

基于跨平台多源数据融合的复杂低压台区 拓扑识别方法研究

李轩,董永乐,海鸿业,金钊

(内蒙古电力科学研究院,内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 智慧电网背景下,对配网的管理水平提出了更高要求,传统静态模型无法适应精细化线损和实时调度等应用需求。基于低压电网拓扑识别和宽带电力线载波等技术,借助智慧物联网感知监测终端,提出了基于跨平台多源数据融合的复杂低压台区拓扑识别方法,并进行系统平台的搭建。针对巴彦供电分局下辖小区,对系统平台进行应用实验,实验表明,所提方法能够对电网设备的状态和负荷情况进行多维度交叉分析,形成可视化且适用于整体运维的平台,具有较好的实用性。

关键词: 多源数据融合;低压台区;配电自动化;拓扑识别

中图分类号: TM46;TM28 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqed23525

Research on Topology Identification Method of Complex Low-voltage Platform Based on Cross Platform Multi-source Data Fusion

LI Xuan, DONG Yongle, HAI Hongye, JIN Zhao

(Inner Mongolia Electric Power Research Institute, Hohhot 010020, Nei Mongol, China)

Abstract: Under the background of smart grid, higher requirements are put forward for the management level of distribution network, and the traditional static model can not meet the application requirements of refined line loss and real-time scheduling. Based on low-voltage power grid topology identification and broadband power line carrier technology, with the help of smart Internet of things (IOT) sensing monitoring terminal, a complex low-voltage platform topology identification method based on cross platform multi-source data fusion was proposed, and the system platform was built. Aiming at the district under Bayan power supply bureau, the application experiment of the system platform was carried out. The results show that the proposed method can carry out multi-dimensional cross analysis on the state and load of power grid equipment, and form a visual and suitable for the overall operation and maintenance platform, which has good practicability.

Key words: multi-source data fusion; low-voltage platform; distribution automation; topology identification

低压配电网处于电力系统的末端,具有分布广泛、规模庞大、设备类型众多、网络连接多样等显著特点^[1]。随着自动化配网、用电信息采集等应用系统的推广应用,影响电力需求的因素逐渐增多,基于人工经验的传统配电网静态模型及调整模式工作效率低^[2],不能全方面满足配电网精细化线损等高级应用实际需求。随着智慧物联网的发展,智能电网对配网精细化管理水平提出了更高要求。同时,从多源跨平台海量数据中提取的负荷数据、遥信数据,可以为配电网模型调整、电网运行调度提供支持^[3],可以进一步提高决

策的效率和有效性。

在配电网系统中,电力自动化系统的应用既提高设备的使用寿命,又保证其安全运行^[4]。配电台区是智能配电网的重要一环,对台区内输电质量、供电可靠性和运行成本控制等方面带来了新的挑战。低压配电台区对于能够实现可视化监测、支持运维一体化的管理平台的需求不断增加。因此,结合当前拓扑识别技术的发展现状,以智慧物联网感知监测终端为手段,提出了基于跨平台多源数据融合的复杂低压台区拓扑识别方法,实现不同平台和部门之间的数据共享和业务融合。

基金项目: 内蒙古电力(集团)有限责任公司科技项目(2020-02)

作者简介: 李轩(1989—),男,硕士,工程师,Email: 747578274@qq.com

1 基本技术介绍

1.1 宽带电力线载波技术

载波技术与电网拓扑分布紧密相关,对户变拓扑关系自动识别有着得天独厚的优势。宽带电力线载波通信网络则是以电力线作为通信媒介,实现低压电力用户信息传输、处理和交互的通信网络。与传统载波技术相比,宽带电力线载波(high power line communication, HPLC)技术具有大带宽和高传输速率等特点,可以满足更高的通信要求^[5]。通过使用HPLC技术,能够实现用电信息数据的全天候不间断传输,通过信息获取、台区识别和相位识别等功能,为大数据分析提供支持。

