

基于物联网数据检测采集控制系统的智能塑壳断路器设计

陈士军 周浩 王以盾
温州正泰电器科技有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8591

[摘要] 在低压配电系统智能化升级需求下,传统断路器已难适配高效、精准、远程管控要求。基于物联网技术的智能低压塑壳断路器,可实时采集电力参数、远程交互控制,解决配电运维痛点,为构建智慧配电网、提升用电安全与能效提供关键支撑,具有重要研究与应用价值。在此背景下,本文首先对智能塑壳断路器的基本原理以及智能塑壳断路器的技术指标和功能要求进行分析,并详细阐述其操作流程说明,最后进行测试检验,以期能够为相关研究提供借鉴。

[关键词] 物联网技术; 智能低压; 塑壳断路器

[中图分类号] TM561; TP391

Design of an Intelligent Plastic-Enclosed Circuit Breaker Based on IoT Data Detection and Acquisition Control System

Chen Shijun Zhou Hao Wang Yidun
Wenzhou Chint Electric Technology Co., Ltd.

[Abstract] Under the demand for intelligent upgrades in low-voltage power distribution systems, traditional circuit breakers can no longer meet the requirements for efficiency, precision, and remote control. Intelligent low-voltage plastic-enclosed circuit breakers based on IoT technology can collect power parameters in real time and enable remote interactive control, addressing pain points in power distribution operation and maintenance. These breakers provide critical support for building smart power distribution networks and enhancing electrical safety and energy efficiency, making them of significant research and application value. Against this backdrop, this paper first analyzes the fundamental principles of smart plastic-enclosed circuit breakers, along with their technical specifications and functional requirements. It then elaborates on their operational procedures in detail and conducts testing and verification, aiming to offer valuable insights for related research.

[Key words] Internet of Things technology; smart low voltage; Molded Case Circuit Breaker

引言

智能变电站架构里,断路器属于重要设备,其重要作用就是实现配电网络控制中心电脑系统的有线通讯以及远距离连接,为低压配电系统增添了远程操控和数据交流的功能^[1]。按照实际应用需求并依据低压智能配电站的特点,创建起现场监督体系,就能实现对变电站的即时远程监测。一旦设备出现问题,会立即启动应急预案流程,为运维决策留出足够时间,明显改善变电站运作的安全性和稳定性。云计算技术发展速度很快,其应用范围也在不断扩展,云服务器的功能变得越来越全面,操作过程得到了改进,在此背景下,传统断路器在低压智能变电站中暴露出诸多不足之处,所具备的额定极限短路分断能力及额定运行短路分断性能均不能满足实际需要,给电力系统安全稳定运行埋下隐患。要想适应现代配电网络发展的趋

势,就需要研发出具有物联网技术特点的新一代智能化断路器产品。

1 智能塑壳断路器的基本原理

为改善我国低压配电系统的技术困境,此研究推出一种物联网技术与智能化塑壳断路器相互融合的新型设计思路,借助物联网来获得电力运作的相关数据,通过智能配变终端把数据实时发送到云端,完成配电台区监控中心的数据可视化体现及远程控制,还具有保存了历史数据并可加以查询及细致分析的功能。

物联网环境下智能断路器硬件架构设计要按照模块化原则,依靠软件架构改良提升核心处理器的控制能力,保证各个功能模块协同运作,再借助物联网技术实现对设备状态的监测,电气参数的显示,远程操控以及位置追踪等智能化需求。

