

〈研究ノート〉

心理学実験用デジタル電子回路の基礎

滝 浦 孝 之

(受付 2004年1月30日)

パーソナルコンピュータ (PC) の普及にともない、心理学の実験においても PC 制御による自動化が進んでいる。PC ではソフトウェアによって高度な処理が可能になることから、ディスプレイに刺激を提示する一部の視知覚や記憶などの実験では、PC が1台あれば実験が実施できるほどである。しかし、外部機器の制御などで外部と信号をやりとりする場合には、PC と外部機器とのインターフェースが必要となる。また実験の目的によっては、ランプを点灯させる、ブザーを鳴らす、モーターを回転させるといった処理が必要となる場合も出てくる¹⁾。これらの装置を市販品あるいはオーダーメイドでまかなおうとした場合、機能の割に相当割高で、かつ融通のきかないものであることが少なくない。また既製の機器を備品として購入する場合、発注から購入までにかかなりの期間を要するのが普通である。

複雑で高度な機能を持つ機器は、購入あるいはリースによるほかに、LED の点灯や、リレーやブザーの駆動、また PC と外部機器とのインターフェース程度なら、ごく初歩的な電子回路の知識さえあれば簡単に自作することが可能である。また自分で一から回路を組まなくとも、市販の電子回路キットの類に多少のアレンジを加えることで、所望の機能を実現させることもできる。これらのことは、実験にとって、予算面だけでなく時間的な面でも有利に作用する。

電子回路に関する書籍や雑誌は数多く出版されており、初心者を対象として書かれたものも多い。また心理学者による電子回路の解説もある (藤, 1976a, 1976b, 1978; 仲谷, 1999)。しかしこれらの多くは、トランジスタやオペアンプによる増幅などのアナログ回路に関する記述を含んでいるた

めに、読み手に電子回路は難しいものとの印象を与えてしまうケースが少なくないと思われる。聴覚研究や生理心理学的研究などではアナログ回路に関する深い知識が要求されるが、単に発光ダイオードを一定時間点灯させたり、リレーを使って一定時間電流を流す程度であれば、アナログ回路に関する知識はほとんど必要なく、理解の容易なデジタル回路に関する初歩的な知識があれば十分である²⁾。

本稿は、心理学の実験においてデジタル回路を自作する際の参考資料を提供することを目的とし、PC と実験装置とのインターフェース回路に記述の主眼を置く。従って、電子回路に馴染みの少ない心理学研究者が、簡単なデジタル回路を実際に作成する場合に承知しておくべき最低限の事項についてしか書かれていない。しかし、筆者自身の経験から、この程度のことを知っていれば、PC を中心に据えた心理学実験での制御・計測システムのインターフェース部分を補完する回路の他、簡単な刺激提示装置なども作成することが可能となるものと考ええる。


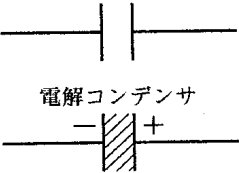
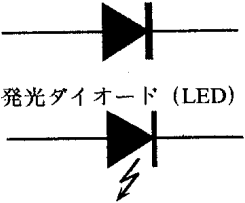
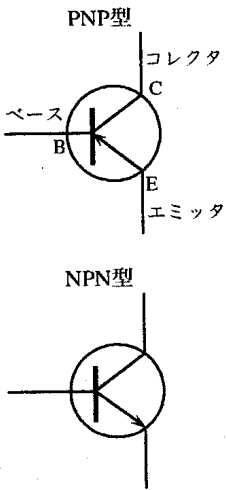
1. 素子について

本項では基本的な素子すなわち電子部品について紹介する。本項で取り上げる素子の記号と回路図記号、および単位を表 1 に示す。なお本稿では電圧を E 、電流を I という記号で表記する。これらの単位は言うまでもなく V (ボルト) と A (アンペア) である。なお A の $1/1000$ の単位が mA (ミリアンペア) である。

a. 抵抗

抵抗には様々な種類のものがあるが、デジタル回路ではモールド抵抗 (ソリッド抵抗) がよく用いられる。モールド抵抗の側面には抵抗値と精度 (許容誤差) を示すカラーコードが印刷されている (表 2)。抵抗について知っておくべき基本式は以下の 3 つである。

表1 本稿で取り上げる素子の記号・回路図記号・単位

| 素子 | 記号 | 回路記号 | 単位 |
|--------|----|---|---|
| 抵抗 | R |  可変抵抗 | Ω (オーム) $10^3 \Omega = k\Omega$ (キロオーム) |
| コンデンサ | C |  電解コンデンサ | F (ファラッド) $10^{-6} = \mu F$ (マイクロファラッド) $10^{-12} = pF$ (ピコファラッド) |
| ダイオード | d |  発光ダイオード (LED) | |
| トランジスタ | Tr |  PNP型 コレクタ C ベース B エミッタ E NPN型 | |

(1) 直列つなぎ

直列つなぎでは、全体の抵抗値は個々の抵抗値の和となる。例えば抵抗値 R_1 と R_2 の2本の抵抗が直列に接続されている場合、全体の抵抗値 R は

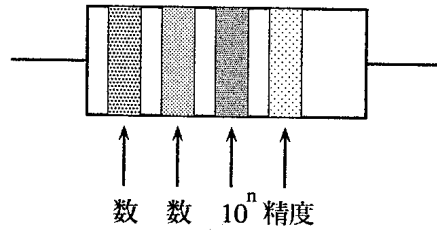
$$R = R_1 + R_2$$

となる。抵抗の本数が3以上でも同様である。

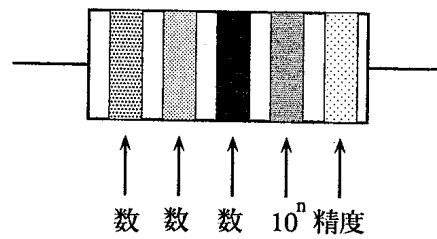
表 2 抵抗のカラーコードの意味

| カラー | 数 | 乗数 | 許容誤差 |
|-----|---|-----------|------------|
| 黒 | 0 | 10^0 | $\pm 1\%$ |
| 茶 | 1 | 10^1 | $\pm 2\%$ |
| 赤 | 2 | 10^2 | |
| 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} | $\pm 10\%$ |
| なし | | | $\pm 20\%$ |

3位式



4位式



3位式の例：茶—黒—赤—金
 1 0 2 $\pm 5\%$

$10 \times 10^2 = 1k\Omega$ (許容誤差 $\pm 5\%$)

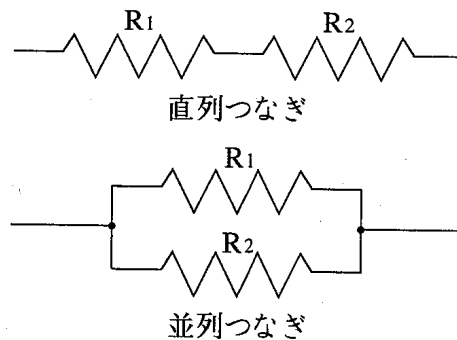


図 1. 抵抗の直列つなぎと並列つなぎ

(2) 並列つなぎ

並列つなぎでは、全体の抵抗値の逆数は個々の抵抗値の逆数の和となる。例えば抵抗値 R_1 と R_2 の 2 本の抵抗が並列に接続されている場合には、全体の抵抗値 R の逆数 $1/R$ は

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$$

となる。抵抗の本数が3以上でも同様である。

これらの性質を利用すれば、複数の抵抗を組み合わせて望みの抵抗値を得ることができる。ただし上述の通り個々の抵抗の精度の問題があるので、正確な合成抵抗値を得るにはテスタ等で実測する必要がある。

(3) オームの法則

直流回路では、電流値は電圧値を抵抗値で除した値となる。すなわち

$$I = E/R$$

という関係が成立する。これをオームの法則という。オームの法則は $R = E/I$ あるいは $E = IR$ と表現することもできる。

抵抗のはたらきは以下の2つである。

(1) 電流制限

電圧値、電流値、抵抗値の間には、上述の通りオームの法則により表現される関係が存在するが、電流値が大きすぎると素子が正常に動作しない場合や、過電流により素子が破壊されてしまう場合に、素子への電流を制限する目的で抵抗が用いられる。

(2) 電圧分割

図2に示すように、2本の抵抗 R_1 と R_2 を直列に接続した場合、接続部と GND (グラウンド、Gとも表記) の間の電圧値 V は、電源電圧を V_0 とすると、

$$V = \{R_2 / (R_1 + R_2)\} \times V_0$$

となる。

可変抵抗はこれを連続的に行えるようにしたものである。

なお、数本の抵抗を1つのパッケージに入れた集合抵抗というものも市販されている (図3)。

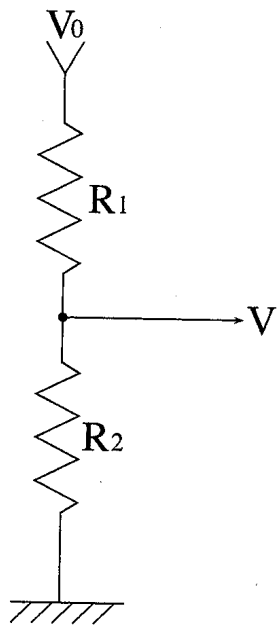
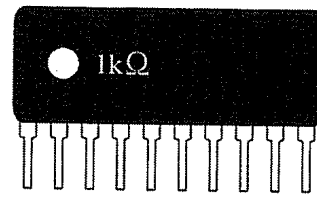
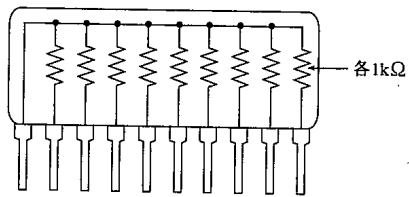


図 2. 抵抗を用いた電圧分割



外観



内部構造

図 3. 集合抵抗 (ブロック抵抗)

b. コンデンサ

コンデンサには大きく分けて高周波回路用のものと低周波回路用のものがある。よく見かけるもののうち、セラミックコンデンサは前者で、電解コンデンサ、マイラコンデンサなどは後者である。電解コンデンサとタンタルコンデンサには極性がある。

電解コンデンサやタンタルコンデンサでは、表面に耐圧と容量が表記されている。セラミックコンデンサでは表 3 に示す数字と記号で容量と精度を表現する。コンデンサについて承知しておくべき基本式は以下の 2 つで

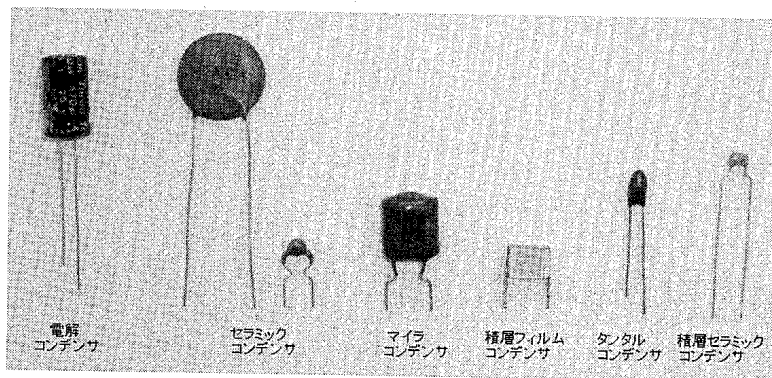
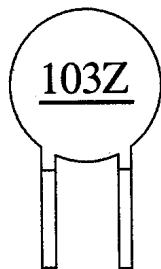


図 4. 代表的なコンデンサ

表3 セラミックコンデンサの容量表記

第1数字：容量の第1数字
 第2数字：容量の第2数字
 第3数字：乗数
 単位：pF



$103Z = 10 \times 10^3 \text{ pF}$
 (精度 + 80%, - 20%)

| 精 度 | |
|-----|----------------|
| 記号 | 許容誤差 |
| G | ± 2% |
| J | ± 5% |
| K | ± 10% |
| M | ± 20% |
| P | + 100% - 0% |
| S | + 150% - 0% |
| T | + 200% - 0% |
| Z | + 80% - 20% |

ある。抵抗の場合と逆になっている点に注意を要する。

- (1) 直列つなぎでは、全体の容量値の逆数は個々の容量値の逆数の和となる。例えば容量値 C_1 と C_2 の2本のコンデンサが並列に接続されている場合には、全体の容量値 C の逆数 $1/C$ は

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2$$

となる。コンデンサの数が3以上でも同様である。

- (2) 並列つなぎでは、全体の容量値は個々の容量値の和となる。例えば容量値 C_1 と C_2 の2本のコンデンサが直列に接続されている場合、全体の容量値 C は

$$C = C_1 + C_2$$

となる。コンデンサの数が3以上でも同様である。

コンデンサのはたらきは以下の3つである。

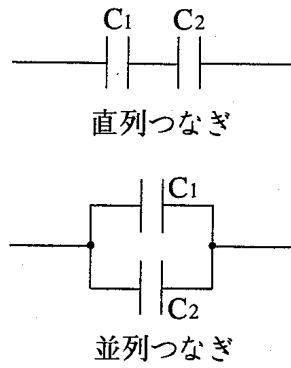


図 5. コンデンサの直列つなぎと並列つなぎ

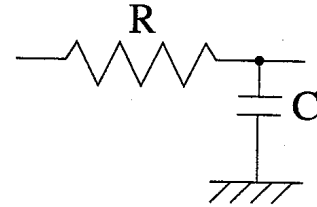


図 6. CR 積分回路

(1) 蓄電

電流を蓄えるはたらきである。このはたらきにより、回路中で一瞬電流が減弱あるいは途絶えた場合に、蓄えておいた電流を放出することで回路の動作を継続させることを可能にする。この用途には容量の大きな電解コンデンサやタンタルコンデンサが用いられる、なお、図 6 のように抵抗の出力側にコンデンサを接続したものは積分回路と呼ばれる。この場合、 C と R の積を時定数という。

(2) 整流平滑

交流から直流を作り出す直流電源回路に使用されたコンデンサは、直流電流に含まれるリップル（振幅の小さな交流成分）を減らすはたらきをする。これには電解コンデンサが用いられる。スイッチング電源でないシリーズ電源の場合、コンデンサの耐圧はトランスの出力電圧の約 1.4 倍以上は必要である。

(3) 交流とパルスは通すが、直流は通さない

電源 - GND 間にコンデンサを挿入することにより、電源ノイズをフィルタすることができる。このような用途で使用されるコンデンサはバイパスコンデンサあるいはパスコンと呼ばれ、セラミックコンデンサやタンタルコンデンサが適している。一般的なデジタル回路では、IC 数個に対して最低でもパスコン 1 個が必要とされる。この場合、コンデンサはできるだけ IC の電源ピンに近い位置に入れ、またコンデンサのリー

ド線も極力短くする。

c. ダイオード

ダイオードには定電圧ダイオード（ゼナー（ツェナー）ダイオード）や定電流ダイオードといった種類のものもあるが、ここでは電流を一方向にだけ流す通常のダイオードと発光ダイオードについてのみ述べる。

通常のダイオードではパッケージに帯状の印がついている側がカソード（マイナス）、反対側がアノード（プラス）である。

ダイオードにはスイッチング作用という重要なはたらきもあるが、以下の2つの作用について承知しておけば十分であろう。

(1) 整流作用

整流作用とは、電流を一方向のみに流すはたらきのことである。ダイオードはP型半導体とN型半導体を接合した素子であり、従って電流を一方向にしか流さない。すなわちアノードからカソードへと電流を流すが、カソードからアノードへは流さない。

