

李兴泉,邵玉平,刘江,2022. 基于 STM32 的地震观测台站通用智能电源控制器的研制. 中国地震,38(1):166~175.

基于 STM32 的地震观测台站 通用智能电源控制器的研制

李兴泉 邵玉平 刘江

四川省地震局,成都 610041

摘要 电源是一切电子设备的核心,是保障电子设备正常运行的关键,但目前针对地震观测台站使用电源的相关研究较少,本文在分析目前台站电源存在问题的基础上,开发设计了适用于台站的通用智能电源控制器,该控制器以 STM32F107 微处理器为核心,设计了相应的信号采集、电压控制及驱动电路,整机功耗约 0.6W、工作电压范围 DC7~23V,其通过外接方式即可对台站原有供电系统进行功能扩展和优化,满足低功耗、易操作、高可靠等设计要求,具有较好的推广价值。

关键词: 地震观测台站 智能电源 STM32 INA219 磁保持继电器

[文章编号] 1001-4683(2022)01-0166-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

近年来,随着国家和地方对地震观测研究的重视,各种手法的区域台网、科考台阵、流动台站及地震预警台站在全国范围内投入建设(周克昌等,2013;李兴泉等,2018)。如何保障数字地震台站的正常运行成为技术支持的关键任务,数字地震台站通常由专业地震信号获取器、数据采集器、数据传输设备以及多功能电源设备组成,稳定可靠的供电系统是台站正常运行的必要条件,目前地震观测台站供电主要包含交流供电、太阳能供电和交流+太阳能混合供电等多种形式(肖武军等,2019),其中太阳能供电作为台站重要供电手段之一,使本来无法或者不方便得到电力供应的地区实现建台的可能,加之其有较好的避雷效果,近年来太阳能+蓄电池构建的供电系统在地震观测台站中得到普遍推广应用,太阳能管理电源作为该类供电系统的核心设备,其性能的优劣直接关系到整个台站能否正常运行。目前针对台站使用电源的研究较少,现有的太阳能管理电源也大多不能满足地震观测台站的实际需求,或采用纯硬件电路及低端的微处理器,导致其性能和可靠性有一定的局限性,造成观测设备故障及记录数据的断记和丢失现象频出。同时偏远地区电网的不稳定性和频繁停电现象,造成台站供电系统(交流+蓄电池供电模式)中蓄电池出现过放损坏及后端设备反复重启损

[收稿日期] 2020-03-20 [修定日期] 2020-11-12

[项目类别] 四川省地震局科技创新团队专项(201801)、国家重点研发计划子专题(2018YFC1504505-03-2)、四川省地震局地震科技专项(LY1903、LY2113、LY2220)共同资助

[作者简介] 李兴泉,男,1982年生,高级工程师,主要研究方向为地震预警、地震观测技术及仪器。

E-mail:309622503@qq.com

坏的情况也时有发生。

为此,我们研制了一种针对地震观测台站系统使用的智能电源控制器,这种控制器能够根据台站供电系统的运行状态,自动对输出端进行智能控制,克服传统电源在台站上使用的弊端,完善了功能需求,对供电系统输出端进行分类管理,优先保障台站数据采集单元的正常工作,使其尽可能记录到完整的地脉动数据,另外,也可保障台站蓄电池达到终止电压后仍可自行恢复并重新对外正常供电,从而降低台站运维成本,提高台站运行率。同时,该控制器将蓄电池电量状态作为对外供电的判断依据,避免后端专业设备因供电系统电量不足而反复重启造成损坏。因此,智能电源控制器的研制可为未来针对地震台站观测使用的太阳能管理电源技术改进提供参考,具有较高推广价值。

1 总体方案设计

通过对现有地震观测台站供电系统实地调研,通用智能电源控制器应具备以下主要功能:①易于接入,控制器外部接入地震观测台站原供电系统后,便可对台站供电系统的功能进行优化和扩展,降低原有台站供电系统改造成本;②多种模式输出,根据地震观测台站运行状态,输出端可呈现多种输出方式,优先保障台站采集单元的正常供电,最大限度提高台站记录数据完整性,进而在有效提高台站专业设备及蓄电池使用寿命等方面满足用户需求;③短路保护电流独立设置,满足台站专业设备种类众多、所承受最大电流值各不相同的实际需要,增强设备通用性。

