

# 微分解析機用自動曲線追従装置

渡 辺 勝・三井田純一・渡部弘之

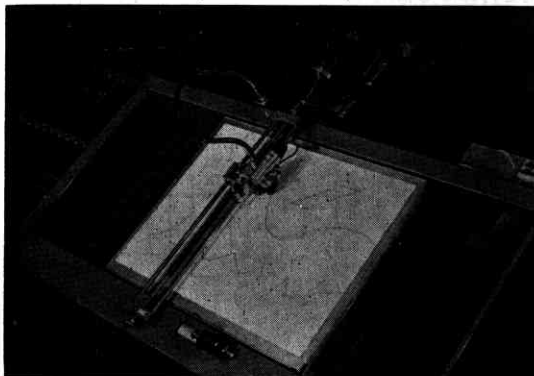
生研の機械式微分解析機<sup>(1)</sup>の入力卓の操作を自動化するために試作された曲線追従装置について、その構成、性能、サーボ機構としての解析などをのべる。

本装置の試作の目的は、微分解析機の操作に必要な人手を省くということであったが、試作された装置によると、曲線追従の精度についても、その速度についても、人手による場合にくらべ数倍高い性能が得られ、解析機全体の性能が大いに向上した。さらに本装置は、実用にあたって使いやすいような考慮もなされており、すでに多数の問題に使用され、満足すべき結果を得ている。

追従装置の構成にあたって問題になる点は、検出方法をどうするかということと、サーボ系の方式とである。

曲線の検出には、光学的、機械的または電気的方法が考えられるが、曲線の準備が簡単で、精度も高い点を考えて、光学的方法を採用した。この方法にも曲線そのものを追従する方式<sup>(2)(3)</sup>と、曲線の境界を利用する方式<sup>(4)(5)(6)</sup>とがあるが、前者は装置が複雑になることをまぬがれない。光学的に検出した信号を電気量に変える変換器 (transducer) には、光電管、光電子増倍管、フォトトランジスタなどがあるが、感度が高くてあとの増幅器が楽になる点を考え、光電子増倍管を使用した。

つぎにサーボ方式には、よく知られている通り直流方式と交流方式があり、その得失については曲線追従装置に限らず、ひろくサーボ機構について行われている議論がそのままあてはまる。どちらがすぐれていると決めることは難しかろうが、われわれの場合はサーボ系の安定化が容易なことと、小型で出力の大きい直流モータが使えることなどの理由で直流方式を採用した。



第 1 図 自動曲線追従装置全景

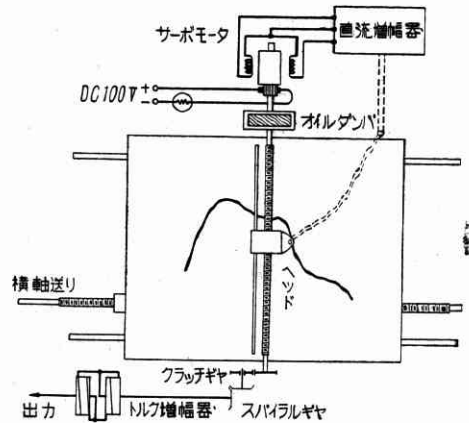
## 1. 構成と性能

写真 (第 1 図) は曲線追従装置の全景を示す。追従すべき曲線は 500mm×600mm の方眼紙または製図用紙に墨書し、入力卓の移動テーブルに貼り付ける。テーブルが横方向に送られるにつれ、ヘッドが曲線の上縁を追従してゆく。

本装置による追従性能は第 1 表の通りである。

第 1 表 自動追従装置の性能

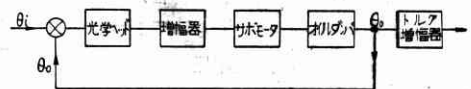
	自動追従	人 手
最大追従速度	15mm/sec	4mm/sec
定常的追従誤差	0.03mm	0.2mm
最高勾配	80° (精度をおとせば 85°まで)	



第 2 図 自動曲線追従装置構成図

本装置の構成は第 2 図のようになっている。すなわち曲線を追従する光学ヘッドにより、曲線の位置が光学的に検出され、光電子増倍管によって電気的の誤差信号に変換され、増幅器によって拡大されモータに伝えられる。

