

# 风力发电系统机械变频控制技术分析

洪珠<sup>1</sup> 姜飞<sup>2</sup>

1. 内蒙古华电新能源分公司 内蒙古 呼和浩特 010090

2. 内蒙古华电锡林浩特新能源有限公司 内蒙古 锡林浩特 026000

**摘要:** 风力发电系统机械变频控制技术分析旨在探讨机械变频控制在风力发电领域的应用及其优化策略。本文通过分析机械变频控制技术的基本原理、在风力发电机组中的实现方式、对发电机转速与输出功率的调节效果、变频器与发电机的接口设计以及系统故障下的自我保护与恢复功能等方面,深入研究了该技术对风力发电系统性能的提升作用。研究表明,机械变频控制技术能显著提高风力发电系统的稳定性和发电效率。

**关键词:** 风力发电; 机械变频控制; 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,风力发电作为一种清洁、可再生的能源形式,受到了广泛关注。风力发电系统面临着风速波动大、发电效率不稳定等挑战。机械变频控制技术作为一种先进的控制技术,能够有效解决这些问题,提高风力发电系统的稳定性和发电效率。因此对风力发电系统机械变频控制技术进行深入分析具有重要意义。

## 1 风力发电系统概述

风力发电系统是一种将风能转化为电能的装置,其基本原理是利用风带动风车叶片旋转,再通过增速器将旋转的速度提升,进而驱动发电机发电。这一过程实现了风能到机械能,再到电能的转换。风力发电系统通常由多个关键组件构成,包括风机、变速系统、风力发电机、控制系统、逆变器等。其中,风机用于吸入和排出空气,变速系统用于将输入的电力转变为机械能量,风力发电机则是系统的核心,负责将风能转换为电能。控制系统用于监测和控制整个系统的运行,逆变器则用于转换电流并控制输出功率。风力发电机的类型多样,按轴向可分为水平轴和垂直轴风力发电机,按装置规模则可分为大型和小型风力发电机。水平轴风力发电机是目前应用最广泛的一种,其风轮可以架设到较高位置,减少地面扰动对风轮动态特性的影响。而垂直轴风力发电机则具有一些独特优势,但效率和技术问题尚待解决。风力发电系统的应用广泛,可以在城市、农村、海上、山区等地发电<sup>[1]</sup>。在城市,风力发电系统可以安装在高层建筑等地方;在农村和山区,它可以解决电力不足的问题;海上风电则具有风能更充沛、更稳定的优势。风力发电系统还可以与其他清洁能源结合,构建智慧能源系统,提高能源利用效率。随着技术的不断发展,风力发电系统正朝着大型化、高效化、智能化的方向发展。提

高单机容量可以提升发电效率、降低成本;海上风电是未来的重要发展方向;储能技术则能解决输出功率不稳定的问题,风力发电系统也将更加注重环保和可持续发展,为保护地球环境贡献一份力量。风力发电系统是一种高效、清洁、可再生的能源利用方式,具有广阔的发展前景和重要的应用价值。

## 2 机械变频控制在工业领域的应用现状

机械变频控制在工业领域的应用现状呈现出广泛而深入的特点。作为工业自动化和智能制造的核心技术之一,机械变频控制技术通过调整电机工作电源的频率,实现了对交流电动机的精准调速和节能降耗。这一技术不仅提高了设备的运行效率,还显著降低了能源消耗,符合现代工业对高效、节能、环保的需求。在电力、冶金、化工、机械等多个领域,机械变频控制技术都得到了广泛的应用。例如,在电力行业中,变频器被用于调节电机转速,实现电能的稳定输出;在冶金行业中,变频器则用于控制冶炼设备的转速和功率,提高生产效率;在化工行业中,变频器则通过精确控制泵和风机等设备的转速,实现了对生产过程的精细管理。随着工业互联网、人工智能、物联网等新技术的快速发展,机械变频控制技术也迎来了新的发展机遇。智能化、数字化成为新的发展趋势,变频器产品不仅具备基本的调速、节能功能,还融入了远程监控、故障诊断、预测性维护等智能化特性。这些功能使得设备的运行更加稳定可靠,维护成本大大降低。在市场竞争方面,机械变频控制技术领域的竞争日益激烈。国际知名品牌如ABB、西门子、施耐德电气等凭借其深厚的技术积累和品牌影响力,长期占据市场的主导地位。而国内品牌如汇川技术、英威腾等,则通过持续的技术创新和品质提升,逐步在市场中占据了一席之地。特别是在中低端市场,国