地震观测台站通用智能电源控制器主要技术指标见表 1。

表 1 地震观测台站通用智能电源控制器主要技术指标

主要技术指标	内 容
供电电压	DC12V(DC9.5~18V 均可正常工作)
输出端路数	两路
短路保护	两路输出端可独立设置短路保护电流
功耗	小于 1W
控制功能	自动检测直流供电系统的工作状态,通过逻辑判断,实现对两路输出端智能控制
切换延迟	不大于 5s

随着技术的不断发展,嵌入式系统渗透到生活的各个方面,覆盖了电子消费、仪器仪表、航空航天等多个领域,嵌入式系统是计算软件和硬件相结合的针对工业中某一种特殊功能要求量身设计的系统,其中嵌入式处理器为核心器件,担负着整个系统关键的功能控制操作(王宏波,2002;孙启富等,2010)。STM32 单片机作为嵌入式系统的核心器件,具有出众的性能、丰富且灵活的外设,为产品的开发设计提供了更多的便利。本文研究的重点是以 STM32F107 微处理器为控制器核心设计开发适用于地震观测台站使用的智能电源控制器。智能电源控制器对台站供电系统的工作状态进行采集处理后,由 STM32F107 对采集到的数据进行分析判断,并根据当前台站供电系统的运行状态,对台站供电系统进行控制。同时,为更好地满足地震观测台站功能需求,开发设计了时钟电路、复位电路、显示及温湿度监测电路等辅助电路,系统功能如图 1 所示。

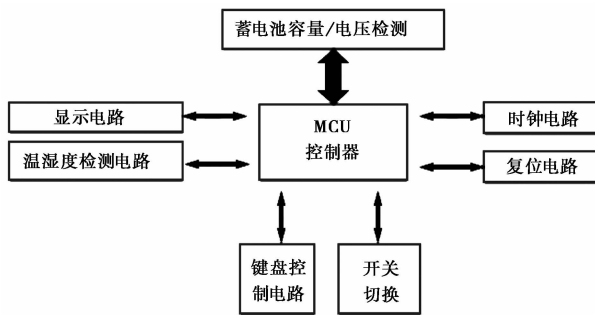


图 1 系统框图

2 系统主要硬件设计

系统的主要硬件电路包括 STM32F107 主控电路、输出端电流/电压监测电路、蓄电池状态监测电路、输出端短路保护电路、温湿度监测电路及显示电路等,其中输出端电流/电压监测电路、蓄电池状态监测电路及输出端短路保护电路为整个系统的核心部分。

2.1 主控单元

主控单元采用意法半导体公司出产的 32 位 ARM 微处理器 STM32F107,该芯片是一款互联型微控制器,集成了各种高性能工业标准接口,适应多种应用,具有高性能、低功耗、接口丰富和体积小等优良特性,为产品开发带来出色的扩展功能和丰富的外设配置,使 STM32F107 在医疗、楼宇自动化、警报系统、视频对讲等多种场合得到广泛使用。

2.2 系统时钟电路

以微处理器为核心的嵌入式系统中,时钟是保证系统正常工作的基础,其不但为整个系统提供基准的定时信号,还对外围电路起着功能协调的作用(李东等,1999)。本系统的时钟电路主要由晶体振荡器和外围补偿电路组成,包括限流电阻、无源晶振和负载电容等(图 2)。电路中电阻 R_1 为反馈电阻(一般 $\geq 1M\Omega$),主要作用为限流,防止谐振器过驱、降低谐振阻抗,使 STM32F107 内部反相器在振荡初始时处于线性工作区;晶振 Y_1 采用贴片无源晶振,其两端的 C_4 和 C_{14} 为晶体的匹配电容,用来匹配晶体的负载电容,当所接电容为匹配电容,便可保证振荡频率在标称频率附近的误差范围内,若电容太小不易起振,在某些情况下,振荡频率的微调可通过调整这两个电容的大小来实现,可调范围一般在 10ppm 量级(张小强等,2015)。

