

基于雷达原理的电缆故障测试仪硬件设计

徐建辉¹, 徐超²

(1. 陕西重型汽车有限公司 汽车工程研究院, 陕西 西安 710200;

2. 苏州科达科技有限公司 上海分公司, 上海 201103)

摘要: 介绍一种基于脉冲测量法和闪络法原理的商用高压电缆故障测试仪的原理和硬件设计。利用雷达测试原理, 向电缆发送一个低压脉冲或高压脉冲。当遇到特性阻抗不匹配的地方时, 就会产生反射波, 根据反射信号的波形确定故障的性质, 通过测量波形特征点来定位故障点位置。系统以微控制器、CPLD 为核心, 由脉冲发送/接收、LCD 显示、高速 ADC 采样等硬件电路模块组成。

关键词: 电缆故障测试; 脉冲测量法; 闪络法; 雷达法

中图分类号: TM246

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)04-0017-03

Hardware design of cable failure test device based on radar theory

Xu Jianhui¹, Xu Chao²

(1. Shaanxi Heavy Duty Automobile Co., Ltd., Automobile Engineering Research Institute, Xi'an 710200 China;

2. Suzhou KeDa Technology Co., Ltd. (Shanghai Branch), Shanghai 201103 China)

Abstract: This article introduces the theory and hardware design of a kind of commercial cable failure test device based on impulse measurement and flashover method. By using the theory of radar test, a low-voltage impulse or high-voltage impulse is sent. When it reaches a place that the characteristic impedance does not match, it will produce a reflect wave. Therefore, the nature of the failure can be confirmed according to wave shape of the reflect wave, while the failure place can be found by testing the reflected point of the wave shape. With microcontroller and CPLD as its core, the system consists of hardware circuit modules such as impulse sending and receiving, LCD display, high-speed ADC sampling etc.

Key words: cable failure test; impulse measurement; flashover method; radar method

70年代初,著名雷达专家、中国科学院院士保铮教授根据雷达测试原理,提出了一种独特的“闪络法”技术方案,并设计制造出我国第一台“埋地电力电缆故障测试仪”,使寻找故障时间从原来的几天(甚至半个月)缩短为几个小时,从而使我国的电缆故障测试技术处于世界领先水平。

过去,在“闪络法”电缆故障测试原理出现以前,电桥法(电阻电桥法、电容电桥法、高压电桥法)是一种经典测试方法。电桥法优点是简单、方便、精确度高,但只适用于低阻故障,这种方法最大缺点是不适用于高阻与闪络性故障,而电缆故障大部分属于高阻与闪络性故障。电桥法的另一缺点是需要知道电缆的准确长度等原始技术资料,当一条电缆线路内是由导体材料或截面不同的电缆组成时,还要进行换算,电桥法还不能测量三相短路或断路故障^[1,2]。

本文设计的高压电缆故障测试仪是以“脉冲测量《微型机与应用》2012年第31卷第4期

法”和“闪络法”技术为基础,将发送脉冲、高速数据采集滤波、数据计算、数据和波形显示、故障定位等集成于一个系统而开发的智能高压电缆故障测试仪。

1 电缆故障测试原理

电缆的故障一般分为低阻故障、高阻故障、闪络性故障以及泄漏故障。脉冲测量法适用于低阻、接地及断路故障的测试,还可用于测量电缆的长度,区分电缆的中间头、B型接头与终端头等;闪络法(雷达法)适用于高阻故障的测试,而电缆高阻故障几乎占电缆故障的90%以上,闪络法主要分为直流高压闪络法、冲击高压闪络法、冲击高压终端闪测法、直流闪络测量回路法等^[1,2,4]。

1.1 脉冲测量法

脉冲测量法的工作原理:测试时向电缆故障相注入低压发送脉冲,如果线路正常且终端负载阻抗等于线路的特性阻抗时,发送脉冲被负载吸收而无反射回波;当线路有故障时,由于故障点的阻抗不再是线路的特性阻

