Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Até o momento trabalhamos apenas com circuitos combinacionais
    - Circ. Combinacionais → Logica de saída dependente apenas da condição das variáveis de entrada.
  - A diferença da logica sequencial é pequena porém implica em mudanças significantes.
    - Sist. Sequencial → É um sistema digital no qual a saída, em qualquer tempo dado, depende não somente da entrada atual mas também dos estados anteriores do sistema.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Vamos considerar os seguinte exemplo:
    - Botão Liga/Desl da TV

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Vamos considerar os seguinte exemplo:
    - Botão Liga/Desl da TV

    - O que acontece quando pressionamos o botão Liga/Desl ?

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Vamos considerar os seguinte exemplo:
    - Botão Liga/Desl da TV

    - Esta resposta só pode ser respondida conhecendo-se o estado da TV...

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Vamos considerar os seguinte exemplo:
    - Botão Liga/Desl da TV

TV DESL-> ESTADO OFF

Botão → Press.
Saída → ON

TV LIG-> ESTADO ON

Botão → Press.
Saída → OFF

Eletrônica Digital

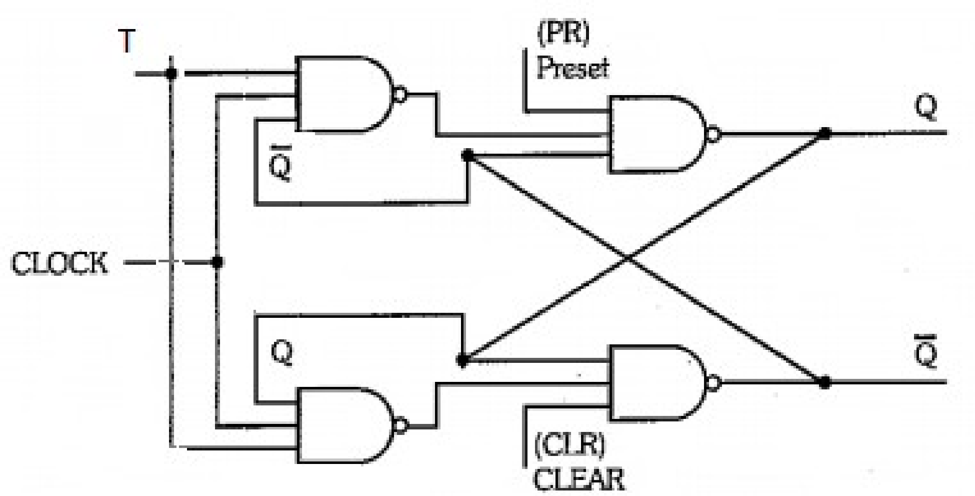
- Circuitos Sequenciais
  - Vamos considerar os seguinte exemplo:
    - Botão Liga/Desl da TV

TV DESL-> ESTADO OFF

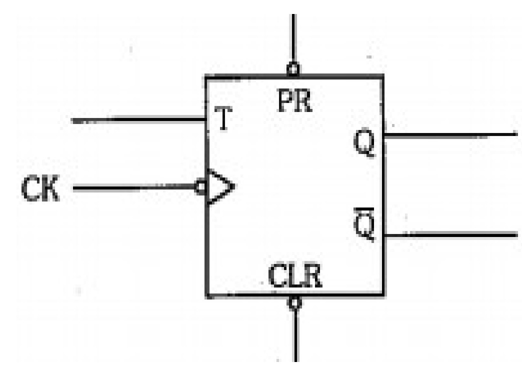
Botão → Press.
Saída → ON

TV LIG-> ESTADO ON

Botão → Press.
Saída → OFF



T	Qf
0	Qa
1	$\bar{Q}$a

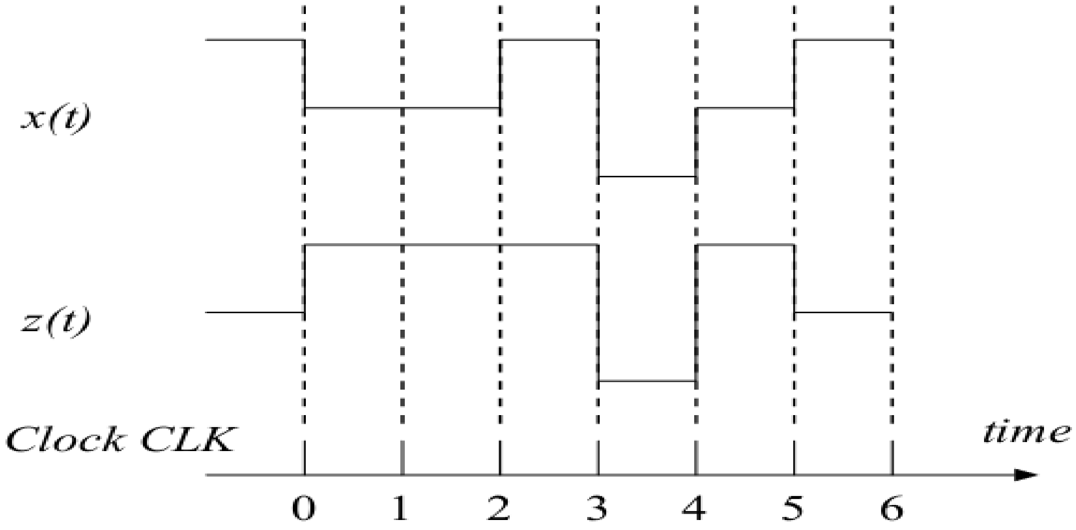


Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - De acordo com os instantes no tempo em que as entradas e saídas são consideradas, os sistemas sequenciais são classificados como:
    - Síncronos
    - Assíncronos

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Síncronos
    - As entradas e saídas são consideradas em instantes no tempo discreto definidos através de pulsos de um sinal de sincronização chamado clock (CLK)
    - A separação entre pulsos consecutivos de clock é constante e chamada ciclo ou período de clock
    - Desta fomas os instantes discretos são normalmente rotulados por números naturais consecutivos, t=0, t=1, t=2, etc...



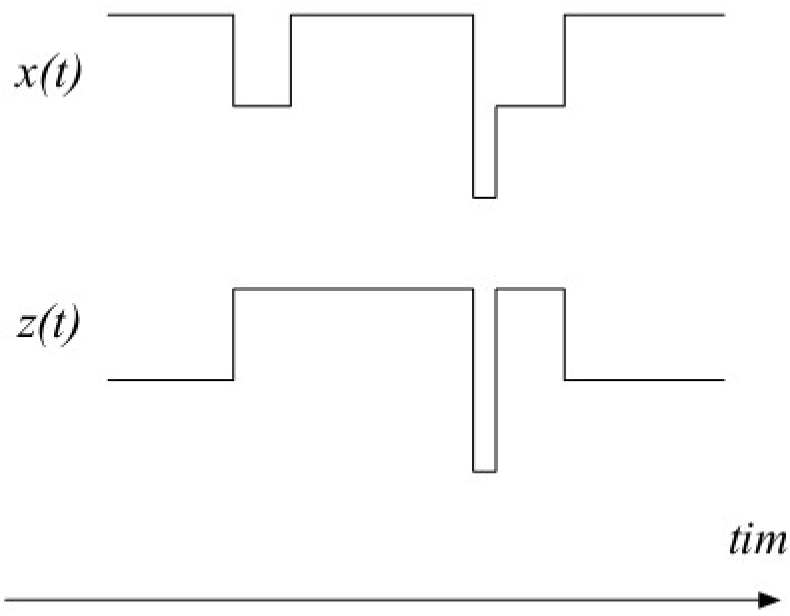
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Síncronos
    - As entradas e saídas são consideradas em instantes no tempo discreto definidos através de pulsos de um sinal de sincronização chamado clock (CLK)
    - A separação entre pulsos consecutivos de clock é constante e chamada ciclo ou período de clock
    - Desta fomas os instantes discretos são normalmente rotulados por números naturais consecutivos, t=0, t=1, t=2, etc...
    - As funções no tempo de entrada e saída são chamadas sequências.
    - Denotamos por $x(t_1,t_2)$ uma sequencia da entrada x a partir do tempo t_1 até o tempo t_2.
      - EX: $x(2,5) = aabc$

        $z(2,5) = 1021$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Assíncronos
    - A variável de tempo agora é contínua. Desta forma os sinais de entrada e saída são definidos para qualquer valor de t.



Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: Somador Serial
    - Considere um sistema no qual a entrada no tempo i corresponde ao dígito i de ambos os operandos, e a saída ao dígito i do resultado, iniciando-se no dígito menos significativo. Para as entradas 1638753 + 3652425 o par entrada saída seria:

t	0	1	2	3	4	5	6
x(t)	3	5	7	8	3	6	1
y(t)	5	2	4	2	5	6	3
z(t)	8	7	1	1	9	2	5

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
    - Podemos concluir pelo que vimos que um sist. Sequencial deve ter a capacidade de “capturar” a influência de todas as entradas passadas sobre as saídas atuais e futuras.
    - Desta forma e intuitivo pensar que sera necessário memorizar a sequencia completa da entrada $x(0,t_1)$ para ser capaz de determinar a saída no tempo $t \geq t_1$.
    - No entanto para os sistemas que vamos estudar os valores das sequencias de entrada podem ser agrupados em um número finito de ***classes*** de tal maneira que todas as funções no tempo que tem o mesmo efeito sobre a saída em $t \geq t1$ são incluídas na mesma classe.
    - Como resultado a determinação de $z(t)$ não necessita da sequência inteira de entrada pois basta saber a classe a qual a função pertence.
    - A classe é associada a uma variável auxiliar dependente do tempo chamada ***estado***.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
    - Vamos considerar novamente o sistema somador serial decimal.
      - A determinação de z(t) exigem que sejam conhecidos apenas x(t), y(t) e o carry resultante dos dígitos anteriores c(t).
      - Temos então que não é necessário saber toda a sequencia de dígitos de entrada anteriores, mas somente o valor do carry para o dígito t.
      - Desta forma c(t) será o estado, e este pode assumir dois valores
        - c(t)=0; e c(t)=1

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
    - Uma descrição completa para este somador seria:

Input: $x(t), y(t) \in \{0, 1, ..., 9\}$
Output: $z(t) \in \{0, 1, ..., 9\}$
State: $s(t) \in \{0, 1\}$ (the carry)
Initial state: $s(0) = 0$

Functions: The transition and output functions are

$$s(t+1) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(t) + y(t) + s(t) \geq 10 \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

$$z(t) = (x(t) + y(t) + s(t)) \; mod \; 10$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
    - Uma vez que o estado também varia com o tempo o comportamento temporal agora poderia ser completamente descrito da seguinte forma:

t	0	1	2	3	4	5	6
x(t)	3	5	7	8	3	6	1
y(t)	5	2	4	2	5	6	3
s(t)	0	0	0	1	1	0	1
z(t)	8	7	1	1	9	2	5

Eletrônica Digital

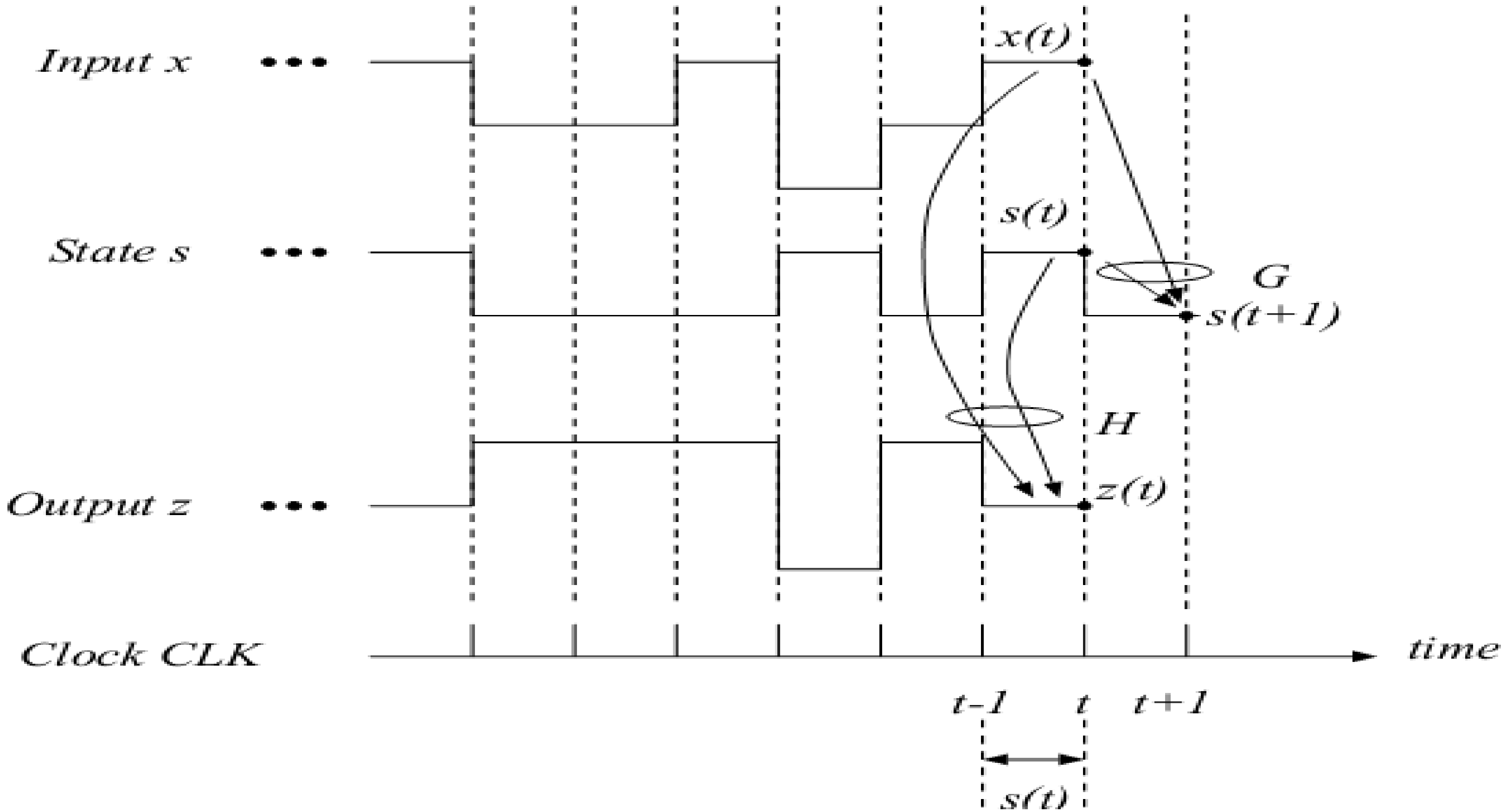
- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
    - De forma generalizada a descrição do estado em um sistema sequencial usa três variáveis no tempo: a entrada, o estado e a saída.
    - Desta forma podemos definir suas duas funções:
      - A função transição de estados é responsável por produzir comportamento do próximo estado (tempo t+1) atrvés da entrada atual (x(t)) e o estado atual (s(t)).
      - A função saída produz a saída atual (z(t)) como função da entrada atual (x(t)) e do estado atual (s(t)).

