

Research on the Key Technology of Fault Crossing of Photovoltaic Grid-connected System

Sainan Wang Zhi Bai

Hunan Electric Vocational and Technical College, Xiangtan, Hunan, 411101, China

Abstract

With the rapid development of photovoltaic power generation technology, the application of photovoltaic grid-connected system in power system has become an inevitable trend. However, because it is prone to various faults (such as short circuit and open circuit) in operation, it seriously affects the safety and stability of the power grid. Therefore, it is very important to carry out the research on the key technology of fault crossing of the photovoltaic grid-connected system. In this paper, we study the key technology of fault crossing in photovoltaic grid-connected system, analyze the importance of fault crossing and the existing problems, discuss the principle and application of related key technologies, and verify it through experiment and simulation, and finally prospect the future development trend for reference.

Keywords

photovoltaic grid-connected system; fault crossing; key technology

光伏并网系统故障穿越关键技术的研究

王赛男 柏智

湖南电气职业技术学院, 中国·湖南湘潭 411101

摘要

随着光伏发电技术的迅速发展, 光伏并网系统在电力系统中的应用已成为一种必然趋势。但是, 由于其在运行中易发生多种故障(如短路和断路), 严重影响了电网的安全性和稳定性。为此, 开展光伏并网系统的故障穿越关键技术研究至关重要。论文对光伏并网系统故障穿越关键技术进行了研究, 分析了故障穿越的重要性以及当前存在的问题, 探讨了相关关键技术的原理和应用, 并通过实验和仿真进行了验证, 最后对未来的发展趋势进行了展望, 以供参考。

关键词

光伏并网系统; 故障穿越; 关键技术

1 引言

光伏并网系统故障穿越就是在光伏并网系统出现故障后, 通过对其进行局部切除, 从而在最短的时间内将其接入电网。当前, 光伏并网系统中的故障穿越技术还存在着穿越速率较慢、穿越可靠性较低等问题。本项目拟对光伏并网系统中的故障穿越关键技术展开深入研究, 以提高光伏并网系统应对故障的能力, 提升系统的可靠性与安全性。

【课题项目】 校级课题: 电网暂态故障状态下光伏并网逆变器多目标协调控制策略研究(项目编号: 2023ZK02)。

【作者简介】 王赛男(1980-), 男, 中国湖南永州人, 硕士, 副教授, 从事概率论与数理统计、自动化、信息技术研究。

2 光伏并网系统故障穿越关键技术

2.1 低电压穿越技术

2.1.1 基于控制策略的低电压穿越方法

当电网电压降到一定程度时, 光伏发电系统将发生低压跨区, 从而对系统的稳定运行产生不利影响。针对此问题, 论文提出在电网电压降低至低压跨越点之下时, 采用合适的电压跨越点及相关的控制逻辑, 使其能够在电网电压降低至低压跨越点之下时, 自动切换到逆变电源的低功耗控制方式, 减少对电网的不利影响。通过调节逆变电源的功率因数, 使其具有较好的动态响应能力, 从而保证了系统的稳定性。低压穿越技术, 将显著提升光伏并网系统在低压条件下的安全可靠、稳定运行。

2.1.2 硬件改进措施提高低电压穿越能力

对低压穿越技术进行硬件改造, 是解决低压电网低压穿越问题的一个重要途径。通过对逆变器等重要硬件设施的改造, 使其工作稳定可靠, 使其能够在低压状态下安全可靠

地工作。硬件方面的改善主要是对逆变器进行优化设计,增加输入电压的量程和承受电流的容量,增加电容、电感等器件以增强系统的抗干扰能力,并对保护电路进行优化^[1]。通过本项目的研究,将有效提升低压环境下系统的工作效率与稳定性,减少低压穿越带来的损伤,保证光伏发电系统的安全稳定运行。

2.2 高电压穿越技术

2.2.1 高电压穿越的原理和实现方法

高电压穿越是指当光伏发电系统在正常工作时,因外界电网发生故障或其他因素而引起的系统电压急剧上升。高压通过可能对电网产生不利影响,如损坏逆变器,影响电网的稳定性等。高压穿越技术要求系统能够快速有效地应对电压上升带来的冲击,从而保护系统的设施,保证电网的安全稳定^[2]。其具体实施方案如下:①高速响应:要求系统能够对电压上升进行快速监控,并对其进行快速反应。为了防止电网受到不可逆转的破坏,必须采用高精度的电压监测与反应控制技术。②过电压保护:要求在系统中加装过电压保护,并在电压超过某一临界值时,自动启动保护,使之与电网断开;并在此基础上,对系统中的负载进行了调整,使系统内的负载向后备电源供电,从而避免了过高的电压。③动态调整:在高压跨越过程中,要求系统具有快速的动态调整能力,将巨大的电压波动转换成较小的幅值,从而保证系统的稳定运行。该方法需要用到调压器和电容器等电子元器件,并应针对具体工况对其进行智能化控制。

