 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i6.10639

Research on Power System Stability Optimization under New Energy Integration

Xin Zhao

China Petroleum & Natural Gas Corporation Liaohé Oilfield Branch New Energy Division, Panjin, Liaoning, 124010, China

Abstract

Against the backdrop of large-scale grid integration of renewable energy, power systems face challenges such as frequency deviation, reduced inertia, and voltage instability. From the perspective of system stability, this study examines the impact of grid inertia and energy storage configuration on system stability. It proposes measures—including enhancing grid inertia, rationally locating energy storage facilities, and improving voltage control—to improve the system's frequency response capability, active power regulation capacity, and voltage levels, thereby ensuring safe and reliable grid operation under high proportions of renewable energy integration.

Keywords

new energy; power system; voltage

新能源接入下电力系统稳定性优化研究

赵鑫

中国石油天然气股份有限公司辽河油田分公司新能源事业部，中国·辽宁 盘锦 124010

摘　要

在新能源大规模并网背景下，电力系统存在频率偏差、惯性降低以及电压不稳定等问题，在此背景下，从系统稳定性出发探讨电网惯性和储能配置对系统稳定性的影响，提出了增加电网惯性、合理布置储能电站位置以及改善电压控制等措施提高系统的频率响应能力和有功调节能力及电压水平以保证高比例新能源接入下的电网运行安全可靠。

关键词

新能源；电力系统；电压

1 引言

由于大量新能源如风电、光伏并网，给电网带来频率波动、暂态不稳定以及功率波动等问题，传统的控制方法已经不能适应大规模新能源带来的安全稳定问题，在此情况下就需要研究改进措施提高系统的鲁棒性和可靠性，保证绿色低碳电力系统可靠运行。

2 新能源的介绍

新能源主要包括太阳能、风能、生物质能、地热能以及海洋能等，相较于传统的化石能源而言，在生产及应用环节几乎不会排放二氧化碳以及其他污染物质，因此具备显著的清洁低碳属性。开发并应用此类能源有利于降低温室气体排放量从而减缓全球变暖趋势，也可以优化生态环境状况。而且新能源储量丰富并且可再生的特点可以有效替代有限的化石燃料资源，为能源结构调整和绿色经济发展做出贡献[1]。科学合理的规划和利用新能源是达成“双碳”目标的有效途径之一。新能源具备较好的发展前景和发展潜力，可以持续地满足社会对于能源的需求。而不同于煤炭、石油等非可再生能源，风能、太阳能等自然资源是取之不尽用之不竭的，在开发过程中不会被消耗殆尽并且可以保证区域内的电力供应安全稳定。而且随着技术不断进步以及成本逐步降低，新能源发电越来越具有竞争力，同时其储能系统、智能化调度以及微电网等相关配套设施的发展进步也为提高新能源利用率及灵活性提供了有力支持。科学合理地安排新能源与常规火电机组之间的配合使用不仅有利于改善整个电网系统的整体结构从而提升整体效益水平同时也为实现整个能源系统的绿色低碳转型奠定良好基础。

3 新能源接入下电力系统稳定性的影响因素

3.1 电网惯性下降

由于新能源特别是风电、光伏大规模并网，电网中旋转设备占比显著减少。传统的火电和水电具有天然的转动惯量，在电网受到冲击时可以通过自身的动能来减缓频率的变化率以保证电网的安全稳定运行；但是可再生能源发电一般是以逆变器的形式接入电网，几乎没有转动惯量贡献，它的出力依靠电力电子器件迅速调整而不是机械储能，因此整个

系统的惯量就会降低，在惯量较低的情况下一旦出现负荷突变或者是短路等故障就会造成电网频率快速下降或者升高，如果不能及时恢复可能会引起保护动作而使整个电网崩溃[2]。电网惯性降低会危及到频率安全以及暂态响应水平，在低惯性系统内，即使是较小负荷变化或是风、光发电量的变化也会导致较大的频率偏差从而加大对于调频和电压控制设备的要求。而且低惯性的系统更容易出现连锁反应问题，在切除故障时很难保证系统的稳定性而造成系统振荡的风险。这样就会导致整个系统抗干扰的能力下降，传统的依靠机组自身惯性进行缓冲的方式被削弱了，调度方案及控制器的设计都需要考虑到由于缺少足够的惯性所带来的影响。因此增强新能源接入电网的惯性支撑能力或者是采用虚拟惯性和储能等方式来补偿缺失的惯性是保证电力系统可靠运行的重要途径。

