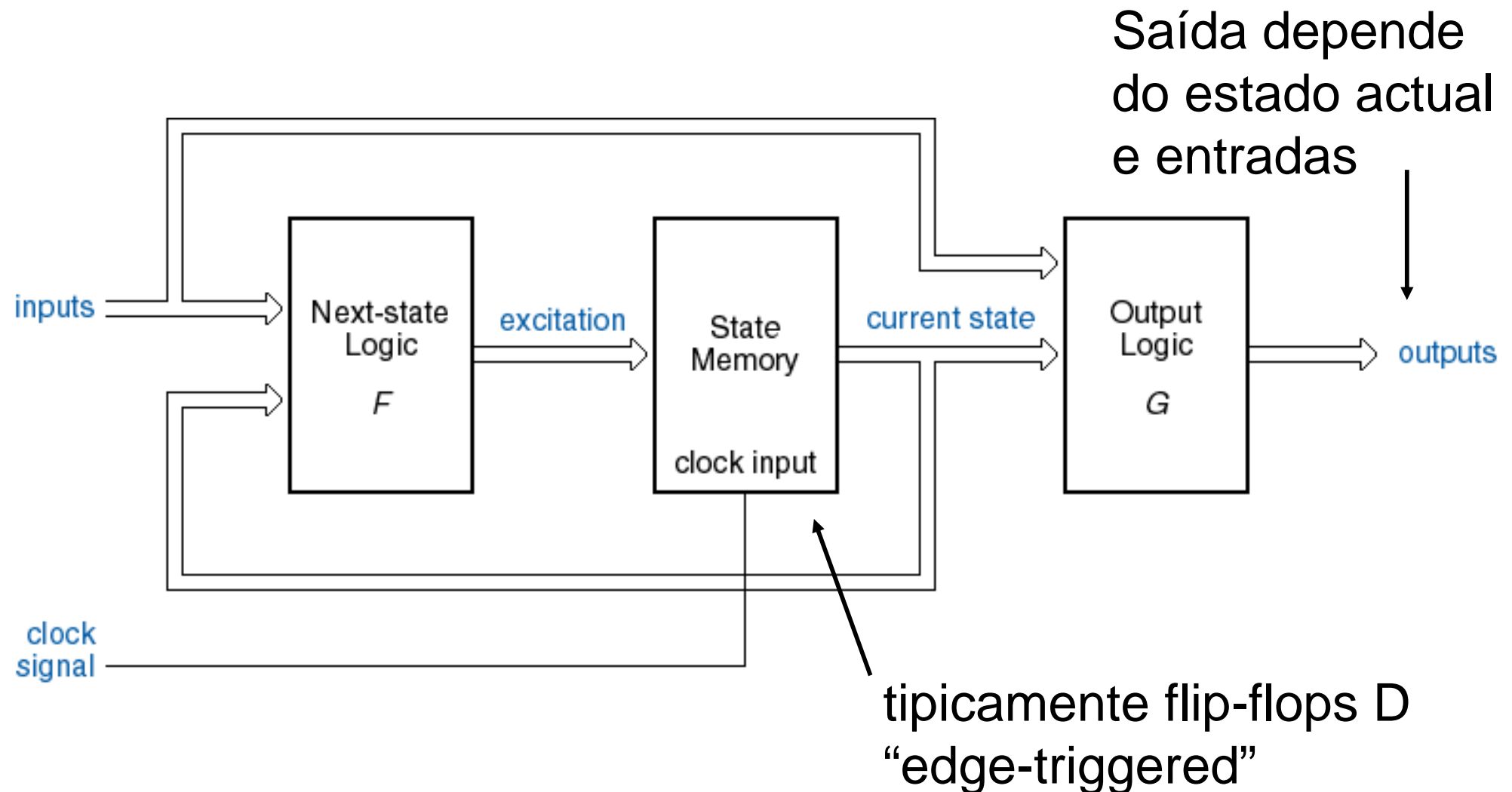


Circuitos Sequenciais Síncronos

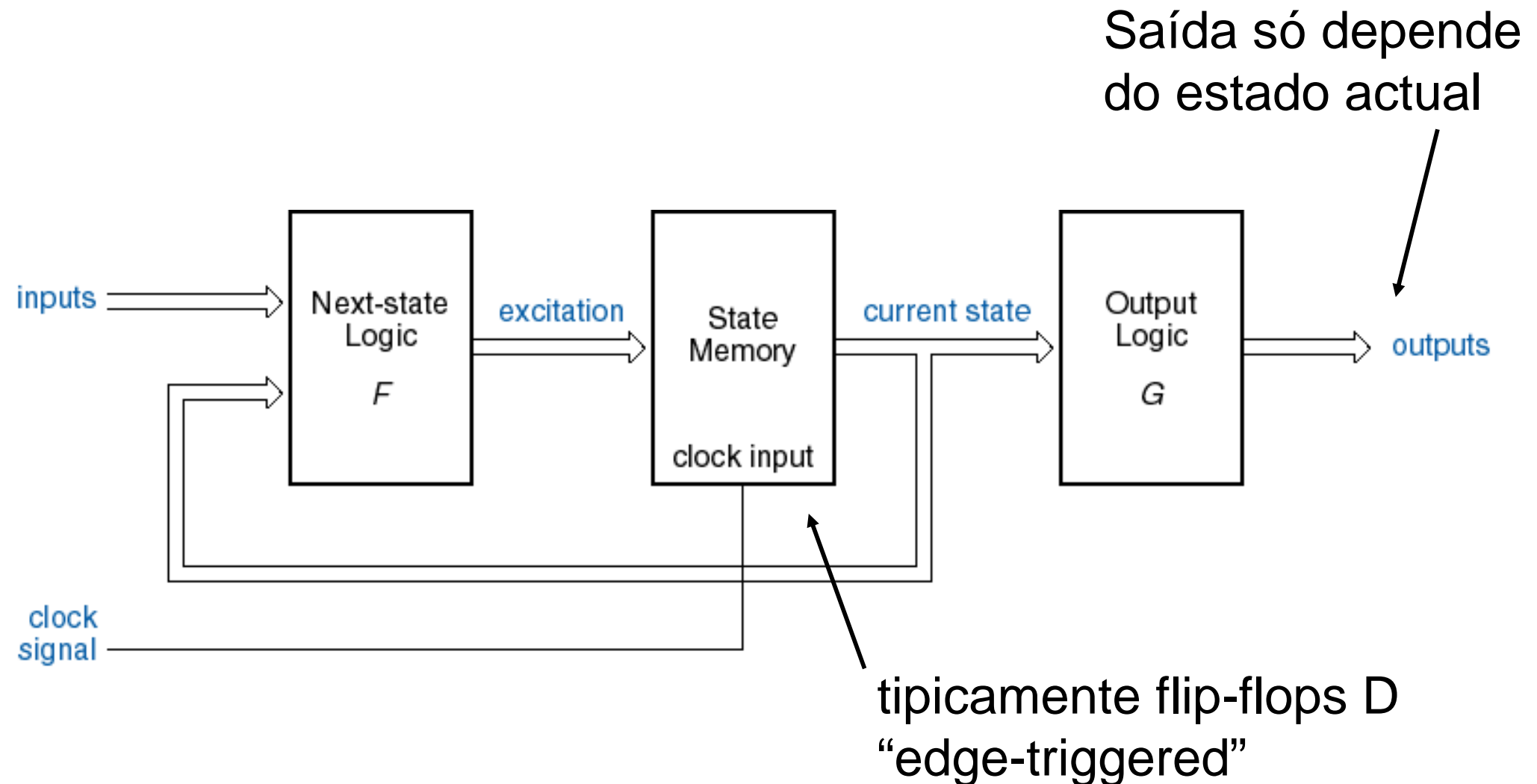
“Clocked Synchronous Sequential Circuits”

- “State machines” - Máquinas de Estados
- Usam-se, tipicamente “flip-flops” tipo “edge-triggered”
- Todos os flip-flops partilham o mesmo sinal de relógio, logo as mudanças de estado produzem-se simultaneamente

Estrutura Máquina de Estados (Mealy)



