

CNIC-01314

CAEP-0003

直线感应加速器束输运场测控系统

王华岑 赖青贵 邹 勇

(中国工程物理研究院, 成都, 610003)

摘 要

直线感应加速器束输运场测控系统以一台个人计算机为主机, 经由RS-485 总线, 把置于每台输运磁铁供电恒流源内的单片机(MCS-8031)系统连接起来, 构成主从测控结构。以 12 bits精度的D/A和A/D预置、测量各台恒流源的预期输出电流和实际输出值, 从而精确控制输运场分布。各台恒流源的工作状态及故障情况均可在上位机上显示出来。如果在上位机上设定一种算法, 系统还可从已知的实验结果自动设定下次实验各台恒流源的输出电流, 即束输运场的分布形状。在 20 MeV直线感应加速器的注入器(2 MeV, 3 kA, 10 台恒流源)一年多的运行情况证明, 系统的研制是成功的, 达到了预期目的。

Monitoring and Control System for the Beam-transport Field in an Induction Linac

(In Chinese)

WANG Huacen LAI Qinggui ZOU Yong

(China Academy of Engineering Physics, Chengdu, 610003)

ABSTRACT

The monitoring and control system for the beam-transport field in the induction linac is presented. The system consists of a supervisory PC and single chip units built in the current regulators for the magnets connected via RS-485. The profile of the transport field is manipulated accurately by presetting and monitoring the currents through 12 bits A/D and D/A. Any faults of the regulators can be found in advance by the warning system. The optimum field profile may be preset automatically according to the measured beam characterization given an algorithm to the supervisory PC. The system has been used to operate the injector (2 MeV, 3 kA, 10 regulators) for more than one year and proved to be reliable, use-friendly.

引言

直线感应加速器束输运场测控系统是一套恒流源和束输运场智能测控系统。系统以一台个人计算机为主机, 经由RS-485总线, 把置于每台束输运磁铁恒流源内的单片机(MCS-8031)系统联接起来, 以12 bits精度的D/A和A/D预置、测量各台恒流源的预期输出电流和实际输出值, 从而精确控制输运场分布。各台恒流源的工作状态及故障情况均可在上位机上显示出来。如果在上位机上设定一种算法, 系统还可从已知实验结果自动设定下次实验各台恒流源的输出电流, 即束输运场的分布形状。

系统结构简单, 工作可靠, 操作方便, 造价低廉。在直线感应加速器的注入器(2 MeV, 3 kA, 10台恒流源)上运行一年多来, 证明系统的研制是成功的, 达到了预期目的。

1 任务来源

直线感应加速器中, 要把强流粒子束(≥ 3 kA)加速到一定能量并保持束流的高品质, 必须有一套精心设计的束流输运系统。20 MeV闪光X光机项目的束输运系统预计需要恒流源300台(10~500 A可调), 为分布在长约60 m的束输运通道中的磁铁提供励磁电流。输运场的分布, 可以通过调节这些恒流源的输出得到。然而, 任何一个局部场分布的调整, 势必影响输运场的整体分布, 必须对其上、下游场做反复调整, 才能得到最佳输运效果。

在已建成的直线感应加速器中, 输运场磁铁数目相对较少, 基本靠简单的多路数据采集技术进行调控^[1,2]。即将建造的20 MeV加速器对束品质要求更高, 输运场分布的要求也相应提高。实现输运场智能控制, 是直线感应加速器测控领域中一个正在探讨的问题。1991年美国LLNL提出了对该实验室的ETA-II直线感应加速器输运场进行智能控制的设想^[3], 但未公布详细资料。

该项目主要完成的测控任务包括: (a) 记录每台恒流源的运行状态, 对可能出现的故障(过热、电源缺相、断水、输出超限等)进行预警报告; (b) 在控制室内灵活设置每台恒流源的输出值, 并与测量值进行比较, 超限自动报警。预置电流值和实际测量值之差应小于预置值的1%, 而输出电流的测量精度应达到0.1%; (c) 根据测得的束流品质数据, 自动调整输运场分布; (d) 可随时查看以前各次实验的场分布数据, 并选定其中任一组数据进行重复实验; (e) 系统应具有在强电磁干扰环境中长期稳定地运行的能力。

2 技术路线

经过调研, 结合过去工作的经验, 形成了一总体思路: 采用国际通行标准的单元技术, 综合开发研制一套具有网络功能的系统。具体作法是在每台恒流源内放置一台单片机(MCS-8031)系统, 尽量靠近采样点, 克服常规数据采集中电缆引入的干扰; 单片机上12 bits A/D、D/A 转换电路完成置数和测量任务; 10 位拨码开关设定地址。多台恒流源

内的单片机经光-电隔离接口用 RS-485 总线互联起来, 完成与上位 PC 机的通讯。上位机中则驻留智能控制和数据处理程序。

在此总体思想指导下, 对各个技术细节进行分析后, 形成如图1所示的总体设计方案。由于普通微机无RS-485通讯口, 使用一个RS-232至RS-485的转换器。重复器的使用, 可把RS-485总线上的单片机数目扩大到512个, 通讯距离增加1.2 km。整个加速器监控系统的主机和Novell网相接。

