

doi:10.16018/j.cnki.cn32-1650/n.201604008

基于电力线通信技术的铁路信号灯监测系统设计

王 雷,周 莉,王龙驹
(安徽理工大学 电气与信息工程学院,安徽 淮南 232001)

摘要:研究一种基于电力线通信技术的铁路信号灯监测系统,原理是 LED 铁路信号灯故障信息表现为信号灯限流电阻上电压的变化,通过单片机采集信号灯限流电阻上的电压信息,经低压电力线传输,在接收端接收到故障信息后进行声光报警,实现铁路信号灯故障检测的自动化。
关键词:LED 铁路信号灯;单片机;电力线通信;调制解调器
中图分类号:TP913 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2016)04-0037-05

铁路信号灯以前大都采用人工检测的方法,来确认信号灯是否发生故障。采用人工检测的方法不仅使信号灯维修人员的工作量大,而且这种方式还存在很大的延迟性,即无法第一时间发现信号灯的损坏,很大程度上影响列车的安全运行。本文所研究的基于电力线通信的铁路信号灯监测系统,能很好地解决这一问题。

1 系统总体结构

1.1 工作过程

系统结构框图如图 1 所示。从图 1 可以看出,系统主要包括 LED 铁路信号灯检测电路、发送端与接收端单片机控制模块、故障信息调制与解调模块、发送端与接收端电力线接口电路、声光报警电路等电路模块。当 LED 铁路信号灯正常工作时,声光报警电路不工作;当 LED 铁路信号

灯出现故障时,如短路或断路,与 LED 信号灯串联的限流电阻上电压就会异常^[1],检测电路检测到该异常,并用 MSP430F149 单片机给调制解调器芯片 ST7536 发送故障信号,通过电力线接口电路将故障信息传输到低压电力线上^[2],接收端接收到故障信号后进行声光报警,通知信号灯维修人员去现场进行维修。

2 硬件设计部分

2.1 LED 铁路信号灯检测电路

LED 铁路信号灯简化的电路模型如图 2 左半部分所示。模型由多路 LED 并联组成,假设其中每路由 4 个 LED 发光二极管串联而成。当 LED 铁路信号灯某一组发生短路或者断路故障时,就会造成铁路信号灯无法正常发挥指示作用。

在铁路信号灯中有 3 种颜色的 LED 发光二极管,分别是绿色、黄色、红色。正常工作时它们的导通压降在 2.5 V 附近,当电路电源电压为 12 V 时,电源电压在 4 个 LED 二极管上产生约 10 V 的压降,由此可得到与二极管串联的限流电阻的压降应在 2 V 左右。

通过采样信号灯限流电阻上的电压判断信号灯是否发生故障,此电压由图 2 中 CD4051 8 选 1 数字模拟开关完成。由于正常工作时限流电阻上压降为 2 V 左右,电阻上流经的电流等于 LED 正常工作的电流(20 mA),根据欧姆定律 $R = \frac{U}{I} =$

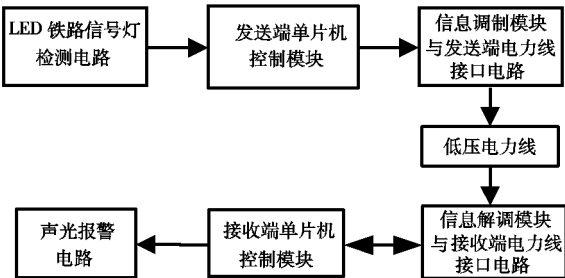


图 1 系统的结构框图

Fig.1 The block diagram of the system's structure

$\frac{2\text{ V}}{20\text{ mA}} = 100\ \Omega$, 选取阻值为 $100\ \Omega$, 如图 2 中 R6 ~ R9 所示。将十进制可逆计数器 74LS192 接成四进制计数器, 控制数字模拟开关 CD4051 的地址选择端, CBA 的数值按 000、001、010、011 的顺序循环, 即可以轮流选择 4 路输入电压中的任意一

路, 通过公共输出端输出后, 送入单片机 A/D 转换输入端进行模数转换, 并通过单片机判断此电压值是否在正常范围内, 从而判断 LED 铁路信号灯是否处于正常工作状态。

