



TÉCNICO LISBOA

SISTEMAS DIGITAIS (SD)

MEEC

Acetatos das Aulas Teóricas

Versão 4.0 - Português

Aula Nº 17:

Título: Contadores

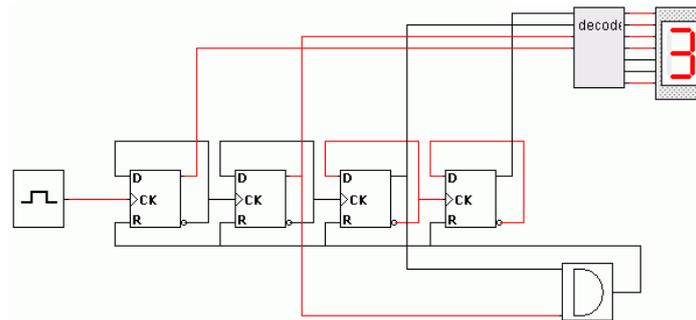
Sumário: Contadores síncronos (contadores de módulo 2^n , projecto de contadores, frequência máxima de funcionamento, situação de "lock-out", simbologia, contador em anel, contador Johnson, linear feedback shift-register); Contadores assíncronos (contadores por pulsação); Contadores assíncronos vs. síncronos.

2015/2016

Nuno.Roma@tecnico.ulisboa.pt

Sistemas Digitais (SD)

Contadores



Aula Anterior

■ Na aula anterior:

- ▶ Registos
 - Registos simples
 - Banco de registos
 - Registos de deslocamento
 - Registos multimodo



SEMANA	TEÓRICA 1	TEÓRICA 2	PROBLEMAS/LABORATÓRIO
14/Set a 19/Set	Introdução	Sistemas de Numeração e Códigos	
21/Set a 26/Set	Álgebra de Boole	Elementos de Tecnologia	P0
28/Set a 3/Out	Funções Lógicas	Minimização de Funções Booleanas (I)	L0
5/Out a 10/Out	Minimização de Funções Booleanas (II)	Def. Circuito Combinatório; Análise Temporal	P1
12/Out a 17/Out	Circuitos Combinatórios (I) – Codif., MUXs, etc.	Circuitos Combinatórios (II) – Som., Comp., etc.	L1
19/Out a 24/Out	Circuitos Combinatórios (III) - ALUs	Linguagens de Descrição e Simulação de Circuitos Digitais	P2
26/Out a 31/Out	Circuitos Sequenciais: Latches	Circuitos Sequenciais: Flip-Flops	L2
2/Nov a 7/Nov	Caracterização Temporal	Registos	P3
9/Nov a 14/Nov	Revisões	Contadores	L3
16/Nov a 21/Nov	Síntese de Circuitos Sequenciais: Definições	Síntese de Circuitos Sequenciais: Minimização do número de estados	P4
23/Nov a 28/Nov	Síntese de Circuitos Sequenciais: Síntese com Contadores	Memórias	L4
30/Nov a 5/Dez	Máq. Estado Microprogramadas: Circuito de Dados e Circuito de Controlo	Máq. Estado Microprogramadas: Endereçamento Explícito/Implícito	P5
7/Dez a 12/Dez	Circuitos de Controlo, Transferência e Processamento de Dados de um Processador	Lógica Programável	L5
14/Dez a 18/Dez	P6	P6	L6



■ Tema da aula de hoje:

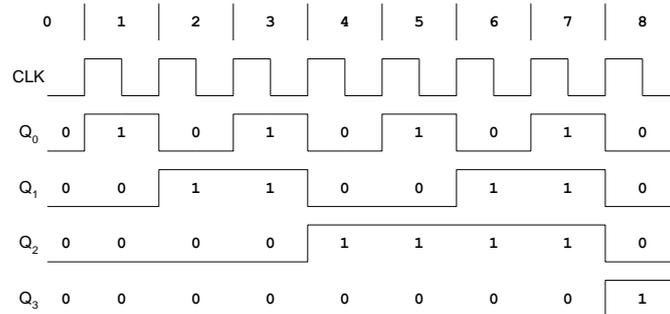
- ▶ Contadores síncronos
 - Contadores de módulo 2^n
 - Projecto de contadores
 - Frequência máxima de funcionamento
 - Situação de "lock-out"
 - Simbologia
 - Contador em anel
 - Contador Johnson
 - Linear feedback shift-register
- ▶ Contadores assíncronos
 - Contadores por pulsação
 - Contadores assíncronos vs. síncronos

