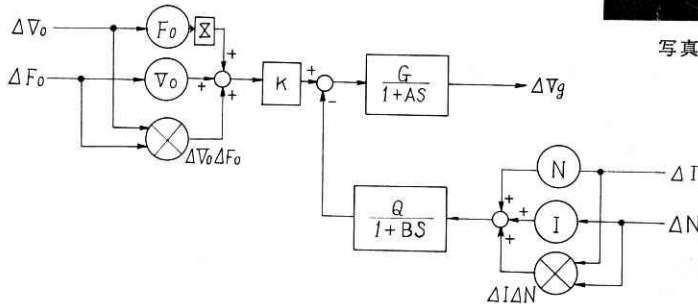
$$K_2 \Delta N + R \Delta I - \Delta V_g = 0 \tag{12}$$

ただし、 $\Delta V_g$  は  $\Delta v_g$  のラプラス変換。第3図は(12)のブロック線図化である。

4) 制御装置 前方向回路、後方向回路ともそれぞれ一次遅れ要素と考え、そのゲインを  $G, Q$ 、時定数を  $A, B$  とする。次式のように、掛算後の偏差分は3項からなり、定常値そのものが係数として含まれる。

$$(x + \Delta x)(y + \Delta y) = xy + (y\Delta x + x\Delta y + \Delta x\Delta y)$$

したがって、ブロック線図には  $F_0, V_0, N, I$  が入る。 $F_0$  は張力の設定値である。第5図がそのブロック線図である。図中、 $K$  は差引点での調整量。 $X$  は補償要素の伝達関数である(後述)。 $\Delta I \Delta N, \Delta F_0 \Delta V_0$  の項を無視して、線形化し、整理すると各変量間につきの関係を導く。



第5図 制御装置のブロック

第2表 諸定数の測定値

記号	意義	数値	単位
$k$	スプリング定数	70	kg/m
$K_1$	トルク定数	0.112	kg·m/A
$K_2$	逆起電力定数	6.09	V/rps
$r$	巻取りロール半径	0.05	m
$a$	変速比	1.2	ロール rps/モーター rps
$J$	慣性モーメント	0.00225	kg·m <sup>2</sup>
$R$	電機子抵抗	9.65	Ω
$G$	前方向ゲイン	可変0~90	volt/volt
$A$	前方向 時定数	0.08	sec
$Q$	後方向 ゲイン	3	volt/kgm·sec <sup>-1</sup>
$B$	後方向 時定数	0.05	sec
$K$	変換係数	4.81	volt/kgm·sec <sup>-1</sup>

