

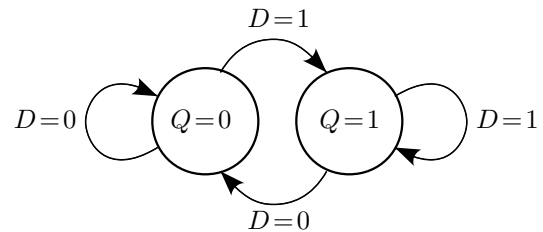
今回の内容

11.1 状態遷移図 11-1
 11.2 D-フリップフロップを使った順序回路の実現 11-2

11.1 状態遷移図

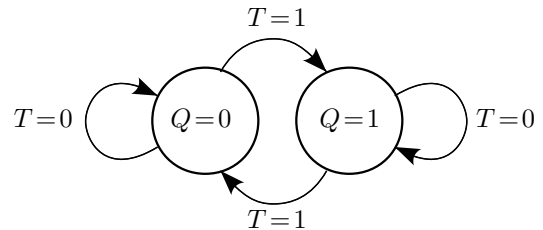
前回紹介した状態遷移表は、順序回路の内部状態の変化の規則を表現したのですが、この変化の規則を、以下の例のような状態遷移図と呼ばれる図でより視覚的に表現することもあります。状態遷移図は、その順序回路の取りうる状態を丸印などで表し、クロックの立ち上がりなどをきっかけに、入力の値(の組み合わせ)に応じて、内部状態がそこからどのように変化するかを矢印で表したものです。丸印には、それがどのような状態であるかが、各矢印には、その状態遷移が起こるための条件が記されます。下の JK-フリップフロップの状態遷移図の枝に記された条件に現れている * は、その値が任意である(0 でも 1 でもよい)ことを表します。

現在の状態		入力 <i>D</i>	次の状態	
<i>Q</i>	\bar{Q}		<i>Q</i>	\bar{Q}
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0



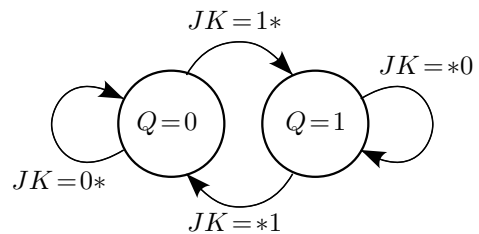
D-フリップフロップの状態遷移表と状態遷移図

現在の状態		入力 <i>T</i>	次の状態	
<i>Q</i>	\bar{Q}		<i>Q</i>	\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と状態遷移図

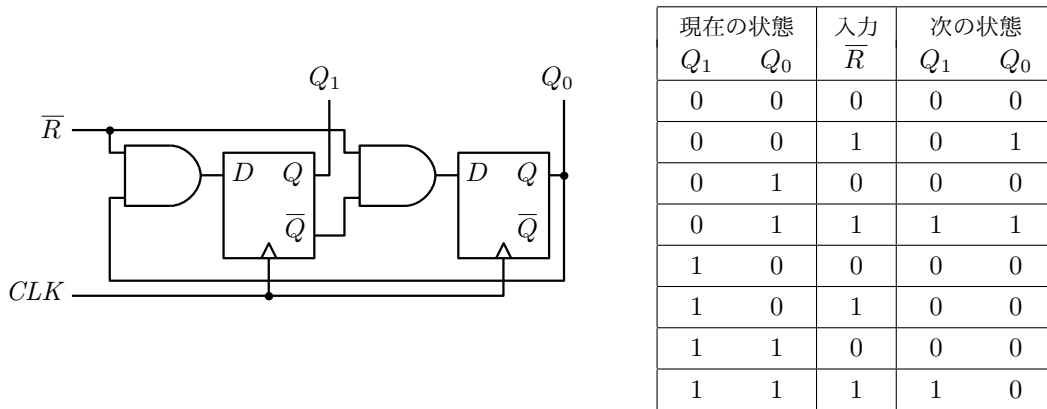
現在の状態		入力		次の状態	
<i>Q</i>	\bar{Q}	<i>J</i>	<i>K</i>	<i>Q</i>	\bar{Q}
0	1	0	0	0	1
0	1	0	1	0	1
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	0	1