□ Bibliografia:

- M. Mano, C. Kime: Secções 7.6
- G. Arroz, J. Monteiro, A. Oliveira: Secção 6.6

Contador Binário

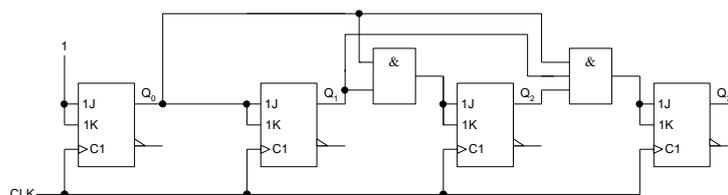
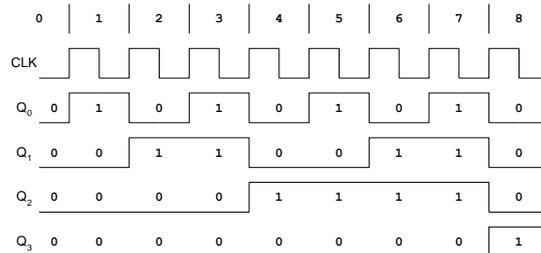
- Um contador binário é um registo que, por aplicação sucessiva de impulsos de relógio, segue uma sequência de estados correspondente à numeração binária.



Contador Binário (cont.)

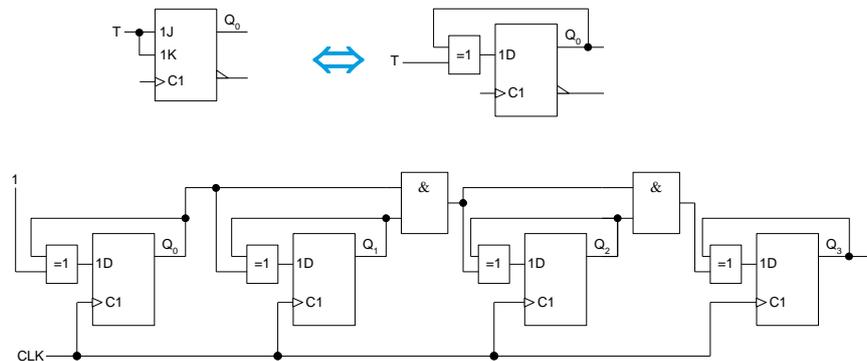
- Exemplo:

Utilizando FFs Toggle (p.ex. JK com $J = K$), o projecto do circuito aproveita o facto de, na contagem binária, o Q₀ estar sempre a variar, o Q₁ variar quando Q₀ = 1, o Q₂ variar quando Q₀ = Q₁ = 1, etc.

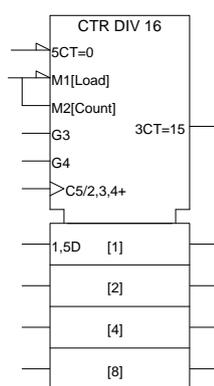


Contador Binário com Flip-Flops tipo D

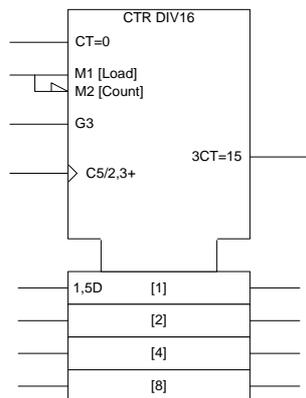
- ▶ O mesmo contador pode ser realizado definindo um FF Toggle a partir de FF D e aproveitando directamente a mesma estrutura.



