

AD/DA コンバータの原理

マイコンシステムコース

1. D/A コンバータ

いろいろな方式があるが、実習用 D/A コンバータで使われているはしご形抵抗方式についてその原理を説明する。

1.1 はしご形抵抗方式

はしご形抵抗方式は $R[\Omega]$ と $2R[\Omega]$ の 2 種類の抵抗だけですみ、桁数の多い高精度の D/A コンバータに適している。図 1 に示す点 N1 の左側抵抗は $2R$ である。点 N2 から見た左側抵抗は R と直列に 2 つの $2R$ が並列（合成抵抗 = R ）に接続されているので、その合成抵抗は $2R$ になる。従って、N3, N4 と、どの点から見ても $2R$ になる。しかも、それぞれの点の右側も同様である。つまり、どの点から見てもその左右の合成抵抗は $2R$ になる。

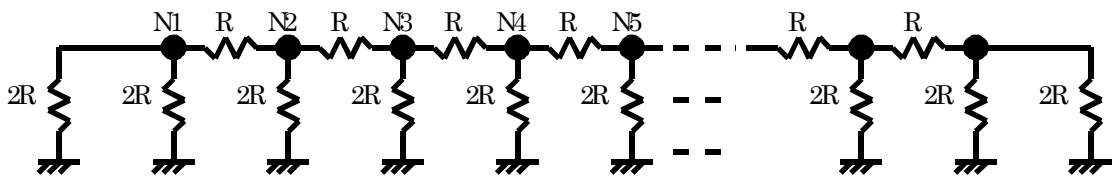


図 1 はしご形抵抗方式の基本構成

1.2 n ビットはしご形 D/A コンバータの基本回路

デジタル入力に対応して、 $2R$ の抵抗が電源側に切り替わる回路を図 2 に示す。デジタル入力が “1” で V_{ref} (基準電圧)側，“0” でグランド側にスイッチが切り替わる。例えば、デジタル入力の B2 だけが “1” の場合（図 2），点 N3 の左右の合成抵抗はともに $2R$ である。従って、並列の $2R$ と直列の $2R$ で V_{ref} が分圧されるので N3 点の電圧は $V_{ref}/3$ になる（図 3）。電流は $i_1 = V_{ref}/(3R)$ が流れ、さらに次の接続点では $1/2$ ずつ分岐し(i_2)，次々と $1/2$ ずつ分岐して流れていく。この現象はどのスイッチに対しても同様であり、スイッチに接続されている $2R$ の抵抗は $1/2, 1/4, 1/8, 1/16, \dots$ の重みがついていることになる。これから、以下のようなアナログ出力電圧が得られる。

S0 だけ ON の場合 $V_s = 1/2^{n-1} \cdot V_{ref}/3$

S1 だけ ON の場合 $V_s = 1/2^{n-2} \cdot V_{ref}/3$

.....
.....

S_{n-2} だけ ON の場合 $V_s = 1/2^1 \cdot V_{ref}/3$

S_{n-1} だけ ON の場合 $V_s = 1/2^0 \cdot V_{ref}/3$

複数のスイッチが ON の場合はそれぞれの和になるので、一般式は以下のように示される。

$$V_S = V_{ref}/3 \cdot (B_0/2^{n-1} + B_1/2^{n-2} + \dots + B_{n-2}/2^1 + B_{n-1}/2^0)$$

出力端 N' の抵抗 2R を取り除いた場合、R と 2R で分割された電圧が出力電圧に関係するので、出力は 3/2 倍となる。従って、通常 N' 点の抵抗は取り外した回路となる。

この場合のアナログ出力電圧は

$$3/2 \cdot V_S = \{V_{ref}/3 \cdot (B_0/2^{n-1} + B_1/2^{n-2} + \dots + B_{n-2}/2^1 + B_{n-1}/2^0)\}$$

$$V_S = V_{ref}/2 \cdot (B_0/2^{n-1} + B_1/2^{n-2} + \dots + B_{n-2}/2^1 + B_{n-1}/2^0)$$

