

SSRF 高性能数字化电源检测系统

唐俊龙¹ 李德明² 沈天健²

1 (长沙理工大学物理与电子科学学院 长沙 410076)

2 (中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要 设计了上海光源(SSRF)高性能数字化电源检测系统的硬件, 并采用 LabVIEW 开发了 RS-232/以太网通信的系统检测软件, 实现了仪器与数字化电源控制和 24 h 的数据采集、显示与保存功能。用户可通过局域网方便地通过此系统获取数据, 并用 Excel 格式存储数据为 SSRF 数字化电源系统性能分析和建立数字化电源性能指标数据库提供依据。

关键词 LabVIEW, 数字化电源, 稳定性

中图分类号 TL503.5

稳定性是上海光源(SSRF)的重要性能指标, 为直线加速器、增强器和储存环的各类磁铁和线圈供电的电源系统的长期可靠运行, 是上海光源实现高性能的关键之一。磁铁电源的波动会引起相应磁铁的磁场变化, 从而影响储存环中束流的运动。增强器磁铁电源的输出是动态周期变化的, 对磁铁电源的输出电流的稳定性、调节精度都有非常严格的要求, 每台电源都须达到足够高的可靠性, 整个系统才能长期可靠运行。

为适应加速器电源数字化的趋势, 满足 SSRF 电源系统的高性能要求, 我们采用先进的数字化电源技术, 数字化电源数量大、品种多、要求高, 电源系统中共有各种规格的中小电源七百多台, 主要电源的稳定度要求达到 2×10^{-5} , 纹波系数小于 2×10^{-5} , 其它电源的稳定度都在 1×10^{-4} 以上^[1]。采用数字化控制技术的电源, 安装前应严格测试, 需一套可靠的、高性能的电源测试系统, 并建立相应的硬件和软件。本文利用虚拟仪器开发平台 LabVIEW 设计 SSRF 数字化电源检测系统^[2-4], 实现仪器控制和数据采集与记录。

1 测试原理

电源测试系统测量的指标, 主要包括电源的长期稳定性和输出电流纹波(用于电源验收和常规测试), 电源的短期、长期稳定性指标, 连续测量输出电流值, 监测环境温度和机柜内部温度, 监测输入电压, 以对电源的稳定性指标提出较全面的评估和测量, 给出测试曲线, 测定最大值、最小值及温漂,

这些数据 and 曲线均由测试平台得出。由式(1)计算电流长期稳定性, 式(2)计算温漂, 式(3)计算电源输出低频(50 Hz AC 的倍频成分)纹波电流和高频(开关电源工作频率)纹波电流(%)。

$$I = \pm (I_{\max} - I_{\min}) / [(I_{\max} + I_{\min}) / 2] \quad (1)$$

$$I_{\text{TCO}} = \pm (I_{\max} - I_{\min}) / [(I_{\max} + I_{\min}) \Delta T / 2] \quad (2)$$

$$\gamma = \pm [2(I_{\max} - I_{\min}) / (I_{\max} + I_{\min})] \times 100\% \quad (3)$$

其中, I_{\max} 、 I_{\min} 、 ΔT 为测试期间输出最大电流、最小电流、环境温度变化量。

2 测试系统的硬件结构

SSRF 数字化电源测试采用虚拟仪器系统, 该系统把同时具有 RS-232 接口与以太网接口的测试仪器直接连到 PC 机上, 并能与单台计算机或以太网中的计算机通信。这种组合方案的虚拟仪器测试系统在性能、灵活性、易用性和低价格等方面具有优势, 可充分利用计算机资源来实现数据采集及处理。由于 PXI 总线产品对 PCI 总线产品完全兼容, 基于 PCI 总线系统的应用软件可不加任何修改地运行在 PXI 系统上, 也是一个优点。

系统构成框图如图 1 所示, 由工控机和台式多通道数据采集仪组成数据采集与控制部分, 系统中还有电源, I/V 转换箱, 机柜等其它组件。测量装置的核心是数据采集部分, 它由工控机和高精度数据采集仪及多通道转换开关组成, 高精度数据采集

