

# 低压用电负荷检查与识别装置研究与应用

薄瑞霖 马梦岩 荣若飞 郭奉胜 韩冬

国网山东省电力公司东营供电公司 山东 东营 257092

**摘要:** 本文深入研究了低压用电负荷检查与识别装置的关键技术, 提出了一套高效、精准的系统设计方案。通过高精度传感器的选型与布局优化, 结合先进的数据处理与负荷识别算法, 实现了对低压用电负荷的实时监测与准确识别。本文还详细阐述了装置的实现过程, 包括硬件与软件的协同工作、系统集成与严格测试。最后, 通过实际应用案例验证了装置在提升电网管理效率、优化用电负荷分配等方面的显著效果, 为低压电力系统的智能化管理提供了有力支持。

**关键词:** 低压用电; 负荷检查; 负荷识别; 传感器; 数据处理; 算法研究

**引言:** 随着电力需求的不断增长和智能电网建设的加速推进, 低压用电负荷的精准检查与识别成为提升电网管理效率、保障供电质量的关键环节。传统的人工检查方法存在效率低、误差大等问题, 难以满足现代电力系统的管理需求。因此, 开发一种高效、精准的低压用电负荷检查与识别装置具有重要意义。本文旨在通过深入研究相关技术, 提出一种创新的解决方案, 为低压电力系统的智能化管理提供技术支持。

## 1 低压用电负荷检查与识别装置的系统设计

### 1.1 系统架构设计

系统架构设计遵循模块化与层次化原则, 以强化系统的可扩展性、可维护性及性能表现。系统由前端数据采集层、数据处理与分析层、通信传输层及后端管理与控制层四个核心层次构成。前端数据采集层精确捕捉低压电网的电流、电压等关键电参量; 数据处理与分析层则对原始数据进行深度处理、特征抽取及负荷识别; 通信传输层确保数据在各层次间的高效、可靠传输; 后端管理与控制层则通过用户交互界面展示分析结果, 并接收远程控制指令。

### 1.2 硬件设计

#### (1) 传感器选型与布局策略

传感器选型严格遵循高精度、宽量程、低噪声及强抗干扰能力标准, 选用先进的电流与电压传感器, 确保对低压电网微弱信号变化的精准捕捉。布局策略上, 采用网格化布局结合关键节点加密方式, 实现低压电网的全面覆盖与重点区域精细监测。同时, 优化传感器位置布局, 减少信号传输路径中的干扰与衰减, 提升数据采集的准确性与稳定性。

#### (2) 数据采集与处理模块设计

数据采集模块集成高精度A/D转换器, 实现模拟信号

至数字信号的快速转换, 并通过高速数据总线传输至处理单元。采用差分信号传输技术与数字滤波算法, 降低数据传输噪声与干扰。处理单元选用高性能DSP或FPGA芯片, 利用其强大的并行处理与可编程能力, 实现数据的实时处理与分析。采用数据预处理技术, 包括去噪、校准与数据压缩, 提升数据处理效率与准确性。

### 1.3 软件设计

#### (1) 负荷识别算法框架

负荷识别算法框架构建于先进算法与技术之上, 实现低压用电负荷的精准识别。框架包含数据预处理、特征提取、模型训练与测试及实时识别四个关键环节。预处理阶段, 清洗与整理原始数据, 去除异常值与噪声; 特征提取阶段, 采用时频分析、小波变换等方法提取负荷特性特征; 模型训练与测试阶段, 运用机器学习或深度学习算法构建识别模型, 并通过大量实验数据进行验证; 实时识别阶段, 部署训练模型, 对实时数据进行快速处理并输出识别结果。

#### (2) 控制逻辑与系统稳定性设计

控制逻辑设计旨在确保系统在复杂用电环境下的稳定运行与高效任务执行。设计多种控制策略以应对不同运行场景与异常情况, 包括数据采集过程中的保护机制、数据处理中的并行处理与容错技术、通信传输中的协议选择与加密技术等。同时, 进行全面稳定性测试与优化设计, 确保系统长期运行中的高性能与稳定性。

## 2 负荷识别算法研究

### 2.1 特征提取

负荷识别算法的核心在于特征提取, 其质量直接关系到后续识别模型的效能与精确度。针对低压用电负荷数据, 采用前沿的信号处理技术来萃取关键特征。首先, 通过时域分析方法, 对原始电流与电压信号进行深

入剖析,提取出包括均值、方差、峰谷值在内的基本统计特征。随后,利用频域分析技术,如快速傅里叶变换(FFT),揭示信号的频谱特征,这些特征有效反映了负荷的周期性波动与谐波构成。此外,引入时频分析手段,如小波变换(WT),捕捉信号在时间与频率维度上的局部动态变化,进一步提炼出更具辨识度的负荷特征。最后,结合负荷的功率属性,如有功功率、无功功率及功率因数等,构建出详尽且全面的负荷特征集,为后续的认识算法奠定坚实基础。

