

# 计算机在物理实验中的应用

## ——数据采集系统

(中国科学院物理研究所 803 组、802 组、106 组)<sup>1)</sup>

### 一、概 述

随着计算机技术和电子技术的飞跃发展,小型计算机在物理实验中作为数据采集和数据处理,过程控制,科学计算等方面的应用也日益广泛。本文讨论小型计算机 DJS-130 如何应用在物理实验中作为数据采集。托卡马克 6\*B 的数据采集和处理系统(The Data Acquisition and Processing System-130,简称 DAPS-130)就是小型计算机 DJS-130 在等离子体物理实验中的应用。它能自动记录和分析处理物理实验中所产生的单次瞬变或连续信息,实验的结果数据可以使用面板显示、示波器图形显示、打印、穿孔或存入磁带机。例如,等离子体物理的托卡马克实验,过去往往在实验完毕后还需要几天才能得到实验数据,而采用 DAPS-130,如果将来软件配备完善之后,只要几分钟之内就可获得实验结果。而且精度也大大提高(由原来 10% 提高到 1%),从而代替了过去采用示波器照像和人工数据处理方法,节省了许多人力和物力。将来,DAPS-130 还可以闭环反馈控制该实验装置,而且还可以与大型计算机或计算机网络连接,成为网络终端卫星机的数据采集站。

DAPS-130 不仅适用于托卡马克实验,而且它是一套具有通用性的数据采集和处理系统,也可以应用于其他物理实验中。例如,它曾经应用于测量半导体激光器性能的实验中,过去需要几十分钟的实验,应用 DAPS 130 之后,只要十几秒钟就可完成,精度由原来的 1% 提高到 0.2%。

我们在进行系统设计中考虑的几个问题:

#### 1. 计算机类型的选择

根据实验数据的精度和速度,决定选购计算机的位数、容量和速度以及所要求的外部设备。根据实验的用途决定选用计算机的功能。计算机的程序中断工作方式适应于低速的过程控制和低速数据采集,重复周期一般在 ms 级。而数据通道工作方式则适应于高速

数据采集系统,重复周期一般在  $\mu\text{s}$  级。当然,应用在实时控制和采集系统中的计算机,对它的稳定性和可靠性的要求要比应用在科学计算方面高。此外,计算机所配备的软件是必须考虑的一个重要因素,否则就无法充分发挥计算机的作用。在数据处理时,一般不应要求物理实验人员熟悉计算机的符号语言、而只要懂得算法语言就可以。在科学计算中,较多采用 FORTRAN 语言。一般采集程序和控制程序使用符号语言,而数据处理程序使用算法语言较为方便。

#### 2. 采集方式的选择

在实时模拟采集和过程控制方面,采集方式一般有如下几种方法:

(1) 对于多通道模拟信号的采集过程,使用一个模数转换器配备有输入多路开关。这种方法适合于慢速的过程控制,工业自动化方面较多使用这种方法。

(2) 单通道模拟信号的串行采集方式。假设模数转换器采样间隔时间为  $t_s$ ,模数转换器(ADC)的转换时间为  $c$ ,当  $t = 0$  时,启动第一个 ADC<sub>1</sub>,在  $t = t_s$  时,启动第二个 ADC<sub>2</sub>,以此类推。在  $t = nt_s$  时( $n$  为自然数),启动第  $n$  个 ADC <sub>$n$</sub> ,所以,至少需要  $n$  个模数转换器, $n = c/t_s$ ,利用这种方法可以实现慢速的模数转换器达到快速采集方式。但是要花费较多的器材。

(3) 多通道模拟信号的并行采集过程。使用多个模数转换器同时并行采集,并且在模数转换器接口上设置缓冲寄存器,从而提高系统的采集速度。DAPS-130 是采用这种方式。

(4) 多通道的模拟存储器(模拟磁带或模拟磁盘)。首先使用它来记录多道模拟信号,然后通过单个模数转换器将模拟信号转换为数字信号存入计算机。

#### 3. 系统采样速度的确定

根据采样定理:为了使采样信号  $f^*(t)$  能完全恢复成连续信号  $f(t)$ ,则包含任何干扰在内的信号  $f(t)$  的最高有效频率必须小于采样波形重复频率的一半。

1) 许龙山执笔。

因此,由被采样的信号的最高频率(包括信号上的噪音在内)就可以确定模数转换器的采样重复频率 $f_s$ ,从而决定系统的采样速度。例如,DAPS-130系统的采样重复频率 $f_s$ 为100kHz(即 $10\mu s$ 采一点),那么,被采样的信号(包括噪音在内)的最高频率必须小于50kHz。

#### 4. 监视设备

数据采集和处理系统是一套比较复杂的综合性设备,由于系统设备的误差和外界的干扰,可能引起被采样信号的失真。因此,DAPS-130配备了存储示波器和数模转换器作为监视设备,同时也可以显示处理结果的波形。

