

动车组总配电盘试验检测技术研究

邱文杰, 刘真

(中车青岛四方机车车辆股份有限公司, 山东 青岛 266111)

摘要: 为保证动车组直流系统的调试安全和效率, 需要设计一款电流检测保护装置, 对配电盘线路上采集的电流信号进行定量分析, 完成对配电盘短路、过载保护, 实现数据的存储、传输等功能; 针对动车组配电盘多通道、连续性的特点, 完成了系统总体架构设计, 在硬件电路上完成了 IIC 总线扩展设计和 IIC 总线 I/O 扩展设计, 增加了采样通道数量, 解决了多通道大数据量传输速率不足的问题; 完成了双向电流信号检测和保护研究; 完成了显示界面设计, 并且对试验数据进行了分析研究, 论文的现场实验为总配电盘试验检测做了初步的探索并提供了有益的参考。

关键词: 检测保护; 多通道; IIC 总线扩展; 人机交互; WIFI

Research on Test and Detection Technology of EMU Main Distribution Board

Qiu Wenjie, Liu Zhen

(CRRC Qingdao Sifang Co., Ltd., Qingdao 266111, China)

Abstract: In order to ensure the debugging safety and efficiency of the dc system of the emu, a current detection protection device needs to be designed to carry out quantitative analysis of the current signal collected on the circuit of the switchboard, complete the short circuit and overload protection of the switchboard, and realize data storage and transmission. In view of the characteristics of multi-channel and continuity of power distribution panel of emu, the overall system architecture design is completed, the IIC bus expansion design and IIC bus I/O extension design are completed on the hardware circuit, the number of sampling channels is increased, and the problem of insufficient transmission rate of multi-channel large data volume is solved. The detection and protection of bidirectional current signal are studied. The design of the display interface is completed, and the experimental data are analyzed and studied. The field experiment in this paper provides a preliminary exploration and a useful reference for the testing and testing of the general distribution panel.

Keywords: detection protection; multi-channel; IIC bus extension; man-machine interaction; WIFI

0 引言

我国 CRH2 型动车组新造和检修过程中, 需要对车辆的逻辑控制部分进行充分的功能确认, 试验过程中使用试验器模拟协助完成动车组静调的相关试验, 通过设定检测回路的通断来模拟实际电路的高低电平变化, 没有过流保护功能、逻辑连锁功能和报警功能。动车组配电盘的基板和子板均为 PCB 电路板设计, 线路的负载保护能力取决于线路板相邻层间的绝缘层以及铜箔载流量能力。故障一旦发生致使配电盘设备烧损、供电中断。为提高高速列车新造检修调试效率, 保证轨道交通装备的安全性、可靠性, 在动车组配电盘控制回路中增加检测保护装置, 实现对直流回路电流信号采集、存储, 当回路中故障发生时可软件断开直流回路预防过载、过流引起的线路烧损, 当软件防护失效时, 采用保险丝熔断方式实现保护。两级保护机制能在动车组调试过程中对配电盘施加保护, 具有实际意义。

1 总体设计方案

检测保护装置运行在配电盘前端, 将配电盘检测保护装置串联到输入端线路中, 通过对配电盘中线路的电流值进行测量, 判定控制线路是否存在过流、过载问题。若装置所测得的线路电流大于软件设定的阈值时, 系统会通过软硬件协同工作方式断开控制回路, 对配电盘进行过载、短路保护。因此配电盘检测保护装置的主要功能有以下 4 点:

- 1) 具有自检功能。通电试验前对总配电盘进行自检, 检查各线路电流无异常, 当线路电流异常时, 有故障提示和报警;
- 2) 具有短路、过载保护功能;
- 3) 检测、记录各线路工作电流, 提供记录数据下载接口;
- 4) 显示屏实时显示各线路电流值。

1.1 硬件设计方案

硬件电路分为数字电路和模拟电路。信号采集电路板为模拟信号采集板, 实现电流检测、线路控制等功能; CPU 所在电路板为控制板。模拟电路将采集到的电流信号通过数据总线传输给主控制器, 主控制器对所采集到的数据进行处理。总配电盘设备检测保护装置与总配电盘、车

收稿日期:2018-07-30; 修回日期:2018-08-21。

作者简介:邱文杰(1984-),男,高级工程师,主要从事高速动车组电气系统调试及动车组故障检测技术方向的研究。

辆侧电源采用 QE 连接器连接, 一个 QE 连接器是 50 芯, 即一个 QE 连接器能够检测 50 条线路, 5 个 QE 连接器即可实现对 250 条线路的检测。

