

今回の内容

10.1 T-フリップフロップ . . . . . 10-1  
 10.2 JK-フリップフロップ . . . . . 10-2  
 10.3 カウンタ . . . . . 10-4

2通りの内部状態を持ち、「クロック」と呼ばれる入力信号の立ち上がり(0から1への変化)や立ち下がり(1から0への変化)をきっかけ(トリガ)として、この内部状態が変化する順序回路を一般にフリップフロップと呼びます。前回に紹介したD-フリップフロップもその一つで、 $(Q, \bar{Q}) = (0, 1)$ と $(Q, \bar{Q}) = (1, 0)$ の2つの状態があり、入力Dに依存して、右の表のように状態が変化するものでした。

現在の状態		入力 D	次の状態	
Q	$\bar{Q}$		Q	$\bar{Q}$
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0

D-フリップフロップの状態遷移表

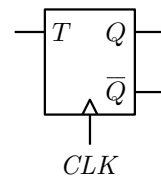
この表のように、順序回路の現在の内部状態と入力値の組み合わせに応じて、次の状態<sup>1</sup>がどのように定まるかを示した表を状態遷移表と呼びます。通常、フリップフロップはQと $\bar{Q}$ の2つの出力を持っており、片方の値が1なら他方の値は0と、常に、互いに否定の関係になっています。

D-フリップフロップの場合、次の状態は入力Dのみによって定まり、現在の内部状態には依存しませんが、現在の内部状態に依存して、次の状態が定まるようなフリップフロップもあります。今回はそのようなフリップフロップを2種類紹介します。



10.1 T-フリップフロップ

T-フリップフロップ(T Flip-Flop)は、クロック入力の他に、1つの入力Tを持つフリップフロップで、回路図の中では、右のような記号(ポジティブエッジトリガの場合)で表します。



T-フリップフロップの回路記号

T-フリップフロップは、入力Tが0のときにトリガされた<sup>2</sup>場合は、その状態は変化しません。一方、入力Tが1のときにトリガされると、出力Qが(当然 $\bar{Q}$ も)反転します。

<sup>1</sup>クロックの立ち上がり(あるいは立ち下がり)が起こった後の状態。

<sup>2</sup>例えば、ポジティブエッジトリガの場合は、クロックが0から1に変化した。

現在の状態		入力 $T$	次の状態	
$Q$	$\bar{Q}$		$Q$	$\bar{Q}$
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1

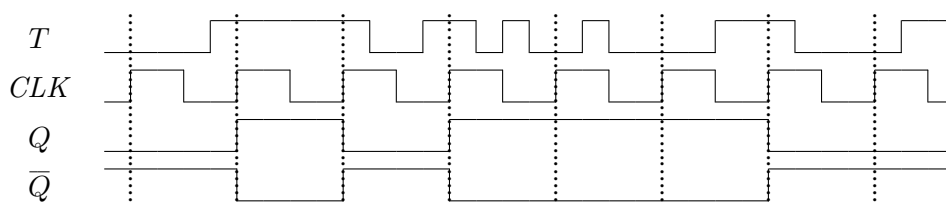
T-フリップフロップの状態遷移表

入力 $T$	出力 $Q_{t+1}$
0	$Q_t$
1	$\bar{Q}_t$

$Q_t$  = 現在の  $Q$  の値  
 $Q_{t+1}$  = 次の  $Q$  の値

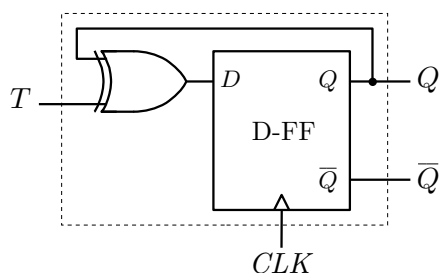
簡略化した表現

T-フリップフロップの状態遷移表は上(左)のようになります。この状態遷移を簡潔に表すために、現在の状態での  $Q$  の値を  $Q_t$  で、次の状態での  $Q$  の値を  $Q_{t+1}$  で表して、その関係がどうなるかを、上(右)のように示す場合もあります。次は、T-フリップフロップのタイミングチャートの例です。



