

Circuitos Lógicos

Aula 20

cruz@gta.ufrj.br <http://gta.ufrj.br/~cruz>

Na última aula

- Exercícios



Hoje

- Exercícios de lógica sequencial

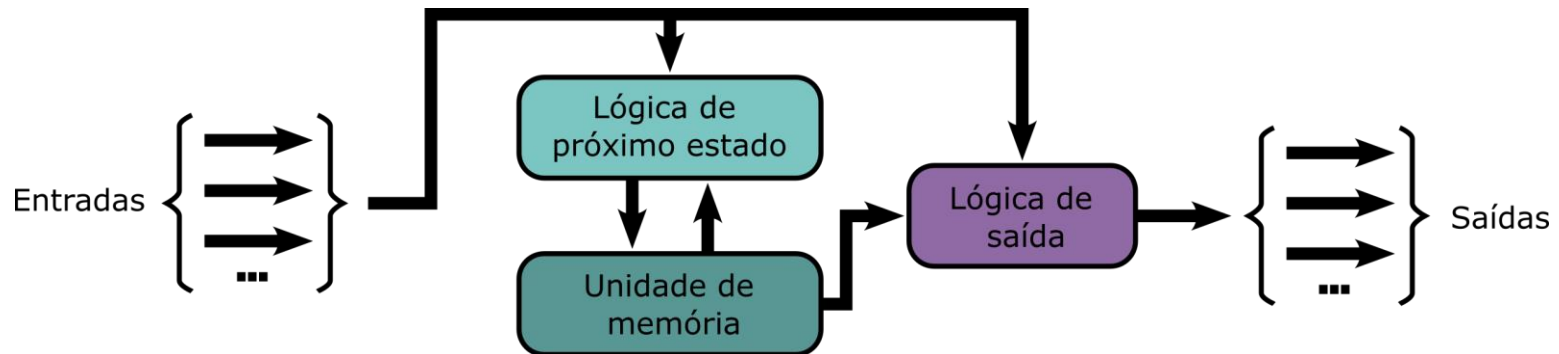


Projeto de circuitos sequenciais



Circuitos sequenciais

- Unidade de memória armazena estado atual
- Lógica de próximo estado define qual o próximo estado e carrega na memória
 - Estado atual
 - Variáveis de entrada
- Lógica de saída define as saídas do circuito
 - Estado atual
 - Variáveis de entrada (Máquina de Mealy)



Etapas de projeto

- Definição de estados
 - Construção do diagrama de estados e tabela de transição de estados
 - Redução do número de estados
- Escolha da codificação dos estados
- Escolha do tipo de FF a ser usado
- Projeto da lógica combinacional
 - Projeto dos circuitos de excitação
 - Projeto dos circuitos de saída

