

"As invenções são, sobretudo, o resultado de um trabalho teimoso"
(Santos Dumont).

Exercícios FSM

Paulo Ricardo Lisboa de Almeida



Contador UP-DOWN Síncrono

Contador Síncrono Módulo 4.

Inicia em 0.

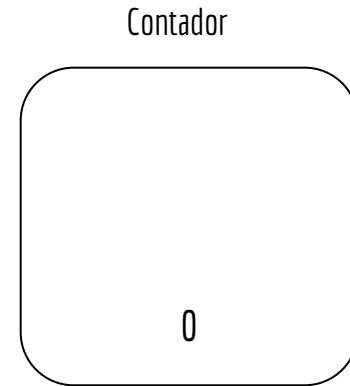
Conta até 3.

Reinicia do 0 quando “estoura”.

A cada ciclo.

Soma um se UP=0.

Subtrai um se UP=1.



Contador UP-DOWN Síncrono

Contador Síncrono Módulo 4.

Inicia em 0.

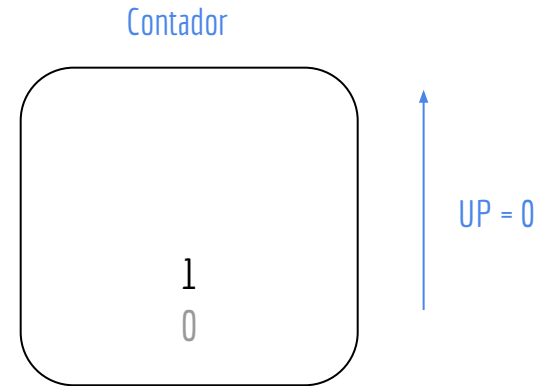
Conta até 3.

Reinicia do 0 quando “estoura”.

A cada ciclo.

Soma um se $UP=0$.

Subtrai um se $UP=1$.



Contador UP-DOWN Síncrono

Contador Síncrono Módulo 4.

Inicia em 0.

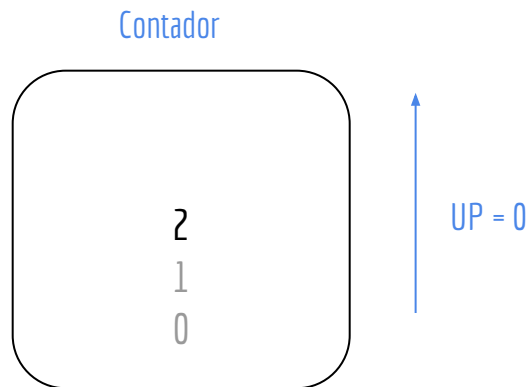
Conta até 3.

Reinicia do 0 quando “estoura”.

A cada ciclo.

Soma um se $UP=0$.

Subtrai um se $UP=1$.



Contador UP-DOWN Síncrono

Contador Síncrono Módulo 4.

Inicia em 0.

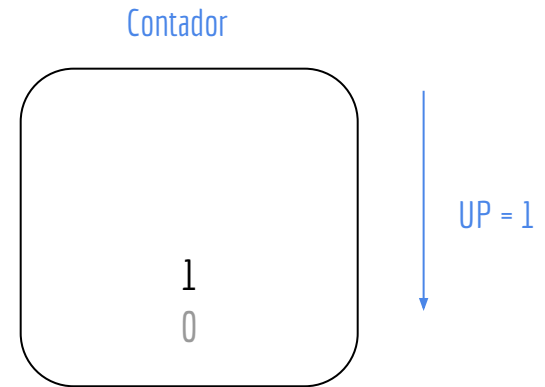
Conta até 3.

Reinicia do 0 quando “estoura”.

A cada ciclo.

Soma um se $UP=0$.

Subtrai um se $UP=1$.



Contador UP-DOWN Síncrono

Contador Síncrono Módulo 4.

Inicia em 0.

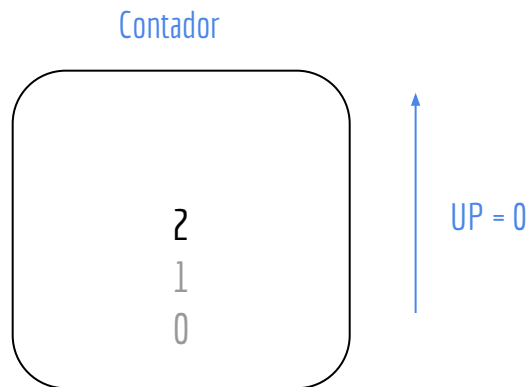
Conta até 3.

