

换流站对交直流电网保护分析

Analysis of the Protection of AC and DC Power Grids by Converter Stations

艾彬

Bin Ai

国网榆林供电公司二次检修中心 中国·陕西 榆林 719000

State Grid Yulin Power Supply Company Secondary Maintenance Center, Yulin, Shaanxi, 719000, China

摘要: 在输电工程中, 高压直流输电工作, 交流变压器能有效调节和控制高压直流输电系统, 具有负荷开关, 在整个直流输电工程中, 补偿交流系统结构中的电压波动等方面起着至关重要的作用。近年来, 随着智能电网建设特别是智能变电站工程应用的不断推进, 为提高继电保护的传统性能提供了有力的技术支持。借此机会, 我们将对开关站交流直流保护措施进行深入分析和介绍, 希望为中国电网保护工作做出贡献。

Abstract: In the transmission project, HVDC transmission work, AC transformer can effectively adjust and control the HVDC transmission system, with load switch, in the whole HVDC transmission project, the voltage fluctuation in the AC system structure and other aspects plays a vital role. In recent years, with the continuous advancement of smart grid construction, especially the application of smart substation engineering, it provides strong technical support for improving the traditional performance of relay protection. We will take this opportunity to conduct an in-depth analysis and introduction of the switchstation AC and DC protection measures, hoping to contribute to the protection of China's power grid.

关键词: 换流站; 交直流电网; 保护分析

Keywords: converter station; AC/DC power grid; protection analysis

DOI: 10.12346/peti.v5i2.7989

1 引言

随着分布式发电技术的不断发展, 越来越多的分布式能源以集成连接的形式形成网络。其中, 直流电网具有电力转换速度快、操作简单、可靠性高等优点, 已成为未来微电网发展的趋势。然而, 传统交流网络的发展一直比较可靠, 直流微网络和交流网络将长期共存。当时出现了交流直流混合电网, 它通过连接转换器将交流网络与直流网络连接起来, 结合了交流网络与直流网络的相应优势, 减少了电气电子转换器的使用。在时代不断发展的背景下, 电力系统逐步向电能化方向发展。在输电网中, 电的电化主要体现在输送高压直流的交直流混合输电网中。从中国现阶段的实际情况来看, 中国在系统设计、设备制造和工程实践的整个过程中, 逐步取得了一定的研究成果, 逐步向国际化迈进^[1]。在

电力供应和配电领域, 电力电子化的一个重要标志是交流和直流微电网的混合。然而, 由于中国这一领域的研究仍处于起步阶段, 研究方向是通过优化能源规划和管理, 协调控制和转换器控制来适当保护网络。

2 概念和特征

2.1 对交换站交流直流网络保护研究的意义

交换机保护作为分层保护的中间层, 发挥了重要的主动作用, 同时由于不需要站间通信, 实现了方便等技术优势, 其研究和应用受到了极大的关注。作为一种新型保护形式, 构建模式、实施原则和传统保护体系有很大区别。如何科学合理地规划配电站保护系统建设, 研究并提出基于配电站信息的新保护原则, 对促进电力系统保护工程应用和确保电力

【作者简介】艾彬(1989-), 男, 中国陕西榆林人, 本科, 助理工程师, 从事交直流系统研究。

系统运行安全具有重要的理论和实践意义。

2.2 分析传输特性

由于转换器的非线性时间特性，交换站传输特性比较复杂，双方电量之间的关系难以定量分析。为了计算转换器两侧的电质量，直接使用准稳态模型进行分析。但是，当交流系统不对称或控制器处于动态调节过程中时，准稳态模型背后的假设条件不再满足，模型将不再适用。除了使用准稳态模型外，目前的传输特性分析主要基于电磁瞬态模拟。该方法基于仿真软件，计算过程复杂，故障分析缺乏理论基础，迫切需要提出一种便于理论研究的故障传递特性分析方法。针对上述问题，目前的研究通常使用开关函数和动态相位模型来描述变换站的传输特性。开关的功能模型用于分析转换器两侧的静态传输关系，动态相位模型用于描述转换器的动态过程。

3 交流直流混合微电网的基本结构

所谓交直流混合微电网，是指系统与电源节点聚类负载分离的特定区域。该地区包括三种形式的网络：交流微电网、直流微电网和交流直流混合微电网。在交流电和直流混合微电网组中，由于其房屋结构相对灵活多变。因此，对于不同的电压水平和不同类型的微电网，他们可以使用转换器实现相互连接和能量流。交流直流混合微电网系统主要由交流微电网、直流微电网、交流直流混合微电网和直流混合微电网四种网络系统组成。同时，在各种微电网系统中，获得大量分布式电源，有效提高了电网供电的稳定性和可靠性^[2]。

