

繰返し型アナログ電子計算機の研究

中 川 孝 之
高 瀬 博 文

On the Analog Computer of the Repeating Type (No. 1.)

Takayuki NAKAGAWA
Hirohumi TAKASE

We tried to make up an analog computer, which is made for the analysis of the differential equations on the mechanical problems. It is chiefly characterized by the operation, that the repeating time of control circuits is continuous variable.

This report is the explanation on the characteristics of the analog computer and its applications.

1. は し が き

アナログ電子計算機の研究はすでに充分なわれ、各メーカーから製品化されたきわめて多くの電子計算機が各分野の研究に利用されているのは言うまでもないことである。

然しながら、機械系の分野に研究している我々にはメーカー製品を求むるに足る予算が得られないので、小型で軽量安便で、力学系の安定性、応答性等を過渡現象の観点から解析することを容易ならしめるためこの研究に着手した。

その結果、低速型アナログ計算機ほど精度は十分ではないが、解波形を直視できたり、迅速な演算ができる点でかなり満足しうる結果を得たので各部の動作特性に中心をおいた結果と、生産機械で取扱う代表的な例の内、この装置を用いて二、三行った結果を報告する。

2. 装置及び各要素の特性

繰返し型アナログ計算機は同一計算を何回も繰返し計算して得られた結果を普通のブラウン管上に指示させなければならない。従って、装置は演算開始、停止を制御する演算制御回路と、演算増幅器、そして電源によって組立てられる。さて次に、それぞれの要素に対

する説明と、その特性について順を追って説明する。

2, 1 演算増幅器の繰返し動作

繰返し型電子計算機に於いて、各演算器はその繰返し周期毎に同一の初期状態をもって演算する必要がある。即ち、演算を始める前には零入力信号で十分安定な状態を保ち、或る初期値を与えて演算を始めるようにしなければならない。1回の演算が終ると、演算インピーダンス中のコンデンサー、及び、増幅器等の回路中に含まれるコンデンサーには信号による電荷が蓄積されるので、演算休止中に放電し尽し、零に復帰しなければならない。

そこで、休止期間中に十分放電し尽すよう放電時定数を小さくする必要がある。このため我々の採用した回路は次の図-1のようである。これは良く知られているように、休止期間中はスイッチSを閉じて増幅器

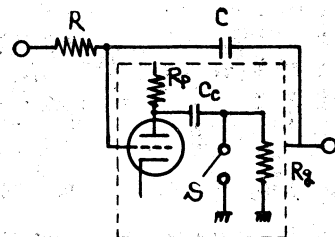


図 1

段間をアースに短絡することにより利得を零とし、積分コンデンサの放電時定数を小ならしめると同時に、結合コンデンサの放電時定数を $Cc(Rp+Rg)$ から、 $CcRp$ に小さくし、零復帰の目的を果している。これには整流器による電子スイッチを用い、演算時間はこれが開き、休止期間中はこれが閉じるように、繰返し周波数に同期した制御信号を加える。

以上のスイッチ部と、次に述べる矩形波の制御信号を作る回路をもっている。

2.2 制御信号発生回路

前述の如く、演算を間欠的に繰返すわけであるが、精度の点より、その繰返し時間は比較的長く、或るメーカー製品では、10ms, 25ms, 50msの三段に変換するようになっている。これは、或る高い周波数を持つ発振器出力を例えば、デカトン等を用いて周波数低減を行ない、適宜選択するようになっているが、我々は、精度よりも演算結果の解析が容易であるように、CR発振器によって得られた信号から、図-2に示すような回路を経て演算時間を連続的に変化し得るようにしたことが市販品と異なる点である。

これは、適当な時間内に希望の波形が現われるように時間換算係数決定の計算を行なわなければならないが、この計算が多少違って発振器の周波数を変化させて演算時間を適当にし、波形観測に便利のようにしたいと思ったからである。次にその方法をブロック線図、及び全回路図を用いてその大要を説明したい。

