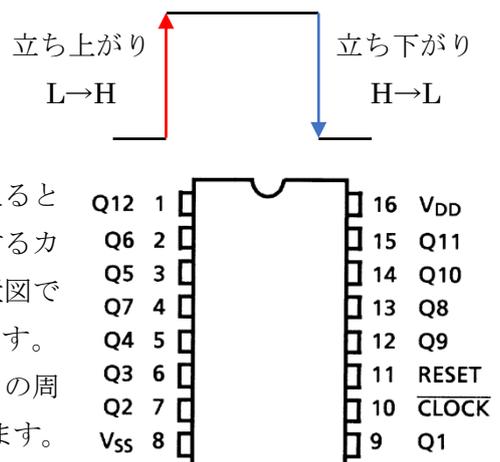


電子工作基礎 デジタル回路編 Part4

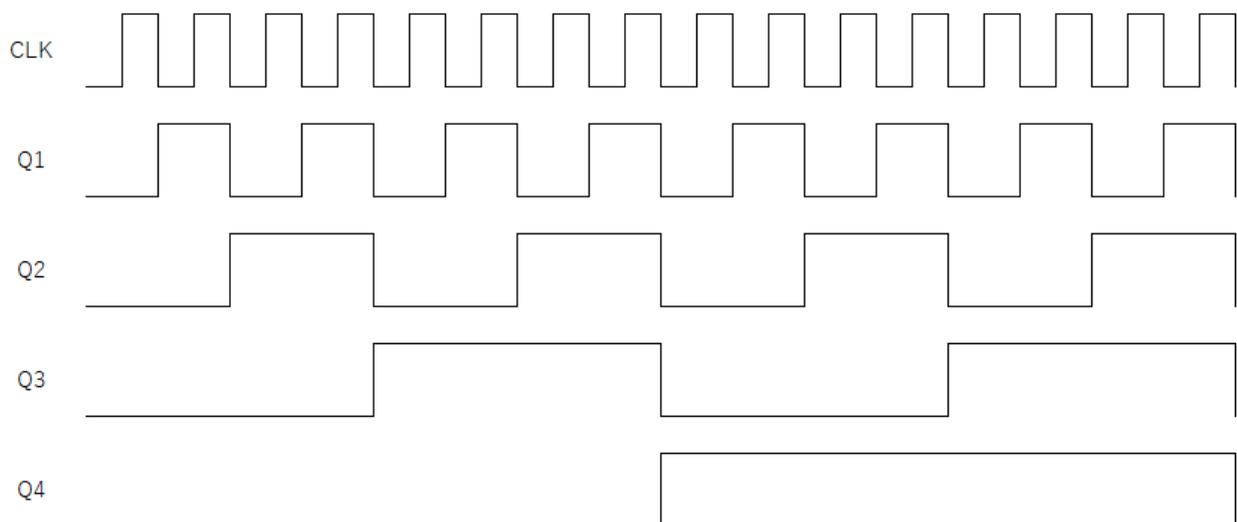
カウンタ

カウンタとは

Part3 で方形波を出力することができましたが、**カウンタ** (counter) はこの回数を数えることができます。より正確に言うと、**立ち上がり** (rise) の回数、または**立ち下がり** (fall) の回数を数えます。立ち上がりは L から H になるタイミング、立ち下がりには H から L になるタイミングのことです。数えるといいましたが、どのように数えているのでしょうか。今回使用するカウンタ 4040 を例に解説していきます。右図が 4040 のピン配置図です。10 番ピンの入力 **CLOCK** の立ち下がりの回数を数えます。**CLOCK** に方形波を入力すると、**Q1**、**Q2**、**Q3**、**Q4** は **CLOCK** の周期のそれぞれ 2 倍、4 倍、8 倍、16 倍の周期で方波形を出力します。このほかの出力 **Qn** (**n** は 1 以上 12 以下の任意の自然数) についても同様に、**CLOCK** の周期の 2^n 倍の周期で方形波を出力します。これらこのことをまとめると、右図のようになります。ここで、L を 0、H を 1 とし、**Q1** を 1 の位、**Q2** を 2 の位、 \dots **Qn** を 2^{n-1} の位とみて 2 進数に対応させる (要するに **Q1**~**Q12** の出力を **Q12** から順に書き並べると、例えば立ち下がりが 5 回起きたタイミングを見てみると、000000000101 となっていて、これは 10 進数で表すと 5 です。確かに立ち下がりの回数を数えることができます。また、入力 **RESET** は L にすると前述のような動作をし、H にすると **CLOCK** に関係なく **Q1**~**Q12** のすべての出力が L になります。以上のことをまとめてタイミングチャートにすると、以下のようになります (**Q5** 以降は省略)。

