Diseño de Circuitos Secuenciales

Circuitos Digitales EC1723

Universidad Simón Bolívar
Departamento de Electrónica y Circuitos
Prof. Juan. Claudio Regidor

Diseño de circuitos secuenciales (1)

- A partir del enunciado del problema, construir el diagrama de estados y/o la tabla de estados y salidas.
- Determinar las variables de estado (salidas de flip-flops) y asignar a cada estado una combinación de valores de estas variables.
- Sustituir los valores numéricos en la tabla de estados para obtener una tabla de transiciones y salidas

Diseño de circuitos secuenciales (2)

- Seleccionar el tipo de flip-flop a emplear (los J-K conducen siempre a las expresiones más sencillas).
- Construir las tablas de excitación para cada flip-flop, y obtener a partir de ellas los mapas de excitación para minimización.
- Obtener las ecuaciones de excitación.
- Construir los mapas de Karnaugh para las salidas.
- Obtener las ecuaciones de salida.

Tablas de excitación (1)

S	R	$Q_{(n+1)}$
0	0	$Q_{(n)}$
0	1	0
1	0	1
1	1	Prohibido

$\Longrightarrow$

$Q_{(n)}$	$Q_{(n+1)}$	S	R
0	0	0	X
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	0

J	K	$Q_{(n+1)}$
0	0	$Q_{(n)}$
0	1	0
1	0	1
1	1	$Q'_{(n)}$

$\Longrightarrow$

$Q_{(n)}$	$Q_{(n+1)}$	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Tablas de excitación (2)

D	$Q_{(n+1)}$
0	0
1	1

⇒

$Q_{(n)}$	$Q_{(n+1)}$	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

T	$Q_{(n+1)}$
0	$Q_{(n)}$
1	$Q'_{(n)}$

⇒

$Q_{(n)}$	$Q_{(n+1)}$	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Contador binario (1)

- Diseñar un contador binario de 0 a 7 y retorno a 0.
- La salida de la máquina es el estado actual, el cual representa el conteo; se trata de una máquina tipo Moore. No hay entradas.
- Escribimos la tabla de estados:

Edo. actual	Edo. futuro
0	1
1	2
2	3
3	4
4	5
5	6
6	7
7	0

Contador binario (2)

- Para representar 8 estados necesitamos 3 flip-flops, cuyas salidas (variables de estado) llamaremos Q2, Q1 y Q0, y representan el valor numérico en binario.
- Generamos la tabla de transiciones:

Edo. actual			Edo. futuro		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	1
0	1	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0

Contador binario (3)

- Usaremos flip-flops tipo T para el diseño. Cada entrada Tj va a ser una función de las variables de estado, y debemos hallar la tabla de verdad (o mapa de Karnaugh) para cada excitación.
- Según la tabla de excitación del flip-flop T, la función T requiere unos para las transiciones 0–>1 y 1–>0:

$Q_{(n)}$	$Q_{(n+1)}$	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Contador binario (4)

Edo. actual			Edo. futuro			Excitación		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	T2	T1	T0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1	1	1

Contador binario (5)

- A partir de la tabla de excitación, construimos los mapas de Karnaugh para T2, T1 y T0:

Q0 \ Q2 Q1	00	01	11	10
0				
1		1	1	

$T2 = Q1 \cdot Q0$

Q0 \ Q2 Q1	00	01	11	10
0				
1	1	1	1	1

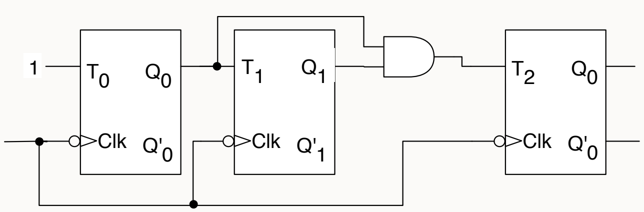
$T1 = Q0$

Q0 \ Q2 Q1	00	01	11	10
0	1	1	1	1
1	1	1	1	1

$T0 = 1$

Contador binario (6)

- El circuito resultante:



Contador *up-down'* (1)

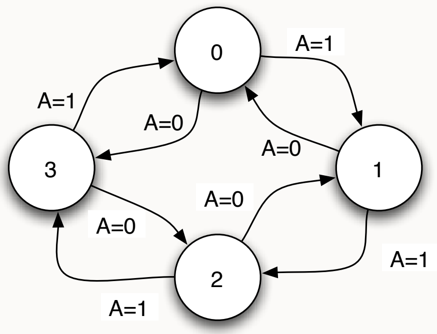
- Diseñar un contador que siga la secuencia 0-1-2-3-0... cuando la entrada A = 1, y la sec. 3-2-1-0-3… cuando A = 0.

