【2】

7 章演習問題【1】における設計手順の内，(iii) までは同じである．従って，演習問題【1】の回答の (iii) に書かれた 0°～3° の操作を実行するために必要な状態について考える．

(iv) =====================================

ムーア型の順序回路では，入力の値を次状態の決定にしか利用できないため，ミーリ型の順序回路の状態 st-2 において行ったように，出力（reset, enable, S_1, S_0）の値を入力（q_0 および zero）の値で決定できない．そのため，入力の値によって出力が変化する場合，出力の値毎に別の状態を設ける必要がある．そこで，次のような状態を考える．

状態 st-0： done = 0 を出力し，他の出力は 0 でも 1 でもよい（don't care である）．
start = 1 であれば，次は状態 st-1 に行き，
start = 0 であれば，次は状態 st-0 に戻る．

状態 st-1： シフトレジスタにデータを入力するため，S_1 = 0, S_0 = 1 を出力する．また，アップカウンタを reset するため，reset = 1 を出力する．enable は don't care で，done は 0 である．
次は状態 st-2 に行く．

状態 st-2： シフトレジスタもアップカウンタも変化しないよう，S_1 = 0, S_0 = 0, reset = 0, enable = 0 を出力し，done も 0 を出力する．
q_0 = 1 ならば，次は状態 st-3 に行き，
q_0 = 0 ならば，次は状態 st-4 に行く．

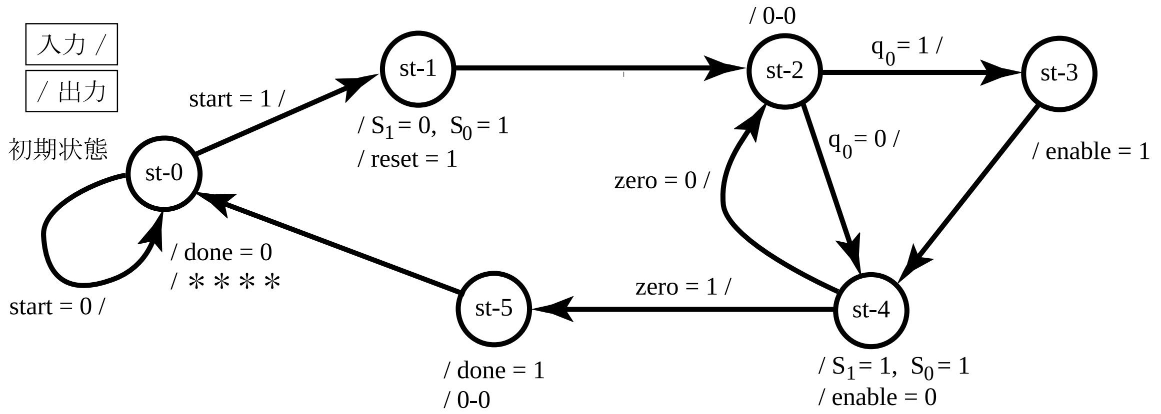
状態 st-3： q_0 = 1 であるので，アップカウンタをカウントアップするため，reset = 0, enable = 1 を出力する．他の出力は 0 のままである．
次は状態 st-4 に行く．

状態 st-4： q_0 = 0 であるから，アップカウンタをカウントアップする必要はない．シフトレジスタを右に 1 ビットシフトするため，S_1 = 1, S_0 = 1 を出力し，他の出力 reset, enable, done は 0 である．
zero = 1 であれば，もう数えるべき 1 はないので，次は状態 st-5 に行く．
zero = 0 であれば，次は状態 st-2 に戻る．

状態 st-5： 入力中の 1 の個数を調べ終わったので，done = 1 を出力し，他の出力は全て 0 にする．
次は状態 st-0 に戻る．

この手順から分かるように，ムーア型の順序回路では，ミーリ型では 1 クロックで行われていた操作 2° が複数クロックで実行されることになる．

このような動作をする順序回路の状態遷移図は下図のようになる．ここで，出力は入力に依存しないので，各状態の下に書いてあり，次状態が入力によって変わらない場合には，矢印に入力条件を書いていない．また，/0-0 は全ての出力を 0 にすることを，/**** は done 以外の全ての出力が don’t care であることを示し，書かれていない出力はその前の時刻の値を取るものとする．



