

便携式多通道数据采集系统设计

李春春^{1,2}, 季振山¹, 张祖超¹, 李实¹, 陈小帅¹

(1. 中国科学院等离子体物理研究所, 合肥 230031; 2. 中国科学技术大学, 合肥 230022)

摘要: 在 EAST 全超导托卡马克核聚变放电实验中, 某些信号需要低功耗、便捷的进行独立同步采集与分析; 而现有大型采集系统并不能满足此需求, 所以需要设计一套低功耗的、便携式的多通道数据采集系统来保障 EAST 实验的顺利进行; 系统具有界面友好、性能稳定等诸多优点; 在 LabVIEW 软件编程环境中, 系统能够实现多达 32 路信号的同步采集、实时显示、数据存储、数据分析以及历史数据回放等功能; 经过实验测试, 该系统运行稳定可靠, 完全满足 EAST 实验的数据采集需求。

关键词: 便携式; 多通道; 同步采集; 数据采集系统; 虚拟仪器

Design of Portable Multi-channel Data Acquisition System

Li Chunchun^{1,2}, Ji Zhenshan¹, Zhang Zuchao¹, Li Shi¹, Chen Xiaoshuai¹

(1. Institute of Plasma Physics, Chinese Academy of Sciences, Hefei 230031, China,

2. University of Science and Technology of China, Hefei 230022, China)

Abstract: In the experiment of experimental advanced superconducting tokamak (EAST), it requires low power consumption, convenient to some signals for synchronous acquisition and analysis independently; but the existing large acquisition system cannot meet the demand, so need to design a set of low power consumption and portable multi-channel data acquisition system to ensure EAST experiments success. The system has many advantages such as friendly interface, stable performance etc. In the software programming of LabVIEW, the system can realize synchronous acquisition, real-time display, data storage, data analysis and historical data playback of as many as 32 channel signals. Through the experiment test, the system run stably and reliably, fully meet the demand of experiment for data acquisition.

Keywords: portability; multi-channel; synchronous acquisition; data acquisition system; virtual instrument

0 引言

EAST (experimental advanced superconducting tokamak) 是我国自行设计研制的世界上第一个“全超导非圆截面托卡马克”核聚变实验装置^[1]。目前, 在该实验装置上约有几千路物理诊断信号, 数据采集系统提供快速、准确的数据支持, 为物理实验人员的决策分析提供重要依据^[2]。

在 2014 年的等离子体放电实验中, 由于系统调试的需要, 可能要对某道信号或几道信号进行单独地采集分析。为满足以上需求, 我们采用图形化编程环境 LabVIEW 作为软件开发工具, 设计了基于虚拟仪器技术的便携式多通道数据采集系统。

该系统具有以下 4 项功能:

- 1) 集成了信号接线器、信号调理器和 A/D 转换器, 提供便携性;
- 2) 高达 100 kHz 的同步采样率、16 位的采样精度;
- 3) 提供实验数据实时显示以及历史数据回放功能;
- 4) 提供数据存储功能, 从而对数据进行深层分析和研究。

1 系统硬件设计

1.1 设计目标

在 EAST 实验装置中, 部署着几套大型采集系统单元^[2],

这些系统需要将采集信号经过传感器—信号调理—A/D 等一系列转换才能完成采集; 其次还需要提供精确的时钟信号, 以确保时钟的同步性。而在 EAST 测试放电中, 以上采集系统过于庞大, 并不适合对某些信号进行单独采集, 因此开发了便携式多通道数据采集系统。由于实验中需要对多通道数据进行采集, 从而有大量的实验数据需要存储。所以在设计时要求该数据采集系统必须具备多通道数据同步采集的能力以及数据存储的能力, 这也是该系统设计的重点和难点。

1.2 硬件系统简介

该系统的采集设备采用了 NI 公司的 Compact DAQ 系列的产品, 以下将对其硬件进行详细介绍^[3-4] (硬件选型详见表 1)。

表 1 采集系统硬件选型表

名称	型号	备注
机箱	NI cDAQ-9188	硬件
I/O 模块	NI 9215	硬件
笔记本电脑	Thinkpad T440	上位机
开发套件	NI LabVIEW	软件

1) 机箱:

机箱是采集硬件的核心, 主要实现 I/O 模块访问、测控实现, 以及向上位机高速传输数据。机箱内置的逻辑门电路、I/O 模块连接, 通过定时、触发、输入/输出和同步等操作, 实现对 I/O 模块的精确控制和数据采集。机箱和上位机之间通过 Ethernet 标准局域网通信协议实现网络通信。该系统采用的是 Compact DAQ-9188 机箱。

