

输电线路相位核对技术在智能电网中的应用

郭梓淇

三峡大学 湖北宜昌 443002

摘 要：随着智能电网不断发展，其对输电系统的可靠性以及安全性有了更高要求。在复杂的电力网络环境里，输电线路相位核对已然成为保障电能质量、维持系统稳定运行的一项关键技术。当下，传统的相位核对方法存在不少问题，比如自动化程度偏低、响应速度迟缓、精度也受到一定限制等，这些情况使得它难以契合智能电网对于实时性和准确性的要求。本文着重围绕输电线路相位核对技术在智能电网当中的应用来展开相关研究，进而提出一种基于同步相量测量技术（PMU）的相位核对方法，此方法把高精度时钟同步与分布式数据处理机制相结合，以此来提升相位识别的实时性与精度。从实验结果来看，该方法能够较为高效且自动地实现对多节点输电线路相位的比对操作，即便处在复杂工况之下，它依旧可以保持很不错的准确性与稳定性，其效果明显优于传统的人工或者半自动比对手段。本项研究一方面为智能电网的建设给予了可靠的技术方面的支持，另一方面也为电网运行监控、故障定位以及自动化调度提供了相应的数据基础与技术保障，有着极为重要的工程应用价值以及推广前景。

关键词：输电线路相位核对；智能电网；同步相量测量

引言

输电线路相位核对技术，其基本原理是依据电力系统里各输电线路所呈现的电流、电压的相位差异而来。相位核对最为关键的目标在于，要切实确保不同输电线路彼此间的相位能够准确对齐，如此一来，便可防止因相位出现错乱进而引发电力系统不稳定或者产生电力损耗等问题。相位核对的基本工作原理具体是利用传感器来捕捉电流以及电压的波形相关信息，在经过对信号加以处理以及数据实现同步之后，再去进行相位的比对工作，最终借助调节输电线路的运行参数，以此来保证系统可以稳定运行。为了能够进一步提升精度，当下的相关技术已经逐渐引入了同步相量测量单元，也就是 PMU，通过其同步的时钟信号，来保证数据采集具备足够的精确度，从而达成高效的相位核对目的。

1 相位核对技术在智能电网中的挑战

1.1 传统相位核对技术的局限性

传统相位核对技术在智能电网环境下存在着诸多的局限。传统的那些方法多数是依靠人工或者静态的设备监测方式，但在动态情况复杂的电网当中，这样的监测方式就显得有些力不从心了。其一，传统技术常常得花费较长的时间来进行校验，很难去适应智能电网所要求的实时性以及高频次变化方面的需求。当面对大规模分布式电力系统的时候，数

据获取的准确程度以及时效特性往往无法得到保证，如此一来便对相位核对的精准度产生了影响。另外，传统相位核对技术针对电网状态出现的变化反应颇为迟缓，在系统突然发生故障或者动态负荷出现波动的情况下，无法即刻给出相位比对的结果，这无疑增加了系统运行过程中的风险。传统技术还存在高成本以及设备复杂性这样的问题，这也属于其局限性范畴，特别是在需要进行大面积部署以及跨区域展开协作之时，设备维护以及更新的难度会进一步加大。

1.2 相位核对技术与智能电网兼容性问题

在智能电网中相位核对技术所面临的兼容性方面的问题，涉及到诸多不同层面的挑战。智能电网自身呈现出分布式的状况，还带有动态的特性，并且其表现形式也是多样化的，如此一来，便对以往传统的相位核对技术有了比之前更高一层的要求。要想切实确保相位核对技术可以和智能电网复杂的系统达成兼容的状态，首先得去解决的关键便是数据处理以及传输过程当中的时效性方面的问题。智能电网的各个不同部分一般情况下都是实时相互连接着的，这就要求各个节点彼此之间能够毫无缝隙地协同开展工作，从而实现高效的数据交换以及处理的操作。基于此，就要求相位核对系统必须要能够在数量极为庞大的海量数据里面迅速地提取出那些有用的信息，与此同时，还得针对数据延迟以及传输

