

最近のサーボコンピュータについて

The Recent Tendencies of Servo Computer Circuits

牧 田 睦 男*
Mutsuo Makita

内 容 梗 概

サーボ計算機の代表的な演算要素であるレゾルバおよびポテンショメータとその演算回路の一般的事項につき解説を行い、さらにサーボの特性とサーボを応用した積分器について理論的取扱いの方法を示し、同時にこれに付随する問題点が最近いかに解決されているかを具体的例をあげて説明した。

1. 緒 言

サーボ計算機はアナログ形計算機の一つであるが、一般のアナログ計算機とは使用目的および機能に関連して多くの差異があり、そのおもな点をあげれば次のとおりである。

- (1) 関連機器との情報量の授受はすべてシンクロ電機による角度信号によって自動的に行われる。
 - (2) 計算機出力は直接関連機器を制御する。
 - (3) 主として三角関数を含む代数方程式を取扱う。
 - (4) 入力情報量が間けつ的に与えられる場合は、記憶回路と積分器を使用して補間することにより、連続量として出力をうることができる。
 - (5) 積分値が角度の場合は無限に積分可能でなければならない。
 - (6) 入出力あるいは計算値をダイヤル表示する必要がある。
- 以上の機能上の要求を満足させるためには、交流サーボ計算機が最も適合していることは明らかであろう。またこの機能から、一般の制御用計算機としても利用のみちが広いものと思われる。

2. レゾルバとその演算回路

2.1 レゾルバ

レゾルバはサーボ計算機における主要な演算素子であって、従来真空管増幅器に直結させるため、高インピーダンスのミニチュアレゾルバ R151 形を採用している。

レゾルバを計算機に使用する場合には 0.1% 以上の高い精度が要求されるので、製作上あるいは材料の面で困難な問題が多く、以前から国産化が試みられてきたが、いずれも精度上十分ではなかった。しかし最近になって、ようやく要求性能にほぼ近いものが得られるようになったので、近い将来において部分的に採用しうる段階にきている。また計算機の小形化ならびに増幅器のトランジスタ化に伴って、超小形レゾルバについて実用試験を進めている。これら両者の性能は第1表のとおりである。

2.2 ブースタ増幅器

レゾルバの入力電圧と出力電圧は常に正確に一定の比例関係に保たれる必要がある。このために補償巻線とブースタ増幅器により負帰還回路を形成して外囲温度または周波数などの変動に対する補償を行っている。その理論的取扱いについてはすでに詳細に解説されているので省略する⁽¹⁾。ブースタ増幅器は以前は 60~70 dB の高利得のものを使用していたが、増幅器の利得自体が十分に安定であれば、前述の補償の目的のためには低い利得のものでも実用上支障のないことが解明されたので、利得を下げ、回路構成を簡略にして小形化および消費電力の軽減を計っている。その間のいきさつを第2

第1表 レゾルバの特性

製 造 会 社 名		Reeves	Diehl
形 名		R151	B11R1-4
周 波 数 (c/s)		400	400
同調時入力インピーダンス (kΩ)		15	2.8
最 大 動 作 電 圧 (V)		60	
関 数 誤 差 (%)		0.1	0.05
回 転 子 不 平 衡 (%)		0.08	
残 留 電 圧 (%)		0.1/30V	0.1/10V
巻 線 直 角 度 (分)		±5	±5
伝達比	回転子/固 子 子	0.980±0.020	0.95
	回転子/補償巻線	0.985±0.010	
位 相	回転子/固 定 子 (度)	6±2	10
	回転子/補償巻線 (度)	0.0	
周 波 数 範 囲		42c/s~60kc	40c/s~100kc
重 量 (g)		178	130
寸法(シャフトを含まない) (mm)		36.5φ×52.5	27φ×79

第2表 ブースタ増幅器の特性

形 名		A-1	ABVR-1	ABVR-2
完 成 年 月		1956-8	1957-6	1959-1
周 波 数 (c/s)		400	400	400
負 荷		R-602S レゾルバ	R-151 レゾルバ	R-151 レゾルバ
最 大 出 力 (V)		100	30	50
ひずみ率 (帰還時) (%)		0.1/26V	0.025/15V	0.03/20V
利 得	無帰還時 (dB)	67	60	43
	帰 還 時	1.000±0.001	1.0000±0.0005	1.0000±0.0005
利得変動 (dB)	6.3V±0.7V に対し	0.4	0.1	0.1
	250V±25V に対し	0.3	0.1	0.1
消費電流	AC 6.3V (A)	0.6	0.6	0.6
	DC 250V (mA)	15	9	7
使 用 電 子 管		12AT7, 12AU7	6AU6×2	6AU6×2
利得および位相調整の有無		無	有	有
寸法 (電子管を含む) (mm)		110×198×140	60×65×120	60×65×120

表に示す。

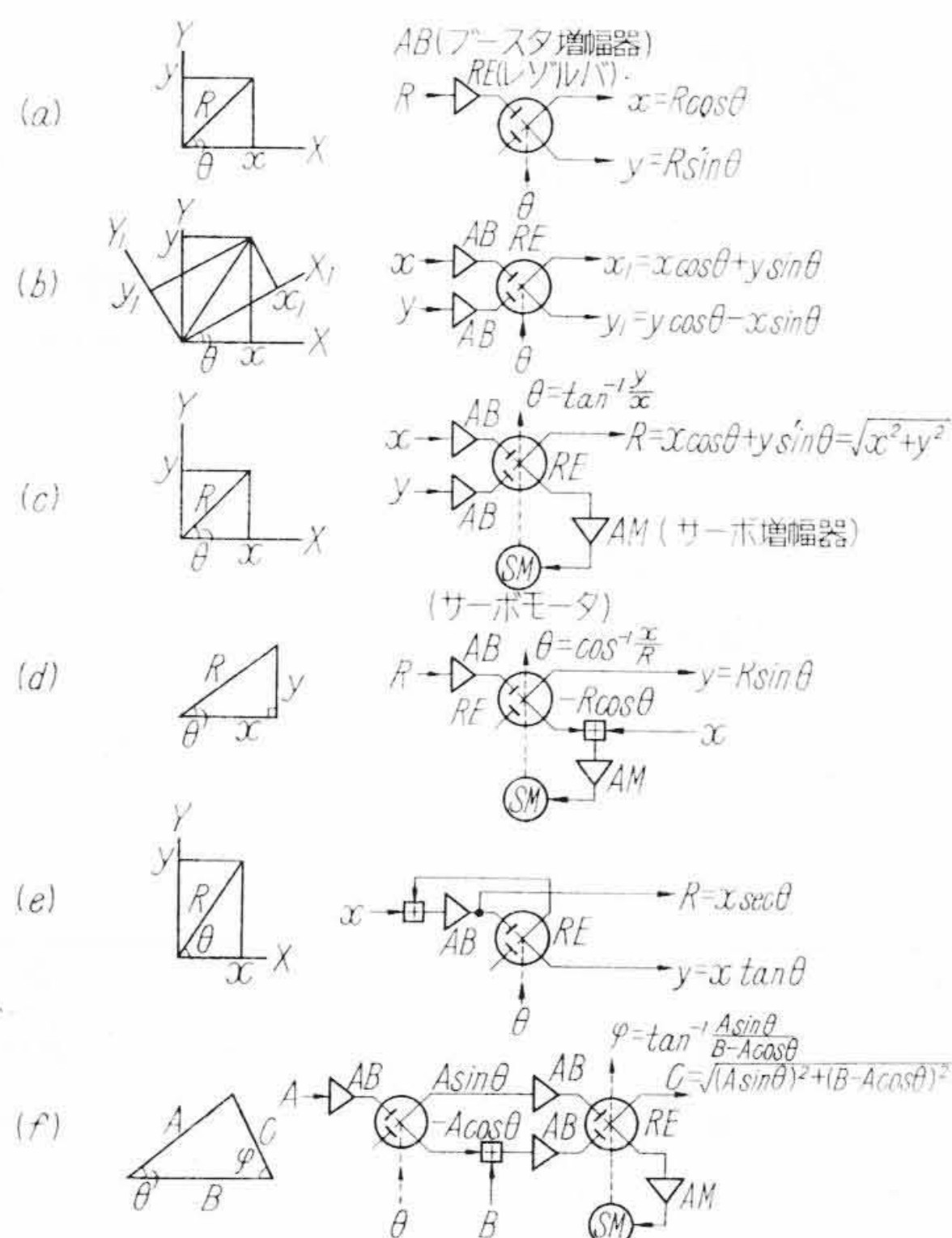
2.3 演 算 回 路

レゾルバを使用した演算回路の中で、実用されている主要なものについて列挙すれば次のとおりである。

(1) 極座標から直角座標への変換 (第1図a)

