

Study on Seismic Monitoring System of Converter Station *

WU Peng^{1,2,3}, YANG Jiang^{1,3*}, XIA JIENING^{1,3}

(1. Hubei Key Laboratory of Earthquake Early Warning, Hubei Earthquake Agency, Wuhan 430071, China;

2. Hubei Subsurface Multi-scale Imaging Key Laboratory, Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

3. Wuhan Institute of Seismologic Instrument Co., LTD, 11 Qinglong Road, Xianning Hubei 437000, China)

Abstract: In order to strengthen the protection measures of earthquake prevention and disaster reduction for Xinsong converter station in Yunnan province and avoid the heavy safety and economic loss caused by earthquake, it is necessary to carry out real-time seismic monitoring. For this purpose, a seismic monitoring system is designed. The seismic signal real-time acquisition and algorithm processing of 13 types of AC-23 accelerometers, such as AC field, filter field, DC field and free field, are carried out in the converter station. When the seismic signal exceeds 0.01 g trigger threshold and above, the earthquake emergency disposal is carried out according to the result and the earthquake alarm is sent. Seismic monitoring system can carry out long-term stable and reliable normal work, and can be used in the field of major engineering seismic monitoring.

Key words: earthquake monitoring; converter station; earthquake alarm; accelerometer; real-time; earthquake emergency
EEACC: 7730 doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2019.04.041

换流站地震监测系统的研究 *

吴 鹏^{1,2,3}, 杨 江^{1,3*}, 夏界宁^{1,3}

(1. 湖北省地震局, 地震预警湖北省重点实验室, 武汉 430071;

2. 中国地质大学(武汉), 地球物理与空间信息学院, 地球内部多尺度成像湖北省重点实验室, 武汉 430074;

3. 武汉地震科学仪器研究院有限公司, 湖北 咸宁 437000)

摘 要: 为了加强对云南新松换流站的防震减灾保护措施, 避免地震造成重大安全经济损失, 需要进行地震实时监测。为此设计一款地震监测系统, 通过对布置在换流站交流场、滤波场、直流场及自由场等区域 13 个型号为 AC-23 加速度计的地震信号实时采集和算法处理, 当地震信号超过设定 0.01 g 触发阈值及以上时依据结果进行地震应急处置并发送地震报警。地震监测系统可进行长期稳定可靠的正常工作, 能应用于重大工程地震监测领域。

关键词: 地震监测; 换流站; 地震报警; 加速度计; 实时; 地震应急

中图分类号: TH89

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2019)04-1024-07

云南新松换流站滇西北至广东±800 千伏特高压直流输电工程, 是落实国务院关于治理大气污染防治行动计划的 12 条重点输电通道之一, 也是“西电东送”中主网架海拔最高、线路最长的通道。工程西起云南省大理州剑川县, 途经云南、贵州、广西、广东 4 省区, 东至广东省深圳市宝安区东方换流站, 线路全长 1 959 km。工程投运后计划年输送电量 200 亿 kWh, 相当于深圳全年用电量的 1/4, 可使珠三角地区每年减少煤炭消耗 640 万 t、二氧化碳排放量 1 600 万 t、二氧化硫排放量 12.3 万 t^[1]。云南处

在印度洋板块与欧亚板块碰撞带边缘的东侧, 是我国地震活动最频繁、地震灾害最严重的省份之一。根据云南省地震工程勘察院提供的《滇西北至广东特高压直流输电工程(新松换流站)工程场地地震安全性评价报告》, 站区地震基本烈度为 8 度。新松换流站在建设的过程中, 按照 9 级地震烈度设防, 虽说抗震等级只是提高了一度, 但对于设备的设计、制造和安装都提出了更高等级的要求。与此同时, 也需要进一步加强对场区周围地震实时监测, 尽可能避免地震灾害造成的各种损失^[2]。

项目来源: 国家重点专项项目(2017YFC1500802); 中国地震局地震研究所所长基金项目(15201856230)

收稿日期: 2018-11-16 **修改日期:** 2018-12-20

1 系统结构及工作机制

如图 1 所示,系统主要是由加速度传感器、记录器、工控机和报警箱等几个部分构成。其中,依据设计院提出的需求,在整个换流站场区共计布设了 13 个加速度传感器,分别安装于交流场、直流场、滤波场和办公楼等区域,每台记录器可采集两个加速度传感器的地震信号,因此在地震监测系统一共安放了共计 7 台记录器。

记录器通过对加速度传感器的输出波形进行分析判断,分别通过网络 TCP/IP 协议经由交换机与工控机进行实时数据通信,工控机应用软件可实时显示各个记录器所对应采集的传感器信号并对传感

