

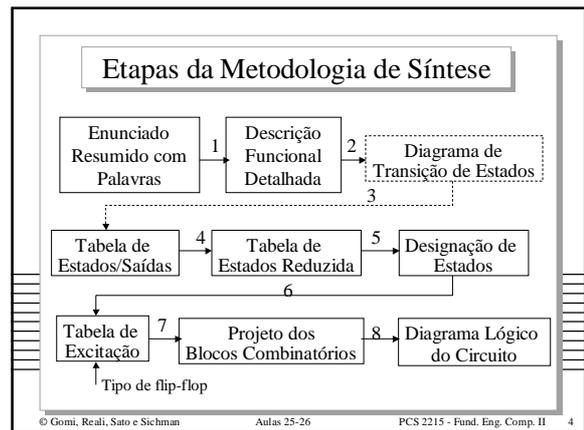
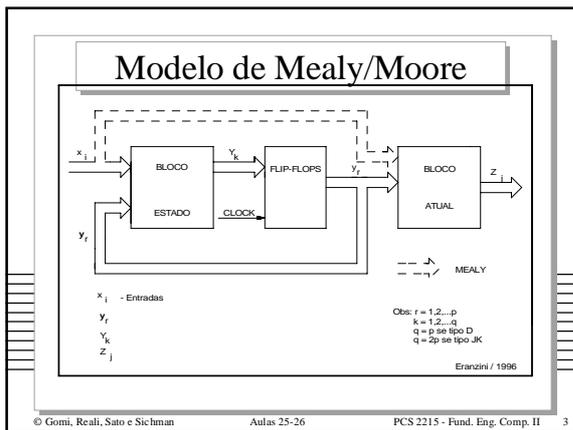
PCS 2215
Fundamentos de Engenharia de Computação II
Aulas 25-26
Síntese de Circuitos Sequenciais
Jaime Simão Sichman
Professor Responsável
versão: 1.1 (agosto 2002)

© Gomi, Reali, Sato e Sichman Aulas 25-26 PCS 2215 - Fund. Eng. Comp. II 1

Síntese de Circuitos Sequenciais

- A metodologia de síntese aqui adotada segue praticamente os mesmos passos da metodologia de análise, com os passos sendo adotados em ordem inversa.
- Para o projeto de circuitos mais complexos, como UCPs de computadores, existem métodos mais eficientes.
- Pode-se escolher entre o modelo de Mealy e o modelo de Moore.

© Gomi, Reali, Sato e Sichman Aulas 25-26 PCS 2215 - Fund. Eng. Comp. II 2



Etapas da Metodologia de Síntese

■ Etapa 1: Detalhamento da Descrição Funcional

O comportamento do circuito deve ser expresso de forma sintética, relacionando o número de entradas e saídas e indicando como as entradas atuam sobre as saídas, do ponto de vista dinâmico.

Às vezes, é preciso agregar exemplos, diagramas de blocos simplificados ou até uma carta de tempos.

Deve ficar claro **quando e em que condições as saídas ocorrem**.

Deve-se escolher entre os modelos de Mealy e Moore.

Etapas da Metodologia de Síntese

■ Etapa 2: Obtenção do Diagrama de Estados

A partir da descrição funcional, deve-se identificar o número de estados necessários, suas saídas e suas transições, em função das entradas.

■ Etapa 3: Obtenção da Tabela de Estados/Saídas

As informações obtidas no passo anterior são organizadas na forma de uma tabela.

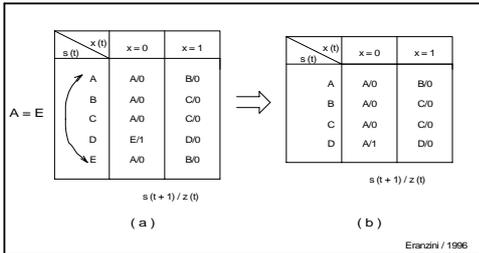
Etapas da Metodologia de Síntese

■ Etapa 4: Obtenção da Tabela de Estados Reduzida

Eliminam-se os estados redundantes, gerando uma tabela reduzida.

A redundância entre estados será definida através de uma relação de equivalência.

Etapas da Metodologia de Síntese



Etapas da Metodologia de Síntese

■ Etapa 5: Designação dos Estados

De posse da tabela de estados reduzida, pode-se identificar quantas são as variáveis de estado e, portanto, quantos flip-flops serão necessários.

Podem ocorrer duas situações:

- número de estados = 2^n
- número de estados $< 2^n$

Etapas da Metodologia de Síntese

No primeiro caso, são necessários n flip-flops e a designação dos y_i pode ser feita de qualquer modo.