3.2 储能配置水平

由于风电、光伏发电等可再生能源大规模并网，电网供电能力具有间歇性以及不确定性特点，对电网安全稳定运行提出了更高要求，在这种情况下，储能装置可以起到平抑新能源出力波动或者负荷变动的作用，在短时间内进行充放电操作以达到调节目的，从而抑制频率及电压波动。但是储能装置容量大小以及分布方式都会对其起到一定影响作用，如果其容量较小或者是布置不合理的话，则很难保证电网频率平稳运行，在较高比例的清洁能源接入情况下就可能出现瞬时功率缺失或是过载的现象而使整个电网处于危险之中[3]。储能配置水平对于电力系统频率调节能力、电压支撑能力和暂态响应速度都有着重要的作用。高储能容量的系统可以及时应对负荷变化以及新能源发电量的变化，减少对调频的需求，提升系统抵御干扰的能力，降低振荡强度和故障蔓延的风险。同时合理的储能布置还可以改善潮流分布，提高线路利用率，加强局部电网的安全性；反之如果缺乏足够的储能或者控制措施不当，则会导致大量新能源波动进入系统造成频率、电压偏差过大等问题的发生从而增加额外的备用需求。因此，在大规模接入新能源的情况下科学规划储能设备大小及其位置是确保整个电网安全稳定运行的有效途径。

3.3 电压调节能力

由于风电、光伏等清洁能源的大规模并网，电力系统电压调节难度加大。传统火电机组依靠励磁系统进行无功支撑以保证母线电压稳定，但新能源一般使用逆变器连接电网，其无功调节能力较弱并且调节方式不同，在新能源比例较高情况下，传统火电机组数量较少，整个系统的无功储备不足，在负荷较大或者远离主网的地方易发生低电压或高电压的问题[4]。同时，新能源出力波动引起的电流突变也会给电网带来不利影响，使得对控制系统性能、设备动作时间以及无功资源分配提出更高要求。电压调节能力不足会影响电力系统的安全稳定运行，母线电压偏差会对设备造成损害并且会引起继电保护误动造成局部或者大面积电网振荡甚至崩溃，在大量新能源接入情况下，电压波动会被传导到输电网中去加大对电网调度和负荷分配的影响。而电压调节能力低下也会使新能源发电不能发挥全部潜能从而减少整个电网经济效益以及调度自由度，所以提高系统电压调节能力如改善无功电源布局、强化逆变器瞬态响应能力和结合储能系统协助调压都是保证新能源并网后电网稳定运行有效措施。

4 新能源接入下电力系统稳定性优化策略

4.1 增强电网惯性

电网惯性是电力系统抵御频率偏移的重要物理量，在传统的发电设备中存在自然的转动惯量可以起到一定的储存作用，在负载突变或者发生故障的情况下释放能量降低频率的变化率。但是像风电场、光伏电站这样的清洁能源大多以逆变器的形式接入到电网当中，几乎没有转动惯量，造成整个系统的惯量减少。而惯量不足会使频率下降或上升的速度加快，使得电网对于干扰做出反应的时间变短，从而加大了振荡的程度以及保护装置的动作概率。因此增加电网惯量就是保证频率稳定和提高电网抗扰动的能力的一种改进措施，可以通过技术手段来模拟或者补充电网中的惯量响应。在实践中，可采用“虚拟惯性”以及储能设备来提升电网惯性。如在大型风电场并网点处，利用风机控制方式实现惯性响应：改变风机转速调节方法，在系统频率降低情况下让风机释放出能量，短时间内输出额外功率，代替传统机组惯性的作用；也可以在重要的母线上加装大容量的电池储能装置，设定快速频率响应控制逻辑，在系统频率偏离正常范围时，能够迅速地进行放电或者充电操作，弥补惯性缺失导致的频率波动问题。从实践角度来说还需要做好相应的储能容量及功率等级的设计工作，安装通讯和控制系统接口等硬件设施并与调度中心相连接；另外还要制定一套关于虚拟惯性参与电网调度的操作规程，规定响应时限、补偿功率以及启动条件等内容使措施具有可行性。

4.2 优化储能配置

新能源发电例如风能、太阳能受气候条件制约，输出功率具有不确定性，波动较大；而储能可以储存多余电力，在需要的时候再释放出来，起到削峰填谷的作用，使电力平稳输出，保证电网频率以及电压稳定。储能容量、功率大小以及分布情况决定了它所能发挥的调控作用及响应能力，合理配置储能可降低新能源波动对电网带来的影响，增强调度灵活性以及备用容量利用率，是提高电网安全可靠性和经济效益的有效途径。在实际运行中，为提高系统的稳定性可以采取以下措施改善储能配置：第一，在新能源出力预报以及负荷曲线的基础上合理选择储能容量及功率大小。比如在风电、光伏资源较好且负荷变化较大的地方安装较大功率快速响应的锂电池储能装置，保证短时间内进行频率或者电压校正。第二，将储能系统布置于重要的母线或者是新能源并网点处，借助高速通讯和调度机构配合做到集中与分散调节相