極座標 R , θ を直角座標 x , y に変換するもので、ベクトルの分解とも称される。 R に対応する電圧をレゾルバ固定子に印加し、レゾルバ回転子を θ だけ回転すれば x , y は2組の回転子からそれぞれ電圧で取出すことができる。

* 日立製作所戸塚工場



第 1 図 レゾルバを使用した演算回路

(2) 直角座標の回転変換 (第 1 図 b)

一般には座標変換とも呼ばれている。X, Y 座標系を X_1, Y_1 座標系に変換する方法で、レゾルバ固定子に x, y を与え、回転子を θ で回転することにより、回転子から x_1, y_1 が得られる。この回転変換は動揺修正の計算に多く使用されている。

(3) 直角座標から極座標への変換 (第 1 図 c)

直角座標 x, y から極座標 R, θ を求める方法で、ベクトルの合成またはタンジェントソルバとも呼称される。

x, y に対応する電圧をレゾルバの両固定子に印加し、回転子電圧をサーボ増幅器で増幅してサーボモータを駆動すれば、 θ はサーボモータの停止した角度で与えられ、ほかの回転子から R に対応した電圧が得られる。

(4) 直角三角形の斜辺と 1 辺から、その夾角とほかの 1 辺を求める回路 (第 1 図 d)

斜辺 R に対応する電圧をレゾルバ固定子に加え、回転子電圧に x を加算して、サーボ増幅器で増幅し、サーボモータを駆動すれば、サーボモータの停止した位置で夾角 θ が得られ、ほかの回転子から y に対応した電圧が得られる。

(5) 正切および正割を求める回路 (第 1 図 e)

ブースタ増幅器に電圧 x を印加し、レゾルバ回転子に角度 θ を与え、回転子電圧をブースタ増幅器に帰還すれば、ほかの回転子から $x \tan \theta$ が得られ、ブースタ増幅器の出力側から $x \sec \theta$ が求められる。この場合ブースタ増幅器に補償巻線からの帰還は行わず、その利得 μ は $\mu \gg 1$ とする。

(6) 3 角形の 2 辺と夾角から他の 1 辺と角度を求める回路 (第 1 図 f)

図に示すように、2 個のレゾルバとサーボ機構によって、 φ および C を求めることができる。

3. ポテンシオメータとその演算回路

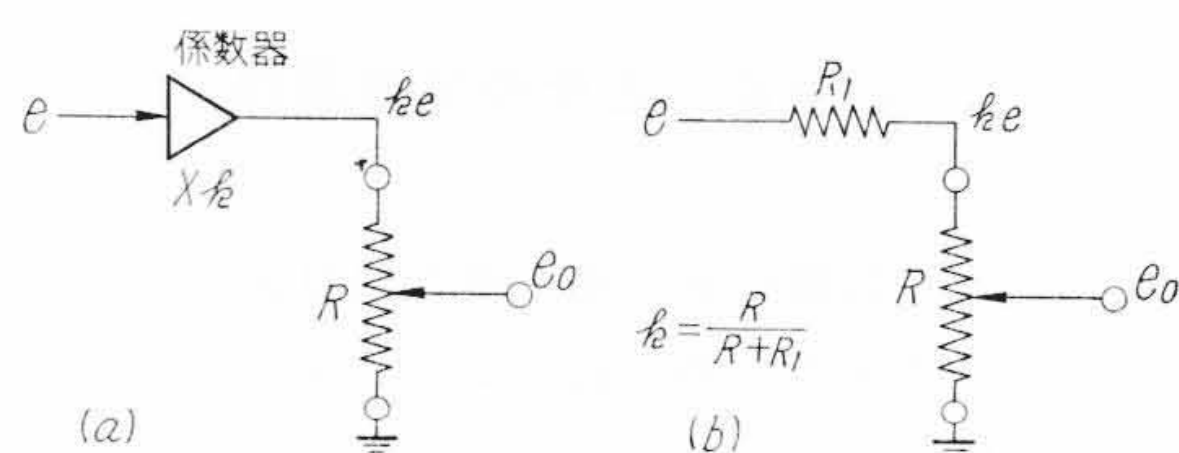
3.1 ポテンシオメータ

レゾルバと並んでサーボ計算機における主要な演算素子であって乗除算を行う場合不可欠のものである。一般のアナログ計算機には多回転 (マルチターン) 形を使用することが多いが、サーボ計算機では多連のものをを使う場合が多く、また回転トルクを極力減少させ

第 3 表 CP6S 形ポテンシオメータ仕様概要

公称抵抗値系列	20, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.25 kΩ
全抵抗値偏差	0.1% 以下
電気角	355 度
直線性 (分圧比)	$\frac{\theta}{355} \pm 0.001^{(1)}$
有効回転角	1~353 度以上
タップ位置の偏差 (分圧比)	0.001 以下
各素子間平衡度	0.3 度
抵抗温度特性	$\pm 5 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 以下
定格電力	周囲温度 60°C まで 1.5W 周囲温度 70°C 0.5W
回転トルク	1 連 50 gcm 以下 2 連 80 gcm 以下 3 連 100 gcm 以下
絶縁抵抗	500V メガー 100MΩ 以上
絶縁耐力	50~60 c/s 1,000V
高温負荷寿命	45°C 90~95% 定格電力で 1.5 時間通電 0.5 時間切断を 500 時間行った後 全抵抗値変化 0.1% 以下 直線性 0.2% 以下
回転寿命	左右方向各 50,000 回転後 全抵抗値変化 0.1% 以下 直線性 0.2% 以下
温度上昇	15°C 以下
温度サイクル	60°C 30分, 常温 10~15分, -10°C 30分, 常温 10~15分のサイクルを 5 サイクル行った後 全抵抗値変化 0.05% 以下
振動試験	10~55 cps 1 サイクル 1 分 5 時間後 全抵抗値変化 0.05% 以下 直線性 0.15% 以下
耐腐食性	塩水噴霧試験 50 時間
軸端振れ	0.01mm 以下

