

CONTADORES

- **SUMÁRIO:**

- **CONTADORES SÍNCRONOS**

- **CONTADORES DE MÓDULO 2^N**
 - **PROJECTO DE CONTADORES**
 - **FREQUÊNCIA MÁXIMA DE FUNCIONAMENTO**
 - **SITUAÇÃO DE “LOCKOUT”**
 - **SIMBOLOGIA**
 - **CONTADOR EM ANEL**
 - **CONTADOR JOHNSON**
 - **LINEAR FEEDBACK SHIFT-REGISTER**

- **CONTADORES ASSÍNCRONOS**

- **CONTADORES POR PULSAÇÃO**
 - **CONTADORES ASSÍNCRONOS VS. SÍNCRONOS**

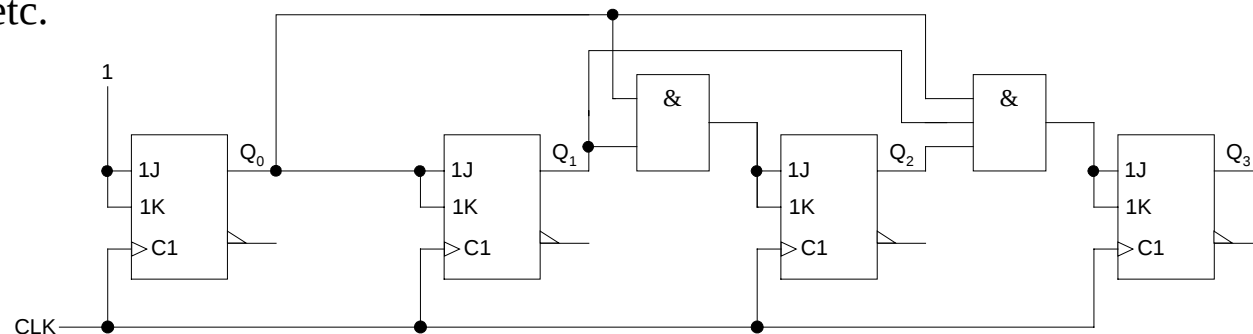
CONTADORES - 3

● CONTADOR BINÁRIO

Um contador binário é um registo que, por aplicação sucessiva de impulsos de relógio, segue uma sequência de estados correspondente à numeração binária.

Utilizando FFs Toggle (p.ex. JK com $J = K$), o projecto do circuito aproveita o facto de, na contagem binária, o Q_0 estar sempre a variar, o Q_1 variar quando $Q_0 = 1$, o Q_2 variar quando $Q_0 = Q_1 = 1$, etc.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
CLK									
Q_0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
Q_1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Q_2	0	0	0	0	1	1	1	1	0
Q_3	0	0	0	0	0	0	0	0	1

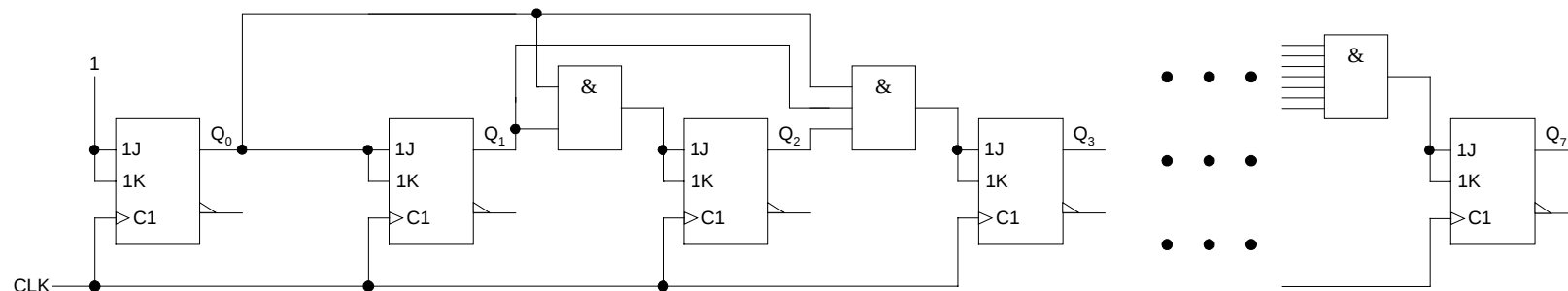


CONTADORES - 4

CONTADOR BINÁRIO (cont.)

A estrutura do contador é facilmente generalizável para contadores módulo 2^N .

No entanto, esta estrutura está limitada pelo facto de o *fanin* das portas AND ir aumentando sucessivamente até à última porta, que tem N entradas.



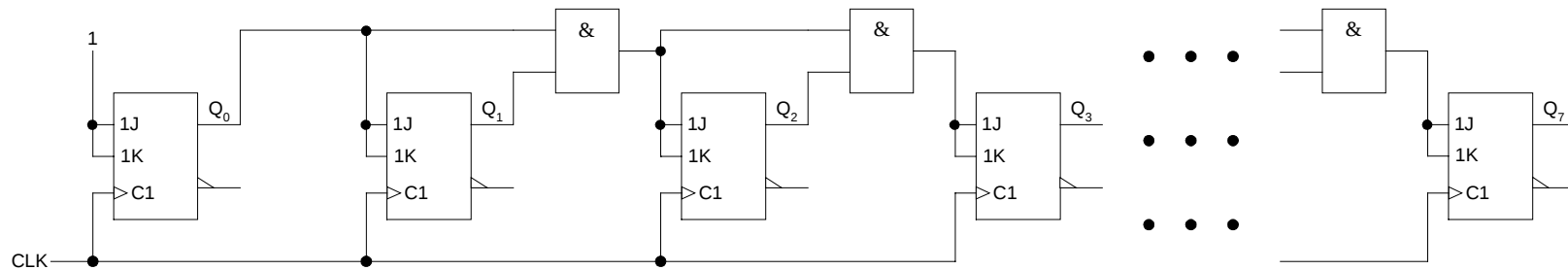
A frequência máxima de relógio a que este contador pode funcionar é:

$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{t_{pFF} + t_{pAND} + t_{suFF}}$$

CONTADORES - 5

CONTADOR BINÁRIO (cont.)

Aproveitando os produtos parciais já realizados, é possível modificar a estrutura do contador para usar apenas portas AND de 2 entradas, mantendo a funcionalidade.



