**抗辐照电源系统设计与测试**

张伟

（华中师范大学 物理科学与技术学院 武汉 430079）

**摘 要：**(高能物理电子学读出系统的重要性)在高能物理电子学读出系统中供电电源是非常重要的一个组成部分，对电源也提出了抗辐照、低噪声、多通道、具有一定的输出电流和电压能力的要求。（别人的研究现状）鉴于些，我们设计了一种抗辐照16通道输出的电源系统。该电源系统由两块一样的电源板级联而成，根据接入控制器的方式不同自动识别主从板。每一个电源通道具有上电死锁、电压电流监测，过流保护等功能。首先介绍了整个系统的框架，然后以设计框架为基础分析系统硬件各个了模块的工作原理及实现方法。最后，对整个电源系统进行测试，并分析测试结果和测试软件的设计。经测试证明，该电源系统具有良好的抗辐照能力，输出电压电流均满足设计要求。

**关键字：**电源；抗辐照；电压；电流；

**Radiation-hardened** **power supply system design and testing**

Wei Zhang

(Central China Normal University College of physics science and technology Wuhan 430079)

**Abstract:** Power supply is a significant important component in the electronic readout system of high energy physics. There are some requirements for power supply such as radiation-hardened, low noise, multichannel output, and voltage and current output capacity. In view of this, we designed a radiation-hardened power system with sixteen channels output. Two identical power supply boards are cascaded in this power supply system, which can automatically recognize the master board that is connected to the controller from the slave board. Each power supply output channel have latch-up during power-on, output voltage and current monitoring, over-current protection and so on. Firstly, we introduce the structure of the entire system, then we analyze operating principle and realization method for every module of system hardware. Finally, we test the entire power supply system and analyze the testing results, then give the structure of software for testing. The testing results verify that the power supply system has prominent radiation-hardened capacity and the output voltage and current meet the designing requirements for the electronic readout system in high energy physics.

**Keyword:** Power supply; radiation-hardened; voltage; current;

**1 引言**

高能物理是研究组成物质和射线的基本粒子以及它们之间相互作用的物理学的一个分支。由于大部分的基本粒子在一般条件下不存在或不单独出现，只有使用粒子加速器在高能相撞的条件下才能生产和研究它们。因此研究高能粒子碰撞后特性的数据获取系统一般工作在一定剂量的辐照的条件下，在数据获取系统中电源是非常重要的一个组成部分。通常要求数据获取系统的电源要有一定的抗车照能力、较低的噪声、上电死锁、实时监测每个通道的输出电压及电流等功能。

目前在高能物理数据获取系统中，对于多通道大电流（1-2A）输出的电源一般采用DC-DC方案。但DC-DC解决方案存在两个问题，第一相对于LDO来说DC-DC输出纹波过大，第二DC-DC存在反馈环路，易使辐照的影响导致输出不稳定。在DC-DC方案占用PCB面积也比LDO方案大。

正是基于高能物理数据获取系统中这些特殊的要求和当前高能物理数据获取系统 中存在的这些缺点，本文致力于研究开发一种抗辐照、低噪声、上电死锁、多通道输出等功能的电源系统。首先根据需要求提出了设计方案，并分析各个功能模块的工作原理及实现。最后，经过测试给出了测试结果并与理论设计值进行对比。

**2 系统概况**

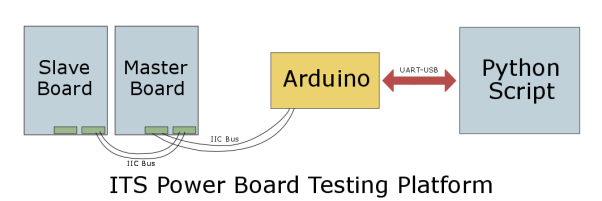
本文设计的电源系统及测试平台如图1所示，该电源系统由两块一样的电源板组成。每块电源板有8路的正电源输出，电压输出范围为1.5V - 2.5V步长？？mV和1路负偏压输出，输出范围为0V - 4.9V步长为？？mV。两块电源板之间通过IIC总线连接，当其中一块接到控制器上时，该板为主板，则另外一块板为从板。两块电源板通过级联可以实现16路正电源的输出和两路负偏压的输出。每块电源板上的可控芯片都选用IIC接口，通过与控制器的连接来修改该板上的IIC地址，实现主从板的识别。

测试过程中我们采用Arduino Mega 2560 MCU作为主控制器，PC端用python脚本通过usb与Arduino Mega 2560 MUC进行通信。Mega 2560 MCU主要负责读写IIC器件的操作，python脚本主要负责接收用户输入的命令并将其解析成对应的IIC指令送给Mega 2560 MCU。



