

# 下位ビットから変換するオフセット二進数に対応した SC 循環型 DA 変換器

佐伯 直哉<sup>a)</sup>・松本 寛樹<sup>b)</sup>

## Switched-Capacitor Algorithmic DA Converter from Least Significant Bit of Offset Binary Number

Naoya SAEKI, Hiroki MATSUMOTO

### Abstract

In this paper, we propose a switched-capacitor (SC) cyclic digital-to-analog converter (DAC). A proposal circuit performs a DA translation from Least significant bit (LSB), and improves conversion speed. Operation is continued on SIMetrix. The conversion result was obtained in operation conventionally less than a circuit.

**Keywords:** Switched-capacitor, offset binary, DAC, LSB

### 1. 序論

従来のアナログ信号処理はソフトウェアによるデジタル信号処理に置き換えられる。このため、アナログ領域とデジタル領域の橋渡しをするデジタル・アナログ(D/A)変換器とアナログ・デジタル(A/D)変換器は今後ますますその需要が伸びると予想される。

DA 変換器は様々な電子機器で応用されている。例を挙げると、オーディオ機器などに利用されデジタルデータを DA 変換してアナログ出力し、私達の耳にとどきます。

下位ビットから変換するオフセット二進数 SC 高速循環型 D/A 変換器を提案し、回路シミュレータ SIMetrix を用いて回路動作を確認した。

従来回路は文献より 4 相クロックを用いて D/A 変換を行っているが、本実験では 2 相クロックで変換する D/A 変換器を提案した。<sup>(1)</sup>

### 2. 研究の背景

#### 2.1 オフセット二進数

あるデータの位置を基準点からの差で表した値のこと。また必要なデータの位置を基準点からの差(距離)で表した値のことをオフセットと呼ぶ。また基数を 2 とした数値の表現方法を 2 進数と呼び、桁が一つ移動する毎に値が 2 倍(1/2 倍)になる。0 と 1 の 2 種類の数字を用いてすべての数を表現する。数字が 2 つからなることが電子回路の ON/OFF と対応させることができる。

a) 電気電子工学科学部生

b) 電気電子工学科准教授

### 2.2 D/A 変換器

D/A 変換器 (digital-analog converter) とはデジタルデータをアナログデータに変換する機器のことである。センサーなどから得た数値情報をカウンターなどで計測し、それを変換して電流や電圧などのアナログ情報を取得する機器である。

### 3 提案回路

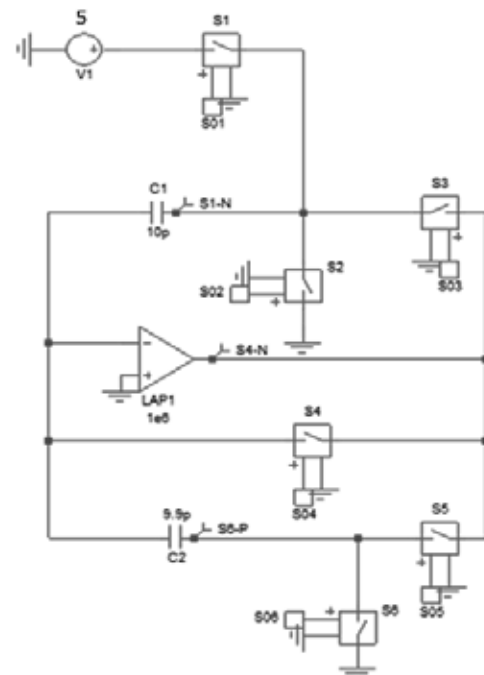


図 1 : SC 回路

今回実験に用いた回路を図2に示す。スイッチが  $S_1$  から  $S_6$  まであり、キャパシタが  $C_1$  と  $C_2$  二つ用いて、オペアンプがある。また表1のスイッチ表より R、 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 、 $O_1$ 、 $O_2$ のそれぞれのスイッチ  $S_1$  から  $S_6$  までを RESET から CONV の  $\phi_1$  から  $\phi_2$  を8回繰り返す、その後 OUT の  $O_1$  から  $O_2$  を ON と OFF を繰り返す。1はスイッチオン、0はスイッチオフを意味する。図2にクロックタイミング図を示す。

