

电气自动化技术在新能源发电中的应用

陈征宇

华电（浙江）新能源有限公司，浙江 杭州 310000

[摘要]在世界能源转型以及“双碳”背景下，新能源发电量不断增加，而其波动性和间歇性给电力系统带来很大影响。电气自动化技术利用智能化监控、自动化控制、并网管理和故障检测等手段保障新能源发电系统良好运行。从智能监测及数据获取、自动控制及优化运行、并网控制及电能质量管理、故障识别及智能化维护四个方面进行阐述。电气自动化技术有助于提高新能源发电系统工作效率、供电可靠性和电网兼容性，是促进新能源行业健康发展的强大引擎。

[关键词]电气自动化；新能源发电；智能监测

DOI: 10.33142/hst.v9i5.19897

中图分类号: TM614

文献标识码: A

Application of Electrical Automation Technology in New Energy Generation

CHEN Zhengyu

Huadian (Zhejiang) New Energy Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang, 310000, China

Abstract: In the context of global energy transition and "dual carbon", the amount of new energy generation is constantly increasing, and its volatility and intermittency have a significant impact on the power system. Electrical automation technology utilizes intelligent monitoring, automation control, grid management, and fault detection to ensure the smooth operation of new energy generation systems. This article elaborates on four aspects: intelligent monitoring and data acquisition, automatic control and optimized operation, grid control and power quality management, fault identification and intelligent maintenance. Electrical automation technology helps improve the efficiency, power supply reliability, and grid compatibility of new energy generation systems, and is a powerful engine for promoting the healthy development of the new energy industry.

Keywords: electrical automation; new energy generation; intelligent monitoring

引言

由于化石能源逐渐枯竭以及环境问题日益突出，以风电、光伏发电为主的可再生能源发电得到迅速发展。但是，由于可再生能源发电具有显著的随机性、波动性和不确定性，大量接入电网会对电网的安全可靠造成巨大威胁。而电气自动化集成了先进的智能化控制、信息技术以及互联网技术，可以对发电设备进行实时监控、自动调节以及智能维护，从而解决可再生能源发电的可控性问题。因此，探讨电气自动化技术在可再生能源发电领域的应用对于提高可再生能源利用率以及保证电网安全稳定运行具有重要意义。本文主要针对风力发电、光伏发电以及储能系统等几个较为典型的新能源发电项目进行阐述，对电气自动化技术在这些项目中所起到的作用进行详细解读，在此基础上提出建议，希望能够为新能源发电系统的自动化提升以及智能化改善起到一定的作用。

1 新能源发电与电气自动化技术基础

新能源发电包括风力发电、光伏发电、水力发电以及生物质能发电等方式。风力发电是用风力带动风轮转动，再由发电机把动能转化为电能；光伏发电是利用半导体材料的光生伏特效应，把太阳辐射的能量直接变成直流电能。新能源发电环保节能，资源丰富，但是由于其发电量受到环境因素制约较大，因此具有较强随机性和波动性。而电气自动化是建立在电子技术、自动控制原理、计算机技术和网络通讯基础上的一种能够对整个电力系统进行实时监控、操作、防护及管理的技术手段。新能源发电技术在电气自动化系统中的应用，介绍了新能源发电技术可再生性、环保性、分布式发电以及变化性特点，给出了模块化设计、电力电子技术柔性接入及智能化控制方法。而在新能源发电方面，电气自动化技术应用主要是以下几点作用：一是实现在线检测以及自动控制以改善发电系统对于易

变性资源适应性；二是进行优化调度及并网控制来增加新能源电站接入电网能力；三是实施故障检测以及远程监控，从而减少运行维护费用并且保证系统稳定性。

2 智能监测与数据采集技术

2.1 发电设备状态实时监测

新能源发电设备在恶劣环境条件下工作时间长，设备状况影响发电量以及安全性。电气自动化利用各种传感器及智能化检测仪器获取风机齿轮箱、发电机轴承、光伏板、逆变器等主要部件的工作情况信息。风电场状态监控主要是振动监控、温度监控、转速监控等方面内容，在振动频谱上可以预见齿轮箱磨损、轴承损坏等问题。而对于光伏电站来说就是关注光伏板的电流、电压、温度以及灰尘覆盖情况等信息来辅助进行功率优化以及清洁工作。根据新能源信息化智能管理系统特点，在此基础上对数据采集及通信模块、远程监视及控制模块、故障检测及报警模块、能源管理和调度模块、数据处理及报表生成模块进行研究及开发。实时数据是判断设备运行情况以及预测设备可能出现问题的基础。

2.2 基于物联网的数据传输与预处理

基于物联网结构的数据采集系统利用无线传感器网络、ZigBee、4G/5G 等通信方式，把分散的传感器节点连接到一起。边缘计算在前端完成对原始数据进行清洗、去除异常数据、补全缺失数据以及提取有用信息等工作，然后将这些处理过后的数据传送到云上或者本地服务器上形成设备运行数据库，用于后续的故障检测及优化控制，大大减少了时延，提升了系统的及时性。