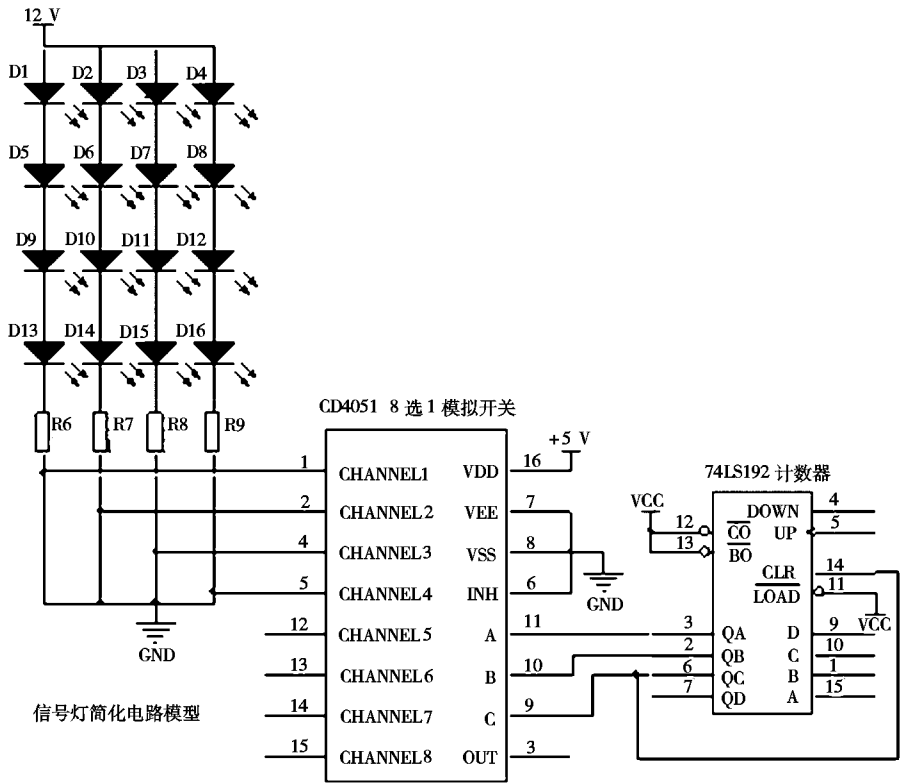


图 2 LED 铁路信号灯检测电路原理图

Fig. 2 The principle diagram of LED railway signal lamps' detection

2.2 单片机控制模块与信息调制解调模块

本设计所采用的控制器为 MSP430F149 单片机。该单片机具有功耗低、计算处理能力强、稳定性好等优点^[3], 其作用主要包括检测 LED 铁路信号灯是否发生故障、控制 ST7536 发送和接收故障信息、控制接收端声光报警 3 个部分。

将 MSP430F149 单片机产生的时序脉冲, 送入 74LS192 计数器 UP 端, 控制已被接成四进制的计数器从 000 ~ 011 循环计数; 将计数器输出端 QA、QB、QC 信号送入 CD4051 的地址选择端 A、B、C, 即可采样到 4 路限流电阻上的电压, 将采集到的电压信号送入单片机 A/D 转换输入端进行 A/D 转换, 并判断此电压值是否在正常范围。

调制解调器芯片 ST7536 是一款专门用于电力线载波通信的芯片, 它是一种半双工芯片, 有接收和发送 2 个工作方式。单片机通过控制 ST7536 的引脚使其工作在发送或接收模式, 并且

从 TXD/RXD 端发送或接收故障信息^[4] (MSP430F149 单片机与调制解调器芯片 ST7536 通过串行口 TXD/RXD 实现通信)。

2.3 发送端电力线接口电路

电力线接口电路用来连接 ST7536 与电力线, 它的性能好坏决定了通信的效果, 是实现电力线载波通信的关键。根据欧盟 CENELEC 和美国 FCC 相关标准设计的发送端电力线接口电路如图 3 所示^[5]。从图 3 可以看出, 该电力线接口电路包含低通滤波电路、功率放大电路、变压器耦合电路等部分。

2.3.1 低通滤波器电路与功放电路

低通滤波器电路如图 3 左边部分所示, 通过 R1、C1 将功率放大器输出信号反馈到运算放大器 U1 的输入端, 构成低通滤波器。ST7536 工作在 4 个信道: 67 kHz、72 kHz、82 kHz 和 86 kHz, 选用 72 kHz 的信道, 将低通滤波器截断频率设为 75

