

発振回路【インバータ】

発振回路とは

「発振回路」はデジタル回路にとってとても重要な回路です。

例えば、パソコンの動作の基準となるクロックは発振回路で生成されます。

パソコンの処理速度の目安として「動作クロック ○○ GHz」と表示されるので皆さんもよく知っているでしょう。

クロックによって回路は統率された動きをすることができるのです。

出力される波形がどんな波形（正弦波、三角波、矩形波など）でも発振回路といいますが、矩形波を出力する回路は特に「マルチバイブレータ」と呼ばれます。マルチバイブレータには以下の3種類があります。

| | | |
|--------------|----------|-----------------------|
| 無安定マルチバイブレータ | フリーラン | 連続的に波形を出力 |
| 単安定マルチバイブレータ | ワンショット | 1回だけパルス出力 |
| 双安定マルチバイブレータ | フリップフロップ | 入力の変化によりHかLどちらかの状態で安定 |

この中で発振回路は 無安定マルチバイブレータです。

無安定マルチバイブレータとは、その名のとおり安定せず発振し続ける回路です。

では、デジタルICを使った発振回路（無安定マルチバイブレータ）を作ってみましょう。

回路図

まずは、2個のインバータを使った回路を紹介します。インバータはその名の通り入力を反転して出力する素子です。以下の回路図のようにインバータと抵抗とコンデンサをつなぎます。

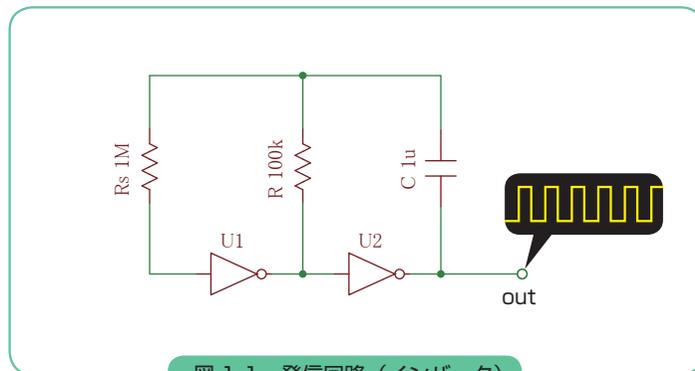


図 1-1 発振回路（インバータ）

発振回路【インバータ】

このように回路を組んで電源を入れれば、out 端子から“H (ハイ)” L (ロー) の信号が出力されます。出力される波形はオシロスコープで観察することができます。周期が遅ければ、out 端子に LED を接続して LED の点滅でも確認できます。

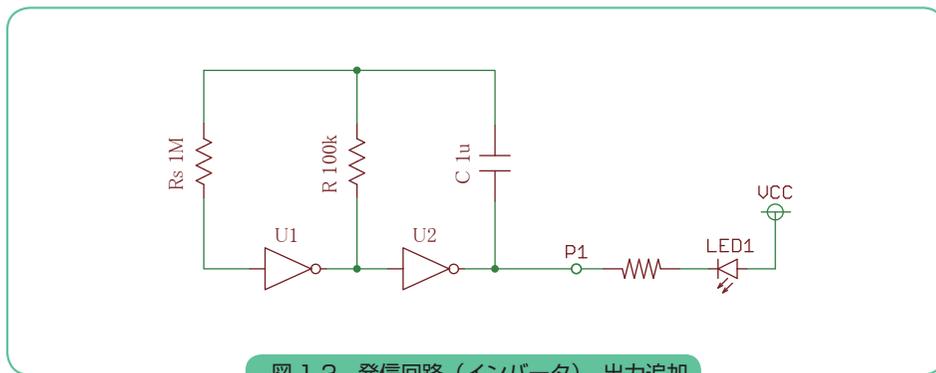


図 1-2 発信回路 (インバータ) 出力追加

out 端子が“L” なら LED 点灯，“H” なら LED 消灯となります。発振していれば、LED がピカピカ点滅すれば実験成功です。

使用する IC

使用するデジタル IC は「インバータ」と呼ばれます。論理的には「否定 NOT」です。本キットでインバータは「74HC04」を使っています。

74HC04 のデータシートを確認しておきましょう。初めて使う IC で回路を設計する場合は、データシートを確認するようにしましょう。最低、動作電圧と最大定格は見ておくべきです。

データシートは、IC メーカーの WEB サイトで公開されており、だれでも閲覧することができます。キーワードは「汎用ロジック IC」「CMOS」「74HC」です。ダウンロードして確認しておきましょう。右図の例は東芝セミコンダクター社のデータシートです。データシートの読み方は、弊社製品「キットで遊ぼう電子回路シリーズ デジタル回路編」にも解説しており、本書では省略します。