$$\begin{array}{lrcl} \text{State-transition function} & s(t+1) & = & G(s(t), x(t)) \\ \text{Output function} & z(t) & = & H(s(t), x(t)) \end{array}$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos

$$\text{State-transition function} \quad s(t+1) = G(s(t), x(t))$$
$$\text{Output function} \quad z(t) = H(s(t), x(t))$$



Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
  - EX: Considere o sistema cuja entrada tenha duas classes, chamadas a e b, e cuja saída também tenha dois valores, 0 e 1. A saída no tempo t é 1 se o número de b´s na função de entrada no no intervalo de tempo (x(0,t)) for par e 0 caso contrário.
  - Especifique o comportamento da função transição de estado do sistema.
  - Mostre o comportamento temporal para as sequencia x(0,7)=abbababa

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
  - EX:

TIME-BEHAVIOR SPECIFICATION:

Input: $x(t) \in \{a, b\}$
Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

Function: $z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(0,t) \text{ contains an even number of } b'\text{s} \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
  - EX:

Input: $x(t) \in \{a, b\}$

Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

State: $s(t) \in \{\text{EVEN}, \text{ODD}\}$

Initial state: s(0)$=$ EVEN

Functions: Transition and output functions

PS	$x(t) = a$	$x(t) = b$
EVEN	EVEN, 1	ODD, 0
ODD	ODD, 0	EVEN, 1
	$NS,\ z(t)$	

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Descrição de estados de sistemas de estados finitos
  - EX:

Input: $x(t) \in \{a, b\}$

Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

State: $s(t) \in \{\text{EVEN, ODD}\}$

Initial state: s(0)= EVEN

Functions: Transition and output functions

PS	$x(t)=a$	$x(t)=b$
EVEN	EVEN, 1	ODD, 0
ODD	ODD, 0	EVEN, 1
	$NS,\ z(t)$	

t	0	1	2	3	4	5	6	7
x, z	$a, 1$	$b, 0$	$b, 1$	$a, 1$	$b, 0$	$a, 0$	$b, 1$	$a, 1$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Máquinas de Mealy e de Moore
    - Os sistemas sequenciais podem ainda ser classificados de acordo com o tipo de função de saída.
    - A máquina de Mealy é um sistema sequencial cuja saída no tempo t depende do estado e da entrada no tempo t.

$$z(t) = H(s(t), x(t))$$

$$s(t+1) = G(s(t), x(t))$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Máquinas de Mealy e de Moore
    - Os sistemas sequenciais podem ainda ser classificados de acordo com o tipo de função de saída.
    - A máquina de Mealy é um sistema sequencial cuja saída no tempo t depende do estado e da entrada no tempo t.

$$z(t) = H(s(t))$$

$$s(t+1) = G(s(t), x(t))$$

    - A máquina de Moore é por sua vez um sistema sequencial cuja saída no tempo depende apenas do estado no tempo t

$$z(t) = H(s(t), x(t))$$

$$s(t+1) = G(s(t), x(t))$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Máquinas de Mealy e de Moore
    - Devemos notar que a maquina de moore não independe da sequencia de entrada;
    - Temos que a influencia da entrada sobre a saída ocorre apenas através do estado
    - Assim a saída pode ser associada diretamente com o estado (através de uma coluna adicional na tabela)

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Máquinas de Mealy e de Moore
    - EX:

Input: $x(t) \in \{a, b, c\}$
Output: $z(t) \in \{0, 1\}$
State: $s(t) \in \{S_0, S_1, S_2, S_3\}$
Initial state: $s(0) = S_0$

Functions: Transition and output functions:

PS	Input			
	a	b	c	
S_0	S_0	S_1	S_1	0
S_1	S_2	S_0	S_1	1
S_2	S_2	S_3	S_0	1
S_3	S_0	S_1	S_2	0
	NS			Output

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Máquinas de Mealy e de Moore
  - OBS:
    - Temos que as máquinas de moore são casos particulares das máquinas de Mealy
    - Para o comportamento no tempo temos que toda máquina de mealy tem uma máquina de moore que é equivalente a ela (pois possui mesmo comportamento no tempo)

Eletrônica Digital

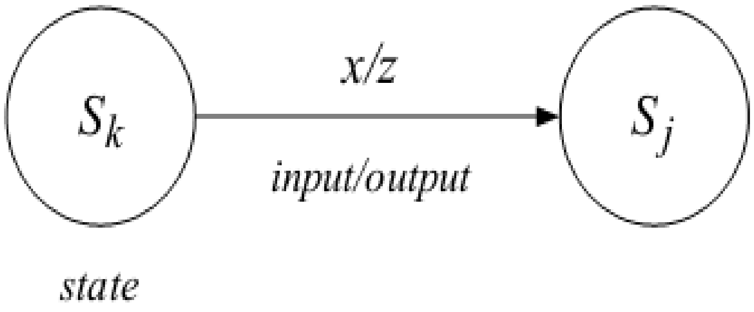
- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - Os argumentos e os valores das funções de transição de estado e saída são variáveis com um número finito de valores discretos. Temos assim a mesma forma daquelas que descrevem sistemas combinacionais.
    - Podem então ser representadas por tabelas, expressões ou mapas.
    - No entanto uma representação gráfica adicional é frequentemente utilizada para sistemas sequenciais → Diagrama de Estados

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - Um diagrama de estados é um grafo usado para representar as funções de transição e saída em um sistema sequencial;
    - Cada estado é representado por um nó e cada transição por um arco;
    - Um arco que vai do nó S_k para o nó S_j e rotulado x/z especifica que para um estado atual S_k e uma entrada x o próximo estado é S_j e a saída é z.

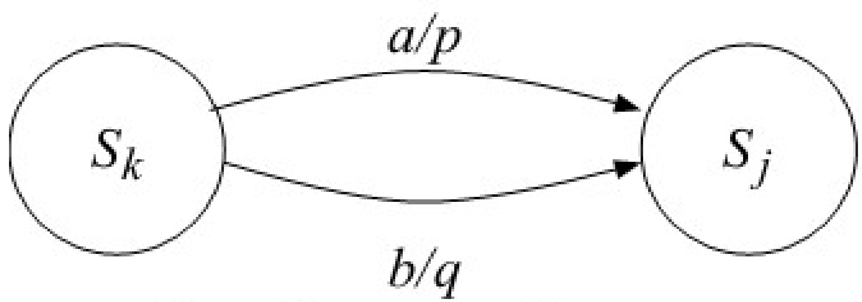
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - Um diagrama de estados é um grafo usado para representar as funções de transição e saída em um sistema sequencial;
    - Cada estado é representado por um nó e cada transição por um arco;
    - Um arco que vai do nó S_k para o nó S_j e rotulado x/z especifica que para um estado atual S_k e uma entrada x o próximo estado é S_j e a saída é z.

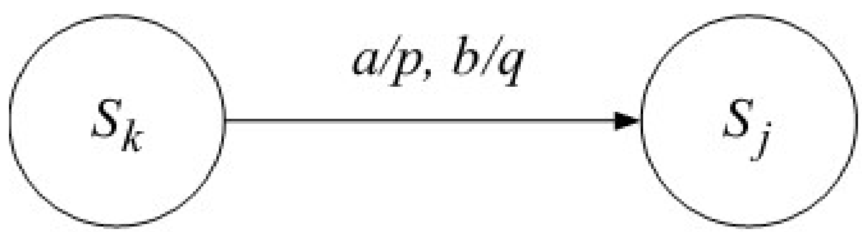


Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - Um diagrama de estados pode ser simplificado combinando-se aqueles arcos que produzem a mesma transição e indicando os vários pares E/S em um único arco.



Complete state diagram



Simplified state diagram

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - EX: Um sistema sequencial tem a seguinte descrição de estados:

Entrada: x(t) = {a, b}
Saída: z(t) = {p, q}
Estado: s(t) = {S0, S1 S2}
Estado inicial: S0

The transition and output functions are

$s(t)$	$x(t)$	
	a	b
S_0	S_1, p	S_2, q
S_1	S_1, p	S_0, p
S_2	S_1, p	S_2, p
	$s(t+1), z(t)$	

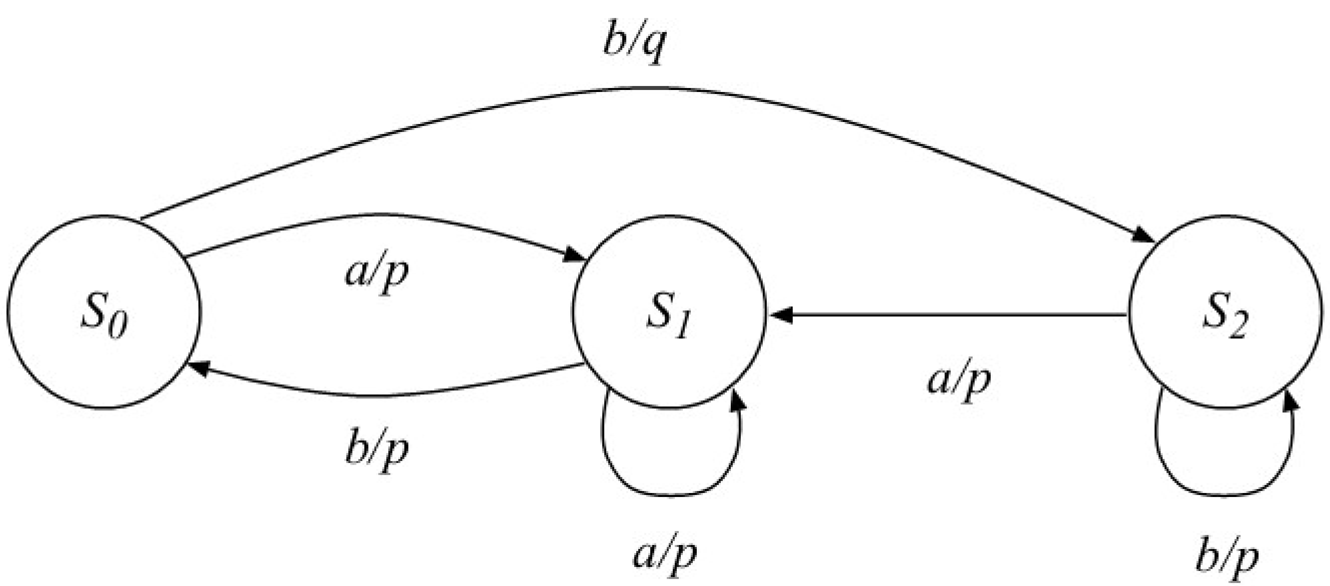
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - EX: Um sistema sequencial tem a seguinte descrição de estados:

Entrada: x(t) = {a, b}
Saída: z(t) = {p, q}
Estado: s(t) = {S0, S1 S2}
Estado inicial: S0

The transition and output functions are

$s(t)$	$x(t)$	
	a	b
S_0	S_1, p	S_2, q
S_1	S_1, p	S_0, p
S_2	S_1, p	S_2, p
	$s(t+1), z(t)$	



Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - Para a máquina de moore podemos também indicar dentro do nó de cada estado ao invés de nos arcos.
    - EX:

Input: $x(t) \in \{a, b, c\}$
Output: $z(t) \in \{0, 1\}$
State: $s(t) \in \{S_0, S_1, S_2, S_3\}$
Initial state: $s(0) = S_0$

Functions: Transition and output functions:

PS	Input			
	a	b	c	
S_0	S_0	S_1	S_1	0
S_1	S_2	S_0	S_1	1
S_2	S_2	S_3	S_0	1
S_3	S_0	S_1	S_2	0
	NS			Output