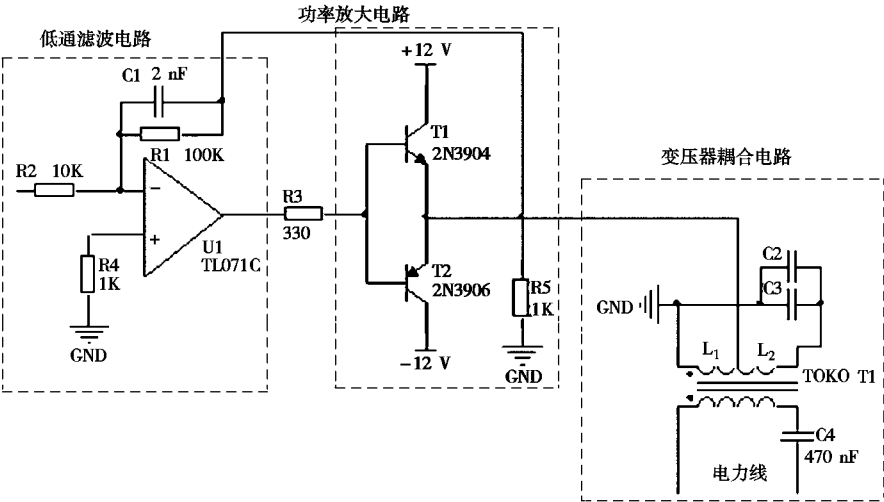


图 3 发送端电力线接口电路图

Fig. 3 The circuit diagram of the sender power line interface

kHz,根据 $f=1/(2\pi R_1C_1)$,选取 $R_1=100\text{ k}\Omega$, $C_1=2\text{ nF}$ 。让 72 kHz 的高频信号顺利通过,并滤除 ST7536 产生的二次谐波等干扰信号。低通滤波器电路中, R_1/R_2 比值确定了发射频率信号的放大倍数,选 $R_2=10\text{ k}\Omega$,对信号进行 10 倍放大。运算放大器的输出连接 R_3 以防止振荡^[6]。为保证运算放大器可靠工作, R_3 的经验值为 $330\text{ }\Omega$ 。功放电路如图 3 中间部分所示,选择互补对称功放电路,来自低通滤波器的信号进行功率放大。

2.3.2 发送端变压器耦合电路

发送端变压器耦合电路如图 3 右边部分所示。变压器电路在电力线接口电路中要完成如下功能:(1)将信号传输到电力线上;(2)对信号进行带通滤波,滤除工频信号和发送端的二次谐波干扰^[7]; (3)将接口电路其他部分与电力线隔离。

变压器具有两个原边线圈和一副边线圈,变比为 $4:1:1$ 。原边线圈左侧电感 L_1 为 $9.4\text{ }\mu\text{H}$,右侧线圈电感 L_2 为 $140\text{ }\mu\text{H}$,与原线圈并联电容 C_2 、 C_3 构成带通滤波器,其谐振频率由 C_2 、 C_3 确定。变压器等效电感计算公式为:

$$L_{eq} = L_1 + L_2 + 2M; M = k \sqrt{L_1 \times L_2}, k = 1/\sqrt{2}$$

根据给定值,可得 $M=25.6\text{ }\mu\text{H}$, $L_{eq}=200.6\text{ }\mu\text{H}$ 。根据谐振频率 $f_0=1/(2\pi\sqrt{L_{eq}\times C_{eq}})$,可得电容并联等效电容值 $C_{eq}=(1/(2\pi f_0)^2)/L_{eq}$;

由于 ST7536 选用的信道频率 $f_0=72\text{ kHz}$,故 $C_{eq}=24.38\text{ nF}$,选 $C_2=24\text{ nF}$, $C_3=0$ 。 C_4 用来滤除电力线的工频信号,使高频载波信号顺利通过。

2.4 接收端电力线接口电路

接收端电力线接口示意图如图 4 所示。相比

于发送端接口电路,最主要的区别在于多了双向二极管 TRL1。

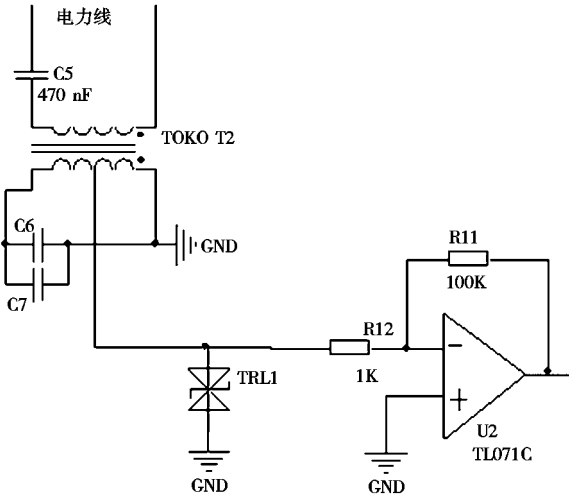


图 4 接收端电力线接口电路图

Fig. 4 The circuit diagram of the receiver power line interface

当 ST7536 工作于接收模式时,从电力线上接收到的信号首先经过耦合变压器滤波,将电力线上的工频信号等干扰信号滤除,而高频载波信号(72 kHz)被顺利接收下来;变压器副边连接的双向二极管 TRL1,主要起冲击保护作用,当变压器副边电压高于 6.8 V 时,双向二极管会被击穿,等效于短路接地,保护电路其它器件的安全;变压器出来的信号经过前置放大器进行放大,放大倍数为 $R_{11}/R_{12}=100$ 倍,经过放大后的信号再送入 ST7536 TXD/RXD 端进行解调。