サーボ系としてみれば第 3 図のようなブロック線図で



第 3 図 自動曲線追従装置ブロック線図

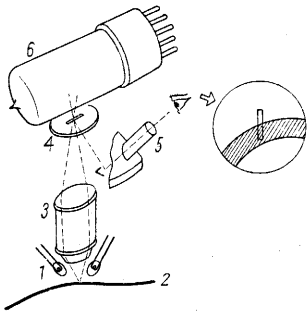
あらわすことができる。サーボ系を安定させてハンティングを防ぐため、増幅器に組み込んだ微分補償回路と、モータ軸に取り付けたオイルダンパを併用している。

微分解析機の他の計算ユニットに連結するためにトルク増幅機を用いた。初期条件をセットする際に、送りねじとトルク増幅機の連結はクラッチギヤにより切離せるようにしてある。

以下には各構成単位ごとに詳細な説明を行う。

2. 光学ヘッド

ヘッドの構造は第4図に示される。曲線2の追跡部分を照明する光源ランプ1は玩具用豆ランプ(6~12V)を6ヶ追跡点の周囲に環状に配置され、電池(アルカリ電池 1.2V×7)により点火される。顕微鏡用対物レンズ3(単独倍数10, 焦点距離

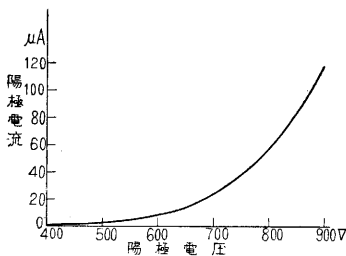


第4図 光学ヘッド原理図

15.8ミリ)を用いて曲線の像を約2.5倍に拡大し、スリット面4に結像する。この様子は側面に設けた視孔5を通して直視できる。この孔は最初の調整や、追跡中の状況を見るのに便利に利用される。スリットを通過した光束は光電子増倍管6(RCA 931A使用)に入り、スリットと曲線とのズレが、スリットを通る光量、したがって光電流の増減となって検出される。曲線位置  $\theta_i$ 、ヘッドの位置  $\theta_0$  とし、光電子増倍管の陽極につながれた負荷抵抗にあらわれる電圧(信号的に変化する分だけ)を  $e$  とすると、

$$e = k_1 (\theta_i - \theta_0) \quad (1)$$

われわれの用いた光電子増倍管の特性は第5図に示される。通常 1,000V 近くで使用するが、われわれは後述する理由で 500V 付近、陽極電流にして 3 $\mu$ A の辺



第5図 光電子増倍管電圧—電流特性 使っている。この付近で(1)式の比例常数  $k_1$  を実験的に決めた。 $k_1$  は光電管の特性、陽極電圧、光源の明るさなどで変る。ランプの明るさを一定に保ち、陽極電圧をパラメタとして測定した結果、第6図を得た。

スリットの形は 5mm×1mm の細長い矩形にした。この形を用いると、感度が曲線の傾斜に関係なく一定になる。(ただし矩形の対角線の傾斜を越えない限り、5:1

であるから約 80 度) 比較的平滑な曲線の場合は丸い孔の方が感度が幾分よくなるが、これだと感度が曲線の傾斜の  $\cos$  に比例して落ちる。したがって傾きの変化の激しい曲線には適しない。

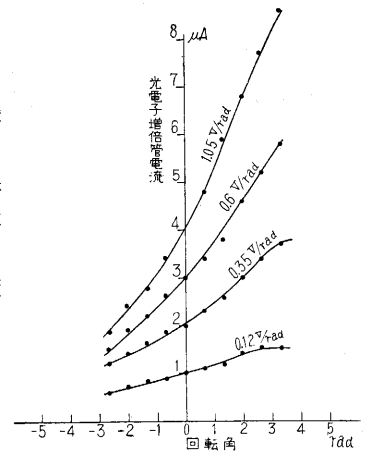
3. 電子管増幅器

光電子増倍管に生ずる信号電流を増幅し、モータに供給するには、差動型の直流増幅器を使用した。差動型にすれば直流増幅器の難点である零点のドリフト(エミッションの変化、電源電圧の変動などによる)の影響を軽減する効果がある。

