

非線形関数発生器と演算増幅器の特性について

明石 一*・中川孝之・高瀬博文

1. は し が き

油圧機構を含む機械系（実際の装置による）振動の実験結果にもとずいてその動作を解析し、あとにのべる動作方程式を得た。この場合、実際の装置における動作は、その動作の再現性がきわめて乏しいので、アナログ計算機による動作と実際の装置の動作の相似性が成り立つと仮定し、両者の動作の比較検討を行なって、油圧を用いた機械系の動作の解析することを目的とした。

これまで、この動作に対する取扱いは、摩擦特性を数本の折れ線で表示し、ある動作が限られた範囲内で線形動作をするものと仮定し、この範囲外では別の線形動作をするものとして解を求め、それぞれの線形動作を接ぎ合せて考察したものが多い¹⁾。そして一般に、このような非線形微分方程式であらわされる動作を解析的に解くことが困難なので、筆者らはアナコンを用いてこの動作の解を求めることにした。

きわめて大きな非線形性を特性に持つ（摩擦力が関係するような）動作方程式に対してアナコンによって一般的に取り扱うには、まず摩擦特性をどのように表示し、どのような演算プログラムにするか考慮しなければならない。このような観点において、筆者らは摩擦特性を表示する関数発生器、および演算精度の高い増幅器を試作した。そしてこれを用いて、先に説明した機械動作に相似なアナログ計算回路を組立てた。この報告は、二つの試作器の概要とその性能の実験結果を主に述べ、アナログ演算結果の一例を合わせて報告する。

2. 装 置

2.1 非線形関数発生器

関数形発生器は、入力信号の大きさによってその特性曲線が原点を対称とする数本の折れ線として得られるようにしたものである。この折れ線は二個の不感帯特性、および二個の飽和特性を出力とする演算器を組合せ、それぞれの演算器の出力を加算して求める関数形に近似した特性を得る方式で作られている。図1、および図2は、この各要素の接続の概念図、および精細な回路図である。図2に於いて中央に示すピンコンタクトソケットは、希望の非線形特性を得る以外に単独の不感帯や飽和特性を得ることができるように、このソケット上で回路間の接続を行うためのものである。そして、ポテンショメーターを調節して、各折れ点、および折れ線の勾配に変化を与えることができる。図3、および図4は各調節

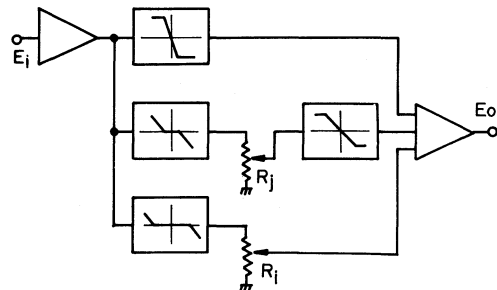


図1 概念図

* 京都大学工学部

部のポテンショメータのつまみの配置、および装置内部の配線を示す写真である。

図5は摩擦特性を近似する関数形の折れ点を設定する為のポテンショメータ R_a, R_b, R_c, \dots と折れ点の対応を示したもので、この図中、領域Iで示される部分の勾配は、 $100K\Omega$ 二連ボリューム R_k によって調節が可能(二連ボリュームの連動誤差によるオフセットを、そのつど調整してOPアンプのオープン利得に近い、大きな値まで設定できる)である。また、IIIおよびV領域の曲線勾配はそれぞれ R_j および R_i によって調節できる。

入力側に、信号レベルの調整とバッファを兼ねてトランジスタによるコンプリメンタリエミッタフォロワを設けるように工夫し、また、位相補整のなされたICオペアンプを用いて回路を簡単にした。そしてICは初段の差動バランスに注意して使用し、また回路はなるべく低インピーダンスで動作するように考えて製作した。

