

サーボアナライザについて

日本電気機材株式会社 戸川 秀夫・中西 謙造

1. ま え が き

サーボ系およびそれに用いられる各種要素の特性を測定するに極めて多くの方法が考えられているが、広く実用化されているのは線形用の周波数伝達関数解析機と非線形のものも測定可能なベクトル解析機である。

後者は Fourier の式を演算させる、いわゆる相関法に基くものである。したがって汎用のアナログ計算機を用いることもできるが、簡単・確実に測定できるように専用機として構成されたものが考えられており、俗にサーボアナライザなどと呼ばれている。ここでは、この方式のもので筆者らの製作している SZ-10B 型サーボアナライザを一つの実施例として説明する。

2. 原 理

任意の系に正弦波入力を与えると、その出力 $y(t)$ は (1)式および(1)'式のように表わされる。

$$y(t) = a_0 + \sum_{n=1}^n a_n \sin n\omega t + \sum_{n=1}^n b_n \cos n\omega t$$

$$= a_0 + \sum_{n=1}^n c_n \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (1)$$

ただし

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt && : \text{直 流 分} \\ a_n &= \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \sin n\omega t dt && : X \text{ 成 分} \\ b_n &= \frac{2}{T} \int_0^T y(t) \cos n\omega t dt && : Y \text{ 成 分} \\ c_n &= \sqrt{a_n^2 + b_n^2} && : \text{利得比例分} \\ \varphi_n &= \tan^{-1}(b_n/a_n) && : \text{位 相 角} \\ T &= 2\pi/\omega && : \text{周 期} \\ n &= 1, 2, 3, \dots && : \text{高調波の次数} \end{aligned} \right\} (1')$$

要素が非線形の場合に(1)式のように高調波が現われ、線形の場合には単に

$$y(t) = c_1 \sin(\omega t + \varphi_1) \quad (2)$$

となる。

また非線形要素についての記述関数は、入力を $x = k \sin \omega t$ とすれば

$$G_N = \frac{y(c_1, \varphi_1)}{x(k)} \Big|_{\omega=\omega_1} \quad (3)$$

であるから、(2)式と同様に求めることができる。

したがって本機では $n=1$ として Fourier 係数式(1)'を演算する。すなわち

$$\left. \begin{aligned} a_{n=1} &= \frac{2}{T} \int_0^T c \sin(\omega t + \varphi) \sin \omega t dt = K \cos \varphi \\ b_{n=1} &= \frac{2}{T} \int_0^T c \sin(\omega t + \varphi) \cos \omega t dt = K \sin \varphi \end{aligned} \right\} (4)$$

となり、X 成分、Y 成分の直流量を得る。積分時間を周期の整数倍としても(4)式の値は変わらない。

次に X、Y 両成分をインバースレゾルバに与え、 c_1 に比例した電圧と、 φ_1 に比例した機械角を得る。振幅比 $|G|$ を知るには電圧 c_1 を読みとるようにする。ボード線図を得るためには、さらにこれを対数化し $\log G$ なる出力を得、これを X-Y レコーダの Y 軸に、X 軸には入力周波数を対数化した電圧を与え、周波数一利得特性を得る。周波数一位相特性には Y 軸に φ_1 に比例した電圧を与える。

なお以上の原理はキャリヤシステムの場合も同様で、ただ変調・復調装置が含まれる。

3. 構 成

本機の構成を図1に示す。構成要素でとくに他

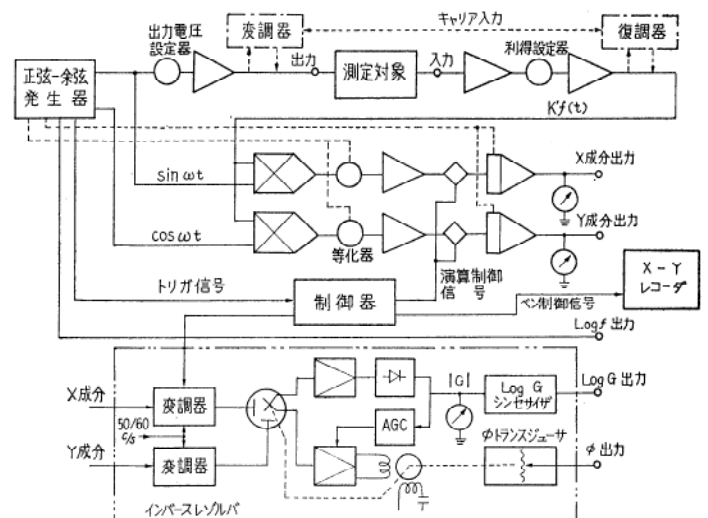


図1 SZ-10B 型サーボアナライザの構成図 (電源部は省略)