数据采集主要为电流采集。待检测线路主要为通讯线路, 现车运行时将进行双向通讯, 线路的电流为双向电流。设计的采集电路采集 250 条线路的电流状态时, 需准确区分电流方向。通讯电路电流较小, 对检测精度则有较大要求, 检测电路范围为 $-1 \sim 1\text{A}$ 。

IIC 总线技术采用器件地址的硬件设置方法, 通过软件寻址避免了器件片选线寻址的方法, 硬件系统具有简单而灵活的扩展方法, 满足设计要求^[1]。

数据分析处理和存储功能, 该设备需同时对 250 条线路的电流状态进行检测、分析处理、存储, 对设备的 CPU 芯片性能, 存储性能都提出了高要求。电流检测在原理设计中有不同的检测方法。文献[2]介绍了两类微电流检测方法, 第一类是把电流转化成已知电阻两端的电压降; 第二类是电流对放大器中已知电容充电, 然后观察放大器输出电压。文献[3]介绍了电场转换为磁场原理的检测方法。本设计选用在线路中串联电流感测电阻。

数据显示则需在设备的显示屏上对 250 条线路的电流状态进行实时显示, 同时提供对设备的设置接口。

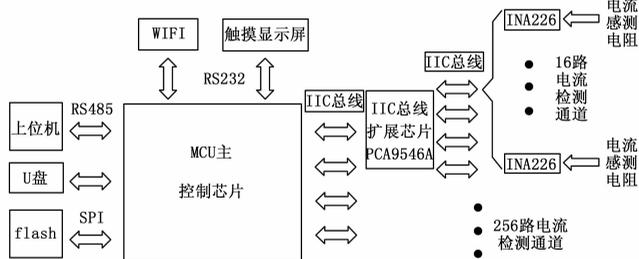


图 1 系统硬件设计图

图 1 为系统硬件设计图, 控制电路电流经过载保护电路、短路保护电路、电流感测电阻流入动车组总配电盘。通过芯片的 AD 转换功能去检测电阻两端电压, 用电压除以电阻阻值后即可得到线路的准确电流值。因为有 250 条线路需要检测, 使用传统的 CPU 芯片 AD 端口检测方式无法实现, 于是在此基础上选择了相应的功能芯片 INA226。芯片 INA226 具备电流检测功能, 同时可用其提供的 IIC 通讯接口将检测到的电流值发送给主控制器。芯片 INA226 的电流检测端口的输入电压范围为 $-81.92 \sim 81.92\text{mV}$ 之间, 根据设备的功能需求, 需要检测的电流范围为 $-1 \sim 1\text{A}$ 。将阻值为 $0.07\ \Omega$ 电流检测电阻串联到信号回路中, INA226 对电路检测电阻电压进行测量。由于动车组直流回路负载阻值较大, 串联到回路中的电阻阻值相对回路负载很小, 电阻对回路电流值策略无影响。

INA226 将采集到的数据经 IIC 总线传送给主控制器 STM32, IIC 总线是一种串行通信协议, 串行数据通信线有时钟和数据之分。SDA 为串行数据线, SCL 为串行时钟线。

SDA (串行数据线) 和 SCL (串行时钟线) 都是双向 I/O 线, 接口电路为开漏输出。需通过上拉电阻接电源 VCC^[2]。当总线空闲时, 两根线都是高电平, 连接总线的外同器件都是 CMOS 器件, 输出级也是开漏电路。主器件用于启动总线传送数据, 并产生时钟以开放传送的器件, 此时任何被寻址的器件均被认为是从器件。在该系统内 CPU 时钟为主, 其余芯片为从。电流监测系统选用 IIC 接口的原因主要有三个方面:

1) 获取电流时需要知道获取的电流第 1 路的电流值还是第 100 路的电流值, 通过 IIC 扩展芯片。IIC 电流监测芯片地址可以通过硬件配置、软件获取, 每一个 IIC 芯片的地址是唯一的, 能够准确的获取到每一路的电流。

2) IIC 通信需满足 500 ms 检测一次的时间要求, IIC 通信频率设定 400 kHz, 完成 1 次 IIC 通信一共有 36 个 bit 位即获取 1 路的电流值需要 0.09 ms, 获取 100 路的电流信息为 9 ms 左右的时间, 远小于 500 ms 一次的周期。

