

[漏电定位装置]

感应式配电设备漏电定位装置的设计与研究

文/刘晨宇 邱培群 苏培才 陈阔
广东潮州电力设计有限公司

低压配电设备漏电是一种常见的电力系统安全问题，它不仅可能影响到设备的正常运行，还可能对在设备周围工作或接触设备的人员造成严重的安全风险。触电事故可能会导致设备损坏，甚至可能导致人员伤亡，从而影响到整个电力系统的稳定运行。传统上把电缆故障点的直流电阻小于电缆特性阻抗称为低阻故障，反之则称为高阻故障。当电力线路出现对地漏电故障时，易出现触电事故，其危害极大。因此需要一种有效的漏电精准定位装置，辅助人工对漏电点快速定位，从而清除漏电隐患。感应式配电设备漏电定位装置为解决低压配电设备漏电问题提供了一种有效的解决方案。通过使用这种装置，可以有效地防止触电事故的发生，保障人员的安全，同时也有助于提高电力系统的运行效率和安全性。

漏电电压指的是漏电设备或电路两相之间的电压差，是一种静态测量方式。漏电电压的量范围一般在几十伏到几千伏之间，适用于直接测量漏电设备或电路的漏电情况。在测量中，当漏电设备或电路发生漏电时，会有电流通过耗损在接地电阻上产生电压，从而使相邻的两个电位有一个电压差。目前常见的漏电检测方法有绝缘电阻检测法、电流互感器检测法和电容式检测法。便携式漏电检测装置的硬件设计主要包括电源模块、电流传感器模块、电压传感器模块、微控制器模块和显示模块。电源模块为整个设备提供稳定的电源；电流传感器模块和电压传感器模块分别用于检测供电设备漏电时周边积水区域的电流和电压；微控制器模块负责处理各种传感器采集到的数据，并通过算法判断是否存在漏电风险；显示模块用于实时显示检测结果。

跨步电压测量的漏电检测系统的研究

在目前的配电网中，混合出线是最为常见的一种出线模式，其中故障几率最大的是架空线路发生

单相接地故障，对地漏电，易出现触电事故。通俗地讲，单相接地故障主要分为断线掉地、树枝及车辆吊臂碰线等过渡电阻较大的单相对地短路和断线掉在横担上及绝缘子被击穿的单相经横担对地短路^[1]。因此需要一种有效的漏电精准定位装置，在发生故障后，辅助人工对漏电点快速定位，从而更高效快速且安全地清除漏电隐患。

跨步电压是指故障点附近行走，两脚之间出现的电位差。在带电的断线落地点附近及防雷装置泄放雷电流的接地体附近行走，同样也有跨步电压。跨步电压的大小与距接地点的远近有关，距离短路接地点愈远，跨步电压愈小，距离20 m以外时，则跨步电压近似零。可以将漏电简单地看作由一个漏电点为圆心，以不同跨步电压等级向外逐步递减发散。因此定位漏电点可以采用跨步电压测量的方法，若需要对漏电点进行精准定位，则需要对空间X、Y、Z轴方向上对跨步电压进行同时测量比较。

空间三轴方向等单位距离跨步电压测量如图1所示。

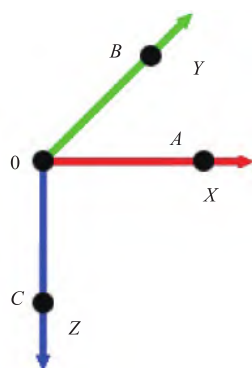


图1 跨步电压测量

通过对跨步电压测量漏电点的分析，定位漏电点即需要对空间三轴方向等单位距离跨步电压交流电的有效值进行测量。利用真有效值（TRMS）数字仪表，可以准确、实时地测量各种波形的有效值电压，满足大多计量设备对输入电压 U 进行“二次方-取平均值-开二次方”运算，就能获得交流电压的有效值。AD636，TLC1966均采用这种原理设计，采用该有效值芯片可大幅简化设计，降低功耗，提高测量准确度。

