

合肥光源新的直流流强检测系统的研制*

孙葆根¹ 卢平¹ 何多慧¹ 徐宏亮¹ 王筠华¹ 郭从良² 洪军¹ 刘建宏¹

1 (中国科学技术大学国家同步辐射实验室 合肥 230029)

2 (中国科学技术大学电子科学与技术系 合肥 230026)

摘要 介绍了合肥光源新的直流流强检测系统的组成,包括 PCT 系统(PCT 探头和电子学线路)、DCCT 真空室及其屏蔽系统以及 DCCT 数据获取系统. 屏蔽系统可以将由杂散场影响所产生的 DCCT 零漂从 1mA 降至 $10\mu\text{A}$ 以下. 最后,给出了 DCCT 数据获取系统的软硬件设计. 新的 DCCT 系统的分辨率为 $1\mu\text{A rms}$,精度可达 0.1%.

关键词 DCCT 束流寿命 磁屏蔽 VXI

在电子储存环中,束流直流流强和束流寿命是非常重要的参数,它是光源质量的一个重要标志,这些参数都是采用直流流强检测器(DDCT)进行测量. 由于合肥光源二期工程改造的目标之一是流强为 300mA,束流寿命为 10 小时以上,尤其是新建的辐射计量标准光束线对束流直流流强测量精度提出了 0.1% 的要求,而原有 DCCT 系统^[1]的线性误差约为 0.2%,分辨率为 $100\mu\text{A}$,测量误差为 $\pm 200\mu\text{A}$,且由杂散场影响所产生的 DCCT 零漂约为 1mA. 显然,原有 DCCT 系统已满足不了我们的要求. 为此,我们研制了一套新的 DCCT 测量系统.

新的 DCCT 测量系统包括 PCT 系统(PCT 探头和电子学线路),DCCT 真空室及其屏蔽系统以及 DCCT 数据获取系统.

1 PCT 系统的组成

PCT 系统采用法国 Bergoz 束流仪器公司生产的 PCT,它是利用二次谐波调制器的原理来进行直流流强测量的,其系统框图如图 1 所示. 它主要由以下三部分组成:(1) 具有激励振荡器和解调器的磁调制器(T1, T2, T3);(2) 具有纹波补偿电路的纹波反馈变压器(T4);(3) 零磁通变压器(T5)及 L/R 积分电路. 所有变压器和绕组之间都采用静电屏蔽,

以便减少耦合. 电流反馈绕组和标定绕组穿过所有变压器.

此外,为了保证 PCT 系统高的测量精度,该系统还具有以下措施:

(1) 在每次打开主电源时,磁芯被自动退磁. 退磁器在反馈绕组中产生峰峰值大于 12A 的 50Hz 正弦波信号,该信号以几秒的时间常数按指数衰减. 对于零磁通变压器而言,退磁是非常重要的,它可以将工作点移至 B/H 曲线的中间,这样可以减小颤噪效应,如机械振动产生剩余磁通调制和寄生信号. 如果没有这种措施,颤噪效应将是非常大的扰动,这将限制该检测器在实际应用中的分辨率. 由于残余剩磁效应,磁调制器对先前的大电流有记忆性. 这样,如果没有反馈补偿,在测量 1A 电流后,零读数可能超过 1mA. 用一个低频信号进行退磁可以将剩余误差降到 $\pm 2\mu\text{A}$ 以下.

(2) 采用电容 C 对快速电流变化进行短路. 借助于附加变压器 T3 将 C 与调制器去耦合. 该电容既可以在快速瞬变过程时保护磁调制器,又可以对磁调制器输出耦合到反馈电流环中的信号的高频分量进行衰减. 该耦合是 PCT 输出信号中的调制纹波的来源. 处理后的调制器输出信号通过纹波反馈变压器来进行补偿,可以将调制器纹波降低 98%.

