

Contadores eletrônicos no laboratório didático.

Parte II. Medida de intervalos de tempo sucessivos

(*Electronic counter in undergraduate laboratories. Part II. Measurement of successive time intervals*)

R. Hessel¹, C.S. de Oliveira, G.A. Santarine, D.R. Vollet e A.C. Perinotto

Departamento de Física, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, SP, Brasil
Recebido em 14/6/2007; Revisado em 29/8/2007; Aceito em 18/12/2007

Neste trabalho descrevemos um procedimento para medir uma série de intervalos de tempo, em rápida sucessão, utilizando vários contadores eletrônicos alimentados por uma base de tempo comum. Para ilustrar o procedimento, uma aplicação envolvendo a conservação da quantidade de movimento linear em colisões entre dois carrinhos descolando-se num trilho de ar é discutida. Apesar da proposta exigir um contador para cada intervalo de tempo a ser medido, em vez de um único cronômetro digital com memória, ela ainda assim é vantajosa, porque o custo da montagem de um contador eletrônico é muito pequeno quando comparado com o preço de um cronômetro comercial com memória apropriado para uso em laboratório didático.

Palavras-chave: contador eletrônico, medidor de tempo com memória, operações em seqüência, medida de intervalos de tempo sucessivos.

In this work we describe a procedure for measuring a series of time intervals in quick succession using several electronic counters connected to a single crystal oscillator used as a time standard. To illustrate the procedure, an application involving the conservation of linear momentum in a head-on collision between two gliders as they travel on a linear air track is discussed. In spite of the proposal to demand one counter for each time interval to be measured, instead of a single digital timer with memory, it is yet advantageous because the assembly cost of an electronic timer is very low compared to that of a commercial digital timer with memory appropriated for use in undergraduate laboratories.

Keywords: electronic counter, digital time with memory, operations in sequence, measurement of successive time intervals.

1. Introdução

No artigo anterior [1], descrevemos um contador eletrônico de 4 dígitos e mostramos, através de exemplos, como poderia ser utilizado para medir intervalos de tempo. Nessa ocasião, nos limitamos, basicamente, à medida de um único intervalo de tempo. Neste artigo vamos tratar de situações em que necessitamos medir mais de um intervalo, em rápida sucessão, como é o caso, por exemplo, quando pretendemos determinar as velocidades de um carrinho num trilho de ar antes e após uma colisão frontal com outro carrinho. O instrumento adequado para realizar experiências como essa é o cronômetro digital com várias memórias. Quando não está disponível, uma alternativa é utilizar dois ou mais cronômetros juntamente com algum dispositivo eletrônico que permita acioná-los seqüencialmente, isto é, um após o outro. O objetivo deste artigo é mostrar como isso pode ser feito por meio do CD4017.

¹E-mail: fisica@rc.unesp.br.

2. O CD4017

O integrado CD4017 [2-4], representado esquematicamente pela Fig. 1, é um contador/divisor de tecnologia CMOS com uma entrada (clock) e 10 saídas, conhecido também como seqüenciador de 10 saídas.

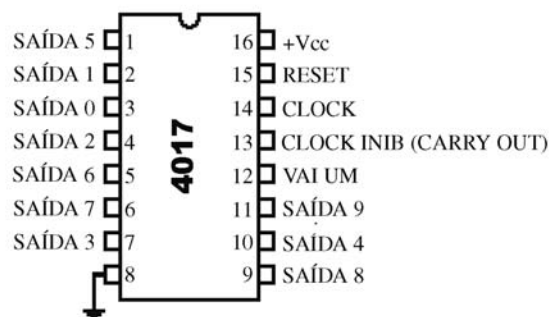


Figura 1 - Pinagem do seqüenciador CD4017.

As saídas do 4017 vão para o nível alto seqüencialmente sob o comando de pulsos retangulares injetados na entrada do integrado, como mostrado na Fig. 2.