(1) θ : 分圧比が $\frac{1}{71}$ の位置を 5 度としたときの軸の回転角度

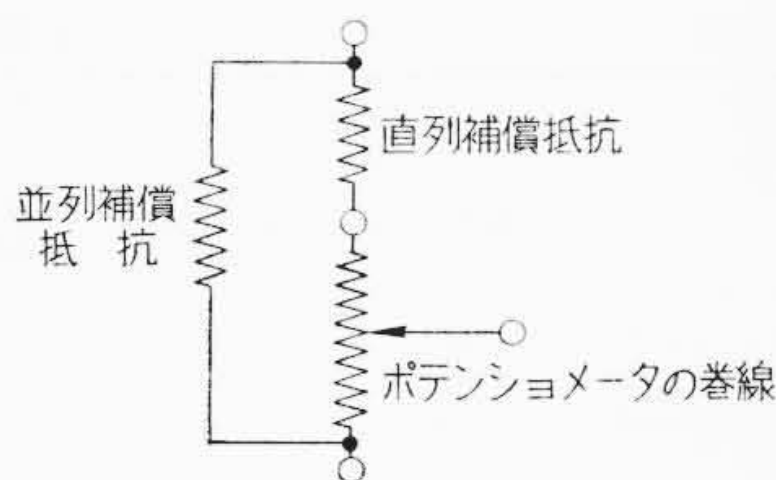


第 2 図 ポテンシオメータに電圧を印加する方法

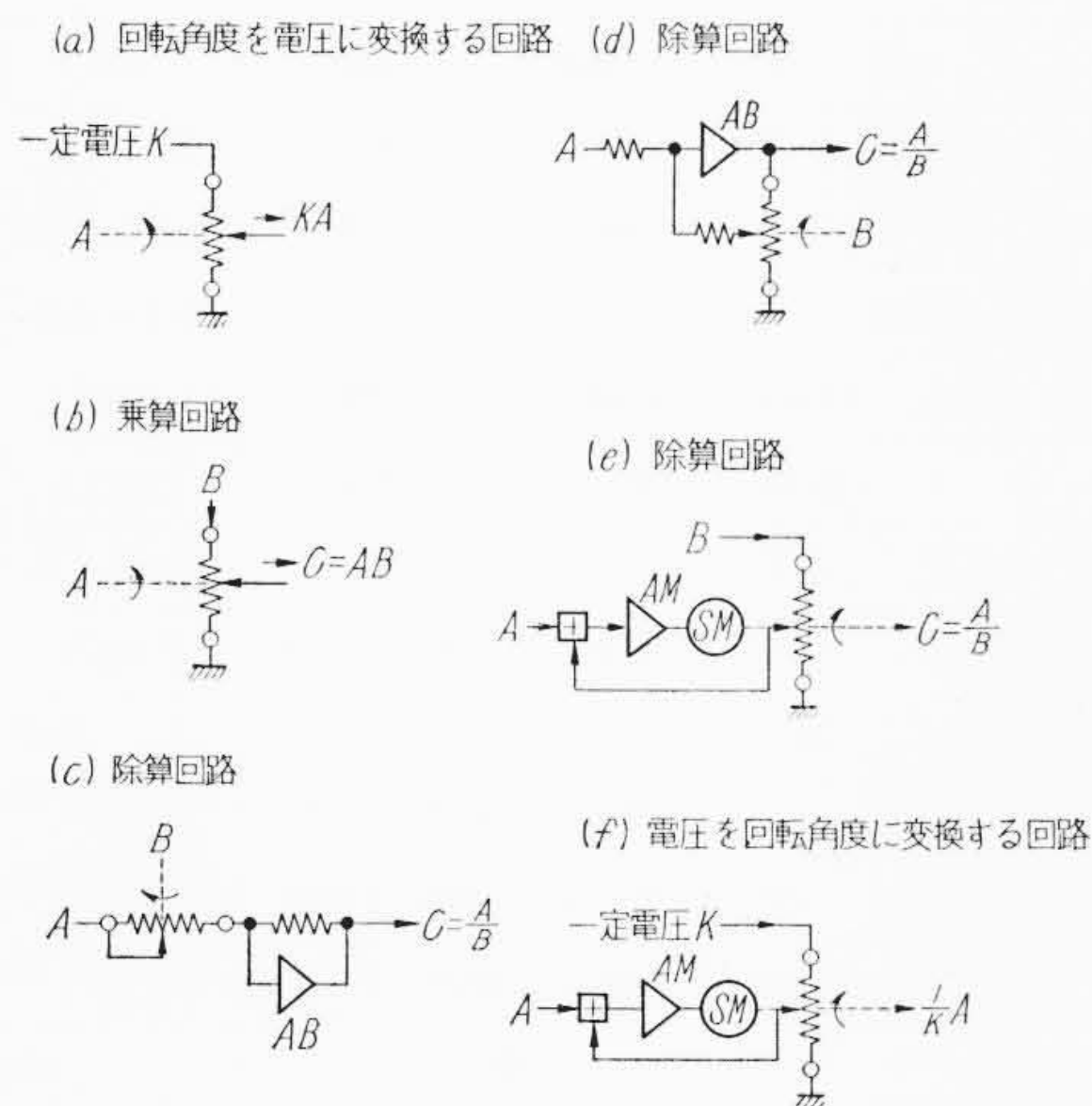
る必要上エンドレス 1 回転形を採用している。1 回転形は直線性の点で不利であるにもかかわらず、サーボ計算機に適合するように特に開発した CP6S 形ポテンシオメータは絶対直線性 0.1%, 全抵抗値偏差 0.1% の性能を有し、その仕様の概要については第 3 表を参照されたい。

サーボ計算機は単能のものが多く、したがって回転角度はすべてある数値に対応させてある。そのためポテンシオメータに印加する電圧は係数変換によりある電圧に係数を掛けた値となる。第 2 図 (a) のように増幅度 k の係数器を使用する場合は、ポテンシオメータの全抵抗値 R の値は出力電圧 e_0 に影響を与えないが、固定抵抗で分圧する (b) の回路では R の値により係数 k が変化し、誤差の原因となる。サーボ計算機では、係数器を省略した後者を採用しているので、全抵抗値 R の値を正確に規定する必要がある。

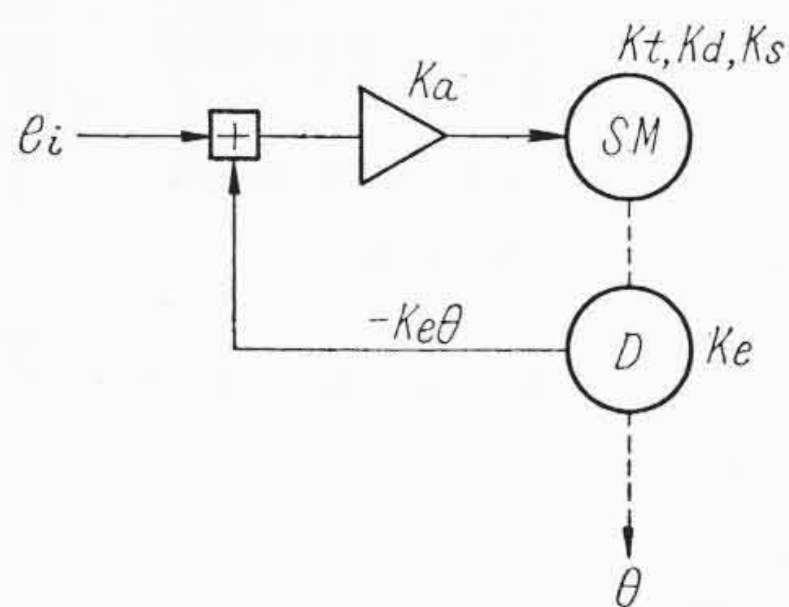
一般にポテンシオメータの巻線自体の抵抗値は 1~2% の偏差を有し、これ以上の精度を望むことは製造技術上困難とされているので、この偏差を計算機の機能上要求される 0.1% 以下におさえるために、並列に補償抵抗をそう入している。



第3図 CP6S形ポテンシオメータの内部回路構成



第4図 ポテンシオメータを使用した演算回路



第5図 サーボの系統図

またこの種の計算機に使用するポテンシオメータは分圧比が回転角度に単に比例するだけでなく、比例定数の精度が問題となる。この比例定数を規定した直線性を絶対直線性と呼んでいるが、1回転形では巻線のみで精度を出すことは困難であって、巻線に直列に抵抗をそう入して分圧比の補償を行っている。

これら直列および並列補償抵抗はポテンシオメータに内蔵され、内部の回路構成は第3図に示すとおりとなっている。

3.2 演算回路

ポテンシオメータを使用した演算回路の中で数多く使用されている回路を第4図に列挙する。これ以外にも特殊な使用法、たとえば固定抵抗器と組合わせて特殊な関数を発生したり、また多タップ形のポテンシオメータを使用した折線近似なども実用しているがここでは割愛する。

4. サーボの特性

4.1 静止誤差および追従誤差

第5図の系統図から

$$\left. \begin{aligned} Js^2N\theta + K_d s\theta &= (e_i - K_e\theta) K_a K_t \\ K_d &= \frac{K_t}{K_s} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (1)$$

ここに e_i : 入力電圧

K_a : 増幅器利得

K_t : サーボモータのトルク定数 (停動トルク/電圧)

K_d : サーボモータの制動定数 (制動トルク/回転速度)

K_s : サーボモータの回転速度定数

(無負荷回転速度/電圧)

J : サーボモータ軸における慣性能率

N : 歯車比

K_e : 誤差検出器の電圧感度 (電圧/回転角度)

θ : 出力回転角度

ループ利得 K および時定数 T_m を

$$\left. \begin{aligned} K &= \frac{K_a K_s K_e}{N} \\ T_m &= \frac{J}{K_d} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

とおけば

$$\theta = \frac{1}{\frac{T_m}{K}s^2 + \frac{1}{K}s + 1} \cdot \frac{e_i}{K_e} = \frac{1}{T^2s^2 + 2\zeta Ts + 1} \cdot \frac{e_i}{K_e} \dots\dots\dots (3)$$

ここに

$$\left. \begin{aligned} T &= \sqrt{\frac{T_m}{K}} \\ \zeta &= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{T_m K}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

