



Circuitos sequenciais síncronos

Sistemas Digitais 2015/2016

Pedro Salgueiro
pds@di.uevora.pt



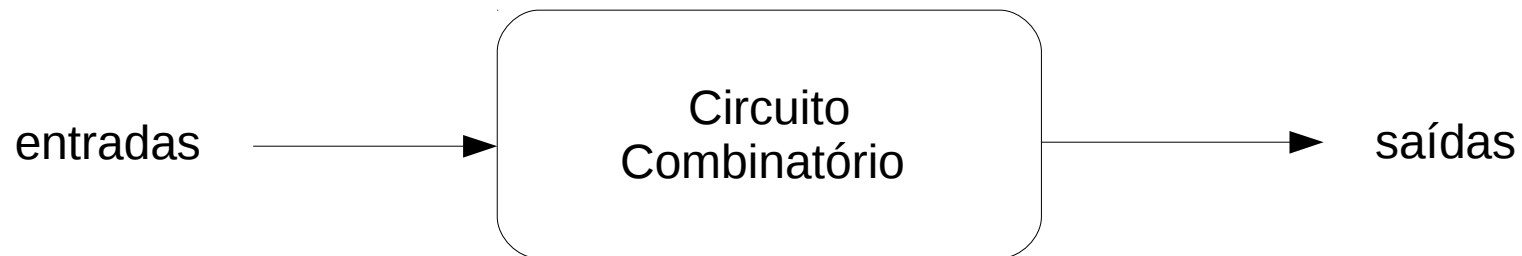
Sumário

- Circuito sequencial
- Modelo ASM
- Síntese de CSS
 - Exemplo 1
 - Exemplo 2
 - Exemplo 3
 - Exemplo 4
- Análise de CSS
 - Exemplo



Circuito combinatório

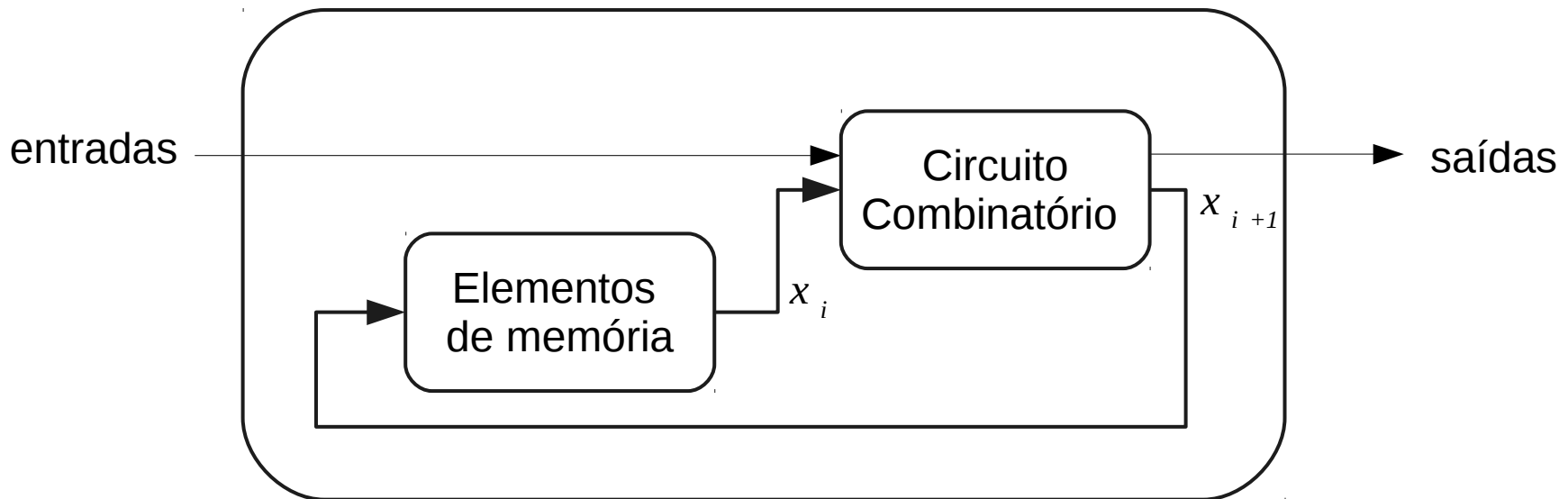
- As saídas são determinadas em função
 - Dos valores lógicos presentes nas entradas





Circuito sequencial

- As saídas são determinadas em função
 - Dos valores lógicos presentes nas entradas
 - Das condições anteriores a que o circuito esteve sujeito (estados anteriores)
- Pressupõe a existência de memória
 - Circuitos biestáveis / fli-flops



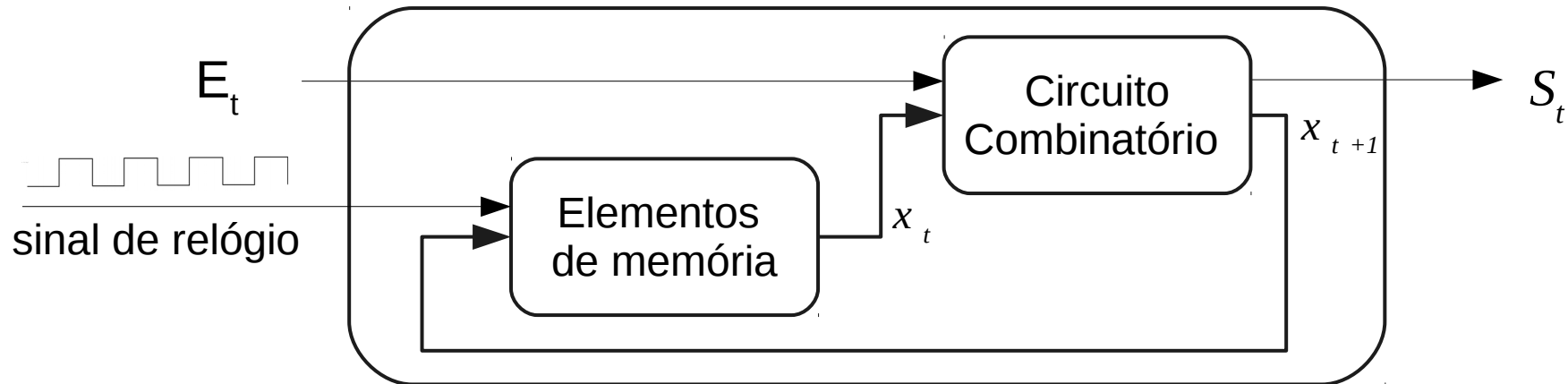


Conceitos

- Estado de um circuito sequencial
 - Configuração (estado) dos flip-flops que compõem o circuito
 - Com n flip-flops podem existir 2^n estados distintos
- Registo
 - Conjunto de flip-flops do circuito sequencial
- Circuito assíncrono
 - As mudanças de estado são causadas pelas mudanças de valores apresentadas às entradas
- Circuito síncrono
 - As mudanças de estado são definidas por um sinal de referência – o **sinal de relógio**