器进行标定、地震事件数据存储、地震事件查看及分析等功能,与此同时,记录器的报警节点输出将做为地震触发判断开关,经由报警箱进行逻辑判断,当产生地震报警时,报警箱将报警结果与工控机通过串口进行通讯,做为工控机进行数据存储的标志信号,工控机端将对 7 台记录器所对应的总计 13 个加速度传感器所输出的地震数据进行同步存储,与此同时当地震报警结束后,报警箱也会并行将结束命令通过串口发送给工控机,做为其结束地震数据存储的结束标志信号。报警箱同时通过继电器组将报警信号以干节点的形式发送到地震报警节点采集终端,由换流站控制中心相关责任人进行下一步应急处置^[3]。

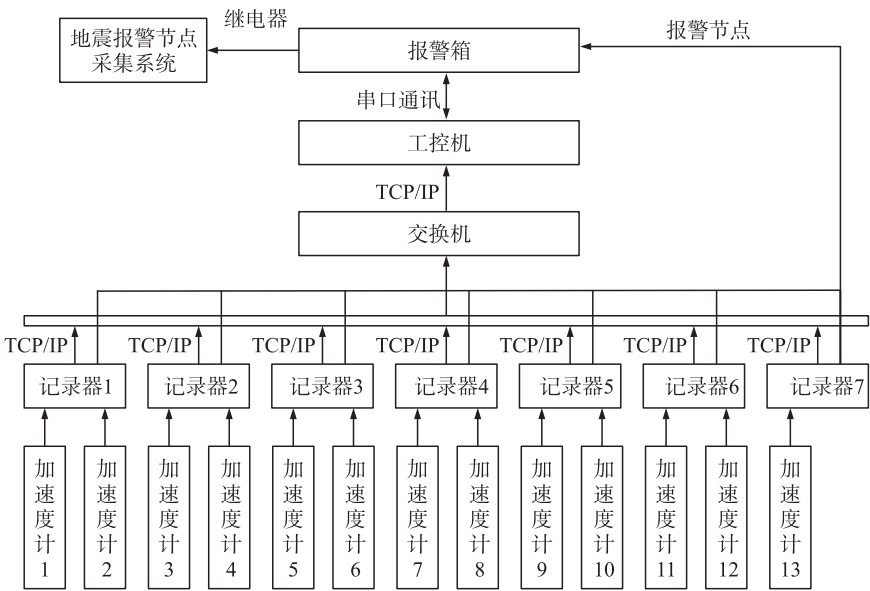


图 1 系统结构框图

2 记录器方案设计

记录器基本结构由 NI 公司的 Single-Board RIO 嵌入式板卡和控制板卡组成。其内部结构如图 2 所

示,依据设计需求,记录器需要同时连接两个三分量加速度传感器,具备三级地震报警及故障报警输出功能,并能通过 TCP/IP 实现网络数据传输。因此,针对 Single-Board RIO 嵌入式板卡,选用型号为 sbRIO-963

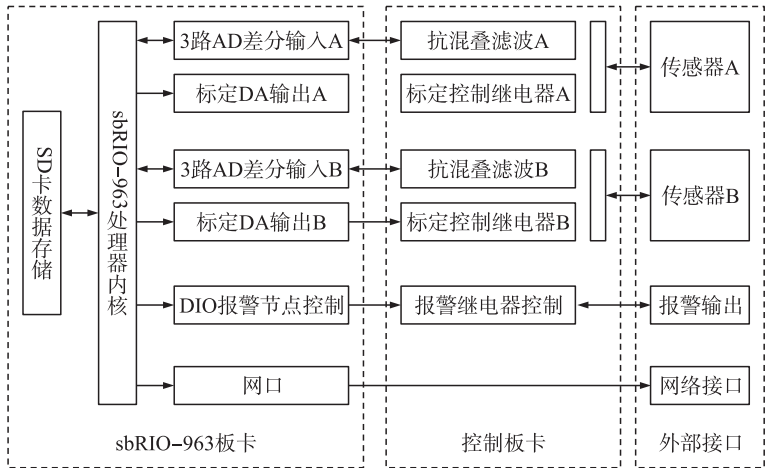


图 2 记录器结构框图

9636 嵌入式板卡,其搭载 Real-Time 处理器和 Spartan-6 FPGA,同时内部建立多个控制接口,通过嵌入式 Labview 开发软件可将 FPGA 和 RT 处理器的优势相结合,此外,还自带 512 Mbit FLASH、256 Mbit RAM、16 路 16 位 AD 输入、4 路 DA 输出以及 28 路 DIO,板上资源基本满足功能所需^[4]。

