

光伏逆变器并网谐波抑制策略优化

王 宏

特变电工西安电气科技有限公司 陕西 西安 710119

摘 要: 在“双碳”目标引领下,光伏产业蓬勃发展,装机规模持续攀升。本文聚焦光伏逆变器并网谐波抑制策略优化。先阐述光伏逆变器并网谐波抑制的基本情况,接着剖析其存在的低次谐波超标、动态响应不足、滤波器谐振风险、电磁兼容性缺陷及标准合规性挑战等问题。进而提出复合控制算法升级、拓扑结构优化、电磁兼容设计强化、动态监测与自适应调节、滤波器参数迭代优化以及标准导向的定制化开发等优化方向,旨在为提升光伏逆变器并网谐波抑制效果提供参考。

关键词: 光伏逆变器; 并网谐波; 抑制问题; 策略优化方向

引言: 随着光伏产业的蓬勃发展,光伏逆变器作为连接光伏系统与电网的关键设备,其并网性能至关重要。并网谐波问题不仅影响电能质量,还可能对电网稳定运行造成威胁。当前,光伏逆变器并网谐波抑制面临诸多挑战,如何有效解决这些问题,提升抑制效果,成为行业关注的焦点。并深入探讨光伏逆变器并网谐波抑制的相关内容,分析现存问题,并提出针对性的优化策略,以期推动光伏逆变器并网技术向更高质量、更稳定的方向发展。

1 光伏逆变器并网谐波抑制的概述

光伏逆变器是光伏发电系统中的核心设备,其作用是将太阳能电池板产生的直流电转换为与电网同频率、同相位的交流电,实现光伏电力并入电网。然而,在转换过程中,由于电力电子器件的非线性特性,会产生谐波电流注入电网,对电网的电能质量造成严重影响,因此光伏逆变器并网谐波抑制至关重要。谐波会使电网中的电气设备产生附加损耗,降低设备效率和使用寿命。同时,谐波还可能引发谐振,导致过电压和过电流,危及电网安全。目前,光伏逆变器并网谐波抑制方法主要分为硬件抑制和软件抑制两类。硬件抑制方面,通常采用无源滤波器和有源滤波器。无源滤波器结构简单、成本低,但只能滤除特定次数的谐波;有源滤波器补偿效果好、灵活性高,但成本较高。软件抑制则主要基于先进的控制算法,如比例积分(PI)控制、比例谐振(PR)控制、重复控制等,通过精确控制逆变器的输出电流,减少谐波含量^[1]。

2 光伏逆变器并网谐波抑制中存在的问题

2.1 低次谐波超标

在光伏逆变器并网过程中,低次谐波超标现象较为突出。由于逆变器内部电力电子器件的非线性特性,在

工作时会产生大量低次谐波电流。这些谐波电流注入电网后,会使电网电压波形发生畸变,导致电能质量下降。尤其在光伏系统大规模接入时,低次谐波的叠加效应更为明显,可能影响电网中其他设备的正常运行,甚至引发安全事故,对电网的稳定性和可靠性构成威胁。

2.2 动态响应不足

光伏逆变器所处环境复杂,光照强度、温度等外界因素变化频繁,导致其输出功率波动较大。然而,部分逆变器的谐波抑制系统动态响应能力有限,无法及时跟踪功率的快速变化。当功率突变时,谐波抑制装置不能迅速调整控制参数,使得并网电流中的谐波含量在短时间内大幅增加,无法满足电网对电能质量实时、动态的要求,影响了光伏系统与电网的兼容性。

2.3 滤波器谐振风险

为抑制并网谐波,通常会在光伏逆变器输出端安装滤波器。但滤波器参数设计不合理时,易与电网或逆变器内部的其他元件发生谐振。谐振会导致特定频率的谐波电流被放大,不仅无法有效抑制谐波,反而会使谐波问题更加严重。同时,谐振还可能引发过电压、过电流等现象,损坏滤波器及其他电气设备,增加系统的运行风险和维护成本。

2.4 电磁兼容性缺陷

光伏逆变器在运行过程中会产生电磁干扰,同时也会受到来自电网和其他设备的电磁干扰。由于电磁兼容性设计存在缺陷,逆变器内部的电子元件可能因电磁干扰而出现误动作或性能下降,影响其正常工作。此外,逆变器产生的电磁干扰还可能通过连接线路传导或辐射到周围环境中,干扰附近敏感电子设备的运行,对通信、自动化控制等系统的稳定性造成不利影响。

