



Departamento de
Engenharia Elétrica e
de Computação

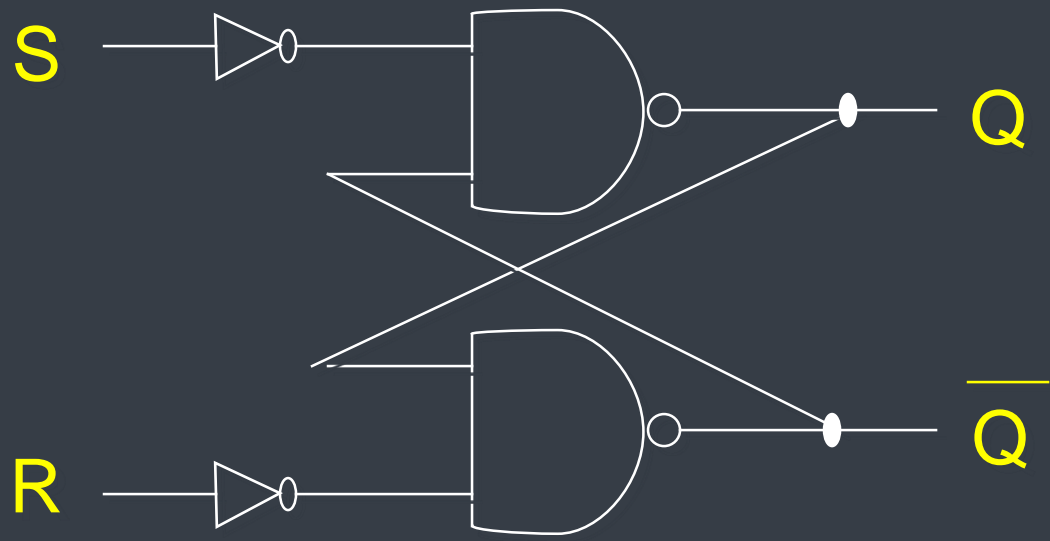
SEL 414 - Sistemas Digitais

ANÁLISE DE SISTEMAS SEQUENCIAIS SÍNCRONOS

Prof. Homero Schiabel

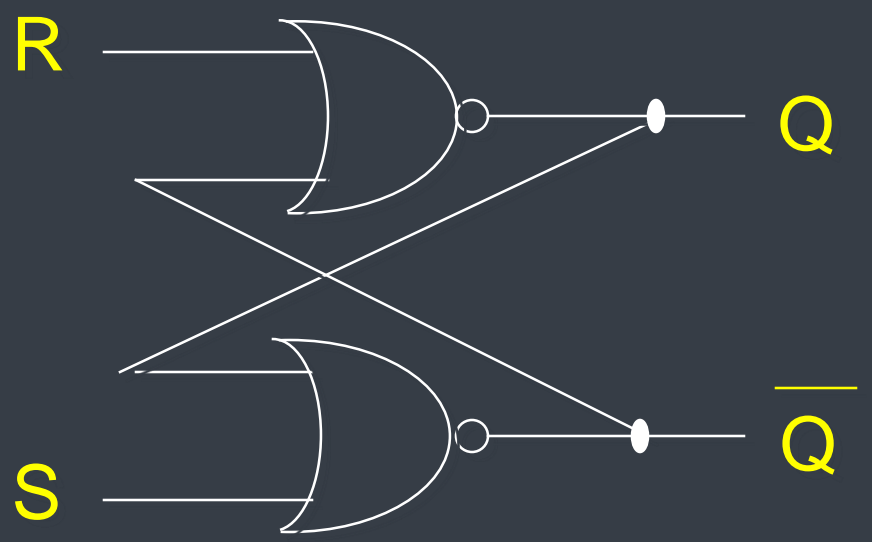


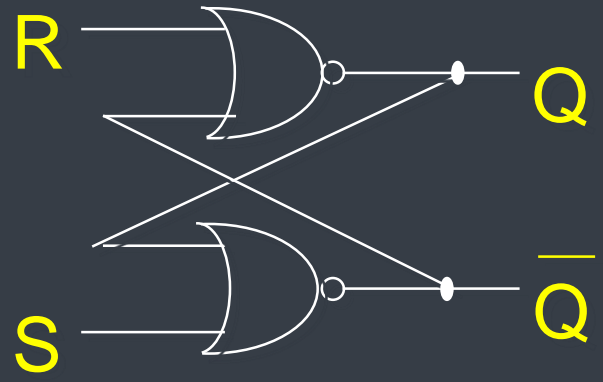
*PARTE 2: ELEMENTOS DE MEMÓRIA
– LATCHES E FLIP-FLOPS*



