

配电线路的线路保护探讨

岳国龙

华佰集团有限公司 宁夏 银川 750000

摘要: 配电线路作为电力系统的重要组成部分,承担着将电能从电源输送到用户的关键任务。本文介绍了配电线路的结构,阐述了电流保护、电压保护、差动保护和重合闸技术等保护技术。分析了分布式电源接入、配电网自动化发展、保护装置自身及故障检测定位等方面面临的问题。最后提出优化适配分布式电源的保护策略、加速保护与自动化融合、增强保护装置可靠性与稳定性、改进故障检测定位技术手段等提升配电线路保护的策略,为配电线路安全稳定运行提供参考。

关键词: 配电线路; 线路保护技术; 策略

引言: 随着电力系统的发展,配电线路的结构日益复杂,分布式电源接入、配电网自动化推进等因素给线路保护带来了诸多挑战。传统的保护技术已难以满足现代配电网的需求,深入研究配电线路的保护技术,解决当前面临的问题,探索有效的提升策略,对于提高供电可靠性、保障电力系统的安全稳定运行具有迫切且重要的现实意义。

1 配电线路的结构

配电线路的结构类型丰富多样,主要包括以下架空线路、电缆线路和混合线路。(1) 架空线路凭借成本较低、架设与维护便捷等优势,在城乡配电网中被广泛应用。它由导线、杆塔、绝缘子和金具等构成,导线负责电能传输,常见的材质有铝绞线、钢芯铝绞线等;杆塔作为支撑结构,根据功能分为直线杆塔、耐张杆塔、转角杆塔等;绝缘子保障导线与杆塔之间的电气绝缘,金具则用于连接和固定各部件。(2) 电缆线路则适用于城市中心、工厂厂区等对美观和安全要求较高的区域,它将绝缘电缆埋设在地下或敷设在电缆沟、隧道内,具有占地少、受外界环境影响小、供电可靠性高等特点。电缆线路一般由电缆本体、电缆终端头和电缆中间接头组成,电缆本体包含导体、绝缘层、护层等部分,各层材料性能直接影响电缆的传输能力和使用寿命。(3) 混合线路结合了架空线路与电缆线路的优势,在复杂配电环境中灵活应用,能够有效平衡建设成本与供电可靠性需求^[1]。

2 配电线路的保护技术

2.1 电流保护技术

电流保护技术基于故障时电流显著增大的特性,主要包含以下瞬时电流速断保护、限时电流速断保护和定时限过电流保护。(1) 瞬时电流速断保护。用于快速切除靠近电源端的短路故障,其动作电流按躲过线路末端

最大短路电流整定,不设动作时限,故障电流超整定值时,0.1s内迅速动作。但该保护受运行方式和短路类型影响大,轻载或两相短路时,保护范围会缩小。(2) 限时电流速断保护。是对瞬时电流速断保护的补充,用于切除本线路全长故障。其动作电流大于下一段线路瞬时电流速断保护动作电流,设置约0.5s动作时限以保障选择性,二者配合提升线路保护性能,扩大快速保护范围。

(3) 定时限过电流保护。作为相邻线路的后备保护,动作电流按躲过线路最大负荷电流整定,动作时限遵循阶梯原则,离电源端越近,时限越长。当线路过电流且持续时间达整定值,保护装置动作切除故障线路,三者相互配合,共同构建起配电线路电流保护体系。

2.2 电压保护技术

电压保护技术是依据故障时电压的变化特征来实现线路保护的,主要包括以下低电压保护和过电压保护。

(1) 低电压保护。当系统发生短路故障、电动机自启动等情况导致电压降低到威胁设备安全运行的阈值时,低电压保护装置动作。它通过监测母线电压或线路电压,当电压低于整定值且持续时间达到设定的延时后,切除非重要负荷,避免大量电动机同时自启动造成电压崩溃,保障重要负荷的正常供电。低电压保护的电压整定值通常根据设备的允许最低工作电压来确定,动作时限则需与其他保护的时限相配合,以确保保护动作的正确性。(2) 过电压保护。配电线路在运行过程中,可能会因雷击、操作等原因产生过电压,威胁设备的绝缘安全。过电压保护通过安装避雷器、过电压保护器等装置,将线路过电压限制在安全范围内。避雷器能够在雷击过电压或操作过电压出现时,迅速导通,将过电压产生的大电流引入大地,从而保护电气设备;过电压保护器则通过限制过电压幅值和能量,降低过电压对