3) 可扩展性, 通过增加 IIC 硬件检测板卡, 可以实现最多可实现 2 048 路电流监测。

1.1.1 信号采集与保护电路

目前不同电流检测技术被公布和实施: 文献[4]和文献[5]采用新型高精度 Rogowski 线圈做感应元件, 设计一种新型模拟信号处理系统对线圈输出电压信号进行处理, 完成电流的测量和过载保护功能; 文献[6]采用由 MOS 管为主要结构组成的电流检测方法, 能够在实现电流缩放的同时, 克服因对电流产生较大影响而使得输入电流信号有较大改变的问题; 文献[7]采用自适应电化学微电流检测方法, 检测方法自动化程度高, 可靠性强, 精度高; 文献[8]采用基于卡尔曼滤波算法设计一个多通道高精度电压电流检测方法, 卡尔曼滤波器非常适用于白噪声激励的任何平稳或非平稳随机向量过程的估计, 所得估计再线性估计中精度最佳。

动车组总配电盘检测保护装置的模拟量采集模块兼具采集与保护功能。其中控制系统可以通过输出通断信号, 通断被测直流回路。保护电路选用主控制器控制继电器实现^[9]。设计基本思路为: 当主控制器接收到采样芯片采集到的数据后, 将采集到的数据与软件设定阈值比较, 若采样值高于设定阈值, 则主控制芯片输出中断检测指令, 被测线路断开^[9]。

为缩短设计周期, 简化电路设计配电盘检测保护装置采用传统的电阻检测方法, 通过在直流回路中串联电阻, 对电阻电压进行采样, 计算回路电流。

图 2 为配电盘检测保护装置的信号采集与保护电路。电路由快速熔断保险丝、继电器、晶体管输出光耦芯片、采样芯片 INA226 构成。信号采集电路可实现软硬件协同控制, 实现线路检测保护功能。电路图中芯片 TLP291 的 2 脚受主控制器控制。当 PORT1 为低电平时, 发光二极管导通, 使芯片 3 脚与 4 脚导通。因为 3 脚直接接地, 继电器线圈所在电路形成闭合回路, 继电器得电, 相应触点闭合,

此时控制电路电流经继电器触点和电流检测电阻流入总配电盘。

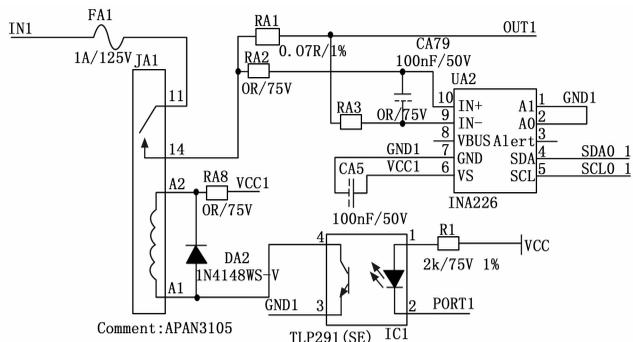


图 2 信号采集与保护电路

1.1.2 主控制器电路设计

主控制器选用 STM32 芯片, 该芯片是控制系统的核心。主控制器具备丰富的通信接口选择。其中 UART 接口主要用于 RS232 与屏幕通信, RS485 接口实现与上位机通信, SPI 接口用于与外扩的 Flash 存储芯片通信, IIC 接口用于电流检测芯片及 IO 扩展通信, USB 接口用于数据下载。数字电路与模拟电路间通讯选用 IIC 总线, 通过 IIC 扩展芯片对 IIC 总线进行扩展, 以满足多通道采集需要^[10]。IIC 扩展芯片为 PCA9546A。

系统数字控制电路原理如图 3 所示。STM32 作为主控制器控制 IIC 总线的时序逻辑, 电流检测芯片的主要功能是检测线路上的电流, 主控制器通过 IIC 总线获取电流检测芯片上的电流值。

1.1.3 IIC 总线的 I/O 扩展电路

配电盘检测保护装置可通过软件控制 250 条线路的通断, 直接使用芯片的 GPIO 管脚无法控制 250 路检测线路通断。电流检测电路使用的 IIC 通讯总线, 只需在 IIC 总线上再增加足够数量的 I/O 扩展芯片完成通道扩展。IIC 总线的 I/O 扩展电路原理如图 4 所示。