Circuito sequencial síncrono



- $E_t \rightarrow$ vector de entradas
- $S_t \rightarrow$ vector de saídas
- $X_t \rightarrow$ estado actual
 - As componentes são as variáveis de estado
- $X_{t+1} \rightarrow$ estado seguinte
- $f \rightarrow$ função de saída $S_t = f(X_t, E_t)$
- $g \rightarrow$ função estado seguinte $X_{t+1} = g(X_t, E_t)$



Modelo ASM

- Diagrama de estados
 - Representação gráfica das transições de estado de um circuito sequencial
- Modelo ASM
 - Algorithmic State Machine
 - Formalismos para representar um diagrama de estados
 - Elementos gráficos
 - Estado
 - Transição
 - Decisão
 - Saída condicional



Elementos gráficos

– Caixa de **Estado**

- Representado por rectângulo
- Informação
 - **Mnemónica** – representada à esquerda do rectângulo
 - **Codificação** – representada na parte superior do rectângulo
 - **Saídas activas** – inscritas no interior do rectângulo

– **Transição** entre estados

- Representada por uma **seta**
- Liga o estado actual ao seguinte

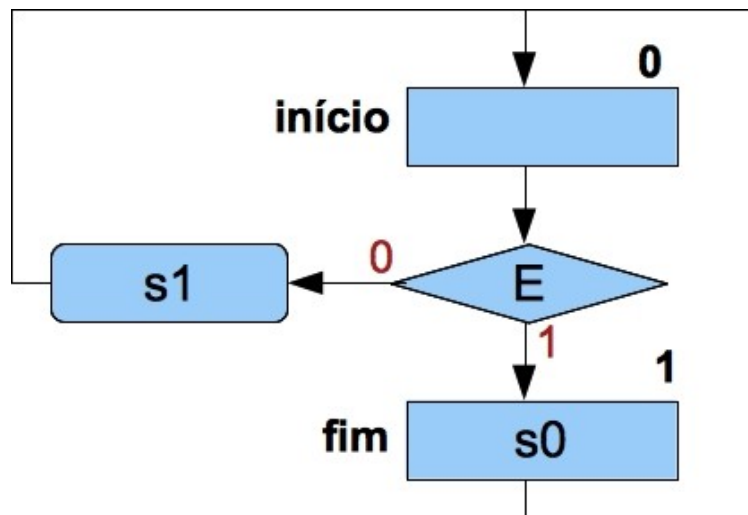
– Caixa de **Decisão**

- Representada por um **losango**
- Avalia uma expressão booleana das entradas para escolha do estado seguinte



Elementos gráficos

- Caixa de **Saída Condicional**
 - Representado por **retângulo arredondado**
 - Especifica as saídas condicionadas pelas entradas. São colocadas após as caixas de decisão
- Exemplo



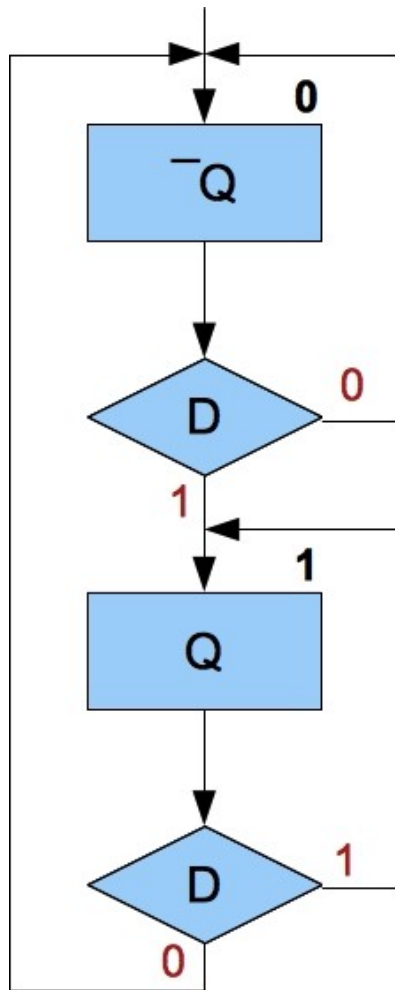


Codificação dos estados

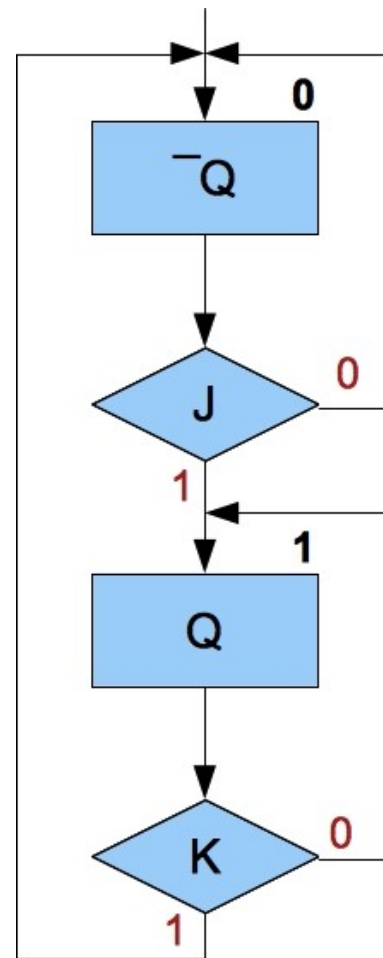
- N° de bits
 - Depende do n° de estados total do sistema
 - Cada bit traduz o estado de um flip-flop
- Código
 - É normal seguir o CBN
 - Se existir exigência de contiguidade usa-se o código de Gray