このはたらきを利用して、図7に示すように、交流から直流を得ることができる。このような整流を半波整流という。しかしこの図から明らかのように、ダイオード1個による整流は効率が悪い。そこで電源回路では、ダイオードを2個ないし4個使用した全波整流を行うのが普通である。ダイオードを4個使用した場合の整流回路を図8に示す。なお整

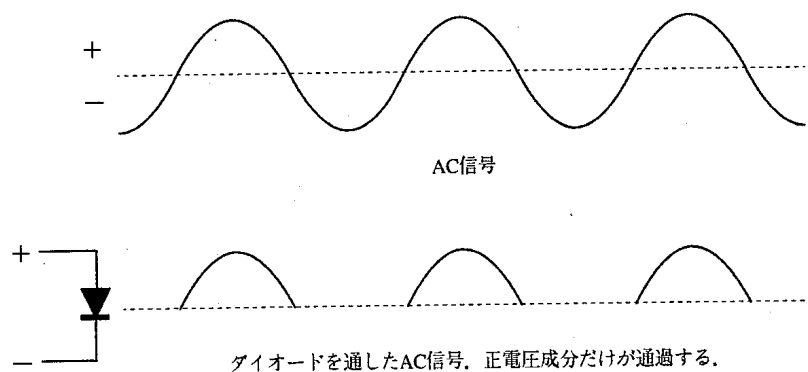


図7. 半波整流

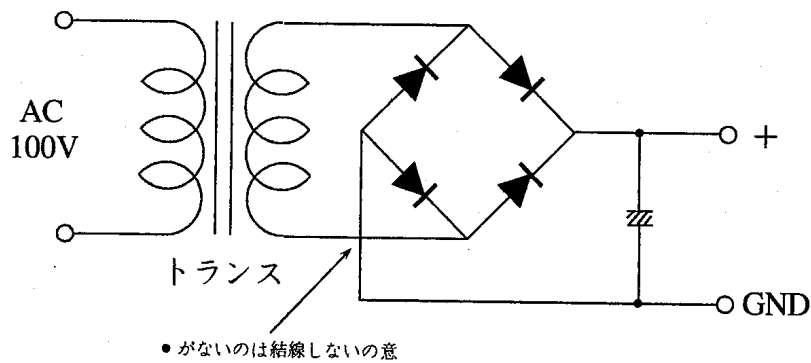


図 8. ダイオード 4 個による全波整流回路

流用ダイオードが 4 個で 1 つのパッケージとなっているものも市販されている。

(2) サージ吸収

サージとは電子回路中に瞬間的に発生する高電圧のことである。これはノイズの一種であるが、通常のノイズとは異なり、素子の破壊や劣化の原因となる。サージはコイルへの通電をオフにした際などに発生する。このサージを除くためには、ダイオードをコイルと並列にかつ通常と逆方向に接続する。詳しくはリレーの項で説明する。

また発光ダイオード (LED) とは、その名の通り光を発生させるダイオードである。安価であり、低電圧・低電流で高速に動作し、簡単に扱えるため、心理学の実験では刺激の光源や表示用としてよく使われている。LED にはサイズや形状の異なる物が多数存在する。発光色も青、緑、黄、橙、赤と豊富であり、他に多色発光のものや、最近では白色のものも市販されるようになった。ただし白色 LED では、青色 LED の出力を蛍光塗料に当てることで白色を得ているため、時間応答特性が良くないという欠点がある。その他に赤外 LED というものも存在するが、これは赤外フォトトランジスタという受光素子と組み合わせることで、物体の位置の変化の検出に使用される (トランジスタの項を参照)。これは後で述べる絶縁素子のフォトカプラなどでも使われているが、身近なところではコンピュータのマウスのロータリーエンコーダ部にも使用され

ている。なお、赤外 LED の投光面と赤外フォトトランジスタの受光面とを向かい合わせにして1つのパッケージに入れたものをフォトインタラプタと呼ぶ。

LED を点灯させる場合、LED を直接電源に接続すると過電流で破壊されてしまうため、電流制限用の抵抗を接続することが必要である。抵抗を接続するのはアノード、カソードいずれの側でもよい。なおリード線が2本のタイプでは、リード線の長い方がアノード、短い方がカソードである。

LED を発光させるのに必要な電圧を順方向電圧と呼ぶ。順方向電圧は型番や発光色により異なり、詳細は規格表で確認する必要があるが、青色 LED と白色 LED では他の発光色のものよりこの値が1 V 以上高い。電流制限用抵抗の値は、用途にもよるが、LED の順方向電流が5-20 mA 程度になるように決定する。電源電圧を V_{CC} 、LED に印加される電圧を V_d とすれば、順方向電流 I を得るために必要な抵抗値 R は

$$R = (V_{CC} - V_d) / I$$

となる。

LED は通常トランジスタを用いて点灯させるが、その回路については後述する。なお視覚実験用の光源としての LED の特性は、Deforges, Garcia, Bastie, Marandet, Bernard, & Magnant (1989) や Swanson, Ueno, Smith, & Pokorny (1987) などにより検討されている。

d. トランジスタ

トランジスタには大別して PNP 型と NPN 型がある。いずれもダイオードを2個接続したものと考えてよい。後述の TTL IC はこのトランジスタを多数組み合わせたものからできている。

PNP 型には 2SA, 2SB という2つのタイプがあり、NPN 型にも同様に 2SC, 2SD というタイプが区別される。いずれも前者が高周波回路用で後

者が低周波回路用である。デジタル回路で普通使われるのは 2SC タイプであろう。2SC タイプの代表的なトランジスタである 2SC1815 の電気的特性と形状を表 4 と図 9 に示す。2SC タイプのトランジスタはベース (B)、コレクタ (C)、エミッタ (E) という 3 つの端子を持つ。表 3 から、2SC1815 は C - E 間に最大 50 V, 150 mA の電流を流せることがわかる。 h_{FE} というのは電流増幅率のことである。また図 10 から、このトランジスタは底面側から見た場合の端子が左から ECB の順に配置されていることがわかる。

トランジスタのはたらきのうち最大のものは増幅作用である。しかし、デジタル回路ではスイッチング作用について理解できればほぼ十分である。

スイッチング作用とは文字通り信号をオン・オフするスイッチとしてのはたらきである。2SC タイプでは、B - E 間に電流が流れなければ C - E 間には電流が流れないが、B - E 間に電流を流すと、C - E 間が導通し、その何倍かの電流が C - E 間に流れる。すなわちベースへの入力がコレクタ - エミッタ間の信号をオン・オフする形となる。これがスイッチング作用である。このはたらきを利用して LED を点滅させたり、リレーを開閉させることができる。なお上述の 2C1815 は小信号スイッチング用のトランジスタとしてはかなり速度が遅いが、それでも C - E 間を完全にオン・オフさせる場合の動作遅れ時間は数十 ns - 数百 ns 程度であり、心理学の実験で使用するには十分な動作速度といえる。

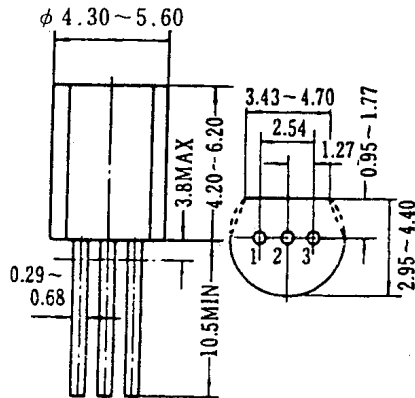
受光素子の一種にフォトトランジスタというものがある。これはベースが受光面となっており、これに入力した光エネルギーを電気信号に変換する素子である。心理学の実験では、赤外フォトトランジスタと呼ばれる赤外域に感度のピークを持つものがよく使用される。多くは受光面の前にレンズが取り付けられており、そのため指向性が非常にシャープである。すなわち非常に限られた方向からの入力しか検出しないようになっている。筆者は赤外フォトトランジスタとして TPS601A (東芝製) をよく用いてい

表 4 2SC1815の特性表

| 型名 | 社名 | 用途 | 最大定格 (Ta = 25°C, *印は Tc = 25°C) | | | | | | | | | | 電気的特性 (Ta = 25°C) [*印は typ 値] | | | | | | | | | |
|-----------|-----|---------|---------------------------------|----------|----------|--------|---------|-----------------|---------|-----------|-----------|---------|-------------------------------|--------------|--------------|-------|-------|--|--|--|--|--|
| | | | Vcbo (V) | Vceo (V) | IcdC (A) | Pc (W) | Pc* (W) | Icbo (max) (μA) | Vcb (V) | hFE (min) | hFE (max) | Vce (V) | Ic/If (A) | Vce(sat) (V) | Vbe(sat) (V) | Ic(A) | Ib(A) | | | | | |
| 2SC1741AS | ローム | PA | 50 | 50 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 30 | 82 | 390 | 3 | 0.1 | 0.4 | 0.15 | 0.015 | | | | | |
| 2SC1741S | ローム | PA | 40 | 32 | 0.5 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 1 | 20 | 82 | 390 | 3 | 0.1 | 0.6 | 0.5 | 0.05 | | | | | |
| 2SC1755 | 三洋 | TV Vout | 300 | 300 | 0.2 | 1.2 | 15 | 0.1 | 200 | 40 | 200 | 10 | 0.01 | 2 | 0.05 | 0.005 | | | | | | |
| 2SC1756 | 三洋 | TV Vout | 300 | 300 | 0.2 | 1.2 | 15 | 0.1 | 200 | 40 | 200 | 10 | 0.01 | 2 | 0.05 | 0.005 | | | | | | |
| 2SC1757 | 三洋 | TV Vout | 300 | 300 | 0.2 | 1.2 | 15 | 0.1 | 200 | 40 | 200 | 10 | 0.01 | 2 | 0.05 | 0.005 | | | | | | |
| 2SC1775A | 日立 | LF LN A | 90 | 90 | 0.05 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 75 | 400 | 1200 | 12 | 0.002 | 0.5 | 0.01 | 0.001 | | | | | | |
| 2SC1775A | 日立 | LF LN A | 120 | 120 | 0.05 | 0.3 | 0.5 | 0.5 | 100 | 400 | 1200 | 12 | 0.002 | 0.5 | 0.01 | 0.001 | | | | | | |
| 2SC1780A | 三菱 | LF LN A | 120 | 120 | 0.05 | 0.2 | 0.1 | 100 | 100 | 250 | 800 | 6 | 0.001 | 0.6 | 0.01 | 0.001 | | | | | | |
| 2SC1789 | 松下 | HP OSC | 25 | 18 | 0.05 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 20 | 39 | 180 | 6 | 0.001 | 0.1* | 0.01 | 0.001 | | | | | | |
| 2SC1809 | ローム | HF A | 25 | 20 | 0.02 | 0.15 | 0.5 | 0.5 | 20 | 39 | 180 | 6 | 0.001 | *0.1 | 0.01 | 0.001 | | | | | | |
| 2SC1809S | ローム | HF A | 25 | 20 | 0.02 | 0.15 | 0.5 | 0.5 | 20 | 39 | 180 | 6 | 0.002 | 0.25 | 1 | 0.01 | | | | | | |
| 2SC1815 | 東芝 | LF A | 60 | 50 | 0.15 | 0.4 | 0.1 | 60 | 70 | 700 | 6 | 0.002 | 0.25 | 1 | 0.1 | 0.01 | | | | | | |
| 2SC1815L | 東芝 | LF A | 60 | 50 | 0.15 | 0.4 | 0.1 | 60 | 70 | 700 | 6 | 0.002 | 0.25 | 1 | 0.1 | 0.01 | | | | | | |
| 2SC1840 | 日電 | LF A | 40 | 35 | 0.1 | 0.5 | 0.05 | 40 | 200 | 800 | 6 | 0.001 | 0.3 | 1 | 0.1 | 0.01 | | | | | | |
| 2SC1841 | 日電 | LF A | 120 | 120 | 0.05 | 0.5 | 0.05 | 120 | 200 | 800 | 6 | 0.001 | 0.3 | 1 | 0.01 | 0.001 | | | | | | |

| fr (MHz) | Vce (V) | Ic/If (A) | SW Time | | Cob (pF) | Cre (max) (pF) | その他の主要項目 | | | コンプリアメントリ | 外形 | 電極接続備考 | 型名 |
|----------|---------|-----------|----------|---------|----------|----------------|----------|------------|---------------------|-----------|--------------|--------|-----------|
| | | | ton (μs) | tf (μs) | | | 項目 | 特性 | 測定条件 | | | | |
| 250* | 5 | 0.02 | | | 5* | | | | | | | | 2SC1741AS |
| 250* | 5 | 0.02 | | | 6.2* | | | | | 2SA854S | (SPT) | ECB | 2SC1741S |
| 50 | 30 | 0.01 | | | 5.3 | | | | | | TO-220AB形 | BCE | 2SC1755 |
| 50 | 30 | 0.01 | | | 5.3 | | | | | | (TO-220リード形) | BCE | 2SC1756 |
| 50 | 30 | 0.01 | | | 5.3 | | | | | | TO-220AA形 | BCE | 2SC1757 |
| 200* | 12 | 0.002 | | | 1.6* | | NF | MAX 1.5 dB | f = 1 KHz/Rg = 50 K | 2SA872 | TO-92形 | ECB | 2SC1775 |
| 200* | 12 | 0.002 | | | 1.6* | | NF | MAX 1.5 dB | f = 1 KHz/Rg = 50 K | 2SA872A | TO-92形 | ECB | 2SC1775A |
| 150* | 6 | 0.001 | | | 1.8* | | NF | typ 0.5 dB | f = 1 KHz/Rg = 10 K | | TO-92形 | BCE | 2SC1780A |
| 600 | 10 | 0.01 | | | 1.5 | | PG | 15 dB TYP | f = 10.7 MHz | | TO-92形 | ECB | 2SC1789 |
| 300 | 6 | 0.001 | | | 1.4* | | | | | | TO-92形 | ECB | 2SC1809 |
| 300 | 6 | -0.001 | | | *1.4 | | | | | | SC-72 (SPT) | | 2SC1809S |
| 80 | 10 | 0.001 | | | 3.5 | | NF | max 10 dB | f = 1 KHz Rg = 10 K | 2SA1015 | TO-92形 | ECB | 2SC1815 |
| 80 | 10 | 0.001 | | | 3.5 | | NF | max 3 dB | f = 1 KHz Rg = 10 K | 2SA1015L | TO-92形 | ECB | 2SC1815L |
| 50 | 6 | 0.001 | | | 8 | | | | | | TO-92形 | ECB | 2SC1840 |
| 50 | 6 | 0.001 | | | 2.5 | | | | | | TO-92形 | ECB | 2SC1841 |

TO-92形



電極接続

| 1 | 2 | 3 |
|------|------|------|
| エミッタ | コレクタ | ベース |
| ベース | コレクタ | エミッタ |
| ベース | エミッタ | コレクタ |
| エミッタ | ベース | コレクタ |
| コレクタ | エミッタ | ベース |
| コレクタ | ベース | エミッタ |

図 9. リード線側から見た 2SC1815 のピン配置

る。この TPS601A のピン配置を図10に示す。なおフォトトランジスタには通常コレクタとエミッタの2本のリード線しかないが、中には3本のリード線を持つ製品もある。このような製品では、ベースにもリード線が接続されているが、これは非常に微弱な光を検出する（暗電流を減少させたり温度補償を行う）ためのものであり、通常の心理学実験では特に必要ではない。

