

[第1章]

PICマイコンの理解を深めて応用範囲を広げるために

電子工作初心者のための ハードウェア入門

秦 明宏

PICマイコンは安価で構築できる開発環境や豊富な情報により開発手法やプログラミング技術を容易に習得可能なマイコンであり、今や電子工作の必須アイテムとなりました。しかし、PICマイコンを活用して独自の発想でユニークな作品を作るためには、PICマイコンの内部や周辺のハードウェアを理解しておくことが必須条件です。本章では極力、初心者でもわかりやすい内容で、かつ細部にわたりこれらの解説をします。

なお、本章ではPIC16F87Xのデータ・シート(和文および英文)に記載された内容を参照しながら説明します。このデータ・シートを持っておられない方は下記Microchip Technologyの本社サイトから入手してください。

<http://www.microchip.com/>

1-1 電子回路の基礎知識

● オームの法則

“いくら初心者とはいえ、このくらいは知ってます。”と言われるかもしれませんが、とりあえず図1-1に示しておきます。

もちろんこの法則だけで電子回路の設計を行うには無理がありますが、これから説明していくなかで、とくにDC特性に関する部分ではこの法則が引用されるでしょう。

● 入力抵抗・出力抵抗

PICとほかのデバイス間で信号を伝達するとき、まず考慮しなければならないのが入力抵抗・出力抵抗です。

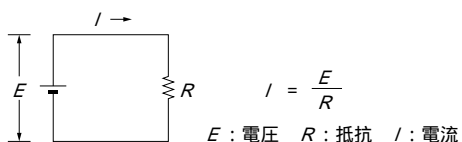
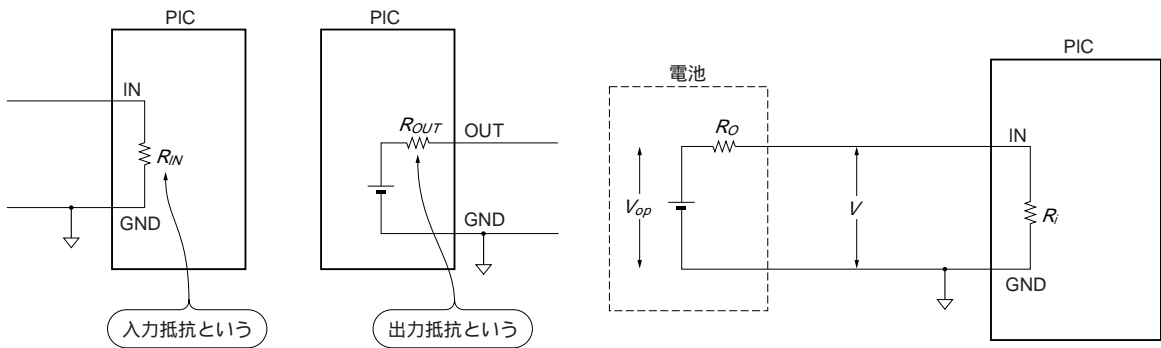


図1-1 オームの法則
電子回路の基本中の基本です。



(a) 入力等価回路

(b) 出力等価回路

図 1-2 PIC 入出力の等価回路

図 1-3 PIC の入力端子に電池をつないだ場合
PIC の入力端子の電圧 V は R_o と R_i の比で電池の開放電圧 V_{op} よりも小さくなってしまふ。

図 1-2 に入力と出力の等価回路の例を示します。等価回路とは複雑なデバイスの内部回路を、その特性を表す最小限の回路に単純化したものです。入出力端子の特性は、DC と AC で考えますが、PIC のほとんどの入出力端子の DC 特性については、この等価回路で説明できます（ただし RA₄ だけはオープン・ドレインなのでこの等価回路ではない。オープン・ドレインについては別項で説明）。

図 1-3 は乾電池を PIC マイコンの入力端子につないだときの等価回路です。乾電池は一般に比較的大きな内部抵抗（出力抵抗）をもっています。図 1-3 の R_o がこの内部抵抗を示します。PIC マイコン側の R_i が PIC の入力抵抗です。

ここで仮に乾電池の開放電圧 V_{op} を 5.0V、内部抵抗 R_o を 1Ω、入力抵抗を 1kΩ とすると、PIC の入力端子での電圧 V は以下ようになります。

$$V = V_{op} \times \frac{R_i}{R_o + R_i} = 5.0 \times \frac{1000}{1 + 1000} = 4.995 \text{ [V]}$$

