

非接触式 PT 熔断器远程监测系统

提出一种非接触式配电网 PT 熔断器状态远程监测系统。通过非接触式测量二次侧回路微弱电流值，间接测量一次侧 PT 熔断器的通断情况，实现 PT 熔断器状态的判别。监测终端以 C8051F120 单片机为核心，采用高精度微弱电流检测技术。监测系统软件采用 GPRS 技术与终端通信，具有 GIS 定位和报警功能。试验验证了其稳定性和可靠性，系统避免了高压侧拆接线的危险，提高了工作效率，满足高效实时远程监测 PT 状态的要求。

向 椿 张 宇 林 森/重庆市电力公司江北供电局客户服务中心计量部



向 椿/工程师

PT 熔断器在电力系统中有着重要的作用，既关系到电力系统中变压器、计量仪表等用电设备的安全，又关系到供电部门和电力用户的利益，高压侧 PT 熔断器若发生熔断现象，会严重影响变压器和计量仪表等供电设备的正常工作，影响整个电力系统的安全运行，给供电和用电双方造成不必要的经济纠纷和计量损失。

PT 熔断器发生熔断现象后，计量部门一般很难发现，只能工作人员实地检测，容易导致漏计费以及经济纠纷。目前提出的监测方法有拆接线法和红外监测法。其中，高压侧的拆接线存在较大风险，容易造成误拆、误接，由于与加压设备安全距离不足而造成事故的情况也时有发生；红外监测法通过反射远离检测熔断器本体，实现了非接触测量，但是由于距离、天气和温度差异易造成虚断的误判^[1,2]，同时，红外法不能避免用电单位采用人为遮挡，造成计量误判。针对这种情况，计量部门迫切需要开发一种非接触、便捷、快速、准确、高效和安全的测量装置，用于监测

PT 熔断器的通断情况。

在此，提出一种非接触式 PT 熔断器检测技术，并将其与无线通信技术和计算机技术结合在一起，实现 PT 熔断器状态的远程监测，既避免了工作人员的高压带电拆接线风险，有效地保护了设备，又避免了红外监测法的误判。将 PT 熔断器故障在 GIS 地理信息系统里显示出来，实现实时无误监控，与传统方法相比，既节约人力物力，又确保电能计量装置的准确性和可靠性，避免供电部门的漏计费问题，从而保证国民经济健康、持续和快速发展。

系统整体设计思路

1. 测量电路原理

针对 PT 熔断器检测，系统在运行中不便停电安装，考虑到高压安全问题，不能在高压侧 PT 熔断器回路直接安装传感器；而在二次低压侧回路也不便改变原有线路接入传感器测量。根据电路原理，配电网 PT 二次侧正常运行时是一个完整回路，具有稳定而微弱的电流，因此提出一种新的非接触式检测技术，通过非接触的方式间接测量低压二次侧线路电流变化，以二次侧电流的变化反映高压侧 PT 熔断器的通断状况，并监测 PT 熔断器运行状态。此方法既避免了高压危险，又避免了低压拆接线问题，不影响电网正常运行。测量电路原理如图 1 所示。

图 1 中，QS 为隔离开关，FU 为熔断器。高压侧 PT 熔断器正常工作时，在测量点进行监测，监测终端上电压互感器检测到有 20 ~ 60 mA 的电流。高压侧 PT 熔断时，低压侧传感器的检测电流为零。

关键词/Keywords

非接触式·
电流检测·
PT 熔断器·
GIS·

国家自然科学基金资助项目 (51207175)。

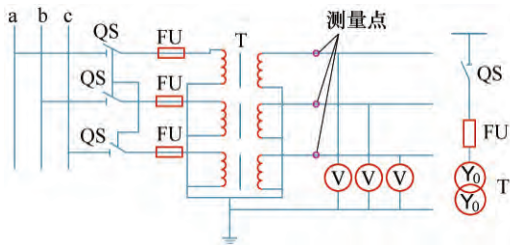


图1 测量电路原理图

2. 电流传感器原理

由于 PT 熔断器低压二次侧回路电流较小，实际生产中要检测的是直流毫安级的微弱信号，所以要采用高准确度和快速响应的磁补偿式霍尔直流电流传感器^[3,4]。霍尔磁补偿电流传感器原理如图2所示。

