

Research on comprehensive management strategy of power quality of photovoltaic power generation cluster connected to substation

Jun Gao

China Nuclear Power Co., Ltd., Beijing, 100000, China

Abstract

Photovoltaic power generation is a crucial form of renewable energy. As global demand for clean energy continues to grow, the installed capacity of photovoltaic power generation is expanding. However, the large-scale integration of photovoltaic power generation clusters into substations brings numerous economic and environmental benefits but also poses significant challenges to the power quality of the electrical system. This paper will delve into the harmonic distortion, voltage fluctuations and flicker, and three-phase imbalance issues that arise when photovoltaic power generation clusters are connected to substations. It proposes comprehensive management strategies to address these issues, aiming to provide theoretical references and practical guidance for ensuring the safe, stable, and efficient operation of the power system.

Keywords

photovoltaic power generation cluster; substation; power quality; comprehensive management strategy; voltage fluctuation

光伏发电集群接入变电站的电能质量综合治理策略研究

高军

中核汇能有限公司, 中国·北京 100000

摘要

光伏发电是一种重要的可再生能源发电方式, 当前随着全球对于清洁能源需求的不断增长, 其装机容量在持续地扩大。但光伏发电集群大规模接入变电站, 在带来诸多经济效益和环境效益的同时, 也给电力系统的电能质量带来了一系列的挑战。本文将深入地分析光伏发电集群接入变电站后产生的谐波、电压波动与闪变、三相不平衡等电能质量问题, 并针对这些问题提出了相应的综合治理策略。旨在为相关人员保障电力系统安全、稳定、高效运行提供理论参考和实践指导。

关键词

光伏发电集群; 变电站; 电能质量; 综合治理策略; 电压波动

1 引言

在全球能源结构转型的大背景下, 为了能够应对传统化石能源日益枯竭以及环境污染等问题, 可再生能源的开发与利用受到了世界各国的广泛关注。此时, 光伏发电凭借自身清洁、无污染、取之不尽用之不竭等优势, 成为了可再生能源领域发展最为迅速的产业之一。近些年来, 我国光伏发电装机容量呈现出爆发式的增长, 大量的光伏电站以集群的形式接入变电站, 进而实现了电力的集中汇集与输送。但是由于光伏发电自身的特性, 如输出功率受光照强度、温度等自然因素影响较大, 因此其具有间歇性、波动性和随机性等特点。所以在大规模的光伏发电集群接入变电站之后, 不可

避免地给电力系统的电能质量也带来了一系列的问题。

2 光伏发电集群接入变电站带来的电能质量问题

2.1 谐波问题

光伏逆变器是光伏发电系统当中, 助力直流电转换为交流电的关键设备。目前, 大多数光伏逆变器采用了脉宽调制(PWM)技术, 虽然这种技术能够有效地实现电能转换, 但会在输出电流和电压中产生大量的谐波。而谐波是指电流中所含有的频率为基波整数倍的电量, 它通常是由于电力系统中的非线性设备而产生的。

当光伏发电集群大规模地接入变电站后, 众多光伏逆变器产生的谐波电流注入电网, 就会导致电网电压波形发生畸变。原因在于, 谐波电流在电网阻抗上产生了压降, 使得电网电压中也含有谐波成分。谐波的存在将会对电力系统中

【作者简介】高军(1980-), 男, 中国山西太原人, 本科, 高级工程师, 从事电力与新能源研究。

的电气设备产生诸多危害。比如谐波电流会增加变压器的铁损和铜损,导致变压器发热加剧,进而降低变压器的运行效率和使用寿命;谐波会使电动机的附加损耗增加,致使电动机过热,从而降低电动机的出力 and 效率;此外谐波还会干扰电力系统中的继电保护装置和自动化设备的正常工作,使得保护误动作或者设备故障的情况出现,严重地威胁着电力系统的安全稳定运行。

2.2 电压波动与闪变

光伏发电的输出功率受光照强度、温度等自然因素的影响显著,因而具有明显的间歇性和波动性。即在一天当中,随着太阳光照强度的变化,光伏发电的输出功率会在很大范围内发生波动。而这种输出功率的剧烈波动,则会导致变电站母线电压出现明显的波动与闪变。具体来说:电压波动是指电压在短时间内的快速变化,一般会用电压变化的幅值 and 变化速度来衡量;电压闪变则是指由于电压波动导致灯光照度不稳定而使人眼产生视觉不适的现象。

电压波动与闪变均会对电力系统中的电气设备和用户用电产生不良的影响。对于电子计算机、医疗设备等一些对电压稳定性要求较高的精密仪器设备,电压波动与闪变可能会导致设备工作出现异常,甚至是损坏设备。对于照明设备而言,电压闪变则会使灯光出现闪烁现象,此时会影响用户的视觉感受和工作生活环境。