2.3 电压/电流检测电路

系统中电压/电流检测功能由 INA219 来实现,INA219 具有 I2C 接口,是一种双向电流/功率控制器芯片。该芯片可将输入的模拟电压和分压信号转换为数字信号,保存在电压寄存器和分压寄存器中,也可把分压通过内部电路换算成电流信号,保存在电流寄存器中,并通过附加乘法寄存器来计算功率。INA219 芯片的内部结构如图 3 所示。

INA219 内嵌 delta-sigma ADC,delta-sigma ADC 通过采用过采样、噪声整形以及数字滤波等技术,降低了对模拟电路的设计要求,实现了其他类型 ADC 无法达到的高精度和低功耗,广泛应用在工业测量、专业音频编解码等高精度场合中,并在多种数据接收器中得到应

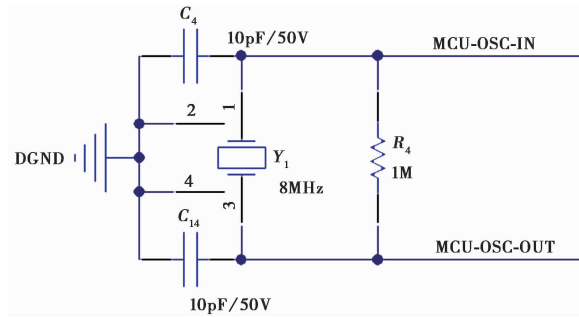


图 2 系统时钟电路

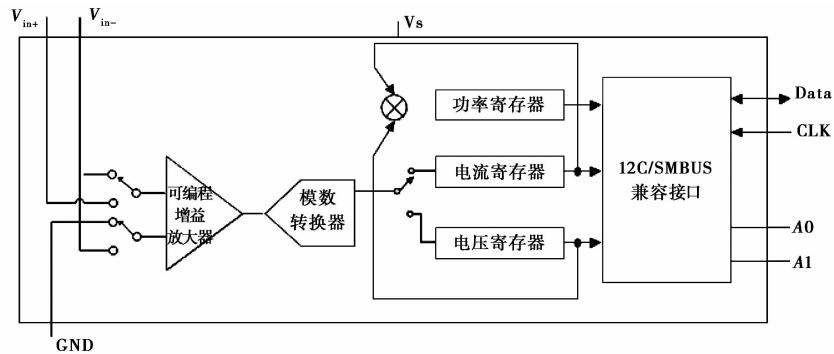


图 3 INA219 芯片内部结构

用(闫宁等,2016;Candy et al,1992)。

电路设计中,INA219 通过 2 个模拟输入端 1 脚和 2 脚(输入+和输入-)连接电路中采样电阻的两端,在正常工作模式时,INA219 通过采样电阻对电路中的电压进行采样,并把数据转换后保存在寄存器内。检测电路通过取样电阻对电路上的电压或电流进行取样时,将产生瞬态谐波,其频率约 1MHz 或更高,瞬态谐波会对后端电路产生干扰。因此,通常会在 INA219 的输入端添加电容,对信号进行滤波处理。设计中尽可能选择串联电阻或陶瓷电容器,电容容量建议为 0.1~1 μ F。检测电路如图 4 所示。