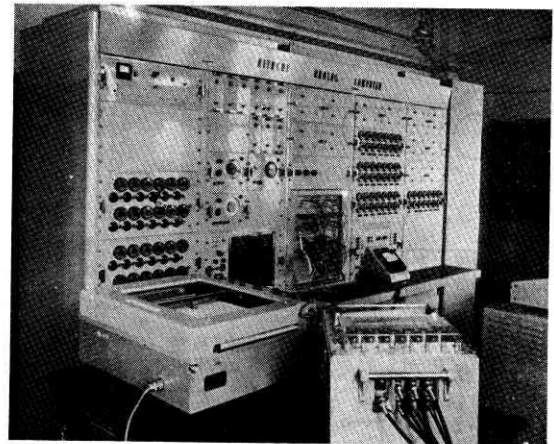


写真2 ALS-10型低速度型アナログ計算機

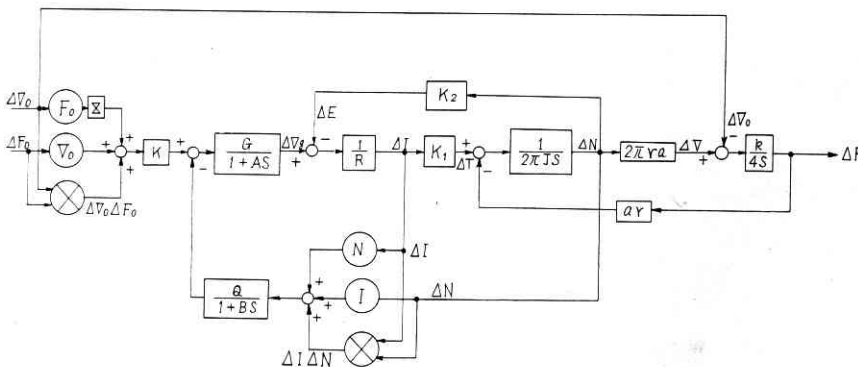
$$\begin{aligned}
 &GQI\Delta N + GQN\Delta I \\
 &+ (1+As)(1+B_s)\Delta V_g \\
 &= XF_0KG(1+B_s)\Delta V_0 \\
 &+ V_0KG(1+B_s)\Delta F_0 \tag{13}
 \end{aligned}$$

以上のブロック線図をまとめて一つにしたのが第6図である。諸定数の測定値を第2表に示す。

### 3. アナコンのプログラミング

第6図のブロック線図と第2表の定数に従って、アナコンのプログラミングを行なった。

使用したアナコンは東京大学航空研究所の日立製 ALS-10型低速度型アナログ計算機である。本機は線形演算要素(加算積分器14台、加算係数器12台、演算増幅器2台)および非線形演算要



第6図 巻取り張力制御系のブロック線図

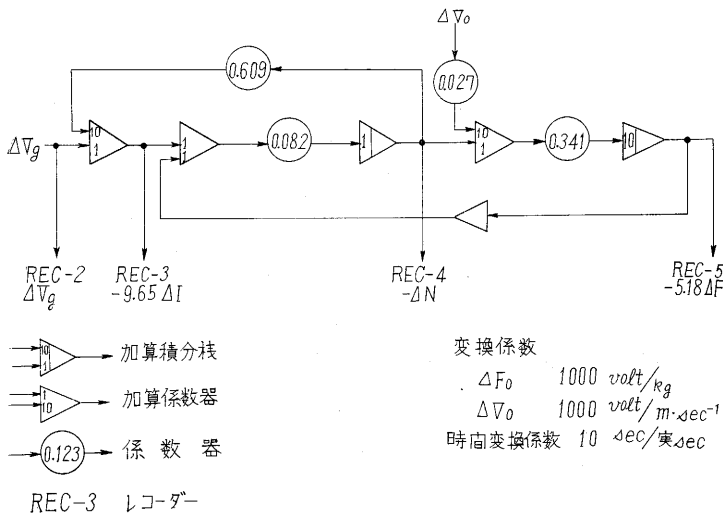
素 (サーボ乗算器, 電子管乗算器, 特殊非線形盤 etc.) を含む。

プログラミングはプリパッチ方式となっていて, 問題の設定はパッチボード上で行なう。解は 6 素子ペン書きオシログラフに描出される。

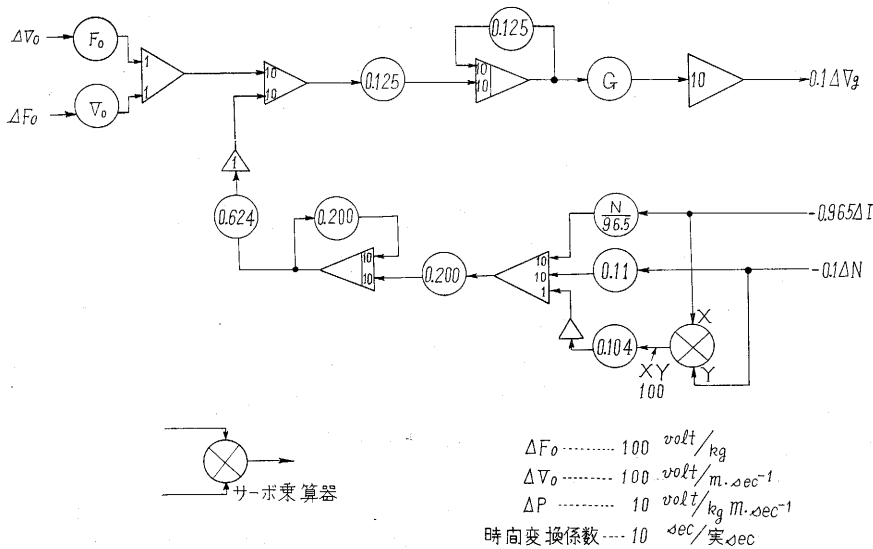
本研究のプログラミングにおいて特に考慮した点は:

- (1) できるだけブロック線図の原形を崩さないようにして, 諸定数の分散を最小限に止めた。
- (2) サervo乗算器を使用する関係上, 時間変換係数を 10 にとり, 現象の時間を 10 倍にした。
- (3) 制御装置と巻取りプロセスの部分の変換係数を変えてゲインを適当に配分し, 各変数の変化範囲を同程度にした。

以上の諸点を考慮して演算器の接続を行なったのが第



第 7 図 アナコンの結線 (1)

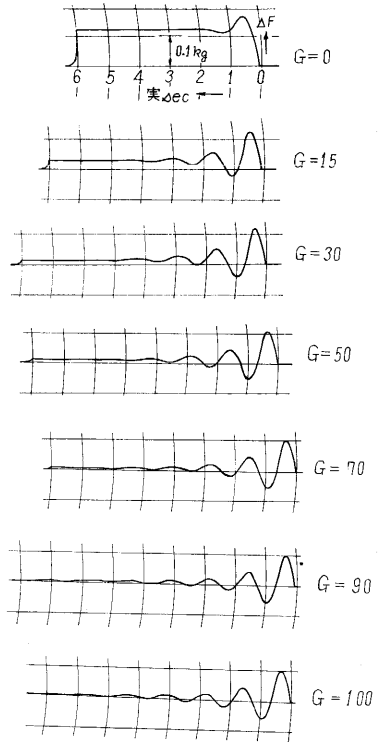


第 8 図 アナコンの結線 (2)

7 図, 第 8 図である。

#### 4. 制御性の検討

以下, アナログ計算機によって行なった巻取り張力制御系の制御性の検討を要約する。検討は張力にもっとも大きな影響を及ぼす送り出しロールのスピー



第 9 図  $G$  の変化  $\Delta V_0=0.4$  m/sec

ド変化  $\Delta V_0$  に対する系の応答について行なった。

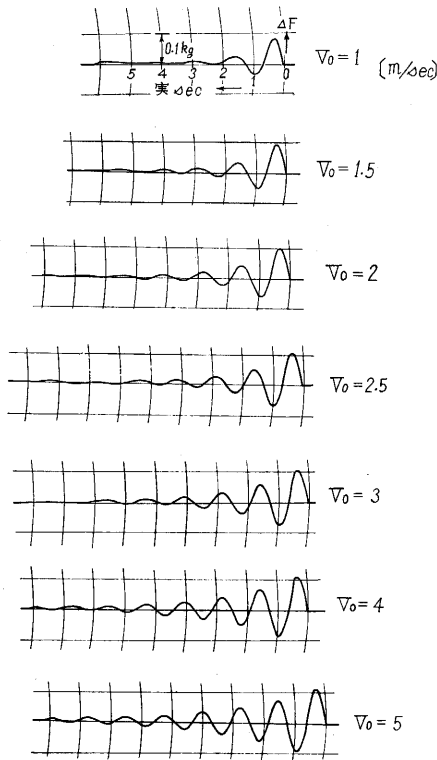
#### (1) $G$ と制御性

前方向ゲイン  $G$  の値を変えた場合の系の応答をアナコンに描かせたのが第 9 図である。  $V_0$  がステップ状に変わった時の張力  $F$  の変化  $\Delta F$  を示している。