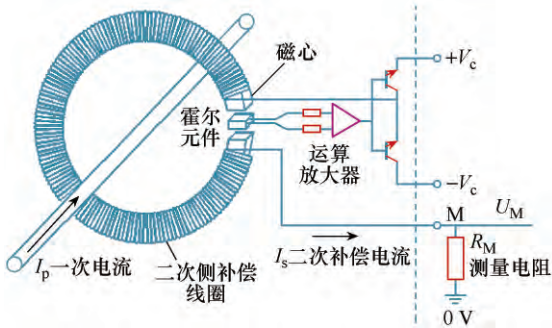


图2 霍尔磁补偿原理图

当被测导线上有电流 I_p 流过时，产生感应磁场，感应霍尔元件，并产生感应微电流，驱动功率管产生补偿电流 I_s ，当补偿电流 I_s 和感应电流平衡时，输出为零。关系式为

$$I_s = I_p \frac{N_1}{N_2} \quad (1)$$

当补偿电流 I_s 流过测量电阻 R_M 时，在 R_M 两端转换成电压作为传感器测量电压 U_M ，即

$$U_M = I_s R_M = \frac{N_1}{N_2} I_p R_M \quad (2)$$

3. 系统设计方案

监测系统主要由 PT 熔断器监测终端和监控中心服务器组成。PT 熔断器监测终端包括微电流检测模块、滤波放大模块、处理器和 GPRS 无线传输模块，如图3所示。

系统监测终端检测到 PT 熔断器二次侧电流变化，经过电流滤波和放大模块处理，传递至数字信号处理模块。由单片机进行信息处理，通过

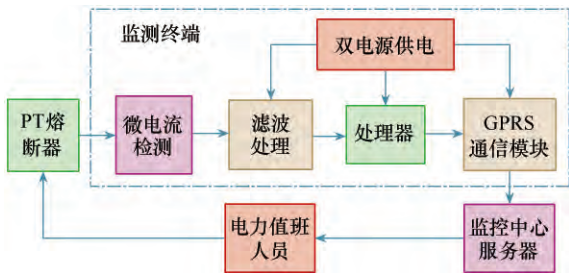


图3 非接触式 PT 熔断器远程监测系统框图

GPRS 模块及时向管理中心发送断线信息，使工作人员快速了解故障，为电力计量应用提供了更好的服务。

系统监测终端硬件设计

系统测量终端由电流检测电路、信号转换模块、电源转换模块、处理器、串口和无线传输模块组成。传感器检测到线路上微弱的电流变化，传至信号处理模块，由处理器传送 GPRS 发送。

1. 电流检测电路和信号转换模块

传感器获得的交流信号微弱，为了获得较高的共模抑制比与零点漂移抑制，采用了差分放大器。电路由精密仪用放大器 AD620、LM358D 双运算放大器组成，AD620 准确度高，噪声低，增益方便调节，易于控制，具有较高的共模抑制比，能较好地抑制零点漂移。

采集到的交流信号经 AD620 放大后，送入交直流转换器 AD637 中，用积分电路转换为直流有效值，AD637 准确度高，稳定性好，使输出信号相比于输入信号更加平稳^[5]。最后将其输出信号进行滤波送入单片机的 AD 采样端口。为了便于数字化，并满足测量准确度要求，采用直流有效值转换电路将放大后的交流信号转换为直流信号，便于单片机处理。