表1：スイッチ表

MODE	CLOCK	S1	S2	S3	S4	S5	S6	C1	C2
RESET	R	0	1	0	1	0	1	0	0
CONV	$\phi_1$	$b_{n-1}$	$*b_{n-1}$	0	1	0	0	$b_{n-1}Vr$	$Vr(1)$
	$\phi_2$	0	0	1	0	1	0	$V(i)$	$V(i)$
OUT	$O_1$	0	1	0	1	0	0	0	$V(i)$
	$O_2$	$*b_0$	$b_0$	0	0	1	0	$*b_{0Vr}$	$V_0$

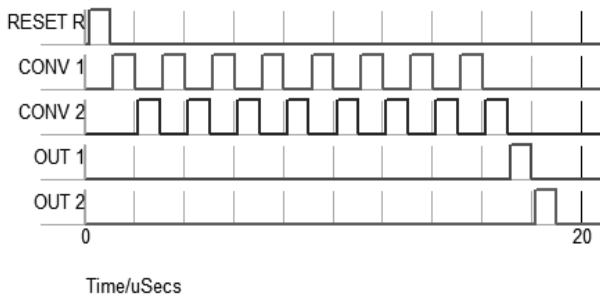


図2：クロックタイミング図

### 4 シミュレーション結果

回路動作のシミュレーションを SIMetrix により行い、動作確認を行った。

入力コードは9ビットの (111111111)、(110000000)、(100000000)、(011111111)、(010000000)、(000000000) の6パターンを入力した。

基準電圧  $Vr=5$

・入力コード (111111111)

$$V_0(9) = \left\{ \left( \frac{1}{256} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{128} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{64} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{32} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{16} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{8} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 1 \right) + (1 - 1) \right\} \times 5 = 4.98046[V]$$

・入力コード (110000000)

$$V_0(9) = \left\{ \left( \frac{1}{256} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{128} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{64} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{32} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{16} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{8} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 0 \right) \right\} \times 5 = 2.5[V]$$

・入力コード (100000000)

$$V_0(9) = \left\{ \left( \frac{1}{256} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{128} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{64} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{32} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{16} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{8} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 0 \right) + (1 - 1) \right\} \times 5 = 0[V]$$

・入力コード (011111111)

$$V_0(9) = \left( \frac{1}{256} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{128} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{64} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{32} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{16} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{8} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 1 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 1 \right) + (0 - 1) \right\} \times 5 = -19.5313 \times 10^{-3}[V]$$

・入力コード (010000000)

$$V_0(9) = \left\{ \left( \frac{1}{256} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{128} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{64} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{32} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{16} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{8} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 1 \right) + (0 - 1) \right\} \times 5 = -2.5[V]$$

・入力コード (000000000)

$$V_0(9) = \left\{ \left( \frac{1}{256} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{128} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{64} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{32} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{16} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{8} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{4} \times 0 \right) + \left( \frac{1}{2} \times 1 \right) + (0 - 1) \right\} \times 5 = -5[V]$$

