

一种脉宽调制电压检测接地故障泄漏电流技术研究与应用

文/胡崇燊 罗运国 刘修理 王勇 夏添
贵州电网有限责任公司遵义桐梓供电局

通过调研和故障诊断，确定故障类型，包括单相接地故障、高阻接地故障和间歇性放电故障。分析泄露电流产生的原因、测量方式和特点，基于脉宽调制电压检测接地故障泄漏电流技术，设计测量系统。根据测量结果及周围环境温度等因素多维度进行故障定性、定位的判定，从技术上协助巡线人员快速处理故障。

10 kV配电网线路应用范围大，设备点多面广，设备老化，自然环境复杂等情况，导致线路故障跳闸频繁。配电网发生故障跳闸后，导致很多故障，需要较长时间才能查出。最早应用到配电网检测中的是机械式绝缘摇表，其主要用于排查接地故障。近年来我国引进了数字式绝缘兆欧表，直流试送仪等设备，结合摇表和人工逐级登杆目测以寻找接地故障点，但必须将线路分割开，逐段进行测试，费时费力，人工成本巨大。而且摇表测试电压低，电流小，对高阻接地或隐形接地故障根本无法检测。通过对直流摇表、直流试送仪、架空线路故障定位装置和交流试送进行了现场故障测试，发现主要存在以下故障：单相接地故障、高阻接地故障和间歇性放电故障。研究具有检测间隙性放电短路功能、检测零值绝缘子功能、高阻接地和永久性接地检测功能的检测方式成为亟待解决的问题。

泄露电流及测量

泄露电流指在没有故障情况下施加电压，电气中相互绝缘的金属零件之间，或带电零件与接地零件之间，通过其周围介质或绝缘表面所形成的电流。

泄露电流在介质中存在二条途径：一条是沿表面流过的，称为表面泄露电流；另一条是沿介质内部流过的，称为体积泄露电流。二者之和为介质的总泄露电流。泄露电流是衡量电器绝缘性好坏的重要标志之一，是产品安全性能的主要指标。将泄露电流限制在一个范围内，对提高产品安全性能具有重要作用。

泄露电流与外加电压的关系曲线仅在一定的电压范围内才近似是直线，如图1中的OA段。若超过此范围后，电子活动加剧，电流的增加要比电压增加快得多，如AB段。到B点后，如果电压继续增加，则电流将急剧增加，产生更多的损耗，以致绝缘被破坏，发生击穿。在预防性试验中，测量泄露电流时所加的电压一般在A点以下。

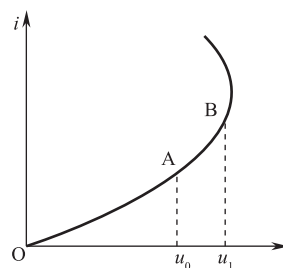


图1 泄露电流曲线

基金项目：遵义供电局 2022 年脉宽调制电压检测接地故障泄露电流技术研究与应用（0002200000089408）

在温度、湿度、长度和测量时间等条件不同时，测量的电流值变化范围比较大。一般情况下，电流值随湿度的升高而增大。绝缘良好时，泄漏电流和电压的关系几乎呈一直线，且上升较小；绝缘受潮时，泄漏电流上升较大；当绝缘有贯通性缺陷时，泄漏电流将猛增，和电压的关系不再是直线。通过泄漏电流和电压之间变化的关系曲线从而可以对绝缘状态进行分析判断。

接地故障及检测

通过调研和对直流摇表、直流试送仪、架空线路故障定位装置、交流试送仪进行了现场故障测试，发现主要存在几种主要故障。

单相接地故障是目前现有仪器主要解决的故障类型，区别只是采用的技术手段不同而已。在配电网线路冷备状态下，通过注入等效电压或信号，判断是否接地。对于零值绝缘子故障，无法测出绝缘阻值，所有检测配电网线路中的零值设备接近于高阻接地状态，但不影响运行。如果用绝缘兆欧表和直流试送仪等仪器判断电阻，其满足送电条件，结果导致无法判断线路的真实故障。配电网的环境极其复杂，尤其农村电网的通道沿山区架设，树障影响比较多，在运行中由于风吹树木靠近线路或者设备附近出现金属物体放电，导致跳闸。如风吹树木偏离接触导线，引发两相接地短路跳闸。

系统总体结构

基于脉宽调制电压检测接地故障泄漏电流技术设计了故障检测和判断系统，包括硬件和软件部分。

1. 硬件结构

硬件部分采用模块化结构设计，整体结构如图2所示。包括电池组（锂电池）、中央控制模块、高压模块、电压采样模块、电流采样模块、高压泄放模块以及工业平板计算机模块，方便安装和维护，另外配置有接地故障方向判断外置模块。

高压模块采用紧凑型结构，具有高稳定性、超低纹波和小体积等特点。提供外部参考电压给定、显示、拉弧、短路和过载保护，输出电压调节范围宽，线性调整，并提供RS 232控制。电压测量模块实现对电压输出信号进行采样，并将采样信号反馈

给中央控制模块。具有高准确度、抗干扰性能好的特点，可以转换输出20 000个数字量，并且与微机接口十分方便。电流测量模块对高压电流输出进行采样，并将采样信号反馈给中央控制模块。由于具有精确的电压、电流采样电路，所以计算的回路负载电阻的数据非常精确。高压泄放模块采用20 kV高压自动放电高压开关控制器，实现试验结束后的残压快速泄放功能，确保测试回路的安全。中央控制模块是直流脉冲放电仪的“大脑”，实现对其他模块的控制和协调，负责将测试数据实时反馈给工业平板计算机。同时接收计算机指令，控制检测过程，并且自动切换电流量程，提高对泄漏电流的测量准确度。工业平板计算机搭载了安卓系统，拥有8核A7硬件平台和智能图形显示系统。在平板计算机上开发了直流高压故障检测APP，并且内置数据库，实现与检测人员的人机交互可视化、数据保存（10万条测试数据）和数据查询功能。