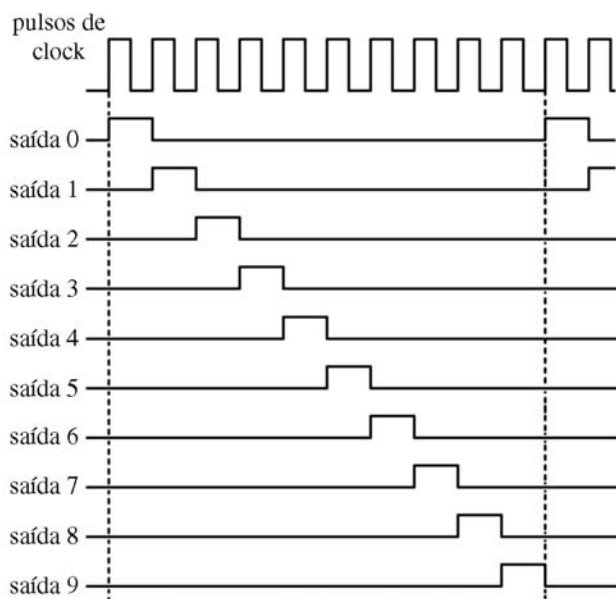


Figura 2 - Diagramas de tempo para o CD4017.

Em qualquer instante, apenas uma de suas 10 saídas está num nível alto enquanto todas as demais estão no nível baixo. Se, por exemplo, a saída 0 (S_0) estiver inicialmente no nível alto, como mostrado no diagrama, voltará para o nível baixo imediatamente após a chegada de um pulso na entrada do integrado, enquanto a saída seguinte (S_1) passará para o nível alto (as demais continuarão no nível baixo). Com a chegada do pulso seguinte, S_1 volta para o nível baixo enquanto S_2 vai para o nível alto, e assim por diante.

Esse comportamento pode ser visualizado, ligando-se entre cada saída e o terra, um LED em série com um resistor apropriado. A cada saída que vai para o nível alto, o LED correspondente acende. Se esses LEDs forem numerados de 0 a 9, poderemos então contar os pulsos chegando na entrada do integrado, à medida que vão emitindo luz um após o outro. Quando o último LED acender, o circuito integrado é resetado automaticamente (a saída S_0 volta para o nível alto) e nova contagem começa.

Para trabalhar corretamente, os pinos 13 e 15 devem estar necessariamente aterrados, como mostra a Fig. 3. Isso porque um nível alto no pino 13 inibiria a contagem, enquanto no pino 15 faria com que ela retornasse automaticamente para a 1ª saída (S_0) do integrado, ou seja, o seqüenciamento seria automaticamente 'zerado' (isto significa que a saída S_0 permanecerá num nível alto, enquanto o nível do pino 15 também estiver num nível alto).

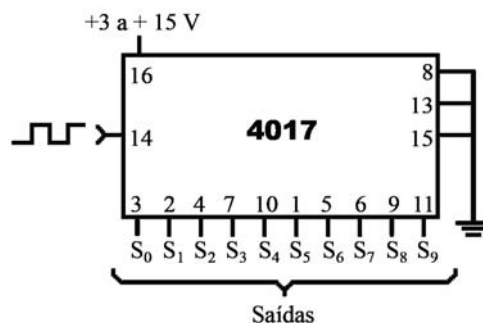


Figura 3 - Aplicação básica do 4017 – contagem até 10 ou de 0 a 9.

Se ligarmos uma saída intermediária ao reset (pino 15), assim que ela for levada para o nível alto o seqüenciamento será automaticamente 'zerado', e a contagem será iniciada novamente a partir da 1ª saída do integrado. Esse recurso é utilizado quando não nos interessa utilizar todas as saídas do 4017. A Fig. 4 mostra uma situação em que apenas 4 saídas são utilizadas. A saída seguinte à última que programamos utilizar é ligada diretamente ao reset.

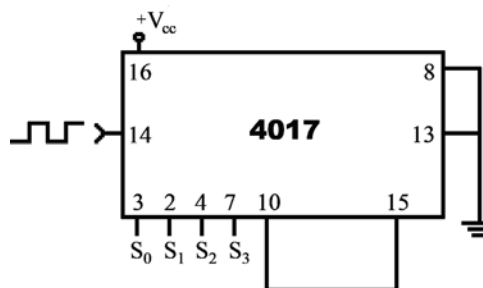


Figura 4 - Contagem até 4 com o 4017.

