

10 kV 配电网线路三相不平衡度优化控制策略分析

刘 辉

(国网鄂州供电公司路灯管理中心, 湖北 鄂州 436000)

摘 要 三相不平衡问题严重影响了 10 kV 配电网的安全、稳定与经济运行。本文深入分析 10 kV 配电网线路三相不平衡的危害, 并研究其原因, 针对这些原因提出了有针对性的优化控制策略, 以期为提高 10 kV 配电网运行水平、降低三相不平衡度、保障电网可靠供电提供借鉴。研究结果表明, 通过这些策略的落地实施, 可有效改善三相电流、电压失衡状况, 减少线路损耗与设备故障, 为 10 kV 配电网高效运转筑牢根基, 助力电力系统高质量发展。

关键词 10 kV 配电网; 三相不平衡度; 负荷分配; 平衡装置; 电能质量

中图分类号: TM72

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.27.019

0 引言

随着社会经济的不断发展, 电力需求持续增长, 对配电网的供电质量和可靠性提出了更高的要求。10 kV 配电网是电力系统中直接面向用户的重要环节, 其运行状况直接影响着用户的用电体验。三相不平衡是 10 kV 配电网中常见的问题之一, 三相不平衡导致线路损耗增加、设备寿命缩短、电能质量下降等一系列不良后果, 严重影响配电网安全稳定运行。因此, 深入研究 10 kV 配电网线路三相不平衡度的优化控制策略具有重要的现实意义。

1 10 kV 配电网线路三相不平衡的危害

1.1 增加线路损耗

三相四线制 10 kV 配电网, 当三相负荷不平衡时, 中性线会有电流通过。根据焦耳定律, 电流通过导线产生热量, 导致电能损耗, 损耗与电流的平方成正比。由于不平衡电流的存在, 造成相线、中性线损耗均增加, 使线路的输电效率下降。

1.2 削减配电变压器性能和寿命

三相负荷不平衡时, 变压器三相电流不一致, 产生各相绕组负荷不均, 导致变压器的铜损和铁损加大, 减少变压器的输出容量和效率。在长期的三相不平衡运行状态下, 变压器的绕组温度升高, 加速绝缘老化, 缩短变压器的使用寿命。

1.3 影响用电设备的正常运行

三相不平衡会导致电压不平衡, 对电动机起到制动作用, 导致电动机输出功率减少, 效率降低, 温升

增加, 严重时可能损坏电动机。对于单相用电设备, 如居民家中的电器, 接在重负荷相的设备可能因电压偏低而无法正常工作, 接在轻负荷相的设备则可能因电压偏高而缩短使用寿命甚至被损坏, 影响用户的正常生产生活用电。

1.4 对电力系统继电保护装置产生影响

三相不平衡可能导致电力系统中某些继电保护装置误动作或拒动作。例如: 负序电流的存在可能使负序电流保护装置误启动, 而一些基于三相电流平衡原理设计的保护装置在三相不平衡时可能无法准确检测故障电流, 从而影响保护装置的可靠性和选择性, 降低电力系统的故障防御能力。

2 10 kV 配电网线路三相不平衡的原因分析

2.1 单相负载接入不均衡

在 10 kV 配电网的实际运行中, 单相负载的接入是导致三相不平衡的主要诱因之一。这类负载涵盖居民日常生活用电设备 (如冰箱、电视、电热水器等)、小型商业用户的空调与照明系统, 以及街边商铺的各类用电设施等。由于用户群体的用电行为具有显著的随机性和不可控性, 单相负载在三相线路上的分布往往呈现出明显的不均衡特征。从居民用电场景来看, 新建小区在初始配电规划时虽会尽量均衡分配各相负载, 但随着用户入住后用电设备的陆续增加, 这种平衡状态极易被打破。例如: 某一单元楼内若多户家庭同时购置并使用大功率电采暖设备, 且这些设备集中接入同一相线路, 会使该相负载在短时间内急剧上升。而老旧小区因配电设施陈旧、线路改造不及时, 更容

易出现单相负载堆积现象,部分台区甚至出现某相电流是其他相的 2~3 倍的极端情况。小型商业用户的用电特性进一步加剧了这一问题。商铺的营业时间、用电设备功率差异较大,如餐馆的厨房设备、超市的冷藏系统等,若在报装阶段未进行科学的相序分配,极易造成特定相别长期处于高负荷状态。此外,临时用电接入的随意性也是重要因素,如施工工地的临时焊机、庆典活动的临时照明等,往往就近接入方便的相别,进一步破坏三相负载的平衡关系。

