

文章编号: 1001-4322(2005)09-1434-03

用于合肥光源 200 MeV 直线加速器 束流位置测量的信号处理系统*

李吉浩, 孙葆根, 何多慧, 卢平, 王筠华, 曹涌, 郑普

(中国科学技术大学 国家同步辐射实验室, 安徽 合肥 230029)

摘 要: 合肥光源 (Hefei Light Source, HLS) 200 MeV 直线加速器的束流横向位置是一个重要的运行参数, 直接决定注入的效率, 为此新开发了一种非拦截型、高精度、易于将测量结果数字化的条带电极束流位置测量系统 (beam position monitor, BPM), 该系统由条带电极和信号处理系统组成。信号处理系统选用对数比的信号处理方法, 由带通滤波器 (BPF)、对数检波模块、信号放大器、模数转换模块和上位机组成。带通滤波器选用中心频率为 2.856 GHz、带宽为 10 MHz 的腔体滤波器, 对数检波模块采用对数放大器 AD8313 芯片, 模数转换模块采用 NI 公司的 PXI5102, 上位机的数据采集程序采用 Labview 编写。本系统有效地采用了虚拟仪器 (VI) 的技术, 具有模块化、开放性、易于交互、可扩展的特点, 测试结果表明, 其分辨率达到 0.1 mm, 符合设计要求。

关键词: 束流位置探测器; 条带电极; 信号采集; 信号处理系统; 直线加速器

中图分类号: TL506 **文献标识码:** A

合肥光源 200 MeV 直线加速器建成于 1989 年, 原先用于束流横向位置测量的荧光靶, 是一种束流拦截型的检测器, 精度不高, 而且难以将测量结果数字化后用于进一步的控制和处理。针对上述情况, 需要开发一种非拦截型, 精度高, 易于将测量结果数字化处理的束流位置测量系统。

在设计直线加速器束流位置测量系统时, 考虑到以下相关因素: 直线加速器束团的瞬过性 (50 Hz); 束团的宏脉冲结构 (1 μ s); 束团的微脉冲结构 (350 ps); 直线加速器的流强范围 (50 ~ 200 mA); 束流位置测量分辨率小于 0.1 mm; 逐脉冲 (pulse by pulse) 的数据采样 (大于 50 Hz); 设计、加工简便。因此, 决定采用条带电极束流位置测量系统, 此测量系统由条带电极和信号处理系统组成。

1 条带电极概述

采用 Mafia 和 CST Microwave 进行条带电极结构的设计和仿真工作, 得到的条带电极结构如图 1 所示, 它的真空室孔径为 $\phi 50$ mm, 与合肥光源直线加速器的真空室相匹配, 4 个条带电极以中心轴呈 90° 对称分布, 张角为 60°^[1], 内半径为 19 mm。这种结构一方面达到了 50 Ω 特性阻抗匹配的要求, 另一方面使条带电极的灵敏度和耦合度的综合性能达到最佳。电极厚度为 1.5 mm, 保证了其安装的牢固性, 电极长度为 183 mm, 接近合肥光源直线加速器微波高频 (RF) 频率 2.856 GHz 的 $7/4$ 波长^[2]。电子束团通过 BPM 时的感应信号由条带电极前端的 feedthrough 馈出, 条带电极后端焊接至真空壁上, 从而加强了电极的牢固性。由于电极感应信号为 2.856 GHz 的高频信号, feedthrough 采用 SMA 接头。

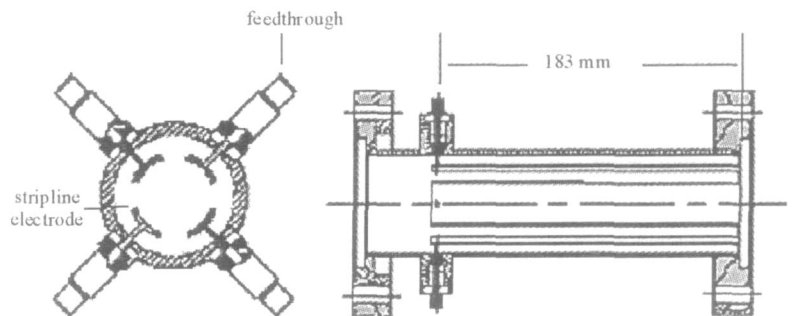


Fig. 1 Strip line BPM structure

图 1 条带位置检测器的示意图

电极厚度为 1.5 mm, 保证了其安装的牢固性, 电极长度为 183 mm, 接近合肥光源直线加速器微波高频 (RF) 频率 2.856 GHz 的 $7/4$ 波长^[2]。电子束团通过 BPM 时的感应信号由条带电极前端的 feedthrough 馈出, 条带电极后端焊接至真空壁上, 从而加强了电极的牢固性。由于电极感应信号为 2.856 GHz 的高频信号, feedthrough 采用 SMA 接头。

2 信号处理系统

加速器束流位置测量系统常用的信号处理方法有差比和、对数比、幅相转换、幅时转换等方法^[3]。综合考

* 收稿日期: 2005-01-24; 修订日期: 2005-05-25

基金项目: 高水平大学建设重点科研项目资助课题 (KY2901); 国家 863 计划项目资助课题

作者简介: 李吉浩 (1979—), 男, 博士研究生, 主要从事束流测量理论和系统方面的研究; 合肥 6022 信箱; E-mail: jhli@mail.ustc.edu.cn.

