

# 中国实验快堆物理启动数据采集系统的研制

仇春华, 李兴

助理工程师, 研究员

中国原子能科学研究院

**应用领域:** 核测量

**使用的产品:** PCI-6602, LabWindows 6.1

**挑战:** 该系统要求实时监测核脉冲信号的频率, 并能按照设定时间间隔连续监测各时间间隔的核脉冲个数。由于核脉冲具有随机性大、局部频率高的特点, 要求测量硬件具有较高的响应速度, 同时不能采用普通的测量周期信号的办法来测量核脉冲的频率, 必须利用硬件的特点开发新的测量算法。另外, 要实现规定时间间隔内的连续精确测量难度较大。以上都是研制该系统时遇到的重大挑战。

**应用方案:** 利用 NI 公司的 PCI-6602 硬件, 充分发挥该硬件的技术特点, 采用 LabWindows 6.1 开发出符合用户要求的软件, 最终实现三个核脉冲通道的计数率实时监测以及规定时间间隔内的连续精确测量。

**文章摘要:** 该文介绍了利用 NI 公司的 PCI-6602 硬件以及 LabWindows 6.1 开发环境研制的中国实验快堆物理启动数据采集系统的基本原理, 实现了三个核脉冲通道的计数率实时监测以及规定时间间隔内的连续精确测量, 克服了主要的技术难点, 取得了满意的技术指标, 达到了设计要求。

## 1. 设计要求

中国实验快堆物理启动数据采集系统是在中国实验快堆物理启动阶段必不可少的系统, 它通过安装在堆芯中的中子探测器实时监测堆芯中子强度的变化来了解物理启动过程中的参数变化, 从而为物理启动的有序控制提供重要依据。该系统一共有 3 路核脉冲输入通道, 采用 BNC 插头, 接口电平为 5V/TTL 电平, 核脉冲的最大计数率为  $5 \times 10^6$ 。以时间为横坐标, 计数率为纵坐标, 以三种颜色曲线动态显示 3 路核脉冲计数通道的计数率实时变化。三个通道的曲线可以根据用户意愿决定单独显示某一路, 某两路或三路同时显示。要求用户可以在软件面板上设置计数时间间隔和采集计数的个数, 可以随时启动 3 路核脉冲输入通道多个连续时间间隔内脉冲个数的精确测量, 其中前后两次时间间隔测量要实现无缝连接, 即不允许有任何测量中断。

## 2. 技术方案

考虑到该应用主要是需要对核脉冲进行计数处理, 因此我们选择 NI 公司的 PCI-6022 作为硬件, 该计数卡具有 8 个计数通道, 每个通道之间能够通过内部总线实现同步操作, 各通道的最大计数频率可以达到  $2 \times 10^7$ , 从硬件指标上完全满足该应用的需求。我们选用 LabWindows 6.1 作为软件开发环境, 它提供的 Traditional DAQ 函数库支持对 PCI-6022 的操作, 因此方便了程序设计。

该应用主要需要实现两个主要功能, 一是实现 3 路核脉冲输入通道的计数率的实时监测, 二是实现 3 路核脉冲输入通道多个连续时间间隔内脉冲个数的精确测量。其中第一个功能实际上是需要监测 3 路核脉冲的频率, 而 DAQ 函数库中提供了求脉冲宽度和脉冲周期的函数, 似乎利用求得的脉冲周期很容易算出脉冲的频率, 第一个功能可以轻易的实现。但事实并非如此, 测量脉冲周期的函数只适合周期信号测量, 对于随机性较大的核脉冲信号它的测量是不准确的, 这是因为它主要依靠最近两次脉冲间隔来估计脉冲频率的, 利用随机出现的最近两次核脉冲间隔来估计核脉冲的计数率显然会以偏概全。因此, 必须设计新的测量原理。经过分析发现, PCI-6022 分别具有产生指定宽度的脉冲和在参考脉冲下计数的功能。如果能将这两种功能很好的结合起来, 利用一个通道产生宽度为 1 秒的脉冲, 并将该脉冲引入另一个通道作为参考门信号, 使该通道在该门信号范围内计数, 则该计数结果即为该通道输入的核脉冲的计数率。利用该原理监测到的计数率能够取得非常高的精度, 因为它是直接根据计数率的定义(单位时间内的计数)来进行监测的。利用该测量原理监测 3 路核脉冲的计数率一共需要 4 个计数通道, 其中一个计数通道用于产生参考门信号, 另外 3 个计数通道为 3 路核脉冲的输入通道。下图是实现该测量原理的时序图。

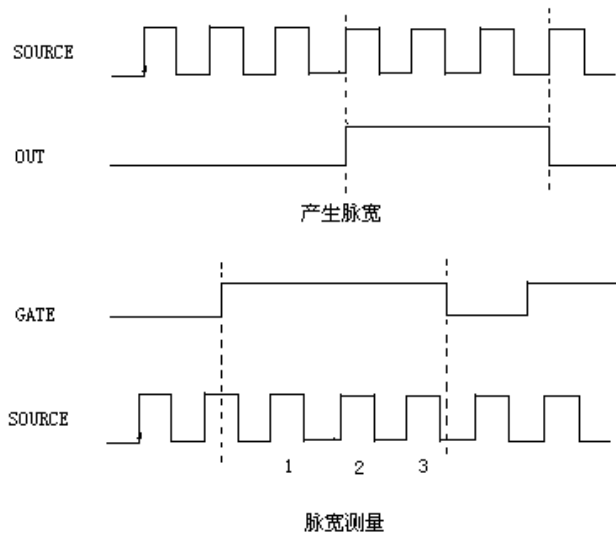


图 1 PCI-6602 产生脉宽和脉宽测量的时序原理图

第二个功能是该系统开发中的技术难点，需要实现多个连续时间间隔内核脉冲计数的不间断测量。上面介绍的测量原理可以实现一定时间间隔内核脉冲计数的单次测量，但不能实现多个连续时间间隔内的不间断测量。因此，必须为第二个功能的实现再一次寻找新的测量原理。下图显示的即是所采用的新的测量原理的时序图。