Codificação dos estados

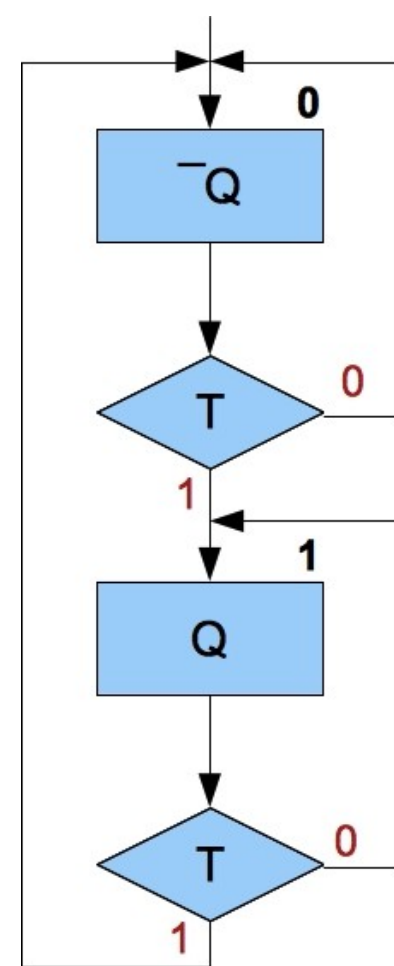
Flip-Flop D



Flip-Flop JK



Flip-Flop T





Síntese de circuito

1. Desenhar o diagrama de estados
2. Codificar os estados
3. Obter a tabela de transições e de saídas
4. Escolher flip-flops
5. Obter as equações das entradas dos flip-flops e das saídas
6. Desenhar o logigrama



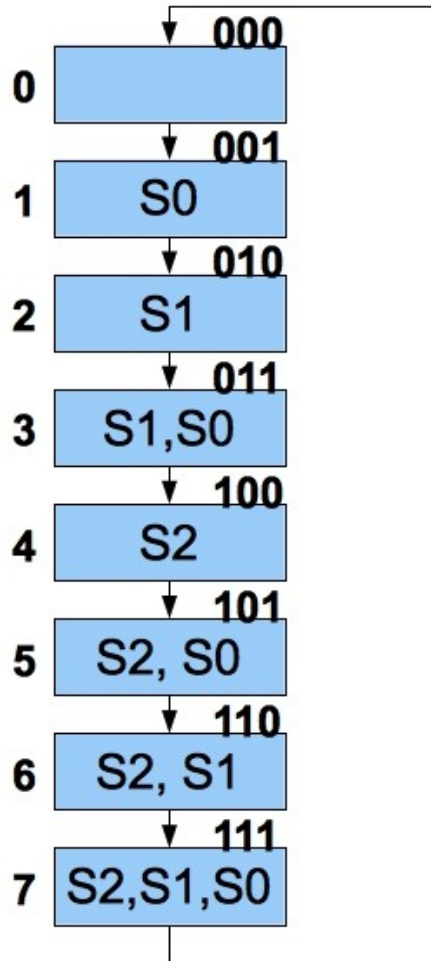
Exemplo 1

Pretende-se projectar um circuito que, ao longo de sucessivos impulsos de relógio apresente nas saídas a sequência natural do código binário de 0 a 7

- Entradas :0
- Saídas: 3 (S0, S1 e S2)
 - Para codificar o número binário de 0 a 7
- Estados: $2^3 = 8$
 - Podem ser identificados com as saídas através da adequada atribuição de códigos aos estados



Passos 1, 2 e 3



Q_t			Q_{t+1}			S_t		
x2	x1	x0	x2	x1	x0	s2	s1	s0
0	0	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	0
1	0	1	1	1	0	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1	1

		x_1x_0			
		00	01	11	10
x_2	0	0	1	3	2
	1	4	5	7	6



Flip-flops D

- Tabela de excitação

Q^*	Q	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

- Equação das entradas dos flip-flops

- $D2 = x2 \oplus (x1 \ x0)$
- $D1 = x1 \oplus x0$
- $D0 = \overline{x0}$

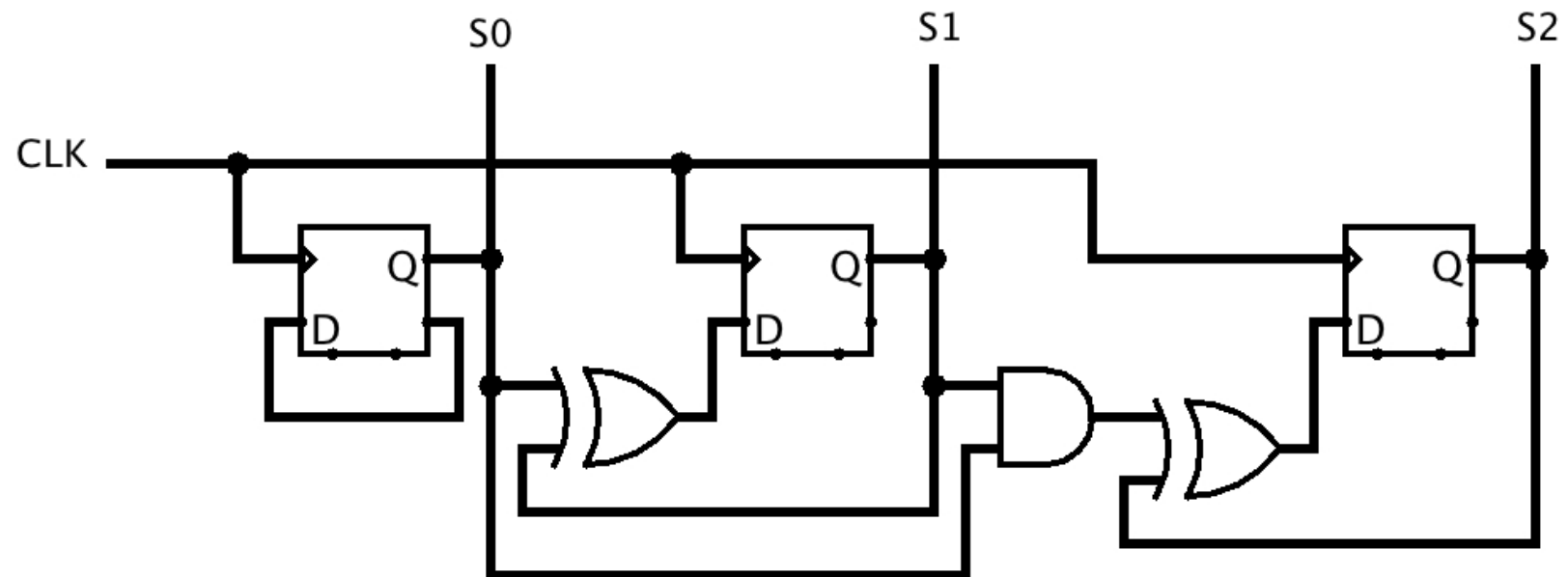
		$x1x0$			
		00	01	11	10
D2	$x2$	0	0	1	0
	1	1	1	0	1