2.2 单相接地故障

单相接地故障在 10 kV 配电网故障类型中占比高达 60% 以上,是引发三相不平衡的关键因素。当配电网发生单相接地故障时,故障点的阻抗发生突变,导致接地相电压迅速降低至接近零值,而未接地的两相电压则会升高至线电压水平,形成显著的电压不平衡。这种电压畸变会通过配电网传导至下游用户,造成接入不同相别的用电设备承受异常电压。从故障持续时间来看,尽管中性点非有效接地系统允许单相接地故障短时运行(通常不超过 2 小时),但在此期间三相不平衡状态会持续存在。若故障未能及时排除,长期运行可能引发更严重的连锁反应:一方面,非故障相的高电压会加速线路绝缘老化,尤其是老旧线路的瓷瓶、电缆接头等薄弱环节,可能因过电压击穿导致相间短路;另一方面,接地电流产生的电弧可能灼伤导线,破坏线路结构完整性,扩大故障范围。

2.3 三相断线故障或开关设备故障

三相线路的完整性和开关设备的正常运行是保障三相平衡的基础条件,任一环节出现问题都可能引发显著的三相不平衡。线路断线故障多发生在以下场景:一是恶劣天气导致的导线断裂,如强风天气造成线路舞动引发断线,覆冰过重导致导线机械强度不足而断裂;二是外力破坏,如施工机械误碰线路、车辆撞击电杆导致导线拉断等。当某一相导线发生断线时,该相电流即刻中断,其余两相需承担全部负荷电流,形成严重的电流不平衡。开关设备故障对三相平衡的影响更为复杂。断路器、隔离开关等设备在长期运行中,可能因机械磨损、触头氧化等原因出现单相拒动现象。例如:断路器的某相操作机构卡涩会导致合闸时该相未接通,形成两相运行状态;隔离开关的触头接触不良则会使某相电阻增大,造成三相电流分配失衡。此外,熔断器的单相熔断也是常见故障,当某相熔断器因过流熔断后,若未能及时更换,会导致该相长期缺相运行^[1]。

2.4 负荷变化的动态特性

配电网负荷的动态变化具有周期性、突发性和季节性等多重特征,这些特性若得不到有效管控,会持

续引发三相不平衡。工业用户的生产负荷呈现明显的周期性波动,如钢铁企业的轧钢车间,其用电负荷随轧制周期呈现脉冲式变化,单个周期内负荷峰值可能达到谷值的 5 倍以上。若这类负荷集中接入某一相,会导致该相电流在短时间内剧烈波动,形成动态不平衡。季节性负荷的影响尤为突出。夏季高温时段,居民空调负荷集中爆发,部分台区空调负荷占总负荷的比例可达 60% 以上。由于空调安装时的相序选择缺乏统筹规划,大量空调集中接入同一相,导致该相负荷在用电高峰时段严重过载。而冬季电采暖负荷的集中接入,同样会引发类似问题,且这类负荷的地理分布不均,进一步加剧了区域配电网的三相不平衡程度。

3 10 kV 配电网线路三相不平衡度的优化控制策略

3.1 优化负荷分配

1. 定期监测与调整负荷。应加强对 10 kV 配电网负荷的监测,利用智能电表、电力监控系统等设备,实时采集三相负荷数据。通过数据分析,定期对三相负荷进行调整,将单相负荷合理分配到三相线路上,使三相负荷尽可能平衡。例如:根据用户用电性质和负荷大小,设计合理的负荷分配方案,将大功率单相用户均匀分配到不同的相上。同时,对一些季节性、临时性的负荷变化及时跟踪调整,保持三相负荷的长期稳定平衡。

2. 负荷预测技术的应用。利用先进的负荷预测技术,对配电网中的负荷变化进行预测。根据历史负荷数据、气象数据、经济发展趋势等数据,建立准确的负荷预测模型,如时间序列模型,神经网络模型等。根据负荷预测结果提前调整负荷分配,避免因负荷的突然变化造成三相的不平衡。如夏季高温来临前,根据负荷预测结果,在夏季高温来临之前,将部分空调负荷提前转移到负荷较轻的相上,以解决空调负荷集中增加带来的三相不平衡问题^[2]。

3.2 采用平衡装置

1. SVC(静止无功补偿器)。SVC 通过控制晶闸管的触发角,调节接入电网的电抗器和电容器的容量,实现对无功功率的动态补偿。在 10 kV 配电网中,安装 SVC 在负荷集中、三相不平衡问题严重的地区,有效地提高功率因数,平衡三相电压、电流^[3]。例如:对于一些工业用户集中的区域,工业设备无功需求大,且三相负荷不平衡,安装 SVC 后可以大大改善电网三相不平衡,降低线路损耗。

2. STATCOM(静止同步补偿器)。STATCOM 采用全控型电力电子器件,能快速、精确地补偿无功功率,而且其调节能力和响应速度也更加迅速。STATCOM 通

过向电网输入负荷无功电流相反的电流来补偿无功功率,也可对三相不平衡电流进行补偿。在 10 kV 配电网中采用 STATCOM,可以较好地适应负荷的快速变化,有效地改善电能质量,提高三相平衡度。与 SVC 相比,STATCOM 在补偿性能和占地面积等方面有明显优势。