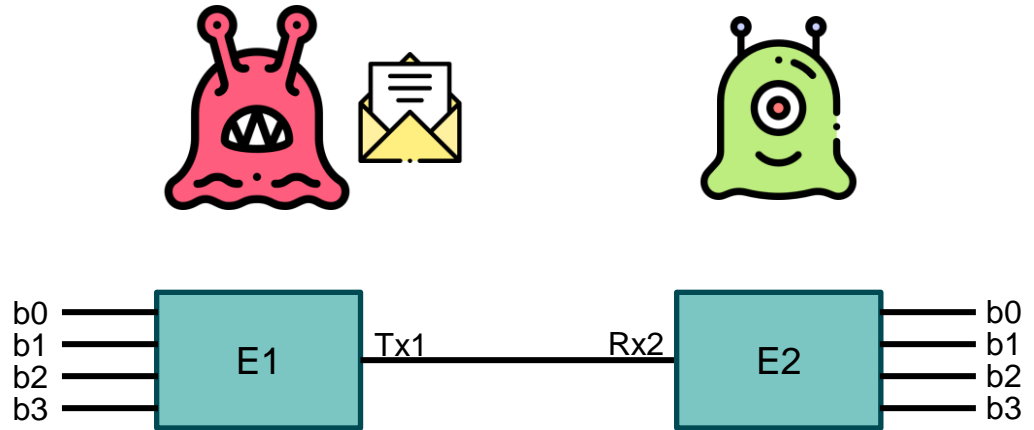


Problema proposto



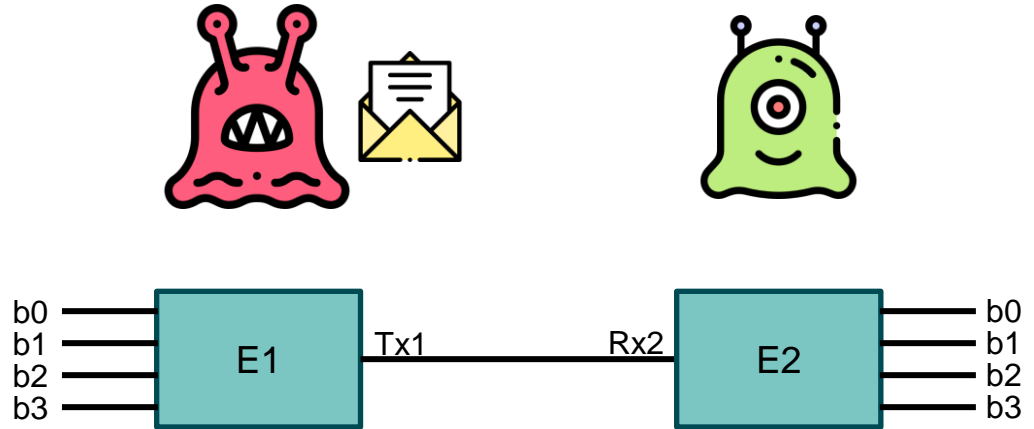
Comunicação

- Dois dispositivos desejam se comunicar
 - E1 envia 4 bits para E2
- E1
 - Entradas b0 .. b4
 - Saída Tx1
- E2
 - Entrada Rx2
 - Saídas b0 ... b4



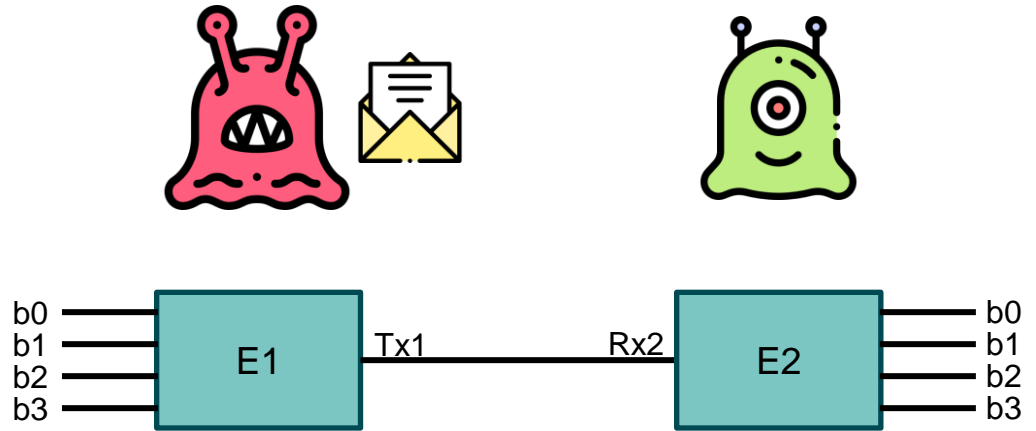
Protocolo

- E1
 - Envia pulso 101
 - Envia b0 ... b3
 - Envia bit de paridade
- E2
 - Recebe tudo
 - Verifica paridade
 - Se ok, exibe saída
 - Se não, exibe 1111



