

# 井下通信电缆中断故障自动检测系统设计

王立华<sup>1</sup>, 马成红<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学 电子通信与物理学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东临朐县建筑工程公司, 山东 潍坊 262600)

**摘要:**为检测矿井下经常发生的通信电缆中断故障并及时准确地判断故障位置,采用脉冲回波法设计了一种通信电缆断点位置检测系统。系统通过向电缆发送高频窄脉冲,根据发送脉冲与断点处的反射脉冲之间的时间差来确定断点位置并及时进行语音报警。实验结果表明:该检测系统可以比较精确地测量出断缆距检查点的距离,测量误差小于2%,为矿井下通信线路的维修和维护提供一种性价比较高的测量装置。

**关键词:**通信电缆;自动检测;中断故障;微处理单元

中图分类号:TM930.9

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2014)03-00103-04

## Design of Automatic-detect System for Breakpoint Fault of Communication Cable in the Pit

Wang Lihua<sup>1</sup>, Ma Chenghong<sup>2</sup>

(1. College of Electronics, Communication and Physics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China; 2. Shandong Linqu Construction Engineering Co. Ltd, Weifang, Shandong 262600, China)

**Abstract:** In order to judge the breakpoint of communication cable in the pit immediately and accurately, a circuit of communication cable automatic detecting was designed based on the pulse echo method. The system sent a high frequency narrow pulse to the communication cable, then the breakpoint was located according to the time difference between the sent pulse and the reflection pulse, and then a voice alarming was given in time. The experiment results show that the circuit is a cost-effective device for communication cable detection in that it can detect the distance of communication cable breakpoint accurately with less than 2% measurement error.

**Key words:** communication cable; automatic detection; breakpoint; micro control unit

煤矿开采以井下开采为主,而井下环境复杂,通常会弥漫着瓦斯、煤尘等爆炸性物质,巷道内潮湿、空间狭小,也极易发生火灾、水灾、顶板垮落等事故,这些因素都会造成通信电缆中断故障。电缆测距是排除电缆中断故障的先决条件,井下通信电缆多为隐蔽敷设,若产生断缆故障,检修非常困难,因此必须快速发现断点位置,才能及时进行检修,排除故障,减少损失<sup>[1]</sup>。电缆发生中断故障时,在井下很难用简单仪表查找断点,由于井下温度、湿度和压力等因素的影响,一些传统检测方法(如交流电容电桥法)在使用中测量精度会大大降低,给安全生产、抢险救灾和设备维修等造成不便。本研究设计一种基于单片机控制的脉冲回波法检测通信电缆断点位置的装置,较之传统的方法具有断点测试精度高、操作简便等优点。

## 1 系统工作原理

系统工作原理是通过脉冲发射电路向井下通信电缆发送高频窄脉冲,当该脉冲到达电缆断点处时产生反射波,而发送脉冲与反射脉冲之间的时间差与脉冲发送端到断点处的距离是成正比的,因而可以计算出断

收稿日期:2013-10-28

作者简介:王立华(1971—),男,山东临朐人,副教授,主要从事电源技术、嵌入式应用等方面的研究。

E-mail: wanglihua7141@126.com

点位置。

根据传输线理论(图 1),由均匀传输线方程稳态解可以得到传输线终端和始端的电压状态方程:

$$\begin{cases} U(x) = U_1 \operatorname{ch}(\gamma x) - Z_c I_1 \operatorname{sh}(\gamma x) \\ I(x) = -\frac{U_1}{Z_c} \operatorname{sh}(\gamma x) + I_1 \operatorname{ch}(\gamma x) \end{cases} \quad (1)$$

其中:  $U(x)$ ,  $U_1$  — 传输线终端及起始端的电压相量;  $I(x)$ ,  $I_1$  — 传输线终端及起始端的电流相量;  $\gamma$  — 传输线的传播常数;  $Z_c$  — 传输线的特性阻抗;  $x$  — 传输线的长度。

由式(1)可知,当一个外加脉冲信号从通信电缆的起始端向终端传输时,在终端会产生反射波,当传输线终端短路或开路时,终端的入射波将被全反射,沿线入射波与反射波迭加形成驻波分布,因此入射波在通信电缆中传输时,在断缆处会产生反射波。设通信电缆的入射波电压为  $U_i$ ,特性阻抗为  $Z_c$ ;断缆处的反射波电压为  $U_r$ ,等效阻抗为  $Z_1$ 。则行波在通信电缆中传播,当遇到断点产生反射时,在距终端  $s$  距离处的电压反射系数为

$$\beta_U = (Z_1 - Z_c) / (Z_1 + Z_c) = U_r / U_i \quad (2)$$

可以根据反射波到达发射点延迟的时间和反射波的波形特征,来判断断点距离发射点的长度和故障类型<sup>[2-3]</sup>:

- 1) 当通信电缆开路故障时,反射波和入射波脉冲极性相同,即  $Z_1 \rightarrow \infty$ ,  $\beta_U = 1$ ;
- 2) 当通信电缆短路故障时,反射波和入射波脉冲极性相反,即  $Z_1 = 0$ ,  $\beta_U = -1$ ;
- 3) 当通信电缆低阻故障时,反射波和入射波脉冲极性相反,即  $Z_1 < Z_c$ ,  $\beta_U < 0$ ,且  $|U_i| > |U_r|$ 。

因此,当发射波遇到断路故障,即  $Z_1 \rightarrow \infty$  时,会出现全反射,其电压反射系数  $\beta_U = 1$ ,由式(2)可知,这时反射波和入射波极性相同。若设脉冲在电缆中传播速度为  $v_p$ ,发射波与反射波时间间隔为  $t$ ,则断点到发射端的距离  $s = v_p t / 2$ 。

在测量时,合适的脉冲宽度可以减小测量误差,在传输过程中,发射脉冲宽度越大则反射脉冲波分辨率越小<sup>[4]</sup>,为使反射脉冲波保持一定的分辨率并减小畸变,可将脉冲宽度设为  $20 \mu\text{s}$ ;另外,脉冲传输速度  $v_p$  在不同种类的电缆中是不同的,与电缆的绝缘材料和相对导磁系数有关,如在对称电缆中  $v_p = 220 \text{ m}/\mu\text{s}$ ,在同轴电缆中  $v_p = 287 \text{ m}/\mu\text{s}$ ,本设计中为方便计算,设定  $v_p = 200 \text{ m}/\mu\text{s}$ 。

## 2 电缆故障检测系统硬件设计

### 2.1 电路组成

井下通信电缆故障自动检测电路包括 51 单片机、脉冲发送电路、接收电路、断点显示电路、串口电路和语音播报电路,如图 2 所示。该电路微处理单元(MCU, micro control unit)选用的是 ATMEL 公司的 AT89S52。由于矿用通信电缆通常将多根双绞线芯包在护套中形成一根电缆,如型号为 MHYV4 \* 2 \* 0.5 的通信电缆是由 8 根线芯直径为 0.5 mm 的导线拧成一股而成的,因此本设计可同时检测 1~8 路线缆,当出现断缆故障时,除系统自带的喇叭会用语音报警外,还可以通过串口和上位机进行通信。当某路线缆的报警被确认后,系统再循环检测时,将会跳过该电缆,不再检测该电缆直至进行复位。

### 2.2 脉冲发送电路

该电路由 NE555 单稳态电路、光电耦合电路、射极跟随器、脉冲驱动电路及 50 m 平衡引线、差动网络等组成。由单片机发出的控制信号触发 NE555 单稳态电路产生  $20 \mu\text{s}$  宽的单脉冲,通过光电耦合器隔离后加到射极跟随器,然后经过高频开关电路将脉冲波幅度提高到 100 V 左右,从而提高电路的驱动能力,避免由于脉冲在电缆传输中的快速衰落而带来的反射波幅值过小的问题。之后,100 V 高频脉冲波加到被测通信电缆,电路原理如图 3 所示。

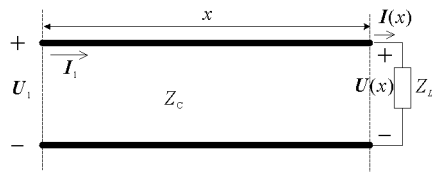


图 1 传输线模型图

Fig. 1 A transmission line model

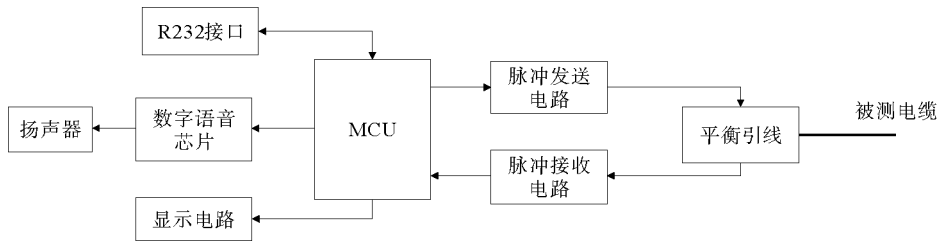


图2 井下通信电缆故障自动检测系统组成框图

Fig. 2 Composition block diagram of mine communication cable fault automatic detection system