Latch RS

R	S	Q*
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	1 **



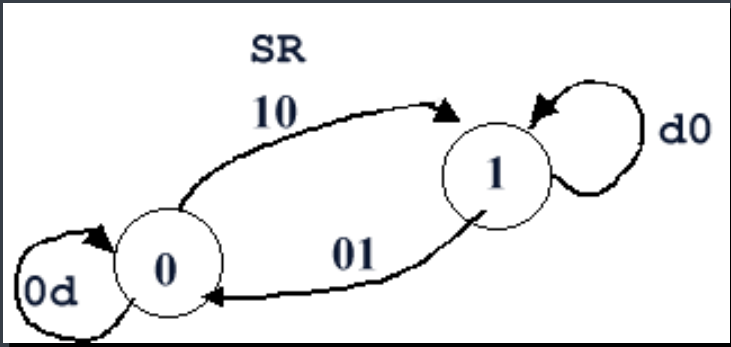


Entradas de excitação Estado presente Estado futuro

TABELA DE EXCITAÇÃO

S	R	Q	Q*	
0	0	0	0	Não muda
0	0	1	1	
0	1	0	0	RESET
0	1	1	0	
1	0	0	1	SET
1	0	1	1	
1	1	0	X	"Proibido"
1	1	1	X	

DIAGRAMA DE ESTADO

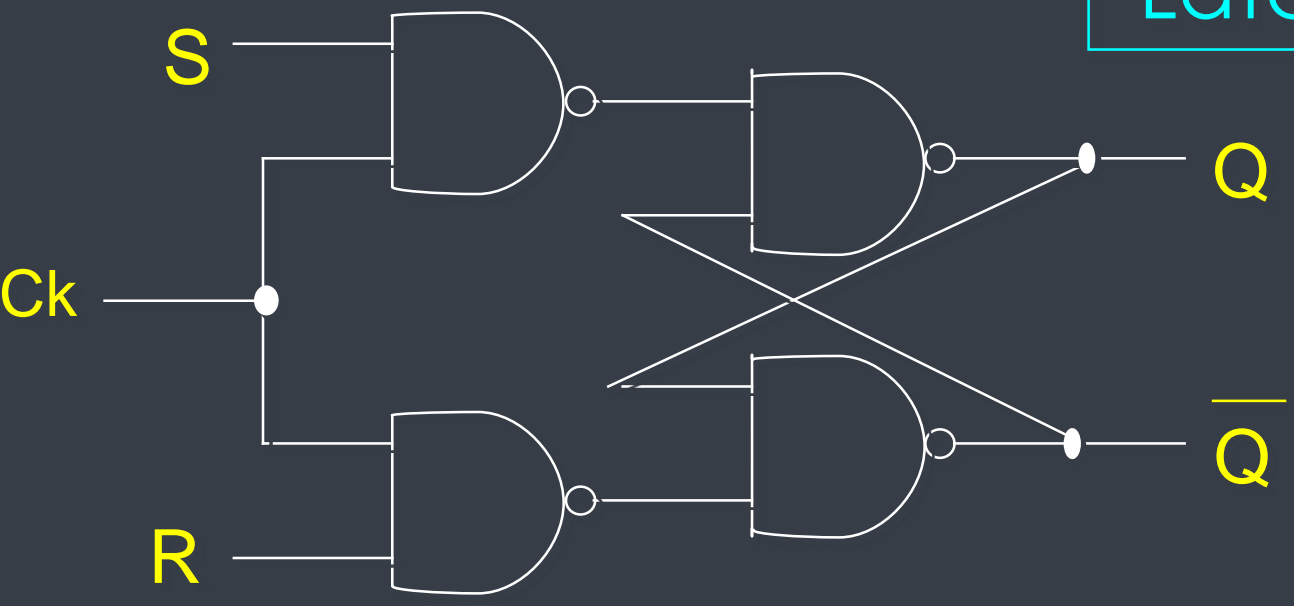


SR \ Q	00	01	11	10
0	0	0	x	1
1	1	0	x	1

EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA

$$Q^* = S + \overline{R}Q$$

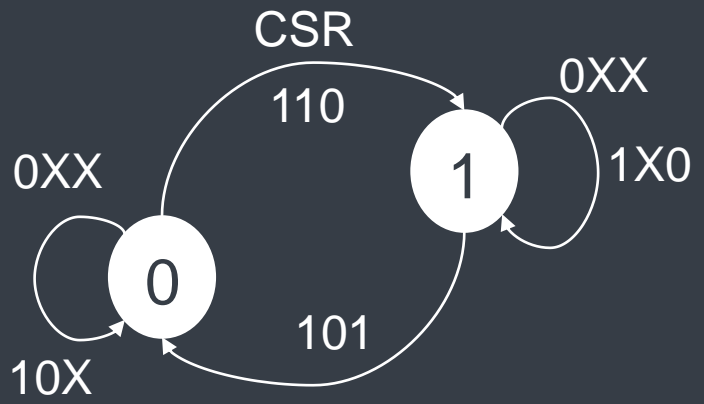
Latch RS Síncrono



Ck	S	R	Q	Q*	
0	X	X	0	0	Mantém
0	X	X	1	1	
1	0	0	0	0	Não muda
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	0	RESET
1	0	1	1	0	
1	1	0	0	1	SET
1	1	0	1	1	
1	1	1	0	X	"Proibido"
1	1	1	1	X	