Reinicia do 0 quando “estoura”.

A cada ciclo.

Soma um se UP=0.

Subtrai um se UP=1.



Contador UP-DOWN Síncrono

Contador Síncrono Módulo 4.

Inicia em 0.

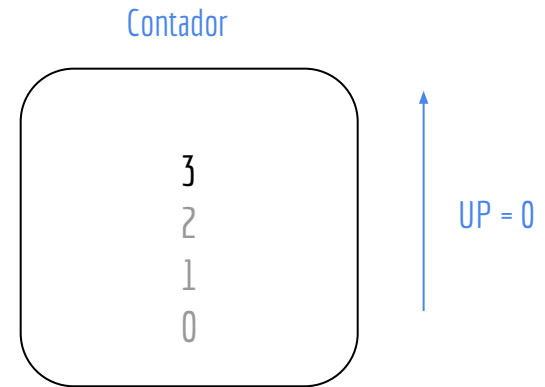
Conta até 3.

Reinicia do 0 quando “estoura”.

A cada ciclo.

Soma um se $UP=0$.

Subtrai um se $UP=1$.



Contador UP-DOWN Síncrono

Contador Síncrono Módulo 4.

Inicia em 0.

Conta até 3.

Reinicia do 0 quando “estoura”.

A cada ciclo.

Soma um se $UP=0$.

Subtrai um se $UP=1$.

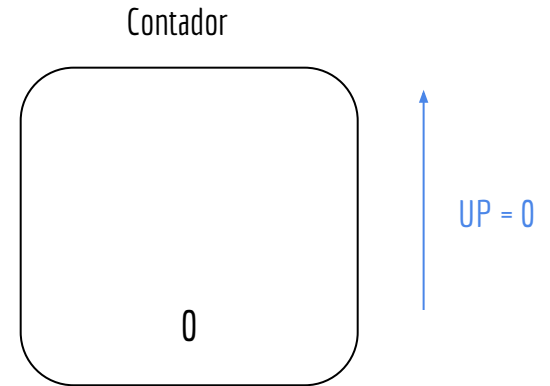


Diagrama de Estados - Moore

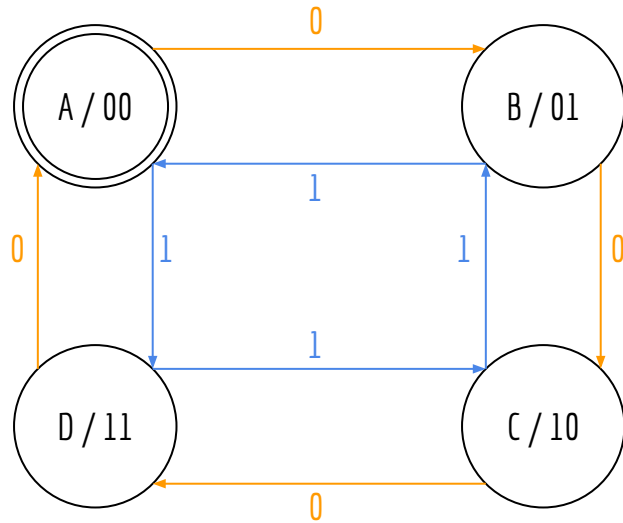
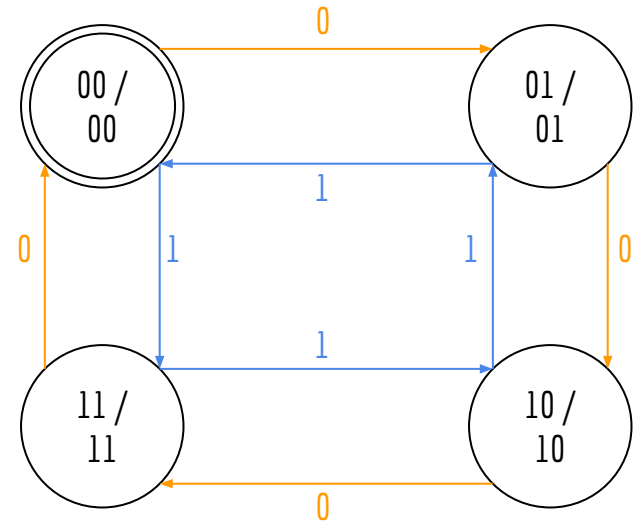


