

アナログ電気計算機

Analog Computer

小倉正美*

内容梗概

日立製作所においては最近各種のアナログ電気計算機を製作している。本稿はそのうちで繰返型とサーボ型について概要を述べ、前者はいわゆる微分解析器としてまた後者は各種計算機応用装置として将来発展すべきゆえんを考察したものである。

〔I〕 緒言

電気計算機はその動作原理および数の表現形式から、計数型 (Digital type) と相似型 (Analog type) とに大別される。前者は算盤や卓上計算器を電気自動化したものであつて、数字そのものを継電器や電子管で算出するもので、大きな装置をつくつて桁数をましてゆけばいくらでも計算精度を高めることができる。後者は数のある物理量たとえば電圧、電流、抵抗値あるいは回転角度などで代表せしめ目的の計算を行わしめるもので、数値を連続的にとりうる点は計算尺のごとき利点があるが、その精度にはおのずから制限があるのはやむをえない。

アナログ計算機の機械的方式は古くから知られているが、1940年以来エレクトロニクスを導入した電子計算機の応用分野が急速に発展し、航空機、船舶の航法装置をはじめ各種の自動制御、遠隔制御装置として登場し、一方では各種微分方程式解析用の電子管式微分解析器がひろく実用化されるにいたつた。

本文においては最近日立製作所で製作された繰返型アナログ計算機およびサーボ型アナログ計算機の概要を述べて御参考に供したいと思う。

〔II〕 繰返型アナログ計算機

繰返型アナログ計算機はいわゆる電子管式微分解析器の一種で、普通電源の周期に同期させて1回の計算を10分の1ないし100分の1秒程度で行い、繰返して出る解をブラウン管上に表示するアナログ計算機で、各種の微分方程式を解くのに便利である。この型の計算機は数年来日立中央研究所で研究試作し、社内の各種用途に利用されてきた。最近各方面のアナログ計算機にたいする関心が非常に高くなり鋭意製作に努力している。以下最近標準化された WAC-101 型 アナログ計算機を中心として、その概要を述べる。

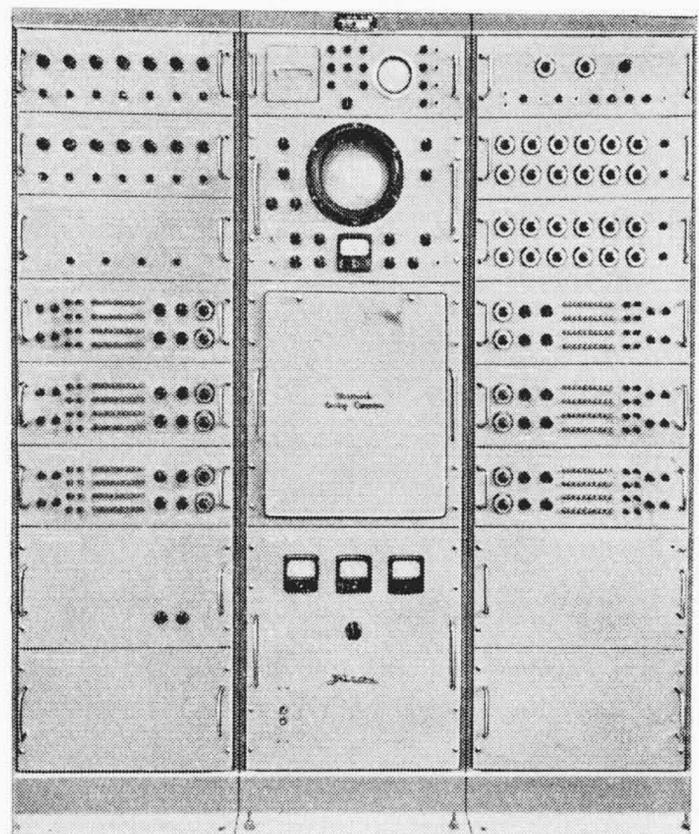
(1) 概要および構成

この装置は線型演算要素、解指示器、ゲート回路およびそれらの電源を実装した線型架 (2 架) と、各種非線

* 日立製作所戸塚工場

第 1 表 演算要素の構成
Table 1. Computing Elements

線 型 架	非 線 型 架
加算演算増幅器 12	乗 算 器 2
正負変換器 4	フォトフォーマ 1
加 算 器 6	折線近似函数発生器 1
係 数 器 6	特殊非線型要素 1 (飽和, 不感域, 履歴各 1 を含む)
解 指 示 器 1	電 源 1 式
ゲート回路 1	
電 源 1 式	