Estrutura Máquina de Estados (Moore)



Notação, Equações Características

- Q^* significa estado seguinte de Q
- “Excitação” é a entrada que determina o estado seguinte.
- Equação Característica especifica o estado seguinte em função da sua excitação.

- Latch S-R :

$$Q^* = S + R' \cdot Q$$

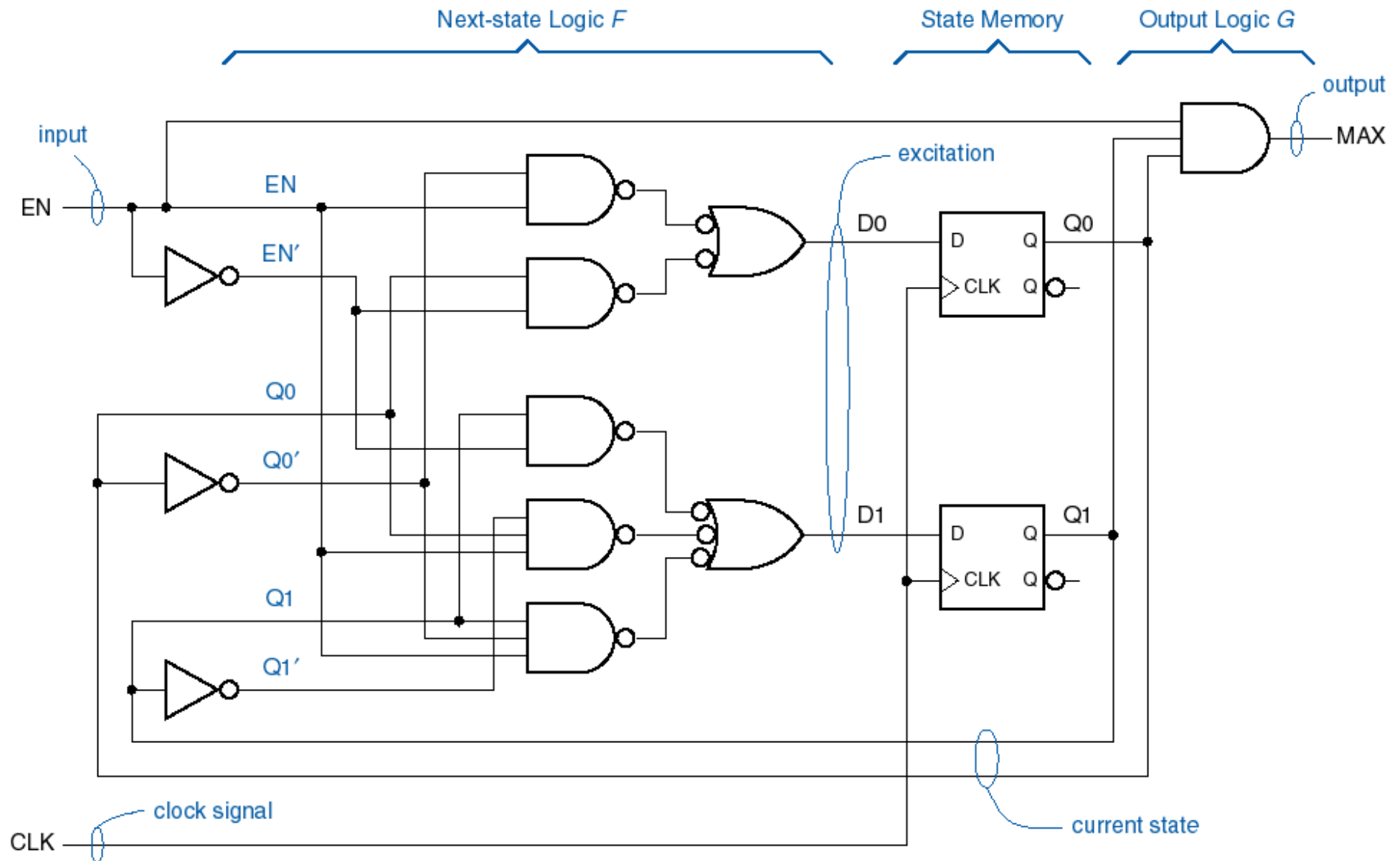
- Flip-flop tipo D “Edge-triggered”:

$$Q^* = D$$

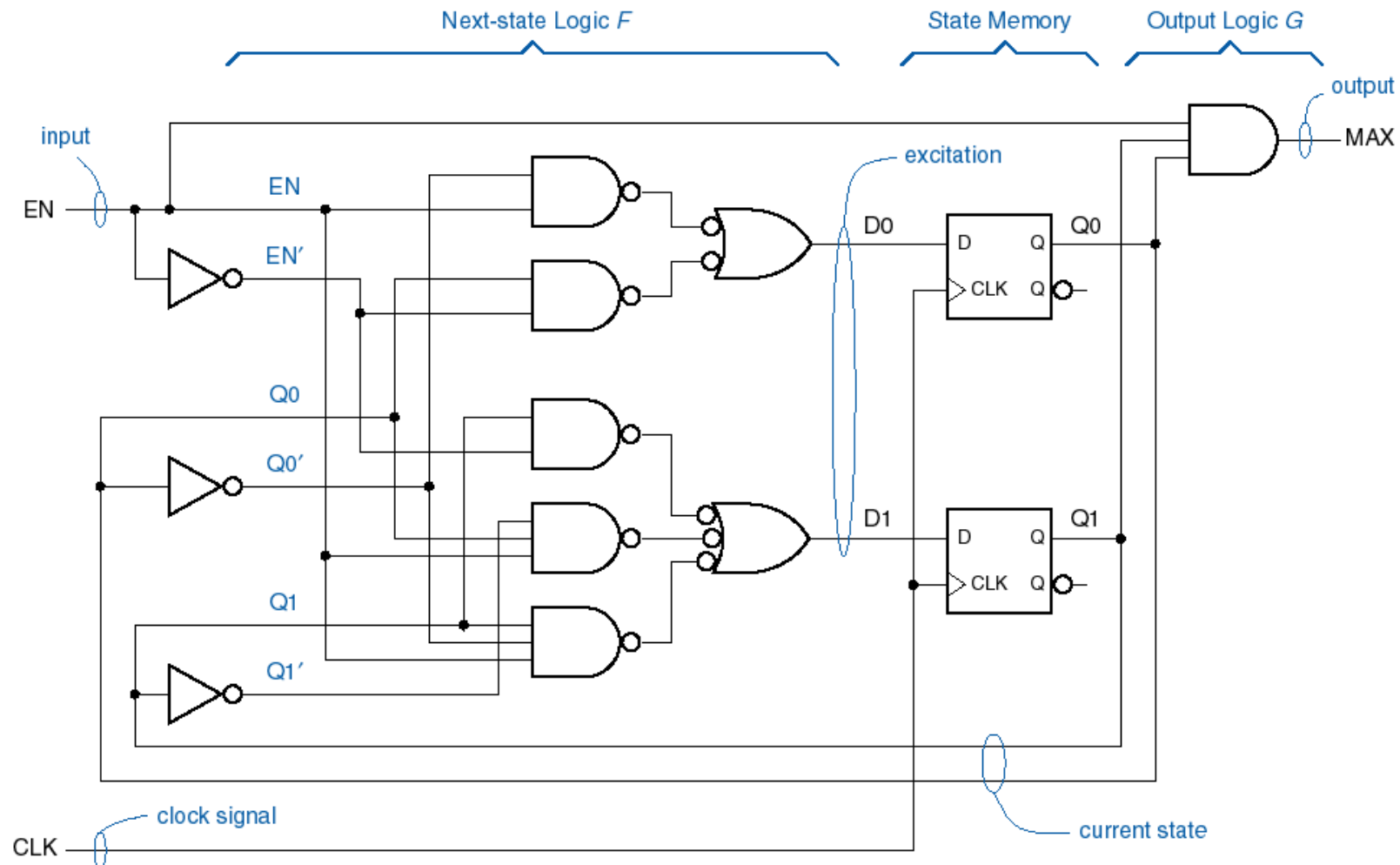
Análise de Máquinas de Estados

- Partindo de um diagrama lógico.
 1. Determinar a função do próximo estado e a função das saídas.
 - 2a. Construir Tabela de Estados
 - Para cada combinação estado/entrada, determinar o valor de excitação.
 - Usando as equações características, determinar os estados seguintes correspondentes (trivial com f-f's D).
 - 2b. Construir Tabela de Saída
 - Para cada combinação estado/entrada, determinar o valor de saída
 3. (Opcional) Desenhar diagrama de estados

