

デジタル回路

Ver. 2023 年 5 月 29 日

1. 目的

デジタル回路を自作し、その動作を理解する。デジタル回路に用いられる様々な IC の使い方や役割を理解する。

2. 予備知識

I. 使用するもの

1. 5V の電源
2. ブレッドボード(p.3 および 7 写真参考)
3. 論理スイッチ及びパルサー
4. IC などの部品(箱の中)

(1) 4 つの LED からなる表示灯 : 1

(2) 7 セグメント表示素子 : 1

(3) デュアルライン容器(DIP),

IC	7400 : 1	7408 : 1	7432 : 1
----	----------	----------	----------

	7447 : 1	7486 : 1	7490 : 2
--	----------	----------	----------

抵抗	270Ω × 7	: 1
----	----------	-----

実際の IC を見ると、例えば 7408 は XX74LS08XX のように書かれているので注意すること

(4) 配線用ジャンパー線

箱とブレッドボードは、3 週間を通じて各自のものを使用すること。IC など不足があれば申し出る。使用中に壊した場合（断線、足(ピン)の破損など）、すぐに申し出ること。

5 共通使用する道具

- (1) ラジオペンチ
- (2) IC 取り外しに用いる工具（右図）
- (3) テスター

6 机の中央に置かれた、備え付けのデータシート類（2 部）。

II. 基礎知識

1. 2 進数と 10 進数の表し方

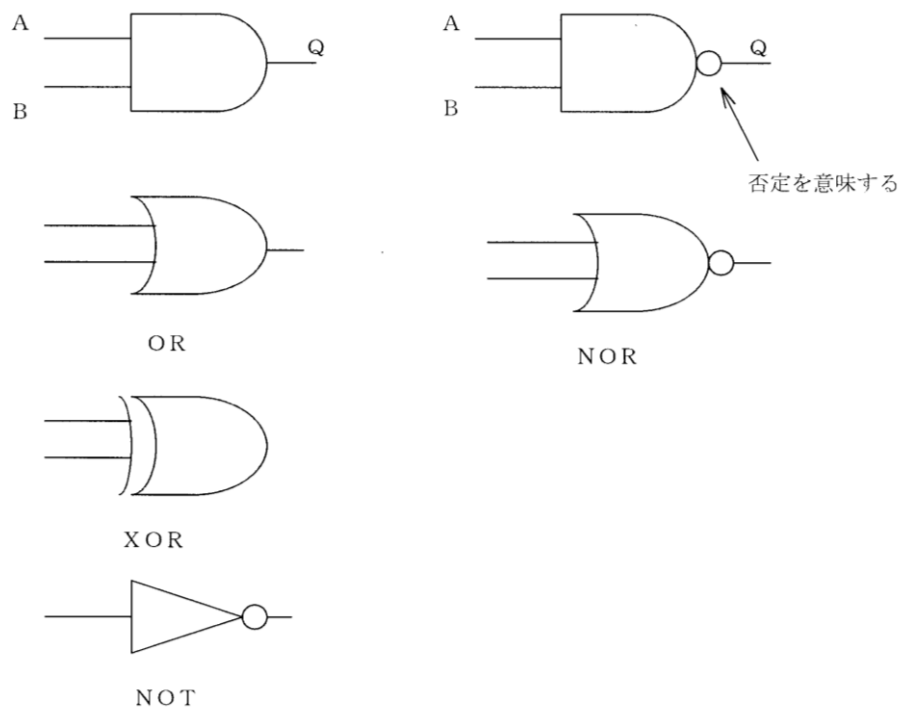
2 進法	10 進法
1_2	1_{10}
10_2	2_{10}
11_2	3_{10}
100_2	4_{10}
↑	↑
2 進数	10 進数



2. Digital 回路で取り扱う信号は、2 進数なので、1 と 0 しかない。ここでは 1 には+5 V が対応し、0 には 0 V が対応する。1 のことを H(High level), 0 のことを L(Low level)とも書く。