控制交流滤波器 / 并联电容器：

在实际电网中，直流控制系统由交流滤波器和并联电容器组成。在具体的电力工程中，该系统主要实现了直流系统无功功率的有效控制。工作状态始终处于稳定状态，对其进给的影响主要取决于以下因素：①交换站滤波器的最小带宽有一定的限制。②对直流系统局部无功平衡死区控制的规范要求。在交流网络干扰引起电流变化的情况下，为确保交流直流系统的开关电抗交换保持在死区控制范围内，应通过重置交流滤波器 / 并联电容器实现。在实际电网设计中，为了确保不同直接交换系统之间高效交换的合理性，相关部门为每个相关项目单独编制一套设计文件。其中有明确的规定和要求，确定直流注入交流电网无功功率理想值曲线。

4 保护系统的必要性

传统的三线防御安全稳定体系和控制措施在确保电力系统在交流网络发展的各个阶段的安全运行方面发挥着重要作用。随着电力系统结构特征的不断变化，传统的单一稳定管理措施、措施、保护范围和保护技术在一定程度上落后于大型交流直流超高压电网的运行实践，难以满足系统安全保护的要求，这表现在以下几个方面。

4.1 交流直流网络故障

应对严重故障的稳定控制系统通常仅针对局部稳定问题设计，控制措施数量相对较少，措施类型相对相同。超高压交流直流网络具有单通道大容量，如在同一直流传输电路中，同一传输端相同，多次直流切换失败可导致数千万千瓦的有源振荡数百毫秒。这对传输网络造成严重打击，原有基于局部稳定的加固模式无法满足严重故障后控制措施数量的需求。

4.2 网络电路故障问题

交流直流超高压网络互连互通，发射机与接收机之间的相互作用增强，需要不断扩大预防控制措施，以满足交流直流电路故障保护要求。不同的发射机结构复杂，两端传输形势稳定，在现有的安全管理体系下难以组织和协调措施，需要对网络安全保护体系进行改造。超高压交流直流网络与不同接收端的传输终端同时存在，同一接收端具有不同的多直流传输结构，使电力系统弱截面的稳定形状更加复杂，对控制措施的需求量大，种类繁多。保护范围覆盖多频段、多时间尺度、多控制资源，控制网络特点突出，协调难度大，突破了原有的局部分散配置稳定管理体系，需要改造新的综合电网保护体系。

4.3 电气电子特性引起的问题

在传统的交流电网中，电力电子设备接入水平低，谐波主要来自大型设备操作和轧钢、冶炼等工业负荷，通常只会短期影响配电网的电能质量，不影响系统的稳定性；大规模开发新能源、新负载和直流传输，使电气电子特性不断表现出电网锁定等连锁反应。突破故障运行安全管理设计理念，将稳定性管理从工频问题扩大到更宽的频带。

5 电力系统安全问题

目前，超高压交流直流电力系统与传统交流系统的性能有很大差异。首先，在供电结构中，以风能、光伏为代表的新能源通过多级交流与大电网连接，广泛采用站侧柔性交流设备，保持新能源与电网连接的特性；其次，电力系统结构广泛采用超高压交流电、高压柔性直流电、超高压分层接入等输电技术，突出了区域间长途输电的结构；最后，负载结构、电气电子技术广泛应用于负载侧，新负载的频率、电压和谐波特性发生了显著变化，如大量负载显示出反频率特性。

目前的电力系统建模和安全稳定评估体系仍落后于电力系统的发展。系统保护严重的故障形式，必须清楚地定义加固对象、加固场景中存在的问题及其严重性。因此，在当前电力系统复杂故障中披露稳定机制和准确评估安全稳定性的尤为重要和迫切，是系统保护建设的关键问题。

6 保护系统的关键技术

保护系统建设是一个复杂的系统工程，必须适应不同的

工作场景,协调不同的管理资源,整合多种先进技术。其中,集中式系统保护管理系统主要体现在电网安全稳定的二线防御中,需要综合系统分析、自动控制、信息通信、智能决策等多个专业领域,设计广泛的信息交互,多层次战略分解硬件和软件系统的集成架构,实现多用途、多资源、多时间尺度、多目标协调管理。此外,要充分利用其他领域先进的应用技术,并结合网络管理要求,促进理论和技术创新。

