INF01058

Circuitos Digitais

Análise de Circuitos Seqüenciais
Máquinas de Mealy e Moore

Aula 21a

1. Introdução

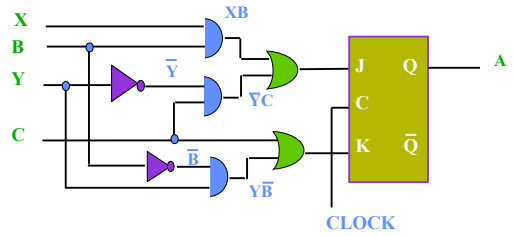
- circuito seqüencial síncrono
  - reconhecido se contém flip-flops (ou latches)
  - circuito pode conter parte combinacional ou não
- comportamento do circuito seqüencial é determinado pela seqüência de valores das entradas, saídas e estados (valores dos FF's)
  - saídas = f (entradas, estado atual) ou — máquina de Mealy
    f (estado atual) — máquina de Moore
  - próximo estado = f (entradas, estado atual)

- equações de entrada = equações booleanas para as entradas de dados dos FF's
  - correspondem a uma lógica combinacional
  - para cada entrada de dados de um FF deve haver uma equação

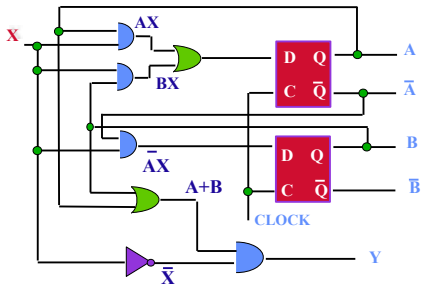
Exemplo de equações de entrada

$J_A = XB + \overline{Y}C$
$K_A = Y\overline{B} + C$

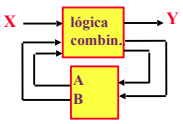
OBS: não há necessidade de uma equação para a entrada de controle ligada ao clock



Exemplo completo usando flip-flops de tipo D



reconhecer neste diagrama um circuito seqüencial
- flip-flops
- lógica combinacional
- realimentações
- entradas
- saídas



Equações de entrada
$D_A = AX + BX$ e $D_B = \overline{A}X$

Equação de saída
$Y = (A+B).\overline{X}$

2. Tabela de Estados

Tabela de estados permite enumerar seqüência no tempo das entradas, saídas e estados dos flip-flops

Tabela para o circuito anterior:

Tabela 1

Estado Atual A	Estado Atual B	Entrada X	Próx. Estado A	Próx. Estado B	Saída Y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

→ Obtida pela equação de saída

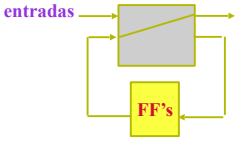
O próximo estado é obtido pelas equações de entrada dos FF's

Tabela não mostra clock (fica implícito)

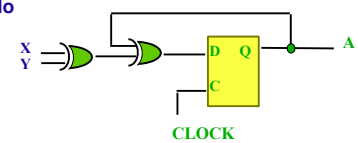
$A(t+1) = D_A(t)$ e $B(t+1) = D_B(t)$

pulso do clock

- saída do circuito seqüencial pode estar ligada diretamente às saídas dos FF's
  - não há equação de saída neste caso
  - não há necessidade de coluna adicional na tabela



exemplo



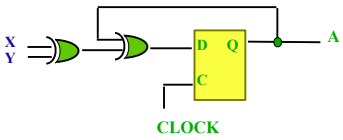
$D_A = X \oplus Y \oplus A$ A é a saída do circuito

Tabela de estados

Tabela 2

Estado Atual A	Entradas X	Entradas Y	Próximo Estado A
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

$D_A = X \oplus Y \oplus A$



3. Circuito com flip-flops JK

exemplo

$J_A = B \qquad K_A = BX$

$J_B = X' \qquad K_B = AX + AX$

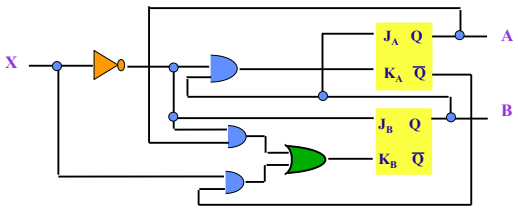
tabela de estados

Tabela 3

Estado Atual A	Estado Atual B	Entrada X	Entradas J_A	Entradas K_A	dos FF's J_B	dos FF's K_B	Próximo Estado A	Próximo Estado B
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	1	0
1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	0	0	0	1	0
1	1	0	1	1	0	1	0	0
1	1	1	1	0	0	0	1	1

$J_A = B \qquad K_A = B\overline{X}$

$J_B = \overline{X} \qquad K_B = A\overline{X} + \overline{A}X$



4. Máquinas de Estados Finitos - FSM

Diagramas de estados

FSM para o exemplo da Tabela 1

a/b indica entrada/saída

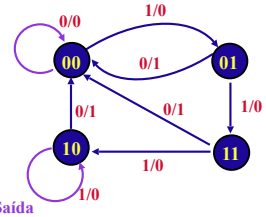


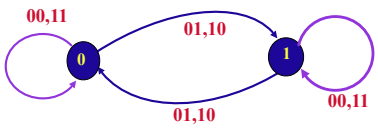
Tabela 1

Estado Atual A	Estado Atual B	Entrada X	Próx. Estado A	Próx. Estado B	Saída Y
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	0
1	0	0	0	0	1
1	0	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0

Máquina de Mealy

saída = f (entradas, estado)

FSM para o exemplo da Tabela 2



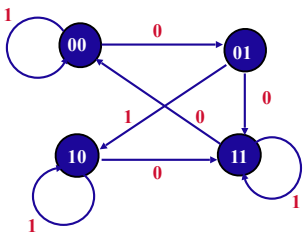
só as entradas estão indicadas nos arcos (saídas → FF's)

Tabela 2

Estado Atual A	Entradas X	Entradas Y	Próximo Estado A
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	0
1	1	1	1

Máquina de Moore

saída = f (estado)

FSM para o exemplo da Tabela 3

Estado Atual A	Estado Atual B	Entrada X	Entradas J_A	Entradas K_A	dos FF's J_B	dos FF's K_B	Próximo Estado A	Próximo Estado B
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	1	1	1	0	1	1
0	1	1	1	0	0	1	1	0
1	0	0	0	0	1	1	1	1
1	0	1	0	0	0	0	1	0
1	1	0	1	1	1	1	0	0
1	1	1	1	0	0	0	1	1