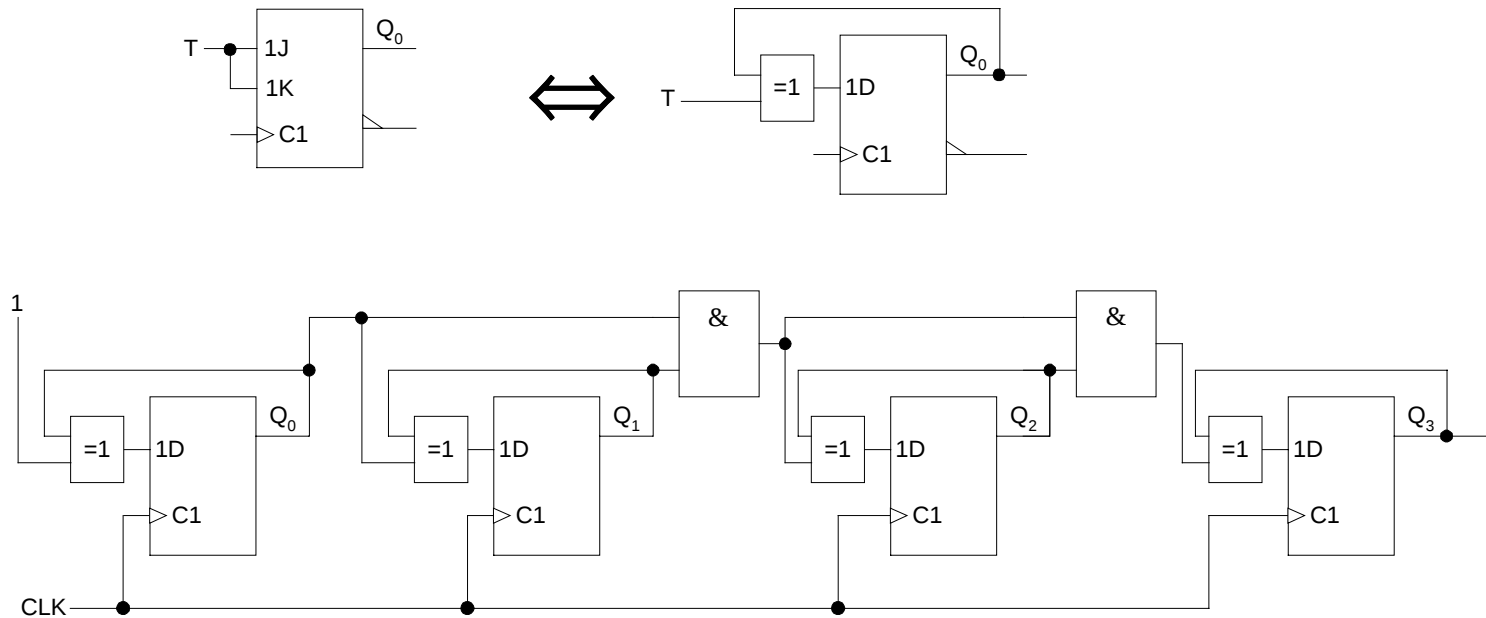
No entanto, o caminho crítico entre FFs aumenta substancialmente, limitando a frequência máxima a que o contador pode funcionar.

$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{t_{pFF} + (n-2)t_{pAND} + t_{suFF}}$$

CONTADORES - 6

● CONTADOR BINÁRIO COM FF D

O mesmo contador pode ser realizado definindo um FF Toggle a partir de FF D e aproveitando directamente a mesma estrutura.



CONTADORES - 7

● PROJECTO DE CONTADORES COM FF JK

O procedimento de projecto de um contador, como de qualquer outro circuito sequencial síncrono, passa pela definição da tabela de estados do circuito.

►Exemplo - Contador módulo 8

A lógica combinatória do circuito é projectada de modo a forçar nas entradas dos FFs os valores que impõem as transições de estado especificadas na tabela de estados.

Tabela de Excitação
do FF JK

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	J	K
$0 \rightarrow 0$	0	X
$0 \rightarrow 1$	1	X
$1 \rightarrow 0$	X	1
$1 \rightarrow 1$	X	0

Tabela de Estados

Estado Actual			Estado Seguinte			Entradas dos FFs					
Q_2	Q_1	Q_0	Q_2	Q_1	Q_0	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	X	1
0	1	0	0	1	1	0	X	X	0	1	X
0	1	1	1	0	0	1	X	X	1	X	1
1	0	0	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	1	1	1	X	0	X	0	1	X
1	1	1	0	0	0	X	1	X	1	X	1

CONTADORES - 8

● PROJECTO DE CONTADORES COM FF JK (cont.)

A lógica combinatória força nas entradas dos FFs os valores que concretizam as transições especificadas, em função do **estado actual**.

Estado
Actual

Q_2	Q_1	Q_0	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	X	1	X	X	1
0	1	0	0	X	X	0	1	X
0	1	1	1	X	X	1	X	1
1	0	0	X	0	0	X	1	X
1	0	1	X	0	1	X	X	1
1	1	0	X	0	X	0	1	X
1	1	1	X	1	X	1	X	1

$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
Q_2				
0	0	0	1	0
1	X	X	X	X

$$J_2 = Q_1 Q_0$$

$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
Q_2				
0	X	X	X	X
1	0	0	1	0

$$K_2 = Q_1 Q_0$$

$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
Q_2				
0	0	1	X	X
1	0	1	X	X

$$J_1 = Q_0$$

$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
Q_2				
0	X	X	1	0
1	X	X	1	0

$$K_1 = Q_0$$

$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
Q_2				
0	1	X	X	1
1	1	X	X	1

$$J_0 = 1$$

$Q_1 Q_0$	00	01	11	10
Q_2				
0	X	1	1	X
1	X	1	1	X

$$K_0 = 1$$

CONTADORES - 9

● PROJECTO DE CONTADORES COM FF D

O projecto de contadores com FF D, segue exactamente o mesmo procedimento.

No caso dos FF D, os valores necessários nas entradas dos FF para concretizar uma determinada transição de estado, são directamente os valores do estado para o qual se pretende transitar (estado seguinte).

Estado Actual			Estado Seguinte					
Q_2	Q_1	Q_0	Q_2	Q_1	Q_0	D_2	D_1	D_0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	0
0	1	0	0	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0	1
1	0	1	1	1	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	0	0	0	0	0

Tabela de excitação do FF D

$Q_n \rightarrow Q_{n+1}$	D
$X \rightarrow 0$	0
$X \rightarrow 1$	1

$Q_1 Q_0$				
	00	01	11	10
Q_2	0	1	0	1
0	0	1	0	1
1	0	1	0	1

$$D_1 = \overline{Q_1} Q_0 + Q_1 \overline{Q_0} \\ = Q_1 \oplus Q_0$$

$Q_1 Q_0$				
	00	01	11	10
Q_2	0	1	0	1
0	1	0	0	1
1	1	0	0	1

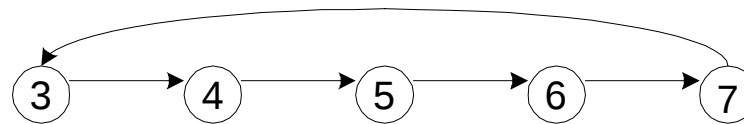
$D_0 = \overline{Q_0}$

$Q_1 Q_0$				
	00	01	11	10
Q_2	0	1	0	1
0	0	0	1	0
1	1	1	0	1

$$D_2 = \overline{Q_2} Q_1 Q_0 + Q_2 \overline{Q_1} + Q_2 \overline{Q_0} \\ = \overline{Q_2} (Q_1 Q_0) + Q_2 (\overline{Q_1} + \overline{Q_0}) \\ = Q_2 \oplus Q_1 Q_0$$

