

基于 QNX 的 EAST 极向场电源现场层实时控制的设计与实现

何诗英 傅 鹏 杨亚龙

(中国科学院等离子体物理研究所二室,合肥 230031)

摘 要 为实现对核聚变装置 EAST 极向场 12 套电源的现场层的实时控制,构建了基于 QNX 平台的电源分布式现场层控制系统,利用以太网现场总线控制器实现对极向场电源状态的实时控制,并通过 Modbus/UDP 协议实现和上位机的数据的实时通信,实时控制周期可达 4ms。

关键词 EAST 极向场电源 QNX 实时操作系统 实时控制 以太网现场总线控制器

中图分类号 TH863 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3932(2012)01-0044-05

热核聚变实验装置(Experimental Advanced Superconducting Tokamak, EAST)是国家九五重大科学工程,将是世界上第一个同时具有全超导磁体和灵活的冷却结构的超导托卡马克装置。极向场电源控制系统是托卡马克的主要子系统之一,它为等离子体的产生、约束、维持、加热以及等离子体的电流、位置、形状、分布和破裂的控制,提供必要的工程基础和控制手段。

极向场电源由 12 套软、硬件系统组成,这些装置在空间上具有较强的分散性。针对 EAST 极向场电源系统的高性能要求,构建了一个硬实时和软实时共存的分布式控制系统,采用三层网络架构:Windows 监测层、QNX 实时控制层和现场总线执行层。EAST 极向场电源现场实时控制层由 QNX 实时控制层和现场总线执行层组成。而 QNX 实时控制层选用 QNX6.3.2 实时操作系统,担负着电源系统多变量反馈控制、系统联锁控制、保护及各种运行方式的调配。现场总线由大量的现场控制器和现场总线模块组成,负责采集现场设备状态通过以太网传递给 QNX 实时控制层,并接收 QNX 控制层发来的控制信号控制现场设备^[1]。对于实时性要求很高的实时信号由硬件电缆传输。

1 EAST 极向场电源现场实时控制层的构建

图 1 为一套 EAST 极向场电源系统原理图,

主要由整流器、晶闸管开关、失超保护开关和隔离开关 4 部分组成。图 2 为 EAST 极向场电源实时控制层结构图。在三层网络架构的 EAST 极向场电源控制系统中,EAST 极向场电源现场实时控制层由 12 台电源控制节点和 60 多套现场总线控制器组成。电源控制节点通过基于 QNX 的 Modbus/UDP 协议实现和现场总线层的数据的实时交换,确保能实时、可靠地获取现场近 900 多路数字量信号和 100 多路模拟量信号,以达到对现场设备状态的监测;同时对电源系统的部分开关(如整流器封锁脉冲、直流快速开关及充电开关等)通过对现场总线控制器直接发送控制信号以实现遥控分合。所获得的现场数据通过反射内存实时控制网送往 QNX 实时控制层下的实时数据库节点加以储存,以实现系统数据的备份^[2]。

1.1 电源控制节点系统平台的选择

当前广泛使用的实时操作系统主要有 QNX、VxWorks、WindowsCE、LynxOS 和 Linux 系列(RT-linux、KURT-Linux 等),它们之间的主要性能比较见表 1。

① 收稿日期:2011-11-25(修改稿)

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2008GB104000)