TOSHIBA TC74HC04AP/AF

東芝 CMOS デジタル集積回路 シリコン モノリシック

TC74HC04AP, TC74HC04AF

Hex Inverter

TC74HC04A は、シリコンゲート CMOS 技術を用いた高速 CMOS インバータです。CMOS の特長である低い消費電力で、LSTTL に匹敵する高速動作を実現できます。

内部回路はバッファ付きの 3 段構成であり、高い雑音耐性と安定な出力が得られます。また、すべての入力には静電破壊から素子を保護するために、ダイオードが付加されています。

特長

- 高速動作 : $t_{pd} = 6 \text{ ns}$ (標準) ($V_{CC} = 5 \text{ V}$)
- 低消費電流 : $I_{CC} = 1 \mu\text{A}$ (最大) ($T_a = 25^\circ\text{C}$)
- 高雑音耐性 : $V_{NIH} = V_{NIL} = 28\% V_{CC}$ (最小)
- 高ファンアウト : LSTTL 10 個を直接駆動可能
- 対称出力インピーダンス : $I_{OH1} = I_{OL} = 4 \text{ mA}$ (最小)
- バランスのとれた遅延時間: $t_{pLH} = t_{pHL}$
- 広い動作電圧範囲 : $V_{CC} (\text{oper}) = 2\text{-}6 \text{ V}$
- LSTTL (74LS04) と同一ピン接続、同一ファンクション

ピン接続図

論理図

質量
DIP14-P-300-2.54 : 0.96 g (標準)
SOP14-P-300-1.27A : 0.16 g (標準)

1 2007-10-01

デジタル IC について

デジタル IC の 品番号

TC 74 HC 04 AP

① ② ③ ④ ⑤

- ❶ IC の製造メーカーを記号で示しています。
 右表はメーカー記号の代表的なものです。

| 記号 | メーカー |
|----|-----------------------|
| SN | TI (TexasInstruments) |
| TC | 東芝セミコンダクター |
| HD | ルネサスエレクトロニクス |
| LM | ナショナルセミコンダクター |
| MC | モトローラ |



東芝セミコンダクター社のデジタル IC を例に品番号の意味を示しますが、表記ルールはメーカーによって異なりますのでご注意ください。

- ❷ 「74」は、テキサス・インスツルメンツ (TI) 社で開発された IC のシリーズ名称です。
 このシリーズは各メーカーから同等の特性をもつ IC が供給されています。
 最初に開発された会社のもをオリジナルソース、他社のもをセカンドソースと呼びます。74 シリーズは TI 社の IC がオリジナルソースです。

- ❸ 「HC」は、「High speed CMOS」の略で、IC の電気的特性を表しています。下表は特性記号の例です。
 上から古い順に並んでいます。今ではさらに高速・低消費電力が進んだ VCMX シリーズもあります。

| タイプ | 記号 | 特性 | 特性の説明 |
|------|-----|-----------------------------|-----------------------|
| TTL | LS | Low power Schottky | S-TTL の低消費電力タイプ |
| | AS | Advanced Schottky | S-TTL の高速改良タイプ |
| | ALS | Advanced Low power Schottky | TTL ファミリーの中では最終タイプ |
| CMOS | HC | High-speed CMOS | 現在では標準的 CMOS |
| | AC | Advanced CMOS | HC の高速、高電流タイプ |
| | AHC | Advanced High-speed | HC/AC のさらに高速・低消費電力タイプ |

- ❹ 「04」は、IC の機能を表しています。番号は開発順につけられています。そのため、開発したものの使用頻度が低いものは製造が中止され欠番となっています。
 右表は記号と IC 機能の例です。
 IC の機能を表す記号はメーカーが変わっても共通です。

| 記号 | IC 機能 |
|----|-----------------------|
| 00 | 2-Input NAND Gate × 4 |
| 02 | 2-Input NOR Gate × 4 |
| 04 | Inverter × 6 |
| 10 | 3-Input NAND Gate × 3 |

- ❺ 「AP」は東芝独自の記号で、「A」は変更管理記号を、「P」はパッケージタイプを表しています。

| 記号 | パッケージタイプ |
|----|----------|
| F | SOP |
| P | DIP |



❷ シリーズ番号と❹ IC の機能だけで「7404 (ななよんぜろよん)」と呼ぶこともあります。
 「7404」と言えばこのメーカーでもインバータが6個入った IC です。

