

基于信号触发的电气线路漏电故障检测系统

严伟中

(常州工学院 计算机信息工程学院, 江苏 常州 213002)

摘要: 低压电气线路漏电故障发掘电路是当电气网络中发生漏电故障时, 通过对漏电触发信号进行检测, 从而对故障位置进行定位, 并切断电气线路电源的装置, 确保了供电网络的安全性以及可靠性; 在对目前低压电气线路漏电保护系统研究的基础上, 提出了以 STC15F2K60S2 单片机为控制核心, 选定的测试模拟触发信号漏电流, 不小于电气线路和设备的正常泄漏电流的最大值的 2 倍; 漏电故障测试信号的灵敏度, 优先考虑 30 mA, 当额定漏电动作电流等于或小于 30 mA 时要求保护动作时间小于 0.1 s, 当额定漏电动作电流大于 30 mA 时要求小于 0.2 s; 该装置是传统漏电保护装置的补充, 根据间接漏电检测与直接漏电检测结果与实际的漏电位置距离对比, 误差在 10% 以内, 满足实际需要, 改善了低压电气线路漏电保护系统的保护性能。

关键词: 信号触发; 零序电流; 故障检测

Electric Line Fault Leakage Detection System Based on Signal Trigger

Yan Weizhong

(Department of Computer and Information Engineering, Changzhou Institute of Technology, Changzhou 213002, China)

Abstract: Low voltage electrical circuit leakage fault excavation is when happen leakage faults in the electrical network, the trigger signal through to carry on the inspection, thereby fixing the fault location, and to cut off the power supply device, electric circuitry to ensure the safety and reliability of power supply network. In the research on the low voltage electrical leakage protection system on the basis of the proposed STC15F2K60S2 single chip microcomputer as control core, the selected test analog trigger signal leakage current, no less than the normal leakage current of electrical wiring and equipment a maximum of 2 times. Leakage fault test signal, the sensitivity of the preferred 30 ma, when the leakage current action rating equal to or less than 30 ma demanding action time is less than 0.1 s, when the leakage current action is more than 30 ma rating requirements is less than 0.2 s. The device is a supplement to the traditional electric leakage protection devices, according to the indirect leakage detection and leakage test results directly compared with the actual leakage location distance, the error is within 10%, meet the actual needs, to improve the protection performance of low voltage electrical leakage protection system.

Key words: signal to trigger; zero sequence current; fault detection

0 引言

高压电网人们不容易接触, 而低压电网覆盖面大, 电气设备多, 人触及的机会也比较多, 由于电气线路受潮, 用电高峰期的超负荷用电, 接户线、引出线绝缘老化或破损, 橡胶绝缘线护套、软电缆护套和绝缘层破裂, 软电缆接头绝缘包扎物选用不当或松散脱落等因素都会造成低压供电线路的漏电事故发生, 从而引发触电、火灾等灾害^[1-2]。因此, 通过电气线路漏电故障检测报警系统来实现阈值前的报警或达到阈值时及时切断线路电源的功能是本研究需要实现的目标和要点。低压电气线路某处漏电时, 就会出现异常的电流或电压信号, 通过对这些触发信号进行检测、处理, 就可以判断出哪段电气线路发生漏电故障以及漏电的大概位置, 从而发出报警提示, 并启动相应的漏电保护执行机构。

1 系统组成与原理

1.1 系统组成

低压电气线路在发生漏电故障时会产生一部分残余电流, 也称为零序电流, 以零序电流作为漏电故障发掘的触发信号构建检测系统, 其检测元件为零序电流互感器, 一旦线路上发生了漏电

故障, 相线、中性线的电流向量和就不等于零, 从而产生感应电动势, 将这个触发信号进行放大、比较、模数转换等处理后送入单片机进行计算, 通过漏电故障发掘算法对数字信号进行一系列分析处理, 从而计算出故障发生的线路以及大概位置, 将这些数据通过 LED 进行显示, 并触发声光报警装置进行漏电安全提醒。其电气线路漏电故障检测系统结构如图 1 所示。