2.1 sbRIO-9636 嵌入式板卡功能设计

sbRIO-9636 嵌入式板卡是记录器核心部件,板级带有 FPGA 模块和 RT 实时处理模块。其中,FPGA 部分主要用于实现板级硬件模块的配置,RT 实时处理部分用于进行数据分析和逻辑判断等操作。

2.1.2 FPGA 模块

2.1.2.1 AD 采集配置及数据传递

如图 3 所示,该模块主要用于进行 AD 采集模式配置、数据处理及数据传递。由于 sbRIO-9636 自带 16 路 16 位 AD 采集通道,为匹配三分量加速度传感器的输出接口,通过调用模拟输入 AI 属性节点,进行输入模式设置及量程范围设置。在对 16 路模拟输入 AI 进行配置,总共可配置为 8 组差分输入通道,分别对 AI0~AI7 的属性节点 Terminal Mode 设置为 different,属性节点 Voltage Range 设置为 ± 10 V;其中 AI0 与 AI15 构成差分输入的第 1 通道,AI1 与 AI14 为第 2 通道,剩下依次类推。其中,通道 1、2、3 和 4、5、6 分别用于进行传感器 A 和传感器 B 的信号采集。为了保障记录器在实际运行过程中的稳定性和可靠性,将第 7 和第 8 通道 AI 模拟输入分别用于进行板级温度数据采集和供电电压实时监测。

由于 FPGA 通过数据缓冲区与 RT 实时处理器进行数据通讯,通过创建数组(一维转二维),将 8 路 AD 采集数据整合成二维数组,并存放入自定义的 REMOS-Data-In 数据缓冲区中,数据格式是依次由第 1 通道到第 8 通道为一个数据帧。与此同时,通过读取 REMOS-Data-Out 数据缓冲区,对采集到

的原始数据进行去直流和 0.5 Hz 到 33 Hz 带通滤波,并通过创建数组,将滤波前的数据流和滤波后的数据流重新整合到新的二维数组中,并依次存放到 DAQ-Data-In 数据缓冲区中,用于 RT 实时处理部分的数据读取使用。

2.1.2.2 报警输出控制模块

该模块主要用于进行报警输出控制,与硬件控制板卡进行配合实现报警控制功能。其中,共有 3 组报警控制输出及 1 组标定控制输出,采用全局变量布尔开关来控制,真为有效,假为无效,分别命名为 Relay1、Relay2、Relay3、Relay4 与地震一级报警、地震二级报警、故障报警和标定控制开关一一对应。

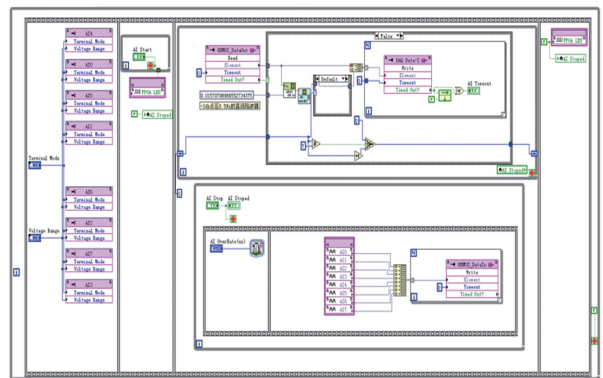


图 3 FPGA 模拟输入配置程序框图

如图 4 所示,采用用于控制结构的定时时钟源 $TICK = 1/F_{clk}$,运行周期为默认 FPGA 时钟周期 $F_{clk} = 40$ MHz,该结构用于控制产生设定频率和占空比的方波脉冲信号,通过控件 FREQUENCY 和 DUTYCYCLE 来分别设置,一个周期内的 $TICK = 400\,000\,000/FREQUENCY$,一个周期内的高电平的 $TICK = DUTYCYCLE * 40\,000\,000/FREQUENCY$,分别设置为输出频率 100 Hz 和占空比 80%。程序的具体实现方式为:在 TICK 循环结构设置一移位寄存器,初始赋值 $N=0$,每次运行将自动执行 $N=N+1$ 后与设置