Exemplo de Máquina de Estados



Equações de Excitação



$$D0 = Q0 \cdot EN' + Q0' \cdot EN$$

$$D1 = Q1 \cdot EN' + Q1' \cdot Q0 \cdot EN + Q1 \cdot Q0' \cdot EN$$

Equações de Transição

- Equações de Excitação

$$D0 = Q0 \cdot EN' + Q0' \cdot EN$$

$$D1 = Q1 \cdot EN' + Q1' \cdot Q0 \cdot EN + Q1 \cdot Q0' \cdot EN$$

- Equações Características

$$Q0^* = D0$$

$$Q1^* = D1$$

- Substituição das equações de excitação nas equações características.

$$Q0^* = Q0 \cdot EN' + Q0' \cdot EN$$

$$Q1^* = Q1 \cdot EN' + Q1' \cdot Q0 \cdot EN + Q1 \cdot Q0' \cdot EN$$

Tabelas de Estado e Transição

$$Q0^* = Q0 \cdot EN' + Q0' \cdot EN$$

$$Q1^* = Q1 \cdot EN' + Q1' \cdot Q0 \cdot EN + Q1 \cdot Q0' \cdot EN$$

$$MAX = Q1 \cdot Q0 \cdot EN \text{ (equação de saída)}$$

(equações de transição)

		<i>EN</i>	
		<i>0</i>	<i>1</i>
<i>Q1</i>	<i>Q0</i>		
00		00	01
01		01	10
10		10	11
11		11	00
		<i>Q1* Q0*</i>	

tabela
transição

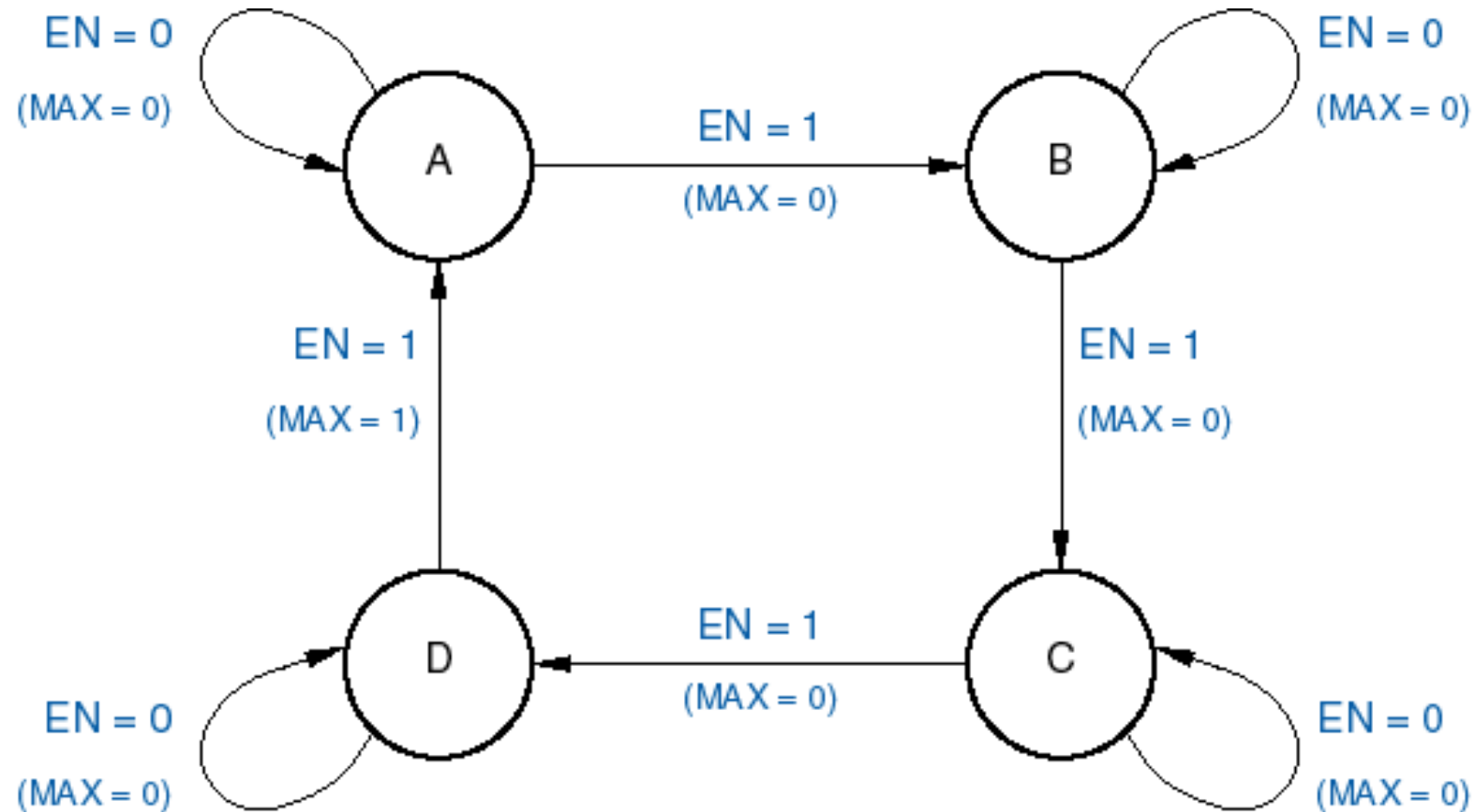
<i>EN</i>		
<i>S</i>	<i>0</i>	<i>1</i>
A	A	B
B	B	C
C	C	D
D	D	A
<i>S*</i>		