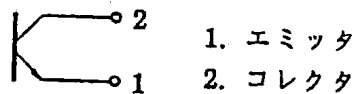
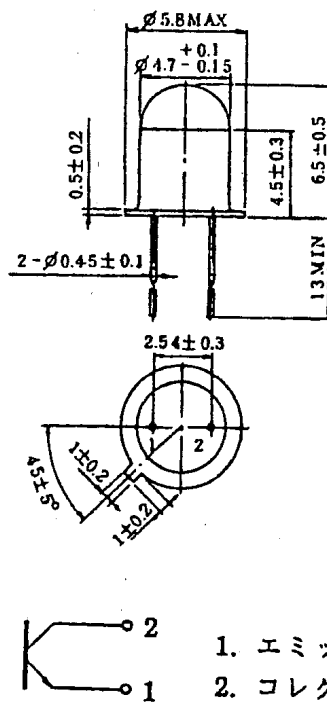


図10. リード線側から見た TPS601A のピン配置

2. デジタル IC について³⁾

デジタルとは、データを数字や文字の形式で表現するために離散的な信号を使用することを指す言葉と定義される。デジタル回路においては、信号は連続的な値を取るものではなく、離散的な値をとるものとして扱われる。すなわち、デジタル回路で問題となるものは、信号の状態が1なのか0なのかということ、言い換えれば信号の有無である。これはデジタル回路では、信号が H (high) レベルと L (low) レベルの2つの電位しか取り得ないことを意味する。

電気的特性の等しい IC 群をファミリと呼ぶが、同一のファミリに属するデジタル IC (以後単に IC と表記する) のみで電子回路を構成する場合は、問題となるのは信号の有無だけなので、入力と出力の関係のみに注目していればよく、複雑な計算は不要である。実際の回路では IC の他に抵抗やコンデンサ等も必要となることが多いが、これらの素子を含んだ回路であっても、設計にあたって計算をほとんど必要としない。しかしデジタル回路であっても、異なるファミリの IC を混在させたり、回路中にトランジスタなどを含む場合には、信号の入出力関係以外に考慮すべき要素がいくつかある。

デジタル IC にはいくつかの種類があるが、TTL ロジックと C-MOS ロジックが代表的なものである。いずれもいくつかのファミリを含むが、各ロジックファミリは、回路構成や使用プロセスなどは若干異なるものの、機能的には等しい。TTL と C-MOS のロジックファミリには表5のようなものがある。

IC では、HレベルとLレベルという2値の信号の組み合わせで特定の機能を持つ回路が構成されている。この信号の組み合わせをロジックあるいは論理という。基本的な論理は6種類であり、複雑な機能もこれらの組み合わせによって実現されている。電子回路図では特定の記号でそれぞれの論理が表現されるが、この記号を MIL 論理記号あるいは単に論理記号と

表 5 TTL, C-MOS ロジックファミリ

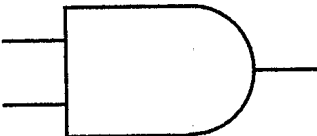

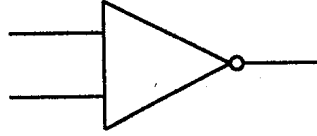
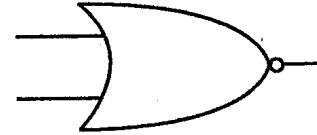


| ファミリ名 | 特 徴 |
|---|---|
| <p>TTL IC (74シリーズ)</p> <p>標準 (スタンダード:ST) タイプ</p> <p>高速 (ハイスピード:H) タイプ</p> <p>低消費電力 (ローパワー:L) タイプ</p> <p>ショットキ (S) タイプ</p> <p>低消費電力ショットキ (ローパワーショットキ:LS) タイプ</p> <p>改良ショットキ (アドバンスドショットキ:AS) タイプ</p> <p>改良・低電力ショットキ (アドバンスドロワーパワーショットキ:ALS) タイプ</p> <p>FAST</p> | <p>最初に開発された TTL IC であり, その電気的特性は, 各種の電気的インターフェースの基準となっている。</p> <p>標準タイプに内部抵抗を減少させることで動作速度を増加させたものである。しかし消費電力の割に動作速度はそう速くはなく, ショットキタイプの出現とともに使用されなくなった。</p> <p>抵抗値を増加させることで消費電力を抑えたものである。最近では C-MOS IC に押され, ほとんど使用されていない。</p> <p>ショットキダイオードを内部トランジスタの飽和防止に使用したもので, 高速動作が可能である。消費電力はかなり大きいですが, 現在でも高速用としてよく使われている。</p> <p>現在最も多く使用されている TTL IC で, ショットキタイプを低消費電力にしたものである。動作速度は標準タイプと同じかあるいはそれ以上で, かつ消費電力は低消費電力タイプ並である。</p> <p>新設計のトランジスタから構成された IC で, ショットキタイプと比較すると, 動作速度はとほぼ等しいが, 消費電力は約 1/3 に抑えられている。</p> <p>現在最も高いパフォーマンスを持つ IC であり, 改良ショットキタイプの低消費電力版と言える。小さな消費電力でかなりの動作速度が得られる。ゲートの遅延時間は標準タイプのおよそ 1/3 であり, 消費電力は約 1/8 である。</p> <p>ショットキタイプの低消費電力版であり, ドライブ能力やゲートの遅延時間はショットキタイプとほぼ同等であるが, 消費電力は約 1/4-1/5 である。</p> |
| <p>C-MOS IC</p> <p>4000B シリーズ</p> <p>4500 シリーズ</p> <p>40H シリーズ</p> <p>74HC シリーズ</p> | <p>標準 C-MOS とも呼ばれ, C-MOS IC の代表的ファミリである。電源電圧が 3-18V と非常に広いが, 動作速度が多少遅いため, 使用範囲はある程度限られる。</p> <p>4000B シリーズの延長であり, やや特殊な機能を持つ IC を中心にシリーズが構成されている。</p> <p>動作速度が遅いという C-MOS の欠点を補うために開発されたもので, TTL IC で設計されていたシステムを C-MOS に置き換える際に便利なようにピンアサインが TTL IC と同一となっている。ただし動作速度や入出力信号のレベルといった点で完全に TTL と置き換えられるわけではない。</p> <p>TTL 互換の C-MOS で, 信号のレベルやピンアサインが TTL IC と同一である。</p> |

この表は中川 (1987) と湯山 (1986) に基づく。

呼ぶ。

基本的な論理回路の機能を表6に示す。なおHレベルを1に，Lレベルを0にそれぞれ対応させる論理を正論理，またHレベルを0に，Lレベルを1に対応させる論理を負論理という。

表6 基本的な論理回路の機能

| 機能 | 論理表 (真理値表) | ブール関数式 (正論理) | MIL 論理記号 | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---|--------------|----------|---|---|---|---|---------------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|--|
| AND (論理積) | <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>H</td></tr> </table> | A | B | Y | L | L | L | L | H | L | H | L | L | H | H | H | $Y = A \cdot B$ |  |
| A | B | Y | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | L | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | H | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | L | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | H | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| OR (論理和) | <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>H</td></tr> </table> | A | B | Y | L | L | H | L | H | H | H | L | H | H | H | H | $Y = A + B$ |  |
| A | B | Y | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | L | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | H | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | L | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | H | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOT (否定) | <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td></tr> </table> | A | B | L | H | H | L | $Y = \bar{A}$ |  | | | | | | | | | |
| A | B | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | H | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | L | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NAND | <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table> | A | B | Y | L | L | H | L | H | H | H | L | H | H | H | L | $Y = \overline{A \cdot B}$ |  |
| A | B | Y | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | L | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | H | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | L | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | H | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| NOR | <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table> | A | B | Y | L | L | H | L | H | L | H | L | L | H | H | L | $Y = \overline{A + B}$ |  |
| A | B | Y | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | L | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | H | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | L | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | H | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| XOR (排他的論理和) | <table border="1"> <tr><td>A</td><td>B</td><td>Y</td></tr> <tr><td>L</td><td>L</td><td>L</td></tr> <tr><td>L</td><td>H</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>L</td><td>H</td></tr> <tr><td>H</td><td>H</td><td>L</td></tr> </table> | A | B | Y | L | L | L | L | H | H | H | L | H | H | H | L | $Y = \bar{A} \cdot B + A \cdot \bar{B}$ |  |
| A | B | Y | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | L | L | | | | | | | | | | | | | | | | |
| L | H | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | L | H | | | | | | | | | | | | | | | | |
| H | H | L | | | | | | | | | | | | | | | | |

a. TTL IC の概要

TTL IC の型番は、一部のメーカーの製品を除いて、[アルファベット] [74] [アルファベット] [数字] という表記となっている。例えば日立製のローパワーショットキファミリであれば、HD74LSxx という表記になる。xx の部分にはその IC の機能とパッケージングされているユニット数を表す数字コードが入る。例えばインバータが 6 個パッケージングされているものでは 04、RS フリップフロップを 4 個含むものでは 279 という数字が入る。上述のように TTL IC にはいくつかのファミリがあるが、現在は消費電力の少ない LS タイプが主流である。

TTL IC の動作に必要な電源電圧は + 5 V といわれるが、実際には + 4.75 - + 5.25 V の範囲の電圧であればよい。ただし電源は安定化したもの、すなわち安定化電源である必要がある。安定化電源とは、入力あるいは負荷の変動に影響されない安定した直流電圧（または電流）を供給する電源のことである。安定化電源には市販品もあるが、後述するように自分で作成することも可能であり、また PC 用の古い外付け機器に内蔵されているスイッチング電源ユニットなどを利用することも可能である。

TTL IC の電圧レベルは、H レベルが 5 V、L レベルは 0 V とされるが、実際には 1 つの値しかとり得ないのではなく、ある程度の幅がもたせてある (図 11)。すなわち、TTL IC の出力では H レベルが 2.4 - 5 V、L レベルが 0 - 0.4 V であり、入力では H レベルが 2 - 5 V、L レベルが 0 - 0.8 V である。出力のレベルは負荷の状態によっても変動する。

これらは信号の許容電圧であるが、入力の場合これとは別にスレッシホールド (スレッシュホールド, しきい) 電圧というものが存在する。これは IC ごとに異なり、平均 1.3 - 1.5 V 程度の値をとる。IC は入力信号のレベルがこのスレッシホールド電圧を超えた場合に、入力を H レベルと判定し、超えない場合に L レベルと判定する。しかし入力信号の電圧がスレッシホールド電圧付近では、信号にノイズが混入し、信号のレベルがスレッシホールド電圧を挟んで変動する場合、安定した動作は期待できない。動作を安

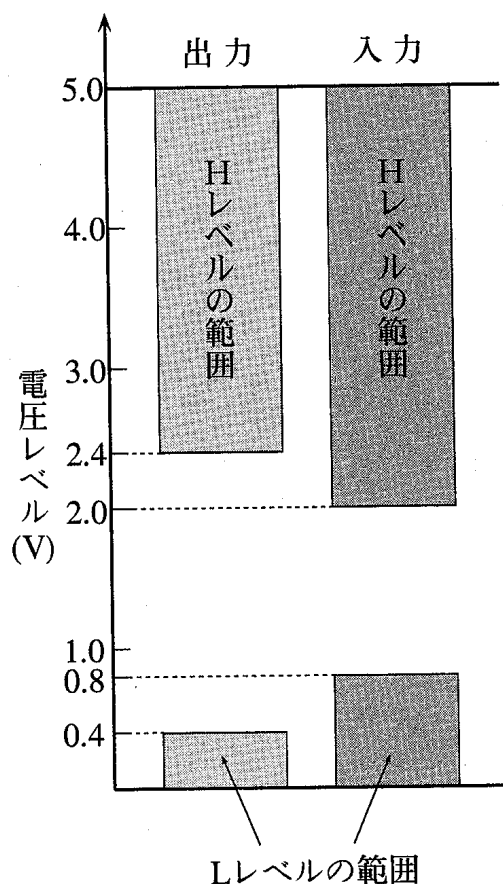


図11. TTL IC の信号レベル

定させるには、入力信号がHレベル、Lレベルともに電圧値が上記の範囲内である必要がある。

現在最も多く使われている TTL IC はローパワーショットキファミリ (LS TTL, IC の型番では74LSxx) であるが、これの1ユニットを駆動するには、Hレベルで $20 \mu\text{A}$ 、Lレベルで 0.4 mA の電流が必要である。一方、LS TTL の出力電流の最大値は、Hレベルで $400 \mu\text{A}$ 、Lレベルで 8 mA である。従って、1個の LS TTL によって、最大20個の LS TTL を駆動することができることになる。これをファンアウトが20と表現する。それに対して、スタンダードタイプ (標準 TTL, IC の型番では74xx) の1ユニットを駆動するのに必要な電流は、Hレベルで $40 \mu\text{A}$ で、Lレベルで 1.6 mA である。また、標準 TTL の出力電流の最大値は、Hレベルで $400 \mu\text{A}$ 、Lレベルで 16 mA である。従って、1個の標準 TTL によって、標準 TTL を最

大10個まで駆動することが可能ということになる。この場合のファンアウトは10ということになる。しかし、LS TTL の出力に標準 TTL を接続する場合には、5つのユニットしか駆動できない計算になる（ファンアウトは5）。

このような TTL IC の電気的特性は、TTL IC を C-MOS IC などの他の種類の IC と接続する場合や、トランジスタなどと組み合わせて用いる場合にも十分考慮する必要がある。例として受光型フォトトランジスタの出力を TTL IC で受ける場合について考える。

図12において、標準 TTL である7404の入力がLの場合の電圧は最大で0.8 V であり、この時の入力電流（7404の入力端子から GND へと流れ出る電流）は 1.6 mA である。従ってこの電流値を保証するのに必要な R の抵抗値は、オームの法則より、

$$R = E/I = 0.8/0.0016 = 500 \text{ (}\Omega\text{)}$$

となる。なおこの例では7404の出力に 1 k Ω の抵抗と 0.1 μ F のコンデンサよりなる積分回路が接続されているが（図中の灰色の部分）、これは光源が遮られる瞬間に、明暗の不安定な影の縁がフォトトランジスタの受光部にかかった場合に発生する可能性のあるパルス列状のノイズを吸収する

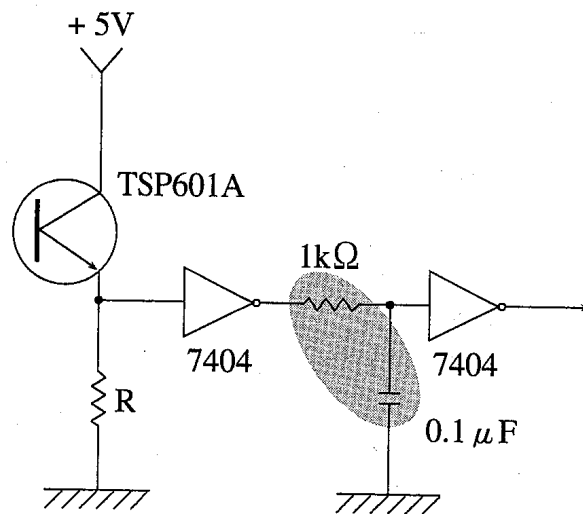


図12. フォトトランジスタの出力を TTL IC で受ける回路の例

ためのものである。

また、TTL IC を駆動するのに不適當な電圧の信号を、トランジスタを介して TTL IC に適するレベル (TTL レベル) に変換することができる。例えば +10 V くらいまでの正の電圧の信号は、図13に示すような回路により TTL レベルに変換することができる。ただしこの回路では、入力信号と出力信号の位相が 180° 反転する。両信号の位相を一致させたい場合には、トランジスタのエミッタ側から出力を取ればよい。なお 2.2 k Ω の抵抗と並列に接続されているコンデンサはスピードアップコンデンサと呼ばれ、トランジスタのベースのキャリアを抜くことでスイッチング速度を改善するためのものである。ただし kHz 以下の周波数あるいは ms 以上の持続時間の信号では、スピードアップコンデンサの効果はほとんどない。