1.2 边缘计算

边缘计算是指在靠近物体或数据源头的一侧,通过本地设备实现控制,在边缘计算层完成处理过程^[6]。该方法极大地提升运算效率,减轻云端的负荷,在边缘端解决实际需求。通过软件定义,实现终端硬件资源与应用的深度结合,在无需更换硬件的情况下,满足配电台区多样化的应用需求,拓宽了终端功能应用范围。在终端侧增加对边缘计算的层级,实现采集数据的本地处理,与云端大数据应用协同,极大提升了配电网算力。

1.3 拓扑识别

低压台区拓扑是智能电网建设的基础,通过拓扑关系的准确把握,能够进行台区线损精准计算、三相不平衡治理和故障区间判断等精益化管理。然而低压台区存在用户多、结构复杂和投入不足等遗留问题,使得电网运维变得十分困难。

低压拓扑错误主要表现为3个方面:“户—变”对应关系错误,档案划分错误;“户—相”关系不准,用户电表所在相位不对或者缺少;“户—线”(即用户与分支线)关系缺失,当台区出现故障时,无法快速准确判断故障和停电区间。

为了校验和修正拓扑错误,电力公司的传统做法是:人工记录并更新拓扑数据,进行实地巡测。依照低压台区线路的分布和走向,利用手持设备逐段进行人工排查,这种做法存在巡检效率低和人力成本高等缺点。

2 复杂低压台区拓扑识别的方法实现和平台设计

2.1 方法实现

传统台区拓扑识别方法主要有人工实地识

别和台区设备识别等方法。而随着数据规模的不断扩大,利用数据分析方法成为拓扑识别的新发展方向。

本文采用基于大数据算法的分段拓扑识别方法,分别在变压器的出线、分支箱的出线和电表箱的进线位置进行电流监测,从而逐级算出父节点和子节点。拓扑识别监测的具体识别如图1所示。

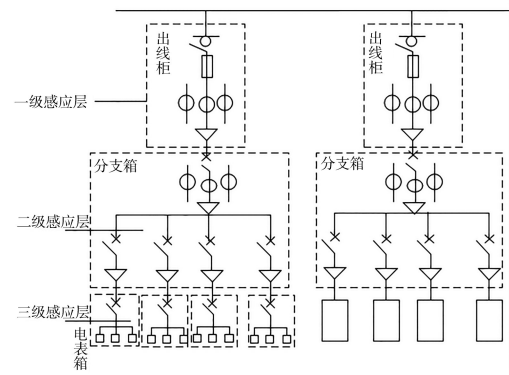


图1 拓扑识别监测方法

Fig.1 Topology identification and monitoring method

2.1.1 数据采集

采集的对象包括出线柜、分支箱的出线电流有效值和电表箱的进线电流有效值。

2.1.2 出线柜与分支箱拓扑识别

设台区下所有采集电流的合集为 $S = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_k\}$, 对每个分支箱采集的电流进行求和, 形成合集 $S' = \{I'_1, I'_2, I'_3, \dots, I'_n\}$, 其中最小值记为 $I'_{\min}$ 。在合集 S 中删除分支箱分项采集电流值以及所有小于 $I'_{\min}$ 的电流值, 形成新的合集 $S_1 = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_m\}$ 。

将 S_1 中每个值与 I'_1 进行求差, 根据差值取出最小的3个值记为 $\Delta I_{(1)}^1, \Delta I_{(2)}^1$ 和 $\Delta I_{(3)}^1$ 。再将 S_1 中每个值与 I'_2 进行求差, 根据差值大小取出其中最小的3个值记为 $\Delta I_{(1)}^2, \Delta I_{(2)}^2$ 和 $\Delta I_{(3)}^2$, 重复以上过程。