Tabela Verdade

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída
$E1_t$	EO_t		$E1_{t+1}$	EO_{t+1}	
0	0	0	0	1	Saída = Estado Atual
0	0	1	1	1	
0	1	0	1	0	
0	1	1	0	0	
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	1	
1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	



Derivando a expressão - Flip-Flops tipo D

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída
$E1_t$	EO_t		$E1_{t+1}$	EO_{t+1}	
0	0	0	0	1	Saída = Estado Atual
0	0	1	1	1	
0	1	0	1	0	
0	1	1	0	0	
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	1	
1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	

$$E1_{t+1} = E1_t \bar{EO}_t \bar{U} + \bar{E1}_t \bar{EO}_t U + E1_t EO_t U + \bar{E1}_t EO_t \bar{U}$$

	$\bar{EO}_t \bar{U}$	$\bar{EO}_t U$	$EO_t U$	$EO_t \bar{U}$
$\bar{E1}_t$	0	1	0	1
$E1_t$	1	0	1	0

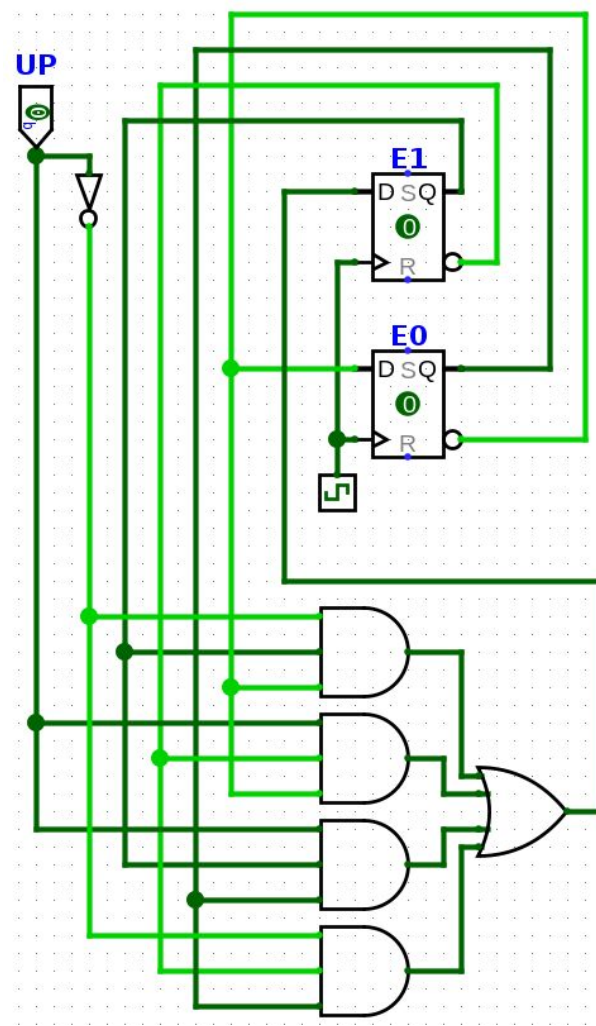
Derivando a expressão - Flip-Flops tipo D

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída
$E1_t$	EO_t		$E1_{t+1}$	EO_{t+1}	
0	0	0	0	1	Saída = Estado Atual
0	0	1	1	1	
0	1	0	1	0	
0	1	1	0	0	
1	0	0	1	1	
1	0	1	0	1	
1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	

$$EO_{t+1} = \overline{EO}_t$$

	$\overline{EO}_t \overline{U}$	$\overline{EO}_t U$	$EO_t U$	$EO_t \overline{U}$
$\overline{E1}_t$	1	1	0	0
$E1_t$	1	1	0	0

Circuito



Esteira

Um alarme é ativado quando são inseridos 3 ou mais itens consecutivamente em uma esteira.

Alarme: 0 desligado, 1 soando.

O alarme é desligado quando não houver um conjunto de 3 peças consecutivas.

Sensor.