3. 智能换相开关。智能换相开关可根据实时监测到的三相电流和电压数据自动调整负荷的接入相序,实现三相负荷平衡。它通常由控制器、执行机构和传感器等部分组成。控制器实时采集三相电流、电压信息,通过计算分析判断三相不平衡程度,当不平衡度超过设定阈值时,控制器发出指令,执行机构动作,把负荷切换到合适的相上。智能换相开关具有安装方便、响应速度快、调节精度高等优点,可以有效解决单相负载接入不均衡所产生的三相不平衡问题,并可以实现远程监控和自动控制,提高配电网的智能化水平。

3.3 优化电网结构

1. 合理规划配电线路。在 10 kV 配电网的规划和建设中,应充分考虑三相负荷的平衡问题。合理设计配电线路的布置,使三相线路长度、导线型号、截面积尽量一致,减少因线路参数差异造成的三相不平衡。同时,根据负荷分布情况,合理设置配电变压器的位置和容量,使变压器能够均匀地为三相负荷供电。例如:在新建居民小区中,根据小区的户型分布和预计的用电负荷,合理规划三相线路的走向和分支,保证各相负荷分配均衡^[4]。

2. 加强线路改造与维护。对现有 10 kV 配电网中存在的线路老化、绝缘损坏、接触不良等问题,及时进行改造和维护。更换老化的导线,修补绝缘缺陷,保证线路正常运行,减少线路故障引起的三相不平衡。同时,对线路中的开关设备、刀闸等进行定期检修和维护,保证设备的正常动作,避免因设备故障造成三相电流不平衡。另外,在进行线路改造时,可以考虑采用新型的节能导线和设备,提高线路的输电能力和可靠性,进一步优化电网结构,降低三相不平衡度。

3.4 加强运行管理

1. 建立完善监测与管理系统。电力企业应建立一套完善的 10 kV 配电网三相不平衡监测与管理系统,该系统还应具有报警功能,当三相不平衡度超过设置的安全阈值时,能及时发出报警,提醒运维人员进行处理。同时,采用大数据、云计算等技术,对历史监测数据进行分析,总结三相不平衡的变化规律,为优化控制策略的制定提供依据。建立这样的一个 10 kV 配电网三相不平衡监测与管理系统,电力企业能更有效地监控电网运行状态。这套系统不仅能够实时监测三相电流和电压的不平衡情况,还能通过智能算法自动诊断

问题,确保电力系统的稳定运行^[5]。这不仅有助于提高电网的运行效率,还能减少因为三相不平衡造成的电力损耗和设备损害,为企业节省大量的运维成本。完善的 10 kV 配电网三相不平衡监测与管理系统是电力企业提升管理水平、实现智能化运维的重要一步。

2. 提高运维人员专业素质。加强对运维人员的培训,提高他们对 10 kV 配电网三相不平衡问题的认识和处理能力。培训内容要包括三相不平衡原理、危害、检测方法、处理措施等。通过理论学习和实际操作培训,使运维人员掌握好监测设备的使用方法,正确判断三相不平衡的原因,并能采取有效的措施进行处理。与此同时,要求运维人员在工作中不断总结经验。

3. 强化用户管理与宣传。电力企业要加强对用户的管理,在用户报装环节,要严格审核用户的用电负荷和接入方式,指导用户合理分配单相负荷,避免由于用户不合理的用电行为导致三相不平衡。同时,通过各种渠道加强对用户的宣传教育,向用户宣传三相不平衡的危害及正确的用电知识,增强用户的用电意识,引导用户积极配合电力企业做好三相不平衡的治理工作,并加强与用户的沟通和交流,共同维护配电网安全稳定运行。

4 结束语

10 kV 配电网线路三相不平衡问题严重影响电网安全、稳定、经济运行。通过深入分析三相不平衡的危害和产生原因,采取优化负荷分配、采用平衡装置、优化电网结构、加强运行管理等一系列优化控制策略,可有效地降低三相不平衡度,提高配电网的运行水平和电能质量。这些策略的实施,需要电力企业、用户和有关部门共同努力,加强协作,不断完善和创新,以适应电力系统发展的新要求,为社会经济的发展提供可靠的电力保障。

参考文献:

- [1] 彭超敏,钟志明.农村 10kV 配电网线路差异化防雷治理[J].农村电工,2025,33(05):44.
- [2] 樊江川,吴豫,于昊正,等.基于智能算法的 10 kV 配电网线路损耗估计方法设计[J].电子设计工程,2025,33(07):117-121.
- [3] 周晓宇.10 kV 配电网线路接地故障的治理与预防[J].周口师范学院学报,2025,42(02):21-25.
- [4] 董庆国,王耀,田晓彤.降低 10 kV 配电网线路重载率实践[J].农村电工,2024,32(11):43-44.
- [5] 薛舒月,宋玲燕,王亦琛.10kV 配电网线路常见的施工故障及运维技术关键探讨[J].城市建设理论研究(电子版),2024(26):94-96.