采集间隔选择为 15 min, 每天可采集 96 个点, 求取 $\Delta I_{(1)}^n, \Delta I_{(2)}^n, \Delta I_{(3)}^n$ 的平均值 $\overline{\Delta I_{(1)}^n}, \overline{\Delta I_{(2)}^n}, \overline{\Delta I_{(3)}^n}$, 再根据下式求取均方差:

$$\sigma(\Delta I_{(1)}^n) = \sqrt{[\sum_{i=1}^n (\Delta I_{(1)}^i - \overline{\Delta I_{(1)}^n})^2] / n} \quad (1)$$

$$\sigma(\Delta I_{(2)}^n) = \sqrt{[\sum_{i=1}^n (\Delta I_{(2)}^i - \overline{\Delta I_{(2)}^n})^2] / n} \quad (2)$$

$$\sigma(\Delta I_{(3)}^n) = \sqrt{[\sum_{i=1}^n (\Delta I_{(3)}^i - \overline{\Delta I_{(3)}^n})^2] / n} \quad (3)$$

根据均方差中最小值确定该分支箱对应的上级出线柜(或分支箱)。

根据上下级关系, 取某一时该分支箱进线电流值和对应上级电流值, 若上级电流值为某分

支箱分项电流值,则判定两个分支箱级联;若上级电流值不属于任一分支箱分项电流值,则判定上级为出线柜。

2.1.3 分支箱与电表箱拓扑识别

根据分支箱与出线柜上下级关系,在合集 S 中删除所有分支箱对应的上级出线柜(或分支箱)电流值,形成集合 $SS = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_k\}$ 。取任意2个值的差值形成集合 $SS_1 = \{I_{11}, I_{13}, I_{14}, \dots, I_{kk-1}\}$ 。根据采集频率,求取 SS_n 中每个值的均方差,根据均方差中最小值确定分支箱出线与电表箱的上下级关系。即若 SS_1 中 $\sigma(I_{13})$ 最小,则 I_1 和 I_3 存在上下级关系。

2.1.4 电表箱与电表拓扑识别

电表箱与电表拓扑通过 II 型集中器进行识别。

2.1.5 算法修正

在一进多出的分支箱中进线电流不等于出线电流有效值之和,若简单考虑家庭用户中家用电器功率因素,可近似将出线电流值有效值相加作为进线电流有效值的参考值,但与真实有效值存在误差,误差小于 2.6%。

由于分支箱出线与电表箱进线的一一对应关系,通过“和差法”算出的分支箱与电表箱的上下级关系是基本准确的。

结合电表采集的单用户功率因素、电流值以及电表箱与电表拓扑关系,可以计算出该时刻用户电流的矢量值,逐步推算分支箱出线电流矢量值,通过各出线电流矢量值,进而获取更精确的分支箱进线电流有效值,利用该值与出线柜出线电流进行比较,进而对拓扑结果进行修正,如图 2 所示。

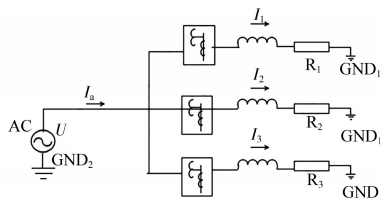


图2 电路示意图

Fig.2 Circuit schematic

图 2 中,通过电表测量可得: $P_1 = UI_1 \cos \varphi_1$, $Q_1 = UI_1 \sin \varphi_1$; $P_2 = UI_2 \cos \varphi_2$, $Q_2 = UI_2 \sin \varphi_2$; $P_3 = UI_3 \cos \varphi_3$, $Q_3 = UI_3 \sin \varphi_3$ 。其中, P_1, P_2, P_3 为由电表直接测量得到的有功功率值; Q_1, Q_2, Q_3 为无功功率值,可以通过电表测量的电压 U , 电流 I 和功率因数计算获得。

