

新能源场站一次调频技术及参数配置分析

王磊¹, 于腾凯¹, 陈铄鑫², 王秋莎³

(1. 国网河北省电力有限公司电力科学研究院, 河北 石家庄 050021; 2. 河北华瑞能源集团有限公司, 河北 石家庄 050021;
3. 中国电建集团河北省电力勘测设计研究院有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要: 新能源装机容量在电网中占比不断增加, 导致电网一次调频能力随之减弱, 因此要求新能源具备参与电网一次调频的能力。本文分析了新能源场站一次调频改造的3种方式及其优缺点, 针对河北省南部电网新能源场站进行了一次调频响应死区、响应限幅、频率结束点、调差率等参数的分析计算, 能够为新能源场站开展一次调频技术改造、现场试验提供技术支持。依据本文参数配置一次调频响应装置, 通过现场实测, 验证了频率阶跃扰动下装置工作的准确性和有效性。

关键词: 新能源场站; 一次调频响应; 调差率

中图分类号: TM721 **文献标志码:** B **文章编号:** 1001-9898(2021)05-0036-03

Analysis of Primary Frequency Regulation Technology and Parameter Configuration of New Energy Stations

WANG Lei¹, YU Teng kai¹, CHEN Shuoxin², WANG Qiusha²

(1. State Grid Hebei Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Shijiazhuang 050021, China;

2. Hebei Huarui Energy Group Corporation Ltd, Shijiazhuang 050021, China;

3. Hebei Electric Reconnaissance Design Institute, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: The installed capacity of new energy in Hebei South Power Grid is increasing, which leads to the weakening of primary frequency regulation ability of power grid. Therefore, new energy is required to have the ability to participate in primary frequency regulation of power grid. This paper analyzes three ways and their advantages and disadvantages of primary frequency regulation transformation of new energy station. For the new energy station of Hebei South power grid, the analysis and calculation of primary frequency modulation response dead zone, response amplitude limiting, frequency ending point, modulation difference rate and other parameters are carried out, which can provide technical support for the primary frequency regulation transformation and field test of new energy station. According to the parameters of this paper, the primary frequency regulation response device is configured. Through field measurement the accuracy and effectiveness of the device under frequency step disturbance are verified.

Key words: new energy stations; primary frequency regulation response; modulation rate

1 概述

随着国家新能源战略的实施和新能源发电技术的不断进步, 我国新能源电源得到了长足的发展, 截止2021年1月河北省南部电网(简称“河北南网”)新能源装机2200万kW, 预计“十四五”期间河北南网新能源装机总容量将突破3000万kW, 超过火电装机规模。

大规模新能源并网改变了河北南网的运行方式, 其间歇性、波动性、转动惯量小等因素都给电

网的安全稳定运行带来了较大的压力。随着河北南网新能源在电网中占比不断增加, 常规同步机组占比逐渐下降, 导致电网一次调频能力随之减弱, 因此要求新能源需具备参与电网一次调频的能力^[1-4]。

一次调频是指当电力系统频率偏离目标频率时, 发电机组通过调速系统的自动反应, 调整有功出力减少频率偏差。发电机组的一次调频能力是维持电网功率平衡和安全稳定的第一道重要屏障, 其调节性能对电网的动态稳定性起着很重要

修回日期: 2021-03-25

作者简介: 王磊(1985-), 男, 高级工程师, 主要从事新能源并网技术研究方面工作。

的作用。风电、光伏发电等电能的大规模并网会引入随机功率扰动,影响电网安全性。合理规划机组一次调频参数和性能,对电网的安全稳定运行和未来智能电网环境下的优化调度具有重要的意义^[5-10]。

2 新能源场站一次调频技术改造

新能源场站一次调频不同于火电机组一次调频依靠原动机调速系统自动完成,新能源场站需利用自动发电控制系统(AGC)、单机或加装独立控制装置完成有功-频率下垂特性控制,使其在并网点具备参与电网频率快速调整能力。风电场、光伏电站一次调频改造技术思路相同,以光伏电站为例,一次调频改造可行方案主要有3种:AGC系统改造、逆变器改造和加装一次调频响应装置。

2.1 AGC系统改造

通过在AGC系统现有的软件中增加控制模块来实现一次调频功能,如图1所示。AGC系统接收光伏电站并网点频率和功率信号,按要求判定和计算后,通过通信单元将功率调节命令下发给光伏逆变器。

