

通过 GPRS 模块实现的多种故障定位方法系统

陈晨阳

中国地质大学机械与电子信息学院，武汉

摘要 | 为解决配电网小电流接地系统的单相接地故障定位难题，研发了一套基于无线通信的配电网单相接地故障定位系统，该系统主要包括线路测量单元和监控主站 2 部分。线路测量单元安装在配电网各主要节点上，监控主站配置在变电站中。该系统通过 ZigBee 模块实现单元子节点之间的通信，通过 GPRS 模块实现测量单元与主站的通信，全网通过 GPS 实现同步采样。该系统适用于多种故障定位方法，能够实现电气量同步采集、无线通信、数据存储、状态监测和故障定位等功能。与定位系统相对应，还提出一种“先定段，后定位”的故障定位思想。理论分析、PSCAD 仿真和动模实验验证了该系统 and 所提故障定位思想的正确性和有效性。

关键词 | 配电网；小电流接地系统；单相接地故障定位；无线通信

Copyright © 2021 by author (s) and SciScan Publishing Limited

This article is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



我国中压配电网以架空线路为主，大都采用小电流接地方式运行，单相接地故障占到配电网故障总数的 80% 以上。当发生单相接地故障时，由于故障电流微弱，定位故障区段仍然较为困难。随着用户对供电质量要求的不断提高，迫切需

要开发一种在线故障定位装置,该装置能在故障发生后,迅速对故障点进行检测和定位。国内外已研究出众多故障检测方法,但实际应用效果并不理想。故障指示器法对于短路故障检测的效果比较好,但对于小电流接地系统故障检测容易出现误判。信号注入法需要加装信号注入设备,投资大,对于瞬时性故障和间歇性弧光接地故障效果不好。零序功率方向法在中性点不接地系统和中性点经电阻接地系统中得到广泛应用,但不适用于中性点经消弧线圈接地系统的配电网。零序电流比幅法受系统运行方式、线路参数、过渡电阻等因素的影响,可能导致误选、多选或漏选的问题。阻抗法简单经济,但容易受线路参数、负荷特性和故障电阻的影响。暂态电流分量法根据零序电流 3 次或 5 次谐波分量在故障路径和非故障路径的传输方向不同来进行故障选线,适用于中性点经消弧线圈接地系统的情况。行波法不受系统运行方式的影响,但主要用于高压输电线路,用于配电网时受采样精度和复杂电网结构的影响较大。本文提出了“先定段,后定位”的新思想,依托全球定位系统(GPS)和近距离无线组网技术(ZigBee)和通用无线分组业务(GPRS),设计并开发了基于无线通信的配电网单相接地故障定位系统。该系统对现有任何接地方式的配电网均可以进行单相接地故障定位。理论分析、PSCAD 仿真和动模实验都验证了该系统的正确性和有效性。

1 系统总体设计

结合 GPS 全球定位技术和无线通信技术,将广域同步测量的思想引入到中压配电网小电流接地系统单相接地故障的在线定位研究中,解决了线路故障信息获取和故障在线定位的问题。配电网单相接地故障定位系统由线路测量单元、配电网监控主站通过 GPRS 网络实现 2 部分间的通信。

2 线路测量单元的硬件设计

步授时模块、ZigBee 近距离无线组网模块、SD 卡存储模块、GPRS 远程无线通信模块相连接。ARM 使用意法半导体公司的 STM32F407 处理器,该处理器配备 SD 卡用于扩展数据的存储。根据功能需要,处理器可以使用 RS-232、RS-485、USB 等方式与其他设备进行通信,增强了系统的可扩展性;其中 ARM 的 I/O 引脚与中断请求信号相连;串口 1、2、3 分别与 GPS、GPRS、ZIGBEE 模块