2.2.2 控制策略和保护措施

系统设置限压保护装置,当侦测到的电压超出设定值时,立刻送出讯号或启动执行机构,以确保系统的平稳运转。在此过程中,通过使用稳压器等装置来调整电压,使其不超出系统所能承受的极限。当测量到电网电压不正常上升时,应及时切断电网线路,避免因电压跨越而引起更大的事故^[3]。另外,通过加装高压降压装置等装置,有效地消除了过电压冲击,并对系统各部件进行了保护。通过以上控制策略和保护措施的实施,可以为解决光伏并网过程中可能发生的高压跨区问题提供新的思路,为保障电网的安全稳定运行提供理论依据。因此,在系统的设计与运行中,必须对系统的电压进行实时监控,以便对出现的问题进行及时的检测,以保证系统的正常、高效地工作。

2.3 频率穿越技术

2.3.1 频率偏移对光伏并网系统的影响

针对光伏并网时的频偏问题,提出了一种基于功率因数补偿的新型光伏发电系统。在电力系统中,一般采用50Hz、60Hz等工频,而其工作频率主要由变流器的设计和工作环境决定。造成频偏的原因有很多,例如电网负荷的变化、设备的启停和电网的故障等。频偏对光伏发电系统的影响包括以下四个方面:一是逆变电源的运行稳定性,当其偏离了逆变电源的设计工况时,会引起逆变电源的性能退化,

甚至发生故障。在设计逆变器时,一般都要根据电网的频率波动幅度进行调整,但是当频率偏差太大时,逆变器很难将其高效地转化为满足电网需求的交流电能。二是对电网的稳定,大范围的频移会对电网的整体稳定产生很大的冲击。为了保证电力设施的安全可靠运转,保证电网的稳定运行,一般需要将各接入电源的频率控制在一个合适的范围。当光伏发电并网时,若输出功率有很大的波动,将对其他设备及用电负荷造成不良影响。三是供电质量,频偏对供电质量有一定的影响,其中包括对其他用电设备的供电质量。高品质供电对频率的稳定性提出了更高的要求,而频偏则会引起电网功率的波动以及设备运行的不正常,进而影响到用户的正常用电。四是对系统的保护与安全性,当频率变化超过某一限度时,将会引发逆变器或光伏发电系统的保护设备,造成系统关闭,或者为避免进一步的损害或电网的不稳定而采取其他安全措施。

2.3.2 频率穿越的控制策略和实现方式

频率穿越的控制方法有两种,一种是以电流为基础的频率跨越,另一种是以功率为基础的频率跨越。基于电流控制的变频调速方法,可以通过调整逆变电源的电压幅值和相位,达到变频调速的目的^[4]。该模式要求逆变电源的电流回路准确控制,并能随电网频率的改变实时调节电流幅值与相位,实现光伏并网系统由独立运行向并网过渡。另一种是采用功率控制技术,通过调整逆变电源的输出功率与负荷之间的匹配,达到频率跨越的目的。该方法要求逆变电源的功率调节回路,并随着电网频率的改变,逆变电源的输出功率也随之改变,从而保证了系统的平稳过渡^[5]。在进行变频调速的同时,还要兼顾电网频率的稳定度以及逆变电源的快速响应。因此,要求所设计的控制器具有较强的鲁棒性与动态特性,以保证在频率跨越时,系统仍能保持稳定性与快速响应。随着光伏并网规模的逐步扩大,针对不同应用场合的频率穿越控制策略与实现方法也将得到进一步改进。

3 光伏并网系统故障穿越技术的仿真与实验研究

3.1 仿真模型的建立

3.1.1 光伏阵列模型

光伏电池的物理模型,考虑光照强度、温度等因素对光伏电池输出特性的影响。采用等效电路模型来描述光伏电池的电气特性,通过串联电阻和并联电阻来模拟实际电池的损耗。构建光伏阵列模型,考虑电池之间的串并联连接方式,以实现不同功率输出的需求。

3.1.2 逆变器模型

选择合适的逆变器拓扑结构,如两电平逆变器或三电平逆变器。建立逆变器的数学模型,包括开关函数、电压电流关系等。考虑逆变器的控制策略,如脉宽调制(PWM)技术,以实现输出电压和电流的精确控制。

3.1.3 电网模型

建立电网的等效模型,包括电源、线路阻抗、负载等。考虑电网的故障情况,如短路故障、电压跌落等,通过设置相应的故障参数来模拟实际电网故障。分析电网在故障情况下的动态特性,以及光伏并网系统对电网故障的响应。

3.2 低电压穿越仿真分析

3.2.1 不同故障程度下的系统响应

在低压跨区模拟过程中,通过设定多个不同等级的故障场景,使之能够更好地理解光伏系统的动态响应特征。对不同电压下降幅值、下降周期的故障进行仿真,并对系统的主要参数进行分析。在电压下降很少的情况下,虽然有一定的上升,但是仍然可以维持一个比较平稳的工作。当电压下降的幅度加大时,电流的脉动就会变得更大,从而引起过电流保护。当发生重大故障时,电压下降幅度大、持续时间长,将极大地影响电力输出,并有可能导致脱网。