Como vimos, dentre todas as saídas do 4017, apenas uma está no nível alto. Mas qual delas? A questão é que às vezes gostaríamos que, ao ligarmos o integrado, a 1ª saída já estivesse no nível alto. Para conseguir esse efeito, a literatura [5] recomenda usar o reset automático, introduzindo na montagem um capacitor e um resistor, como mostra a Fig. 5.

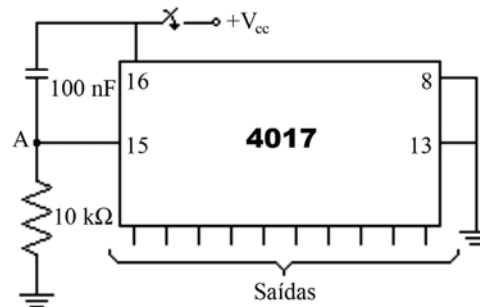


Figura 5 - Reset automático do 4017.

Quando a alimentação é ligada, o pino 15 (reset) fica momentaneamente num nível alto, porque no instante zero a d.d.p. no capacitor descarregado é zero e

portanto o potencial do ponto A indicado na figura é o mesmo da saída da fonte ($+V_{cc}$). Conseqüentemente, a 1ª saída do contador é levada imediatamente para o nível alto enquanto as demais ficam no nível baixo. Uma fração de segundo depois, quando o capacitor já está carregado, o circuito volta a sua condição normal (reset aterrado) e a contagem pode começar novamente.

3. Medida de dois intervalos de tempo sucessivos

O fato da saída em nível alto de um CD4017 mudar de estado a cada pulso injetado na entrada do integrado faz desse integrado um dispositivo adequado para disparar/paralisar seqüencialmente dois ou mais contadores. Suponha, por exemplo, um carrinho se deslocando sobre uma superfície horizontal antes de chocar-se com uma mola fixa numa barreira (Fig. 6).

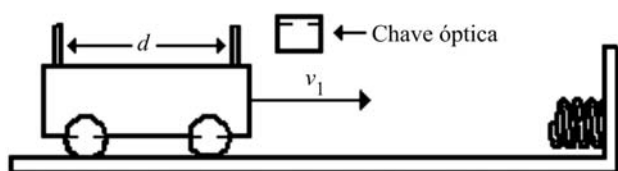


Figura 6 - Colisão de um carrinho com uma mola.

O carrinho incide na mola com velocidade v_1 e retorna com velocidade v_2 . A velocidade v_1 pode ser determinada pela relação $v_1 = d/t_1$, onde d é a distância entre as duas hastes verticais fixadas nas extremidades do carrinho e t_1 é o tempo decorrido entre a passagem da 1ª haste pela chave óptica e a passagem da 2ª haste. A velocidade $v_2 = d/t_2$ é determinada de maneira semelhante. A questão agora é determinar t_1 e t_2 . A Fig. 7 mostra, esquematicamente, como resolver esse problema usando as saídas S_0 , S_1 , S_2 e S_3 de um 4017, para disparar/paralisar dois contadores, um após o outro.

A saída S_4 ligada ao reset (pino 15) garante que o circuito voltará ao seu estado original logo após a chegada do pulso imediatamente posterior ao que excitou a saída S_3 . Por outro lado, o resistor de $10\text{ k}\Omega$ e o capacitor de 100 nF , garantem que a saída S_0 estará no nível alto (LED verde aceso) logo que o circuito for ligado. O LED verde aceso indica não só que S_0 está no nível alto, mas também que as demais saídas estão no nível baixo. Isto significa que os contadores se encontram paralisados, porque tanto a entrada CL EN do 1º contador como a do 2º estão no nível alto, uma vez que as portas NOTs invertem o nível dos sinais recebidos de S_1 e S_3 . Quando o carrinho passa pela chave óptica, suas hastes bloqueiam momentaneamente o feixe de radiação que incide no fototransistor da chave, gerando pulsos que vão excitar as saídas do 4017 (neste caso, a entrada do 4017 é ligada à saída X da chave óptica esquematizada na Fig. 8 do artigo anterior [1]). Com