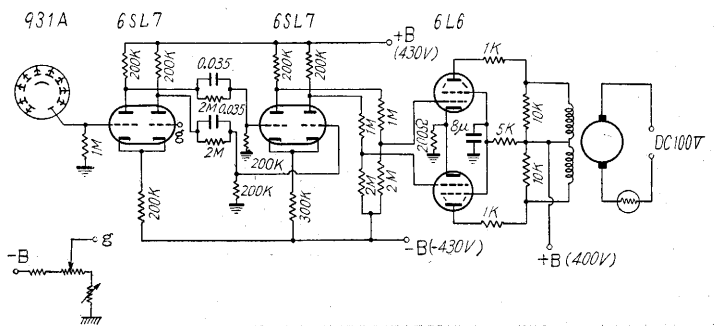
光電管電流を高抵抗(1M $\Omega$ )に通じて、これを一方の入力とし、他方の入力には高圧電源から分圧した平衡用の電圧を加え、光電管の平均電流による入力とバランスさせる。電圧増幅部は 6SL7 を二段、電力増幅部は 6L6×2 本を使用している。電源としては、電圧増幅部に +430, -430V の正負の電源を、電流増幅用に +400V の電源を備えている。光電子増倍管用高圧電源と電圧増幅用電源は、電圧変動の影響が大きいから、鉄共振型定電圧装置を通して安定化した電源を用いている。

入力端子に入るリード線や光電管の高圧用配線はシールド線を用いて誘導をさけるようにし、ハムを防止するためヒータ配線をよじり、中点接地するなどの点は、増幅器の一般的注意事項に従った<sup>(7)</sup>。また出力管の陽極側には界磁コイルの誘導作用により高圧を発生する危険があるので、並列に保護抵抗が入れている。

微分回路 周知の通り、サーボ系安定のための進相作用を行わせる目的で、第一段と第二段の中間に挿入した。



第6図 光学ヘッドの感度測定



第7図 増幅器配線図

つぎに増幅器の利得および伝達関係を求めよう。

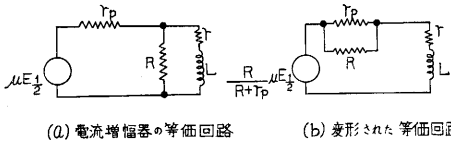
差動型増幅器の増幅度は  $\mu \frac{R}{R+r_p}$  で与えられる。こ

こに  $\mu$ ,  $r_p$  は電子管の増幅率, プレート抵抗で,  $R$  は陽極外部抵抗をあらわす (カソード側の抵抗は関係しない)。これに次段が抵抗結合されているため, 分圧された分だけ次段への入力は減少する。第一段について実際の数値を入れると  $70 \times \frac{200}{240} \times \frac{200}{2200} = 5.3$ , 第二段について同様に計算すると 39 となり, 全体の利得  $k_2 \approx 200$  となる。

微分回路の時定数は  $C = 0.035 \mu$ ,  $R = 2 M$  より,  $T = 0.07$  秒となる。  $\alpha = 200/2200 = 1/11$  として, 全体の伝達関数は

$$E = k_2 \frac{1 + Tp}{1 + \alpha Tp} e \quad (2)$$

電流増幅器は片側だけについて考えればよい。入力  $E_{1/2} (= \frac{1}{2} E)$  とすれば等価回路は第 8 図 (a) に示され, これを同図 (b) のように変形すれば, 界磁電流は次式で示される。



(a) 電流増幅器の等価回路 (b) 変形した等価回路  
第 8 図 電流増幅器の等価回路

$$i = k_3 \frac{1}{1 + T_f p} E_{1/2} \quad (3)$$

ここに  $k_3 = g_m \frac{R}{R+r_p} / \frac{r}{r_p} + \frac{R}{R+r_p}$

$$T_f = L/r + \frac{Rr_p}{R+r_p}$$

$g_m$ ,  $r_p$  は 6 L 6 の定数で,  $L$ ,  $r$  は界磁コイルの誘導と抵抗を示す。  $R$  は前記の保護抵抗である。測定によれば  $L = 14 H$ ,  $r = 800 \Omega$ , したがって  $r \ll r_p$  であるから  $k_3 \approx g_m = 6 m\mu$ , またモータの界磁の時定数  $T_f$  は,  $R = 10 k \Omega$ ,  $r_p = 30 k \Omega$  より  $T_f = 0.002$  秒, 實際上問題にならない位小さい。

以上に計算して得た  $k_2$ ,  $k_3$ ,  $T_f$  などは実際にも測定を行って確めた。

#### 4. サーボモータ

分割界磁制御型の直流モータを使用した。これはあり合わせの操作用モータの界磁コイルを巻き変えたものでサーボ用として十分ではないが一応間に合っている。特性は第 2 表に示す通りである。界磁制御方式では比較的小さいな信号電