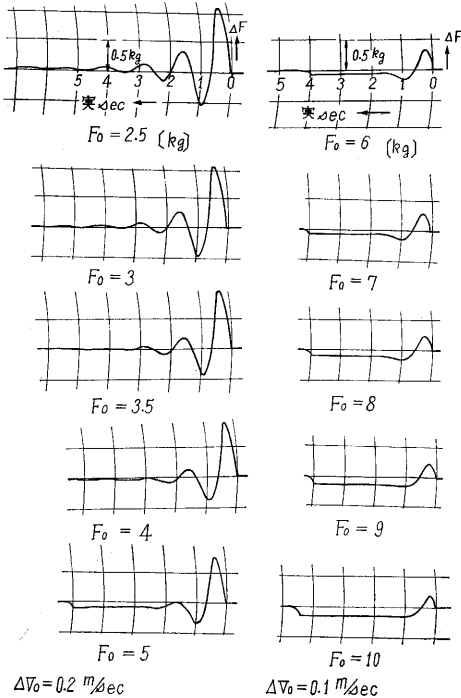
これを見て判ることは,  $G$  を大きくするとオフセットが小さくなること, および  $F$  の過渡的変動は  $G$  によってあまり変わらないことである。

#### (2) $V_0$ と制御性

送り出し線速度  $V_0$  および設定張力  $F_0$  は, 本システムが掛算要素を含むため, ゲインと同等に制御性に影響を及ぼす。第 10 図は  $V_0$  の諸種の値に対する系の応答である。前図の場合と同様,  $V_0$  のステップ状変化に



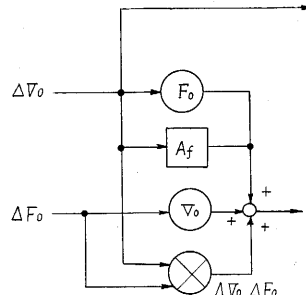
第 10 図  $V_0$  の変化  $\Delta V_0 = 0.4 \text{ m/sec}$



第 11 図  $F_0$  の変化

対する  $F$  の変化を示した。

本図からわかることは、 $V_0$  の値は系の過渡応答に大きな影響を与えることで、 $V_0$  が大きくなると次第に振動の減衰性が悪くなる。

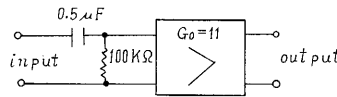


第 12 図 補償要素  $A_f$  の挿入

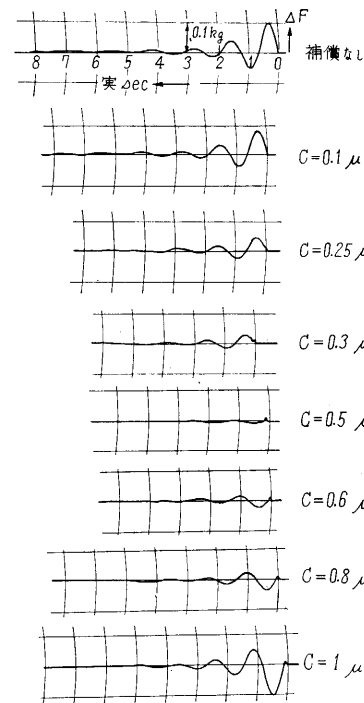
(3)  $F_0$  と制御性

$V_0$  と同様に  $F_0$  も系の応答に大きな影響を及ぼす。

第 11 図が  $F_0$  の



第 13 図 補償要素  $A_f'$

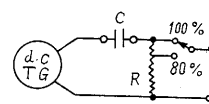


第 14 図 補償の効果

$G = 90$        $V_0 = 2 \text{ m/sec}$   
 $F_0 = 2 \text{ kg}$      $R = 100 \text{ k}\Omega$   
 $G_0 = 11$        $\Delta V_0 = 0.4 \text{ m/sec}$