これらはトランジスタの出力で TTL IC を駆動する場合の例であるが、今度は逆に TTL IC の出力によってトランジスタを動作させる場合を考えてみる。

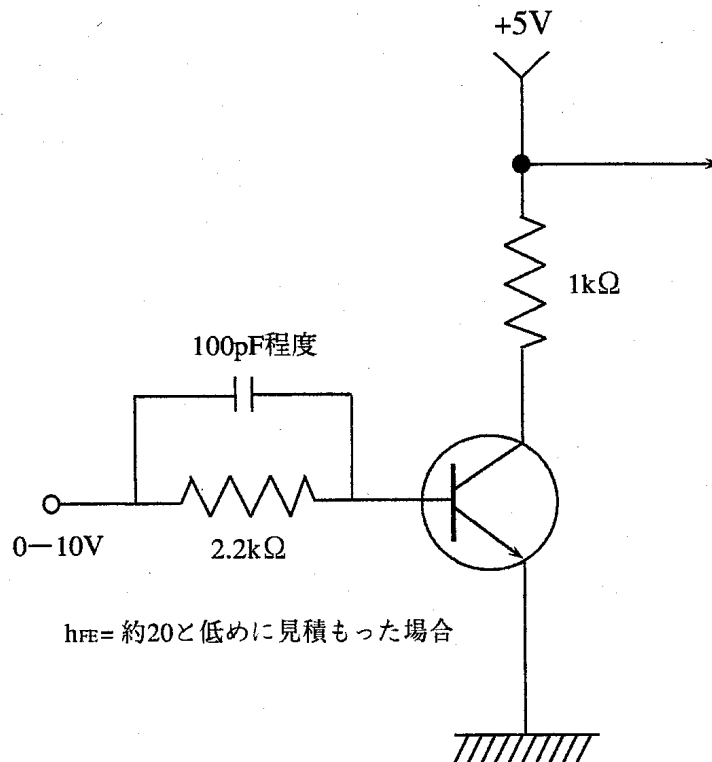
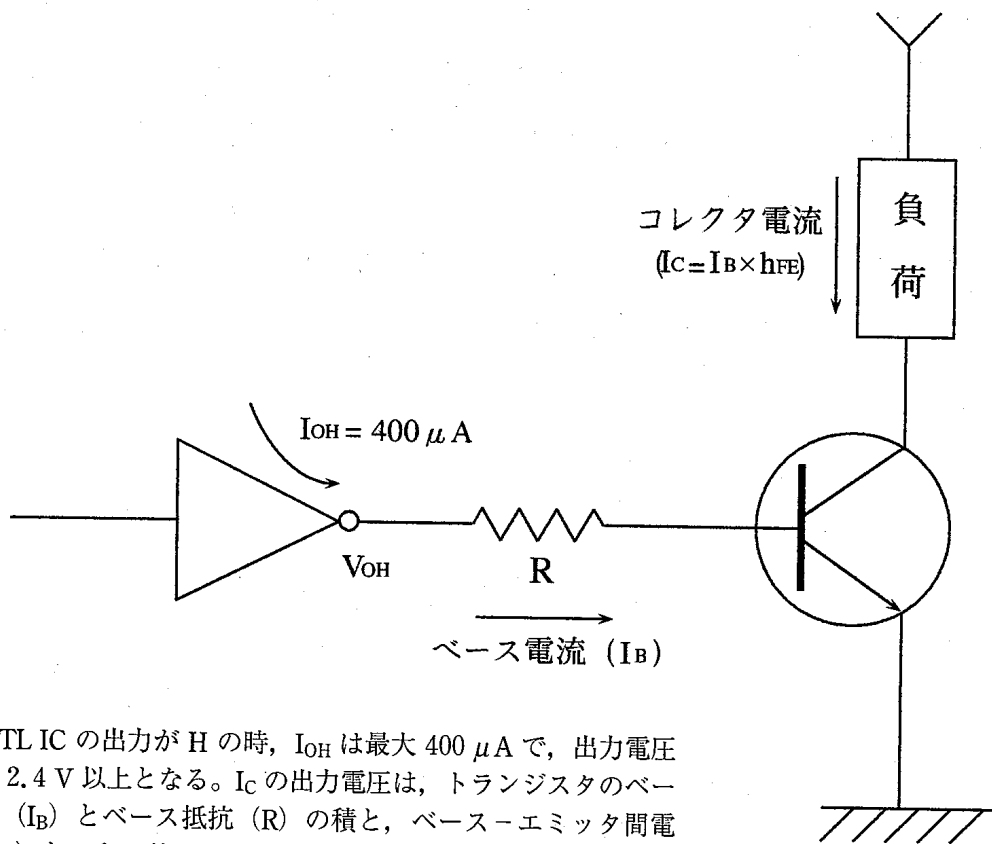


図13. 0-10 V の信号を TTL レベルに変換する回路の例

標準 TTL を使用した場合の基本的な考え方を図14に示す。TTL の出力が H の時、出力の電圧値は 2.4 V 以上であり、電流の最大値は $400 \mu\text{A}$ である。この場合、トランジスタの B-E 間電圧 (V_{BE}) が 1 V であれば、ベース電流制限用抵抗 (ベース抵抗) R の値は、オームの法則から、

$$R = (2.4 - 1) / (400 \times 10^{-6}) = 3500 \Omega = 3.5 \text{ k}\Omega$$



標準 TTL IC の出力が H の時、 I_{OH} は最大 $400 \mu\text{A}$ で、出力電圧 V_{OH} は 2.4 V 以上となる。 I_C の出力電圧は、トランジスタのベース電流 (I_B) とベース抵抗 (R) の積と、ベース-エミッタ間電圧 (V_{BE}) との和に等しい。すなわち、

$$V_{OH} = I_B \times R + V_{BE} \quad \text{ゆえに}$$

$$R = (V_{OH} - V_{BE}) / I_B$$

ここで、 $I_B \approx I_{OH}$ であり、また $V_{OH} = 2.4 \text{ V}$ 、 $V_{BE} = 1 \text{ V}$ とすると、

$$R = (2.4 - 1) / 400 \times 10^{-6} = 3.5 \text{ k}\Omega$$

となる。またこの時負荷に流れるコレクタ電流 I_C は、 $h_{FE} = 100$ とすると、

$$I = I_C \times h_{FE} = 400 \times 10^{-6} = 40 \text{ mA}$$

となる。 h_{FE} の大きなトランジスタを使用すれば I_C も大きくとれる。

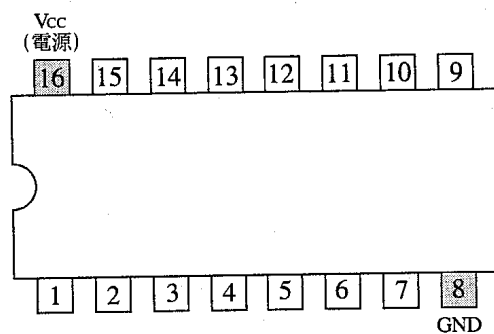
図14. TTL の出力にトランジスタを接続する場合の基本的な考え方

と計算できる。この時の負荷に流れるコレクタ電流 I_C の値は、 $h_{FE}=100$ とすると、

$$I_C = I_B (\text{ベース電流}) \times h_{FE} = 400 \times 10^{-6} \times 100 = 40 \text{ mA}$$

となる。表4から、2SC1815の V_{BE} は1Vで、 h_{FE} は最小70、最大700であることがわかるので、上記の定数値は、このトランジスタを使用した場合にはそのまま適用することができる。

TTL IC は、上から見た場合、図15に示すような形状をしている。切り欠きを左に見た場合、ピン番号はICの左下から反時計回りに数えることになっている。型番によってピン数は異なるが、いずれのTTL ICでも、左上のピンが電源 (V_{CC}) ピンであり、右下がGNDピンである。なおTTL ICに限ったことではないが、回路に十分な電流が供給されるよう、電源用には断面積の大きなケーブルを使用するのが望ましい。



図中の数字はピン（端子）番号を示す。

図15. TTL IC の外観

b. 代表的な TTL IC とその応用例

ここではTTL ICのうち、いくつかのものについてその機能を紹介し、関連する事項についてもあわせて解説する。

以下の型番は標準TTLのものであるが、前述の通り他のファミリーでも機能は同一である。

(1) 7404 (インバータ, NOT (否定) ゲート)

入力信号を反転させるというはたらきをする。1パッケージに6個の

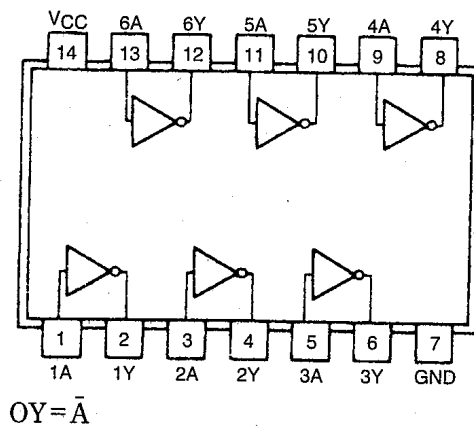


図16. 7404

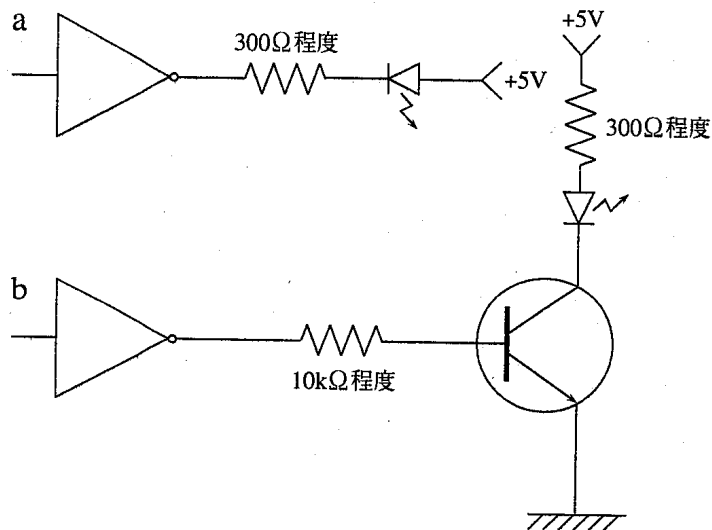


図17. 7404を用いた LED 点灯回路の例

インバータユニットが含まれている。図16において、A は入力ピンで、Y は出力ピンである。Y = \bar{A} の A の上の線分は、出力が入力を反転したものであることを意味する。この IC を使用した LED を点灯させる回路の例を図17に示す。a が正論理で b が負論理の例である。a は表示用の回路であり、LED を光源として明滅させる場合には、b のようにトランジスタを介して LED を接続するのがよい。

(2) 7405, 7406 (7404のオープンコレクタタイプ)

これらの IC もインバータであるが、IC 内部の NPN 型トランジスタのコレクタがオープン (開放: 何も接続されていない状態) となってお

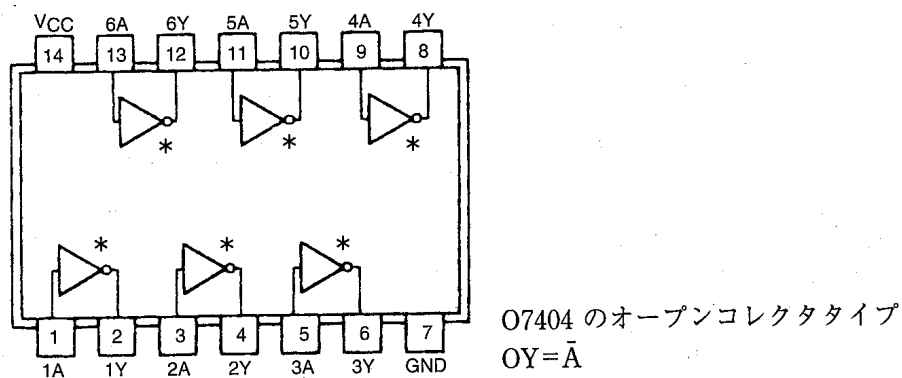


図18. 7405

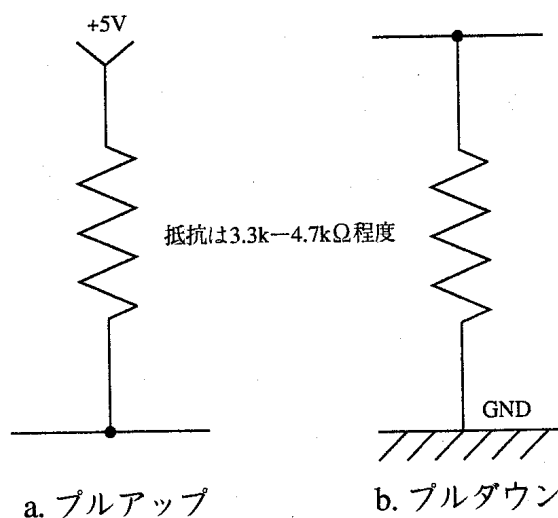


図19. プルアップとプルダウン

り、7404より大きな負荷を駆動することができる。

トランジスタがオンの時には出力は0V近くになるが、オフでは論理不定となるので、プルアップ抵抗を用いる必要がある。すなわち7405、7406では、出力がHレベルの代わりにオープンとという状態となる。

プルアップとは、図19aに示すように、入力端子に抵抗（プルアップ抵抗：3.3k-10kΩ程度）を介して電源（5V）ラインを接続することである。このプルアップの機能は以下の2つである。

- ①入力端子が論理不定时、あるいはその恐れのあるときに、入力レベルを強制的に5Vまで引き上げる。正論理では入力端子を強制的にHレ

ベルにする。デジタル回路が正常に動作するためには、0は0、1は1として確実に入力される必要があり、端子の状態が不定であれば誤動作の可能性が生じる。これを避けるためにプルアップ処理が必要となる。

メカニカルスイッチの出力を IC で受ける場合などにもプルアップが必要になる。これは、スイッチがオフとなった場合に、IC の入力端子がオープンの状態となるためである。

- ② TTL IC の出力を C-MOS IC に入力する場合、TTL IC の出力レベルを 3.5 V 以上に引き上げる。これは、後述するように、C-MOS IC は 3.5 V 以上しか H と判断しないためである。

一方、プルダウンとは出力端子に抵抗 (プルダウン抵抗: 3.3 k-10 k Ω 程度) を介して GND ラインを接続することである (図19b)。このプルダウンの機能は、出力端子の論理が不定の場合に、出力端子を強制的に 0 V の状態にすることである。正論理では出力端子を強制的に L の状態にする。図20はプルダウンの例である。R₂ がプルダウン抵抗である。PC 本体の電源のオン・オフ時に、PC の出力ポートに内蔵された IC の出力端子は論理不定となる。この場合プルダウン抵抗が接続されていないと、トランジスタのベースが浮いた状態 (GND に正しく落ちていない状態) となり、不適当な出力が出てしまう危険性が

