

一种便携式低压漏电检测仪的研制

毕景玉, 田志超, 颜景龙, 许 斐, 崔 棣

(国网无棣县供电公司, 山东 滨州 251900)

摘 要 便携式低压漏电检测仪的研发任务是突破传统检测办法的既有束缚格局, 塑造一个具有安全保障与效能优势并存特征的非接触专用仪器。本文着重论述便携式低压漏电检测仪的关键功能特性: 无源电磁场感应技术、多种级次灵敏度调节机制设置、复合告警系统及动态显示漏电信号的功能单元配置。基于此, 具体分解开发进程中的关键环节内容, 分级预示电路集成方案制定方法、紧凑型模组布局优化途径选择流程、恶劣情况适应性检查步骤安排技巧以及人机交互界面改良方式探索等, 并研制出使用效果良好而且方便实用的产品模型, 以期相关人员提供借鉴。

关键词 便携式低压漏电检测仪; 非接触感知; 多级报警; 模块化设计

中图分类号: TM933

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.35.006

0 引言

低压配电系统以及民用电气环境里的漏电情况, 常常成为设备损坏、引发火灾甚至造成人员触电伤亡的关键因素之一。传统的接触式检测方法既麻烦又存有危险性, 在这种情况下很难达到实际需要的标准。研发一种可以快速响应、准确判断并且保障安全的便携式智能漏电监测装置具有重要的现实意义。本次研制新款便携式低压漏电信号采集终端正是凭借先进的传感技术和人机交互的设计理念, 实现非接触式的直观可视化诊断效果, 为电力设施的安全运维提供技术参考。

1 便携式低压漏电检测仪的研制理念

便携式低压漏电检测仪, 以打破传统检测设备在复杂环境下使用局限为目的, 满足电力运维、家庭电路检修、工业设备维修等场合漏电故障快速准确定位的需求^[1]。电力运维人员在电缆井、配电箱等狭小空间作业时, 传统设备的 bulky 体积不仅难以携带, 有限操作空间更让按键操作变得艰难, 常导致故障排查效率大幅下降; 在家庭检修中, 普通用户缺乏专业电路知识, 面对频繁跳闸问题, 要么依赖经验判断私拉乱接, 要么盲目更换电器, 既可能遗漏真实漏电隐患, 还存在触电风险; 在工业场景中, 流水线上密集的电机、高频运作的变频器会产生叠加电磁辐射, 传统设备受此干扰常出现数据紊乱, 明明无漏电却反复报警, 反而干扰正常生产。这些贯穿不同场景的难点, 共同构成了设备研制过程中必须重点回应的核心诉求。小型化设计与高灵敏度检测的深度融合, 是设备研发的核

心方向, 而最大难题在于压缩设备体积、重量的同时, 确保检测精度不被复杂环境因素干扰。为此, 研发团队彻底抛弃结构冗余的传统信号处理模块, 创新采用微机电系统 (MEMS) 微型传感器阵列搭配自适应滤波算法, 该传感器阵列不仅体积仅为传统模块的 1/5, 更将整机重量控制在 500 克以内, 方便单手握持操作, 配合专属算法可精准捕捉 0.1 mA 级的微弱漏电流, 有效滤除电机启停产生的脉冲干扰与变频器带来的谐波干扰。

2 便携式低压漏电检测仪的关键功能

2.1 非接触式电场感知功能

非接触式电场感知功能的研制重点是冲破传统接触式检测要断电操作的约束, 做到对带电电缆漏电情况的安全即时监测。在研发时首先遇到的技术难点就是如何在非直接碰触线路的情况下, 准确捕捉由漏电引发的微弱电场改变, 并防止被周围强电场、金属构件等环境要素所干扰。团队采取依靠电场梯度感应原理的微型电容式传感器, 经改进传感器电极阵列的排列方法和材质特性来加强对其它漏电电场信号的定向捕捉能力, 而且加入电场屏蔽隔离层设计以削减外界杂散电场对检测信号的影响^[2]。针对非接触式检测信号衰减严重、识别困难的技术难题, 研究小组设计并完成了专门的信号加强与特征提取算法, 可以有效地把复杂电场环境中漏电信号的特点分离出来, 并且准确地区分出各种低压线路的漏电情况, 在绝缘包裹或者狭窄空间里也能稳定地工作, 极大地提升了设备的安全性和操作便利性。

2.2 多级灵敏度调节功能

研制多级灵敏度调节功能是为应对不同场景下漏电检测精度需求不同问题,实现设备在复杂环境下灵活适配。研发中的主要难题是保证宽泛灵敏度调节范围,防止切换时检测精度波动或信号失真。团队未采用传统单一电阻调节方案,而是采用可编程增益放大器与数字信号处理结合的新设计方法,预设灵敏度参数曲线,实现微弱到较强漏电信号无缝调整^[3]。为确保档位一致性和准确性,攻克档位切换校准技术难关,实时采集标准信号动态修正,抵消硬件差异、温度变化等造成的误差。为改善用户感受、提升操作便利性,系统开发智能灵敏度自适应推荐功能板块,该板块依据现场电磁干扰强度、线路电压等级等信息参数,灵活设定合适工作档位,既满足专业人员准确测量需求,又降低普通用户学习成本,使仪器在家庭电路维护、工业设备巡检、户外临时布线测试等场合发挥性能优势,实现快速有效数据获取。

