

# 光伏发电系统并网控制策略

冯 银

华润新能源投资有限公司广西分公司 广西 南宁 530000

**摘要:**光伏发电系统作为可再生能源的关键构成,并网控制策略对其稳定运行至关重要。本文概述了光伏发电系统,并深入探讨了其中的关键技术,最大功率点跟踪、智能预测控制及并网逆变器控制,详细分析了并网逆变器的拓扑、控制方式、输出电流控制及优化光伏夜间非发电时段,降低厂用电策略,旨在提升光伏发电系统的并网效率和稳定性,为可再生能源的广泛应用提供技术支持。

**关键词:**光伏发电系统;并网控制;策略

## 引言

随着全球能源需求的不断增长和环境保护意识的日益增强,光伏发电作为一种清洁、可再生的能源形式,受到了广泛的关注和应用。光伏发电系统的并网控制策略对于实现能源的高效利用和电网的稳定运行具有重要意义。本文旨在深入探讨光伏发电系统的并网控制策略,分析其中的关键技术,以期为光伏发电系统的优化设计和运行提供有益的参考。通过本文的研究,我们可以更好地理解光伏发电系统的并网过程,为未来的能源发展做出贡献。

## 1 光伏发电系统的概述

光伏发电系统作为一种利用太阳能进行发电的创新技术,在能源领域占据着重要地位,从原理上看,它基于光伏打效应,太阳光照射到光伏元件时,光子的能量传递给电子,使电子获得足够的能量产生移动,进而在光伏元件内部形成电场,电荷聚集产生电动势,实现光能到电能的转换,这种物理现象为光伏发电奠定了理论基础<sup>[1]</sup>。一个完整的光伏发电系统包含多个关键组成部分。太阳能电池方阵是核心之一,它由众多太阳能电池组件通过串联等方式连接而成。通过串联,电压得以升高,满足输出电能的电压要求,为后续的电能的传输和使用做好准备。控制器在系统中起着重要的调控作用,它可以对电池方阵的输出进行管理,防止过充、过放等情况,保障系统的稳定运行和电池的使用寿命。直流配电柜用于汇集和分配直流电能,合理地将从电池方阵输出的直流电分配到各个需要的支路。逆变器是光伏发电系统不可或缺的部分,由于太阳能电池方阵产生的是直流电,而我们日常生产生活中的大部分用电设备使用的是交流电,逆变器能够将直流电转换为交流电,实现电能形式的转换,使其能够满足不同设备的用电需求。交流配电柜则负责对转换后的交流电进行分配和管理,保障

电能安全、稳定地输送到各个用电终端。光伏发电系统也受到一些外部因素的影响。温度和光照条件的变化对其发电效率影响显著。温度过高或过低可能改变光伏材料的电学性能,光照强度的波动则直接影响光能的输入量,进而影响发电量。这些特点要求在光伏发电系统的设计、安装和使用过程中,要充分考虑环境因素,以优化系统性能,提高发电效率。

## 2 光伏并网发电系统中的关键技术

### 2.1 最大功率点跟踪技术

最大功率点跟踪技术(MPPT)是光伏并网发电系统中的核心技术之一,对提高系统发电效率起着至关重要的作用。在光伏并网发电过程中,光伏电池的输出特性受光照强度、温度等环境因素的影响呈现出非线性。不同的环境条件下,光伏电池都有一个对应的最大功率输出点。最大功率点跟踪技术就像是一个敏锐的探测器,能够在复杂多变的环境中迅速找到这个最佳工作点。它的实现原理主要基于对光伏电池输出特性的精确分析。通过特定的算法和电路设计,系统可以实时监测光伏电池的输出电压和电流。当光照强度增强时,光伏电池的输出功率会发生变化,MPPT技术能够及时捕捉到这种变化,并相应地调整系统参数。常用的最大功率点跟踪方法有多种。扰动观察法是一种较为经典的方式。这种方法在运行过程中,对光伏电池的工作电压或电流施加一个小的扰动,然后观察功率的变化情况。如果功率增加,说明扰动方向正确,继续沿着这个方向调整;如果功率减小,则改变扰动方向。就像在黑暗中摸索前行,通过不断尝试来找到最大功率点的正确路径。电导增量法也是一种高效的跟踪方法。它依据光伏电池的电导特性,通过计算瞬间电导数据及其变化量来判断最大功率点的位置。这种方法对于功率变化的敏感度很高,能更精确地定位最大功率点,尤其在光照强度和温度快速变

