

マイクロコンピュータを用いた非線形系の解析

柳原昌輝

Analysis of Non-linear system
using Micro Computer

by Masateru YANAGIWARA
(昭和54年10月31日受理)

The system reported in this paper is the one linked Micro-Computer to Analog Computer using A/D converter and D/A converter, and this is the report in which Non-linear system is analyzed with the linked system. By using this system, I analyzed some systems that couldn't be analyzed only with the Analog Computer.

The result analyzed with this system is almost equal to that analyzed with Digital Computer. From the fact it can be said that we can put much confidence in this linked system.

たので、ここに報告する。

1. 結 言

一般に微分方程式の解法の1つにアナログコンピュータ(アナコン)を用いる方法がある。

本校電気工学科第4学年の実験実習においても、電気回路網の解析にアナコンを利用している。

しかし、この実験実習に使用しているアナコンは、安価なため、構成要素も積分器:2, 加算器:2, ポテンショメータ:4と少なく、非線形要素は含まれていない。このため、このままでは非線形系の解析をすることができない。そこで、最近特にブームになっているマイクロコンピュータ(マイコン)を非線形要素のシミュレータとして利用し、マイコン、アナコンの結合システムを構成することを考えた。これにより、アナコンの機能を高め、線形、非線形系を問わず解析できる安価なコンピュータに改造することができる。

本研究の目的としては、前号で紹介したDAC, ADCとアナコン、マイコンの結合システムを作製し、非線形系の解析を行うことにある。

基本的な問題を2, 3解き、その結果をディジコンで解いたものと比較した所、満足できる結果だっ

2. システム概要

制御系における、線形部分のシミュレータとして高速演算性のあるアナコン、非線形部分のシミュレータとしては、多種のデータ処理性のあるマイコンを用いる。これらの結合システムを図1に示し、信号の流れを説明する。

与えられた制御系中の線形部分のシミュレートはアナコンで行う。もし、この系が多変数制御系であった場合、制御の対象となる変数が複数になる。アナコンから非線形系のシミュレータであるマイコンへ送る複数の信号のうち、ある時間において制御に必要な信号を1つ選び出すのが走査器と呼ばれている。この走査器によって選び出された信号をADCに送り、デジタル信号に直してマイコンに送る。非線形系部分をマイコンで演算した後は、この信号をもう一度アナコンに戻し、繰り返し演算が可能になるようにしている。分配器は、マイコンで求めた非線形系部の演算結果を、アナコンの各部(多変数制御の場合、結果の戻り先が違う)に分離して送るためのインターフェイスである。

それらをさらに、DACを通して、アナコンで取り扱おうことのできる信号に変換している。

これら演算信号の他、ADC、DACの動作を制御する制御信号が必要である。

また、アナコン、マイコンを接続するADC、DAC、走査器、分配器、制御信号発生部を、リンケージと呼ぶ。

本研究で用いたマイコンは、TK-80(日本電気製)、アナコンは、VR-308A(松下通信製)である。

3. 試作システム

簡単のため、一変数制御の場合を考えた。この場合、走査器、分配器を必要としない。試作システムを図2に示す。

4. 試作システムによる解析

4.1 発振回路

4極管のダイナトロン発振回路において、発振が定常状態になるまでの解析をする。

発振回路を図3に示す。この回路において $E_p=20$ [V], $L=1$ [mH], $C=1$ [μ F]とする。

また、4極管のダイナトロン特性を図4に示す。回路方程式は、次のように表わされる。

$$-v_p = -E_p + L \frac{di_L}{dt} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{1}{LC} \int (i_p - i_L) dt \dots\dots\dots(2)$$

またダイナトロン特性を $i_p = F(v_p)$ という関数で考え、電圧、電流に対するスケールファクタを $\frac{1}{40}$, $\frac{1}{30}$ とし、タイムスケールファクタを 10^4 とにおいてプログラミングした。