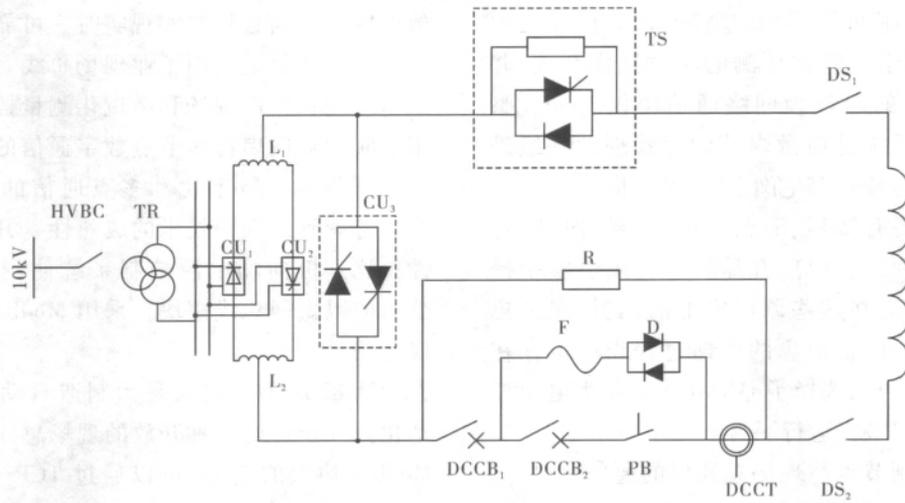


图 1 一套极向场电源系统原理图

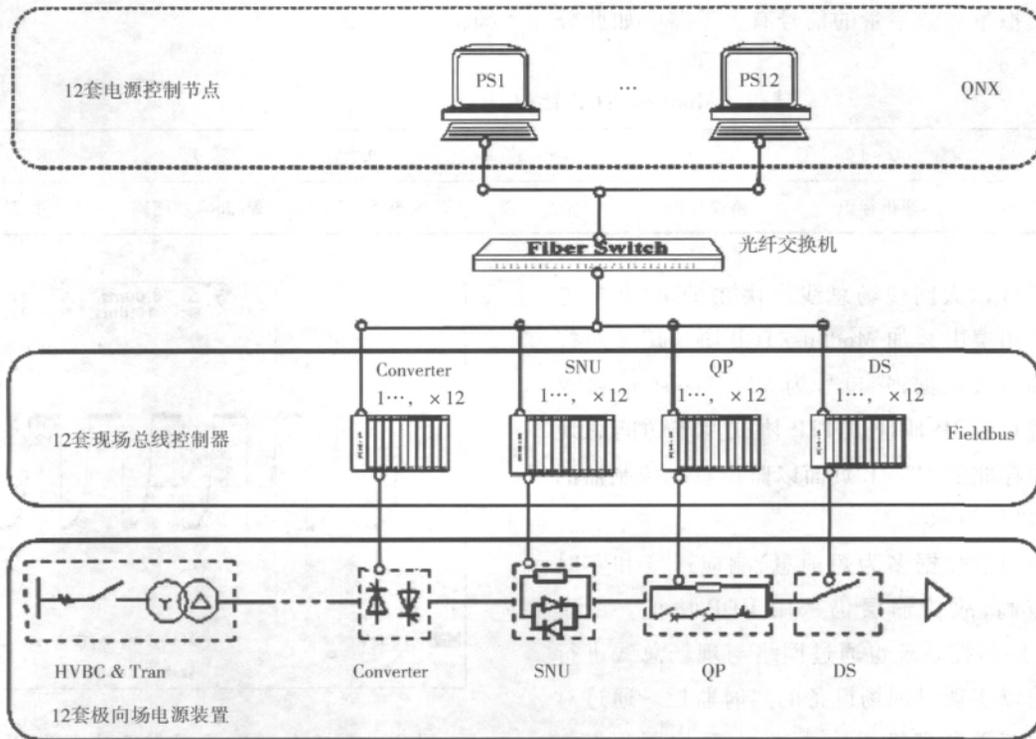


图 2 EAST 极向场电源现场实时控制层结构

表 1 几种实时操作系统的性能比较

性能	OS			
	QNX 6.3.2	VxWorks AE1.1	WindowsCE.NET	ELDS1.1
中断延迟(最大/平均) / μs	4.3/1.7	6.8/1.7	5.6/2.4	4.0/3.2
线程切换时间 TSL-428 / μs	21.8/8.8	46.8/6.8	16.7/9.6	N/A
同一 IRQ 最小中断周期 / μs	9	25	11	60
支持轻量级跨网络 IPC	Yes	No	NO	NO
调度策略	FIFO,RR 及自适应等	优先级抢断、RR	RR(时间片可调)	FIFO、RR