		$x1x0$			
		00	01	11	10
D1	$x2$	0	1	0	1
	1	0	1	0	1

		$x1x0$			
		00	01	11	10
D0	$x2$	0	1	0	1
	1	1	0	0	1



Logigrama





Flip-flops JK

– Tabela de excitação

Q*	Q	J	K
0	0	0	-
0	1	1	-
1	0	-	1
1	1	-	0

– Equação das entradas dos FF

- $J2 = K2 = x1 \ x0$
- $J1 = K1 = x0$
- $J0 = K0 = 1$

2

		x1x0			
		00	01	11	10
J	x2	0	0	1	0
	1	-	-	-	-
K	0	-	-	-	-
	1	0	0	1	0

1

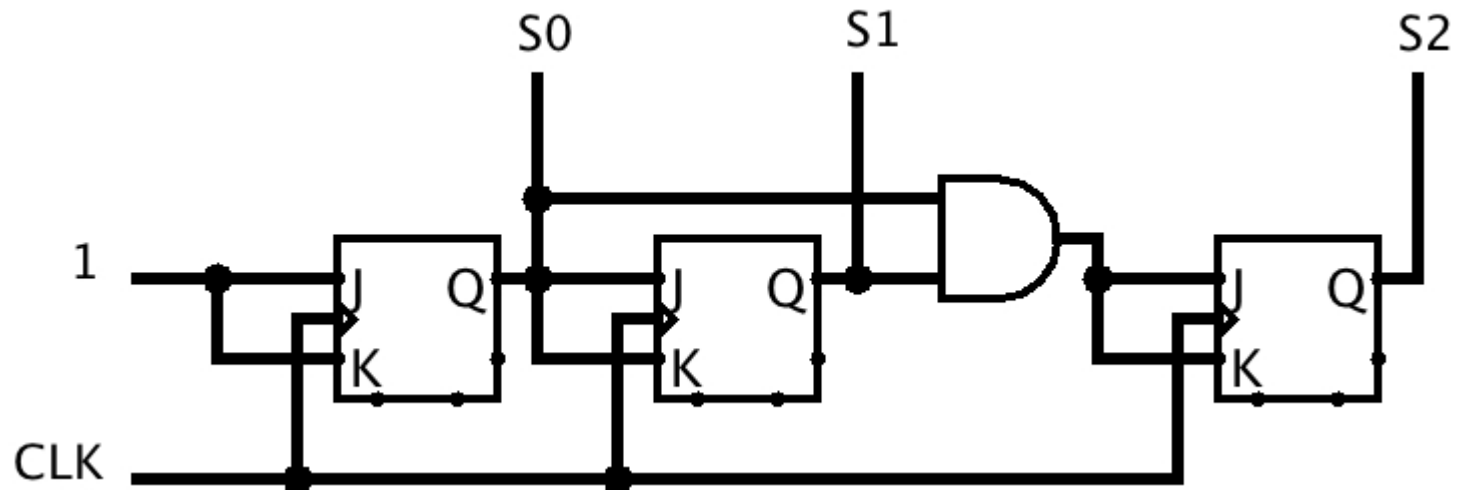
		x1x0			
		00	01	11	10
J	x2	0	1	-	-
	1	0	1	-	-
K	0	-	-	1	0
	1	-	-	1	0

0

		x1x0			
		00	01	11	10
J	x2	0	1	-	1
	1	1	-	-	1
K	0	-	1	1	-
	1	-	1	1	-



Logigrama





Flip-flops T

– Tabela de excitação

Q	Q*	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

– Equação das entradas dos FF

- $T2 = x1 \ x0$
- $T1 = x0$
- $T0 = 1$

T2

		x1x0			
		00	01	11	10
x2	0	0	0	1	0
	1	0	0	1	0

T1

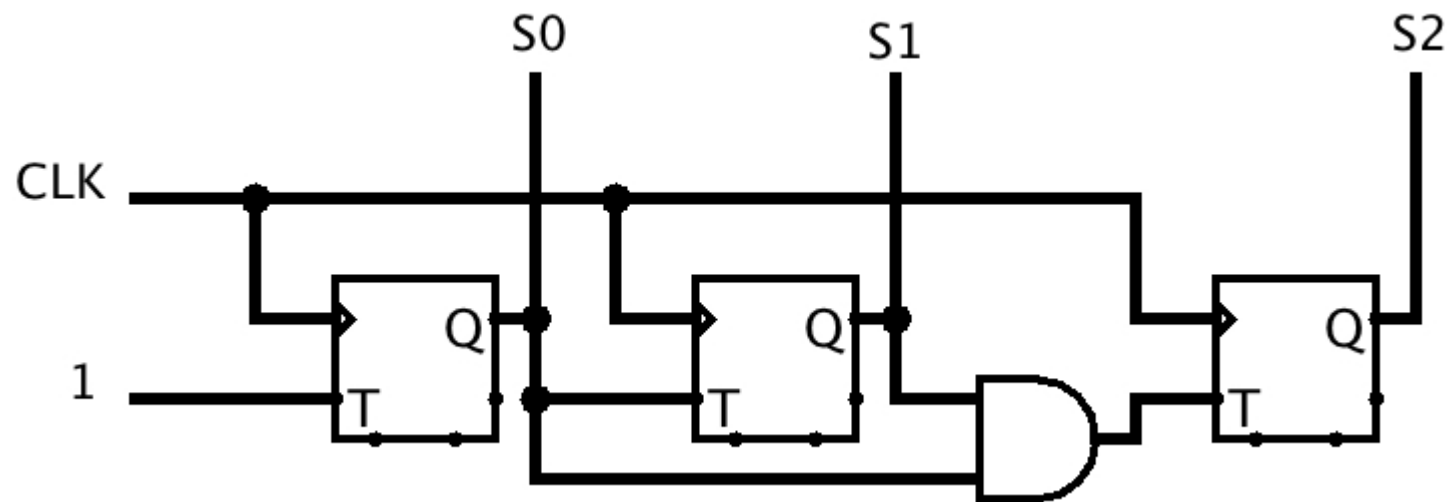
		x1x0			
		00	01	11	10
x2	0	0	1	1	0
	1	0	1	1	0