のサーボアナライザと異なる特徴を有する部分につき以下説明する。

3.1 正弦・余弦発生器

この二相発生器の回路構成は図2に示すように、二組のヒステリシス要素と積分回路からなる三角波発生回路において、一つを基準とし、他方を位相制御して正確に90°の位相差をもって発生する。

二つの三角波はそれぞれ抵抗器とダイオードからなる正弦波シンセサイザで正弦および余弦波に変換され、バッファを通して出力となる。図2の各部の波形を示すと図3のようである。

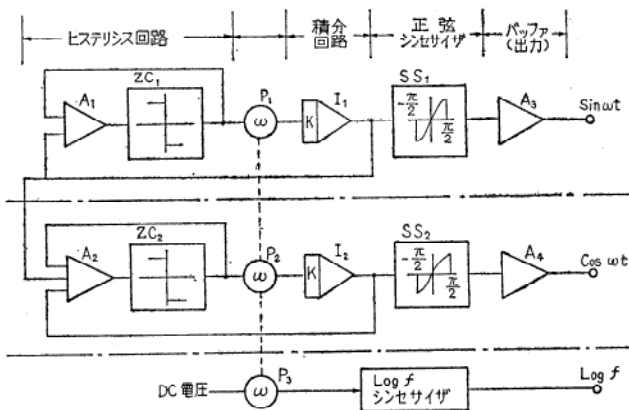
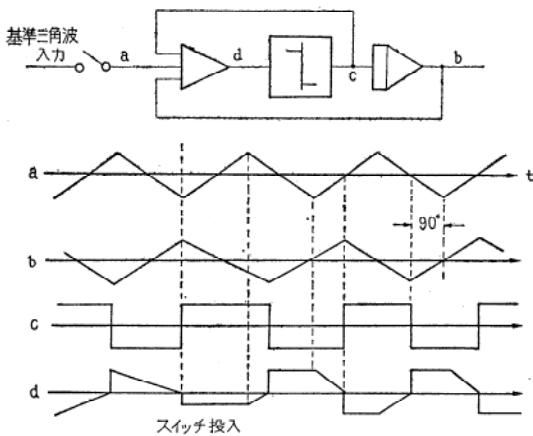


図2 正弦・余弦発生器の構成図



スイッチ投入時において基準入力 a と出力 b とは180°異っているが、これが90°の位相差となるまで自動的に調整される様子を示す。(特許出願中)

図3 基準入力による同期整定の様子

なお周波目盛1レンジを対数化した電圧出力 $\log f$ があり、これより Bode 線図表示の X 軸を与えることができる。

3.2 演算制御装置

これは第1図の各演算要素に演算、表示、復帰に関する

三種の動作をなさしめる時限装置である。演算時間は周波数によって変り、次のようである。

0.0008 ~ 0.012 c/s	1 周期
0.008 ~ 0.12 c/s	1 周期
0.08 ~ 1.2 c/s	1 周期
0.8 ~ 12 c/s	2 周期
8 ~ 120 c/s	16 周期

表示時間は周波数に関係なく約8秒間であり、この間、X成分、Y成分および $|G|$ の各指示値はホールドされ、X-Yレコーダは Nyquist, Nichols 表示ではペンが一度打点し、Bode 表示では、 $|G|$ と ϕ の二度の打点を行う。復帰期間に入ると、これらの値はすべてリセットされる。

この演算制御の三動作は一回きりの場合と、繰り返し継続して行う場合の二種が選択できる。

3.3 インバースレゾルバ装置 (座標変換器)