2.3 三相不平衡

在光伏发电集群当中,由于光伏组件的安装位置、朝向、遮挡情况以及电气参数的差异等因素,将会导致各相光伏阵列的输出功率不一致,从而引发三相不平衡问题。不仅如此,光伏逆变器的不对称运行、电网负荷的不对称分布等因素还会加剧三相不平衡的程度。

三相不平衡的情况出现,会对于电力系统产生多方面的负面影响。首先会增加线路和变压器的损耗。因为在三相不平衡的情况下,中性线会有电流通过,从而增加了线路的损耗。同时由于三相电流不对称,变压器的磁路就会呈现不平衡的状态,进而导致了变压器的铜损和铁损增加,降低了变压器的运行效率。其次三相不平衡会使电动机的输出转矩减小,致使效率降低、发热加剧,此时将会影响到电动机的正常运行和使用寿命。最后三相不平衡还会导致电压不对称,使某些相的电压过高或过低,进而影响到用电设备的正常工作,甚至还会损坏设备。而且三相不平衡还会对继电保护装置的正常工作产生一定的干扰,可能会导致保护误动作或拒动作,该情况也影响到了电力系统的安全稳定运行。

3 电能质量综合治理策略

3.1 谐波治理策略

3.1.1 安装谐波滤波器

谐波滤波器是一种用于抑制谐波的装置,它主要是通过

在电网中设置特定频率的 LC 谐振回路,对于特定频率的谐波电流进行吸收,从而减少谐波电流注入电网。现阶段常见的谐波滤波器包括了单调谐波滤波器、双调谐波滤波器和高通谐波滤波器。

展开来说:单调谐波滤波器即针对某一特定频率的谐波进行滤波,它具有滤波效果好、损耗小等优点,但是只能对单一频率的谐波起作用;而双调谐波滤波器可以同时两个不同频率的谐波进行滤波,因此适用于谐波含量较为复杂的场合;高通滤波器则可以对高于某一频率的谐波进行抑制,现阶段常被用于抑制高次谐波。就光伏发电集群接入变电站的系统而言,相关人员可以根据实际的谐波频谱特性,合理地选择和配置谐波滤波器。但在安装谐波滤波器时,一定要考虑滤波器的容量、安装位置等因素,以确保滤波器能够有效地抑制谐波,同时还不影响电力系统的正常运行^[1]。

3.1.2 优化逆变器控制策略

光伏逆变器是产生谐波的主要源头,因此通过优化逆变器的控制策略,就可以从源头上减少谐波的产生。但传统的光伏逆变器控制策略主要关注的是电能的转换效率和功率输出,对于谐波抑制的考虑相对较少。近几年来,随着电力电子技术和控制理论不断发展,在市面上出现了许多新的逆变器控制策略,像基于空间矢量调制(SVPWM)的控制策略、滞环电流控制策略、无差拍控制策略等等。

基于空间矢量调制的控制策略是通过将三相电压空间矢量分解为多个基本矢量,再按照一定的规则进行合成,从而得到接近正弦波的输出电压,以此有效地减少谐波含量。滞环电流控制策略则是通过设置电流滞环比较器,来将逆变器输出电流与参考电流进行比较,接着根据比较结果来控制逆变器的开关状态,进而使输出电流跟踪参考电流,再实现对于谐波的抑制。而无差拍控制策略是以系统的数学模型为依据,来预测下一时刻的输出电流,并且提前调整逆变器的控制信号,使输出电流能够快速、准确地跟踪参考电流,此方法具有良好的谐波抑制效果。在实际应用上述策略的过程中,相关人员还可以结合先进的控制算法,如自适应控制算法、模糊控制算法等,旨在进一步地提高逆变器的谐波抑制能力。

3.2 电压波动与闪变控制策略

3.2.1 无功补偿装置的应用

无功补偿装置的作用是向电网中注入或吸收无功功率,以达到调节电网无功平衡的效果,从而稳定电压,并抑制电压波动与闪变。现下常见的无功补偿装置包括了并联电容器、静止无功补偿器(SVC)和静止同步补偿器(STATCOM)等。

就并联电容器来说,它是一种简单、经济的无功补偿装置,其能够向电网中注入容性无功功率,进而提高电网的功率因数,以此降低线路损耗、稳定电压。但并联电容器的补偿效果是固定的,所以不能根据电网无功需求的变化进行实时地调节。而静止无功补偿器是一种能够快速调节无功功