Estratégia

- Projetar os dois dispositivos separadamente

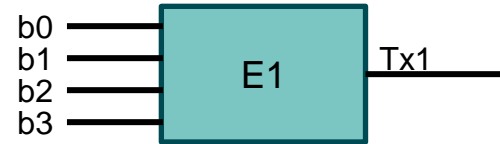
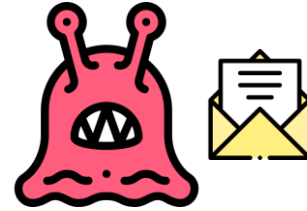


E1



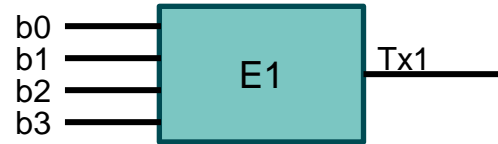
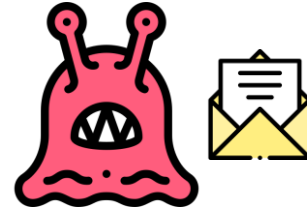
Protocolo

- E1
 - Envia pulso 101
 - Envia b0 ... b3
 - Envia bit de paridade



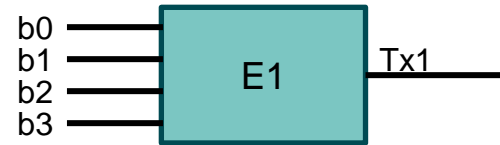
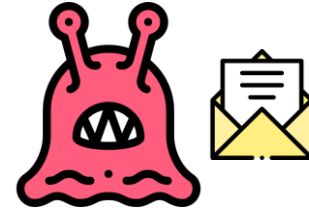
Entradas, saídas e estados

- Entradas?
- Saídas?
- Estados?



Entradas, saídas e estados

- Entradas?
 - $b_0 \dots b_3$
- Saídas?
 - Tx1
- Estados?
 - Cada bit enviado
 - Sincronização
 - Dados
 - Paridade



Máquina de Mealy ou de Moore?

- Saídas
 - São ligadas diretamente ao estado?
- Entrada
 - Influencia apenas o estado ou influencia também a saída?



Diagrama de estados

- Vértices (bolinhas)
 - Representam um estado
- Arestas (setinhas)
 - Representam troca de estado
- Rótulos das arestas
 - Representam entrada
 - 1 e 0 -> botão apertado/não apertado



Diagrama de estados

- Vértices (bolinhas)
 - Representam um estado
- Arestas (setinhas)
 - Representam troca de estado
- Rótulos das arestas
 - Representam entrada
 - 1 e 0 -> botão apertado/não apertado



O próximo estado depende das entradas?



Diagrama de estados

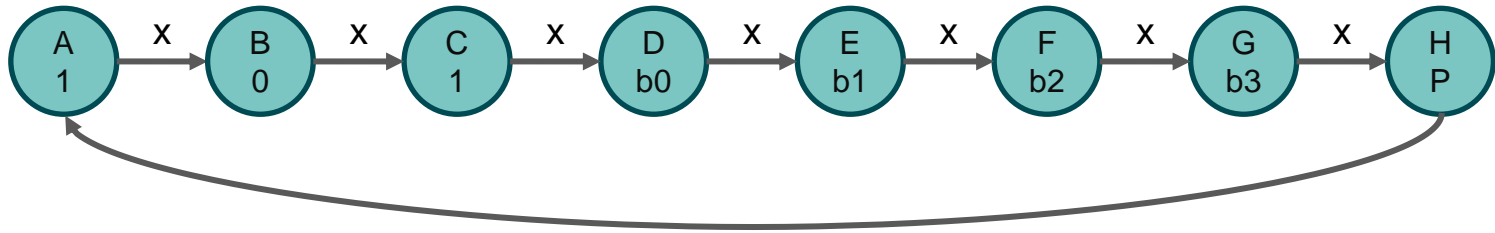


Tabela de transição de estados

Estado atual	Próximo estado	Tx1
A	B	1
B	C	0
C	D	1
D	E	b0
E	F	b1
F	G	b2
G	H	b3
H	A	P