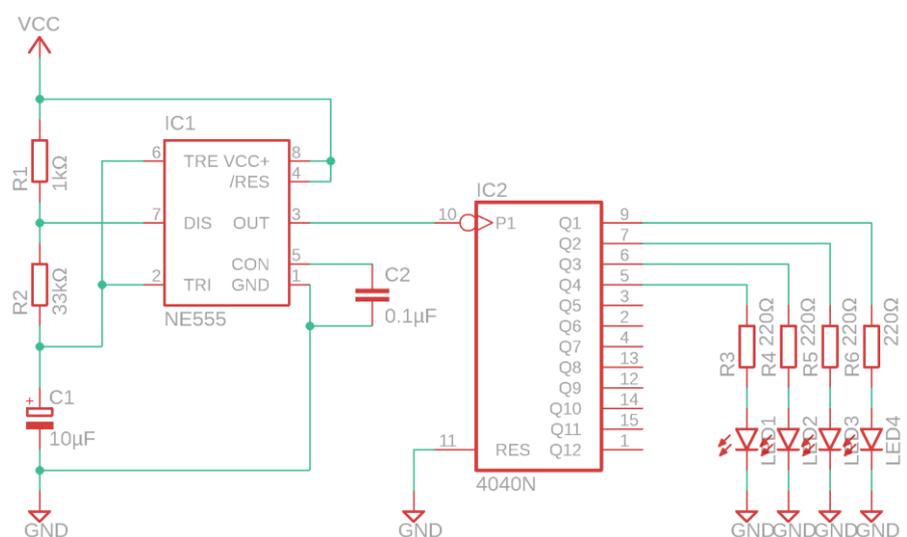


図は TC4040BP データシートより
<https://akizukidenshi.com/download/ds/Toshiba/te4040bp.pdf>



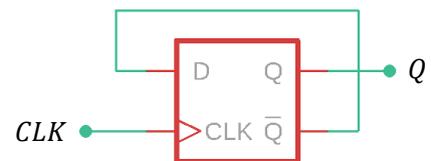
Let's try!

では、Q1～Q4 のピンに LED を付けて出力を確認してみましょう。ピン配置に注意しつつ、16 番ピンを Vcc に、8 番ピンを GND につなぐのを忘れないようにしましょう。



解説

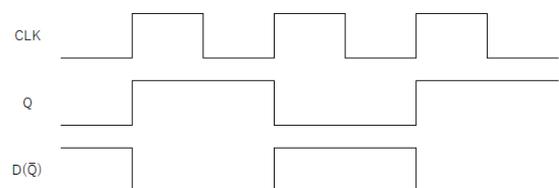
ではなぜ、カウンタ 4040 は立ち下がり回数を数えることができるのでしょうか。まずは、単純なカウンタを見てみましょう。それが、右図の **D フリップフロップ (D-Flip-Flop)** を用いた回路です。右表は D フリップフロップの真理値表です。↑は立ち上がり、↓は立ち下がり、X は 0 と 1 のどちらでもいいことを表しています。これを見ると、CLK が立ち上がると D の入力をそのまま Q に出力し、立ち下がりには変化しないことがわかります。この回路は D フリップフロップの D と \bar{Q} を接続していますが、この CLK に L→H→L→H という信号を与えるとどうなるのでしょうか。



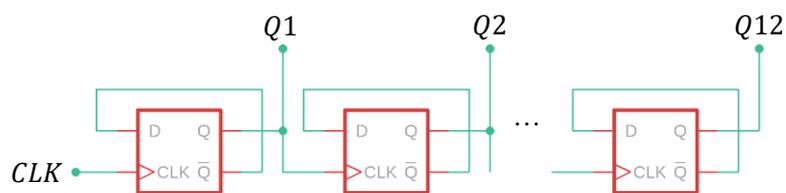
| D | CLK | Q | \bar{Q} |
|---|-----|----|-----------|
| 0 | ↑ | 0 | 1 |
| 1 | ↑ | 1 | 0 |
| X | ↓ | 保持 | |

- ① CLK が L のとき、Q は L であるとする、D と \bar{Q} はその逆の H になります。
- ② CLK が立ち上がると、このとき D は H ですから Q は H になり、 \bar{Q} は L になります。その瞬間 D は \bar{Q} とつながっていますから D も L になります。
- ③ CLK は立ち下がりますが、Q、 \bar{Q} は保持され、D にも変化は起きません。
- ④ 再び CLK が立ち上がると、このとき D は L ですから Q は L になり、 \bar{Q} は H になります。その瞬間 D は \bar{Q} とつながっていますから D も H になるという②と逆のことが起こります。
- ⑤ ここでも CLK は立ち下がりますが、Q、 \bar{Q} は保持され、D にも変化は起きません。
- ⑥ ここで②に戻ります。

以上のことをまとめると右図のようになります。ここで注目してほしいことは、出力 Q は入力 CLK を 2 倍に引き伸ばしたようになっているということです。4040 の Q1 の出力も CLK の 2 倍の周期でしたから、これらは同じです。これで Q1 はできましたが、Q2、Q3、…はどうするのでしょうか。



4040 のタイミングチャートをよく見ると、Q2 は Q1 の 2 倍、Q3 は Q2 の 2 倍、…と、1 つ前の出力の 2 倍の周期になっています。そのため、右図のように 1 つ前の Q を CLK



とすれば、Q_n の周期は、CLOCK の周期の 2ⁿ 倍になります (2 倍の 2 倍のまた 2 倍…)。以上により、前述のようなカウンタ 4040 の動作が D フリップフロップによって実現*9 できました。

Let's try!

では、Q1~Q4 だけでなく、ほかの出力も使ってみましょう。2 つの出力の周期を比較 (2 つ離れると周期は何倍になっているか) して見たり、連続する 4 つの出力を使って (Q5~Q8 を使うと Q1~Q4 の時と比べてカウントは何倍になっているか) 見たりしてください。

*9 厳密に言うと、D フリップフロップは立ち上がりを数えるカウンタです。そのため、4040 のように立ち下がり数を数えるためには CLK に NOT を付ける必要があります。実際、4040 のピン配置図を見ると CLOCK となっています。