

风力发电中电力电子技术的应用

尚殿波¹, 赵飞², 赵哲³

1. 国网吉林电力, 吉林 辽源 136200

2. 吉林省辽源市实验高级中学, 吉林 辽源 136200

3. 国网吉林电力, 吉林 辽源 136200

DOI: 10.61369/SDME.2025050005

摘要 : 风能是清洁资源, 也是可再生资源, 在当前的发电工程中有着重要作用。且相对传统发电方式来说, 风力发电所占优势是无污染、投资灵活等, 能够产生较好的经济与社会效益。随着现代科技发展, 电子电力技术应用于风力发电系统, 衍生出诸多新的技术与设备, 值得我们深入探索与实践。因此, 本文探讨风力发电系统的分类、风电机组的控制技术等, 对电力电子技术应用于风力发电中做出未来展望, 希望能够为相关从业者提供更多借鉴与参考。

关键词 : 风力发电; 电力电子技术; 应用策略

Application of Power Electronics Technology in Wind Power Generation

Shang Dianbo¹, Zhao Fei², Zhao Zhe³

1.State Grid Jilin Electric Power, Liaoyuan, Jilin 136200

2.Jilin Liaoyuan Experimental High School, Liaoyuan, Jilin 136200

3.State Grid Jilin Electric Power, Liaoyuan, Jilin 136200

Abstract : Wind energy is an important component of renewable energy. Wind power generation stands out for its advantages of being clean and pollution-free, having a short construction period, flexible investment, and requiring less land, which can bring about good economic and social benefits. With the development of modern technology, the application of power electronics technology in wind power generation systems has given rise to many new technologies and equipment, which are worthy of in-depth exploration and practice. Therefore, this paper discusses the classification of wind power generation systems and the control technology of wind turbine units, and looks forward to the future application of power electronics technology in wind power generation, hoping to provide more references for relevant practitioners.

Keywords : wind power generation; power electronics technology; application strategy

一、风力发电系统的分类

(一) 恒速恒频风力发电系统

恒速恒频发电机系统采用普通异步发电机, 在国内的应用普遍而广泛。以其正常运行, 转差率 S 为负值, 且范围还会逐渐变小。据研究与试验, 发现该风电机有以下特点: 一是由三个叶片组成; 二是主轴系统由中间联结有齿轮箱的高速轴和低速轴共同组成; 三是发电机本身为普通的感应异步发电机。

恒速恒频风电机组目前在国内的应用比较广泛, 也有许多机组通过转子回路接入电阻, 继续采用可控硅控制电流的大小来进行调整^[1]。一般情况下, 它的缺点是在风速快速提高的情况下, 风能通过桨叶传给主轴, 还有齿轮箱、发电机, 产生较大的机械应力。也就很容易引起这些零部件的疲劳与损害。并且, 这样的风电机组时常不能控制电压, 不能像同步发电机一样提供电压支撑力, 也就不利于电网故障系统电压的恢复稳定。这时, 采用普通异步发电机的风电机组性能与实际效用不足。另外, 恒速恒频风力发电系统所发出的电能也是会波动的, 和具体的风速强相关^[2-4]。

(二) 变速恒频风力发电系统

变速恒频技术在当前风力发电中占据重要地位, 区别于以上

是通过零部件进行控制, 确保输出的频率恒定。它的工作原理是: 发电机精准控制转子电流, 调整到恒定参数, 实现恒定的最佳叶尖速比, 以提升风能的转换效率。也基于这一控制手段, 能够对于有功功率、无功功率进行有效调节, 增强整个风电场的稳定性。从实践角度来看, 当前的变速恒频技术占据多方面的优势, 是未来风电技术创新发展的方向。其常见类型有同步发电机变速恒频系统、笼型异步发电机变速恒频系统、双馈电机变速恒频系统以及无刷双馈异步电机变速恒频系统等。不同类型的系统各有优劣^[5-7]。