漏电定位装置模块化研究

便捷式配电设备漏电检测装置主要包括两部分：漏电传感器支架；采集显示仪表。其中采集显示仪表安装于漏电传感器支架上，两者之间用5PIN航空接头连接。底座支架与地面由A、B、C、D四个触点接触。这四个触点用于采集其所处地平面的感应电压。采集的感应电压通过采集显示仪表进行分析计算。其中A、C两点确定X轴上的电压矢量方向；B、C两点确定Y轴上的电压矢量方向；X轴和Y轴上的电压合矢量方向确定电场方向，最终判别出漏电点距测点的准备方向。

测量原理图如图2所示。

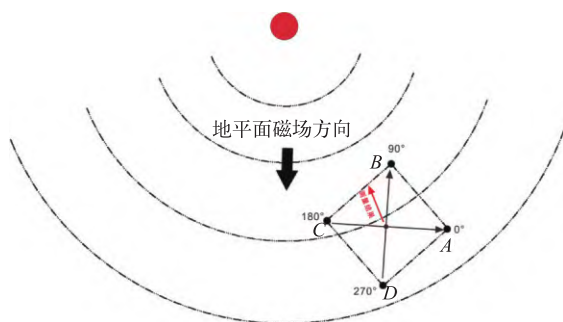


图2 测量原理图

图2中红点为漏电点所在位置，A、B、C、D为便捷式配电设备漏电检测装置测量仪器支架所在位置。

漏电定位装置硬件设计方法

漏电定位仪表兼容目前智能仪表的一般特点，系统的原理结构框图如图3所示。

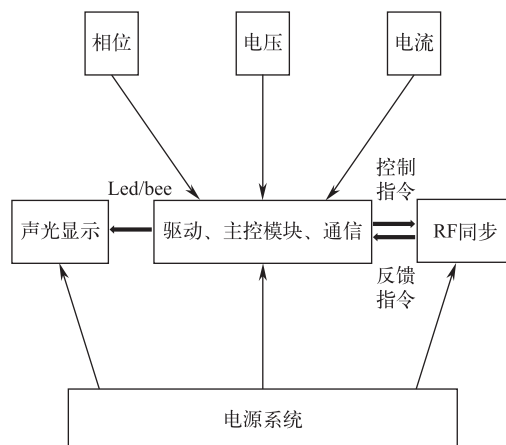


图3 漏电定位原理框图

智能控制模块是前端嵌入式处理的技术核心，基于低功耗和低成本需求，主控模块的核心微处理器选择STM32F417系列，该处理器主频168 MHz，在此工作频率下其处理性能可达210 MIPS，而功耗仅为 $38.6 \text{ mA} \times 3.3 \text{ V}^{[3]}$ 。多融合传感器主要包括感应电压传感器、感应电流传感器，通过感应电压经过高增益放大器放大、滤波，再将得到的交流正弦波信号转换成方波信号最终计算出相位值与频率值。RF同频模块主要用于测点之间采集时间的同步，用于相位计算初始值的时间标定。声光显示部分用于输出显示。

感应电压程控采集电路设计

为精准测量空间点的感应电压大小，需要对微弱电压信号进行程控放大。程控放大的原理是通过控制放大电路的放大倍数，来提高测量的准确度，本设计通过模拟开关电路CD4066BM通过控制管脚E0，E1，E2，E3电平的高低来选择放大器的接入电阻 R_7 ， R_8 ， R_9 ， R_{10} ，从而控制电路工作在合适的放大状态。在程序上一般从小到大开始循环扫描，如果测得的电压在规定的区间退出循环，在实际应用中也可以用数字电位器替代该电路。感应电压程