第 1 図 日立アナログ計算機の正面外観
Fig. 1. Front View of Hitachi Electronic Analog Computer

型演算要素およびそれらの電源を実装した非線型架 (1 架) とよりなる。その内訳は第 1 表のとおりであるが、必要に応じて各要素の数を一部変更することができる。

この装置の外観は第 1 図に見られるごとく、幅 520 mm、高さ 1,800 mm の鉄架に収容され、各盤はプラグイン式になつていたので取扱いおよび保守にも非常に便利である。

(2) 性能

(a) 線型要素

線型要素の基本は負饋還増幅器 (Negative-feedback Amplifier) で、繰返型であるために交流増幅器をもちいることができるのでドリフトなどの心配がなく、取扱いも簡単である。この増幅器の利得は約 75 db 以上で、その入力および出力に抵抗とコンデンサを適当に組合せたインピーダンスを接続することにより、各種の線型の伝達函数 (Transfer Function) を実現せしめることが可能である。これを一般に演算器と称している。第2図はこの線型要素の簡単な例を図示したものである。演算用抵抗、コンデンサは押ボタンおよび切換スイッチで切換えまた任意の値のものを外挿できるようになっている。

線型架にはこのほかに演算増幅器のクランプ用のゲート電圧を発生するゲート回路および単位函数発生回路があり、いずれも電源が 50 c/s の場合パルス幅約 1/100 秒の矩形波の正負の電圧である。

また解指示器は演算の結果えられた解の電圧波形をブラウン管オシロスコープの上に描かしめるもので、繰返型であるから蛍光膜の残光性と肉眼の残像とにより静止像としてえられる。その横軸は時間、縦軸に解の値がえられ、横軸には時間目盛を2現象式に切換えて表示せしめている。これらの時間関係をわかりやすく図示すると第3図のごとくなる。

一回の演算が終れば各増幅器はゲートによつて利得を失ない、積分器のコンデンサは電荷を放出して次の演算がはじまるときはつねに所定の初期条件を与えるので、この方式を用いればたとえ発散する解を取扱う場合でも正しく繰返して表示する。

(b) 非線型要素

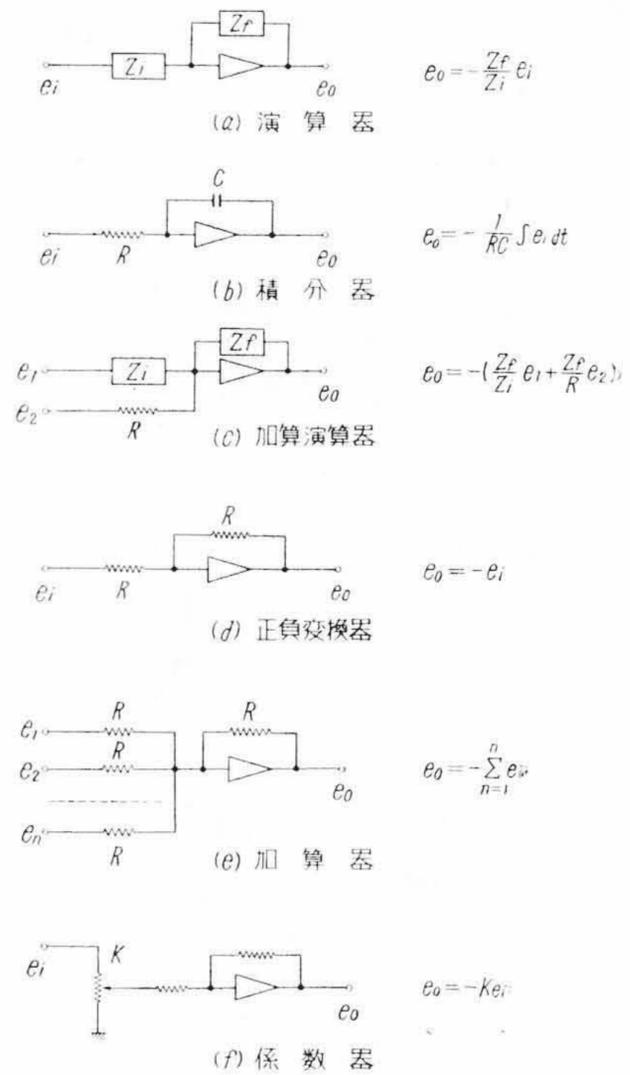
乗算器はいわゆる1/4自乗差法によるもので第4図に示すとおり、その原理は x, y の積は $(x+y)^2 - (x-y)^2 = 4xy$ より求める方式である。この場合自乗回路が問題になるが本装置では三角波の面積が高さの自乗に比例することを利用している。

