

# 基于 QNX与 PLC的 HT-7托卡马克 DNB电源控制系统的设计\*

王俊傢, 黄懿赟, 高 阳, 张 建

(中国科学院 等离子体物理研究所, 安徽 合肥 230031)

**摘 要:** 通过可编程序逻辑控制器 (PLC) 与 QNX 实时系统相结合实现新的 HT-7DNB(中性束诊断) 电源控制系统所要求的实时远程控制要求。以现场总线控制层, PLC 及 QNX6.3.2 实时控制层和 Windows 监控层构成的星型连接局域网实现了上下位不同操作平台间的电源控制系统。从硬件平台选择、软件程序设计、网络设计分析等方面着手, 完成了 DNB 电源实时控制系统的设计与实现。实验表明: 该系统实时性好, 性能稳定可靠, 各电源时序脉冲误差不超过 1ms 符合 HT-7 实验要求。

**关键词:** QNX 实时系统; 电源控制器; 中性束诊断

中图分类号: TM 924.75 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2011)01-0083-03

## Power supply control system on HT-7 Tokamak for diagnostic neutral beam based on QNX and PLC\*

WANG Jun-jia HUANG Yiyun, GAO Yang ZHANG Jian

(Institute of plasma physics Chinese academy of sciences Hefei 230031, China)

**Abstract** PLC is combined with the QNX real time system to meet the real time remote control requirements of the new HT-7DNB (diagnostics neutral beam) power supply control system. Star-shaped local area networks which consist of our site bus control layer, PLC and QNX6.3.2 real time control/monitor layer and the monitor layer of Windows to connect upper and lower and realized the requirements of power supply control system between different operating platform. From the selecting of hardware platform, software program design, network design and analysis etc to complete the design and implementation of DNB power real time control system. Experiments show that the set of power have good real time property, its performance is stable and reliable and the timing of pulse error is less than 1ms which meet the requirements of HT-7 experiment.

**Key words** QNX real time control system; power supply controller; diagnostic neutral beam (DNB)

### 0 引 言

中性束诊断 (diagnostic neutral beam, DNB) 系统主要用于诊断托卡马克中等离子体的物理参数, 因为其不能直接观察, 而必须通过特殊设计的仪器对等离子体发出的光信号、电磁信号和粒子束进行直接或间接地测量, 然后利用物理规律来判断。中科院等离子体物理研究所正在研制与使用的 DNB 系统是国家重大科学工程 HT-7 托卡马克核聚变实验装置的组成部分, 它利用了高能离子与同元素中性气体的电荷交换过程实现中性化, 然后再将高能中性化束注入托卡马克中与等离子体相互作用, 从而达到诊断或加热等离子体的目的<sup>[1]</sup>。

本文介绍了 HT-7 托卡马克实验装置中中性束诊断的电源控制系统。

### 1 DNB 电源系统组成

DNB 电源由 6 类 9 路不同电源构成, 其中包括 4 套灯丝电源, 1 套弧电源, 1 套缓冲器电源, 1 套加速极电源 (正高压电源), 1 套抑制极电源 (负高压电源) 和 1 套偏转磁体电源, 另外, 还包括梯度电源, 弧流调制器等附属配套电源系统。2008 年新建的低压电源部分, 采用的先进 PWM 开关电源技术, 结构简洁, 操作灵活, 能充分满足负载多变要求。同时也新建了电源控制系统来满足实时性好、操作简洁、易扩展性和良好的电磁兼容性等要求, 通过对各种方案的比较, 采用了 PLC 与 QNX 实时操作系统<sup>[2]</sup>相结合的方式。整个系统具有结构简单、安全可靠等优点。整个 DNB 电源系统结构示意图如图 1 所示。