1 Foi inserida uma peça na esteira.

0 Não foi inserida peça na esteira.

Esteira

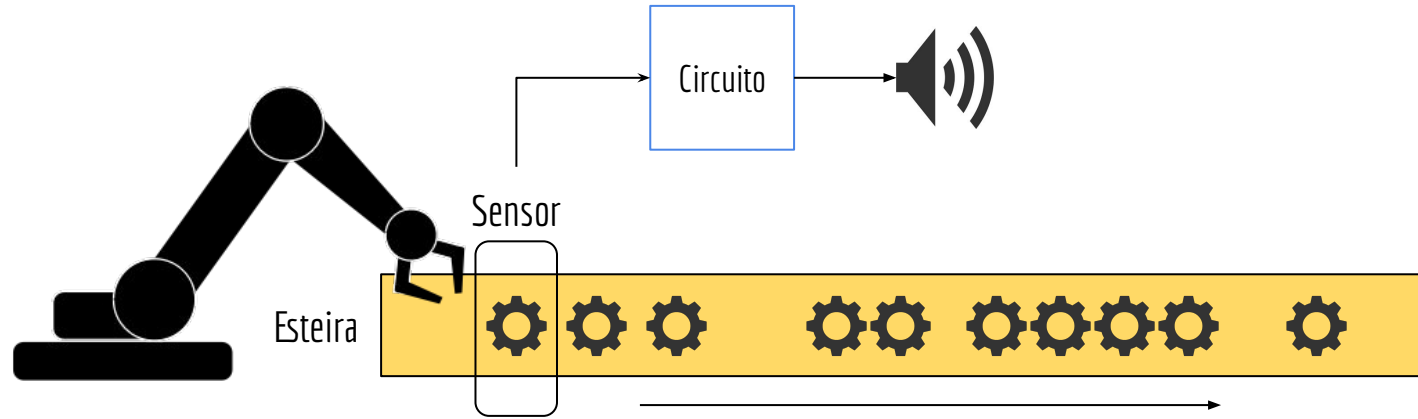


Diagrama de Estados - Mealy

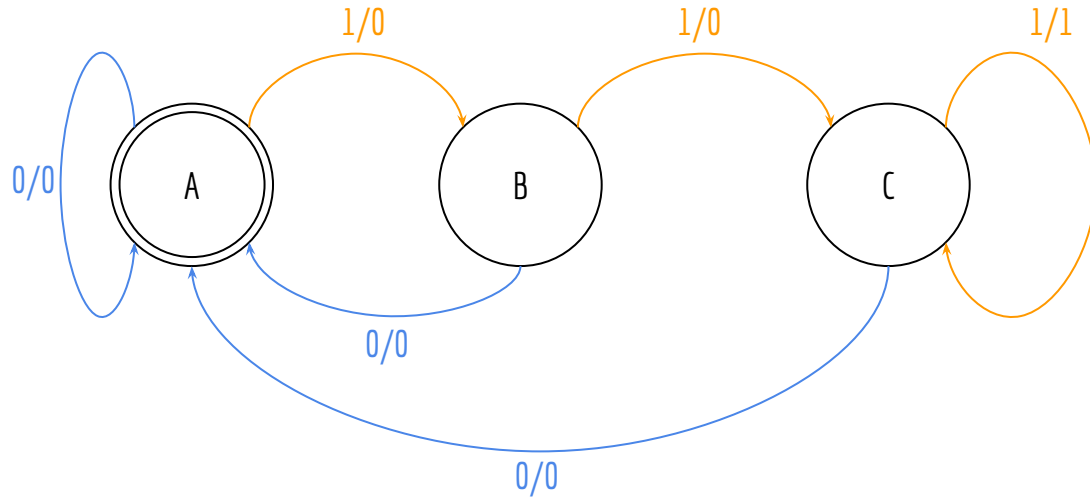
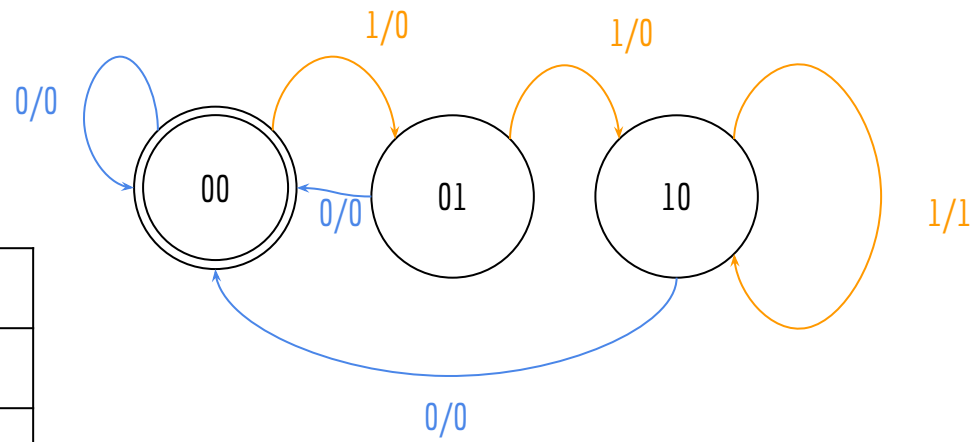


