

基于通信技术的电力计量主站采集链路监测方案研究

田卓璐 张倩

呼和浩特供电公司 内蒙古呼和浩特 010000

【摘要】针对智能电网电力计量主站数据采集链路面临实时性、高可靠性等技术挑战,提出一种基于多源通信技术的电力计量主站采集链路监测方案。通过系统性介绍通信技术,构建分层监测结构,结合LoRa、5G等多技术协同传输,在线监测、诊断电力计量主站状态。结果表明,该方案能够提高数据传输效率,满足电子计量主站采集链路监测要求。

【关键词】通信技术; 电力计量主站; 采集链路; 监测方案

Research on Monitoring Scheme of Power Metering Main Station Acquisition Link Based on Communication Technology

Tian Zhuolu Zhang Qian

Hohhot Power Supply Company, Hohhot, Inner Mongolia 010000

【Abstract】Aiming at the technical challenges such as real-time performance and high reliability faced by the data acquisition link of the main station of power metering in the smart grid, a monitoring scheme for the acquisition link of the main station of power metering based on multi-source communication technology is proposed. By systematically introducing communication technologies, constructing a hierarchical monitoring structure, and combining the collaborative transmission of multiple technologies such as LoRa and 5G, the status of the main power metering station can be monitored and diagnosed online. The results show that this scheme can improve the efficiency of data transmission and meet the monitoring requirements of the acquisition link of the electronic metering master station.

【Key words】 Communication technology Main power metering station Acquisition link Monitoring plan

前言:

电力计量主站是智能电网的核心,能够实时采集终端分布式电源设备、智能电表的计量数据,却存在网络延迟敏感、通信协议异构等问题,对数据完整性、可靠性造成威胁。特别是传统采集链路监测中,多依赖人工巡检或单一 GPRS 通信技术,难以保证通信准确性。因此,在现有电力计量主站采集中,可设置多源通信技术,构建分层监测架构,便于动态感知链路状态,为智能电网采集数据提供支持。

1 通信技术概述

1.1 LoRa 技术

物联网对传感器需求增加,各产品均需连接一定传感器节点。考虑部分无线通信技术局限性,使得 LoRa 技术应运而生,能够实现 8~20km 范围通讯。该技术采取扩频信号调制,发射端以扩频编函数调制信息为宽频信号,且在接收端解调相应宽频信号。调制波形如下:

$$s(t) = \sqrt{\frac{2E_x}{T_b}} \cos(2\pi f_0 t \pm 2\pi \frac{\Delta F}{T_b} t^2) \quad (1)$$

其中, E_x 是发射信号能量, dBm; T_b 是信号持续时

间, s; ΔF 是脉冲频率差, Hz; f_0 是载波频率, Hz; t 是解调时间, s。环境信噪比降低,数据传输频谱能够扩散至更大带宽内,确保通信稳定,可抑制干扰信号,且原始数据添加循环纠错编码,接收数据能前向纠错,具有成本低、功耗低、续航久的特点。

1.2 5G 通信技术

5G 通信技术相比 4G 通信,时延、传输速率、链接密度等指标显著提升,采取高频段,结合新型多址接入、天线阵列等技术,可提供 1ms 超低空口时延、10Gb/s 峰值速率^[1]。并且,5G 引入移动边缘计算、网络切片等技术,有效创新网络架构,对业务需求灵活适配,能够提供定制化业务监测服务。还可支持百万连接,为大规模智能电表接入提供支持,使得监测范围更为广泛。

2 基于通信技术的电力计量主站采集链路监测方案设计

2.1 系统总体架构

电力计量装置在线监测作为一套完整监测系统,引入 5G、LoRa 通信技术,以多源通信方式,准确收集电能表基础信息,通过构建采集任务对其进行管理,实现在线监测、校验及状态评估^[2]。参照数字化变电站分层设计,集状态评

估、在线校验、在线监测于一体。

(1) 主站层。该层负责数据采集、分析功能, 可提供报表分析、任务调度、评估服务、系统安全服务、系统接口服务等, 对接入层数据采取分析、算法解析方式, 形成服务层数据集合, 通过对业务解耦, 使得数据能够服务各子系统^[3]。

(2) 站控层。该层负责采集电能表数据, 包括电能数据、抄表数据等计量数据, 及电能表自身状态数据等, 通过 LoRa 通信模式, 以标准规约协议完成通信。并接收采集层数据, 将其加工成标准系统内部数据, 确保系统规范稳定^[4]。