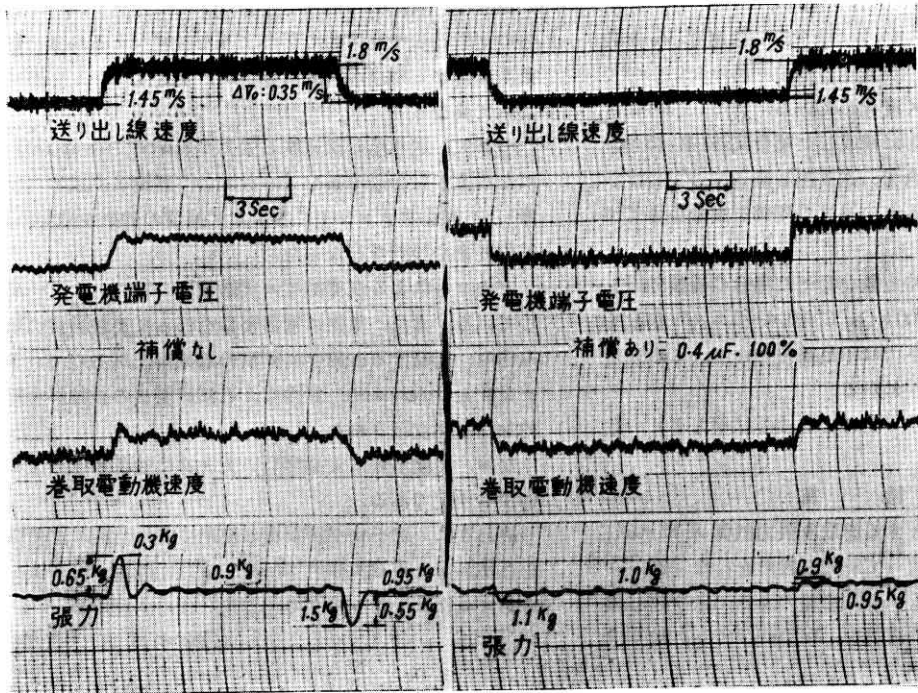
の変化に対する張力の過渡的変動を抑えることができないことがわかった。張力は送り出し線速度と巻取り線

速度の差の積分であるから、このことは巻取り側が送り出し側の変動に追いつかず、両者の間に遅れの生じていることを意味する。



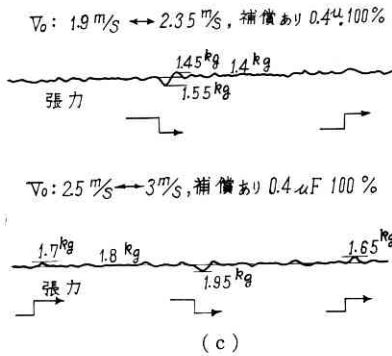
$R: 100 \text{ k}$ ,  $C: 0.3 \mu \sim 0.75 \mu \text{F}$   
 $G_0: 100\%$  約 20  
 80% 約 16

第 15 図 装置の補償要素



(a)

(b)



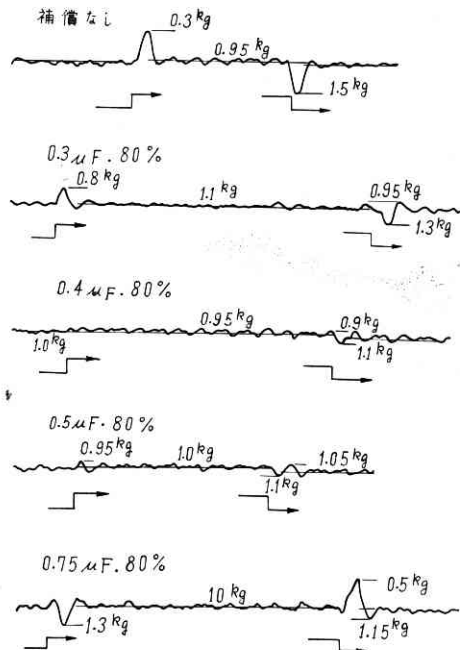
第 16 図 補償の効果

動力を検出値とする巻取り張力制御装置においては、送り出し線速度に関する情報が設定点から制御系に入っている。したがって、ここへ適当な補償要素を加えることにより、送り出し線速度の変動を強調すれば、これが制御装置を介して巻取り側へ伝達され、巻取り電動機は直ちに送り出し線速度の変動に追従して、張力の過渡的変動を小さくすることができる。