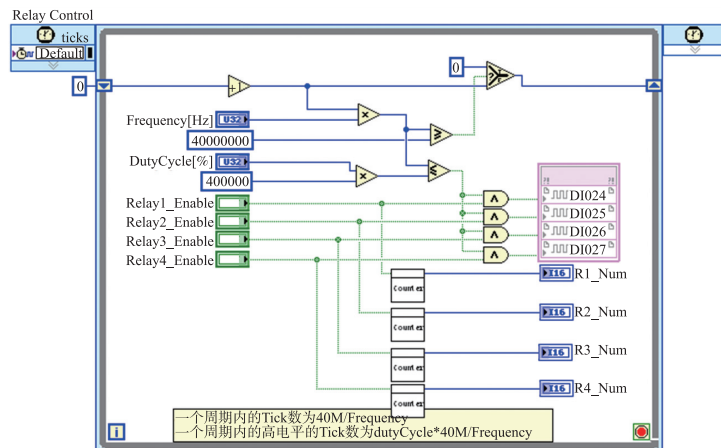


图 4 FPGA 报警输出程序框图

的频率值相乘为 T_x , 结果与 FPGA 时钟频率进行比较, 若小于则将 N 送于移位寄存器, 重复前面操作, 重复次数 $N_z = 40\,000\,000/100 = 400\,000$; 若大于, 则将移位寄存器赋 $N = 0$ 。与此同时, 将占空比设置值与 400 000 进行相乘, 结果为 T_y , 将 T_x 和 T_y 进行比较, 若 T_x 大于 T_y , 则比较输出为 0, 直到 $T_x = \text{DUTYCYCLE} \times N_z$ 。 T_x 与 T_y 的比较输出结果 Spulse 为最终所需的频率为 100 Hz, 占空比 80% 的方波脉冲, 并分别做为地震一级报警、地震二级报警、故障报警和标定控制的输出信号源。全局变量布尔控件 Relay1、Relay2、Relay3、Relay4 分别与 Spulse 进行独立与操作, 当任意一个或多个布尔控件为激活状态时将分别控制对应的 I/O 控制口 DIO24、DIO25、DIO26 和 DIO27 的输出为频率 100 Hz, 占空比 80% 的方波脉冲序列。

2.1.2.3 标定信号产生模块

标定信号产生模块主要产生标定激励信号用于对加速度传感器 AC-23 的标定线圈进行激励。该模块主要功能是产生时间周期 $T = 1\text{ s}$, 幅度 $V = 10\text{ V}$ 的方波脉冲信号。其主要程序实现如图 5 所示。通过设定两个控制量 CALiBAO 和 CALiTIME 分别用于设定模拟输出 AO 的 V_o 输出标定信号幅度以及控制标定信号持续时间 T 。调用模拟输出 AO 的属性节点, 进行初始化赋 0, 当控制按键 CALiTIME 处于激活状态, 则控制量 CALiBAO 将对模拟输出 AO 进行赋值, AO 输出持续时间为 T , 持续时间结束, 将对 AO 输出进行赋 0, 整个标定过程结束。采用全局布尔变量 Calib_Start 来实现 RT 实时处理器控制 FPGA 进行启动标定动作。