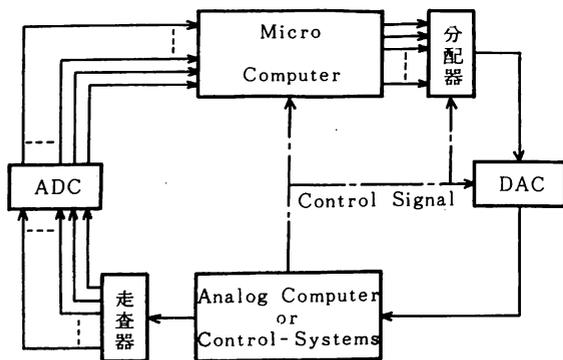


図1 一般的な結合システム

(1), (2)式からわかるように、変数が v_p, i_p, i_L のため、1つのループで組むのが困難である。しかし、この中、 $i_p - v_p$ の関係は、ダイナトロン特性であるため、この分をマイコンでシミュレートすることによりプログラミングが可能となる。

この特性の近似の際、図4からわかるように、一本の式で近似できないため、次のように分割近似した。

$$x = \left[\frac{v_p}{40} \right], y = \left[\frac{i_p}{30} \right] \text{ とスケール変換すると}$$

$$(1) \quad 0 \leq x \leq 0.25 \quad (0 \leq v_p \leq 10)$$

$$y = 5.7x - 16.8x^2 + 14.4x^3$$

$$(2) \quad 0.25 \leq x \leq 0.75 \quad (10 \leq v_p \leq 30)$$

$$y = 0.1 + 4.5x - 12x^2 + 8x^3$$

$$(3) \quad 0.75 \leq x \leq 1 \quad (30 \leq v_p \leq 40)$$

$$y = -10.7 + 47.7x - 69.6x^2 + 33.6x^3$$

ここで問題となるのは、この近似曲線のマイコンによるシミュレートの仕方であり、次の2つの方法が考えられる。

(1) 近似式を3種プログラムし、 v_p 入力により演算し、 i_p 出力をする。

(2) 各近似式について、 v_p に対する i_p の値をあらかじめ計算しておき、それらのデータをマイコンのRAMに格納しておく。そして、 v_p 入力があった時、その値に対応する i_p を出力するようにする。