Edo. actual	Edo. futuro A=0	Edo. futuro A=1
0	3	1
1	0	2
2	1	3
3	2	0

Edo. actual		Edo. futuro			
		A=0		A=1	
Q1	Q0	Q1	Q0	Q1	Q0
0	0	1	1	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	1	1	1
1	1	1	0	0	0

Contador *up-down′* (2)

- El diagrama de estados es una representación gráfica de la información contenida en la tabla de estados.



Contador *up-down′* (3)

- Haremos el diseño con flip-flops J-K. Según la tabla de excitación del flip-flop J-K, la función J requiere unos para las transiciones 0–>1 y son *don't cares* las trans. 1–>0 y 1–>1; la función para K requiere unos para las transiciones 1–>0 y son *don't cares* las trans. 0–>0 y 0–>1:

$Q_{(n)}$	$Q_{(n+1)}$	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Contador *up-down′* (4)

Edo. actual		Edo. futuro				Excitación							
		A=0		A=1		A=0				A=1			
Q1	Q0	Q1	Q0	Q1	Q0	J1	K1	J0	K0	J1	K1	J0	K0
0	0	1	1	0	1	1	X	1	X	0	X	1	X
0	1	0	0	1	0	0	X	X	1	1	X	X	1
1	0	0	1	1	1	X	1	1	X	X	0	1	X
1	1	1	0	0	0	X	0	X	1	X	1	X	1

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	1		X	X
1		1	X	X

J1=Q0′·A′+Q0·A

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	X	X		1
1	X	X	1	

K1=Q0′·A′+Q0·A

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	1	X	X	1
1	1	X	X	1

J0 = 1

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	X	1	1	X
1	X	1	1	X

K0 = 1

Mapas de transición

- Podemos trasladar las transiciones a un mapa de Karnaugh usando la clave:

Transición	$Q_{(n)}$	$Q_{(n+1)}$
0	0	0
α	0	1
β	1	0
1	1	1

Mapas de transición

- A partir del mapa pueden obtenerse las funciones S, R, J, K, D o T, según convenga, siguiendo las reglas:
  - Para S, las transiciones α son unos y las tr. **1** son *dc*.
  - Para R, tomar como unos las tr. β y como *dc* las tr. **0**.
  - Para J, tomar como unos las tr. α y como *dc* las β y **1**.
  - Para K, tomar como unos las tr. β y como *dc* las α y **0**.
  - Para D, tomar como unos las tr. α y **1**. No hay *dc*.
  - Para T, tomar como unos las tr. α y β. No hay *dc*.

Contador *up-down'*

Edo. actual		Edo. futuro				Transición			
		A=0		A=1		A=0		A=1	
Q1	Q0	Q1	Q0	Q1	Q0	FF1	FF0	FF1	FF0
0	0	1	1	0	1	α	α	0	α
0	1	0	0	1	0	0	β	α	β
1	0	0	1	1	1	β	α	1	α
1	1	1	0	0	0	1	β	β	β

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	α	0	1	β
1	0	α	β	1

FF1

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	α	β	β	α
1	α	β	β	α

FF0

Mapas de transición

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	α	0	1	β
1	0	α	β	1

FF1

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	α	β	β	α
1	α	β	β	α

FF0

S1 = A'·Q1'·Q0' + A·Q1'·Q0

R1 = A'·Q1·Q0' + A·Q1·Q0

J1 = A'·Q0' + A·Q0

K1 = A'·Q0' + A·Q0

D1 = A'·Q1'·Q0' + A'·Q1·Q0 + A·Q1'·Q0 + A·Q1·Q0'

T1 = A'·Q0' + A·Q0

S0 = Q0'

R0 = Q0

J0 = 1

K0 = 1

D0 = Q0'

T0 = 1

Ejercicio: contador (1)

- Se desea diseñar un contador que siga la secuencia binaria

  2, 3, 10, 11, 14, 7, 2, 3…

  cuando su entrada X sea igual a 0, y la secuencia

  5, 12, 9, 8, 1, 0, 5, 12…

  cuando X sea igual a 1. Realizar el circuito usando un número mínimo de flip-flops tipo J-K.

