

CST Análise e Desenvolvimento de Sistemas AOC786201 - Fundamentos de Arquitetura e Organização de Computadores

Contadores Síncronos e Assíncronos

O que são contadores ?

Contadores são circuitos digitais que variam os seus estados, sobre o comando de um sinal de sincronismo (relógio ou clock). São utilizados principalmente para contagens e divisão de frequências.

São classificados em duas categorias de acordo com o tipo de sincronismo:

- **Assíncronos** - o sinal externo de clock é conectado no primeiro flip-flop, enquanto os demais FF recebem um sinal do FF anterior como clock:
- **Síncronos** - o sinal externo de clock é conectado a todos os FF's:

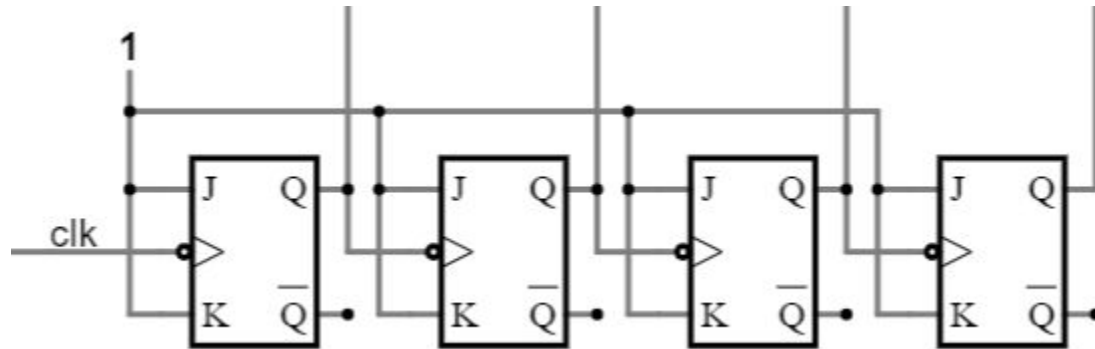
Características dos contadores assíncronos

- ✓ *A entrada de clock dos FF NÃO é conectada a um único sinal de clock*
- ✓ *A saída de um FF é usada como clock do próximo na cadeia;*
- ✓ *Não são aplicáveis em frequências altas;*

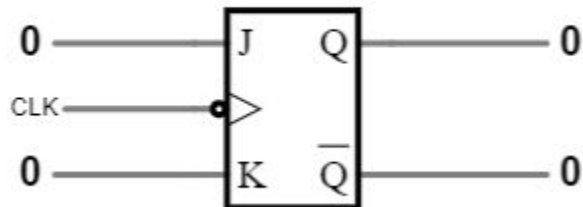
Características dos contadores Síncronos

- ✓ *A entrada de clock de todos os FF é conectada a um único sinal de clock*
- ✓ *A combinação lógica das saídas de cada Flip-Flop definem a entrada dos próximos;*
- ✓ *Podem ser aplicados em todas faixas de frequências;*

Contador Assíncrono Crescente

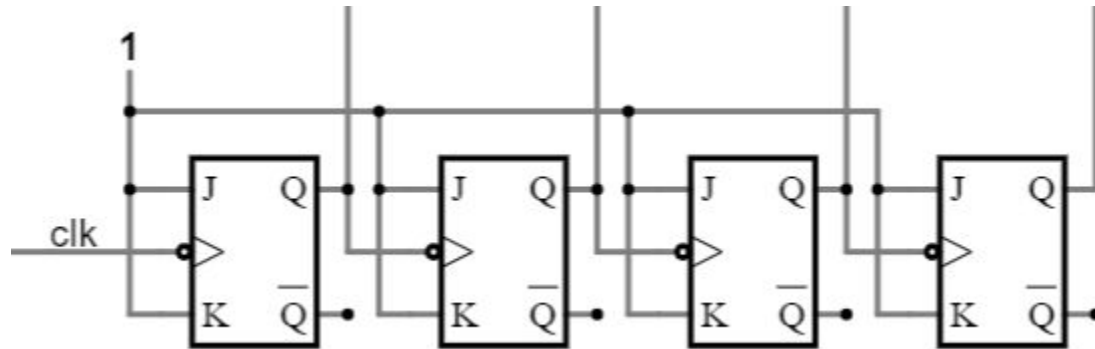


- No circuito acima 4 FF do tipo JK estão interligados.
- Todos os FF são sensíveis à borda de descida.
- Note que a saída Q de cada FF está ligada à entrada de clock do próximo FF.
- As entradas J e K também estão sempre interligadas.
- Para entender é importante relembrar o funcionamento do FF JK.
- O FF isolado tem o seguinte comportamento.

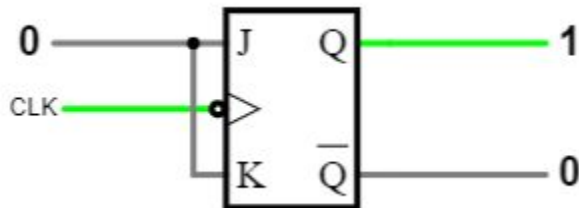


clk	J	K	Q	função
0,1,□	x	x	Qa	memoriza
□	0	0	Qa	memoriza
□	0	1	0	reset
□	1	0	1	set
□	1	1	Qa'	toogle

Contador Assíncrono Crescente

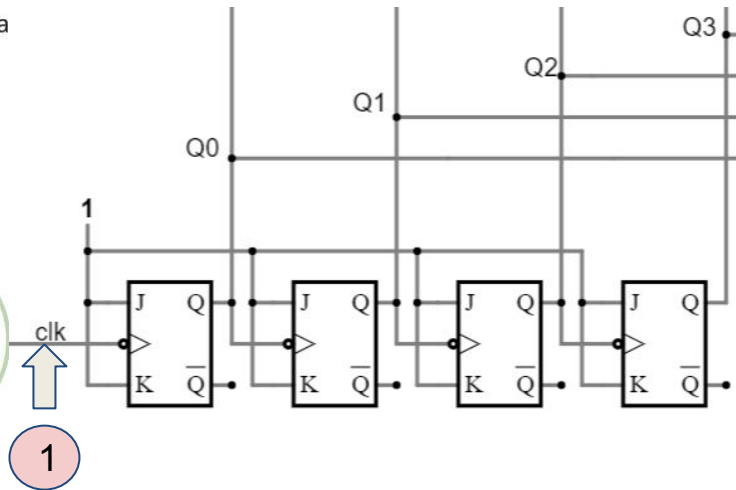


- Quando as entradas J e K estão interligadas ($J = K$), as funções **reset** e **set** não estão disponíveis
- Neste caso o funcionamento do FF JK se resume ao mostrado na tabela funcional abaixo:



clk	J=K	Q	função
0,1,□	x	Qa	memoriza
□	0	Qa	memoriza
□	1	Qa'	toogle

Contador Assíncrono Crescente

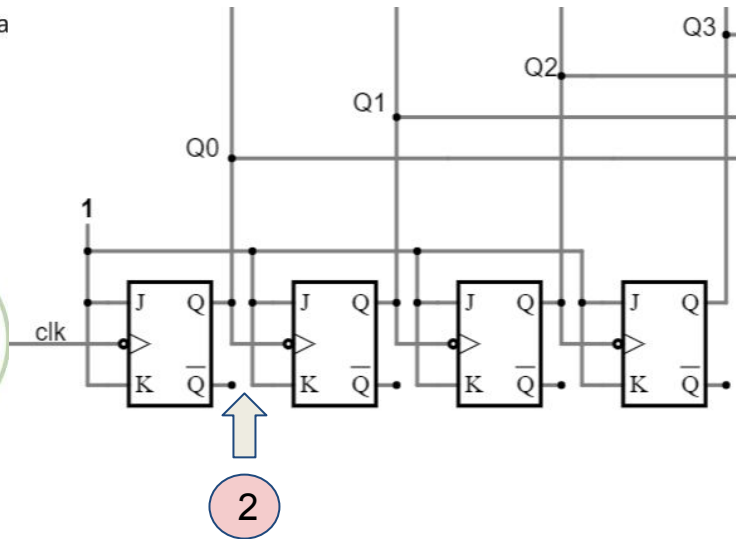


Como analisar o contador acima?