### 2 控制系统硬件配置

为了满足系统实时操作性, 高性价比和良好的电磁兼

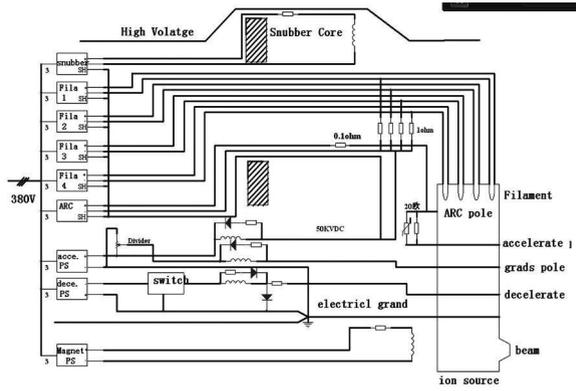


图 1 DNB电源系统示意图

Fig 1 DNB power supply system

容性, 控制系统采用的拓扑结构如图 2 所示。这是一种基于以太网的控制系统<sup>[3]</sup>, 网络结构属于星型连接的局域网, 逻辑功能上分为以太网和现场总线控制层, PLC 及 QNX 6.3.2 实时控制层和 Windows 监控层。

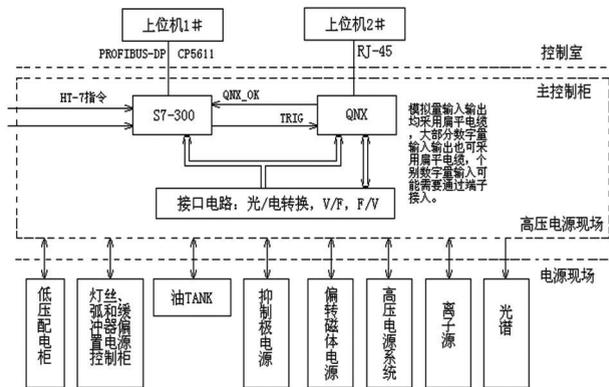


图 2 控制系统拓扑结构

Fig 2 Topology structure the control system

### 2.1 QNX 硬件配置

电源实时控制节点(即 QNX 下位控制计算机)担负了全部的硬实时任务, 需要在 1ms 的控制周期内完成控制量的传递和输出等正常控制任务, 还要能及时、正确地处理异常情况, 从而起到保护电源与负载的作用。

由于下位机位于电源现场工作, 恶劣环境对控制器硬件部分提出诸多要求, 如, 散热、抗振动和冲击、耐电磁干扰等, 同时软件部分必须保证所有实时任务能够按照程序设计的次序, 在固定的时间范围内完成, 并且出于可靠性的考虑, 希望任务的完成在时间上尽可能有较大的裕度。基于以上对电源实时性和控制系统稳定性的考虑, 采用 QNX 实时操作系统加 CPCI 板卡的控制方式。所选择的 QNX 工控机的各项配置如下: 主板型号为凌华公司的 CPCI-384Q 外设板卡包括 2 块模拟量采集卡(凌华 CPCI-9116R), 2 块模拟量输出卡(凌华 CPCI-6208VR), 1 块数字量输入/输出卡(凌华 CPCI-7249R)。

### 2.2 PLC 硬件配置

在工业控制中, 可编程控制器(PLC)使用灵活, 扩展方便, 当系统需要扩充或增减时, 只需增减相应的 PLC 分站或分站中的 I/O 模块, 且组态修改方便。

在 DNB 电源控制系统中, 采用西门子 SIMATIC S7-300 系列 PLC 作为现场辅助控制设备。现场所有电源的开关状态信号、继电器都由 PLC 循检, PLC 与主控制逻辑(MCL), QNX 实时控制节点等一起作用, 控制电源系统的正常运行。