由表 1 明显可以得出: QNX6.3.2 在前三项的关键性能优于其它被评测的实时操作系统,并且它还有专有的轻量级网络通信协议 Qnet。整个 QNX 操作系统是由微内核调度管理的一组进程的集合,微内核给其它外围进程提供非常小的调用服务,主要有线程、消息传递、信号、时钟、定时器、中断处理、信号灯、互斥锁和屏障。整个操作系统都是建立在这些调用之上的,支持完全抢占式的调度,即使在消息的传递过程当中也存在抢占调度^[3]。因此选择了 QNX6.3.2 作为电源控制节点的系统开发、运行平台。

1.2 电源控制节点与现场总线层的通信

EAST 极向场电源系统由 12 套电源子系统组成,需要发送至现场的控制量信号和采集的状态信号、模拟量和数字量的信号有上千路。如此分

散而庞大的信号量要实现实时、可靠传输,最好的解决方法就是采用工业现场总线。工业现场总线是应用在生产现场和微机化测量控制设备之间用于实现双向串行多节点数字通信的系统,也被称为开放式、数字化和多点通信的底层控制网络。考虑到以太网技术的成熟性、开放性和高的性价比,极向场电源控制系统使用德国 WAGO 公司的以太网总线模块,采用 Modbus TCP/IP 协议通信。

Modbus/TCP 协议是为制造自动化和过程自动化独立设计的一种开放的现场总线标准。它是 Modbus 协议的变异,可以通过 TCP/IP 的连接来优化现场的通讯。Modbus/TCP 协议定义了通过以太网通讯时,服务器/客户机请求和响应消息的帧格式见表 2。

表 2 Modbus/TCP 协议请求和响应的帧格式

字节	0~1	2~3	4~5	6	7	8~n
功能	通讯标识	协议标识	消息长度	单元标识	Modbus 功能码	数据

WAGO 以太网现场总线模块在 TCP/IP 参考模型的应用层中叠加 Modbus/TCP 协议用于对模块读取和写入数据,端口号为 502; Bootstrap 协议用于配置总线 IP 地址; HTTP 协议用于访问总线控制器中存储的 HTML 页面以监控总线控制器的状态,端口号为 80。

由于通信数据多为短消息,响应速度和实时性要求较高,故传输层仍采用 UDP 协议。由于 Windows 层监控系统也通过网络与现场总线进行实时通信以实现对现场设备的实时监控。通过对现场总线跨平台多机通信测试,电源控制节点与现场总线的通信周期应设置在 4ms 以上才不会引起通信丢包现象,图 3 为两机 4ms 通信周期示波器监测图。同时根据不同信号的实时要求,对不同现场总线分别设置了 20~100ms 不等的通信周期^[4]。

12 套电源控制节点的 Fieldbus 进程开辟多个线程与其相对应的电源现场层的各以太网现场总线控制器通信和交换数据,以实现对现场设备的实时控制和状态监测。

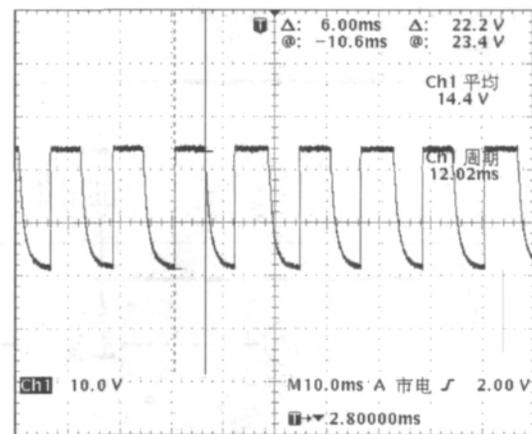


图 3 两机 4ms 通信周期示波器监测图

1.3 电源控制节点与现场总线通信网络的搭建

EAST 极向场电源系统的 12 套电源主要由 10kV 交流电网、真空开关网路、交流变压器、可控整流器、晶闸管开关、失超保护开关以及隔离开关等单元组成,每个单元都有一套独立的现场总线控制器和模块。每套现场总线控制器和现场的电口交换机连接,再通过光纤和控制室的光纤交换机连接^[5]。相应控制室的 12 套电源控制节点和一个电口交换机连接,然后再和光纤交换机连接,如图 4 所示。