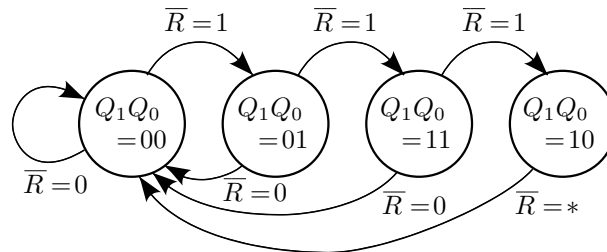
JK-フリップフロップの状態遷移表と状態遷移図

以上は 2 つの状態だけを持つ順序回路の例ですが、より多くの状態を持つ順序回路の状態遷移図

も同様なものとなります。次は、D-フリップフロップを2つ使用し、4通りの内部状態を持つ順序回路の状態遷移表と状態遷移図の例です。



4つの状態を持つ順序回路の例とその状態遷移表



この順序回路の状態遷移図

メモ

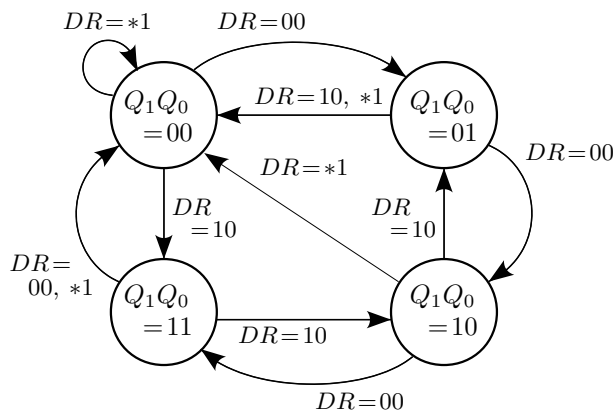
11.2 D-フリップフロップを使った順序回路の実現

n bit のビットパターン $Q_{n-1} \dots Q_2 Q_1 Q_0$ で識別することのできる 2^n 通りの内部状態と、 m 個の入力値 $X_{m-1}, \dots, X_2, X_1, X_0$ に関する状態遷移表が与えられた場合、その状態遷移表にしたがって動作する順序回路を次のような手順で作成することができます。

1. n 個の D-フリップフロップ $F_{n-1}, \dots, F_2, F_1, F_0$ を用意し、すべて共通のクロック信号 CLK でトリガするようにしておく。
2. 各 i ($i = 0, 1, 2, \dots, n-1$) について、現在の状態の $Q_{n-1}, \dots, Q_2, Q_1, Q_0$ と $X_{m-1}, \dots, X_2, X_1, X_0$ を入力とし、次の状態の Q_i を出力する組み合わせ論理回路 C_i を作成する。
3. D-フリップフロップ F_i の入力 D を D_i 、出力 Q を Q_i とするとき、組み合わせ回路 C_i の入力を $Q_{n-1}, \dots, Q_2, Q_1, Q_0, X_{m-1}, \dots, X_2, X_1, X_0$ に接続し、 C_i の出力を D_i に接続する。

順序回路の作成例 たとえば、4つの状態 $(Q_1, Q_0) = (0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)$ を持ち、次のような状態遷移表と状態遷移図をもつ順序回路を作成したいとします。

現在の状態		入力		次の状態	
Q_1	Q_0	D	R	Q_1	Q_0
0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	0	1	0
1	1	1	1	0	0