虑合肥光源直线加速器的束流运行参数以及条带探头结构的特点,选用了对比的信号处理方法。对比信号处理方法的特点有:动态范围大,可以满足合肥光源直线加速器50~200 mA的流强范围;输入带宽大,可以满足合肥光源直线加速器2.856 GHz的微波高频频率;系统设计相对简单。

合肥光源直线加速器束流位置测量的信号处理系统由带通滤波器(BPF)、对数检波模块、信号放大器、模数转换模块和上位机组成,如图2所示。为保证信号处理系统的实时性,我们采用4路并行处理的方法,由条带探头感应的高频信号通过带通滤波器后,得到感兴趣的RF频率成分(2.856 GHz),经过对数检波模块后得到高频信号中RF频率处的能量信息,放大后经过模数转换模块数字化后传输到上位机,进行束流位置参数的计算。

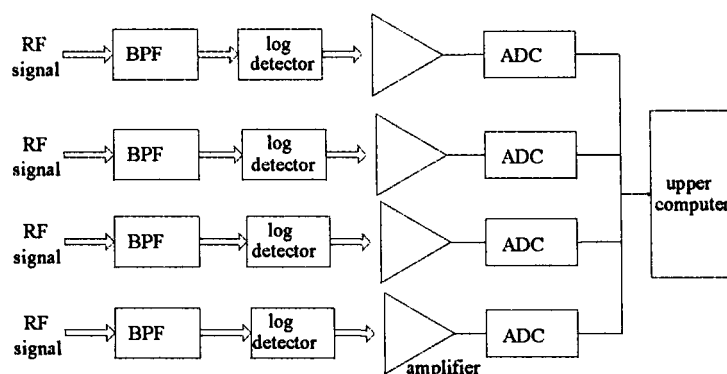


Fig. 2 Signal processing system of HLS LINAC BPM

图2 合肥光源直线加速器BPM系统的信号处理模块

带通滤波器选用中心频率为2.856 GHz、带宽为10 MHz^[4]的腔体滤波器,其频率特性曲线如图3所示。之所以选用10 MHz带宽,一方面为了滤除带外噪声,提高有效信号的信噪比(SNR);另一方面,使脉冲信号展宽(大于100 ns)与之后的对数检波模块的建立时间(settle time)相匹配。

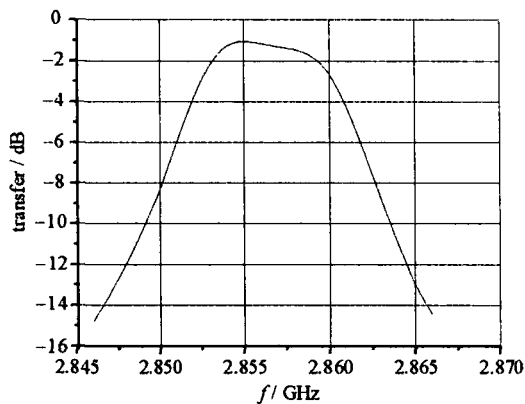


Fig. 3 Frequency response of BPF

图3 带通滤波器频率特性曲线

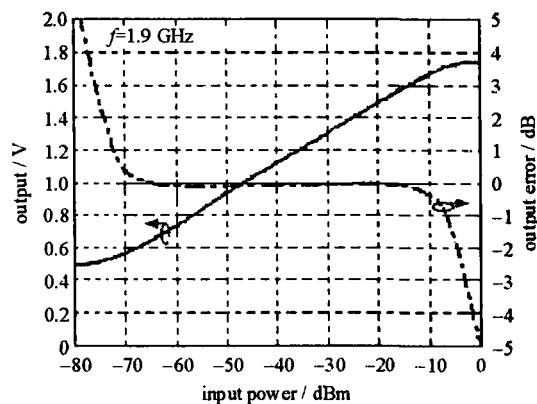


Fig. 4 Frequency response of AD8313

图4 AD8313的性能曲线

对数检波模块采用ANALOG DEVICES公司的对数放大器AD8313芯片,其性能曲线如图4所示^[5]。AD8313具有以下特点:一是其工作带宽高(0.1~2.5 GHz),能够有效检测条带感应高频信号的能量信息;二是其输入电压的动态范围大((70 ± 3) dB),能有效满足合肥光源直线加速器的流强范围(50~200 mA);三是其反应时间快(40 ns),能有效提高系统的实时性。

模数转换模块采用National Instruments公司的PXI-5102,它具有如下性能^[6]:实时双通道,8位分辨率,采样率为20 MS/s到1 kS/s可调,最大模拟输入带宽为15 MHz,与前端的带通放大器带宽(10 MHz)相匹配,可以有效处理条带感应高频信号的能量信息。