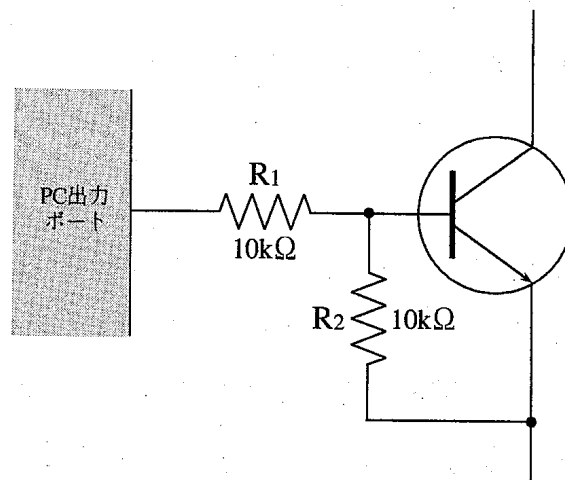


図20. プルダウンの例

ある。

(3) 7414 (7404のシュミットトリガタイプ)

デジタル IC の扱う信号の状態は、HとL、あるいは1と0という2つのうちのいずれかでなければならない。従ってデジタル信号では、IC の応答時間より短い数 ns 以下の立ち上がり・立ち下がり時間で、HレベルからLレベル、あるいはその逆の方向で電圧レベルが変化するのが理想的である。しかしこの信号の立ち上がり・立ち下がり時間が数 μs 以上であれば、HとLの中間の電圧レベルが信号の過渡時に存在することになる。この場合、入力信号に微小なノイズが混入すると、スレッシホールド電圧付近で信号電圧が変動し、それに対応して出力にチャタリング（後述）様の不規則なパルス列が現れてしまう可能性がある。振幅の小さなノイズは、電源ラインを通じて信号ラインに侵入してくるケースが少なくない。

通常の IC ではスレッシホールド電圧は1つだけであるが、シュミットトリガタイプと呼ばれる IC は、スレッシホールド電圧を2種類持つ。すなわちHレベル検出用とLレベル検出用のスレッシホールド電圧があり、前者の方が値が高くなっている。従ってシュミットトリガタイプの IC では、入力信号が立ち上がる、すなわちLレベルからHレベルに変化する場合には、Hレベル検出用のスレッシホールド電圧で出力が反転し、信号が立ち下がる場合にはLレベル検出用スレッシホールド電圧で出力

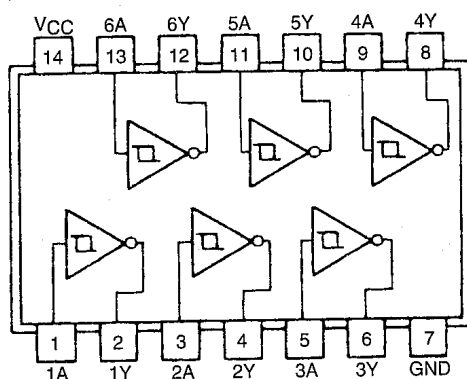


図21. 7414

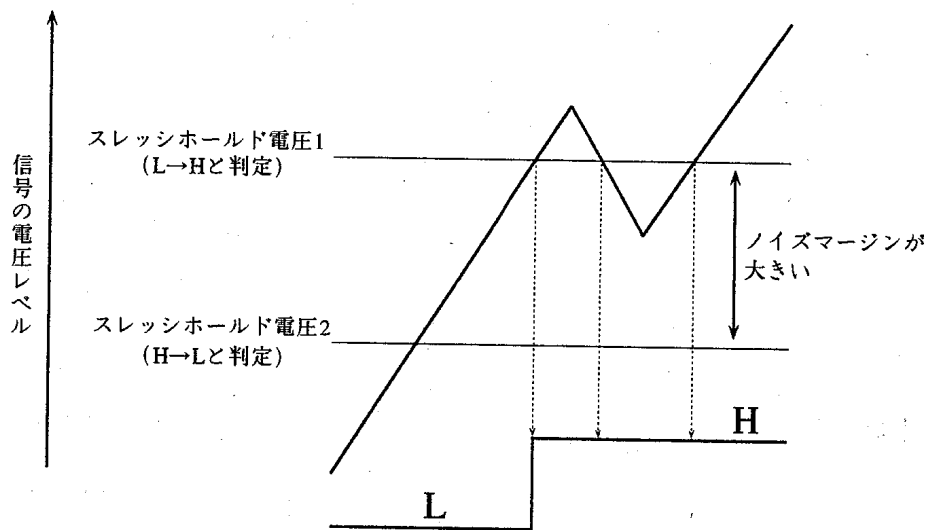


図22. シュミットトリガ入力

が反転する。このため、シュミットトリガタイプの IC はノイズに強いということが出来る。図22に示すように、シュミットトリガタイプでは、2つのスレッシュホールド電圧の違いの分だけノイズマージンがあり、そのため、両方のスレッシュホールドにまたがる相当大きなノイズが混入しない限り、入力信号の変動によって出力信号が反転することはない。シュミットトリガタイプの IC は、いわば信号の波形を整形する IC であるということもできる。

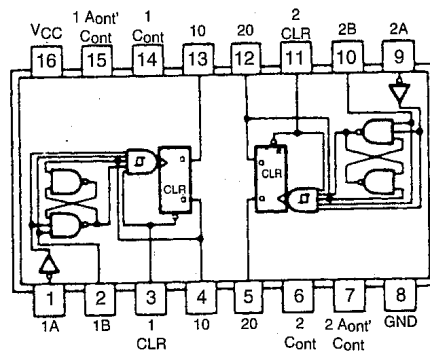
(4) 74221 (単安定マルチバイブレータ)

74221はトリガ信号の入力に対して、一定幅(持続時間)のパルスを出力する TTL IC である。単安定マルチバイブレータはワンショットやシングルショットとも呼ばれる。1つのパッケージに2つのユニットが納められている。なお入力にはシュミットトリガである。

本 IC では 20-40 ns の範囲の幅のパルスを出力することができる。また入力信号の周波数やデューティ比(周期的信号1周期あたりの H レベルの割合)が変化しても、出力の幅はほとんど変化しない。

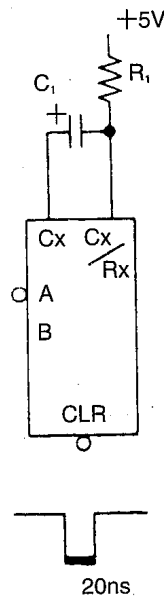
パルス幅 T_w は

$$T_w = 0.69CR$$

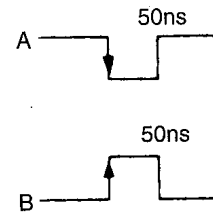


- A入力, B入力ともシュミット入力である
- トリガは $\bar{A} \cdot B = H$ になったときにかかる

| INPUTS | | | OUTPUTS | |
|--------|----|---|---------|-----------|
| A1 | A2 | B | Q | \bar{Q} |
| L | X | H | L | H |
| X | L | H | L | H |
| X | X | L | L | H |
| H | H | X | L | H |
| H | ↓ | H | □ | □ |
| ↓ | H | H | □ | □ |
| ↓ | ↓ | H | □ | □ |
| L | X | ↑ | □ | □ |
| X | L | ↑ | □ | □ |



$100 \text{ k}\Omega$ (LS)
 $1.4 \text{ k}\Omega \leq R_T \leq 40 \text{ k}\Omega$ (N)
 $0 \leq C_1 \leq 1000 \mu\text{F}$
 $T_W = 0.7 C_1 R_1$



- V_T は74121を参照
- 741212個の代用となる
- Pin 接続は74123と同じ

図23. 74221

により計算された値となる。ただしCとRの誤差に注意する必要がある。
 なおこの式でのCとRの単位はFと Ω である。

図24に、パルスの立ち上がりでトリガする場合の例を示す。

(5) 74244 (バッファ)

このICは信号ライン増強用で、信号をある程度長い距離伝達する場合に使用される。このICのローパワーショットキタイプである74LS244は、PC内部のアドレスバスやデータバスの信号増強用として使用されているものである。このICは1パッケージに8つのユニットを含む。

8つのユニットのそれぞれを独立したバッファとして使用する場合に

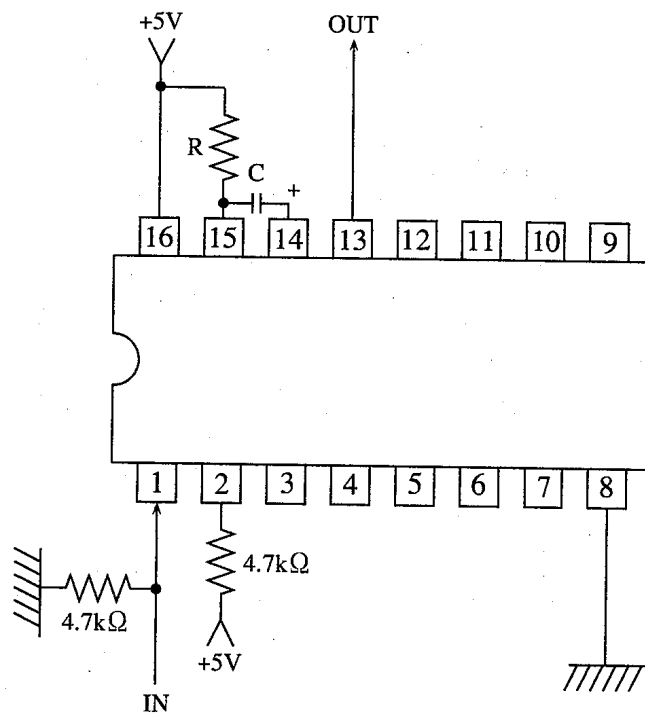
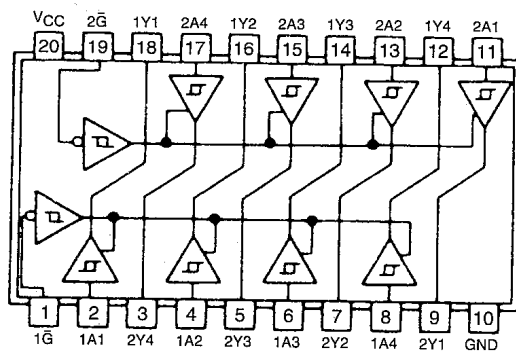


図24. 74221を使用した回路の例



- $1\bar{G}$, $2\bar{G}$ が H のとき, Y はハイインピーダンス
- $1\bar{G}$, $2\bar{G}$ が L のとき, Y = A
- 入力 は PNP トランジスタ
- 入力ヒステリシス 400 mV

図25. 74244

は、1番ピン ($1\bar{G}$) と19番ピン ($2\bar{G}$) を GND に落とす必要がある。この2つのピンを GND に接続しなければ、ハイインピーダンス状態、すなわち出力が電氣的に切り離された状態となり、信号が出力されなくなる。例として15番ピン ($2A3$) に入力した信号を増強して5番ピン ($2Y3$) から出力させる場合の結線図を図26に載せる。

Gはゲート制御という意味であり、 $1\bar{G}$, $2\bar{G}$ の状態を制御すれば、デジタルスイッチとして使用することができる。

類似の機能を持つ IC に74245がある。これは双方向性のバスドライバ

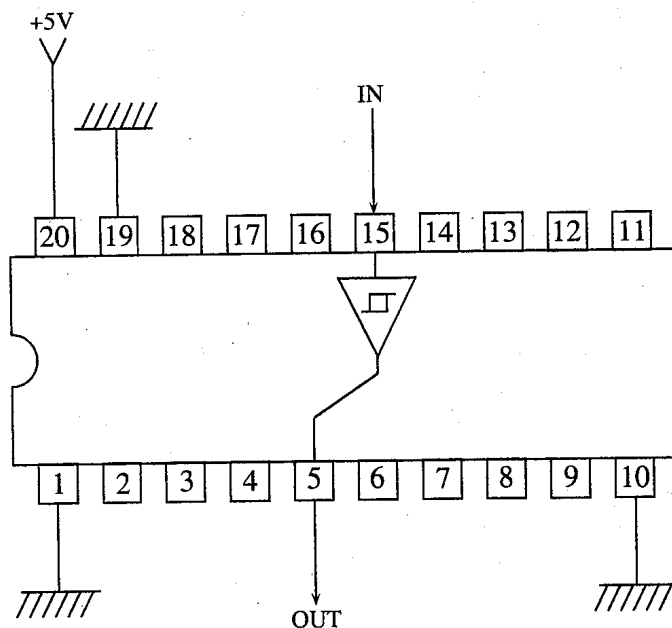
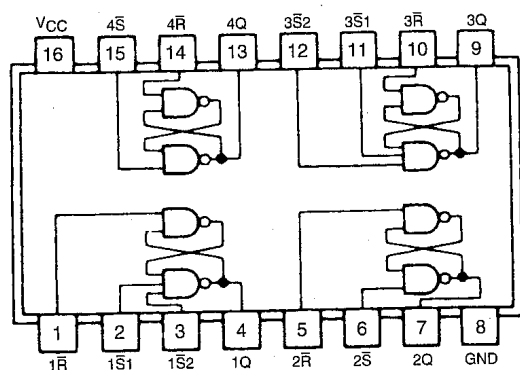


図26. 74244を使用した回路の例

で、信号方向制御用の DIR 端子（1 番ピン）とゲート制御用の \bar{G} 端子（19 番ピン）とを持つ。 \bar{G} が L の場合、DIR が H では A → B 方向のゲートが開き、DIR が L では B → A 方向のゲートが開く。 \bar{G} 端子が H レベルの場合、出力はやはりハイインピーダンス状態となる。

(6) 74279 (RS フリップフロップ, RS ラッチ)

心理学の実験では、RS フリップフロップは機械接点を持つスイッチのチャタリングに起因するノイズを除去する目的で主に使用される。元来チャタリングとは、メカニカルスイッチやリレーなどの機械接点におい



- \bar{S} を L にすると Q は H
- \bar{R} を L にすると Q は L
- \bar{S} と \bar{R} を同時に L にすると出力は H となるが、S, R のうちあとから H となった方によって上記のどちらかの出力となる。
- \bar{S} , \bar{R} を H にすると前のデータを保持する

図27. 74279

て、信号が切り替わる際に細いパルス列が確率的に発生することであるが、発生したパルス列もこの名称で呼ばれる。これはテストなどでは検出できず、オシロスコープなどを用いてかろうじて観察される。

チャタリングの個々のパルスの持続時間はかなり短いが、ICは極めて高速に動作するため、カウンタなどの入力に対しては有効パルスになってしまう場合がある。この問題に対しては、PCにより信号の処理を行う場合にはソフトウェア的に対処することも可能であるが、チャタリングはそれ自体ノイズであり、デジタル回路に発生することは好ましくないため、ハードウェア的に対処することが望ましい。

信号からチャタリングを除去する方法はいくつかあるが、ここではそのうち3つについて述べる。

① 積分回路を利用する方法

1つは積分回路を利用する方法である。図28に回路の例を示す。この回路ではCとRの値は特に決まっていなくても、チャタリングを吸収するのに十分な時定数である必要がある。例えば $C=0.1\mu\text{F}$, $R=100\text{k}\Omega$ などでもよい。積分回路の出力波形はシュミットトリガなどを用いて整形する。この回路は簡便であるが、出力は入力より幾分遅れるという欠点がある。CとRの値によってはms単位の遅れが発生するので、それ