● CONTADORES: Projecto de um Contador Síncrono de Módulo 5 (PM5)

Diagrama de Estados de Contagem (Exemplo)



A existência de 5 estados de contagem impõe, pelo menos, a utilização de 3 FFs

Tabela de Codificação de Estados

Estado	Q2	Q1	Q0
S ₀	0	0	0
S ₁	0	0	1
S ₂	0	1	0
S ₃	0	1	1
S ₄	1	0	0
S ₅	1	0	1
S ₆	1	1	0
S ₇	1	1	1

Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
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	1	1

CONTADORES - 11

● CONTADORES: PM5(cont)

Seleção do Tipo de FF

FF JK vs FF D - O FF JK é mais versátil devido às duas entradas resultando numa menor complexidade de portas lógicas adicionais, contudo, possui em contrapartida um processo de síntese mais trabalhoso.

Tabela de Excitação do FF JK

Q_n	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Tabela de Excitação do FF D

Q_n	Q_{n+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

CONTADORES - 12

● CONTADORES: PM5(cont)

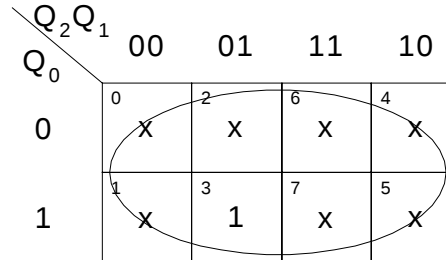
Tabela de Excitação do FF JK

Q_n	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

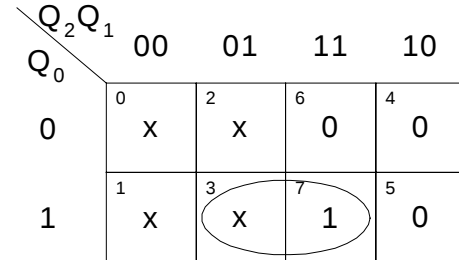
Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
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	1	1

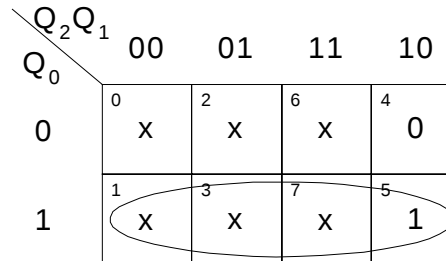
Mapas de Karnaugh por Entrada de FFs



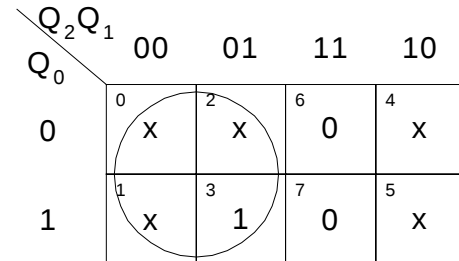
$$J_2 = 1$$



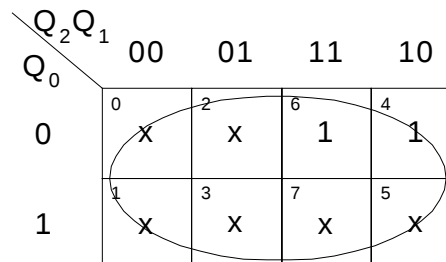
$$K_2 = Q_1 Q_0$$



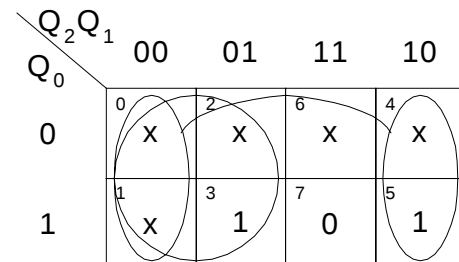
$$J_1 = Q_0$$



$$K_1 = \overline{Q_2}$$



$$J_0 = 1$$



$$K_0 = \overline{Q_2} + \overline{Q_1}$$

CONTADORES - 13

● CONTADORES: PM5(cont)

Funções de Excitação dos FFs

$$J_2 = 1 \quad K_2 = Q_1 Q_0$$

$$J_1 = Q_0 \quad K_1 = \bar{Q}_2$$

$$J_0 = 1 \quad K_0 = \bar{Q}_2 + \bar{Q}_1$$

Diagrama Lógico do Circuito Contador

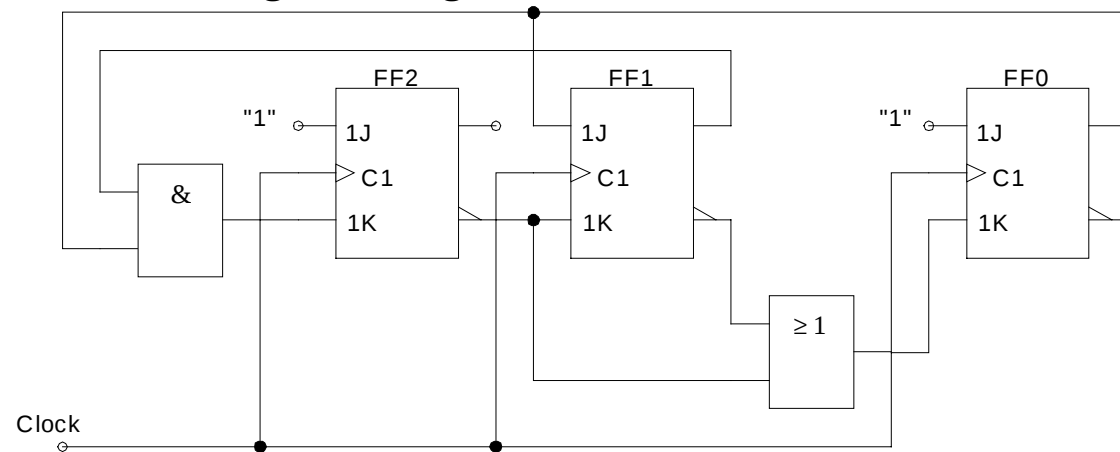
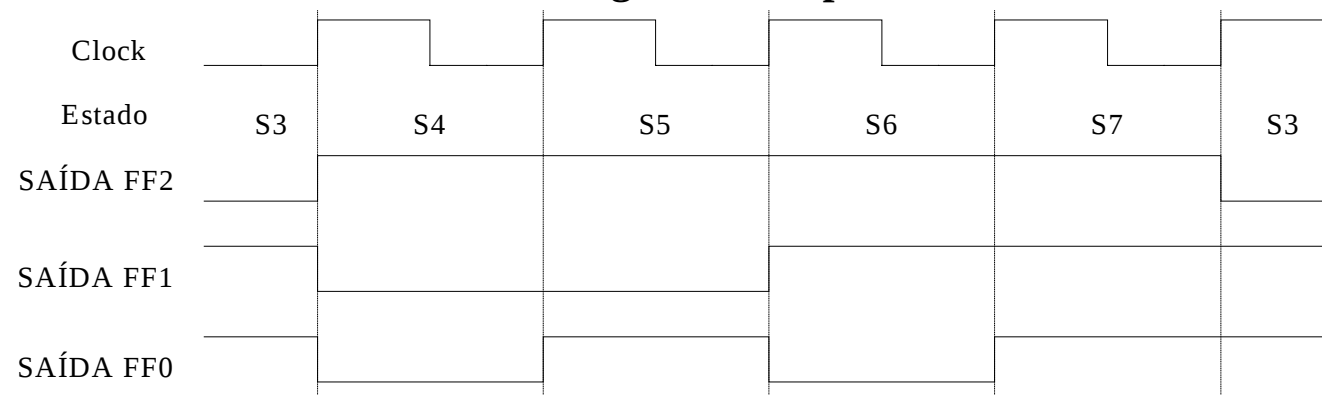