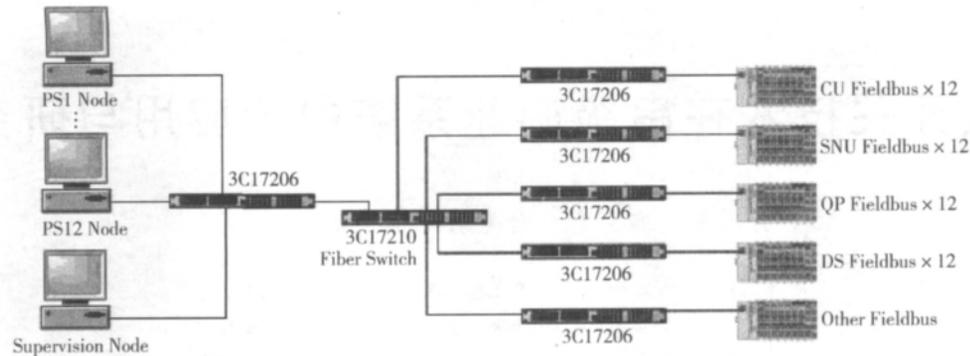


图 4 EAST 极向场电源现场控制网络

2 电源控制节点程序的编写

12 套电源控制节点分别对应 12 套电源,选择 QNX6.3.2 实时操作系统,建立一个 Project 程序,根据不同的节点序号运行各电源控制节点。每台电源控制节点控制两台晶闸管整流器、一台旁通对、一台晶闸管开关和相应的失超保护开关,以实现现场硬件设备的初始化、巡检,整流器脉冲封锁及环流控制,晶闸管开关控制和电容器充电,以及失超保护开关状态监测,并根据电源控制节点信号更新现场总线控制器的状态表。对现场器件的控制检测具体由现场总线控制器命令现场模块执行,另外对于实时性要求很高的硬实时信号需要通过 DA 板卡和 DIO 板卡直接输出进行控制。

整个工程由 7 个进程组成,其中现场总线操作进程建立 4 个线程,如图 5 所示。输出指令和控制信号至现场总线控制器,采用 UDP/Modbus 通信协议,现场总线控制器对接收到的数据包进行解析,控制现场对应的电源设备并返回现场设备的状态;板卡操作进程根据设备号和板卡号进行寻址,再根据电源控制要求将信号直接发送到对应的设备。

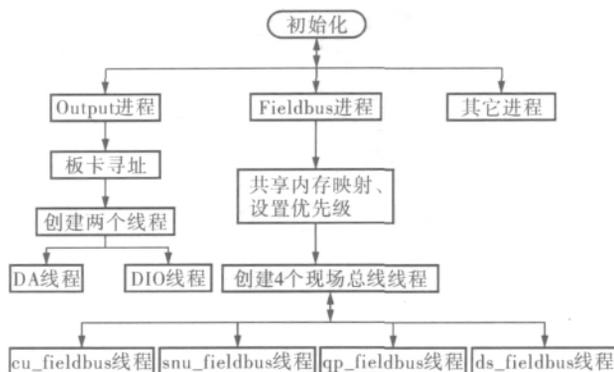


图 5 电源控制节点程序流程

3 结束语

自 EAST 装置第一次正式放电试验以来,极向场电源现场层的实时控制能实时、有效、直观地对电源脉冲封锁状态、母排温度、水压及烟雾报警等进行监测;对电源系统的部分开关(如整流器封锁脉冲、直流快速开关及充电开关等)实时控制;当系统出现故障时能及时报警。通过试验的验证,证实极向场电源现场层的实时控制是实时、稳定的,其控制程序和整个网络是稳定、可靠的。QNX 实时控制层电源节点通过光纤交换机和以太网现场总线进行数据交换,以达到对极向场电源的现场层的控制和监测,控制周期可达 4ms,满足了极向场电源实时性的要求。