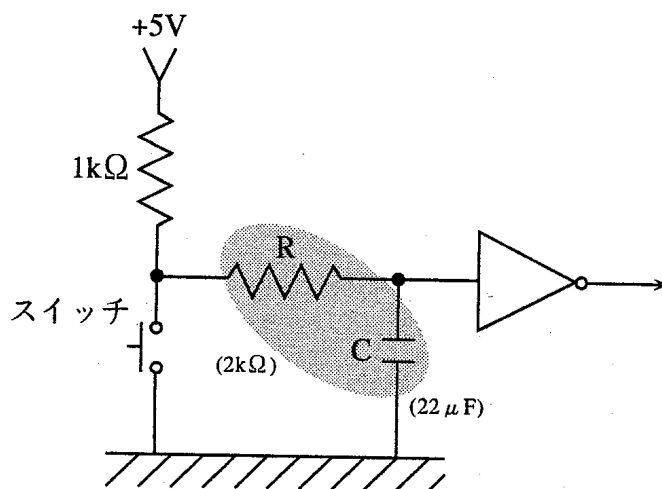


図28. CR 積分回路を利用したチャタリング除去回路の例

を回避したければ、次に述べる2つの方法のいずれかを用いる。

② 単安定マルチバイブレータを利用する方法

(4) で述べた74221などを用い、チャタリングの最初のパルスにより持続時間一定のパルスを出させる。出力パルスの幅はチャタリングの発生時間に比べ十分長く設定する必要がある。

③ RS フリップフロップを用いる方法

74279にはRS フリップフロップが4ユニット入っている。このICを用いたチャタリング除去回路を図29に示す。マイクロスイッチと接続した場合、ボタン押下時に発生するチャタリングの最初のパルスに対して出力がHとなり、ボタンから指を離すと出力がLとなる。なお図中のNOとは、ノーマリーオープンまたはノーマルオープンと呼ばれるスイッチの端子であり、スイッチがオフの状態ではGNDとの間に導通がなく、オンの状態で導通する。同様にNCとは、ノーマリークローズ(ド)またはノーマルクローズと呼ばれ、NOとは逆にスイッチがオフの状態ではGNDとの間に導通があり、オンの状態では導通のない端子である。

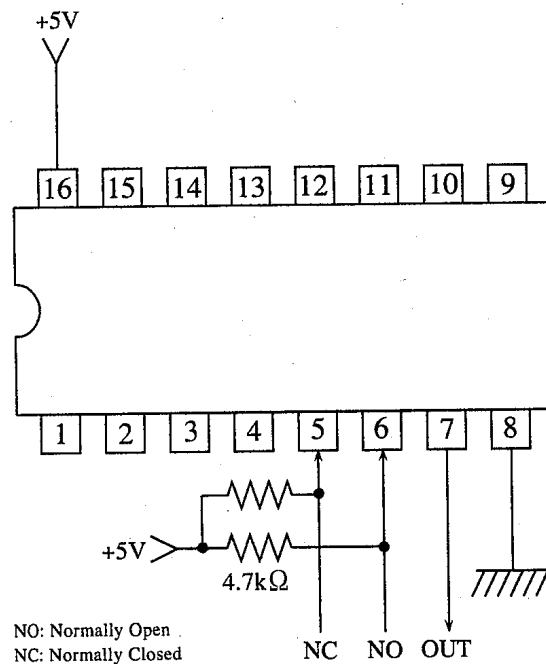


図29. 74279を使用したチャタリング除去回路の例

c. C-MOS IC の概要

TTL IC が普通のトランジスタ (バイポーラトランジスタ) からできているのに対し, C-MOS IC は FET (電界効果トランジスタ) という種類のトランジスタより構成されている。本稿で扱う C-MOS IC は, 代表的なシリーズである 4000B シリーズである。

TTL IC と比較して, C-MOS IC にはいくつかの優れた特徴がある。まず, TTL IC と異なり, 3-18 V (3-16 V と記述されている文献もある) という広い範囲の電圧を電源電圧とすることができる点が挙げられる。また電源自体も必ずしも安定化電源である必要はない。これは C-MOS IC では, スレッシホールド電圧が電源電圧の 1/2 付近にあり, 電源電圧の変化にともない変動するためである。また消費電力が非常に小さいということも特徴である。C-MOS IC の消費電力は標準 TTL の 1/1000 程度, LS-TTL の 1/100 程度である。従って TTL IC 回路に比較して, C-MOS IC 回路では電源を相当簡単なものにすることができる。また, C-MOS IC では入力インピーダンスが極めて大きいので, 入力電流が非常に小さく, C-MOS 同士を結線する場合にはファンアウトを非常に多く (50以上) 取ることができる。さらに, TTL IC に比べノイズマージンが大きく, ノイズの影響を受けにくいという長所もある。

一方で短所もある。まず C-MOS IC は TTL IC に比べて動作が遅いという点である。しかし, 動作が遅いといっても数-150 ns 程度であり, 心理学の実験に使用する場合にはほとんど問題とならない。それよりも, C-MOS IC を構成している FET が静電気により容易に破壊されるという性質を持っているため, C-MOS IC も静電気に弱いという点の方が大きな問題である。最近ではこの欠点もかなり改善されているが, C-MOS IC を扱う場合には常にこの問題を念頭に置くべきである。保存時はアルミ箔に包んだり, ピンを導電性スポンジに挿すなどし, IC のピンに触らない, IC に触る前にはアース (あるいは水道の蛇口など) に触れて人体の静電気を逃がしたり (金属製の本棚などに触れるだけでもかなりの効果がある), 金

属製の腕時計からアースを取りながら作業するなどの配慮が必要である。特に乾燥する冬場やセーター着用時、またビニール系のスリッパ着用時などは、人体が静電気を帯びやすいので注意が必要である。またハンダごとのごく微弱な漏洩電流で破壊が生じることもあるので、この点にも注意を要する。

C-MOS IC ではLレベル、Hレベルの信号の電圧値も TTL IC と異なっている。電源電圧を 5 V とすると、C-MOS IC の入力、Lレベルが 0-1.5 V、Hレベルが 3.5-5 V となり、出力はLレベルが 0-0.4 V でHレベルが 3.5-5 V となる。

TTL と C-MOS は電気的特性を異にするファミリであるが、ともに様々な機能の IC が豊富に用意されているので、敢えて両者を混在使用する必要はない。しかし TTL IC にはない機能を持つ C-MOS IC もあるなど、何らかの理由で両者を混在させる場合には、以下の3点に注意する必要がある。

① TTL コンパチブルの場合

TTL コンパチブル、すなわち TTL IC と直接接続できる C-MOS IC (74HC シリーズ) では、TTL IC 用の電源を使用する。

② TTL IC の出力に C-MOS IC を接続する場合

この場合、TTL IC のHレベルでの出力電圧は最低 2.4 V になる可能性があるが、電源電圧が 5 V の場合、C-MOS IC は 3.5 V 以上しかHレベルと判定しないため、誤動作を起こす危険性がある。これを回避するためには、TTL IC の出力レベルを 3.5 V 以上に引き上げるために (TTL IC の出力が 2.4 V の場合であっても、それが C-MOS IC に入力する際には 3.5 V 以上のレベルにするため) C-MOS IC の入力側にプルアップ抵抗を入れる。

③ C-MOS IC の出力に TTL IC を接続する場合

この場合、C-MOS IC 出力の電圧レベルには問題はないが、電流レベルの点で制限を生じる。4000B シリーズの C-MOS IC は、LS TTL を 1 個駆

動できる。ファンアウトを増やしたい場合には、4049UB や 4050B などのバッファIC を用いる。4049UB では LS TTL を同時に 8 個まで、また標準 TTL を 1 個駆動することができる。

4000B シリーズの C-MOS IC は、TTL IC と同様、切り欠きを左に見た場合、左上のピン (V_{DD}) が電源ピンで、右下のピン (V_{SS}) が GND である。IC によっては電源として正の電圧以外に負の電圧を必要とするものもある。そのような IC では V_{EE} ピンが負電圧電源である。

d. 代表的な C-MOS IC

ここでは C-MOS IC のいくつかのものについてその機能を紹介する。

(1) 4049UB (出力反転バッファ)

出力反転型のバッファIC であるが、同時に上述のように CMOS → TTL のレベルコンバータでもある。6 ユニットが 1 パッケージ中に納められている。本 IC の非反転型が 4050B である。

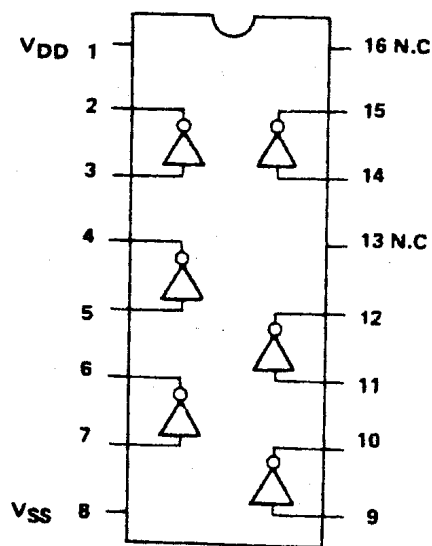
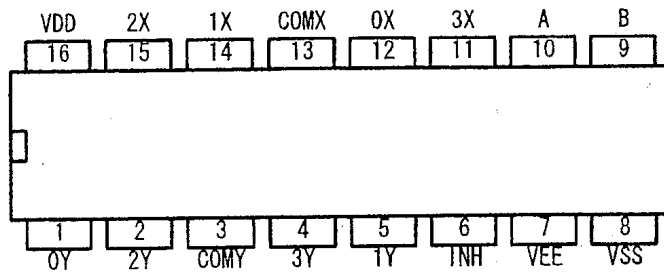


図30. 4049UB

(2) 4052B (アナログマルチプレクサ)

独立した 2 回路の 4 対 1 のアナログマルチプレクサである。2 本のコントロール入力により、4 本のアナログ信号から 1 本を選択して切り替え



- ◎4チャンネル・アナログマルチプレクサ/デマルチプレクサ×2回路
- ◎2本の共通コントロール入力(A, B)
- ◎共通INHIBIT入力
- ◎ロジック部とアナログ部は別電源可
- ◎ロジック電源はVDD-VSS、アナログ電源はVDD-VEE

| IN | | | 選択 | |
|-----|---|---|----|-------|
| INH | B | A | | |
| L | L | L | 0 | 0がオン |
| L | L | H | 1 | 1がオン |
| L | H | L | 2 | 2がオン |
| L | H | H | 3 | 3がオン |
| H | x | x | - | すべてオフ |

図31. 4052B

ることができる。

$V_{DD} = +5V$, $V_{EE} = -5V$ とすると, $-5V - +5V$ の間のアナログ信号 (peak-to-peak 10V の正弦波信号など) をスイッチできる。無論デジタル信号のスイッチングも可能である。8対1のアナログマルチプレクサには 4051B が, また独立3回路の2対1のものには 4053B がある。

図32に 4052B を使用したアナログスイッチの例を示す。この回路では, INH 端子がL, A端子がH, B端子がレベルとなった時に13番ピンと14番ピンの間のゲートが開く。

以下ではデジタル回路をアナログ機器と接続する際に重要となる絶縁, またアナログ機器の1つであるリレーについて解説する。またICの駆動に利用できる電源回路についても述べる。

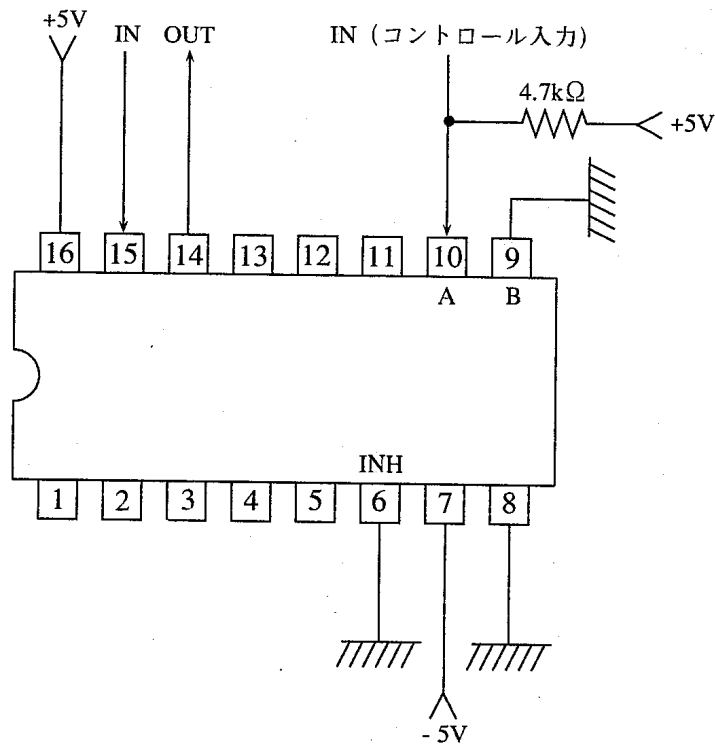


図32. 4052B を使用したアナログスイッチの例

3. 絶縁について

絶縁とは複数の回路どうしを文字通り電氣的に絶縁することである。電源電圧が違うなど、電源系統の異なる複数のシステムの間で信号をやりとりする場合や、システムの外からノイズが侵入してくるのを防ぐ場合に、この絶縁という方法が用いられる。なおハイインピーダンス状態は絶縁された状態ではない。

絶縁の意義としては大きく2つのものが考えられる。1つはノイズのカットである。基板の異なるデジタル回路間で信号のやりとりを行おうとする場合、それぞれの基板上の回路の電源が異なっているというケースは多い。この場合、全ての電源が大地等の信頼できる共通の GND に接続されていれば問題ないが、一般的には、たとえ全ての電源が 5 V レベルだとしても、各回路で電位が等しいということはまずありえない。このようなシステムでは、信号が大地の電位変動に起因するノイズの影響を非常に大きく受けることになってしまう。電源の異なる回路をそれぞれ互いに電氣的

に絶縁してやれば、この種のノイズの混入を防ぐことができる⁴⁾。

絶縁のもう1つの意義は、回路を構成している素子、特にICの保護である。ICやトランジスタで許容されているレベルを超えた信号やノイズが発生する危険のある場合、ICを含む回路を絶縁してやれば、万が一の場合にも、絶縁素子が破壊されるだけで、ICの破壊は防ぐことができる。いわば不測の事態に備える保険のようなものである。

絶縁素子にはトランス（パルストランス）、リレー、フォトカプラ等があるが、デジタル回路において最も簡便なものはフォトカプラである。ここではこのフォトカプラについてのみ述べる。

フォトカプラはICと同じ形状をしており（ICのパッケージは黒色であることが多いが、フォトカプラのものは白色である）、その内部は図33のようになっている。この図からわかるように、フォトカプラとはLEDとフォトトランジスタの対からなる。入力信号をLEDにより光信号に変換し、その光信号を受光素子であるフォトトランジスタで受け、光信号を再度電気信号に変換して伝達するようになっている。

光により信号を伝達しているため、LED側の端子とフォトトランジスタ側の端子とは電氣的に絶縁されている。信号はLED側からフォトカプラ側へと伝達されるのみであり、万が一不適當な電圧の信号が信号ラインを逆流してきた場合でも、フォトトランジスタが破壊されるだけで、LED側に接続された回路は保護される（フォトカプラの絶縁耐圧はAC2500Vである）。フォトカプラは動作速度が遅いといわれるが、心理学の実験においては、ms単位程度の信号ならば遅延時間は全く問題にならない。