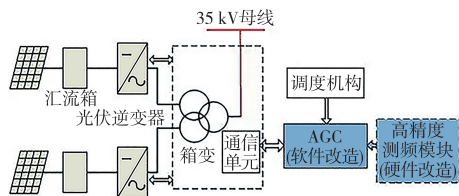


图1 基于AGC改造的光伏电站一次调频响应方案

(1)优点:无需改动光伏电站自动发电控制系统架构。

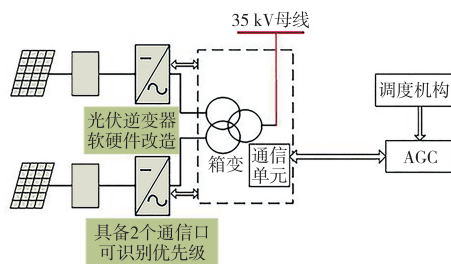
(2)缺点:现有光伏电站测控装置的测频精度、频率采样周期大多无法满足频率响应的快速性要求,需要根据光伏电站实际情况进行优化或加装专用高精度测频模块。通信环节较多,响应时间较长,需优化通信网络。

2.2 逆变器改造

对光伏逆变器进行软硬件改造,增加通信/采样模块,实现发电单元有功-频率下垂控制,实现一次调频功能,如图2所示。各发电单元都主动参与频率响应,使得整个新能源电站对外表现为具有一次调频响应功能。

(1)优点:逆变器能够非常快速地响应频率事件。

(2)缺点:现有光伏电站测控装置的测频精



度、频率采样周期大多无法满足频率响应的快速性要求,需要根据光伏电站实际情况进行优化或加装专用高精度测频模块。光伏电站闭环调节难度较大,需解决并网点调频一致性问题。光伏电站逆变器数量众多,改造工作量巨大,而且很难开展现场测试。

2.3 加装一次调频响应装置

一次调频响应装置内置高精度测频模块,如图3所示,当出现频率越限时,一次调频响应装置启动调节,通过叠加AGC指令,将命令发送到通信单元,最后由通信单元完成对逆变器的指令下发,并在规定的时间内监测功率调节结果,形成闭环控制。

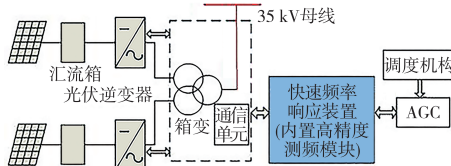


图3 基于加装装置的光伏电站一次调频响应方案

(1)优点:对于现有电站和新建站可以做到兼容,改造周期短。直接与现有通信单元连接,频率异常时可在一定程度上缩减系统的通信时间,提高响应速率。

(2)缺点:需进行通信网络优化,并完成与AGC控制策略协调。

对比上述3种新能源场站一次调频技术,加装一次调频响应装置优点明显,目前新能源场站基本采用此种方式进行一次调频改造。

3 新能源场站一次调频技术参数配置分析

3.1 下垂特性

新能源场站通过一次调频响应控制系统完成并网点的有功-频率下垂控制,使新能源场站在并网点具备参与电网频率快速调节的能力,且不影响原有监控系统和AGC系统性能和功能。一次调频响应控制系统设定频率变化死区定值,当频

率变化越过死区时,一次调频响应功能通过设定频率与有功功率折线函数(有功-频率下垂特性曲线函数)实现,即:

$$P = P_0 - P_n \times \frac{f - f_d}{f_n} \times \frac{1}{\delta \%} \quad (1)$$

式中: f_d 为一次调频响应死区,Hz; f_n 为系统额定频率,50 Hz; P_n 为新能源场站额定功率,MW; $\delta\%$ 为新能源场站一次调频响应调差率; P_0 为新能源场站有功功率初值,MW。

3.2 参数分析设置

3.2.1 一次调频响应死区

依据 GB/T 40595—2021《并网电源一次调频技术规定及试验导则》征求意见稿:风电场站一次调频的死区宜设置为 $\pm 0.03 \sim 0.06$ Hz,光伏场站一次调频的死区宜设置为 $\pm 0.02 \sim 0.05$ Hz,参考火电机组一次调频响应死区为 ± 0.033 Hz、冀北电网一次调频响应死区为 ± 0.05 Hz,设置河北南网一次调频响应死区为 ± 0.05 Hz。

3.2.2 一次调频响应限幅

依据 GB/T 40595—2021《并网电源一次调频技术规定及试验导则》征求意见稿:当系统频率低于额定频率时,新能源场站应根据一次调频曲线增加有功功率输出,一次调频有功功率调节量限幅值宜设置为 $3\% \sim 6\% P_n$;当系统频率高于额定频率时,新能源场站应根据一次调频曲线减少有功输出,一次调频有功功率调节量限幅值一般不小于 $10\% P_n$,考虑“十四五”期间河北南网新能源装机总容量将突破3 000 万 kW,并参考西北电网一次调频响应限幅为 $10\% P_n$,设置河北南网一次调频响应限幅为 $10\% P_n$ 。

