

一个新奇的测时方法

孟 烈

时间测量早已是核物理和高能物理试验的一个重要课题了。物理学家要想鉴别粒子、判选事例、作径迹定位以及测量激发态寿命等，都必须很精确地测量时间。

近年来，随着高能探测器之一——漂移室的应用和发展，要求测量数以千计甚至万计的时间间隔，这样，降低测时器件的造价和功率消耗以及提高其测量性能（稳定性、可靠性、低时间分辨及高重复测量的能力等）和增加安装密度都是十分重要的。为此很多电子学工作者作了大量的研究工作，有毫微秒分辨能力的时间测量方法正在生机勃勃地发展着。在这时间测量方法的百花园中，由 C. Rubbia 所提出的“单稳态时间扩展法”特别吸引着大家注意。

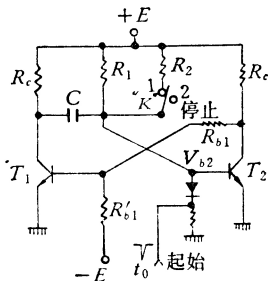


图 1(A)

下面介绍这个方法的原理、性能及应用，请看图 1(A)。

在单稳电路的定时电阻上用了—个开关“K”，在正常状态“K”接通电阻 R_2 ，使 R_2 与 R_1 并联。在此电路中， $R_1 \gg R_2$ 。

当待测时差的“起始”信号到来时，使单稳电路触发，其暂稳态时间为： $t_T - t_0 = RC \cdot \ln 2$ （此计算中忽略了 T_2 管发射结电压降，但这样作并不影响计算结果）。此处， $R = R_1 // R_2$ 。

假如在暂稳态结束之前的某瞬间如 t_1 ，待测时差的“停止”信号到来，它使“K”跳到“2”的位置，即断开 R_2 ；由于 R_1 远大于 R_2 ，故此电容 C 的充电电流大为减小，暂稳态终止时间也就大大地向后推迟了，假定在 t_s 瞬间才结束。

由图 1(B) 的波形图，可以推算出 $(t_s - t_T)$ 与 $(t_T - t_1)$ 之间的关系。

计算过程如下：在 $t_0 - t_1$ 段， T_2 基极波形作为时间的函数，可用下面的式子来描述：

$$V_{b2}(t - t_0) = -E + 2E(1 - e^{-(t-t_0)/RC})$$

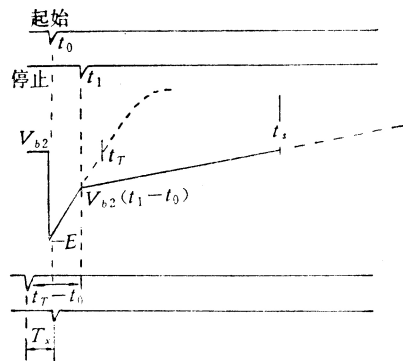


图 1(B) $\therefore t_T - t_1 = (t_T - t_0) - (t_1 - t_0)$,
 $T_X = (t_T - t_0) - (t_1 - t_0)$;
 $\therefore T_X = t_T - t_1$.

$$\therefore V_{b2}(t - t_0) = E - 2E \cdot e^{-\frac{t-t_0}{RC}} \quad (1)$$

而在 $t = t_1$ 瞬间， T_2 基极

$$V_{b2}(t_1 - t_0) = E - 2E \cdot e^{-\frac{t_1-t_0}{RC}} \quad (2)$$

此后，在 $t_1 - t_s$ 之间， T_2 基极波形可用下式来描述：

$$V_{b2}(t - t_1) = E - [E - V_{b2}(t_1 - t_0)] \cdot e^{-\frac{t-t_1}{R_1 C}} \quad (3)$$

由 (2) 式可知：

$$E - V_{b2}(t_1 - t_0) = 2E \cdot e^{-\frac{t_1-t_0}{RC}} \quad (4)$$

把 (4) 式代入 (3) 式，得到：

$$V_{b2}(t - t_1) = E - 2E \cdot e^{-\left(\frac{t-t_0}{RC} + \frac{t-t_1}{R_1 C}\right)} \quad (5)$$