化的情况下,表现出更好的跟踪性能。最大功率点跟踪技术能够使光伏并网发电系统始终在最佳状态下运行,充分利用太阳能资源,提高发电效率,降低发电成本,为光伏产业的可持续发展提供了有力的技术支撑。

## 2.2 智能预测控制技术

智能预测控制是光伏并网发电系统中的一项新兴关键技术。它基于大数据分析和机器学习算法,对光伏并网发电系统的未来运行状态进行预测,通过收集大量的历史数据,包括不同季节、不同天气条件下的光照强度、温度变化、电网负荷等信息,利用深度学习模型进行训练<sup>[2]</sup>。该技术能够提前预测光伏电池板的输出功率变化趋势,以及电网侧的负荷波动情况。在阴雨天来临之前,它可以预测到光照的减少,从而提前调整逆变器的控制参数,优化功率输出,保证系统的稳定性。在面对电网负荷高峰和低谷时,也能相应地调整发电功率,更好地实现与电网的匹配。这不仅提高了光伏发电系统的发电效率,还能增强其对电网的友好性,减少对电网的冲击,提升整个系统的可靠性和经济性。

## 2.3 并网逆变器控制技术

并网逆变器,作为光伏并网发电系统中的关键组件,承担着将直流电转换为交流电并顺利并入电网的重任。其控制技术的优劣,直接影响着整个系统的性能与稳定性。并网逆变器通过精准的控制策略,实现了对太阳能转换过程的优化。它不仅确保了电流的稳定输出,还通过直接和间接两种控制方式,实现了对光伏并网发电系统工作模式的灵活调控。这种控制方式的融合,充分发挥了直接控制与间接控制的各自优势,使得并网逆变器具备了强大的实时跟踪能力。这种能力,如同为电流穿上了一层“智能保护衣”,有效抵御了外界因素的干扰,确保了电流的稳定传输。在并网逆变器控制技术的核心中,数字控制技术占据了举足轻重的地位。它利用先进的数字化平台,为逆变器控制提供了前所未有的精确性和高效性。这一技术,如同为整个控制体系注入了智慧的血脉,使得逆变器的运行更加灵活、可靠。PID控制技术,则是另一项不可或缺的重要技术。它运用全量和增量两种控制方法,为逆变器的稳定运行提供了坚实的保障。这种技术的成熟性和稳定性,在长期的实践中得到了充分的验证,成为了逆变器控制技术中的经典之作。重复+PI混合控制技术也以其独特的复合特性,在逆变器控制领域崭露头角。它通过对逆变器运行状态的精细管理,进一步提升了逆变器在复杂工况下的稳定性。这种技术的出现,如同为逆变器量身定制了一套全方位的管理方案,为光伏并网发电系统的稳定运行注入

了新的活力。

## 3 光伏发电系统的并网控制策略

### 3.1 并网逆变器的拓扑

在光伏发电系统中,并网逆变器是连接电网与光伏阵列的桥梁,其拓扑结构和控制策略对于系统的性能和稳定性至关重要。(1)并网逆变器的拓扑结构决定了其电能转换效率和适应性。当前主流的电压源型逆变器因其结构简单、成本低廉而广受青睐。其中,全桥逆变器因输出电压幅值高、额定电流小,成为市场主流。半桥逆变器虽输出电压幅值较低,但因其器件少、成本低,也在特定场合得到广泛应用。推挽结构则适用于某些特殊需求。(2)在并网控制策略方面,关键在于确保逆变器输出的电能质量符合电网要求,同时实现最大功率点跟踪(MPPT)以最大化光能利用率。这要求逆变器具备精确的电流和电压控制能力,以及快速响应电网变化的能力。(3)为实现这一目标,逆变器通常采用数字控制技术,通过PID等算法对电流和电压进行精确调节。重复+PI混合控制技术等先进策略也被应用于复杂工况下的稳定控制。这些技术不仅提高了逆变器的控制精度和响应速度,还增强了其抗干扰能力和稳定性。(4)逆变器在开关切换过程中存在的能量损失问题也不容忽视。由于变压器漏抗的存在,开关动作时会出现能量消耗,影响逆变器的效率和性能。在设计和使用并网逆变器时,需要充分考虑漏抗的影响,采取相应措施减少能量损失。

