

システム基礎科学実験 I

「電子回路 2 (D/A コンバータ)」

レポート (再提出分)

広域システム 3 年
40413 諸町 大地

[測定 1]

アナログスイッチ CD4049 を接続して入力信号に対する出力電圧を観察してみよう。

① 6 個のスイッチ端に共通のデジタル信号として 5V 電源をかけ、ディップスイッチの開閉により、 R_L を流れる電流がどのように変化するかを観察せよ。また、 V_{ref} を 5 ~ 8 V の範囲に変化させて、出力がどのように変化するかをみよ。

② 観察よりオペアンプがなくてもアナログスイッチだけで十分 D/A 変換器として機能することがわかる。そこでディップスイッチの開閉に対応して変化する出力電流を計算し、定量的にも妥当なアナログ量が得られていることを確かめてみよ。

(結果)

6 個のスイッチを全て閉じた状態では、 R_L を流れる電流は 0mA であった。そして、LSB 側からスイッチを一つずつ開いていくと、 R_L を流れる電流は大きくなり、全て開いた時 600mA ほどとなった。このとき、 R_L を流れる電流変化は、LSB 側のスイッチを開いた時より、MSB 側のスイッチを開いた時のほうが格段に大きく、新たにスイッチを開くと R_L を流れる電流は 2 倍以上になった。この様子を表 1 に示す。

MSB	○	○	○	○	○	○	×
	○	○	○	○	○	×	×
	○	○	○	○	×	×	×
	○	○	○	×	×	×	×
	○	○	×	×	×	×	×
LSB	○	×	×	×	×	×	×
電流(mA)	0	9.41	27.2	62.4	131	294	601

(表1)

また、 V_{ref} の値を下げると、 V_{ref} の値に比例するように出力電流も弱くなった。

(考察)

この実験では、CD4049 の各出力先の抵抗を流れる電流の和を測定している。全ての入力が高レベルのとき、出力となる電流は 0mA であり、各スイッチを開けて入力を low とするごとに電流が増えていく。よって、この CD4049 は not 回路の働きを含んでいるといえる。また、各スイッチを開いた時の電流増加は表 2 のようになり、LSB 側から

LSB					MSB
9.41	17.8	35.2	68.6	163	307

(表2)

単位: mA

一つ MSB 側に行くと、電流増加は約 2 倍になっていることがわかる。このことと CD4049 の出力先に付けられた抵抗が、LSB 側から一つ MSB 側に行くにつれ、約半分ずつになっていることから、CD4049 のどの出力端子もほぼ同じ電圧を出力しているといえる。これにより、CD4049 は not 回路そのものといえることになる。

ではなぜ **not** 回路なのであろうか。**not** 回路でなく、入力そのままを抵抗にかけてはいけないのであろうか。この疑問に対しては、この装置そのものではなく、D/A コンバータとしての用途を考えてみることで解決した。今回の装置では各入力にかかる電圧は等しいことが保障されているが、実際に D/A コンバータとして用いる時には、各入力の前にはそれぞれ異なるものがつながっており、電圧降下が起こり、**high**・**low** の電圧が一定であるとは限らない。すると出力として、期待されるようなアナログ量は保障されないことになる。そこで、多少幅のある入力に対して、**high**・**low** を判別し、その結果を一定の電圧として出力する装置が必要になる。ここで、**high** ならば **high** を、**low** ならば **low** を出力する装置のほうがイメージしやすいが、IC の基本は NAND 回路であり、そのような装置は NAND 回路が最低二個必要となる。一方、**not** 回路であれば、NAND 回路は一個ですむ。このために **not** 回路が利用されていると思われる。