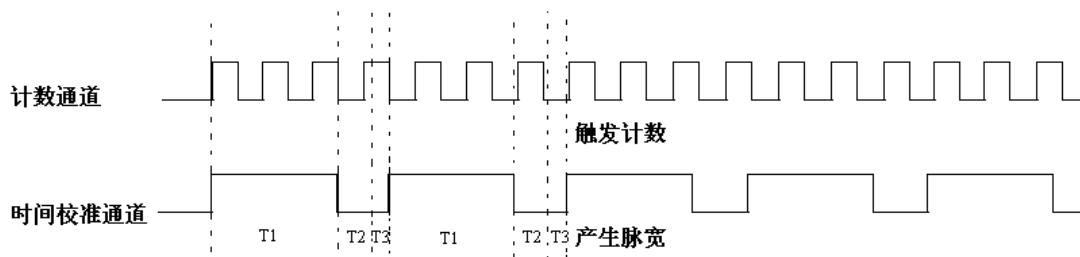


图 2 PCI-6602 实现多个连续时间间隔内计数测量的时序原理图

从图上可以看出，仍然需要 4 个计数通道来实现两种功能，其中 3 个计数通道用于接收核脉冲信号，完成触发计数功能，另外一个通道用于产生一定宽度的脉冲，起到时间校准功能。图中  $T_1$  表示需要产生的校准脉冲的宽度， $T_2$  表示判断校准脉冲产生是否结束并读出 3 个计数通道的当前计数值所需时间， $T_3$  表示从开始启动产生校准脉冲到校准脉冲实际输出的延迟时间。显然， $T_1+T_2+T_3$ =设定的时间间隔。而  $T_2$  和  $T_3$  是每次都执行相同命令的时间，因此，只要计算机的主频不变， $T_2+T_3$  就会保持不变，这样我们就可以得到  $T_1$ =设定的时间间隔- ( $T_2+T_3$ )，通过实验来刻度  $T_2+T_3$ ，最终实现多个连续时间间隔内核脉冲计数的精确测量。

### 3. 实验结果分析

为了验证以上技术方案是否满足设计要求，我们在实验室用信号发生器产生不同频率的正弦信号来模拟核脉冲信号，对该系统进行了误差分析。下面就对分析结果进行一下介绍。

首先是实时计数率监测结果，我们不断改变正弦信号频率，得到以下监测结果：当信号频率在 10k 以下时，计数率监测误差为零，而当信号频率调高至 1M 时，误差仅为 17 左右，可见能够达到很高的测量精度，完全满足了设计要求。下图是我们不断改变信号频率时得到的计数率实时监测画面。

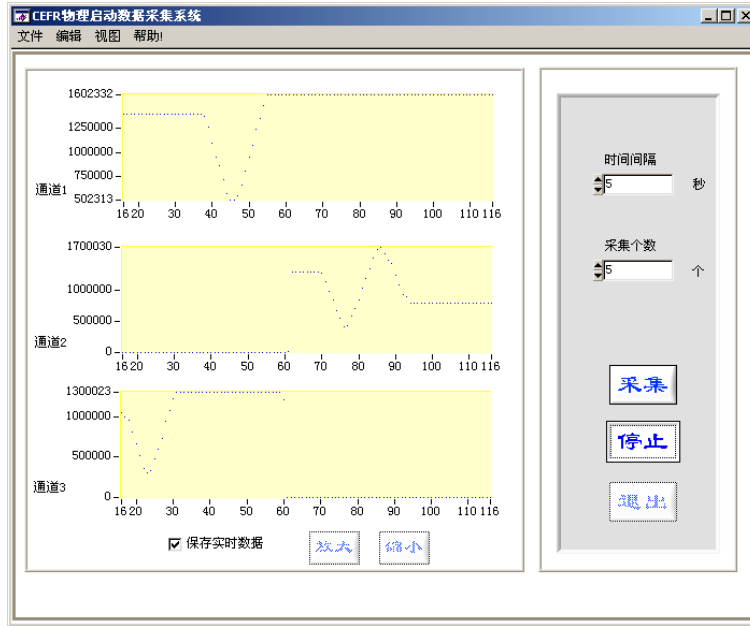


图3 实时计数率监测画面

其次是对连续时间间隔内计数测量的监测结果，达到的精度与上面的保持一致，即在信号频率为 10k 以下时，误差为零，下图是不同频率下连续时间间隔内的计数测量画面。



图4 连续时间间隔内计数监测画面（通道1：1k，通道2：10k）



图4 连续时间间隔内计数监测画面（通道1：1M，通道2：100k）

#### 4. 总结

中国实验快堆物理启动数据采集系统由于其重要性和特殊性，对系统指标提出了特殊要求，增加了系统开发的难度。我们选用 NI 公司的 PCI-6602 通用计数卡，充分发挥其特点，巧妙组合其基本功能，实现了该系统的特殊要求，取得了满意的性能指标，是 NI 数据采集产品在核领域应用中的有效尝试。