T-フリップフロップのタイミングチャート例

D-フリップフロップ(D-FF)を利用すると、右のようにXORゲート1つ加えることでT-フリップフロップを実現することができます。D-フリップフロップと同様に、論理ゲートをいくつか組み合わせて、直接T-フリップフロップとして働く論理回路を作成することも可能です。

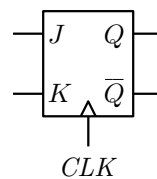


T-フリップフロップの実現例



## 10.2 JK-フリップフロップ

フリップフロップの内部状態(出力  $Q$  の値)の変化に注目すると、(1) 変化しない、(2) 反転する、(3) 常に0になる、(4) 常に1になる、の4通りが考えられます。これら4通りの変化の仕方を、2つの入力値の組み合わせで選択できるようにしたものが**JK-フリップフロップ**(**JK Flip-Flop**)です。JK-フリップフロップは、右のような記号(ポジティブエッジトリガの場合)で表します。



JK-フリップフロップの回路記号

JK-フリップフロップの状態遷移表は次のようなものです。

現在の状態		入力		次の状態	
$Q$	$\bar{Q}$	$J$	$K$	$Q$	$\bar{Q}$
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1

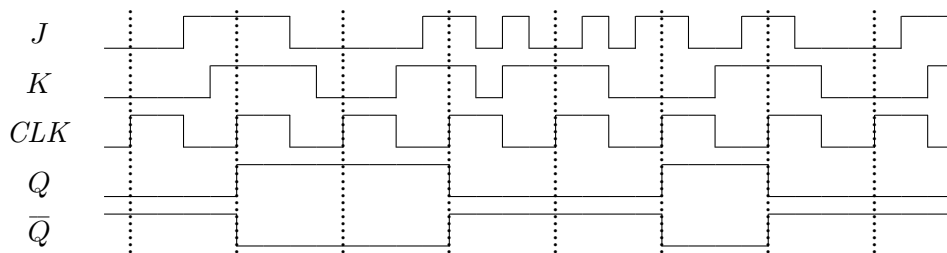
JK-フリップフロップの状態遷移表

入力		出力
$J$	$K$	$Q_{t+1}$
0	0	$Q_t$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\bar{Q}_t$

$Q_t$  = 現在の  $Q$  の値  
 $Q_{t+1}$  = 次の  $Q$  の値

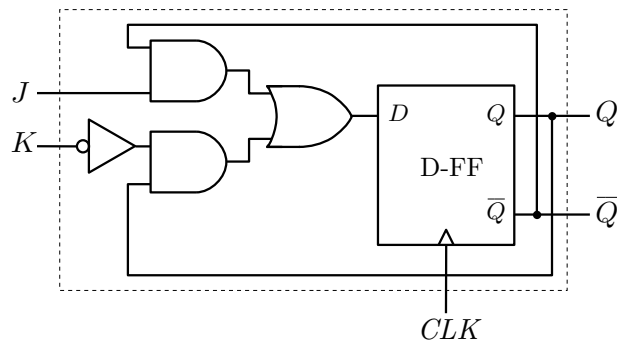
簡略化した表現

JK-フリップフロップの2つの入力  $J$  と  $K$  の値が等しい場合、その値を  $T$  とした T-フリップフロップと同じ状態遷移をします。つまり、 $J = K = 0$  の状態でトリガされた場合には  $Q$  の値は(当然、 $\bar{Q}$  の値も)変化せず、 $J = K = 1$  の状態でトリガされると  $Q$  の値が(当然、 $\bar{Q}$  の値も)反転します。また、 $(J, K) = (0, 1)$  や  $(J, K) = (1, 0)$  の場合は、トリガ後の  $Q$  の値は、それぞれ0と1になります。次は、JK-フリップフロップのタイミングチャートの例です。



