

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.01.019

# 机车高压安全报警器的设计与实现

张 宝, 易吉良, 童文超, 周亚星, 黄林森

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 为了电力机车维护人员的人身安全, 设计了一种基于STC11F04E单片机的高压报警器系统。系统由高压感应部件、信号处理模块、语音警示模块以及电源管理模块等组成。系统能感应出机车车顶高压电场并转换为电压信号, 通过信号处理模块测量是否含有高压并进行报警。本系统通过多家权威部门检测, 现已装车使用。

**关键词:** 机车; 高压; 报警; 单片机; 语音

**中图分类号:** TM64

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2014)01-0093-05

## Design and Implementation of High Voltage Protection Alarm System

Zhang Bao, Yi Jiliang, Tong Wenchao, Zhou Yaxing, Huang Linsen

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** For the safety of maintenance personnel of electric locomotive, a high voltage protection alarm system is designed based on STC11F04E microcontroller. The system consists of high voltage induction part, signal processing module, voice alarm module and power management module, etc. The system can detect the high voltage electric field of locomotive roof and convert it into voltage signal, and through the measurement of signal processing module, decides whether an alarm should be given. This system has been qualified through several testing authority and put into use.

**Keywords:** locomotive; high voltage; alarm; microcontroller; voice

## 0 引言

近年来, 我国电气化铁路发展异常迅速, 电气化区段不断延伸。在电气化区段, 各电力机务段机车入库整备作业时, 检修职工每天上车顶作业多达上百次, 如出现违章现象或其他意外情况极易造成重大人身伤害<sup>[1]</sup>。为了避免机务部门职工高压触电伤亡事故的发生, 迫切需要研制机车高压报警装置, 利用科技手段给车顶作业增加一道安全屏障。

现在已有较为先进的电力机车登顶作业安全监

控装置, 它采用计算机、PLC、视频图像识别等高新技术, 对登顶作业过程实施全方位监控<sup>[2]</sup>。虽然它的优点很突出, 但是也有一些不足: 首先是成本问题, 这样的一套装置价格十分昂贵; 其次, 该装置只能装在库内, 工作人员要上车顶, 还需要把机车调入库内, 这大大增加了调度作业量, 降低了工作效率。所以, 急需一种可以大量装备, 自动化程度高, 操作简单, 安全准确的登顶作业保护装置<sup>[3]</sup>。

本文设计了一套机车车顶高压报警器, 如图1所

**收稿日期:** 2013-10-23

**基金项目:** 湖南省自然科学基金株洲市联合基金资助项目(12JJ9042), 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目(CX1302), 湖南工业大学科研基金资助项目(2011HZX07)

**作者简介:** 张 宝(1987-), 男, 安徽宿州人, 湖南工业大学硕士生, 主要研究方向为自动化集成技术与应用,

E-mail: Zhangbao361@126.com

示。该装置克服了现有机车车顶高压报警装置的不足，能够实时提示机车车顶高压线的带电状态，并给出语音警示。同时，对产品内部电源管理系统进行了改进，使电池的使用寿命增长。

