

D/A変換, A/D変換 (デジタル機器, アナログ機器のインタフェース)

柳 原 昌 輝

D/A & A/D Converter

(Interfaces of Digital & Analog Units)

Masateru Yanagiwara

(昭和53年10月31日受理)

1 緒 言

最近、マイクロコンピュータ (マイコン) の出現により、デジタル技術が急速に進歩してきた。また安価に手に入れることができるため、我々のみでなく、学生の間でも購入し、ハードウェア、プログラミングおよびシンセサイザ等の技術を吸収するために利用している。

しかし、工学系においては、電圧、電流等アナログ量を取り扱かうことが多いため、デジタル機器 (マイコン等デジタル計算機) との橋渡しをするための装置を考えなければならない。

とくに、計測、制御の分野においては、このデジタル量とアナログ量のやりとりは、非常に重要な意味を持つてくる。

そこで、マイコンを利用した計測器を製作する上で最も重要な位置を占めるデジタル量—アナログ量のインタフェースについて、2、3試作したので報告する。

2 D/A コンバータ

インタフェースの1つにD/Aコンバータがある。これは、デジタル量をアナログ量に変換するものである。

2-1 はしご形 D/A コンバータ

D/Aコンバータの基本構成は、図-1のように、レジスタ、スイッチ郡、抵抗回路網で成り立ち、入力デジタル信号は、レジスタに貯えられ、スイッチ郡、基準電源を通過して抵抗回路網に送られ、アナログ信号となって出力される。

昭和54年2月

本研究においては、デジタル信号はマイコンの出力をそのまま利用するものとし、スイッチ郡としてバッファIC(SN7407N)を用い、基準電源としては、ICのスレシホールドレベルを避けた high level voltage を用いた。

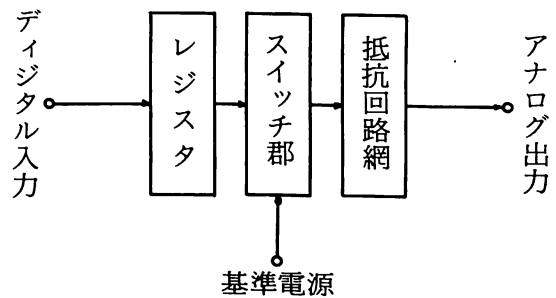


図-1 D/Aコンバータの基本構成

試作した8 bit D/Aコンバータ (はしご形) の回路を図-2に示す。

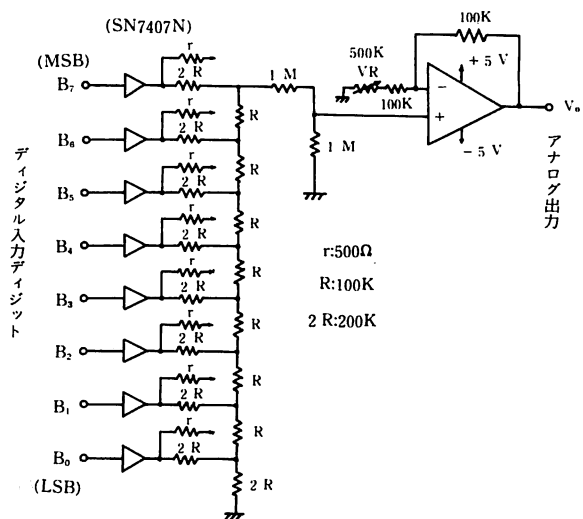


図-2 8 bit D/Aコンバータ

この D/A コンバータの精度は基準電圧 V_s および抵抗の精度に大きく影響される。出力電圧 V_o は

$$V_o = \frac{V_s}{3} (B_n \cdot 2^0 + B_{n-1} \cdot 2^{-1} + \dots + B_0 \cdot 2^{-n})$$

と表わされる。

図において、出力電圧 V_o はオペアンプ ($\mu A741$) を通して出力しているが、その理由として、抵抗回路網からの電流を抑え、精度への影響を避けたことや、デジタル IC の low level voltage は 0 とは限らないため、入力が 0 でも出力は 0 [V] とならずある値をもっている。そのためオペアンプの零調機能を使い補正した。