tabela
estado

<i>EN</i>		
<i>S</i>	<i>0</i>	<i>1</i>
A	A, 0	B, 0
B	B, 0	C, 0
C	C, 0	D, 0
D	D, 0	A, 1
<i>S*, MAX</i>		

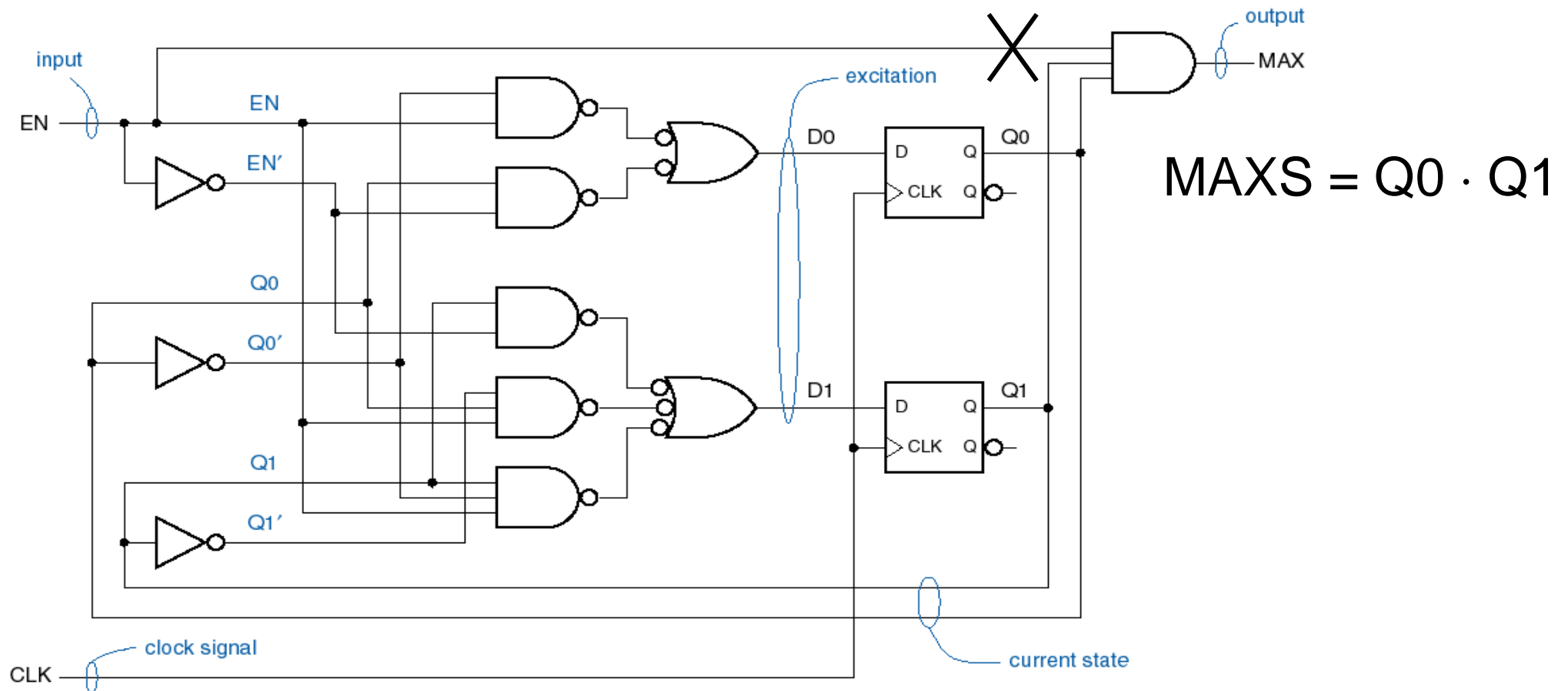
tabela
estado/saída

Diagrama de Estados



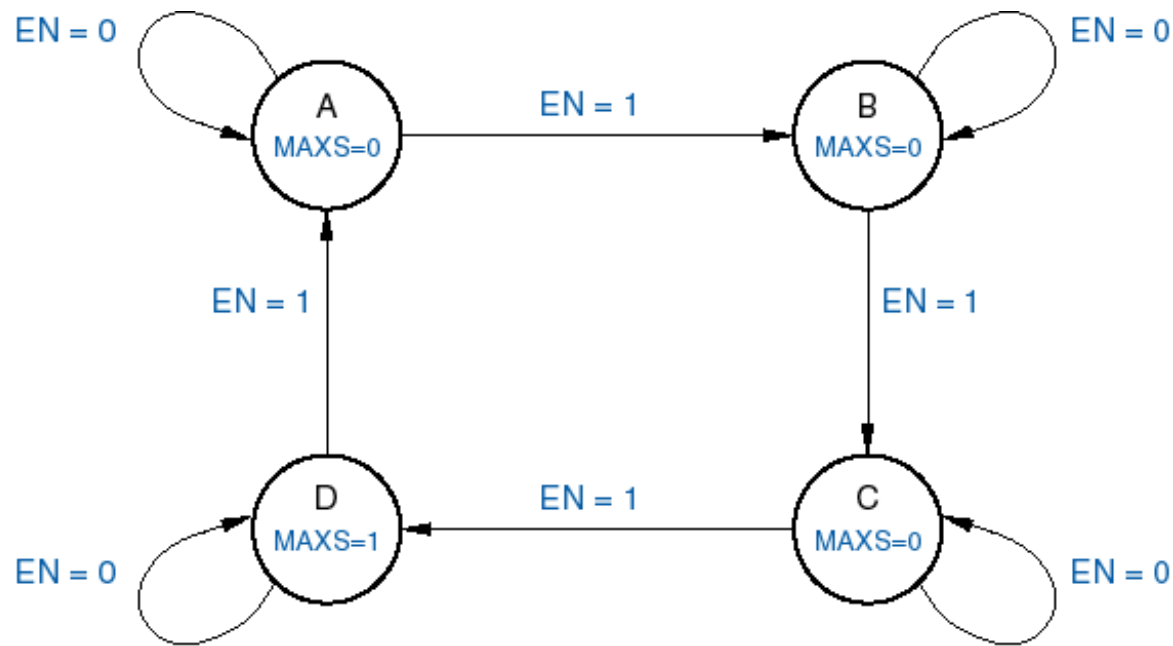
- Estados representados por círculos
- Transições indicadas por setas (+info saídas)