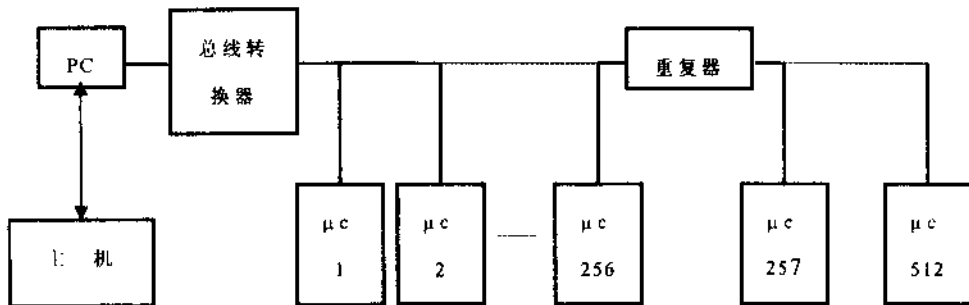


图 1 系统方框图

PC——系统上位机; $\mu c(n)$ ——置于恒流源内的单片机; 总线转换器——RS-232至RS-485转换器;
重复器——用于扩展网络; 主机——加速器监控系统主机。

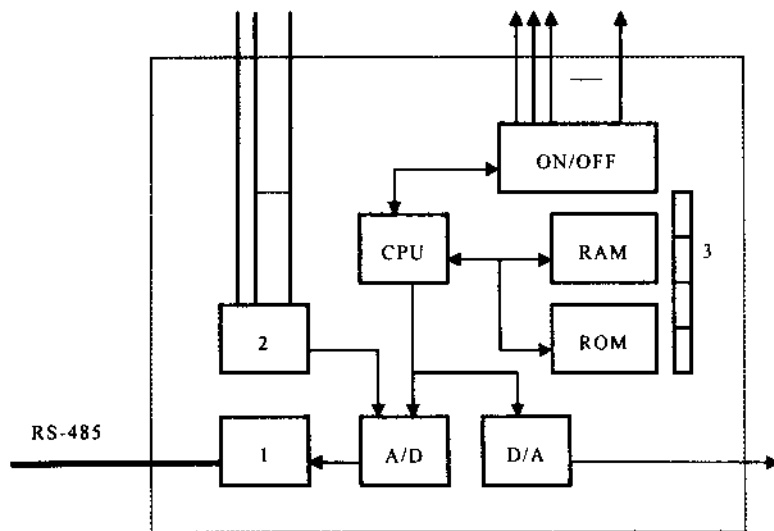


图 2 单片机系统结构示意图

1——光电隔离总线接口; 2——多路开关; 3——拨码开关;
A/D——12 bits模数转换器; D/A——12 bits数模转换器;
ON/OFF——开/关量输入输出; RAM, ROM——存储器; CPU——中央处理器。

每个单片机系统内部结构如图2所示。8路A/D的取样率为5 k/s, 每秒10个采样点, 用于监视恒流源各部件工作状态并测量输出电流。8路开/关量控制恒流源加/卸载和故障关机。32 kB RAM用于数据暂存, 8 kB ROM用于固化程序。上位机程序用Boland C++编制, 各下位机使用Watchdog监控系统, 有效解决了强干扰造成程序混乱和死机的问题。

整个系统吸取了Bitbus网络的一些结构特点^[6], 但相应的工作站接口、应用软件均是独立开发的。目前的基础研究中, 使用十台单片机分别控制10台可输出50~500 A 的恒流源, 系统不使用重复器, 主要性能指标见表1。

表1 系统主要性能

通讯介质	同轴电缆或双绞线
通讯率/ kbps	115.2
通讯距离/ km	1.2 (每个重复器增加1.2km)
系统定时精度/ ms	3
预置电流/输出电流	1.00 ± 0.01
输出电流测量精度	不大于输出值的1%
系统开关量	80路
12 bits D/A	10路
12 bits A/D	80路

3 关键技术

3.1 单片机系统开发研制

在硬件系统中, 转换器、重复器是市售商品。RS-485光隔接口国内有现成的资料可供参考。而单片机系统使用量大, 又工作在加速器现场, 对可靠性和抗强电磁干扰的能力要求高, 又无合用的商品。故能否开发出符合要求的单片机系统成为研制中遇到的第一个关键技术。

首先, 利用Protel软件设计系统的电气原理图并绘制印刷线路板。接着利用自制的信号发生器和两台四通道示波器对线路板进行调试, 排除了若干处错误。在此基础上完成了系统硬件的初步调试。