1. A cada borda de descida do sinal de clk, a saída Q0 alterna (0 \rightarrow 1 e depois 1 \rightarrow 0).

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

Contador Assíncrono Crescente

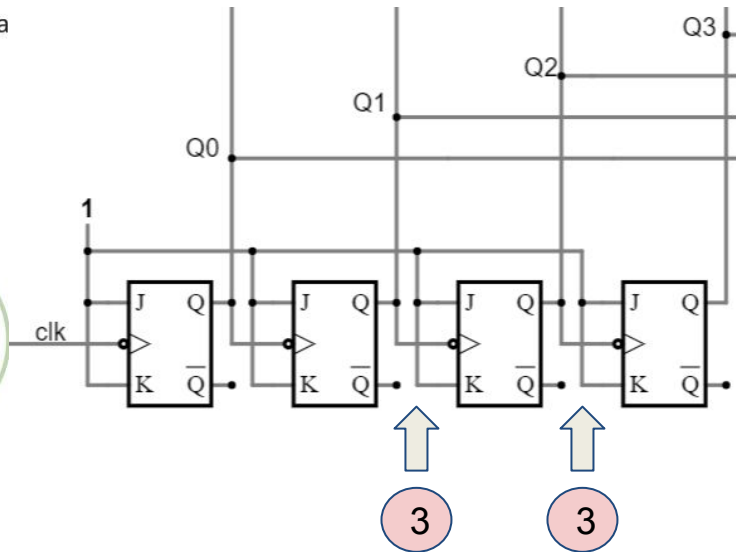


Como analisar o contador acima?

1. A cada borda de descida do sinal de clk, a saída Q0 alterna (0 \rightarrow 1 e depois 1 \rightarrow 0).
2. Como o sinal de saída Q0 do FF1 é o clock do FF2, a saída Q1 do 2º FF alterna (0 \rightarrow 1 e depois 1 \rightarrow 0), sempre que Q0 passa de 1 \rightarrow 0 (borda de descida).

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início	0, 1, \uparrow				0	
1	\downarrow				1	
2	\downarrow				0	
3	\downarrow				1	
4	\downarrow				0	
5	\downarrow				1	
6	\downarrow				0	
7	\downarrow				1	
8	\downarrow				0	
9	\downarrow				1	
10	\downarrow				0	
11	\downarrow				1	
12	\downarrow				0	
13	\downarrow				1	
14	\downarrow				0	
15	\downarrow				1	
16	\downarrow				0	
17	\downarrow				1	

Contador Assíncrono Crescente



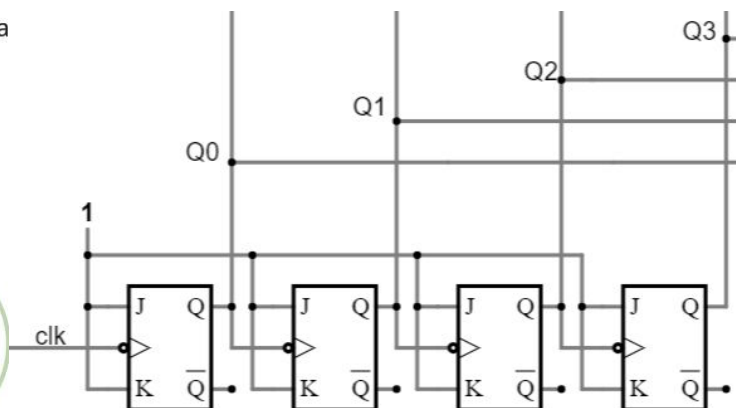
Como analisar o contador acima?

1. A cada borda de descida do sinal de clk, a saída Q0 alterna (0 \rightarrow 1 e depois 1 \rightarrow 0).
2. Como o sinal de saída Q0 do FF1 é o clock do FF2, a saída Q1 do 2º FF alterna (0 \rightarrow 1 e depois 1 \rightarrow 0), sempre que Q0 passa de 1 \rightarrow 0 (borda de descida).
3. Esse processo se repete para os demais FFs.
- 4.

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início	0,1,↑			0	0	
1	↓			0	1	
2	↓			1	0	
3	↓			1	1	
4	↓			0	0	
5	↓			0	1	
6	↓			1	0	
7	↓			1	1	
8	↓			0	0	
9	↓			0	1	
10	↓			1	0	
11	↓			1	1	
12	↓			0	0	
13	↓			0	1	
14	↓			1	0	
15	↓			1	1	
16	↓			0	0	
17	↓			0	1	

↑
2

Contador Assíncrono Crescente



Como analisar o contador acima?

1. A cada borda de descida do sinal de clk, a saída Q0 alterna (0 \rightarrow 1 e depois 1 \rightarrow 0).
2. Como o sinal de saída Q0 do FF1 é o clock do FF2, a saída Q1 do 2º FF alterna (0 \rightarrow 1 e depois 1 \rightarrow 0), sempre que Q0 passa de 1 \rightarrow 0 (borda de descida).
3. Esse processo se repete para os demais FFs.
4. Após analisar todos os FF, pode-se perceber que os bits Q3, Q2, Q1, Q0, correspondem a uma contagem em binário crescente.
5. Note que após atingir o valor máximo para 4 bits, a contagem reinicia em 0.

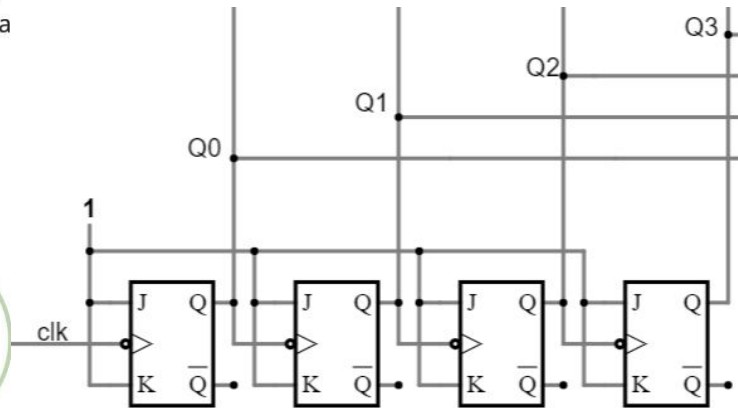
Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início	0, 1, ↑	0	0	0	0	0
1	↓	0	0	0	1	1
2	↓	0	0	1	0	2
3	↓	0	0	1	1	3
4	↓	0	1	0	0	4
5	↓	0	1	0	1	5
6	↓	0	1	1	0	6
7	↓	0	1	1	1	7
8	↓	1	0	0	0	8
9	↓	1	0	0	1	9
10	↓	1	0	1	0	10
11	↓	1	0	1	1	11
12	↓	1	1	0	0	12
13	↓	1	1	0	1	13
14	↓	1	1	1	0	14
15	↓	1	1	1	1	15
16	↓	0	0	0	0	0
17	↓	0	0	0	1	1