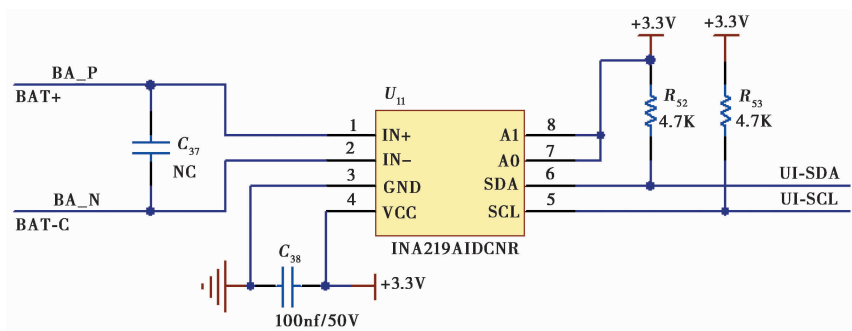


图 4 电压/电流检测电路

通过选择通道和模数转换器(ADC),INA219 可将输入电压 V_{in+} 与分压 V_{in-} 以二进制数据的形式保存到电压寄存器与分压寄存器中,电流则由分压和一个校准值组合计算得到,计算结果作为逻辑判断参数,用于对台站供电系统控制的依据。计算公式如下

$$V_{shunt} = V_{in+} - V_{in-} \quad (1)$$

$$V_{BUS} = V_{in+} - GND \quad (2)$$

$$Current\ Register = Shunt\ Voltage\ Register \times Calibration\ Register / 4096 \quad (3)$$

式中, V_{shunt} 为高精度检测电阻电压; V_{BUS} 为输入电压; *Current Register* 为电流寄存器中保存的电流值。

2.4 输出端控制电路

输出端控制电路负责台站专业设备供电线路的通断,其主要由三极管开关电路、分压电阻及磁保持继电器等器件共同组成(图5)。STM32F107 通过电流/电压检测电路对供电系统的运行状态进行采集,并与设定的参数进行比对,根据系统当前运行状态产生脉冲控制信号,脉冲控制信号经三极管开关电路对磁保持继电器进行驱动,进而实现对输出端状态和通断状态的控制。

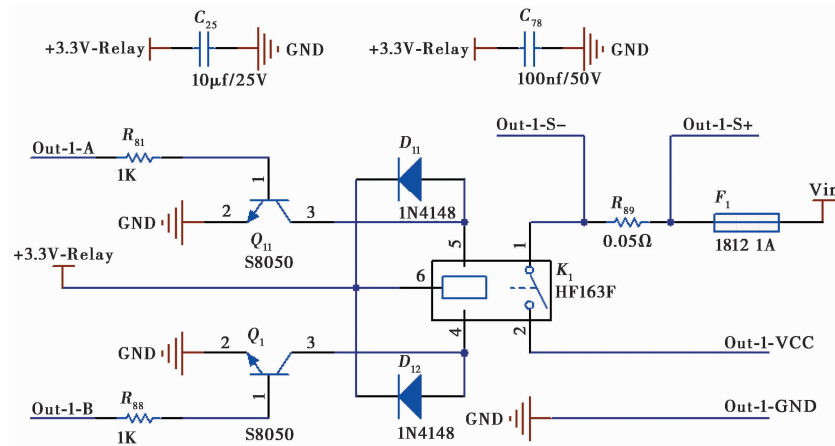


图5 输出端控制电路

设计中选择磁保持继电器作为输出端开关,对输出端进行接通和切断。与其他继电器相比,磁保持继电器的常闭或常开状态依赖永久磁钢,其开关状态的转换由一定宽度的脉冲电信号触发完成(Kawata et al, 1969),通常触点处于保持状态时,线圈不需要继续通电,仅靠磁力就能维持继电器的状态不变,具有安全可靠、寿命长、功耗低、负载能力强等特点,其广泛应用于工业、国防及航天自动控制系统、智能电表等领域(公茂法等, 2011; 郑磊等, 2015)。

磁保持继电器选用 HF163F,其为超小型中功率磁保持继电器,具有双线圈磁保持功能。电路中二极管的作用主要是对磁保持继电器进行保护,防止电源断电后级电路反向供电对继电器造成损坏;三极管 Q_1 和 Q_{11} 相互配合,实现磁保持继电器开关状态的转换,当Out-1-B口输入高电平时,三极管 Q_1 导通,继电器开关闭合,输出端对外供电,当 Out-1-A 口输入高电平时,三极管 Q_{11} 导通,继电器开关状态转为关闭,输出端停止对外供电,电路连接如图5所