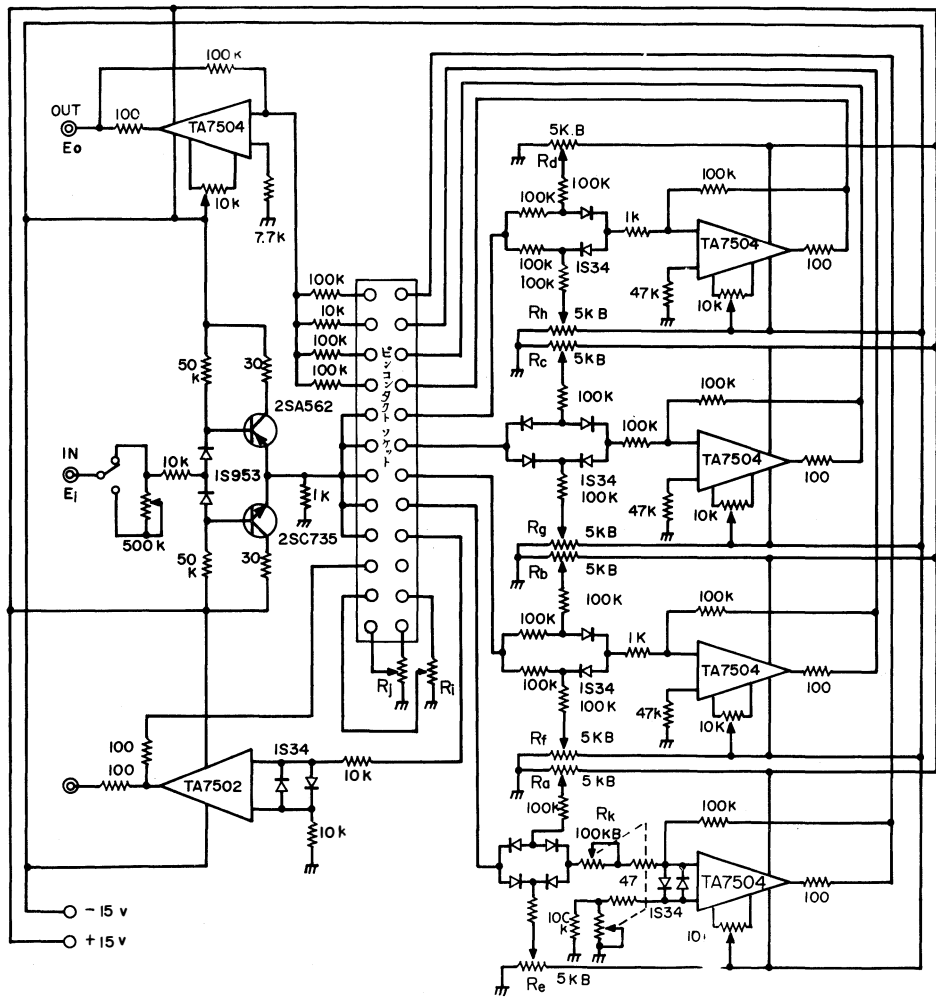


図2 試作関数発生器の回路図

2.2 演算増幅器

オペレーションICは、 $\mu A702$ を用いたアナログ計算機の基本的回路に従っているが、改良した回路

はこの $\mu A702$ の代りにTA7504M（東芝gain 30,000~100,000 Z_{in} 約 $1\text{ M}\Omega$ ）を用いることにした。そしてオイルペーパーコンデンサーに代えて、ポリエチレンメタライズドフィルムコンデンサーを積分コンデンサーとして使用し、演算増幅器の改良を試みた。また積分器においては、増幅器の微小なオフセット電圧も時間と共に積分されて大きくなるから、このオフセット調節を綿密に行なえるように二重の調整回路を設けた。なお、このオフセットの温度によるドリフトが無いように、オペアンプの2番端子に外部から供給するバイアス電流を、ダイオードを用いて安定化し、温度ドリフトの補償を行った。また加算器にも負荷効果やオフセットなど、積分器に対すると同様の配慮を行った。図6、および図7は、それぞれ積分器、及び加算器の回路図である。

2.3 電源部

電源電圧の安定性の良否は、積分器のオフセットや非線形関数の折れ点、及び演算基準電圧などにきわめて大きな影響を及ぼすので図8に示す電源回路を用い、演算回路と関数発生回路にそれぞれ独立にこの電源を用いた。

図の電源回路において制御トランジスタは、+10V電源にはPNP型、-10V電源にはNPN型を使用し、二組の電源を設けた。このようにしたのは、制御トランジスタを含む閉ループゲインを上昇し、電源としての基本的な性能の向上と、電源スイッチの投入、あるいは遮断にもとづく増幅器の過渡的不平衡状態を極力少なくするようにすることを目的としたからである。