第一作者: 唐俊龙, 男, 1973 年出生, 2007 年于中国科学院上海应用物理研究所获博士学位, 核技术及应用专业, 现就职于长沙理工大学物理与电子科学学院, 讲师

收稿日期: 2008-07-18, 修回日期: 2008-11-21

仪通过 RS-232 端口/以太网接口把 I/V 转换箱转换的电压信号及温度传感器探测的温度信号换成数字量传送给工控机, 而工控机经由 RS-232 端口/以太网接口控制数据采集仪的动作, 记录相关数据。工控机还通过串口服务器对扩展 RS-232 端口连接, 可实现 16 台 PSI (Paul Scherrer Institute)卡或自制卡串口通信的数字化电源控制, 每台电源的控制包括

电源的开关机, 电流设置及其它参数的配置与监控。在数字化电源的电流输出端通过高精密度传感器采样输出电流, 该采样值通过 I/V 转换板得到电压信号, 再由转接板接入到数据采集表配置的多路转换开关。这样, 同一台工控机通过串口服务器可控制多达 16 台 PSI 控制卡与自制控制卡, 对数字化电源进行测试。

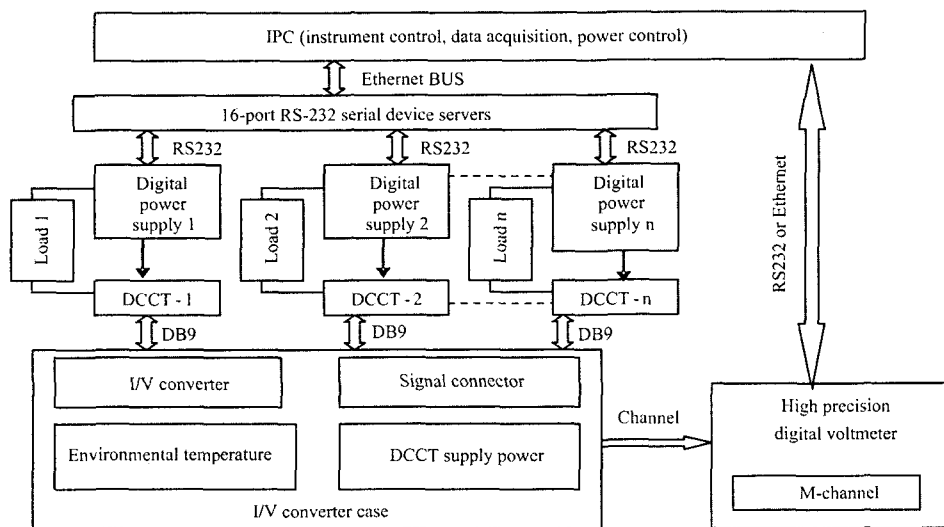


图 1 数字化电源测试系统框图
Fig.1 Structure of the test system for SSRF power supplies.

3 测试软件设计

工控机与数据采集系统通信的格式是基于消息的通信格式。对仪器发送的命令和读回的数据都是高层次的 ASCII 字符串, 仪器本身具有处理器, 处理器负责解析命令字符串, 并且根据解析结果设置内部寄存器的相应位, 以完成通信操作。数据采集系统采用可编程仪器命令 SCPI 建立接口语言, 数字化电源虚拟仪器的测试软件设计同样是基于 SCPI 接口语言。RS-232 通讯/以太网通讯的数字化电源测试系统用户界面见图 2。对每个通道(20 个)测试的数字化电源定义“名称”以及采样数据应相乘的“系数”, 则每次测试中的采样数据乘以该系数写入数据库中该数字化电源名称的目录下保存。

数字化电源测试的以太网通讯, 与 RS-232 通讯软件的基本结构、控制流程相同, 所不同的是测试控制通讯协议。以太网通讯的数字化电源测试软件利用 TCP/IP 协议进行通信, 易与现成网络连接, 构成多种拓扑结构, 最简单者为通过一台集线器 (Hub)直接点对点连接, 使工控机既可访问采集系