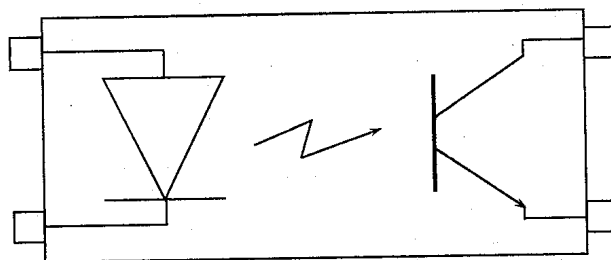


図33. フォトカプラの内部構造

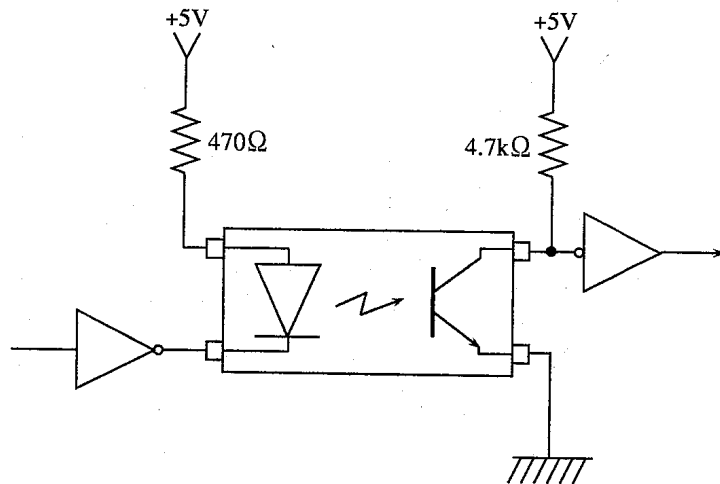


図34. フォトカプラを動作させる回路の例

フォトカプラをドライブする回路の例を図34に載せる。

フォトカプラの出力を直接負荷に接続するのは避ける。またフォトカプラのLED側に接続された回路とフォトトランジスタ側の回路とではGNDを別々にする。GNDを共通にすると絶縁の意味がなくなってしまうからである。

4. リレーについて

ここでいうリレーとは機械式リレー（電磁リレー）のことであり、コイルに通電すると電磁石になるという性質を利用して信号のオン・オフを行うものである。コイルに電流を流すと、接点の一方が取り付けられている鉄片（アーマチュア）が吸引され、コイルへの電流を切ると、鉄片が釈放され、それにもない接点が開閉される。要するにリレーとはスイッチの一種である。リレーは日常場面でも数多く使用されており、例えば自動車のウィンカー点滅時のカチカチという音はリレーの動作音である。

リレーの主な用途は、トランジスタや半導体スイッチ等ではスイッチングできない種類の信号のスイッチングである。開閉される信号ラインはトリガ信号側と絶縁されているので、交流をはじめとするアナログ信号や高圧電流もスイッチすることができる。リレーの種類は多く、使用する場合

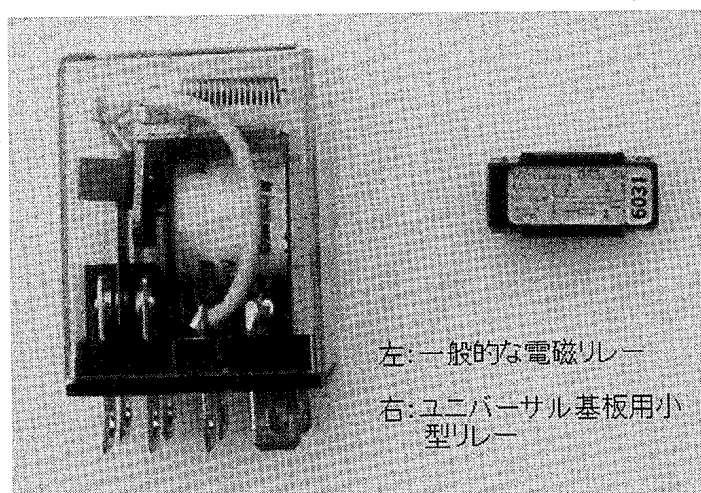


図35. リレー

は用途や負荷により適切なものを選択する必要がある。

リレーの接点には以下の種類がある。

① A接点 (メイク接点)

コイルへのトリガ信号の入力により閉じ、トリガ信号の停止により開く接点である。ノーマリーオープンまたはノーマルオープンと呼ばれ、通常 NO と表記される。

② B接点 (ブレーク接点)

A接点とは逆に、コイルへのトリガ信号の入力により開き、トリガ信号の停止により閉じる接点である。ノーマリークローズ (ド) またはノーマルクローズと呼ばれ、通常 NC と表記される。

③ C接点 (トランスファ接点)

リレーの種類によっては、トリガ信号のオン・オフに応じて2本の信号ラインを切り替えられるものがある。このような接点をC接点という。

リレーの欠点には次のようなものがある。

① スイッチングの際の音の発生

心理学の実験ではこの音を警告音や条件性強化子として利用している例もあるが、普通は邪魔である。大電流スイッチング用の大型のものでは動作時の音もかなり大きい。小信号用の小型のもの (特にディップ型と呼

ばれる IC と同様の形状のもの) では動作音は小さい。

② 動作遅れとチャタリングの発生

コイル電流はトリガ信号がコイルに入力した瞬間にピークに達するのではなく、時間的な勾配を持つ。トリガ信号がオフになった場合の復帰時のコイル電流の変化も同様である。このため、リレーの動作遅延時間は一般に数～数十 ms と言われる。チャタリングに関しては前述の通りである。

水銀リレー (ウェットリレー) は接点部分が水銀で覆われているのでチャタリングが発生しないが、高価であり、また水平に設置する必要があるなどの難点もある。

③ 逆起電圧の発生

リレーの最大の欠点はこの逆起電圧の発生である。コイルでは電流が切れるとその両端に瞬間的に数百～数千 V の逆起電圧 (サージ) が発生する。これはコイルに接続された回路を破壊し、また電磁波を発生して周囲の機器の誤動作を引き起す可能性がある。

この逆起電圧をカットするためには、図36に示すようにコイルと並列にダイオードを入れる。ダイオードの向きに注意されたい。このように、余分な電圧をカットする目的で使用されるダイオードをクランプダイオードという⁵⁾。リレーによっては予めこれが内蔵されているものもある。

なお図36では、ダイオードと並列にコンデンサが接続されているが、これは負荷が大きい場合に、接点開閉時に発生する火花により接点が焼損するのを防止するためのものである。通常の場合では特に必要ないであろう。またリレーの制御は IC の出力により直接行うのではなく、トランジスタを介して行うべきである。リレー駆動回路の例を図37に示す。

大電流用リレーを駆動する場合には、図38に示すようにトランジスタ 2 個を用いるとよい。このようなトランジスタの接続法をダーリントン接続と呼ぶ。ダーリントン接続では、電流増幅率が 2 つのトランジスタのその積に等しくなるので、大電流をスイッチングすることが可能となる。

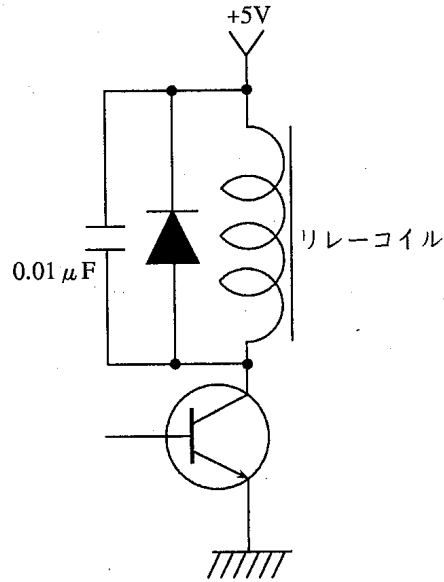


図36. クランプダイオードの使用例

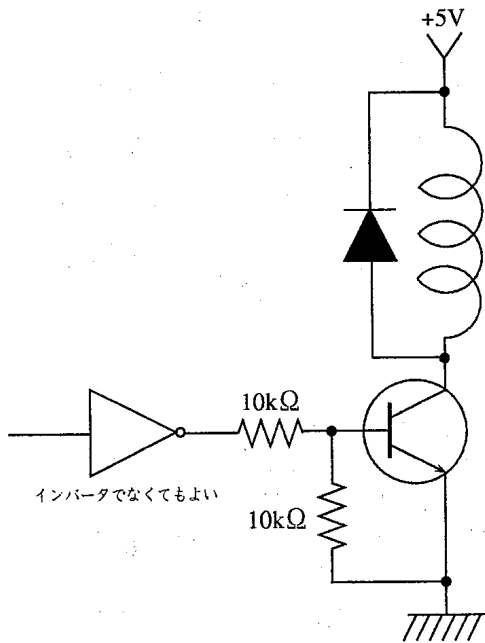


図37. リレー駆動回路の例

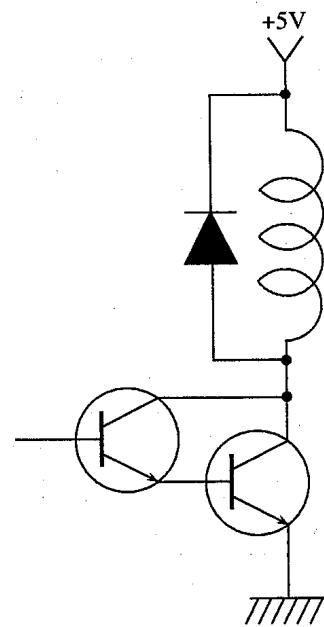


図38. トランジスタのダーリントン接続によるリレー駆動の例

5. デジタル IC 用電源回路の作成

図39に+5 V と -5 V が出力できる安定化電源の回路図を示す。この回路では、まず家庭用コンセントからとった AC100V の交流電流をトランスを用いて降圧し、次いで4個のダイオードからなるダイオードブリッジ(ダイオードの項で述べたように整流用として4個のダイオードが1個のパッケージに入っているものが市販されている)により全波整流を行う。トランスの出力電圧は、三端子レギュレータの出力電圧の1.5-2倍にする必要があるとされるが、実際には三端子レギュレータの出力電圧より数V程度高い程度でも問題なく動作することが多いようである。

ダイオードブリッジからの出力は電解コンデンサによって平滑化され、さらに三端子レギュレータにより一所定の電圧に降圧され、かつ安定化される。電解コンデンサの耐圧はトランスの出力の1.4倍以上である必要がある。なお三端子レギュレータの出力側のダイオードは電源保護用である。

三端子レギュレータは、出力電圧とその極性によりいくつかのシリーズが区別される。正電圧を出力するものは78Xyy, 負電圧を出力するものは79Xyy という型番がつけられている。Xは出力電流の最大値を示す。XがMであれば500 mA, Nであれば300 mA, Lであれば100 mA, また記号がない場合は1 A までの電流が取り出せる(実際にはトランスの出力電流

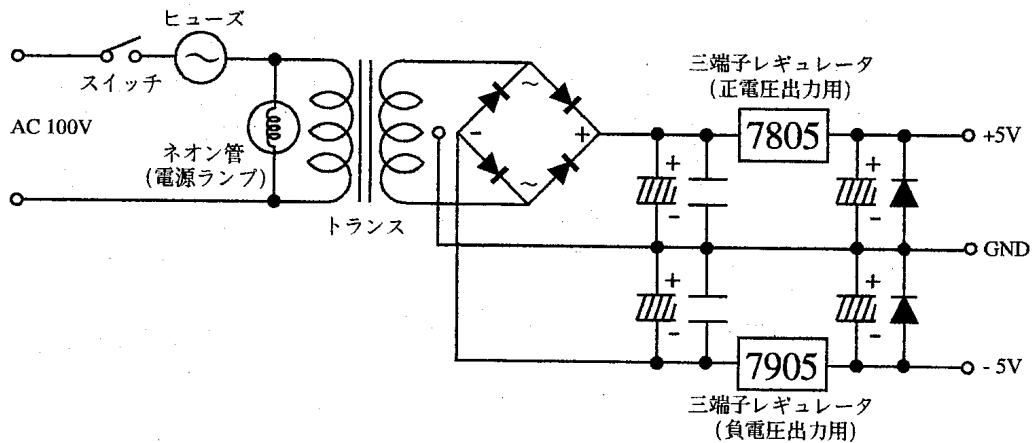


図39. 三端子レギュレータを使用した±5 V 直流安定化電源の例

が十分なレベルである必要がある)。また yy は出力電圧値を示す。従って例えば +5 V を出力するものは7805, -15 V を出力するものは7915という型番となる。出力電圧の正負によりピンアサインが異なるので注意を要する(図40)。なお三端子レギュレータの放熱部が金属の場合, 78シリーズでは GND ピンと, また79シリーズでは入力ピンとそれぞれ導通がある。

三端子レギュレータは動作時の発熱量が多いので, 放熱板を取り付けるのが望ましい, 放熱板は市販のものである必要はなく, 熱伝導率の高いアルミ板を適当な大きさに切断したもので代用することもできる。

一方の極性の電圧のみを取り出したい場合には, 78シリーズまたは79シリーズのいずれか一方の三端子レギュレータを使用すればよい。この場合, ダイオードブリッジの-端子を GND に接続する。

上で述べた三端子レギュレータは出力電圧固定型であるが, 出力電圧が可変のタイプもある。

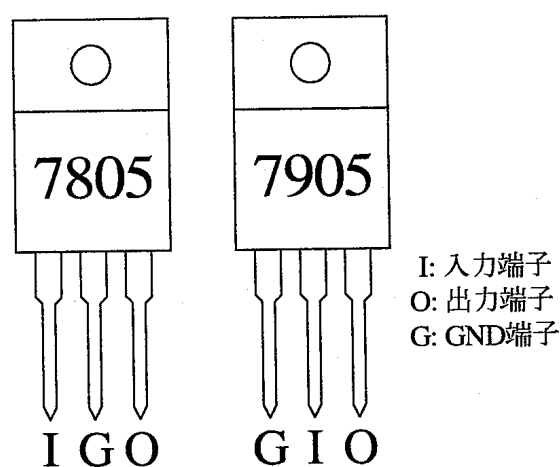


図40. 三端子レギュレータのピンアサイン

謝 辞

本稿の図のうち, 図16, 18, 21, 23, 25, 27, 30, 31は, 2003年版最新汎用ロジック・デバイス規格表所収のもの, 図10は2003年版最新光デバイス規格表所収のもの, 図41は1993年版最新産業用リニア IC 規格表 [Part-1]

所収のもの、また図9と表4は2003年版最新トランジスタ規格表所収のものをそれぞれ転載させていただきました。また図23の真理値表は、1988年版最新 TTL IC 規格表所収の74121のものを転載させていただきました。図表の転載をご快諾いただきました CQ 出版社編集部長の山岸誠仁氏に感謝いたします。

注

- 1) 心理学の実験において使用することを目的に製作された電子回路に関する文献は、心理学の方法に関する専門雑誌である Behavior Research Methods, Instruments, & Computers (15巻 (1983年) 以前の誌名は Behavior Research Methods and Instrumentation) にしばしば掲載されている。またこの他に、最近はほとんど見かけなくなってしまうものの、American Journal of Psychology, Behaviour and Information Technology, Journal of Experimental Analysis of Behavior, Journal of Experimental Psychology, Journal of the Optical Society of America, Journal of the Acoustical Society of America, Psychophysiology, Vision Research, 行動分析学研究, 心理学研究といった雑誌においても散見される。さらにこの種の資料は、大学等の教育研究機関の紀要や研究所の報告書に収録されていることもある (Behavior Research Methods, Instruments, & Computers に掲載されたもの以外の最近の資料には、例えば以下のようなものがある: Alden, 1983; 藤, 1993; 井垣・望月・坂上, 2001; 河合・吉崎・伊藤, 1989; 望月, 1991; Nygaard & Frumkes, 1982; Pelli & Zhang, 1991; Rogowitz, 1986; 竹内, 1990; 宇津木・竹内, 1990; Watanabe, Mori, & Nakamura, 1992)。しかしこれらの雑誌・紀要・報告書等に掲載されている電子回路は、一般的な電子回路を心理学での実験目的に適するようアレンジしたものがほとんどである。従って心理学実験での電子回路の作成に際しては、電気関係の書籍をはじめ、トランジスタ技術などの電子工作の雑誌、さらにはインターネット上で公開されている回路等を参考にすることができる。