この問題については、マイコンのメモリの関係から、(2)の方法をとった。

アナコン、マイコンによる演算回路図を図5に示す。演算解は、図6に示すとおりである。

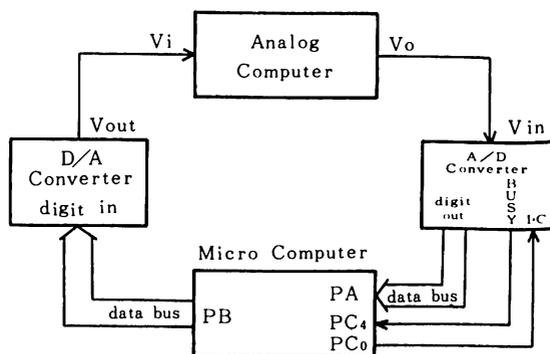


図2 試作システム

マイクロコンピュータを用いた非線形系の解析

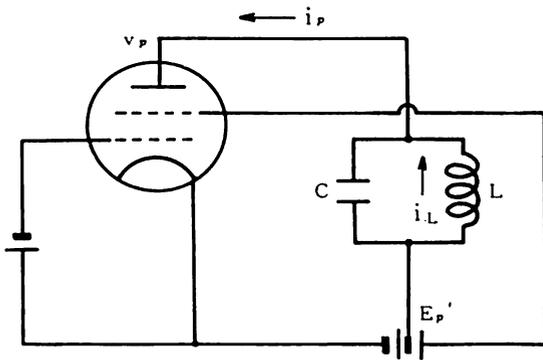


図3 ダイナトロン発振回路

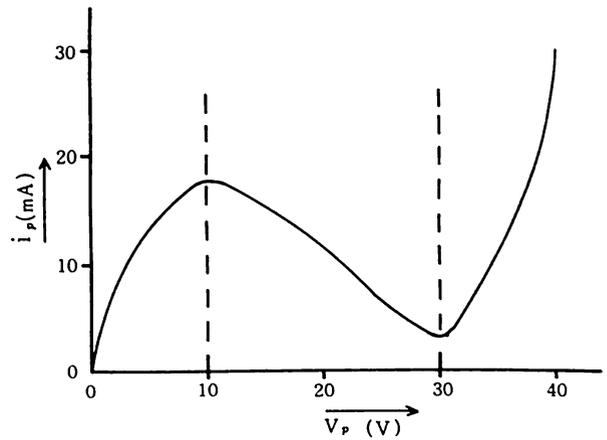


図4 ダイナトロン特性

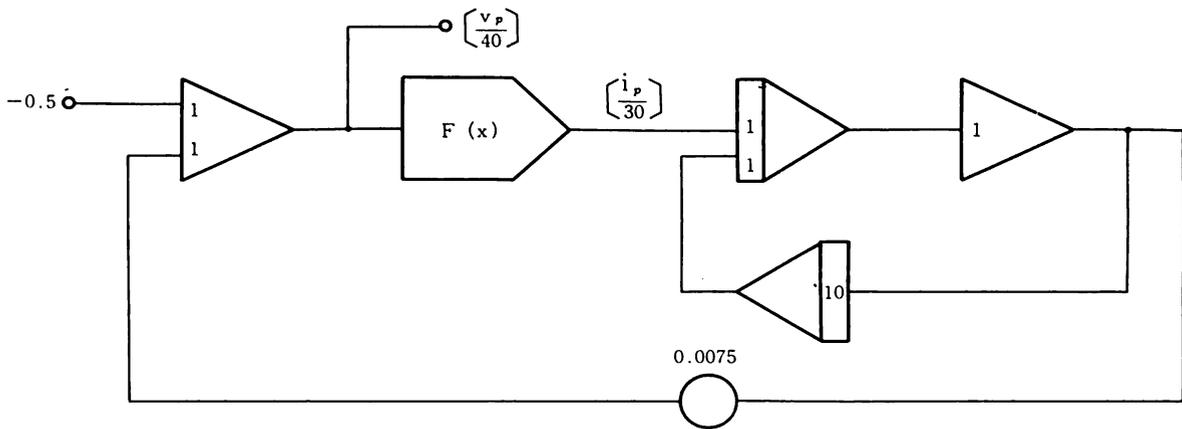


図5 演算回路

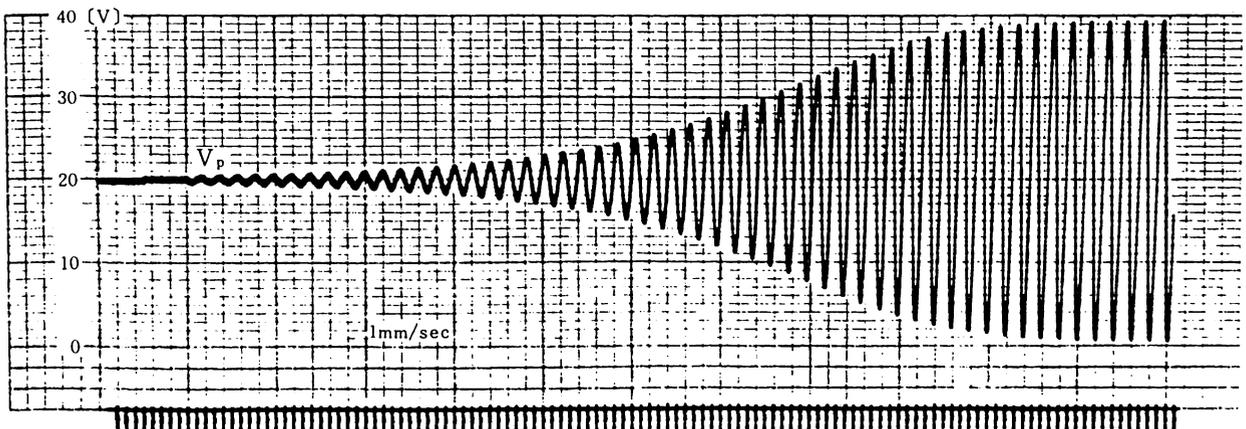


図6 演算解

4・1・1 シミュレータプログラム

マイコンによるシミュレータプログラムを図7に示す。このプログラムは、任意の関数を、あらかじめ他のデジタルコンピュータで計算することにより、求めたデータを、8100番地以降にストアしておく。ADCからの入力データに対応する特性データを取り出し、DACに送ることによって、その関数の発生器として動作させることができる。

4・2 平滑回路の過渡応答

碰束が飽和するコイルを用いた平滑回路において、ステップ入力を加えたときの、負荷抵抗に流れる電流の過渡応答の解析について考える。

回路図を図8に示し、コイルの碰束飽和特性を図9に示す。

図8の回路方程式は次のように表わされる。

$$\frac{d\phi}{dt} + R \cdot I = E \dots\dots\dots(3)$$

$$R \cdot I = \frac{1}{C} \int (I_L - I) dt \dots\dots\dots(4)$$

また、飽和特性を次式で近似する。

$$I_L = 4 \phi^3 + \phi$$