3 自动控制与优化运行技术

3.1 风力发电变桨与偏航自动控制

风力发电机组在风速随机变化情况下要不断改变自身工况来获取最大风能并且保证其正常工作。变桨距控制是通过叶片桨距角进行调节从而改变其受到的气动转矩，在低于额定风速时进行最大风能跟踪，在高于额定风速时限制功率输出防止过度载荷。而偏航控制则是根据风向传感器提供的信息使风机机头朝向迎风方向。大容量风力发电机组控制技术研究表明，传统的控制方法对于突发性的风速变化反应迟缓，在有较强非线性、随机不确定性和较大工作区间的情况下不太合适，因此提出一种新的自适应分段控制策略，即用于大型风电机组智能柔性变桨以及柔性偏航的方法。根据风速、风向的变化情况，利用变论域自适应模糊控制对兆瓦级风力发电机组偏航以及变桨距系统的协调优化进行研究，在风速变化时实现较好的控制效果，提高风电机组在复杂风场中的鲁棒性。

3.2 光伏发电最大功率点跟踪控制

光伏电池输出功率受光照强度以及温度的影响较大，其功率-电压关系曲线是单峰型，有一个唯一的最大功率点，在最大功率点处，光伏阵列可以得到最大的输出功率，最大功率点跟踪就是通过对 DC/DC 变换器占空比进行调整，让光伏阵列一直处在最大功率点附近。传统的最大功率点跟踪算法主要有两种：一种是扰动观察法，另一种是电导增量法。扰动观察法是定期给光伏阵列施加一个小的电压扰动，然后根据其功率的变化来确定是否应该增大或者减小占空比以达到最大功率点，这种方法的优点是简单易实现，但是不能准确地跟踪到最大功率点，而且在稳态工作时会有功率波动；而电导增量法是利用当前时刻的电导值与其增量电导值之间的比较来判定当前的工作点的位置，从而能够更精确地找到最大功率点但是相应的增加了计算量。对于局部遮挡情况下功率-电压曲线存在多个峰值的问题，粒子群优化、神经网络等智能方法应用于整个系统最大功率点求取可以防止其陷入局部极值不能自拔。

3.3 储能系统充放电自动管理

储能系统是缓解新能源出力不稳定性 and 提高接入电网电能质量的有效手段。储能系统充放电管理需兼顾多个目标，在符合电网调度要求基础上尽量延长电池使用寿命并且使电池荷电量处于正常范围。基于电力设备之间相互影响关系对电力设备进行变工况优化运行控制策略是以电力设备各个部分之间作用为基础设定电力设备目标以及约束条件，形成电力设备模块化数学优化模型。自动控制系统通过不断检测电池电压、电流、温度以及 SOC 值从而改变充放电大小以避免过充电或者过放电甚至发生热失控现象。在微电网中，储能系统还要进行频率调节以及电压支持，对其控制要求既要及时也要考虑经济性。

3.4 多能互补协同优化控制

多能互补系统整合了风电、光伏、储能以及柴油机等不同种类能源，利用它们之间的互补作用来弥补单一新能源发电量不足的问题。自动化控制系统根据超短期功率预测以及负荷预测结果，在满足最小化系统运行费用或者最大化接纳新能源的基础上对各个发电单元发出功率进行合理分配。分层控制结构把整个多能互补系统分为调度层、协调层以及就地层三层，其中调度层依据全网情况给出最优方案，协调层将该方案下发到各个节点，而就地层负责执行快速闭环控制任务。多能互补控制大大提高了边远地区以及海岛型微电网供电安全性。

4 并网控制与电能质量调节技术

4.1 有功与无功功率自动调节

新能源电站并网后应接受电网调度指挥,参与系统功率平衡和电压调整。逆变器是实现有功无功解耦控制主要装置,通过改变调制比以及相位角实现对有功功率和无功功率控制。逆变器可以设定一定功率因数以达到控制无功目的,功率因数可在-1~-0.8或者0.8~1之间变动;也可以指定一定比例无功进行控制无功输出,无功比例可从-70%P_n~70%P_n之间选取;电压无功控制可以使输出无功功率随着电网电压而变化。自动发电控制系统接收来自调度部门功率命令,根据预先确定的分配原则分配给各个电厂负荷大小。自动电压控制是通过对各无功源(逆变器、SVG、电容器组)进行优化分配使并网点电压保持在允许范围之内。

4.2 低电压穿越与频率稳定控制

低电压穿越能力是新能源发电设备接入电网的重要技术指标。当电力系统出现短路造成电压降低的情况下,风电机组或者光伏发电逆变器要能够在一定时间以内维持并网并且向电网提供无功电流来帮助电压恢复。而具有良好低电压穿越性能的风电机组在故障之后有功可以逐步恢复,这个过程给电网带来的有功扰动不是阶跃式的,在对电网接纳这种风电的能力进行评价中也应当考虑到这一点。频率稳定方面,新能源电厂需要具有惯量及一次调频的能力。一旦发现系统的频率偏离其额定值,控制器发出相应的增补功率信号使机组快速响应变化,参与到频率的恢复工作当中。随着新能源占比越来越大,构网型控制使变流器模拟同步发电机外特性,主动发出有功无功功率支撑系统频率、电压稳定。