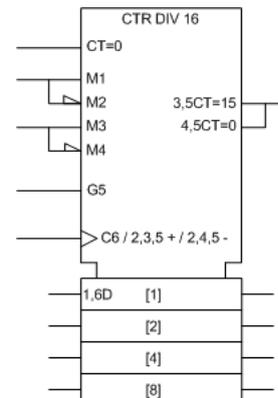
Exemplos de Componentes



Contador binário, módulo 16, com carregamento paralelo e clear síncrono



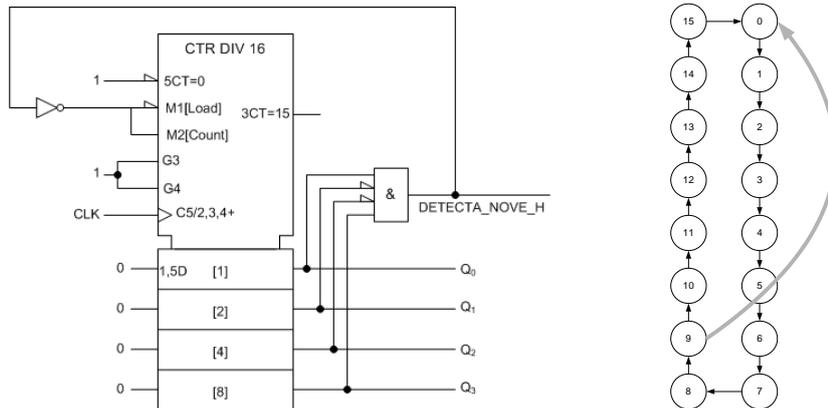
Contador binário, módulo 16, com carregamento paralelo e clear assíncrono



Contador binário bidireccional, módulo 16, com carregamento paralelo e clear assíncrono

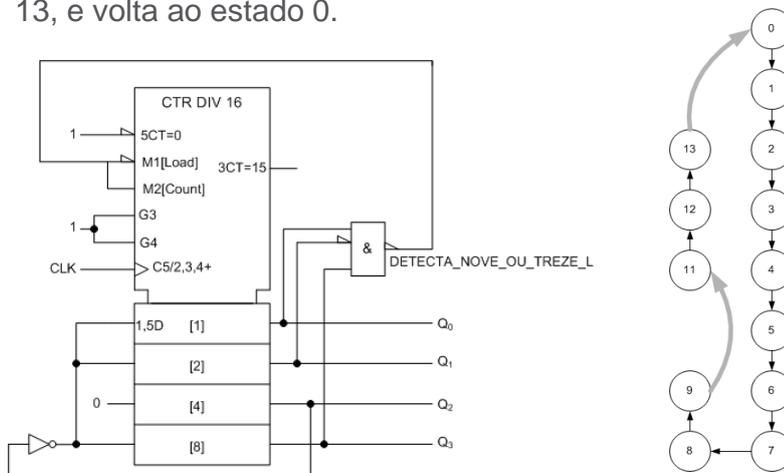
■ Contador Decimal

- ▶ Um contador decimal pode ser realizado directamente a partir de um contador módulo 16, forçando a reinicialização do contador após o estado 9.
- ▶ O sinal DETECTA_NOVE pode ser utilizado como indicador de fim de contagem.



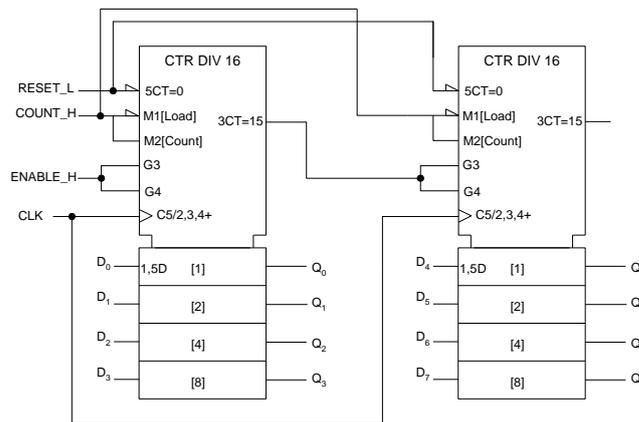
■ Contador com 2 “saltos” na contagem

- ▶ Este contador conta de 0 a 9, passa para o estado 11, conta de 11 a 13, e volta ao estado 0.



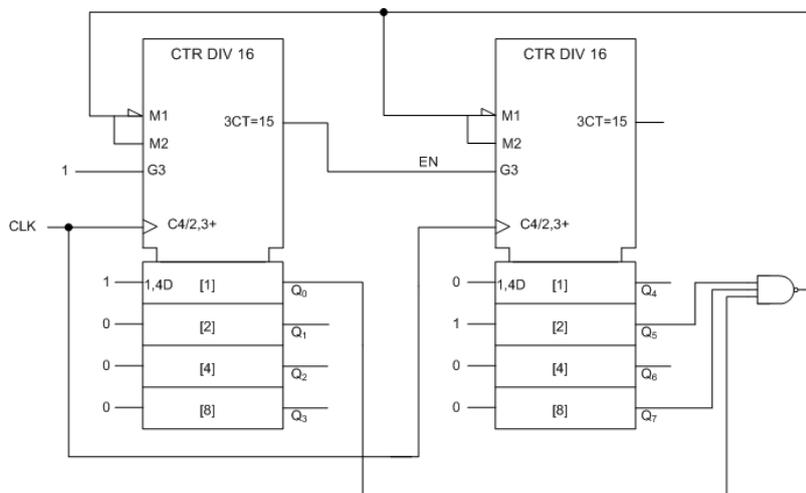
■ Ligação em Série de Contadores (1)