示。

基极电阻 R_{88} 在电路中用于限流,设计中需根据 Out-1-A/Out-1-B 口的高电平状态,选择合适的基极电阻 R_{88} ,使三极管处于饱和状态,限流电阻阻值计算方法如下

$$R_{88} \approx \frac{(U - U_{be}) * \beta}{I_c} \quad (4)$$

式中, U 为 Out-1-A/Out-1-B 口输入电压; β 为三极管放大倍数; I_c 为电路中三极管最大集电极电流; U_{be} 为基极与发射极之间的压差,一般为 0.4~0.7V 左右。

2.5 短路保护电路

台站观测设备在野外使用过程中,因工作环境苛刻,常出现短路故障,在无保护措施情况下,极易引起台站电源设备损坏,造成台站维护成本增加。因此,系统开发过程中应充分考虑专业观测设备发生短路故障时,台站供电系统的保护措施。本系统短路保护电路主要由 INA219、磁保持继电器等器件构成(图 6)。

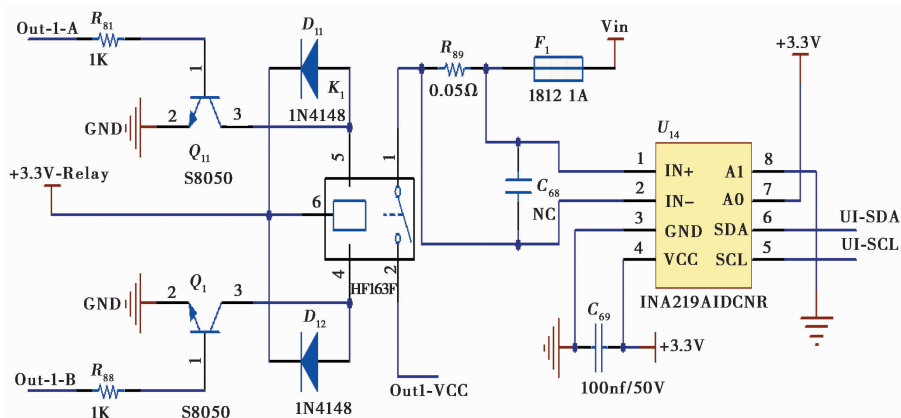


图 6 短路保护电路

INA219 的 1 脚和 2 脚接至采样电阻 R_{89} 两端并与磁保持继电器 HF163F 的 1 脚相连,当系统检测到输出电路电流达到设定阈值时,便执行中断子程序,子程序首先从 STM32F107 的 38 脚送出一高电平经 R_{81} 到三极管基极 Q_{11} ,用于三极管 Q_{11} 的选通,继电器开关状态转为断开,输出端停止对外供电,同时子程序对 STM32F107 的 38 脚状态进行锁定,此时需技术人员对台站系统进行检测,排除故障后通过智能电源控制器的功能按钮解除锁定状态,重新恢复系统输出端正常对外供电功能。

3 系统软件设计

为了满足地震观测台站对供电系统的功能需求,系统软件包含键盘输入、显示输出、环境监测、电流/电压监测、输出控制、短路保护、串口通信等功能模块。系统初始化后,从 FLASH 中读取保存的参数,随后进入主循环,循环调用“键盘”、“控制”、“数传”和“显示”等模块处理函数,执行相应业务功能,实时对系统的工作状态进行监测,并做出控制判断。系统功能如图 7 所示。

