

# Registradores e contadores

Neste capítulo, vamos aprofundar um conceito muito importante para o desenvolvimento de sistemas digitais sequenciais complexos: os registradores.

Esses elementos são os componentes que mantêm a informação nos sistemas sequenciais e permitem comportamentos mais complexos, como máquinas de estado.

Em particular, os registradores são componentes muito presentes em unidades centrais de processamento, comumente chamadas de CPU ou processadores.

Não vamos nos aprofundar na descrição de como é construída uma CPU; entretanto, é importante saber que são os registradores dentro das CPUs que permitem que as instruções sejam executadas pelos

circuitos combinatórios. Da mesma forma, é por meio dos registradores que o programador interage com a CPU, por exemplo, configurando o comportamento que espera dela ou lendo o resultado de uma instrução executada anteriormente.

# 1 Registradores

Os registradores, como citado anteriormente, armazenam e permitem a manipulação de informações no domínio digital, além de serem a base de qualquer sistema digital sequencial.

Para a construção de um sistema sequencial, são necessárias várias funcionalidades atribuídas aos registradores, e com isso temos diversas formas de construir os registradores mais comumente utilizados em sistemas digitais sequenciais.

O elemento básico da construção dos registradores são os flip-flops, que já foram abordados no capítulo anterior. Além dos flip-flops, vamos precisar de circuitos combinatórios que controlam quando e como uma informação é armazenada ou manipulada com o uso dos registradores.

Para que um chip seja chamado de registrador, ele deve possuir mais do que um único flip-flop; é comum que um único chip tenha arranjos com 2 a 16 flip-flops.

Em circuitos integrados complexos – como microprocessadores, memórias, elementos de lógica programável, entre outros –, o número de bits de um registrador teoricamente não tem limite, e eles sempre são fabricados de acordo com a necessidade de cada projeto.

Podemos classificar os registradores pela forma como as informações são armazenadas e extraídas; além disso, a pessoa que está projetando o circuito pode combinar mais de um modelo para atender às necessidades de seu projeto.

A entrada de dados em um registrador pode ser feita de duas formas: paralela ou serial. Do mesmo modo, a extração dos dados de um registrador pode ser feita de duas formas: paralela ou serial.

Assim, podemos ter as seguintes combinações de configurações de entrada e saída de um registrador:

- entrada paralela, saída paralela;
- entrada paralela, saída serial;
- entrada serial, saída paralela; ou
- entrada serial, saída serial.

Os elementos básicos de um registrador são os flip-flops do tipo D, em que o valor que é colocado em sua entrada é o mesmo valor que será apresentado na saída. O flip-flop tipo D já foi descrito em detalhe no capítulo anterior.

Em todos os casos, qualquer registrador terá uma entrada de clock, que é o elemento que vai dar sincronismo e sinalizar aos registradores o momento em que os dados de entrada estarão estabilizados para que se possa fazer a amostragem.

Além da entrada de clock, é comum existir ao menos um pino de enable, que é o pino que permite que cada flip-flop faça a amostragem dos dados no momento adequado. Entretanto, no caso dos registradores no formato de chips discretos (ou seja, aqueles que podemos comprar e soldar em nosso circuito) é comum que haja dois ou três pinos destinados a essa tarefa.

No caso de haver mais de um pino de enable, é comum que se tenha ao menos um pino de enable que habilita em nível lógico 0 e ao menos um pino de enable que habilita em nível lógico 1. Essa característica tem o objetivo de facilitar o trabalho de quem vai usar o chip em seus projetos.

Além disso, é comum que se tenha ao menos um pino para forçar um nível lógico conhecido em todos os flip-flops do registrador. Em geral, são os pinos de preset ou clear, e o mais comum é que se tenha apenas o pino de clear, para forçar todos os flip-flops a terem valor 0.

Ou seja, são inúmeras as possibilidades de organização dos flip-flops para a criação de registradores, e é impossível fornecer, em um volume didático, exemplos de todas as possibilidades.