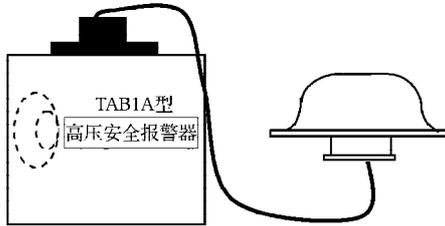


图1 高压安全报警器

Fig. 1 High voltage protection alarm system

## 1 报警器设计原理

### 1.1 高压检测原理

TAB1A型高压安全报警器采用感应式传感器，它具有结构简单和绝缘安全可靠的优点，传感器和显示控制器的连接示意图如图2所示。

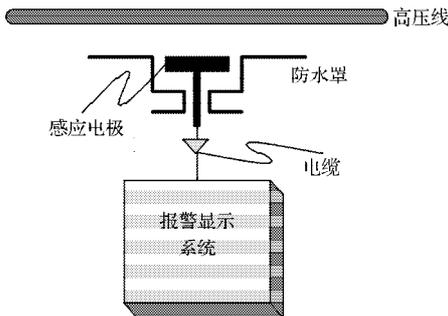
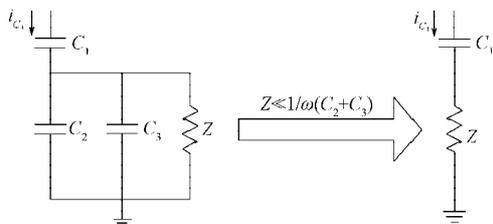


图2 传感器和报警显示系统连接示意图

Fig. 2 The diagram for sensor and alarm display system connection

感应式传感器是一个靠近高压带电体的对地绝缘的感应电极，通过感应电极和高压带电体之间的杂散电容，耦合高压带电体上的交变电压信号。通过电缆把这一信号传送到显示控制器进行放大和处理，最终实现高压线有电报警。

感应式传感器的等效电路如图3所示。



注： $C_1$ 为高压线与感应电极之间形成的电容，通过的电流为 $i_{C_1}$ ； $C_2$ 为感应电极与周围接地体之间的杂散电容； $C_3$ 为电缆芯线与地之间的杂散电容； $Z$ 为报警显示系统的等效输入阻抗。

图3 传感器等效电路图

Fig. 3 Sensors equivalent circuit diagram

通常，感应电极与高压带电体之间的电容 $C_1$ 为

几微法量级，感应电流 $i_{C_1}$ 在几微安到几十微安量级。根据图2所示，报警显示系统所获得的电压信号为 $u_z$ ，它是 $C_2 // C_3 // Z$ 与 $C_1$ 的分压。感应电极从高压带电体上耦合的电流 $i_{C_1}$ 将被3个支路分流，即

$$i_{C_1} = i_{C_2} + i_{C_3} + i_{Z^0} \quad (1)$$

报警显示系统所得到的电流信号为 $i_z$ 。当

$$Z \ll 1/\omega(C_2 + C_3), \quad (2)$$

有

$$i_z \approx i_{C_1}, \quad (3)$$

此时电缆参数对信号传感将没有显著影响。因此，报警显示系统输入的电压信号为

$$u_z = i_z \cdot Z, \quad (4)$$

对该信号进行处理识别，可做出有电无电判断。

### 1.2 报警显示系统原理

报警显示系统是TAB1A型高压安全报警器的核心部分，报警显示系统的信号处理功能好坏及完善程度会直接影响报警器性能的好坏。系统分为3个模块，即信号处理模块、语音警示模块以及电池管理模块，3个模块通过MCU协调控制使其能实现所需功能。信号处理模块实现信号的保护、滤波、放大和整形处理，使输入信号以合适的幅度传输至MCU。语音告警模块根据信号识别情况，由MCU提供语音命令，使其播放识别结果的语音。电池管理模块用于给锂电池充电提供有效管理，延长电池使用寿命。报警显示系统的原理框图如图4所示。

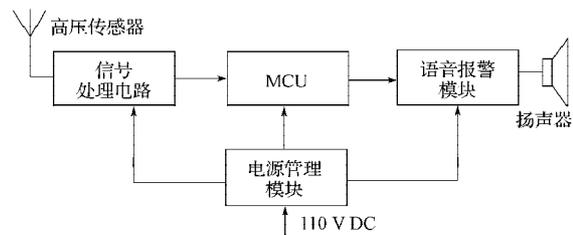


图4 报警器系统原理框图

Fig. 4 Schematic diagram of alarm system

## 2 硬件的设计与实现

针对报警器功能需求，硬件上将系统分为3个模块分别进行设计，即信号处理模块、语音警示模块以及电源管理模块。

### 2.1 信号处理电路

该模块通过天线接收铁路网高压信号，经过四级处理后送入MCU的P3.5进行有电识别，四级电路分别是保护电路、滤波电路、放大电路和比较器电路。其中保护电路通过放电管和TVS管实现雷击保护浪涌保护；滤波电路采用RC组成，能够滤除信