これからわかるように、PIC の入力端子での電圧は電池電圧よりも 0.005V 低くなってしまいます。

このようにデバイスの入力抵抗と出力抵抗はデバイス間を伝達させる信号の電圧レベルに影響を与えます。したがって、回路設計を行う際にデバイスの入出力抵抗を意識することは重要なことなのです。ところで上の式からわかるように、伝達する電圧レベルに影響を与えない理想的な入出力抵抗は、

入力抵抗 = ()

出力抵抗 = 0 ()

ということになります。

ほとんどの半導体デバイスはこの理想値に近い、十分高い入力抵抗（数十 MΩ 以上）と十分低い出力抵抗（数 Ω 以下）をもっているため、意識せず設計しても問題なく動作する回路になるでしょう。

さて、PIC の入出力抵抗はどれほどなのでしょう？ データ・シートに明確な記載はありませんが、前述のように十分高い入力抵抗と十分低い出力抵抗をもっていると考えると差し支えないでしょう。ただし、PIC のポートを A-D 入力に設定して精密な電圧測定を行うときなどは問題になるかもしれません。また、出力抵抗はその先に接続される静電容量（コンデンサ）と相まって、信号変化の時間遅れ（時定数）を起こす要因になることを忘れてはいけません。時定数については別項で説明します。

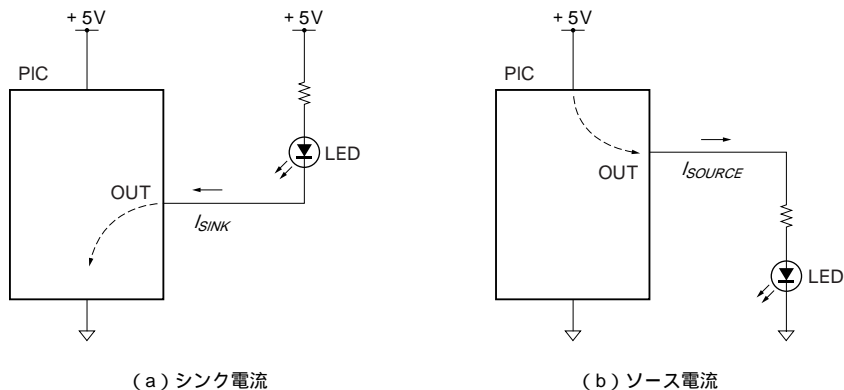


図 1-4 シンク電流・ソース電流
 (a) PICに“L”レベルを出力し電流を吸い込んでLEDを点灯させる。
 (b) PICに“H”レベルを出力し電流を流し込んでLEDを点灯させる。

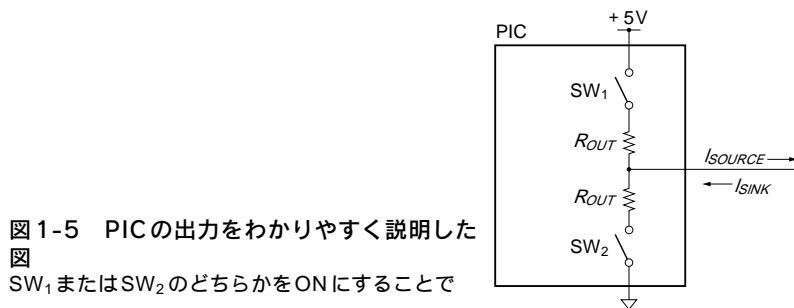


図 1-5 PICの出力をわかりやすく説明した図
 SW₁またはSW₂のどちらかをONにすることで

● シンク電流・ソース電流

PICの出力で直接リレーを駆動したり、LEDランプを点灯させるときなどは、出力端子の駆動能力(ドライブ能力)と適合させる必要があります。この駆動能力を表すのがシンク電流・ソース電流です。たとえば、図1-4(a)の回路でLEDを点灯させるには、PICの出力端子に“L”レベル(0V)を出力させて電流 I_{sink} をPIC内に引き込まなければなりません。この電流 I_{sink} がシンク電流です。

また、図1-4(b)の回路でLEDを点灯させるには、PICの出力端子に“H”レベル(5V)を出力させてPIC内の電源(5V)から出力端子を通してLEDへ電流 I_{source} を流し込まなければなりません。この電流 I_{source} がソース電流です。