↑
3

↑
3

↑
4

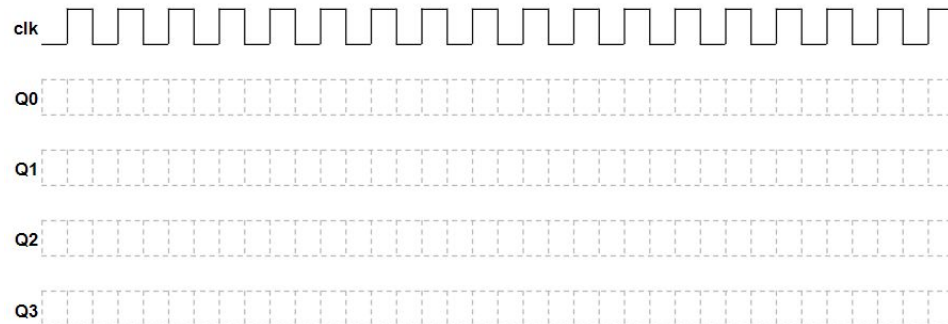
Contador Assíncrono Crescente



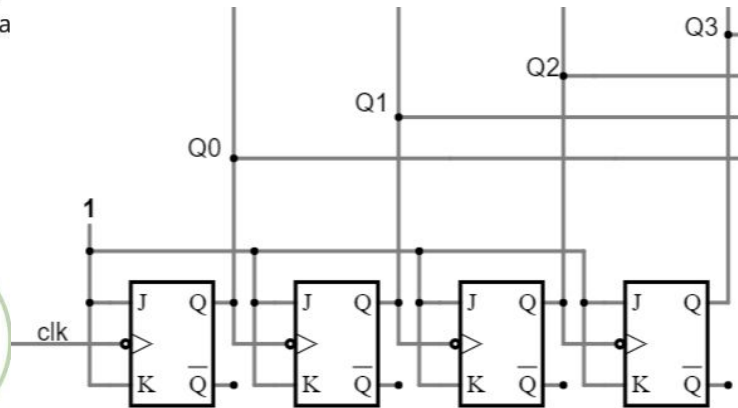
Para entender circuitos sequenciais é importante desenhar o diagrama de tempo, pois os sinais de saída dependem dos valores anteriores das saídas e das entradas.

1. Para desenhar, observe a cada borda do clock o valor de cada saída Q0 a Q3, na tabela funcional.
2. Represente os 0 com um traço BAIXO e os 1 com um traço ALTO

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início	0, 1, ↑	0	0	0	0	0
1	↓	0	0	0	1	1
2	↓	0	0	1	0	2
3	↓	0	0	1	1	3
4	↓	0	1	0	0	4
5	↓	0	1	0	1	5
6	↓	0	1	1	0	6
7	↓	0	1	1	1	7
8	↓	1	0	0	0	8
9	↓	1	0	0	1	9
10	↓	1	0	1	0	10
11	↓	1	0	1	1	11
12	↓	1	1	0	0	12
13	↓	1	1	0	1	13
14	↓	1	1	1	0	14
15	↓	1	1	1	1	15
16	↓	0	0	0	0	0
17	↓	0	0	0	1	1



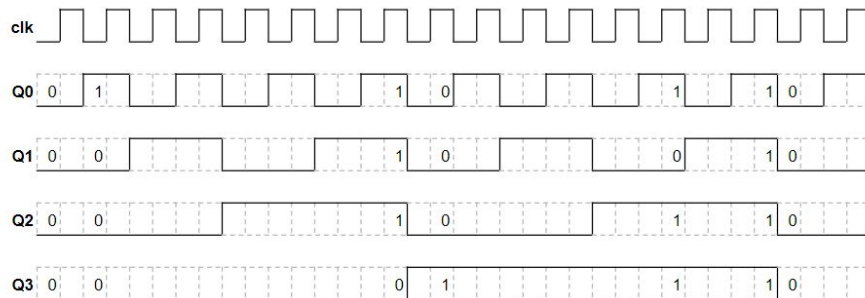
Contador Assíncrono Crescente



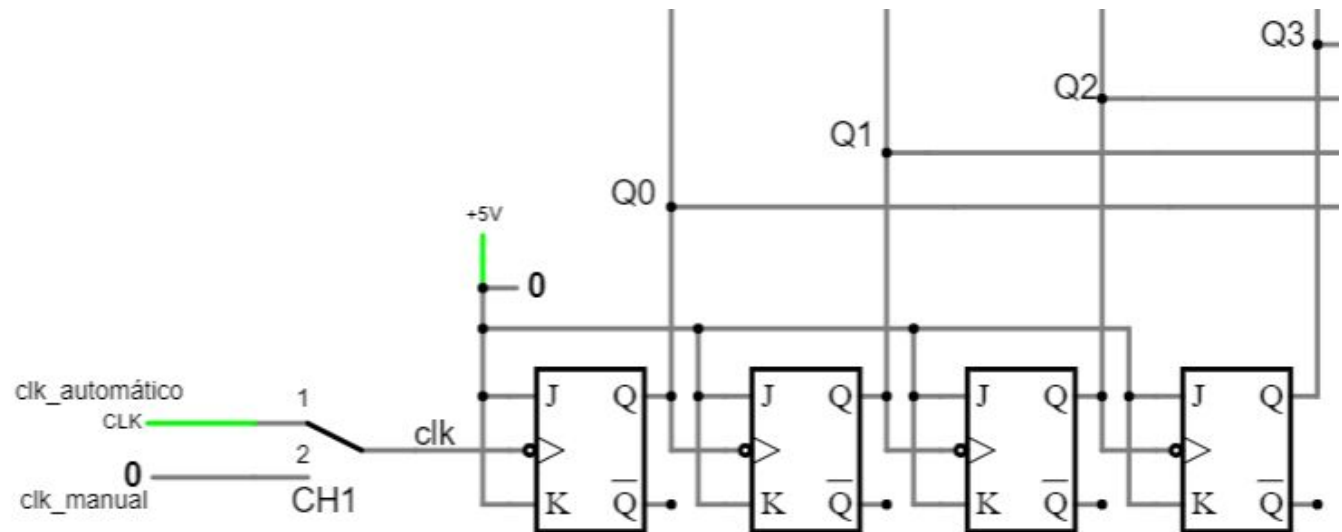
Para entender circuitos sequenciais é importante desenhar o diagrama de tempo, pois os sinais sempre dependem dos valores anteriores.