号中的纹波和谐波, 提取纯净的稳压信号; 放大电路由运放组成同相比比例放大电路, 用于将信号放大至合适的强度; 比较电路用于设定合适的阈值将有效稳压信号转换为一定占空比的矩形波信号, 然后送至 MCU 进行识别。该模块原理框图如图 5 所示。

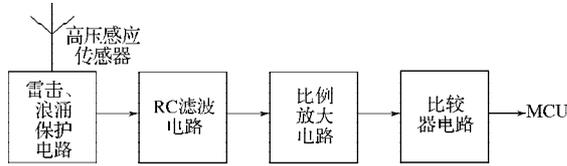


图 5 信号检测与处理模块原理框图

Fig. 5 Schematic diagram of signal detection and processing module

### 2.1.1 比例放大系数

在信号处理模块中, 比例放大电路采用同相比比例放大, 如图 6 所示, 第一个运放组成同相比比例放大电路, 其放大系数  $k$  由下式计算<sup>[4]</sup>:

$$k = \left( 1 + \frac{R_{p1} + R_3}{R_2} \right) = \frac{U_{o1}}{U_i} \quad (5)$$

设置可调电阻  $R_{p1}$  是为了在调试过程中可以调整放大系数, 由于  $R_{p1}$  为 0~50 kΩ 可调, 故  $U_{o1}$  = 2~12.64 V 可调。

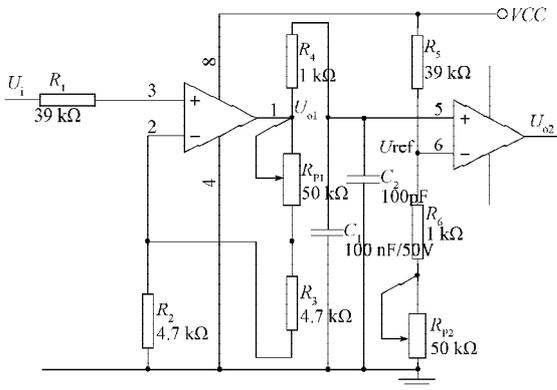


图 6 比例放大和比较器电路原理图

Fig. 6 Schematic diagram of proportional amplifier and a comparator circuit

### 2.1.2 比较器电路阈值

图 6 中右侧运放组成了比较器电路,  $U_{o2}$  翻转的输入阈值电压  $U_{ref}$  由下式决定:

$$U_{ref} = \frac{R_6 + R_{p2}}{R_5 + R_6 + R_{p2}} \times VCC, \quad (6)$$

因  $R_{p2}$  为 0~50 kΩ 可调, 则  $U_{ref}$  为 0.125~2.830 V 可调。

### 2.1.3 报警阈值确定

通过现场实测, 铁路本道网压有电时, 比例放大电路接收的输入信号为交流有效值 70 mV 以上, 在本道无电旁道有电的情况下信号强度会小于 20 mV。故将报警阈值设为交流有效值 36 mV, 因比例放大电路接收的输入信号强度与电网电压呈线性关系, 设为

现在的阈值即使网压下降 50% 也能够有效报警, 同时能够有效避免误报警。

## 2.2 电源管理模块

电源管理模块用于实现锂电池的充电管理, 包括电源输入控制模块、保护模块、电压检测和控制模块、充电电路等。保护模块对输入电源中的干扰、浪涌等进行滤除; 电源输入控制模块在上电时提供 2 s 的电源供电时间, 给 DC/DC 电源模块和充电电路供电, 用于电压检测和充电控制模块检测锂电池电压, 并判断是否进行充电。需要充电时, 该模块控制继电器 K2 使电源输入控制模块保持接通输入电源, 并接通锂电池充电, 电源管理模块的输入电源为 DC110 V, 锂电池的额定电压为 7.4 V。采用上述锂电池充电管理方法和实现系统, 能减少充电电路的通电时间, 减少锂电池的充电次数和避免锂电池一直处于接近满容量的状态, 延长锂电池及其充电电路的使用寿命。该模块的原理框图如图 7 所示。