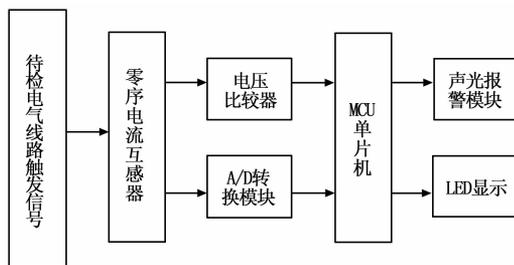


图 1 系统结构框图

1.2 电气线路漏电故障检测原理

在电气线路网络的电表处或间隔一定的距离安装漏电故障检测系统装置, 在低压电气线路正常未发生故障时, 从电气线路网络一端进入和输出的电流零序电路为零, 漏电故障检测装置待机运行; 当线路中的某处发生漏电故障时, 有一部分漏电流经过介质流入大地, 从而使电气线路网络流入与输出的电流总量产生偏差, 当漏电电流达到漏电故障检测装置的动作电流时, 系统就

收稿日期: 2014-01-19; 修回日期: 2014-03-10。

作者简介: 严伟中(1977-), 男, 江苏常州人, 硕士, 讲师, 主要从事计算机软工工程、移动互联网应用开发方向的研究。

会检测到触发信号，对触发信号进行一系列处理后，根据漏电流信号的大小通过相应的算法程序，就可以判断出漏电故障距离检测装置的距离有多远，同时参考漏电故障检测装置的编号，综合分析出发生漏电故障在哪段电气线路的大概位置。

2 系统硬件实现

如图 2 所示在低压电气线路上安装漏电故障检测系统，对线路上的零序电流进行检测，当电气线路无故障，无电气设备、线路发生漏电，此时线路上的零序电流矢量和为零；当线路发生故障时，必然会产生一个单相接地故障电流 I_d ，此时检测到的零序电流 $I_0 = I_N + I_d$ ，明显大于无故障时的三相不平衡电流，将 I_0 作为初始触发信号进行处理，图 2 中的 U_1 是一个线性运算放大器，通过反馈回路和输入回路的确定放大倍数，即通过调节电位器 RW 调整放大倍数，使触发模拟信号的电压在 1~5 V 之间，在信号输出端的负载电阻 R8 的阻值为 100 Ω ，所以触发电流信号的输出范围为 10~50 mA， U_1 运算放大器的 IN+ 和 IN- 为信号差动输入端，通过电位器可以设置增益的放大倍数 $B = (1 + \frac{R_2 + R_3}{RW + R_1})$ 为 1~10 倍，差模信号经过放大后转换为一路模拟信号送入模数转换电路。

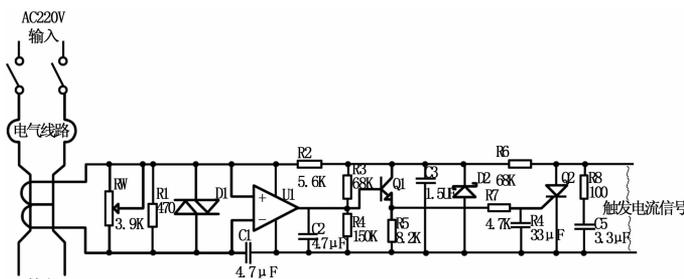


图 2 漏电故障触发信号检测电路

经过运算放大的漏电触发信号仍然为模拟信号，要送入 MCU 单片机进行计算，就需要对信号进行模数转换，模数转换是将模拟输入量转换为数字值的过程，模数转换电路是整个数据采集部分的关键部件，根据系统性能指标以及系统信号特征，采用 10 位 A/D 转换芯片 TLC1543 进行处理，其模拟输入电压为 0~+5 V 对应数字值 0~1 024。其电路连接如图 3 所示，其中引脚 A0 为漏电触发信号的输入端，在 CS 端的一个下降沿变化将复位内部计数器并控制使能，ADDRESS (17 脚) 为串行数据输入端，是一个 4 位的串行地址用来选择下一个即将被转换的模拟输入信号或测试信号。DATA OUT 为 A/D 转换结束 3 态串行输出端，它与微处理器或外围的串行口通信，可对数据长度和格式灵活编程。