设备的冲击。

2.3 差动保护技术

差动保护技术基于基尔霍夫电流定律,通过比较被保护线路两端电流的大小和相位来判断线路是否发生故障,是一种快速、灵敏且具有高度选择性的保护方式。在正常运行和外部故障时,线路两端电流大小相等、相位相反,流入差动继电器的电流为零或极小,保护装置不动作;而当线路内部发生故障时,两端电流的平衡被打破,流入差动继电器的电流大于整定值,保护装置迅速动作,切除故障线路。差动保护的動作速度快,一般能在几十毫秒内完成动作,可有效减少故障对系统的影响。比率制动特性是指差动保护的動作电流随着穿越性电流的增大而自动增大,从而避免在外部故障时因不平衡电流的影响导致保护误动作。随着通信技术的发展,基于光纤通信的纵联电流差动保护得到广泛应用,通过光纤通道实时、准确地传输线路两端的电流数据,进一步提高了差动保护的性能和应用范围,尤其适用于对供电可靠性要求较高的重要配电线路。

2.4 重合闸技术

重合闸技术是提高配电线路供电可靠性的重要手段,主要分为以下三相一次重合闸和综合重合闸。(1)三相一次重合闸。是指当线路发生故障后,保护装置动作使三相断路器跳闸,经过一定时间间隔后,断路器自动重合闸。若重合于永久性故障,保护装置再次动作使断路器跳闸;若重合于瞬时性故障,线路则恢复正常供电。三相一次重合闸的重合闸时间需要合理整定,既要保证故障点的绝缘恢复,又要避免时间过长影响系统的稳定性和供电可靠性。一般来说,重合闸时间在0.5-1.5s之间。(2)综合重合闸。适用于中性点直接接地系统,它能够根据故障类型选择不同的重合闸方式。当发生单相接地短路时,只跳开故障相断路器,然后进行单相重合闸;若重合不成功,再跳开三相断路器;当发生相间短路时,则跳开三相断路器,进行三相重合闸^[2]。综合重合闸充分利用了系统的资源,提高了供电的可靠性和稳定性,但由于其动作逻辑复杂,对保护装置和断路器的性能要求较高,需要精确的故障判断和可靠的动作执行。

3 配电线路保护面临的问题

3.1 分布式电源接入带来的挑战

分布式电源的大规模并网打破传统配电网单向潮流格局,使短路电流特性复杂化。故障时,分布式电源注入电流导致短路电流大小、方向改变,传统基于单向供电模式整定的电流、电压保护装置,难以准确判断故障状态,易出现保护范围缩小、误动或拒动。此外其间歇

性与波动性加剧配电网运行方式变化,保护定值配合难度剧增。

3.2 配电网自动化发展的适配难题

配电网自动化追求故障快速定位、隔离与供电恢复,但现有保护技术难以满足需求。传统保护装置动作迟缓,无法实现故障精准速切,与自动化系统快速响应要求脱节;老旧设备通信能力弱,数据交互滞后或丢失,影响故障处理效率。自动化系统要求保护装置具备自适应策略调整、运行状态在线分析等智能化功能,而当前多数装置数据处理与分析能力不足,制约配电网自动化发展。

3.3 保护装置自身可靠性与稳定性隐患

长期运行中,配电线路保护装置存在可靠性与稳定性问题。硬件方面,元器件老化易引发保护误触发或拒动;软件层面,程序漏洞与算法缺陷在特殊工况下会导致保护逻辑错误。复杂运行环境中的电磁干扰、雷击、温湿度变化,以及通信模块数据传输中断、丢包等问题,进一步削弱保护系统整体性能。

3.4 故障检测与定位的技术瓶颈

复杂配电网络中,线路分支多、拓扑复杂,部分区域监测设备缺失,导致故障定位缓慢。高阻接地等故障特征微弱,传统检测手段难以识别^[3]。分布式电源接入后,故障电流波形畸变,故障特征模糊化,加剧检测难度。

4 提升配电线路保护的策略

4.1 优化适配分布式电源的保护策略

优化适配分布式电源的保护策略,需从以下动态调整、区域协同和故障限流三个层面展开。(1)部署智能监测终端。在分布式电源接入点、线路关键节点安装高精度传感器,实时采集电源运行参数、系统潮流分布及短路电流波形等数据。基于这些实时数据,运用自适应保护算法,根据分布式电源出力变化和系统运行方式调整保护整定值。(2)构建区域保护控制体系。将分布式电源集中接入区划分为若干保护子区域,各子区域内的保护装置通过5G、光纤等高速通信网络实现实时信息交互。当区域内发生故障时,子区域内保护装置依据共享的电流、电压数据,快速判断故障位置与性质,通过协同决策机制避免保护误动或拒动。(3)推广应用分布式电源故障限流技术。超导限流器、固态限流器等设备可在短路故障瞬间,利用超导材料失超特性或电力电子器件快速响应能力,将短路电流限制在合理范围内。

