

核聚变装置 托卡马克装置 集散控制系统 176-178 74

# 集散控制系统在大型核聚变装置中的应用

中科院等离子体所(合肥 230031) 王玲 罗家融 秦品健 沈帆 夏海燕 王华忠 刘瑜 王毅

**【摘要】**介绍了集散控制系统在世界第四大超导托卡马克装置极向场控制系统中的应用。重点论述了该多任务实时性系统的设计方法,系统组成及功能的实现。

**关键词:**核聚变;超导托卡马克;等离子体;集散控制;多变量相关控制技术

根据以上要求,HT-7极向场电源的控制采用了中型集散控制系统,上位机为一台服务器集中管理,下位机由可编程程序控制器 PLC,多变量控制机,垂直位移控制机,整流电源触发器,数据采集存储机和实验参数预设系统等组成,分别完成极向场电源的控制。系统配置如图 1 示。

## 1 概述

随着社会经济的飞速发展,能源的短缺将成为困扰人类的首要问题,以开发聚变能为目的的受控热核聚变研究将为人类提供理想的清洁能源。近几十年来,在世界著名的 JET(英国)和 TORE SUPRA(法国)装置上已成功实现的氘氚反应和长脉冲稳态运行实验,证明了托卡马克是实现受控热核聚变的理想约束装置。中科院等离子体物理研究所广泛国际合作与支持的基础上,依靠自己的技术力量,于 1994 年底建成了先进核聚变装置 HT-7,它是继法,日,俄之后世界第四大超导托卡马克装置,它包括目前国内最大的超导磁体系统,低温系统,脉冲电源系统和真空系统。尤其是电源系统,由 100MW 的交流脉冲发电机组供电,五组独立可调的全控整流电源分别向加热场,垂直场,偏磁场,水平场和垂直校正场线圈供电,以实现托卡马克装置中等离子体的电流的产生和位移的控制。

## 2 系统的设计要求

(1) HT-7 极向场电源系统的控制对象为电源主回路现场近 200 个磁力开关,整流桥投切,引燃管,短路开关等,且分布在装置周围和实验大厅的两层平台上,是一个典型的分散控制系统,它既要控制加热场、垂直场、偏磁场、水平场和垂直校正场进行时序逻辑控制,又要快速准确地发出主回路四组可控硅整流桥的电压控制命令,以快速实时地调节等离子体电流和位移,因此,对控制系统的实时性有很高的要求。

(2) 由于 HT-7 是具有双层低温厚壁铜壳的铁芯超导托卡马克装置,其中垂直场与加热场的强耦合以及铜壳的屏蔽作用,使拥有巨大能量的等离子体位移的精确控制难以实现,因此,在控制系统的设计中必须引入多变量相关的控制技术,以实现系统的解耦功能,通过实时反馈控制,以增强等离子体的可控性。

(3) 由于等离子体的储能和主回路线圈的磁能非常大,为了保护托卡马克装置部件和保证等离子体稳态运行,控制系统必须对线圈电流操作范围有所限制,并能提供可靠的放电安全结束的连锁保护功能。因此对控制系统可靠性提出了更高的要求。

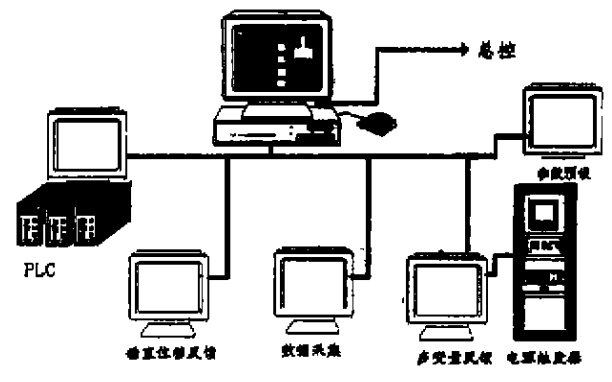


图 1 系统配置图

## 3 系统的工作流程

HT-7 极向场电源是对等离子体放电的重要组成部分,其基本原理是加热场首先由电容器向负载线圈供电,真空室内经过预电离的工作气体在纵向电场作用下,形成等离子体波头电流,然后由交流电机经整流后提供等离子体平顶电流和垂直场电流;电网电压经整流后提供水平场电流;垂直场、水平场分别控制等离子体的水平位移和垂直位移;偏磁场提供反向铁心饱和磁场,以增加放电时的伏秒数。垂直校正场产生的磁场用于抵消纵场带来的杂散场。