Diagrama Temporal



CONTADORES - 14

- **CONTADORES:** Projecto de um Contador Ascendente/Descendente Síncrono de Módulo 5. (PADM5)

Diagrama de Estados

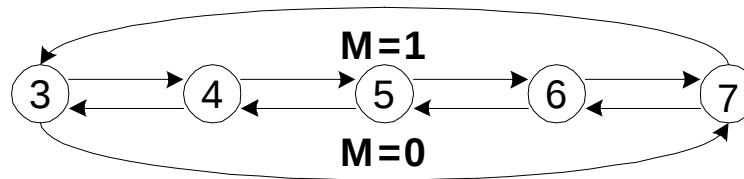


Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

CONTADORES - 15

● CONTADORES: PADM5 (cont) – Síntese das Funções de Entrada do FF0

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

Q ₂ Q ₁	Q ₀ M			
	00	01	11	10
00	x	x	x	x
01	x	x	x	x
11	1	1	x	x
10	1	1	x	x

$$J_0 = 1$$

Q ₂ Q ₁	Q ₀ M			
	00	01	11	10
00	x	x	x	x
01	x	x	1	0
11	x	x	0	1
10	x	x	1	1

$$K_0 = \overline{Q_1} + \overline{M}Q_2 + M\overline{Q_2}$$

CONTADORES - 16

● CONTADORES: PADM5 (cont) – Síntese das Funções de Entrada do FF1

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

		Q ₀ M			
		00	01	11	10
Q ₂ Q ₁	00	x	x	x	x
	01	x	x	x	x
	11	x	x	x	x
	10	1	0	1	0

$$J_1 = \overline{M}\overline{Q_0} + MQ_0$$

		Q ₀ M			
		00	01	11	10
Q ₂ Q ₁	00	x	x	x	x
	01	x	x	1	0
	11	1	0	0	0
	10	x	x	x	x

$$K_1 = \overline{M}\overline{Q_0} + M\overline{Q_2}$$

CONTADORES - 17

● CONTADORES: PADM5 (cont) – Síntese das Funções de Entrada do FF2

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

Q ₂ Q ₁ \ Q ₀ M				
	00	01	11	10
00	x	x	x	x
01	x	x	1	1
11	x	x	x	x
10	x	x	x	x

$$J_2 = 1$$

Q ₂ Q ₁ \ Q ₀ M				
	00	01	11	10
00	x	x	x	x
01	x	x	x	x
11	0	0	1	0
10	1	0	0	0

$$K_2 = MQ_1Q_0 + \overline{M}\overline{Q_1}\overline{Q_0}$$

CONTADORES - 18

● CONTADORES: PADM5 (cont) – Funções e Tabela de Estados da Solução

Funções de Excitação dos FFs

$$\begin{aligned} J_0 &= 1 & K_0 &= \overline{Q_1} + \overline{M}Q_2 + M\overline{Q_2} \\ J_1 &= \overline{M}Q_0 + MQ_0 & K_1 &= \overline{M}Q_0 + M\overline{Q_2} \\ J_2 &= 1 & K_2 &= MQ_1Q_0 + \overline{M}\overline{Q_1}\overline{Q_0} \end{aligned}$$

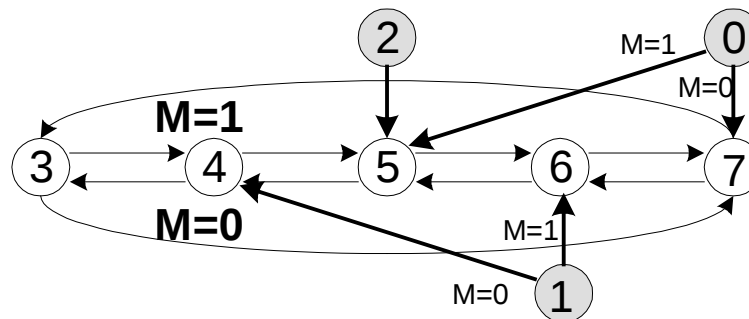
Tabela de Transição de Estados

Estado Presente (n)			Estado Seguinte (n+1)					
			M=0			M=1		
Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0	Q2	Q1	Q0
0	0	0	1	1	1	1	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0	1
1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	1	1	1	1	0	0	1	1

CONTADORES - 19

● CONTADORES: PADM5 (cont) – Diagrama de Estados da Solução

Diagrama de Estados



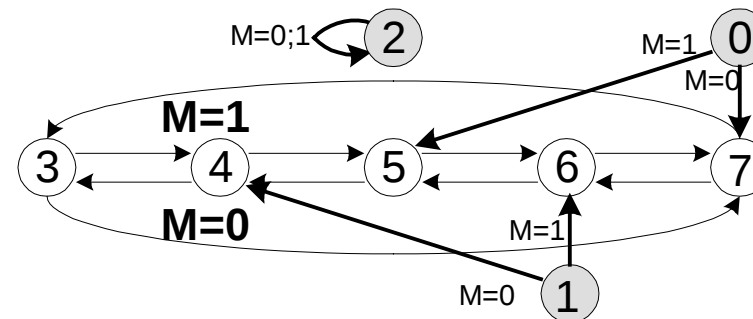
Os estados não considerados para efeito da contagem (S0, S1 e S2) permitem passar para a sequência de contagem pretendida, ao fim de um ciclo de relógio (justifique), na solução apresentada, mas terá sido isso uma imposição do projecto?