Máquina de Estados Modificada



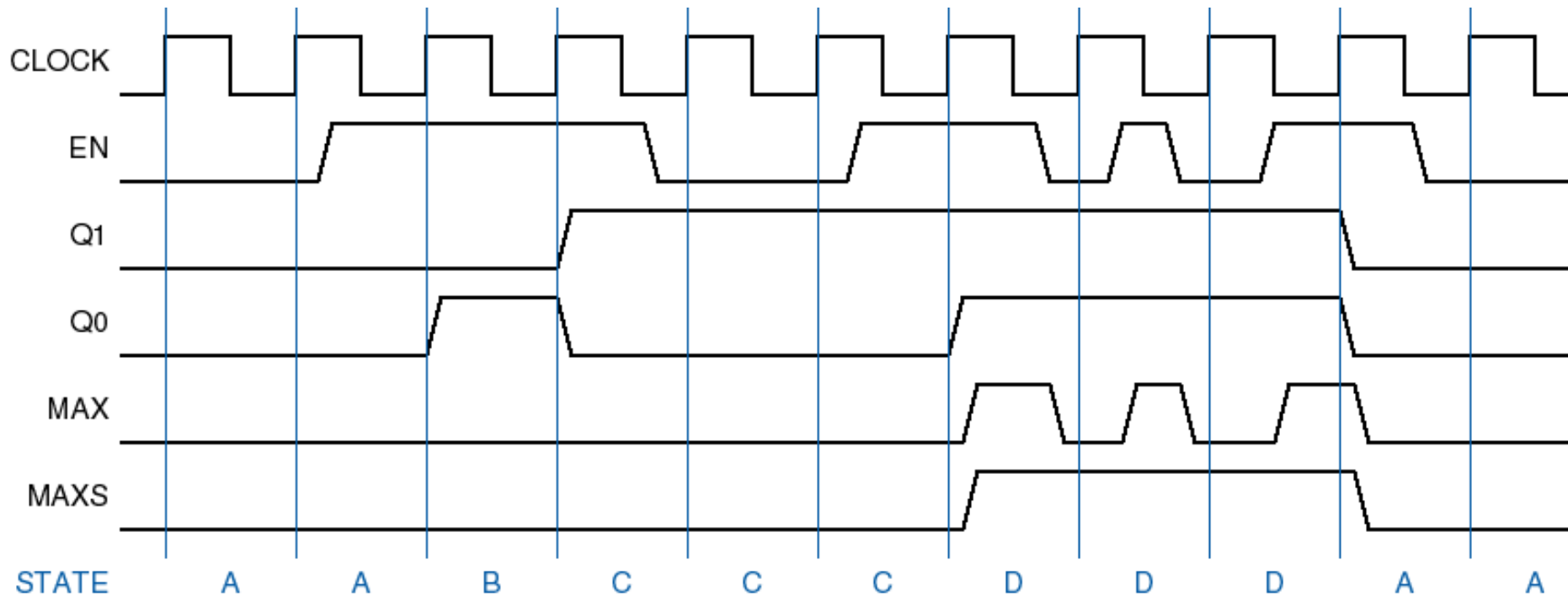
- Máquina tipo Moore

Máquina de Estados Modificada



<i>S</i>	<i>EN</i>		<i>MAXS</i>
	<i>0</i>	<i>1</i>	
A	A	B	0
B	B	C	0
C	C	D	0
D	D	A	1
<i>S*</i>			

Diagrama Temporal Máquina de Estados



- **Não** descreve completamente o comportamento da máquina de estados.