(3) 为了保证在高流强和低流强的情况下均有

2002-03-28 收稿,2002-10-14 收修改稿

* 国家计委重大科研项目“国家同步辐射实验室二期工程”资助

高的测量精度,我们设置了两个测量范围.其中 1A 档用于多束团高流强下使用,而 100mA 档用于单束团和高亮度调试情况下使用.

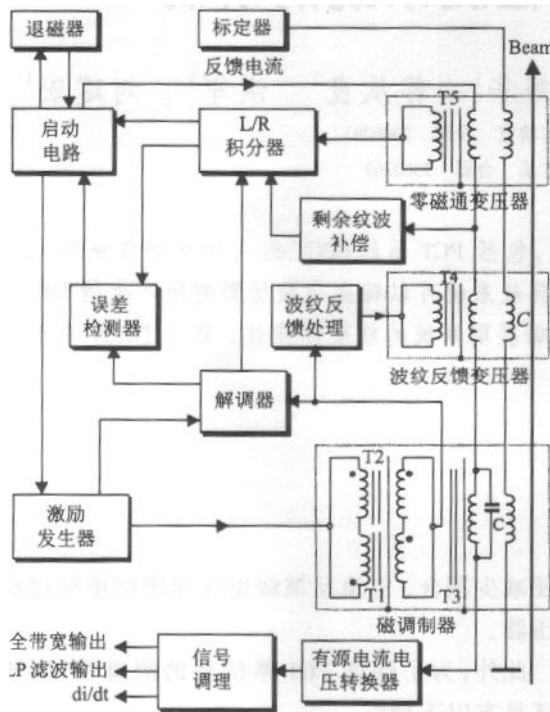


图 1 PCT 系统的方框图

2 DCCT 真空室及其磁屏蔽

对于 DCCT 测量系统而言,DCCT 真空室及其磁屏蔽系统的设计是非常重要的.由于影响 DCCT 系统测量精度的因素除测量系统本身外,还有二极铁和四极铁等产生的杂散场,尤其是在束流直流流强度高精度测量时更要考虑这些杂散场的影响.国外实验室都非常注意对杂散场的屏蔽^[2].所以,我们对这些杂散场进行了测量和分析,并对 DCCT 的屏蔽进行了计算和设计^[3].

在进行 DCCT 真空室及其磁屏蔽系统设计时,主要考虑以下几点:

(1) 在 PCT 探测器的近处必须截断真空室的导电性,否则流过真空室壁的干扰信号将穿过 PCT 的孔径,从而影响测量精度.考虑到需要进行真空烘烤,我们采用陶瓷狭缝进行隔离;

(2) 由于陶瓷狭缝会引起束流看到的真空阻抗破坏,所以需要陶瓷的内壁进行金属化处理,我们采用内壁镀镍;

(3) 应该防止束流的高频从真空室泄漏出来,为此我们在陶瓷管内镶有一个屏蔽铜套,且上游端

接地,同时采用了在陶瓷狭缝外均匀并联接入 10 个 1nF 电容的措施增加陶瓷狭缝电容,使得陶瓷狭缝等效的截止频率约远小于束流的回旋频率,以减少束流交流分量泄漏,从而保证 DCCT 测量系统在多束团和单束团运行情况下均能正常工作^[4];

(4) 为了减少杂散磁场对 PCT 的影响,我们采用了两层圆柱体屏蔽,屏蔽材料选用高初磁导率的铁镍软磁合金 1J79,厚度为 1mm,它具有高的饱和磁通密度($B_s:0.75T$);

(5) 为了提供壁电流通路和进行 RF 屏蔽,我们在外层增加了一层静电屏蔽层,材料可以是铝、不锈钢和铜,我们选用黄铜.

我们对 DCCT 屏蔽系统的磁屏蔽系数进行了测量^[5],通过实测得到横向和轴向实际屏蔽系数分别约为 120 和 85.