同时 PLC 在整个控制系统中上与 HT-7 总控连接, 接收其控制指令, 下与 QNX 实时控制节点保持通信, 报告状态并向其发送指令, 同时完成对电源系统各种开关量的巡检任务。由于模块存在高压, 且实验现场复杂, 电磁干扰大, 所以, 模块与外界的通信都是采用光纤实现。采用电阻分压器、分流器(或者电压、电流传感器等)进行输出电压和电流的测量, 送至光电转换接口, 经 V/F 转换后一方面作为反馈信号送至控制器, 实现闭环调节稳定电源输出, 另一方面, 可供采集计算机采集数据和绘实验波形图。

### 3 控制系统软件实现

#### 3.1 QNX 实时控制软件

QNX 监控节点(QNX 上位机), 担负着运行开始前启动下位机上的对应进程、运行过程中强行终止某个或全部进程、运行结束后检查各个进程是否已经正常地、安全退出等任务<sup>[4]</sup>。本控制系统中选用共享内存作为进程间的主要通信方式, 而进程间的同步主要使用消息传递和 Pulse。现场总线控制器将采集现场模拟信号和开关量信号并按照预定的格式转换成数字信号通过以太网传输到 QNX 实时控制层或直接送到监控层, 供上层软件运算、显示和备份。其中, 电源实时控制软件在实时操作系统 QNX6.3.2 平台下开发, 软件采用 ANSI C 语言, 在 QNX Momentics IDE 开发环境中利用 QNX6.3.2 特有的函数和库函数编写, 并在其环境下运行。

QNX 下位机控制软件是采用链接运行 QNX 上位监控平台编译的可执行文件的设计, 即上位 QNX 平台编写代码编译生成 .o 的可执行文件, 通过 #ln 命令在下位 QNX 上做链接, 再通过 telnet 登陆下位 QNX 机来执行程序。在 HT-7 DNB 电源控制系统中, QNX 实时控制计算机在一个控制周期(1ms)内不仅要完成与 Windows 平台、现场总线数据互传, 还要保证各进程间合理有序地实时通信, 如故障保护进程不断巡检电源故障, D/A 卡与 DIO 卡要进行模拟量数字量同步输出以及数据采集的同步执行等。

程序运行流程图如图 3 所示。

#### 3.2 PLC 远程监控软件

PLC 与上位机采用 PROFIBUS-DP 方式通信。其主要

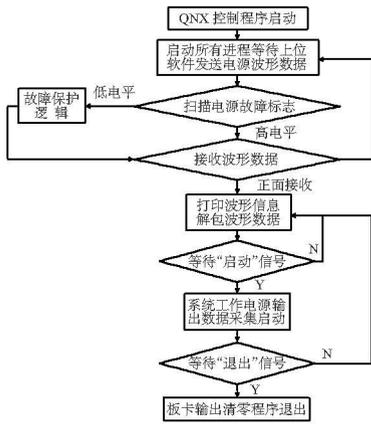


图 3 程序运行流程图

Fig 3 Flow chart of programming

用于设备级控制系统与分散式 I/O 的通信, 使用 PROFIBUS-DP 可取代 24VDC 或 4~20mA 信号传输。

下位机 PLC 根据系统的控制逻辑进行编程设计, 西门子 STEP7 组态软件提供梯形图<sup>[5]</sup>, 语句表和方框图的编程方式, 采用块编辑方式代替传统的编辑方式, 微秒级执行速度。

同样使用由西门子公司提供的上位机组态软件 SIMATIC W NCC<sup>[6]</sup>进行用户人机通信和操作界面设计。本系统采用的上位机通过 SIMATIC W NCC 和西门子 PLC 的协议, 以 MPI 通信电缆串行方式与下位机通信, 通过中间寄存器对下位机进行寻址读写以完成上下位机实时通信, 并且采用了输入/输出寄存器直接寻址和数据块寄存器寻址, 速率为 187.5 kB 完全满足了用户要求。