TABELA DE EXCITAÇÃO

DIAGRAMA DE ESTADO



K-MAP

		S		R	
		00	01	11	10
Q	C				
	00	0	0	0	0
	01	0	0	x	1
	11	1	0	x	1
10	1	1	1	1	

EQUAÇÃO
CARACTERÍSTICA

$$Q^* = SC + \overline{R}Q + Q\overline{C}$$

Se $C = 0 \Rightarrow Q^* = Q$

Se $C = 1$

$$Q^* = S + \overline{R}Q$$

que é a eq. característica do RS simples

(*) $C = CK$

FLIP-FLOP

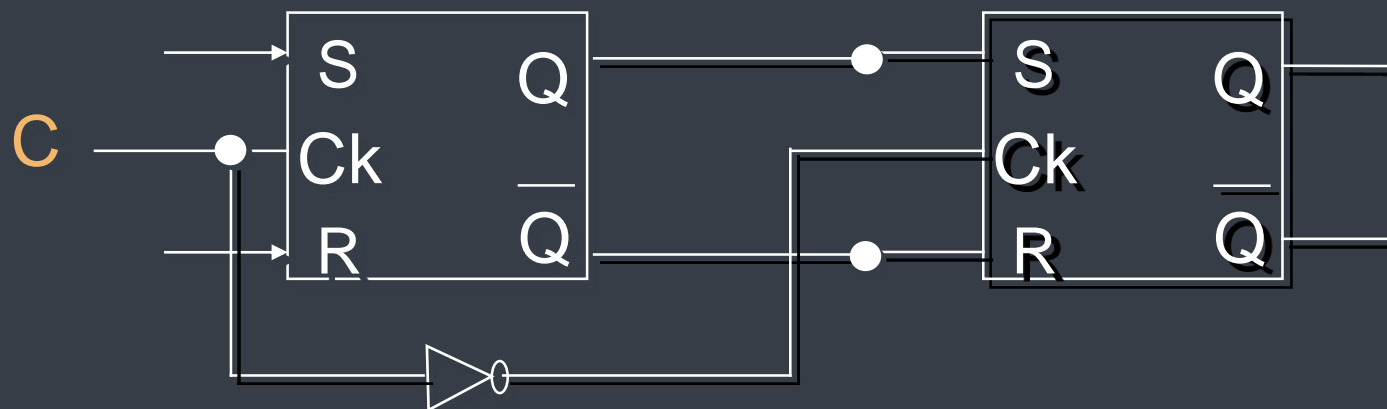
- *Latches* ➔ inadequados para uso em sistemas sequenciais síncronos ➔ quando o sinal de *Enable* está ativo, as entradas são gatilhadas diretamente com a saída *Q*
- Portanto: **qualquer** mudança na entrada de excitação causa **imediatamente** uma mudança na saída do *latch*



Quando o *Enable* está ativo o *Latch* comporta-se como Circuito Combinacional!