检测到的电流信号容易受到高次谐波的影响，不方便后续处理。为了防止信号混叠和干扰，采用低通滤波电路滤除信号的高频部分，并增加放大电路，将检测出来的微弱电流进行滤波、放大，方便后续处理。滤波器的截止频率在 1 kHz 左右。为防止信号混叠和干扰，监测系统采用巴特沃斯二阶低通滤波器，使通频带内的频率响应曲线最大限度平坦，而阻频带则是逐渐下降为零^[6]。

2. 处理器和通信模块

处理器主要用于前端监测信号的数据采集和初步处理。处理器采用 C8051F020 单片机,其内部集成 A-D 转换器,用于数-模转换,对检测出来的数据作出准确的判断,并将处理的结果传送 GPRS 模块,控制 GPRS 模块实现数据传输和发送。

通信模块采用 GPRS 传输数据,来实现远程监测和通信,通过 MAX232 电源供电实现数据的接收和发送^[4]。GPRS 无线传输支持 IP 协议。能提供 Internet 和其他分组网络的全球性无线接入。无线通信的稳定性、安全性、实时性和开放性都很好,其扩展能力和经济性比传统通信方式更具优势。

3. 系统电源供电方式

为保证系统正常工作并及时处理事故,采用双电源供电。双电源切换装置由备用蓄电池、继电器组、开关电源和蓄电池充电电路组成^[5]。正常情况下,配电变压器的某相为数据采集终端供电,当开关电源出现故障时,继电器组会自动将电源切换到蓄电池。继电器组由通电延时继电器 H3Y-2 和断电延时继电器 ST3PF 组成,其延时范围为 0~10 s,内置专用 IC 时序控制,复位时间在 100 ms 以下,具有工作稳定高、抗干扰性能强、功耗低和安装方便等特点。

系统软件设计

系统软件完成采集数据、对数据进行分析判断以及发送故障信息等功能。软件系统主要采用 VisualC++ 开发平台,采用 C/S 通信模式,采用点对多点的通信方式,终端对信号进行实时采集,数据定时加密传输。故障时刻发出报警,采用优先传输的方式,对每个监测终端进行识别和定位。

软件实现实时数据查询、处理与存储等,对采集数据进行有效提取和分析,在分析特征和提取的基础上,实现 PT 熔断器二次侧电流自动诊断,根据已有电流阈值来判断设备是否处于故障。进行故障识别处理。由于 PT 监测终端数量较多,且所有的数据均通过 GPRS 网络进行接收,因此系统需具有较强的数据接收、处理能力,以提高

系统代码运行效率和增强系统自适应、自恢复能力。

1. 软件功能结构

系统结构和主要功能有电流采集功能、数据发送功能和文件管理功能等^[6]。软件管理系统可同时承担多个终端所有数据的同时发送和处理,同时处理多个用户终端的中断查询,以及数据不断的实时更新。软件系统总体功能如图 4 所示。

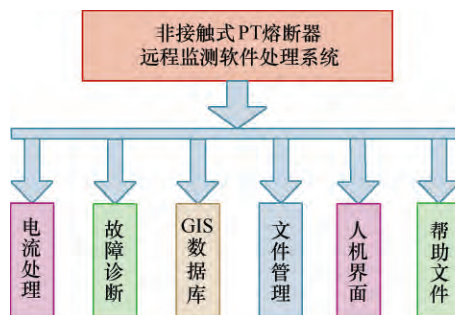


图4 软件系统功能

对采集到的电流进行数据转换,并进行故障诊断,由 GIS 对 PT 故障点定位。在文件管理模块中,完成文件的存储和数据库对比等功能;为增强系统的可操作性,增加人机界面和帮助文件模块,包括软件的使用介绍、电流处理操作帮助^[6]。

2. GIS 地理信息系统

由于配电网复杂,PT 熔断器繁多,在实际工作中,电力计量统计基本上依据调度工作票记录,工作量极大,其统计的完整性和准确性也难以保证,且不能及时发现处理故障。

软件对各个 PT 的空间地理信息进行数据采集与编辑,建立地理信息数据库管理系统。实现 PT 空间地理位置与配电网设施、设备及运行数据的相互映射与统一管理。提供 PT 故障点位置和故障类型等信息,并将该故障点信息由 GPRS 实时发送至管理中心,在数字化地图中进行显示。同时具有模糊搜索功能,便于检修人员快速查找,及时到达故障位置进行处理。