参 考 文 献

- [1] 郑锐,傅鹏,何诗英. 反射内存网在 EAST 极向场电源控制系统中的实现[J]. 化工自动化及仪表, 2009, 36(3): 64~66, 69.
- [2] 孙伟,林小军. 基于 S3C2410 的嵌入式弧焊电源测试平台设计[J]. 化工机械, 2010, 37(1): 28~30.
- [3] 潘圣民,傅鹏,李云娜等. 纯光纤 100kV 高压电源控制网络的研制[J]. 化工自动化及仪表, 2010, 37(5): 50~53.
- [4] 杨亚龙,傅鹏,兰鲁光等. QNX 下以太网现场总线多机通信的研究[J]. 计算机工程, 2006, 32(11): 245~247.
- [5] 杨亚龙,陈飞云,傅鹏等. EAST 极向场电源监控系统的设计与实现[J]. 核聚变与等离子体物理, 2007, 27(3): 217~221.

(下转第 123 页)

测,由传感器节点对信息进行处理,经无线通信网络将信息传送至用户终端。JN5139 模块是射频技术与单片机技术的完美结合。实践证明,使用 JN5139 模块设计的无线传感器网络节点体积小、功耗低、运算速度快、可靠性高且安装使用方便,此系统可广泛用于煤矿瓦斯监控领域。

参 考 文 献

- [1] 党丽琴. 新型便携式瓦斯检测报警装置的设计[J]. 武夷学院学报 2009 28(4): 83~87.
- [2] 刘红霞, 张建锋. 基于无线传感器网络的煤矿瓦斯预警系统设计研究[J]. 煤炭技术 2010 29(4): 33~35.
- [3] 于泓博, 朱恒军, 李会. 基于 CAN 总线和 ZigBee 的矿井瓦斯监测系统设计[J]. 化工自动化及仪表, 2011 38(6): 722~725.
- [4] 淡勇, 李俊蕊, 朱哲. 天然气采气管线的状态评估[J]. 化工机械 2009 36(5): 491~495.
- [5] 雷霆, 董华莉. 基于 ZigBee 协议的煤矿瓦斯和温湿度监测节点设计[J]. 工矿自动化 2011 (1): 32~34.
- [6] 杨维国, 段国华. 基于 ZigBee 模块 JN5139 无线数据采集系统的设计与实现[J]. 网络通信与控制, 2010 32(1): 54~56.
- [7] 熊俊俏, 冯进维, 罗帆. 基于 JN5139 的无线传感器网络节点设计与实现[J]. 武汉工程大学学报, 2010 32(5): 88~90.
- [8] 毛玉蓉. 基于 ZigBee 技术的无线传感器网络研究[J]. 化工自动化及仪表 2010 37(10): 91~94.

Design of Gas Sensor Intelligent Monitoring System

WU Dan, SHI Yun-bo, XIU De-bin

(Heilongjiang Universities Key Laboratory for Measuring & Control Technology and Instrumentations, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract ZigBee protocol-based and JN5139-cored coal-mine gas intelligent monitoring system design was introduced, which employs LXX-3 gas sensor to capture gas concentration and then has them processed with embedded JN5139 microcontroller, as well as realizes ZigBee protocol-based wireless communication among system nodes based on JN5139 data-sending and data-receiving function.

Key words gas sensor, ZigBee protocol, monitoring system, wireless sensor network

(上接第 47 页)

QNX-based Real-time Control System Design for EAST PF Power Supply Site Equipments

HE Shi-ying, FU Peng, YANG Ya-long

(No. 2 Laboratory of CAS Plasma Physics Institute, Hefei 230031, China)

Abstract Considering the real-time control of EAST PF (poloidal field) power supply site equipments of nuclear fusion device, a control system based on QNX6.3.2 6RTOS was constructed, which having Ethernet Fieldbus controller employed to real time control PF power state and to communicate with principal computer through Modbus UDP protocol, and a 4ms real-time control cycle can be achieved.

Key words EAST poloidal field power supply, QNX operating system, real-time control, Ethernet Fieldbus controller