3.2 精密电源

为了保证12 bits A/D、D/A的转换精度, 必须为其提供高精度的精密电源以作为参考电压。为此在每台单片机系统内设置了精密稳压源为A/D、D/A芯片单独供电, 并使用了二次稳压和电源隔离技术。通过以上措施, 使恒流源预置和实测电流的精度达到了0.1%的设计要求。

3.3 数据采集

恒流源能为单片机系统提供的采样电压较低,当输出电流为10 A左右时,采样电阻上的压降只有10~20 mA。因而单片机系统使用了一个高性能运算放大器作为前置放大,以提高信号的信噪比,保证采样精度。

3.4 系统软件编制

整个系统的软件可分为下位机、上位机和通讯软件三部分。下位机中的数据采集、故障诊断、开关量输出利用C语言和汇编语言混合编程; Watchdog程序使用的是北京康拓的商品软件; 上位机中数据处理、电流预置、故障报警部分使用通过C语言调用Foxpro数据库的方式, 粒子在磁场中运动的单粒子模型软件是本所以前编制的。

软件编制的重点在于通讯程序, 经反复比较多种方案, 采用了类似Bitbus^[6]中使用的方法。数据通讯遵从SDLC (同步数据链路控制)协议, 使用polling/select (查询/选择)方式。采用这些在使用Bitbus网络中比较熟悉的方法, 使得通讯软件的编制得以较快完成。

3.5 系统联试

系统在完成实验试调试后, 移至注入器现场进行联试。联试中遇到的主要问题是现场电磁干扰造成的A/D采样结果精度不够。采用屏蔽后效果仍不理想。在A/D前端使用了微分线路(时间常数0.1 μ s)和高频滤波线路(截止频率500 kHz)后, 问题得到解决。

4 实验及使用结果

该系统在20 MeV闪光机的2 MeV注入器上使用一年多来, 工作正常, 满足使用要求, 达到了预期目标, 填补了国内直线感应加速器输运场测控方面的空白。表2是300次实验的原始数据统计结果(实测电流取值到0.1%)。

表2 实验数据

恒流源台次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
预置电流/A	50.00	100.00	150.00	200.00	250.00	280.00	300.00	330.00	350.00	400.00
实测电流/A	49.785	100.472	150.950	199.220	250.975	281.574	300.792	331.550	349.275	401.870
相对误差	0.0043	0.0047	0.0063	0.0039	0.0039	0.0056	0.0026	0.0047	0.0021	0.0047

使用独立开发的单片机系统, 使其应用于强流加速器的测控, 从而实现了多台恒流源远距离测控, 进而对直线感应加速器的束输运场进行精确控制。初步实现了根据实测的实验数据自动调整输运场的分布, 为今后进一步开发专家系统打下基础。本项目已在20 MeV闪光X光机的2 MeV注入器上运行一年多, 效果良好。达到了设计目标。

项目中所使用的技术, 与目前国际上流行的工控机分布式数据采集系统有相似的地方, 但以单片机系统完成磁场分布的测控任务, 尚无先例。

国内只有流体物理所拥有直线感应加速器。这种单次强流加速器对输运场控制有特殊要求,无法使用其他加速器的相应系统。

美国和法国的相应系统未见公布,无法确切地知道其检测方法。美国只介绍过一个用于该项目的软件包,可以根据测得的束流特性自动修正场分布。这个软件包考虑到了束流的BBU效应、Corkscrew效应以及束轴、磁轴不重合等因素。相比之下,我们的软件包目前还比较简单,采用的是单粒子在输运场中运动的模型。

总之,本系统在硬件结构和系统功能上达到了目前较先进的水平,介绍该项目的论文在ICALEPCS'97(国际加速器和大型物理实验设备控制会议)上被推荐为大会发言^[7]。但在应用软件的编制上与国外先进水平相比还有一定差距,需要从事束输运和控制系统的共同努力,使系统进一步得到完善。

在本系统的研制过程中,邓建军副研究员、曹国高高级工程师给予了大量的帮助,并提出了诸多的宝贵意见,王晓玲同志协助进行了系统的安装调试工作,在此对以上同志表示衷心感谢!

参 考 文 献

1. Lafranchi E A UCRL-50025-83-2, Lawrence Livermore Laboratory, 1983
2. 章文卫, 王华岑等, 10MeV LIA监空系统, 强激光与粒子束, 1994, 6 (2): 277-281
3. Darrel L L, et al. Proceedings of the 1991 IEEE Partical Accelerators Conference, San Francisco, 1991, 3082-3084
4. Buis M, et al. Technology Demonstration for the DARHT Linear Induction Accelerators, In: 9th International Conference on High-Power Partical Beams, Washington DC, 1992 283-290
5. Fyfe P, et al. AIRIX at Cesta, In: 11th International Conference on High-Power Particle Beams, Prague, 1996.
6. 陈功富等, 计算机网络设计与实现, 北京: 人民邮电出版社, 1995
7. Wang Huacen, Lai Qinggui, et al. A Control and Monitoring System for an Induction Linac, In: ICALEPCS'97, Beijing, 1997, 60-61