

新型配电网电能质量监测与溯源系统研究

罗耀强

南京易司拓电力科技股份有限公司 210000

摘要: 新型配电网呈现高可再生能源渗透率和高比例的电力电子设备的“两高”特点, 电能质量呈现出一方面污染加剧而另一方面质量要求更高的矛盾。本文研究应用云平台、边缘计算和北斗等新技术, 建设新型配电网电能质量监测与溯源系统。满足电能质量监测规模化部署、灵活扩展的要求同时, 支持电能质量问题的定位与溯源。

关键词: 电能质量; 新型配电网; 溯源定位

引言:

随着现代社会朝着高质量、高水平方向发展, 高端制造装备、信息化办公设施、智能化家电等用电设备大量接入配电网, 这些高端设备对电能质量要求越来越高。与此同时, 间歇性发电的分布式光伏、冲击性用电的充电桩、非线性的电力电子设备也大规模接入配电网, 带来了严重的电能质量污染问题。因此, 有必要对配电网的电能质量进行有效监测和管理。

一、配电网电能质量监测在国内外的发展现状

现阶段, 我国的配电网电能质量监测存在个别原因影响行业的进度, 如: 监测设备老化、陈旧, 不能与时俱进启用新科技设备, 实用性能比较差, 影响监测效果。而新的科技设备多以多功能电度表为基础, 配合电子监控设备, 运用监测电压表对电压质量水平进行测量, 再利用便携式测试仪器对谐波、电压波动及闪变测量, 并通过对主变压器每一侧的谐波电流、电容器组的谐波电流及变压所的每一级母线电压进行依次测量, 再进行分析数据来监测电能质量, 这样才能更更好的监测配电网电能质量。但是无论怎样的设备和技术手段来监测电能质量, 都会有一定的局限性, 都会有缺陷^[1]。对电能质量水平及系统运行状况监测都会有一定漏洞和偏差。在国外一些国家, 配电网自动化的研究已经深入多年, 特别是欧美国家投入应用中多年, 也取得了一定的效果。

目前国内外对配电自动化系统的应用虽然有一定的成绩, 但是还存在这“自动化孤岛”现象, 因为一些原因信息共享, 数据统一等技术问题还不能完全解决。从当今配电网的发展和未来来看, 以后的配电网系统及电能质量监测系统必须利用现代化互联网技术, 做到网络化、集成化、通用化、实时性、开放式平台, 运用灵活多变的科技手段, 并结合多种能源电力系统, 组件智能化的台区监测分析系统平台来配合配电网的稳定运行。

二、配电网电能质量监测的认知和目的

1. 电能质量的概念

电能作为一种商品有着质量属性, 但与普通商品的质量属性不同。其特殊性主要体现在两个方面: 一是, 电能质量高低不仅仅是由供电企业决定的, 也同时受用电设备特性和用电方式的影响, 还有自然因素的影响, 如雷电等。二是, 电能质量受时间和空间的影响, 不同时间点、不同电气位置受到的扰动量不同, 电网弹性水平差异导致的抵御能力不同, 使得电能质量始终处于动态的变化之中。

2. 电能质量监测的概念

国际电工委员会以及中国国家标准主要从频率、电压幅度、波形三大方面来衡量电能质量, 主要包括频率偏差、电压偏差、谐波、间谐波、电压波动与闪变、电压三相不平衡度、电压暂升暂降与中断等八大类指标。电能质量监测就是通过对电网节点上的电压、电流波形进行数字化采样, 经过特定的算法处理得到上述指标的过程。

3. 电能质量监测的主要目的有以下几个方面:

(1) 保障配电网安全稳定运行。电能质量问题可导致保护装置误动或拒动, 电力设备损坏, 线路过热引起电气火灾等问题。完整记录实时测量数据, 并对电能质量进行动态分析, 及时发现电能质量问题, 做好安全预警, 提前消除隐患实现安全稳定运行。

(2) 为电网建设和技术改造提供依据。通过长期监测数据, 及时掌握特定区域配电网的电能质量水平和变化趋势, 为电网建设规划提供数据支撑, 为电网运行优化、电能质量治理和电网改造提供量化依据。

(3) 为新能源消纳和能源转型应用提供保障。应用监测数据评估分布式光伏、分布式风电、充电桩等新能源接入配电网后电能质量水平的变化, 及时采取有效应对措施, 保障安全的同时提高能源利用效率, 为建设以

新能源为主的新型电力系统提供保障^[2]。

(4) 切实改善营商环境, 满足人民对电力可获得性的需求。利用监测和溯源信息, 动态预防和处理电能质量问题, 为企业和用户提供更好的电能保障, 为电力市场的发展提供参考数据, 助力地方经济发展。