相连。在数据传输方面,采用 I/O 模式进行地址寻址和数据传输,减少了 GPS、GPRS、ZigBee 模块与 ARM 之间的接线数量。

3 线路电流采集模块

线路电流采集模块将电流信号转换为 $\pm 5V$ 的电压信号,然后再经过调理电路将输出电压控制在 $0 \sim 3.3V$ 以内,以供片上 ADC 控制器进行采样,并将 ADC 设置为外部触发模式(GPS 触发),可以有效缩短由软件启动 A/D 带来的延时。ARM 与线路电流测量模块相连接,用于控制线路电流信息的采集。每个正弦周期采集的电流数据以浮点数形式存储,每秒至少存储 1MB 数据,由于片内 FLASH 容量仅有 1MB,不能实现大量数据存储,考虑复杂算法以及数据交互的需要,采用 SD 卡扩展存储空间。由于 SD 卡具有大容量、快速数据传输率、很强的移动灵活性的特点而被广泛地使用。该装置设计了大容量录波功能,每个周期存储 100 个数据,包括线路电流瞬时值、GPS 时标、每个周期电流的幅值和相位。GPS 时间信息和电流数据供 ARM 在故障时调用。本系统采用 8G 容量的 SDHC 卡扩展存储。ARM 与 SD 卡通过 SDIO 模式连接。录波和采样相配合实现。通过录波数据可以在线监测线路运行状态,为电网接地方式的改进及线路的状态检修提供辅助决策。

4 GPS 全网同步授时模块

GPS 卫星发出的高精度时间信息提供了全球统一的精确时钟,不同地区 GPS 模块接收到的标准秒脉冲信号误差不超过 $1\mu s$,其对于电力系统 50Hz 的频率来说, $1\mu s$ 所对应的相角误差仅为 0.018° ,该精度足以满足定位要求,目前已经在电力系统中得到广泛应用。为克服传输延迟的影响,实现配电网异地线路电流同步采集的目标,本系统采用 GPS 标准秒脉冲信号(PPS)作为同步时钟,同时也是 ARM 的中断请求信号,中断优先级最高,作为程序的开始,启动对全网线路电流信号的同步采样;GPS 输出引脚与 ARM 串口 2 相连,为每秒所测量的电流信息打上时间标志。ZigBee 近距离无线通信模块 ZigBee 是基于 IEEE 标准的 802.15.4 无线标准研制开发的,有关组网、安全和应用软件方面的技术标准。本系统的 ZigBee 模块工作在 2.4GHz 频段,通过串口 3 与 ARM 进行数据通信,波特率设置为 128kbit/s。线路测量单元内的子测量节点通过 ZigBee 模块把每秒线路上的电流

和时间信息发送到主测量节点；主测量节点通过 ZigBee 模块把监控主站向下的查询命令发送到子测量节点，用以查询子测量节点任意时刻的零序电流信息。

5 线路测量单元的软件设计

线路测量单元的软件具有以下功能：（1）FFT 计算功能。目前 FFT 算法是电力系统中应用最广泛的算法之一，具有非常快的运算速度，它可以迅速提取出正弦信号的基波分量和各次谐波分量的幅值与相位。（2）网络通信功能。① ZigBee 模块间能实现自组网功能，每个线路测量单元的主测量装置和子测量装置可以实现双向通信；② GPRS 与配电网监控主站的双向通信。（3）该系统有 2 套运行模式：正常模式和故障模式。当系统运行于正常模式的时候，线路测量单元每隔 $n\text{min}$ （例如 15 min）通过 GPRS 模块把当前时刻的线路电流和时间信息打包发送到配电网监控主站；当系统发生单相接地故障时，在故障进入稳态后，线路测量单元把线路零序电流相位发到监控主站，利用零序功率方向法和三次谐波分量法可以在配电网监控主站在线定位故障区段；当系统发生其他故障，电流一旦超过设定的阈值，系统自动记录故障电流数据和当前的时间信息，并把这些数据通过 GPRS 发送到配电网监控主站，便于后期分析处理。当系统发生其他故障时，线路测量单元采集的电流瞬时值超过设定的阈值，直接发送故障警报到监控主站。

