

新能源发电系统中电力电子变换器的优化控制策略

刘磊¹ 张宁² 张超³

1. 华电甘肃能源有限公司阿克塞分公司 甘肃酒泉 736400;

2. 华电甘肃能源有限公司酒泉分公司 甘肃嘉峪关 735100; 3. 华电甘肃能源有限公司阿克塞分公司 甘肃酒泉 736400

DOI:10.12238/ems.v7i9.15239

[摘要] 对新能源发电系统中电力电子变换器的优化控制策略进行研究。探讨了现有控制策略存在的问题,分析不同优化控制策略的原理与特点,包括模型预测控制、滑模控制等。通过优化控制策略可提升变换器性能,提高新能源发电系统的稳定性与电能质量,为新能源高效利用提供支撑。

[关键词] 新能源发电系统; 电力电子变换器; 优化控制策略

引言:

随着新能源发电的快速发展,电力电子变换器在系统中发挥着关键作用。其控制策略直接影响着系统性能。然而,传统控制策略已难以满足新能源发电的复杂需求。因此,研究新能源发电系统中电力电子变换器的优化控制策略,对于提升系统效率和稳定性具有重要意义。

1. 新能源发电系统与电力电子变换器概述

1.1 新能源发电系统的特点

新能源发电系统在我国能源结构转型中扮演着至关重要的角色。其具有多种鲜明的特点。从资源来源看,新能源发电系统主要依赖于可再生能源,如太阳能、风能等。太阳能发电受日照强度和日照时长影响,其能量具有间歇性和不稳定性。风能发电则取决于风力资源的分布与风力的大小,风力的随机性导致风能发电输出功率波动较大。同时,新能源发电系统的分布相对广泛,许多新能源发电设施位于偏远地区,这就需要考虑电力传输的损耗和稳定性问题。再者,新能源发电系统具有环境友好性,减少了对传统化石能源的依赖,有助于降低碳排放,对我国应对气候变化和实现可持续发展战略具有重要意义。不同类型的新能源发电系统,如光伏、风力、生物质能发电等,各自还有独特的技术特性,例如光伏电池的转换效率受温度影响较大,这都需要在整个发电系统的设计和运行中加以考虑。

1.2 电力电子变换器的作用

电力电子变换器在新能源发电系统中发挥着不可或缺的作用。它是连接新能源发电单元和电网或者负载的关键环节。一方面,电力电子变换器能够对新能源发电产生的电能进行转换。例如在太阳能光伏发电系统中,光伏电池产生的直流

电需要通过电力电子变换器将其转换为交流电,才能接入电网或者供给交流负载使用。在风力发电系统中,无论是直驱型还是双馈型风力发电机,电力电子变换器都负责将发电机输出的电能转换为符合电网要求的电能形式。另一方面,电力电子变换器可以实现对发电系统的控制功能。它能够调节输出电压、电流的大小和频率,以保证电能质量。通过精确控制电力电子变换器的开关状态,可以实现对新能源发电系统输出功率的调节,使其能够更好地适应电网的需求,提高发电系统的稳定性和可靠性。同时,电力电子变换器还能在一定程度上对新能源发电系统起到保护作用,防止过流、过压等故障对发电设备和电网造成损害。

2. 现有控制策略分析

2.1 传统控制策略的原理

传统控制策略在新能源发电系统的电力电子变换器控制中有着广泛的应用。以比例-积分-微分(PID)控制策略为例,其原理基于对误差信号的比例、积分和微分运算。在电力电子变换器的控制中,通过测量输出电压或电流与期望值之间的误差,PID控制器根据预先设定的比例系数、积分时间常数和微分时间常数对误差信号进行处理。比例项直接与误差成正比,能够快速响应误差的变化,使输出朝着减小误差的方向调整;积分项则对误差进行累积,主要用于消除稳态误差,保证系统在稳定状态下输出的准确性;微分项则根据误差的变化率进行调整,能够提前预测误差的变化趋势,从而提高系统的动态响应速度。这种基于线性控制理论的传统控制策略,结构简单,易于实现,在较为稳定的工作环境下能够有效地控制电力电子变换器,保证其输出满足一定的性能要求。