图1是依靠物联网技术的智能塑壳断路器工作原理，虚线框内的智能控制器包括电能计量电路，保护逻辑电路，通信接口电

路，定位装置，智能识别单元以及电源管理模块等六大主要部分，共同构成了系统的主要结构框架。

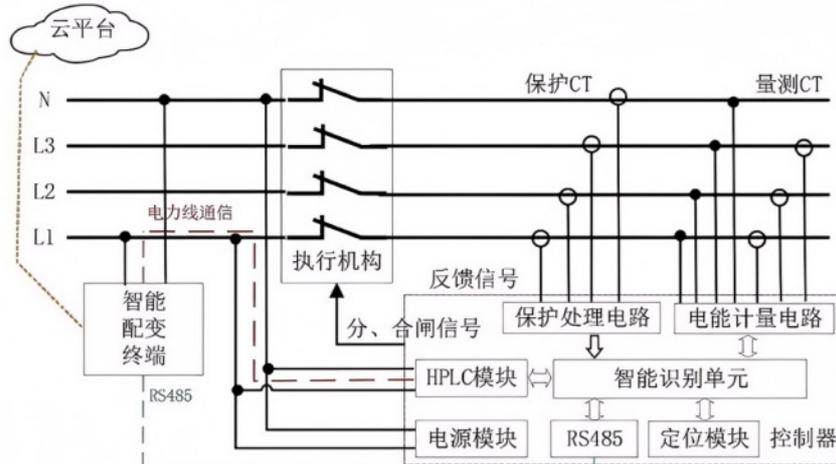


图1 智能塑壳断路器的基本原理图

2 物联网数据采集与控制关键技术研究

2.1 感知层技术

感知层由各类传感器组成，采集断路器运行时产生的各种电气参数和环境参数。电流传感器采用霍尔效应高精度传感器，能检测到0-1000A的电流变化，精度误差 $\pm 1\%$ ；电压传感器使用电阻分压原理设计输入范围为0-1000V，输出标准信号为0-5V；温度监测装置选用DS18B20数字温度传感器，在断路器触头、接线端子处安装此设备以测温，其工作温度区间从 -55°C 到 $+125^{\circ}\text{C}$ ，精确程度达到 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。传感器经由模拟前端电路（AFE）做信号调理，包含滤波，放大量化和阻抗匹配等处理，最后经过ADC模块转换成数字信号。传感器选型要顾及测量精确度，环境适应能力，功耗特性以及长时间的稳定情况，在断路器应用时还要留意电磁兼容性（EMC），保证传感器在强电磁干扰环境下仍然能够正常运作，全部传感器采用低功耗设计，在未采集期间会进入到休眠状态，从而减小系统的整体能耗。

表1 智能断路器通信技术对比

通信方式	传输距离	速率	功耗
ZigBee	10-100m	250kbps	低
Wi-Fi	50-200m	10-100Mbps	中高
RS-485	$\leq 1200\text{m}$	10Mbps	低
4G/5G	全覆盖	10M-1Gbps	中高

2.2 网络层技术

网络层把感知层采集到的数据传送到处理中心，并且还要转发控制指令给执行机构。智能断路器系统采用的是多模通信结构，有线和无线结合在一起使用，能够兼顾可靠性和灵活性的要求。有线通信大多采用RS-485总线以及以太网这两种方式来完成信息传输任务。断路器属于固定安装类型的产品，在实际应用过程中具备比较稳定的性能表现，并且对于干扰因素有着较强的抵御能力。至于无线部分，则是以ZigBee技术和Wi-Fi技术为主来进行相应工作内容开展的。在构建设备之间相互沟通联系时，可借助于ZigBee搭建出一个局部范围内的网络环境，并且具有低能耗的特点，还支持自动组建网络功能得以实现。而Wi-Fi则主要是用来在与云端平台进行通讯交互的过程中起到桥梁的作用。通信协议方面，选用MQTT协议作为主要的通讯协议，协议采用发布/订阅模式，适合物联网设备进行轻量级的数据传输。数据加密使用TLS/SSL协议来保障，在传送过程中确保数据的安全性及完整性。为了降低通

信延迟，网络层实现了数据压缩功能，减少传送的数据量，从而提升实时性。

2.3 应用层技术

应用层是物联网数据检测采集控制系统的中枢，主要包含三个功能模块：一是数据存储；二是分析处理；三是应用服务。数据存储采用时序数据库（InfluxDB）与关系数据库（MySQL）结合的方式进行混合存储。时序数据库用来保存大量的监测数据，而关系数据库则用于存放设备信息、用户设置以及事件记录等结构化的数据。在分析处理部分集成了多种智能算法如故障诊断算法、负荷预测算法和能效分析算法等等，算法都是根据历史数据和实时数据来训练完成的，可以对断路器运行状态做出判断，并且还能预估可能出现的问题并优化控制策略，在应用服务方面提供了远程监视、告警管理及维护计划等功能性内容并且支持Web端与移动端访问方式以方便给使用者带来更加便捷的操作体验。