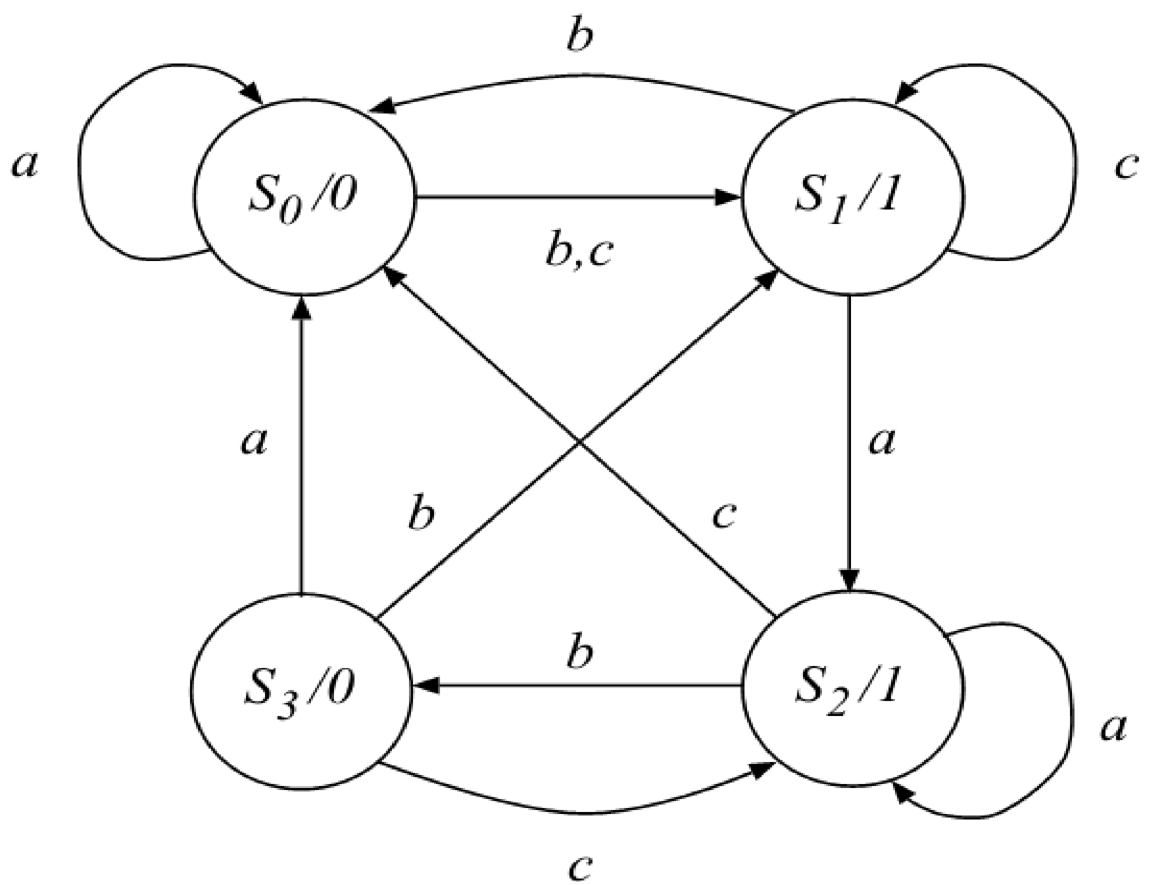
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - Para a máquina de moore podemos também indicar dentro do nó de cada estado ao invés de nos arcos.
    - EX:

Input: $x(t) \in \{a, b, c\}$
Output: $z(t) \in \{0, 1\}$
State: $s(t) \in \{S_0, S_1, S_2, S_3\}$
Initial state: $s(0) = S_0$

Functions: Transition and output functions:

PS	Input			
	a	b	c	
S_0	S_0	S_1	S_1	0
S_1	S_2	S_0	S_1	1
S_2	S_2	S_3	S_0	1
S_3	S_0	S_1	S_2	0
	NS			Output



Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - EX:

Input: $x(t) \in \{0, 1, 2, 3\}$
Output: $z(t) \in \{a, b\}$
State: $s(t) \in \{S_0, S_1\}$
Initial state: $s(0) = S_0$

The transition and output functions are

$$s(t+1) = \begin{cases} S_0 \textbf{ if } & (s(t) = S_0 \\ & \quad \textbf{and } [x(t) = 0 \textbf{ or } x(t) = 2]) \\ & \quad \textbf{or } (s(t) = S_1 \textbf{ and } x(t) = 3) \\ S_1 \textbf{ otherwise} & \end{cases}$$

$$z(t) = \begin{cases} a \textbf{ if } & s(t) = S_0 \\ b \textbf{ if } & s(t) = S_1 \end{cases}$$

Eletrônica Digital

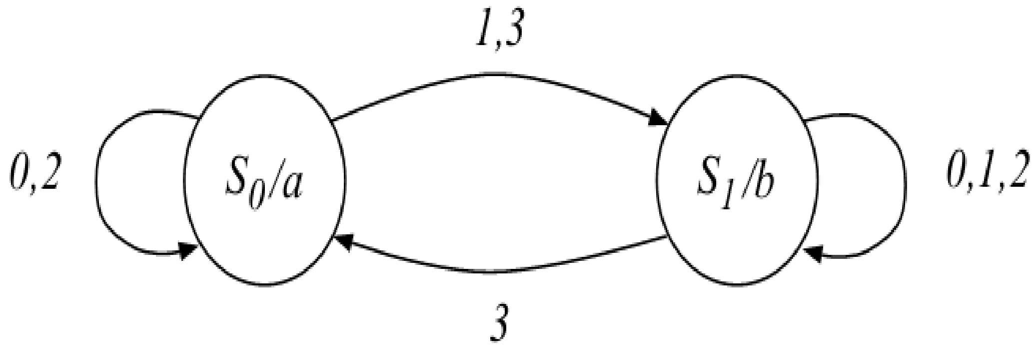
- Circuitos Sequenciais
  - Diagramas de Estados
    - EX:

Input: $x(t) \in \{0, 1, 2, 3\}$
Output: $z(t) \in \{a, b\}$
State: $s(t) \in \{S_0, S_1\}$
Initial state: $s(0) = S_0$

The transition and output functions are

$$s(t+1) = \begin{cases} S_0 \ \textbf{if} \ \ (s(t) = S_0 \\ \qquad \textbf{and} \ [x(t) = 0 \ \textbf{or} \ x(t) = 2]) \\ \qquad \textbf{or} \ (s(t) = S_1 \ \textbf{and} \ x(t) = 3) \\ S_1 \ \textbf{otherwise} \end{cases}$$

$$z(t) = \begin{cases} a \ \textbf{if} \ \ s(t) = S_0 \\ b \ \textbf{if} \ \ s(t) = S_1 \end{cases}$$



Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Exercício:
    - Montar o diagrama de Estados para os flip-flops estudados.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - OBS: A descrição de um sistema sequencial exige que cada estado seja identificado por um nome.
  - Em geral estes nomes são arbitrários, porém algumas expressões podem ser simplificadas se nomes apropriados forem utilizados.
  - Um exemplo disto é o uso de números inteiros como nomes de estados afim de descrevermos expressões aritméticas.
  - EX: A MODULO-64 COUNTER

Input: $x(t) \in \{0, 1\}$

Output: $z(t) \in \{0, 1, 2, \ldots, 63\}$

State: $s(t) \in \{0, 1, 2, \ldots, 63\}$

Initial state: $s(0) = 0$

Functions: The transition and output functions are

$$
\begin{aligned}
s(t+1) &= [s(t) + x(t)] \bmod 64 \\
z(t) &= s(t)
\end{aligned}
$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - OBS: além de escolher nomes de estados apropriados, em alguns casos a descrição torna-se simplificada se o estado for representado por um vetor s = (s_{n-1}, … s_0) ao invés de por um único componente
  - EX:

Input: $e(t) \in \{1, 2, \ldots, 55\}$

Output: $z(t) \in \{0, 1, 2, \ldots, 55\}$

State: $\underline{s}(t) = (s_{55}, \ldots, s_1), \quad s_i \in \{0, 1, 2, \ldots, 99\}$

Initial state: $\underline{s}(0) = (0, 0, \ldots, 0)$

Functions: The transition and output functions are

$$s_i(t+1) = \begin{cases} [s_i(t) + 1] \bmod 100 & \textbf{if} \quad e(t) = i \\ & i = 1, 2, \ldots, 55 \\ s_i(t) & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

$$z(t) = \begin{cases} i \quad \textbf{if} \quad e(t) = i \textbf{ and } s_i(t) = 99 \\ 0 \quad \textbf{otherwise} \end{cases}$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Podemos determinar o comportamento temporal de qualquer máquina de estados finito.
  - No entanto nem todo comportamento no tempo pode ser descrito por uma máquina de estados finito.
  - EX: $s(0) = S_2$

    Transition and output functions are

PS	$x(t)$			
	a	b	c	
S_0	S_0	S_1	S_1	p
S_1	S_2	S_0	S_1	q
S_2	S_2	S_3	S_0	q
S_3	S_0	S_1	S_2	p
	NS			$z(t)$

t	0	1	2	3	4
x	a	b	c	a	

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Podemos determinar o comporta meto temporal de qualquer máquina de estados finito.
  - No entanto nem todo comportamento no tempo pode ser descrito por uma máquina de estados finito.
  - EX: $s(0) = S_2$

    Transition and output functions are

PS	$x(t)$			
	a	b	c	
S_0	S_0	S_1	S_1	p
S_1	S_2	S_0	S_1	q
S_2	S_2	S_3	S_0	q
S_3	S_0	S_1	S_2	p
	NS			$z(t)$

t	0	1	2	3	4
x	a	b	c	a	
s	S_2	S_2	S_3	S_2	S_2
z	q	q	p	q	

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Podemos determinar o comporta meto temporal de qualquer máquina de estados finito.
  - No entanto nem todo comportamento no tempo pode ser descrito por uma máquina de estados finito.
  - EX: Consideremos o seguinte comportamento

$$z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(0,t) \text{ has same number of } 0's \text{ and } 1's \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

  - Porque não podemos definir este comportamento no tempo com uma máquina de estados finitos?

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Podemos determinar o comporta meto temporal de qualquer máquina de estados finito.
  - No entanto nem todo comportamento no tempo pode ser descrito por uma máquina de estados finito.
  - EX: Consideremos o seguinte comportamento

$$z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(0,t) \text{ has same number of } 0's \text{ and } 1's \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

  - Podemos definir o estado no tempo t como a diferença entre o número de 1´s e 0´s em x(0,t)

$$s(t) = \text{DIFFERENCE BETWEEN NUMBER OF 1'S AND 0'S}$$

$$s(t+1) = \begin{cases} s(t)+1 & \textbf{if} \quad x(t)=1 \\ s(t)-1 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

$$z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad s(t)=0 \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Podemos determinar o comporta meto temporal de qualquer máquina de estados finito.
  - No entanto nem todo comportamento no tempo pode ser descrito por uma máquina de estados finito.
  - EX: Consideremos o seguinte comportamento

$$z(t) = \begin{cases} 1 \ \textbf{if} \ \ x(0,t) \text{ has same number of } 0's \text{ and } 1's \\ 0 \ \textbf{otherwise} \end{cases}$$

  - Desta forma não podemos limitar os possíveis valores que essa diferença entre 1´s e 0´s pode assumir.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Podemos determinar o comporta meto temporal de qualquer máquina de estados finito.
  - No entanto nem todo comportamento no tempo pode ser descrito por uma máquina de estados finito.
  - EX: Consideremos o seguinte comportamento

$$z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(0,t) \text{ has same number of } 0's \text{ and } 1's \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$

  - Desta forma não podemos limitar os possíveis valores que essa diferença entre 1´s e 0´s pode assumir.
  - Para podermos representar este sistema por uma máquina de estados finita temos que limitar o tamanho da sequencia de entrada e reinicializarmos o estado sempre que o tamanho máximo for atingido.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Podemos determinar o comporta meto temporal de qualquer máquina de estados finito.
  - No entanto nem todo comportamento no tempo pode ser descrito por uma máquina de estados finito.
  - EX: Consideremos o seguinte comportamento

Input: $x(t) \in \{0, 1\}$

Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

Function: $z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(t-3, t) = 1101 \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Controladores
    - Depois de discutirmos sist. Sequenciais cuja principal descrição é o comportamento no tempo, consideraremos agora uma classe de sist. Sequenciais os quais a descrição de estados é a principal
    - Um controlador é um sistema de estados finitos que a medida em que os estados são percorridos são produzidos sinais que determinam ações executadas em outra parte do sistema.
    - Como um controlador é um sistema de estados finito qualquer uma das descrições anteriormente estudadas pode ser utilizada.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Controladores
    - Autônomos: Segue uma sequência fixa e estados independente de qualquer entrada (exceto clock)
    - Não autônomos: a transição é determinada também por entradas externas

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - Dois sistemas sequenciais são equivalentes se eles tiverem o mesmo comportamento no tempo.
    - Uma vez que pode haver diversas descrições de estados para o mesmo comportamento no tempo, é conveniente identificar a descrição mais simples pois está pode levar a uma implementação efetiva que exige um menor número de dispositivos

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - O passo inicial ao se projetar uma sistema sequencial é obter a sua descrição de estados;
    - Este processo pode se algumas vezes complexo pois requer a compreensão da operação dos sistema
    - Desta forma em muitos casos é mais simples obter uma descrição de estado não otimizada e depois usar um procedimento sistemático para reduzir o numero de estados

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

Input: $x(t) \in \{0, 1\}$

Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

Function: $z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(t-2, t) = 101 \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8
x	0	0	1	0	1	0	1	0	0
z	0	0	0	0	1	0	1	0	0

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX: Input: $x(t) \in \{0, 1\}$

      Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

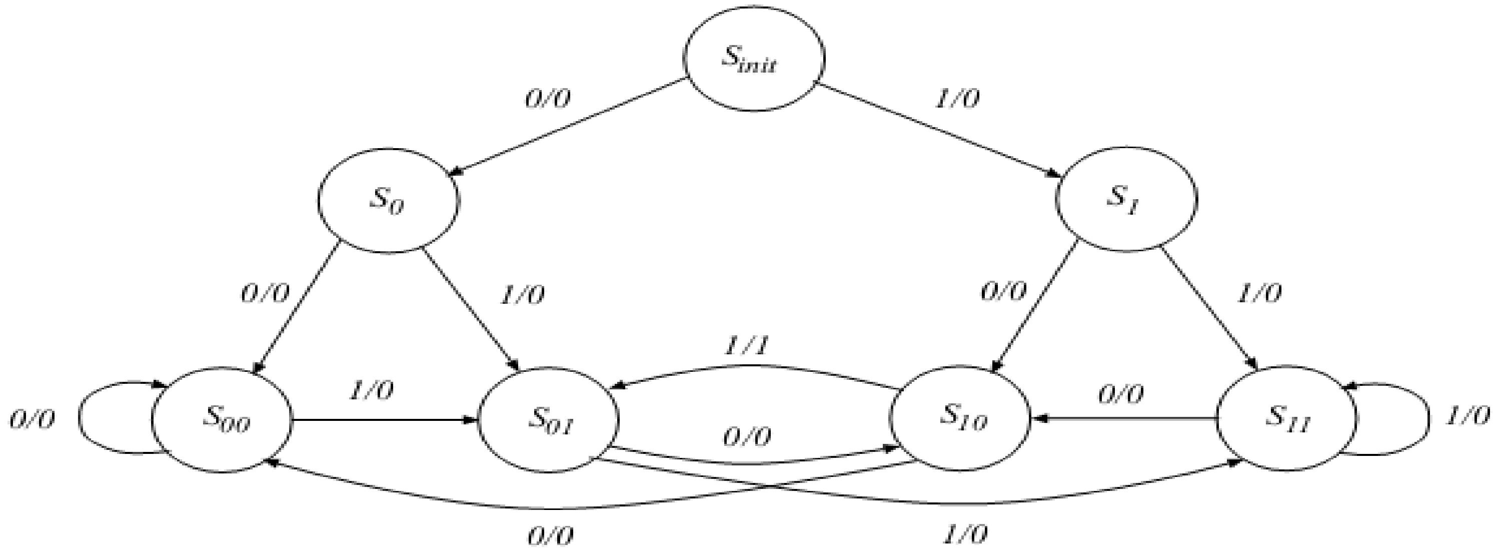
      Function: $z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(t-2, t) = 101 \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8
x	0	0	1	0	1	0	1	0	0
z	0	0	0	0	1	0	1	0	0

    - Uma primeira descrição de estados pode nos conduzir a 7 estados conforme o diagrama:

Eletrônica Digital

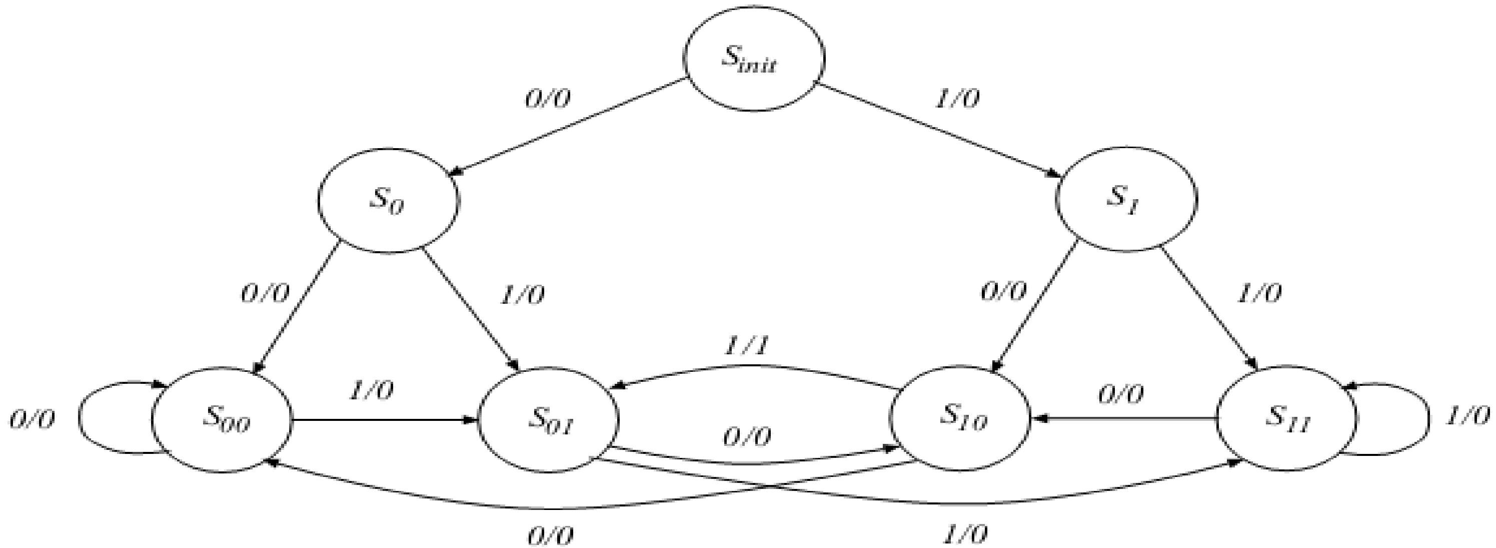
- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:



    - Temos a partir de um estado inicial a e construindo uma sequencia de estados para cada sequencia de entrada de tamanho 2.

Eletrônica Digital

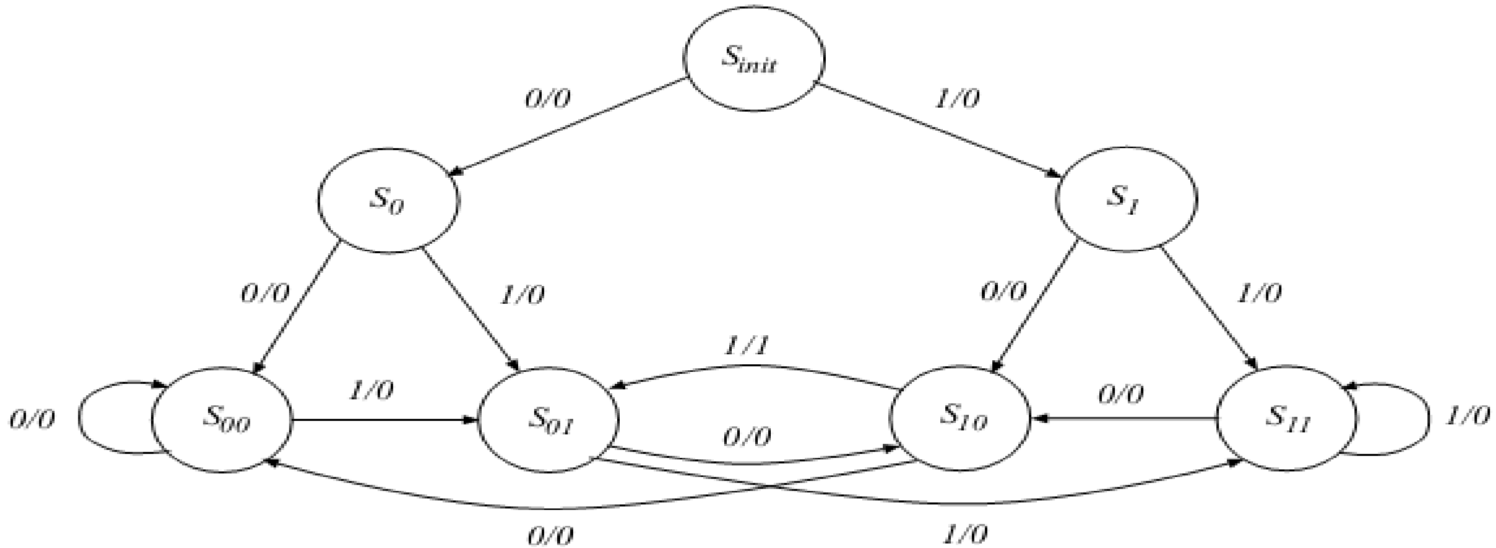
- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:



- Por exemplo se a sequencia de entrada for 01 o sistema irá primeiro para o estado S0 e depois para S01.
- A transição produzida pelo terceiro elemento da sequencia de entrada dispara um valor na saída 1 se o padrão tiver sido detectado.

Eletrônica Digital

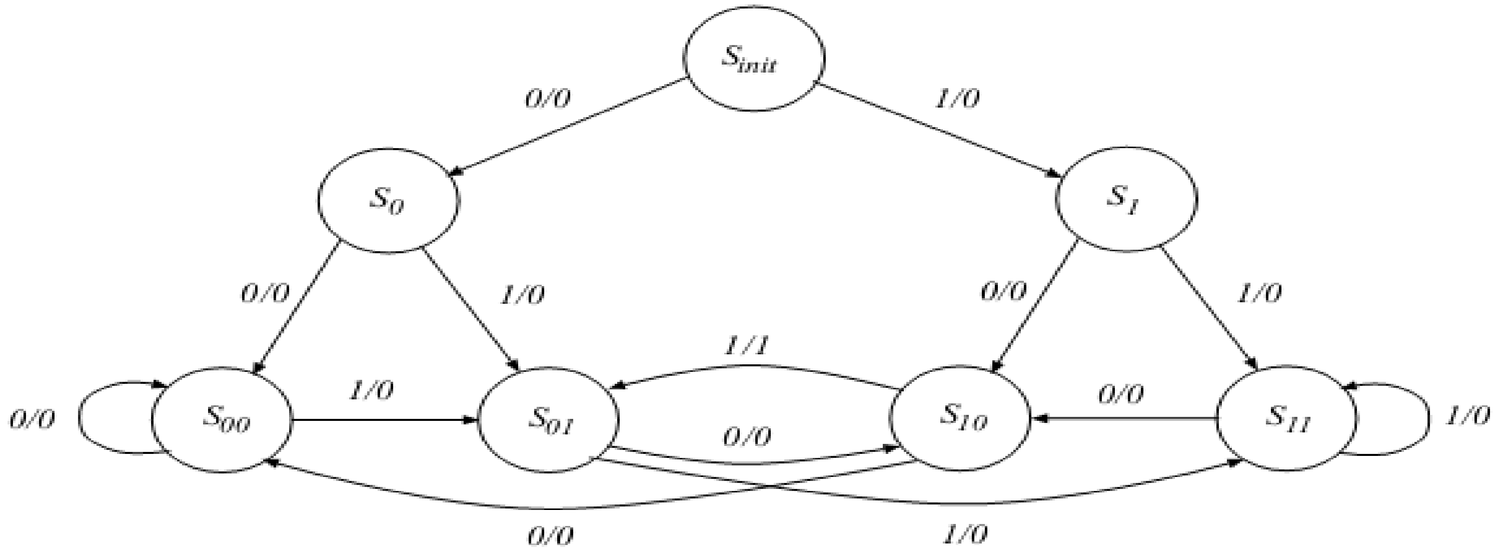
- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:



- Além disso o terceiro elemento leva o sistema ao estado correspondente aos dois últimos elementos da sequencia devido a sobreposição do padrão .
- Ver estado S10 e entrada x(t)=1

Eletrônica Digital

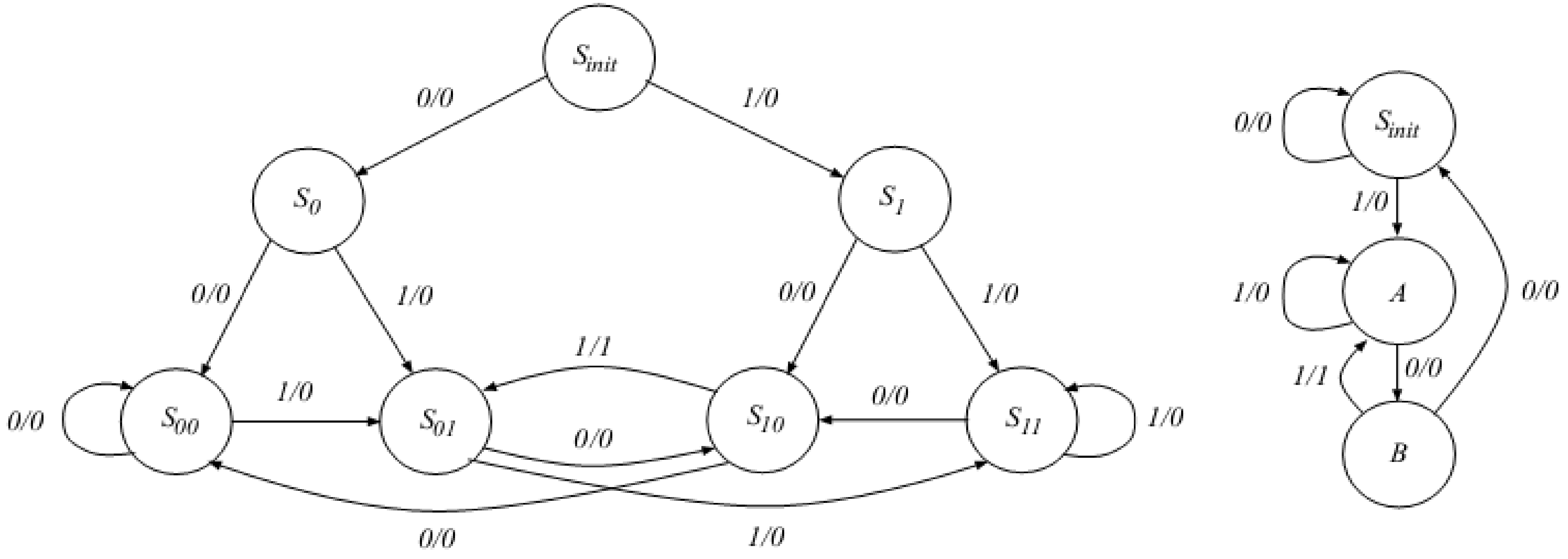
- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:



- Este diagrama possui estados retundantes;
- Sua simplificação pode ser vista a seguir;

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:



Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - Descreveremos agora uma forma de transformar um sistema em um equivalente que tenha o numero minimo de estados
      - Encontrar as classes de estados equivalentes
      - Descrever o sistema usando somente um estado por classe

    - Estado distinguíveis: Dois estados Sv e Sw são distinguíveis se houver pelo menos uma sequencia de entrada finita que gere diferentes sequencias de saída dependendo se a sequencia de entrada é aplicada ao sistema no estado Sv ou Sw.
    - Uma sequencia que distingue estes estados e chamada se sequencia distinguidora;
    - Se houver uma sequencia distinguidora de tamanho k para o par Sv e Sw estes serão k-distinguiveis