T0

		x1x0			
		00	01	11	10
x2	0	1	1	1	1
	1	1	1	1	1



Logigrama





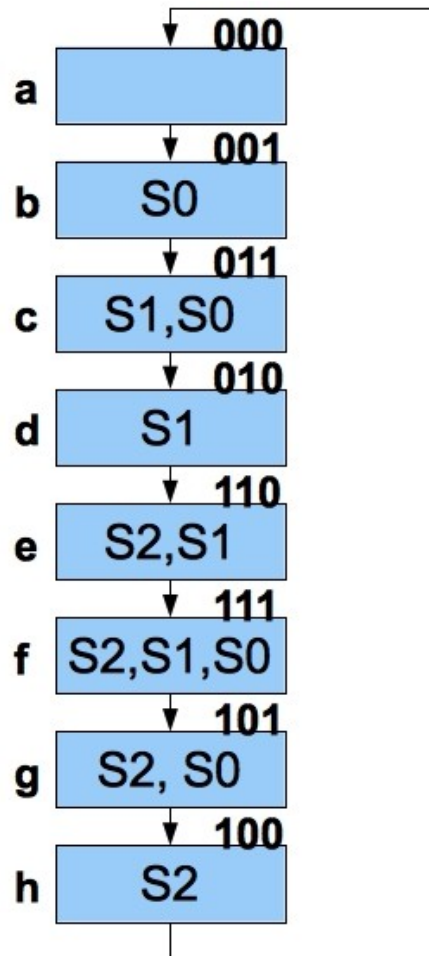
Exemplo 2

- Contador em código Gray 3 bits com flip-flops T
 - Entradas :0
 - Saídas: 3 (S0, S1 e S2)
 - Para codificar o número binário de 0 a 7
 - Estados: $2^3 = 8$
 - Podem ser identificados com as saídas codificando os estados em código Gray



Passos 1, 2 e 3

- Modelo ASM



- Transição de estados

		x1x0			
		00	01	11	10
x2	0	a	b	c	d
	1	h	g	f	e

- Mapas de Karnaugh

T0

		x1x0			
		00	01	11	10
x2	0	1	0	1	0
	1	0	1	0	1

T1

		x1x0			
		00	01	11	10
x2	0	0	1	0	0
	1	0	0	1	0

T2

		00	01	11	10
	0	0	0	0	1
	1	1	0	0	0

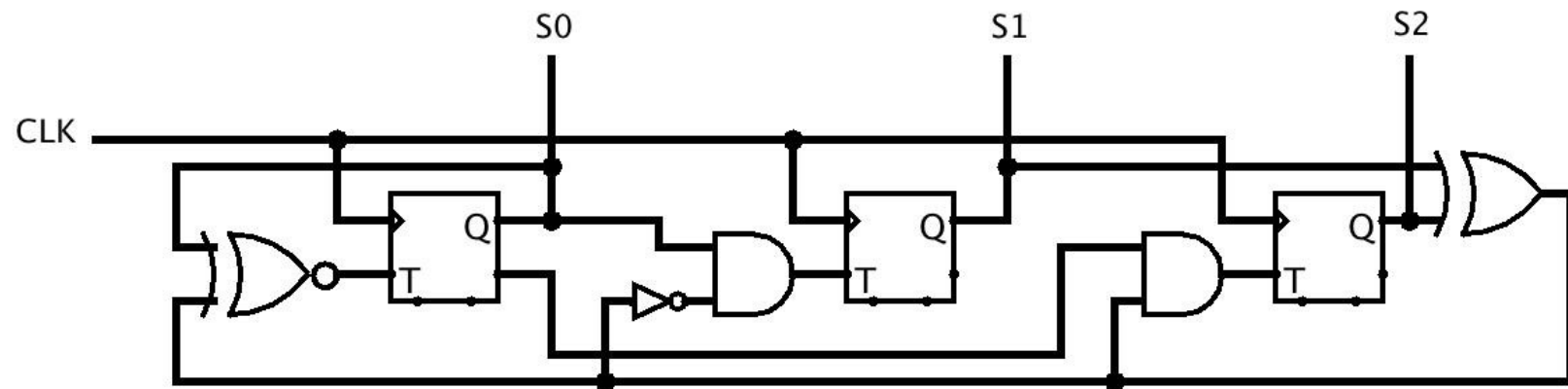


Entradas e logigrama

- Entradas

- $T0 = \overline{x0 \oplus x1 \oplus x2}$
- $T1 = x0 \overline{(x1 \oplus x2)}$
- $T2 = \overline{x0} (x1 \oplus x2)$

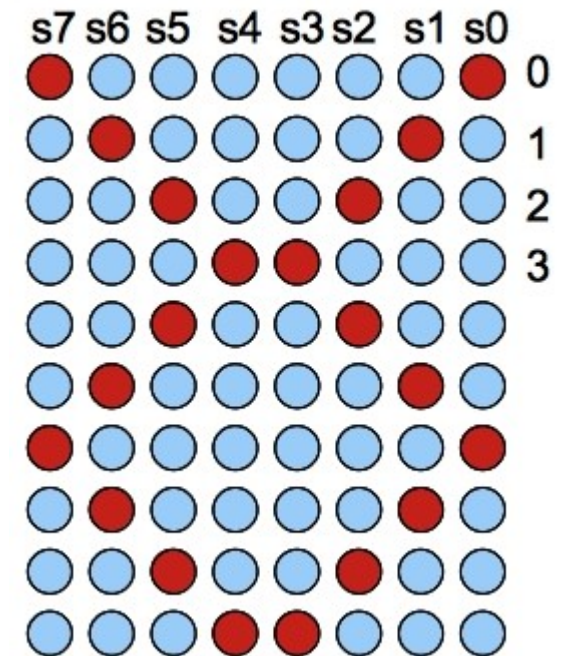
- Logigrama





Exemplo 3

- Gerador de padrões sequenciais
 - ao ritmo dos impulsos de relógio acender um conjunto de oito LEDs segundo a figura
- Entradas :0
- Saídas: 8 (S0, S1 e S2)
- Estados: ?
 - Não são 2^8 ! Neste exemplo não se identifica o vector de estado X_n com o vector de saída S_n .
 - Existem apenas 4 configurações distintas. Bastarão 4 estados?