即ち、低周波発振器による正弦波交流を用いて、零電位を基準にした正、負の矩形電圧を得るがためのもの

のである。

図-3にその回路図を示す。

始めのシュミット回路は、正弦波を矩形波に整形するためのもので、この出力を直ちに位相反転し、各々電力増幅、クランプ回路と経ることによっても一応の矩形波は得られるが、このままではシュミット回路のヒステリシス性のために、一サイクルに対して零電位の時間と、或る電位を保つ時間とが等しくなるような矩形波を得ることが出来ない。このため、さらにフリップフロップ回路、シュミット回路を通じ、位相反転後それぞれ電力増幅、クランプ回路と経て所要の矩形波を得た。

このようにすることによって、矩形波の周期は正確に発振器の周期の二倍になることは明らかであり、又、零電位の時間と、或る電位を保つ時間とは全く等しく出来る。

二つの矩形信号で二極管電子スイッチを開閉することによって、休止期間中の零レベルの変動を無くし、また、二極管を逆並列に接続してスイッチ回路全体の内部抵抗をできるだけ低くしている。

最後に、カソードフォロワーによって出力を取り出しているのは、数多くの演算器を负荷とした場合にもまた、零復帰の動作原理上からも出力インピーダンスは低い方が好ましいからである。

尚、クランプ回路は负荷として結ばれる結合コンデンサ、真空管の负荷抵抗等、演算器が増加するにつれてクランプ回路の负荷抵抗が小さくなり、矩形波が歪んでくる。このため、本来なら図-4に示すように並列抵抗Rを必要とするが、我々は、コンデンサを

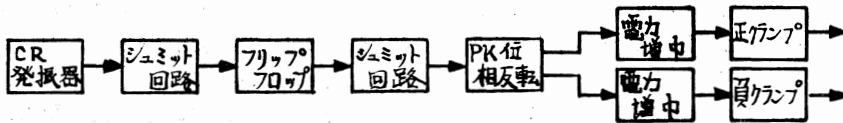


図 2

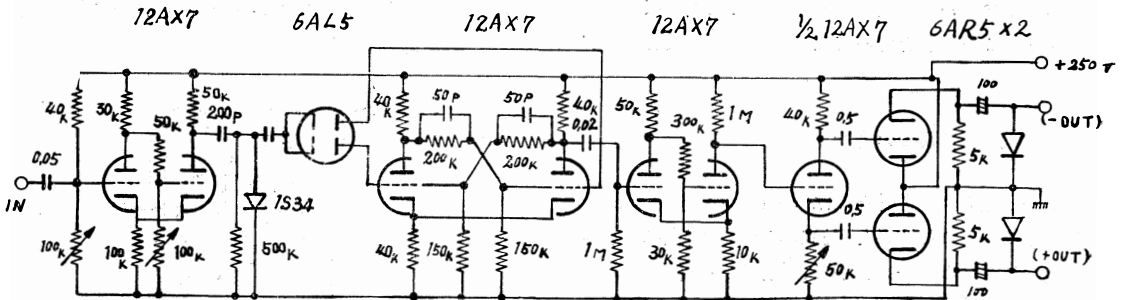


図 3

100 μ FとしてRを省いている。

以上のような考に基づいて製作した制御信号発生回路の回路上の要点の電圧波形を写真一から写真一四に示す。

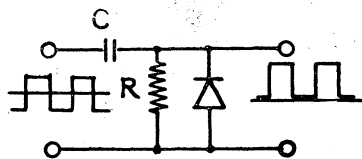


図 4

2.3 積分演算器

図一五に示す如く積分演算用としては三段目までであり、演算開始の初期状態が常に零となるように零復帰回路を働かせている。この出力信号と、制御信号電圧を利用した初期値電圧とを最終段グリッド回路に於て加え合わせ、正負の領域にわたって可成り大幅に加減できるようにしている。

この回路の出力が負荷に接がれるため、出力インピーダンスは極力低くし、且つ、前段とは是非直結としてこれ以上低域時定数の増加するのを避けなければな

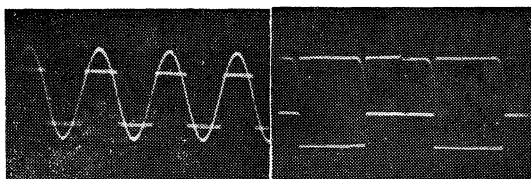


写真 1

写真 2

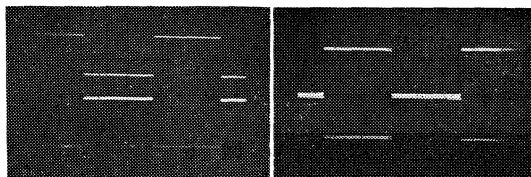


写真 3

写真 4

らないので、原回路に従って直結カソードフォロワーとした。

このように、実際に演算を行なう帰還増幅器と、負荷との間に、初期値の加算を兼ねた一種の緩衝増幅器を置くことにより、入力抵抗の低くなった加算器等を負荷とした場合でも演算誤差を最小とすることが出来る。