Também podemos ligar as entradas e saídas de um registrador com o objetivo de modificar sua funcionalidade original. Como exemplo dessa possibilidade, vamos utilizar um chip comercial de um registrador de entrada paralela e saída paralela em um registrador com entrada serial e saída paralela. Para isso, vamos utilizar o chip SN74HC174.

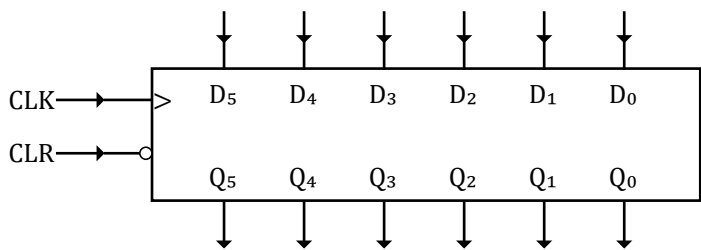
O SN74HC174 é um registrador com 6 flip-flops do tipo D, com entrada paralela e saída paralela. Cada flip-flop desse chip obedece à tabela-verdade a seguir.

Tabela 1 – Tabela-verdade de cada flip-flop do registrador 74HC174

INPUTS			OUTPUT
$\overline{\text{CLR}}$	CLK	D	Q
L	X	X	L
H	$\uparrow$	H	H
H	$\uparrow$	L	L
H	L	X	$Q_0$

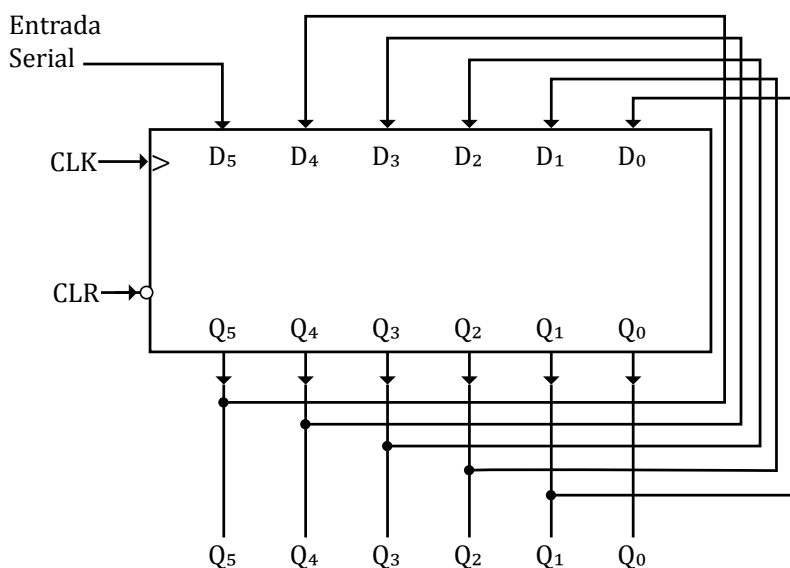
Na figura 1, a seguir, temos o símbolo do chip.

Figura 1 – Símbolo do SN74HC174



Ligando os pinos do SN74HC174, conforme a figura 2, a seguir, teremos um circuito que, a cada pulso de clock, copia o estado do bit de entrada e desloca os demais bits. Ao final de seis pulsos de clock, teremos os 6 bits inseridos de forma serial, na saída paralela.

**Figura 2 — Esquema de ligações para transformar o SN74HC174 em um registrador de entrada serial com saída paralela**



Analisando o funcionamento do circuito da figura 2, vemos que o que ocorre é que, a cada pulso de clock, a entrada de cada flip-flop é copiada na respectiva saída. Como o circuito foi acionado de forma que a saída de um flip-flop seja ligada na entrada do flip-flop seguinte, temos um deslocamento da informação a cada pulso do clock, transformando uma informação que estava chegando de forma serial em uma informação na forma paralela.

Perceba que o valor de cada bit depende da sequência de acionamentos, que é o que caracteriza um circuito digital sequencial.