第 12 図のように補償要素  $A_f$  を加えるとして、Invariance 条件からその関数形を決定すると次式を得る。

$$A_f = \frac{0.345 s^3 + 1.14 s^2 + 11 s}{s + 20} \quad (14)$$

高次微分項を省略すると、



第 17 図 補償と時定数の関係

している。

### 6. 実測結果

第 1 図の電線用小型巻取り装置により、送り出し線速度を変化させた場合の巻取り張力の応答をペン書きオシロで測定した結果を第 16 図、第 17 図に示す。使用した線材は 0.65 mmφ 裸硬銅線である。制御系の定数はアナコンで使用した値と同一であるが、前方向ゲイン  $G$

$$A_f' = \frac{0.55 s}{0.05 s + 1} \quad (15)$$

この式は  $C, R$  および増幅器によって、第 13 図のように実現することができる。しかし、この  $A_f'$  は系を線形化して導出したものであり、しかも高次微分項を省略してあるので、果たして補償の効果があるのか判らない。

そこで、アナログ計算機上でも  $A_f'$  を構成し、その補償効果を確認するのが第 14 図である。 $R$  を 100 kΩ に固定し、 $C$  を種々に変えた場合について、 $V_0$  のステップ状変化に対する  $F$  の変動を求めた。本図から、 $A_f'$  でも補償の効果は相当に上がることが判る。その効果は  $C = 0.5 \mu F$  で最も大きい。これ以上でもこれ以下でも張力の過渡的変動は増大する。また、 $C = 0.5 \mu F$  を境として、 $\Delta F$  の最初の振れが逆になっている。これは  $C$  が  $0.5 \mu F$  より大きくなると補償過剰になることを示している。

のみ、75 に固定した。

第 16 図(a), (b), (c)は送り出し線速度  $V_0$  を急速に変化させた場合で、加減速の補償回路のない(a)では、巻取り張力は大きく変化している。(b), (c)はアナコンによる設計をもとに構成した補償回路(第 15 図)を設定回路に入れた場合で、送り出し線速度  $V_0$  の広い範囲にわたり、巻取り張力の過渡的変動を十分小さくすることができる。

つぎに、補償要素の時定数を変えた場合の補償効果を第 17 図に示す。 $R=100\text{ k}\Omega$ ,  $C=0.4\sim 0.5\ \mu\text{F}$  が最も適合した値で、これ以下では不足補償となり、これ以上では過補償となることがわかる。

以上の実験結果はアナコンによる演算結果とよく一致している。

## 7. 結 言

以上、動力を検出値とする巻取り張力制御系について、アナログ計算機を使って解析と設計を行なった。

解析は張力にもっとも大きな影響のある、送り出し線速度の変化に対する系の応答を、前方向ゲイン、送り出

し線速度、設定張力の種々の値について検討した。これらの定数として具体的にどのような数値をとるかは、制御系に対する要求が精度に重いか、安定度に厳しいかによって異なる。

つぎに、送り出し線速度と張力が無関係 (invariant) になるような伝達要素を Invariance 理論より求め (付録)、これをアナコン上に実現して補償の効果を確かめ、補償要素の設計を行なった。

アナコンによる演算結果は実験装置の特性とよく一致している。また、実際に補償要素を作って実験装置に組み込み、運転すると確実に補償の効果が上がるので、アナコンと Invariance 理論による補償要素の設計が合理的なことが立証された。