1. Para desenhar, observe a cada borda do clock o valor de cada saída Q0 a Q3
2. represente os 0 com um traço BAIXO e os 1 com um traço ALTO

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início	0, 1, ↑	0	0	0	0	0
1	↓	0	0	0	1	1
2	↓	0	0	1	0	2
3	↓	0	0	1	1	3
4	↓	0	1	0	0	4
5	↓	0	1	0	1	5
6	↓	0	1	1	0	6
7	↓	0	1	1	1	7
8	↓	1	0	0	0	8
9	↓	1	0	0	1	9
10	↓	1	0	1	0	10
11	↓	1	0	1	1	11
12	↓	1	1	0	0	12
13	↓	1	1	0	1	13
14	↓	1	1	1	0	14
15	↓	1	1	1	1	15
16	↓	0	0	0	0	0
17	↓	0	0	0	1	1

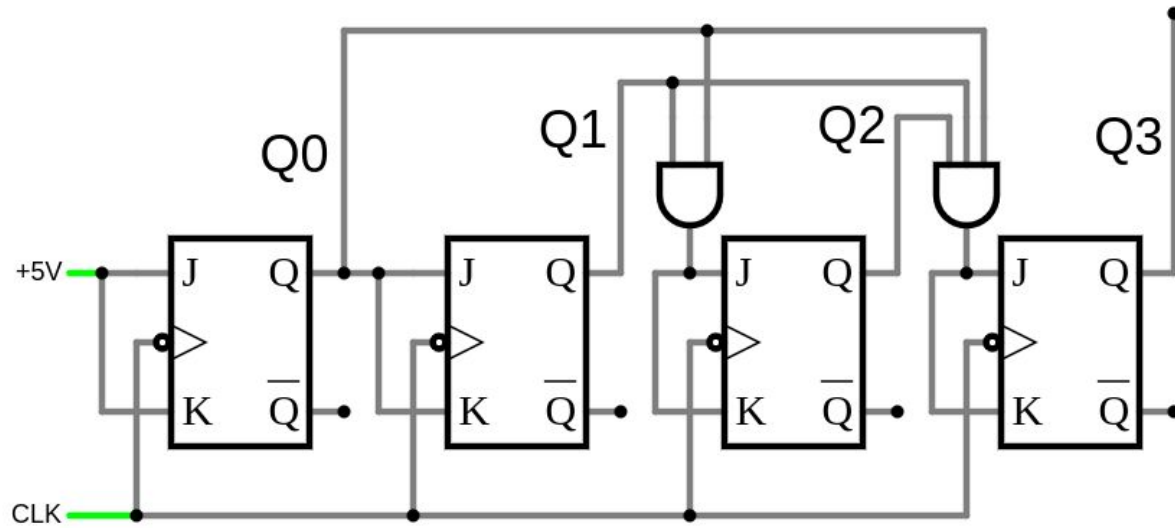


Simulação de Contador



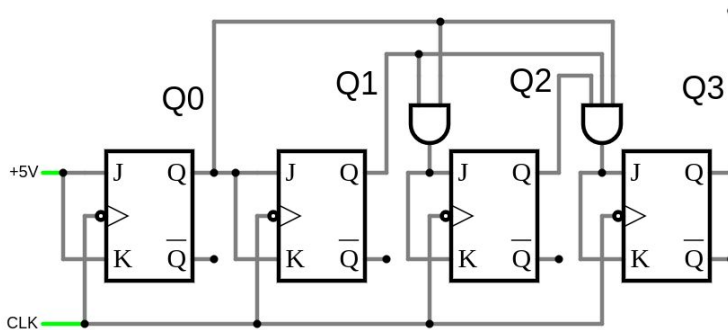
- Uma forma prática de estudar um contador é através de simulação computacional:
- Existem diversos simuladores disponíveis na internet e para instalação em computadores. Vamos utilizar o **simulador de circuitos Falstad**.
- Clique o link do contador: <https://tinyurl.com/2yk8zbvp>
- Mais dois exemplos estão disponíveis aqui: <https://tinyurl.com/24pw9ghy> , <https://tinyurl.com/25bytx6u>
- Note as diferenças na implementação e funcionamento desses contadores.

Contador Síncrono Crescente



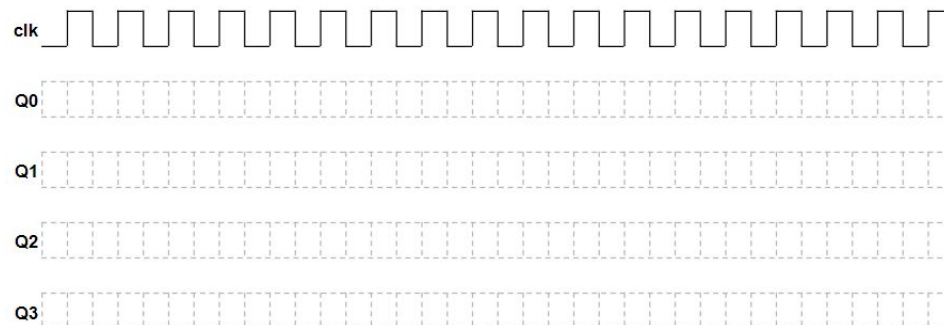
- No circuito acima são novamente utilizados 4 FF do tipo JK.
- Todos os FF são sensíveis à borda de descida.
- Note que agora todas entradas de clock estão ligadas ao sinal de clock externo.
- As entradas J e K também estão sempre interligadas.
- No entanto, agora existe uma lógica com portas AND que geram o sinal para o próximo FF.

Contador Síncrono Crescente

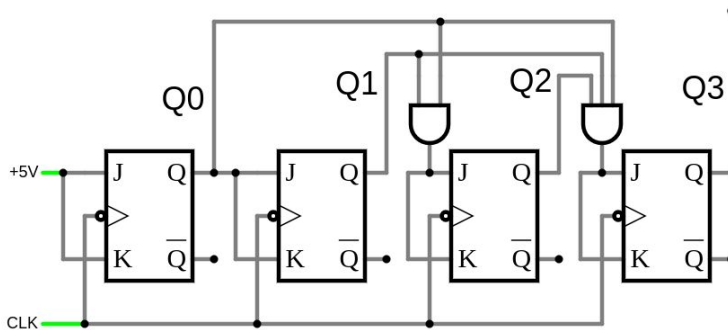


1. Realizando a mesma análise que no circuito anterior, percebe-se que a entrada $J=K$ de cada FF é 1 quando as saídas Q anteriores estão em 1.
2. Portanto, apenas ocorre a alternância (toggle) quando todas as saídas anteriores estão em 1.
3. Assim podemos obter a tabela funcional e depois o diagrama de tempo do circuito.