$$= V_{ref} \cdot (B_0/2^n + B_1/2^{n-1} + \dots + B_{n-2}/2^2 + B_{n-1}/2^1)$$

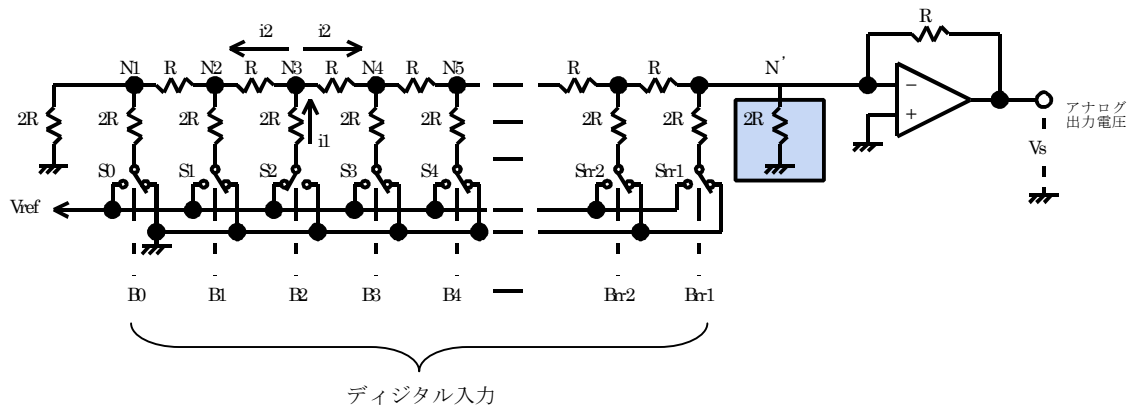


図 2 n ビットはしご形 D/A 変換回路

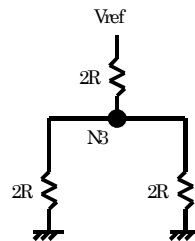


図 3 Vref を 2:1 に分圧した点が N3

2. A/D コンバータ

基本原理的には比較方式と積分方式に大別される。実習用 A/D コンバータで使われている逐次比較形の原理を説明する。

2.1 逐次比較形 A/D コンバータの基本構成

図 4 に示すように、D/A コンバータを内蔵し、入力電圧(Vi)と D/A コンバータの出力(Vd)が一致するように、アナログレベルで比較しながらデジタル値(Dout)を決めていく方式。

比較は、先ず逐次比較レジスタ(Din)の MSB に“1”を立て、D/A コンバータの出力を 1/2FS (FS は最大レンジ) にする。D/A コンバータの出力電圧(Vd)がアナログ入力電圧

(V_{in})より大きければ,MSB を“0”にし, 逆にアナログ入力電圧より小さければ MSB を“1”にしたまま, 次のビットを“1”にして比較する。この操作を LSB まで行なって変換を終了する。従って, 変換時間はアナログ入力値には関係なく, 一定時間で変換が行なわれる。D/A コンバータの入出力関係を表 1 に示す。

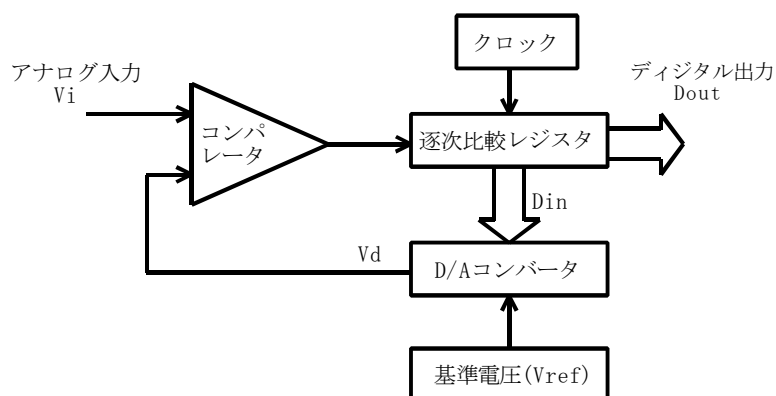


図 4 逐次比較形 A/D コンバータの基本構成

表 1 D/A コンバータの入出力関係

デジタル入力(Din)								アナログ出力(V_i)
MSB							LSB	(V)
1	1	1	1	1	1	1	1	FS - 1LSB
1	0	0	0	0	0	0	0	1/2 FS
0	1	0	0	0	0	0	0	1/4 FS
0	0	1	0	0	0	0	0	1/8 FS
0	0	0	1	0	0	0	0	1/16 FS
0	0	0	0	1	0	0	0	1/32 FS
0	0	0	0	0	1	0	0	1/64 FS
0	0	0	0	0	0	1	0	1/128 FS
0	0	0	0	0	0	0	1	1/256 FS
0	0	0	0	0	0	0	0	0

2.2 変換手順例

アナログフルスケール電圧(FS)を+5Vで、入力電圧(V_i)が3.54Vとしたときの変換過程は以下のようになる。

	B7	B0
① D_{in} の MSB を “1” にし、 $V_d=2.5V(1/2 FS)$ を出力	1	
② $V_i > V_d$ なので、 $B_7=1$ が決定し、 B_6 を “1” にする $V_d=2.5 + 1.25=3.75$, $V_i < V_d$ なので、 $B_6=0$ が決定	1 0	
③ B_5 を “1” にする。 $V_d=2.5+0.625=3.125$, $V_i > V_d$ なので、 $B_5=1$ が決定	1 0 1	
④ B_4 を “1” にする。 $V_d=2.5+0.625+0.3125=3.4375$, $V_i > V_d$ なので、 $B_4=1$ が決定	1 0 1 1	
⑤ B_3 を “1” にする。 $V_d=2.5+0.625+0.3125+0.15625=3.59375$, $V_i < V_d$ なので、 $B_3=0$ が決定	1 0 1 1 0	
⑥ B_2 を “1” にする。 $V_d=2.5+0.625+0.3125+0.078125=3.515625$, $V_i > V_d$ なので、 $B_2=1$ が決定	1 0 1 1 0 1	
⑦ B_1 を “1” にする。 $V_d=2.5+0.625+0.3125+0.078125+0.0390625=3.5546875$, $V_i < V_d$ なので、 $B_1=0$ が決定	1 0 1 1 0 1 0	
⑧ B_0 を “1” にする。 $V_d=2.5+0.625+0.3125+0.078125+0.01953125=3.53515625$, $V_i > V_d$ なので、 $B_0=0$ が決定	1 0 1 1 0 1 0 1	

変換結果、アナログ電圧(V_i)が3.54Vでは、デジタル出力(D_{out})は“1011 0101”となる。

以上