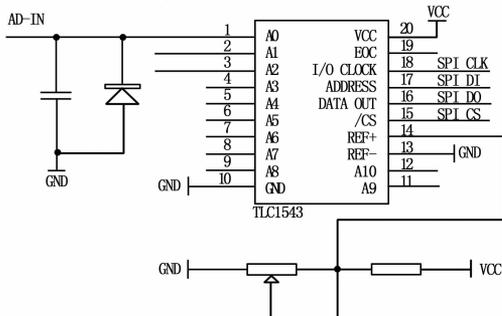


图 3 漏电触发信号的模数转换电路

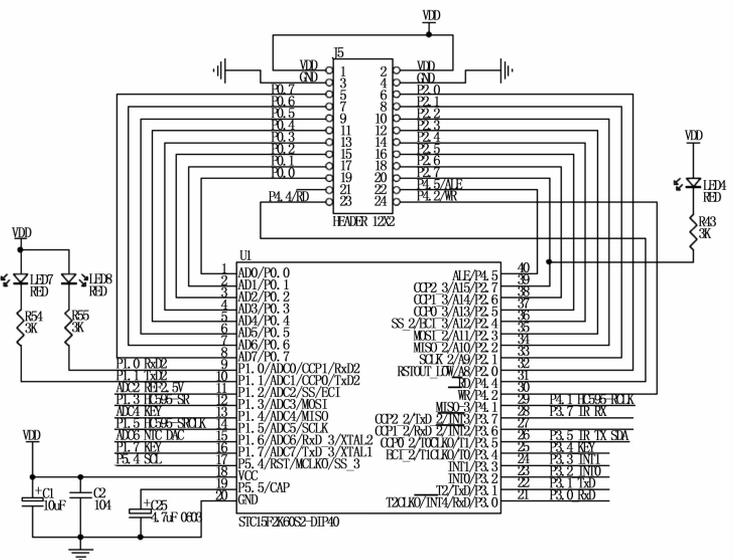


图 4 STC15F2K60S2 单片机连接电路

触发信号在转换为数字信号后送入到 MCU 单片机中进行处理，单片机是整个控制电路的数据处理核心，选用最新的增强型的 8051 系列单片机 STC15F2K60S2，其拥有两个独立串口；内置晶振与复位电路，使其抗干扰能力大大增强；且拥有多个 I/O 口，高速、低功耗，重要的是成本较低，非常适用于本系统的大批量使用部署。其引脚分布与连接电路如图 4 所示，其 I/O 端口作为片选信号、声光报警控制信号、键盘、LED 显示等功能的使用。

如果整个电气线路正常工作，没有漏电故障发生，则工作状态指示灯为绿色闪烁状态，其工作状态由单片机 I/O 口 P1.1 控制，指示灯闪烁由单片机程序控制输出脉冲方波来控制三极管 VT_1 的通断来实现。当有漏电故障发生时，单片机程序将 P1.3 口置高，三极管 VT_3 导通，红色报警灯闪烁，同时蜂鸣器发出报警声；黄灯闪烁则表示单片机自启动漏电保护器，对电气线路进行了切断。其声光报警模块电路如图 5 所示。

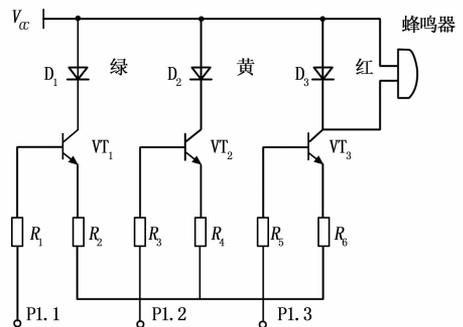


图 5 声光报警模块

3 软件设计

3.1 软件工作流程

系统软件工作流程如图 6 所示，在电气线路正常无故障出现时，系统处于低功耗待机运行状态；当电气线路发生漏电故障后，产生漏电触发信号，经过硬件放大、模数转换后送入单