$E=50[V]$, $R=100[\Omega]$, $C=100[\mu F]$ とし、 I , I_L , ϕ のスケールファクタをそれぞれ2, タイムスケールファクタを 10^2 としてプログラミングする。

また、この問題においては、 ϕ^3 の部分をマイコンでシミュレートした。

プログラムを図10に示し、演算解を図11に示す。

5. 結 言

例として、以上2つの基本的な問題について解析を行った。結果についても、デジタルコンピュータで、それぞれの微分方程式を解き、比較した所、非常に満足できるものであった。

しかし、非線形部分のシミュレートについては、メモリと演算速度の関係から、近似式をプログラムする方法か、データ格納法かのいずれかを選択しなければいけない。

今後は、ADC, DACを増設し、走査器、分配器を接続して、多変数制御系の解析を可能にすることが、よりアナコンの機能を高めることになると思われる。最後に、データ処理に御協力願った、本研究室生、佐藤貢(技科大)、熊谷隆雄(自営)両君に謝意を表します。

8000		MVI B, 00	
8002		MVI A, 98	} #255モード指定
8004		OUT 03	
8006	LOOP	MVI A, 01	} PC,セットAD変換サイクル開始
8008		OUT 03	
800A		MVI A, 00	} PC,リセット スタンバイ
800C		OUT 03	
800E	SKIP	IN 02	} AD変換中か、変換が終わったかどうかのチェック
8010		ANI 10	
8012		JNZ SKIP	
8014		IN 00	--- ADCからの入力(PAへ)
8016		LXI H, 00, 81	
8018		MOV C, A	
801A		DAD B	
801C		MOV A, M	
801E		OUT 01	--- DACへ出力(PBより)
8020		JMP LOOP	
8100*			* 8100番地からデータ格納