図1-5にPICの出力回路をわかりやすく示してみました。

図のI/Oポートが出力に設定されているとき、スイッチ(SW₁・SW₂)は両方同時にONするのではなく、必ず一方のみがONします。PICが“L”レベル(論理0)を出力するときにはSW₂をONにして電流 I_{sink} を引き込みます。PICが“H”レベル(論理1)を出力するときにはSW₁をONにして電流 I_{source} を外へ流し込みます。これらのスイッチに流すことのできる最大電流が、シンクとソース電流の最大値です。なお、図中のスイッチは実際にはMOS FETというトランジスタが使用されています。

さて、PICのシンク・ソース電流(SINK・SOURCED CURRENT)の最大値はデータ・シート上で各I/Oピンに付き25mAと記載されています。しかしこれは、すべてのI/Oピンに連続して25mAを流し続けることができるということではないので注意が必要です。このことについては別項のデータ・シートの見方で詳しく説明します。

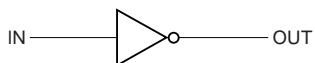


図 1-6 インバータ 74HC04 のシンボル

● しきい値

しきい値は、PIC とほかのデジタル IC 間で信号伝達の適合性を検討する上で考慮しなければならない特性です。このしきい値について、ロジック IC としてよく使われるハイ・スピード CMOS (74HC シリーズ) の 74HC04 (インバータ) を例に説明します。

図 1-6 が回路図で使われる 74HC04 のシンボルです。

インバータは入力レベルを反転したレベルが出力されます。デジタル回路は“H”レベルと“L”レベルの 2 値しか存在しないので、74HC04 は入力の電圧レベルが“H”レベルか“L”レベルかを判断し反転レベルを出力するわけです。図 1-7 (a) は入出力波形の例です。

ここで、入力がゆっくり立ち上がったらどうでしょうか？ 入力が上昇し始めても、出力は即座には変化しません。しかしあるレベルに達すると出力は反転します。入力がゆっくり立ち下がる時も、このあるレベルで出力が反転します。その様子を図 1-7 (b) に示します。

この「あるレベル」をしきい値 (V_{TH}) といいます。

東芝製 TC74HC04AP のデータ・シートにはこのしきい値についての記載はありません。しかし、周囲温度 $T_a = 25$, 電源電圧 $V_{cc} = 4.5V$ という条件で、

$$\begin{aligned} \text{入力電圧 } V_{IH} &= 3.15V \quad \text{min (minimum)} \\ V_{IL} &= 1.35V \quad \text{max (maximum)} \end{aligned}$$

と規定されています。この意味は、

入力電圧が最低でも 3.15V より高ければ TC74HC04AP は“H”レベルと判断しますよ！

また、

入力電圧が最高でも 1.35V より低ければ TC74HC04AP は“L”レベルと判断しますよ！

ということであり、しきい値はこの二つの電圧の間にあるというわけです。

次にデータ・シートの出力電圧の項を見てみましょう。ここには、周囲温度 $T_a = 25$, 電源電圧 $V_{cc} = 4.5V$, シンク・ソース電流 = $20\mu A$ という条件で、

$$\begin{aligned} \text{出力電圧 } V_{OH} &= 4.4V \quad \text{min} \\ V_{OL} &= 0.1V \quad \text{max} \end{aligned}$$

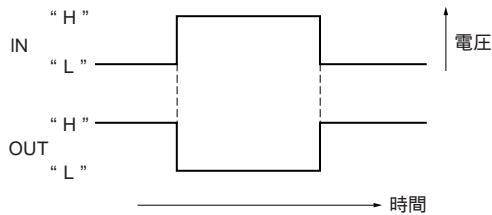
と規定されています。この意味は、

TC74HC04AP は“H”レベルを最低でも 4.4V より高い電圧で出力します！

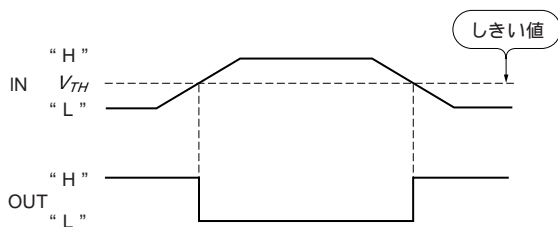
また、

TC74HC04AP は“L”レベルを最高でも 0.1V より低い電圧で出力します！

ということです。図 1-8 は TC74HC04AP の出力を TC74HC04AP で受けるときの各レベルを伝達する様子です。この図の入出力の規定値の差 ($V_{OH} - V_{IH}$) と ($V_{IL} - V_{OL}$) は伝達する信号レベルの余裕度 (マージン) に