T は系の固有周期、 ζ は系の減衰率でこれにより過渡応答が決定される。

次に追従誤差 θ_e について解析すれば、 $\theta_i = e_i / K_e$ とおき

$$\theta_e = \theta_i - \theta = s \frac{T_m s + 1}{T_m s^2 + s + K} \theta_i \dots\dots\dots (5)$$

一定速度入力

$$\theta_i = \frac{1}{s} \theta_i$$

に対する定常追従誤差は

$$\theta_e (s \rightarrow 0) = \frac{1}{K} \theta_i \dots\dots\dots (6)$$

また単弦運動入力に対しては $s = j\omega$ とおき、 $T_m \omega \ll 1$, $\omega \ll K$ の周波数範囲では

$$\theta_e = \frac{1}{K} j\omega \theta_i = \frac{1}{K} \dot{\theta}_i \dots\dots\dots (7)$$

さらに静止誤差については、その最大値 ε_s はサーボモータ軸における摩擦トルク F が、このときのサーボモータの停動トルクに等しいとおいて

$$\varepsilon_s = \frac{1}{K} \cdot \frac{F}{N K_d} \dots\dots\dots (8)$$

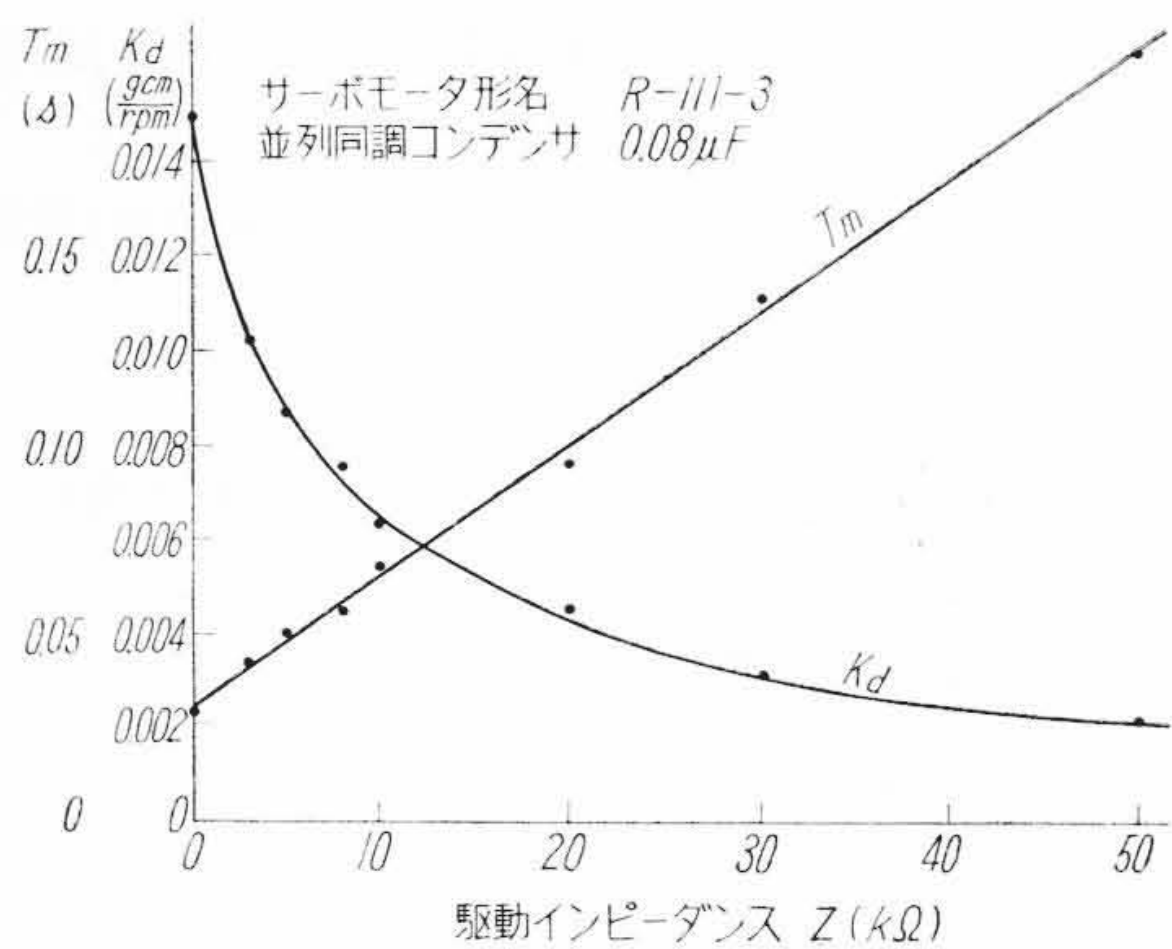
となり追従誤差と同様に K に逆比例する。

追従、静止誤差などサーボの性能はいずれもループ利得 K に逆比例するから性能を良くするためには K を大にしなければならないが、(4)式により K は T_m によって決定される。 ζ はサーボの安定、不安定に関係し、使用箇所によってその値の選択が限定されるので、 K を大きくするためには T_m を小にする必要がある。 T_m は機械的負荷の軽い場合にはサーボモータの時定数とほぼ等しく、サーボモータの時定数がサーボの性能を決定するのに重要な役割を演じていることが了解されよう。

4.2 サーボモータ

サーボモータは小形で能率の良い (消費電力小で出力大) ことが要求されるのは当然であるが、このほか前述の時定数がサーボモータの良否を判定する規準となっている。

一般にサーボモータの時定数は制御電圧により変化する。これは



第6図 駆動インピーダンスによるサーボモータ時定数の変化

トルク対回転速度曲線の傾斜（制動定数）が印加電圧により変ることに起因する。

サーボモータのカタログなどに記載されている時定数は、定格電圧における値から算出されたものが多いが、サーボ系の設計上必要な時定数は制御電圧零近傍の値であるから、カタログ値をそのまま採用することは危険である。

トルク対回転速度特性を直線と見なしたときの時定数は(2)式から誘導された次式により算出される。

$$T_m = 1.07 \frac{J_m n_0}{\tau} \times 10^{-4} \dots\dots\dots (9)$$

- ここに T_m : サーボモータの時定数 (s)
 J_m : サーボモータ回転子の慣性能率 (gcm²)
 n_0 : 無負荷回転数 (rpm)
 τ : 停動トルク (gcm)

R 111-3 形サーボモータにつき、上式から算出した値とカタログ値および制動の実測値（制御電圧=0，駆動インピーダンス=0）より算出した値を比較すれば次のとおりである。

カタログ記載値	0.0131 秒
定格入力電圧における計算値	0.013 秒
微小入力電圧における計算値	0.032 秒
制動の実測値より算出した値	0.029 秒

さらに時定数はサーボ増幅器の出力インピーダンス（駆動インピーダンス）により大幅に変化するので、使用する回路における時定数を実験的に求める必要がある。

一例として R111-3 形サーボモータの制動を実測し、これより算出した時定数を第6図に示す。

サーボモータは従来 R111-3 形および R-160-3 形を使用していたが、最近これと同等の性能のものが国産されており、すでに計算機に実用して満足すべき結果が得られている。これらの性能については第4表を参照されたい。

4.3 歯車のバックラッシュによる影響

サーボ機構におけるサーボモータ軸と誤差検出器間のバックラッシュは、それ自体が誤差の原因になるのみでなく、安定度を悪くし、ハンチングの原因になるなど、サーボの特性に悪影響を与えるので、これを極力小さくおさえる必要がある。

第8図はバックラッシュがサーボの特性にどのような影響を与えるかを示すもので、ハンチングを起こすサーボ増幅器の限界利得がバックラッシュの増加により低下しているので、同一利得では不安定領域に近づき、同一安定度で比較するならば、利得の低下により誤差を増し、いずれにしても性能が悪くなることを示している。