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - Descreveremos agora uma forma de transformar um sistema em um equivalente que tenha o numero minimo de estados
      - Encontrar as classes de estados equivalentes
      - Descrever o sistema usando somente um estado por classe

    - Estado equivalentes: Diz-se que dois estados que não são k distinguíveis são k equivalentes
    - A partição em estados equivalentes é chamada P

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - k-DISTINGUISHABLE STATES: DIFF. OUTPUT SEQUENCES

$$z(x(t, t+k-1), S_v) \neq z(x(t, t+k-1), S_w)$$

EXAMPLE:

State	$x(3,7)$	$z(3,7)$
S_1	0210	0011
S_3	0210	0001

- k-EQUIVALENT STATES: NOT DISTINGUISHABLE FOR SEQUENCES OF LENGTH k
- P_k: PARTITION OF STATES INTO k-EQUIVALENT CLASSES
- EQUIVALENT STATES – NOT DISTINGUISHABLE FOR ANY k

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX: Input: $x(t) \in \{a, b, c\}$

      Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

      State: $s(t) \in \{A, B, C, D, E, F\}$

      Initial state: $s(0) = A$

      Functions: TRANSITION AND OUTPUT

PS	$x = a$	$x = b$	$x = c$
A	$E, 0$	$D, 1$	$B, 0$
B	$F, 0$	$D, 0$	$A, 1$
C	$E, 0$	$B, 1$	$D, 0$
D	$F, 0$	$B, 0$	$C, 1$
E	$C, 0$	$F, 1$	$F, 0$
F	$B, 0$	$C, 0$	$F, 1$
		NS, z	

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

1-EQUIVALENT IF SAME "row pattern"

$P_1 = (A, C, E) \ \ (B, D, F)$

PS	$x = a$	$x = b$	$x = c$
A	$E, 0$	$D, 1$	$B, 0$
B	$F, 0$	$D, 0$	$A, 1$
C	$E, 0$	$B, 1$	$D, 0$
D	$F, 0$	$B, 0$	$C, 1$
E	$C, 0$	$F, 1$	$F, 0$
F	$B, 0$	$C, 0$	$F, 1$
	NS, z		

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

PS	$x=a$	$x=b$	$x=c$
A	$E,0$	$D,1$	$B,0$
B	$F,0$	$D,0$	$A,1$
C	$E,0$	$B,1$	$D,0$
D	$F,0$	$B,0$	$C,1$
E	$C,0$	$F,1$	$F,0$
F	$B,0$	$C,0$	$F,1$
	$NS,\ z$		

1-EQUIVALENT IF SAME "row pattern"

$P_1 = (A, C, E)\ \ (B, D, F)$

NUMBER THE CLASSES IN P_1

	1			2		
P_1	$(A,$	$C,$	$E)$	$(B,$	$D,$	$F)$
a	1	1	1	2	2	2
b	2	2	2	2	2	1
c	2	2	2	1	1	2

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

NUMBER THE CLASSES IN P_1

	1			2		
P_1	(A,	C,	E)	(B,	D,	F)
a	1	1	1	2	2	2
b	2	2	2	2	2	1
c	2	2	2	1	1	2

PS	$x = a$	$x = b$	$x = c$
A	$E, 0$	$D, 1$	$B, 0$
B	$F, 0$	$D, 0$	$A, 1$
C	$E, 0$	$B, 1$	$D, 0$
D	$F, 0$	$B, 0$	$C, 1$
E	$C, 0$	$F, 1$	$F, 0$
F	$B, 0$	$C, 0$	$F, 1$
		NS, z	

TWO STATES ARE IN THE SAME CLASS OF P_2
IF THEIR SUCCESSOR COLUMNS HAVE THE SAME NUMBERS

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

NUMBER THE CLASSES IN P_1

P_1	1 (A,	C,	E)	2 (B,	D,	F)
a	1	1	1	2	2	2
b	2	2	2	2	2	1
c	2	2	2	1	1	2

PS	$x=a$	$x=b$	$x=c$
A	$E,0$	$D,1$	$B,0$
B	$F,0$	$D,0$	$A,1$
C	$E,0$	$B,1$	$D,0$
D	$F,0$	$B,0$	$C,1$
E	$C,0$	$F,1$	$F,0$
F	$B,0$	$C,0$	$F,1$
		$NS,\ z$	

TWO STATES ARE IN THE SAME CLASS OF P_2
IF THEIR SUCCESSOR COLUMNS HAVE THE SAME NUMBERS

BY IDENTIFYING IDENTICAL COLUMNS OF SUCCESSORS, WE GET

$$P_2 = (A, C, E)\ \ (B, D)\ \ (F)$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

SAME PROCESS TO OBTAIN THE NEXT PARTITION:

P_2	1 $(A,$	$C,$	$E)$	2 $(B,$	$D),$	3 (F)
a	1	1	1	3	3	
b	2	2	3	2	2	
c	2	2	3	1	1	

$$P_3 = (A, C) \quad (E) \quad (B, D) \quad (F)$$

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

PS	$x = a$	$x = b$	$x = c$
A	$E, 0$	$D, 1$	$B, 0$
B	$F, 0$	$D, 0$	$A, 1$
C	$E, 0$	$B, 1$	$D, 0$
D	$F, 0$	$B, 0$	$C, 1$
E	$C, 0$	$F, 1$	$F, 0$
F	$B, 0$	$C, 0$	$F, 1$
		$NS,\ z$	

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

PS	$x=a$	$x=b$	$x=c$
A	$E,0$	$D,1$	$B,0$
B	$F,0$	$D,0$	$A,1$
C	$E,0$	$B,1$	$D,0$
D	$F,0$	$B,0$	$C,1$
E	$C,0$	$F,1$	$F,0$
F	$B,0$	$C,0$	$F,1$
		$NS,\ z$	

SAME PROCESS TO OBTAIN THE NEXT PARTITION:

	1			2		3
P_2	$(A,$	$C,$	$E)$	$(B,$	$D),$	(F)
a	1	1	1	3	3	
b	2	2	3	2	2	
c	2	2	3	1	1	

$$P_3 = (A, C) \ \ (E) \ \ (B, D) \ \ (F)$$

SIMILARLY, WE DETERMINE $P_4 = (A, C)\ (E)\ (B, D)\ (F)$
BECAUSE $P_4 = P_3$ THIS IS ALSO THE EQUIVALENCE PARTITION P

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Sistemas sequenciais equivalentes
    - EX:

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

PS	$x=a$	$x=b$	$x=c$
A	$E,0$	$D,1$	$B,0$
B	$F,0$	$D,0$	$A,1$
C	$E,0$	$B,1$	$D,0$
D	$F,0$	$B,0$	$C,1$
E	$C,0$	$F,1$	$F,0$
F	$B,0$	$C,0$	$F,1$
	$NS,\ z$		

THE MINIMAL SYSTEM:

PS	$x=a$	$x=b$	$x=c$
A	$E,0$	$B,1$	$B,0$
B	$F,0$	$B,0$	$A,1$
E	$A,0$	$F,1$	$F,0$
F	$B,0$	$A,0$	$F,1$
	$NS,\ z$		

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Especificação Binaria de sistemas sequenciais:
    - A descrição discutida ate o momento para sistemas sequenciais são de alto nível.
    - No entanto de maneira semelhante a utilizada para os sistemas combinacionais podemos obter uma descrição binária codificando-se a entrada, saída e os estados através de variáveis binárias (0´s e 1´s) – atribuição de estados –
    - Devido a estas representações binárias cada arco no diagrama de estados pode ser rotulado por uma expressão de chaveamento;
    - Temos ainda que a transição correspondente é realizada sempre que a expressão tenha valor 1;

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Especificação Binaria de sistemas sequenciais:
    EX: Especificação binária para o exemplo anterior;

Functions: TRANSITION AND OUTPUT

PS	$x=a$	$x=b$	$x=c$
A	$E,0$	$D,1$	$B,0$
B	$F,0$	$D,0$	$A,1$
C	$E,0$	$B,1$	$D,0$
D	$F,0$	$B,0$	$C,1$
E	$C,0$	$F,1$	$F,0$
F	$B,0$	$C,0$	$F,1$
		$NS,\ z$	

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Especificação Binaria de sistemas sequenciais:
    EX: A partir da simplificação dos estados equivalentes teremos:

PS	$x=a$	$x=b$	$x=c$
A	$E,0$	$B,1$	$B,0$
B	$F,0$	$B,0$	$A,1$
E	$A,0$	$F,1$	$F,0$
F	$B,0$	$A,0$	$F,1$
	$NS,\ z$		

Input code

$x(t)$	$x_1(t)x_0(t)$
a	00
b	01
c	10

Output code

$z(t)$	
0	0
1	1

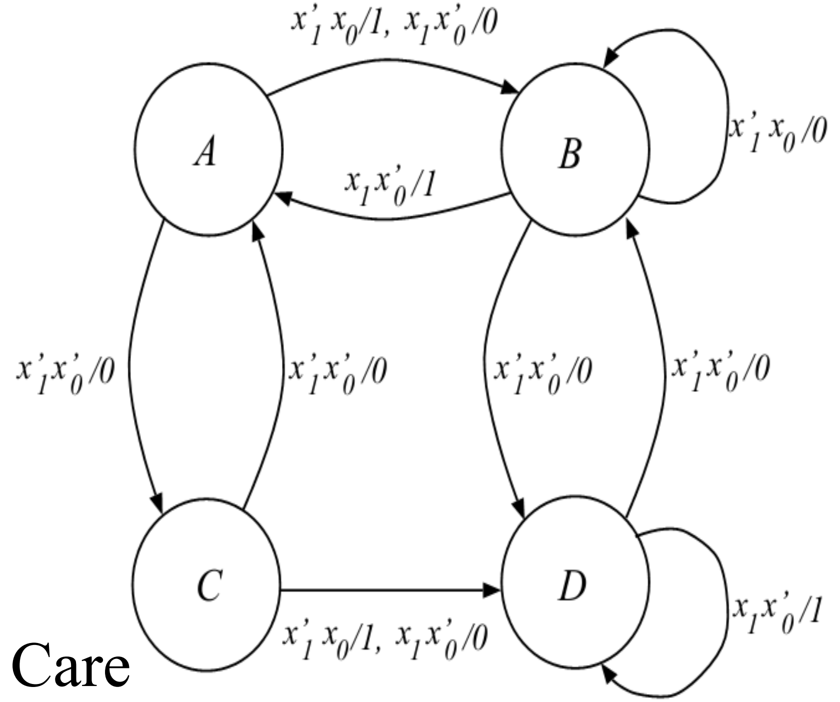
State assignment

$s(t)$	$s_1(t)s_0(t)$
A	00
B	01
E	10
F	11

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Especificação Binaria de sistemas sequenciais:
    EX: A especificação binária com seu diagrama de estados resulta em:

$s_1(t)s_0(t)$	$x_1x_0 = 00$	$x_1x_0 = 01$	$x_1x_0 = 10$
00	10, 0	01, 1	01, 0
01	11, 0	01, 0	00, 1
10	00, 0	11, 1	11, 0
11	01, 0	00, 0	11, 1
	$s_1(t+1)s_0(t+1),\ z$		



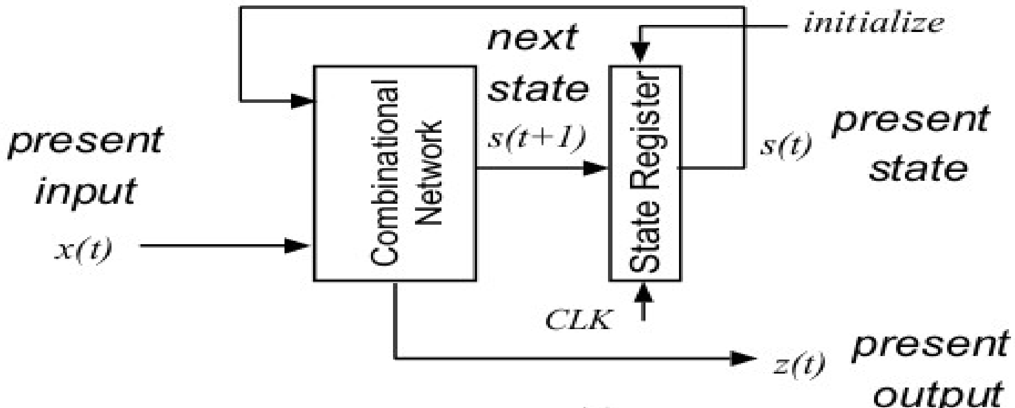
- Vale a pena salientar que a coluna
  $x_1x_0 = 11$ representa a condição Don´t Care

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Forma Canônica de Sistemas Sequenciais:
    - Uma forma padrão par todas as redes sequenciais é a implementação canônica (Huffman-Moore) a qual se baseia diretamente na descrição dos estados de um sistema

$$\begin{aligned} s(t+1) &= G(s(t), x(t)) \\ z(t) &= H(s(t), x(t)) \end{aligned}$$

    - Nesta implementação os componentes são organizados da seguinte forma:
      - Um registrador de estados para armazenar o estado s(t)
      - Uma rede combinacional para implementar as funções transição e saída