4.3 谐波抑制与电能质量综合治理

由于大量的电力电子变流装置接入使得新能源电站成为谐波的主要发生源,在谐波电流注入电网之后会造成电压波形失真,给一些对电压要求较高的设备带来不良的影响并且会导致不必要的电能损失。对于谐波问题可以使用无源滤波器、有源电力滤波器以及混合型补偿设备等进行解决。而对于电网中存在的一些非线性和无功负载问题,则可以用基于H_∞重复控制下的并联逆变器电能质量改善方式,在此之中设计简便且能够有效降低逆变器谐波并

且在一定的范围内其参数变化对其影响不大。有源电力滤波器是通过谐波电流进行监测然后生成与其相反方向的电流从而达到消除谐波的目的,具有较宽的工作频率范围以及较快的响应速度,但是相应的费用也较高。

电能质量综合治理还应考虑电压波动、闪变、三相不平衡等问题。自动化监测系统对并网点电能质量进行在线监测,在线检测到有不合格情况后可自行启动相应的治理措施或者改变其运行方式以达到国家标准的要求。

5 故障诊断与智能运维技术

5.1 基于数据分析的故障预警与定位

传统新能源发电设备检修大多采取定期检查方式,导致“过修”或“欠修”,而基于大数据分析的预测性维护技术是根据设备运行数据中出现的问题进行分析来预测未来可能出现的问题并及时处理^[1]。例如对于风力发电机而言,在其运行过程中不断检测其齿轮箱振动信号在时域以及频域的变化情况并配合油样化验结果,可以在故障出现之前几周发现齿轮磨损或者轴承点蚀等问题。机器学习方法被大量用到对不同故障类型的判断上,如支持向量机、随机森林以及深度神经网络都是通过对以前发生的故障案例进行学习从而得到各种不同的特征值与其所对应的具体故障类型的一一对应的关系。故障定位是基于多源数据之间时间、空间上的联系,根据设备之间的连接关系以及保护的顺序进行故障的定位。

5.2 远程监控与无人值守运维

新能源电站一般建在较为偏远地方,现场维护费用较高,而远程监控及无人值守是通过建设一个集控中心来实现对分布在各地的各个电站进行统一管理^[2]。远程监控包括视频监控、设备状态监测、告警管理以及操作控制等子系统,在集控中心可以实现对多个电站的巡视工作并且能够及时处理出现的问题。无人值守需要有很高的自动化程度,重要设备要有一套备用方案,系统的各个部分都要能自我检测并修复自身问题^[3]。新能源信息化管理系统含有远程监控与操控部分、故障诊断与报警,是对整个电站进行控制。巡检机器人以及无人机的应用进一步拓展了远距离运维范围,在此基础上配置红外热像仪及高清摄像头可以实现对光伏板热斑检测及风力发电机叶片外观检查等任务。

表1 常见谐波抑制方案对比

治理方案	补偿范围	响应速度	成本	适用场景	技术成熟度
无源滤波器	固定频率谐波	慢	低	谐波成分单一的场所	成熟
有源电力滤波器	动态全频段	快	高	谐波多变的场所	成熟
混合型滤波器	宽频段	较快	中	大容量补偿需求	发展中
多功能逆变器	特定次谐波	中等	低	分布式光伏电站	新兴

6 结语

电气自动化技术是解决新能源发电并网问题以及提高整个系统的运行效率的有效途径,在新能源发电中主要体现在智能监测、自动控制、并网调节以及智能运维等方面的应用情况,研究发现随着传感器技术和物联网的发展使得设备的状态可以被更好地感知;先进的控制方法可以很好地改善风电和光伏的动态响应特性;并网控制技术的进步让新能源电厂具有了像传统火电机组一样为电网提供必要的支撑的能力;而大数据和人工智能正在促使运维方式向着预防性维修的方向发展。未来,数字孪生、边缘智能、构网型控制等新技术将与电力电子技术紧密结合,推动新能源发电装置不

断朝着更高效率、更高可靠性以及更加智能化发展。

[参考文献]

- [1]李平.电气自动化系统中新能源发电技术的集成与应用[J].科技创新与生产力,2025,46(11):43-45.
- [2]李强,戴明明,刘昌界,等.储能系统电力设备变工况的优化运行控制方法[J].自动化技术与应用,2024,43(2):49-52.
- [3]张成.基于 H_{∞} 重复控制的并联逆变器电能质量治理[J].电工技术,2025(4):1-3.

作者简介:陈征宇(1993—),男,汉族,浙江衢州人,工程师,本科,长春工程学院风能与动力工程专业,从事电气自动化工作。