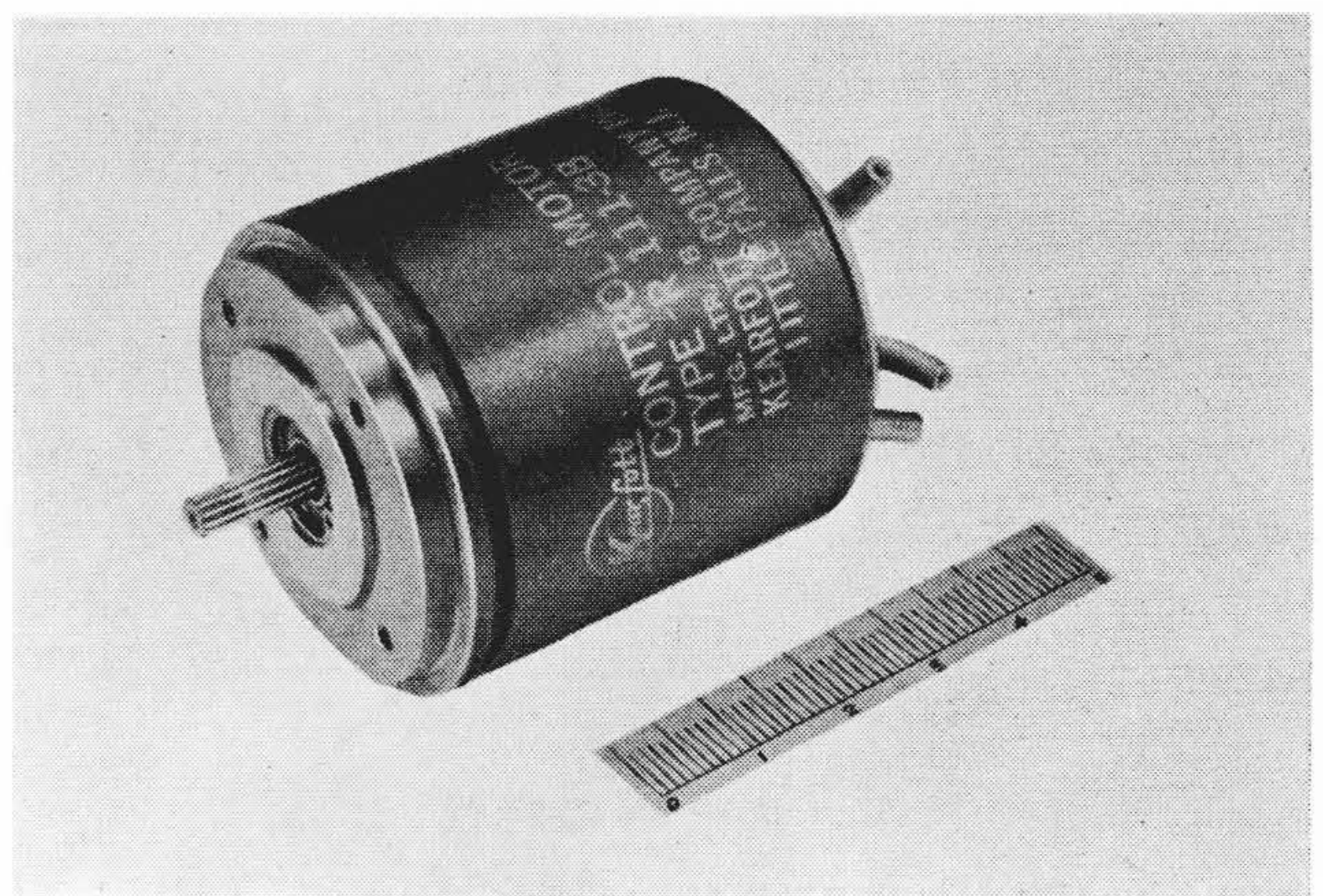
4.4 機械的ダンパによるサーボ特性の改善

サーボの応答は良質のサーボモータを使用することによって満足

第4表 18形サーボモータの仕様概要

製造会社名		Kearfott		桐生英工舎 山	桐生英工舎
形 名		R111-3	R-160-3	4ES-18-W 18SM-4B	ELB-18W
周 波 数 (c/s)		400	60	400	60
ロータ慣性能率 ⁽¹⁾ (gcm ²)		4	4	3.9	3.9
励磁巻線 ⁽²⁾	電 圧 (V)	115	115	115	115
	電 流 (mA)	180 ⁽¹⁾	102 ⁽¹⁾	175±15%	100±15%
	電 力 (W)	9.9 以下	9.9 以下	—	—
制御巻線 ⁽²⁾	電 圧 (V)	300	280	300	280
	電 流 (mA)	67 ⁽¹⁾	42 ⁽¹⁾	62±15%	42±15%
	共振コンデンサ (μF)	0.08 ⁽¹⁾	0.28 ⁽¹⁾	0.075±15%	0.25±15%
	共振時入力電流 (mA)	33 以下 ⁽³⁾	35.4 以下 ⁽³⁾	30.5±15%	30±15%
無 負 荷 回 転 数 (rpm)		5,000 以上	3,000 以上	4,800 以上	3,000 以上
停 動 ト ル ク (gcm)		162 以上	223 以上	170 以上	220 以上
軸 摩 擦 電 圧 (V)		—	—	15/45 以下	15/42 以下
始動電圧 (制御相) (V)		7.9 以下	8.4 以下 ⁽⁴⁾	7.9 以下	6 以下
絶縁抵抗 (500VDC) (MΩ)		100 以上		100 以上	
絶縁耐力	励磁巻線ケース間	60c/s 1,000V 1分間		50または60c/s 1,000V 1分間	
	制御巻線ケース間	60c/s 1,000V 1分間		50または60c/s 1,000V 1分間	
	制 御 巻 線 間	60c/s 500V 1分間		50または60c/s 720V 1分間	
温度上昇 (抵抗法) ⁽²⁾ (°C)		65 以下		65 以下	
低 温 特 性		−54°C	−54°C	−20°C	−20°C
		4,080 rpm 以上	2,100 rpm 以上	4,080 rpm 以上	2,550 rpm 以上
高 温 特 性		125°C において常温と比較し、無負荷回転数変化10%以下		65°C において常温と比較し、無負荷回転数変化4%以下	
振 動 試 験		1.5mm 10~55 c/s 各方向 60 分		1.5mm 10~55 c/s 1 サイクル 1 分 各方向 90 分	
湿 度 試 験		50°C 90~95% 48時間		71°C 95% 1 サイクル 16時間 計 360時間	
軸 方 向 遊 び (mm)		0.025~0.115		0.025~0.09	
半 径 方 向 遊 び (mm)		0.02 以下		0.02 以下	
重 量 (g)		346 ⁽¹⁾		500 以下	

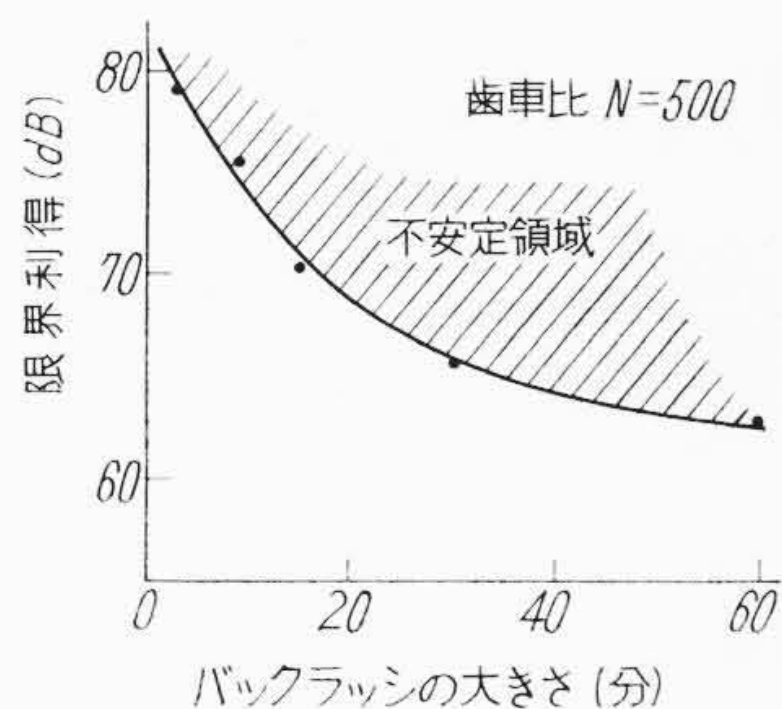
- 注：(1) 設計値あるいは平均特性であって仕様ではない
(2) 停時時の値
(3) 電力 9.9W 以下を換算
(4) 励磁側 3V 以下を換算