● CONTADORES: “LOCK-OUT”

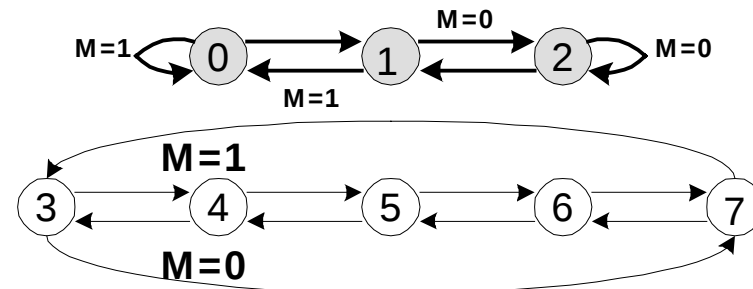
Estados de LOCKOUT: no caso de não serem utilizados todos os estados disponíveis, pode ocorrer a situação do contador se encontrar num **estado não desejado** (fora da sequência de contagem) devido a ruído no circuito ou à não imposição de estado inicial. Nessa situação ou o contador entra na sequência de contagem pretendida ou fica indefinidamente no exterior (**Lockout**).

Solução: impôr a transição de qualquer estado externo para um estado da sequência de contagem **ou** considerar uma entrada extra, de inicialização, que coloque o sistema num dos estados de contagem pretendido.

Exemplo de Lock-Out (1)

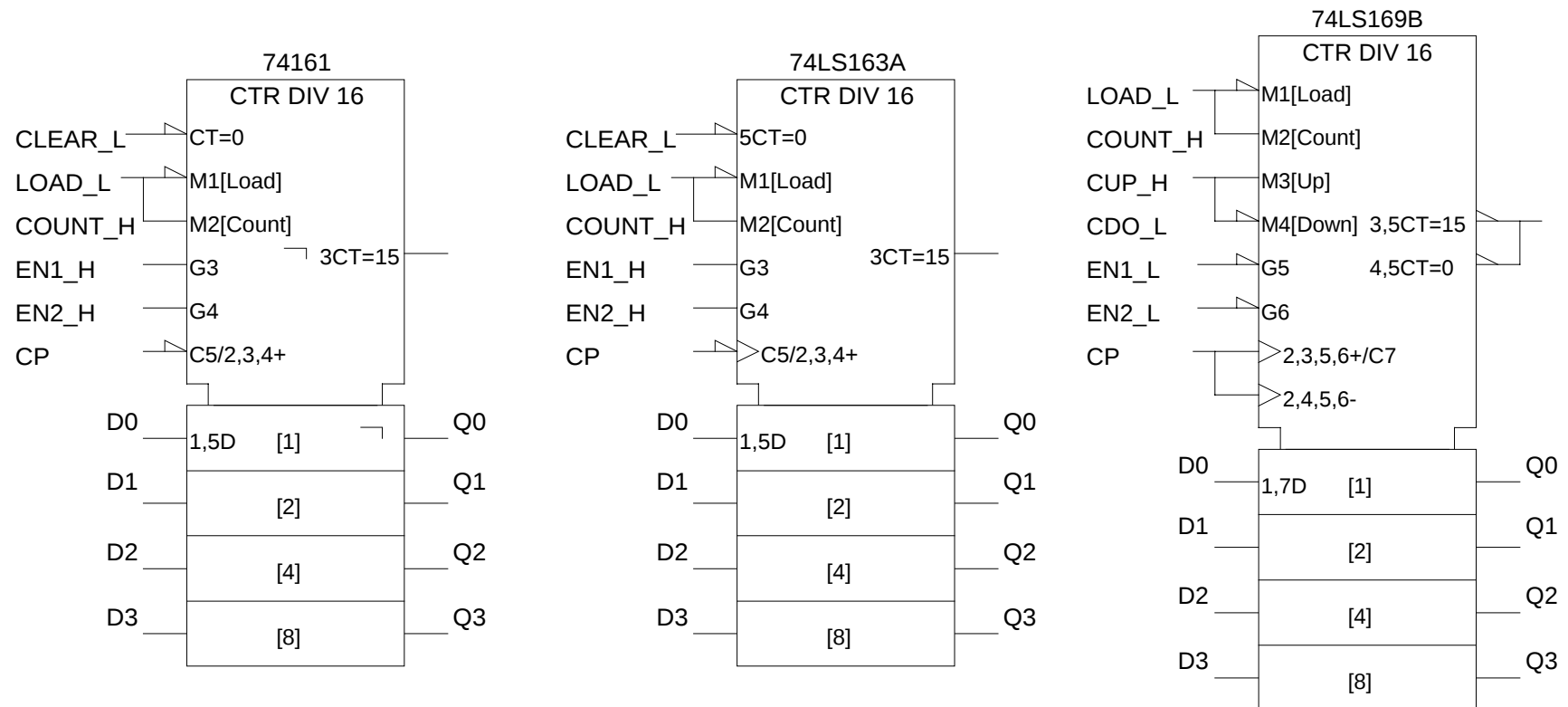


Exemplo de Lock-Out (2)



CONTADORES - 21

● SIMBOLOGIA



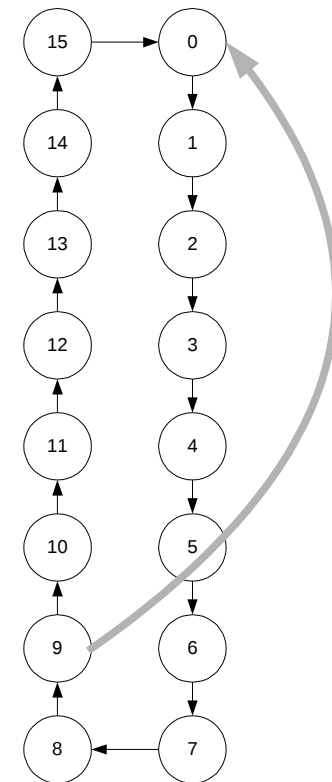
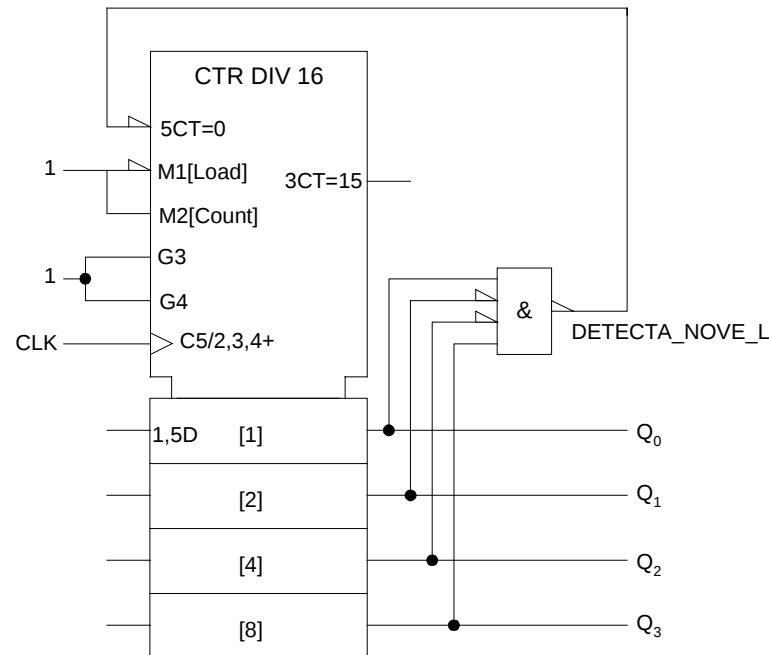
● OUTROS CONTADORES

Podem ser projectados contadores para evoluírem segundo uma qualquer sequência periódica de estados (p.ex: os contadores decimais seguem a sequência dos dígitos BCD; os contadores Gray seguem a sequência dos dígitos com codificação Gray – têm a propriedade importante de variarem um único bit de cada vez).