以下にその回路図と、特性の一部を示す。

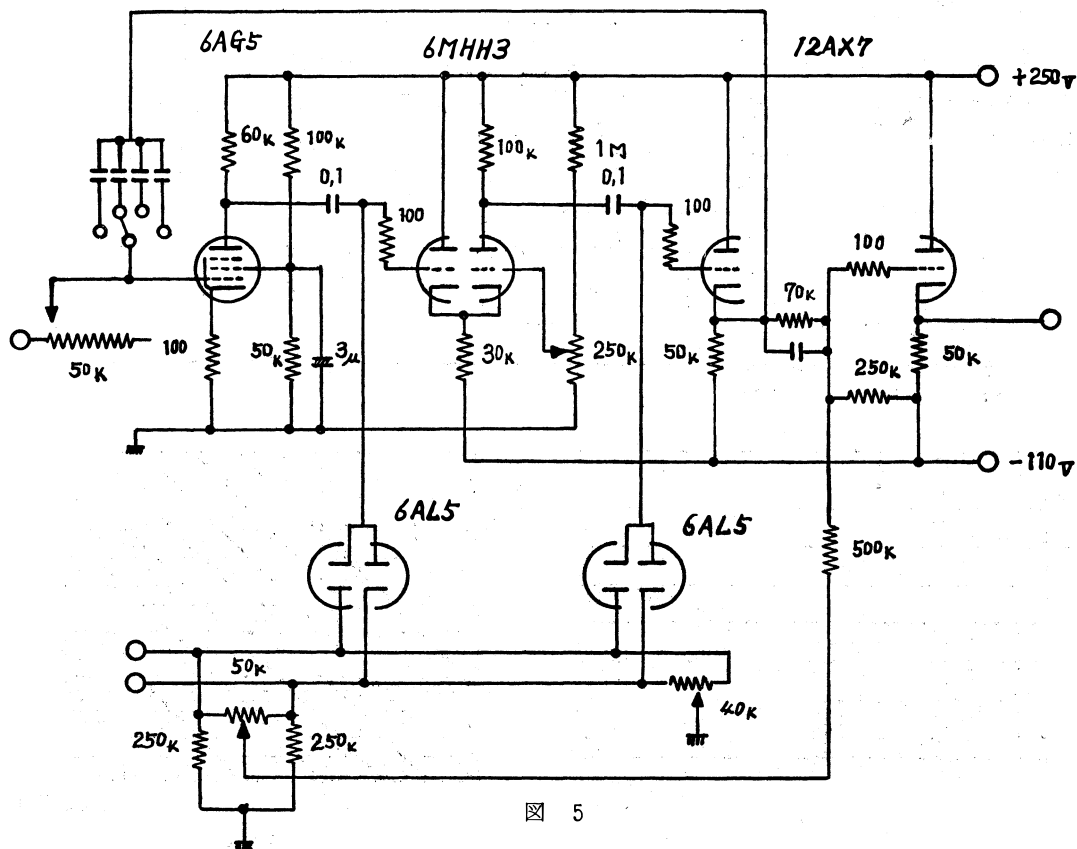


図 5

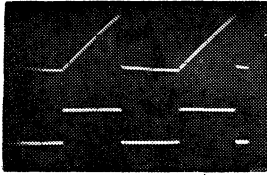
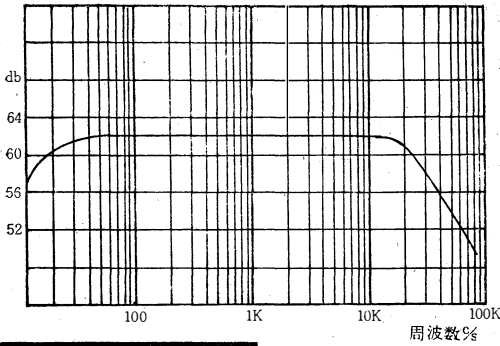