## 2 Contadores

Os contadores são uma classe especial de circuitos digitais sequenciais cujos estados variam em função do acionamento de um sinal de clock, em uma sequência que se repete continuamente.

Um contador pode ser desenhado para as mais diversas tarefas dentro de um sistema digital sequencial. Entre outras finalidades, pode ser utilizado para:

- contar intervalos de tempo;
- contar o número de pulsos dentro de um intervalo de tempo;
- gerar formas de onda;
- fazer uma divisão de frequência; e
- determinar a frequência de um sinal de entrada.

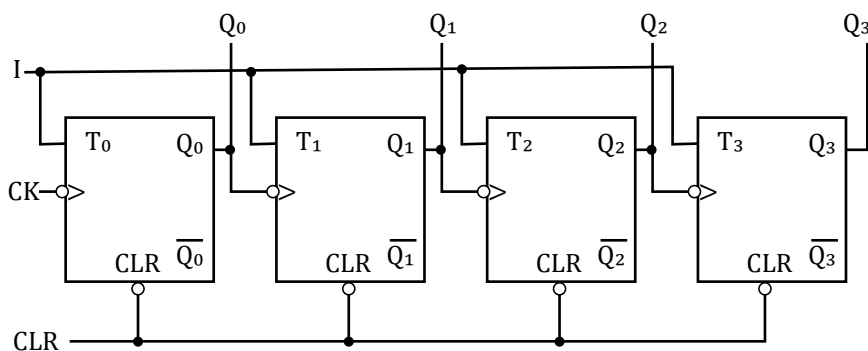
Um contador pode ter uma ou mais saídas, de acordo com a função que se deseja que ele tenha, e o seu número de flip-flops depende do número de estados necessários para que ele realize a tarefa para a qual foi projetado.

Podemos classificar os contadores em duas categorias: assíncronos e síncronos (IDOETA; CAPUANO, 1999).

Os contadores assíncronos têm como característica fundamental o fato de não terem todos os flip-flops acionados pelo mesmo sinal de clock. São circuitos que dependem dos tempos de propagação inerentes às tecnologias de fabricação, e são adequados para algumas aplicações bem específicas.

Resumidamente, eles se caracterizam pelo fato de a saída de dados de um estágio de contagem estimular o clock do estágio seguinte. Um exemplo dessa técnica de construção está na figura 3, a seguir.

Figura 3 – Contador binário assíncrono



Fonte: adaptado de Idoeta e Capuano, 1999.

No circuito da figura 3, a entrada CLR, que podemos ler como “clear” — ou “limpeza” —, faz com que o estado de todos os flip-flops do circuito seja conhecido, ou seja, impõe que o valor de Q0 a Q3 seja igual ao nível lógico 0.

A entrada CK, por outro lado, estimula o clock do primeiro flip-flop, e, na primeira borda de descida de CK, como a entrada T está em nível lógico 1, a saída Q0 terá seu estado invertido, ou seja, Q0 vai comutar do estado 0 para o estado 1. A saída Q0, que está ligada à entrada de clock do segundo flip-flop, teve uma borda de subida, mas como esse flip-flop é sensível à borda de descida, nesse momento nada muda.

Na segunda borda de descida de CK, novamente o estado de Q0 é comutado. Dessa vez, ele sai do nível lógico 1 para o nível lógico 0, o que significa uma borda de descida para o segundo flip-flop do circuito, e isso provoca a comutação do estado de Q1, que iniciou seu funcionamento em 0 e agora tem seu valor modificado para 1. Esse processo se repete em todos os flip-flops do circuito.