(3) 过程层与间隔层。智能电表兼具双向业务功能及传统计量功能, 如费率计量、数据通信等, 可以各层智能电表为准, 通过协议规约, 向上层统一提供所需数据。

2.2 采集电力数据

在 LoRa 与 5G 通信网络支撑下, 优化采集链路数据采集环节, 通过在智能电表等电力计量装置周围布置传感器, 连接物联网的同时, 集成边缘计算与 5G 通信模组上传数据^[5]。LoRa 设置传感器包括电量传感器、电流传感器、温湿度传感器、振动传感器、局部放电传感器等, 采取低功耗模式, 确定不同带宽输出速率见表 1。

表 1 低功耗模式功耗与速率

带宽/Hz	速率代码	输出数据速率/Hz	功耗/ μA
6.25	0111	12.5	34
12.5	1000	25	40
25	1001	50	45
50	1010	100	50
100	1011	200	60
200	1100	400	90

智能电表通过 LoRa 与 5G 网络与主站实现双向通信, 按照 1 次/s 的采集频率, 定期传输电流、电压等数据及工况信息, 同步更新数据采集内容。同时, 电表也可利用 5G 通信接收主站指令, 做到远程版本升级、参数配置等。

2.3 传输电力数据

在线链路监测中, 通过采集电能任务管理的采集任务, 针对不同业务需求, 设置任务参数, 将采集的运行状态及数据等, 根据不同数据门限比, 解析相应数据。此过程中, 以软件定义网络的多路径传输机制, 支持 5G、电力线载波动态切换, 合理利用 5G 带宽资源。对于信号衰落、弱覆盖无线环境, 以低密度奇偶校验等技术, 增强传输数据抗干扰能力, 保证数据准确传输。并在传输中, 用户可直接登录系统进入页面, 请求监测任务, 查看最新监测数据, 根据任务周期, 定期发送数据传输请求, 进而推送数据至前台, 实时显示数据。

2.4 数据处理分析

2.4.1 电能表评估

电力计量中, 智能电能表作为重要装置, 可将其分为用户、单体、群体这 3 个维度, 利用在线监测、校验等, 确定 10 个状态量, 评估电能表状态, 保证满足链路监测要求, 见图 1。

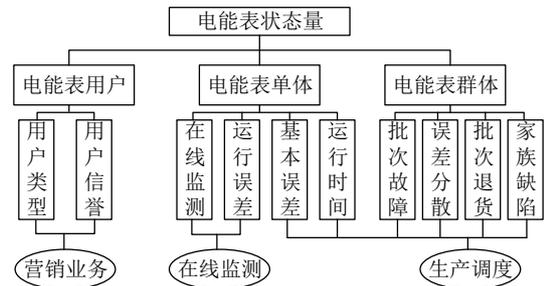


图 1 状态量指标

例如, 智能表单体在线监测中, 发现电能表异常, 以其状态量可反应装置运行情况, 计算相关功率。公式如下:

$$P = \frac{|V - C|}{V} \quad (1)$$

其中, P 功率, W; V 是电压, V; C 是电流, A。而电能表群体家族缺陷评分中, 需在消除隐患前评价其是否对整体性能有影响。公式如下:

$$F = 1 - \frac{1 - S_i}{\sqrt[n]{N}} \quad (2)$$

其中, F 是家族缺陷评分; S_i 是电能表缺陷恶化概率, %; n 是家族电能表数量, 个; N 是电能表发生家族缺陷数量, 个。

2.4.2 电压电流互感器评估

计量装置在线监测中, 结合成熟业务系统、生产调度系统等, 选择基本误差、运行误差、在线监测结果、运行时间等作为状态可靠性评价指标。以百分制对电流、电压互感器表述其状态, 对其基础、检测、监测开展评分。例如, 基础评分包括基本误差与运行时间; 检测评分包括二次负荷运行误差、二次压降运行误差等; 监测评分包括在线监测异常数量、电压异常、电流异常等, 如果发现故障消除, 则不再考虑其影响。

2.4.3 二次回路评估

以百分制表述二次回路, 确定 0 是最差状态, 100 分是最佳状态, 应当立即检验。对于上述计量装置开展整体评估, 确定电能表权重系数 0.35、电压互感器 0.2、电流互感器 0.1、二次回路 0.15, 状态评分如下:

$$Z = \begin{cases} 0.35G + 0.2P + 0.2C + 0.15H \\ 0(\min\{G, P, C, H\} < 40) \end{cases} \quad (3)$$