Projecto e Síntese de Máquina de Estados

Projecto – parte criativa, como escrever um programa

Síntese – “partir pedra”, tal como um compilador

- Exemplo: Projectar uma fechadura com segredo com 2 entradas, X1 e X2. A abertura da mesma ocorre quando a sequência X1, X2, X2 ocorrer (uma entrada por ciclo de relógio).

Exemplo:

Estado		X1 X2				
Significado	Nome	00	01	10	11	Abrir
Início	A	A	A	B	A	0
Tem X1	B	A	C	A	A	0
Tem X1,X2	C	A	D	A	A	0
Tem X1,X2,X2	D	A	A	B	A	1

- Ambiguidades de especificação são resolvidas na tabela de estados.

Atribuição de Estados - *State assignment*

- Minimização do número de estados (pode não ser relevante quando se usam ferramentas).
- Necessidade de atribuir combinações de variáveis de estado a estados
 - Menor número de variáveis para n estados é $\lceil \log_2 n \rceil$
 - Usar mais do que o número mínimo pode ser vantajoso em determinadas situações.
- Exemplo -- 4 estados, 2 variáveis de estado (Q1,Q2):

A ==> 00

B ==> 01

C ==> 10

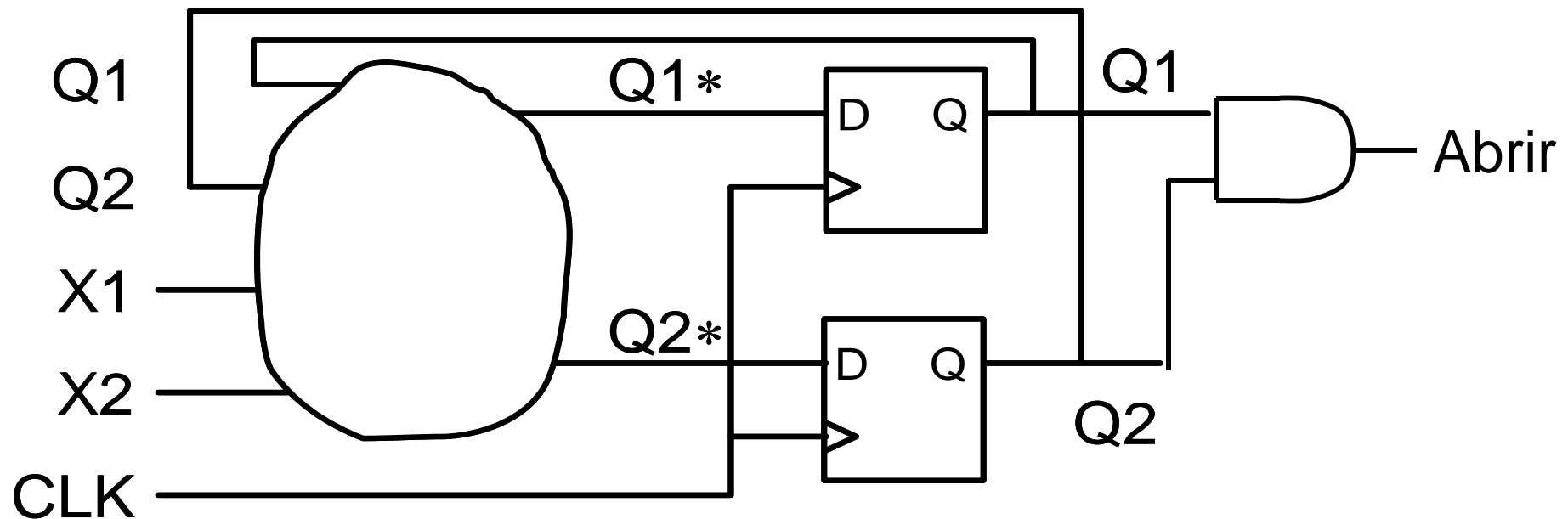
D ==> 11

Tabela de Transição

Estado		X1 X2				
Significado	Q1Q2	00	01	10	11	Abrir
Início	00	00	00	01	00	0
Tem X1	01	00	10	00	00	0
Tem X1,X2	10	00	11	00	00	0
Tem X1,X2,X2	11	00	00	01	00	1
		Q1* Q2*				

Equações de Transição; circuito

- Tabela Transição especifica cada variável de estado ($Q1^*$, $Q2^*$) como uma função lógica combinacional de $Q1$, $Q2$, $X1$, $X2$.
 - Decidir quanto à implementação de cada variável, soma de produtos, etc.
- Construir circuito.



Outro Exemplo

- Projectar máquina de estados com entradas A e B e saída Z que toma o valor “1” se:
 - A tiver o mesmo valor nos 2 pulsos de clk anteriores, ou
 - B for “1” desde a última vez que o evento acima referido tenha ocorrido

Meaning	S	A B				Z
		00	01	11	10	
Initial state	INIT	A0	A0	A1	A1	0
Got a 0 on A	A0	OK0	OK0	A1	A1	0
Got a 1 on A	A1	A0	A0	OK1	OK1	0
Two equal, A=0 last	OK0	OK0	OK0	OK1	A1	1
Two equal, A=1 last	OK1	A0	OK0	OK1	OK1	1
S*						

Atribuição de estados

<i>Assignment</i>				
<i>State Name</i>	<i>Simplest Q1–Q3</i>	<i>Decomposed Q1–Q3</i>	<i>One-hot Q1–Q5</i>	<i>Almost One-hot Q1–Q4</i>
INIT	000	000	00001	0000
A0	001	100	00010	0001
A1	010	101	00100	0010
OK0	011	110	01000	0100
OK1	100	111	10000	1000

Por exemplo, Q1 pode ser usado como um indicador de Init',
Q2 e Q3 distinguem todos os outros estados.