Note que a cada duas bordas de descida de CK temos uma borda de descida de Q0, e o mesmo acontece sucessivamente em todos os flip-flops do circuito. Resumidamente, a cada flip-flop que acrescentamos

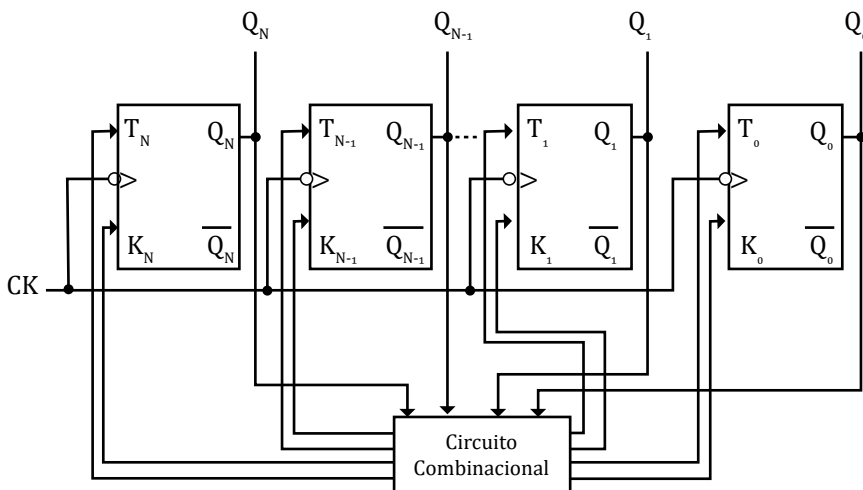
ao circuito, dividimos a frequência de entrada por dois. Nesse circuito, a frequência de Q3 será 16 vezes menor do que a frequência de CK.

Existem diversas técnicas para modificar esse projeto básico, tornando o contador assíncrono bastante flexível. Porém, essas técnicas não serão aprofundadas neste capítulo.

Diferentemente de um contador assíncrono, temos os contadores síncronos, cujos clocks de todos os flip-flops são ligados ao clock de entrada do circuito. Assim, ao contrário de um contador assíncrono, o que determina a contagem de um contador síncrono é como as entradas de dados dos flip-flops são ligadas para criar as transições que caracterizam um contador. Ou seja, dado determinado estado das saídas dos flip-flops, estabelecem-se quais valores devem estar presentes nas entradas dos flip-flops para que, na próxima transição de clock, o próximo valor esperado ocorra.

Do ponto de vista de blocos, um contador síncrono terá um esquema de ligações similar ao da figura 4, a seguir.

**Figura 4 – Esquema básico de um contador síncrono:**



Fonte: adaptado de Idoeta e Capuano, 1999.



A título de exemplo, vamos construir um contador que gera uma sequência binária crescente nas suas saídas Q. A tabela 2, a seguir, mostra a sequência desejada.

Tabela 2 – Sequência de valores desejados em nosso contador binário

CLK	Q3	Q2	Q1	Q0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	1
3	0	0	1	0
4	0	0	1	1
5	0	1	0	0
6	0	1	0	1
7	0	1	1	0
8	0	1	1	1
9	1	0	0	0
10	1	0	0	1
11	1	0	1	0
12	1	0	1	1
13	1	1	0	0
14	1	1	0	1
15	1	1	1	0
16	1	1	1	1

Existem várias formas de se chegar a um circuito que tenha esse conjunto de transições. Em nosso exemplo, vamos aproveitar uma característica dos flip-flops JK, que é a propriedade de inverter o valor da saída quando as entradas J e K estão em nível 1.

Analisando as transições do valor de Q0 na tabela 2, podemos notar que, a cada pulso de clock, ele troca de valor. Tendo em vista a propriedade do flip-flop de comutar o valor existente a cada transição de clock, se ambas as entradas estiverem em 1, a solução mais simples para gerar o resultado esperado é simplesmente ligar as entradas J e K do flip-flop 0 no nível lógico 1.

Analisando as transições do valor de Q1 na tabela 2, podemos notar que a mudança de valor ocorre todas as vezes que Q0 está com valor igual a 1. Assim, a solução mais simples para a implementação da lógica combinacional para as entradas J e K do flip-flop 1 é ligar essas duas entradas na saída Q0.