根据上述公式,可根据视在功率获得电表箱

进线电流有效值 I_a 为

$$S_a = UI_a = \sqrt{(P_1 + P_2 + P_3)^2 + (Q_1 + Q_2 + Q_3)^2} \quad (4)$$

$$I_a = \sqrt{(P_1 + P_2 + P_3)^2 + (Q_1 + Q_2 + Q_3)^2} / U \quad (5)$$

在此基础上,电表箱内无需安装电流传感器,在分支箱和出线柜安装电流传感器即可实现拓扑的自动识别。

2.1.6 拓扑呈现

通过台区的总监测终端、分支监测终端和分支监测单元采集到监测,分别获取台区总表、分支箱和电表箱侧的电量、电流和电压,通过上述算法,根据子节点的电流、电压和父节点的电流、电压之间的关系,逐步判别出子节点和父节点,并通过一定量的数据积累验证,从而理清台区到分支箱、分支箱到表箱之间的关系,如图 3 所示。

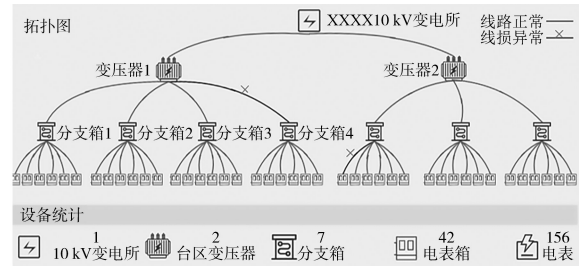


图3 分段拓扑图

Fig.3 Segmented topology diagram

2.2 平台搭建

针对台区的拓扑识别重点是建设物联管理平台和边缘网关,实现各业务采集终端、传感器和智能终端的数据统一采集和分发使用^[7]。对第三方应用和业务,系统提供必要的数据服务。在台区应用系统中,对数据进行分析建模,生成台区拓扑图,同时可在拓扑图上延伸数据分析、线损精准分析、故障精准定位和主动巡检等功能。

在总体技术架构中,主要包含如下方面:

1) HPLC 通信: I 型集中器、II 型集中器、分支线路监测终端、末端感知终端等将数据通过电力线传送至边缘网关。

2) 边缘网关: 边缘网关提供常规终端的接入、设备协议及设备数据分析等能力,通过消息队列遥测传输 (message queuing telemetry transport, MQTT) 协议等上报至物联管理平台^[8]。

3) 物联管理平台: 提供统一连接管理、设备管理、数据处理、应用管理等,对消息进行处理并将其安全可靠地转发至上层服务体系。

4)数据交互:包括数据采集、命令控制、设备管理、应用管理、安全认证等。

5)算法:拓扑识别算法。

边缘网关在功能架构上分硬件层、操作系统层、基础功能层和边缘服务层。具体来说,硬件层包括设备唯一标识、可信计算模块等功能;操作系统层包括系统监测、接入安全检测、应用隔离和可信度量等功能;基础功能层包括子设备接入、物模型管理、消息队列等功能,支持通过系统应用进行系统管理,实现边缘计算框架;边缘服务层包括流计算和规则引擎等功能,并支持云边协同。在边缘物联代理网关进行IP地址配置、端口、数据发送频率、串口波特率、采集设备信息和网关时间设置等操作。分支监测单元采集各电表数据,采集数据包含设备ID(电表号)、三相电流和电压、有功功率和无功功率、视在功率、功率因数和用电量等。通过采集的数据计算分析判断出台区拓扑关系并输出给平台。

物联管理平台支持对智能业务终端、边缘网关进行统一监视、配置和管理,支持算法模型的导入和参数自训练,对采集的数据进行标准化处理,构建开放的应用生态。同时,支持存量业务系统的数据接入等功能。物联管理平台是基于微应用服务实现的,架构如图4所示。

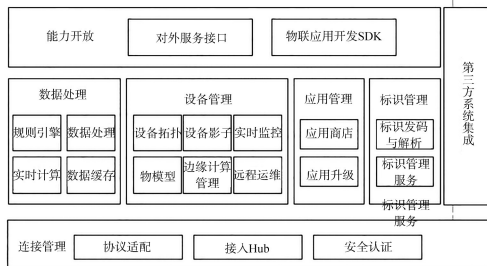


图4 物联管理平台技术架构

Fig.4 IOT management platform technical architecture

台区具体监测方案是通过在低压台区侧进行台区出线侧监控、分支箱出线监控和表箱进线侧监控。分段监测示意图如图5所示。

结合上述检测原理和实际应用,提出具体的实施方案,分别是:

1)分别在出线柜的出线、分支箱的出线和电表箱的进线位置安装电流传感器,以15 min频率采集相关数据,通过HPLC通信模块把相关信息上传至边缘代理装置;

2)传感器分为一级、二级和三级传感器,随着层级增加,传感器级别分类也随之增加,目的

是为了辅助确认传感器的父节点;

3)算法模型理论是每一条链路的两边都加装传感器装置,传感器装置采集的电压、电流存在偏差。将所有采集的测量点的电压、电流值的任意两个点做减法,如果那个差值是最小值,就认为是同一个链路,结合传感器的点位信息和级别,判断出父节点和子节点;

4)把相关算法模型做成APP形式,下发至边缘代理装置中,装置计算完成后,上报平台;

5)由于集中器也是通过HPLC通信方式与边缘代理装置通信,所以边缘代理装置需要设置HPLC相关轮询机制,避免发生通信冲突^[9]。

通过以上实施方案,采集包括台区侧、分支箱侧、表箱侧的数据,通过大数据分析和拓扑算法模型,计划台区各节点的关系,从而绘制出台区拓扑。

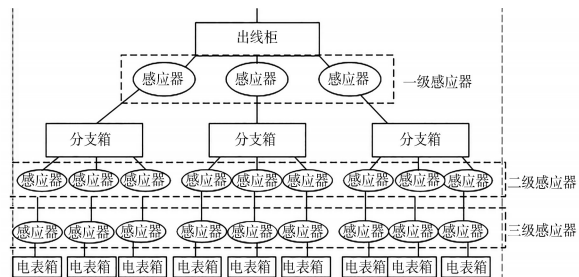


图5 分段监测示意图

Fig.5 Schematic diagram of segment monitoring

3 平台应用

本文选取巴彦供电分局,临河东郊220 kV变电站,921东园1回主干下的新源小区3号公用箱变作为试点应用台区。新源小区共有3个箱变,其中3号公用箱变覆盖新源小区1#~4#居民楼及相应的公共用电,该台区下有3个分支箱,但分支箱下覆盖的具体居民楼资料缺失,无法判断。

通过台区监测设备实现载波信号的发送和回传,系统终端存储和描述组网内部的拓扑数据,并自动上传最新的拓扑数据。系统主站利用组网测量点属性配置表和组网路由关系表存储和描述终端上传的原始拓扑数据,并自动计算统计电表拓扑的变更情况,及时更新数据库中存储的原始拓扑数据。

小区主要存在以下问题:

1)小区内户变关系不清晰,台区到分支箱、分支箱到户表的图纸缺失,无法判断各分支对应的楼栋和户表;

2) 现有低压台区的采集数据无法实现拓扑自动发现,难以实现故障的精确定位,不利于故障的及时排查;

3) 小区老旧,部分电表在一楼车库,现场查看,车库基本都上锁,对后续挂网带来极大不便,需要协调。

通过系统平台,可以读取对台区侧、分支箱侧、表箱侧的数据。根据上述数据的关联,最终得到实时准确的台区拓扑。“921东园1回主干”中“新源小区3号公用箱变”的台区拓扑如图6所示。

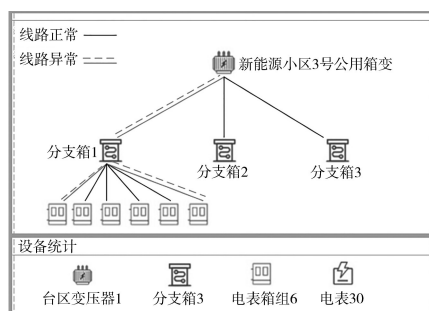


图6 台区拓扑

Fig.6 Topology of station area

按现场设备及数量情况,拓扑图主页面展示从变压器到电表箱的层级。在拓扑图中,上方图例显示线路设备当前状态,分为线路正常和线损异常两类,使用不同线条加以区分;中部显示的是台区主拓扑图;下方显示各类型设备图标,包括台区变压器、分支箱、电表箱组和电表。