Tabela Verdade

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída
$E1_t$	EO_t	S	$E1_{t+1}$	EO_{t+1}	A
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	X	X	X
1	1	1	X	X	X



Expressão - Flip-Flop Tipo D

Estado Atual		Entrada S	Próximo Estado		Saída A
$E1_t$	$E0_t$		$E1_{t+1}$	$E0_{t+1}$	
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	X	X	X
1	1	1	X	X	X

$$E1_{t+1} = E1_t S + E0_t S$$

	$\overline{E0}_t \overline{S}$	$\overline{E0}_t S$	$E0_t S$	$E0_t \overline{S}$
$\overline{E1}_t$	0	0	1	0
$E1_t$	0	1	X	X

Expressão - Flip-Flop Tipo D

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída
$E1_t$	EO_t	S	$E1_{t+1}$	EO_{t+1}	A
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	X	X	X
1	1	1	X	X	X

$$EO_{t+1} = \overline{E1}_t \overline{EO}_t S$$

	$\overline{EO}_t \overline{S}$	$\overline{EO}_t S$	$EO_t S$	$EO_t \overline{S}$
$\overline{E1}_t$	0	1	0	0
$E1_t$	0	0	X	X

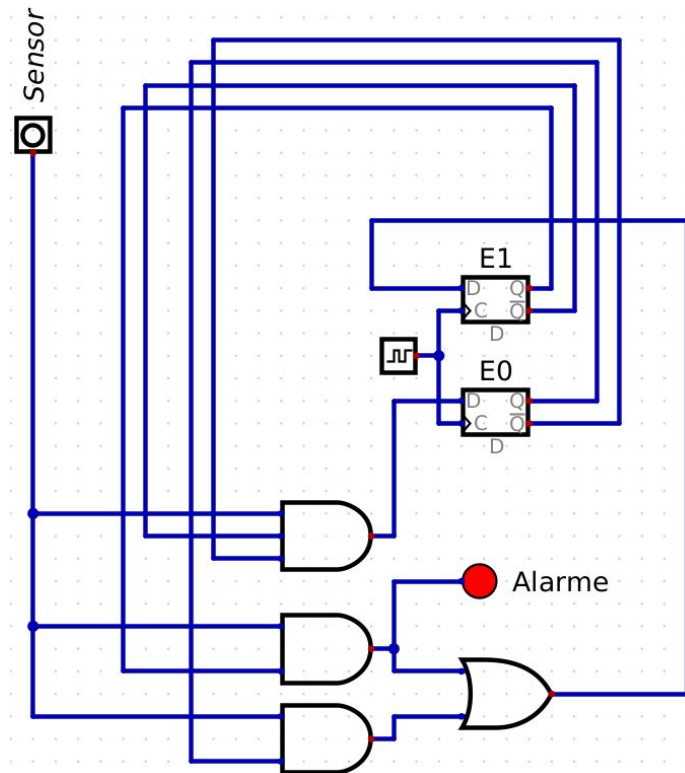
Expressão - Flip-Flop Tipo D

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída
$E1_t$	EO_t	S	$E1_{t+1}$	EO_{t+1}	A
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	0	X	X	X
1	1	1	X	X	X

$$A = E1_t S$$

	$\overline{EO}_t \overline{S}$	$\overline{EO}_t S$	$EO_t S$	$EO_t \overline{S}$
$\overline{E1}_t$	0	0	0	0
$E1_t$	0	1	X	X

Circuito



Contador Simples/Duplo

Um contador módulo 3.

A cada ciclo.

Soma um se $V=0$.

Soma dois se $V=1$.

Utilizar Flip-Flops J-K.

