

加速器束流测量中的数字系统设计

黄国庆¹⁾ 叶恺容²⁾

(中国科学院上海应用物理研究所 上海 201800)

摘要 加速器束流测量系统中的数字技术主要是处理安装在真空管道里的探测器感应出的束流电信号, 这个电信号包含丰富的束流信息, 如束流位置, 工作点, 束团长度等, 所以采用一套数字化平台, 经过不同的软件分析, 就可得到许多的加速器束流参数. 本论文为建立这样一套数字化平台做了一些尝试, 设计了高速高精度采样处理系统, 它采用软件无线电技术, 包含独立的四通道高速中频采样处理电路. 本系统已经在HLS上采用频率谐波法测量了束团长度, 另外在实验室配以RF前端模块模拟了BPM测量. 达到了预先的设计目标. 最后提出了对系统的改进, 可以采用Ethernet代替VME总线, 在500MHz直接采样, 及使用FPGA来实现DDC, DSP, FIFO, Ethernet等功能, 这些将是下一步设计目标, 最终实现商业化产品的目的.

关键词 束流测量 数字技术 BPM 束团长度

1 引言

在加速器束流测量中, 用到最多的是束流经过电极而感应出的电信号. 这个电信号包含了丰富的束流信息, 利用它可以测量束流位置, 束团长度, 加速器工作点等. 近年来随着电子技术的发展, 越来越多的数字技术被应用到了加速器束流测量中^[1, 2], 同时使电信号测量方法在加速器束流测量中越来越重要, 将可能取代其他探头, 如流强探头等.

本论文为建立加速器束流测量系统的数字平台做了一些尝试, 设计了数字化系统, 它采用软件无线电技术, 包含独立的四通道高速中频采样处理电路. 首先ADC采样模拟前端送来的信号, 然后送入DDC(数字下变频)进行硬件抽取, 再送入DSP进行数据处理, 最后处理的数据送入VME总线. 这里ADC采用ADI公司的AD6644, 它是14位精度、最高65MHz采样率的高速高精度ADC. DDC采用ADI公司的AD6620, DSP采用ADI公司的SHARC系列的ADSP21065L. 在此采样系统的基础上, 配以一定的模拟前端, 就可以测量加速器的束流位置、工作点、束团长度等参数. 图1(a)是整个系统的结构框图, (b)是实物图.

2 系统SNR测试

为了测试整个系统的性能, 需要计算ADC和

DDC处理后的数据的SNR. 具体方法是采用-1dBFS的正弦信号输入ADC, 然后对DDC出来的数据进行FFT运算, 得到其频谱. 计算出谱中信号功率和噪声

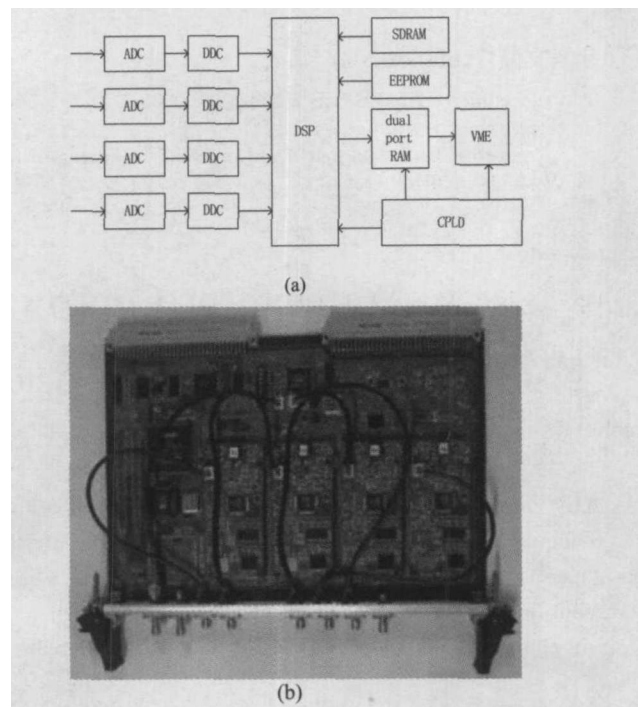


图1 (a) 系统框图; (b) 数据采集板卡实物图

2008-01-07 收稿

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

2) E-mail: yekr@sinap.ac.cn

功率, 通过公式 (1) 就可得到 SNR:

$$SNR = 10\lg P_s/P_n, \tag{1}$$

其中 P_s 是信号功率, P_n 是噪声功率.