(三) 两种变速恒频发电系统

通过以上描述, 我们发现在变速恒频系统中还可以继续划分, 也就是同步或异步的风力发电系统。据研究, 同步风力发电系统主要参考以下: 所发出的电功率都必须经过变换器, 对相应的零部件也提出了更高的要求, 一般来说需要花费的投入资金较大^[8]。并且永磁发电机可以进行部分代替, 结构简单也比较坚固。使用起来可以直接驱动, 就省去了变速箱。相对而言节省成本, 造价更低。对于转换器为单象限的, 该发电系统结构简单。该系统也具有其他系统不具备的优势, 以最高的发电效率, 优于同级的所有传动系统。

二、风电机组的控制技术

（一）变桨距控制

变桨距控制是风电机组控制技术的重要组成部分，其核心目标是通过调节叶片的桨距角，使风电机组在不同风速下都能高效捕获风能。传感器实时监测风速、风向、发电机转速等关键参数，并将信号传输给控制器。基于电力电子技术构建的控制器，能够快速对这些信号进行分析处理，依据预设的控制算法，向变桨距执行机构发送精确的控制指令。变桨距执行机构通常由电力电子器件组成的驱动电路驱动，比如说功率晶体管、IGBT（绝缘栅双极型晶体管）等可以精确控制电机的转速和转向，帮助实现叶片桨距角的快速、精准调节^[9-10]。尤其在低风速环境下，通过减小桨距角，增大叶片对风能的吸收面积，提高风能捕获效率；在高风速时，增大桨距角，降低叶片所受的气动载荷，避免风电机组因过载而损坏，保障机组安全稳定运行。

（二）变速恒频控制

风力发电的一大特点是风速的随机性和波动性，这导致风电机组的转速也随之不断变化。但当前电网对电能频率有着严格的要求，一般为50Hz或60Hz，恒定不变^[11]。变速恒频控制技术的出现，有效解决了这一矛盾，而电力电子变流器是实现该技术的核心设备。常见的变速恒频控制方案包括双馈异步发电机系统和永磁同步发电机全功率变流器系统。在双馈异步发电机系统中，转子侧变流器和网侧变流器协同工作。转子侧变流器通过控制转子电流的频率、幅值和相位，实现对发电机转速的调节，使发电机在较宽的风速范围内保持最佳的发电效率；网侧变流器则负责将发电机输出的频率和电压变化的电能，转换为符合电网要求的恒频、恒压电能，并实现能量的双向流动，确保系统稳定运行。永磁同步发电机全功率变流器系统中，发电机输出的电能全部通过全功率变流器进行处理，该变流器能够对电能的频率、电压、相位等参数进行全面的控制和调节，使电能质量满足电网接入标准，同时也能实现对发电机的高效控制，提高系统的整体性能^[12]。

（三）最大功率点跟踪控制

为使风电机组在各种风速条件下都能最大限度地捕获风能，实现发电功率的最大化，最大功率点跟踪（MPPT）控制技术的应用就十分重要。一般来说，电力电子技术为MPPT控制提供了实现手段。目前，常用的MPPT控制方法有叶尖速比法、功率信号反馈法、爬山搜索法等。以爬山搜索法为例，控制器通过电力电子器件不断调节发电机的转速或桨距角，实时监测发电机的输出功率^[13]。当输出功率增大时，继续沿当前调节方向调整；当输出功率减小时，则改变调节方向，如此反复，直至找到最大功率点。而电力电子器件将精确控制电机的运行状态，实现对风电机组运行参数的快速调整，确保风电机组始终工作在最大功率点附近，提高风能的利用效率。

三、风力发电中电力电子技术的应用前景展望

全球能源转型的大背景下，风力发电凭借其清洁、可再生等优势，成为能源领域的关键发展方向，电力电子技术在其中的应用前景极为广阔。从市场规模来看，据QYResearch统计及预测，2024年全球变频驱动风力发电控制设备市场销售额达38.51亿美元，预计2031年将攀升至54.54亿美元，年复合增长率为5.1%，这表明相关设备市场需求持续增长，为电力电子技术应用提供了广阔市场空间^[14]。技术发展层面，未来电力电子技术将朝