またオペアンプは、利得を抵抗比で容易に可変できるため、出力電圧に幅をもたせることができる。このことは、図-3 でわかるように

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot V_i$$

となることから明らかである。

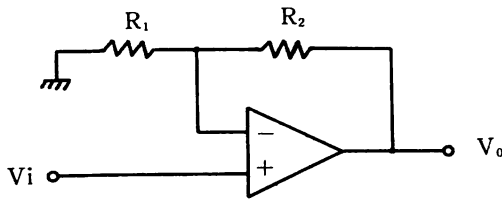


図-3 オペアンプを用いた増幅回路

図-2 において IC は (SN7407N)、抵抗は金属被膜抵抗を用いた。図中抵抗 r はプルアップ抵抗である。この回路に digit 入力を入れ変換した結果を図-4 に示す。図からもわかるように、直線性に

ぐれた特性であるため、十分実用できるものと思われる。

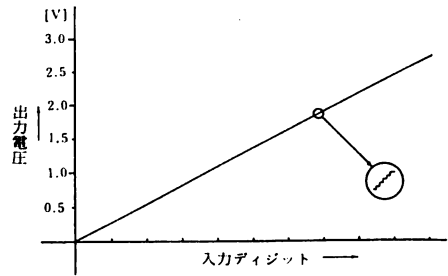


図-4 D/A コンバータの特性

バッファ IC の代わりに NAND IC を使うと、入力 digit が $(7F)_{16}$ から $(80)_{16}$ に移るところで、直線性に問題がでてきた。この理由としては、NAND gate IC の high level voltage が、負荷電流により、微小変動するためと考えられ MSB の抵抗 $2R$ を調整することで補正はできた。NAND IC にした場合の特性を図-5 に示す。

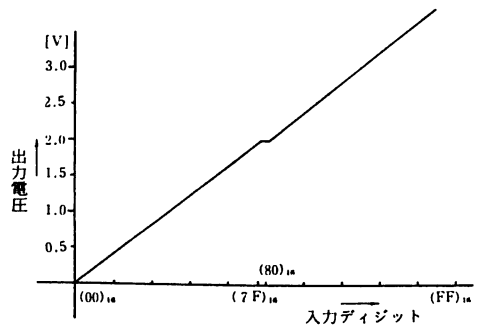


図-5 NAND IC にした場合の特性

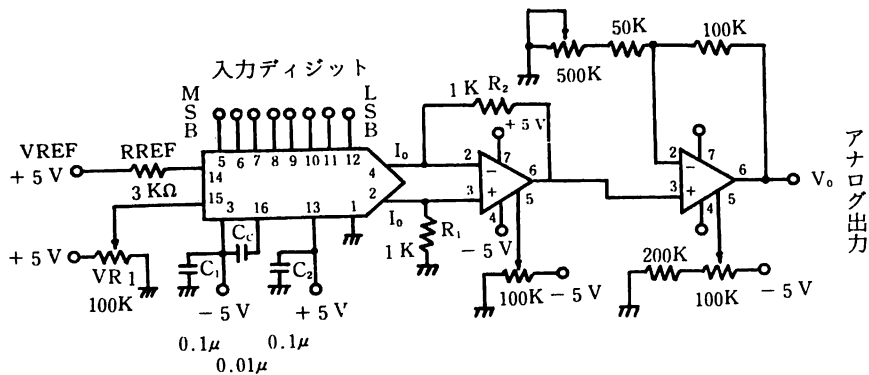


図-6 Am DAC-08を用いた回路

D/A変換, A/D変換

2-2 MOS IC を用いた D/A コンバータ

Advanced Micro Devices 社の MOS IC (Am DAC-08) を用いた回路を図-6 に示す。

図において、オペアンプ OP 1, OP 2 を含まない部分が基本回路である。

C_1, C_2 は電源のバイパスコンデンサ, C_3 は補償用コンデンサである。

この IC は、負荷が平衡している場合常に次式が成立する。

$$I_o + \bar{I}_o = I_{REF} = \frac{V_{REF}}{R_{REF}} \times \frac{255}{256}$$

アナログ量は正だけとは限らないため、出力電流を正負電圧に変換する回路としてオペアンプ OP 1 を用いた。OP 1 の出力 V_{op1} は

$$V_{op1} = R (I_o - \bar{I}_o) = R (2 I_o - I_{REF})$$

となり、 I_o が $0 \sim I_{REF}$ まで変化すると V_{op1} は $-R \cdot I_{REF} \sim R \cdot I_{REF}$ と変化する。さらに、その出力 V_{op1} の範囲を可変するために OP 2 を用いた。(前述)