流で動作するので, 普通の電子管 6 L 6 などで駆動で

第 2 表 サ ー ボ モ ー タ の 特 性

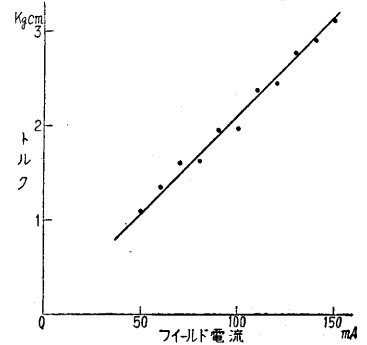
慣性能率	軸受と刷子の摩擦	界 磁		起動トルク (片側 80mA)	最大回転数	ア ー マ チ ャ		安定抵抗
		抵 抗	電 流			抵 抗	電 流	
1.33kgcm <sup>2</sup>	0.2kgcm	800Ω	80mA	1.6kgcm	6000rpm	20Ω	1.2A	65Ω

きる点は便利であるが, アーマチャ電流が逆起電力のため低下するのを防ぐ意味で, 定電流装置を必要とする (9)。これにはアーマチャと直列にバラスト抵抗として, 100W と 40W の電球を並列にして接続し, これに D. C. 100V を加え, 実用上差支えない程度に一定に保たれる。

モータの感度すなわちトルク/信号電流比を求めめるため, 静的な測定を行った。アーマチャの回転を停めた状態で界磁電流 (これは片側だけに電流を流せばよい。前の (3) 式と合わせて考えれば容易に分る) を変えて, 停動トルクを測った結果第 9 図を得た。よって次式が成立つ。

$$T_c = k_4 i \quad (4)$$

トルクにムラがあるのはアーマチャの位置によって変動があるためで, くわしく調べると一回転につき 12 回週期的におこる。これはアーマチャのスロットの数と一致す



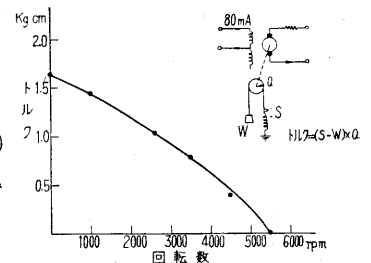
第 9 図 サーボモータの静的感度

るので, 磁気リラクタンスが一樣でないことによるものらしい。この影響は動作中にハンティングを生ずる原因にもなりやすいので, 新たに試作するとき改良する予定である。

つぎに回転中のトルクを測定して, 定電流装置の有効さを確かめてみた。測定にはアーマチャ軸にプーリを取り付け, これに琴糸か紐を巻きつけ, その間の摩擦を利用してトルクを測った (第 10 図)。われわれのサーボ系では, モータが負荷と直結されているので, 比較的低速のところを使っているので, 回転中も (4) 式が成り立つと見てよい。

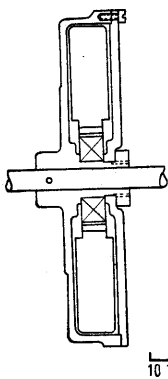
#### 5. オイルダンパ

構造を第 11 図に示す。モータ軸に直結して取り付けられる。ケースは



第 10 図

構造を第 11 図に示す。モータ軸に直結して取り付けられる。ケースは



慣性を小さくするためマグネシウムを、フライホイールは鋳鉄(乾燥型)を用いた。フライホイールはベアリングで支持されて自由に回転でき、ケースとの間の薄い間隙に油を満たし、ダンピング作用を持たせる。油には粘度が高く温度係数の小さいシリコン油(信越KF96 粘度 1,000c. s.)を用いた。ダンパの効果を考えてみよう

第 11 図  $J_d$ ; フライホイールの慣性モーメント

$J$ ; モータ, 負荷およびダンパケースの慣性モーメントの総和, すなわち  $J = J_m + J_s + J_d$

$f$ ; ダンパの粘性摩擦係数; 油の粘度, 間隙の厚み, フライホイールの形状に関係する。

$T_c$ ; モータの出力トルク,  $L$ ; 負荷のクーロン摩擦  
ダンパフライホイールと負荷の運動方程式をたてると

$$J_d \ddot{\theta}_d = f(\dot{\theta}_0 - \dot{\theta}_d)$$

$$J \ddot{\theta}_0 = -f(\dot{\theta}_0 - \dot{\theta}_d) + T_c - L$$

上の式を  $\theta_d$  について解き下の式に入れ  $\theta_0$  を計算すると

$$\theta_0 = \frac{1 + \frac{J_d p}{f}}{1 + \frac{J_d}{J + J_d} \frac{J_d p}{f}} \frac{1}{(J + J_d) p^2} (T_c - L) \quad (5)$$