フォトフォーマは第5図に示す通りブラウン管蛍光膜の前面に所望の函数形のマスクをおいて、ブラウン管の横軸を独立変数相当の電圧で掃引せしめマスク前方の光電増倍管の出力を増幅して縦軸偏向板に負饋還すればマスクの形状に応じた任意の函数電圧を取出すことができる。

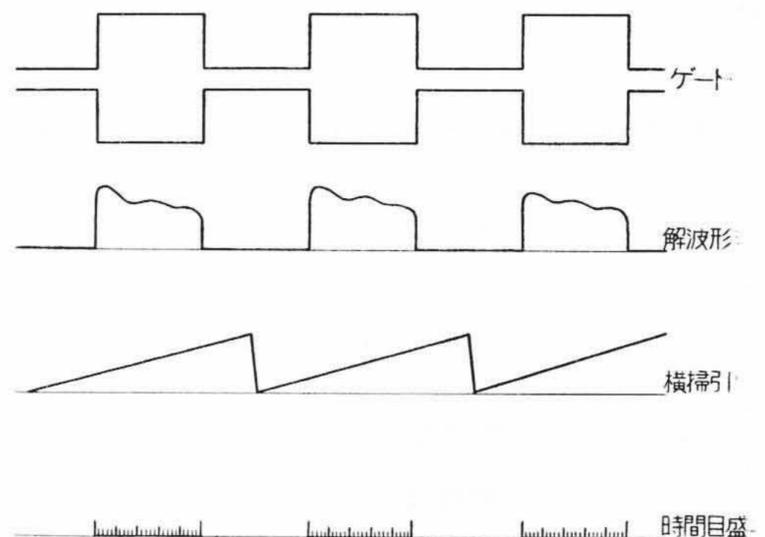
非線型要素にはこのほかに折線近似函数発生器 (Function Filter) および飽和、不感帯、履歴各要素をもつ特殊非線型盤がある。

(3) 例

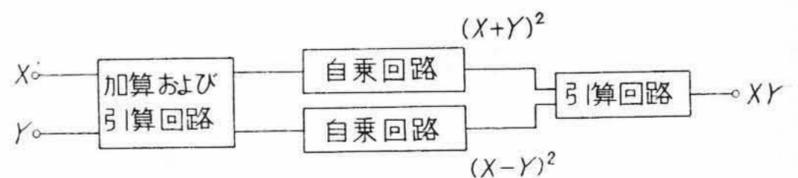
ここでは繰返型アナログ計算機を用いて航空機の運動



第2図 演算器回路図
Fig. 2. Circuit of Operational Amplifier

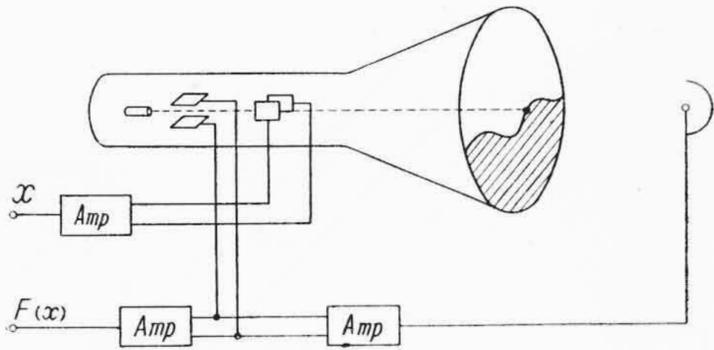


第3図 演算時間と掃引回路の関係
Fig. 3. Relation between Computing and Sweep Circuit



第4図 乗算器
Fig. 4. Multiplier

の問題を解いた一例を示す。(1)式は横安定の微分方程式である。



第5図 フォトフォーマ
Fig. 5. Photoformer

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\beta}{dt} &= a_{11}\beta + a_{12}\phi + a_{13}\frac{dx}{dt} \\ \frac{d^2\phi}{dt^2} &= b_{11}\beta + b_{12}\frac{d\phi}{dt} + b_{13}\frac{dx}{dt} + b_{14}\frac{d^2x}{dt^2} \\ \frac{d^2x}{dt^2} &= c_{11}\beta + c_{12}\frac{dx}{dt} + c_{13}\frac{d\phi}{dt} + c_{14}\frac{d^2\phi}{dt^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