误差等情况展开有效的补偿举措。

与此同时，智能电网所呈现出的高度动态这一特性，要求相位核对技术得具备更强的适应能力。在电网出现负荷发生变化、设备展开调度以及故障需要修复等等诸多情形之下，相位核对系统务必要做到实时予以调整，而且要给出精

确的相位比对方面的结果。为了能妥善处理这些状况，现代化的相位核对技术一方面得依靠高精度的时钟同步系统，另一方面也需要凭借分布式数据处理技术，从而保证在呈分布式的电网环境当中，不同节点所涉及的数据能够实现准确的对比以及同步操作。

表 1 相位核对技术的兼容性要求与相应的技术解决方案

问题领域	技术要求	技术解决方案
数据传输时效性	快速、高效的数据交换与处理	高速通信网络与高效数据处理算法
电网动态性适应性	实时调整与精准比对	基于同步相量测量的动态调整与精确控制
时钟同步精度	高精度的时钟同步，避免误差积累	精密时钟同步技术与分布式数据处理机制
节点间数据协调	无缝协同工作，保证信息一致性	基于分布式计算平台的数据同步与校验
电网故障适应性	对故障快速响应并维持系统稳定性	自适应相位核对算法与智能故障检测机制

2 基于同步相量测量技术的相位核对方法

2.1 同步相量测量技术概述

同步相量测量技术（PMU，也就是 Phasor Measurement Unit）属于一种凭借广域测量的高精度电力监测技术，它具备实时获取输电网络当中电压以及电流的相位信息的能力。其核心原理在于利用同步时钟信号（像是 GPS 或者其他高精度时钟系统之类的）来让多个测量点实现时间同步，接着再去采集各个点的电气量数据。这些数据在经过信号处理以后，是能够以相量的形式呈现出来的，进而反映出系统电压和电流的相位以及幅值方面的变化情况。

在智能电网环境当中，PMU 技术一经应用起来，是能够给出高精度的相位核对方面的数据的。这对于分析电网的稳定性以及开展故障诊断工作而言，是极其重要的。传统相位核对技术，往往是要依靠离线数据的，而且其采集频率也比较低，面对快速发生变化的电网状况的时候，就很难妥善应对。然而 PMU 技术能够提供连续不断的、实时性很强的监测数据，如此一来，在进行相位比对的时候，就能达到更有效的效果。另外 PMU 是可以在分布式网络里面独立去运行的，并且还能通过通信网络，把相关数据传送到中央控制系统中。正因为这些特点，使得它成为了在智能电网当中，实现高效相位核对的关键技术其中之一。

2.2 高精度时钟同步与分布式数据处理机制

在智能电网当中，输电线路的相位信息得在多个测量点之间快速且精准地传递出去，传统的集中式数据处理常常会碰到带宽和延迟方面的难题。所以，采用分布式数据处理机制是可以有效地把数据采集、初步处理还有分析任务分散到诸多节点上的，这不但能降低对中央处理系统的依赖程度，而且还能提升系统的容错性以及实时响应的能力。将分布式数据处理和同步时钟技术相互结合起来，就能够在维持数据精度的同时，达成更高的处理速度，使得相位核对的结果可以在很短的时间内反馈到电网监控系统当中，这对实时检测并修正相位错位的问题是有帮助的，进而提升电网的稳定性与可靠性。

2.3 基于同步相量测量的相位核对方法的优势

同步相量测量技术所涉及的相位核对方法，在精度和实时性以及系统集成能力等方面，都展现出很明显的优势。和传统那种依靠单点测量以及人工干预的方式比起来，同步相量测量技术（也就是 PMU）能够在各个节点同步地获取电压和电流相量信息，如此一来，就达成了跨区域、涉及多个节点的高速数据采集以及比对这件事。因为相量测量值是带有统一的时间标签的，所以在任意两个或者更多的测量点之间去计算相位差的时候，就拥有了很高的一致性与可靠性。