Ex:

s	y1	y2
A	0	0
B	0	1
C	1	1
D	1	0

No segundo caso, também são necessários n flip-flops, mas haverá estados cujo comportamento não está definido pela tabela de estados

Etapas da Metodologia de Síntese

■ Etapa 6: Obtenção da Tabela de Excitação

Define-se qual o tipo de flip-flop a ser utilizado e obtém-se a tabela de excitação. Como resultado, têm-se as equações de excitação.

■ Etapa 7: Projeto dos Blocos Combinatórios

Projeta-se os circuitos combinatórios, minimizando as funções de chaveamento. Como resultado, obtém-se as equações de estado e de saída.

■ Etapa 8: Diagrama Lógico do Circuito

Primeiro Exemplo de Síntese

Enunciado: Projetar um circuito sequencial síncrono que reconhece o primeiro ZERO após a ocorrência de três ou mais UNS consecutivos.

Etapa 1: Descrição Funcional

- circuito tipo Mealy
- o comportamento entrada/saída na borda de atuação de clock será:

x: 0 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 1 1 0 1

y: 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 0 0 0 0 0 1 0

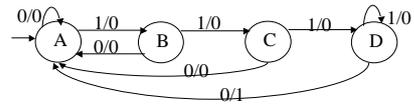
Primeiro Exemplo de Síntese

Etapa 2: Diagrama de Transição de Estados

pela descrição funcional e enunciado, pode-se ver que serão necessários pelo menos 4 estados:

- A: estado inicial
- B: estado que armazena a ocorrência de 1 UM
- C: estado que armazena a ocorrência de 2 UNS consecutivos
- D: estado que armazena a ocorrência de 3 ou mais UNS consecutivos

Primeiro Exemplo de Síntese



Primeiro Exemplo de Síntese

Etapa 3: Tabela de Estados/Saída

s^t	x^t	$x = 0$	$x = 1$
A		A / 0	B / 0
B		A / 0	C / 0
C		A / 0	D / 0
D		A / 1	D / 0

s^{t+1} / z^t

Primeiro Exemplo de Síntese

Etapa 4: Tabela de Estados Reduzida

Não é possível simplificar a tabela anterior

Etapa 5: Designação dos Estados

Como existem 4 estados, n é igual a 2

s	y_1	y_2
A	0	0
B	0	1
C	1	1
D	1	0

Primeiro Exemplo de Síntese

A tabela de estados/saída assume então a seguinte forma:

$y_1^t y_2^t \ x^t$	$x = 0$	$x = 1$
00	00 / 0	01 / 0
01	00 / 0	11 / 0
11	00 / 0	10 / 0
10	00 / 1	10 / 0

$y_1^{t+1} y_2^{t+1} / z^t$

Primeiro Exemplo de Síntese

Etapa 6: Tabela de Excitação

Supondo que deva-se usar flip-flops tipo D \hat{D} :