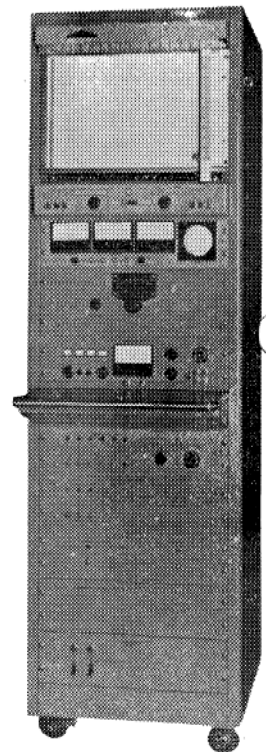
シンクロレゾルバとサーボメカニズムを組合せた構造でありブロック構成は図1に示してある。サーボ増幅器の入力零において、シンクロレゾルバの他の二次巻線には二つの入力電圧の直角ベクトル和の電圧 ($\propto |G|$) が発生する。このサーボ増幅器はその入力における誤差電圧と回転角とは直線的でなく、その勾配は他のスペクトル和の出力と逆の符号の量となるため、増幅度をベクトル和に比例した電圧で制御し、ループ利得を一定とするように構成されている。インバースレゾルバとしての単体精度は0度位置にて ± 0.6 度、 ± 90 度位置にて ± 1 度以内である。

角の表示目盛は ± 180 度までであるが、測定が多象限にわたる場合は、適宜換算して読みとるようになっている。

上述の $|G|$ はこれを対数シンセサイザで対数変換し、dBとして、Bode, Nichols 表示に用いられ、40 dB の表示範囲を有する。

4. 測定

測定対象はその回路構成の上で、開ループのものと同閉ループのものに分かれる。



SZ-10B型サーボアナライザ

図4

4.1 開ループの測定

図5のようにサーボアナライザと測定対象を接続する。これは最も基本的な測定法でもあり、周波数応答が求められる。

4.2 閉ループの測定

図6において基本入力を R 、制御変数を C 、動作(または誤差)信号を E 、帰還信号を N 、前向利得を G_1 、帰還利得を G_2 とすると、周知のように総合利得 G は

$$G = \frac{C}{R} = \frac{G_1}{1 + G_1 G_2} \quad (6)$$

誤差応答は

$$G_e = \frac{E}{R} = \frac{1}{1 + G_1 G_2} \quad (7)$$

一巡伝達関数 G_t は

$$G_t = \frac{N}{E} = G_1 G_2 \quad (8)$$

(6)および(7)式の各応答を求めるにサーボアナライザの出力をもって測定対象の入力 R として、直接またはトランジューサーにより与えることができる場合は上述の開ループの測定の場合と同様の方法でよい。

また(8)式はできるだけ高レベルのところをループを切りここにサーボアナライザを同様に挿入すればよい。

実装のプロセス制御系などで上述の R が容易に与えられない場合、あるいは閉ループの状態で各応答を求めるときには、

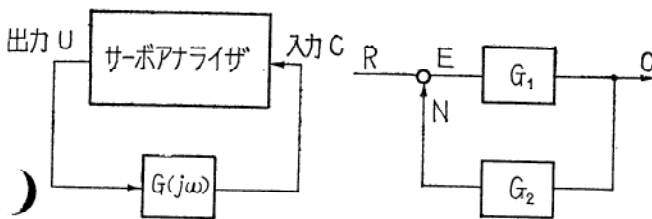


図5 開ループの場合の測定例

図6 閉ループの1例

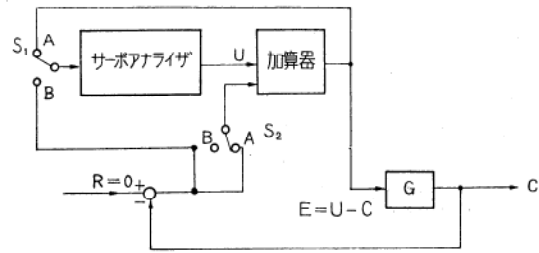


図7 閉ループの場合の測定例

図7のように加算器を電気回路に挿入し、 $S_1 \rightarrow B$ 、 $S_2 \rightarrow A$ とすれば

$$C = GE = G(R - C + U) \quad (9)$$

$R=0$ とすれば

$$\frac{C}{U} = \frac{G}{1+G} = \frac{C}{R} \quad (10)$$

となり、帰還回路に何らかの要素が含まれる場合も同様に成立するから、閉ループ周波数応答が求められる。

また $S_2 \rightarrow A$ のまま、 $S_1 \rightarrow A$ とすれば

$$E = R - GE + U$$

$R=0$ として、

$$E = U - GE$$

$$\frac{E}{U} = \frac{1}{1+G} = \frac{E}{R}$$

となり誤差応答が求められる。

5. 結 言

以上本機の概要とその使用結果の一例を述べたが、これを用いて、各部の要素、ループの特性などを正確にとらえることができるようになった。なお、装置の小形化、周波数範囲の拡大などの課題が今後に残されている。