

国产数字化电源控制器在SSRF直线电源上的应用

许瑞年^{1,1)} 陈焕光¹ 沈天健¹ 李德明¹ 李胜² 迟伟² 苟建社²

1(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

2(成都大博电气责任有限公司 成都 610503)

摘要 该国产数字化电源控制器采用先进的DSP和FPGA作为控制核心,采用了高精度的ADC作为数据采集单元,并且将模拟量和数字量进行有效的隔离,设计了较为先进的PID控制算法.控制器由DSP和ADC两块控制卡组成,嵌入电源,和电源有机地融成一体.控制器通过光纤与远程IOC进行实时通讯,通过本地PC机串行口可灵活调节电源回路参数,具有高稳定性和高重复性等优点.迄今为止该控制器作为进口瑞士PSI控制卡的替换产品,主要应用在SSRF的静态的中小功率开关电源上(100ppm以下),各项指标均能满足使用要求.与进口控制器相比,该控制器有较高的性价比.

关键词 SSRF 国产 数字化电源控制器

1 引言

与传统的模拟电源控制器相比,数字化电源控制器具有较强的抗干扰能力、较高的稳定性和重复性.

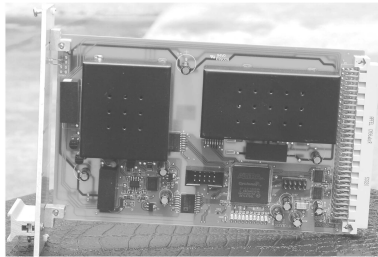


图 1 ADC卡



图 2 DSP卡



图 3 电源机箱

随着现代电子技术的迅猛发展,同步辐射光源的高精度的磁铁稳流电源采用数字化电源控制器取代传统的模拟电源控制器已是大势所趋.

在所领导的大力支持下,SSRF(上海同步辐射光源)国产数字化电源控制器项目于2005年4月启动,2005年8月起与成都大博电气责任有限公司进行联合开发,2006年4月完成了样机试制,2007年4月起在150MeV直线加速器电源上正式投入应用.实物图见图1—图4.

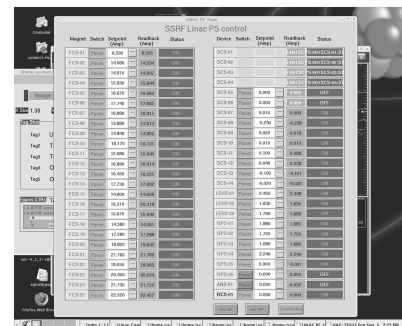


图 4 远程控制界面

2 原理框图和技术指标

被控电源类型: 开关电源. 工作模式: 单臂、单桥、全桥和H桥. 高精度电流控制精度为100ppm(最高为20ppm). 具有前馈电压和输出电压检测能力,

2008-01-07 收稿

1) E-mail: xurn@sinap.ac.cn

精度为 0.1%。具有 8 路数字量输入和 8 路数字量输出。4 路 PWM 输出，频率可调：10K, 16K, 20K, 33K, 50K 和 100K。与本地计算机的通讯采用 RS232 的方式，波特率为 115200，用于调试和参数设置。与 IOC 的通讯采用 5M 光纤连接，采用 RS232 的方式，波特率为 115200。原理框图见图 5。

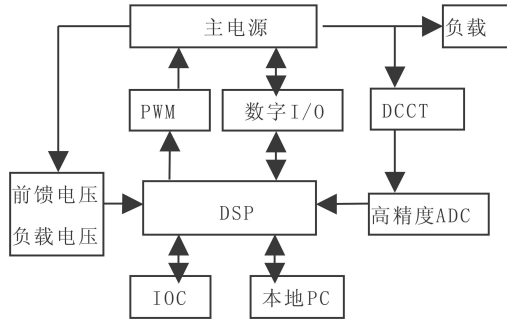


图 5 原理框图

3 软硬件设计

3.1 控制芯片

由 TI 公司的 DSP 芯片 TMS320F2812 实现。该芯片具有 32 位的 CPU, 128K FlashROM, 18KRAM, 16 路 PWM, 16 路 12 位 ADC, 1 个 SPI 口, 2 个 SCI 口。并且具有外部扩展总线、主频达 150MHz。

DSP 主要用来完成状态监控、控制算法和通讯等。

3.2 高精度的电流采样 ADC

由 OPA2277 进行差分驱动，由 AD7678 进行 18 位 A/D 转换、由 SI844 进行数据隔离，精密基准源采用 ADR435 (温漂 3ppm/°C, 长期稳定度 40ppm)。高精度的 ADC 的启动信号和 PWM 信号同步以减少干扰。ADC 采用 SPI 串行通讯口和 FPGA 进行通讯，时钟频率为 10MHz。