TCA9555PWR 为 IIC 通讯接口的 16 位 I/O 口扩展芯片, 可通过对一个芯片的控制实现输出 16 个控制信号。因为同为 IIC 接口, 可以同时加入检测芯片的通讯总线内, 与 PCA9546A 芯片配合, 实现一个 IIC 接口既检测电流, 又控制线路的通断功能。

1.1.4 IIC 总线扩展电路设计

图 5 所示为 IIC 总线扩展电路, 扩展芯片为 PCA9546A。PCA9546A 为 TI 公司的 1 扩 4 的 IIC 通讯扩展芯片, 该芯片可加载到 IIC 通讯线路上, 对线路进行扩展。通过 IIC 总线扩展, 可实现信号的多通道采集。图中 A0、A1 为通讯地址配置引脚, 可以通过调整两引脚接线调整芯片的 IIC 通讯地址。

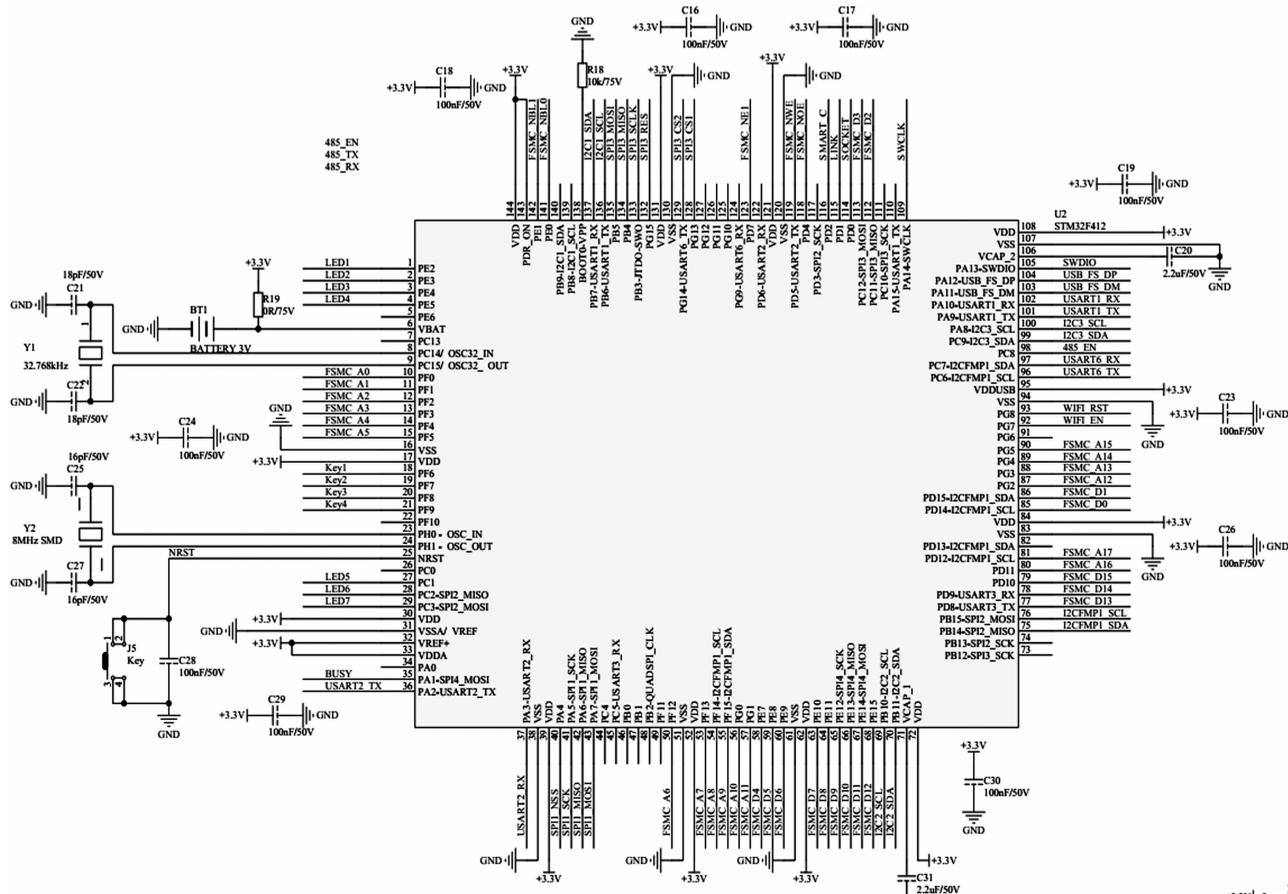


图 3 数字控制电路原理图

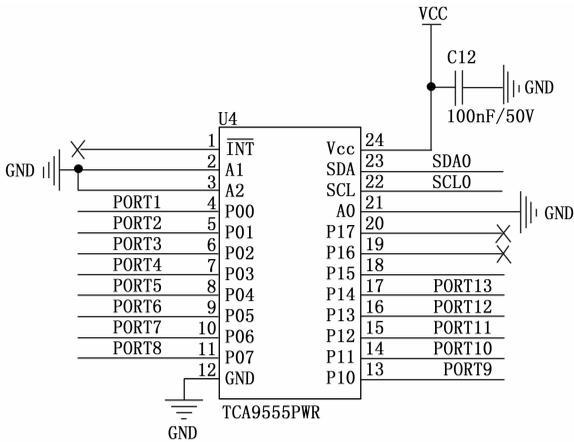


图 4 IIC 总线的 I/O 扩展电路

每条 IIC 通讯线路上可以挂载 1 个 PCA9546A 扩展芯片，每个扩展芯片可以扩展四个通讯通道，每个通道可以挂载 16 个电流检测芯片，只需要一条 IIC 通讯总线，一个 PCA9546A 扩展芯片，就可以同时检测 64 条通讯线路。主控制器共有 4 路 IIC 总线，对每条 IIC 控制总线扩展，最多能够实现 256 路通道检测。所设计的配电盘检测保护装置检测通道目标数目为 250 路，在实际硬件电路搭建时，检测电路检测通道数目为 100 路，后续通过系统升级完成 250 路通道检测目标。

主控制器用于启动总线传送数据，并产生时钟以开放传送的器件，此时任何被寻址的器件均被认为是从器件。在该系统内 CPU 时钟为主，其余芯片为从。