3 传统塑壳断路器的功能与智能化需求分析

3.1 传统断路器的原理与功能

3.1.1 工作原理

短路保护机制。电路出现短路情况，电流会瞬间达到额定值的10-100倍，断路器内部电磁脱扣器线圈就会产生强大的磁场，并推动衔铁迅速撞击机械脱扣机构，在短短的10-20毫秒内完成电路分断，反应速度能够有效地防止短路电流产生的电弧烧毁设备或引发火灾事故；工业电机启动、大功率用电设备供电等这些存在较高短路风险的地方就特别适用这种类型的装置。

过载保护。电路出现多台设备同时启动造成电流超过额定值但未达到短路水平时，电流经双金属片形成焦耳热，使双金属片因受热膨胀系数不同而弯曲变形。当变形量达到一定数值后，推动脱扣机构动作。其反应时间与过载程度呈反比关系：当过载量为额定值的1.2倍左右时，动作时间为大约1小时；当过载量达到额定值6倍以上时，则可以在几秒钟内完成。这样既可防止短暂的过载误动作，又可以防止长时间过载造成的线路绝缘老化、电缆发热损坏现象发生。

3.1.2 功能

a. 过载保护：双金属片热变形实现，防止线路、变压器、电机等设备长时间过电流运行导致绝缘层碳化、绕组烧毁，是配电系统最基本的保护需求；

b. 短路保护：通过电磁脱扣器快速切断瞬时大电流，防

止短路电弧击穿设备绝缘,造成爆炸、火灾,保障配电柜、电缆等重要设施的安全;

c. 欠电压保护:部分带有欠压脱扣器的 MCCB,当电网电压降到额定值 70%以下时,脱扣器线圈磁力变弱,弹簧推动脱扣机构动作,切断电路——此功能可保护冰箱、空调、精密仪器等对电压敏感的设备,避免低电压下电机堵转、设备运行异常。

3.2 智能化功能需求

3.2.1 全息感知能力需求

传统断路器只能依靠机械指示来判定是否处于分合闸状态,不能知道电路的运行情况,智能断路器要达成参数监测。除了基本的电流、电压外,还需要对功率、功率因数、电能、温度以及电能质量等进行检测。实时采集这些参数,可以准确把握回路负载变化、设备发热情况、电能质量问题,从而给后续故障诊断、能效改善提供数据基础,避免“盲态运维”。

3.2.2 远程控制功能需求

传统断路器需要人工到现场操作分合闸,在大型工业园区、高层建筑等场所,运维人员要跑多个配电房,效率低下,而且一旦出现故障不能及时隔离故障回路——智能断路器需要突破这道“墙”。

3.2.3 故障预警与诊断需求

利用历史运行数据形成故障特征模型。如果出现电流谐波含量持续大于 5%、触头温度高于 80℃、功率因数长期低于 0.8 的情况,则视为异常状况。此时会经由声光报警手段,发送短信提醒或在平台上面实施推送等形式发出警报信息。一旦发生故障,则可以凭借对电流波形图以及温升曲线等参数加以分析判断故障类型是属于短路还是过载,亦或是触头过热,并且能够定位出具体哪一个回路上发生了问题。

需求价值,以商业综合体为例,若智能断路器监测到某商铺回路电流谐波超标进行预警,则运维人员可先排查该商铺的变频设备,防止谐波损坏其他设备;当有短路故障发生时,系统可立刻诊断出是哪一回路,并推送给运维平台给运维工作人员推送信息,无须逐个排查设备,即可节省很多处理时间。

3.2.4 能效管理功能需求

在“双碳”目标的推动下,企业和建筑需要对能耗进行管控,但传统的断路器并不能提供能效数据,智能断路器要担当起“能耗监测-分析-优化”的角色;