3 DCCT 数据获取系统

3.1 DCCT 数据获取系统的硬件组成

DCCT 数据获取系统采用 VXI 系统构成,如图 2 所示. VXI 系统由一个 13 槽 VXI 机箱、一块 MXI2PCI 型的零槽控制器、两块信号处理模块和一块数据采集模块构成. VXI 机箱采用美国泰克公司生产的智能 13 槽机箱 VX4101, MXI2PCI 型零槽控制器采用美国 NI 公司生产的 VXI-PCI8015,信号处理模块采用美国 NI 公司生产的 VXI-SC-1102B,数据采集模块采用美国 NI 公司生产的 VXI-MIO-64XE-10.

VXI-SC-1102B 用于对 PCT 输出电压信号进行调理,它具有 32 个输入通道,其低通滤波器的截止频率选用 200Hz,我们利用一个通道作为 PCT 输出电压信号的输入. VXI-MIO-64XE-10 用于对经过调理后的 PCT 输出电压进行数据采集,它具有 64 个输入通道,16bit 精度,最高采样率为 100kHz.

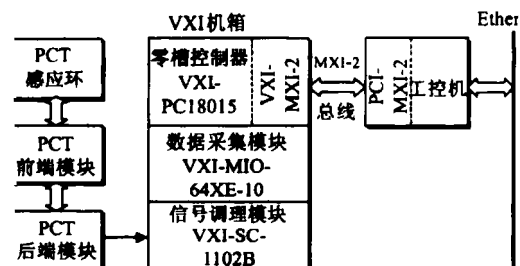


图 2 DCCT 数据获取系统的方框图

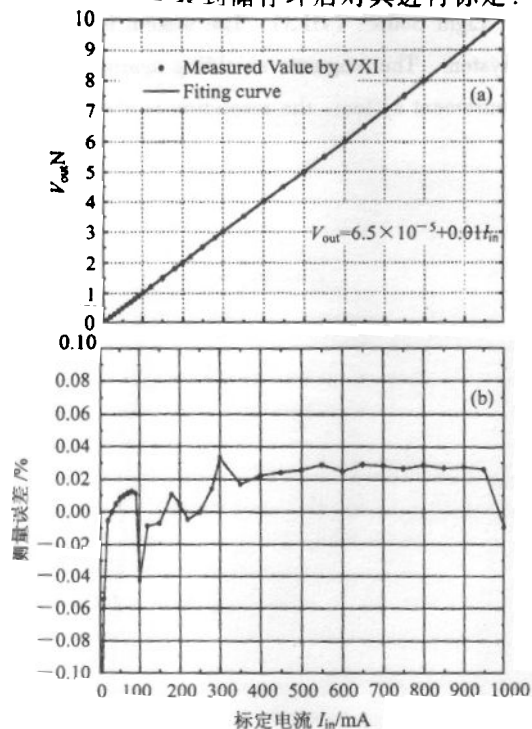
3.2 DCCT 数据获取系统的软件设计

DCCT 数据获取系统软件采用 LabVIEW 可视化

软件编写. 程序分成服务器端的程序和客户端程序. 服务器程序主要完成直流流强数据的采集和向客户端发送数据包. 客户端程序完成束流寿命的计算、流强和寿命曲线的显示、数据存盘和打印.

1 DCCT 测量系统的标定

为了保证 DCCT 测量系统的测量精度, 必须在测量系统安装到储存环后对其进行标定.



(a) 输入输出曲线; (b) 误差曲线.

图3 DCCT系统的实测定标曲线

DCCT 标定系统由精密电流源, PCT 测量系统以及 VXI 数据获取系统等构成. 这里, 精密电流源选用美国 Keithley 公司生产的数字源表 Model 2400, 其

输出电流从 $\pm 50pA$ 到 $\pm 1.05A$, 电流的设置精度为 0.03%, 其测量精度约为 0.01%; VXI 数据获取系统的测量精度约为 0.01%. 这样, 在整个标定系统中标定仪器的精度可达 0.04%.