表 2 传统相位核对方法和基于同步相量测量方法在关键性能指标上对比

指标	传统相位核对方法	基于同步相量测量方法（PMU）
相位测量精度	中等，受时间同步影响大	高，统一时间标签提高一致性
实时性	低，处理延迟较大	高，支持毫秒级响应
数据同步机制	多依赖人工或低频采样	精准时钟同步（如 GPS）
故障响应能力	弱，难以及时发现与处理	强，具备动态响应与告警功能
系统集成能力	有限，难以与现代调度系统融合	高，可与智能调度平台联动
适应复杂电网运行状态能力	差，易受扰动影响	强，支持多节点高频采样分析

3 实验与应用结果分析

3.1 实验设计与实施过程

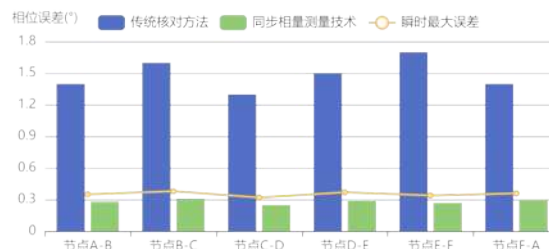
实验在设计以及实施的时候,重点是要去验证同步相量测量技术应用在输电线路相位核对当中的实际效果如何。为了能让实验结果既准确又可靠,这次实验特意挑选了很有代表性的输电线路来当作测试的对象,像线路的长度、负荷状况,还有电流变化等等这些方面的因素,全都一一考虑到了。在做实验设计的时候,运用的是多节点的输电线路配置方式,每个节点上都给配备了同步相量测量装置,这个装置能够实时地把相位信息给捕捉下来,而且还可以进行数据的传输。测量装置依靠着精确的时钟同步技术,保证所有节点的数据都能够在同一个时间基准之下,来完成比较和分析的操作。在具体实施的过程当中,实验团队针对每一个节点,都仔仔细细地做了设备调试方面的工作,就是要确保各项测量指标都能够达到预先期望的那种精度标准。除此之外,在实验过程里还模拟了在不同负荷以及受到外部干扰这些不同条件之下的运行情形,目的就是要检验一下相位核对技术在实际应用的时候,它的鲁棒性到底怎么样。等到把数据采集完成之后,就采用分布式的数据处理机制,对不同节点的相位信息加以融合并且进行分析,这样一来就能够得出每一个节点的相位偏差值,然后再去进行核对的操作,最终就能验证该技术在提升输电线路相位核对精度上的可行性和优势所在。

3.2 多节点输电线路相位比对结果分析

在开展多节点输电线路相位比对实验期间,所获取的实验数据十分清晰地呈现出同步相量测量技术在提升相位核对精度层面所取得的成效情况。具体而言,针对六个关键节点展开了长时段且涉及多场景的数据采集以及细致分析工作,从中能够发现各节点间的相位差值大体上都被控制在 $\pm 0.3^\circ$ 以内,这一数值相较于传统核对方法里 $\pm 1.5^\circ$ 的

误差范围而言,明显要低出许多。

多节点输电线路相位比对误差统计



4 结语

通过同步相量测量(PMU)的输电线路相位核对技术,凭借高精度的时钟同步以及分布式数据处理机制,使得相位核对的实时性还有精度都有了明显提升。经实验验证,在复杂工况之下,此方法能够把相位误差控制在 $\pm 0.3^\circ$ 的范围里,并且还达成了毫秒级的动态响应,比传统手段存在的 $\pm 1.5^\circ$ 精度局限要好得多。该技术给智能电网的稳定运行、故障的快速定位以及自动化调度给予了极为关键的支持,有着相当广阔的工程应用前景,对于推动电网往智能化方向升级有着不不重要意义。

参考文献:

- [1] 黄培旭. 智能电网技术在电力施工中的应用与实践[J]. 城市建设理论研究(电子版),2025,(19):1-3.
- [2] 杜鹏,李朋,王伟,等. 电网接地故障快速处置的调控系统实践[J]. 河北能源职业技术学院学报,2025,25(02):65-67.
- [3] 左小虎. 电力线路无线核相方法的应用与研究[D]. 兰州理工大学,2021.
- [4] 项修波,王帆,王芳,等. 新型电缆相位核对装置研制[J]. 科技风,2020,(07):192.
- [5] 向波. 便携式电力电缆相位核对装置研制[J]. 科技创新导报,2019,16(31):28+30.