4 结论

本文通过智慧物联网感知监测终端,结合HPLC宽带电力线载波和拓扑识别等关键技术的使用,实现了跨平台多源数据融合的低压台区拓扑识别。同时,能够实现低压台区各节点电压、电流、功率和相位拓扑等运行信息的实时感知识别。

通过该项目的应用,使得各个层次数据之间的关联分析更为密切,设备负荷数据的变化与拓扑联动,提高了单位时间内线损统计等各项工作的精益化水平。基于站、线、用户等多个层次的拓扑和负荷数据信息,对电网设备的状态和负荷情况进行多维度、交叉分析,使从业人员能够更加直观地掌握目前配电网拓扑现状。

参考文献

[1] 冯人海,赵政,谢生,等. 基于主成分分析和凸优化的低压配电网拓扑识别方法[J]. 天津大学学报(自然科学与工程技术版), 2021, 54(7): 746-753.

Feng R H, Zhao Z, Xie S, *et al.* Topology identification for low voltage network based on principal component analysis and convex optimization[J]. Journal of Tianjin University (Science and Technology), 2021, 54(7): 746-753.

[2] 李怡萌,王茜,王春梅,等. 基于智能终端单元的分布式配电网静态安全分析[J]. 计算机与数字工程, 2017, 45(10): 1940-1944, 1969.

Li Y M, Wang Q, Wang C M, *et al.* Static security analysis of distributed distribution network based on intelligent terminal unit[J]. Computer & Digital Engineering, 2017, 45(10): 1940-1944, 1969.

[3] 周立栋. 基于改进混沌粒子群算法的多源微网优化运行模型[D]. 保定: 华北电力大学, 2018.

Zhou L D. The optimized operation model of multi-sources micro-grid based modified chaos particle swarm optimization algorithm[D]. Baoding: North China Electric Power University, 2018.

[4] 萧新敏. 浅谈电力自动化系统与10 kV配电网运行管理[J]. 技术与市场, 2021, 28(2): 177-178.

Xiao X M. Discussion on power automation system and operation management of 10 kV distribution network[J]. Technology and Market, 2021, 28(2): 177-178.

[5] 薛晓慧,郭志华,黄超,等. 基于HPLC拓扑自动识别技术的营配智能运维系统设计[J]. 信息通信, 2020(10): 58-60.

Xue X H, Guo Z H, Huang C, *et al.* Design of intelligent operation and maintenance system based on HPLC topology automatic identification technology[J]. Information & Communications, 2020(10): 58-60.

[6] 江友华,易罡,黄荣昌,等. 基于云-边融合的变压器全息状态监测与评估系统设计[J]. 上海电力大学学报, 2021, 37(3): 226-230.

Jiang Y H, Yi G, Huang R C, *et al.* Transformer condition monitoring system and application based on the cloud-edge fusion[J]. Journal of Shanghai University of Electric Power, 2021, 37(3): 226-230.

[7] 王日宁,武一,魏浩铭,等. 基于智能终端特征信号的配电网台区拓扑识别方法[J]. 电力系统保护与控制, 2021, 49(6): 83-89.

Wang R N, Wu Y, Wei H M, *et al.* Topology recognition method of distribution network based on intelligent terminal characteristic signal[J]. Power System Protection and Control, 2021, 49(6): 83-89.

[8] González-Zapata A M, Tlelo-Cuautle E, Cruz-Vega I, *et al.* Synchronization of chaotic artificial neurons and its application to secure image transmission under MQTT for IOT protocol[J]. Nonlinear Dynamics, 2021, 6: 4581-4600.

[9] Luo Dan, Xiao Deyong, Zhang Xudong, *et al.* Design and implementation of HPLC communication module in smart grid[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2020, 1738(1): 23-25.

收稿日期: 2021-05-19

修改稿日期: 2021-07-13