(a) 入力が一瞬間に変化したとき



(b) 入力がゆっくり変化したとき

図1-7 74HC04の入出力波形

(a) 入力の反転が出力される。
 (b) 入力があるレベルに達すると、出力が変化する。このレベルをしきい値という。

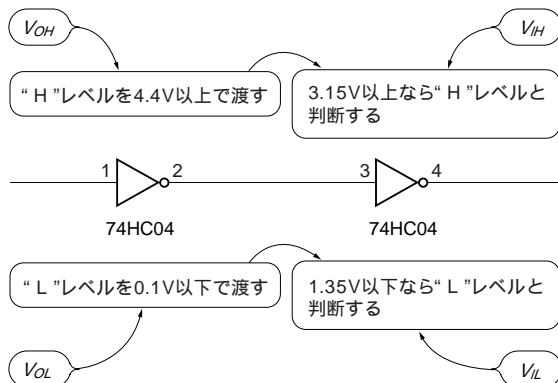


図1-8 74HC04の出力を74HC04で受ける

入出力の規定値の差 ($V_{OH} - V_{IH}$) と ($V_{IL} - V_{OL}$) は信号伝達の余裕度となる。

なります。この余裕度は、ノイズ、電源電圧変動またはアース電流などによる突発的な信号のレベル変化に対する安全度を意味します。

さて、PICのデータ・シートでTTLと記載されているポートは74HC04相当と考えられます。

PIC16F87Xのデータ・シートでTTLポートの入出力電圧は、

4.5V V_{DD} 5.5Vにおいて、

“H”レベル入力電圧..... $V_{IH} = 2.0V$ min

“L”レベル入力電圧..... $V_{IL} = 0.8V$ max

シンク電流 $I_{OL} = 8.5mA$, $V_{DD} = 4.5V$ において、

“L”レベル出力電圧..... $V_{OL} = 0.6V$ max

ソース電流 $I_{OH} = -3.0mA$, $V_{DD} = 4.5V$ において、

“H”レベル出力電圧..... $V_{OH} = V_{DD} - 0.7V$ min

と規定されています。したがって、TC74HC04APとの信号伝達は問題なさそうです。

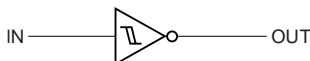
このアイコンは、章末に用語解説
 があります

● ヒステリシス

ヒステリシスもデジタル信号を伝達する上で考慮しなければならない特性です。今回は74HC14(シュミット・トリガ・インバータ)を例に説明します。図1-9が74HC14のシンボルです。

入出力の関係は74HC04同様、反転出力となります。しかし、74HC14は入力が立ち上がる時と立ち下がる時で異なるしきい値をもっています。図1-10は、入力がゆっくり変化したときの出力波形です。