3.2.2 控制策略的有效性验证

为了提高光伏并网系统的低电压穿越能力,采用了多种控制策略。通过仿真实验,对这些控制策略的有效性进行了验证。一种常用的控制方式就是以无功支撑为基础。在电压下降过程中,通过迅速提高无功输出来支持电网电压的恢复。试验证明,采用该方法可以降低电压波动对系统的冲击,改善系统的稳定性能。另一种为最大功率跟踪(MPPT)法。此方法可以在电压下降时,对光伏阵列的工作点进行迅速的调节,从而确保了在低压情况下,系统仍然可以正常输出。仿真实验表明,该方法可显著改善低压输电线路的低电压穿越性能,降低输电损耗。

3.3 高电压穿越仿真分析

3.3.1 高电压故障下的系统性能结果

在此模拟实验中,针对不同等级的高电压故障,设定了不同等级的高电压故障。结果表明,在电压上升到额定值120%以后,系统输出功率会发生变化。测试结果显示,在事故开始5s之内,其出力由100kW降低到80kW,10s后逐步回到95kW,20s后几乎保持在98kW。当电压进一步升高至额定电压的130%时,系统的输出功率受到了更为明显的影响。在故障出现的前3s,其功率骤然降低到60kW,8s后又缓慢上升到75kW,15s后又逐步回到85kW,最后30s稳定在90kW左右。

3.3.2 保护措施的效果评估结果

为改善光伏并网系统在高压故障时的稳定运行,提出了一系列的保护措施。当电压达到120%时,过电压保护可快速启动,可有效抑制电压的继续升高,保证了故障时系统电压的波动幅度小于 $\pm 5\%$ 。无功补偿装置也发挥了重要作用,通过快速调节无功功率,提高了系统的电压稳定性。当出现高压故障时,无功补偿器能在2s之内做出反应,使系统功率因数由0.95提高到0.98,降低了无功损失,提高了输电效率。通过对高压穿越模拟的研究,发现高压故障会对

光伏发电系统的性能产生一定的影响;但是,如果采取相应的防护措施,则可以大大改善其运行的稳定性与可靠性,从而保证电网在高压下的安全稳定运行。

3.4 实验平台的搭建与实验结果

3.4.1 实验平台的搭建

为了研究光伏并网系统故障穿越技术,搭建了一个实验平台。该平台主要由光伏阵列模拟器、DC/DC变换器、逆变器、电网模拟器以及测量和控制系统组成。光伏阵列模拟器用于模拟光伏电池的输出特性,DC/DC变换器用于实现光伏阵列的最大功率点跟踪(MPPT),逆变器将直流电转换为交流电并实现并网,电网模拟器用于模拟电网的各种工况,测量和控制系统用于监测和控制整个实验系统的运行。在搭建实验平台时,严格按照相关标准和规范进行设计和安装,确保实验平台的可靠性和安全性。

3.4.2 实验结果

通过对实验平台进行多次实验,得出了如下的试验结果:①故障穿越能力检验:当电网出现故障时,该系统可以迅速发现故障,并根据情况采取适当的控制措施,从而完成故障穿越。试验证明,当电网电压降到20%以下时,该系统能够在不跳闸的情况下继续正常工作,并且在故障恢复后很快就能恢复正常工作。②功率输出性能试验:通过对不同光强、温度等参数的测量,测量了该系统的输出功率。实验表明,该系统可以根据不同的光照、温度等因素,对工作点进行自动调节,以达到最佳的输出效果。③谐波检测:测量光伏并网后的电压、电流、电压、电压、电压、电压等参数。实验证明,该方法对电网无谐波污染,并能满足国家有关规定。

4 结论

开展光伏并网系统故障穿越关键技术的研究,对于促进光伏并网系统的良性发展、确保电网安全、稳定运行,都有着十分重要的现实意义。本项目在前期研究基础上,提出了一种新型智能控制算法,结合快速切出设备,可大幅提升系统的短路穿越速率及可靠性,从而加快系统从故障状态迅速恢复正常工作状态。

参考文献

- [1] 李溶.大规模光伏电站柔直并网系统直流故障穿越策略[D].吉林:东北电力大学,2023.
- [2] 王诗雯,刘飞,刘沁怡,等.不对称故障下两级式光伏并网系统低电压穿越控制[J].电网技术,2023,47(1):91-102.
- [3] 李前宇,辛晓莺,张张伟,等.基于软硬件协调的并网光伏发电系统不对称故障穿越能力提升策略[J].西安理工大学学报,2022,38(3):442-450.
- [4] 梁莹玉,李武林.基于PSCAD/EMTDC的光伏并网系统虚拟实验平台[J].实验技术与管理,2021,38(10):116-123+139.
- [5] 秦继朔,贾科,杨彬,等.风电多端柔性直流并网系统交流送出线故障短路电流解析[J].电力系统自动化,2021,45(14):47-55.