

3B-1

機械振動系との対応をもつ
制御特性シミュレータシステムの開発江 原 信 郎 師 岡 秀 和
明 治 大 学

1 まえがき

制御工学、特に大学学部での制御工学教育では、いわゆる古典制御理論で時間応答、周波数応答と特性補償が中心となる。グラフィックス表示を簡単に利用できる現在では、制御特性線図を求めることは比較的容易であり、それなりの教育効果をあげている。

しかし、画面表示では実際の物理現象との対応がつきにくく、初心者には画面上で特性パラメータを変化させても、それが物理現象としていかなる変化に相当するのかわかむことは難しい。電気的なシステムでは、たとえば状態フィードバックをかけたサーボモータ系などを用いて比較的対応イメージをつけやすいが、機械的なシステムでは慣性・剛性・減衰などを自動更新することが容易ではなく、対応イメージはつけにくい。

本研究は、機械的な振動対象と制御特性シミュレータとを結合し、特性シミュレータ上のパラメータ変化を自動的に物理系に反映させ、物理的現象の把握を可能としたシステムを開発したものである。

2 開発のねらい

基本的なシステム構成を示したものが図1である。このシステム構成を機械系で実現するには、状態フィードバックの系をどのようにして機械的に実現するか問題となる。これは、機械系の剛性および減衰項を変え、ことに相当し、可変係数を持つ機械要素の実現は今のところ容易ではない。

そこで、ばね・質量から構成される一自由度機械振動系を変位加振し、制御によって加振の特性を変え、等価的にばね定数と減衰係数とを変えたように運動させるシステムを考える。

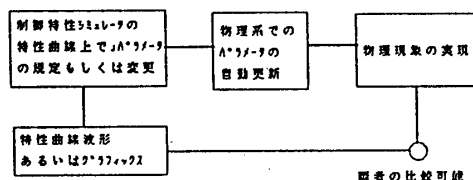


図1 基本的なシステムの構成
Control System Dynamics Simulator
with Mechanical Vibration Characteristics.
Noburo EHARA Hidekazu MOROOKA
Meiji University

3 開発システム

3・1 制御特性シミュレータの構成

(1) 扱う対象

開発したシミュレータは、図2のように制御要素を直列に結合した直列補償フィードバック系である。各要素の伝達関数は、

1) P I D 補償要素

$$G_1(s) = K \{ 1 + (1/T_I s) + T_D s \}$$

2) 位相進み補償

$$G_2(s) = A_L(1+T_L s) / (1+A_L T_L s)$$

3) 位相遅れ補償

$$G_3(s) = (1+T_G s) / (1+A_G T_G s)$$

4) 制御対象の伝達関数

$$G_4(s) = \{ b_{m-1}s^{m-1} + \dots + b_0 \} / \{ s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \dots + a_0 \}$$

5) 前向き要素の伝達関数

$$G(s) = G_1(s)G_2(s)G_3(s)G_4(s)$$

6) 閉ループ伝達関数

$$W(s) = G(s) / (1 + G(s))$$

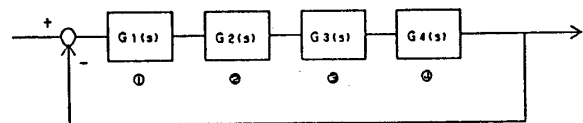


図2 直列補償フィードバック系

(2) 出力

本特性シミュレータは、以上のような制御系に対して、① 時間応答波形 ② ボード線図 ③ ベクトル軌跡 ④ 根軌跡 ⑤ ニコルス線図を表示出力する。

(3) 画面上の特性値読取り機能

制御特性線図は、位相余裕、ゲイン余裕、バンド幅、ゲイン定数など制御対象に関する設計情報も持っている。本シミュレータは、マウスにより特性曲線上の一点をピックアップして、曲線上の特性値および関連する制御設計値を読み取る機能を持たせている。

3・2 可変パラメータ機能を持つ機械的システムの構成

シミュレータに対応する物理系として、

I ハパラメータ可変のハイブリットコンピュータ系
II 状態フィードバックをもつサーボモータ系
III 可変パラメータ機能を持つ機械振動系
を考えた。本報では、機械振動系の実現について述べる。