出力アナログ量のフルスケールを ± 2.5 [V] になるようにしてとった入出力特性を図-7 に示す。図からわかるように直線性は非常に良好である。

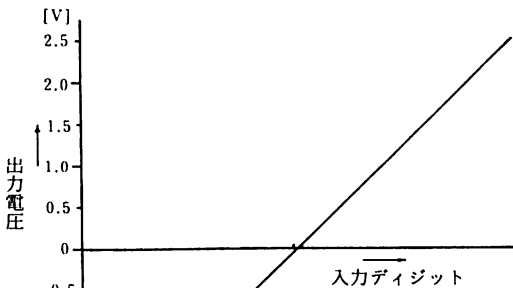


図-7 Am DAC-08による D/A コンバータの特性

3 A/D コンバータ

これは、アナログ量をデジタル量に変換するためのインタフェースで、特に計測したアナログ量をマイコンで処理する場合の橋渡しをするものである。

3-1 逐次比較形 A/D コンバータ (4 bit)

アナログ量をデジタル量に変換し、マイコンへの入力信号にする訳であるが、この入力時には特に高速性、高精度が要求される。A/D コンバータの代表的なものに逐次比較形 A/D コンバータがある。デジタル出力を 4 bit として考えた回路を図-8 に示す。

このコンバータの変換方式は、最高位のビット (MSB) B_3 から比較していく。最初 MSB (B_3) を "1" とし、"1000" を D/A 変換した値 V_{DA} とアナログ入力 V_{Ai} を比較し、 $V_{DA} > V_{Ai}$ のとき "1" を "0" として次のビット B_2 に移る。つまりビットを "0100" とし同様の比較を行なう。

もし、 $V_{DA} < V_{Ai}$ ならば "1" をそのままにし、次のビットへと進む。これを最低位ビット B_0 まで行ない、A/D 変換を終了する。

また、変換時間はデジタル出力の桁数だけで決まる。変換を促がすタイミングパルスは単安定マルチ (SN74123N) で発生させた。

変換時間は RS フリップ・フロップの動作時間、D/A コンバータの変換時間で決まり、精度はさらにアナログ量を比較する比較器 ($\mu A741$) の精度にも大きく影響をうける。

なお、A/D 変換されているかどうかは先に実験したはしご形 D/A コンバータ (4 bit 用) と接続し、入出力特性 (アナログ入力-アナログ出力) を求めた。結果を図-9 に示す。