Exemplo 3

- 4 estados. Qual a dimensão de X_n ?

	X_n	X_{n+1}	s7	s6	s5	s4	s3	s2	s1	s0
	a	b	1							1
*	b	c		1					1	
**	c	d			1			1		
	d	c				1	1			
**	c	b			1			1		
*	b	a		1					1	

- Com 4 estados existe ambiguidade na transição!
- Quantos são necessários?
 - 6 estados; dimensão de $X_n = 3$



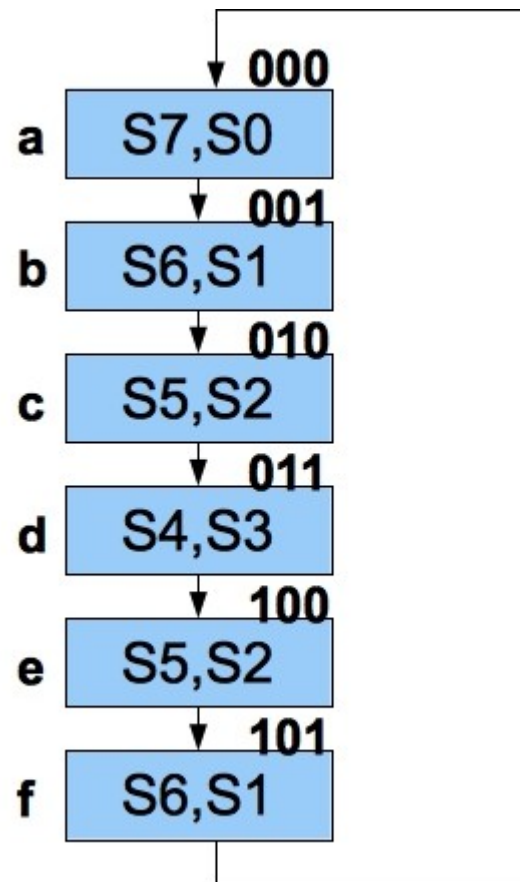
Tabela de transição de estados e saídas

X_n	X_{n+1}	X_n			X_{n+1}			S_n							
		x2	x1	x0	x2	x1	x0	s7	s6	s5	s4	s3	s2	s1	s0
a	b	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1
b	c	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
c	d	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
d	e	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
e	f	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
f	a	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0
		1	1	0											
		1	1	1											



ASM e Flip-Flops T

- Modelo ASM



- Tabela de excitação Flip-Flops T

Q*	Q	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- Mapas de Karnaugh

		x1x0			
		00	01	11	10
x2	0	a	b	d	c
	1	e	f	-	-



Mapas de Karnaugh

- Mapas de Karnaugh
 - Estados não utilizados correspondem a **indiferenças**.

x2 \ x1x0	00	01	11	10
	0	1	1	1
1	1	1	-	-

x2 \ x1x0	00	01	11	10
	0	1	1	0
T1	0	0	-	-

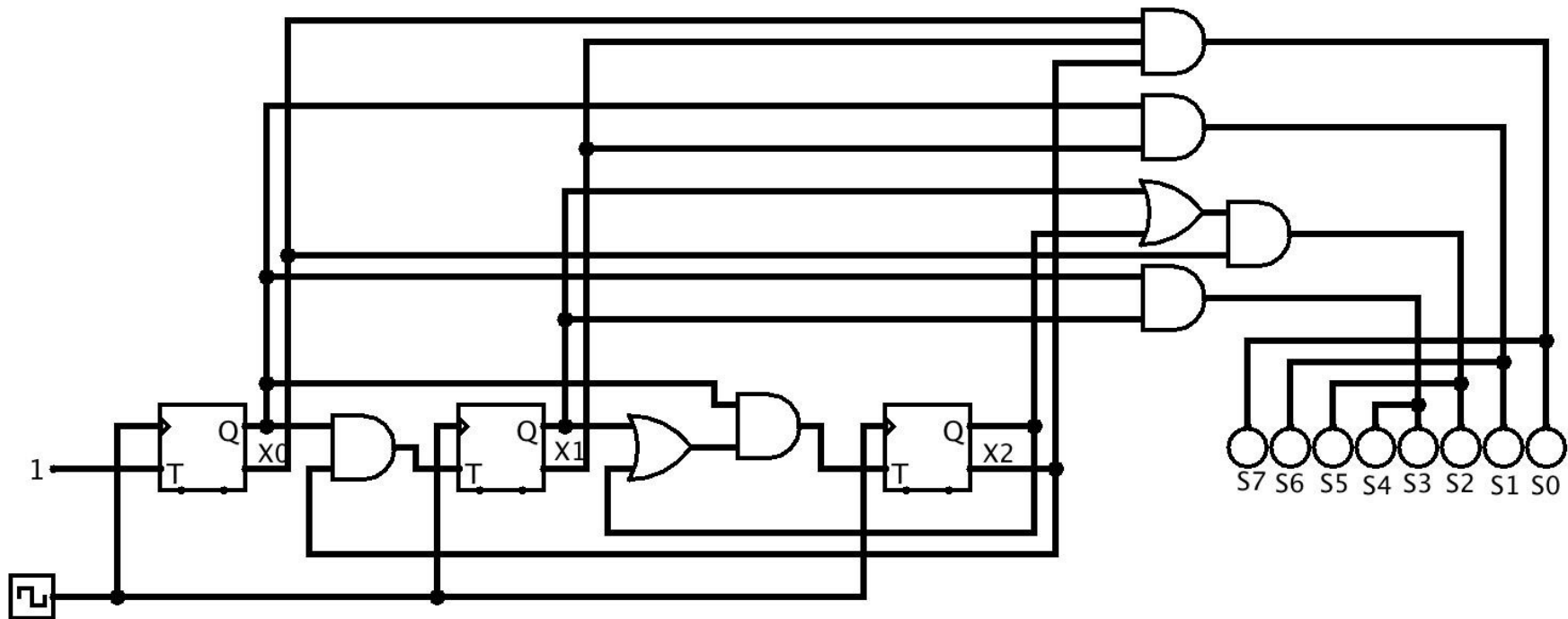
x2 \ x1x0	00	01	11	10
	0	0	1	0
T2	0	1	-	-