$y_1^t y_2^t \ x^t$	$x = 0$	$x = 1$
00	00	01
01	00	11
11	00	10
10	00	10

$D_1^t D_2^t$

Primeiro Exemplo de Síntese

Etapa 7: Projeto dos Blocos Combinatórios

$y_1 \ y_2 \ x$	0	1
00	00	01
01	00	01
11	00	01
10	10	00

z

$z = x' y_1 y_2'$

$y_1 \ y_2 \ x$	0	1
00	00	00
01	01	01
11	01	01
10	01	01

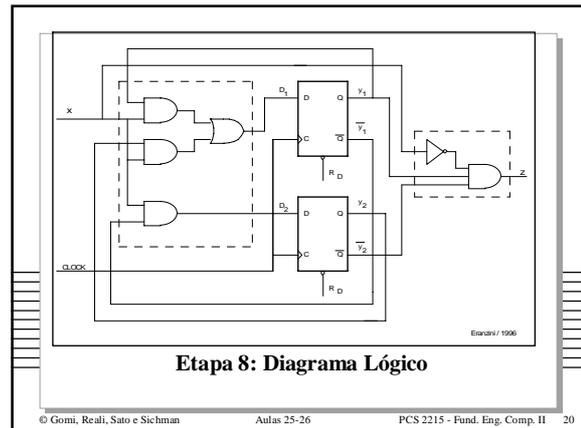
D_1

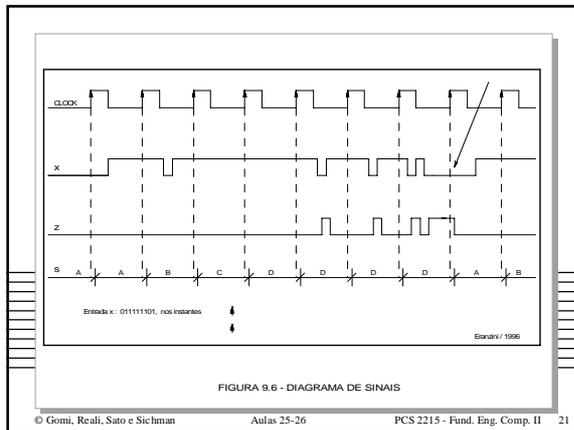
$D_1 = x y_2 + x y_1$

$y_1 \ y_2 \ x$	0	1
00	01	01
01	01	01
11	00	00
10	00	00

D_2

$D_2 = x y_1'$



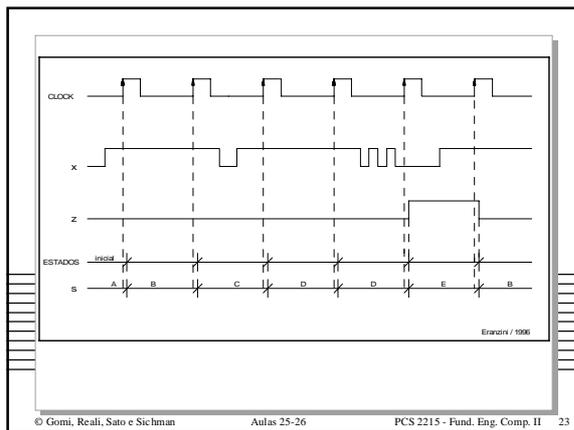


Segundo Exemplo de Síntese

Enunciado: Projetar um circuito sequencial síncrono que reconhece o primeiro ZERO após a ocorrência de três ou mais UNS consecutivos. Adotar uma solução do tipo Moore e flip-flops tipo D.

Etapa 1: Detalhamento da Descrição Funcional

O enunciado é o mesmo do primeiro exemplo, mas para melhor entender o comportamento entrada/saída é melhor desenhar a carta de tempos.



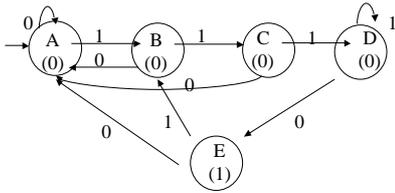
Segundo Exemplo de Síntese

Etapa 2: Diagrama de Transição de Estados

Serão necessários pelo menos 5 estados:

- A: estado inicial
- B: armazena a ocorrência do primeiro UM
- C: armazena a ocorrência do segundo UM consecutivo
- D: armazena a ocorrência do terceiro e demais UNS consecutivos
- E: armazena o primeiro ZERO após três ou mais UNS consecutivos

Segundo Exemplo de Síntese



Segundo Exemplo de Síntese

Etapa 3: Tabela de Estados/Saída

s ^t	x ^t	x = 0	x = 1	z ^t
A		A	B	0
B		A	C	0
C		A	D	0
D		E	D	0
E		A	B	1

Segundo Exemplo de Síntese

Etapa 4: Tabela de Estados Reduzida

Não é possível simplificar a tabela anterior

Etapa 5: Designação dos Estados

Como são necessários 5 estados, n é igual a 3 e utilizaremos a seguinte designação (arbitrária):

s	y1	y2	y3	s	y1	y2	y3
A	0	0	0	E	0	0	1
B	0	1	0	F	0	1	1
C	1	1	0	G	1	1	1
D	1	0	0	H	1	0	1

Segundo Exemplo de Síntese

Existem duas alternativas para tratar os casos não especificados:

Alternativa 1: Não especificar

s ^t	x ^t	x = 0	x = 1	z ^t
F		X	X	X
G		X	X	X
H		X	X	X

Segundo Exemplo de Síntese

Alternativa 2: Impor que o estado seguinte seja o estado inicial e a saída seja 0

s^t	x^t	$x = 0$	$x = 1$	z^t
F	A	A	A	0
G	A	A	A	0
H	A	A	A	0

Segundo Exemplo de Síntese

s^t	y_1	y_2	y_3	$x = 0$	$x = 1$	z^t
A	0	0	0	0 0 0	0 1 0	0
B	0	1	0	0 0 0	1 1 0	0
C	1	1	0	0 0 0	1 0 0	0
D	1	0	0	0 0 1	1 0 0	0
E	0	0	1	0 0 0	0 1 0	1
F	0	1	1	0 0 0	0 0 0	0
G	1	1	1	0 0 0	0 0 0	0
H	1	0	1	0 0 0	0 0 0	0

s^{t+1}

Segundo Exemplo de Síntese

Etapa 6: Tabela de Excitação

y_1	y_2	y_3	$x = 0$	$x = 1$
0	0	0	0 0 0	0 1 0
0	1	0	0 0 0	1 1 0
1	1	0	0 0 0	1 0 0
1	0	0	0 0 1	1 0 0
0	0	1	0 0 0	0 1 0
0	1	1	0 0 0	0 0 0
1	1	1	0 0 0	0 0 0
1	0	1	0 0 0	0 0 0