6.1 全景状态感知技术

在大规模收集信息的基础上,实现对网络重要元素、控制资源、控制设备状态和行为的全景感知,支持综合分析和评估以及集中监视和警报。同时,为实时决策和协作控制提供信息支持,为分析电力系统瞬态特性和故障演变路径提供了基础。要研究系统对身体工作状态的感知、控制策略、控制资源以及电力系统动态稳定水平的全过程监控技术,研究不同类型信息的有序存储和有效交换技术,研究全网络同步记录技术。由系统保护设备记录、相位测量单元记录和干扰记录组成。

6.2 智能实时决策

基于全景状态感知,进行在线智能故障诊断和系统瞬态特性综合识别,定位和筛选系统中存在的问题,全面考虑制约条件,结合局部和系统标准,实现对控制区域、控制对象和控制范围的多用途智能实时决策。下一步根据实时控制资源,协调分解控制策略,实现应急、有序、协调的资源管理,对能源网络的多种充电类型进行控制。要研究可靠快速地基于故障事件和响应信息的网络扰动场景识别技术,并研究适应网络供给协调的多稳定限制和多变量混合优化技术。例如:面对超高压交流直流混合结构中多直流电网运行特性的变化,需要研究和利用直流输电功率的快速可控特性,与直流合作,泵能积累和大容量中断负载等措施解决了功率不足冲击下电网频率稳定的问题,满足了区域间直流和超高压直流快速发展条件下电网频率稳定的技术需要。

6.3 精确负载控制技术

精确的负载管理技术,控制对象分为用户,根据负载特点,用户的意愿精确匹配,具有多方面、选择性高、用户与电影噪声小的优点,通过与传统负载管理系统的互操作性,可满足直流开关故障和联锁故障时大负载的客观要求,是保证电网过渡安全的最有效手段。精确负载管理技术应根据固定和过渡状态下不同时间尺度的负载管理要求,对大范围和大范围中断负载进行全面控制,对负载管理对象的控制效率、时间和数量进行定量分析,与负载管理的经济性和网络安全性相协调,提供最优控制,形成可靠的精确负载管理策略和技术解决方案,减少故障造成的经济损失。

7 改进直流控制系统

7.1 预启动控制

结合开关相位故障机制,这种现象的主要原因是开关角

度太小。所谓提前启动控制是指检测过程,终端网络点有交流故障,会有一定程度的相变故障,发生时,有关人员必须结合故障类型和严重程度,反向侧向转换器启动延迟角,提前减少工作,依靠增加相应的相位储备。由此可以了解到,在管理的预启动工作中,有关人员要高度重视两个方面的内容:①快速发现交换系统故障;②结合实际情况,在故障严重程度与早期发射角之间建立物理联系。

7.2 直流系统降压工作

在进行直流输电项目综合设计工作期间,为确保输电线路在降低绝缘条件下能够保持稳定的输电功率,有关部门经常采用直流降压运行模式,实现上述目标。但需要注意的是,在使用这种工作模式时,应与负载开关一起进行控制,以减少阀门一侧的交流电压,从而降低直流端口的电压值。为了确保负载开关的最小传输电平的调制方便,有关部门只需在降压过程中降低直流电压,即直流电压越低,就越容易调节。此外,对于采用70%降压运行模式设计的直流项目,可以完全避免在电力系统项目具体运行期间对供油变电站变压器进行负荷分离开关的操作^[1]。

7.3 保护距离

在高压输电线路中,距离保护是最常见的工作原理。在电力系统运行期间,一旦相位转换失败,距离保护性能将受到严重影响。在工作相位提取工作中,谐波和非周期成分注入不成功的相位变换不仅会对相应的提取工作产生一定影响,还会导致距离保护作用不正确。为了有效解决这一问题,有关部门提出了一种求解时域微分方程组的方法,通过计算故障点与保护装置位置之间的距离,提高整体距离保护性能。

8 结语

直流接收网络的电压稳定特性与直流系统的控制策略和运行状态密切相关,详细分析了直流变压器控制模式下静电稳定分析过程中的电压响应特性,研究了变压器开关策略和计算方法,在连续流法的基础上提出了考虑直流系统瞬态的静态电压稳定计算方法,引入了直流功率参与因子,可以灵活地分配直流功率在平衡负载增量功率中的份额,更全面地评估直流接收网络电压稳定的静态特性。

参考文献

- [1] 汪燕,姚蜀军,林芝茂,等.一种基于多频段动态相量的LCC换流器电磁暂态建模方法研究[J].中国电机工程学报,2020,40(17):9.
- [2] 王宾,李志中,董新洲.基于动态相量法的直流系统暂态响应实时快速仿真计算方法[J].中国电机工程学报,2021,41(5):10.
- [3] 张晨浩,宋国兵,董新洲.利用故障电流首行波拟合的柔性直流输电线路单端行波保护原理[J].中国电机工程学报,2021,41(8):10.