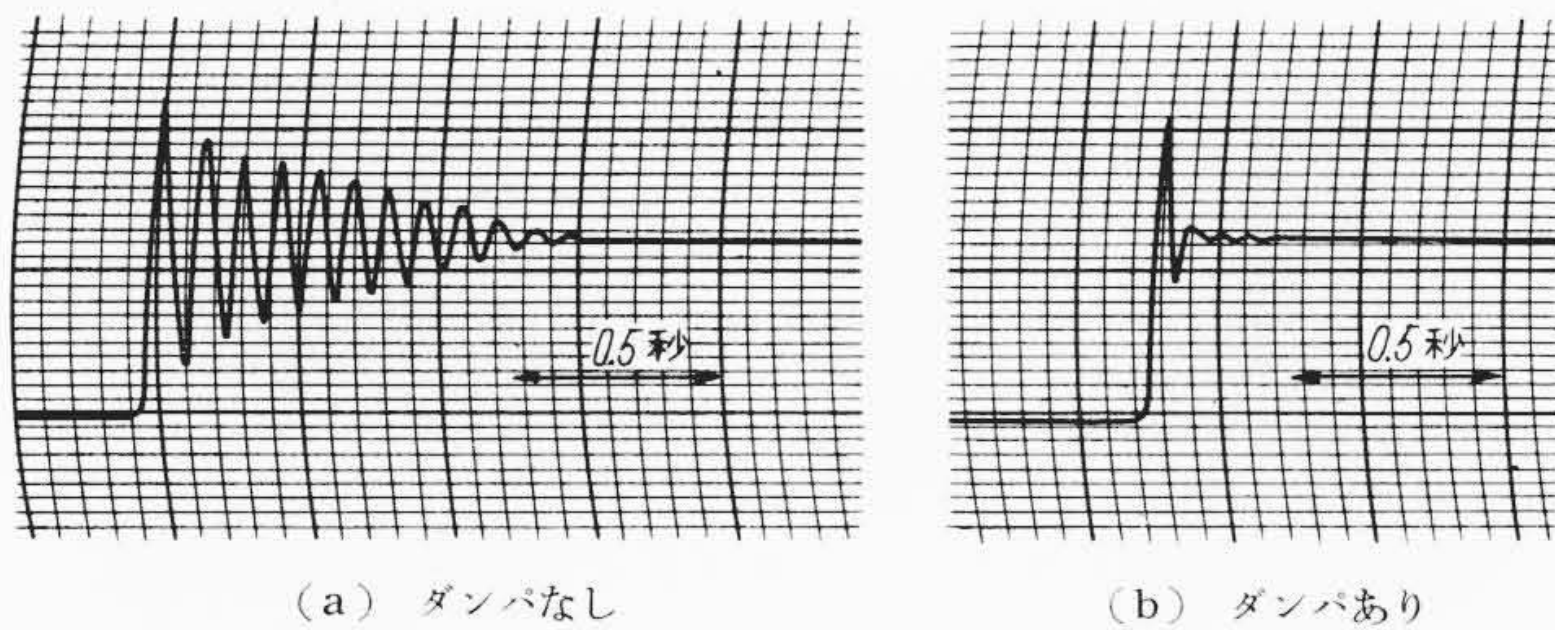
第7図 18形サーボモータ

な結果が与えられるが、さらに早い応答あるいは円滑な作動が要求される場合には、機械的ダンパを使用することが、回路的付加を要しない点で便利な方法である。

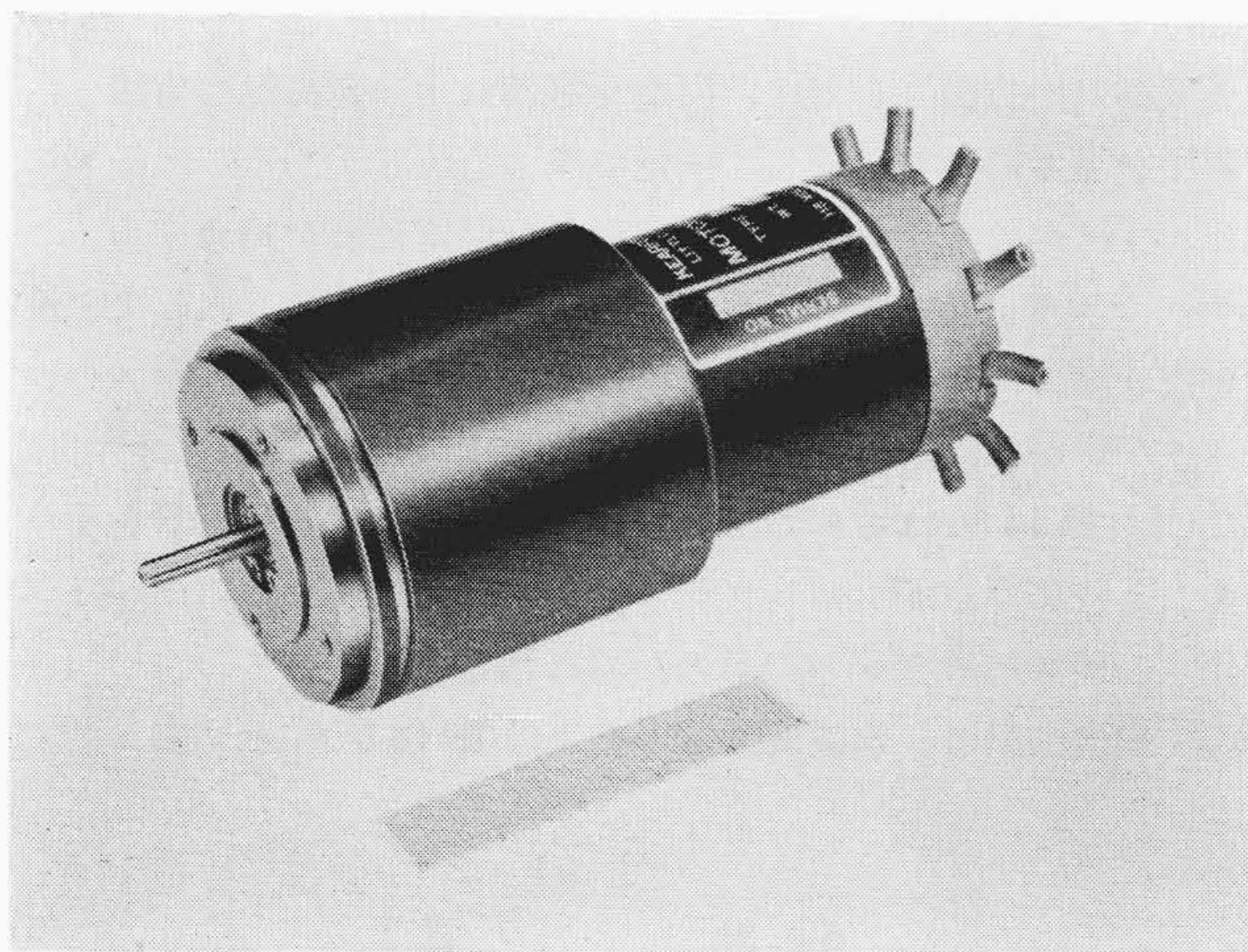
第9図はダンパによるインディシャル応答の改善の程度を示す。



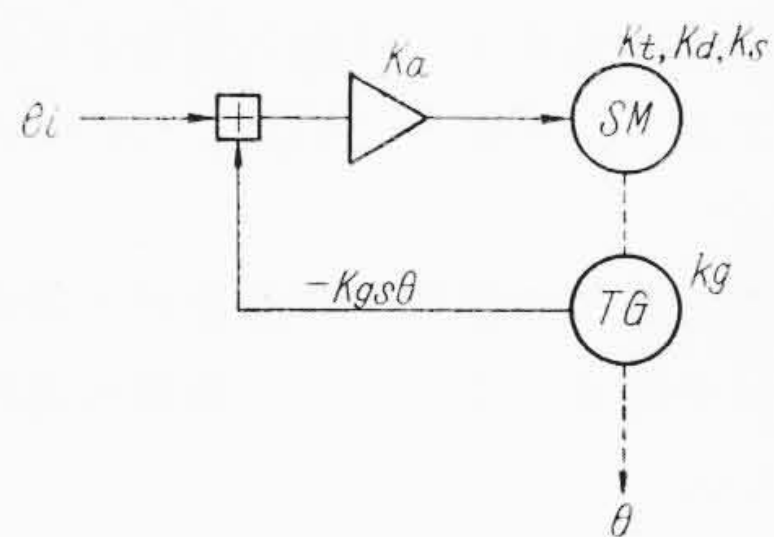
第8図 バックラッシの大きさによるハンチング
限界利得の変化



第9図 機械的ダンパによるインディシャル応答の改善



第10図 R-108 形サーボモータタコジェネレータ



第11図 サーボ積分器系統図

5. サーボ積分器

5.1 サーボ積分器の概要

サーボ計算機に使用する積分器は、入力交流であるのと、角度を取扱う場合には無限に積分可能でなければならないという特殊な要求から、一般のアナログ計算機に使用している直流増幅器と抵抗器、蓄電器を組合わせた積分器は採用できない。前述の機能を満足するものとしてはタコジェネレータを用いたサーボ積分器、または機械的積分器を使用したサーボ積分器などがあり、いずれもサーボ計算機に実用しているが、ここでは前者について述べる。