グラフからも確かに、A/D 変換されていることがわかる。

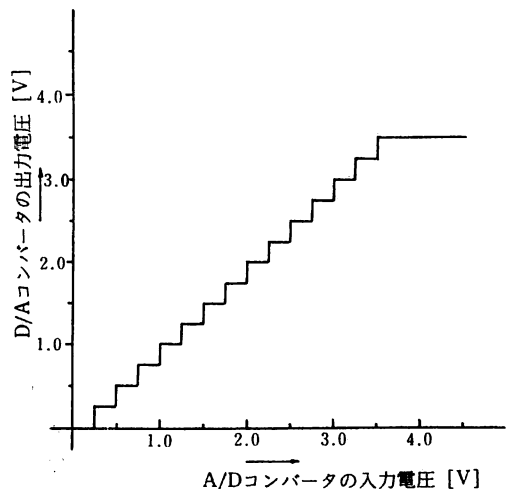


図-9 A/D, D/A 特性

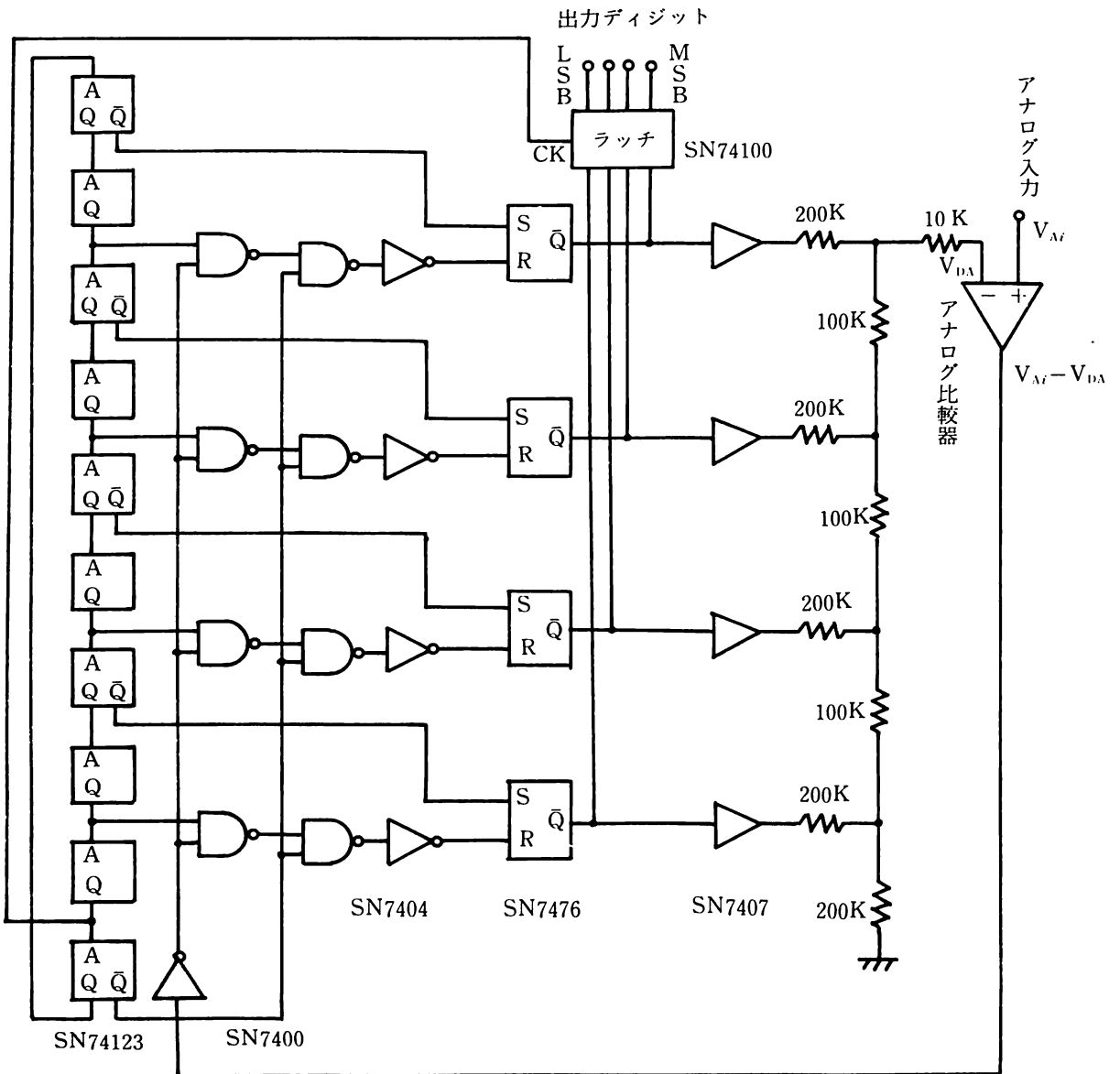


図-8 逐次比較形 A/D コンバータ

D/A変換, A/D変換

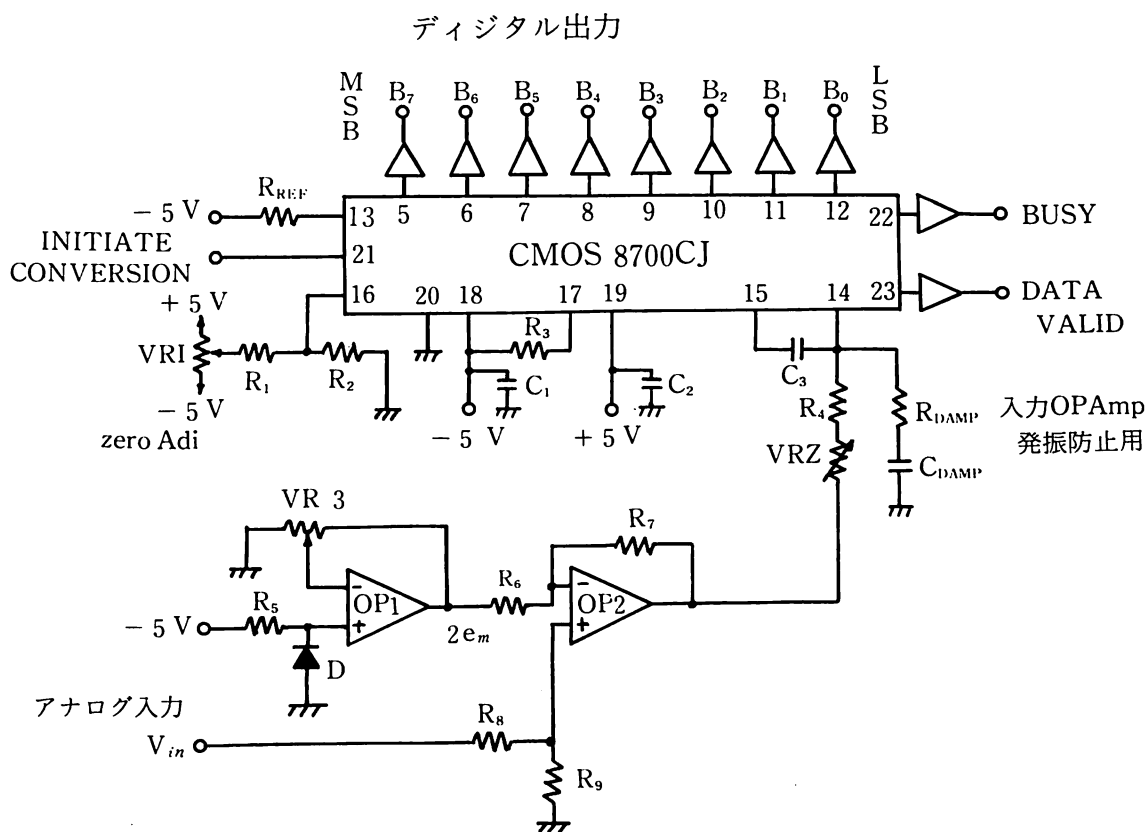


図-10 CMOS8700CJを用いたA/Dコンバータ

3-2 CMOSを用いたA/Dコンバータ(8 bit)

テラダイン社のCMOS8700CJを用いた回路を図-10に示す。

このCMOSは、入力アナログ量として、正のみの電圧しか扱うことができないため、正負のアナログ量を扱えるようにレベル変換用としてオペアンプを用いた回路を付け加えた。OP1の部分は変換するレベル電圧を発生する回路で、OP2の部分はレベル変換回路である。

レベル変換回路の出力電圧 e_o は

$$e_o = \frac{R_6 + R_7}{R_6} (e_1 + e_m)$$

となり、入力電圧 e_1 が $-e_m \sim e_m$ の変化に対し、 e_o は

$$0 \sim 2 \cdot e_m \cdot \frac{R_6 + R_7}{R_6} \text{ の変化をする。}$$

つまり、図-10において、アナログ入力電圧を $-2.5 \sim 2.5$ [V] の変化とすると、これを $-0.5 \sim 0$ [V] の変化に直し、このICで取扱える電圧とするために、OP2をとおしてこの変化を $0 \sim 2$ [V] の変化にしている。

このCMOSの端子(pin)の中、重要なものについて説明しておく。