3.2.3 一次调频响应频率结束点

一次调频响应频率结束点指电网频率超过此范围,新能源不需再进行功率调整。

采用中国电力科学研究院有限公司 bpa 程序,基于国家电力调度中心 2021 年夏季低负荷数据,考虑采用华北孤网方式,河北南网开机 1 720 万 kW,负荷 2 950 万 kW,忻都—石北 500 kV 线路严重故障,锦界、府谷电厂机组损失全部出力,功率冲击为 624 万 kW,电网频率最低跌幅 0.15 Hz,如图 4 所示,设置河北南网一次调频响应频率结束点为 ± 0.15 Hz。

3.2.4 一次调频响应调差率

依据一次调频响应死区、响应限幅、频率结束

点及公式(1),可得出一次调频响应调差率为 2% 。

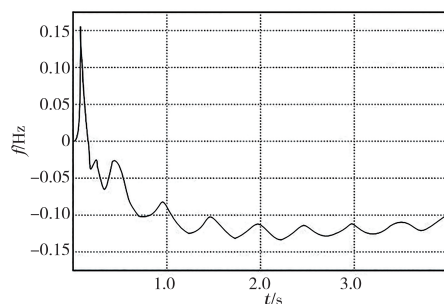


图4 华北主网频率变化

河北南网新能源场站一次调频响应功能的有功-频率下垂特性曲线如图 5 所示。

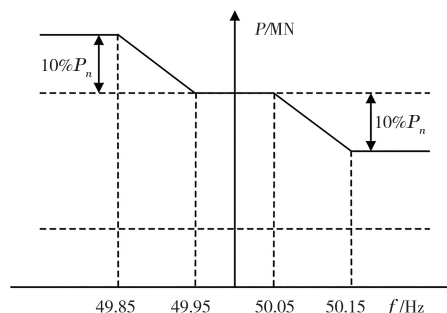


图5 新能源场站一次调频功能下垂特性

4 实例验证及效果

在某额定功率为 35 MW 的新能源场站安装一次调频响应装置,并按照上述参数进行配置,开展新能源场站一次调频响应现场测试。采用三相调频调压信号源模拟并网点频率阶跃变化从 50 Hz 到 49.896 Hz,电量分析记录仪录取波形,如图 6 所示。

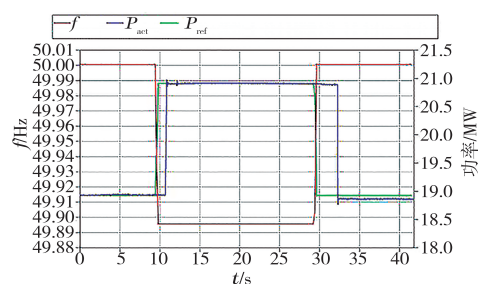


图6 新能源场站一次调频阶跃响应曲线

图 6 中, f 为频率阶跃曲线, P_{ref} 为理论有功响应曲线, P_{act} 为实际有功响应曲线。通过曲线可以看出,功率由 18.93 MW 到 20.83 MW,上述数据通过公式(1)及参数配置可以得到验证,证明了一次调频响应装置的准确性,实际有功曲线能够准确跟踪理论有功曲线,证明了该装置的有效性。

依据 DL/T 1870—2018《电力系统网源协调技术规范》要求,通过图 6 可以(下转第 43 页)

波形表示逆变器输出侧 U 相电压,绿色波形表示设备交流侧 U 相电流。当电网切除时,U 相电压的相位与幅值发生了变化,而被测设备继续向负载供电,不满足防孤岛性能的要求。试验结果表明,检测系统能够对光伏逆变器防孤岛性能进行检测。

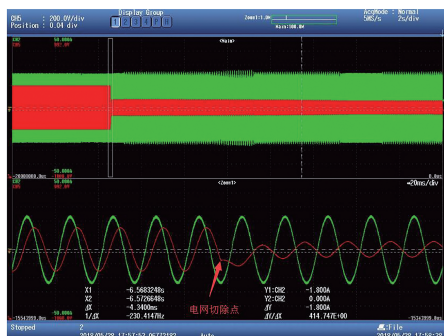


图 11 光伏逆变器防孤岛试验波形

6 结论

新能源领域的蓬勃发展对光伏逆变器的质量安全提出了更高的要求。本文基于发电系统对逆变器的并网需求研发设计了光伏逆变器并网检测系统,该系统能够对设备进行质量性能和保护性能指标测试,对光伏逆变器的性能检测具有重要意义。

