



## Relatório – Contador síncrono crescente e decrescente

Disciplina: ELE0518 – Laboratório de Sistemas Digitais

Alunos: Bruno Matias de Sousa

Data: 05/04/2019

Levy Gabriel da Silva Galvão

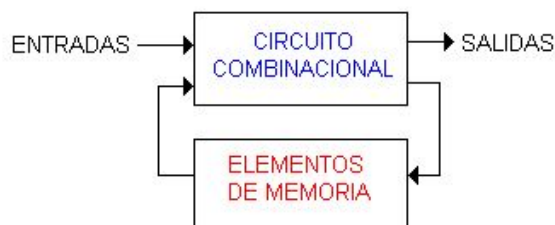
Pedro Henrique de Souza Fonsêca dos Santos

### 1. Introdução

Circuitos unicamente combinacionais servem, unicamente, para computar um estado a partir de uma série de entradas. Porém, este não possui nenhum tipo de memória do estado anterior, ou uma sequência para seguir. Desta forma surgiram os registradores com flip-flops, capazes de registrar, com a periodicidade desejada, o comportamento de um circuito combinacional.

Esses registradores irão compor os elementos de memória do que virá a ser um circuito sequencial. Um circuito capaz de, a partir de estados passados e registrados nos flip-flops, realimentar um circuito combinacional permitindo que o próximo estado seja definido com base no estado passado. Eles serão chamados de circuitos sequenciais e a maioria dos sistemas digitais irão utilizar esse tipo de circuito.

A figura abaixo mostra um diagrama simples do que virá a ser um circuito sequencial, porém sem o detalhamento da estrutura interna dos elementos de memória.



**Figura 1** - Diagrama ilustrativo de um circuito sequencial.

Vale destacar no circuito sequencial que as entradas interagem diretamente com o circuito combinacional, que também recebe como entrada a saída dos elementos de memória. Fica evidente a necessidade de cada bloco realimentar a entrada do outro com suas saídas.

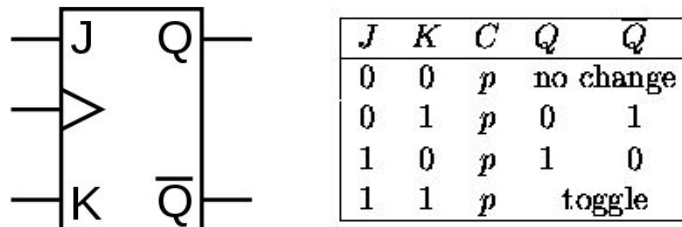
Nesta prática será relatado o uso de um circuito sequencial com flip-flops J-K como elementos de memória para a construção de um contador síncrono crescente e decrescente de 3-bits, ou seja, capaz de contar de 0 a 7 e de 7 a 0, bastando mudar uma entrada.

### 2. Referencial teórico

A necessidade de circuitos com memória criou novos dispositivos que são junções das portas lógicas dos circuitos combinacionais, com o diferencial da utilização de realimentações entre as portas.

Os primeiros criados foram os latches assíncronos, e logo após, os síncronos. Os latches síncronos são assim chamados pois mudam seus estados apenas com uma entrada habilitável que, comumente, vem de um oscilador. Essa entrada habilitável é chamada de clock. Os latches foram um avanço significativo, mas apresentavam alguns problemas em relação às suas mudanças de entrada. Esse problema acabou sendo resolvido com a criação do flip-flop que, ao invés de utilizar o nível da entrada habilitável para a transição da saída, usa uma entrada sensível a borda, diminuindo, desta forma, o período utilizado para transição.

Dentre os flip-flops mais utilizados, temos o flip-flop JK, com duas entradas, o flip-flop D, que é o mesmo JK, onde a entrada K é a J invertida e o flip-flop T, que é o mesmo JK também, porém com suas entradas curto-circuitadas.



**Figura 2** - Representação do Flip-flop JK e sua tabela-verdade.

O flip-flop JK funciona de forma que, quando houver a transição de clock, nesse caso em borda positiva, ele mudará sua saída de acordo com os valores de J e K. Caso ambos sejam zero, ele mantém o valor anterior. Caso J=1 e K=0, ele seta a saída igual a 1. Caso ocorra o inverso, ele reseta a saída, mandando para 0. E caso J e K sejam 1, ele inverte o sinal da saída.