Simplificando a tabela

- Dois estados são equivalentes se, para todas as entradas:
 - Possuem as mesmas saídas
 - Possuem o mesmo próximo estado

- Dois estados X e Y equivalentes podem ser simplificados em apenas um estado
 - Elimina-se o estado Y
 - Configurações que possuam Y como próximo estado agora devem possuir X como próximo estado

Pode haver mais simplificações – ciclos escondem melhorias



Tabela de transição de estados

Estado atual	Próximo estado	Tx1
A	B	1
B	C	0
C	D	1
Não há o que simplificar!		
E	F	b1
F	G	b2
G	H	b3
H	A	P



Decidindo quais FFs utilizar

- Vamos utilizar FFs D



Número de FFs

- Temos 17 estados
 - Quantos FFs são necessários?
- 1 FF codifica até 2 estados
- 2 FFs codificam até 4 estados
- 3 FFs codificam até 8 estados
- n FFs codificam até 2^n estados

Para codificar n estados, são necessários $\lceil \log_2(n) \rceil$ FFs!



Número de FFs

- Temos 17 estados
 - Quantos FFs são necessários?
- 1 FF codifica até 2 estados
- 2 FFs codificam até 4 estados
- 3 FFs codificam até 8 estados
- n FFs codificam até 2^n estados

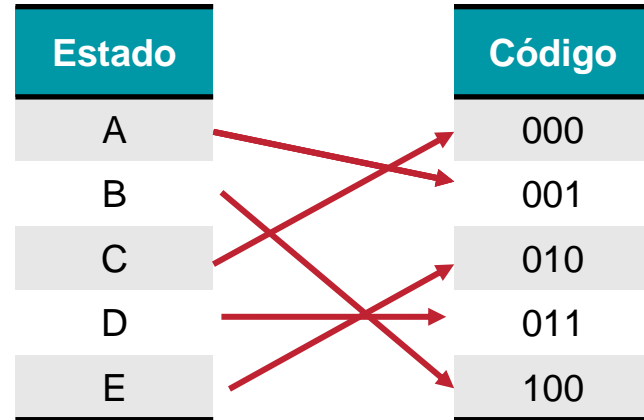
Teremos FF_0, FF_1, FF_2

Para codificar n estados, são necessários $\lceil \log_2(n) \rceil$ FFs!



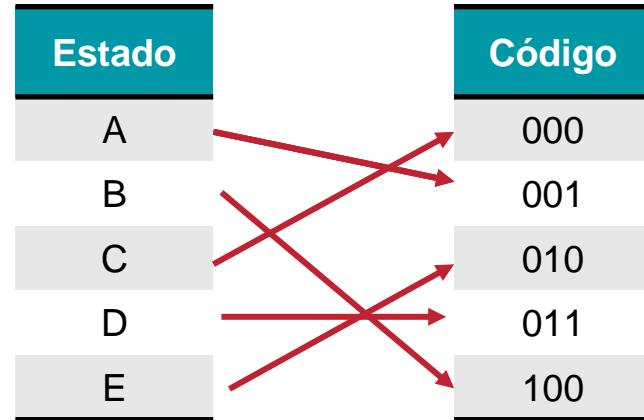
Atribuição de códigos aos estados

- Não existe fórmula mágica
 - Solução ótima requer testar todas as opções
 - Fazer o projeto até o fim com cada uma das $n!$ possibilidades
- Soluções práticas utilizam heurísticas



Heurísticas de atribuição de estados

- Estado inicial deve ser fácil de ser “resetado”
- Estados consecutivos devem ter apenas uma troca de bit
- Estados “próximos” devem ter códigos “próximos”