デジタル IC について

デジタル IC の分類

本キットに付属しているデジタル IC を機能で分類すると以下の表のようになります。

| 機能分類 | 掲載 STEP | エレモ No | IC 機能 | 使用 IC |
|----------|------------|---------|----------------------|----------|
| 基本ゲート | STEP 01 | ADM-401 | Inverter | 74HC04 |
| | STEP 03 | ADM-402 | Schmitt Inverter | 74HC14 |
| | STEP 02,06 | ADM-403 | 2input NAND | 74HC00 |
| | | ADM-404 | 2input NOR | 74HC02 |
| | | ADM-405 | 3input NAND | 74HC10 |
| | STEP 07 | ADM-406 | 3input NOR | 74HC27 |
| | STEP 09 | ADM-407 | 8input NAND | 74HC30 |
| | | ADM-408 | 8input NOR | 74HC4078 |
| フリップフロップ | STEP 07,08 | ADM-409 | D-FF | 74HC74 |
| | STEP 09 | ADM-410 | 8input D-FF | 74HC273 |
| | STEP 10,11 | ADM-411 | JK-FF | 74HC107 |
| デコーダ | STEP 14,15 | ADM-412 | 7seg Decoder | 74HC4511 |
| カウンタ | STEP 15 | ADM-413 | 4bit Up/Down Counter | 74HC190 |
| | STEP 13 | ADM-414 | 4bit Up/Down Counter | 74HC191 |
| タイマ | STEP 04,05 | ADM-415 | Timer | NE555 |

本書ではデジタル IC の中の汎用ロジック IC を扱っています。

汎用 IC に対して専用 IC があり、専用 IC には移動無線用、CD プレーヤ用、リモコン用、文字多重放送用など用途ごとに多くの種類があります。さらに大規模なものになると LSI と呼ばれます。