图 2 是改变输入信号的频率, 采用板上 40MHz 采样时钟、外部 40MHz 采样时钟、外部 79.9654MHz 采样时钟而计算出的 SNR. 从图中可以看到随着输入信号频率的增加, SNR 不断减小; 外部采样时钟要好于板上采样时钟; 在 70MHz 中频输入时, SNR 有 50dB 以上.

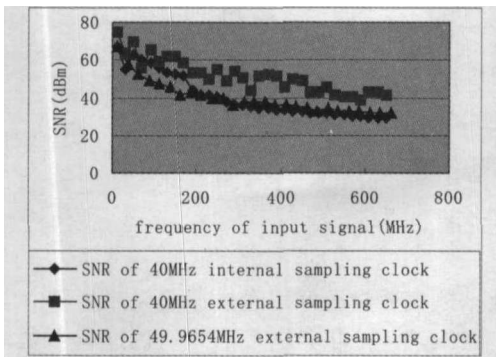


图 2 不同采样时钟的 SNR

3 模拟 BPM 测试

数字采集系统加上 i-tech 公司生产的 RF 前端就可以构成 BPM 测量系统.

首先需要测试一下 4 个通道的一致性. 测试结果如图 3(a) 所示, 从图中可以看到 4 个通道还是比较接

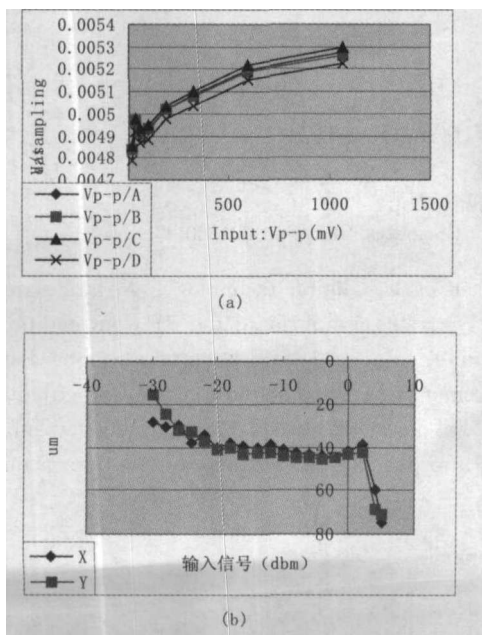


图 3 (a) 4 个通道一致性测试; (b) 束流位置与输入信号功率的关系

近的, 而且 4 个通道的变化趋势是一致的, 可以通过软件来校正.

然后在实验室中, 采用 1 分 4 功分器将信号发生器出来的 499.654MHz 信号分成 4 路, 分别当作探测器出来的 A, B, C, D 信号. 测试结果如图 3(b) 所示, 可以看到整个系统对流强的依赖性还是比较小的.

4 束团长度测量

本论文采用频率谐波法来测量束团, 即通过测量计算出束流频谱中两个频率分量的幅度比值^[3-6], 根据公式 (2) 来求得束团长度:

$$\sigma_\tau = \sqrt{\frac{2}{\Delta\omega^2} \ln \frac{I_1(m_1\omega_0)}{I_2(m_2\omega_0)}}, \tag{2}$$

$$\Delta\omega^2 = (m_2\omega_0)^2 - (m_1\omega_0)^2.$$

图 4 是在 HLS 测量束团长度的设备图. 整个测量系统包括一个条带电极, RF 前端, 数据采集处理板. 这里 RF 前端主要作用是将束团长度测量中用到的两个高频成分混频至中频, 以便 ADC 采样.

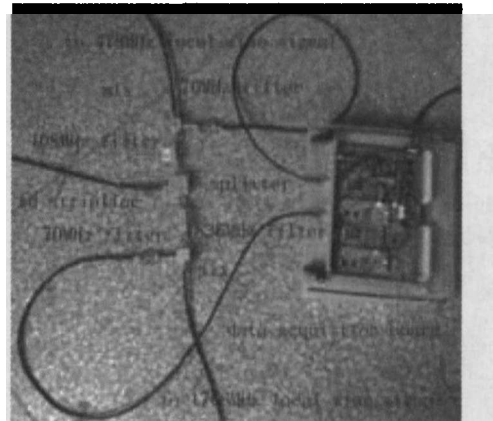


图 4 束长测量设备图

首先需要对整个系统进行标定. 将两个信号发生器输出的正弦信号直接输入到 RF 前端, 模拟束团长度测量中用到的电极感应出的束流信号的两个频率分量. 测试结果如图 5(a) 所示. 从图中可以看到两路有较好的线性度, 只是斜率不同, 这可以通过软件来校正.

图 5(b) 显示了在 HLS 上测量的结果, 它是 408MHz 频率幅度和束流流强随时间的变化曲线, 可以看到两条曲线的变化趋势是一样的, 所以可以用它来测量束流流强.