1.2 软件设计方

动车组总配电盘检测保护装置的软件部分主要实现数据采集、数据处理、数据存储、人机交互、无线数据传输等功能。功能实现代码以 C 语言为主，并采用模块化的设计，应用程序按照高内敛、低耦合设计方法完成设计，确保了软件整体的功能性、可靠性、可维护性、安全性、可移植性^[11]。

所设计系统主控制器 STM32 程序采用模块化设计思想，主要功能模块有：

- 1) 主程序模块。主程序是对各种函数、功能模块的调用。
- 2) 初始化模块。初始化是对主控芯片的所有外设接口的初始化以及系统自检。
- 3) 电流检测模块。该模块采用轮询方式对所监测线路电流值进行采集，当所检测到的电流值超过阈值时，则通过软件断开线路，完成线路保护。
- 4) 数据存储模块。该模块实现检测线路电流值的存储；型号信息的设置、读取；系统设置信息的读取、写入。
- 5) 屏幕显示模块。该模块响应触摸屏的操作，所以信息通过屏幕显示。

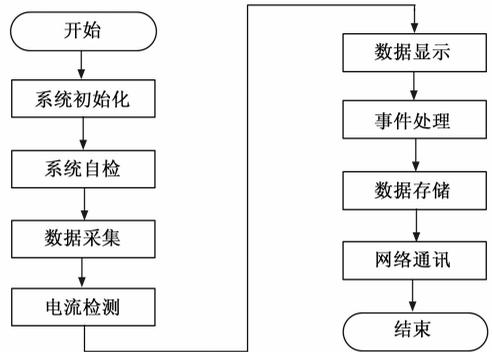


图 6 STM32 程序流程图

STM32 程序的软件流程图如图 7 所示。动车组总配电盘检测保护装置开机后首先完成系统初始化工作，对设备所有的外设接口进行配置，配置完成后，进行系统自检，通过检测设备屏幕、外扩存储芯片、和电流芯片，确保系统本身可用性。当系统本身可用满足检测条件，则开启电流检测功能，用户可对操作屏进行操作，完成电流检测、数据显示、数据存储、数据传输任务。

主界面有记录查询、电流检测、系统设置、型号管理 4 个可操作菜单，按下记录查询后进入线路选择页面，通过选择不同的线路，查看选中线路电流值历史记录；按下电流监测后进入电流监测页面，默认刷新显示 QE50 路电