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						

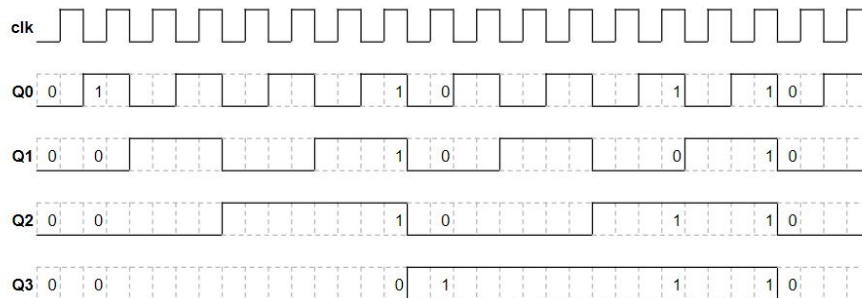


Contador Síncrono Crescente

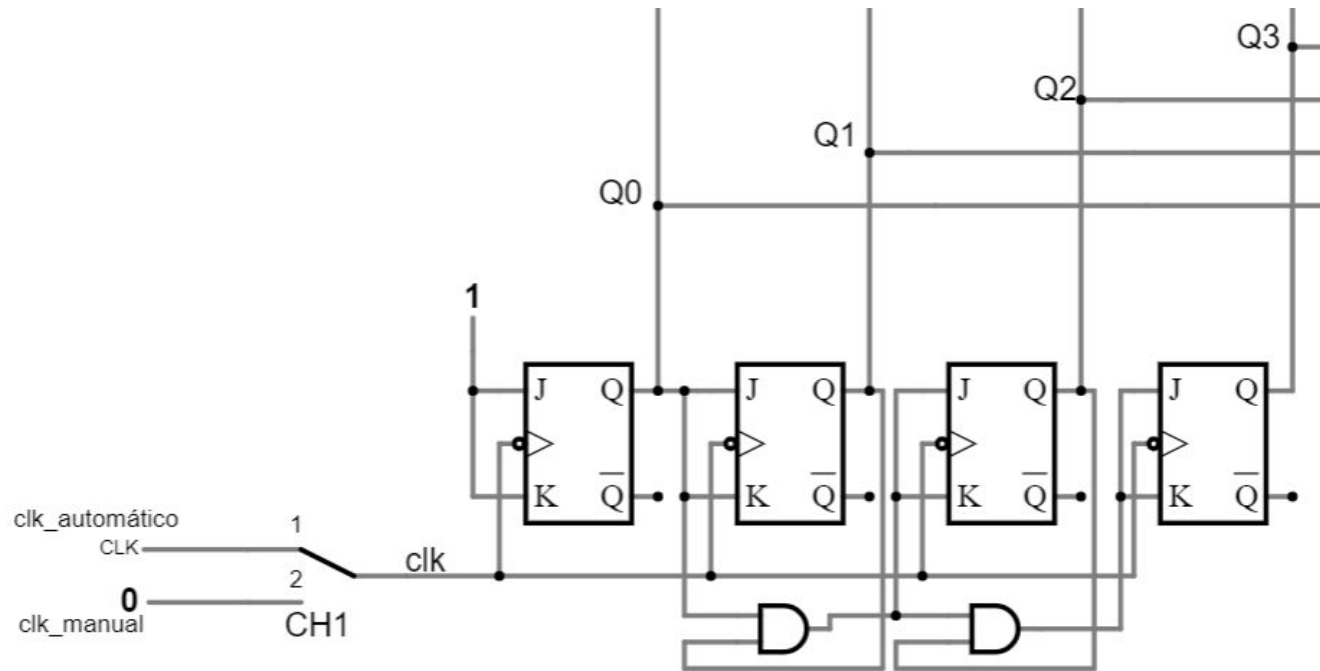


1. Ao final, percebe-se que o circuito funciona da mesma forma, e obtemos a mesma tabela funcional e diagrama de tempo que no contador assíncrono

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	Valor decimal
início	0, 1, ↑	0	0	0	0	0
1	↓	0	0	0	1	1
2	↓	0	0	1	0	2
3	↓	0	0	1	1	3
4	↓	0	1	0	0	4
5	↓	0	1	0	1	5
6	↓	0	1	1	0	6
7	↓	0	1	1	1	7
8	↓	1	0	0	0	8
9	↓	1	0	0	1	9
10	↓	1	0	1	0	10
11	↓	1	0	1	1	11
12	↓	1	1	0	0	12
13	↓	1	1	0	1	13
14	↓	1	1	1	0	14
15	↓	1	1	1	1	15
16	↓	0	0	0	0	0
17	↓	0	0	0	1	1

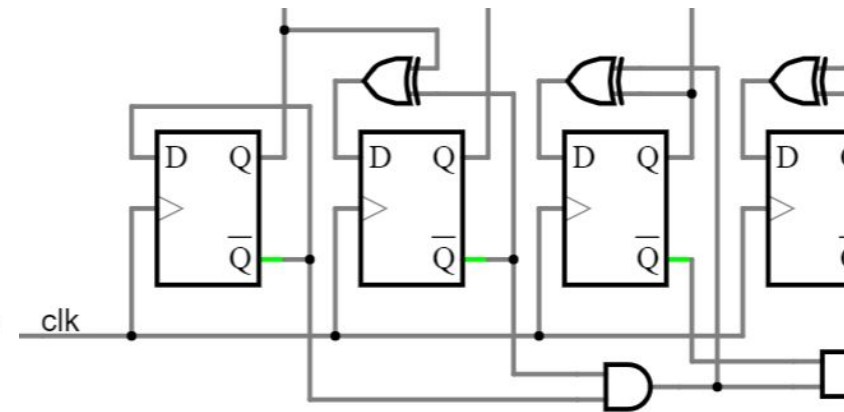
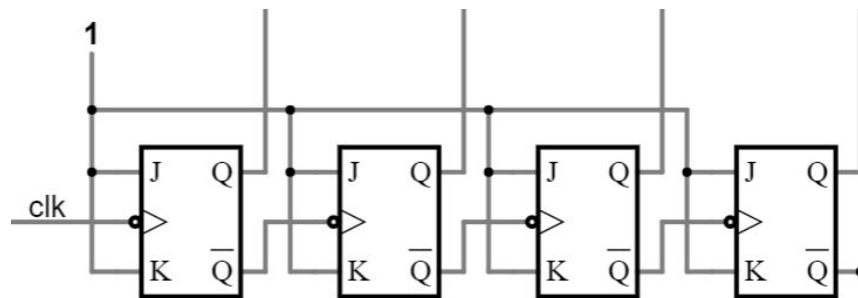
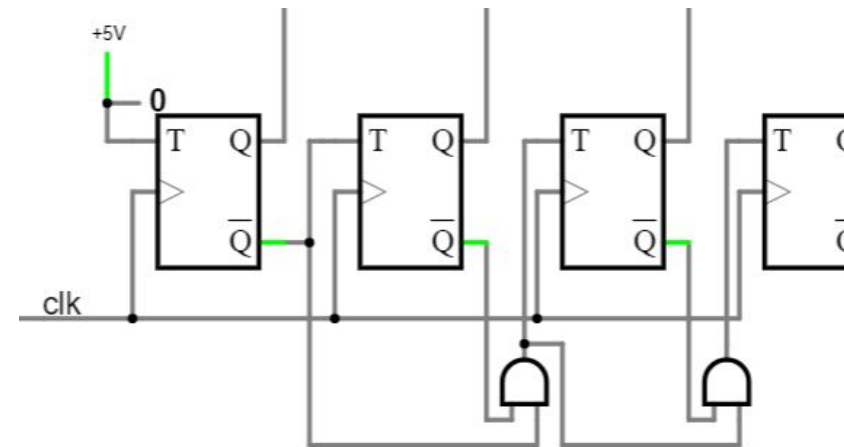
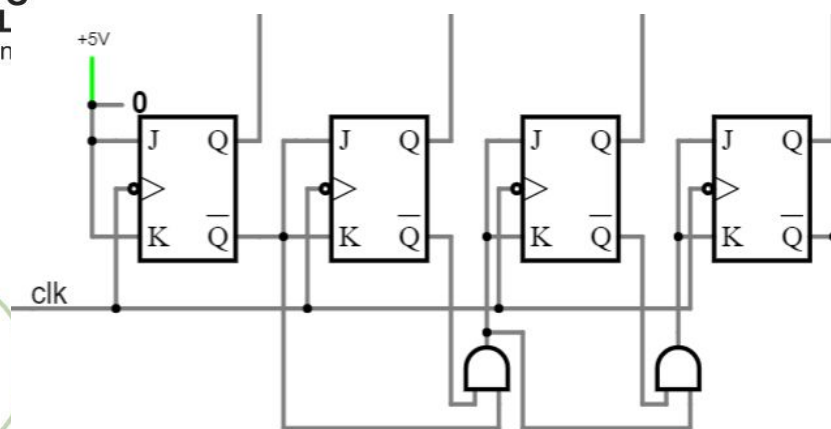


Simulação de Contador



- Novamente vamos estudar o contador é através do **simulador de circuitos Falstad**
- Clique o link do contador: <https://tinyurl.com/27qpjufo>
- Mais dois exemplos estão disponíveis aqui: <https://tinyurl.com/27zaro8k>, <https://tinyurl.com/2aksfsve>, <https://tinyurl.com/2bvlfa3n>, <https://tinyurl.com/28shopqz>,
- Note as diferenças na implementação e funcionamento desses contadores.