欢迎网上投稿 www.pcachina.com

19

硬件纵横

Hardware Technique

抗而产生反射,其反射系数为:

$$\rho = \frac{U_0}{U_i} = \frac{Z_0 - Z_c}{Z_0 + Z_c} \quad (1)$$

式中: U_0 —反射波幅值; U_i —发射波幅值; Z_0 —传输线路的负载阻抗; Z_c —传输线路的特性阻抗(或称为波阻抗)。

(1)当线路正常时,终端负载阻抗等于线路特型阻抗,即 $Z_0 = Z_c$,反射系数 $\rho = 0$,反射脉冲被负载吸收而无反射回波。

(2)当线路发生断路(开路)故障时,故障点的阻抗即为负载阻抗,且有 $Z_0 \rightarrow \infty$ (完全断开), $\rho = 1$,那么反射脉冲产生全反射,回波波形与发射波同极性。

(3)当线路发生短路(混线)故障时,故障点的阻抗 $Z_0 \rightarrow 0$ (理想短路),则 $\rho = -1$ 也会产生全反射,反射波波形与发射波波形极性相反。

波形上发射脉冲与反射脉冲的时间差 Δt ,对应脉冲在测量点与故障点往返一次的时间,已知脉冲在电缆中的波速度 v ,则测量端到故障点距离可由下式计算:

$$L = \frac{v \times \Delta t}{2} \quad (2)$$

1.2 闪络法(雷达法)

闪络法的工作原理是:对电缆加上足够高的电压,电缆故障点就会发生介质击穿现象。在击穿的瞬间,故障点被放电电弧短路,在放电前后,产生电压跃变。介质击穿时,其电离过程需要一定的时间,而弧光放电一般要持续数百微秒到几个毫秒,因此跃变电压在放电期间就以波的形式在电缆故障点和电缆端头之间来回反射。这时,在电缆端头(始端或终端),把瞬时跃变电压及来回反射波形记录下来,便可知道波形来回反射的时间,再根据电波在电缆中的传播速度,可以根据式(2)算出电缆故障点到测试端的距离。

2 主要技术性能指标

(1)采样频率:30 MHz。

(2)测试范围:可以测试35 kV以下的各种铜芯及铝芯的油浸纸电缆、聚氯乙烯电缆、交联电缆、不滴流电缆及各种非标电缆。

(3)采样方式:低压脉冲方式、高压电压取样法、高压电流取样法方式。

(4)可测试故障类型:高阻闪络性故障、高阻泄漏性故障、短路故障、开路故障、低阻故障。

(5)测试距离:低压脉冲法:测试距离 ≤ 16 km;高压闪络法:测试距离 ≤ 15 km。

(6)测试盲区:小于10 m。

(7)误差:

相对误差:不大于 $\pm 0.5\%$;

绝对误差:2 km以下长度电缆不超过2 m;5 km以上长度电缆不超过5 m。

(8)内部脉冲有0.2 μ s、2 μ s,幅度大于200 V。

3 系统硬件设计

3.1 系统结构

本系统数字部分主要为微控制器系统,CPLD逻辑单元,存储单元等。模拟部分包括脉冲发生电路和接收电路。

采用微控制器(AT89C58)构成单片机系统。微控制器与CPLD、存储单元、LCD、RS232通信接口、键盘KEY,高速ADC采样电路构成整个控制系统。在CPLD逻辑单元中的主要工作为逻辑译码、地址发生器和脉冲控制,完成脉冲信号的发生、控制采样。存储单元由速度为12 ns的高速RAM(TC55B88P-12)构成,存放采样波形数据,数据RAM(M5M51008BFP-55L)存放处理后的波形数据,由于RAM带后备电池,存放的数据可以长期保存,也可以通过系统的RS-232C接口上传到PC计算机保存、分析^[3]。系统硬件结构如图1。