上位机采用National Instruments公司的PXI-8176嵌入式控制器,机箱采用National Instruments公司的PXI-1000B,系统平台为Windows 2000 Pro,束流位置计算程序采用Labview6.1编写。

该信号处理系统还使用高速高精度的模数转换模块(NI 5102)和高性能控制器(NI 8176),并采用虚拟仪器的技术^[7],从而具有以下优点:(1)融合了计算机强大的硬件资源,突破了传统仪器在数据处理、显示、存储等方面的限制,大大增强了传统仪器的功能;(2)利用了计算机丰富的软件资源,实现了部分仪器硬件的软件

化,节省了成本,增加了灵活性,能实时直接地对测试数据进行分析与处理,真正实现人机界面友好、操作简单、易于交互;(3) 基于计算机总线、模块化仪器总线、计算机网络技术和接口技术,虚拟仪器系统具有更方便灵活的互联能力,广泛支持诸如CAN, FieldBus, ProfiBus等各种工业总线标准,易于实现测量、控制过程的网络化;(4) 基于计算机的开放式标准体系结构,虚拟仪器的软、硬件都具有开放性、模块化,可重复使用及互换性等特点,缩短了系统的组建时间;(5) 功能升级成本低,可扩展性好,易于更新换代。

3 系统性能测试

用 HP8665A 信号源产生的 2.856 GHz 信号来模拟条带电极的感应信号,其中一路加入 -40 dB 的白噪声信号来模拟现场环境噪声。图 5 为系统调试时得到的束流水平位置结果,可以看出,在此测试条件下系统的分辨率达到 0.1 mm,基本符合合肥光源 200 MeV 直线加速器调机的要求。

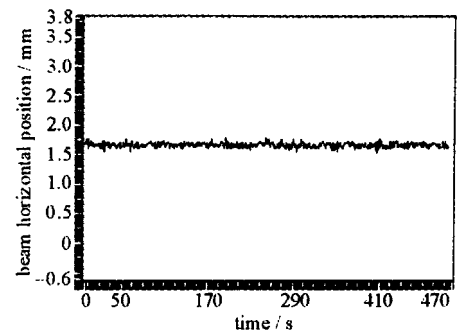


Fig. 5 Simulated result of horizontal beam position

图 5 束流水平位置计算结果

参考文献:

- [1] 郑普, 孙葆根, 卢平, 等. 合肥光源 200 MeV 直线加速器束流位置检测器的计算[J]. 强激光与粒子束, 2003, 15(8): 821—824. (Zheng P, Sun B G, Lu P, et al. Calculation of beam position monitor for 200 MeV LINAC of Hefei light source. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003, 15(8): 821—824)
- [2] Evtushenko P, B ühner A, B ütig H, et al. Strip line beam position monitors for "ELBE" [A]. DIPAC 2001 Proceedings-ESRF [C]. Grenoble, France, 2001. 168—170.
- [3] 李吉浩, 孙葆根, 何多慧, 等. 加速器束流位置监测系统信号处理技术[R]. 合肥: 安徽省第二届核科学技术发展研讨会, 2003. (Li J H, Sun B G, He D H, et al. Signal processing technique in BPM system. The second forum on nuclear science and technology in Anhui, 2003)
- [4] Yanagida K, Asaka T, Dewa H, et al. Installation of the spring-8 LINAC BPM system[A]. Proceedings of LINAC2002[C]. Gyeongju, Korea, 2002. 446—448.
- [5] Data Sheet of AD8313[CP]. ANALOG DEVICES.
- [6] NI 5102 User Manual[CP]. National Instruments.
- [7] 姜志玲. 虚拟仪器技术在自动测试系统中的应用[J]. 现代电子技术, 2004, (12): 82—83. (Jiang Z L. Application of virtual instrument technique in auto measure system. *Modern Electronic Technique*, 2004, (12): 82—83)

Signal processing system for beam position monitor at HLS 200 MeV LINAC

LI Ji-hao, SUN Bao-gen, HE Duo-hui, LU Ping, WANG Jun-hua, CAO Yong, ZHENG Pu

(National Synchrotron Radiation Laboratory, University of Science and
Technology of China, P. O. Box 6022, Hefei 230029, China)

Abstract: The parameter of beam positions at HLS 200 MeV LINAC is very important to injection efficiency. A new strip-line beam position monitor system was designed recently, which is not interceptive to beam, qualified in precision and easy to digitalize the results. The system consists of a stripline structure and a signal processing system. The signal processing system consists of a band pass filter (BPF) with center frequency of 2.856 GHz and bandwidth of 10 MHz, a logarithmic detector, an analog digital converting module, and a data acquisition program based on Labview. The signal processing system takes advantage of the virtual instrument (VI) technique, which is open, modularized, interactive and expandable. The signal processing system has a resolution of 0.1 mm and meets the design requirement.

Key words: Beam position monitor; Stripline; Data acquisition; Signal processing system; LINAC