Diagrama de Estados

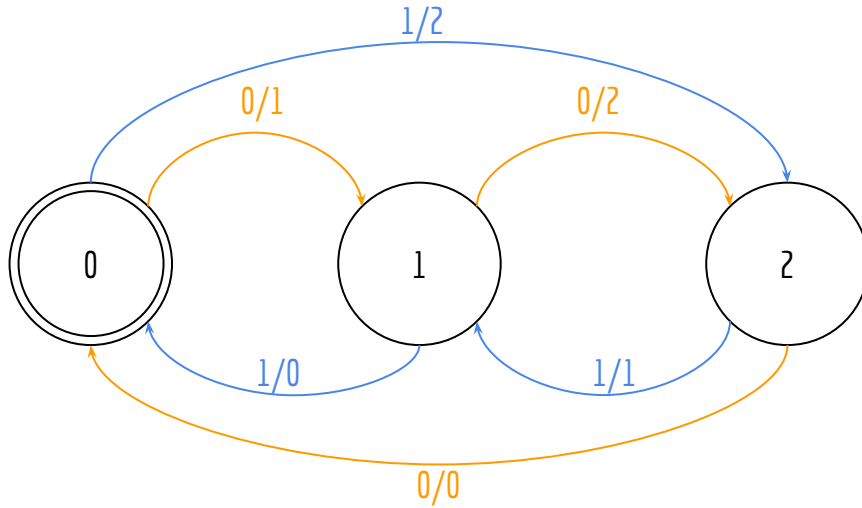


Tabela Verdade

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado		Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	$E0_{t+1}$	S1	S0
0	0	0	0	1	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	0		
0	1	0	1	0		
0	1	1	0	0		
1	0	0	0	0		
1	0	1	0	1		
1	1	0	X	X		
1	1	1	X	X		

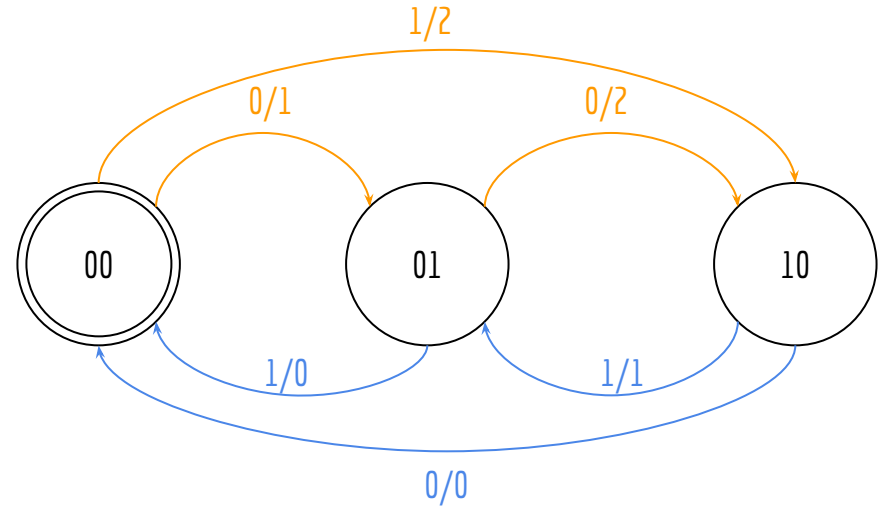


Tabela Verdade - Ajuste para J-K

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	X	1		
0	1	1	0	0	0	0	X	1		
1	0	0	0	X	1	0	0	0		
1	0	1	0	X	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

Expressão

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	X	1		
0	1	1	0	0	0	0	X	1		
1	0	0	0	X	1	0	0	0		
1	0	1	0	X	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

$$J1 = \overline{E0}_t V + E0_t \overline{V}$$

	$\overline{E0}_t \overline{V}$	$\overline{E0}_t V$	$E0_t V$	$E0_t \overline{V}$
$\overline{E1}_t$	0	1	0	1
$E1_t$	X	X	X	X

Expressão

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	X	1		
0	1	1	0	0	0	0	X	1		
1	0	0	0	X	1	0	0	0		
1	0	1	0	X	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

$$K1 = E1_t$$

	$\overline{E0}_t \overline{V}$	$\overline{E0}_t V$	$E0_t V$	$E0_t \overline{V}$
$\overline{E1}_t$	0	X	0	X
$E1_t$	1	1	X	X

Expressão

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	X	1		
0	1	1	0	0	0	0	X	1		
1	0	0	0	X	1	0	0	0		
1	0	1	0	X	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

$$J0 = \bar{E1}_t \bar{V} + E1_t V$$

	$\bar{E0}_t \bar{V}$	$\bar{E0}_t V$	$E0_t V$	$E0_t \bar{V}$
$\bar{E1}_t$	1	0	X	X
$E1_t$	0	1	X	X

Expressão

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	X	1		
0	1	1	0	0	0	0	X	1		
1	0	0	0	X	1	0	0	0		
1	0	1	0	X	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

$$K0 = E0_t$$

	$\overline{E0}_t \overline{V}$	$\overline{E0}_t V$	$E0_t V$	$E0_t \overline{V}$
$\overline{E1}_t$	X	0	1	1
$E1_t$	0	X	X	X