(v) ====================================

そこで，状態変数を導入し，状態割当を行い，状態遷移表を作成する．

5 つの状態があるので，x_1，x_2，x_3 なる状態変数を用意し，下記の表の左端にあるように状態割当を行うと，下の状態遷移表が書ける．ただし，入力 start に関する場合分けを省いているが，下記の表は start = 1 の場合である．start = 0 の場合，現状態が st-0 では，次状態が st-0（$x_1' = x_2' = x_3' = 0$）となり，st-0 以外では，次状態は don't care となる．

現状態:		次状態: x_1', x_2', x_3'							
x_1, x_2, x_3	入力	zero=0, q_0=0		zero=0, q_0=1		zero=1, q_0=1		zero=1, q_0=0	
st-0	0, 0, 0	st-1	0, 0, 1	st-1	0, 0, 1	st-1	0, 0, 1	st-1	0, 0, 1
st-1	0, 0, 1	st-2	0, 1, 0	st-2	0, 1, 0	st-2	0, 1, 0	st-2	0, 1, 0
st-2	0, 1, 0	st-4	1, 0, 0	st-3	0, 1, 1	st-3	0, 1, 1	st-4	1, 0, 0
st-3	0, 1, 1	st-4	1, 0, 0	st-4	1, 0, 0	st-4	1, 0, 0	st-4	1, 0, 0
st-4	1, 0, 0	st-2	0, 1, 0	st-2	0, 1, 0	st-5	1, 0, 1	st-5	1, 0, 1
st-5	1, 0, 1	st-0	0, 0, 0	st-0	0, 0, 0	st-0	0, 0, 0	st-0	0, 0, 0

一方，出力表は下記のようになる．ムーア型回路の場合には，出力は入力に依存せず，現状態のみの関数となるので，入力の値による場合分けはしていない．

現状態:		出力				
	x_1, x_2, x_3	done	S_1	S_0	Reset	Enable
st-0	0, 0, 0	0	*	*	*	*
st-1	0, 0, 1	0	0	1	1	*
st-2	0, 1, 0	0	0	0	0	0
st-3	0, 1, 1	0	0	0	0	1
st-4	1, 0, 0	0	1	1	0	0
st-5	1, 0, 1	1	0	0	0	0

(vi) ======================================

x_1', x_2', x_3', done, S_1, S_0, reset, enable の最簡な論理式を求める.

x_1' および x_2' は，下図のようなカルノー図となる.

x_1'			zero	
		q_0		
x_1, x_2, x_3	0, 0	0, 1	1, 1	1, 0
0, 0, 0				
0, 0, 1				
0, 1, 1	1	1	1	1
0, 1, 0	1			1
1, 1, 0	*	*	*	*
1, 1, 1	*	*	*	*
1, 0, 1				
1, 0, 0			1	1

x_2'			zero	
		q_0		
x_1, x_2, x_3	0, 0	0, 1	1, 1	1, 0
0, 0, 0				
0, 0, 1	1	1	1	1
0, 1, 1				
0, 1, 0		1	1	
1, 1, 0	*	*	*	*
1, 1, 1	*	*	*	*
1, 0, 1				
1, 0, 0	1	1		

従って，次式を得る.

$$x_1' = x_2 \cdot x_3 + x_2 \cdot \overline{q_0} + x_1 \cdot \overline{x_3} \cdot \mathrm{zero}$$

$$x_2' = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot x_3 + x_2 \cdot \overline{x_3} \cdot q_0 + x_1 \cdot \overline{x_3} \cdot \overline{\mathrm{zero}}$$

x_3' は，現状態が (x_1, x_2, x_3) = (0, 0, 0) の場合に，start の値によって次状態の値が変わる．従って，start の値を書き込むと，下のようなカルノー図を得る.