2.2 传统控制策略的局限性

传统控制策略在新能源发电系统电力电子变换器的控制方面存在着一些局限性。由于新能源发电的不确定性和波动性,传统控制策略如 PID 控制往往难以适应复杂多变的工况。首先, PID 控制的参数是固定的,一旦设定很难根据实际情况进行自适应调整。在新能源发电系统中,发电设备的输出功率可能会因为环境因素的变化而发生较大波动,例如风速的突然改变或者日照强度的急剧变化,固定的 PID 参数无法及时、有效地应对这种变化,从而导致控制效果下降,可能出现输出电压或电流的不稳定现象。其次,传统控制策略对系统模型的依赖性较强,需要较为精确的系统模型才能实现较好的控制效果。然而,新能源发电系统往往是一个复杂的非线性系统,很难建立精确的数学模型,这就使得传统控制策略在实际应用中可能无法达到理想的控制性能。此外,传统控制策略在处理多变量耦合问题时也存在困难,在电力电子变换器中,电压、电流等多个变量之间相互关联、相互影响,传统控制策略难以对这种耦合关系进行有效的解耦和控制。

3. 优化控制策略研究

3.1 模型预测控制策略

模型预测控制策略是一种先进的控制方法,在新能源发电系统电力电子变换器的优化控制方面具有显著优势。其核心思想是基于系统的模型对未来的状态进行预测,然后根据预测结果选择最优的控制动作。在电力电子变换器的控制中,模型预测控制首先建立包含电力电子变换器、发电设备以及负载的系统模型。这个模型能够描述系统的动态特性,例如电力电子变换器的开关特性、发电设备的输出特性以及负载的变化特性等。然后,根据当前的系统状态和设定的控制目标,模型预测控制利用模型对未来一段时间内系统的输出进行预测。例如预测在不同的开关状态下,电力电子变换器输出电压、电流的变化情况。接着,通过定义合适的代价函数来评估不同预测结果的优劣。代价函数通常考虑诸如输出误差、开关频率、能量损耗等多个因素。最后,选择使代价函数最小的控制动作施加于电力电子变换器。这种控制策略能够有效应对新能源发电系统的复杂性和不确定性,因为它可以根据系统的实时状态不断调整控制策略,而不需要精确的系统模型。

3.2 滑模控制策略

滑模控制策略也是一种适用于新能源发电系统电力电子变换器优化控制的有效方法。滑模控制的基本原理是设计一个滑模面,使得系统的状态在滑模面上运动时具有期望的动态特性。在电力电子变换器的控制中,滑模控制首先根据控制目标和系统特性确定滑模面的方程。例如,对于输出电压稳定的控制目标,可以根据输出电压与期望值之间的误差及其导数等因素构建滑模面。然后,通过控制电力电子变换器的开关状态,使系统状态趋近并保持在滑模面上运动。滑模控制具有很强的鲁棒性,能够对系统参数的变化和外部干扰具有很好的抑制能力。在新能源发电系统中,由于发电设备的参数可能会因为环境因素(如温度、湿度等)的影响而发生变化,同时也会受到电网波动等外部干扰,滑模控制能够在这些情况下仍然保证电力电子变换器的稳定控制。而且,滑模控制的动态响应速度较快,能够迅速地对系统状态的变化做出反应,这对于新能源发电系统这种需要快速适应变化的系统来说是非常重要的。

4. 优化控制策略的优势

4.1 提升变换器性能

在新能源发电系统中,电力电子变换器的性能提升是优化控制策略的重要成果之一。电力电子变换器在新能源发电中起着关键的接口作用,例如在光伏系统中,它将光伏电池产生的直流电转换为符合电网要求的交流电。通过优化控制策略,可以提高变换器的转换效率。这是因为优化策略能够精确地控制开关器件的导通与关断时间,减少开关损耗。在传统的控制策略下,开关器件可能会存在不必要的长时间导通或关断延迟,导致能量的浪费。而优化后的控制策略,能够根据电路的实时状态,如输入电压、输出电流等参数,动态调整开关时间,从而提高转换效率。同时,优化控制策略还能够改善变换器的输出电能质量。新能源发电的输出具有间歇性和波动性,这会导致电能质量问题,如谐波含量高。优化控制策略可以采用先进的调制技术,如空间矢量脉宽调制(SVPWM),通过合理地选择矢量的作用顺序和作用时间,有效地抑制谐波,使输出电压和电流更加接近正弦波,提高电能质量,满足电网的接入要求。

4.2 提高系统稳定性

电力电子变换器优化控制策略对提高新能源发电系统的

稳定性有着至关重要的意义。在新能源发电系统中, 由于新能源的间歇性和不确定性, 容易导致系统功率波动。例如风力发电, 风速的不稳定会使风力发电机的输出功率大幅波动。通过优化控制策略, 可以有效地对电力电子变换器进行控制, 实现对功率的平滑调节。采用先进的控制算法, 如最大功率点跟踪 (MPPT) 算法, 可以实时跟踪新能源发电的最大功率点, 确保在不同的工况下都能最大程度地获取能量, 从而稳定发电功率。并且, 优化控制策略能够改善系统的电压稳定性。在新能源发电接入电网时, 可能会引起电网电压的波动。电力电子变换器的优化控制可以通过无功补偿等方式, 调节系统的无功功率, 维持电压在稳定的范围内。