$D1^t D2^t D3^t$

Segundo Exemplo de Síntese

Etapa 7: Projeto dos Blocos Combinatórios

$y_1 y_2 / y_3$	00	01	11	10
00	0 0 0 0	0	0	0
01	0 0 0 0	1	0	0
11	0 0 0 0	0	1	0
10	0 0 0 0	0	0	1

$D1^t$

$D2^t$

$y_1 y_2 / y_3$	00	01	11	10
00	0 0 0 0	0	0	0
01	0 0 0 0	0	0	0
11	0 0 0 0	0	0	0
10	1 0 0 0	0	0	0

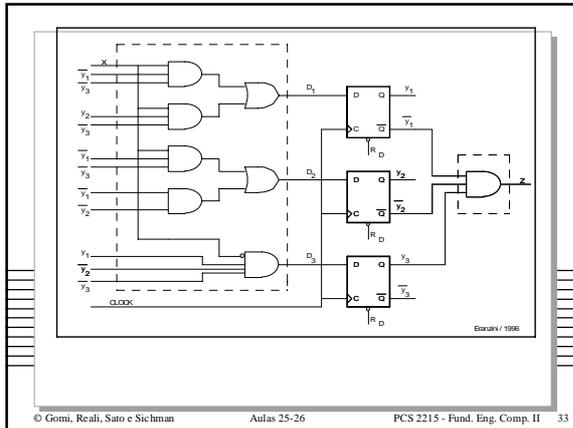
$D3^t$

$$D1 = xy_2 y_3' + x y_1 y_3'$$

$$D2 = xy_1' y_2' + x y_1' y_3'$$

$$D3 = x' y_1 y_2' y_3'$$

$$z = y_1' y_2' y_3$$



Simplificação da Tabela de Estados

Para se obter um circuito mais simples, é importante reduzir a tabela de estados, quando possível. Esta redução é possível quando existirem na tabela **estados equivalentes**.

Definição: Dois estados são **equivalentes** quando:

- produzem a mesma saída para o mesmo valor das entradas
- são levados a estados equivalentes para o mesmo valor das entradas

© Gomi, Reali, Sato e Sichman Aulas 25-26 PCS 2215 - Fund. Eng. Comp. II 34

Simplificação da Tabela de Estados

Esta noção de estados equivalentes tem as propriedades matemáticas de uma relação de equivalência

Existem dois métodos de simplificação:

- observação direta
- tabelas de implicação

© Gomi, Reali, Sato e Sichman Aulas 25-26 PCS 2215 - Fund. Eng. Comp. II 35

Simplificação por Observação Direta

s^t	x^t	$x = 0$	$x = 1$
A		A / 0	B / 0
B		A / 1	C / 0
C		A / 0	D / 1
D		E / 1	D / 0
E		A / 0	B / 0

s^{t+1} / z^t

© Gomi, Reali, Sato e Sichman Aulas 25-26 PCS 2215 - Fund. Eng. Comp. II 36

Simplificação por Observação Direta

s^t	x^t	$x = 0$	$x = 1$
A		A / 0	B / 0
B		A / 1	C / 0
C		A / 0	D / 1
D		A / 1	D / 0

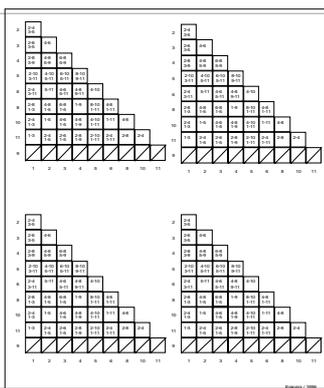
$$s^{t+1} / z^t$$

Simplificação por Tabelas de Implicação

Trata-se de um método útil quando o número de estados é muito grande.

A idéia é testar iterativamente se estados podem ser equivalentes dois a dois, seguindo um certo procedimento.

Para isto, utiliza-se uma tabela de implicação.



Bibliografia

- [1] Edith Ranzini e Edson Fregni, *Notas de Aula de PCS-214*, Parte 2, Capítulo 9, Outubro de 1999.