- ▶ Um contador módulo 256 pode ser realizado ligando em série 2 contadores módulo 16.
- ▶ O 2º contador só é habilitado quando o 1º chega ao fim de contagem (o sinal de fim de contagem do 1º contador está ligado ao enable do 2º contador)



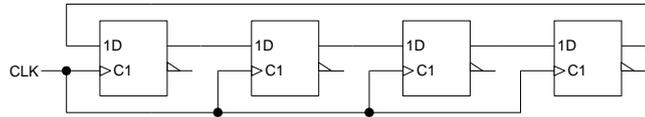
■ Ligação em Série de Contadores (2)

- ▶ Este contador faz uma sequência de contagem de 33 a 161

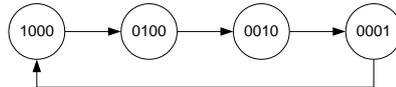


■ Contador em Anel – “Ring Counter”

- ▶ 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 seguinte sequência de 4 estados e depois repete:



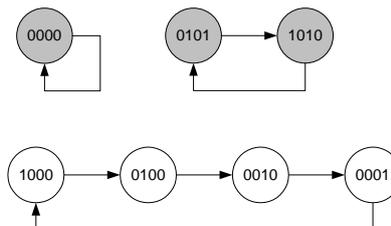
- ▶ O contador é muito rápido (não existem portas lógicas no caminho entre FFs)...,
- ▶ ... mas é ineficiente em termos do número total de estados de contagem disponíveis (só usa N estados, dos 2^N estados disponíveis).

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

■ Contadores: “LOCK-OUT”

- ▶ Estados de LOCK-OUT: 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 (Lock-Out).

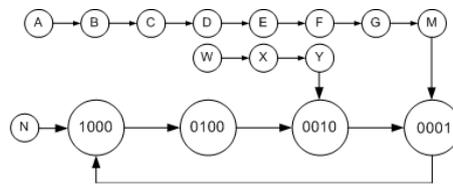
Exemplo **com** possibilidade de Lock-Out:



■ Contadores: “LOCK-OUT”

- ▶ Estados de LOCK-OUT: 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).

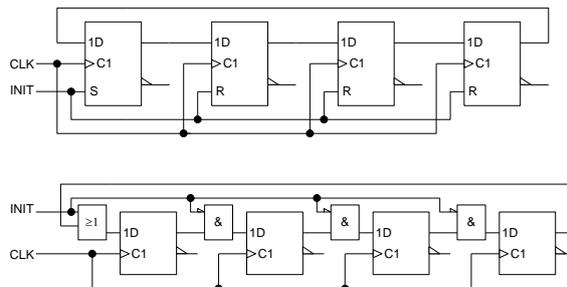
Exemplo **sem** possibilidade de Lock-Out: o contador acabará sempre por entrar na sequência pretendida



■ Contador em Lock-Out:

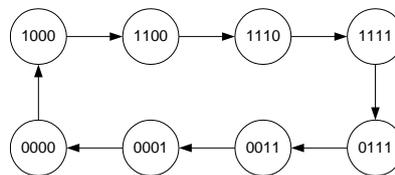
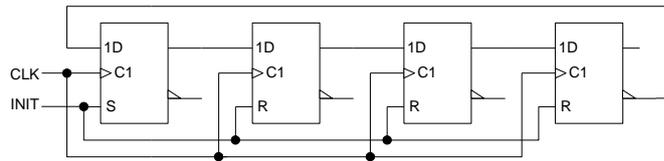
- ▶ **Solução 1:** impor a transição de qualquer estado externo para um estado da sequência de contagem
- ▶ **Solução 2:** considerar uma entrada extra, de inicialização, que coloque o sistema num dos estados de contagem pretendido.