系统对输出端的控制,是通过获取 INA219 芯片采集并存放在寄存器中的电流和电压信

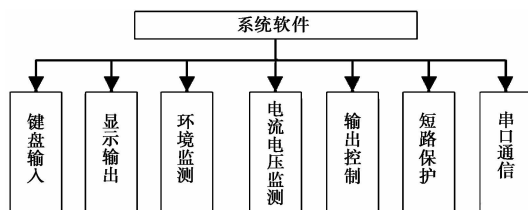


图7 系统软件功能

息进行逻辑判断来实现的。INA219 由采样电阻对模拟信号采集后,通过内部 ADC 进行模拟数字转换得到数字信号并存储在寄存器内,寄存器存储的数据为一个无符号的二进制 16 位数,需参照数据的存储方式对存储的数据进行解码,以得到真实的电压、电流等数据。电压寄存器的低 3 位为无效位,需截断低 3 位,电压寄存器的分辨率为 4mV,截断低 3 位之后的数值乘以 4mV 得到电压值。即 $Result[i] = 4 \times (Decode(RecvBuf) \gg 3)$, 得出样本之后求平均便可得到真实电压值。电流寄存器是全字段有效的,分辨率为 500 μ A,电流寄存器的数据乘以 500 μ A 得到电流值,即 $Result[i] = 500 \times (Decode(RecvBuf))$ 。程序根据 I2C 的数据传输协议和 INA219 的读写时序关系,对 INA219 进行读写操作,如图 8 所示。

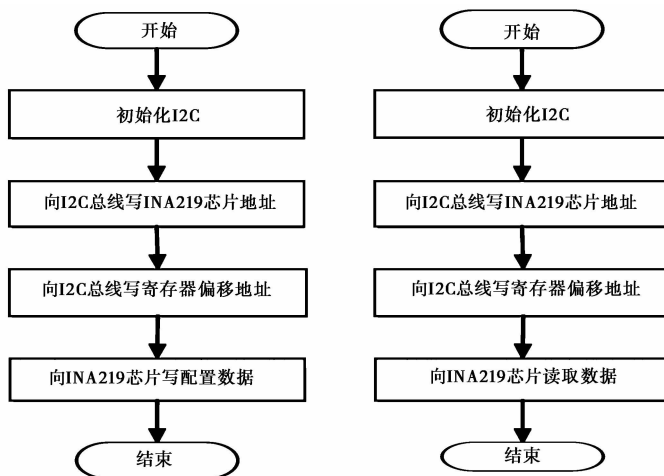


图8 INA219 寄存器的读写操作

系统上电后,用户可通过菜单界面,设置控制电压值、输出端保护电流值等功能参数,程序通过调用控制函数,实时对蓄电池和两路输出状态进行监测,对采集到的状态数据进行处理后,与设置状态参数进行比较,并根据系统当前工作状态,对输出端发出驱动信号,执行相应的控制动作,从而实现系统对输出端控制及短路保护功能。程序流程如图 9 所示。

4 实验结果与分析

样机完成后,针对系统的主要性能指标进行测试,通过系统功能测试,得出电源智能控制器整机功耗小于 0.6W、工作电压范围 DC7~20V,智能控制逻辑合理并具有足够的切换灵敏度,同时具备温度、湿度、蓄电池电压、输出端电流等屏显功能。