极向场控制的工作流程,如图 2 示。极向场服务器通过控制局域网同总控通讯,当系统工作在遥控状态时,控制命令和实验参数由总控发出;服务器也可独立发出控制命令和预置实验参数。PLC 发出的时序信号既要控制主回路开关分合又要控制反馈系统的时间进程,经服务器控制命令连锁后发出的零时刻信号,是整个等离子体放电控制系统的基准时刻,用于启动参与放电的所有分控系统。服务器预置的等离子体电流和位移参考值以及通过电磁测量得到的等离子体电流和位移等实时信号经高速 A/D 转换后送入多变量控制机,经矩阵运算后得出误差量,再由误差量经反馈控制 PID 计算后,以  $\alpha$  角数据形式向相应的电源触发器发出整流桥电源电压控制命令,产生各磁体线圈电流。另外,对实验中因等离子体突然破裂和伏秒数用完造成的原边线圈电流饱和采取了分级保护措施。

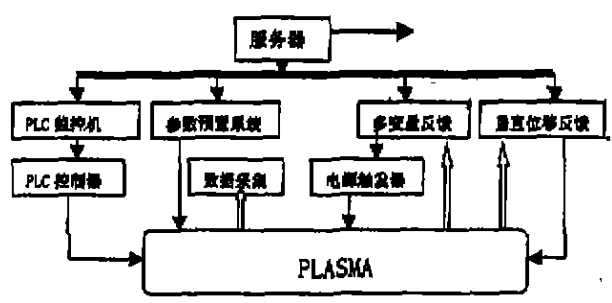


图2 系统工作流程图

4 系统功能实现

系统的硬件设计如图3所示。

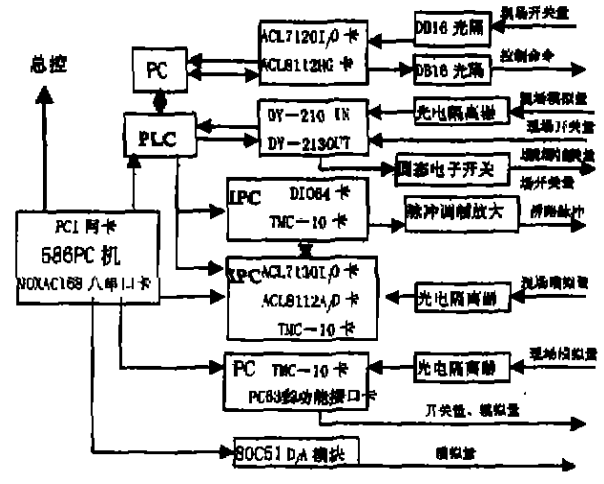


图3 系统硬件配置

4.1 服务器

由一台PII 266 MHz PC机、PCI总线网卡和MOXAC168多串口卡等组成。在WINDOWS环境下开发的软件程序，集中管理分控系统的控制策略，网络及多机通讯，参数预置和波形显示；在服务器上首先预置等离子体电流、位移波形，放电参数和放电模式，发出控制命令，启动控制系统中PLC和电源触发器，分别完成电源系统的时序逻辑、联锁和放电脉冲的控制，实时采集显示放电波形等，如图4所示。