2.5 标准合规性挑战

随着光伏产业的快速发展,各国和地区都制定了严格的并网谐波标准,以保障电网的安全稳定运行。但不同地区的标准存在差异,且标准不断更新和完善。光伏逆变器制造商在产品设计和生产过程中,面临着准确理解和遵循各种标准的挑战。若产品不符合相关标准要求,将无法顺利并网,影响光伏项目的推广和应用。同时,标准的复杂性和严格性也增加了企业的研发成本和检测难度^[2]。

3 光伏逆变器并网谐波抑制策略优化方向

3.1 复合控制算法升级

光伏逆变器并网谐波抑制中,复合控制算法升级是关键优化方向。(1)传统单一控制算法在应对复杂电网工况时存在局限性。例如比例积分(PI)控制,虽结构简单、稳定性好,但对谐波的跟踪和抑制能力有限,尤其在非线性负载和动态变化环境下,难以精准补偿谐波电流。复合控制算法可融合多种算法优势,像将PI控制与比例谐振(PR)控制结合。PR控制对特定频率谐波具有高增益,能精准抑制特定次谐波,与PI控制配合,可同时保证系统的稳态精度和动态响应速度,有效降低并网电流的总谐波畸变率。(2)重复控制与瞬时值控制相结合也是重要方向。重复控制基于内模原理,能对周期性信号进行无差跟踪,对抑制周期性谐波效果显著。瞬时值控制则可快速响应电流的瞬时变化。二者复合,重复控制消除周期性谐波误差,瞬时值控制及时调整输出,提升系统对动态负载和电网波动的适应能力。(3)智能控制算法的融入为复合控制带来新活力。如模糊控制、神经网络控制等,它们不依赖精确数学模型,能根据系统状态自动调整控制参数。将智能控制算法与传统控制算法结合,可增强系统鲁棒性和自适应性,使光伏逆变器在不同运行条件下都能有效抑制谐波,保障并网电能质量。

3.2 拓扑结构优化

在光伏逆变器并网谐波抑制领域,拓扑结构优化是提升性能、降低谐波含量的重要途径。(1)传统拓扑结构在应对复杂工况时存在不足。例如,一些基本的单级或两级式拓扑,其电力电子器件的开关动作会产生特定频率的谐波,且在能量转换过程中,由于电路结构的限制,难以对谐波进行全面有效的抑制。优化拓扑结构可以从增加电路的冗余度和灵活性入手,如采用多电平拓扑结构。多电平拓扑通过增加电平数,使输出电压波形更接近正弦波,从而显著降低输出电流中的谐波含量,提高电能质量。(2)模块化拓扑结构具有独特优势。它将逆变器划分为多个功能模块,每个模块可以独立控制和运行。这种结构不仅便于维护和升级,还能通过模块间的协调

控制,实现对谐波的分布式抑制。不同模块可以根据负载情况和电网状态,动态调整输出,减少因单一模块故障或负载突变导致的谐波问题,增强系统的稳定性和可靠性。(3)集成化拓扑结构也是优化方向之一。通过将多个功能部件,如滤波器、变压器等集成到逆变器内部,减少外部连接和中间环节,降低线路阻抗和电磁干扰,从而减少谐波的产生和传播。同时,集成化设计可以缩小逆变器的体积,降低成本,提高系统的整体效率和功率密度。

3.3 电磁兼容设计强化

在光伏逆变器并网谐波抑制工作中,强化电磁兼容设计是保障其稳定运行、降低谐波干扰的关键举措。(1)要从源头减少电磁干扰的产生。光伏逆变器内部的电力电子器件在开关过程中会产生高频电磁噪声,这是主要的干扰源之一。通过优化器件的选型和布局,选用低噪声、高效率的开关器件,并合理安排其位置,缩短连接线路,降低线路的电感,能有效减少开关动作时产生的电磁干扰。同时,采用软开关技术,使开关器件在零电压或零电流条件下进行切换,降低开关过程中的电压和电流变化率,从而减少电磁噪声的产生。(2)加强电磁屏蔽设计。对逆变器的关键部件和电路进行屏蔽处理,使用导电性能良好的材料制作屏蔽罩,将电磁干扰限制在内部,防止其向外辐射。同时,要注意屏蔽罩的接地处理,确保其与大地形成良好的电气连接,将干扰信号引入大地,避免对周围设备和电网造成影响。(3)优化滤波设计。在逆变器的输入和输出端设置合适的滤波器,滤除电磁干扰信号。根据不同的干扰频率和特性,选择合适的滤波器类型和参数,如低通滤波器、共模滤波器等,有效抑制高频电磁噪声的传播,提高逆变器的电磁兼容性,确保并网电流的谐波含量符合标准要求。