控采集电路如图4所示。

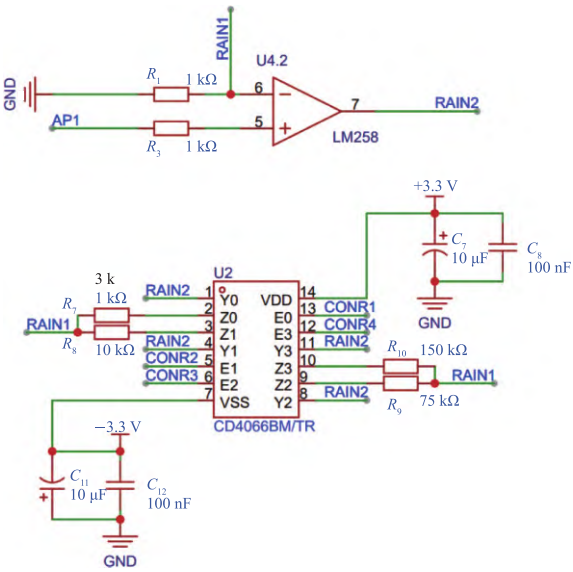


图4 感应电压程控采集电路

众所周知，当使用单电源运算放大器时，实现双极信号环境中的简单功能可能是困难的。有时需要额外的运算放大器（使用低失调电压、低失调电流和低温度漂移，以及低偏置电流的器件）^[4]和其他电子元件。图5电路为非二极管整流器电路。当输入电压为正极性时 $U_{ADO}=U_{RAINZ}$ ，当输入电压为负极性时 $U_{ADO}=-U_{RAINZ}$ 。这个电路是一个高准确度全波整流器，该整流器带有等于运放器本身的高频率限制。信号通过绝对值电路后经RC滤波，最终输出信号由处理器进行AD转换。

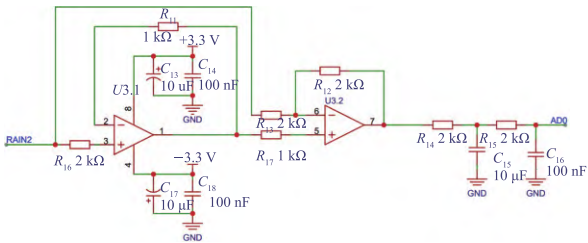


图5 非二极管整流器电路

考虑相对全面的情况，当110 kV变电站的10 kV出线首末端均可能出现接地故障，从单相接地故障和单相跨横担接地故障两方面来对10 kV线路首端、末端以及首末端均发生故障等6种情况进行分析计算接地故障电流，再利用跨步电压仿真实验分析，得到了6种情况下的跨步电压与距离漏电点之间的距离关系，见表1~表6。

表1 009杆单相直接对地短路时跨步电压仿真结果

到故障点距离/m	测量点的电势/V	跨步距离/m	跨步电压/V
0	5 744.3	—	—
1	326.36	0~1	5 417.94
2	48.047	1~2	278.313
3	10.653	2~3	37.394
4	3.522 5	3~4	7.130 5

表2 037杆单相直接对地短路时跨步电压仿真结果

到故障点距离/m	测量点的电势/V	跨步距离/m	跨步电压/V
0	5 582.7	—	—
1	335.19	0~1	5 247.51
2	52.516	1~2	282.674
3	11.568	2~3	40.948
4	3.499 9	3~4	8.068 1

表3 009杆单相直接对地短路时跨步电压实测数据

跨步距离/m	电压互感器电压比	二次侧电压/V	实际跨步电压/V
0-1	2 000/100	266.73	5 334.6
1-2	2 000/100	14.90	298
2-3	100/100	20.09	20.09
3-4	100/100	13.68	13.68

表4 037杆单相直接对地短路时跨步电压实测数据

跨步距离/m	电压互感器电压比	二次侧电压/V	实际跨步电压/V
0~1	2 000/100	261.38	5 227.6
1~2	2 000/100	13.73	274.6
2~3	100/100	41.36	41.36
3~4	100/100	15.03	15.03

表5 009杆单相经横担短路时跨步电压实测数据

跨步距离/m	电压互感器电压比	二次侧电压/V	实际跨步电压/V
0~1	2 000/100	30.57	611.4
1~2	500/100	32.85	164.25
2~3	500/100	20.58	102.9
3~4	500/100	15.64	78.2

