

文章编号: 1000-128X(2019)03-0144-04

# 一种基于 A/D 转换的开关量信号远程检测方法

龙建坡<sup>1</sup>, 王舒卿<sup>2</sup>, 吕常智<sup>2</sup>

(1. 河南思维轨道交通技术研究院有限公司, 河南 郑州 450000;  
2. 山东科技大学电气与自动化工程学院, 山东 青岛 266590)

**摘要:** 为了解决铁路监控设备远程监控系统在开关信号传输中的电压信号波动较大、系统不能正常识别的问题, 分析了开关量远程检测的主要概念, 提出了采用模拟量信号的检测和 A/D 转换的新设计思想, 并完成了电路设计。经现场测试, 所设计电路在低压监控系统中能完成开关量的远程精确检测和通信, 系统运行状况稳定可靠。

**关键词:** 开关量; 远程检测; A/D 转换; 监控系统

中图分类号: U283.1

文献标识码: A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2019.03.032

## A Switching Signal Remote Detection Method Based on A/D Transformation

LONG Jianpo<sup>1</sup>, WANG Shuqing<sup>2</sup>, LYU Changzhi<sup>2</sup>

(1. Henan Thought Rail Transit Technology Research Institute Co., Ltd., Zhengzhou, Henan 450000, China; 2. College of Electrical Engineering and Automation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of the fluctuation of voltage signal and abnormal recognition in switch signal transmission of the railway monitoring equipment remote monitoring system, the main concepts of remote detection of switching volume were analyzed, a new design idea, which used analog signal detection and A/D conversion, was proposed, and the circuit design was completed. The field test showed that the designed circuit could realize remote accurate detection and communication of switching quantity in low voltage monitoring system, and the system run stably and reliably.

**Keywords:** switch volume; remote detection; A/D conversion; monitoring system

## 0 引言

开关量信号可以用来表示多种事物状态, 在工程应用中运用非常广泛, 其中需要对多种开关量信号进行检测<sup>[1]</sup>。传统的开关量检测方法是通过对开关量信号电平范围进行定性检测<sup>[2]</sup>。一般规定大于高门限电压(比如最高电平的 0.7 倍)为高电平, 低于低门限电压(比如最高电平的 0.3 倍)为低电平。当输入电平位于高低门限电压之间时(比如大于 0.3 倍而小于 0.7 倍), 电路无法区分, 视为噪声<sup>[3]</sup>。

开关量信号的典型应用的例子是两个业务部门的开关信号远程传输。在此应用中开关量信号的输出归口一个业务部门, 开关量的检测归口另一业务部门, 而两者相距较远, 最远可达上千米。开关量信号经远距离传输后, 电压跌落, 出现信号电平落入噪声之间, 导致系统不能正常识别。两个业务部门为此产生责任区分不清的问题, 影响该单位整个系统的正常运行<sup>[4]</sup>。

为了解决上述问题, 保证开关量信号采样的稳定可靠, 本设计采用模拟量信号的检测方法, 采用 A/D 转换芯片, 实现开关量信号的全范围电平检测。开关量信号高低门限电压可由软件设定, 当信号电平处于

收稿日期: 2017-10-12; 修回日期: 2019-01-10

高低电平之间时, 系统进行记录, 以供分析。

## 1 开关量采样原理分析

开关量远程监控模块多用在开关比较集中的场合, 实现对开关量的监控, 并将干扰后误动作的可能性降到最小, 甚至达到完全避免。这一问题是开关量远程检测的关键<sup>[5]</sup>。

本文中开关量采集原理图如图 1 所示, 开关量采样电路由采样二极管、自检二极管、采样电阻、A/D 转换芯片、电压基准组成。图中开关量信号经二极管 VD1, 以及由采样电阻 1 与采样电阻 2 组成的分压电路, 将信号范围按比例调整, 然后送给 A/D 转换芯片<sup>[6]</sup>。VD1 具有防反接功能, 自检信号经二极管 VD2 可施加到采样电路上。基准电压芯片为 A/D 芯片提供高稳定基准电压, A/D 芯片对外通信接口为 SPI 接口。本文根据这一开关量采集的原理, 进行系统的软硬件设计。

