

## 微机控制的 Boxcar 积分器

孙炳荣

(中国科学院上海分院测试计算中心)

在毫微秒或亚毫微秒时间分辨的重复模拟波形的生物、化学、物理等实验中,对于毫微秒或亚毫微秒波形的观察,常用照相取样示波器,或高速实时示波器。如果波形全被随机噪声淹没,或者是一个准重复信号,那末这种方法有着较大的局限性。在这种情况下,为了从噪声中提取信息,某些类型的信号平均器能满足这一要求<sup>[1]</sup>。通常这种类型的信号平均器多数装有 A/D 转换的多道分析器。这些系统的时间分辨限制在微秒量级,价格也十分昂贵。近十年来,为了测定快速重复波形,一种完全模拟仪器,称之为 Boxcar 积分器的技术有了发展<sup>[2,3]</sup>。在这类仪器中,快波形被缓慢移动的取样点沿着时间轴扫描,一个取样信号的选通积分器执行平均功能。如果采用快速采样头,这一系统可获得上升时间达几十微微秒。尽管如此,模拟仪器仍避免不了若干限制,如放大器的增益、零电平漂移,使用长的积分时间常数的困难,以及颤噪效应等。为了克服这些限制,通常使用数字技术。在这一数字技术中,使用取样示波器作为快速采样单元,示波器的慢输出信号以不同方式数字化,在专门组成的逻辑线路控制下,借助多道分析器进行储存和平均,结果良好<sup>[4]</sup>,然而系统结构复杂,价格也太贵。本文叙述由一个高速采样头,信号放大系统,以及 Z-80 单板机,适量的外围设备组成的 Boxcar 积分器(下称系统)。该系统结构简单,操作灵活,价格便宜。系统的时间分辨依赖于采样头。

### 一、系统的工作原理

见图 1,图中快速采样及放大单元相同于

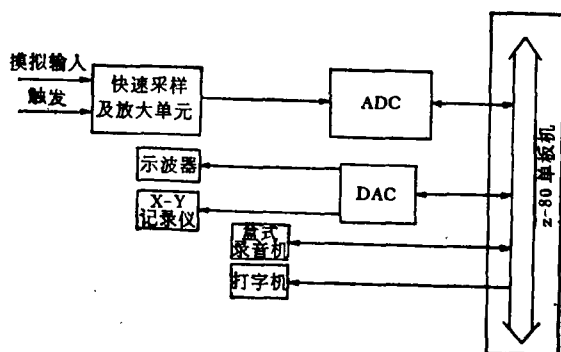


图 1 Boxcar 积分器方框图

一台取样示波器,它从每次重复的信号源中取样,显示屏上重构的波形由不同时间取样输入形成。当每个相继触发脉冲由信号源获得时,取样产生。取样时基扩展由触发到取样的延迟时间获得。取样电压由取样单元中模拟存储回路保持,直至接收到下个触发脉冲。因此这一单元的输出是输入重复快波形的一个“慢”拷贝。这一慢拷贝波形,借助 A/D 转换器数字化。数字化数据储存在数据存储器中。存储单元地址与取样时间位置之间保持一一对应。

在高速取样单元中,控制相对于触发的取样延迟可以用外参考电压,或用高速取样电路中的斜坡驱动(也可以是内部阶梯波驱动)来完成。如果采用外参考电压驱动,则产生取样的时间窗由控制键来确定,在这时间窗内的取样位置线性地依赖于外参考电压。在本系统中,外参考电压由扫描单元的 D/A 转换提供。由 D/A 转换提供的是一个阶梯电压,触发信号每重复一次就上升一步,步数等于在时间窗内的取样数,而每一步的幅度正比于两次相继取样的时间延迟的增加。为了提高瞬变波形的时间

分辨,可以增加时间窗内的取样数,如果采用斜坡驱动,每次触发产生一个相继的重复信号,由操作程序直接引入装在系统中的时序存储器。每次扫描取样密度可以由控制键盘键入。

为了提高信噪比 ( $S/N^*$ ),使输入信号进行自动重复扫描,将每次扫描第  $n$  次取样数字化值加到第  $n$  个存储单元的先前内容中。以多点快扫描为基础的这种平均方法,对于缓慢的伪信号(如光解离过程、激光强度漂移等)的敏感性要比以单点慢扫描为基础的平均方法低,并且在相同实验周期内,前者的信噪比要比后者高  $N$  倍( $N$  为取样分割点)。如果纯随机噪声存在于信号之中,那末对于  $n$  次扫描的累加,得到  $S/N^*$  的增益为  $\sqrt{n}^{[5]}$ 。