3.4 动态监测与自适应调节

在光伏逆变器并网谐波抑制中,动态监测与自适应调节是提升系统性能、保障电能质量的关键策略。(1)动态监测是精准抑制谐波的基础。光伏逆变器运行过程中,电网状态和负载情况时刻变化,会产生不同频率和幅值的谐波。通过部署高精度的传感器,实时采集逆变器的输出电流、电压以及电网的各项参数,如频率、相位等。利用先进的信号处理技术,对这些数据进行快速分析,准确识别谐波的成分和含量,为后续的调节提供可靠依据。只有实时掌握谐波的动态变化,才能有的放矢地进行抑制。(2)自适应调节能力至关重要。基于动态监测的结果,逆变器的控制系统应具备自动调整控制参数的能力。当检测到谐波含量增加或电网频率波动时,控制系

统能迅速改变控制策略,如调整开关频率、改变控制算法的参数等,使逆变器的输出电流更好地匹配电网要求,有效抑制谐波。这种自适应调节可以确保逆变器在不同工况下都能保持优良的并网性能。(3)建立反馈闭环机制。将自适应调节后的输出结果反馈给监测系统,与预设的目标值进行对比。若仍存在偏差,进一步调整控制参数,形成动态的反馈闭环。通过不断迭代优化,使逆变器的谐波抑制效果达到最佳,提高光伏逆变器并网的稳定性和可靠性。

3.5 滤波器参数迭代优化

在光伏逆变器并网谐波抑制环节,滤波器参数迭代优化是提升谐波抑制效果、保障并网质量的重要手段。(1)精准的初始参数设定是基础。滤波器的参数,如电感、电容值等,直接影响其对谐波的滤除能力。初始参数需综合考虑光伏逆变器的功率等级、电网的阻抗特性以及预期的谐波抑制目标等因素来确定。不合理的初始参数可能导致滤波器对某些频率的谐波滤除效果不佳,甚至引发谐振问题,所以科学设定初始参数至关重要。(2)实时监测与数据分析是关键。在光伏逆变器运行过程中,通过高精度的监测设备,实时获取并网电流中的谐波成分、滤波器的运行状态等数据。对这些数据进行深入分析,了解不同工况下滤波器的实际性能,找出参数与谐波抑制效果之间的关联规律,为参数优化提供数据支持。(3)基于反馈的迭代优化。根据实时监测和数据分析的结果,建立参数优化模型,采用合适的优化算法,如遗传算法、粒子群算法等,对滤波器参数进行迭代调整。每次调整后,再次监测和分析效果,通过不断循环迭代,使滤波器参数逐渐逼近最优值,从而显著提高光伏逆变器并网时的谐波抑制能力,确保并网电能质量符合标准要求。

3.6 标准导向的定制化开发

在光伏逆变器并网谐波抑制领域,以标准为导向进行定制化开发是提升产品竞争力、确保合规运行的关键路径。(1)精准解读标准是定制化开发的前提。不同国家和

地区针对光伏逆变器并网制定了详尽且严格的标准,涉及谐波电流限制、功率因数、电能质量等多个方面。开发团队需深入研究这些标准,明确各项指标的具体要求和测试方法,将标准要求转化为产品开发的技术规范,为后续的设计和生产提供明确指引。(2)基于标准进行差异化定制。考虑到不同应用场景和客户需求的多样性,在满足通用标准的基础上,根据特定项目的电网条件、负载特性等因素进行定制化设计。对于对电能质量要求极高的工业用户,需进一步优化逆变器的输出波形,降低谐波含量。(3)持续跟踪标准更新并动态调整。随着技术发展和行业进步,相关标准会不断修订和完善。开发团队要建立标准跟踪机制,及时获取标准更新信息,对产品进行迭代升级,确保光伏逆变器始终符合最新的标准要求,在市场竞争中占据有利地位,保障光伏电力安全、稳定、高效地并入电网^[3]。

结束语

光伏逆变器并网谐波抑制策略的优化,是保障电力系统稳定运行、提升电能质量的关键所在。从复合控制算法升级、拓扑结构优化,到电磁兼容设计强化、动态监测与自适应调节,再到滤波器参数迭代优化以及标准导向的定制化开发,每一项策略的优化都凝聚着对高效、稳定并网的追求。未来,随着技术的持续进步与标准的不断完善,我们需不断探索创新,将多种优化策略深度融合,构建更为智能、可靠的谐波抑制体系,推动光伏产业朝着更高质量、更可持续的方向蓬勃发展。

参考文献

- [1]辛甜.电力电子设备谐波的危害及解决对策[J].通信电源技术,2022,36(12):220-221.
- [2]黄力,喻恒凝,张思东,等.分布式光伏和电动汽车接入对配电网谐波影响的分析[J].通信电源技术,2022,36(11):215-218
- [3]贺冬珊,文俊,耿晓红,等.含多电源的送端电网谐波综合特性研究[J].智慧电力,2020,48(2):221-228.