#### 4 实验结果

图 4 为起弧实验下监控系统采集绘制出的数据。其中, 灯丝电源最大误差不超过 1ms, 电压稳定度 1%~3%, 脉冲宽度在 12~30s 可调, 启动时电压为斜坡上升, 时间为 1~2s, 关断时间 < 1ms, 弧电源工作为双脉冲方式, 第 1 个脉冲宽度 35ms, 间隔 15ms 后第 2 个脉冲为 100ms (可调), 上升时间和关断时间都在 100μs 以内; 缓冲器偏置电源上升时间为 5ms, 关断时间 < 1ms, 抑制极电源上升时间 1~3ms, 关断时间 < 1ms, 偏转磁体电源上升时间 5ms, 关断时间 < 1ms, 而各类电源电压的精度 (纹波) 为 3% 均达到要

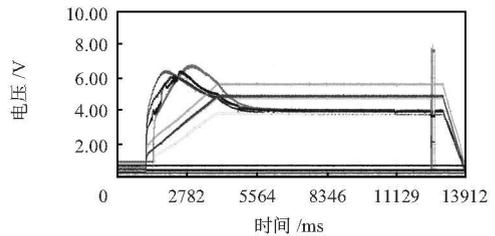


图 4 DNB 电源离子源调试起弧各类电源电压电流实验波形

Fig 4 Data acquisition of DNB in source debugging from the power arc

求。

实验结果表明: DNB 电源很好地满足了物理实验要求。

#### 5 结束语

本文从搭建稳定、高效的 DNB 电源计算机实时控制系统出发, 调研了广泛应用于先进工业控制, 分析了 QNX 分布式实时操作系统调度策略, 并在 DNB 电源控制系统中上下位不同操作平台间实现了以太网通信, 最终从硬件平台选择、软件程序设计等方面着手, 通过实时操作系统 QNX 与 PLC 相结合的控制手段完成了 DNB 电源实时控制系统的设计。实验表明: 该系统实时性良好, 性能稳定可靠, 符合 HT-7 实验要求。

#### 参考文献:

- [1] 石秉仁. 磁约束聚变原理与实践 [M]. 北京: 原子能出版社, 1999.
- [2] 段菡蒲, 傅 鹏. 基于 QNX 的操作监控平台的设计与实现 [J]. 计算机工程, 2006(11): 218-221.
- [3] 邹益仁. 现场总线控制系统的设计和开发 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2003.
- [5] 陈立定, 吴玉香, 苏开才. 电器控制与可编程控制器 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001.
- [4] 王二西, 边信黔, 常宗虎. QNX 环境下多线程数据采集 [J]. 工业控制计算机, 2004(8): 22-23.
- [6] 西门子 (中国) 有限公司. SIMATIC W NCC 手册 [Z]. 北京: 西门子 (中国) 有限公司, 2003.

#### 作者简介:

王俊傢 (1986-), 女, 安徽铜陵人, 硕士, 主要从事电力电子技术 with 自动控制等方面的研究。

(上接第 65 页)

#### 参考文献:

- [1] 李 柱. 互换性与测量技术 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 306-337.
- [2] GB/T 10095.1-2008. 对渐开线圆柱齿轮给出了轮齿同侧齿面偏差的定义和允许值 [S].
- [3] Varley P A C, Company P P A. A new algorithm for finding faces in wireframes [J]. Computer Aided Design, 2010, 42(4): 279-309.
- [4] 张 翔, 刘媚洁, 陈立伟. 基于数学形态学的边缘提取方法 [J]. 电子科技大学学报, 2002, 31(5): 490-493.

- [5] 周道炳, 朱卫纲. 几种边缘检测算子的评估 [J]. 装备指挥技术学院学报, 2000, 11(1): 59-63.
- [6] Qiu P, Mukherjee P S. Edge structure preserving image denoising [J]. Signal Processing, 2010, 4(9): 1-12.
- [7] 吴一全, 吴文怡, 潘 喆. 基于二维直方图斜分的最小类内方差阈值分割 [J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(12): 2651-2657.

#### 作者简介:

郑健睿 (1989-), 男, 浙江乐清人, 本科, 研究方向为机器视觉。