► Exemplo

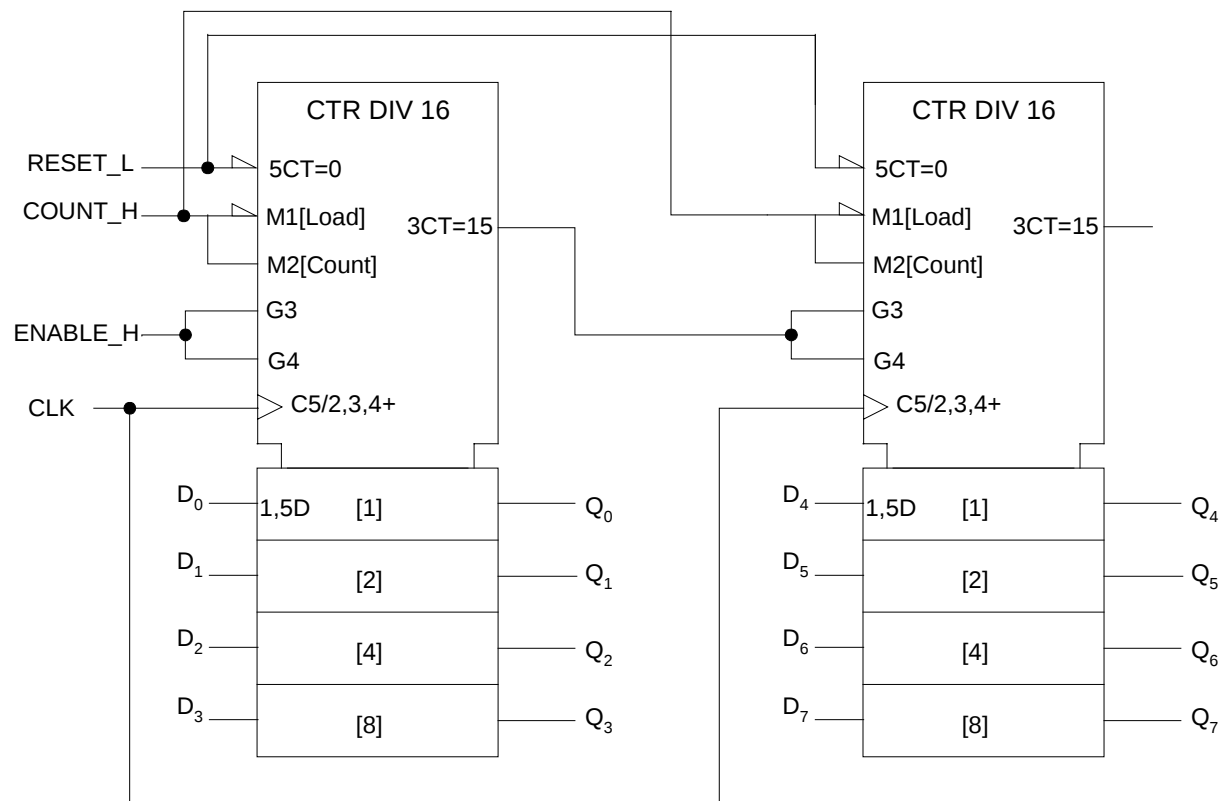
Um contador decimal pode ser realizado directamente de um contador módulo 16, forçando a reinicialização do contador após o estado 9.

Nota: este contador não tem **lockout**. Porquê?



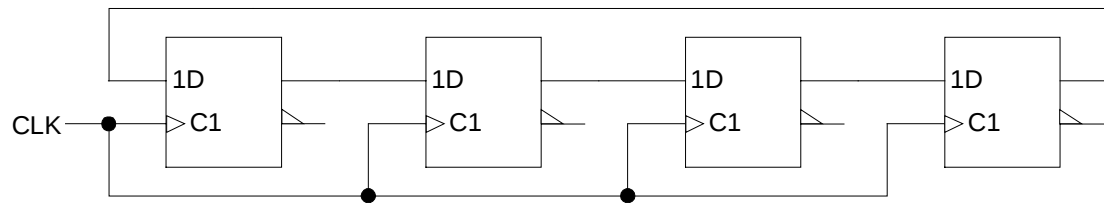
● LIGAÇÃO EM SÉRIE DE CONTADORES

Um contador módulo 256 pode ser realizado ligado em série 2 contadores módulo 16 (o 2º contador só é habilitado quando o 1º chega ao fim de contagem).

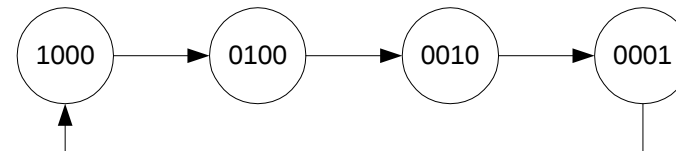


● CONTADOR EM ANEL – “*Ring Counter*”

A ligação de N flip-flops em cascata, como registo de deslocamento, pode também ser usada como um contador simples, usando o mínimo de *hardware*.



O contador evolui segundo a sequência de 4 estados, ao lado, e depois repete.



O contador é muito rápido (não existem portas lógicas no caminho entre FFs),

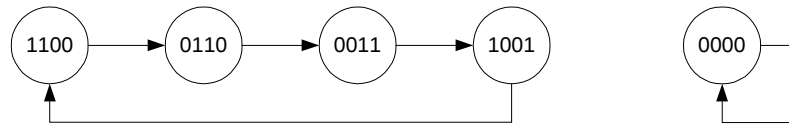
$$f_{\max} = \frac{1}{T_{\min}} = \frac{1}{t_{pFF} + t_{suFF}}$$

mas é ineficiente em termos do número total de estados de contagem disponíveis (só usa N estados, dos 2^N estados disponíveis).