しかし、どんな複雑なデジタル回路でも、汎用ロジック IC の組み合わせで実現できるのです。



「タイマ 555」はアナログ IC に分類されますが、デジタル回路で簡易なクロック発振 IC として用いられることが多いため取り上げました。

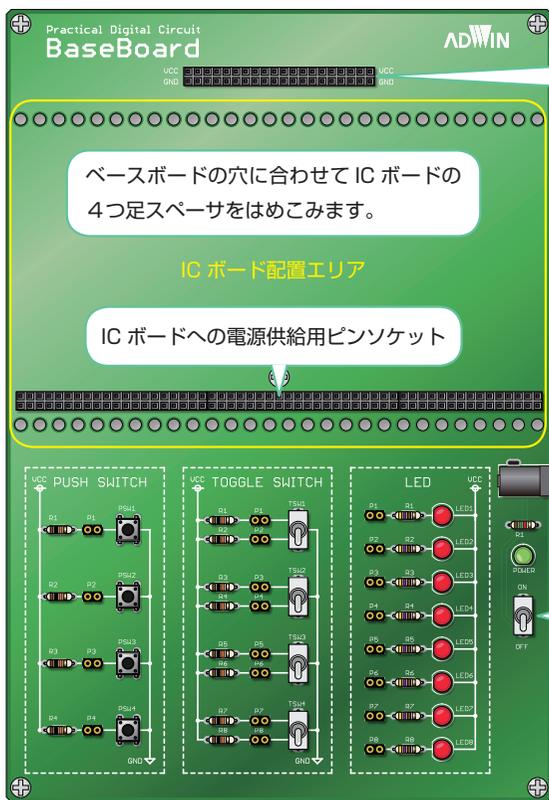
本キットの使い方

ベースボードの使い方

本キットは組み立て不要ですぐ使えます。

使い方の手順は、① ベースボードに IC ボードを配置し、② 線材で配線して回路を組み立て、③ 電源を入れて動きを確認します。

IC ボードの組み合わせや配線で、様々な回路を実験できます。

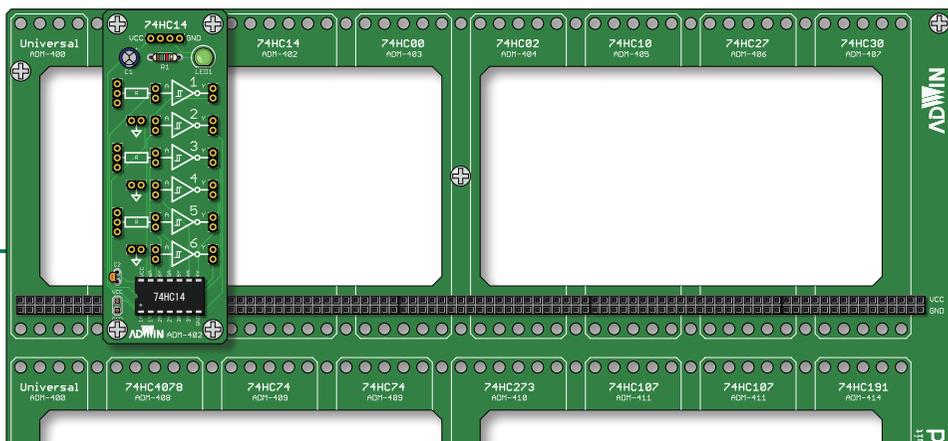


回路作成時、Vcc や GND の接続ピンが足りない場合に利用できます。

付属の AC/DC アダプタ 5V を DC ジャックに挿して、家庭用コンセントから電源を供給します。

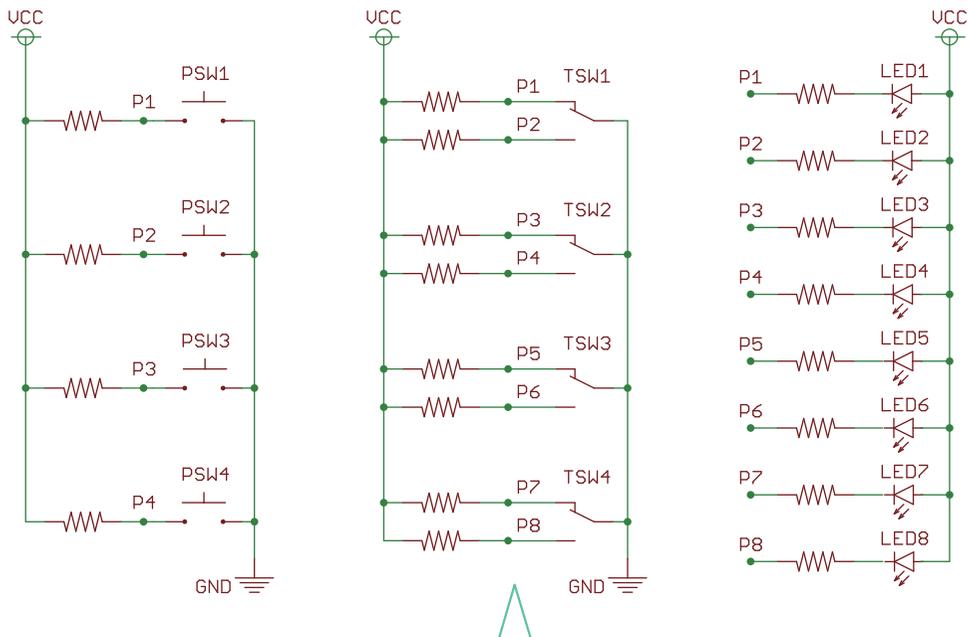
メインスイッチは、回路すべての電源供給を ON/OFF します。電源 ON で緑 LED が点灯します。

ストックボードは使わない IC ボードをまとめておけるボードですが、ベースボードの Vcc と GND を線材などでつなげば実験ボードとしての利用もできます。ストックボード上の印刷は収納時のガイド用です。

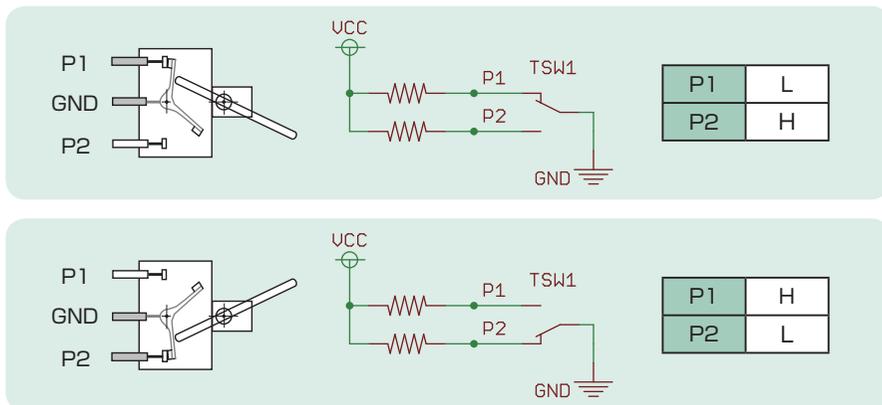


本キットの使い方

ベースボード下部の「プッシュスイッチ」「トグルスイッチ」「LED」は、IC ボードへの入出力として利用してください。それぞれ下の回路図となります。



トグルスイッチの構造上、レバーの向きと導通する端子の関係は下図のようになります。例：TSW1



レバーの下向きを OFF、上向きを ON とすると、P1 からの出力は正論理、P2 からの出力は負論理となります。他の TSW2, TSW3, TSW4 についても同様です。