表6 037杆单相经横担短路时跨步电压实测数据

跨步距离/m	电压互感器电压比	二次侧电压/V	实际跨步电压/V
0~1	2 000/100	44.79	895.8
1~2	500/100	53.84	269.2
2~3	500/100	25.73	128.65
3~4	500/100	15.98	79.9

由实验数据可知，10 kV配电网单相对横担短路时，其短路过渡电阻大约在10~20 Ω左右，短路电流高达两三百安培，地表电势大约在1 000 V范围内衰减，单相对地短路时，其过渡电阻则高达

250 Ω ，甚至会更高。此时短路接地电流只有20~30 A，地表电势在接近相电压（6 000 V）的范围内快速衰减，其衰减速度比对横担短路时的情况更明显^[6]。大约在离接地点6~7 m远的地方，地表每一跨步之间的电压会降低到安全电压36 V以下。

根据以上数据实验，为了保证在测量的同时，跨步电压对人体不会产生伤害，将放大器信号调整至1 mV/10 cm的测量准确度，且测量人员需要从20 m外开始逐步对测量点进行测量，不能离漏电点距离太近导致电力人身事故。高准确度既保证了在高压漏电时维保人员的人身安全，也保证了在低压漏电不存在跨步电压时的近距离对地检验漏电点的功能。

漏电定位装置人机交互界面

漏电定位装置人机交互界面采用轻触按键输入与LCD输出显示，最终漏电定位点以矢量方式显示，显示内容为漏电点与采集点的矢量关系，输出值为漏电点与测试点的方位夹角与距离大小。

漏电定位装置在开机后，1 s内按住“MODE”键为仪表自检；在测试时按“START”键，仪表停止测量，并显示“STOP”。现按测试可以继续测量；在停止测量的状态下可以按“MODE”键，可切换仪表的测量模式。

通过物联网硬件技术、物联网云平台技术，将漏电信息收集至云平台，应用软件从云平台获取数据进行数据统计、分析，以减少不同部门之间的信息孤岛现象，构建运行维护一体化水平^[7]。

结束语

漏电定位装置作为一种专门设计的仪器，主要功能是对电路中的漏电情况进行检测。它能够迅速且准确地判别出漏电的存在，并提供关于漏电位置

和程度的详细信息。该仪表具备操作简便的特点，即使是非专业人员也能够轻松地使用进行漏电检测，在各种场景中都具有广泛的应用价值。在实际应用中，漏电检测仪表发挥着重要的作用，可以及时发现潜在的电气安全隐患，避免因漏电而导致的人身伤害和设备损坏。无论是家庭用电、工业生产还是商业场所，都可以通过使用漏电检测仪表来确保用电安全。此外，准确性和可靠性也是其优势之一，能够准确地检测出漏电情况，为后续的故障排除和维修提供有力的依据。总之，漏电检测仪表以其独特的功能和优势，成为保障电气安全不可或缺的工具之一。EA

（收稿日期：2024-08-19）

参考文献

- [1] 周封，王亚丹. 10 kV配电线路单相接地故障分析与故障查找[J]. 科技信息，2010(6): 89-90.
- [2] 田晔非. 高频杂波信号真有效值测量技术[J]. 自动化与仪器仪表，2017(1): 72-73.
- [3] 孙立军，孙累，张春喜等. 无刷直流电机PWM调制方式研究[J]. 哈尔滨理工大学学报，2006，11(2): 120-123.
- [4] 付玉，杜承钢，闵睿，等. 一种低功耗低失调的集成运算放大器[J/OL]. 半导体技术，1-8[2024-08-23].
- [5] 罗隆福，向博，许加柱，等. 10 kV小电阻接地系统单相接地故障时的跨步电压仿真与实验研究[J]. 电力自动化设备，2013，33(6): 21-26.
- [6] 朱亮. 10 kV配电网小电阻接地系统单相短路故障及其保护研究[D]. 长沙：湖南大学，2011.
- [7] 刘立辉. 基于智能电网的电力运行维护一体化研究[J]. 电气时代，2024(8): 71-74.