### 3.2 光伏并网系统逆变器控制方式

在光伏并网系统中,逆变器作为关键设备,其输出控制方式的选择对于系统的稳定性和效率具有重要影响。目前,逆变器的输出控制方式主要分为电压控制和电流控制两种。(1)电压控制方式是将逆变器视为一个电压源,与市电(也可视为一个电压源)并联运行。然而,这种控制方式存在稳定性问题。由于两个电压源并联,需要确保它们的电压大小、相位和频率严格一致,否则会产生环流,影响系统的正常运行。为实现同步稳定运行,必须采用锁相控制技术。但锁相系统反应速度较慢,增加了精准控制的难度。因此,电压控制方式在实际应用中面临一定的挑战。(2)电流控制方式则更为简单有效。在这种方式下,逆变器被视为一个电流源,通过控制其输出电流与市电并联运行。电流控制方法操作简便,原理和实现过程易于理解和把握。它降低了控制的复杂性,减少了因复杂控制可能带来的故障风险。电流控制方式在很大程度上提高了系统运行的稳定性和可靠性。由于仅需对输出电流进行控制,逆变器能够更快地响应电网变化,确保系统的稳定运行。

### 3.3 输出电流的控制方式

实现对电网电压实时跟踪的关键,是确保逆变器输出电流与电网电压同频同向,此过程并非利用信号波对载波调制来跟踪,而是将电流波形作为指示信号输出,并把实际电流波当作反馈信号,通过对比二者瞬时值来确定开关器件的通断<sup>[3]</sup>。常用的并网逆变器输出电流控制方式有三角波比较、滞环比较和定时比较这三种。(1)三角波比较方式是对指令电流和并网电流实时比对,得到偏差值后与三角波比较,可使用比例放大器或比例积分放大器辅助。但该方式有不足,电流跟随误差较大,软硬件复杂。输出电压会有与三角载波同频的谐波,放大器增益有限,功率比固定值小,电流响应速度也比瞬时值比较方式慢。(2)定时比较方式依靠时钟定制比较器控制。预先设定固定时钟周期,可定期下达指令信号和采样被控制量。其优点是能有效避免元器件开关频率过高,功率器最高开关频率为时钟频率的一半。不过,它存在电流控制误差无固定环宽的问题,实际应用中需适当降低控制精度以满足系统运行要求。(3)滞环比较方式是将指令电流和实际并网电流比较,偏差值作为滞环比较器输入数据,以此控制主电路开关通断信号,进而控制并网电流变化。这种方式硬件电路简单易操作,电流响应速度极快,可实时控制,无需载波。

### 3.4 优化光伏夜间非发电时段,有效降低厂用电消耗

在光伏电站晚上无法发电的时段,为了有效控制并降低厂用电,我们可采取一系列精心设计的策略。(1)优化光伏电站的设计与布局构成了提升效能的坚实基础。精心调整光伏组件的排列与布局,能够最大化减少阴影遮挡,确保每一缕阳光都被高效捕捉,从而提升光能利用率。选用高性能的光伏组件、逆变器以及高质量的电缆材料,能够大幅度降低线路损耗,显著增强电能

的传输效率。通过深入优化逆变器的运行模式,可以进一步挖掘光伏电站的发电潜力,有效减少夜间待机时的能量损耗,为光伏电站的高效运行提供有力保障。(2)引入储能设备和智能化调配技术是关键。在光伏电站中配置电池储能系统,能够将白天产生的多余电能储存起来,供夜间使用。通过智能化调配,我们可以实现电能的“削峰填谷”在白天光伏电站发电量高时,将多余的电能输送至电网;而在夜间或发电量不足时,再从电网中调取电能以满足厂用电需求。这种方式不仅能够显著降低厂用电消耗,还能提高光伏电站的经济性和运行稳定性。通过优化光伏电站设计、选用高效设备、配置储能系统以及智能化调配等策略,我们能够有效地控制光伏电站晚上未发电时的厂用电消耗,从而提升光伏电站的整体经济效益和社会效益。

### 结语

综上,光伏发电并网控制策略在确保能源高效利用与电网稳定运行方面发挥着关键作用。通过综合运用最大功率点跟踪、智能预测控制及并网逆变器控制技术,系统能够实现精准且优化的运行。展望未来,随着技术的不断革新,这些策略将更趋智能化、高效化,为可再生能源领域注入新的活力。我们满怀期待,希望进一步探索并优化这些策略,为全球能源转型与可持续发展贡献力量,携手共创一个更加绿色的未来。

### 参考文献

- [1]马艳贞.光伏发电系统并网控制策略[J].水利电力技术与应用,2024,6(21).
- [2]冷枫.光伏发电系统并网控制策略研究[J].中国科技投资,2020(21):146-147.
- [3]彭博.光伏发电系统控制策略及并网研究[J].消费电子,2023(11):59-61.