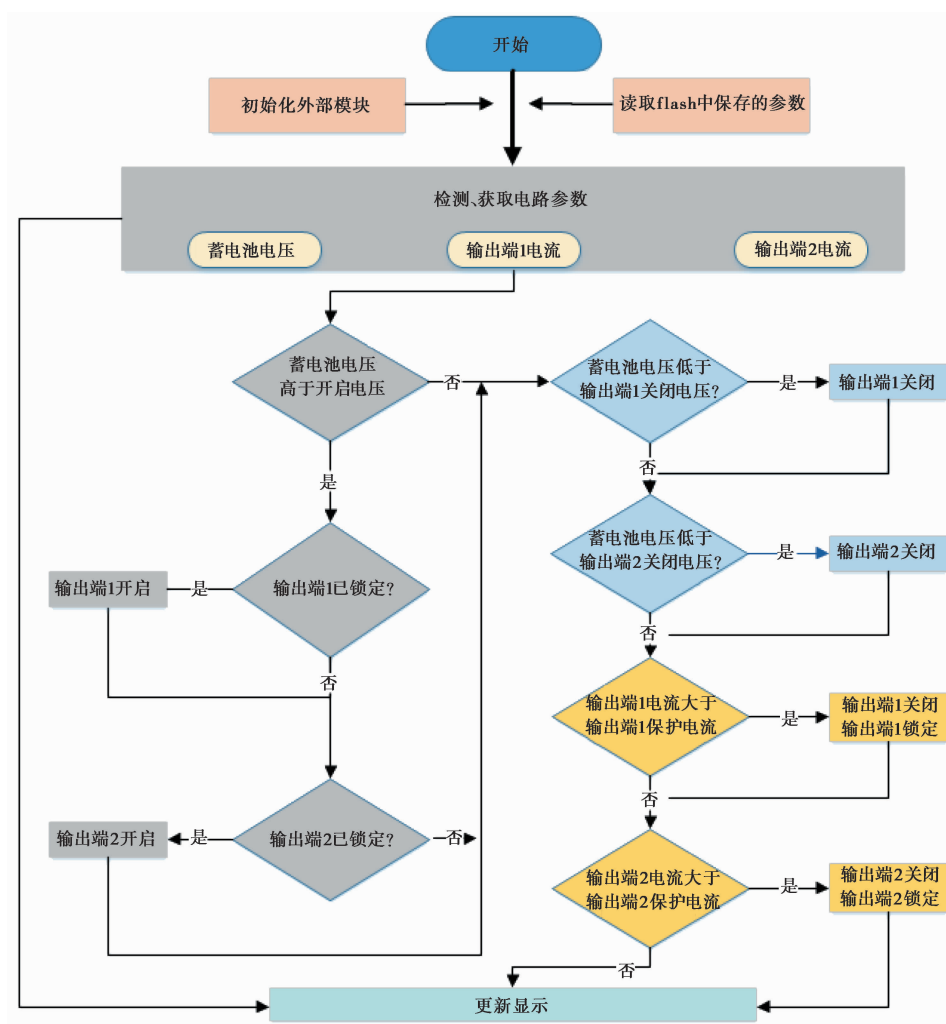


图 9 程序流程

为了获得系统的智能逻辑控制效果,对样机的控制逻辑进行了测试,测试中样机接入地震观测台站供电系统,样机输出端接入烈度计和无线通信设备,对样机进行数天测试,测试结果如图 10 所示。

从图 10 的测试结果中可以得出,当蓄电池电压降至 11.5V 时,智能控制器的通信单元输出端停止对外供电,当蓄电池电压降至 10.9V 时,智能控制器的数采输出端停止对外供电,第 4 至 6 天,蓄电池电压持续上升,当电压达到 12.5V 后,智能控制器两路输出端同时对外供电,地震观测台站设备恢复正常工作,测试结果基本反映控制器在地震观测台站上对两输出端状态的控制效果,系统达到设计要求。目前,台站通用智能电源控制器已在安县测震台、剑门关测震台进行了先期试用,得到较好的应用效果。