(上接第 38 页)

看出一次调频响应滞后时间为 1.8 s,一次调频负荷响应速率时间为 2.3 s,一次调频稳定时间为 5.4 s,调频控制偏差为 0.32%,满足标准要求。

河北南网新能源场站一次调频改造后,依据本文参数配置,可大幅提升一次调频能力,初步估算为 1 100 MW。

5 结束语

本文分析了新能源场站一次调频改造的 3 种方式及其优缺点,针对河北南网新能源场站进行了一次调频响应死区、响应限幅、频率结束点、调差率等参数的分析计算,能够为新能源场站开展一次调频技术改造、现场试验提供技术支撑。依据本文参数配置一次调频响应装置,通过现场实测,验证了频率阶跃扰动下装置工作的准确性和有效性。

参考文献:

[1] 丁明,王伟胜,王秀丽,等.大规模光伏发电对电力系统影

参考文献:

- [1] 林小进,吴蓓蓓,张晓琳,等.光伏逆变器一致性评估方法及系统开发[J].电测与仪表,2018,55(20):72-75.
- [2] 孙小燕,朱永强,贾利虎,等.电网不对称故障下光伏逆变器预测控制方法[J].电力系统自动化,2015,39(13):81-86.
- [3] 孟良,时珉,胡文平,等.高渗透率分布式光伏接入对配电网的影响[J].河北电力技术,2019,38(2):1-3,12.
- [4] 陈栋,顾凯鸣,钟名湖,等.基于 VDE-AR-N4105 标准的光伏并网逆变器性能自动化测试系统开发[J].实验技术与管理,2015,32(12):107-111.
- [5] 石振刚,张祥瑞,任鹏,等.并网光伏发电系统对电能计量影响研究[J].河北电力技术,2015,34(5):17-19.
- [6] 闫华光,章欣,杨湘江,等.光伏并网逆变器检测平台的研制[J].电网技术,2011,35(6):139-143.
- [7] 崔剑,王金梅,陈杰,等.光伏并网逆变器性能指标检测与分析研究[J].自动化仪表,2015,36(9):84-87.
- [8] 陶亮,程军照,王文玺,等.基于分布式光伏逆变器的电能质量综合补偿装置[J].电测与仪表,2018,55(16):51-86,77.
- [9] 周宇,李先允.光伏并网逆变器检测方法分析与检测系统研究[J].南京工程学院学报(自然科学版),2015,13(1):42-48.
- [10] 刘旭. Chrome V8 引擎中的 JavaScript 数组实现分析与性能优化[J].计算机与现代化,2014(10):66-70.
- [11] 祁新梅,蒋翠,郑寿森,等.基于模型的光伏并网逆变器控制系统设计[J].电力电子技术,2015,49(11):33-35.
- [12] 李圣清,白建祥,唐琪,等.小功率光伏并网逆变器反孤岛保护的研究[J].电测与仪表,2016,53(18):87-92.

本文责任编辑:王丽斌

响综述[J].中国电机工程学报,2014,34(1):1-14.

- [2] 刘吉臻.大规模新能源电力安全高效利用基础问题[J].中国电机工程学报,2013,33(16):1-8.
- [3] 刘纯,马烁,董存,等.欧洲 3·20 日食对含大规模光伏发电的电网运行影响及启示[J].电网技术,2015,39(7):1765-1772.
- [4] 蒋小亮,丁岩,全少理,等.光伏渗透率对电力系统频率的影响及控制策略[J].武汉大学学报,2015,48(5):686-689.
- [5] 陈国平,李明节,许涛,等.关于新能源发展的技术瓶颈研究[J].中国电机工程学报,2017,37(1):20-26.
- [6] 李明节.大规模特高压交直流混联电网特性分析与运行控制[J].电网技术,2016,40(4):985-999.
- [7] 刘巨,姚伟,文劲宇,等.大规模风电参与系统频率调整的技术展望[J].电网技术,2014,38(3):638-646.
- [8] 赵强,张丽,王琦,等.系统负荷频率特性对电网频率稳定性的影响[J].电网技术,2011,35(3):69-73.
- [9] 陈世慧,阮大兵.光伏发电有功功率预测及其在电网频率控制中的应用[J].电力系统保护与控制,2013,41(20):125-129.
- [10] 李志强,王凡凯,陈飞,等.AGC 综合调频性能指标计算方法[J].河北电力技术,2020,39(3):11-16.

本文责任编辑:罗晓晓