片机进行计算分析, 根据漏电故障发掘算法对漏电故障位置进行定位, 并将结果通过串口通信发送到显示屏上, 同时启动声光报警模块, 如果漏电流超过设定阈值, 单片机则控制启动漏电保护器, 对线路进行断电操作, 从而保证电气线路和人员安全。

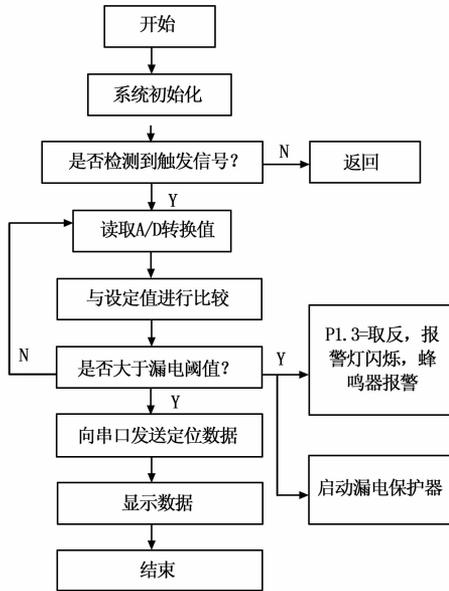


图 6 软件工作流程

3.2 漏电流故障检测算法

当电气线路发生漏电故障后, 要确定对线路漏电位置进行确定, 就要对电气线路中的漏电流大小进行计算, 需要确定电源中性点 MQ 和负载中性点 ML 之间的电压, 在低压电气线路中, 有三相电压 (U_{L1} 、 U_{L2} 、 U_{L3}) 与中性点 MQ 相连接, 在负载端, 3 个负载阻抗 Z_1 、 Z_2 和 Z_3 星型相连接, 两个中性点 MQ 和 ML 通过阻抗 Z_{QL} 连接, 此阻抗上的压降为 U_{QL} , U_{QL} 的计算公式如下:

$$U_{QL} = \frac{\frac{U_{L1}}{Z_1} + \frac{U_{L2}}{Z_2} + \frac{U_{L3}}{Z_3}}{\frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_{QL}}} \quad (1)$$

三相滤波器的常规配置是 3 个 X 电容器与中性点连接, 并通过 Y 电容器与地连接或者与滤波器的外壳相连接。对于平衡电容电网, 漏电流可以忽略。另一方面, 当相位之间达到最高的不平衡时, 电气网络则达到最高的漏电流值。不平衡的原因包括电容器值的公差, 以及供电网的电压不平衡。因此, 漏电流的关键要素是电容器 C_{X1} 、 C_{X2} 和 C_{X3} 的不平衡产生的电压 U_{QL} 。对于大多数滤波器, 额定值是相同的。电容器 C_Y 处的压降 U_{QL} 产生的漏电流 $I_{leakmax}$ 可以根据下式确定:

$$I_{leakmax} = U_{QL} \cdot j\omega \cdot C_{Yn} \quad (2)$$

式中, $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$, 无源滤波器中的电容器的额定值的公差为 $\pm 20\%$ 。 C_Y 的最高压降发生在两个 X 电容器具有最小的公差, 而一个电容器具有最大公差的时候。另外, 假设 C_Y 的公差值最大。将这些假设代入公式 (1) 和 (2), 则漏电流为:

$$|I_{leakmax}| = \omega \cdot C_{Y,max} \frac{U_{max} C_{X,max} - U_{min} C_{X,min}}{C_{X,max} + 2C_{X,min} + C_{Y,max}} \quad (3)$$

则进行模数转换后的触发信号数字返回值 A_d 为:

$$A_d = \frac{I_d \times R_d}{U_{ref}} \times 1024 \quad (4)$$

式中, I_d 为经过放大处理的触发电流信号, R_d 为负载端电阻为 100Ω , U_{ref} 为 A/D 转换的基准电压取 $1 \sim 5 V$, 1024 为十位 A/D 转换器的最大分辨率。