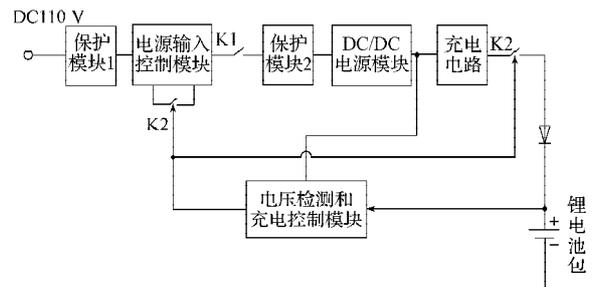


图 7 电源管理模块原理框图

Fig. 7 Schematic diagram of power management module

## 2.3 语音报警模块

语音报警模块由语音芯片电路和功率放大电路组成, 其中语音芯片以串口方式接收 MCU 的语音播放控制信号, 并将需要播放的语音信号通过 DAC 方式输出至功放电路; 功放电路由 LM386 及其外围电路组成, 使扬声器达到足够的输出功率。该模块的原理框图如图 8 所示。

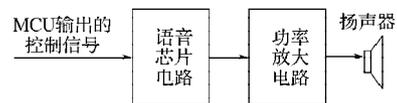


图 8 语音报警模块原理框图

Fig. 8 Schematic diagram of power management module

## 2.4 微处理器单元

微处理器选用宏晶科技生产的 STC11F04E。单时钟 / 机器周期 (1T) 的单片机, 是高速、低功耗、超强抗干扰的新一代 8051 单片机, 速度是传统 8051 的 8~12 倍。大容量 1 280 字节 SRAM 内部集成高可靠复位电路, 针对高速通信, 智能控制, 强干扰场合。定时器 0、定时器 1、串行口与传统 8051 兼容, 增加了

独立波特率发生器，省去了定时器2。微处理器指令执行速度全面提升，同时还具有电源检测、内置系统ISP 监控程序和硬件看门口电路，使系统更加可靠、抗干扰性和加密性更强<sup>[5]</sup>。该微处理单元可以很好地协调信号处理模块、语音警示模块以及电源管理模块等的正常工作。微处理器单元结构框图如图9所示。

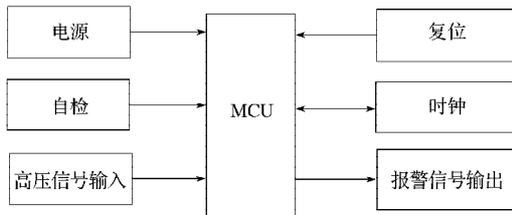


图9 微处理器结构框图

Fig. 9 Microprocessor structure diagram

### 3 软件的设计

本测试系统软件采用模块化设计方式，主要包括语音提示模块、自检中断模块、高压信号检测模块以及主程序模块等<sup>[6]</sup>。

设计思想是当检修人员需要登上机车车顶时，将车顶门向上推开，此时车顶门连锁开关将接通高压安全报警器的电源，如果供电网线有电，报警器将重复发出“请注意！有电危险！”的报警声并伴有灯光闪烁。若未检测到网线有电，报警器会提示作业人员进行自检，自检通过后，报警器就对机车供电网线是否有电进行检测，检测过程中，如果供电网线有电，报警器将重复发出“请注意！有电危险！”的报警声并伴有灯光闪烁。若未检测到网线有电，则给出“无高压，可以登顶作业”的提示。报警器的主程序流程如图10所示。产品实物图如图11所示。