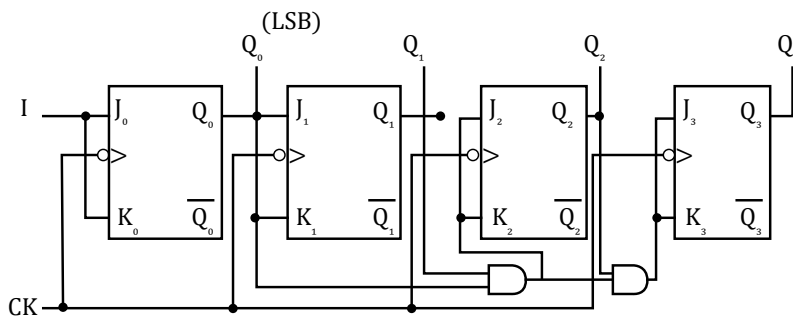
Continuando a nossa análise das transições, agora de Q2, podemos notar que Q2 troca de valor sempre que Q1 e Q0 estão, ambos, com valor igual a 1. Ou seja, devemos comutar o valor de Q2 sempre que Q0 e Q1 estiverem em 1. Essa lógica corresponde a uma porta AND entre Q0 e Q1, cuja saída deve acionar J e K do flip-flop 2.

Podemos notar que um padrão semelhante ocorre com as transições de valor de Q3, ou seja, quando Q0, Q1 e Q2 estiverem com valor 1, devemos comutar o valor de Q3. De forma similar ao que ocorreu com Q2, temos uma operação AND, dessa vez de três entradas, sendo Q0, Q1 e Q2, cuja saída aciona as entradas J e K do flip-flop 3.

Como já temos uma porta AND de duas entradas no circuito – que é a AND que aciona as entradas J e K do flip-flop 2 –, basta fazer uma operação AND entre essa porta e o valor de Q2 para obtermos o circuito que gera o acionamento desejado.

O circuito resultante é apresentado na figura 5, a seguir.

**Figura 5 – Contador binário síncrono**



Fonte: adaptado de Idoeta e Capuano, 1999.

Note que podemos modificar o circuito combinacional para gerar qualquer sequência de transições necessária à aplicação que se deseja implementar.

Também é possível ligar as entradas preset e clear dos flip-flops a fim de ter estados iniciais conhecidos quando da inicialização do sistema em desenvolvimento.

Por fim, em vez de uma entrada fixa em 1 na entrada do primeiro flip-flop, é possível ter um sinal binário, e o contador poderá contar o número de vezes que o sinal de entrada está em 1 e que ocorreram transições de clock.

Ou seja, há inúmeras formas de aplicar esse conceito básico a fim de usá-lo em projetos de circuitos digitais sequenciais.

## Considerações finais

Neste capítulo, pudemos analisar algumas aplicações que usam flip-flops como os elementos básicos de circuitos mais complexos. Pudemos compreender como os elementos digitais sequenciais podem ser utilizados em conjunto com os elementos combinatórios para que tenhamos funcionalidades bastante interessantes e complexas.

Em particular, o modelo de contador síncrono tem inúmeras aplicações e, com algumas modificações, se torna a base dos elementos mais versáteis dos circuitos digitais sequenciais, que são as máquinas de estado, não abordadas neste livro.

## Referências

IDOETA, Ivan V.; CAPUANO, Francisco G. **Elementos de eletrônica digital**. São Paulo: Érica, 1999.





## Sobre o autor

**Stelvio Barboza** é mestre em engenharia elétrica pela Universidade de São Paulo (2014), graduado em engenharia elétrica pelo Centro Universitário FEI (2006) e possui curso técnico-profissionalizante em eletrônica pelo Grupo Educacional Flamingo (1999). Atualmente, é coordenador do curso de engenharia de computação e professor de graduação do Centro Universitário Senac. Tem experiência na área de engenharia elétrica, com ênfase em computação e sistemas digitais, atuando principalmente nos seguintes temas: ultra-wideband (UWB), transmissores UWB, micro-ondas, tomógrafo, imagens médicas e processamento de sinais.