5. 优化控制策略的应用前景

5.1 在不同新能源发电场景的应用

在太阳能光伏发电场景中, 优化控制策略有着广泛的应用前景。中国的太阳能资源丰富, 随着光伏发电规模的不断扩大, 对电力电子变换器的控制要求也越来越高。在大型光伏电站中, 优化控制策略可以根据不同的光照条件, 精确控制每个光伏阵列的变换器, 实现最大功率输出。通过对变换器的优化控制, 能够提高整个电站的发电效率, 降低成本。在分布式光伏发电系统, 如居民屋顶光伏发电, 优化控制策略可以更好地适应复杂的运行环境。由于分布式光伏发电系统的输出功率较小且受周围环境影响较大, 如周围建筑物遮挡等, 优化控制策略能够及时调整变换器的工作状态, 确保稳定发电。在风力发电场景下, 中国的风力资源分布广泛, 风力发电发展迅速。电力电子变换器的优化控制策略在风力发电中的应用也非常关键。对于变速恒频风力发电系统, 优化控制策略可以根据风速的变化, 控制发电机和变换器的运行, 实现高效的能量转换。在低风速区域, 通过优化控制, 可以提高风力发电机的启动性能, 使风力发电机能够在较低的风速下开始发电。在高风速区域, 控制策略能够限制风力发电机的输出功率, 保护风力发电设备, 同时保证电能质量。

5.2 对新能源产业发展的推动

电力电子变换器优化控制策略对中国新能源产业的发展具有强大的推动作用。在技术创新方面, 优化控制策略的研究和应用促使相关企业不断投入研发资源, 探索更先进的控制算法和技术。这有助于提高中国在新能源电力电子领域的技术水平, 形成自主知识产权, 增强在国际市场的竞争力。

例如, 一些国内企业通过研发优化控制策略, 成功开发出高效的电力电子变换器产品, 不仅满足了国内新能源发电项目的需求, 还出口到其他国家。在产业升级方面, 优化控制策略推动了新能源产业从传统的粗放型发展向精细化、智能化发展转变。传统的新能源发电系统在控制方面存在诸多不足, 优化控制策略的应用可以提高系统的整体性能, 使得新能源发电更加稳定、高效。这将促使整个新能源产业链上的企业进行技术改造和升级, 从发电设备制造到系统集成, 再到运营维护等各个环节都得到提升。在市场拓展方面, 优化控制策略提高了新能源发电的可靠性和经济性, 有助于进一步开拓国内和国际市场。在国内, 随着新能源发电成本的降低和稳定性的提高, 更多的地区愿意接纳新能源发电项目, 扩大了国内的市场需求。在国际上, 中国的新能源产业凭借优化控制策略带来的技术优势, 可以在“一带一路”等国际合作项目中占据更有利的地位, 将中国的新能源技术和产品推广到更多的国家和地区, 推动全球新能源产业的发展。

结束语:

综上所述, 新能源发电系统中电力电子变换器的优化控制策略具有显著优势。通过对不同优化策略的研究与应用, 能有效提升变换器性能和系统稳定性。未来, 随着技术的不断进步, 优化控制策略将在新能源发电领域发挥更大作用, 推动新能源产业持续发展。

[参考文献]

- [1] 马鸿武. 新时期新能源风力发电技术的创新与发展趋势[C]//《中国招标》期刊有限公司. 新质生产力驱动第二产业发展与招标采购创新论坛论文集(二). 三峡新能源利通区五里坡发电有限公司, 2025: 168-169.
- [2] 林春挺. 多省纷纷废止风光发电项目新能源“香饽饽”不香了吗[N]. 第一财经日报, 2025-06-06 (A09).
- [3] 龚琳, 刘茜枚, 曹心雨. “双碳”背景下新能源发电PPP项目风险分担研究——以光伏发电为例[J]. 价值工程, 2025, 44 (16): 115-117.
- [4] 许一泽. 新能源发电系统中的电力电子变换器[J]. 通信电源技术, 2022, 39 (16): 195-196, 202.
- [5] 李媛媛. 模块化超导磁储能系统在电力系统的应用研究[D]. 湖北: 华中科技大学, 2019.