图2 单个正电源输出通道原理图

图1 电源系统及测试平台



**3 系统硬件**

本文设计的电源系统集成了16通道正电压输出、2通道负偏压输出、6通道温度测量。每个正电压输出通道都有上电死锁、电压电流监测、输出电流阈值设定、手动及软件复位死锁状态。

**3.1正电源输出通道**

设计要求正电源电压输出范围为1.5 - 2.5V, 电流输出能力最大为2A。电源芯片选用Microchip公司的MIC39152 LDO，MIC39152是一款具有输出使能端的可调线性低压差调节器，拥有低电压大电流输出能力，外部只需要少量的元件即可工作。MIC39152具有一定的抗辐照能力，在一定剂量的辐照条件下也能正常的工作。

图2为第1通道正电源输出通道的原理图，每个正电源通道主要有上电死锁、电压电流监测、手动及软件复位输出死锁状态、软件置位输出死锁状态。上电死锁是指电源板上电后各个正电源输出通道的输出为高阻状态，这样可以防止上电输出不稳定对后端的读出系统造成不可恢复的损害。如图2 中所示，U9为可调LDO，通过外部10K数字可调电位器来实现电压调节，数字电位器输出分别接到POT\_A\_CH1和POT\_B\_CH1。R36为通道1的电流检测电阻（50 mOhm），通过差分运放U10将电流检测电阻上的差分电压进行放大再通过缓冲器（U5）后送给ADC进行采样。另外，采样电阻低电压端的输出电压直接送给ADC进行电压采样测出该通道的输出电压值。U11为带输出死锁功能（Latch）的比较器，当Latch输入端为高电平时，U11的输出和互补输出都保持Latch之前的值不变。该电路直接将比较器的输出作为Latch端的输入信号，比较器的互补输出端被连接到LDO的使能端。当比较器的同相输入端电压高于比较器的反相输入端电压时，比较器输出端为高电平，互补输出端为低电平。因为Latch端直接连接到比较器的输出所以比较器被死锁。LDO的EN引脚为低电平非使能，U11的互补输出端直接连接到LDO的EN引脚，当U11的互补输出端输出低电平时LDO输出高阻态，这样就达到了输出死锁的功能。

LDO的输出电压满足如下公式：其中为可调数字电位器的阻值，变化范围为0-10 kOhm，为LDO内部参考源电压，典型值为1.24V。



当的值调节为0 Ohm时，=1.502V，当的值调节为10 kOhm时，=2.558V。从以上推导可以看出，正电压输出通道的输出电压值的理论计算满足我们的设计要求（要求输出范围为1.5V - 2.5V）。

电流的测量首先经过50 mOhm电阻进行取样，将电流转化为电压，再经过差分运放进行10倍放大后通过一级缓冲器送给ADC进行采样。正电源通道的输出电流满足如下公式：



为通道的输出电流值，为ADC测量的电压值。

U11的Latch状态可以被手动或软件复位，手动复位是通过SW1轻触按键来实现。当U11的输出为高电平时，Latch状态有效，通过按下SW1轻触按键可以将Latch引脚从高电平变为低电平从而复位Latch状态。软件可以置位和复位Latch状态通过外部IO扩展芯片（PCF8574）来实现，当向IO扩展芯片连接到LU\_VBUFF\_CH1的IO口写入低电平时复位Latch状态。反之，写入高电平时置位Latch状态。

如图2中所示，Threshold\_M1\_CH1是DAC设置电流阀值的接入点，上电时DAC输出为高阻态，U17为一单稳态触发器，当OE\_BAR为低电平时，OUT\_Y为低电平。当OE\_BAR为高电平时，OUT\_Y输出为高阻。上电过程中，由电容(C44)和电阻(R58)的组成充电回路，使OE\_BAR先为低电平慢慢变为高电平。OUT\_Y输出由低电平变为高阻态。由以上分析可知，上电过程中OUT\_Y输出为低电平，DAC的输出状态为高阻态，所以上电过程上U11的反相输入端为低电平，U11的同向输入端在上电过程中任何的扰动信号都将使U11的输出为高电平，使latch端被置位，LDO的使能端为低电平，LDO输出为高阻态，这样避免了上电LDO输出不稳定损坏探测器芯片。

**3.2负偏压输出通道**

图3为负偏压输出通道的原理图。负偏压输出通道主要由DAC、射极跟随器和输出运放组成。DAC主要功能是提供一个正的电压变化范围。其中射极跟随器具有关闭功能，当射极跟随器被关闭时其输出为高阻态。输出级运放为一个大电流输出的反向比例放大电路，其增益为约为1.96。



图3 负偏压输出通道

负偏压输出通道的输出电压如下表达式：



其中，为负偏压通道的输出电压值，为写入DAC的数字值。由上式可知，的变化范围为0V - 4.9V。