用上述方式积累的数据,以三种形式输出:  
(1) 将储存在存储器中的数值与它的存储器地址一起成对地馈入两个 D/A 转换器,恢复数字信号为模拟信号,并显示于 X-Y 记录仪;(2) 经 CTC 的第二通道,将存储器中的数值转存于盒式磁带,以便进一步处理;(3) 用专用接口,将结果用打字机打印输出。

系统控制由 Z-80 单板机的一组键盘来执

行。通过键盘输入所有实验置位,控制变换器(ADC, DAC),执行数字平均,监视连续显示波形,以及保存实验结果,转移实验数据等。

## 二、系统硬件配置

见图 2,系统由单板机、输入、输出回路,以及两个接口回路等组成。在单板机中的 Z-80 CPU (工作在时钟频率 2MHz) 是支持系统工作的“心脏”,它完成整个系统的处理功能,并为系统中其它电路提供定时基准。2K 监控程序用于整个系统的控制,装卸用户程序,编程等,2KEPROM 存储系统固定的处理程序。输入输出板 IOB 包含有三个平行输入输出(每个口包含两个不相关的 8-bit 口子),其中一个口用于输入通道,另外二个口用作输出通道,4K RAM 用于存放需要处理的数据。

在输入回路中,主要有两部分组成,(1) 高速取样门及信号延长、放大系统。高速取样门由四个 2ECK 组成桥式取样门,取样门由取样脉冲发生器开启,当取样门开启时,输入信号向取样电容  $C$  充电,并经低频放大器放大后进入延长门电路,最后再放大到足够的电压,送入

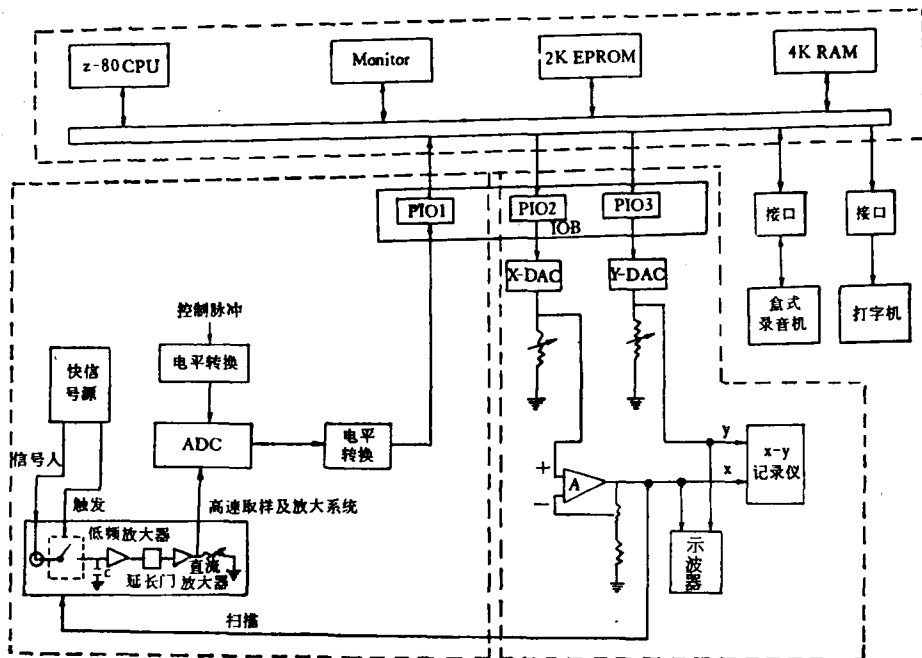


图 2 系统硬件配置图

A/D 转换。低频放大器及延长门结构原理见参考文献[6]。在工作时,输入的取样密度和重复频率,用户可用键盘作为常数输入;(2) A/D 转换器,由 5G7520D/A 转换器和时序发生器组成逐位比较式十位模数转换器,转换速度接近 50KC/S,可测量电压 0—5V。A/D 转换器的启动,向 PIO1 送数、以及 CPU 从 PIO1 取数,都由写入控制寄存器的控制字安排。经 A/D 转换后累加值的总和存储于 2 个单元的 RAM 中,因此对于  $2^{14}$  的累加值不会产生溢出。输入回路中的电平转换器分别是 5G876、J330。