设备运行与试验研究

在实验室搭建 PT 熔断器故障模拟试验平台,采用 0~330 kV 调压器,用 1 kΩ 电阻模拟低压线路,PT 熔断监测终端模拟检测 PT 故障。

在试验平台模拟 A 相故障，B、C 两相良好，与三相完好作对比试验数据，A 相电流接近于零，属于传感器准确度造成的合理误差范围。同理分别模拟 B、C、AB、AC、BC 和 ABC 相 PT 故障，与三相完好时的试验数据作对比。下表为模拟监测试验数据。

表 PT 故障模拟试验数据

正常状态 电流值 单位/mA	PT 熔断器熔断后低压侧电流							
	A 相	B 相	C 相	AB 相	AC 相	BC 相	ABC 相	
I_A	43.2	0.1	43.1	43.1	0.1	0.3	43.3	0.1
I_B	45.5	45.6	0.2	45.3	0.2	45.2	0.1	0.3
I_C	47.3	47.2	47.2	0.1	46.9	0.1	0.2	0.1

由软件接收的数据可知，三相电流稳定在 40 ~ 50 mA 正常范围之内，表明该监测终端能准确监测 PT 熔断器的状态参数。故障时试验数据正常误差范围内，PT 熔断监测终端能够监测出 PT 故障。

在重庆市江北某供电局 10 kV 配电线路上安装 PT 熔断器监测终端进行试验运行，如图 5 所示。目前系统工作状态良好，性能稳定，能够稳定检测 PT 熔断器各项参数。



图 5 试验现场电流测量图

图 6 为江北区实时监测点的分布，从软件接收数据可知，线路电流测试和设备运行良好，能查询到监测终端位点以及其参数。

结束语

基于非接触式 PT 熔断器检测方法，通过检测 PT 熔断器二次电流，间接测量 PT 运行参数，设计出非接触式 PT 熔断器监测系统，并进行了试验



图 6 江北区实时监测点

运行。监测终端通过 GPRS 无线传输网络将数据传输到监控中心进行分析处理，通过 GIS 地理信息对故障进行定位，工作人员可即时检测 PT 熔断器的实时参数和 PT 通断情况，从而对运行情况做出快速的分析判断，解决电力统计量问题。由传统的人工模式变为自动化模式，最大限度地保障线路上计量单位以及用户的权益。

参考文献

[1] 胡景生, 赵跃进. 配电变压器能效标准实施指南 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2007.

[2] 谭俊源. 谐波对变压器的影响及其抑制措施 [J]. 电气时代, 2008 (9): 100-102.

[3] 刁元均, 邹滨, 蔡华斌, 等. 浅析谐波的危害及电气设计中的抑制和防范措施 [J]. 电气应用, 2007, 26 (4): 42-43.

[4] 王海鹏, 曾嵘, 何金良, 等. 利用 GSM 网络实现配电网远程数据的可行性分析 [J]. 高压电器, 2002, 38 (5): 12-15.

[5] 胡景生. 变压器能效与节能技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.

[6] 郑小尧, 王新堂, 王大尉, 等. 2008 年南方冰灾输电塔损毁原因调查与分析 [J]. 宁波大学学报, 2009 (4): 558-562.

[7] 张直平, 李芬辰. 城市电网谐波手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.

[8] 程琳. 电力变压器在线检测研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.

[9] 周韧研, 商斌. VisualC++ 串口通信开发入门与编程实践 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.

[10] 石海杰, 常虹. 基于 VC 的多线程串口通信程序设计 [J]. 可编程控制器与工厂自动化, 2009 (9): 65-66, 97.

(收稿日期: 2014-04-28) EA