$J_d/f = T'$ ,  $J/(J + J_d) = \alpha'$  とおけば, 伝達関数ののはじめの部分は  $(1 + T'p)(1 + \alpha'T'p)^{-1}$  となり, ダンパが微分回路と同様な進相的補償作用をもつことが分る。

$f = 280 \text{kg} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{sec}^{-1}$ ,  $J_d = 10 \text{kg} \cdot \text{cm}^2$ ,  $J_m = 1.33 \text{kg} \cdot \text{cm}^2$ ,  $J_s = 2 \text{kg} \cdot \text{cm}^2$ ,  $J \approx 0.6 \text{kg} \cdot \text{cm}^2$  より  $T' = 0.04$  秒,  $\alpha' = 0.28$

### 6. トルク増幅機

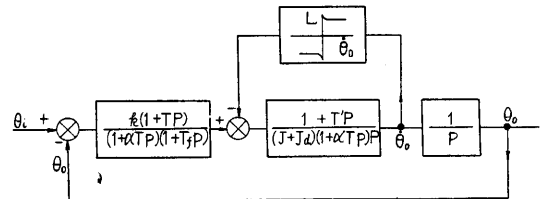
実用的場合の負荷としては, 入力卓の出力によって駆動される各計算ユニット(積分機, 加算機, 他の入力卓など)がふくまれ, これらは負荷としても大きい上に, 問題ごとに違ってくる。このような条件はサーボ系の設計を困難にし, その性能に影響する。そこでサーボ出力とこれらの負荷の間にトルク増幅機を入れ, 負荷はトルク増幅機に持たせた。トルク増幅機の増幅率は約 1,000 倍出るから, 負荷の慣性も, 摩擦トルクもトルク増幅機の入力側すなわちサーボの直接の負荷に換算すれば, 無視できる程度に小さくなる。

### 7. クーロン摩擦

以上のようにサーボ系外の負荷を除いて考えると, 残るものは系内に存在する負荷の影響だけになる。このうちクーロン摩擦の生ずる部分は, サーボモータの刷子や

軸受(第2表参照), 送りねじ, ギヤ, 軸受などである。これらの合計は約 500gr. cm 程度である。

摩擦の影響は第一に追従の誤差を生ずる点でこれについては § 11. に論ずる。つぎにサーボ系への影響としてたとえばMITのデジタル制御のミリングマシンについて報告<sup>(10)</sup> されているような, ゆっくりしたふらつきがおり得る。このような現象の解析は別の機会に譲るとして, その際の出発点となるブロック線図だけをかかげておこう(第12図)。

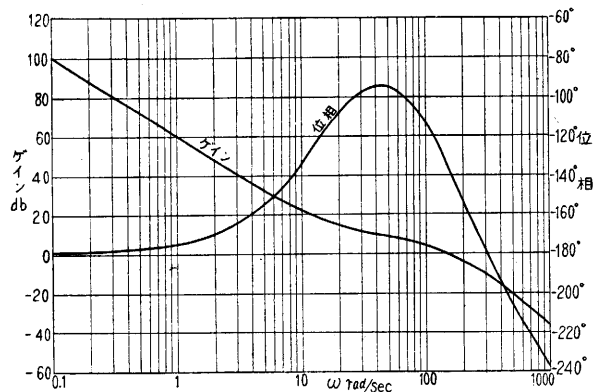


第 12 図 クーロン摩擦を考慮したブロック線図

### 8. 全系の伝達関数と最適調整

クーロン摩擦の項を省略すれば, 線型サーボの一般理論が適用できる。伝達関数は(1), (2), (3), (4), (5)をまとめて  $k = k_1 k_2 k_3 k_4$ ,  $K = k/J + J_d$  とおけば