β : 横すべり角 ϕ : ローリング角 x : ヨーイング角
第6図は(1)式をアナログ計算機で解いた解のブラウン管オシロ波形である。

〔III〕 サーボ型アナログ計算機

(1) 概要

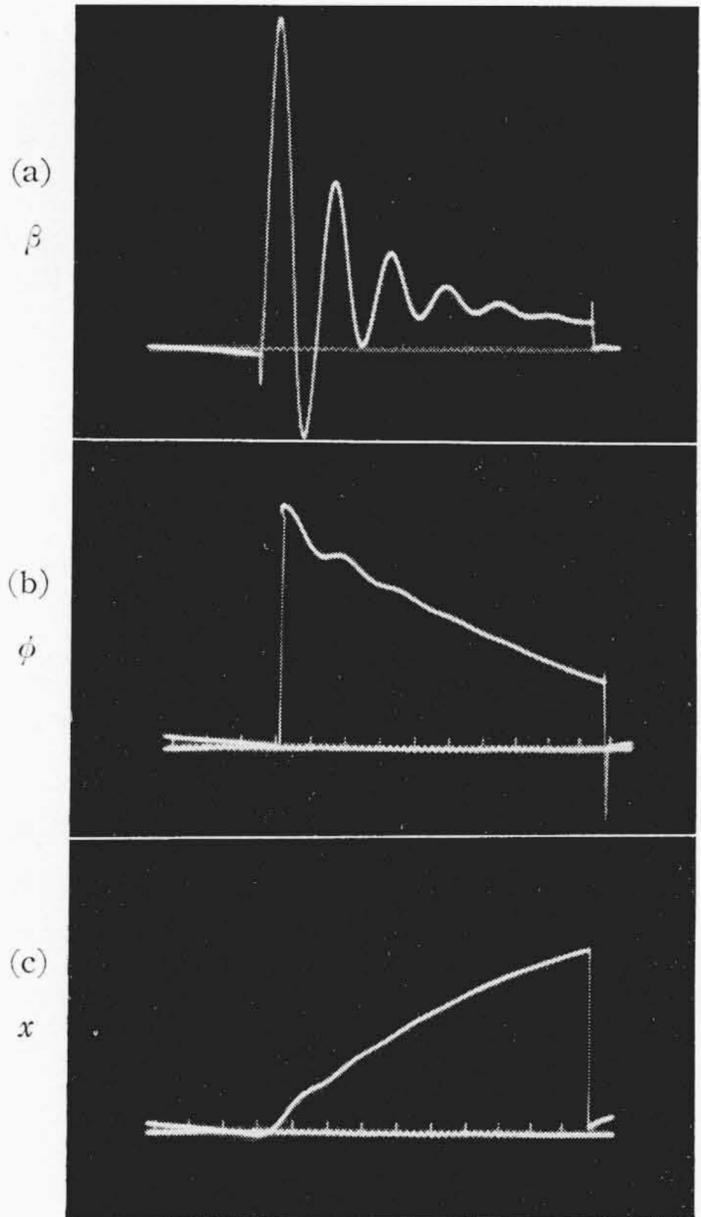
この計算機は電氣的サーボメカニズムの方式をとり入れたアナログ計算機で無線航法装置、レーダ、ソナーおよび各種指揮装置などの計算部にひろく利用されている。

従来主として欧米において軍用に供されたものが多く細部不明のものも多いが、最近国内においてもこの種の計算機の試作が活発になつてきた。

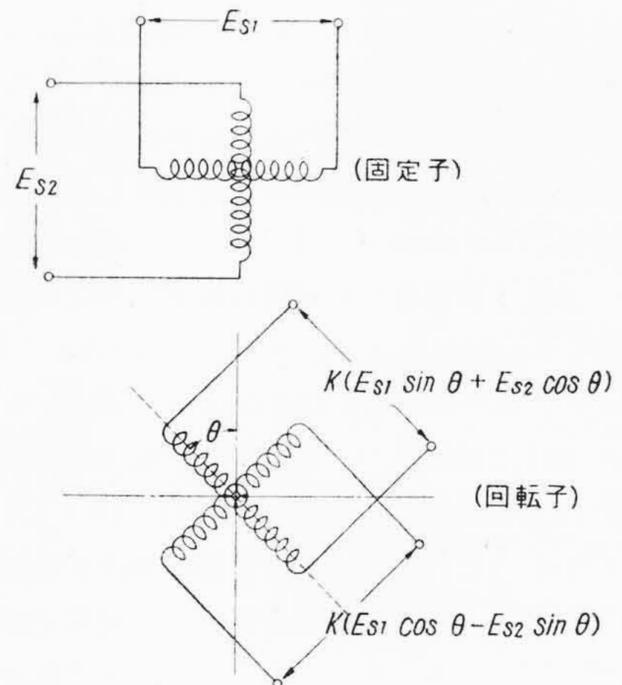
いずれも前項のユニバーサルな計算機とことなり大抵は特定の計算を行つて自動制御や遠隔制御を行うための単能の計算機が多い。とくに各種の座標変換を行つて未来位置とか進路の修正、空中線や砲の自動追尾に必要な諸元を算出する場合が多く正弦余弦函数の計算が大部分で、この場合別項のレゾルバなどを函数発生器として使用する。