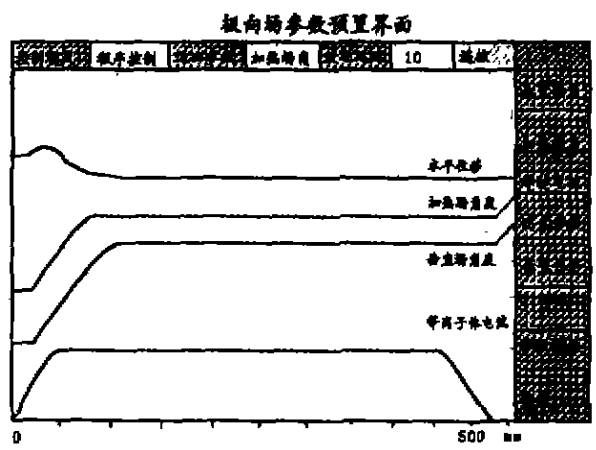


图4 波形预置、显示界面

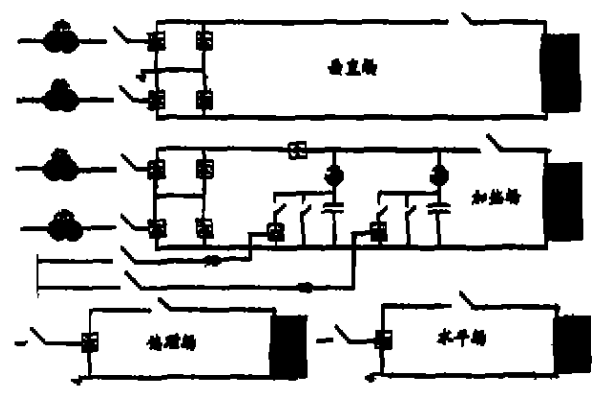


图5 电源主回路动态模拟图

4.2 PLC可编程程序控制器

由1台133 MHz PC作为金星(Goldstar) PLC的编程器和放电监控机，运行在组态软件环境下的PC机同PLC之间通过串口通讯，实时显示PLC的操作界面及电源主回路开关状态，报警状态等，如图5所示。金星PLC可编程程序控制器可扩展到200点开关量，主要完成加热场、垂直场、偏置场、水平场和垂直校正场五个场电源的时序逻辑和联锁保护控制。PLC系统框图，如图6所示。

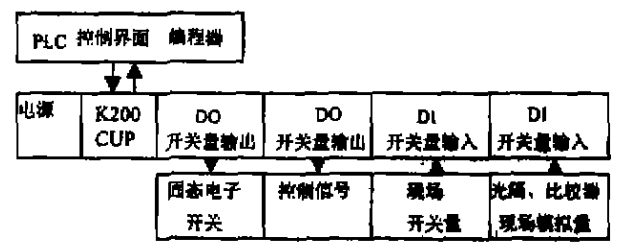


图6 PLC系统框图

4.3 多变量控制机

由1台200MHz工控机、8112PGH 16路A/D采集卡、TMC-10定时卡和带隔离的ACL7130数字量I/O卡等组成多变量控制机，其中A/D卡实时采集六道等离子体状态信号，用于CPU的多变量矩阵运算，实现参数去耦功能。一路定时器用来作为放电过程时钟。数字量I/O板两端用于自定义协议下的十六位数据并行通讯，以传递 $\alpha$ 角数据；另一输入端口接收PLC发出的放电时序信号，以协调控制系统的工作进程。

4.4 整流电源触发器

由同步信号预处理电路、基于200 MHz工控机数字触发系统和脉冲调制放大电路三部分组成的整流电源触发器，首先，从硬件电路上成功地解决了电源频率变化时，同步信号经滤波后的相移问题。DIO-64数字量的I/O板两端同多变量控制机并行通讯以接收 $\alpha$ 角数据，另一输入端口接收PLC发出的放电开始信号。经处理过的同步信号、PLC时序信号和系统故障信号采用特殊处理方法经板上的中断口接入工控机，用于中断计算机进入中断服务程序。四块定时计数板接收经CPU运算后置入的定时值，以软件定时硬件联锁的工作方式分别发出垂直场、加热场电源24路移相触发脉

75

# 迭代自学习控制算法收敛速度研究\*

178-180

浙江大学机械系生产所(杭州 310027) 魏燕定 TP273.22 0231

**【摘要】**从学习律、学习律参数、输出误差等三方面讨论了迭代自学习算法的收敛速度,为提高该算法的收敛速度得到了一些有用的结论。

**关键词:**迭代自学习控制;收敛速度;PID控制

## 1 引言

自从日本学者 S. Arimoto 于 80 年代提出迭代自学习控制  
 冲。实现主桥路每个电源周期十二相整流,克服了数字控制系统内部进程死区的弱点,使电源的反应周期由原来的 14ms 提高到 1.2ms。