3. 言葉の説明、略語

GND	;	Ground, アース、シャーシの電位、電源の 0 V につなぐこと
SW	;	スイッチ
LED	;	発光ダイオード
7400	;	NAND が 4 つ入っている IC
7408	;	AND が 4 つ入っている IC
7932	;	OR が 4 つ入っている IC
7486	;	XOR が 4 つ入っている IC
AND	;	$A \times B = Y$ $0 \times 0 = 0, 0 \times 1 = 0, 1 \times 1 = 1$
OR	;	入力のどちらかが 1 なら出力は 1
NAND	;	AND の否定
NOR	;	OR の否定
XOR	;	Exclusive OR、排他的 OR 入力が 1、1 で出力は 0 となる。 $0+0=0, 0+1=1, 1+1=0$



III. 注意事項

1. IC は壊れ易いから、以下の点に注意すること。右図は実験 1 の論理スイッチの動作を確認する実験を行っている様子を示す写真である。ブレッドボードは黄色い横線で示されるような 5 個一組や、縦線で示されるようなコネクタの配線箇所は共通の電位となることを利用している。

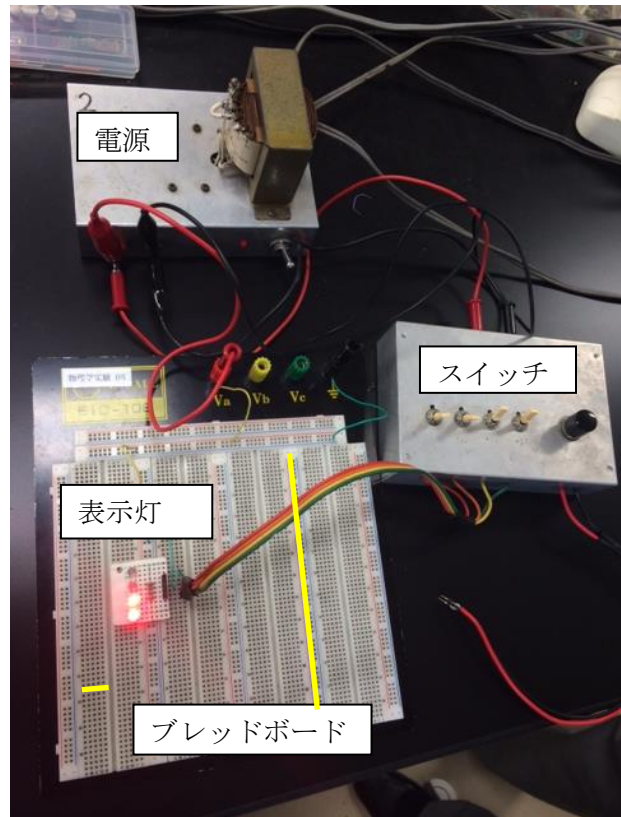
① ブレッドボードに差し込むとき、よく見て足が曲がらないようにする。足が穴にあわないときはラジオペンチで足の位置を直す。

② ブレッドボードから取るときは、専用の工具を使用する。

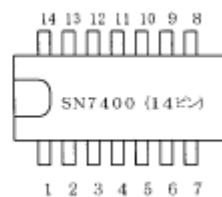
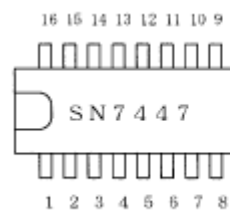
③ 配線するときは必ず電源の配線から行う。 V_{cc} 端子に $+5V$ 、 GND 端子に $0V$ をつなぐ。これを間違えると壊す。

④ 配線が終了したら、1 番ピンから順に配線をチェックし、それから電源の配線を行い、電源を ON にする。

⑤ 使用していない SW は必ず切ること。



IC のピンの見方



各装置の説明

① 電源

赤ターミナル $+5V$

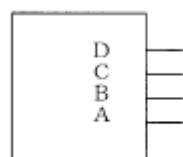
黒ターミナル $0V$ (GND)

② 論理スイッチ及びパルサー

赤ターミナル 電源 $5V$ へ接続

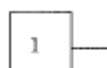
黒ターミナル 電源 $0V$ へ接続

(1) 論理スイッチ

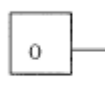


各SWをONすると の各端子
がHとなり、OFFとするとLとなる。

(2) パルサー(押しボタン)