本キットの使い方

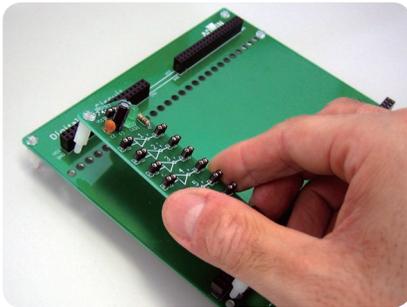
デジタル IC のボードの使い方

IC ボードは以下の手順でベースボードに接続してください。



- 1 ベースボードの電源は必ず切っておきます。
AC アダプタは挿さったままでも構いません。

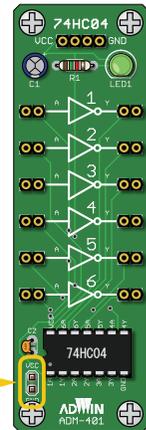
IC ボードの抜き差しや、線材で配線をする際は、電源を切って行ってください。



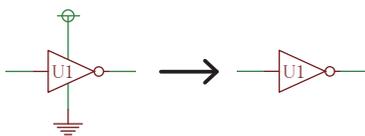
- 2 IC ボードをベースボードに配置します。



電源供給ピン：IC ボードを抜き差しする際は、このピンを曲げないようにご注意ください。



- 3 ベースボードの電源スイッチを ON すると、配置された各ボードに電源が供給されます。
各ボードの緑 LED が点灯すれば接続 OK です。



IC への電源配線は省略する

一般的に回路図では IC への電源配線を省略します。本書でも同様に省略していますが、IC を実際に使う際は電源供給を忘れてはなりません。

しかし、本キットの IC ボードは電源配線を不要な設計で、ベースボードに配置すれば接続完了となります。

本キットの使い方

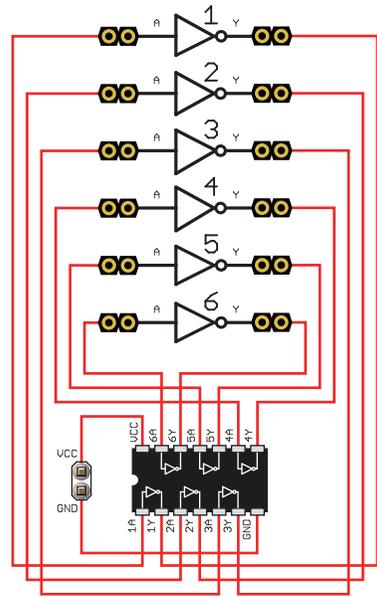
IC ボードのピンレイアウト

本キットのIC ボードは、回路図どおりに配線し易いよう、IC チップから基板上の丸ピンに配線を引き出しています。
右図は「ADM-401 Inverter」の例です。赤線が基板上の配線です。他の IC ボードも同様の設計でレイアウトされています。

IC ボードは、基板上の印刷を参考に配線してもらえばいいのですが、ジャンパーで配線を簡略化したり、抵抗やコンデンサを挿して動作を調節する機能をもったものがあります。
それらの IC ボードの使い方は、随時説明します。



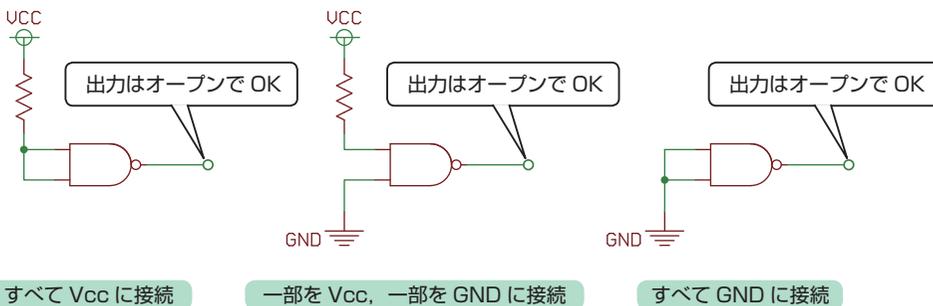
丸ピンソケットのなかにはピンの挿さりのシブいものがありますが、一度使えば次からは挿さり易くなりますので、ご了承ください。



未使用入力の処理

デジタル IC の入力端子は、すべて「H」か「L」のどちらかにしておかなければなりません。
入力が定まらないと、出力も定まらず誤動作を起こすかもしれません。
特に、本キットで使用している 74HC シリーズは CMOS ロジック IC ですから、未使用入力オープンのままでは IC に過大な電流が流れ、**最悪の場合 IC が壊れる**可能性があります。

未使用入力は以下のいずれかの方法で処理します。どの方法でもかまいませんが、抵抗を使わずに良い「すべて GND に接続」する方法がおすすめです。**未使用入力は必ず GND に接続**しておいてください。