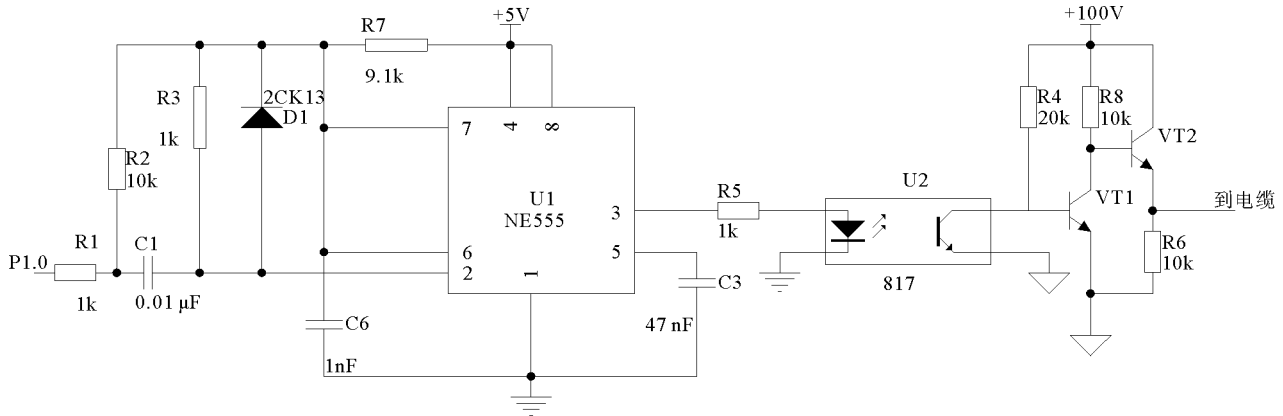


图3 脉冲发射电路的原理图

Fig. 3 Schematic of pulse transmission circuit

### 2.3 脉冲接收电路

脉冲接收电路包括脉冲放大电路、光电耦合器、脉冲电压整形等电路。出现断缆后，脉冲反射回到发射点时，电压入射波与反射波反相。所以，在断点处产生的反射脉冲波，通过三极管 VT3 进行反相整形，再经光电耦合器隔离，脉冲直接输入 AT89C52 的 INT1 端，单片机查询到定时器 1 中断溢出标志后，表明接收到反射波，系统开始进行数据的传送、运算和显示。电路原理如图 4 所示。

### 2.4 数字语音播报模块

采用数字语音芯片 ISD4002，该芯片采用 SPI 串行通信协议，控制方便。目前，该系列的芯片存储时间长度可达到数十分钟。语音播报的内容如“0~9”、“米”等，用于语音报警时可报出断缆编号、断缆距离以及电缆所在的线路名称等信息，这些都可以通过单片机的串口方便地录制到 ISD4002 中，应用电路如图 5 所示。

## 3 电缆故障检测系统软件设计

软件部分设计主要包括主程序、中断服务子程序及显示程序等，主要完成系统初始化、脉冲波发送接收、数据计算、语音播报、显示处理等功能<sup>[5]</sup>。主程序流程如图 6 所示。

主程序在初始化之后，执行脉冲发送子程序，程序将 AT89C52 中的定时器 T0 赋初值，并开始计时，开中断以便接收反射波。为保证能够接收到反射波，P1.0 反复发射直至接收到反射波为止，之后关中断，以屏