### 4.5 垂直位移负反馈机

由 1 台 586PC 机、PC6313 多功能模入模出接口卡和定时计数卡组成,多功能卡中的 A/D 对等离子体电流,垂直位移信号实时采集,CPU 将采集信号同预设信号进行对比计算,误差量经 PID 计算后,经多功能板上 D/A 通道给出模拟量调节控制。

### 4.6 数据采集存储机

由 1 台 586PC 和 PCI1800 高速数据采集卡组成数据采集存储系统,采集板 333K 采样率,12 位分辨率,可实时采集放电实验时电源系统、等离子体位移、电流和实验条件的信号,并存储到 PC 机的硬盘中,建立控制系统数据库。

### 4.7 参数预置系统

由三台 80C51 单片机、LED 显示电路、模拟量手动预设电路和线性隔离电路等组成。通过串口接收分控服务器预设的电容电压,偏磁场电流和垂直校正场电流等数据,经 CPU 自带的 D/A 电路转换,给出模拟量信号来调节现场装置。另外,也可切换成手动预置。

## 5 系统的可靠性设计

HT-7 托卡马克电源控制系统由于连续运行时间长,电源运行稳定性要求高,在提高系统控制性能的同时,更需要考虑系统的可靠性,可靠性在硬件上体现为延长系统的使用寿命,提高系统的抗干扰能力和数据转换的精度。针对系统中大电流、强脉冲的特点,我们采取了以下几种措施:

(1)系统中采用专用工业控制机和专用控制板卡,以延长系统硬件使用寿命。

(2)在系统设计中,对信号地、电源地和屏蔽地进行分离,以提高其抗干扰性。

(3)由于装置大厅内设备多,供电复杂,为确保系统的安

(Iterative Learning Control)算法以来,已有大量文献从线性、非线性、时域、频域等角度利用范数的概念证明了迭代自学习算法的收敛条件<sup>[1-4]</sup>,但至今鲜见有文献报道对该算法收敛速度的研究。

在控制理论中,对一个控制算法优劣可用三个词:稳定、准确、快速来评价,稳定和准确在该算法收敛条件的证明中已得到了反映,但快速性即学习次数的多少则未见论述。这

全可靠运行,微机系统采用交流净化电源供电;脉冲功放采用隔离变压器,实现噪声隔离;在系统信号的输入输出端口,采用了高性能的光电隔离措施,以防止强电的“窜入”。

(4)系统中采用 12 位 A/D,16 位定时计数器和 16 位数据并行传送,以保证系统的控制精度。

## 6 结论

新的 HT-7 超导托卡马克极向场分控系统具有良好的的人机界面,实现了与总控的通讯和主回路的实时监控,通过提高控制系统的响应时间和投入各种反馈控制手段很好地控制了装置中等离子体的平衡;克服了数字控制系统内部进程时间死区的弱点,为 HT-7 高参数的物理实验和重复的 5S 级长脉冲放电提供了可靠的保证。建成这套具有现代控制特色的分控系统,使我所的聚变控制技术迈上了一个新的台阶。为我国核聚变研究走向世界前沿打下坚实的基础。

### 参考文献

- 1 Thijs Wijnands et al. An Advanced Plasma Control System, Fusion Technology, 1997, 32.
- 2 Toyooki Kimura et al. JT-60U Plasma Control System. Fusion Technology, 1997, 32.
- 3 周佩玲等. 16 位微型计算机原理接口及其应用. 合肥:中国科技大学出版社, 1995.
- 4 黄俊. 半导体变流技术. 西安:西安交通大学出版社, 1980.
- 5 李志忠,王家福. 数据采集和监控中的微机应用. 北京:清华大学出版社, 1988.
- 6 李亚红等. 超导核聚变装置中分级分布计算机系统的应用. ASIPP/CH9801.

### 作者简介:

王玲(1965-),女,工程师,现在中科院等离子体物理研究所从事极向场控制工作。

\* 受流体传动及控制国家重点实验室开放基金的资助。