Expressão

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	X	1		
0	1	1	0	0	0	0	X	1		
1	0	0	0	X	1	0	0	0		
1	0	1	0	X	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

$$S1 = \overline{E1_t} \overline{E0_t} V + E0_t \overline{V}$$

	$\overline{E0_t} \overline{V}$	$\overline{E0_t} V$	$E0_t V$	$E0_t \overline{V}$
$\overline{E1_t}$	0	1	0	1
$E1_t$	0	0	X	X

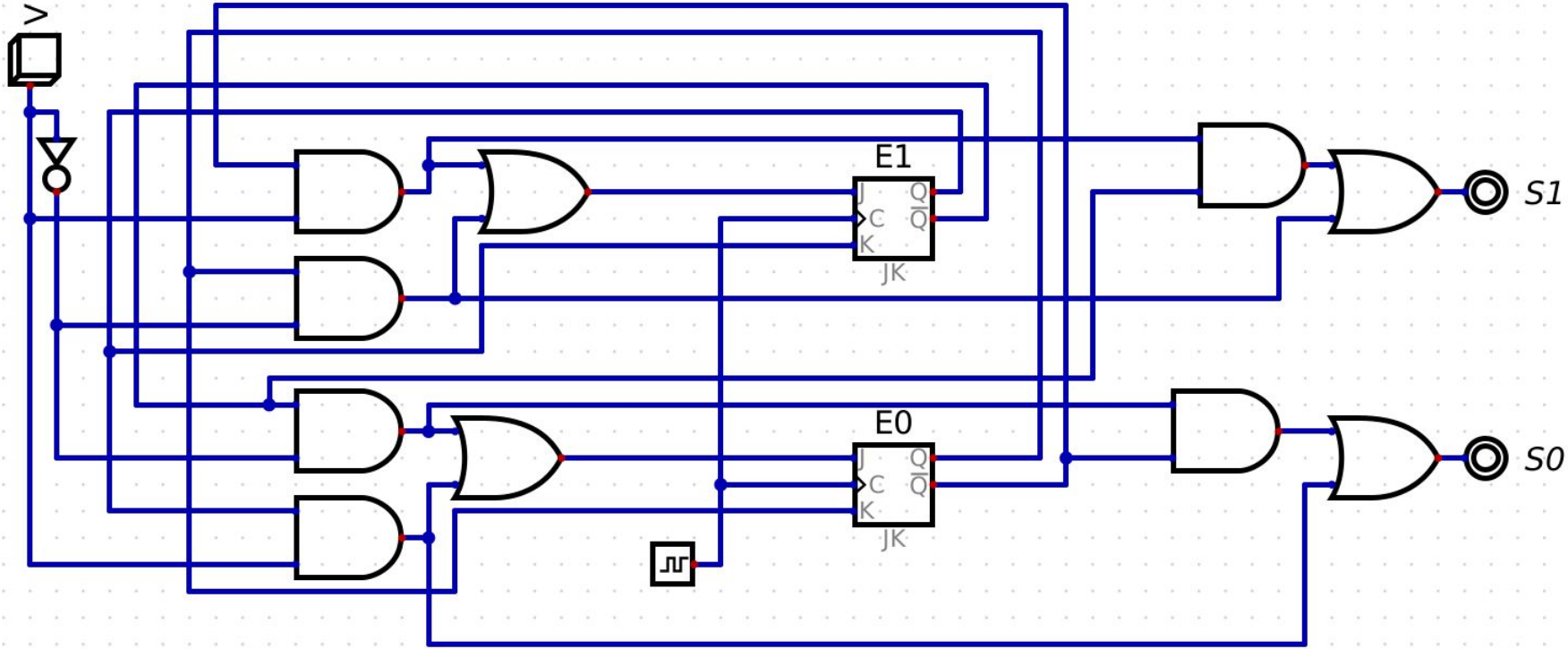
Expressão

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	X	1		
0	1	1	0	0	0	0	X	1		
1	0	0	0	X	1	0	0	0		
1	0	1	0	X	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

$$S0 = \overline{E1}_t \overline{E0}_t \overline{V} + E1_t V$$

	$\overline{E0}_t \overline{V}$	$\overline{E0}_t V$	$E0_t V$	$E0_t \overline{V}$
$\overline{E1}_t$	1	0	0	0
$E1_t$	0	1	X	X

Circuito



Mas espere ...