FLIP-FLOP

Solução ➔ controle de tempo – **CLOCK** – para restringir os tempos nos quais os estados dos elementos de memória podem mudar



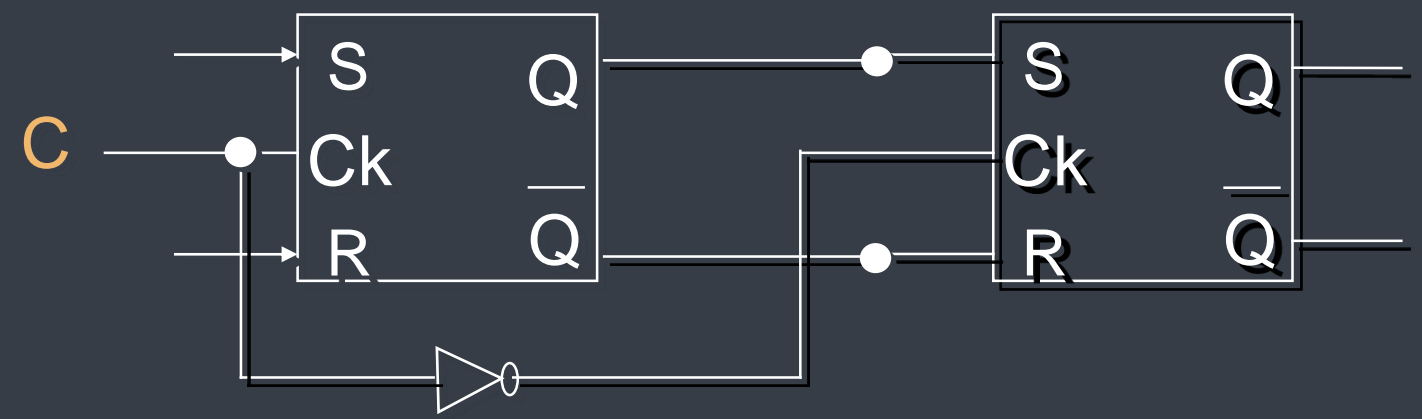
Flip-flop Mestre-Escravo SR

FLIP-FLOP

= à do *latch* simples

Equação característica $\Rightarrow Q^* = S + \bar{R}Q$

- Saída do *latch* RS reage imediatamente a mudanças na entrada
- Saída do FF RS controlada pelo pulso de C



Flip-flop Mestre-Escravo SR

Flip-flop RS Mestre-Escravo

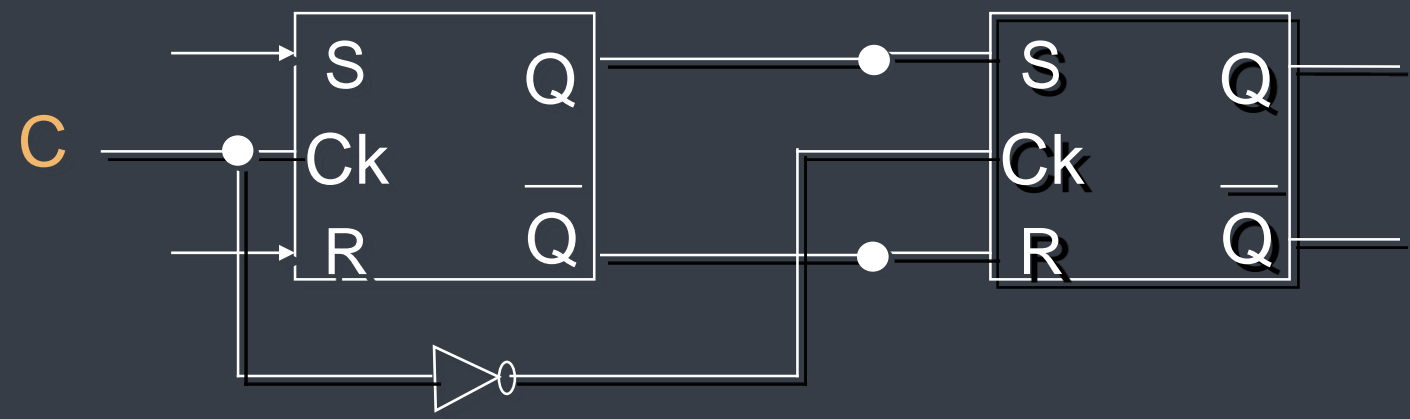
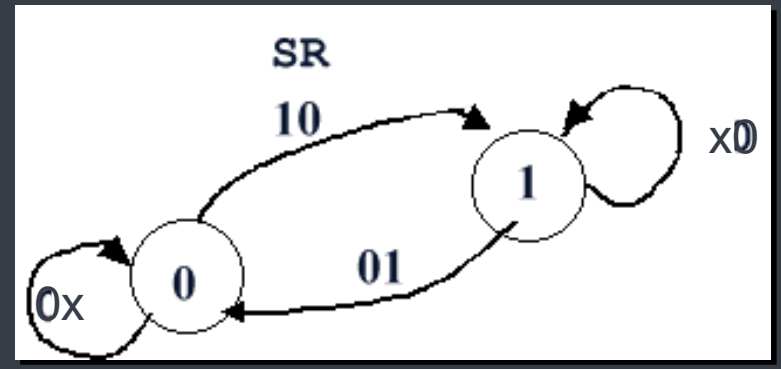