写真 5

図 6

2, 4 加算器

加算器, 係数器及び符号変換器として使用するときは演算インピーダンスは純抵抗となるから, 時定数に関する注意を要しないが, 演算増幅器として交流増幅器を組合わせて使用すれば当然段間の結合コンデンサーについて注意が必要となる。

この場合には, 零復帰の問題と共に, 積分器に含まれる初期値を伝達しなければならなくなり, 交流増幅器では非常にむずかしいため, ほとんどの場合直流増幅器を用いる方法がとられる。しかし, この場合にも, 良く知られているようにドリフトの問題を生じるが, 我々は, 非常に長時間にわたって連続して使用する事が少ないことと, これがために回路が複雑になることは避けたい, という考えから自動ドリフト補償回路を持たない, ごく一般的な直流増幅器に零レベルの加減出来るような回路を採用し, 使用に際して零レ

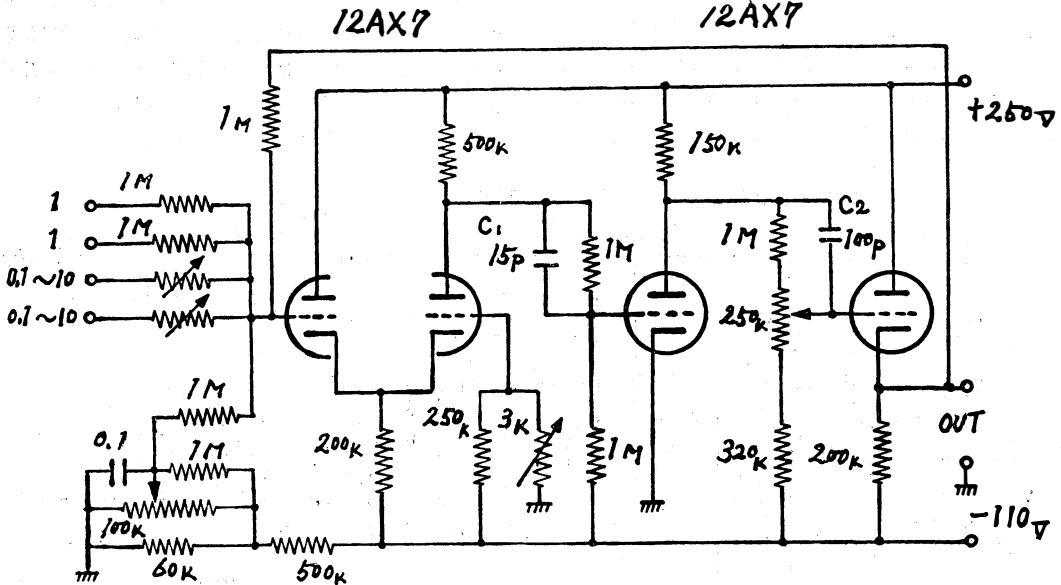


図 7

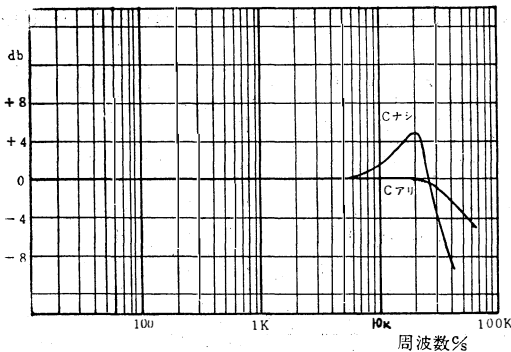


図 8

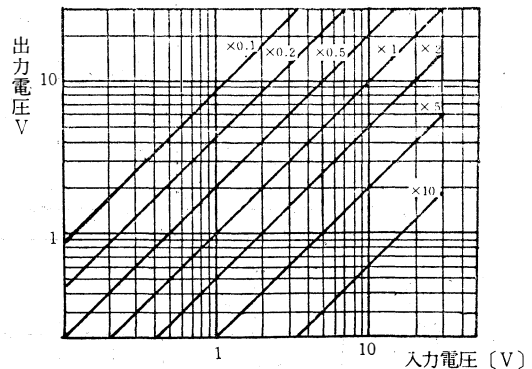


図 9

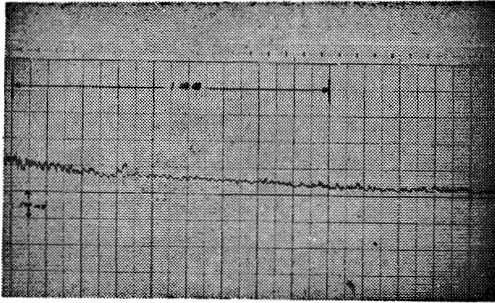


写真 6

ベルを修正するというにことにした。