なお、実験装置による詳しいデータは他日まとめて報告する予定である。

終わりに、アナログ計算機の使用に際し、種々ご便宜をたまわった東京大学航空研究所東口助教授、同所エレクトロニクス・ショップの杉本憲一氏に感謝する。

(1962 年 10 月 8 日受理)

## 付 録

V. S. Kulebakin らが一般的に論じている Invariance 理論は<sup>8), 9)</sup> Multidimensional Process のような複雑な系を扱うのに、有力な手段を提供する。それは一つの変量を他の変量 (たとえば外乱、負荷変動、相互干渉、あるいは別の変量に対する操作量の変動) の変化とまったく無関係、すなわち “invariant” にする条件を追求する。

これをわれわれの補償要素の設計に利用する。つまり、送り出し線速度の変化  $\Delta V_0$  と巻取り張力の変動  $\Delta F$  の間の invariance 条件を満足する  $A_f$  の値を求めればよい。

それにはまず、系を線形と考えて導いた式(6), (9), (12), (13)から出発する。これら四式は連立微分方程式を形成しているから、マトリクスで表示すると(16)式のように表現される。(13)式には、あらかじめ補償要素に相当する未知伝達関数  $X$  を入れてある。

$$\begin{pmatrix} -4s & 2\pi ark & 0 & 0 \\ ar & 2\pi Js & -K_1 & 0 \\ 0 & K_2 & R & -1 \\ 0 & GQI & GQN & (1+As)(1+B_s) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta F \\ \Delta N \\ \Delta I \\ \Delta V_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k\Delta V_0 \\ 0 \\ 0 \\ XF_0KG(1+B_s)\Delta V_0 + V_0KG(1+B_s)\Delta F_0 \end{pmatrix} \quad (16)$$

これを  $\Delta F$  について解く。

$$\Delta F = \frac{\Delta'}{\Delta_0} \quad (17)$$

ただし、 $\Delta_0 \neq 0$  とする。 $\Delta_0$  は(16)式左辺の係数マトリクスの主行列式であり、 $\Delta'$  は次式で表わされる行列式である。

$$\Delta' = \begin{vmatrix} k\Delta V_0 & 2\pi ark & 0 & 0 \\ 0 & 2\pi Js & -K_1 & 0 \\ 0 & K_2 & R & -1 \\ XF_0KG(1+B_s)\Delta V_0 + V_0KG(1+B_s)\Delta F_0 & GQI & GQN & (1+sA)(1+B_s) \end{vmatrix} \quad (18)$$

式(18)は  $\Delta F_0$ ,  $\Delta V_0$  に関する一次式に整理できる。

すなわち、

$$\Delta' = \Delta'' \Delta V_0 - 2\pi ark K_1 GKV_0 (1+B_s) \Delta F_0 \quad (19)$$

$X$  は  $\Delta'$  中に一次式として含まれるはずである。したがって、(19)を(17)に代入すると、

$$\Delta F = \frac{\Delta''}{\Delta_0} \Delta V_0 - \frac{2\pi ark K_1 GKV_0 (1+B_s)}{\Delta_0} \Delta F_0 \quad (20)$$

となるから、 $\Delta F$  を  $\Delta V_0$  と無関係にする条件は、

$$\Delta'' = 0 \tag{21}$$

これを、 $X$  について解くと、

$$X = \frac{as^3 + bs^2 + cs + d}{es + f} \tag{22}$$

なる解が得られる。ここに、 $a, b, c, d, e, f$  は定数。

$$A_f = (X - 1) \cdot F_0 \tag{23}$$

なる関係から求めたのが、本文中の(14)式である。

文 献

- 1) D. P. Campbell: Process Dynamics, (Book) John Wiley & Sons, Inc. 1958.
- 2) 沢井・稲葉・鈴木: 直流電動機の機械的出力測定 (生産研究, 昭 33・9)
- 3) 沢井・稲葉: 直流電動機の改良型動力測定装置 (生産研究, 昭 34・9)
- 4) 沢井・稲葉: 電動巻取り機の制御 (自動制御連合講演会, 昭 34・11)
- 5) 沢井・稲葉: 巻取り張力の自動制御 (生産研究, 昭 35・4)