DIAGRAMA DE ESTADO



S	R	Q	C	Q*	
0	0	0		0	Não Muda
0	0	1		1	
0	1	0		0	Reset
0	1	1		0	
1	0	0		1	Set
1	0	1		1	
1	1	0		x	Não permitido
1	1	1		x	

TABELA DE EXCITAÇÃO

Flip-flop Tipo D Mestre-Escravo

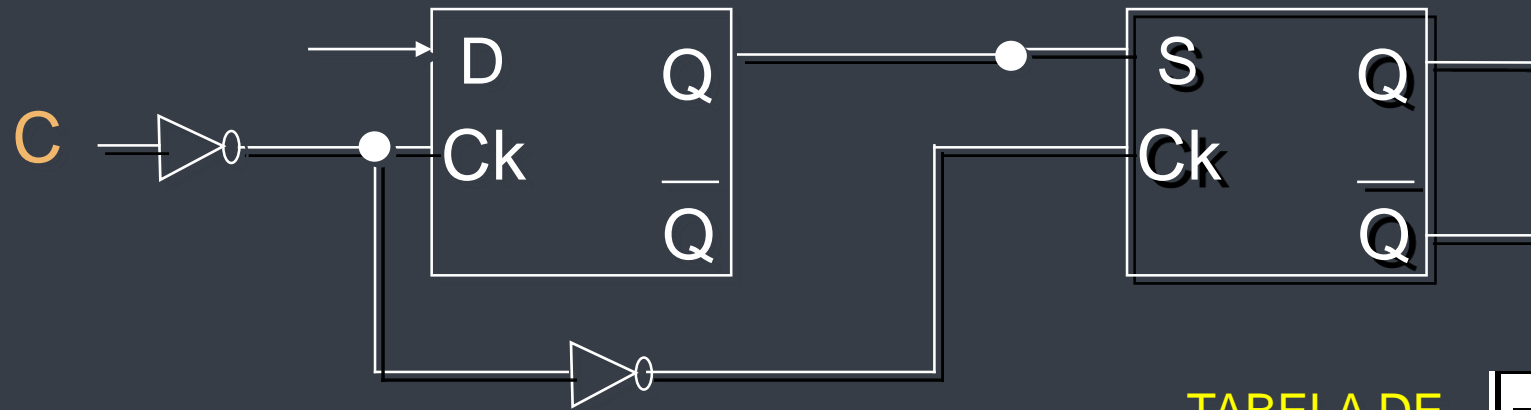


DIAGRAMA DE ESTADO

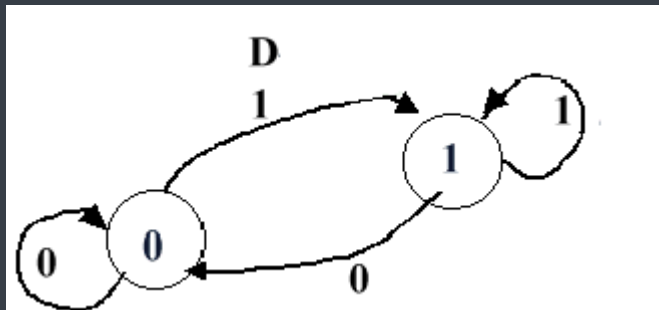


TABELA DE EXCITAÇÃO

D	Q	C	Q*	
0	0		0	Armazena 0
0	1		0	
1	0		1	Armazena 1
1	1		1	

EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA



$$Q^* = D$$

Flip-flop JK Mestre-Escravo

DIAGRAMA DE ESTADO

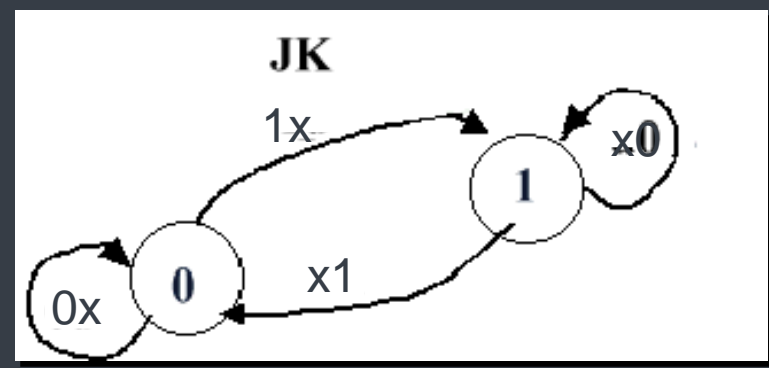


TABELA DE EXCITAÇÃO

J	K	Q	C	Q*	
0	0	0		0	Hold
0	0	1		1	
0	1	0		0	Reset
0	1	1		0	
1	0	0		1	Set
1	0	1		1	
1	1	0		1	Toggle
1	1	1		0	

EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA → ?

DIAGRAMA LÓGICO → ?

Flip-flop JK Mestre-Escravo

DIAGRAMA DE ESTADO

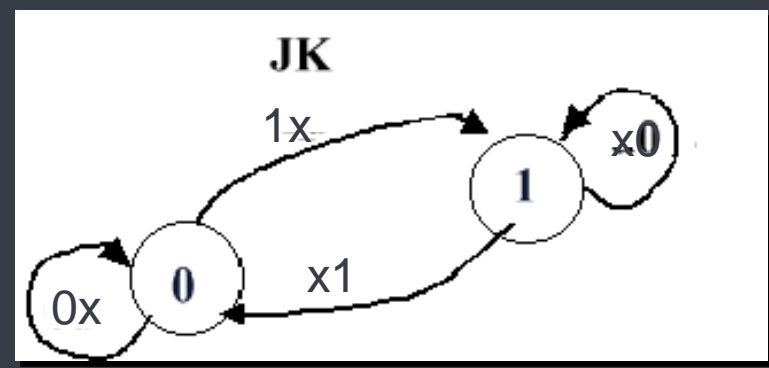
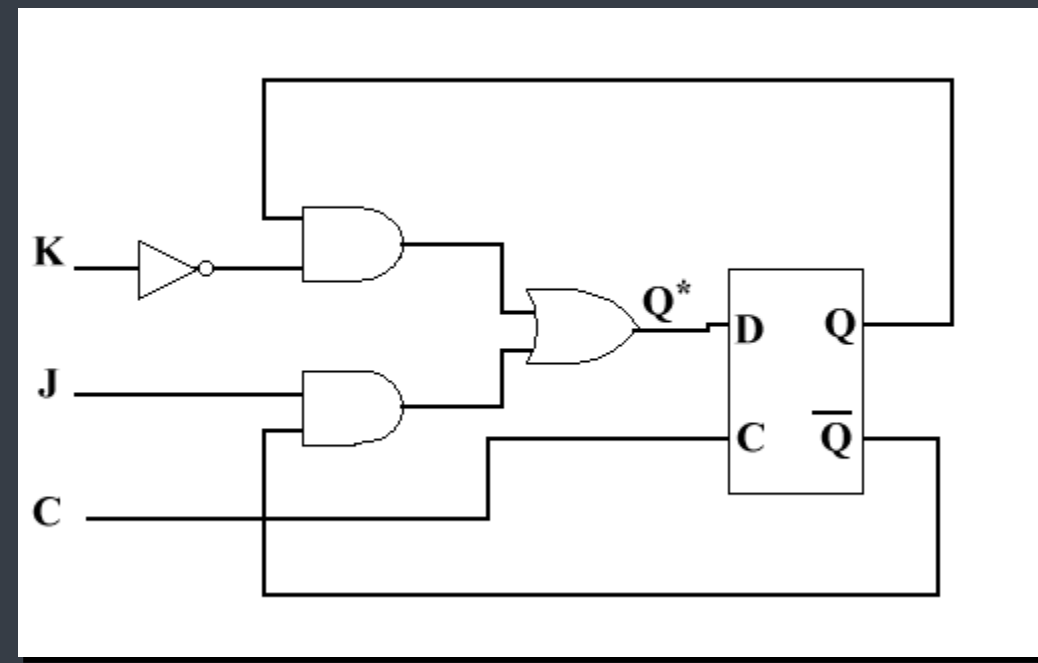