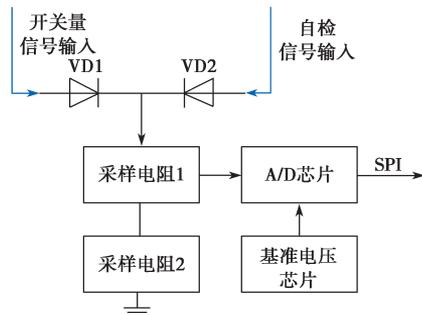


图 1 开关量采集原理图

## 2 系统硬件设计

本设计的硬件部分由信号采集、A/D 转换、控制部分、通信和电源 5 部分组成。信号采集部分实现开关量信号的电平转换, 满足后续 A/D 转换部分的输入电压需求; A/D 转换部分实现采集信号的数字量转化, 为保证准确度, 应配备高稳定度电压基准<sup>[7]</sup>; 控制部分和通信部分要实现与系统的连接, 保证信息的畅通; 电源产生各部分需要的电压<sup>[8]</sup>。

### 2.1 系统硬件原理框图

系统硬件原理框图如图 2 所示。系统采用 DC 24 V 供电, 需由外部提供; 采用芯片 LM22670-5.0 和 MPM3810-3.3 实现由 DC 24 V 到 5 V 与 3.3 V 电压转换; 采用隔离电源模块, TPS7A6950 实现 12 V 与 5.0 V 电压转换; 采用 STM32F437 作为主控制芯片; 采用 AD7194 作为 A/D 转换芯片, 其具有 16 路准差分输入通道和 SPI 接口。为提高抗干扰能力, 输入信号采样部分和对外通信部分需要进行电气隔离。

为保证长期稳定可靠工作, 需对系统自身环境温度、消耗电流、工作电压进行适时检测, 具有工作指示灯, 方便人工巡检工作状态<sup>[9]</sup>。

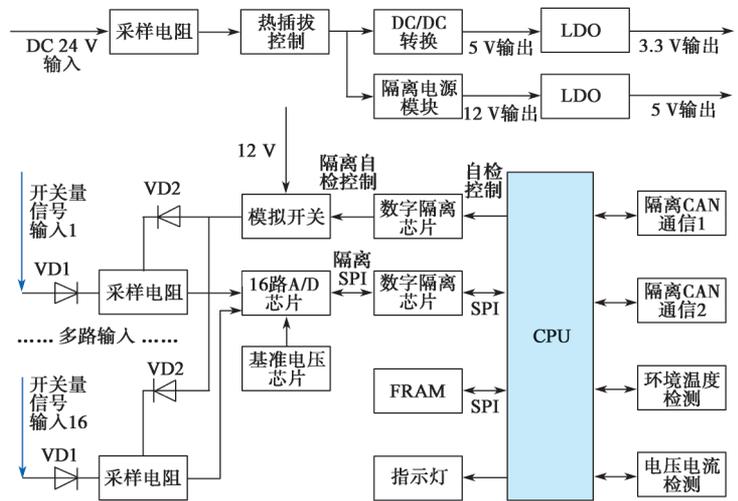


图 2 系统硬件原理框图

### 2.2 各部分具体功能

#### 1) 电源部分

系统所需电压为 3.3 V 和 5 V。3.3 V 为芯片 STM32F437 所需电压, 5.0 V 为开关量信号采样部分所需电压。由于需要测量消耗电流和抑制开机浪涌电流, 增加了采样电阻和热插拔控制电路<sup>[10]</sup>。采用芯片 LM22670-5.0 实现 24 V 到 5.0 V 转换, 采用芯片 MPM3810-3.3 实现 5.0 V 到 3.3 V 转换, 提供 CPU 及其外围配置电路的供电。开关量信号检测部分需要与 CPU 部分电气隔离。采用隔离电源模块 MDHU124 实现与输入隔离的 12 V 电压输出。因开关量信号检测部分所需功率较小, 为减小印制板面积, 采用芯片 TPS7A6950 实现从 12 V 到 5.0 V 电压转换。

#### 2) 开关量信号采集部分

根据系统需要, 共有 16 路开关量信号输入, 相应地需要 16 路开关量输入通道。每一通道都由采样与自检两部分组成。采样部分利用电阻分压原理将输入信号电平调整到 A/D 转换输入范围内; 自检部分由 CPU 适时控制模拟开关将 12 V 电压接入采样电路<sup>[11]</sup>。

#### 3) A/D 转换部分

选用 A/D 转换芯片型号为 AD7194, 24 位  $\Sigma - \Delta$  型模数转换器 (ADC), 供电电压为 3.00~5.25 V, 具有片内 4.92 MHz 时钟源, 可配置为 8 路差分输入或 16 路单端输入, 非常适合高精密度测量应用; 具有 4 线 SPI 接口, 可实现与 CPU 之间的高速数据通信。为提高测试准确度, 选用高稳定的电压基准 LTC6655, 基准输出电压为 4.096 V, 初始精度为 0.05%, 温漂为 5 ppm/°C。