O flip-flop D funciona de forma que, se não houver borda de subida, ele não muda. Caso haja, ele obedece a entrada D, de forma que se ela for 1, ele irá para 1, se ela for 0, ele irá para 0. O flip-flop T lembra o D no aspecto de ter apenas uma entrada, porém, sua diferença é que caso a entrada T seja 1, ele não irá setar 1 e sim irá inverter a atual saída e quando for 0, ele não irá resetar a saída para 0, e sim manterá a saída igual a anterior. De certa forma o flip-flop D se resume às linhas do meio da tabela do JK e o flip-flop T se resumem às linhas das extremidades.

Flip-flops têm diversas aplicações, e entre uma delas, temos os contadores. Existem dois tipos, os síncronos e assíncronos. Essa diferenciação vem em relação a usar um clock ou apenas uma entrada habilitável em seu lugar. O síncrono tem o clock como entrada e contará de acordo com a oscilação do clock. O assíncrono mudará quando for acionada a entrada habilitável. Um exemplo de utilização do síncrono seria o relógio, enquanto do assíncrono é quando se quer contar pacotes que passam por uma esteira, onde só irá acionar quando o pacote passar.

### 3. Metodologia

O presente projeto fez uso dos seguintes equipamentos:

- Protoboard;
- Fonte de tensão DC;
- Fios e conexões;
- Gerador de funções;
- Dois resistores de 220Ω;
- Três LEDs verdes;

- Um CI 7404 (NOT);
- Um CI 7432 (OR);
- Dois CI's 7408 (AND);
- Dois CI's 7473 (flip-flop JK).

A partir da visualização do problema proposto na prática, o circuito sequencial pode ser construído. No caso em que S é o seletor da ordem de contagem do circuito e está diretamente ligado à entrada do circuito combinacional; Ta, Tb e Tc são as entradas dos flip-flops JK, sendo que Tb e Tc são saídas do circuito combinacional e Ta está ligado ao VCC; A, B e C são as saídas de realimentação dos elementos de memória para o circuito combinacional, oriundos, respectivamente, dos flip-flops com entradas Ta, Tb e Tc. Os LEDs serão acesos a partir da codificação do estado futuro a partir da saída dos flip-flops.

Realizando a engenharia reversa, pode-se detectar as equações booleanas da entrada dos flip-flops descritas abaixo:

$$Tc = SBA + S'B'A'$$

$$Tb = SA + S'A'$$

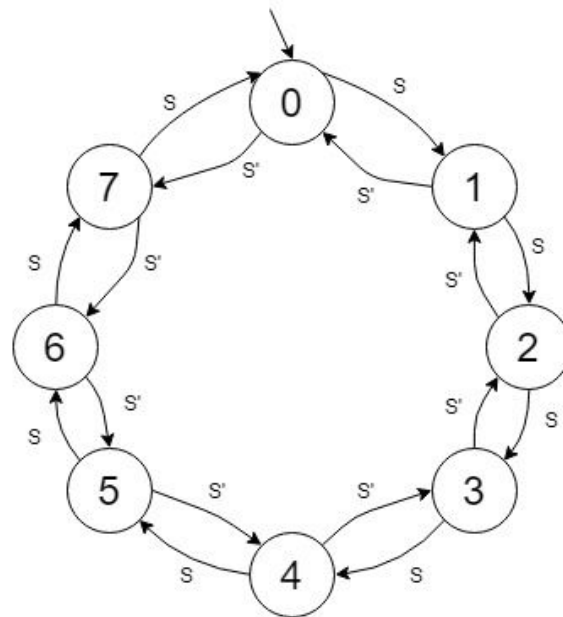
$$Ta = 1$$

Assim, a partir dessas equações pode-se determinar a tabela de estados com a entrada do circuito combinacional, estados atuais, entradas dos flip-flops JK e com os estados futuros, sendo que este último pode ser determinado com base nos outros dados indicados.