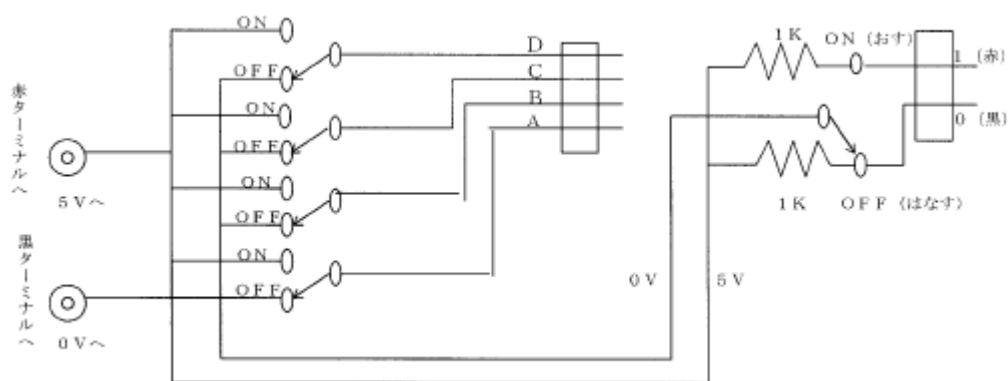


は通常Lで、SWをON(押す)とHとなる。
OFF ON OFF
H (5V)
L (0V)

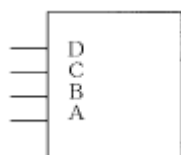


は通常Hで、SWをONするとLとなる。
OFF ON OFF
H (5V)
L (0V)

実際の回路では論理スイッチとパルサーはひとつのシャーシにある。シャーシ中の構造は次の図の通りである。

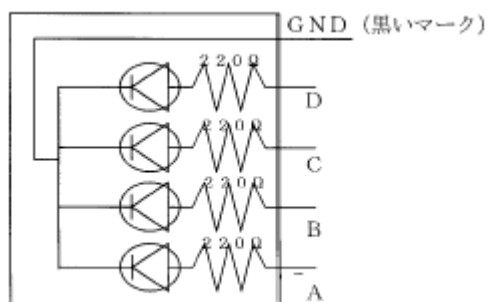


③表示灯 (赤、緑、透明いずれかのLEDが4ヶついている)



AがHとなればAのLEDが光る。
AがLとなればAのLEDが消える。
B, C, Dも同様

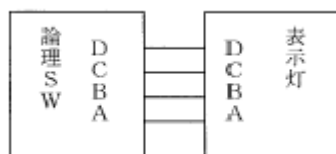
回路は下図のようになっている。



GND 端子も必ず GND につなげること。なお、この図の $220\ \Omega$ の抵抗がないと過大電流が流れて LED が壊れる。

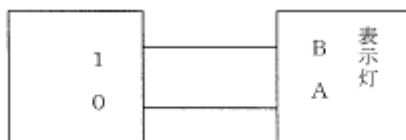
実験 1

- 1) 論理 SW およびパルサーの動作を、表示灯を用いて理解する、
配置



各 SW を ON すると対応する表示灯がつくことを確認する。

- 2) パルサーの動作の理解
配置



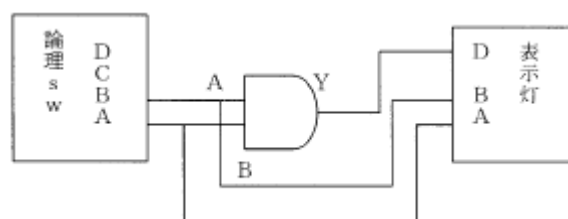
パルサーの SW を押す前は A が光る。B は消えている。押すと逆転し、離すと元に戻る。