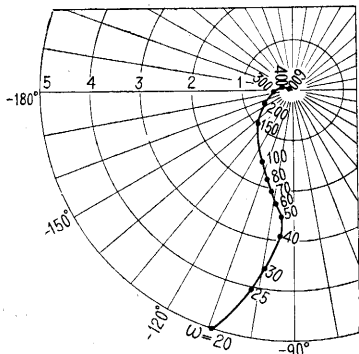
$$\theta_0 = \frac{K(1+Tp)(1+T'p)}{p^2(1+\alpha Tp)(1+\alpha'T'p)(1+Tfp)} (\theta_i - \theta_0) \quad (6)$$



第 13 図 ボード線図

となる。ボード線図を第 13 図に示す。われわれのサーボ系は, 伝達関数の分母に  $P^2$  があって, (いわゆる第二種のサーボ機構) 位相のおくれが大きい。これを取りもどすため二重に進相補償を行っている。その結果位相が著しく改善されたことが分る。念のため次のような試験も行って見た。すなわちオイルダンパを取り去ると高い周波数(8~10 サイクル)の振動を, 微分回路を取り去ると低い周波数(2~3 サイクル)の振動をおこす。これらは計算値とほぼ一致する。

最適ゲインを決めるには, 閉ループの利得の最大値を規定する  $M_p$  基準によった。この方法は Brown-Camp-



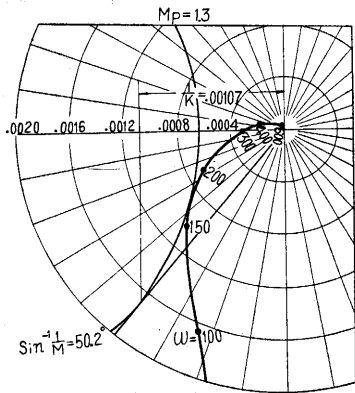
第 14 図 ナイキスト線図

bell の本<sup>(11)</sup>にあるように作図で簡単に行える。  $M_p = 1.3$  にとると、第 15 図から読みとれるように  $K^{-1} = 0.00107$ 、したがって  $K = 935$

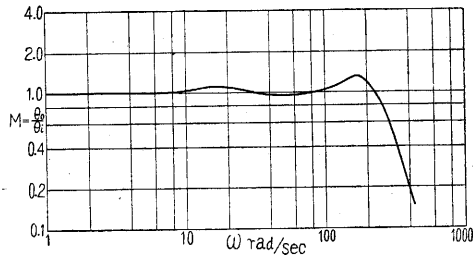
9. 調整の実際

(9.1) ゲイン

の調整 前節の結果を実際の装置で実現するには、光電管の陽極電圧を加減して行く。すなわち  $K = 935$ ,  $k_2 = 200$ ,  $k_3 = 6$  mV,  $k_4 = 0.021$  kgwt.·cm/mA,  $J + J_d = 14$  kg·cm<sup>2</sup> より  $k_1 = K(J + J_d) / k_2 k_3 k_4 = 0.52$  (V/rad) を得る。第 17 図を参照すれば光電管陽極電流を  $2.7 \mu A$  とすればよい。



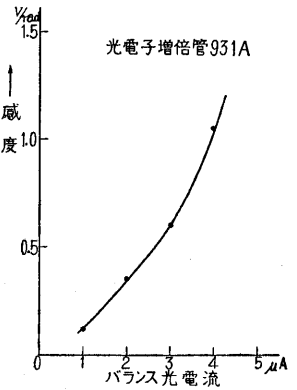
第 15 図 最適ゲイン推定の作図法



第 16 図 閉ループの周波数特性

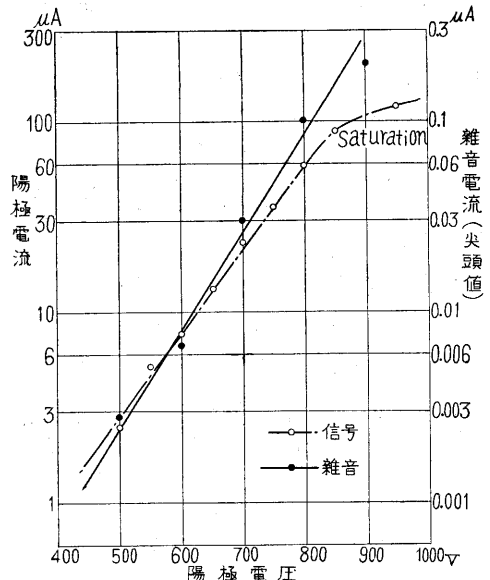
(9.2) 光電子増倍管の雑音<sup>(12)</sup> これには試作の最初から悩まされた。サーボの本にも一応書かれてあるし、いろいろ高級な理論もあるが、結局のところ雑音を減らすのが一番よい。光電子増倍管はふつうの光電管と抵抗の組合わせにくらべ、抵抗雑音の影響がなくてよいとされているが、それでも相当に出ている。大部分は電子が粒子として光電面から射出することに原因するいわゆるショットノイズと思われ、これには理論的にあらゆる周波数成分がふくまれているはずである。これが増幅されてモータに入るため、たえず不規則に振動的に動く。雑音によってサーボ系がたえず励振されているわけである。これでは十分な動作を期待できない。これをさけるた