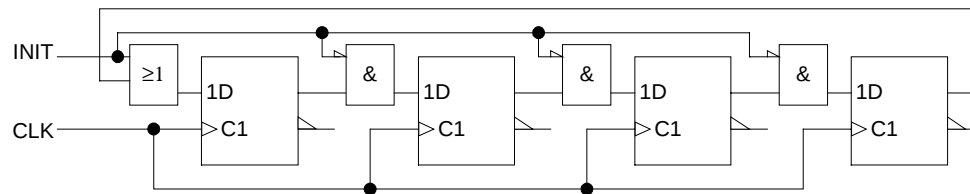
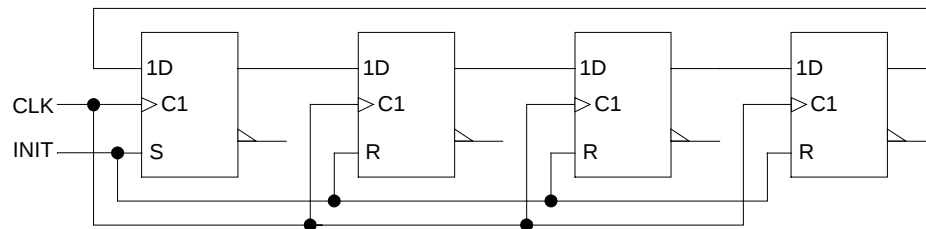
● CONTADOR EM ANEL: LOCKOUT

O contador em anel usa apenas N estados, dos 2^N estados disponíveis, pelo que é necessário inicializá-lo num dos N estados de contagem.

Existem várias sequências alternativas de contagem/**lockout**:

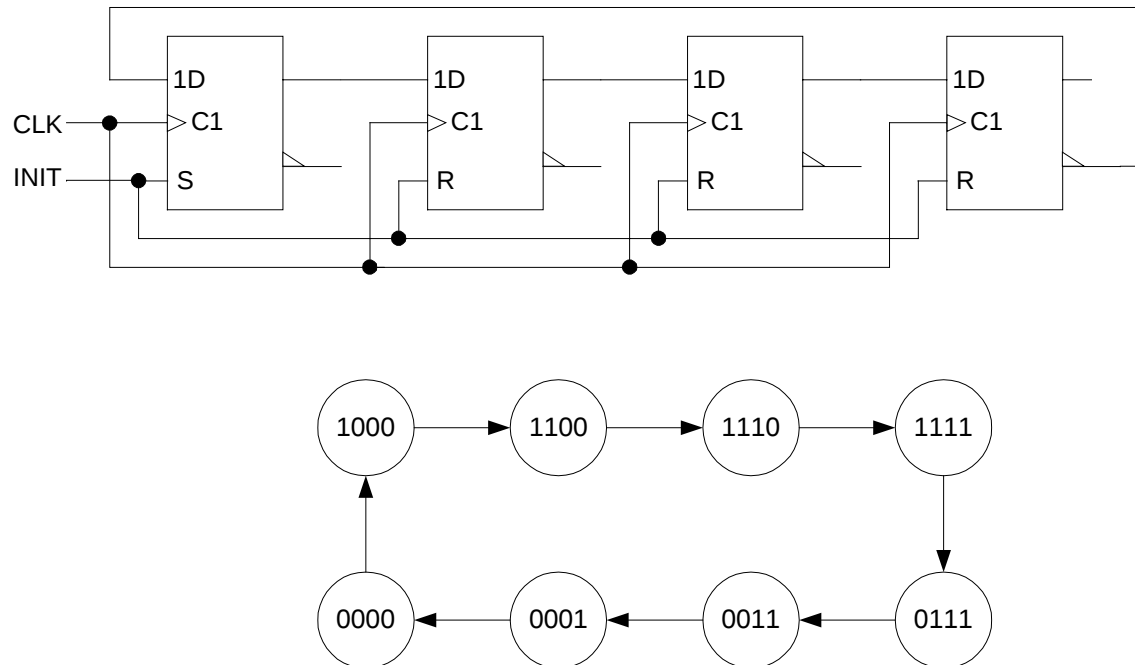


Alternativas de
Inicialização no
Estado “1000”:



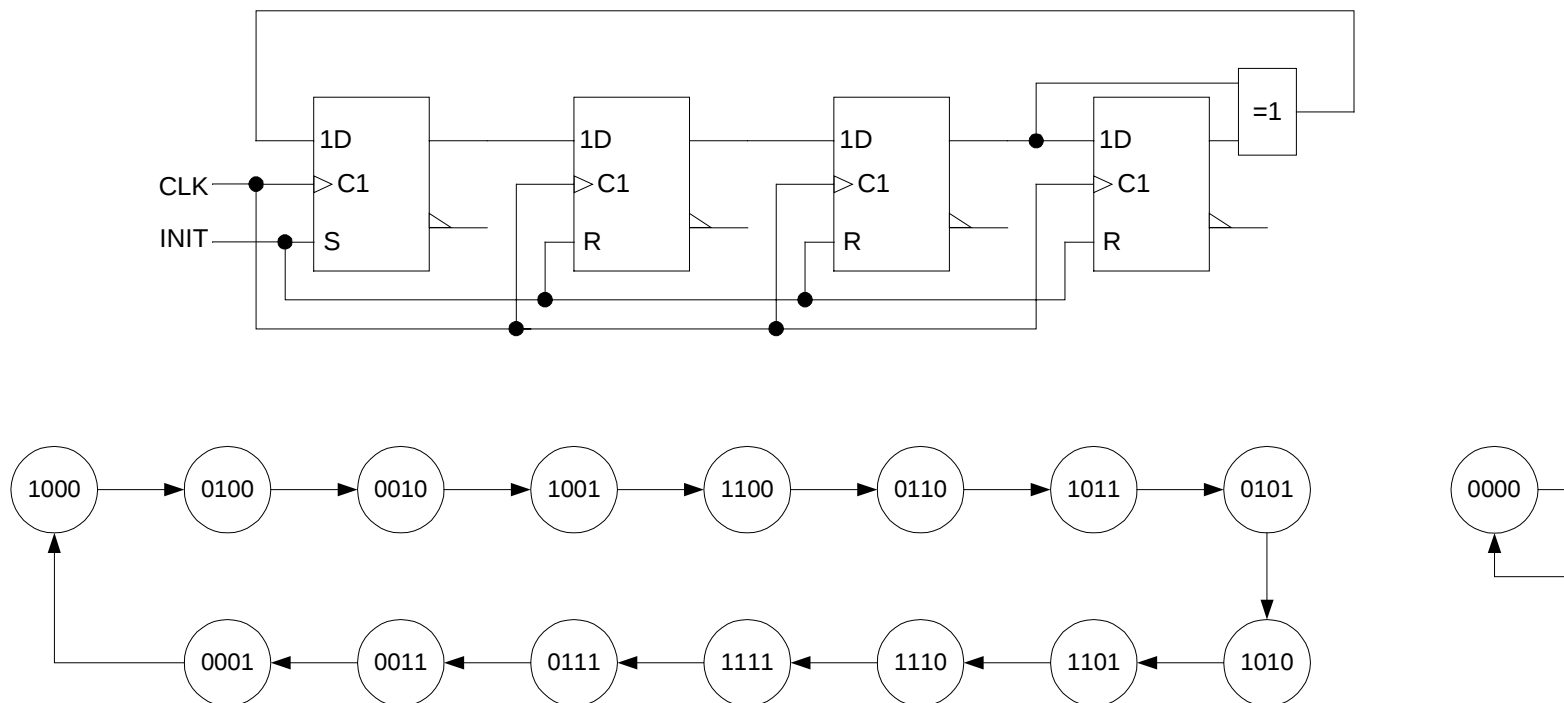
● CONTADOR JOHNSON

O contador Johnson usa $2N$ dos 2^N estados disponíveis, mantendo a rapidez do contador em anel.