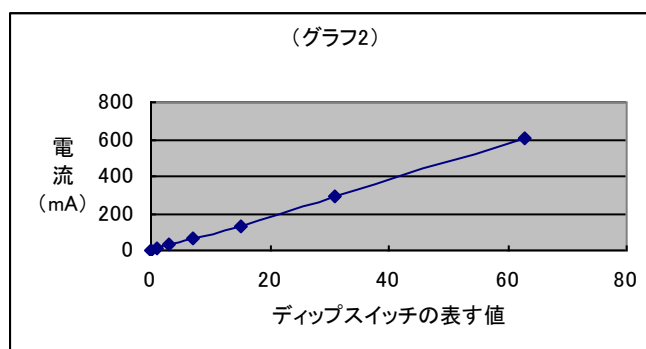
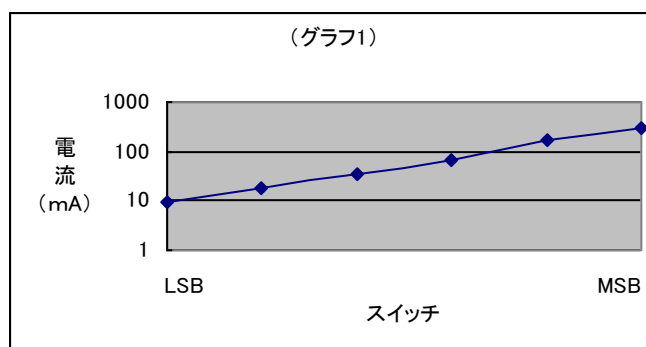
また、表 2 の値を対数でプロットすると、グラフ 1 のようになる。なかなかきれいな直線となり、それなりに妥当なアナログ量が得られそうである。実際に表 1 を元に、ディップスイッチの表す値と、電流の関係をグラフ 2 に示す。確かにきれいな直線となり、妥当なアナログ出力が得られていると言える。ただし、グラフ 1 で **MSB** 側で直線性からのずれが特に大きいのが見て取れる。これは **MSB** 側の抵抗が小さく、電流＝電圧÷抵抗の関係式により、小さな抵抗値のずれが大きく電流に影響するからだと考えられる。実際、CD4049 の出力先の各抵抗は、完全には倍々にはなっていないが、抵抗の大きな **LSB** 側での出力電流はほぼ倍々になっている。

最後に、 V_{ref} の値を下げると、 V_{ref} の値に比例するように出力電流も弱くなったことについてであるが、これは CD4049 の出力電圧がこの V_{ref} に頼っていることを示している。入力されたばらばらな電圧をそろえるのにこの V_{ref} を用いていることになる。

【測定 2】

オペアンプ LF444 を加えて回路を完成せよ。1

①【測定 1】①と同様に 5V 電源で共通のデジタル信号を与え、ディップスイッチの開閉によりどのように出力電圧が変化するかみよ。



(結果)

測定 1 と同様に、まず全てのスイッチを閉じ、LSB 側のスイッチから順に開いていきながら電圧を測定した。そのときの測定値を表 3 に示す。また、これを元にスイ

MSB	○	○	○	○	○	○	×
	○	○	○	○	○	×	×
	○	○	○	○	×	×	×
	○	○	○	×	×	×	×
	○	○	×	×	×	×	×
LSB	○	×	×	×	×	×	×
電圧(V)	0	-0.05	-0.14	-0.31	-0.66	-1.47	-3.01

(表3)

チの表す値と電圧の値の関係をグラフ 3 に示す。

(考察)

オペアンプの働きにより、出力が電圧として得られるようになったことがわかる。測定 1 では R_L にかかる電圧を測定すればアナログ量としての電圧が測定できるかもしれないが、それは出力とはならない。

ここで、なぜ電流として得られた出力を、オペアンプをつけてまで電圧として出力するかについて考えてみる。まず、出力にかかる電力は小さいほうがいいことを認める。

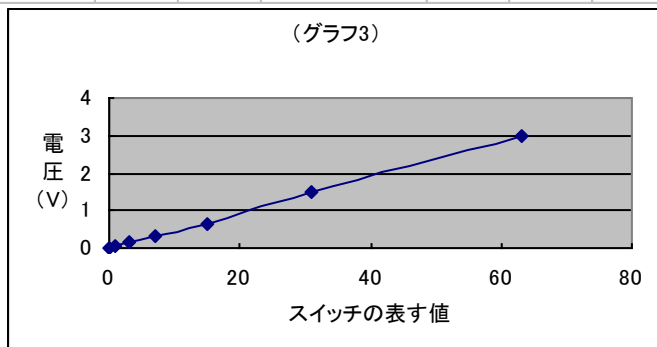
$$W = I^2 R = IV = \frac{V^2}{R}$$

の関係式より、出力にかかる電力を小さくすることを考える。もし出力を電流で表すとすると、抵抗は小さくなくてはいけない。すると、出力先との接続部やその先で生じた抵抗による影響を大きく受ける可能性が出てくる。つまり、出力となる電流が正確な値を示す保証はなくなる。一方、出力を電圧で表すとすれば、抵抗は大きいほどいい。このとき、接続先での抵抗は無視できることになり、正確な値が保障される。このため、多くの機器は出力として電圧を用いている。よって、電流ではなく、電圧で出力する必要が出てくる。また、この装置では、2 進数のデジタル量で表された量を示すのに、2 進数の各位に応じたアナログ量を加算することでアナログ量を得ている。電圧では足し算ができないため、まず一度電流に変換し、加算し、電圧に変換しなおすという作業が必要になっている。