内品牌凭借性价比优势和本土化服务,逐渐扩大了市场份额。未来,随着工业自动化和智能制造的深入推进,机械变频控制在工业领域的应用将更加广泛。新能源、电动汽车等新兴产业的快速发展也将为机械变频控制技术带来新的增长点。预计未来几年,机械变频控制技术市场需求将持续增长,市场规模不断扩大。

### 3 机械变频控制技术的优势

机械变频控制技术作为现代工业自动化的关键技术之一,其应用优势显著,特别是在提高发电效率与能源利用率、增强系统稳定性与可靠性以及降低系统维护与运营成本方面,展现出了不可替代的价值。

#### 3.1 提高发电效率与能源利用率

机械变频控制技术通过精确调节电机的工作频率,实现了对电机转速和输出功率的灵活控制。在发电领域,这一技术能够显著提高发电效率和能源利用率。传统的电机运行方式往往是在固定频率下工作,无法根据实际需求调整输出功率,导致能源浪费。而采用机械变频控制技术后,电机可以根据负载的变化实时调整转速和功率输出,实现按需供电,避免了不必要的能源损耗。以风力发电为例,风力资源的波动性和不确定性使得风力发电机的输出功率也随之变化。通过应用机械变频控制技术,可以实现对风力发电机转速的精确控制,使其在不同风速下都能保持最佳工作状态,从而提高发电效率,在水电站和火力发电厂中,机械变频控制技术也能根据电网负荷和能源供应情况,灵活调整发电机组的输出功率,实现能源的最优分配和利用<sup>[2]</sup>。

#### 3.2 增强系统稳定性与可靠性

机械变频控制技术不仅提高发电效率,还显著增强系统的稳定性和可靠性。在传统的电机控制系统中,由于电机启动和停止时的电流冲击较大,容易对电网和设备造成损害,影响系统的稳定运行。而采用机械变频控制技术后,电机可以实现平滑启动和停止,大大降低电流冲击,保护电网和设备的安全。机械变频控制技术还能有效应对电网电压波动和频率变化对电机运行的影响。当电网电压或频率发生波动时,变频器能够迅速调整电机的输入电压和频率,保持电机输出功率的稳定,从而确保系统的稳定运行。这一特性在电力系统中尤为重要,能够避免因电网故障导致的设备损坏和停电事故。

#### 3.3 降低系统维护与运营成本

机械变频控制技术的应用,在显著降低风力发电系统的维护与运营成本方面展现出了巨大的潜力。传统的电机控制系统,由于电流冲击、振动和磨损等固有问题的存在,往往需要频繁的维护和保养,这不仅增加了企

业的运营负担,也影响了风力发电系统的稳定性和可靠性。相比之下,机械变频控制技术通过精确控制电机的运行,实现电机转速和功率输出的灵活调整,从而极大地减少振动和磨损,延长设备的使用寿命。这意味着,采用机械变频控制技术的风力发电系统,其维护频率和成本都得到了显著降低。机械变频控制技术还能实现电机的软启动和软停止,在传统的电机控制系统中,启动和停止时的电流冲击往往会对电机和设备造成损害,增加设备故障的风险。而机械变频控制技术则能够避免这种情况的发生,通过平滑的启动和停止过程,减少电流冲击对电机和设备的损害,进一步降低设备故障率,减少维修成本。更重要的是,机械变频控制技术能够根据负载变化实时调整电机转速和功率输出,实现能源的按需分配。这不仅提高发电效率,还降低能源消耗,从而进一步降低企业的运营成本。这对于风力发电行业来说,无疑是一个巨大的福音,因为它不仅提高系统的稳定性和可靠性,还降低了企业的运营成本,增强行业的竞争力。

### 4 风力发电系统中机械变频控制技术的应用

#### 4.1 机械变频控制在风力发电机组中的实现

风力发电系统中,机械变频控制是实现高效、稳定发电的关键技术之一。风力发电机组通常由风力机(即风车叶片)、增速齿轮箱、发电机以及控制系统等部分组成。机械变频控制技术主要应用于发电机控制系统,通过调节发电机的工作频率,实现对发电机转速和输出功率的精确控制<sup>[3]</sup>。在风力发电机组中,机械变频控制技术的实现依赖于高性能的变频器,变频器通过接收来自风速传感器、发电机电流传感器等设备的信号,实时分析当前风速、发电机负载等状态信息,然后根据预设的控制算法,输出相应的控制信号,调节发电机的输入电压和频率,从而实现对发电机转速和输出功率的精确控制。变频器的选择和设计对于风力发电机组的性能至关重要,高性能的变频器不仅具有快速响应、高精度控制的特点,还能在恶劣环境下稳定运行,确保风力发电机组的长期可靠运行。