3. 装置の特性に関する実験

3.1 非線形関数発生器

非線形関数発生器の入力端子に三角波信号 E_i を与えて、ある関数（例えば摩擦特性曲線に相当する）を記録したものの一例が図9である。これは図2の回路図に示した R_j をパラメータとして得られたもので、 R_j 以外の他のポテンシオメータとの組合せを変えると、その組合せに従って種々の非線形特性が得られる。図5の概念図と比較して図9の実験結果を見ると、非線形関数をあらわす曲線は、不自然な折れ曲り方のない出力曲線

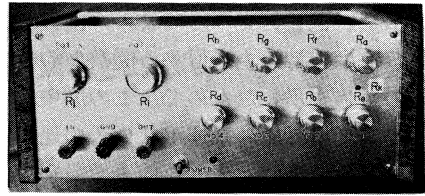


図3 ツマミの配置

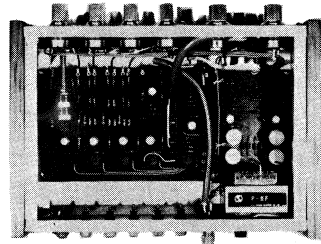


図4 試作関数発生器の内部

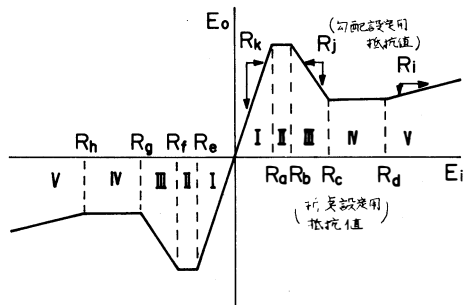


図5 曲線勾配とポテンシオメータの関係

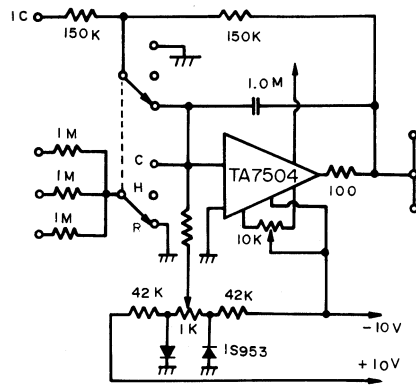


図6 積分器回路図

圧が生ずるようにした装置) によって得るものとすれば、これらの方程式(1)(2)は、

$$\frac{dE_y}{dt} = R_y(50R_4 - R_3E_y - 2R_2E_x) \quad (3)$$

$$\frac{dE_x}{dt} = R_x \{ R_1E_y - (\eta + \xi E_x + \zeta E_x^2 + \dots) \} \quad (4)$$

となり、この演算プログラムは図12のように示すことができる。ここで、

$$R_1 = A, \quad R_2 = A, \quad R_3 = \frac{\alpha}{\sqrt{P_s}}$$

$$R_4 = \frac{1}{50} \rho \alpha \sqrt{P_s}, \quad R_5 = -\frac{1}{50} \eta, \quad R_x = \frac{1}{M}$$

$$\text{および } R_y = \frac{1}{\beta G}$$

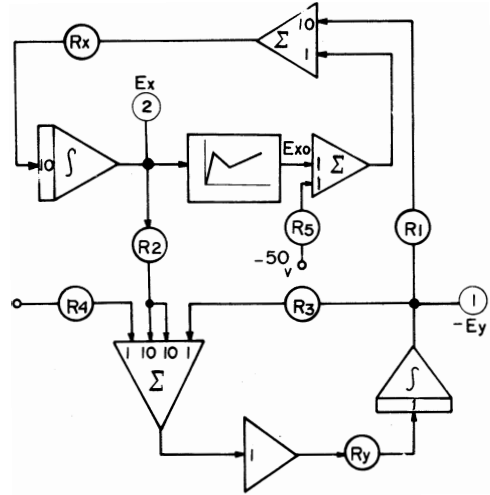


図12 演算プログラム

いま一定の非線形特性に対し、プログラムに示した R_x , R_y , R_1 , R_2 , R_3 , および R_4 の特定の値に対する E_x , E_y の位相平面図、および E_x , $E_y \sim t$ の波形は図13に示すようになった。図において左側の図は位相平面上のトラジェクトリー、および関数発生器出力特性をあらわす図であり、また右側の図は $E_x \sim t$ および $E_y \sim t$ の関係を実測したものである。なお、それぞれの図は R_y をパラメータにしたものである。これらのパラメータの種々の値に対する位相平面図から、非線形特性曲線、 $E_y = \frac{1}{R_1} \cdot (\eta + \xi E_x + \zeta E_x^2 + \dots)$ および $E_y = 50(R_4/R_3) - 2R_2(E_x/R_3)$ (流量圧力特性曲線) が推定される。即、