三、配电网电能质量监测系统架构

1. 系统总体架构设计

系统采用基于“云管边端”技术的工业互联网架构。“云”就是云端应用系统, 其汇聚一个地区配电网电能质量监测点的数据, 实现数据处理、统计分析和发布, 是用户日常应用访问的入口。“管”就是通信管道, 是边缘计算终端把数据传输到云端系统的通信管道。“边端”就是安装在分布式光伏、充电桩、配电变压器等配电网节点种, 具有边缘计算能力的电能质量监测终端。

云端应用系统为应用层、平台层、设施层三层架构。应用层采用微应用架构, 支持电能质量GIS地图分布、实时监测数据、稳态应用、暂态应用、运维管理、报表管理、台账管理等微应用动态发布和管理, 支持桌面应用和移动应用。平台层采用微服务架构, 支持计算服务、模型服务、告警服务、规则引擎、数据清洗等微服务的发布和管理。设施层采用云化部署方式, 支持公有云和私有云部署模式, 包括服务器、存储、网络、虚拟化等的动态资源分配, 可根据系统接入的监测点数量和计算分析需求来弹性扩展资源。如图一所示:



图一 云端应用系统架构图

通信管道支持5G、光纤网络、2G/4G、卫星等通信方式, 采用基于TCP/IP协议承载MQTT、IEC61850等通信协议, 实现云端平台与电能质量监测终端信息交互, 如模型与参数下发、电能质量数据上传、触发录波、PQDIF文件等。

2. 边缘计算型配网电能质量监测终端

配电网电能质量监测, 需要处理好以下几个问题: 一是设备安装空间问题。环网柜、光伏并网柜、变压器

配电箱等配电设施结构紧凑, 预留空间有限。二是智能化设备可靠性问题。配电网分布广、设备数量大, 温湿度环境和电磁环境较差, 必须保证设备具有强抗干扰能力、长期稳定性好, 做到免维护, 才会具有规模化推广应用的可行性。三是算力需求问题^[3]。电能质量监测与保护、测控等装置不同, 其需要计算八大类指标几百个分项指标。终端需要高速持续不间断波形数据采样, 应用傅里叶变换、高速滤波、概率统计等算法执行大量数据处理, 需要有相当大的算力资源支撑。

为了解决上述问题, 采用小型化、低功耗、高算力技术, 开发具有边缘计算能力的新型配电网电能质量监测终端(下称“终端”)。首先, 采用罗氏线圈替代传统电磁互感器。在减小终端的体积同时, 还可以利用罗氏线圈可弯曲、变形的特点实现不停电安装。其次, 核心板采用片上系统(SOC)技术。SOC实现处理器、存储、外围逻辑和通讯处理等电路的高度集成, 在一张名片大小的空间上实现4核1.2G主频, 而这样高的算力功耗仅需2瓦。第三, 采用全铝机身机构设计, 实现电磁屏蔽增强终端抗干扰能力, 全铝机身还兼顾散热作用, 免除散热风扇同时进一步降低终端体积^[4]。

终端采用“软件定义终端”技术, 即通过软件应用APP的增加或升级来实现终端功能的扩展与升级。基于开源嵌入式linux操作系统和容器技术。终端根据应用对资源的需求, 可部署多个容器, 一个容器可以动态部署若干个应用APP。容器可以独占一个CPU内核也可以多个容器共享内核资源。终端将不同功能设计成独立的APP, 如波形采样APP、谐波分析APP、闪变分析APP、电压暂降APP等等。同样地, 与云主站通信也设计成不同APP, 如IEC61850APP、MQTTAPP等, 可以根据不同主站需求动态部署和调整。

四、配电网电能质量的测量方法

1. 频率测量

配电网频率测量是电能质量系统中的一个重要测量指标。当前对于配电网频率的测量的算法有很多种, 并且运用到实际工作中, 效果比较明显, 国内外也有很多这方面的研究。但过去的频率测量需要时间长, 比较容易产生较大的误差, 后来研究用DSP数字技术对配电网电能质量频率的测量, 缩短了测量时间, 也增加了测量精度, 受到各机构的频繁运用。但频率测量后的数据统计算法有很多中, 总结下来有以下三种算法最为常用: 一是周期法, 频率通过观察信号波形来测量, 用过了零点间的时间宽度来计算。此方法比较容易实现测量效果, 但是因为实时性比较差, 又会受噪声、谐波等的影响,