○ Vin : アナログ量入力 Pin

○ 5番 Pin ~ 12番 Pin : digit out

○ 21番 Pin : Initiate conversion

この端子を high level にすると A/D 変換が開始される。常に 1 にしておけば A/D 変換を繰り返している。(free running)

また変換を要求するときだけ 1 にして働かせることもできる。(clock mode)

○ 22番 Pin : Busy

A/D 変換が完了したかどうかを示す端子で 1 のときは変換中、1 から 0 に変わったとき完了したことを示す。

○ 23番 Pin : Data valid

この端子が high level のときは、変換した結果が digit out にラッチされていることを示す。

この CMOS8700CJ による A/D コンバータと、前述の Am DAC-08 による D/A コンバータを接続し、入出力特性をとった結果を図-11に示す。

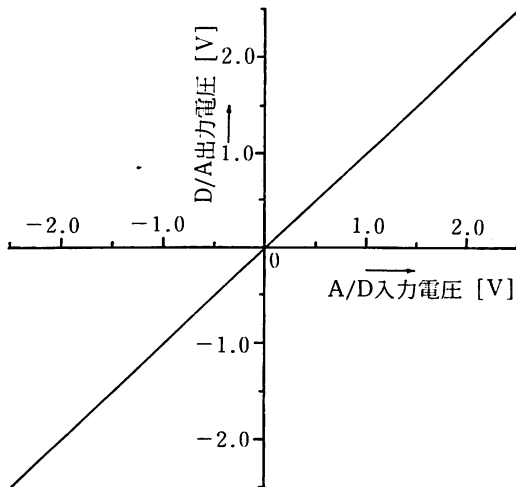


図-11 CMOS8700CJ による A/D コンバータの特性

4 結 言

以上、D/A、A/D コンバータの試作回路について述べた。計測・制御システムにおいては、アナログ量とデジタル量が共に存在するため、この変換装置は非常に重要なものである。

最近、高速性および信頼性のある単体の IC によるコンバータも色々開発されている。

これらを使ってマイコンと結合し、計測器の開発、並びに制御システムへの応用等に大いに利用していきたい。

文 献

- 1) 猪飼國夫：デジタルシステムの設計
- 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