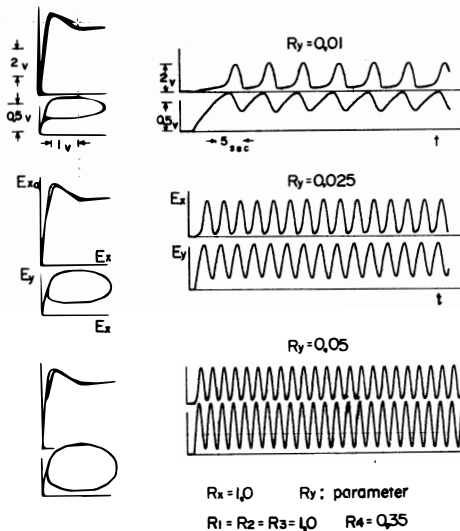


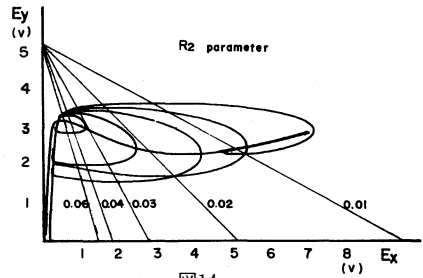
図13 位相平面図および E_x , $E_y \sim t$ の関係

これらの二特性曲線上を通るトラジェクトリーの接線方向は、前者の場合、横軸に垂直で、後者の場合、水平であることが理論的にも実験的にも明らかとなった。このことは、位相面上のトラジェクトリ一より、曲線 $E_y = \frac{1}{R_1}(\eta + \xi E_x + \zeta E_x^2 + \dots)$ および $E_y = 50(R_4/R_3) - 2R_2(E_x/R_3)$ の特徴を、この平面上で推定するのに役立つ。すなわち、 $\frac{dE_y}{dt} = 0$ または $\pm\infty$ を満足する E_x と E_y の関係は、前者の場合 $\frac{dE_y}{dt} = 0$ が成り立ち、後者の場合に $\frac{dE_x}{dt} = 0$ が成り立つからである。したがって式(3)より $\frac{dE_y}{dt} = 0$ として、

$$E_y = \frac{1}{R_3}(50R_4 - 2R_2E_x) \quad (5)$$

また式(4)より $\frac{dE_x}{dt} = 0$ として

$$E_y = \frac{1}{R_1}(\eta + \xi E_x + \zeta E_x^2 + \dots) \quad (6)$$



なる関係が得られる。そして(5)式は $\frac{2R_2}{R_3}$ なる負勾配をもつ直線を意味し、式(6)は、非線形関数発生器の特性を示すことがわかる。したがって反対に、ある式(6)を一定とし、式(5)の直線の勾配を変化して得られた位相面上のトラジェクトリーが求められると、式(5)(流量特性)および式(6)(非線形特性)を図上に推測できる。その例を図14に示す。図においてトラジェクトリーの勾配 $\frac{dE_y}{dE_x}$ は、流量圧力特性曲線上および非線形関数曲線上で、それぞれ0、および $\pm\infty$ となっていることがわかる。

5. む す び

以上の諸関係から、機械系の動作機構を電気回路で相似的に考察できることや、この試作の非線形関数発生器および演算器は、定性的な解析を行うために満足すべき性能を有することがわかった。

参 考 文 献

1) 明石・中川・大住：講演論文集（機械学会関西支部235回講演会）57，（51.6.30）

（電気四学会北陸支部連合大会 昭52年10月6日講演）

On the Characteristics of Nonlinear Function Generator and Operational Amplifier

Hajime AKASHI, Takayuki NAKAGAWA, Hirofumi TAKASE

In order to analyse mechanical vibration on the hydraulic apparatus, we have made a nonlinear function generator, and improved the operational amplifier, though they are used in the analog computer.

This report indicates the characteristics of these apparatuses and the solutions of the vibrations obtained from using the analog computer.

(1977年10月20日受理)