实时性与测量精度需要提高；二是解析法，主要是通过信号观模型，运用函数感念来数字分析，但是这种方法测量的总体精度不太完美，误差比较大；三是误差算法，时运用最小二乘算法、最小绝对值近似法等高等数学算法及正交去调制法、离散卡尔曼滤波算法等方式测算频率的数据。

2. 电压测量

电压测量主要是测量各节点实际电压和系统设计电压之间的电压差，既是电压偏差，通常用电压百分比来表示。当配电网系统电压有缓慢变化时候，实际电压会和系统标称电压会出现一个差数，这是电压允许偏差，但需要有一个偏差值来确定，根据配电网系统要求不大于额定偏差值，就说明电能质量平稳，反之电能质量偏差。

3. 测量三相电压不平衡

根据GB/15543-2008《电能质量三相电压不平衡》的规定可知：当配电网正常运行时，负序电压不平衡度不能超过2%，瞬时电压不平衡度不能超过4%；对于低压系统零序电压限值原则上没有明确规定，但是也必须遵照GB/T 12325的规章制度进行操作。每个公共连接点的每个终端用户节点负序电压不平衡度不超过1.3%，瞬时不超过2.6%。

4. 测量公用电网谐波

根据GB/T 14549-93《电能质量公用电网谐波》的规定可知：6-220kV公用电网电压总谐波畸变率0.38kV为5%，6-10kV为4%，35-66kV为3%，110kV为2%。用户注入配电网的谐波电流必须在各级电网谐波电压限制范围内，因此国标电压总谐波畸变率是：0.38kV为2.6%，6-10kV为2.2%，3-66kV为1.9%，110kV为1.5%^[5]。

5. 测量波动和闪变

根据GB/T 12326-2008《电能质量电压波动和闪变》的规定可知：配电网系统公共连接点，根据系统运行周期（168小时）内所有长时间闪变值PLT必须满足：电压 $\leq 110\text{kV}$ ，PLT=1；电压 $>110\text{kV}$ ，PLT=0.8。

五、基于北斗的配电网电能质量问题溯源和定位

传统电能质量监测技术已经很成熟，可以准确地得到电网某个节点的电能质量污染水平，但正如前文所述该节点的电能质量问题是由整个配电网共同作用下的结果。新型电力系统配电网，电能质量问题在时间和空间上都是处于动态变化之中。因此如何准确定位电能质量污染源及其传播衰减路径成为一个新的问题。

应用北斗系统可以很好地解决这个问题。传统的电能质量监测终端，其波形采样和数据分析是基于终端内部时钟，不同终端间时标时有误差的，终端也没有地理位置信息。因此配电网在发生电能质量事件时，难以通过配电网中各个监测点的电能质量终端数据来判断电能质量事件的传播路径和衰减程度。因此，新型配电网电能质量监测终端集成北斗模块，基于北斗统一时标和地理位置来实现电能质量定位和溯源。北斗模块每秒钟输出一个精度小于1微秒的同步脉冲，采样模块基于这个同步脉冲启动高速波形采样，每组采样序列数据都包含北斗输出的时间戳，后续的数据处理以及电能质量事件的判断都基于该时间戳。终端上传电能质量指标数据或电能质量事件到云端时，同时上传时间标签和北斗模块输出的地理位置坐标。云端系统根据这些带北斗同步的时间戳、位置信息以及各测量点的电能质量数据，来实现电能质量污染源定位和溯源。

六、结语

应用具有工业互联网特征的配电网电能质量监测云平台能够满足大规模监测和持续扩展的应用需求。采用新型传感器等技术，具有边缘计算能力的新型电能质量监测终端，满足配电网规模化部署所要求的小型化、高算力、高可靠性要求。创新应用北斗技术，实现配电网电能质量问题溯源与定位。新型配电网电能质量监测与溯源系统，为新能源为主的新型配电网安全可靠、经济高效运行提供保障。

参考文献：

- [1]宋惠忠，俞建军，罗耀强.一种基于网络化的新型电能质量综合监测系统的实现.电力设备,2008,9(4):46-48.
- [2]翁国庆，龚阳光，舒俊鹏，等.基于聚类LSTM深度学习模型的主动配电网电能质量预测[J].高技术通讯,2020,30(7):687-697.
- [3]刘卓，尹忠东，詹惠瑜，等.计及多种扰动源的有源配电网电能质量区间量化综合评估[J].现代电力,2021,38(1):24-31,中插2-中插3.
- [4]王世杰，胡威，高鑫，等.新能源并网发电对配电网电能质量的影响研究[J].计算技术与自动化,2021,40(2):47-52.
- [5]陈斌，张波，丘东元.电能质量检测系统数据高速采集和实时处理的协调优化分析及应用[J].电网技术.2006,30(2):91-96.