使用部品も全て一般市販品を用いて図-7の回路を組立てた。その結果、図-8、図-9及び写真-6に示すような特性の演算器が得られた。

2.5 電源装置

陽極電圧、ヒーター電圧及び非線形要素等に必要な基準電圧などを作る部分であり、この性能が全体に及ぼす影響は可成り大きいものと思われるが、我々は、正及び負の陽極電圧回路には安定化回路を設けたが、

他はきわめて簡易な方法を用いた。

又、正は250V、負は110VのB電圧を用いている積分器を主体にして考え、他の増幅回路を全てこの電圧に統一したため、加算器に用いている直流増幅器の利得を下げる結果を招き、また、電源回路にも製作上不都合を生じた。直流増幅器の利得に関しては、やはり正負の電位差が500ボルト程度はあった方が良いと思われる。

図-10に回路図を、図-11にそのレギュレーションを示す。

2.6 非線形要素

非線形要素として不感帯、飽和、ヒステリシス、リレー等種々考えられるが我々は後に述べる非線形振動研究の必要性から、さし当り、不感帯特性と飽和特性を有する要素を装備させることにした。

これらは、いずれもダイオードの非線形性を利用したもので、印加電圧の順、逆によってその等価内部抵抗がほぼ零か、或いは無限大に変化するので、これを演算増幅器と組み合わせる。例えば、飽和、不感帯特性は図-12、図-13に示すようにする。