JK-フリップフロップのタイミングチャート例

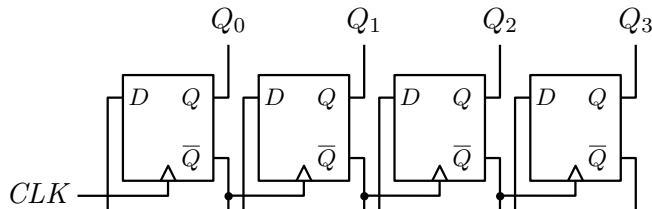
D-フリップフロップ(D-FF)といくつかの論理ゲートを組み合わせることで、次のようにJK-フリップフロップを実現することができます。論理ゲートをいくつか組み合わせて、直接JK-フリップフロップとして働く論理回路を作成することも可能です。



JK-フリップフロップの実現例

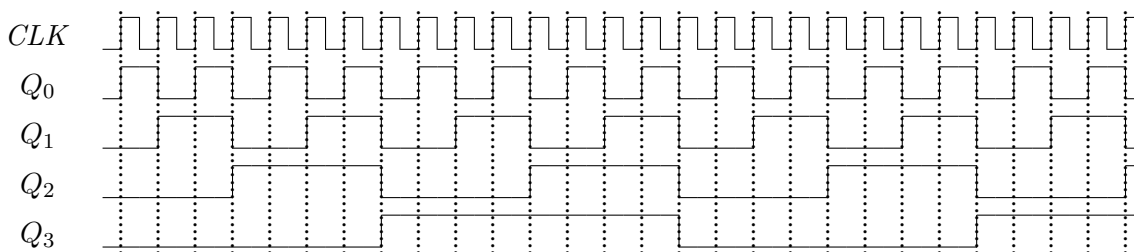
### 10.3 カウンタ

フリップフロップはいろいろな順序回路に応用できますが、その一つにカウンタと呼ばれる順序回路があります。カウンタは入力(クロック)の0/1の変化の繰り返し回数を数えて、その回数を2進表現で出力するものです。たとえば、次の論理回路は、 $CLK$  の立ち上がりの回数を数えて、4 bit の2進数  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  として出力します。



D-フリップフロップを使った4bit (非同期式) カウンタ

4 bit カウンタのタイミングチャートは次のようになります。



4 bit カウンタのタイミングチャート例

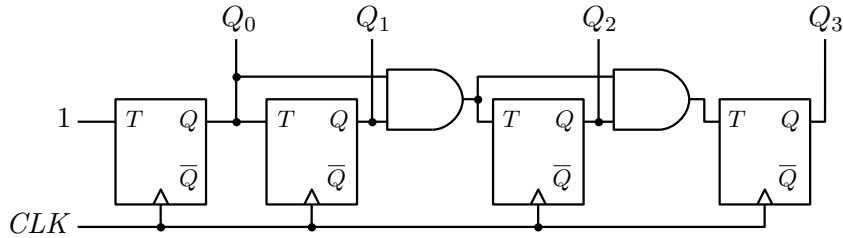
$CLK$  の立ち上がりをトリガとして、4 bit の出力  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  が、 $\dots \rightarrow 0000 \rightarrow 0001 \rightarrow 0010 \rightarrow 0011 \rightarrow \dots \rightarrow 1110 \rightarrow 1111 \rightarrow 0000 \rightarrow 0001 \rightarrow \dots$  と変化していることに注意してください。

このカウンタを構成している各 D-フリップフロップの入力  $D$  には、自分自身の出力  $\bar{Q}$  が接続されていますので、その D-フリップフロップがトリガされる度に、 $Q$  と  $\bar{Q}$  の値が反転しますが、その  $\bar{Q}$  の立ち上がり ( $Q$  の立ち下がり) が1bit 上位の D-フリップフロップをトリガしています。これにより、 $Q_0$  は  $CLK$  が2回立ち上がる毎に1回、 $Q_1$  は4回立ち上がる毎に1回、 $Q_2$  は8回立ち上がる毎に1回、 $Q_3$  は16回立ち上がる毎に1回立ち上がることになります。このような仕組みのカウンタを非同期式カウンタと呼びます。