実験 2 AND, OR, NAND, XOR の実験

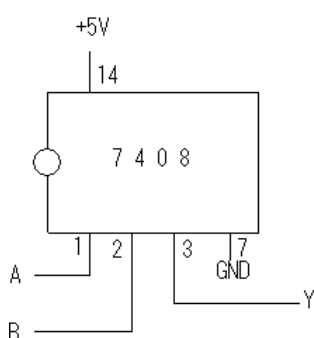
- 1) AND 回路

IC7408 は、4 つの独立な AND 回路の入った IC である。このうちのひとつを使って AND 回路の動作を理解する。

回路図例



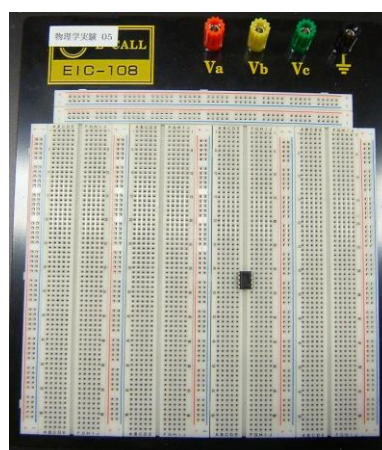
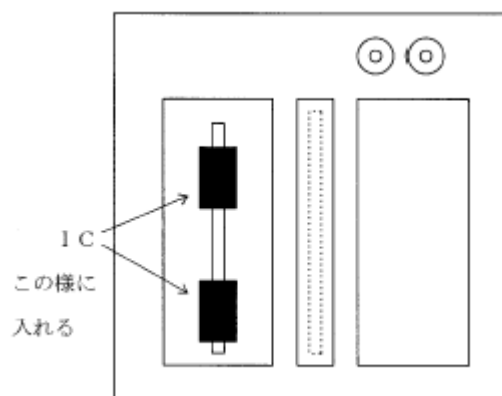
上の図に見るように回路図には電源やアースの配線がしばしば省略されている。実物の通りに書くと、初心者には配線の対応がわかりやすいが、多数の IC チップを用いた回路図を書く場合にはどれが入力でどれが出力かがわかりにくくなるためである。この回路も実際の IC を用いる場合には次のような配線をする必要がある。それをもう少し具体的にあらわすと AND,OR,NAND,XOR では下の図のようになる。



図記号に示されるように、ピン 14 と 7 それぞれに電源からの+5 ボルトとアースを接続する。入力 A と B は各々ピン 1 とピン 2 で、出力 Y はピン 3 である。この素子の場合には既に述べたように AND 回路が 4 つ入っているので、ピン 456 などを使っても同じ動作をさせることが可能である。

IC は電源が入っていないと動かない。回路が動作しないという質問を受けて見てみると、電源の配線がされていないケースをしばしば見るので注意すること。どのピンに電源（アース）を入れるかは IC によって異なるので、規格表で確認すること。間違ったピンに電源の配線をすると、IC を壊す原因となる。

ボードに IC を入れるときは下図のようになる。



問) 真理表を完成させよ

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

GATE としての動作の理解

A からの信号(ON, OFF)を Y に送りたい。

論理 SW の B がどんな状態の時、Y に信号が伝わるか。(A の ON, OFF に対応して表示灯 D が OFF, ON する事。GATE は開いているという) GATE を閉じた状態(D が ON, OFF しない)にするには、B をどんな状態にすればよいか。

2) OR 回路

7432 は規格表に示すように、4 つの独立な OR 回路からなる IC である。このうち 1 つを使って OR 回路を理解する。ピンの配置は 7408 と同じであるから、IC を差し替えるだけでよい。ただし必ず電源を切ってから行う。

問) 真理表を完成させよ

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

AND 回路の時と同様に GATE としての動作を理解せよ。GATE を開閉するには、B にどんな値を与えればよいか。

3) NAND 回路

7400 ピンの配置は 7408 と同じ

問) 真理表を完成させよ

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

これまでと同様に GATE としての動作を理解せよ。GATE を開閉するには、B にどんな値を与えればよいか。

4) XOR (EXCLUSIVE OR)回路

7486 ピンの配置は 7408 と同じ

問) 真理表を完成させよ

A	B	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

XOR で GATE を開閉できるか。

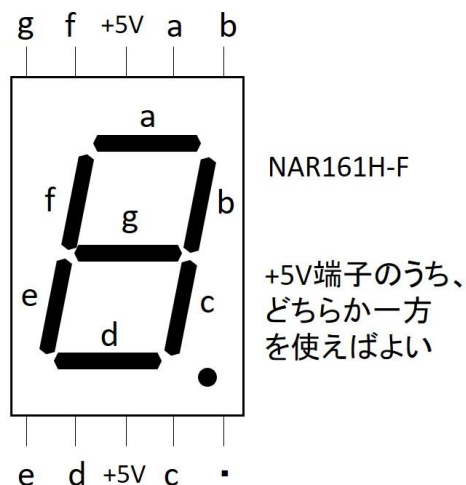
実験 3 Decoder の実験

7447; 4 線—7 線デコーダは 4 桁の二進数(BCD コード)を、7 セグメント表示素子に利用できるように、デコード(10 進数に切り替える)する IC である。次項の図で、論理 SW が定める 2 進数が 0111_2 なら、(A = 1, B = 1, C = 1, D = 0)7447 の a, b, c に相当するピン(13, 12, 11)が L, d, e, f, g は H となる。このときは 7 セグメント素子の a, b, c に対応する抵抗にのみ電流が流れ、他の抵抗には流れ