図1-9 シュミット・トリガ・インバータ 74HC14のシンボル
 動作論理はインバータと同じく反転出力。



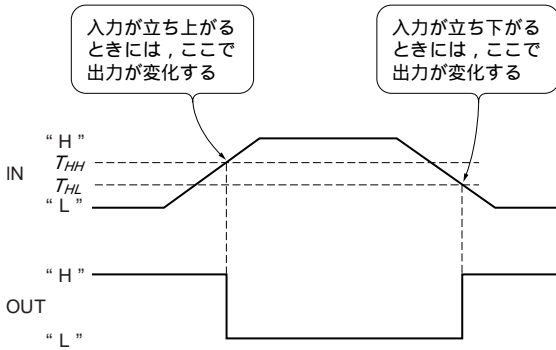


図1-10 74HC14の入出力波形
二つのしきい値 T_{HH} と T_{HL} の差をヒステリシスという。

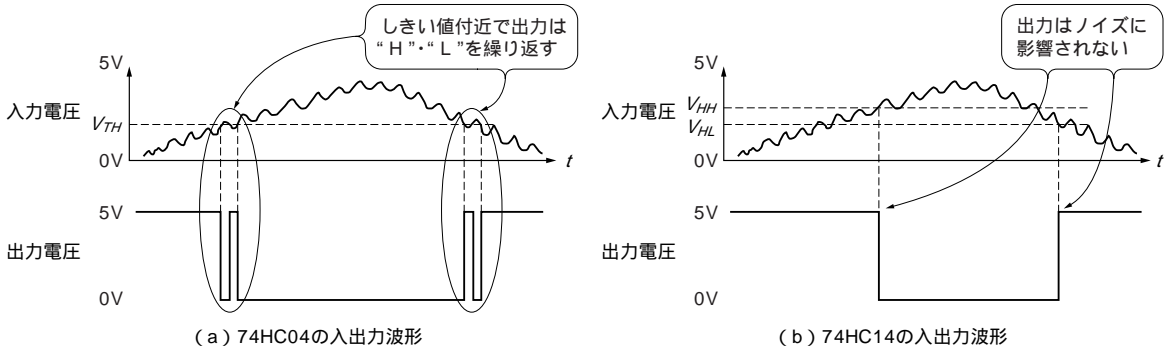


図1-11 入力信号にノイズが乗っているときの74HC04と74HC14の入出力波形

この二つのしきい値の差をヒステリシスといいます。

東芝製 TC74HC14AP のデータ・シートでは、この二つのしきい値は、

周囲温度 $T_a = 25$ ，電源電圧 $V_{cc} = 4.5V$ という条件で、

しきい値 “H” レベル..... $V_P = 2.7V$ typ (typical)

“L” レベル..... $V_N = 1.6V$ typ

と規定されています。このヒステリシスにより入力信号のノイズによる誤動作を防いでくれます。図1-11 は入力信号にノイズが乗っているときの74HC04と74HC14の入出力波形の例です。

このように74HC14ではノイズの影響が取り除かれているのがわかります。また、この特性はスイッチやリレーのチャタリング除去回路にも使用されます (Column-1 参照)。

さて、PICのデータ・シートのピン・アウトの説明で buffer Type が ST と記載されているポートが、入力にヒステリシス特性をもつシュミット・トリガ入力のポートです。PIC16F87X のデータ・シートでは ST ポートの入力電圧は、

すべての電源電圧 (V_{DD}) 範囲において、

“H” レベル入力電圧..... $V_{IH} = 0.8V_{DD} (V)$ min

“L” レベル入力電圧..... $V_{IL} = 0.2V_{DD} (V)$ max

(PORTC の RC_3 , RC_4 は除く)

のように規定されています。二つのしきい値についての規定はありませんが、両方のしきい値が V_{IH} と V_{IL} の間にあるということのようです。

Column...1 チャタリング除去回路

チャタリングとは

リレーやスイッチなどのメカニカル接点で信号をON/OFFしたときには、たいていチャタリングという現象が発生します。これは、たとえば接点がOFFからONになるとき、一気にONになるのではなく、ON OFF ONを何度か繰り返してからONになるという現象です。