メモ

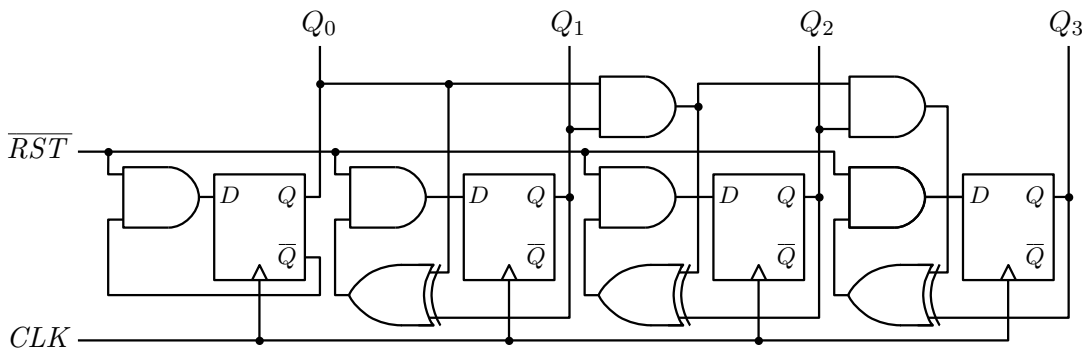
**同期式カウンタ** フリップフロップの数を増やせば、何 bit のカウンタでも作成することができますが、非同期式のカウンタでは、bit 数が多くなるにつれ、 $CLK$  の立ち上がりが起こってから、上位の bit の出力が変化するまでの時間的な遅れが大きくなってきます。このため、次のような論理

回路を構成して、 $CLK$  の立ち上がりで、各 bit の値の変化が (ほぼ) 同時に起こるようにしたカウンタとするのが普通です。このようなカウンタを同期式カウンタと呼びます。この論理回路では、T-フリップフロップを利用し、各 bit は、より下位の bit がすべて1のときだけ、次の  $CLK$  の立ち上がりで  $Q$  が反転するようにしています。 $CLK$  がすべてのフリップフロップを同時にトリガすることに注意してください。

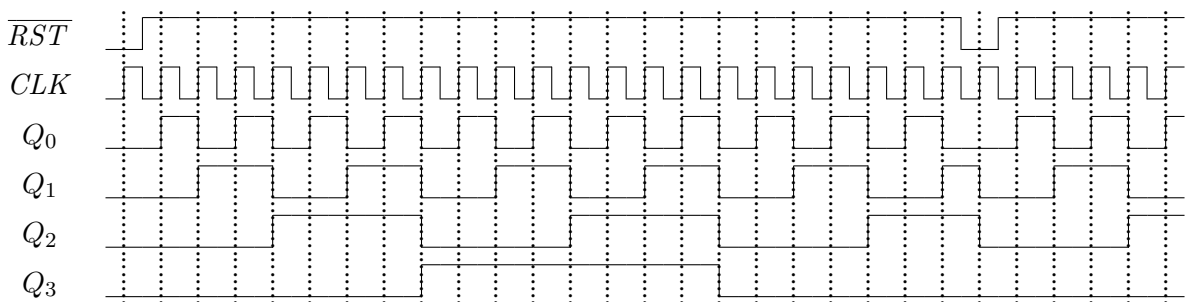


T-フリップフロップを使った4bit (同期式) カウンタ

リセット可能なカウンタ 上のカウンタ回路を利用すると、 $CLK$  の立ち上がりの回数を数えることはできますが、その出力  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  の初期状態を予測することはできません。それでも、一定の用途には有用ですが、好きなタイミングで、 $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  を 0000 に戻す (リセットする) 機能があると便利です。次の4 bit カウンタ回路は、入力  $\overline{RST}$  を 0 にした状態で  $CLK$  を立ち上げることにより、強制的に  $Q_3 Q_2 Q_1 Q_0$  を 0000 に戻すことができます。



D-フリップフロップを使ったリセット可能な4bit (同期式) カウンタ



リセット可能な4 bit カウンタのタイミングチャート例