3.3 软件抗干扰设计

由于漏电故障检测装置的工作环境大多数在户外, 存在大量的干扰信号, 且电气线路造成的电磁干扰很大, 会造成模拟信号输入失真、控制信号发生混乱、控制失灵、系统死机、地址或数据总线上的信号发生错乱等现象^[3,5], 因此, 系统的抗干扰设计关系着系统运行的可靠性, 除了要在硬件抗干扰方面加强, 在软件抗干扰上也要进行特殊设计。如果系统程序出现跑飞、陷入死循环等现象, 系统服务程序自动从 0000H 开始执行, 在单片机的 RESET 端接复位电路, 电容和接地电阻组成一个上电复位电路, 使程序一送电即从 0000H 单元执行。上电复位电路和人工复位电路均能为复位芯片提供大于 10 mA 的高电平复位信号, 复位芯片 MAX813L 内部具有一个看门狗定时器和电压监视器, 当系统程序陷入死循环或电源电压突然发生变化时, 不会造成死机、数据读写错误或误动作等现象发生, 从而使系统在出现故障的状态下复位运行。

4 实验与调试

进行实验与调试的环境如图 7 所示, 其中 L_1 、 L_2 、 L_3 为三相电, PE 为保护零线, RCDW 为漏电保护器, 可以确保实验的安全性。选择 Simpson228 数字式 ELCB 测试仪对漏电故障检测装置系统进行测试与调试。根据触发信号与设定电压值的关系, 可设定多种触发条件, 如图 8 所示。选定的测试模拟触发信号漏电流, 应不小于电气线路和设备的正常泄漏电流的最大值的 2 倍。

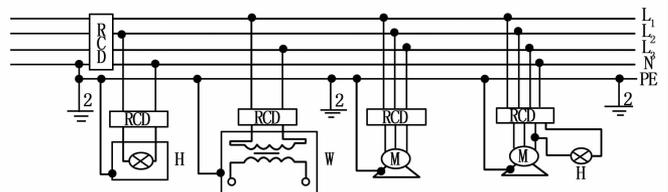


图 7 漏电故障检测装置测试接法

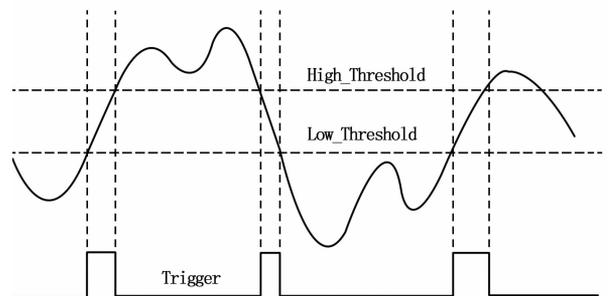


图 8 漏电流模拟触发信号波形

根据漏电故障模拟测试数据对照分析, 并参照国家标准《漏电流动作保护器 (剩余电流动作保护器)》GB 6829-86 中 5.2.7 标准要求, 间接接触漏电测试结果如表 1 所示, 直接接触漏电测试结果如表 2 所示。漏电故障测试信号的灵敏度,

(下转第 1362 页)

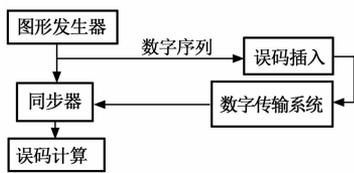


图 6 误码率测试原理

误码率测试可由发送设备和接收设备两个设备组成，亦可由带收发功能的同一个设备组成。发端产生连续的比特流，作为通信系统的信源数据；收端接收系统的比特流，并将其与本地产生的码型和发端相同的比特流进行比较，从而完成误码率测试。BER 的准确程度随着传送位数的增加而增加，如果要获得完全准确的 BER 则需要无限的数据传输，但在工程上是无法实现无限数据传输的，因此通常采用两种方法来测试误码率，即定时误码和定数误码，误码率 (BER) 表示如下：

$$BER = \frac{\text{在平均间隔时间内的误码个数}}{\text{在平均间隔时间内传输信息的总数}}$$

误码率测试可以反映 AFDX 网络的传输性能。设计中实现的误码率测试功能还可以在发送端主动插入误码，插入方式可以是以一定的比例连续插入，也可以是手动单次插入。在发送端主动插入误码可以用来测试网络设备的容错性能。