率的装置,它主要包括了晶闸管控制电抗器(TCR)和晶闸管投切电容器(TSC)等类型。其中TCR可以连续地调节感性无功功率,TSC则可以快速地投切容性无功功率,经由两者的配合使用,即可实现对电网无功功率的动态补偿,达到抑制电压波动与闪变的效果。最后便是静止同步补偿器,其是一种基于电压源换流器(VSC)技术的新型无功补偿装置,它具有响应速度快、调节范围广、补偿精度高等优点,实践当中能够快速地跟踪电网无功需求的变化,实现对于电压的精确控制,因而是目前抑制电压波动与闪变最有效的装置之一^[2]。

3.2.2 优化光伏发电集群的调度与控制

优化光伏发电集群的调度与控制,目的是有效地减少光伏发电输出功率的波动对电压的影响。一方面,相关人员可以建立光伏发电功率预测模型,即利用气象数据、历史发电数据等信息,对于光伏发电的输出功率进行准确地预测。而后根据功率的预测结果,再合理地安排光伏发电集群的发电计划,核心是要提前地调整发电设备的运行状态,使光伏发电的输出功率尽可能保持平稳的状态。另一方面,相关人员可以采用先进的控制算法,像模型预测控制(MPC)算法就能够对光伏发电集群进行实时地控制。具体而言:MPC算法可以根据系统的当前状态和预测模型,预测未来一段时间内系统的运行状态,之后通过优化控制策略,就能使系统在满足各种约束条件的情况下,达到最佳的运行性能。

3.3 三相不平衡治理策略

3.3.1 优化光伏组件的配置与布局

在光伏发电集群的设计和建设阶段,若能够合理地优化光伏组件的配置与布局,就可以有效地减少三相不平衡的程度。首先在光伏组件的选型过程中,相关人员应选择电气参数一致性好的组件,目的是减少因组件参数差异导致的三相输出功率不平衡。其次是在组件的布局方面,相关人员要充分考虑到安装位置、朝向、遮挡等因素对于光伏组件输出功率的影响。此外,相关人员还可以根据实际的地形和光照条件,对于光伏组件进行分组配置,即将电气参数相近的组件分配到同一组,并且合理地分配到三相系统中,进而使三相的输出功率尽可能的保持平衡。

3.3.2 采用三相不平衡调节装置

除了优化光伏组件的配置与布局之外,采用三相不平衡调节装置也是治理三相不平衡问题的有效手段之一。而三

相不平衡调节装置包括了三相不平衡自动调节器和智能换相开关等等。

从三相不平衡自动调节器入手来说,它主要通过实时地监测三相电流和电压的不平衡度,再根据设定的调节目标,自动地调整各相之间的负荷分配,以此使三相电流和电压可以达到平衡状态。它可以采用电力电子器件,如晶闸管、IGBT等,实现对于电流的快速调节和控制。智能换相开关则是一种能够自动检测三相电流和电压,随后根据检测结果可以自动地进行换相操作的装置。它可以将负荷从电流较大的相转移到电流较小的相,从而实现三相负荷的平衡分配。

4 结语

综上所述,随着光伏发电集群大规模接入变电站,使得谐波、电压波动与闪变、三相不平衡等电能质量问题日益突出,而这些问题严重地影响了电力系统的安全稳定运行和用户的用电质量。本文则针对上述这些问题,深入地分析了其产生的原因,并提出了相应的综合治理策略。几通过安装谐波滤波器、优化逆变器控制策略可以有效地抑制谐波;利用无功补偿装置、优化光伏发电集群的调度与控制能够较好地解决电压波动与闪变问题;采用优化光伏组件的配置与布局、安装三相不平衡调节装置就可以改善三相不平衡状况^[3]。然而,电能质量综合治理是一个复杂的系统工程,它需要综合地考虑多方面的因素。所以在实际应用之中,相关人员应根据具体的光伏发电集群和变电站的实际情况,来合理地选择和组合各种治理策略,使其能够达到最佳的治理效果。同时因为电力电子技术、控制理论和通信技术的不断发展,相关人员还需要不断地探索和研究新的电能质量综合治理技术和方法,旨在为光伏发电的大规模应用和电力系统的安全稳定运行提供更加可靠的保障。在未来,随着智能电网和微电网技术的不断发展和完善,光伏发电集群接入变电站后的电能质量综合治理将面临新的机遇和挑战,依然还需要相关人员进一步地加强此领域的研究和实践,持续地推动着光伏发电产业的可持续发展。

参考文献

- [1] 柴园园,刘一欣,王成山,等.含不完全量测的分布式光伏发电集群电压协调控制[J].中国电机工程学报,2019,39(08):2202-2212+3.
- [2] 卢俊杰,蔡涛,郎建勋,等.基于集群划分的光伏电站集群发电功率短期预测方法[J].高电压技术,2022,48(05):1943-1951.
- [3] 文贤旭,何明君,周科,等.分布式光伏发电集群累加法功率预测研究[J].电力大数据,2024,27(12):11-17.