其中, G 是电能表评估; P 是电压互感器评估; C 是电流互感器评估; H 是二次回路评估。具体如下:

(1) 良好状态,代表各状态量平稳,处于规定限值内,能够良好运行,绝对分值 85~100,上次状态与本次状态相差分值 ≤ 5 。

(2) 异常状态,代表电能表单项状态严重超标,立即检修处理,绝对分值 0~15,上次状态与本次状态相差分值 > 40 。

(3) 注意状态,代表电能表单项及以上变化接近标准值,仍未超限,需加强监测,绝对分值 16~49,上次状态与本次状态相差分值 ≤ 40 ,且 > 20 。

(4) 正常状态,代表各状态量基本稳定,处于标准限制与规程范围,运行正常,绝对分值 50~84,上次状态与本次状态相差分值 ≤ 20 ,且 > 5 。

3 基于通信技术的电力计量主站采集链路监测效果

3.1 功能应用

3.1.1 基础信息模块

用电采集包括计量监测业务,必定将实体信息向计算机映射,形成虚拟信息管理,包括电压互感器、电能表、电流互感器、变压器、母线等信息,通过 5G、LoRa 通信技术,将采集的数据编辑、整理,支持档案统一建模,便于根据电力计量需求,形成统一数据管理模型。用户登录系统后,进入基础管理页面,确认站点信息列表,适当切换 tab 可获得基础模块,可根据需求添加、删除、编辑信息。

3.1.2 告警管理模块

告警管理分为历史告警、当前告警、通知设置等,需确定通知规则与通知方式。在线监测设置门限指标,数据采集后对其处理,按照任务门限情况,对比数据是否超出门限值,超出则发出告警信息。而告警状态有已确认、系统清除、新发、已清除这几种状态。用户登录系统后,后台生成新发告警,推送至前台,进入管理故障模块,确定告警原因、状态等,手动清除方能转变成历史告警。

参考文献

[1]周明晶.无线通信技术在电力计量数据传输与远程监控中的应用[J].集成电路应用, 2025, 42(2): 220-221.

[2]陈心雨.电力计量装置中的智能化故障检测技术分析[J].集成电路应用, 2025, 42(2): 298-299.

[3]李新家,张崇超,马云龙,等.自主验证机制下电力计量数据溯源追踪研究[J].电子设计工程, 2025, 33(2): 62-67.

[4]仝霞,程鹏申,李雪城,等.数字化电力计量智慧实验室构建与关键技术探讨[J].电测与仪表, 2025, 62(1): 89-100.

[5]伍应衡,白珍,王森.基于大数据分析的电力计量数据异常优化策略研究[J].智能城市, 2024, 10(12): 58-60.

作者简介:田卓璐(1988-01),女,内蒙古自治区,研究生,助理工程师,主要研究电力系统计量设备故障诊断与预警技术。张倩(1993.11),女,内蒙古呼和浩特,本科,助理工程师,主要研究方向电气自动化,智能化。

3.1.3 系统管理模块

系统管理可控制使用系统权限,包括角色管理、用户管理、权限管理等。用户登录系统后,能够管辖全部用户信息;角色管理则是角色信息管理,是沟通权限与用户的桥梁。系统涵盖多种角色,可根据用户职责、级别等,将其分为市级用户、站点级用户、省级用户等,对应市级角色、点级角色、省级角色等,以权限管理保证其质量。

3.2 效果分析

以单个监测节点与网关开展通信测试,确定有墙体遮挡与不同距离的传输速率,每个情景测试 10 次,结果见表 2。可见,以电力计量主站采样 16 位,频率 20kHz 可知,各采样点占用字节 2 个,设置 1.2 倍冗余,传输速率需达到 48kb/s,对比实验结果,均满足监测要求。并且,在数据传输中,端到端时延 25ms,丢包率 $\leq 0.01\%$ 。

表 2 监测性能评估

测试距离/m	传输速率/(kB·s ⁻¹)		
	最大值	最小值	平均值
10	550	425	492
30	616	359	500
50	413	236	331
100	120	66	85
10, 墙体隔断	251	112	198

结论:

综上所述,我国电力需求不断增长,电力计量主站数量也随之增加,对采集信息提出更高要求,需监测采集链路状态,提高采集精度的同时,也能发现链路异常对其及时处理,保证采集数据不受干扰。因此,在电力计量主站运行中,可基于 5G、LoRa 通信技术,采取多源通信协同方式,构建分层系统架构,进而从数据采集、传输、状态评估多方面出发,准确监测采集链路,提高数据传输可靠性。