作成したい順序回路の状態遷移表と状態遷移図

この順序回路は2つの入力 D と R を持っています。 $R = 1$ ならば、次の状態は D の値に関わらず $(Q_1, Q_0) = (0, 0)$ です。一方、 $R = 0$ の場合、 $D = 0$ ならば、 (Q_1, Q_0) は、 $\dots \rightarrow (0, 0) \rightarrow (0, 1) \rightarrow (1, 0) \rightarrow (1, 1) \rightarrow (0, 0) \rightarrow (0, 1) \rightarrow \dots$ の順に、 $D = 1$ ならば、 (Q_1, Q_0) は、 $\dots \rightarrow (1, 1) \rightarrow (1, 0) \rightarrow (0, 1) \rightarrow (0, 0) \rightarrow (1, 1) \rightarrow (1, 0) \rightarrow \dots$ の順に遷移していきます。つまり、 $Q_1 Q_0$ を2桁の二進数とみなすと、 $R = 1$ は00へのリセットを意味し、 $R = 0$ のときは、 $D = 0$ でカウントアップ、 $D = 1$ でカウントダウンができる2 bit のカウンタとして動作します。

ここで先の手順にしたがって、組み合わせ回路 C_1 と C_0 のカルノー図を作成してみると、次のようになります。

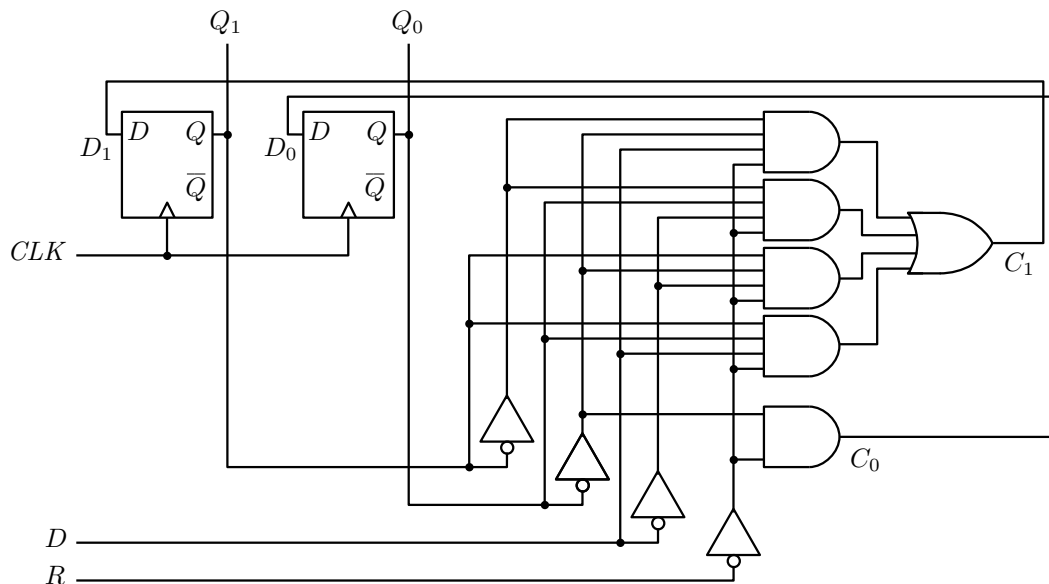
現在の状態 $Q_1 Q_0$	DR			
	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	1	0	0	0
11	0	0	0	1
10	1	0	0	0

C_1 (次の状態の Q_1) のカルノー図

現在の状態 $Q_1 Q_0$	DR			
	00	01	11	10
00	1	0	0	1
01	0	0	0	0
11	0	0	0	0
10	1	0	0	1

C_0 (次の状態の Q_0) のカルノー図

それぞれ、 $C_1 = \overline{Q_1} \cdot \overline{Q_0} \cdot D \cdot \overline{R} + \overline{Q_1} \cdot Q_0 \cdot \overline{D} \cdot \overline{R} + Q_1 \cdot Q_0 \cdot D \cdot \overline{R} + Q_1 \cdot \overline{Q_0} \cdot \overline{D} \cdot \overline{R}$ と $C_2 = \overline{Q_0} \cdot \overline{R}$ であることがわかりますので、結局、次のような論理回路で実現できます。