着高效化、智能化、模块化方向迈进。宽禁带半导体材料如碳化硅（SiC）和氮化镓（GaN）的应用，将使电力电子器件具备更高频率、更宽温度工作范围及更低能量损耗，促使风力发电系统的逆变器等设备在恶劣环境下仍能保持高转换效率与可靠性。同时，智能化通过集成智能控制系统，可实现远程监控、故障自诊断等功能，提升运维效率；模块化便于设备安装、维护与升级，降低综合成本。从应用场景拓展角度，海上风力发电将成为重要增长点，高压直流输电（HVAC）接入电网技术及基于电压源变流器（VSC）的HVAC输电系统的发展，使海上风电场与电网连接更高效、稳定，且对电网条件要求降低^[15]。此外，储能技术与风力发电的结合也将借助电力电子技术实现突破，通过电力电子器件组成的变换器对储能系统充放电进行精准控制，优化风电输出稳定性，提升风电在能源体系中的占比与影响力。也就是说，风力发电中电力电子技术的应用前景广泛，有相关理论与实践项目不断推进，也有全新的发展方向与趋势提出，是每一位从业人员关注的重要话题。

四、结束语

基于以上，我们看到电力电子技术的应用十分广泛，且支持风力发电提出越来越多先进技术、设备，仍然在扩大研究与投入使用中。将最新的电子技术、控制技术应用到风力发电系统中，将很快地提高相应发电效率、电力变化质量，且大幅降低相应成本。也就实现了清洁、可持续再生能源对其他资源的代替，能够改善人类生存环境、地球环境，最大限度的践行绿色环保，值得我们深入探索与实践。

参考文献

- [1]郭旭,李翔.可再生能源系统的品牌化创建之路——以电力电子技术为依托[J].中国品牌与防伪,2024,(11):230-231.
- [2]王书征,高峰峰,李先允.新型电力系统背景下电力电子技术实验课程教学改革探索[J].科技视界,2024,14(27):32-35.
- [3]佟忠正,孙畅子.基于深度学习的风力发电系统自动化优化与控制系统[J].自动化与仪表,2024,39(08):15-19.
- [4]甘学涛,王雷,谭亲跃,等.“双碳”背景下“电力电子技术”课程实验教学改革探讨[J].科教导刊,2023,(11):88-90.
- [5]石荣亮,陆东平,张烈平,等.“双碳”目标下《电力电子技术》课程教学改革的探索与实践[J].大众科技,2022,24(10):130-132+124.
- [6]蔡永石.“互联网+”背景下电子技术在电网系统智能化建设中的应用[J].无线互联科技,2022,19(15):38-40.
- [7]王一,颜轶涵,黄星明,等.基于STM 32的风力发电模拟装置综合实验[J].实验科学与技术,2022,20(02):73-80.
- [8]甄然,郭英军,郭伽.风力发电偏航变桨PLC控制虚拟仿真实验系统建设探索[J].中国电力教育,2022,(03):67-68.
- [9]张阳,张超,程淳.电力电子技术在电力系统中的应用教学探索研究[J].电子元器件与信息技术,2021,5(09):42-43+48.
- [10]崔青恒.新能源时代电力电子技术在风力发电中的应用[J].电子技术与软件工程,2020,(13):190-191.
- [11]杨涛.电力电子技术在新能源发电领域中的应用[J].电子世界,2020,(08):169-170.
- [12]苏勋文,朱显辉,师楠,等.能源互联网体系下对电气工程及其自动化专业人才培养的思考[J].当代教育实践与教学研究,2020,(07):30-32.
- [13]陈健,陈丽兵,周浩.基于增益调度比例积分的永磁同步风力发电系统最大风能捕获控制策略[J].科技视界,2019,(33):1-3.
- [14]李新强.新能源领域电力电子技术应用及其检测评价技术新发展[J].电器与能效管理技术,2019,(04):1-8.
- [15]秦斌,黄浩,王欣.一种接触器和IGBT配合使用的风力发电用电电压跌落发生器[J].大功率变流技术,2017,(06):52-55+72.