Contadores Decrescentes



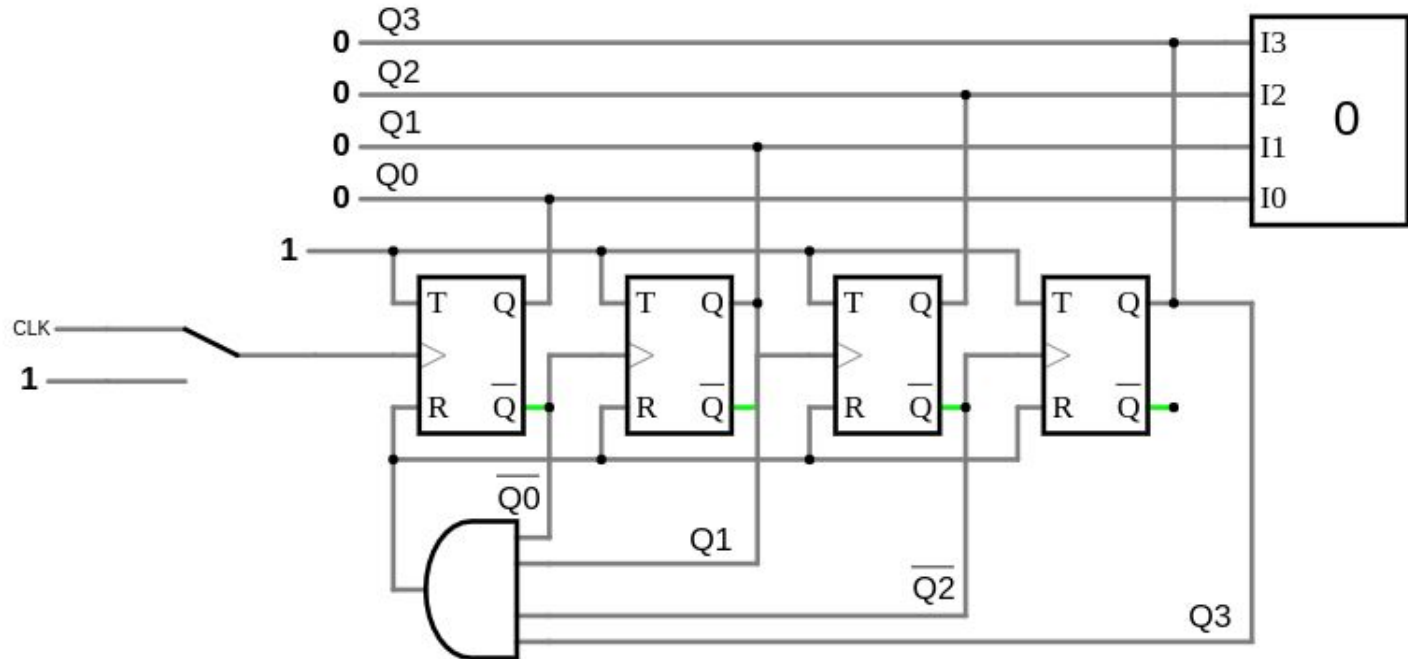
1. Modificando as ligações entre os FF e adicionando a lógica combinacional correta, é possível fazer com que os contadores para contagem decrescente (regressiva)
2. Note que podem ser construídos contadores síncronos e assíncronos.
3. Você consegue identificá-los?

Contador de década (módulo 10)

Características do contador com RESET assíncrono.

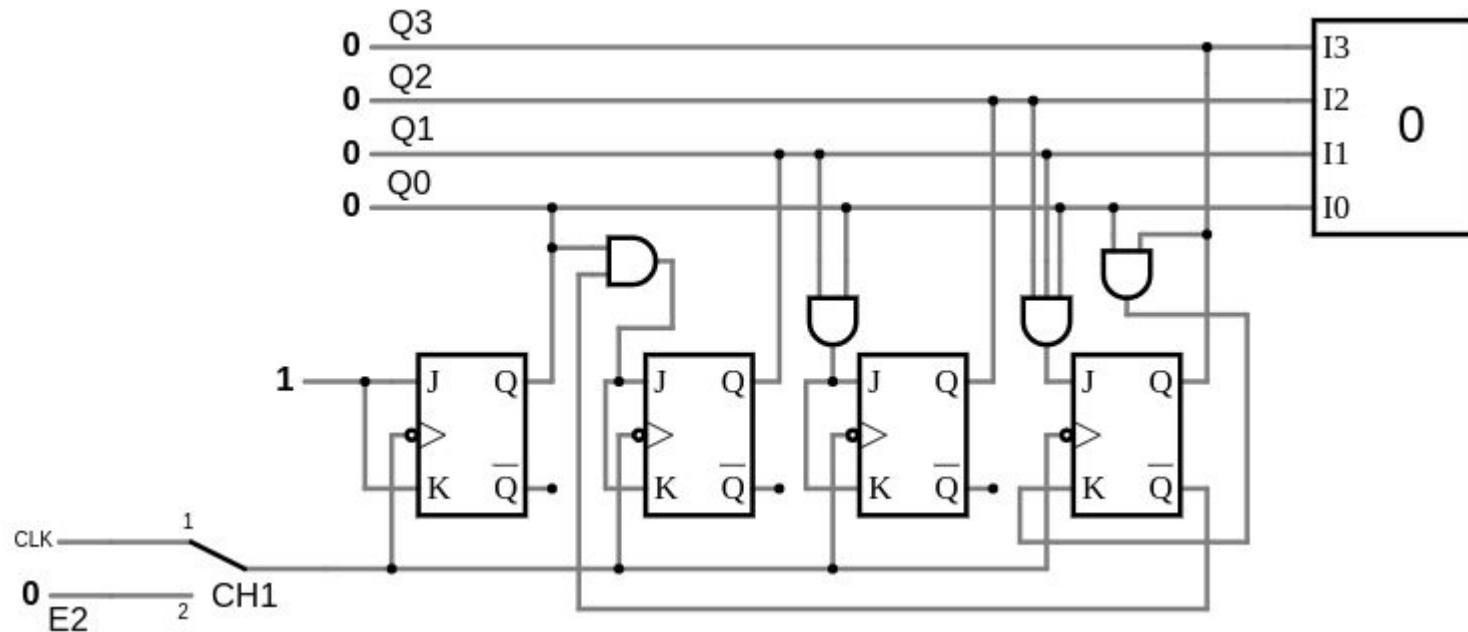
- Para reiniciar a contagem, ao chegar na contagem 10, a entrada de RESET é usada para zerar o contador.
- Como resultado o contador conta na sequência: 0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-**10**^{*}-0-1- ... (onde a contagem 10 é temporária, sendo substituída por 0).

