

基于 Labview 的 ICRH 发射机监控系统的开发

Development of monitored control system of ICRH based on Labview

(中国科学院等离子体物理研究所十室)刘大明 赵燕平 罗家融 郁杰
LIU DAMING ZHAO YANPING LUO JIARONG YU JIE

摘要:本文主要介绍 HT-7 离子回旋共振加热系统,基于可视化开发软件 Labview 设计的发射机系统的电子管电参数计算机监控系统的开发。此系统在检测的过程中,连续采集四极管相应的电参数,如果相应管件不在额定的条件下工作时,则发出声音及视觉警报,向现场工作人员提出警示,并加以保存。整个系统功能较为完善,尤其在长时间使用发射机时,对有效监控系统及现场维护提供了完善的监测手段;同时,通过采用事件驱动、通道选择算法、频谱分析的计算机技术和数学分析技术,完整记录了发射机系统的真实工作状态。特别是通道选择算法,则解决了在采集过程中,无法随时更改在线的通道数的问题,在实验阶段取得了良好的效果。

关键词:数据采集;发射机;监控;报警;离子回旋共振加热系统
中图分类号:TP311.1 **文献标识码:**B

Abstract:In this paper, the monitor and control unit of Ion Cyclotron Range of Frequency heating (ICRH) system on HT-7 is mainly presented. The whole system is based on Labview system. Because of the tetrode working in severe condition, such as high voltage over to 13.5kV, the whole system must be under control. This system acquires the corresponding electric parameter of the tetrode constantly during the process of measuring. If the corresponding component while out of the specified range, the system will give sound and vision alarm. By using event-driven, channel-selected algorithm and FFT, we could record and show the true working state of the transmitter system and corresponding analysis exactly. Moreover, the algorithm of the channel selection solves the problem which was unable to switch the channels online while data acquiring at any time.

Key words:Data acquisitions, ICR heating system, monitor and control unit, alarm

技术创新

1 引言

我国第一个超导托卡马克 HT-7 装置,是一个庞大的核聚变环形真空磁笼实验装置,它主要包括 HT-7 超导托卡马克装置本体,大型超高真空系统,大型计算机控制和数据采集处理系统,大型高功率脉冲电源及其回路系统,有全国规模最大的低温液氮系统,兆瓦级低杂波电流驱动和射频波加热系统,以及数十种复杂的诊断测量系统等。核聚变研究的重要目的之一就是设法把等离子体加热到 10keV 以上。离子回旋波加热主要是通过天线将波的能量馈入到等离子体中。本文主要介绍了基于 Labview 的离子回旋共振加热发射机实时监控系统的开发,对设备的电参数进行监测,并按要求对射频波形进行反馈控制;要检测的信号包括模拟电压、开关信号、脉冲信号,同时对信号进行慢慢采集,并保存在硬盘。

2 HT-7 离子回旋共振加热发射机系统原理及主要监控对象

本系统主要是对等离子体进行加热,故此输出功率较大,通过信号源首先输出 30~150MHz,10mW 的振荡信号,射频调制和宽带放大器及前级放大器、驱动级放大器、末级放大器三级放大,最后输出最大功率 300kw,对真空室中的等离子体加热,本文主要对下图 1 所示部分的数据采集系统进行分析。本监控系统主要是对发射机的四极管各个管脚的电压、电流及功率的监控。

刘大明:在读博士

本课题由国家自然科学基金资助的项目,基金项目名称:利用离子伯恩斯坦波抑制 MHD 的实验研究(基金编号为:10675125)

由于采用的设备较为昂贵,四极管的各级电压达到几千伏,甚至几十千伏,电流达到几百安,同时四极管的各级参数的变化对发射机发射输出影响较大,同时也影响电子管的使用寿命,其中阳极的最高电压末级可以达到 13.5KV,而未级的灯丝电流达到最高 400A,在高的电压,大电流的情况下,在未全面了解系统情况下,对各电子管的各级的操作会有着意想不到的意外发生,轻则造成停机检修,影响试验进度,重则造成有关器件的损坏,造成无法修复的问题。故对放大器的检测无疑就成了重中之重。现阶段主要是通过一些模拟设备及现场观察来进行检测,本采集方案以期解决造成安全性、准确性、实时性得不到满足的问题。