完成した順序回路

この論理回路では、2つの D-フリップフロップの出力 \bar{Q} を使用していませんが、これらを利用すれば、組み合わせ回路 C_1 や C_0 で使用されている NOT ゲートを 2つ節約することもできます。



他のフリップフロップを使った順序回路 D-フリップフロップの代わりに、T-フリップフロップを使って等価な順序回路を作成することもできます。 F_i が T-フリップフロップの場合は、その入力 T を生成する組み合わせ回路 C_i を考えるときに、その出力が次の状態での Q_i となるようにするのではなく、現在の Q_i と次の Q_i との排他的論理和となるようにします¹。このように作成した組み合わせ回路 C_i の出力を、T-フリップフロップ F_i の入力 T に接続します。先ほどの例の場合、T-フリップフロップ向けの C_1 と C_0 のカルノー図は、それぞれ次のようなものとなります。

現在の状態 $Q_1 Q_0$	DR			
	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	1	0	0	0
11	1	1	1	0
10	0	1	1	1

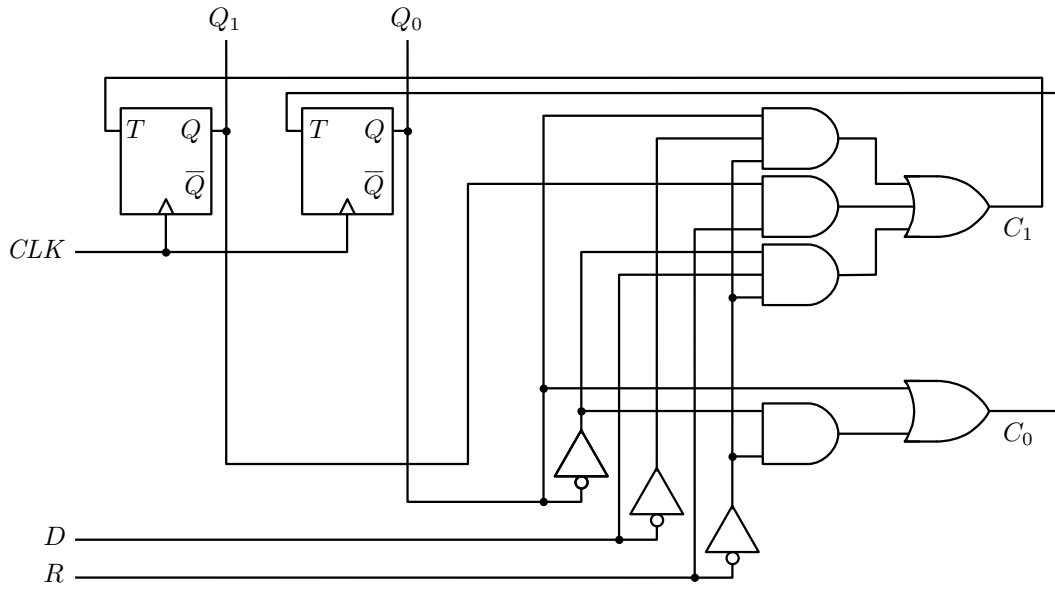
T-FF 向け C_1 のカルノー図

現在の状態 $Q_1 Q_0$	DR			
	00	01	11	10
00	1	0	0	1
01	1	1	1	1
11	1	1	1	1
10	1	0	0	1

T-FF 向け C_0 のカルノー図

¹つまり C_i の出力は、次のトリガで F_i の出力を反転すべきときは 1 に、出力を保持すべきときは 0 となります。

つまり、2つとも T-フリップフロップを使用した場合、等価な順序回路を次のように実現できます。



T-フリップフロップで作成した順序回路

また、 F_i を JK-フリップフロップとする場合は、次のいずれかの方法をとることができます。どちらの方法でもかまいません。

- (a) D-フリップフロップ向けの C_i の出力を、 F_i の入力 J に接続し、その否定をとったもの (NOT ゲートを介したもの) を入力 K に接続する。
- (b) T-フリップフロップ向けの C_i の出力を、 F_i の入力 J と K の両方に接続する。