实时采集用电量、功率因数以及分时用电量数据来生成能效分析报告,从而发现能耗浪费点,比如某回路晚上没人却还有不小负载,是某个电器没有关掉之类的现象。结合具体负载特性给出节能建议,譬如针对电机运行频率进行调整或对不同灯光的开关时间实施改善等操作。

工业企业通过能效数据调整生产排班,比如让高能耗设备运行在电价低谷时段,降低电费开支;商业建筑能够对每个楼层、每片区域的能耗进行监测,并据此采取针对性的节能措施来达到绿色建筑的设计目标的要求。

4 测试验证

4.1 保护性能验证

依据《智能控制器技术规范》里“瞬时故障保护时间需小于或等于 20 毫秒规定,通过实验数据予以证实,研制出的样机在短路防护反应速度方面符合预期设计要求^[5]。该装置使用“高精度电能芯片”,保护机制与计量功能分离,提高测量精度;内部“在线电流校准模块”保证数据采集误差不超过±1%,过压保护系统具有很高的准确度。

4.2 通信能力验证

HPLC 传输距离不低于 500 米,丢包率小于 0.1%时,此装置选用 HPLC 和 RS485 双模通信结构,实验数据显示,有着良好的数据传输性能和很低的误码率,可以很好地满足网络连接的需求,而且带有本地局域网中继功能和断电续传功能,从而加强了远程通信的稳定性和可靠性。

4.3 定位精度验证

北斗卫星导航系统在亚太区域的定位精度已经稳定在≤5 米的技术标准之内,现有的研究数据显示,在实际使用过程中,其定位误差远优于预期设计值,单点定位 (SPP) 模式下的定位精度大约为 10 米,借助差分增强技术 (RTK) 可以将其提高到厘米级水平。此次实验设备没有使用差分算法,但仍然表现出与亚太地区相同精度的≤5 米定位性能,考虑到纬度分布和环境因素的影响,此次测试结果可能会比预期更好。

4.4 拓扑识别验证

台区识别精度评估显示,在蒙东地区配电物联网试点运行期间,所用的台区拓扑识别技术达到 100%准确率,而且在故障定位与线损治理上有着明显的优势。本研究设计的原型设备识别准确率为 98.7%,其技术水平已经接近行业先进水平,无法做到全量程无误识别的主要原因是试验环境复杂以及外部干扰因素。

4.5 极端环境验证

极端环境适应性验证是保证设备在复杂工况下稳定工作的关键步骤,涉及气候耐受性与电磁兼容性测试,就温度适应性而言,设备要符合-40℃到+70℃的宽温区间运行需求,在高湿环境下,比如 100%相对湿度,也要维持性能稳定,防护等级至少达到 IP54 标准,还要经受住抗风沙,抗紫外线辐射,抗盐雾腐蚀,抗湿热影响,抗霉菌生长等多方面环境应力考验,从而应对不同地理区域的自然条件。

5 结束语

综上所述,本文围绕基于物联网技术的智能低压塑壳断路器设计展开研究,明确了其基本原理,确定了技术指标与功能要求,详细阐述了操作流程。该设计通过物联网实现数据实时传输与远程控制,结合多重保护功能及优化操作逻辑,提升了配电系统安全性与运维效率。未来可进一步优化通信稳定性与边缘计算能力,使其在智慧配电领域发挥更大作用,为低压配电系统智能化发展提供更有力的技术支撑。

[参考文献]

- [1]张磊.基于物联网技术的智能低压塑壳断路器设计[D].厦门理工学院,2022.
- [2]王飞,田乐.基于物联网的低压塑壳断路器设计[J].中国科技成果,2019(24):3.
- [3]张晓锋.一种基于物联网数据检测采集控制系统的智能塑壳断路器:CN202121484236.9[P].CN215451295U[2025-07-17].
- [4]沈苗苗,王洁云,蒋伟.低成本用户侧电流测量传感器设计[J].物联网技术,2024,14(11):17-22.
- [5]叶金,叶光岩,徐晶,等.一种基于智能物联网塑壳断路器的方法及装置:CN202010355374.0[P].CN111446703A[2025-07-17].

作者简介:陈士军(1975—),男,汉族,大专学历,研究方向为低压电器。