Estado Atual		Entrada	Próximo Estado						Saída	
$E1_t$	$E0_t$	V	$E1_{t+1}$	FF1		$E0_{t+1}$	FF0		S1	S0
				J1	K1		J0	K0		
0	0	0	0	0	0	1	1	X	$S1 = E1_{t+1}$ $S0 = E0_{t+1}$	
0	0	1	1	1	X	0	0	0		
0	1	0	1	1	X	0	0	1		
0	1	1	0	0	0	0	0	1		
1	0	0	0	0	1	0	0	0		
1	0	1	0	0	1	1	1	X		
1	1	0	X	X	X	X	X	X		
1	1	1	X	X	X	X	X	X		

Alguns don't care complicaram mais do que ajudaram.

Alguns don't care de J1 e J0 podem ser trocados por 0's para que J1 fique igual a $E1_{t+1}$, e J0 fique igual a $E0_{t+1}$.

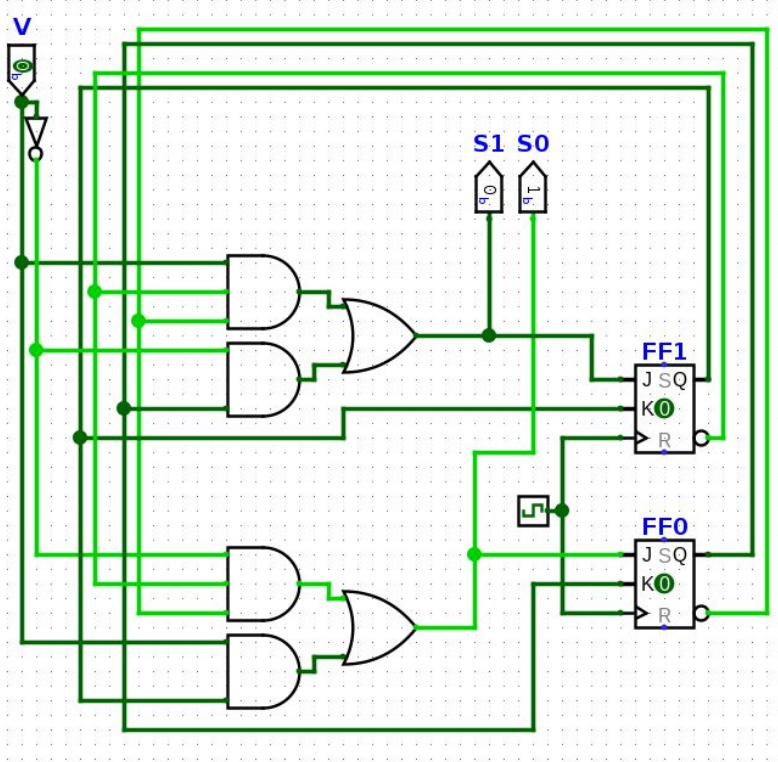
Dessa forma, o mesmo circuito que calcula J1 pode calcular S1.

Algo similar para S0.

Outra opção ainda poderia modificar para que $j1 = k1$, e $j0 = k0$.

Fica como exercício.

Circuito - Fazendo $J1 = E1_{t+1}$ e $J0 = E0_{t+1}$

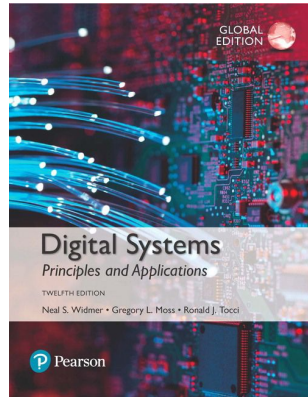


Exercícios

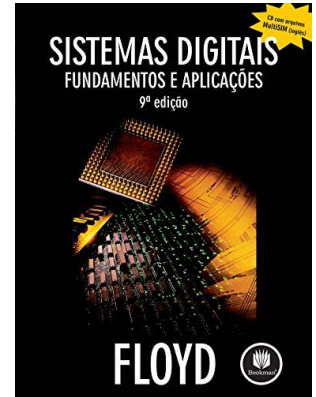
1. Modele o primeiro problema (contador up-down) como uma máquina de Mealy. Utilize Flip-Flops J-K.
2. Modele o segundo problema (esteira) como uma máquina de Moore. Utilize Flip-Flops S-R.
3. Modele o terceiro problema (contador Módulo 3) utilizando Flip-Flops do tipo D.

Referências

Ronald J. Tocci, Gregory L. Moss, Neal S. Widmer. Sistemas digitais. 10a ed. 2017.



Thomas Floyd. Sistemas Digitais: Fundamentos e Aplicações. 2009.



Licença

Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