a passagem da 1ª haste, a saída X da chave óptica é levada momentaneamente para o nível alto e um pulso é injetado no clock do 4017. Conseqüentemente, S_0 retorna para o nível baixo (LED verde apagado), enquanto S_1 é levada para o nível alto. Como esse sinal é invertido após atravessar a porta NOT, o 1º contador dispara, isto é, inicia a contagem dos pulsos (de 1 kHz) que estão sendo enviados pelo oscilador para seu clock. Quando a 2ª haste bloquear a radiação, um 2º pulso será injetado no clock do 4017 e a contagem será interrompida porque S_1 volta para o nível baixo, enquanto S_2 é levada para o nível alto (LED vermelho aceso). A descrição do que acontece quando o carrinho passar novamente pela chave óptica após a colisão com a mola é semelhante; o 3º pulso injetado na entrada do 4017 dispara o 2º contador e o 4º paralisa a contagem. As leituras indicadas no 1º e no 2º contador correspondem, em milissegundos, aos tempos t_1 e t_2 , respectivamente.

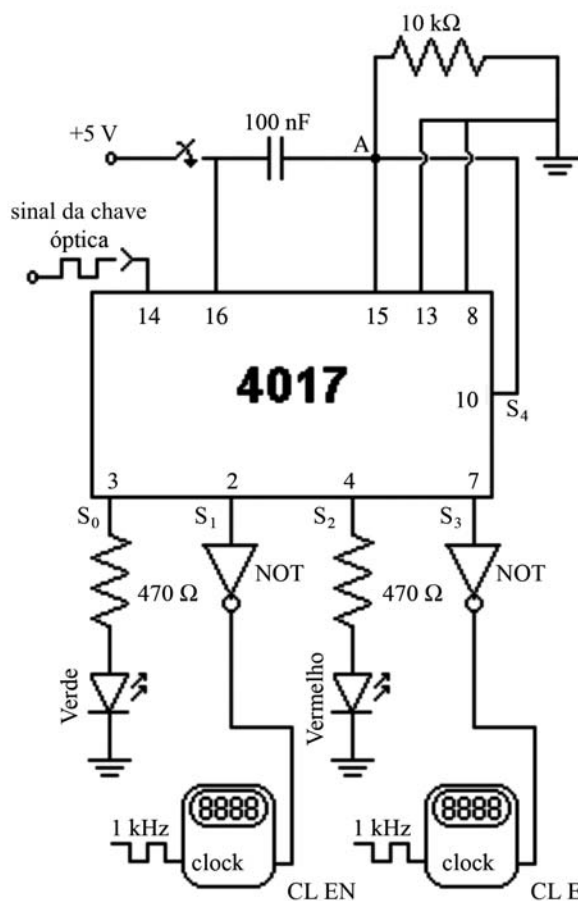


Figura 7 - O CD4017 configurado para acionar seqüencialmente dois contadores.

3.1. Aplicação - colisões entre dois carrinhos num trilho de ar

Nesta experiência, vamos determinar as velocidades de dois carrinhos deslocando-se um trilho de ar horizontal, antes e depois de colidirem frontalmente. Como num trilho de ar os carrinhos se movimentam sobre uma

mesma reta, podemos escrever, usando o princípio da conservação da quantidade de movimento, que

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v'_1 + m_2v'_2, \quad (1)$$

onde m_1 e m_2 são, respectivamente, as massas dos carrinhos 1 e 2, v_1 e v_2 suas velocidades antes da colisão e v'_1 e v'_2 suas velocidades após a colisão. A partir dessa relação, resulta também que $m_1(v'_1 - v_1) = -m_2(v'_2 - v_2)$ ou que

$$m_1\Delta v_1 = -m_2\Delta v_2. \quad (2)$$

O objetivo desta experiência é comparar $m_1|\Delta v_1|$ com $m_2|\Delta v_2|$ para verificar se a quantidade de movimento total do sistema constituído pelos dois carrinhos realmente se conserva na colisão.

Para esta experiência, usamos duas montagens como aquela mostrada na Fig. 7 e duas chaves ópticas (1 e 2). Com a 1ª montagem, medimos os tempos (t_1 e t'_1) de passagem do carrinho 1 pela chave 1, e com a 2ª, medimos os tempos de passagem do carrinho 2 pela chave 2. A distância d_1 entre as hastes do carrinho 1 e a distância d_2 entre as hastes do carrinho 2 mediram, respectivamente, $d_1 = 33,30$ cm e $d_2 = 21,35$ cm.