统, 又可访问其它以太网资源。也可通过局域网连接构成远距离、分布式的数据采集系统, 将采集数据由局域网传送到中央计算机, 此方式仅受限于网络的大小, 把局域网换成 Internet, 可实现在互联网访问构成基于以太网的分布式的数据采集系统。

图 2 中, Setting 区用于设置仪器参数、采集样本参数与串口 PORT/IP 地址。其中 PLC Number 电源周期数, 用来设定 A/D 积分时间, 它影响测量分辨率和测量速度, 测量数字化电源直流电压时, 取 PLC 为 2~10 则 2701 仪器的分辨率为 6 1/2(6 位半)。

图 3 是以太网通讯校验子程序, 调用了 TCP Open Connection.vi, 在作为客户机的工控机上打开 TCP 连接, 在前面板由用户任意指定与作为服务器的采集仪保持一致的网络通信端口与 IP 地址, 等待服务器响应连接请求, 实现初始化的过程。采用 TCP Write.vi 把指令*idn? 从打开的 TCP 连接中写入, 传送到采集仪执行, 然后再采用 TCP Read.vi 读取由服务器返回的信息, 显示在前面板。通信结束后调用 TCP Close Connection.vi 关闭 TCP 连接, 实现了以太网通讯的校验。

完成数字化电源测试通道名称与系数的配置，选通测试数字化电源的按钮及 Setting 的设置后，点击软件测试按钮 Start，数字化电源测试系统即可运

行，进行数据采集与记录，measurement results 显示每个通道对应的采样数据，实现对数字化电源的监控。

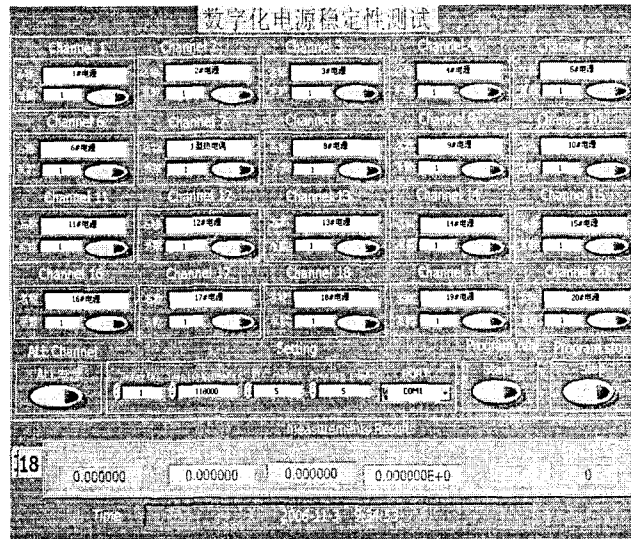


图 2 数字化电源测试系统用户界面
Fig.2 Main front panel for testing the digital power supplies.

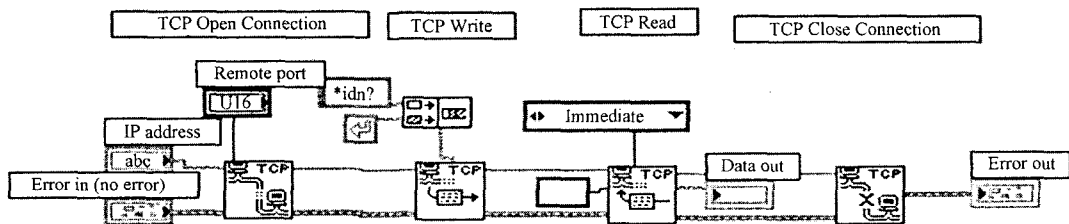


图 3 以太网通讯的校验程序
Fig.3 Check code of Ethernet interface communication.