Alternativas de Inicialização no Estado “1000”:



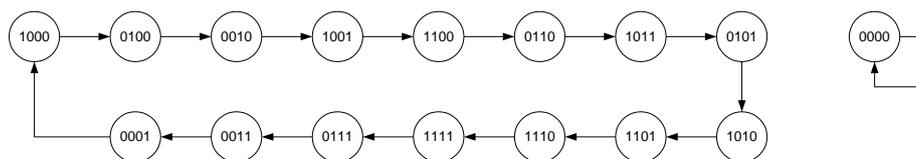
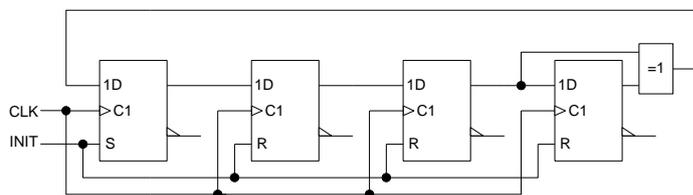
■ Contador Johnson

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



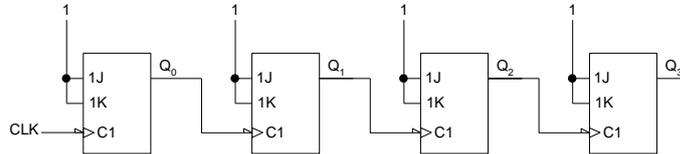
■ Linear Feedback Shift-Register (LFSR)

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

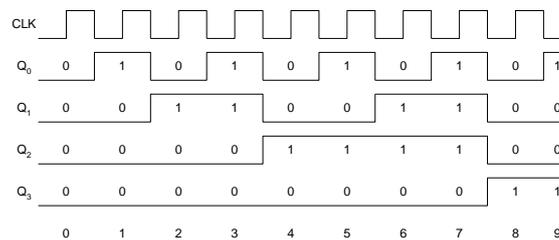


■ Contadores Assíncronos por Pulsação – “Ripple Counters”

- ▶ Os contadores por pulsação são extremamente simples de realizar.



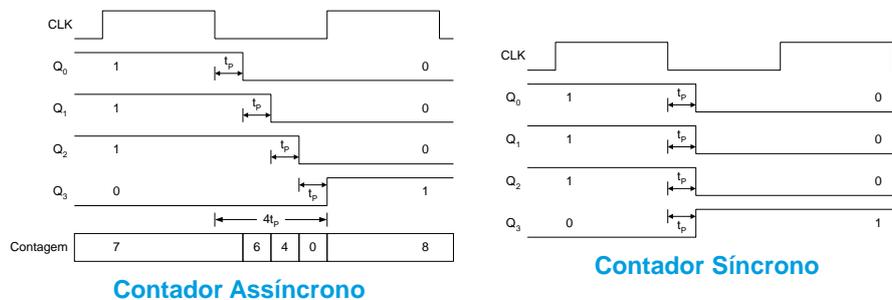
- ▶ No entanto, o facto de serem assíncronos (os FF não estão em sincronismo) torna-os pouco fiáveis, por dependerem dos atrasos de propagação do sinal.



■ Contadores Assíncronos vs. Síncronos

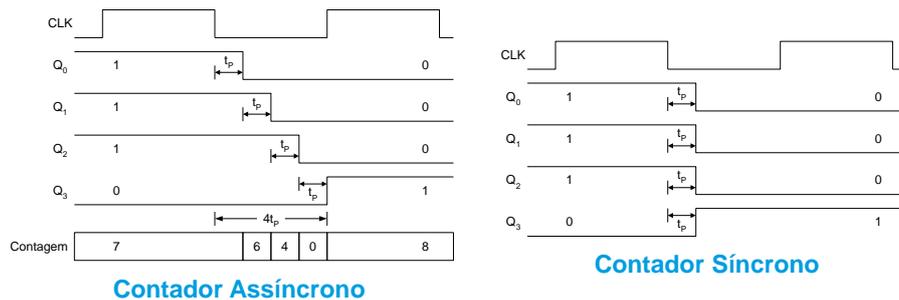
- ▶ No contador assíncrono, as mudanças de estado não ocorrem todas na transição de relógio!

Exemplo: na transição de 7 para 8, o contador passa sucessivamente por vários estados intermédios.



■ Contadores Assíncronos vs. Síncronos

- ▶ 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.



■ Tema da Próxima Aula:

- ▶ Definição de circuito sequencial síncrono
- ▶ Máquinas de Mealy e de Moore
- ▶ Especificação de circuitos sequenciais síncronos:
 - Diagrama de estados
- ▶ Projecto de circuitos sequenciais síncronos:
 - Codificação dos estados
 - Tabela de transição de estados
 - Determinação das funções lógicas de saída e estado seguinte



Agradecimentos

Algumas páginas desta apresentação resultam da compilação de várias contribuições produzidas por:

- Guilherme Arroz
- Horácio Neto
- Nuno Horta
- Pedro Tomás