As Tabelas 1 e 2 a seguir ilustram o conjunto de resultados obtidos para duas colisões típicas.

Tabela 1 - Colisão entre dois carrinhos movimentando-se um contra o outro. O carrinho maior tem massa $m_1 = 601,2$ g e o menor, massa $m_2 = 397,7$ g.

t_1 (ms)	832
t'_1 (ms)	1116
$v_1 = d_1/t_1$ (cm/s)	+40,0
$v'_1 = d_1/t'_1$ (cm/s)	-29,8
t_2 (ms)	438
t'_2 (ms)	374
$v_2 = d_2/t_2$ (cm/s)	-48,8
$v'_2 = d_2/t'_2$ (cm/s)	+57,1
$m_1 \Delta v_1 $ (g.cm/s)	$(4,20 \pm 0,03) \times 10^4$
$m_2 \Delta v_2 $ (g.cm/s)	$(4,21 \pm 0,02) \times 10^4$

Tabela 2 - Colisão de um carrinho contra um outro parado. O carrinho parado tem massa $m_1 = 701,4$ g e o outro, massa $m_2 = 397,7$ g.

t_1 (ms)	0
t'_1 (ms)	809
$v_1 = d_1/t_1$ (cm/s)	0
$v'_1 = d_1/t'_1$ (cm/s)	+41,2
t_2 (ms)	370
t'_2 (ms)	1406
$v_2 = d_2/t_2$ (cm/s)	+57,7
$v'_2 = d_2/t'_2$ (cm/s)	-15,2
$m_1 \Delta v_1 $ (g.cm/s)	$(2,89 \pm 0,02) \times 10^4$
$m_2 \Delta v_2 $ (g.cm/s)	$(2,90 \pm 0,02) \times 10^4$

Os resultados mostram que $m_1|\Delta v_1|$ e $m_2|\Delta v_2|$ são praticamente iguais; a diferença porcentual entre os dois valores é menor que 0,5% em ambos os casos. Se levamos em conta o erro experimental, podemos afirmar que a quantidade de movimento linear do sistema conservou-se na colisão.

4. Conclusões

Nós oferecemos uma alternativa àqueles que necessitam medir mais de um intervalo de tempo, em rápida sucessão, mas não dispõem de um cronômetro digital com memória, que seria o instrumento indicado para tais situações. A alternativa consiste em utilizar um medidor para cada intervalo a ser medido, juntamente com algum dispositivo eletrônico que permita acioná-los um após o outro. Mostramos como isso pode ser feito por meio de CD4017, que é justamente um integrado que nos permite realizar seqüencialmente operações de vários estágios. A título de ilustração, a montagem proposta foi utilizada para determinar as velocidades de dois carrinhos, deslocando-se num trilho de ar, antes e após sofrerem uma colisão frontal. Para isso, usamos 4 contadores alimentados por uma base de tempo comum (a saída de 1 kHz de um oscilador a cristal). Se, para essas experiências, usássemos 2 cronômetros comerciais, com memória, o custo para realizá-las ficaria no mínimo 10 vezes maior que a quantia gasta (menos que R\$ 200,00) para montar os 4 contadores e mais a base de tempo comum. Do ponto de vista do custo, a alternativa proposta é, portanto, perfeitamente viável.

Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com apoio da FAPESP, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Proc. 00/03753-0 e Proc. 00/03742-8) e de nosso funcionário Saulo R. Canola na elaboração dos desenhos.

Referências

- [1] R. Hessel, C.S. de Oliveira, G.A. Santarine e D.R. Vollet, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **30**, 1501 (2008)
- [2] N.C. Braga, *Circuitos & Soluções* (Ed. Saber Ltda, São Paulo, 2006), 1ª ed., n. 1, p. 89.
- [3] N.C. Braga, *Curso de Eletrônica Básica* (Ed. Saber Ltda, São Paulo, 2001), 4ª ed., p. 224-225.
- [4] Para informações adicionais, visite o site www.datasheet4u.com.
- [5] N.C. Braga, *Saber Eletrônica* **271**, 65 (1995).