在输出回路中,使用两个口 PIO2, PIO3, 分别与 10bit 的 X-D/A、y-D/A 转换器对接, D/A 转换器经运算放大器 A 后输出,一路馈入示波器,监视累加过程的波形变化,另一路馈入 X-Y 记录仪显示平均结果,还有一路送高速取样单元,提供取样延迟用的外参考电压(即图 2 中表示的扫描信号)。示波器显示、或 X-Y 记录代显示的选择、以及 X、Y 抬笔、落笔控制都由写入控制寄存器的控制字来控制。

系统还设有供用户使用的盒式磁带记录和打印输出的接口。

### 三、软件结构

为了操作灵活、实验数据联机显示,提高执行速度,减少存储器占用的空间,系统操作程序用汇编语言编写、符号指令约 300 条,目标编码约 2K EPROM。软件分主程序、中断服务程序, X-Y 输出子程序, X、Y 坐标规格化等子程序。主程序流程示于图 3,其主要功能是重置标记, Buffer 清零,编程外设,以及数据存储器置零。这部分的程序结构可分成输入、输出部分,输入部分(虚线框以上)通过键盘输入常数(如叠加次数  $M$ , 分点  $N$ )后,开放中断,并等待中断来到,当中断一进入,就转入中断处理子程序(图 4)。子程序执行状态寄存器的输入,并且由数据寄存器转移数据进入 RAM,执行数据累加。若  $n$  表示第  $n$  个动态分点,  $m$  表示动态点第  $m$  次重复,则数据累加执行到  $n = N, m = M$  结

束。在这以后数据寄存器中的数据再也没有用了。主程序键入的常数  $M$ ,可以由几十次增加到几百次,并且通过设置断点无限制的增加(但不能使叠加数超过二个 8bit 单元),键入的常数  $N$  可以在 256、512、1024 中任意选择。

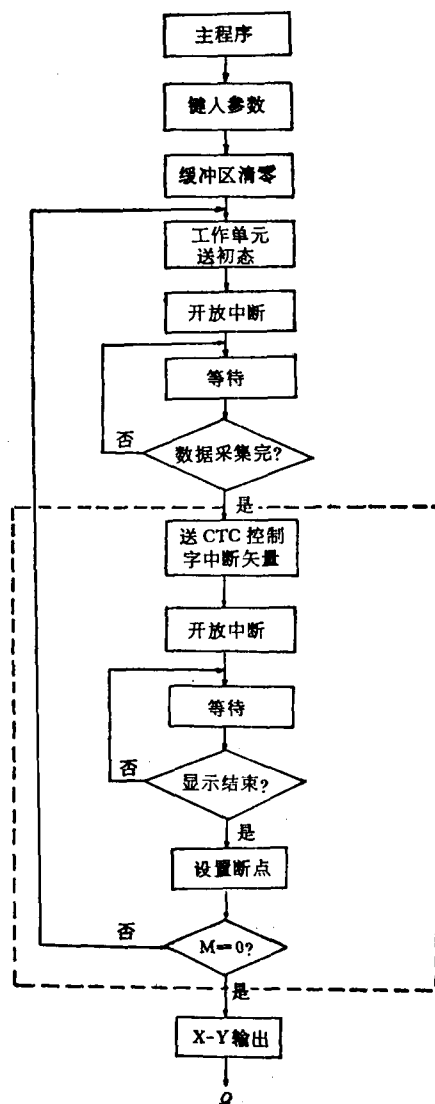


图 3 主程序流程

由于系统中采用 10bit 的 A/D 转换输入,如果数据在较大范围上扫描累加,那末应该考虑十六位字长的计算。为了这一目的,数据累加以双精度方式进行,用 1KRAM 留作高位字,扫描结束(即  $m = M, n = N$  时),用合适的若干移位指令,把累加值恢复成单精度格式。在上述工作方式中,数据累加需要的最大内存