- Entradas e Saídas

- $T0 = 1$
- $T1 = x0 \overline{x2}$
- $T2 = X0 (x1 + x2)$
- $s0 = s7 = \overline{x0} \overline{x1} \overline{x2}$
- $s1 = s6 = x0 \overline{x1}$
- $s2 = s5 = \overline{x0} (x1 + x2)$
- $s3 = s4 = x0 x1$



Logigrama





Exemplo 4

- Contador modo variável
 - Por acção de um comutador E , o contador passa de módulo 8 para módulo 5: com $E=0$, contador módulo 8; com $E=1$, contador módulo 5.
 - Entradas: 1
 - Saídas: 3
 - Estados 8



Modelo ASM

- No estado “e”, o estado seguinte depende da entrada E
 - $E = 0 \rightarrow f''$
 - $E = 1 \rightarrow a''$

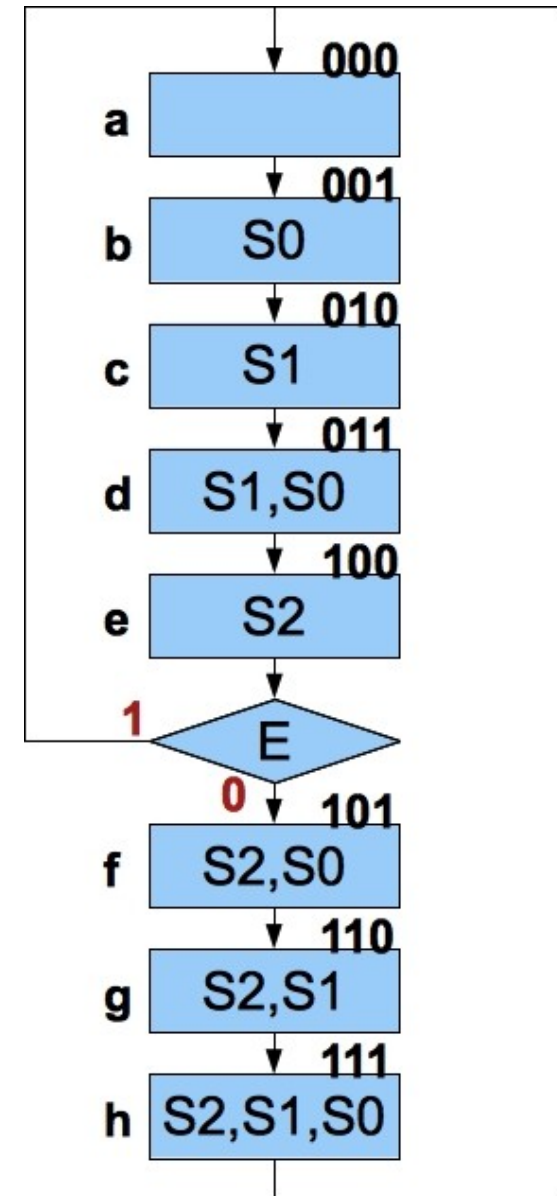




Tabela de transição de estados e saídas

E_n	X_n	X_{n+1}	X_n			X_{n+1}			S_n		
			x2	x1	x0	x2	x1	x0	s2	s1	s0
x	a	b	0	0	0	0	0	1	0	0	0
x	b	c	0	0	1	0	1	0	0	0	1
x	c	d	0	1	0	0	1	1	0	1	0
x	d	e	0	1	1	1	0	0	0	1	1
0	e	f	1	0	0	1	0	1	1	0	0
1	e	a	1	0	0	0	0	0	1	0	0
x	f	g	1	0	1	1	1	0	1	0	1
x	g	h	1	1	0	1	1	1	1	1	0
x	h	a	1	1	1	0	0	0	1	1	1



Mapas de Karnaugh – Flip-Flops T

- Mapa de Karnaugh para T0

		x1x0			
		00	01	11	10
Ex2	00	1	1	1	1
	01	1	1	1	1
	11	0	1	1	1
	10	1	1	1	1

- Tabela de excitação – Flip-Flop T

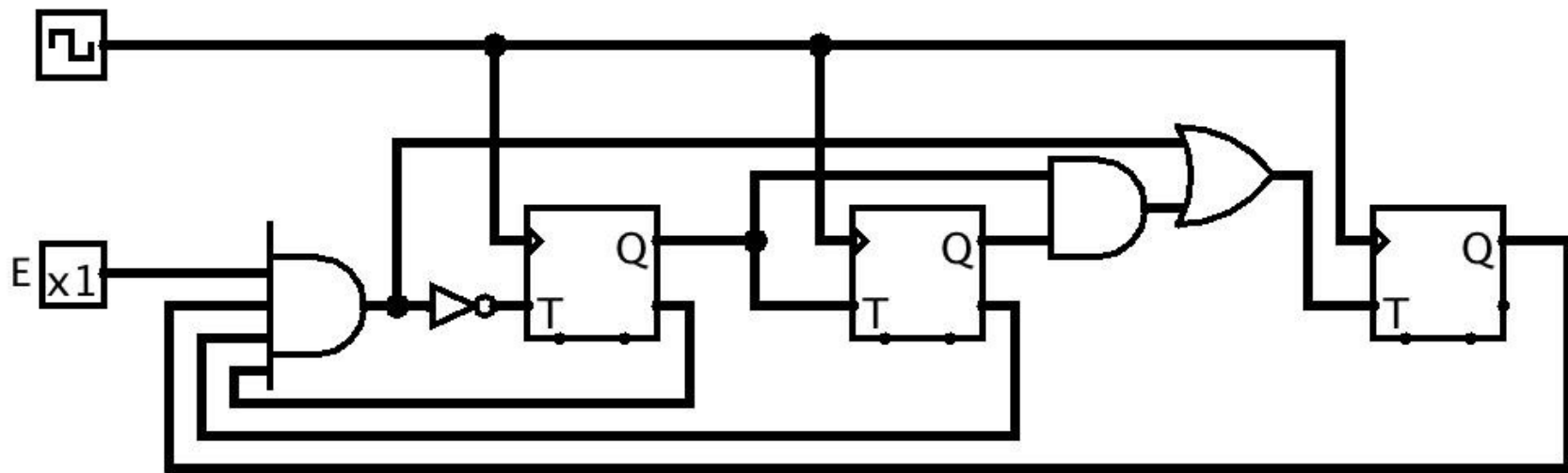
Q*	Q	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