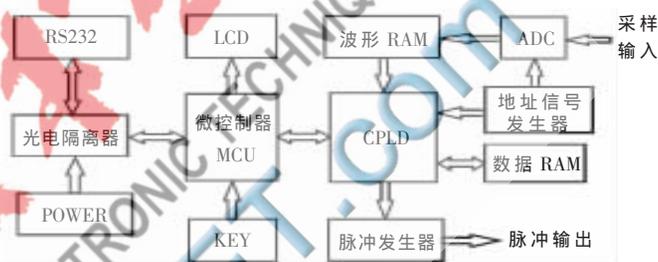


图1 系统硬件方框图

3.2 主要外围电路

3.2.1 高速ADC采样电路

高速ADC用于对反射回波进行高速采样,采样数据存储于采样存储器TC55B88P-12。

采样电路结构见图2。由于ADC不是三态输出,需要在ADC与存储器之间加入高速缓冲器74HC245。采样时,缓冲器的使能脚/OE,为“0”,总线开通,ADC数据直接进入进波形存储器,CPLD总线保持为高阻态。测试完成后,缓冲器关闭,由CPLD对存储器进行读取操作。采样结束后通知单片机读取数据。

3.2.2 地址发生器、波形存储器

地址发生器,波形存储器电路如图3所示。30 MHz时钟信号送往地址计数器的时钟输入端,以驱动地址计数器扫描高速波形存储器的地址,地址计数器采用13 bit二进制同步计数器,地址计数器输出的13 bit地址数据与高速波形存储器的地址输入端相连,高速波形存储器为ISSI61C64。每个波形点分辨率为8 bit,每个地址存放一个波形点的数据。当检测扫描至最后一个波形地址时,停止位将地址计数器的预置数控制端置位,这样在下一个时钟到来时,地址计数器又从该波形的首地址寻址,读取波形数据。控制信号中的同步位用于输出外同步信号。波形存储器输出的波形数据由锁存器74HC245锁存后送往微控制器数据总线。电路中,13 bit同步二进制地址计数器、锁存器由高速CPLD实现。