この物理系は、一自由度のばね・質量系(a)に振幅・周波数可変の変位加振を加え、等価的にある任意の固有振動数と減衰係数とを持つばね・質量

・減衰系 (b) の運動を実現するものである。いま、(b) として次のような運動を考える。

$$m \ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0$$

$$y = a \sin \omega t \text{ の変位加振を考える。}$$

一方、(a) において、

$$m \ddot{x} + k(x - y) = 0$$

$$y = a \sin \omega t + y_0(t) \text{ とし、両者が同じ運動をするような } y_0(t) \text{ を求めると}$$

$$y_0(t) = \{ c a \omega \cos \omega t - c \dot{x} \} / K$$

機械的な振動系のシステム構成を示したものが図3である。ばね・質量部分は、ばね定数 $k = 0.392 \text{ N/m}$ 質量 $m = 226.5 \text{ g}$ であり、固有振動数 13.06 rad/sec 総重量 0.78 kgf である。この振動系を電磁加振器にのせ渦電流型変位センサで変位を計測する。

なお実際の系としての減衰係数・摩擦係数の補正も行い全体として目標の減衰が出せるように考慮した。

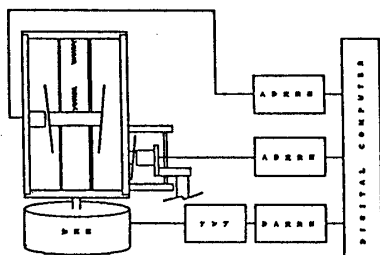


図3 機械的システムの構成

3・3 特性シミュレータと物理系の結合

特性シミュレータと物理系との結合を示したものが図4である。また、特性シミュレータ上でボード線図の角周波数 ω を変えたときに、応答がどのように変化するかを示したものが図5である。

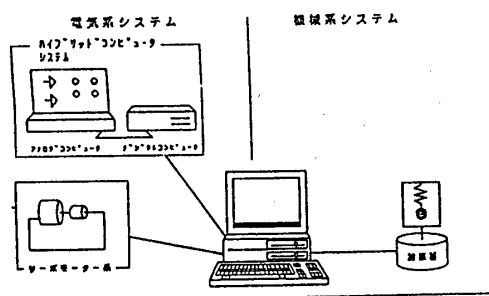


図4 システム全体構成

4 具体的な使用

ここで開発したシステムは、主として学生の制御工学実験および自習に用いる。一例を示すと、

- (1) 伝達関数をシミュレータに入力し、各種の制御特性曲線を理解させる。
- (2) 周波数応答曲線上で、ある角周波数 ω を指定し、状態を実際に生じさせ、特性曲線の意味を把握させる。
- (3) 二次系の剛性、減衰を変更し、特性の変化を物理的に体得させる。

なお、本実験は、基礎の教示も含めシミュレータに3コマ単位1回、物理系との組合せに3コマ単位1回の2回程度である。

5 おわりに

機械振動系と制御特性シミュレータとを結合し、特性シミュレータ上でパラメータを変化させた結果を自動的に物理系に反映させるシステムを開発した。本報では、制御特性シミュレータの構成・可変パラメータ機能を持つ振動系の構成・両者の結合について述べ、その具体的な適用について述べた。

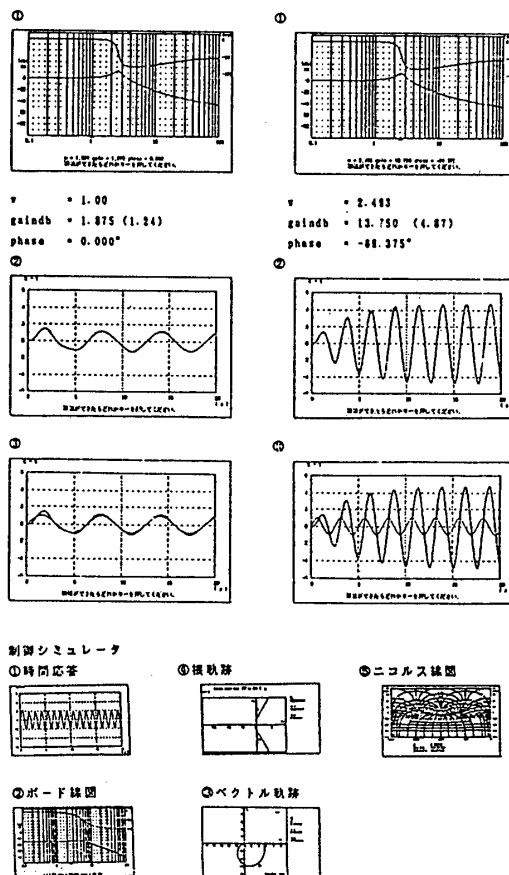


図5 シミュレータと物理系の結合