計算の諸元は電圧および回転角度でアナログしてレゾルバやシンクロの回転軸をサーボモータで駆動して目的の計算を行つているものが多い。

計算精度も目的によりかなり高精度を要求されるので、アナログ計算機のうちでも高級なものに属する。欧米の各種レゾルバや特殊の函数発生器には注目すべきものが多い。またその応答速度も問題となるが、この場合にはサーボモータとサーボ増幅器の個々の性能はもちろん計算機全体を一つのサーボ系と考えた場合の総合応答速度がよくなければならない。したがつてサーボ系の特性を改善するために直列補償や饋還 (Feedback) 補償

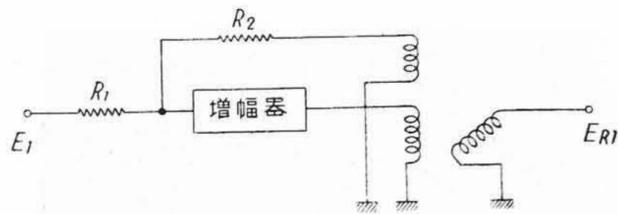


第6図 アナログ計算機による方程式解のオシログラム
Fig. 6. Oscillograms of Solutions by Analog Computer

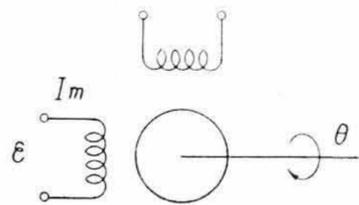


第7図 レゾルバ入出力関係図
Fig. 7. Relation between Inputs and Outputs of Resolver

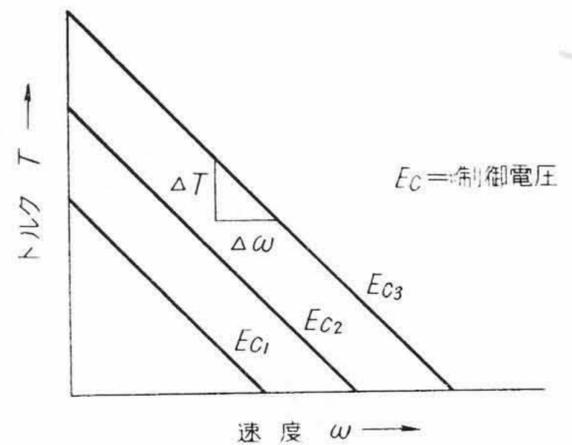
を行つて系全体として乱調 (Hunting) を起さぬ範囲内で増幅度またはゲイン定数の増大をはからなければならない。



第8図 補償巻線と増幅器
Fig. 8. Compensator Winding and Isolation Amplifier



第9図 2相サーボモータ
Fig. 9. 2-φ Servo-motor



第10図 サーボモータの負荷特性
Fig. 10. Speed-torque Characteristics of a Servo-motor

本文では現在製作中の計算機の主要要素の概要を述べる。この要素を組合せていかにして指揮装置にするか、航路計算機にするかは別の機会にゆずりたい。

(2) レゾルバと負饋還増幅器

レゾルバと称するものにも各種あるが、ここではシンクロ系のレゾルバについて説明する。レゾルバには2相の固定子巻線と、同じく2相の回転子巻線がある。その入力電圧、回転子回転角および出力電圧の関係を第7図に示す。すなわち固定子巻線の入力電圧を E_{S1} , E_{S2} とし、回転子の軸の回転角を θ とすれば、回転子巻線の出力電圧 E_{R1} , E_{R2} は (2) (3) 式で与えられる。