DIAGRAMA LÓGICO



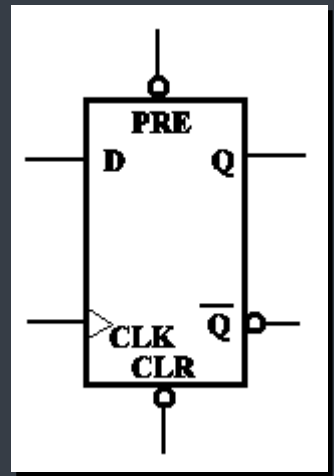
EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA



$$Q^* = \bar{K}Q + J\bar{Q}$$

Flip-flop Tipo D sensível à borda

- Sensibilidade a bordas → elimina as transições não estáveis → período durante o qual o sinal na entrada de excitação é disponibilizado ao *Latch* do FF = muito curto.



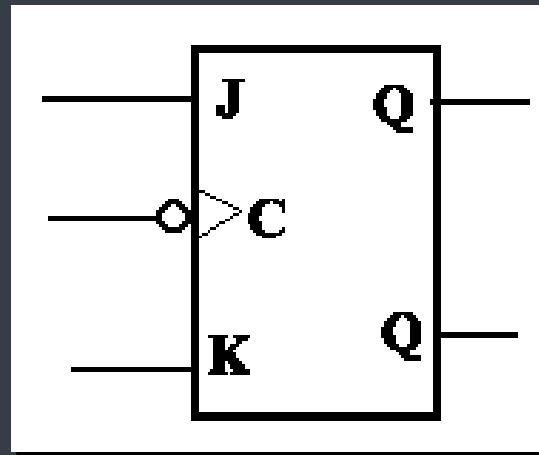
Símbolo Lógico padrão IEEE, do FF D sensível à subida de borda.

TABELA DE EXCITAÇÃO

$\overline{\text{PRE}}$	$\overline{\text{CLR}}$	D	CLK	Q	\overline{Q}	Modo
L	H	X	X	H	L	Set
H	L	X	X	L	H	Clear
L	L	X	X	H	H	Não Permitido
H	H	H	↑	H	L	Operação com relógio
H	H	L	↑	L	H	Operação com relógio
H	H	X	L	Q_0	$\overline{Q_0}$	Hold

O pequeno triângulo na entrada CLK indica que o dispositivo é disparado em borda positiva.

Flip-flop JK sensível à borda



O pequeno triângulo e o círculo na entrada CLK indicam que o dispositivo é sensível a transições em borda negativa.

EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA

$$Q^* = J\bar{Q} + \bar{K}Q$$

Flip-flop tipo T

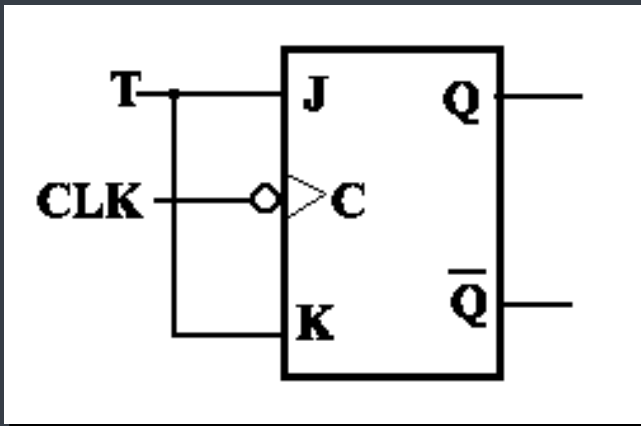


TABELA DE EXCITAÇÃO

T	Q	C	Q*	
0	0	↓	0	Hold
0	1	↓	1	
1	0	↓	1	Toggle
1	1	↓	0	

EQUAÇÃO CARACTERÍSTICA

$$Q^* = J\bar{Q} + \bar{K}Q$$

$$= T\bar{Q} + \bar{T}Q$$

SUMÁRIO – LATCHES E FF

Dispositivo	Equação Característica
Latch SR	$Q^* = S + \bar{R}Q$
Latch SR Gatilhado	$Q^* = SC + QR + \bar{C}Q$
Latch D	$Q^* = DC + \bar{C}Q$
Flip-flop SR	$Q^* = S + \bar{R}Q$
Flip-flop D	$Q^* = D$
Flip-flop JK	$Q^* = \bar{K}Q + J\bar{Q}$
Flip-flop T (sensível a borda)	$Q^* = \bar{Q}$
Flip-flop T (com relógio)	$Q^* = T\bar{Q} + \bar{T}Q$