#### 4.2 发电机转速与输出功率的调节

机械变频控制在风力发电机组中的核心应用之一是发电机转速与输出功率的调节。风力发电机组的输出功率与风速、发电机转速等因素密切相关。在风速变化时,发电机转速和输出功率也会相应变化。传统的恒速恒频发电系统无法根据风速变化实时调整发电机转速和输出功率,导致能源浪费和发电效率降低。而采用机械变频控制技术后,可以根据风速变化实时调整发电机

转速和输出功率,实现最优发电效率。当风速较低时,通过降低发电机转速,减少机械损耗和电能损耗,提高发电效率;当风速较高时,通过提高发电机转速,增加输出功率,充分利用风能资源。机械变频控制技术还能实现发电机的软启动和软停止,避免了因启动和停止时的电流冲击对发电机和设备造成的损害,延长了设备的使用寿命。

#### 4.3 变频器与发电机的接口设计

变频器与发电机的接口设计是机械变频控制在风力发电机组中应用的另一个关键环节。变频器与发电机的接口设计需要考虑到电气性能、机械性能、热性能等多个方面。在电气性能方面,需要确保变频器输出的电压和频率与发电机的额定电压和频率相匹配,避免因电压和频率不匹配导致的设备损坏和发电效率降低。还需要考虑到发电机的功率因数、谐波含量等电气参数,确保电力系统的稳定运行。在机械性能方面,需要确保变频器与发电机之间的连接牢固可靠,避免因振动和松动导致的设备故障。还需要考虑到变频器的散热问题,确保变频器在高温环境下也能稳定运行。在热性能方面,需要合理设计变频器的散热系统,确保变频器在高温环境下也能保持稳定的性能。还需要考虑到发电机的温升问题,避免因温度过高导致的设备损坏和发电效率降低。

#### 4.4 风速变化下的发电效率优化

机械变频控制在风力发电机组中的应用,使得风力发电系统能够根据风速变化实时调整发电机转速和输出功率,实现发电效率的优化。在风速较低时,通过降低发电机转速,减少机械损耗和电能损耗,提高发电效率;在风速较高时,通过提高发电机转速,增加输出功率,充分利用风能资源。机械变频控制技术还能实现发电机的智能控制,通过实时监测风速、发电机电流等状态信息,分析当前发电机的运行状态和发电效率,然后根据分析结果调整控制策略,实现发电效率的最优化。例如,在风速波动较大的情况下,可以通过调整变频器的控制参数,使发电机在风速波动时保持稳定的输出功率,避免因风速波动导致的发电效率降低。同时还可以通过优化控制策略,提高发电机的功率因数和谐波

抑制能力,改善电力系统的电能质量。

#### 4.5 系统故障下的自我保护与恢复

机械变频控制在风力发电机组中的应用,不仅提高发电效率和能源利用率,还增强系统的稳定性和可靠性。在系统故障下,机械变频控制技术能够实现自我保护与恢复功能,确保风力发电机组的长期可靠运行<sup>[4]</sup>。当风力发电机组发生故障时,机械变频控制技术能够迅速检测故障并采取相应的保护措施。例如,当发电机出现过载、过热等异常情况时,变频器能够自动切断电源或降低输出功率,避免设备损坏和人员伤害。变频器还能记录故障信息并发送给控制系统,为后续的故障分析和处理提供依据。在系统故障恢复方面,机械变频控制技术也发挥着重要作用。当故障被排除后,变频器能够根据预设的控制策略自动恢复运行,确保风力发电机组的快速恢复和稳定运行。还可以通过远程监控和诊断系统实时监测风力发电机组的运行状态和故障信息,实现故障的远程处理和恢复。

#### 结束语

综上所述,风力发电系统机械变频控制技术的分析与研究,不仅揭示其在提高发电效率、增强系统稳定性方面的显著优势,还展示其在应对风速变化、优化能源利用等方面的广阔应用前景。随着技术的不断进步和应用的持续深化,机械变频控制技术将为风力发电行业的可持续发展注入新的活力。未来,期待看到更多创新性的技术突破,共同推动风力发电系统向更高效、更可靠的方向迈进。

#### 参考文献

- [1]王彬彬.简谈双馈异步风力发电机变频器运行控制技术[J].大众标准化,2024,(09):53-55.
- [2]李刚,高修焯.变频技术在风力发电机组及电气系统中运用分析[J].电气技术与经济,2024,(05):101-103.
- [3]郭辉.风力发电系统机械变频控制技术[J].中国高新技术,2021,(24):11-12.
- [4]王秀丽,张海涛,周嘉豪,盛俊毅,靳广超,杨勇.远距离风电变频送出方式及大功率变频装置的研发[J].高电压技术,2024,50(05):1978-1986.