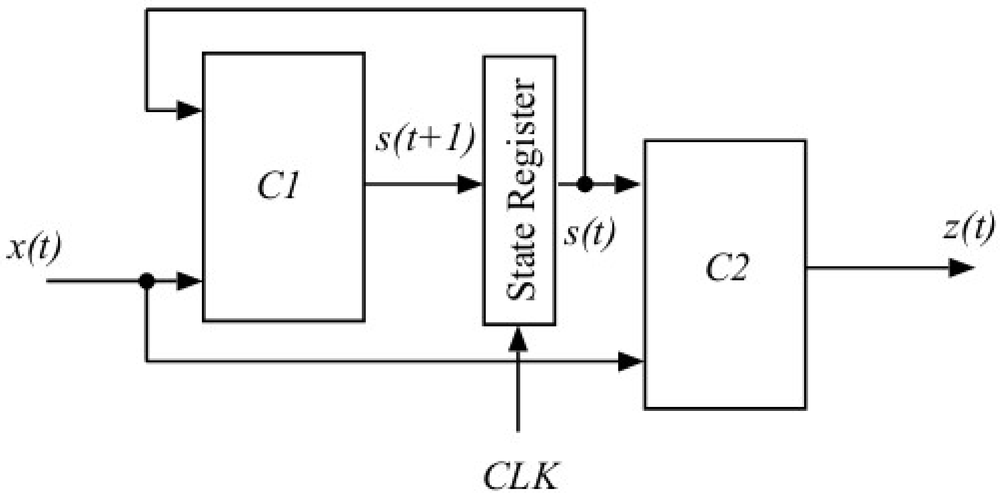


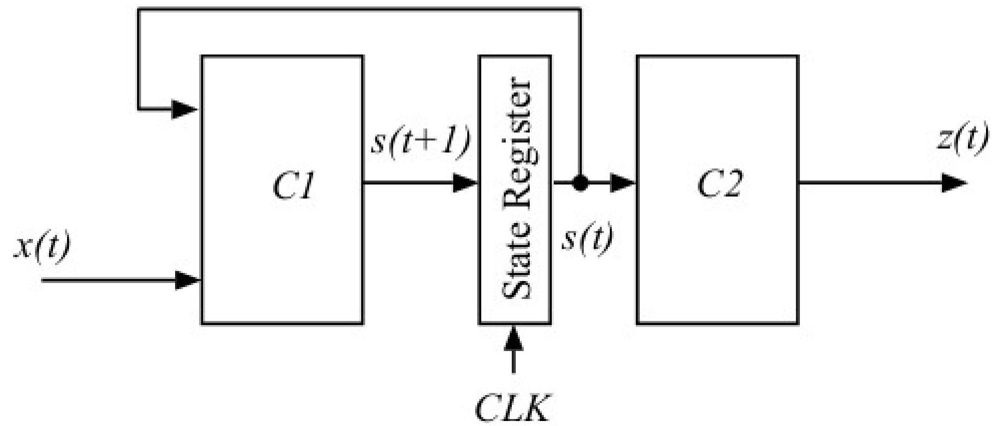
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Forma Canônica de Sistemas Sequenciais:
    - Em geral a descrição de um sistema sequencial inclui em estado inicial sendo necessário colocar o sistema neste estado a fim de se obter o comportamento de entrada-saída desejado.
    - Esta inicialização é realizada por uma entrada especial que para fins de simplificação não será especificada em nossos exemplos. No entanto a mesma deve ser implementada sempre que necessário.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Forma Canônica de Sistemas Sequenciais:
    - Ao iniciarmos o estudo a respeito de rede sequenciais classificamos estes sistemas como maquinas de Mealy ou Moore.
    - A forma canônica destes dois sistemas difere sutilmente conforme ilustra as figuras:





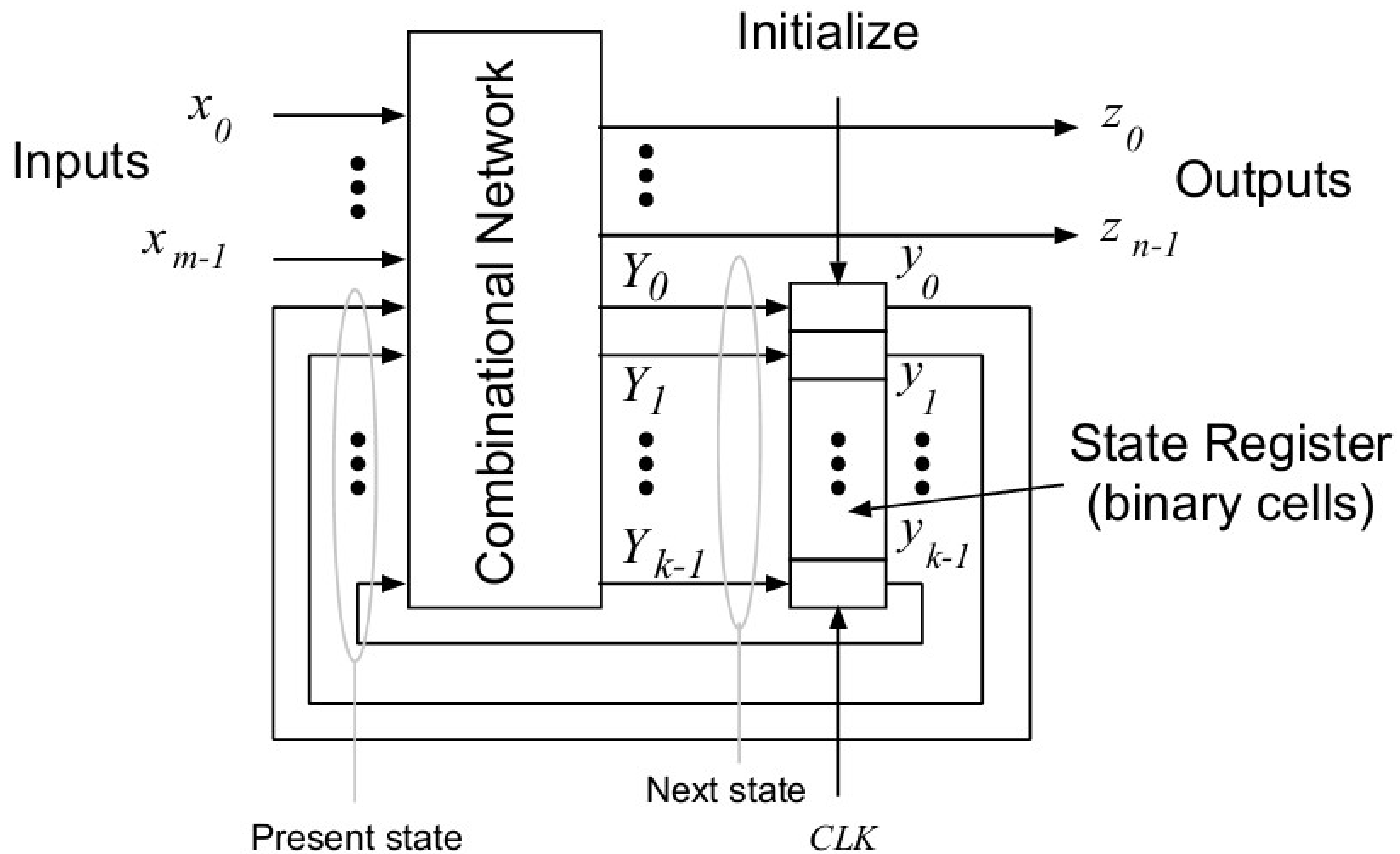
- Esta separação não é necessariamente especificada na pratica pois ambas as redes podem compartilhar alguns módulos.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Projeto de redes sequenciais canônicas
  - O projeto de uma rede sequencial canônica, que exige a descrição de estados do sistema, consiste nos seguintes passos:
    - Transforme as funções de transição e saída em uma forma adequada para implementação;
      - Expressão de alto nível
      - Tabelas de estado;
    - Especifique um registrador de estado para codificar o número necessários de estados;
      - Flip-flop´s para codificação
    - Projete uma rede combinacional necessária
      - Álgebra booleana
      - Mapa K

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  –



Eletrônica Digital

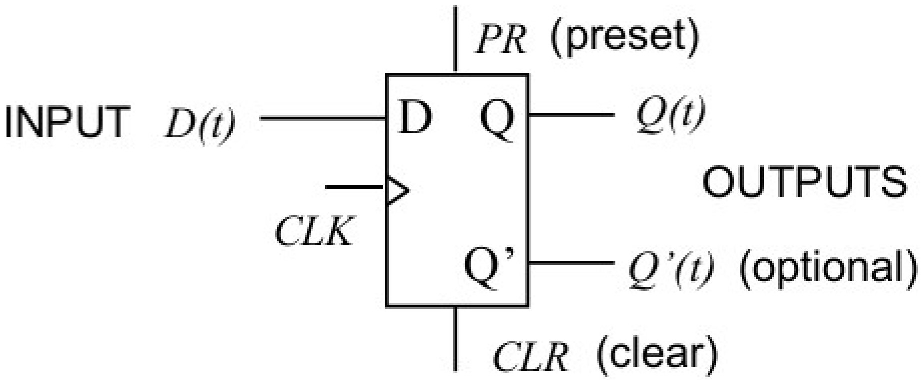
- Circuitos Sequenciais
  - EX: Usando flip-flop´s tipo D projete uma rede sequencial em nível binário para implementar um sistema que tem a seguinte especificação

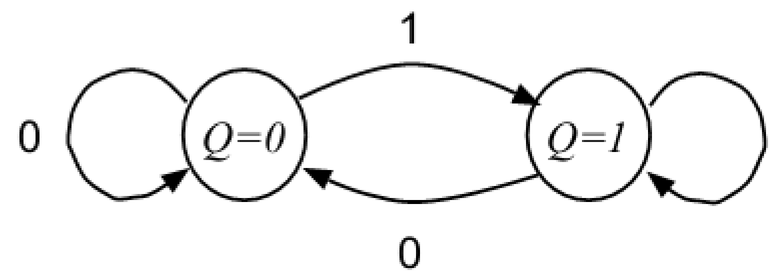
Input: $x(t) \in \{a, b, c\}$
Output: $z(t) \in \{0, 1\}$
State: $s(t) \in \{A, B, C, D\}$
Initial state: $s(0) = A$

PS	Input		
	$x = a$	$x = b$	$x = c$
A	C,0	B,1	B,0
B	D,0	B,0	A,1
C	A,0	D,1	D,0
D	B,0	A,0	D,1
	$NS,\ z$		

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: Usando flip-flop´s tipo D projete uma rede sequencial em nível binário para implementar um sistema que tem a seguinte especificação





$PS = Q(t)$	$D(t)$	
	0	1
0	0	1
1	0	1
	$NS = Q(t+1)$	

$$Q(t+1) = D(t)$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: Usando flip-flop´s tipo D projete uma rede sequencial em nível binário para implementar um sistema que tem a seguinte especificação

Input: $x(t) \in \{a, b, c\}$
Output: $z(t) \in \{0, 1\}$
State: $s(t) \in \{A, B, C, D\}$
Initial state: $s(0) = A$

PS	Input		
	$x = a$	$x = b$	$x = c$
A	C,0	B,1	B,0
B	D,0	B,0	A,1
C	A,0	D,1	D,0
D	B,0	A,0	D,1
	NS, z		

  - Codificação para binário;

Input code

x	x_1	x_0
a	0	1
b	1	0
c	1	1

State code

s	y_1	y_0
A	0	0
B	1	0
C	0	1
D	1	1

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX:Com esta codificação a função transição de estado e saída são:

PS	x_1x_0		
y_1y_0	01	10	11
00	01,0	10,1	10,0
10	11,0	10,0	00,1
01	00,0	11,1	11,0
11	10,0	00,0	11,1
	$Y_1Y_0,\ z$		
	NS, Output		

  - Vale ressaltar que a combinação x0x1 = 00 jamais ocorre e desta forma é considerada don´t care.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX:Com esta codificação a função transição de estado e saída são:

PS y_1y_0	x_1x_0 01	10	11
00	01,0	10,1	10,0
10	11,0	10,0	00,1
01	00,0	11,1	11,0
11	10,0	00,0	11,1
	$Y_1Y_0,\ z$ NS, Output		

  - A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional

PS	x_1x_0		
y_1y_0	01	10	11
00	01,0	10,1	10,0
10	11,0	10,0	00,1
01	00,0	11,1	11,0
11	10,0	00,0	11,1
	$Y_1Y_0,\ z$ NS, Output		

Y_1:

-	0	1	1
-	0	1	1
-	1	1	0
-	1	0	1

x_0, y_0, y_1, x_1

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional

PS	x_1x_0		
y_1y_0	01	10	11
00	01,0	10,1	10,0
10	11,0	10,0	00,1
01	00,0	11,1	11,0
11	10,0	00,0	11,1
	$Y_1Y_0,\ z$ NS, Output		

Y_0:

		x_0	x_0		
	-	1	0	0	
	-	0	1	1	y_0
y_1	-	0	1	0	y_0
y_1	-	1	0	0	
			x_1	x_1	

$$Y_0 = y_0'x_1' + y_1'y_0x_1 + y_0x_1x_0$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional

PS	x_1x_0		
y_1y_0	01	10	11
00	01,0	10,1	10,0
10	11,0	10,0	00,1
01	00,0	11,1	11,0
11	10,0	00,0	11,1
	$Y_1Y_0,\ z$ NS, Output		

$$Y_1: \quad \begin{array}{c|cccc|c} & & \multicolumn{2}{c}{x_0} & & \\ \hline & - & 0 & 1 & 1 & \\ & - & 0 & 1 & 1 & y_0 \\ y_1 & - & 1 & 1 & 0 & y_0 \\ y_1 & - & 1 & 0 & 1 & \\ \hline & & & \multicolumn{2}{c}{x_1} & \end{array}$$

$$Y_1 = y_1'x_1 + y_1x_1' + y_0'x_0' + y_0x_1x_0$$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional

PS	x_1x_0		
y_1y_0	01	10	11
00	01,0	10,1	10,0
10	11,0	10,0	00,1
01	00,0	11,1	11,0
11	10,0	00,0	11,1
	$Y_1Y_0,\ z$ NS, Output		