Ejercicio: contador (2)

	X = 0			
	b3	b2	b1	b0
2	0	0	1	0
3	0	0	1	1
10	1	0	1	0
11	1	0	1	1
14	1	1	1	0
7	0	1	1	1

	X = 1			
	b3	b2	b1	b0
5	0	1	0	1
12	1	1	0	0
9	1	0	0	1
8	1	0	0	0
1	0	0	0	1
0	0	0	0	0

- Por inspección puede verse que b1 = X′. Los otros tres bits pueden obtenerse mediante un contador up/down que siga la secuencia 0, 1, 4, 5, 6, 3 cuando X = 0, y la secuencia 3, 6, 5, 4, 1, 0 cuando X = 1

Ejercicio: contador (3)

Edo. actual	Edo. futuro		Transiciones	
	X = 0	X = 1	X = 0	X = 1
Q2 Q1 Q0	Q2 Q1 Q0	Q2 Q1 Q0	f2 f1 f0	f2 f1 f0
000	001	011	00α	0αα
001	100	000	α0β	00β
010	xxx	xxx	xxx	xxx
011	000	110	0ββ	α1β
100	101	001	10α	β0α
101	110	100	1αβ	10β
110	011	101	β1α	1βα
111	xxx	xxx	xxx	xxx

b3 = Q2
b2 = Q1
b1 = X′
b0 = Q0

Ejercicio: contador (4)

Q1 Q0 \ X Q2	00	01	11	10
00	0	1	β	0
01	α	1	1	0
11	0	x	x	α
10	x	β	1	x

Q1 Q0 \ X Q2	00	01	11	10
00	0	0	0	α
01	0	α	0	0
11	β	x	x	1
10	x	1	β	x

Q1 Q0 \ X Q2	00	01	11	10
00	α	α	α	α
01	β	β	β	β
11	β	x	x	β
10	x	α	α	x

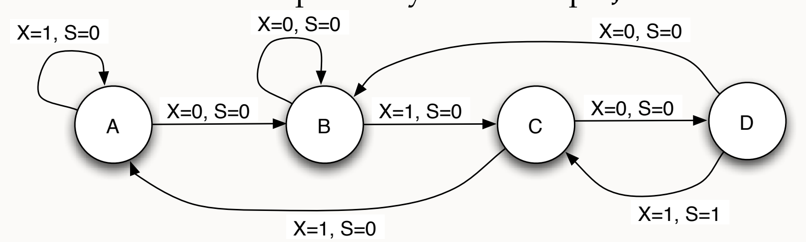
```
J2 = X'.Q1'.Q0 + X.Q1

K2 = X'.Q1 + X.Q1'.Q0'
```

```
J1 = X'.Q2.Q0 + X.Q2'.Q0'

K1 = X'.Q2' + X.Q0'
K1 = X'.Q2' + X.Q2
K1 = X'.Q0 + X.Q0'
K1 = X'.Q0 + X.Q2
```

```
J0 = 1

K0 = 1
```


Ejercicio: Detector de secuencia (1)

- Diseñar un circuito cuya salida *S* tome el valor 1 cuando por la entrada *X* se ha recibido la secuencia 0101. *S* debe ser tipo Mealy. Usar f-f tipo J-K.



Edo. A: Recibió ...1

Edo. B: Recibió 0

Edo. C: Recibió 01

Edo. D: Recibió 010

Ejercicio: Detector de secuencia (2)

- Tablas de estados y de transición:

Est. presente		Est. futuro, salida		Transiciones, salida		
	Q1 Q0	X=0	X=1	Q1 Q0	X=0	X=1
A	0 0	B, 0	A, 0	0 0	0 1, 0	0 0, 0
B	0 1	B, 0	C, 0	0 1	0 1, 0	1 0, 0
C	1 0	D, 0	A, 0	1 0	1 1, 0	0 0, 0
D	1 1	B, 0	C, 1	1 1	0 1, 0	1 0, 1

Ejercicio: Detector de secuencia (3)

- Mapas de transición:

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	0	0	β	1
1	0	α	1	β

$J1 = X \cdot Q0$
$K1 = X \oplus Q0$

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0	α	1	1	α
1	0	β	β	0

$J0 = X'$
$K0 = X$

- Mapa de salida:

A \ Q1 Q0	00	01	11	10
0				
1			1	

FF1

$S = X \cdot Q1 \cdot Q0$