《微型机与应用》2012年 第31卷 第4期

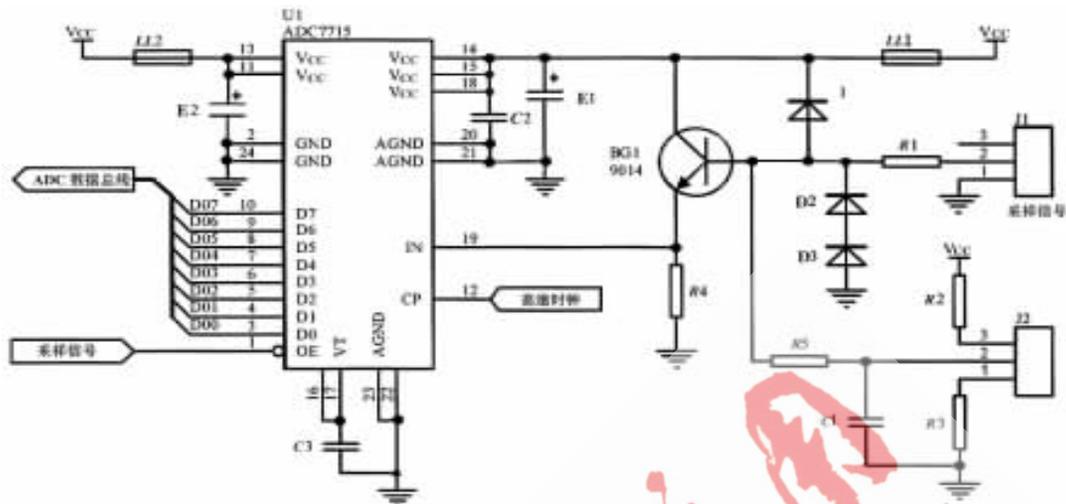


图 2 高速 ADC 采样电路

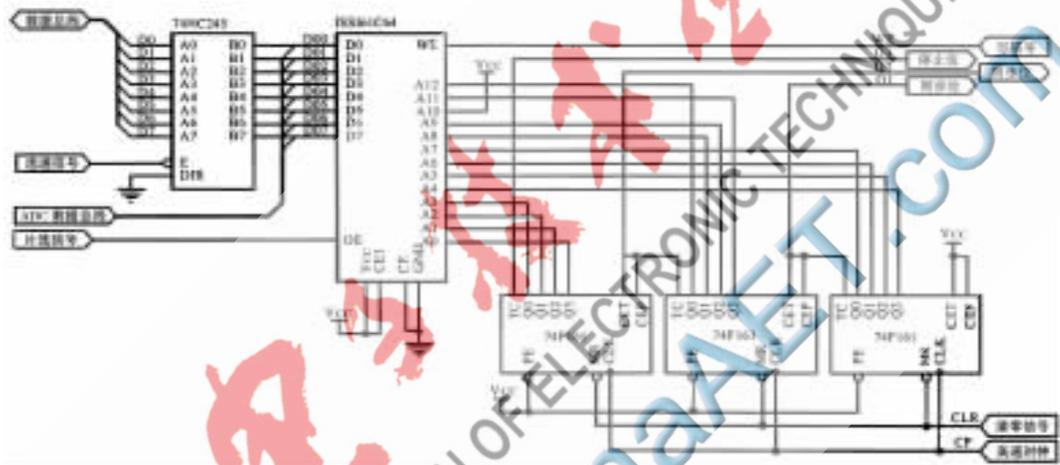


图 3 地址发生器、波形存储器

3.2.3 脉冲发生电路

为减小测试盲区，发送脉冲宽度越窄越好，但脉冲越窄，反射回波的高次谐波也变的十分严重，对系统的滤波提出了更高的要求，本系统将脉冲宽度分成 0.2 μs 和 2 μs 两档，测量距离越远，选用的脉冲越宽。

3.2.4 内部高压产生电路

系统采用 LC 升压电路，见图 4。

某炼油厂一条 6 kV 交联聚乙烯电缆，用本仪器测试故障点 424 m，波形特征明显，经确定点后测试误差没有超过 20 cm。

经长期实际应用验证，本文介绍的高压电缆故障测试仪，具有体积小、成本低、灵敏度高、易于操作、抗干扰性高等优点。

参考文献

[1] 张栋国. 电力电缆故障分析和测试[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1986.
 [2] 张栋国. 电缆故障分析与测试[M]. 北京: 中国电力出版社, 2005.

《微型机与应用》2012 年 第 31 卷 第 4 期

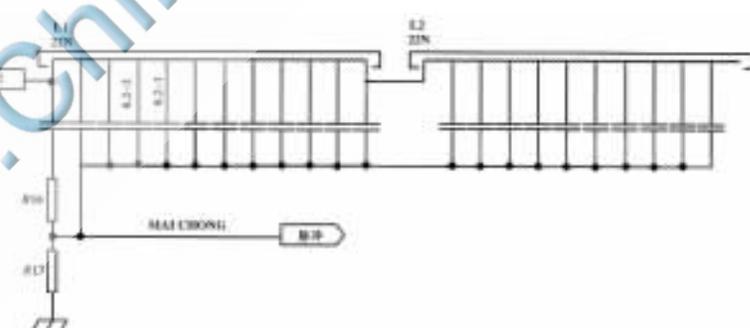


图 4 内部高压产生电路

[3] 何立民. MCS-51 系列单片机应用系统设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1990.
 [4] 朱启林, 李仁义, 徐丙垠. 电力电缆故障测试方法与案例分析[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.

(收稿日期: 2011-10-10)

作者简介:

徐建辉, 男, 1962 年生, 本科, 主要研究方向: 嵌入式微控制器系统、汽车 CAN 总线系统和计算机软件开发。

徐超, 男, 1974 年生, 本科, 主要研究方向: 嵌入式微控制器系统、计算机软件开发。

欢迎网上投稿 www.pcachina.com