#### 4) 数字隔离部分

A/D 转换电路与 CPU 电路做电气隔离, 采用数字隔离芯片实现两者之间的数字通信。采用数字隔离芯片型号为 ADUM4401, 供电范围 3.0~5.5 V, 3+1 逻辑方向, 隔离电压有效值为 5 kV。采用 1 片 ADU4401 实现 A/D 和 CPU 之间的 SPI 隔离通信; 另外 1 片 ADU4401

实现 CPU 自检控制信号的输出。

### 5) 主控部分

主控部分采用 CPU 与其他功能芯片组成。CPU 型号为 STM32F437, 片内具有 ARM 32-bit Cortex™-M4 内核、2 个 CAN 控制器、3 个 SPI 接口、2 个 I<sup>2</sup>C 接口; 其他功能芯片包括 FRAM 和模拟量检测芯片。FRAM 用来存储关键参数, FLASH 用来存储异常信号<sup>[12]</sup>。

### 6) 对外通信部分

对外通信部分为具有隔离功能的 CAN 通信, 使用 CPU 内置的 CAN 控制器<sup>[13]</sup>, 外接芯片选用 LTM2889 收发器实现 CAN 通信的隔离。LTM2889 具有内部隔离电源, 可以简化电源设计, 隔离电压有效值为 2.5 kV。

## 3 系统软件设计

系统软件部分与硬件设计部分相配合, 完成开关量信号高低门限电压的设计<sup>[14]</sup>。针对开关量检测, 除了完成电压高低电平的检测以外, 还要进行去抖算法和异常数据的判断, 同时进行接收信号的自检<sup>[15]</sup>。具体的流程图如图 3 所示。

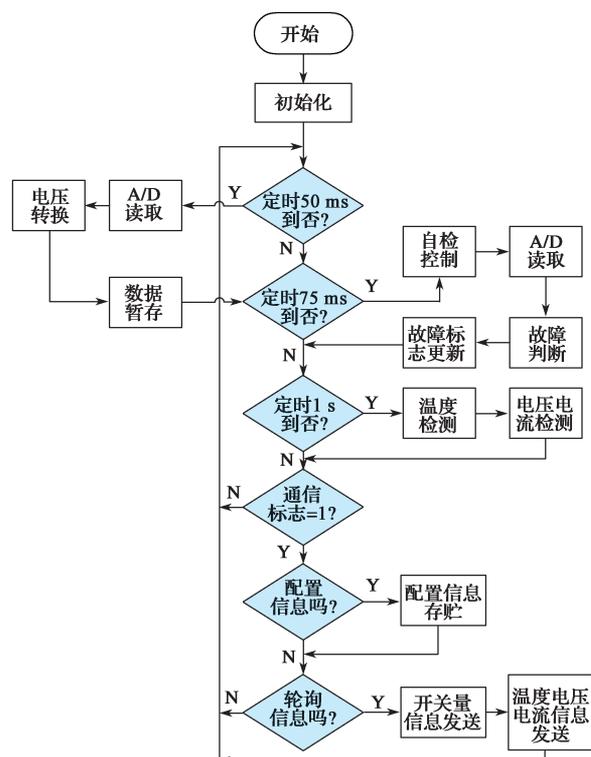


图 3 系统程序流程图

系统上电后, 系统初始化, 包含 CAN 控制器初始化、定时器初始化、SPI 口初始化、I/O 端口初始化、状态标志初始化等。然后, 根据定时中断程序中定时中断标志置位情况, 进行逐项查询。当 50 ms 定时到时, 进行开关量信号的电压检测, 高低电平判断, 异常数据判断等, 然后放入暂存区; 当 75 ms 定时到时, 进行开关量信号的自检检测; 控制自检电压接入, 然后进行自检电压检测, 根据转换电压进行故障判断, 更新相应的状态标志; 当 1 s 定时到时, 进行环境温度

检测和适时电压电流的检测。当检测到通信状态标志有效时, 进入通信处理模块子程序; 如果为配置信息, 则存入相应存储区; 如果为上位机巡检信息, 则发送开关量状态和自检信息。

## 4 试验验证

本设计系统测试部分模拟了一个开关量远程监控系统, 该系统包括开关量信号的输入部分和开关量的检测部分。

输入采样电压和检测模块中 AD 采样电压的比值为

$$V_{\text{out}} = V_{\text{in}} \times 10 \text{ k}\Omega / (499 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega) \quad (1)$$