3.3 输入电压采样 ADC

由 TL082 进行差分驱动，由 AD7678 进行 18 位 A/D 转换、由 SI844 进行数据隔离和传输，精密基准源采用 ADR435。

3.4 输出电压采样 ADC

由 TL082 进行差分驱动，由 TLV2543 进行 12 位 A/D 转换、由 SI844 进行数据隔离和传输，基准源采用 TL431。

3.5 数字输入输出

8 位数字输入由光耦 PC817 进行隔离。

8 位数字输出信号由光耦 PC865 进行隔离。

3.6 本地通讯

由 DSP 的 SCIA 口和计算机通讯，采用 RS232 的标准，波特率为 115200。

3.7 远程通讯

由 DSP 的 SCIB 口和 IOC 通讯，采用 RS232 的标准，波特率为 115200。由 2 根 5M 的光纤进行隔离。

3.8 软件流程

本控制卡的工作过程大致为：电源输出电流经 DCCT 采样后，送入 18Bit ADC 转换成数字信号，结果 FPGA 处理后送 DSP。DSP 采用 PID 调节算法，控制 PWM 的输出，经驱动 IGBT 使得输出电流稳定在给定值。

控制器还能读取电源故障状态对电源进行控制。与本地计算机和 IOC 进行实时通讯，完成命令处理等。

4 测试结果^[1]

测试时间：2006 年 11 月

测试设备：6 位半的数字表，100M 的示波器，温控烤箱，高精度 DCCT

测试环境：常温、温度可控室

测试平台：半桥 5A25V 小电源

测试准备：电源预热 30 分钟后进行全面测试。

4.1 电流分辨率

电流分辨率定义：电流最小分辨变化差值/额定值。测试条件和结果如下：

5A25V 电源功率为 70%，六位半多路巡检系统每 1 秒采样一个点，电流变化阶梯为(单位 A)：3.5001-3.5002-3.50025-3.5003-3.5004-3.5005-3.50045-3.5004-3.5003-3.5002-3.5001。计算结果为： 2.86×10^{-6} 。(0.00005/3.5)

4.2 温度系数测试

实验条件：把国产卡放置在大博电源 5A/25V 中，电源功率为 70%，电源放置于恒温箱内，变化趋势为(单位：°C)22-19-15-20-25-30-35-25，每个台阶温度保持 60 分钟。温度系数曲线见图 6，计算结果见表 1。

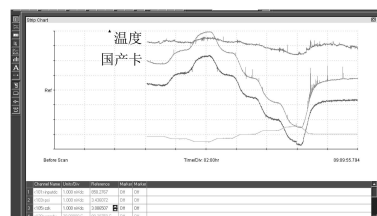


图 6 温度系数曲线

表 1 温度系数的计算

温度	电流平均值	温度系数
22	3.086837	
19	3.087662	0.0002750
15	3.088783	0.0002800
20	3.087472	0.0002622
25	3.085983	0.0002978
30	3.084499	0.0002968
35	3.082872	0.0003254
25	3.085787	0.0002915
		0.0002898
负温度系数平均值		0.0000828

4.3 长期稳定性测试

连续8个小时以上测量电源的输出电流. 长期稳定性定义:

$$\gamma = \frac{I_{MAX} - I_{MIN}}{I_N},$$

I_{MAX} : 预热后, 测试期间输出最大电流, I_{MIN} : 预热后, 测试期间输出最小电流, I_N : 额定电流值. 把电源放置在恒温箱内, 维持温度 25°C, 测长期稳定性. 长期稳定性曲线见图 7, 计算结果见表 2.

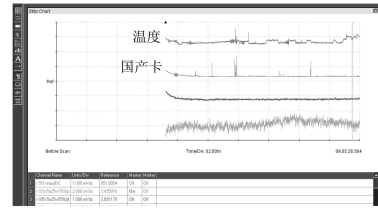


图 7 长期稳定性曲线

表 2 长期稳定性的计算

平均	3.089941
标准误差	4.99×10^{-7}
方差	7.28×10^{-10}
最小值	3.08984
最大值	3.090019
观测数	2919
置信度 (95.0%)	9.79×10^{-7}
	5.79×10^{-5}

5 结论

SSRF 自行研制的数字化电源控制卡可以应用于精度和稳定度在 100ppm 的磁铁电源上.

改善 ADC 的精度和改进控制算法(包括滤波、Rounding)等, 可望进一步提高控制精度.

参考文献(References)

1 ZHU Yan-Yan. SSRF Power Supply Group Inner File, 2006.

11 (in Chinese)

(朱燕燕. SSRF 电源组测试文档, 2006. 11)

Application of Home-Made Digital PS Controller to SSRF Linac Power Supply

XU Rui-Nian^{1;1)} CHEN Huan-Guang¹ SHEN Tian-Jian¹ LI De-Ming¹
LI Sheng² CHI Wei² GOU Jian-She²

1(Shanghai Institute of Apply Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

2(Chengdu Double Electric Limited Company, Chengdu 610503, China)

Abstract The SSRF (Shanghai Synchrotron Radiation Facility) home-made digital power supply controller adopts advanced DSP and FPGA as core and precision ADC as data acquisition unit. The controller which is inlaid in the power supply case is composed of two cards of ADC and DSP. The controller can communicate with IOC by optical fiber through the UART port. The controller can easily change the parameter of the power supply to achieve high stability and repetition. As a replacement of the imported PSI controller, the controller is mainly used in the SSRF media power supply (stability less than 100ppm), and can match all of the specifications.

Key words SSRF, home-made, digital PS controller

Received 7 January 2008

1) E-mail: xurn@sinap.ac.cn