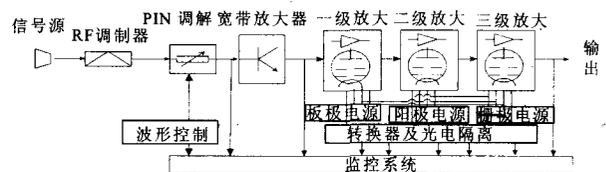


图 1 发射机系统原理图

3 系统实现

3.1 硬件部分

本采集系统由于测量的电流电压都较高,故此需要进行一些转换和隔离来获得输入计算机的信号,有关转换和隔离部分的硬件设计将不在本篇中介绍,主要对已经通过转换和光电隔离的信号后续处理过程进行探讨,采集卡采用 National Instruments 公司的 PCI-6014 多功能卡,具有 16 个单端输入或 8 个双端输入,精度为 16 位,采样率 200kS/s,配置内存大小 512

个字,两个模拟输出通道,数据传送以 DMA 或中断方式进行,工控机一台,奔腾 III 主频为 1GHz 的处理器,512M 内存,使用 Win2000 操作系统。

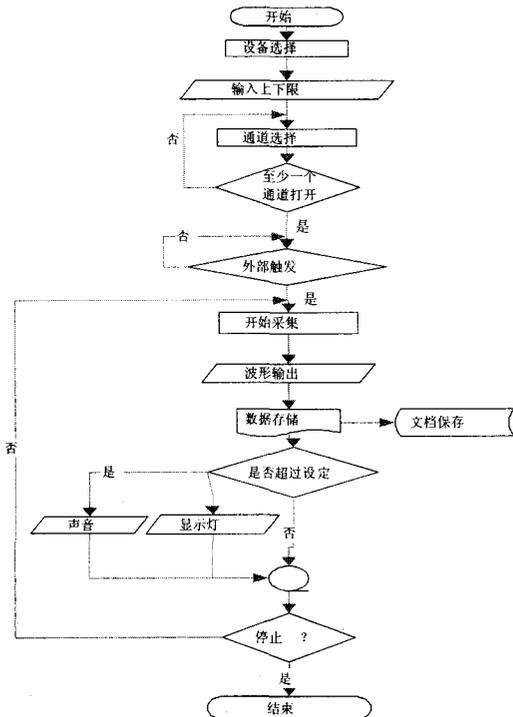


图2 监控系统流程图

3.2 软件设计

从需求分析着手,按数据采集、数据分析、数据显示、数据传输等列出相关要求,通过对要求的分析及成本、精度的综合考虑,对软件和硬件部分提出相应的解决方案,软件系统的流程图如图2所示。由于采用多个采集设备,考虑对采集设备的选择,其次需要设置报警上下限,然后巡检输入通道,只要有一个通道被选,就可以进行采集,否则等待通道选择;加热系统与总控协调,波形数据采集等待触发,当外部触发发出后,触发本系统的卡 D/A 输出程序,输出需要的模拟信号,同时触发对反射入射波采集程序,并接受服务器发送炮号,作为采集数据的保存标志,便于后继分析。然后对每个通道的数据与设定值进行比较,如果在设定范围内,则不发出报警信号,否则,发出报警信号,显示报警部位,便于现场处理。针对以上要求,设计以下几个模块:设置模块、显示模块、保存模块、分析模块、反馈控制模块、通讯模块。设置模块其功能主要分为两大块,其一,对采样参数进行设置,即采样频率、采样数或采样时间、采样模式、采样通道的设置;其二,对放大器的栅极、偏压、阳极电压,灯丝电流的三级设置限制,预设形式保存在文件中;显示模块显示各通道采集的数据,以波形扫描方式进行显示,同时可以对图形进行放大、缩小、且有游标显示,便于比较信号和测量幅值,同时将测量的值与预设值进行比较,发出报警信号、报警灯或声音,同时显示报警部位和数值;保存模块功能在运行过程中,在外部触发后自动将运行期间有关参数保存为电子数据,并加入文件头及时间信息,便于以后分析,以炮号取名保存;分析模块提供简单的频谱分析和其他功能;反馈控制模块主要功能是在接受总控的触发后对波形设定值进行反馈控制。通讯模块从网上获得炮号数据,作为保存数据的识别标志,同时将实验时的相关数据进行