Heurísticas de atribuição de estados

- Estado inicial deve ser fácil de ser “resetado”
- Estados consecutivos devem ter apenas uma troca de bit
- Estados “próximos” devem ter códigos “próximos”



Códigos dos estados

- Código de Grey

Estado	Q ₂	Q ₁	Q ₀
A	0	0	0
B	0	0	1
C	0	1	1
D	0	1	0
E	1	1	0
F	1	1	1
G	1	0	1
H	1	0	0



Tabelas de Excitação

Estado	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Próx. Estado	Próx. Q ₂	Próx. Q ₁	Próx. Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀
A	0	0	0							
B	0	0	1							
C	0	1	1							
D	0	1	0							
E	1	1	0							
F	1	1	1							
G	1	0	1							
H	1	0	0							



Tabelas de Excitação

Estado	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Próx. Estado	Próx. Q ₂	Próx. Q ₁	Próx. Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀
A	0	0	0	B	0	0	1	0	0	1
B	0	0	1	C	0	1	1	0	1	1
C	0	1	1	D	0	1	0	0	1	0
D	0	1	0	E	1	1	0	1	1	0
E	1	1	0	F	1	1	1	1	1	1
F	1	1	1	G	1	0	1	1	0	1
G	1	0	1	H	1	0	0	1	0	0
H	1	0	0	A	0	0	0	0	0	0



Excitação do FF D

- Como funciona o FF D mesmo?

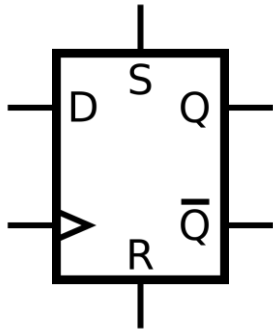


Imagem retirada
da wikipedia

D	Q	Próx. Q
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	



Nosso mapa de Karnaugh

- Variáveis de entrada: Q_0, Q_1, Q_2
- Ordem das variáveis: Código de Gray
- Necessário renumerar o mapa?

Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_0
A	0	0	0	1
B	0	0	1	1
C	0	1	1	0
D	0	1	0	0
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0



	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	0	1	3	2
Q_2	4	5	7	6
	$\overline{Q_1}$		Q_1	

Nosso mapa de Karnaugh

- Variáveis de entrada: Q_0, Q_1, Q_2
- Ordem das variáveis: Código de Gray
- Necessário renumerar o mapa?

Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_0
A	0	0	0	1
B	0	0	1	1
C	0	1	1	0
D	0	1	0	0
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0



	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A	B	C	D
Q_2	H	G	F	E
	$\overline{Q_1}$		Q_1	

Excitação FF₀

$$D_0 = ?$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A	B	C	D
Q_2	H	G	F	E
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_0
A	0	0	0	1
B	0	0	1	1
C	0	1	1	0
D	0	1	0	0
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0

Excitação FF₀

$$D_0 = ?$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A 1	B 1	C 0	D 0
Q_2	H 0	G 0	F 1	E 1
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_0
A	0	0	0	1
B	0	0	1	1
C	0	1	1	0
D	0	1	0	0
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0

Excitação FF₀

$$D_0 = (\overline{Q_1} \cdot \overline{Q_2}) + (Q_1 \cdot Q_2)$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0	$\overline{Q_0}$	
$\overline{Q_2}$	A 1	B 1	C 0	D 0
Q_2	H 0	G 0	F 1	E 1
	$\overline{Q_1}$	Q_1		



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_0
A	0	0	0	1
B	0	0	1	1
C	0	1	1	0
D	0	1	0	0
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0

Excitação FF₀

$$D_0 = (\overline{Q_1} \cdot \overline{Q_2}) + (Q_1 \cdot Q_2) \\ = Q_1 \oplus Q_2$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0	$\overline{Q_0}$	
$\overline{Q_2}$	A 1	B 1	C 0	D 0
Q_2	H 0	G 0	F 1	E 1
	$\overline{Q_1}$	Q_1		