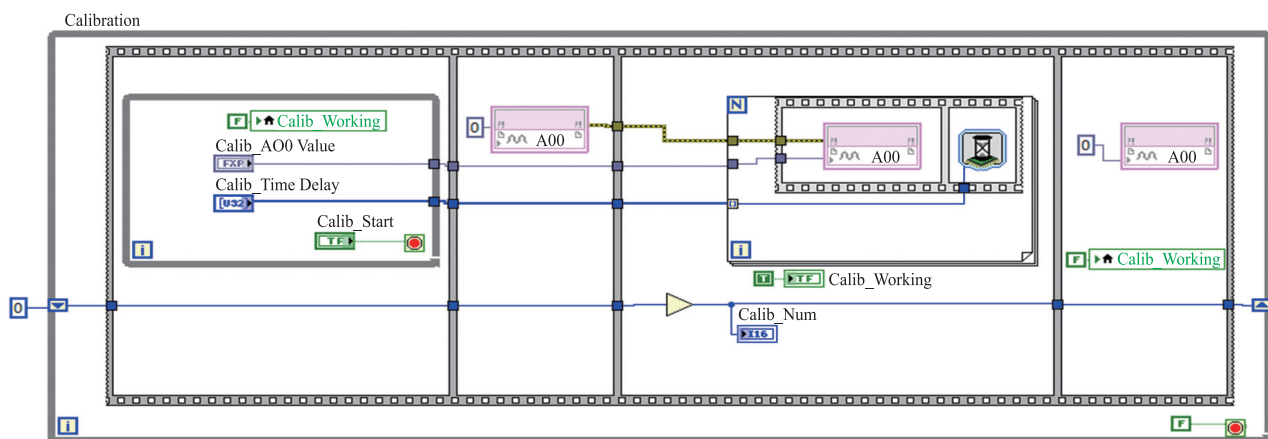


图 5 FPGA 标定控制程序框图

2.1.3 RT 实时处理器软件模块

sbRIO-9636 的 RT 实时处理器部分程序主要功能是通过进行加速度传感器波形的实时显示、板级资源的状态实时监测及控制 FPGA 模块进行报警输出等。

2.1.3.1 波形的实时显示

通过索引 FIFO Handle, 读取 DAQ-Data-Out 数据缓冲区中的各个通道数据, 依次存放到二维数组中, 根据 FPGA 模块的程序设计, 该数组 0~2 共三通道存放加速度传感器 A 的三通道数据, 3~5 共 3 个通道用

于存放加速度传感器 B 的三通道数据。如图 6 所示为读取 0~2 三个通道数据并进行实时波形显示程序。通过对二维数组进行转置处理, 再进行波形数据索引, 索引起始地址从数组 0 号元素开始依次读取 3 个元素, 其分别对应加速度传感器 A 的 X、Y 和 Z 3 个分量的数据, 波形数据显示的单位可通过波形显示模式控件进行选择进行电压或者加速度 g_n 显示, 由于 AD 采集的采样率为 200 Hz, 因此将每个波形数据点之间时间间隔 dt 设置为 0.005 s, 即每秒显示 200 个采样点数。三轴向数据将在混合信号图 MGraph2 中

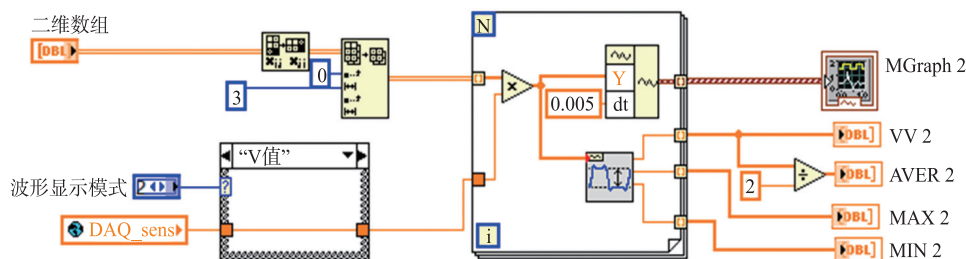


图 6 波形的实时显示程序

进行同时实时显示。

2.1.3.2 板卡资源状态监测

sbRIO-9636 板卡在运行过程中,相关状态信息、运行日志等数据文件将分别存放在板卡的板级存储其 ROM 中和扩展存储卡中,当所存数据文件达到一定数量时,会导致整个系统运行效率降低甚至是死机等情况发生,因此,需要对板卡的存储资源进行实时监测,并进行冗余数据的删除清理。板卡存储资源监测程序如图 7 所示,调用获取卷信息 Get info volume 子 Vi,分别对板级存储路径和扩展存储路径进行索引,并读取对应存储介质的整个容量大小和剩余可用容量,并将剩余可用容量和整个容量进行百分比,得到可用空间占用率,可直观进行查看。

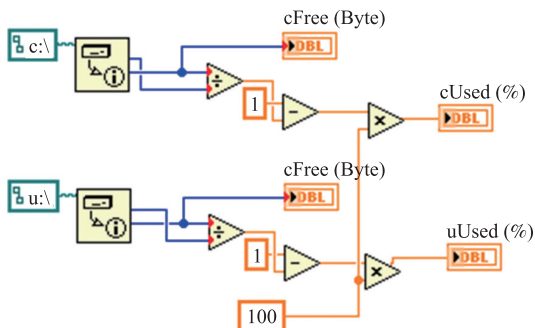


图 7 板卡存储资源监测程序

2.1.3.3 板卡报警控制逻辑

报警逻辑框图如图 8 所示。P 波的快速识别算法采用简单、快速的长短时平均比 STA/LTA 方法,其原理是用 STA 和 LTA 之比来反映信号幅值以及幅值增长的变化,当地震来临时,STA 比 LTA 变化要快,相应的比值会有一个明显的突变,当突变值大于所设定的阈值时,则判断该地震波形满足 P 波判断条件^[5-6]。通过对加速度传感器输出的实时数据进行采集和实时分析,当振动来临时判断是否满足