x_3'	start = 1				start = 0			
			zero					
		q_0				q_0		
x_1, x_2, x_3	0, 0	0, 1	1, 1	1, 0	1, 0	1, 1	0, 1	0, 0
0, 0, 0	1	1	1	1				
0, 0, 1					*	*	*	*
0, 1, 1					*	*	*	*
0, 1, 0		1	1		*	*	*	*
1, 1, 0	*	*	*	*	*	*	*	*
1, 1, 1	*	*	*	*	*	*	*	*
1, 0, 1					*	*	*	*
1, 0, 0			1	1	*	*	*	*

従って，次式を得る.

$$x_3' = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} \cdot \overline{x_3} \cdot \mathrm{start} + x_2 \cdot \overline{x_3} \cdot q_0 + x_1 \cdot \overline{x_3} \cdot \mathrm{zero}$$

done は，上の出力表から分かるように，状態 st-5，すなわち $(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 1)$ の場合に 1 にすればよく，$(x_1, x_2, x_3) = (1, 1, 1)$ は don’t care であるから，次式で書ける．

$$\mathrm{done} = x_1 \cdot x_3$$

S_1 および S_0 は，下図のようなカルノー図となる．

S_1 (x_1, x_2 \ x_3)	0	1
0, 0	∗	
0, 1		
1, 1	∗	∗
1, 0	1	

S_0 (x_1, x_2 \ x_3)	0	1
0, 0	∗	1
0, 1		
1, 1	∗	∗
1, 0	1	

従って，次式を得る．

$$S_1 = x_1 \cdot \overline{x_3}$$

$$S_0 = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2} + x_1 \cdot \overline{x_3}$$

reset および enable は，下図のようなカルノー図となる．

reset (x_1, x_2 \ x_3)	0	1
0, 0	∗	1
0, 1		
1, 1	∗	∗
1, 0		

enable (x_1, x_2 \ x_3)	0	1
0, 0	∗	∗
0, 1		1
1, 1	∗	∗
1, 0		

従って，次式を得る．

$$\mathrm{reset} = \overline{x_1} \cdot \overline{x_2}$$

$$\mathrm{enable} = \overline{x_1} \cdot x_3$$

(vii) ======================================

以上の式において共通項の共有化を図ると，次式を得る．

$\mathrm{reset} = \overline{x_1}\cdot\overline{x_2}$, $\mathrm{enable} = \overline{x_1}\cdot x_3$

$S_1 = x_1\cdot\overline{x_3}$, $S_0 = \overline{x_1}\cdot\overline{x_2} + x_1\cdot\overline{x_3} = \mathrm{reset} + S_1$

$C1 = S_1\cdot \mathrm{zero}$, $C2 = x_2\cdot\overline{x_3}\cdot q_0$

$$x_1' = x_2\cdot x_3 + x_2\cdot\overline{q_0} + x_1\cdot\overline{x_3}\cdot \mathrm{zero} = x_2\cdot x_3 + x_2\cdot\overline{q_0} + C1$$

$$x_2' = \overline{x_1}\cdot\overline{x_2}\cdot x_3 + x_2\cdot\overline{x_3}\cdot q_0 + x_1\cdot\overline{x_3}\cdot\overline{\mathrm{zero}} = \mathrm{reset}\cdot x_3 + C2 + S_1\cdot\overline{\mathrm{zero}}$$

$$x_3' = \overline{x_1}\cdot\overline{x_2}\cdot\overline{x_3}\cdot \mathrm{start} + x_2\cdot\overline{x_3}\cdot q_0 + x_1\cdot\overline{x_3}\cdot \mathrm{zero} = \mathrm{reset}\cdot\overline{x_3}\cdot \mathrm{start} + C2 + C1$$

$$\mathrm{done} = x_1\cdot x_3$$

これより，下記のようなデータパスと制御回路が合成できる．ここで，制御回路の出力 reset, enable, S_1, S_0, done は，状態変数の値 x_1，x_2，x_3 だけで決定されているから，この回路はムーア型の順序回路である．