#### 5. 实验误差的校正

为了消除系统和实验装置的某些初始值的误差,DAPS-130硬件设备具有“采零值”和“空采值”的外同

步工作方式。然后利用软件来进行实验误差的校正。根据实验的要求,选择其他必要的外部设备。

## 二、DAPS-130 的系统结构和特性

### 1. 系统的结构

DAPS-130的系统结构框图如图1所示。它是以DJS-130计算机为中心的一套数据采集和处理系统。目前,它包括两台模数转换器ADC、操作面板、数模转换器和存储示波器、输入输出缓冲器、磁带机、笔绘仪、宽行打印机、电传机、穿孔机、光电机等设备。

### 2. 系统特性

(1) DJS-130计算机目前存储容量是 $32K \times 16$ 字位,存储周期为 $2\mu s$ ,系统最多可扩充到62种外部设备。DAPS-130配备了输入输出缓冲器,增加了系统的

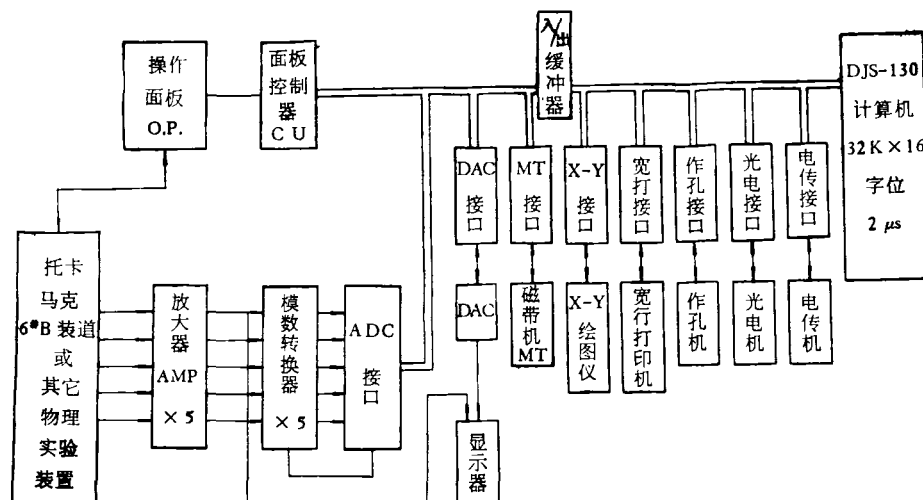


图1 自动数据采集和处理系统(DAPS-130)方框图

稳定性,减少了干扰的影响,起到了“隔离作用”。

(2) 系统允许五个通道同时采集数据(或任选某通道),每通道最高采样速度为10万次/秒。系统的精度优于1%,采样输入双极性电压不大于 $\pm 1.0V$ 。

(3) 目前系统配备两台ADC,一台是带误差校正串并型ADC-7601,另一台是放电型的ADC7501。它们均具有10位(包括符号位),转换速度为10万次/秒,精度优于1%,每台ADC还带有双通道的输入开关(A, B档)。

(4) 系统配备有操作面板部件,增加了系统的灵活性和方便性。面板设置有各种功能的按钮,供实验人员选择,而且还配有数码显示,直接提供实验数据。

(5) 系统添置了磁带机,增加了存储数据的容量,型号:ES-50/6(东德),非归零“1”制,半英寸带,带速2m/s,密度32bits/mm,带长732m。

(6) 系统设置了一台数模转换器和存储示波器相配合,可以显示图形或监视之用。数模转换器(DAC)是9位双通道T型网络,采用MOS模拟开关,补码(双通道)串行输入,最大输出 $+1020mV$ ,最小输出 $-1024mV$ 。输出部分还配有采样保持线路,能串行输入数据,并行双道输出模拟信号。

(7) 测量和处理结果可以显示在示波器上或打印、绘图、穿孔输出。

(8) 系统可以工作于数据通道或程序中断方式,在数据通道工作方式时,系统还设置了“换挡功能”。系统可以先工作于快速采样方式(每通道采样速度为10万次/秒),然后经过 $50\mu s$ 之后转入慢速采样方式(每通道采样速度为2万次/秒)。

(9) 系统软件除了DJS-130机所配备的软件之外,系统还提供了控制程序和处理程序,系统联调程序、面

板检查程序、ADC 检查程序和诊断程序、DAC 诊断程序。

### 三、系统工作原理简介

首先实验人员将“控制程序”和“处理程序”送入 DJS-130 计算机,并且用人机对话方式在电机或操作面板上填写所要求的实验参数,然后计算机处于踏步等待方式。这时操作面板的“放电”指示灯“亮”,表示 DAPS-130 的准备工作就绪,允许实验开始“放电”。在实验“放电”的模拟信号到达之前,实验装置首先送给操作面板第一个脉冲——“预置脉冲”(参考图 1 和图 2)。面板通过标志状态触发器置“1”通知主机,主机

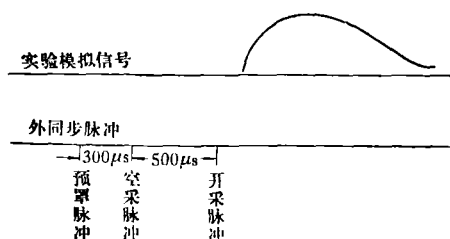


图 2 外同步脉冲和实验模拟信号的时间关系示意图(时间关系可调)