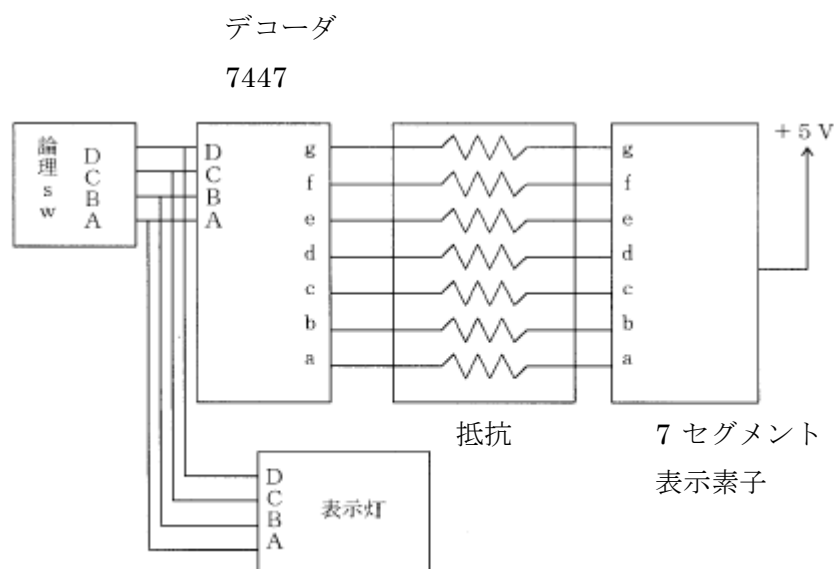
ない。従って、7 セグメント素子の a, b, c が点灯し

7 セグメント表示素子は陽極が共通(Common anode)の素子で、+5 V に設定した anode に対してピン a を GND とすれば、a の片が光る。過大電流を流さないように、外付けで 270 Ω の抵抗を a-g の全ての端子につなげる。



7 セグメント表示素子

この実験の配線の概略は以下の図を参照。



1. ボードの電源接続をはずす。
2. ボードに IC(7447)、抵抗($270\Omega \times 7$)、7セグメント表示素子を差し込む。これらは、カウンタの実験にそのまま用いるので、カウンタ実験用の二つの IC(7400, 7490)のスペースを開けておく。
3. IC に対する配線は、前に注意したように、 V_{CC} (5 V)と GND (0 V)から行う。配線を終えたら、1番ピンから順にチェックする。7セグメント表示素子のピン配線はこの頁の上の図を参考にする。デコーダ 7447 のピン配置は備え付けのデータシートを参考のこと。また”デコーダ””7447”のキーワードで検索して探すことも可能。
4. この後に、ボードの電源の接続を行う。

実験

論理 SW を入れて表示灯の 2 進数と 7セグメント素子の 10 進数が対応していることを見よ。

実験 4 カウンタの実験

目的 10 進数カウンタ(7490)を用いて、パルサーからのパルスを計数し、7セグメント表示素子に表示する。

7490 は、下図に示した様に 2 つの入力 A,B があり、入力 A に対する出力は、二進数で出力 A に現れ、入力 B に対する出力は五進数で出力 B,C,D に現れる (図の中の番号は 7490 のピン番号を表す)。たとえば入力 B に 3 回パルスがはいると、