発振回路【インバータ】

実験してみよう

キットの「74HC04」ボードをベースボードに配置し、回路図どおりに配線してください。
回路図をもう一度載せておきます。

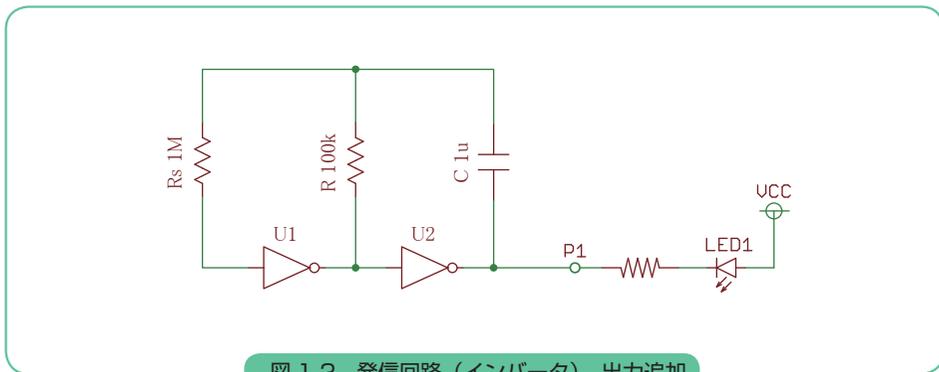


図 1-2 発信回路（インバータ）出力追加

C（コンデンサ）と R（抵抗）の値を変えると、発振周期 T が変化します。

Rs は電流制限用の保護抵抗です。

実際にキット内のコンデンサや抵抗を使って、C と R を変えて発振周期の変化を確認してみましょう。



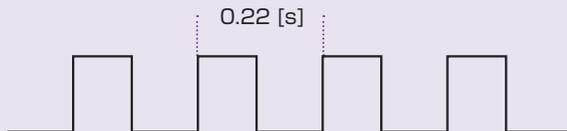
この回路では C の充電方向が変わるので、極性の無いセラミックコンデンサを使用してください。
詳しくは P.16 の「発振動作のしくみ」参照。

この回路における発振周期 T, C, R の関係式は $T \approx 2.2CR$ です。

C : 1uF, R : 100k Ω の場合の発振周期 T は $2.2 \cdot 1 \times 10^{-6} \cdot 100 \times 10^3 = 0.22$

周期 T = 0.22 [s]

$$\text{周波数 } f = \frac{1}{\text{周期 } T} = \frac{1}{0.22} \approx 4.5 \text{ [Hz]}$$



Rs は R の 10 倍程度にすると計算値とだいたい合うようです。

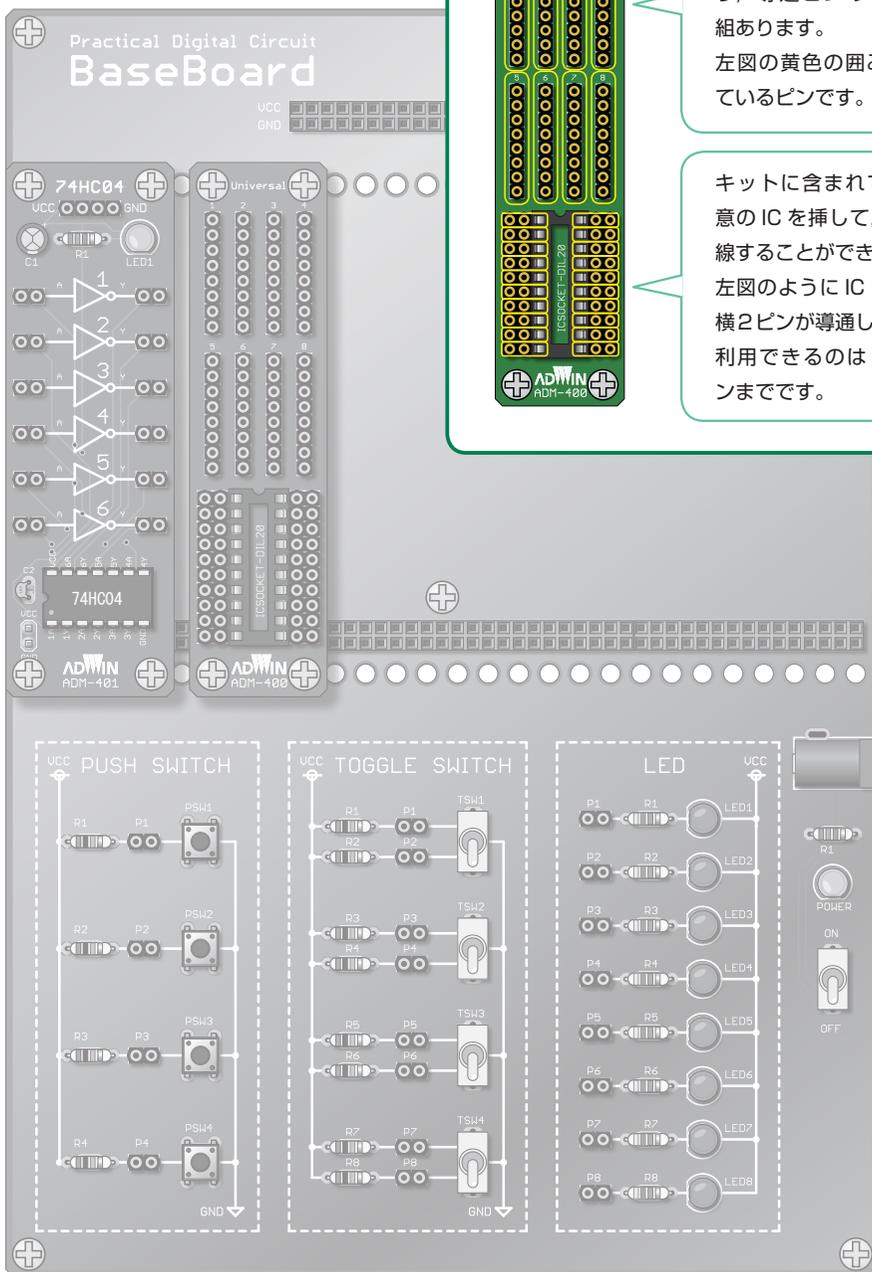
右表は、C : 1uF, R : 100k Ω のまま Rs の値だけを変えたときの
周期の実測値です。