## 2.2 识别算法开发

在识别算法的开发过程中,基于已提取的负荷特征集,精选并优化适宜的机器学习或深度学习模型。首先,对主流分类算法(SVM、随机森林RF、神经网络NN等)进行全面评估,运用交叉验证等策略,筛选出最优算法框架。随后,针对选定的算法进行深度定制与优化。以神经网络为例,通过精细调整网络架构(层数、节点配置、激活函数选择等)、优化学习算法(如梯度下降法、Adam优化器等)以及集成正则化技术(L1/L2正则化、Dropout策略等),显著提升模型的泛化能力与识别精度。鉴于负荷数据的时序特性,特别探索了循环神经网络(RNN)及其高级变体(LSTM、GRU等)在负荷识别任务中的潜力与应用优势。

## 2.3 算法验证与评估

为确保负荷识别算法的有效性与可靠性,验证与评估环节至关重要。采用多元化的评估指标与验证策略,对算法性能进行全面而深入的剖析。首先,构建涵盖多种负荷类型与运行工况的测试数据集,确保数据的多样性与代表性。随后,运用准确率、召回率、F1分数等经典分类评估指标,量化评估算法的识别效果。同时,借助混淆矩阵、ROC曲线等可视化工具,直观展现算法的性能表现。在验证策略方面,结合留出法、交叉验证法等多样化方法,确保评估结果的稳健性与可靠性。最后,根据验证反馈,对算法进行持续的迭代优化,直至达到既定的识别精度与性能标准。

# 3 低压用电负荷检查与识别装置的实现

## 3.1 硬件实现

低压用电负荷检查与识别装置的硬件架构是支撑高效数据采集与精确负荷识别的基石。设计遵循高度集成化、低功耗与卓越稳定性的原则,采用模块化设计思路以促进未来的维护与升级。核心组件囊括精密传感器矩阵、高效数据采集与处理核心,以及稳定通信接口模块。

(1)精密传感器矩阵:选用具备超高灵敏度、宽动态响应范围及低噪声特性的电流与电压传感器,确保对

低压电网中微弱信号变化的精准捕捉。通过优化的传感器布局策略,有效减少信号传输路径中的干扰与衰减,提升数据采集的精确度与稳定性。

(2)高效数据采集与处理核心:集成顶尖的高精度模数转换器(ADC)与强大的数字信号处理器(DSP)或现场可编程门阵列(FPGA),实现模拟信号至数字信号的即时转换与高效处理。采用先进的差分信号传输技术与精细数字滤波算法,强力抑制噪声与干扰,确保数据处理的高精度与实时性。

(3)稳定通信接口模块:采用工业级标准的通信芯片,支持多种通信协议(Modbus、Ethernet等),构建稳定、高速的数据传输通道。集成高级数据加密与校验机制,保障数据传输过程中的安全性与完整性,防止数据篡改与泄露。

## 3.2 软件实现

软件系统是低压用电负荷检查与识别装置智能化的灵魂。设计遵循模块化、可扩展性与易维护性原则,涵盖数据采集与处理模块、负荷识别算法引擎及系统管理界面。

(1)数据采集与处理模块:精准控制传感器矩阵执行数据采集任务,并对原始数据执行预处理操作(如降噪、校准等)。采用先进的并行处理与异步执行策略,确保数据采集与处理的实时性与效率。同时,引入数据压缩与高效存储算法,减少存储资源占用,加速数据传输速度。

(2)负荷识别算法引擎:依托前沿的机器学习或深度学习技术,构建高性能的负荷识别模型。算法引擎集成多种识别策略与优化算法,能够自动适应复杂的负荷类型与多变的工况环境。采用先进的并行计算与加速技术,提升算法执行效率与识别精度,确保快速、准确地完成负荷识别任务。

(3)系统管理界面:提供直观、易用的图形用户界面(GUI),支持系统配置、状态监控、数据分析与结果展示等功能。界面设计注重用户体验,简化操作流程,提升用户满意度。同时,集成远程控制与故障诊断工具,方便用户进行远程操作与维护。日志记录与报警机制确保系统运行的稳定性与安全性,及时发现并处理潜在问题。

## 3.3 系统集成与测试

系统集成是将硬件与软件组件无缝融合成完整系统的关键步骤。在此阶段,需完成硬件组件的精密组装与调试、软件模块的深度集成与测试以及系统整体的联合调优。

(1)硬件集成与调试:依据设计方案精确组装硬件组件,执行严格的电气性能测试与信号完整性验证。确

保各组件间接口匹配、信号传输稳定可靠，为系统稳定运行奠定坚实基础。

(2) 软件集成与测试：将数据采集与处理模块、负荷识别算法引擎及系统管理界面集成至统一的开发环境中进行联合测试。验证各软件模块间的接口兼容性、数据交互正确性及功能完整性。通过模拟实际运行场景进行性能测试与稳定性验证，确保软件系统的可靠运行。