● LINEAR FEEDBACK SHIFT-REGISTER

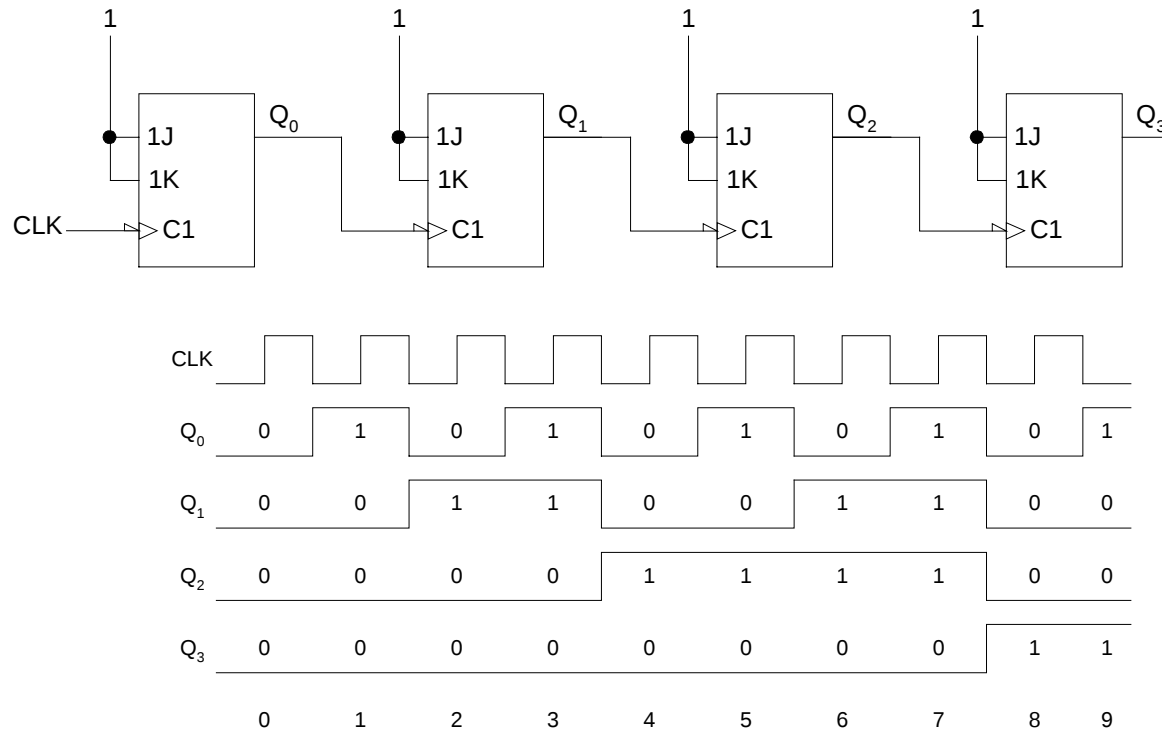
O LFSR usa $2^N - 1$ dos 2^N estados disponíveis, usando apenas uma porta lógica adicional.



● CONTADORES POR PULSAÇÃO – “Ripple Counters”

Os contadores por pulsação são extremamente simples de realizar.

No entanto, o facto de serem assíncronos (os FF não estão em sincronismo) torna-os pouco fiáveis, por dependentes dos atrasos de propagação do sinal.

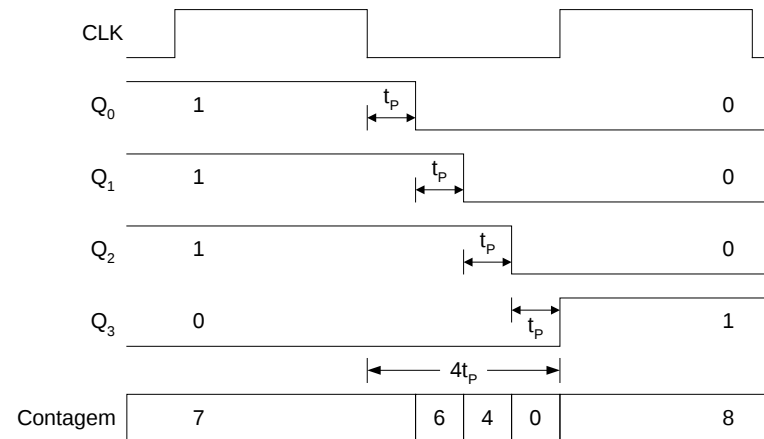


● CONTADORES ASSÍNCRONOS VS. SÍNCRONOS

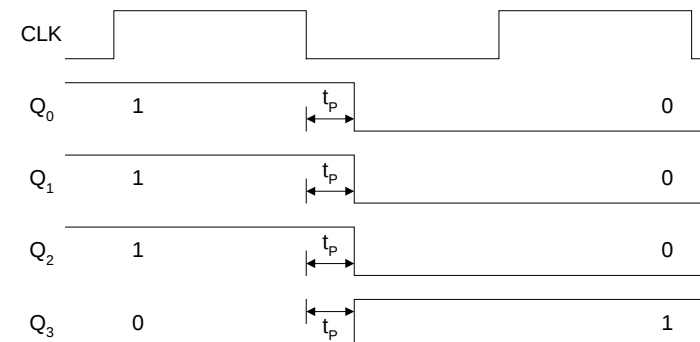
No contador assíncrono, as mudanças de estado não ocorrem todas na transição de relógio! De facto e por exemplo, na transição de 7 para 8, o contador passa sucessivamente por vários estados intermédios.

Quanto mais FFs existirem, mais o bit de maior peso demora a transitar, o que torna os contadores por pulsação de grande dimensão muito lentos (o que limita, neste caso, o período de relógio?).

As realizações assíncronas são, portanto e genericamente, de evitar .



Contador Assíncrono



Contador Síncrono

BIBLIOGRAFIA

[1] M. Morris Mano, Charles R. Kime, “Logic and Computer Design Fundamentals”, Prentice-Hall International, Inc. (Capítulo 5, Secções 5.4-5.6)