转入等待“空采样脉冲”状态,并清除该标志状态触发器。此时主机判别该次实验是否“空采样”。如果从“预置脉冲”后的  $300\mu\text{s}$  之内,实验设备送来第二个脉冲——“空采样脉冲”(即面板的标志状态触发器又置“1”),表示该次实验采集数据是含有某种杂质的“空采样”(这是根据某些特殊实验设定的)。如果在  $300\mu\text{s}$  之内“空采样脉冲”不到达,则表示该次实验采集数据是“实采样”。(有些实验不需要“空采样”)。主机判别“空采样脉冲”之后转入“采零点”数据——“采零值”。“采零值”的点数可以事先设定,但是必须在  $500\mu\text{s}$  之内完成。然后主机转入等待“开采样脉冲”。当第三个脉冲——“开采样脉冲”到达时,操作面板的标志状态触发器又再置“1”。主机接受此信息之后将 DAPS-130 置于实验模拟信号采集的工作状态,同时清除该标志状态触发器。“开采样脉冲”和实验模拟信号之间的时间间隔根据实验要求而定。由于 DAPS-130 设备定为先“快采样”后“慢采样”或整个过程全部“快采样”的工作方式,所以主机根据程序的安排,通过 I/O 缓冲器在 ADC 接口上首先建立“快采样数据通道”工作方式的初始状态。并向各个 ADC 同时发出一个“清除”脉冲,使得整个 ADC 的采样输入开关都以 A 档开始工作(目前系统中的每台 ADC 均设置有输入开关 A, B 两档),随后 ADC 接口向各个 ADC 发送“启动信号”,经过  $7\mu\text{s}$ , ADC 接口产生一个“转换结束”信号(END OF CONV),并向主机提出建立数据通道请求。再经过  $3\mu\text{s}$ ,如果没有更高级的数

据通道优先请求,则主机处于连续数据通道状态。托卡马克 6# B 要求 DAPS-130 工作在先“快采样”,后“慢采样”方式。由于 ADC 转换周期是  $9.6\mu\text{s}$ ,当 DAPS-130 工作于“快采样”方式时,ADC 接口每  $10\mu\text{s}$  同时向各个 ADC 发送一个“启动信号”,而且每个 ADC 所采集的数据都分别存入对应的缓冲寄存器(参考图 1)。DAPS-130 计算机的数据通道周期是  $2\mu\text{s}$ 。如果每个 ADC 只有一个输入通道(没有 A, B 两档),那么系统最多只能允许五个 ADC 同时并行采样工作。它们的时间关系大致如图 3 所示。主机在 5 个连续数据通道周

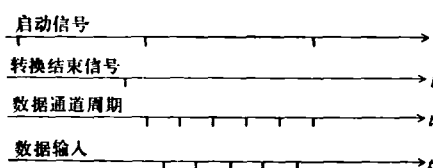


图 3 五通道连续数据输入方式的操作时间示意图( $2\mu\text{s}/\text{cm}$ )

期分别顺序取入五个 ADC 缓冲寄存器的 5 个数据。当快采样结束时,ADC 接口的字计数器溢出产生“中断请求”,主机转入执行“换档”中断服务程序,然后系统通过 ADC 接口的“换档”功能转入工作于“慢采样”的数据通道方式。当“慢采样”结束后,操作面板的“采集结束”灯“亮”,并在电传机上打出信息。为了对该系统进行监视,实验装置的实验模拟信号经过放大器,一方面送给 ADC,另一方面同时也送到存储示波器。采集结束后,如果需要把原实验模拟信号和采集信号进行比较,主机把采集数据通过“DAC 接口”送至 DAC 转换器,然后由 DAC 送到原存贮示波器和原实验模拟信号比较。如果符合要求,利用“处理程序”进行实验数据处理,处理结束后,操作面板的“处理结束”灯“亮”。处理结果可以有显示数字或图形、打印、绘图、穿孔、存入磁带等方式。采样时间选择(“快采”和“慢采”)也可以由电传问答方式或操作面板上选定。

DAPS-130 系统目前还在扩充设备。如果系统增加输入通道数和配备磁盘操作系统,该系统将能发挥更大的作用。该系统还有很多发展工作有待于进一步完善。

### 参 考 文 献

- [1] George C. Tyler, *IEEE*, NS-18-4 (1971), 100.
- [2] P. A. Thompson, D. E. Huttar, *IEEE*, NS-18-4 (1971), 106.
- [3] F. K. Bennett, J. J. Mayereck, S. Schweitzer, *IEEE*, NS-18-4 (1971), 113.
- [4] 夙卷, *エレクトロニクスダイジェスト*, 1972-10 月号, 168 号特集.
- [5] DACQ-2CTM High-Speed Data Acquisition System, Takeda Riken Industry Co., LTD. 1971.