$$D = 0, \quad C = 1, \quad B = 1 \quad \text{となる。}$$

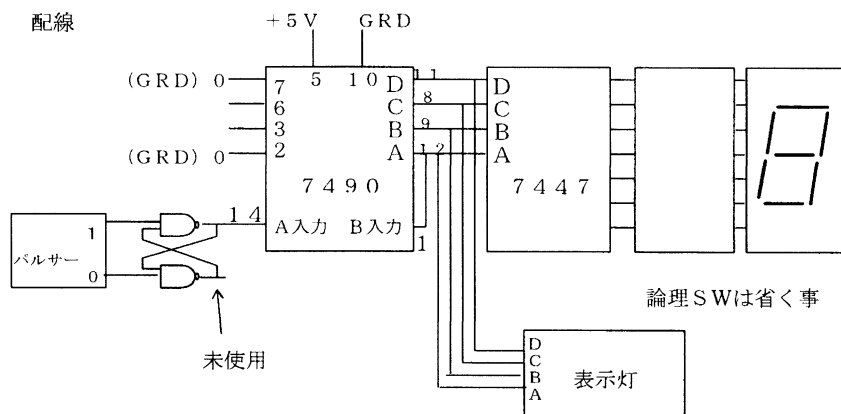


図 1

パルサーからのパルスにより 7 セグメント素子が正しくカウントしているか確認せよ。きちんとカウントしている人は、デジタル回路をかなりマスターしたことになる。

1. それでは次の図のように F.F を使ってチャタリングの防止することをやめて、直接に 7490 にパルスを入れたらどうなるか。

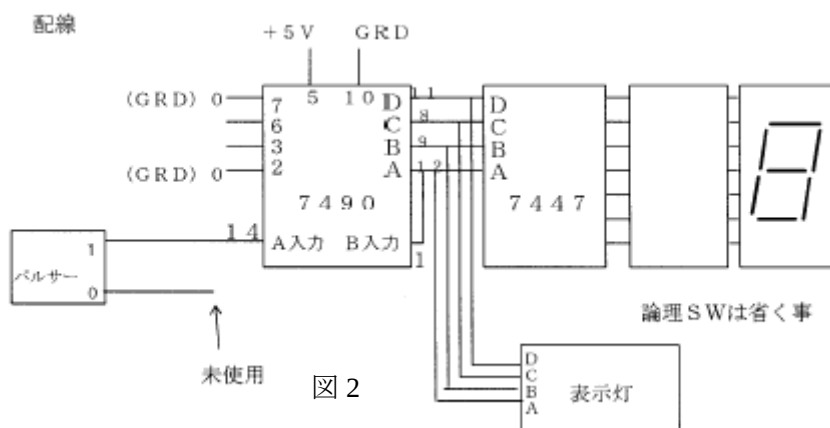


図 2

パルサーからのパルスに対して、カウントはどうなるか。F.F の効用が理解できたろうか。説明を読まなかった人は、ここで改めて、巻末の説明をよく理解せよ。

2. F.F からの出力を、入力 A に入れ、出力 A を入力 B につながない場合は、どんな表示を示すか。

3. F.F からの出力を直接入力 B に入れると(入力 A は遊ばせておく)どんな表示を示すか。これはどう理解されるか。

以上で基礎は終了。

次項の練習問題と課題に取り組むこと。

練習問題

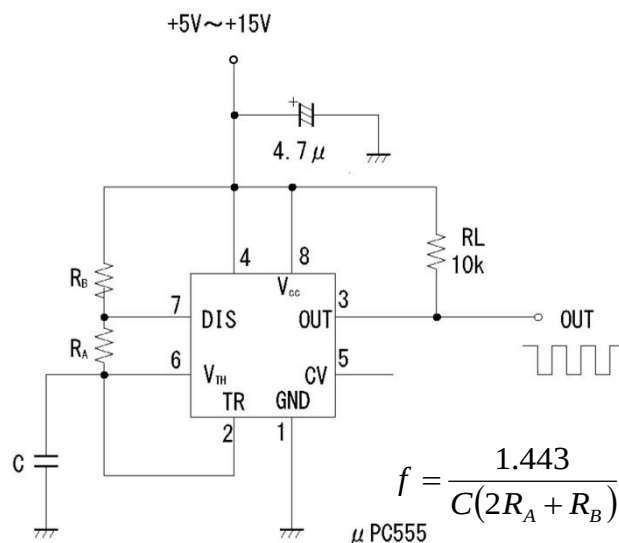
回路を設計して実行せよ。

1. P. 11 の図 1 の回路はスイッチを入れたとき、表示に 0 がでない（たまたま IC の性質でつねに 0 がでる場合もある）。これは、カウンタとしては好ましくない。備え付け資料の 7490 のデータをみて、表示をクリアーする方法を考えよ。論理スイッチを用いるとよい。

2. 2 桁のカウンタを設計せよ。但し、実行するときはデコーダや 7 セグメント表示素子をもう 1 組つける場所がないので、これは使用せず、カウンタ 7490 のみ 2 つ用いて 10 位の数字のみ表示することとせよ。1 桁目の値は表示灯に表示させると、2 桁とも読むことができる。この場合も測定前にカウンタをクリアーできるようにすること。

