

高精度直流传感器 DCCT 标准测试系统

陈斌¹⁾ 陈素颖 程健 张旌

(中国科学院高能物理研究所 北京 100049)

摘要 在北京正负电子对撞机二期改造工程(BEPC II), 磁铁电源系统大量使用了电流型直流传感器(DCCT)作为电源的反馈和回采器件. 为了能够对DCCT的性能进行检测和校准, 设计研制了高精度直流传感器DCCT标准测试系统. 该测试系统主要由PC工控机、 $7\frac{1}{2}$ 数字万用表、超高精度直流传感器和高精度直流稳流电源构建而成. 论文中主要介绍了测试系统的功能和系统软、硬件结构, 并给出了测试系统在实际DCCT检测中的测量数据.

关键词 直流传感器 DCCT 测试系统 高精度直流稳流电源

1 引言

在北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPC II)中, 大部分磁铁采用的是独立供电方式, 即单块磁铁由单台励磁电源供电. 这对励磁电源的输出性能(即线性度、稳定度)和输出电流回采的检测精度提出了更高的要求. 而影响达到这一要求的关键部件就是电源中所使用的直流传感器(DCCT).

DCCT是电源反馈和回采的核心部件. 在BEPC II磁铁电源设计中, 为了节约成本大量使用了电流型DCCT. 它是根据零磁通技术设计的一种双向高精度直流电流测量器件. 其输出为电流型信号, 需要外接BURDEN电阻和精密放大器, 将其转换为电源调节回路所需要的电压信号. 为此我们自行开发研制了I/V转换板. 由于其中器件的参数存在有差异, 使得各个DCCT的性能指标(包括零点偏移、增益、线性度和稳定度)存在一定误差. 为了检测这一误差, 并将其校正到允许范围内, 我们设计研制了高精度直流传感器DCCT标准测试系统.

2 系统功能

该测试系统是一个基于Labview软件控制的自动化测试平台, 主要由PC工控机、 $7\frac{1}{2}$ 数字万用表、超高精度直流传感器和高精度直流稳流电源构建而成. 主要的功能包括:

1) 检测DCCT的性能指标, 包括: 零点偏移、增

益、线性度、稳定度;

2) 通过与标准DCCT对比, 校正被测DCCT的输出参数, 使零点偏移和增益相对误差 ≤ 10 PPM;

3) 用于检测稳流磁铁电源输出电流稳定度.

3 系统设计

如图1功能框图所示, 工控计算机通过数字I/O卡和18位高精度D/A转换器, 实现对标准测试电源输出电流值的数字给定. 并根据测试的需要设定给定电流的上/下限值, 和给定电流的升降步长、速率.

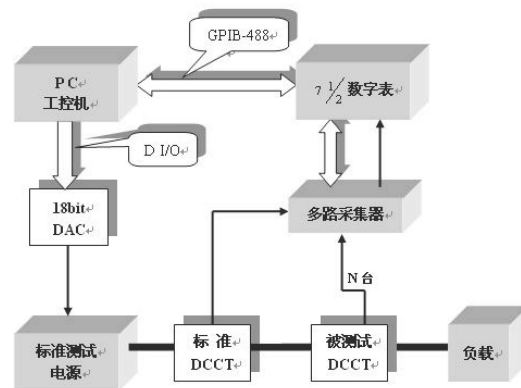


图1 直流传感器DCCT标准测试系统功能框图

用标准DCCT和被测试DCCT对电源输出电流同时进行测量. 测量得到的模拟电压值, 由计算机通过GPIB卡控制数字电压表和多路选通器将其转换为数字量, 输送入计算机. 计算机根据输入的测量数据,

计算出DCCT的测量结果,并实时显示出来.同时以文件形式进行保存,以便于进行深入的分析处理.

将计算机分析计算出的被测试DCCT的参数,与标准DCCT参数进行对比.根据对比结果,通过调节DCCT自身的参数校正电路进行参数校正.

此外,可以利用系统中的数字电压表和多路选通器对直流磁铁电源输出电流稳定度进行检测,并将测试数据输入计算机进行保存和分析处理.

4 硬件设计

根据BEP C II 磁铁电源性能的需要,DCCT各项参数的误差要求控制在 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 范围之内.因此在设计系统硬件时,选用和研制了许多高精度、高稳定性的仪器和设备.包括 $7\frac{1}{2}$ 数字万用表、超高精度直流传感器和高精度直流稳流电源.

4.1 $7\frac{1}{2}$ 数字万用表

为了能将DCCT各项参数在 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 范围内的变化量测量出来,要求数据采集系统具有更高的精度和稳定性.目前市场上有两种成熟的数据采集系统.一种是传统的数字电压表(DVM)配多路选通器,通过GPIB卡与计算机通讯.其特点是底噪声,高分辨率,高精度,但采样速率较慢.另一种是时下发展很快的板卡式数据采集系统(DAQ),其特点是采样速率高,响应快,开发方便,但分辨率基本都在16位左右.相应测试系统设计指标,不能满足要求.因此我们选用了KEITHLEY公司研制的一款 $7\frac{1}{2}$ 数字电压表2010.该表的测量精度是7ppm(24h内).并且自身配备有一块10通道的多路选通器,可以实现系统对多个DCCT同时进行测量的需要^[1].