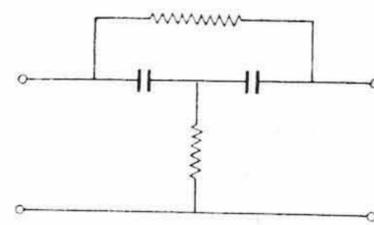
$$E_{R1} = K(E_{S1} \sin \theta + E_{S2} \cos \theta) \dots \dots \dots (2)$$

$$E_{R2} = K(E_{S1} \cos \theta - E_{S2} \sin \theta) \dots \dots \dots (3)$$

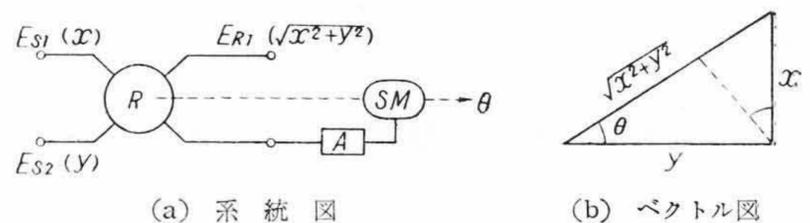
K は比例常数

(2) (3) 式の関係を利用すれば後述のごとく種々の計算や座標の変換にはなほだ便利である。実際に使用する場合には (2) (3) 式で $K=1$ で E_{S1} , E_{S2} と E_{R1} , E_{R2} の間には位相のずれがないことが必要である。通常のレゾルバでは巻線の抵抗とインダクタンスおよび鉄損のため固定子巻線電圧と回転子巻線電圧には 1~10度位の位相差があり、 K も厳密には1ではない。これを位相差がなく $K=1$ とするために補償巻線と増幅度の大きい増幅器を組合せて負饋還回路を構成せしめる。第8図は補償巻線 (Compensator Winding) と増幅器の結合をしめす。回転子巻線電圧と補償巻線電圧の位相差はほとんど零で、その振幅比は一定 (0.05% 以内のものもある) であるから、この振幅比と饋還抵抗の比 R_1/R_2 をひとしくとつておけば増幅器の入力電圧と回転子巻線出力電圧との間には完全に 1:1 関係が成立し (2) (3) 式の $K=1$ となる。この関係は補償巻線の電圧を誘起する空隙の磁束密度と一次巻線の励磁電圧が負饋還増幅器によりたえず一定にたもたれているので、温度や周波数の影響はうけない。

このようにレゾルバは負饋還増幅器と組合せて、はじめて偉力を発揮するもので、この増幅器を Isolation Amplifier と称している。増幅器の利得は約 80 db 以上あればその目的を満足することは一般のアナログ計算機の場合と同様である。



第11図 ブリッジT型RC回路
Fig. 11. Bridge T-RC Circuit



第12図 直角座標極座標変換回路
Fig. 12. Rectangular to Polar Transformation Circuit

(3) サーボモータおよびサーボ増幅器

レゾルバやシンクロなどを持ちいて計算をおこなうので、サーボ系は交流サーボをもちいると便利である。したがって2相のサーボモータと交流増幅器を組合せてサーボメカニズムを駆動する場合が多い。

第9図にしめすように2相サーボモータは励磁線輪と駆動線輪を有し、その伝達函数は (4) 式で示される。

$$\frac{\theta(S)}{\epsilon(S)} = \frac{K_v}{S(\tau_m S + 1)} = KG(S) \dots \dots \dots (4)$$

τ_m は時定数で
$$\tau_m = \left| J \frac{\partial \omega}{\partial T} \right| \dots \dots \dots (5)$$

で与えられる。 J は慣性抵抗、 T はトルク、 ω は角速度。したがって応答速度をよくするには慣性抵抗の小さい、制動係数 $\partial T / \partial \omega$ の大きいものを用いればよい (第10図参照)。実際のサーボ系では単にモータの特性ばかりでなく、全体の系として増幅器を含んだ全回路を考える必要がある。

特に増幅器に直列に微分および積分回路などを挿入して、系の特性を改善する直列補償法や、タコメータ発電機を回転軸に取り付けて回転速度に比例した電圧を負饋還するフィードバック補償がおこなわれる。フィードバック補償をおこなうにはタコメータ発電機の高性能のもの

が要求されるので、簡単に補償を行うため第11図のごときブリッジT型回路と真空管を組合せた、微分すなわち位相進み要素を直列に入れてゲイン定数を減ずることなく速応性をもたせることを行っている。