Outro Contador de módulo 10



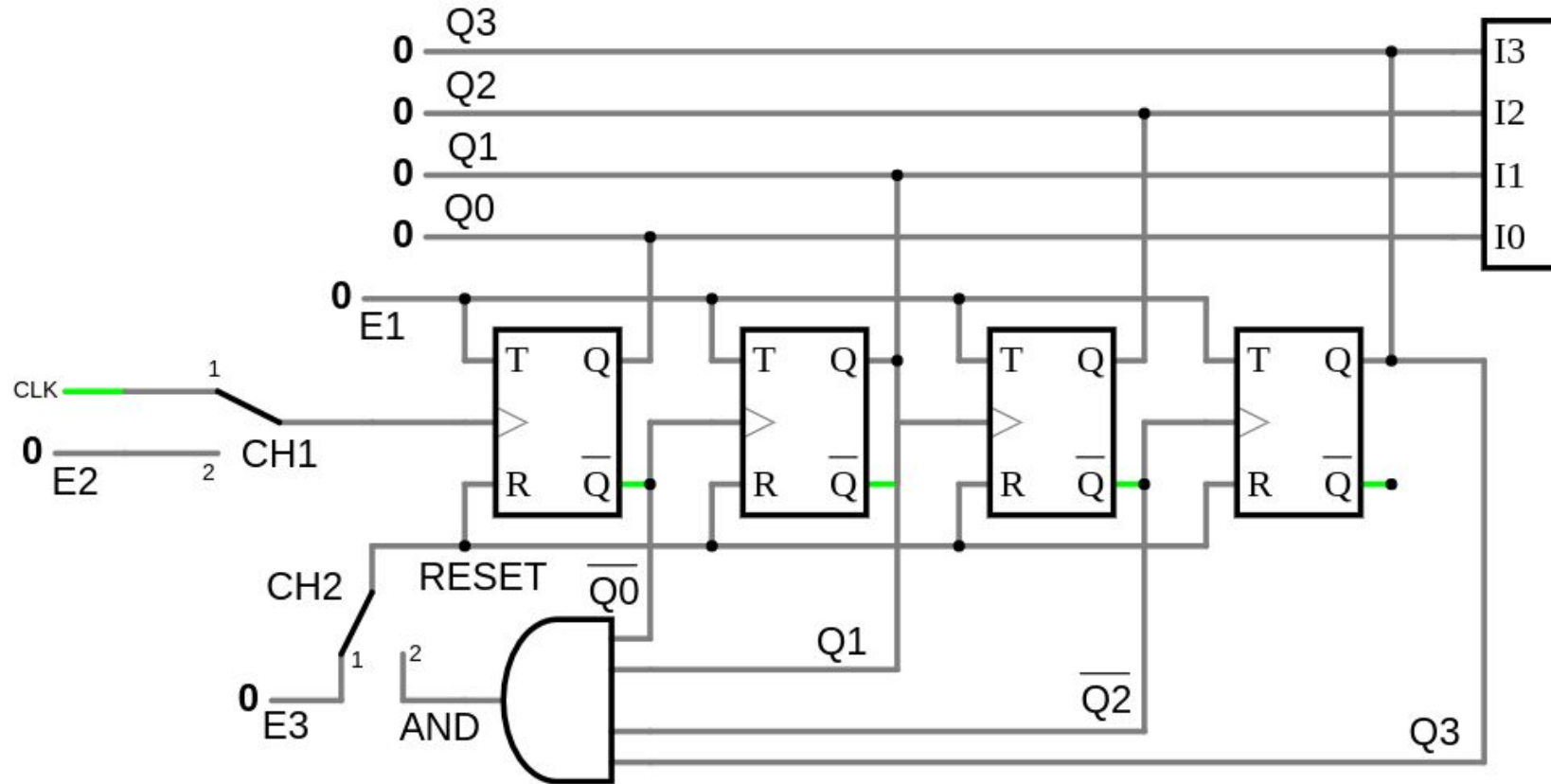
- Note no circuito que as entradas de RESET (R) de todos os FFs estão ligadas a uma porta AND.
- As entradas da porta AND estão ligadas a $Q3$, $Q2'$, $Q1$ e $Q0'$
- Portanto a saída da porta AND somente será ALTA "1" quando a entrada estiver em 1010, o que corresponde ao valor 10.
- Neste caso, durante alguns instantes o contador passa pelo valor 10 na saída, até ocorrer o RESET.

Contador de módulo 10 (0 a 9)



- Neste caso o circuito é um contador síncrono.
- Para garantir a contagem de 0 a 9, foram acrescentadas 2 portas 2, e os próprios sinais J e K síncronas são utilizadas no projeto desse contador
- Neste caso não existe em momento algum o valor 10 na saída, sendo a contagem apenas de 0 a 9.

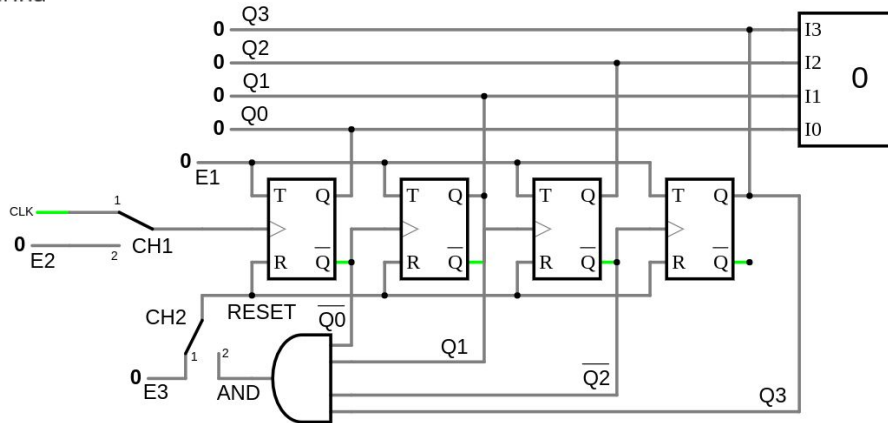
Simulação do Contador de módulo



- Novamente vamos estudar o contador é através do **simulador de circuitos Falstad**
- Clique o link do contador: <https://tinyurl.com/2jqavnlg>