3. タイマ回路＝発振回路に必要な機能を一通り内蔵した 555 は歴史の古いモノリシック IC で、現在でも多く使用されている。この IC555 は、出力電流容量が 200 mA(15 V 電源で出力電圧が 12.5 V に低下する)と大きいのが特徴で、水晶発振器のような周波数安定度を要求しないクロック信号源や、低周波～超低周波の点滅回路などに応用でき、小型リレーくらいなら直接駆動することもできる。

ここではクロック発振回路として、数 100 s から数 μ s のタイミング周期に使える図のような回路を製作する。電源端子に入っている 4.7 μ F のコンデンサは電源用のバイパス・コンデンサで、通常は 1 μ F 程度もあれば充分である。これは、外付のコンデンサ C が、0.47 μ F のとき、約 2.5 Hz で発振している。(周波数 f は図中の式を用いて求めよ)この発振器のカウントを論理 SW を押している間だけカウントする回路を設計せよ。2 で作った 2 桁のカウンタを用いてカウントせよ。各自の時計を用いて、発振器の周波数を求めよ。



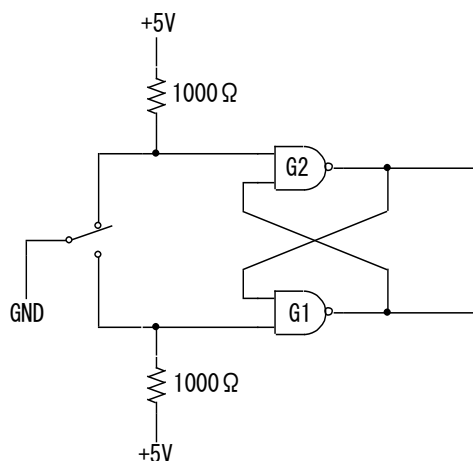
555 による基本発振回路

555 のピン配置は備え付けのデータシートを参考(“timer””555”で検索してもよい)。電解コンデンサには極性があるので向きに注意すること。

参考資料 1 : フリップフロップの動作

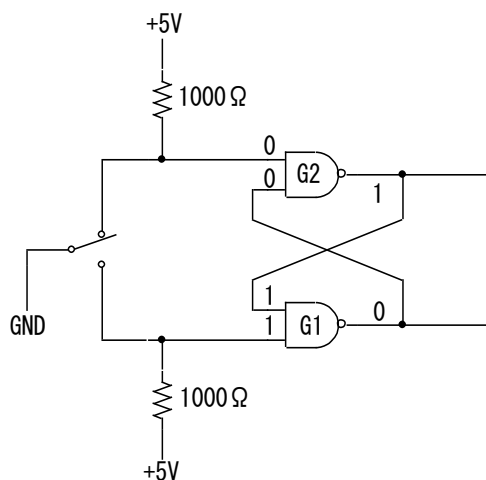
簡単なフリップフロップについて考える。7400 の 2 入力正論理 NAND ゲートの 2 つのゲート、2 本の $1\text{ k}\Omega$ の抵抗、SPDT(単極双投)のスイッチ、接地された 1 本の線で構成されたものである。双安定素子は 2 つの状態のうち、どちらの状態も取れるものである。

このフリップフロップの回路図を以下に示す。



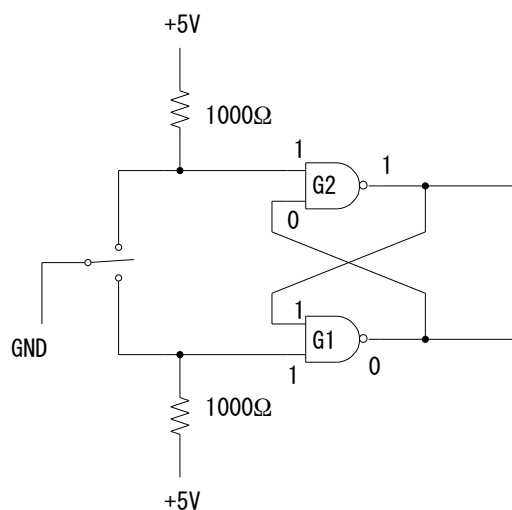
NANDゲート		
B	A	Q
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2 入力 NAND ゲートは、その両方の入力が論理 1 のときのみ出力が論理 0 となる。このことより、この回路図の個々の入力と出力に次のように論理状態を割り当てることができる