さらに位相遅れ（積分）要素を付加すれば定常偏差を減少させて制御の精度を高めることができる。

(4) 例

ここではこの方式を用いた直角座標極座標変換回路の一例を示す。第12図(a)に示すごとくレゾルバRとサーボモータSMを増幅器Aにより結合すれば、(3)式より $E_{R2} = x \cos \theta - y \sin \theta = 0$ になるまでモータは回転して静止する。したがって回転角 $\theta = \tan^{-1} x/y$ となり、また出力電圧 E_{R1} は(2)式 $E_{R1} = x \sin \theta + y \cos \theta$ と第12図(b)とよりあきらかなごとく $\sqrt{x^2 + y^2}$ となる。

これは x, y 直角座標より極座標 R, θ を求める場合に、ただちに利用することができる。同様に各種の座標

変換に利用すれば、これらの回路ははなはだ便利であるが、その精度はレゾルバ回路のほかに歯車系が入るので、精度の高いものほど製作上困難をとまなうものである。

[IV] 結 言

アナログ型計算機のうち主として繰返型およびサーボ型を中心として、その概要を述べた。微分解析器をはじめとして、いわゆるアナコンの普及と一方ではサーボメカニズムの技術を導入した各種の計算機応用装置の発達は注目すべきものがある。幾多の問題を今後へのこしているがその将来は大いに期待してしかるべきものと考ええる。

終りに種々御指導御援助を賜った日立製作所本社、中央研究所、および戸塚工場内関係の方々に厚く御礼申し上げる所である。

製品紹介

新型送信用水冷、強制空冷三極管

New Transmitting Triodes, Water and Forced-air Cooled Types

送信用水冷、強制空冷管は最近しだいにトリウムタングステンフィラメント使用の新型に移行しつつあり、日立製作所でも、先般来これらの新型を完成して各方面の需要にあてている。ここに紹介する品種はいずれも中波短波送信用または高周波加熱用の10kW級品種であつて、次のような特長を有している。

(1) 陰極として二重らせん型トリウムタングステンフィラメントを用い、従来の純タングステンの品種に比して、フィラメントハムを減少させたほか、フィラメント温度の低下により、フィラメント断線が寿命の限界をなすことがなくなり、長い寿命が期待されるようになった。

(2) グリッド端子構造として大直径のコバルリング封止型を採用し、グリッド接地型回路に適する構造としたが、普通の陰極接地型回路においても中和がとりやすくなつた。またグリッドの冷却、機械的強度をも向上せしめ、グリッドの過負荷耐量を増した。

(3) 全面的にコバル封止を採用し、熱的強度を増加した。

新品种のうち、8T30、8T30Rは従来品種8T92、8T



第1図 送信用水冷三極管日立 8T30
Fig. 1. Water-Cooled Transmitting Triode, Hitachi 8T30



第2図 送信用強制空冷三極管日立 8T20RA
Fig. 2. Forced-air Cooled Transmitting Triode, Hitachi 8T20RA

92Rにかわつて中波放送機に使用され、8T20A、8T20RAは従来品種8T10、8T10R、8T20、8T20Rに代つて短波送信機に使用されるほか高周波加熱用にも適する。

なお、8T20RAはとくにDiscontinuous fin型の高効率ラジエータを使用し、同一最大陽極損失に対するラジエータ重量、冷却風量を減少せしめてある。

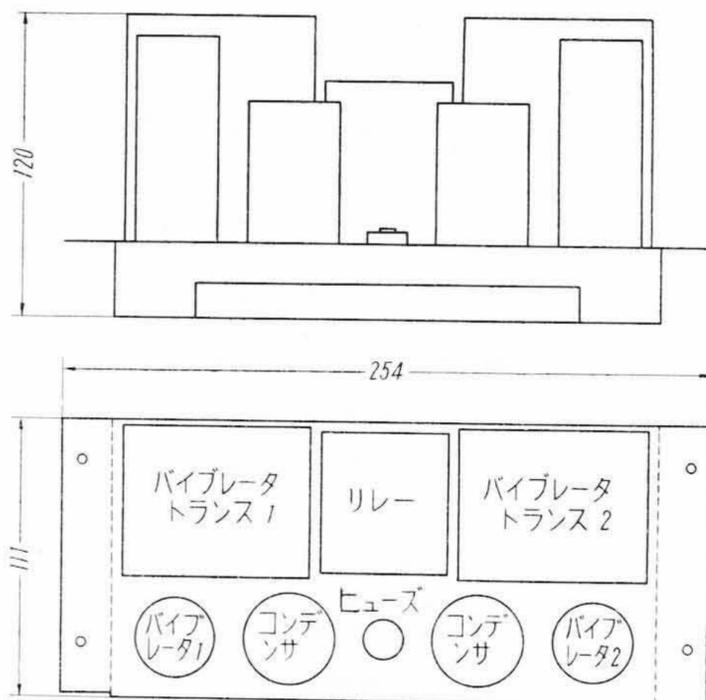
バイブレータ

Vibrators

バイブレータを用いた直流変圧方式のうち、もつともわれわれの身近にあつて利用されているのは—(あるいはきずかれないでいるかも知れないが)—自動車についているラジオであろう。もともと、自動車用ラジオの電源として成長してきたこの方式は、移動用通信機器や、また供給電源に故障が生じた場合には、もつとも手軽な電源としてその威力を存分に発揮する。