2) I/O 模块:

I/O 模块内置信号调理电路和驱动电源, 可直接与传感器连接, 支持热插拔。该系统采用的是 NI 9215 模块。它拥有独

收稿日期: 2014-10-24; 修回日期: 2014-12-04。

基金项目: 国家磁约束核聚变能发展研究专项(2014GB103000); 中国科学院等离子体物理研究所科学基金(Y35ETY130B)。

作者简介: 李春春(1990-), 女, 安徽桐城人, 博士研究生在读, 主要从事计算机应用方向的研究。

季振山(1963-), 男, 安徽合肥人, 研究员, 博士生导师, 主要从事计算机控制和数据采集系统方向的研究。

立的定时引擎以进行定时和同步, 可溯源至 NIST 的标准, 工作温度范围在 $-40\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间, 支持 4 路同步采样模拟输入, 还具有每通道高达 100 kS/s 的高速采样速率以及分辨率为 16 位的特点。

1.3 工作原理

在便携式数据采集系统的设计中, 该系统硬件主要由待测信号、数据采集设备和计算机 3 个部分组成 (系统硬件结构如图 1 所示)。数据采集设备的作用是将模拟的待测信号转换为数字信号并传送给计算机; 计算机上安装了相应的驱动和应用软件, 控制外围硬件有序工作, 方便用户与硬件交互, 完成采集任务, 并对采集到的数据进行后续分析和处理。系统运行时, 计算机作为上位机, cDAQ-9188 平台作为下位机, 机箱中插入 NI 9215 模拟输入模块, 它负责将同步采集到的多通道信号进行 A/D 转换, 然后经过以太网接口传送到上位机, 而上位机负责对数据进行相应的处理和存储。系统的每个组成部分都具有体积小、低功耗的特点; 整个系统便于携带, 很适合移动测试。



图 1 系统硬件结构

2 系统软件设计

在该软件系统中, 通过采用模块化设计的思想, 实现了数据的同步采集、实时显示、存储、回放等基本功能。每个功能由一个模块来实现。主要有系统参数设置、数据采集处理、实验数据存储、数据实时显示和历史数据回放 5 个模块 (如图 2 所示)。其中, 系统参数设置模块是对采集设备通道、触发模式等参数的设置; 数据采集处理模块完成对炮号的获取、采样率的设置、在不同的采集模式下所采取的动作以及对采集到的实验数据进行分析, 并以波形图的方式实时显示; 实验数据存储模块是将采集到的实验数据以 TDMS 文件的格式保存在计算机的磁盘中 (TDMS 是 LabVIEW 特有的高速数据存储方式, 保存、读取速度快, 数据组织紧凑, 操作方便、快捷); 历史数据回放模块是通过选择文件路径, 使用户在数据采集完成之后可以对任意通道的实验数据进行读取和分析, 并且可以实现动态地回放数据波形的整个过程。

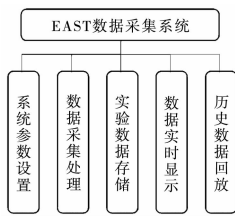


图 2 模块化设计结构图

2.1 软件设计

该系统主要完成多通道信号的采集、存储以及处理等功能。在设计时, 首先要初始化参数; 然后根据采集模式是连续采集还是有限采集来进入相应的采集状态; 在数据采集的过程中, 数据会以波形图的方式实时显示, 同时还会将采集到的数据进行存储; 采集停止后, 仍然可以返回到“开始采集”状态, 按照上述步骤进行下一轮的采集; 在采集完成后, 若需要对历史数据进行分析研究, 则可以在选择文件保存路径后对数据进行后续处理, 具体的软件流程图如图 3 所示。

2.2 软件编程实现

该系统采用基于虚拟仪器系统开发的语言 LabVIEW^[5]

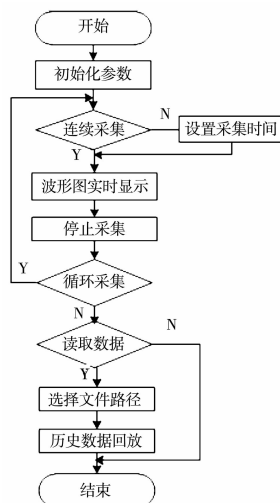


图 3 软件流程图

(Laboratory Virtual Instrument Engineering) 来编程的。所谓虚拟仪器就是以计算机为核心的硬件平台上, 其功能由用户设计和定义, 具有虚拟面板, 其测试功能由测试软件实现的一种计算机数据采集系统。LabVIEW 是一种图形化的编程语言, 它广泛地被工业界、学术界和研究实验室所接受, 视为一个标准的数据采集和仪器控制软件^[6]。LabVIEW VI 程序主要包括前面板和程序框图两个部分。前面板提供友好的图形界面, 用于人机交互, 程序框图是图形化源代码, 用于实现各种逻辑功能。