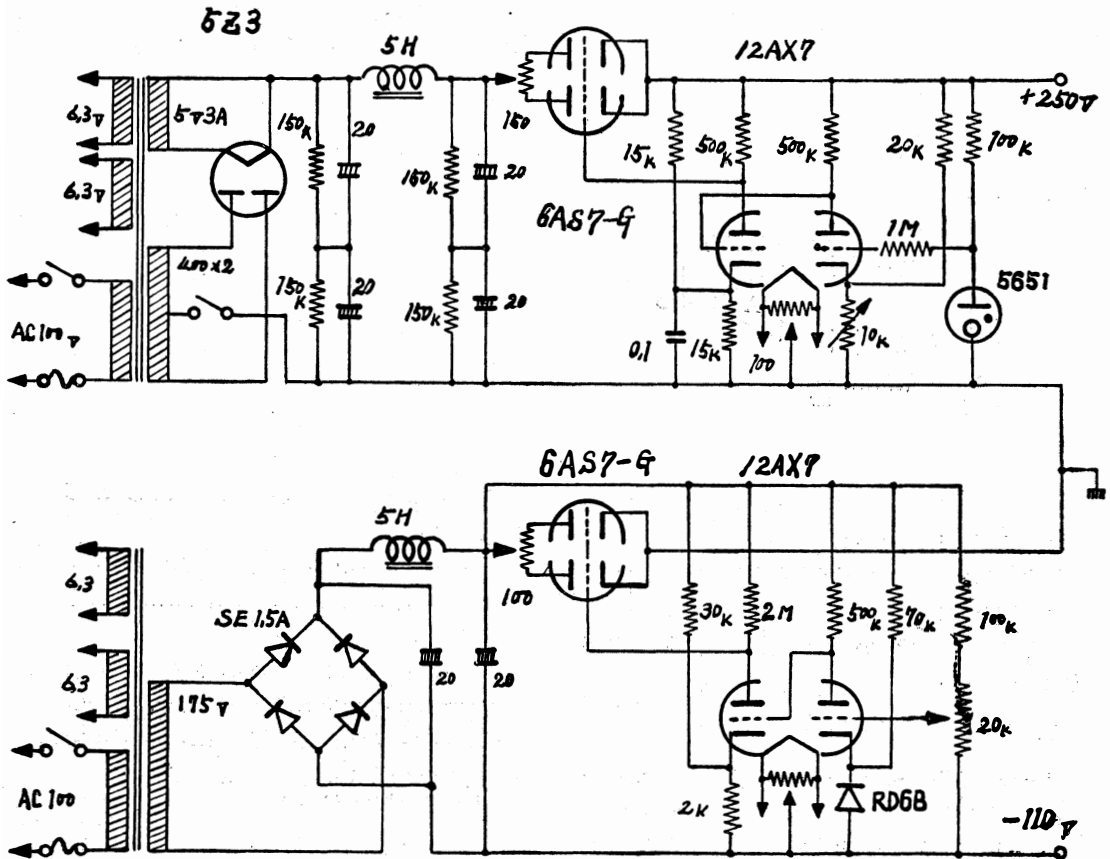


図 10

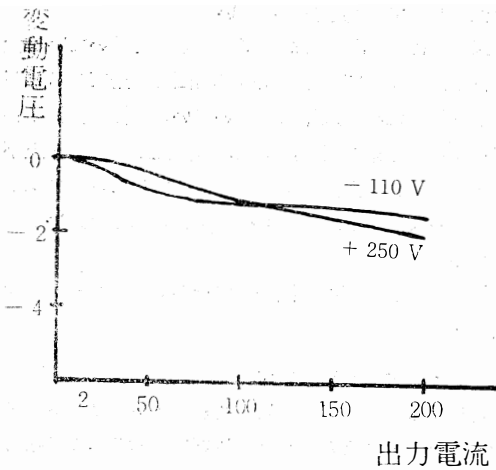


図 11

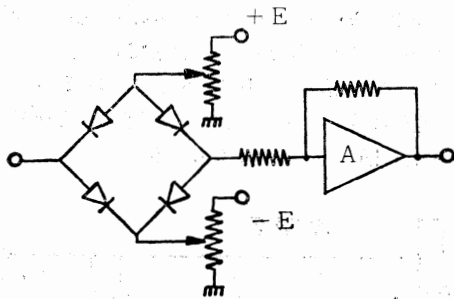


図 12

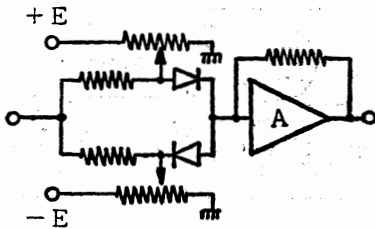


図 13

図のようにダイオードにバイアス電圧を加えることによって比例帯域、或いは不感帯域が出来、その電圧を加減することによって帯域を変化出来る。ここでダイオードは順逆共に或る値の抵抗を持っており、且つ、その値が一定でないために理想的な特性を持つ出力は得られない。

2. 7. サークルテスト

以上に各要素の概要と、個々の特性を示して来たが、これらを組合わせた場合の性能を総合的に判断するため、いわゆるサークルテストを行った結果、写真一7に示すような波形を得ることが出来た。

これは図一14に示す如く非減衰単振動の解を求めるように接続し、リサーチ図形をブラウン管上に画かせたもので、理想的には一本の円軌跡を画くはずであるが、実際には電源変動や、増幅器を含む各要素の誤差によって、一般に歪んだ円になったり、発散、或いは収束的な軌跡が得られた。

図 14

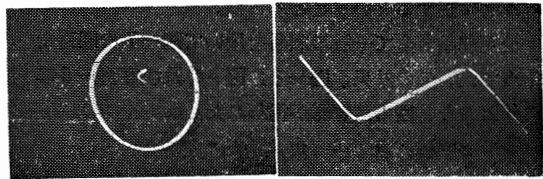
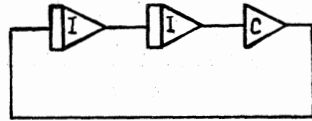