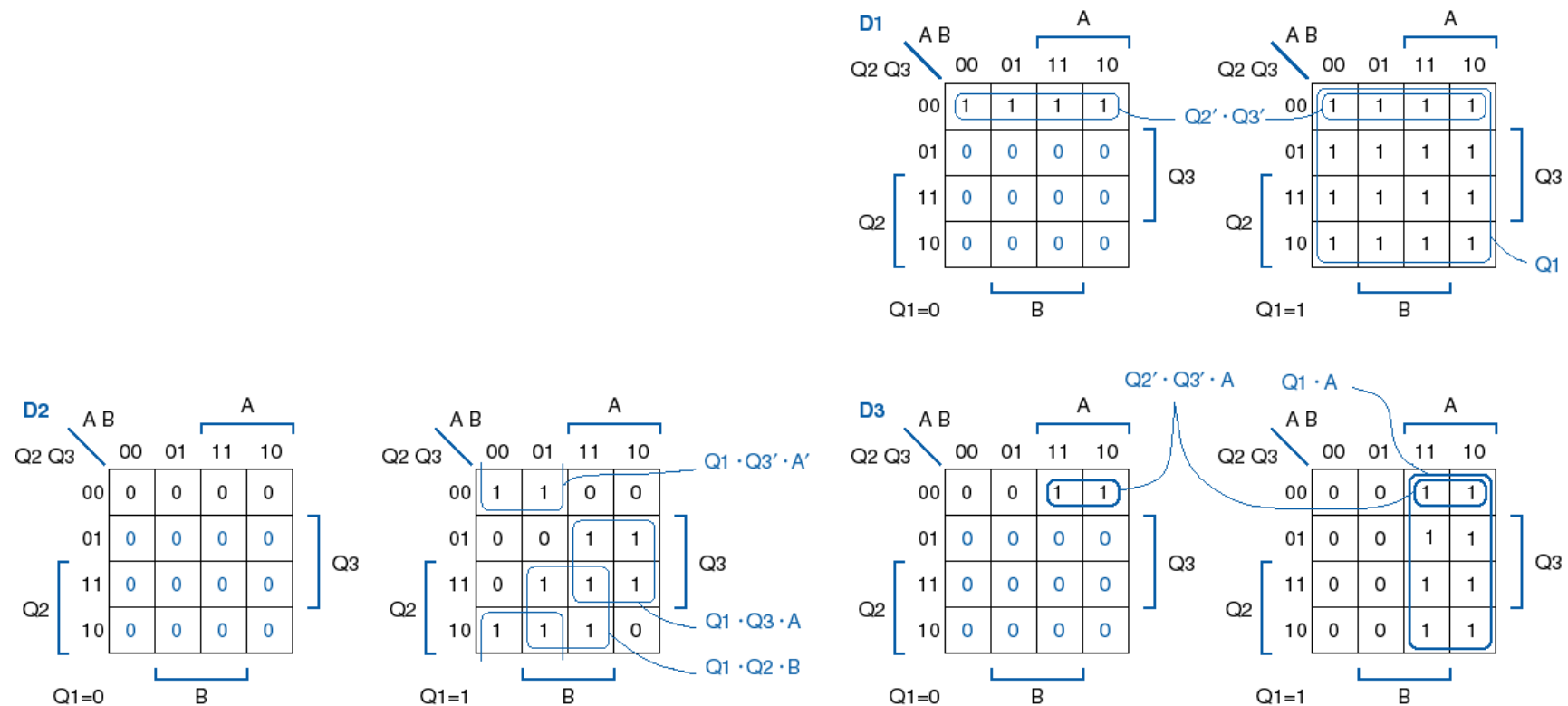
Tabela de Transição / Saída (decomposed assignment)

<i>S</i>	<i>A B</i>				<i>Z</i>
	<i>00</i>	<i>01</i>	<i>11</i>	<i>10</i>	
INIT	A0	A0	A1	A1	0
A0	OK0	OK0	A1	A1	0
A1	A0	A0	OK1	OK1	0
OK0	OK0	OK0	OK1	A1	1
OK1	A0	OK0	OK1	OK1	1
<i>S*</i>					

<i>Q1 Q2 Q3</i>	<i>A B</i>				<i>Z</i>
	<i>00</i>	<i>01</i>	<i>11</i>	<i>10</i>	
000	100	100	101	101	0
100	110	110	101	101	0
101	100	100	111	111	0
110	110	110	111	101	1
111	100	110	111	111	1
<i>Q1* Q2* Q3*</i>					

- Simples substituição textual
- Com flip-flops D, tabela de excitação é idêntica à tabela de transição.

Obtenção equações de excitação



$$D1 = Q1 + Q2' \cdot Q3'$$

$$D2 = Q1 \cdot Q3' \cdot A' + Q1 \cdot Q3 \cdot A + Q1 \cdot Q2 \cdot B$$

$$D3 = Q1 \cdot A + Q2' \cdot Q3' \cdot A$$