同时也使用的条纹相机测量了 HLS 的 FWHM (Full Width Half Maximum) 束团长度. 对于高斯形状的束团, FWHM 与平均长度 (rms) 的关系是 $FWHM = 2.35 * \sigma$. 在 250mA 束流流强时, 用条纹相机测得的 rms 束团长度为 310ps, 而本系统测得的 rms 束

团长度为298ps, 可以看到它们的测量结果是比较接近的. 由于时间和其他限制, 没有对条带进行标定, 没有对条纹相机测量结果进行标定, 没有测量更多数据进行比较, 这里只是简单的测量比较, 还有许多工作需要做的.

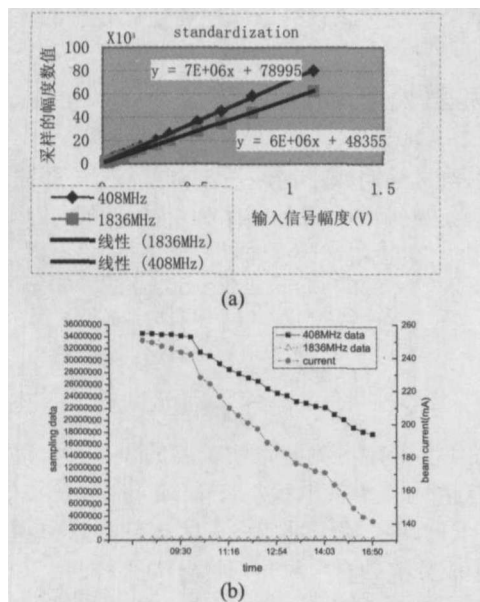


图5 (a) 系统两路标定; (b) 测试数据、流强随时间的变化关系

5 系统改进

现有的设计是将信号混频至中频采样, RF前端比较复杂, 所以可以考虑直接在500MHz高频采样, 可省去混频器和本振. 同时可以采用FPGA来集成DDC, FIFO, DSP, PowerPC等功能. 这里PowerPC主要实现嵌入式系统应用, 以运行Linux和EPICS, 实现Ethernet接口功能. 整个框图如图6所示.

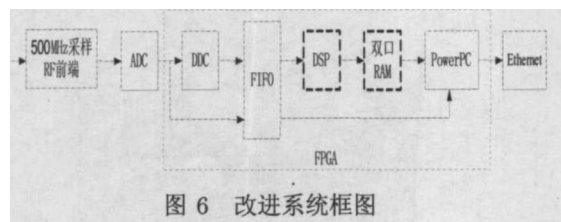


图6 改进系统框图

6 总结

数据采集板能很好用在加速器束流测量中, 配以不同的RF前端就可实现不同的加速器参数测量, 如BPM, 束团长度, 工作点等. 下一步的目标是在500MHz采样, 采用FPGA代替其他数字处理部分, 使系统不断完善, 并最终成为商业化产品.

参考文献(References)

- Schlott V et al. Digital BPM System-Proof of Functionality, PSI Scientific Report 1999, Volume VII
- Dehler M et al. New Digital BPM System for the Swiss Light Source, PSI Scientific Report 1999, Volume VII
- Ieiri T. A Real Time Bunch-Length Monitor using the Beam Spectrum and Measurement of Bunch Lengthening. Nucl. Instrum. Methods, 1993, A329: 371
- Takao Ieiri. High-resolution Bunch-length Monitor Capable of Measurement an RMS Value of a Few mm. Nucl. Instrum. Methods, 1995, A361: 430
- Takao Ieiri. Measurement of Bunch Length Based on Beam Spectrum in the KEKB, EPAC2000, pp1735-1737
- Greenwald Z et al. Bunch Length Measurement using Beam Spectrum, Proc. of IEEE PAC, San Francisco (1991) pp.1246

Beam Measurement Using Digital Technology

HUANG Guo-Qing¹⁾ YE Kai-Rong²⁾

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

Abstract Recently many accelerator parameters are measured by using the digital technology. A data acquisition circuit board adopting software radio technology has been developed. With this circuit board and RF front-end produced i-tech company one can comprise the BPM system. A bunch length monitor composed of the circuit board, power splitter, mix, and band filter has been examined for the bunch length measurement of HLS. The data acquisition circuit board can be further improved, for example, the Ethernet can substitute VME; direct high frequency sampling can substitute medium frequency sampling; using large FPGA. Those will further improve the performance of the data acquisition system, and be the goal of developing this system in the future.

Key words beam measurement, digital technology, BPM, bunch length

Received 7 January 2008

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

2) E-mail: yekr@sinap.ac.cn