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_0
A	0	0	0	1
B	0	0	1	1
C	0	1	1	0
D	0	1	0	0
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0

Excitação FF₁

$$D_1 = ?$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A	B	C	D
Q_2	H	G	F	E
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_1
A	0	0	0	0
B	0	0	1	1
C	0	1	1	1
D	0	1	0	1
E	1	1	0	1
F	1	1	1	0
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0

Excitação FF₁

$$D_1 = ?$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A 0	B 1	C 1	D 1
Q_2	H 0	G 0	F 0	E 1
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_1
A	0	0	0	0
B	0	0	1	1
C	0	1	1	1
D	0	1	0	1
E	1	1	0	1
F	1	1	1	0
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0

Excitação FF₁

$$D_1 = (Q_0 \cdot \overline{Q_2}) + (\overline{Q_0} \cdot Q_1)$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A 0	B 1	C 1	D 1
Q_2	H 0	G 0	F 0	E 1
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_1
A	0	0	0	0
B	0	0	1	1
C	0	1	1	1
D	0	1	0	1
E	1	1	0	1
F	1	1	1	0
G	1	0	1	0
H	1	0	0	0

Excitação FF₂

$$D_2 = ?$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A	B	C	D
Q_2	H	G	F	E
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_2
A	0	0	0	0
B	0	0	1	0
C	0	1	1	0
D	0	1	0	1
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	1
H	1	0	0	0

Excitação FF₂

$$D_2 = ?$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A 0	B 0	C 0	D 1
Q_2	H 0	G 1	F 1	E 1
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_2
A	0	0	0	0
B	0	0	1	0
C	0	1	1	0
D	0	1	0	1
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	1
H	1	0	0	0

Excitação FF₂

$$D_2 = (Q_0 \cdot Q_2) + (\overline{Q_0} \cdot Q_1)$$

	$\overline{Q_0}$	Q_0		$\overline{Q_0}$
$\overline{Q_2}$	A 0	B 0	C 0	D 1
Q_2	H 0	G 1	F 1	E 1
	$\overline{Q_1}$		Q_1	



Estado	Q_2	Q_1	Q_0	D_2
A	0	0	0	0
B	0	0	1	0
C	0	1	1	0
D	0	1	0	1
E	1	1	0	1
F	1	1	1	1
G	1	0	1	1
H	1	0	0	0