3 系统软件的设计

3.1 软件设计的任务

本次设计 MSP430F149 单片机需要完成的任务主要有以下几个方面。

(1) 给 74LS192 芯片时序脉冲, 以此控制 8 路模拟电子开关地址选择端, 轮流接通 4 路模拟信号送入单片机 A/D 转换输入端。

(2) 将 A/D 转换后的限流电阻上的电压值与正常值进行比较, 当超出误差范围后, 立即发送故障信号。

(3) 控制调制解调器芯片 ST7536 的发送和接收。当单片机接收到故障信号时, 立即启动 ST7536 经电力线发送故障信号, 在接收端, 单片机控制 ST7536 接收故障信号。

(4) 当接收端接收到故障信号后, 单片机控制声光报警装置进行声光报警, 并提醒值班人员, 通知信号灯维修人员赴现场进行维修。

3.2 程序设计流程图

系统程序流程如图 5 所示。从图 5 可以看出, 此软件设计主要包括限流电阻上电压的采样与检测、故障信号的发送与接收、接收端收到故障信号后的声光报警。

4 仿真与分析

对系统相关电路运用 Multisim 12 仿真软件进行仿真。由于接收端和发送端电力线接口电路基本类似, 故本部分只对发送端电力线接口电路

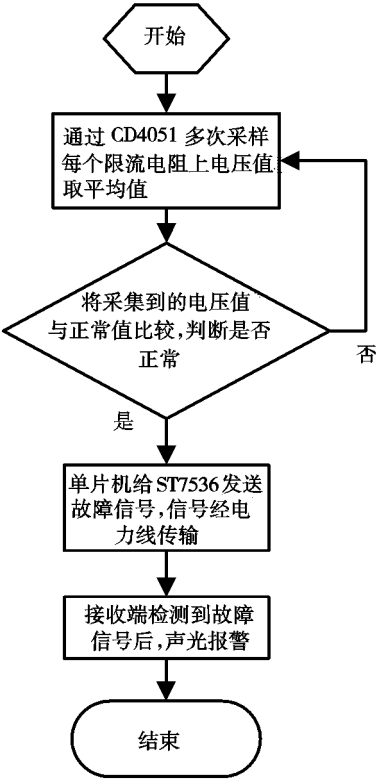


图 5 系统程序流程图

Fig. 5 The flow chart of system's program

进行仿真分析。图 6 为发送端电力线接口电路仿真模型。调节输入信号源电压幅值为 0.5 V, 频率分别为 50 kHz、72 kHz、100 kHz、50 kHz 和 100 kHz 输入信号输出波形如图 7a 所示, 72 kHz 的信号输出如图 7b 所示。仿真结果表明, 该电路能完成对输入信号的滤波以及放大功能。