| Rs Ω | 周期 ms | 周波数 Hz |
|------|-------|--------|
| 0 | 155 | 6.45 |
| 1k | 166 | 6.02 |
| 10k | 188 | 5.32 |
| 100k | 214 | 4.67 |
| 1M | 221 | 4.52 |

発振回路【インバータ】

実体配線図

下図に実体配線を書き込んでから、キットを使って実験してみましょう。



ADM-400 ユニバーサル ボードの使い方

「Universal」ボードは、縦方向の8ピンが導通しており、導通ピンのセットは8組あります。左図の黄色の囲みは導通しているピンです。

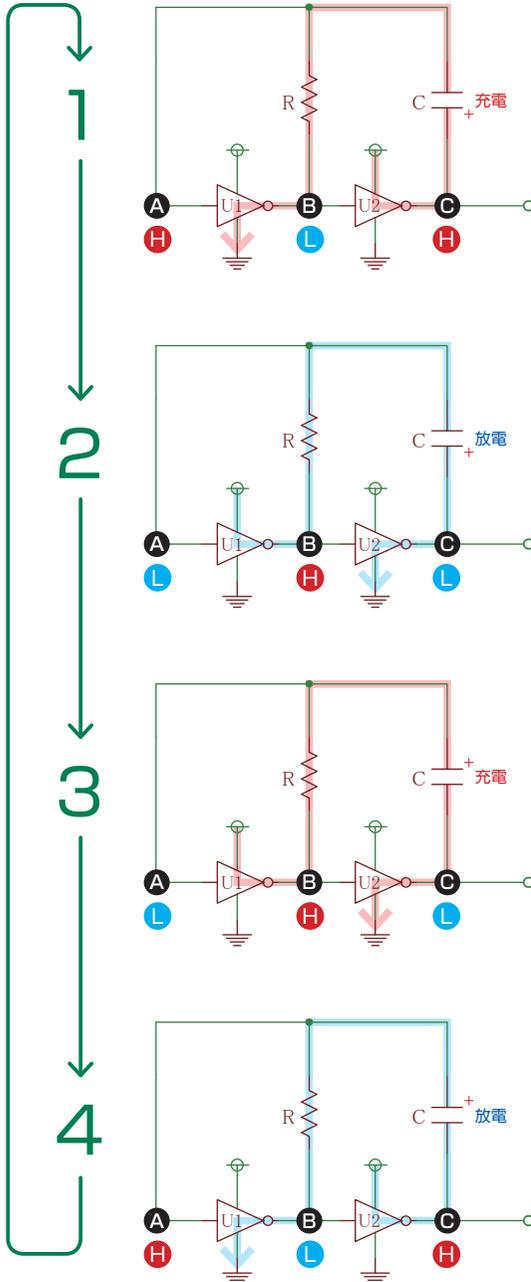
キットに含まれていない任意のICを挿して、線材で配線することができます。左図のようにICソケットと横2ピンが導通しています。利用できるのはDIP 20ピンまでです。

解答例は巻末に掲載しています。

発振回路【インバータ】

発振動作のしくみ

発振回路の動作を順を追って説明していきます。回路図には電流が分かりやすいようにICの電源を示しました。また、Rsは発振動作に影響ないため省略しています。回路中の3点を下図のように**A** **B** **C**とします。



電源を印加したとき、**A** **H**、**B** **L**、**C** **H**の状態になると仮定します。**A** **L**で3から始まる場合もあります。どちらにしてもコンデンサに充電する形で始まります。