2.3 声光振动多重报警功能

声光振动多重报警功能的研制重点在于保证在各种环境下,检测人员都能及时准确地接收到漏电预警信息,不能因为单一报警方式失效而产生安全隐患。研发过程中遇到的技术难点是如何协调多种报警方式之间的触发逻辑与强度控制,在确保有效报警的同时又不会对周边环境造成干扰或过度刺激。团队创新性设计了依据漏电电流强度分级来决定报警触发机制的方式,不同强度等级的漏电信号对应不同的声光振动组合警报形式。例如:当微弱漏电时仅启动低频振动并伴随低亮度指示灯闪烁作为警示信号;若为较强度漏电情况,则会同时激活高频振动配合高亮闪烁指示灯,以及分级别音量大小的声音警报等手段来进行传递,以此达到精准传达的目的效果。针对复杂工况下报警信息易受干扰的技术难点,在声学报警方面采用了抗噪频谱技术,以抵御工业现场机械噪声和外部环境背景音的干扰。振动传感单元优化了接触面贴合程度,保证检测人员即便戴着手套或者拿着设备也能够准确获取震动信号。光效组件采取多向发光环形光源布局策略来规避视角不同造成的视觉盲区,并且依靠多种传感器协同工作的模式形成多层次、高可靠的电气故障预警体系,从而切实提升作业安全水平。

2.4 漏电电流强度显示功能

漏电电流强度显示功能研制目标是为检测人员提供直观准确的漏电故障量化信息,便于其快速判断故障严重程度和确定排查方向,突破传统只能定性报警

的限制。研发中主要技术难题是在便携式设备有限显示空间和功耗预算内实现高精度实时显示,避免信号处理延迟导致的显示误差^[4]。团队创新采用高分辨率微型显示模组搭配高速信号采集处理电路的方案,通过优化信号采样频率和数据处理算法,降低漏电电流信号处理延迟,使显示数据与实际漏电情况近乎同步。针对不同电压等级线路漏电电流计算标准差异问题,团队攻克多源数据标准化转换难题,研制的装置能根据目标设备供电方式和电压参数自动匹配计算规则,处理校正信号后输出标准漏电信号。为适应户外复杂显示需求,系统采用高对比度背光显示屏搭配宽视角屏幕,内置智能动态亮度调节模块实时调整屏幕发光强度,保证操作人员在各种光线环境下清晰读取测量结果,实现故障诊断高效运转,提升决策支持能力。

3 便携式低压漏电检测仪的技术创新

3.1 分级报警的硬件系统集成

分级报警系统的硬件集成技术着重于多个模块协同工作的精确联动,它的核心技术难点在于处理信号干扰、响应延迟及能耗分配这些复杂问题,在研发过程中,研究团队突破传统分散式布线模式的限制,创造性地运用了模块化设计理念,将振动传感单元、声光反馈组件以及核心漏电监测电路整合到同一块 PCB 板上,并且经由独立信号通路的设计来防止跨模块间的电磁耦合现象发生,为了保证触发过程具备高度准确性,项目组自行开发了一种专门的硬件逻辑控制器,这种装置可以即时按照检测数据自动调整各个功能模块的工作状态参数设置,从而大幅度削减系统运作时的整体延迟能耗程度^[5]。同时,针对不同报警等级的功耗差异,设计了动态电源管理电路,在微弱报警时自动降低不必要的模块供电功率,在强报警时提高供电稳定性,既保证了报警功能可靠运行,又控制了设备整体功耗,在便携式设备有限电池容量下实现长时间稳定工作。

3.2 模块化与小型化的结构设计

模块化与小型化的结构设计目的在于压缩设备的整体体积,但又要确保各个功能模块的独立性以及可维护性。核心技术难点在于要在有限的空间里达成模块布局合理、散热性能良好且结构强度提升等多重目标。研发团队开创使用分层式的模块化布局方法,将电源模块、检测模块、显示模块以及报警模块各自设计成单独可以被插拔的部分,用微型连接器来完成这些不同模块之间的快速对接工作,这样既能方便生产组装过程也能利于后期的维修保养操作,而且这种做

法在空间利用上给予了更大的自由度^[6]。在小型化实现的过程中,除了采用微型元器件和高密度PCB板之外,还创新地采用了三维堆叠技术,并将一些功能模块垂直向上进行堆叠布置,同时借助镂空结构的设计优化内部 airflow 路径走向以解决因小型化所带来的散热问题。为了改善便携设备在现实使用中所承受的冲击力以及耐压程度,本次研究选取高强度轻质复合材料用作外壳基材,并且设计出模块同壳体之间的缓冲减震装置,借助有限元仿真技术来优化结构应力分布特性,在大幅度缩减产品体积的情况下仍然维持其机械强度与长期稳定性,进而符合户外复杂环境下的工作条件及技术标准。