Exercício – Análise de sist. sequencial síncrono

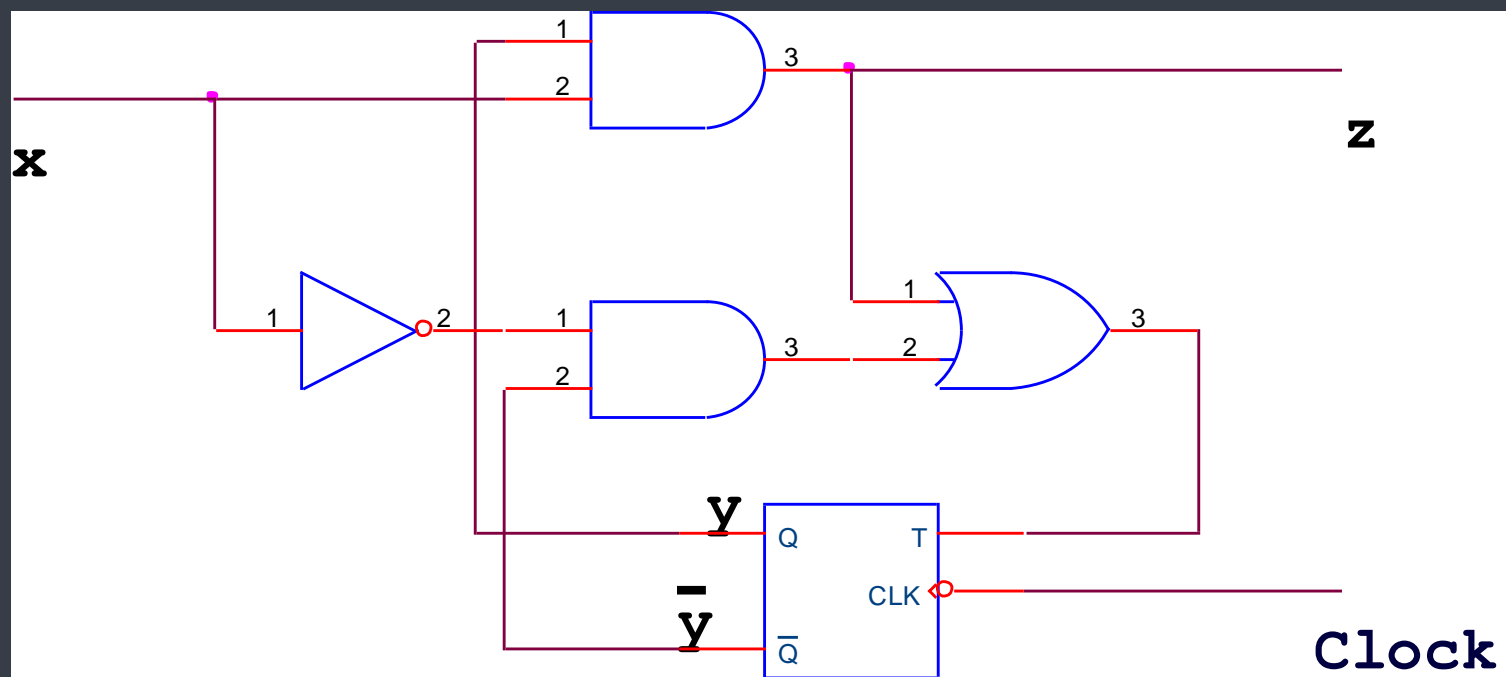
1. Determinar:

- Tabela de Estado;
- Diagrama de Estado;
- Diagrama de tempo

Sequência de entrada:

$X = 01101000$

Estado inicial: $y = 0$



Exercício – Análise de sist. sequencial síncrono

2. Determinar:

- Tabela de Estado;
- Diagrama de Estado;
- Diagrama de tempo

Sequência de entrada:

$$X = 0011110$$

Estado inicial: $y_1^0 y_2^0 = 10$