交流タコジェネレータを用いたサーボ積分器の動作原理は4.1節の解析と同様に第11図の系統図から

$$Js^2\theta + K_d s\theta = (e_i - K_g s\theta) K_a K_t \quad (10)$$

これより θ を求めれば

$$\theta = \frac{1}{s} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{K} + s \frac{T_m}{K}} \cdot \frac{e_i}{K_g} \quad (11)$$

ここに $K = K_a K_s K_g$

K_g : タコジェネレータの電圧感度 (電圧/回転速度)
 $\frac{T_m}{K}$ は積分器の時定数で、これが無視できる周波数範囲では

$$\theta = \frac{1}{K_g} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{K}} \int e_i dt \quad (12)$$

となり、回転角度 θ は入力電圧 e_i の積分値として得られる。

一例として R-801 形サーボモータタコジェネレータの使用例による数値を示せば

$$K_a = 500$$

$$K_s = 4.36 \frac{\text{rad/s}}{\text{V}}$$

$$K_g = 0.0286 \frac{\text{V}}{\text{rad/s}}$$

$$T_m = 0.035 \text{ s}$$

$$K = 62.5$$

これより

$$\theta = \frac{35}{s (1.016 + 0.00056 s)} e_i \text{ rad} \quad (13)$$

5.2 動作範囲

サーボ計算機の機能上サーボ積分器に要求される回転速度の動作範囲は非常に広く、最高速度の $\frac{3}{10,000}$ まで速度と電圧の比例関係の直線性が要求されている。

超低速度では回転軸の摩擦のため回転速度が低下して動作範囲がせまくなる。

簡単のため定常状態においてこれを解析すれば第11図の系統図にサーボモータ軸に換算した摩擦 F を考慮して次式が得られる。

$$K_a \dot{\theta} + F = (e_i - K_g \dot{\theta}) K_a K_t$$

これより $\dot{\theta}$ に対する F の符号を考慮し、 $K \ll 1$ とすれば

$$\left. \begin{aligned} F < K_a K_t e_i \text{ の範囲では } \dot{\theta} &= \frac{1}{K_g} \left(1 - \frac{F}{K_a K_t e_i} \right) \\ F > K_a K_t e_i \text{ の範囲では } \dot{\theta} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

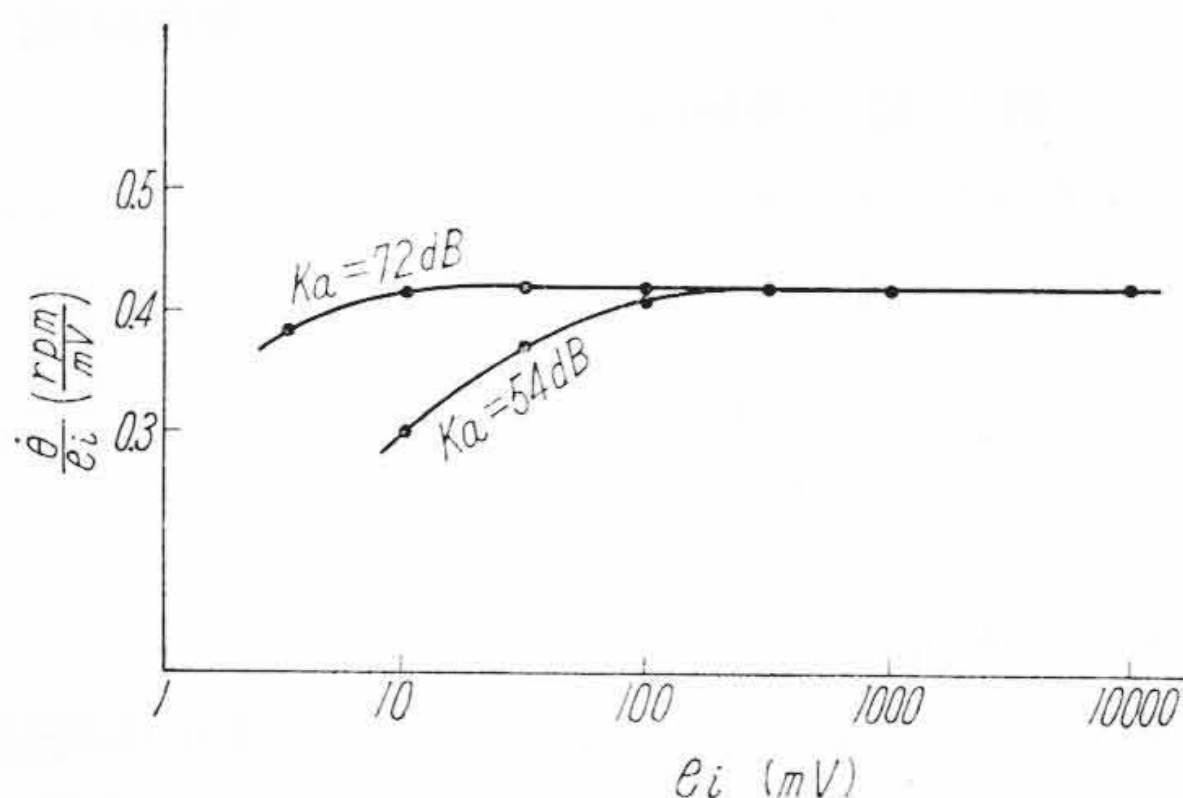
低速度における摩擦による誤差を小さくするためには、摩擦を極力減小させることは当然であるが、(14)式からサーボ増幅器の利得 K_a を大きくしなければならない。

K_a を増加すれば、不規則な振動を発生して作動が不安定になる。この振動を防止するためにサーボモータ軸にフライホイールを取付け振動を制動することは有効な方法である。ただし過渡特性が悪くなるから、その慣性能率は、過渡特性が許容できる程度のものに制限される。

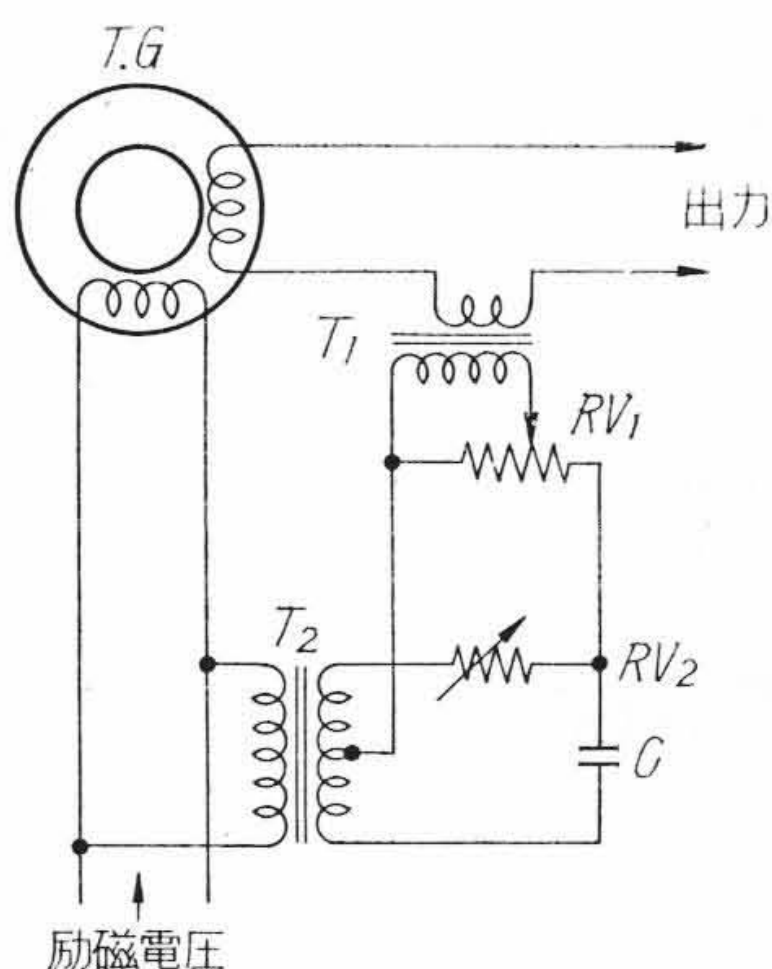
第12図は従来のもの ($K_a = 54 \text{ dB}$) とフライホイールを取付けサーボ増幅器の利得を増加したもの ($K_a = 72 \text{ dB}$) の比較を示しており、これにより動作範囲が約10倍拡大されている。