如图 4 所示是数据采集系统的核心程序框图, 其图中的主要变量定义如下。

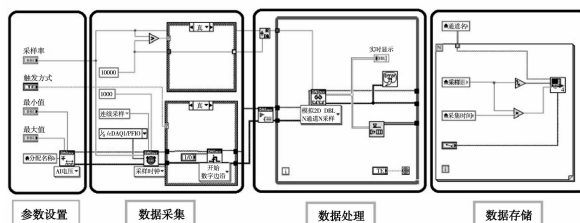


图 4 数据采集核心程序框图

采样率: 根据采集的原始信号设置合适的采样率, 为使采集到的信号能够平滑地显示, 采样率至少为原始信号的 2 倍, 本系统的采样率最大值为 100 kHz 。

分配名称: 通过使用通道选择函数 (图中未标识) 来识别外界的待测信号, 并分解得到每个通道的名称, 供创建虚拟通道时使用。

触发方式: 包括内部触发和外部触发。内部触发模式下由系统内部提供高电平触发计数器计数; 外部触发模式下, 还需要设置触发源变量, 它是通过 BNC 接口来接收外界信号, 在采集 $1\sim 6$ 秒时提供触发。

最小值/最大值: 根据原始信号的幅值来设置。

由图中可以看出, 整个采集系统主要由 4 个部分组成。首先是参数设置部分, 在该部分中, 主要是设置接入的采集设备的通道参数、信号的幅值范围来初始化系统。

其次是数据采集部分, 它是整个系统的核心, 通过设置采样率、触发参数, 利用采样时钟函数和触发函数来完成数据采集。然后是数据处理部分, 它是将采集到的实验数据进行实时显示, 可以同时显示多个通道间的波形, 通道间用不同的颜色来标识。最后是数据存储部分, 通过选择存储路径, 并调用子

函数（其功能是将数据写入 TDMS 文件中）将数据保存在计算机的相应磁盘，该部分也是相当重要的，因为后续的数据分析、研究以及历史数据的回显都是建立在数据存储的基础来实现的。

图 5 是该系统的前面板，主要分为两部分，左边是参数设置部分，右边是波形图显示部分。在左边可以设置炮号、采样率、通道配置、触发方式、幅值等参数，左下方的采集方式由连续采集和有限采集组成，当系统处于连续采集状态时，采集进度条直接充满，采集时间长度增加，直到手动点击“停止采集”；当系统处于有限采集状态时，需要设置“采集时间”变量，随着采集时间长度的增长，采集进度条开始慢慢填充，直至达到所需要的时间长度，采集进度条才会充满，然后系统会自动停止采集。在该前面板上，设置采样率为 100 kHz，采用外部触发，有限采集，时间长度为 200 s，将正弦波和方波分别接入 CH0 和 CH1 通道上。右上方的波形图是对采集到的两路信号的实时显示，分别是时间段为 20~180 s，峰—峰值为 2 V 的方波和正弦波；右下方的波形图是对上述正弦波的历史回放，可通过设置左边的“文件打开路径”参数来查看所需要的实验数据。

3 实验测试分析

3.1 台面测试

利用信号发生器产生三路信号并连接到模拟输入通道 CH0、CH1、CH2，分别是 1 kHz、2 V_{pp} 的正弦波和方波以及 2 kHz、2 V_{pp} 的正弦波，采样率为 100 kHz，采用内部触发模式，采集模式选用有限采集，采集时间长度设为 200 s，采集到的数据将以 TDMS 文件的格式存储。如图 6 所示，采集到的三路信号以不同的颜色在波形图中显示，分别是曲线 0，曲线 1 和曲线 2。由图中可以看出，三路信号均没有出现失真现象，都以平滑的曲线显示，所以该多通道数据采集系统台面测试成功。