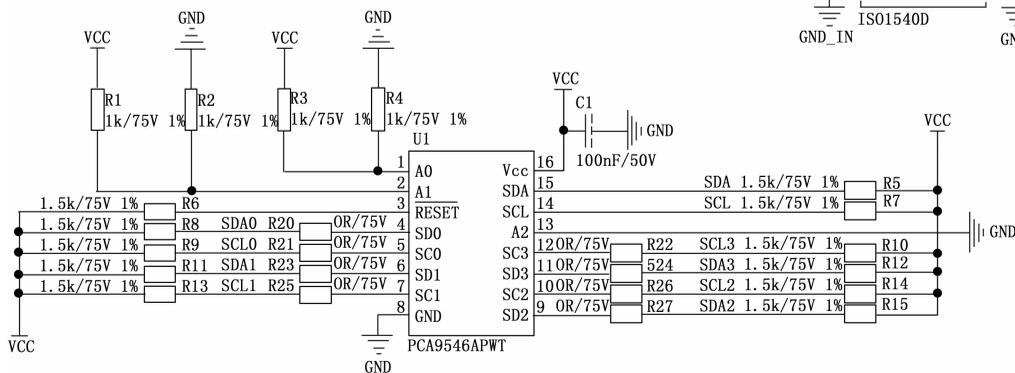


图 5 IIC 总线扩展电路

值；按下系统设置进入系统设置页面，可以设置系统时间、屏幕亮度、WIFI 的名称、WIFI 密码、ip 地址、远程服务器的端口号、本地端口号、WIFI 连接状态；按下型号管理进入型号管理页面，不同的型号设置的电流报警阈值不同，可以快速的切换电流阈值的设置。

电流监测页面如图 8 所示，显示当前应用的型号、



图 7 配电盘检测保护装置主界面

总线及总线上线路实时电流值, 开机后系统会自动跳转到电流监测页面, 默认所有线路为断开, 线路电流值为灰色, 该页面有: 总线 1、总线 2、连接、断开、查看、返回; 各操作按钮的功能进行以下说明。

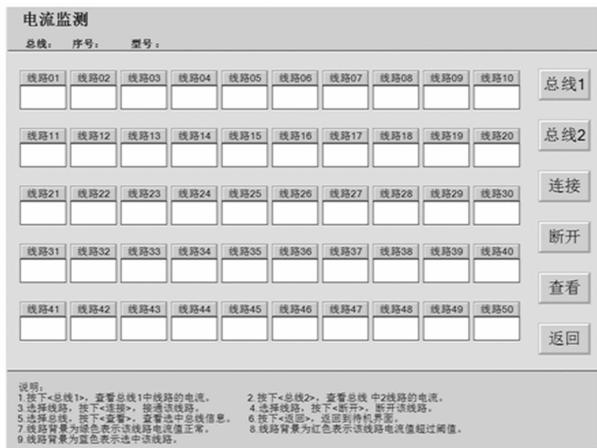


图 8 电流监测页面

2 现场测试实例

产品在现车工作时, 是需要断开车上的 QE 连接器, 将设备串联在车上的总配电盘的控制线上, 因此需要设备的外部连接器也必须是 QE 连接器, 一端为插头、一端为插座, 将保护装置在车上安装总配电盘的配电柜外使用, 使用该装置时需将配电盘输入端 QE 连接器拔下, 将保护装置串联到配电盘输入端线路内。系统开机进入待机页面, 检测保护装置功能实现需执行以下操作:

第一步: 点击待机页面系统设置按钮。系统设置页面界面如图 2 所示。系统设置界面能够设置系统的时间、液晶背光亮度、接入 WIFI 的名称、密码、服务器 ip 地址、接口号、本地接口号、连接 WIFI、断开 WIFI、系统设置保存、WIFI 状态显示。系统开机后自动连接上一次连接的无线路由, 如果需要重新连接, 需要修改完系统配置后, 先按【保存】, 再按【连接】才重新连接, 否则仍然使用上一次系统配置。

第二步: 在上一步完成无线路由连接后, 点击【返回】按钮, 界面重新跳转到待机页面界面。点击待机页面界面

的【型号管理】按钮, 系统会弹出型号管理界面。

第三步: 型号管理界面点击【修改】按钮进入阈值配置页面。可根据具体试验车型在阈值配置界面对线路阈值、型号名称进行修改, 按下【保存】按钮保存当前配置。按下【返回】按钮界面跳回到型号管理界面。