发布。

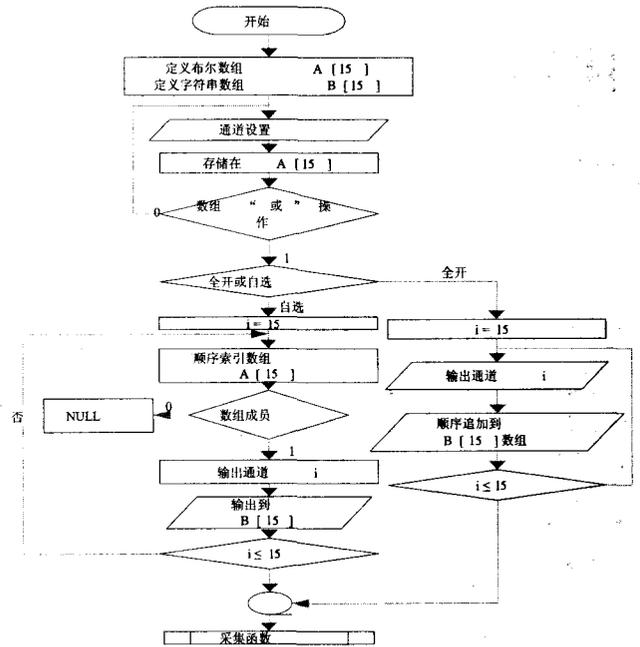


图3 通道选择算法流程图

3.3 模块及部分算法

为了对整个发射机工作状态达到较为完善的监控,整个系统中需要采用一定的算法来满足需求,其中包括通道选择算法, PID 控制算法、多通道数据图像多道显示和多通道数据单道显示、消息机制,以下简单介绍通道选择算法和 PID 控制算法。该系统在 Labview 中实现,由于采用的是 NI 采集卡,可以在 Measurement & Automation 环境中可以按照要求任意设置虚拟通道,便于通道选择算法的实现,在 Labview 编程中,采用 NI 的可视化控件,同时采用其 Ni-Daq 控件,使数据的采集也变得尤为方便,并可同时进行一定的分析和显示。采用 Labview 软件对发挥原厂采集卡起到较大作用。

3.3.1 通道选择算法。

采集前,需要对采集卡 16 个通道进行设置,在采集过程中,要求可以任意更改通道,即随意切换通道数,并显示其通道采集值,同时不影响其他进程,并将各个通道是否被选以指示灯方式显示。基本流程如图3所示,通道的选取以数组方式传递给采集函数,首先设定输入通道,通道选择采用布尔类控件,通道控制采用 Labview 高级编程中的局部变量方式,映射通道选择布尔类控件状态,将所设置布尔值顺序输入一个布尔数组,然后对数组进行“或”操作,如果为真则继续,否则继续等待输入通道,这个目的是为了确保持至少有一个通

道打开时才可以进行采集。然后对此数组进行检索和追加字符串操作,形成以下字符串数组,即如果选择了第一和第二通道,则通道数组为[通道 0,通道 1]等等。这个数组可以事先在 Measurement & Automation Explore 中进行设定,Labview 采集过程中就可以识别这个数组;此外还考虑到采集前可能需要将所有通道一次全部打开,单个输入较为繁琐,这种情况下,只要采用一个布尔控件,判断为真后形成一个全通道的字符串数组,即[通道 0,通道 1,通道 2……通道 15],这个数组可以直接给采集函数调用。通过以上的过程,在采集过程中可以灵活的设置通道号,并独立于其他进程。图4为 Labview 中实现的程序,I0,I1……I15 为通道布尔控件的局部变量,通过 for 和 case 结构,实

现了输出采集通道数组,随时在线更改通道的功能。

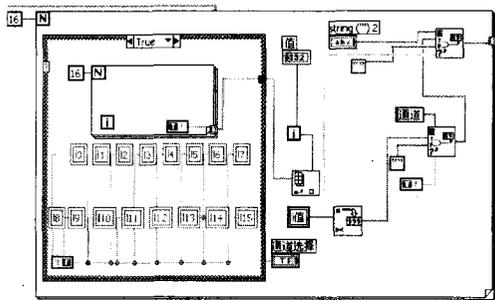


图4 通道选择算法在 Labview 中的实现

3.3.2 PID 控制算法

为了对输出波形进行设定控制,采用了 PID 控制算法,PID 控制器运动方程为:

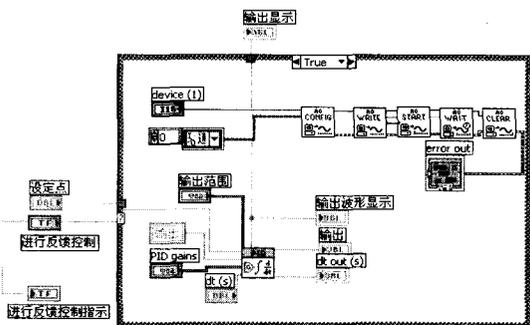


图5 PID 输出在 Labview 中的实现方式

$$Y(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中 $Y(t)$ 是输出信号, $e(t)$ 为输入偏差, K_p 为放大倍数, T_i 为积分时间常数, T_d 为微分时间常数。PID 控制器在计算机上实现,采用增量算法,如下

$$\Delta Y(n) = (K_p - K_i)(e_n - e_{n-1}) + K_i e_n + K_d(e_n - 2e_{n-1} - e_{n-2})$$