5 结论

本文以 STM32F107 微处理器为核心设计了一种智能电源控制器。该系统功耗小、性能

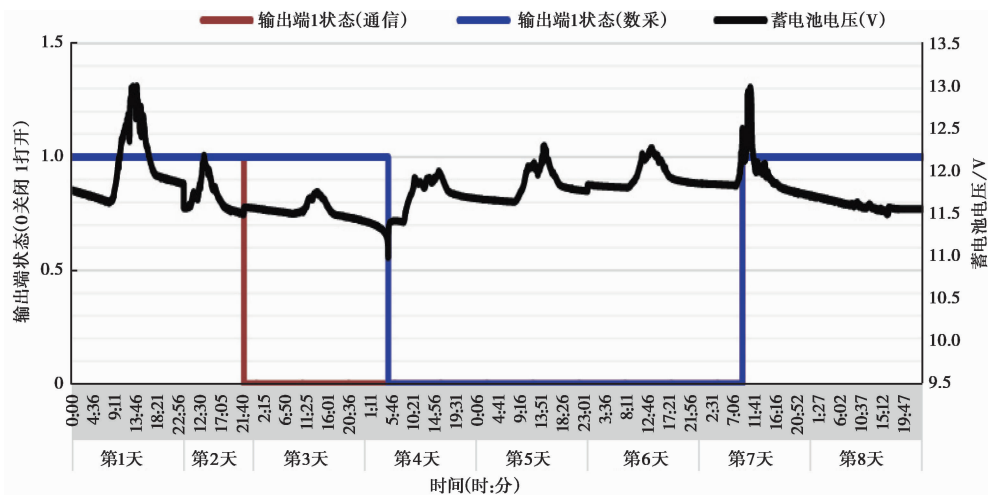


图 10 功能测试

稳定、操作简单,并具有温湿度、蓄电池电压、容量等屏显功能。该控制器外部接入台站供电系统后,便可对台站供电系统的功能进行优化和扩展,防止当前台站供电系统功能不足及逻辑功能缺失所引起的台站设备损坏等常见问题,可有效提高台站设备的寿命及保障观测台站记录数据的完整性,能较好地满足当地地震观测台站对电源的功能需求。

参考文献

- 公茂法,张学斌,刘庆雪,等,2011. 基于 CS5460A 的多用户多功能预付费电能表. 电力自动化设备, **31**(9):121~124.
- 李东,刘桂礼,赵双琦,1999. 石英晶体谐振器电参模型及其对测量精度的影响. 天津大学学报, **32**(6):781~784.
- 李兴泉,刘守贵,2018. B/S 架构测震设备信息管理平台的设计与实现. 华南地震, **38**(4):48~53.
- 孙启富,孙运强,姚爱琴,2010. 基于 STM32 的通用智能仪表设计与应用. 仪表技术与传感器, (10):34~36.
- 王宏波,2002. 浅析嵌入式电脑及其发展趋势. 机械制造与自动化, (6):1~2,9.
- 肖武军,张尧,王立森,等,2019. 地震台站标准化设计在冬奥会保障项目中的应用——以河北阳原台为例. 中国地震, **35**(3):565~572.
- 闫宁,李冬梅,李国林,2016. 一种双模可配置 Delta-Sigma 调制器的设计. 微电子学与计算机, **33**(12):42~46.
- 张小强,龙永佳,2015. 负载电容对石英晶体谐振器使用影响度研究. 现代测量与实验室管理, (5):7~9.
- 郑磊,蒋玮,胡仁杰,2015. 模糊控制在智能电容器同步开关中的研究与应用. 东南大学学报(自然科学版), **45**(6):1091~1096.
- 周克昌,赵刚,王晨,等,2013. 中国地震前兆台网观测技术系统整合, 中国地震, **29**(2):270~275.
- Candy J C, Temes G C, 1992. Oversampling Delta-Sigma Data Converters: Theory, Design, and Simulation. New York: Wiley-IEEE Press.
- Kawata D, Shiromizu M, Yoshida S, 1969. Development work on the electronic switching system in Japan. IEEE Trans Commun Technol, **17**(5):505~512.

Development of the STM32-based Intelligent Power Controller for Seismic Stations

Li Xingquan Shao Yuping Liu Jiang

Sichuan Earthquake Agency, Chengdu 610041, China

Abstract Power is the heart of all electronic equipment as well as the key to ensure the normal operation of electronic equipment. However, there is no enough previous research on the power supply used in seismic stations. Based on the analysis of the existing problems of power supply in seismic stations, a general intelligent power controller is developed and designed in this paper. The control system is with microprocessor as core designed the corresponding signal acquisition, voltage control and drive circuit. The device has about 0.6 watts of power consumption and operating voltage range from 7 to 23 volts, and is capable of expanding and optimizing the original power supply system function of the station through external connection, which meets the design requirements of low power consumption, easy operation, and high reliability.

Keywords: The seismic stations; Intelligent power; STM32; INA219; Magnetic latching relay