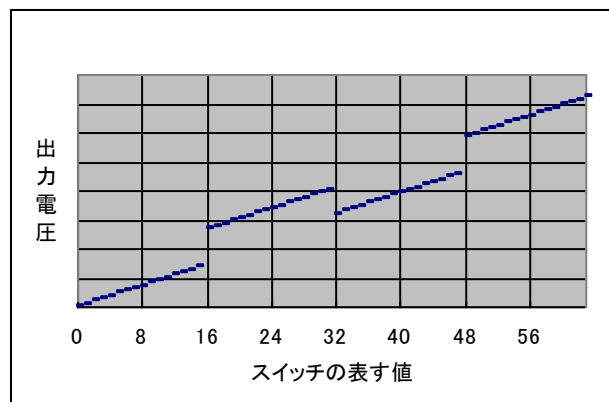
②前回行ったデジタル回路の応用として 7493 を 2 つまで用いて 6 ビットカウンタを作成し、その出力信号を 1~6 に接続し、デジタル入力信号に応じて出力波形がどのように変化するか観察せよ。また、スイッチング電流を考えて電流加算が適切に実行されていることをチェックせよ。

(結果)

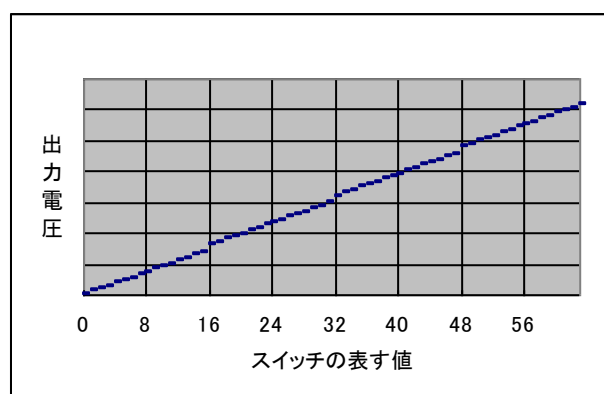
出力をオシロスコープでみると、非常に短い水平な線が集まって描かれた、右肩上がりの直線が繰り返し現れた。1 周期あたり、正確には数えてないが、6 ビットカウンタを用いているので、水平な線 64 本であろう。



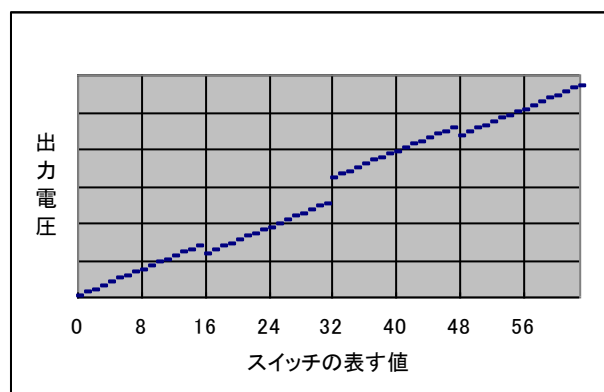
ただし、この直線は4等分したあたりで多少ずれているのが確認できた。そこで、MSB側についている可変抵抗を操作したところ、一周期の右半分の部分に上下した。さらにMSBから2番目の抵抗にも可変抵抗をつけ、操作したところ、一周期を4分割したうちの左から2・4番目の部分に上下に移動した。このときの様子を図1に模式図として示す（可変抵抗の値を大きくしていった時の変化）。



↓



↓



(図 1)

(考察)

MSB 側から一番目につけた可変抵抗を操作すると、一周期の右半分が上下した。これは 2 進数の 6 桁目(32 の位)に対する出力につながる抵抗が操作されたことで、そこを流れる電流が変化したことによる。1 周期の右半分は 6 桁目に関係する部分で、抵抗の操作でこの部分が等しく上下したことから、電流の加算がうまくいっていることを示している。同様に二番目の可変抵抗を操作したときの挙動も説明が付く 4 分割した時の左から 2・4 番目は 2 進数の 5 桁目(16 の位)に関係するところである。

また、MSB から 1・2 番目の抵抗の値を調整しなければ、多少ゆがんだ直線しか得られなかったことは、グラフ 1 での MSB 側での直線性からのずれに対応している。

③10K Ω の半固定抵抗はゲイン調整用であるが、この抵抗値を変化させることにより出力波形の大きさがどの程度の範囲で変化するのか確かめよ。

(結果)

可変抵抗を小さくすると、出力波形の電圧は全体的に小さくなった。このとき最大電圧値が 0~3.81V の範囲で変化をした。

(考察)

オペアンプに接続された反固定抵抗の値により出力電圧の範囲が変化することがわかった。この抵抗により増幅率が変化するからである。