增量算法在计算中不需要累加,增量输出只与前几次的采样输入有关,此算法是一个递归过程,实现过程较简单。在此应用中采用了 Labview 的 PID 控件实现了以上算法,同时可以对 PID 控制器参数进行设置,实现方式如图 5 所示。

4 实际试验结果及结论

本监控系统在最近一次实验中,由于设置参数较合理、功能较为齐全,对发射机电参数的监控起到了重要的作用,图 6 为测试过程中截取的界面。在实验过程中,对异常现象的报警,为现场工作人员及时发现问题、解决问题提供了第一手资料,而且保存的数据为今后详细分析和仿真发射机的工作原理提供了极其重要的优化实验参数的依据。同时本文对在 Labview 下进行测试及自动化应用方面有着很好的参考价值。

本文作者创新点在于,首先使用了高级编程方式中的局部变量,解决了以往在采集过程

中无法动态更改通道的问题,对系统监控功能起到非常重要的作用;同时采用了 PID 控制算法,使反馈输出的准确性明显得到了改善,此外把声音及视觉报警功能、故障及运行数据保存、通讯功能加以整合,为现场处理及使用提供了方便、快捷的手段;此外此方法为计算机进行反馈及定时控制多支路系统的应用奠定了良好基础。

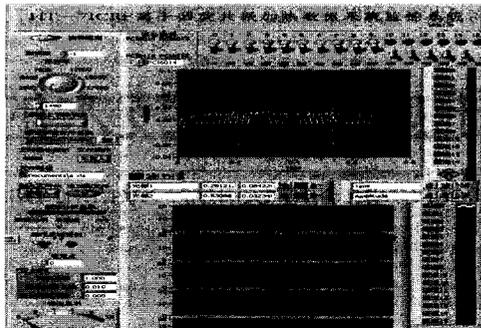


图6 HT-7 发射机监控系统界面截图

参考文献

- [1] 张玉兴等编著,《射频模拟电路》,电子工业出版社,2002年9月
- [2] 仲元昌编著,《电子管放大电路实践》,福建科学技术出版社,2001.5
- [3] 电子管手册/郑国川,李洪英编著.福建科学技术出版社,2002.10
- [4] 朱士尧编著,《核聚变原理》,中国科学技术大学出版社,1992年6月
- [5] 雷振山编著,《Labview 7 Express 实用技术教程》中国铁道出版社,2004,3
- [6] 艾延廷,黄福幸,李杰.基于 LabVIEW 的虚拟信号分析仪软件设计[J],微计算机信息,2005,5:175-176.

作者简介:刘大明(1971.3-),男,汉,中国科学院合肥物质研究院等离子体所十室,在读博士,核能科学与工程专业,现主要从事 HT-7 及 East 系统中发射机控制系统研究工作;赵燕平,1960 年出生。1982 年毕业于南开大学物理系,获学士学位;1985 年获中科院等离子体所硕士学位;1995 年获比利时鲁汶和布鲁塞尔大学硕士学位。主要科研工作及研究方向为离子回旋波加热技术。

Biography: Liu Daming (1971-), male, An Hui Province, Institute of Plasma Phys, Chinese Academy of Sciences, Doctor, Nuclear Science Engineering, are engaged in the research of control system on HT-7 and East.

(230031 中国科学院等离子体物理研究所十室)刘大明
赵燕平 罗家融 郁杰
通讯地址:(230031 安徽 安徽省合肥市 1126 信箱十室)
刘大明

(收稿日期:2007.9.03)(修稿日期:2007.11.05)

(上接第 46 页)

Biography: Zhang Yan-jun, male, han, born in Jilin, Professor of College of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology, Work at Teaching and Researching; Yu Guo-xiang, male, han, Graduate of College of Automation and Electronic Engineering, Qingdao University of Science and Technology.

(266042 山东青岛 青岛科技大学)张彦军 于国祥
(Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, China)Zhang Yan-jun Yu Guo-xiang
通讯地址:(266042 青岛 青岛市郑州路 53 号青岛科技大学 87# 信箱)张彦军

(收稿日期:2007.9.03)(修稿日期:2007.10.25)

技术创新