すなわち、ゲート G2 の上側の入力は接地されているので、論理 0 である。したがってゲート G2 からの出力は論理 1 に定まる。ゲート G2 の出力はゲート G1 の入力に接続されているから、このゲートの入力はゲート 1 である。ゲート G1 の残りの入力端子も、 $1\text{ k}\Omega$ の抵抗で 5 ボルトにつられているので論理 1 である。ゲート G1 の 2 つの入力が論理 1 であるから、出力は 0 となり、これがゲート G2 のもう 1 方の入力に接続されている。スイッチを動かさなければ、このフリップフロップの出力は変化せず、その論理状態はいつまでも保持されている。

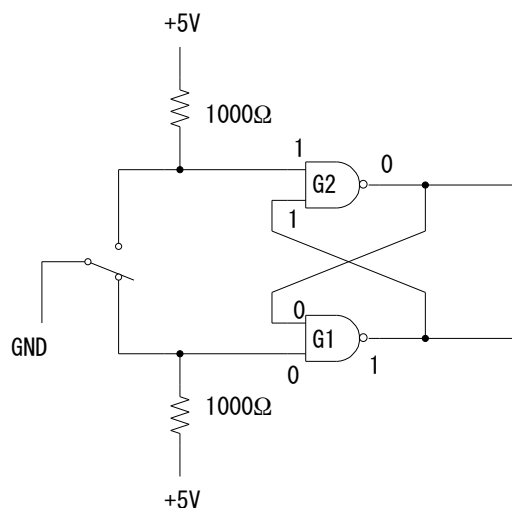
いま、スイッチを下の導線に接触させないように、上の導線から切り離してみる。



変化は起こらないことが次のようにして理解できる。

スイッチは上下の導線の間であり、まだ下の導線に接触していない。唯一の変化はゲート G2 の上側の入力論理 1 の状態になっていることだけである。ゲート G2 は NAND ゲートであるから、1 つでも論理 0 の入力がある限り、この変化はゲート G2 の出力をユニークな状態(論理 0)にすることはできない。したがって、出力 Q は論理 1 の状態のままであり、したがって残る部分の状態も不変である。AND の機能によってメモリ能力は生まれたことがわかるであろう。

最後に下図に示すようにスイッチを瞬間的に下の導線に接触させてみる。



多くの論理状態の変化が起こる。ゲート G1 の下の入力は接地すなわち論理 0 の状態になる。この変化によりゲート G1 の出力は強制的に論理 1 の状態となる。

この同じ出力がゲート G2 の入力の 1 つとされる。ゲート G2 の両入力が論理 1、つまり NAND ゲートのユニークな状態であるから、このゲートの出力は論理 0 になる。ゲート G2 の出力はゲート G1 の上側の出力とされる。この回路はゲート G2 からの出力の論理 0 状態に“ラッチ”さ

れている。もし、スイッチがバウンドして下の導線から切れても、上の導線に接触しなければ、回路は $Q=0$ にラッチされたままである。実際にゲート G2 の論理 0 のラッチ状態を変えずに、スイッチは何百回も視野の導線に接触したり、離れたたりすることができる。これは機械的なスイッチの振動をデバウンスするよい方法であり、実際に多くの装置で用いられている。

参考資料 2 : カラーコードの読み方

抵抗の抵抗値と誤差はカラーコードと呼ばれる色で書かれている。数字と色の対応は下の表のようになっている。

1 例を示す。



茶黒赤 赤

左から 2 本の数字はそのまま読み、3 本目の数字が桁数として読む。この場合、茶 = 1, 黒 = 0, 赤 = 2 なので $10 \times 10^2 = 1 \text{ k}\Omega \pm 2\%$ であることを意味している。

色	数字	桁	許容差
黒	0	$10^0 = 1$	
茶	1	10^1	$\pm 1\%$
赤	2	10^2	$\pm 2\%$
橙	3	10^3	
黄	4	10^4	
緑	5	10^5	
青	6	10^6	
紫	7	10^7	
灰	8	10^8	
白	9	10^9	
金		10^{-1}	$\pm 5\%$
銀		10^{-2}	$\pm 10\%$