写真 7

写真 8

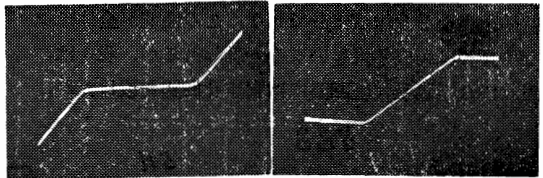


写真 9

写真 10

3. 応用例について

これまで我々が試作したアナログ電子計算機について述べた。

次に、非線形要素を利用して機械的、電氣的に生ずる諸現象の内、特別な例を試作計算機によって、定性的ではあるが現象解析に際し有用であることを示そう。

機械的そして電氣的諸現象において動作方程式はそれぞれ運動方程式や電圧電流方程式として表現され、その方程式は一般に非線形微分方程式の形で得られることが多い。

この微分方程式の解を広義の意味で解析する場合には位相平面上の解として考慮することは現象の理解に便利である。

かように位相平面上において、現象は安定点と不安定点と交互に存在するような場合が多く、この安定、不安定点を定めるのに不感帯特性と、飽和特性とによる特殊な非線形特性を持たせた。

以下その使用例をあげよう。

この特殊な非線形特性というのは、機械的には油圧サーボ系のスティックスリップ現象や、電氣的にはシュ

ミット回路、フリップフロップ回路におこる現象等の
ように、二つの安定点を持つ振動系の過渡的動作の解
析に際して考案したもので、前記の飽和要素と、不感
帯要素の極性を反転したものとを加算することによっ
て得られる。尚、その曲線の傾斜角、帯域幅は任意に
加減出来る。即ち各要素組合わせのブロック線図と出
力波形は次の図-15、写真-8に示す通りである。

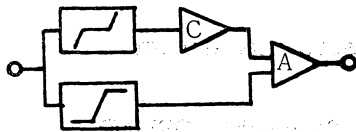


図 15

上記の非線形要素が、振動方程式

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + aT \frac{dy}{dt} + F(y) = 0$$

の $F(y)$ の関数形の特徴を代表するとすれば、アナロ
ン演算のブロック線図は図-16のようになる。

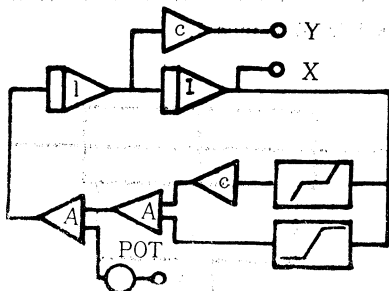


図 16

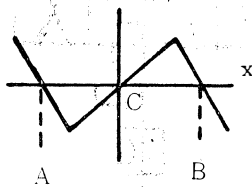


図 17

この時、位相平面に於ける解波形の安定点は図-17
のA点とB点によって決定され、原点Cは不安定点の
意味を持っている。従って非線形要素の特徴を変えれ
ば、横軸に交わるA、B点を移動することになり、そ
のため安定点も移動する。これらを実験したものを写
真-11~15に示す。

このような特性を用いて或る非線形振動系の動作を

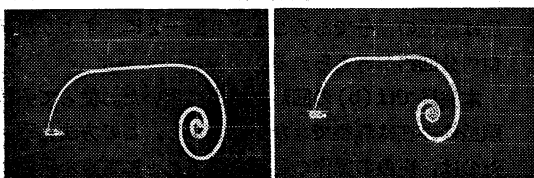


写真 11

写真 12

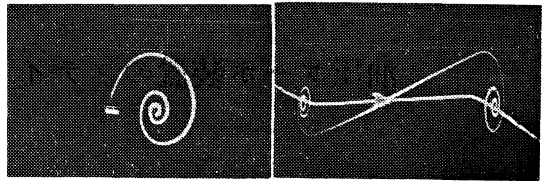


写真 13

写真 14

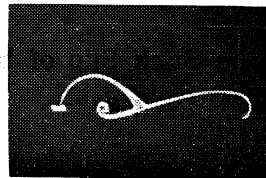


写真 15

考えるに、初期条
件によっては安定
せず、発散した解
を得ることも確め
られた。

4. むすび

この装置は、現象の定性的な特徴を調べるに有効で
あるが、定量的な取扱いをすることができるよう改
めるには、相当のむずかしい問題があるように思われ
る。これ等の問題に関しては次の機会に述べようと思
う。

なお非線形振動論の観点から考えると、図形的に無
盾しているように見える点は折線の波形に関してであ
る。

これはブラウン管写真を撮る際の不注意によるもの
であることを附言する。

文 献

- 山下：電子計算機
電気4字会北進大会（43年10月16日発表）

(昭43.10.31受付)