充電電流がコンデンサに流れ込み充電していきます。

充電が進むと、**A**の電圧が低くなっていきます。

Aの電圧がU1の入力スレッシュホールド電圧よりも低くなると、**A**が**L**になり → **B** **H** → **C** **L**になります。

A**B****C**の電圧が反転したので、電流も逆向きに流れ始めます。コンデンサにたまっていた電荷は放電されます。

コンデンサにたまっていた電荷が無くなり放電が終わっても、**B** **H** **C** **L**のままなので電流は同じ向きに流れ続けます。

すると、今度は逆向きにコンデンサに充電していきます。

充電が進むと、**A**の電圧が高くなっていきます。

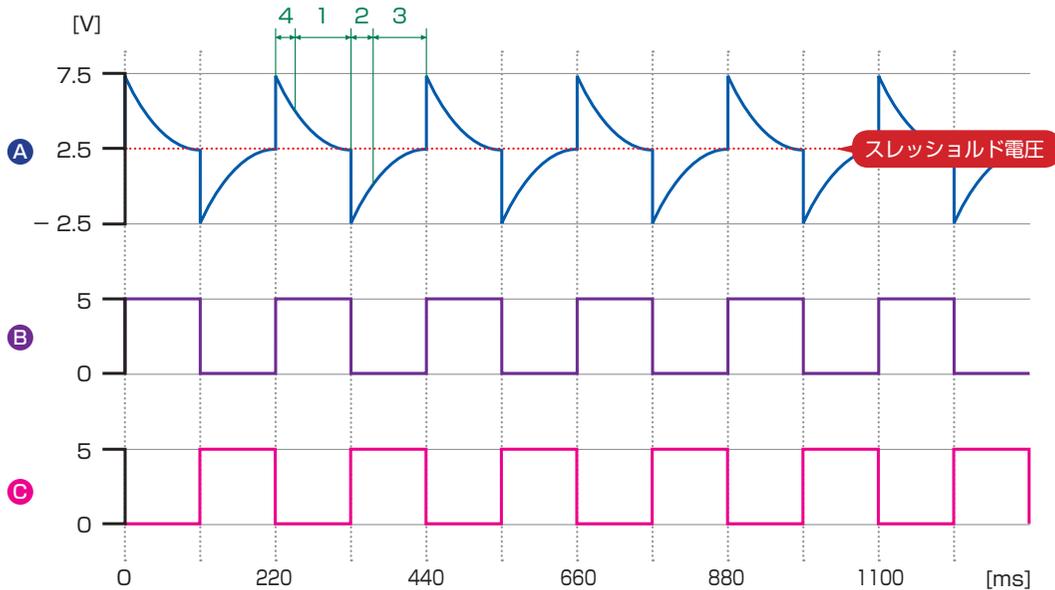
Aの電圧がU1の入力スレッシュホールド電圧よりも高くなると、**A**が**H**になり → **B** **L** → **C** **H**になります。

A**B****C**の電圧が反転したので、電流も逆向きに流れ始めます。コンデンサにたまっていた電荷は放電されます。

放電完了後、状態1に戻ります。この繰り返しにより発振が継続するのです。

発振回路【インバータ】

オシロスコープで回路の **A** **B** **C** 点の電圧の変化を見ると、以下のグラフのようになります。
左ページの4つの状態は、1周期の中で下図のように区分されます。



スレッシュホールド電圧

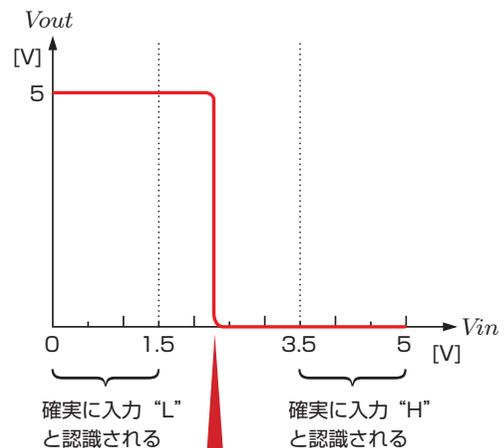
右図はインバータ「74HC04」の動作電圧 5V の時の入力電圧と出力電圧の変化グラフです。

汎用ロジック IC の入力には“H”でも“L”でもない電圧の範囲があります。
しかし、この範囲の電圧を入力して、出力が“H”にも“L”にもならないというわけではありません。
入力電圧を徐々に変えていくと分かりますが、どこかで出力が切り替わります。
この電圧をスレッシュホールド電圧しきい値といいます。閾値ともいいます。

スレッシュホールド電圧は IC の種類 (TTL か CMOS か) や動作電圧、気温によって変化します。
CMOS ロジック IC では動作電圧の約 $1/2$ です。

P.27 にも解説あります

インバータ「74HC04」



スレッシュホールド電圧：約 2.5V