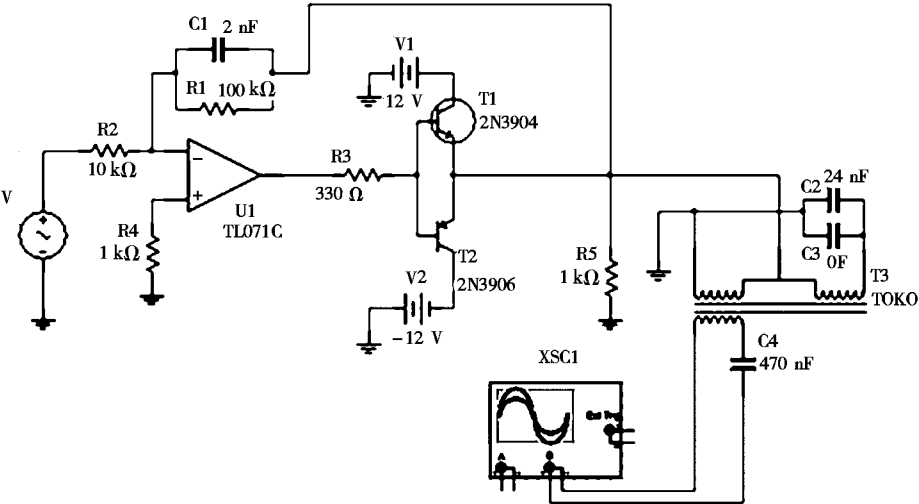


图 6 发送端接口电路仿真模型

Fig. 6 The circuit simulation model of sender interface

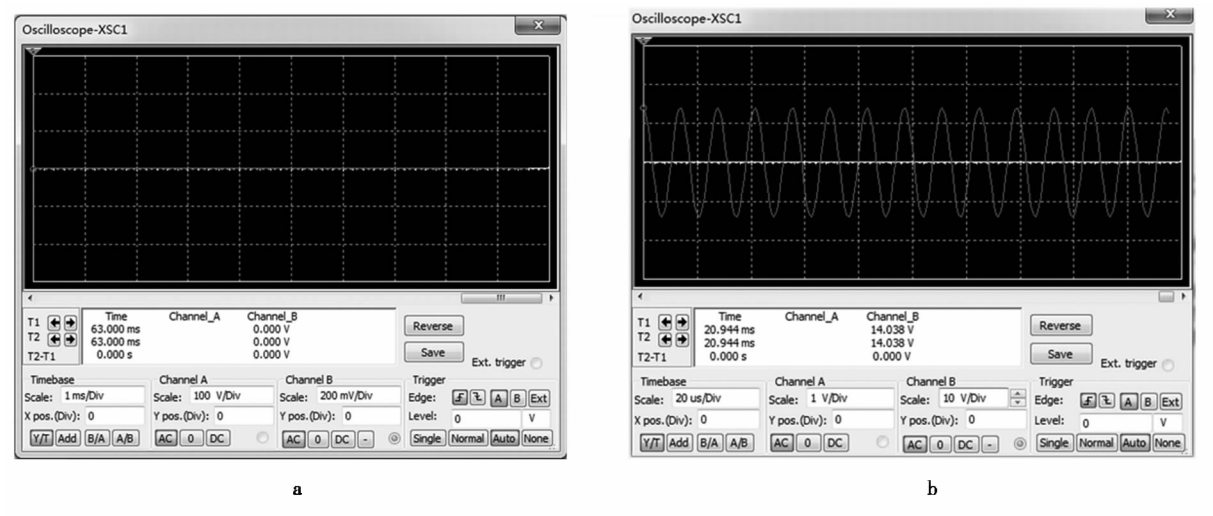


图 7 信号仿真结果

Fig.7 The result of simulation

5 总结

本文研究的基于电力线通信技术的铁路信号灯监测系统,能对 LED 铁路信号灯工作状态进行

实时监测。当铁路信号灯发生故障时能够进行自动报警,很大程度上提高了铁路列车通行的安全性,实现了铁路信号灯故障检测的自动化,节省了铁路电务段信号灯维修人员的工作量。

参考文献:

[1] 胡津津. 基于电力线载波技术的 LED 交通信号灯故障检测模块的设计[J]. 宿州学院学报,2011,26(2):58-60.

[2] 胡瑞. 基于 ST7538 的电力线载波通信接口的设计[J]. 科技信息,2009(5):42-43.

[3] 杨平,王威. MSP430 系列超低功耗单片机及应用[J]. 国外电子测量术,2008,12:48-50.

[4] 朱明珏,张福民. 电力线 MODEM 芯片 ST7536[J]. 单片机与嵌入式系统用,2011,7:35-38.

[5] 黄小平. ST7536:一种可利用电力线进行通信的调制解调器芯片[J]. 电子技术,2013,11:42-45.

[6] 单承赣. 电力线 Modem 芯片 ST7536[J]. 国外电子元器件,2014(8):35-39.

[7] 李文瑞. 低压电力线载波通信技术探讨[J]. 电子制作,2015(12):160-162.

Design of Railway Signal Lamps Monitoring System Based on Power Line Communication Technology

WANG Lei, ZHOU Li, WANG Longju

(School of Electric and Information Engineering, Anhui University of Science and Technology, Huainan Anhui 232001, China)

Abstract:The principle is that the fault information of LED railway signal is represented as the variation of the voltage on the current limit resistance of the signal lamp. The voltage information on the current limiting resistor of the signal lamp is collected by the single chip microcomputer. Through low voltage power line transmission, the sound and light alarm after receiving the fault information at the receiving end. The automatic fault detection of railway signal is realized.

Keywords:LED railway signal lamp; microcontroller; power line communication; modem

(责任编辑:李华云)