3.3 环境适应性强化测试优化

环境适应性强化测试优化的重点在于创建全方位模仿实际应用情形的测试体系,保证设备在极端温湿度、电磁干扰、粉尘油污等环境下依然维持稳定性能。技术难点体现于如何精确再现繁杂环境要素相互作用的情形并形成合理的测试评判准则^[7]。研发团队抛弃以往单个环境因素测试方案,更新设计了多种环境因素耦合的环境测试舱,能够一同模拟高温高湿、低温低湿、电磁辐射、粉尘冲击等诸多复杂环境状况,并且利用即时搜集系统同步检测设备各项性能指标参数变动情况,准确捕捉不同环境要素耦合作用下的设备性能拐点之处,为了改进测试成果的实际价值,在研制进程中融合场景化测试逻辑,依照设备的使用场合(家庭室内、工业车间、户外露天)来安排对应的测试流程。以工业车间为例,增添油渍侵蚀测试环节,针对户外则加大淋雨以及紫外线老化的测试强度。依靠加速老化测试技术,经由提升环境应力水平再联合可靠性增长模型,在短时间内找出设备在极端条件下的潜藏失效情况。凭借这些测试数据,针对产品的结构以及电路展开持续改善工作,如给电路基板的表面增添防锈涂层,接口部分则加上防水密封装置,这样一来就使其能在复杂工况下长时间运行时表现出更强的稳定性和抵抗干扰的能力。

3.4 用户交互体验的迭代完善

用户交互体验不断改善的目标是通过改良操作流程并加强反馈机制,从而减轻学习难度和检测效率。技术难点集中在达成专业功能与简易使用的协调,以符合不同技能水平用户的多种需求,研发团队打破传统复杂界面的设计束缚,提出“一键式启动+智能化辅助”这种全新的操作形式:设备通电以后就进入待测状态当中,用户只需要轻轻按一下按钮就能完成全

部的控制过程(包含测试开始、参数调整以及结果储存),而且屏幕上会显示出详细的指引信息还有进度更新情况,在很大程度上缩减了非专业人士的操作负担量。为了保证直观性,项目组细致规划可视化展现方案,在动态曲线内部嵌入即时数值标注,并且借助色阶改变来体现潜在的风险级别高低状况。如此一来,使用者就能够很快获取关键数据解读内容。该系统借助差异化设计理念,给各种用户赋予不一样的交互方案,专业用户可通过高级配置界面调节检测灵敏度、报警阈值等关键参数,来契合特定的应用场景需求。研发团队创建起多维度的用户体验反馈体系,邀请电力运维人员和一般家庭用户参与到实际测试当中,并且把操作行为数据同用户的建议融合起来持续改良交互设计,改进按键触觉反应性能,加大振动提醒力度,缩减导航层级结构等,做到功能完备性与便捷性的协调统一,极大地提升设备运行效率,并明显改善终端用户的使用体验满意度^[8]。

4 结束语

便携式低压漏电检测装置已取得显著的应用成效。该产品创新采用非接触式传感技术,结合多级预警机制与模块化设计,辅以环境适应性强的硬件结构,成功打造出功能完备、性能稳定且操作便捷的检测设备。在实际应用中,该装置为低压配电系统漏电监测提供了高效解决方案,显著提升了系统运行安全性,有效降低了用电风险,展现出良好的实用价值与广阔的发展前景。

参考文献:

- [1] 刘以刚,刘晓,陈博,等.一种便携式低压台区联络合环创新装置研制[J]. 电力设备管理,2025(01):259-261.
- [2] 陶威,潘忠泉,杨欣欣,等.便携式低压钠灯电子镇流器设计[J]. 化学分析计量,2023,32(06):90-93.
- [3] 冯忠奎,高瑜,李阳,等.便携式低压配电台区漏电监测猫的研究与应用[J]. 农村电气化,2022(10):68-71.
- [4] 李少娟,唐楚凡,卢奕霖,等.便携式低压集抄运维管理装置研究[J]. 中国新技术新产品,2021(14):71-73.
- [5] 汤明珍.便携式颗粒物粒谱仪的性能评估与应用研究[D]. 北京:中国环境科学研究院,2023.
- [6] 李阳,冯忠奎,李国成,等.一种便携式低压空开综合测试仪的研制及应用[J]. 机电信息,2020(29):32-33.
- [7] 龚小燕,王浩,马晨.移动式低压计量运维现场培训考评装置推广应用探讨[J]. 中国电力教育,2020(05):48-49.
- [8] 高吉祥.低压台区检修用便携式接地桩[J]. 农村电工,2019,27(10):30.