4.2 标准DCCT

要对被测试DCCT的参数进行校正,就需要有一个标准.为此我们选用了HITEC公司生产的ULTRACC型DCCT.它是一款专用于高性能测量的装置.它具有高稳定性,小于0.25ppm/K的温度系数,和优于2.5ppm的线形度^[2].

4.3 标准测试电源

标准测试电源作为被测试DCCT的测量对象,其性能指标需在DCCT各项参数误差的范围之内.否则,将无法测量出DCCT的真实参数.所以要求电源输出电流的分辨率和稳定度指标达到 $\leq \pm 1 \times 10^{-5}$.

根据要求研制了一台200A/10V的直流稳流电源.电源采用两级结构.前级为零压软开关PWM移相全桥逆变整流电路,用于提供预稳压电源.后级采用调整管进行线形调节,输出稳定直流.此种设计减小了电源体积,提高了电源效率,也减小了开关电源输出电压纹波对电流稳定性的影响.

为了达到设计指标,使用了18位高精度D/A转换器AD760作为电源的给定器件.经测试AD760的有效分辨率达到 4×10^{-6} ^[3].为了更进一步提高稳定性,AD760使用了LTZ1000作为外接基准源.LTZ1000是一种具有极低温漂的电压基准源,它的使用,降低了温度对电源稳定性的影响^[4].

电源还设计了远控数字量给定接口,可由计算机进行给定设置,并且输出电流在额定范围内连续可调.

用7位半数字电压表(KEITHLEY 2010)和标准DCCT(HITEC-ULTRACC)对电源在20%,50%,80%和100%额定输出电流的稳定度进行8h测试,结果见表1.其中稳定度计算公式为:

$$S_i = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

表1 标准测试电源输出电流稳定度测试结果

电流测试点	20%	50%	80%	100%
最大电流值	39.985211	99.977800	159.959884	198.275544
最小电流值	39.984431	99.976820	159.958720	198.273805
电流稳定度	9.75ppm	4.88ppm	3.64ppm	4.40ppm

由测试结果可以看出电源的稳定度指标满足设计要求.

5 软件设计

软件设计主要是用Labview编写的上层PC机的应用程序,用于对测试系统硬件的控制、数据采集和显示.基本功能包括:1)数字I/O卡和数字电压表的初始化;2)通过数字I/O卡发送给定数字量;3)通过

GPIB卡控制多路选通器和数字电压表,并进行数据采集;4)对采集数据进行处理,并进行实时显示;5)以文件格式保存采集的数据和分析结果.

6 结论

此套设备研制完成后,由工程办公室组织进行了专家鉴定和验收.对3台DCCT的参数进行了测量,并与标准DCCT的测量值进行对比.测试数据见表2、表3.结果表明,DCCT标准测试系统达到设计要求,

验收合格。

到目前为止已使用该测量系统完成 430 套 DCCT

的检测和校正(其中检测出 6 台有故障); 同时还完成 179 台磁铁稳流电源的稳定度测试。

表 2 稳定度测量数据

名称	标准 DCCT	1# DCCT	2# DCCT	31# DCCT
最大电流值	9.9024407	9.9003415	9.9007604	9.8980469
最小电流值	9.9023425	9.9002503	9.9006816	9.8979605
电流稳定度	4.96ppm	4.61ppm	3.98ppm	4.36ppm

表 3 线形度测量数据

电流值(标准 DCCT)	1# DCCT 采样值	2# DCCT 采样值	3# DCCT 采样值
-198.26375	-9.91279	-9.91244	-9.91379
-160.52620	-8.02614	-8.02578	-8.02685
-120.90020	-6.04503	-6.04471	-6.04554
-80.21217	-4.01070	-4.01034	-4.01100
-40.49991	-2.02515	-2.02479	-2.02525
0.00011	0.00000	0.00014	0.00005
198.25740	9.91237	9.91220	9.91337
160.38076	8.01883	8.01866	8.01960
121.02140	6.05103	6.05091	6.05162
80.35590	4.01778	4.01774	4.01819
40.52710	2.02627	2.02634	2.02654
零偏	-5.160×10^{-5}	8.161×10^{-5}	-9.533×10^{-6}
增益	0.049998673	0.04999705	0.050003443
线形度	9.41×10^{-6}	8.40×10^{-6}	8.76×10^{-6}

参考文献(References)

- 1 Model 2010 7-1/2 Digit Low Noise Autorange Multimeter Data Sheet
- 2 ULTRACC User Manual, HITEC. 2000
- 3 16/18-Bit Self-Calibrating Serial/Byte DACPORT AD760 Data Sheet, AD. 1995
- 4 LTZ1000/LTZ1000A Ultra Precision Reference Data Sheet

High Precision Standard Testing System for DCCT

CHEN Bin¹⁾ CHEN Su-Ying CHENG Jian ZHANG Jing

(Institute of High Energy Physics, CAS, Beijing 100049, China)

Abstract In the BEPC II, a great deal of DCCTs, with current output, are used as the measuring and feed-back units in power supplies. High Precision Standard Testing System for DCCT is designed and developed in order to detect and adjust the capability of DCCT. This testing system mainly consists of a PC computer, a $7\frac{1}{2}$ Digit Multimeter, a high precision DC current measuring system, and a high precision and stability power supply. The function and the structure of the testing system are simply analysed, and the test data are presented.

Key words DC current measuring system, DCCT, testing system, high precision stabilized DC power supply