図7 データ格納式シミュレータプログラム

マイクロコンピュータを用いた非線形系の解析

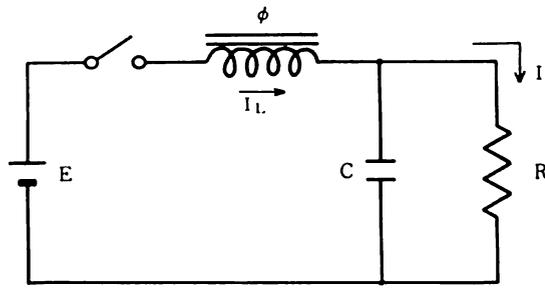


図8 平滑回路

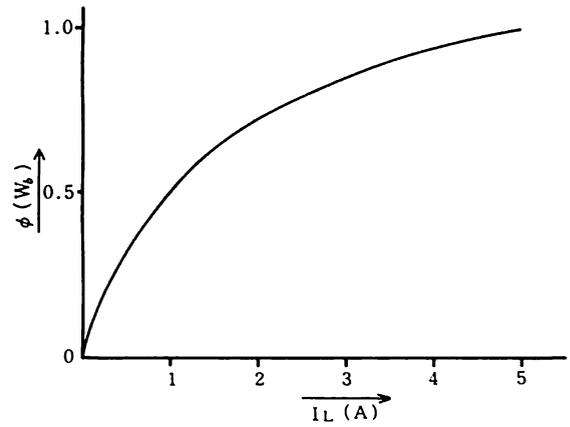


図9 磁束飽和特性

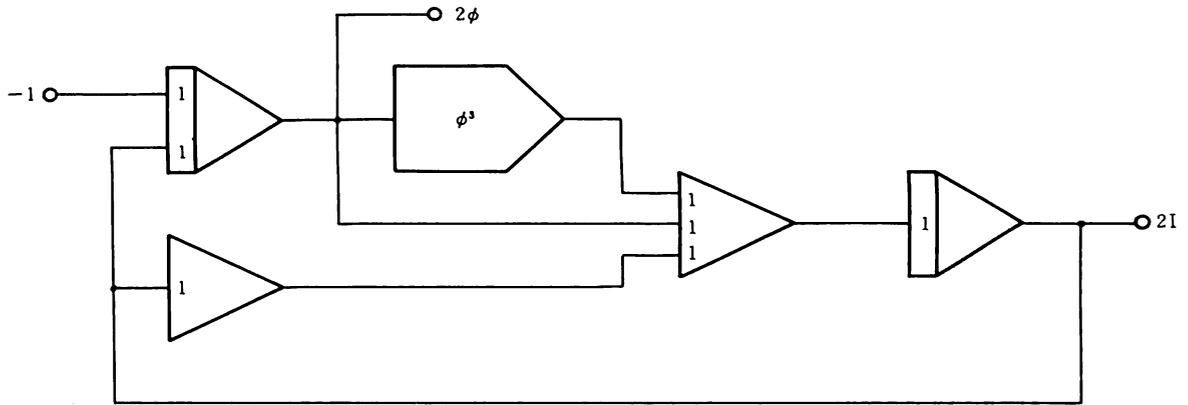


図10 演算回路

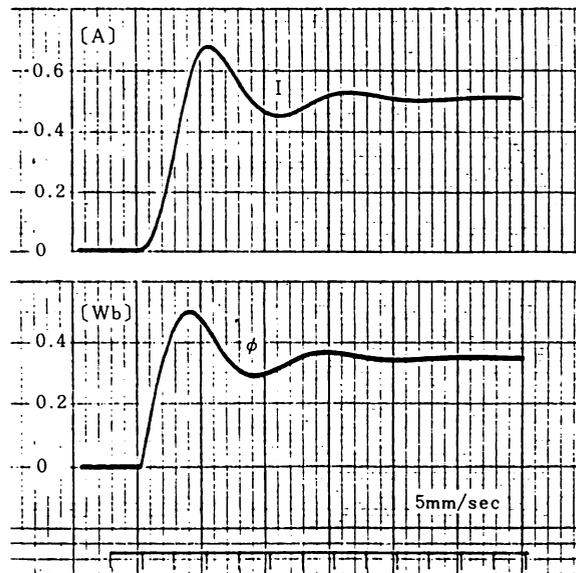


図11 演算解

6. 文 献

- 1) 柳原昌輝：D/A変換, A/D変換 秋田高専研究紀要 第14号 No14 1979
- 2) 柳原昌輝：「マイコンとアナコンの結合システム」計測自動制御学会東北支部第66回研究集会 66-4 1978
- 3) 三浦武雄：アナログ電子計算機のソフトウェア