(3) 系统联合调优：在完成硬件与软件集成后，进行系统整体的联合调优。针对测试过程中发现的问题与不足进行针对性优化调整，提升系统的整体性能与稳定性。通过不断优化算法模型、调整系统参数及改进软件界面等方式，实现系统性能的最大化提升。

#### 4 装置的应用研究与效果评估

##### 4.1 应用场景深度剖析

低压用电负荷检查与识别装置的技术特性使其在多个关键领域展现出广泛的应用潜力。具体而言，其应用场景涵盖：

(1) 电力行业精细化运营：在电力系统中，该装置作为智能电网的核心组件之一，能够实时捕获并分析低压用电负荷的细微变化，为电力调度提供精确数据支持，优化资源配置，增强电网的灵活性与稳定性。

(2) 工业智能制造支撑：在工业4.0背景下，该装置助力工厂实现能源管理智能化，通过对生产设备用电负荷的实时监控与数据分析，提前预警潜在电力故障，保障生产连续性与效率，同时促进生产计划的动态调整与优化。

(3) 商业与民用建筑能效管理：在商业楼宇与住宅社区中，装置的应用促进了能源使用的透明化，通过精细化的负荷监测，实现能源的有效分配与节约，助力绿色建筑与可持续发展目标的实现。

(4) 能源政策制定与评估：政府及能源审计机构借助该装置的高精度数据，能够更科学地评估能源使用效率，为节能减排政策的制定与效果评估提供坚实的数据基础。

##### 4.2 应用效果深度评估

低压用电负荷检查与识别装置的应用效果显著，主要体现在：

(1) 供电效能与稳定性的显著提升：实时监测与预警机制有效降低了因负荷过载导致的停电风险，提升了供电系统的整体效能与稳定性。

(2) 电力资源配置的优化：基于大数据分析预测模型，装置助力实现电力需求与供应的精准匹配，减少了电力资源的浪费与闲置。

(3) 节能减排成效显著：在商业与民用建筑领域，

通过精细化能源管理，装置促进了能耗的显著降低，为实现碳中和目标贡献力量。

(4) 用户满意度提升：快速响应的故障定位与处理机制减少了停电时间，提升了用户对电力服务的满意度与信赖度。

(5) 经济效益与社会效益并存：装置的应用不仅为企业带来了直接的经济收益，如降低运营成本、提高生产效率等，还通过节能减排等举措产生了广泛的社会效益。

#### 4.3 用户反馈与技术迭代

为持续提升装置性能与用户体验，需高度重视用户反馈并积极推动技术迭代。具体措施包括：

(1) 软件界面与交互优化：采用先进的设计理念与技术手段，对软件界面进行持续优化，提升用户操作的便捷性与直观性。

(2) 数据处理与分析能力增强：加大对算法研发的投入力度，引入更先进的数据处理与分析技术，提高数据处理的精度与效率。

(3) 系统稳定性与安全性加固：实施严格的安全测试与加固措施，确保装置在复杂多变的环境下仍能稳定运行并保障数据安全。

(4) 应用场景与功能拓展：紧跟市场需求与技术发展趋势，不断拓展装置的应用场景与功能范围，满足用户多样化的需求。

(5) 建立高效用户反馈机制：构建多渠道的用户反馈体系，及时收集并处理用户反馈意见与建议，为装置的持续改进提供有力支持。

结语：本文深入研究了低压用电负荷检查与识别装置的关键技术，并成功设计、实现了一种高效、精准的装置。通过实际应用验证表明该装置在提升电网管理效率、优化用电负荷分配等方面具有显著效果。未来我们将继续深化研究与技术创新，为低压电力系统的智能化管理贡献更多力量。

#### 参考文献

- [1] 张伟, 王丽. 低压配电系统谐波治理与无功补偿技术研究[J]. 电气传动, 2022, 52(3): 34-38.
- [2] 杨帆, 周涛. 低压电力线载波通信中的信道建模与仿真分析[J]. 电力系统通信, 2023, 44(1): 1-6.
- [3] 刘刚, 张伟强. 低压配电系统智能化改造与升级策略研究[J]. 电气时代, 2023, (3): 45-48.
- [4] 郑浩, 陈晓丽. 低压电力线载波通信技术在智能家居系统中的应用[J]. 自动化与仪表, 2023, 38(4): 102-106.
- [5] 李静, 赵雷. 低压配电网故障定位与隔离技术研究进展[J]. 电气开关, 2023, 61(2): 1-5.