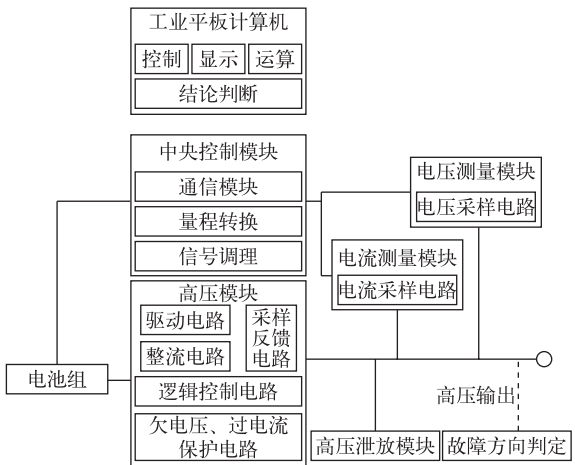


图2 硬件结构

2. 软件框架

系统引入Android工业平板嵌入式开发平台，其结构如图3所示。平台采用模块化设计方法，真正做到了底层驱动的开发与上层应用程序的开发相结合。将Android UI、数据库、多媒体和通信等技术完全引入到仪器的开发当中。此外，将专家系统引入到故障智能判断模型中，使得嵌入式开发更加智能，提升嵌入式应用的交互性。

软件系统开发采用多层模式设计，因安全性的考虑，工业平板计算机将无线WiFi、4G和5G信号模块全部屏蔽。APP着重建立在用户UI交互（数

据、文字和语音提醒）、底层API通信（RS 485）和SQLite数据库（数据存储、判断模型存储等）的基础上。采用灵活的可配置参数表，有利于建立逻辑判定模型。

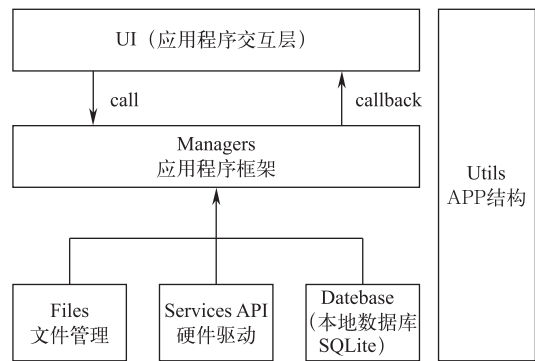


图3 软件架构

泄漏电流故障判断过程

根据10 kV直流电压波原理、电容隔直通交和电抗隔交通直技术，通过研究10 kV配电网单相电压下的电压、泄漏电流和绝缘检测技术，为精确高效查找故障提供数据分析及定性判断结果。实现间歇性放电故障、检测零值绝缘子故障、高阻接地故障和永久性接地故障检测功能，可通过测量过程电压、漏电流、电阻的曲线波观察和判断配网线路是否有间歇性放电的情况，进而判断故障点的方位和故障类型。

- 1) 首先直接检测10 kV配电网运行设备单相运行泄漏电流值，根据误差范围（±1 mA）判断线路是否具备送电条件。
- 2) 根据“10 kV配电网单相交流运行电压为5.77 kV”的标准，利用直流电压10 kV技术，判断线路是否存在直接性（如直流电压检测为1 kV以下）和间接性（如设备绝缘不良）故障。
- 3) 从绝缘设备介质考虑，老化和薄弱设备的绝缘不良，容易导致设备发生重复性故障，利用单相

电压下的运行电压检测技术，直接检测出绝缘不良的设备。

- 4) 通过泄漏电流的输出特性，为进一步优化判定结果给出坚实的理论和实践依据。
- 5) 最大输出短路电流为25 mA，利用对线路故障的隐性判断效率，容易激发隐性故障的重现。

结束语

脉宽调制电压检测接地故障泄漏电流技术从根本上解决以接地电阻单一条件判断带来的不确定性，以及对于特殊故障无法判断的问题。该系统采用多维度进行故障定性、定位的判定方法，从技术上协助巡线人员快速处理故障，发现线路的深层次故障。EA

（收稿日期：2023-08-28）

参考文献

[1] 周勇，董新胜，周杰，一起220 kV线路接地故障引起全厂生产系统停车事件分析[J]，电气时代，2023(5)：121-124.

[2] 张孟哲，配网单相接地故障定位装置研究与优化[D]，沈阳：沈阳农业大学，2022.

[3] 秦龙宇，有源配电网单相断线故障检测与区段定位方法研究[D]，济南：山东大学，2022.

[4] 胡瀚，企业电网小电流接地系统故障的研究与分析[J]，电气时代，2021(10)：69-72.

[5] 秦海波，汤同峰，杜东威，基于边端协同的配电网单相接地故障研判方案[J]，电工电气，2021(10)：111-120.

[6] 刘映彤，黄纯，袁静泊，谐振接地系统两点同相接地故障暂态特征及选线[J]，中国电力，2022，55(10)：62-70.

[7] 韩项峰，王志伟，郝瑞瑞，基于接地故障类型的交流微电网限流方法的研究[J]，智慧电力，2022，50(10)：45-52.