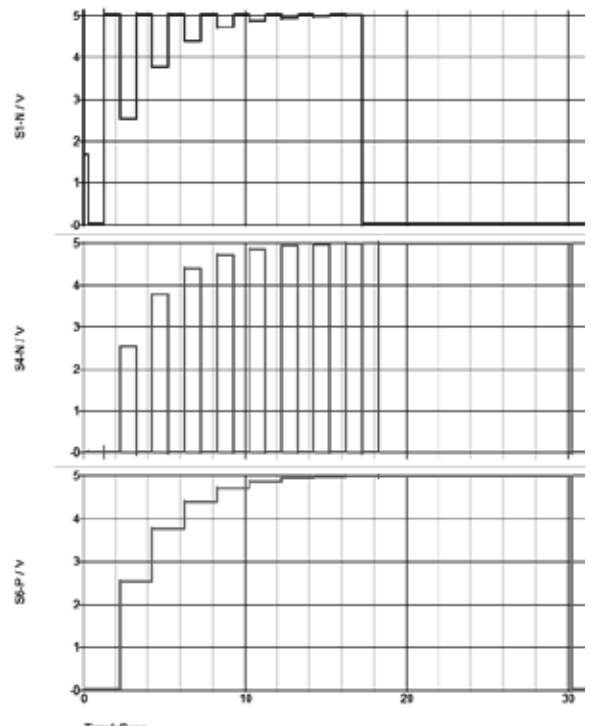


図3：(111111111)の波形

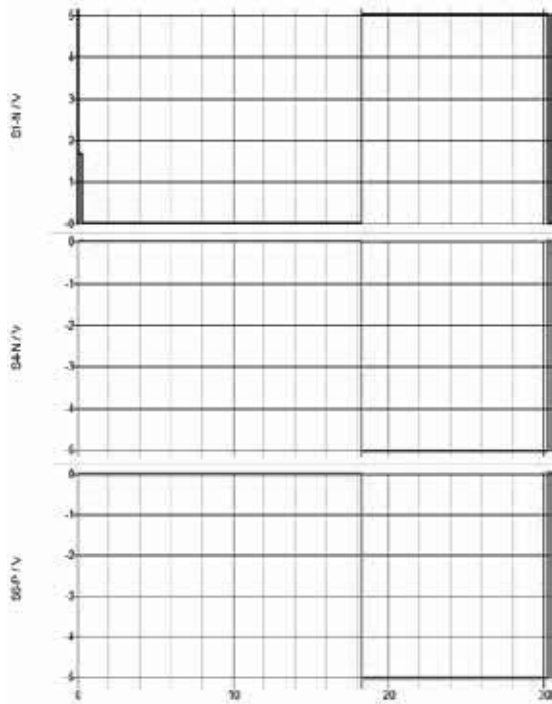
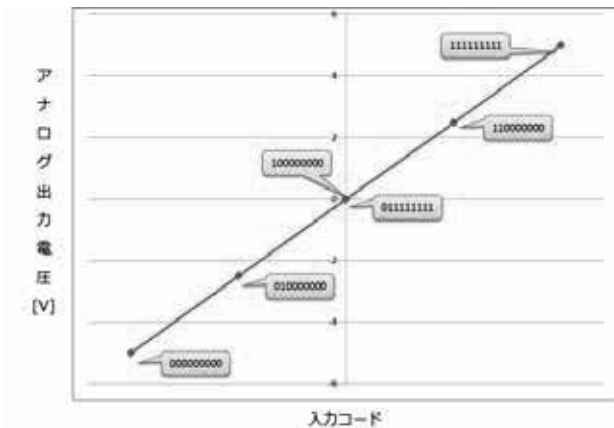


図 4：(00000000)の波形

図 4 は(11111111)の波形を示した。S1-N は C1 の電圧を表し、S6-P を C2 の電圧、S4-N はオペアンプの出力電圧を表す。出力電圧は 4.98045[V] が得られた。式 (1) より、計算値 4.98046[V] となるので誤差は -0.00001[V] になった。また図 5 (00000000) の波形を図示し、出力電圧 -4.99999[V] が得られ、計算値は -5.0[V] となり、誤差は -0.00001[V] になった。同様に 4 つの (110000000)、(100000000)、(011111111)、(010000000) の入力コードの結果を表 2 とグラフ 1 に示す。

表 2：シミュレーション結果

入力コード	111111111	110000000	100000000	010000000	000000000
測定値[V]	4.98	2.48	0.01[μV]	-2.50	-5.00
計算値[V]	4.98	2.50	0	-2.50	-5.00



グラフ 1：シミュレーション結果

### 5 結論

今回はスイッチキャパシタ、オペアンプを用いた高速循環型 D/A 変換器の回路を提案し、動作確認を行った。この提案回路の目的は入力データの D/A 変換器の時間を短縮することである。

SIMetrix で製作した回路図に 9 ビットで表される数 (111111111)、(110000000)、(100000000)、(011111111)、(010000000)、(000000000) を入力し D/A 変換のアルゴリズム通りに動作確認することができた。

シミュレーション結果より (000000000) の時 -5V、(111111111) の時 5V となり比例しているの、オフセット 2 進数であることがわかった。

本実験で提案した回路は従来回路の 4 相クロック D/A 変換器と比べ、2 相クロック D/A 変換器を用いて実験を行った。提案回路は RESET から CONV の φ1 から φ2 を 8 回繰り返す、その後 OUT の O1 から O2 を ON と OFF を繰り返すので、クロック周期が 19 回繰り返している。しかし従来回路は文献より 4 相クロックを用いて、CONV の φ1 から φ4 を 8 回繰り返しているの、クロック周期が 32 回繰り返している。つまり提案回路は従来回路を比較すると約 2 倍の変換速度が得られた事が分かった。