5.3 残留電圧の補償

サーボ積分器の動作範囲が拡大されるにつれて、タコジェネレータの残留電圧による障害が、たとえそれが数 mV 程度であっても無視できなくなる。残留電圧は基本波成分および高調波成分をともに含んでいるが、積分器用タコジェネレータにおいては、基本波成分



第 12 図 サーボ積分器の動作範囲



第 13 図 タコジェネレータの残留電圧補償回路

のほうが、はるかに大である。基本波成分はさらに同相成分と 90 度位相差成分より成り、前者は入力電圧零において回転したり、あるいは回転速度が正負非対称になるなど、入力の小さい範囲で誤差を生ずる。また後者は高利得のサーボ増幅器を飽和させるので、残留電圧を除去する必要がある。

一般に残留電圧はタコジェネレータの軸の停止位置によってその大ききならびに位相が異なり完全な除去は不可能であるが、その平均値を補償回路により補償することはかなり有効な手段で、前述のフライホイールとともにサーボ計算機の積分機構に実用している。

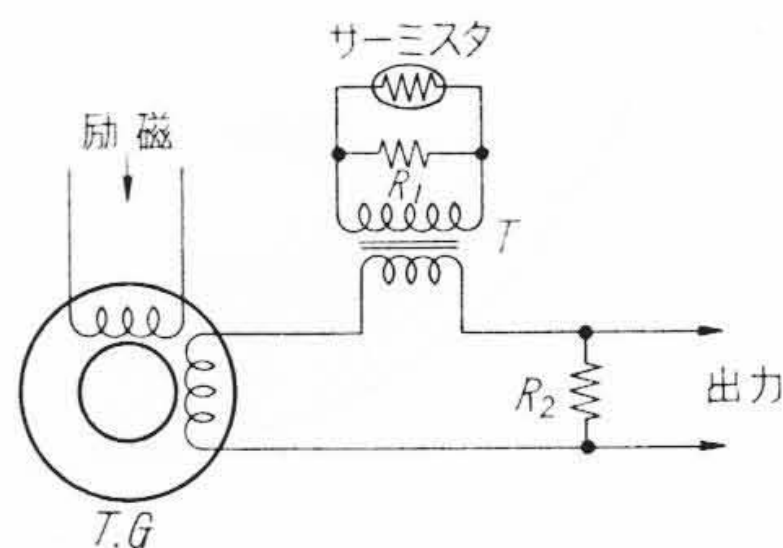
第 13 図は残留電圧の補償回路を示し、 RV_1 は振幅、 RV_2 は位相調整用でタコジェネレータ停止時の残留電圧が最小になるように両者を調整する。

5.4 温度補償

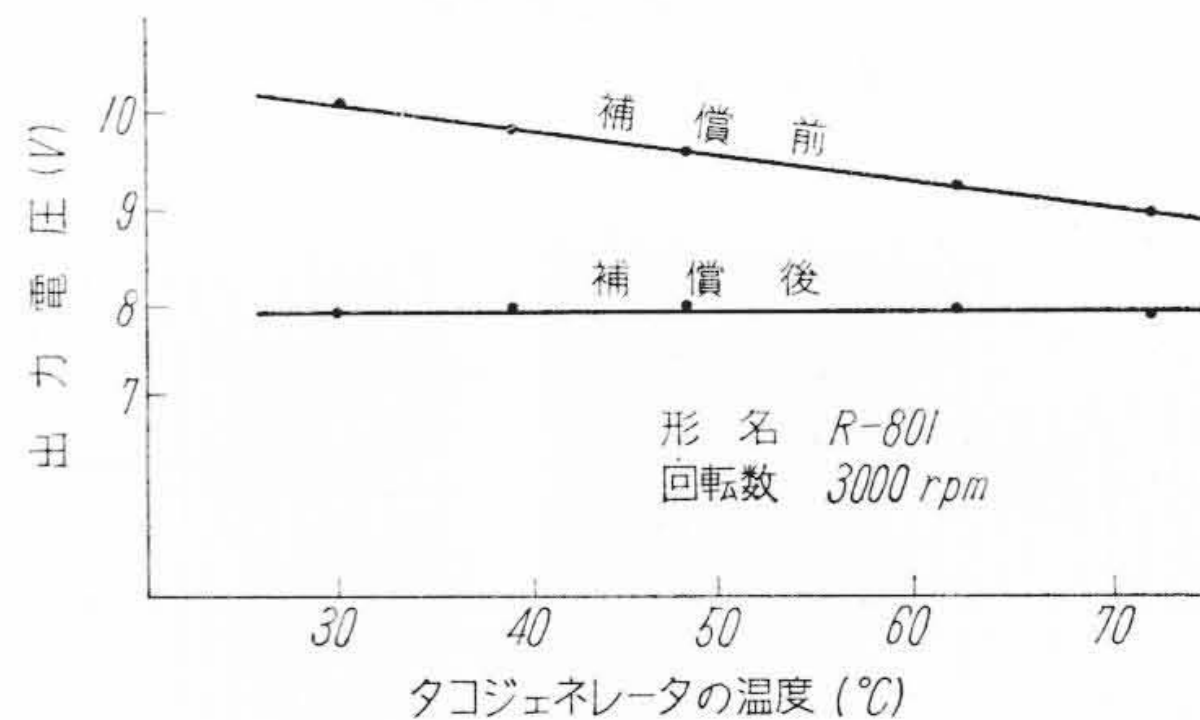
(12) 式から明らかとなおり、サーボ積分器の精度はタコジェネレータの出力電圧の回転速度に対する比例定数 K_g に依存している。

K_g は励磁電圧、周波数および温度などにより影響を受けるが、入力電圧は励磁電圧に対する比例関係で与えられるから、励磁電圧による誤差は無視できる。また周波数による影響は、使用周波数近辺では比較的小さく、周波数自体の安定化は容易であるから問題にならず、結局温度による影響のみが問題となる。

K_g の温度特性は K-108 形タコジェネレータを例に取れば第 15 図



第 14 図 サーミスタによるタコジェネレータの温度補償



第 15 図 サーミスタによるタコジェネレータの温度補償

に示すように良好とはいいいにくく、このままでは精度の高い積分器は期待できない。

温度補償の方法としては、温度を制御して一定に保つ方法と、出力電圧を温度により制御して一定に保つ方法とがあるが、後者の一例としてサーミスタを出力側に使用した温度補償を紹介する。

サーミスタをタコジェネレータの出力側に直接そう入して温度補償を行う場合、タコジェネレータに適合したインピーダンスのサーミスタが得がたく、場合によっては数十個直列に接続しなければならない。第 14 図はこの難点を解決する方法を示し変成器をそう入することにより、インピーダンス変換が可能で、1 個のサーミスタで任意のインピーダンスのものが得られる。

この補償回路による温度補償の効果は第 15 図に示すとおりである。

6. 結 言

以上主としてサーボ計算機の回路における最近の動向と問題点について記述したが、演算要素の国産化、計算機の小型軽量化、計算精度の向上、動作の安定性あるいは耐久性などに関連して、なお多くの問題が残されており、引続きこの点についての研究を進めている。

また最近この種の計算機の技術が計算を伴う計測、あるいは制御などに逐次使用される傾向にあり、この技術の応用面の開発について期待がもたれている。

参 考 文 献

- (1) 小倉：日立評論 別冊 No. 27 63 (昭 33-11)
- (2) 小倉：電子通信工学講座 F-4 23, 35 (昭 34-6 共立出版)