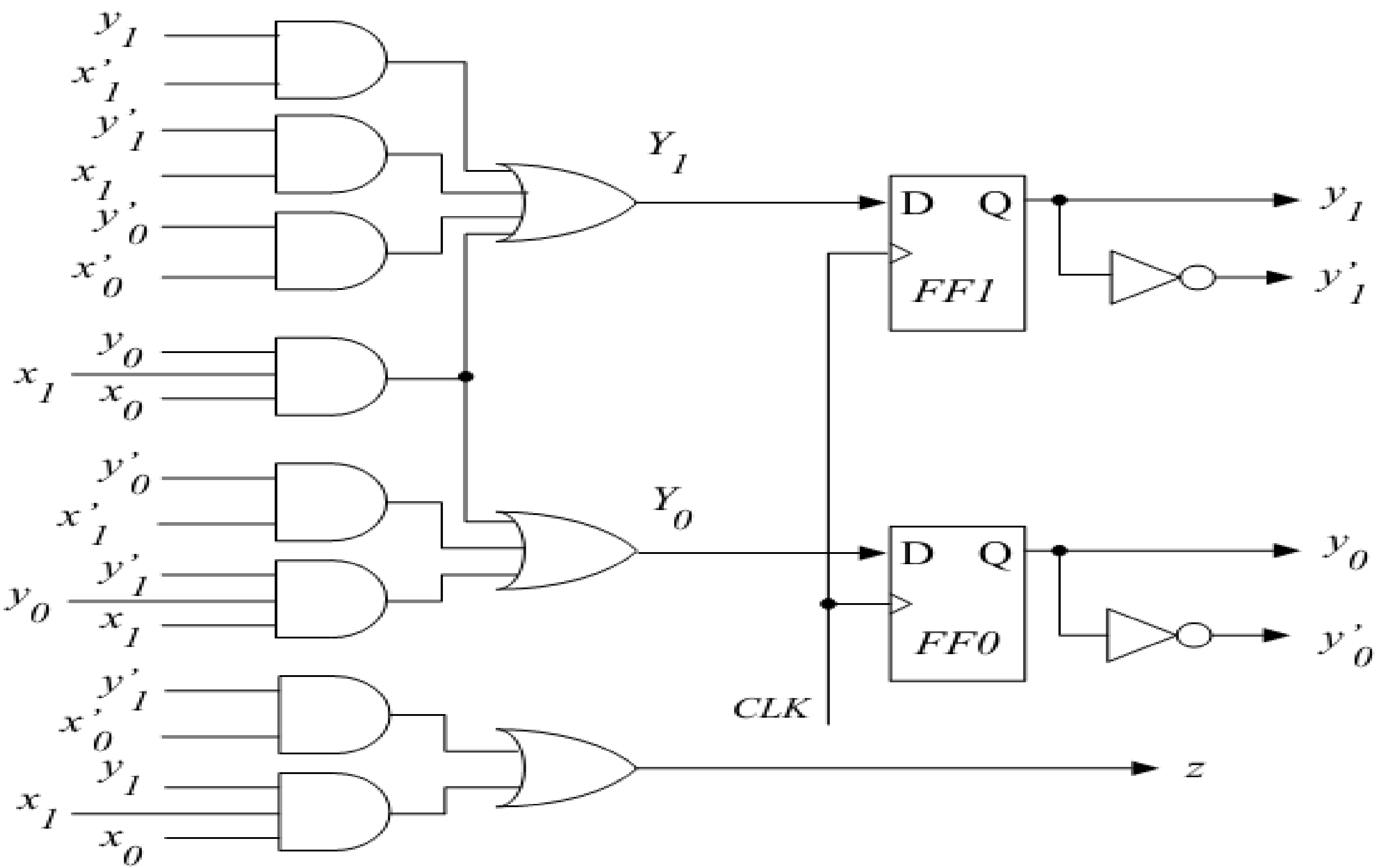
z: (x_0 above columns 2–3; x_1 below columns 3–4; y_0 beside rows 2–3; y_1 beside rows 3–4)

-	0	0	1
-	0	0	1
-	0	1	0
-	0	1	0

$$z = y_1' x_0' + y_1 x_1 x_0$$

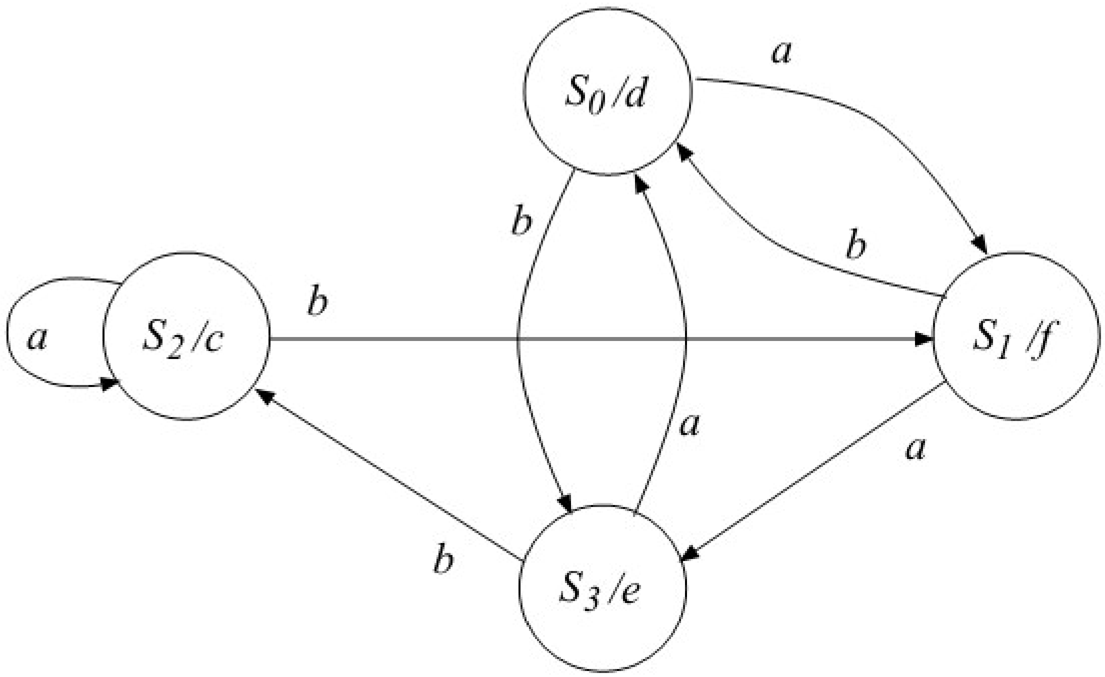
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional



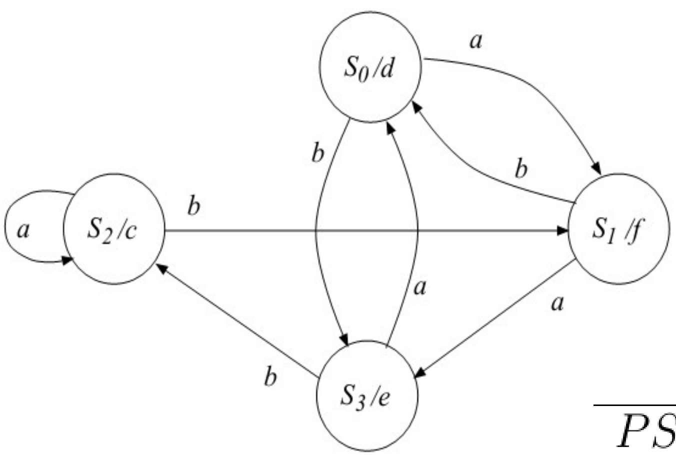
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional



Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional



x	x
0	a
1	b

z_1z_0	z
00	c
01	d
10	e
11	f

y_1y_0	s
00	S_0
01	S_1
10	S_2
11	S_3

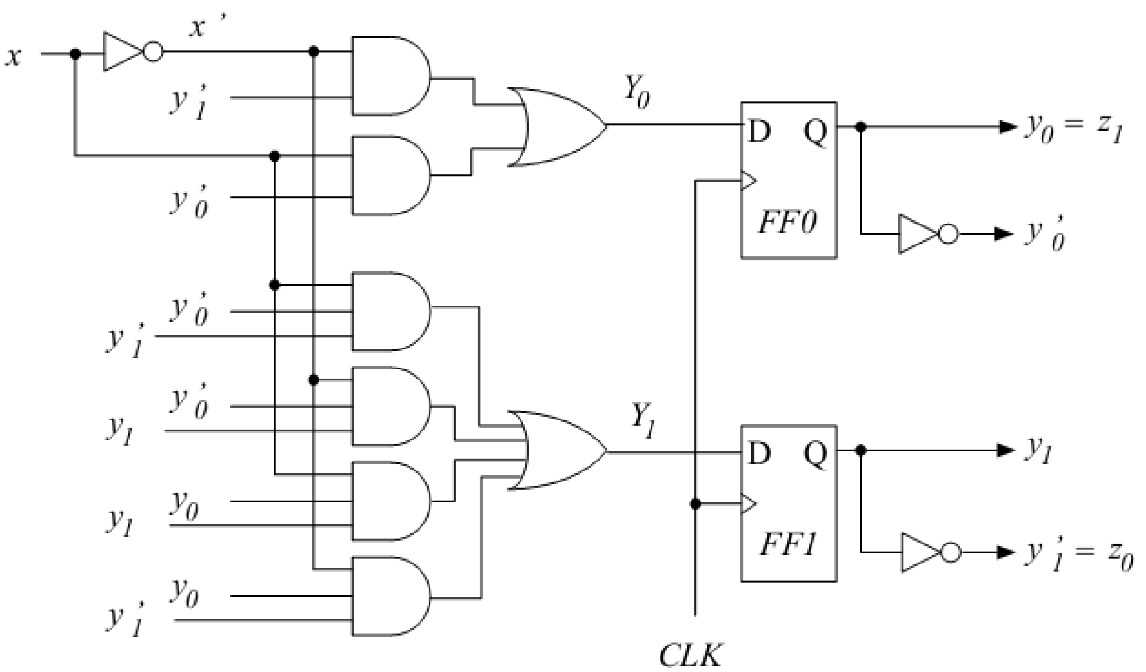
PS	Input		
y_1y_0	$x=0$	$x=1$	
00	01	11	01
01	11	00	11
10	10	01	00
11	00	10	10
	Y_1Y_0		z_1z_0
	NS		Output

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - EX: A partir desta tabela temos podemos obter o mapa K para projeto do circuito combinacional

$$Y_0 = x'y_1' + xy_0'$$
$$Y_1 = xy_0'y_1' + x'y_0'y_1 + xy_0y_1 + x'y_0y_1'$$

$$z_0 = y_1'$$
$$z_1 = y_0$$

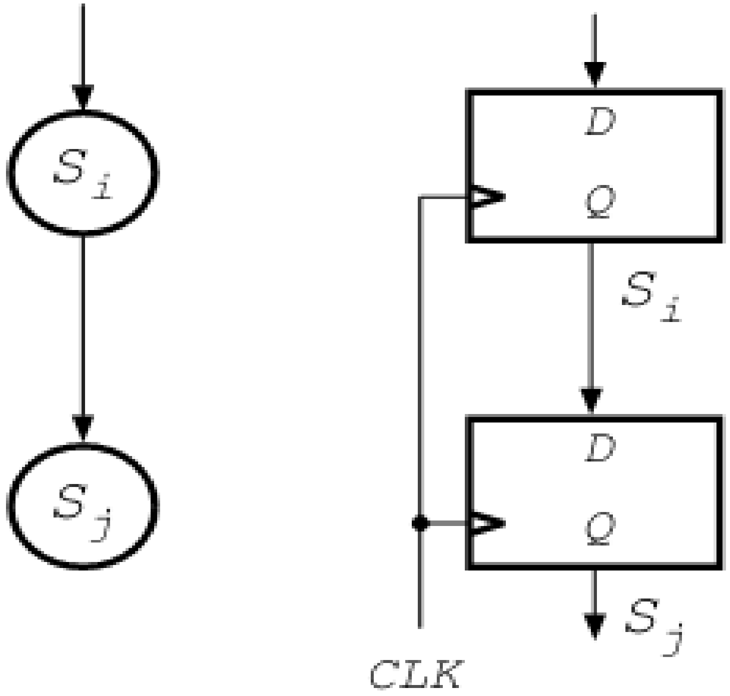


Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Atribuições especiais para estados:
    - A codificação de estados em variáveis binárias afeta a complexidade de uma implementação bem como o processo de projeto.
    - No entanto se o número de estados for pequeno podemos ter redes sequenciais com 1 FF por estado resultando em uma correspondência direta entre diagrama de estados e implementação
  - One-Hot
    - Temos somente 1 FF em estado 1 em qualquer tempo enquanto todos os outros estão em estado 0.