歴史の古い研究室は、電気回路のノウハウや実際の回路図などの豊富な蓄積を有している場合が少なくないが、歴史の比較的浅い研究室でも、実際に動作した回路の記録を保存するよう努め、またそれを研究室の共有財産とすべきである。心理学実験における PC 利用の黎明期には、“心理学ラボラトリ・コンピュータ研究会 テクニカルレポート”や“PLANET”の刊行など、大学や研究室の枠を越えたこの種の積極的な試みがあったが、現在は自作のハードウェアに関する情報交換の場が乏しくなっているのが実状である。

後述するように、デジタル回路は信号があるかないかの世界なので、抵抗値等の回路定数の計算が要求されるケースはそれほど多くはない。しかし、回路に多少なりともアナログ的な要素が入ってくると、考慮すべき事柄が増え、回路に関する経験がものをいう場合も多くなっていくようである。例えば筋電の検出や、固視を保つために EOG を検出する回路、またタッチスイッチなど、生体信号を検出する回路では、定数値はどうしても試行錯誤的に決定せざるを得ないことが多い。このような場合には、過去の財産が特に重要となってくる。過去の蓄積と、ごく基礎的な電子回路の知識とがあれば、実験装置に特別な興味を持つ“妙な生まれつき”（葎阪，1970）の研究者でなくとも、多くの場合当座の要求を満たす回路は作成できるものと考えられる。

なお、電子回路の実例を収集する場合には、多少古い資料であっても注意するようにしたい。これは、使用されている素子が既に廃品種となっているためにそのままの形では利用できない回路図であっても、回路の構成や信号の処理方法について大きな示唆を与えてくれる場合が少なくないためである。

- 2) 電子回路部品は、よほど特殊なものでもなければ、秋葉原（東京）、日本橋（大阪）、大須（名古屋）といったいわゆる電気街以外の土地でも求めることができる。少なくとも各県庁所在地には電子パーツショップがあるし、教育機関や研究所などではパーツの入手について出入りの業者に相談することも可能である。また現在ではインターネット等での通信販売も盛んであり、こういったものを利用することも考えられる。また場合によっては、以前製作した回路や壊れた電化製品、あるいはいわゆるジャンク基板などから必要なパーツを外して再利用することもできる。

電子回路の作成に当たっては工具も重要であり、なるべく目的にあった専用の物を揃えたい。丸山（1970）は、木工・金工では工作目的ごとに専用の工具を揃えるのが望ましく、また工具がたくさんあれば、それが誘因となって工作の志気も上がると述べているが、少なくとも筆者の経験あるいは見聞きした範囲では、電子工作に関してもこのことはあてはまるように思われる。

- 3) 本稿で扱う IC はデジタル IC のみであるが、アナログ IC の中にも使用法が簡単でかつ応用範囲の広いものが少なくない。アナログ IC に関しては稿を改めて述べる予定であるが、ここではその中からリニア IC の LM339 について簡単に紹介しておきたい。

LM339 はコンパレータ（電圧比較器）のユニットが 4 つパッケージされた IC である（図41）。この IC のはたらきは、入力電圧値を参照電圧（基準電圧）値と比較し、両者の大小を判定することである。この IC を利用した 4 レベル判定回路の例を図42に載せる。この回路では、入力電圧値が予め設定されている参照電圧値を超えたユニットの出力が H となる。出力にプルアップ抵抗

端子接続

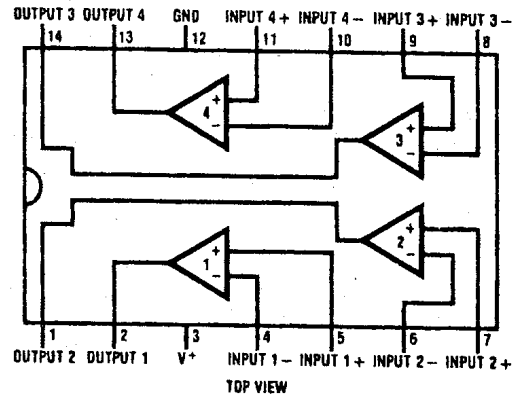


図41. LM339

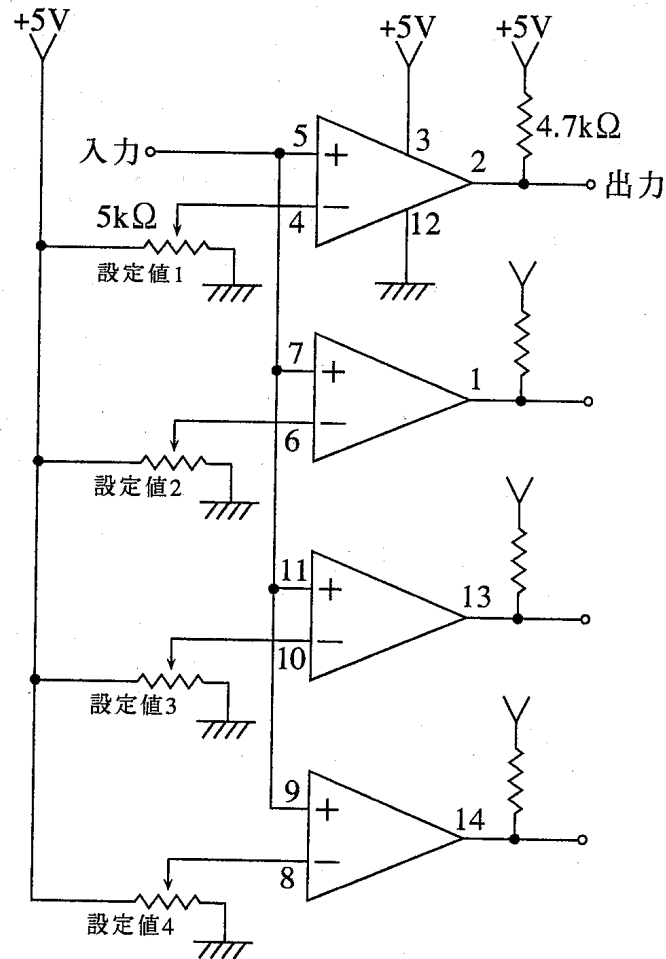


図42. LM339を使用した4レベル判定回路の例

が接続されているのは、LM339の出力がオープンコレクタとなっているためである。

LM339の出力はオープンコレクタなので、直接 LED を点灯させたり小型リレーを駆動したりできるが、その場合の出力電流値は 16 mA 以内にする必要がある。

- 4) 絶縁せずにノイズの影響を軽減させる方法の1つに回路間の信号線をツイステッドペア線にするというものがある (図43)。ツイステッドペア線は出力側 IC の GND ピンと入力側 IC の GND ピンに接続する。

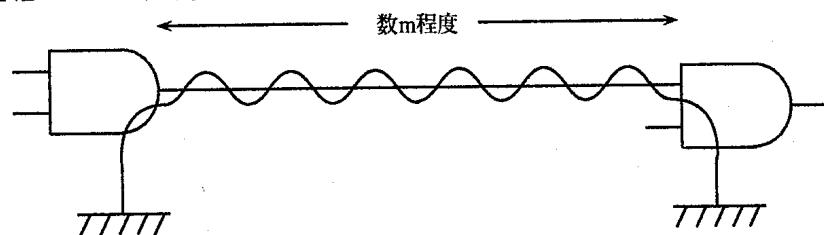


図43. ツイステッドペア線

- 5) 筆者は TTL レベルを超える入力をカットする目的で、タッチスイッチや EOG 検出回路中においてクランプダイオードを使用した経験をもつ。

引用文献

- Alden, A. B. 1983 LED's: Convenient, inexpensive sources for visual experimentation — A modified circuit. *Vision Research*, 23, 115.
- Deforges, J. Garcia, P. Bastie, J. Marandet, F. Bernard, J., & Magnant, D. 1989 Sources de lumière à diodes électroluminescentes. Détermination des fréquences limites et du facteur de crête de luxmètres et luminancemètres. *Journal of Optics (Paris)*, 20, 205–217.
- 藤 健一 1976a 心理学の実験装置構成における IC の利用 (I) 立命館文学, 375・376, 36–53.
- 藤 健一 1976b 心理学の実験装置構成における IC の利用 (II) 立命館文学, 375・376, 68–93.
- 藤 健一 1977 心理学の実験装置構成における IC の利用 (III) ——心理学実験における補器について 立命館文学, 400・401・402, 159–179.
- 藤 健一 1993 パソコンのプリンターインターフェースを利用した行動実験用簡易制御ボード 日本心理学会第57回大会発表論文集, 11.
- 井垣竹晴・望月 要・坂上貴之 2001 交流モータとセンサで作る低価格万能給餌器 行動分析学研究, 16, 48–56.
- 河合優年・吉崎一人・伊藤晋彦 1989 マイクロコンピュータを用いた汎用音声記録・再生装置 心理学研究, 60, 113–116.

- 丸山欣哉 1970 実験室設備化の一例 心理学評論, 13, 194-203.
- 望月 要 1991 パルスモータの簡易制御回路: ハト用給餌器への応用 行動分析学研究, 6, 115-122.
- Nakamura, T. Mori, N., & Nakamura, F. 1992 A new superbright LED stimulator: Photodiode-feedback design for linearizing and stabilizing emitted light. *Vision Research*, 32, 953-961.
- 中川 洋 1987 はじめて学ぶ手ほどきデジタル回路 技術評論社
- 仲谷兼人 1999 心理学のためのインストルメンテーション ——実験装置の基礎からシステム構築・運用まで—— 北大路書房
- Nygaard, R. W., & Frumkes, T. E. 1982 LEDs: Convenient, inexpensive sources for visual experimentation. *Vision Research*, 22, 435-440.
- 苧阪良二 1970 Psycho-instrumentation の展望 心理学評論, 13, 171-193.
- Pelli, D. G., & Zhang, L. 1991 Accurate control of contrast on microcomputer displays. *Vision Research*, 31, 1337-1351.
- Rogowitz, B. E. 1986 A practical guide to flicker measurement: Using the flicker-matching technique. *Behaviour and Information Technology*, 5, 359-373.
- Swanson, W. H., Ueno, T., Smith, V. C., & Pokorny, J. 1987 Temporal modulation sensitivity and pulse-detection thresholds for chromatic and luminance perturbation. *Journal of the Optical Society of America, Series A*, 4, 1992-2005.
- 竹内由則 1990 視聴覚実験用回路の製作 航空医学実験隊報告, 31, 65-72.
- 宇津木成介・竹内由則 1990 赤外線 LED を用いた瞬目検出器の試作 航空医学実験隊報告, 31, 25-29.
- 湯山俊夫 1986 デジタル IC 回路の設計 CQ 出版社

付 録：ハンダづけの仕方

ハンダづけに使用されるハンダは錫と鉛の合金である。鉛はハンダの融点を下げてハンダづけ作業を容易にするために加えられる。最近では鉛を含まない無鉛ハンダも使用されるようになっているが、現在でも一般的な電子回路に使用されているものは従来の鉛を含むハンダであり、市販品もほとんどがこれである。なお鉛には毒性があるので、ハンダづけ作業中は通気をよくし、溶けたハンダから発生する白煙が目や呼吸器に入らないようにすること、またハンダづけ作業後はよく手を洗うことなどに留意する必要がある。

ハンダは錫と鉛の比率によっていくつかの種類が区別される。一般に電子工作では JIS 規格で H60前後のものが適当とされているが、実際にはこの点はあまり気に

しなくてよく、電子パーツショップ等で売られているフラックス入りの直径1 mm程度のもを購入すればよい。なおフラックスとは、金属表面の酸化物や汚れを分解除去し、ハンダの表面張力を低下させて基板のパターンや部品のリード線にハンダがつきやすくするためのものであり、通常は松ヤニが使用される。糸ハンダと呼ばれる細いハンダにはこれが含まれている。液状のものも市販されているが、新品のパーツを使用して簡単な回路を作成する場合には、フラックス入りのハンダを用いれば、別途フラックスを用意する必要は特にない。

ハンダづけの際に最も陥りやすい間違いは、溶けたハンダをこて先に盛って、ハンダづけしようと思う部分に塗るというものである。これはハンダを導電性の接着剤と誤解することから生じるものであるが、この方法では接着部のハンダの量が多いため、周囲の領域にもハンダが流れて短絡を生じさせてしまうことがあり（これをブリッジという）、これが故障の原因となる。またこの方法では一般にハンダのつきが悪く、接着部を必要以上に熱することとなり、熱に弱い電子部品を破壊してしまうこともある。

ハンダづけの原理は、ハンダ中の錫が、電子部品のピンやリード線、基板の銅パターン等の被接着金属の中に拡散し、被接着金属と合金をつくるというものである。従ってハンダづけには大量のハンダは必要なく、むしろハンダを接着しようとする金属中にうまく染み込ませることが重要なのである。

このためには、ハンダごての先を十分に加熱しておく必要がある。300-350°C程度の熱を加えることでハンダはよく溶け、金属中に十分染み込む（金属中で拡散する）ようになる。この場合、ハンダごてで直接ハンダを溶かそうとするのではなく、こて先が接触している金属の熱によってハンダが溶けるようにするべきである。ユニバーサル基板（穴あき基板）にパーツを実装する場合、パーツを装着したら、パーツのリード線をハンダごてで直接熱するのではなく、基板の穴のまわりの銅に熱を加え、それが十分な温度になったと思われた時にハンダの先端をその銅に当てれば、ハンダは一瞬で溶解し、銅とリード線が液状のハンダで覆われる。その後こて先を基板から離せばハンダは冷えて固まり、強固な結合が形成される。ハンダを銅に接触させるタイミングは、何度か練習すれば会得できる。なお、こて先についた余分なハンダは、軽く水を含ませた耐熱スポンジを用いて除去することができる。

ケーブルやリード線などの線材をハンダづけする場合、予備ハンダという作業が必要となる。これはハンダづけする部分に予めハンダを染み込ませておくことである。この作業を行っておけば、ハンダづけをする際に、手にはハンダごてと線材のみを持てばよく、作業がやりやすくなる。またハンダのつきもよくなる。ビニール

被覆線の場合は、手早く作業を行わなければ、被覆が熱により溶け、内部のケーブルが必要以上に露出してしまうので注意が必要である。細いビニール被覆線では、ケーブルの露出部分を指先で少し捻ってまとめておくと、予備ハンダ時にケーブルの先端が広がるのを防ぐことができる。この場合の予備ハンダは、十分に熱したハンダごてで先にハンダを溶かし、その後こての先をケーブルに当てるという方法でもよい。またケーブルは少し長めに露出させ、予備ハンダ後に適当な長さに切り詰めるとよい。なおビニール被覆線の被覆は、ワイヤストリッパという専用の工具を用いれば容易に剥くことができる。

ハンダづけの際に最も留意すべき点は、抵抗などを除いた素子の多くは熱に弱いということである。熱がトランジスタなどの内部に伝わらないよう、リード線に噛ませて放熱させるアルミニウム製の工具（ヒートクリップ）も市販されているが、ハンダごてを十分に熱し、手早く作業することで、熱による破壊はほとんど防ぐことができるものである。

Summary

Basic Knowledge on the Digital Circuit for Psychological Experiments

Takayuki Takiura

Basic items required for making electrical circuits for behavioral research were presented. We illustrated the electrical characteristics of the elements as resistors, capacitors, diodes, and transistors as well as digital ICs (TTL, C-MOS), giving the examples of the circuit actually used in the psychological experiments.