め、われわれははじめ、交流バイアスともいうべき方法<sup>(13)</sup> を考え、実際ある程度雑音の影響をのがれることができた。これは光源を交流 (50Hz) で点火する方法で、これだと信号に交流が重なる結果、雑音が軽減され、モータの不規則な運動はなくなる。しかしその代りに一種の強いハムが入り、機械部分たとえ



第 17 図 光電子増倍管の感度調整用曲線

ばねじとナット、またはギヤの摩擦を早めるであろう。またモータの界磁コイルに生ずる高い誘導電圧は絶縁をいためるであろう。実際オシロで波形を調べると、増幅器の入力波形には雑音が減ったように観測されるが、出力波形はほとんど矩形波に近い形になっている。これは増幅器が飽和をおこしていることを示している。このような悪影響があるので、この方法も一時の間に合わせに過ぎないと思われた。そこで初めに戻って、雑音を減らすことを考えるとともに、(9.1) 項にのべたサーボ系としての最適ゲインを検討してみたところ、光電管の電流はもっと小さくした方がよいことが分った。雑音の方からいっても光電管の段間電圧を下げると S-N 比がよくなることが知れている。このようにして通常指定されている陽極電圧の半分近い低い電圧を加えて、直流点灯したところ、實際上雑音の影響はなくなってしまった。



第 18 図 光電子増倍管の陽極電圧に対する信号および雑音(電流値)

(9.3) 機械部分の調整 摩擦による負荷を減少することは、誤差を少なくするためにも極めて望ましい。このため送りねじとナットのかみ合いにガタを生じない程度までハーフナットのバネを弱め、またねじとガイドシャフトには軽く給油して動きを楽にしている。さらに各軸受は心をよく出して回転を軽くし、ギヤのかみ合いにセリを生じないように十分調整を行った。

モータの軸受はモータの温度上昇にもなつて軸が膨張し重くなりやすいので、連続使用する際はファンで冷却するようにしている。

10 使用上の注意

方眼紙は作図上便利であるが、方眼紙の目盛は完全に光電管に感ずるので、精度の高い追従には適当でない。曲線は烏口を用いて墨入れしているが、墨のカスレによる微少な凹凸にも感ずるので、滑らかに引くように注意する。安全を期するため線の下側は筆で黒くぬって太くしておいた方がよい。

ヘッドは紙に接触しない程度に接近させる。接触してしまうと紙がヘッドに引きずられて微細に動くためハンティングの原因となる。

使用の開始にあたって、光源ランプの熱のため紙面から水蒸気が上り、レンズをくもらせる。また点灯のはじめは光電管の疲労などのため感度が低下し、しばらくおいて落着くのでそれまで待つて使うようにしている。

11 誤差

(11.1) 定常的誤差 傾斜一定の曲線を追跡する時生ずる誤差を調べよう。われわれのサーボ系はダンピングが出力速度そのものでなく、出力と入力との速度の差に比例する形で与えられている。この場合伝達関数は § 8 の式(6)に示されるように、分母に  $p^2$  の項のある第2種のサーボと称される系である。よつて理想的には一定速度の場合の誤差はゼロであるべきだが、実際にはクーロン摩擦がある。これに打勝つトルクを生ずるために、一定の誤差がともなわれる。その大きさは(クーロン摩擦)÷(サーボ系のトルク感度)で与えられ、 § 7. および § 9.1 の  $k_1, k_2, k_3, k_4$  を用いて、誤差は  $0.04\text{rad} \sim 0.01\text{mm}$  程度である。