AD 采样模块的配置模式为单端模式, 增益为 1, 单极性, 禁用斩波, 开启缓冲, 单一通道转换, Sin4 滤波器, 奇偶校验。

输出速率  $v$  如下:

$$v = f_{\text{clk}} / (1024 \times F_s[9 : 0]) = 4.92 \text{ MHz} / (1024 \times 1) = 4.8 \text{ kHz} \quad (2)$$

对单通道进行稳定性测试, 经过对开关量检测电路中的输入电压的多次测量(测试中, 每隔 1 s 测试 1 次, 共 10 次, 测量结果精确到 0.000 1 V), 通道稳定无误差。

在输入电压  $V_{\text{in}}$  为 30.01 V、采样电阻的电压  $V_r$  为 0.58 V 的情况下, 对系统输入部分和检测部分进行测试, 测量输出端软件计算输入电压、AD 通道采样电压、二极管压降和检测部分输出电压, 得到的修正偏移量为 0.004 V, 数据传输正确, 误差小。

对整个系统进行全量程的测量, 测量数值如表 1 所示。

表 1 开关量测试系统全量程测试

输入部分		检测部分	
输入电压 / V	采样电阻电压 / V	软件计算输入电压 / V	AD 通道采样电压 / V
5.070	0.091 0	4.452 235	0.087 470 2
10.050	0.188 0	9.391 274	0.184 504 4
20.040	0.383 0	19.298 05	0.379 136 5
40.307	0.775 6	39.324 55	0.772 584 6
60.335	1.161 2	58.967 30	1.158 493
79.816	1.532 6	77.883 88	1.530 135
99.603	1.904 9	96.851 54	1.902 781
120.003	2.282 9	116.112 5	2.281 188
139.779	2.641 9	134.395 7	2.640 386
160.120	3.002 3	152.752 1	3.001 023
180.096	3.347 0	170.322 4	3.346 215
199.965	3.680 2	187.272 0	3.679 213

## 5 结语

为了解决开关量信号经远距离传输后系统的不稳定问题, 保证整个系统的正常运行, 本文对开关量采样的原理进行了分析, 并以 STM32F107 芯片作为主控芯片, 采用模拟量信号的检测方法, 使用  $\Sigma - \Delta$  型

ADC 转换芯片, 进行了系统的硬件和软件设计, 实现了开关量信号的全范围电压检测, 检测结果经光耦隔离和 CAN 总线通信输出至上位机。系统经软硬件整体调试通过后, 在实际现场进行了长时间运行, 针对不同的业务部门, 明确分工, 使得相关业务部门责任明确, 业务管理清晰, 工作效率明显提升。

#### 参考文献:

- [1] LU S I, HE Q B, Kong F R. Effects of underdamped step-varying second-order stochastic resonance for weak signal detection[J]. Digital Signal Processing, 2015(36): 93-103.
- [2] 曹洪龙, 胡剑凌, 邵雷, 等. 新型便携式多路开关量信号检测仪设计[J]. 仪表技术与传感器, 2014(12): 127-130.
- [3] 霍炬, 王石静, 杨明, 等. 基于小波变换阈值法处理光纤陀螺信号噪声[J]. 中国惯性技术学报, 2008, 16(3): 343-347.
- [4] 王绪利, 郑波祥, 张梅. 基于 FPGA 的开关量输入模块设计[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(9): 2494-2496.
- [5] 段智敏, 李驰, 丛培田, 等. 基于 STM32F407 的风机故障检测远程振动信号采集方法[J]. 仪表技术与传感器, 2017(6): 176-178.
- [6] 徐敏, 鲍有理, 李宝伟, 等. 智能变电站中点对点传输采样值延迟及延迟校验方案[J]. 电力系统保护与控制, 2012, 40(17): 145-149.
- [7] 邬琦, 杨江涛, 马喜宏. 基于 FPGA 的高速信号采集电路的设计