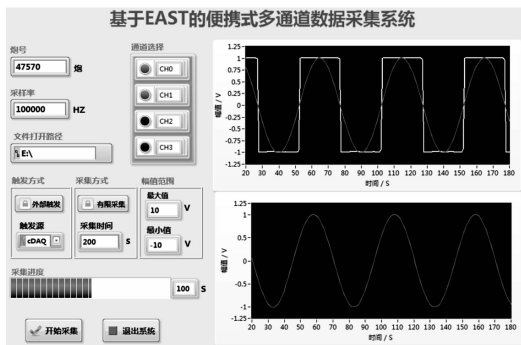


图 5 前面板示意图

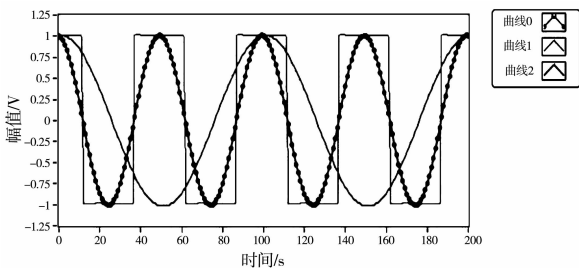


图 6 台面测试图

3.2 等离子体电流测试与分析

在成功地完成台面测试之后，我们将该整套采集系统投入到 EAST 实验中使用。首先将从 EAST 装置中牵引出来的等

离子体电流信号通过 BNC 接口连接到模拟输入模块的通道 0，并设置相关参数，采样率为 10 kHz，采集模式选用有限采集，时间长度为 30 s，在 -6 s 时通过信号发生器给系统提供外部触发，在这些参数相同的情况下，分别对炮号为 47546、47547 的等离子体电流信号进行采集，采集完成后，对实验数据进行处理，并得到如图 7 所示的波形图。从图中可以看出，两炮电流信号在 -6 秒开始采集，一直到 0 s 时，二者都开始出现等离子体电流，然后开始爬坡，在 2 s 左右达到平顶。在 7 s 之前，二者的电流信号相互吻合，但在 7.3 s 左右，第 47546 炮（浅色）电流出现破裂，而第 47547 炮（深色）则完成了接入点的平稳过渡，此时我们就需要分析等离子体破裂的原因。等离子体破裂^[7]是指放电突然在很短的时间内破坏、终止，而破裂的主要原因有等离子体扭曲模（撕裂膜）的迅速发展、位移不稳定性等等。根据以上原因，再结合采集的实验数据，分析此次等离子体破裂的原因，并采取相应的措施给予解决。

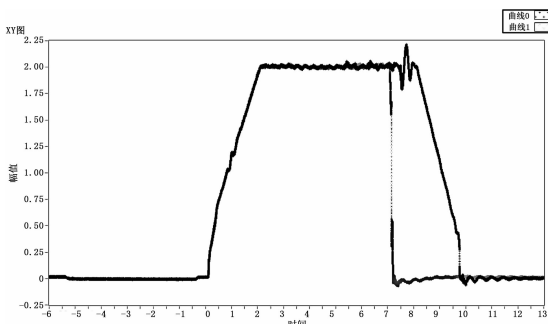


图 7 等离子体放电测试图

4 结论

本文主要介绍了基于 EAST 的便携式多通道数据采集系统的设计与实现过程，该系统具有低功耗、便携性、长期监测、交互性良好、配置灵活、可扩展性好等特点；同时该系统以高达 100 kS/s 的采样率，16 位的高精度实现了对多达 32 路信号的同步采集、实时显示、数据存储与分析以及历史数据回放等功能。经过实验测试，该系统运行稳定，提供友好的人机交互界面，可以非常方便地对 EAST 测试实验中的信号进行高速同步采集、存储和分析，完全实现了系统设计的需求。其次，该采集系统具有一定的实用性和通用性，可以通过在 cDAQ-9188 机箱中插入其它模块以添加更多的测量类型和通道；而且还可以应用到远程或者分布式传感器和电信号的测量中。

参考文献：

[1] Luo J R, Wang H Z, Ji Z S, et al. The Distributed Control and Data System in HT-7 Tokamak [J]. IEEE Transactions on Nuclear Science, 2002, 49 (2): 496-500.
 [2] 夏登超, 沈 颀. 基于 RIA 的 EAST 数据采集远程控制系统的的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18 (6): 1346-1348.
 [3] 祝 敏, 张 辉, 雷 震. 分布式测控系统在发动机试验中的应用 [J]. 火箭推进, 2013 (10): 98-102
 [4] 张祖超, 季振山, 肖炳甲, 等. 基于 PXI 和 FPGA 的 EAST 中央定时系统的研制 [J]. 计算机测量与控制, 2011 (9): 2241-2244.
 [5] 龙华伟. LabVIEW 8.2.1 与 DAQ 数据采集 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
 [6] 林 涛, 谢永兴. 基于 CompactDAQ 的电路板控制与采集系统设计 [J]. 计算机与数字工程, 2011, (3): 175-177.
 [7] 邱勋俭. 聚变能及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.