我们将数字源表 Model 2400 的输出电流送至 PCT 测量系统, PCT 测量系统将电流转换为电压输出, VXI 数据获取系统对其电压进行测量和获取. 实测定标曲线如图 3 所示.

根据标定测量结果, 新的 DCCT 测量系统在 6—1000mA 测量范围内, 测量精度好于 0.1%, 线性误差为 $\pm 0.0072\%$.

5 测量结果

合肥光源新的 DCCT 测量系统已经建成, 并已投入实际运行, 分辨率为 $1\mu A$ rms, 精度可达 0.1%. 由于采用 DCCT 的磁屏蔽, 从而将由杂散场影响所产生的 DCCT 零漂从 1mA 降至 $10\mu A$ 以下. 图 4 给出了利用 DCCT 测量系统测量的 DCCT 曲线.

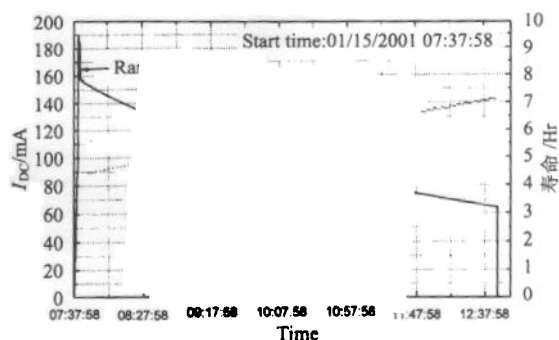


图4 应用 DCCT 测量系统测量的直流流强曲线

感谢李为民、刘祖平、王勇研究员对本文工作有益讨论和大力支持.

参考文献 (References)

- 1 SUN Bao-Gen, FANG Zhi-Gao et al. The DCCT Measurement System in HLS. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*, 1995, 9: 463—465
- 2 Honda T, Sato Y et al. Beam Intensity Measurement with a DC Current Transformer at the Photon Factory Storage Ring. *Proceedings of the 9th Symposium on Accelerator Science and Technology*. KEK, 1993
- 3 SUN Bao-Gen, HE Duo-Hui et al. *High Power Laser and Particle Beams*, 2000, 12(4): 525—527 (in Chinese)
(孙葆根, 何多慧等. 强激光与粒子束, 2000, 12(4): 525—527)
- 4 SUN Bao-Gen, HE Duo-Hui et al. *Atomic Energy Science and Technology*, 1999, 33(5): 404—409 (in Chinese)
(孙葆根, 何多慧等. 原子能科学技术, 1999, 33(5): 404—409)
- 5 SUN Bao-Gen. *Thesis for Ph. D Degree*. Hefei: Published by University of Science and Technology of China, 2000 (in Chinese)
(孙葆根. 博士论文. 合肥: 中国科学技术大学出版社, 2000)

Development of New DCCT System for Hefei Light Source *

SUN Bao-Gen¹, LU Ping¹, HE Duo-Hui¹, XU Hong-Liang¹,
WANG Jun-Hua¹, GUO Cong-Liang², HONG Jun¹, LIU Jian-Hong¹
1 (NSRL, University of Science and Technology of China, Hefei 230029, China)

2 (Dept of Electronic Sci. and Tech., University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract The new DCCT measurement system is developed for Hefei Light Source (HLS). The system is composed a PCT system, a DCCT shielding system and a DCCT data acquisition system. The magnetic shielding against stray fields suppressed zero drifts of DCCT from 1mA to 10 μ A. In new DCCT measurement system, the resolution is about 1 μ A rms, the accuracy is about 0.1 % .

Key words DCCT, beam life, magnetic shielding, VXI

Received 28 March 2002. Revised 14 October 2002

* Supported by Important Science Project of National Project Committee-NSRL Phase- II Project