Simulação do Contador de módulo

10



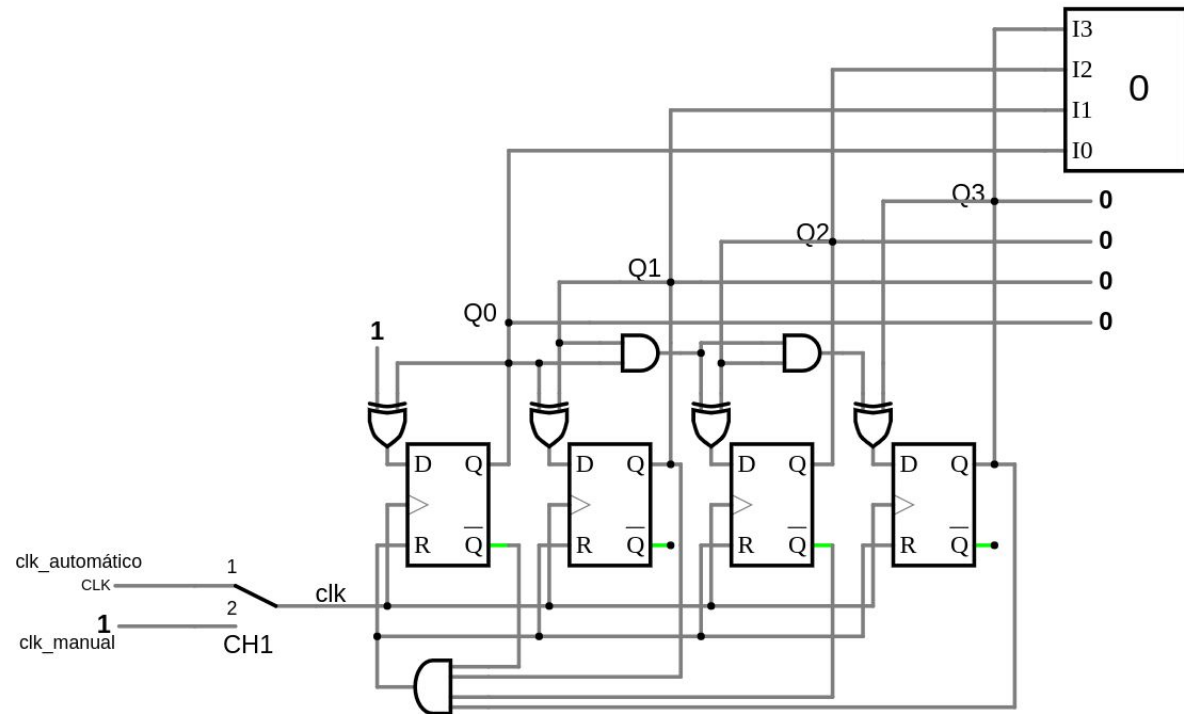
Para os procedimentos abaixo, observe as saídas Q3 a Q0, e os sinais RESET e AND. Se necessário, pare a simulação com o botão [Parar]

1. Com a chave CH1 em 1, CH2 em 1, E1 = 0 E2 = 0, E3 = 0 e anote o que ocorre.
2. Mude a entrada E1 = 1, e anote o que ocorre.
3. Mantenha E1 = 1 e mude a entrada E3 = 1, e anote o que ocorre.
4. Mude a CH2 para a posição 2, e anote o que ocorre.
5. Observe atentamente os diagramas de tempo. É possível perceber o 10*?
6. Preencha a tabela de funcionamento ao lado para o cenário 4.

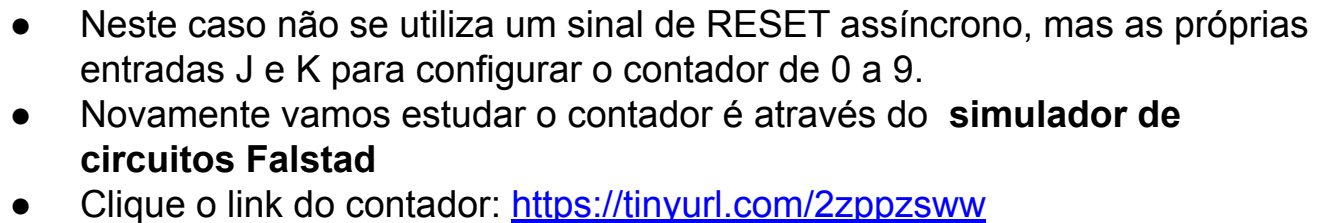
Comente o que você percebeu no funcionamento desse contador

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	RESET	Valor decimal
início							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

Simulação do Contador de módulo 10

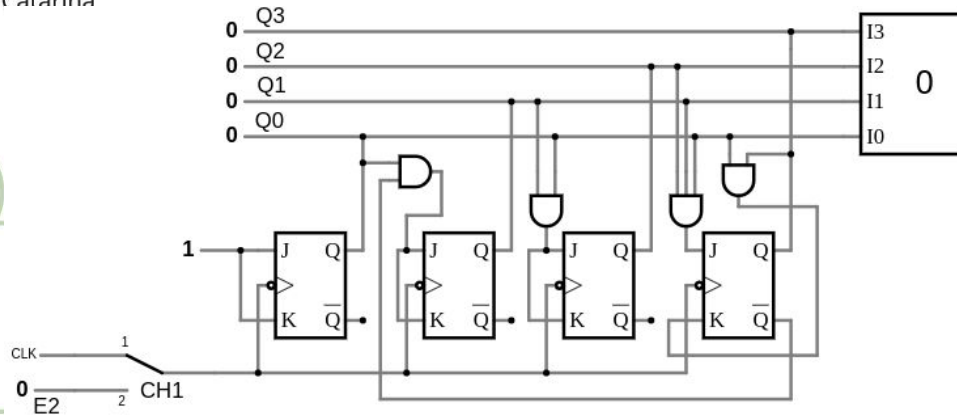


- Novamente vamos estudar o contador é através do **simulador de circuitos Falstad**
- Clique o link do contador: <https://tinyurl.com/2m9soeng>



- Neste caso não se utiliza um sinal de RESET assíncrono, mas as próprias entradas J e K para configurar o contador de 0 a 9.
- Novamente vamos estudar o contador é através do **simulador de circuitos Falstad**
- Clique o link do contador: <https://tinyurl.com/2zppzsww>

Simulação do Contador de módulo 10

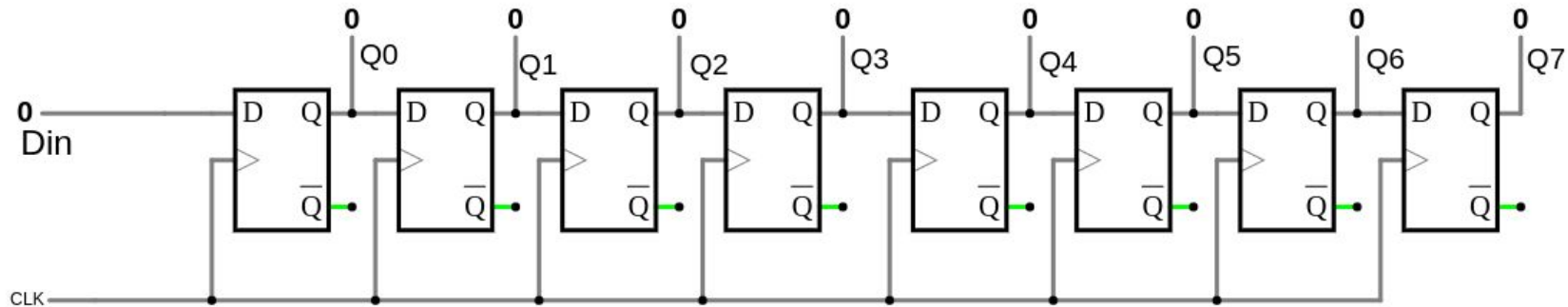


1. Observe inicialmente a contagem do contador com a chave CH1 em 1,
2. Observe atentamente os diagramas de tempo. É possível perceber o 10*?
3. Mude a chave CH1 para a posição 2, e preencha a tabela de funcionamento ao lado.

Comente o que você percebeu no funcionamento desse contador, e compare com o anterior.

Bordas do clk	clk	Q3 (MSB)	Q2	Q1	Q0 (LSB)	RESET	Valor decimal
início							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

Que circuito é esse?



1. Abra no simulador <https://tinyurl.com/2nvunme3>
2. Observe atentamente os diagramas de tempo.
3. Que tipo de função é executada? Modifique a entrada Din e de 0 para 1 e de um para 0 e observe

Comente o que você percebeu no funcionamento desse contador, e compare com o anterior.