第四步: 在型号管理界面选中当前车型型号, 点击【应用】按钮, 应用后各路线的阈值使用选中的车型。点击型号管理界面【返回】按钮后, 系统界面重新跳回系统待机界面。

第五步: 完成型号管理后, 点击型号管理界面【返回】按钮, 系统界面重新跳回系统待机界面。点击系统待机界面【电流检测】按钮, 会弹出电流检测界面。

第六步: 电路检测页面下能够显示当前应用的型号、总线及总线上路线实时电流值。默认所有线路为断开, 线路电流值为灰色。按下【总线 1】, 电流检测界面刷新显示总线 1 线路的电流值, 按下【总线 2】, 电流检测界面刷新显示总线 2 线路的电流值。

第七步: 电路检测界面可选择多条线路, 选中后线路为黑色, 按下【连接】选通选中的线路, 选通后的线路为绿色, 启动按钮灯亮。选择多条选通后的线路, 选中后线路为黑色, 按下【断开】断开选中的路线, 断开后的线路为灰色, 启动按钮灯灭。电路检测界面, 不论线路是否连接, 系统都会实时刷新电流值, 正常状态下电流值显示为绿色, 当电流值超过阈值时显示为红色。按下【查看】按钮, 查看该型号线路设定的电流阈值。按下【返回】按钮, 界面回到待机界面。

第八步: 点击系统待机界面【记录查询】按钮, 检测会弹出记录查询界面。默认进入该页面显示总线 1 的线路, 按下【总线 1】或【总线 2】, 选择路线后查看选中路线的历史记录。

第九步: 历史记录界面可以显示型号名称、电流值、时间、当前页数、总页数、数据导出状态。按下【上一页】按钮, 查看上一页数据, 按下【下一页】按钮, 查看下一页数据, 按下【WIFI 导出】按钮, 通过 WIFI 将数据导出到服务器, 按下【U 盘导出】按钮, 数据通过 U 盘将该线路数据导出到 U 盘。历史记录在使用 U 盘导出时, 需要将之前导出的数据进行备份, 按下【U 盘导出】按钮后会将会之前导出的数据覆盖, 导出完后会进行提示。按下【返回】按钮, 返回到待机界面。

配电盘检测保护装置现车测试连接如图 9 所示, 按照测试步骤可对司机台部分控制指令线电流值完成检测。检测保护装置对总配电盘内 CN1 连接器与 CN2 连接器中信号线检测。

3 结束语

完成配电盘检测保护装置软硬件设计。检测保护装置

由数据采集电路、数字控制电路、辅助电路组成。检测保护装置能对配电盘线路上的电流进行采集，记录和传输，当线路上出现过载、过流及时断开信号回路，实现保护作用。

针对装置单 CPU 控制通信接口数量不足，在硬件电路上完成 IIC 总线扩展和 IIC 总线 I/O 扩展，实现了多通道电流检测，解决了多通道大数据量传输速率不足问题。为抑制电流检测通道间相互干扰，选用 IIC 通信总线隔离芯片，实现通道间的电气隔离，提高了采样精度。

针对现车调试工况，所设计检测电路可检测控制回路中双向电流，控制电路可通断回路中双向电流，显示屏可显示正负电流。在信号控制回路中出现过载、短路情况时，软硬件协同控制信号回路，实现线路过流、短路防护。

为优化人机交互体验，丰富系统界面内容和功能，选用支持文本、控件操作的液晶显示屏，同时主控制器与显示屏采用串口通信，简化了开发流程和开发难度，缩短开发周期，节约开发成本。

针对无线通信技术在工程上的广泛应用，在主控制器上外接 WIFI 模块，实现了采样数据的远程共享。

参考文献:

[1] 陈 辉. 基于 STM32 的高速列车塞拉门控制系统设计与实现

[D]. 镇江: 江苏科技大学, 2017.
 [2] 王月娥. 微电流测量方法的研究 [D]. 西安: 西安理工大学, 2005.
 [3] 李 俊, 彭中华. 直流大电流测量技术研究 [J]. 仪表技术, 2010 (6): 27-29.
 [4] 邸志刚, 贾春荣, 郑绳植. 用于小电流测量的高精度 Rogowski 线圈的研究与设计 [J]. 电气应用, 2005, 24 (5): 62-65.
 [5] 邸志刚, 贾春荣, 王文轶, 等. 一种用于小电流测量的电子式电流互感器传感头研究与设计 [J]. 仪器仪表学报, 2006, 27 (6): 334-336.
 [6] 王家蕊, 陈 岚, 吕志强, 等. 电流检测功能电路的设计实现 [J]. 电子与封装, 2014, 14 (1): 23-26.
 [7] Ma S Q, Fan M H. The Detection System of Adaptive Electrochemical Micro Electric Current [C]. Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publications, 2013, 313: 304-307.
 [8] 姜 霞, 年晓红, 宋学瑞. 多通道高精度电压电流检测系统设计 [J]. 电源技术, 2014 (9): 1706-1709.
 [9] 吴志鹏. 数字继电保护测试仪检测系统的数据采集装置研制 [D]. 南昌: 南昌航空大学, 2016.
 [10] 宋泉峰. 面向 I2C 总线的 8 位 I/O 扩展器开发 [D]. 上海: 东华大学, 2016.
 [11] 叶廷东, 解生冕, 钟日锋. 基于双 CPU 的网络化电流检测装置设计 [J]. 传感器与微系统, 2009, 28 (2): 78-80.

(上接第 42 页)

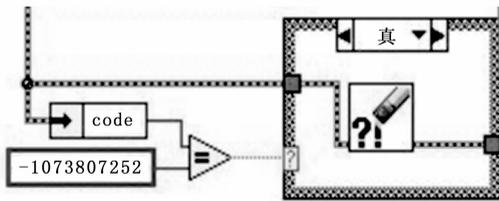


图 10 串口通讯错误过滤程序

通过“错误消除”程序块将其过滤。处理后的程序不影响原程序正常运行。

4 总结

本文构建了机电管理电源监测系统，以“工控机+PCI 串口通讯板卡”为硬件平台，用 LabVIEW 软件开发了软件程序，通过与电源模拟器及机电管理实装系统联调联测，验证了监测系统的记录分析及故障判断显示功能。系统调试中发现的问题及解决办法、软件程序的设计思路对于一般串口通讯系统设计有一定的借鉴作用。该系统有效地解决了原机电管理实装设备全过程综合监测分析能力弱、故障判断余度少等问题，具有较强的实用性，基于该平台可以继续后续科研开发。程序开发设计还有需要改进之处，如波形图无法实现多个波形的比较，今后还需要对程序的运行速度进行优化。

参考文献:

[1] 郭警涛, 杨东亮. 机载新型机电管理系统综合检测技术研究 [J]. 计算机测量与控制, 2016, 24 (11): 5-7.
 [2] 李爱军, 王山虎, 陈 瑜, 等. 一种新型机电系统综合管理计算机设计方法 [J]. 测控技术, 2015, 34 (4): 74-77.
 [3] 黄嘉健, 王昌照, 郑文杰, 等. 基于状态监测的配电网可靠性检修选择模型 [J]. 电网技术, 2015, 39 (1): 164-168.
 [4] 那丽丽, 刘 坤, 王 哲. 基于虚拟仪器的 T/R 电源自动测试系统的设计与实现 [J]. 测控技术, 2017, 36 (4): 130-133.
 [5] 孙富成, 宋文渊, 张 鑫, 等. 红外技术在无人机电源系统状态监测与故障诊断的应用综述 [J]. 飞航导弹, 2017 (2): 69-73.
 [6] 张素萍, 李朝强, 高照阳, 等. 基于 RS485 和 LabVIEW 的电参数测量仪数据采集系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2015 (6): 24-27.
 [7] 刘语乔, 覃杨森, 郭世伟, 等. RS422 总线数据野值剔除方法研究 [J]. 电子设计工程, 2017 (20): 80-82.
 [8] 王 成, 刘明强, 刘 迅, 等. 基于 LabVIEW 的锂电池监控系统 [J]. 电源技术, 2017, 41 (1): 27-29.
 [9] Gani A, Salami M J E. A LabVIEW based data acquisition system for vibration monitoring and analysis [A]. Student Conference on Research and Development, 2002. SCOReD 2002 [C]. IEEE, 2002: 62-65.
 [10] 杨淑珍, 钱 锐, 陆 园. 基于 LabVIEW 的卫星电源地面监控系统研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (5): 1458-1460.