- Entradas

- $T0 = \overline{x2} \overline{x1} \overline{x0} E$
- $T1 = x0$
- $T2 = x1 x0 + x2 \overline{x1} \overline{x0} E$



Mapas de Karnaugh – Flip-Flops T



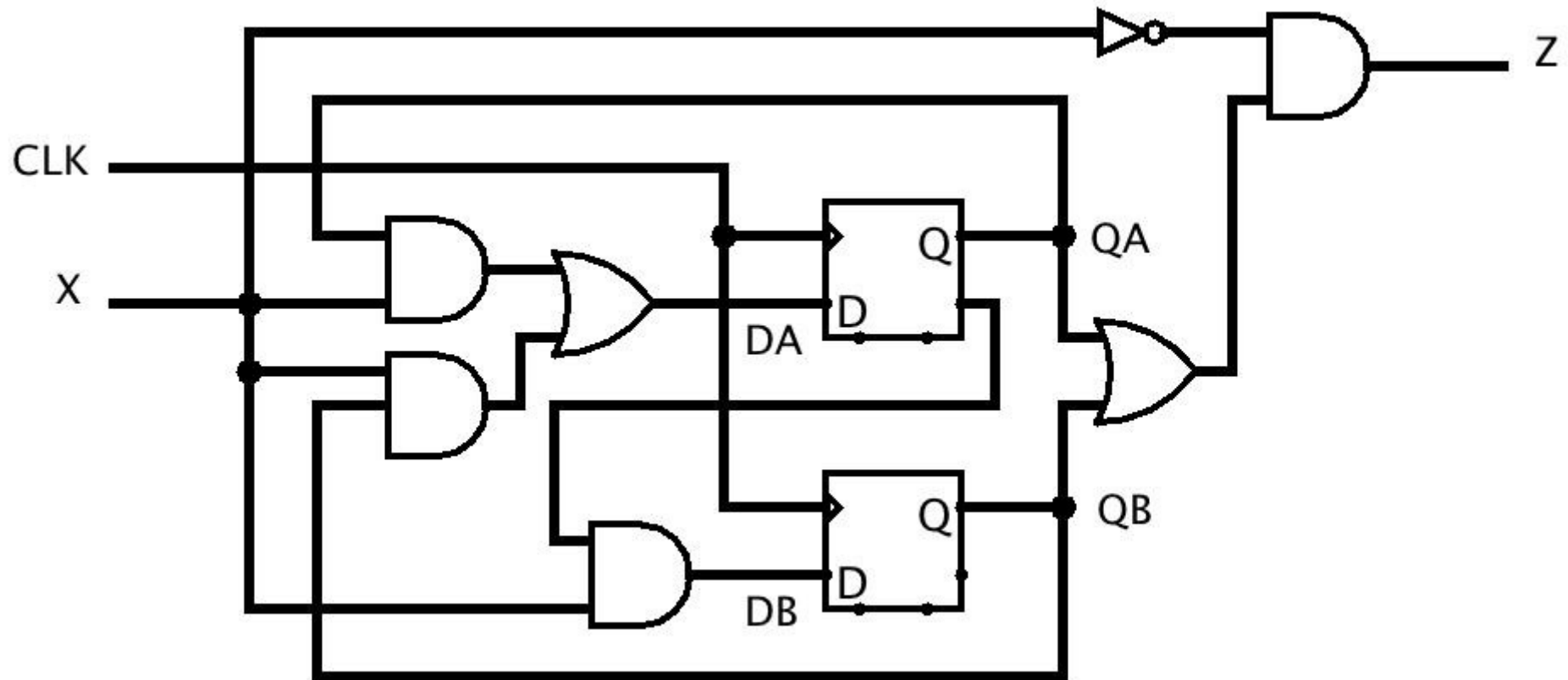


Análise de CSS

- Levantam-se as equações das entradas dos flip-flops e das saídas
- Constrói-se a tabela das entradas dos flip-flops
- Constrói-se a tabela de transições e de saídas
- Obtém-se a tabela de estados e de saídas (através da codificação dos estados)
- Ou em alternativa, desenha-se o diagrama de estados



Exemplo





Passos 1 e 2

- Entradas dos Flip-Flops
 - $DA = QA X + QB X$
 - $DB = QA \overline{X}$
- Saída
 - $Z = \overline{X} (QA + QB)$

– Tabela de verdade

- Traduz os circuitos combinatórios dos flip-flops um vez que é definida para o instante t

X	Q_A	Q_B	D_A	D_B
0	0	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	0	0	0
0	1	1	0	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	1
1	1	0	1	0
1	1	1	1	0



Passo 3

- Transições e saídas
 - Estado actual e saída: instante t
 - Estado seguinte: instante $t + 1$
 - Entrada $D(t)$ coincide com o estado $Q(t + 1)$

$X_{(t)}$	$Q_{A(t)}$	$Q_{B(t)}$	$Q_{A(t+1)}$	$Q_{B(t+1)}$	$Z_{(t)}$
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	1	0
1	0	1	1	1	0
1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0



Passo 4

– Estados

Q_A	Q_B	Estado
0	0	A
0	1	B
1	0	C
1	1	D

– Tabela de estados

X	t	t+1	Z
0	A	A	0
0	B	A	1
0	C	A	1
0	D	A	1
1	A	B	0
1	B	D	0
1	C	C	0
1	D	C	0



Modelo ASM