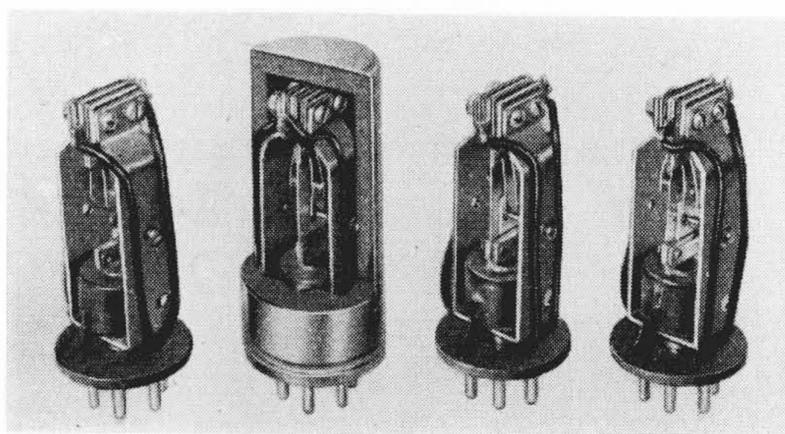
自動車用ラジオに必要な電力は大体 20 W 程度以下のものである。したがつて現在までに製作、販売されているバイブレータの大多数は、その程度の負荷を考慮したものである。近年、各種無線通信機器の長足の進歩と、それによる応用分野の拡大から、移動用の通信機器も、自動車用ラジオのみにとどまらず、したがつて必要とする電源の容量もさらに大きくなつてきた。真空管を動作させるに必要な B 電圧を、低圧の蓄電池からバイブレータによつて得る一種の直流変圧方式の容量を増加させるには種々の方法が考えられるが、基本的には次の二つに大別される。すなわち、その一つはバイブレータ単体の容量を増加させる方法であり、ほかの一つは単体としては比較的小さい容量のものを、数個同時に動作させて、所要の電力をうる方法である。この二つの方法のうち、いずれが有利であるかは個々の場合について一概には決定できないが、最近日立製作所で開発された 150Mc 帯 3 WFM 送受信機は、A. C. エリミネータ電源とともに、車載用としてバイブレータ電源をも備えているが、このセットがちょうど前述の一般の自動車用ラジオより多少大きな電源容量を必要とする。この要求をみたすために種々の方式について比較検討した結果、セットには、第 1 図に示すように 2 個のバイブレータを並列に使用する方式がとられた。この方式によると、安定した工程と管理によつて御好評を広く得ている日立製作所の従来のバイブレータを用いて、負荷を平等に、合理的に配分することによつて、電源の大容量化にもかかわらず、より安定に、長寿命使用が可能となる。

さらにバイブレータのもう一つの用途として信号発生用電源がある。現在まで交換機に用いられてきた電動発電機方式や、リレーを用いた方式に比べ、バイブレータ方式は比較的小容量ですむ、P. B. X. などにおいてはその能率のよさと、占有面積の小さいこと、軽量であるこ



第 1 図 3 W F. M. 送受信機用バイブレータ電源

Fig 1. Vibrators Power Unit for 3W FM Tran-Ciever



第 2 図 信号用バイブレータ
Fig. 2. Vibrators for Signal Source

と等々の特長によつて、優位性が認められてきている。ここ二、三年来、通研の要望によつて、磁石局用予備信号装置が日立製作所において開発されてきているが、それらの使用試験実績は優秀で、定格に対する相当な過負荷における寿命試験にも満足のゆく結果がでており、設備費などコストの点からみても、有利なことが立証されている。

上記の用途のほかに、バイブレータの活用される分野は、比較的小容量の直流高圧電源が要求される場所。たとえば、観測用ロケットのテレメータ電源とか、撮影用フラッシュガン用電源など、相当広範囲にわたつており、いままでの開拓に待つ部分も多い。これらの新しい分野についてもさらに研究、開発を進める予定である。