4 稳定性实验

用该电源测试系统对 SSRF 数字化电源样机进行了测试实验，包括 PSI 控制卡数字化电源与自制控制卡数字化电源样机稳定性测试。用 Danfysik 公司的高精度大电流稳流电源 MPS858，对样机电源

的 DCCT 及电源测试系统进行稳定性实验，以这种方式得到的稳定性指标为标准，评价样机电源的稳定性，能很好区分测试系统与电源样机的稳定性。表 1、表 2 分别为数字化电源电源测试系统的部分 PSI 卡与自制卡数字化电源样机分析数据。

表 1 PSI 卡数字化电源样机分析数据
Table 1 Analysis data of the PSI control card digital power supplies.

样机 Prototype of power supply	最大值 Max /V	最小值 Min /V	平均值 Mean /V	时间稳定性 Stability (8 h)
+/-2A/25V	2.867199	2.867079	2.867140	$\pm 2.09 \times 10^{-5}$
+/-10A/20V	4.994327	4.994246	4.994286	$\pm 8.11 \times 10^{-6}$
20A/70V	4.040451	4.040331	4.040391	$\pm 1.49 \times 10^{-5}$

表 2 自制卡数字化电源样机分析数据
Table 2 Analysis data of the control card developed at SSRF for the digital power supplies.

样机 Prototype of power supply	最大值 Max /V	最小值 Min /V	平均值 Mean /V	时间稳定性 Stability (8 h)
+/-4A10V	2.885265	2.885030	2.885138	$\pm 4.07 \times 10^{-5}$
2A20V	2.914846	2.914435	2.914590	$\pm 7.05 \times 10^{-5}$

经过实验验证, PSI 卡数字化电源样机在量程 100% 的测试点与自制卡数字化电源样机在量程 70% 的测试点, 长期稳定性符合电源的稳定性指标, 数字化电源检测系统完全满足数字化电源的测试。

5 结束语

针对 SSRF 电源系统采用先进的新控制技术——数字化控制结构 (PSI 数字化电源控制卡与自制数字化电源控制卡), 设计了一套可靠的、高性能的数字化电源检测系统, 用一台工控机能测控多达 16 台数字化电源, 并分类同时对多台数字化电源的电流稳定性进行长时间的测试和记录分析, 实现了实验室本地与 Internet 网络远程检测, 可极大地缩短测试周期、提高测试结果的准确性和测试效率, 系统投入运行一年以来, 状态良好, 运行可靠。

参考文献

- SSRF Design Report. Shanghai Synchrotron Radiation Center, May 2001, 2: 89–105
- 侯国屏, 王坤, 叶齐鑫. LabVIEW7.1 编成与虚拟仪器设计. 北京: 清华大学出版社, 2005
HOU Guoping, WANG Kun, YE Qixin. LabVIEW7.1 programming and virtual instrument designing. Beijing: Tsinghua University Press, 2005
- 唐俊龙, 许瑞年, 陈焕光, 等. 核电子学与探测技术, 2007, 27(1): 35–40
TANG Junlong, XU Ruinian, CHEN Huanguang, *et al.* Nucl Electron Detect Technol, 2007, 27(1): 35–40
- 唐俊龙, 李德明, 沈天健, 等. 核技术, 2008, 31(10): 780–785
TANG Junlong, LI Deming, SHEN Tianjian, *et al.* Nucl Tech, 2008, 31(10): 780–785

The test and control system for high performance digital power supplies of SSRF

TANG Junlong¹ LI Deming² SHEN Tianjian²

¹(College of Physics and Electronics Science, Changsha University of Science and Technology, Changsha 410076, China)

²(Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201800, China)

Abstract A test and control system was designed to evaluate performance of the digital power supplies for SSRF. The software of serial communication (RS-232) and Ethernet interface was developed with LabVIEW. The system can perform functions of instrument and power supply control, data acquisition and display, and store data for 24 h. LAN users can access the system and acquire data conveniently. The data are stored in Excel for analysis and establishment of database of digital PS in the future.

Key words LabVIEW, Digital power supply, Stability

CLC TL503.5