- 与实现[J]. 实验室研究与探索, 2015, 34(4): 124-128.
- [8] 张浩. 基于物联网技术的电力开关成套设备远程监控系统[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2016.
  - [9] ERDEN F, CETIN A E. Hand gesture based remote control system using infrared sensors and a camera[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2015, 60(4): 675-680.
  - [10] 朱艳婷, 孙涛. 一种适用于 Boost 变换器的浪涌电流抑制电路[J]. 电子技术, 2016(10): 79-81.
  - [11] 叶远波, 孙月琴, 黄太贵, 等. 继电保护相关二次回路的在线状态检测技术[J]. 电力系统自动化, 2014, 38(23): 108-113.
  - [12] 周金钢, 彭东林, 郑方燕, 等. 基于 STM32F4 的时栅数控分度转台控制系统设计[J]. 电子器件, 2015, 38(5): 1138-1142.
  - [13] 许明华. 基于 CAN 总线的船舶自动化系统研究与设计[J]. 中国造船, 2012, 53(2): 185-191.
  - [14] 梁源, 达新宇, 安卫国, 等. 变换域通信系统双门限基函数优化设计[J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(3): 634-640.
  - [15] 刘芳, 毛志忠. 基于小波隐马尔可夫模型的控制过程异常数据检测方法[J]. 控制与决策, 2011, 26(8): 1187-1191.

作者简介: 龙建坡(1975—), 男, 工程师, 现从事列车控制设备研发工作。

(上接第 143 页) 获得接触电阻退化数据, 对寿命数据分布模型、寿命加速模型及参数求解算法等进行理论研究, 分析建立了寿命预测建模流程, 实现了对动车组电连接器性能退化轨迹和寿命类型分布的判断拟合及模型的准确求参, 并给出可靠度模型。同时基于 MATLAB 平台的 GUI 环境, 开发了基于退化量的寿命预测软件, 减少了人工计算量, 为动车组电连接器在工程实践中检修维护周期的决策提供研究方法 with 理论参考。

#### 参考文献:

- [1] LU J C, PANTUAL S G. A repeated-measurements model for overstressed degradation data[R]. Raleigh: Department of Statistic North Carolina State University, 1989[2018-05-11]. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.153.6061>.
- [2] MEEKER W, ESCOBAR L, LU C J. Accelerated degradation tests: modeling and analysis[J]. Technometrics, 1998, 40(2): 89-99.
- [3] 邓爱民, 陈循, 张春华, 等. 加速退化试验技术综述[J]. 兵工学报, 2007, 28(8): 1002-1007.
- [4] 林瑞进, 陈文华, 刘娟, 等. 航天电连接器加速性能退化试验可行性研究[J]. 工程设计学报, 2010, 17(4): 317-320.
- [5] WANG F K, CHU T P. Lifetime predictions of LED-based light bars by accelerated degradation test[J]. Microelectronics Reliability, 2012, 52(7): 1332-1336.
- [6] TREVISANELLO L, MENEGHINI M, MURA G. Accelerated life test of high brightness light emitting diodes[J]. IEEE Transactions on Device and Materials Reliability, 2008, 8(2): 304-311.
- [7] 孙璐璐, 马亮, 杨彦明, 等. 飞机关键部件寿命分布拟合与可靠性分析[J]. 价值工程, 2017, 36(18): 220-222.

- [8] 邓爱民, 陈循, 张春华, 等. 基于性能退化数据的可靠性评估[J]. 宇航学报, 2006, 27(3): 546-552.
- [9] 姜梅. 基于 Gamma 模型和加速退化数据的可靠性分析方法[J]. 海军航空工程学院学报, 2013, 28(4): 408-411.
- [10] 雷刚. Weibull 分布寿命数据的参数估计[D]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [11] 王浩伟, 徐廷学, 张晗. 基于退化量分布的某型电连接器寿命预测方法[J]. 现代防御技术, 2014, 42(5): 127-132.
- [12] 魏郁昆. 系统可靠性分析中环境因子评估方法研究及软件实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2014.
- [13] WEI Y K, LIU Z, LONG B, et al. Environment factor assessment based on degradation data and reaction rate model[C]//IEEE. 2013 IEEE 11th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. Harbin: IEEE, 2013: 908-912.
- [14] 邓爱民. 高可靠长寿命产品可靠性技术研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2006.
- [15] 杨奋为. 航天电连接器及其组件失效分析[J]. 上海航天, 2005, 22(4): 60-64.
- [16] 文强, 董力群. 动车组电气连接器常见失效模式分析[J]. 电子质量, 2014(2): 27-29.
- [17] 钱萍. 航天电连接器综合应力加速寿命试验与统计分析的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [18] 李柏年, 吴礼斌. MATLAB 数据分析方法[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [19] MEEKER W Q, ESCOBAR L A. Statistical methods for reliability data[M]. New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.

作者简介: 马洁(1993—), 女, 硕士研究生, 研究方向为交通装备可靠性评估与寿命预测, 列车通信网络。