- 6) 沢井・稲葉: 巻取り張力制御系の過渡特性 (電気四学会連合講演会, 昭 35・7)
- 7) 沢井・稲葉: 巻取り機の自動制御 (東京大学生産技術研究所電気談話会報告, 昭 35・7)
- 8) V. S. Kulebakin: The Theory of Invariance of Regulating and Control Systems, Proc. First IFAC Congress at Moscow, (1960)
- 9) B. N. Petrov: The Invariance Principle and Conditions for its Application during the Calculation of Linear and Nonlinear Systems, Proc. First IFAC Congress at Moscow, (1960)

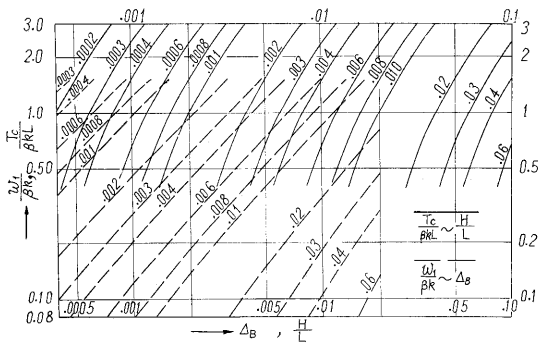
(27 ページよりつづく)

4.  $\Delta_B$  の図表

10) 式は  $\Delta_B, H/L, \omega_1/\beta k, Tc/\beta kL$  の 4 変数の関係を示すが、

$$\frac{\Delta_B}{\omega_1/\beta k + \sqrt{\Delta_B(2 + \Delta_B)}} = \frac{H/L}{1 + \frac{Tc}{\beta kL}} \quad (\equiv t) \tag{12}$$

とききなると、変数分離型となり、共線図表、共点図表化するのが容易である。第 3 図に共点図表を示す。図には二組の曲線群がかかれ、実線は  $H/L$  と  $Tc/\beta kL$  の



第 3 図  $\Delta_B$  の共線図表

関係、破線は  $\Delta_B$  と  $\omega_1/\beta k$  の関係を与える。曲線に付した数値は補助変数  $t$  (12) 式の値である。 $H/L$  と  $Tc/\beta kL$  から  $t$  を定め、 $t$  と  $\omega_1/\beta k$  とから  $\Delta_B$  を読みとることができる。(1962 年 9 月 19 日受理)

正 誤 表 (11月号)

頁	段	行	種 別	正	誤
1	左	16	本 文	1500 万 t	150 万 t
"	"	16	"	30 分の 1	三分の一

次 号 予 告 (1月号)

巻 頭 言

東京移転の新しい年に当たって……………藤高 周平

研 究 解 説

旋削におけるびり振動……………杉本 隆尚  
航空写真と電子計算機による道路の計画……………丸安 隆和  
および設計の一方法について……………中村 英夫

海 外 事 情

I.A.S.S および W.C.S.S  
—人気の落ちた I.U.T.A.M. 運営のために—……………坪井 善勝

研 究 速 報

微粒子充填層の空隙分布……………福田 義民  
—水銀ポロシメータの基礎的研究—……………河添邦太朗  
池田 憲治  
冷間振り鉄筋の加熱実験……………坪井 善勝  
矢代 秀雄  
自動車用機関の吸気弁の流量係数……………金 栄吉  
自動車の据切および低速時の操舵トルク……………小口 泰平  
永井 芳男  
後藤 信久  
西 長谷川 夫吉  
古新居 祥  
関根 堅次

6, 13-ジクロロキナクリドンの合成……………