(11.2) 動的誤差 勝手な入力曲線  $\theta_i(t)$  に対する誤差を考える。これは次のようにあらわされる<sup>(14)</sup>。

$$\epsilon = K_0\theta_i + K_1\frac{d\theta_i}{dt} + K_2\frac{d^2\theta_i}{dt^2} + \dots$$

係数  $K_0, K_1, K_2, \dots$  はサーボ系の伝達関数  $\theta_0/\theta_i - \theta_0 = KG(p)$  として次の展開式から求められる。

$$\frac{1}{1+KG(p)} = K_0 + K_1p + K_2p^2 + \dots$$

われわれの場合 § 8 (6) より、 $K_0 = K_1 = 0, K_2 = 1/K,$  ……

例として、入力卓上で振幅  $100\text{mm}$ 、波長  $100\text{mm}$  の正弦波を追跡する場合を考えよう。送りねじのピッチ

$2\text{mm}$  であることを考えると、入力角  $\theta_i$  は

$$\theta_i = A\pi \sin \frac{2\pi}{L}x$$

横軸の送り  $x$  は、回転数  $n$  r. p. m. とすれば、 $x = \frac{2n}{60}t$ 、たとえば毎分  $300$  r. p. m. で横軸を動かせば  $\dot{\theta}_i$

の最大値は  $4\pi^3$  よつて誤差  $\epsilon = K_2\dot{\theta}_i = 4\pi^3/935 \approx 0.1$ 、角度にして約  $5^\circ$ 、長さにして  $0.03\text{mm}$  程度となる。

本研究に対して、山内、竹中教授の激励を頂いたこと、電気試験所の乗松、木沢、茂木氏等と試作の当初、協力して研究を進め、種々有用な資料を交換したこと、本所の野村助教授は増幅器の問題、とくに雑音の測定について協力と助言を惜しまれなかったこと、沢井教授にモータの特性測定について教示頂いたこと、理学部霜田教授に増幅器の設計についてヒントを与えられたこと、いずれも記して厚く感謝の意を表する次第である。

光学ヘッドの試作には千葉製作所西川仙蔵氏、トルク増幅機の製作は東京計測機製作所の協力を得たことを感謝する。また本研究は文部省科学研究費によって行われたことを付記する。(1957. 4. 19)

文 献

- (1) 渡辺・三井田; 生産研究 6 No. 8 (1954) 197.
- (2) Hoffmann, H.; ETZ-A 77 (1956) 41.
- (3) 磯部・畑中・内田; 計測 6 No. 11 (1956) 523.
- (4) Hazen, H. L., J. J. Jaeger and G. S. Brown; Rev. Sci. Instr. 7, (1936) 353.
- (5) Walther, A. u. H.-J. Dreyer; Naturwiss. 36 (1949) 199. Dreyer H.-J.; Zeits. für angew. Phys. 3 (1951) 453.
- (6) 乗松; 自動制御研究会資料 No. 84 (1956) 1
- (7) 霜田; "電子管の応用", 現代物理学講座(岩波) p. 22 及 p. 55
- (8) West, J. C.; "Textbook of Servomechanisms" (1953) p. 182.
- (9) Hall, A. C.; Trans. AIEE, 68 Part 1 (1949) 299.
- (10) Haas, V. B. Jr.; Trans. AIEE 72 Part 2 (1953) 119.
- (11) Brown and Campbell; "Principles of Servomechanisms" (1948) p. 185
- (12) Engstrom, R. W.; J. O. S. A. 37 (1947) 420.
- (13) Loeb, J.; Annales des Telecommunications 5 (1950) 65.
- (14) Ahrendt; "Servomechanism Practice" (1954) p. 331.

次号予告 (7月号)

解 説

エチレンの高圧反応	浅原 照三
きわめて幅のせまい開水路の	井口 昌平
中の等流の実験	浜守 厚
継電器接点振動測定装置	森脇 義雄

海外事情

滞欧雑記(その3)	高橋 武雄
-----------	-------

速 報

EDTA 滴定法による鉄とアルミニウムの同時定量法	岡 宗次郎 武藤 義一 和田 芳裕
---------------------------	-------------------------

バレル仕上に関する 2, 3 の実験(その3)	松永 正久 萩生 田善明 内藤 敏
-------------------------	-------------------------

ラジアルガスタービンの研究(第5報. ラジアルタービンの部分負荷特性)	水町 長生 内田 正次 金子 和男
-------------------------------------	-------------------------