而在 $t = t_s$ 瞬间，在同样地忽略了 T_2 管发射结电压降的情况下， $V_{b2}(t_s - t_1) = 0$ ，即暂稳态终止，则由 (5) 式可得：

$$(t_1 - t_0)/RC + (t_s - t_1)/R_1 C = \ln 2 \quad (6)$$

用 RC 乘以上式，则得：

$$(t_1 - t_0) + R(t_s - t_T)/R_1 = t_T - t_0$$

由上式可推出：

$$t_T - t_i = R(t_s - t_T)/R_1 \quad (7)$$

把 R_1/R 定为扩展倍数, 它通常从几十到几百, 由 (7) 式容易看出在时间差 $(t_s - t_T)$ 与 $(t_T - t_i)$ 之间有简单的线性关系。在用较慢的时钟脉冲测出被扩展了的 $(t_s - t_T)$ 之后, 再除以扩展倍数就可以得到短时差 $(t_T - t_i)$ 之值。

如果把待测时差的“停止”信号用作单稳电路的触发信号, 而把“起始”信号延迟一个等于 $(t_T - t_0)$ 的时差之后去拨动开关“K”, 使断开电阻 R_2 , 由图 1(B) 可以看出, 在此种情况下, 待测的时间差 $T_X = t_T - t_i = R(t_s - t_T)/R_1$ 。

据 A. L. Sessoms 等人介绍, 在漂移室读出系统中, 他们已成功地用了这种测时电路。除了用 TTL 集成单稳态外, 他们还用了 ECL 电路作单稳态扩展器, 后者的扩展倍数用了 400 倍, 其时间分辨为 0.5 ns。

F. Ceradini 等人也介绍了他们在漂移室读出系统中所用的单稳态扩展器。图 2 给出了他们所用的 3360 个测时道中的一道的电路和波形图。

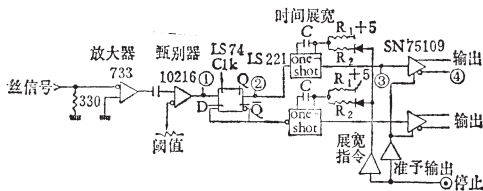


图 2(A) $T = \ln 2 \cdot (R_1 // R_2) \cdot C = 1.5 \mu s$,
 $C = 470 p$, $R_1 = 75 k$, $R_2 = 5.11 k$

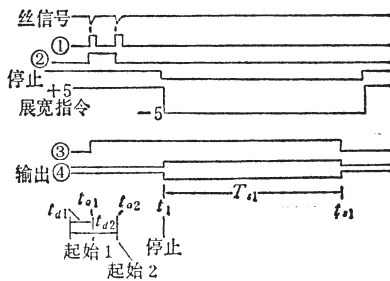


图 2(B) $T_{S_1} = SF \cdot t_{d_1}$, $SF = R_1/(R_1 // R_2)$

其工作过程如下:

当漂移室的丝信号到来时, 经视频放大器 733 放大 80 倍后, 再经线接受器 10216 甄别成型, 然后送到 T 触发器 LS74 去, 由其上升沿使 T 触发器置位; 而该触发器的 Q 端正跳变又触发“单稳 1” SN74LS221, 使之处于暂稳态; 在一线路恢复时间之后, 假如在同一根丝上又来第二个信号, 则它复位 T 触发器; 则在复位瞬间, 该触发器的 \bar{Q} 端正跳变又使“单稳 2”处于暂稳态。

而作为测时间的“零参考信号”, 经延迟一个等于单稳态的暂稳态时间之后, 给出“停止”信号, 该信号经电平变换后作为“展宽指令”信号, 而该信号一到, 即由 +5 伏跳到 -5 伏, 立即切断所有各道的 R_2 通路, 使暂稳态时间被扩展。通过测得被扩展了的长时差 $(t_{s_1} - t_i)$ 或 $(t_{s_2} - t_i)$, 则在除以扩展倍数之后, 就得到了在同一丝上先后来的两丝信号分别与“零参考信号”之间的时差 t_{d_1} 与 t_{d_2} 了。

根据物理试验的要求, 他们系统的时间分辨分别选了 6.4 ns 和 13.5 ns, 而其线性好于 0.5%。

与常用的恒流充、放电型时间扩展器相比, “单稳态时间扩展器”的突出优点是用现成的集成单稳电路, 线路简单, 用元件少、功率消耗小、造价低并且易于装成混合集成电路, 这对于要求测量成千上万个时间的情况下, 上述的特点是极其可贵的。但要求时间分辨为几十或几个微微秒时, 还只好求助前者或其他原理的测时方法。

随着漂移室读出电路的研究和发展, 这种“单稳态时间扩展器”必将更臻完美。

考 参 资 料

- (1) NP Internal Report 75-10, C. Rubbia.
- (2) IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-25 (1978) No. 1, 38-45
A. L. Sessoms et al.
- (3) Nucl. Insty. and Meth. 156 (1978). 171-179, F.
CeraDini et al.

(题头设计: 陈世铮)