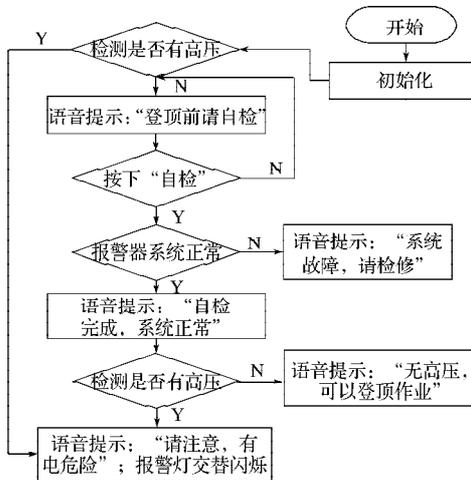
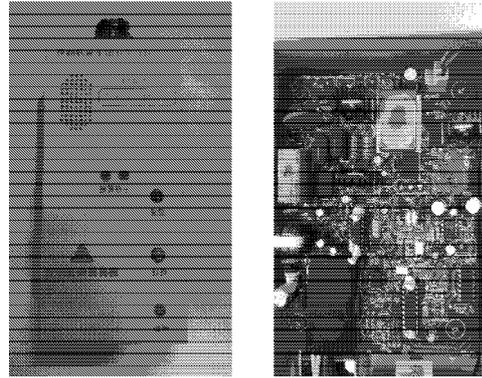


图10 主程序流程图

Fig. 10 The main program flow chart



a) 产品外观 b) 产品电路板

图11 产品实物图

Fig. 11 Product picture

#### 3.1 高压信号检测模块

高压信号采集采用定时(20 μs)中断方式实现，信号经过放大器放大1~11倍后输入比较器与阈值比较。若在固定时间内检测到大于某固定值的信号个数超过10个，则判定有高压，语音和灯光报警同时报警。两红灯闪烁报警，语音提示将重复发出“请注意！有电危险！”提示有高压。当大于阈值的信号个数小于等于10个，则判定为干扰信号，无高压存在语音提示“无高压，可以登顶作业”。

#### 3.2 自检中断模块

外部中断采用下降沿引起中断的方式，CPU在每个机器周期顺序采样每个中断源，如查询到某个中断源的中断标志为1，中断系统通过硬件自动将相应的中断矢量装入PC，进入中断服务程序。

### 4 试验测试

#### 4.1 天线信号强度测试试验

本实验于2011年4月6日在株洲南车电力机车厂进行机车环境测试，主要完成各车道机车牵引线对报警器的电磁信号影响测试、信号接收器与机车牵引线距离对电磁信号影响测试。测试高压报警器接收到的电压值的大小，进行报警阈值设计。主要测试数据如表1~2所示。

表1 各车道高压牵引线电磁信号影响测试

Table 1 The electromagnetic signals impact tests of driveway

电路板、屏蔽线状态	high-voltage traction lines mV		
	本有、旁无	本无、旁有	本有、旁有
电路板不接地、不加屏蔽线	76.0	16.0	80.0
电路板接地、不加屏蔽线	108.0	15.6	114.0
电路板不接地、加屏蔽线	88.0	15.6	88.0
电路板接地、加屏蔽线	108.0	16.2	114.0

注：本有指测试本车道的高压牵引线带电，本无指测试本车道的高压牵引线不带电、旁有指测试车道的旁边车道高压牵引线带电，旁无指测试车道的旁边车道高压牵引线不带电。

表2 高压牵引线与接收器距离对电磁信号影响测试

Table 2 The effect of the distance between high traction line and receiver on electromagnetic signals mV

测试距离/高度	加屏蔽线	不加屏蔽线
距离车顶 0.40 m、高度 3.72 m	141.0	112.0
距离车顶 1.00 m、高度 3.12 m	76.0	52.0
距离车顶 1.60 m、高度 2.52 m	32.4	37.0