IN	ESTADO ATUAL			ESTADO FUTURO			ENTRADA DO FLIP-FLOP JK		
$S$	$C$	$B$	$A$	$c$	$b$	$a$	$T_C$	$T_B$	$T_A$
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0	0	1
0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0	0	0	0	1
0	1	1	0	1	0	1	0	1	1
0	1	1	1	1	1	0	0	0	1
1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1	1
1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0	0	1	1	1
1	1	0	0	1	0	1	0	0	1
1	1	0	1	1	1	0	0	1	1
1	1	1	0	1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1	1	1

**Figura 3** - Tabela de estados com as entradas do flip-flop JK curto circuitadas (flip-flop T).

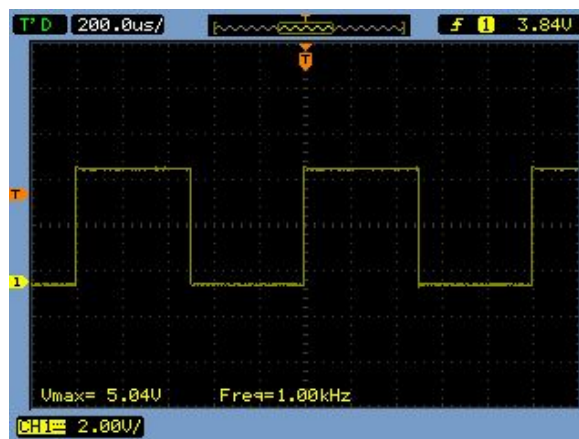
O diagrama de estados da máquina de estados responsável por esse circuito sequencial pode ser observado abaixo.



**Figura 4** - Máquina de estados finitos do contador síncrono.

A figura abaixo mostra a montagem do circuito na protoboard. Seu funcionamento pode ser observada no link de um vídeo hospedado no YouTube.

O clock utilizado em todos os flip-flops JK foi fornecido pelo gerador de funções e possui amplitude de 5V e frequência a ser variada entre 1Hz, 5Hz, 10Hz, 100Hz e 200Hz. Na figura abaixo pode ser constatada a sua forma de onda observada no osciloscópio com ciclo de trabalho de 50%.



**Figura 5** - Sinal do clock oriundo do gerador de funções para ser utilizado no contador (5V de amplitude e frequência a ser variada).

#### 4. Resultados práticos

Os resultados se mostraram totalmente satisfatórios, condizentes com o projeto descrito anteriormente. No que consta o funcionamento, o contador contava em ordem crescente, de 0 a 7, quando a chave seletora estava ligada ao VCC. Em qualquer momento, quando a chave era ligada ao GND, o contador contava na ordem decrescente, partindo do estado que estava quando trocou a ordem. A visualização do circuito montado na protoboard e devidamente funcionando pode ser realizada no link do YouTube: <<https://youtu.be/9ziWV0MU2Zg>>.

Considerando que as entradas dos flip-flops estão curto-circuitados entre si, eles funcionarão como um flip-flop do tipo T, ou seja, quando a entrada for 1, ele inverterá a saída e quando a entrada for 0, ele não altera a sua saída. Ilustrando o primeiro caso em que tem-se SCBA=0000 e TcTbTa=111, denota que os bits do estado atual serão todos invertidos, implicando no estado futuro e saída cba=111. Assim em diante.

Com o clock em 1Hz, a velocidade de contagem era tal que os estados só se alteravam a cada segundo. Porém quando aumentada a frequência do clock para 5Hz, 10Hz, 100Hz e 200Hz, a velocidade de mudança de estados aumentava gradualmente. Aumentando significativamente a frequência, tornava-se impossível de detectar a presença de cada estado, pois predominava, visualmente, o estado 111.

## 5. Conclusão

Essa prática permitiu mostrar que os circuitos sequenciais possuem um imenso potencial de aplicação, pois combinam o poder de decisão dos circuitos combinacionais com o armazenamento de estados. Tudo isso graças aos flip-flops, que apesar de possuírem uma constituição simples, estão presentes nos microcomputadores mais modernos.

A construção do contador em si também se mostrou de fundamental importância, pois é um circuito básico com várias aplicações, seja em placares esportivos, que necessitam que sejam contados a pontuação, tempo de duração, períodos, etc., em sequência; seja na construção de relógios; ou até na aplicação em jogos.

## 6. Referências Bibliográficas

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10719 – Apresentação de relatórios técnico-científicos**. Rio de Janeiro: ABNT, Copyright © 1989.

Fairchild Semiconductor, “**Dual Master-Slave J-K Flip-Flops with Clear and Complementary Outputs**,” DM7473 datasheet, Set. 1986 [Revised Feb. 2000].

MARCONI, Marina de A. & LAKATOS, Eva M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5 ed. Editora Atlas. São Paulo, 2003.

TOCCI, Ronald J. **Digital Systems: principles and applications**. 11 ed. Pearson Education India, 1991.