监控软件用 VB 语言编写，该软件主要实现故障判断、报警信息提示、画面显示、数据库管理等功能。这些功能共同实现与线路测量单元的通信和对原始数据的处理。正常情况下，当监控主站收到各线路原始数据时，存入数据库中，并实时显示；当发生接地短路故障，主站监测到零序电压变化时，与线路测量单元通信，各测量单元收到请求后，将故障后零序电流经过 FFT 变换的基波和 3 次谐波分量的相位作为结果上传给监控主机，主机将零序电压的相位与各测点零序电流相位进行比较，可以得到故障区段，然后在故障区段内，应用阻抗法或者行波法进一步进行故障定位，用户可以根据需要将定位结果显示在网络结构图或地理信息图上。

6 讨论

实际配电网发生单相接地故障时，可能是瞬时性故障，也可能因间歇性电

弧放电或沿面闪络，接地电阻呈现非线性特征。本文采用的阻抗法故障定位使用故障发生 2 ~ 3 周期后的稳态电气量，很大程度上回避了故障瞬间暂态接地电阻的非线性问题。理论上，该定位算法与接地电阻大小无关，完全适用于单相接地故障的定位。定位算法详见文献。由于本文采用“先定段，后定位”的故障定位思想，在定位之前先进行故障定段。而故障定段算法的本质是进行电气量之间的比较，这样即便是在测量环节引入了不可避免的观测误差，也不会影响定段结果。而后续的定位是基于先期定段的结果，即便是观测误差对具体的定位结果产生了影响，也不会带来“跨段”的错误结果。在实际应用中，线路测量单元的自供电问题也是一项关键技术，只有解决了测量单元的稳定可靠供电，才能实现系统的免维护，降低运营成本。

7 结论

本文研发了基于无线通信的配电网单相接地故障定位系统，介绍了其基本原理及软硬件设计。故障定位系统采用“先定段，后定位”的思想，适用于现有任何接地方式的配电网。详细的动模实验全面验证了该系统及故障定位思想的正确性及有效性。在动模实验中，随着测点的减少还出现了故障定位有多解的现象，限于篇幅限制另行报道。对一个给定的配电网，如何优化测点的布局，在实际应用中如何解决自供电问题，是今后重点的研究方向。本文仅对该系统进行了动模实验，还有待在实际配电网中运行，以便进一步完善方案。

参考文献

- [1] 郑州, 吕艳萍, 王杰, 等. 基于小波变换的双端行波测距新方法 [J]. 电网技术, 2010, 34 (1): 203-207.
- [2] 蒋陆萍, 曾祥君, 李泽文, 等. 基于 GPS 实现电力系统高精度同步时钟 [J]. 电网技术, 2011, 35 (2): 201-206.
- [3] 全玉生, 张煜, 邱庆春, 等. 基于 GPS 的双端故障定位新算法 [J]. 电网技术, 2004, 28 (6): 63-66.

Through the GPRS Module to Achieve a Variety of Fault Location Method System

Chen Chenyang

School of Mechanical and Electronic Information, China University of Geosciences, Wuhan

Abstract: In order to solve the problem of single-phase grounding fault location of low-current grounding system in distribution network, a single-phase grounding fault location system of distribution network based on wireless communication is developed. The system mainly includes line measurement unit and monitoring master station. The line measuring unit is installed on the main nodes of the distribution network, and the main monitoring station is configured in the substation. The system realizes the communication between the sub-nodes of the unit through the ZigBee module, the communication between the measuring unit and the master station through the GPRS module, and the synchronous sampling of the whole network through GPS. The system is suitable for many kinds of fault location methods, and can realize the functions of synchronous electrical data acquisition, wireless communication, data storage, condition monitoring and fault location. Corresponding to the location system, a fault location idea of “segment first, location later” is also proposed. Theoretical analysis, PSCAD simulation and dynamic model experiment verify the correctness and effectiveness of the system and the proposed fault location idea.

Key words: Distribution network; Low current grounding system; Single phase grounding fault location; Wireless communication