P 波的先决条件,如不满足,则判断该振动信号为干扰信号,不做地震事件触发处理;若满足了 P 波的判别条件,则进一步分析判断,通过进一步抗干扰滤波后检验波形数据是否达到 S 波形的触发阈值,若达到,则触发地震事件报警,若没有则继续进行实时波形数据拾^[7]。地震触发阈值设置有 2 级,弱震设置为 S1 报警对应 FPGA 全局变量布尔控件 Relay1,强震设置为 S2 报警对应 FPGA 全局变量布尔控件 Relay2。

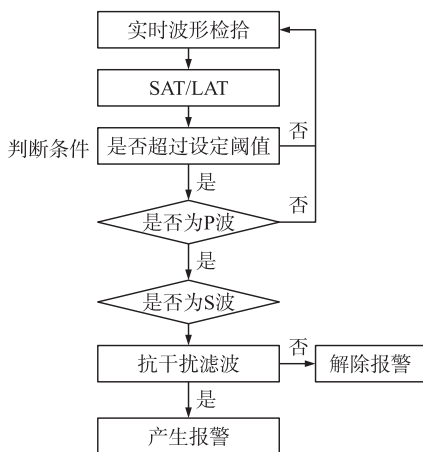


图 8 报警检测流程图

2.2 控制板卡方案设计

控制板卡主要由标定控制、报警控制和远程掉电复位等电路组成。分别用于进行对加速度传感器标定、地震报警控制输出以及远程实现系统硬件掉电复位重启等功能。

2.2.1 标定控制电路

标定控制电路主要是用于对传感器发送一激励信号,通过传感器的返回波形来测定传感器的功能好坏。标定控制电路如图 9 所示,通过 RT 实时处理器发送标定控制命令,由 IO 口 DIO27 产生产生标定使能信号,

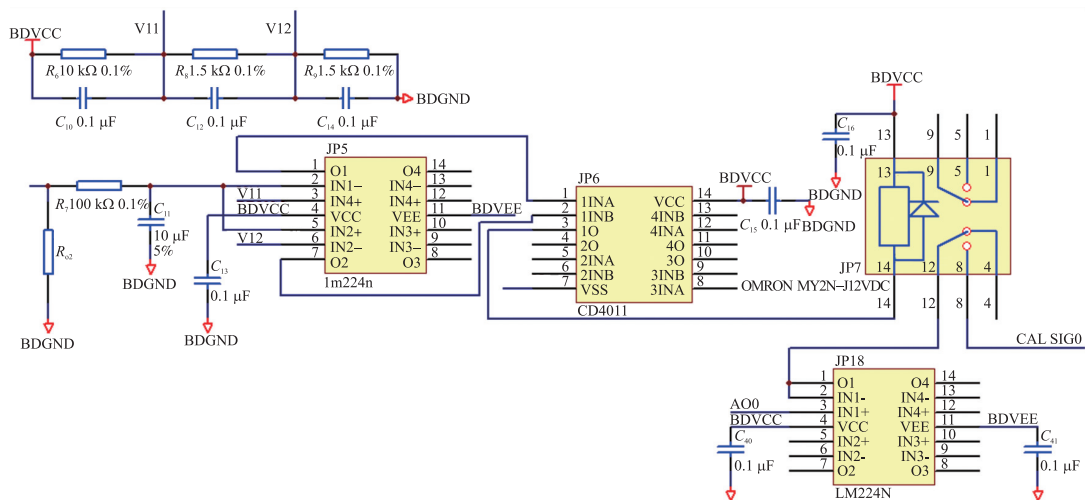


图 9 标定控制电路

并由模拟输出 AO0 来实现产生标定激励信号。

该电路具体实现原理如下: 初始状态无标定命令时, DIO27 (GPOBD) 为低电平, AO0 输出为 0; 当产生标定命令时, DIO27 输出为频率 100 Hz, 占空比为 80% 的方波脉冲信号 (幅度高电平时为 10 V), 经由 R_7 和 C_{11} 组成的无源积分电路产生约 $V_J = 2.01$ V 左右的电压, 标定控制信号采用脉冲积分的方式, 能有效地提高抗干扰能力, 使得标定控制电路的性能更加稳定可靠^[8-9]。 V_J 分别与基准电压 V_{11} 和 V_{12} 进行比较, 当 $1.38 < V_J < 2.76$ 时, 集成运放 LM224 的 1、7 脚输

出分别为高电平, 经由 CD4011 与非门电路后为低电平, 此时继电器 JP7 处于导通状态, 12 脚与 8 脚导通, 标定信号 AO0 将经由继电器进行传感器激励。