4.2 加速配电线路保护与自动化融合

配电线路保护与配电网自动化的深度融合是提升供电可靠性的必然趋势,需从以下硬件升级、通信优化和

软件赋能三方面推进。(1) 硬件设备升级。逐步淘汰老旧电磁式保护装置,采用具备高速数据处理能力、支持IEC61850等标准通信协议的智能电子设备(IED)。IED集成了测量、控制、保护和通信等功能,可实现与配电网自动化主站的无缝对接,快速上传故障信息并接收控制指令。(2) 通信网络优化。构建以光纤通信为主干、无线通信为补充的复合通信网络。在城市配电网中,利用光纤网络实现配电终端与主站之间的稳定高速通信;在偏远地区或施工不便区域,采用5G、NB-IoT等无线通信技术,确保故障信息与控制指令的可靠传输。建立通信网络冗余备份机制,当主通信链路出现故障时,备用链路自动切换,保障通信不间断。(3) 软件层面的智能化升级。开发智能决策系统,使其能够接收配电网自动化系统下发的网络拓扑、负荷预测等数据,自动优化保护策略。引入人工智能算法,如深度学习、强化学习,对实时监测数据进行深度分析。通过对历史故障数据和设备运行状态的学习,提前预判潜在故障风险,实现故障的主动防御。

4.3 增强保护装置可靠性与稳定性

保护装置的可靠性与稳定性直接关系到配电线路的安全运行,需从以下硬件、软件、环境防护和运维管理多维度进行强化。(1) 在硬件方面,选用工业级高可靠性元器件。对于核心部件,如CPU、电源模块、信号采集单元等,采用冗余设计。建立元器件老化在线监测机制,通过监测关键参数的变化趋势,预测元器件寿命,提前进行更换维护,避免因元器件老化导致的保护装置失效。(2) 软件质量提升。加强程序代码的测试与验证,采用模块化设计理念,将保护逻辑划分为独立模块,便于功能扩展与维护。实施版本管理,记录代码修改历史,确保软件更新的可追溯性。定期更新优化算法,修复潜在漏洞,并引入软件容错技术。(3) 环境防护措施。针对电磁干扰、雷击、潮湿等恶劣环境,对保护装置进行电磁屏蔽设计,安装防雷击器件,采用防潮、防尘外壳。在户外安装的保护装置,配备温控设备,确保装置在适宜温度范围内工作。通过加装隔离变压器、滤波电路等方式,减少电源干扰对装置的影响。(4) 远程运维平台的搭建。通过物联网技术,将保护装置接入运维平台,实时监测装置运行状态、保护动作信

息和自检数据。运维人员可远程查看装置参数、修改保护定值、进行故障诊断,及时处理运行隐患。

4.4 改进故障检测与定位技术手段

准确快速的故障检测与定位是缩短停电时间、提升供电可靠性的关键,需综合运用以下多种先进技术手段。(1) 高精度行波监测装置的部署。当线路发生故障时,会产生向两端传播的故障行波,通过在变电站、线路分段点安装行波监测装置,精确记录行波到达时间。利用行波测距原理,根据行波传播速度和时间差,可快速计算出故障点位置。该技术定位精度高,不受线路参数、运行方式影响,尤其适用于长距离输电线路和复杂配网结构。(2) 物联网技术与智能传感器的结合。在配电线路关键节点安装智能传感器,实时采集电流、电压、温度、局部放电等多源数据。通过数据融合分析技术,将不同类型数据进行关联处理,提取故障特征。(3) 基于大数据与机器学习的故障定位模型。收集海量历史故障数据、线路参数、运行状态数据,利用机器学习算法训练故障定位模型。模型通过学习数据之间的关联关系,可在复杂网络环境下快速准确地定位故障点^[4]。建立故障定位结果校验机制,结合地理信息系统直观展示故障位置,并与现场巡检数据进行比对验证。

结束语:配电线路的线路保护是电力系统安全稳定运行的重要保障。本文通过对配电线路结构、保护技术、面临问题及提升策略的系统探讨,明确了当前配电线路保护在复杂环境下的挑战与应对方向。随着技术的不断进步,应持续优化保护策略,深化保护与自动化融合,强化保护装置可靠性与稳定性,改进故障检测定位技术。

参考文献

- [1]黄优.浅析10kV配电线路的运行维护措施[J].中国高新科技,2021(21):72-73.
- [2]张喜存.变电所配电线路的线路保护探讨[J].建筑工程技术与设计,2021(7):16-17.
- [3]庄天.配电线路运行维护管理问题及改进措施核心探究[J].石油化工建设,2021,43(05):108-109.
- [4]何健元.配电线路运行维护措施研究[J].科技与创新,2021(08):131-133.