#### 4.2 温度环境影响测试试验

本测试目的主要是测量一定范围内温度对报警器阈值的影响情况。2011年4月28日在实验室进行了高低温试验,同时测试了温度骤变的影响。16:35进行零下40℃低温试验,17:05结束;17:10开始高温试验,17:25温度达70℃,17:55结束高温试验。试验数据如表3所示。

表3 低温试验(-40℃)

Table 3 Low temperature test (-40℃)

序号	加DC40 mV信号	加DC60 mV信号	电池电压/V
1#	报无高压	报有电	8.337
2#	报无高压	报有电	8.330
3#	报无高压	报有电	8.371

表4 高温试验(70℃)

Table 4 High temperature test (70℃)

序号	加DC40 mV信号	加DC60 mV信号	电池电压/V
1#	报无高压	报有电	8.153
2#	报无高压	报有电	8.336
3#	报无高压	报有电	8.275

上述结果表明,低温零下40℃环境对阈值无影响、70℃高温环境对阈值也无影响。即本产品在复杂温度环境中运行状态良好。

产品已经通过湖南省电子产品检验分析所的型式试验,包括外观检查、性能试验、振动和冲击试验、水密性试验、电压波动试验等。

同时,在实验室对产品做了大量试验,验证了系统的有效性和可靠性,主要包括:

1) 天线信号强度测量,报警阈值与环境相关性试验; 2) 电池充放电试验,充电阈值试验,过充保护试验等; 3) 语音报警的声音强度试验,连续播放持续工作时间试验等。

## 5 结语

本文介绍的高压报警器系统具有良好的抗电磁干扰能力,整个系统结构简单、成本低、安装方便,具有推广使用价值。目前,该系统已经装车运行2年,性能稳定,经受了机车上的强电磁干扰、振动等恶劣环境考验,为铁路维修作业安全提供了可靠的安全辅助设施。

#### 参考文献:

- [1] 肖宁. TAB1型机车高压安全报警器的改进措施[J]. 企业技术开发, 2009, 28(12): 116.  
Xiao Ning. TAB1 Type Locomotive High-Voltage Safety Alarm Measures[J]. Technological Development of Enterprise, 2009, 28(12): 116.
- [2] 赵帅, 朱昌平, 张佳, 等. 高压电柜自动安全报警器装置[J]. 工矿自动化, 2006(3): 20-22.  
Zhao Shuai, Zhu Changping, Zhang Jia, et al. The Annunciator of Automation and Safety for High-Voltage Electric Tank[J]. Industry and Mine Automation, 2006(3): 20-22.
- [3] 雷晓娟, 李勇智. 采用单片机技术的内电机车高压报警器[J]. 机车电传动, 2009(3): 71-72.  
Lei Xiaojuan, Li Yongzhi. The Single Chip Microcomputer Technology of High Pressure Alarm of Electric Locomotive[J]. Electric Drive for Locomotives, 2009(3): 71-72.
- [4] 康华光. 电子技术基础: 模拟部分[M]. 北京: 高等教育出版社, 2008: 325-374.  
Kang Huaguang. Basic Electronic Technology: Simulated[M]. Beijing: Higher Education Press, 2008: 325-374.
- [5] 欧伟明, 何静, 凌云, 等. 单片机原理与应用[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 20-40.  
Ou Weiming, He Jing, Ling Yun, et al. Single Chip Microcomputer Principle and Application[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2009: 20-40.
- [6] 易吉良, 黄晓峰, 邹豪杰, 等. 一种机车车顶高压报警装置: 中国, ZL201120526513.8[P]. 2012-08-22.  
Yi Jiliang, Huang Xiaofeng, Zou Haojie, et al. A Locomotive Roof Pressure Alarm Device: China, ZL201120526513.8[P]. 2012-08-22.

(责任编辑: 申剑)