スイッチを操作したとき、接点はバネにより押し

当てられ、何度かバウンドを繰り返します。ゴム・ボールを床に落としたときに何度かバウンドしながら転がって行く様子を想像すると理解しやすいでしょう。

図1-Aは、スイッチで信号レベルを切り替える回路とそのときの信号波形です。

チャタリングが発生する時間は個々の接点により異なりますが、10ms程度でしょう。

除去回路

このチャタリングを除去するのにシュミット・トリガが使用されます。図1-Bは74HC14によるチャタリング除去回路と各点の波形です。

②点ではCRにより、なまった立ち上がり・立ち下がり波形になります。これをシュミット・トリガで受けることによりチャタリングが除去されたきれいな波形になります。

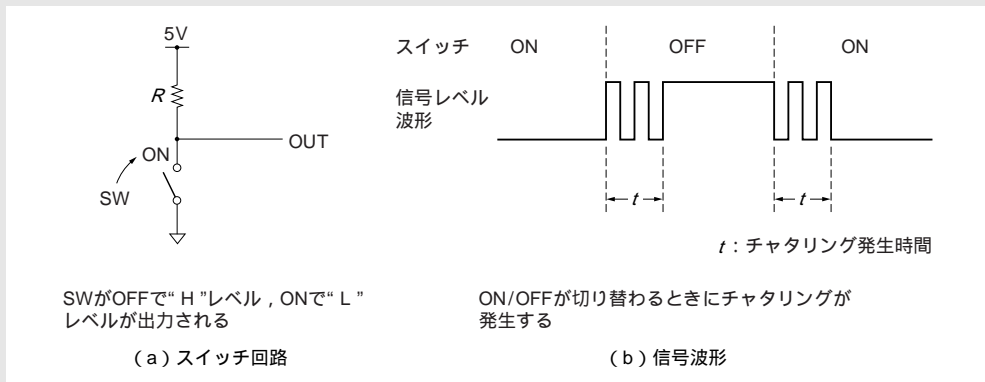


図1-A レベル切り替えスイッチの回路と信号波形

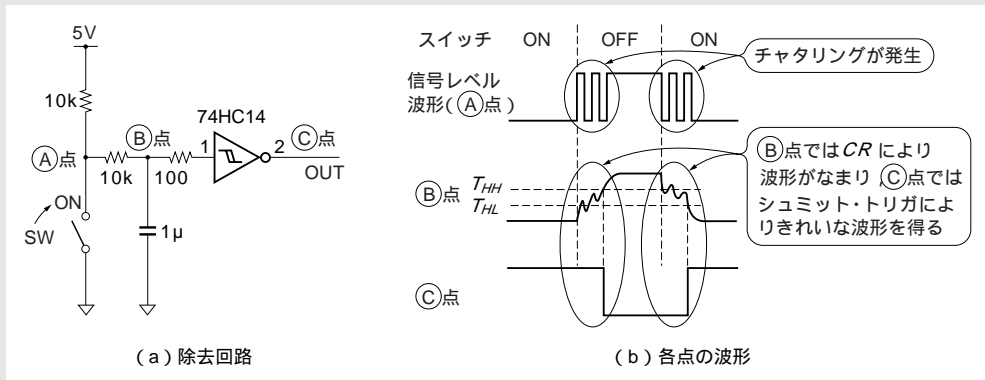


図1-B チャタリングの除去

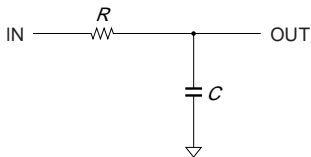


図 1-12 一次のCRローパス・フィルタ

この回路はノイズの除去や信号遅延などの用途でよく使用される。

● 時定数

図1-12は一次のCRローパス・フィルタの回路です。

この回路はアナログ回路のみならず、マイコン周辺のデジタル回路にもノイズ除去や信号遅延などの用途で使用されます。図1-13はこのフィルタにデジタル信号が入力される様子をわかりやすく説明したものです。

この図のように、SW₂がONしている状態が“L”レベルの状態です。この状態ではコンデンサの+側は抵抗を通してGNDに接続されておりコンデンサに電荷は蓄積されず、出力は0Vになっています。次にSW₂をOFFにし、SW₁をONにすると5Vから抵抗を通してコンデンサの+に電流が流れ込み電荷が蓄積され、出力は徐々に上昇して5Vまで達します。さらに、SW₁をOFFにしSW₂をONにすると、コンデンサに蓄積された電荷は抵抗を通して放電され、出力は徐々に下降し0Vになります。

入力電圧が0Vから5Vに切り替わってから出力が5VのA%まで達する時間Tは、下の(1-1)式で表されます。

$$T = - \ln \frac{100 - A}{100} \times CR \dots\dots\dots (1-1)$$

これを時定数といいます。

図1-14はCRフィルタを使用した信号遅延回路とその各部の波形です。

この回路で74HC04の入力のしきい値を2.5V(50%)とすると、遅延時間T_{DELAY}は、

$$T_{DELAY} = - \ln 0.5 \times 1 \times 10^{-6} \times 10 \times 10^3 \quad 7ms$$

C(1μF) R(10k)

となります。

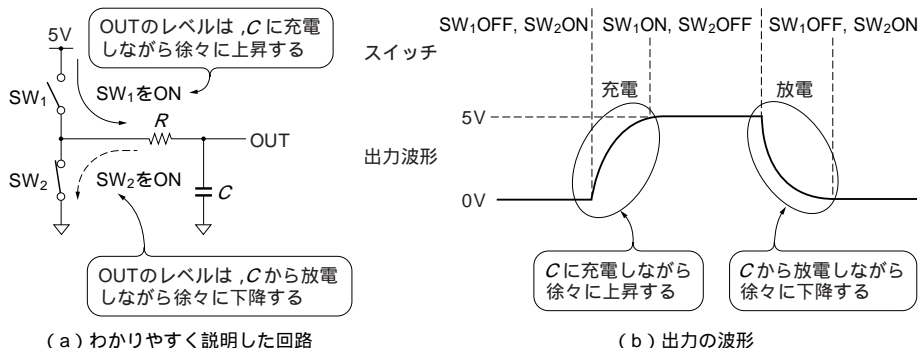


図 1-13 CRフィルタにデジタル信号が入力されたときの動作