6 结论

本文提出了一种 AFDX 终端系统的实现方案，并重点对终端系统关键技术、AFDX 协议测试技术的实现方法进行了分析。

目前该技术已成功应用在 PXI 和 PCI 总线多款型号的 AFDX 测试模块中，证明了其实用性和可靠性。所提出的技术和方法在类似的 AFDX 设备开发中也具有较好的参考价值。

参考文献：

- [1] ARINC 664, Aircraft Data Network, Part 7: Avionics Full Duplex Switched Ethernet (AFDX) Network [S]. 2005.
- [2] 王 骥, 杨永田, 徐 光. 确定性实时以太网在航空电子系统中的应用 [J]. 航空电子技术, 2006, 37 (3): 29-32.
- [3] Bisson K, Troy Troshynski. Switched Ethernet Testing for Avionics Applications [J]. IEEE A&E Systems Magazine, May, 2004: 31-35.
- [4] Anand M, Vestal S, Dajani-bronwn S, et al. Formal Modeling and Analysis of the AFDX Frame Management Design [A]. Proceedings of the 9th IEEE International Symposium on Object and Component-oriented Real-time Distributed Computing [C], IEEE Press, 2006.
- [5] 李浩峰. AFDX 网络测试研究现状分析 [J]. 计算机应用, 2009, 128 (2): 64-66.
- [6] 刘明哲, 徐皓冬, 毕宇航. 确定性实时以太网通信协议研究 [J]. 仪器仪表学报, 2005, 26 (8s): 505-507.
- [7] 陈 昕, 周拥军, 万剑雄. AFDX 端系统关键技术的研究与实现 [J]. 计算机工程, 2009, 35 (5): 1-3.
- [8] 牛仕奇, 严胜刚, 任向隆. AFDX 终端系统实现方案研究 [J]. 计算机测量与控制, 2009, 17 (12): 2507-2520.
- [9] 白 焱, 王 勇, 李俊鹏. 基于 FPGA 的 AFDX 终端接口卡设计 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (12): 3282-3285.

(上接第 1350 页)

优先考虑 30 mA，当额定漏电动作电流等于或小于 30 mA 时要求保护动作时间小于 0.1 s，当额定漏电动作电流大于 30 mA 时要求小于 0.2 s。

表 1 间接接触漏电故障测试结果

漏电流检测值(mA)	动作电流(mA)	故障位置(m)	动作时间(ms)
6.4	30	19	68
6.6	30	17	70
6.2	30	21	60

表 2 直接接触漏电故障测试结果

漏电流检测值(mA)	动作电流(mA)	故障位置(m)	动作时间(ms)
26	Any	16	35
33	Any	13	36
38	Any	11	33

通过对模拟漏电信号的测试，以及从测试结果可以得出，整个系统运行稳定，故障检测准确，并没有发生死机等状况，根据间接漏电检测与直接漏电检测结果与实际的漏电位置距离对比，误差在 10% 以内，基本可以满足对电气线路漏电故障

的检测定位需求。

5 结语

本系统以单片机为控制核心，提出基于零序电路为触发信号对漏电故障进行检测，能够在低压供电线路发生漏电故障后，及时检测到故障的发生并定位，对于对于微小故障演变为大故障起到了预防作用，从而减小故障停电范围，便于寻找漏电故障。缩短漏电停电时间，提高了供电的可靠性。

参考文献：

- [1] 苏国营. 漏电保护器的安全性能与应用分析 [J]. 科技信息 (学术研究), 2006, (5): 43-45.
- [2] 蔡 辉, 王志贤. 信号处理在虚拟仪器测试系统中的应用 [J]. 国外电子测量技术, 2003, (4): 28-31.
- [3] 陈斯平. 低压供电线路漏电故障在线检测电路的研究 [J]. 科技信息, 2012, (9): 32-33.
- [4] 王永进. 基于 DSP 的漏电保护器的理论研究和设计 [D]. 西安: 西安科技大学, 2011.
- [5] 沈韦华, 陈洪涛, 沈锦丰. 基于最佳匹配算法的精密零件检测研究 [J]. 科技通报, 2013, 29 (5): 97-99.