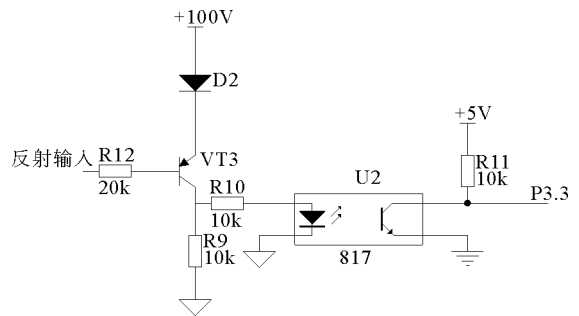


图4 脉冲接收电路原理图

Fig. 4 Schematic of pulse receiving circuit

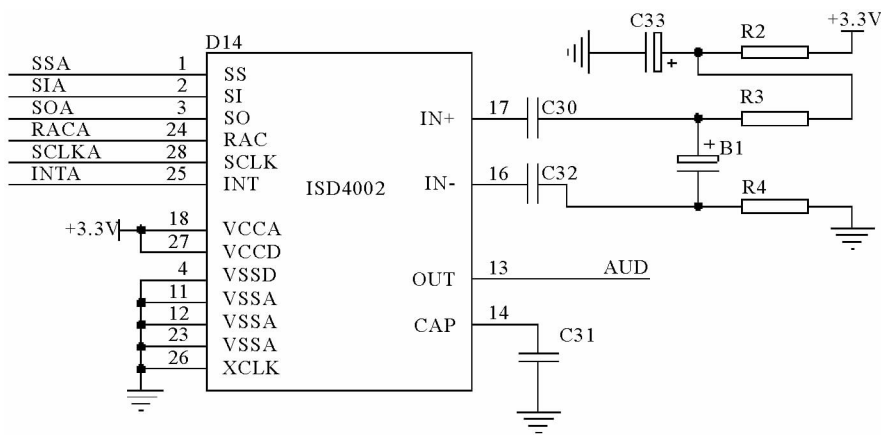


图 5 ISD4002 语音电路原理图

Fig. 5 Schematic of ISD4002 circuit

蔽后续的反射或干扰波。从定时器 T0 可以得到从开始发射到接收到反射波的实际时间,然后通过式(2)计算得到断点位置,驱动语音播报,并将断缆信息通过显示屏进行显示,之后,关闭该电缆的检测,重新循环扫描除已显示故障的电缆以外的各路电缆。

#### 4 测试结果和分析

在实验条件下,采用本检测系统对 2 km 型号为 MHYV4/0.5 的矿用通信电缆进行模拟测试,误差在 17.5~29.5 m,误差小于 2%,达到了设计要求。出现误差的主要原因是通信电缆传输过程中出现回波损耗以及通信电缆所处环境中的干扰噪声造成的,另外,单片机的处理速度也会使系统的检测精度受到一定的限制。

#### 参考文献:

- [1] 王立华. 通信电缆断点故障自动检测报警电路的设计[J]. 自动化仪表, 2010, 31(12): 58-60.  
Wang Lihua. Design of automatic-detect and voice-alarm circuit of communication cable breakpoint fault[J]. Automation Instrument, 2010, 31(12): 58-60.
- [2] 甘辉, 张水香. 高精度煤矿用通讯电缆断点测试系统设计[J]. 煤矿机械, 2008, 29(1): 114-116.  
Gan Hui, Zhang Shuixiang. High accuracy cut-point testing system design of coal-mineral communication electric cable[J]. Coal Mine Machinery, 2008, 29(1): 114-116.
- [3] 于桂音. 通信电缆断点故障的测距系统设计[J]. 自动化仪表, 2008, 29(2): 68-69.  
Yu Guiyin. Design of distance-measuring system for break point fault of communication cable[J]. Automation Instrument, 2008, 29(2): 68-69.
- [4] 成凌飞, 王泰华. 矿用通信电缆基本电气参数数值模型[J]. 电工技术学报, 2010, 25(12): 36-40.  
Cheng Lingfei, Wang Taihua. Primary parameter models of mine communication cables[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(12): 36-40.
- [5] 何致远, 周克宁. 脉冲回波法通信电缆断点测试系统[J]. 电测与仪表, 2000(7): 31-33.  
He Zhiyuan, Zhou Kening. A test system for measuring communication-cable cut-point based on pulse echo method[J]. Electrical Measurement & Instrumentation, 2000(7): 31-33.

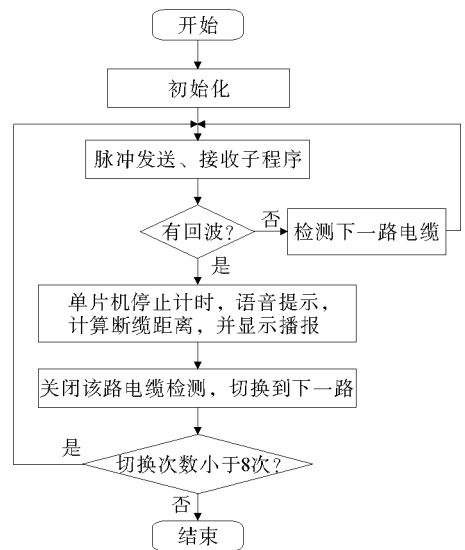


图 6 主程序流程图

Fig. 6 Main program flow chart