Circuitos de excitação



Equações de excitação

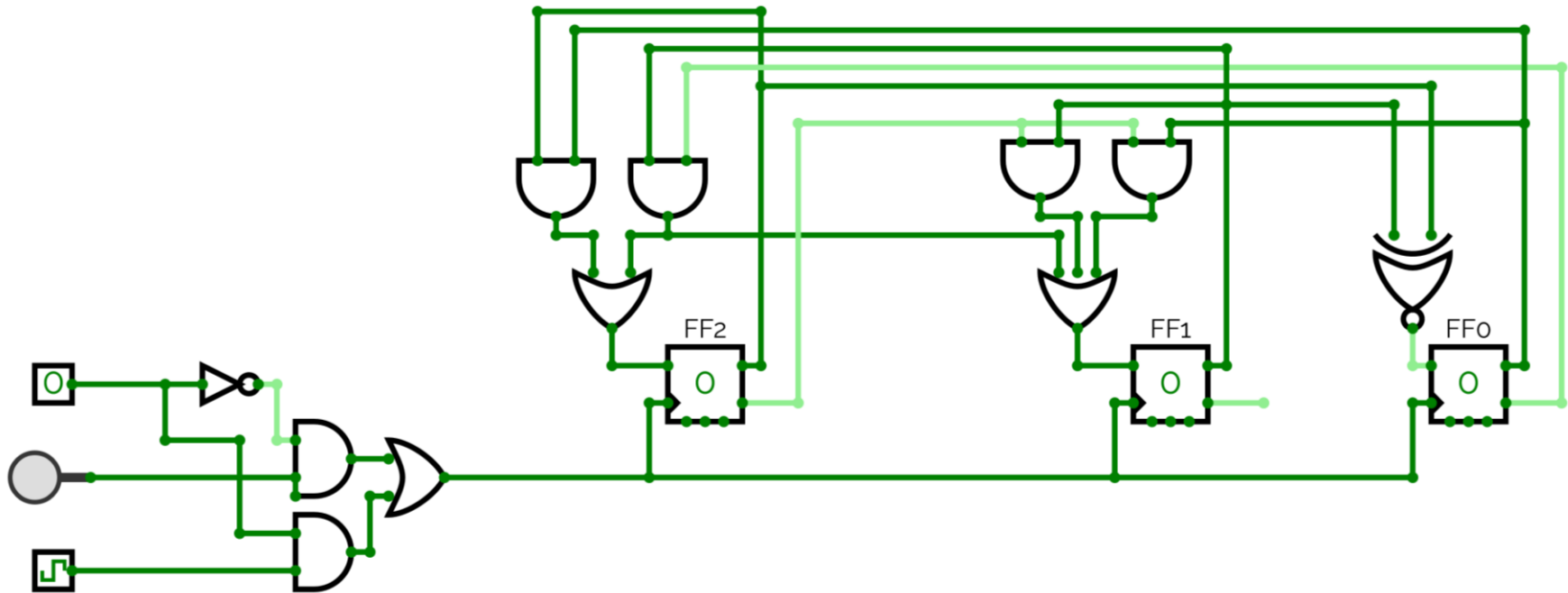
$$D_0 = (\overline{Q_1} \cdot \overline{Q_2}) + (Q_1 \cdot Q_2) = \overline{Q_1 \oplus Q_2}$$

$$D_1 = (Q_0 \cdot \overline{Q_2}) + (\overline{Q_0} \cdot Q_1)$$

$$D_2 = (Q_0 \cdot Q_2) + (\overline{Q_0} \cdot Q_1)$$



Circuitos de excitação



Saída



Tx₁

- Saída deve se comportar como um multiplexador
 - No estado A -> 1
 - No estado B -> 0
 - No estado C -> 1
 - No estado D -> b0
 - No estado E -> b1
 - No estado F -> b2
 - No estado G -> b3
 - No estado H -> P

Estado	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Tx1
A	0	0	0	1
B	0	0	1	0
C	0	1	1	1
D	0	1	0	b0
E	1	1	0	b1
F	1	1	1	b2
G	1	0	1	b3
H	1	0	0	P

É necessário gerar paridade!



Tx₁

$$\begin{aligned}Tx_1 &= (A \cdot 1) + (B \cdot 0) + (C \cdot 1) \\ &+ (D \cdot b_0) + (E \cdot b_1) + (F \cdot b_2) \\ &+ (G \cdot b_3) + (H \cdot P)\end{aligned}$$

Estado	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Tx1
A	0	0	0	1
B	0	0	1	0
C	0	1	1	1
D	0	1	0	b0
E	1	1	0	b1
F	1	1	1	b2
G	1	0	1	b3
H	1	0	0	P



Tx₁

$$\begin{aligned}Tx_1 &= (A) + (C) + (D \cdot b_0) + (E \cdot b_1) \\ &+ (F \cdot b_2) + (G \cdot b_3) + (H \cdot P)\end{aligned}$$

Estado	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Tx1
A	0	0	0	1
B	0	0	1	0
C	0	1	1	1
D	0	1	0	b0
E	1	1	0	b1
F	1	1	1	b2
G	1	0	1	b3
H	1	0	0	P



Próxima lista

- Fazer o receptor
 - Deve indicar se houve erro na mensagem





GTA / UFRJ

GRUPO DE TELEINFORMÁTICA E AUTOMAÇÃO

www.gta.ufrj.br