2.2.2 报警控制电路

报警控制电路按类别区分, 包括有地震事件报警和故障报警两部分, 其主要工作原理与标定控制电路类似, 如图 10 所示, 当产生 100 Hz 方波脉冲信号时, 会触发 JP14 双刀双掷继电器动作, 此时 12 脚和 8 脚导通, 当 GPO0 无脉冲产生时, 继电器 12 脚和 8 脚将断开。

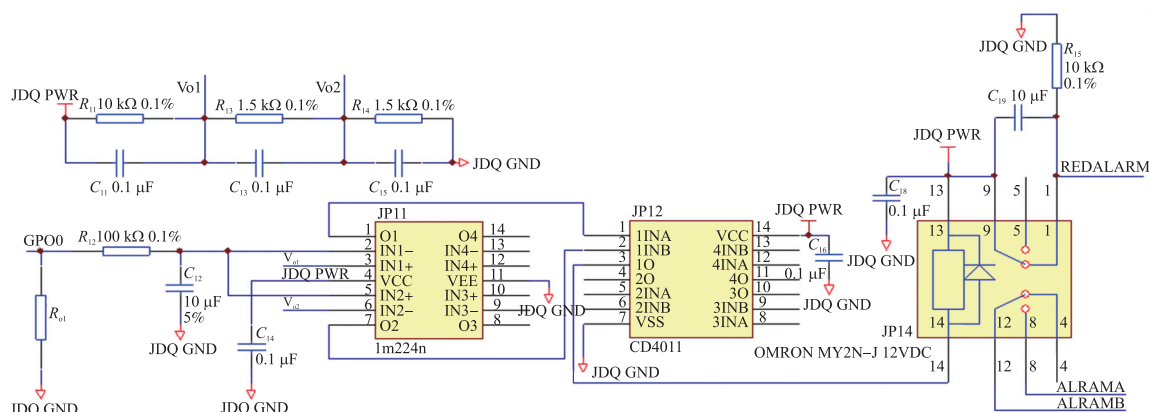


图 10 报警控制电路

2.2.3 远程掉电复位

远程掉电复位电路如图 11 所示, 设备电源由 V_{IN} 提供, 并经由欧姆龙型号为 MY2N-J24VDC 双刀双掷继电器的常闭节点进行输出, 用于后续给控制板卡和 sbRIO-9636 板卡进行供电, 当继电器线圈加 24 V 电压时, 其常闭节点将断开, 控制板卡和 sbRIO-9636 板卡将同时处于掉电模式^[10]。

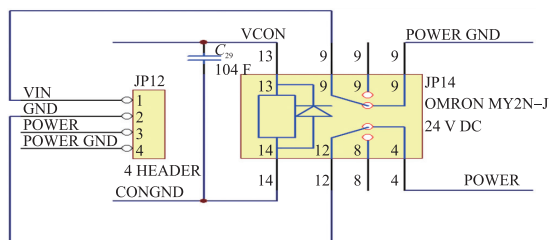


图 11 掉电复位控制电路

应报警节点的通断来判断当前地震报警级别, 并通过串口发送命令到工控机^[11]。与此同时, 控制地震报警继电器子系统进行相应动作。当地震报警结束后, 通过复位按钮, 系统恢复到正常运行状态。

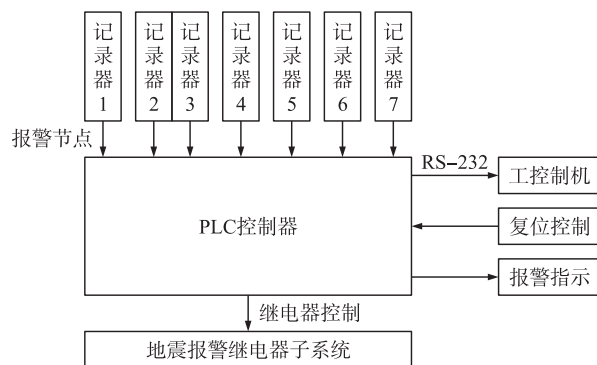


图 12 报警箱内部结构框图

3 报警箱功能设计

报警箱的结构框图如图 12 所示, 报警箱主要由 PLC 构成。在换流站现场, 共计安装有 13 个加速度传感器, 分别安装于各场区不同坐标点位。PLC 接收 7 台记录器对应的 13 个加速度传感器震动所产生的过阈值报警信号, 地震报警事件按级别分为 S_1 和 S_2 两个报警等级。记录器的报警输出节点与报警箱相连, 通过设置 PLC 输入 IO 进行检测, 检测相

4 系统上位机软件功能

上位机的应用软件采用 Labview 进行程序编写, 其主要实现当地震开关产生地震报警, 则同步触发 7 台记录器所对应的 13 个加速度传感器地震信号进行数据存储、标定波形存储、传感器安装点位信息设置等操作。