为 2K。

输出程序的流程图也示于图 3 中(虚线框下面,包括虚线框)。这一程序执行输入状态寄存器的输出,并且从 RAM 中把数据移到数据寄存器,供作图或打印输出,作图显示由示波器和 X-Y 记录仪完成。它们分别在专门编制的中断服务程序控制下工作(程序流程图略)。打印输出也由一个专门子程序控制完成。

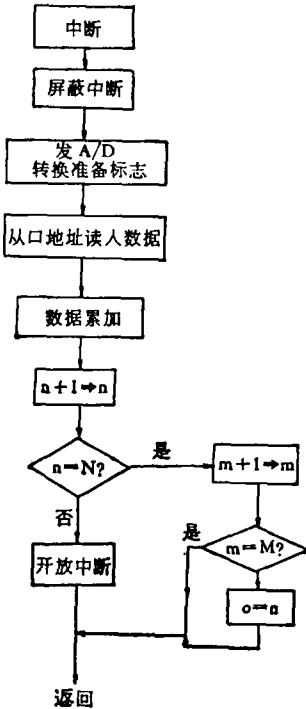


图 4 子程序流程

#### 四、应用结果

上述系统对于处理快上升的重复脉冲信号极有用,如将毫微秒脉冲比例荧光计,与本系统连接时,可以获得生命现象原初过程的能量传

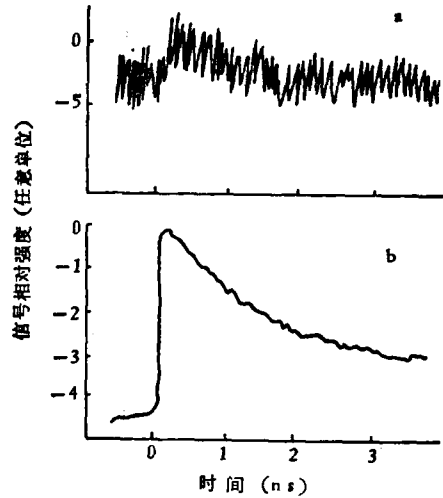


图 5 发光衰减曲线

递转化的信息。图 5 是光合作用系统中的体内色素激发态衰减曲线,图 5(a) 是单次激励的发光衰减曲线,  $S/N \approx 1$ , 信号几乎全被噪声淹没,图 5(b) 是进行近 7000 次线性累加后的同一样品的发光衰减曲线,  $S/N^* \approx 20$ , 所需要的信息从噪声中抽提出来了。所以说本系统对快信号、弱信号检测具有特殊功能。

#### 参 考 文 献

- [1] Zin, W. A. and Oswald-Cruz, E.: *Int. J. Bio-Medical Computing*, 12, 149, 1981.
- [2] Baded, N. G. and Georgiou, S.: *Rev. Sci. Instrum.*, 47, 314, 1976.
- [3] Suzuki, R. et al.: *Rev. Sci. Instrum.*, 52, 287, 1981.
- [4] Chapman, L. T. and Williams, O. M.: *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 8, 915, 1975.
- [5] Schwartz, M.: *Information Transmission, Modulation, and Noise*, (McGraw Hill, New York 1959).
- [6] 上海无线电 21 厂:《SQ-12A 取样示波器说明书》

[本文于 1982 年 11 月 3 日收到]

#### 会议简讯

#### 国际细菌质体会议将在美国举行

1984 年 5 月 14 日日在美国伊利诺斯州厄巴拉举行这次学术讨论会。会议特邀世界著名科学家出席。

第一天全体大会(主席 I.G. Gunsalus, 英国),接着是分组活动,或专题报告。分成七个组进行活动,(1)结构与功能(主席 J. Shapiro, 美国, I.V. Domaradski, 苏联);(2)、(3)、复制,不相容性和分配(partition)(主席

S.N. Cohen, 美国, D. Helinski, 美国, K. Nordstrom, 瑞典, R. Pritchard, 英国);(4)、(5)、质体转移(主席 D. Clewell, 美国, D. Hopwood, 英国, D. Sherratt, 苏格兰, N. Willells, 澳大利亚);(6)、(7)、特定功能(主席 A. Chakrabarty, 美国, R. Clowes, 美国, D. Jackson,

(下转第 80 页)