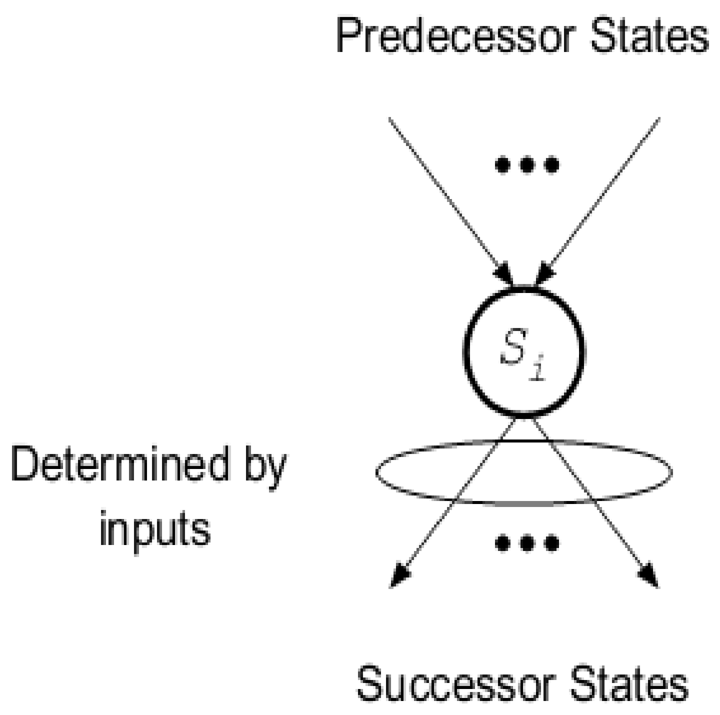
Eletrônica Digital

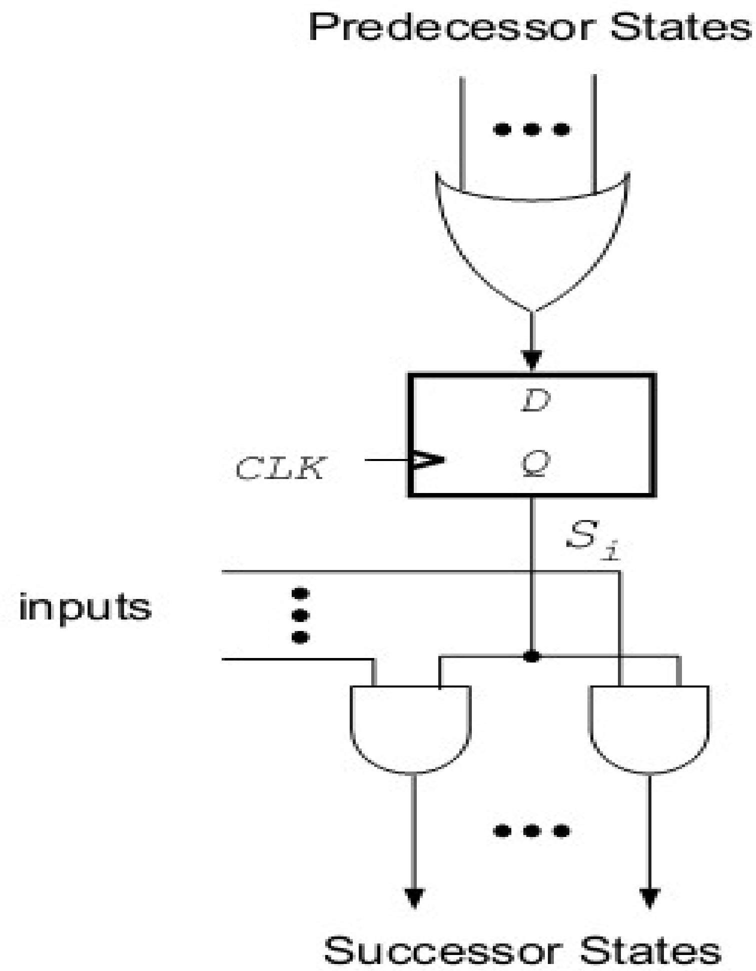
- Circuitos Sequenciais
  - One-Hot
    - Temos somente 1 FF em estado 1 em qualquer tempo enquanto todos os outros estão em estado 0.
    - O caso mais simples é um estado com um predecessor e um sucessor



Eletrônica Digital

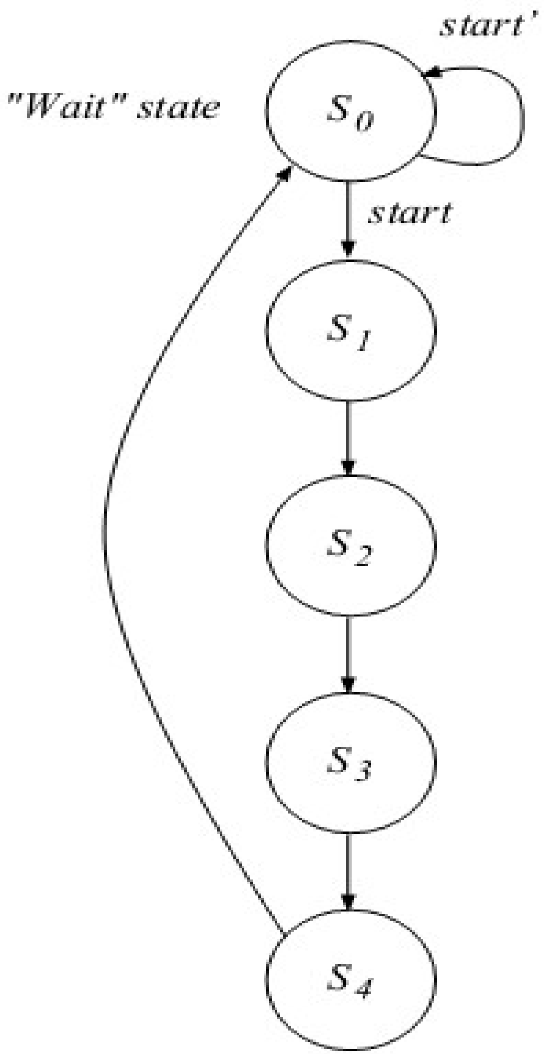
- Circuitos Sequenciais
  - One-Hot
    - O caso mais geral um estado tem diversos predecessores e diversos sucessores e um sucessor em particular é escolhido pelos valores de entrada.

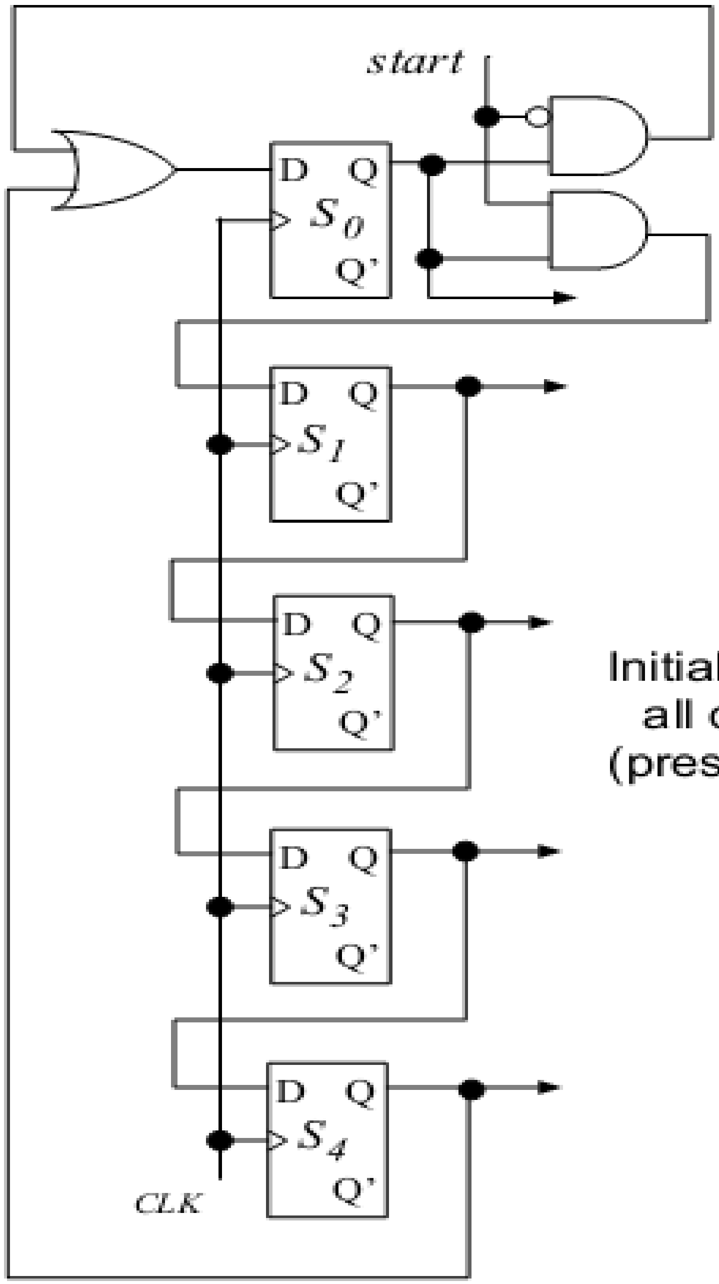




Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - One-Hot
    - EX:





Initially, S_0 is set to 1 and all other flip-flops to 0 (preset and clear signals not shown)

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Registrador de estado de deslocamento
    - As implementações com um registrador de estado de deslocamento são especialmente adequadas para sistemas sequenciais de memória finita.
    - Nestes sistemas o estado corresponde as últimas m-1 entradas e desta forma estas podem ser armazenas e deslocadas de uma posição em cada ciclo do clock.
    - EX: Input: $x(t) \in \{0, 1\}$

      Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

      Function: $z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(t-3, t) = 1101 \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$

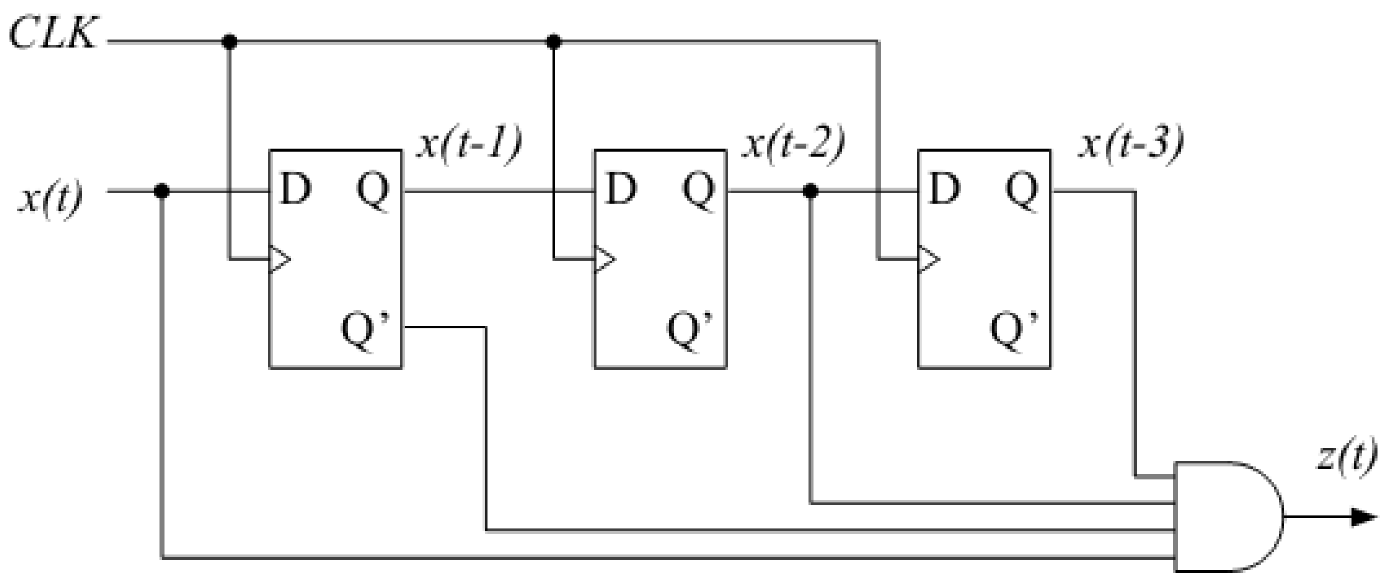
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Registrador de estado de deslocamento
    - EX:

Input: $x(t) \in \{0, 1\}$

Output: $z(t) \in \{0, 1\}$

$$\text{Function: } z(t) = \begin{cases} 1 & \textbf{if} \quad x(t-3, t) = 1101 \\ 0 & \textbf{otherwise} \end{cases}$$



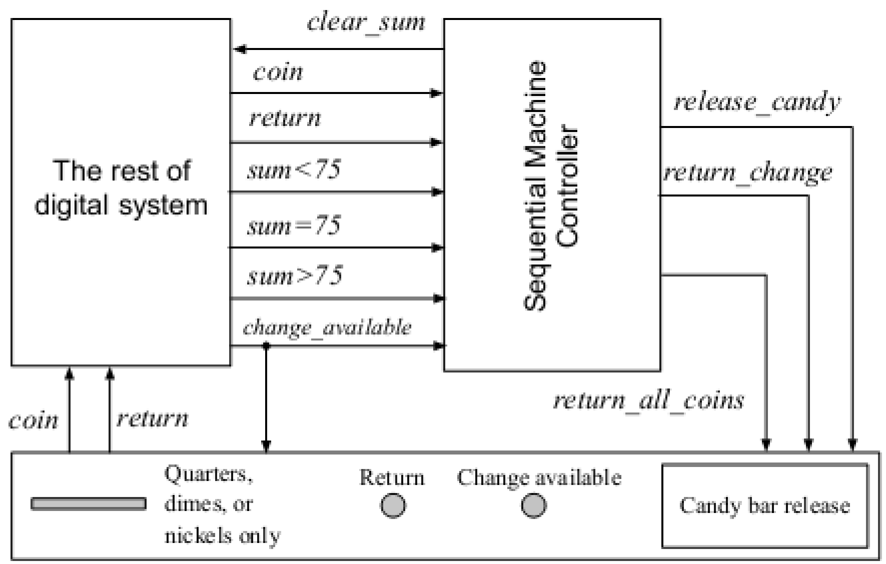
Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Registrador de estado de deslocamento

Ex: Dimensionar um sistema seqüencial síncrono que recebendo em sua entrada 2 informações binárias X e Y (sincronizadas com o clock), produz uma saída única Z, sempre que pela terceira vez consecutiva as 2 entradas, X e Y forem iguais. Toda vez que o sistema produzir uma saída Z=1 devera se rearmar para iniciar uma nova codificação.

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Registrador de estado de deslocamento
    - EX: Considere uma máquina de venda de doces que funciona com moedas de 10, e 25 centavos. A maquina permanece em um estado de espera até que a soma >= 75 centavos seja inserida. Caso esta condição seja alcançada a máquina devolve o troco, se houver, libera o doce. Máquina possui ainda um botão para devolver a soma inserida e um indicativo da disponibilidade ou não de troco.
    - Monte o diagrama de estados desta máquina.



Note: $coin \cdot return = 0$

Eletrônica Digital

- Circuitos Sequenciais
  - Registrador de estado de deslocamento
    - Para o diagrama de estado da máquina de venda representado pela figura implemente através de simulação no proteus um esquemático para esta máquina de estado.