上位机通过 TCP/IP 通讯协议轮询 7 台记录器进行实时数据流读取和实时分析判断, 并同时与报

警箱的 RS-232 串口进行通讯,当报警箱产生地震报警并传送给上位机后,上位机将针对 13 路地震传感器数据进行实时记录存储,记录地震事件及事件前 10 s 和后 30 s 的数据长度,地震事件结束后,报警箱通过串口给上位机发送地震解除命令,上位机软件地震报警解除^[12]。其点位状态信息界面与传感器波形显示界面分别如图 13 和图 14 所示。



图 13 上位机软件主界面

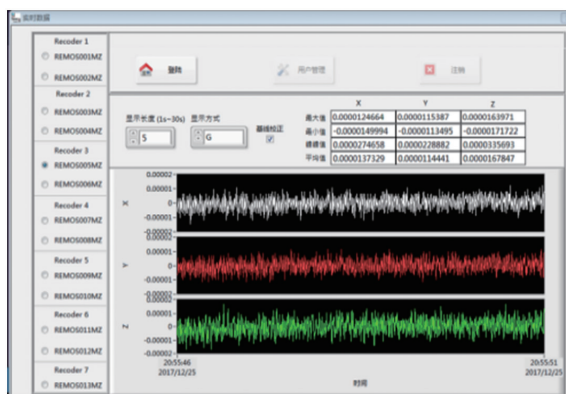


图 14 实时数据流界面

5 结论

云南大理新松换流站地震监测系统是地震监测类设备首次应用于变电站行业,具有一定的前瞻性,该系统目前已成功应用在大理新松换流站,并正常运行了 1 年多,运行期间成功记录了几个弱震地震事件且没有任何误报产生,证明了地震监测系统能稳定可靠的进行正常工作,为今后地震防灾与国家电网的深入合作打下了坚实基础。

参考文献:

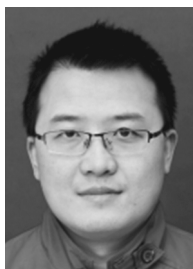
- [1] 张丽群,重点工程介绍(78)黄登电站至新松换流站线路工程[J]. 云南电力,2015(11):36.
- [2] 文丽敏,康国发,白春华等.云南地区地壳磁异常与地质构造[J]. 地球物理学报,2017,60(9):3493-3504.
- [3] 陈志高,黄俊.核电站地震监测系统及其开发进展[J]. 大地测量与地球动力学,2015,35(6):1065-1068.
- [4] 林凯东,杨金明.基于 sbRIO-9606 的波浪发电数据采集系统设计[J]. 国外电子测量技术,2017,36(9):91-94.
- [5] 马强,金星,李山有等.用于地震预警的 P 波震相到时自动拾取[J]. 地球物理学报,2013,56(7):2313-2321.
- [6] 刘晗,张建中.微震信号自动检测的 STA/LTA 算法及其改进分析[J]. 地球物理学进展,2014,29(4):1708-1714.
- [7] 何先龙,余天莉,高峰.一种地震 P 波和 S 波初至时间自动拾取的新方法[J]. 地球物理学报,2016,59(7):2519-2527.
- [8] 潘银松,张成伟,张仁富等.基于微生物传感器的恒电位仪电流积分电路的设计[J]. 传感技术学报,2009,22(3):15-18.
- [9] 张学文,司佑全.积分电路电容并联电阻仿真研究[J]. 湖北师范学院学报(自然科学版),2014,34(4):92-96.
- [10] 马思群,刘志峰,马瑞等.基于 Labview 的高速列车远程监测系统的设计[J]. 测控技术,2018,37(7):140-144.
- [11] 刘小丽,张晓光.基于 Labview 的 S7-300 PLC 与 PC 机的串口通信[J]. 仪表技术与传感器,2011(5):104-106.
- [12] 张军,刘笃喜,魏宏波等.一种基于 TCP/IP 的嵌入式网络化监控系统的设计[J]. 工业仪表与自动化装置,2007(5):22-25.



吴 鹏(1985-),男,在职博士,工程师,主要研究方向为智能仪器研究、地震预警系统研究及微弱信号检测, beloved_wupeng@126.com;



杨 江(1980-),男,通信作者,硕士,高级工程师,主要研究方向为观测技术与地壳形变观测仪器研究, meblor@gmail.com;



夏界宁(1982-),男,在职博士,副高级工程师,主要研究方向为地球物理仪器和地震观测技术的研究, 23028186@qq.com。