结合。控制策略方面设定储能响应启动条件即当电网频率超过 0.1Hz 或者某条母线上的电压偏移量大于 ±5% 时就让该储能设备向电网输送或从电网汲取电能。第三，利用能量管理系统来优化充放电顺序减少频繁地对电池进行过充 / 放而造成其效率降低或者缩短使用寿命。

4.3 改进电压控制

随着风能、太阳能等清洁能源大规模并网，传统的火电厂提供的无功支撑不足；同时由于新能源逆变器的无功调节能力有限以及响应速度较慢造成母线电压波动大。电压波动会降低设备运行效率甚至引起保护动作，危及电网安全稳定运行。改善电压质量需合理利用新能源逆变器无功调节功能、配置一定量的储能系统实现无功补偿以及优化无功资源分配与控制方法来保证高比例新能源接入条件下整个系统的电压平稳。在具体实践中，有多种方法可以优化电压调节以保证其可行性以及实施的有效性。一方面，在重要节点加装静止无功补偿器（SVC）、静止同步补偿器（STATCOM），配合新能源逆变器无功调节作用，在线监测母线电压变化并即时响应；另一方面，针对大型风电场、光伏电站逆变器进行改进，使它们能够在电压出现问题时及时地改变所产生无功功率大小，如通过调节自身功率因数或者采用恒压控制方式等参与到区域内的电压支撑当中去。同时还要做好母线电压分区工作，把各个支路电压调节任务分摊到不同的发电单元以及储能设备上共同完成集中式与分散式的联合调控体系，在操作层面上要搭建起电压监测及调度一体化平台，在 SCADA 系统之上获取相关信息之后下达相应的自动化的调控命令并且定时开展仿真计算以及现场试验等工作来验证这些措施是否切实可行。

4.4 引入智能调度

风电和光伏电能具有不确定性以及波动性特点，在传统的调度方式上依靠人工经验以及固定的机组启停安排，很难及时应对功率变化。而智能调度运用大数据分析、预测模型以及实时优化算法，从新能源出力情况、负荷需求以及储能的状态出发，对发电设备开关机、功率分配以及储能充放电做出合理的规划，这样不仅可以保证电网的频率、有功功率、电压等参数稳定可靠，还可以增加清洁能源利用率并且降低电力企业的运营成本，在大规模接入清洁能源时代背景下是一个重要的发展方向。在实践中可以采取如下方法进行智能调度实施。一是构建新能源出力及负荷预测系统，在结合气象信息以及过往负荷的基础上利用机器学习或者时序分析的方法实现分钟级乃至秒级别的功率预报，为调度提供可靠的参考。二是搭建集控平台，把风电场、光伏站、储能装置等纳入统一调度系统内来进行功率分配与储能优化管理。调度策略有：预见性地提前开启车组或释放储能来应对可能出现的新能源发电不足的情况；而如果发现有较多的富余电量，则降低逆变器无功输出，让储能去消耗一部分或者开启负荷端响应措施。三是开发自动化操作方式，在 SCADA 和 IEC 61850 通讯协议的支持下使调度命令迅速传递到各个发电单元及储能设备上从而使响应时间控制在几秒钟之内。

5 结语

由于风电、光伏等清洁能源大规模并网，电力系统存在惯量降低、储能缺乏及电压不稳定等问题，在此基础上增加电网惯量、合理安排储能容量、改善电压调节以及应用智能调度等一系列措施能够明显提高系统频率响应性能、功率调节能力和电压稳定性从而保证高比例新能源接入下电网安全稳定经济运行。

参考文献

[1] 李威,朱玲,祁晓婧,等.新能源自同步电压源接入电力系统频率特性分析[J].电力系统自动化, 2023, 47(17):38-46.

[2] 王炯,郑旭,陈秋寒,等.高比例新能源接入下电力系统负荷调峰分配方法[J].中国能源, 2024(12).

[3] 胡楠.新能源接入下电力系统电压稳定控制优化[J].电子元器件与信息技术, 2025, 9(11):88-90.

[4] 谢依宸.传统电力系统在新能源接入下的电能质量保障研究[J].云南电力技术, 2024, 52(6):25-28.